

コンクリート技術シリーズ

コンクリート構造物の品質確保小委員会（第二期）
（350委員会）
委員会報告書

CONCRETE ENGINEERING SERIES
124

土木学会

コンクリート構造物の品質確保小委員会 (第二期)
(350委員会)
委員会報告書

CONCRETE ENGINEERING SERIES
124

「コンクリート技術シリーズ」は、主に、コンクリート委員会の第3種委員会の成果報告書であり、コンクリート委員会が承認した指針、規準ではありません。掲載内容を参照、引用される際には、ご留意下さい。

序

2019年から2020年にかけて、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が人間社会をパンデミックに陥れました。亡くなられた多くの方々のご冥福を心よりお祈りいたします。本委員会も当初2020年6月5日に予定していましたが、報告書については、委員各位のご尽力により、計画通り纏めることができました。これまで第1期350委員会(2014.10～2017.3)、土木学会重点研究委員会(2016.4～2017.3)、第2期350委員会(2017.9～2020.3)と、土木学会コンクリート委員会の研委員会として活動させて頂きましたことにお礼申し上げます。

第1期350委員会では、山口県発のひび割れ抑制・品質確保システムと東北復興道路の品質・耐久性確保システムを両輪に、品質確保システムの社会実装について研究を行いました。土木学会重点研究委員会では、「コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会(229委員会)」として山口システムの群馬県や熊本県等への展開や東北災害復興関連工事における品質確保や、耐久性確保に関する各種手引き類の整備において多くの成果を纏めました。そして、第2期350委員会では、第1期で得られた知見をもとに具体的にコンクリート構造物の品質・耐久性確保システムを各地域で社会実装する活動を展開しました。本報告書に記されておりますように、ここ数年、国土交通省を始め全国各地でコンクリート構造物の品質確保に取り組む動きが出てきたことは、活動の目標を「品質確保の取組みを全国に涵養すること」としていた委員一同にとって望外の喜びです。

コンクリート構造物の品質確保は、学術的な問題でもあり、また、経済性、合理性という観点も踏まえて解決すべき問題ですが、一方で、良いものを作り後世に残すといった人としての徳の問題にも通じています。本当に素晴らしい出来栄の構造物には、合理性を超えた日本人としてのアイデンティティ、「大和魂」が込められているように思います。

今回のCOVID-19がパンデミックとなった理由として、急速に進んだグローバル化が挙げられています。しかし、人類は必ずCOVID-19の苦難を乗り越え、より一層グローバル化を加速させ、今後、我が国においても益々合理性が重視される自由経済の渦に巻き込まれてゆくことは誰もが想像しうるところです。世界経済を活発にすることにより、良い社会を作るという言葉はとても正しい響きを持っていますが、一方で自由経済の中で安易に当面の合理性を追求することは、時に誤謬を生み、人々を徳の欠如した社会に導き、実は長期的に見ると不経済であり、たくさんの不幸を生んでいたということになりかねません。

本委員会の発足のきっかけは、とても小さなひび割れの問題でした。しかし、一見、これを研究し解決することの合理性を理解してもらうことすら困難な小さなひび割れを、本気で解決しようと大勢の研究者が集まったとき、コンクリート構造物の品質確保というとても大きな問題を解決する動きが生まれました。約6年間の委員会活動で得られた本テーマの解決の根本は、「すべての関係者が、真摯に学び、誠実に仕事をする」ということであつたように思います。ともあれ、今なお決してこれで十分というところに至っているわけではありません。どうか、今後も我が国のコンクリート構造物の品質確保、品質向上の動きがますます活発になり、豊かな国造りがたゆまなく進められますことを祈念いたします。おわりになりましたが、委員としてご参加頂きました皆様、あるいは、本委員会の活動にご協力いただきました関係各位に心から感謝申し上げます。

土木学会コンクリート委員会
コンクリート構造物の品質確保小委員会（第二期）
（350委員会）

委員構成

委員長	田村 隆弘	徳山工業高等専門学校
幹事長	細田 暁	横浜国立大学
委員	青木 優介	木更津工業高等専門学校
	阿波 稔	八戸工業大学
	池村 剛宜	山口県
	石川 太郎	(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
	石関 嘉一	(株) 大林組
	石田 哲也	東京大学
	井口 威生	(株) 長大
	井林 康	長岡工業高等専門学校
	岩城 一郎	日本大学
	岩間 慧大	横浜国立大学
	臼井 達哉	大成建設(株)
	梅木 宏也	(株) ドーコン
	音道 薫	上北建設(株)
	小山田桂夫	国土交通省 東北地方整備局
	小山田哲也	岩手大学
	風間 洋	アール・アンド・エー
	鹿沼 大成	群馬県
	神尾 崇	群馬県
	河野 広隆	京都大学
	北川 真也	佐藤工業(株)
	栗橋 祐介	金沢大学
	黒川 浩嗣	西日本旅客鉄道(株)
	古賀 裕久	(国研) 土木研究所
	子田 康弘	日本大学
	小松 怜史	(一財) 電力中央研究所
	坂田 昇	鹿島建設
	嗟峨山 航	新潟県
	佐川 康貴	九州大学
	佐藤 和徳	日本大学
	塩畑 英俊	東日本高速道路(株)

舌間孝一郎	前橋工科大学
鈴木 修	群馬県
砂川 勇二	沖縄県
筒井 達也	国際企業 (株)
津野 和宏	国土舘大学
手間本康一	国土交通省 東北地方整備局
富山 潤	琉球大学
半井健一郎	広島大学
二宮 純	西日本高速道路エンジニアリング中国
温品 達也	徳山工業高等専門学校
根本 浩史	清水建設 (株)
橋本紳一郎	千葉工業大学
林 和彦	香川高等専門学校
日比野 誠	九州工業大学
藤岡彩永佳	鹿島建設 (株)
藤波 亘	西松建設 (株)
麓 隆行	近畿大学
三方 康弘	大阪工業大学
三田 淳	日本サーベイ株式会社
森岡 弘道	山口県
幸田 圭司	清水建設 (株)
陽田 修	長岡工業高等専門学校
横井 克則	高知工業高等専門学校
吉田 行	(国研) 土木研究所 寒地土木研究所
李 春鶴	宮崎大学
和田 大	新潟県
和田 陽一	国際航業 (株)
渡邊 賢三	鹿島建設 (株)

オブザーバ 澤村 修司 (一財) 山口県建設技術センター

(五十音順, 敬称略)

土木学会コンクリート委員会
コンクリート構造物の品質確保小委員会
(350委員会) 成果報告書

目 次

1. はじめに	1
2. 山口県発の品質確保システムの各地域での試行や取組みの状況	3
2.1 山口県の品質確保システムの現状と課題	4
2.1.1 はじめに	4
2.1.2 現状と課題	4
2.1.3 システムの継続と改善について	9
2.1.4 まとめ	10
2.2 東北地方における取組み	12
2.2.1 東北地方整備局の品質・耐久性確保の取組みの特徴	12
(1) 品質確保の現状と課題	12
(2) 耐久性確保の現状と課題	15
(3) 品質・耐久性の低い構造物を建設し続ける仕組み	20
(4) 産学官連携による課題解決の仕組み	21
(5) 品質・耐久性確保を進めるための手順	22
(6) 「試行工事」を活用した現場実装	24
(7) 品質・耐久性確保を行う産学官連携の仕組み	24
2.2.2 東北中央自動車道 相馬福島道路（霊山から福島間）における取組み	27
2.3 群馬県における取組み	33
2.3.1 はじめに	33
2.3.2 群馬県における取組みの流れ	33
2.3.3 群馬県の品質確保ガイドライン	36
2.3.4 群馬県における品質確保の今後	38
2.4 北海道における取組みと試行工事の状況	40
2.4.1 北海道土木技術会における品質確保関連の活動状況	40
2.4.2 日本コンクリート工学会北海道支部における品質確保関連の活動状況	44
2.4.3 北海道における品質向上の試行工事の対応状況	45
2.5 四国地方における取組み	61
2.5.1 四国の環境および材料供給の現状	61
2.5.2 四国における産業副産物の産出状況とコンクリートへの対応	61
2.5.3 トンネルをきっかけとした産官学連携	62
2.5.4 四国版トンネルの品質確保の手引き（案）の作成	64

2.5.5	フライアッシュの利活用の検討.....	64
2.5.6	四国での品質確保の取組みの経緯と試行工事への参画.....	65
2.5.7	四国における品質確保の今後の方向性.....	66
2.6	近畿地整における品質確保の試行工事の状況.....	68
2.6.1	試行工事の概要.....	68
2.6.2	コンクリート施工状況把握チェックシートに対するヒアリング結果.....	68
2.6.3	表層目視評価シートに対するヒアリング結果.....	68
2.6.4	今後の課題.....	70
2.7	沖縄におけるコンクリート構造物の耐久性向上に向けた取組み.....	71
2.7.1	沖縄における取組みの概要.....	71
2.7.2	FAC 指針の概要.....	71
2.7.3	北丘高架橋下部工の品質確保試行.....	73
2.7.4	泡瀬連絡橋の品質確保試行.....	75
2.7.5	まとめ.....	77
2.8	新潟県における取組み.....	80
2.8.1	はじめに.....	80
2.8.2	課題解決の糸口.....	80
2.8.3	新潟県における取組み.....	80
2.8.4	土木の本質.....	81
2.9	高知県における取組み.....	83
2.9.1	現場コンクリートの品質向上としての取組み事例.....	83
2.9.2	温度ひび割れ対策としてのフライアッシュの活用事例.....	84
2.10	福井県における取組み.....	85
2.10.1	福井県のコンクリート構造物の現状.....	85
2.10.2	福井県のコンクリート構造物の維持管理に関する取組み.....	85
2.10.3	福井県における新設構造物の品質確保に関する取組み.....	85
2.10.4	福井県の今後の品質確保の取組みについて.....	88
3.	材料の観点からの品質確保.....	91
3.1	混和材料を適切に活用した品質確保の重要性.....	91
3.1.1	コンクリート用化学混和剤に求められる機能.....	91
3.1.2	コンクリート用化学混和剤開発の背景.....	91
3.1.3	現場で求められるコンクリート用化学混和剤の機能についての調査結果.....	92
3.1.4	スランプの長時間保持機能を持つ化学混和剤の紹介の開発.....	92
3.1.5	スランプの長時間保持機能を持つ化学混和剤の活用事例.....	93
3.1.6	化学混和剤活用による品質確保への影響.....	94
3.1.7	化学混和剤のさらなる活用に向けた環境整備.....	94
3.1.8	コンクリート用混和材を使用する前に.....	95
3.1.9	混和材料を正しく使用するために ー現場ごとに異なる混和材料の使用法ー.....	97

3.1.10	まとめ	97
3.2	各地の先進的な ASR 対策	99
3.2.1	JR 東日本のフライアッシュによる ASR 対策	99
3.2.2	東北地方整備局管内の ASR とその対策	102
3.3	東北地方におけるコンクリート構造物の耐凍害性確保に関する現状と課題	109
3.3.1	凍害を取り巻く環境の変化	109
3.3.2	東北地方におけるコンクリート構造物の劣化	109
3.3.3	東北地方整備局におけるコンクリート構造物のスケーリング劣化への対応	110
3.3.4	東北地方における凍害対策の課題	110
4.	ひび割れ抑制システムの構築・高度化	112
4.1	東北地方の RC 床版の耐久性確保の手引き（案）におけるひび割れ抑制対策の考え方	112
4.1.1	高耐久 RC 床版の取組みとひび割れ抑制対策の必要性	112
4.1.2	ひび割れ抑制対策を構築した考え方	114
4.1.3	構造形式ごとのひび割れ抑制対策	116
4.1.4	今後の課題	119
4.2	山口県のコンクリート施工記録の機械学習による分析	121
4.2.1	山口県の品質確保システムにおけるコンクリート施工記録のデータベースの意義	121
4.2.2	データベースの活用による生産性の向上	122
4.2.3	コンクリート施工記録と機械学習と組み合わせたさらなる価値の創造	123
5.	真の耐久性確保のための課題	128
5.1	点検データの分析による品質確保システムの効果の検証	128
5.1.1	NATM トンネルの点検データの分析手法	128
5.1.2	トンネルの点検データの分析結果	129
5.1.3	今後期待されるデータの活用	133
5.2	東北地方整備局の品質・耐久性確保の取組みの課題と対応	134
5.2.1	取組みの継続・普及上の課題と対応	134
5.2.2	品質・耐久性確保の取組みにおける技術面での課題と対応	139
5.3	耐久性確保のための養生のあり方	143
5.3.1	耐久性確保が必要な事例	143
5.3.2	耐久性確保における養生についての考え方	144
5.3.3	養生方法・期間を決定する際に検討すべき項目	145
5.3.4	耐久設計における養生方法・期間の検討	146
5.3.5	養生方法・期間を決定する際の根拠	147
5.3.6	今後の検討課題	150
5.4	地域規準と中央規準（示方書等）の連携	152
6.	おわりに	154

1. はじめに

土木分野のコンクリート構造物の建設時の品質確保は、長い供用期間に構造物が十分な耐久性を発揮するために重要である。品質確保が十分に達成されない場合、構造物の劣化に対応するための維持管理や更新のコストが増加することになる。土木構造物の品質は、契約時点で確認することができず、施工者の技術的能力に負うところが大きい。特に、構造体を現場で建設するコンクリート構造物の品質は、材料、施工、環境条件等の影響を大きく受ける。

また、コンクリート構造物の建設には、発注者、設計者、施工者、材料供給者等の多くのプレーヤーが関与し、各プレーヤーがそれぞれの役割を果たすことで構造物の品質が確保される。そして、各プレーヤーの果たすべき役割は、社会の状況に応じて変化する。平成時代の公共投資の継続的な削減による建設業の衰退、団塊世代の引退、事務作業の増大による現場離れがもたらす発注者や施工者等の技術力の低下、生産年齢人口の急激な減少に伴う生産性向上の要望、骨材事情の悪化、混和材料技術の発展など、社会状況は変化を続けるが、品質確保の重要性は変わらず、達成は容易ではない。

我が国のインフラの中でも 50 年、100 年を超えて現役で活躍しているものは数多い。経年とともに劣化をまぬがれない物質もあるが、そのような社会に存在するほとんどの消耗品と比べると、コンクリート構造物は建設時の品質が確保されていれば、半永久的な寿命を持つと言って過言ではない。実際、コンクリート構造物の劣化の原因の大半は、施工時の初期欠陥なのである。

では、施工時の品質確保が達成されれば、コンクリート構造物は長寿命たり得るのであろうか。ここが難しい点である。構造物の供用期間の作用や環境条件が厳しい場合は、構造設計・耐久設計や材料の仕様が適切でないと、施工時の品質確保だけでは耐久性が確保できない場合もある。適切な設計、材料の選択と、施工時の品質確保、さらには供用後の適切な維持管理が合わさって、真の耐久性確保が可能となるのである。この観点も、本委員会の活動の骨子の一つである。

現代のコンクリートは混和材料なくして成り立たない。耐久性の向上や環境負荷低減の観点から高炉スラグ微粉末、フライアッシュ等の混和材の有効利用をさらに促進していくことはもちろんのこと、発展著しい化学混和剤の力がなければ、この極めて多様な気候環境を有する国土において、様々な運搬条件や施工条件のもとで、品質確保を達成することは不可能である。実は、350 委員会の活動の発端となった山口システムの端緒は、田村隆弘委員長が開催した「コンクリートよろず研究会」でひび割れをテーマに行われた勉強会であった。そして、長い休止期間を経て、二期目の「コンクリートよろず研究会」が扱ったテーマが、混和材料であった。今や不可欠となった混和材料のことを、コンクリート構造物に関わる多くの職種のプレーヤーたちは本当に理解しているであろうか。適切な知識なしに、本当に品質や耐久性を確保できるであろうか。このような問題意識から活動を開始し、成果を報告書として取りまとめた。本報告書にも、そのエッセンスが取り込まれている。

現代は、生産性向上の観点も極めて重要である。そもそも、品質の高いコンクリート構造物が建設されることが、質の高いストック効果に結び付き、社会の生産性を向上させる。平成を通じてのデフレーションで疲弊した我が国は、インフラのストックの観点からも先進国に明らかに劣後する状況であり、この原稿の執筆時点で Covid-19 による国家的な自粛で委縮し切っている状況を鑑みても、インフラ整備による生産性の向上と地域の均衡ある発展こそが最も求められる対策と考える。一方で、ミクロな生産性向上も極めて重要であり、高い品質を実現しつつ、建設現場での生産性向上を達成していくことは、生産年齢人口の急減する我が国においては必須の取組みである。古くは、火山灰の活用と大型建設機械の採用によりこれを高い次元で

達成していた小樽築港の廣井勇博士の偉業にあるように、品質・耐久性確保と生産性向上は、今に限らず、どの時代においても重要であり、技術者の追い求めるべき課題であると言える。コンクリートの分野では、プレキャストの活用や、全自動施工の開発など、取り組むべき具体的な課題にも溢れている。

本委員会では、新設建造物の品質確保、耐久性確保をメインテーマに据えて活動した。しかし、冒頭にも述べたように、建造物が真の耐久性を発揮するためには、供用開始後の適切な維持管理も極めて重要である。維持管理における点検、診断、補修・補強等の対策においても品質確保が重要であり、人材が育成される必要がある。建造物の建設から維持管理へのデータの適切な受け渡しや、維持管理で得られた情報を設計・施工へフィードバックすることも含めて、本委員会のメンバーたちは、維持管理も視野に入れた活動を展開してきた。

上記のような多岐に渡る観点が、本委員会の活動の成果である本報告書の随所にちりばめられている。本報告書の内容が、読者の技術力向上や、社会を支えるコンクリート建造物の長寿命化に少しでも役立つことを願ってやまない。

(担当：細田 暁)

2. 山口県発の品質確保システムの各地域での試行や取組みの状況

山口県で2007年度から運用されているコンクリート構造物のひび割れ抑制システムは、その後、有害なひび割れが抑制されているのみならず、システムの運用開始後の構造物の表層品質が向上していることが確認され、2014年度からは品質確保システムとして運用がなされている。山口システムは、施工状況把握チェックシート等を活用した施工の基本事項の遵守、コンクリート施工記録のデータベースを活用した設計・施工、システムの規準書であるコンクリート品質確保ガイドの制定とこまめな改訂、現場での研修や毎年の講習会を通じての人財育成、等の多岐の要素から構成される。

本委員会では、山口システムの考え方に共鳴する技術者、研究者が集まり、議論を重ねながら、山口システムそのものの改善や、各地域の課題や事情に応じて山口システムの考え方に基づいてそれぞれの品質確保システムや耐久性確保システムを構築するための取組みを重ねてきた。

東日本大震災の後、2012年度からは、東北の復興道路を舞台とした東北地方整備局の品質確保、耐久性確保に本委員会のメンバーが深く関わってきた。施工状況把握チェックシートや目視評価法を活用した品質確保の試行工事から開始し、現場で実績やノウハウが積み重なってくると、品質確保の手引きを制定し、講習会で広く周知する、というやり方で様々な取組みを継続してきた。そのような活発な取組みが注目され、北海道から沖縄までの全国の地方整備局等で、施工状況把握チェックシートと目視評価法を用いたトンネル覆工コンクリートと橋梁下部工の品質確保の試行工事が実施されるに至った。

一方、自治体においては、山口システムに触発されて、2009年ごろから勉強を開始していた群馬県の産官学の協働が実り、2019年度から群馬県の品質確保システムが正式に運用を開始している。

本報告書の2章では、山口システムの最新動向、東北地方整備局の品質・耐久性確保の構築の経緯、群馬県の品質確保システムの構築までの経緯や、その他の地域での試行や取組みについて取りまとめる。

(執筆者：細田 暁)

2.1 山口県の品質確保システムの現状と課題

2.1.1 はじめに

山口県では、平成 19 年からひび割れ抑制システムの運用を開始し、平成 26 年には耐久性向上を目的とする品質確保システムに拡張して運用している。また、品質確保システムの運用開始以降も、当委員会等で得られた知見等を参考として、継続的にシステムの改善を行っているところである。

近年では、「新設コンクリート革命」(熱血ドボ研 2030 著、平成 30 年 3 月)や、平成 29 年度土木学会賞技術賞受賞(業績名：山口県におけるひび割れ抑制・品質確保システムの構築と展開)等を機に、県外の技術者からも注目されている。

ここでは、この山口県の品質確保システムの現状と課題について報告する。

2.1.2 現状と課題

山口県がシステムとして運用を開始してから 10 年以上が経過し、コンクリート構造物のひび割れ抑制・品質確保について、これまでに 6 名が担当職員として従事してきた(令和 2 年 3 月末時点)。

山口システムの構成は図 2.1.1 に示すとおりである。中でも、コンクリート施工記録データベース(以下 DB とする)はシステムの中核をなすものである。設計や施工の参考資料とするだけでなく、規準書であるコンクリート構造物品質確保ガイド¹⁾(以下、ガイドとする)の改訂の根拠資料として用いる。

担当職員の主たる業務に、(1)コンクリート施工記録 DB の更新、(2)ガイドの改訂がある。また、コンクリート工事関係者への山口システムの浸透や協働意識醸成等を目的とする(3)技術講習会の企画運営、技術職員の技術力向上を目的とする(4)職員研修のサポートなども行っている。

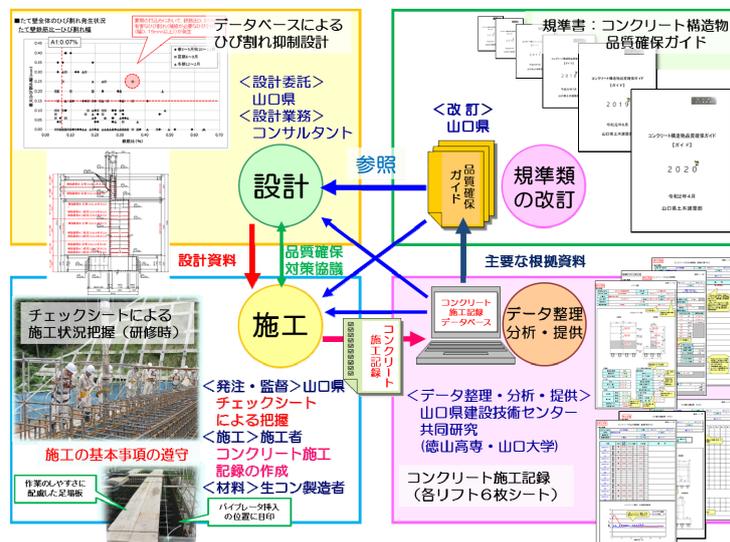


図 2.1.1 山口システムの構成

(1) コンクリート施工記録 DB の更新

山口県では、品質確保の対象構造物について、リフト毎に作成されるコンクリート施工記録(以下、施工記録とする)を DB として蓄積し、(一財)山口県建設技術センター(以下、センターとする)のウェブサイト²⁾で公開している。施工記録は、リフト図、コンクリート打込み管理表、ひび割れ調査票について 6 枚のエクセル形式のシートで構成される。

設計段階において、記入可能な箇所に入力してシートを作成し、発注段階、施工段階へと引き継ぐ。施工者が、施工時の記録を入力してシートを完成させ、施工管理資料の一部として発注者に提出する。発注者がこの内容を確認し、センターに提出する。

DB の管理はセンターに委託している。センターでは、提出された施工記録の情報を DB 形式に編集する作業を行っている。

この編集作業の多くがデータ手入力であるため、精度確保と作業効率化のためにも、施工記録が所定の様式に適切に入力されることが重要である。また、紙媒体や PDF 形式による提出も散見される。編集作業の効率を大きく損なうことから、エクセル形式による提出を徹底するよう求めている。

このほか、「対象工事一覧表」を作成し、定期的に更新している。設計や工事の進捗状況に加えて、施工記録等の提出状況の把握に活用している。

蓄積する施工記録の数には、年によりバラつきがあるものの、例年、前年度下半期から当該年度上半期までに完成した工事の施工記録を 12 月頃にとりまとめ、センターが編集し、1 月末には DB 形式への更新作業を終えている。

平成 29 年度には 85 リフト、平成 30 年度には 200 リフト、令和元年度には 61 リフト分を DB に追加しており、令和 2 年 3 月現在で計 1,816 リフト分を蓄積している (図 2.1.2)。

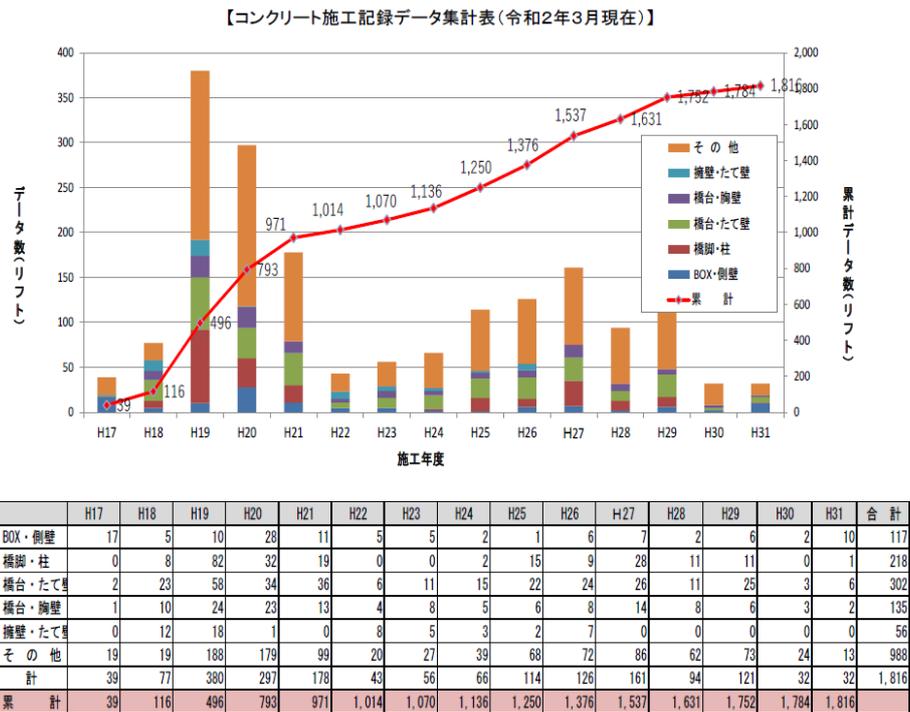


図 2.1.2 コンクリート施工記録データ集計表 (令和 2 年 3 月時点) ²⁾

山口システムでは、「施工の基本事項の遵守」とともに、「打込み時期」、「打継ぎ間隔」、「材料」により、ひび割れ抑制対策を実施している。

ひび割れ抑制対策の検討には、数値解析ではなく、既往の実績として施工記録 DB を活用することを標準としており、設計段階から検討を行い、成果品に反映する。監督職員は、事業主管課を経由して、技術管理課と協議を行う。平成 29 年度以降、ひび割れ抑制設計の協議を行った構造物数は表 2.1.1 のとおりである。

橋台(たて壁、胸壁)では、施工性、経済性等を考慮した上で、補強鉄筋、ガラス繊維、水和熱抑制型膨

張材から適切な対策を選定している。

主に用いられる補強鉄筋については、類似構造物データを抽出して分析し、適切な鉄筋比を導き出す手法を標準として扱っている。

この手法において、DB から参照する類似構造物データの分布が密な場合、豊富なデータによって確定的な判断が可能となるが、データの分布が疎な場合、参考データが少ないため、安全側に設計する傾向にある。

したがって、新たな施工記録が DB に蓄積されることは、ひび割れ抑制設計の精度向上につながることから、引き続きデータを蓄積し、公開していくことが重要と考えている。

このほか、ボックスカルバート側壁では、目地の設置によるひび割れ抑制を適用している。ガイドには、打込み時のコンクリート温度による誘発目地設置間隔の目安を掲載しており、計画工程や提案された目地間隔の妥当性等を協議で確認している。

表 2.1.1 ひび割れ抑制設計の協議を行った構造物数

年度	構造物数		
	橋台	ボックス	計
H29	11	3	14
H30	17	10	27
R1	9	7	16

DB の利用については、国土交通省東北地方整備局の「ひび割れ抑制のための参考資料(案)(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)」や、「群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン」に山口県の DB についての取り扱いが記載されるなど、県外にも拡がりを見せている。DB をインターネット上で公開することで、こういった活用が拡がり、利用者の発見したミスデータの修正につながる場合もある。

このように、データの利用が活発になることは、DB の信頼性向上に有効であり、システムの好循環が得られると考えている。

(2) ガイドの改訂

規準書であるガイドの見直しと改善を行うことも、システム全体の好循環のために重要と考えている。そのため、ガイドの名称に策定時から改訂年次を付記している。

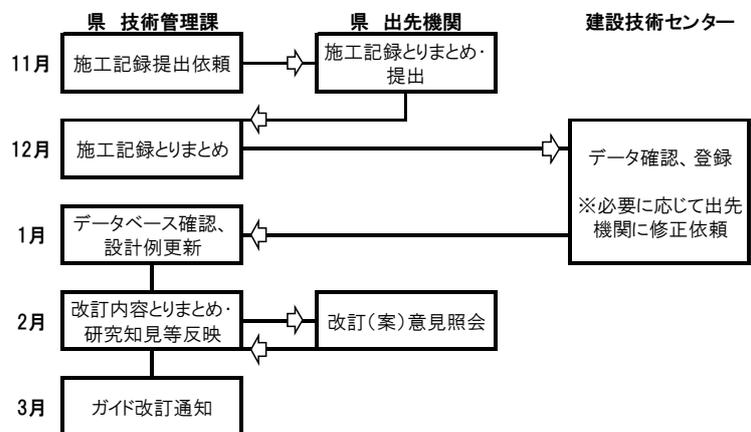


図 2.1.3 ガイド改訂における概略作業工程

前述のDB更新に基づいて、ガイド資料編に掲載しているDBに基づくひび割れ抑制の設計例を見直すことを基本としているほか、山口県が実施している官学共同研究や、当委員会等で得られた知見の反映など、これまでに計5度の改訂を実施している。

ガイド改訂における概略作業工程を図2.1.3に示す。DBの更新作業、各出先事務所等に対する意見照会を経て、毎年度末に取りまとめている。

材料や施工技術等の変化に応じて、適切に規準書の改訂作業を行っていくことが重要である。定期的改訂ではなく、改訂内容により適宜改訂する方法もあるが、作業量が過大になり改訂が先送りされ、結果として現状にそぐわない規準書を使い続ける悪循環に陥る場合がある。そのため、山口システムでは改訂を短いサイクルで継続的に行っていく方法を採用している。

(3) 技術講習会の企画運営

山口県では、県内の関係団体等との共同開催により、これまでに計13回の技術講習会を開催しており、県内の関係者を中心として、毎回400人程度が参加している。技術講習会の参加者数を図2.1.4、技術講習会（第13回）の状況を写真2.1.1に示す。このうち、第10回～第13回では、本委員会も共催として加わり、委員である県内外の研究者等に講師として参加いただいている。

技術講習会では、研究者による最新の知見の紹介などの基調講演とともに、県内のコンクリート構造物に関係する各プレイヤー（製造者、設計者、施工者、発注者）による成果発表も行っている。各プレイヤーによる成果発表により、情報が共有され、協働意識が醸成される。また、講師の方々による成果発表に対する講評の時間も設けている。この時間には、会場内からも多数の質問が寄せられるなど、会場全体が参加する意見交換となり、有意義な時間となっている。さらに、全ての講演・発表資料は、講習会終了後に山口県技術管理課のウェブサイト公表・共有するとともに、以降の参考資料として蓄積している。

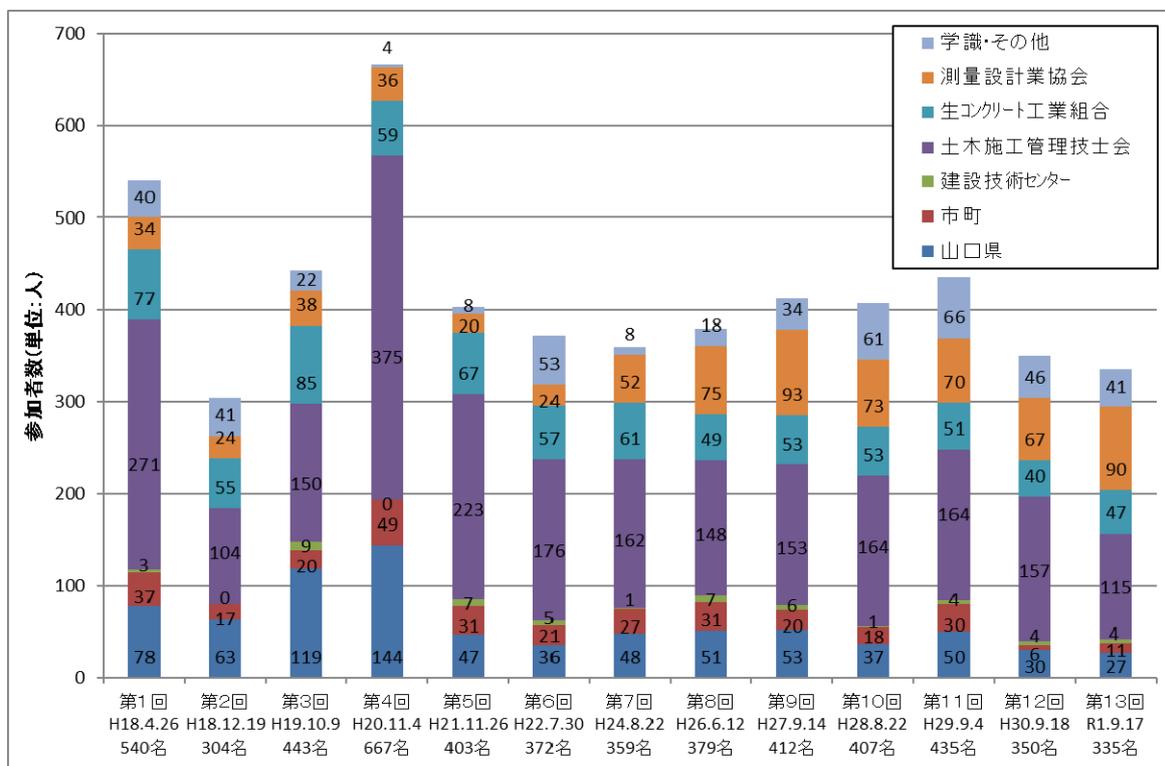


図 2.1.4 各技術講習会の参加者数



写真 2.1.1 技術講習会（第13回）の状況

(4) 職員研修のサポート

監督職員の技術力向上も課題の一つである。そのため、職員研修を充実させ、継続的に実施している。また、職員が参加しやすくするため、出先事務所（土木建築事務所）毎に現場を選定し、研修を行っている。

具体的には、実際の打込みに臨場し、施工状況把握チェックシートの目的の理解を深めるための「施工状況把握研修」と、山口システムの効果を理解するための「既設構造物研修」の2種類を各出先事務所管内で毎年実施している（写真 2.1.2）。このうち、「既設構造物研修」では、「目視評価シート³⁾」を研修ツールとして活用している。特別な器材等を準備する必要がなく、評価方法が簡便で扱いやすいことから、若年職員を中心とする研修においても効果的に機能している。

既設構造物を前にして各自が項目毎に評価を行い、コンクリート表面に生じる不具合等の原因や改善方法について、参加者で意見交換を行っている。この取組みが、品質確保の目的の理解に加えて、構造物の観察スキル向上に効果を発揮している。



写真 2.1.2 職員研修の状況（左：施工状況把握研修，右：既設構造物研修）

山口県では、各出先事務所に「コンクリート品質確保推進委員」（以下、推進委員とする）を配置し、推進委員が事務所研修の日程調整や参加者の募集等の役割を担っている。技術管理課とセンターが講師等で推進委員をサポートし、研修を行っている。これにより、県全体で毎年10回以上の研修会を実施しており、参加者だけでなく、推進委員や技術管理課も含めた職員の技術力の底上げに寄与している。

また、推進委員等で構成される「コンクリート品質確保推進会議」を年3回程度開催しており、研修の運

営も議題の一つとして挙げ、開催方法や内容の充実について議論し、職員研修の改善に役立てている。

2.1.3 システムの継続と改善について

ここでは、システムの継続と改善を目的とする取組みのうち、「研修モデルコースの活用」、「講演等による発信」の2点について報告する。

(1) 研修モデルコースの活用

山口県における「ひび割れ抑制・品質確保システム」の効果を実感することができる既設構造物による研修モデルコース（以下、モデルコースとする）を作成し、平成27年度からウェブサイトで公開している¹⁾。

このモデルコースでは、「ひび割れ抑制システム構築前に建設された構造物」、「試行段階に建設された構造物」、「システム構築後に建設された構造物」を、順を追って見ることにより、各構造物を比較し、その効果を実感することができる。また、立入許可等の手続きを要することのない構造物を選定しており、自力で回ることも可能なコースとなっている。

モデルコースを活用した職員研修の状況を写真2.1.3に示す。システム構築前の構造物から順を追って構造物を見ていくと、システム構築後に建設された模範的構造物の前に立った参加者の多くが壁面に触れて品質を確かめる。品質が確保された良質な構造物を実際に見て、効果を実感すると、システムに対する関心が高まり、実践への意欲が向上していると推察される。

良質な構造物は、耐久性の高い良質なインフラであるだけでなく、研修効果の高い良質な教材として人も育てるということを実感している。



写真 2.1.3 モデルコースを活用した職員研修の状況（左：システム構築前、右：システム構築後）

近年では、山口システムについての視察を要望される機会も得ている。より多くの技術者に山口システムを知っていただき、様々な意見等を頂くことは、システムの改善等に有益であると考えており、可能な限り依頼に応じている。このような視察においても、モデルコースが効果を発揮するため、積極的に活用している（表2.1.2）。

座学での山口システムについての説明に加えて、モデルコースでシステム構築前後の実際の構造物を見ることにより理解が深まった、という感想を多くいただいている。また、既設構造物を活用する研修方法に大きな効果を実感され、持ち帰って地元や自社の研修等で実践したい、という反応も多く、モデルコースが有する大きな可能性を実感している。

表 2.1.2 県外からの視察におけるモデルコース活用実績

年度	月日	参加主体	参加者数	備考	
H27	6/10-12	沖縄県	産・学・官	20名	
	9/15	沖縄県、群馬県、香川県	産・学・官	21名	第9回技術講習会 翌日
	12/17	日本コンクリート工学会	産・学	6名	
H28	8/23	土木学会229委員会	産・学・官	54名	第10回技術講習会 現場見学会
	1/30	熊本県	産・学・官	6名	
H29	5/18	群馬県建設業協会館林支部	産	9名	
	5/30	熊本県	産・官	16名	
	6/17	香川県(製造者)	産	3名	
	8/25-26	高知県(技士会、診断士会)	産・学・官	38名	
	9/5	希望者(県外参加者)	産・学・官	16名	第11回技術講習会 現場見学会
	9/5	新潟県	官	3名	
	11/28-29	東北地整(磐城国道)	官	4名	
H30	6/12	新潟県	官	4名	
	7/23-24	新潟県	産・官	6名	
	8/23-24	高知県(技士会、診断士会)	産・官	17名	
	9/19	希望者(県外参加者)	産・学・官	19名	第12回技術講習会 現場見学会
	10/20	山口県測量設計業協会	産	48名	
	11/21	国、中四国県・政令市	官	8名	
	3/7	茨城県	官	1名	
R1	5/29	山形県(施工者)	産	12名	
	7/3	兵庫県	官	1名	
	8/22	東京都(施工者)	産	4名	
	9/18	希望者(県外参加者)	産・官	12名	第13回技術講習会 現場見学会
	11/25	熊本県メンテナンス協会	産	5名	
	11/27	高知県議会	産・官	8名	
	1/31	東京都(施工者)	産	25名	

(2) 講演等による発信

視察に加えて、近年では、講演の依頼を受ける機会も多い。当委員会期間中の山口システムに関する講演等の実績を表 2.1.3 に示す。350 委員会に関連する活動としての依頼に加えて、山口県への視察が講演依頼につながる機会も増えている。こういった機会においては、当日の質疑に加えて、アンケート等によるフィードバックを得られる場合がある。山口県としては、これらをシステムの改善に役立てることができる。

また、このような機会を通じた積極的な発信は、筆者のような担当者の技術力向上にも大いに寄与する。説明する機会を得て、システムの本質への理解を深めるとともに、職員研修や視察等における説明スキルの向上にも役立っている。

表 2.1.3 山口システムに関する講演等の実績

開催日	会場	主催共催先	名称	参加者(人)
2017年9月5日	東京大学武田ホール	熱血ドボ研2030	新設コンクリート革命出版記念セミナー	約200
2017年9月11日	九州大学伊都キャンパス	コンクリート委員会・建設マネジメント委員会	土木学会全国大会研究討論会	約150
2017年11月30日	つくば国際会議場	土木研究所iMaRRC	第1回iMaRRCセミナー	135
2018年7月23日	沖縄総合事務局会議室	内閣府沖縄総合事務局、沖縄県	沖縄県におけるコンクリート構造物の品質・耐久性確保の取組みに関する意見交換会	約50
2018年10月4日	宮城県建設産業会館	(一財)建設業技術者センター	第6回建設技術者のための技術力向上セミナー	115
2018年11月5日	姫路・西はりま地場産業センター	兵庫県土木施工管理技士会	平成30年度第4回技術研修会	約120
2019年2月1日	新潟県民会館	新潟県	コンクリート構造物の品質確保に向けて～産学官が連携した新たな取組み～	416
2019年4月10日	ビューアリティまきび	(一財)建設業技術者センター	第7回建設技術者のための技術力向上セミナー	69
2019年6月12日	群馬県公社総合ビル	(公財)群馬県建設技術センター	令和元年度コンクリート品質確保研修	300
2019年6月15日	愛媛県美術館 講堂	愛媛MEの会	愛媛MEの会 平成30年度活動報告会	約80
2019年8月30日	高知県建設会館	高知県土木施工管理技士会	コンクリート品質・出来栄等に関する勉強会	約100
2019年9月14日	福井県教育センター	福井県コンクリート診断士会	コンクリートのひび割れ抑制対策に関する講習会	120
2019年9月26日	南但建設会館	兵庫県土木施工管理技士会	令和元年度第3回技術研修会	96
2020年1月29日	グランメッセ熊本	(一社)熊本県メンテナンス協会	令和元年度技術講演会 新時代のコンクリート～品質と耐久性へのこだわり～	241

2.1.4 まとめ

筆者は、各出先事務所における職員研修などの機会を通じて、施工現場やその成果物である構造物を目にする機会が多くある。近年では、各現場において、ひび割れ抑制や施工の基本事項遵守などの品質確保に対

する関係者の意識向上だけでなく、良質な模範的構造物に立ち会う機会が増えている実感がある。先述の研修モデルコース以外の管内における構造物事例を写真 2.1.4、写真 2.1.5 に示す。これらの好事例が模範となり、技術者のマインドを高め、好循環が続くことが期待される。

一般誌である日本経済新聞の令和元年 11 月 1 日付紙面で、「山口方式 全国に浸透」として取り上げられるなど、業界関係者以外にも山口県での取組みや展開が伝えられている。この取組みを適切に運営し、耐久性の高い良質なインフラを整備するため、今後も様々な知見等を取り入れながら、継続的にシステムの改善を重ねることが重要と考える。



写真 2.1.4 下関土木建築事務所管内の構造物事例（左：システム構築前、右システム構築後）



写真 2.1.5 宇部土木建築事務所管内の構造物事例（左：システム構築前、右システム構築後）

参考文献

- 1) 山口県「コンクリート構造物の品質確保」ウェブサイト、
<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/hibiwareyokusei.html>（最終アクセス確認日：2020.7.3）
- 2) （一財）山口県建設技術センター「コンクリート構造物の品質確保」ウェブサイト、
<https://www.yama-ctc.or.jp/data/index.html>（最終アクセス確認日：2020.7.3）
- 3) 細田暁，坂田昇，渡邊健三，佐藤和則：目視評価法を活用したコンクリート構造物の品質確保の取組み，コンクリート工学，2016.8

（執筆者：池村 剛宜）

2.2 東北地方における取組み

2.2.1 東北地方整備局の品質・耐久性確保の取組みの特徴

復興道路・復興支援道路は、東日本大震災からの復興のリーディングプロジェクトという性格上、最速の整備スピードが求められていると言って良い。一方で品質・耐久性確保の取組みを行わなければ、既に定期点検によって劣化が確認されている構造物が存在しているにもかかわらず、それと同様の仕様の構造物を、瞬く間に大量に建設することになる。このため、復興道路等の整備スピードを落とさず、品質・耐久性確保の取組みを現場に展開する必要がある。

ここでは、東北地方整備局が行った、品質・耐久性確保の現状分析、課題解決の仕組みや品質・耐久性確保を進めるための手順、復興事業の性格を踏まえた品質・耐久性確保の現場実装方法について紹介する。

(1) 品質確保の現状と課題

東北地方のコンクリート構造物の表層品質は施工中に生じる不具合や養生の配慮不足などによって品質・耐久性確保がなされていないものとなっている。このような低品質なコンクリート構造物は、建設時点で既に不具合があり、これを必要に応じて補修しているが、補修箇所は時間の経過とともに再度補修が必要となる場合が多い。これは建設当初から品質が確保されていれば、本来は不要だった補修が繰り返されているという事であり、非効率な状態となっていることがわかる。

1) 本来不要な補修の発生

函渠の側壁に生じた豆板と打重ね線を補修した事例を写真 2.2.1.1 に示す。建設時点では、おそらく打重ね線に沿って集まったブリーディングを除去しなかったため、水分の多いコンクリートが硬化した部分を打重ね線に沿って補修し、豆板部分も補修したと考えられるが、時間経過に伴って補修箇所が再度劣化し再補修を行ったと推定される。



写真 2.2.1.1 打重ね線や豆板箇所の本来は不要だった補修跡

打重ね線や温度応力ひび割れに沿った補修を行っている橋脚の事例を写真 2.2.1.2 に示す。施工に起因する打重ね線に沿ってブリーディングの除去不足あり、このため打重ね線に沿って補修が必要となっている。また、温度応力ひび割れに沿って補修も行われている。これらの不具合の補修は、品質が確保されるように施工していれば本来は不要だった補修の事例と言える。

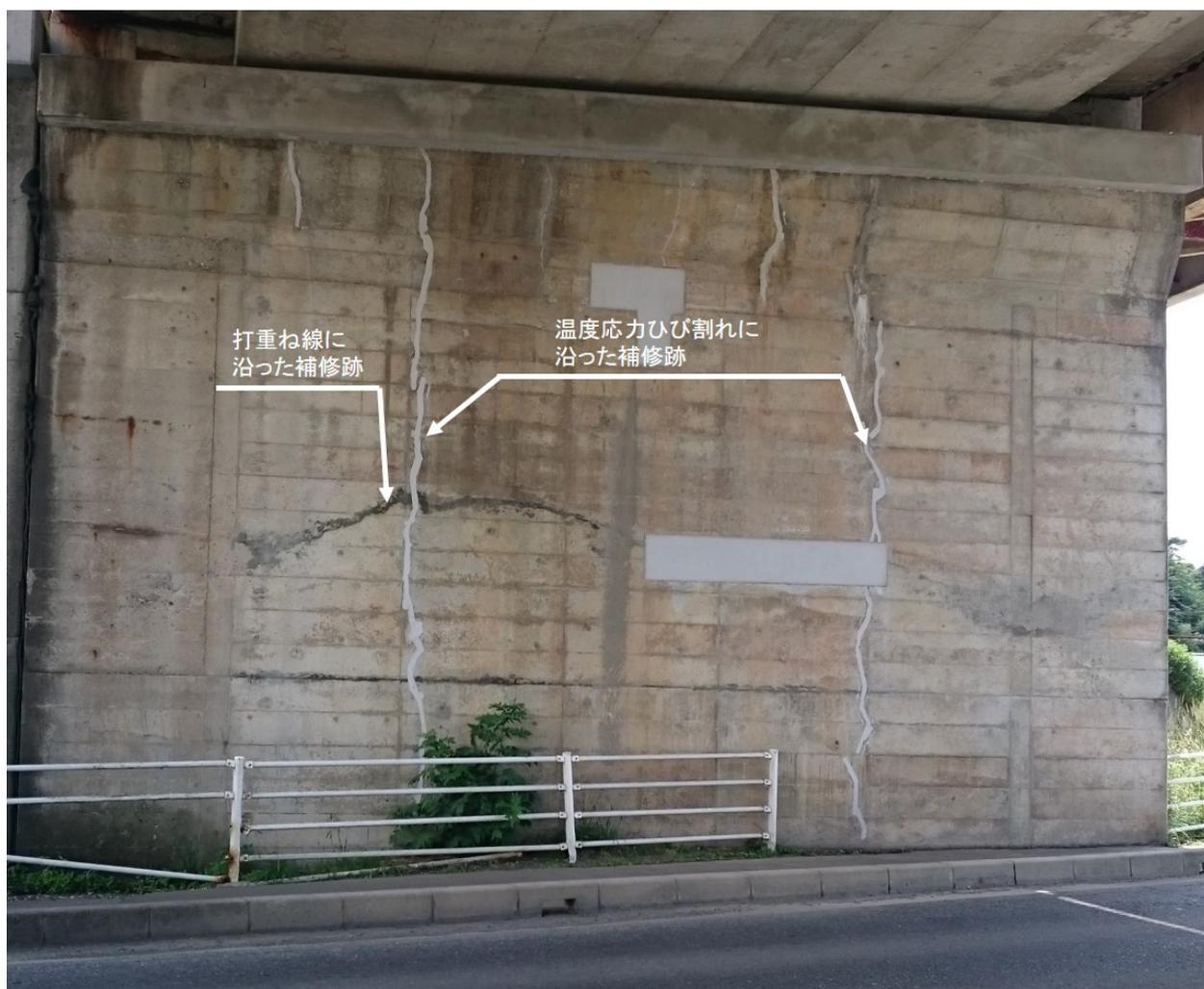


写真 2.2.1.2 打重ね線や温度応力ひび割れ箇所の本来は不要だった補修跡

2) 耐久性への影響

品質が悪いために耐久性にまで影響を与えている事例を写真 2.2.1.3 に示す。PCT 桁の下フランジ部分にコンクリート充填不良箇所が発生している。建設当時はこの充填不良箇所も当然補修されていたと考えられるが、時間の経過とともに補修の効果がなくなり、内部のシースが腐食している。シース内の PC 鋼線まで腐食すれば耐荷力にも影響し、最悪の場合は更新が必要になってしまう。これを避けるために、充填不良箇所を再度補修したとしても、既に内部のシースが腐食しているため、シースの腐食による鋼材の膨張が止まらなければ、再度うきが発生して再補修することになりかねない。この事例は、品質が確保されなかったために、耐久性にまで影響を与えた事例と言える。

3) 品質確保における施工の重要性

これまで述べてきたように、コンクリート構造物の品質は施工段階で決まることがわかる。コンクリートの施工が不具合や品質にどのように影響するかを整理したものを図 2.2.1.1 に示す。コンクリート構造物を造る各段階で、不具合の発生リスクがそれぞれあり、それがコンクリートの密実性や一体性、均質性、緻密性に影響していることがわかる。高品質のコンクリート構造物を造るためには、コンクリート標準示方書の施工編に記載されている施工の基本事項を守ることによって施工中に生じる不具合を抑制し、その上で十分な養生

を行うことが欠かせないと言える。このように、コンクリート構造物の品質確保には、施工が非常に重要であるにもかかわらず、不適切な施工により低品質なコンクリート構造物が造られる場合があることは残念と言わざるを得ない。

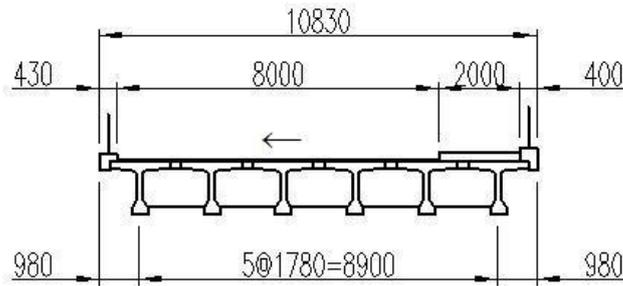


写真 2.2.1.3 品質が耐久性に影響を与える事例

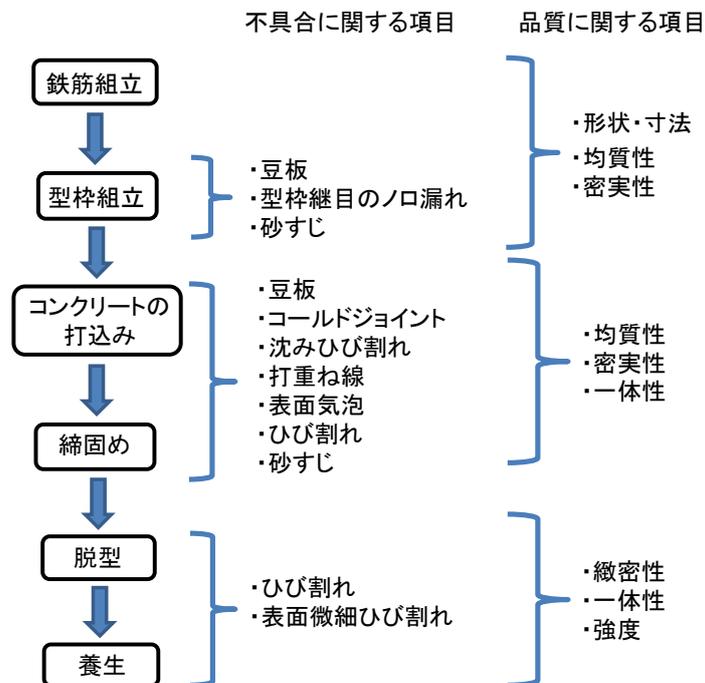


図 2.2.1.1 施工が不具合や品質に及ぼす影響

(2) 耐久性確保の現状と課題

東北地方の既設コンクリート構造物が置かれている環境と、定期点検結果や劣化の実態調査などから確認されている、代表的な劣化の事例を選定して耐久性確保の現状と課題を述べる。

1) 東北地方の自然環境，供用環境

東北地方はそのほとんどが積雪寒冷地域であり，冬期には道路交通の安全を図るため凍結防止剤を大量に散布する．東北地方の寒冷の状況と凍結防止剤の散布量の状況を図 2.2.1.2 に示す．この図は地図の色が濃くなるほど冬期の日平均気温が低いことを示し，東北地方整備局が管理する国道上の色が濃くなるほど凍結防止剤の散布量が多いことを示している．凍結防止剤の散布量は，比較的温暖な太平洋沿岸の地域では，10ton/km 未満の散布量となっているが，寒冷の度合いが厳しい峠部の路線や日本海側の沿岸部や内陸の路線の一部では 30ton/km 以上の散布量となっていることがわかる．

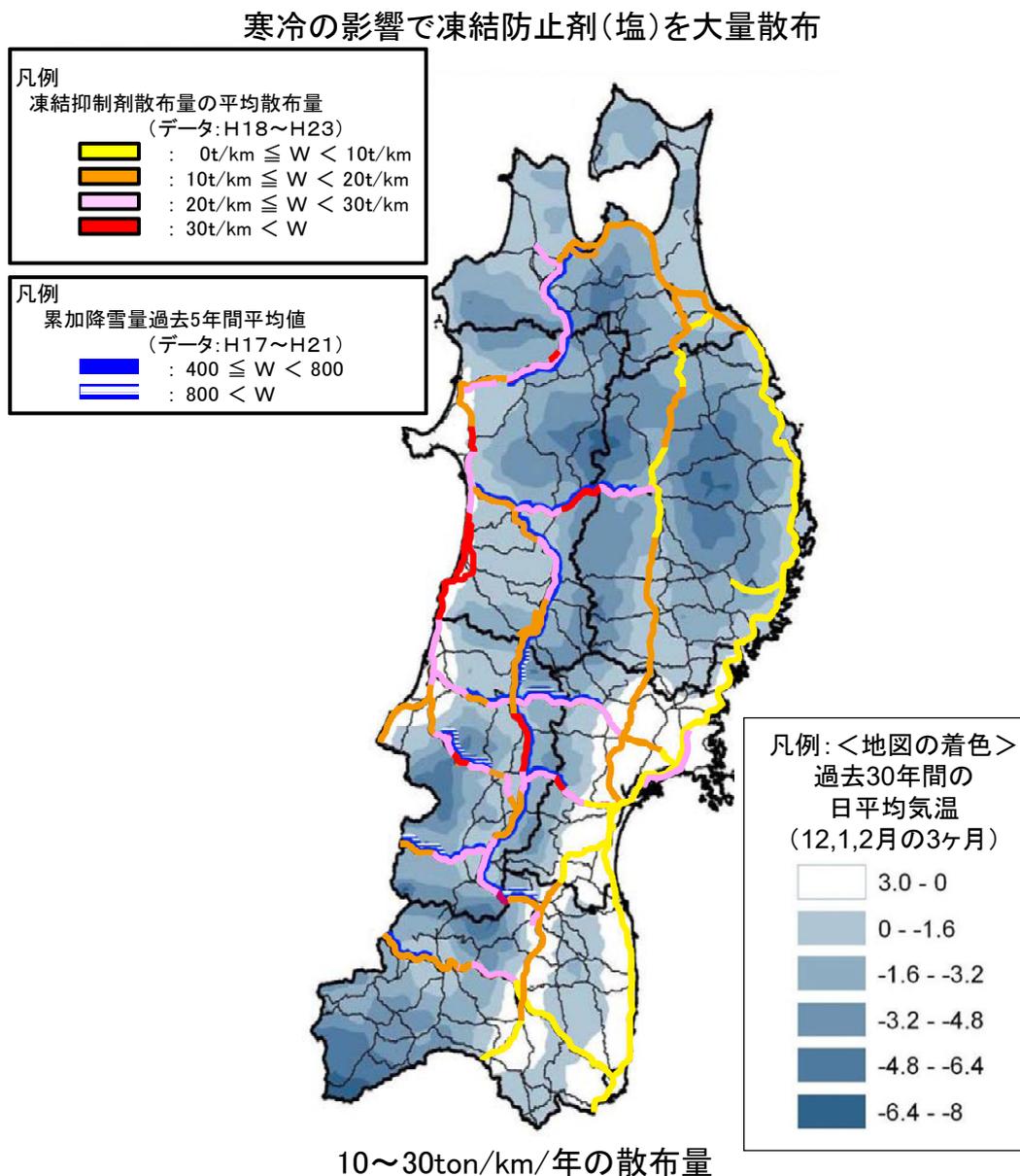


図 2.2.1.2 東北地方の寒冷の度合いと凍結防止剤の散布量

2) 東北地方で確認されている代表的な劣化

このような東北地方の気象環境や供用環境を受けて、コンクリート構造物に確認されている代表的な劣化を写真 2.2.1.4 に示す。凍結防止剤の影響で山間部の橋梁などで塩害が確認されている。また、化学法などで無害とされた骨材を使用しているも、凍結防止剤混じりの路面排水が影響する桁端部などでは、凍結防止剤由来のアルカリが追加供給されるために、塩分環境下の ASR が確認されている。寒冷の影響に比べて、コンクリート構造物の凍害に対する抵抗性が低い場合には凍害が確認されている。路面排水の影響や凍結防止剤の影響を複合的に受けて RC 床版には砂利化が確認されている。



凍結防止剤による塩害



塩分環境下のASR



凍害



RC床版の砂利化

写真 2.2.1.4 東北地方で確認されている劣化の種類

3) 劣化対策の現状

このような劣化が確認されるのは、劣化外力に対するコンクリート構造物の抵抗性が不足しているためと考えられる。構造物の劣化抵抗性不足は、現行の技術基準の規定が十分ではないために発生していると考えられる。現行技術基準における劣化対策の現状をまとめたものを表 2.2.1.1 に示す。海からの飛来塩分による塩害対策は規定されているが、凍結防止剤による塩害対策は解説に注意喚起の記載はあるものの、実務として使える具体的な規定がない。東北地方で凍害を抑制するためには、空気量は 5~6%程度必要であるが、空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ が標準となっているため、空気量が下振れした場合には凍害を抑制できないコンクリートとなる。凍結防止剤の主成分である塩化ナトリウムはアルカリイオンであるため、化学法などで無害とされた骨材を使用しても、コンクリート中のアルカリ総量を規制しても、凍結防止剤に由来するアルカリが追加供給されるため、塩分環境下の ASR が発生するリスクを解消できていない。そもそも塩分環境下の ASR は、技術基準策定時には想定していない劣化であるため、劣化対策の規定が無いのは当然である。RC 床版の砂利化も技術基準策定時には想定していない劣化であり、対策は示されていない。凍害、塩害、ASR に対する規定が不十分なために、これらの複合劣化に対応する耐久性の検討についても規定が無いのは当然と言える。

表 2.2.1.1 現行技術基準における劣化対策の現状

照査する項目	規定の概要
飛来塩分による塩害	規定あり。海岸線からの距離により対策区分を決定 (道示 III 6.2.2 耐久性確保の方法 1), 2), 道示 III 6.2.3 かぶりによる内部鋼材の防食)
凍結防止剤による塩害	規定不十分 。解説に記載はあるが実務として適用できる規定なし (道示 III 6.2.2 耐久性確保の方法 1))
凍害	規定不十分 。空気量 4.5±1.5%が標準。凍害対策として 5~6%の空気量が必要 (道示 III 17.6.2 コンクリート 6), JIS A 5308)
塩分環境下の ASR	規定なし 。基準策定時には、想定していない劣化
RC 床版の砂利化	規定なし 。基準策定時には、想定していない劣化
耐久性の検討	規定不十分 。複合劣化に対する照査について実務として運用できる規定なし (道示 III 6 章 耐久性に関する部材の設計)

注) 道示 IIIとは、道路橋示方書-同解説 III コンクリート橋-コンクリート部材編 平成 29 年 11 月を示す

4) 劣化による影響

東北地方で確認されている劣化の中には、環境が厳しいために劣化が急速に進み、更新が必要となる事例も確認されている。また、既に劣化が確認されている構造物は、劣化抵抗性が不足しているため、適切に補修しなければ再劣化が生じやすく、維持管理上の問題となっている。以下に、更新や再劣化が発生している事例を紹介する。

i) 凍結防止剤の塩害による更新

凍結防止剤による塩害によって供用 34 年で更新となった橋梁の事例を写真 2.2.1.5 に示す。この橋梁は山岳部の寒冷で凍結防止剤の散布量も多い、非常に厳しい環境に建設された PC 中空床版橋である。PC 桁の中空部分に凍結防止剤混じりの水が滞水し、PC 中空床版橋の下フランジの PC 鋼線を内部から腐食、破断させ、かぶりコンクリートも剥落した事例である。このため、耐荷力上の問題もあり、建設時点からわずか 34 年間で軽量盛土構造に更新された。平成 16 年に定期点検で凍結防止剤による塩害が確認され、平成 17 年に緊急補強工事が行われ、平成 21 年には軽量盛土構造へ更新されおり、スパイクタイヤが禁止され、凍結防止剤が本格的に散布され始めた平成 5 年から数えると、わずか 15 年程度で更新されていることになる。このように厳しい環境に劣化抵抗性が不足している構造物を建設すると、非常に短期間に劣化が進行し更新に至ることがわかる。



PC中空床版橋の塩害経緯

H 5凍結防止剤の本格散布
H16点検で凍結防止剤の
塩害発見
H17桁の緊急補修・補強
H21軽量盛土構造に変更

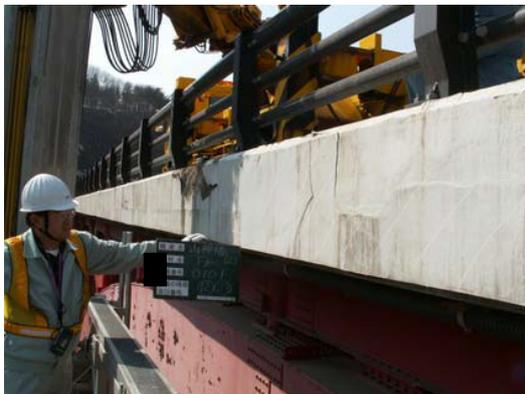
写真 2.2.1.5 凍結防止剤による塩害で更新した事例

ii) 凍害による再劣化

補修済み地覆が凍害で再劣化した事例を写真 2.2.1.6 に示す。この橋梁も山岳部の寒冷で凍結防止剤の散

布量も多い，非常に厳しい環境における凍害の事例である．凍害で損傷した地覆の断面修復箇所には，平成 16 年の定期点検で剥離・うきが確認され，平成 21 年には剥離範囲が拡大し，平成 26 年には鉄筋露出も確認され，再度補修が必要となっている．既設コンクリートは凍害に対する抵抗性がそもそも不足しているため，どのような高性能の補修材料を使って断面修復しても，既設コンクリート部分の凍害が進行するため，この事例のように 10 年程度で再補修が必要になる場合が多い．

平成16年



平成26年



平成21年



平成16年に剥離・うきが確認されたが平成21年に剥離範囲が拡大し、平成26年には鉄筋露出も確認された。

写真 2.2.1.6 補修済み地覆の凍害による再劣化

iii) ASR による再劣化

橋台に発生した ASR の再劣化事例を写真 2.2.1.7 に示す．この橋台は，平成 19 年の定期点検で ASR と判定され，残存膨張量が 0.1%未満であるため，膨張は収束しているという判断で，平成 21 年にポリマーセメントモルタルによる断面修復を実施している，ところが平成 24 年に断面修復部に 2 方向ひび割れが確認されたためひび割れ注入を実施したが，平成 28 年に新たなひび割れが確認された事例である．ASR 対策のためには，ASR ゲルの吸水膨張を抑制するため，外部からの水を遮断する必要がある．しかし，橋台背面からの水の浸入を止めることは困難であり，残存膨張量の推定値も精度が低い場合があることから，この橋台の膨張挙動も実際には収まっていないために再劣化が生じたものと思われる．

iv) RC 床版の砂利化

RC 床版の砂利化は，最近知られるようになってきた劣化である．RC 床版の砂利化の例を写真 2.2.1.8

橋台は昭和52年(1977年)建設。



側壁の状況



縦壁のひび割れの状況

H19:ASRと判定。残存膨張量0.1%未満で膨張は収束との見解
H21:ポリマーセメントモルタルによる断面修復
H24:断面修復部に2方向ひび割れ発生のためひび割れ注入実施
H28:ひび割れ注入箇所に沿って新たなひび割れ確認0.15~0.3mm

写真 2.2.1.7 ASRの再劣化事例(橋台)

に示す。RC床版の砂利化は、舗装からの白い噴出物が確認されるのが最初の兆候である。この白い噴出物が確認された箇所の舗装を除去すると、RC床版のコンクリートが砂利状または土砂状となっている。これが砂利化の特徴である。補修しても再劣化しやすく、車の走行軌跡に沿って縦断的に砂利化が発生することが多い。補修してもいずれRC床版の抜け落ちにつながり第三者被害が発生する恐れがあると判断される場合には、RC床版は更新となる場合もある。

従来、RC床版は通行車両の繰り返し荷重による疲労で破壊すると言われていた。しかし、東北地方では、RC床版の疲労を心配するほど交通量の多い国道の区間はほとんどない。にもかかわらず、写真2.2.1.9に示すようにRC床版の砂利化は東北地方のいたるところで発生している。このため、東北地方ではまず砂利化対策を実施することが、RC床版の耐久性を確保する上で重要であることがわかる。



(舗装からの噴出物)



(砂利化し抜け落ちた床版)

写真 2.2.1.8 RC床版の砂利化の例

5) 劣化抵抗性能確保の重要性

東北地方では、前述のように様々な劣化が確認されており、これらの劣化は全て自然環境や供用環境の

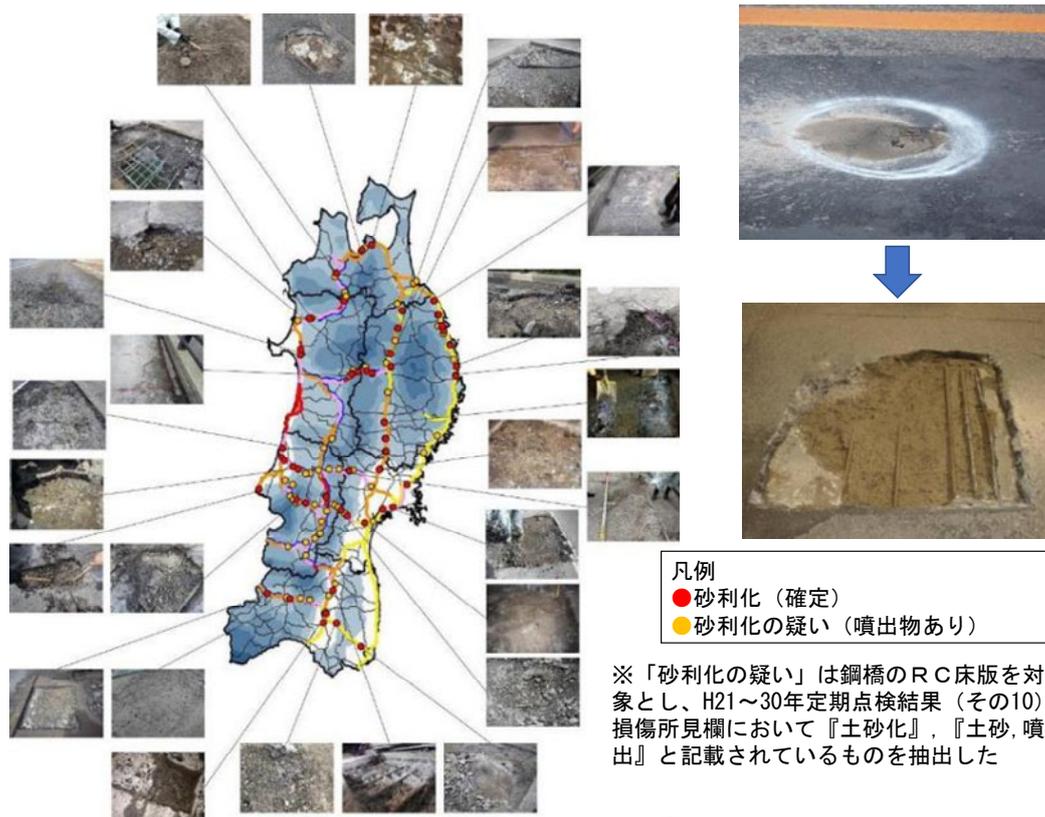


写真 2.2.1.9 RC床版の砂利化はいたるところで発生

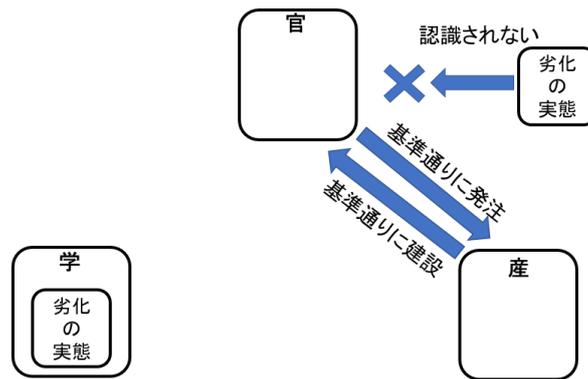
厳しさなどの劣化外力に対して、構造物の劣化抵抗性が劣っているために発生している。現在の技術基準を反映した仕様では、東北地方のコンクリート構造物に必要な劣化抵抗性は得られない。このため東北地方のコンクリート構造物の耐久性を確保するためには、必要となる劣化抵抗性を確保することが重要である。

(3) 品質・耐久性の低い構造物を建設し続ける仕組み

発注者は現在の仕組みや技術基準に沿って仕事をしているため、定期点検によって品質・耐久性が低い構造物が確認されたとしても、従来の仕様は変更されない場合が多い。これが品質・耐久性が低い構造物が建設され続ける理由の一つと考えられる。

品質・耐久性の低い構造物を建設し続ける仕組みを図 2.2.1.3 に示す。この図は、工事を発注する立場の「官」と、受注する立場の「産」、地域の構造物の劣化特性や対策を研究している「学」との関係を示している。

東北地方整備局では、構造物の劣化の実態は「官」の構造物を保全するグループは把握しているが、「官」の工事を発注するグループには、部署が異なるため情報共有がなされていない。このため発注者である「官」は、品質や劣化の実態を認識していないために、従来通りの基準で工事を発注する。工事を受注した「産」は、「官」が基準を変えないので、従来通りの構造物を建設する。一方、「学」は地域の構造物の品質や劣化の実態を把握しており、品質や耐久性を確保するための研究もしているが、研究成果を活かさない状態となっている。構造物の品質や劣化の実態が「産」「官」に認識されていないため、品質・耐久性確保が必要だという目標も生まれず共有もされない。これでは「産学官」の連携も生まれない。このた



官 品質および劣化の実態の認識不足 基準通りで問題なしという認識
 産 官が基準を変えようとならないので、基準通りに構造物を建設
 学 品質および劣化の実態を認識しているが、研究成果を活かせない状態
 品質・耐久性確保が必要との目的が共有されないために産学官の連携もなされない

図 2.2.1.3 品質・耐久性の低い構造物を建設し続ける仕組み

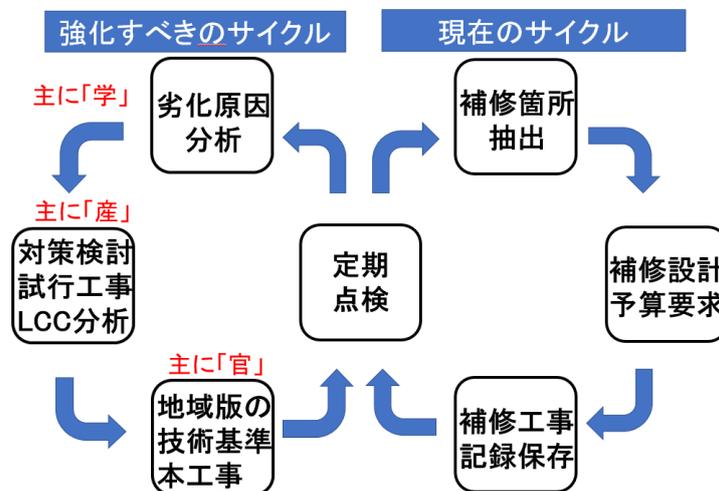


図 2.2.1.4 産学官連携での課題解決の仕組み

め、品質や耐久性の低い構造物がいつまでも建設され続けるという仕組みが維持されているのである。最終的には発注者が現状の仕組みを適切な形に改善する必要がある。

(4) 産学官連携による課題解決の仕組み

東北地方整備局は、内部的に品質・耐久性確保がなかなか進まない理由を以下のように考えた。

- 1) 構造物の品質や耐久性の実態が認識されていない。
- 2) 現在の仕組みや技術基準を変更することに抵抗がある。
- 3) 実態が認識できたとしても改善策が検討できない。

前述したように東北地方整備局の場合、構造物の劣化の実態は「官」の構造物を保全するグループは把握しているが、「官」の工事を発注するグループは、部署が異なるため情報共有がなされていない。これは、現在の構造物の定期点検結果が、主に構造物の補修を行うために活用されていることに起因している。

このため、東北地方整備局は新設のコンクリート構造物の品質・耐久性確保に関する課題解決のためには、図 2.2.1.4 に示す「産学官」連携の仕組みが必要と考えた。この図の右側は、定期点検結果を活用して構造物の補修を行う現在のサイクルを示している。この図の左側は、定期点検結果から劣化の原因と対

策を主に「学」が提案し、それに基づく「品質・耐久性確保の試行工事」の評価を主に「産」が行い、「官」が主導して地域版の技術基準を作成し、本格的に構造物の品質・耐久性確保を図る工事を水平展開するという今後強化すべきサイクルを示している。この「産学官」連携による課題解決の仕組みは、構造物の定期点検が義務づけられている現在では、どの地域でもどの構造物管理者でも採用可能な仕組みと言える。

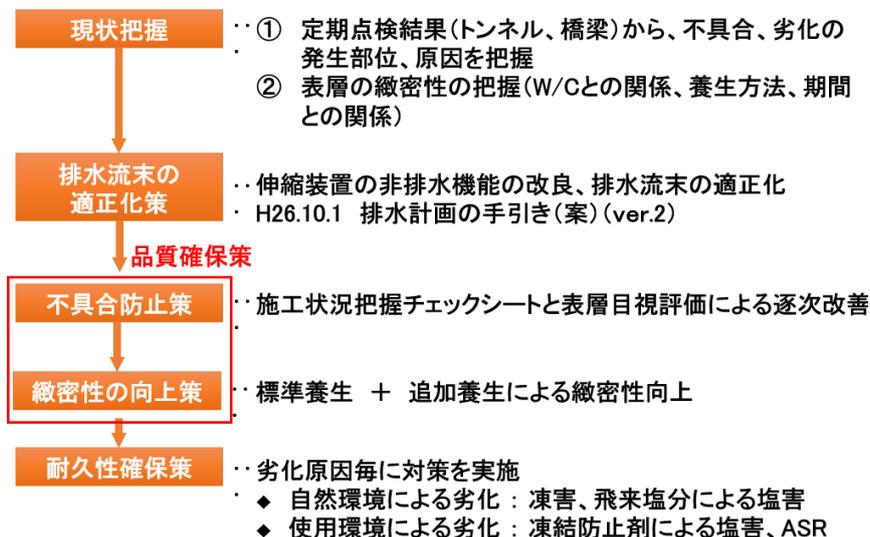


図 2.2.1.5 復興道路等の品質・耐久性確保の手順

(5) 品質・耐久性確保を進めるための手順

東北地方整備局が管理する既設構造物には、凍結防止剤の塩分を含む路面排水に起因する劣化が多くみられる。また、現状では施工段階で品質が確保できていない場合が多いにもかかわらず、設計段階でコストをかけて耐久性確保を目指しても、かぶりコンクリートの品質が悪いために、設計で想定した耐久性が確保できない恐れがあると考えた。このため、東北地方整備局は、図 2.2.1.5 に示すように、まず不適切な排水流末の改善を図り、その後に施工段階における品質確保を行い、最後に設計段階における耐久性確保に進んでいる。このような手順で進めた理由を以下に述べる。

1) 不適切な排水流末の改善

東北地方は冬期に凍結防止剤を大量に散布するため、路面排水には凍結防止剤の主成分である塩分が含まれている。このため、写真 2.2.1.10 に示すように不適切な排水流末の処理の影響で劣化が生じている。この写真の左側は、PC 中空床版橋のかけ違い部において、伸縮装置からの漏水によって桁端部に錆汁が確認できるほどの塩害が発生している事例である。狭隘な空間の桁端部に凍結防止剤による塩害が発生しているため、補修が難しいことは容易に想像できる。この写真の右側は、床版水抜き孔と排水管をつなぐ導水パイプが外れたために、床版水抜き孔からの排水によって、排水管が腐食している事例である。このまま排水管の腐食が進むと、腐食により生じた排水管の亀裂等からの漏水によって、PC 桁本体に塩害が発生する恐れがある。

このように凍結防止剤を散布する地域では、路面排水に塩分が含まれていることを考慮して、品質・耐久性確保に取り組む前に、不適切な排水流末の改善を行っておく必要がある。



PC橋の伸縮装置からの漏水による塩害
非排水型伸縮装置の非排水機能の平均維持年数は6年



導水管が外れた床版水抜き孔
流末水で錆びた排水管
床版水抜き孔からの漏水で排水管が腐食
排水計画の配慮不足

路面排水に塩分が含まれていることを考慮していない

写真 2.2.1.10 不適切な排水流末の処理が劣化を促進

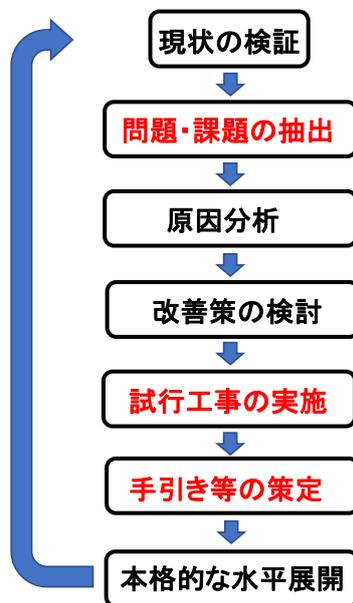


図 2.2.1.6 試行工事を活用した現場実装

2) 品質確保は耐久性確保の前提条件

品質確保が出来ないうちに耐久性確保を行っても、低品質なかぶりコンクリートなどが弱点となって、設計で想定した耐久性が確保できない恐れがある。したがって、コンクリート構造物の品質確保は、耐久性確保を行うための前提条件であると言える。

また、一般に耐久性確保は特殊な配合のコンクリートやエポキシ樹脂塗装鉄筋など通常よりコストが高い材料を使用する。このように、従来よりもコストをかけて耐久性確保を目指しても、品質が悪くて耐久性確保に失敗すると、最初にかけたコストアップ分が無駄になるだけでなく、無くすはずだった特定の劣化に対する補修費まで必要となってしまう。このため、耐久性確保に取り組むためには、品質確保が行えることが前提条件であると言える。

(6) 「試行工事」を活用した現場実装

東北地方整備局は、復興道路等を契機とした東北地方のコンクリート構造物の品質・耐久性確保の取組みを、「試行工事」を活用して現場実装している。東北地方整備局の基本的な現場実装の流れを図 2.2.1.6 に示す。産学官が連携して例えば品質確保の仕組みを構築したら、まずその効果や問題点を探るための「試行工事」を先行し、その結果を受けて品質確保の仕組みの修正や施工上の留意点などをまとめた「品質確保の手引き」などの技術基準を策定し、その後に品質確保の取組みを本格的に展開する形としている。

このような形としているのは、復興道路等の整備スピードに対応するため、なるべく速く一つでも多くの構造物の品質・耐久性確保を図るためである。また、品質確保や凍害対策などでは、現場からのフィードバック情報に基づいて関係する手引き等の技術基準が既に改訂されている。このように、現場からのフィードバック情報に基づいて、「産学官」連携のもと技術基準等の逐次改善を行なっていることも、東北地方整備局の品質・耐久性確保の取組みの特徴である。

図 2.2.1.7 に東北地方整備局の品質・耐久性確保の取組み状況を示す。

一般構造物（橋脚、橋台、函渠、擁壁）の品質確保の取組みを例に取れば、2012 年度末に品質確保の仕組みの構築を行い、2013 年度からは一般構造物を含む予定金額約 7 億円以上の工事（WTO 案件）を「品質確保の試行工事」として発注している。2015 年度の夏頃から一般構造物用の「品質確保の手引き(案)」の検討に入り、2015 年 12 月には一般構造物用の「品質確保の手引き(案)」を管内の事務所宛通知し、この時点から一般構造物の品質確保の試行工事の本格的な展開がなされていると言って良い。

東北地方整備局では、この他にトンネル覆工コンクリートの品質確保や一般構造物のひび割れ抑制、耐久性確保では、工場製作および現場打ちの PC 桁や凍害対策、RC 床版の耐久性確保も同様に、まず試行工事が先行し、そこで得られたノウハウや品質・耐久性確保の改善点を品質・耐久性確保の手引き等にフィードバックすると言う形をとっている。2013 年度に一般構造物の品質確保の試行工事を開始して以来、次々品質・耐久性確保の試行工事の対象を広げ、2015 年度以降は全ての「試行工事」が同時並行の形で行われており、このスピード感のまま手引き等の策定を行っているところが大きな特徴である。

(7) 品質・耐久性確保を行う産学官連携の仕組み

図 2.2.1.3 に、品質・耐久性が低い構造物が建設され続ける仕組みを示した。これが、前述したような取組みの結果、図 2.2.1.8 に示すような品質・耐久性確保を行う産学官連携の仕組みへと変更されている。

図 2.2.1.3 から図 2.2.1.8 への変更点を以下に述べる。

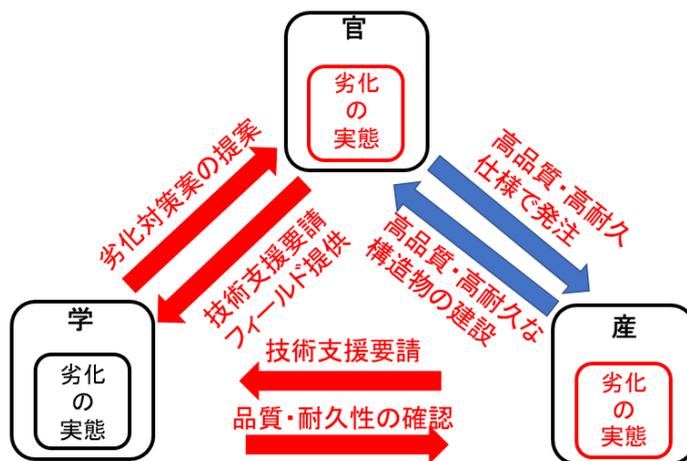
まず構造物を保全するグループが持つ劣化の実態を含む情報が、「官」の工事の発注者にも共有されるようになった。「官」の工事の発注者は、品質・耐久性確保の必要性や今後品質・耐久性確保を目指した工事の発注が増えることを伝える講習会などを通して、「産」にも劣化の実態を伝えた。このようにすることで、産学官で初めて劣化の実態が共有され、品質・耐久性確保に取り組む土俵が整うのである。

実際の工事発注は、まず「官」が品質・耐久性を確保した構造物を造るために、「学」へ技術的な支援を要請する。これを受けた「学」は、劣化対策案など品質・耐久性確保に資するような技術を「官」に提案する。「官」は、それを高品質・高耐久仕様の工事として発注する。その工事を受注した「産」は、高品質・高耐久仕様の工事の実施方法や品質確認などを「学」に技術支援要請をする。「学」は「産」に対して、品質・耐久性確保の手法や竣工前の品質確認などの技術支援を行う。この結果、「産」から「官」へ高品質・高耐久の構造物が納められる仕組みとなったのである。この産学官の連携を活用して、東北地方に適合したコンクリート構造物の品質・耐久性確保に関する手引き等の技術基準を策定している。東日本大震災からの約 9 年

		(年度)																													
		2012			2013			2014			2015			2016			2017			2018			2019								
		4	9	12	3	4	9	12	3	4	9	12	3	4	9	12	3	4	9	12	3	4	9	12	3	4	9	12	3		
一般 構造 物	品質確保の仕組みの構築																														
	新規WTO案件は品質確保の試行工事へ移行																														
	品質確保の試行工事第1号契約、以下多数の試行工事を実施																														
	品質確保の手引き(案)(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)の検討																														
	品質確保の手引き(案)(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)を通知																														
	一般構造物の品質確保の試行工事を本格運用																														
品質 確保	トンネル 覆工																														
	覆工コンクリートの長期保証																														
	坑口部の7日間養生																														
	覆工コンクリートの表層目視評価法の開発																														
	新規WTO案件は品質確保の試行工事へ移行																														
	覆工コンクリートの品質確保の試行工事第1号を契約、以下多数の試行工事を実施																														
	覆工品質向上委員会で品質確保手法の検討																														
	品質確保の手引き(案)(トンネル覆工コンクリート壁編)の検討																														
品質確保の手引き(案)(トンネル覆工コンクリート編)を通知																															
トンネル覆工コンクリートの品質確保の試行工事を本格運用																															
ひび 割れ	小佐野高架橋A2でのひび割れ抑制対策の検討																														
	小佐野高架橋A2でのひび割れ抑制鉄筋の試行																														
	コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会(229委員会)																														
	ひび割れ抑制対策のための参考資料(案)の検討																														
	東北地整がひび割れ抑制対策のための参考資料を(案)を通知・公表																														
ひび割れ抑制対策のための参考資料(案)の運用開始																															
品質 確保	PC 桁																														
	PC建協東北支部にPC橋長寿命化委員会設立、活動開始																														
	東北地方におけるPC橋コンクリート施工標準手順書(張り出し架設編)を制定																														
	施工標準手順書を特記仕様書の参考資料として記載することを標準化																														
	長寿命化委員会と合同でPC桁の製作試験や試行工事による高耐久化を検討																														
	東北地方の凍結抑制剤散布地域におけるプレテン橋桁設計施工のポイントに改訂																														
	東北地方の凍結抑制剤散布地域におけるポステン橋桁施工のポイントに改訂																														
	耐久 性 確保	凍害																													
		新区界トンネル用の耐凍害コンクリートの配合検討																													
		新区界トンネル用の耐凍害コンクリートの打設																													
寒中コンクリートの品質確保に関する研究委員会																															
東北地方における凍害対策の参考資料(案)の検討																															
東北地方における凍害対策の参考資料(案)の通知・公表																															
凍害対策の本格運用																															
東北地方における凍害対策の参考資料(案)の改訂版の検討																															
東北地方における凍害対策の参考資料(案)の改訂版の通知・公表																															
RC 床 版	SIP 床版サブプロ 開始～完了																														
	ロハスの橋 RC床版の耐久性確保の研究																														
	RC床版の耐久性確保第1号工事の施工、以下試行工事を多数実施																														
	南三陸国道事務所版 東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き作成																														
	SIP版 凍結防止剤散布地域におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)の公表																														
	東北地整版 東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)の策定																														
	東北地整版 東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)の通知・公表																														
RC床版の耐久性確保の試行工事の本格運用																															

図 2.2.1.7 東北地方整備局の品質・耐久性確保の取組み状況

間に東北地方整備局が公開している手引き等の技術基準を表 2.2.1.2 に示した。これらの技術基準は現場の構造物に活用され、今もより良いものとするべく、改善に向けた活動が続けられている。



- 官** 学から提案の高品質・高耐久仕様で工事を発注
- 産** 学の技術指導を受けながら高品質・高耐久な構造物を建設
- 学** 研究成果を活かして、劣化対策等を提案
- 産学官の連携を活用して、東北地方用の技術基準も多数作成

図 2.2.1.8 品質・耐久性確保を行う産学官連携の仕組みに変更

表 2.2.1.2 東北地方整備局が公開している技術基準

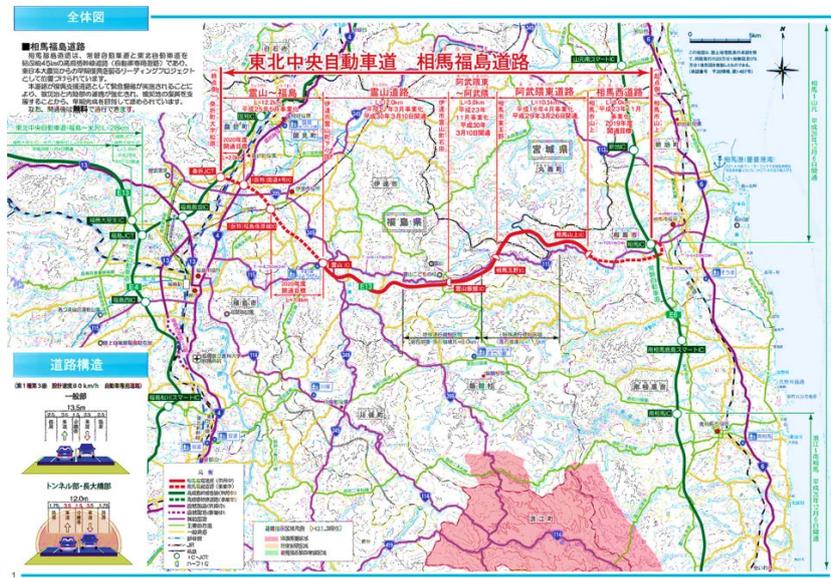
分類	基準等の名称	制定年月
適切な排水	新設橋の排水計画の手引き	平成 24 年 10 月 平成 26 年 10 月改訂
品質確保	品質確保の手引き（案）（橋脚・橋台・函渠・擁壁編）	平成 27 年 12 月 平成 31 年 3 月改訂
	品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）	平成 28 年 5 月
	ひび割れ抑制のための参考資料（案）（橋脚・橋台・函渠・擁壁編）	平成 29 年 2 月
耐久性確保	設計・施工マニュアル（道路橋編）	平成 28 年 3 月改訂
	東北地方の凍結抑制剤散布地域におけるプレテン橋桁設計施工のポイント	平成 29 年 3 月改訂
	東北地方の凍結抑制剤散布地域におけるポステン橋桁施工のポイント	平成 29 年 3 月改訂
	東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）	平成 29 年 3 月 平成 31 年 3 月改訂
	東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き（案）	令和元 年 6 月

（執筆者：佐藤 和徳）

2.2.2 東北中央自動車道 相馬福島道路（霊山から福島間）における取組み

(1) 東北中央自動車道 相馬福島道路の概要

復興道路と復興支援道路は、東日本大震災からの復興のリーディングプロジェクトである。福島県内においては、図 2.2.2.1¹⁾に示す東北中央自動車道 相馬福島道路（延長約 45km）（以下、相馬福島道路）が復興支援道路に当たる。現在（2020 年 4 月時点）は、福島県霊山町から相馬市までの約 33km が供用されている。2.2.1 に述べられているように、東北地方整備局ではコンクリート構造物の品質確保の手引き（案）²⁾（以下、品質確保の手引き（案））および東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き（案）³⁾（以下、RC 床版の耐久性確保の手引き（案））という技術基準が示されている。これら技術基準は、2015 年 12 月以降に通知があったもので、相馬福島道路においては未開通区間（2020 年 4 月時点）である霊山～福島間におけるコンクリート構造物が両手引き（案）に基づいた本格的な工事が展開される区間となる。特に、相馬福島道路の西端には長大橋が架設さる。この橋梁は、両手引き（案）の本格運用後の 1 橋目に当たるとい位置付けになり、これまでの試行工事から導かれた品質確保に対する取組みの集大成とも言える。



(a) 全体



(b) 未開通区間の霊山-福島間

図 2.2.2.1 東北中央自動車道 相馬福島道路¹⁾

相馬福島道路 霊山-福島間には、長大橋をはじめ全部で6橋が建設される。これからのコンクリート構造物の耐久性確保を目的とする品質確保は、言わずもがな大手建設会社かの如何を問わず取り組む事項である。本項では、高耐久 RC 床版の施工を RC 床版の耐久性確保の手引き（案）に実行し、高耐久 RC 床版を具現化した福島県内の地場の建設会社の床版の品質確保に関する取組みについて述べる。

地場の建設会社は、技術者の人数は、全国展開を建設会社に比べれば明らかに少ない、RC 床版の耐久性確保の手引き（案）に書かれている内容をどのようにくみ取り、実施工に結び付けたかの一例として述べる。

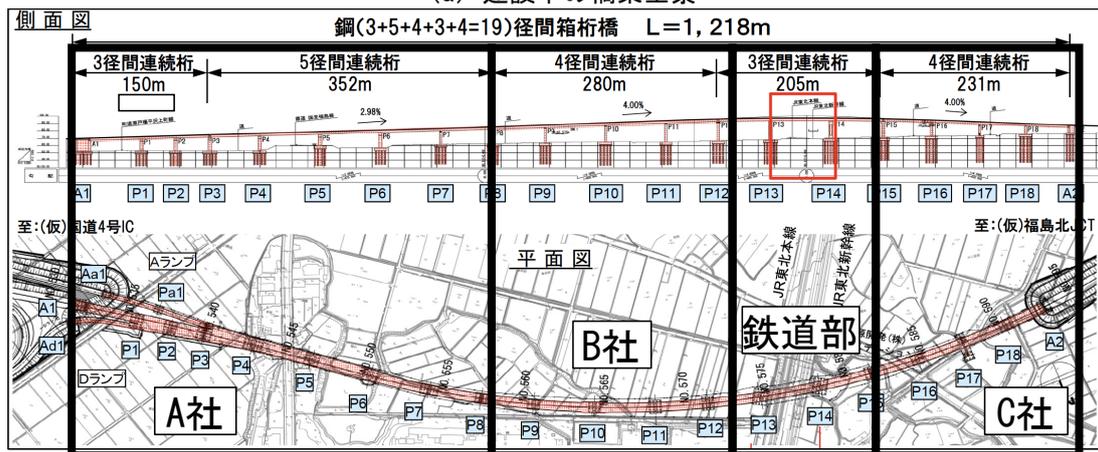
(2) 地場の建設会社が取組み高耐久床版の施工

1) RC 床版の耐久性確保の手引き（案）に基づき施工された東北初の橋梁

RC 床版の耐久性確保の手引き（案）に基づき高耐久床版が実装された橋梁は、図 2.2.2.2 に示す長大橋梁（橋長 L=1,218m）である。本橋は、東北新幹線と東北本線および複数の道路を跨ぐ橋梁である。この橋梁は、鉄道区間を除き、床版の施工を地場の建設会社が担当した。



(a) 建設中の橋梁全景

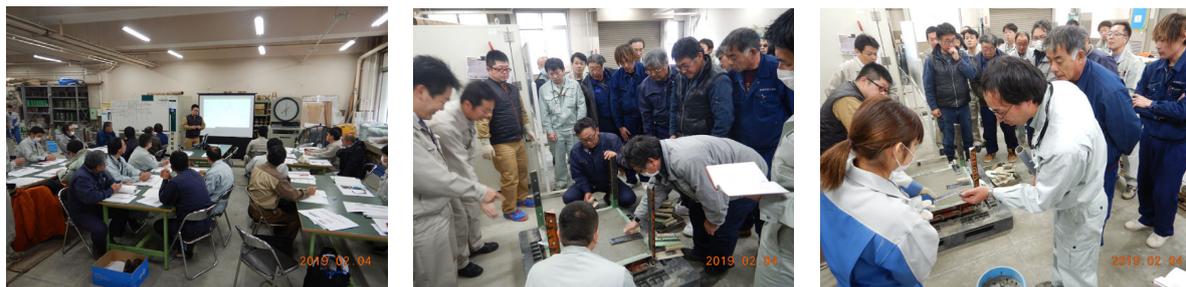


(b) 橋梁の工区割

図 2.2.2.2 高耐久床版が実装された橋梁の概要

図 2.2.3.2 (b)は、工区割である。高耐久床版の施工時期は、前半と後半に大別された（鉄道部を除く）。前半は、B社とC社、後半はA社が担当した。施工時期は、前半のB社とC社は、平成31年（2019年）4

月～5月、後半のA社は令和元年（2019年）11月～12月であった（なお、鉄道部は平成29年（2018年）11月である）。



(a)勉強会の状況 (b)仕上げ性の確認 (c)N式貫入試験の練習

図 2.2.2.3 高耐久 RC 床版の施工に関する勉強の様子

表 2.2.2.1 当初の高耐久 RC 床版仕様のコンクリート配合の一例

粗骨材の 最大寸法 Gmax (mm)	水結合 材比 W/B (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単体量(kg/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	膨張材 Ex	高性能 AE 減水剤
20	49.4	5.0	46.6	162	308	835	1036	20	3.08

地場の建設業者が施工に臨むに当たり、試験施工の前段階において、図 2.2.2.3 のように高耐久 RC 床版の施工とそのコンクリートの特性に関する勉強会を開催し、本施工はもとより試験施工に臨むに当たっての知識を得る機会を設けた。これは、福島県内の建設業者までは、高耐久 RC 床版という考え方と使用するコンクリートの特性（W/B=45%以下といコンクリートを床版に用いることなども含む）、加えて品質確保を目的とした床版の施工、さらには RC 床版の耐久性確保の手引き（案）自体も地場の建設業者までは浸透されていない。そこで、予備知識としての勉強会の開催により高耐久床版はなぜ必要なのか、そのためのコンクリート品質はどのようなものなのかを理解する機会を積極的に増やすことで、“やらされている感”が増長しないための一歩目と考えたものである。後述するが、この種の勉強会は複数回実施している。

表 2.2.2.1 は、当初配合としての高耐久 RC 床版に適用されたコンクリートの配合である。高耐久仕様のコンクリートは、高炉セメント(BB)を用いており、現着スランプ 12cm、目標空気量を 5%とするため高性能 AE 減水剤を用いて仕様を満足させるように配合が組まれた。しかし、試験施工からの本施工と施工を実施するにつれ当初配合のコンクリートのワーカビリティとフィニッシュビリティに関しては、ブリージング水がほぼ発生しなく、表面仕上げの観点からは均しの補助的な作用となる水分が足りないという状況が続いた。具体的には図 2.2.2.4 に示すように、B社、C社の表面仕上げ状況であるが表 2.2.2.1 の当初配合では、締固め直後、床版の天端高さを合わせるためトンボで表面コンクリートを移動させていると、“ガサガサ”と表面の円滑さが乱れてしまう。そこでこれを解消するため、機械仕上げ時に乱れた表面を仕上げ補助剤を標準使用量の約 3 倍用いて均すという結果になった。そのように対処しなければ表面がなめらかに仕上がらず粗な表面になり、高耐久床版とはほど遠い床版となっていたことは自明であった。

そこで、A社の後発工区においては、B社、C社の施工で課題となったフィニッシュビリティの改善を目的に、表 2.2.2.2 に示すように、単体量を 170kg/m³ 近くまで増加させた。水結合材比は一定より、単体量を増加させるということは、粉体量も増加させる配合に修正したということになる。つまり、当初配合よりもモルタル分を増量させたコンクリートとした。

図 2.2.2.5 は、A 社施工区間における打込み状況および仕上げ状況である。施工時期が 4 月～5 月と気温が極端に上がらず季節としてよかったこともあるが、図 2.2.2.4 (a) と比較して明らかにワーカビリティとフィニッシュビリティの両方が床版施工に適した状態に変わった。



(a) 締固め直後の床版天端高さを調整している状況（表面が乱れる）



(b) 仕上げ補助剤を標準使用量の 3 倍使い機械仕上げしている状況

図 2.2.2.4 当初配合による表面仕上げ状況例

表 2.2.2.2 修正後のコンクリート配合の一例

粗骨材の 最大寸法 Gmax (mm)	水結合 材比 W/B (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	膨張材 Ex	高性能 AE 減水剤
20	43.5	5.0	47.8	168	354	845	971	20	3.87

本橋の施工を振り返ると、当初はスランプ値を至上とする概念が独り歩きした結果、先行 2 工区の施工は、耐久性の観点から床版の不具合を起こしてものおかしくない状況であったと考えている。本橋梁の床版施工において単位水量を増加させたことは、現時点において学術的な根拠の裏付けもってその行為が妥当であったかは言い難い。しかし、今回は単位水量を上げるとともに、水結合材比一定より粉体量が上がったことによって、明らかに施工性が改善されたことは事実である。当初配合のスランプ 12cm が不適格とは言えないが、それが品質確保を可能とする施工性に合致しているか否かは別問題であると考えられる。その観点にお

いて、特に床版の場合のフレッシュ性状は、ワーカビリティとフィニッシュビリティの性質が床版の品質を大きく左右する。

以上は、著者が本橋における床版施工から得ることができた床版の品質確保に必要なフレッシュコンクリートに求められる性質に関する知見である。



図 2.2.2.5 修正配合による表面仕上げ状況例

(2) 品質確保における発注者と施工者、また施工者間の情報共有の重要性

ここに紹介した橋梁の主桁架設が行われていた頃、『RC 床版の耐久性確保の手引き (案)』が各事務所に通知された。相馬福島道路 (霊山-福島間) 12km 区間においては、手引きに従った RC 床版の施工が 6 橋その対象となる。先行工事で得られた施工上の工夫、または課題を他工区へ展開するための情報共有をすることは、初めて高耐久床版の施工に取り組む施工者の不安解消に繋がるものと考えられた。そこで、発注者が開催するかたちで相馬福島道路 (霊山-福島間) 12km 区間の床版施工者を対象とした検討会を実施している。

表 2.2.2.3 は、2018 年 8 月より実施している発注者側の担当者と床版施工者および著者を一堂に会した検討会の実施回数と参加者数である。図 2.2.2.6 は、第 9 回の検討会の状況である。相馬福島道路 (霊山～福島) の施工では、上述の橋梁をパイロット工事として地場の建設業者の創意工夫や課題を他工区に引き継ぎ、良い点は積極的にその方法を踏襲し、また課題は次の工事で克服するよう検討がなされている。床版を施工した施工者は、後発の施工者にアドバイスを行って、次の床版の品質確保に繋がるバトンを渡すといったような仕組みを取った。また、検討会には、元請けの施工者のみならず、下請け技能者も出席し意見交換を行っており、施工者からは下請け技能者を同席させることがこの種の取組みにおいて最も重要であり、結果としてそれが丁寧な施工に繋がっているという感想も出ている。加えて、後発工事の施工者は、先行現場の施工を遠慮なく見学できる環境も整った。要するに一切の情報もなく配合を選定し試験施工を行う、そして本施工を実施するという事はない。このような施工者間の繋がりに際しては、発注者が重要な役割を果たすもので能動的に動いた結果である。

「現場を見て学ぶ」という姿勢は、地場の施工者でも十分品質の高い床版を施工できることに直結していた。また、施工者が床版の施工に当たって、疑問や不明な点を経験のある下請け技能者より助言を受ける、または発注者や監督支援と議論するといった謙虚な対応もこの種の取組みから醸成された。このように、相馬福島道路 (霊山～福島) の施工に著者は深く関わっているが、これまでを俯瞰する情報共有というよりも本工事全体の風通しの良さが高耐久 RC 床版を具現化するに当たって大きなポイントとなっていると実感し

ている。

表 2.2.2.3 福島相馬道路（霊山～福島間）の検討会・勉強会の開催実績（2020年4月現在）

開催回数	開催日			目的	参加人数
	年	月	日		
1	2018	8	2	床版工工事の品質確保に関する講習会	80
2	2018	10	23	試験施工見学会	20
3	2019	2	4	床版工 勉強会	24
4	2019	3	1	試験施工見学会及び検討会その1	30
5	2019	3	8	試験施工見学会及び検討会その2	30
6	2019	8	28	試験施工見学会及び検討会その3	56
7	2019	9	4	試験施工見学会及び検討会その4	50
8	2019	12	10	相馬福島道路 RC 床版耐久性確保 検討会	42
9	2020	2	26	こ線橋 試験施工検討会	22



図 2.2.2.6 検討会の様子

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局磐城国道事務所ホームページ：
http://www.thr.mlit.go.jp/iwaki/hukkoudouro/route_115/soumafukushima_201903.pdf（最終確認日 2020年7月7日）
- 2) 国土交通省東北地方整備局ホームページ：<http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/kyoukyaku.pdf>（最終確認日 2020年7月7日）
- 3) 国土交通省東北地方整備局ホームページ：http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/taikyusei_honpen.pdf（最終確認日 2020年7月7日）

（執筆者：子田 康弘）

2.3 群馬県における取組み

2.3.1 はじめに

群馬県におけるコンクリート構造物の品質確保の取組みに関しては、土木学会 229 委員会報告書¹⁾にも報告している。本稿では、その内容の一部を加筆して再掲しつつ、その後の動きについて紹介する。

群馬県における品質確保に関する新たな取組みの議論は、コンクリート構造物の耐久性や長寿命化を実現するためには、これまでの品質評価だけでは十分とはいえないのではないだろうかという状況認識からスタートした。たとえば、優良工事表彰審査の一環として竣工の翌年度に現地調査が実施されているが、竣工検査時には存在していなかったひび割れが多く確認された事例があった。また、昨今の公共土木施設の老朽化や早期劣化問題も大きな懸念事項であった。

そこで群馬県では、平成 27 年度より、ひび割れ抑制対策の先進県である山口県の取組みをベースに、表層品質及び耐久性ポイントの視点を加えた品質確保の試行を開始した。

2.3.2 群馬県における取組みの流れ

群馬県における取組みの出発点は、平成 21 年（2009 年）9 月に伊勢崎で行われたひび割れ問題に関する講習会にあると思われる。県内の民間企業によって講習会が企画され、当時群馬大学に在籍していた半井が長期海外出張のために不在であったこともあり、横浜国立大学の細田先生が講師として県外から招かれ、山口県のひび割れ抑制対策が紹介された。

伊勢崎の講習会において山口県の熱心な取組みに刺激を受けた参加者のうち、生コン関係者は、半井と今後の群馬県内における温度ひび割れ抑制対策の展開についての議論を行い、産学官の連携による取組みを展開することに合意した。当時、群馬県内の産学官連携の場として、土木学会関東支部群馬会（平成元年 7 月 1 日設立）が活発に活動をしており、半井も幹事のひとりであった。そこで、群馬会に下部組織を設置して活動を展開することを思いついた。早速、平成 22 年 8 月に開催された幹事会にて、「コンクリート研究部会」を設置することを提案し、承認された。提案における設置目的を「群馬県内のコンクリート関連業界のレベル向上および群馬会の活動活性化」とし、具体的には、産官学の協働によってコンクリート構造物のひび割れ抑制対策を成功させている山口県の事例を参考に、群馬県内の構造物の品質向上のための情報交換などを行うとしていた。

コンクリート研究部会の設置承認後、群馬会幹事の中でコンクリートを専門としていた学校関係者である岡村雄樹先生（群馬会幹事長、前橋工科大学）と田中英紀先生（群馬高専）、さらに施工者の久保田氏（佐田建設）とともに準備を開始した。勉強会形式での活動をスタートさせることとし、当初は、土木学会コンクリート標準示方書（設計編、施工編、維持管理編）を題材とすることを計画した。本格的に活動をスタートした平成 23 年度は、第 1 回目のコンクリート研究会を 7 月 29 日に開催し、「コンクリートのひび割れ問題」をテーマに、温度ひび割れや収縮ひび割れに関する示方書の記述や山口県の取組みを紹介した。研究会の最後にはアンケートによって、今後の活動方針についての意見を参加者から集めるとともに、会の運営への協力者を募った。自由記述欄にびっしりと熱いコメントを書き、また、会の運営に協力的な方が複数いたことから、研究会幹事としてお誘いし、幹事会を組織することとした。幹事会は、人づてにメンバーを拡大し、その後の研究会の活動の中心を担うこととなり、群馬県内での取組みを広めていくうえで献身的な貢献を頂いた（平成 24 年 5 月の幹事会名簿を確認すると、民間 10 名（設計 3 名、施工 3 名、セメント 1 名、生コン 3 名）、群馬県職員 1 名、大学 5 名の計 16 名の体制であった）。ただし、民間業者の反応が非常に良かった一方で、発足当時の発注者の反応はいまいちで、たとえば第 1 回研究会の参加者 59 名のうち、発注者は 2 名だ

け（しかも群馬会幹事関係者）という状況であった。事前に県に趣旨説明に伺った際にも手ごたえはなく、まずは産学が中心となつてのスタートとなつた。

初年度は、「コンクリートのひび割れ問題」をシリーズ化した講習会を計3回開催し、第3回には、田村隆弘先生（徳山高専）、二宮純氏（山口県）、小田村真一氏（山口県建設技術センター）と細田先生をお招きし、山口県の取組みについての特別講習会を開催した。50名ほどの県職員も含めて200名近い参加者を得て大盛況となり、アンケートは以下のような賞賛の言葉であふれ、群馬県での展開にも前向きなコメントが目立った。

- ・ 発注者側の技術力低下は、群馬県でも数年前から問題となっている。この観点から群馬県も導入を検討すべきだと思う。
- ・ 発注者と受注者が協力し、構造物をつくるのに大変良いと思う。技術を実務から学べるので、今後の参考にしたい。
- ・ 官民協働で行っている事はとても良いと思う。群馬においても同様の事が行われると良いと思う。
- ・ 今まで思っていたことがズバリデータとして立証されているという感じです。目から鱗です。取組みについて特に感銘した。一般公開のデータベースが良い
- ・ 直接的な品質向上につながっただけなく、職員の意識改革や関係者間の信頼関係構築にも良い影響が出ていることが素晴らしいと感じました。
- ・ 小さな問題を後の大きな負の遺産として捉え、立ち向かう姿勢に心を打たれました。
- ・ とても感動しました。自分の立場でやるべきことが（取り組みたい事柄）が見つかりました
- ・ まだ経験が浅く、日々の業務に追われて何が悪かったなど、振り返ったり、考えたりしなくなりがちであったが、データとして残しフィードバックできる。次に生かせるシステムがあるとより業務にやりがいを持つてと思った。全国的にデータを集められれば良いと思う。
- ・ 発注者と受注者が協働してコンクリート構造物をつくる姿勢に感銘する。
- ・ こんな先進的な取組みを、一県で行っているということに驚きました。ぜひ群馬県でもこのようなシステムを作ってもらいたいと思いました。

翌、平成24年度からはコンクリート研究部会の活動を本格化させ、「群馬県内の産官学の土木関係者が、コンクリートの設計・製造・施工・検査・維持管理に関する情報を広く共有し、ともに研鑽する場」と位置付け、コンクリート工事全般に関するテーマを体系的に扱う講習会を年に3回程度の頻度で継続して行い、県内土木技術者の技術力向上を目指すこととした。半井は群馬大学から広島大学に異動したが、舌間孝一郎先生（前橋工科大）に研究部会における庶務をお願いすることで活動を継続し、また、県職員の定期異動のタイミングで群馬県からの幹事を拡充し（建設企画課に加え、契約検査課と道路整備課からも参加）、三田も本活動に参加することとなった。講習会は、基礎知識編・最新技術情報編・法令・規準編の三本立てを基本とし、テーマに応じて著名な外部講師を招いて基調講演をお願いしたほか、県職員も参加したパネルディスカッションを開催するなどし、好評を博した。その一方で、山口システムの群馬県への導入など、県の実務と連携した動きには至っていなかった。

そんな中、平成25年度は、突如として活動が具体化し始めるタイミングとなった。まず、養生をテーマに、東京大学の岸利治先生を招いて開催した第7回研究会（6月開催）が、その後の群馬県内での表層品質に関する議論の出発点となった。基調講演では、表層品質の重要性が、前年に活動を終了していた「構造物表層のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会（335委員会）」の活動とともに紹介された。翌日、半井は岸先生を県内の現場にご案内したが、群馬県内での表層品質の議論に後押しを頂いた。この後

の第 8 回においては、岸先生に加えて、鉄道総研の西尾壮平氏や上田洋氏にご参加を頂き、335 委員会の活動の詳細や開発中の試験手法を紹介するとともに、群馬県における検査のあり方を議論した。三田は、検査委員としての自身の経験を踏まえ、良質なコンクリート構造物をつくることの重要性を訴えた。この前日には、河本工業が施工する伊勢崎の現場にて表層品質調査を行い、研究部会の幹事に手法の紹介を行っていた。これらを集約する形で、半井が研究代表者となり、群馬における品質確保に関連した研究助成の申請を行うこととなった。そして、平成 26 年度の道路政策の質の向上に資する技術研究開発（国交省）のフィージビリティスタディ（FS）に、「非破壊試験を用いたコンクリート構造物の表層品質検査システムの構築」が採択されたのである。なお、平成 28 年度からは「新設コンクリート構造物における表層品質検査手法の確立」として本格採択され、平成 30 年度まで研究助成を受けた。

平成 26 年度は、群馬県において数多くの取組みが行われた。まず、国交省の研究プロジェクトが具体的にスタートするとともに、群馬県と前橋工科大学（舌間先生）は品質確保に関する共同研究をスタートした。研究者チームによって群馬県内の新設構造物の現場調査が行われ、耐久性に関わる表層透気係数が大きく変動していること（県内のコンクリートの品質に差があること）が定量的に示された。また、前年度より群馬会コンクリート研究部会の幹事となっていた後藤氏（道路整備課）は、橋梁長寿命化の観点から本取組みの重要性を認識し、館林における 2 現場（河本工業および原工業が施工中）にて実構造物に付属した試験体作製を計画し、現場監督員の宮田氏（館林土木事務所）とともに実現した。材齢 1 ヶ月からの表層品質測定がスタートし、これまでに 3 年以上の継続的な計測が行われている。さらに、同じく前年度より研究部会幹事となっていた山田氏（建設企画課）は、共同研究の成果を活かし、山口県のように県としての取組みを具体化させる必要があると考え、コンクリート品質確保 WG の設立を計画し、実現した。WG の座長は下田氏（建設企画課）が務め、県内関係者の合意の下で作業を進めるため、群馬会コンクリート研究部会の関係者に加え、県の土木事務所や建設業協会の技術部会からも委員の協力を得た。ここで、群馬県における品質確保の取組みは、山口システムを全面的に参考としつつ、新設時の情報を維持管理へ受け渡す全体システムの構築を目標とすることとした。群馬県では、橋梁に関しては建設と維持管理を同一組織で行っているため、他県よりも実現可能性が高いと考えたのである。また、山田氏は平成 27 年 1 月に 350 委員会とともに山口県を訪問して山口システムの理解を深め、2 月の第 2 回群馬県コンクリート品質確保 WG では、群馬県版施工状況把握チェックシートの作成を行い、翌年度からの試行実施にこぎつけた。

平成 27 年度は、群馬県において品質確保の試行工事がスタートした。県の定期異動では、試行工事を指揮する建設企画課の担当として、山田氏の後任に鹿沼が着任した。試行工事を始めるにあたり、対象現場が選定されるとともに、5 月に群馬県職員研修「コンクリート品質確保研修」が 2 日間の日程で開催された。半井をはじめ、細田先生、二宮氏、西尾氏などが講師を務め、試行現場監督員、試行現場所属の研修担当職員（主に管理職）、試行現場現場代理人などの約 50 名を対象に研修が行われた。新たに品質確保の取組みを推進することとなった鹿沼氏は、研修会当日を振り返り、「半井先生と細田先生のやりとりを初めて拝見したが、最初は、この二人は仲が悪いのだと感じ、なぜ二人が一緒に取り組んでいるのか分からなかった。しかし、進め方は違えど良いものをつくらうとする気持ちは同じであることを理解できた」と回想している。試行工事が開始した 9 月には、鹿沼氏のほか、試行現場を担当していた鳥塚氏（安中土木事務所）や下山氏（八ッ場ダム水源地域対策事務所）らが半井とともに山口県の技術講習会に出席し、山口県のシステム導入後の構造物を見て「こんなに良いものができるのか！」と、取組みの重要性を体感し、その後の原動力となった。なお、意義や目的を再確認し、慎重に物事を進めた鹿沼氏のスタイルは、その後、群馬県における取組み着実な広まりに大いに貢献した。一方、三田は、群馬県建設技術センターに出向して事務局長に就任していた。

県の品質確保の取組みと連動する形で、新しいデータベースの構築準備を建設技術センターでスタートさせることに成功した。

平成 28 年度は、コンクリートの品質確保の試行対象現場を、前年度の 23 現場から 62 現場に大きく拡大し、主に施工状況把握チェックシートを用いた施工の総再点検を実施し、発注者と施工者の対話を深めるとともに、品質確保に努めた。平成 29 年度からは、県の担当者が鹿沼氏から神尾氏に交代し、あらたな体制にて本格運用に向けたガイドラインの策定が進められた（当初の計画ではガイドライン（案）の策定を予定していたが、最終的にはガイドラインが策定されて正式に本格運用されることとなった）。

品質確保ガイドラインの作成に向けた準備は、平成 29 年 6 月 26 日の品質確保WGの第 5 回会議にて、ガイドライン作成分科会を設置して行うこととなった。分科会は、半井が座長、県土整備部建設企画課（神尾と鈴木）が事務局を務め、県内の産官学のコンクリート業務従事者として、民間 11 名（設計 2 名、施工 6 名、セメント 1 名、生コン 1 名、圧送 1 名）、群馬県職員 7 名、建設技術センター 1 名、大学 1 名（前工大）が委員となった。委員は、群馬県建設業協会や群馬県測量設計業協会からの派遣を含むとともに、土木学会群馬会コンクリート研究会からも全面的な協力を得て人選を行った。

当初は平成 29 年度末までにガイドライン（案）を完成させることを目指し、4 回の分科会と原案の準備を急ピッチで進めた。しかし、群馬県独自の視点を取り込んだうえで完成度の高いガイドライン（案）を予定時期に完成させることは困難であると判断し、平成 29 年度末に 1 年間の延期を決定した。その後は、事務局を担当していた神尾氏鈴木のガイドライン（案）の最終案の取りまとめを、座長の半井がサポートして作業を行った。なお、鈴木は、県土整備部建設企画課から道路整備課橋梁係へ異動し橋梁の設計や維持管理の実務に従事することとなったため、県の基準や実情をガイドライン（案）に反映できた。最終的には、第 5 回（最終）のガイドライン作成分科会や県内部での承認を受けるとともに、土木学会 350 委員会へ意見照会を行って内容をブラッシュアップし、完成させた。平成 31 年 4 月 1 日より、ガイドラインの適用開始が開始となった。なお、このタイミングで、群馬県における担当が、県土整備部の建設企画課から契約検査課に移り、担当は児島氏となった。

2.3.3 群馬県の品質確保ガイドライン²⁾

群馬県におけるコンクリート構造物の品質確保ガイドラインは、群馬県に設置されたコンクリート品質確保WGにおけるガイドライン作成分科会が協力した。以下にガイドライン策定に関連した活動の系譜を示す。

2017 年 6 月 26 日 第 1 回分科会

2017 年 9 月 5 日 山口県にてヒアリング

2017 年 9 月 8 日 第 2 回分科会

(2017 年 10 月 23 日 第 3 回分科会が台風で中止)

2017 年 11 月 13 日 第 3 回分科会

2017 年 12 月 12 日 第 4 回分科会

2018 年 12 月 14 日 第 5 回分科会

2019 年 3 月 21 日 土木学会 350 委員会へ意見照会

2019 年 3 月 29 日 ガイドラインの策定通知

2019 年 4 月 1 日 ガイドラインの適用開始

2019 年 6 月 12 日 ガイドラインに関する研修会

ガイドライン（案）策定分科会には、県内の産官学から設計・発注・材料・製造・圧送・施工・検査・維

持管理を熟知した実務者・有識者が委員として招かれ、構想段階から審議を重ね、策定に協力した。すでに大きな成功を収めている山口システムの品質確保ガイドを全面的に参照しつつも、これまでの群馬県における議論や試行工事、そして分科会の審議を通して、群馬県らしい要素を取り入れることにこだわった。

ガイドラインの特徴のひとつに、設計段階から維持管理段階までの流れを連続的に示し、各段階の建設技術者が連携することによって工事全体の合理化や設計・施工の検証を行うことの重要性が明示されたことがある。これは、県内の多方面の建設技術者とともに議論を重ね、また、群馬県県土整備部においては橋梁の計画～維持管理を同じ部署で扱うというユニークな組織になっていることによる。たとえば、設計状況把握チェックシートは、発注者が設計と施工を橋渡しするためのツールになるものと期待して準備された。

ガイドラインは本編と資料編の2部構成として、特に重要な内容を記載した本編をなるべく簡潔なものとした。ガイドライン本編の冒頭には以下のポイント4項目を示した。

ポイント1 群馬県独自のガイドラインの策定

- ▶ 群馬県内で実施した試行工事の成果を反映
- ▶ 山口県の「コンクリート構造物品質確保ガイド」などを参考に策定

ポイント2 コンクリート構造物の品質確保における基本的な内容を解説

- ▶ 品質確保のために特に重要な項目を「品質確保の5つの手法」として整理
- ▶ 施工者だけに任せるのではなく、発注者の主導のもと、設計者などとも協働した品質確保を実現するため、設計から維持管理までの段階ごとに要点を整理
- ▶ マスコンクリートの温度ひび割れ対策と照査を設計段階から実施

群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン(案) 概要版

1.1. ガイドライン(案)の位置づけ p.1

(1) 群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン(案) (以下「ガイドライン(案)」という。)は、新設の土木コンクリート構造物 (以下「コンクリート構造物」という。) の耐久性を向上させることを目的に、**コンクリート構造物の品質確保に向けた具体的な取組みを示したものである。**

(2) 本ガイドライン(案)は、**コンクリート構造物の建設プロセスに関わる関係者全てが使用するもの**であり、個々の関係者が担当する箇所のみを参考とするのではなく、他の建設プロセスの取組みも含めた全体像を十分に理解し、**全ての関係者が協働してコンクリート構造物の品質確保に取り組まなければならない。**

1.2. 適用範囲 p.3

本ガイドライン(案)は、現場打ちのコンクリート構造物 (鉄筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート構造物) のうち、以下の重要構造物に適用する。

【適用する重要構造物】
 擁壁 (H=5m以上)、ボックスカルバート (内空断面積25㎡以上)、橋梁 (上・下部・床版)、トンネル、樋管 (内空断面積10㎡以上)、測門

2. 品質確保の手法 p.5

ガイドライン(案)では、コンクリートの耐久性を低下させる主な要因を踏まえ、コンクリート構造物の品質確保を合理的かつ確実に実現するため、特に重要となる事項を**5つの手法(手法1～5)**としてとりまとめた。

耐久性を低下させる主な要因	品質確保の着眼点	品質確保の手法	品質確保手法の具体的な項目
コーンドポイント目録、著しい表面劣化著しいひび割れ	初期欠陥の防止 (陥凹の修繕)	手法1 確実な充填	パイプブレイクを挿入しやすい部材形状、巻掛距離、フレッシュコンクリートの流動性、材料分離抵抗性を適切な打込み、締固め
過大な縮の程度ひび割れ(収縮ひび割れ)		手法2 ひび割れ抑制	ひび割れ防止を考慮した部材形状、寸法、補強鉄筋、築造日時の設置、セメントの規格、コンクリートの配合、湿度管理、乾燥養生、追加養生
かぶり(厚さ)の不足		手法3 かぶり(厚さ)の確保	耐久性を考慮したかぶり(厚さ)の設定、適切な鉄筋・型枠の組立て
かぶりコンクリートの密実性の不足	劣化因子の抑制 (内装材の抑制)	手法4 かぶりコンクリートの密実性の確保	商業用コンクリートとなる材料、配合、適切な保水時間、仕上げ、乾燥養生、追加養生
劣化因子		手法5 排水・防水対策	排水設備の適切な設置、防水工の適切な設置、表面保護や表面劣化材の施工

表1 耐久性を低下させる主な要因と品質確保手法の関連表

手法1 確実な充填 p.8

- 設計段階で施工性に配慮した設計を実施する。
- 製造段階でコンクリートの流動性や材料分離抵抗性を確保する。
- 施工段階で打込みと締固めを適切に実施する。(図1)

手法2 ひび割れ抑制 p.15

- 設計段階で適切な温度ひび割れの照査と補強鉄筋や築造日地による対策を検討する。(図2)
- 製造段階や施工段階でコンクリート温度の上昇を小さくするための対策を実施する。

手法3 かぶり(厚さ)の確保 p.27

- 設計段階で構造物の種類や供用環境等を考慮して、かぶり厚さの最小値を決定する。
- 設計段階でかぶりを図面に表示する。
- 施工段階で鉄筋組立の精度を高めて、最小かぶりを確保する。

手法4 かぶりコンクリートの密実性の確保 p.33

- 設計段階で最大水セメント比や空気量などを適切に設定する。
- 施工段階で確実な充填に加え、仕上げや養生を適切に実施する。(図3)

手法5 排水・防水対策 p.38

- 設計段階で適切な排水・防水対策を計画する。(図4)
- 適切な材料を用いて確実に施工する。
- 適切に維持管理をして機能を維持する。

書中・案中コンクリートとなる場合には、上記に加えて、それぞれに対する対策を適切に実施する。

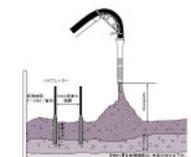


図1 打込みと締固めのイメージ

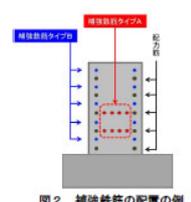


図2 補強鉄筋の配置の例

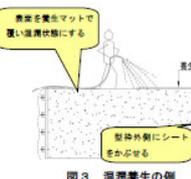


図3 温度養生の例



図4 頂版上面の排水処理例

図 2.3.1 群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン概要版1ページ目

ポイント3 実務者が確実かつ簡便に品質確保を行うためのツールの活用

- 設計段階及び施工段階において、それぞれ発注者と設計者及び施工者が技術的な対話を行い、状況を把握する「設計状況把握チェックシート」及び「施工状況把握チェックシート」の活用
- 設計、製造、施工など各建設プロセスにおける情報を記録し、新設コンクリート構造物の品質確保や建設後の維持管理に役立てる「コンクリート施工記録」の活用

ポイント4 継続的な品質確保手法の改善に向けた PDCA の仕組みを整理

- 設計・施工の結果を検証
- 群馬県建設技術センターによる「品質確保記録データベース」の運用と公開
- 品質確保記録データベースの分析結果に基づくガイドラインの改訂

さらに、A3 版 2 ページで全体像を理解できる「概要版」も作成した (図 2.3.1)。ポイントと合わせ、ガイドラインに記載された重要事項を端的に理解いただくとともに、該当する説明に容易にアクセスできるようにしたものである。

最後に、本編と資料編の構成を以下に示す。

<本編>

- 第1章 総則
- 第2章 品質確保の手法
- 第3章 品質確保のツール
- 第4章 品質の確認と措置
- 第5章 各種様式

<資料編>

- 第1章 群馬県の特徴
- 第2章 品質確保に関する PDCA
- 第3章 温度ひび割れに関する照査
- 第4章 施工上の留意点
- 第5章 散水試験の測定要領案
- 第6章 用語の解説

2.3.4 群馬県における品質確保の今後

平成 31 年度 (令和元年度) から群馬県におけるコンクリート構造物品質確保ガイドラインが本格運用され、まだ試行錯誤を継続中の取組みもあるものの、概ね順調に活用が進んでいる。群馬県建設技術センターが管理するデータベース³⁾にも施工記録が蓄積されてきている。今後は、品質確保に関する新たな取組みの成果を検証するとともに、今後の維持管理や新たな施工に役立てていくことが必要となる。本格的な PDCA の実施とともに、群馬県が山口県に続く品質確保の先進県となるよう期待している。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会 (229 委員会) 成果報告書、コンクリート技術シリーズ No.114, 2017 年 7 月
- 2) 群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン, 2019 年 3 月

- 3) 群馬県建設技術センターにおける群馬県コンクリート構造物品質確保ホームページ：
<https://gunma-ctc.jp/concrete/> （最終アクセス確認日：2020.7.3）

（執筆者：半井 健一郎，三田 淳，鹿沼 大成，神尾 崇，鈴木 修）

（執筆協力：群馬県県土整備部建設企画課，契約検査課）

2.4 北海道における取組みと試行工事の状況

積雪寒冷地かつ四方を海で囲まれている北海道のコンクリート構造物は厳しい気象・使用環境作用を受けており、長期的にその機能や役割を果たすためには、品質や耐久性を確保するためのシステム構築が必要である。一方、同じ積雪寒冷地である東北地方においては、震災に伴う復興事業を契機として品質や耐久性確保の取組みを実践し、コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）や東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）など、品質や耐久性確保の方向性や実践するために必要な事項を示した技術資料が多数提案されている。しかし、北海道と東北地方では気象・使用環境が異なる点も多く、北海道単独でも地域により異なることから、地域特性を踏まえた議論が必要である。ここでは、北海道におけるコンクリート構造物の品質・耐久性確保に関する議論状況と、平成29年7月から北海道開発局と沖縄総合事務局を含め国土交通省の各地方整備局に通達された、「コンクリート施工状況把握シート」及び「表層目視評価シート」の実施によるコンクリートの品質向上に向けた試行工事の北海道の状況について紹介する。

2.4.1 北海道土木技術会における品質確保関連の活動状況

北海道において、コンクリート構造物の品質確保小委員会（350委員会）に関連する品質や耐久性確保について議論を始めたのが、350委員会の第1期活動期間中の2016年3月である。筆者が第1期350委員会に参加したのは活動中盤の2015年11月に開催された中間ワークショップからであるが、北海道からの委員は当時筆者だけであり、各地域で実践されている品質確保の取組みを北海道で広げるための契機と議論方法を模索していた。そのような中、北海道の土木技術の向上、発展を目的として産官学で構成された北海道土木技術会のコンクリート研究委員会設計仕様小委員会の井上雅弘幹事（当時、株式会社ドーコン交通事業本部上席技師長。現在、株式会社長大札幌支社長）から、北海道の地域特性を踏まえたコンクリート構造物の高耐久化について議論する場として、設計仕様小委員会の中に新たにWGを立ち上げることを提案いただき活動を開始した。井上幹事は、株式会社ドーコンの東北支店に2011年10月～2012年7月まで上席技師長として、2012年8月～2015年5月まで東北支店長として勤務され、東北地方における品質確保の取組みを経験されていたため東北の実情に詳しく、筆者の350委員会での活動状況と併せて、①コンクリート構造物の高耐久化に関する全国の動向把握、②北海道における「高耐久化」の目的、③北海道の特性を考慮した高耐久化のあり方、について議論することを当面の目標とした。これまでの活動と議論状況の概要を以下に示す。

(1) 平成28年度土木技術会コンクリート研究委員会設計仕様小委員会第1回WG

日時場所：平成28年10月18日 15:00～17:00 KKRホテル札幌 参加委員12名

議事内容：WG活動方針と東北地整・土木学会350委員会の活動状況

（井上幹事より東北の状況とWG2の活動方針について説明）

- ・東北の仕様を北海道で使うことの問題点、環境条件の差が大きい北海道内における設計上の問題点があると思われ、まずは情報収集及び意見交換をし、北海道としてどうあるべきかを考えていきたい
- ・高耐久および耐用期間の定義、要求性能、対象構造物、仕様等を議論していきたい

（吉田委員より土木学会350委員会の活動状況の概要説明）

- ・国交省の統一ルールではなく、東北地整などのローカルルールが先行している
- ・東北の他、全国各地でコンクリートの品質向上の取組みが行われている
- ・山口県がひび割れ抑制に対する産官学の取組みを行ったのが原点
- ・マニュアルだと技術者が考えなくなるので、技術資料として作成されているものが多い
- ・沖縄では空気量の規定を外す等の地域事情に合わせた仕様に関する情報提供があった

[意見等]

- ・耐久性を議論する場合は施工を切り離すことはできない
- ・耐久性（高耐久）とは何かというところから議論すべき（用語の曖昧さ）

(2) 平成 28 年度土木技術会コンクリート研究委員会設計仕様小委員会第 2 回 WG

日時場所：平成 29 年 1 月 19 日 15:00～17:00 KKR ホテル札幌 参加委員 17 名

議事内容：東北の取組みについての勉強会

- ・（紹介）土木学会平成 28 年度全国大会研究討論会（研-11）「生産性および品質向上のためのコンクリート工学を目指して」
- ・コンクリート構造物の品質確保に関する土木学会と東北地整の取組み状況の説明（吉田委員）
山口システム、東北地整の復興事業と品質確保の取組み（設計段階の取組み：構造形式の工夫、温度ひび割れ抑制対策、施工段階の取組み）
- ・東北の取組みを理解する（株式会社ドーコン）
高耐久化に関する取組み、東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン（案）、新設橋の排水計画の手引き、高耐久 PC 桁（プレテン桁の試行）、高耐久 PC 桁設計施工のポイント

(3) 北海道土木技術会コンクリート研究委員会平成 29 年度総会・講演会

日時場所：平成 29 年 5 月 31 日 総会 14:00～15:30, 講演会 15:45～17:00

ホテルポールスター札幌 参加者 81 名

講演：山口県発コンクリート構造物のひび割れ抑制・品質確保と過酷環境下での耐久性確保の実践

講師：横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 都市イノベーション部門

細田 暁 准教授（当時）

[平成 29 年 7 月 19 日国土交通省から「コンクリートの品質向上に向けた試行について」の事務連絡発出]

[平成 29 年 9 月土木学会 350 委員会 2 期目活動開始]

(4) 平成 29 年度土木技術会コンクリート研究委員会設計仕様小委員会 WG2（品質確保）第 1 回 WG

日時場所：平成 29 年 11 月 29 日 10:00～12:00 ポールスター札幌 参加委員 23 名

議事内容：WG の活動経緯と H29 年度の活動方針，土木学会 350（229）委員会の活動概要，北海道開発局の品質確保の試行工事について，チェックシートの東北地整の取組み，コンクリート構造物の品質確保に関連する北海道の現状と課題

（梅木 WG2 座長（土木学会 350 委員会第 2 期から委員，2011 年 11 月～2014 年 5 月まで株式会社ドーコン東北支店で勤務）より WG2 の活動について説明）

- ・平成 29 年度からは目的を「北海道におけるコンクリート構造物の品質・耐久性確保のあり方について産官学の立場で議論し，今後の方向性を提案すること」としたい
（吉田委員より土木学会 350（229）委員会の第 1 期活動概要と第 2 期活動開始の説明）

[質疑]

- ・良い事例集，悪い事例集があると監督員としては助かる．個々の不具合に対する対処例があると有効であるとする（北海道開発局委員）
- ・産官学でどのような体制が望ましいのか，具体的な意見を吸収して現場への対策を含めて意見交換していきたい（安中幹事（寒地土研））
- ・不具合に対する対応事例集については，北海道版があるのが望ましい．土木学会 350 委員会では各地で勉強会を開催して施工者から発生した不具合および対応事例を発表してもらうなど情報を蓄積してい

る。委員会に施工事例集を作ることの提言をしてみたい（吉田委員）

（試行工事の発注担当者（委員）から品質確保の試行工事について報告）

- ・北海道では函館で試行工事（トンネルと橋梁各1現場）を実施した。今後はアンケートを実施し、その結果をもとに実施要領とチェックシートを改善していくことになると思われる（北海道開発局委員）
- ・橋脚の試行工事では、全5リフトのうち2リフトについて、打設前状況の確認、生コンの練混ぜ時間、打設終了時間の計測を実施した。立会には3名で対応した
- ・表層目視評価シートについては、1回目で指摘した砂すじと気泡は2回目で改善された
- ・併せて、AE センサを用いた打音検査とタブレット端末による表層品質評価を実施し、タブレット端末による表層品質評価と表層目視はほぼ同じ評価だった（表層目視の有効性）

[試行工事に関する質疑等]

- ・材料や施工期間等、特に普段と違うものおよび手順は踏んでいない（担当者）
- ・長期養生として脱型後に養生シートによる延長養生を行うなど意識の高い施工者である。今回チェックシートの効果が出なかったのではなく、適切な対応をしているから差がでなかっただけ。試行結果をまとめる際には、何を行ったから施工が上手く出来たのかを評価してあげると上手くいくのではないかと。今後に向けて、監督するのに技術的に難しかったこと、システムとしてどういう問題があったか等をアンケート調査で挙げていくとシステムの改善につながると考える（吉田委員）
- ・監督員の現場経験が少ないため、人材育成の面ではとても良いことだと思われる。意識が高い施工者だったが、立会したことでさらに気を配って施工するなど意義はあったと思う（担当者）

（施工者委員よりチェックシートの東北地整での対応事例（トンネル覆工コンクリート）について紹介）

- ・東北地整での施工状況把握チェックシートの運用として、全打設毎に施工者が実施し、3回に1回程度の頻度で発注者が立会
- ・具体の効果としてはコメントが少なく不明だったが、確認すべき事項を形にしているのでミスを防ぎうる。施工がマンネリ化しないための抑止になる。施工者の作業は増える。
- ・表層目視評価の運用として、自主的に全打設毎に施工者が実施。施工期間内に発注者3名で3回実施
- ・調査時にその場で発注者からコメント（窓枠下に砂すじが少し見えるのでケレンを確実に行う）があり改善を実施（窓枠にコーキングを行う）
- ・具体の効果として、覆工コンクリートの仕上がり結果が定量化され、改善効果はグラフで見える化。従来から実施している項目の定常化なのでそれほど手間では無い。打設回数が増えると型枠が痛むので早期に改善を実施

（井上幹事より北海道大学のCReCシンポジウムでの報告を紹介）

- ・「積雪寒冷地の現存コンクリート系構造物の維持管理技術」シンポジウムで「橋梁構造物の現状と課題」と題して、コンクリート構造物の品質に関する北海道の現状と課題を報告
- ・北海道は大きな面積に少ない人口で、全国他自治体の2倍以上の橋梁数・延長を保有。RC橋が少なく鋼橋の比率高い。橋梁数の半数以上は30m以下の市町村道にある橋梁
- ・多様な気象条件で、北海道として一括りにできない
- ・凍害に厳しい環境条件だが、凍害危険度のマップで一概に評価できない。日照時間などの気象条件や融雪剤の影響、構造物の水処理状況など、個別用件によって多様な環境
- ・海岸線が長く塩害を受けやすい環境の路線が多い
- ・北海道における劣化事例（凍害、凍害と融雪剤の複合劣化、塩害、床版の砂利化）

- ・設計者の立場から考えるべきこと：＜長寿命化＞いかにして劣化勾配を小さく出来るか（材料・構造部・施工の組み合わせ・バランス）。＜高耐久化を目指す＞どのような「劣化要因」に対して、どの「部材」の高耐久化を目指すのか明確にして考える。既存技術（材料）の「置き換え」ではコスト面で限界（材料を活かす構造の工夫）。性能を100%維持できるものはないという前提条件を前に出すことも必要（交換ありきで性能を維持し続けられない）。＜維持管理シナリオの設定＞

[全体に対する意見等]

- ・現状（既設構造物の劣化，不具合）を把握する観点から，既設構造物研修を今後検討する（梅木座長）
- ・北海道職員の技術者不足，技術力低下を感じている。このような場を活用していきたい（道職員委員）
- ・経験を積んだ技術者不足を感じている（苫小牧高専渡辺先生）
- ・現地研修は勉強になる良い試みであり積極的に参加していきたい（室蘭工業大学栗橋先生）

(5) 平成30年度土木技術会コンクリート研究委員会設計仕様小委員会 品質・耐久性 WG 第1回幹事団 WG

日時場所：平成30年6月5日 10:00~12:00 ホテルモントレエーデルホフ

参加委員（幹事団）15名（委員会幹事，発注者委員（北海道開発局））

議事内容：今後のWG進め方（安中幹事），「コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)」と「ひび割れ抑制のための参考資料(案)」に関する情報交換（梅木WG座長），「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)」に関する情報交換（井上幹事），コンクリートの品質向上に向けた北海道での施行状況と土木学会350委員会の動向（試行後の現場視察）（吉田委員）

- ・最終的には「北海道におけるコンクリート構造物の品質・耐久性確保のあり方」を議論することになるが，当面は国土交通省の動向や既存資料（主に東北）の内容把握，350委員会の今後の動向把握を目的として，勉強会主体の活動となる
- ・具体の活動として，幹事団内でミニ勉強会開催とWG全体勉強会を催し，情報が十分に共有された段階で次のステップ施策検討（北海道における構造物の現状把握（維持管理と品質），品質確保基本方針の検討，設計，維持管理に関する事項の検討，品質確保に関する手引き等の資料作成を行い，地域別の品質確保に関する取組み等，具体的な展開を図る
- ・北海道開発局における試行工事とアンケート調査の概要，土木学会350委員会の試行現場視察について（施工後の調査と意見交換会の開催を予定）

(6) 平成30年度コンクリートの品質確保に関する試行工事後の意見交換会（詳細は2.4.3(2)で後述）

（北海道土木技術会コンクリート研究委員会設計仕様小委員会WG2勉強会，共催：土木学会350委員会）

日時場所：平成30年7月30日，31日 国土交通省北海道開発局函館開発建設部函館道路事務所

参加者：53名，内訳＜土木学会350委員会＞12名（横浜国立大）細田，戸崎，三浦，（日大）佐藤，（八戸工大）阿波，（岩手大）小山田，（宮崎大）李，（大阪工業大）三方，（近畿大）麓，（上北建設）音道，（西松建設）藤波，三井（敬称略）

＜北海道土木技術会＞13名（苫小牧高専）渡辺，（北海道開発局道路建設課）3名，（北海道開発局技術管理課）2名，（小樽開発建設部）1名，（寒地土木研究所）安中，吉田，（ドーコン）寿楽，梅木，（構研エンジニアリング）木村，（長大）井上（敬称略）

＜現地施工者＞2名，＜函館開発建設部＞26名

以上のように，北海道土木技術会の設計仕様小委員会WG2では，350委員会の動向，東北の耐久性確保に関する動向および北海道における試行工事の動向などについて勉強会を中心に活動してきた。一方，今後は設計，施工，維持管理の相互関連を踏まえて議論する必要があり，現在の設計仕様小委員会の枠組みの中

で議論を継続するには限界があるため、北海道土木技術会コンクリート研究委員会の企画小委員会の中で今後の小委員会のあり方について議論するための特別 WG が設置された。

第 1 回目の特別 WG は令和元年 8 月 9 日に開催された。新たな小委員会として何をを目指すのか、北海道でも品質確保の取組みは必要なのか等が議論され、北海道としてあるべき姿を検討するにはまずコンクリート構造物の現状（劣化実態）把握が必要なこと、また北海道で独自に行われてきた対策等があればそれらの整理が必要等の意見が出された。また、2019 年度の単年度限定で「北海道における品質確保のあるべき姿検討委員会」が日本コンクリート工学会北海道支部に設置され（2.4.2 で後述）、検討内容、参加メンバーなど共通事項も多いため、北海道土木技術会との相互の連携・分担についても議論された。特別 WG では北海道のコンクリート構造物の点検や劣化調査を実施している実務者を招集していたため、構造物の劣化の一例が報告された。また、1978 年の JIS A 5308 レディーミクストコンクリートから AE コンクリートが標準品となっており、その前後で凍害の劣化形態も異なっている可能性があるなどの話題提供があった。

以上、北海道土木技術会においては、次のステップへの移行段階であり、北海道としてのあるべき姿について、設計、施工、維持管理の相互関連を踏まえて議論すべく活動を継続しているところである。

2.4.2 日本コンクリート工学会北海道支部における品質確保関連の活動状況

2019 年度単年度限定で、日本コンクリート工学会北海道支部において「北海道における品質確保のあるべき姿委員会（特別委員会：委員長北海道大学杉山教授）」が設置された。設置のきっかけは、八戸工業大学の阿波教授から、日本コンクリート工学会東北支部の「寒中コンクリートの品質確保に関する研究委員会」活動成果をもとに、北海道支部と講習会を共催できないか、という提案が同北海道支部長の室蘭工業大学濱教授にあったことによる。この提案を受けて北海道支部で検討した結果、東北と北海道の環境条件が異なるため、東北支部の活動成果をそのまま北海道で講習すると現場での混乱を招く懸念があり、共催するのであれば北海道としての考え方を同時に示す必要があるとの結論に至り、委員会の設置が決まった。

活動内容は、北海道における構造物の品質確保のあるべき姿の基本方針の検討、北海道土木技術会コンクリート研究委員会で行われている品質や耐久性確保に関する活動と本委員会との関係の整理、および北海道としての品質確保のあるべき姿の検討結果をふまえて東北支部との講習会の共催について検討することである。なお、東北支部の委員会報告では、「寒中コンクリートの品質確保」の委員会名称で、寒冷期の施工における品質確保の対応とコンクリートの凍害や高耐久化への対応が併記される形となっているが、寒冷期に建造された構造物は耐久性が低いと特別な凍害対策が必要という誤解が生じないように、本委員会では、「寒中コンクリート」と「寒中のコンクリート」を分けて議論することとした。すなわち、「寒中コンクリート」とは、「寒冷期におけるコンクリートの施工」であり、JASS5 や土木学会コンクリート標準示方書施工編に記載されているように、初期凍害の防止（強度の確保）を主として、通常期と同様の品質を確保するために留意すべき施工方法に関する課題である。一方、「寒中のコンクリート」とは、「寒冷環境下に曝されるコンクリート」であり、通常期の施工が寒冷期の施工かに依らない耐久性の課題である。

全体委員会は 3 回（2019 年 6 月 11 日、10 月 25 日、2020 年 2 月 25 日）開催され、その間に土木 WG が 2 回（2019 年 10 月 21 日、2020 年 1 月 21 日）と建築 WG が 1 回（2019 年 12 月 13 日）開催された。土木 WG では、北海道における現状の把握に焦点をあて、実環境下における構造物の劣化状況の把握（特徴的な劣化形態の有無、建設年次での特徴（材料、製造・施工技術との関連）、使用材料、生コンの現状（骨材事情、生コンの単位水量など）、対策の整理（北海道独自の寒冷地仕様、排水・防水対策（表面含浸材等））、製造・施工上の工夫（生コンプラント、運搬、寒中施工）などについて情報収集した。収集できた劣化事例は少な

かったが、建設後 50 年以上経過した橋台の凍害による D クラックや剥離、1986 年建設（AE コンクリートが標準となった以降）の橋脚や橋台のスケーリング等の劣化、更新後 10 年未満の地覆コンクリートの表面気泡が多く軽微なスケーリングが生じている状況等を確認し、今後、北海道土木技術会で収集した劣化事例と合わせて、建設年次や凍結防止剤散布状況等を含めて整理することとした。また、寒中コンクリートについては、養生の留意事項が多いこと、東北支部で提案されたチェックシートの活用は初期欠陥防止の一方策として有効であることを確認した。建築 WG では、主に寒中コンクリート工事の取扱いについて議論があり、建築と土木の相違点や同じ寒冷地でも極寒冷環境の北海道では別途考慮が必要なこと等が整理された。

委員会の活動は 1 年間と限定的だったが、今後検討すべき方向性が整理され、2020 年度からさらに 2 年間委員会を継続する予定となっている。

2.4.3 北海道における品質向上の試行工事の対応状況

(1) 試行 1 年目（平成 29 年度）の対応状況

1) 試行現場の選定

国土交通省において「コンクリートの品質向上に向けた試行について」の事務連絡が発出されたのが平成 29 年 7 月 19 日であった。対象工種は、橋梁下部（橋台躯体工、橋脚躯体工）とトンネル（覆工コンクリート工）であり、北海道開発局と沖縄総合事務局を含め各地方整備局で対象工事 1 件以上の試行工事を行うというものである。これに基づき、国道交通省北海道開発局では、道南の函館開発建設部管内におけるトンネル覆工工事と橋梁下部（橋脚）工事の 2 件を選定した。試行現場を選定したのが 7 月 27 日であり、当該年度中に試行が実施可能な工事に限定されていたため、既に稼働中の工事に試行が組み込まれ、トンネル覆工工事における試行の 1 回目は 9 月 7 日、2 回目が 9 月 11 日に、橋梁下部工については 1 回目が 9 月 8 日、2 回目が 10 月 5 日に行われることとなった。

2) 試行現場の事前調査と意見交換会の実施

本試行における試行要領では、有害なひび割れに代表されるコンクリートの初期欠陥の抑制と、コンクリートの表層品質向上が目的であること、および「コンクリート施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を用いて発注者が状況を確認し、改善すべき事項があれば次リフトまたはスパンで改善するよう受注者に通知して対応させるという流れとともに、参考資料として東北地整の「コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（各編）」を参照することが示されていた。一方、この事務連絡が発出された時点では、北海道においては上述のように北海道土木技術会での勉強会が始まった段階であり、品質確保に関する全国的な動向や背景は現場の末端までは周知されていない状況であった。チェックシートはその本質を理解していなければただのチェックで終わってしまう可能性もあり、今後も品質確保に向けた取組みを継続していく必要があることから、試行前に取組みの背景・目的やチェック（点数付け）のポイント説明と意見交換会を開催することで北海道開発局道路建設課と調整し、試行直前の 9 月 6～7 日に函館開発建設部において現場視察と発注者職員との意見交換を行うこととなった。

トンネル工事は現場稼働の関係から視察が困難だったため、9 月 6 日に橋脚工事の現場を視察した。図 2.4.1 は橋脚の打設計画を示しており、視察時には既に底盤部と脚柱の第 1 リフトの打込みが終了し、試行は第 2 リフトと第 3 リフトで行われた。写真 2.4.1 は橋脚視察時のものであり、既に打込まれた第 1 リフトで表層目視評価の練習を行う予定だったが、脱型後に養生シートによる延長養生を行っており中止した。なお、現場ではブリーディング処理への対応準備や、型枠継目に止水テープによる漏洩対策が施されるなど、養生の延長を含め品質確保に対する意識が高いと思われる工夫がいくつか採用されていた。

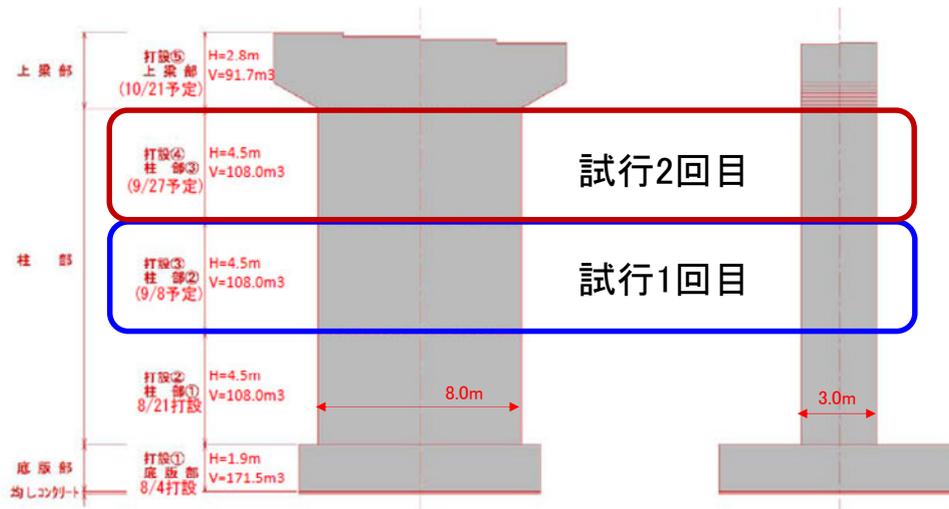


図 2.4.1 橋脚の打設計画（試行工事箇所）

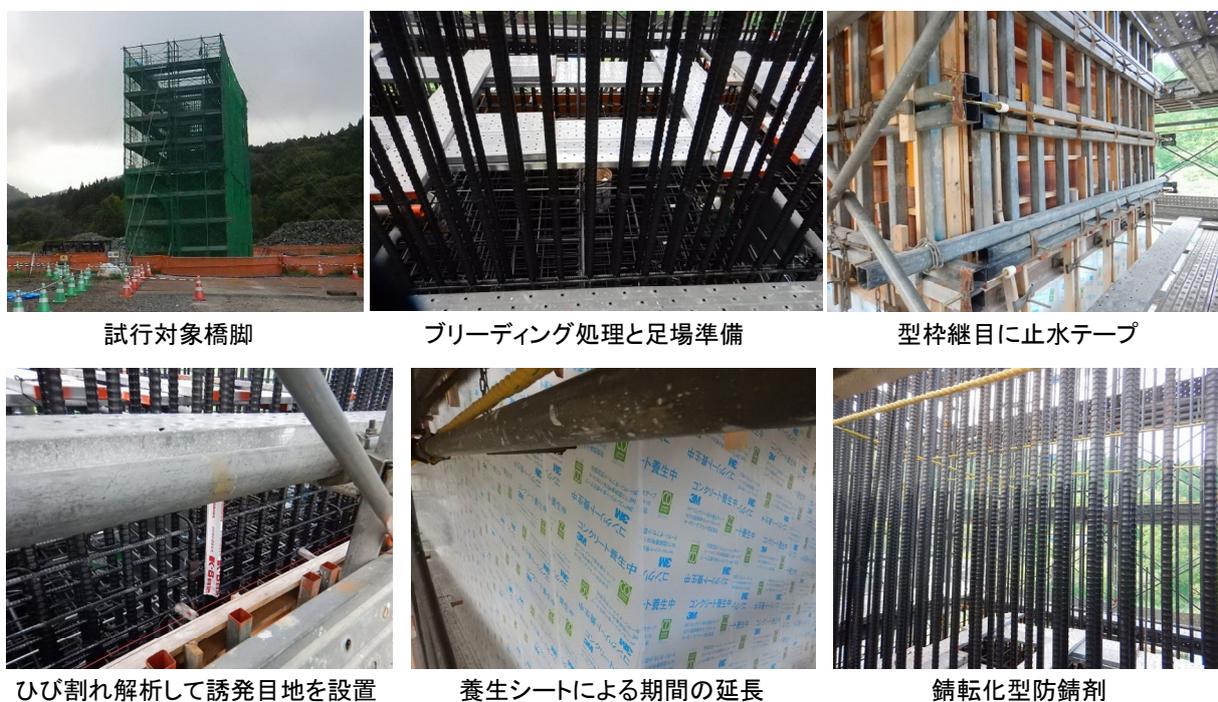


写真 2.4.1 試行直前の現場視察状況

9月7日は試行工事について監督支援業務の代理人を含めた発注者側職員と意見交換を行った。最初に筆者から試行工事の目的・意義と背景について説明し、続けてチェックシートのポイントと目視評価の点数付けに関する参考動画を確認した。最後に全体で意見交換を行い、以下のような意見が出された。

- ・施工状況のチェックは毎回しないとダメなのか？（全国的な頻度は？）
- ・今後このように取組みは全国展開するのか？
- ・トンネル工事でスライドセントルの中の確認が困難（検査窓は施工者も確認しているのでチェックが困難。特に下部のチェックが困難）
- ・朝 7:30 から準備工をチェックし、全工程だと 14 時半くらいまでかかるが、全工事では対応できない
- ・時間外勤務縮減もありチェックは職員で無くても良いのでは？

・改善策の事例集を委員会等で作成してもらえると有用（ビフォーアフターのように）

施工前だったため、チェックの頻度と担当職員が現場に臨場することに対する対応の困難さの意見が多かったが、チェック自体が重要では無く次のステップにつなげて改善を図ることに意義があるため、効果を明確にするには初回打込み時には必ずチェックを実施し回数を重ねるのが良いこと、北海道は現場までの移動時間も長く全国共通の運用で困難な点があれば事後アンケート調査でフィードバックすべきであること、チェックシートを施工者との会話ツールとして使うのが良いこと等を助言した。

3) 橋脚における試行結果

コンクリート打込み時の施工状況把握チェックシートの特記事項としては、打込み作業人員、バイブレータ台数、運搬時間、1層の厚さ、吐出口から打込み面までの高さ、打込み量、打込み開始時気温のみであり、特に問題は記録されていない。図 2.4.2 に表層目視評価の実施結果を示す。表層目視評価は、グラフ上段が先行の2リフト目の評価点、下段が3リフト目の評価点である。なお、この現場ではベテランと若手の発注者職員と現場支援技術者の3名で評価されている。全体に評価点は高いが、表面気泡と砂すじで評価点が下がっており、2回目の打込みで改善傾向がある（図中○印。△は逆に下がった点）。なお、評価者によるばらつきは小さく、評価点が低い箇所では複数で下がる傾向があるが、ベテラン職員は厳しめに評価する傾向もうかがえる。写真 2.4.2 は試行前に打込みを完了した第1リフトにおける表層の不具合である。第1リフトの不具合も軽微だが第2第3リフトより評価点が低く、相対的に試行の効果があつたことが報告されている。

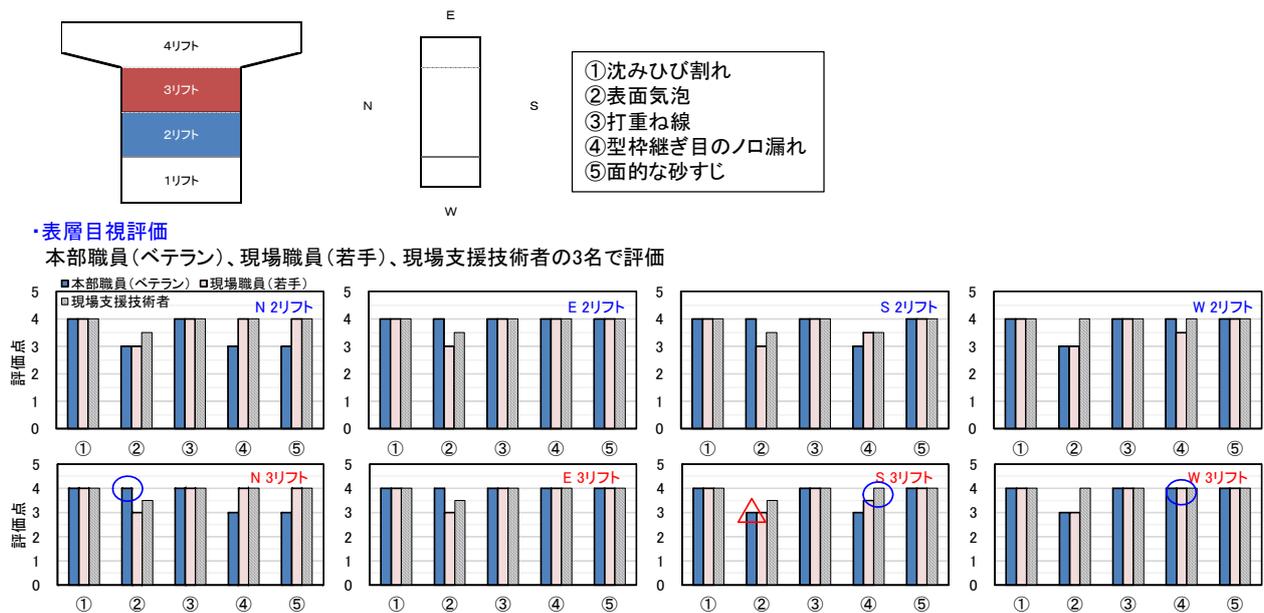


写真 2.4.2 試行前に打込まれた第1リフトの不具合事例

4) トンネル覆工コンクリートにおける試行結果

図 2.4.3 はトンネル覆工コンクリートの試行工事箇所を示している。当該トンネル工事においては、起点側抗口から 150m 程度中のスパンから内部に向かって施工が開始され、最後に施工開始点に戻り抗口に向かって施工される計画となっていた。試行は、抗口に向かって施工される 12 スパン目と 11 スパン目で実施された。コンクリート打込み時の施工状況把握チェックシートの特記事項としては、打込み作業人員、バイブレータ台数、運搬時間、左右対称に打設しているか、養生設備であり、特に問題は記録されていない。図 2.4.4 に表層目視評価の結果を示す。表の上段が 1 回目施工、下段が 2 回目の評価点である。1 回目の評価で、表層の気泡や砂すじの改善指摘があり評価点も下がっている。また、部位としては、アーチから側壁部の気泡、検査窓部の段差の改善指摘があり、対策として気泡の抜けやすい軽便タイプのバイブレータの使用と検査窓の調整が行われている。結果として、2 回目の評価で側壁の気泡と砂すじが改善し評価点も上がっているが、検査窓の部位に関しては課題が残ったようである。

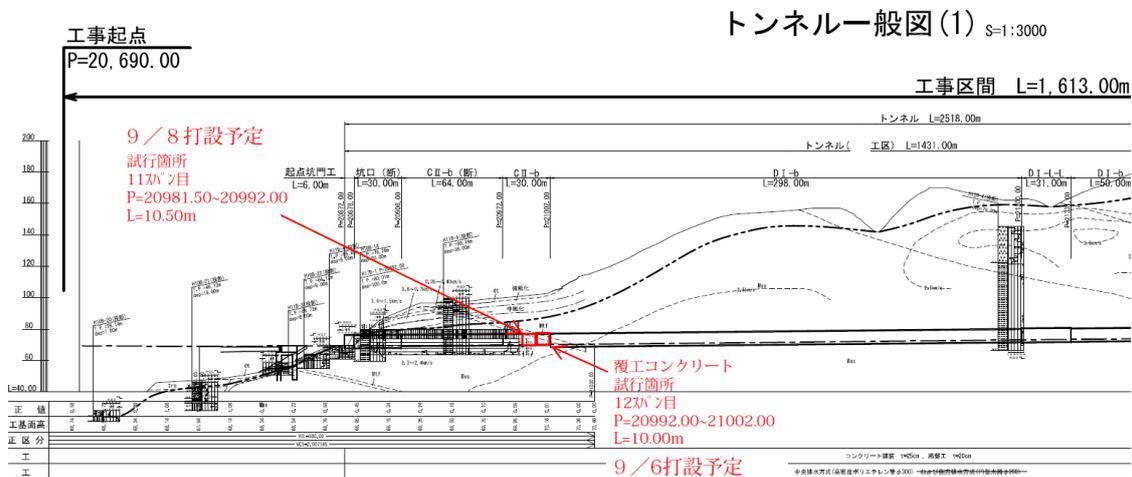


図 2.4.3 トンネル覆工コンクリートの試行工事箇所

・表層目視評価

- (1)アーチ～側壁部に気泡が多い。また、打設終点付近に気泡が多く見られる。
- (2)部分的に砂すじが見受けられる。
- (3)検査窓の一部に段差が見られ、段差部の表面が砂状となっている。

対策

- ①バイブレータを気泡の抜けやすい軽便タイプに変更する。？ 側壁の気泡減少、砂すじが改善
- ②検査窓の調整を行う。



図 2.4.4 トンネルの表層目視評価結果

5) 試行後のアンケート調査

試行工事後に発注者と施工者に対して、チェックシートによる施工状況把握および目視評価による出来ばえ確認の効果と、試行における意見や要望に関するアンケート調査が行われている。

チェックシートによる施工状況把握の効果については、トンネル発注者から、1回目の目視評価を元に施工者と協議しバイブレータのかけ方について対策を講じた結果、2回目の目視評価も上がり効果があったという回答が、橋梁発注者からは、チェックシートに記載の事項を恒常的に行っている施工者だったため現時点での効果は明確では無いが、品質向上につながる可能性はあるとの回答だった。施工者からは、発注者のニーズが具体化されていた、作業員に試行工事の趣旨を説明して教育したことによりバイブレータの正しい使い方を理解するなど品質向上への意識改革につながったなどの理由から、いずれの工事でも効果ありの回答であった。なお、チェックシートで改善すべき項目については、トンネル発注者から、打設底盤の水たまりや締固めを確認する項目について、セントルの陰になり確認が非常に困難との意見があった。

目視評価による出来ばえ確認の効果については、トンネル発注者は上記と同様の理由から、橋梁発注者は表面気泡の数は後に打込んだリフトの方が少なく、1回目の目視評価結果を活かした施工が行われ効果があったとの回答であった。施工者からは、評価基準が明確になり作業員の仕上がりに対する意識が向上した、改善と工夫について思慮するようになったなどの理由から、いずれの工事でも効果ありの回答であった。目視評価で改善すべき項目については、トンネル受・発注者から、気泡の評価判定が難しいとの意見があった。

今回のようなチェックにより防げた過去の不具合の経験についての設問には、橋梁発注者から、バイブレータでの締固め不足により打込み終了後コンクリートが沈下し、打継ぎ面の帯鉄筋箇所にはひび割れが生じた事例が挙げられた。また、施工者からは、締固め状況の監視不足と作業員の力量不足によるコールドジョイント、表面の砂すじ、バイブレータでの締固め不足による豆板の発生などが挙げられた。

本試行によるコンクリートの品質向上効果が特に高いと考えられる現場環境については、橋梁発注者から、ラーメン構造の橋脚等鉄筋量の多い構造物は打込み時に留意点が多いため有効との回答があり、施工者からは、暑中・寒中コンクリートの施工現場が挙げられ、いずれも施工時の留意事項が多い現場だった。

最後に、試行における意見や要望として、トンネル発注者から、施工状況の把握に要した時間がほぼ丸1日かかり、中腰や立ちっぱなしの作業が大変だったため、より短時間で効率的なチェック方法を検討して欲しい、チェックシートや目視評価により品質は向上したが、検査の基準等で定めない限り受注者の「努力目標」で終わってしまい、品質向上にも手間や費用がかかるため「努力目標」のままでは何も変わらないと思う、との意見があった。また、橋梁発注者からは、現場が遠方の場合早朝からの確認を考慮すると前日から入る必要があったり、打込み量が多いと長時間の拘束となるため職員の負担が大きく、支援業務の活用等検討が必要との意見があった。一方、副次効果として、現場を見る機会が少ない若手職員に対してはスキルアップの機会として有効と思われること、監督員の臨場により現場作業員が安全について特に注意していたように感じられたなどの意見もあった。

以上、試行後の評価結果や事後アンケートから、受・発注者双方とも本試行によるコンクリートの品質向上効果はあると感じているが、目視評価の判定が難しく、発注者にとっては現場に臨場することに大きな負担を感じていることがわかる。目視評価の判定については、山口県で行われているような実構造物を対象とした見学会や学習会が必要であり、発注者の負担については、生コンプラントからの出荷記録により運搬時間を確認するなど、状況に応じて代替できるものについては省略するなどの工夫が必要と思われる。一方で、監督員が現場に臨場するだけで施工者の意識が高まり、安全にも気を配る等の効果があることも報告されていることから、支援業務の技術者を含め発注者側の職員の臨場は不可欠と思われる。

(2) コンクリートの品質確保に関する試行工事後の現場調査と意見交換

平成 29 年度に試行工事を実施した現場と調整し、北海道土木技術会の主催で試行 1 年後の構造物調査と意見交換を行うこととなり、本委員会も共催の形で講師を派遣し参加した。平成 30 年 7 月 30 日の午後からトンネルの現場調査を、31 日の午前中に橋脚の現場調査を行い、午後から国土交通省北海道開発局函館開発建設部函館道路事務所において意見交換会を開催した。

1) 試行 1 年後のトンネル覆工コンクリートの調査 (7 月 30 日 13:00~17:00, 天候: 晴れ)

試行当時の施工者から試行工事の状況説明があり、参加者全員で覆工コンクリートの近接目視調査を行った。1 回目の目視で気泡、砂すじ、検査窓の段差を確認し、スプリングライン (SL) 下の気泡対策として平バイブ (板状の長いバイブプレート) を使用した結果、2 回目の目視評価点は向上したとの報告があった。写真 2.4.3 は試行箇所 2 スパンであり、1 回目の打ち終わり部に色むらがあるが 2 回目はそれも無く、試行対象の 2 スパンはいずれも表面上は良好であった。

試行後はトンネル抗口に向かって残りの施工 (10 スパン程度) が行われたが、試行対象スパン以降は目視評価等を実施せず、2 回目の試行で実施した対策を最後まで継続したとのことであった。しかし、試行以降で SL 下の気泡、打ち終わり側の目地部の欠損 (写真 2.4.4)、SL 上の豆板 (写真 2.4.5) 等の不具合が一部確認され、最終工区頃にはセントルも痛み、直しながら実施していたのでその影響が考えられるとの施工者からの説明があった。また、試行前に施工されたトンネル奥側においても、写真 2.4.6 に示すように打ち終わり側の目地部で一部不具合がみられた。細田先生から、スパン打ち終わり側の目地部の欠損については

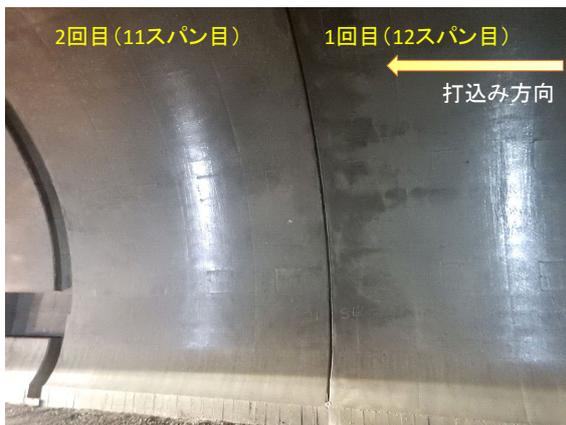


写真 2.4.3 トンネル覆工コンクリートの試行箇所



写真 2.4.4 試行後に施工した箇所の不具合例 1



写真 2.4.5 試行後に施工した箇所の不具合例 2

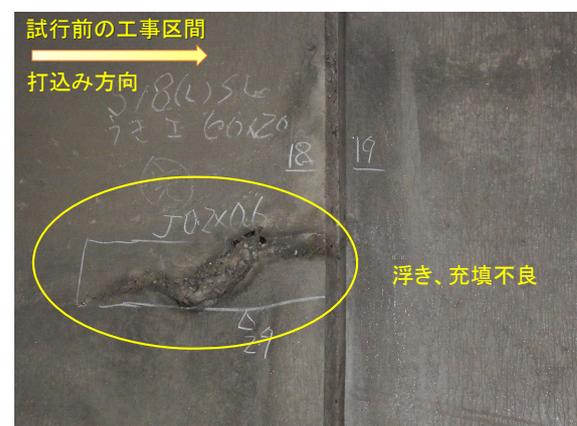


写真 2.4.6 試行前に施工した箇所の不具合例

ブリーディング等が最終的にたまりやすい箇所であり、弱点となる可能性が高いためその部分に欠損が生じた可能性があることが指摘された。なお、現地での吸水試験や透気試験の実施を試みたが、トンネル内面は結露が生じており測定できなかった。

以上、現地における調査結果から、試行した箇所のコンクリート表層は良好であり、試行効果はあったものと考えられ、特にトンネルのように長いスパンで継続的に行われる場合には、表層目視評価を複数回実施することで品質向上に寄与すると思われた。

2) 試行1年後の橋脚コンクリートの調査 (7月31日 9:00~11:00, 天候: 晴れ)

前日と同様、施工当時の施工者から試行工事の状況説明があり、参加者全員で橋脚の近接目視調査を行った。セメントは高炉セメントB種、水セメント比49%程度、単位水量 142kg/m^3 、粗骨材は峨朗産石灰石、細骨材は石灰石砕砂と山砂2種の3種ブレンド砂が使用された。呼び強度は24である。

試行は第2リフトと第3リフトで実施され(図2.4.1)、ひび割れ解析を独自に行いひび割れ誘発目地が施工されており、型枠継ぎ目の止水テープの使用と脱型後に行った養生シートによる追加養生(材齢28日まで貼付け)は技術提案で行ったとのことであった(写真2.4.1)。目視評価で砂すじがみられたため、意識して施工したとの説明だったが、全体としてはひび割れもなく砂すじやノロ漏れもほとんど確認できなかった(写真2.4.8)。上北建設の音道氏から、型枠の段差が僅かに見られる箇所でも砂すじ等が確認できないのは、止水テープ等を適切に使用していた結果と思われるとのコメントがあった。

透気、吸水試験を試行前の第1リフト上部と第2リフト下部で実施し(写真2.4.9, 写真2.4.10)、第1



写真 2.4.7 橋脚コンクリートの試行箇所

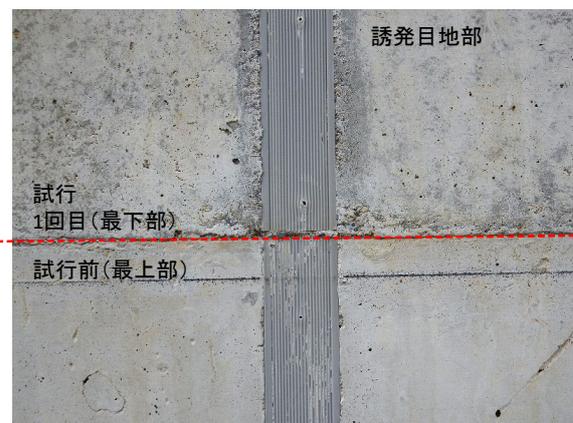


写真 2.4.8 打継ぎ目と誘発目地部の状況



写真 2.4.9 透気係数と吸水量の測定状況



写真 2.4.10 透気係数測定結果

リフト上部の透気係数は $1.1 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ 、第2リフト下部は $0.10 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ 程度で、試行前の第1リフト上部は相対的に低かったが、それでも東北地整の表層品質の目標値程度の品質だった（写真 2.4.10）。第1リフト上部の品質が相対的に低いのは、ブリーディング等に起因したものと考えられ、第1と第2リフトの境界から少し下方の透気係数は $0.09 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ と極めて良好であった。施工者からは、試行により、着眼点を再確認でき、現場作業員が勉強する良い機会になったとの意見があった。

以上、現地における調査結果から、丁寧に施工することで見た目だけではなく透気性等の品質も良好となることが確認できた。一方、橋梁下部工において、1橋脚だけで施工状況のチェックや表層目視を行ってもコンクリート打込みの施工区分が少ないため、その効果を確認して次に反映させる機会が少ない。橋梁工事においては、一般的には複数の橋脚や橋台等のコンクリート施工が必要なことから、山口県で行われているようにデータベース化する等により施工状況や表層目視のデータを共有し、施工者が変わった場合や別の橋梁工事においても活用できるシステムの構築が必要と思われる。

3) 意見交換会（7月31日 13:20～16:20、函館道路事務所）

意見交換会では、最初に土木学会 350 委員会メンバーからこれまでの活動と東北における実践状況についての話題提供があった。その後トンネルと橋脚施工者から品質確保試行工事について改めて報告いただき、フリーに意見交換を行った。委員からの発表テーマは以下のとおりである。

- ・コンクリート構造物の品質・耐久性確保の意義と実践 細田 暁 教授（横浜国立大学）
- ・東北地整の品質・耐久性確保の舞台裏 佐藤 和徳 教授（日本大学）
- ・東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）について 小山田 哲也 准教授（岩手大学）
- ・寒中コンクリートの品質確保に関する研究委員会報告の概要 阿波 稔 教授（八戸工業大学）
- ・寒中コンクリートの品質確保の留意点 音道 薫 氏（上北建設株式会社）



写真 2.4.11 意見交換会の状況



写真 2.4.12 細田教授からの話題提供

実際に橋脚の施工状況把握や表層目視を行った橋梁発注者から、北海道の現場は事務所からも遠く、毎回の現場立会は困難。施工状況把握チェックや目視評価の頻度はどうするのが良いのかとの質問があり、佐藤教授から、毎回行く必要は無い。最初の1回は行くべき。その改善効果を見るためには2回目の実施が必要との回答があった。また、函館開発建設部本部職員から、施工者へのインセンティブは必要ないのかとの質問があり、佐藤教授から、良いものを造れば工事評価点は上がるとの回答が、また東北で実際に施工にあたった西松建設の三井氏からも同様の回答があった。一方、細田教授から、北海道でこの取組は継続しないのかとの質問があり、北海道開発局道路建設課職員から、現場技術者が集まる担当者会議などの場において品

質確保の取組みに関する啓蒙活動を行っており、今後も試行が継続できるような状況を作っていきたいとの回答があった。その他に、現場発注者から、耐久性を確保といわれてもよくわからない。強度が出れば良いと思っていた。そのあたりをしっかりと情報提供して欲しいとの率直な意見も出され、筆者から建設系の道路担当者会議等において基礎的な講習会を実施しているので、現場内でも勉強会を行うなど資料を積極的に活用して欲しい旨補足した。また、意見交換会終了後の雑談の中で、北海道土木技術会井上幹事から、排水計画の手引きなどが講習会等で前面には出てこない。ターゲットをコンクリートの品質に限定しているのか？「現場での品質」という話になるとコンサルが絡みにくく、できればコンサルも絡めるように排水計画の手引き等、設計関係も話題に取り上げて欲しいという意見があった。これについては細田教授から、コンクリートの品質に限っているつもりはなく、とりあえずの入り口としてコンクリートの品質確保を掲げておくと、皆がつながりやすいと思ってやってきた。対象も、興味を持つ人もかなり広がってきたので、やり方も少しずつアレンジしていければと思う、との回答があった。

以上、品質確保の試行工事と1年後の現場調査を併せて行ったことで、試行による品質向上効果を多くの技術者で共有することができた。また、意見交換会を実施したことで実務担当者からの率直な意見を聞くこともでき、北海道において品質確保の活動を継続的に進める上で大変大きな実績となった。

(3) 試行2年目（平成30年度）の対応状況

1) 試行現場の選定と事前説明会の開催

平成30年度における「コンクリートの品質向上に向けた試行の実施について」の事務連絡が発出されたのが平成30年9月13日である。チェックの実施者が監督職員以外に現場技術員も可となり、試行対象工種は変わらなかったが、現場の選定要件が追加され、次のいずれかに該当する現場が対象となった。

- ①高密度配筋の構造物
- ②コンクリートの締固めを行いづらい環境（トンネル覆工等）
- ③打設回数が多い
- ④1日の気温差が激しい
- ⑤冬季・夏季の気温が著しく低下または上昇する現場
- ⑥海岸に近い
- ⑦未熟練者が多く従事している

北海道開発局では試行2年目で件数が大きく増え、トンネル3件、橋梁下部5件が試行対象として選定された。対応部局も全道に広がりその内訳は、札幌開発建設部1件（橋台：選定要件⑤）、函館開発建設部1件（トンネル：選定要件②）、小樽開発建設部1件（橋脚：選定要件③）、旭川開発建設部2件（橋台：選定要件⑤、トンネル：選定要件②）、室蘭開発建設部1件（トンネル：選定要件②）、釧路開発建設部1件（橋脚：選定要件①）、帯広開発建設部1件（橋脚：選定要件⑤）であった。

これを受け、コンクリート品質向上に向けた説明会を各部局で行うことで北海道開発局道路建設課と早々に調整した。説明会の目的は、試行工事だけの一過性にしないように、各部局事務所担当課、監督員、現場代理人にコンクリート品質向上の経緯や意義、目視評価・施工状況把握チェックシートのチェックすべきポイントなどを説明し、品質向上に向けた意識付けを行うことである。説明会では、本局道路建設課からコンクリート品質向上の取組み経緯の説明があり、続けて筆者から、H29年度の函館開発建設部の試行と試行後の調査概要を説明するとともに、チェックの流れを理解しやすいように、日本コンクリート工学会東北支部寒中コンクリートの品質確保に関する研究委員会で作成された「コンクリート品質確保の取組みPDCAサイクルの構築（寒中コンクリート編）」の動画と、350委員会で公開している「表層目視評価の使用手法」の動

画を確認した。また、チェックシートのポイントを改めて説明した上で、試行を取り組むための課題や要望、次年度以降も継続実施のための課題等について意見交換を行った。

説明会は、岩見沢（11月9日）、小樽（11月27日）、旭川（11月8日）、苫小牧（11月6日）、帯広（11月14日）の5箇所の道路事務所で開催することとなり、残る3現場には、説明用の資料と動画ファイルを受・発注の試行担当者が確認することとした。説明会には、施工者の参加もあり、受・発注者ともに前年度の試行状況を含めて情報を共有する良い機会となった。なお、試行要領に添付されていたのは一般の施工状況把握チェックシートであり、時期的に寒中コンクリートとなることから、チェックシートの説明において、東北地整で使われている寒中コンクリート版のチェックシートについても紹介した。

2) 試行結果

橋梁下部工の試行は、11月から1月にかけて行われたが、寒中コンクリート用のチェックシートを使用したのは全5箇所中、岩見沢と釧路の2箇所だった。施工状況把握チェックシートで特記事項が多かった橋台施工現場の目視評価事例を図 2.4.5 に示す。

1回目の試行は底版コンクリート（24-8-40(N)）で行われ、打込み時の天候は雨、外気温5℃の条件下だった。施工時の特記事項として、結束線1本除去指示、人員に関して現場代理人と現場技術者が作業していたため監督・指示するものがない、雨水の浸入が多い（降雨対策の指示）、バイブレータの鉄筋への接触や引き抜き跡多数（バイブレータのかけ方指示）が記録されており、結果として、表面気泡、型枠継目のノロ漏れ、面的な砂すじの項目で評価点は低かった（底版では打重ね線は対象外）。2回目のチェックは堅壁（24-8-40(N)）の施工（堅壁1回目）で行われ（曇／雪、外気温1℃）、前回の指摘により気泡や砂すじの評価点は上がったものの、バイブレータの垂直挿入、鉄筋への接触、横移動について再度指摘があった。3回目のチェックも堅壁施工（堅壁2回目）で行われ（曇／雪、外気温-7℃）、コンクリートが（27-12-40(N)）に変更されたが施工時の特記事項は無かった。目視評価では、スランプ変更の効果なのか砂すじの評価点が高かったが、一方で打継ぎ目部分にノロ漏れが確認されたほか、打重ね線の評価点は下がっていた。この現場では、施工時の指摘事項に連動する形で目視評価点に変化しており、チェックシートの効果が確認できる事例だった。その他の現場では、かぶり内の結束線や型枠内への落下物を指摘したケースが確認されたものの特記事項は少なく、目視評価点はいずれの現場においても2回目で改善されていた。

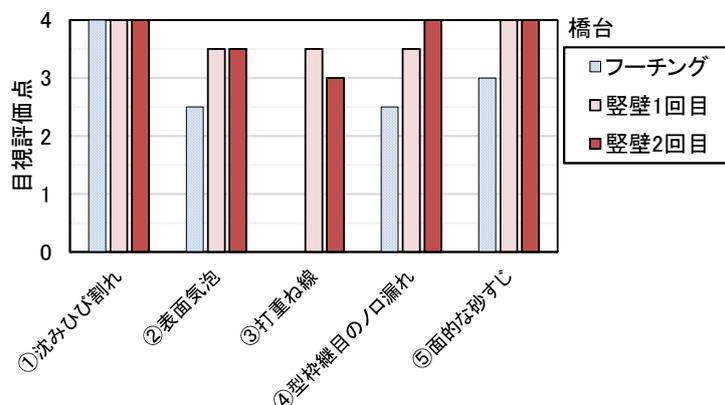


図 2.4.5 橋台における表層目視評価事例

トンネルでの目視評価事例を図 2.4.6 に示す。なお、トンネルの目視評価は、側壁・アーチ部ともに左右で行われるが、左右等も同様の評価だったため結果がわかりやすいように左側と天端の評価を抽出して表記

した。表層目視評価は、現場担当の発注職員、部局本部の職員、現場代理人の3名で行われている。施工状況把握チェックシートには、養生方法に関する記述はあるものの改善事項等の特記は無かった。表層目視時の特記事項として、アーチ部下端から側壁下部に気泡が多く、左右アーチ部に斜めの打重ね線が見られたことが示されており、評価点も側壁・アーチ部の気泡、砂すじ、打重ね線の評価点が低かった。気泡対策として、剥離剤の塗布方法を人力から自動に（塗布量を均一に）するとともに剥離剤の種類について検討が行われ、打重ね線の防止については、一つの打設口からの打込み量を減らす対策が指示されていた。結果として1回目に低かった項目は2回目で改善された。しかし、2回目の目視においても、側壁打設口の下にコンクリートが擦れて剥離剤が流れた跡や、全体的にバイブレータ跡が確認され、継目目地部には部分的に充填不良も確認されており、それらの対策として、コンクリート打込み方法の工夫、バイブレータのかけ方やタイミングの改善が指示されていた。この現場では、不具合に対して具体的な改善指示を出し、その効果が現れている良い事例であり、さらに複数回評価を行えばより品質の高い構造物となることは明らかである。なお、評価者の違いでは、評価点が低くなる項目は同様であるが、現場に近い技術者ほど評価は低めだった。見方を変えれば、実際の構造物を観察する機会が多いほど不具合が目につき改善につながる可能性が高く、評価者によるばらつき低減の観点からも実構造物による目視評価の勉強会等の実施は重要と思われる。

その他の2箇所のトンネルにおいても、アーチ部から側壁の気泡、検査窓周辺の砂すじに対する指摘事項が多く、いずれもバイブレータのかけ方の工夫等により改善していた。また、天端は色むらの評価点が3程度であり、コンクリートの最終吹き上げ箇所となる天端施工の困難さがうかがえる。

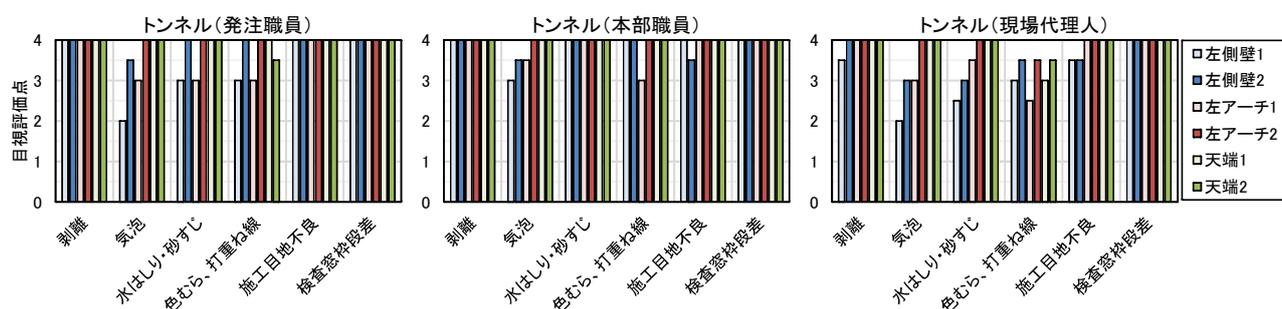


図 2.4.6 トンネル覆工コンクリートの表層目視評価事例

3) 試行後のアンケート調査

チェックシートによる施工状況把握の効果については、チェックシートにより役割が明確になり丁寧な作業を行えた、見落としが減少した、施工に対する意識改革につながる、発注者の観点が明確になり作業員にも要点が伝わりやすいなどの効果が受・発注者から挙げられたが、一方で、チェック項目は受注者が管理すべきで従来の管理で問題ないとする発注者からの意見もあった。また、施工状況把握の実施回数について、トンネル発注者から、2回で十分でありそれ以上増やしても効果が期待できないとする消極的な意見が多かったものの、2回で改善しきれない場合は、各工事独自で3回以上実施すれば良いとの意見もあった。

チェックシートの記入情報、項目で改善すべき事項については、橋脚受注者から、運搬の項目で職員の人数不足を考慮し、練混ぜから打込み終了の時間を工場まで行って確認するという項目の改善が挙げられた。また、トンネル発注者から1層の高さ(50cm)の確認が困難との意見と、受注者からバイブレータ横移動について、鉄筋区間に限らず、適切な挿入間隔・深度・時間を心がけさせるようなチェック項目が望ましいとの意見が、またコンクリート面に合わせた適切な剥離剤を使用することが肝要なため、準備工に剥離剤をチ

チェックする項目を入れてはどうかとの意見もあった。

目視評価による出来ばえ確認の効果については、発注者からは改善点の把握が可能、品質向上に対する指摘等を行える良い機会、受注者と問題意識を共有できた等が、受注者からは作業内容を評価し改善につながる、発注者と共通意識を持つことができ現場の創意工夫について認識してもらえた、作業員全員が意識するようになり改善意識が向上、品質向上のための案が出しやすくなる、直ぐに次施工に反映でき作業員もやりがいがある、コンクリート打設のPDCAサイクルの構築に繋がった、など多くの効果が挙げられた。

目視評価の方法について、評価基準が明確で客観性が保たれるとの意見と、複数名でばらつきがあり評価が困難、一部が極端に悪い場合に評価・改善指示が難しいとの意見もあった。また、改善すべき項目として、トンネルの色むらの判定は脱型直後ではなく色調が落ち着いた時期に再評価すべきとの意見や、評価位置の区分について延長方向にも3分割（起点・中央・終点）して評価しては等、建設的な意見があった。

発注者からの特筆すべき課題として、現場臨場に伴う負担増やセントル内の閉所空間でのチェックが困難との意見があった。また、受注者の試行に伴う施工への影響として、立会の関係から打設開始時間を調整した、作業員が緊張し通常時の動きと異なるように感じたとの回答があった。

コンクリートの品質向上以外の効果については、安全意識、安全対策の向上は受・発注者双方から、発注者から監督員の技術力向上、若手監督職員の施工知識向上、以降の工事でも品質向上につながる等の意見が、受注者からは、作業従事者はもとより、生コンプラントや圧送業者含め共通意識を持つことが出来たため、足並みの揃った現場運営が実現でき、そのことが作業の安全確保にも繋がったとの意見があった。

今後の運用については、発注者から、受・発注者ともに負担があるため、効果が高い大規模構造物、重要構造物、低入札工事等に限定して実施したり、チェック時間の短縮や回数を少なくする、実施工事をランダムに選択して受注者に対して試行に当たるかもという注意喚起で良い、現場臨場の負担解消のため第三者にチェックを依頼する等の意見があった。一方で、受・発注者の意識改革になるので全工事で実施すべきだが、施工状況や目視評価は監督職員を必須とせず、状況に応じて品質証明員で対応するなどの措置も必要という意見や、多工種・小規模工事では、改善前に施工が完了するため、現在のチェックフローは厳しいが、そのような工事でも品質向上の取組みは重要なため、意識向上としての説明会等の実施も良いとの意見もあった。受注者からは、工事規模の大きい工事（重要構造物等）から抽出して実施、チェック項目は普段施工している常識なので実施する必要が無いという意見があるのに対し、施工者以外がチェックすることで違う目線での評価となり、改善点や良い点について協議・意見交換することでより品質向上につながるという意見や、品質に対する意識が高まる良い取組みであり、さらに発展させて社内での意見交換会などを開催することで、施工者側の工夫により「良いモノ」を作れ、より「良い施工」が出来ると思うという意見もあった。

その他の意見・要望として、発注者から、試行で細かく厳しくチェックを行って悪い所探しをしてしまうので現場の印象がさがったり、普段見えなかった悪い部分が見えてしまうという意見や、他の工事より厳しくチェックされて評定等に悪い影響が出てしまう恐れがあるといった意見があった。この試行は、受け取りの可否や施工者の責任を追及するのでは無く、悪い部分を見つけて次の改善に繋げより良いものを作ることが本来の目的であるが、発注者としては不具合が無いのが当たり前であり、不具合がでると責任を追及せざるを得ないという感覚があるように思われる。また、初年度のアンケート調査と同様、検査の基準等で定められない限り受注者の「努力目標」で終わってしまうことになりそれでは何も変わらないとする意見や、出来ばえの基準（受注者に求める基準）が出来れば、より踏み込んだ改善対策（機材や材料の変更など）を実施できると感じたという意見もあった。受注者からは、天端均しが必要な工事では複数回の仕上げが必要になるため打込み開始時間を早める必要があり、チェックの効率化から、朝の受入検査は品質証明員、途中の受入

検査は監督員など担当を分けた方が良いという具体の運用案や、立会が減少している状況下で逆行するところはあるが、その場で評価してもらうことで改善が加速することもあるため良い試行であり、是非継続して実施して欲しいとの意見があった。

(4) 試行3年目（令和元年度）の対応状況

1) 試行現場の選定と事前説明会の開催

令和元年度における「コンクリートの品質向上に向けた試行現場の選定（依頼）」の事務連絡が発出されたのが令和元年10月24日である。試行内容は変わらなかったが、事務連絡の発出時期が遅く、かつ令和2年1月末までに試行可能なことが選定条件となったため現場選定が極めて限定的であった。結果として、北海道開発局では、トンネル1件（小樽開発建設部：選定要件②締固めを行いにくい環境）、橋梁下部3件（旭川開発建設部（橋台）、室蘭開発建設部（橋脚）、帯広開発建設部（橋台と橋脚）、いずれも選定要件⑤冬・夏の気温が著しく低下又は上昇）が試行対象として選定された。

現場選定から試行工事までの期間が極めて短かったため、TV会議システムにより北海道開発局本局と各部署の事務所をつなぎ、11月29日に取組みの経緯やチェックのポイント等について説明会を行った。参加部署は旭川と帯広道路事務所で、試行内容の説明後に旭川の昨年の試行担当者から以下の意見が出された。

- ・チェックシートは監督員が何をすべきかわかりやすく、経験が少ない職員もチェック可能
- ・施工を重ねると改善された
- ・目視評価は人によりばらつきがあり、見るべき所を絞って欲しい
- ・施工者は作業員に渡し、全員で事前に施工の段取りを把握することができた
- ・打設が早いので当日朝のチェック対応は難しく、1日現場にいた（職員の負担）
- ・チェックシートにより改善されるため、普段見ていないところに目が行き評価が低めになった

2) 試行結果

橋梁下部工の試行は、11月下旬から1月中旬にかけて行われ、全ての現場で寒中コンクリート用のチェックシートを使用していた。なお、工期の関係からか、同様の形状部位における比較では無く、橋台で行われたチェックでも底版と堅壁の比較や、橋台底版と橋脚で比較されていた。施工状況把握チェックシートや目視評価で特記事項が多かった橋台施工現場の目視評価事例を図2.4.7に示す。

当該現場では、試行1回目が底盤部の施工、2回目が堅壁であった。第1回目の底版施工は、12月16日曇り、打込み開始時温度が-3.4℃、コンクリートは24-8-40(N)である。施工状況把握チェックシートには以下のような特記事項が記録されている。

- ・「垂直打込み」の項目で、打込み位置はマーキングされていたが、マーキング位置から打ち込まれていなかった。また多くの箇所で斜めに打ち込まれていた。
- ・「打込み高さ1.5m以下」の項目で、最下層では2.0m程度の高さから打っている箇所も見受けられた
- ・「バイブレータの鉄筋接触」の項目で守られていない作業員がいた
- ・「仕上げバイブレータの丁寧な施工」の項目で丁寧に実施されていなかった

これらを反映するように、目視評価点は型枠のノロ漏れの項目が特に低く、評価シートには、気泡が最終打込み部に多く発生している、型枠継目に砂すじも発生、最下段に材料分離の様なものも見られる、といったコメントが記録されていた。次回の施工に向けては、最下段の仕上がりが悪く打込み高さを遵守すること、型枠継ぎ目の砂すじへの対応として型枠を適切に締付ける対策を行うこと、最終打込み部の気泡への対応として仕上げパイプを十分行うことが指示されている。2回目の堅壁施工は12/26雪、コンクリートは27-12-40(N)である。施工状況の把握では、前回の指摘事項が全て守られていることが記録されており、目視

評価点は2回目でいずれも改善されていた。このことから、構造物の形状・部位（底版，堅壁）によらず，施工のポイントを抑えて適切に施工することで改善につながる事が確認できる。なお，2回目の目視評価においても，気泡が少し見られる，打重ね線が部分的に見られる，型枠継ぎ目の砂すじが多く見られる，と

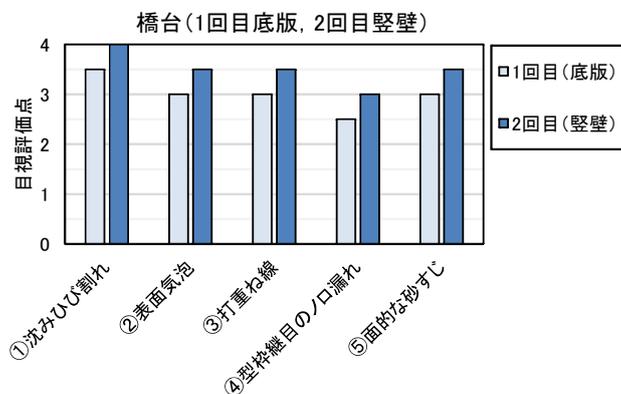


図 2.4.7 橋台における表層目視評価事例

のコメントが付され，以降，型枠継ぎ目の砂すじ対応として隙間部分への対策を講じるよう指示が出されていた。

トンネルでの目視評価事例を図 2.4.8 に示す。トンネルの目視評価は図 2.4.6 と同様，左側と天端の評価を抽出して表記した。コンクリートは 24-SF60-40(BB)が使われている。表層目視評価は，ベテラン監督員と監督員1年目の職員2名で行われている。施工状況把握チェックシートには，養生方法に関する記述はあるものの改善事項等の特記は無かった。1回目の目視評価では，ベテラン監督員の評価は，色むら・打重ね線の評価が他と比べて低かったがそれでも評価は3であり，気泡，色むらは若干発生しているが，総じて良好な出来栄であるとの特記のみであり改善指示はなかった。他方，監督員1年目の職員は，側壁部の各項目が3点とベテラン監督員より低めだったが，特記事項はなかった。2回目の評価では，概ね改善されていたが，側壁部の評価点や色むら・打重ね線の評価については点数が上がりにくい傾向が見られる。色むらについてはコンクリートのスランプフローの影響も考えられるが，ベテラン監督員の2回目の特記には施行目地

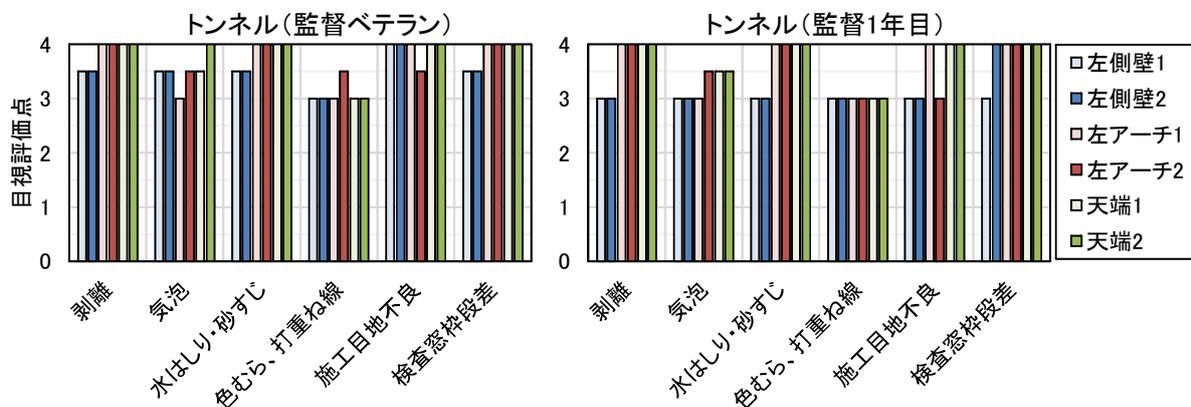


図 2.4.8 トンネル覆工コンクリートの表層目視評価事例

で前回のブロックより若干劣る箇所もあったが出来栄えは特に問題なく指摘する事項はない、と報告されており特段の問題は確認されていない。

3) 試行後のアンケート調査

チェックシートによる施工状況把握の効果については、発注者から、監督員が現場で確認しなければならない事項が即座にわかる、事前にチェックシートの項目について受注者、作業員へ指導することにより、作業手順等の再確認にも役立つ、監督員にチェックされることで請負者もより一層の取組・注意が必要となり効果があったとする回答があった。また、施工者が丁寧な施工を実施している現場では、指摘事項は無いものの各段階での状況把握は効果的であり、他の工事においても品質向上に寄与する可能性があるという回答もあった。受注者からは、打設作業を行う作業員とチェックシートを使用して打合わせを行い、打設前の段取り(ピッチの印等)も確実にを行い、その通りに実施したところ出来栄えの向上が見られたため効果があったとする回答があった。また、東北での施工を経験していたトンネル受注者からは、現時点では効果は明確で無いが、トンネル覆工は狭隘な空間内にコンクリートを打ち込むため充填が難しい等の特殊性があり、かつ将来的に経験不足の施工管理者や技能不足の作業員等の比率が増大することが懸念される中、各施工段階での重要事項を「チェックシート」により漏れなく確実に確認することができるため、品質向上の可能性は認められたとの回答もあった。

目視評価による出来ばえ確認の効果については、発注者から、施工状況と目視の両方を実施することで品質向上を実際に確認できた、次回施工時の注意点がわかり打込み時の品質が向上した等、いずれも効果が有るとの回答だった。また、受注者からは、出来ばえは品質に連動するものであり、日々の施工により構築される構造物をその都度定量的な評価をすることで、どのような施工を行えば出来ばえ(評価点)が向上するのかといったPDCAサイクルをまわすことにつながるとともに、職員・作業員の向上心を促すきっかけになるとの回答や、1回目の目視評価結果について協力業者と打ち合わせを行い、2回目の打設ではより良い結果が得られたため効果があったとする回答があった。なお、評価方法については、目視評価点が評価者により差が生じるため、より細かな評価基準の説明を要望する意見があった。また、評価の実施回数については、いずれの現場も2回の実施であり、それで改善効果が認められるので受・発注者の負担も考慮し2回で十分とする意見があった。

今回の試行で現場技術員を同行させたかを発注者に確認した設問では、複数人で確認した方がより正確な判定・判断が可能、施工時間が長時間になるため職員との交代要員もしくは現場技術員がメインとなり状況を把握した等、同行を依頼して良かったとする意見が多かったが、試行では職員の視点での確認を行うこととしたため同行を依頼しなかったとする回答や、現場技術員も業務量が多い時期のため作業負担を軽減する観点から同行を依頼しなかったとする回答もあった。

試行における特筆すべき課題については、発注者から、発注者、受注者、作業員ともに負担が増える、発注者の作業負担の軽減として、支援業務の拡大、2 監督員確認体制の見直し、テレビカメラ等を活用できないか、という意見があった。

コンクリートの品質向上以外の効果については、発注者から、監督経験が無い職員や工事案件でも、チェックシートにより施工手順の把握が可能で有り、1つ1つの作業に理由があることを理解することができたという回答があった。また、受注者からは、作業員の品質確保の意識向上や発注者立会により安全に対する意識が向上したとの意見があった。

試行全般についての受注者からの意見や要望については、ソフト面における具体的な施策として本試行は有効であり、細田先生のビデオでも強調されているように点数に固執し過ぎるのでは無く、より良い品質の

構造物をつくるためのツール（日常管理・定量的な PDCA）として効果的という意見のほか、コンクリートの品質が向上するので非常に良いが、打込みの準備費の計上や打設の施工費単価のアップを希望するといった率直な意見も出された。

今回の取組みを今後どのように運用すべきかについては、発注者は、全工事で実施すべき、限定的に実施すべき、実施すべきでは無い、の3通りに分かれ、限定的に実施すべきについては、受・発注者の負担が大きいため工事規模や重要構造物等での実施、負担を減らす形にして多くの現場で取り入れてはどうかという意見があり、実施すべきでは無いについては、施工はあくまでも受注者の責任において施工させるべきであり、品質管理に不具合が生じた場合は、従来通り引き取らず補修をしっかりとさせれば良いという意見であった。また、受注者からは、いずれも限定的に実施すべきとし、品質向上には有効だが受・発注者ともに負担増のためとする理由のほか、要点を絞らずチェック項目ばかり増やすと負担が増えることで形骸化し、継続的な運用が図れないことが懸念されるため、本試行の各様式の項目・内容やその数は妥当であり、あとは現場毎に配合や設備等が異なる部分だけ修正を行い運用することが望ましいとする意見もあった。

(5) 試行工事のまとめ

平成 29 年度から始まった試行工事は 3 年目を終えた。それまでは意識することが無く施工されていたコンクリートの品質について、少なくとも試行した現場においては品質を意識する機会ができただけでも大きな意義があったと言えるが、試行した多くの現場において、実際に品質の向上を実感していることが目視評価の結果やアンケート調査からも明らかであり、施工状況のチェックや表層目視評価の有効性については発注者も受注者も確認しているところである。一方、運用面からの課題として、対応するための負担の増加が受・発注者双方から挙げられ、特に発注者からは現場立会に対する負担の声が大きい。北海道においては、現場と事務所の距離が遠く、冬季の早朝工事になれば更に対応は困難となる。しかし、発注者の現場立会については、チェック効果だけでなく現場に行くだけで施工者の意識が変わり、安全性向上等の副次効果があることも多数報告されている。このため、現場技術員も含めた発注者の現場立会は必須として、現場条件に応じて負担軽減を図りながらチェックや評価する方法について考えていく必要がある。また、表層目視の評価基準がわからないとの意見も多く挙げられた。これについては、山口県で取り組まれているように、良い構造物と悪い構造物を実際に見て点数付けしながら学習するのが最良であり、北海道においても学習会の開催等を検討していく必要がある。

今後この試行の取組みが標準となるのか、試行がさらに続くのかは現時点では不明であるが、北海道においては道半ばであり、この取組みの継続を念頭に、北海道土木技術会等の場を活用して産官学が議論しながら活動を前進させていきたい。

（執筆者：吉田 行）

2.5 四国地方における取組み

2.5.1 四国の環境および材料供給の現状

四国の現状についてはフライアッシュの利用を中心に土木学会 229 委員会報告書¹⁾に記載したため、重複するところは最低限の記載にとどめ、その後の動きについて紹介する。

四国は全国の中で比較すると平均的には温暖な地域であるものの、山間部では雪も降り、凍結抑制剤の散布もある。瀬戸内海、太平洋に囲まれ海岸付近は塩害が深刻であり、地勢的に ASR による劣化の事例もある。

愛媛、香川、徳島県においては、かつては河川砂利、海砂をコンクリート用骨材として使用してきたが、現在は瀬戸内海側の河川砂利、海砂の採取は禁止されている。砂利、海砂に代わる代替の骨材として、地元の砕石・砕砂が主となるものの、四国山地や讃岐山脈を形成する和泉砂岩（中央構造線）は、一般に収縮も大きいことや、骨材形状が扁平で角ばるためコンクリートの流動性を上げる目的で単位水量を増加する機会が多く、結果としてコンクリートの乾燥収縮量が大きくなることが報告されている²⁾。また、高知県では現地で産出される石灰石骨材の使用が主流であり、太平洋側の海砂は現在も利用されている。一般に石灰石骨材は微粉量が大きい材料分離抵抗性は高い。

瀬戸内海側の地域において、川砂利・海砂の採取禁止によって、砕石・砕砂のコンクリートへの切り替えにより、骨材形状が角張ること、粒径がばらついていること、単位水量が大きくなること、などの理由でブリーディング量が大きくなることが問題と認識されているため、ブリーディングの抑制対策が検討されてきた³⁾。四国では複数種類の骨材のブレンド、石灰石微粉末の添加、フライアッシュの添加（細骨材補充混和材）等の方法および、それらの併用が提案されており、フライアッシュを添加した配合のコンクリートを出荷する工場が多い。一部のレディーミクストコンクリート工場では、このような四国内の骨材の代わりに四国外の骨材も使用しており、例えば大分県の石灰石や佐賀県沖の海砂等を全量もしくは一部代替として使用している工場があり、地域によっては隣り合うレディーミクストコンクリート工場であっても使用している骨材の産地や種類が全く異なり、フレッシュ性状、ブリーディング性状、強度発現性状が異なる事例が見られる。

したがって、四国内の生コンクリートの特徴として、県や地域が異なると骨材事情が大きく異なり、場合によっては地域内であっても骨材が異なり、フレッシュ性状も大きく異なることが挙げられる。さらに、コンクリートの品質を表す指標は、水セメント比とスランプの値のみが着目される場合が多いため、岩種の違いによるブリーディング性状、分離抵抗性、ポンプ圧送性等の違いがあることが広く認識されておらず、それらがコンクリート構造物の表層品質に悪影響を与えることは残念ながら認知されていない。

2.5.2 四国における産業副産物の産出状況とコンクリートへの対応

四国においては、徳島県橘湾（四国電力、電源開発）および愛媛県西条市（四国電力、住友共同電力）の2つの拠点において、石炭火力発電所が存在しフライアッシュを産出している。図 2.5.1 に位置を示す。四国電力西条発電所では、日本で唯一 JIS A6201「コンクリート用フライアッシュ」に規定されるフライアッシュ I 種（以下、I 種灰）を製造することができ、それ以外には II 種灰、および IV 種灰が製造され、セメント代替もしくは細骨材補充混和材（細骨材代替、細骨材置換とも呼ばれる）として使用されている。住友共同電力では、加熱改質フライアッシュ（CfFA）として出荷している。

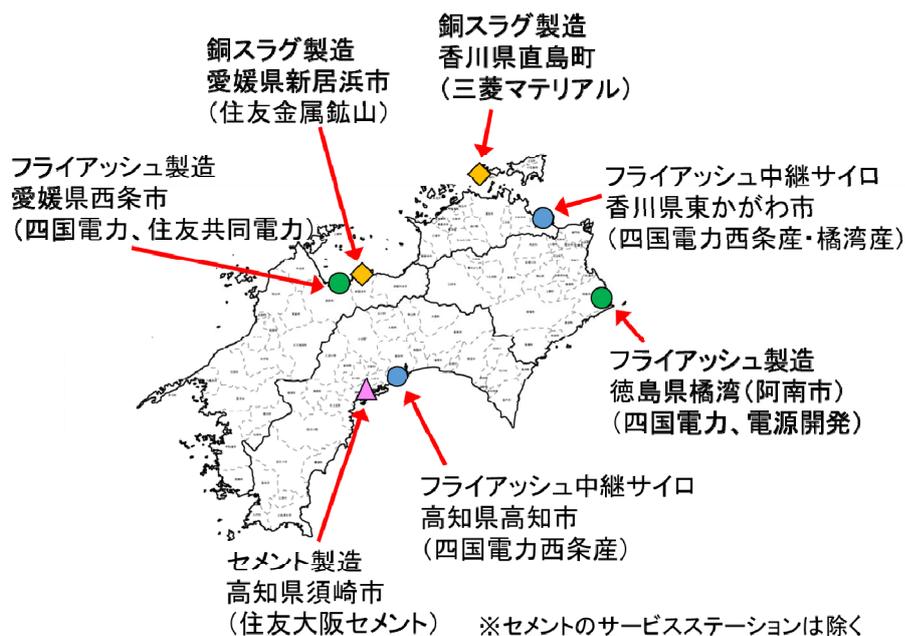


図 2.5.1 四国における産業副産物等の産出地

四国内のセメントや細骨材の代替を目的としたレディーミクストコンクリート向けのフライアッシュの販売においてはフライアッシュ単体での出荷が主であり、フライアッシュセメントとしてのお荷は行われていない。各発電所からの直接供給の他、四国電力では香川県東かがわ市に1拠点（橋湾発電所・西条発電所産）、高知県高知市に1拠点（西条発電所産）のフライアッシュ中継サイロを設けており、周辺のレディーミクストコンクリート工場へのお荷が行われている。高知県内では発注者との協議でセメント内割配合（水セメント比の計算においてフライアッシュも結合材として換算し、水セメント比 W/C を水結合材比 W/B として読み替えること）が用いられているが、それ以外の地域ではその読替えは行われていない。よって多くの地域では、セメント量を確保した上で、フレッシュ性状改善等を目的としてフライアッシュの添加が行われているのも四国ならではの特徴である。

また、香川県の直島（三菱マテリアル）、愛媛県の新居浜市（住友金属鉱山）に銅精錬工場があり、銅スラグが産出されている（図 2.5.1）。銅スラグの有効利用のひとつとしてコンクリート細骨材への利用が検討されており、ブリーディングの抑制を目的とした $CuS2.5$ 等がお荷されている。現状では重量コンクリートへの利用が大半であるが、高い弾性係数等の効果により骨材の乾燥収縮を抑制するという結果が報告されており⁴⁾、利用拡大が検討されている。また、さらなるブリーディングの抑制等のために、銅スラグ細骨材とフライアッシュとの併用も検討されている。2018-2019 年度には、日本コンクリート工学会（JCI）四国支部においてコンクリートの品質向上を目指した CUS 利用普及のための技術研究委員会（委員長：橋本親典徳島大学教授）が活動を行った。

2.5.3 トンネルをきっかけとした産官学連携

四国地方整備局では、これまでのトンネル工事において竣工後のひび割れ等による不具合を経験しており、それを改善するための各種の施工方法に関する通達を出していた。これにより、2016年2月より香川県と徳島県とを結ぶ（仮称）新猪ノ鼻トンネル（ $L=4187m$ ）の香川県側の香川工区（ $L=2803m$ ）の建設では、目地部を除く覆工コンクリートのひび割れについての長期保証が設定されることになった。香川工区の施工を受

注した佐藤工業（株）は、技術提案により各種の打込工法や養生方法を実施するとともに、さらに技術提案以外の取組みとして、独自に東北地整のトンネルの品質確保の手引き（案）⁹⁾等を参考に、施工状況把握チェックシート、表層目視評価を取り入れることを検討していた。

四国内で、大型構造物を対象としてこれらのチェックシートを利活用して品質確保を実践する例は初の試みであったため、個別の受発注者間で閉じるのではなく産官学が情報共有することが必要と考へて、産官学の会議の場を持つことを学側から提案し、2016年12月に第1回会合を開くこととなった。会議メンバーとして産からは工事を受注した佐藤工業、官からは国土交通省四国地方整備局の本局道路工事課、四国技術事務所、当該トンネルの発注を担当する香川河川国道事務所の三者、学は香川高等専門学校、香川大学、徳島大学が選出された。後にメンバーは、各種検討業務に関わったコンサルタント、フライアッシュの試行工事で携わったコンクリート製造会社、施工会社等へ拡充した。

この産官学会議では単なるトンネル施工の現場における受発注者間の協議だけでなく、四国内のコンクリート構造物の品質確保の取組みを水平展開するための知見を得ることも目的と設定した。当初はトンネルのみをテーマとし、その後フライアッシュの利活用の検討、橋梁構造物への展開へと繋がり、開催頻度は減らして現在も継続している。

新猪ノ鼻トンネルでは2017年3月から覆工コンクリートの打込みが始まり、2019年9月で覆工コンクリートの施工が完了した。産官学会議は不定期であるが、開始当初は年4回程度室内の会合を行いながら、現場においてもチェックシートの運用、打込みの立ち会い、振返りなどにメンバーが積極的に関与した^{6),7),8)}。およそ2年間にわたる覆工コンクリートの打込区間の中間地点においてレディーミクストコンクリートの供給会社の変更が当初から計画されており、使用されている骨材の岩種が砂岩から安山岩へと変更されることが予め判明していた。産官学会議において、実構造物で特に同じ環境条件下で異なる岩種のコンクリートに対する収縮のモニタリングができればコンクリート工学上有用なデータとなることから、学側からこの計測を強く提案し、了承が得られた。コンクリートの供給会社の変更を跨ぐ近接した2つの施工ブロックにおいて、覆工コンクリートの側壁部内に変位計を埋設し、収缩量および温度をモニタリングすることとなった。2018年5月にモニタリングを開始し、現時点（2020年4月）で覆工コンクリートの施工が終了し舗装工事へと引き継がれているが、現在も発注者、工事関係者の協力の下で学が中心となりモニタリングを継続している。

このトンネル建設現場において、施工者によるタブレットを用いたチェックシートが導入され、さらには、産官学でチェックシートの内容をリアルタイムでオンライン共有される仕組みも提案・導入される等、具体的な取組みが実施されている⁹⁾。タブレット化とオンライン化は、それ以前から橋梁点検や品質確保の取組みでも実績のある井林康長岡高専教授の技術を採用した。さらに施工会社の現場事務所から、東北地整のトンネルの品質確保の手引きで検討の中心となっていた打重ね部のコンクリートの縁切りについて精度を高める方法が検討され、最終的にはこの現場を通じて縁切り塗布材の開発が行われた¹⁰⁾。これは、ひとつの民間会社の取組みであるが、この産官学の取組みで品質の高い緻密なコンクリートを施工できるようになった中で、産官学それぞれのプレイヤーがさらに上を目指すにはどうするかという自身への問いの中から設定されたものであると聞いており、東北地整の復興道路の建設の取組みの中で見られたような、コンクリートの品質を中心として議論する場の重要性を表す事例と思われる。

オンラインでのチェックシートの結果の共有などは、実際には情報共有に留まり、リアルタムでの技術アドバイス等の実施には至らなかったが、四国のような技術者が少ない条件下でどのように品質を確保していくかの模索は今後とも続けていきたい。なお、これらの産官学を巻き込んだ品質確保の取組みについて三者

共著での論文^{8),11)}も複数投稿している。

2.5.4 四国版トンネルの品質確保の手引き（案）の作成

国土交通省四国地方整備局四国技術事務所では、2017年度には四国のトンネルの実態調査を、2018年度には、四国版のトンネルの品質確保の手引きに関して、この発刊について検討するコンサルタント業務を発注した。その一連の取組みの中で、これまでの四国の NATM 工法の事例をまとめ、新猪ノ鼻トンネルでの品質確保の取組みのヒアリングも含めた形で、産官学の情報交換も行いながら取りまとめられた。その後1年間の検証を経て2020年3月に発刊され四国技術事務所ホームページに掲載された¹²⁾。

四国版トンネルの品質確保の手引き（案）は、先行する東北地整版のトンネルの品質確保の手引き（案）⁹⁾を大きく参考にし、四国地方の環境条件および材料条件等を盛り込んだものである。検討にあたっては、2019年1月には東北地整版の手引き（案）作成にも深く携わった佐藤和徳日本大学教授（当時）、井林康長岡高専教授も加わっていただき意見交換会も実施した。

四国では徳島大学、愛媛大学が独自に透気試験法を開発していることから、後発の手引きという利点も生かし、現時点において日本国内全般でコンクリートの品質確保による効果の評価に使われる透気試験、透水・吸水試験の内容の紹介を巻末資料に収録したのも特徴である。これらの手法はまだ施工者や発注者が装置を入手して容易に適用性の検討を行えるものではないが、非破壊試験の利点や欠点を情報共有しつつ、各地域において産官学で意見交換をしながら実施していくことが望ましい。今後、この四国版トンネルの品質確保の手引き（案）の周知を四国内外で図っていくことを予定している。

2.5.5 フライアッシュの利活用の検討

四国では、古くからフライアッシュのコンクリートへの活用のための研究の取組みが盛んであり、各種報告書^{13),14)}がとりまとめられてきた。土木学会四国支部ではフライアッシュに関する委員会を組織し、2016年3月に「四国版フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針」を発刊した¹⁵⁾。この指針の骨子は、普通ポルトランドセメントに対して、圧縮強度が担保された場合には水セメント比 W/C を水結合材比 W/B に読み替えられるとしたことである。実構造において要求される圧縮強度を担保するためには、フライアッシュの強度発現が遅いなどのデメリットを克服する必要がある。置換率を適切な値に抑えておくことや、湿潤養生期間を十分に確保することで対応可能である。これらの対応を仕様で縛るのではなく性能で規定しているのが本指針の特色といえる。

国土交通省四国地方整備局四国技術事務所では2018年度にフライアッシュの利活用に関する検討業務において、これまでの四国の状況を改めて調査し、今後四国のフライアッシュの利用がどうあるべきかについて検討を行った。前述の産官学会議等でも意見交換も行った。また、2018年度には、産官学会議における提案で国道拡幅工事に伴う無筋コンクリート擁壁工事を対象にフライアッシュを利用したコンクリートの試行工事を行い、施工性を検討するとともに、W/C を W/B に読み替えた際の適切な養生方法の検討を行った。型枠存置期間、その後のシートや散水による養生方法をパラメーターにして実構造物で検討を行っている¹¹⁾。

フライアッシュに関して W/C を W/B に読み替えることについては現在四国地方整備局内で継続して審議が行われている。今後の四国のコンクリートの品質確保を考えた際には、四国内の多様な骨材事情を踏まえる必要がある。材料面でコンクリートの品質確保を行うためには適切なフレッシュ性状をコンクリートにもたせることが必要であり、特にブリーディング抑制、材料分離抵抗性の確保が重要である。しかし、それらを達成する手段はフライアッシュの利用に限定されない。フレッシュ性状は、使用する骨材の粒度や形状に

も影響を受け、例えば石灰石を使用する場合は粉体量が確保できるため必ずしもフライアッシュを使用する必要はない。材料の変更が難しい島しょ部などでは、骨材の種類を変更しなくとも細骨材率を変更することで大きく性状が改善できる場合もありうる。さらに、化学混和剤での対応もありうる。つまり、手段（使用材料）を限定せず、多彩な方法で対応できる本質的な対応を可能とするシステムを整備する必要がある。例えばブリーディング量が抑制できる等、導入することでインセンティブが得られるといった、適切なフレッシュ性状の確保が浸透するような施策が求められており、四国地方整備局だけでなく県市町村への普及、施工者への教育、等広い観点で今後も継続して検討・実践が必要である。

2.5.6 四国での品質確保の取組みの経緯と試行工事への参画

本土木学会 350 委員会の活動が開始した 2014 年当初は、四国全体としての品質確保の取組みの動きはなく、各地で興味をもった個人や団体レベルで個別に対応していた。高知県内では、高知県コンクリート診断士会¹⁶⁾が精力的な活動を行っており、広く聴衆を集めたコンクリート技術研修会を毎年開催している。2012 年の第 3 回コンクリート技術研修会では田村隆弘徳山高専教授（当時）を招いて山口県でのマスコンクリートのひび割れ抑制対策について講演を行い、それをきっかけに、いわゆる山口方式の品質確保システムについて勉強がスタートしている。翌年以降も、当技術研修会において講演テーマのひとつとして品質確保に係る講演者を招致し続けている。2017 年には、高知県内からは高知県コンクリート診断士会、施工技士会や県庁職員等を含む 33 名の視察団がバスで山口県を訪問し、意見交換と施工された構造物群の現場視察を行った。その成果を元に、高知県内でも施工技士会を中心とした施工者によるチェックシートを活用した品質確保の実践を試行し、山口県から講師を招いて高知県内で実施した現場での取組み成果を確認している。香川県内においても単発の講習会等は細々と開催されていたが、四国全体としての動きとはなっておらず、四国内で草の根活動で行われている情報共有のために四国内の動きを集約するホームページが開設された¹⁷⁾。

そのような中、2018 年度より JCI 四国支部において、四国における新設コンクリート構造物の品質確保の実践に関する研究委員会（委員長：林和彦香川高専准教授、幹事長：岡崎慎一郎香川大学准教授）を立ち上げ、2 年間の活動の中で、四国で行われている品質確保の事例のとりまとめ、現場での実践、今後の四国内で水平展開するための方策が議論された。メンバーには、敢えて色々な業種が入るようにし、骨材製造、コンクリート製造、コンサルタント、建設会社（全国、地元）、舗装会社、発注者（国、県、町）、大学・高専・工業高校、など多彩な顔ぶれとなるようにした。

国土交通省からの通達によるチェックシートを利活用した品質確保の試行工事が 2017 年度から全国で実施されており、四国地方整備局においても、前述の産官学会議や JCI 四国支部品質確保委員会が関与しながら、その現場での試行を活用して、その現場の支援や、それを通じて今後の品質確保の水平展開の課題を模索することとした。2019 年度には徳島県内の橋梁下部工工事、高知県内の橋梁下部工工事をそれぞれ対象とし産官学で積極的に関与した。特に高知県内の施工現場では、事前打合せの実施、当日の施工状況把握チェックシートの運用、その振返り研修、表層目視評価、その振返り研修、非破壊試験による表層品質の測定、をパッケージで実施した。JCI 四国支部品質確保委員会のメンバーにも積極的に参加を呼びかけ、その現場の受発注者以外の民間技術者や別機関の発注者が関わったことで、双方で学ぶことができた。表 2.5.1 に実施した内容を示す。今後当委員会では、報告書を取りまとめ、四国内で講習会を実施して水平展開を図る予定である。単なる委員会報告会に留まらず、現場の施工方法に特化した講習会、各種手引きの講習会も兼ねることも視野に入れている。

表 2.5.1 高知県の橋梁下部工の試行工事へ関わり

日程	実施内容	参加者数
2019年7月 31日	フーチング施工状況把握, 振返り 研修	6名
2019年8月 28日	表層目視評価, 表層品質非破壊試 験	7名+学生 (3校)
2019年9月 10日	柱第2リフト施工状況把握, 振返 り研修	5名+学生 (1校)
2019年9月 26日	表層目視評価, 表層品質非破壊試 験	5名+学生 (3校)

2.5.7 四国における品質確保の今後の方向性

以上に示してきたように、少しずつ品質確保に関する取組みが実を結びつつある。大きな建設プロジェクトでの試行などへ繋がっていないため、波及する効果は小さいものの、関与する人の数が確実に増えている。品質確保を推進する上では、それに関わる人を育てることが一番大切であることは本350委員会の既往の事例で明らかになっており、四国でも前述のJCI四国支部品質確保委員会報告会をきっかけに、四国4県への普及活動を行う予定である。その際には、発注者、材料供給、コンサルタント、地場の建設会社、等々それぞれに訴求する内容を工夫する予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会（229委員会）成果報告書、コンクリート技術シリーズNo.114, pp.153-157, 2017年7月
- 2) 坂田昇, 前川宏一, 新藤竹文：コンクリート施工の問題点とそれらを解決する施工性能評価システムの提案, 橋梁と基礎, Vol.39, No.9, pp.41-46, 2005.10
- 3) 四国コンクリート研究会：四国の骨材資源に関する研究委員会報告書, 2002.3
- 4) 山田悠二, 橋本親典, 渡辺健：非鉄スラグ細骨材の混合による砕石・砕砂コンクリートの施工性能および乾燥収縮特性の改善に関する研究, 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol.74, No.4, pp.234-246, 2018
- 5) 森浜哲志, 喜多則勝, 宇野洋志城, 林和彦：四国地方におけるトンネル覆工コンクリート表層品質評価の試み, 平成30年度土木学会全国大会第73回年次学術講演会, VI-107, pp.213-214, 2018年8月
- 6) 国土交通省東北地方整備局：コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(トンネル覆工コンクリート編), 平成28年5月, 2016.5
<http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/tonnelfukoukonkurito.pdf> (最終アクセス確認日：2020.7.3)
- 7) 森浜哲志, 喜多則勝, 宇野洋志城, 林和彦：トンネル覆工コンクリート表層品質評価を現場導入した効果, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-102, 2019年9月
- 8) 高石地晴, 林和彦, 長谷川雄基, 岡崎慎一郎, 宇野洋志城, 阿部浩之：トンネル覆工コンクリートの養生効果の評価法に関する検討, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, V-224, 2019年9月
- 9) 茨木泰介, 井林康, 森浜哲志, 宇野洋志城：タブレット端末を用いたトンネル覆工コンクリートの表層品質の確保を目的としたシステムの開発と傾向の分析, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-83, 2019年9月
- 10) 豆田憲章, 合歡垣誠司, 宇野洋志城, 阿部浩之：覆工コンクリート打継面への塗布型縁切材の適用効果

に関する考察，令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会，VI-111，2019 年 9 月

11) 宇佐美太朗，林和彦，岡崎慎一郎，石原伸彦，菅原孝行：フライアッシュコンクリートの養生条件が表層品質に与える影響，令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会，V-09，2019 年 9 月

12) 四国地方整備局四国技術事務所：令和元年度 トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案），令和 2 年 3 月，2020.3

<http://www.skr.mlit.go.jp/yongi/duties/information/information-f.html> （最終アクセス確認日：2020.7.3）

13) 土木学会四国支部：フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針（案），2003.3

14) 日本コンクリート工学会四国支部：フライアッシュコンクリートの耐久性評価研究委員会報告書，2013.3

15) 土木学会四国支部：四国版 フライアッシュを結合材として用いたコンクリートの配合設計・施工指針，2016.3

16) 高知県コンクリート診断士会ホームページ：

<https://www.kochi-kcd.com/> （最終アクセス確認日：2020.7.3）

17) 四国におけるコンクリートの品質・耐久性確保ホームページ：

<https://sites.google.com/site/shikokuconcrete/> （最終アクセス確認日：2020.7.3）

（執筆者：林 和彦）

2.6 近畿地整における品質確保の試行工事の状況

2.6.1 試行工事の概要

国土交通省大臣官房技術調査課より平成29年度から令和元年度にかけて全国の各地方整備局に対して、コンクリートの品質向上に向けた試行現場の選定について依頼がなされ、コンクリート施工状況把握チェックシートと表層目視評価シートを用いた試行工事が実施された。近畿地方整備局において試行工事を担当した発注事務所の建設監督官と施工業者の現場代理人に対して試行工事に対するヒアリングを実施し、今後の課題等をまとめた。

近畿地方整備局では、平成29年度から令和元年にかけて橋梁下部工事4件、トンネル工事3件の計7件の試行工事が実施された。そのうち、3件の工事についてヒアリングを実施した。試行現場の一覧を表2.6.1に示す。

表 2.6.1 試行現場の一覧

年度	工種	発注事務所	工事名	工期	ヒアリング*
H29	橋梁下部	滋賀国道	小松拡幅北小松地区 P20 橋脚工事	H29.3.28～H30.1.24	事例 1
	橋梁下部	奈良国道	大和御所道路東坊城地区 B ランプ 橋 P4・P5 工事	H29.3.23～H29.12.22	
	トンネル	福井河川国道	冠山峠道路第1号トンネル工事	H28.1.28～H30.3.30	事例 2
H30	橋梁下部	京都国道	寺田拡幅寺田跨線橋下部他工事	H30.9.14～H31.3.29	事例 3
	トンネル	豊岡河川国道	日高豊岡南道路上石トンネル工事	H28.8.27～H31.2.28	
R1	橋梁下部	豊岡河川国道	豊岡道路細見川橋下部工事	H31.4.1～R1.12.26	
	トンネル	福井河川国道	冠山峠道路第2号トンネル工事	H29.11.18～R3.2.28	

2.6.2 コンクリート施工状況把握チェックシートに対するヒアリング結果

表 2.6.1 に示す 3 件の試行工事に対するヒアリング結果を示す。事例 1（滋賀国道事務所）の橋梁下部工事において、監督官から 1 リフト目での改善事項が次のリフトに対応される等の改善が見られたとの意見があった。また、事例 3（京都国道事務所）の橋梁下部工事において、監督官から一定の経験を積んでいる施工業者であれば、チェックシートの有無による品質の違いは明確には生じにくいだが、監督官が立会することにより、施工業者と協議する機会が増え、例えば、バイブレータの挿入時間については、チェックシートの項目には無いものの、施工業者と協議の上、挿入時間を管理する等の改善活動を実施することが出来たとの報告があった。

事例 1 の橋梁下部工事において、施工業者からチェックシートの対応状況を監督官に分かるように示すことで、作業員にとっても理解が進むなど有益であったとの意見があったが、一方で、事例 3 の橋梁下部工事において、施工業者から施工期間が短い場合に監督官の立会の日程調整のために、工事の進捗に影響を及ぼしたこともあり、受注者側として負担が大きいという意見があった。

事例 2（福井河川国道事務所）のトンネル工事において、監督官から施工業者にセントル剥離剤の種類や塗布方法について聞き取ることが出来たことや、覆工コンクリートのブリーディング水の排出方法、気泡の排出方法について確認することが出来たとの意見があった。とくに、気温変化が激しくなる坑口付近や中間点、非常駐車帯等は確認する必要があるとの意見があった。

事例 2 のトンネル工事において、施工業者から覆工コンクリートの仕上がりに対して監督官に確認いただくことにより、施工方法を具体的に理解して頂けた。また、施工業者も意識が向上するため、施工管理の頻度、内容見直し等を行うことで品質向上に効果が生じる可能性があるとの意見があった。

2.6.3 表層目視評価シートに対するヒアリング結果

表 2.6.1 に示す 3 件の試行工事に対するヒアリング結果を示す。事例 1 と事例 3 の橋梁下部工事において、

表面気泡について監督官が2と判定したケースと350委員会委員が2.5又は3と評価したケースがあり評価にばらつきが生じた。350委員会委員は打設ロットの表層全体の状態から判断しているが、一方、監督官は表面気泡が局所的に生じている箇所に対して、評価シートの写真を参考に判断している場合があり、判断に差が生じたものと考えられる。(図2.6.1～図2.6.3参照) 監督官から評価のばらつきが生じないようにするための教材を提供してほしいとの意見があった。

事例1の橋梁下部工事において、施工業者からは目視評価シートは用いなかったものの、良い評価点を取得できるように品質向上に向けた改善点について作業員とのコミュニケーションを密に取るように心掛けたとの意見があった。

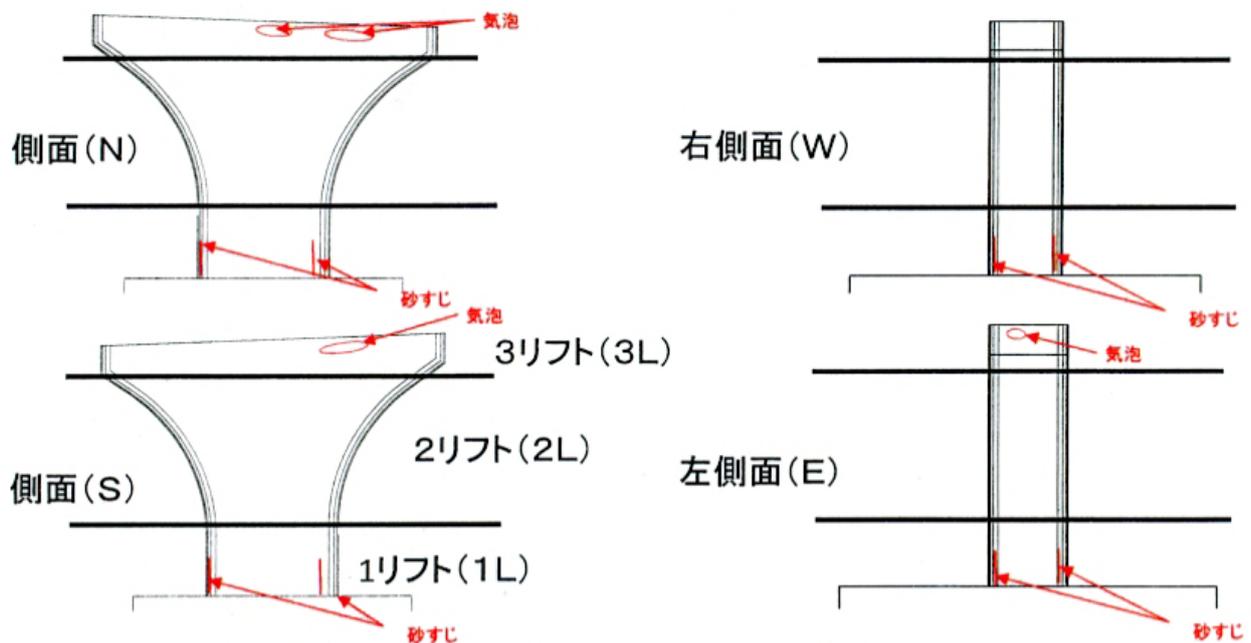


図 2.6.1 監督官による目視評価判定箇所 (事例1)



図 2.6.2 表面気泡判定値2の判定箇所 (事例3)



図 2.6.3 表面気泡箇所の拡大 (事例3)

事例2のトンネル工事において、監督官から従来は全体の見栄えや出来形のみを確認していたため、打設

のチェックや表層の状態を確認することはしていなかった。今回の試行工事では剥離剤の塗布状況による覆工コンクリートの表層に及ぼす影響やバイブレータのかけ方による表面気泡の状態、セントル間の目地状態等を目視確認することにより、施工に関する分析を行うことが出来た。このことにより、次回打設への改善が認められたとの意見があった。また、色むら・打ち重ね線の評価について、脱型直後の色むらは判断しにくいいため脱型後3～4週間程度経過してから評価を行った方が良いとの意見があった。さらに、気温変化が激しくなる坑口付近や中間点、非常駐車帯等は確認する必要があるとの意見があった。厳冬期の覆工コンクリートの養生について、十分な積算温度を確保することにより色むら等の改善に繋がることについて施工業者と議論することが出来た。この点について、施工業者は工期に余裕がなく、年間を通して打設から脱型まで1日程度で工程が組まれており、厳冬期には打設から脱型までの時間を延長することにより品質の向上に繋がると考えられ、全体の工期に反映すべき課題であるとの意見があった。

事例2のトンネル工事において、施工業者から施工初期の段階から監督官の目視評価を得られるため、出来栄の良いコンクリートを打設することへの意識向上に繋がった。また、覆工コンクリートが評価項目に挙がることにより、セントル表面加工段階において、セラミックやFRP等の新材料を採用することが可能となったが、一方でセントル表面の高水準の加工が標準化することにより、施工業者の費用負担が増える可能性があるとのご意見があった。また、昔はケレン作業、剥離剤塗布作業をセントルの窓から人力で行っていたため、ムラが生じるとともにケレンが十分に出来ない箇所があったが、現在は自動ケレン装置、自動剥離剤塗布装置等を導入すること、ならびにセントルの製作時点から社内のマニュアルやチェックリストに従って計画していること、さらに、覆工コンクリート施工前に本社、支店を交えて現地確認を行い、施工上のトラブルを未然に防止すること等の対策が実施されていた。昨今、トンネル覆工に従事する技術者や作業員が不足しつつあるなかで、経験の浅い技術者や作業員が担当する場合には、本試行工事のシステムは教育効果が高いと思われるとの意見があった。

2.6.4 今後の課題

今回、ヒアリングを実施した現場では、事例3の工事の監督官が26件の工事を同時に監督しており、現場の立会のスケジュール調整に苦労されていた。国土交通省の橋梁下部工事では、地元業者へ工事発注される場合が多く、連続高架橋であっても事例1のように橋脚や橋台1基のみで発注されている事例があった。そのため、工事の件数が増加し、監督官一人当たりの工事件数が増加する傾向にあると考えられる。コンクリート施工状況把握チェックシートや表層目視評価シートを導入した最大の目的は、監督官と施工業者がコンクリートの品質向上に向けて議論を行う環境を構築することである。しかしながら、現状では監督官が多忙のため、現場の立会が十分に行えない懸念がある。発注事務所では監督官の業務を低減させるために現場技術員を採用しているが、監督職員や現場技術員をさらに増員すること、監督業務の一部を現場技術員に任せるなどの工夫が必要であると考えられる。

表層目視評価シートによる評価について、監督官と350委員会委員の評価にばらつきが生じた事例があった。本来、表層目視評価シートは検査精度を向上させるために導入したものではないため、評価精度の向上をあまり意識する必要はないが、監督官より評価のばらつきを無くすために教材の提供を求められた。これについては、監督官や施工業者に品質・耐久性確保チャンネルのWeb教材の視聴を案内することが必要である。また、評価する上でのポイントとして、評価対象の打設ロットに対して、局所的に評価せずに全体を評価すること。評価点として2点をつける場合には、次回以降への改善を期待する等の運用上のルールを監督官と施工業者で事前に確認しておくことが望ましいと考えられる。

(執筆者：三方 康弘)

2.7 沖縄におけるコンクリート構造物の耐久性向上に向けた取組み

2.7.1 沖縄における取組みの概要

沖縄県は、高温多湿の亜熱帯圏に属し、四方を海に囲まれた島嶼県であるため、県全域が過酷な塩害環境にある。また、コンクリート骨材である海砂にアルカリシリカ反応（以下、ASR と称す）を発生させる有害鉱物が確認され、高濃度の飛来塩分が浸透した離島架橋などで ASR の進行が確認されている。そのため、沖縄県土木建築部では、塩害および ASR の抑制効果に加え、温度応力を抑制することを目的にフライアッシュコンクリート（以下、FAC と称する）の利用を検討して「沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針¹⁾」（以下、FAC 指針と称す）を平成 29 年 3 月に策定（平成 30 年 5 月一部改訂）し、材料面から耐久性向上を図っている。また、平成 29 年度に沖縄総合事務局南部国道事務所管内の北丘高架橋下部工において、平成 30～令和元年度には沖縄県中部土木事務所管内の県道 20 号線（泡瀬工区）橋梁下部工工事（以下、泡瀬連絡橋と称す）においてコンクリート表層品質確保の試行を行い、施工面から耐久性向上を図っている。

ここでは、FAC 指針の紹介および品質確保試行工事について報告する。

2.7.2 FAC 指針の概要

(1) FAC 指針策定の目的

沖縄県は、宮古島と伊良部島を結ぶ伊良部大橋（2015 年 1 月 31 日供用開始）の建設にあたり、コンクリート材料の観点から 100 年耐久性を目指すことを検討し、県内橋梁初の試みとして FAC を採用した。

この実績を受けて、県内の重要構造物において FAC の利用促進が図られてきたが、沖縄県には FAC に関する指針やマニュアル等がなかったため、各現場において、その都度、専門家の意見や助言を受け、FAC の検討および採用が決定されていた。そのため、沖縄県土木建築部では、FAC の配合方法や施工に関する標準的な考え方を示し、副産物の有効利用による環境負荷低減を図るとともに、コンクリート構造物の耐久性向上や長寿命化を図ることを目指して FAC 指針を策定した。なお、本 FAC 指針は、沖縄県が各種調査検討を行い、その性状・品質等が確認された県産の分級フライアッシュ（以下、FA と称す）を対象に作成されたものである。

本 FAC 指針は、以下の沖縄県土木建築部技術・建設業課の HP からダウンロードできる。

「沖縄県のコンクリート構造物の耐久性向上に向けた取組み」

<https://www.pref.okinawa.jp/site/doboku/gijiken/kanri/jigyuu/concrete.html>

(2) FAC 指針の構成

FAC 指針は、沖縄県産の FA（JISII 種灰）を図 2.7.1 に示す「内割り＋外割り配合タイプ」、「内割り配合タイプ」、「外割り配合タイプ」の 3 タイプの配合に分類している。

a) 内割り＋外割り配合タイプ

本配合タイプは、FA を内割り 20%、外割りで内割り配合と合わせて 100kg/m^3 以内の量を混和した配合であり、水和熱による温度上昇の抑制、ASR の抑制、耐海水性（塩害を含む）の耐久性向上を目的とした配合である。内割りと外割りを合わせて 100kg/m^3 以内としたのは、FA 総量が 100kg/m^3 を超えると粘性が強くなり、施工性が低下するためである。

この配合は、伊良部大橋下部工に用いられた配合を基本としており、各種検証試験により従来の普通コンクリート（以下、NC と称す）と同等の強度管理（管理材齢 28 日）が可能で、塩害・ASR・温度応力等の耐久性向上効果が認められ、伊良部大橋施工以降の FAC としては、沖縄県内で最も多く用いられている。

配合である。なお、本配合タイプは、水和熱による温度上昇抑制効果を期待しているため、マスコンクリートを対象としている。

b) 内割り配合タイプ

本配合タイプは、FA を内割り 10～20%の範囲で混和した配合であり、主に塩害および ASR の抑制対策を目的とした配合である (ASR の場合は 15～20%)。なお、表 2.7.1 では塩害および ASR 抑制効果がある置換率は 15～30%とされているが、できる限り 28 日強度管理を行うことを目的としているため、20%以下の配合を推奨している。

仮に管理材齢 28 日を満足できない場合には、最大で 91 日まで管理材齢の延長を可能としている。また、JIS フライアッシュセメント B 種を用いる場合もこの配合タイプとなる。なお、本配合は、水和熱による温度上昇の抑制効果を期待していないため、対象部材は、比較的小規模な構造物が望ましいとしている。

c) 外割り配合タイプ

本配合タイプは、伊良部大橋上部工コンクリートに用いられた配合を基本としており、プレキャスト PC 桁や PC セグメント桁等の脱型・吊り上げを早期に行う必要のある構造物で多く用いられている。

この配合は、ASR 発生の可能性が懸念される沖縄県産の海砂³⁾を使用せず、細骨材を石灰岩砕砂 100%とした場合に流動化材として FA を外割りで 3～5%配合するものである。なお、FA 置換率 (3%～5%) の選定は、コンクリート製造工場毎に異なる砕砂の粗粒率 (FM) や粒度分布を考慮して、各工場で配合試験を行い、最適置換率を決定するものである。

d) その他特記事項

◆ 空気量の規定

FAC 指針で取り扱う「内割り+外割り配合タイプ」および「内割り配合タイプ」は空気量を規定せず、「外割り配合タイプ」は $4.5 \pm 1.5\%$ と規定した。これは、FA を多量配合した場合、FA に含まれる未燃炭素が AE 剤を吸着し、安定した空気連行性が得られないため、 $4.5 \pm 1.5\%$ とするには FA 用 AE 剤を使用する必要がある。しかし、FA 用 AE 剤を用いると生コンクリート単価が高騰する事から、凍害がない沖縄県では空気量を規定せずを用いることとしたものである。よって、「内割り+外割り配合タイプ」および「内割り配合タイプ」については、荷卸し地点で空気量の規定はしないが、容積計算上はこれまでの実績に基づき $2.0 \pm 1.5\%$ とした。また、「外割り配合タイプ」については、FA 配合量が少ないため、普通 AE 剤により空気量を調整できることから、荷卸し地点において JIS で一般的に規定されている $4.5 \pm 1.5\%$ とした。

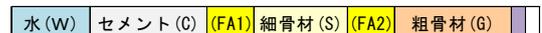
◆ 累加計量

FA の計量は、専用の計量設備を基本とするが、FA の利用促進を図る観点から、専用の計量設備がない

(例) 一般的な普通コンクリート配合 (FA無混和)



内割り+外割り配合タイプ



- ・ FA1 (内割り) : (C) の 20% 質量置換
- ・ FA2 (外割り) : (S) の一部と質量置換
- ・ $F1 + F2 = 100 \text{ kg/m}^3$ 以下

内割り配合タイプ



- ・ FA1 (内割り) : (C) の 10～20% 質量置換

外割り配合タイプ



- ・ FA2 (外割り) : (S) の 3～5% と質量置換
- *) この時の (S) は砕砂のみ

注) C+FA1 : 結合材, S+FA2 : 細骨材

図 2.7.1 3つの配合タイプの概念図

表 2.7.1 フライアッシュの種類と置換率²⁾

種類	I 種	II 種	III 種	IV 種
使用目的				
流動性の向上	10～40%	10～30%	—	—
水和熱による温度上昇の抑制	—	20～30%	20～30%	20～30%
アルカリシリカ反応 (ASR) の抑制	15～40%	15～30%	15～30%	25～30%
耐硫酸塩性の向上	10～40%	10～30%	10～30%	—
耐海水性 (塩害を含む) の向上	10～40%	10～30%	10～30%	—
高流動化	20～40%	20～30%	—	—
高強度化	10～30%	—	—	—

注) 普通ポルトランドセメントの一部をフライアッシュで置換する場合について示したものである

場合や少量利用の計量設備がない場合は、監督職員立ち会いの上において、セメントとの累加計量も可能とした。特に外割り配合タイプでは、砕砂の3～5%程度の置換とFA配合量が少量になるため、計量誤差が生じる可能性が高いことに十分配慮して、累加計量を行っても良いとしている。

◆ 水結合材比，単位量の基本

FACの配合は、コンクリート製造工場の持つFACと同じ呼び強度の標準配合の水結合材比，単位水量を基本とする。

◆ 養生期間の設定

FACの養生期間は、28日を原則とする。やむを得ない場合であっても、コンクリート標準示方書に示される7日間を確保すること⁴⁾。

2.7.3 北丘高架橋下部工の品質確保試行⁵⁾

(1) 北丘高架橋の概要

北丘高架橋は、国道329号南風原バイパスの一部で橋長750m、プレテンT桁+鋼床版箱桁橋+PCコンポ桁橋+PC箱桁橋である。コンクリート表層品質確保の試行工事を行ったDP2およびUP2橋脚は、国場川近傍に位置する内陸部の比較的マイルドな塩害環境に位置している。試行工事は、平成29年7月に出された国土交通省の事務連絡「コンクリートの品質向上に向けた試行要領」を受けて、平成29年度に沖縄総合事務局南部国道事務所が沖縄県内で初めて行ったものである(図2.7.2)。

試行においては、担当監督員の関心が高く、様々な提案を持って現場を指揮し、土木学会350委員会(コンクリート構造物の品質確保小委員会)沖縄メンバーによる現場立ち会いおよび改善点の指摘など指導助言もあり、請負業者・下請作業員も徐々に意欲を見せ、最終打設時(4回目)には作業員から「ここで学んだことって、他の現場でも言っても構わないんですか?」という前向きな質問が来るほどとなった。

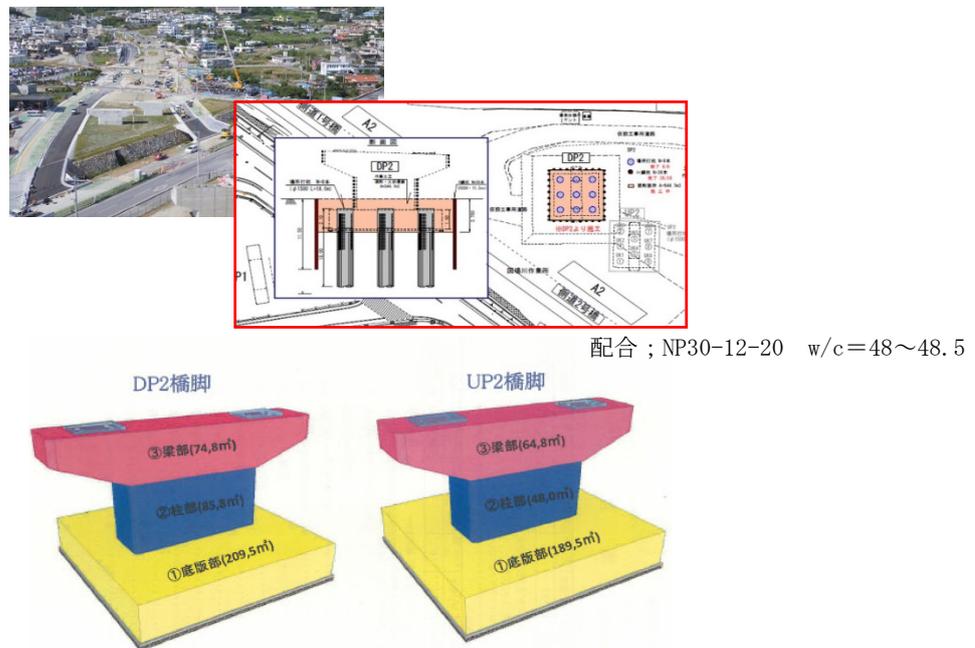


図 2.7.2 北丘高架橋の施工位置およびコンクリート打設箇所

(2) 北丘高架橋試行で講じた取組み

a) 表層目視評価の事前学習（監督員、請負業者、学識者）

当該工事区間近傍の既に完成した橋脚（10基）について、350委員を交えた目視評価の事前学習を行い、山口県で開発された施工状況把握チェックシート⁵⁾の使い方、坂田昇らが提案した「目視調査におけるグレードの一例」⁶⁾の見方等を確認し、理解を深めた（写真2.7.1）。

b) コンクリートバイブレータ締固め能力の把握

バイブレータの締固め能力を確認するため、簡易な試験を行った。参加者は、締固め作業員を含む工事関係者で、半透明なケースに入れた生コンクリートをバイブレータで締固め、バイブレータの振動影響範囲や有効な振動時間、30～50分静置した後の流動性の確認、型枠バイブレータによる型枠沿いの気泡の抜け具合の確認などを行った（写真2.7.2）。

この結果、バイブレータの影響範囲は水平方向には半径30cm程度あるが、垂直方向にはほとんどないこと、50分静置してもバイブレータにより流動性は回復し、締固めが可能であることがわかった。また、型枠バイブレータを用いると、型枠



写真 2.7.1 表層目視事前学習の様子

沿いの気泡が抜け、脱型後の表層品質が上がることを確認でき、これらを作業員に周知したことで、締固め作業の質問や作業の進め方など積極的な対話が生まれた。



工事関係者全体説明



実験手順の確認



締固め作業員も交えた質疑

写真 2.7.2 バイブレータ締固め能力把握のための簡易試験状況

(3) 試行工事の結果

打設は、DP2-1 ロット目、DP2-2 ロット目、UP2-1 ロット目、UP2-2 ロット目の順で行われたが、各々で「準備」、「打設」、「表層評価」、「初期欠陥原因の検討」のPDCAサイクルを4回の打設で回し、表層品質の改善を図ったところ、1回目打設では大きな沈下ひび割れ（写真2.7.3）やノロ漏れが確認されたが、4回目では軽微なノロ漏れや天場付近に気泡がやや多い程度で（写真2.7.4）、均一で良好な表層品質が得られた。

試行工事の結果を受けて、発注者・元請け会社から以下の改善点が報告された。

- ◇ 打設作業に関わる事前準備や指示がよりきめ細かく、具体的になった。
- ◇ 打設作業員の動きや役割分担がしっかりしてきた。「声かけ」が良くなった。

- ◇ 打設作業員（下請専門業者）が、学んだことを他の現場にも伝えていた。
- ◇ 次回の打設作業に向けた改善点が共有出来るようになった。
- ◇ 「不具合が生じた原因と対策」について学識者・専門家からも助言が得られ、勉強になった。
- ◇ 目に見える品質改善効果が現れないことによる作業員のモチベーション低下を懸念し、段取りや締固め作業の「良くなった点」もしっかり評価するようにした。
- ◇ 品質向上対策を進める上で、監督員や元請の技術者のみでなく、実際にコンクリートの打設を行う作業員の関心や理解も重要であるとわかった。
- ◇ 表層品質に留意して打設を行い、表層品質が改善することで成功体験が生まれ、次の打設へのモチベーションが上がるのが最も重要なことであると考えられた。



写真-2.7.3 沈下びびわれ

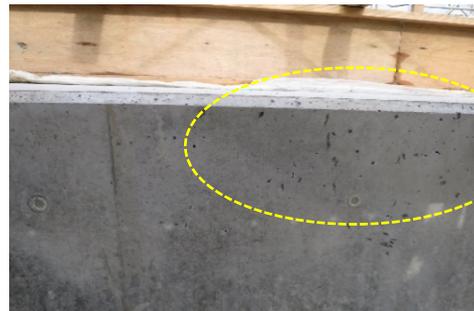


写真-2.7.4 橋脚天端付近の気泡

(4) 試行を受けて得られた「コンクリート打設作業の極意」

試行工事の結果を受けて、現場担当監督員の與儀氏は、以下の言葉を残している。

- イ) 打設作業は、100年に1回だけの作業であり、歴史的な作業である。
- ロ) 失敗が許されない、失敗しないような作業が必要
- ハ) 「失敗しないような作業」とは、細かいところまで注意がゆきわたった丁寧な作業が必要。大ざっぱな感覚だけの作業では、バイブレータの挿入漏れが出るため、ダメ。
- ニ) 張り切り過ぎてやり過ぎるのもダメ。バイブレータを長時間挿入しておくのもダメ。コンクリートが未だ十分に入っていないのに型枠バイブレータで空打ちするのもダメ。打設スピードが速すぎるのもダメ。
- ホ) 少な過ぎず多過ぎず、ちょうどいいぐらいの打設作業が必要。
- ヘ) 結果的に必要なのは、一層毎に、空隙をなくすように十分に沈下させる丁寧な打設作業。

2.7.4 泡瀬連絡橋の品質確保試行^{7), 8)}

品質確保試行^{7), 8)}

(1) 泡瀬連絡橋の概要

泡瀬連絡橋は、中城湾港泡瀬地区開発事業で整備する人工島と沖縄本島東海岸を結ぶ橋長 810m の海上橋である（写真



写真 2.7.5 泡瀬連絡橋の全景



2.7.5, 図 2.7.3). なお、

本現場海域には、環境省 RD 絶滅危惧I類のクビレミドロ（海藻）や同絶滅危惧IA 類トカゲハゼ（魚類）が生息するため、4～7月の間海中での工事を行わない。また、浮遊物質量 SS=11.0mg/L を水質監視基準にする

など、環境に配慮した現場である。

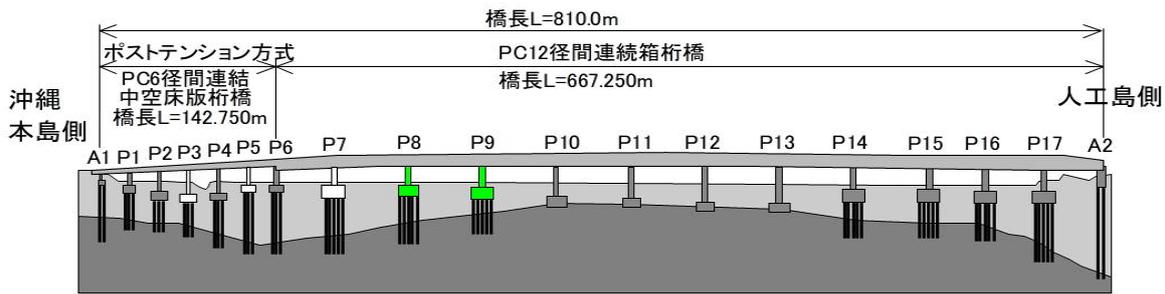


図 2.7.3 泡瀬連絡橋の側面図

表-2.7.2 泡瀬連絡橋下部工に用いた FAC の配合 (1 工場を例にとって示す)

配合	設計基準強度 (N/mm ²)	目標 スランプ (cm)	骨材 最大寸法 (mm)	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
						セメント C	フライ アッシュ F1	水 W	細骨材			粗骨材	
									海砂	砕砂	フライアッシュ F2	2005	4020
下部工 30FAC	30	12	20	48.0	47.7	256	69	166	522	348	21	980	—

(2) 泡瀬連絡橋の耐久性向上対策

本橋下部工の耐久性向上対策は、柱部にかぶり 90mm の確保とエポキシ樹脂塗装鉄筋を用い、コンクリートを FAC (設計基準強度 30N/mm², スランプ 12 cm, 最大骨材寸法 20mm) としている。FAC の代表的な配合は表-2.7.2 に示すとおり、FA を内割りで 69kg/m³ (20%), 外割りで 21kg/m³ (内割りと合計で 90kg/m³) 配合している。この配合は前述の FAC 指針に示す内割り+外割り配合タイプであり、FAC 指針の考え方で配合している。ここで、代表的としたのは、同現場には 8 社の生コンクリート工場が出荷しており、ベースとなる NC の各単位量が工場毎に異なるため、代表的な 1 社の配合を示している。また、FAC の採用に加え表層品質確保の試行工事を行うことにより、材料面と施工面から耐久性の確保を行うこととしている。

(3) 品質確保試行工事

泡瀬連絡橋下部工の品質確保試行工事は、平成 30 年度に 7 基 (P1, P10, P11, P12, P13, P14, P17)、令和元年度に 2 基 (P8, P9) 行われている。泡瀬連絡橋下部工の断面は、図-2.7.4 に示すとおり P1~P6 が壁式、P7~P17 が 2 柱式である。打設回数は、1 柱式がフーチング、柱部 1 ロット目、柱部 2 ロット目の 3 回、2 柱式の P10, P11, P12, P13, P14, P17 がフーチング、暫定側柱部 1 ロット目、暫定側柱部 2 ロット目、完成側柱部 1 ロット目、完成側柱部 2 ロット目の 5 回、2 柱式の P8, P9 がフーチング、暫定側柱部、完成側柱部の 3 回である。

試行工事に用いた施工状況把握チェックシートは、山口県で開発されたものを基に発注者が現場で感じた必要事項や FAC に関する注意事項を FAC 指針から抽出し、表 2.7.3 に示す項目を追加した。なお、項目の追加は、H30 年度試行工事と R1 年度試行工事で順次行った。また、目視評価は、坂田昇らが提案した「目視調査におけるグレードの一例」に温度応力ひび割れの項目を加えた。

試行工事により得られた表層品質確認結果を表 2.7.4 にまとめる。なお、同表は、目視評価グレードの点数「1~4」を用いず、部分的に発生した劣化状況が伝わりやすい記述とした。H30 年度の表層品質結果は、ノロ漏れが最も多く発生しており、次いで表面気泡、沈みひび割れであった。このうち、沈みひび割れは、工区により発生の有無が大きく左右されていることがわかる。また、ほとんどの工区で柱部 2 ロット目の表

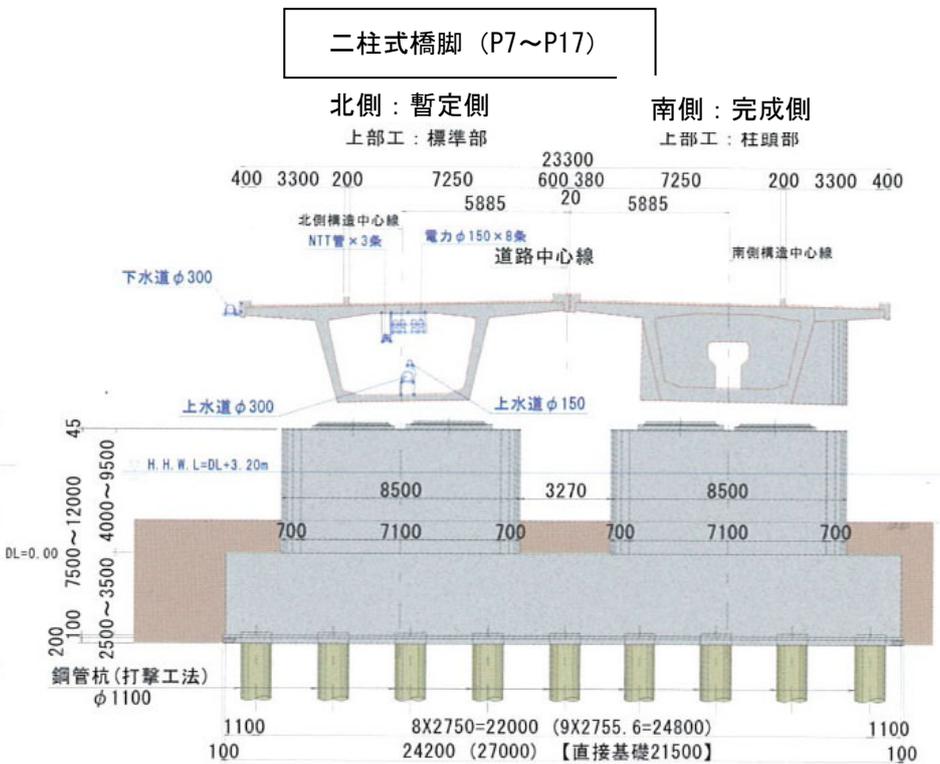
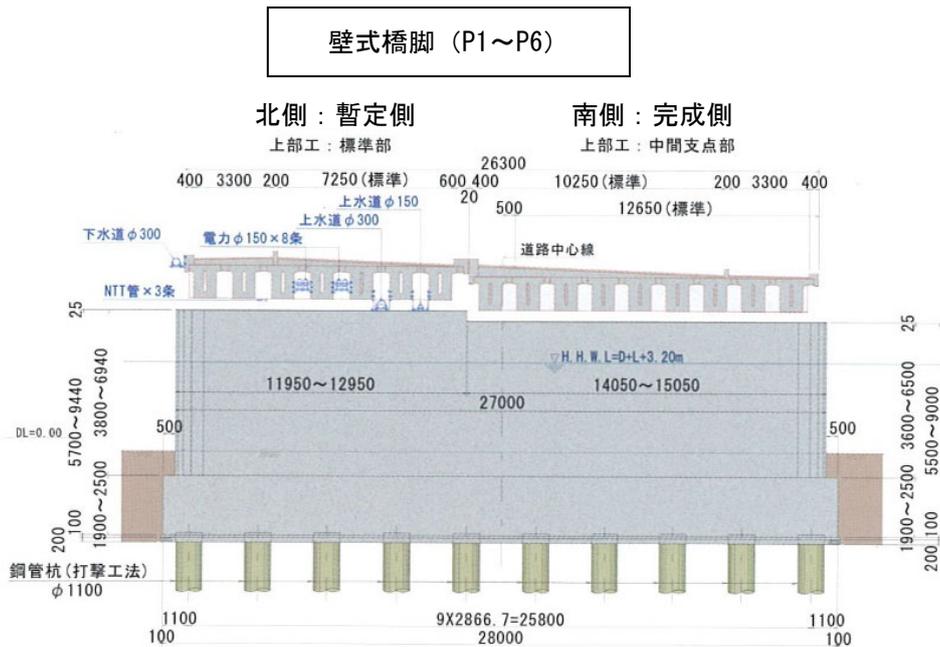


図 2.7.4 泡瀬連絡橋の標準断面図

層品質は改善しており、フーチングから柱部 1 ロット目・2 ロット目と PDCA サイクルを繰り返すことにより表層品質が向上していることがわかる。R1 年度試行の 2 工区では、H30 年度試行結果をまとめた報告書を熟読し、同じ下請け業者を使って更に良い施工を心がけた結果、橋脚天端付近の気泡やバイブレータのオーバーラップ部分の色むらも無くなるなど、丁寧な施工によりほぼ完全な表層品質が得られた。

2.7.5 まとめ

高温多湿で塩害環境の厳しい島嶼県である沖縄県では、コンクリート構造物の長寿命化を目指してこれまで

各種対策が講じられてきたが、100年耐久性を謳った海上長大橋である伊良部大橋の建設において材料面か

表 2.7.3 山口県の施工状況把握チェックシートに追加した条項

施工段階	チェック項目
準備	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。雨水の除去はされているか。
	型枠接合部の隙間テープ設置等、ノロ漏れ対策は十分か
	支保、サポートは十分に設置されており、緩み等はないか。
	かぶり内に結束線、セパレータ等はないか。
	かぶり厚に適したピーコンの長さ、材質となっているか。
	塗装鉄筋の場合、被覆結束線が使用されているか。塗装の剥がれ、キズがないか。
	発電機は、トラブル発生や日没後の対応のため、事前のチェック及び余裕を持った配置をしているか。
	仮設材等の障害物も考慮した打込み位置（ポンプ筒先挿入等）が事前に計画されているか。
	パイプレータの間隔や位置、打設リフト高を設定しているか。
	2層以上の打ち重ね時間が、容易に確認できるか。（タイムキーパーの配置や時計の設置など）
運搬	受入検査以外に高速攪拌を行っていないか。
打ち込み	打込みによる型枠面へのモルタル分の付着がないか。付着がある場合に、拭き取り等の措置をしているか。
	適切な打ち込み速度となっているか。※締固め時間の確保、断面に対してリフトが高い場合の沈下など
締め固め	かぶりが厚い場合、締め固め方法の配慮がされているか。※かぶりが90mm以上のかぶり内パイプレータなど
仕上げ	ブリージング量の状況により、早めに仕上げる必要がある(FAC対象)
養生	湿潤状態を保つ期間は適切であるか。※FAC目標28日、最低7日(内+外)
	型枠存置期間 (FACを対象) ※3日以上

らの耐久性向上策として FAC を採用した。その後、FAC は多くの海上や海岸線の橋梁に用いられ、沖縄県では FAC の更なる利用および産業廃棄物利用による環境負荷低減効果を目指して FAC 指針を策定し、県内全域で可能な限り FAC を用いることを推奨している。FAC 指針策定の結果、沖縄県内では FAC 利用促進が徐々に図られ、複数の工事での使用および検討が行われている。

一方、施工面からの耐久性向上を図るため、土木学会コンクリート構造物の品質確保小委員会（350 委員会）推奨のコンクリート表層品質確保の考え方を取り入れ、H29 年度から沖縄総合事務局南部国道事務所管轄の北丘高架橋 2 橋脚および H30 年度と令和元年度に沖縄県中部土木事務所管轄の県道 20 号線泡瀬連絡橋の 9 橋脚で試行工事を行った。なお、泡瀬連絡橋では、使用コンクリートを FAC とし、表層品質確保の試行と併せた耐久性向上対策を講じている。

表層品質確保試行工事の結果、1 業者当たり北丘高架橋では 4 回の打設、泡瀬連絡橋では 3～5 回の打設を行い、PDCA サイクルを回した結果、いずれの施工でも表層品質は向上し、発注者、元請け、下請けに至る全ての関係者に表層品質確保の重要性とそれを実現させるための技術が周知できたと考えられる。

謝辞

本報告を執筆するに当たり、北丘高架橋下部工の表層品質確保試行に関して沖縄総合事務局開発建設部内里清一郎氏および與儀和史氏に多大なるご協力を賜った。泡瀬連絡橋下部工の表層品質確保試行に関しては、沖縄県中部土木事務所中城港湾建設現場事務所の皆様にご尽力頂いた。また、公益社団法人沖縄県建設技術センター試験研究部比嘉正也氏には各種資料とりまとめにご協力頂いた。ここに謝意を表します。

（執筆者：風間洋，富山潤，砂川勇二）

表 2.7.4 試行工事により得られた表層品質確認結果

年度	橋脚	打設部位	打設量 (m ²)	沈みひび割れ	表面気泡	打ち重ね線	ノロ漏れ	砂すじ	ひび割れ	備考
H30	P1 (1柱式)	フーチング	480	0	散見	わずか	均しコンとの境界	0	0	
		柱1Lot	138	フーチングとの境界	わずか	わずか	フーチングとの境界	0	12本	
		柱2Lot	105	最上層セバ周り	最上層20cm	0	0	上部数力所	18本	
	P10 (2柱式)	フーチング	800	0	最上層20cm	0	0	上部数力所	15本	
		暫定柱1Lot	153	下部3力所	0	0	R部全体	0	0	R部型枠の不具合で型枠にずれが生じ、ノロ漏れが発生
		暫定柱2Lot	154	0	0	0	R部全体	0	0	
		完成柱1Lot	153	0	0	0	R部全体	0	0	
		完成柱2Lot	154	0	0	0	R部全体	0	0	
	フーチング	800	0	0	0	西面面で多	0	0		
	P11 (2柱式)	暫定柱1Lot	155	西面上部数個	0	0	R部全体	0	4本	打設後気温低下
		暫定柱2Lot	152	0	0	0	R部全体	0	4本	早期脱型後放置
		完成柱1Lot	155	0	0	0	R部全体	0	0	
		完成柱2Lot	153	0	0	0	R部全体	0	0	
		フーチング	800	0	南面わずか	1層目一部	0	上部数力所	7本	
	P12 (2柱式)	暫定柱1Lot	159	0	0	0	フーチング境界	0	0	
		暫定柱2Lot	186	0	0	0	1Lot目境界	0	2本	打設後気温低下
		完成柱1Lot	159	0	0	0	フーチング境界	0	0	
		完成柱2Lot	186	0	0	0	1Lot目境界	0	2本	打設後気温低下
		フーチング	918	0	全体に散見	0	1	0	9本	
	P13 (2柱式)	暫定柱1Lot	153	東・南面下部各1力所	0	0	0	0	0	
		暫定柱2Lot	193	北面上部数力所	北面上部	0	北・西・南面の下部	0	0	
		完成柱1Lot	153	南面下部2力所	0	0	0	0	2本	
		完成柱2Lot	193	東面上・下部北・南面の下部	0	0	北面の下部	0	4本	
		フーチング	1600	全体に散見	全体に散見	0	全体に散見	0	0	
	P14 (2柱式)	暫定柱1Lot	101	0	R部	0	フーチングとの境界、縦目地	0	3本	
		暫定柱2Lot	100	東側面で1箇所	R部わずか	0	東面・南面	0	0	
		完成柱1Lot	101	0	R部	0	フーチングとの境界、縦目地	0	3本	
		完成柱2Lot	100	0	R部	0	R部北側	R部北側と西面	0	
P17 (2柱式)	フーチング	1600	0	全体に散見	1箇所	一部	0	9本		
	暫定柱1Lot	94	0	0	0	R部と東面	0	0		
	暫定柱2Lot	105	0	0	0	1Lot目との境界	0	0		
	完成柱1Lot	94	0	0	0	R部	0	0		
	完成柱2Lot	105	0	0	0	1Lot目との境界	0	0		
R1	P8 (2柱式)	フーチング	1162	0	南・西・北面で散見	0	0	分的に発生	5本	
		暫定柱1Lot	163	0	最上層20cm	0	R部で若干	0	0	
		完成柱1Lot	163	下半分にやや多い	0	0	R部で若干	0	0	
	P9 (2柱式)	フーチング	1767	0	部分的に発生	0	0	0	10本	
		暫定柱1Lot	181	一部で大きなもの	0	0	0	0	0	
		完成柱1Lot	181	0	最上層20cm	0	わずか	0	2本	

※：「0」は表層初期欠陥無し

参考文献

- 1) 沖縄県土木建築部：沖縄県におけるフライアッシュコンクリートの配合及び施工指針，2019.5
- 2) 土木学会：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案），コンクリートライブラリー94，1994
- 3) 西日本高速道路（株）：平成18年度沖縄自動車道那覇-石川間構造物現況調査総括報告書-，2007.3
- 4) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書【施工編】，p.122，2013.3
- 5) 山口県土木建築部：コンクリート構造物品質確保ガイド2017，2018.4
- 6) 坂田昇，渡邊賢三，細田暁：目視評価に基づくコンクリート構造物の表層品質評価手法の実績と調査結果を反映した表層品質向上技術，日本コンクリート工学，Vol.52，No.11，pp.999-1006，2014.11
- 7) 沖縄県中部土木事務所：一般県道20号線（泡瀬工区）橋梁整備事業リーフレット，2020.2
- 8) 沖縄県中部土木事務所：平成30年度県道20号線（泡瀬工区）橋梁コンクリート耐久性検討業務委託報告書，2019.5

2.8 新潟県における取組み

2.8.1 はじめに

新潟県は本土だけで約 330km の海岸線を有し、その距離は東京～名古屋間の距離とほぼ同じである。また佐渡などの離島を含めれば、海岸総延長は 630km あまりになる。こういった地形特性もあり、県管理橋約 3,830 橋の点検結果では飛来塩分が要因と思われる塩害も少なからず見られ、これまでも当県独自で塩害対策マニュアルを策定するなど、新設コンクリートにおいてもその対策を講じてきた。

一方、新潟県では建設業が主要な産業となっているが、全国と同様、建設業従事者の高齢化と担い手不足が急速に進んでいる。いくら対策を講じたところで、それを運用していく「人」が足りなくなるという構造的な危機に直面しているのである。

表 2.8.1 新潟県における建設業従事者の推移（平成 7～27 年 国勢調査）

	平成 7 年	平成 12 年	平成 17 年	平成 22 年	平成 27 年
就業者数(人)	166,252	159,342	138,608	118,493	113,017
内 29 歳以下(%)	18.4(21.2)	19.2(19.9)	15.3(14.5)	11.7(10.9)	10.3(10.2)
内 55 歳以上(%)	26.2(23.1)	25.7(25.0)	31.2(30.7)	36.3(34.9)	38.1(36.3)

※()内の数値は全国値

2.8.2 課題解決の糸口

新潟県はこのような課題を抱え、「現場の生産性向上」という観点からその手法を模索していた。近年、国土交通省の主導により、i-Construction の取組みや AI・IoT 技術の活用が推進されており、これらに活路を見出そうとしていたのである。そのような時に私は山口県の品質確保システムに出会った。

山口県の品質確保システムには、「協働」という PDCA を回すための重要な要素がある。産学官の関係者が協働することで、人を育て、人の不足を補い、施工技術を伝承できる仕組みが構築されている。長年かけて築き上げてきたそのシステムには、感嘆するばかりである。当県が「協働」という要素を大切にしたいこのシステムに取り組むことで、新設コンクリートへの対策になるだけでなく、人手不足という課題への解決の糸口になるのではないかと、AI・IoT のような新技術と合わさることでより現場の生産性の向上につながるのではないかと考えたのである。

2.8.3 新潟県における取組み

平成 29 年 9 月、私は初めて山口県のコンクリート構造物の品質確保に関する技術講習会に参加し、目からうろこが落ちるような思いであった。職場に戻った私はすぐに上司へそのことを報告し、その後、品質確保の取組みの担当者として業務に携わることになった。私はこの取組みを進めるにあたり、特に関係者との対話を意識してきた。拙速にではなく、「協働」の要素を大切に、丁寧に取り組むを進めたかったのである。これまで当県が実施してきた取組みを以下に紹介する。

(1) ワーキンググループ

ひび割れ抑制に取り組む前の山口県と同様、新潟県においても施工者と発注者の間にはコンクリート構造物のひび割れ問題が根付いている。そういった問題に対処し、産学官の連携が深まるよう、平成 29 年 11 月にコンクリート構造物の品質確保に関するワーキンググループを立ち上げた。（当初の構成員は、学識経験者 3 名、建設会社 4 名、発注者（新潟県）4 名）。産学官が本音で議論できる貴重な場として、これまでワーキンググループを計 6 回開催してきた。ワーキンググループでは、主に県内のコンクリート構造物の品質向上について議論するのだが、毎回会議の熱気が冷めやらず、夜の意見交換会までその熱気は続くのであった。

(2) 施工現場での試行

試行を始めた平成30年度当初は、橋梁下部工などの数現場を対象に、施工状況把握チェックシートと表層目視評価を行うことにした。当然、私自身が現場で施工状況把握チェックシートを使ったことがなく、当委員会の委員でもある長岡工業高等専門学校の前林先生、陽田先生にシートの解説をしてもらいながらのスタートであった。今まで監督員としてコンクリートの打ち込みには何度も立ち会ってきたが、これまでとは見る視点が全く変わってしまった。それだけ私がコンクリート打ち込み時の施工の基本事項が理解できていなかったということになる。施工状況を把握するため現場に赴くと、現場代理人や職長が自分たちのこだわりをうれしそうに教えてくれる。地域に根ざす企業の本気の施工に感銘を受けつつ、どのようにすれば良い構造物ができるのか、現場の人たちと話し合うことが楽しいと思った瞬間だった。初めての試行現場で意欲的に取組みを行ってもらった、現場代理人の齋藤氏（株）三川土建）には心から感謝している。また、取組みを行った現場は、新潟県優良工事に選定され、齋藤氏も新潟県優秀技術者として表彰されたことをご報告したい。

令和元年度には、山口県の施工記録データベースを利用してコンクリート構造物のひび割れ抑制対策の検討を行い、当県のデータベースとして最初の施工記録を残すことができた。

(3) 技術講習会の開催

産学官が連携したこの新たな取組みを紹介する場として、コンクリート構造物の品質確保に関する技術講習会をこれまで2回開催した。平成30年2月に初めて開催した技術講習会には、予想をはるかに上回る300名を超える参加があった。平成31年2月に開催した2回目の講習会でも400名を超える参加があり、品質確保の取組みに対する関係者の関心度がとても高いことがうかがえた。新潟県人の県民性には、勤労意欲が高く、生真面目、勤勉、頑固、といった職人氣質な一面があり、特段この「良い構造をつくる」という取組みが注目されているのだろう。

横浜国立大学の細田先生をはじめ、当委員会の委員の方々にもご講演いただき、いずれも熱気を帯びた技術講習会になったと感じている。開催後のアンケートでは、「新潟県の今後の取り組み方に期待したい」など前向きな意見も多く、今後もこの技術講習会を継続していきたいと考えている。

(4) 品質確保検討チーム

公務員という職場は前例踏襲で物事が動くことが多く、新しいことを始めようとするとき、なかなかうまくいかないことがある。この新たな取組みを進めていくには県庁の関係課の協力は不可欠であり、一人でも多くの理解者を増やしていかなければならない。そういった思いから、令和元年度、県庁関係課の若手職員を集め10名程度の品質確保検討チームを立ち上げた。まだ数回の開催にとどまっているが、県としてこの品質確保の取組みが継続していけるよう、これからも議論を深めていきたい。

2.8.4 土木の本質

品質確保の取組みで重要な要素である「協働」という言葉を言い換えると、「みんなで良いものをつくる」ということ、つまり人のつながりである。土木の仕事は一人ではできないものではなく、考えてみればこれは当たり前のことである。しかし、これまで我々発注者は現場がうまく回る仕組みをつくるのが仕事だと思いつき、その仕組みを利用して良いものをつくるのは施工者の責務だという思いが強かったのかもしれない。私はこの取組みに携わり、改めてそのことに気付かされた。土木という仕事の本質は「協働」という人のつながりであり、そこに土木という「ものづくり」の原点があるのだ。近い将来、AI・IoTといった新技術が進歩したとしても、その技術を利用するのは人である。新潟県にこの品質確保の取組みが定着し、地域に「協

働」の意識を醸成することができれば、「ものづくり」の将来は必ず明るくなると信じている.

(執筆者：嗟峨山 航)

2.9 高知県における取組み

山口県発の品質確保システム（以下、山口システム）について、高知県内での取組み状況について報告する。高知県内の発注者や建設会社に対する山口システムの紹介や普及に関しては、高知県コンクリート診断士会（原田隆敏会長）の尽力が大きい。診断士会では早い時期から高知県でも必要な取組みであることを示唆され、2016年度から2018年度に県内で開催されたコンクリート技術研修会（高知県コンクリート診断士会主催、日本コンクリート工学会四国支部・高知県土木施工管理技士会共催）において、山口県等の品質確保の取組みの中心であった本委員会の委員でもある田村教授、細田教授、二宮氏が講演される機会を準備された。各回の参加者は200名以上であり、産官学の多くの方に山口システムを知っていただくきっかけをつくっていただけたと考える。2017年度には山口方式の視察として、高知県団33名が山口県を訪問し、初日に田村教授、二宮氏、澤村氏、林准教授の研修を受け、翌日は寄江高架橋、嘉川IC高架橋、由良ICボックスカルバートの現場視察が行われ、参加者からは「良いコンクリート構造物をつくるための知見を得ることができた。」と好評であった。

このようにして、高知県内の多くの方に山口システムを知っていただくことができたと思われるが、実際に高知県内でどのように建設工事に取り入れられているかは、著者の不手際により十分把握できていない。ただ、山口システムを意識されてコンクリート工事に取り組みされている話しは、折々に建設現場担当者からは聞いている。その中で、次の2件について情報が得られたので報告させていただく。

2.9.1 現場コンクリートの品質向上としての取組み事例

高知県内の建設会社に情報提供をお願いし、現場におけるコンクリートの品質向上の創意工夫として山口方式を採用した取組み事例を表2.9.1にまとめた。なお、現場3と4の施工場所は県外であるが、取組みの担当は県内部署が行ったとのことなので一緒にしている。

表 2.9.1 山口方式に関する取組み事例

現場 No.	対象構造物	場所	山口方式に関する取組み				ひび割れ	解析
			追加鉄筋	膨張材	チェックリスト	表面評価		
1	橋梁下部工	高知県内			○		なし	あり
2				○	○	○		
3		愛媛県内			○			
4		岩手県内	○		○		あり	
5		高知県内	○	○	○		なし	

現場4において、0.3%程度まで鉄筋比を上げるため追加鉄筋が設定されたがひび割れが生じている。追加鉄筋を加えた事前の解析においても、ひび割れ発生の可能性が多少残っていたようで、さらなる追加対策が必要であったとも考えられる。この経験を元に、現場5においても同様に0.3%程度まで鉄筋比を上げて解析上でひび割れを止めることができなかつたため、膨張材（ケミカルプレストレス用）によりひび割れを抑制し、現在のところひび割れが確認できていない。膨張材を用いたひび割れ対策については、高知高専との共同研究として、膨張材の添加量を配合試験と膨張ひずみの測定により決定し、実施工においても現場供試体および実構造物で生じる膨張ひずみと圧縮強度を管理しながら施工を行った。これらの研究結果について

ては、令和2年度の土木学会全国大会等で発表予定である。

また、現場担当者の話として、高知県は非常に面積が広く、コンクリートの品質がその地域の材料や環境に応じて異なるため、地域ごとの実績の積重ねが必要であるとのことであった。

2.9.2 温度ひび割れ対策としてのフライアッシュの活用事例

上記とは別の高知県内の建設会社において、夏季における高強度のマスコンクリートの施工について、温度ひび割れ対策としてフライアッシュを活用した事例について紹介させていただく。

当該工事は高知東部自動車道本線の橋脚工事であり、高知東部自動車道は高知市と高知龍馬空港を結ぶアクセス道路となる予定であるため早期の開通が望まれ、急ピッチに工事を進める必要があった。このための問題点として、橋脚の躯体工は底板を含め下記の施工を余儀なくされ、施工は7月から9月にかけて行う必要があった。また、様々な要因により躯体コンクリートの呼び強度は30N/mm²で設計されており、通常の生コンのJIS規格品では単位セメント量が331kg/m³となり、温度解析をすると底板の内部温度は施工後3日で80℃まで上がり、表面に発生する応力はその時の引張強度を大きく上回ることが予測され、内部拘束によるひび割れが懸念された。

このため、五台山第5高架橋下部工の施工に当たり、コンクリートの水和熱を低減させる方法が検討された。低熱セメント、中庸熱セメントの使用も考えられたが、強度が補償される材令が56日、91日となり工程に影響を及ぼすことやプラントの設備面から製造できる生コン工場に限られること、コンクリートの価格等から使用は見合わせられた。

高知県ではフライアッシュをセメントの代替（内割）として、水セメント比を水結合材比に読み替えてJIS規格を取得している生コン工場が多数ある。そのほとんどの工場がセメントの10%をフライアッシュに置き換えた配合で、JIS規格品として公共工事にも使用している。このことを踏まえ、本工事ではJIS規格品よりも多いセメントの20%をフライアッシュに置き換えた配合でコンクリートの水和熱を低減させる方法を当建設会社、生コンクリート工場、そして高知高専が連携し試験練りを行い提案した。発注者の内諾を得て、まず水結合材比を決定する試験練りを行い、28日強度で目標強度35N/mm²を得られる水結合材比50.9%を決定した。続いて、①水結合材比50.9%でフライアッシュを内割で20%使用した配合、②呼び強度30N/mm²のフライアッシュを内割で10%使用した配合（JIS規格品）、③呼び強度30N/mm²のフライアッシュを使用しない配合（JIS規格品）を同じ日に試験練りした。それぞれの配合での単位セメント量は257kg/m³、309kg/m³、331kg/m³となっており、フライアッシュ内割20%とフライアッシュ無しでは74kg/m³の差があった。また、それぞれの配合の圧縮強度供試体を用いて、発泡スチロールを利用した簡易の断熱状態での温度上昇の測定を行った。最大温度上昇量はそれぞれ順に16.5℃、18.9℃、21.6℃となり、FA内割20%のコンクリートはFA無しのコンクリートの約75%にとどまっていた。その後、28日での強度の出現を確認し発注者の承諾を得た。試験練りは水結合材比を決定するための試験練りと、決定された配合での試験練りの2種類を行ったので、準備等も合わせて2ヵ月半あまり時間を要した。

結果、真夏における高強度のマスコンクリートの施工にもかかわらず、フライアッシュを有効活用し、澁水養生や温度解析と温度測定によるモニタリングを行うことにより温度ひび割れは発生しなかった。

本現場においては、コンクリート表層（かぶり）部における品質確保の工夫や、養生においても工夫がされている。これらの内容については、令和2年度の全国土木施工管理技士会連合会の技術論文で掲載予定である。

（執筆者：横井克則）

2.10 福井県における取組み

2.10.1 福井県のコンクリート構造物の現状

福井県では、現在、橋長 2m以上の道路橋を 2,351 橋管理している。国土交通省の施策に沿って平成 26 年度から開始した定期点検が平成 30 年度で一巡したことから、平成 31 年 3 月に福井県橋梁長寿命化修繕計画を改訂した。国土交通省の「道路メンテナンス年報（令和元年 8 月）」によると、福井県の橋梁については、全国の中では比較的健全である一方、トンネルは比較的劣化が進んでいる状況（表 2.10.1 参照）にあるが、補修着手率、着工率、完了率は全国トップクラス（表 2.10.2 参照）である。

表 2.10.1 橋梁およびトンネルの点検結果の分布（平成 26～30 年度）（%）

健全度	橋梁判定区分				トンネル判定区分			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
福井県	50	42	8	0.02	2	29	70	0
全 国	42	49	9	0.1	2	54	43	1

国土交通省：道路メンテナンス年報（令和元年 8 月）

表 2.10.2 橋梁・トンネル・道路付属物等の着手・着工・完了率（%）

修繕 状況	橋梁			トンネル			道路付属物		
	着手率	着工率	完了率	着手率	着工率	完了率	着手率	着工率	完了率
福井県	45	40	37	68	65	52	36	28	19
全 国	22	14	12	36	26	22	24	14	12

国土交通省：道路メンテナンス年報（令和元年 8 月）

国土交通省の道路メンテナンス年報では、劣化の原因については「塩害」、もしくは「塩害以外」という分析しか掲載されておらず、それ以外の原因については言及していない。しかし、福井県では、塩害以外にもアルカリ骨材反応や凍害による劣化が多く見られる地域もあることから、現在、最盛期を迎えている北陸新幹線延線工事では、積極的にフライアッシュを用いることでアルカリ骨材反応対策を講じている。

2.10.2 福井県のコンクリート構造物の維持管理に関する取組み

福井県における道路構造物のメンテナンスに関する取組みとしては、平成 26 年に「福井県道路メンテナンス会議」が設置され、国土交通省、福井県、中日本高速道路（株）他、福井県内の道路管理者が一堂に会して県内の道路管理について審議する仕組みが出来ている。以来、毎年、複数回の現場見学会や橋梁点検実習、そして、研修会などが関係者の技術力向上のために実施されている。（株）熊谷組、前田建設工業（株）、（株）日本ピーエスなど建設業界でも老舗が発祥の地とする福井県では、コンクリート診断士会も全国に先駆けて平成 16 年に発足し、15 年後の平成 31 年には第 100 回の研修会を開催するなど極めて活動も盛んである。コンクリート診断士会の発足に県職員が関わっていたこともあり、県としてもコンクリート構造物の長寿命化対策については特にメンテナンスの観点から熱心に取り組んでいる。

2.10.3 福井県における新設構造物の品質確保に関する取組み

福井県も国土交通省の仕様や基準に倣い「福井県土木工事共通仕様書」ならびに「土木工事施工管理基準」等々を策定しており、平成 20 年度からは、民間企業の持つ優れた設計、施工方法に関する技術力を活かすことにより、工事目的物の品質向上が図られるよう総合評価落札方式（技術提案型）を適用し、受注者の選定

を行っている。特に橋梁やトンネル、ダムなど土木コンクリート構造物については、受注者からコンクリートの品質に係る初期性能の持続性向上や強度・耐久性・安定性の向上などにかかる優れた技術提案を求め、コンクリート構造物の品質確保に努めている。

なお、国土交通省の品質確保試行工事は、福井県内では平成 29 年度と令和元年度に、いずれも冠山峠道路第 1 号、第 2 号トンネルでそれぞれ実施された。

(1) 福井県及び福井県建設技術公社の取組み

福井県では、福井県建設技術公社と福井県土木部が連携して技術力向上に向けた啓蒙活動を行っている。最近、実施されてきたコンクリート構造物の品質確保に向けた研修やセミナーを以下に挙げる。

- 1) 土木技術専門研修 総合講座（基礎）「コンクリートの品質管理と維持管理の基礎知識」、
開催日：平成 30 年 12 月 7 日、場所：福井県国際交流会館、主催：福井県建設技術公社
- 2) 土木技術専門研修 総合講座（基礎）「コンクリートの品質管理と維持管理の基礎知識」、
開催日：平成 28 年 12 月 12 日、場所：福井県国際交流会館、主催：福井県建設技術公社
- 3) フライアッシュコンクリート活用セミナー「地域循環型社会の形成とコンクリート構造物の長寿命化を目指して」、開催日：平成 26 年 9 月 8 日、場所：福井県県民ホール、主催：福井県

(2) 福井県コンクリート診断士会主催の取組み

福井県コンクリート診断士会では、維持管理から新設構造物の品質管理までの幅広いテーマで、平成 18 年から毎年セミナーを開催している。

- 1) 開催日：令和元年 11 月 26 日、場所：福井県民ホール、「これからの社会とインフラ備をどう考えるか」
(NPO 法人シビル NPO 連携プラットフォーム 山本 卓朗 氏)、「期待される“地域（まち）のドクター”としての役割」(ジャーナリスト (元 NHK 解説主幹) 齋藤 宏保 氏)
- 2) 開催日：平成 31 年 3 月 1 日、場所：福井県民ホール、「ICT を活用したスマートインフラプラットフォーム～次世代のインフラマネジメントに向けて～」(首都高速道路株式会社 土橋 浩 氏)
- 3) 開催日：平成 30 年 2 月 26 日、場所：福井県民ホール、「福井河川国道事務所が取組む事業と技術～そしてこれからの国土交通行政～」(国土交通省 中村 圭吾 氏)、「コンクリートのひび割れにどう向き合うか～インフラの長寿命化のために～」(近未来コンクリート研究会 十河 茂幸 氏)
- 4) 開催日：平成 29 年 3 月 10 日、場所：福井市地域交流プラザ、「歴史に学ぶコンクリートの未来像」(アクロス・ザ・ドア建築研究所 鳴沢 晴美 氏)、「対話が生み出す誇りとやりがい～維持管理の魅力や価値の伝え方～」(株式会社日経 BP 西村 隆司 氏)
- 5) 開催日：平成 28 年 2 月 29 日、場所：福井市地域交流プラザ、「経年劣化する社会インフラとその整備について～一筐子の事例を交えて～」(東京工業大学 二羽 淳一郎 氏)
- 6) 開催日：平成 27 年 3 月 9 日、場所：福井市地域交流プラザ、「鉄道コンクリート構造物強靱化の取り組みと課題」(JR 西日本 松田 好史 氏)
- 7) 開催日：平成 26 年 3 月 12 日、場所：福井市地域交流プラザ、「コンクリート構造物のシナリオデザインとは」(京都大学 宮川 豊章 氏)
- 8) 開催日：平成 25 年 2 月 25 日、場所：福井市地域交流プラザ、「歴史的建造物を中心とするコンクリート系構造物の調査・診断・補修」(名古屋大学 谷川 恭雄 氏)
- 9) 開催日：平成 24 年 3 月 9 日、場所：福井市地域交流プラザ、「東日本大震災によるコンクリート構造物の被害報告とこれからの維持管理」(土木研究所 木村 嘉富 氏)
- 10) 開催日：平成 23 年 3 月 8 日、場所：福井市地域交流プラザ、「長寿命化コンクリート EIEN とこれから

の維持管理のあり方」(鹿島建設株式会社 横関 康祐 氏),「インフラの維持・更新の意義 ～人のためにこそコンクリートを～」(京都大学 藤井 聡 氏)

- 11) 開催日：平成 22 年 2 月 25 日，場所：福井県職員会館，「コンクリート劣化のメカニズム，補修・補強工法と材料の選定について」(電気化学工業株式会社 安藤 哲也 氏)，「コンクリート構造物の長寿命化に向けて」(福井大学 磯 雅人 氏)
- 12) 開催日：平成 21 年 2 月 19 日，場所：福井厚生年金会館，「良いコンクリート構造物を後世に残すために」(株式会社大林組 十河 茂幸 氏)
- 13) 開催日：平成 20 年 2 月 18 日，場所：福井県職員会館，「ASR 劣化構造物の劣化事例とその対策」(金沢大学 久保 善司 氏)
- 14) 開催日：平成 19 年 2 月 16 日，場所：福井県職員会館，「北陸地方におけるコンクリート構造物の劣化の現状およびその対策」(株式会社クエストエンジニア 青山 實伸 氏)
- 15) 開催日：平成 18 年 2 月 24 日，場所：福井県職員会館，「北陸地方における ASR の現状とその対策」(金沢大学 鳥居 和之 氏)

(3) 土木学会 350 委員会と福井県コンクリート診断士会の連携

2019 年 9 月 14 日には，福井県教育センターで土木学会 350 委員会と福井県コンクリート診断士会が合同で主催する「コンクリートのひび割れ抑制対策に関する講習会—山口県のひび割れ抑制システムの取組みと新たな展開—」を開催した。120 人の聴衆で会場が満員になったが，本講習会は，建設工業新聞でも取り上げられ，福井県コンクリート診断士会が行った受講後のアンケート結果からは，以下のような意見が寄せられ，福井県のコンクリート工事関係者の意識の高さが感じられた。

<アンケート結果>

講演名	講義時間			講義内容			理解度		
	短い	妥当	長い	役立つ	やや役立つ	役立たない	理解できた	概ね理解できた	理解できなかった
講演 1 山口県の新設構造物の品質確保に関する取り組みの紹介	21	50	1	49	20	0	36	32	0
講演 2 復興道路におけるひび割れ抑制対策事例と結果	20	51	0	52	17	0	36	33	0
講演 3 東北地方整備局の取り組みの紹介(まずやってみる)	18	50	3	50	17	1	39	28	1
講演 4 山口県発のひび割れ抑制・品質確保システム	34	33	2	43	21	1	31	32	4

<参加者コメント>

- ・ 技術的な話に加え、講演者の思いが込められた話が聞け、大変有意義であった。自身のモチベーション向上にもつながった。細田先生の話で、「説明できる AI」へのアプローチがあって面白かった。（福井県、施工業者）
- ・ 基準書通りの設計で今のひび割れが起きている。だったら今から変えないと。人間味のある講習会で大変有意義でした。（福井県、資材メーカー）
- ・ 技術者としてのあるべき姿を再認識することができた。（石川県、コンサルタント）
- ・ 診断士資格を今年度取得し、非常に興味深い内容を聞くことができました。（福井県、資材メーカー）
- ・ 面白いエピソードもあり、通り一遍の退屈な講習ではなくとても良い講習でした。（福井県、施工業者）
- ・ 刺激があった。2時間/4人は少し不足では？（福井県、施工業者）
- ・ 講習の内容が、施工業者やコンサルへも説明しやすいので有効な講習だと感じる。（福井県、県土木部）
- ・ 佐藤様のぶっちゃけ話がおもしろかった。全体的にルールにとらわれず「改善していく」という方向性が良かった。（福井県、施工業者）
- ・ 講演1:今現在で山口県のガイドを参考にして下部工を構築しています。生の声が聞けて良かったです。
- ・ 講演2:事例紹介は勉強になった。しかし、コストがかかることから使用には二の足を踏んでいます。
- ・ 講演3:受注者（事務所長）の立場から品確について講義をうけたことは非常に良かった。
- ・ 講演4:トータル的に良かった。視点をかけること。（滋賀県、施工業者）
- ・ 取組み意識、要はやる気の問題なのかと・・・それぞれの立場での責任の相互共有を。測量・設計も同じ事です。（福井県、コンサルタント）
- ・ 細田先生の話をやっと聞き取れたかったです。また機会があったらじっくりとお聞きしたいです。（福井県、施工業者）
- ・ 山口県での取組みについては知っていたが、直接話で聞くことができたため。（福井県、コンサルタント）
- ・ 地域ごとに事例を挙げてひび割れ抑制対策を説明されていて良かった。（福井県、施工業者）
- ・ 発注者の立場からの本音が聞けたので良かった。（福井県、コンサルタント）
- ・ 具体的事例に基づく講習で良かった。（福井県、コンサルタント）
- ・ 細田先生が良かった。（福井県、コンサルタント）
- ・ 発注者側にも意識改革ができているところもあるということがみられ有意義に感じた。（福井県、コンサルタント）

2.10.4 福井県の今後の品質確保の取組みについて

福井県では橋梁やトンネルなどのコンクリート構造物において、「塩害」・「アルカリ骨材反応」・「凍害」といった特徴的な劣化が存在するが、構造物としての機能を効率的に維持していくためには、劣化が小さいうちに補修を行う必要がある。そのためには、産・学・官が相互に情報を共有、連携し、劣化の状況に応じた適切な補修を予防的に行わなければならない。福井県としては今後も、コンクリート診断士会や大学等の組織、福井県道路メンテナンス会議との密な関係を継続し、道路利用者が安全で安心して通行できるように努めていく。

しかし、塩害や凍害などの劣化が生じた構造物のなかには、締固め不足や鉄筋のかぶり不足、初期ひび割れといった初期欠陥を起因とした早期劣化の事例も散見され、新設構造物の初期欠陥を抑制するための品質

確保は極めて重要といえる。構造物の長寿命化を図るためには、劣化が生じた構造物の維持管理を進めるだけでなく、新設構造物の構築段階からの品質確保に向けた取組みが求められる。

新設構造物の品質確保のために、今後、福井県で求められる取組みを以下に挙げる。

(1) 新設構造物の品質確保を目的とした研修会の開催、研修機会の提供

福井県では、福井県道路メンテナンス会議や福井県コンクリート診断士会を中心に、道路構造物のメンテナンスに関する研修会が数多く行われ、メンテナンス技術の向上を図るための研修の機会に恵まれている。この取組みの成果もあって、福井県のメンテナンスの取組みは前述の通り、全国トップクラスにあるといえる。

その一方で、新設構造物の品質確保を目的とした研修の機会は、メンテナンスに関する研修会に比べて非常に少ない状況にある。2.10.3で示されたアンケートの結果からも、新設構造物の品質確保を目的とした研修会の継続的な開催を関係者の多くが望んでいることが確認された。山口県や国土交通省東北地方整備局などで行われている先進的な取組みを学ぶ機会や新設構造物の品質確保に向けた現場見学会や現場実習などの研修の機会をまずは増やすことが求められる。

(2) 品質確保に関する評価システムの構築と情報の共有を図る仕組みの構築

福井県では、品質確保に向けた取組みを評価するための体系的なシステムがまだ構築されていない。山口県や国土交通省東北地方整備局などで行われている先進的な取組みを参考にしつつも、この地域の劣化環境などの特性も考慮した「福井版」品質確保システムの構築を推し進めるべきである。

また、福井県内でも、新設構造物の品質確保に向けた先進的な取組みを既に行っている施工現場が各所であるが、残念ながらその貴重な情報が共有されていない現状にある。このような先進的な取組みを評価する仕組みを構築するだけでなく、優れた取組みの情報を水平展開するための情報共有の仕組みも構築しなければならない。

(3) 発注者、施工者、設計者、コンクリート製造者らが意見交換を図る場の設置

コンクリート構造物の品質を確保するためには、「発注者」、「施工者」、「設計者」、「コンクリート製造者」らが一体となって取組む必要があるが、これらが意思疎通を図る機会が現状は少ない。福井県道路メンテナンス会議や福井県コンクリート診断士会のネットワークなども活用し、「発注者」、「施工者」、「設計者」、「コンクリート製造者」に加えて、学術的な見地からの助言ができる「学識経験者」も交えて、率直な意見交換が図れる場の設置が求められる。この意見交換の内容もふまえながら、品質確保に関する評価システムの構築とそのブラッシュアップを継続的に図る仕組みをつくるべきである。

(4) 維持管理の分野で得られた知見のフィードバック

これまでの定期点検や修繕などの維持管理の取組みから、この地域での劣化の特徴や劣化が生じやすい構造物の種別や部位、初期欠陥による早期劣化の影響などの把握ができるはずである。これらの貴重な情報をデータベース化して分析を進めることで得られる知見を新設構造物の構築を行う際の品質確保にも繋げるべきである。維持管理の分野で得られた有益な情報を新設構造物の品質確保の取組みにフィードバックする仕組みの構築が必要である。

福井県は、福井県道路メンテナンス会議や福井県コンクリート診断士会の存在もあり、産学官民の技術者ネットワークが既に形づくられている。この信頼のネットワークを駆使した維持管理のこれまでの取組みは、「福井方式」とも呼ぶべき全国に誇れる大きな特長である。かねてから、福井県は“健康長寿”の県と言われているが、この「福井方式」を維持管理の分野だけでなく新設構造物の品質確保の分野にも展開することで、

福井県のコンクリート構造物にも“健康長寿”をもたらしたい。

ただし、少子高齢化による人口減少も見据えた中で取組みを進めていくことを前提として考え、「必要とされる公共サービスの提供」を行うことが目的であることを忘れてはならない。将来、我々の子や孫の世代から、「先人たちが造った負の遺産」と言われるようなインフラを残さないために。

(執筆者：田村 隆弘)

執筆に辺り以下の方に御協力頂きました。ありがとうございました。

平林 透 (福井県土木部道路保全課課長)

向井裕貴 (福井県土木部道路保全課道路維持補修 G)

山川博樹 (株式会社 M・T 技研, 福井県コンクリート診断士会会長)

石川裕夏 (福井宇部生コンクリート株式会社, 福井県コンクリート診断士会)

3. 材料の観点からの品質確保

コンクリート構造物の品質確保が達成されるためには、大きく分けて、材料の観点からの品質確保と、施工段階での品質確保があると言える。350 委員会は、その活動の発端となった山口システムや、その後発展した東北システムでの議論に見られるように、どちらかと言えば施工段階での品質確保について様々な工夫がなされてきた。適切な材料を使用し、適切なフレッシュコンクリートが製造されて現場に運搬されることはむしろ前提条件のように考えられている場合もあったように思われる。

しかし、現実には、品質・耐久性確保の観点からは厳しい低品質の材料を使いこなさざるを得ない状況や、コンクリート製造工場の集約化の影響で混和剤を適切に活用しないとフレッシュコンクリートのワーカビリティを確保できない状況など、材料の観点からの品質確保にも目を向ける必要がある。

山口システムの発端は、田村隆弘委員長の主催したコンクリートよろず研究会におけるひび割れ問題についての議論であった。そして、長い休止期間を経て活動を再開したコンクリートよろず研究会の二期目のテーマは、まさに混和材料であった。

東北システムは、施工段階での品質確保から取り組み始め、凍結防止剤を大量散布する環境で耐久性を確保するための耐久設計へと進み、真に耐久性確保を実現するために、ASR 対策や硬化コンクリートで適切なエントレインドエアを確保するための議論へ発展してきた。

3 章では、350 委員会のメンバーが取り組んできた、材料の観点からの品質確保について、課題や提言も含めて記載する。

(執筆者 細田 暁)

3.1 混和材料を適切に活用した品質確保の重要性

3.1.1 コンクリート用化学混和剤に求められる機能

コンクリート用化学混和剤に求められる機能は、主にワーカビリティ改善、強度および耐久性の向上、凝結速度の調整などが一般的であった。現在はこれらの基本的な機能に加え、収縮低減剤含有による耐久性の向上、増粘成分含有による流動性の促進など、化学混和剤合成技術の進歩と共にその機能も多様化している。コンクリート用化学混和剤の進化は、生産性向上ならびに働き方改善にも大きく寄与することから、コンクリート構造物の品質確保にも深く関わるものである。コンクリート用化学混和剤の現場に求められる機能と役割について、実際の混和材料の性能および活用事例を紹介しながら品質確保への期待および可能性について述べる。

3.1.2 コンクリート用化学混和剤開発の背景

「品質が確保されたコンクリート構造物を造る」目的のもと、「設計・計画で定められたコンクリート」と「現場で求めるコンクリート」との差異は、コンクリート施工現場に携わる多くの技術者が抱えてきた違和感であった。このような実態を受け、コンクリート用化学混和剤メーカー各社は、現場からのニーズに応える機能を有し、なおかつコンクリート構造物の品質確保に繋がる化学混和剤の開発を進め、現在ではそのどちらの機能も有する新しい混和剤が実際の現場で活用されている。メーカー各社の開発努力によって、「現場で求められるコンクリート」と「耐久性の高いフレッシュコンクリートの品質確保」の両立が可能となり、化学混和剤への期待はさらに高まっている。

3.1.3 現場で求められるコンクリート用化学混和剤の機能についての調査結果

コンクリート用化学混和剤を使用する際、現場で重視される機能とは何かを示す数値として、筆者らがコンクリートよろず研究会において実施したコンクリート用混和材料に関する認知・実態についての調査結果を紹介する¹⁾。当該資料は第2次コンクリートよろず研究会によるもので、業界関係者へ幅広く回答を依頼し約2ヶ月間の実施期間で全国から521件の有効回答を得たものである。図3.1.1は「化学混和剤を使用する際に重視している項目」、図3.1.2は「化学混和剤について機能を追加、強化して欲しい項目」への回答集計を示す。いずれの回答においても最も多くの回答が寄せられたのが「スランプ保持性能」であることに着目したい。

スランプ保持性能は直近20年にわたり生コンクリート生産者からの要望を受け、混和剤メーカー各社が大きく改善・改良を進めてきており、保持性能は確実に高められてきているが、現場からは更なる改善が求められているとの結果が確認された。

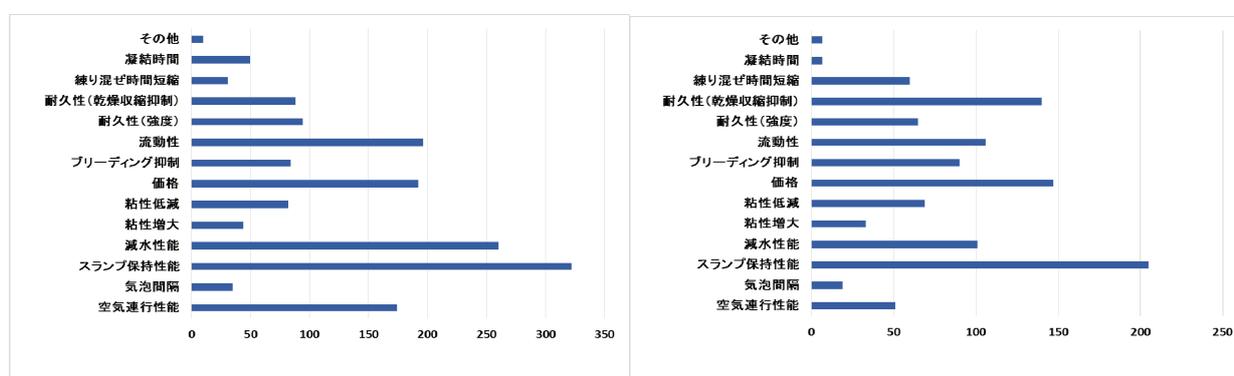
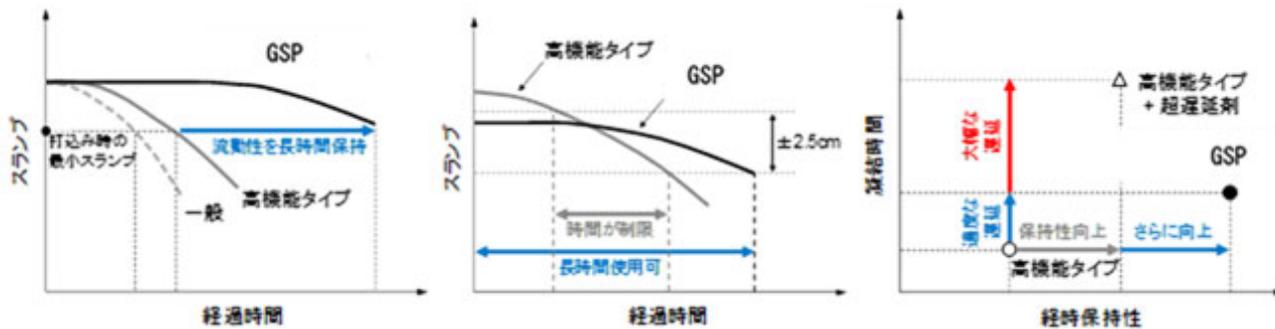


図 3.1.1 化学混和剤を使用する際に重視している項目 図 3.1.2 化学混和剤について機能を追加・強化して欲しい項目

3.1.4 スランプの長時間保持機能を持つ化学混和剤の紹介の開発

フレッシュコンクリートの打設現場からの要望のみならず、コンクリート製造工場（生コン工場）の集約化による場外運搬の長距離化、気温の上昇にともなう凝結の促進、建設現場におけるトラックアジテータの待機の慢性化による場内運搬時間の長時間化等、業界を取り巻く環境からもスランプの長時間保持機能の役割は多岐にわたる。このような背景を受け、スランプの長時間保持を可能にする化学混和剤が開発され、実際現場での活用が進んでいる。

ここでスランプの長時間保持機能 AE 減水剤(以下 GSP と称す)を例に挙げて紹介する²⁾。同製品は JIS A 6204 において AE 減水剤に分類される。同製品の特長に関する概要図を図 3.1.3 に示す。GSP は、従来品と比較して流動保持性を飛躍的に向上させる効果に加え、経時にもなうコンクリートの粘性の増大を抑制し、良好なワーカビリティを維持する効果により、長距離・長時間運搬が可能となる(図 3.1.3a)。一般に、経時によるスランプの低下が大きい場合には、荷卸し地点到着時のスランプを管理幅内に収めるために、生コン工場では管理幅の上限を超えたコンクリートを出荷する対策を講じているが、その場合でも使用できる(管理幅内に入る)時間が限られるため、生コン工場側のスランプ管理の難易度は高いままである。一方、GSP は流動性を長時間制御できることから、生コン工場側のスランプ管理は容易となる(図 3.1.3b)。また、従来品から大幅に流動保持性を向上させる場合には、遅延形への変更または超遅延剤を併用する等によって必要以上の凝結遅延効果を付与してしまう事もあり、仕上げ工程が遅延するケースがある。GSP は、流動保持性を延長した分の最低限の凝結時間を確保するのみであるため、大幅に凝結遅延することなく、スランプを長時間保持することができることも特長の一つである(図 3.1.3c)。



- a) 長距離、長時間運搬が可能 b) スラップ管理が容易 c) 大幅な凝結遅延を伴わない
経時保持性

図 3.1.3 GSP を用いたコンクリートの概要²⁾

3.1.5 スラップの長時間保持機能を持つ化学混和剤の活用事例

ここで筆者が実際に現場で活用した事例を紹介する。ただし、使用した混和剤には上述した GSP と同様の効果を持つ別添加タイプ（以下 KSP と称す）を採用した。使用現場は国土交通省管轄の洋上ケーソン打設現場であり、約 20 m³のフレッシュコンクリートをバケットホッパー（1m³×20 個）に移し、台船で沖まで移送し、同日中に打設を完了する計画（フレッシュコンクリート出荷から現場荷卸までの所要時間は約 2 時間）であった。土木配合による夏期打設ではスラップロスが発生し、バケットホッパーの閉塞を引き起こす可能性が生じ、汎用の AE 減水剤では打設が困難になることが予測された。この条件下での打設を可能にするにあたり KSP を採用したところ、夏期の厳しい環境下にも関わらず、フレッシュコンクリートの性状は、2 時間後のスラップロスが 2cm 程度の良好な状態を保持し、無事打設を完了した。現場の様子を写真 3.1.1、配合データを表 3.1.1、試験結果を表 3.1.2 に示す。



写真 3.1.1 KSP を用いたコンクリートの運搬・施工状況

表 3.1.1 コンクリートの配合及び使用材料

呼び強度	W/C (%)	s/a (%)	W	C	AE 減水剤	KSP
			(kg/m ³)			
21	62	47.2	172	277	2.77	0.83

- ・ 細骨材：加工砂／加工砂（60%/40% vol.）表乾密度 2.59g/cm³， 2.57g/cm³， F.M. 2.72， 2.71
- ・ 粗骨材：碎石／石灰碎石（40%/60% vol.）表乾密度 2.61g/cm³， 2.66g/cm³， F.M. 6.64， 6.68

表 3.1.2 フレッシュコンクリートの試験結果

	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
練直	13.5	4.8	28.0	27.0
2 時間後	11.5	4.1	31.0	30.0

3.1.6 化学混和剤活用による品質確保への影響

化学混和剤は現場のニーズを受け日々進歩を続けており、本稿で紹介したスランプを長時間保持する機能は、まさに現場の声が反映されて開発されたものである。現場でのスランプロス、物質的なロス（生コン廃棄）に加え、現場トラブルによるポンプ打設の中断、打設計画の滞りによる工期の遅れ等を引き起こし、現場作業員や技術者に精神的な負担を強いる。一方、スランプ保持型混和剤を活用すると、季節ごとに変化する温度の影響を受けず年間を通じて、生コン工場出荷時のスランプ値を約 2 時間程度保持することが可能となる。このように、化学混和剤の活用は、フレッシュコンクリートの生産性向上だけでなく、数値化されず目に見えないが確実に発生する現場作業員の心理的負担軽減にもつながっている。コンクリートの品質確保においては技術の発展だけでなく、打設現場での人の判断能力、人の手作業が大きく影響するものであり、化学混和剤の使用はその双方に大いに寄与するものである。

周知のとおり打設現場での化学混和剤の活用には各規準が適用され、現時点では全ての現場に適した化学混和剤を使用できる環境はまだ整っていない。個々の現場での都度々々の対応では手間が生じスピード感がなく、抜本的な展開は期待できない。日本建築学会は「暑中コンクリートの施工指針・同解説」を 2019 年 7 月に改定、酷暑期を新たに定義し、コンクリート温度が 38°C までの範囲では適切な対応を取れば使用可能となった。同改定において高性能 AE 減水剤の遅延形について記載（暑中期におけるスランプ保持性能、コールドジョイント抑制性能）され、化学混和剤の有効性が示された。スランプ保持性能についても、土木・建築両学会による現行基準・JIS 規格の改定（荷卸 90 分を 120～150 分に延長）の必要性を実感している。

表 3.1.3 コンクリートを練り混ぜてから打設が終わるまでの土木・建築両学会の基準と JIS A 5308 の運搬時間の限度

学会名・機関名	内容
土木学会 コンクリート 標準示方書	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は、外気温が 25°C 以下のときで 2 時間以内、25°C を超えるときで 1.5 時間以内を標準とする
JASS5	コンクリートの練混ぜから打込み終了までの時間の限度は、外気温が 25°C 未満のときは 120 分、25°C 以上のときは 90 分とする。ただし、凝結を遅らせる対策を講じた場合には、工事管理者の承認を受け、その時間の限度を変えることができる
JIS A 5308	レディーミクストコンクリートの運搬時間は、生産者が練混ぜを開始してから運搬車が荷卸し地点に到着するまでの時間とし、その時間は 1.5 時間以内とする。ただし、購入者と協議のうえ、運搬時間の限度を変更することができる

3.1.7 化学混和剤のさらなる活用に向けた環境整備

生コンクリート工場の集約化の促進が見込まれる状況下、コンクリートを練り混ぜてから打設が終わるまでの土木・建築両学会の基準を満足することが出来ない地域が郡部を中心に年々増えることが現実味を帯び

てきた。どのような地域にもコンクリートが必要な現場は必ずあり、必要とされるコンクリートはいずれも統一したルールの下で品質確保されるべきである。スランプ保持型の混和剤は、このような問題を解決する一つの優れた手段である。ただし、現場のニーズに応え、優れた技術を有した化学混和剤が開発されても、使用できる環境が整っていなければ、全く無意味である。化学混和剤はコンクリートの配合計算において最も量の少ない材料ではあるものの、フレッシュコンクリートの性状確保ならびにコンクリートの品質確保、さらに現場の生産性向上において重要な役割を担っている。これからのコンクリート打設の合理化を図るうえで、今後業界全体でのルール改定が進むことを期待する。

3.1.8 コンクリート用混和材を使用する前に

混和材の使用目的は多様で、フレッシュ性状の改善、水和発熱の抑制、耐久性の向上など様々である。コンクリートの混和材としてよく用いられるものに、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、石灰石微粉末などが挙げられる。ここでは、これらを使用する際の留意点や現状の問題などを説明する。

例えば、アルカリシリカ反応の抑制対策で高炉セメントを使用する時、A種では普通ポルトランドセメントの割合が多く、十分な対策とならない。また、環境配慮として高炉スラグをC種相当、あるいはそれ以上使用されることもあるが、強度発現が緩やかとなるので、打設工程等に影響が出ることや、寒冷環境では初期凍害のリスクが増大するなど、様々な配慮が重要となる。

フライアッシュも上記と同様の理由でB種相当の置換率の範囲で使用されている。実際はアルカリシリカ反応抑制対策として、置換率15%~20%が一般的である。しかし、プレミックスされたフライアッシュセメ



写真 3.1.2 生コンクリート工場における普通セメントと高炉セメントのサイロ³⁾

ントは現在、ほとんど流通していない。生コンクリート工場において、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混和材として別添しているのが現状である。フライアッシュ専用のサイロを確保しているのは、北陸や四国地方の一部の生コンクリート工場や、全国の一部の生コンクリート工場に過ぎない。高炉セメントほど普及が進んでいないのが現状である。したがって、フライアッシュを使用する場合は、費用をかけて臨時のフライアッシュ用サイロを設置するか、コンクリート製造時に人力で投入する手段に限定されている。石灰石微粉末も同様の課題がある。そのため、石灰石微粉末を使用するタイプの高流動コンクリートのコストがアップする一因となっている。



写真 3.1.3 フライアッシュを手投入する状況³⁾

高炉セメントは戦略的な展開とサイロ整備などの初期投資によって、今日のような普及体制が確立された。フライアッシュもその耐久性向上効果を活かすこと、副産物の有効利用のため、必要に応じて展開戦略や計画的な製造インフラ整備を整えることが重要である。

表 3.1.4 コンクリート用混和材でできること、注意点（その1）³⁾

混和材	できること	注意点
高炉スラグ微粉末	水密性の向上 塩害抵抗性の向上 アルカリシリカ反応抑制 硫酸塩・海水に対する抵抗性の向上	高炉スラグ微粉末の様々な特長を発揮させるには、特に初期の養生が重要である。初期養生が不十分な場合は、緻密な組織形成が得られなくなり、強度低下の他に水密性の低下や中性化速度が速くなるといった問題が生じる。そのため、初期養生期間を通常よりも2日間ほど長くするなどの対策が必要となる。
フライアッシュ	水密性の向上 水和熱低減 アルカリシリカ反応抑制 長期強度増進 ブリーディングの抑制（細骨材置換） ワーカビリティの向上（高流動コンクリート）	フライアッシュの反応は緩やかであるため、セメントの内割で使用した場合、水和熱の低減と引き換えに、中性化速度の増加や初期強度の低下といった点に注意が必要となる。10～20%程度のセメント置換であれば、長期強度は無添加のコンクリートと同等以上が得られるため、管理材齢を56～91日と長くするなどの対策が有効である。
膨張材	ひび割れ抑制	十分な膨張性能を発揮させるには、7日程度の湿潤養生が必要となる。極低温下では、膨張反応が遅れて発現して不具合を生じたり、組み合わせられるセメントの種類によって膨張反応が異なったりするので注意が必要である。また、コンクリート 1m ³ あたりの使用量が約 20kg/m ³ と比較的少ないため、均質に分散されるよう練混ぜ時間を長くするなどの配慮が必要である。
石灰石微粉末	ブリーディングの抑制 粉体量の確保（高流動コンクリート）	石灰石微粉末がセメントの C ₃ S（エーライト）の水和促進に寄与することが複数の研究で判明している。しかしながら、セメントの内割で使用した場合、10%を超えると強度低下や DEF（エトリンガイトの遅れ生成）が危惧されるため、コンクリートに材料分離抵抗性を付与するための粉体量確保であれば、セメントの外割（細骨材置換）で使用するのが望ましい。

3.1.9 混和材料を正しく使用するために –現場ごとに異なる混和材料の使用法–

混和材料を用いてできることと、その注意点の代表例は上述のとおりであるが、混和材料は医薬品と同じように、正しく使用すれば良薬になり、間違った使用方法では毒薬となり、コンクリートの耐久性に深刻な影響を及ぼす。このため、土木学会、日本建築学会、混和材料メーカー等がそれぞれ規定を設けており、各生コン工場、現場で規定の範囲内で用途に合ったものを選択し、活用されている。また、その使用法は地域や環境によって異なる場合もある。例を挙げると、凍害対策の必要な東北地方と、その必要のない沖縄では注意すべきポイントが異なるため、混和材料に求められる機能も異なる。また、使用される骨材によっては、混和材料が標準的なレベルよりも高い効果をもたらす場合もあるが、反対に本来期待されている効果が得られないこともある。このように、現場によって様々な検討が必要となり、事前の打合せ、試し練りでの確認は必須である。また混和材料を使用するには、生コン工場の設備の確認も必要である。場合によっては、設備の増強や、それに伴うコスト負担も発生する。それらを考慮しながら進め、施工者・製造者・販売者それぞれがお互いにコミュニケーションを図りながら相互理解の基で進めていくことが重要である。

3.1.10 まとめ

混和材料の使用について数々の留意点を述べたが、これは、現場で起こりうる事象・問題点をしっかりと踏まえたうえで適切な使用方法についての情報を伝えるためである。品質が確保されたコンクリートを製造、出荷、施工するために、まず混和材料で何ができるのか、使用にあたって注意すべき点は何かを正しく認識

表 3.1.5 コンクリート用混和材でできること、注意点 (その2)³⁾

できること	混和材	注意点
ブリーディングの抑制	フライアッシュ	ブリーディングが抑制できる根拠はセメントとフライアッシュの密度差と粒度差にある。したがって、使用するフライアッシュは置換率が大きいほど、粒度が細かいほど抑制効果が大きい。それによって生ずる弊害、中性化・初期強度低下には注意しなければならない。
	石灰石微粉末	使用量が過度であると DEF(エトリンタイトの遅れ生成)可能性がある。注意を要する。
ワーカビリティの向上 (高流動コンクリートなど)	フライアッシュ	球形粒子であるボールベアリング効果は単位水量の減少、流動性の向上となるため、高流動や中流動コンクリートに適用できる可能性があるが、単独使用ばかりではなく、特殊化学混和剤との併用なども見込みながら、使用量を決定する必要がある。
粉体量の確保 (高流動コンクリート)	石灰石微粉末	強度発現に寄与しないという永年の説であったが、石灰石微粉末がエーライト水和の促進に寄与することが複数の研究で判明している。 普通・早強ポルトランドセメントには 5%以下の混合材適用が認められているが、その多くは石灰石微粉末で、28 日材齢までの強度増進に寄与することがわかっている。しかしながら混和材として適用する場合、セメントに対する内割使用では 10%を超えると強度低下や DEF の危惧が生じる可能性があり注意を要する。粉体量を増加し流動性を高めるという考え方に基づけば、外割使用として対応するべきである。 なお、石灰石である以上 CaCO ₃ の純度が求められ、ちなみに JIS R 5210 ポルトランドセメントの混合材としては純度 95%が規定されている。この点は他の碎石粉とは一線を画す必要がある。
ひび割れ抑制	膨張材	7 日程度の湿潤養生が必要 凝結の遅い配合は膨張材との相性に注意
水和熱低減	フライアッシュ	水和熱低減割合は置換率の半分 (5 割程度) であるので、中性化の進行や初期材齢強度発現の遅延といったデメリット要素も考慮して、置換率を決定しなければならない。
長期強度増進	フライアッシュ	10~20%程度のセメント置換で、概ね 56~91 日材齢で無添加コンクリートとの強度が等しくなり、以降は上回る強度増進となるが、養生管理が徹底されることが大前提である。

水密性の向上	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大 初期養生が不足すると中性化が進行する
	フライアッシュ	使用量の過多や初期養生が不足すると中性化が進行する。 単位水量の低減、ブリーディングの低減効果で水密性は確実に向上するが、フライアッシュの使用量の増加による初期材齢強度の低下には注意を要する
塩害抵抗性の向上	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大 初期養生が不足すると中性化が進行する
	フライアッシュ	水密性の向上やアルカリシリカ反応抑制効果そのまま塩害抵抗性の向上につながるが、フライアッシュの使用量によっては、中性化や初期材齢強度の低下となること十分考慮しなければならない。
アルカリシリカ反応抑制	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大 初期養生が不足すると中性化が進行する 高炉セメントの場合、B種でスラグ分量40%以上を有するもの、もしくはC種を使用することが、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートで規定されている。スラグ分量40%未満のB種やA種では効果が得られないか、もしくは希薄となる
	フライアッシュ	JIS A 5308 レディーミクストコンクリートでは、フライアッシュセメントB種ならば分量15%以上、もしくはC種を適用しなければならない。A種や15%未満のB種では効果が得られない。フライアッシュを混和材として使用する場合も、フライアッシュセメントでの使用法に準じることが必要である。
硫酸塩・海水に対する抵抗性の向上	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大 初期養生が不足すると中性化が進行する

する事が重要である。

今日のコンクリート構造物の施工は、混和材料なしではありえない。特にコンクリート用化学混和剤は、現在は当たり前の材料として使用されているが、これまでその機能・性能そのものには着目されてこなかったのが現状である。その反省を踏まえ、これからは混和材料の機能・効果が最大限発揮される正しい使用を促していく必要がある。表現を変えれば、正しく使用されているのにもかかわらず、効果が得られない材料であってはならない。

参考文献

- 1) 田村隆弘, 筒井達也: コンクリート用混和材料に関するアンケート調査から見る認知度, 使用実績, 今後の混和材料への期待, コンクリートよるず研究会テキスト 付録1, 2018
- 2) 小泉信一, 作榮二郎: 流動性を長時間保持する AE 減水剤「マスターレオシュア」, セメントコンクリート, No.876, pp.8~13, 2020.2 を一部修正して転載
- 3) 田村隆弘, 温品達也, 筒井達也: コンクリート用混和材を使用する前に, コンクリートよるず研究会テキスト, 1.4, 2018

(執筆者: 筒井 達也)

3.2 各地の先進的な ASR 対策

コンクリート構造物の高耐久化のためにフライアッシュや高炉スラグ微粉末等を活用していくことには大きな意義があり、我が国では多くの実績が積み重ねられてきている。これらの混和材は、火山国である我が国の宿命とも言える ASR 劣化の抑制効果に優れていることはすでによく知られている。しかし、依然として ASR による劣化は生じており、特にフライアッシュについては品質の変動や供給体制の課題等もあり、さらなる活用の推進が社会的に求められている状況にある。

コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント小委員会（229 委員会）成果報告書¹⁾には、第IV編の「コンクリート構造物の高耐久化のためのフライアッシュ、高炉スラグの有効活用」と題して、フライアッシュと高炉スラグの各地域での有効活用の先進的事例と課題がまとめられている。フライアッシュについては、北陸、沖縄、長崎、四国、東北、タイの事例と今後のマネジメント的課題が記載されている。高炉スラグについては、新気仙大橋における高耐久 RC 床版、裏高尾橋工事における低発熱・収縮抑制型高炉セメントの適用、JR 東日本の ASR 抑制対策が紹介されている。

本報告書では、229 委員会の成果報告書に含まれていない先進的な ASR 対策の事例として、3.2.1 では新潟駅付近連続立体交差事業において、大規模な鉄道構造物に ASR 対策としてフライアッシュを活用した事例を紹介する²⁾。そして、3.2.2 では、東北地方整備局管内の ASR の実態調査の結果と混和材を用いた抑制対策について紹介する。

3.2.1 JR 東日本のフライアッシュによる ASR 対策

JR 東日本では、2011 年 11 月から ASR 対策として JIS A 5308 に示されている基準よりも判定基準を厳しくし、混和材の利用を優先したルールを施行してきた³⁾。それ以降、ASR 対策の重要性が認識され、他の機関でも同様のルールで ASR 対策が講じられるようになってきている⁴⁾。ここでは、このルールに基づいて、フライアッシュを混合したコンクリートを大規模に適用した新潟県付近連続立体交差事業における取組みを概説する。

(1) JR 東日本における ASR 対策

2011 年 11 月から施行された新しい ASR 対策では、骨材の反応性の区分を JIS 規格の「無害」、「無害でない」の 2 段階の区分から、「E 有害」、「準有害」、「E 無害」の 3 段階の区分とした。モルタルバー法と科学法それぞれに対して、過去の実事例等を踏まえての判定区分が示されており、安全側で評価できるようにされている。表 3.2.1.1 に ASR 抑制対策を示す。アルカリ総量による対策の基準は $2.2\text{kg}/\text{m}^3$ 以下と厳しい基準になっており、基本的には混合セメントによる対策が取られるような仕組みとなっている。

表 3.2.1.1 JR 東日本の ASR 抑制対策

骨材のアルカリシリカ反応判定区分	対策
E 有害	混合セメント等による対策
準有害	アルカリ総量を $2.2\text{kg}/\text{m}^3$ 以下に規制する対策 もしくは 混合セメント等による対策
E 無害	無対策

(2) 新潟駅付近連続立体交差事業での ASR 対策

新潟駅の近傍（新潟・新発田・新津地区）において 1997 年から 2003 年までの間に JR 東日本が施工した工事の配合報告書をもとに、骨材の産地および化学法による ASR 反応性区分を調査した。その結果、ASR 反応性区分が「E 有害」となる阿賀野川水系の骨材が約 40%を占め、また、入手可能なすべての骨材が「E 有害」もしくは「準有害」の分類となることが分かった。阿賀野川水系骨材のサンプルのモルタルバー法による膨張率は、JIS の判定基準である 26 週目で 0.1%の膨張率の 5 倍以上もの値が見られたため、新潟連立においては、「E 有害」もしくは「準有害」の骨材の使用を前提とすることとした。新潟市付近には、山形県酒田市および石川県七尾市の比較的に近隣に位置する石炭火力発電所があることから、フライアッシュによる対策を検討し、実施されることとなった。

岩種分析の結果、阿賀野川水系骨材の ASR 反応性は安山岩が含まれることに起因するものと考えられたが、フライアッシュを 20%添加することにより、安山岩が 40%含まれた場合のモルタルバー法試験においても、JIS 判定基準の 0.1%を大幅に下回る低い水準の膨張率に抑えられることが分かった。使用した骨材中で安山岩の自然含有率は 5~10%であったため、フライアッシュをセメントの内割で 20%混合することで十分な ASR 抑制効果があるものとした。

(3) 大規模な鉄道高架橋への適用

新潟連立では、場所打ち RC 杭、地中梁、柱、中層・上層梁、スラブ、軌きょう固定用の高さ調整コンクリートに至るまで、場所打ちコンクリートのほとんどの部位において、フライアッシュを混合したコンクリートが適用された。約 11 万 m³の全ての場所打ちコンクリートにフライアッシュが混合され、ASR が問題となっている地域において、地産骨材のみを用いる実効性の高い ASR 抑制対策を、発注者・コンクリート製造者・施工者が協働で実践した貴重な事例である。

特に、せん断補強鉄筋などが密に配置される柱には高流動タイプのコンクリートを、配筋量を軽減する必要のあった軌きょう固定用の高さ調整コンクリートでは短繊維を添加したコンクリートが用いられたが、このような特殊なコンクリートについてもフライアッシュを混合して ASR 抑制対策が講じられた。

(4) 生コン供給体制の構築

本工事の最盛期には、各工区においてコンクリート打込みが重なることが想定されたため、複数のコンクリート製造工場においてフライアッシュを混合したコンクリートの出荷体制が整えられた。発注者と生コン組合との調整により、各生コン工場共用のフライアッシュサイロ 1000t を整備し、各工場はこのサイロからフライアッシュを受給することで、安定した出荷が可能な体制となった。

(5) 品質確保のための検討

フライアッシュを混合したコンクリートを施工するにあたって多くの課題があったが、特に、脱型時期および養生期間については、施工後の品質に直結することから、実験的な確認がなされた。柱部材の 1/3 スケールの模型試験体を作製し、現地環境下に 6 ヶ月間暴露した。フライアッシュをセメントの内割で 20%混合する場合には、普通ポルトランドセメントのみの配合と同程度のひび割れ量に抑えるためには、コンクリート打込み後 7 日目まで湿潤養生を実施し、その後 28 日目までの間、ラップ等で被覆養生することが望ましいことが分かり、実施工でもそのように実施した。

参考文献

- 1) コンクリート技術シリーズ No.114, コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会 (229 委員会) 成果報告書, 土木学会, 2017.7
- 2) 井口重信, 小林將志, 松田芳範, 野澤伸一郎: 鉄道構造物に対する新しい ASR 対策と混和材を活用した事例, コンクリート工学, Vol.57, No.7, pp.498-503, 2019.7
- 3) 東日本旅客鉄道 (株): 土木工事標準仕様書, 2018.6
- 4) 鳥居和之: アルカリシリカ反応 (ASR) と遅延型エトリンガイト生成 (DEF) の研究を振り返る, コンクリート工学, Vol.56, No.5, pp.477-478, 2018

(執筆者 細田 暁)

3.2.2 東北地方整備局管内の ASR とその対策

(1) 国土交通省の ASR 対策

かつて日本では ASR は起こらないと言われていた時期もあったが、昭和 50 年代後半から主に西日本で ASR が確認されたことにより、その対策が検討されるようになってきた。表 3.2.2.1 にこれまでに国土交通省から通知された ASR 対策の概要を示す。

1986 年 6 月（昭和 61 年）には、骨材の選定のための試験方法として化学法やモルタルバー法、使用するセメントの種類として低アルカリ型セメントや抑制効果のある混合セメント、アルカリ総量規制を内容とする「アルカリ骨材反応暫定通知について」が出された。その後、内容の小改訂を行った「アルカリ骨材反応抑制対策について」が 1989 年 7 月（平成元年）に出されている。2002 年 8 月（平成 14 年）には、ASR 対策の優先度を 1) アルカリ総量規制、2) 抑制効果のある混合セメントの使用、3) 試験により無害とされた骨材の使用と定めた「アルカリ骨材反応抑制対策」が定められている。なお、2001 年（平成 13 年）には「グリーン購入法」が制定され、これに関連して土木工事共通仕様書のレディーミクストコンクリート標準仕様基準が、RC 床版や PC 上部工などを除いて、下部工や函渠工などで使用するセメント種類が普通ポルトランドセメントから ASR 抑制効果のある高炉セメント B 種に変更されている。

表 3.2.2.1 これまでに国土交通省から通知された ASR 対策の概要

年月	通知名	主な内容
1986 年 6 月 (昭和 61 年)	アルカリ骨材反応暫定通知 について	骨材の選定（試験方法：化学法、モルタルバー法）、低アルカリ型セメント、抑制効果のある混合セメント、アルカリ総量規制
1989 年 7 月 (平成元年)	アルカリ骨材反応抑制対策 について	1986 年 6 月の暫定通知のうち、抑制効果のある混合セメントの使用、化学法、モルタルバー法の小改訂
2002 年 8 月 (平成 14 年)	アルカリ骨材反応抑制対策	対策の優先度を規定。 1) アルカリ総量規制 2) 抑制効果のある混合セメントの使用 3) 試験により無害とされた骨材の使用

※この他、2001 年（平成 13 年）「グリーン購入法」の関係で、土木工事標準仕様書のレディーミクストコンクリート標準仕様基準が改訂され、下部工や函渠工などでは普通ポルトランドセメントから、ASR 抑制効果のある高炉セメントが標準となっている。

(2) 東北地方整備局管内の ASR の実態

国土交通省の ASR 対策の効果を見るために、最初の ASR 対策よりも前の 1985 年（昭和 60 年）以前に建設された橋梁と、ASR 対策が最初に通知された 1986 年（昭和 61 年）から 2001 年（平成 13 年）のグリーン購入法の関係で高炉セメント B 種が標準となる前の 2000 年（平成 12 年）までに建設された橋梁の定期点検結果から ASR の事例を抽出する。

写真 3.2.2.1 は、1984 年（昭和 59 年）に供用開始された側道橋の ASR の事例である。2006 年に断面修復を行っているが、膨張が収まっていなかったために再度亀甲状の亀裂が入っている。写真 3.2.2.2 は、1984 年（昭和 59 年）に海岸線近くに建設された PC 箱桁の ASR の事例である。橋軸方向にプレストレスが入っているため、上下方向にしか ASR の膨張が起きないため、橋軸方向のひび割れが発生し ASR ゲルも確認されている。ASR 対策が通知される前に建設された橋梁では、下部工や PC 上部工に ASR が確認されている。



写真 3.2.2.1 側道橋の ASR の事例(1986 年(昭和 59 年)供用)



写真 3.2.2.2 PC 箱桁の ASR の事例(1986 年(昭和 59 年)供用)

写真 3.2.2.3 は、海岸線近くに建設され、1991 年(平成 3 年)に供用開始された側道橋の ASR の事例である。写真 3.2.2.4 は、内陸部に建設され、1994 年(平成 6 年)に供用開始された側道橋の ASR の事例である。

ASR 対策が通知された後に建設された橋梁であっても ASR が確認されていることがわかる。

このように ASR 対策が通知されていても ASR が確認される理由は、飛来塩分や凍結防止剤の主成分である塩化ナトリウム (NaCl) がアルカリイオンの供給源であり、海岸線付近や凍結防止剤の散布区間では、アルカリが追加供給されることが原因と考えられる。加えて、化学法やモルタルバー法で無害と判定された骨材であってもアルカリが追加供給される環境では ASR が起きる場合があることも一因と考えられる。

現状の ASR 対策は、アルカリの総量規制があってもコンクリート構造物に凍結防止剤等のアルカリが追加供給される環境にあることや、骨材を選定する試験方法がアルカリの追加供給を想定していないなどの問題

点があると言える.



写真 3.2.2.3 海岸線近くの側道橋の ASR の事例 (1991 年 (平成 3 年) 供用)



写真 3.2.2.4 内陸部の側道橋の ASR の事例 (1993 年 (平成 6 年) 供用)

(3) 東北地方の生コンクリートの ASR 抵抗性

東北地方に実際に流通している普通ポルトランドセメントを使用した生コンクリートは、凍結防止剤などのアルカリが追加供給される環境では、ASR を起こさないのか調査した事例を紹介する。

この調査は、東北地方整備局技術管理課と東北 6 県の生コンクリート工業組合および日本大学工学部の 3 者の連携のもとに行われた。まず東北地方整備局技術管理課から東北 6 県の生コンクリート工業組合宛、主要な地域の実際に流通している生コンクリートの骨材（粗骨材および細骨材）と配合表を日本大学工学部に

送付してもらうように依頼した。配合表はRC床版を想定した強度 24N/mm^2 とPC構造物を想定した 40N/mm^2 の2種類とした。東北6県の生コンクリート工業組合は、各県の主要な地域の代表的な生コンクリート製造工場に骨材と配合表の提出を求めた。調査に協力を表明した生コンクリート製造工場は、日本大学工学部に骨材と配合表を送付した。この調査に協力いただいたのは、東北6県の45の生コンクリート製造工場であった。

骨材と配合表を送付された日本大学工学部では、配合表と同じメーカーのセメントやAE剤などを使って、実際に流通している生コンクリートを再現し、これを使って円柱供試体を作製した。アルカリが追加供給される環境でのASRの抵抗性を見るためこの供試体を使ってSSW試験を実施した。SSW試験とは、材齢1日で脱型した供試体の膨張量を計測するためのコンタクトゲージを取り付けた後に、20%のNaCl溶液に供試体を封入し、 40°C の恒温試験室で促進試験を行うものである。膨張量の計測は1, 7, 14, 28, 56, 70, 91, 126, 154, 182日の計10回行った。

図3.2.2.1に、調査に協力いただいた45の生コンクリート製造工場の内、 1000×10^{-6} 以上の膨張を示した工場数と割合を示した。膨張を示した工場は15であり全体の33.3%を占めた。

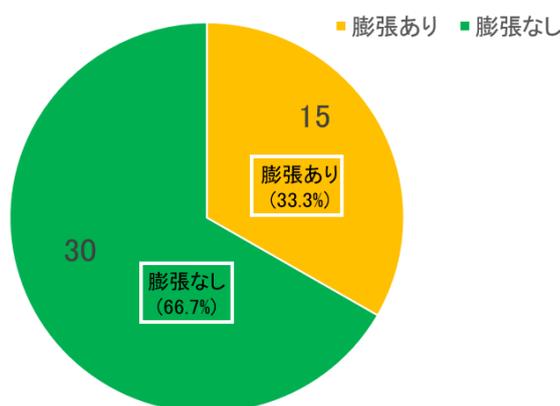


図 3.2.2.1 実際に流通している生コンクリートのうちSSW試験で 1000×10^{-6} 以上の膨張を示した工場の割合

図3.2.2.2に、膨張を示した15の生コンクリート製造工場の27供試体の時間経過に伴う膨張量を示した。SSWの調査期間の半分にあたる91日以前に 500×10^{-6} 以上膨張したものを「促進型」、91日以後に膨張したものを「遅延型」と分類した場合、今回の調査結果では「遅延型」が19供試体あり、膨張を示した供試体全体の約70%を占めた。

東北6県の全ての生コンクリート製造工場を対象とした調査ではないため、断定することはできないが、主要な地域毎の代表的な生コンクリート製造工場から骨材が集まっていることを考慮すると、東北地方では全体の約30%で凍結防止剤などの影響を受けるとASRを起こす可能性のある生コンクリートが使われており、そのうち約70%は「遅延型」の膨張特性を示すことが予想されると言える。

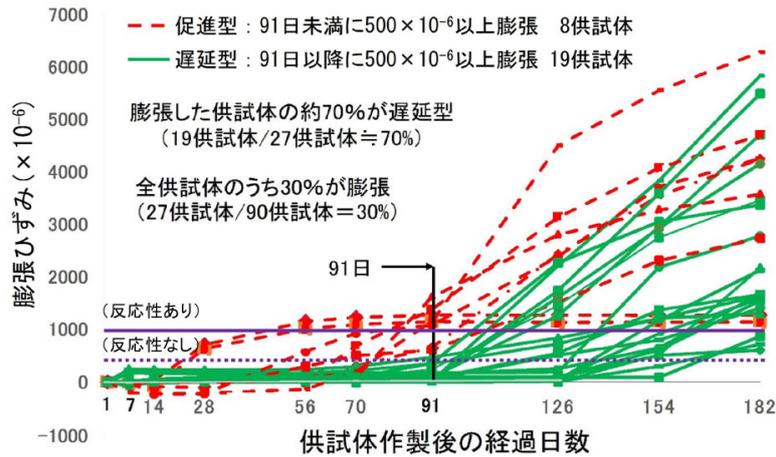


図 3.2.2.2 SSW 試験で膨張した供試体の時間経過に伴う膨張量

「遅延型」が多いと言うことは、現状では ASR が確認されていなくても、今後の凍結防止剤散布の影響などによって将来的に ASR が顕在化する恐れがあることを示している。図 3.2.2.3 に橋梁の定期点検結果による ASR の発生状況（図の左側）と ASR の反応性鉱物を含む岩体の分布図（図の右側）を示した。橋梁の定期点検結果では、岩手県の ASR の確認事例が他の県に比べるとだいぶ少ないが、これは北上山地や岩手県の三陸沿岸に分布する岩体が、遅延膨張性のチャートを含む付加体や花崗岩類であることや、東北 6 県の中でも凍結防止剤の散布量が他県に比べて多くない事に起因していると思われる。したがって、将来的に凍結防止剤などの影響で ASR が顕在化する可能性が否定できない地域が岩手県であると言える。

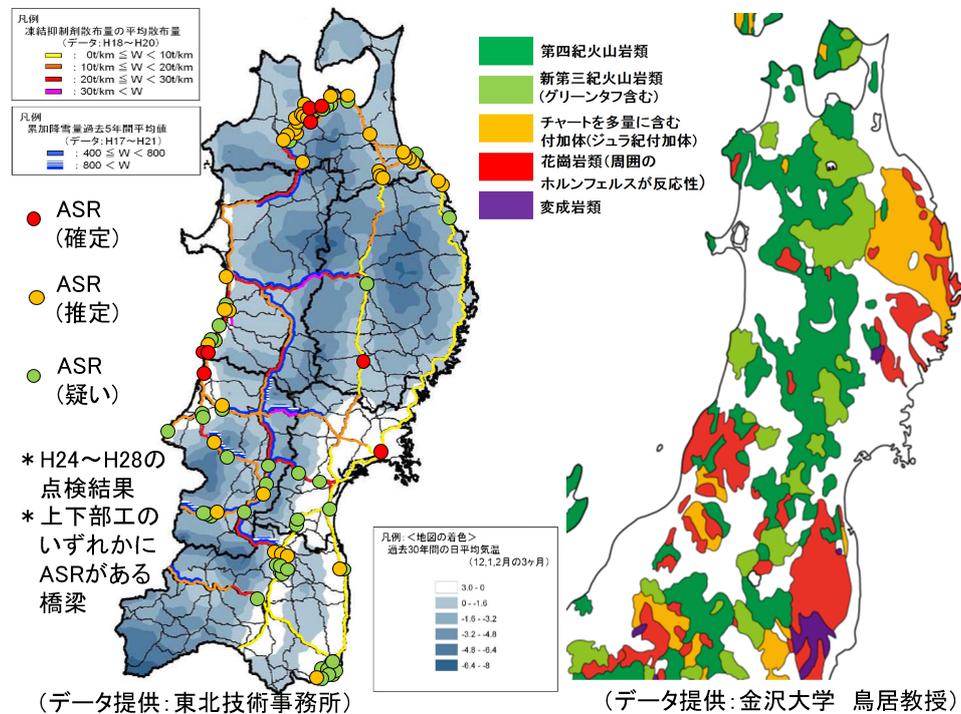


図 3.2.2.3 橋梁の定期点検結果による ASR の分布と ASR 反応性鉱物を含む岩体の分布

(4) 東北地方整備局の ASR 対策

現在流通している生コンクリートの中には、凍結防止剤などの影響で ASR を起こす可能性があるものがあり、今後も凍結防止剤の散布が継続されることが予想されることから、現在までに国土交通省から通知されている ASR 対策だけでは十分ではないと言える。

凍結防止剤などのアルカリが追加供給される環境を構造物管理者が作っている以上、その結果 ASR が起きてもその原因を生コンクリート製造工場に求めるあるいは、骨材を選定しなおすことは適切とは言えない。特に粗骨材、細骨材ともに砕石、砕砂が主流となっている中で、図 3.2.2.3 の右側の図に示したように ASR 反応性の鉱物を含む岩体が広く分布している東北地方の状況では ASR 対策のための骨材選定の厳格化は、現状の骨材の有効利用の観点からも適切とは言えない。

このため、東北地方整備局では ASR 抑制効果のある混合セメントを使うことを ASR 抑制対策の柱としている。具体的には、レディーミクストコンクリートの標準仕様基準における高炉セメント B 種を使うことを基本に、普通ポルトランドセメントを使用した生コンクリートの混和材として、ASR 抑制効果のあるフライアッシュを使用することも可能としている。

図 3.2.2.4 に普通ポルトランドセメントを高炉セメント B 種に変更した供試体と普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混和材として使用した供試体の ASR 抑制効果を示す。「促進型」や「遅延型」から特徴的な膨張挙動の供試体を 5 種類選定し、セメントの種類を普通セメントから高炉セメント B 種あるいは普通セメントにフライアッシュを混和材として使用した場合は ASR による膨張が抑えられていることがわかる。

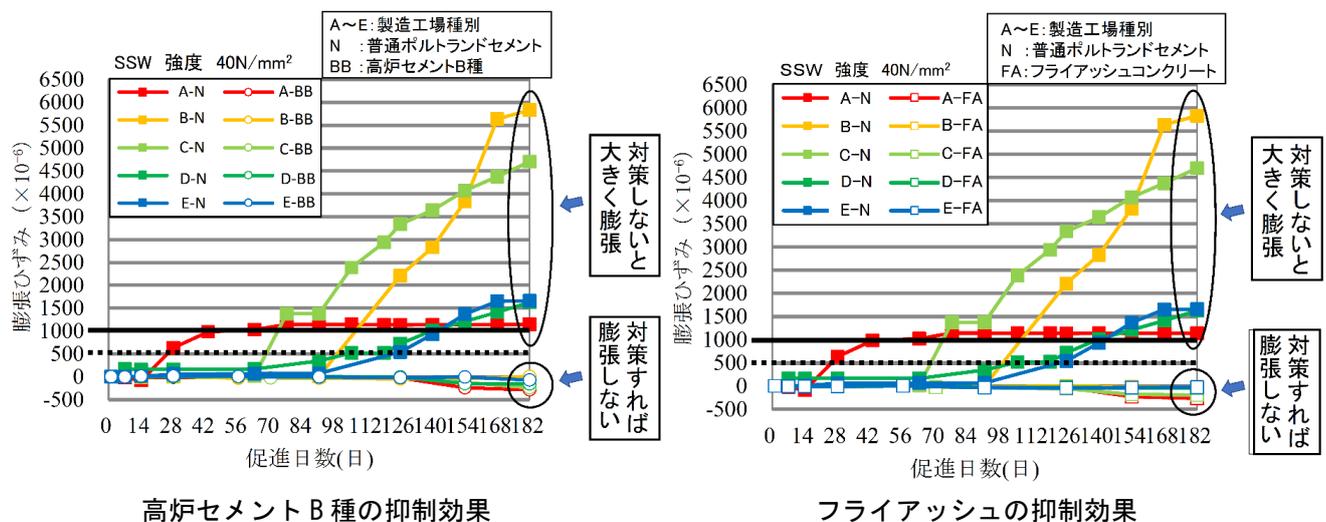


図 3.2.2.4 高炉セメント (B 種) とフライアッシュの ASR 抑制効果

このような調査結果から、平成 31 年 3 月 29 日付けで東北地方整備企画部技術調整管理官から各事務所長宛に以下の様な ASR 対策を実施するように通知が出された。なお、通知内の「塩分環境下」とは、飛来塩分や凍結防止剤の影響を受ける環境下という意味である。

- 1) 塩分環境下では、ASR 抑制効果のある混合セメントを使うことを基本とする。
- 2) レディーミクストコンクリートの標準仕様基準に示されている構造物のセメントの種類によらず、ASR 抑制効果のある高炉セメント B 種を使用することを基本とする。

ただし、フライアッシュの混入量をセメント量一定のもと、普通ポルトランドセメントの重量の20%程度を混和材として使用したフライアッシュコンクリートが製造できる場合には、ASR抑制対策としてフライアッシュコンクリートを使用することができる。

3) レディーミクストコンクリートの標準仕様基準で普通ポルトランドセメントが標準となっているRC床版については、別途定める「東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き(案)2019年版 令和元年6月 国土交通省 東北地方整備局」によるものとする。(RC床版は高炉セメントB種かフライアッシュコンクリートを使用することが基本となっている。)

4) PC構造物には当面適用しない。

高炉セメントB種を基本としているため、温度応力ひび割れの発生が懸念される場合には、セメントの種類は変えずに別途ひび割れ抑制鉄筋などの対策を行うことにしている。

なお、PC構造物には当面適用しない理由は、早強セメントにフライアッシュを混和材として使用した場合のクリープの影響や生コンクリートの性状や施工性の点で知見が少ないことから、この通知では当面適用しないこととしたものである。ただし、既設のPC上部工で既にASRが確認されていることから、今後のこれらの知見の積重ねが期待される。

(執筆者：佐藤 和徳)

3.3 東北地方におけるコンクリート構造物の耐凍害性確保に関する現状と課題

3.3.1 凍害を取り巻く環境の変化

東北地方のような凍結環境下にあるコンクリート構造物の特徴的劣化現象の一つに凍害がある。凍害は、古くから認知されており、そのメカニズムについては1945年にT.C Powersにより水圧説として物理現象として捉えられ、その後本人によって浸透圧説として修正が加えられたが、基本的には、不凍水による圧力が原因と考えられてきた。凍害の原因についてはそれ以外にも種々の提案がなされているものの、統一的な解釈には至っていない現状にある。一方で凍害対策としては、AE剤によるコンクリート中の微細空気の連行と水結合材比の低減による水和組織の緻密化が有効であることもまた古くから知られており、すでに世界各国の凍害対策の本丸を担っており、現実的にも功を奏してきたと言える。

土木学会コンクリート標準示方書にコンクリートの空気量が項目化されたのは、昭和24年度制定（昭和26年版）であり、その「13章 エアーエントレインドコンクリート（AEコンクリート）」において、「エアークレイトレインドコンクリートを用いる場合の施工については、責任技術者の承認をえなければならない。」とされており、示方配合の表記には、空気量の項目は示されていない。昭和31年制定の示方書では、「4章配合」において、「AEコンクリートの空気量は、粗骨材の最大寸法その他に応じてコンクリートの容積の2～6%とする。」と示されている。その解説には、「適当量のエントレインドエアールをもつコンクリートは、気象作用にたいする耐久性がきわめてすぐれているので、厳しい気象作用を受ける場合にはAEコンクリートを用いるのが望ましい。」と記載されている。その後、昭和52年には「打込み後においてコンクリート容積の3～6%」、平成8年制定では、「練り混ぜ後においてコンクリート容積の4～7%」と示されて現在に至る。「JIS A 5308 レディーミクストコンクリート」において、普通コンクリートの空気量が $4.5\pm 1.5\%$ と示されたのは、平成6年版の示方書からである。以上のようにコンクリート中の空気量は、様々な変遷を受けて現在に至る。

一方、USAやCanadaの基準では、骨材の最大寸法が $16\pm 4\text{mm}$ の場合でフレッシュコンクリートの空気量は中程度の環境で4.0～7.0%、厳しい環境で5.5～8.5%程度との事例もある。

コンクリートの空気量がAE剤により確保されて以降、コンクリートの耐凍害性は改善され、内部ひび割れにより露呈する凍害は低下した。一方で、平成2年6月に、「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が公布、施行され、平成4年4月には罰則規定が施行されて以降、交通安全のために撒かれる凍結防止剤により、凍害の一つであるコンクリートの表面剥離が顕在化した。現在問題となっている凍害劣化は、この表面劣化すなわちスケール劣化である。

コンクリートのスケール劣化も硬化コンクリートの空気量の確保により改善される。

3.3.2 東北地方におけるコンクリート構造物の劣化

我が国の東北地方は言うまでもなく積雪寒冷地域が多く存在する。前述の通り、コンクリートにはコンクリート標準示方書に示されている空気量が混入されており、総体的には凍害は抑制されているが、道路構造物の水掛かり部には、スケール劣化が顕在化し、補修を余儀なくされる。一般的に補修後も供用環境には変わりなく、既存のコンクリートに水が接する環境になると凍害が再発し、再劣化する。補修材は健全な場合もあるが、周辺のコンクリートは暴露環境に変わりはなく、凍害に弱いコンクリートは凍害を受ける。特に凍結防止剤はスケール劣化を助長することが分かっている。現状では内部ひび割れと比較して、スケール劣化が顕在化している部分が多く見られ、橋梁点検結果によれば、橋梁下部工の剥離・鉄筋露出

の原因はスケーリング劣化に辿り着くことが多い。

3.3.3 東北地方整備局におけるコンクリート構造物のスケーリング劣化への対応

これまでのコンクリート構造物の凍害は、JISA 5308 に示されているコンクリートのフレッシュコンクリートの空気量によって対策が講じられてきた。フレッシュコンクリートの空気量で $4.5\pm 1.5\%$ である。これはコンクリートのスケーリング劣化が特出して顕在化する前に決められており、日本全国での統一規格となっている。凍害環境が厳しくない多くの地域では、この JIS A 5308 で問題ないと思われるが、東北地方の寒冷が厳しい地域では現実としてスケーリング劣化は生じており、橋梁点検結果からみられるコンクリート構造物の劣化の主要な要因の一つであり、供用後 5 年から 20 年で顕在化している。特に凍害劣化の問題は、新規コンクリートの特性がその後の耐久性を大きく左右する。

この隘路を打開するため、国土交通省東北地方整備局では、東日本大震災の復興道路・復興支援道路の建設にあたり、岩手県内に建設が展開された宮古盛岡横断道路の新区界トンネルに対して耐凍害性確保を課題とした試行工事を実施した。当該地域は北上山地にあり、凍害危険度 4 に属する地域である。当然ながら塩害、中性化および ASR の可能性もあるため、水結合材比を小さくし、バイブレータを適切に施してコンクリート構造物の緻密性を向上させることも必要である。他方で凍害に関してはエントレインドエアの確保が重要であり、これまでの経験的観測から $4.5\pm 1.5\%$ では空気量不足の可能性も考慮して実験的に検討した。水結合材比に関するスケーリング抵抗性の向上も考慮して対策に反映したのが、現在の国土交通省東北地方整備局が通知した「東北途方における凍害対策に関する参考資料（案）」であり、道路構造物の中でも橋梁上部工以外の橋脚、橋台、函渠、擁壁に適用する。凍害環境が厳しい地域は、JISA5308 に準拠するがフレッシュコンクリートの空気量 $4.5\sim 6.0\%$ を努力目標として打ち込むこととしている。東北地方のほとんどの地域のコンクリートにこの空気量を適用する。凍害環境が特に厳しい地域は、JISA5308 にこだわらない東北独自の空気量を導入することとした。基準は、コンクリートの水結合材比 45% 以下とし、かつフレッシュコンクリートの空気量 $5.0\sim 6.9\%$ とする。コンクリートの圧縮強度は、40MPa を超えることが容易に予想され、設計強度を大きく上回る可能性がある。しかし凍害で一義的に崩壊が生ずる特に厳しい凍害環境では考慮せざるを得ない障壁であると考えられる。一方、マスコンクリートやトンネル覆工コンクリート等、温度ひび割れが懸念され、水結合材比を低くできない場合がある。その際には、フレッシュコンクリートの空気量 7.0% を基準とすることとした。コンクリートの空気量が大きい場合の力学的性質等が十分に議論されていないとの問題を提起される場合が多い。コンクリートの空気量を確保する場合、水結合材比は小さく設定しており劣化因子の侵入は少なくなると思う。また特に凍害環境の厳しい地域は凍害を防止しなければ、立ちどころに劣化が顕在化するのである。したがって凍害環境が特に厳しい環境に対して配慮することを決めたのである。この参考資料（案）は、平成 29 年 3 月に通知されて東北地方整備局のホームページに掲載・公開され、平成 31 年 3 月に改訂がなされて、現在に至っている。

3.3.4 東北地方における凍害対策の課題

現段階の参考資料（案）には、1 章において「この参考資料で定める凍害対策は、当面実施する暫定的なものであり、新たな知見等が得られた場合には、適宜見直すものとする。」と示されている。今後の改訂を維持する必要があり、そのために産官学の一層の技術的結束が重要であることを肝に銘じなければならない。

一方で、これらの取組みは、維持管理をしなければ、「風化・形骸化」し易い。様々な機会を活用して耐久性確保に対するスケーリング劣化対策の必要性を啓蒙していく必要がある。

凍害に関する議論は，コンクリートの耐久性を損なう要因の中でも，とにかく，地域的特別な劣化事例として特別視されてきたが，コンクリートの劣化対策は緻密性を最重要とする他の劣化とは一部分で大きく異なり，硬化後の空気量を必要とする．これらを認知して必要な地域で対策を講ずる事が重要である．

(執筆者：小山田 哲也)

4. ひび割れ抑制システムの構築・高度化

山口システムは、施工中に生じる初期ひび割れを無害なものに抑制する取組みからスタートした。ひび割れを無害なものに抑制するために、施工の基本事項の遵守を前提とし、施工記録のデータベースと規準書であるコンクリート構造物品質確保ガイドを活用した設計・施工を中核に据えたシステムが構築された。山口システムの哲学を基礎に据えて、群馬県でも品質確保システムの運用がスタートし、東北地方整備局においては品質・耐久性確保システムが構築され改善が重ねられようとしている。

東北地方整備局では、山口県とは異なり、ひび割れの抑制が最初のニーズではなかった。凍結抑制剤の散布に伴う凍害、塩害、ASR等の深刻な進行性の劣化が生じている状況に対して、厳しい環境作用において耐久性を確保することがニーズであったと言える。東北における品質・耐久性確保システムの構築の経緯は、2章の2.2に詳しいが、この難題に対して、まずは山口システムの施工の基本事項の遵守の考え方を取り入れて、品質確保の土台を構築した上で、耐久設計の改善や、ひび割れ抑制を後追いで検討していく流れとなった。橋脚、橋台、函渠、擁壁等の一般的な構造物に対しては、山口県等の既往の施工実績も活用してひび割れ抑制設計を行える簡易なシステムも構築され、その骨子は229委員会の報告書¹⁾や、その他の報文²⁾で報告した。東北地方整備局の一般構造物のひび割れ抑制システムは、「ひび割れ抑制のための参考資料(案)(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)として2017年2月に通知された³⁾。

この4章では、上記のひび割れ抑制システム以外の、新たなひび割れ抑制システムの構築や、山口システムの施工記録のデータベースの高度利用について紹介する。4.1では、東北地方整備局によるRC床版の耐久性確保システムの中のひび割れ抑制対策について、4.2では、山口県の施工記録のデータベースと機械学習を組み合わせた研究事例について、説明する。

4.1 東北地方のRC床版の耐久性確保の手引き(案)におけるひび割れ抑制対策の考え方

4.1.1 高耐久RC床版の取組みとひび割れ抑制対策の必要性

既設のRC床版にはひび割れが発生しているものが多く、新設のRC床版においては、施工段階で発生するひび割れはなるべく抑制されることが望ましい。しかし、竣工検査までの施工段階で発生するひび割れは、不適切な施工によるものを除けば、温度応力や、連続桁上の床版を複数ロットに分割して段階施工することにより生じる応力、さらには乾燥収縮による応力によっても発生し、影響要因も多岐に渡る。また、どのレベルのひび割れが許容されるべきなのか、ひび割れが耐久性に及ぼす影響も議論が発散しがちであり、適切なひび割れ抑制対策を講じるのは容易ではない。このような状況の中で、東北地方整備局の通知した「東北地方のRC床版の耐久性確保の手引き(案)2019年試行版」⁴⁾では、これまでの試行工事における検討・分析結果や膨大な温度応力解析の結果等に基づいて、ひび割れが有害でないものにするためのひび割れ抑制対策を取りまとめた。ここでは、そのひび割れ抑制対策の骨子について説明する。

東北地整のRC床版の高耐久化のコンセプト⁴⁾を要約すると以下のようなになる。

- (1) 大型車の車輪の軌跡を考慮した桁配置や、適切な排水計画、重要構造物における床版上面のかぶりの10mm増厚などの設計段階での考慮
- (2) 床版、防水工、橋面舗装の三位一体で長寿命化を実現できるような設計、施工
- (3) 床版本体の多重防護の考え方による耐久性の向上
- (4) 模擬床版による試験施工において不具合の発生要因を把握した上での丁寧な施工

図 4.1.1 は、東北地方の RC 床版に生じている土砂化，鋼材腐食，抜け落ち等の深刻な劣化の要因と，それに対応する多重防護の考え方をまとめたものである。

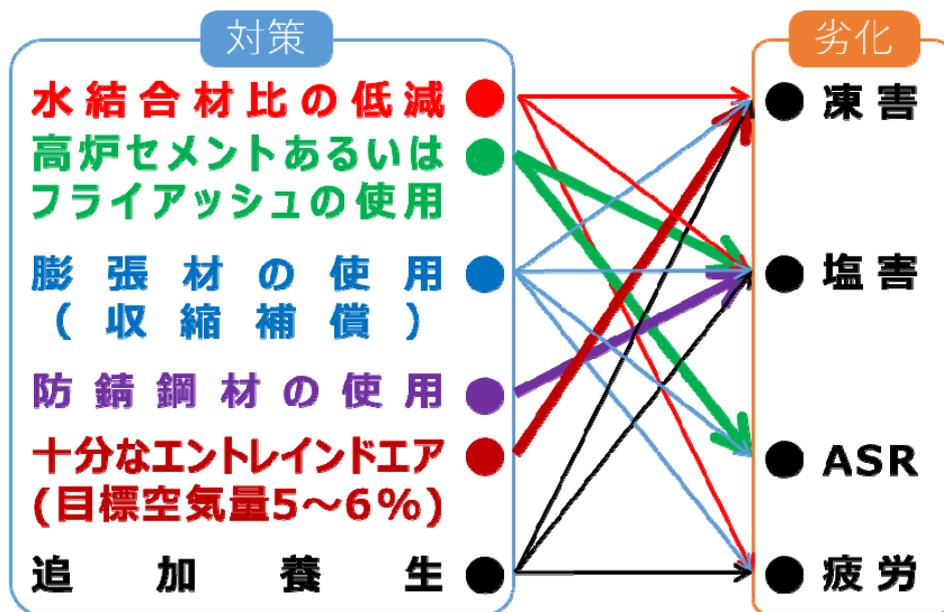


図 4.1.1 RC 床版の多重防護の考え方

まず，水結合材比を 45%程度以下に低減し，劣化に対する抵抗性を向上させた．次に，ASR 抑制対策を主目的として，高炉セメント B 種あるいはフライアッシュを使用することとした．膨張材の使用を基本としたが，後述するひび割れ抑制対策の検討過程で膨張材の使用は不可欠である，との結論に至った．さらに，防錆鋼材の使用，十分なエントレインドエアの確保，十分な緻密性や膨張材の反応のための追加養生を含んだ多重防護の対策となっている．

この多重防護の対策の実践として，高耐久床版の第一号橋である向定内橋（フライアッシュ使用）や高炉セメント B 種を用いた第一号橋である新気仙大橋といった復興道路や復興支援道路での実装が進められた．

フライアッシュを用いた高耐久床版は，向定内橋の後，いくつかの橋梁で施工されたが，能代火力発電所のフライアッシュを陸送し，コンクリート製造工場でフライアッシュを手投入して用いた．7 径間の連続鋼桁橋であった新気仙大橋では，この手法によるフライアッシュコンクリートの使用が困難との判断に至り，高炉セメント B 種を用いた高耐久床版を施工した．その後，高炉セメント B 種を用いた床版は数が増えてきているものの，フライアッシュを用いた RC 床版は施工されていない．フライアッシュの活用の今後の活性化が期待される．

高炉セメント B 種を用いた高耐久 RC 床版は，新気仙大橋を皮切りに，単径間の PC コンポ桁橋（彦平橋），単径間の鋼桁橋（青ぶな山 1 号橋），2 径間連続鋼桁橋（新柳渕橋），4 径間連続鋼桁橋（小佐野高架橋）等の様々な構造で使用され，床版のひび割れのリスクが構造形式により異なることも分かってきた．

高炉セメント B 種を用いた高耐久床版を施工した 7 径間連続鋼桁橋の新気仙大橋において，写真 4.1.1 に示すような橋軸直角方向のひび割れが発生した．竣工検査時点で 0.2mm 未満であったが，一部のひび割れについては床版下面からエフロッセンスも確認され，貫通したひび割れであった．さらに付記すれば，床版上面からひび割れ上で表層透気試験を実施したが，表層透気係数はひび割れ以外の部分と同程度であり，養

生や降雨等の影響で自己治癒したものと考えている。



写真 4.1.1 高耐久床版に発生した橋軸直角方向のひび割れ

フライアッシュを用いた高耐久床版については、構造形式、使用材料、施工時期等の影響もあると思われるが、施工中にひび割れの発生は確認されていない。一方で、高炉セメントを用いた高耐久床版については、新気仙大橋において追加養生の終了後にひび割れの発生が確認された。今後、多くの床版で高耐久床版が施工される際に、ひび割れの発生を極力防止し、ひび割れが発生したとしても有害なひび割れとならないためのひび割れ抑制対策が必要と考え、検討を行うこととした。

複数の異なる構造形式の橋梁における試行工事で、材料物性の計測、部材試験体の作製、実構造物での温度・ひずみ・応力等の計測を行い、3次元の温度応力解析モデルの検証を重ねた。数値解析の結果と実際のひび割れ発生状況を比較しながら、竣工検査時点で0.2mm以上のひび割れを発生させないように、なるべく簡易なひび割れ抑制対策を模索した。ひび割れを有害であるか否かを判定する基準については慎重な議論が必要であるが、現状では実質的な補修基準となっている0.2mm未滿とすることをひび割れ抑制対策の目標とした。有害なひび割れについての技術的な検討が進めば、ひび割れ抑制対策の目標自体を修正する必要があると考えている。

4.1.2 ひび割れ抑制対策を構築した考え方

試行工事における分析の結果、高炉セメントを用いて水結合材比を45%程度とした高耐久床版のひび割れリスクは、構造形式ごとに異なることが明らかとなった。

ひび割れのリスク分析には、温度応力解析を用いた。温度応力は、高耐久床版にひび割れを発生させる駆動力の一つであるが、発生する温度応力が、構造形式、施工時の外気温やコンクリート温度、コンクリートの熱膨張係数や自己収縮特性、膨張材の有無等により大きく異なることが明らかとなった^{5),6),7),8)}。なお、数値解析は打込み後、材齢28日までの湿潤養生期間中を対象とした。そのため、その期間の乾燥収縮や、湿潤養生終了後の乾燥収縮の影響は考慮していない。

温度応力解析はJCMAC3を用いて行い、図4.1.2に示すように材料レベル、部材レベル、構造物レベルの3段階で検証を行う手法によりモデルの検証を行いながら検討を重ねた⁵⁾。材料レベルの実験を行い、その

結果に基づいて、圧縮強度やヤング係数の発現、自己収縮特性、断熱温度上昇特性、凝結時間、コンクリートの熱膨張係数等をモデル化した。次に、部材レベルにおいては、膨張コンクリートの膨張エネルギーと、クリープ等の影響を考慮するためのヤング係数の低減係数を、床版を模擬した RC 供試体での計測結果を用いてキャリブレーションした。その後、これらの材料モデルを入力した構造物レベルの解析を行い、構造物での計測結果と整合するように、力学的な境界条件や、要素の表面の熱伝達係数のキャリブレーションを実施した。

このようにして検証された有限要素法の実橋フルスケールのモデルを用いて、温度ひび割れの発生に影響するパラメータを様々に設定したパラメトリックスタディを行った。外気温、コンクリート打込み温度、膨張材の有無、コンクリートの熱膨張係数、自己収縮の大小、などの要因を調べた^{5),8)}。ひび割れのリスクは、材齢 28 日までの湿潤養生期間中の最小ひび割れ指数で示した。膨大な組み合わせの数値解析の結果は、「東北地方の RC 床版の耐久性確保の手引き (案) 2019 年試行版」の巻末資料に含まれており、公開されている。

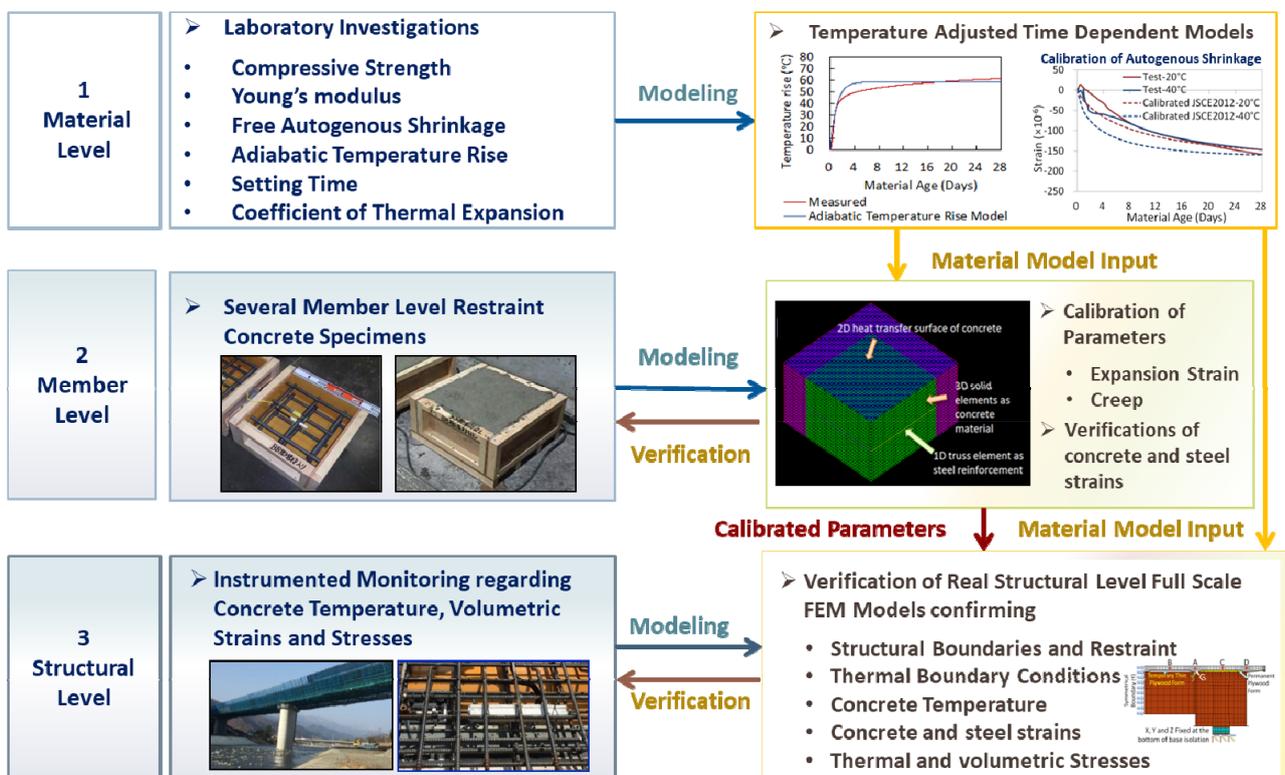
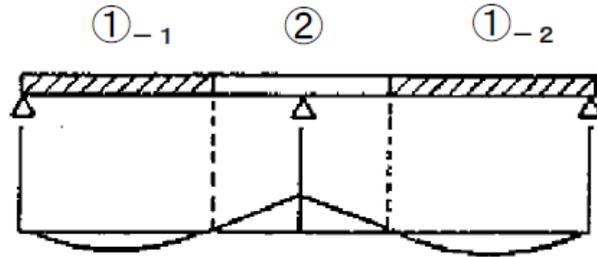
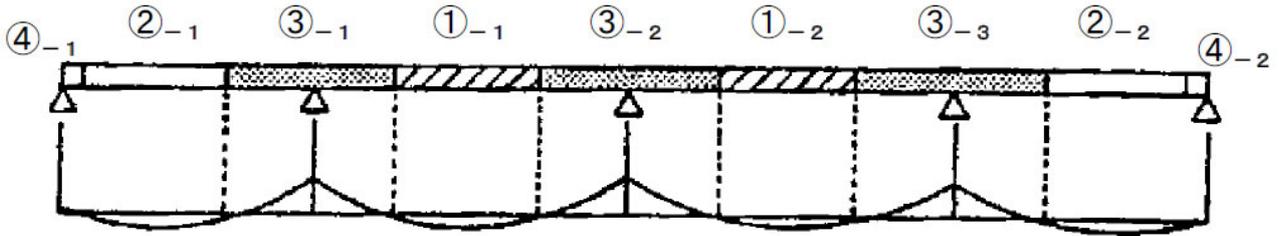


図 4.1.2 材料・部材・構造物の 3 段階で検証を行った温度応力解析⁵⁾

2 径間以上の連続桁の場合は、RC 床版の打込みが 1 回ではなく、分割しての段階施工になる。先行して打ち込まれたロットには、後に打ち込まれるロットの重さにより応力が発生する。分割されたロットの打込みの順序や打込み日の間隔によって、先行ロットに発生する応力は異なり、適切に配慮しないとひび割れが発生するリスクがある。図 4.1.3 には、2 径間連続と 4 径間連続の場合の打込み順序の例を示した⁴⁾。2 径間連続の場合は、中間支点上のロット (図中の②) を最後に打ち込むのがよく、それによって、先行して打ち込まれた①-1 と①-2 の硬化コンクリートには圧縮応力が導入され、ひび割れの発生リスクの観点からは有利な条件となる。一方で、4 径間連続の場合は、打込み順序に配慮しても、1.0MPa 程度の引張応力が生じる箇所があることが、試行工事での検討結果から明らかとなった。



(a) 2 径間連続桁橋



(b) 4 径間連続桁橋

図 4.1.3 連続桁の RC 床版の段階施工の打込み順序の例⁴⁾

ここまで述べたように、検証された有限要素法のモデルを用いて、様々な条件について温度応力解析を実施し、条件によって温度応力によるひび割れ発生リスクは大きく異なることが明らかとなった。さらに、2 径間以上の連続桁橋の場合は、床版の段階施工の影響により、ロットごとのひび割れのリスクも異なることが分かった。段階施工による応力は、打込みの順番や、打込み間隔を適切に設定することにより、悪影響をなるべく小さく抑える必要がある。一方で、温度応力の具体的な抑制方法については、膨張材の使用、コンクリートの打込み温度を低くすることや、熱膨張係数の小さいコンクリートや自己収縮の小さいコンクリートを使用することなどになるが、実際の施工で取り得る対策は膨張材の使用くらいである。

これらの状況を踏まえ、あまり複雑なひび割れ抑制対策となつては事前の検討が煩雑になるし、検討したとしても実際に取り得る対策に限られているため、なるべく簡易なひび割れ抑制対策で有害なひび割れの発生を抑制することを模索することとした。

4.1.3 構造形式ごとのひび割れ抑制対策

東北の各地域で高炉セメント B 種を用いた高耐久床版の試行工事が進められた。試行工事の数が増えるたびに、ひび割れに関する知見も蓄積され、数値解析による事前事後の分析も重ねられ、構造形式ごとのひび割れのリスクが少しずつ解明されてきた。

結果としては、表 4.1.1 に示すようにひび割れ抑制対策を取りまとめた⁴⁾。どの構造形式についても、施工の基本事項の遵守は必須である。試行工事において、高耐久床版の施工の基本事項についての知見が蓄積され、RC 床版用の施工状況把握チェックシートが開発され、手引きに包含されている⁴⁾。単純桁の鋼桁や PC コンポ桁については、施工の基本事項を遵守することで、ひび割れ抑制対策とみなしてよいこととした。一方で、連続桁については、径間数に応じて、追加のひび割れ抑制対策を検討することとした。以下に、それぞれの構造形式についての対策を設定した根拠を概説する。

表 4.1.1 構造形式ごとの RC 床版のひび割れ抑制対策⁴⁾

抑制対策	橋種	単純桁の鋼桁 ・ PC コンポ桁 [※]	2 径間の鋼桁	3 径間以上の鋼桁
ひび割れ抑制対策① 施工の基本事項の遵守		必須		
ひび割れ抑制対策② 段階施工による応力		—	段階施工による応力で ひび割れが発生しないように配慮	
ひび割れ抑制対策③ (構造形式別の対策)		—	—	必要に応じて橋軸方 向の鉄筋比を 1.0% となるまで補強

※ PC コンポ桁の連結桁形式で、中間支点上の横桁を床版コンクリートの施工よりも前に連結する場合は別途検討を行うものとする。

(1) 単純桁のひび割れ抑制対策

これまでの試行工事において、単純桁の場合は、竣工検査までに床版本体にひび割れの発生は確認されていない。試行工事の実績からも、単純桁のひび割れのリスクは大きくはないと想像される。

図 4.1.4 に温度応力解析から得られた、材齢 28 日までの湿潤養生期間中の最小のひび割れ指数を示した。単径間の PC コンポ桁で、コンクリートの熱膨張係数を $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ と仮定した場合の、膨張材の効果を示している。膨張材が無い場合、28 日の湿潤期間中の最小ひび割れ指数が 1.0 程度となる場合もあるため、この手引きにおいては膨張材の使用を標準とした。さらに、膨張材を使用する条件において熱膨張係数と打込み温度をパラメータとした数値解析を実施したところ、図 4.1.5 に示すように、28 日の湿潤養生期間中の数値解析による最小のひび割れ指数が、最も厳しい条件設定においても 2.0 程度であることが確認できた。湿潤養生終了後の乾燥収縮の影響は考慮できていないが、現実の単径間の橋梁に竣工検査までにひび割れが確認されていない観察結果と合わせて、「手引きに示す基本事項を遵守した施工を行うことで、ひび割れ抑制対策とみなしてよい」とした。なお、PC コンポ桁の場合は、下面が埋設型枠のために、供用開始後も RC 床版の下面からの乾燥が生じないため、ひび割れリスクの観点からは非常に有利な構造であると考えられる。

単純桁の鋼桁橋においても、パラメトリックスタディの結果、厳しい条件設定においてもひび割れのリスクが PC コンポ桁と同様に大きくないことを確認し、施工の基本事項を遵守した施工を行うことで、ひび割れ抑制対策とみなすこととした。

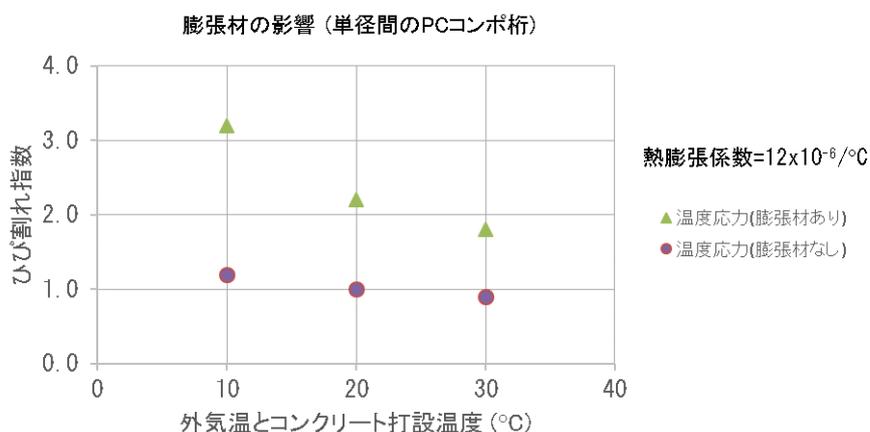


図 4.1.4 単径間 PC コンポ桁橋における膨張材の効果

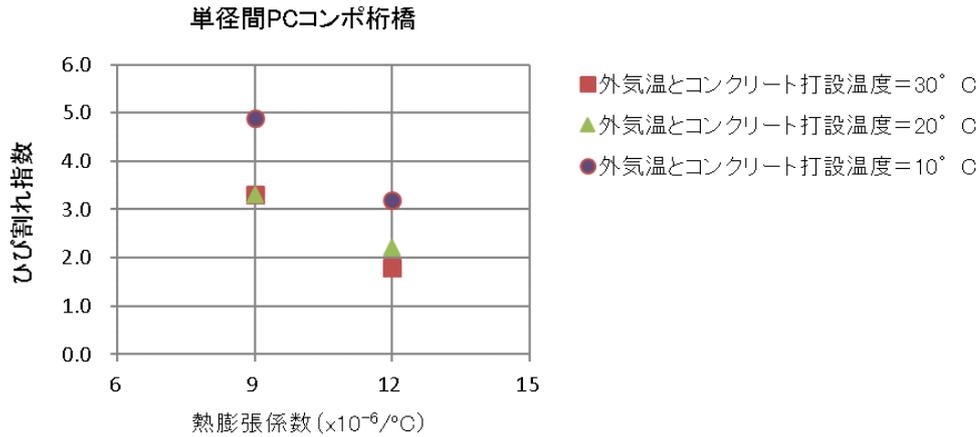


図 4.1.5 単径間 PC コンポ桁橋の温度応力解析の結果

(2) 2 径間連続の鋼桁橋のひび割れ抑制対策

図 4.1.5 に、鋼 2 径間連続箱桁橋の RC 床版の温度応力解析において、コンクリートの熱膨張係数ごとに、外気温およびコンクリートの打込み温度を 10~30°C のケースで計算した結果である。この解析結果に、段階施工による応力は考慮されていない。材齢 28 日までの湿潤養生期間中の最小のひび割れ指数は、2 径間の鋼連続桁による外部拘束の影響が大きいため、単径間の場合と比べて小さくなる傾向が認められた。しかし、解析の結果から、最も不利な条件となる熱膨張係数が $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の場合でも、すべてのケースでひび割れ指数が 1.0 程度以上を確保できることが分かった。

2 径間連続桁橋については、床版の打込みを 3 分割し、中間支点上のロットを最後に打ち込む場合には、先行して硬化した 2 つの両側のロットに、最終ロットの荷重による圧縮応力が導入され、ひび割れ抑制の観点では有利な条件となる。また、RC 床版の橋軸方向の鉄筋比はほとんどの箇所でも 1.0% 以上であることも勘案し、特段のひび割れ抑制対策は必要ないものとした。ただし、第 2 ロットの打込み時の荷重が、第 1 ロットの床版にもたらす引張応力を十分に配慮した施工により、有害なひび割れの発生を抑制する必要がある。

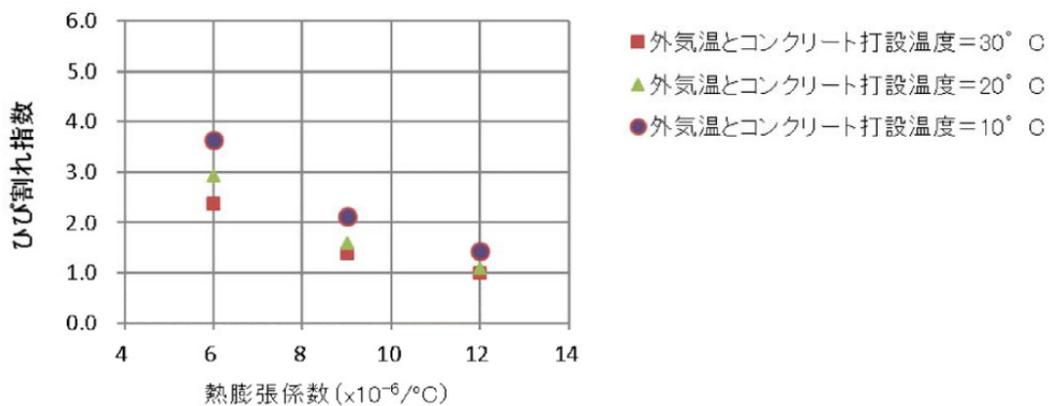


図 4.1.5 鋼 2 径間連続桁橋の温度応力解析の結果（段階施工による応力は考慮していない）

(3) 3 径間以上の鋼連続桁橋のひび割れ抑制対策

3 径間以上の連続桁の場合は、床版の段階施工のステップ数が多く、段階施工により RC 床版に生じる引張応力が最大で $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度となることがある。また、床版の温度応力に与える連続桁の外部拘束の影響も

大きいこと、さらには試行工事における実際の橋梁で3径間以上の連続桁の場合に高耐久床版にひび割れが発生していること、を勘案して、有害なひび割れの発生を抑制するために、床版の橋軸方向鉄筋量が1.0%以上となるように補強鉄筋の配置を検討することとした。図4.1.6は、段階施工により生じる引張応力を 1.0N/mm^2 と仮定した場合の、7径間連続桁上の床版のひび割れ指数の解析結果である。厳しい条件においては、最小のひび割れ指数が1.0を大幅に下回ることが明らかとなった。

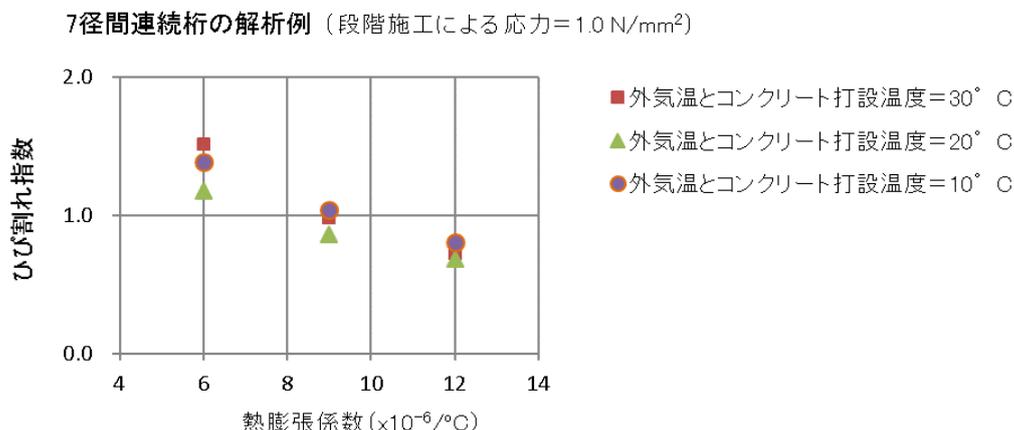


図4.1.6 段階施工による応力を考慮した鋼7径間連続箱桁橋のひび割れ指数 (段階施工による応力を考慮)

4.1.4 今後の課題

この原稿の執筆時点では、竣工検査時点でRC床版の本体に現行基準により補修を必要とする 0.2mm 以上の幅のひび割れの発生は報告されていない。しかし、本稿で報告したひび割れ抑制対策は、コンクリートの乾燥収縮の影響を陽な形で考慮しているわけではない。試行工事が重ねられるにつれ、幅 0.2mm 以上のひび割れが発生するかもしれない。手引き⁴⁾においては、床版工工事の引渡しまでに幅 0.2mm 以上のひび割れが発生した場合は、受注者が補修を行うものとし、幅 0.2mm 未満のひび割れが発生した場合は、学識経験者等の助言に基づき、必要に応じて発注者が補修を行うものとしている。試行工事等から得られた知見や、基礎研究の成果等に基づいて、ひび割れ抑制対策の改善を重ねていく必要があると考えている。具体的には、1ヶ月程度の床版上面の給水養生と床版下面の封緘養生を行うことが記載されているが、長期の養生は施工者への負担も大きく、RC床版の耐久性が確保される前提で簡素化することも検討すべき項目の一つである。

なお、4径間連続の鋼桁橋において、段階施工による引張応力の大きいロットにおいて、膨張材の使用量を 25kg/m^3 に増やした試行工事や、壁高欄のひび割れ誘発目地でない伸縮目地から発生した地覆部のひび割れが、RC床版本体へとひび割れが進展することを防ぐために、すべてをひび割れ誘発目地とした試行工事等が行われており、これらの結果も将来の手引きの改善にフィードバックされるものと期待される。

参考文献

- 1) コンクリート技術シリーズ No.114, コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会 (229委員会) 成果報告書, 2017
- 2) 田村隆弘, 細田 暁: コンクリート構造物の品質・耐久性確保に関する東北地方の規準類の構築, コンクリート工学, Vol.56, No.6, pp.502-509, 2018.6
- 3) 東北地方整備局: ひび割れ抑制のための参考資料 (案) (橋脚, 橋台, 函渠, 擁壁編), 2017.2

- 4) 東北地方整備局：東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き（案）（2019 年試行版）
- 5) Arifa Iffat ZERIN: Full scale numerical simulation of girder bridges to determine the influential factors causing transverse cracking in RC deck slabs, 横浜国立大学博士論文, 2018.9
- 6) Arifa Iffat ZERIN, Akira HOSODA, Satoshi KOMATSU: Numerical simulation of early age expansion and autogenous shrinkage behavior of blast furnace slag concrete with expansive additive, Journal of Structural Engineering, Vol.64A, pp.666-674, JSCE, 2018.3
- 7) Arifa I. ZERIN, Akira HOSODA, Satoshi KOMATSU, and Nobuyuki NAGATA: Numerical simulation of thermal stress in highly durable RC slab on PC composite girder bridge, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.465-470, 2018
- 8) Arifa I. ZERIN, Akira HOSODA, Satoshi KOMATSU, and Nobuyuki NAGATA: Utilizing expansive additive to reduce thermal cracking risk of RC slab on single span PC composite girder bridge, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.707-712, 2019

（執筆者：細田 暁）

4.2 山口県のコンクリート施工記録の機械学習による分析

4.2.1 山口県の品質確保システムにおけるコンクリート施工記録のデータベースの意義

山口県がコンクリート構造物の初期ひび割れの抑制を目的として、2005年から実構造物での試行工事を開始し、2007年からひび割れ抑制システムの運用を開始し、現在に至っている^{1),2)}。初期ひび割れとは、竣工検査までの施工時に生じるひび割れであり、施工の基本事項の遵守をした上で、貫通ひび割れについては0.15mm未満とすることを目指したシステムである。有害なひび割れの抑制のみならず、表層品質の向上が認められたことから、2014年からひび割れ抑制も含む品質確保システムへと移行している^{1),3)}。

地方自治体におけるデータベースの意義

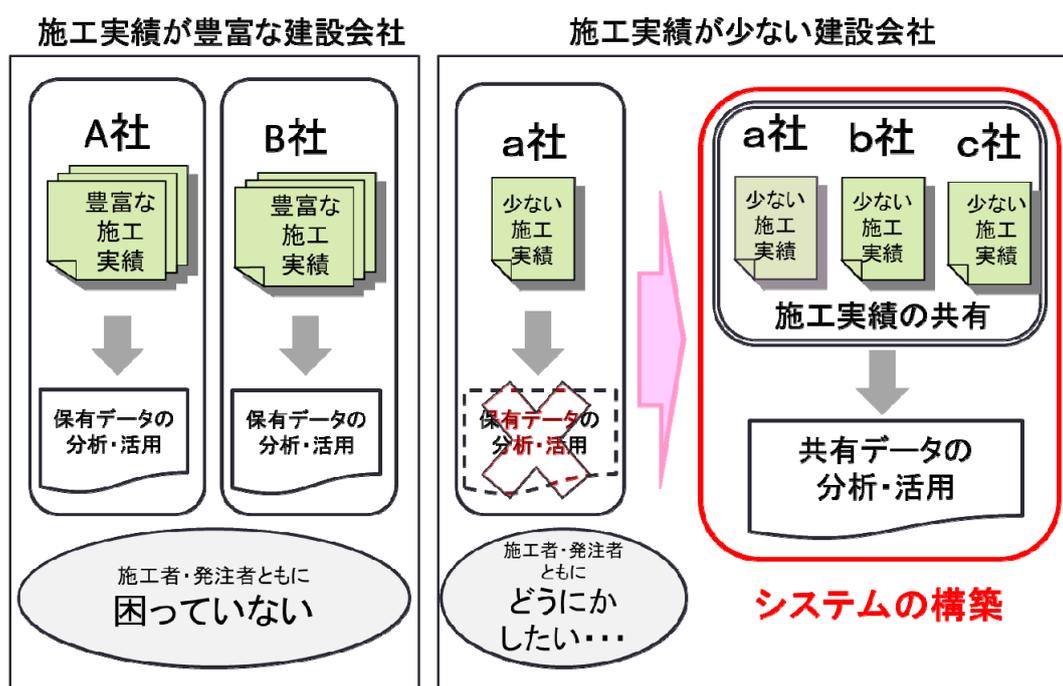


図 4.2.1 地方自治体におけるデータベースの意義¹⁾

山口県のシステムにおいては、構造物の施工記録はデータベースとして公開されている。施工記録は所定のフォーマットに、構造物の情報、コンクリートの施工に関する情報、すべての構造物ではないものの部材中のコンクリート温度の履歴、ひび割れ発生状況等が記録されている。施工者が記入した施工記録は、山口県建設技術センターに提出され、センターでデータのチェックがなされ、必要に応じて修正作業を経た上でデータベース上に格納されている。

図 4.2.1 に、山口県のような地方自治体におけるデータベースの意義を図示した¹⁾。一般的に、山口県の発注する工事では、例えば国土交通省等の発注する工事に比べて、施工実績の比較的少ない建設会社が施工する場合が少なくなく、ひび割れ抑制対策や施工計画を立案するための保有データも十分でない場合がほとんどである。山口システムは、そのような状況において、他社のデータも共有財産として活用できるシステムを構築した、とも言える。自社のものではないデータを使うので、データベースを活用した設計や施工がなされるためには、データの質と信頼性が鍵となる。コンクリート構造物のひび割れは、当然ながら施工の良否に大きな影響を受ける。そこで、施工状況把握チェックシート等を活用した施工の基本事項の遵守が達成される仕組みを構築した。また、データの入力には人為的なミスが付き物であるため、建設技術センター

がデータをチェックする仕組みとした。筆者は、データベース上に施工会社の名前とともに、構造物のひび割れ状況が公開されるという仕組みは、施工の基本事項の遵守を促す効果があると考えている。

4.2.2 データベースの活用による生産性の向上

図 4.2.2 に、山口システムの構成を示した。橋台のたて壁等のマスコンクリートにおいては、本来は設計段階で温度ひび割れの照査を行うことになっているが、地方自治体の発注する構造物で一般に実施されている状況とは言えない。しかし、山口県では、施工の基本事項の遵守を前提とした施工記録が蓄積され、それらの分析に基づく規準書であるコンクリート構造物品質確保ガイドの改訂をこまめに重ね、毎年の講習会で情報発信をすることもあり、設計段階・施工段階で温度応力解析を用いない温度ひび割れ照査とひび割れ抑制対策が実施されるようになってきている。

温度応力解析は有意義な技術であるが、鉄筋比の比較的小さい構造物のひび割れ幅を精度良く予測できるレベルには至っていない。数値解析によるひび割れ幅予測は実務で多用されており、実構造物で採用されるひび割れ抑制対策に大きな影響を及ぼしている。現状の有限要素法の数値解析によるひび割れ幅の計算値(ひび割れ指数と鉄筋比の関数)は、特に橋台たて壁の配力方向の鉄筋比の程度の小さい鉄筋比の領域において、過剰に安全側な結果が得られる場合が多いことが指摘されている³⁾。その場合、ひび割れ幅を制限値に収まるようにするため、不必要なひび割れ幅抑制対策が採られることにつながる。

山口システムでは、温度応力解析を用いずとも、実構造物のデータベースを活用して合理的にかつ高い確実性でひび割れ抑制を実践できる仕組みが構築されており、生産性向上の効果もあり、多くの関係者の技術力向上にも寄与しているとも言える。

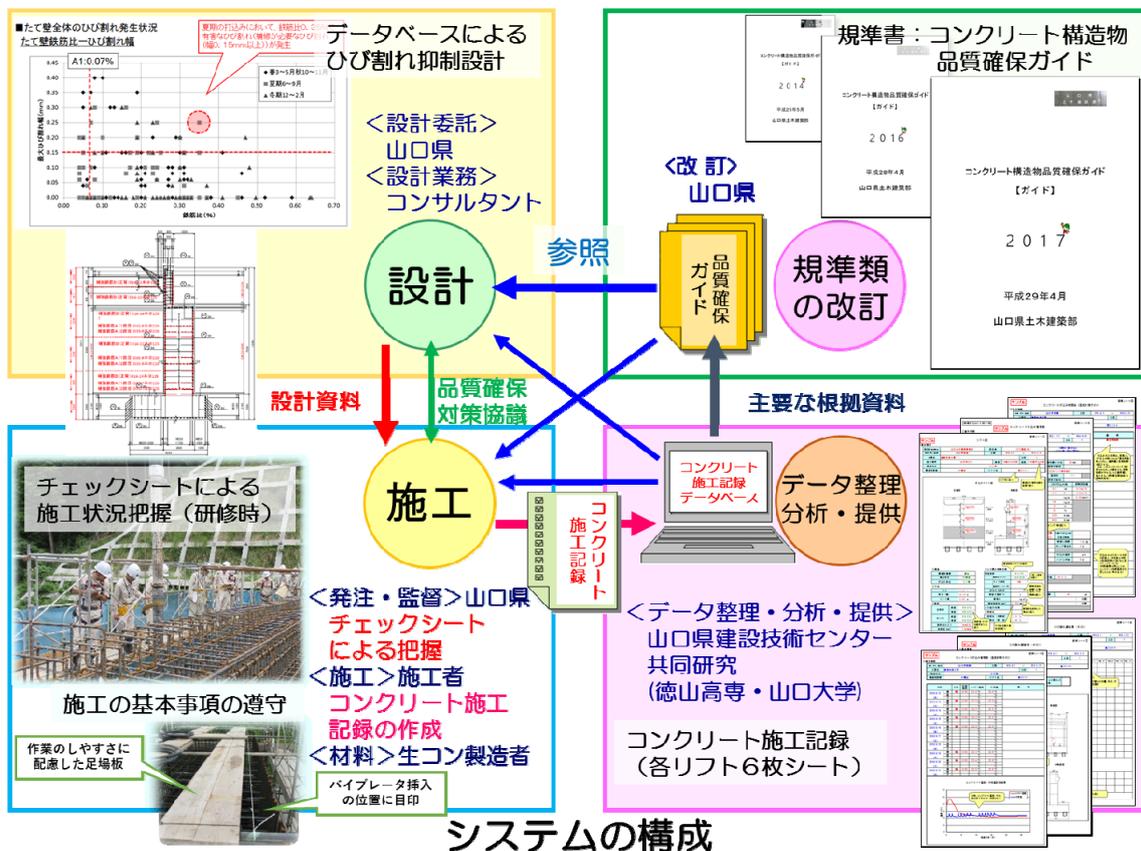


図 4.2.2 「山口システム」の構成

4.2.3 コンクリート施工記録と機械学習と組み合わせたさらなる価値の創造

2章の図2.1.2に、山口システムにおける施工記録の蓄積状況を示した。平成29年度には85リフト、平成30年度には200リフト、令和元年度には61リフト分がデータベースに追加されており、令和2年3月現在で計1,816リフト分が蓄積されている。

このデータベースを活用して、機械学習により橋台たて壁・胸壁のひび割れ発生および最大ひび割れ幅を予測する研究が行われている^{4),5),6),7)}。実構造物で実際に発生したひび割れのうち、各リフトにおける最大ひび割れ幅を予測できる機械を開発し、その機械が教えてくれるひび割れ抑制に関する工学的な知見を現実のひび割れ抑制対策に活用しようとする研究である。

研究の第一段階として、各リフトにおいてひび割れが発生するか否かを予測する研究⁴⁾において、図4.2.3に示すように橋台たて壁（vertical wall）と胸壁（parapet wall）に対して、ひび割れ発生に関係し得る施工記録中のデータについて精査がなされた。データの欠落や、明らかに誤りと思われるものを除いて、有効なデータのみを使って機械学習（人工ニューラルネットワーク）を行った。その結果、たて壁については81.5%の精度で、胸壁については87.6%の精度で、ひび割れ発生の有無を予測することが可能であった。なお、この過程で発見したデータの誤り等については、山口県土木建築部の技術管理課と山口県建設技術センターと情報共有した。

データの誤入力を防ぐための配慮をしている山口システムにおいても、公開されたデータベースを研究者が活用することによりデータのさらなるチェックにつながり、また、ひび割れ抑制の観点で真に重要なデータ項目を見出すことにもつながったと言える。

構造物の総リフト数		1555	
リフト数（たて壁）		248	
リフト数（胸壁）		114	
部位	ひび割れの発生したリフト数	ひび割れの発生しなかったリフト数	
たて壁	96	152	
胸壁	23	91	

特徴	たて壁		胸壁	
	有効	データ欠損	有効	データ欠損
ひび割れの状況	248	0	114	0
厚さ	248	0	114	0
幅	248	0	114	0
リフト高	248	0	114	0
鉄筋比	247	1	107	7
水セメント比	242	6	111	3
単位セメント量	233	15	107	7
膨張材	248	0	114	0
スランプ	228	20	104	10
空気量	228	20	112	2
打込み温度	247	1	114	0
外気温	247	1	104	9
28日強度	235	13	100	14
打継間隔	235	13	111	3
最高温度	200	48	78	36
最高温度時間	198	50	81	33
脱型した材齢	238	10	107	7
養生期間	232	16	102	12

図4.2.3 山口県のデータベースで機械学習によるひび割れ発生の予測に用いたデータ^{4),5),6),7)}

山口システムにおいては、ひび割れ発生の有無自体は問題ではなく、ひび割れが補修基準を超えるかどうかの問題である。そこで、実構造物に発生した最大ひび割れ幅を人工ニューラルネットワークで予測する研

究が行われた^{5), 6), 7)}。高精度で最大ひび割れ幅を予測する機械が開発されれば、現状の数値解析技術では分析が困難である鉄筋比の比較的小さいコンクリート構造物の最大ひび割れ幅に対する各種要因の影響の程度を、パラメトリックスタディにより示すことも可能となる。

橋台のたて壁、胸壁の最大ひび割れ幅を予測するニューラルネットワークについて検討した結果、たて壁についてはそれなりに高い精度で予測できる機械が構築できた。一方で、胸壁については予測の精度が高い機械が構築できたものの過学習と呼ばれる現象が生じているものと思われ、学習した範囲のデータでは予測精度が高いが、未知のデータに対しては予測精度が必ずしも高くない状況であった。胸壁のデータ数が100セット程度であり、ニューラルネットワークの研究に用いるには非常に少ないことが原因と思われる⁶⁾。

図4.2.4は、ニューラルネットワークの構築に用いた、たて壁のデータにおける各パラメータの分布を示している。分析に用いたリフトではすべて高炉セメントB種が使われていたが、各パラメータは広く分布しており、ニューラルネットワークの研究に適したデータであったと思われる。また、温度ひび割れの発生やひび割れ幅に大きく影響を及ぼすコンクリートの熱膨張係数について、山口県内の21のコンクリート製造工場に協力を依頼し、Φ100mm×高さ200mmの2本のコンクリート供試体（橋台たて壁と同等の配合）を作製して送付してもらい、十分に硬化したコンクリートの熱膨張係数を計測した。その結果、熱膨張係数は $5.76 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \sim 8.11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ で分布し、平均値は $6.65 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であった^{6), 7)}。筆者が事前に予測していたより分布の幅が小さく、また平均値も事前の予想より小さかった。山口県内のコンクリートの熱膨張係数の分布幅が大きくないことも、ひび割れ抑制システムが上手く機能した一つの理由かもしれないと考えている。

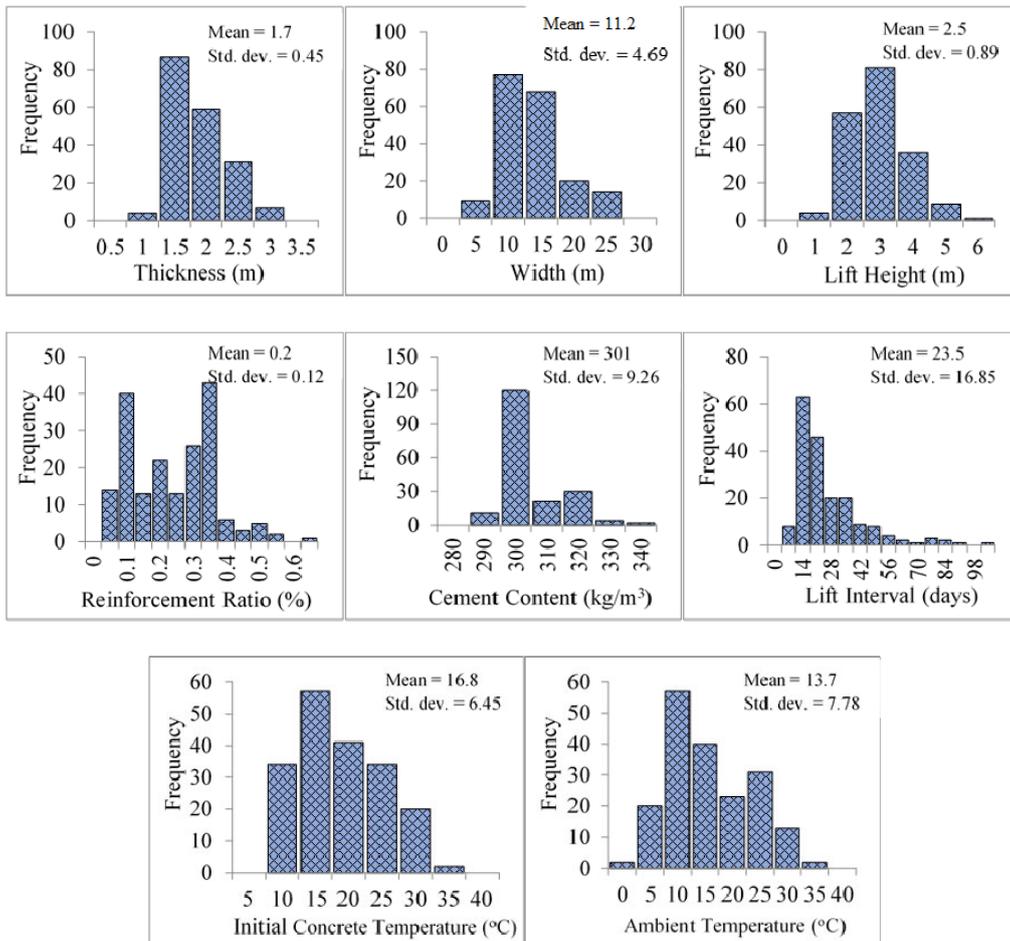


図4.2.4 分析に用いたデータの特徴^{6), 7)}

図 4.2.5 は、検討の結果、最も高精度でたて壁の最大ひび割れ幅を予測できたニューラルネットワークと入力パラメータである^{6),7)}。最適なニューラルネットワークの構造は、無数の試行錯誤により得られた。この研究によると、隠れ層が2層の構造であり、入力パラメータの数を絞ってデータセットの数を多くした方が精度の高い機械が構築できた。図 4.2.6 は、最大ひび割れ幅の予測値と実測値を示している。なお、この研究では5重交差検証を行っているが、機械学習においては、機械の予測の精度の検証にも十分な配慮がなされなければならない。

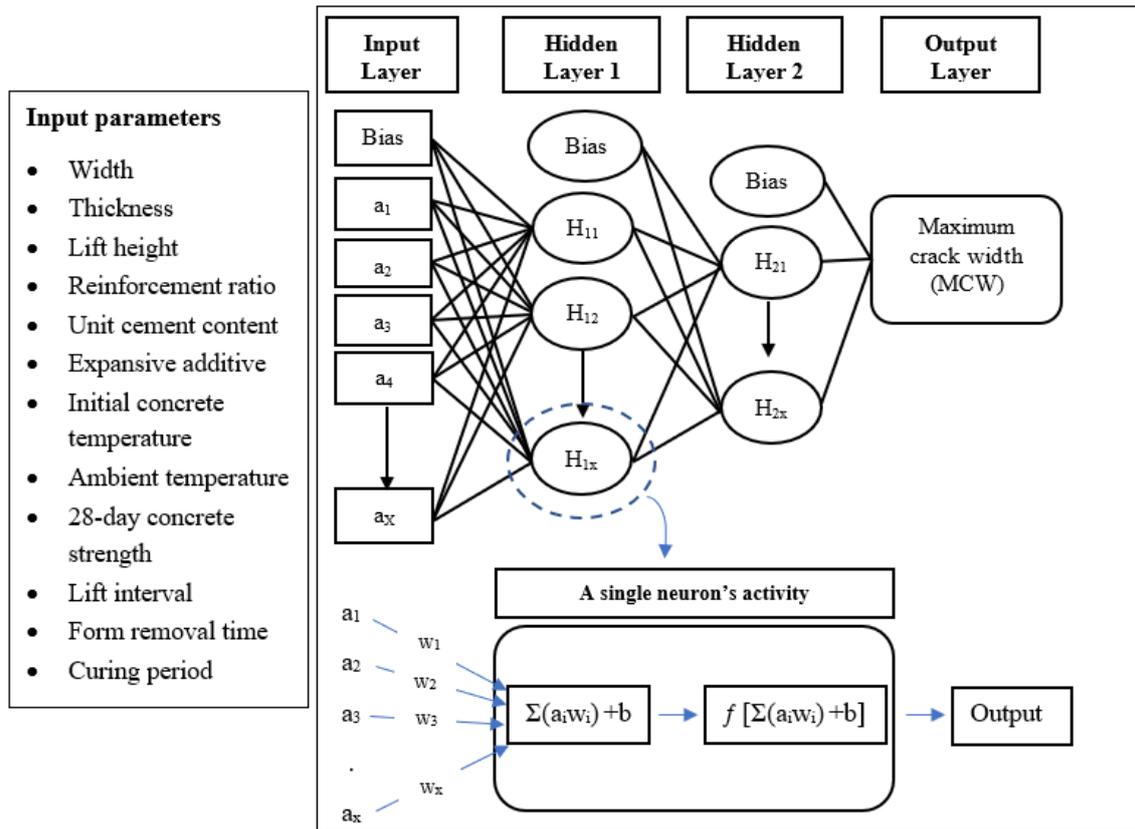


図 4.2.5 ニューラルネットワークの構造と入力データ

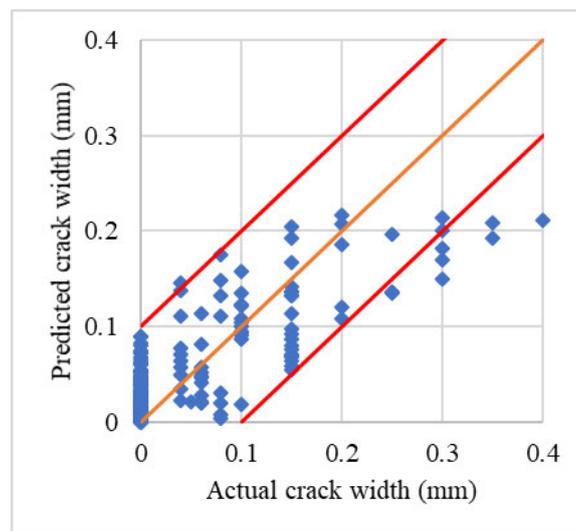


図 4.2.6 構築した最も精度の高いニューラルネットワークの予測値と実測値⁷⁾

図 4.2.7 は、山口県のデータベースを用いた機械学習の研究により得られた、橋台たて壁の最大ひび割れ幅に鉄筋比や単位セメント量の及ぼす影響を示した図である。図 4.2.7 には、外気温や打込み温度の影響、鉄筋比の影響、単位セメント量の影響が明らかに示されており、このようなデータベースと機械学習の組み合わせから得られる工学的な知見の実務や学術的研究への活用が期待される。

精度のそれなりに高い機械が開発されたとして、その機械を実務で使用することも可能であるが、システムに関係する技術者の思考停止につながることは容易に想像できる。データの蓄積による機械のさらなる高精度化と、機械が示唆する技術判断に有用な情報の実務での活用を継続していくことが、ひび割れ抑制システムのサステナビリティの観点でも望ましいと思われる。

入力データ	厚さ	幅	リフト高	鉄筋比	単位セメント量	膨張材	28日強度	打継間隔	脱枠日	養生期間
値	2 m	15 m	3 m	x	x	0	25 MPa	7 Day	7 Day	7 Day

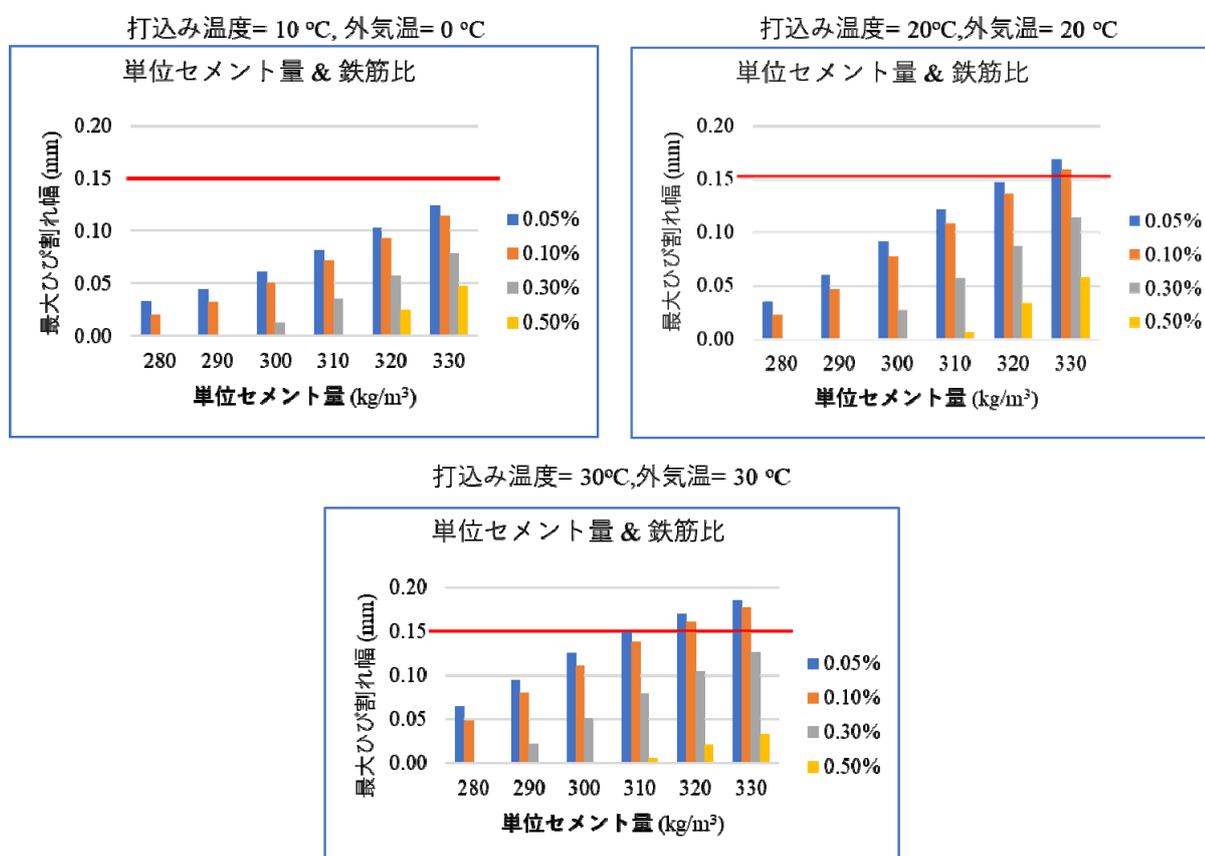


図 4.2.7 機械学習から得られたたて壁のひび割れ幅の抑制に関する知見の例

参考文献

- 1) 二宮 純：地方自治体が建設するコンクリート構造物の品質確保システムの構築に関する研究，横浜国立大学博士学位論文，2016.3
- 2) 国重典宏，田村隆弘，二宮 純，森岡弘道：山口県における「コンクリートひび割れ抑制システム」について，コンクリート工学，Vol.49，pp.91-95，2011
- 3) 細田 暁，二宮 純，田村 隆弘，林 和彦：ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ

低減と表層品質の向上, 土木学会論文集 E2, Vol.70, No.4, pp.336-355, 2014

4) Rasul M, Hosoda A. : Prediction of occurrence of thermal cracking of RC abutments using artificial neural networks. JSCE J Struct Eng 2019;65A:560-8

5) Rasul M, Hosoda A. : Application of artificial neural network in predicting maximum thermal crack width of RC abutments using actual construction data. fib Symposium., Krakow: 2019

6) Rasul Mehboob: Prediction of maximum thermal crack width of RC abutments and investigation on influential factors using artificial neural networks, 横浜国立大学博士学位論文, 2019.9

7) Mehboob RASUL, Akira HOSODA and Koichi MAEKAWA: A study on parameters influencing maximum width of early-age thermal cracks in RC abutments using neural networks, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1127-1132, 2020

(執筆者：細田 暁)

5. 真の耐久性確保のための課題

本研究委員会では、環境作用や材料事情が異なる各地域において、コンクリート構造物の耐久性が確保されるための品質確保や耐久設計等についての取組みを実践的に推進してきた。しかし、現実の構造物群で真の耐久性が確保されるシステムを構築し、継続的に運用していくためには、様々な課題が残っている。5章では、将来に渡ってチャレンジが必要な課題について、提言を含めて記載する。

5.1 点検データの分析による品質確保システムの効果の検証

品質確保システム、ひび割れ抑制システム、耐久性確保システム等のシステムを構築した際に、システムの効果を検証することは重要である。効果を検証することにより、改善点が明らかになり、システムの改善も含めて継続していくことの駆動力となるからである。

山口システムは、当初の目的が初期ひび割れの抑制であった。初期ひび割れは、施工期間中に発生するため、事前のひび割れ抑制対策や、施工の基本事項の遵守の効果を検証する時間的サイクルが早く、比較的検証しやすい対象と思われる。実際に構造物を施工した施工者にとっても、施工期間中にひび割れ抑制対策の効果を確認でき、上手く行かなかった場合でも、反省点を次の施工につなげることも可能であろう。また、コンクリート施工記録が蓄積されてくると、事前の対策も検討しやすくなり、施工記録のデータベースを分析することによりシステムの効果を検証できるメリットも生じる。

山口システムに関わってきた本委員会のメンバーは、品質確保、耐久性確保の取組みにおいても適切なデータベースを構築し、システムの効果の検証も含めて活用していくことを提唱してきたが、実現するに至っていない。上段のひび割れと違い、コンクリート構造物の劣化が顕在化するには時間がかかる場合が多く、多くの場合は施工期間が終わって構造物が供用されている段階で顕在化する。施工記録と点検記録が一元的に管理され、それらを分析することで、設計や施工の改善点が明らかになった場合は、フィードバックがなされるべきであろう。筆者は、構築や運用の手間を考えると、すべての発注者、事業者においてこのようなデータベースを構築して運用する必要はないとは思っているが、積極的に品質・耐久性確保や維持管理に取り組んでいる場合は、ぜひデータベースの構築や活用を検討してもらいたいと考えている。これは国家のインフラを長寿命化する有意義な研究であり、適切な補助がなされるべきと考える。

本節 5.1 では、東北地方整備局の NATM トンネルの点検データを分析して得られた知見の概要を紹介する。

5.1.1 NATM トンネルの点検データの分析手法

東北地方整備局管内で、2014～2018 年度に点検されたトンネル 255 本分の定期点検データを分析した。そのうち、NATM トンネルは 134 本である。点検データを分析することにより、品質確保の取組みの効果を検証するとともに、今後の NATM トンネルの覆工コンクリートの施工における課題を明らかにすることを目的とした¹⁾。

まず、覆工コンクリートに発生する不具合の種類をまとめ、入手したトンネル定期点検データの概要と、東北地方整備局管内のトンネルの健全性の傾向を全国のデータと比較して示した。次に、トンネル定期点検データ上の個々の変状に位置情報を与えて、場所ごとに変状の発生頻度を算出する方法を用いて、品質確保の取組みによる試行工事によって建設された NATM トンネルと、試行工事以前の NATM トンネルとの間の変状の発生頻度を比較した。

本研究では、表 5.1.1 に示すように変状を種類分けし、国土交通省の健全度の判定区分に従った。

5.1.2 トンネルの点検データの分析結果

図 5.1.1 に、全国の点検データと比較した東北地整のトンネルの状況を示した。全国に比べると、区分III

表 5.1.1 変状の種類と健全度の判定区分

種類	変状の説明
ひび割れ	点検調書において「ひび割れ」と記載されていたもの
うき・はく離・はく落	点検調書において「うき」「はく離」「はく落」と記載されていたもの
濁音	点検調書において「濁音」と記載されていたもの (分析内ではうき, はく離, はく落に含めた)
叩き落とし	点検調書において「叩き落とし」と記載されていたもの (分析内でははく離・はく落に含めた)
目地不良	点検調書において「目地不良」と記載されていたもの (分析内ではうき・はく離・はく落に含めた)
豆板	点検調書において「豆板」と記載されていたもの

区分	定義
I 健全	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。
II 予防保全段階	道路トンネルの機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III 早期措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV 緊急措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

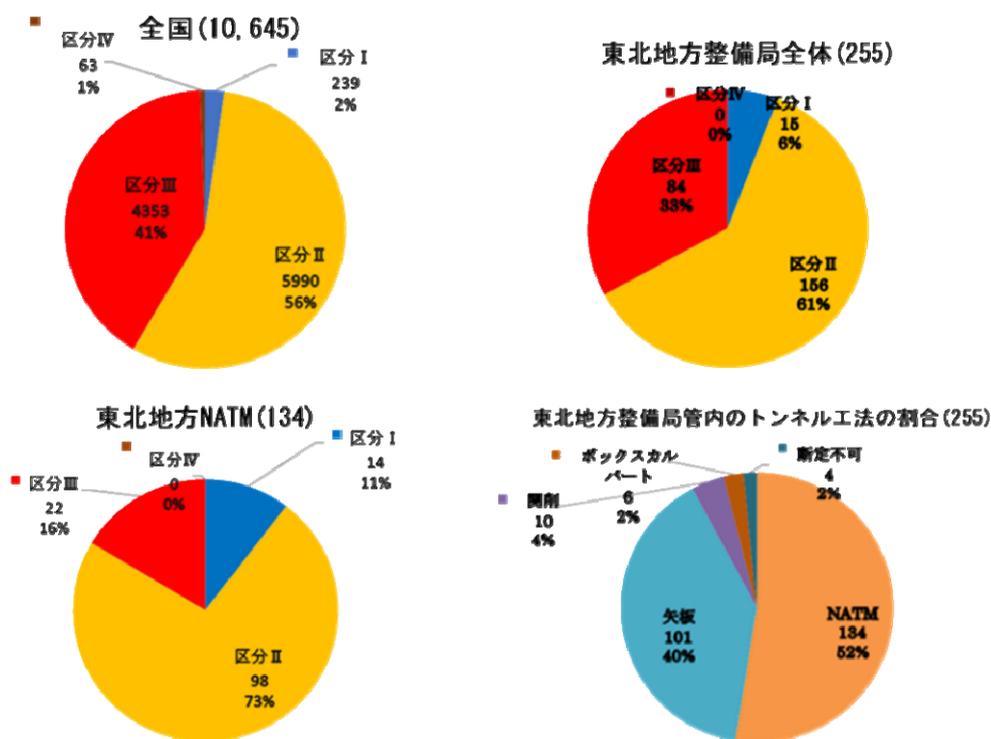


図 5.1.1 全国と比較した東北のトンネルの状況

やIVの劣化したものが少ない一方で、区分IやIIの比較的健全度の高いトンネルの割合が大きい。また、東北の NATM トンネルに限ると、区分IやIIの割合はさらに高くなる。東北地整のトンネル工法の割合を見ると、NATM トンネルが半数以上を占めており、全国と比べて NATM トンネルの割合が高い可能性が考えられる。

1	2	0.3 L=2.0	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	うき 1.2×0.2	うき 1.8
19	20	21	22	23	24
0.3 L=2.5	26	27	28	29	0.3 L=1.0
31	32	33	34	35	うき 1.2×0.2
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	0.2 L=2.5	58	59	60

図 5.1.2 点検データに 60 分割の位置情報を与えた詳細分析手法

表 5.1.2 母集団と選定したトンネルの平均スパン数およびうき・はく離・はく落の発生数

トンネルの分類	平均スパン数	うき・はく離・はく落 発生総数	1 スパンあたりの うき・はく離・はく落発生数
2014 年以降に 完成したトンネル (41 本)	99.7	1299	0.31
A1-A10 トンネル	58.4	218	0.37
1992 年-2007 年に 完成したトンネル (42 本)	84.1	2353	0.68
B1-B7 トンネル	45.3	223	0.70

図 5.1.2 に、覆工コンクリートの点検データに位置情報を付与した詳細分析の手法を示した。この手法は、岩間・細田²⁾によって考案されたものであり、この手法で変状の状況を分析した結果が、現行の「コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）」にも掲載されている。トンネル 1 スパンの展開図を縦断方向に 6 分割、横断方向に 10 分割の合計で 60 分割をし、それぞれの変状に位置情報を与えた。この手法により、トンネル天端付近の変状や、施工目地近傍の変状などをデジタルデータとして抽

出することが可能となる。複数の座標にまたがる変状には、複数の座標の位置情報を与えた。位置情報を与えた展開図の模式図を図-2に示す。例えば、図5.1.2内において、ひび割れが発生した座標は「4」「25」「26」「30」「52」「58」となる。

この手法を用いた詳細分析には膨大な労力がかかるため、表5.1.2に示したように、品質確保の試行工事が開始された2014年以降に完成したトンネルから10本(A1～A10)、品質確保の試行工事の始まる以前のトンネルから7本(B1～B7)を選択して、詳細分析を行った。その際に、母集団から偏り無くトンネルを選択するため、施工の良否を最も適切に表す変状と筆者が考えた1スパンあたりのうき・はく離・はく落の発生数が母集団の平均と大きく異ならないように選択した。

図5.1.3に、品質確保の試行工事の開始前後での変状の状況を比較した。試行工事の開始後のトンネルにおいては、施工目地近傍のうき・はく離・はく落、豆板、トンネルの天端付近のひび割れが顕著に抑制されている傾向が見られる。一方で、インバート拘束によると思われる側壁のひび割れの発生頻度は顕著に抑制されているとは言えない。

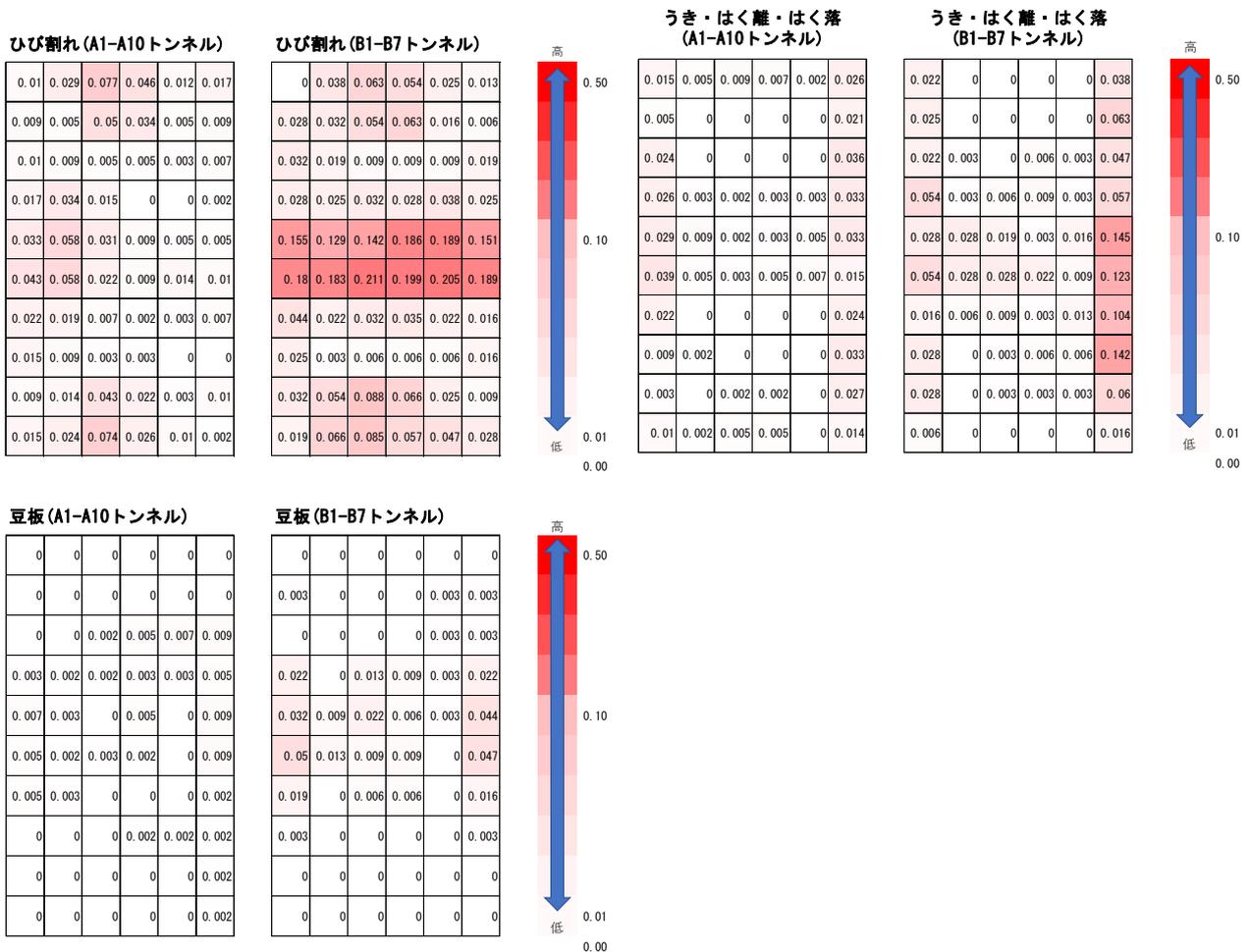


図5.1.3 位置情報を与えた詳細分析の結果

図5.1.4に、すべてのトンネルの1スパンあたりの天端部近傍のひび割れと施工目地近傍のうき・はく離・はく落の発生状況を示した。図5.1.4の縦軸は、60分割の座標(マス)に変状が発生していたマスの数を1

スパンあたりで示したものである。例えば、ひび割れで4個であった場合は、1スパンあたり、60マスのうち天端近傍の24マス中、4マスでひび割れが記録されていたことを意味する。例えば、施工目地近傍のうき・はく離・はく落で3個であった場合は、1スパンあたり、60マスのうち施工目地近傍の左右20マス中、3マスでうき・はく離・はく落が記録されていたことを意味する。

図5.1.4からは、トンネルによって変状の発生の状況が大きく異なることが分かる。特にA群ではばらつきが大きく、ひび割れやうき・はく離・はく落がほとんど発生していないトンネルが複数ある一方で、B群とあまり変わらない変状の発生が見られるトンネルもあることが分かった。

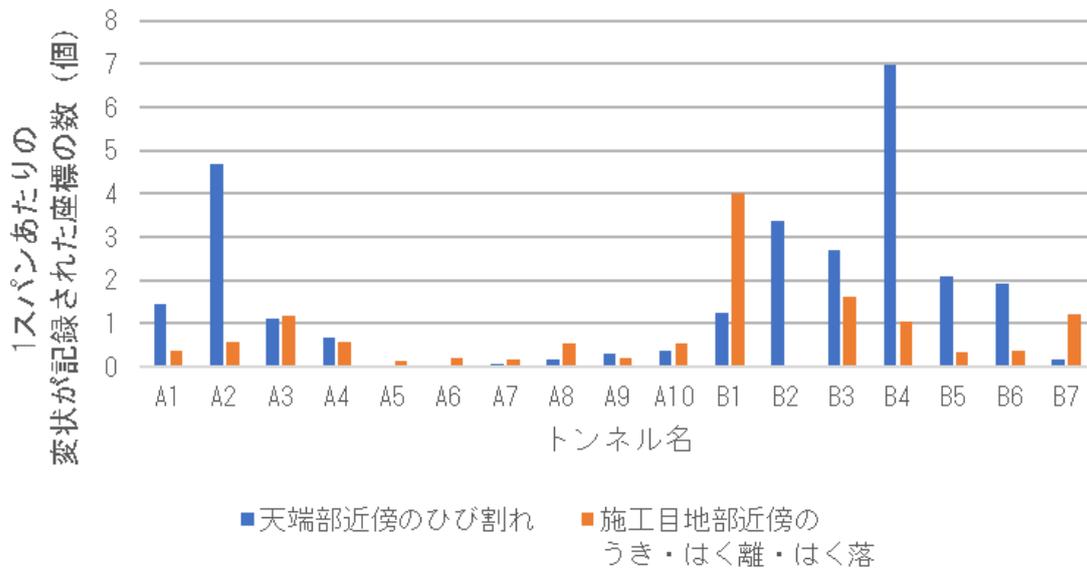


図5.1.4 各トンネルの天端部近傍のひび割れと施工目地近傍のうき・はく離・はく落の発生状況

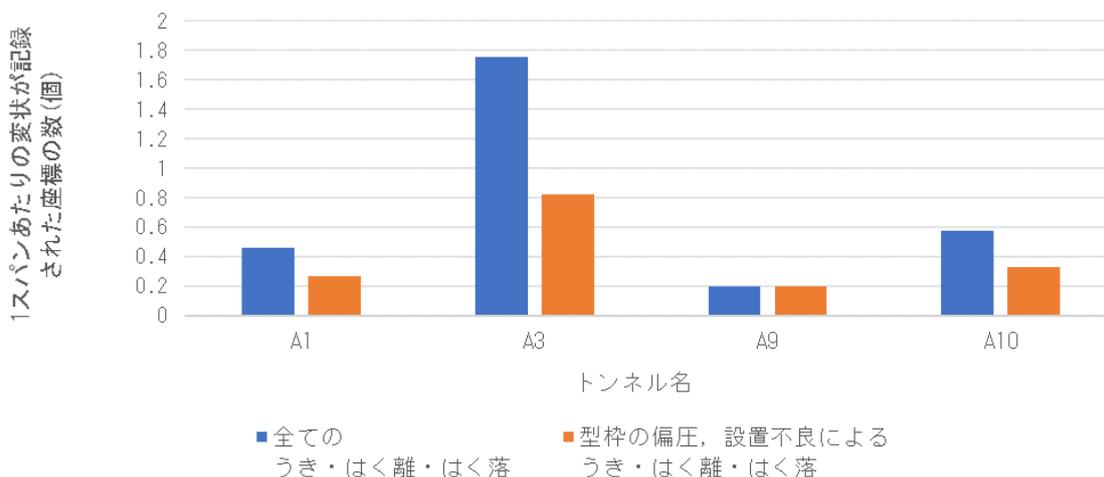


図5.1.5 型枠の偏圧、固定不足が原因と記録されたうき・はく離・はく落の発生状況

点検調書において、Aのトンネル群のうちA1、A3、A9、A10の4トンネルについては、施工時における型枠の偏圧や固定不足が原因のうき・はく離・はく落が記載されていた。それらのトンネルにおける、1スパンあたりのすべてのうき・はく離・はく落が記録された座標の数および型枠の偏圧、固定不足が原因の

うき・はく離・はく落が記録された座標の数を図 5.1.5 に示す。図 5.1.5 に示した 4 トンネルでは、1 スパンに発生しているすべてのうき・はく離・はく落のうち、型枠の偏圧や固定不足に起因するものの割合が高いということが分かる。

品質確保の試行開始以降、施工目地近傍のうき・はく離・はく落は大幅に低減されているものの、依然として発生している変状は型枠の偏圧や固定不足に起因するものが大部分を占めている可能性があり、さらなる品質向上のための今後の改善が期待される。

5.1.3 今後期待されるデータの活用

本節では、NATM トンネルの点検データの分析結果から得られた知見の概要を示した。現状では、点検データが PDF で保存されており、点検データを詳細に分析するためにはかなりの労力を要した。点検データのフォーマットを統一しておけば、AI によるデータのデジタル変換も今後は容易になると思われる。今回の分析は、品質確保の取組みの効果の検証に焦点を置いたが、施工時の品質確保の達成度とその後の供用中の劣化の進展の関係や、施工時の記録と点検データを融合させることによりさらに多くの知見やノウハウを得る可能性など、データベースの活用には多くのメリットが期待される。何事にも手間とコストはかかるのであって、データベースの構築と活用にどのような意義とメリットがあるのかを、産官学で議論を重ねる必要性を感じる。

参考文献

- 1) 馬場崇史, 細田 暁: トンネル覆工コンクリートの定期点検データの分析による品質確保の取組みの効果の検証, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 第 20 巻 (投稿中)
- 2) 岩間慧大, 細田暁: NATM トンネル覆工コンクリートの変状に関する点検データの分析, コンクリート工学年次論文集, Vol38, No.2, pp.1501-1506, 2016.7
- 3) 東北地方整備局: コンクリート構造物の品質確保の手引き(案) (トンネル覆工コンクリート編), 2016.6

(執筆者 細田 暁)

5.2 東北地方整備局の品質・耐久性確保の取組みの課題と対応

東北地方整備局が復興道路・復興支援道路を中心に行ったコンクリート構造物の品質・耐久性確保の取組みは、整備局発注の予定金額約7億円以上の大型工事（受注者は主に全国で活動する建設会社）を中心に2013年度から始まっている。一方、事務所発注の予定金額約3億円程度の工事（受注者は主に特定の県や地域で活動する建設会社）では、取組み件数も少なく必ずしも東北6県に定着しているとは言えない。

むしろ2020年度の復興道路・復興支援道路の全線開通後は、取組みの舞台となっていた予定金額約7億円以上の大型工事は激減し、約3億円程度の工事が大半となる中で、今までコンクリート構造物の品質・耐久性確保の取組みを牽引してきた整備局の影響力・発言力が急速に低下し、品質・耐久性確保の取組み自体が急速に縮小していく恐れがある。

関連して、事務所発注の約3億円程度の工事は、その地域で活動する建設会社向けの工事であり、そのような工事で品質・耐久性確保の取組みを普及するために解決すべき課題が残っている。さらに品質・耐久性確保の取組みを本格化する上で、制度を含む技術面で解決すべき課題も残っている。

ここでは、東北地方整備局のコンクリート構造物の品質・耐久性確保の取組みを、設計、工事発注、施工、監督、検査、竣工後の維持管理の各段階における、今後解決すべき課題と対応を以下の二つに絞って述べる。一つ目はこの取組みを継続し普及していくための課題と対応、二つ目はこの取組みを行う上で制度を含む技術面で解決すべき課題と対応である。

5.2.1 取組みの継続・普及上の課題と対応

(1) 既設構造物の課題抽出の制度化

復興道路・復興支援道路を中心に東北地方整備局が行っているコンクリート構造物の品質・耐久性確保の取組みは、主に「官」や「学」が定期点検結果や現地調査等で東北地方のコンクリート構造物の品質・耐久性確保上の課題を明らかにし、「学」が研究成果などを活用して課題解決のための仕組みを構築して、その仕組みを試行工事という形で「産」が実構造物に適用し、品質・耐久性確保上の新たな課題が見つければ「産学官」で仕組みを改善して、さらに良い品質・耐久性確保を目指すPDCAサイクルによって行われている。

一方で、この取組みは、明文化されたものではなく、現状は「産学官」の有志によって支えられているにすぎない。特に取組みの司令塔である「官」には人事異動があるため、PDCAサイクルが機能するかどうかは、「官」の担当者の品質・耐久性確保に対する意識の高低によって大きく左右される可能性がある。

したがって、この取組み自体が、脆弱な基盤の上に構築されており、安定的に継続できる状態とはなっていないと言える。

既設コンクリート構造物の課題は、新設コンクリート構造物の品質・耐久性確保を行う動機であり出発点である。「官」の担当者の品質・耐久性確保に関する意識の高低に左右されないためには、既設構造物の課題を、「官」として認識し、「産学官」でも共有する必要がある。

このため、既設構造物に関する課題を定期的に抽出する「産学官」の検討会等を制度化する必要がある。

現在、定期点検はほとんどの社会資本で行われているため、既設構造物の課題の抽出は、点検を行っている構造物の管理者であれば誰でも実施可能である。このため、国の上部機関から定期点検結果を活用して、既設構造物に関する課題を「産学官」で抽出せよと通達等を出せば、日本中で行うことが可能となる。市町村にまでこのような分析を行わせるのは、過大な措置となる可能性があるが、少なくとも都道府県や政令指定都市では実施することが必要と考える。このように国の上部機関からの通達等を出すことも現状

の課題抽出を制度化する上で有効である。

一方で、課題解決のための検討体制は、課題の中身に応じてその都度必要な検討体制を取る必要がある。これまでの品質・耐久性確保の取組みも、学会の委員会と合同での検討や、課題解決に資する経験や研究成果を持っている専門家と合同での検討など、課題の中身に応じて必要な検討体制をとって対応してきた。課題を解決するための検討体制は、課題の中身によって必要な検討体制を構築する方が効率的である。

したがって、課題の抽出を行う「産学官」の検討会等を制度化する一方で、解決すべき課題の中身に応じて、「産学官」で効率的な検討体制が取れるように柔軟な運用を行う必要がある。

(2) 既設構造物の課題を「産学官」の解決すべき目標として共有

「官」の担当者の中には、なぜ品質・耐久性確保を行う必要があるのか疑問に思う者が少なくない。これは、品質が確保されていない結果、不要・不急の補修が必要になっている事や、現在の技術基準通りに建設しても、東北地方の厳しい環境のもとでは、耐久性が確保出来ないという既設構造物の課題が共有されていないことが原因と思われる。

既設構造物の課題を踏まえた、品質・耐久性確保の必要性が、「官」の担当者の中で共有されていない状態では、仮に品質・耐久性確保の試行工事を発注しても、監督員の対応にばらつきが生じ、試行工事としてもうまくいかない可能性が大きい。

(1)で述べたように制度化された「産学官」の検討会等で既設構造物の課題抽出を行い、まずそれを「官」の組織として共有する必要がある。抽出された課題は構造物の改善点を示しており、それを「官」の組織の解決すべき目標として設定する。そして、研修や講習会等を通して、東北地方整備局内の工事の監督員等に周知する必要がある。こうすることによって、「官」として解決すべき目標が共有され、監督員による品質・耐久性確保などの取組みに対する温度差も緩和される。

また、既設構造物の課題を「学」「産」と共有するために、「学」「産」に定期点検時の立会や定期点検結果の提供、独自の構造物の各種調査を許容することが有効と思われる。例えば、構造物の診断や劣化の発生原因や対策に関する知見は日進月歩であり、「学」に定期点検等の情報を与えれば、最新の知見による診断や劣化の原因特定、それに基づく対策方法の提案が得られる可能性がある。少なくとも「官」の従来の対策が「学」の最新の知見に照らして適切であるかどうかの判断をすることが可能となる。「産」の施工者には、自ら施工した構造物に限って定期点検等の情報を提供するなどの制約は必要と思われるが、竣工後の構造物のどこに改善すべき事項があるのか把握することで、施工方法の改善や新たな技術開発などが期待できる。また、「官」として設定した解決すべき目標は、抽出された課題とともに勉強会などを通じて「産学官」で共有を図る必要がある。

このように定期点検結果の共有を図ることで、「産学官」で既設構造物の課題を共有することが可能となり、「産学官」として目指すべき目標の理解も早まり、目標を達成するために力を合わせる土台が構築される。

(3) 事務所発注工事での取組み拡大に向けた工事発注の標準化

東北地方整備局発注の約7億円以上の工事では、コンクリート構造物の品質・耐久性確保の試行工事が標準的に発注されているが、東北地方整備局管内の事務所発注工事での取組みはまだ少ない。特に日本海側の事務所発注工事での取組みが少ない。

復興道路・復興支援道路の整備が終わると、工事の重点は日本海側の、事務所発注工事に移行すること

が予想される。

このため、品質・耐久性確保の取組みが急速に縮小することを抑制するためにも、事務所発注工事での取組みを拡大する必要がある。

事務所発注工事において品質・耐久性確保の試行工事の件数が少ない理由は、まず、それを行う必要性が理解されていないことが大きい。この点については(2)で述べたように、「産学官」で解決すべき目標を共有することで改善される。しかしながら、事務所発注工事で、品質・耐久性確保の試行工事の取組みを増やすためには、事務所が取り組みやすい環境を整える必要がある。そのためには、現在整備されている品質・耐久性確保に関する手引き類の他に、品質・耐久性確保に関する試行工事の発注図書の標準化が有効と思われる。以下に標準化すべき事項について述べる。

1) 標準特記仕様書の作成

事務所発注工事で、コンクリート構造物の品質・耐久性確保の試行工事の対象となる主な構造物は、一般構造物（橋脚、橋台、函渠、擁壁）、規模の小さいPC上部工、RCもしくはPC床版と考えられる。これらの品質・耐久性確保の試行工事に関わる標準特記仕様書を作成することによって、事務所発注工事における労力の軽減を図ることが可能となる。

2) 歩掛調査付き工事、見積もり活用、柔軟な工期変更

品質確保の試行工事は、丁寧な施工を可能とする施工体制と、施工方法の改善が必要な場合にその方法を作業員と合同で検討・改善し、その結果を次の打込みリフトの施工前に作業員に周知するなど、通常の工事よりも施工体制の強化などが必要となり手間がかかる。建設業界からはコンクリート構造物の工事は、標準歩掛による積算では利益を確保しにくいと言われており、手間のかかる品質確保の試行工事を敬遠する施工者も出る可能性があるため、歩掛調査付き工事を発注し、標準歩掛よりも一定以上費用が増加する場合に、金額変更の対象とするような工事発注を検討する必要がある。

発注者の中には、「品質確保の試行工事の中で、施工の基本事項の遵守で示されている項目は、共通仕様書に記載されている事項であり、共通仕様書に基づいて標準歩掛が制定されている以上、歩掛調査付き工事を発注する必要はない」という意見の方もいる。

しかしながら、コンクリート構造物の標準歩掛の調査は、従来行われてきた検査、すなわち主に「強度」と「出来形」に合格した構造物を対象としているはずで、「品質確保」までなされた構造物のみで歩掛調査を行ってはいないはずである。「強度」＋「出来形」に合格した構造物の母集団と、それに加えて「品質確保」までなされた母集団は異なると思われるため、標準歩掛とは異なる歩掛となる可能性がある。何より、「官」の組織としての解決すべき目標として品質・耐久性確保に取り組むのであるから、正々堂々と品質確保の試行工事の歩掛調査を行って、その結果修正すべき点は修正すれば良いと思われる。受発注者対等であるから、「官」側が調査もせず標準歩掛に固執するのではなく、「産」の疑問に誠実に答えるべく歩掛調査を行うべきと考える。

耐久性確保の試行工事は、共通仕様書や標準歩掛が想定していない仕様等を用いる工事であり、見積もり活用方式を標準採用するべきである。事務所発注の耐久性確保の試行工事が多い構造物はRC床版と想定されるため、この見積もり活用方式を標準化する事によって、事務所の労力軽減と事務所間の対応の違いなどを緩和することが可能となる。

特に耐久性確保の試行工事は、コンクリートの配合決定、耐久性試験など、通常の工事よりも時間を要する検討項目が多いため、この点を考慮して工期の設定や変更は柔軟に対応する必要がある。また、品質確保の試行工事であっても、より緻密なコンクリートとするために十分な養生期間を確保する必要がある

場合には、必要な工期延長を行うべきである。例えば、橋台の工事で当初工期のまま、足場の存置期間を活用して長期養生を行うと、打込みの最終リフトに近い沓座や胸壁の養生期間が一番短くなる。しかしながら、沓座や胸壁は伸縮装置からの漏水などで、凍結防止剤の影響を受けやすい部位である。したがって、本来はこれらの部位の養生期間を長く取って、コンクリートの緻密性が向上するように工期変更を行うべきと考える。

品質・耐久性確保の試行工事の場合は、その目的達成のために工期がどの程度必要なのかという観点で考え、工期変更柔軟に対応する必要がある。

(4) 受発注者間の認識のずれと役割の再認識

受発注者間に認識のずれがあっては、品質・耐久性確保の試行工事はうまく行かない。現在までに行われた品質・耐久性確保の試行工事では、いくつかの重要な点で受発注者間の認識にずれが存在するために、協議に時間を要する、あるいは品質・耐久性確保の目的が十分に達成出来ないなどの問題が生じている。

これらの問題は、主に以下の点で受発注者間の認識にずれがあるために発生していると思われる、これらの解消が必要となっている。

1) 発注者主体の品質・耐久性確保

既設構造物の定期点検結果などから、品質・耐久性確保は発注者が必要と判断したわけであり、そもそも発注者主体で品質・耐久性確保を行うべきである。発注者にこの認識がないと、受注者との間で意見が噛み合わなくなり、結果としてよい構造物が出来なくなる。

また、技術提案の設定にあたっては、品質確保のための施工方法の提案を求めるならばまだしも、コストアップとなる耐久性確保の提案を求めるようでは、発注者としての耐久性確保に関する当事者意識を疑われてしまう。品質・耐久性確保は発注者が求めている以上、そのために必要なコストや工期は発注者が負担すべきであり、安易に技術提案で求めるべき性格の物ではないという認識に立つ必要がある。

2) コスト優先主義から性能優先主義への変更

発注者側がコスト削減を優先した時期があり、この影響によって現在でもコスト優先主義が残っている。このため、受注者が耐久性確保のためにコストのかかる仕様に変更しようとしても、発注者がコストアップを避けるために耐久性確保を諦めるという本末転倒の判断が行われることが多い。これは確保すべき性能を無視したコスト優先主義から生まれる弊害の一つと言える。

耐久性確保は、劣化に抵抗する性能の確保であり、まずコストではなく、確保すべき性能を確定する必要がある。確保すべき性能が決まったら、同じ性能であればコストが安い仕様を選べばよく、性能を無視したコスト比較は意味がない。

このような誤ったコスト意識をなくすためにも、コスト優先主義から性能優先主義への変更が必要である。

3) スランプと施工性の認識改善

スランプは受発注者間で問題となる事項の一つである。発注者はスランプにこだわり標準値を変更したがる傾向にある。一方、受注者は品質を確保するため、打込み・締固めに適したスランプに変更したがる傾向にある。このため、受発注者間の協議がなかなかまとまらない場合が多い。

このようなことが問題となるのは、発注者側にフレッシュコンクリートという物は、強度が決まってしまうと性状はどの地域でも同じという誤解や、施工性を代表する指標がスランプだという誤解があると思われる。また、同様の配筋の部材で、A工事でスランプが12cmで、B工事では15cmということはどう説明するのか、または単位水量の増加の影響をどう判断すべきか説明出来ないと感じている場合もあると思われる。

実際のフレッシュコンクリートは、強度は同じでも、地域が違えば性状も異なる。同じ地域のフレッシュコンクリートでも、季節によってあるいは朝と昼でも性状は変化する。さらに工事が異なれば、フレッシュコンクリートの打込み・締固めを行う作業員の熟練度や施工体制が異なる。

このように、生コンの性状も作業員の熟練度や施工体制が異なる中で、一律のスランプで施工させようとすることに無理がある。また、荷卸し時のスランプが施工性の一つの指標ではあっても、それだけでは施工性を判断することは出来ない。

例えば、縦断勾配が3%もあるようなRC床版は、スランプを大きくすると、バイブレータの振動で勾配の低い方にフレッシュコンクリートが流動する場合があります。打込みやすさと流動のしにくさが両立できる配合とする必要がある。また、運搬時間が長い場合あるいはポンプの圧送高さが高い場合は、一般にスランプの低下が大きくなり、その低下量を考慮して荷卸し時のスランプをいくつに設定するか検討する必要がある。さらに、施工する作業員の熟練度が低いと作業効率が下がるため、夏期施工のようにフレッシュコンクリートの凝結が速い場合には、打重ね許容時間内に打込み・締固めが出来ず、上下層の一体化が出来なくなりコールドジョイントが発生するということが起こりえる。

受注者は、1台のアジテータ内のフレッシュコンクリートが、打込み・締固めなどが完了するまで施工可能な性状が維持されることを、「施工性」と呼んでいるということを発注者側の監督員も理解する必要がある。スランプは施工性を表す一つの指標であって、そのみで施工性は議論できないことを十分認識する必要がある。

4) ひびわれ問題の対応の改善

ひび割れが発生すると、幅0.2mm以上のひび割れは受注者負担で補修させている場合が多い。これは、ひび割れ発生状況調査の規格値が「0.2mm」となっているため、幅0.2mm以上のひび割れは、ひび割れ発生状況調査の他に補修することで運用されている。しかし、この規定が出来た根拠となった平成13年3月29日付け大臣官房技術調査課長からの「土木コンクリート構造物の品質確保について」の通達の趣旨は、幅0.2mm以上のひび割れが生じた場合はひび割れ展開図を作成するなど、所要のひび割れ調査の実施を求めるもので、ひび割れの補修を義務づけたものではないのである。

このように幅0.2mm以上のひび割れを補修する運用となっているのは、ひび割れ発生状況調査の規格値が「0.2mm」となっていることが原因であり、平成13年度の通達の趣旨からすれば、ひび割れ発生状況調査の規格値は「調査の有無」と記載すべきであると考えられる。また、ひび割れを補修するべきかどうかは、構造物が置かれている環境とひび割れの発生箇所や幅などを勘案して決定すべきであり、規格値の修正と併せてひび割れが生じた場合の補修の有無についても適正に定める必要があると考えられる。

コンクリート構造物にひび割れが入ると、発注者側は一律受注者の責任と判断する場合が多い。これは、施工が適切になされていればひび割れは入らないという前提での判断である。しかしながら、発注図面のままでは、受注者が最善の施工をしても、構造的にひび割れが入る場合が起こりえる。例えば、現場打ちPC箱桁の橋脚の柱頭部のようにフレッシュコンクリートの打込み量が多く、水和熱による温度上昇が大

きい場合には、温度応力によるひび割れが入る場合がある。

ひび割れが入った原因は受注者の施工に問題があるとするならば、発注者は設計段階で事前に温度応力解析などを行って、適切な施工がなされていればひび割れは入らないことを検証しておく必要がある。しかし、現状このような発注者側の検証はなされていない。むしろ、ひび割れの発生の有無を事前に検討していなかった受注者が悪いということさえまかり通っているのが現状である。

受注者の施工が悪くてひび割れが発生している場合は、コンクリートの表層にブリーディングの這い上がりや、不適切な打重ね線などの不具合が見られる。不具合が観察された構造物に生じたひび割れのうち、理論的に入るであろうと想定されるひび割れとは違う箇所や方向のひび割れを施工由来のひび割れと呼んでおり、このようなひび割れは受注者の責任と言える。

しかし、受注者が適切に施工しても、構造上ひび割れが入る場合が存在するため、本来は発注者が設計段階で、適切に施工してもひび割れが入る構造なのかを検証しておく必要がある。その上で、ひび割れを入れたくないと発注者が判断するのであれば、設計段階で誘発目地の設置やひび割れ抑制鉄筋などの対策を行っておく必要がある。現状は、ひび割れの発生原因を無視して、受注者に補修などの対応を一方的に行わせており、このような対応は改善する必要がある。

そもそも、発注者が設計段階で適切なひび割れ抑制対策を行った上で、受注者に施工段階で施工由来のひび割れを無くすような適切な施工を求めることが標準であることを受発注者間の共通認識とする必要がある。

5) 勉強会等による受発注者間の共通認識の醸成

現状では発注者は、品質・耐久性確保の必要性に関する正しい認識やそれを実施するために必要な知識が不足している。このため、受注者からの品質・耐久性確保に関する様々な提案があっても、それを採用するかどうか判断することが難しい。結果として、受注者からの提案を不採用とするか、採用する場合でも受注者側が膨大な労力と時間をかけて説明資料など作成してやっと了解を得ている場合が多い。

このようなことが発生する理由は、受発注者間の品質・耐久性確保に関する認識のずれを埋める機会がほとんどないことに起因しており、まず、この状態を改善する必要がある。受発注者間の認識のずれは、品質と耐久性の違いといった基本的な問題から、下部工や覆工コンクリートのひび割れ発生の有無の判断や、対策を行う場合のセメントの種類の変更の可否、膨張材の使用の有無、ひび割れ誘発目地やひび割れ抑制鉄筋などの対策の選定など高度なものまで広範に存在している。

このような状況で、受発注者間の認識のずれを無くし共通認識を醸成するため、テーマ毎のテキストや手引き類の整備・拡充を行ったうえで、勉強会等を継続的に実施する必要がある。受発注者間で技術的な判断が異なる場合は、「学」の判断を仰ぐなど「産学官」の連携によって問題を解決し、共通認識の醸成を目指していくことが重要である。このような勉強会は、開催に手間がかかっても人材を育てる貴重な機会であり、多忙な中であっても開催する価値があることを認識する必要がある。また、勉強会等を通じて受発注者間に共通認識が醸成されることが、品質・耐久性確保の取組みを自治体工事へ拡大する際の前提条件の一つとなっていることにも留意する必要がある。

5.2.2 品質・耐久性確保の取組みにおける技術面での課題と対応

品質・耐久性確保の取組みを今後も継続していく上で、制度面を含む技術面の課題について以下に述べる。

(1) 契約制度と施工段階における発注者の役割

現在の公共工事標準請負契約約款では、「工事目的物を完成させるために必要な一切の手段については、この契約図書及び設計図書に特別の定めがある場合を除き、受注者がその責任において定める。」となっており、いわゆる受注者の責任施工の原則が規定されている。一方、コンクリート構造物の品質・耐久性確保のためには、適切な施工を実施することが必要となっており、施工プロセスにおける発注者の関わり方が共有されているとは言えない状態となっている。

受注者の責任施工という原則がある以上、品質や耐久性確保を求める工事であっても、発注者は完成時に必要な品質や耐久性が確保されていればよく、発注者が施工方法について関わる必要はない。一方で、品質を確保するためにどのように施工したのか、または設計で想定した耐久性を施工段階で低下させないようにどのように施工したのかという点は、品質・耐久性確保を行う上で重要である。

このため、施工段階では、発注者は品質や耐久性が確保できるように、例えば、最初の打込みリフトの脱型後に、コンクリート表面に施工中に生じる不具合を確認した場合には、受注者に施工中に生じる不具合の発生による品質低下への懸念を表明して、受注者の自主的な施工方法の改善による品質確保を促す立場にあると言える。発注者側の監督員が品質・耐久性確保に関心があることを受注者に意識させることは、よいコンクリート構造物を造る上で重要である。将来的に、定量的な品質や耐久性の管理基準が出来た段階では、発注者が施工に関わることは不要となるかもしれないが、過渡期である現状では、発注者が受注者の施工の結果を見て、品質・耐久性確保に懸念を表明して、受注者の自主的な施工方法の改善を促す必要がある。

(2) 品質・耐久性確保に関する管理基準の整備

現在行われている品質・耐久性確保の取組みは、試行工事という形をとっており、コンクリート構造物の品質管理基準は、従来のものを使用している。このため、品質・耐久性確保を求める試行工事であっても、検査段階での引き取り基準は従来のままとされており、契約上はどのような品質・耐久性を求めたのか明確とはなっていない。例えば、現状では硬化したコンクリートの品質として求めているものは、強度や出来形を除けばひび割れの有無や出来ばえといったものでしかない。このため、品質・耐久性確保を行う工事に特化した管理基準が必要となっている。

品質・耐久性確保に関する管理基準値の整備は、工事契約としてどのような品質・耐久性を求めているのか明確にする上で重要である。品質・耐久性確保に関する管理基準値は、将来的には定量的な数値基準として定め、誰が計測しても結果が変わらない非破壊検査方法などで確認が可能となることが望ましい。

現在、品質を定量化できる非破壊検査方法として、透気試験や吸水試験などが提案されているが、コンクリートの含水率が高いと計測出来ない場合があることや、構造物によっては計測結果に大きなばらつきがみられる場合があり、その結果をどのように評価すべきかなど、工事現場で活用するためには、まだ解決しなければならない課題が残っている。

現状では、評価結果にばらつきはあるが、暫定基準として品質については表層目視評価の活用を、耐久性については透気試験や吸水試験の結果などを指標として運用することが現実的と言える。

また、暫定基準を定量的な品質管理基準として運用することが難しい点を踏まえて、品質・耐久性確保の管理基準を「規格値」ではなく、当面「目標値」として運用する必要がある。品質・耐久性確保の試行工事の件数が東北の三陸沿岸は多く日本海側が少ないという十分定着したとは言えない状態で、品質・耐久性確保の管理基準を「規格値」として運用しては、例えば目視評価点が2.5点だからとか、硬化したコ

ンクリート中の空気量が規格値を下回ったことで検査に合格せず、構造物の造りなおしが必要となる極端な事態が発生する可能性がある。このため、暫定基準の間は、品質・耐久性確保の管理基準は「目標値」として運用する必要がある。

(3) 監督要領等の整備

品質・耐久性確保のための試行工事であっても、監督・検査に関する要領や工事成績評定要領は、従来のものを活用している。このため、品質・耐久性確保のための管理基準と連動して、品質・耐久性確保に特化した監督・検査要領や、工事成績評定要領が整備される必要がある。品質・耐久性確保の取組みをより円滑かつ効果的に行うためにはこれらの整備が必要である。

品質・耐久性確保の試行工事の監督・検査要領や工事成績評定要領は、(2)で定めた管理基準値を前提として、現在の要領等の問題点を洗い出した上で、品質・耐久性確保の監督・検査上のポイントや工事成績に反映する際のポイントを整理して作成する必要がある。監督要領は、主にプロセスの把握であり、検査要領や工事成績評定要領は主に検討のプロセスや目標の到達度がポイントとなる。

また、品質・耐久性確保の試行工事用の監督要領等の試案が出来た段階で、従来の要領等と併用する試行工事を設けて、その結果を受けて必要な修正を行い、その後に本格運用を図るような手順を踏む必要がある。

(4) 品質確保を意識した設計

設計段階ではコストが安く済むという理由から、鉄筋コンクリート断面をコンパクトに抑える傾向にある。この結果、過密配筋のコンクリート構造物の施工を行わざるを得ない場合が見られる。過密配筋の構造物では、フレッシュコンクリートの打込み状況の目視確認や、バイブレータが入らないまたは届かないなどの理由で締固めが困難となるなど、品質確保を行う上で施工上の問題が発生するケースが多い。経済性を追求した設計では工事の難易度もあがり経費も増加することから、結果的によい構造物とならない可能性が高くなる。品質確保のために、設計段階で施工しやすさにも配慮して、鉄筋コンクリートの断面や配筋を決定すべきという視点が発注者にも設計者にも欠けている。

単にコストが安いからという理由で鉄筋コンクリートの断面と配筋を決定すると、施工段階で品質を確保するために必要な施工の基本事項を遵守しづらい過密配筋の構造物となってしまう。これを避けるためには、発注者と設計者の意識を、コスト優先から品質優先に変更することが必要である。「官」の解決すべき目標である品質確保を行うためには、コストだけではなく品質確保に必要な施工方法に配慮した設計とする必要がある。

また、「産」の施工者が、過密配筋などで品質確保に苦労した構造物の事例を、発注者や設計者に示して意見交換を行い、このような勉強会を通して品質確保を意識した設計の具体化を目指す必要がある。さらに「学」による設計段階および施工段階における「品質確保が可能な施工性」の評価手法の開発などが必要である。

(5) 対策の拡充が必要な劣化への対応

耐久性確保のうち、凍結防止剤による塩害対策とPC橋のASR対策の拡充が必要である。

凍結防止剤による塩害もPC橋のASRも既設構造物では確認されていることから、これらの劣化に対して耐久性を確保するため、対策の拡充が必要となっている。

既設のコンクリート構造物には既に凍結防止剤による塩害の発生が確認されているにもかかわらず、凍結防止剤による塩害対策は十分とは言えない状況となっている。凍結防止剤の塩害対策を検討するためには、凍結防止剤の散布量によって、無対策とするか、かぶりの増厚を行うのか、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用するのか、またはこれらの併用を考えるのか整理する必要がある。また、凍結防止剤による塩害は、飛来塩分による塩害と異なり、凍結防止剤混じりの水が車両の走行による巻きあげなどによって直接噴霧される箇所や、路面排水の漏水箇所で集中的に発生する傾向があるため、構造物の部材や部位によってどの場所にどの程度の塩害が発生しているのか調査する必要がある。

PC 橋には、ASR 抑制効果のない早強セメントが用いられているため、塩分が追加供給される海岸線に近い橋や凍結防止剤の影響をうける部位で ASR が発生する可能性がある。既に PC 橋の上部工に飛来塩分が原因と思われる ASR が発生している事例が確認されている。

このため、PC 橋の ASR の実態調査を行って、ASR 抑制効果のない普通セメントや早強セメントを使用した構造物に ASR が確認されていれば、その地域では PC 橋の上部工には ASR 対策が必要となる。また、凍結防止剤の影響を受ける部位でも ASR が発生する可能性があり、どのような部位に凍結防止剤の影響が見られるのか実態を調査する必要がある。

塩害対策や ASR 対策の拡充にあたっては、定期点検結果の分析や実構造物の調査を行い、評価方法や対策の方法などを「産学官」の連携のもとで検討する必要がある。

(6) 未活用な工事図書のデータベース化

復興道路・復興支援道路を中心に、多くの品質・耐久性確保の試行工事が行われており、それらの工事図書も多数発注者側に納入されているが、活用可能な状態で保存されているとは言えない。

これらの工事図書は、品質・耐久性確保の試行工事がどのように行われたのかを示す貴重な資料であり、これらの工事図書を活用して、品質・耐久性確保に関するデータベースを構築し、分析可能な形とする必要がある。このデータベースは、試行工書の品質・耐久性確保の初期値としてだけではなく、ひび割れの発生状況と施工条件やひび割れ抑制鉄筋の有無などの対策を関連づけることによって、山口県のひび割れデータベースのように、ひび割れ抑制に活用できる可能性がある。

また、品質確保の試行工事と従来型の構造物が近接している現場や、耐久性確保の試行工事と従来型の構造物が近接している現場があることから、品質・耐久性確保の効果を比較するため、これらをモニタリング構造物として長期間経過観察することによって、将来的に有用な知見を得られる可能性がある。

このように工事図書には有用なデータが含まれており、これをデータベースなどの有効活用可能な形とする必要がある。

(執筆者 佐藤 和徳)

5.3 耐久性確保のための養生のあり方

コンクリート構造物が記載される耐久性を発揮するために、施工段階での養生が重要であると考えられている。コンクリート標準示方書の施工標準には、湿潤養生期間の標準が日平均気温ごとの養生日数として記載されている。一方で、東北地方整備局（以下、「東北地整」）の一般構造物の品質確保の手引きにおいては、いわゆる標準的な養生日数を超えて、追加養生を現場の条件の許す範囲で実施することを推奨している。また、高耐久床版においては、床版の上面に対しては給水養生を、下面に対しては封緘養生を、一ヶ月程度実施することを手引きにおいて規定している。

養生には手間もコストもかかる。適切な養生の方法や期間については、どのように検討をして決めていけばよいのであろうか。一度決まったルールを改訂するためにはかなりの労力を要するが、目的は構造物の耐久性の確保であって、生産性向上を求められる社会の動向や、技術の進歩もあるため、ルールを適切に改善していくという気概を持ち続ける必要がある。

本節では、東北地方の高耐久床版の耐久性確保を題材にとり、耐久性確保のための養生のあり方について考察する。

5.3.1 耐久性確保が必要な事例

東北地整の管理する鋼橋の RC 床版に深刻な劣化が生じている。床版の土砂化が発生しており、東北地整管内では、凍結抑制剤の平均散布量の必ずしも多くない地域においても土砂化が確認されている状況にあり（図 5.3.1）、実態の解明と土砂化の抑制が求められている。

床版の土砂化



舗装撤去後、脆弱なコンクリートを除去した状態
交通量約8千台/日 昭和39年示方書 供用後42年

図 5.3.1 東北地方整備局における RC 床版の土砂化の例¹⁾

土砂化の発生メカニズムは、床版上面に発生したひび割れに水が浸透した状態で繰返しの活荷重が作用し、すり磨き効果等により土砂化に進展すると考えられている。RC 床版に発生するひび割れは、施工初期の水和熱や乾燥収縮等に起因するひび割れ、塩害や中性化といった鋼材腐食に伴うひび割れ、凍害によるひび割

れ、ASRによるひび割れ等がある。凍結抑制剤の散布環境下においては、床版上面の凍害によるスケーリングが誘発され、ASRや塩害に対しても悪影響が生じると考えられる。図5.3.2に、凍結抑制剤の影響を受けて劣化したRC床版のイメージを示した。

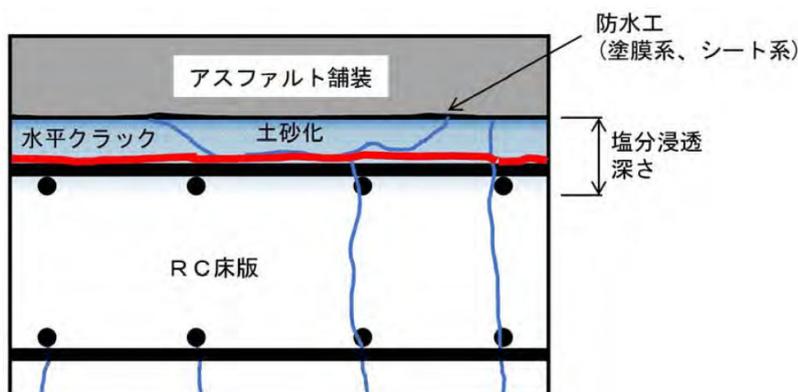


図 5.3.2 凍結抑制剤の影響を受けて劣化した RC 床版のイメージ図¹⁾

このような状況を受けて、東北地整では、RC床版の高耐久化のために多重防護の考え方を採用している(図5.3.3)。多重防護の対策の中に追加養生が含まれている。目標とする耐久性が確保されるために、この追加養生の方法・期間をどのような考え方に基づいて決定すればよいであろうか。その考え方を本稿で考察する。

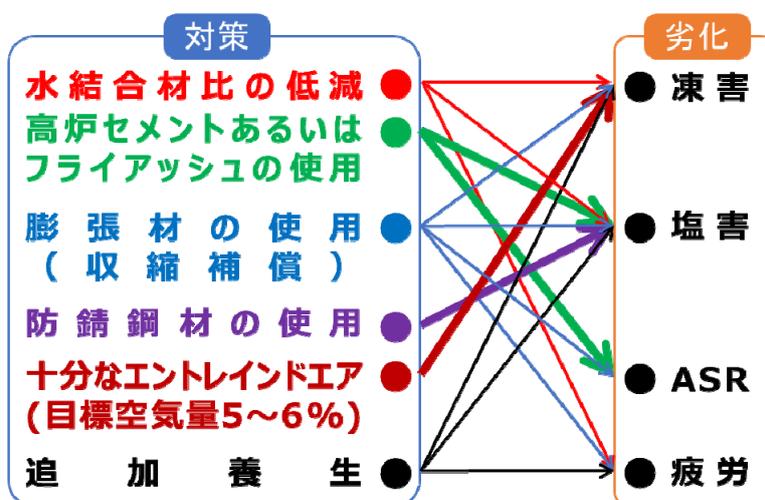


図 5.3.3 高耐久化のための多重防護の考え方

5.3.2 耐久性確保における養生についての考え方

RC床版の耐久性確保とは、目標とする期間において、RC床版に生じ得る各種の劣化が目標とする水準を超えないようにするためのあらゆる行為の総称、と考える。

現在のRC床版は、防水工がなされるものの、防水工の施工不良により防水機能が完全でない場合や、アスファルト舗装の劣化による切削オーバーレイの実施時にRC床版上面が削り取られ、それ以降の防水工の機能が完全に発揮されることは期待できないこと等を鑑み、RC床版本体が十分な耐久性を保有する必要があるという考え方を東北地方整備局の試行工事では採用している。すなわち、防水工、アスファルト舗装を

含めた複合システムの中の RC 床版が、目標とする期間において耐久である必要がある。

東北地方整備局の復興道路等の自動車専用道路における RC 床版の耐久性確保のためには、スケーリング、凍害、ASR、塩害、疲労に対して十分な抵抗性を持ち、耐久性に対して有害なひび割れを発生させない必要があると考える。目標とする期間については、様々な考え方があると思われるが、ここでは 100 年間の耐久性確保を設定しておく。なお、100 年間という目標が極めて困難であることは十分に承知している。

図 5.3.4 に、構造物の構造計画の段階から設計、施工、維持管理に至る一連のプロセスにおいて、RC 床版の養生方法や期間の決定に関与していると思われるキーワードを列挙した。図 5.3.4 の中で下線を引いたキーワードが、多少なりとも養生方法や期間の決定に関与すると筆者が考える項目である。それぞれの意味については、5.3.3 で説明する。筆者は、養生方法や養生期間の決定は、耐久設計の一部として行われるべきであると考えている。耐久性確保を実現する方策は様々なものがあり、例えばコンクリートの使用材料や配合が変化したり、スリップフォーム工法のように早期脱型がなされる場合には、耐久性確保を達成できるように適切な養生についても耐久設計の段階で検討するのが理想的な状況であると考え。また、耐久設計を行う前提となる、耐久性に関する要求性能を設定する際には、前述のようにひび割れ抑制も含んだ構造物の総合的な性能について要求性能を設定する必要があり、100 年の目標期間を考えると、これは決して容易な行為ではない。

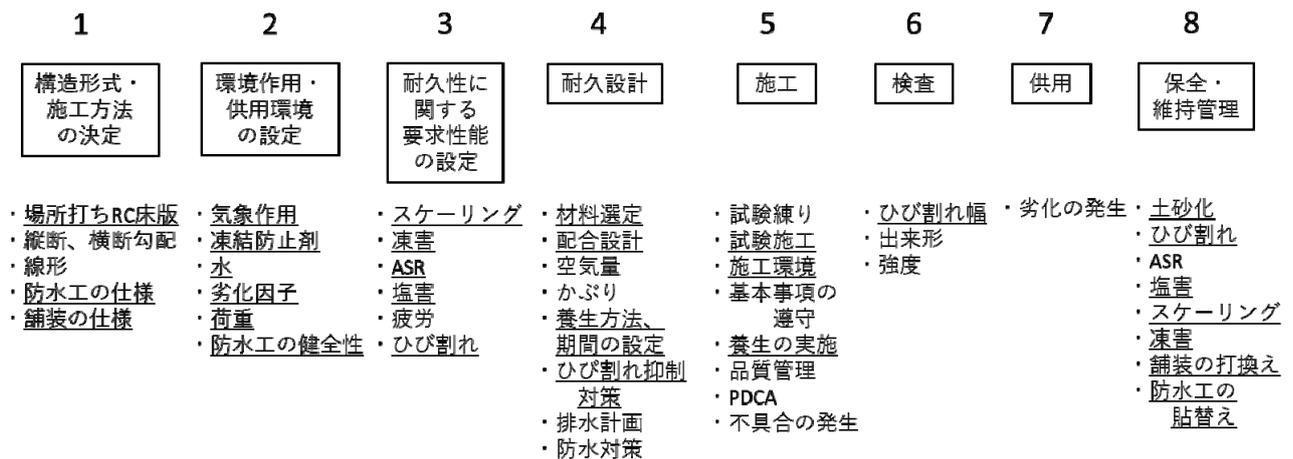


図 5.3.4 東北地方整備局の高耐久床版において、養生方法・期間の決定や根拠に関与していると思われる項目

5.3.3 養生方法・期間を決定する際に検討すべき項目

図 5.3.4 に示したように、養生方法や養生期間を決定する際には、RC 床版を建設するプロセスにおける様々な項目を考慮する必要があると思われる。ここではそれらを具体的に分析する。

(1) 構造形式・施工方法

- ・対象が場所打ち RC 床版である。過去の場所打ち RC 床版に土砂化等による劣化が多発しているため、何らかの改善が必要である。
- ・シート防水が必ずしも十分に機能していない。防水機能が完全ではないという前提で RC 床版の耐久性確保に取り組む必要がある。
- ・アスファルト舗装の寿命が短く、舗装の打換えの際に床版上面に傷が入りやすい。

(2) 環境作用・供用環境の設定

東北地方の RC 床版については、以下の環境作用や供用環境を考慮する必要がある。

- ・凍害環境である。
- ・凍結防止剤を大量散布する。
- ・防水工の健全性が損なわれると、凍結抑制剤を含む水や劣化因子が床版の上面から作用する。
- ・繰返し荷重が作用する。

(3) 耐久性に関する要求性能の設定

東北地方の RC 床版の耐久性を確保するために、下記の事項が満たされる必要があると考える。

- ・床版上面のコンクリートがスケーリングに対して十分な抵抗性を有する必要がある。
- ・凍害に対して十分な抵抗性を有する。
- ・ASR によるひび割れが生じない。
- ・塩害による鋼材腐食が生じない。(床版については、腐食を許容する設計をしない方がよいと思う。)
- ・有害なひび割れが竣工検査までに発生しない。

耐久性を確保するために、東北地整では以下の対策を取ることとした。

(a) 適切な材料を選定する。図 5.3.3 に示した多重防護の観点から、フライアッシュや高炉セメントの使用が必須となる。ひび割れ抑制の観点からも膨張材が必要となる。

・多重防護の観点から、水結合材比が 45%以下となる。その結果として、ひび割れのリスクは増大する場合があると思われる。ただし、ひび割れのリスクは、使用材料や構造形式により異なることが、試行工事での検討により明らかとなっている。

・竣工検査までに有害なひび割れ (0.2mm 以上) が発生しないよう、適切なひび割れ抑制対策を実施する必要がある。有害なひび割れの具体的な定義については、さらなる議論が必要であるが、現時点では、補修が必要となる 0.2mm 以上のひび割れが発生しないように、耐久設計を行うことにしている。

図 5.3.3 に示すプロセスの上流から議論してきたが、この辺りまでの議論で、養生方法や養生期間について検討する項目がほぼ出そろうと思われる。

5.3.4 耐久設計における養生方法・期間の検討

では、養生方法や養生期間について具体的にどのように考えるべきであろうか？

下記についてはすべて、施工の基本事項が遵守され、適切に打込みがなされることが前提で、

- (1) 床版上面のコンクリートがスケーリングに対して十分な抵抗性を有するために、適切な材料選定・配合設計を行い、養生方法と期間を設定する。
- (2) 凍害に対して十分な抵抗性を有するために、適切な材料選定・配合設計を行い、養生方法と期間を設定する。
- (3) 床版上面からの塩分浸透による塩害による鋼材腐食が生じないために、適切な材料選定・配合設計を行い、養生方法と期間を設定する。

上記の(1)~(3)が検討されれば、次の(4)は自動的に満足されると思われるが、

- (4) 床版上面からの水分浸透と中性化による鋼材腐食が生じないために、適切な材料選定・配合設計を行い、養生方法と期間を設定する。
- (5) ひび割れ抑制については、現時点では竣工検査時点で 0.2mm 未満のひび割れとなるようにひび割れの抑制を行うことを目標にせざるを得ない。ひび割れ抑制の観点から、
- (5-1) 東北地整の手引きにおけるひび割れ抑制対策は、28 日間の湿潤養生がなされることが前提で構築されている。
- (5-2) 床版上面を 28 日間、湿潤養生することは、竣工検査までの乾燥収縮の影響を低減するためにも望ましい。湿潤養生期間を 7 日程度にすると、有害なひび割れが発生するリスクは確実に増大すると思われるが、これまでの検討では養生期間に着目したひび割れのリスクを定量的に検討していない。
- (5-3) 膨張材を十分に反応させるという観点では、28 日間の湿潤養生は過剰と思われる。ただし、寒中施工の場合、膨張材の反応が遅いため、もし養生期間を短縮する場合は慎重に判断する必要がある。

上記の考え方で養生方法と養生期間を設定するためには、実験や数値シミュレーション、実構造物での検討などが必要となる。東北地整の手引きでは、RC 床版の養生が以下のように定められた。

「RC 床版のコンクリートの緻密性を高めるため、床版上面は湿潤マットや散水などの給水養生を行う。また、床版下面は封かん養生が望ましく、それぞれ 1 ヶ月間行うものとする。」

筆者はこのように養生方法と養生期間を定めた根拠が十分に揃っているとは考えていない。特に、床版下面に対して 1 ヶ月程度の封かん養生がなぜ必要であるのかは、十分な根拠はないと考えている。床版上面に対しての 1 ヶ月程度の給水養生も、現場では手間が増えることにつながっているが、もし養生を簡素化する場合には、耐久性確保の観点から、慎重に検討を行った上で簡素化する必要があると考えている。

以下に、養生方法と養生期間を決定する際の根拠となった情報を記載する。

5.3.5 養生方法・期間を決定する際の根拠

東北地整の手引きにおいて、RC 床版の養生方法と養生期間を決定する際に根拠となった実験や検討結果について紹介する。

(1) スケーリング抵抗性の実験²⁾

(a) 実験概要

表 5.3.1 にコンクリートの配合を示す。図 5.3.5 に示す高耐久 RC 床版を模擬した二段配筋の 400mm × 400mm × 200mm の RC 供試体から 250mm × 250mm × 200mm を切り出して、スケーリング試験を行った。供試体の作製については、20°C、相対湿度 70%以上の環境において、実構造物と同様に打込み面に対して 28 日間の湿潤養生を行い、その後、材齢 497 日まで気中で養生し、スケーリング試験を開始した。

ASTM C672 を参考にしてスケーリング試験を行った。打込み面に 3%の NaCl 水溶液を 6mm の深さで張り、一面凍結融解試験を行った。図 5.2.6 に温度条件を示す。昇温、降温ともに 30 分で行い、最高・最低温度を 2 時間 30 分保持する計 6 時間を 1 サイクルとした。スケーリング量の経時変化、硬化コンクリートの空気量と気泡間隔係数、細孔径分布を計測した。

表 5.3.1 高耐久床版のコンクリートの配合

W/B (%)	Air (%)	単位量(kg/m ³)									
		水	セメント	混和材		細骨材		粗骨材		混和剤	
				膨張材	砕砂	陸砂	龍振	和賀	AE 減水剤	AE 剤	
44.0	6.0	160	344	20	334	328	558	554	2.18	0.103	

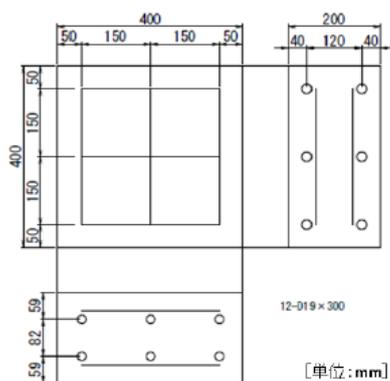


図 5.3.5 高耐久床版の模擬供試体の諸元

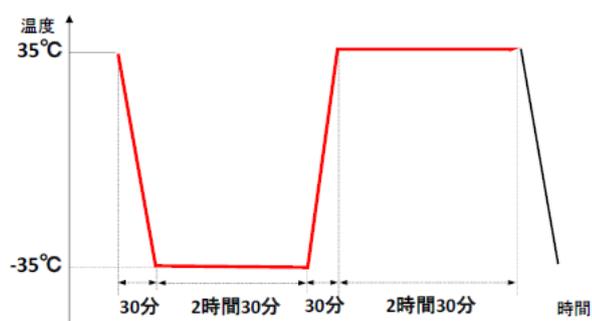


図 5.3.6 スケーリング試験における温度条件

(b) 実験結果

図 5.3.7 にスケーリング試験の結果を示す。スケーリング量は 80 サイクル程度で一定となった。50 サイクルでスケーリング量が 0.5kg/m² 程度であれば許容できるとする月永らの報告³⁾で提案されているしきい値と同程度のスケーリング量であった。194 サイクルでの表面状態は ASTM の規格である目視レーティングで 2 に相当する軽度の剥離であり、スケーリング深さは最大で 2.5mm 程度であった。凍結融解による劣化はごく表層の軽度の剥離程度に抑制されていることが分かった。

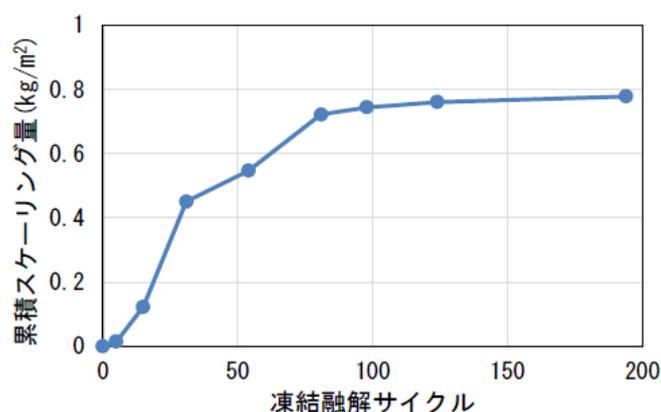


図 5.3.7 スケーリング試験の結果

高耐久 RC 床版では、ひび割れ抑制のために膨張材が用いられている。鉄筋による膨張の拘束の程度は、鉄筋近傍と部材の表面付近では異なると考えられる。供試体の表面から 0~20mm の位置および鉄筋近傍の 50~70mm の位置で採取した 5mm 角のモルタル片を用いて、水銀圧入法により細孔径分布を測定し、酒井らの報告をもとに閾細孔径を算出した⁴⁾。閾細孔径は、表面から 0~20mm の位置で 7nm、50~70mm の位置で

5mm であり、酒井らのデータと比較して非常に小さい値であることが分かった。緻密な細孔構造が、十分なスケーリング抵抗性をもたらした理由の一つであると考えられる。

硬化コンクリート気泡測定装置 (HF-MAC02) を用いて、リニアトラバース法 (ASTM C 457 に準拠) により気泡組織を測定した。表面から 5mm の位置における気泡間隔係数は 205 μ m、空気量は 3.3% であり、十分なエントレインドエアが確保されていた。一方、供試体表面においては計測された空気量が 0.05~0.07% 程度であった。ごく表層でスケーリングが生じた理由は、エントレインドエアの不足による可能性がある。ただし、スケーリングが発生した場合でも、最大で数 mm で止まるものと思われる。

(2) 塩害に対する抵抗性

東北地整の手引きの解説には、コンクリート標準示方書に従って、普通ポルトランドセメントを用いた場合、かぶりを 30mm に設定して供用期間を 100 年と設定すると、水セメント比を 30% 以下にする必要がある、としており、RC 床版の配合としては現実的でないため、高炉セメントもしくはフライアッシュを活用することにした、としている。

配合や施工方法を変えた 6 種類の実物大の床版から採取した供試体に対して、3% の NaCl 試験液に 91 日間浸漬し、塩化物イオンの浸透抵抗性を調べた結果、6 つの床版の中で最高級品質とされる多重防護仕様の、水結合材比 45% 以下、フライアッシュをセメントの外割で 20% 置換、膨張材を添加した床版において、他と比べて明らかに高い塩分浸透抵抗性が確認された。

ただし、この多重防護仕様の床版では、床版上面の養生は 91 日間の湿潤養生であり、高炉セメントの配合については検討されていない。東北地整の手引きでは、高炉セメントもしくはフライアッシュを使用することと、床版上面に対しては 1 ヶ月程度の湿潤養生を規定しており、この根拠が十分に明らかにされているわけではない、と言える。

(3) ひび割れ抑制の観点から

東北地整の高耐久 RC 床版のひび割れ抑制対策の考え方については、本報告書の 4 章 4.1 で詳述した。これまでの試行工事においては、竣工検査時点で 0.2mm 以上のひび割れは床版本体には確認されていない。

竣工検査までに床版に橋軸直角方向に発生するひび割れの発生原因は、自己収縮や膨張材による膨張ひずみの影響も受けた温度応力と、複数径間の連続桁上の床版における床版の分割施工に由来する応力と、湿潤養生終了後の乾燥収縮による応力である。1 ヶ月の湿潤養生期間中の応力を温度応力解析により計算し、複数径間の連続桁の場合は分割施工に由来する応力を検討して、ひび割れのリスクを分析した。その結果、引張強度と引張応力の比で表されるひび割れ指数によるリスクは、構造形式により大きく異なり、打込み温度やコンクリートの熱膨張係数の影響も大きく受け、膨張材によるリスクの低減効果が顕著に認められた^{5), 6), 7), 8)}。

上記の検討では、湿潤養生期間の終了後の乾燥収縮の影響は考慮できていない。しかし、東北地整の手引きでは、単径間の橋梁では膨張材を使った場合の湿潤養生期間のひび割れのリスクが、ひび割れ指数の観点からは極めて小さいことと、現実の床版にひび割れが発生していないことから、施工の基本事項の遵守をもってひび割れ抑制対策とすることを明記した。一方で、3 径間以上の多径間の連続桁上の床版においては、鋼桁の拘束が大きいことや、分割施工に由来する引張応力が生じるロットがあること、現実の床版においてもひび割れが発生していることを鑑み、鉄筋比が 1.0% 未満の箇所においては、1.0% 以上とすることを推奨する内容とした。暫定的な処置であるが、試行工事の結果を分析しながら、必要に応じて手引きの内容の見直

しを行っていく予定である。

上記の手引きにおいては、28日程度の湿潤養生が前提条件で試行工事が実施され、温度応力解析による検討がなされている。この湿潤養生期間を短縮することも可能かと思われるが、乾燥期間が増大するため、ひび割れのリスクは確実に増加すると思われる。養生の仕様を変更することには多大な労力が伴うことを実感している。

5.3.6 今後の検討課題

本稿では、東北地整における高耐久 RC 床版の耐久性確保のための養生のあり方について考察した。様々な課題があると考えており、それらを以下に列挙する。

- ・床版下面を28日間封緘養生（型枠存置）することの意味は何であろうか？
- ・寒中施工時に床版上面を1ヶ月程度湿潤養生するためには、適切な保温養生と組み合わせる必要がある。適切な保温養生とはどのようなものか？
- ・「有害な」ひび割れ、とは何か？エポキシ樹脂塗装鉄筋を使うことは前提にはなっていない。エポキシ樹脂塗装鉄筋を使う場合と使わない場合とで、「有害な」ひび割れの議論は、変わってくる。
- ・今後、高耐久床版でひび割れ抑制が上手く行かない事例が出てきた場合、ひび割れ抑制対策、養生方法等の見直しが必要になる可能性がある。
- ・高耐久床版の供用後の性能をどのようにモニタリングしていくべきか？
- ・どのようなデータを取得し、データベースとして蓄積していくべきか？
- ・つくる時点での考え方、設計・施工記録等のデータと、保全・維持管理のデータをどのようにつないでいくべきか？

参考文献

- 1) 東北地方整備局：東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き（案）（2019年試行版），
http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/taikyusei_honpen.pdf（最終アクセス確認日：2020.7.3）
- 2) 中川恵理・細田暁・樫村康介・本間一也・田中章夫：新気仙大橋の高耐久 RC 床版についての検討 その2（スケーリング抵抗性の分析），土木学会第72回年次学術講演概要集 72巻，pp.295-296，2017.9
- 3) 月永洋一・庄谷征美・笠井芳夫：凍結防止剤によるコンクリートのスケーリング性状とその評価に関する基礎的研究，コンクリート工学論文集，第8巻第1号，pp.121-133，1997.1.9
- 4) 酒井雄也・中村兆治・岸利治：閾細孔径と透気・透水および気体の透過挙動との対応に関する研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.67，pp.464-471，2013
- 5) Arifa ZERIN, Akira HOSODA, Satoshi KOMATSU and Nobuyuki NAGATA: Numerical Simulation of Thermal Stress in Highly Durable RC Slab on PC Composite Girder Bridge, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.465-470, 2018
- 6) Arifa ZERIN, Akira HOSODA, Satoshi KOMATSU: Numerical Simulation of Early Age Expansion and Autogenous Shrinkage Behavior of Blast Furnace Slag Concrete with Expansive Additive, 構造工学論文集, 64A, pp.666-674, 2018.3
- 7) Arifa ZERIN, Akira HOSODA, Satoshi KOMATSU and Kosuke KASHIMURA: Numerical Simulation of Early Age Thermal Stress in Durable RC Bridge Slab Utilizing Blast Furnace Slag Concrete with Expansive Additive, The 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, 2018.8

8) Arifa ZERIN, Akira HOSODA, Satoshi KOMATSU and Nobuyuki NAGATA: Utilizing Expansive Additive to Reduce Thermal Cracking Risk of RC Slab on Single Span PC Composite Girder Bridge, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.707-712, 2019

(執筆者 細田 暁)

5.4 地域規準と中央規準（示方書等）の連携

本委員会で検討してきた品質・耐久性確保の取組みは、ほとんどが地域の取組みであり、システムを構築して規準書を設ける場合は、いわゆる地域規準に相当する。規準類には、例えば土木学会のコンクリート標準示方書や国土交通省の土木工事共通仕様書のようないわゆる中央規準と、地方整備局や自治体などのいわゆる地域規準や、事業者ごとの規準類などがあり、それぞれの役割がある。

我が国は、北海道から沖縄まで環境条件が極めて多岐に渡る国土を有しており、骨材の種類も極めて多く材料事情も地域によってかなり異なる。寒冷地においては、凍結防止剤を散布するために、凍結防止剤を大量に使用する以前の状況と比べて、コンクリート構造物の耐久性の観点からは極めて厳しい環境作用の地域が大幅に増えていると言ってよい。また、良質な骨材の減少や、副産物の混和材や骨材としての有効利用の増進、コンクリート製造工場の集約等による運搬時間の増加など、コンクリート構造物の品質・耐久性確保の観点からの地域における課題は多様化し、より複雑で困難になっていくものと思われる。

このような状況において、品質確保や耐久性確保のための規準を各地域で整備していくことの意義は大きいと考えている。そもそも、一口にコンクリート構造物と言っても、用途は様々であり、例えば鉄道、道路、港湾などで設計体系も異なり、構造物の供用条件や供用中の環境条件も異なり、各事業者ごとに規準を整備するのが一般的である。事業者によっては、国家規準に従って構造物を造っても劣化が生じる場合があり、事業者は自己防衛をしなくてはならないとし、国家規準より厳しい品質・耐久性確保のルールを設けている場合もある。各地域において、構造物の種類ごとに、品質・耐久性確保、さらに将来的には維持管理の規準が整備されていくことが、津々浦々で耐久性のある構造物が建設され、適切に維持管理されながら供用され、その中で技術者も活躍できると思われる。

各地域で規準類を整備していく際には、本報告書 5.2 でも触れられていたように、産官学の協働で行うのが望ましい。公正な立場で最新の知見を有する学、実際の施工に携わり技術力を持つ産、事業に責任を持ちシステム構築と運用の実際を担う官が適切に連携することで、実効性のある規準が構築され、適切に改善されていくものと思われる。例えば鉄道においては、もともと軌道や土構造はメンテナンスを前提に造られてきたが、橋梁についてはメンテナンスの概念は塗装以外にはなく、検査も制度化されていなかった。震災で多くの構造物が損傷したことを契機に、構造物の検査が行われ始め、1974年に土木学会に委託の委員会が設置されて「土木建造物取替の考え方」が日本鉄道施設協会から発刊され、現在の鉄道のメンテナンスの基礎となっている。このように、事業者や地域行政の規準類も地域の学と連携しながら整備・改善していくことがまさに地域創生につながっていくと思われる。

筆者は東北地方整備局の品質・耐久性確保の手引き類の策定に関わってきたが、試行工事を重ねて得られた知見や、最新の研究成果に基づいた知見等も活用して、それぞれの時点で最善の規準を作成するように産官学の協働で努力を重ねてきた。手引き類の中には、中央の規準よりも一歩進んだ手法を取り入れることなどにもチャレンジしてきた。このようなチャレンジは、原理・原則が書かれる傾向にある中央規準よりもむしろ地域規準においてこそトライしやすく、地域のオリジナリティが盛り込まれた規準が構築されていくことも日本らしいと言えるかもしれない。

また、筆者は地元の自治体と上水道のある施設群に関する維持管理の共同研究を現在行っているが、筆者が鉄道会社で学んできた維持管理の考え方や、学会等の最新の動向と、その施設群における維持管理の実態との乖離を目の当たりにしており、そのギャップを埋め、合理的な維持管理システムを構築できるように研究を続けたいと思っているところである。ギャップがあるのは当然であり、それなりに体系化されている設計や施工に比べると、仕組み自体が構築途上の維持管理においてはよりギャップが大きいと思わ

れる。これも、現代においては、地域の産官学の協働で改善していくのが望ましいと考えている。

中央規準は重要である。中央規準においても、例えば暑中コンクリート、寒中コンクリートなどのように地域性も当然に考慮されている。しかし、地域の事情をすべて中央規準で考慮することはもちろん不可能であるし、コンクリート標準示方書の条文の主語が「コンクリートは」と構造物を特定していないように、構造物ごとの供用環境等の固有の事情をすべてカバーすることも不可能である。品質・耐久性確保に関して中央規準でカバーしきれないことについては、地域規準で適切に考慮していくことが、特に厳しい環境・供用条件や材料事情の厳しい地域にとっては重要であると考えらる。

一方で、中央規準に実装しないと広く汎用的な展開になることが難しい。本報告書の2章で施工状況把握チェックシートや目視評価法を活用しての品質確保の試行が各地域で行われている状況を紹介したが、これは東北発の仕組みであり、中央規準にはまだインストールされていない。また、東北地整の手引きにインストールした表層透気試験や表面吸水試験による緻密性の評価は、コンクリート標準示方書では検査標準の解説文に課題とともに記載がある程度であり、広い展開を促すためには、コンクリート標準示方書や土木工事共通仕様書等の中央規準の改訂に適切に反映していく必要がある。

地域規準と中央規準のそれぞれが充実し、連携し合うことにより、コンクリート構造物の品質・耐久性確保のレベルが向上するとともに、そこに関わる技術者の技術力が向上し、維持されていく舞台になると期待される。

(執筆者 細田 暁)

6. おわりに

2014年10月1日に初回の全体委員会を土木学会の講堂で開催した1期目の350委員会の活動は、2016年度は土木学会の重点研究課題として「コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会」(コンクリート委員会229委員会)の活動に移行し、2017年7月に229委員会として報告書を発刊した。その後、350委員会の2期目の活動が開始し、現在、その活動を終えようとしている。1期目がスタートしたころは、山口システムがひび割れ抑制システムから品質確保システムへ拡張した直後であったし、東北復興道路においては品質確保の試行が現場で始まったころであった。

本委員会は、まさに産官学の協働の委員会であり、特に行政のメンバーには、地方整備局の道路工事課や地方自治体の技術管理課の技術職員が参画するなど、現実の現場を舞台に構造物の品質や耐久性を向上させていこう、という思いを共有するメンバーが集ったユニークな研究委員会であった。筆者はこのような集まりが自分の性に合っているが、学会の本来のあり方の一つを体現していたようにも感じている。

350委員会の活動期間中に、山口システムはその規準書を「コンクリート構造物品質確保ガイド」という名称にし、その名称の末尾に改訂の年度を付けるようにして、ほぼ毎年改訂を実施している。最新版は「コンクリート構造物品質確保ガイド2020」である。少しでも、こまめに改訂していくことで、停滞に陥ることを避け、持続的に発展していきたいというこの考え方は、350委員会の活動を通じて整備された他の行政機関の規準類にも引き継がれている。先駆者として、山口県には今後も容易ではない持続的な発展の道を歩み続けてもらいたい。山口システムの発端とも言える田村隆弘委員長の「コンクリートよろず研究会」の第1期のテーマがひび割れであり、2018年5月にテキストを発刊した第2期のテーマが混和材料であった。混和材料を活用したコンクリート構造物の品質・耐久性確保はこれからの時代において極めて重要なテーマである。また、本委員会でも議論された、施工記録と維持管理をつなぐ母子手帳とそのデータベースの活用は、まだまだ模索の範囲を出ていない。本報告書の4.2でも紹介した機械学習の活用のように、良質な山口データベースの本領発揮はこれからかもしれない。これらの重要な課題も見据えつつ、山口システムが学会とも上手く連携して発展していくことを心から願っている。

東北では、品質確保の試行が始まった後、品質・耐久性確保に関する各種の手引き類を350委員会と連携しながら東北地方整備局が制定し、試行工事で運用してきた。品質の向上は、目視評価による定量評価やひび割れの抑制等により確認されてきている。本報告書の5.1でも紹介したように、NATMトンネルの点検データの分析結果からも、品質確保の試行が品質の向上の効果をもたらした傾向が見られた。しかし、凍結防止剤を散布する厳しい環境において、これらの構造物群が真に耐久性が確保されるかどうかは、長い時間をかけて検証されることになるであろう。そして、東北地整においてもこれらの取組みはあくまで試行の段階を抜け出しておらず、正式なシステムとして定着し、さらに発展していくための課題や提言は本報告書に詳細に記述されている。産官学の協働による地域のモデル的な取組みとして、復興道路の整備が一段落した後も、東北地整の取組みがしぼんでしまうことなく、着実に歩み続けることを願っている。

山口や東北の取組みに共鳴した各地域でのチャレンジの最新動向について、本報告書で取りまとめた。正式な行政システムとして運用を開始した群馬県、トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引きを制定した四国地方整備局、耐久性向上の取組みが先行して品質確保の試行との融合が始まった沖縄などに続いて、品質確保の試行工事が全国で行われる状況となってきている。本報告書の5.4で述べたように、地域での実践と中央規準とができれば有機的に連携しながら、品質・耐久性確保の取組みが発展していくことを期待している。

(執筆者 細田 暁)

「コンクリート構造物の品質確保」に関するシンポジウム論文集

目 次

1. 積雪寒冷地における RC 床版の高耐久化への取組み	・ ・ ・ 157
上北建設(株)	音道 薫
八戸工業大学	阿波 稔
八戸工業大学	迫井 裕樹
2. 群馬県におけるコンクリート構造物の品質確保の取組みに関する考察	・ ・ ・ 163
広島大学	半井健一郎
群馬県	鈴木 修
群馬県	神尾 崇
群馬県	鹿沼 大成
群馬県	山田 真次
日本サーベイ	三田 淳
3. シリンダーを用いた簡易透気試験手法によるコンクリート表層品質の評価手法の検討	・ ・ ・ 167
徳島大学大学院	渡辺 健
徳島大学大学院	岸 悠樹
(株) マルイ	関川 昌之
徳島大学大学院	橋本 親典
4. 遮熱シートを用いた鉄筋コンクリート橋台の養生効果	・ ・ ・ 173
群馬大学工学部	富山 隆彦
群馬大学大学院	小澤満津雄
河本工業株式会社	大島 亮一
5. 実構造物におけるコンクリートの締固め時間と表層品質の関係に関する一考察	・ ・ ・ 177
株式会社ファインテクノ	平瀬 真幸
福井工業高等専門学校	田村 隆弘
株式会社瀬口組	徳永 幸弘
6. 研修モデルコースの活用について	・ ・ ・ 181
山口県	池村 剛宜
山口県	森岡 弘道
山口県建設技術センター	澤村 修司

7. コンクリート用化学混和剤に求められる機能と品質確保に向けた取組み	・・・185
国際企業株式会社	筒井 達也
福井工業高等専門学校	田村 隆弘
8. 道路構造物の定期点検データの有効活用を図るためのデータベース構築の試み	・・・191
西日本高速道路エンジニアリング中国（株）・徳山工業高等専門学校	二宮 純
徳山工業高等専門学校	藤尾 朋生
徳山工業高等専門学校	温品 達也
9. 凍結防止剤散布下における道路橋コンクリート床版を例に品質確保と性能確保を考える	・・・199
日本大学	岩城 一郎
10. コンクリート構造物の品質・耐久性確保に取り組む際の発注者の心得	・・・201
日本大学	佐藤 和徳
11. 350 委員会を通じて学んだひび割れ抑制・品質確保・耐久性確保	・・・205
横浜国立大学	細田 暁

積雪寒冷地における RC 床版の高耐久化への取組み

上北建設（株） 正会員 ○音道 薫
 八戸工業大学 正会員 阿波 稔
 八戸工業大学 正会員 迫井 裕樹

1. はじめに

近年、東北地方では鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）において表層コンクリートが土砂化する劣化現象が散見されるようになった^{1), 2)}。この土砂化は、交通量のあまり多くない東北地方においては、RC 床版が置かれている供用環境が大きく起因しており自然環境条件による、凍害や凍結抑制剤散布による塩分供給によって塩害、アルカリシリカ反応（以下、ASR）が起点となっていることが近年の研究で分かってきた。そのため、この土砂化現象を防ぐために多重防護の考え方^{1), 2)}を取り入れ、さらにその対策効果が十分に発揮されるよう、施工の基本事項の遵守を徹底することにより品質確保と耐久性向上を図った取組みとその検証について報告する。

2. 架橋地点の環境条件

国道 103 号青ぶな山バイパスは、青森県十和田市青樺山～十和田市子ノ口までの安全で円滑な交通確保とともに、奥入瀬溪流の自然環境保護と散策時の安全性・快適性の向上を目的とした、延長 5.2km の道路である。この、青ぶな山バイパス起点側のトンネル坑口のすぐ近くに位置する（仮称）青ぶな山 1 号橋の RC 床版を 2018 年 5 月～11 月に施工した。

この地点の環境条件は、国土交通省東北地方整備局にて制定した「東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）」³⁾（以下、参考資料）において、最も凍害が厳しいとされる種別 S に該当する。なお、種別 S とは、冬期間 12 月～2 月における日平均気温が -3℃未満の地域でかつ、凍結抑制剤の散布量が 20t/km 以上の区間をいう。

3. 劣化現象に対する多重防護対策

国土交通省東北地方整備局では、RC 床版の高耐久化を目指した多重防護の考え方として図-1 を提唱している²⁾。当該工事においても、この図の考えを取り入れ対策を行った。この対策における、コンクリート配合検討や各種試験内容とその結果については、4 章にて述べる。

今回、報告する RC 床版の高耐久化への取組みについて、図-2 にフローチャートでどのような手順で検討を行って実装したかを示す。

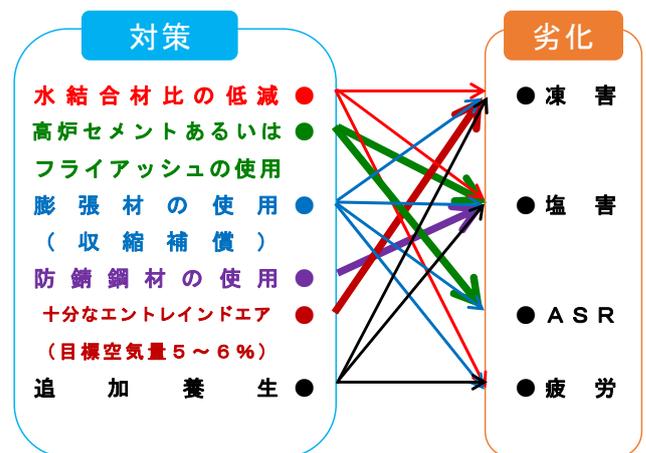


図-1 RC床版の多重防護の考え方

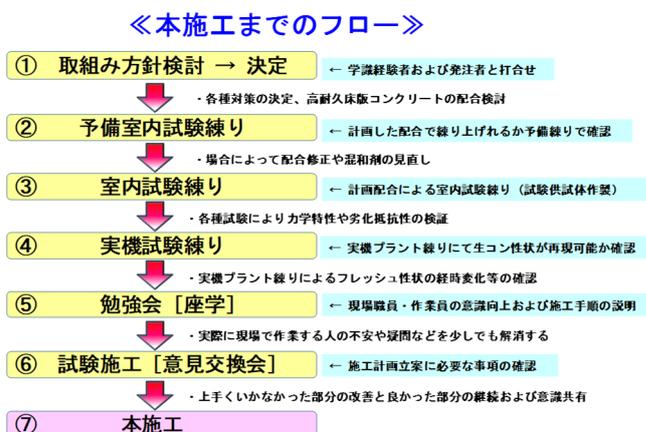


図-2 RC床版の高耐久化への取組みフロー

キーワード RC 床版, 多重防護, 凍害, ASR, 施工状況把握チェックシート

連絡先 〒034-0037 青森県十和田市穂並町 2-62 上北建設（株）土木部 音道 TEL0176-23-3511

4. 室内試験練り・実機試験練り

4. 1 配合条件

配合計画では、国土交通省東北地方整備局が非合成桁床版の標準仕様基準⁴⁾に定めている普通ポルトランドセメントを含めフライアッシュセメント B 種および高炉セメント B 種の 3 種類のセメントを用いて、W/B = 50,45,40,35%，目標空気量 6.0%，スランプ 12cm，膨張材はセメントの内割りで 20kg/m³とした組合せで計 12 配合にて検討を行った。普通ポルトランドセメントを使用した理由は、混合セメントと比較した場合、同じ配合であっても水密性や ASR に対する抵抗性の違いを検証するためである。

4. 2 室内試験練り

室内試験では、フレッシュコンクリートの空気量測定試験，スランプ試験，圧縮強度試験，乾燥収縮試験，コンクリートの自己収縮試験，スケーリング試験，ASR 試験，硬化コンクリートの気泡組織の測定を行った。この 4 章では，東北地方特有の劣化現象に関係の深いスケーリング試験と ASR 試験について記述する。

(1) スケーリング試験 (JSCE-K572)

参考資料³⁾では，エントレインドエアが（気泡径 25~250μm）必要な量を確保できれば凍害抑制に顕著な効果があるとしている。また，スケーリング量を少なくするには，硬化コンクリートの 500μm 以下の空気量を 3.0~3.5%程度確保し，気泡間隔係数を 250μm 以下にしなければならないとしている。

適用する実構造物は種別 S に該当するため，目標スケーリング量は 50 サイクル時点で 0.3kg/m³程度以下にすることが推奨されている。

今回，適用したスケーリング試験は JSCE-K572 (6.10) に準拠しており，試験水は NaCl 3%水溶液を用いた。図-3 にスケーリング試験の結果を示す。

図-3 の試験結果から，高炉セメント B 種の W/B=50%のみが目標スケーリング量をクリアできなかった。しかし，それ以外の配合については，セメントの種類に関わらずスケーリング抵抗性を期待できる 0.3kg/m³程度以下を満足する結果となった。この結果から，必要な空気（エントレインドエアの質・量）が確保されれば，セメントの種類に関わらずスケーリング抵抗性が向上することが分かった。

(2) ASR 試験 (SSW コンクリートバー法)

本研究で使用した骨材は，ASR 試験の化学法にて「無害」と判定されたものである。しかし，無害と判定された骨材であっても，塩分が供給されると膨張反応を起こす可能性があることが最近の研究^{1), 2), 5)}で明らかにされている。本対象構造物は，供用開始後に多量の凍結抑制剤が散布されることが予想されるため，SSW コンクリートバー法^{1), 2)}により膨張反応を示すか検証した。

この，SSW コンクリートバー法は，真水を 20%NaCl 水溶液に置換え，供試体 3 本の平均膨張ひずみが 6 ヶ月後に，1,000μm 以上の場合を「反応性あり」と判断する。試験結果を図-4 に示す。

図-4 の試験結果から，普通ポルトランドセメントのみ W/B に関わらず試験開始後 60 日付近において，膨張反応が出ることが分かった。また，フライアッシュセメント B 種と高炉セメント B 種は ASR を抑制することが検証された。

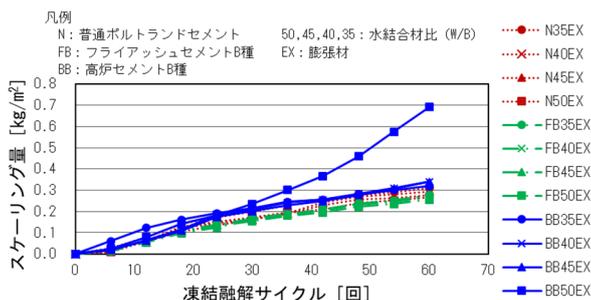


図-3 スケーリング試験結果

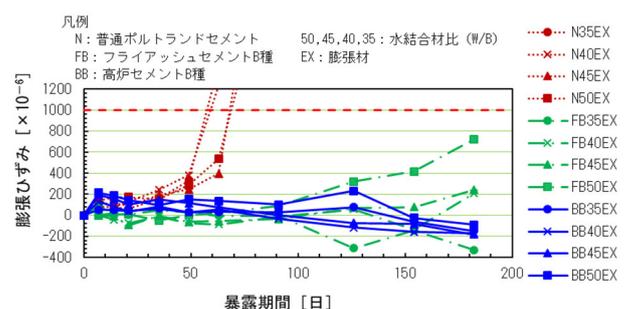


図-4 ASR 試験 (SSW コンクリートバー法)

4. 3 実機試験練り

実機試験は、室内試験で実施した確認事項を実機により再現可能であるか確認する。特に、トラックアジテータでの運搬中のスランプと空気量については、本施工と同様に 4m³ 載荷運搬し、経時変化の測定やバイブレータによる締固め後に、空気量を計測し空気の保持性を確認する。

(1) 実機試験練りの配合選定

4章2節の試験結果より、実機試験練りでは ASR を抑制するフライアッシュセメント B 種と高炉セメント B 種を採用した。また、乾燥収縮試験の結果から W/B は低い程、収縮量が小さくなることとコンクリートの緻密性を確保するため W/B=40%とした。なお、W/B=35%においても良好な試験結果を得られているが現場での施工性を配慮し、粘性が強く仕上げ作業には不向きであると判断し除外した。

(2) 実機試験の概要と試験結果

性状試験についてはスランプと空気量を、練上がり直後、30分経過後、60分経過後、90分経過後に測定を行った。さらに、60分経過後と90分経過後に締固めを行い、その後に空気量を測定し保持性能を確認した。性状試験結果については図-5に示す。

試験結果から、空気量についてはフライアッシュセメント B 種および高炉セメント B 種とも 90分経過後において下限規格値の 5%以上であり問題はなかった。しかし、スランプについてフライアッシュセメント B 種では 90分経過後に 8.0cm まで低下し、こわばりの速さを感じた。本施工の時期が、7月下旬であり暑中コンクリートの対応が必要となることに配慮し、使用する配合は高炉セメント B 種の W/B=40%に決定した。

5. 試験施工

5. 1 施工状況把握チェックシートの活用による基本事項の遵守

RC 床版は下部工とは違い、面施工となるため 1 つのトラブルが品質低下に大きな影響を与える。そのため、本施工でそのようなトラブルを発生させないために、施工計画書の立案に不可欠な項目を確認する。さらに、施工状況把握チェックシート（以下、チェックシート）を活用することにより、施工の基本事項の遵守を徹底させることを目的とした。この、施工の基本事項を遵守させることは当たり前のように思われるが、それを実践することは相当に難しい。しかし、これが達成できなければどんなに良い材料を使っても、そのポテンシャルを発揮させることができないばかりか、万一初期欠陥が発生した場合、高耐久 RC 床版を望むことはできない。そのため、ここでの試験施工の重要性は非常に大きなものであるといえる。打込み状況を写真-1に示す。

5. 2 仕上げバイブレータの振動締固め時間

試験施工において、仕上げバイブレータの最適な振動締固め時間を決定するために、模擬床版で締固め時間を 5 秒・10 秒・15 秒と変えて施工を行った。その、模擬床版の硬化コンクリートからコア供試体（写真-2）を採取し目視観察後に気泡組織を調べた。気泡組織の測定は、ASTM C457 のリアトラバース法に準拠して測定した。結果を表-1に示す。

コア供試体側面の目視観察では、5 秒の締固め時間ではエントラップトエアが抜けきれずに多数残存しており、締固め不足であることが容易に確認できた。また、15 秒では上層部の骨材が沈下しており過振動による骨材分離が生じていることが確認された。なお、10 秒のコアではこのような現象は発生しておらず、最適な締固め時間に近いことが推察された。

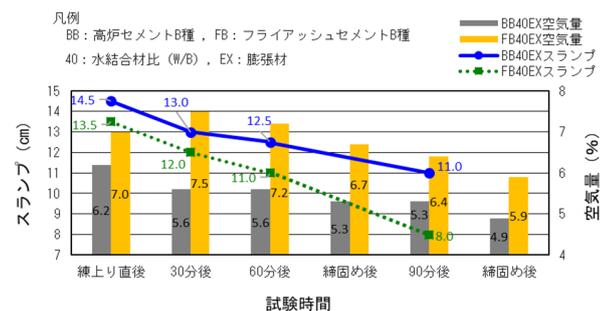


図-5 フレッシュコンクリートの性状試験



写真-1 模擬床版コンクリート打込み状況



- ① 材料分離は認められない ② 材料分離は認められない ③ 粗骨材の沈下が確認される

写真－2 締固め時間別のコア供試体（目視観察）

次に、締固め時間別の硬化コンクリートの気泡組織の結果、表－1（トラバース長 1m 当たりの気泡数を表示）から、硬化コンクリートの空気量は、いずれの締固め時間においても 4%以上確保され、気泡間隔係数も 250 μm 以下であり耐凍害に有効な気泡組織を有している。しかし、10 秒と 15 秒の気泡間隔係数が約 170 μm に対し、5 秒では約 140 μm である。この結果から、当配合のコンクリートが十分に締固められた場合、気泡間隔係数が 170 μm 付近に安定すると考えられる。さらに、10 秒の時点で気泡間隔係数は約 170 μm になっているため、その以前に約 170 μm に落ち着く時間帯があると言える。あくまでも今回の実験の範囲では、より微細な気泡は締固め時間が短い方が多く残存しており、締固め時間が長くなるほど 500 μm 以上の気泡が増える傾向にあることが分かる。これは、床版部材が 20cm と薄いことと、スランプ 12cm で軟練りであるため締固め時間が長くなると、微細な気泡も抜けやすいと考えられる。以上の結果から、確実な締固めと微細な気泡をしっかりと残存させるためには、最適な振動締固め時間は 8～10 秒の間にあると考えられる。

表－1 硬化コンクリートの気泡組織

項目	気泡径	圧送後	5 秒 締固め	10 秒 締固め	15 秒 締固め
気泡数 [個]	全気泡数	533	486	376	392
	0～500 μm	517	463	343	358
空気量 [%]	全気泡数	6.6	6.7	6.3	6.9
	0～500 μm	5.3	5.1	4.4	4.7
気泡間隔 係数 [μm]	全気泡数	139	153	193	194
	0～500 μm	128	139	174	172

この結果を踏まえ、本施工では施工誤差（慎重な作業によるバイブレータのかけ過ぎ）も考慮して振動締固め時間を 8 秒に決定した。

5. 3 N式貫入試験による仕上げ時期の判断

仕上げ時期確認試験は、平坦仕上げや最終仕上げ、養生時期のタイミングを、実際に本施工を行う左官工がコンクリートの硬化の状態をみて、各タイミングに相当するときの経過時間と N 式貫入試験^{1), 2), 6)}による貫入量を関連付け、本施工における各仕上げ時期を設定するために実施した。

ここで気を付けなければいけないのは、試験施工から本施工開始まで 1 ヶ月程度時間を要するため、時期によっては気温や日差しの強さが変わるので試験施工と同様の仕上げ時期にならないことがある。そのため、本施工でも N 式貫入試験を行い、試験施工のデータと対比し時間のずれを把握することにより、仕上げ時期をある程度予測することができる。

なお、試験施工の天候は曇りで最高気温 25 $^{\circ}\text{C}$ であった。この N 式貫入試験の結果は、6 章 1 節に示す。

6. RC床版の本施工

6. 1 本施工での取組み

これまで行ってきた、室内試験練り、実機試験練り、試験施工の結果を踏まえて本施工では確実に品質確保がなされるよう、チェックシートを活用しながら施工の基本事項を遵守させ、細心の注意を払い丁寧な施工を心がけ耐久性向上を図った。本工事で、施工した橋の橋梁諸元を表－2に示す。

具体的な取組みとして、エポキシ樹脂塗装鉄筋の採用とコンクリート内部に入る金物全てエポキシ樹脂被覆し防錆対策を行った。型枠目地には、ノロ漏防止のためにシーリングを行い、作業足場になる敷板裏面にはクッション材を当て、エポキシ樹脂塗装鉄筋の被覆に傷が付かないように配慮した。また、打込み時は作業従事者全員に役割を標示した安全ベストの着用や暑中コンクリート対策として打込みの進捗に合わせて遮光ネットで日除けを設置した。仕上げパイプレータの挿入位置については、所定のピッチを守るようにマーキングロープにて管理し、振動締固め時間は打設副指揮者がストップウォッチにて測定し、笛で合図を出し徹底した管理を行った（写真-3）。

本施工においてもN式貫入試験^{1), 2), 6)}を行い、左官仕上げの時期を評価し、その結果をもとに左官工と打合せて仕上げ時期を決定した。本施工では、日差しが強く最高気温が29℃となり試験施工より100分程度仕上げが早くなった。試験結果を図-6に示す。

養生については、打込み完了から30日間湿潤養生を行いコンクリートの緻密性向上を図った。

6.2 実橋のひずみ・コンクリート温度測定

使用したコンクリートには、温度ひび割れと乾燥収縮ひび割れを防ぐことを目的として膨張材を使用した。その効果を確認するため、実橋の主桁直上にひずみ計を設置し計測を行った。計測データを図-7に示す。

計測結果から、打設直後のひずみ量は鉄筋の拘束を強く受ける、X軸（橋軸方向）・Y軸（橋軸直角方向）ともに100μ付近まで膨張し、鉄筋の拘束力のないZ軸（鉛直方向）は600μ付近まで膨張した。その後、X軸・Y軸とも打設から30日後（湿潤養生終了）までは膨張側に推移し、30日以降からは0付近を推移している状況であった。

結果、橋面防水と舗装を行う10月中旬（打設から約2.5ヶ月間）までにひび割れは確認されず、膨張材と長期湿潤養生の効果があったことが分かる。

6.3 非破壊試験による表層コンクリートの評価

耐凍害・塩害・ASRを目的として、JIS規格を除外して新たに作り上げたコンクリート配合や、施工における基本事項の遵守がコンクリート品質にどのように影響したのか、表層透気試験^{7), 8)}と表面吸水試験^{7), 8)}を行い検証した。その結果を表-3に示す。

試験結果から、チェックシートを活用し施工の基本事項を遵守させ、各段階で丁寧な施工を指導し実践することにより、極めて良質な品質を確保できることが分かった。また、耐久性を向上させるために高炉セメントを採

表-2 橋梁諸元

路線名	一般国道103号（青ぶな山BP）
道路基準	第3種 第3級
設計速度	V=50km/h
橋長	BL=34.5000m（CL上）
斜角	$\theta = 70^{\circ} 00' 00''$ （弦方向に対し）
平面線形	R=100~A=70
縦断勾配	i=3.930%
横断勾配	i=4.000%（片勾配）～拌み勾配へ変化
活荷重	B活荷重
雪荷重	Ws=1.0KN/m ²
上部工形式	鋼単純I桁橋（多主桁）



写真-3 床版コンクリート打込み状況

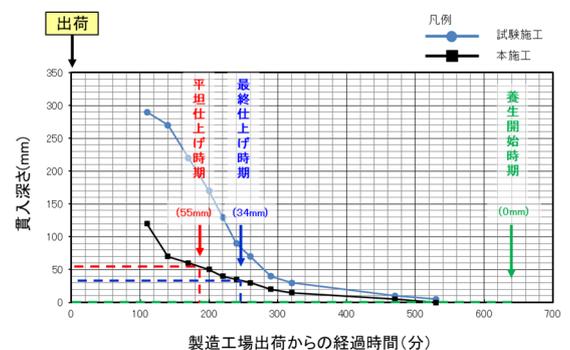


図-6 N式貫入試験

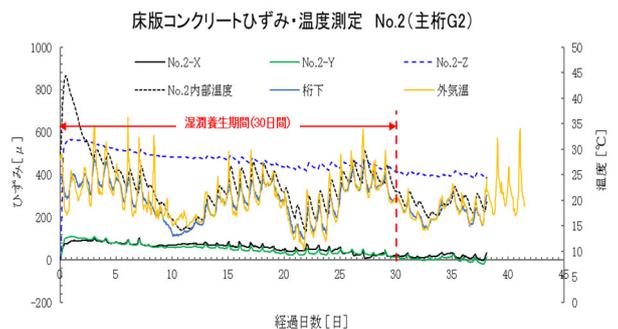


図-7 実橋のひずみ・コンクリート温度

用し W/B を低減させ、長期湿潤養生を行うことにより緻密なコンクリートを構築できることが証明された。

表－3 表層透気試験・表面吸水試験の結果

測定位置	表面含水率 [%] 平均	表層透気試験結果			表面吸水試験結果	
		表層透気係数 [$\times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$]	影響深さ [mm]	透気性 評価	10分時点での表面 吸水速度 [ml/m ² /s]	判定
A1側・右(打ち始め)	4.5	0.0350	13	良	0.0156	良
橋長中心(中央部)	5.1	0.0363	13	良	0.0091	良
A2側・左(打ち終わり)	4.8	0.0041	5	優	0.0147	良

7. まとめ

本報告では、東北地方特有のコンクリート劣化現象の対策として多重防護の考えを取り入れ、チェックシートの活用や長期湿潤養生を実践した取組みについて紹介した。以下に得られた知見をまとめる。

- (1) 耐凍害対策としてフレッシュコンクリートの目標空気量を 6.0%とし、W/B=45%以下とすることによって、塩分環境下においても高いスケリング抵抗性が確保できることが分かった。また、フレッシュコンクリートで空気量 6%を確保すれば、硬化コンクリートでも耐凍害に有効な 3%以上の空気量が確保されることが分かった。
- (2) スランプ 12cm を使用し、床版のように薄い部材での最適な振動締固め時間は 8～10 秒程度であることが明らかとなった。
- (3) ASR 試験の化学法で「無害」と判定された骨材であっても、塩分が供給されると普通ポルトランドセメントでは膨張反応を示す骨材がある。また、同じ骨材でも混合セメントを使用すると膨張反応を抑制できることが明らかとなった。
- (4) 試験施工により、チェックシートを用いて施工の基本事項を遵守する経験を植え付けることにより、本施工ではさらに徹底され丁寧な施工となることが実証された。これは、施工段階における改善点がより明確になり品質確保のための PDCA サイクルがしっかり循環したことを意味しており、試験施工とチェックシートの活用は有効な手段といえる。

参考文献

- 1) SIP インフラ 維持管理・更新・マネジメント技術：平成 28 年 10 月 凍結抑制剤散布下における RC 床版の耐久性確保の手引き (案), pp.1-103, 2016.10
- 2) 国土交通省 東北地方整備局 道路部：令和元年 6 月 東北地方における RC 床版の耐久性確保の手引き (案), pp.1-108, 2019.6
- 3) 国土交通省 東北地方整備局：平成 29 年 3 月 東北地方における凍害対策に関する参考資料 (案), pp.1-32, 2017.3
- 4) 東北地方整備局制定：平成 29 年 4 月 共通仕様書 (参考資料) 平成 29 年度以降, pp.613-615, 2017.4
- 5) 松元淳一, 武若耕司, 山口明伸, 梅木真理：塩害と ASR の複合劣化に及ぼす高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.639-644, 2008.7
- 6) 土木学会：第 103 号 コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策, pp.31-67, pp.147
- 7) 阿波稔, 迫井祐樹, 金濱巨晃, 音道薫：函渠工・橋梁下部工におけるコンクリート構造物の品質確保の取組とその検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1611-1616, 2016.7
- 8) 細田暁, 小松怜史, 中川恵理, 佐藤和徳：コンクリート構造物の品質向上の取組と非破壊試験による効果の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1273-1278, 2015.7

群馬県におけるコンクリート構造物の品質確保の取組みに関する考察

広島大学	正会員	○半井健一郎
群馬県		鈴木 修
		神尾 崇
		鹿沼 大成
	正会員	山田 真次
日本サーベイ	正会員	三田 淳

1. はじめに

群馬県では、平成31年（2019年）3月末に「コンクリート構造物の品質確保ガイドライン」を完成させ、翌4月より本格運用を開始した。群馬県において、山口県の温度ひび割れ抑制対策を参考にしたコンクリート構造物の品質確保・向上の議論がスタートしたのは平成21年（2009年）のことであり、ガイドラインの完成は10年の準備期間の集大成と言えるものとなった。もちろん、これまでの活動の意義やガイドラインの有効性はこれからの群馬県における本格的な運用を通して答えを出していくこととなるが、このタイミングをひとつの区切りととらえ、これまでの群馬県の取組みの特徴を分析することとした。群馬県と同様に、山口県を参考に品質確保の取組みを進める地方自治体の関係者の参考となれば幸いである。

なお、群馬県における品質確保の取組みの経緯やガイドラインの概要は委員会報告書にて原稿をまとめた。あわせて参照いただきたい。

2. 山口県との比較による群馬県の特徴

ここでは、品質確保の先進県である山口県との比較により、群馬県の取組み（特に枠組み）の特徴を分析することとしたい。なお、山口県の取組みの分析はあくまでも外部からの見方であって、内実とは異なる点もあるかもしれないが、群馬県の特徴を抽出するための比較材料（対比項目）として便宜上設定したものととしてご容赦をいただきたい。

2.1 先行事例

当然ながら、先進県であった山口県には先行事例がなく、ゼロから全く新しいことを生み出したのであり、その優れた先見性と実行力には賞賛の言葉しかない。後発の群馬県は、山口県が試行錯誤の上で完成させたシステムを導入すればよく、最短ルートで効果的な方法を手に入れることができた。これは、山口県が多くの情報を土木建築部技術管理課や山口県建設技術センターのホームページ上や各地での講演で公開していたことに加え、他県からの直接の問い合わせに積極的に応じ、追加情報を個別に提供したことも大きい。情報公開や成果の公表は、公共事業にかかわる土木技術者の行動規範であり、それを実践されていたことの意義は多大である。

一方、受け手となった群馬県では、後発ならではの悩みがあった。それは、山口県の「品質確保ガイド」を完全に同じままで導入するのは難しいということである。もちろん地域性や気候などの前提条件の違いもあっただろうが、県としてのプライドもあつただろうというのが外部の半井の見立てである。土木学会のコンクリート標準示方書、国土交通省九州地方整備局の「九州地区における土木コンクリート構造物設計・施工指針（案）」、中国地方整備局の「コンクリート構造物の品質確保・向上の手引き（案）」、東北地方整備局の「コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）」なども参照したが、これらを組み合わせることだけでは

キーワード コンクリート構造物、品質確保、山口システム、群馬県、産学官連携

連絡先：広島県東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科

群馬県オリジナルとは言い難かった。山口県の品質確保ガイドを参考とするものの、群馬県独自の要素を追加することが、群馬県の品質確保ガイドラインを完成させるための条件となった。なお、群馬県として追加した事項に関しては、**3.** に後述する。

2. 2 産学官の連携

山口県の取組みは、官（県）が主体的に展開し、産や学がサポートすることで展開してきたように思われる。それに対して群馬県では、平成 21 年に産（生コンクリート業者）から学（半井）への提案によって産学を中心とした活動を土木学会関東支部群馬会を母体としてスタートした後、県職員が本格的に活動に関与したのは平成 26 年からであり、この間、およそ 5 年間の空白がある。これは、山口県のひび割れ抑制対策の素晴らしさが、同様のひび割れ問題で苦勞していた民間技術者（特に生コンクリート業者や施工者）には瞬時に理解されたのに対し、必ずしもコンクリート工事の実務に精通しているわけではない県職員には十分に伝わらなかったためと考えられる。これは、産と官をつなげるべき学の立場にいた半井の力不足が理由であり、時間を浪費したものの、次の**2. 3**において述べるように、適切なタイミングで適切な人材と巡り合うことによって解決することとなった。

なお、群馬県における前半の産学のみによる取組みにおいても、問題意識を共有した産の自発的な取組みは素晴らしく、学会の講習会には多くの参加者を送り込み、担当の工事においても様々な試行が行われた。しかし、官のいない取組みの限界は、全県的な取組みとしてすべての関係者を取り込むことの難しさにあった。一部の意欲的な民間技術者の期待には応えたが、県内構造物の品質のボトムアップのためには、発注者である官の主導が不可欠であった。

2. 3 県職員

山口県の取組みは、県職員である二宮純氏の長年の努力が結実し、「温度ひび割れ抑制対策資料」やその後の「品質確保ガイド」の形にまとめられたものと思われる。もちろん二宮氏だけの個人の仕事ではなく、多くの県職員が関与されたものではあるが、二宮氏の強力なリーダーシップが継続的に発揮されたことには疑いの余地がない。しかしこれは、数年ごとに部署の異動があって担当業務が変わる通常の公務員の姿とはかけ離れたもので、二宮氏の強い意志と山口県の理解に少なからず驚きを覚える。つまり、群馬県では簡単にまねのできないことであった。

一方の群馬県では、担当する県職員の中に突出したリーダーがいないことで、逆に、息の長い継続的な取組みを実現できているように思われる。人事異動のたびに担当者が変わるが、試行錯誤で発展途上の取組みは引継ぎが容易ではなく、業務の進捗は停滞する。この停滞は、当初は群馬県の取組みにおける大きなマイナス材料であるように思われたが、実はそうではないようである。品質確保を扱った建設企画課の担当者が新しくなることで、前任者の担当業務を別の角度から内容を検証することが可能となり、結果として、説得力のある質の高い取組みへと発展させることができたのである。時には、後任者の発案で新たな取組みが加わったこともある。例えば、試行工事の導入当初には、品質確保の取組みの意義や目的を後任者が再確認したうえで、「試行工事」とは別に施工者の自主的な取組みを促す「チャレンジ現場」を選定し、自ら各現場を廻り丁寧な説明を行うなどの地道な活動を行った。また、当初の産学を中心とした取組みから産学官の大きな取組みへの発展した平成 26 年にも、異動してきた県の新しい担当者が取組みに興味を示したことが大きなきっかけとなった。つまり、担当者の循環が、品質確保の取組みを群馬県内に広く展開するための起爆剤となってきたのである。

2. 4 学の関与

山口県の取組みには、徳山工業高等専門学校の前田隆弘先生（現在は福井工業高等専門学校）が当初より協力している。地元の学（コンクリートの専門家、しかもベテラン教員）が産官の橋渡しになるとともに、学術的な裏付けを与えたことの意義は大きい。その後は、横浜国立大学の細田暁先生を中心に全国の学会関係者も協力する体制に拡大したが、このことは、山口県の取組みを県内で成熟させることとともに、県外に

発信するうえでも大いに役立った。本稿を掲載する土木学会の委員会活動や国交省東北地方整備局における復興道路・復興支援道路の工事，そして群馬県の取り組みなど，多くの成果を生んでいる。

一方の群馬県では，取り組みの最初に学を中心を担った半井（当時は群馬大学）は県外の広島大学に転出し，土木学会関東支部群馬会に設置したコンクリート研究会の幹事も，設立時の5名の大学・高専関係者のうち，県内で品質確保の取り組みに継続して関与しているのは1名だけとなっている。半井は転出後も群馬県の取り組みを支え，県も品質確保ガイドライン策定部会の座長に指名するなどの関係が継続しているものの，群馬と広島の距離の弊害を完全には解消することはできず，実質的な取り組みは県職員が担う形となっている。一方，土木学会の委員会活動には群馬県の関係者（県の現役職員やOB）が参加し，最新の情報を委員会から入手できているほか，群馬県内での講習会での講師やガイドライン策定時の意見照会のように，県外の有識者の協力を受ける体制が整っている。

3. 群馬県のオリジナル要素

群馬県の品質確保ガイドライン策定においては，先進県である山口県の「品質確保ガイド」を全面的に参照したものの，先に述べたように，群馬県独自の視点を加えることが期待された。ここでは，群馬県オリジナルの要素を加えようとチャレンジしている項目（山口県とは異なる点）のうち，主要なものについて述べる。

3. 1 施工状況把握チェックシート

山口県が開発した「施工状況把握チェックシート」を採用し，群馬県の試行工事に使用するにあたっては，チェック項目の追加を行った。すでに自社で類似のチェックシートを活用していた県内の施工会社もあったため，県の品質確保WGの会合にて施工や生コンクリート，ポンプ圧送などに精通した民間の委員などから意見を出してもらい，群馬版の作成を行った。基本的には山口県のチェックシートを踏襲しているが，「急な雨に対応出来るように，シート等は用意されているか」「ポンプ車のアウトリガーの張出及び敷板養生は十分か」などの項目が追加された。さらにガイドラインに組み込むときにも，試行における結果を踏まえて内容を見直すとともに，暑中・寒中コンクリートへの対応を明示的に加えた。

3. 2 設計状況把握チェックシート

施工段階にて用いる「施工状況把握チェックシート」を設計段階に拡張し，群馬県オリジナルの「設計状況把握チェックシート」を作成した。これは，設計から維持管理までを一元的に管理することで全体最適化を目指したものであるが，群馬県県土整備部においては橋梁の計画～維持管理を同じ部署で扱うというユニークな組織になっていることが発想の着眼点である。実は「設計状況把握チェックシート」はガイドライン準備段階での検証が必ずしも十分ではなく，ぶっつけ本番での本格運用となったが，本格運用開始1年目の状況としては概ね好意的な反応が得られている。たとえば，「ミス防止に役立つのでよいと思う」「設計状況チェックシートを作成することで設計者と発注者および施工者での相違が減らせるのではないかと考えられる」といった意見が寄せられている。

3. 3 温度ひび割れの対策と照査

温度ひび割れ照査においては，山口県の同じくデータベースを基本としたものの，実績による照査ができない場合には，施工段階において発注者と協議の上，温度ひび割れ解析を実施できることとした。このときの費用は設計図書に反映し，群馬県が負担することとしている。また，データベースのもととなる「施工記録シート」の作成や実績に基づく温度ひび割れの対策や照査などに要した費用も計上することとしている。これは，品質法における発注者の責務の一つとして，「公共工事の品質確保の担い手が中長期的に育成され及び確保されるための適正な利潤を確保することができるよう，予定価格を適正に定めること」が規定されており，必要な費用を計上すべきと判断したことによる。

3. 4 表層品質

試行の段階では、大学の研究者チームが中心となって、かぶりコンクリートの密実性（表層品質）を評価する非破壊試験の有効性を議論した。試行段階の構造物の品質向上を実証し、本格運用を後押しするなどの成果を挙げたが、ガイドラインにおいては、標準的な方法としては採用しなかった。これは、現時点では、十分な精度で合理的な評価をすることは難しいと判断したことによる。ただし、特に簡便な散水試験に関しては、施工者の品質管理などに活用できると思われることから、測定実施要領案を資料編に加えた。また、必要があれば表層透気試験などによってかぶりコンクリートの密実性を把握することが本編にも記載されている。

4. おわりに

群馬県におけるコンクリート構造物の品質確保の取り組みは、山口県の先進的な取り組みに刺激を受け、少しずつではあるが着実に歩みを進めてきた。担当者の異動などによって時には活動の停滞と思われることもあったが、振り返れば、紆余曲折も含めて現在の活動に活かさせているように感じる。新たに建設された構造物の品質にも向上の傾向が確認されており、この歩みをさらに確実なものとしたい。

また、この取り組みは、群馬県内の産学官においてコンクリート工事に関わる多くの意欲的な人々を結び付け、共通の目標に向かった建設的な議論を喚起してきた。委員会報告にも書いたが、土木学会関東支部群馬会に設置したコンクリート研究会には、産学官から幹事として参加したメンバーが取り組みを献身的に支え、群馬県のガイドラインの策定にも貢献した。「よいコンクリート構造物をつくる」という共通の思いは、真剣で楽しい技術的な対話を生み、県内外に多くの仲間を増やした。特に山口県の関係者は群馬県の取り組みに期待を寄せ、様々サポートで着実な前進を強力に支え、後押しした。群馬県のガイドライン策定後、2019年6月12日に県内技術者向けに行った研修会には、二宮氏や池村剛宜氏（山口県土木建築部技術管理課）も山口システムに関する講演を行い、先駆者としての思いを聴衆に伝えた。その後、同年9月17日に山口県で開催された第13回技術講習会では、児島寛氏（群馬県県土整備部契約検査課）らが群馬県の新たなガイドラインを紹介した。群馬県の本格的な取り組みはまだまだ始まったばかりではあるものの、今後も両県での情報交流を通じた研鑽を続けていきたい。

最後に、群馬県におけるコンクリート構造物の品質確保のこれまでの取り組み、現在の取り組み、そしてこれからの取り組みに多大なるご協力をいただいている関係者の皆様、特に、二宮氏をはじめとする山口県関係者、細田暁教授（横浜国立大学）をはじめとする学会関係者、そして、群馬県における品質確保の取り組みを実践する工事関係者、産学官連携の素地を築いた土木学会関東支部群馬会の関係者、群馬県の品質確保ワーキングやガイドライン策定分科会の関係者に、この場を借りて深く感謝する次第である。

シリンダーを用いた簡易透気試験手法によるコンクリート表層品質の評価手法の検討

徳島大学大学院 正会員 ○渡辺 健
徳島大学大学院 学生会員 岸 悠樹
(株) マルイ 正会員 関川 昌之
徳島大学大学院 フェロー 橋本 親典

1. はじめに

コンクリート構造物に要求される性能の一つに耐久性があり、かぶりコンクリートの品質の重要性が広く認知されている。かぶりコンクリートの表層近傍の緻密性について現地で調べる手法として、表層透気試験や吸水試験のように、表面近傍の物質移動抵抗性を評価する手法が多く研究開発されている。著者らはシリンダーを用いた簡易透気試験手法（以下、シリンダー法と称する）を、簡易的に表層近傍の透気性を安価に調べることができる手法として開発を進めてきた^{1) 2) 3)}。ここでは、シリンダー法の原理、大型の試験体および実構造物を評価した結果について報告する。

2. シリンダー法による簡易透気試験

2. 1 試験装置

これまでに開発してきたシリンダー法には、主に切断したシリンダーをコンクリート表面に配管パテにて設置する方法（以下、パテ法と称する）と、シリンダー先端にチューブおよびコンクリート表面へ設置するアタッチメントを装着してコンクリートへ設置する手法（以下、アタッチメント法と称する）がある。

(1) パテ法

パテ法では、写真-1 に示すようにシリンダーの先端を切断したものを試験装置とする。シリンダーは、これまでに内径 30mm で容量 40ml のものと、内径 40mm で容量 70ml の 2 種類を試験に用いている。試験手順を以下に示す。

はじめに、測定面の汚れや塵を拭き取った後、シリンダーがコンクリートと直接接する箇所を除いた測定面にシール材をヘラで薄く引き伸ばしながら塗布する。そして、シール材が乾燥した後に、エアコン用の配管パテでシリンダー先端を被覆し、測定面に密着させる。パテと測定面の密着性の確保および表層付近の脆弱層の影響を緩和するため、パテで覆う面は直径約 10cm の円状とする。次に、シリンダーのピストンを引いてシリンダー内を負圧状態にした後、速やかにストッパーでピストンを一定に保持し、一定時間経過後にストッパーを解除することでシリンダー内を復圧させる。そして、シリンダー先端からピストン先端までの距離をノギスで小数点以下 2 桁まで読み取り、シリンダーの断面積を乗じた値を流入空気容積とする。測定前の簡易的な動作チェックおよび漏気のチェックとして、透気性の無いガラス板に対して測定を行い、ピストンが初期の位置まで下がり、測定箇所以外からの空気流入が無いことを確認している。



写真-1 パテ法の試験装置および測定の様子

キーワード：簡易透気試験，シリンダー法，トレント法，品質，強度，乾燥収縮

〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学大学院社会産業理工学部 社会基盤デザインコース

(2) アタッチメント法

試験装置を写真-2 に示す。試験装置は外径 $\phi 100\text{mm}$ のシリコンスリーブ、アルミ製のアタッチメント、シリンダー、真空用ウレタンチューブで構成されている。測定手順を以下に示す。

まず、測定面の汚れや塵を拭き取る。次に、アルミ製のアタッチメントにシリコンスリーブを装着し、真空用ウレタンチューブでシリンダーとアルミ製のアタッチメントを接続した状態で測定対象のコンクリート面に静置する。そして、シリンダーのピストンを引きストッパーで保持させ、シリンダー内部に負圧を発生させる。一定時間経過後にストッパーを解除し復圧させる。シリンダー内部に流入した空気量をシリンダーの目盛から 0.5ml 単位で目視により値を読み取る。読み取った値を流入空気容積と称し、コンクリートの透気性を評価する指標とする。測定前の簡易的な動作チェックおよび漏気のチェックの方法は、パテ法と同様の方法で実施する。

2. 2 再現性について

測定精度の検討するためには、透気性が一定の対象物が必要となる。写真-3 に示すような精密バルブ、アクリル板で構成された校正器を用いた検証結果を以下に示す。

使用した精密バルブは空気流量とバルブ開放値に一定の線形性があり、空気流量の適用範囲はバルブ開放値 $0.00\sim 24.00$ ($0.1\sim 1000\text{ml/min}$) のものである⁴⁾。今回の測定は、機器のバルブ開放値を 2.00 から 10.00 まで順次増加させ、機器から流出する空気流量を制御し、それぞれの空気流量での測定を 3 回行った。透気性を任意かつ一定に調整できる機器を用いた測定で得られた代表的な結果を図-1 に示す。

パテ法（シリンダー口径 $\phi 30\text{mm}$ 、シリンダー要領 40ml ）の結果より、同一の空気流量（各バルブ開放値）のばらつきは低空気流量の領域を除いて小さいことが確認出来た。バルブ開放値に伴う空気流量と簡易透気試験で得られた流入空気容積の関係に着目すると、流入空気容積と空気流量には一定の線形性を有することが確認出来た。アタッチメント法（透気径 $\phi 30\text{mm}$ 、シリンダー容量 100ml ）を用いた測定結果より、同一の空気流量におけるばらつきはパテ法に比較して全体的に小さくなる傾向が確認出来た。Torrent 法での測定結果より、透気係数と空気流量には明確な線形性が確認された。

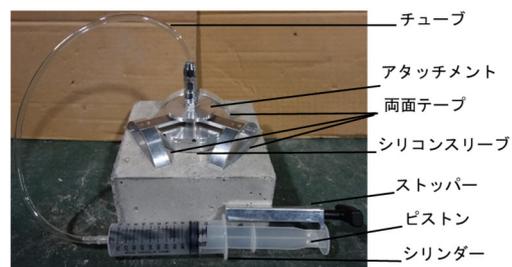


写真-2 アタッチメント法のシリンダー、シリコンスリーブおよび測定の様子



写真-3 校正器および測定の様子

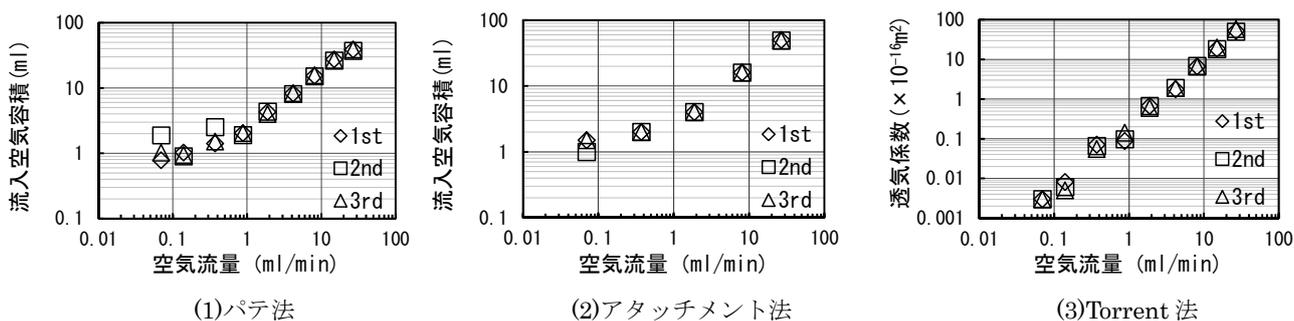


図-1 各試験装置による校正器での測定結果

3. 評価事例

3. 1 実物大のコンクリート壁の評価

(1) 無筋壁試験体の概要

図-2 に示した実大コンクリート壁試験体の形状は、幅 1800mm、高さ 900mm、厚さ 200mm となっており、各呼び強度ごとに 1 体ずつ計 4 体を作製した⁵⁾。試験体の養生方法は、打設後材齢 7 日でせき板を脱型し、試験まで雨がかりのない室内環境に静置させ、気中養生した。使用した無筋コンクリート壁の配合を表-1 に、使用材料を表-2 に示す。試験体は生コン工場で作製した呼び強度 15(相当)、27、33、40 の 4 水準のコンクリートを約 15 分程度の運搬の後に打設し、作製した。

(2) 有筋壁試験体の概要

試験体のコンクリート配合を表-3 に、使用材料を表-4 に示す。N を基準配合とし、H および Z には乾燥収縮ひずみを抑制するために収縮低減材料として、エトリンガイト・石灰複合系の低添加型の膨張材や収縮低減剤を添加した。各配合のひずみ量は、材齢 98 日時点において N で 716 μ 、H で 406 μ 、Z では 174 μ となっている⁶⁾。実大コンクリート壁試験体の形状を図-3 に示す。試験体の上下には梁部材を、両端には柱部材があり、内部には鉄筋が配置されている。壁の鉄筋比は一般的な壁部材を想定し、配力筋(横筋: D13@200)・主筋(縦筋: D13@200)方向共に 0.70%となっている。

コンクリートの打込み順序としては、壁の下端を先行して作製し、壁、柱および上部梁を同時に同配合で打込み作製した。養生方法は屋外の平滑な土間コンクリート上に設置し、脱型は打設から 7 日後に行い、降雨の影響を受けないように試験体上に屋根を設置した。

(2) 結果および考察

無筋壁の各試験体を対象にパテ法(内径 40mm で容量 70ml)で測定した結果を図-4 に、Torrent 法で測定した結果を図-5 に示す。今回の簡易透気試験の測定では、W/C 85% の無筋壁で流入空気容量がほぼ最大となる測定時間 120 秒に設定した。呼び強度に着目すると本手法並びに Torrent 法ともに一部の測定箇所を除いて、呼び強度が増加する毎に各測定値は減少した。これは配合に着目すると、単位水量が一定で、呼び強度が増加する毎に単位セメント量が増加するためにコンクリート内部が緻密化したことが要因として考えられる。図-6 に、本手法および Torrent 法の比較を行った結果を示す。これは呼び強度ごとにおける測定箇所 a~c の各測定値を平均し、それぞれの値を一つの試験体の透気性として評価した。決定係数に着目すると本手法は実大コンクリート壁に対しても、現場での適用実績が豊富にある Torrent 法と概ね相関関

表-1 コンクリートの配合(無筋)

呼び強度	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							SL (cm)	Air (%)
			C	W	S1	S2	G	Ad1	Ad2		
15	85	47.8	210		442	424	974	2.40(AE)	40	13.0	3.7
27	54	49.2	333	180	436	424	915	2.90	-	19.0	4.1
33	47	47.3	383		410	398	925	2.99	-	15.5	5.2
40	40	44.9	450		378	365	936	3.51	-	19.0	5.8

表-2 コンクリートの使用材料(無筋)

材料	記号	種類	産地名	表乾密度 (g/cm ³)	粗粒率実積率
セメント	C	普通ポルトランドセメント	S社製	3.15	—
水	W	回収水(上澄水)	—	—	—
細骨材	S1	砕砂	大阪府茨木産	2.66	2.80
	S2	山砂	京都府城陽産	2.57	2.80
粗骨材	G	砕石	大阪府茨木産	2.69	58.0
混和剤	Ad1	高性能AE減水剤	B社製(標準型)	—	—
		AE減水剤	B社製	—	—
混和材	Ad2	砕石粉	大阪府高槻産	2.70	—

表-3 コンクリートの配合(有筋)

配合記号	W/B (%)	s/a (%)	セメント種類	単位量 (kg/m ³)										SL (cm)	Air (%)
				C	W	S1	S2	G1	G2	Ex	Ad1	Ad2			
N	50	47.2	N	334	167	581	261	968	—	—	0.95	—	19.5	5.2	
H	50	47.1	N	314	167	581	258	—	972	20	1.00	—	18.5	4.3	
Z	45	46.0	M	340	162	656	253	—	991	20	0.9	10	20.0	3.6	

表-4 コンクリートの使用材料(有筋)

材料	記号	種類	産地	表乾密度 (g/cm ³)	粗粒率実積率
セメント	C	N	普通ポルトランドセメント	—	3.15
		M	中庸熟ポルトランドセメント	—	3.21
水	W	地下水	—	—	—
細骨材	S1	陸砂	茨城県行方産	2.58	2.50
	S2	石灰石砕砂	栃木県佐野産	2.69	3.10
粗骨材	G1	砕石2005	茨城県つくば産	2.69	58.0
	G2	石灰石砕石2005	栃木県佐野産	2.70	60.0
膨張材	Ex	エトリンガイト・石灰複合系低添加型	—	—	—
高性能AE減水剤	Ad1	ポリカルボン酸系	—	—	—
収縮低減剤	Ad2	ポリエーテル誘導体	—	—	—

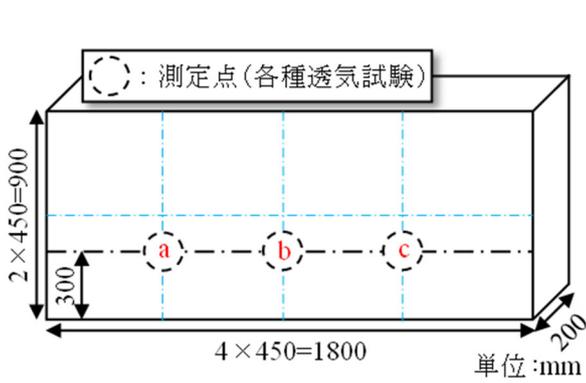


図-2 試験体形状並びに透気試験の測定点(無筋)

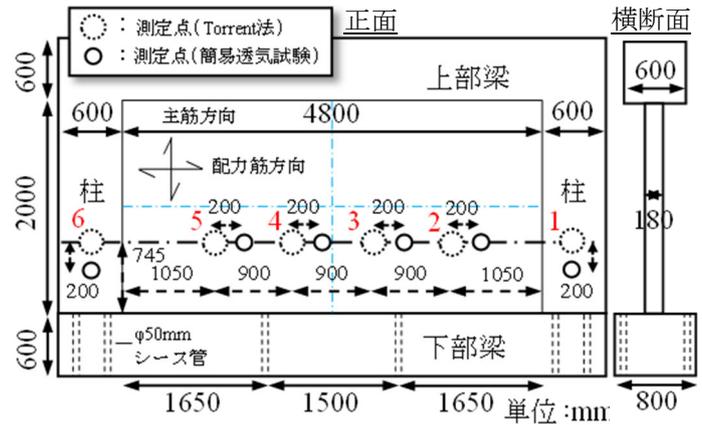


図-3 試験体形状並びに透気試験の測定点(有筋)

係にあることが確認できた。

図-7 および図-8 には、有筋壁の各試験体を対象に簡易透気試験および Torrent 法で測定した結果を示す。今回の簡易透気試験の測定では、既往の成果に準じて測定時間を 300 秒に設定した。W/B が同一である N および H では、膨張材を添加した H の方がコンクリートの透気性は小さくなった。さらには、膨張材および収縮低減剤を添加した Z では、N および H と比較するとコンクリートの透気性は最も小さくなった。これは簡易透気試験並びに Torrent 法で測定した場合においても同様の傾向が確認できた。これは、コンクリートの収縮抑制の効果が相対的に表層の緻密性を改善し、透気係数や流入空気容積に影響を与えたものと考えられる。図-9 には各実大壁の部材ごとに本手法と Torrent 法の測定結果について比較を行った結果を示す。実大壁試験体中央の壁部分(2~5)、さらには両端の柱部分(1, 6)の測定値を平均し、それぞれの値を一つの部材の透気性として評価した。決定係数に着目すると本手法は、内部に鉄筋を配置した実大コンクリート壁に対しても Torrent 法との相関関係が確認された。

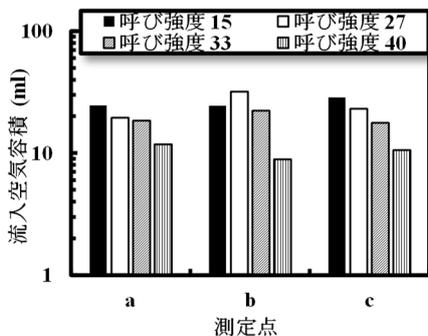


図-4 流入空気容積の測定(無筋壁)

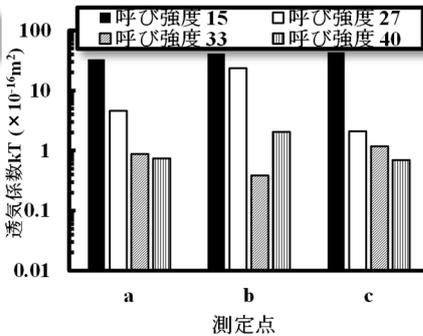


図-5 透気係数の測定(無筋壁)

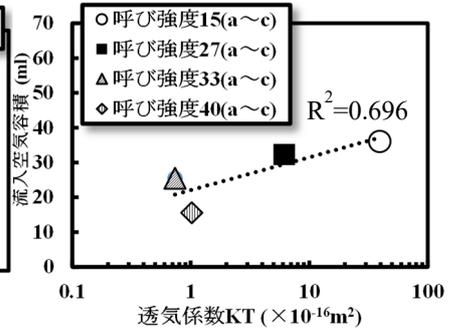


図-6 流入空気容積と透気係数の比較(無筋壁)

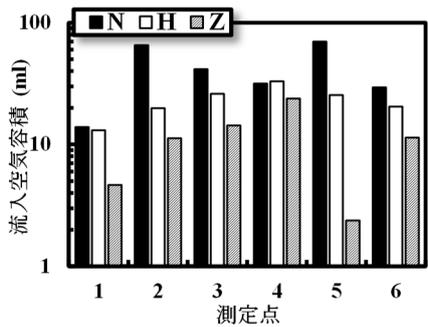


図-7 流入空気容積の測定(有筋壁)

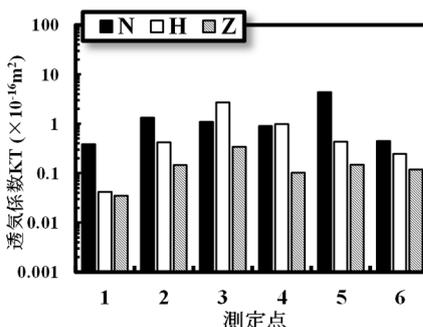


図-8 透気係数の測定(有筋壁)

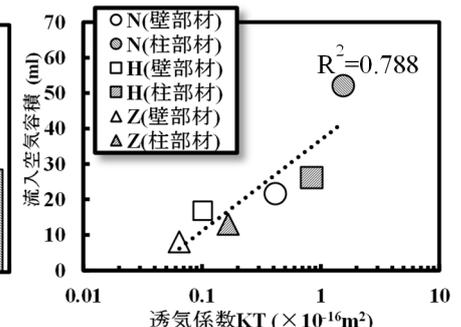


図-9 流入空気容積と透気係数の比較(有筋壁)

3. 2 品質向上の取組試行工事の柱構造物での評価

対象構造物は、高知南国道路本線高架橋の橋脚の躯体部におけるコンクリートの品質向上の取組試行工事の物件である。JCI 四国支部研究委員会「四国における新設コンクリート構造物の品質確保の実践に関する研究会（委員長：香川高専 林和彦准教授）」の一環で表層品質評価の試験方法の適用を行った結果を以下に報告する。

橋脚の底版を含む躯体部はコンクリート打設に不利となる夏季施工であったため、水和熱の低減としてフライアッシュの活用を施しており、セメントの20%をFAに置き換えた配合でコンクリートの水和熱の低減を行っている。また、表層部（かぶり部）の品質確保の工夫としては、鉄筋径および配筋状況を加味し、かぶり部の締固め不足を解消し品質を確保するため、躯体の締固めに加えてかぶり部を小径の棒状バイブレーター（φ30 mm）を30 cm間隔で入念に締固めを行っている。今回は、施工品質確保の試行として、施工状況把握チェックシートを活用した打ち合わせおよび表層の目視評価チェックシートを活用した施工品質の確認およびPDCAサイクルの運用が行われた。表-5に目視評価の結果を示す。本結果より、施工品質は十分に確保されていると考えられる。

これらの品質確保の工夫が施された橋脚に対して、アタッチメント法による簡易透気試験を実施した。橋脚の全体像および試験箇所の概略を図-10に示す。試験は併せて、比較のためのTorrent法による透気試験（時間の制約上5か所のみ）、含水率の測定の測定を実施した。

橋脚はフーチング部の上を3リフトで打設が行われており、足場の状態を加味して測定箇所を選定した。図-11にシリンダー法およびトレント法での比較の結果を示す。図より、シリンダー法とトレント法の相関性が高いことを評価対象の橋脚においても確認することができた。

次に、含水率の測定結果を図-12に、シリンダー法による透気試験の結果を図-13にそれぞれ示す。図-12より、含水率の測定結果は、最大6.9%で最小4.3%であった。図-13より、シリンダー法による簡易透気試験の結果より空気流入量は最大値が13mlであり最小で5mlであった。今回、含水率による影響については補正等を行っていないが、シリンダー法による流入空気量は13ml以下であり、図-11の結果と比較すると表層の透気性は良好なレベルにあるといえる。

今回の現場計測でのシリンダー法による試験は、他の試験（含水率測定および超音波伝搬速度の測定）と並行して実施しているが、2つのシリンダー試験装置と2名の学生によって2~3時間程度で完了した。

4. まとめ

シリンダーを用いた簡易透気試験により、コンクリート構造物の表層透気性を相対的に評価できる可能性を示した。今後さらに適用事例を増やし、データの信頼性の向上、試験手法の確立を進めていく。またコンクリートの品質について、透気性および物性を統合した評価指標についても検討を進めていく予定である。

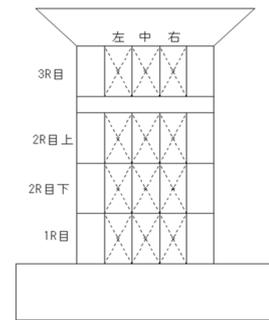


図-10 橋脚および試験実施個所の概略

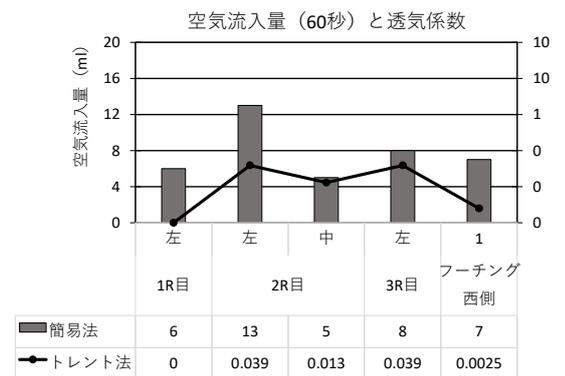


図-11 シリンダー法とTorrent法の比較

表-5 目視評価の結果

評価項目	測定箇所		
	1R-E	2R-E	3R-E
沈みひび割れ	3.9	4.0	3.9
表面気泡	3.3	3.7	3.5
打重ね線	3.4	3.7	3.6
型枠継ぎ目のノロ漏れ	3.4	3.5	3.6
砂すじ	3.8	4.0	3.9

*9名の平均値

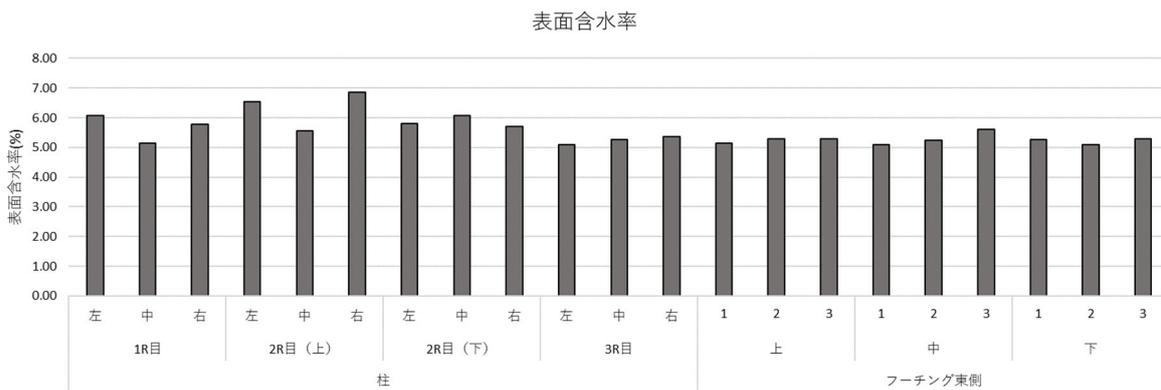


図-12 表面含水率の測定結果

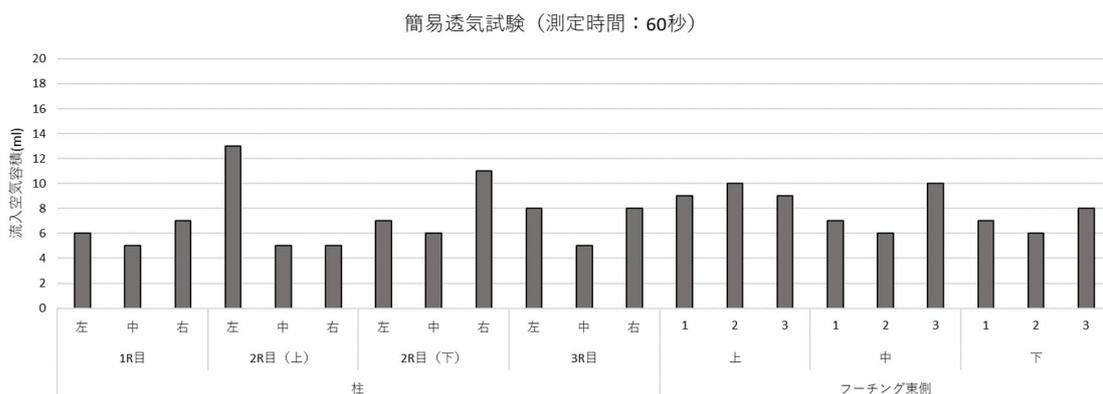


図-13 シリンダー法による簡易透気試験の結果 (測定時間 60 秒での空気流入量)

謝辞

3.1 に記す内容は、日本非壊検査協会 RC 部門研究委員会「表層透気試験方法研究委員会」での活動成果の一部である。また、3.2 に示す内容については日本コンクリート工学会四国支部 研究委員会「四国における新設コンクリート構造物の品質確保の実践に関する研究会」における活動成果の一部である。現場での測定に協力頂いた四国地方整備局の関係各位、福留開発株式会社 横田昭彦氏および関係各位に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 渡辺 健, 山口喜堂, 廣本達也, 橋本親典, 石丸啓輔, シリンダーへの空気流入を利用した簡易透気試験に関する検討, コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集, Vol.15, 319-324, 2015 年.
- 2) 小谷 健太, 渡邊 健, 面矢 建次郎, 関川 昌之 :シリンダーを用いた簡易透気試験の検討および検定器による測定精度の評価,コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, 1701-1706, 2018 年.
- 3) 面矢 建次郎, 渡邊 健, 小谷 健太, 関川 昌之, 橋本 親典 :シリンダーを用いた簡易透気試験による実大コンクリート壁を対象とした表層品質評価の検討,コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集, Vol.18, 739-744, 2018 年.
- 4) 山崎順二ほか : 透気性試験における繰返し測定および試験機の検定に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp1921-1926, 2017
- 5) 山崎順二, 今本啓一, 湯浅昇, 下澤和幸 : 実大コンクリート壁におけるダブルチャンバー法を用いた表層透気性の評価に関する共通試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp2014-2018, 2016
- 6) 飯田康介, 塩田博之 : 乾燥収縮ひずみを制御したコンクリートのひび割れ抑制効果検証実験, フジタ技術研究報告, 第 53 号, pp69-74, 2017

遮熱シートを用いた鉄筋コンクリート橋台の養生効果

群馬大学工学部 非会員 ○富山 隆彦
群馬大学大学院理工学府 正会員 小澤 満津雄
河本工業株式会社 正会員 大島 亮一

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物は、施工時に温度変化や乾燥収縮および自己収縮などの体積変化により初期応力が生じひび割れが発生する危険性がある¹⁾。これまでに、コンクリートの初期応力解析の技術について多数の報告がなされ²⁾、技術が進歩し実構造物のひび割れ対策がなされている^{例えば³⁾}。加えて、山口県では全国に先駆けて、コンクリート構造物のひび割れ対策を検討し、ガイドラインの作成がなされた⁴⁾。さらに、コンクリート構造物の品質確保に関する取り組みが進んでいる⁵⁾。コンクリート構造物の初期応力に対するひび割れ対策として養生方法の改善、ひび割れ誘発目地、膨張材の添加、補強鉄筋の配置、収縮低減剤の使用などがある。本研究では、養生方法に着目した。すなわち、遮熱シートを用いた養生方法について温度応力解析を実施し、保温効果とひび割れ指数を検討した。次に、実 RC 構造物に遮熱シートを施工して内部温度を計測し、養生効果を確認した。

2. 対象とした RC 橋台

図-1 に対象構造物を示す。施工現場は東関東自動車道水戸線の北浦 IC(仮称)付近の東関東武田川橋下部工事:道路橋 RC 橋台である。フーチングの寸法は幅 15.7m×長さ 13m×高さ 2.5m であり、橋台部分は高さ 12.4m×幅 15.7m×厚さ 2m である。部材の厚さが 2m を超えるため、温度ひび割れの検討が必要であった。検討期間は 2018 年 11 月から 2019 年 3 月とした。

3. コンクリート構造物の温度応力解析

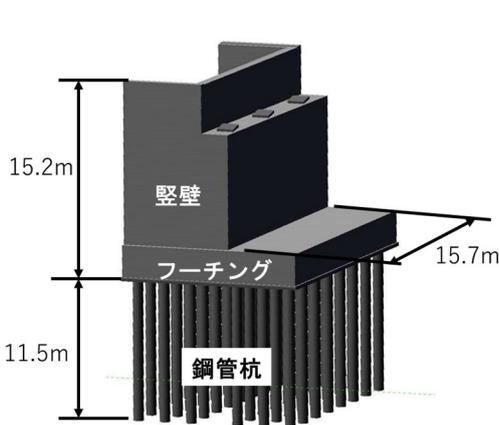


図-1 対象 RC 橋台(東関東武田川橋下部工事)

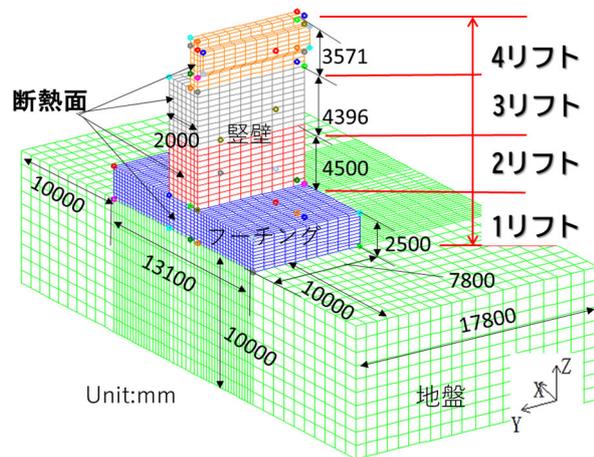


図-2 解析モデル(1/2)

解析にはコンクリート非線形温度応力解析プログラム(ASTEA-MACS)を使用した。解析では、温度解析と温度応力解析を実施した。解析パラメーターは、型枠の熱伝達率とした。すなわち、①通常養生は合板型枠と通常の養生シートとした。②遮熱シート養生では、遮熱シートを設置し保温効果とひび割れ指数の改善効果を検討した。ひび割れ指数を式(1)に示す。

$$I_{cr}(t) = \frac{f_t(t)}{\sigma_t(t)} \quad (1)$$

キーワード：遮熱シート，マスコンクリート，温度応力解析，ひび割れ制御，高炉セメント B 種

ここに、 $I_{cr}(t)$:ひび割れ指数、 $f_t(t)$:材齢 t 日の引張強度、 $\sigma_t(t)$:材齢 t 日の引張応力

図-2に解析モデルを示す。解析モデルは躯体の1/2とした。リフト計画は下記のとおりとした。すなわち、1リフトはフーチング部(高さ2.5m)とし、縦壁部は2リフト:4.5mと3リフト:4.396mとした。4リフトはパラペット部:3.571mとした。着目した要素は、各リフトの高さ1/2とし、部材表面と部材中心の任意要素とした。セメントは、高炉セメントB種を用いた。フーチングと躯体の水セメント比と単位セメント量はそれぞれ46.5%と54.5%および348kg/m³と290kg/m³とした。縦壁部のコンクリートの断熱温度上昇式を式(2)に示す。

$$Q(t) = 50.65(1 - e^{-0.62(t-0.310)}) \quad (2)$$

ここに、 $Q(t)$:コンクリートの断熱温度上昇式、 t :実材齢(日)

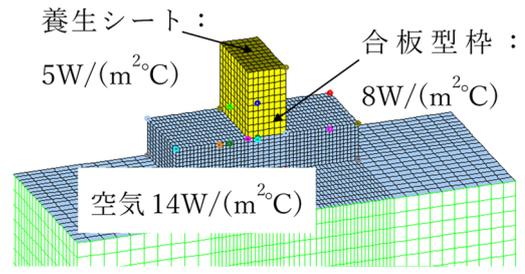
解析に必要な物性値は、マスコンクリートのひび割れ制御指針2016⁶⁾を参照した。自己収縮ひずみはマスコンクリートのひび割れ制御指針2008⁷⁾モデルを用いた。クリープ特性は有効弾性係数法を用いた。

図-3に型枠と養生シートの設置方法を、2リフト(縦壁)を例にして示す。①通常養生では型枠面に合板(8W/(m²C))を設置した。打設面(上面)は養生シート(5W/(m²C))を設置した。②遮熱シート養生では、側面の型枠面と上面に遮熱シート(0.384W/(m²C))を設置した。これにより、保温効果を検討した。

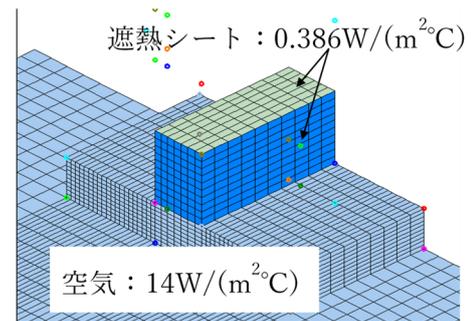
4. 温度応力解析結果

図-4に通常養生と遮熱シート養生を実施した場合の最高温度の分布を示す。a)通常養生では、最高温度が65°Cであった。温度分布は、躯体中央ほど高く、表面付近は温度が低いことがわかる。b)遮熱シート養生では、最高温度が65°Cで同じだが、温度分布は、躯体中央と表面付近で温度差が小さい結果となった。

図-5に通常養生と遮熱シート養生を行った場合の最小ひび割れ指数の比較を示す。a)通常養生では躯体中央付近が赤色($I_{cr} > 1.0$)となる部分があり、ひび割れの危険性が高いことがわかる。b)遮熱シート養生では、2リフトから4リフトにかけて、中央付近で赤色となる部分は少なく、特に、2リフト以降の橋台部分では、ひび割れの危険性が小さいことがわかる。通常養生では、表面と中心付近の温度差が大きく、内部拘束および外部拘束によるひび割れの危険性が高いことがわかる。こ

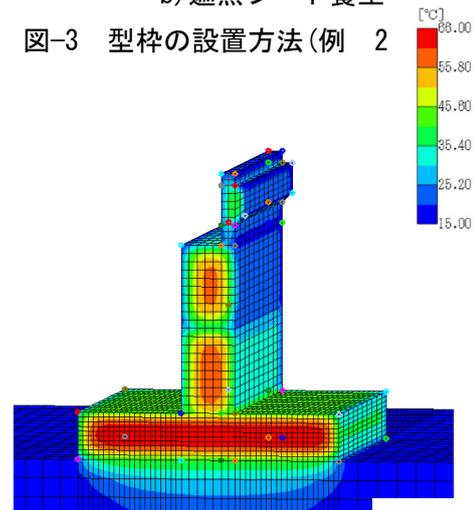


a) 通常養生

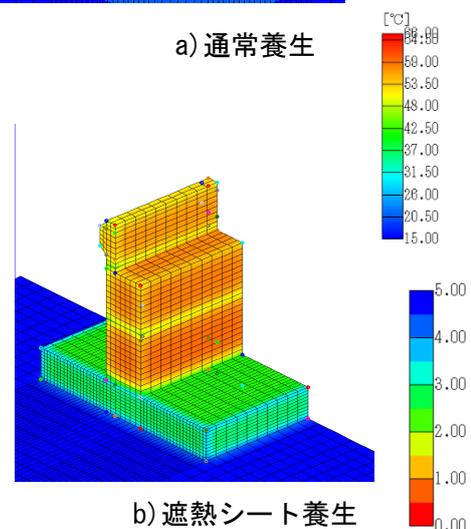


b) 遮熱シート養生

図-3 型枠の設置方法(例 2) 目



a) 通常養生



b) 遮熱シート養生

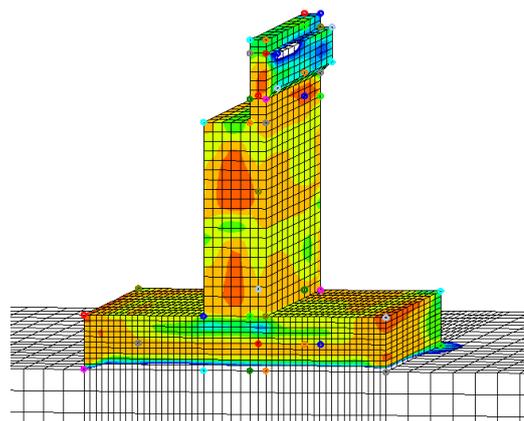
図-4 最高温度分布の比較

これは、養生シートと合板の熱伝達率がそれぞれ $5\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ と $8\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ であり、保温効果が小さく、躯体表面から熱放射が起きたことが原因と考えられる。一方、遮熱シート養生は、シートの熱伝達率が $0.384\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ としたため、躯体表面と中心の温度差が小さくなった。このことは、遮熱シートを用いることで、躯体内部で生じた水和熱の外部への逸散を抑制できたことが考えられる。以上の結果から、事前検討によって、遮熱シート養生のひび割れ指数の改善効果が確認できたため、実施工において遮熱シートを適用することにした。

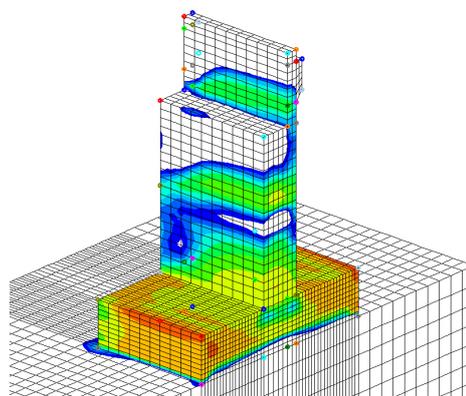
5. 実施工における遮熱シート養生の効果

図-6 に遮熱シート養生の概要を示す。コンクリートの温度応力解析結果より、現場では型枠脱型前の養生方法と型枠脱型後の養生方法について計画した。コンクリート打設当日は、ジェットヒーターと練炭による給熱養生を実施し、その後脱型までの期間（7日間）は、合板型枠の外側（写真-1）とコンクリート上面に遮熱シートを設置した。脱型後は、コンクリート表面に水分逸散防止対策としてポリエチレンフィルム（ $t=0.02\text{mm}$ ）を貼付し、湿潤状態を確保した。その外側に遮熱シートを設置し、保温効果を高める対策を施した（写真-2）。養生期間は2リフトが102日間となった。図-7 に2リフトを例として、内部温度の温度解析結果と実測値の経時変化を示す。施工現場では、コンクリート打設時から養生完了までの期間、温度管理を行うために躯体表面付近の内部温度（表面から10cm位置）と中心部に温度センサーを配置した。解析結果の位置と実測の位置は多少の差異はあるが、今回は同等の位置として評価した。まず、通常養生を行ったケースの解析結果では、中心部と表面部の最高温度がそれぞれ 59C と 38C であった。その差は 21C であり、非常に大きな温度勾配が生じていることがわかる。一方、遮熱シート養生では、中心部と表面部の最高温度がそれぞれ 64C と 60C であった。その差は 4C であり、温度勾配が小さいことが確認でき、温度低下も緩やかであった。次に内部温度の実測値の最高温度の差は、表面部と中心部で 61C と 54C であった。その差は 7C 程度であり、温度勾配が小さく、温度低下も緩やかであることがわかる。

通常養生の解析結果と実測値を比較すると、明らかに実測値（遮熱シート施工）の方が、温度が高く保温効果が確認できた。実測値と遮熱シート養生での最高温度

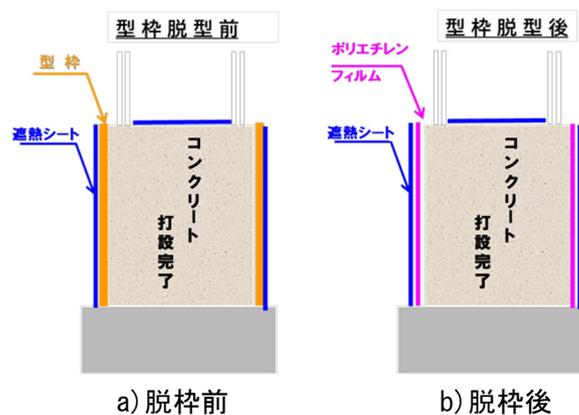


a) 通常養生



b) 遮熱シート養生

図-5 最小ひび割れ指数の比較



a) 脱枠前

b) 脱枠後

図-6 遮熱シート養生の概要



写真-1 遮熱シートの設置状況(脱型前)

は、ほぼ同程度であり、定量的に評価できることがわかった。一方、実測値の温度低下率は、遮熱シートを用いた解析結果よりも早いことがわかる。このことは、現場施工において、遮熱養生シートの保温効果を100%発揮することには限界があること示している。今後は、本検討結果を参考に遮熱シートの熱伝達率を逆推定し、実際の現場に近い解析を検討することで、事前解析の信頼性が向上すると考えられる。最後に、写真-3に完成した躯体の概観を示す。

6. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

1. 解析的検討において、通常養生では、躯体表面と中心部との最高温度の差は20℃程度となり、温度ひび割れの指数も1.0を下回る結果となった。一方、遮熱シート養生を行うことで、保温効果が確認でき、躯体表面と中心の最高温度の差は5℃程度となった。加えて、縦壁部のひび割れ指数も1.0を上回る結果となった。
2. 遮熱シート養生を実RC橋台に適用した結果、脱型時の中心部と表面部の実測値の温度差は小さかった。しかしながら、実測値の温度低下の割合は解析値よりも大きかった。今後の課題として、養生の作業工程や養生期間および構造物形状を勘案し、遮熱シートの設置計画を検討することが必要であると考えられる。

参考文献

1. 佐藤良一, 丸山一平: 収縮ひび割れの予測と制御のあるべき姿, コンクリート工学, pp.11-20, 43巻, 5号 2005年5月
2. 中村 秀明: コンクリートの収縮ひび割れ対策 ①ひび割れ(温度応力)解析の基礎, コンクリート工学, pp.207-212, 50巻, 2号, 2012年2月
3. 越山安敏ほか: 実例紹介 東京外環自動車道 新葛飾橋の河川内橋脚施工時における耐久性向上対策について, コンクリート工学, 49巻, 5号, pp.110-115, 2011年5月
4. 山口県土木建築部: コンクリート構造物品質確保ガイド, 2020年
5. 田村 隆弘, 細田 暁, 二宮 純, 中村 秀明: コンクリート構造物の品質確保のためのデータベースの活用, pp.309-315, 52巻 4号, コンクリート工学, 2014年
6. 日本コンクリート工学会: マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016, 2016年
7. 日本コンクリート工学会: マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008年



a) ポリエチレンフィルムの設置状況



b) 遮熱シートの設置状況

写真-2 遮熱シートの設置状況(脱型後)

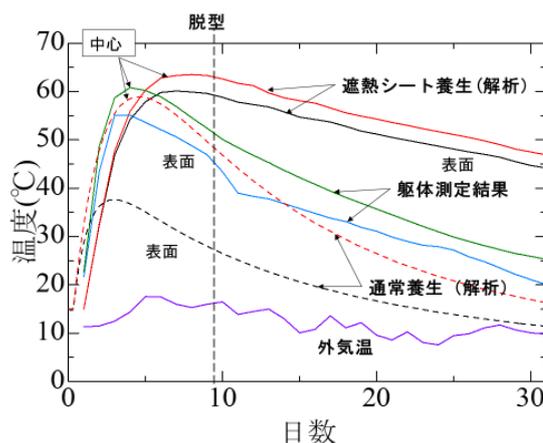


図-7 内部温度の温度解析結果と実測値

の

経時変化(2リフト目)



写真-3 RC橋台の完成後の概観

実構造物におけるコンクリートの締固め時間と表層品質の関係に関する一考察

株式会社ファインテクノ 非会員 平瀬 真幸
福井工業高等専門学校 正会員 田村 隆弘
株式会社瀬口組 非会員 徳永 幸弘

要旨

バイブレータによる締固めと材料分離の関係について、供試体において評価した結果を報告する。締固め時間を決定するにあたり、コンクリートのスランプ 12cm とスランプ 6cm の 2 種類で、棒状バイブレータによる締固め時間を 15 秒と、そして、60 秒程度として打込みを行った。供試体は、コンクリート硬化後に供試体中心部を鉛直方向に切断し、表層及び断面内部を観察した。スランプ 6cm で締固めた場合、材料分離は起こらず材料分布は良好であった。一方スランプ 12cm で締固めた場合、粗骨材が沈み供試体上層で主にモルタル分が集積され材料分離する事を確認した。

1. はじめに

コンクリート構造物の長期供用は、建設時の初期性能が高いほどライフサイクルに有利である。しかし、労働人口の減少に伴い熟練技術者が減少することや、新設構造物の発注が減少することによって施工技術を伝承する機会が減少し、コンクリート構造物の品質を確保することが困難になってきている。そうした中、山口県では、いち早く新設コンクリート構造物のひび割れ対策に取り組み、現在では品質確保システムを構築するに至っている¹⁾。最近では、国土交通省も全国各地で目視評価や施工状況把握チェックシートを試行し²⁾、スランプを 8cm から 12cm に変更³⁾ することで施工性を向上させるなどして、新設コンクリート構造物の品質確保の取り組みを進めている。近年のコンクリートでは、混和剤の改良によって、コンクリートの単位水量を大幅に変えることなく、スランプをコントロールすることが可能となった³⁾ ことから、スランプ 12cm での打込みが合理的となった。しかし、スランプの大きなコンクリートの場合、締固め時間が長くなると、密度の大きい粗骨材が沈下し、ブリーディングが大きくなる⁴⁾。このため、締固め作業は控えめになってしまう可能性があるが、逆に締固め時間が短いとコンクリートは緻密さを失う可能性が出てくる。著者らはこれまで、スランプ 8cm のコンクリートでも適正とされる最大 15 秒程度の締固め時間では、緻密なコンクリートの表層品質が得られないと思われる経験をしたことから、スランプ 6cm 程度のコンクリートを用いて締固めを 60 秒程度徹底して行うことで、躯体の表層品質を向上させることを試みてきた。そして、スランプ 8cm 程度のコンクリートでは、締固め時間を長くすることによって材料分離を起こし、天端付近にブリーディングが集積されるような状況に至るが、スランプ 6cm であれば、60 秒程度の締固め時間であってもブリーディングも少なく、脱枠後の出来映えも良いと思われる仕上がりを得ていた。そこで、スランプ 6cm とスランプ 12cm のコンクリートにおいて、それぞれ 60 秒と 15 秒での締固めを行った場合のコンクリートの品質について検証した結果を報告する。

2. 供試体による締固め試験

2. 1 試験施工を実施するに至った経緯

締固め時間について、長時間締固めを行うと材料分離などの不都合が生じ、初期欠陥のリスクが高くなる事が知られている。それに反して、硬いコンクリートにおいては丁寧に締固めなければ、ジャンカ等の不具合が生じる事も知られている。このような事から、コンクリートの締固め時間は、様々な条件で最適締固め時間の様なものが存在するであろうと考え、試験によって確認することにした。また、高密度配筋の構造物に適用

キーワード 締固め, 過振動, 材料分離, 耐久性

連絡先 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2 丁目 3 番 2 号 株式会社ファインテクノ masayhirase@gmail.com

するスランブについて、スランブ 12cm 以上のコンクリートを丁寧に締め固めた場合、材料分離と大量のブリーディングが予想された事から、それを緩和する為に下層に高スランブ、上層に低スランブを用いる事でブリーディングを抑制し、緻密な供試体と出来ないか併せて検証した。

2. 2 供試体における締め固め試験の概要

各供試体においてスランブ 6cm (表-1) とスランブ 12cm (表-1) のコンクリートで、それぞれ型枠の4つの面の中心かつ型枠面から内側へ 50mm 離し、スパイラル型内部振動機径 50mm にて、60 秒と 15 秒での締め固めを行った場合のコンクリートの品質について確認した。供試体 (500mm×500mm×900mm) に鉄筋(D19)を縦横奥行きに 150mm ピッチで配置したものを製作し、供試体ごとに材料・締め固め条件 (表-2) を変えて打込みを行った。供試体は脱枠後に目視評価を行った後、供試体の中心を鉛直方向に切断して内部を確認した。

表-1 使用したコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m ³)				
					水 #	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
20	6	50.6	4.5	45.9	161	318	869	1131	3.180
20	12	52.0	4.5	45.6	172	331	845	1109	3.310

表-2 供試体ごとの条件

供試体	スランブ (cm)	締め固め時間 (秒)
A	6	60
B	12	60
C	12 (下層)	60
	6 (上層)	60
D	6	15

3. 脱枠あとの目視評価

供試体 A(写真-1~写真-2)については目視評価として満点であった。コンクリート表面の色は黒っぽく、表面はガラス面のようにツルツルしていた。供試体 B(写真-3~写真-4)については、供試体上層部に 5mm 以下の細かい気泡が多く発生し、上層部の全ての P コン周辺に長さ 10mm 以下で P コンの拘束によって沈みひび割れが生じた。また全体の色が白っぽく表面は粗い状態であった。供試体 C(写真-5~写真-6)については、上層部に僅かに気泡が生じ、同じ上層の一部で P コンの拘束によって沈みひび割れが生じた。天端を除いては、ツルツルとした表面となり、供試体 A の次に、綺麗に仕上がった。

供試体 D (写真-7~写真-8) については、4 供試体の中で最も多くの気泡が発生し、その大きさも 5mm 以上が特に多く、30mm に達するものも確認された。また、

ひび割れを赤線で記す



写真-1 供試体 A 写真-2 供試体 A 拡大



写真-3 供試体 B 写真-4 供試体 B 拡大



写真-5 供試体 C 写真-6 供試体 C 拡大



写真-7 供試体 D 写真-8 供試体 D 拡大

表-3 目視評価結果

	供試体 A	供試体 B	供試体 C	供試体 D
ひび割れ	4.0	2.0	3.0	2.0
表面気泡	4.0	3.0	3.5	2.0
打重ね線	4.0	4.0	4.0	4.0
砂すじ	4.0	4.0	4.0	4.0
平均点	4.0	3.25	3.625	3.0

上層部全てに P コンの拘束によって沈みひび割れが生じた。仕上がりは全体的に白っぽく表面もカサカサの状態であった。以上の目視評価結果を表-3 に示す。

4. 供試体の切断と断面の目視評価

コンクリート硬化後に供試体中心部を鉛直方向に切断し、断面の状況を確認した。供試体 A (写真-9～写真-10) については不具合が無く、鉄筋近傍や骨材下にも隙間が無く緻密な仕上がりであり、ひび割れ・材料分離も無い状態であった。スランプ 12cm で 60 秒間締固めをおこなった供試体 B (写真-11～写真-12) については、供試体上面から約 150mm から 200mm 下付近までは粗骨材が沈下してしまい、材料分離し上層部は主にモルタル分のみで構成された状態となった。供試体上部の鉄筋近傍では沈みひび割れが発生したが、下部の鉄筋近傍においては、不具合は認められなかった。供試体 C (写真-13～写真-14) は下層で使用するスランプ 12cm の余剰水を、バイブレータによって天端へ導ける事を確認する試みである。切断面に関しては、天端から下 100mm までは材料分離し主にモルタル分で構成され、上層部に配置された鉄筋の下側に隙間を確認できるものの、ひび割れは発生していない。また、上層の材料分離した箇所に関し、3mm 以下の気泡が僅かに確認できたが、下層は密実であった。供試体 D (写真-15～写真-16) については、材料分離は生じておらず骨材分布も均等であった。ただし、全体で残留気泡と小さなひび割れが確認され、フープ筋に沿ってひび割れが確認され、全体的に粗い仕上がりとなった。ここで、締固めを 4 方向で 15 秒ずつ実施した供試体 D だけ、切断の際に濡れた供試体が、最も水分を吸収して乾燥が遅く、鉄筋近傍においては乾燥するまで数時間を要した。他の供試体には切断後、速やかに乾燥した事から、締固めが供試体の空隙に大きく関わっている事や、鉄筋近傍の隙間に劣化因子が容易に侵入しやすいことを推測した。

ひび割れを赤線で記す



写真-9 供試体 A 写真-10 供試体 A 拡大



写真-11 供試体 B 写真-12 供試体 B 拡大



写真-13 供試体 C 写真-14 供試体 C 拡大



写真-15 供試体 D 写真-16 供試体 D 拡大

表-4 切断面の目視評価

	供試体 A	供試体 B	供試体 C	供試体 D
ひび割れ	4.0	2.0	3.0	2.0
表面気泡	4.0	3.0	3.5	2.0
打重ね線	4.0	4.0	4.0	4.0
砂すじ	4.0	4.0	4.0	4.0
平均点	4.0	3.25	3.63	3.0

5. まとめ

今回、供試体による締固め検証実験の結果、供試体 B のようにスランプ 12cm のコンクリートを長時間 (60 秒程度) 締め固めると、粗骨材が沈下して上層部にモルタル分が多く集積してしまうが、供試体 A のようにスランプ 6cm のコンクリートを 60 秒程度締固めながら打込みした場合には、そうした粗骨材の沈下も起こらず表層品質が高いコンクリートとすることができることを確認した。供試体を切断した結果も外観上の目視評価と似た傾向を確認でき、相関関係が強い事を確認した。今回の試験を通して、コンクリートのス

ランプに見合う締固め時間とする事で、より綺麗で緻密な躯体に近づく事が推測できた。高密度配筋を想定した供試体 C においては、下層にスランプ 12cm 上層にスランプ 6cm のコンクリートを使用しブリーディングを抑制出来たが、上層部に累積された高含水なモルタルの影響で P コンの拘束によって上面に発生する微細な沈みひび割れが生じた。この事から、実施工においては沈みひび割れを防止する為にブリーディングを排除し、再振動のタイミングを遅らせたり、スランプ 8cm などのコンクリートを下層に用いるなどの工夫を行い、丁寧に締固める事で高密度配筋の躯体にコンクリート打込みは可能であろうと考える。さらに天端で P コンの拘束によって上面に発生する沈みひび割れが生じる箇所においては残留気泡が多い傾向であり、その事については過去の現場でも同じ現象を確認しており、沈みひび割れと残留気泡の関係には相関関係があると考えられる。天端付近においてはコンクリートの自重による圧密作用が働きにくい分、さらに締固め時間を長くする必要があり、それによって発生するブリーディング対策も必要である事が確認できた。今回の検証から、実構造物におけるコンクリート打込みの締固め時間においては、材料や条件に応じて締固め時間を考慮することでさらに品質の高い新設コンクリートが構築できるものと考えてに至った。

【謝辞】 本稿の執筆にあたり、工事にご協力いただきました多くの皆さんに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 細田暁, 二宮純, 田村隆弘, 林和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.70, No.4, pp.336-355, 2014.
- 2) コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(橋脚, 橋台, 函渠, 擁壁編), 国土交通省東北地方整備局, pp.9-10, 2015
- 3) 国土交通省: 流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン, p.5, 2017.3
- 4) 日本コンクリート工学会: 構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会報告書

研修モデルコースの活用について

山口県土木建築部技術管理課 非会員 ○池村 剛宜
 山口県土木建築部 正会員 森岡 弘道
 (一財)山口県建設技術センター 正会員 澤村 修司

1. はじめに

山口県では、新設コンクリート構造物に対する独自のひび割れ抑制・品質確保システムを構築・運用しており、これに関連して、システムへの理解を深めること等を目的とする職員研修を継続的に実施している。そのうち、既設構造物研修では、システム構築前後の構造物の表層品質をそれぞれ評価・比較することにより、システムの効果を実感することができ、技術力（スキル）向上だけでなく、意欲（マインド）向上にも寄与すると考えている。

2015年には、既設構造物による研修モデルコース（以下、モデルコースとする）を作成し、ウェブサイトで公開している。車の往来等の支障にならず、安全に近接して観察することができる構造物を選定しており、職員研修での活用に限らず、個人やグループの自主研修として任意に巡ることも可能である。

また、県外からの山口システムに関する視察においても、このモデルコースを活用することにより、理解を深めてもらっている。これまでに、延べ26団体、366名にモデルコースを含む行程で案内しており、好評を得ている。

本稿では、コンクリート構造物品質確保の取組みの「普及・展開の手段」として、このモデルコースの活用についての考えを述べる。

2. 山口県の研修モデルコース

モデルコースは、山口県土木建築部技術管理課ウェブサイト「コンクリート構造物の品質確保」¹⁾の「11. 既設構造物研修モデルコース」に掲載し、一般に公開している。

「ひび割れ抑制システム構築前に建設された構造物」、「試行段階に建設された構造物」、「システム構築後に建設された構造物」について順を追って見ることにより、各構造物を比較し、その効果を実感することができる。

掲載している対象構造物一覧表を図-1に示す。「構造物名」、「打込み時期」、「幅・延長」、「部位」のほか、コンクリート施工記録（以下、施工記録とする）の整理番号を記載している。

山口県では、品質確保の対象とする構造物について、リフト毎に施工記録を作成・蓄積し、データベースとして公開しており、(一財)山口県建設技術センター（以下、センターとする）がこれを管理している。そのため、構造物の施工記録は、センターのウェブサイト²⁾で閲覧することができる。

既設構造物による研修 対象構造物一覧表 2017/12作成

ひび割れ抑制対策	番号	構造物名	打込み時期 (年・月)	幅・延長 (m)	部位	コンクリート施工 記録	
なし (システム 導入前)	①	寄江高架橋	A1	1998	10.5	—	—
	②	唐櫃橋	A1	1998	10.5	—	—
あり (試行段 階)	③	嘉川IC橋	A1	2007/4 ~5	20.3	たて壁①	H18-A-009-02
						たて壁②	H18-A-009-03
						たて壁③	H18-A-009-04
						胸壁①	H18-A-009-05
						胸壁②	H18-A-009-06
あり (システム 導入後)	④	高井大橋	A1	2009/2	21.5	底版	H20-A-010-01
						たて壁①	H20-A-010-02
						たて壁②	H20-A-010-03
						たて壁③	H20-A-010-04
			胸壁	H20-A-010-05			
	⑤	朝田IC Bランプ橋	A1	2010/3	8.2	底版	H21-A-004-01
						たて壁①	H21-A-004-02
						たて壁②	H21-A-004-03
					胸壁	H21-A-004-04	
			A2	2010/4	8.0	底版	H21-A-005-01
						たて壁①	H21-A-005-02
	たて壁②	H21-A-005-03					
			たて壁③	H21-A-005-04			
			胸壁	H21-A-005-05			
⑥	由良IC C-2号ボツ クスカル パート	-	2014/7	16.3	底版	H25-B-003-01	
					側壁・頂版	H25-B-003-02	
					底版	H25-B-004-01	
					側壁・頂版	H25-B-004-02	

図-1 対象構造物一覧表¹⁾

キーワード 研修モデルコース、品質確保、コンクリート構造物サミット、連携強化、波及効果

連絡先 〒753-8501 山口県山口市滝町 1-1 山口県土木建築部技術管理課 TEL083-933-3636

このほか、モデルコースのルート図（図-2）や、各構造物の詳細な位置図等を掲載している。位置図には、駐車位置の目安も記載している。車を使うことで、半日程度で巡ることができる。

また、JR 新山口駅がほぼ中央に位置するなど、遠方からの視察等において交通の利便性が高い。

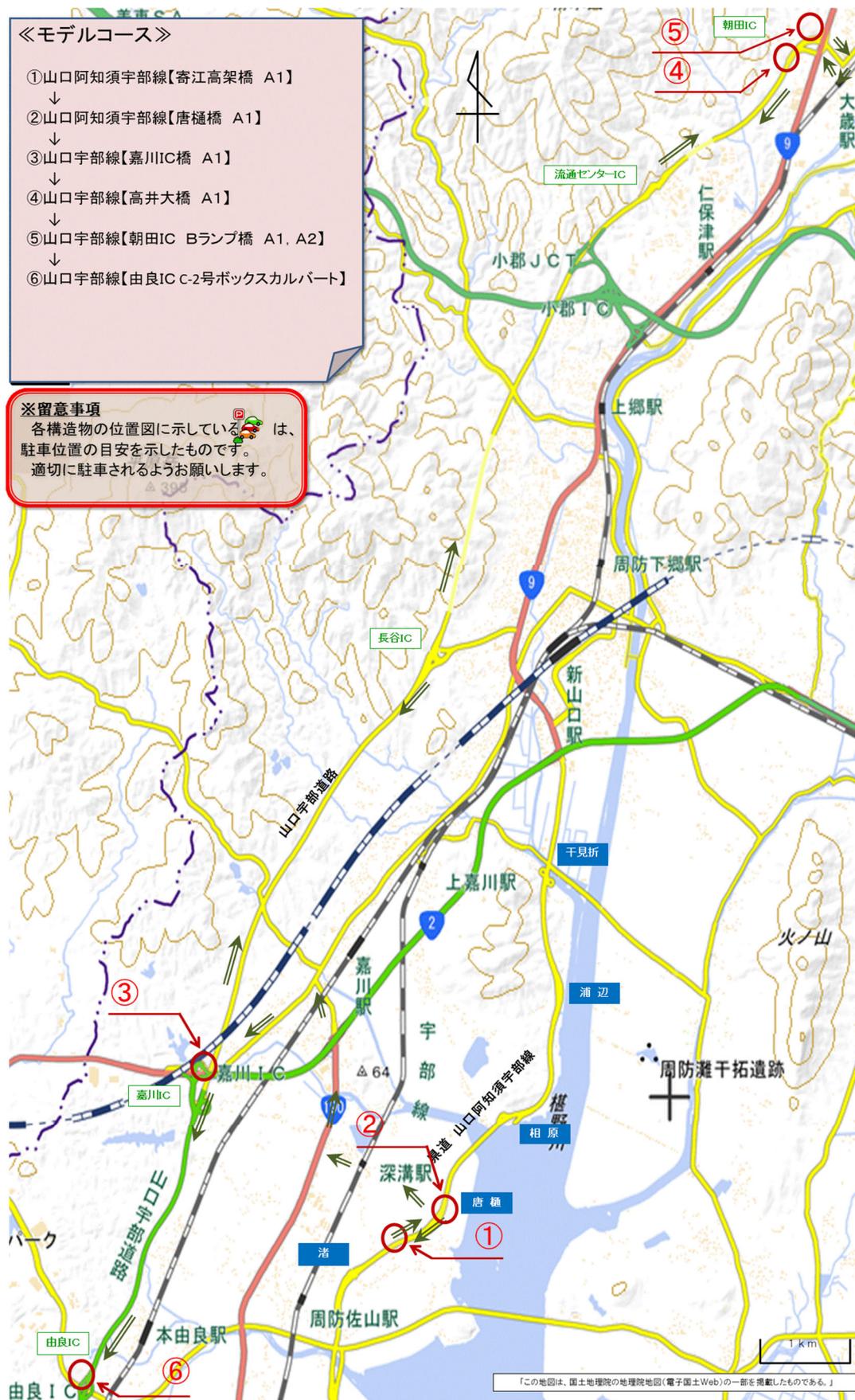


図-2 モデルコースのルート図¹⁾

3. 山口県での活用事例

まず、山口県への県外からの視察の中でも、特に効果的であったと考えられる事例を紹介する。

当事例は、(株)熊谷組の第7回女性技術者交流会現場見学会の対象として山口システムが選定され、これに山口県が応じたものであり、計25名が参加した。

前提として、参加者の多くが現場経験の少ない若年社員であり、また全国各地から集うため視察滞在時間が限定的であった。そのため、視察の研修効果をより高める目的で、1)山口県の「コンクリート構造物の品質確保」¹⁾、2)CONCOM建設技術者のためのコミュニティサイト「目視評価法の解説」³⁾、の2つのウェブサイトを各自が事前学習として閲覧することを受入側の要望として申し入れ、了解を得た。

視察の概略行程を表-1に示す。実際には、各自でウェブサイトを開覧することに加えて、前日にコンクリートの基本やウェブサイトの内容を予習する研修会の時間が確保された。これにより、視察当日は、参加者全員が「目視評価法の解説」の動画を視聴済であることを前提としたため、説明を最小限とし、構造物の観察・評価、質疑の時間を主として進めることができた。

1箇所目の視察場所での構造物視察状況を写真-1に示す。当事例では、これまでの他の視察対応時に比べて全体的に非常に熱心に観察、質疑される印象を強く受けた。解説動画視聴等の予習を適切に行われていたことが、参加者のマインドの向上に寄与したものと推察する。

5箇所の既設構造物視察、座学（山口システムの概要説明）を行い、最後に全体の振り返りとして、質疑応答・意見交換を行った。およそ1時間、非常に活発な意見交換が行われた。

視察終了後にフィードバックされたアンケートの回答内容（表-2）からも、研修モデルコースの活用等が効果的であったことがわかる。

表-1 視察の概略行程

1日目	-14:30	各自山口県に到着
	15:00-17:00	研修会（コンクリートの基本等）
2日目 (視察当日)	8:30-12:00	構造物視察 5箇所
	12:00-13:00	休憩
	13:00-14:00	座学（山口システムの概要）
	14:00-15:00	質疑応答・意見交換



写真-1 構造物視察状況

表-2 アンケートの回答内容（抜粋）

構造物見学についての感想
<ul style="list-style-type: none"> ・今までの研修と異なりただ見るだけでなく、取組内容を知る→成果物を見る→より詳細について聴講・質問という流れで、大変内容を理解しやすかった。予習復習が自然にできていたかと思う。 ・県の方がモデルコースを作られていることもあり、大人数で複数箇所を回るスケジュールながらスムーズで好印象だった。
座学、意見交換/質疑応答についての感想
<ul style="list-style-type: none"> ・実物を見た後でシステム運用側の方から詳しい話を聞いたのは、理解するうえで非常に良かったと思います。また、コンクリートの品質確保という限定されたテーマで、質問もしやすかったと思います。

4. 他地域における取組み事例

高知県土木施工管理技士会と高知県コンクリート診断士会は、2017、2018年度に合同の技術研修会として山口県を視察しており、この際にモデルコースを活用して説明した。

両団体は、山口県のモデルコースのような「既設構造物を活用したコンクリート構造物研修」が表層品質の

理解を深める手段として効果的であるとし、2019年8月に高知県内の既設構造物をフィールドとした「コンクリート品質・出来栄等に関する勉強会」を開催した。

当勉強会には、高知県内の発注者、施工者、生コン製造者ら計100名が参加した。また、講師として、山口システム関係者のほか、2019年度から「群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン」の運用を開始している群馬県の関係者らが招かれ、当勉強会に参加した。

現場見学会（写真-2）では、施工時に生じるコンクリート表面の不具合や好事例の構造物について、各参加者が観察・評価し、質疑応答や意見交換を行った。

座学後に行われたパネルディスカッションでは、各自治体の連携による品質確保の取組みの進化等が話題となり、山口県の研修モデルコースを代表例として、各地域の「好事例」の情報をウェブサイトに掲載することが提案された。

これについて、高知県土木部のパネラーから、「好事例」の構造物を活用した定期イベント「コンクリート構造物サミット」を各地で開催することが提案された。

山口県や群馬県のようにシステムを構築することは容易ではないが、「好事例」を活用するイベントを各地で定期的で開催することが、各自治体の連携強化や品質確保の取組みの進化に繋がると考えられる。



写真-2 現場見学会の状況

5. 研修モデルコースの構築と運営

山口県のモデルコースを例として、品質確保された「好事例」の構造物は、1)安全かつ制限なく見学ができる、2)場所と構造諸元が明らかにされている、3)正確な施工記録があり容易に入手できる、の3つの条件が揃うことにより、有効に活用できる。

このうち、3)については、山口県の場合は施工記録データベースであるが、これを各発注者が構築することは容易ではない。しかし、「好事例」に限定して施工記録等を公開することで、この条件を満足することができる。また、公開の手段の一つとして、センターの「コンクリート施工記録データ（ゲストコーナー）」を活用することも可能である。

運営は、ウェブサイトでの公開を主としており、地方公共団体においても比較的容易である。「好事例」の情報を公開、適切に更新することにより、好循環が得られると考える。

6. まとめ

山口県のモデルコースを例として、品質確保された「好事例」の構造物を有効活用することにより、高い研修効果が得られる。また、各地域の「好事例」の構造物をとりまとめて情報を公開することにより、各自治体の連携強化や品質確保の取組みの進化などの波及効果が期待できる。

これには、1)安全かつ制限なく見学ができる、2)場所と構造諸元が明らかにされている、3)正確な施工記録があり容易に入手できる、の3つの条件が揃う必要がある。

参考文献

- 1) 山口県「コンクリート構造物の品質確保」ウェブサイト、
<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/hibiwareyokusei.html>
- 2) (一財) 山口県建設技術センター「コンクリート構造物の品質確保」ウェブサイト、
<https://www.yama-ctc.or.jp/data/index.html>
- 3) CONCOM 建設技術者のためのコミュニティサイト「目視評価法の解説」、
<http://concom.jp/contents/seminar/201608/index.html>

コンクリート用化学混和剤に求められる機能と品質確保に向けた取り組み

国際企業株式会社 ○筒井 達也

独立行政法人国立高等専門学校機構 福井工業高等専門学校 正会員 田村 隆弘

1. まえがき

コンクリート用化学混和剤に求められる機能は、主にワーカビリティ改善、強度および耐久性の向上、凝結速度の調整などが一般的であった。現在はこれらの基本的な機能に加え、収縮低減剤含有による耐久性能の向上、増粘成分含有による流動性の促進など、化学混和剤合成技術の進歩と共にその機能も多様化している。コンクリート用化学混和剤の進化は、生産性向上ならびに働き方改善にも大きく寄与することから、コンクリート構造物の品質確保にも深く関わるものである。本稿では、コンクリート用化学混和剤の現場に求められる機能と役割について、実際の混和材料の性能および活用事例を紹介しながら品質確保への期待および可能性について述べる。

2. コンクリート用化学混和剤に求められる機能

2. 1 コンクリート用化学混和剤開発の背景

「品質が確保されたコンクリート構造物を造る」目的のもと、「設計・計画で定められたコンクリート」と「現場で求めるコンクリート」との差異はコンクリート施工現場に携わる多くの技術者が抱えてきた違和感であった。このような実態を受け、コンクリート用化学混和剤メーカー各社は、現場からのニーズに応える機能を有し、なおかつコンクリート構造物の品質確保に繋がる化学混和剤の開発を進め、現在ではそのどちらの機能も有する新しい混和剤が実際の現場で活用されている。メーカー各社の開発努力によって、「現場で求められるコンクリート」と「耐久性の高いフレッシュコンクリートの品質確保」の両立が可能となり、化学混和剤への期待はさらに高まっている。

2. 2 現場で求められるコンクリート用化学混和剤の機能についての調査結果

コンクリート用化学混和剤を使用する際、現場で重視される機能とは何かを示す数値として、筆者らが別会で実施したコンクリート用混和材料に関する認知・実態についての調査結果を紹介する¹⁾。当該資料は第2次コンクリートよるず研究会によるもので、業界関係者へ幅広く回答を依頼し約2ヶ月間の実施期間で全国から521件の有効回答を得たものである。図-1は「化学混和剤を使用する際に重視している項目」、図-2は「化学混和剤について機能を追加、強化して欲しい項目」への回答集計を示す。いずれの回答においても最も多くの回答が寄せられたのが「スランプ保持性能」であることに着目したい。

スランプ保持性能は直近20年に亘り生コンクリート生産者からの要望を受け、混和剤メーカー各社が大きく改善・改良が進めてきており、保持性能は確実に高められてきているが、現場からは更なる改善が求められているとの結果が確認された。

3. ニーズに応じて開発された混和剤の現場での活用

3. 1 スランプを長時間保持する化学混和剤の開発

生コンクリート打設現場からの要望のみならず、生コン工場集約化による場外運搬の長距離化、気温の上昇にともなう水和反応の促進、建設現場におけるトラックアジテータ待機慢性化による場内運搬時間の長時間化等、業界を取り巻く環境からもスランプ長時間保持機能の役割は多岐にわたる。このような背景を受け、

キーワード コンクリート用化学混和剤, スランプ保持, 流動保持, ルール改定

連絡先

〒730-0015 広島市中区橋本町5-2 宮川ビル302 国際企業株式会社 t.tsutsumi@kokusai-kigyo.co.jp

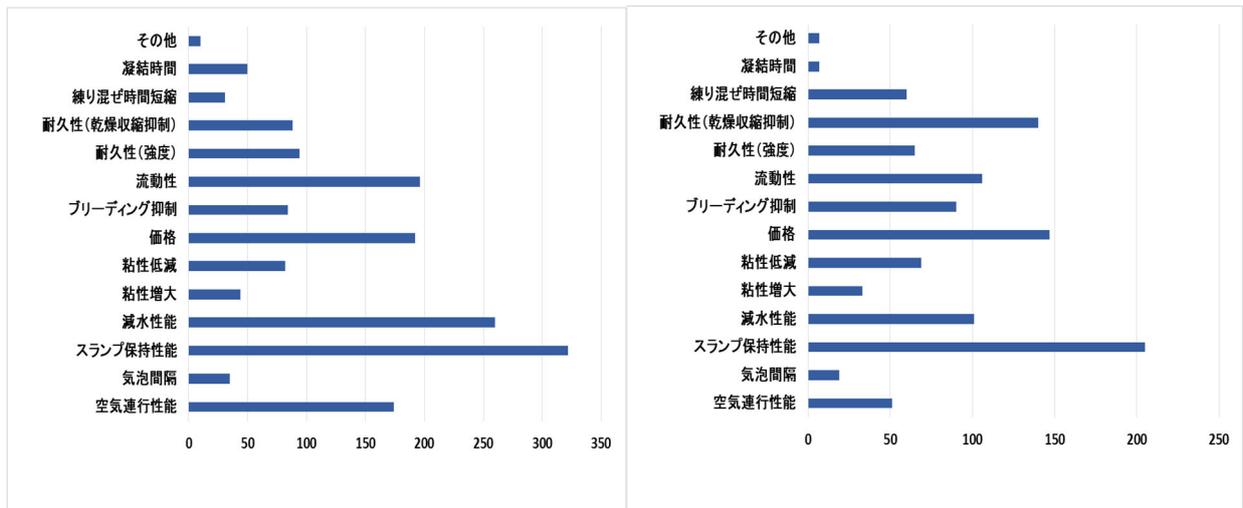


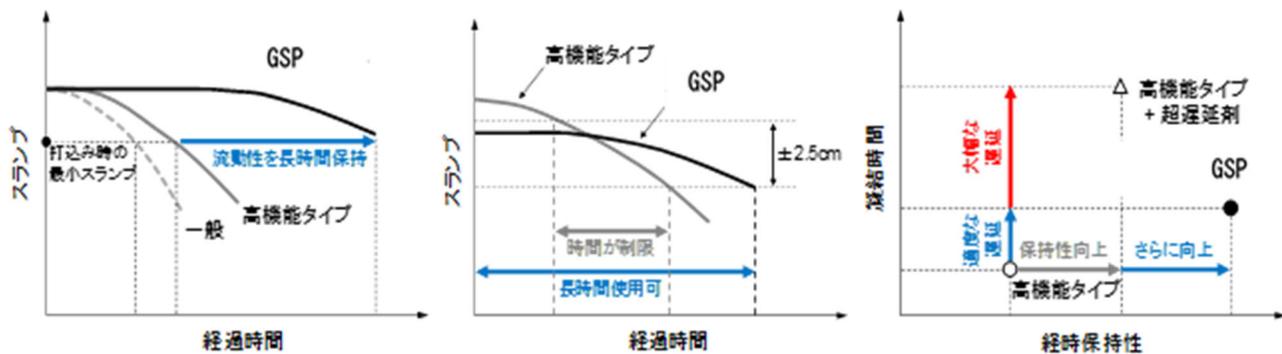
図-1 化学混和剤を使用する際に重視している項目

図-2 化学混和剤について機能を追加・強化して欲しい項目

スランプの長時間保持を可能にする化学混和剤が開発され、実際現場での活用が進んでいる。

3. 2 スランプの長時間保持機能を持つ化学混和剤の紹介

ここでスランプの長時間保持機能 AE 減水剤（以下 GSP と称す）を例に挙げて紹介する²⁾。同製品は JIS A 6204 において AE 減水剤に分類される。同製品の特長に関する概要図を図-3 に示す。GSP は、従来品と比較して流動保持性を飛躍的に向上させる効果に加え、経時にともなうコンクリートの粘性の増大を抑制し、良好なワーカビリティを維持する効果により、長距離・長時間運搬が可能となる（図 3-a）。一般に、経時によるスランプの低下が大きい場合には、荷卸し地点到着時のスランプを管理幅内に収めるために、生コン工場では管理幅の上限を超えたコンクリートを出荷する対策を講じているが、その場合でも使用できる(管理幅内に入る)時間が限られるため、生コン工場側のスランプ管理の難易度は高いままである。一方、GSP は流動性を長時間制御できることから生コン工場側のスランプ管理は容易とな



a) 長距離、長時間運搬が可能 b) スランプ管理が容易 c) 大幅な凝結遅延を伴わない経時保持性

図-3 GSP を用いたコンクリートの概要図³⁾

る（図 3-b）。また、従来品から大幅に流動保持性を向上させる場合には、遅延形への変更または超遅延剤を併用する等によって必要以上の凝結遅延効果を付与してしまうこともあり、仕上げ工程が遅延するケースがある。GSP は、流動保持性を延長した分の最低限の凝結時間を確保するのみであるため、大幅に凝結遅延することなく、スランプを長時間保持することができることも特長の一つである（図 3-c）。

3. 3 スランプ長時間保持機能を持つ化学混和剤の活用事例

ここで筆者が実際に現場で活用した事例を紹介する。但し、使用した混和剤は上述した GSP の別添加タイプ（以下 KSP と称す）を採用した。使用現場は国土交通省管轄の現場洋上ケーソン打設であり、約 20 m³のフレッシュコンクリートをバケットホッパー（1m³×20 個）に移し、台船で沖まで移送し、同日中に打設を完了

する計画（フレッシュコンクリート出荷から現場荷卸までの所要時間は約2時間）であった。土木配合による夏期打設ではスランプロスが発生し、バケットホッパーの閉塞を引き起こす可能性が生じ、汎用のAE減水剤では打設が困難になることが予測された。この条件下での打設を可能にするにあたりKSP採用したところ、夏期の厳しい環境下にも関わらず、フレッシュコンクリートの性状は、2時間後スランプロス2cm程度の良好な状態を保持し、無事打設を完了した。現場の様子を写真-1、配合データを表-1、2、試験結果を表-3に示す。



写真-1 KSPを用いたコンクリートの運搬・施工状況

表-1 コンクリートの配合

呼び強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	W	C	AE 減水剤	KSP
			(kg/m ³)			
21	62	47.2	172	277	2.77	0.83

表-2 コンクリート用材料の概要

分類	種類	銘柄および物性
セメント	高炉セメントB種	密度 3.04g/cm ³
細骨材	加工砂	密度 2.59g/cm ³ , 吸水率 0.85%, 粗粒率 2.70
細骨材	加工砂	密度 2.57g/cm ³ , 吸水率 0.84%, 粗粒率 2.70
粗骨材	砕石 2005	密度 2.62g/cm ³ , 吸水率 0.84%, 粗粒率 6.60
粗骨材	砕石 2005	密度 2.68g/cm ³ , 吸水率 0.76%, 粗粒率 6.65
混和剤	AE 減水剤	遅延形1種, リグニンスルホン酸化合物
	減水剤(KSP)	標準形1種, ポリカルボン酸エーテル系化合物

表-3 試験結果

	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
練直	13.5	4.8	28.0	27.0
2時間後	11.5	4.1	31.0	30.0

4. 化学混和剤と品質確保への取り組みと可能性

4. 1 化学混和剤活用による品質確保への影響

化学混和剤は現場のニーズを受け日々進歩を続けており、本稿で紹介したスランプ長時間保持機能は、正に現場の声が反映され開発されたものである。現場でのスランプロスは、物質的なロスに加え、現場トラブル

によるポンプ打設中断，打設計画の滞りによる工期の遅れ等を引き起こし現場作業員に精神的な負担を強いる。一方，スランプ保持型混和剤を活用すると，季節毎の温度の影響を受けず年間を通じて，生コン工場出荷時のスランプ値を約2時間程度保持することが可能となる。このように，化学混和剤の活用は，フレッシュコンクリートの生産性向上だけでなく，数値化されず目に見えないが確実に発生する現場作業員の心理的負担軽減にも繋がっている。コンクリートの品質確保においては技術の発展だけでなく，打設現場での人の判断能力，人の手作業が大きく影響するものであり，化学混和剤の使用はその双方に大いに寄与するものである。

4. 2 化学混和剤のさらなる活用に向けた環境整備

周知のとおり打設現場での化学混和剤の活用には各基準が適用され，現時点では全ての現場に適した化学混和剤を使用できる環境はまだ整っていない。個々の現場での個別対応では手間が生じスピード感がなく，抜本的な展開は期待できない。日本建築学会は「暑中コンクリートの施工指針・同解説」を2019年7月に改定，酷暑期を新たに定義し，コンクリート温度38℃までは適切な対応を取ればコンクリートが使用可能となった。同改定において高性能 AE 減水剤の遅延形について記載(暑中期におけるスランプ保持性能，コールドジョイント抑制性能)され，化学混和剤の有効性が示された。スランプ保持性能についても，土木・建築両学会による現行基準・JIS規格の改定(荷卸90分を120～150分に延長)の必要性を実感している。

4. 3 ルール改定の重要性

生コンクリート生産工場の集約化促進が見込まれる状況下，生コンクリート需要は従来通り都市部から郡部まで幅広く展開されている。今後さらなる集約化が進めば現行ルールの90分以内では届ける事が出来ない地域での打設が必要となる可能性は十分現実的である。どのような地域にもコンクリートが

表-4 コンクリートを練り混ぜてから打設が終わるまでの土木・建築両学会の基準と JISA5308 の運搬時間の限度

学会名・機関名	内容
RC 示方書	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は，外気温が25℃以下のときで2時間以内，25℃を超えるときで1.5時間以内を標準とする
JASS5	コンクリートの練混ぜから打込み終了までの時間の限度は，外気温が25℃未満のときは120分，25℃以上のときは90分とする。ただし，凝結を遅らせる対策を講じた場合には，工事管理者の承認を受け，その時間の限度を変えることができる
JISA5308	レディーミクストコンクリートの運搬時間は，生産者が練混ぜを開始してから運搬車が荷卸し地点に到着するまでの時間とし，その時間は1.5時間以内とする。ただし，購入者と協議のうえ，運搬時間の限度を変更することができる

必要な現場は必ずあり，必要とされるコンクリートはいずれも統一したルールの下で品質確保されるべきである。スランプ保持型混和剤は，このような問題を解決する一つの優れた手段である。ただし，現場のニーズに応え，優れた技術を有した化学混和剤が開発されても，使用できる環境が整っていなければ，全く無意味である。化学混和剤はコンクリートの配合計算において容積に算入する必要のない最もミニマムな材料ではあるものの，フレッシュコンクリートの性状確保ならびにコンクリートの品質確保，さらに現場の生産性向上において重要な役割を担っている。これからのコンクリート打設の合理化を図るうえで，今後業界全体でのルール改定が進むことを期待する。

5. まとめ

混和材料を使用してコンクリート構造物の耐久性を引き出すには，施工者・発注者と生コン製造者の相互

理解・信頼関係が不可欠である。製造から施工，維持管理と分業形態で進められていく中で，すべてのプレイヤーが一体感を持つことが，コンクリートの品質確保にとって最も重要である。「山口システム」確立以前は，問題発生時に責任を押し付け合う「不機嫌な現場」が存在することが語られ，これを協働意識の基に改善していく事で「ひび割れ抑制対策」の取り組みに繋がった。現場に携わる一人一人が「あなたにしかできないこと」に対し真摯に向き合い，責任感で繋がり，本委員会を通じて全国に品質確保の取り組みが展開していることは周知の事実である。

混和材料の活用は施工現場の一步手前で，コンクリート構造物の品質確保に向けて，大切なキーとなる。生コン工場のみならず発注者，施工者の理解を深め，活用していく事が，更なる混和剤開発に繋がり，コンクリートを取り巻く諸問題を解決していく一助となることを期待する。

最後に，上述のアンケート結果より，自由記述式の項目に想定以上に多く寄せられた回答を紹介して結びの言葉を述べたい。

- ・ 混和剤について，具体的にどのような効果，種類があるのかよくわからない（発注者）
- ・ 混和剤についてあまり知識がない（発注者）
- ・ 業務において使用・検討実績がないため特になし（設計）
- ・ 生コンクリートに入っている事を知っているくらい特になし（施工者）

当アンケート回答者の67%が10年以上の業界経験を有するものの，コンクリート用化学混和剤については詳しくは知らない，使用はしているが内容まではよく理解していないとの回答が複数寄せられた。また同時に非常に多くの具体的な質問も寄せられた。これは，ほとんど全ての現場でコンクリート用化学混和剤が使用されているにもかかわらず，正しく理解されないまま使用し続けてきた現状に対し，関係者各位がどこかで疑問に思っていた，ひっかかっていたことの表れではないかと推測する。化学技術の進歩，社会的要求に対し化学混和剤の機能は今後も進化を続けていこう。ひとりひとりが各現場で適切な混和材料を選択し，コンクリートの底力を引き出し，品質の確保された安心安全な社会づくりへ寄与されることを願う。

謝辞：本論文についてご協力いただいた全ての方々に感謝を申し上げます。貴重な資料を提供して下さったBASF ジャパン株式会社小泉信一様，作榮二郎様，論文をご指導いただいた太平洋セメント株式会社西本洋一様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 田村隆弘，筒井達也：コンクリート用混和材料に関するアンケート調査から見る認知度，使用実績，今後の混和材料への期待，コンクリートよるず研究会テキスト 付録1 2018
- 2) 小泉信一，作榮二郎：流動性を長時間保持するAE減水剤「マスターレオシュア」，セメントコンクリート，No.876/pp.8～13，2020.2

道路構造物の定期点検データの有効活用を図るためのデータベース構築の試み

西日本高速道路エンジニアリング中国（株）・徳山工業高等専門学校 正会員 ○二宮 純
徳山工業高等専門学校 学生会員 藤尾 朋生
徳山工業高等専門学校 正会員 温品 達也

1. はじめに

山口県では新設コンクリート構造物の施工データについて、2007年に構築したひび割れ抑制・品質確保システムによりデータベースに蓄積し、ウェブサイトで公開している。設計者・発注者・施工者・材料供給者の共有の情報として、新設構造物のひび割れ抑制設計などに活用されている。

山口システムの今後の取組み課題の一つとして、この新設段階の情報の活用を維持管理段階に拡張すること、いわば「母子手帳とカルテを繋ぐこと」があるが、ほとんど進展していない状況である。筆者は、この課題の解決について、新設段階から維持管理段階に情報を繋ぐというこれまでのアプローチだけでは難しいと考えるようになった。現状では、維持管理において定期点検データをはじめ様々な詳細な情報が収集されているが、十分に活用できていない。維持管理の情報が活発に活用される環境が整って、ようやく新設時の情報のニーズが高まることを想像している。

国においては、2011年の東日本大震災を契機にオープンデータの機運が高まり、2016年に「官民データ活用推進基本法」が施行され、2018年に「ビッグデータ利活用元年」を迎えた。また、インフラの維持管理の情報については、2015年に社会資本メンテナンス戦略小委員会が「社会資本のメンテナンス情報に関わる3つのミッションとその推進方策¹⁾」を公表し、維持管理段階の情報を有効に活用することが求められている。

本稿では、まずこれらの国の施策の経緯を概観し、山口システムについて情報の活性化の観点から考察を加えたうえで、メンテナンス情報の活性化に寄与するための簡易なデータベースを提案する。

2. 情報および維持管理に関する国の施策の経緯

2.1 ビッグデータ・オープンデータ

この10年間の情報全般に関する国の施策を表-1の左側に示している。

まず、2012年に高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部）が「電子行政オープンデータ戦略²⁾」を策定した。この中では、「公共データは国民共有の財産である」という認識を示したうえで、公共データの活用を促進する意義・目的を次の3点としている。

- ①行政の透明性・行政への国民からの信頼性の向上
- ②国民参加・官民協働の推進
- ③経済の活性化・行政の効率化

また、基本原則として次の4点を挙げている。

- ①政府自ら積極的に公共データを公開
- ②機械判読可能な形式で公開
- ③営利目的、非営利目的を問わず活用を促進
- ④取組可能な公共データから速やかに公開等の具体的な取組に着手し、成果を着実に蓄積していく

次に、2015年に内閣官房情報通信技術(IT)総合戦略室が「地方公共団体オープンデータ推進ガイドライン³⁾」を公開した。この中でオープンデータについて、「地域の課題の解決を住民や民間企業と連携して実現するための有効かつ効率的な手段であると同時に、行政内部においても必ずしも行政事務の負荷を増大させるも

キーワード 定期点検, オープンデータ, メンテナンスサイクル, データベース

連絡先 〒754-0032 山口市小郡みらい町 1-1-20 西日本高速道路エンジニアリング中国(株)山口支店

TEL 083-974-5303

のではなく、中長期的には行政事務の効率化につながることも少なくない」と位置付けている。この民間企業連携および行政事務効率化は、山口システムの目指すことに合致している。

2016年には「官民データ活用推進基本法（官民データ法）」、さらに2017年に「改正個人情報保護法」が施行され、オープンデータの活用の環境が整った。同じく2017年に高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部）が「オープンデータ基本指針⁴⁾」を作成し、オープンデータの定義を「国民誰もが容易に利用できるよう、次のすべてに該当する形で公開されたデータ」としている。

- ①二次利用が可能
- ②機械判読に適している
- ③無償で利用できる

また、公開する範囲について、各府省庁保有データはすべて公開することを原則とし、個人情報が含まれるなどによりオープンデータとして公開が適当でない情報は、支障のあるデータ項目を除いて公開することや「限定公開」（限定的な関係者間で共有）を積極的に活用するとしている。

こうして、2018年に公表された「平成29年度情報通信白書」では、「ビッグデータ利活用元年」としてビッグデータ（オープンデータ・産業データ・パーソナルデータ）利活用の本格的な始まりが宣言された。

さらに、2018年に地方自治体への波及として、総務省が「地方公共団体におけるデータ利活用ガイドブック Ver.1.0⁵⁾」を公表した。この中で、「現状では、ほとんどの地方公共団体でその保有データは死蔵されており、行政が保有する多種多様なデータが、部局・分野を横断して有効利用されているとは言いがたい」と指摘している。

2.2 維持管理

維持管理に関する国の施策は表-1の右側に示しているように、東日本大震災の翌年の2012年12月に中央自動車道の笹子トンネルで天井板落下事故が発生し、これが契機となって道路をはじめインフラ全体について大きく進展することになった。

まず、2013年に社会資本整備審議会・交通政策審議会が「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について⁶⁾」を答申し、「メンテナンス政策元年」となった。答申の第4章「戦略的な維持管理・更新のために重点的に講ずべき施策」では、施設の健全性等を正しく着実に把握するための取組として次の3点を挙げている。

表-1 情報および維持管理に関する国の施策の経緯

年	月	ビッグデータ・オープンデータに関する事項	月	維持管理に関する事項
2011	3		東日本大震災	
2012	7	高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部(IT総合戦略本部) 「電子行政オープンデータ戦略」策定	8	「第1回社会資本メンテナンス戦略小委員会」開催
			12	中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故
2013			1	「第1回道路メンテナンス技術小委員会」開催
			12	社会資本整備審議会・交通政策審議会 「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について」答申 【メンテナンス政策元年】
2014			3	維持修繕に関する省令(道路法施行規則)・告示の公布 省令:5年に1回の近接目視による点検(7月開始) 告示:健全性診断結果を4区分に分類
			4	社会資本整備審議会道路分科会 「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」建議
			6	道路の定期点検要領通知
2015	2	内閣官房情報通信技術(IT)総合戦略室 「地方公共団体オープンデータ推進ガイドライン」公開	2	社会資本メンテナンス戦略小委員会 「社会資本のメンテナンス情報に関わる3つのミッションとその推進方策」公表
			11	「平成26年度道路メンテナンス年報」公表
2016	12	「官民データ活用推進基本法(官民データ法)」施行	9	「平成27年度道路メンテナンス年報」公表
2017	5	「改正個人情報保護法」施行	8	「平成28年度道路メンテナンス年報」公表
	5	高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部(IT総合戦略本部) 「オープンデータ基本指針」作成		
2018	2	「平成29年度情報通信白書」公表【ビッグデータ利活用元年】	8	「平成29年度道路メンテナンス年報」公表
	6	総務省 「地方公共団体におけるデータ利活用ガイドブックVer.1.0」公表		
2019			2	道路の定期点検要領(改訂版)通知
			8	「平成30年度・一巡目道路メンテナンス年報」公表

- ①全ての施設の健全性等を正しく着実に把握するための仕組みの確立
- ②維持管理・更新に係る情報の収集・蓄積とカルテの整備
- ③施設の健全性等及びその対応方針の国民への公表と国民の理解と協力促進

このうち②については、次の方策が示されており、幅広い活用を目指していることがわかる。

- ・オープンデータ化も視野に入れ、幅広いデータの活用を可能とする利用方法も考慮したデータベース化を検討
- ・分野毎のデータベースから有用な情報を集約し、分野横断的に示す「社会資本情報プラットフォーム」を構築
- ・我が国の社会資本の維持管理・更新における統一的なデータ構築を図る

2015年には社会資本メンテナンス戦略小委員会が「社会資本のメンテナンス情報に関わる3つのミッションとその推進方策¹⁾」を公表した。まず、「1.メンテナンス情報に関わる施策の重要性」において、次の3つを示している。

- (1)正確な情報の把握・蓄積を推進する意義
- (2)情報の見える化を推進する意義
- (3)情報の共有化を推進する意義

このうち(1)については、「基本中の基本である」と述べており、重要性を強調している。

また(3)の共有化の推進については、次の3つの視点からの意義を述べている。

- ①社会資本を管理する国や地方公共団体等の視点から
 - (国や地方公共団体等の施設管理者の視点)
 - (指導的役割を担う国や都道府県の視点)
- ②民間企業や大学等の研究機関の視点から

このうち施設管理者の視点からの一つ目の意義として、「自己診断」を挙げ、「自らが管理している施設の維持管理のレベルや課題について、他者の状況を参考としつつ自らのものとする」と解説している。これ以降も一貫して、膨大な数の社会資本のメンテナンスを担う市町村の実態・実情に配慮して、実現可能な施策を示す姿勢が見られる。

次に、「3.今後目指すべき3つのミッションと留意事項」において、今後国や地方公共団体が目指すべきミッションは次の3つに集約されるとしている。

- ミッション1 現場のための正確な情報の把握・蓄積
- ミッション2 国民の理解と支援を得るための情報の見える化
- ミッション3 メンテナンスサイクルを着実に回すための情報の共有化

このうち、ミッション1については、現場における重要な情報を集約しデータベース化を着実に進めていくべきと述べている。

ミッション2については、国民に不安を与える情報が含まれる場合もあるが、速やかな公表および状況の改善・回避の措置を積み重ねることで国民の信頼の構築を図るべきとしている。

ミッション3については、メンテナンスサイクルを確実に回していくために、自己診断などを施設管理者自らが行えるように、国と地方公共団体との間で情報の共有化を進めるべきとしている。また、「これらの情報が新設や更新時の設計や施工時に活用できることは言うまでもない」と述べており、これは山口システムの課題である「母子手帳とカルテを繋ぐこと」の観点と一致する。また、技術職員が少ない市町村などがあることから、必要な情報を効率的かつ円滑に共有できるように、「施設情報の階層化」に努めるべきとしている。

次に、「4.3つのミッションを実現するための具体的施策」において、ミッション2の情報の見える化に関して、次のように個別施設の点検結果の公表の例示を示している。これに沿った内容で、後述する「道路メンテナンス年報⁷⁾」において個別の道路施設の点検結果が公表されている。

【公表する情報（例）】

○施設に関する基本情報

〔施設名，所在地，管理者名，建設年度 など 〕

○施設の点検実施結果，施設の健全性等に関する情報

〔点検実施年度（最新），健全性の評価 など 〕

ミッション3の情報の共有化については，施設情報の階層化に努めるべきとして，次の例示を示している。

【国が全施設に関し共有化すべき重要な情報（例）】

○施設に関する基本情報

〔施設名，所在地，管理者名，建設年度 など 〕

○施設の点検実施結果，施設の健全性等に関する情報

〔点検実施年度（最新），健全性の評価，補修・修繕の実施の有無 など 〕

【施設管理者が取得すべき情報（例）】（【国が全施設に関し共有化】に含まれないもの）

○施設に関する基本情報

〔緯度・経度，規模・構造，敷地面積 など 〕

○施設の点検実施結果，施設の健全性等に関する情報

〔点検・診断履歴，点検診断結果，補修・修繕履歴，補修・修繕内容，耐震改修実施年度，耐震性能の評価 など 〕

また，研究・技術開発と連携したデータの提供に関して，国土交通省が有用なデータを整理し，提供すべきであり，広く一般に公開可能な情報については，二次利用可能なデータ形式で整理し，オープンデータ化も視野に入れ，データカタログを作成すべきとしている。

さらに，「5.最初の5年間で確実に実施すべき施策（5年間の約束）」では，施設の点検が一巡する5年間について，国土交通省が「インフラ情報重点化5箇年」（5年間の約束）として位置づけ，次の施策を確実に実施していくべきと述べている。

ミッション1について 個別施設の基本情報・健全性等に関する情報の集約化

ミッション2について 施設の健全性等の公表

ミッション3について 進捗状況・管理指標の共有

ここまでに紹介した2013年の「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について⁶⁾」と2015年の「社会資本のメンテナンス情報に関わる3つのミッションとその推進方策¹⁾」について，情報の取り扱いに関する記述を比べると，前者はオープンデータ化やデータベース化などの幾分概念的なものに留まっているが，後者では「施設情報の階層化」によって提供する情報を分別するなど具体的に示している点に違いがある。これは原則論と実践論の違いと言えるかもしれない。

次に，同じく2015年から国土交通省から各年度版として「道路メンテナンス年報⁷⁾」の公表が始まり，5年目の2019年に「平成30年度・一巡目道路メンテナンス年報⁷⁾」が公表されている。この年表の「道路メンテナンス年報データ集（平成30年度点検実施施設名）」では，橋梁・トンネルなどについて施設ごとの完成年次・延長・管理者・行政区域・判定区分が記載されている。これらは，前述した【公表する情報（例）】の例示に合致している。さらに年表本体に判定区分IVの施設に限定したリストが掲載されており，各施設の損傷の具体的内容・緊急措置内容・緊急措置後の恒久的な措置が公表されている。

3. 情報の活性化

2013年の「メンテナンス政策元年」から6年経過した昨年2019年に「平成30年度・一巡目道路メンテナンス年報⁷⁾」が公表され，道路施設のメンテナンスは二巡目に入っている。これからも定期点検は全施設について5年間隔で実施され，蓄積するメンテナンス情報として着実に増加していく。この状況において前述の3つのミッションに示された「正確な情報の把握・蓄積」「情報の見える化」「情報の共有化」を今後進めていく

4. 簡易なデータベースの試作

今回データベースの試作に用いたのは山口県が管理する約 130 施設の道路トンネルのうち 31 施設の定期点検データである。

山口県は道路トンネルについて 5 年間隔で点検を行っているが、点検業務は競争入札により建設コンサルタントに発注している。県内 8 地域の各出先機関（土木建築事務所）が、管内のトンネルについて発注し、監督・検査を行う。1 業務あたりのトンネル数は、1 施設の場合もあるが、複数の施設である場合も多い。

点検業務の受注者は、国土交通省の要領をもとに県が定めた道路トンネル定期点検要領にしたがって、点検を実施し、結果をまとめた報告書を県に納品する。点検の対象はトンネル本体工およびトンネル内附属物であり、このうち本体工のコンクリート覆工については、全延長にわたって表-2 に示す 8 つの変状について点検し、その結果は「覆工スパン別変状詳細展開図」や「変状写真台帳」などの様式に覆工スパン単位の情報で記録される。この覆工スパン単位の各変状の健全性判定はI～IVの区分で記録されており、さらに全スパンの総括表などの様式に情報が集約され、最終的に「診断調書」において総合的な診断結果がI～IVの区分で「トンネル毎の健全性」として記載される。この「トンネル毎の健全性」およびトンネル名・路線名・完成年次・延長・管理者・行政区域（市町村名まで）が、「道路メンテナンス年報⁷⁾」において公表されている。これ以外の情報は、点検業務の報告書から入手するしかなく、現状の利用者は施設管理者に限定される。なお、2 回目以降の点検業務では、受注者が前回点検報告書を貸与され、該当業務に限定して使用する。

表-2 道路トンネル定期点検要領に記載の変状種類及び変状区分との関係¹⁰⁾

変状種類	変状区分		
	外力	材質劣化	漏水
①圧ざ、ひび割れ	○	○	
②うき、はく離	○	○	
③変形、移動、沈下	○		
④鋼材腐食		○	
⑤巻厚の不足または減少、背面空洞		○	
⑥漏水等による変状			○

試作したデータベースは、山口県から提供された 31 施設の道路トンネル定期点検報告書のデータを使用して作成した。表-3 にそのうち 11 施設を示している。表の左から 1～6 列は「道路メンテナンス年報⁷⁾」に公表している情報である。ただし、トンネル名は番号に替えている。表の右側の「トンネル本体工 変状種類・変状区分べつ々の判定結果（覆工スパン単位）」には、報告書に記載された覆工スパンごとの 8 つの変状の健全性判定結果について、区分（I～IV）別の数と合計値、さらに円グラフを表示している。円グラフでは、円の大きさ（半径）が変状の合計値を、色調別の分割がI～IVの割合を示している。なお、I～IVの健全性の判定区分は措置前を用いており、道路メンテナンス年報で公表されている措置後の判定区分に一致しない場合がある。

この試作したデータベースには次の効果が期待できると考えている。

- (1) 各トンネルの環境条件・建設年・工法などの要素が健全性に及ぼす傾向の考察が容易になる。
- (2) 健全性診断結果（I～IV）が同じトンネルの損傷度の概略比較が容易になる。
- (3) 健全性診断結果が良好（IおよびII）で補修工事が不要なトンネルの情報の把握が容易になる。
- (4) 5 年間隔で行う定期点検の結果を併記することで、5 年間の変化の把握が容易になる。
- (5) 点検を外注する場合、実施した点検のグラフデータの作成を業務に付加すれば、受注者・発注者ともに点検結果のマクロチェックが容易に行える。

また、国土交通省は 2017 年度から 3 年間、各地方整備局においてコンクリート構造物の品質確保の試行工

は、東北地方整備局が復興道路等の工事において 2013 年に開始した品質確保の取組みに沿った内容で、施工状況把握チェックシートと目視評価法を用いた PDCA サイクルにより品質確保を目指すものである。当 350 委員会としても施工状況や完成後の表層品質の調査などを行っているが、品質確保の効果の検証は供用後の長期間にわたり必要であり、5 年ごとの定期点検の結果も貴重な資料となる。その際にも、試作データベースの損傷度を容易に概略比較できる機能が役立つと考えている。

5. おわりに

本稿では、2015 年に社会資本メンテナンス戦略小委員会が公表した「社会資本のメンテナンス情報に関わる 3 つのミッションとその推進方策」に示されている 3 つのミッションの実現について、山口システムにおける情報の取扱いの応用を提案し、その具体的手段の候補として試作した簡易なデータベースを紹介した。

社会資本のメンテナンス情報の活用推進に関して、本稿が何らかの参考になることを切に願っている。

謝辞

データベースの試作にあたっては、山口県道路整備課からトンネル定期点検データを提供いただきました。深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省ウェブサイト:<http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kanbo08_sg_000076.html>
- 2) 首相官邸ウェブサイト:<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/pdf/120704_siryoku2.pdf>
- 3) 首相官邸ウェブサイト:
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/densi/kettei/opendate_guideline.pdf>
- 4) 首相官邸ウェブサイト:
<<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/kihonsisin.pdf>>
- 5) 総務省ウェブサイト:<https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu06_02000167.html>
- 6) 国土交通省ウェブサイト:<http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/sogo03_sg_000048.html>
- 7) 国土交通省ウェブサイト:<<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>>
- 8) 山口県建設技術センターウェブサイト:<<https://www.yama-ctc.or.jp/data/index.html>>
- 9) 山口県ウェブサイト:
<<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/hibiwareyokusei.html>>
- 10) 国土交通省道路局:道路トンネル定期点検要領（平成 31 年 2 月），付録 3 判定の手引き，p 33，2019.
- 11) 藤尾朋生:山口県トンネル点検結果データを用いた補修優先度決定方法に関する研究，令和元年度徳山工業高等専門学校特別研究論文集，No.24，2020.

1. はじめに

コンクリート（構造物）の品質確保、性能確保とは何だろうか？はじめに、両者の関係については、コンクリート標準示方書にも明記されていないことから、私見を述べようと思う。まず、品質（Quality）≠性能（Performance）である。品質確保は、設計によりコンクリートの材料・配合、構造（鉄筋量や細目等）を決定した後に、製造や施工を通して、そのコンクリートのもつポテンシャル（潜在能力）を引き出す行為であり、平たく言えば、「良いものを造ろう」とする技術者の自覚や誇りを含む力量に依存するものと理解している。一方、性能確保は構造物のライフサイクルにわたる要求性能を満たす行為であり、こちらは技術者としての責任が問われるものである。例えば、あるコンクリートのポテンシャルを100点とすれば、制約条件下で適切な施工によりできる限り100点を目指そうとする行為が品質確保であり、コンクリート構造物の合格点を60点とすれば、常に60点を上回るようにすることが性能確保と思われる。ここで留意すべきは、施工において品質確保がなされても、出来上がった構造物の性能確保がなされるとは限らないということである。つまり、普通のコンクリートを用いて100点満点の品質確保ができたとしても、厳しい塩分環境などにおいてはライフサイクルにわたる構造物の性能確保を果たせないことがある。一方、設計において性能確保に資する諸元が決定され、施工において十分な品質確保がなされれば、適切な維持管理を行うことにより、供用中の構造物の性能確保を少ない予算で容易に実現することが可能となる。

2. 凍結防止剤散布下における道路橋コンクリート床版の劣化と対策

品質確保と性能（耐久性）確保を理解するための例として、凍結防止剤散布下における道路橋コンクリート床版のライフサイクルマネジメントを挙げる。凍結防止剤として塩化ナトリウムが散布され、それが床版内部に浸透すると、コンクリート中の鋼材の腐食を促進させる塩害、コンクリート中の水分の凍結融解の繰返しによってコンクリート表面がフレーク状に剥がれ落ちる凍害（スケーリング）、コンクリート中の骨材の膨張に起因するアルカリシリカ反応（ASR）が促進される可能性がある。さらに、床版上を走行する自動車交通に伴う移動荷重の繰返しによる疲労により、床版内に水平ひび割れや砂利化を誘発し、早期劣化を引き起こす恐れがある。つまり、凍結防止剤散布下における道路橋コンクリート床版では、塩害、凍害、ASRと疲労の複合劣化が発生することを想定する必要がある。こうした概念について、2018年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】に初めて明記されたが、残念ながら現状ではこの種の複合劣化に対する劣化予測手法は確立されていない。ではどうするか？著者は道路橋コンクリート床版のような活荷重を直接支持する重要部材においては、設計耐用年数（例えば100年）において材料劣化させないように設計・施工・維持管理することが肝要と考えている。そのためには「多重防護」や「三位一体」の考えを取り入れた設計（材料・配合・構造）と、100点満点の品質確保を目指した施工を行い、供用中は性能に着目した維持管理を行うことを提案している。ここで、多重防護とは、塩害、凍害、ASR、および疲労という4つの劣化に対し、以下の6つの対策を網目状に張り巡らし、一対一から多対多で対応しようというものである。すなわち、①セメント質量の20%程度を外割でフライアッシュに置換、あるいは高炉セメントを使用し、②水結合材比を45%程度に抑え、③空気量を6%程度とした上で、④エポキシ樹脂塗装鉄筋等防錆鋼材を使用し、⑤膨張材を用いてひび割れの抑制を行うとともに、⑥1か月程度湿潤または封かん養生を行うことである。加えて、道路橋コンクリート床版は砂利化という現象が生じると急激にその耐疲労性が低下するため、その対策を施すことが必要となる。ここで、砂利化は水

キーワード 品質確保, 性能（耐久性）確保, 凍結防止剤, 道路橋コンクリート床版, フライアッシュ

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 日本大学工学部土木工学科 岩城 TEL 024-956-8716

一ひび割れ一繰返し作用の 3 条件が共存する場合に生じ、逆にこれらの 3 条件のうち一つでも取り除くことができれば砂利化は生じないと考えられることから、舗装一表面防水層一床版を三位一体（システム）としてとらえ、個々に要求される性能を明確にしたうえで、総合的な対策を講じる必要がある。例えば、付属物を含む舗装には積極的に排水機能を持たせ、表面防水層には性能の高い防水機能を付与するとともに、床版上面の施工精度を許容値以下に抑えることにより、床版内部への水の浸入をトータルで防ぐ対策が可能となる。「水を制する者は床版を制す」である。

これらの性能を担保するのが施工である。すなわち、多重防護の概念を取り入れ、三位一体の思想でどんなに立派な性能確保のシナリオを立て、周到な設計を行っても、施工が失敗すれば、そのシナリオは全く成立しなくなる。実際、著者は、設計思想までは良いのに、施工の問題で早期劣化に至った塩害橋を数多く見てきている。特に道路橋コンクリート床版は部材厚が薄く、面的に広く、勾配を有しているため、施工手順を誤ると締固めや仕上げに失敗し、劣悪な表層品質を生むことになる。それだけに、事前に現地の状況を想定した施工試験を繰り返し、試験結果に基づく周到な施工計画を立て、一発勝負の現場に臨む必要がある。このような施工事例については本委員会でも多くの研究者・技術者がチャレンジしているため、その詳細は他稿に譲る。

性能確保のシナリオがいかにか合理的であっても、初めて使用する材料や工法を発注者に説得することは容易ではない。そんな時に一役買ったのが「ロハスの橋プロジェクト」である。すなわち、床版を含む実物大の橋梁上部工の一部を再現し、そこに種々のコンクリート床版を施工することで、その後の各種性能を評価し、新材料、新工法の有意性や妥当性を示すものである。本プロジェクトは 2014 年より日本大学工学部で始まり、I期は 6 種類の床版による性能比較、II期は主として ASR 床版の現象把握、現在はIII期として、場所打ち PC 床版を想定したフライアッシュコンクリートの施工性およびその後の硬化性状の評価を行っている、また今後、中空微小球をアジテータ車に添加したフライアッシュコンクリートの実証試験も行う予定である。

ロハスの橋で検証した結果は、これまでに、向定内橋（フライアッシュ使用）や新気仙大橋（高炉セメント使用）といった東北地方三陸沿岸地域における復興道路や復興支援道路の実装に活かされている。そして現在、福島県においても子田康弘教授らにより、相馬福島道路の桑折高架橋（高炉セメント使用）において高耐久床版が施工されると共に、この春には浜通りの常磐道 4 車線化工事の一環として、大日川橋においても、フライアッシュを用いた場所打ち PC 床版が施工されようとしている。一方、JR 東日本では、新潟駅付近連続立体交差化工事において、ASR 対策として全面的にフライアッシュコンクリートによる施工が進められており、NEXCO 中日本においても、鳥居和之金沢大学名誉教授の指導により、フライアッシュコンクリートを用いた構造物の施工が進められようとしている。こうした流れは、近い将来、全国各地で当たり前のよう实施方式になるであろう。それは、上述した品質確保と性能確保の関係に立ち返れば至極当然のことである。

3. おわりに

著者らが執筆した新設コンクリート革命（日経 BP 社）の「はじめに」の一節を引用して本稿の「おわりに」とする。「良いコンクリート構造物を実現する方法は、コンクリートという素材の持ち味を最大限に生かし（品質確保）、構造物のライフサイクルにわたり想定される環境作用や地震作用といったあらゆる作用に対し、要求性能を満足する構造物を設計・施工・維持管理すること（性能確保）である。—中略— 群れをなすペンギンの中で、餌を求め、最初に海に飛び込むペンギンのことをファースト・ペンギンと呼ぶ。リスクを恐れずに勇気を持って新しいことにチャレンジする人の例えであるが、少なくとも人間社会では、単に勇気だけではなく、理知的で冷静なファースト・ペンギンであることが求められる。あとから飛び込む者を巻き添えにするわけにはいかない。そして、飛び込むからには決して元の状態に戻ってはならない。」

350 委員会のメンバーが全国各地のファースト・ペンギンとなり、「品質確保」と「性能確保」を両輪として、より良いコンクリート構造物の実現に貢献することを期待する。

1. はじめに

何事によらずどんな組織であっても、従来まで正しいという前提で行ってきたことを、不備があるから改善するというのは、組織内外から色々な形で反対意見が出て、その壁に阻まれてなかなか改善に結びつかない場合が多い。インフラを建設する土木工事であっても、同様のことが発注者内部でも生じている。東北地方整備局のコンクリート構造物の品質・耐久性確保の取組みも、当初は特に組織内部から色々な反対意見が出された。これには多くの発注者が持っている新しいことを提案された場合にまずやらない理由を考えるという保守性が影響していると思われる。ここでは、多くの発注者が新しいことに対して保守的な理由を述べたうえで、それに対して発注者の管理職または担当者がとるべき対応について、東北地方整備局がコンクリート構造物の品質・耐久性確保に取り組む際に行った対応を参考に以下に紹介する。

2. 発注者が保守的な理由

全ての発注者にあてはまるというわけではないが、かつて発注者の内部にいた筆者の経験から、総じて発注者が保守的と言われる理由は以下のようなものと思われる。

工事発注では、契約書、設計基準、共通仕様書、標準歩掛、監督要領、検査要領など関連する基準類は多岐にわたるが、これらの基準類を守ることが前提となって、全国どこでも一定の範囲内の公平性、透明性などが確保されている。このため、発注者というのはまず基準類を守ることを教え込まれる。基準等の解釈に幅がある場合は、過去にどのように解釈し運用したかという「前例」が重んじられる。「前例」から外れた対応して、失敗するあるいは組織に迷惑がかかることを恐れる。このため、新しい事にはなかなか取り組まない。

仮にこれは「前例」によらず新たな対応が必要だと感じた担当者がいたとしよう。「前例」によらない対応をしようとするれば上司の了解を得なければならない。ところが、「前例」で十分であるという前提に立っている人に、「前例以外の対応の必要性」を説明してもなかなか理解されない。組織内部が「前例」を変える必要性を認識していない段階で、担当者が、「この点で前例以外の対応をする必要があります」と上司を説得しにかかったとして、それで了解が得られても、さらにその上の上司、その上司の上司、場合によっては上部組織の関係者に全て了解を取る必要がある。しかも、説明する度に「なぜ、そんなことが必要なのだ」と後ろ向きの意見を言われ、「この点が良く分からないから再度整理して」と言われるのはまだよい方で、「前例をこのように変えた事例はあるのか」という究極の「前例主義」を持ち出されたりする。これらに全部打ち勝って「前例以外の対応の必要性」を理解してもらい、組織として新しい事に着手するには莫大な労力と時間が必要となる。このため、その莫大な労力と時間を考えて、多くの場合新しい事に着手することを諦めてしまう人が多い。この結果、発注者は総じて保守的で新しいことになかなか取り組まないという評価を受けているのである。

3. 品質・耐久性確保に取り組むために

筆者が東北地方整備局のコンクリート構造物の品質・耐久性確保に取り組んだ際の経験から、保守的な発注者内部にあって、これから品質耐久性確保に取り組む際の発注者の心得について紹介する。

3.1 主体は発注者

発注者は構造物の管理者でもあり、構造物の品質・耐久性確保に取り組むことによって、将来的に維持管理

キーワード コンクリート構造物, 品質・耐久性確保, 発注者, 心得

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字河原1番地 日本大学 maguroeaglerhitosuji@sage.ocn.ne.jp

に割かれる労力や予算の低減というメリットを直接享受できる立場にある。したがって、構造物の品質・耐久性確保に取り組む必要性があれば、発注者こそが主体的に取り組むべきものである。残念ながらこの単純な論理がすっかり忘れ去られているのが現状である。

3.2 必要性を共有せよ

では、品質・耐久性確保に取り組む必要性をどうやって判断するのか。それは、報告書 5.2 でも述べたが、既設構造物の点検結果を分析し、品質や耐久性の実態を把握することである。また、構造物を管理している部門の職員に構造物管理の実態を聞くことである。その中で、低品質が原因となって構造物の耐久性の低下や、環境が厳しいために現在の仕様では劣化が避けられず、補修してもすぐ再劣化が生じるというような現象がみられ、補修予算が逼迫しているなどの状況であれば、すぐにでも品質・耐久性確保に取り組むべきなのである。点検結果や構造物の管理の実態から、品質・耐久性確保の必要性を発注者内部で共有する必要がある。

3.3 大義を掲げよ

通常であれば、品質・耐久性確保の必要性が共有できればそのまま品質・耐久性確保に取り組むことが可能となる。ところが、大規模プロジェクトを抱えていて多忙を極めている場合には、品質・耐久性確保の必要性が共有できたとしても、なぜ今取り組むのかという「この忙しい時に今なぜ」という疑問に答えなければならぬ場合が起こりうる。その場合は、「この忙しい時に今なぜ」を説明できる大義を掲げる必要がある。

東北の復興道路等であれば、「通常の2倍から3倍の復興予算が来て、工事を行うだけでも残業、残業で大変なのに、その上品質・耐久性確保に取り組む必要があるのか」という意見である。これに対して、「復興道路等では、橋梁 250 橋以上、トンネル 100 本以上を概ね 10 年間という短期間に建設する。これを現在の仕様のまま建設しては、既設構造物の点検で確認されている劣化は同様に発生し、しかも劣化する時期もほぼ同時期となるため、多数の構造物を一斉に補修する事態となり、今でも逼迫している補修予算が将来更に逼迫する。このため、復興道路等の極めて緊急性が高く多忙を極める事業であっても、品質・耐久性確保なしに建設することは出来ない。」という大義を掲げている。

今、働き方改革ということで、残業時間にも上限があり、大規模プロジェクトを抱えている場合は、残業が増えるようなことは更に難しくなると思われるが、それでも、短期間に完成を目指す大規模プロジェクトほど、将来大量の構造物を一斉に補修しなければならないリスクを抱えているということを認識する必要がある。

3.4 やらない理由に惑わされるな

品質・耐久性確保の必要性や今やらなければならない理由を共有できたとしても、個別具体的に進めようとする、もっともらしい反対意見が出され思うようになかなか進められないということが起きる。多くの場合はやるためではなく、やらない理由を述べてきて、何とか従前どおりに仕事をしようとする。このような、やらない理由に惑わされては、品質・耐久性確保を進めることは出来ない。

以下に、復興道路等で実際にあったやらない理由とその対応について紹介する。

(1) 出来ることからマニュアル等を改善せよ

発注者という人間は、東北地方の厳しい環境の下では、品質・耐久性確保のために技術基準の改訂が必要だと頭ではわかっている、技術基準は中央から与えられる物で、自分達で勝手に変えてはいけないと思込んでいる。このため、全国的に皆が従っている技術基準を自分達の地域だけ変えることに相当な抵抗感をもっている。また、全国的な技術基準を補完する形で、当面の運用や仕様などを定めたマニュアルを自分たちで定めているにも関わらず、「マニュアルに書いていないので出来ません」などと言ってくる。自分たちで定めたマニュアルに自縄自縛となっているわけで、このような状況では、東北地方に適合した技術基準の必要性を訴えたところで相手は納得しない。

このため、現状の劣化が技術基準の問題から生じている点や、東北地方に適合した技術基準の必要性については、専門知識のある学識者に説明を依頼して理解を求めた。これが比較的容易にできるのも、東北地方整備局の品質・耐久性確保が学識者からの提案で始まっている点が多い。筆者は、技術基準の中でも法的な拘束力があるのは、「囲み書き」と呼ばれるいわゆる条文の部分であって、具体的な対策の多くが解説に記載されているため、必要があれば地域毎に解説に記載してある対策を変更することは可能であることを説明した。

それでも、中央から通達された基準に記載のあることは勿論、マニュアルに記載のあることもなかなか変えようとしないので、まず、マニュアルの記載を変える体験をさせることを考えた。東北地方整備局が管理する橋梁は、排水流末の処理が悪いために、凍結防止剤の影響で漏水の影響範囲で劣化が生じている事に着目して、排水流末の適正な処理方法について検討し、その結果をまとめることにした。排水流末の改善は、不適切な事例が定期点検結果から比較的容易に集めることが可能で、専門的な知識もそれほど必要ないことから、発注者のインハウスエンジニアが、現状の問題点を自ら改善する取り組みとしては手ごろな事例と言える。不適切な排水流末の処理はいずれ改善が必要であり、それを体験することによってマニュアルを変える事への抵抗感の緩和にも役立つと思ったのである。

すると部下から、排水流末の改善だけでマニュアルの改訂は出来ない、他にも改訂すべき事項が無いと難しいと言われた。確かに、排水流末の改善だけでマニュアルを改訂して印刷したのでは勿体ない。そこで、排水流末の適正処理の方法がまとまったら、今後はそれによることにして、関連するマニュアルの排水の規定は適用から外す旨も一緒にした暫定通知を事務所に流すことにした。そして、今後他の改善すべき点が見つければ、対応策検討後に、それをまた暫定通知という形で事務所に流して、暫定通知が一定程度集まったら、マニュアルの改訂を行うことにした。

こうして、発注者のインハウスエンジニアの手による「新設橋の排水計画の手引き」が2012年10月に策定され事務所に通知された。点検の結果から、漏水が始まると補修や発見が難しい排水方式の禁止などが主な内容であり、決して技術的に高度なものではないものの、基準を変更することに抵抗感を覚える人には、現在の技術基準やマニュアルであっても必要に応じて変更可能であることを自ら体験する良い事例となったのではないかと思っている。

(2) 産学官連携で技術基準を改善せよ

東北地方の厳しい環境に適合した技術基準に変更する必要性が理解されたとしても、「官」の技術者だけでは具体的な技術基準の変更案を検討できない場合が多い。「誰が技術基準の変更案を考えるのか？」という意見は当然のごとく出てくる。この場合は、「産学官」の連携で対応するのが最善と考える。技術基準の変更案は、この分野に詳しい「学」から提案を受ける。構造物の工事なので、実際の現場で施工可能な「技術基準の変更案」でなければ意味がない。このため、施工性を含む現場適応性は「産」に評価してもらうのである。

「官」「学」の連携は出来ても、「産」との連携には抵抗感もある。復興道路等で今後大量に建設する予定のコンクリート構造物の品質・耐久性確保の手法を、事前に「産学官」の連携で検討を行うと、検討会に選ばれた特定の「産」の技術者に重要な技術情報が入り、その後の受注競争に有利に働く恐れがある。このため、技術基準の変更案の事前検討は「学官」で行い、技術基準の変更案の現場適応性を確認する「試行工事」を発注する。この「試行工事」を発注することによって、工事公告を通して技術基準の変更案は「産」に周知される。また「試行工事」の受注者は技術基準の変更案の改善点や現場での施工性を含む現場適応性を「学官」と情報共有することを条件とすることによって、受注できなかった「産」にも、技術基準の変更案や「試行工事」で得られた知見を資料としてまとめ講習会という形で発信することが可能となる。こうして「試行工事」を通して「産学官」の連携が実質的に機能する形を目指した。

(3) コスト優先主義を打ち破れ

公共工事においてコストは非常に大きな要素を占めている。税金を使っていることもあり、コストアップに対する発注者側の抵抗感は非常に大きい。一方で、耐久性確保を目指すとは一般に従来の仕様よりもコストアッ

プとなる。例えば塩害対策として普通鉄筋からエポキシ樹脂塗装鉄筋へ変更する場合や、かぶりコンクリートの緻密性を確保するためにコンクリートを標準配合から特殊な配合に変更すれば、当然コストアップは避けられない。多くの場合、耐久性確保のために事前にコストの検討を行えば、発注者内部でも「こんなに高いの！」という声が出て、「こんなに高くなるなら耐久性確保なんかとても出来ない」という結論となりやすい。

しかし、耐久性を確保するということは、劣化外力に対して十分抵抗出来る性能を確保するということである。前述のコストアップの議論は、「点検で既に劣化することが確認されている性能の構造物」と「将来劣化する可能性の低い構造物」のコストを比較した上で、安い方の「点検で既に劣化することが確認されている性能の構造物」を選択したということに他ならない。この判断は、コストのためならば、耐久性を確保するという当初の目的すら捨てるということである上に、コストは「性能」が同等の異なる仕様のもので比較するのが原則ということも忘れ去られている。このようにコストアップに対する抵抗感をなくすためには、耐久性確保のためには、どのような性能が必要で、得られる性能が同じであれば、個別の仕様はコストが安い方がよいというコスト比較の原則をもう一度周知する必要がある。

3.5 試行工事で前例主義を逆手に取れ

新しい事に取り組む際の発注者の姿勢は、「間違いは許されない」だから「じっくり検討する」あるいは「前例のないものには取り組まない」ということが多かった。また、品質や耐久性の確保を目指した工事に取り組むにしても、通常、監督要領や検査要領を修正してから行うことが王道であろう。

しかしながら、東北地方整備局は復興道路等の整備を抱えているので、その整備スピードを落とすこと無く、品質・耐久性確保に取り組まなければならない。じっくり検討している時間は無い。品質や耐久性の確保を目指した工事に適応する監督要領や検査要領も検討している時間も無い。かといって、何もしなければ、従来通りの構造物しかできないのである。結局「何もしない」が選択肢としてないならば、「失敗しても今よりも悪くならなければよい」と考えて「まずやってみる」、「悪ければ改善する」という姿勢がなければ、新たな品質・耐久性確保の手法などに取り組めないのである。

そこで「試行工事」を中心とした現場実装優先型と呼べるような形で品質・耐久性確保の取組みを始めたのである。従来までの、「間違いは許されない」、だから「じっくり検討する」では、復興道路等の整備スピードには到底追いつけないことを意識した、なるべく速く、一つでも多くの構造物の品質・耐久性確保を図ろうという、復興ならではの特徴的な形で品質・耐久性確保が進められていると言える。

「試行工事」という形で新しい事に取り組むことによって、「間違ったらどうしよう」「前例のないものは取り組めない」という意識を、「今より悪くならなければまずやってみる」、「何かにチャレンジすれば失敗のリスクはあるが、何もしないよりは失敗の原因がわかるだけ次につながる」と思えるように意識を変えたのである。これによって「試行工事」にすれば大抵のことは取り組めるという前例をつくり、前例主義を逆手に取って、様々な構造物で品質・耐久性確保の「試行工事」を進めることが可能となった。また、次々と発注される「試行工事」の結果は、「産学官」で迅速に評価して、改善点や留意点が手引き等の技術指針にまとめられ、それが次の「試行工事」に活かされるという改善サイクルが進められたのは言うまでもない。

4. おわりに

人間とは面白いもので、最初はコンクリート構造物の品質・耐久性確保の「試行工事」の「監督をどうするのか、検査をどうするのか」と抵抗を示していた人達も、1件目の「試行工事」を発注してしまえば、後はそれに慣れてしまうのである。はじめの一步を踏み出すまでが大変で、一步踏み出せば二歩でも十歩でも百歩でも踏み出せるようになる。そうでなければ、東北地方整備局がこの9年間に多数の試行工事を行い、関連する技術基準も手引き等という形で多数策定することなど出来ないと思うがいかがであろうか。日本各地で、様々な課題に対してははじめの一步が踏み出されることを期待したい。

1. はじめに

350 委員会は 2 期の活動を終えようとしている。コンクリート構造物のひび割れ抑制、品質確保、耐久性確保は永遠のテーマとも言え、350 委員会が終わった後も、筆者は何らかの形で関わり続けることになるであろう。筆者が山口システムを自分の目で見て衝撃を受けたのは 2009 年 3 月 3 日のことであり、11 年以上が経過している。その間、東日本大震災や新型コロナウイルスなど、社会を根底から揺るがす事件が次々と起こる状況にある。危機的な状況の中で、我が国家が生き残っていくために、また、可能性は高くはないと悲観せざるを得ないが我が国が豊かな国へと発展していくために必須と思われる、地域間で均衡のとれたインフラネットワークの構築と、インフラの長寿命化に少しでも役立つことを願い、350 委員会の活動を通じて筆者が学んだ本質について述べてみたい。

2. ニーズ、本当にやらなくてはならないこと

筆者は、大学の博士課程を修了後、JR 東日本の構造技術センターで勤務した。石橋忠良所長の陣頭指揮のもと、設計、施工、維持管理、技術開発、規準作成等を一元的に行う組織で、品質・耐久性確保や維持管理から設計・施工へのフィードバックの一つのあり方を学ぶ貴重な機会であった。供用開始後に手のかかる構造物の大半は初期欠陥を抱えるものであり、設計と施工時に不具合を生じないようにすること、維持管理において再劣化が生じないようにすることが本質であると学んだ。

コンクリート構造物のひび割れは難しい問題である。そもそもひび割れを抑制する必要があるかどうか、有害なひび割れとは何か、を常に念頭に置いて議論する必要があるが、山口県においてはひび割れが多発する状況や、ひび割れにより施工者が不利な状況に陥る、という困った状況があった。解決せねばならない。この状況を改善した二宮純博士らの山口システムのマネジメントには感嘆した。それ以来、なるべく多くのことを山口システムから学ぼうと思ったし、システムの改善にも貢献しようと努力した。そして、山口以外の地域でも本当にやらなくてはならないことを実践するために多くの時間を費やしてきた。

2012 年以降は、東北の復興道路が主戦場となった。既設構造物の点検データを見ると、厳しい劣化状況が明らかであり、大量のコンクリート構造物が施工される復興道路において、品質・耐久性確保を達成することは、本当にやらなくてはならないことであったと思う。この状況において、佐藤和徳博士を始めとする東北地整のチャレンジに筆者も中核的に参画することができて幸運であった。一步一步できることを重ねてきたが、復興道路の整備が一段落する 2020 年度の後、この取組みが改善を重ねながら発展・浸透していくのか、真価が問われるのはこれからである。

誤解を恐れずに言えば、現代の世の中には嘘がまかり通っており、目的も怪しくお茶を濁すだけの「改革」や、往々にして目的が間違っているので「改悪」が横行している。

本当にやらなくてはならないこと、を明確にして、産官学での協働で解決していきたいものである。

3. ひび割れ抑制の難しさ

実構造物のひび割れ抑制は難しい。発注者が構造物群のひび割れ抑制をマネジメントすることはさらに難しいと思う。ひび割れが構造問題であり、ひび割れの発生やひび割れ幅に影響する要因はそれこそ無数に存在するからである。そして、その難しさを知らないプレーヤーが無数にいることこそが、問題の難しさなのである。

キーワード ひび割れ抑制、品質確保、耐久性確保、ニーズ、山口システム、東北

連絡先 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学 土木工学棟 concrete@ynu.ac.jp

山口システムは、システム内における「有害なひび割れ」を抑制することに成功したと言えるだろう。ひび割れ抑制対策が複雑でなかったことも成功の一因と思われる。しかし、山口システムをそのまま環境作用や材料事情の異なる各地域に適用して上手く行くのかは分からない。委員会報告書 4.2 でも述べたが、山口県内のコンクリートの熱膨張係数に大きなばらつきが無かったことが成功した要因の一つなのかもしれない。成功したとしても、成功に満足してしまうのではなく、貪欲に成功の理由を分析することにも意義がある。機械学習により山口システムのデータベースを分析したが、ひび割れ抑制対策にはもっとバリエーションがあり得るし、無駄な対策が行われている場合もありそうである。ひび割れは奥が深い。

東北地方の高耐久 RC 床版のひび割れ抑制対策からも多くのことを学んだ。委員会報告書 4.1 に対策を構築する考え方を記したが、まさにひび割れが構造問題であることを肌で感じた。大事なのは現実の RC 床版のひび割れが抑制されることであり、事前の対策の検討はなるべく簡易であることが望ましいと考えた。湿潤養生終了後の乾燥収縮の影響も明示的に考慮できていないし、1 ヶ月程度の湿潤養生期間は長すぎるように思うがこれを短くするための根拠を整備するのは容易ではない。ひび割れによって、我々人間が鍛えられると思っ

4. 品質が確保されない、という状況が許されるのか

品質確保、という言葉があるのは、品質が確保されないという状況が生じるからである。極めて高価なコンクリート構造物というインフラの品質が、施工時に確保されないという状況は、一般市民にしっかり伝えると信じがたい状況かもしれない。高価な商品の品質が十分でない、ということの重みは今一度真摯に受け止める必要がある。我が国では、指名競争入札制度で品質を間接的に担保してきた経緯もある。しかし、我が国では入札時に体系化された応札図書が提出されるシステムでなく、契約成立後に施工者から提出されるシステムとなっており、品質確保機能が極めて希薄な調達方式であると言える。このような認識を持って、350 委員会

で検討してきた品質確保システムの意義を考え、問題解決の行動を重ねていく必要がある。設計段階はいくら想像をたくましくしてもあくまで fiction であり、現実の施工段階では、使用するコンクリートや施工条件が reality として具現化し、その条件で設計で想定した構造物を造れるように品質を確保する必要がある。特に、設計で想定した耐久性が発揮されるように、かぶりの品質を確保することが重要であり、そのための仕組みを、環境作用や材料事情の厳しさに応じて適切に構築していく必要がある。厳しい条件においては、本チャンの前の試験施工が有用であることを東北の高耐久 RC 床版の取組みで実感した。

5. 耐久性確保の難しさ

ひび割れ抑制、品質確保も容易ではないが、耐久性確保は検証に時間がかかるのでなお難しい。人間が、発症に時間のかかる成人病について対策を怠りがちなのと似ている。なぜ、目の前にあるルールを超えてまで、耐久性確保の取組みをしなければならないのか、という発想に人間は陥るのである。

耐久性確保は、適切な耐久設計と施工時の品質確保の両輪により達成される。適切な設計とは、これまでの実構造物での失敗から得られた知見を反映した知恵の集積と言えるから、構造物の劣化の実態からの学びを耐久設計に反映する必要がある。適切な耐久設計とは、維持管理の現場からのフィードバックを必要とするダイナミックな取組みであり、従来より性能をアップさせる場合には当然にコスト増にも直面する。耐久設計の改善は、構造物を管理する発注者こそが行うべき取組みであり、産官学協働で総力を注ぐべき重要事項である。

6. おわりに

冒頭に述べたように、ひび割れ抑制、品質確保、耐久性確保は永遠のテーマであろう。筆者が品質確保に取り組んできたこの 10 年ほどの間にも、我が国の地域の疲弊は加速し、もはやコンクリートの安定供給すらままならない事態に陥りつつある。「真っ当に」国家を運営していくのであれば、国土の均衡ある発展のための各地域のインフラの整備は不可欠であるし、それらのインフラが厳しい環境条件の中で十分な耐久性を発揮することも必要であろう。そして、ひび割れ抑制、品質確保、耐久性確保は、維持管理においてこそさらに重要性を増すであろうことを強調して、350 委員会の哲学が将来に渡って実践され続けることを祈念したい。

コンクリート技術シリーズ一覧

No. : 標題 / 発行年月 / 判型・ページ数 / 本体価格

	【1】:連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用に関するシンポジウム講演論文報告集	／平4.4	／B5・314p	
	【2】:コンクリートの力学特性に関するワークショップ	／平5.10	／B5・108p	
	【3】:STATE-OF-THE-ART REPORT ON CONTINUOUS FIBER REINFORCING MATERIALS	／平5.10	／B5・164p	
	【4】:「シリカフェームを用いたコンクリート」に関するシンポジウム講演論文報告集	／平5.11	／B5・178p	
	【5】:プレストレストコンクリート構造の現況と設計方法の動向	／平6.5	／B5・196p	
※	【6】:コンクリート標準示方書改訂小委員会 舗装部会報告	／平6.8	／B5・104p	／3786円
	【7】:コンクリートの標準の動向	／平6.8	／B5・62p	
	【8】:マスコンクリート技術の現況と動向	／平6.10	／B5・125p	
	【9】:コンクリート構造物の耐震設計法の動向	／平7.1	／B5・96p	
	【10】:高流動コンクリートシンポジウム論文報告集	／平8.3	／B5・341p	
	【11】:コンクリート標準示方書をめぐる環境・施工技術の最近の動向・設計施工照査システム	／平8.5	／B5・302p	
	【12】:阪神淡路大震災被害分析と靱性率評価式	／平8.7	／B5・82p	
	【13】:土木学会コンクリート委員会 コンクリート教育研究小委員会報告書	／平8.8	／B5・102p	
	【14】:最新のマスコンクリート技術	／平8.11	／B5・139p	
	【15】:高流動コンクリートに関する技術の現況と課題	／平8.12	／B5・239p	
	【16】:コンクリート構造物の品質保証	／平9.2	／B5・95p	
※	【17】:将来の示方書改訂のための検討課題	／平9.2	／B5・68p	／1200円
	【18】:コンクリートの寸法効果と引張軟化曲線	／平9.5	／B5・92p	
	【19】:自己充填コンクリートセミナー論文報告集	／平9.5	／B5・204p	
	【20】:コンクリート構造物の耐震技術－現状と将来展望－	／平9.7	／B5・232p	
	【21】:構成モデル小委員会(301)成果報告書	／平9.7	／B5・158p	
	【22】:RC・PC構造物の設計に関する現状と今後の展望－RC・PC部会報告－	／平9.8	／B5・127p	
	【23】:RECOMMENDATION FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES USING CONTINUOUS FIBER REINFORCING MATERIALS	／平9.10	／B5・325p	
	【24】:コンクリートのクリープおよび乾燥収縮	／平9.10	／B5・130p	
※	【25】:コンクリート教育研究小委員会報告集・論文集	／平9.11	／B5・194p	／2380円
	【26】:鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向	／平9.12	／B5・235p	
	【27】:フライアッシュコンクリートシンポジウム論文報告集	／平9.12	／B5・229p	
	【28】:コンクリート構造物の補強設計・施工の将来像－性能照査型補強設計指針(試案)－	／平10.4	／B5・455p	
	【29】:コンクリートと資源の有効利用	／平10.11	／B5・322p	
	【30】:PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON SELF-COMPACTING CONCRETE	／平11.3	／B5・399p	
	【31】:RECOMMENDATION FOR SELF-COMPACTING CONCRETE	／平11.8	／B5・77p	
	【32】:コンクリート標準示方書改定に関する中長期ビジョン	／平11.9	／B5・358p	
	【33】:将来の骨材試験方法改訂のための検討	／平12.1	／B5・41p	
	【34】:コンクリート構造物の耐震性能照査－検討課題と将来像－	／平12.4	／B5・210p	
	【35】:コンクリート構造物のデザイン	／平12.5	／B5・164p	
	【36】:阪神淡路大震災の被害分析に基づくコンクリート構造物の耐震性能照査方法の検証－検討課題と将来像－	／平12.5	／B5・310p	
	【37】:フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現況と課題	／平12.7	／A4・164p	
	【38】:コンクリート構造の時間依存性変形・ひび割れ評価－現状と今後の課題－	／平12.9	／A4・137p	
	【39】:コンクリートのクリープおよび乾燥収縮Ⅱ	／平12.11	／A4・101p	
	【40】:鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向(その2)	／平12.12	／A4・325p	
	【41】:RECOMMENDATIONS FOR UPGRADING OF CONCRETE STRUCTURES WITH USE OF CONTINUOUS FIBER SHEETS	／平13.3	／A4・250p	
	【42】:性能照査型システムにおけるコンクリート構造物の補強	／平13.6	／A4・308p	
	【43】:プレキャストコンクリート部材の力学的特性－現状と課題－	／平13.6	／A4・310p	
	【44】:コンクリートの環境負荷評価	／平14.5	／A4・186p	
	【45】:水辺のコンクリート構造物－コンクリートによる豊かな水辺環境の創造－	／平14.7	／A4・157p	
	【46】:コンクリートの耐久性データベースフォーマットに関するシンポジウム論文集	／平14.12	／A4・82p	
	【47】:コンクリート用化学混和剤の性能評価	／平14.12	／A4・225p	
	【48】:コンクリート構造物の耐震性能照査技術－現状と将来展望－	／平14.12	／A4・138p	
	【49】:阪神淡路大震災の被害分析に基づくコンクリート構造物の耐震性能照査方法の検証－解析手法の適用と比較－	／平14.12	／A4・303p	
※	【49CD】:CD-ROM 阪神淡路大震災被害分析小委員会の報告－地震震動解析プログラム(FDEL)付－(コンクリート技術シリーズ49の内容を含む)	／平14.12	／CD-ROM	／2857円
	【50】:コンクリート構造物の非線形解析技術研究小委員会成果報告書	／平15.1	／A4・522p	
	【51】:岩盤斜面防護用吹付けコンクリート－現状と今後の課題－	／平15.2	／A4・69p	
	【52】:PC構造物の現状の問題点とその対策	／平15.6	／A4・332p	
	【53】:コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状(付録CD付き)	／平15.6	／A4・232p	
	【54】:フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現況と課題(Ⅱ)	／平15.7	／A4・170p	
	【55】:コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向	／平15.9	／A4・149p	
	【56】:クリープ・収縮研究小委員会報告書	／平15.9	／A4・49p	
※	【57】:コンクリート標準示方書[維持管理編]に準拠した維持管理マニュアル(その1)および関連資料	／平15.11	／A4・258p	／3000円
	【58】:コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現況	／平16.2	／A4・281p	
	【59】:コンクリートの表面被覆および表面改質に関するシンポジウム論文集 付録:表面被覆および表面改質に関する耐久性調査シートおよび試験方法調査シート	／平16.2	／A4・178p	
※	【60】:コンクリート教育研究小委員会報告書	／平16.7	／A4・172p	／3000円
	【61】:弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関する委員会報告およびシンポジウム論文集	／平16.8	／A4・350p	
	【62】:コンクリートの環境負荷評価(その2)	／平16.9	／A4・123p	
	【63】:コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告ならびにシンポジウム論文集	／平16.10	／A4・368p	
※	【64】:複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用	／平17.7	／A4・224p	／2500円
	【65】:示方書連絡調整小委員会報告書 コンクリート標準示方書の役割と将来像	／平17.8	／A4・84p	
	【66】:非線形解析によるコンクリート構造物の性能照査－手順と検証例・照査例－	／平17.9	／A4・264p	
	【67】:地震作用に対するコンクリート構造物の性能照査型設計－設計と照査の現状と将来展望－	／平17.9	／A4・256p	

	【68】:コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告	／平18.4	／A4-301p	
	【69】:硬化コンクリートのミクロの世界を拓く新しい土木学会規準の制定－EPMA法による面分析方法と微量成分溶出試験方法について－	／平18.4	／A4-127p	
※	【70】:PC構造物の現状の問題点とその対策(その2)委員会報告	／平18.5	／A4-191p	／3000円
	【71】:材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能	／平18.9	／A4-361p	
※	【72】:豊かな沿岸を造る生態系コンクリート－磯焼けを防ぎ藻場を造る－	／平18.11	／A4-191p	／3500円
	【73】:弾性波法の非破壊検査小委員会報告および第2回弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関するシンポジウム講演概要集	／平19.2	／A4-236p	
	【74】:混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会(333委員会)報告書ならびにシンポジウム講演概要集	／平19.3	／A4-368p	
	【75】:設計認証・保証システム研究小委員会報告書 コンクリート標準示方書と構造物の照査・検査システム	／平19.3	／A4-55p	
	【76】:コンクリート構造物のヘルスマonitoring技術	／平19.4	／A4-572p	
	【77】:コンクリート－地盤境界問題研究小委員会(332)報告書－コンクリート－地盤境界問題に関する現状と課題－	／平20.2	／A4-64p	
※	【78】:コンクリート教育研究小委員会報告書	／平20.3	／A4-121p	／2000円
	【79】:コンクリート構造物のインフラマネジメント検討小委員会報告書 市民にとって良いインフラとそれを支える技術・技術者システム	／平20.3	／A4-64p	
	【80】:構造物表面のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集	／平20.4	／A4-393p	
	【81】:地震作用に対するコンクリート構造物の性能照査設計－時空間における設計の課題と近未来像－	／平20.7	／A4-246p	
※	【82】:Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC)	／平20.7	／A4-191p	／1800円
	【83】:コンクリート構造物の信頼性設計法に関する研究小委員会(336委員会)成果報告書	／平20.12	／A4-334p	
	【84】:土木学会規準として制定が望まれる試験方法の動向－コンクリートの性能評価を可能とする新しい規準体系とは－	／平21.4	／A4-134p	
	【85】:続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能	／平21.6	／A4-349p	
	【86】:コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会(338委員会)委員会報告書	／平21.10	／A4-518p	
	【87】:歴代構造物品質評価/品質検査制度研究小委員会(216委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集	／平21.11	／A4-138p	
	【88】:コンクリート構造物の非破壊評価技術の信頼性向上に関する研究小委員会(339委員会)成果報告書	／平21.12	／A4-134p	
	【89】:混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会(333委員会)No.2	／平22.5	／A4-462p	
	【90】:コンクリート教育研究小委員会 報告書	／平22.8	／A4-126p	
	【91】:コンクリート－地盤境界問題研究小委員会(332)第2期報告書－コンクリートと地盤の境界問題の統一的評価に向けた課題分析－	／平22.8	／A4-207p	
	【92】:市民のためのコンクリートをめざして－コンクリート構造物のインフラマネジメント研究小委員会報告書－	／平22.8	／A4-108p	
	【93】:構造物の設計におけるコンクリートの収縮の考慮	／平22.12	／A4-149p	
	【94】:コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341委員会)委員会報告書	／平23.5	／A4-206p	
	【95】:鉄筋コンクリート構造物の設計システム－Back to the Future－	／平23.5	／A4-203p	
	【96】:環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会成果報告書	／平23.8	／A4-153p	
	【97】:構造物表層のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会(JSCE335委員会)第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集	／平24.7	／A4-682p	
	【98】:材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会(342委員会)委員会報告書およびシンポジウム講演概要集	／平24.7	／A4-412p	
	【99】:コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会(338委員会)成果報告書(その2)およびシンポジウム論文集	／平24.10	／A4-410p	
	【100】:コンクリート構造物の非破壊評価技術の信頼性向上に関する研究小委員会(339委員会)(第Ⅱ期)報告書ならびにシンポジウム講演概要集	／平24.11	／A4-212p	
	【101】:コンクリート構造物のせん断力に対する設計法研究小委員会報告書	／平24.12	／A4-423p	
※	【102】:コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341委員会)第2期委員会報告書	／平25.11	／A4-360p	／4000円
	【103】:セメント系構築物と周辺地盤の化学的相互作用研究小委員会(345委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集	／平26.7	／A4-502p	
※	【104】:鉄筋コンクリート構造物の設計システム－Back to the Future II－	／平26.7	／A4-296p	／3500円
※	【105】:コンクリート構造物の設計と維持管理の連係による性能確保システム研究小委員会成果報告書	／平26.7	／A4-76p	／2000円
	【106】:繊維補強コンクリートの構造利用研究小委員会成果報告書	／平27.8	／A4-362p	
※	【107】:示方書連絡調整小委員会報告書一次世代の「コンクリート標準示方書」に向けて－	／平27.8	／A4-191p	／2500円
※	【108】:コンクリート構造物の安全確保のためのシステムに関する研究小委員会成果報告書	／平27.9	／A4-154p	／2500円
	【109】:鉄筋コンクリート構造の疲労破壊－破壊機構と性能評価の将来像を探る－	／平27.9	／A4-450p	
	【110】:材料劣化が生じるコンクリート構造物の維持管理優先度研究小委員会(342委員会(第2期))委員会報告書	／平27.11	／A4-378p	
	【111】:塩害環境の定量評価に関する研究小委員会(348委員会)委員会報告書	／平27.11	／A4-220p	
※	【112】:コンクリートにおける水の挙動研究小委員会(349委員会)委員会報告書	／平29.6	／A4-189p	／3000円
※	【113】:コンクリート構造物の設計と連成型性能評価法－時空間性能評価技術の未来予想図－	／平29.6	／A4-406p	／3000円
	【114】:コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会(229委員会)成果報告書	／平29.7	／A4-428p	
※	【115】:セメント系構築物と周辺地盤の化学的相互作用研究小委員会(345委員会)第2期成果報告書	／平30.6	／A4-180p	／3000円
※	【116】:既設コンクリート構造物の構造性能評価研究小委員会報告書およびシンポジウム講演概要集	／平30.6	／A4-181p	／3000円
※	【117】:高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートに関する研究小委員会(354委員会)成果報告書	／平30.7	／A4-208p	／3000円
	【118】:混和材料を使用したコンクリートの物性評価技術と性能規定型材料設計に関する研究小委員会(353委員会)成果報告書	／平30.7	／A4-187p	
	【119】:繊維補強コンクリートの構造利用研究小委員会(第2期)委員会報告 繊維補強コンクリートの構造設計とその課題	／平30.9	／A4-279p	
※	【120】:コンクリートの性能に及ぼす高温作用の影響評価研究小委員会(352委員会)成果報告書	／平30.10	／A4-124p	／3000円
	【121USB】:塩害環境の定量評価に関する研究小委員会(348委員会(第2期))委員会報告書およびシンポジウム講演概要集	／平30.12	／USB	
※	【122】:コンクリート構造物の養生効果の定量的評価と各種養生技術に関する研究小委員会(356委員会)成果報告書およびシンポジウム論文集	／令元.9.13	／A4-244p	／3000円
※	【123】:締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会(358委員会)委員会報告書	／令2.5.18	／A4-308p	／3000円

※は、在庫有り(2020年5月現在)。最新の在庫は土木学会のホームページにてご確認ください。

<http://www.jsce.or.jp/> → 書籍・試験器 販売 → 刊行図書目録の「講習会テキスト類」

ご注意 当該出版物の内容を複製したり他の出版物へ転載するような場合は、必ず土木学会の許可を得て下さい。

コンクリート技術シリーズ No.124
コンクリート構造物の品質確保小委員会（第二期）（350委員会）委員会報告書

2020年8月25日 第1版・第1刷発行

編集者 〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目外濠公園内

土木学会 コンクリート委員会
コンクリート構造物の品質確保小委員会
（第二期）（350委員会）
委員長 田村 隆 弘

発行者 〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目外濠公園内

公益社団法人 土木学会 塚田 幸 広

発行所 公益社団法人 **土木学会**

〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目外濠公園内

電話 03-3355-3441番（代表）

FAX. 03-5379-0125

振替・00140-0-763225番

ISBN 978-4-8106-1031-4

CONCRETE ENGINEERING SERIES
124

