

コンクリート構造物の品質確保・
長寿命化対策検討小委員会（235委員会）
成果報告書
「NATMトンネル覆工コンクリートの
品質確保における課題と対策」

CONCRETE ENGINEERING SERIES

139

コンクリート構造物の品質確保・
長寿命化対策検討小委員会 (235委員会)
成果報告書
「NATMトンネル覆工コンクリートの
品質確保における課題と対策」

CONCRETE ENGINEERING SERIES
139

「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

コンクリート構造物の施工段階における品質確保は、構造物の長寿命化を達成するために不可欠である。また、特に環境作用や供用条件が厳しい場合は、設計段階での材料選定や耐久設計の改善を含めた供用期間中の構造物の耐久性確保が重要である。

一方で、コンクリート構造物の品質・耐久性確保は、社会状況の変化により課題や需要が変化し続ける。現在は、担い手不足、生産性向上、脱炭素・低炭素を求める社会、ICT活用、特に都市部での顕著な気温上昇などの社会の条件の中で品質・耐久性確保を達成していくことが求められる。

国土交通省の東北地方整備局の復興道路で取り組まれた橋梁やトンネル覆工コンクリートの品質確保の取り組みが、国土交通省の品質確保の試行工事として全国で展開される状況となった。そのような中で、行政機関の取り組みの支援や、様々な困難な社会条件の中で品質・耐久性確保を推進していく必要がある状況を鑑み、「コンクリート構造物の品質確保・長寿命化対策検討小委員会」が土木学会コンクリート委員会に設置され、2023年度から2年間の活動を行った。委員会では様々な議論が行われたが、中でも、NATM工法による山岳トンネルの2次覆工コンクリートの品質確保について、課題と対策について集中的に議論を行い、その結果を本報告書に取りまとめることとした。

山岳トンネルの建設は、1980年代からNATM工法により継続的に行われており、覆工コンクリートの品質は技術の進展とともに向上してきている。しかし、定期点検結果や劣化事象の分析結果からは、施工目地近傍における劣化や、不適切な施工によるひび割れの発生が依然として散見されており、改善の余地が残されている。これらの不具合の発生は、締固めが出来ない部分が生じる移動式型枠の使用や、適切でないコンクリートの材料選定、打込み時の締固め不良、打込み手順の不適切さ等に起因している可能性が高いと考えられる。

本報告書では、既設の覆工コンクリートの劣化の実態を示し、実施工を模擬した試験施工の結果などに基づき、現行の国土交通省の標準仕様（移動式型枠・標準配合・標準施工）に対する改善の必要性を論じ、標準仕様の見直しの根拠を提示した。また、覆工コンクリートは、同じ施工方法を繰り返すため、施工方法のPDCAが機能しやすい部材であると考えており、東北地方整備局の復興道路等の工事や国土交通省の試行工事において有効性が確認された「目視評価法」と「施工状況把握チェックシート」の活用を、施工のPDCAサイクルの一環として標準化することを提案した。劣化の生じやすい施工目地部の不具合防止対策、養生のあり方、凍害対策が必要な場合の留意点、構造的に影響がなく第三者被害を引き起こさない「無害なひび割れ」の考え方、望ましい検査のあり方についても記載した。さらに、施工の生産性向上や環境負荷低減といった社会的要請にも応える必要があることを述べた。

本報告書の内容が、現実の覆工コンクリートの品質確保に寄与することを委員一同、期待している。

最後に、本研究小委員会の活動に多大なご尽力を頂いた委員各位と顧問の皆様から感謝の意を表します。

2026年3月

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・長寿命化対策検討小委員会
委員長 細田 暁

土木学会 コンクリート委員会 235 委員会

コンクリート構造物の品質確保・長寿命化対策検討小委員会

委員構成

委員長：細田 暁 横浜国立大学
副委員長：加藤 佳孝 東京理科大学
幹事長：半井 健一郎 広島大学
幹 事：古賀 裕久（国研）土木研究所

委 員

阿部 亮太	山口県技術管理課	飯土井 剛	(株) 復建技術コンサルタント
井上 翔	鉄道建設・運輸施設整備支援機構	井林 康	長岡工業高等専門学校
音道 薫	上北建設 (株)	臼井 達哉	大成建設 (株)
風間 洋	アール・アンド・エー	小池 賢太郎	港湾空港技術研究所
小松 怜史	横浜国立大学	斉藤 成彦	山梨大学
桜井 邦昭	(株) 大林組	佐藤 和徳	日本大学, 元国土交通省
竹中 寛	東洋建設 (株)	田中 亮一	東亜建設工業 (株)
二宮 純	中国水工 (株), 元山口県	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
橋本 親典	徳島大学名誉教授	畠山 貴博	国土交通省東北地方整備局
林 和彦	香川高等専門学校	牧 剛史	埼玉大学
松浦 忠孝	東京電力ホールディングス (株)	三方 康弘	大阪工業大学
三井 功如	西松建設 (株)	陽田 修	長岡工業高等専門学校
吉田 行	(国研) 土木研究所寒地土木研究所	李 春鶴	宮崎大学
渡邊 賢三	鹿島建設 (株)	渡邊 健	徳島大学
吉村 崇	山口県技術管理課 (2024年3月まで)		
山崎 哲也	中日本高速道路 (株) (オブザーバ)		

顧問

上東 泰	中日本高速技術マーケティング (株)	田村 隆弘	都城工業高等専門学校
松田 芳範	東日本旅客鉄道 (株)	横田 弘	一般財団法人沿岸技術研究センター

目 次

1. はじめに（本報告書の概要）	1
2. 現状における課題	3
2.1 トンネル施工方法の違いによる覆工コンクリートの機能・役割	3
2.1.1 覆工コンクリートの機能・役割	3
2.1.2 防水工の機能	4
2.2 覆工コンクリートの施工方法	5
2.2.1 打込み方法の変遷	5
2.2.2 NATMの覆工コンクリートの打込み方法の現状	5
2.3 覆工コンクリートに関する規準類の概要	7
2.3.1 覆工コンクリートに関する規準類	7
2.3.2 土木学会「トンネルコンクリートの施工指針（案）」の概要	8
2.3.3 土木学会「トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説」の概要	12
2.3.4 土木学会「山岳トンネル覆工の現状と対策」の概要	16
2.3.5 ジェオフロンテ研究会「山岳トンネルにおける覆工コンクリート標準仕様について」の概要	18
2.4 標準配合と施工方法の課題	22
2.4.1 現行の標準配合の根拠	22
2.4.2 各発注機関における標準仕様	23
2.4.3 土木工事共通仕様書の施工規定と標準配合の課題	26
2.4.4 東北地方整備局における配合変更の現状	31
2.4.5 天端部に発生する不具合の発生要因	32
2.4.6 北海道開発局 A トンネルにおける試験施工結果	37
2.4.7 補強鉄筋区間の施工の課題	41
2.5 覆工コンクリートのひび割れ対策の課題	42
2.5.1 ひび割れ発生の責任所在	42
2.5.2 品質管理基準・規格値と工事成績評定要領の運用	42
2.6 覆工コンクリートの不具合と劣化の実態	44
2.6.1 東北地方の山岳トンネルの不具合の発生状況	44
2.6.2 東北地方整備局のトンネル定期点検結果からの劣化の実態	57
2.6.3 矢板工法で施工された覆工コンクリートの劣化実態	62
2.6.4 まとめ	70
3. 目指すべき方向性	72
3.1 品質確保のための取組み	72
3.1.1 東北地方整備局の品質確保の取組み	72
3.1.2 近畿地方整備局の試行工事の効果の検証	73
3.1.3 NEXCOの品質確保の取組み	77

3.2	覆工コンクリートの品質確保のために目指すべき方向性	79
4.	施工要因により生じる不具合を抑制するための提案	81
4.1	配合と打込み方法に関する提案	81
4.1.1	側壁からアーチ	82
4.1.2	アーチクラウン部（天端部）	83
4.1.3	移動式型枠	85
4.1.4	トンネル施工時の配慮	86
4.2	打込み時の管理手法の提案	86
4.2.1	施工状況把握チェックシートの活用	86
4.2.2	表層目視評価法の活用	91
4.3	施工目地部の不具合を抑制する対策事例	96
5.	養生の留意点	98
5.1	養生の取組み	98
5.1.1	東北地方整備局における覆工コンクリートの養生の取組み	98
5.1.2	NEXCOにおける養生の取組み	104
5.2	養生の課題	109
6.	ひび割れ対策の留意点	110
6.1	ひび割れ抑制対策の基本	110
6.1.1	覆工コンクリートに生じるひび割れの発生原因	110
6.1.2	覆工コンクリートに生じるひび割れの抑制対策の基本	111
6.1.3	措置が必要なひび割れ	111
7.	凍害対策の留意点	113
7.1	東北地方整備局のトンネル覆工コンクリートの凍害対策	113
7.1.1	凍害対策の取組み	113
7.1.2	覆工コンクリートの凍害対策	114
7.2	復興道路・復興支援道路の覆工コンクリートの実態調査	115
7.2.1	調査の概要	115
7.2.2	調査結果	116
7.2.3	考察	117
8.	検査のあり方	118
9.	生産性向上や環境負荷低減について	120
10.	おわりに	121

1. はじめに（本報告書の主旨）

山岳トンネルの建設は、1980年代から NATM（New Austrian Tunneling Method）工法が標準的に用いられており、2次覆工コンクリート（以下、「覆工コンクリート」と称す）の品質は技術の進展とともに向上してきている。しかしながら、定期点検結果や劣化事象の分析結果からは、施工目地近傍における劣化や、不適切な施工によるひび割れの発生が依然として散見されており、改善の余地が残されている。これらの不具合の発生は、締固めが出来ない部分が生じる移動式型枠の使用や、適切でないコンクリートの配合選定、打込み時の締固め不良、打込み手順の不適切さ等に起因している可能性が高いと考えられる。

山岳トンネルの覆工コンクリートは、構造体の保護や地下水の遮断機能を担う重要な部材であるが、その覆工コンクリートに不具合が発生した場合は、剥離・剥落や漏水などを通じて第三者被害を引き起こすリスクを有している。実際に、1999年の山陽新幹線のトンネルにおいてコールドジョイントを起因としたコンクリート塊の剥落事故が発生した。今後のインフラ整備において、山岳トンネルの新設が予定されている状況下においては、施工に起因する不具合の発生を未然に防止する観点から、施工段階におけるコンクリートの適切な品質確保が極めて重要である。さらに、建設時に適切な施工を実現することは、供用後の維持管理費の縮減にも寄与するため、ライフサイクルコストの最適化の観点からも有効である。

これまでに出版された学会等の指針類において、特に天端部における流動性・密実性・均質性の確保が困難であるとの指摘がされており、覆工コンクリートの流動性に関する国土交通省の標準仕様の妥当性について検討が必要と考えている。また、これに伴い、締固めが出来ない部分が生じる移動式型枠の標準仕様の妥当性の検討も必要と考えられる。

本報告書では、実施工を模擬した試験施工の結果などに基づき、現行の標準仕様（移動式型枠・標準配合・標準施工）に対する改善の必要性を論じ、仕様見直しの根拠を提示する。また、高速道路会社が実施した改善事例も参考として紹介し、覆工コンクリートの目指すべき方向性について言及する。

トンネル工事の仕様書では、締固め方法について具体的な指定まではされておらず、現場ごとの判断に委ねられる部分が多い。そのため、標準的な移動式型枠、配合、打込み手順、締固め方法について再整理し、覆工コンクリートに期待される性能が十分に発揮できるレベルの品質を確保できるための方法を本報告書で提案する。また、覆工コンクリートは、同じ施工方法を繰り返すため、施工方法のPDCAが機能しやすい部材であると考えており、東北地方整備局の復興道路等の工事や国土交通省の試行工事において有効性が確認された「目視評価法」や「施工状況把握チェックシート」の活用は、施工のPDCAサイクルの一環として有効と考える。

近年のトンネル定期点検結果の分析から材質劣化が顕在化している不具合、特に打重ね不良によるコールドジョイントや施工目地のひび割れ、浮き、剥離、剥落は、第三者被害の観点からも防止する必要がある。これを防止するために、これまでの試行工事で行われてきた Good Practice を体系化し、技術資料として情報共有を行い、全国的な水平展開を図ることが望まれる。

覆工コンクリートにおいては、覆工コンクリートに期待される機能に影響のない「無害なひび割れ」が生じる場合もあり、これをすべて補修対象とすることは、過剰な維持補修や不要な維持管理費用の増加を招く可能性がある。したがって、ひび割れの幅、深さ、発生位置、環境作用等に基づいて、第三者被害や耐久性に影響を及ぼさないひび割れを「無害」と評価できる基準の明確化と運用が必要である。

現在、施工時における品質管理データや検査記録は各現場で収集・蓄積されているものの、必ずしもそれらの情報が供用後の維持管理部門に的確に引き継がれているとは言い難いのが現状である。補修履歴や不具

合箇所の初期対応の情報が、確実に維持管理へと引き継がれることが重要である。

以上に述べたように、覆工コンクリートについては、施工に起因する不具合を無くするための品質確保が重要であるとともに、単なる2次覆工として性能の確保に留まらず、生産性向上や環境負荷低減といった社会的要請にも応えるものでなければならない。今後は、ICTやプレキャスト技術の活用、省力化施工方法の導入などを通じて、持続可能で高品質な覆工コンクリートの実現を目指すとともに、長期的視点に立った施工・維持管理体系の構築が求められる。

図1に、本報告書の構成を示した。

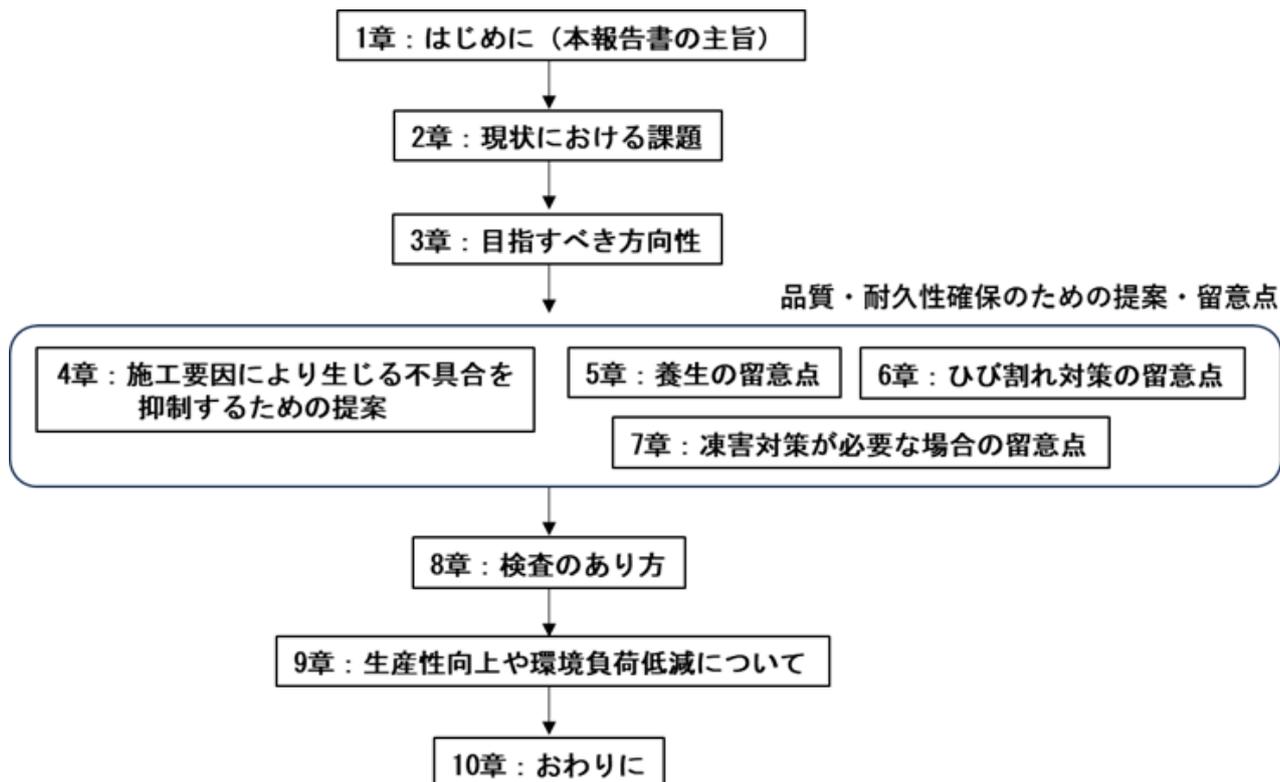


図1 本報告書の構成

(担当：細田 暁)

2. 現状における課題

この章では、以下の項目について記載する。

- ・ NATM トンネルにおける覆工コンクリートの機能
- ・ 覆工コンクリートの現状の施工方法
- ・ 覆工コンクリートの規準類の中で品質に関係する部分について概要を整理
- ・ 複数機関の標準配合を記載し、施工性試験や既往の文献の調査の結果に基づいて、国土交通省の現在の覆工コンクリートの標準配合と施工方法の課題について整理
- ・ 覆工コンクリートのひび割れ対策の課題
- ・ 覆工コンクリートの不具合と劣化の実態

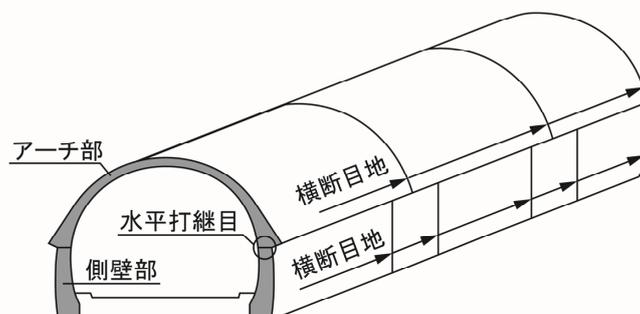
以上を踏まえて、NATM 工法における覆工コンクリートに発生する不具合の発生要因と対策の方向性について述べる。

2.1 トンネル施工方法の違いによる覆工コンクリートの機能・役割

2.1.1 覆工コンクリートの機能・役割

山岳トンネルの施工方法は、矢板工法、NATM (New Austrian Tunneling Method), TBM (Tunnel Boring Machine) に区分され、更に矢板工法は支保工の種類で「木製支柱式支保工」と「鋼アーチ支保工」とに区分される。

そのうち矢板方式は、1980 年代までの標準的な山岳トンネルの施工方法であり、鋼アーチ支保工と矢板により地山を支持し、地山からの荷重は、鋼アーチ支保工で受けとめ、覆工には外力が作用する構造となっている。矢板工法の覆工コンクリートの概要図を図 2.1.1.1 に示す。



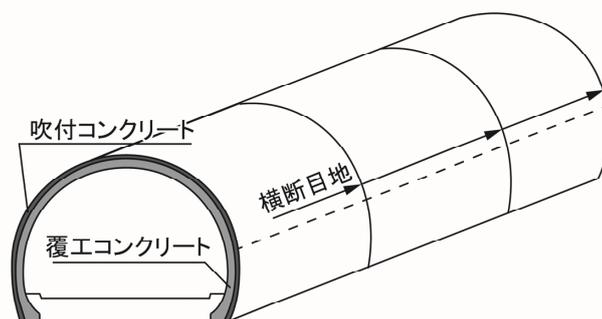
矢板工法（打込み方法：逆巻き）の例

図 2.1.1.1 矢板工法の覆工コンクリートの概要図

一方 NATM は、1980 年以降の標準的な山岳トンネルの施工方法であり、地山からの荷重を鋼アーチ支保工、吹付コンクリート、ロックボルトで地山を支持する構造である。NATM の基本理念は、地山が保有している支持力を活用することであり、原則として覆工には力学的機能を付加させない（外力が作用しない）無筋構造が一般的である。ただし、以下の場合には有筋構造が採用される。

- ・ 坑口や土被りの小さい箇所においては、構造設計を伴わない補強鉄筋が施工される。
- ・ 特殊条件下（地形、地質、環境条件）においては、覆工に力学的な機能を付加する。

NATM の覆工コンクリートの概要図を図 2.1.1.2 に示す。



山岳トンネル工法（打込み方法：全断面）の例

図 2.1.1.2 NATM の覆工コンクリートの概要図

2.1.2 防水工の機能

防水工は、漏水の防止、覆工背面の拘束の低減によるひび割れの防止を目的として設けられる。このうち漏水防止は、地山中に存在する地下水が覆工コンクリートを介してトンネル内へ浸入することを防ぎ、コンクリートの劣化や、つらら等の形成による第三者被害を未然に防止することを目的としている。

矢板工法で施工されたトンネルでは、一般的に湧水が発生する箇所に簡易なシートを設置する方法がとられていたため、覆工コンクリートの打継ぎや施工目地部で漏水が多く発生している。

1976 年頃から日本国有鉄道や日本道路公団にて防水工に関する研究が開始され、1996 年に日本トンネル技術協会より「山岳トンネル工法における防水工指針」²⁾の中でシート防水工の品質基準（案）が定められた。

NATM で施工されたトンネルでは、吹付けコンクリートの表面に緩衝材と防水シートが、2 層構造で覆工コンクリートの全面に設置されている。防水シートは、ひび割れを防止するためのアイソレーション効果も期待している。このため、NATM では矢板工法に比べ、漏水の発生が減少している。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】令和 2 年度版
- 2) 日本トンネル技術協会：山岳トンネル工法における防水工指針，平成 8 年

(担当：三井 功如)

2.2 覆工コンクリートの施工方法

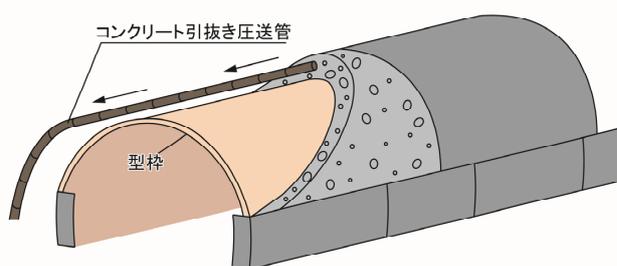
2.2.1 打込み方法の変遷

図 2.2.1.1 に覆工コンクリートの打込み方法の変遷を示す。覆工コンクリートの打込み方法は、トンネルの施工方法に合わせて変化してきた。掘削に矢板工法が用いられていた時代は、支保材料に木製支柱式支保工や鋼製支保工が使用され、コンクリートの運搬方法は、人力打設から空気圧縮方式、さらにコンクリートポンプ方式へと進化した。この機械化により、打設能力は大幅に向上した。

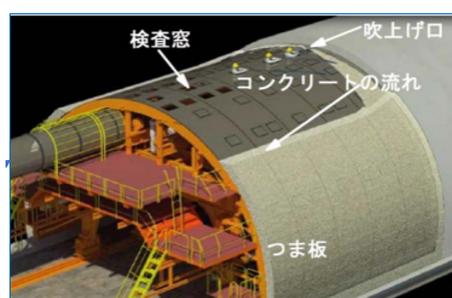
空気圧縮方式を用いた天端部からの打込みは、空気圧力による材料分離が発生しやすく、さらに打設管を打設済みスパンの奥側から引抜きながらコンクリートを流し込む方式のため、充填性に課題があった。また、検査窓が無い型枠構造を採用していたため、締固めが困難な状況で施工された。その後、コンクリートポンプを用いた引抜き方式が採用されたが、充填性の問題は解決されず、この問題を改善するために天端部の打込み方式に、現在でも使用されている吹上げ方式が採用されるようになった。この方式は充填性を向上させた一方で、コールドジョイントや天端部の色むらなど新しい問題が発生している。現在では、締固めを必要とする高流動コンクリートなどの配合面からの改善に加え、引抜き・型枠・伸縮バイブレータなどの締固め機械の開発が行われ、品質向上の取り組みが実施されている。

山岳トンネルの覆工コンクリートは、過去に発生した剥落事故を受け、第三者被害を防止する観点から品質を確保したうえで、安心・安全な覆工の構築が求められるようになった。これらの背景から、総合評価方式による入札制度の実施や5年保証制度が覆工コンクリートに導入されるようになり、新規開発技術の現場適用や品質確保の取り組みが進んだことにより、覆工コンクリートの品質は向上する傾向にある。

年代	～1960年代 (～昭和30年代)	1970年代 (昭和40年代)	1980年代 (昭和50年代)	1990年代 (昭和60年代)	2000年代～ (平成～)
工法	矢板工法				
	----- NATM				
打込み方法	引抜き方式				
	----- 吹上げ方式				



矢板方式 引抜き方式 (締固め困難)



NATM 吹上げ方式 (一部締固め可能)

図 2.2.1.1 覆工コンクリートの打込み方法¹⁾を加工

2.2.2 NATM の覆工コンクリートの打込み方法の現状

NATM の覆工コンクリートの打込みは、移動式型枠 (スライドセントル) を使用し、コンクリートの運搬は、コンクリートポンプによる圧送方法が標準である。1 スパン当たりの打設長は、標準が 10.5m、長距離トンネルで直線区間が多い場合は 12m を採用する場合もあり、曲線部や非常駐車帯では 6m～9m である。

打込み方法は、「側壁・アーチ」と「天端」のように打ち込む部位により大別される。側壁・アーチは、

セントルの検査窓をコンクリートの投入口として使用し、投入口以外の検査窓から棒状バイブレータで締固める方法が一般的な施工方法であり、コンクリートの強制的な横移動による材料分離を防止するため、複数の投入口から順序良くコンクリートを投入する必要がある。しかし、現状は隣接する検査窓の1箇所から棒状バイブレータでつま部までの約7mを強制的に横移動させ、締め固めるケースが多い(図2.2.2.1)。

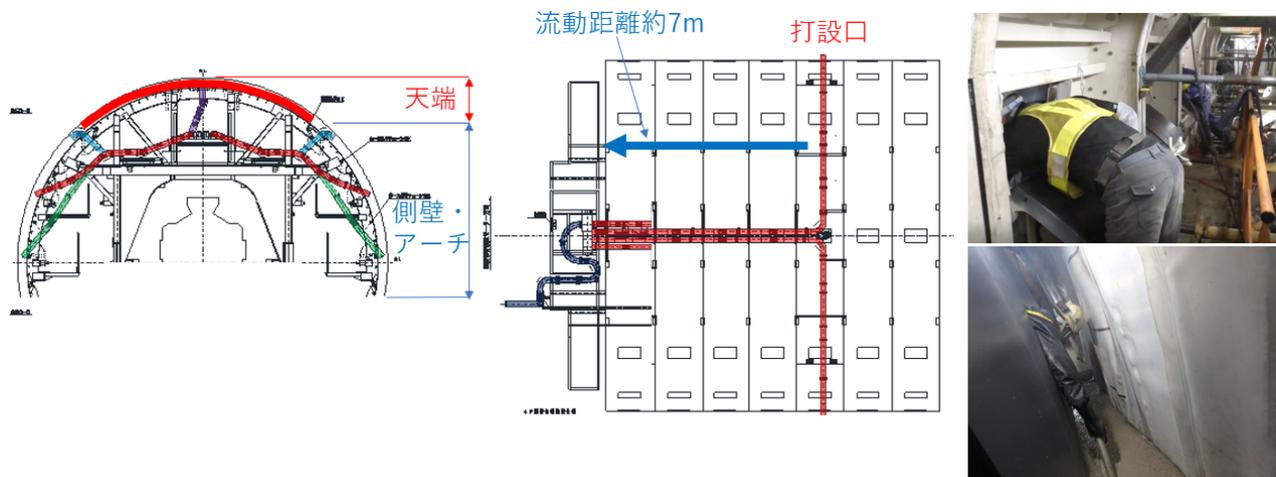


図 2.2.2.1 側壁・アーチの打込み方法

天端部の覆工コンクリートは、既設コンクリート側に設けた吹上げ口から吹上げ方式で打ち込むのが標準である。打込み初期は、天端範囲に設けた検査窓から棒状バイブレータを用いて、つま側までコンクリートの流動方向を制御しながら打ち込み、締固めを行う。その後、コンクリートが天端付近まで打ち上がると、天端の検査窓を既設コンクリート側からつま側に向かって順序良く閉めながら、コンクリートを締め固める。最後につま側に設けた開口部から棒状バイブレータで打重ね箇所の締固めを行い、その後、開口部のつま板を閉塞してコンクリートを充填させる(図2.2.2.2)。

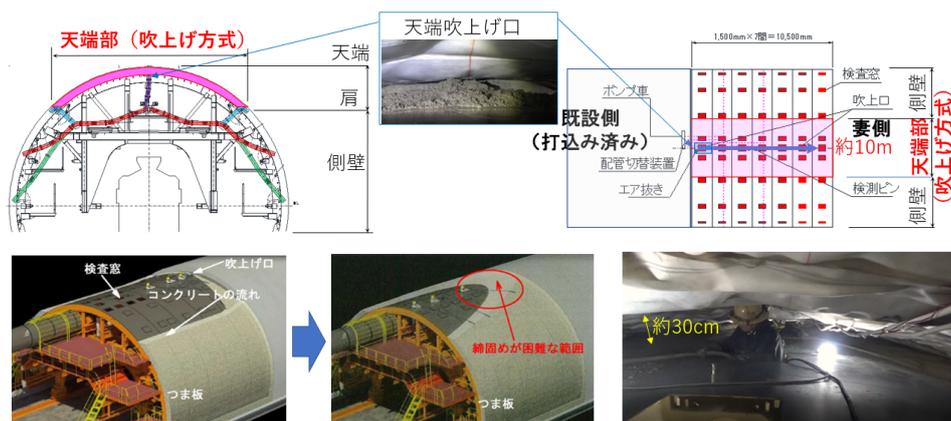


図 2.2.2.2 天端の打込み方法

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】令和2年度版
- 2) 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)2023年改訂版, 令和5年3月

(担当：三井 功如)

2.3 覆工コンクリートに関する規準類の概要

この節では、覆工コンクリートの施工に関する規準類を整理した上で、特に以下の4つについて、覆工コンクリートの施工に関する箇所を記載する。

- ・土木学会：トンネルコンクリートの施工指針（案），コンクリートライブラリー第102号，2000.7
- ・土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説，2016.9
- ・土木学会：山岳トンネル覆工の現状と対策（トンネル・ライブラリー第12号），2002.11
- ・ジェオフロンテ研究会：山岳トンネルにおける覆工コンクリート標準仕様について，2011.10

2.3.1 覆工コンクリートに関する規準類

山岳トンネルの施工に関する規準類（表 2.3.1.1）は、矢板工法でトンネルが構築されていた1974年にトンネル標準示方書が発行された。その後、1980年に初めて中山トンネルで NATM 方式が導入されたことを契機に、各発注機関から施工に関する規準や手引きが発行されるようになった。

表 2.3.1.1 覆工コンクリートの施工に関する規準類

西暦	覆工の施工に関する規準等	発行機関
1974	トンネル標準示方書	土木学会
1977	トンネル標準示方書[山岳編]・同解説	土木学会
1996	[1996年制定]トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説	土木学会
2000	トンネルコンクリート施工指針（案）	土木学会
2001	覆工コンクリート施工の手引き	日本トンネル技術協会
2002	山岳トンネル覆工の現状と課題	土木学会
2006	設計要領第三集トンネル編	日本道路公団
2006	[2006年制定]トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説	土木学会
2011	NEXCO 中流動覆工コンクリート技術のまとめ	高速道路総合技術研究所
2016	[2016年制定]トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説	土木学会

維持管理に関する規準（表 2.3.1.2）は、1993年に「道路トンネル維持管理便覧」が日本道路協会から発行された。その後、1995年の阪神淡路大震災、1999年の覆工コンクリートの剥落事故、2004年の新潟県中越地震を受け、覆工コンクリートの点検等について見直しが図られるようになった。また、2002年に国土交通省道路局国道課から道路トンネル定期点検要領（案）が発行され、現在では5年に1回の目視による定期点検が義務付けられている。

覆工コンクリートの施工方法は、技術の進展により品質が向上しつつあるものの、解放された空間で施工される明かり構造物と比べ、狭い空間での施工となる覆工コンクリート特有の施工方法を余儀なくされるため、品質確保が難しい状況にある。2006年頃からほとんどの工事で総合評価方式による入札が行われるようになり、覆工コンクリートにおいても品質・耐久性を求めるテーマが出題されるようになった。また、2012年頃から覆工コンクリート長期保証制度を適用する発注方式も実施され、現在も一部の地方整備局で継続されている。

表 2.3.1.2 覆工コンクリートの維持管理に関する規準類

西暦	覆工の維持管理に関する規準等	発行機関
1993	道路トンネル維持管理便覧	日本道路協会
2002	道路トンネル定期点検要領（案）	国土交通省道路局国道課
2003	道路トンネル変状対策マニュアル（案）	土木研究所
2014	道路トンネル点検要領	国土交通省道路局
2019	道路トンネル点検要領（改訂）	国土交通省道路局
2024	道路トンネル点検要領（改訂）	国土交通省道路局

（担当：三井 功如）

2.3.2 土木学会「トンネルコンクリートの施工指針（案）」の概要

(1) 指針（案）の制定の経緯

1999年6月に山陽新幹線福岡トンネルの覆工からコンクリート塊が落下し、走行中の列車を直撃するという衝撃的な事故が発生した。土木学会コンクリート委員会は同年10月に「トンネルコンクリート施工指針作成小委員会」を急遽設置し、1999年度末に指針（案）の原案完成を目指して活動を行い、2000年7月に本指針（案）が発刊された。この種の指針としては我が国で最初のものであり、発行時点においてトンネルにおけるコンクリート施工技術の知見を主として取りまとめたものとなった。コンクリート工学の観点から問題があると思われる事項については、極力、改善の方向性を示すことに注力された。

その後も多くの山岳トンネルが建設され、実構造物の点検結果の分析により得られた知見や、品質確保のための有用な技術や知見が蓄積されてきている。それらの知見が学会の指針類として取りまとめられ、適切に実務にフィードバックされる必要があると考えられる。

(2) 第1部「山岳トンネルの覆工コンクリート」における規定

指針（案）の第1部において、設計段階で想定している基本的施工方法について2.2の条文には以下の内容が記載されている（図2.3.2.1）。

2.2 施工方法の設定

第1部で想定している基本的な施工方法は、以下のとおりである。

表 2.2.1 設計段階で想定するコンクリートの現場内での運搬方法

項 目	標 準
運搬方法	コンクリートポンプ

表 2.2.2 設計段階で想定するコンクリートの打込み方法

位 置	項 目	標 準
インバート, 側壁およびアーチ下部	吐出口から打込み面までの 落下高さ	1.5m 以下
	打込みの1層の高さ	40～50cm 程度
	流動距離	流動させない
クラウン部	打込み方式	吹上げ口から吹上げ
	流動距離	10cm 程度

表 2.2.3 設計段階で想定するコンクリートの締固め方法

位 置	項 目	標 準
インバート, 側壁およびアーチ下部	締固め方法	内部振動機
	振動機の挿入間隔	50cm 程度
	振動機の挿入深さ	下層のコンクリート中に 10cm 程度
	1か所当りの振動期間	5～15 秒程度
クラウン部	締固め方法	締固めなし

表 2.2.4 設計段階で想定するコンクリートの養生方法

項 目	標 準
養生方法, 養生期間 (平均気温 15°C)	湿潤養生 普通ポルトランドセメント：5日間 早強ポルトランドセメント：3日間 高炉セメント フライアッシュセメント 低熱ポルトランドセメント

図 2.3.2.1 「トンネルコンクリートの施工指針（案）」における施工方法の設定¹⁾

インバート、側壁およびアーチ下部については、流動距離について「流動させない」と記載されている。インバート、側壁およびアーチ下部については、内部振動機による締固めが想定されており、クラウン部においては、締固めなしが想定されている。解説において「クラウン部の充填をより確実にを行うためには、締固めが不要で自己充填性を有する高流動コンクリートの使用を検討するのがよい」と記載されている。

養生について、セメント種類ごとに湿潤養生期間が想定されている。解説において「トンネル内は、坑口付近を除いて一般に湿度が高く、温度も安定している。日照作用もなく、風等の影響もほとんど受けない。このような状態が確保されているトンネル内は湿潤状態に保たれているとみなして、一般には特に付加的な養生は行っていない」と記載されている。

粗骨材について、3.2.2で無筋コンクリートについては最大寸法を40mmとしている（図2.3.2.2）。

3.2.2 粗骨材の最大寸法

粗骨材の最大寸法は、部材最小寸法の 1/5、鉄筋の最小あきの 3/4 およびかぶりの 3/4 以下で、かつ、表 3.2.1 の値以下とする。

表 3.2.1 粗骨材の最大寸法

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法
無筋コンクリート および 鉄筋コンクリートのインバート	40 部材最小寸法の 1/4 を超えては ならない
鉄筋コンクリート	20 または 25

図 2.3.2.2 「トンネルコンクリートの施工指針（案）」における粗骨材の最大寸法¹⁾

スランプについて、3.2.3 で以下のように規定されている（図 2.3.2.3）。解説には、以下の記載がある。

「側壁およびアーチには一般のコンクリート構造物よりも大きい 15～18cm 程度のスランプが用いられることが多い。その場合でも、アーチは一般の構造物と異なり、十分な締固め作業が困難である。」

「スランプを 18cm を超えて大きくすると、モルタルやペーストが分離しコンクリートの品質が次第に損なわれていく傾向にある。このため、流動化剤や高性能 AE 減水剤を用いた場合でも、スランプの上限値は 18cm 程度とするのがよい」

3.2.3 スランプ

コンクリートのスランプは、運搬、打込み、締固め等の作業に適するよう適切に定めなければならない。

【解説】 作業に適するスランプは、覆工コンクリートの形状、寸法、部位および補強材の配置、コンクリートの運搬、打込みおよび締固めの方法等によって異なるものである。インバートコンクリートには一般にスランプ 8cm が用いられている。側壁およびアーチには一般のコンクリート構造物よりも大きい 15～18cm 程度のスランプが用いられることが多い。その場合でも、アーチは一般の構造物と異なり、十分な締固め作業が困難である。そのため、さらにスランプの大きなコンクリートを用いることがあるが、単位水量のみを増加してスランプを大きくしたコンクリートは、打設作業は容易となっても、ブリーディングが多くなり、粗骨材とモルタルが分離する傾向が著しくなると、ジャンカや空洞などの欠陥が生じやすくなる。材料分離防止の面からは、適切な混和剤を使用してできるだけ単位水量を小さくすることが望まれる。

流動化剤や高性能 AE 減水剤を使用すると、スランプ 12cm の通常のコンクリートと同程度の単位水量で、スランプ 18cm のコンクリートを製造することが可能となる。また、高性能 AE 減水剤の使用によりスランプを 18cm 程度に大きくしても、通常のコンクリートに比べ粘性が高くブリーディング量が少ないため、コンクリートの品質が損なわれることはほとんどない。しかし、スランプを 18cm を超えて大きくすると、モルタルやペーストが分離しコンクリートの品質が次第に損なわれていく傾向にある。このため、流動化剤や高性能 AE 減水剤を用いた場合でも、スランプの上限値は 18cm 程度とするのがよい（「高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工指針(案)」および「流動化コンクリート施工指針」参照）。

図 2.3.2.3 「トンネルコンクリートの施工指針（案）」におけるスランプの記述¹⁾

10.4.7 「型枠の移動および据付け」において、型枠据付け時のひび割れ発生例（図 2.3.2.4）が記載されており、このようなひび割れを防止するための打継ぎ部への目地材の適切な設置が推奨されている。また、

目地材の設置により、既設コンクリート面と型枠との重ね合わせ部の隙間にモルタルやペーストが入り込んで、将来剥落する可能性が高いと記載されている（図 2.3.2.5）。

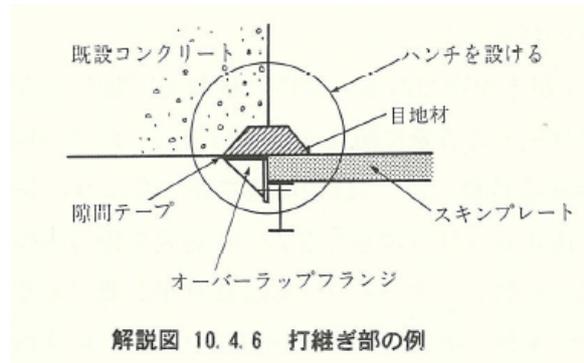
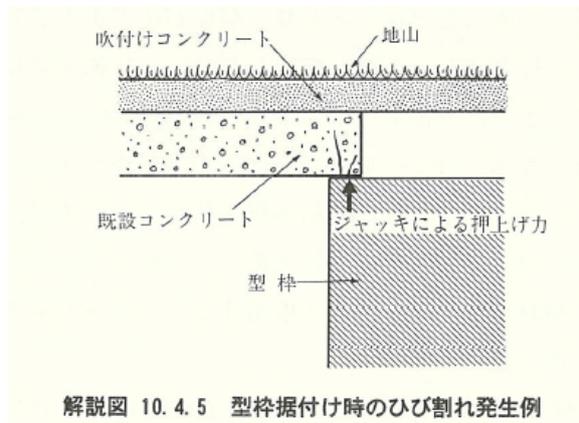


図 2.3.2.4 ひび割れ発生例¹⁾

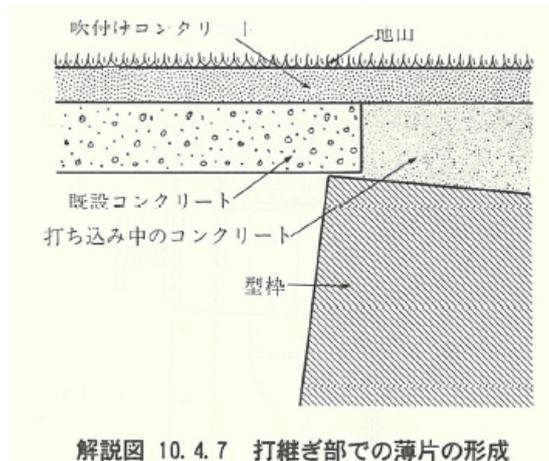


図 2.3.2.5 打継ぎ部での薄片の形成¹⁾

10.4.8 「つま型枠」においては、適切な位置に開口を設けておき、打込みの進行にともない順次閉じられるようにすることで、ブリーディング水の排除や、クラウン部の打込み状況を確認できるように配慮することが記載されている。

一方で、打継ぎ部（施工目地部）の不具合を防止する、具体的な対策についての記載が十分でないと考えられる。

10.5.4 「側壁およびアーチ下部（クラウン部を除く）のコンクリートの打込み」において、「コンクリートは流動させて打ち込んではいならない」と記載されている。解説において、「型枠の長さは一般に 10.5m 程度であり、コンクリートを中央の検査窓から打ち込むと約 5m の距離を流動する。コンクリートは流動すると粗骨材が沈降して分離するので、分離を防止するためには、分岐管や切替え弁を用いて片側 2 ないし 3 箇所検査窓を用いて打ち込むのが望ましい。ただし、高流動コンクリートを用いる場合には、中央の検査窓からだけで打ち込んでもよい。」と記載されている。

10.5.5 「締固め」において、コンクリートの締固めには内部振動機を用いることを原則としている。解説において、「型枠振動機を適切に使用すると、コンクリート表面が平滑になり美観の面で有効であるが、使用

しすぎると気泡等が増加するので注意しなければならない。また、型枠振動機は型枠全体を振動させるため、コンクリート打設がアーチに達してから使用すると打設したコンクリートに悪影響を与えるおそれがあるので、使用する場合には悪影響のないことを前もって確認しなければならない。」と記載されている。

また、解説に「将来的には、クラウン部コンクリートに適用可能な締固め装置の開発が望まれる。」と記載されている。

12 章「工事記録」の解説において、「工事記録は、トンネルの維持管理の基礎資料となるものであり、技術の進歩にも有用である。」とあり、以下の具体的な 10 項目が特に重要な項目として挙げられている。

- ① コンクリート打込みまでの地山変位の状況
- ② トンネル内の環境（温度，湿度，換気状況など）
- ③ 切羽からの距離
- ④ 防水材・背面拘束低減材の材料，張付け方法
- ⑤ コンクリートの品質（配合，使用材料等）
- ⑥ 打込み状況（打込み開始・終了時間，中断の有無，コンクリート打込み位置，打設量他）
- ⑦ 脱型時材齢
- ⑧ 養生状況
- ⑨ 各種検査の結果
- ⑩ 手直し箇所および方法

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルコンクリートの施工指針（案），コンクリートライブラリー第 102 号，2000.7

（担当：細田 暁）

2.3.3 土木学会「トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[山岳工法編]・同解説」の概要

2016 年に土木学会が制定した「トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説」¹⁾においては、「覆工コンクリートの施工にあたっては、ひびわれ，コールドジョイント，浮き，剥離，背面空洞等の発生を防止するように努め，供用後の維持管理に支障のないように配慮しなければならない。」との記載がある（図 2.3.3.1）。

8.2 覆工コンクリート

8.2.1 覆工コンクリートの施工一般

- (1) 覆工コンクリートの打込み順序は，掘削工法等を考慮して決めなければならない。
- (2) 覆工コンクリートの施工時期は，地山，支保工の挙動および覆工の目的等を考慮して定めなければならない。
- (3) 覆工コンクリートの施工にあたっては，ひびわれ，コールドジョイント，浮き，剥離，背面空洞等の発生を防止するように努め，供用後の維持管理に支障のないように配慮しなければならない。

図 2.3.3.1 覆工コンクリートの施工一般（「トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[山岳工法編]・同解説」¹⁾）

また，配合については，「使用材料，打込み方法等を考慮して定めなければならない。」との記載がある（図 2.3.3.2）。

8.2.2 覆工コンクリートの現場調査

覆工コンクリートの現場配合は、使用材料、打込み方法等を考慮して定めなければならない。

【解説】 覆工コンクリートの現場配合は、示方配合に基づき、現場で使用する材料を用いて試験練りを行い、強度、施工性の確認を行うとともに、断面形式、覆工巻厚、鉄筋の配置状況、打込み機械および打込み方法等に応じた適切なワーカビリティが得られるとともに材料分離が生じにくいものでなければならない。

スランプの設定には、コンクリートの水セメント比と単位水量が大きく影響する。また、単位水量と単位セメント量はコンクリートの強度、耐久性に大きく影響を与え、単位水量が多いと単位セメント量も多くなり不経済となるばかりでなく、材料の分離が起こりやすくなる。したがって、所要の強度、耐久性のある覆工コンクリートとするためには、作業に適するワーカビリティが得られる範囲で、単位水量をできるだけ少なくすることが重要である。このため、単位水量の減少、ワーカビリティの改善のために、フライアッシュ等の混和材や AE 減水剤、高性能 AE 減水剤や流動化剤等の混和材量を併用する例が多い。ひびわれの抑制や鉄筋区間の流動性の高いコンクリートの使用を検討する場合には第 3 編 4.2.4 を参照するものとする。

とくに覆工コンクリートに繊維補強コンクリートを用いる場合、締固め時に繊維が沈み込み、覆工表面に集中しないよう事前にセメント量等の配合を検討することが重要である。また、覆工コンクリート中の繊維が局所的に集中してファイバーボールが生じたり、混合が不均一になるなどの問題が発生する可能性がある。そのため、繊維の投入には繊維分散機を使用することが多い。

覆工コンクリートの打込みは、閉鎖された狭小空間で窮屈な姿勢で行われるため、締固めや筒先の移動等を十分に行うことが難しい。そこで、天端部での締固め不足によるコンクリートの密実性の低下、充填不足による背面空洞の発生等を防止する目的で、材料分離抵抗性を損なわずに流動性を高めた中流動覆工コンクリート等を標準的に適用する例もある。なお、中流動覆工コンクリート等を用いる場合は、使用材料の品質変動、計量誤差による影響を受けやすいので、厳しい品質管理、製造管理、施工管理が必要となる。また、型枠の補強も検討しなければならない。

図 2.3.3.2 覆工コンクリートの現場配合（「トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説」）¹⁾

打込みについては、「覆工コンクリートは、材料の分離を生じないように打ち込み、また隅々に行きわたり空隙が残らないよう十分締固めなければならない。覆工コンクリートは、打上がり速度が適切な速度となるように、また覆工の左右均等に連続して打ち込まなければならない。」との記載がある（図 2.3.3.3）。

8.2.4 覆工コンクリートの打込み

- (1) 覆工コンクリートの打込みに先立ち、コンクリートの品質を低下させないように型枠内の清掃を行い、洪水や溜り水がある場合は適切な排水を行って、コンクリートに混入しないようにしなければならない。
- (2) 覆工コンクリートは、材料の分離を生じないように打ち込み、また隅々に行きあたり空隙が残らないよう十分締固めなければならない。
- (3) 覆工コンクリートは、打上がりが必要な速度となるように、また覆工の左右均等に連続して打ち込まなければならない。

【解説】 (1) について 覆工コンクリート打込み前に、コンクリートに異物が混入しないように型枠内を清掃するとともに、掘削面や吹付けコンクリート面からの湧水がある場合には、湧水量に応じた防水工、導水工等を行い、溜り水を除去し、湧水がコンクリートに混入しないようにしなければならない。また、打込み前にポンプの配管に送る先送りの水およびモルタルも型枠内に流し込まないようにしなければならない。覆工コンクリート打込み中にブリーディング水が発生した場合には、適当な方法でこれを取り除いてからコンクリートを打込まなければならない。

(2) について 覆工コンクリートはコンクリートの材料分離が生じないように打ち込み、空隙が残らないように品質の良いコンクリートを完全に充填して締固めなければならない。また、空隙を残さないためにコンクリート打込み量を事前に十分に把握し、確実にその数量を打ち込む必要がある。

側壁部の打込みでは、落下高さが高い場合や長い距離を横移動させた場合に材量が分離するので、適切な高さの複数の作業窓を投入口として用いて打ち込むことが必要である。

また、天端部の打込み時の落下高さが高くないように、できるだけ高い位置まで打ち上げておくことが望ましい。覆工コンクリートの打込みにシュート、ベルトコンベヤー等を使用するときは、材料分離を生じさせないように注意しなければならない。

天端部のコンクリートの打込みには、一般に吹上げ方式が採用されている。天端部は背面に空隙を残さず、つま部まで完全に充填することが重要である。したがって、覆工コンクリートは、つま型枠の開口部等からブリーディング水、空気を排除しながら既設の覆工コンクリート側から連続して打ち込み、空隙の発生しそうな部分には空気抜き等の対策を講ずる必要がある。また、側壁部の打込み作業から天端部の打込み作業への切替え時間はできるだけ短くし、側壁部と天端部の境界は締固めにより一体化を図るものとする。

(3) について 覆工コンクリートの打上がり速度が速い場合、コンクリートの締固めが不十分であったり、型枠に大きな圧力を与える可能性があるため、施工体制や型枠の剛性を考慮した適切な速度で打ち込まなければならない。また、型枠に偏圧がかからないように、左右均等に、できるだけ水平に、コンクリートを連続して打ち込まなければならない。

覆工コンクリートは、連続打込みを原則としている。このため、コンクリート打込み作業の中断の原因となり得る運搬路の交通事情や圧送トラブル等を事前に想定し、可能な防止策を講じなければならない。

また、コンクリートを打ち重ねることで生じるコールドジョイントの発生を防止するために、打重ねが可能な時間間隔を遵守するとともに、内部振動機を用いて打重ね部を振動締固め処理し、一体化するなどの対策を講じなければならない。

図 2.3.3.3 覆工コンクリートの打込み（「トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説」）¹⁾

締固めについては、「覆工コンクリートの締固めには内部振動機を用いることを原則とし、打込み後すみやかに締固めなければならない。」との記載がある（図 2.3.3.4）。

8.2.5 覆工コンクリートの締固め

(1) 覆工コンクリートの締固めには内部振動機を用いることを原則とし、打込み後すみやかに締め固めなければならない。

(2) 締固めにあたっては、防水工、ひびわれ抑制工や裏面排水工を破損させたり、移動させたりしないようにしなければならない。

【解説】 (1) について 覆工コンクリートの締固めは、時間あたりの最大打込み量およびコンクリートの配合に適した内部振動機を使用し、締固めに適した必要台数で行うものとする。また、コンクリートのワーカビリティが低下しないうちに、上層と下層のコンクリートが一体となるように、型枠の隅々に行きわたるように入念に締固めなければならない。内部振動機をかけ過ぎると、コンクリートの材料分離を引き起こすことがあるので、振動時間の設定には注意を要する。また、内部振動機により覆工コンクリートをせてはならない。

なお、解説 表 4.8.1 に示すように、締固め作業が困難な天端部の締固めに、引抜き式や伸縮式の天端バイブレーター等を用いる事例も増えている。

また、流動性を向上させた中流動覆工コンクリート等を使用した場合は、材料の分離を防止するために内部振動機ではなく型枠バイブレーターを使用することを基本としている。

解説 表 4.8.1 各種振動機の特徴

名 称	特 徴
棒状バイブレーター	コンクリート打込み中に検査窓からコンクリートの中に振動機を挿入し、直接振動を与えてコンクリートの締固めを行うものである。振動部が円筒形の棒状バイブレーターが最も多く使用されている。
引抜き式バイブレーター	あらかじめバイブレーターを型枠内部にトンネル断面方向に設置しておき、コンクリート打込み後、バイブレーターを起振させながら引き抜くことによって締固めを行うものである。おもに2本または4本のバイブレーターで天端付近の締固めを行う例が多い。
伸縮式バイブレーター	あらかじめバイブレーターを型枠内部にトンネル断面方向に設置しておき、油圧駆動または手動によってバイブレーターをコンクリートに挿入することによって締固めを行うものである。バイブレーターの作業域の関係上、設置本数が多く必要となるため、吹上げ口周辺等の締固めが困難な場所に限定して設置している例が多い。
浮き式バイブレーター	浮きを取り付けたバイブレーターを検査窓より設置し、コンクリートの上昇に従い、側壁部の締固めを行う。
型枠バイブレーター	型枠外側に振動機を取り付けたり、型枠の外側から外部振動機を接触させて締固めを行うもので、軽微な振動で締固めが可能である中流動覆工コンクリート等の流動性を高めた覆工コンクリートの締固めに用いられる。

(2) について 防水シートやひびわれ抑制工等に内部振動機を直接当てた場合には、それらの破損あるいは移動することがあるので、締固め作業を慎重に行う必要がある。

図 2.3.3.4 覆工コンクリートの締固め（「トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説」）¹⁾

いずれの項目の解説においても、コンクリート標準示方書に示されるような具体的な施工方法に関する記述はない。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [山岳工法編]・同解説，2016.9

(担当：三井 功如)

2.3.4 土木学会「山岳トンネル覆工の現状と対策」の概要

2002年に土木学会からトンネルライブラリー第12号「山岳トンネル覆工の現状と対策」が発行された¹⁾。

第1章では、山岳トンネルにおける覆工が果たす役割や機能をトンネルの用途ごとに区分し、その役割・機能を確保するための重点課題が示されている。

第2章では、覆工施工時に発生する不具合について着目されており、不具合は「施工中あるいは完成時において、直ちに欠陥とは言えないが、その状態が進行もしくは欠陥に至るか、欠陥に至る可能性を増加させる状態」と記載されている。

第3章では、覆工の品質に影響を与える施工上問題となる現象（コールドジョイント、ひび割れ、巻厚不足、背面空隙・空洞、防水シート破損、表面仕上がり不良など）の発生要因と、その現象を防止するための留意点や施工方法のあり方が記載されている。コンクリートの施工性能（図 2.3.4.1）については、アーチクラウン部では十分な締固めが困難であることや、やむを得ずコンクリートを流動させて打ち込むことがあることを考慮して、適切なワーカビリティを有し、材料分離が生じにくいものが求められると記載がある。また、覆工の打込み方法が明かり構造物と異なり、覆工の打込み方法の現状を踏まえた考えが示されている。さらに、コンクリートの充填が懸念される場合には、流動しても材料分離のない高流動コンクリートの使用を検討するのが望ましいと記載がある。加えて、鉄筋コンクリート区間では、粗骨材最大寸法を20mmもしくは25mmとすることが記載されている。流動性に関しては、配合に流動化剤、高性能AE減水剤を用いた場合でも、スランプの上限値は18cm程度とするのが良いとの記載もある。

(2) コンクリート

1) コンクリートの施工性能

コンクリートは、施工条件、構造条件、環境条件などに応じて、運搬、打込み、締固め、脱型などの作業に適する施工性能を適切に設定する必要がある。

a) ワーカビリティ

フレッシュコンクリートは、覆工コンクリートの断面形状、厚さ、打込み位置、鉄筋の配置状況などに応じて、コンクリートの運搬、打込み、締固めなどの作業が容易に行えるとともに、アーチクラウン部では十分な締固めが困難であることややむを得ずコンクリートを流動させて打込むことがあることを考慮して、適切なワーカビリティを有し、材料分離が生じにくいものでなければならない。

特に、ブリーディング水の多少は、覆工コンクリートのアーチクラウン部の背面空隙に影響するので、ブリーディング水を低減するには、細骨材を多くする、セメント量を多くする、混和材の使用などで、できるだけブリーディングの少ない配合とすることが必要である。

コンクリートの充填が懸念される場合には、流動しても材料分離のない高流動コンクリートの使用を検討することが望ましい。しかし、高流動コンクリートの採用にあたっては、コンクリートの側圧が大きくなったり、配合によっては、初期強度の発現が遅延する。部分的な高流動コンクリートの使用では、その使用例が少ないことから普通コンクリートとの境界部の一体性などに関して十分留意し、事前に材料、配合、種類、自己充填性のレベル、流動性の保持時間、品質管理の方法などについて十分検討しなければならない。（『高流動コンクリート施工指針』参照）

①粗骨材の最大寸法

粗骨材の最大寸法は、覆工コンクリートのアーチクラウン部では十分な締固めが困難であることを考慮して、部材最小寸法の 1/5、鉄筋の最小あきの 3/4 およびかぶりの 3/4 以下で、かつ表-3.2.1 の値以下としなければならない。

表-3.2.1 粗骨材の最大寸法

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)
無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリートのインバート	40 部材最小寸法の 1/4 を超えてはならない
鉄筋コンクリート	20 または 25

②スランプ

コンクリートのスランプは、断面形状、巻厚、打込み位置および補強材の配置などを考慮して、運搬、打込みおよび締固めなどの作業に適するように設定しなければならない。

インバートコンクリートでは 8cm、覆工コンクリートでは 12～15cm 程度のスランプが一般的に用いられている。

単位水量のみを増加してスランプを大きくしたコンクリートは、打込み作業は容易になっても、ブリーディング水が大きくなり、ジャンカや空隙などの欠陥が生じやすくなるので、材料分離の面からは、適切な混和剤を使用してできるだけ単位水量を小さくすることが望ましい。

流動性を確保し、材料分離を防止する面からは流動化剤や高性能 AE 減水剤を使用することは効果的であるが、スランプを 18cm をこえて大きくすると、モルタルやセメントペーストが分離しコンクリートの品質が損なわれる傾向がある。そのため、流動化剤、高性能 AE 減水剤を用いた場合でも、スランプの上限値は 18cm 程度とするのがよい（『高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工指針（案）』および『流動化コンクリート施工指針』参照）

コンクリートの運搬時間が長い場合および気温が高い場合には、運搬中のスランプ低下を見込んで配合を設定しなければならない。

図 2.3.4.1 コンクリートの施工性能（「山岳トンネル覆工の現状と対策」¹⁾）

側壁およびアーチ下部では、型枠の長さ 10.5m に対し、1 箇所から打込むとコンクリートが材料分離するため、複数の検査窓を使用して、片側 2, 3 箇所から打込むのが望ましいとの記載がある。また、締固め作業が困難な位置（特に、吹上げ口周辺、つま型枠周辺）に対して、伸縮バイブレータを設置する事例が示されている。

第 4 章では、点検・維持管理のために、既設トンネルの変状の原因と事例を収集・整理している。

参考文献

1) 土木学会：山岳トンネル覆工の現状と対策（トンネル・ライブラリー第 12 号），2002.11

（担当：三井 功如）

2.3.5 ジェオフロンテ研究会「山岳トンネルにおける覆工コンクリート標準仕様について」の概要

2011 年に「山岳トンネルにおける覆工コンクリートの標準仕様について」がジェオフロンテ研究会、覆工分科会、覆工コンクリート標準仕様 WG から発行された¹⁾。各発注機関において覆工コンクリートに関する目的、機能、材料、施工方法などの仕様に関して統一がなされていない実情を踏まえ、覆工コンクリートのあるべき標準仕様について提案を行っている。また、覆工コンクリートの品質向上や耐久性確保の目的で実施されている新しい取組みについてもまとめられている。ここでは、その中で提案された本来あるべき覆工標準仕様について紹介する。

覆工コンクリートは、高スランプ（15cm±2.5cm）でセメント量が少ない場合、材料分離しやすいことが指摘されている。これに対し、呼び強度 24、充填性の向上の目的としてアーチ・側壁部のコンクリート粗骨材寸法を 25mm とすること、高性能 AE 減水剤を基本とすることが提案されている。特に注目すべき点は、配合において有筋区間に限らず無筋区間においても粗骨材寸法 25mm が提案されたことが挙げられる（図 2.3.5.1）。

(1) コンクリート配合

- ・ コンクリートは、生コンクリートを使用するものとし、使用目的別配合諸元は表 4.2.1 のとおりとする。
- ・ 従来は呼び強度が 18N/mm²とされていたが、実際には、単位セメント量と水セメント比の規定から呼び強度は 24N/mm²となるため、標準案は 24N/mm²と明記する。
- ・ 充填性の向上の目的より、アーチ・側壁部のコンクリートの粗骨材寸法を 25 mm とする。
- ・ 高性能 AE 減水剤を使用することを基本とする。

表 4.2.1 覆工コンクリートの配合表

呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	MS (mm)	W/C (kg/m ³)	C (kg/m ³)	セメント の種類	使用目的
24	15	25	60 以下	270 以下	BB 又は N	トンネル(アーチ・側壁)
24	8	40	60 以下	—	BB	トンネル(インバート)

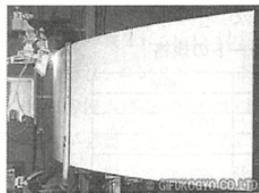
図 2.3.5.1 コンクリート配合（「山岳トンネルにおける覆工コンクリート標準仕様について」¹⁾）

型枠（セントルの仕様）に関しては、剥離剤と型枠材およびコンクリートとの相性により見栄え（色むら）に影響が出ることが指摘されている。これに対し、表面の仕上がり向上や剥離剤の潤滑性向上、剥離の発生

防止のために、ステンレスや樹脂、セラミック加工を施した型枠（面板）の使用，および確実に型枠表面の清掃を行うために自動ケレン装置を設けることが提案されている。また，検査窓については，縦断方向片側に側壁・アーチ下部，アーチ上部で各7箇所，クラウン頂部で7箇所，計49箇所を設けることが提案されている。また，つま型枠の一部には，ブリーディング水の排除を目的にパンチングメタル等の開口を設けることが提案されている（図2.3.5.2）。

(4) 型枠

- ・ 型枠は，メタルフォーム又はスキンプレートを使用し，電動ジャッキ，自走装置を装備した鋼製移動式（スライドセントル）で，長さは10.5mとする。
- ・ 表面の仕上りの向上，剥離材の浸潤性の向上と剥離防止のために，型枠の打設面には，写真4.2.3に示すような，ステンレス又は樹脂，セラミック加工を施したものを使用する。



セラミックコーティング※1



ステンレスコーティング※1

写真4.2.3 型枠表面加工事例

- ・ 型枠表面の確実な清掃を行うとともに，均一な剥離剤散布を実施するために，自動ケレン装置を設ける。
- ・ クラウン部の生コンクリート打込みに際しては，地山との空隙を低減させるため，既設コンクリート側に空気抜き兼用検測ピンを設ける。
- ・ 型枠の検査窓は，縦断方向片側に側壁・アーチ下部・アーチ上部で各7箇所，クラウン頂部で7箇所，計49箇所を設ける。打設窓個所数については，断面の大きさ，断面形状，パイプレータの作用範囲により検査窓の個数を検討することとする。
- ・ 既設コンクリート重ね合わせ部のひび割れ防止のため，ゴム又は発砲スチロールの目地を設置し，切り欠き部（三角形）を設ける。
- ・ つま型枠は木製とし，ブリーディング水排除のためパンチングメタル等を用いた開口を設けると共に，防水シートの損傷防止のため，つま板の先端と防水シートの間にクッション材を設ける。写真4.2.4にブリーディング排出つま板の事例を示す。

図2.3.5.2 型枠（「山岳トンネルにおける覆工コンクリート標準仕様について」¹⁾）

打込みに関する課題として、以下に示す点が挙げられている（図 2.3.5.3）。

（型枠の検査窓は、縦断方向片側に側壁・アーチ下部・アーチ上部で各 7 箇所、クラウン頂部で 7 箇所、計 49 箇所を設ける。打設窓個数については、断面の大きさ、断面形状、バイブレータの作用範囲により検査窓の個数を検討することとする。

- ・ コンクリート打設では、肩部より上部（アーチクラウン部）は、検査窓からの締固め作業が難しく均質で緻密なコンクリートになりにくい。また、天端部での完全充填が難しく、空洞等の危険性がある。
- ・ コンクリートの打込み方法がポンプ車を用いた吹上げ方式であるため、実際は高い流動性が必要となる。特に補強鉄筋区間では、打込み抵抗が大きくなり、さらに高い流動性を確保する必要がある。
- ・ 下げネコ部分に関しては逆勾配の R 加工となっているため、十分な締固めが困難である。

図 2.3.5.3 打込み（「山岳トンネルにおける覆エコンクリート標準仕様について」）¹⁾

これに対する対策として、側壁・アーチ下部は片側 3 箇所（縦断方向では 1 箇所）の検査窓より打込むこと、アーチ上部とクラウン部は吹上げ口より吹上げ方式で打込むことのみが示され、提案は従前の打込み方法と同じ内容にとどまっている。ただし、打込み方向の切替えについては品質確保のために、配管切替え装置を用いることが提案されている。なお、締固めについても、検査窓から棒状バイブレータで締固めることが提案される程度であり、従前からの打込み方法と変わりが無い（図 2.3.5.4）。

c. 打設

- ・ 生コンクリートは、コンクリートポンプ率（黒煙浄化装置付、配管式、圧送能力 90~100m³/h）を用いて、側壁及びアーチ下部は各々片側 3 箇所の検査窓より打ち込む。また、アーチ上部及びクラウン部は既設コンクリート側の吹上げ口より吹き上げ方式により打ち込む。なお、打込み方向の切り替えは品質確保のために、写真 4.2.5 に事例を示す自動配管切替え装置で行うことを標準とする。
- ・ 側壁及びアーチ下部の締固めは、生コンクリート打込み窓に隣接又は上部の検査窓から内部振動機（棒状バイブレータ）を用いて行う。
- ・ 天端部の打設窓を増設し、ここから棒状バイブレータを使用して、締固めを行う。

図 2.3.5.4 打設（「山岳トンネルにおける覆エコンクリート標準仕様について」）¹⁾

養生については、打設後 12 時間から 20 時間程度で脱型するため、一般構造物に比較し、養生期間が極端に短く、乾燥収縮や貫通後の温度変化による初期ひび割れの発生確率が高いことが課題として示されている。これに対し、脱型前養生（セントルのシート養生）や通気を防止するための遮断シートの設置が提案されている（図 2.3.5.5）。

d. 養生

- ・ 型枠の取り外し（移動）は自重に耐えうる強度（ $2\sim 3\text{N/mm}^2$ ）の発現（12時間～18時間）をもって取り外すこととし，1日1方（昼間）施工で1サイクル2日程度で行う．フレーム解析等により型枠脱型時の必要強度の検針を行って，脱型時期の設定を行う．
- ・ 喚起設備の大型化等により，坑内の湿潤状態が保てないために，コンクリート打設後の養生が必要である．これに対して，写真4.2.6の事例のようにシート等により，セントル型枠，覆工表面を覆い，外気を遮断する．また，写真4.2.7の事例のように冬季に貫通するように冬季に貫通するような場合には，冷気の遮断をシート等により実施する．



写真4.2.6 セントルシート養生^{※2}

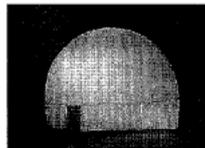


写真4.2.7 坑口部シート養生^{※3}

図 2.3.5.5 養生（「山岳トンネルにおける覆工コンクリート標準仕様について」¹⁾

参考文献

- 1) ジェオフロンテ研究会：山岳トンネルにおける覆工コンクリート標準仕様について，2011.10

（担当：三井 功如）

2.4 標準配合と施工方法の課題

2.4.1 現行の標準配合の根拠

各地方整備局におけるトンネルの覆工コンクリートの標準配合は、各地方整備局が発行する設計便覧等に示されているが、それらの設計便覧は公益社団法人日本道路協会が平成15年11月に発行した道路トンネル技術基準（構造編）・同解説¹⁾を参考に行っていると考えられる。

道路トンネル技術基準（構造編）・同解説には、4-6 覆工において、覆工コンクリートの配合について以下のとおり定めている（図2.4.1.1）。

4-6 覆工

1. 覆工はその目的、作用荷重に対して合理的な構造でなければならない。
2. 覆工コンクリートの配合は、耐久性、施工性および強度を考慮して定めなければならない。
3. ひび割れの発生が予測される場合には、原則としてひび割れ防止対策を設計するものとする。

【解説】

2. について 覆工コンクリートは、トンネルの安定を確保する重要な構造要素であるが、その厚さは、従来の実績が一つのよりどころになっており、力学的に明確にその強度を規定するのは難しく、コンクリートの配合を強度に対する条件から定める根拠は少ない。覆工の施工は狭い空間内で行われ、締め固めがやりにくいなど施工条件が悪く、また、凹凸の大きな地山や吹付けコンクリートとの間に空間を残さないようにコンクリートを十分に行きわたらせることが大切であるため、コンクリートには高い施工性が要求されることになる。さらに、覆工は水の影響を受ける場合があり、また寒冷地では凍結作用の影響も受けるので、十分な耐久性が必要である。

以上のような条件から、覆工コンクリートの配合は次の範囲で行うのが一般的である。

セメント：普通ポルトランドセメントまたは高炉セメントを用いる。高炉セメントを用いる場合は、脱型時間が長くなるので注意が必要である。

単位セメント量：通常必要とされると考えられる設計基準強度（18N/mm²）を確保し、ポンプ打設を行うのに必要な施工性を得るためには270kg/m³（アーチ・側壁コンクリート）の最低単位セメント量とするのが適当である。

スランプ：ポンプ施工の場合15cm程度（アーチ・側壁コンクリート）
8cm程度（インバートコンクリート）

空気量：4.5%程度

水セメント比：60%以下

最大粗骨材寸法：40mm以下

なお、土被りが小さい場合、あるいは力学的な解析によって作用荷重がある程度想定できる場合は、一般の配合によらず、鉄筋コンクリートとしての配合あるいは特殊な配合とする必要がある。また、大きな荷重が作用することが予測される場合は、覆工厚をいたずらに上げるよりも、強度の大きな配合とする、あるいは鉄筋、鋼繊維などにより補強することも検討するのが望ましい。

図2.4.1.1 覆工（「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」）¹⁾

上述のとおり、アーチ・側壁コンクリートのスランプの一般的な値は15cm程度、粗骨材最大寸法は40mm以下と解説されているが、近畿地方整備局の設計便覧²⁾では覆工コンクリートの配合として下記のとおり定めている（図2.4.1.2）。

7-1 覆工コンクリートの配合

覆工に用いるコンクリートの配合は、所要の強度、耐久性及び良好な施工性が得られるよう定めなければならない。なお、覆工コンクリートの配合は表 8-6-11 を標準とする。

表 8-6-11 覆工コンクリートの配合

種別	区分	粗骨材の最大寸法	スランプ	単位セメント量	設計基準強度
トンネル覆工		40 mm	15 cm	270 kg/m ³ 以上	18N/mm ²
インバート		40 mm	8 cm	230 kg/m ³ 以上	18N/mm ²

図 2.4.1.2 7-1 覆工コンクリートの配合(「近畿地方整備局設計便覧第3編道路編」)²⁾

道路トンネル技術基準には、覆工コンクリートの一般的なスランプとして15cm程度、粗骨材最大寸法として40mm以下と解説されているが、近畿地方整備局の設計便覧では、覆工コンクリートのスランプとして15cm、粗骨材最大寸法として40mmを標準とすると定めており、仕様の選択が無くなっている。また、本来、標準という表現は標準以外の値を設定することを容認すべきではあるが、覆工コンクリートの配合として現場の条件を考慮した柔軟な運用が出来ていないのが現状である。この背景には、スランプを大きくすることは“しゃぶコン”になり耐久性が低下するという懸念を持っておられる担当者も一部にはおり、そのような誤解を払拭するために学会としての啓蒙活動が重要である。

道路トンネル技術基準には、覆工の施工は狭い空間内で行われ、締固めがやりにくいなど施工条件が悪いことや高い施工性が要求されること、さらに、設計便覧には良好な施工性が得られるよう配合を定めなければならないと記述がある。覆工コンクリートの品質向上に向けて施工性を向上させることは重要であり、覆工コンクリートのスランプや粗骨材の最大寸法等の標準仕様について、今後、様々な知見を踏まえて改善されることが望まれる。

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，平成15年11月
- 2) 国土交通省 近畿地方整備局：設計便覧第3編道路編，平成24年

(担当：三方 康弘)

2.4.2 各発注機関における標準仕様

(1) 国土交通省

国土交通省の各地方整備局の配合規定を表 2.4.2.1 に示す。地方整備局ごとに鉄筋・無筋で配合が異なるものや支保パターンで配合を定めているものがある。

表 2.4.2.1 国土交通省の配合規定

発注機関	区間	セメント種別	単位セメント量 (kg/m ³)	W/C (%)	スランプ (cm)	呼び強度	粗骨材最大寸法(mm)	繊維
北海道開発局	鉄筋	N or BB	280 以上	60 以下	15	24	40	
	無筋							
東北地方整備局		BB	270 以上	55 以下	18	40	25mm	
関東地整	DIII その他							
北陸地整		N or BB	270 以上	60 以下	15	18	40	
中部地整		BB						
近畿地整	鉄筋	—	270 以上	55 以下	18	40	40	
	無筋			60 以下				
中国地整		BB			15	18	40	
四国地整		N or BB	270 程度					
九州地整	DIII・DI	高炉 B	340 以上	60 以下	15	18	40	0.3 Vol%以上
	その他		270 以上					
沖縄総合事務所		N	270 以上					

国土交通省の工事では、覆工コンクリートの規格は通常土木工事共通仕様書に従うが、近年の各地方整備局においては、試行的に覆工コンクリートの配合を変更している事例があるため、以下に紹介する。

東北地方整備局の2022年度発注工事では、覆工コンクリートに締固めを必要とする高流動コンクリートを使用する試行工事が発注されている。

関東地方整備局の2023年度発注工事では、目的は記載されていないが、表 2.4.2.2 に示す配合が特記仕様書に示されている事例がある。

表 2.4.2.2 覆工コンクリート仕様（関東地方整備局）²⁾

用途	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	呼び強度	セメントの種類
覆工, 箱抜 (CII-bi, DI-a, DI-b, DIIIa, DIIIa-K)	25	15	60 以下	18	BB C=270 kg/m ³ 以上
覆工, 箱抜 (DIIIa-SK(RC))	25	15	60 以下	24	BB C=270 kg/m ³ 以上

中国地方整備局の2024年度発注工事では、コンクリートの品質確保のため、配合仕様は表 2.4.2.1 のままだが、混和剤に高性能 AE 減水剤（標準型）を使用する試行工事³⁾が発注されている。

四国地方整備局の2024年度発注工事では、起点側・終点側の坑門に接する1ブロックにおいては、表2.4.2.3に示す配合が特記仕様書に示されている事例がある。

表 2.4.2.3 覆工コンクリート仕様（四国地方整備局）⁴⁾

セメント種別	単位セメント量	W/C	スランプ	呼び強度	粗骨材最大寸法
Nor 高炉 B	270kg 程度	55%以下	12cm	24	20 or 25mm

中部地方整備局の2024年度発注工事では、特記仕様書に覆工コンクリートの品質向上対策として、配合面からのアプローチに加え、打込み方法についても受発注者間の協議の上、設計変更対象とする記述がある。

図 2.4.2.1 に特記仕様書の抜粋を示す。

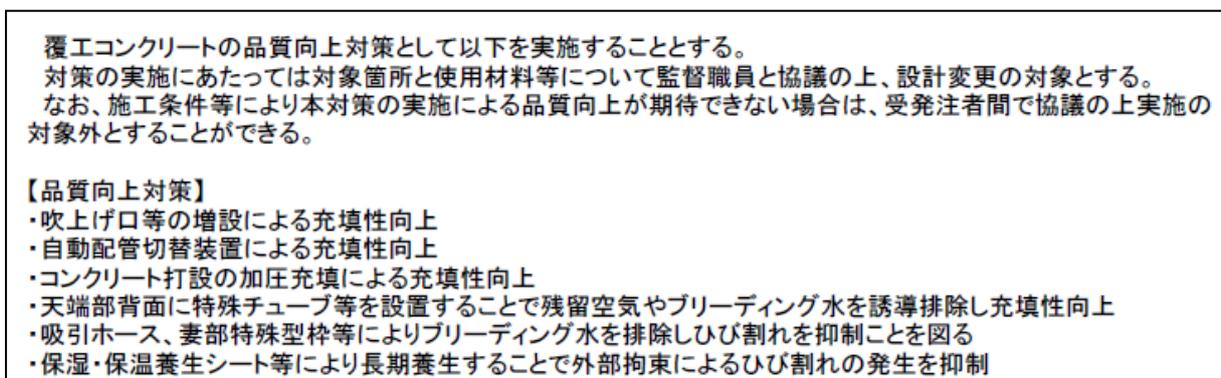


図 2.4.2.1 特記仕様書抜粋（中部地方整備局）⁵⁾

以上のように、覆工コンクリートの品質向上を目的に、各地方整備局で配合変更や品質向上対策が試行されている。

(2) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

現在施工が実施されている北海道新幹線の山岳トンネルの土木工事標準示方書追加訂正条項には、表2.4.2.4に示す配合が示されている⁶⁾。当機構では、覆工コンクリートの品質向上を目的とし、2012年から防水工の施工に背面平滑型トンネルライニング工法（FILM）を採用している。

表 2.4.2.4 覆工コンクリート仕様（鉄道建設・運輸施設整備支援機構）⁶⁾

工事種別	設計基準強度 (N/mm ²)	セメントの種類	粗骨材最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	最大水セメント比 (%)	単位水量の上限値 (kg/m ³)
覆工コンクリート器材坑	18	普通ポルトランド又は高炉 (B) 種	40	15±2.5	4.5±1.5	60	165

(3) 日本高速道路株式会社（東日本・中日本・西日本）

高速道路会社は、山岳トンネルの覆工コンクリート施工の問題点として、天端部の締固め不足による密実性の低下、強制的な横移動による材料分離、充填不足による背面空洞の発生を挙げ、これらを問題解決する目的で、石粉や石炭灰を用いた締固めを必要とする高流動コンクリートを開発し、2008年8月に施工管理要

領を制定している。令和6年度のトンネル施工管理要領には、表2.4.2.5に示す配合決定のための基準が示されている⁷⁾。また、移動式型枠に設置する型枠バイブレータの設置台数や位置、振動時間などに関する細かい規定が示されている。さらに、覆工コンクリートの養生は、給水、水分逸散防止、封緘および膜養生等で覆工コンクリート表面を7日間湿潤状態に保持する方法を標準としている。

表2.4.2.5 中流動覆工コンクリート(T1-4)の配合決定のための基準⁷⁾

種別	材齢28日における圧縮強度(N/mm ²)	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプおよびスランプフロー(cm)	加振変形試験(cm)	U形充填性高さ(障害無し)(mm)	空気量(%)	セメントの種類	最低セメント量(kg/m ³)	単位水量の上限(kg/m ³)	最大塩化物含有量(kg/m ³)
T1-4 (FA)	24	20 25	21±2.5 35~50	10秒加振後のスランプフローの広がり 10±3	280以上	4.5±1.5	普通ポルトランドセメント	270	180	0.3
普通ポルトランドセメント 高炉セメント B種							175			
普通ポルトランドセメント 高炉セメント B種							320			

※T1-4 (FA) (LS) の粉体量は、最低セメント量 270 kg/m³ に混和材 80 kg/m³ を加えた 350 kg/m³ を標準とする。

参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局：令和4~7年度 国道13号 浅川トンネル工事 現場説明事項書
- 2) 国土交通省 関東地方整備局：R5 国道246号厚木秦野道路伊勢原第一トンネル工事 特記仕様書
- 3) 国土交通省 中国地方整備局：令和6年度安芸バイパス三津第1トンネル工事 工事特記仕様書
- 4) 国土交通省 四国地方整備局：令和6~8年度 窪川佐賀道路荷稻トンネル工事 特記仕様書
- 5) 国土交通省 中部地方整備局：令和6年度 三遠南信1号トンネル工事 土木工事追加特記仕様書
- 6) 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：北海道新幹線、札幌トンネル(銭函) 土木工事標準示方書追加訂正条項
- 7) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社：トンネル施工管理要領 令和6年7月

(担当：三井 功如)

2.4.3 土木工事共通仕様書の施工規定と標準配合の課題

ここでは、土木工事共通仕様書⁹⁾における覆工コンクリートの打込みに関する規定を示したうえで、レディーミクストコンクリート標準仕様基準の覆工コンクリート(無筋)の標準配合における施工性について、試験結果から標準配合の見直しの必要性について述べる。

(1) 土木工事共通仕様書の覆工コンクリートの施工規定

表2.4.3.1に、土木工事共通仕様書 第10編 道路編 第6章 トンネル(NATM) 第5節 覆工の覆工コンクリートの打込みの規定を示す。この規定では、コンクリートが分離を起こさないように施工すること

と、左右対称に水平に打設し、型枠に偏圧を与えないように施工することが記載されている。

表 2.4.3.1 土木工事共通仕様書¹⁾ 第 10 編 道路編 第 6 章 トンネル(NATM) 第 5 節 覆工

10-6-5-3 覆工コンクリート工 2. 打込み の規定
受注者は、コンクリートの打込みにあたり、コンクリートが分離を起こさないように施工するものとし、左右対称に水平に打設し、型枠に偏圧を与えないようにしなければならない。

(2) 覆工コンクリート(無筋)の標準配合

表 2.4.3.2 にレディーミクストコンクリート標準仕様基準²⁾による覆工コンクリート(無筋)の標準配合を示す。呼び強度 18，スランプ 15cm，覆工コンクリート(無筋)の標準配合であるため粗骨材の最大寸法は 40mm，水セメント比は 60%以下となっている。

表 2.4.3.2 レディーミクストコンクリート標準仕様基準²⁾による
覆工コンクリート(無筋)の標準配合

呼び強度	スランプ (cm)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	最小セメント 使用量 (kg)	水セメント比 (%)	セメントの 種類
18	15	40	270	60 以下	高炉セメント(B種)

※本基準は、標準的な使用目安を定めたものである。設計条件等による上表以外のコンクリートの使用を妨げるものではない。

(3) 覆工コンクリート(無筋)の標準配合の施工性

東北地方整備局が公表している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)³⁾(以下 品質確保の手引き(トンネル編))の巻末資料には、覆工コンクリート(無筋)の標準配合を使用した場合の模擬型枠での流動性や材料分離の状況を試験した結果が記載されている。ここでは、北海道開発局の A トンネルで実施した模擬型枠による試験施工結果^{4),5)}(2.4.6にも記載)をもとに、覆工コンクリート(無筋)の標準配合の見直しの必要性について、施工に関する規定と材料分離の観点から述べる。

① 試験方法

覆工コンクリートの側壁を模した幅 0.3m，高さ 1.5m，長さ 5.0m(移動式型枠の長さの約 1/2)の模擬型枠を製作し、模擬型枠内部のコンクリートの流動状況が目視出来るように、側面の型枠の一つは透明型枠を使用した。模擬型枠の外観を図 2.4.3.1 に示す。また、この模擬型枠へのコンクリートの打込み・締固めの方法を表 2.4.3.3 に示す。コンクリートが硬化した後に打込み側，中間，つま側の上・中・下の 9 箇所コア(Φ100×300mm)を採取し、コア供試体を用いて、粗骨材量(コア供試体表面の粗骨材面積率を画像解析により算出)および単位体積重量から材料分離の状態について調査した。コアの採取位置を図 2.4.3.2 に示す。



図 2.4.3.1 模擬型枠の外観

表 2.4.3.3 打込み・締固めの手順

模擬型枠への打込み・締固めの手順	
1)	無振動で、コンクリートが打込み箇所まで 1.0m の高さまで打ち込み、圧送を一時停止する。流動状況（流動距離・勾配）を記録する。
2)	移動式型枠の打設窓の間隔（@1.5m）の位置で打込み箇所から順番にバイブレータを挿入し、10 秒間締固める。締固め完了後に流動状況（流動距離・勾配）を記録する。
3)	1 層目 50cm の高さになるまで、不足するコンクリートを打ち込み、1 層目を平坦に仕上げる。
4)	2 層目 100cm の高さになるまで、コンクリートを打ち込み、2 層目を平坦に仕上げる。
5)	3 層目 150cm の高さになるまで、コンクリートを打ち込み、3 層目を平坦に仕上げる。コンクリート天端は、木ごとによる表面仕上げとする。

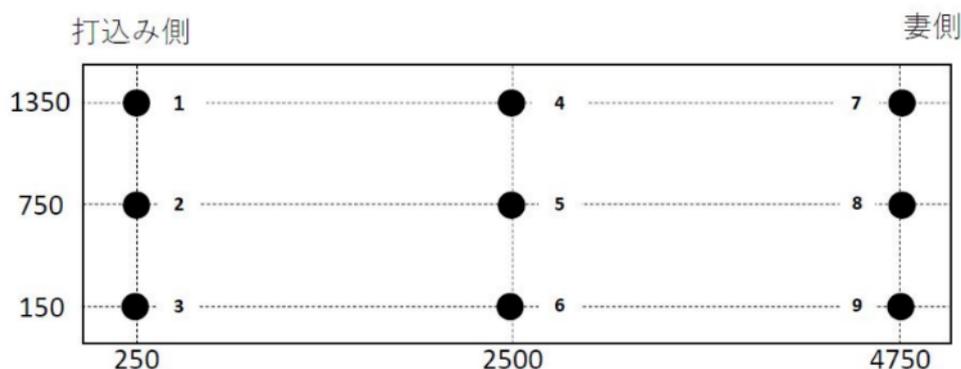


図 2.4.3.2 コアの採取位置

② 標準配合の流動状況

無振動の状態では、自然流動させ、打込み箇所のコンクリートの高さが 1.0m に達するまで打ち込んだ状態での流動状況の写真を図 2.4.3.3 に示す。

無振動の状態では、模擬型枠内でのコンクリートの流動距離は 3.5 m であり、長さ全体の 5 m までは流動しなかった。コンクリートの形状は山状になっていた。この状態から、実際に使用する移動式型枠の検査窓の位置と同じ箇所から棒状バイブレータを用いて振動時間 10 秒で締固めた後の流動状況の写真を図 2.4.3.4 に示す。



図 2.4.3.3 標準配合(スランプ 15 cm)の無振動で自然流動させた際の流動状況



図 2.4.3.4 標準配合(スランプ 15 cm)の自然流動後、振動時間 10 秒で締め固めた後の流動状況

10 秒間の振動を与えた後も、コンクリートの流動距離は 4.1 m にとどまり、模擬型枠の長さ 5 m には流動しなかった。バイブレータによる流動範囲は限定的であり、挿入箇所のみが階段状に均される程度であった。

以上の標準配合(スランプ 15cm)を用いたコンクリートの流動状況の試験結果から、自然流動させた場合でも、10 秒の振動時間で締め固めを行った場合においても、コンクリートは模擬型枠の端部まで流動せず、山状となることが確認された。この状態から、模擬型枠内の隅々までコンクリートを行きわたらせ、1 層の厚さを 50cm で水平に打ち込むためには、バイブレータによる強制的な横移動が必要であることがわかった。

③ 標準配合の材料分離の状況

上記の状況から、1 層目は層厚 50cm で水平になるようにバイブレータでコンクリートの強制的な横移動を行った。2 層目は層厚 50cm で水平になるようにバイブレータで強制的に横移動させ、1 層目に 10cm バイブレータを挿入して振動時間 10 秒で締め固めを行った。3 層目も 2 層目と同様の打込み・締め固めを行い、模擬型枠内にコンクリートを充填した。コンクリートの硬化後に打込み側、中間、つま側上・中・下の 9 箇所コア(Φ100×300mm)を採取し、コア供試体を用いて、粗骨材量(コア供試体表面の粗骨材面積率を画像解析により算出)および単位体積重量から材料分離の状態について調査した。

図 2.4.3.5 に、コアの採取高さ毎の粗骨材の面積率の推移について示す。

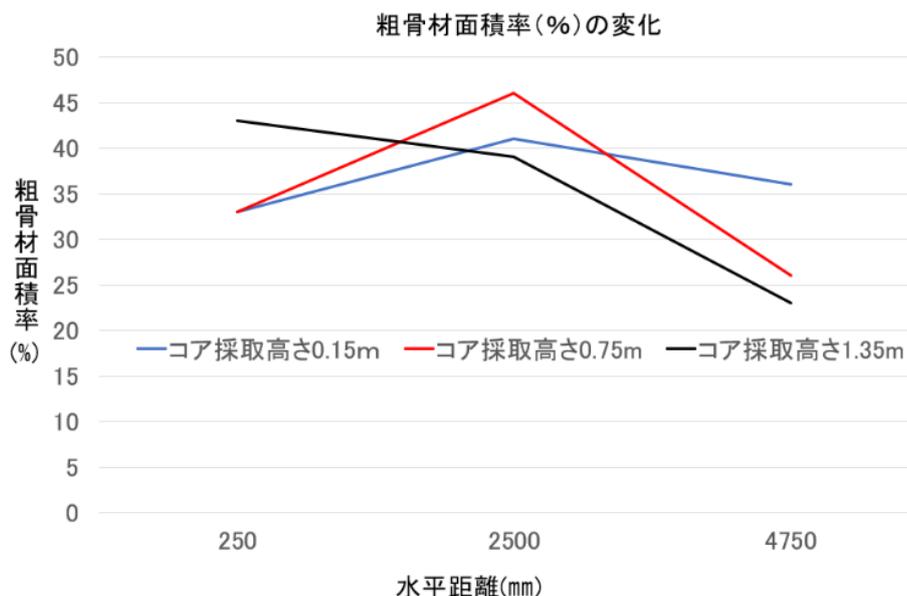


図 2.4.3.5 コアの採取高さ毎の粗骨材の面積率の推移

コアの採取高さ 1.35m では、水平距離 2,500mm の模擬型枠の中央部分で、既に粗骨材の面積率が下がっている。一方、コアの採取高さ 0.75 m と 0.15 m では、水平距離 2,500 mm の模擬型枠の中央部分で、粗骨材の面積率が増加している。これは、バイブレータによるコンクリートの強制的な横移動によって、上層に打ち込んだ粗骨材が下層に沈んでいることを示している。また、水平距離 4,750mm の模擬型枠の端部では、どのコアの採取高さにおいても粗骨材の面積率が低下している。これは、強制的な横移動の過程の中で材料分離によって粗骨材の一部が型枠の端部までは移動できず、中央付近に置き去りにされたことを示している。

図 2.4.3.6 に、コアの採取高さ毎の単位体積重量の推移について示す。

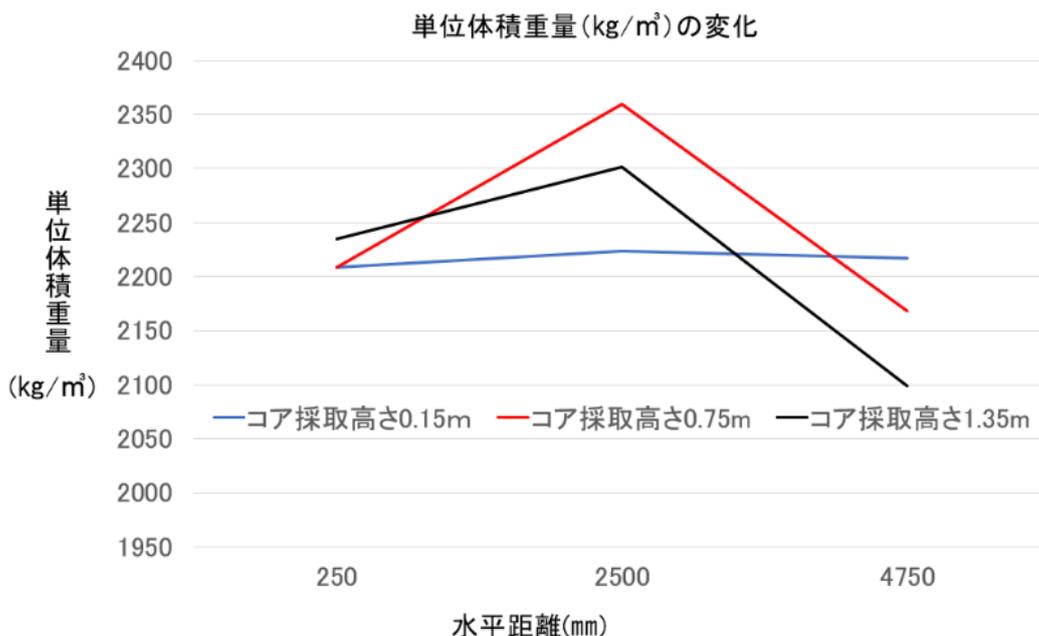


図 2.4.3.6 コアの採取高さ毎の単位体積重量の推移

コアの採取高さ 1.35 m と 0.75 m では、水平距離 2,500mm の模擬型枠の中央部分で、単位体積重量が増加している。水平距離 4,750mm の模擬型枠の端部では、単位体積重量は大きく減少している。これは、強制的な横移動の過程の中で粗骨材の一部が型枠の端部までは移動できず、中央付近に置き去りにされたことを示している。なお、コアの採取高さ 0.15m では、単位体積重量の変化はほとんど見られなかった。

以上の結果より、標準配合（スランプ 15cm）では、自然流動によって型枠の端部まで流動せず、コンクリートの流動形状も山状となるため、バイブレータによるコンクリートの強制的な横移動が必要であり、その結果、材料分離が発生していることがわかる。

(4) 覆工コンクリート（無筋）の標準配合の見直しの必要性

土木工事共通仕様書の覆工コンクリートの打込みに関する規定^リでは、「・・・コンクリートが分離を起こさないように施工するものとし、左右対称に水平に打設し・・・」と記載されている。一方、覆工コンクリート（無筋）の標準配合を用いた模擬型枠による施工試験では、自然流動では型枠の端部まで流動しないため、土木工事共通仕様書で材料分離を防止するために禁止されているバイブレータによるコンクリートの強制的な横移動が必要となることが明らかとなった。なお、バイブレータによりコンクリートを強制的に横移動させた場合も粗骨材は端部まで到達せず、端部付の粗骨材量や単位体積重量の低下、すなわち材料分離が発生していることが明らかとなった。

覆工コンクリートの品質確保のために、土木工事共通仕様書の覆工コンクリート工の打込みの規定は守るべきである。しかし、現在の覆工コンクリート（無筋）の標準配合では、その実現は困難であり、規定を守るためには標準配合の見直しが必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局：土木工事共通仕様書，令和 6 年 3 月
- 2) 国土交通省 東北地方整備局：レディーミクストコンクリート標準仕様基準，令和 6 年 3 月
- 3) 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）2023 年改訂版，令和 5 年 3 月
- 4) 亀井慎子，荒木大靖，花岡大伸，野村貢，戸本悟史：火山ガラス微粉末の覆工コンクリートへの適用に関する施工性および品質評価，土木学会第 78 回年次学術講演会，IV-974，2023.9
- 5) 吉田行，長谷川諒，椎名貴快，高木雄介，三井功如：火山ガラス微粉末の覆工コンクリート模擬供試体の表層品質結果，土木学会第 78 回年次学術講演会，IV-975，2023.9

（担当：佐藤 和徳）

2.4.4 東北地方整備局における配合変更の現状

2018 年から 2022 年に活動した日本コンクリート工学会東北支部の「東北地方のコンクリート構造物の品質・耐久性確保に関する調査研究委員会^リ」では、2013 年から 2021 年に完成した東北地方整備局発注の山岳トンネル工事で実際に使用された覆工コンクリートの配合についてアンケート調査を実施した。本調査では 56 件のトンネル工事から回答を得た。

覆工コンクリートの打込みは、狭隘な作業空間の中で型枠内にコンクリートを充填する必要があるため、覆工コンクリートには施工時の流動性や材料分離抵抗性が求められる。そのため、施工現場では施工会社の責任のもとでコンクリート配合の変更を提案し、承諾を得たうえで施工を行っているのが現状である。本委

員会では、施工者からの回答をもとに、実施工で使用されたスランプおよび粗骨材最大寸法について整理した²⁾。図 2.4.4.1 に調査結果を示す。

スランプに関しては、標準仕様の 15cm で施工したトンネルが 57%を占め、変更して施工したトンネルは 43%であった。変更内容の内訳は、全線でスランプを 18cm に変更したものが 21%，鉄筋区間のみ 18cm としたものが 11%，スランプを 21cm または締め固めを必要とする高流動コンクリート（中流動コンクリート）に変更したものが 11%であった。

粗骨材最大寸法に関しては、標準の 40mm を使用したトンネルはわずか 11%であり、全線で 20mm もしくは 25mm を使用したものが 64%，鉄筋区間のみ 20mm もしくは 25mm を使用したものが 25%であった。このように、施工者は現場での施工性を考慮し、配合変更を行っているのが現状である。

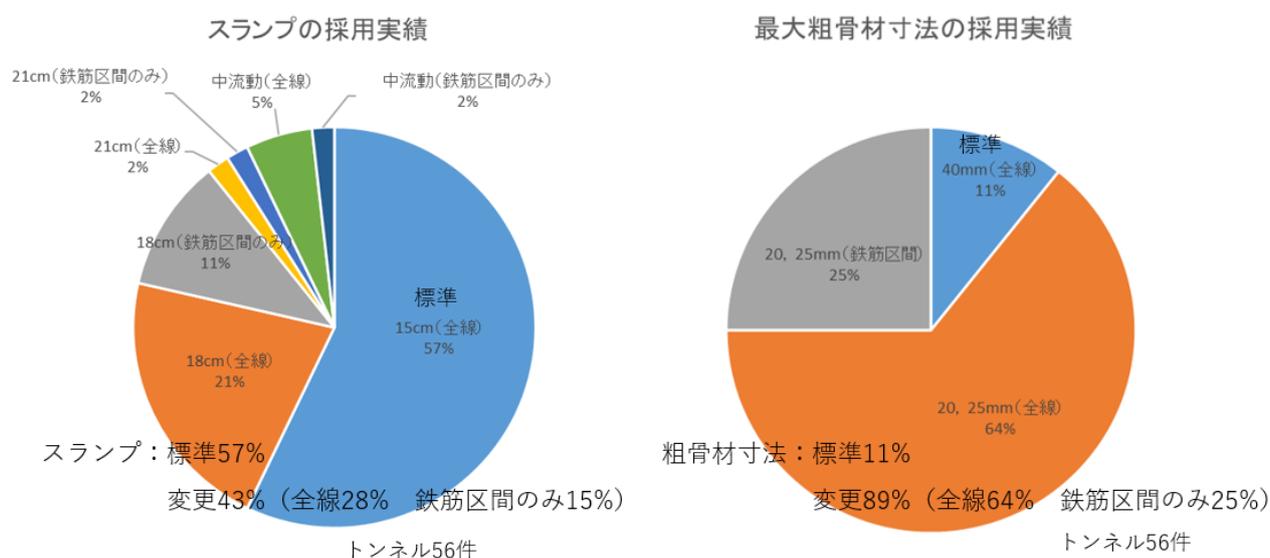


図 2.4.4.1 スランプおよび粗骨材最大寸法の採用実績¹⁾

参考文献

- 1) 公益社団法人 日本コンクリート工学会東北支部：東北地方のコンクリート構造物の品質・耐久性確保に関する調査研究委員会報告書，2022年3月
- 2) 三井功如，佐藤和徳，細田暁，寺山雄大：覆工の目視評価法の改善と流動性の高いコンクリートの適用方法，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.1，2024

(担当：三井 功如)

2.4.5 天端部に発生する不具合の発生要因

天端部の覆工コンクリートは、施工済みの覆工コンクリートの境界付近に設置した吹上げ口からコンクリートをポンプ圧力で圧送し、天端範囲全体にコンクリートを充填する吹上げ方式が採用される。一般的に天端では吹上げ口からつま部までコンクリートを 10m 程度流動させるため、コンクリートの流動方向を制御しながら順序良く充填する必要がある。天端部に発生する不具合は、この流動過程においてコンクリートが打ち重なる時間差や、剥離剤がコンクリートと同時に流れることによって発生していると考えられる。

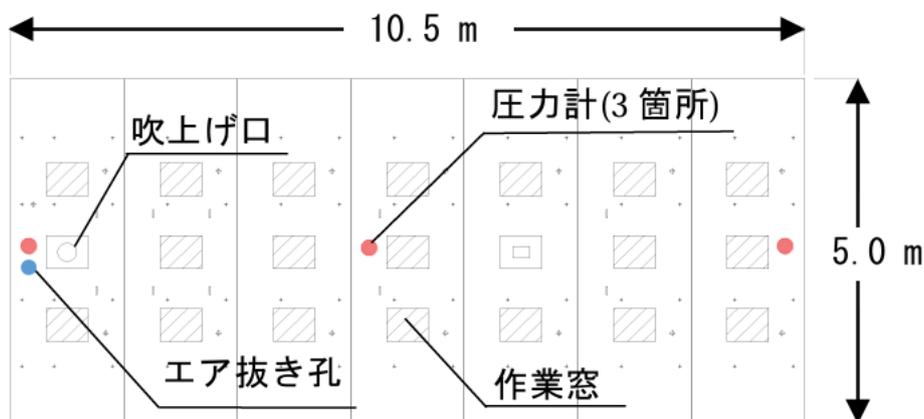
(1) 天端に発生する不具合の発生要因

天端部の実物大型枠を用いて、 4m^3 毎に充填されるコンクリートに着色を行い、充填の過程を確認した小池らの実験結果¹⁾を用いて、天端に発生する不具合の発生要因について見解を示す。

実験に使用された型枠は、**図 2.4.5.1** に示すように天端部を模したもので、延長 10.5m、幅 5.0m、型枠高 0.35m で、検査窓は縦断方向に 7 列、横断方向 3 列で配置されている。打ち込んだコンクリートの配合は、粗骨材最大寸法 20mm、スランプ 21cm であり、着色後のスランプは $18\pm 2.5\text{cm}$ で管理された。



実験用模擬型枠外観



型枠平面図

図 2.4.5.1 実験に使用した天端部の型枠¹⁾

天端部にコンクリートが充填される過程は、**図 2.4.5.2** および **図 2.4.5.3** に示すように、①から⑤の順序で充填される。1 台目①のコンクリートは吹上げ口から肩部に向かってコンクリートが流動する。2 台目②および 3 台目③のコンクリートも同様に、①の肩部に充填されたコンクリートに打ち重なりながらつま側に向かって流動し、肩部付近に充填される。その後、吹上げ口から打込まれる 4 台目④および 5 台目⑤のコンクリートは吹上げ口側からつま側に向かって流動する。打設作業員は、天端頂部の検査窓から流動状況を確認するとともに、つま側に向かって順序良く天端頂部の検査窓を閉める。全ての検査窓を閉めた後は、あらかじめ設けたつま部の開口部 (**図 2.4.5.4**) からコンクリートの流動を確認する。4 台目④のコンクリートがつま側に到達した時点で圧送を一時中止し、開口部のつま板を設置する。その後は、コンクリートポンプの圧力で 5 台目⑤のコンクリートを充填することで、4 台目④をつま側に押し出し、型枠内を完全に充填する。



図 2.4.5.2 コンクリートの充填状況（上面）¹⁾

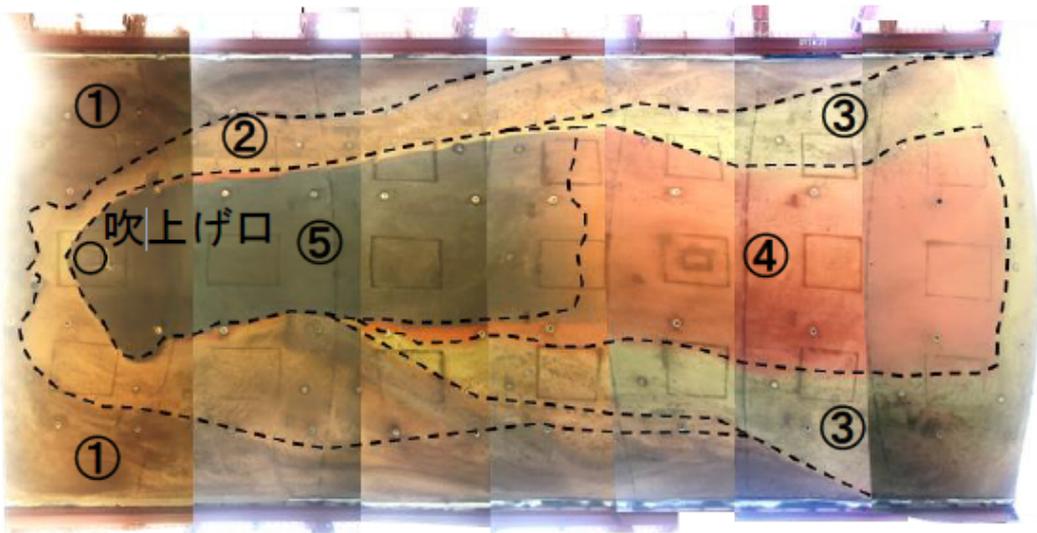


図 2.4.5.3 コンクリートの充填状況（下面）¹⁾



図 2.4.5.4 つま部の開口部からの締固め作業

図 2.4.5.5 は、実物大実験の充填状況写真（下面）と実際に打込まれた覆工コンクリートに現れている色むら（縞模様）を比較したものである。色むらは、コンクリートによって押し流された剥離剤が溜まる打重ね部に発生することがわかる。特に、コンクリートの打重ね時間が長くなる②と⑤および③と④には顕著に現れている。

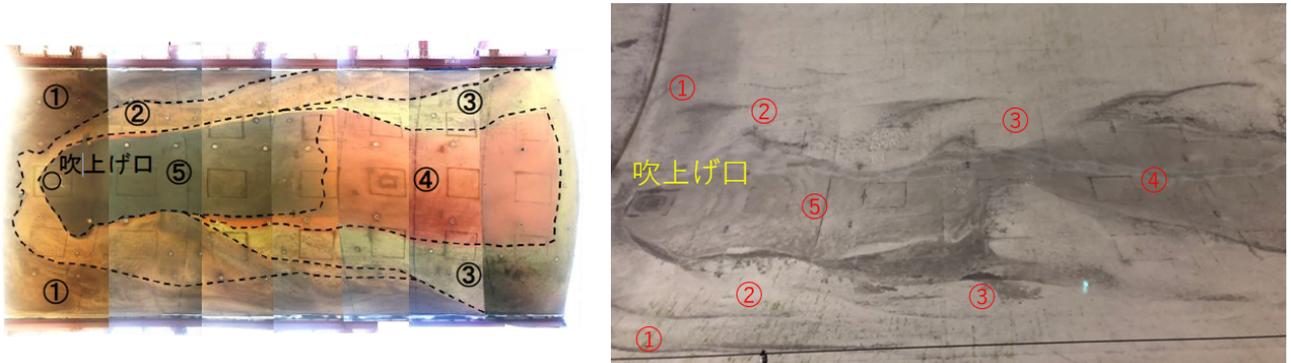
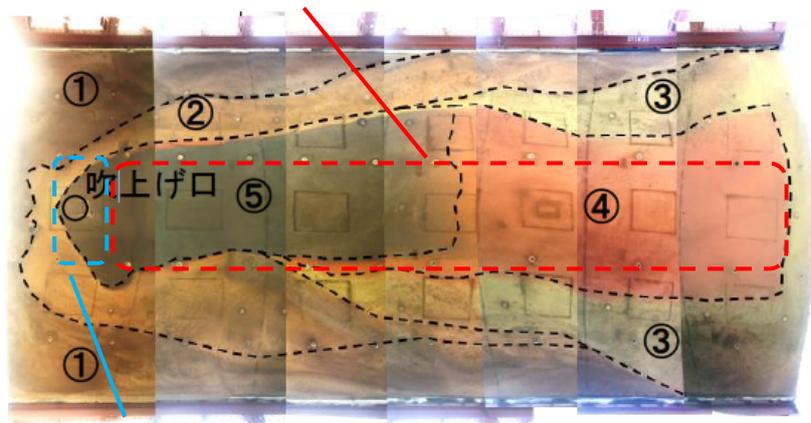


図 2.4.5.5 実験結果¹⁾と実際の覆工の色むら（縞模様）の比較

図 2.4.5.6 に示す天端部の吹上げ口周辺に多く発生する剥離は、吹上げ方式の特性から発生するものと考えられる。吹上げ口の周辺は、フレッシュコンクリートの打込みが完了するまで流動が続き、最後に充填が完了する箇所となる。そのため、他の部位に比べて型枠脱型までの時間が短くなるため、脱型時の強度不足

天頂部のはく離：コンクリートの流動によりはく離剤が喪失



吹上げ口周辺の剥離：脱型時の強度不足かつ剥離剤の喪失

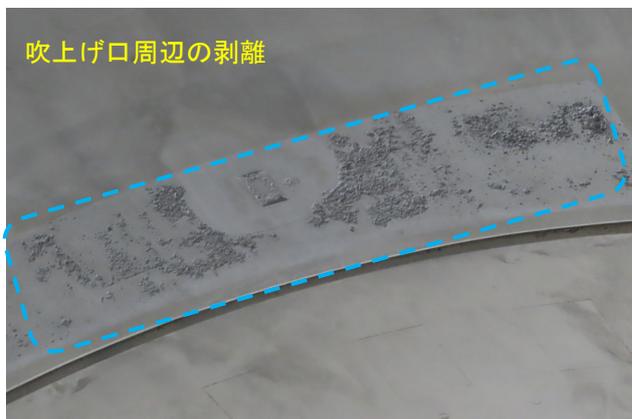
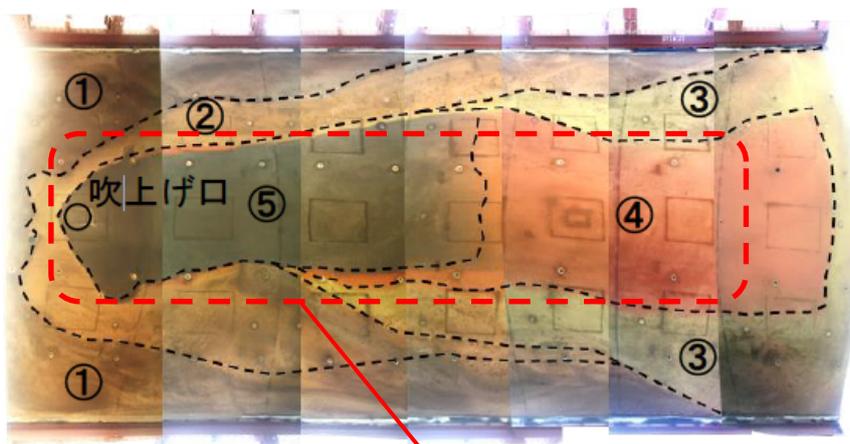


図 2.4.5.6 剥離の発生要因

が要因となり剥離が発生する。また、天頂部の剥離は、打込み終了までコンクリートが流動することにより剥離剤が喪失することも要因である。

標準的な移動式型枠を使用して打込む場合、図 2.4.5.7 に示す天端部の吹上げ口周辺に発生するコールドジョイントや打重ね線に沿ったひび割れが多く発生する。これは、標準的な移動式型枠では、最後に天頂部に充填されるコンクリートを締め固める手段（設備）が無いことが要因で発生する。特に、打重ね時間が長くなる②と⑤の打重ねが発生しやすい。近年では、この対策として、引抜きバイブレータ、伸縮バイブレータ、型枠バイブレータを配置して天頂部の締め固めを行う事例が増えている。



吹上げ口コールドジョイント：締め固めができない範囲

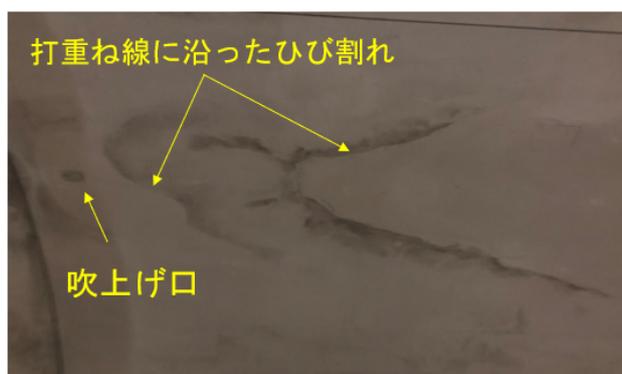
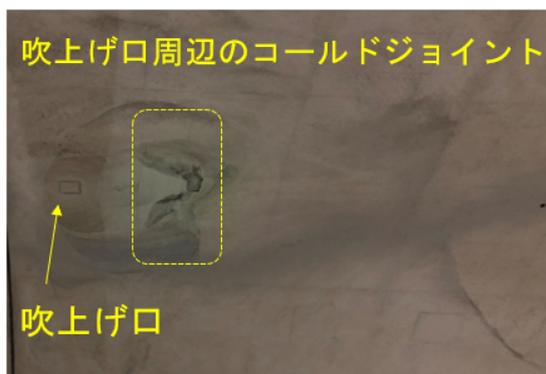


図 2.4.5.7 コールドジョイントの発生要因

(2) 不具合の発生抑制

以上のように、天端部に発生する不具合は、覆工コンクリート特有の吹上げ方式による打込み方法が要因となっている。色むら（縞模様）は、剥離剤の種類（油性・水性）と塗布量および移動式型枠の面板との相性によって現われ方が異なることが経験的にわかってきているため、現場での最適化が望まれる。また、コールドジョイントおよび打重ね線に沿ったひび割れに関しては、天頂部に振動締め固めが可能な設備を配置することにより発生を抑制できるため、標準設備としての導入が望ましい。

参考文献

- 1) 小池悟，野間康隆，多宝徹，齋藤淳：実物大型枠を用いた覆工コンクリート天端部の充填状況と品質に関する実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1317-1322，2018

（担当：三井 功如）

2.4.6 北海道開発局 A トンネルにおける試験施工結果

北海道開発局の A トンネルでは、流動性の高いコンクリートを実施工に適用するため、標準配合と流動性の高い配合を比較検討する目的で模擬型枠試験を実施した。

使用した模擬型枠および打込み方法は、2.4.3(3)に示した通りである。ここでは、実施工に適用した2つの配合(②および③)について紹介する。

(1) 試験内容

試験に使用した配合を表2.4.6.1に示す。①24-15-40Nは、北海道開発局の覆工コンクリートの発注時の仕様で示される標準配合 ($\sigma_{28}=18\text{N/mm}^2$ 以上、最小単位セメント量 270kg/m^3)である(以下、配合①)。②27-18-20Nは、施工性と表層品質の改善を目的として、施工者が実際の覆工に採用している流動性の高い配合である(以下、配合②)。③27-18-20N (VGP) は、さらに流動性と材料分離抵抗性を高めるために、火山ガラス微粉末を混和した配合である(以下、配合③)。

表 2.4.6.1 模擬型枠試験に用いた配合とフレッシュ性状¹⁾

配合 (記号)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)									スランプ (cm)	空気量 (%)
			B		W	S		G		AE減水剤	高性能 AE減水剤		
			C	VGP		S1	S2	G1	G2				
①24-15-40N	56.7	47.5	279	-	158	537	358	593	371	2.79	-	15.0	4.5
②27-18-20N	53.6	50.4	327	-	175	545	360	894	-	3.27	-	19.5	5.1
③27-18-20N(VGP)	53.6	51.9	312	15	175	559	371	862	-	-	5.89	23.0	4.1

C: 普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm^3) , VGP: 火山ガラス微粉末 (密度 2.30g/cm^3 , プレーン比表面積 $14000\text{cm}^2/\text{g}$) , S1: 砕砂 (密度 2.66g/cm^3 , 粗粒率 3.26) , S2: 陸砂 (密度 2.65g/cm^3 , 粗粒率 2.46) , G1: 砕石 2005 (密度 2.66g/cm^3 , 粗粒率 6.58, $G_{\text{max}}20\text{mm}$) , G2: 砕石 4020 (密度 2.66g/cm^3 , 粗粒率 7.93, $G_{\text{max}}40\text{mm}$)

打込み要領は、表2.4.3.3に示した通りである。模擬型枠の供試体の脱型は、覆工の養生時間に相当する22時間とし、材齢5週までシート養生した。

(2) 試験結果

流動状況の確認結果(打込み時と最初の10秒締固め後のコンクリート天端の流動勾配)およびブリーディング試験結果を図2.4.6.1に示す。配合①は、急な流動勾配を示し、締固め後の流動距離が3.6mであった。

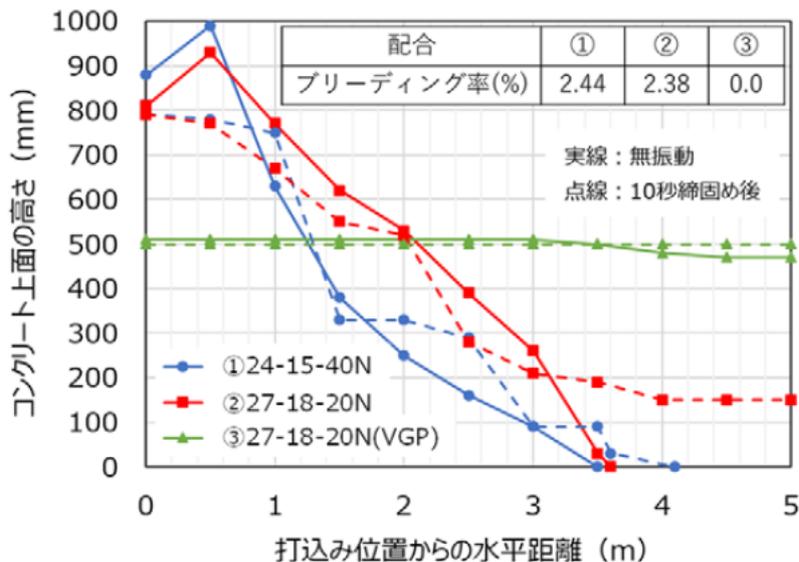


図 2.4.6.1 模擬型枠試験時の流動状況とブリーディング率¹⁾

一方、流動性の高い配合②は、配合①に比べ流動勾配は緩やかで、締固めによりつま側 5.0m までコンクリートが到達し、高い流動性を確認できた。火山ガラス微粉末を添加した配合③は、無振動の状態でもほぼセルフレベリングで打込みが出来た。ブリーディング率については、配合①および②に対して、配合③はほぼゼロであり、火山ガラス微粉末の添加により材料分離抵抗性が改善されたことが確認できた。

硬化後のコンクリートの品質を確認するため、模擬型枠試験で作製した試験体に対し、打込み側、中間、つま側の上・中・下、計9箇所コア（Φ100×300mm）を採取し、コア供試体を用いて圧縮強度および粗骨材量（コア供試体表面の粗骨材面積率を画像解析により算出）から均質性を評価した。

模擬施工試験コアサンプリングの位置、圧縮強度、粗骨材面積を図2.4.6.2に示す。いずれの配合でも、流動先のかま部でも打込み口と同等の圧縮強度が得られているが、標準配合①が他の配合より強度のばらつきが大きくなる傾向がみられた。コア表面の粗骨材面積においては、配合①がかま部で粗骨材面積が減少傾向にあり、中間部の位置で粗骨材面積が大きくなっていった。これは流動過程で粗骨材を十分に連行できていなかったことが原因で、均質性が低下していることがわかった。配合②では、つま部上段を除き同等の粗骨材面積が得られており、つま部まで粗骨材を連行できていることが確認された。配合③では、つま部で粗骨材面積のばらつきがみられるが、その他の場所では、同等の面積を示している。これは、高い流動性を示していた配合③に対して、配合②と同様の締固めを行ったため、横移動のできないつま部で粗骨材が沈降したと推察する。

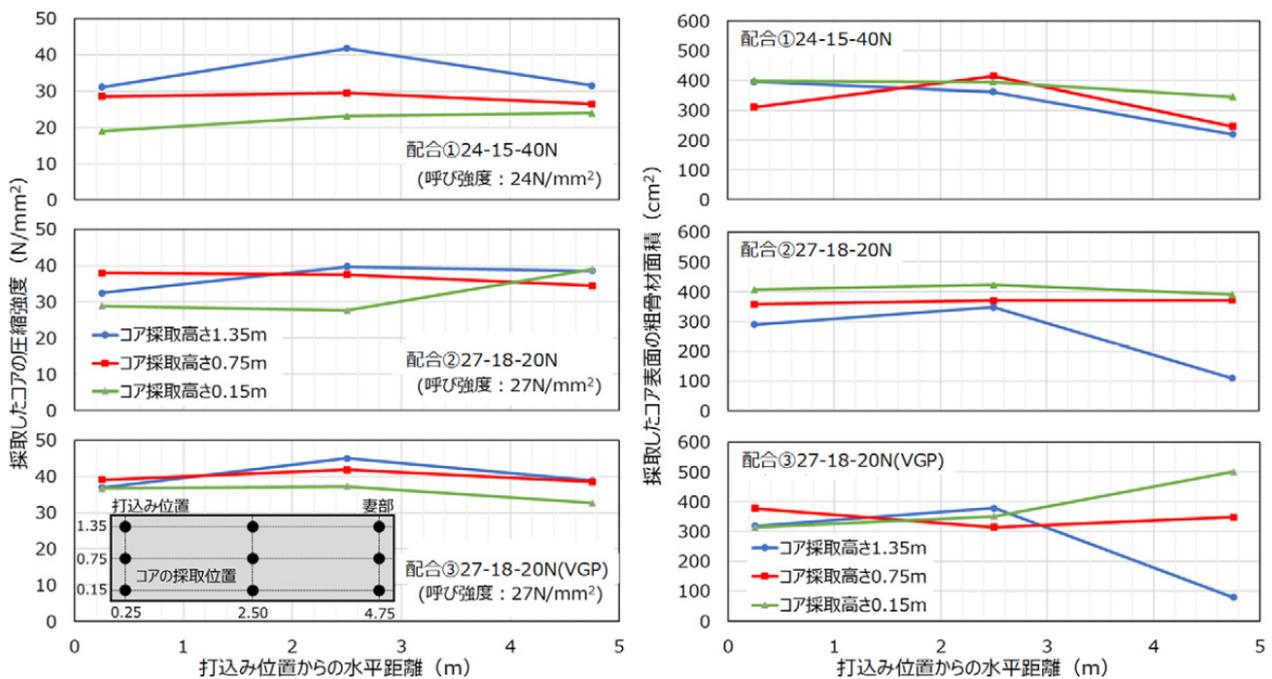


図 2.4.6.2 模擬試験体の採取コアの圧縮強度と粗骨材面積¹⁾

模擬供試体の表層品質は、トレント法による表層透気試験と表面吸水試験（SWAT）により評価した。測定は、図2.4.6.3に示すとおり、3層目を除く各層の中間高さで、打込み側、中間、つま側の3箇所を実施した。

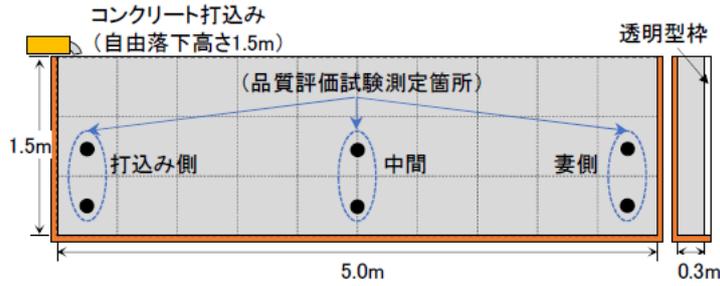


図2.4.6.3 模擬試験体の表層品質試験の位置²⁾

図2.4.6.4に表層透気試験結果を示す。図の右端には表層透気試験の評価基準を示している。脱型後はシート養生のみで湿潤養生を実施していなかったため、全体的に表層透気係数は大きめだったものの、配合③供試体は概ね「一般」評価であり、他の供試体より透気係数が小さく表層品質の向上が確認された。

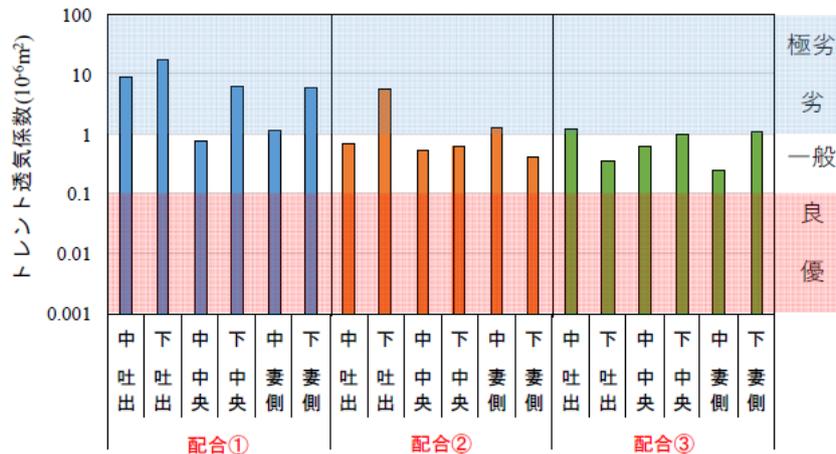


図2.4.6.4 表層透気試験結果（トレント法）²⁾

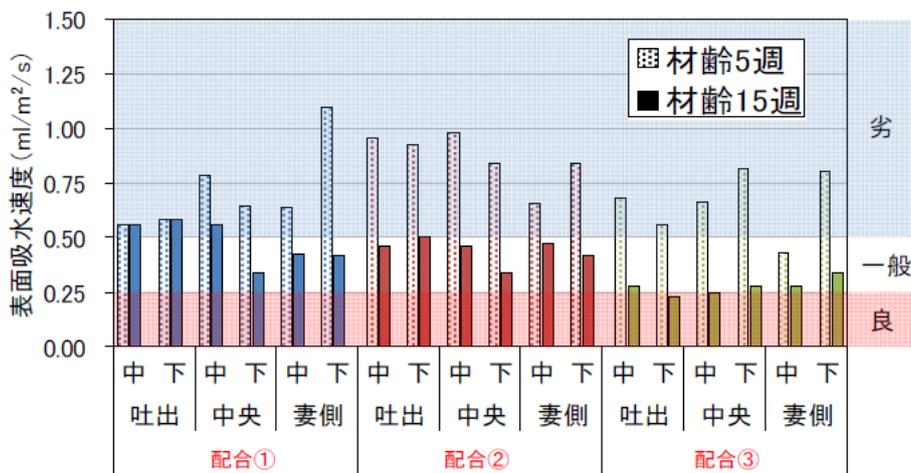


図2.4.6.5 表面吸水速度試験結果（SWAT法）²⁾

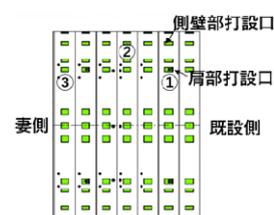
図2.4.6.5 に表面吸水試験結果を示す。図の右端には表面吸水速度の評価基準を示している。材齢5週目の表面吸水速度は概ね「劣」評価となり、配合による優位差は確認できなかった。上述のように、脱型後湿

潤養生を実施していないことが原因と考えられたため、シートを撤去して自然環境下に存置し、材齢15週(11月上旬)で2回目の測定を行った。材齢15週では全体に表面吸水速度が低下し、特に火山ガラス微粉末を用いた③供試体は「一般」から「良」評価となり、表層品質の改善効果を確認した。火山ガラス微粉末の使用により、材料分離抵抗性が向上することで端部まで均質なコンクリートが打ち込めたとともに、ポズラン反応によってコンクリート組織の緻密化が進行したためと考えられる。

模擬型枠試験の結果を踏まえ、配合②および配合③の実際の覆工への打込みが可能と判断し、打込み時に締固め前のフレッシュコンクリートをセントル型枠内で定量採取してモルタル・細骨材を水で洗い流した後の粗骨材の重量を測定し、①打設口位置の粗骨材重量を100%とした場合の、②側壁部、③肩部の比を確認した。表2.4.6.2に示す試験の結果、配合②の③肩部で粗骨材量が多くなる結果となったが、そのほかの箇所では同等の値となり、均質性が確保されていることが確認された。

表2.4.6.2 採取位置定量採取による粗骨材量の確認試験(参考)

配合	①打設口 付近	②側壁部 (流動距離 5m)	③肩部 (流動距離 10m)
配合②	100%	92.2%	130.0%
配合③	100%	108.1%	112.1%



(3) まとめ

北海道開発局Aトンネルで実施した試験施工からの考察をまとめる。本試験施工は、道路トンネル定期点検などで特につま部の施工目地部付近の覆工コンクリートに材質劣化が多く発生している原因として、移動式型枠内でコンクリートを強制的に横移動させて施工するトンネル特有の打込み方法により、コンクリートに材料分離等が発生し、低品質なコンクリートがつま部に集中して不具合が発生しているのではないかとの推察を端緒に、配合の違いによる品質確認を試験施工で行ったものである。

試験の結果、標準配合①のスランプ15cmは、流動過程で粗骨材が沈降し、つま部まで粗骨材が運ばれず、均質性が低下する可能性があることがわかった。今回の試験では、スランプ18cm以上の配合②および配合③で粗骨材をつま部まで確実に連行できることがわかった。一方で、流動性や材料分離抵抗性は地域の骨材事情等で大きく左右されるため、事前に試験施工を行い、流動性・材料分離抵抗性を確認したうえで使用配合を決定する必要がある。また、側壁から肩部までの範囲の打込みは、コンクリート投入口をセントル延長に対して片側2ヵ所以上(落下高1.5m以下となるように配置)設置し、コンクリートの流動距離を最小限にすることで、材料分離の発生を防止する必要がある。さらに、必要以上の締固め(強制的な横移動)は、粗骨材を沈降させ均質性が低下するため、適切な締固め時間の設定と管理が求められる。

参考文献

- 1) 亀井慎子, 荒木大靖, 花岡大伸, 野村貢, 戸本悟史: 火山ガラス微粉末の覆工コンクリートへの適用に関する施工性および品質評価, 土木学会第78回年次学術講演会, IV-974, 2023.9
- 2) 吉田行, 長谷川諒, 椎名貴快, 高木雄介, 三井功如: 火山ガラス微粉末の覆工コンクリート模擬供試体の表層品質結果, 土木学会第78回年次学術講演会, IV-975, 2023.9

(担当: 三井 功如)

2.4.7 補強鉄筋区間の施工の課題

NATM方式のトンネルの覆工コンクリートは、地山からの外力が作用しないことが前提であるため、無筋コンクリートが基本となっている。しかしながら、坑口部や地山が悪いところなどでは、単鉄筋で補強されることが多い。ここでは、単鉄筋で補強された覆工コンクリートの区間を補強鉄筋区間と呼ぶ。

図2.4.7.1に、覆工コンクリートの補強鉄筋区間の配筋状況を示す。通常2車線の歩道なしの道路トンネルでは、トンネル横断方向にD19が200mm間隔、トンネル縦断方向にD16が300mm間隔で配筋されている。



図 2.4.7.1 覆工コンクリートの補強鉄筋区間の配筋状況

補強鉄筋区間では、覆工コンクリートの施工時に以下のような問題が生じている。

①鉄筋による流動性の阻害

鉄筋により流動性が阻害されるため、バイブレータによる加振作業の時間が増加する。

②鉄筋の障害によるバイブレータの挿入位置の管理困難

移動式型枠の検査窓から、人力で棒状バイブレータによる締固めを行う場合、鉄筋が障害となり、必要な箇所にバイブレータを挿入できない場合がある。

③鉄筋の障害による締固め箇所の視認困難

200mm×300mmの鉄筋の格子が障害となり、打設作業員が検査窓から十分に体を乗り出せなくなるため、締固め箇所の視認が困難となる。

①の問題点は、流動性が阻害されることによる材料分離の助長、②③の問題点は、適切な締固めが出来なくなることによる締固め不足が発生しやすい点である。

このような問題点の解決策の一つとして、補強鉄筋区間のみ、発注者の承諾を得て、覆工コンクリートの配合を締固めを必要とする高流動コンクリート（中流動コンクリート）に変更している工事がある。

しかし、補強鉄筋区間において覆工コンクリートの配合を、締固めを必要とする高流動コンクリートに変更した場合、コンクリートの流動性が高まることにより、移動式型枠には液圧に相当する側圧が作用する。このため、移動式型枠に対する補強が必要となる。また、土木工事共通仕様書^リにおいては、締固めを必要とする高流動コンクリートは、型枠バイブレータで締固めをすることになっているため、移動式型枠に型枠バ

イブレータを設置する必要がある。

地山条件によって差異はあるものの、補強鉄筋区間は通常坑口付近に限られ、その延長はトンネル全延長の1割にも満たない場合が多い。このような限定的な区間のために移動式型枠の補強および型枠バイブレータの設置を行うのであれば、むしろ、それを活用して高流動コンクリートを全延長に適用した方が作業効率・品質面で合理的である。しかし、高流動コンクリートは標準配合と比較して材料費が増加するため、工事費全体の上昇を懸念して、全延長への適用は見送られることが多い。

参考文献

1) 国土交通省 東北地方整備局：土木工事共通仕様書，令和6年3月

(担当 佐藤 和徳)

2.5 覆工コンクリートのひび割れ対策の課題

2.5.1 ひび割れ発生の責任所在

施工者は、発注図面通りに施工したことを根拠に、ひび割れ発生の責任は発注者にあると主張し、補修費用は発注者の負担であるべきとするケースが見受けられる。

このようなひび割れに関する責任の所在に関する混乱は、ひび割れには適切な施工により防止できるものと、いかに丁寧な施工をしても、適切な対策を行わなければ発生してしまうひび割れがあるということを、受発注者の双方で認識されていないことが原因と考えられる。特に発注者において、その認識が不十分な場合が多く認められる。

現状においては、ひび割れ発生の原因や責任の所在について検討が行われないまま、ひび割れ発生は施工者の責任とされ、補修費用の負担を施工者に求める風潮があると推察される。

2.5.2 品質管理基準・規格値と工事成績評定要領の運用

ひび割れに関する品質管理基準および規格値を表2.5.2.1に示す。この表は、土木工事施工管理基準および規格値¹⁾のうち、セメントコンクリートの工種における品質管理基準および規格値の施工後試験のひび割れ調査に関する部分を抜粋したものである。これによれば、コンクリート構造物に幅0.2mm以上のひび割れが発生した場合には、ひび割れの本数、延長、ひび割れ幅の調査が必要になることがわかる。

表 2.5.2.1 土木工事施工管理基準及び規格値¹⁾の品質管理基準及び規格値(工種:セメントコンクリート)

種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値	試験基準	適用
施工後試験	必須	ひび割れ調査	スケールによる測定	0.2mm	本数、延長、ひび割れ幅等	0.2mm 以上の場合 はひび割れ調査を実施

このようなひび割れ調査が品質管理基準および規格値に明記されるようになった背景は、国土交通省から出された通達、「土木コンクリート構造物の品質確保について」国官技第61号 平成13年3月29日大臣官房技術調査課長²⁾に由来している。同通達では、「工事完成後の維持管理にあたっての基礎資料とするため、重要構造物についてはひび割れ発生状況の調査を請負者に実施させるものとし、調査結果を完成検査時に提出させること。」という記載があり、0.2mm以上のひび割れがあった場合でも、ひび割れの本数、延長、幅を記録すればよいという主旨のものであることがわかる。

一方、一般的には、施工管理基準や品質管理基準において規格値に適合しない場合、補修等により規格値

を満足するよう是正が行われる。このため、コンクリート構造物に発生した 0.2mm 以上のひび割れは「有害なひび割れ」としてみなされ、施工者に補修を求める運用が広まった。しかしながら、これはひび割れ調査の「工事完成後の維持管理にあたっての基礎資料とするため」という主旨から大きく逸脱した運用と言える。

さらに、請負工事成績評定要領³⁾の、コンクリート構造物工事の品質の評価は「有害なひび割れがない」を含む 14 の評価項目が記載されており、工事成績の加点を得るためには、全 14 項目中 60%以上にチェックがつき、かつ品質関係の試験結果のばらつきが 80%以下を満たす必要がある。このため、幅 0.2mm 以上のひび割れが「有害なひび割れ」として認識されると、工事成績上の減点要素として運用される傾向がある。

このように、品質管理基準の規格値や請負工事成績評定要領の評価項目の運用は、ひび割れの発生は全て施工者の責任であり、「ひび割れ幅が 0.2mm 以上」を「有害なひび割れ」と扱う点で問題があると考えられる。

はじめに述べたように、ひび割れの発生原因は、施工者の施工に起因するものだけでなく、どんなに丁寧な施工をしても発生するひび割れが存在する。そのため、ひび割れを生じさせないための対策の可否はもちろろん、ひび割れの発生そのものを許容するか否かの判断は発注者の責任で実施すべきである。また、ひび割れの有害性については、単にひび割れ幅のみではなく、ひび割れが発生した構造物の部位、ひび割れ発生箇所の漏水や水掛りの有無、鉄筋の有無、構造物が建設された地域の自然環境や使用環境を踏まえて総合的に判断すべきものである。

よって、まずはコンクリート構造物のひび割れに対する誤った認識を正すことが、ひび割れに関する諸問題の解決に向けた第一歩だと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値（案），2025.3
- 2) 「土木コンクリート構造物の品質確保について」国官技第 61 号，平成 13 年 3 月 29 日
- 3) 国土交通省：請負工事成績評定要領

（担当 佐藤 和徳）

2.6 覆工コンクリートの不具合と劣化の実態

2.6.1 東北地方の山岳トンネルの不具合の発生状況

東北地方整備局が管理する NATM トンネルの不具合の発生状況については、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）¹⁾（以下 品質確保の手引き（トンネル編））に紹介されている。ここでは、その内容を参照しつつ、東北地方のトンネルの不具合の発生状況について述べる。

NATM 工法の覆工コンクリートには、矢板工法と異なり地山からの外力が作用しない。このため、NATM 工法の覆工コンクリートは「化粧巻き」と呼ばれ、型枠にコンクリートを流し込めば良いという間違った認識のもとに施工される場合が見受けられる。このような認識で施工を行った場合、覆工コンクリートの品質確保のために必要となる、**図 2.6.1.1**に示すコンクリートの基本的な打込み・締固め方法の遵守が軽視しがちになるため、施工に起因するひび割れや不具合が多数発生し、それらが覆工コンクリートの剥離・剥落に進展する。これらが生じると、第三者被害予防のために広範囲にわたる剥離・剥落対策が必要となり、維持管理上の問題が発生する（**図 2.6.1.2**）。

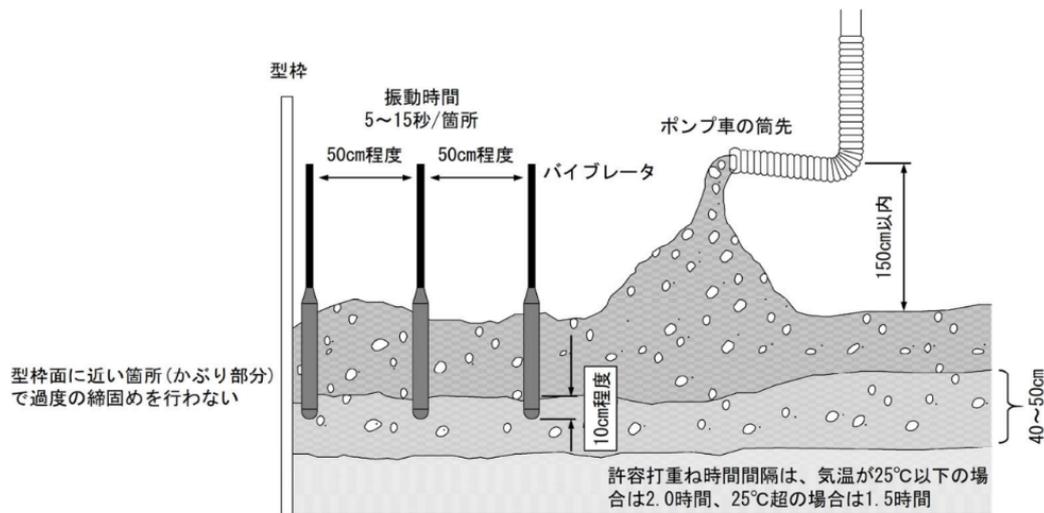


図 2.6.1.1 コンクリートの基本的な打込み・締固め方法



図 2.6.1.2 アーチ部および天端部に第三者被害予防のため剥離・剥落対策を広範囲に実施した事例

2.2.2 で NATM 工法の覆工コンクリートの施工方法を示したように、覆工コンクリートは、吹付コンクリートに設置した防水シートと移動式型枠の間の厚さ 30~50cm の狭隘な空間にコンクリートを打ち込み、締固めをする構造物である。一般的な 2 車線の自動車専用道路に用いる標準長さ 10.5m の移動式型枠は、横断

方向 1 列に 7 つの検査窓があり、それが縦断方向に 1.5m 間隔で 7 列配置されるため、合計 49 個の検査窓が設けられている。

側壁・アーチ部のコンクリートの打込みは、端から 3.75m に設けられた 1 列の検査窓からコンクリート配管の筒先を出した場合は、打ち込まれたコンクリートは縦断方向に最大約 7m の流動を必要とする。また、締固めは、打込み口以外の 6 列の検査窓から棒状バイブレータを挿入して行う。標準仕様のコンクリートは、呼び強度 18、スランプ 15 cm のコンクリートであるため、自然流動では検査窓からつま部まで到達できず、かつ山状の形状となる。そのため、移動式型枠内にコンクリートを水平に行きわたらせるためには、検査窓から棒状バイブレータによるコンクリートの強制的な横移動が必要となる。

天端部のコンクリートの打込みは、吹上げ方式による 1 箇所の吹上げ口からの片押し施工となるため、縦断方向に約 10m の流動を必要とする。また、片押しであることから、打込みが進むにつれて、吹き上げられたコンクリートがつま側に流動してくるため、天端部の検査窓を順次閉める必要がある。このため、標準の移動式型枠では、閉めた検査窓の上を流動するコンクリートの締固めができない。

覆工コンクリートは、一般的にコンクリート自重に抵抗できる圧縮強度 ($2.0\sim 3.0\text{ N/mm}^2$ 程度) が出現した時点で脱型する計画のため、打込み完了後の 12~20 時間程度で脱型強度に達する場合が多い。このため、覆工コンクリートは、2 日に 1 回のサイクルで施工され、若材齢で脱型されるのが通常である。このように、NATM 工法の覆工コンクリートは、橋台、橋脚、函渠等の一般構造物とは異なり、標準の移動式型枠や標準配合の問題点から、コンクリートの基本的な打込み・締固め方法を実施することが難しい構造物であることがわかる。このため、東北地方整備局が管理する NATM 工法の覆工コンクリートには、施工方法、配合、養生方法、温度・湿度の変化等の要因により、以下のような不具合が発生している。

① 斜めの打重ね線

適切な打重ね線は、概ね水平で 1 層の厚さもほぼ均一である。水平かつ一定の打重ね厚で施工管理を怠ると、下層に 10cm 程度棒状バイブレータを挿入し、上下層が一体となるような締固めが実施できない。一方、**図 2.6.1.3** に示すように、アーチ部に斜めの打重ね線が生じる場合がある。これは、標準配合であるスランプ 15cm および粗骨材最大寸法 40mm のコンクリートを使用した場合、打込み口から打ち込んだだけでは、自然流動によってつま部まで到達せず、山状に堆積するためである。打ち込んだコンクリートを移動式型枠内に行きわたらせ、かつほぼ水平にするためには、棒状バイブレータによるコンクリートの強制的な横移動が必要となるが、この事例では、打重ね線が斜めで、1 層の厚さも均一となっていないことから、強制的な横移動を行わずに自然流動のまま打込みが実施され、バイブレータによる上下層一体締固めも適切に行われていないことが容易に想像できる。



図 2.6.1.3 アーチ部に生じた斜めの打重ね線

② 表面気泡

側壁およびアーチ部では、バイブレータによる締固めが不十分な場合に表面気泡が発生する可能性がある。特にスプリングライン(以下、SL)より上のアーチ部は、壁面がトンネル内空側に傾斜しているため、通常であればバイブレータの振動により表面気泡が地山側に浮き上がり、表面気泡は生じにくいと考えられる。しかし、**図 2.6.1.4** に示すように、SL より上のアーチ部に表面気泡が発生した事例がある。このように、SL より上のアーチ部で表面気泡が残るということは、締固めが不十分であったことを示している。



図 2.6.1.4 SL より上のアーチ部に発生した表面気泡

③ 水はしり・砂すじ

覆工コンクリートの標準配合は、呼び強度 18、スランプ 15cm、水セメント比(以下 W/C) 60%以下である。この配合は、水和反応に影響しない余剰水を多く含むため、ブリーディングが発生しやすい。また、打込み口からの自然流動ではつま部まで到達できず、かつ山状となるため、バイブレータによるコンクリートの強制的な横移動が不可欠となっている。しかし、この配合で強制的な横移動を行うと、材料分離が生じ、ブリーディングがさらに助長される。このブリーディング水を適切に除去せずに上層を打重ねると、上層の型枠面に沿ってブリーディング水が流れ、水はしり・砂すじが生じやすくなる。

図 2.6.1.5 に、側壁の検査窓周辺に生じた水はしり・砂すじの事例を示す。



図 2.6.1.5 側壁の検査窓周辺に生じた水はしり・砂すじ

④ 色むら

天端部のコンクリートは、吹上げ方式にて1箇所の吹上げ口から片押し施工される。片押しであることから、打込みが進むにつれて、吹き上げられたコンクリートがつま側に流動してくるため、天端部の検査窓を順次閉める必要がある。このため、標準の移動式型枠では、閉めた検査窓の上を流動するコンクリートの締固めができない。さらに、先に吹き上げられたコンクリートを後から吹き上げられたコンクリートが押して流動する過程が縞模様となって残る。この縞模様は、打込みの時間差が大きくて硬化の程度が異なるコンクリートを打ち重ねた場合や、ブリーディング水やノロの排出が不十分で性状の異なるコンクリートを打ち重ねた場合により明瞭となる。また、先打ちと後打ちのコンクリートの一体化が不十分な場合が多い。このような模様を色むらと呼んでいる。また、型枠に塗布する剥離剤の種類や塗布量などによっても色むらが発生する場合がある。図 2.6.1.6 に、天端部の吹上げ口付近の色むらの事例を示す。



図 2.6.1.6 天端部の吹上げ口付近の色むら

⑤ 施工目地不良

施工目地部に曲がり、ノロ漏れ、角欠け、ひび割れが発生する状態を施工目地不良と呼んでいる。

施工目地部の曲がりやノロ漏れは、コンクリート打込み前に移動式型枠に設置する目地材の設置不良や打込み時の振動により曲がりや位置ずれにより発生する不具合である。

標準配合は呼び強度 18、スランプ 15cm、W/C=60%以下と余剰水が多い配合なため、そもそもブリーディングやノロが発生しやすい。その上、バイブレータによるコンクリートの強制的な横移動が必要となるため、施工目地部にはブリーディング水やノロが集まりやすい(図 2.6.1.7)。



図 2.6.1.7 施工目地部に集まったブリーディング水とノロ

打込み中にブリーディング水やノロを適切に排出しない場合、打ち込まれたコンクリートは低品質となるため、施工目地部の強度は相対的に低下し、わずかな偏圧や乾燥収縮等で角欠けが発生しやすくなる。図 2.6.1.8 に、施工目地部の角欠けの事例を示す。この角かけは、目地材の設置不良が原因と推察される。



図 2.6.1.8 施工目地部の角欠けの事例

⑥ ノロ漏れ

型枠の隙間（検査窓枠，側壁型枠とアーチ型枠の接合部，箱抜き型枠）から，ノロ等が漏れた跡をノロ漏れと呼んでいる。ノロ漏れ箇所にはブリーディング水が集まって，水はしりや砂すじが生じる場合もある。図 2.6.1.9 に天端部の検査窓に生じたノロ漏れの事例を示す。

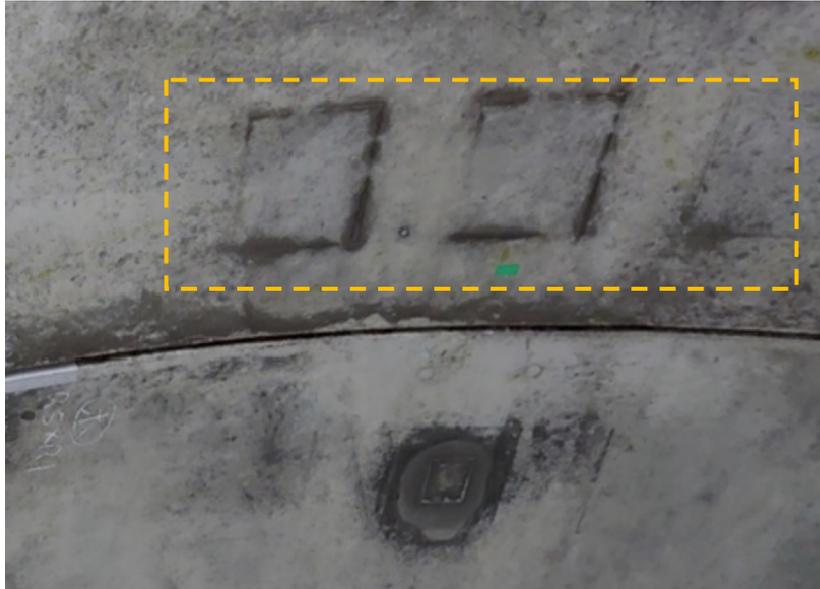


図 2.6.1.9 天端部の検査窓に生じたノロ漏れの事例

⑦ 剥離

剥離は、主に型枠と覆工コンクリートの付着によってモルタルペーストが剥離する現象を示す。剥離は、型枠脱型時の強度不足が要因で発生する傾向がある。また、それ以外の要因としては、移動式型枠表面のケレン不足、剥離剤の塗りむらおよび剥離剤の消失があげられる。これらの要因による剥離は、発生場所が一定せずとその都度異なる傾向がある。図 2.6.1.10 に剥離の事例を示す。



図 2.6.1.10 剥離の事例

ここからは、覆工コンクリートに生じる主なひび割れの事例について紹介する。

⑧ 天端部の縦断方向ひび割れ

天端部は吹上げ方式で施工されるため、天端頂部のコンクリートの充填が難しい。天端頂部の覆工厚が側壁・アーチに比較して相対的に薄く、締固めが不十分な箇所等が乾燥収縮の影響を受けて、天端部に縦断方

向のひび割れが入る場合がある。図 2.6.1.11 に天端部に生じた縦断方向ひび割れの事例を示す。

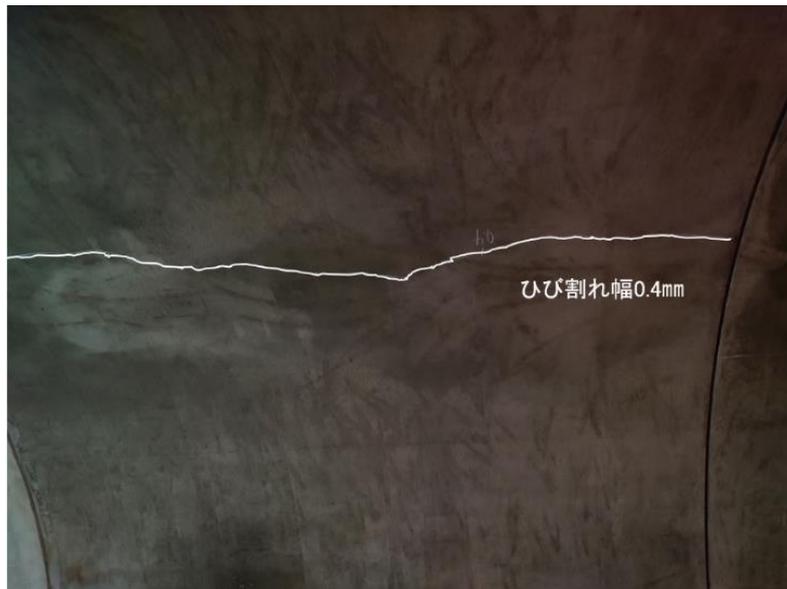


図 2.6.1.11 天端部に生じた縦断方向ひび割れ

⑨ アーチ部と天端部の境界のひび割れ

アーチ部のコンクリートの打込み・締固めが終了すると、天端部の吹上げ方式に移行するため、配管の切り替え作業やアーチ部の配管清掃が必要となるが、これに時間を要すると、アーチ部と天端部の境界にコールドジョイントが発生する可能性がある。このため、可能な限り打重ね時間を短くするとともに、吹上げ方式に移行した初期の段階では、アーチ部と天端部の打重ね箇所に対して確実にバイブレータで締固めを行い一体化する必要がある。しかし、換気用風管の配置等により、天端部の検査窓からアーチ部と天端部の打重ね箇所が目視出来ない場合があり適切に締固めが行えないことがある。このような場合に、アーチ部と天端部の打重ね箇所の一体化が不十分となり、ひび割れが発生する場合がある。図 2.6.1.12 に、アーチ部と天端部の打重ね線にひび割れが発生し、遊離石灰が析出している事例を示す。



図 2.6.1.12 アーチ部と天端部の境界にひび割れが発生し、遊離石灰が析出している事例

⑩ 打重ね線に沿ったひび割れ

上下層の一体締固めが不十分であると打重ね線に沿ったひび割れが発生する可能性がある。また、打重ね箇所にはブリーディング水が溜まりやすい。ブリーディング水の除去が不十分だと、打重ね箇所のコンクリートの水分が相対的に多くなるため、他の箇所に比較して強度が低下する。この場合、引張強度も低下するため、乾燥収縮などの影響により、打重ね線に沿ってひび割れが発生する。図 2.6.1.13 に、打重ね線に沿ったひび割れの事例を示す。



図 2.6.1.13 打重ね線に沿ったひび割れの事例

⑪ 色むらに沿ったひび割れ

色むらは、打込み時の時間差が大きく、硬化の程度に差異が生じたコンクリートを打ち重ねた場合や、ブリーディング水やノロの排出が不十分なまま性状の異なるコンクリートを打ち重ねた場合に、明瞭に発生する傾向がある。これらの色むらは、先打ちと後打ちのコンクリートの一体化が不十分であることを示唆している。特に、吹上げ施工の終盤は、天端部の検査窓が閉鎖されるため、標準仕様の移動式型枠を用いた場合には、締固め設備が設置されていないため、打重ね箇所を一体化する十分な締固めが困難となる。その結果、色むらに沿ってひび割れが生じる場合がある。図 2.6.1.14 に天端部に生じた色むらに沿ったひび割れの事例を示す。

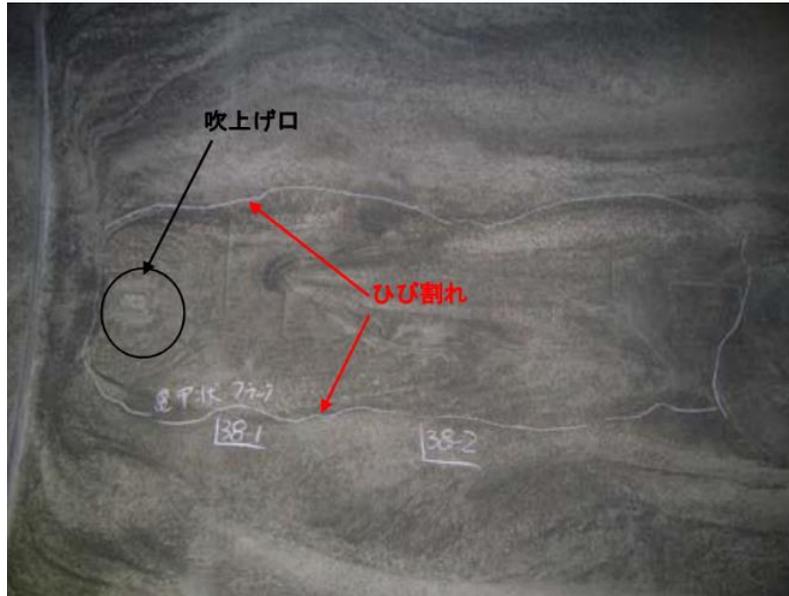


図 2.6.1.14 天端部に生じた色むらに沿ったひび割れ

⑫ 移動式型枠の押し上げによるひび割れ

移動式型枠の設置時に、既設側コンクリートに対して型枠を過度に押し上げた場合や、脱型時に型枠を均等に降下させず、回転させるように不均一に降下させた場合は、移動式型枠の面板が既設コンクリートの端部を押し上げる力として作用する。その結果、施工目地部に半月状のひび割れが入る場合がある。図 2.6.1.15 に移動式型枠の押し当てによるひび割れの事例を示す。



図 2.6.1.15 移動式型枠の押し当てによるひび割れ

⑬ 側壁の横断方向のひび割れ

側壁の底部からアーチ部に向かって横断方向にひび割れが入る場合がある。このひび割れは、インバートの拘束による温度応力ひび割れであり、セメントの水和熱で移動式型枠内のコンクリート温度が高くなる夏

期施工の場合や、セメント量が多い配合を使用した場合に発生しやすい。図 2.6.1.16 に側壁の横断方向のひび割れの事例を示す。



図 2.6.1.16 側壁の横断方向のひび割れの事例

⑭ 施工目地部のひび割れおよび浮き

施工目地部は、ノロやブリーディング水が集まりやすいため、他の箇所と比較して弱部になりやすい。さらに、施工目地部の挙動がひび割れや浮きの発生に大きく影響している。

図 2.6.1.17 は、実物の覆工コンクリートにおける 2 つの目地において、脱型後の材齢に伴う目地の開き量を調査したものである。脱型後は乾燥収縮が進むため、20 日程度で 2~3mm 程度の目地の開きが確認された。

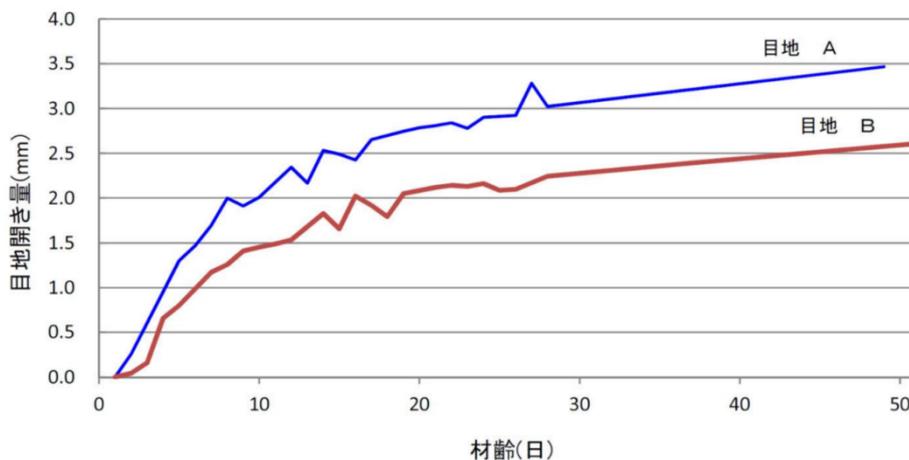


図 2.6.1.17 実物の覆工コンクリートの脱型後の材齢に伴う目地の開き量の推移

図 2.6.1.18 に、施工目地部で推察される不具合発生メカニズムを示す。後打ちコンクリートの打込み後、コンクリートの温度や乾燥収縮による体積変化により、後打ちコンクリートと先打ちコンクリートは離れる

方向に変形する。このときに、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートが付着している場合、弱部に沿ってひび割れが発生し（図 2.6.1.19、図 2.6.1.20 参照）、これが浮きにつながる可能性がある。また、冬期施工の覆工コンクリートは、夏期に向けて膨張し、目地部で押し合う形となった場合にも、弱部からひび割れや浮きが発生する懸念がある（図 2.6.1.21 参照）。

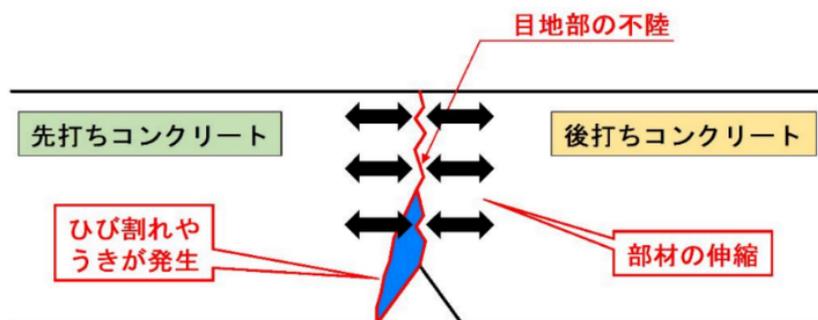


図 2.6.1.18 施工目地部での不具合発生メカニズム

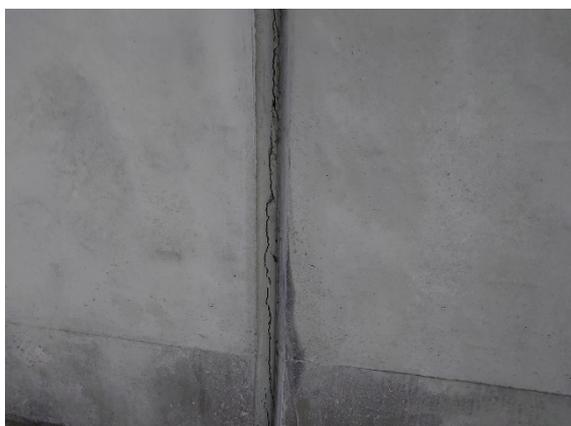


図 2.6.1.19 目地部に発生したひび割れ

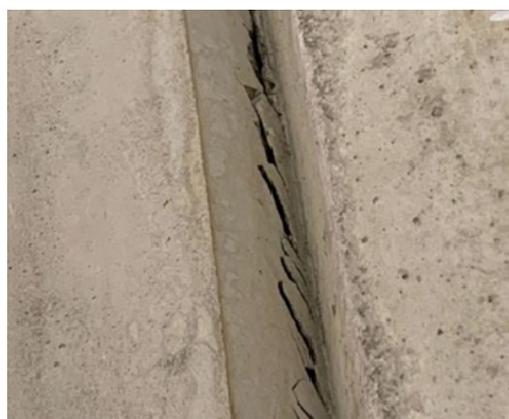


図 2.6.1.20 コンクリートの収縮による目地の開きで生じたひび割れ

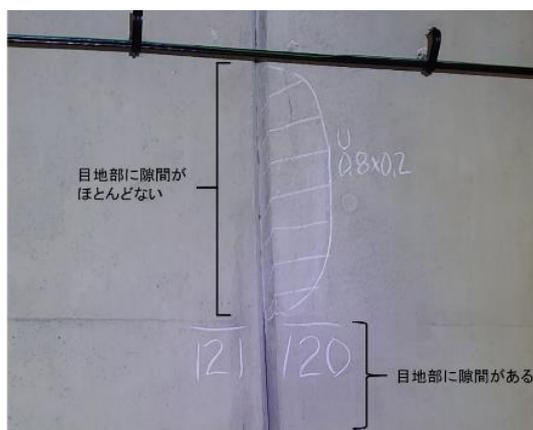


図 2.6.1.21 コンクリートの膨張による目地部の浮き

このように、弱部になりやすい施工目地部の特徴と、乾燥収縮や温度変化による覆工コンクリートの伸縮により図 2.6.1.22 のような施工目地部の浮きや、図 2.6.1.23 のような施工目地部のブロック化したひ

び割れが、発生すると考えられる。

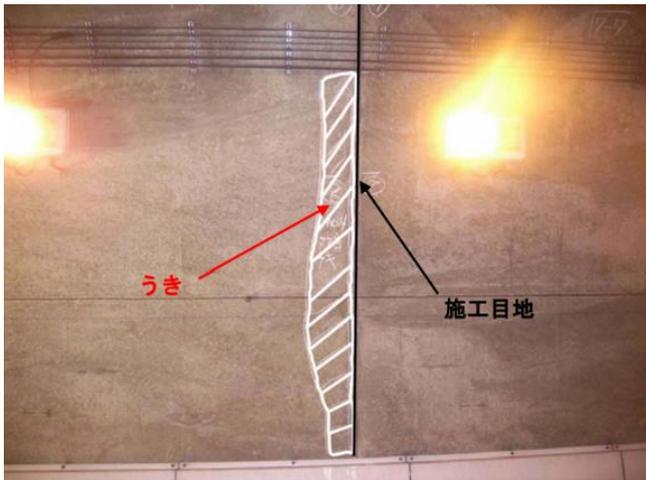


図 2.6.1.22 施工目地部の浮き

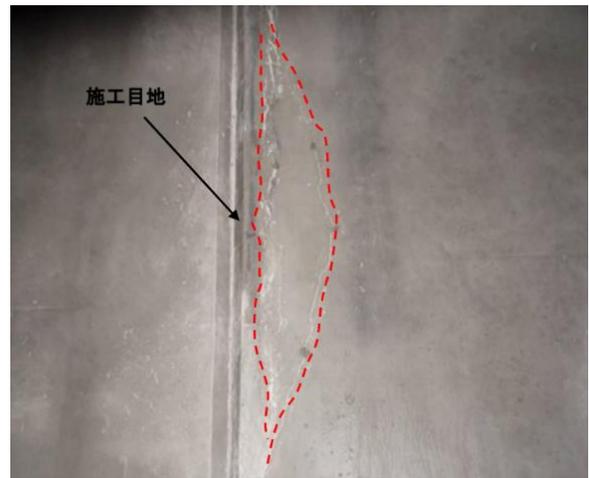


図 2.6.1.23 施工目地部のブロック化したひび割れ

⑮ 坑口部付近のひび割れ

図 2.6.1.24 は、あるトンネルの定期点検時に記録された覆工コンクリートのひび割れ図である。このトンネルは、坑門工のひび割れも多くみられるが、特に坑門工から 2 ブロック目までの覆工コンクリートには、3 ブロック目以降と比較して多くのひび割れが発生していることがわかる。これは、覆工コンクリートは打込み・締め後の翌日に若材齢で脱型するのが通常であるため、コンクリートがまだ若材齢の段階で、日射や風の影響を受け、急激な乾燥や温度変化によってひび割れが発生したと推察される。そのため、坑口部では日射や風の影響を考慮し、適切な脱型時期の選定に留意する必要がある。

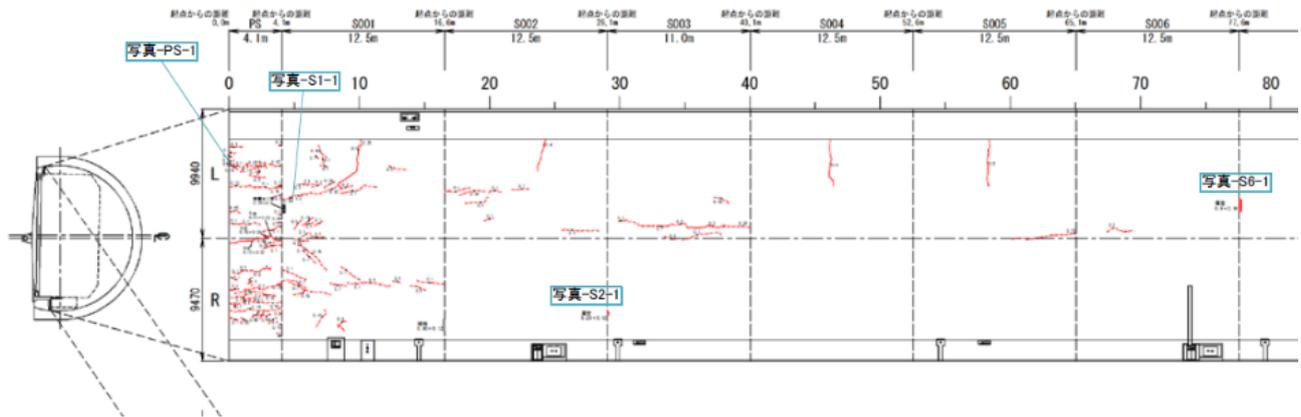


図 2.6.1.24 定期点検時の覆工コンクリートのひび割れ図の例

⑯ 材質劣化（凍害、塩害）

覆工コンクリートには、環境作用による材質劣化も発生している事例がある。

東北地方は、その大部分が積雪寒冷地域に該当し、冬期には寒冷の影響により路面の凍結が発生するため、車両のスリップ事故等を抑制する目的で、路面に大量の凍結防止剤が散布される地域である。このため、コンクリート構造物の凍害や凍結防止剤に起因する塩害といった材質劣化に留意が必要な地域である。特にトンネルの坑口部では、冬期の寒冷の影響のため、夜間にコンクリート内外の水分が凍結し、日中には日射に

より融解するという凍結融解の繰り返しを受けるため、凍害の発生リスクが高い（図 2.6.1.25）。また、トンネル内には凍結防止剤は散布されないものの、坑口付近の路面には大量の凍結防止剤が散布されるため、車両走行により凍結防止剤が坑内に引き込まれ、坑口部から一定区間において塩害の発生が懸念される。



図 2.6.1.25 坑口の凍害の事例

このように、覆工コンクリートには様々な不具合や材質劣化が生じている。図 2.6.1.26 に、覆工コンクリートの劣化しやすい部位と不具合の発生しやすい部位を模式的に示す。

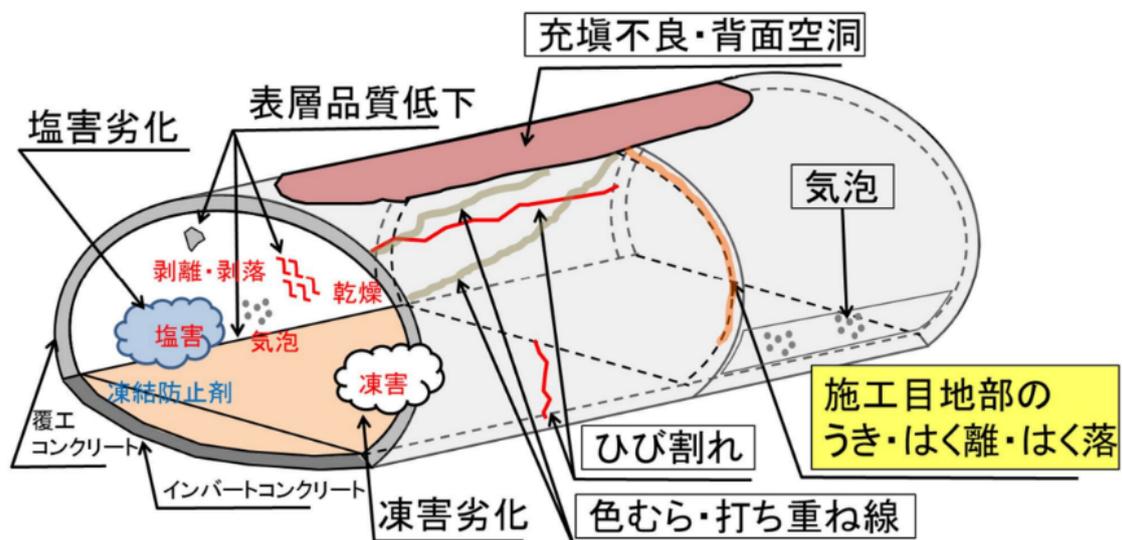


図 2.6.1.26 覆工コンクリートの劣化しやすい部位と不具合の発生しやすい部位¹⁾

参考文献

- 1) 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）2023年改訂版，令和5年3月

（担当：佐藤 和徳）

2.6.2 東北地方整備局のトンネル定期点検結果からの劣化の実態

トンネルの定期点検は、利用者への被害の回避や通行止めなど長期的な機能不全の防止、そして長寿命化へ向けた適時の対応など、トンネルに係る維持管理を適切に行うために必要な情報を得ることを目的に実施される。2014年に国土交通省から「道路トンネル定期点検要領」が制定された（最新版は2024年9月）¹⁾。定期点検では、近接目視を基本に覆工コンクリートの状態を把握し、次回の定期点検までの措置方針の参考とするために対策区分の判定を行っている。

2024年に行われた東北6県の道路メンテナンス会議では、点検2巡目の点検結果を健全性の診断区分ⅠからⅣ（表2.6.2.1）で公表した。健全（Ⅰ）のトンネルはわずか1.5%しかなく、早期措置段階（Ⅲ）のトンネルが44%以上を占めている。また、健全（Ⅰ）のトンネルは、震災復興工事で品質確保の取り組みが実施された太平洋側に多く存在する。

表 2.6.2.1 健全性の診断の区分¹⁾

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。

表 2.6.2.2 2巡目（19年度～22年度）点検結果⁴⁾

判定区分		青森	岩手	秋田	山形	宮城	福島	計
Ⅰ	件数	0	8	1	0	3	1	13
	%	0.0%	3.6%	0.7%	0.0%	2.5%	0.5%	1.5%
Ⅱ	件数	23	118	83	84	53	103	464
	%	62.2%	53.2%	58.0%	72.4%	44.9%	47.0%	54.3%
Ⅲ	件数	14	96	59	32	62	115	378
	%	37.8%	43.2%	41.3%	27.6%	52.5%	52.5%	44.2%
Ⅳ	件数	0	0	0	0	0	0	0
	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

東北地方整備局が1980年代からNATMで施工したトンネルの健全性を、施工年代別で調査した結果を図2.6.2.1に示す。調査の結果、1990年代以前に施工されたトンネル（完成から30年以上経過）では、約半数が早期措置段階（Ⅲ）に該当している。一方で、2010年代以降になると健全（Ⅰ）に分類されるトンネルが構築されるようになった。しかし、品質確保の手引きが発行された2016年以降のトンネルであっても、初回点検時に早期措置段階（Ⅲ）に該当するトンネルが1.7%存在しており、品質確保の取組みが十分に行われていないトンネルが依然として存在していることが明らかになっている。

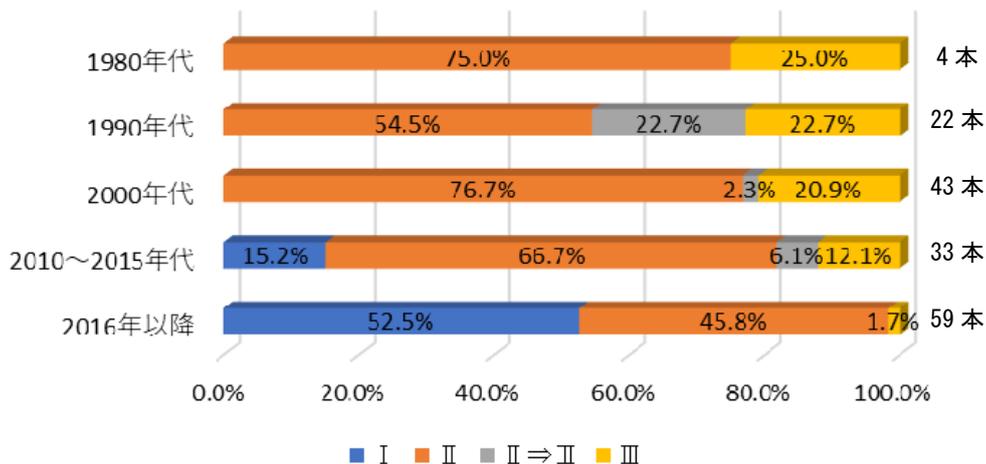


図 2.6.2.1 東北地方整備局における施工年代別の健全度

トンネル定期点検結果から、代表的な劣化進行事例を示す。A トンネルは、2014 年に完成した NATM トンネルで、供用前の 1 回目点検時の健全性は予防保全段階（Ⅱ）であった。しかし、建設からわずか 5 年で健全性が早期措置段階（Ⅲ）に進行した事例である。A トンネルにおける代表スパンの変状の推移を図 2.6.2.2 に示す。1 回目点検では、側壁の打重ね線にひび割れや施工目地部に浮きが確認されていたが、5 年後の 2 回目点検では、打重ね線のひび割れが新たに確認され、ひび割れから遊離石灰が析出しているのが確認されている。さらに、施工目地部からは漏水が確認されている。この事例から、NATM においても、施工時の品質確保が不十分なトンネルは、劣化進行の速度が速いことがわかる。

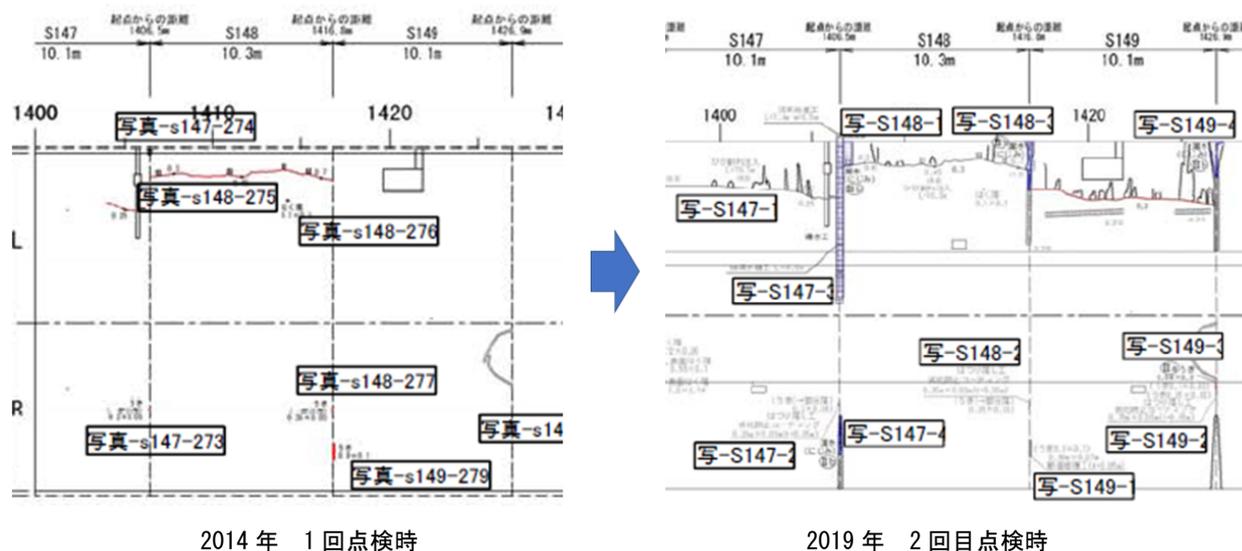


図 2.6.2.2 A トンネルにおける劣化進行事例

B トンネルは、2019 年に完成した NATM トンネルで、2021 年に実施した供用前の 1 回目点検において、早期措置段階（Ⅲ）に該当する天端部の浮き（図 2.6.2.3）が確認された。その後、応急措置が施され、健全（Ⅰ）と判定されている。この浮きは、締固め不足が要因と判断され、品質確保の手引き²⁾が発行された以降でも施工に起因する不具合が発生していることが分かる。

写真番号	覆工スパン番号	S083		
	変状番号	2		
変状部位	対象箇所	覆工・坑門		
	部位区分	アーチ(天端)		
変状区分		材質劣化		
変状種類		うき・はく離		
対策区分	応急措置前	Ⅲ		
	応急措置後	I		
健全性		I		
変状の発生範囲の規模		0.09㎡		
前回定期点検時の状態		—		
調査方針		—		
対策履歴		点検時に叩き落とし実施	実施状況(実施日)	—
メモ		アーチ(天端)にうきを確認。点検時に叩き落とし済につき、対策区分の判定I。		

図 2.6.2.3 B トンネルにおける早期措置段階(Ⅲ)の発生事例

続いて個別の変状について着目する。材質劣化の一例として、打重ね線に沿ってひび割れが発生したCトンネルの事例(図2.6.2.4)を挙げる。1回目点検では最大ひび割れ幅が0.7mmで健全(I)であったが、2回目点検でひび割れから遊離石灰が析出し、予防保全段階(Ⅱ)に進展している。また、施工目地部からも漏水が確認されている。この進行は、打込み時の施工管理不足により打重ね線が発生し、これが乾燥収縮等によりひび割れに進展して、防水シートの不具合によって遊離石灰の析出と施工目地部の漏水に進行したものと考えられる。

**最大ひび割れ幅0.7mm
健全性 I**

写真番号	覆工スパン番号	S148		
	変状番号	275		
変状部位	対象箇所	覆工		
	部位区分	左側壁		
変状区分		材料劣化		
変状種類		ひび割れ		
健全性	点検・調査後	I		
	措置後	—		
変状の発生範囲の規模		最大幅0.7mm		
前回点検時の状態		—		
調査(方針)		—	実施状況(実施日)	—
措置(方針)		—	実施状況(実施日)	—
メモ		縦断方向、白色溶脱物があるが、軽微で進行性もないことから、措置不用。		



**ひび割れからエフロレッセンス
目地部からも漏水 健全性 II**

写真番号	覆工スパン番号	S148		
	変状番号	3		
変状部位	対象箇所	覆工・坑門		
	部位区分	横断目地(左側)		
変状区分		漏水		
変状種類		漏水		
対策区分	応急措置前	—		
	応急措置後	Ⅱb		
健全性		Ⅱ		
変状の発生範囲の規模		1.4㎡		2.8m×0.5m(目地跨ぎ)
前回定期点検時の状態		なし		
調査方針		なし		
対策履歴		監視	実施状況(実施日)	継続
メモ		目地部からの漏水。漏水量にじみ程度のためⅡb。		



図 2.6.2.4 C トンネルの打重ね線に沿ったひび割れの劣化進行事例

材質劣化のうち、施工目地部に浮きが発生したDトンネル事例では、1回目点検に施工目地部に予防保全段階(Ⅱ)に該当する0.15m×0.03mの浮きを確認され、2回目点検には範囲が0.2m×0.03mに広がった(図2.6.2.5)。応急措置として、たたき落としと劣化防止コーティングを行い、健全(I)と判定されている。浮きが発生した要因は、打込み時につま部にブリーディング水等が集中し、低品質なコンクリートが施工目

地部に打込まれたこと、また供用後の施工目地部の膨張・収縮により引張力が発生し、浮きの範囲が広がったと考えられる。

うき0.15m×0.03m 健全性 II → うき0.2m×0.03m
5年ではく落防止工を実施 健全性 I

写真番号	覆工スパン番号	S54	
	変状番号	112	
変状部位	対象箇所	覆工	
	部位区分	左アーチ	
変状区分	材質劣化		
変状種類	うき		
健全性	点検・調査後	II	
	措置後	-	
変状の発生範囲の規模	0.15m×0.03m		
前回点検時の状態	-		
調査(方針)	-	実施状況(実施日)	-
措置(方針)	-	実施状況(実施日)	-
メモ	目地沿いにひび割れを伴っており、重点的な監視が必要。		

写真番号	覆工スパン番号	S054	
	変状番号	1	
変状部位	対象箇所	覆工・坑門	
	部位区分	横断目地(左側)	
変状区分	材質劣化		
変状種類	うき・はく離		
対策区分	応急措置前	-	
	応急措置後	I	
健全性	I		
変状の発生範囲の規模	0.01㎡	0.2m×0.03m	
前回定期点検時の状態	はく落防止対策工(はつり落し工、劣化防止コーティング)0.06㎡		
調査方針	なし		
対策履歴	はく落防止対策工(はつり落し工、劣化防止コーティング)	実施状況(実施日)	-
メモ	目地部うきのはく落防止対策工。問題なし。		

図 2.6.2.5 D トンネルの施工目地部の浮きの劣化進行事例

2010年頃から総合評価方式において、覆工コンクリートの品質・耐久性の向上がテーマとなり、また覆工コンクリートの5年保証制度が適用されたことにより、技術提案や施工者判断で締固めを必要とする高流動コンクリート(中流動コンクリート)等の富配合のコンクリートが使用される事例が増加している。流動性の高いコンクリートを使用することで、施工性や耐久性の向上が見込まれるが、その一方で不具合が発生している事例もある。

図 2.6.2.6 は、富配合のコンクリートを使用したのが、天端に縦断方向のひび割れが発生した E トンネルの事例である。

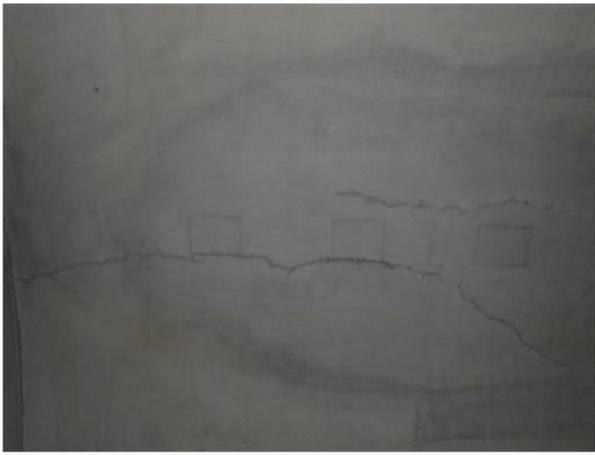
写真番号	覆工スパン番号	S167	
	変状番号	3	
変状部位	対象箇所	覆工・坑門	
	部位区分	アーチ(天端)	
変状区分	材質劣化		
変状種類	ひび割れ		
対策区分	応急措置前	-	
	応急措置後	I	
健全性	I		
変状の発生範囲の規模	3.23㎡	1.7m×1.9m	
前回定期点検時の状態	1.7m×1.9m		
調査方針	-		
対策履歴	塗布工(含浸材)	実施状況(実施日)	-
メモ	アーチ(天端)に塗布工(含浸材)を確認。対策区分の判定 I。		

図 2.6.2.6 E トンネルの天端部の縦断方向のひび割れ事例

図 2.6.2.7 は、流動性の高いコンクリートを使用したことにより、天端部の打込み範囲を標準よりも広くしたため、吹上げ口付近の剥離剤が流出し、剥離が発生した事例である。



図 2.6.2.7 天端部の吹上げ口付近の剥離事例

図 2.6.2.8 は、F トンネルにおいて、施工目地部の両側をアラミド繊維で補強したものの、固定が不十分だったため、アラミド繊維と型枠の間にモルタルペーストが薄く入りこみ、これが剥離に進展したものと考えられる。

写真 番号	覆工 スパン 番号	S173	
	変状 番号	1	
変状 部位	対象 箇所	覆工・坑門	
	部位 区分	アーチ（左側）	
変状区分		材質劣化	
変状種類		うき・はく離	
対策 区分	応急措置前	—	
	応急措置後	I	
健全性		I	
変状の発生範囲の規模		0.80㎡	1.6m×0.5m
前回定期点検時の状態		1.6m×0.5m	
調査方針		—	
対策履歴		塗布工(含浸材)	実施状況(実施日)
メモ		アーチ（左側）に塗布工（含浸材）を確認。対策区分の判定 I。	



図 2.6.2.8 F トンネルの施工目地部のアラミド繊維補強部の浮き・剥離事例

図 2.6.2.9 は、品質確保の手引き発行後に施工された G トンネルで、連続するスパンにおいて吹上げ口周辺に剥離が発生している事例である。品質確保の取組みは、先行打設スパンで発生した不具合に対して原因

と対策を追求し、継続的に改善を行うことを理念としている。しかし、このトンネルでは品質確保に対する意識が低く、次施工で改善を図った形跡がないため、同様の不具合が連続して発生したと考えられる。



図 2.6.2.9 G トンネルの同一箇所連続して剥離が発生した事例

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局：国道・技術課：道路トンネル定期点検要領，令和 6 年 9 月
- 2) 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）2023 年改訂版，令和 5 年 3 月

（担当：三井 功如）

2.6.3 矢板工法で施工された覆工コンクリートの劣化実態

2.6.2 で紹介した劣化事例はトンネル点検結果から確認されたものであるが、ここでは、矢板工法で施工されたトンネルにおいて戸本らが実施した覆工コンクリートの劣化状況の調査研究事例¹⁾を示す。

トンネル点検のデータ分析²⁾や変状原因の推定手法について行われた既往の研究³⁾において、とくに多くみられるアーチクラウン部のつま部の亀裂については、その原因としてコンクリート打込み後 1 日程度の若材齢で脱型し、次の打込み位置でスライドセントルをセットする際のジャッキアップ操作によりつま部のラップ型枠がまだ十分に強度発現していない先行打込み部分に強く押し当てられ、コンクリート内部に不連続面を発生させる可能性が指摘されている。一時的な载荷により生じた構造欠陥が、浮き、剥離の主要因であれば、トンネル点検時に叩き落してそれらを取り払った後は健全性が長期的に回復されると考えられる。しかし、戸本らは、次回点検時において、その箇所に再び変状が発見され、繰り返し叩き落としが必要となったことがある経験から、このような現象は若材齢時の一時的な载荷による構造欠陥だけでなく、つま部周辺に

劣化が進展しやすい不具合が潜在している可能性があると考え、調査が行われている。

調査は、国土交通省北海道開発局が所管している供用を終えた道路トンネル（1977年完成、矢板工法）において、過去の点検記録および現地調査によりつま部に変状が発生している部分を抽出し、1 スパンのなかで健全と判断される部分とともに濁音が確認されている部分で、連続したコアサンプリングにより覆工コンクリートの深度方向だけでなく面的に連続した試料を採取し、剥落に至る以前の構造欠陥および不具合について観察している。調査トンネルの諸元を表 2.6.3.1 に示す。サンプリングは坑内2箇所で行われている。

表 2.6.3.1 潜在欠陥調査を実施したトンネルの諸元

項目	諸元
所在地	北海道石狩市
完成年	1977年
トンネル延長	1901m
施工方法	矢板工法（上半先進ベンチカット）
覆工厚	45 - 60cm
覆工打込み方法	上半スライドセントルを使用した吹上げ方式（コンクリートポンプ打込み）
調査実施位置	坑口より220-230m（スパン番号S5）
	坑口より590-600m（スパン番号S22）

該当スパン 1 箇所目（スパン番号 S5）の変状展開図およびサンプリング位置を図 2.6.3.1 に示す。本スパンと周辺の上半 1 回あたり標準打込み長は 9m である。地山は既存点検記録から比較的硬質な安山岩質溶岩で、前後区間とも合わせて外力による変状を受けた形跡はなく、乾燥収縮に起因すると思われる最大 0.3mm の横断方向ひび割れが数本存在している。隣接つま部との間に少量の漏水はみられるが、上下半接合部にも漏水はなく湧水区間ではなかったと推測されている。最後の点検記録は 2012 年で、前回点検時から変化がなかったこと、および今後について定期的に点検を実施し対策工の検討を行うとの記述が確認されている。天端および肩部に打音検査で濁音を生じたと記録しているが、剥落につながる可能性はないものと判定されている。サンプリングは肩部の濁音部で実施され、図 2.6.3.2 のとおりつま部をはさむ 19 本のコアサンプリングが行われた。

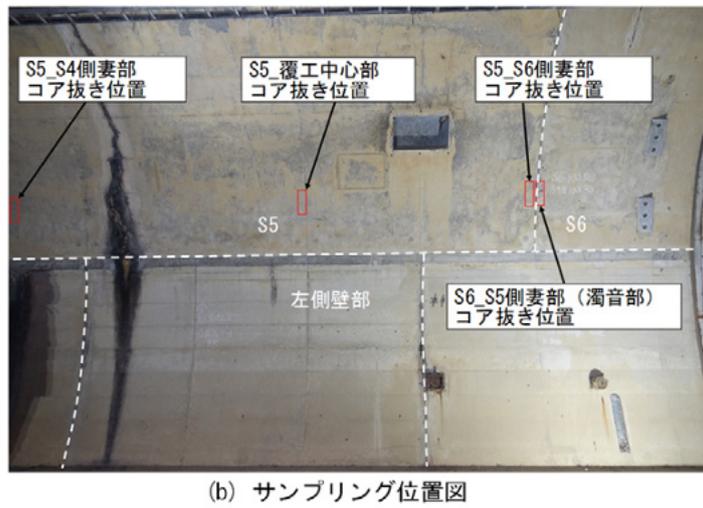
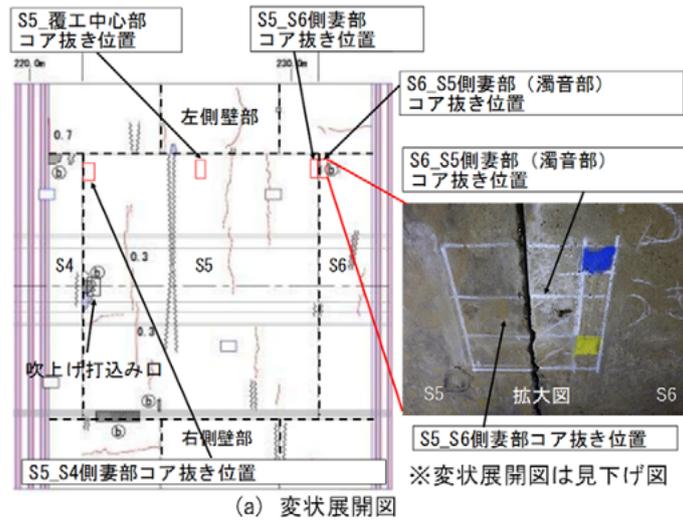
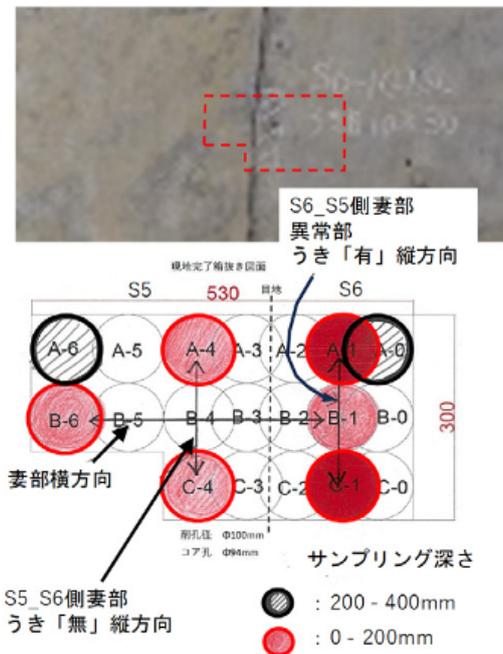


図 2.6.3.1 対象スパンの変状展開図およびサンプル位置



当該つま部は、剥落は発生していないが表面に図 2.6.3.3 のようにひび割れが確認され、サンプリング時の打音検査でも濁音が確認されている。採取した試料を観察すると、図 2.6.3.4 に示すようにひび割れはつま部に回り込むことなく深度方向に発達しており、20cm 程度にまで進展していた。このようなひび割れの発生理由として、次工程のセントルセット時にラップ型枠を押し付けたため、若材齢でまだ十分に強度発現していない覆工コンクリートがせん断破壊を起こした可能性、あるいは硬化後の乾燥収縮によりつま部の接触面に引張り応力が発生したと考察されている。また、このようなひび割れが発生しやすいことはトンネル施工管理では一般的に知られており、現在では多くの手引き等で注意喚起されている⁴⁾と述べている。

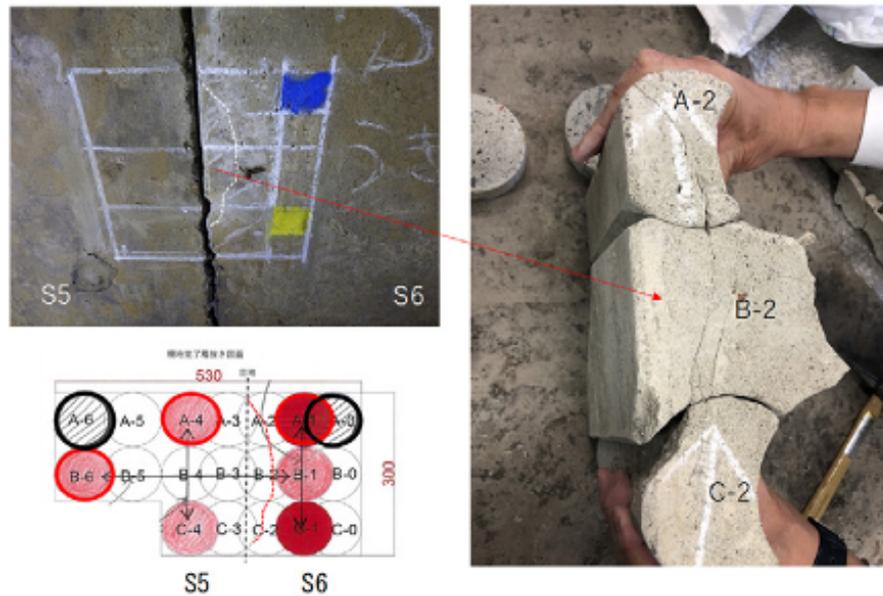


図 2.6.3.3 サンプリング部の状況（スパン番号 S5）



図 2.6.3.4 濁音部の変状状況（スパン番号 S5）

2 箇所目（スパン番号 S22）のサンプリングも 1 箇所目と同様、外力による変状を受けた形跡がなく漏水も少ない区間のなかで、打音点検で濁音を生じたと記録しているが、剥落につながる可能性はないものと判定されている区間が選定されている。このスパンには、図 2.6.3.5 に示すように 0.4mm から 0.6mm の乾燥収縮に起因すると思われる縦断方向ひび割れおよび横断方向に数本のひび割れが観察されている。なお、このサンプリング箇所では表面にひび割れは観察されていない。

本箇所の変状の特徴は、図 2.6.3.6 に示すように表面から 2cm から 5cm の位置で浅い層状の内部ひび割れが発生していることで、明確な浮きが発生しており、境界面のかみ合いとともにひび割れ端部が表面に達していないことで辛うじて剥落していない状態であった。このようなひび割れの発生理由として、脱型時のつま型枠やラップ型枠の付着による引張、不均一なジャッキダウンに伴う型枠ねじれによる圧縮を挙げている⁵⁾。さらに、著者らは、コンクリート吹上げ口から遠いつま部ではコンクリートは流動し打ち込まれるため、材料分離などにより脆弱なコンクリートとなり、さらに締固め不足が生じると、これが経年劣化により表面の打ち重ね線だけでなく内部の亀裂に発達する可能性があると考えしている。

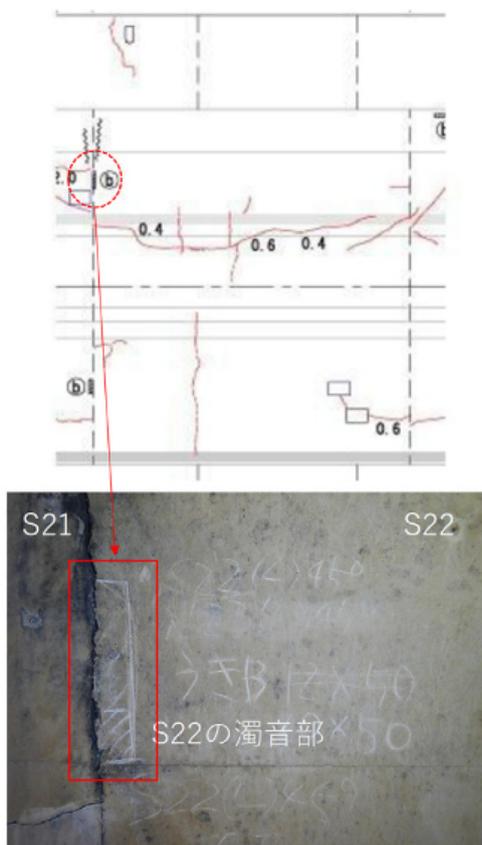


図 2.6.3.5 対象スパンの変状展開図およびサンプリング位置（スパン番号 S22）

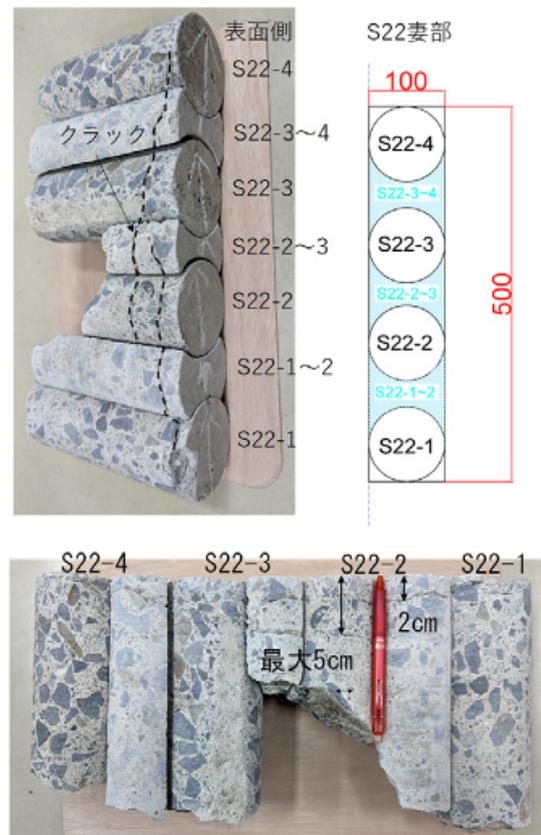


図 2.6.3.6 濁音部の変状状況（スパン番号 S22）

続けて、覆工コンクリートの打込み方法に起因するコンクリートの均質性についても調査が行われている。

図 2.6.3.7 は覆工コンクリート側壁つま部の施工状況の一例であるが、材料分離したセメントとペーストやブリーディング水が確認でき、締固め状況を確認できないアーチクラウン部でも同様の現象が生じていると考えられるため、材料分離により打込み口から遠いつま部まで粗骨材が届かず所定のコンクリート品質が確保されない可能性とともに、ブリーディング水の排出などが不十分になる可能性がある。また、コンクリ

ートは連続的に打込みされるように配慮されるが、コンクリートミキサー車の入替えや配管段取り替えに伴い打込み中断が生じることは避けられず、このとき棒状バイブレータによる打込み再開部の締固めは不可能なため、層状の境界面を生じる可能性がある。表 2.6.3.1 に示したように、調査したトンネルの覆工コンクリートの打込みは、コンクリートポンプによる吹上げ方式で行われており、アーチクラウン部の打込み方法は本質的に変化していないことから、著者らは、これらの可能性を検証するために、覆工コンクリート肩部からサンプリングしたコアの粗骨材分布に着目して評価を行っている。



図 2.6.3.7 打込み中のつま部の状況

トンネルの面的サンプリング箇所（スパン番号 S5）および同スパン内で近接目視および打音検査により健全と判定された部分からサンプリングしたコアの状況を図 2.6.3.8, 図 2.6.3.9 に示す。両者を外観で比較すると、S5 の吹上げ口に近い S4 側つま部（以下、S5_S4 側つま部）とスパン中央部の健全部（以下、S5_スパン中央部）はコア表面における粗骨材面積が大きく、S5 の吹上げ口から遠い S6 側つま部（以下、S5_S6 側つま部）と S6 の S5 側の変状つま部（以下、S6_S5 側つま部）は小さいことが観察され、つま部のコンクリート均質性が健全部に比べて低いことが予想される結果が示されている。



図 2.6.3.8 つま部健全部とスパン中央健全部のコア状況

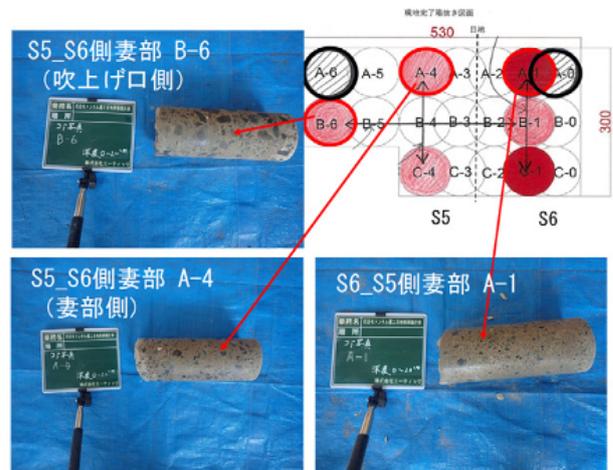


図 2.6.3.9 変状つま部のコア状況

さらに、図 2.6.3.10 に示すようにサンプルを 20mm ごとにスライスし、切断面における粗骨材分布を比較すると、深度方向に均質に粗骨材が分布する部分とともに、トンネル表面側（内空側）の粗骨材分布が非常に小さい部分が存在していた。これは打込み口から流動してきたコンクリートの流動距離が長くなると全体的に均質にならず、部分的に粗骨材の少ないペーストやブリーディング水を含んだまま硬化していることが予想された。これにより、吹上げ口から順次送り込まれてくるコンクリートは、つま部において、材料分離などにより脆弱なコンクリートとなっていることが確認され、さらに締固め不足が生じると、これが経年劣化により表面の打重ね線だけでなく内部の亀裂に発達する可能性があると考えられている。なお、S6_S5 側つま部は、吹上げ口に近く流動距離が短い粗骨材分布が小さくなっており、締固め不足が原因と考察している。

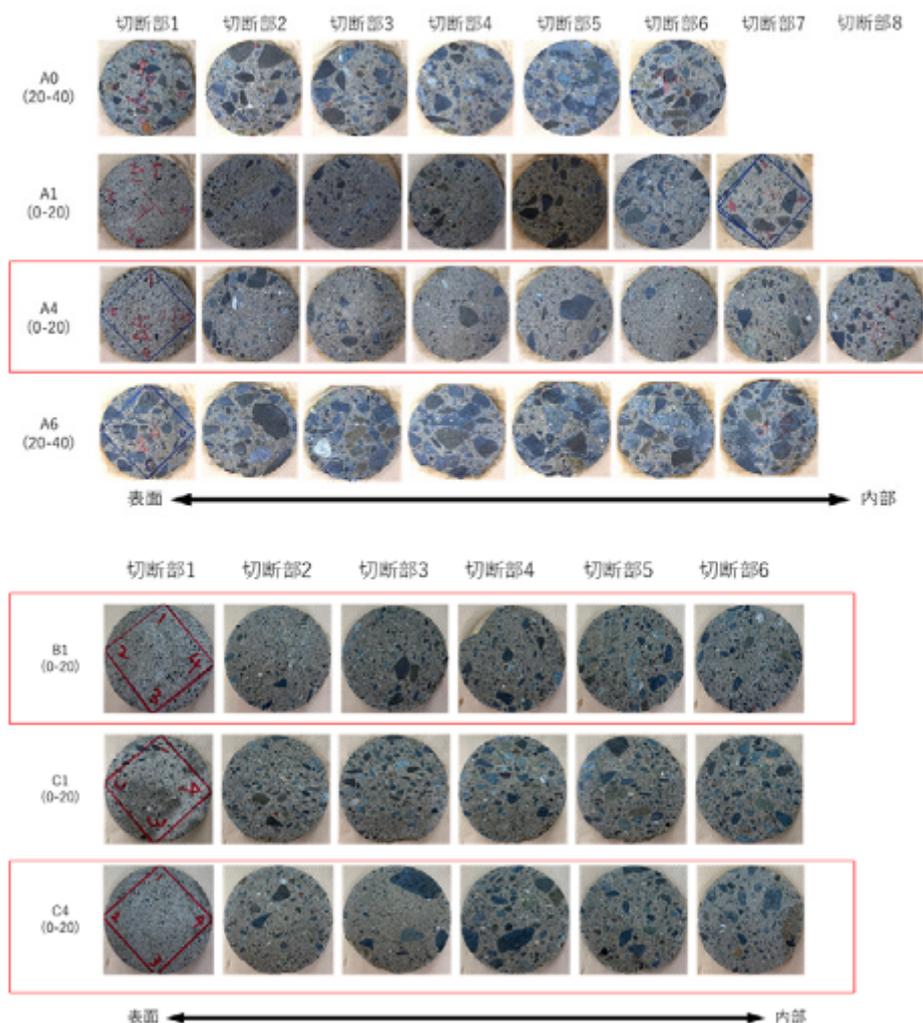


図 2.6.3.10 面的サンプリング部の深度方向粗骨材分布

加えて、圧縮強度と弾性係数に着目すると、図 2.6.3.11 に示すように見た目の粗骨材分布が小さい A-4、C-4 は他に比べて弾性係数が小さいことから、内部の粗骨材分布も他に比べて小さいことが予想された。さらに、図 2.6.3.12 に示すように、深度別分布をみると、不具合が予想された B-1 では層別分布に大きなばらつきを生じていることが明らかとなった。これも打込み時につま部のコンクリートが均質化していないことを意味していると考えられ、標準的な施工方法として用いられてきた吹上げ方式とつま部の充填方法に不

具合を生じやすい課題が存在していたことを示唆していると述べている。なお、図 2.6.3.12 に示す切断部 2、切断部 3 では、空隙率が大きくなるとともに、密度も大きくなっているが、切断部の骨材分布が関係していると考えられたものの、今回の調査の範囲ではその原因については特定できなかったと報告している。

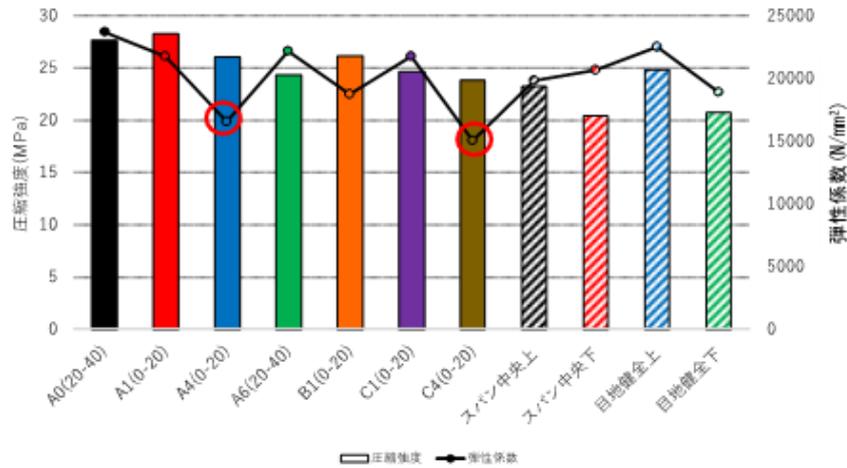


図 2.6.3.11 面的サンプリング部の強度特性

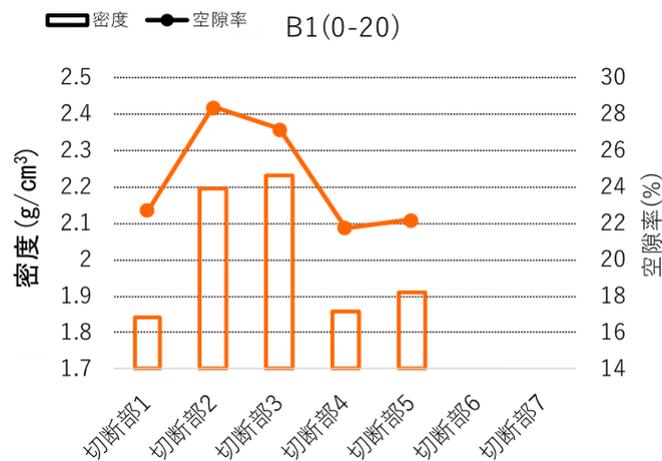


図 2.6.3.12 不具合部の深度別密度と空隙率

以上から、覆工コンクリートつま部に生じる変状は、若材齢時の型枠の押し当て、脱型時の型枠付着による引張や不均一なジャッキダウンによる型枠ねじれによる圧縮、および乾燥収縮によりつま部の接触面に生じる引張応力など、力学的要因により生じる可能性とともに、コンクリートの打込みや締固め時に生じる材料分離に起因したコンクリートの均質性の低下（乾燥収縮にも影響）が要因となり生じる可能性があることが確認された。特に、コンクリートの均質性は、施工方法や締固め程度だけでなく、コンクリート自体の流動性や分離抵抗性によっても変わることから、覆工コンクリートつま部の変状を抑制するには、施工方法を考慮して適切な配合やスランプ（スランプフロー）を選定し、確実な施工が行われるように管理することが重要である。

参考文献

1) 戸本悟史, 野村貢, 椎名貴快, 三井功如, 吉田行, 花岡大伸: 覆工コンクリートへの火山ガラス微粉末混

和による品質向上についての研究, 土木学会論文集特集号 (トンネル工学), 79 巻, 19 号, pp. 1~17, 2024.3

- 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, Vol.38, No.2, pp. 1501-1506, 2016
- 3) 水野希典, 前田佳克, 海瀬忍, 前田洸樹, 重田佳幸, 松岡茂, 西村和夫: 既設トンネル覆工の変状原因推定手法に関する検討, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), Vol.73, No.3 (特集号), I_1-I-9, 2017
- 4) 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) 2023 年改訂版, 令和 5 年 3 月
- 5) 国土交通省 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

(担当: 吉田 行)

2.6.4 まとめ

これまで述べてきたように, NATM 工法の覆工コンクリートには様々な不具合や材質劣化が発生している. ここではそれらの主な発生要因について述べる. ①~⑤の発生要因は, 施工者の意識やコンクリートの配合, 打込み・締固めの方法, 養生方法が改善されれば, 不具合を無くすことが可能である. 一方, ⑥~⑧の

図 2.6.4.1 覆工コンクリートの不具合のまとめ

分類	発生要因・現象	対策の方向性
施工由来の不具合	①化粧巻きという誤った認識 化粧巻きという誤った認識により, 基本的な打込み・締固め方法が遵守されず, ひび割れや剥離等の不具合が多数発生.	発注者および施工者が, コンクリートの基本施工方法の遵守を徹底し, 化粧巻きではないとの認識を共有.
	②バイブレータによる強制的な横移動が必要な配合 バイブレータによる横移動を必要とする標準配合が, 材料分離や他の不具合を誘発.	バイブレータによる横移動が不要な, 材料分離しにくい適切な配合への見直し.
	③ブリーディング水やノロの除去不良 ブリーディング水やノロの除去が不十分で, ひび割れ, 水はしり, ノロ漏れ等の不具合を誘発.	ブリーディング水およびノロの確実な除去を実施.
	④天端部の締固めができない標準の移動式型枠 標準型枠では, 天端部の締固めが不可能で, 縞模様やひび割れが発生しやすい.	天端部締固めが可能な移動式型枠の採用.
	⑤坑口付近の環境に応じた脱型時期の調整の未実施 坑口付近の気温や日射の影響を考慮せず, 画一的な若材齢で脱型することにより, ひび割れや剥離が発生.	坑口環境や気象条件に応じた脱型時期の柔軟な調整.
設計・環境要因	⑥施工目地部の不具合防止対策の未実施 施工目地部の温度変化や乾燥収縮を考慮せず, 付着によるひび割れや浮きが発生.	施工目地部の変状挙動を踏まえた予防策 (目地構造の工夫や分離手法など) の導入.
	⑦側壁の横断方向ひび割れ対策の未実施 側壁に横断方向のひび割れが発生. 特に夏期施工や高いセメント量配合で顕著.	ひび割れの事前予測と対策方針 (補修要否の基準策定, 配合の選定など) の検討.
	⑧気象環境・使用環境を踏まえた材質劣化対策の未実施 凍害や塩害を招く寒冷・積雪地域の気象環境, 凍結防止剤の使用による材質劣化が発生.	凍害・塩害に配慮した耐久性設計 (配合の選定, 内装板等の設置など) の実施.

不具合や材質劣化は, 施工方法の改善だけでは無くすことが出来ず, 個別に必要な対策を実施しなければならないものである. 表 2.6.4.1 に, NATM 工法における覆工コンクリートの不具合や材質劣化の発生要因と,

その対策の方向性を整理した。

(担当：佐藤 和徳)

3. 目指すべき方向性

従来、覆工コンクリートに求められる品質は強度と出来形が中心であったが、コンクリート片のはく落による第三者被害を抑制するためには、密実で緻密なコンクリートを施工することが不可欠となっている。また、寒冷地のトンネルでは坑口付近で凍害の発生が確認されているため、必要な質と量の空気を硬化コンクリート中に連行する必要がある。

本章では、3つの機関の覆工コンクリートの品質・耐久性確保のための取組みを紹介し、覆工コンクリートの品質確保のために目指すべき方向性と次章以降との関連を示す。

3.1 品質確保のための取組み

3.1.1 東北地方整備局の品質確保の取組み

東北地方整備局は、覆工コンクリートの品質確保のため、「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）」¹⁾を策定し、東北地方整備局発注の全ての山岳トンネルの工事で活用している。手引きにおける品質確保の概念を、図3.1.1.1に示す。

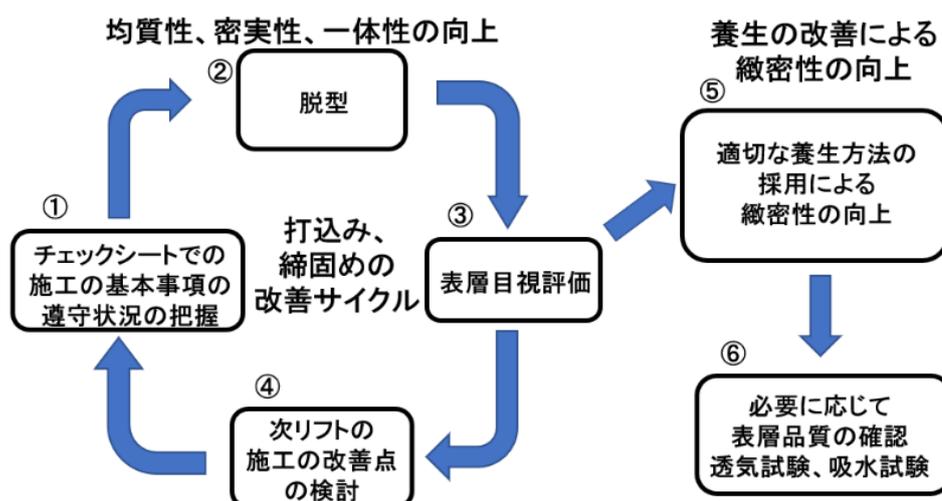


図 3.1.1.1 東北地方整備局の品質確保の仕組み

覆工コンクリートの施工由来の不具合を解消するためには、施工段階において施工の基本事項の遵守状況をチェックし、脱型後には表層の目視評価を実施して、施工方法が出来栄えにどのように影響するのかをよく理解することが重要である。また、出来栄えにおいて改善が必要と判断された場合には施工の改善事項を明確化し、次の打設ロットで施工方法の改善を行うことで、施工由来の不具合が抑制される。このPDCAサイクルを通じて、覆工コンクリートの品質を逐次改善するのが、東北地方整備局の品質確保の仕組みである。また、特に凍害や凍結防止剤による塩害が発生しやすい環境下では、適切な養生を行いコンクリートの緻密性を向上させることを推奨している。

参考文献

1) 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）2023年改訂版，令和5年3月

（担当：佐藤 和徳）

3.1.2 近畿地方整備局の試行工事の効果の検証

(1) 概要

近畿地方整備局のトンネルの覆工コンクリートの工事において、東北地方整備局の品質確保の手引きを参考に、施工状況把握チェックシートと目視評価法を用いた品質確保の試行工事が行われた。平成29年度から令和6年度まで実績を表3.1.2.1に示す。トンネルの覆工コンクリートに対する試行工事は施工中（2件）を含めて18件実施されているが、このうち日高豊岡南道路の上石トンネルのみ定期点検¹⁾を実施済みである。そこで、試行工事の対象となった上石トンネルと日高豊岡南道路において同時期に施工された他のトンネル3件と比較することにより、試行工事の効果を検証した。比較検討に用いる日高豊岡南道路のトンネル諸元を表3.1.2.2に示す。

表 3.1.2.1 トンネルの覆工コンクリートに対する試行現場の一覧

試行年度	事務所名	工事名	工期	点検時期
H29	福井河川国道	冠山峠道路第1号トンネル工事	H28.1～H30.3	福井県に引渡し
H30	豊岡河川国道	日高豊岡南道路上石トンネル工事	H28.8～R1.8	R2 点検実施済み
R1	福井河川国道	冠山峠道路第2号トンネル工事	H29.11～R4.2	福井県に引渡し
R2-R3	福知山河川国道	西舞鶴道路境谷トンネル他工事	R2.3～R4.7	点検時期検討中
R3	豊岡河川国道	豊岡道路戸牧トンネル工事	R1.9～R4.1	R7 年度点検予定
R3	豊岡河川国道	笠波峠除雪拡幅笠波トンネル工事	R2.1～R5.6	R6 年度点検予定
R3-R4	豊岡河川国道	豊岡道路佐野トンネル工事	R3.10～R5.12	R7 年度点検予定
R3-R4	紀南河川国道	すさみ串本道路江住第二トンネル他工事	R2.1～R5.2	R6 年度点検予定
R3-R4	紀南河川国道	すさみ串本道路高富トンネル他工事	R2.1～R5.3	R6 年度点検予定
R3-R4	紀南河川国道	すさみ串本道路有田トンネル他工事	R3.1～R6.2	R7 年度点検予定
R4	福井河川国道	大野油坂道路荒島第2トンネル下山地区東工事	R3.11～R6.2	R6 年度点検予定
R4-R5	福井河川国道	大野油坂道路東市布トンネル工事	R3.2～R7.3	点検時期検討中
R4-R5,R6	福井河川国道	大野油坂道路川合トンネル長野地区工事	R4.2～R7.9	点検時期検討中
R4-R5	紀南河川国道	すさみ串本道路江田トンネル他工事	R3.12～R7.2	点検時期検討中
R4-R5,R6	紀南河川国道	すさみ串本道路東地トンネル他工事	R4.8～R8.1	点検時期検討中
R5,R6	兵庫国道	洲本バイパス炬口トンネル南部工事	R4.10～R7.3	点検時期検討中
R6-R7	紀南河川国道	すさみ串本道路江住第一トンネル工事	R6.2～R8.3	施工中
R6-R7	紀南河川国道	有田海南道路1号トンネル工事	R5.2～R8.3	施工中

表 3.1.2.2 日高豊岡南道路のトンネル諸元

トンネル名	トンネル延長 (m)	比較に用いるブロック数 ()内は比較に用いたブロックの長さ	竣工年	試行工事対象
A トンネル	595	56 (10.4m,10.5m)	H30.10	
B トンネル	531	49 (10.5m)	H30.1	
C トンネル	502	45 (10.5m)	R1.6	
あげし 上石トンネル	1,231	109 (10.5m)	R1.8	○

(2) 変状の発生頻度の整理方法

試行工事の効果の検証を行う上で、各トンネルの変状の発生頻度の分析を行った。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）²⁾に記載の変状の発生頻度の分析方法を用いた。トンネルの各ブロックの変状に位置情報を与え、60分割の各位置における1ブロックあたりの変状の個数を可

Cトンネルの天端部の浮きを図3.1.2.8に示す。Aトンネル、Bトンネルにおいて、先打ちコンクリート側の目地部に浮きを確認され、双方のトンネルともに発生頻度は最大で18%に達した。これは先打ちコンクリートと後打ちコンクリートの間の縁切りが出来ていないことによるものである。また、Bトンネル、Cトンネルにおいて、天端部の妻板側で浮きを確認され、発生頻度はBトンネルにおいて最大で6%、Cトンネルにおいて最大で11%に達した。特に、つま板側で浮きが多く確認されていることから、つま板側でのブリーディング水の排出が適切でなかったことやバイブレータによる締固め不足などが要因として考えられる。一方、試行工事の対象となった上石トンネルでは天端部のつま板側で表面剥離が確認されたが、発生頻度は最大で1%であり他のトンネルと比較して発生頻度は極めて小さくなった。

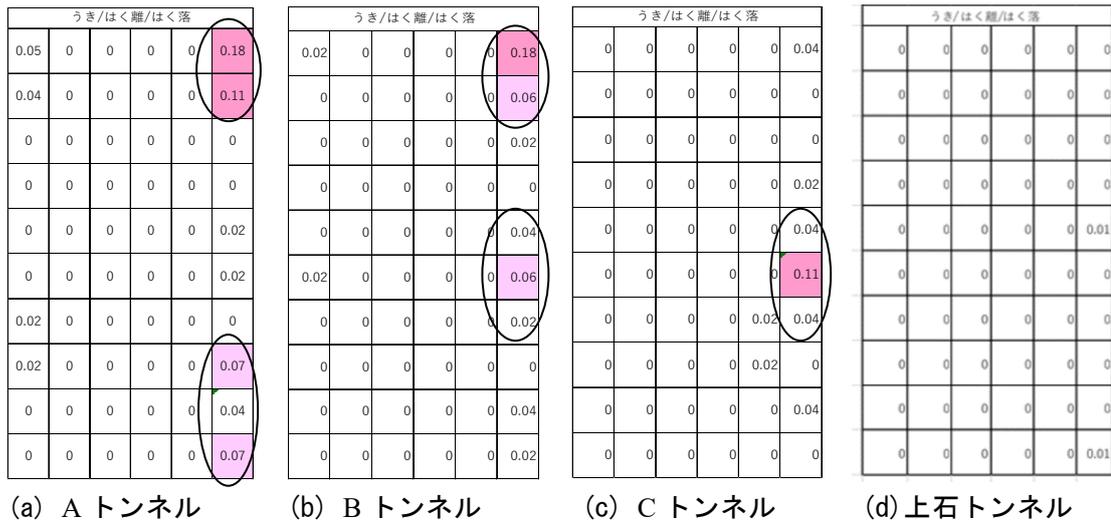


図 3.1.2.4 浮き、剥離の発生頻度

(5) 豆板の発生頻度

各トンネルの豆板の発生頻度を図3.1.2.5に示す。また、Cトンネルの目地部の豆板を図3.1.2.9に示す。BトンネルとCトンネルにおいて、目地部を中心に豆板が確認され、発生頻度はBトンネルにおいて最大で8%、Cトンネルにおいて最大で7%に達した。コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）にも目地部に豆板が生じやすいとの報告があり同様の傾向であった。一方、試行工事の対象となった上石トンネルでは、目地部の豆板の発生頻度は最大でも2%であり、豆板がほとんど生じていない。

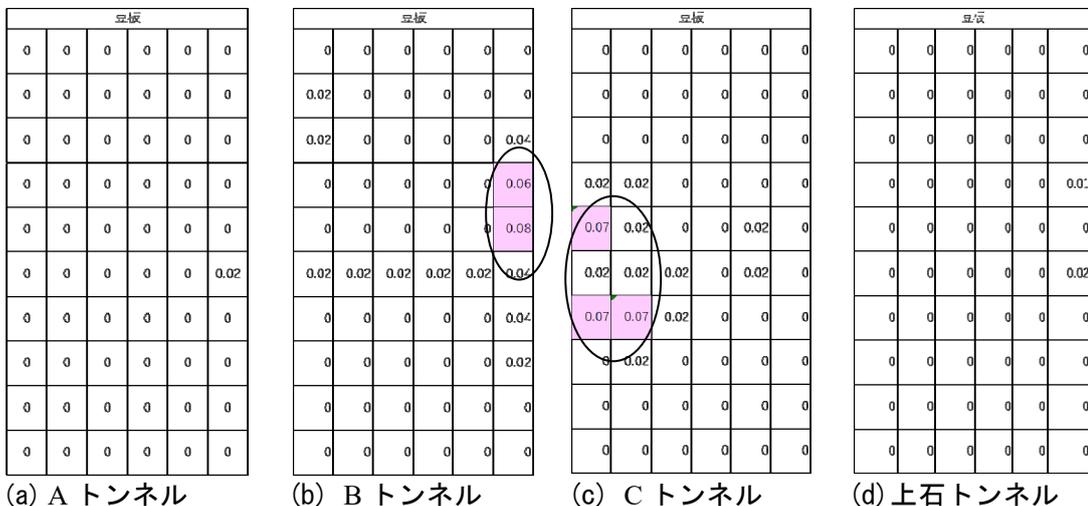


図 3.1.2.5 豆板の発生頻度



図 3.1.2.6 天端部のひび割れ
(B トンネル)

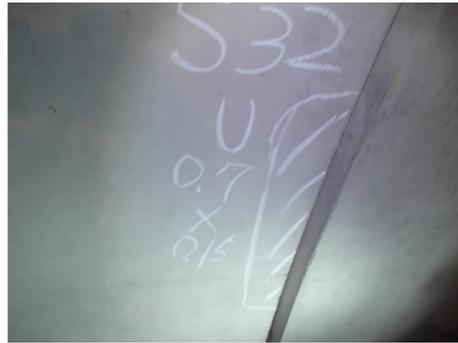


図 3.1.2.7 目地部の浮き
(A トンネル)



図 3.1.2.8 天端部の浮き
(C トンネル)



図 3.1.2.9 目地部の豆板
(C トンネル)

(6) まとめ

今回、点検結果を分析したトンネルは4本のみでありデータ数が少ないものの、試行工事の対象ではない3本のトンネルでは、軽微な損傷レベルであるが先打ちコンクリート側の目地部に浮きや、天端部のひび割れや天端部のつま板側で浮きが確認された。一方、試行工事の対象であった上石トンネルでは、ひび割れや浮き、豆板がほとんど確認されなかった。上石トンネルとAトンネルでは、施工時期がAトンネルの方が1年早いものの同一の施工業者が施工している。以上のことから、試行対象であった上石トンネルは他のトンネルと比較して、トンネルの延長が長いなどの施工条件が異なるものの、ひび割れ、浮き、豆板などが極めて少なく、覆工コンクリートの品質が高いと言える。試行工事の取組みにより施工業者と建設監督官の意見交換が促進され、覆工コンクリートの品質がより向上したものと考えられる。

参考文献

- 1) パシフィックコンサルタンツ株式会社：日高豊岡南道路トンネル調査業務，令和2年
- 2) 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）2023年改訂版，令和5年3月

（担当：三方 康弘）

3.1.3 NEXCOの品質確保の取組み

覆工コンクリートの打設は、狭小空間での棒状バイブレータによる締固めや、天端部の吹上げ打設など、品質確保が難しい方法で施工されている。そのため、供用期間中のトンネルにおいて、充填不足による空洞や極端な巻厚不足、不均一な打設に起因するひび割れなどの不具合が確認されている。高速道路トンネルでは、これらの課題の解決を目的に、中流動覆工コンクリート（以下、「中流動」という）を標準設計として採用している。中流動の利点は、作業性の改善や、充填不足による空洞・極端な巻厚不足の防止、密実性の向上等が挙げられる。

(1) 中流動覆工コンクリートとは

中流動とはスランプフロー35～50cm程度で、スランプ15～18cmの普通（従来）コンクリートとスランプフロー65cm程度の高流動コンクリートの中間的な性状を有するコンクリートであり、特徴を以下に示す。

- ① 覆工コンクリートの吹上げ打設を型わくバイブレータの振動だけで行える。
- ② 現在室内試験等で必要な性能を有するコンクリートの製造ができることが確認されている混和材料は石炭灰、石粉および高性能 AE 減水剤等の3種類である。
- ③ 一般の生コンクリート工場の設備で製造可能である。
- ④ 運搬・ポンプ圧送が通常の施工機械で行え、型わく（セントル）の特別な補強等を必要としない。
- ⑤ コンクリートの配合強度 24N/mm²以上を対象とする。
- ⑥ 普通コンクリートと同等以上のひび割れ抵抗性を有する。

中流動覆工コンクリート採用の効果は下記のとおりである。

・狭小空間での棒状バイブレータを用いた窮屈な締固め作業が、型枠バイブレータを用いた締固め作業に変わり、作業性が改善される。

- ・充填不足による空洞が減る。
- ・コンクリートが密実となり、ひび割れが減少する。
- ・天端部の縞模様がなくなり、ひび割れ誤認が減る。

これらの特徴、効果から、品質確保や点検が容易となり、長期耐久性の向上と、点検の労力削減につながる。

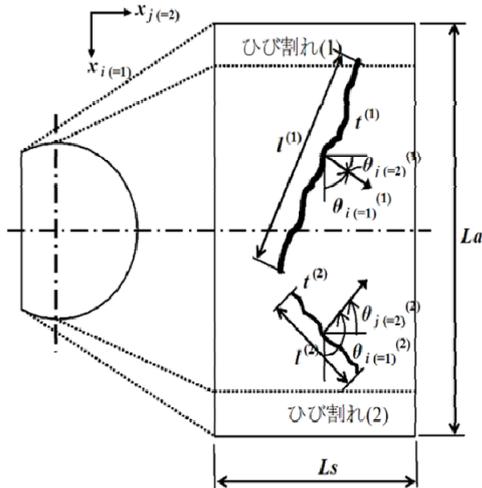
(2) 長期耐久性の定量的評価

長期耐久性の向上について、TCI（Tunnel-lining Crack Index）による、ひび割れ総量（以下、「F0値」という）にて評価を行った。TCIとは、ひび割れの本数、幅、長さを包含した定量的評価指標で、図3.1.3.1のような式で表される。

F0値の比較は、走行画像撮影によるデータを基に作成したひび割れ展開図と、画像撮影から数年後に実施される近接目視によって精緻化されたひび割れ展開図にて行った。分析対象トンネルは、1968年から1980年代後半まで矢板工法の普通コンクリート（以下、「矢板」という）、1980年代後半から2010年代前半まではNATMの普通覆工コンクリート（以下、「普通」という）、2010年代後半から現在まではNATMの中流動覆工コンクリートで施工されたものとし、幅広い年代を対象（全81チューブ）に分析した。

1) 全トンネルのTCI累積加積曲線による比較

ひび割れ程度の分布状況を見るため、分析対象とした全トンネルデータ（1968年から現在まで）のTCI累積加積曲線を図3.1.3.2に示した。棒グラフでは、普通のひび割れが卓越しているように見えるが、サンプル数が異なるため、累積度数の線グラフで割合として確認する必要がある。



$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^n (t^{(k)})^\alpha (l^{(k)})^\beta \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)}$$

面積 幅×長さ 方向性

- A: 覆工コンクリートの面積 (A=Ls×La)
- Ls: 覆工コンクリートの縦断延長
- La: 覆工コンクリートの横断延長
- n: ひびわれの本数
- l^(k): ひびわれ k の長さ
- t^(k): ひびわれ k の幅
- θ_i^(k): ひびわれ k の法線ベクトルが x_i 軸となす角度
- θ_j^(k): ひびわれ k の法線ベクトルが x_j 軸となす角度
- α: ひびわれ幅の重みづけに関する係数
- β: ひびわれ長さの重みづけに関する係数

図 3.1.3.1 TCI の概要

F0 値の 1 スパンあたりの平均値 (×10⁻⁵) は、中流動で 1.28, 普通で 5.08, 矢板 (せめ部等の打継目を除く) で 13.03 となっている。これは、ひび割れ総量は中流動で最も少なく、矢板で多いことを示している。このことから、中流動は細かいひび割れの割合が多く、普通は大小のひび割れが広い範囲で分布し、矢板は大きなひび割れの割合が多い結果となった。

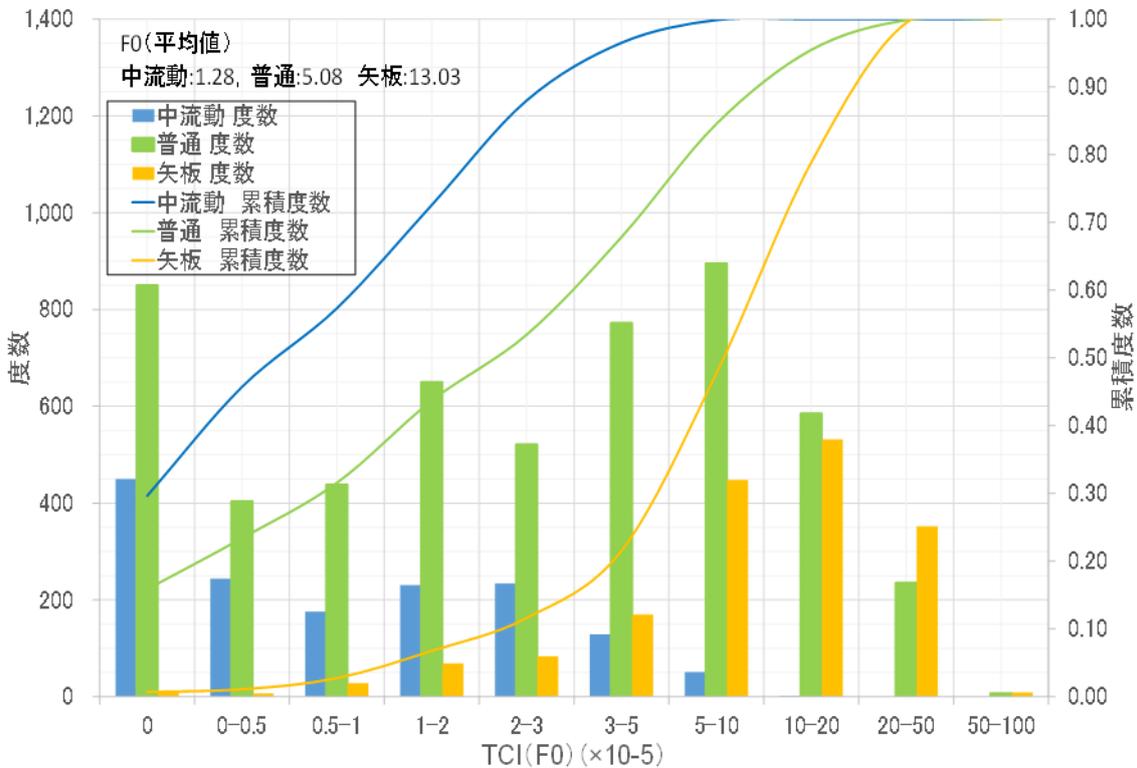


図 3.1.3.2 累積加積曲線による比較と F0 値 (全トンネル)

2) 同一トンネルでの比較

施工時期および供用期間による影響を排除するため、2010 年に施工された第二京阪自動車道のトンネル

にて、同チューブかつ同時期に施工された覆工での比較を行った。2021年の定期点検における普通および中流動のF0値を算定した結果を図3.1.3.3に示す。

こちらでも中流動は細かいひび割れの割合が高く、普通は大きなひび割れの割合が高い。F0値の1スパンあたりの平均値(×10⁻⁵)では、普通は7.11、試験的に施工された中流動は4.14となっており、竣工後11年でひび割れを評価した場合、中流動の方が、ひび割れ総量が少ない結果となった。

このことから、本トンネルにおいて中流動は相対的に品質が高いことが言える。

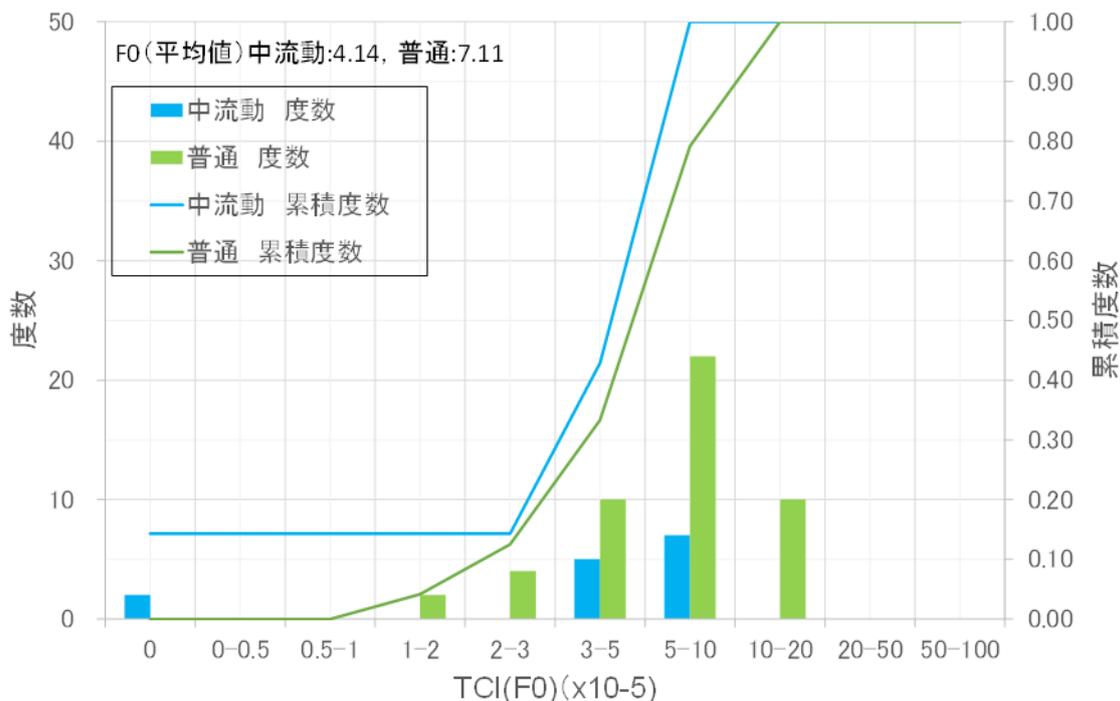


図 3.1.3.3 累積加積曲線による比較と F0 値 (同一トンネル)

(3) まとめ

中流動覆工コンクリートを採用することで、品質のばらつきを減らすことができ、品質が安定する。また、密実でひび割れの少ない覆工コンクリートを構築することができるため、長期耐久性の向上も期待できる。点検の省力化や補修頻度の減少にもつながるため、今後の目指すべき方向性の一案となると考えられる。

参考文献

1) 中日本高速道路(株): トンネル施工管理要領, 2024.7

(担当: 山崎 哲也)

3.2 覆工コンクリートの品質確保のために目指すべき方向性

NATM トンネルの覆工コンクリートについては、近年のインフラの品質への関心の高まりもあって、品質は向上している傾向にある。しかし、2章で述べたように、依然として補修を必要としたり、将来に劣化が顕在化する可能性のある覆工が建設されている実態がある。覆工コンクリートの不具合としては、施工由来の不具合と、設計や環境の要因による不具合があり、それぞれ適切な対策を講じていく必要がある。

施工由来の不具合を解消していくためには、施工の基本事項が遵守されることは当然のことながら、適切な施工を実現するためのフレッシュコンクリートの標準仕様の見直しが必要であると考えられる。現在の標準仕様では、施工の基本事項を遵守したとしても、均質で密実かつ一体性のある覆工コンクリートの実現が困難

であることを 2 章で示した。3.1.3 で紹介した締固めを必要とする高流動コンクリート（中流動コンクリート）の使用は、選択肢の一つであるが、スランプや最大粗骨材寸法などのフレッシュコンクリートの現在の標準仕様の見直しが必要である。よって、本報告書の 4 章で具体的な改善の提案を行う。また、施工の基本事項が遵守されるために、東北地方整備局で開発・実装され、国土交通省の品質確保の試行工事で活用されている、施工状況把握チェックシートと目視評価法の具体的な内容についても 4 章で記載する。

覆工コンクリートの天端部は締固めが困難な部位であるが、4 章において、フレッシュコンクリートの標準仕様の改善とともに、天端部の施工方法の改善についても提案を行う。

点検結果の分析によれば、施工目地部の不具合が多いのが現状である。これを防ぐためには、設計段階での適切な不具合防止策が必要であり、かつ施工の基本事項の遵守が必要となる。施工目地部の不具合を防止する対策や、施工で配慮すべき事項について、4 章で記載する。

近年は、覆工コンクリートに対しても養生がなされる場合が多くなってきたが、乾燥にさらされる坑口部や、寒冷地の坑口部のように凍害環境にさらされる場合などでは、適切な養生の方法や期間などについて検討する必要がある。具体的な養生の実践例も含めて、養生についての考え方を 5 章で記載する。

点検結果では、覆工コンクリートにひび割れが認められる場合が多いが、適切なコンクリートを用いて適切な施工を行うことで防止できるひび割れと、それでも発生してしまうひび割れ（インバートの拘束による側壁部の横断方向のひび割れ）がある。ひび割れの補修は、すべて行う必要はないと考えられ、補修の要否の判断についての指針が必要である。ひび割れについての考え方を 6 章に記載する。

寒冷地では、坑口付近での凍害劣化が確認されている。凍害劣化は進行性の劣化であり、第三者被害をもたらす可能性がある。そこで、凍害に対して十分な抵抗性を持たせる考え方について、7 章で記載する。

長寿命な覆工コンクリートを実現するためには、竣工検査は極めて重要である。竣工検査の記録がその後の維持管理にスムーズに連結していくことが望ましく、その実践例を含めた理想的な検査の考え方を 8 章で記載する。

現代は、環境負荷の低減や、生産性の向上が社会的に強く求められている。覆工コンクリートについても、さらに環境負荷を低減したコンクリートの活用や、自動化施工も含めた生産性の向上が可能となってきており、今後の発展への期待も込めて、9 章に記載する。

(担当：細田 暁)

4. 施工要因により生じる不具合を抑制するための提案

4.1 配合と打込み方法に関する提案

2.2.2 で述べたように、NATM の覆工コンクリートの打込み方法のうち、側壁・アーチの範囲は、移動式型枠に設けた検査窓からコンクリートを投入し、検査窓から棒状バイブレータを用いて人力で締固めを行う。また、アーチクラウン部（以降、天端部）範囲は、吹上げ方式によって打ち込まれる。

一般的に使用される延長 10.5m の移動式型枠を使用した場合、側壁・アーチでのコンクリートの流動距離は、既設コンクリート側から 3 列目の検査窓を投入口とし、片側 1 箇所から投入した場合は約 7m、片側 2 箇所から投入した場合は約 3m となる（図 4.1.1）。このため、片側 1 箇所からの投入では、コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕¹⁾に示される打込み間隔の目安（2～4m）を超えてしまう。また、天端部の吹上げ方式では、コンクリートの流動距離が約 10m となるため、覆工コンクリートに使用する配合には高い流動性と材料分離抵抗性が求められる（図 4.1.2）。

流動性を確保する手法として、一般的にスランプを大きくする方法がとられるが、これにより材料分離を引き起こし、覆工全体の均質性が低下する可能性がある。さらに、トンネルを施工する地域の生コンクリート製造会社毎に、使用する骨材の仕様が異なるため、使用されるコンクリートの流動のしやすさにも差が生じる。

そこで本章では、施工要因により生じる不具合を抑制するために、打込み方法が異なる側壁からアーチの範囲と天端部のそれぞれに部位について、適切な配合および打込み方法をそれぞれ提案する。

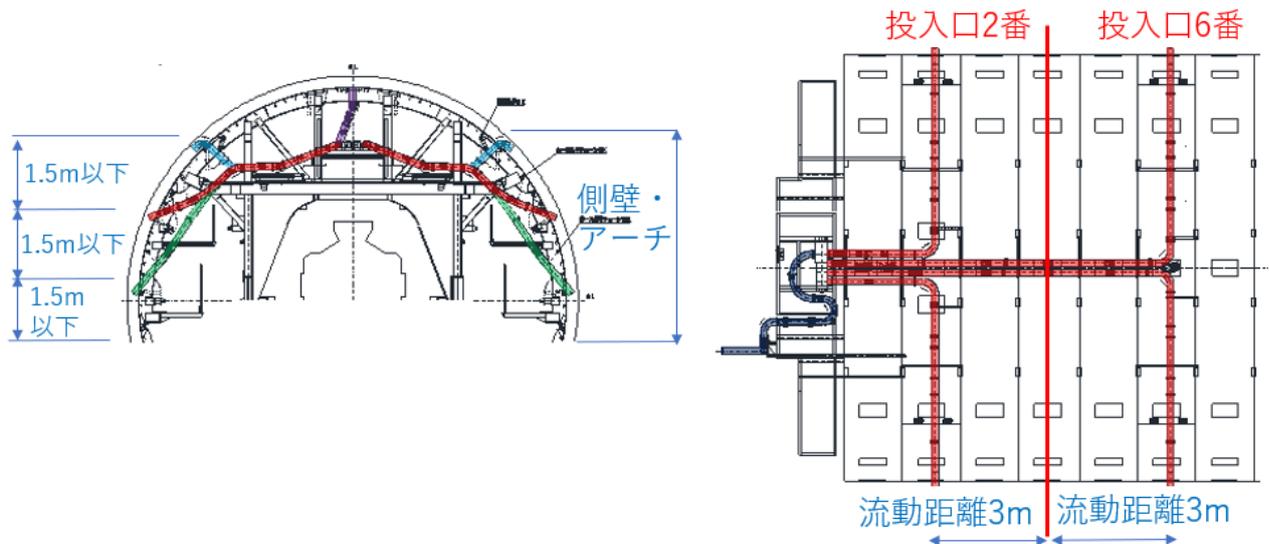


図 4.1.1 移動式型枠の仕様（側壁からアーチ）

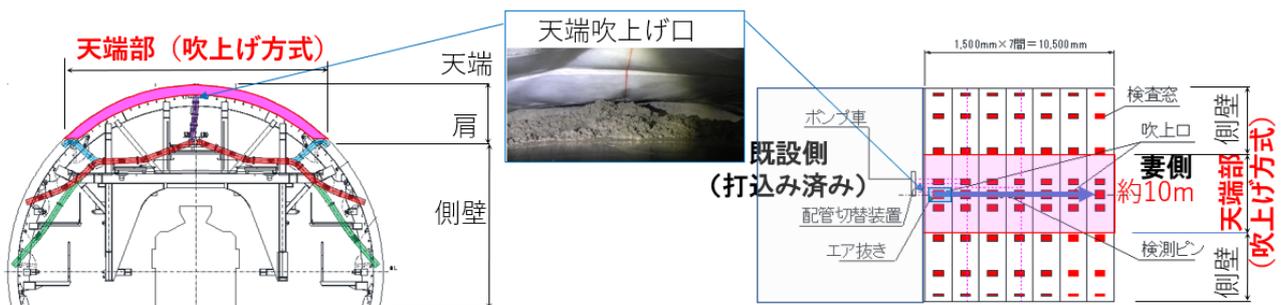


図 4.1.2 移動式型枠の仕様（天端部）

4.1.1 側壁からアーチ

側壁からアーチの範囲の覆工コンクリートの打込みに関しては、明かり構造物と同様にバイブレータの振動等による強制的な横移動を行わずに打ち込むことを基本とする。表 4.1.1.1 に適切な配合と打込みの仕様(案)を示す。

配合に関しては、強制的な横移動を行わない場合を想定し、3m 以上自然流動が可能で、かつ材料分離が発生しない配合を使用する必要がある。参考値としては、スランプ 18cm、粗骨材最大寸法 20mm もしくは 25mm が推奨される。なお、2.4.3(3)で示したように、施工開始前に室内試験や試験施工を実施し、流動性および材料分離抵抗性を事前に確認することが望ましい。

一方、スランプが大きいコンクリートはセメント量が多くなる傾向があり、温度応力の増加に伴ってひび割れの発生が懸念されるため、耐久性確保が必要な鉄筋区間においては、必要に応じて事前に温度応力解析を行い、補強鉄筋の追加や湿潤養生期間の延長などの適切なひび割れ対策を実施する必要がある。

打込み方法に関しては、上記の推奨する配合を使用する場合、1層の打込み高さを 50cm 以下とし、コンクリートの投入は片側 2 箇所から行って、最大流動距離を 3m 以下とする方法が望ましい(図 4.1.1)。片側 2 箇所から投入されたコンクリートが自然流動で停止するのを確認したのち、明かり構造物と同様に締固めを行う。バイブレータの挿入間隔は 50cm 以下とし、締固め時間はコンクリートの特性に応じておおむね 5～15 秒程度が目安となる(図 4.1.1.1)。

コンクリートの投入と締固めは、コンクリートの側圧によるセントルの変形や移動を防止する観点から、左右同時に行うのがよい。また、生産性向上の観点から、型枠延長が 12m の移動式型枠を使用する場合には、投入口を 3 箇所以上設けることが望ましい。なお、やむを得ず 2 箇所に限定する場合は、最大流動距離を考慮して流動性および材料分離抵抗性を有する配合を選定する必要がある。

表 4.1.1.1 側壁からアーチの適切な配合と打込みの仕様(案)

分類	項目	仕様・対応内容
打込み方法	基本方針	横移動を行わず、自然流動+締固めを基本とする
	流動性	自然流動距離 3m 以上、材料分離なし
コンクリート配合	推奨配合	スランプ 18cm、粗骨材最大寸法 20mm または 25mm
	試験確認	施工前に室内試験または試験施工にて流動性・材料分離抵抗性を確認
打込み手順	打込み高さ	1層あたり 50cm 以下
	投入箇所	片側 2 箇所、最大流動距離 3m 以下
	締固め方法	バイブレータ使用、挿入間隔 50cm 以下、振動時間 5～15 秒、左右同時施工

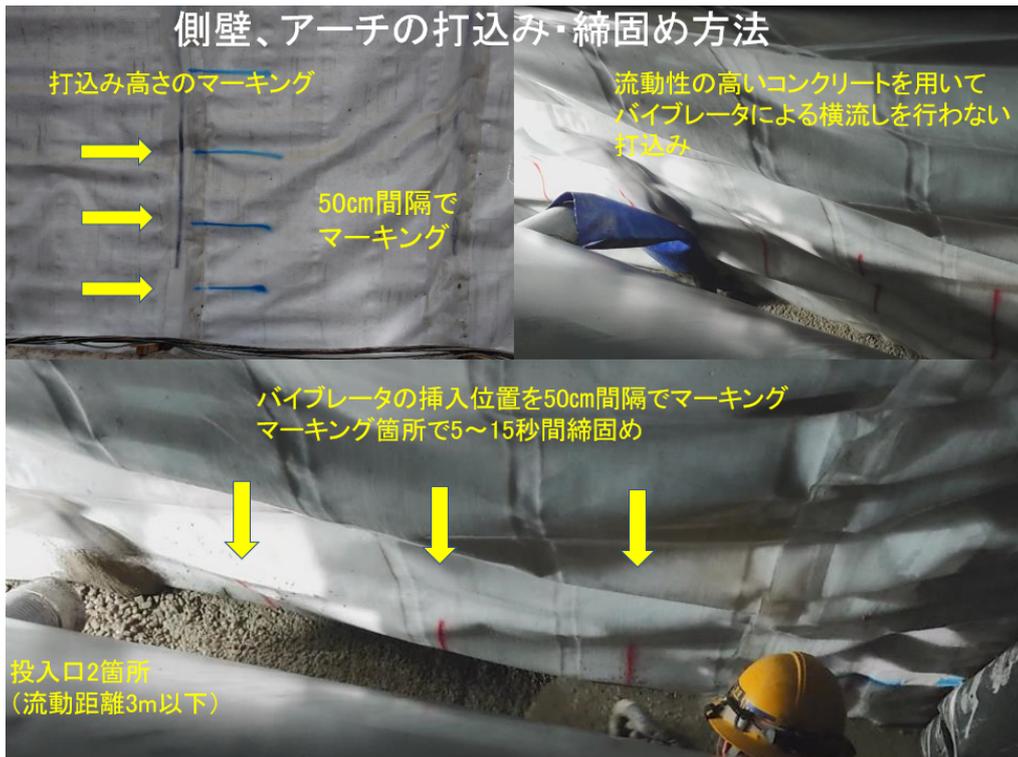


図 4.1.1.1 側壁からアーチの打込み概要図

4.1.2 アーチクラウン部（天端部）

天端範囲の覆工コンクリートの打込みに関しては、吹上げ方式を基本とする。表 4.1.2.1 および表 4.1.2.2 に天端部の適切な配合と打込みの仕様（案）を示す。以下に詳述する。

配合に関しては、強制的な横移動を必要としない 10m 以上の自然流動が可能で、かつ材料分離が発生しない配合を使用する必要がある。締固めを必要とする高流動コンクリート（中流動コンクリート）や締固めが不要な高流動コンクリートの適用が推奨され、少なくともスランプは 21cm 以上、粗骨材最大寸法は 20mm もしくは 25mm を使用する必要がある。これらの流動性を高めた配合を用いる場合は、材料分離を抑制する目的で、混和剤に高性能 AE 減水剤や流動化剤を使用する必要がある。なお、施工開始前に室内試験や試験施工を実施し、流動性および材料分離抵抗性を確認することが望ましい。

表 4.1.2.1 天端部の適切な配合と打込みの仕様（案）（締固めを必要とする場合）

分類	項目	仕様・対応内容
打込み方法	基本方針	吹上げ方式とする
コンクリート配合	流動性	自然流動距離 10m 以上、材料分離なし
	推奨配合	締固めを必要とする高流動コンクリート（少なくともスランプ 21cm 以上、最大粗骨材寸法 20mm または 25mm） 混和剤は高性能 AE 減水剤もしくは流動化剤を使用
	試験確認	施工前に室内試験または試験施工にて流動性・材料分離抵抗性を確認
打込み手順	アーチとの打重ね	バイブレータを用いて、アーチ（スランプコンクリート）との打重ね部を締固めて一体化する
	投入箇所	吹上げ口 1 箇所
	締固め方法	棒状バイブレータ、型枠バイブレータ、引抜きバイブレータおよび伸縮バイブレータを適宜使用
	充填確認方法	型枠頂部 3 箇所（既設側、中間、つま側）に圧力センサを設置して管理

表 4.1.2.2 天端部の適切な配合と打込みの仕様（案）（締固め不要の場合）

分類	項目	仕様・対応内容
打込み方法	基本方針	吹上げ方式とする
コンクリート配合	流動性	自然流動距離 10m 以上，材料分離なし
	推奨配合	締固め不要の高流動コンクリート 混和剤は高性能 AE 減水剤もしくは流動化剤を使用
	試験確認	施工前に室内試験または試験施工にて流動性・材料分離抵抗性を確認
打込み手順	アーチとの打重ね	パイプレータを用いて，アーチ（スランプコンクリート）との打重ね部を締固めて一体化する
	投入箇所	吹上げ口 1 箇所
	締固め方法	型枠パイプレータを補助的に使用
	充填確認方法	型枠頂部 3 箇所（既設側，中間，つま側）に圧力センサを設置して管理

スランプが大きいコンクリートおよび締固めを必要とする高流動コンクリートを使用する際の天端範囲の打込み方法は，以下の手順を参考に計画するとよい。

① 肩部から天端部の左右検査窓までの範囲

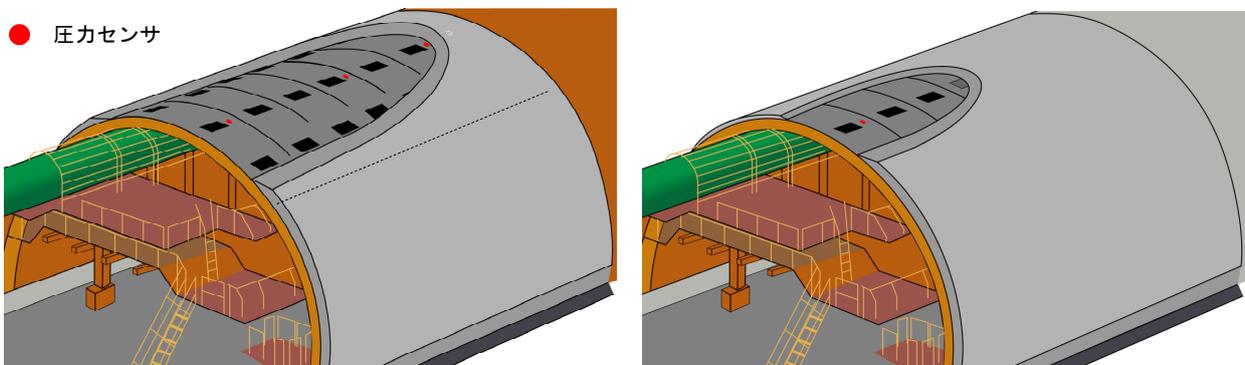
吹上げ口から吐出されるコンクリートは，横断方向に左右均等に流動するように制御する。肩部から天端部の左右検査窓までの範囲は，コンクリートが 1 層 50cm 高さ毎に自然流動した時点で投入を一時停止し，移動式型枠に設置した型枠パイプレータで締固めを行う。型枠パイプレータの性能に見合った設置位置の選定と，締固めを必要とする高流動コンクリートに適した振動時間を設定する。

② 左右検査窓から頂部（つま型枠の開口部を閉めるまで）

吹上げ口から吐出されたコンクリートは，つま部の方向に流動してくるため，頂部の検査窓から打重ね箇所の締固めを行い，つま部に向かって順序良く検査窓を閉鎖する（図 4.1.2.1）。つま部にコンクリートが達した時点で，つま型枠の頂部に設けた開口部から棒状パイプレータで打重ね箇所の締固めを行い，つま型枠の開口部を閉塞する。

③ 頂部（つま型枠設置後）

頂部のつま型枠設置後は，コンクリートポンプの圧力で充填することになるため，従来のセントル設備の仕様では，締固めが困難であった。そのため，つま型枠閉塞後も締固めが可能となるよう，引抜きパイプレータ，伸縮パイプレータ，型枠パイプレータ等の締固め設備の設置を標準とする。また，天端部の充填不足による空隙の発生を防止する目的で，コンクリートの充填圧力を監視できる圧力センサの設置も標準とする。



左右検査窓から頂部（つま型枠の開口部を閉めるまで）

図 4.1.2.1 天端部の打込み概要図

締固め不要の高流動コンクリートを使用する際の天端範囲の打込み方法は，以下の手順を参考に計画する

とよい。

① 肩部から天端部の左右検査窓までの範囲

吹上げ口から吐出されるコンクリートは、横断方向に左右均等に流動するように制御する。肩部から1層50cm高さに打ち込まれた時点でコンクリートの投入を一時停止し、左右の打重ね範囲に設置する型枠パイプブレータを用いて、肩部までのスランプコンクリートと締固め不要の高流動コンクリートの打重ね箇所を締固めて一体化する。その後は、コンクリートの打ち上がりに応じて、左右の検査窓を閉塞する。

② 左右検査窓から頂部（つま型枠の開口部を閉めるまで）

吹上げ口から吐出されたコンクリートは、つま部の方向に流動してくるため、頂部の検査窓から流動状況を確認し、つま部に向かって順序良く検査窓を閉める。つま部にコンクリートが達した時点で、つま型枠の頂部に設けた開口部につま型枠を設置し、閉塞する。

③ 頂部（つま型枠設置後）

つま型枠設置後は、コンクリートポンプの圧力で頂部を充填する。締固め不要のコンクリートのため、基本的には締固めは行わないが、脱型後の表層の出来ばえに改善が必要となった場合は、型枠パイプブレータで補助的に振動を与えるようにする。

4.1.3 移動式型枠

覆工コンクリートの打込みに使用される移動式型枠は、表4.1.3.1に示す移動式型枠の標準仕様（案）を標準案として計画するとよい。以下に詳述する。

- ・ 型枠延長は10.5mで、電動ジャッキ、自走装置を装備したスライドセントルを使用する。
- ・ 長大トンネルでは、覆工表面の品質や出来ばえを向上する目的で、型枠の面板にステンレス、樹脂、セラミック加工、ブラスト加工を施したものを使用する。
- ・ 型枠面の清掃を確実に実施する目的で自動型枠ケレン装置を設置する。また、剥離剤を均質に塗布するため、自動剥離剤塗布装置を設置する。
- ・ 検査窓は、縦断方向に7列、横断方向に7列の計49箇所を標準とする。大断面トンネルの場合は、コンクリートの打込み高さが1.5m以下となるように横断方向の検査窓数を増加する。
- ・ アーチから側壁までのコンクリート投入口は片側2箇所とし、コンクリート配管の切替えは自動配管切替え装置により行う。なお、左右均等に同時打込みを行うためにY字管等の使用を推奨する。
- ・ つま型枠は木製を標準とするが、ブリーディング水を排出するため、パンチング型枠を設置する。また、防水シートの損傷を防止するため、つま板と防水シートの上にクッション材を設置する。
- ・ 天端部の頂部の締固めを実施するため、引抜きパイプブレータ、伸縮パイプブレータ、型枠パイプブレータ等の締固め設備を設置する。また、コンクリートの充填状況を監視するため、型枠頂部3箇所（既設側、中間、つま側）に圧力センサを設置する。
- ・ 移動式型枠セット時や脱枠時の過度な押し上げによる既設コンクリートのひび割れ（半月状）を防止するため、押し上げ防止センサ等の設置を推奨する。また、コンクリート打込み時は、コンクリートの側圧により型枠が移動することでひび割れが発生することがあるため、挙動監視を実施する。
- ・ 施工目地部のコンクリート付着によるひび割れを防止するため、付着低減対策（縁切り材の塗布または設置、鋼製つま枠等）を推奨する。
- ・ 天端部に締固めを必要とする高流動コンクリートおよび締固め不要の高流動コンクリートを使用する場合は、型枠面に液圧相当の側圧が作用するため、型枠の構造計算を実施し、必要な補強を実施

する。

表 4.1.3.1 移動式型枠の標準仕様（案）

項目	仕様・対応内容
型枠の基本仕様	延長 10.5m, スライドセントル（電動ジャッキ・自走装置付き）
型枠表面の仕上げ（長大トンネル対応）	ステンレス, 樹脂, セラミック加工, ブラスト加工など
型枠の清掃・剥離剤塗布	自動型枠ケレン装置・自動剥離剤塗布装置を設置
検査窓の配置	縦 7 列 × 横 7 列 = 計 49 箇所（大断面では横断方向を増設）
コンクリート投入口	アーチ～側壁：片側 2 箇所/Y 字管使用で左右同時打込み推奨
配管切替	自動配管切替装置を使用
つま型枠	木製が標準/パンチング型枠でブリーディング水排出/クッション材で防水シート保護
締固め設備（天端部）	引抜きバイブレータ, 伸縮バイブレータ, 型枠バイブレータ等を設置
充填監視	型枠頂部 3 箇所（既設側・中間・つま側）に圧力センサを設置
型枠の押上げ対策	押上げ防止センサの設置を推奨/型枠の挙動監視を実施
施工目地部の付着対策	縁切り材塗布または設置, 鋼製つま枠などの付着低減対策を推奨
型枠の構造補強	流動性が高いコンクリート使用時は液圧相当の側圧を考慮し, 構造計算・補強を実施

4.1.4 トンネル施工時の配慮

吹付コンクリートの凹凸による空隙の発生防止と覆工コンクリートの充填性を確保するため、トンネル掘削段階において、吹付コンクリート面をスクレーパ等により平滑に仕上げるのがよい。

参考文献

1) 土木学会：2023 年制定 コンクリート標準示方書〔施工編〕，pp.120-121

（担当：三井 功如）

4.2 打込み時の管理手法の提案

4.2.1 施工状況把握チェックシートの活用

(1) 施工状況把握チェックシートの主旨

施工状況把握チェックシートは、トンネル特有の施工条件も勘案して、施工前及び施工中の各段階における基本的な実施すべき事項を網羅した A4 判 1 枚のシートである。このシートは、発注者の監督職員と受注者が施工現場に臨場して、このシートを用いて施工の基本事項の遵守状況等をチェックするために用いられる。山口県の品質確保システムで開発されたシートであり、東北地方整備局の試行工事でトンネル用に応用、改良されて品質確保の手引き（案）に取り込まれ、全国の品質確保の試行工事でも活用されているものである。

(2) 施工状況把握チェックシートの構成

施工状況把握チェックシートは、施工開始前に 1 回だけ行う施工前のチェック項目、打込みを行う日の準備から施工中のチェック項目、移動式型枠の取外しのチェック項目から構成されている。また、施工中のチェック項目は、側壁からアーチ部と天端部の打込み方法が異なるため、打込み箇所別にチェック項目を分けている。なお、このチェックシートはスランプコンクリート用に作成されたもので、標準用はスランプ 15cm、流動性の高いコンクリート用はスランプ 18cm から 21cm を対象としている。

東北地方整備局では、標準配合のコンクリートを使用する場合の施工状況把握チェックシートと、側壁からアーチ部の打込み用として延長方向に 2 箇所の打込み口を設けた移動式型枠を使用する事を前提に、流動性の高い配合のコンクリートを採用した場合の施工状況把握チェックシートの 2 種類が設けられている。標

準配合のコンクリートを使用する場合の施工状況把握チェックシートと、流動性が高い配合のコンクリートを使用する場合の施工状況把握チェックシートの相違点は、施工前のチェック項目としてコンクリートの流動性等を確認するための、配合のチェック項目の有無である。

表 4.2.1.1 に施工状況把握チェックシートの構成を示した。

表 4.2.1.1 施工状況把握チェックシートの構成

チェックの段階	チェック項目	備考
施工前	配合	配合は流動性が高い配合のコンクリートを使用する場合のチェック項目
	打込み方法	
	教育	
施工中	準備工	
	運搬	
	品質	
	打込み(側壁～アーチ)	
	打込み(天端)	
	取外し	

(3) チェック項目の概要

施工状況把握チェックシートには多数のチェック項目が設定されているため、それらを(1) 施工前に1回のみ実施する項目、(2) 施工準備に関する項目、(3) 運搬に関する項目、(4) 品質および施工中の打込みや移動式型枠の取外しに関する項目の4つに分類し、それぞれの概要を紹介する。

1) 施工前に1回のみチェックする項目

表 4.2.1.2 に示すとおり、施工前に一度のみ確認すべきチェック項目は、今後実施される覆工コンクリートの施工計画に先立ち、事前に確認しておくべき内容で構成されている。配合は、流動性の高い配合のコンクリートを使用する場合の項目であり、標準配合のコンクリートを使用する場合はこのチェック項目は使用しない。

流動性の高い配合のコンクリートを使用する場合、配合上のチェック項目として、側壁から肩(アーチ)の範囲に使用する配合は、バイブレータによる強制的な横移動を必要としない流動性と材料分離抵抗が必要となる。天端範囲に使用する配合は、吹上げ方式に適した流動性と材料分離抵抗が必要となるため、これらに対するチェック項目が設定されている。

打込み方法に関しては、施工前に打込み方法を検討しておくべき重要な事項であり、チェック項目として設定している。側壁から肩(アーチ)の範囲では、移動式型枠の打込み口が延長方向に1箇所しか無い場合、流動距離が長くなり、強制的な横移動が必要となるため材料分離を助長することになる。このため、2箇所以上の打込み口が設置されているかを確認するチェック項目を設けている。また、天端部における吹上げ方式による打込み範囲は、天端部の検査窓を閉めた後に、検査窓の上を流動するコンクリートに対して、棒状バイブレータによる締固めが不可能となる。このため、この範囲の締固め方法の計画の有無についてもチェック項目を設けている。

覆工コンクリートの完成後、コンクリートの収縮・膨張により施工目地部に不具合が生じる場合があるため、これに対する抑制対策の計画の有無についてチェック項目を設けている。

移動式型枠の設置・打込み・脱枠・移動の作業時に、移動式型枠の面板が覆工コンクリートを過度に押し

上げることにより、既設部の覆工コンクリートに半月状のひび割れが発生する可能性があるため、これに対する抑制対策の計画の有無についてチェック項目を設けている。

品質確保の観点からは、受発注者双方が覆工コンクリートの品質確保の重要性を認識することは極めて重要である。このために、教育に関する項目が設けられ、覆工作业に携わる関係者に対し品質確保の取組みの重要性や打込み手順等に関する周知の有無についてチェック項目を設けている。また、施工状況把握チェックシートは、発注者と受注者が同時に現場に臨場し、実施する仕組みであるため、その実施時期に関する調整もチェック項目として設定されている。

表 4.2.1.2 施工前に1回のみチェックする項目

施工段階	チェック項目
配合	1.側壁から肩（アーチ）の範囲に使用する配合は、強制的な横移動が不要となる流動性と材料分離抵抗性を確保したか
	2.天端範囲に使用する配合は、吹上げ打設方式に適した流動性と材料分離抵抗性を確保したか
打込み方法	1.側壁から肩（アーチ）の範囲は、延長方向2箇所打込み口を設置したか
	2.天端吹上げ方式による打込み範囲の締め方法を計画したか
	3.完成後のコンクリートの収縮・膨張による施工目地部の不具合の抑制方法について計画したか
	4.型枠の設置・打込み・脱枠・移動の作業時に既設覆工にひび割れを発生させない対策を計画したか
教育	1.覆工従事者に対して、品質確保の取組みの重要性、打込み手順等について周知したか
	2.監督員と施工状況把握チェックシート・表層目視評価の実施時期について計画したか

2) 施工の準備、運搬、品質に関する項目

表 4.2.1.3 に、施工の準備、運搬、品質に関するチェック項目を示す。これらの項目は、施工に先立ち実施される準備工に関する項目、コンクリートの運搬時間に関するチェック項目およびコンクリートの受入検査時のチェック項目で構成されている。

準備工に関しては、型枠内の水や異物の除去状況、移動式型枠の設置場所の地盤の状況、既設覆工への移動式型枠の過度な押し上げによる半月状のひび割れの有無、防水シートのたるみ状況、移動式型枠表面の清掃が不十分な状況、剥離剤の塗布状況、施工目地材の固定状況、つま型枠の固定状況、箱抜き型枠及び移動式型枠のヒンジ部の隙間の状況、鉄筋のかぶり及び固定状況、覆工従事者が確認可能な打重ね高さの管理方法をチェックする。

運搬に関しては、コンクリートの練混ぜ完了から打込み完了までの所要時間が適正か否かをチェックする。

品質に関しては、コンクリートの受入検査時において、あらかじめ定めた品質規格を満足しているか否かをチェックする。

以上のチェック項目の確認を経て、施工は打込み段階へと移行する。

表 4.2.1.3 施工の準備、運搬、品質に関する項目

施工段階	チェック項目
準備工	1.打込み範囲の底部に水たまりや結束線等の残物はないか
	2.型枠の設置場所は、敷均し良好な地盤で不等沈下の懸念はないか
	3.既設コンクリートの施工目地部に、型枠の過度の押上げによるひび割れはないか
	4.防水シートのたるみは適当であるか（張りすぎても不適當）
	5.型枠表面状況の確認（ケレン残しは無い）
	6.剥離剤の塗布状況の確認（塗布もれは無い）
	7.施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか
	8.つま型枠の固定は確実か
	9.箱抜き型枠、型枠ヒンジ部（縦断方向）に加工誤差・設置不良による隙間はないか
	10.鉄筋のかぶりは確保されているか、堅固に固定されているか
	11.覆工従事者が確認できるよう打重ね高さの管理方法が周知されているか
運搬	1.練混ぜ完了から打込み完了までの時間は適切か
品質	1.受入検査結果はコンクリートの品質規格を満足しているか

3) 施工中の打込み及び移動式型枠の取外しの項目

表 4.2.1.4 に、施工中の打込み及び移動式型枠の取外しのチェック項目を示した。

表 4.2.1.4 施工中の打込み及び移動式型枠の取外しの項目

施工段階	チェック項目
打込み (側壁～ アーチ)	1.コンクリートの吐出口から打込み面までの高さは 1.5m 以下となっているか
	2.コンクリートの一層あたりの打込み高さは 50cm 以下か
	3.左右対称の高さで打込みをしているか
	4.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか
	5.締固め時間の管理を実施しているか
	6.締固め時のパイプレータと鉄筋の接触により、鉄筋の移動や結束不良によるかぶり不足は発生していないか
	7.つま部のブリーディング水やノロの排出は十分に行っているか
	8.打込み口（検査窓）の閉鎖状況（締付け）は十分か
打込み (天端部)	9.天端吹上げ口周囲に打込み当初の残留コンクリートはないか
	10.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか
	11.肩部との打重ね箇所の締固めは確実に行ったか
	12.天端部のブリーディング水やノロの排出は十分に行っているか
	13.天端部の締固めは計画通りに実施したか
取外し	14.充填確認を行ない打込みを終了したか
	1.型枠の取外しに必要な強度が発現する養生時間（○時間）を厳守して、取外しを行ったか

側壁からアーチの範囲の打込みに関するチェック項目のうち、コンクリートの落下高さ、1 層あたりの打込み高さ、パイプレータによる横移動の禁止、および締固め時間の管理は、覆工コンクリート特有のものではなく、一般構造物に対しても共通で適用される施工上の基本事項として位置付けられる。

3 の「左右対称の高さで打込みをしているか」は、移動式型枠に対して偏圧が生じることを防止する目的

で設けられており、これは覆工コンクリート特有の留意点である。4の「バイブレータをコンクリートの横移動に使用していないか」は、使用するコンクリートの配合に応じて判断が分かれる。すなわち、流動性の高い配合を用いる場合には、バイブレータによる横移動は不要であるため「○印」でチェックされるが、標準配合のコンクリートを用いる場合には、横移動が必要となるため「×印」でチェックされる。その他は、バイブレータと鉄筋の接触による鉄筋の移動や結束不良、かぶり不足の状況、つま部のブリーディング水やノロの排出状況、および打込み口（検査窓）の閉塞状況の項目が設定されている。

天端部における打込みに関するチェック項目は、天端部で多く確認されている不具合の発生を抑制する目的で設けられている。

天端吹上げ口付近に、打込み初期のコンクリートが残留していると、色むら、浮き、剥離、剥落などの不具合の原因となるため、その除去がチェック項目となっている。10の「バイブレータをコンクリートの横移動に使用していないか」というチェック項目は、側壁からアーチの打込みの時と同様に、使用するコンクリートの配合によって○印または×印でチェックされる。なお、肩部と天端部の境界部分は、検査窓からの視認が困難であることが多く、締固めが不十分な場合に肩部と天端部の打重ね線に沿ってひび割れが発生する事例が報告されている。これを抑制するため、11の「肩部との打重ね箇所の締固めは確実にいったか」というチェック項目が設定されている。

4) 施工状況把握チェックシートの活用時の留意事項

東北地方整備局が公表している「品質確保の手引き(トンネル覆工コンクリート編)」¹⁾においては、施工状況把握チェックシートの活用の際の留意事項が示されている。以下にその主要な点を示す。

- ① 各項目をなぜチェックするのか、また、その項目が出来映えにどのように影響するのかを良く理解することが重要である。
- ② 打込み時において、発注者の監督員と施工者が双方でチェックすることにより、改善すべき事項を明確にすることが目的である。また、発注者と施工者の協働で品質確保を目指すためにも、発注者の監督員は、覆工コンクリートの施工の初期段階から施工状況の把握に努めることが望ましい。
- ③ 施工者は覆工コンクリートの施工計画書を作成する時に、このチェックシートを参考にして適切な準備を行うものとする。
- ④ 施工状況把握チェックシートと4.2.2で示す表層目視評価シートを併用することにより、次のロットで施工の改善を図る事が可能となり、施工中に生じる不具合を抑制することができる。

なお、「品質確保の手引き(トンネル覆工コンクリート編)」では、各チェック項目の設置理由に加えて、該当項目が表層目視評価のどの評価項目と関連しているかが示されており、実務における活用の際の参考にするのが良い。

(4) おわりに

東北地方整備局の道路トンネルの点検結果に基づくと、施工状況把握チェックシートを含む品質確保の仕組みが導入される以前では、覆工コンクリートの多くが経過観察や補修が必要な健全性Ⅱまたは健全性Ⅲに分類されており、健全な状態と評価される健全性Ⅰはほとんど見られなかった。しかし、品質確保の仕組み導入以降は、健全性Ⅰに分類される覆工コンクリートが増加傾向にある。

しかし、現時点においても健全性Ⅰの割合は十分とは言えず、更なる改善が求められる状況である。改善に向けては、以下のような視点が必要と考えられる。

施工状況把握チェックシートは、品質確保に必要な基本項目を網羅しているに過ぎず、施工中に発生する

不具合の改善には、施工時期、覆工従事者の技能水準、不具合の内容といった個別の条件を考慮し、具体的な施工改善策を立案する必要がある。それでもなお不具合の発生状況が改善されない場合は、原因を仮説的に設定し、別の施工方法を試行するという、試行錯誤と経験の蓄積が求められる。すなわち、受注者の主体的な取り組みと、効果的な改善策に関するノウハウの蓄積が不可欠である。さらに、これらのノウハウが蓄積・共有され、業界全体での認識が高まった場合には、チェックシート自体や品質確保の仕組みの改訂が必要となる可能性もある。

今後も、施工状況把握チェックシートおよび品質確保の仕組みが活用され、実効性のある方法としてより良いものとなっていくことを期待したい。

参考文献

- 1) 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）2023年改訂版，令和5年3月

（担当：佐藤 和徳）

4.2.2 表層目視評価法の活用

(1) 表層目視評価法の主旨

表層目視評価法は、施工者自らがコンクリートの表層品質を定量的に評価し、施工改善のPDCAサイクルを回すことで表層品質を向上するために開発されたもので、目視調査によって簡易かつ定量的にコンクリートの表層品質を評価する手法¹⁾である。建設中のコンクリート構造物の出来栄を定量的に評価することで、必要に応じて施工方法を改善し、構造物の表層品質を向上させていくPDCAのスパイラルアップに活用することができる。コンクリートの表面に発生する不具合の多くは、施工方法や使用したコンクリート、環境条件等に起因するものであり、ここで確認された不具合を、改善のためのサイン、ヒントと捉える考え方がPDCAのために重要である。

(2) 表層目視評価シートの構成

覆工コンクリート用の表層目視評価シートは、東北地方整備局が建設した国道45号田老第6トンネル（建設中名称）において、施工状況把握チェックシートと同時に開発された。この2つのシートを活用して品質改善の取り組みを繰り返し行った結果、PDCAの効果が明瞭に認められた²⁾ため、東北地方整備局では2016年5月に「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）」³⁾を策定し、品質確保のツールとして活用されている。

表層目視評価の評価項目は、当初6項目であったが、現在までに多くの試行工事で目視評価法の活用を継続し、知見を蓄積してきた中で、評価項目の名称と着目点が不明確であるとの意見が出たため、現在では、表4.2.2.1に示すように、①表面剥離、②気泡、③水はしり・砂すじ、④色むら、⑤打重ね線、⑥施工目地不良、⑦ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れの7項目に変更されている⁴⁾。また、表層目視評価シートも表4.2.2.2に示すように改訂されている⁴⁾。

表 4.2.2.1 トンネル覆工コンクリート表層目視評価の方法

トンネル覆工コンクリート表層目視評価の方法

調査時期	調査方法	観察				原因		不適合時、どんな点を改善させるべきか？	
		4	3	2	1	原因	キーワード	改善策	
① 表面はく離	近接できない範囲は、覆工センターから照明を当てながら観察	無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m ² 程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる	施工状況把握チェックシートの項目	準備-5 準備-6 打込み-1、5 打込み-9 打込み-13 脱枠-1	ケレン残しを無くする 剥離剤の全体塗布 打込み方法 打込みコンの残留 締固め方法 型枠脱型強度	施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育) 施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育) 打込み方法を改善し、コンクリートの材料分離を防止する 天端吹上げ周囲の打込み当初の残留コンクリートを除去する 天端のコンクリート締固め方法を改善する 型枠脱型時間・養生温度を改善する
② 気泡(アーチの1.5m×1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10%程度見られる	10mm以上が10%程度または5mm以下が20%程度見られる	10mm以上が20%程度見られる	準備-1 打込み-1 準備-11 打込み-2 打込み-3 打込み-4、5、10	生コンの規格を満足か 吐出口からの落差高 1層の打込み高さ 左右対称の打込み 打込み・締固め方法	エア量、スランブが規格外の場合は原因の追及を行い、是正する コンクリートの吐出口から打込み面までの落差高さを出来るだけ小さくする 1層の打込み高さを管理し、適切な締固めで巻込み空気を除去する(かけ過ぎは避ける) 打込み用の配管切り替え手順をあらかじめ決めておく(余振り、箱抜きの有無考慮) バイブレータによる締固め方法・締固め時間を改善する(かけ過ぎは避ける)	
③ 水はしり、砂すじ		無し	一部に見られる(全体の1/10程度)	やや多く見られる(全体の1/3程度)	2点の状態以上に広範囲で見られる	準備工-9 品質-1 打込み-2 打込み-7、12	箱抜き型枠の加工誤差 セントラルヒンジ部の隙間 生コンの規格を満足か 打込み・締固め方法 ブリーディング水等の排出	型枠加工精度を上げて、型枠との隙間を無くする及び型枠との固定を確実にする 縦断方向のヒンジに隙間がある場合、定期的にコーキングを行う 規格外の生コンは廃棄する(特にスランブ大の場合発生) 1層の打込み高さを 急速な打込みをやめて、一層の高さを50cm以下に押さえる(ブリーディングが内部に残留することを防止) バイブレータによる締固め方法 ブリーディング水等の排出	
④ 色むら(天端のみ評価)		ほぼ無し	天端の1/10程度で見られる	天端の1/2程度で見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる	準備-5 準備-6 運搬-1 打込み-12 打込み-13	ケレン残しを無くする 剥離剤の過大な塗布量 一定間隔の打込み ブリーディング水等の排出 締固め方法	施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育) 施工計画書で定められた量を均一に塗布する 施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育) 打重ね時間を一定間隔とし、中断時間が発生しないように打込む 排出方法(パンチング型枠等の使用)や排出頻度を改善する 天端のコンクリート締固め方法を改善する	
⑤ 打重ね線(側壁・アーチを評価)		規則的(50cm間隔で水平な打重ね線が見られる。もしくは打重ね線が見られない)	不規則な打重ね線が調査対象範囲の1/5程度で見られる	不規則な打重ね線が調査対象範囲の1/2程度で見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる	準備-11 打込み-2、3 運搬-1 品質-1 打込み-11	1層の打込み高さ 一定間隔の打込み 生コンの規格を満足か 打重ね時間	1層の打込み高さを管理し、下層コンクリートにバイブレータを10cm程度挿入し適切な締固めを行う 打重ね時間を一定間隔とし、中断時間が発生しないように打込む 規格外の生コンは廃棄する 肩(アーチ)から天端吹上げ方式への移行は迅速に行い、可能な限り打重ね時間を短縮する	
⑥ 施工目地不良		無し	側壁・アーチの1/10程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁・アーチの1/3程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁・アーチの全体、もしくは天端範囲に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	準備-1 準備-2 準備-3 準備-7、8 準備-11 打込み-7、12 打込み-13	打込み箇所底部の清掃 堅硬な地盤 型枠の設置・脱枠・移動の管理 目地材・つま型枠の固定不足 1層の打込み高さ ブリーディング水等の排出 締固め方法	施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育) 不等落下防止対策を講ずる 型枠の設置・脱枠・移動時の手順について再確認する 固定方法の改善、固定状況を打込み前に再確認する 1層の打込み高さを管理し、下層コンクリートにバイブレータを10cm程度挿入し適切な締固めを行う 天端のコンクリート締固め方法を改善する	
⑦ ヒンジ、検査窓枠・指抜き型枠のノロ漏れ		無し	1箇所程度見られる	2~3箇所見られる	3箇所を超える箇所に発生 段差がある	準備-9 打込み-8	箱抜き型枠の加工誤差 セントラルヒンジ部の隙間 検査窓の固定不足 検査窓の隙間	型枠加工精度を上げて、型枠との隙間を無くする及び型枠との固定を確実にする 縦断方向のヒンジに隙間がある場合、定期的にコーキングを行う ハンマー打撃で固定ピンを叩いて確実に挿入する、検査窓にバイブレータを当てて締固めを行わない 型枠本体と検査窓に隙間がある場合、検査窓周囲に輪ゴム(例:長さ50cm、厚さ1mm、幅6mm)を設置	

※評価点は中間点も可とする。

(3) 表層目視評価法の活用事例

表層目視評価シートの活用による品質確保の取組み事例は、多くの学会論文で紹介されている。ここでは、代表例として北海道開発局のトンネルで実施された事例⁵⁾を紹介する。この工事では、施工に起因する不具合の抑制とコンクリートの表層品質向上を目的とし、施工状況把握チェックシートと表層目視評価シートを活用した品質向上への取組みを覆工の全スパンで実施している。各項目の表層目視評価点の合計点の推移を図4.2.2.1に示す。標準配合(27-15-40N)を使用した打込み初期は、24点満点中の平均19.6点であったが、覆工従事者への指導、コンクリート配合や剥離剤の変更、打込み方法の変更等の対策を行い、打込み中期に一時的な点数低下が見られたものの、全体的には右肩上がりに評価点が向上(中期20.5点、後期21.0点、通期20.4点)し、本取組みにより品質を継続的に改善することができた。

なお、ここでは全ての6項目の点数を合計して全体の傾向を分析しているが、本来は、表層目視の評価項目ごとに分けて点数を付け、個々の不具合に対して原因を探索して改善を講じ、その結果を目視評価で定量評価する、という使い方が望ましい。

表 4.2.2.2 トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート							
工事名	打込み番号		BL	スパン長(m)	打込み回数	調査者	
トンネル名称	測点	自	P=	打込み日	初期養生終了日	確認者	
配合	セントラル打設システム等		P=	脱型日	調査日		
					養生の工夫等		

左側壁
左アーチ
天端
(吹上げ方式)
右アーチ
右側壁

7φ1,500=10,500

項目	表面剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら	打重わ線	施工目地不良	ピンジ・検査室枠・指輪等型枠のノロ流れ	点数計
配号	h	a	s	i	u	m	o	
左側壁								
左アーチ								
天端*								
右アーチ								
右側壁								
点数平均								

スパン点
(満点28点)

◆全体記事

◆改善策(施工状況把握チェックシートの関連性を記載)

■調査時期: 脱型直後から初期養生開始前にかけて実施
■調査方法: 天端部からアーチ、側壁へと順工表面を日視調査

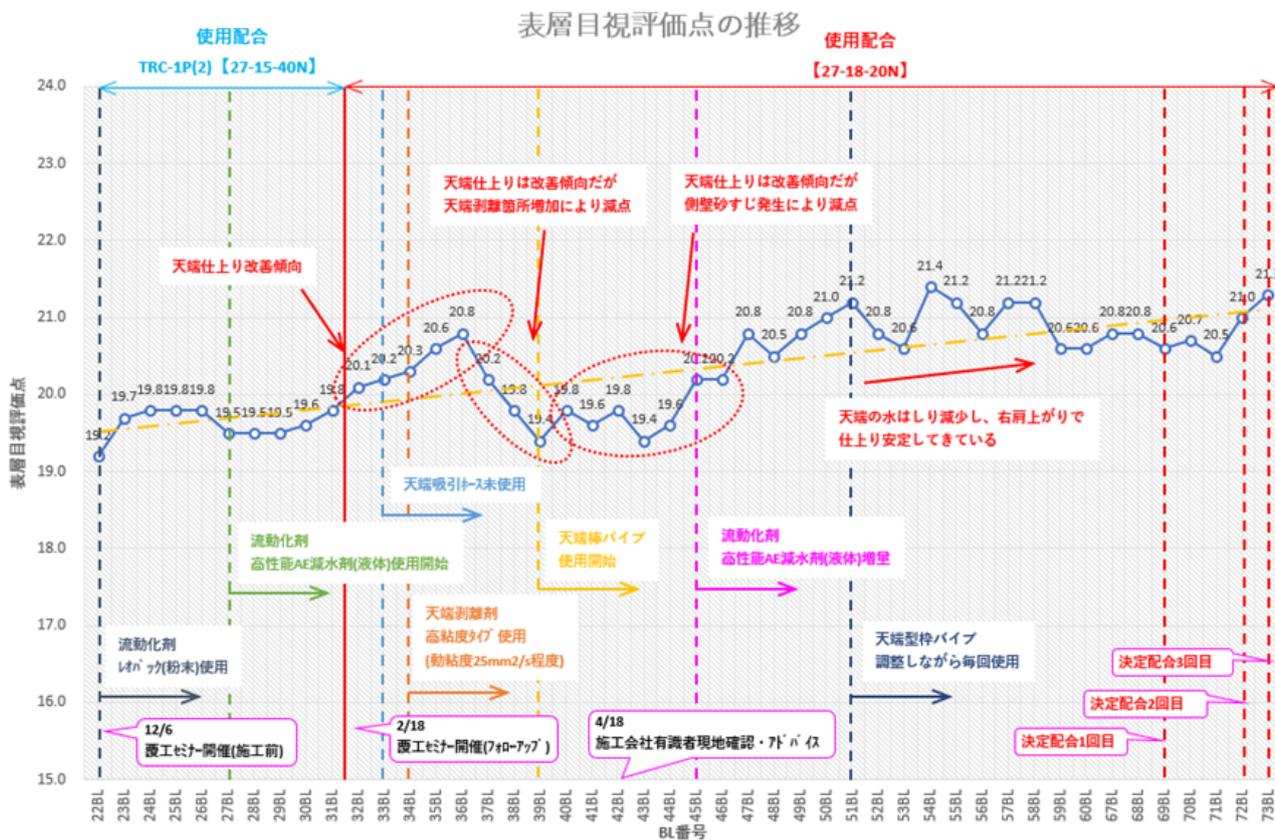


図 4.2.2.1 表層目視評価点の PDCA の推移

評価項目ごとの評価として、図4.2.2.2に「水はしり・砂すじ」の推移を示す。初期は、標準配合27-15-40Nで打込みを開始したが、天端や側壁の一部に水はしり・砂すじが見受けられたため、施工方法の改善（パイプサポートの追加、壁バイブレータの使用）、使用配合を27-18-20Nに変更および天端部に使用した粉体系の流動化剤を液体の高性能AE減水剤に変更したことで改善が図られている。

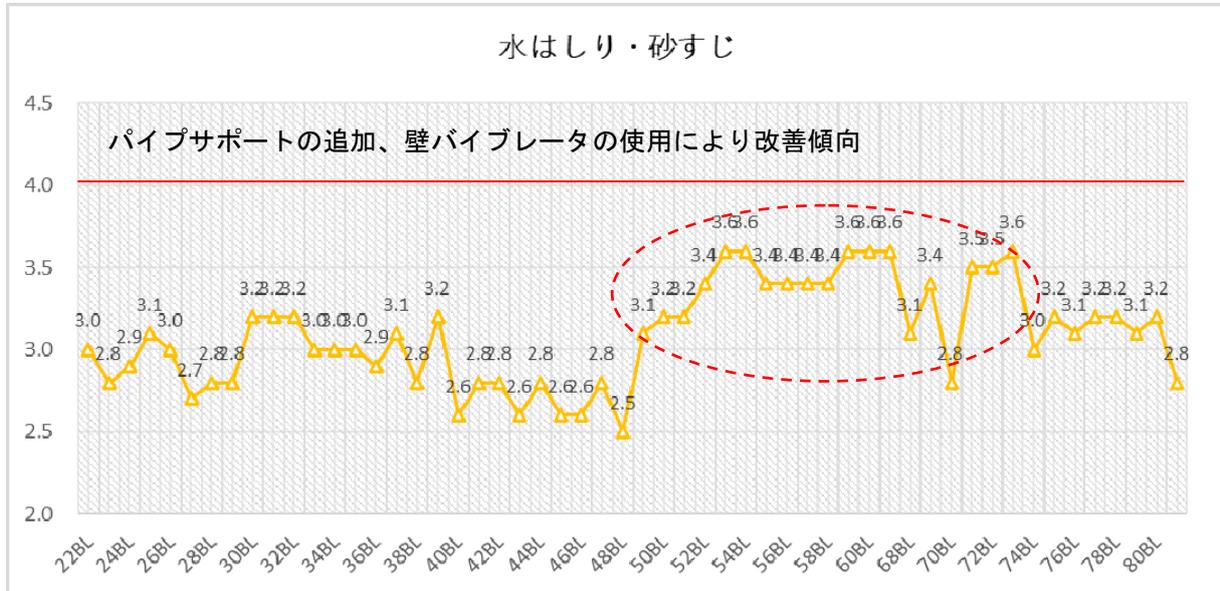


図 4.2.2.2 表層目視評価点（水はしり・砂すじ）の推移

図4.2.2.3に「はく離」の推移を示す。打込み初期は天端やアーチの一部に剥離が見られたため、剥離剤の種類と塗布量の最適化を行い、はく離性能に優れた動粘度の高い剥離剤を選定したことで、改善が図られている。

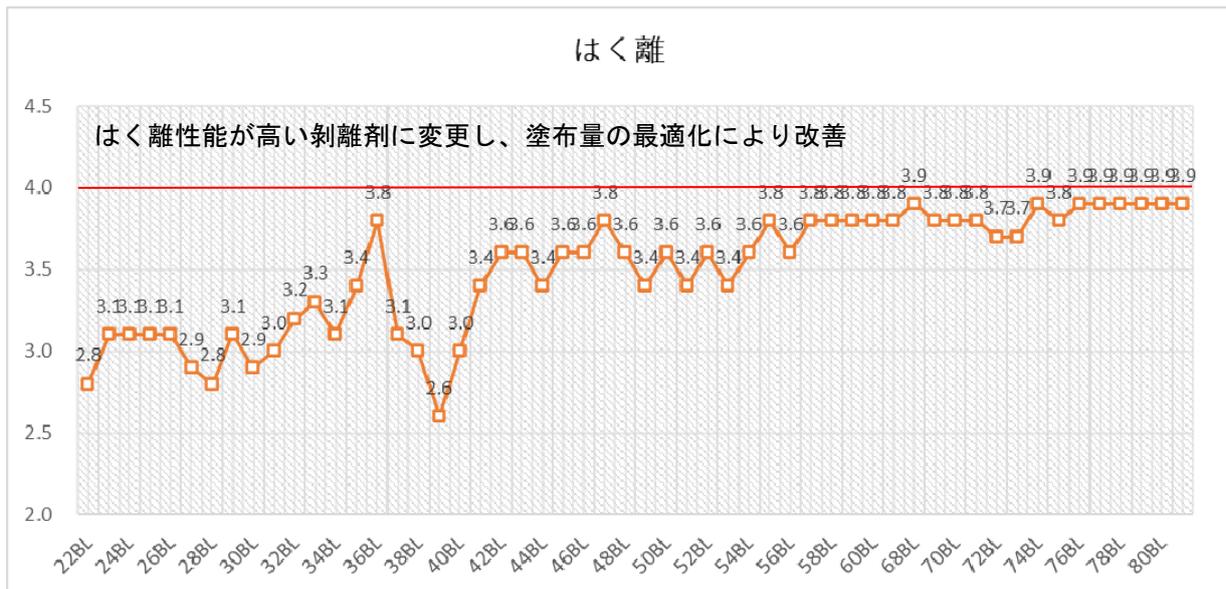


図 4.2.2.3 表層目視評価点（はく離）の推移

図4.2.2.4に「色むら・打重ね線」の推移を示す。本工事では、供用後の剥離による第三者被害の発生を考慮し、剥離の抑制効果を優先して動粘度の高い剥離剤を選定したため、色むらは改善しない傾向にあった。

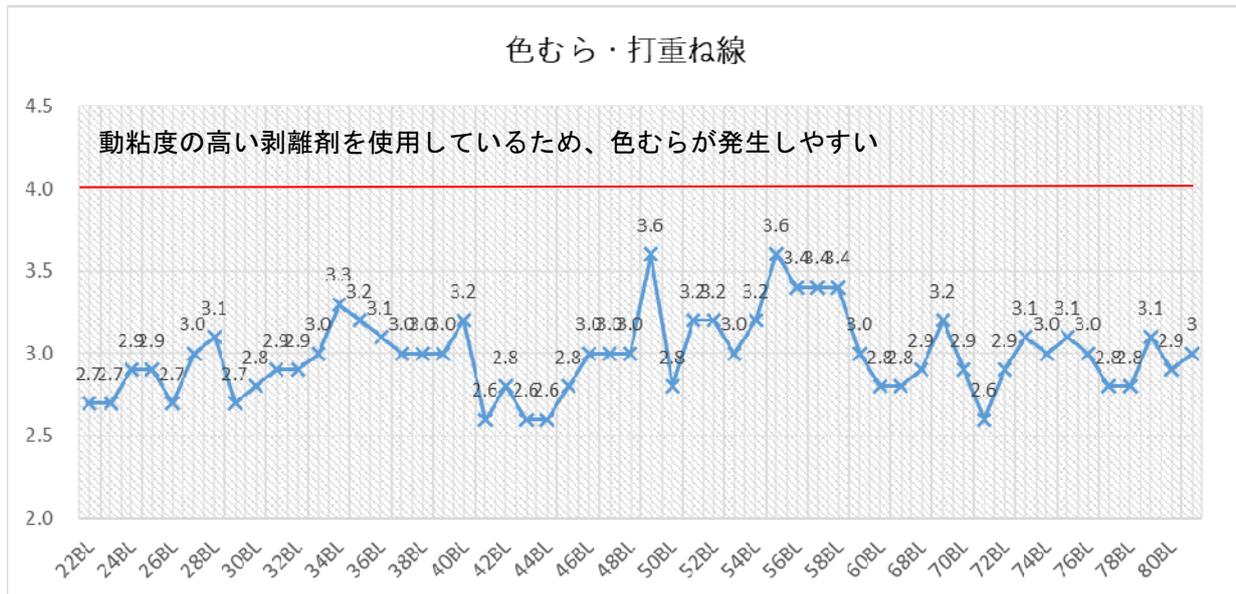


図 4.2.2.4 表層目視評価点（色むら・打重ね線）の推移

このように、施工状況把握チェックシートと表層目視評価を活用し、覆工関係者全員が意欲的かつ継続的にPDCAをまわすことで、覆工コンクリートの品質向上を図れることが報告されている。

(4) 表層目視評価法の課題

4.2.2(3)に示した事例のように、表層目視評価法を活用して継続的に品質を向上しているトンネルは、覆工の全スパンで表層目視評価を実施しているものが大多数を占めている。これに対し、国土交通省の試行工事では、表層目視評価の回数を1トンネルあたり2回以上と定められているため、表層目視評価を実施した2スパンのみ表層品質が良好であり、それ以降に打込んだスパンでは、施工に起因する不具合が連続して同一箇所が発生する事例が確認されている。これは、表層目視評価法の主旨であるPDCAによる改善の理解不足が要因と考えられる。

東北地方整備局においては、令和5年度以降の道路トンネルにおいて、監督職員の表層目視評価回数を従来どおり1トンネルあたり2回以上とする一方で、受注者には全てのスパンでの表層目視評価を義務付けている。全スパンで表層目視を行う取り組みが全国に展開されることを期待するとともに、表層目視評価法の主旨に対する理解が深まり、さらなる品質向上が達成されることを望む。

参考文献

- 1) 細田 暁, 坂田 昇, 渡邊 賢三, 佐藤 和徳: 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り組み, コンクリート工学, Vol.54, No.10, pp.1005-1014, 2016.10
- 2) 伊藤 忠彦, 細田 暁, 林 和彦, 西尾 隆, 八巻 大介: 覆工コンクリート品質向上の取り組みと表層品質の評価, 土木学会トンネル工学報告集, 第24巻, I-4号, pp.1-9, 2014.12
- 3) 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)国土交通省 東北地方整

備局 2016.5.

- 4) 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）2023 年改訂版，国土交通省 東北地方整備局，令和 5 年 3 月。
- 5) 目崎浩司，三井功如，小倉仁志，小野雄司，鈴木辰也：火山ガラス微粉末の覆工コンクリートへの適用，土木学会第 78 回年次学術講演会，VI-976，2023.9

（担当：三井 功如）

4.3 施工目地部の不具合を抑制する対策事例

覆工コンクリートは 2 日に 1 回のサイクルで施工されるのが標準であるため，覆工コンクリートの型枠の脱枠は，若材齢で実施される．次スパンにおける型枠の設置は，既設側（打込み完了側）コンクリートが若材齢の状況で型枠が接触するため，セット時の過度な押し上げにより，施工目地部に半月状のひび割れが発生する事例が多い．また，施工目地部は，コンクリートの品質が低下しやすい箇所であり，コンクリートの乾燥収縮や温度伸縮によりひび割れが発生しやすく，経年劣化により浮き，剥離，剥落に進展する事例が多い．

東北地方整備局が NATM で施工したトンネルを対象に実施した定期点検を分析した結果では，**図 4.3.1**に示すように対策区分Ⅲ（早期に措置を講じる必要がある状態）¹⁾の変状の発生位置は，施工目地部が 60%を占めていることがわかった．施工目地部に発生する不具合は，第三者に影響を与える可能性もあるため，施工に起因する施工目地部の不具合を減少させることが重要な課題となっている．

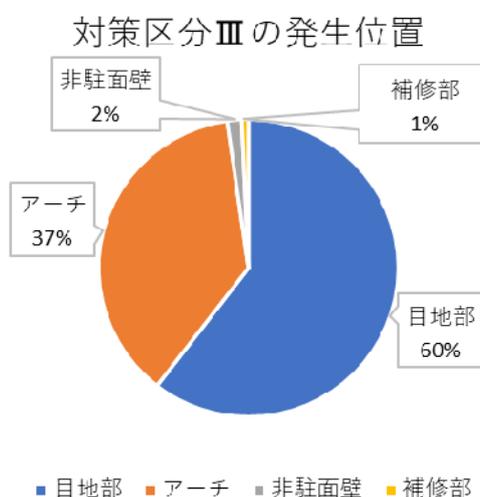


図 4.3.1 対策区分Ⅲの発生位置

この対策として，施工目地部に発生するひび割れ，浮き・剥離・剥落を防止するため，**図 4.3.2**に示すように，既設コンクリートと型枠の重ね合わせ部（オーバーラップ）に緩衝材（ゴム材）を設置するための溝型枠（台形形状，三角形）を用いて，施工目地部に切り欠きを設け，型枠が直接既設コンクリートに接触しないよう対策がとられるようになっている．

施工目地の形式は，これまで段階的に変更され，改善の取組みが行われてきた．1990 年頃までは切り欠き

を設けない突合わせ目地が採用されており、多くの施工目地で不具合が発生していた。これを受けて、2006年に土木学会で発刊したトンネル標準示方書山岳編・同解説²⁾で台形目地と三角目地が事例として記載された。2015年に中国地方整備局がトンネル覆工コンクリートの長期保証制度を導入した際には、三角形が標準とされ、打継ぎ部にブチルゴム系止水材を設置する対策³⁾が実施されている。

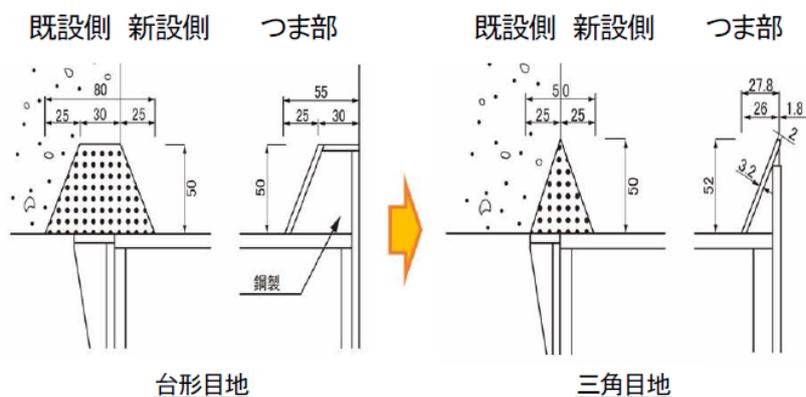


図 4.3.2 施工目地の溝型枠²⁾を一部加工

このほかに、施工目地部の対策として、押上げ防止センサや付着低減剤、ビニールシートの設置、鋼板の設置などの付着防止対策が、四国地方整備局⁴⁾および東北地方整備局⁵⁾の品質確保の手引き（案）で紹介されている。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・技術課：道路トンネル定期点検要領 令和 6 年 9 月
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書（山岳トンネル編）・同解説－2006, pp.170-171
- 3) 速水優一，角田真一，山崎彰，トンネル覆工コンクリートの長期保証制度について，土木学会第 70 回年次学術講演会，IV-247，平成 27 年 9 月
- 4) 国土交通省 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
- 5) 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）2023 年改訂版，令和 5 年 3 月

（担当：三井 功如）

5. 養生の留意点

5.1 養生の取組み

5.1.1 東北地方整備局における覆工コンクリートの養生の取組み

東北地方整備局は、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復興道路等の整備において、覆工コンクリートの品質・耐久性確保に取り組んできた。

覆工コンクリートは、移動式型枠の移動・設置と翌日のコンクリートの打込み・養生の2日サイクルを繰り返すことで打設が進められる。復興道路等のトンネルは、2車線の自動車専用道路であり、トンネルの覆工コンクリートの打込み・締固めは、多くの場合朝8時から打込み・締固めを開始し、概ね14時には完了しそのまま養生に移り、翌日8時には脱型を始める。このため、移動式型枠存置による養生時間は、最後に打込みが終了する天端部で18時間程度と限られている。

このような覆工コンクリートにおける若材齢での脱型に伴う問題点として、(1)低い緻密性、(2)坑口付近や貫通時のひび割れ発生、(3)天端部の剥離発生が挙げられる。これらの問題に対処するため、東北地方整備局が復興道路等で整備したトンネルでは、施工者による技術提案や創意工夫によって、養生に関する様々な取組みが行なわれてきた。表5.1.1.1に覆工コンクリートの若材齢脱型に伴う主な課題と対策を示す。

表 5.1.1.1 覆工コンクリートの若材齢脱型における主な課題とその対策

課 題	主な対策
(1) 低い緻密性	①脱型後、ミストを噴霧し、坑内湿度を一定以上に保持
	②覆工コンクリートにシートを貼り付け、給水養生
	③移動式型枠2台による3日間養生
	④移動式型枠1台+移動養生装置3台による7日間養生
	⑤移動式型枠1台+移動養生装置12台による28日養生
	⑥ビニールシート等の長期貼り付けによる養生
	⑦坑内の高湿度を利用した湿潤養生
(2) 坑口付近や貫通時のひび割れ発生	①坑口から2パネルを型枠存置による7日間養生
	②遮風壁の設置
(3) 天端部の剥離発生	①積算温度による脱型時期の判定
	②移動式型枠の加温

以下に、課題毎の主な対策について紹介する。

(1) 低い緻密性

東北地方整備局の品質確保の手引き（トンネル覆工コンクリート編）¹⁾では、養生によってコンクリート内部の水和反応が進むことによって得られる表層品質の特性を「緻密性」と呼んでいる。覆工コンクリートの緻密性を透気係数で評価した結果を図5.1.1.1に示した。

透気係数は、表層に生じたひび割れや、その他の施工中に生じる不具合の影響を含んだものであり、必ずしも表層の緻密性だけを評価したものではない。しかし、覆工コンクリートは呼び強度18、W/C=60%以下、スランプ15cmの配合であり、養生時間は18時間程度と限られている。このため、図5.1.1.1に示したように、多くの場合で透気係数のグレードは「劣」を示していた。これが、覆工コンクリートの緻密性の現状であり、他のコンクリート構造物に比較して緻密性は低いと言える。

このような覆工コンクリートの低い緻密性の向上を図るため、養生方法に関して様々な技術が提案されて

いるので、ここではその代表例を紹介する。

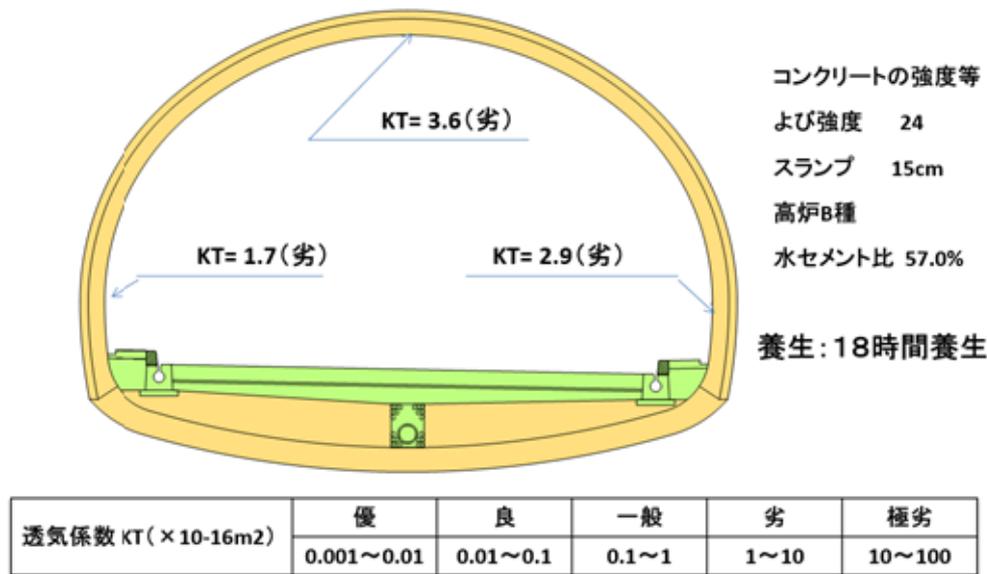


図 5.1.1.1 覆工コンクリートの透気係数による緻密性の評価事例

① ミスト噴霧による養生

移動式型枠を脱型後にシート等を用いて覆工コンクリートを覆い、その中にミストを噴霧して湿度を一定以上の高さに保つことで、覆工コンクリートの乾燥を防ぎ、緻密性を上げる対策である。

② 給水養生

覆工コンクリートと養生シートの上に季節に応じて水温を調整した養生水を給水することで、湿潤養生を行う対策である。この方法は、養生用の水が流れた跡が縞模様のように覆工コンクリートに残る場合があるため留意が必要である。

③ 移動式型枠 2 台による養生

移動式型枠を 2 台並べて使用し、3 日間（約 66 時間）の型枠存置により養生する方法である。まず 1 日目に前方の移動式型枠にコンクリートを打ち込む。2 日目に、後方の移動式型枠を前方の移動式型枠の前に移動する。その際、後方の移動式型枠を折りたたんで前方の移動式型枠の下を通して型枠を設置する。3 日目に、前方に移動した型枠内にコンクリートを打ち込み、4 日目に 1 日目にコンクリート打ち込んだ箇所を脱型して、移動式型枠を前方の型枠の前に移動する。この 4 日サイクルを繰り返して覆工コンクリートを養生していく方法である。1 日目にコンクリートを打ち込んだ型枠は、4 日目の朝に脱型されるまで、3 日間（24 時間×2+18 時間=66 時間）型枠存置による養生が可能となり、これにより覆工コンクリートの緻密性を向上する方策である。

④ 移動式養生装置による 3 日間養生

③の移動式型枠の 1 つを移動式養生装置に換えても 3 日間養生は可能となる。移動式養生装置は、移動式型枠を追いかけて移動できる養生設備である。移動式養生装置は様々なものが開発されており、特殊なシート等を覆工コンクリートに押し付けるドーム型の装置だけでなく、保温装置や加温装置を備えたもの、給水装置を備えたものなどがある。ただし、移動式型枠の 2 日サイクルを追いかける形で養生装置が移動していくため、移動式型枠を脱型してから移動養生装置を設置するまでの間は、短時間であっても外気の影響を受ける。脱型直後は、覆工コンクリートの温度が水和熱により高くなっているため、短時間であっても外気の

影響を受けることによって不具合が発生する懸念がある。この点では、移動式型枠 2 台をした場合は、約 3 日間連続で型枠存置により養生されるため、不具合が発生する懸念は少ないと言える。

⑤ 移動式養生装置による 7 日間養生

移動式型枠 1 台と移動式養生装置 3 台で 7 日間養生を行い、覆工コンクリートの緻密性を向上させる。2 日サイクルの覆工コンクリートの施工で、移動式型枠の存置による養生は約 1 日間（18 時間）である。この後に移動養生装置を 3 台並べて 2 日サイクルで移動させれば、6 日間（2 日間×3 台）追加で養生することが可能となり、移動式型枠の存置による養生と加えて 7 日間養生が可能となる。図 5.1.1.2 に、超音波加湿器を備えた移動養生装置 3 台による 7 日間養生の例を示す。



図 5.1.1.2 超音波加湿器を備えた移動養生装置 3 台による 7 日間養生の例

⑥ 移動式養生装置 12 台による 28 日間養生

移動式型枠 1 台と移動式養生装置 12 台で 28 日間養生を行い、覆工コンクリートの緻密性を向上させる。図 5.1.1.3 に移動養生装置 12 台による 28 日間養生の事例を示す。



図 5.1.1.3 移動養生装置 12 台による 28 日間養生の事例

⑦ ビニールシート等の長期貼り付けによる養生

図 5.1.1.4 に覆工コンクリートにビニールシートを長期間貼り付けて養生した事例を示す。この方法は、施工対象となるトンネルの延長が短いため、コスト面から移動式養生装置の導入が困難であったことを背景

に、施工者の創意工夫によって試行的に実施されたもので、移動式型枠の脱型時にビニールシートを継ぎ足して貼り付けている。ビニールシートの取り外しは、竣工前に実施するため、非常に長期間の養生が可能である。



図 5.1.1.4 覆工コンクリートにビニールシートを長期間貼り付けて養生した事例

図 5.1.1.5 に、覆工コンクリートに気泡緩衝シートを長期間貼り付けて養生した事例を示す。このトンネルは、標準配合のコンクリートを用い、18 時間の養生で覆工コンクリートを施工した現場である。本事例は、新たな養生方法の検証を目的として、受注者の創意工夫により完成した覆工コンクリートに気泡緩衝シートを貼り付け、28 日および 58 日間養生した箇所に対して吸水試験（SWAT）を実施し、その効果を調査した。28 日間の養生では吸水試験の結果が「一般」であったが、58 日間の養生では「良」にまで向上した。



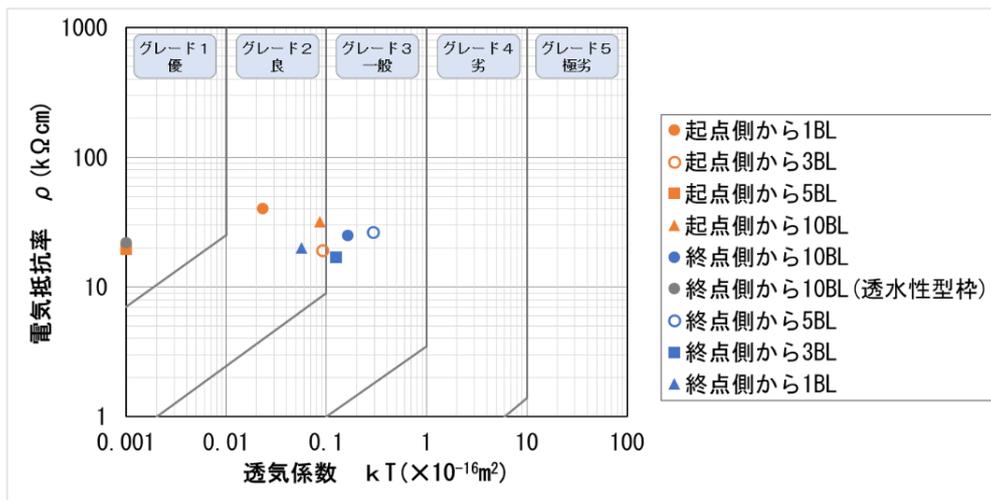
28日養生 吸水試験 P600=0. 348ml/m²/s(一般)
58日養生 吸水試験 P600=0. 176ml/m²/s(良)

図 5.1.1.5 覆工コンクリートに気泡緩衝シートを長期間貼り付けて養生した事例

⑧ 坑内の高湿度環境を利用した湿潤養生

標準配合のコンクリートを用い、標準施工で覆工コンクリートを施工していたが、トンネル坑内の湿度が高かったことにより、意図せずして緻密性が向上した事例を紹介する。

図 5.1.1.6 は、延長 2,875m のトンネルにおいて、起点側から片押しで施工した覆工コンクリートの透気係数を示したものである。起点側および終点側の坑口からそれぞれ 1, 3, 5, 10BL の透気係数を測定している。さらに、終点側においては、10BL の SL 下において、気泡対策として透水型枠を使用した箇所についても、透気係数を測定している。



透気係数の評価

グレード	グレード1	グレード2	グレード3	グレード4	グレード5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣
透気係数 $k T (\times 10^{-16} m^2)$	$k T < 0.01$	$0.01 \sim 0.1$	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$k T > 10$

図 5.1.1.6 延長 2,875m のトンネルを片押しで施工した覆工コンクリートの透気係数

このトンネルの覆工コンクリートには標準配合が使用されているにもかかわらず、透気係数のグレードは「一般」から「優」を示した。通常、標準配合の覆工コンクリートの透気係数のグレードが「劣」と評価されることを踏まえると、1段階以上高いグレードが得られていることがわかる。

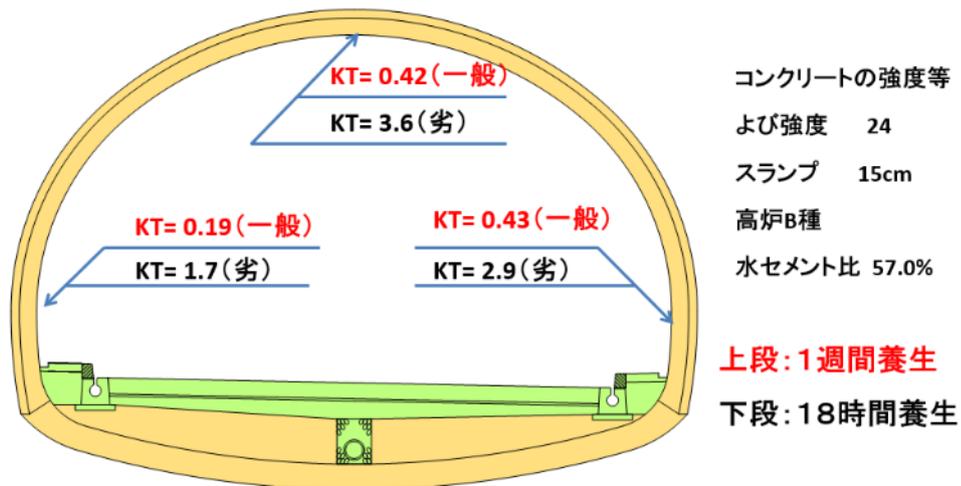
本トンネルは延長が長く、掘削時に湧水が比較的多かったため、坑内湿度は常に高い状態にあり、覆工コンクリートの表面は、常時結露した状況であった。このような高湿度環境下で長期間養生されたことにより、覆工コンクリートの透気係数のグレードが「良」となったものと考えられる。また、透気係数の結果において、起点側の方が終点側よりも高いグレードを示す傾向が確認された。これは、トンネルが起点側から片押しにより施工されたことに起因しており、起点側の覆工コンクリートは、より高湿度な環境下で長期間養生されたことが要因と推察される。

(2) 坑口付近や貫通時のひび割れの発生

① 坑口から 2 パネルを型枠存置による 7 日間養生

東北地方整備局は、2013 年度発注工事より、坑口から 2 パネル分の覆工コンクリートについて、1 週間型枠を存置して養生を行うことを特記仕様書に明記している。

これは、従来通り覆工コンクリートの打込み翌日に型枠を脱型すると、坑口部分の覆工コンクリートが日射や風の影響を受け、急激な乾燥による収縮が生じ、ひび割れが発生する可能性があるためである。また、冬期施工の場合、覆工コンクリートは水和熱により施工直後はコンクリート温度が高い状態にあるが、脱型後に冷たい乾燥した外気に曝されることで、表面に微細なひび割れが発生する恐れがある。このため、坑口部 2 パネル分について 1 週間型枠を存置して養生することにより、脱型時の覆工コンクリートの水和熱による温度差を低下させるとともに、コンクリート強度を向上させ、外部環境からの作用に対する抵抗力を高めることで、坑口部におけるひび割れの発生を抑制する対策である。坑口部における 1 週間養生の効果を透気試験で検証した結果を図 5.1.1.7 に示す。



透気係数 $KT (\times 10^{-16} \text{m}^2)$	優	良	一般	劣	極劣
		0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10

図 5. 1. 1. 7 坑口部分の 1 週間養生の効果透過試験で検証した結果

一般的に標準配合の覆工コンクリートに対して約 18 時間程度の型枠存置養生を行った場合、透気係数のグレードは多くの場合「劣」と評価される。しかし、1 週間型枠を存置して養生を行うと、透気係数のグレードは「一般」まで向上する。また、覆工コンクリートの表面に微細なひび割れが発生した場合は、透気係数のグレードは通常「劣」となることから、1 週間型枠存置養生の効果によって、微細ひび割れの発生も予防されていることがわかる。

② トンネル貫通時における遮風壁の設置によるひび割れ対策

トンネル貫通前の坑内環境は、坑内に入るほど地山の影響を受けるため、年間を通じて温度は概ね 10~15°C の範囲で安定し、湿度も高い状態が維持されることが多い。このような環境下では、若材齢の覆工コンクリートを脱型した場合でも、外気による急激な温湿度変化の影響を受けにくく、ひび割れの発生リスクは比較的低いと考えられる。一方で、トンネル貫通後は乾燥した外気が坑内に流入することにより、若材齢の覆工コンクリートが急激に乾燥に曝される結果、ひび割れが発生することがある。これに対する有効な対策としては、遮風壁の設置により外気の坑内への流入を抑制し、坑内への外気の流入を防止する対策が有効である。

(3) 天端部のはく離発生

覆工コンクリートの天端部の吹上げ口付近は、最後にコンクリートが打ち込まれるため、標準施工のサイクルによる養生時間は約 18 時間と最も短くなる。このため、特に冬期施工の覆工コンクリートにおいては、脱型時の型枠にモルタル分等が付着するはく離が、天端部の吹上げ口付近に発生する場合がある。このはく離は、覆工コンクリートが適切な脱型強度に到達していないにもかかわらず、標準施工のサイクル時間で脱型したことにより発生したものと推察される。

このようなはく離を防止するため、いくつかの対策が実施されている。ここでは、①積算温度による脱型時期の判定と、②移動式型枠の加温による対策を紹介する。

① 積算温度による脱型時期の判定

積算温度と圧縮強度は強い相関があることが知られている。このため、覆工コンクリートの目標脱型強度

に達するための積算温度を事前に試験で確認しておき、覆工コンクリート打込み後の移動式型枠の積算温度を測定し、脱型時期を判定することで、はく離を防止する対策がとられている。

② 移動式型枠の加温

移動式型枠に加温設備等を設置して、コンクリートの水和反応を促進し、標準施工サイクル内において目標脱型強度を確実に発現させることにより、はく離の発生を予防する対策である。

参考文献

- 1) 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）2023年改訂版，令和5年3月

（担当：佐藤 和徳）

5.1.2 NEXCOにおける養生の取組み

一般的に、覆工コンクリートは1スパン分のフォームを搭載したセントルを用いて2日に1回打設されるが、養生時間が16～18時間と通常のコンクリート構造物に比べて短く、乾燥収縮などによるひび割れが発生しやすいという問題がある。そこで、NEXCOでは覆工コンクリートの養生について、下記の通り定めている¹⁾。

(1) 覆工コンクリートの養生における留意事項²⁾

中流動覆工コンクリートの養生において、型枠は、打ち込んだコンクリートが必要な強度に達するまで取り外してはならず、型枠を取り外した後は、効果に必要な温度及び湿度を保ち、有害な外的要因の影響を受けないよう、適切な期間にわたり養生を行うこととする。

1) 型枠の取外し時期について

型枠の取外しの時期は、打ち込んだコンクリートが自重などに耐えられる強度に達した後でなければならない。自重などに耐えられる強度の目安としては、2車線の円形アーチのトンネルでは、コンクリートの圧縮強度が2～3N/mm²程度である。この強度を得るまでの材齢は養生環境の影響を受けることから、トンネル貫通後や冬期の練り混ぜ温度が低い場合などでは、型枠の取外しの時期や養生方法について検討する必要がある。

型枠脱型時期の決定に対しては、実際の養生条件と合わせた供試体作成によりコンクリートの初期強度の発現特性を把握し、骨組解析により脱型可能時期について解析したものと合わせて検討し、十分な安全を確認の上、脱型時期を設定するものとする。

2) 型枠を取り外した後の養生について

従来、覆工コンクリートの施工環境は、坑内温度が安定し湿度が高い状態に保たれていたことから、一般的には付加的な養生は行われていなかった。しかし、近年、坑内作業環境の改善のための換気設備の充実により、坑内風速が向上することにより坑内湿度が低下し、覆工表面の乾燥収縮ひび割れの発生が懸念されている。そのため、型枠を取り外した後の養生は、品質向上の取り組みとして、各種養生方法が現場にて適用されているが、中流動覆工コンクリートに対しての効果検証が十分に行われていなかった。そこで、養生効果の検証として、各種養生の効果を評価するため、室内試験により、養生条件が圧縮強度、透気係数、水分拡散係数及び超音波伝搬速度などのコンクリート品質に与える影響を確認し、中流動覆工コンクリートの品

質向上を目的として、型枠を取り外した後の養生について以下を標準とすることとした。

中流動覆工コンクリートの養生は、給水、水分逸散防止、封緘および膜養生等で覆工コンクリート表面を7日間湿潤状態に保持する方法を標準とする。なお、養生開始にあたっては、型枠を取り外した後速やかに行うものとし、型枠の取外し後から8時間以内実施する。型枠脱型時期を3日程度延長する方法も標準と定めた養生方法と同等の効果が確認されている。坑口部などの鉄筋区間では、通常のコンクリート構造物と同様に中性化速度や塩化物イオンの侵入が耐久性に大きな影響を与えることから、適切な養生を実施して耐久性を確保する必要がある。鉄筋区間における適切な養生は、コンクリート標準示方書〔施工編〕に準拠して設定してよい。膜養生については、膜養生剤の種類や使用量、施工環境、施工方法等の相違により、乾燥の抑制効果が異なる。このため、使用量や施工方法等を信頼できる資料あるいは試験によって事前に確認しておく必要がある。なお、膜養生の実施にあたっては、型枠の取外し後速やかに行うものとし、現場においては事前に確認した使用量や施工方法等により管理するものとする。膜養生剤の確認方法については、次に示す圧縮強度および表面透気係数の試験を実施し、いずれかの基準を満足する材料（膜養生剤の種類、使用量、施工方法）であることを確認する。

(2) 検証実験（参考）

中流動覆工コンクリートのさらなる品質向上を目的として、型枠の取り外し時期や養生が中流動覆工コンクリートの品質におよぼす影響を把握するため、型枠を取り外した直後に水中養生を28日間実施した条件を、中流動覆工コンクリートが持つポテンシャルとして、型枠取外し時期および養生方法の違いが、中流動覆工コンクリートの品質におよぼす影響について比較、検証のための実験を行った²⁾。以下に実験結果を示す。

1) コンクリートの配合

NEXCOの標準仕様である中流動覆工コンクリートの施工管理要領³⁾にもとづいて、実験に使用する配合を決定した。表5.1.2.1に実験に使用したコンクリート配合と使用材料の一覧を示す。また、比較対象として

中流動覆工コンクリートを採用する前の配合（表中のT1（在来）と表記したもの）についても実験を行った。中流動覆工コンクリートの配合については、石炭灰（FA）または石粉（LS）を混和材としたもの以外に、高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）（Ad）を用いた3種類とした。

表 5.1.2.1 コンクリートの配合と使用材料一覧

配合	スランプ (cm)	空気量 (%)	水結合材 比 W/C(%)	細骨材 s/a(%)	単位量(kg/m ³)				
					水 W	結合材		細骨材 S	粗骨材 G
						セメント	混和材		
T1(在来)	15±2.5	4.5±1.5	63	49	170	270	—	888	950
T1(FA)	21±2.5	4.5±1.5	48.6	49.4	170	270	80(FA)	847	902
T1(LS)	21±2.5	4.5±1.5	48.6	49.4	170	270	80(LS)	847	902
T1(Ad)	21±2.5	4.5±1.5	53.1	50.4	170	320	—	894	902

注：T1(FA)、T1(LS)、T1(Ad)は中流動覆工コンクリートでスランプフロー35～50cm、

セメント：普通ポルトランドセメント

粗骨材：碎石（表乾密度：2.66g/cm³吸水率:0.5%）最大粗骨材径20mm

細骨材：陸砂（表乾密度：2.59g/cm³吸水率：2.07%）

石炭灰（FA）：JIS II種（密度:2.32g/cm³），石粉（LS）：炭酸カルシウム（密度：2.71g/cm³）

2) 養生条件

表 5.1.2.2 に実験を行った養生環境の一覧を示す。一般的な覆工コンクリートの施工では、コンクリートの自重に耐えられる強度が発現した時点で脱型されており、脱型時期は打設後 18 時間程度である。そこで、実験では打設後 18 時間で脱型し無養生としたものを基準とした（養生 A）。養生 B～養生 I については、実際にトンネルで施工されている覆工の養生環境をモデル化した。ただし養生 E については、コンクリート自体の強度特性等を確認する目的で 28 日間水中養生（標準養生）を行った。

表 5.1.2.2 養生環境一覧

記号	種別	養生内容
A	無養生	18 時間脱型後 20°C湿度 60%養生（坑内環境）
B	脱型時期	48 時間脱型後 20°C湿度 60%養生
C	脱型時期	72 時間脱型後 20°C湿度 60%養生
D	湿度 80%	18 時間脱型後→8hr 後に湿度 80%養生→7 日間で養生終了
E	水中養生	18 時間脱型後→直後水中養生
F	水中養生（8hr 後）	18 時間脱型後→8hr 後に養生開始→7 日間で養生終了
G	水中養生（8hr 後）	18 時間脱型後→8hr 後に養生開始→28 日間で養生終了
H	封緘養生	18 時間脱型後 封緘養生→7 日間で養生終了
I	膜養生	乾燥収縮低減剤 18 時間脱型後塗布→塗布後→養生終了

※養生終了後は、気温 20°C，湿度 60%の環境としている。

※封緘養生とは、シート・フィルムを覆工コンクリート表面に被覆し、水分逸散抑制を行うもの。

3) 実験結果

a) 圧縮強度

養生方法の違いによる圧縮強度への影響を整理したものを図 5.1.2.1 に示す。この図では、コンクリートのポテンシャルとして供試体養生 E の圧縮強度 σ_{28} に対する各養生の圧縮強度 σ_{28} との比で整理した。

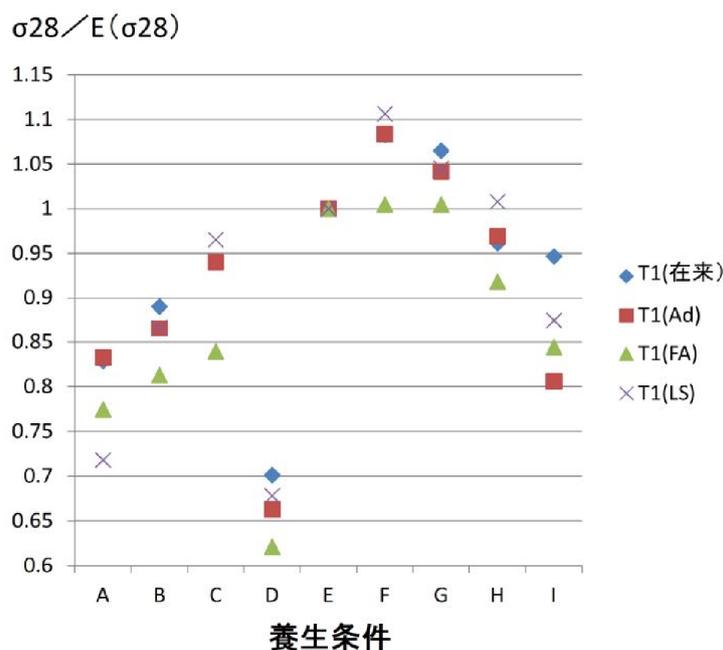


図 5.1.2.1 養生 E に対する各養生の圧縮強度比

トンネル覆工の施工では、脱型後にコンクリートを湿潤状態に保持するために、コンクリート表面をシートで覆うなどの養生設備を設置する事例が多い。養生設備を設置後は、コンクリート表面は湿潤状態に保持されるが、脱型から養生設備を設置する間は、コンクリート表面から水分逸散が継続する。脱型直後は、コンクリート中の水分量が多く、とくに水分逸散が多い時期に相当する。そこで、脱型直後の水分発散による影響を確認するために、脱型後に実トンネルにおける養生設備設置までの時間とほぼ同じ8時間放置し、その後28日間水中養生を実施した養生Gと養生Eの圧縮強度を比較した。表5.1.2.3に示すように、配合に関係なくほぼ等価であった。また、養生F、Hについても脱型後に8時間放置したにも係らず、圧縮強度については養生Eの90%程度の値を示しており、8時間程度の養生設備構築時間による強度への影響はないものと推定される。なお、最も強度が低い値を示したT1(在来)の養生Aでも28N/mm²の圧縮強度であり、その他のケースでは30N/mm²以上の強度であり、養生D以外のケースで設計基準強度(24N/mm²)を満足した。養生Dについても、設計基準強度をほぼ同等の値を示している。この結果から、圧縮強度については、特別な養生を実施しない場合でも設計基準強度を確保できるものと考えられる。養生Dは、脱型後に湿度80%の室内に7日間放置したにも係らず、脱型後に湿度60%の室内に放置した養生Aの結果よりも小さい値を示している。この原因については、今回の試験結果のみでは推定することが困難であるが、今回の結果からは、湿度80%では養生効果がないことを示唆していると判断できる。

表 5.1.2.3 養生方法による28日圧縮強度(N/mm²)一覧

養生方法	T1(在来)	T1(Ad)	T1(FA)	T1(LS)
A	28.0	37.8	32.3	27.0
B	30.1	39.3	33.9	32.6
C	31.8	42.7	35.0	36.3
D	23.7	30.1	25.9	25.5
E	33.8	45.4	41.7	37.6
F	36.6	49.2	41.9	41.6
G	36.0	47.3	41.9	39.3
H	32.5	44.0	38.3	37.9
I	32.0	36.6	35.2	32.9

■圧縮強度まとめ

① すべての養生ケース(無養生含む)で材齢28日の設計基準強度(24N/mm²)を満足し、養生期間が長くなるのに伴って強度は増進しており、養生期間3日(記号C)、膜養生(記号I)および養生期間7日(記号F、記号H)は、記号Eとほぼ同程度の強度となることを確認した。

② 養生設備を構築する時間として、脱型後8時間については気温20℃、湿度60%の乾燥状態として養生設備構築時間の影響を確認した結果、養生設備構築後に養生を実施すれば強度増進に影響がないことを確認した。

b) 透気係数

コンクリート表面で測定した透気係数の一覧表を表5.1.2.4に示す。表には、かぶりコンクリートの品質を判定する目的で設定されたグレードと各グレードの評価を記載した。なお、透気係数はコンクリートの含

水率に影響を受けることが知られている。そこで、透気性試験のみは、コンクリート表面の乾燥状態を同一条件で実施するために、乾燥材齢（養生後の材齢）28日で実施した。養生をまったく実施しない養生Aの透気係数は、グレード分けの評価では「劣」となっており、二酸化炭素等の鉄筋腐食因子がコンクリート内部へ浸入しやすいと判断される。脱型時間を72時間に延長した養生Cおよび何らかの養生を7日以上実施した養生F、G、H、Iは、グレード分けの評価で「一般」以上と判定され、鉄筋コンクリートで施工される坑口部等については、脱型時間を延長するか、脱型後に養生を実施することが望ましい。脱型後、湿度80%で養生を行った養生Dの透気係数は、養生Aと同様に「劣」と判定されている。また、図5.1.2.1に示す圧縮強度の結果についても養生Dは、養生Aと同程度であり養生によるコンクリートの品質向上が見られない。この原因については、脱型直後のコンクリートの含水量は飽和状態に近いため、湿度80%の環境下でもコンクリート表面からの水分発散を防止できないためであると想定される。したがって、脱型直後の養生としては、コンクリート表面を湿潤状態に保持するか、コンクリート表面を被膜等で覆い水分発散を抑制する方法が良い。

表 5.1.2.4 透気性試験結果

養生	項目	透気係数 $kT(10^{-16} \text{ m}^2)$			
		配合種別			
		T ₁₋₁ (従来)	T ₁₋₄ (Ad)	T ₁₋₄ (FA)	T ₁₋₄ (LS)
		28	28	28	28
A	透気係数	13	2.7	4.7	6.5
	グレード	5	4	4	4
	評価	極劣	劣	劣	劣
B	透気係数	1.6	0.69	1.1	2.1
	グレード	4	3	4	4
	評価	劣	一般	劣	劣
C	透気係数	0.78	0.43	0.78	1.0
	グレード	3	3	3	4
	評価	一般	一般	一般	劣
D	透気係数	13	4.8	6.0	11
	グレード	5	4	4	5
	評価	極劣	劣	劣	極劣
E	透気係数	0.042	0.023	0.032	0.041
	グレード	2	2	2	2
	評価	良	良	良	良
F	透気係数	0.091	0.055	0.095	0.087
	グレード	2	2	2	2
	評価	良	良	良	良
G	透気係数	0.051	0.018	0.022	0.026
	グレード	2	2	2	2
	評価	良	良	良	良
H	透気係数	0.36	0.24	0.75	0.69
	グレード	3	3	3	3
	評価	一般	一般	一般	一般
I	透気係数	1.2	0.42	0.060	0.43
	グレード	4	3	2	3
	評価	劣	一般	良	一般

注) :試験材齢は、所定の養生終了後からの材齢を示す。

■透気係数まとめ

- ① コンクリートの緻密性を評価する指標として表面の透気係数を測定した結果、18 時間で脱型した場合には養生期間（脱型からの期間）を7 日とすることで、透気係数が Torrent 法によるグレーディングで示されている $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下の「標準」に分類され、コンクリートの緻密性を確保できることを確認した。
- ② 脱型時間を3 日（記号 C）まで延長することで、透気係数が $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下の「標準」に分類され、コンクリートの緻密性を確保できることを確認した。
- ③ 膜養生（記号 I）の乾燥収縮低減剤を塗布することで、透気係数が $1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下の「標準」に分類され、コンクリートの緻密性を確保できることを確認した。

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社：設計要領第三集トンネル建設編 (1) トンネル本体工，令和6 年7 月
- 2) 中日本高速道路株式会社：トンネル施工管理要領 (1) 本体工編，令和6 年7 月
- 3) 水野，八木，岩尾，松岡，西村：覆工コンクリートのひびわれ抑制による長期健全性向上に向けた実験的検証，トンネル工学研究発表会講演集，2015.12

（担当：山崎 哲也）

5.2 養生の課題

ここまで、復興道路等や NEXCO における覆工コンクリートの養生の取組み事例を紹介してきた。これらの事例から、覆工コンクリートの養生に関しては以下のような課題があると考えられる。

①求める緻密性の程度

覆工コンクリートに対して、どの程度の緻密性を求めるべきかについては、一部の事業者で目安となる指標は示されているものの、現時点で明確な基準が示されていないのが現状である。使用したコンクリートの緻密性を最大限に引き出すためには、W/C 毎に望ましい緻密性の目標値を設定することが必要と考える。覆工コンクリートの配合に応じて、養生により達成すべき緻密性の程度を明確化することが求められる。

②安価で効果的な養生方法の追究

標準配合の覆工コンクリートであっても、気泡緩衝シートを用いて 58 日間の封緘養生を実施することにより、吸水試験のグレードで「良」を確保できた事例がある。また、標準配合および標準施工でありながら特段の養生対策を実施しなくても、坑内湿度が高かったことにより、透気試験のグレードで「優」を達成した事例があった。これらの事例は、坑内における湿度などの環境条件を活用したうえで、ビニールシート等の安価な材料を用いて長期間の養生を実施すれば、十分な緻密性を確保できる可能性があることを示している。今後も、実施工において安価でかつ効果的な養生方法の開発と、その有効性の検証が求められる。

（担当：佐藤 和徳）

6. ひび割れ対策の留意点

6.1 ひび割れ抑制対策の基本

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）¹⁾では、ひび割れ抑制対策に関する基本的な考え方を示す章が設けられている。この章は、ひび割れの発生原因を整理し、ひび割れの抑制対策と補修に対する考え方が述べられている。

覆工コンクリートに対して事前に実施された温度応力解析の結果、ひび割れの発生が懸念されたため、事前にひび割れ抑制対策を講じられる場合がある。しかしながら、覆工コンクリートに発生するひび割れは施工に起因するものが大多数であるという認識が不十分であり、適切な施工が実施されなかったため、その結果として、事前にひび割れ抑制対策を講じたにもかかわらず、施工に起因するひび割れが多数発生し、最終的にはひび割れ抑制が失敗する事例が確認されている。さらに、ひび割れが発生した際に、その補修の必要性を十分に検討することなく補修が行われた結果、過剰な補修に至った事例も確認されている。

このような事態を未然に防止するためには、ひび割れ抑制対策に関する基本的な理解と、適切な判断に基づく対策の実施が極めて重要である。このような認識のもと、品質確保の手引き（案）においても、抑制対策の基本的な考え方に関する記述が設けられている。

6.1.1 覆工コンクリートに生じるひび割れの発生原因

図 6.1.1.1 は、品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）に記載されているもので、覆工コンクリートに発生する主なひび割れと発生部位および発生原因を示している。この図に示されるように、適切な施工により品質が確保されていれば、こうした施工に起因するひび割れの多くは抑制可能であるため、覆工コンクリートの品質確保が重要であることがわかる。

ひび割れ発生原因	ひび割れ発生部位				備考
	SL下の側壁部	アーチ部	天端部	施工目地部	
不適切な施工	①打重ね線に沿ったひび割れ	①打重ね線に沿ったひび割れ	②積模様に沿ったひび割れ		適切に施工され、品質が確保されれば、発生が抑制可能なひび割れ
			③吹上げ口付近のひび割れまたはコールドジョイント		
		④吹上げ施工部との境界に生じたひび割れまたはコールドジョイント	⑤セントルの押し当てによる半月状のひび割れ		
			⑥亀甲状のひび割れ		
			⑦縦断方向ひび割れ		
			⑧半月状のひび割れ		
乾燥収縮			⑥亀甲状のひび割れ ⑦縦断方向ひび割れ		対策を実施しないと発生を抑制することが難しいひび割れ
温湿度の変化			⑨目地内、目地周辺のひび割れ		
温度応力	⑩ 周方向ひび割れ				

注) 赤の囲みが不適切な施工由来のひび割れ、青の囲みが応力変化等に由来するひび割れ

図 6.1.1.1 覆工コンクリートに生じる主なひび割れと発生部位および発生原因

一方で、施工目地部またはその周辺に発生するひび割れ、あるいはインバートコンクリートによる外部拘束によって、覆工コンクリートの側壁部の下部（スプリングラインより下であることが多い）において、トンネル周方向に生じる温度ひび割れのように、品質確保がなされていても、ひび割れが発生する事例も存在する。これらについては、施工以外の要因が関与することから、別途対策が必要となる。

6.1.2 覆工コンクリートに生じるひび割れの抑制対策の基本

図 6.1.2.1 に示す品質確保の手引き（トンネル覆工コンクリート編）に記載されているフロー（手引き中では「材料劣化」の表記を、この図中では「材質劣化」に修正）は、ひび割れ抑制対策の考え方を体系的に整理したものである。

このフローは、覆工コンクリートの品質確保によって不適切な施工によるひび割れを抑制した上で、品質が確保されていても発生するひび割れの有無を確認する。さらに、ひび割れが発生した場合に、第三者被害の可能性や、将来的に材質劣化に進行するリスクを考慮した上で、総合的に対策の要否を検討することが必要である。

ひび割れの発生によって、第三者被害への影響や材質劣化の可能性を考慮せずにひび割れ抑制対策を講じると、過剰なひび割れ抑制対策となる可能性がある。したがって、ひび割れ抑制対策の検討に際しては、構造性能、耐久性、経済性、安全性などの観点から、合理的かつ適切な判断が求められる。

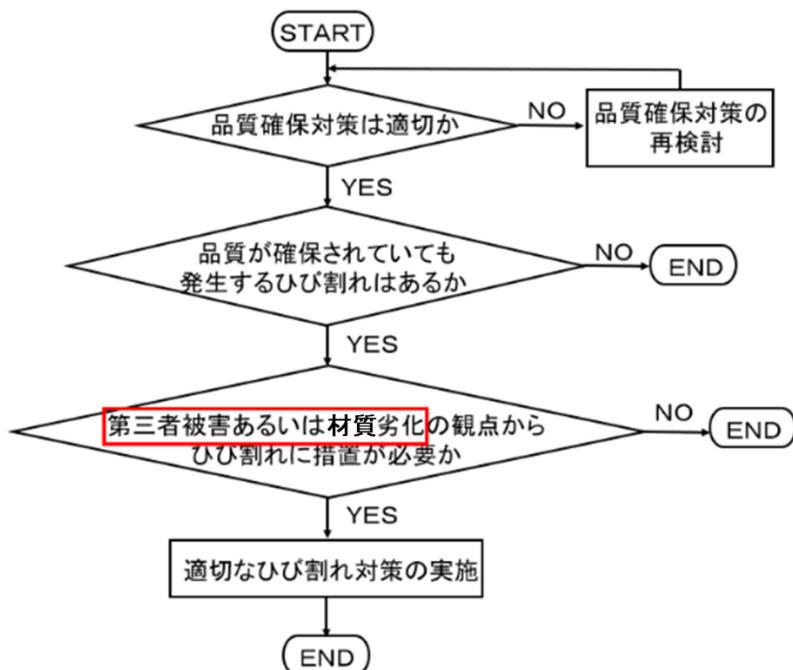


図 6.1.2.1 覆工コンクリートに生じるひび割れ対策の検討フローの例

6.1.3 措置が必要なひび割れ

適切な施工が行われた場合であっても、施工後にひび割れが発生する可能性は否定できない。そのため、ひび割れが生じた際には、当該ひび割れに対する措置の要否を適切に判断し、必要に応じて適切な対応を講じることが重要である。

たとえ不適切な施工を極力排除し、品質確保に最大限配慮したとしても、完全な施工を実現することは困難であり、施工に起因するひび割れが発生する可能性は依然として残る。このような場合において、ひび割れからの漏水が認められる場合や、複数のひび割れが交差して閉合したブロックが形成され、コンクリート片の落下により第三者被害が発生するおそれがある場合には、措置が必要となる。

側壁のインバート拘束に起因する横断方向の温度応力ひび割れについては、抑制対策を講じていたとしても、打込み時の気温が解析時の想定値を上回る結果となった場合などでは、ひび割れが発生してしまう事例がある。しかしながら、覆工コンクリートにひび割れが発生した場合であっても、それが直ちに措置を要するとは限らない。措置が必要と判断されるのは、当該ひび割れによって第三者被害が生じるおそれがある場合、またはひび割れを通じて劣化因子が侵入し、材質劣化などを誘発する懸念がある場合である。

例えば、インバート拘束に起因する横断方向の温度応力ひび割れが側壁に発生したとしても、ひび割れ単独では第三者被害が生じる可能性は極めて低い。また、これらのひび割れの多くは、側壁からアーチ部にかけて、路面から高さ3 m程度までの範囲内に発生しており、第三者被害の影響範囲外であることが多い。さらに、当該ひび割れに漏水が認められず、かつ凍結防止剤の散布影響を受けない区間であれば、コンクリート内部で塩害などの材料劣化が進行する可能性は極めて低く、措置の必要はないと考えられる。一方、凍結防止剤の散布影響区間で、かつコンクリート内部に鋼材が配置されている場合には、予防保全の観点からひび割れを充填し、塩害の発生を抑制することが望ましい。この考え方は、「品質確保の手引き（トンネル覆工コンクリート編）」に示されており、その内容を図 6.1.3.1 に示す。

このように、ひび割れ抑制対策を講じた場合であっても、ひび割れの発生リスクを完全に排除することは困難である。したがって、ひび割れが発生した場合には、その発生状況、発生部位、環境要因、安全性等を総合的に評価し、措置の要否を適切に判断するとともに、必要に応じた対策を講じることが求められる。

表 6.1.3.1 ひび割れ措置の考え方

措置を要する項目	ひび割れの措置の必要性	
	覆工コンクリート内部に鋼材のある区間	覆工コンクリート内部に鋼材のない区間
第三者被害	○	○
耐久性(塩害)	○	×

注) 塩害に対するひび割れ措置は、凍結防止剤の散布影響区間かつ覆工コンクリートに内部鋼材がある区間のみ措置を行えばよい。この他、耐久性に関係する材料劣化として、凍害とASRがあるが、以下の理由によりこの表からは除外している。凍害は、覆工コンクリート内部の鋼材の有無に関わらず、坑口から凍害が発生する可能性のある区間まで、配合段階で必要な質と量の空気量を硬化コンクリートに連行する対策を実施することが基本であり、ひび割れに起因して措置を実施するものではないため、この表からは除外した。覆工コンクリートの使用セメントは高炉B種が標準であり、東北のASRの発生状況から、ASRの抑制効果のある高炉B種を使用していれば、ASR対策は不要と考えられるため、この表からは除外した。

参考文献

- 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）2023年改訂版，令和5年3月

（担当：佐藤 和徳）

7. 凍害対策の留意点

7.1 東北地方整備局のトンネル覆工コンクリートの凍害対策

7.1.1 凍害対策の取組み

東北地方はそのほとんどが積雪寒冷地域であり、コンクリート構造物の凍害の危険性がある。図 7.1.1.1 は、東北地方の凍害危険度の高い地域（危険度 4）において、トンネル坑口のコンクリートが凍害により劣化したものである。凍結融解の作用に対して十分な抵抗性がなかったため、凍害による劣化が進行したものと考えられる。このような部位に凍害が発生すると、コンクリート片の落下により通行車両などへの第三者被害の発生が懸念される。また、東北地方整備局が管理する道路では、冬期には凍結防止剤として塩化ナトリウムを散布しており、この影響によって凍害による劣化をさらに促進する恐れがあることから、坑口付近のコンクリートには十分な凍結融解抵抗性を持たせる必要がある。



図 7.1.1.1 トンネル坑口の凍害による劣化

東北地方整備局の凍害対策の取組みは、復興道路・復興支援道路で、前述のトンネルが建設された最も凍害危険度が高い地域の新区界トンネルの建設において、2013年2月の工事契約を機に、岩手大学の協力のもと凍結融解抵抗性を持たせるための配合検討が行われたのが始まりである。

これと同時期の2014年5月に、JCI東北支部に「寒中コンクリートの品質確保に関する研究委員会」（委員長 八戸工大 阿波稔教授）が発足し、復興道路・復興支援道路における凍害対策の実践などの研究成果から、2017年2月に凍害対策の原案がまとめられ、東北地方整備局管内では「東北地方における凍害対策の参考資料（案）」¹⁾（以下、凍害対策の手引き）として2017年4月から本格的に運用が開始されている。

凍害対策の手引きでは、凍害対策と凍害対策の種別は、表 7.1.1.1 に示すように、冬期間（12月、1月、2月）の日平均気温に基づいて設定された凍害区分と凍結防止剤の散布量から、3種類に分類して定めるものとしている。冬期の日平均気温が -3°C 未満（凍害区分3）でかつ凍結防止剤の平均散布量が $20\text{t}/\text{km}$ 以上の地域を対策種別S、冬期の日平均気温が 0°C 以上（凍害区分1）でかつ凍結防止剤をほとんど散布しない地域を対策種別B、それ以外を種別Aとしている。

表 7.1.1.1 凍害区分と対策の種別

凍害区分	散布量 凍結防止剤散布量 20t/km 以上	凍結防止剤散布量 20t/km 未満	凍結防止剤散布 ほとんどなし
凍害区分 3 (凍害危険度 2~3 以上に相当)	S	A	A
凍害区分 2 (凍害危険度 1~2 に相当)	A	A	A
凍害区分 1 (凍害危険度 1 に相当)	A	A	B

7.1.2 覆工コンクリートの凍害対策

対策種別 S の凍害対策用の配合は、JIS A 5308 に規定された空気量の範囲の適用を除外し、荷卸し時の目標空気量が 6.0%程度および、コンクリートの水結合材比 (W/B) を 45%程度、あるいは目標空気量 7.0%とすることを基本としている。対策種別 A の配合は、硬化コンクリート中の空気量が 3%程度以上確保されることを目指し、荷卸し時の目標空気量を JIS の空気量の規定範囲の 5.0% (4.5~6.0%) としている。ただし、目標とする空気量はあくまでも努力目標とし、荷卸し時の空気量がこれを下回っても JIS 範囲に収まっていれば受入れを行うものとしている。対策種別 B の配合は、凍害対策がほぼ必要ない地域として、目標空気量を JIS の空気量の規定範囲内としている (表 7.1.2.1)。

表 7.1.2.1 凍害対策の内容

種別	凍害環境	対策
S	特に厳しい凍害環境	目標空気量 6.0% (5.0~6.9%) および水結合材比 (W/B) 45%程度、あるいは目標空気量 7% (JIS 適用外)
A	厳しい凍害環境	目標空気量 5.0% (4.5~6.0%) (JIS の空気量の範囲)
B	一般の凍害環境	目標空気量 4.5±1.5% (JIS の空気量の範囲)
C	凍害のない環境	凍害対策として空気量を制御する必要なし

トンネルの覆工コンクリートについては、東北地方整備局管内において「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) 2023 年改訂版」²⁾ (以下、トンネル覆工の手引き) が運用されている。この中で、トンネル覆工の凍害対策用の配合は表 7.1.2.2 に示すように、凍害対策の手引きに準じ、その地域の凍害環境の状況に応じて凍害対策に有効な微細で独立した空気泡であるエントレインドエアを、硬化コンクリート中に適切な量を連行できる配合とする必要があるとされている。トンネル覆工で凍害対策を必要とする区間は、坑口から 100m の区間としている。これは、スケーリングが凍結防止剤によって促進されること、トンネル内は凍結防止剤を散布しないと言っても、車両のタイヤによる巻き上げなどにより坑口から 100m 付近までは、路肩に凍結防止剤の結晶が確認されているためである。

表 7.1.2.2 流動性が高いコンクリートを採用する場合の基本配合

呼び強度	スランプ (cm)	粗骨材 最大寸法 (mm)	最小セメント 使用量 (kg)	水 セメント比 (%)	目標 空気量 (%)
18 以上	18 (±2.5) ~ 21 (±1.5)	20 もしくは 25	270	60 以下	※凍害対策種別 による

※凍害対策種別：東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)国土交通省東北地方整備局に記載されている施工現場の冬期の平均気温から決まる凍害区分と凍結抑制剤の散布量から、凍害対策の種別が決まる。この種別に基づき決定される目標空気量や水セメント比によること。

7.2 復興道路・復興支援道路の覆工コンクリートの実態調査

7.2.1 調査の概要

東北地方整備局の復興道路・復興支援道路における覆工コンクリートの凍結融解抵抗性の実態を把握することを目的に、岩手大学を中心として実構造物の硬化コンクリートの空気量に着目した調査が行われている。調査を実施したトンネルの概要を表 7.2.1.1 に示す。A, B, D, J トンネルの一部では凍害対策の手引きに準じ、目標空気量を 6.0～7.0%とした配合が用いられている。なお、K トンネルでは、10BL と 58BL の目標スランプ 15cm の配合に対し、11BL と 48BL では充填性向上のため流動化剤を添加した目標スランプ 18cm の配合により施工が行われている。

表 7.2.1.1 調査の対象としたトンネルの概要

対策種別	トンネル名	計画		測定ブロック
		配合	目標空気量	
S	A	31-18-20BB	7.0%	9BL
		18-18-25BB	4.5%	10BL
				13BL
	B	24-18-20BB	7.0%	(不明)
		21-18-20BB	4.5%	(不明)
	C	24-15-25BB	4.5%	坑門工
		21-15-25BB	4.5%	11BL
	D	30-18-20BB	7.0%	1BL
				5BL
		21-18-20BB	4.5%	11BL
E	24-18-20BB	4.5%	68BL	
	21-18-20BB	4.5%	67BL	
F	24-15-20BB	4.5%	152BL	
A	G	24-15-25N	4.5%	坑門工
				1BL
	24-15-40BB	4.5%	2BL	
	H	24-15-20N	4.5%	21BL
				26BL
				30BL
	I	24-18-20BB	4.5%	32BL
				37BL
				41BL
	J	24-15-20BB	6.0%	5BL
18-15-40BB		4.5%	12BL	
K	21-18-25BB	4.5%	11BL	
			48BL	
	24-15-25BB	4.5%	10BL	
27-15-25BB	4.5%	58BL		

7.2.2 調査結果

対策種別 S の地域において、配合計画上の目標空気量を 6.0%、7.0%とした覆工コンクリートの現場測定が可能なリニアトラバース法の試験装置による硬化後の空気量、および気泡間隔係数の測定結果を図 7.2.2.1 に示す。A トンネルと B トンネルは施工に先立ち十分な配合検討が行われたこともあり、気泡間隔係数は目標値の 200 μm 以下と概ね良好な値となっている。一方で、D トンネルと J トンネルでは、気泡間隔係数が大きく、とくに空気量が 2.0%以下の場合には気泡間隔係数も大きい。

図 7.2.2.2 には、配合計画上の目標空気量を 4.5%とした覆工コンクリートの測定結果を示した。この測定結果から見ると、空気量が 2.0%よりも少ないものが多く、気泡間隔係数も大きな値となっている。K トンネルでは、目標スランプ 15cm で施工した 10BL と 58BL の方に比べて、目標スランプ 18cm で施工した 11BL と 48BL の方が、空気量が多く気泡間隔係数が比較的小さい傾向となっている。

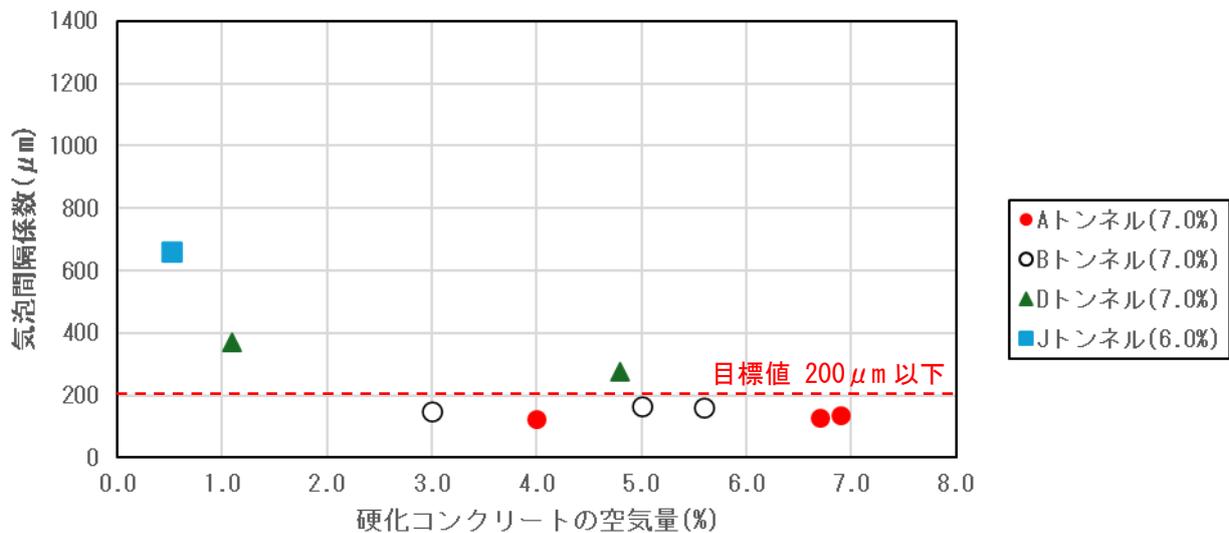


図 7.2.2.1 空気量および気泡間隔係数の測定結果(目標空気量 6.0%および 7.0%)

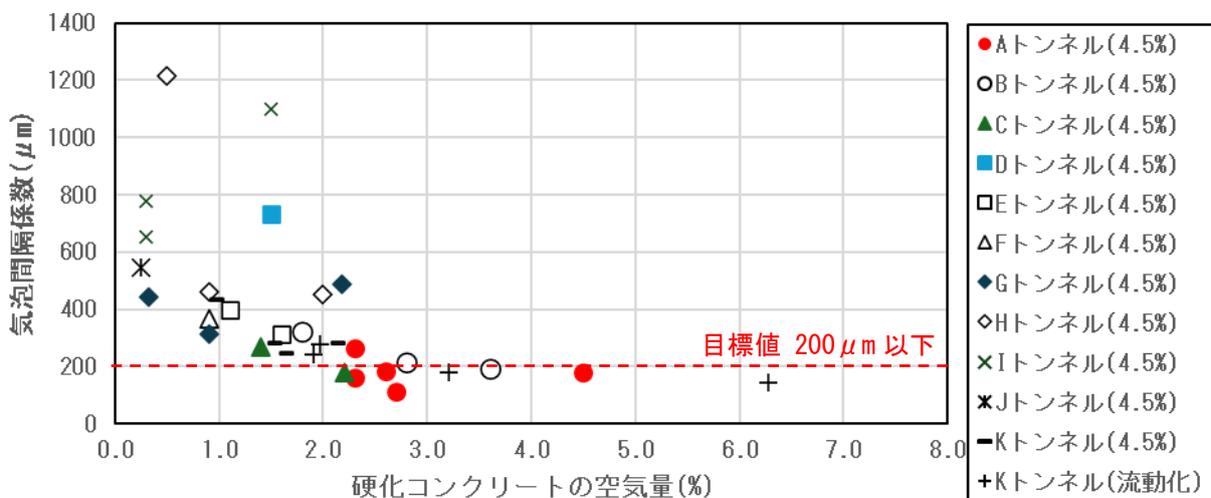


図 7.2.2.2 空気量および気泡間隔係数の測定結果(目標空気量 4.5%)

配合計画上の目標空気量 4.5%の覆工コンクリートの測定結果を、SL より上方、SL 付近、SL より下方に分類したものを図 7.2.2.3 に示す。この図から、SL より上方では空気量が 2.0%以下のものも多く、また気泡間隔係数も大きい傾向が見られる。コンクリート打設時の振動締固めによって気泡が上昇し、型枠境界面での空気量の減少が影響したものと考えられる。

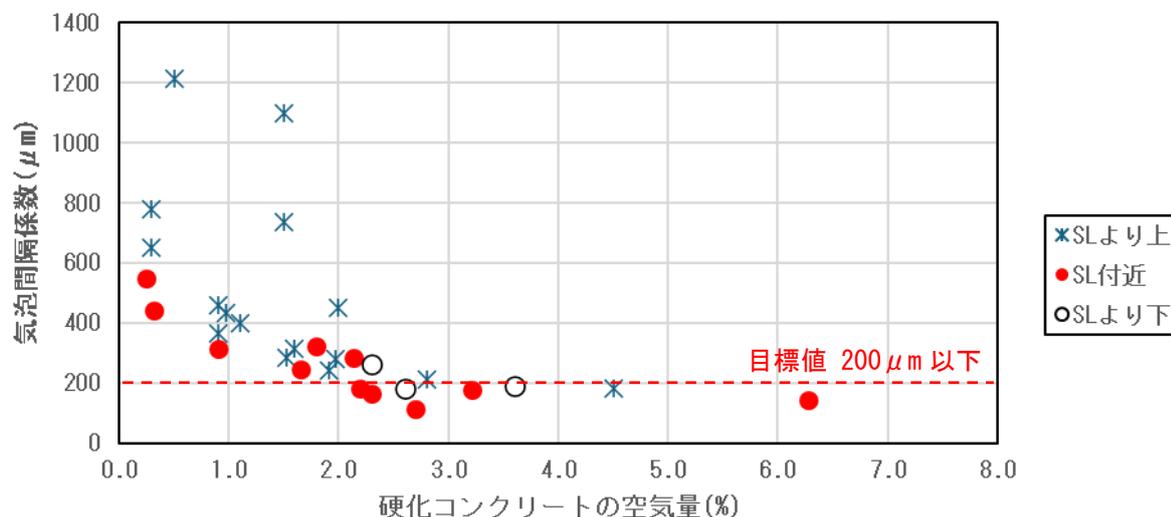


図 7.2.2.3 空気量および気泡間隔係数の測定結果(目標空気量 4.5%(測定位置毎に分類))

7.2.3 考察

これらの調査結果から、トンネル覆工コンクリートでは受入れ検査時の空気量が目標空気量を満足していたとしても、硬化コンクリート中には凍結融解抵抗性に効果的なエントレインドエアが確保しにくい場合がある。一方で、試験施工などにより十分な配合検討が行われた A トンネルや B トンネルのように、凍結融解抵抗性が良好な結果を示すものもあり、方法によっては硬化コンクリート中に適切なエントレインドエアを残すことができると考えられる。この原因については粉体量や細骨材率、AE 剤の特性など配合の影響や、圧送や振動締固といった施工の影響などが考えられるが、現時点では十分に明らかとはなっていない。

このようなこともあり、「凍害対策の手引き」や「トンネル覆工の手引き」では、配合の検討にあたり室内試験、実機試験、模擬型枠による試験施工の実施が提案されている。一般的なトンネル覆工コンクリートの打込みでは、パイプレータによる強制的な横移動が行われることで過振動となりやすく、エントレインドエアも消失しやすいと考えられるため、とくに凍害対策を重視すべき地域におけるトンネル覆工コンクリートの配合検討にあたっては、模擬型枠による試験施工の必要性は高いと考えられる。

- 1) 国土交通省 東北地方整備局：東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）2021年改訂版，令和3年6月
- 2) 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）2023年改訂版，令和5年3月

（担当 飯土井 剛）

8. 検査のあり方

我が国における社会インフラの老朽化が深刻化する中で、土木構造物の予防保全型維持管理への転換が急務となっている。とりわけ山岳トンネルにおいては、覆工コンクリートの劣化や剥落といった事故が公共の安全に重大な影響を及ぼす可能性があることから、施工状況や品質管理記録などの竣工時点の情報を維持管理につなげることが重要で、一連のライフサイクルを通じた一貫した品質確保と情報管理の重要性が高まっている。

国土交通省東北地方整備局では、竣工検査において、供用後の定期点検と同様の手法を適用する「0次点検」が導入されている。この方式は、これまで、竣工検査時に記録される不具合等の内容と、完成後に行われる定期点検で記録される不具合等の内容が必ずしも一致していないことが多かったため、不具合が、竣工時点で発生していたのか、竣工後の時間経過によって新たに発生したものが分かるようにするために実施されているものである。0次点検は、トンネルの施工者が竣工検査前に構造物の状態を第三者的な視点で点検・評価し、その記録を残すもので、その後実施される定期点検との時系列の連続性を図ることを第一の目的としている。このような方式を導入することによって、トンネル覆工コンクリートに限らず、竣工直後に発見される不具合や施工要因の不具合を早期に抽出・記録し、長期的な維持管理評価に活用できる点は、供用後の維持管理において極めて有用であり、さらに施工記録や点検結果の分析を通じて得られた知見は、その後の新設構造物の設計・施工にも活用することができる。このような観点から、竣工検査を定期点検と同様の方法で実施することは、維持管理の高度化に資する極めて有効な方策であると思われる。

現在、施工時における品質管理データや検査記録は各現場で収集・蓄積されているものの、必ずしもそれらの情報が供用後の維持管理部門に的確に引き継がれているとは言い難いのが現状である。補修履歴や不具合箇所との初期対応の情報は、供用中に変状が顕在化の分析において不可欠であり、確実に維持管理へと引き継がれることが重要である。特に、将来的に剥落が懸念される箇所については、竣工検査時点で適切に部分的な叩き落としを行い、その状況を詳細に記録するとともに、不要な断面修復を回避することが望ましいと考えられる。

このような記録の重要性については、土木学会のコンクリートライブラリー102号「トンネルコンクリートの施工指針(案)」第1部「山岳トンネルの覆工コンクリート」第12章「工事記録」においても、「工事記録は、トンネルの維持管理の基礎資料となるものであり、技術の進歩にも有用である」と明記されている。同解説では、以下の10項目が特に重要な情報として挙げられている。

- ①コンクリート打込みまでの地山変位の状況
- ②トンネル内の環境(温度、湿度、換気状況など)
- ③切羽からの距離
- ④防水材・背面拘束低減材の材料および張付け方法
- ⑤コンクリートの品質(配合、使用材料等)
- ⑥打込み状況(開始・終了時間、中断の有無、打込み位置、打設量など)
- ⑦脱型時材齢
- ⑧養生状況
- ⑨各種検査の結果
- ⑩手直し箇所および方法

が挙げられており、これらの項目を精査の上、維持管理情報と一体的に管理・運用する体制の構築が望まれる。

今後の展望として、施工記録と維持管理情報の一体的な管理運用を可能とする制度的・技術的な枠組みの整備が必要である。特に、竣工段階での記録内容を充実するとともに、それを維持管理の現場で容易に活用可能とする手法・フローの整備が求められる。加えて、デジタル技術の活用により、施工時に取得される各種データの自動収集・統合・可視化を図るとともに、AI等を用いた劣化予測や補修計画立案への応用が期待される。

竣工検査の方法を定期点検と同様とする「0次点検」の取り組みは、施工から維持管理への情報継承と状態把握を橋渡しできる有効な方法であり、全国的な展開を視野に入れた検討が望まれる。

(担当：細田 暁)

9. 生産性向上や環境負荷低減について

日本における生産年齢人口の減少は深刻化しており、建設分野においても労働力不足が顕著となっている。このような社会的背景の下、トンネル施工においては、生産性の飛躍的向上が喫緊の課題とされている。また、日本の国土は山岳地帯が多く、トンネル構造物の必要性は今後も変わらない見通しである。これに加えて、廃棄物や副産物の有効活用を通じた資源循環や環境負荷低減も重要な社会的要請となっており、覆工コンクリートにおいてもこれらのニーズに対応した技術の導入が求められている。

NATM 工法を用いた山岳トンネルの掘削および覆工コンクリートの施工においては、これまでに多くの合理化・機械化が図られており、施工機械の自動化、施工管理手法の高度化、ならびにコンクリート配合の改良など、品質確保に向けた多方面からの技術的改善が重ねられてきた。その成果として、覆工コンクリートの品質・耐久性は向上する傾向にある。

近年では、移動式型枠の自動設置・脱型・移動機構の実用化が進み、これと連携した締固めを必要としない高流動コンクリートの自動打設技術も実証段階にある。締固めを必要としない高流動コンクリートは一般的なコンクリートと比べ、その高い流動性と材料分離抵抗性により、複雑な形状や打設困難な箇所においても均質かつ密実なコンクリートを構築することが可能である。これは、省力化・自動化施工には不可欠なもので、従来の人力による締固めや打設方法に依存しない施工方法の確立が期待される。

締固めを必要としない高流動コンクリートは、材料分離抵抗性を確保するため、粉体量を通常のコンクリートよりも増加する必要がある。必要な粉体量をセメント量の増加で対応する場合、水和熱の発生量が増大し、ひび割れ発生リスクが増加する。これに対応するため、フライアッシュや石灰石微粉末等の混和材の活用が期待される。特に、フライアッシュは吹付けコンクリートにおいて既に広く実績があり、流動性と材料分離抵抗性に優れ、水和熱が抑制されることによるひび割れ抑制効果も高い混和材である。また、産業廃棄物の有効活用という点からは、環境配慮型コンクリートの製造にも有効なことから、覆工コンクリートに限らず他の構造物にも汎用的に使用可能となるようなフライアッシュの材料供給体制の構築と発注機関におけるフライアッシュコンクリートの標準化が期待される。なお、覆工コンクリートは早期に脱型が必要となるため、初期強度の発現を確保するための配慮も必要である。

上記のような取組みが、現場における試行とフィードバックにより技術体系として確立され、覆工コンクリートの生産性向上と環境負荷の大幅な低減が実現されることが期待される。

(担当：細田 暁)

10. おわりに

NATM 工法による山岳トンネルにおける覆工コンクリートの品質は、これまでの技術的な進展と施工管理の改善により着実に向上してきた。しかし、点検結果によれば、依然としてひび割れや施工に起因する不具合が発生しており、長寿命で維持管理の容易なトンネルを実現するためには、なお解決すべき課題が残されている。

本報告書では、まず覆工コンクリートの現状と課題を分析した上で、今後の品質確保のために必要となる方向性を示した。具体的には、フレッシュコンクリートの標準仕様の見直しを提案するとともに、特に天端付近のように締固めが困難な部位における施工方法の改善案を示した。また、良質なコンクリートを使用するだけでなく、施工の基本事項の遵守の徹底が不可欠であることを指摘し、品質確保を支援するための「施工状況把握チェックシート」や「目視評価法」の活用方法を紹介した。

さらに、将来的に第三者被害を引き起こすおそれのある施工目地部での不具合が多い傾向にあることを踏まえ、設計段階での対策および施工時に配慮すべき具体的事項について整理した。加えて、養生、寒冷地における凍害対策、ひび割れ抑制および補修方法、竣工検査のあり方についても先行事例を基に紹介し、全国的な改善の必要性を述べた。

NATM トンネルの生産性および品質はこれまでも大きく向上してきたが、今後は環境負荷の低減や自動施工技術の導入など、新たな方向での生産性向上が期待される。これにより、覆工コンクリート施工はより魅力的な分野へと発展していく可能性を秘めている。

本報告書で示した提案や知見が、各現場における高品質な覆工コンクリートの実現に資することを期待する。

(担当：細田 暁)

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】:コンクリートの規準の動向	／平6.8	／B5・62p	
	【 8】:マスコンクリート技術の現状と動向	／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状と課題	／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状と課題	／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－地盤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状と課題(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状	／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・258p	
	【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ニタリング技術	／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性能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评价に向けた課題分析-	／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性能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-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
	【121】: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	／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	／A4・308p	
	【124】:コンクリート構造物の品質確保小委員会(第2期)(350委員会)委員会報告書	／令2.8	／DL	
※	【125】: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II-	／令2.10	／A4・616p	／3000円
※	【126】:部材詳細の設計と照査に関する研究小委員会報告書	／令2.11	／CD-ROM	／3000円
※	【127】:コンクリート構造物の耐凍害性確保に関する調査研究小委員会(359委員会)委員会報告書およびシンポジウム論文集	／令3.10	／A4・384p	／3000円
	【128】:既設コンクリート構造物の構造性能評価研究小委員会(第2期)委員会報告書	／令3.11	／DL	
	【129】:高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの品質・性能評価に関する調査研究小委員会成果報告書	／令3.11	／DL	
	※は、在庫有り(2022年1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」			
	【130】:示方書連絡調整小委員会(230委員会)報告書-持続可能な社会の実現に向けたコンクリート標準示方書の将来像-	／令4.1		／3000円
	【131】:コンクリート中への水分浸透評価とその活用に関する研究小委員会(362委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集	／令4.11	／A4・260p	
	【132】:土木分野におけるジオポリマー技術の実用化推進のための研究小委員会(361委員会)成果報告書	／令4.12	／DL	
	【133】:3Dプリンティング技術の土木構築物への適用に関する研究小委員会(364委員会)成果報告書	／令5.9	／A4・166p	
	【134】:養生および混和材料技術に着目したコンクリート構造物の品質・耐久性確保システム研究小委員会(356委員会)第II期成果報告書	／令5.11	／DL	
	【135】:部材詳細の設計と照査に関する研究小委員会(第2期)報告書- 暗黙知から形式知へ -	／令6.6	／DL	
	【136】:プレストレストコンクリート黎明期に建設された茂喜登牛水路橋の解体調査研究小委員会(363委員会)成果報告書	／令6.7	／DL	
	【137】:火害を受けた鉄筋コンクリート構造物の損傷と性能の評価に関する調査研究小委員会(365委員会)成果報告	／令7.3	／DL	
	【138】:地震作用に対するコンクリート構造物の時空間性能評価-耐震性能評価技術の新世界へ-	／令8.1	／DL	

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.139
コンクリート構造物の品質確保・長寿命化対策検討小委員会(235委員会)成果報告書
「NATMトンネル覆工コンクリートの品質確保における課題と対策」

2026年3月5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

コンクリート構造物の品質確保・長寿命化対策検討小委員会(235委員会)
委員長 細田 暁

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 三輪 準 二

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 978-4-8106-1188-5

印刷：(株)大應

