

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」 (235委員会)

成果報告会

「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

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

目次構成

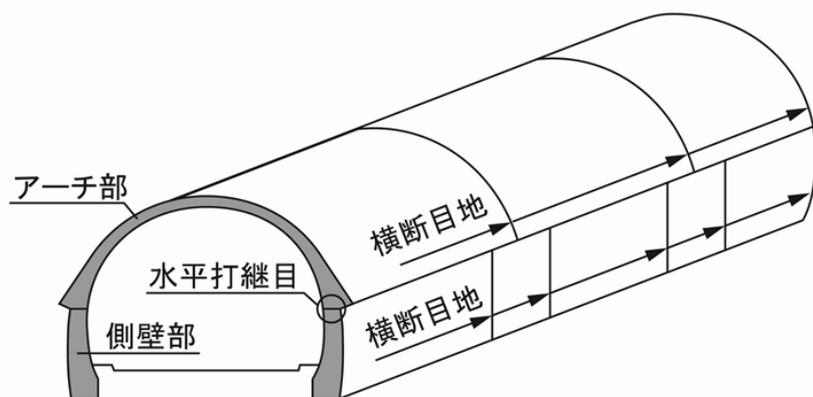
- 1章 はじめに（本報告書の概要） p.1～p.2
- 2章 現状における課題 p.3～p.71
- 3章 目指すべき方向性 p.72～p.80
- 4章 施工要因により生じる不具合を抑制するための提案 p.81～p.97
- 5章 養生の留意点 p.98～p.109
- 6章 ひび割れ対策の留意点 p.110～p.112
- 7章 凍害対策の留意点 p.113～p.117
- 8章 検査のあり方 p.118～p.119
- 9章 生産性向上や環境負荷低減について p.120
- 10章 おわりに p.121

2章 現状における課題

2章 現状における課題

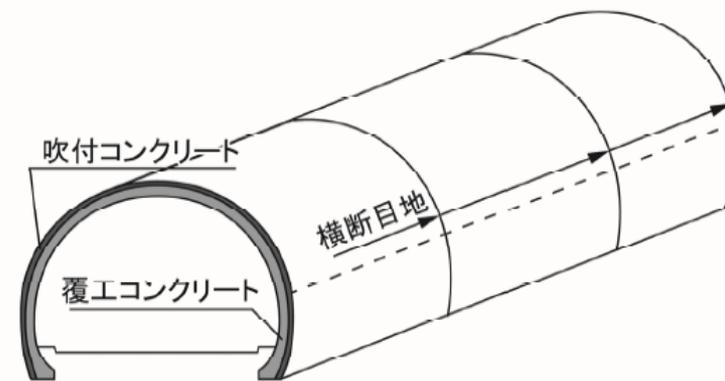
2.1.1 覆工コンクリートの機能・役割

矢板方式：覆工コンクリートに外力が作用する構造
 NATM：原則として覆工には力学的機能を付加させない



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←



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

矢板方式：防水工無し（湧水箇所に簡易的なシートを設置）
 NATM：防水工あり（漏水の防止、覆工背面の拘束低減（アイソレーション）によるひび割れ防止）

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

矢板方式：引抜き方式、側壁とアーチは別施工（水平打継ぎ目あり）
 NATM：天端部は吹上げ方式、側壁とアーチは同時施工（水平打継ぎ目なし）

2.2.2 NATMの覆工コンクリートの打込み方法の現状

標準は、移動式型枠（スライドセントル）延長10.5m

[側壁～アーチ]

- 検査窓から棒状バイブレータを使用して移動・締固め

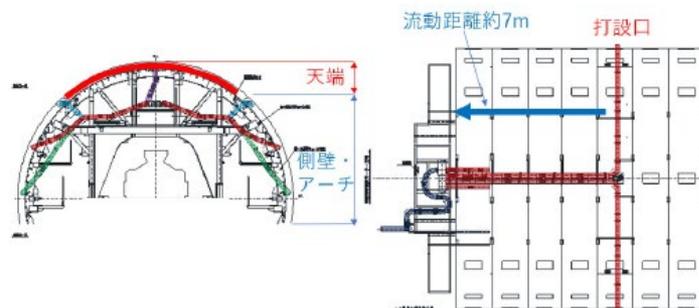


図 2.2.2.2 側壁・アーチの打込み方法

[天端]

- 検査窓から棒状バイブレータを使用して移動・締固め
- 天端の検査窓を順序良く閉めて、つま部の開口部から棒状バイブレータで締固め
- つま部の開口部を閉塞してコンクリートを充填

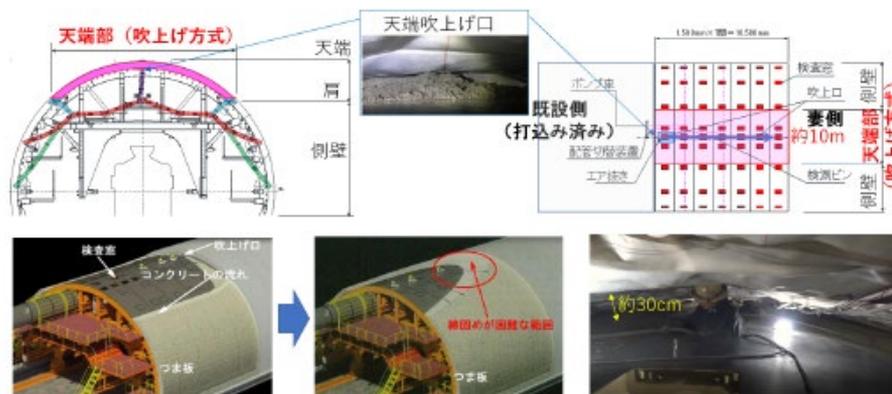


図 2.2.2.3 天端の打込み方法

2.3 覆工コンクリートに関する規準類の概要

2.3.1 覆工コンクリートに関する規準類

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

2.3.2
で説明

2.3.4
で説明

2.3.3
で説明

2.3.4
で説明

2011 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
ジェオフロンテ研究会

2.3.2～2.3.5

	2.3.2	2.3.4	2.3.3	2.3.5
	トンネルコンクリートの施工指針（案）2000年（土木学会）	山岳トンネル覆工の現状と対策2002年（土木学会）	トンネル標準示方書[山岳工法] 2016年（土木学会）	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年（ジェオフロンテ協会）
スランプ(cm)	適切に定める流動化剤や高性能AE減水剤を用いた場合でも、 上限値18cm	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 でなければならぬ。適切に定める流動化剤や高性能AE減水剤を用いた場合でも、 上限値18cm	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。 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	15cm 高性能AE減水剤を使用することを基本とする
粗骨材最大寸法(mm)	無筋：40 鉄筋：20または25	無筋：40 鉄筋：20または25		無筋： 25（充填性向上の目的） 鉄筋：25
打込み方法[側壁～アーチ]	流動距離：流動させない片側2ないし3箇所から高流動の場合は中央の検査窓から	1箇所から打込むと材料分離するので、片側2ないし3箇所から締固め困難な位置に伸縮式バイブレータの使用事例	材料の分離を生じないように打込み、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	片側3箇所から検査窓については、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。ブリーディングの排除を目的に パンチングメタル等の開口 を設ける。 配管切替え装置を用いることを標準
打込み方法[天端]	締固め方法：締固めなし 将来的には クラウン部に適用可能な締固め装置の開発 が望まれる	締固め困難な位置に伸縮式バイブレータの使用事例		
その他		自動ケレン装置、配管切替装置等の設置の提案	締固め作業が困難な位置に引抜き式や伸縮式のバイブレータの使用事例	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、自動ケレン装置の設置

2.4.2 各発注機関における標準仕様

国土交通省の配合規定は、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		25mm		
関東地整	DIII							
関東地整	その他							
北陸地整		N or BB		60 以下				
中部地整		BB						
近畿地整	鉄筋	—	270 以上	55 以下		18	40	
	無筋			60 以下				
中国地整		BB						
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		40	0.3 Vol%以上	
	その他		270 以上					
沖縄総合事務所		N	270 以上					

2.4.2 各発注機関における標準仕様

国土交通省の配合規定は、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 (%)	スランブ (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		25mm		
関東地整	DIII							
	その他							
北陸地整		N or BB		60 以下				
中部地整		BB						
近畿地整	鉄筋	—		55 以下		18		
	無筋			60 以下				
中国地整		BB				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		0.3 Vol%以上
	その他			270 以上				
沖縄総合事務所		N		270 以上				

2.4.2 各発注機関における標準仕様

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。

最近の事例：関東地方整備局

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

最近の事例：四国地方整備局 起点側・終点側の坑門に接する1 ブロック

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

2.4.2 各発注機関における標準仕様

最近の事例：中部地方整備局

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

覆工コンクリートの品質向上対策として以下を実施することとする。
対策の実施にあたっては対象箇所と使用材料等について監督職員と協議の上、設計変更の対象とする。
なお、施工条件等により本対策の実施による品質向上が期待できない場合は、受発注者間で協議の上実施の対象外とすることができる。

【品質向上対策】

- ・吹上げ口等の増設による充填性向上
- ・自動配管切替装置による充填性向上
- ・コンクリート打設の加圧充填による充填性向上
- ・天端部背面に特殊チューブ等を設置することで残留空気やブリーディング水を誘導排除し充填性向上
- ・吸引ホース、妻部特殊型枠等によりブリーディング水を排除しひび割れを抑制を図る
- ・保湿・保温養生シート等により長期養生することで外部拘束によるひび割れの発生を抑制

図 2.4.2.1 特記仕様書抜粋（中部地方整備局）⁵⁾

鉄道建設・運輸施設整備支援機構

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

2.4.2 各発注機関における標準仕様

日本高速道路株式会社（東日本・中日本・西日本）
 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
 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
 規定が示される
 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

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)	スランブお 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。

2. 現状における課題

2.4 標準配合と施工方法の課題

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

覆工コンクリートの打込みは、コンクリートが材量分離を起こさないように施工するように規定されている。また覆工コンクリート(無筋)の標準配合は、呼び強度18、粗骨材の最大寸法40mm、スランプ15cm、最小セメント量270kg、水セメント比60%以下、セメントの種類は高炉セメント(B種)となっている。しかし、この施工規定と標準配合の間には施工性の観点で問題がある。

表2.4.3.1 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

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。

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)

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

覆工コンクリート(無筋)の標準配合の施工性を確認するため、覆工コンクリートの側壁を模した模擬型枠を製作し、流動状況を目視で確認するとともに、コア供試体を採取して、粗骨材量と単位体積重量から材料分離の状況を確認した、



図2.4.3.1 模擬型枠の状況

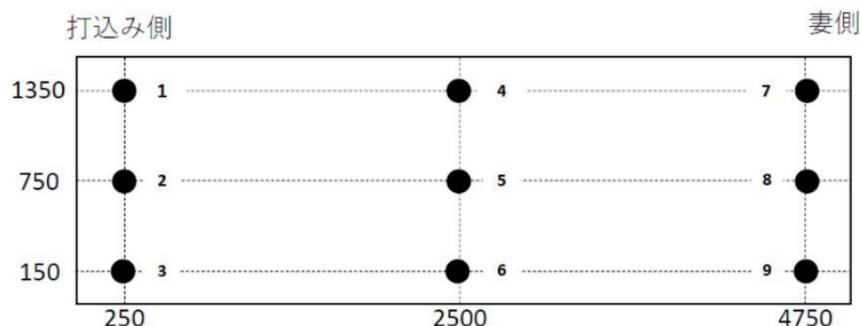


図2.4.3.2 コアの採取位置

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、木ごてによる表面仕上げとする。

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

覆工コンクリート(無筋)の標準配合を自然流動させただけでは、打込み面が水平とはならない。また、その後振動時間10秒で締固めた後でも打込み面は水平とはならない。このため、1層の高さを50cmで水平にするためには、バイブレータによる強制的な横移動が必要な配合であることがわかる。



図2.4.3.3 標準配合(スランプ15cm)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15cm)の自然流動後、振動時間10秒で締固めた後の流動状況

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

バイブレータによる強制的な横移動により，粗骨材は型枠端部まで流動せず，型枠中央部分にお置き去りにされている。また，単位体積重量は，型枠中央部で増加しており，型枠端部では減少している。これは，材量分離により粗骨材が型枠中央部に置き去りにされた影響と思われる。

覆工コンクリート（無筋）の標準配合では，バイブレータによる強制的な横移動が必要であり，土木工事共通仕様書の材料分離の防止規定を守ることが出来ない。このため，現在の覆工コンクリートの標準配合は見直しが必要である。

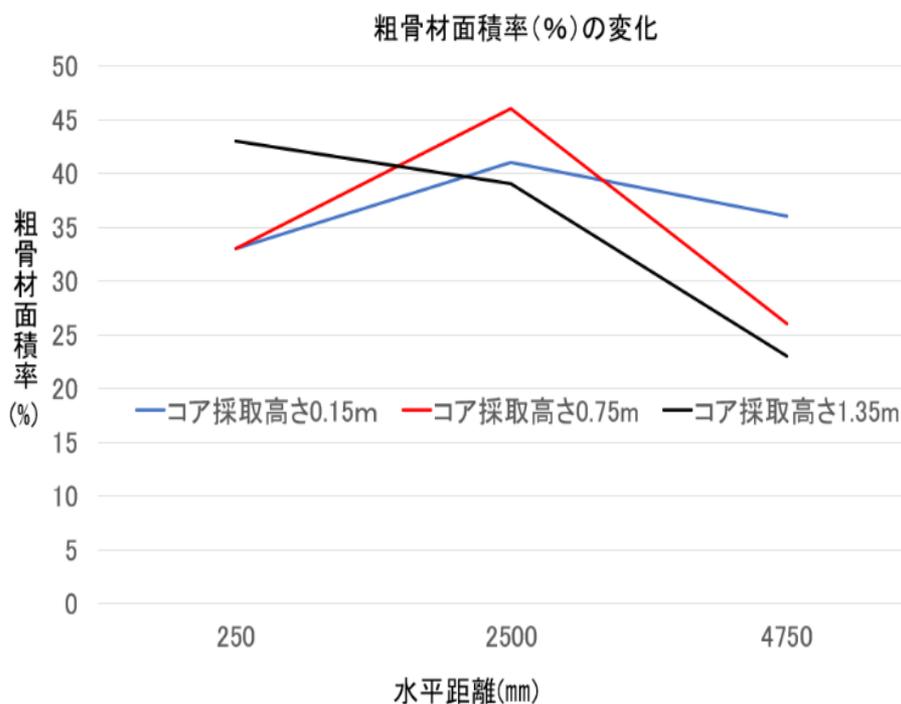


図2.4.3.5 コア採取高さ毎の粗骨材の面積率の推移

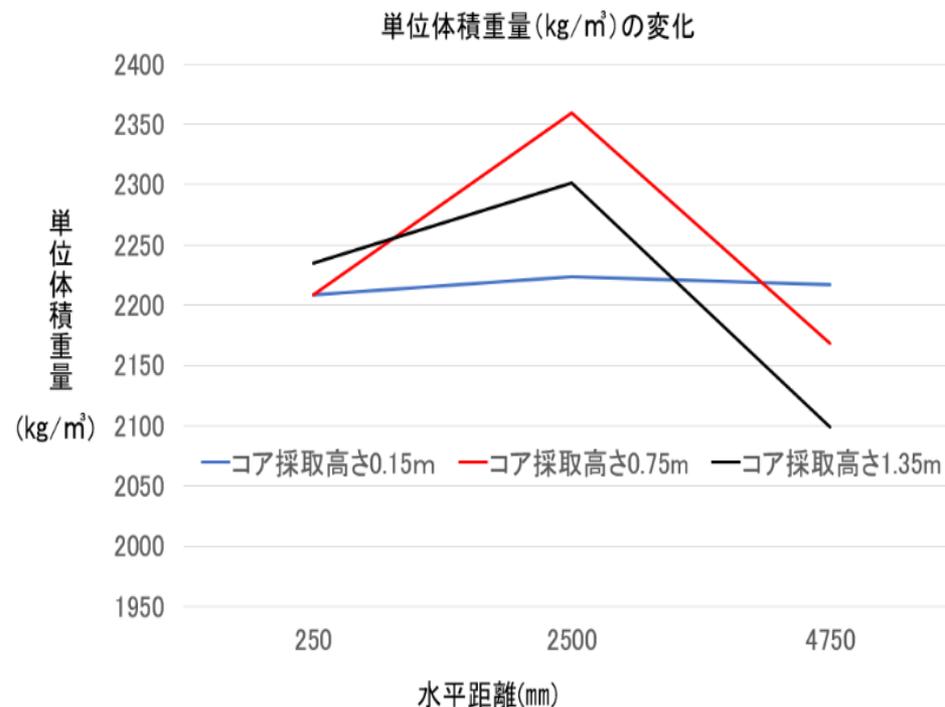


図2.4.3.6 コア採取高さ毎の単位体積重量の推移

2.4.4 東北地方整備局における配合変更の現状

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
 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%
 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%

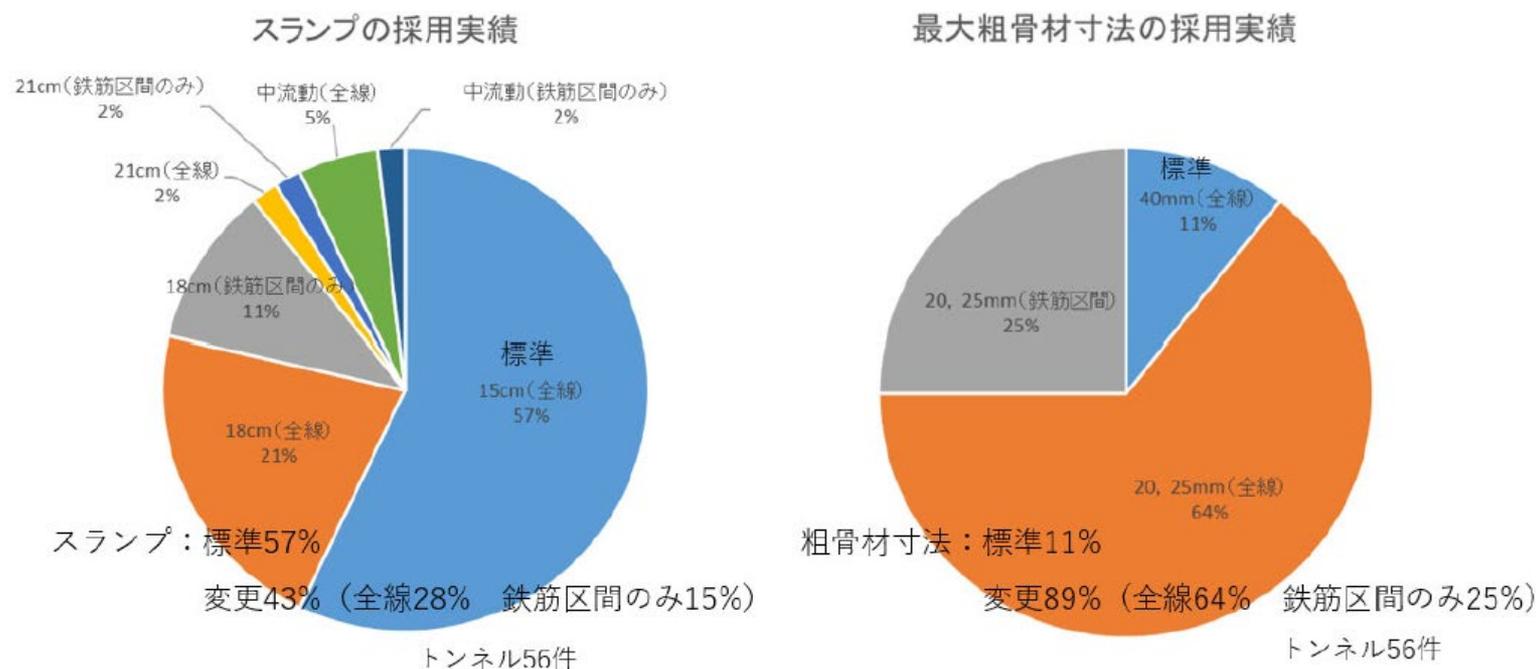


図 2.4.4.1 スランプおよび粗骨材最大寸法の採用実績¹⁾

2.4.5 天端部に発生する不具合の発生要因

天端部に発生する色むら

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。

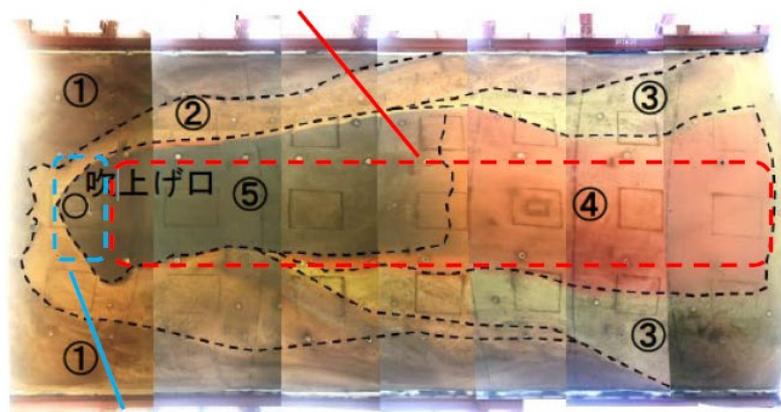


図 2.4.5.5 実験結果¹⁾と実際の覆工の色むら（縞模様）の比較

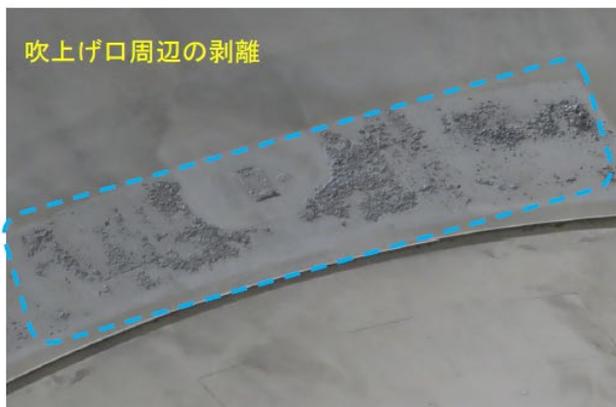
天端部に発生するはく離

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。

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



吹上げ口周辺の剥離

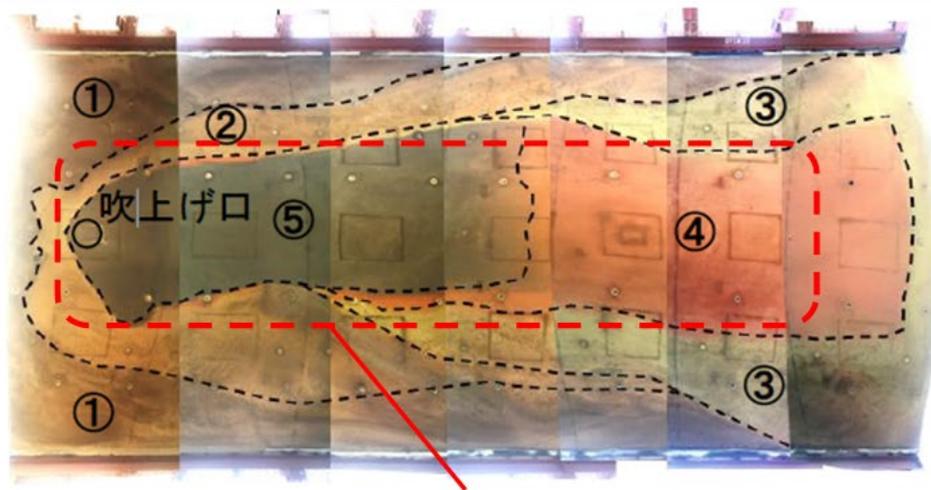


天頂部の剥離

図 2.4.5.6 剥離の発生要因

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

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

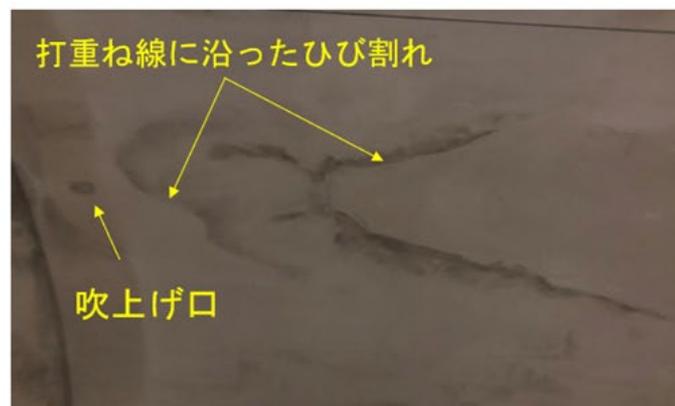
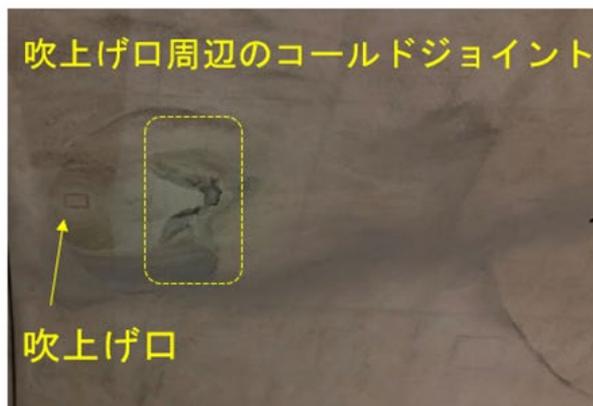


図2.4.5.7 コールドジョイントの発生要因

不具合の発生抑制

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。

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。

2.4.6 北海道開発局Aトンネルにおける試験施工結果

標準配合と流動性の高い配合を比較検討するため模擬型枠試験を実施

※試験項目、粗骨材量の試験結果は、「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」で説明したため、ここでは、その他の試験結果を報告)

表層品質試験では、標準配合に比べ流動性の高い配合の方が表層品質が優れる

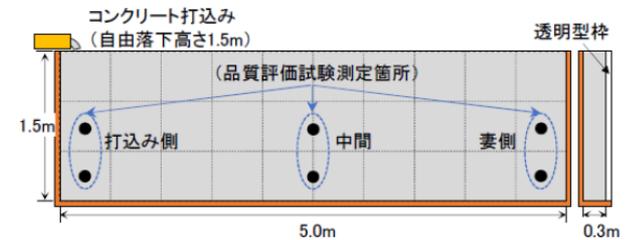


図2.4.6.3 模擬試験体の表層品質試験の位置²⁾

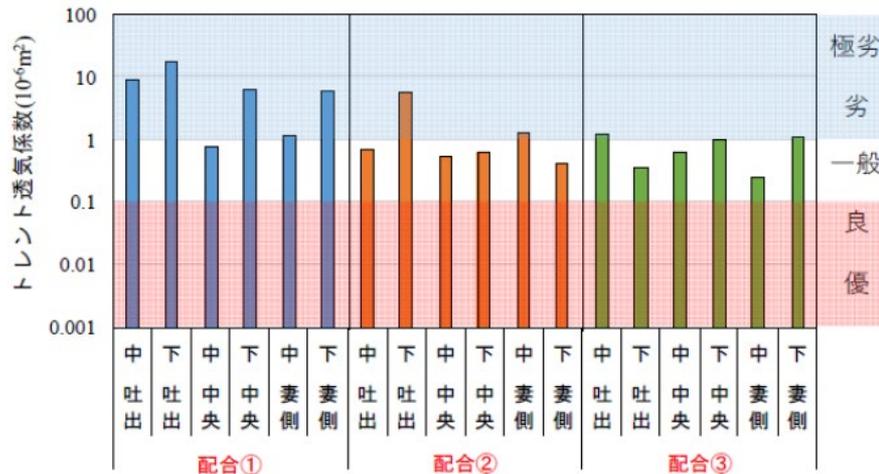


図2.4.6.4 表層透気試験結果 (トレント法)²⁾

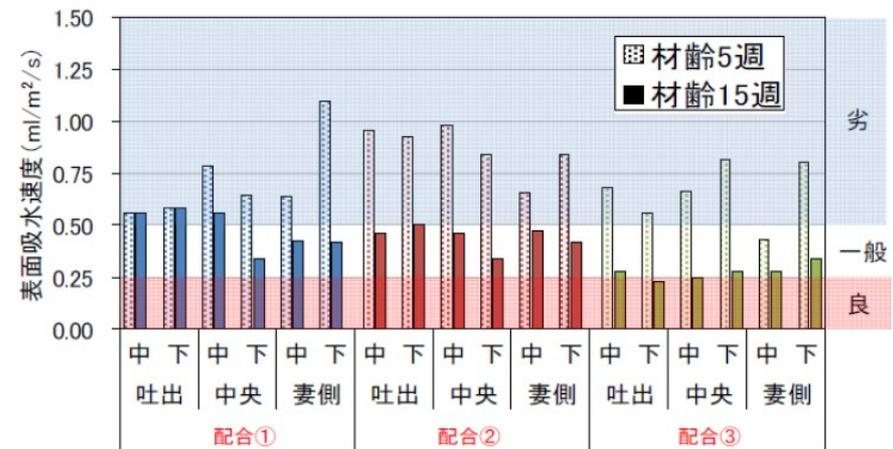


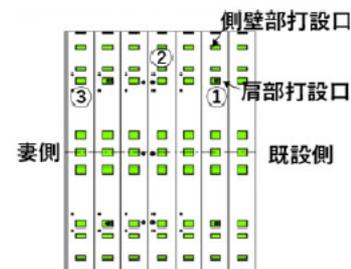
図2.4.6.5 表面吸水速度試験結果 (SWAT法)²⁾

2.4.6 北海道開発局Aトンネルにおける試験施工結果

粗骨材の重量測定を行った結果、均質性が確保されていることを確認

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%



まとめ

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。

今回の試験では、スランプ18cm 以上の配合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。

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。

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カ所以上（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。

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。

2. 現状における課題

2.4 標準配合と施工方法の課題

2.4.7 補強鉄筋区間の施工の課題

NATM方式の覆工コンクリートは通常無筋だが、坑口付近などの地山が悪い箇所では、補強鉄筋区間が設けられる。この区間では鉄筋の障害により、①コンクリートの流動障害、②バイブレータの挿入位置の管理困難、③締固め箇所の視認困難という施工上の課題がある。この課題解消のため移動式型枠を補強し、型枠バイブレータを設置して、補強鉄筋区間のみ締固めを要する高流動コンクリートで施工した事例も見られる。しかし移動式型枠を締固めを要する高流動コンクリートに対応させたのであれば、補強鉄筋区間以外も締固めを要する高流動コンクリートで施工すべきであるが、コストが障害になって実現していない。

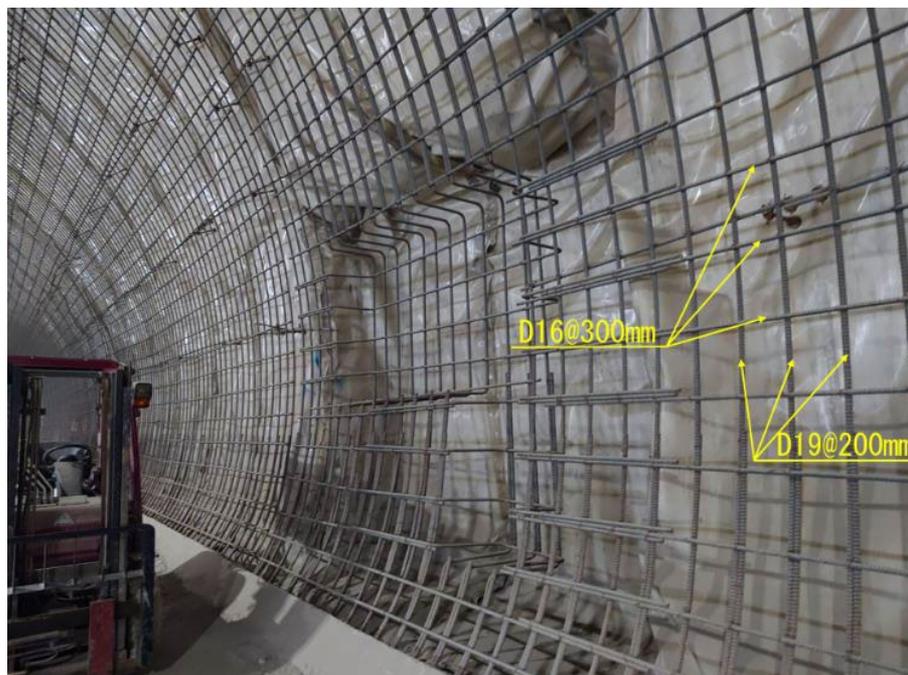


図2.4.7.1 覆工コンクリートの補強鉄筋区間の配筋状況

補強鉄筋区間の施工の課題

鉄筋の障害により以下の施工上の課題が発生

- ①コンクリートの流動障害
- ②バイブレータの挿入位置の管理困難
- ③締固め箇所の視認困難

対応策として、補強鉄筋区間のみ締固めを要する高流動コンクリートで施工した事例がある。しかし移動式型枠の補強等を行って、締固めを要する高流動コンクリートに対応させたのであれば、全区間締固めを要する高流動コンクリートで施工すべきであるが、コストが障害になって実現していない。

2. 現状における課題

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の所在

ひび割れが発生した場合、一般的に発注者は施工者の責任とし、補修費用を施工者に求める傾向がある。一方、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と主張する。

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、受発注者の双方で認識されていないことが原因である。

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、ひび割れ調査が必要になることがわかる。一方、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」とみなされる誤った運用が広まった。また、請負工事成績評定要領で、「有害なひび割れ」ありとされると、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。

表2.5.2.1 土木工事施工管理基準及び規格値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

2. 現状における課題

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

NATM工法の覆工コンクリートは、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。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。

不具合の種類	主な発生要因
①斜めの打重ね線	自然流動による打込みで上下層一体締固めが不十分
②表面気泡	バイブレータによる締固め不足
③水はしり・砂すじ	ブリーディングの除去不足
④色むら	天端部の締固め不良
⑤施工目地不良	目地材の設置不良やブリーディングやノロの除去不足
⑥ノロ漏れ	型枠の隙間の管理不良
⑦剥離	脱型時の強度不足、型枠のケレン不足、剥離剤の塗りむら、消失
⑧天端部の縦断方向ひび割れ	天端頂部のコンクリートの充填不良、締固め不足
⑨アーチ部と天端部の境界部のひび割れ	アーチ部と天端部の打重ね不良
⑩打重ね線に沿ったひび割れ	上下層の一体締固め不足
⑪色むらに沿ったひび割れ	打重ね不良、ブリーディングやノロの除去不良
⑫移動式型枠の押上げによるひび割れ	脱型時の型枠の回転や不均一な降下
⑬側壁の横断方向ひび割れ	インバートの拘束による温度応力ひび割れ
⑭施工目地部のひび割れ およびうき	施工目地部の伸縮、ブリーディングやノロの除去不良
⑮坑口部付近のひび割れ	弱材令脱型による急激な乾燥や温度変化
⑯材質劣化(凍害、塩害)	凍害や塩害

2. 現状における課題

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

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の施工管理を怠ると、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。図 2.6.1.3に示す事例では、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、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。

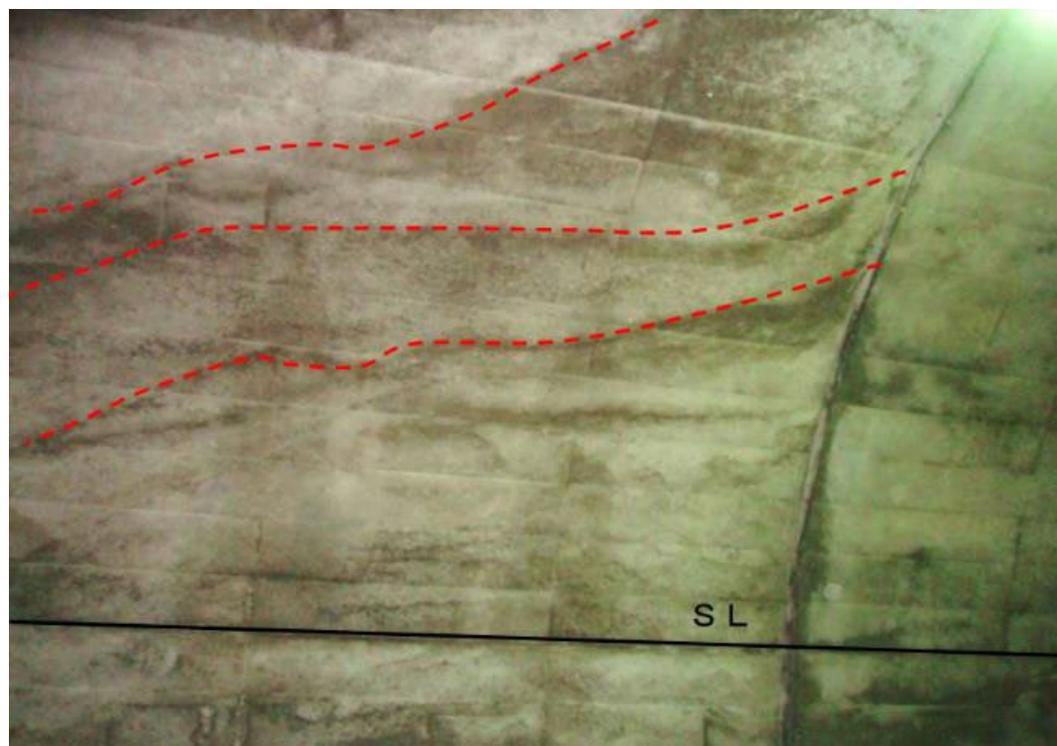


図2.6.1.3 アーチ部に生じた斜めの打重ね線

2. 現状における課題

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

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場合がある。特にスプリングライン(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気泡が地山側に浮き上がり、表面気泡は生じにくい。しかし、図 2.6.1.4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

2. 現状における課題

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

③水はしり・砂すじ

標準配合では、打込み口からの自然流動では型枠端部まで到達できず、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必要となり、材料分離が生じ、ブリーディングの発生も助長される。このブリーディング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が流れ、水はしり・砂すじが生じる。



図2.6.1.5 側壁の検査窓周辺に生じた水はしり・砂すじ

2. 現状における課題

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

④色むら

天端部の吹上げ口付近は、検査窓を閉めた後は締固めが出来ない。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ることを色むらと呼んでいる。この色むらは、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、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 天端部の吹上げ口付近の色むら

2. 現状における課題

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

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とノロ漏れは，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る曲がりや位置ずれにより発生する不具合である。標準配合では，図2.6.1.7に示すように施工目地部にはブリーディングやノロが集まり弱部となりやすい。このため図2.6.1.8に示すような施工目地部の角欠けが生じやすい。



図2.6.1.7 施工目地部に集まったブリーディングとノロ



図2.6.1.8 施工目地部の角欠けの事例

2. 現状における課題

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

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。

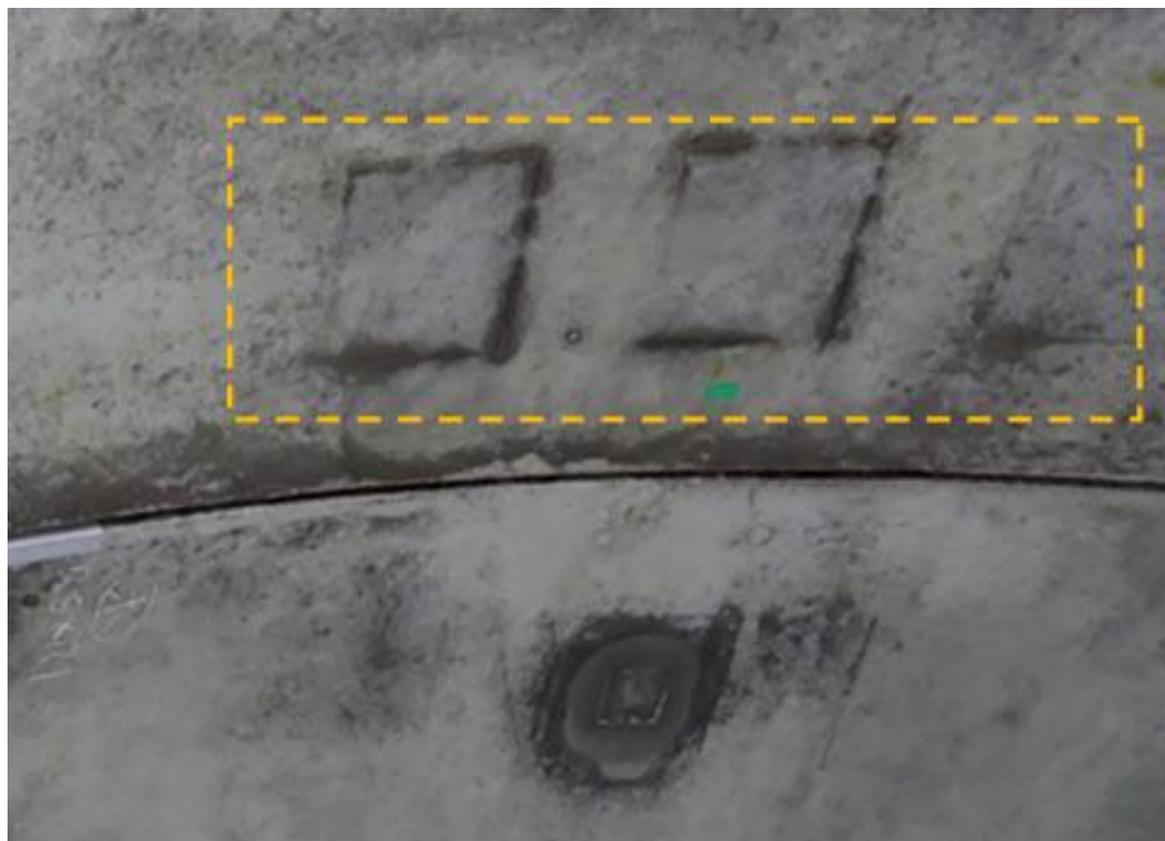


図2.6.1.9 天端部の検査窓に生じたノロ漏れの事例

2. 現状における課題

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

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である。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。

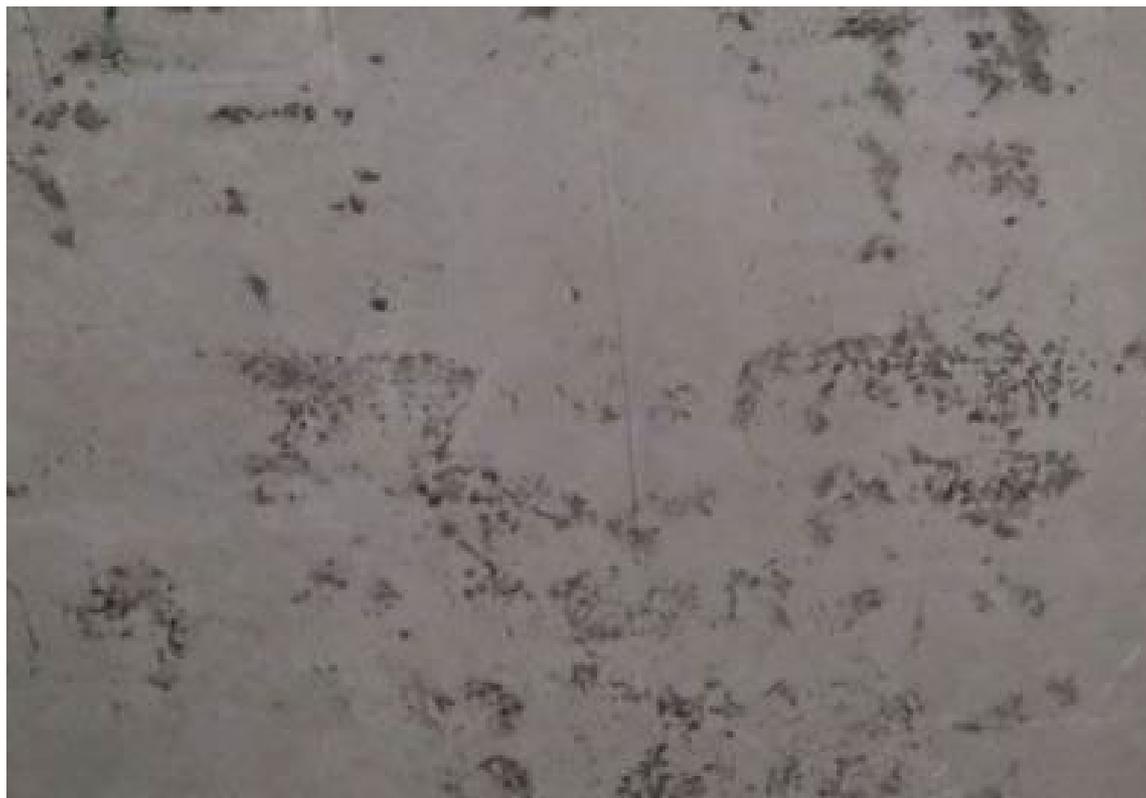


図2.6.1.10 剥離の事例

2. 現状における課題

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

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。

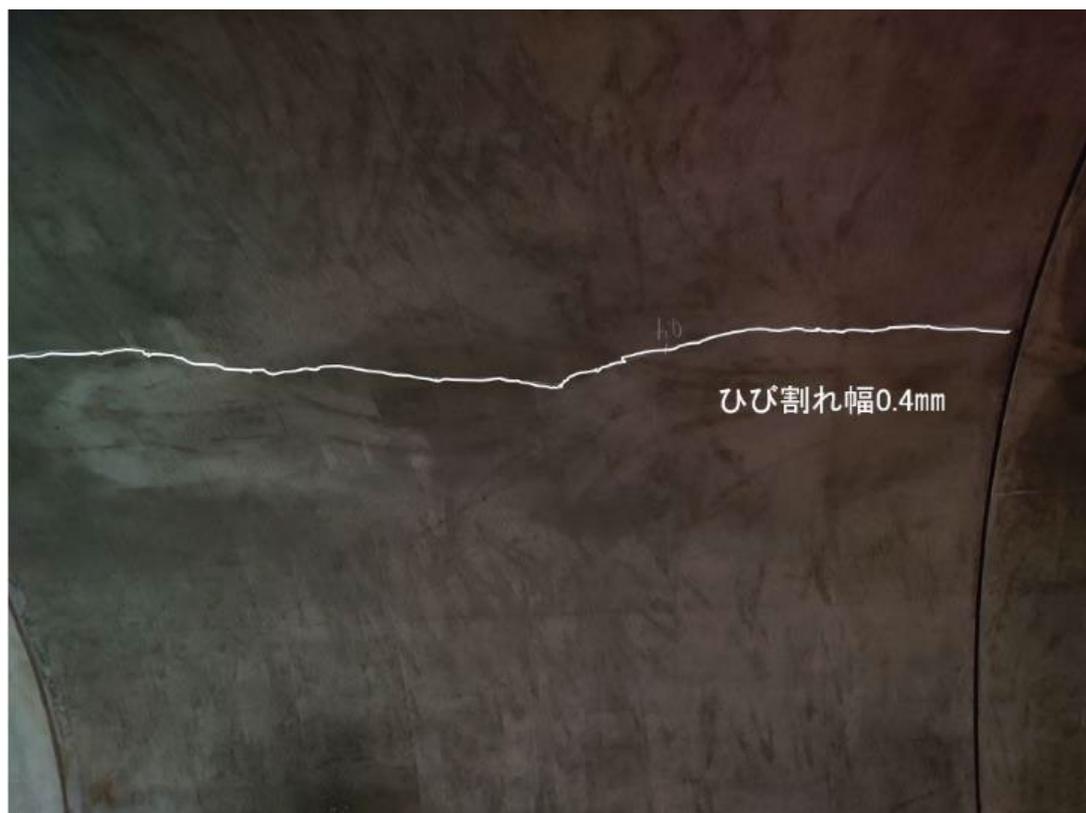


図2.6.1.11 天端部に生じた縦断方向ひび割れ

2. 現状における課題

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

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。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。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。

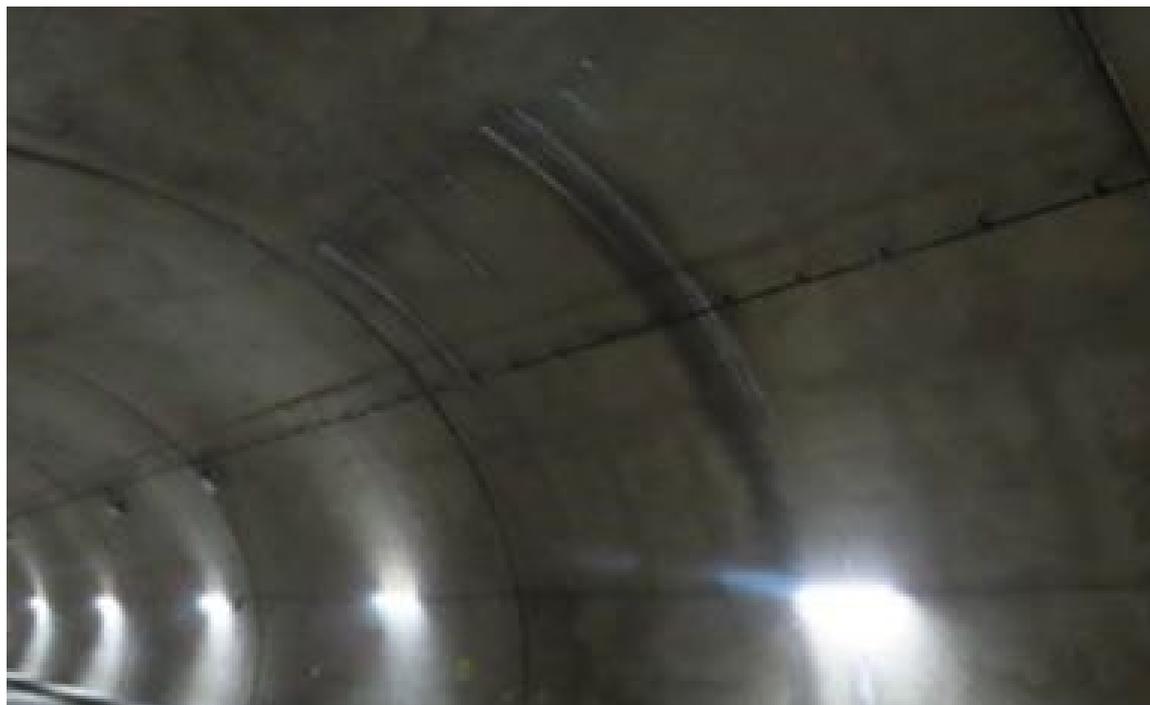


図2.6.1.12 アーチ部と天端部の境界にひび割れが発生し、遊離石灰が析出している事例

2. 現状における課題

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

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場合がある。また、打重ね箇所にはブリーディングが溜まりやすい。ブリーディング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。

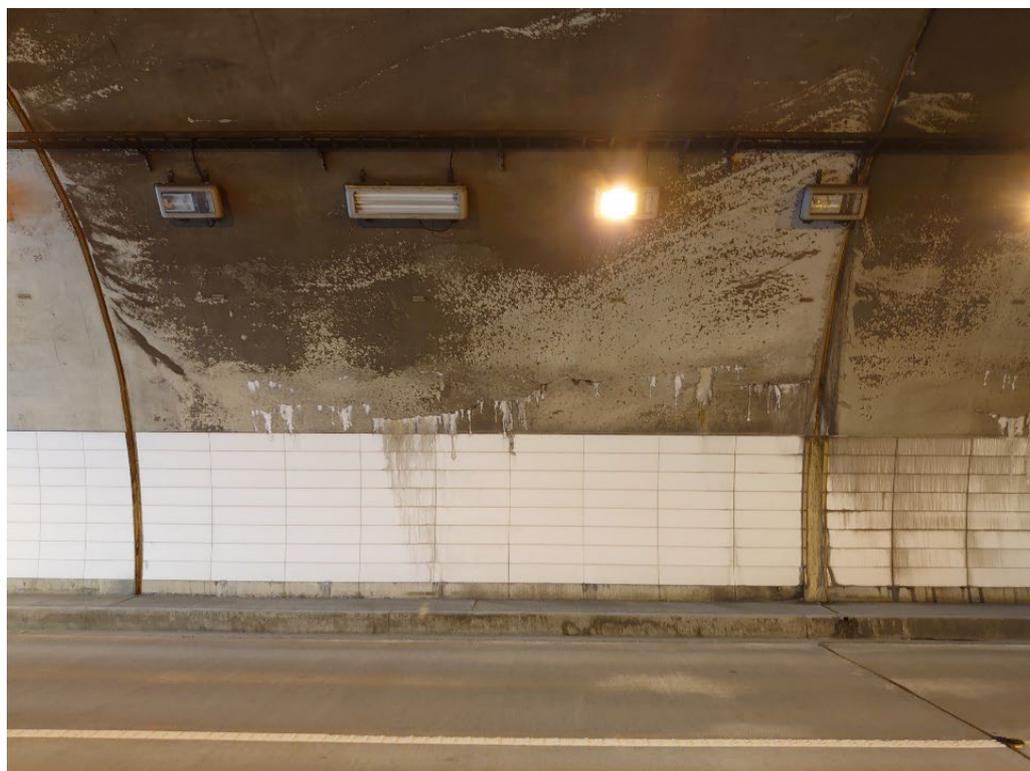


図2.6.1.13 打重ね線に沿ったひび割れの事例

2. 現状における課題

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

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 色むらに沿ったひび割れの事例

2. 現状における課題

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

⑫移動式型枠の押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。

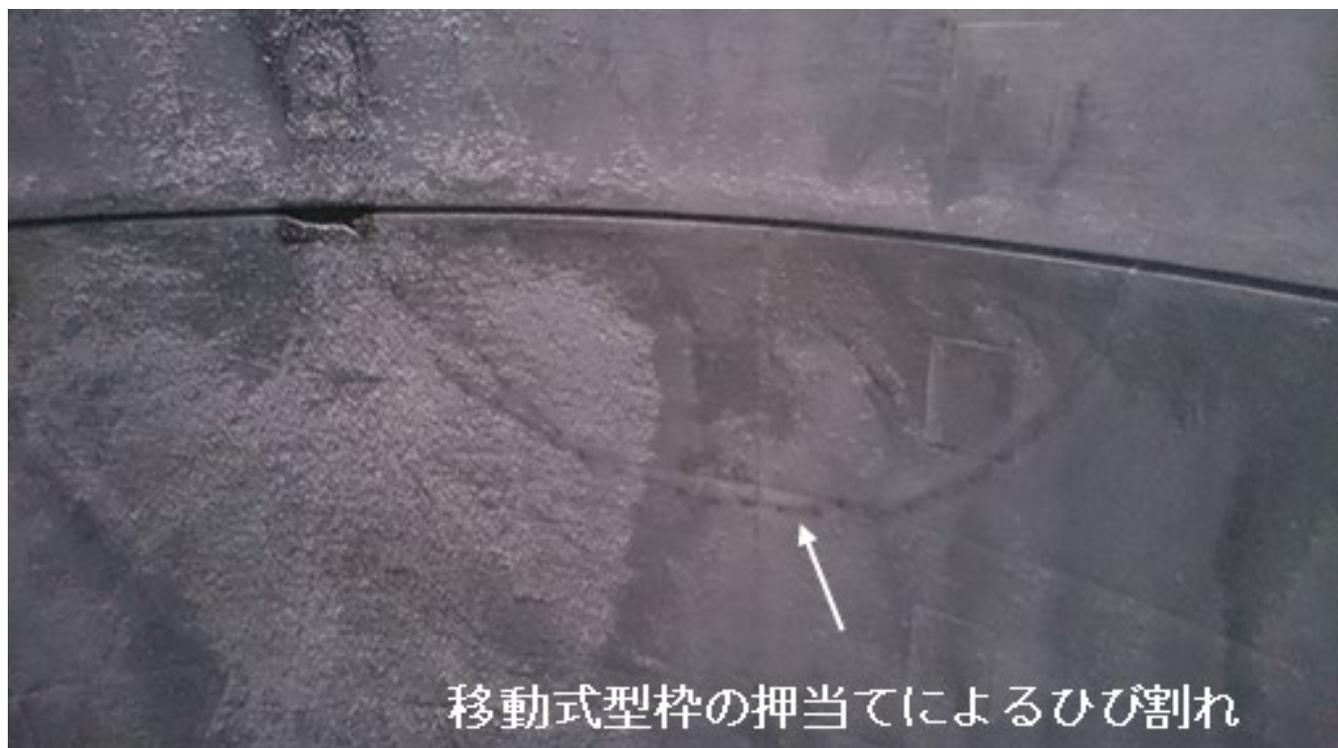


図2.6.1.15 移動式型枠の押し当てによるひび割れ

2. 現状における課題

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

⑬側壁の横断方向ひび割れ

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

2. 現状における課題

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

⑭施工目地部のひび割れおよび浮き-1)

施工目地部は、ノロやブリーディング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。

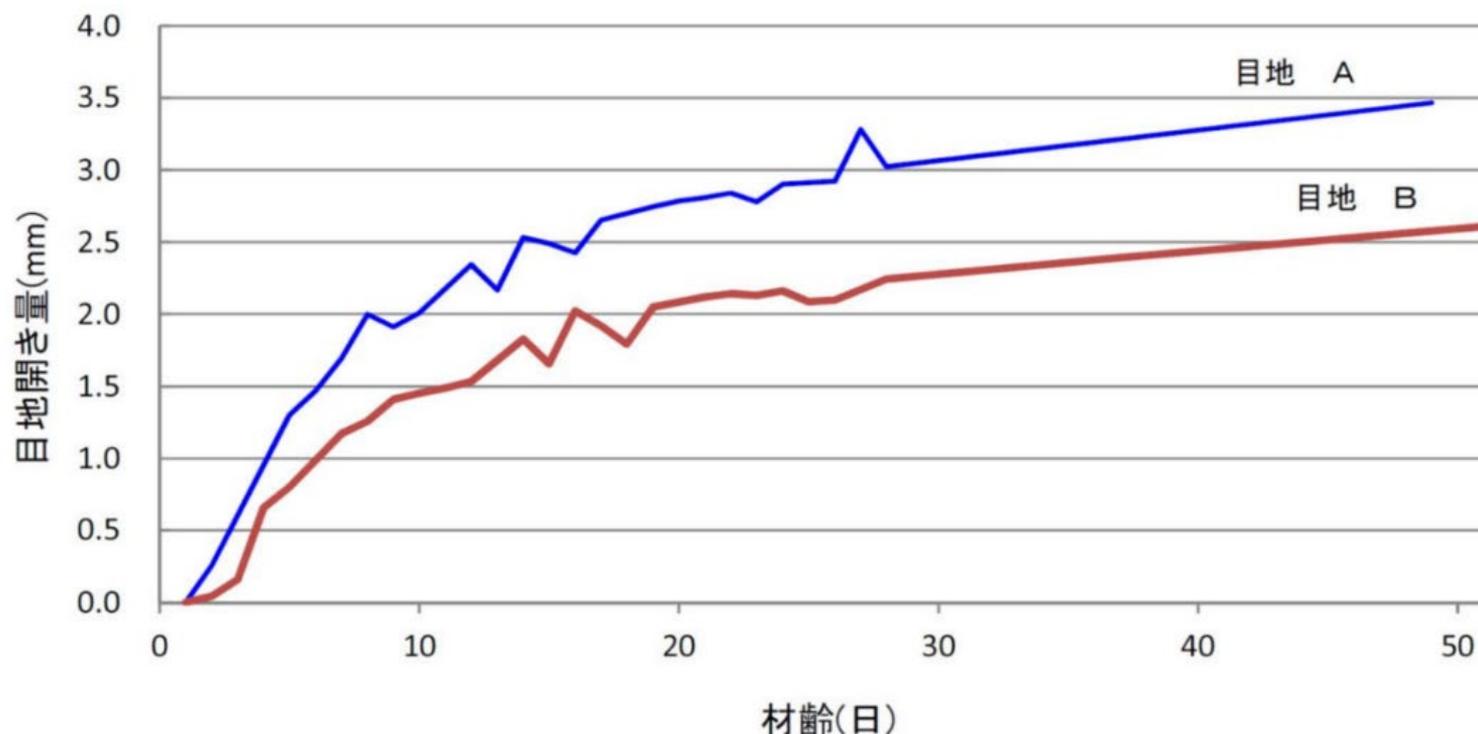


図2.6.1.17 実物の覆工コンクリートの脱型後の材齢に伴う目地の開き量の推移

2. 現状における課題

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

⑭施工目地部のひび割れおよび浮き-2)

図 2.6.1.18に、施工目地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。

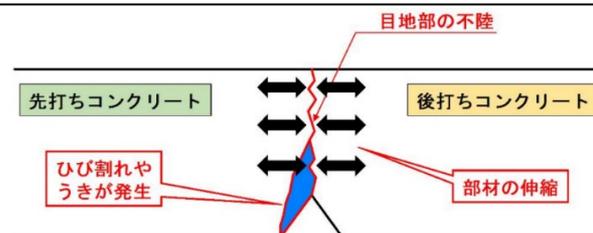


図2.6.1.18 実物の覆工コンクリートの脱型後の材齢に伴う目地の開き量の推移

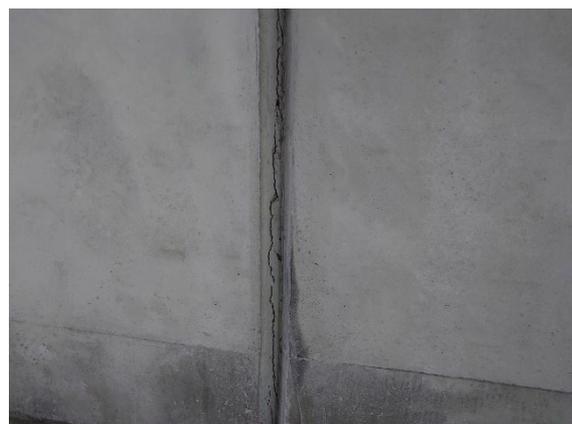


図 2.6.1.19 目地部に発生したひび割れ



図 2.6.1.20 コンクリートの収縮による目地の開きでに生じたひび割れ

2. 現状における課題

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

⑭施工目地部のひび割れおよび浮き-3)

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）。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。

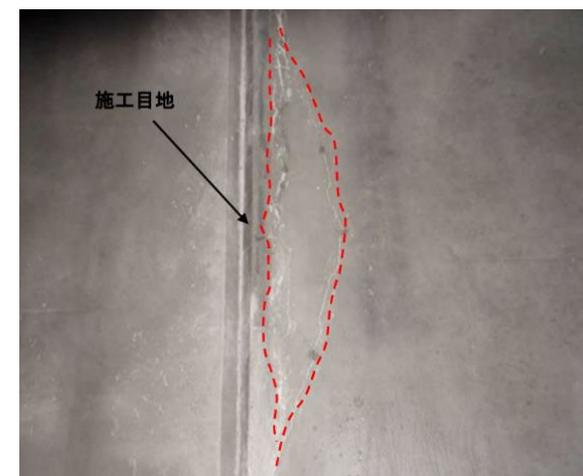
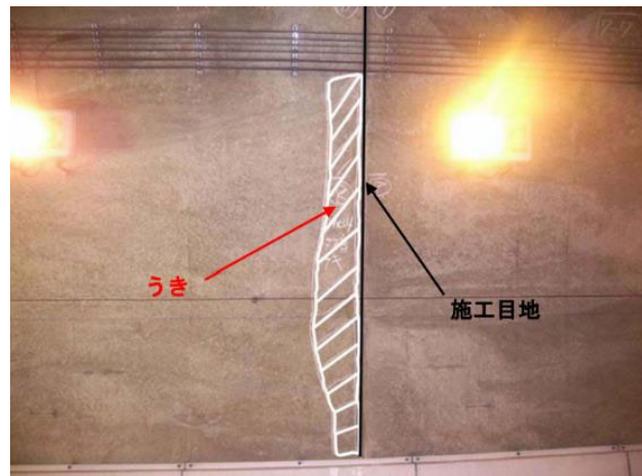
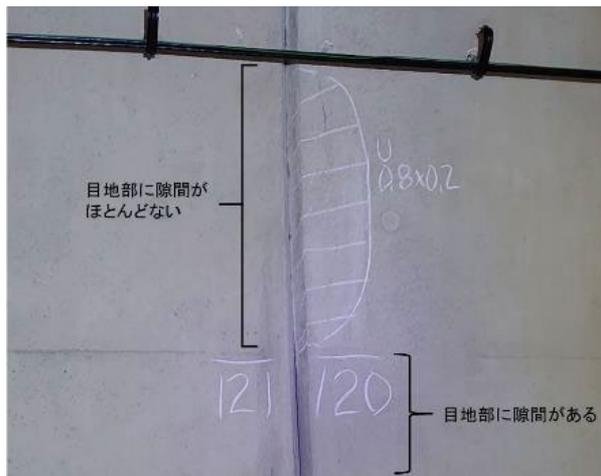


図2.6.1.21 コンクリートの膨張による目地部の浮き

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

2. 現状における課題

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

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・締固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。

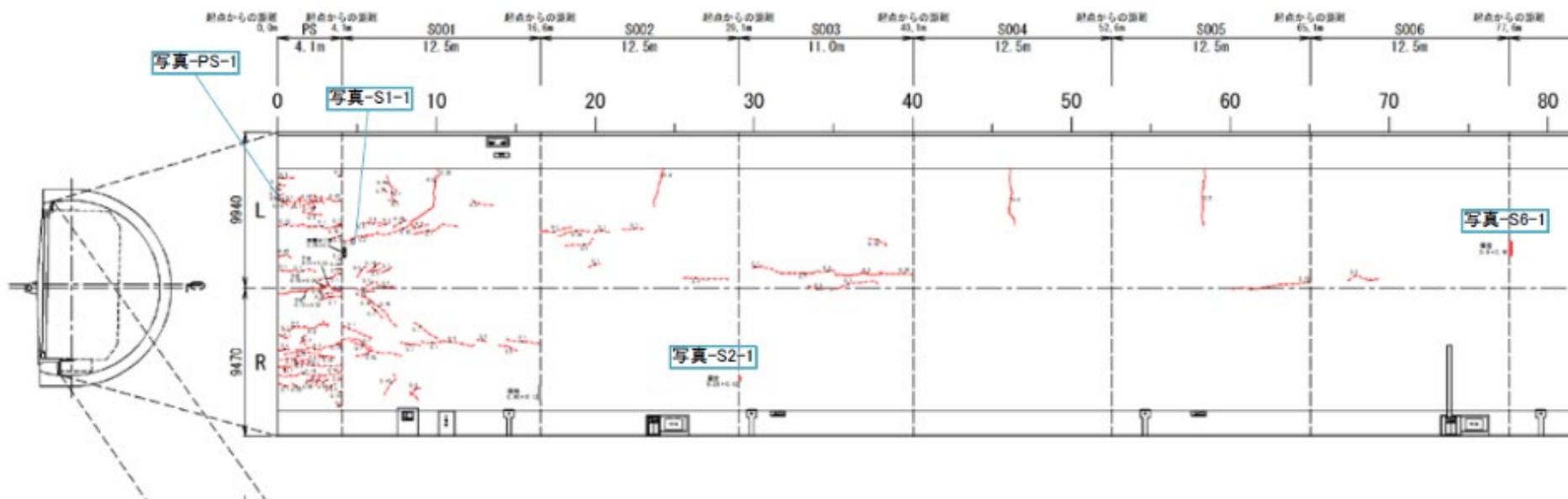


図2.6.1.24 定期点検時の覆工コンクリートのひび割れ図の例

2. 現状における課題

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

⑩材質劣化（凍害，塩害）

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 2.6.1.25参照）．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2.6.1.26 坑口の凍害の事例

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

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、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。

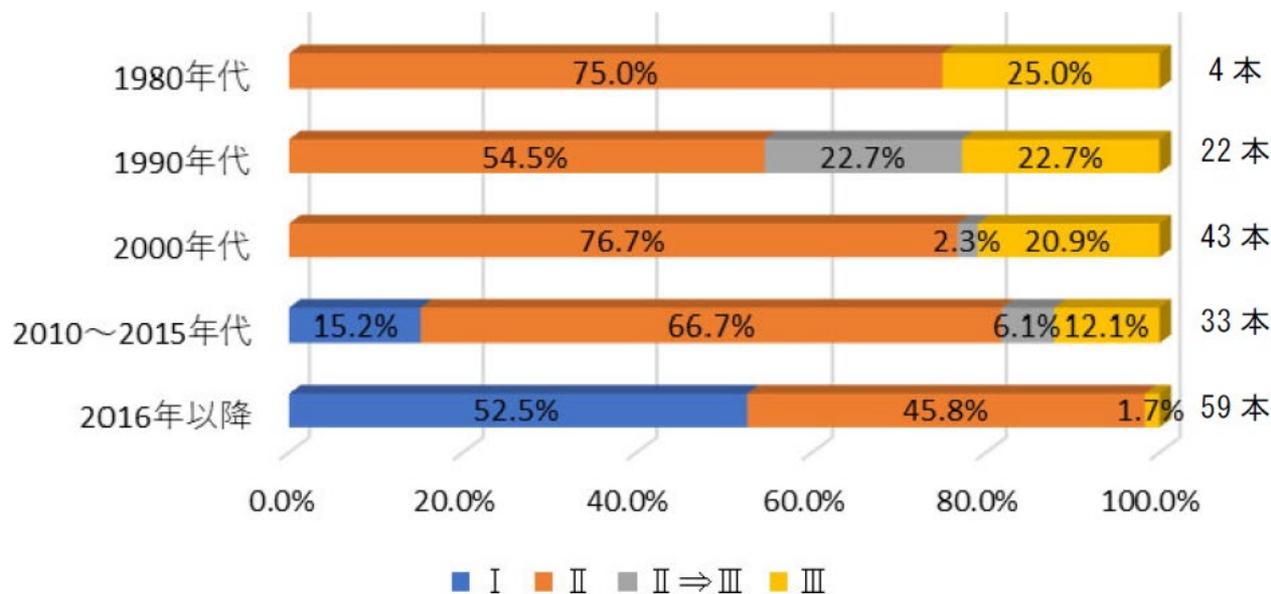


図 2.6.2.1 東北地方整備局における施工年代別の健全度

建設後5年で健全性が早期措置段階Ⅲに進行した事例

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。

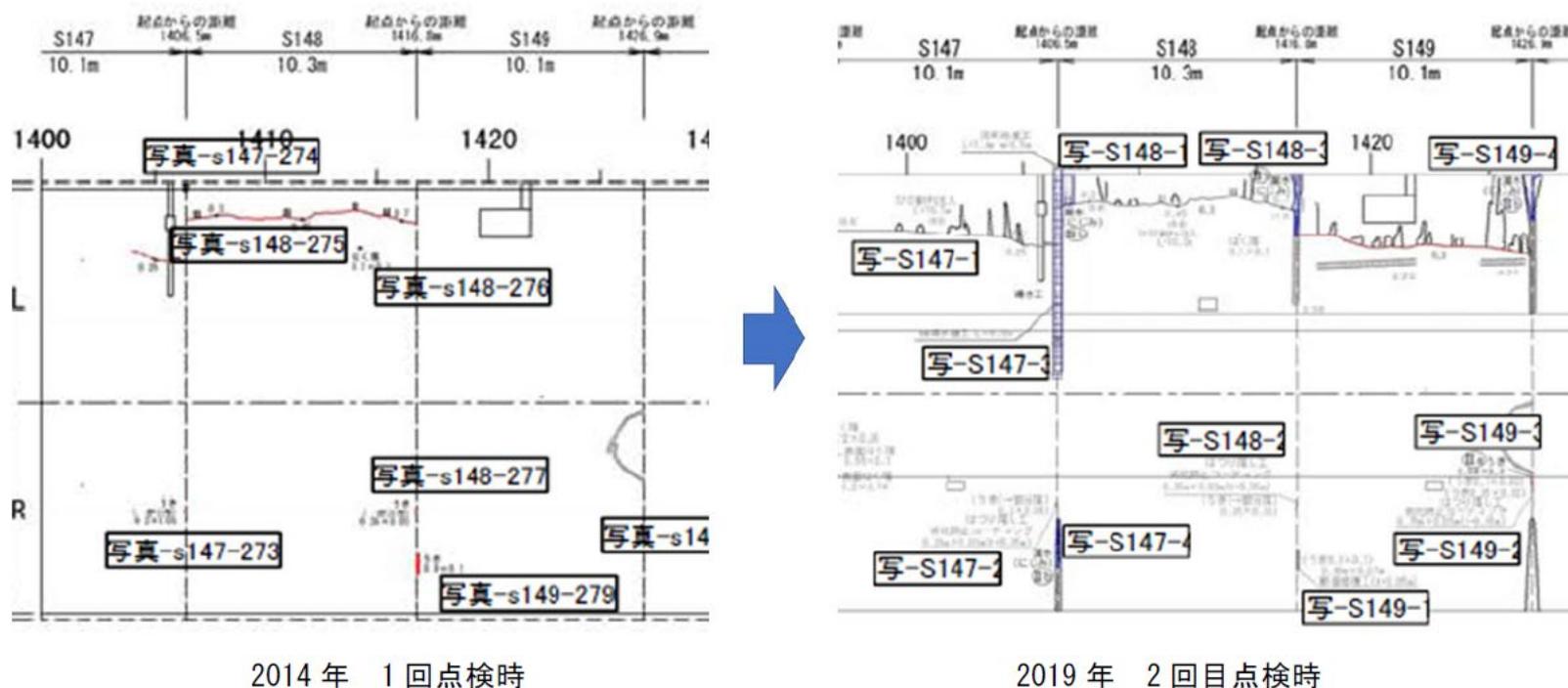


図 2.6.2.2 Aトンネルにおける劣化進行事例

打重ね線に沿ったひび割れの進行事例

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。

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

施工目地部のうきの進行事例

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の浮きが確認され、2 回目点検には範囲が0.2m×0.03mに広がった。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。

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		材料劣化	
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。		

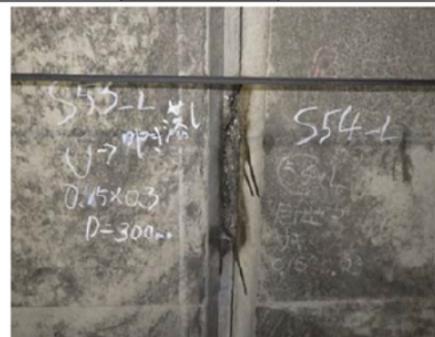


図 2.6.2.5 D トンネルの施工目地部の浮きの劣化進行事例

最近の不具合の発生事例

富配合のコンクリートを使用したか、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

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

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。	

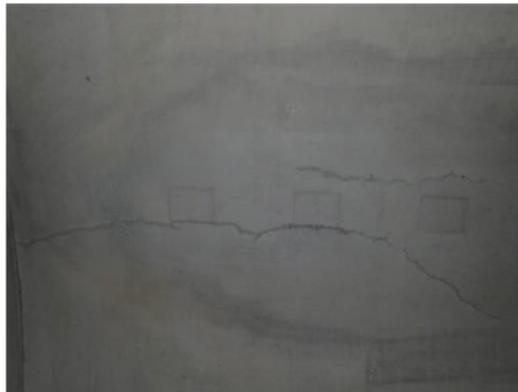


図 2.6.2.6 E トンネルの天端部の縦断方向のひび割れ事例

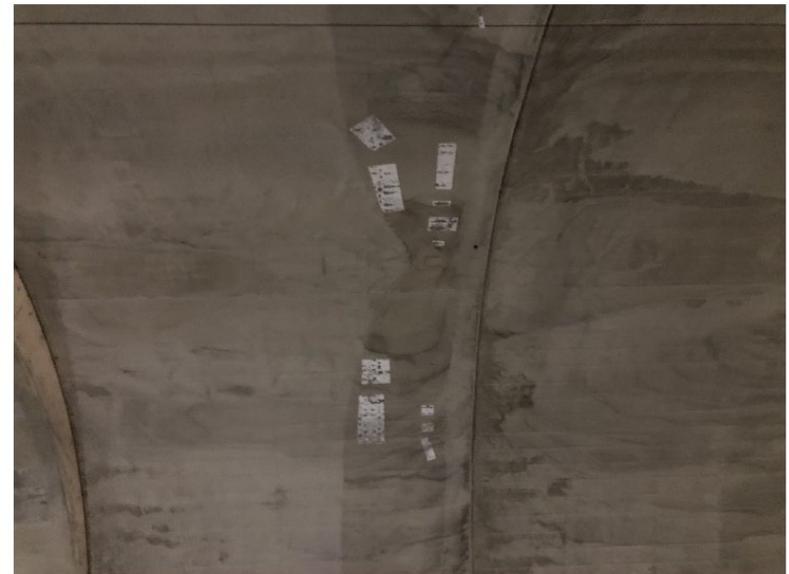


図 2.6.2.7 天端部の吹上げ口付近の剥離事例

最近の不具合の発生事例

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事例

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

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 G トンネルの同一箇所連続して剥離が発生した事例

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

・ 供用終了後の道路トンネルで行われた劣化実態調査の紹介

(背景)

道路トンネル点検：5年毎に実施

「前回点検時に叩き落とされた範囲」に異音などが確認され、「再び変状ありと診断」されることがある（特に[アーチクラウン部のつま部](#)）

→若材齢時のセントル押付け等の一時的な载荷による変状であれば再発は無いはず??



つま部の潜在的欠陥の確認として、覆工コンクリートのサンプリング調査を実施

表 2.6.3.1 潜在的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）

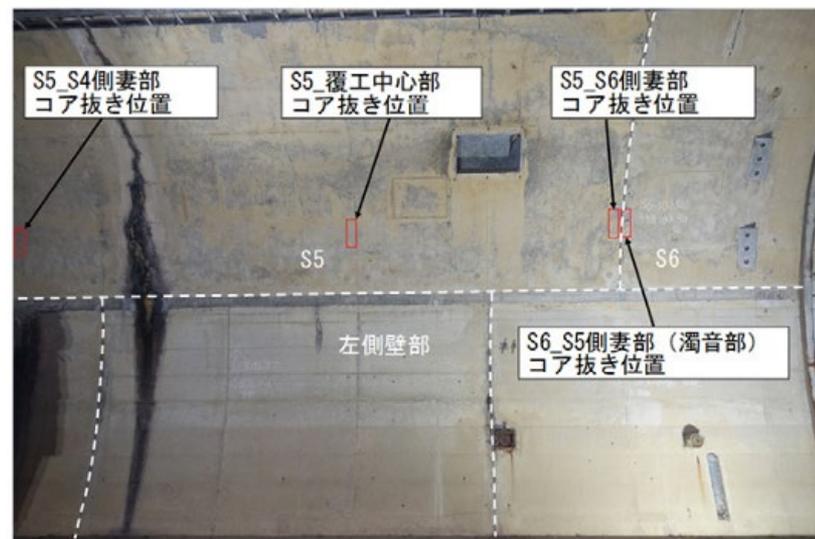
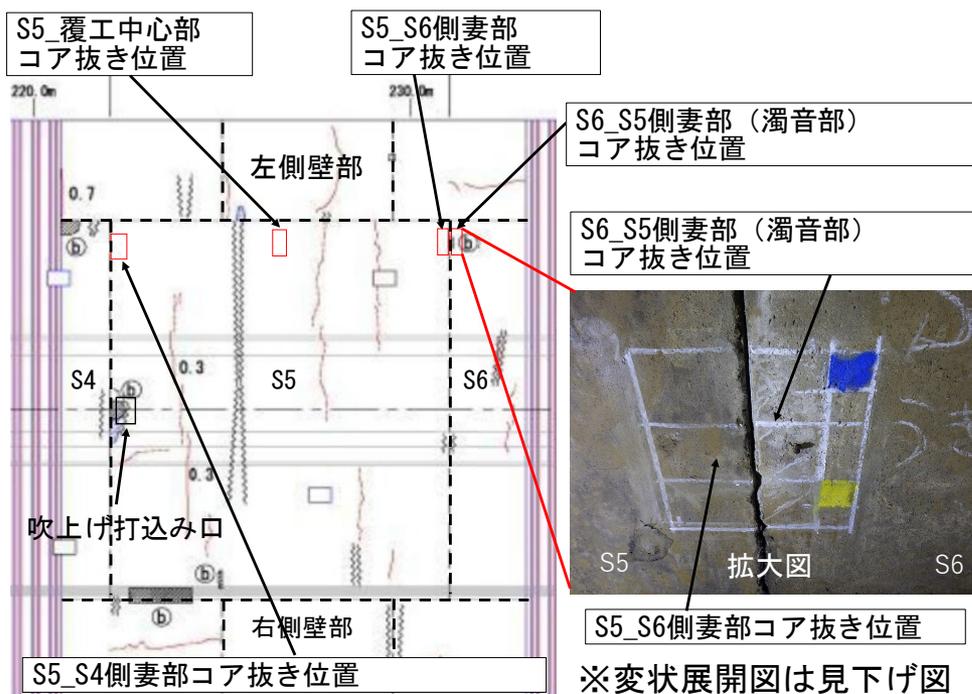
1) 戸本悟史, 野村貢, 椎名貴快, 三井功如, 吉田行, 花岡大伸: 覆工コンクリートへの火山ガラス微粉末混和による品質向上についての研究, 土木学会論文集特集号 (トンネル工学), 79 巻, 19 号, pp. 1~17, 2024. 3

2.6.3 矢板工法で施工された覆工コンクリートの劣化実態

覆工コンクリートのサンプリング調査(覆工厚さ45～60cm、標準打込長9m)

(スパン番号S5)

- ・地山：比較的硬質な安山岩質溶岩 → 外力による変状の形跡なし
- ・横断方向に乾燥収縮起因のひび割れ(最大0.3mm)、隣接つま部で少量の漏水
- ・トンネル点検結果で「うき(濁音部)」と診断されたつま部についてコア抜きを実施
- ・コア抜きは、濁音部だけでなく、覆工スパン中央部の健全部などでも実施



(b) サンプリング位置図

図 2.6.3.1 対象スパンの変状展開図およびサンプリング位置

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

【つま部の濁音部のひび割れ状況】（スパン番号S5）

- ・つま部表面にひび割れを確認
- ・つま部に回り込むことなく深度方向（厚さ20cm程度）に進展

→若材齢でラップ型枠押付け時のせん断破壊、あるいは乾燥収縮（つま部接触面の引張）の可能性

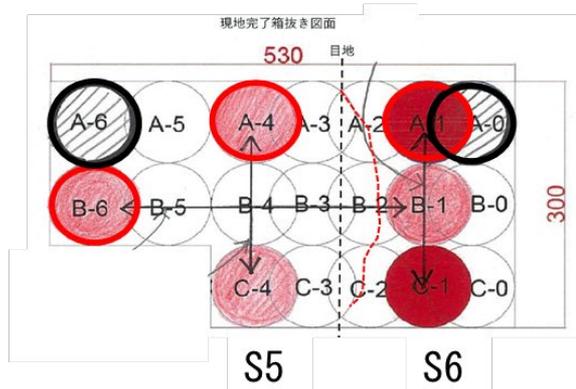
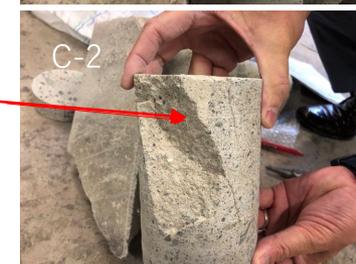
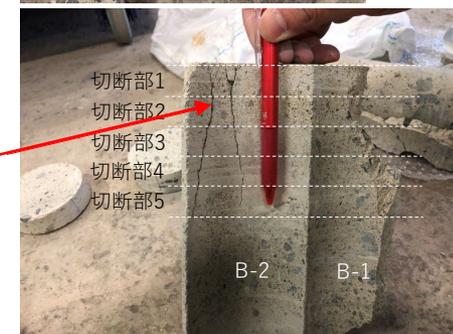
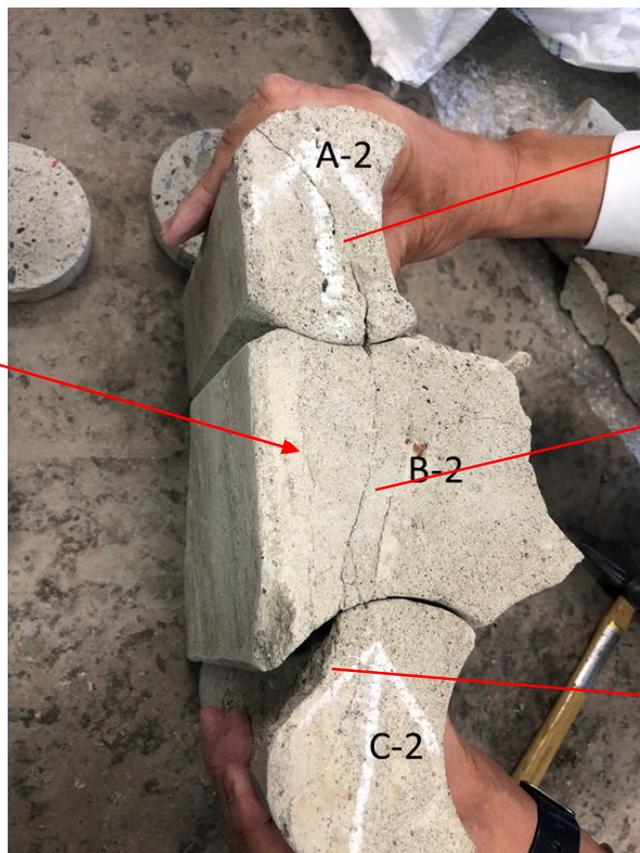


図 2.6.3.3-4 サンプル部の状況と濁音部の変状状況（スパン番号S5）

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

(スパン番号S22)

- ・縦断方向と横断方向に乾燥収縮起因のひび割れ(0.4~0.6mm)、濁音部表面ひび割れ・漏水なし

【つま部の濁音部のひび割れ状況】

表面から2~5cm深さに層状の内部ひび割れを確認(明確なうきの発生)

- ・脱型時の妻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よる型枠ねじれによる圧縮
- ・施工の影響の可能性を指摘

つま部→吹上げ口から長距離流動して打込み

→材料分離・締固め不足が生じると、表面の打重ね線だけでなく経年的に内部の亀裂に発達



図 2.6.3.5-6 対象スパンの変状展開図およびサンプリング位置と、濁音部の変状状況(スパン番号S22)

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

打込み方法に起因するコンクリートの均質性低下(スパン番号S5、S6境界)

- ・吹上げ口から遠いつま部は、健全な中央部に比べて粗骨材の分布が明らかに少ない
→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
(材料分離、締固め不足、ブリーディングの除去不足等に起因)

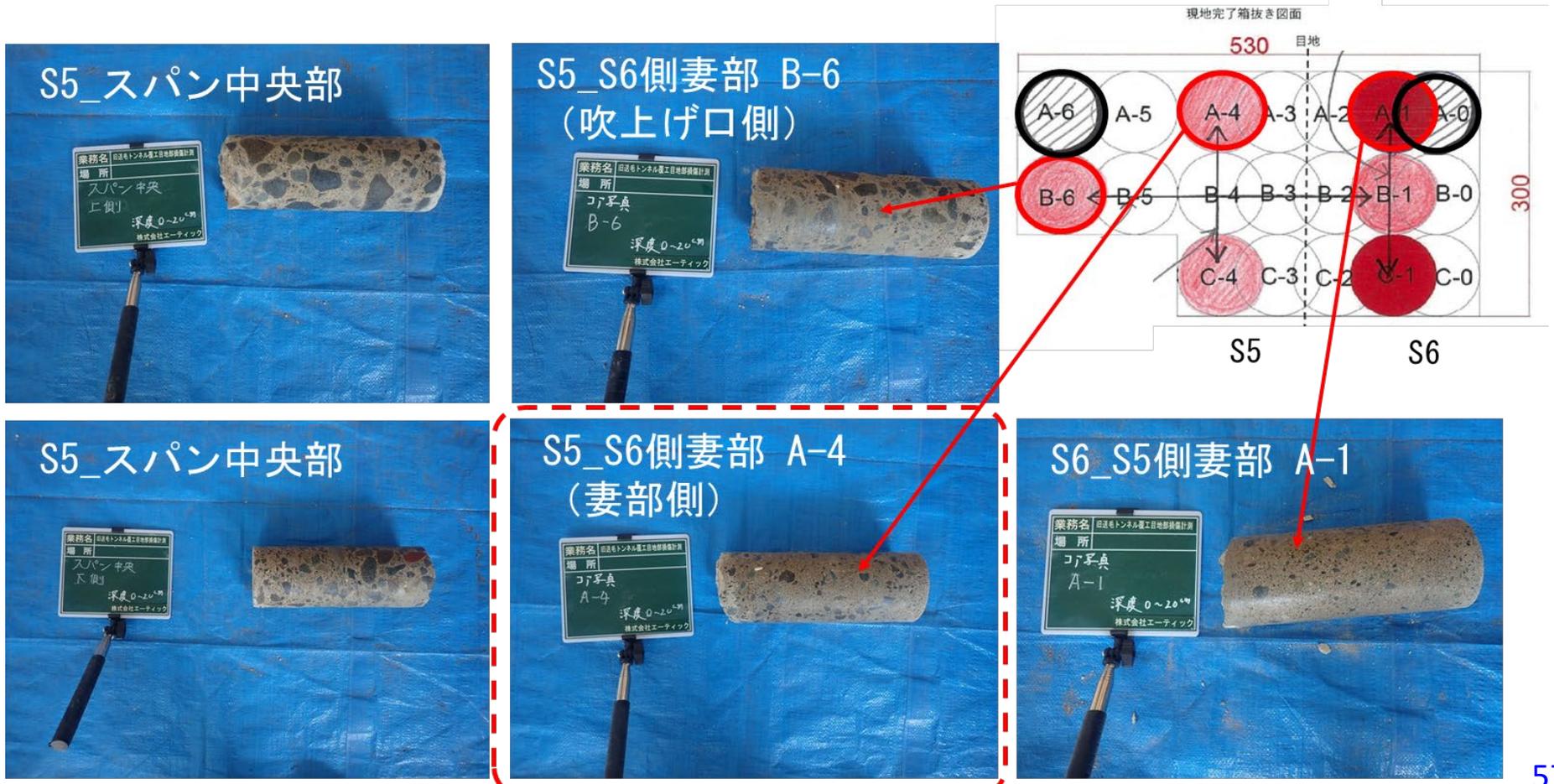


図 2.6.3.8(抜粋)-9 つま部健全部とスパン中央健全部、および変状つま部のコア状況(スパン番号S5、S6境界)

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

コアの深度方向粗骨材分布状況の確認(コアを深さ方向20mm毎にスライス)

- ・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
- ・粗骨材分布が少ないA-4コアは、弾性係数が小さいことを確認
→材料分離、締固め不足等により、つま部コンクリートの脆弱化が懸念される

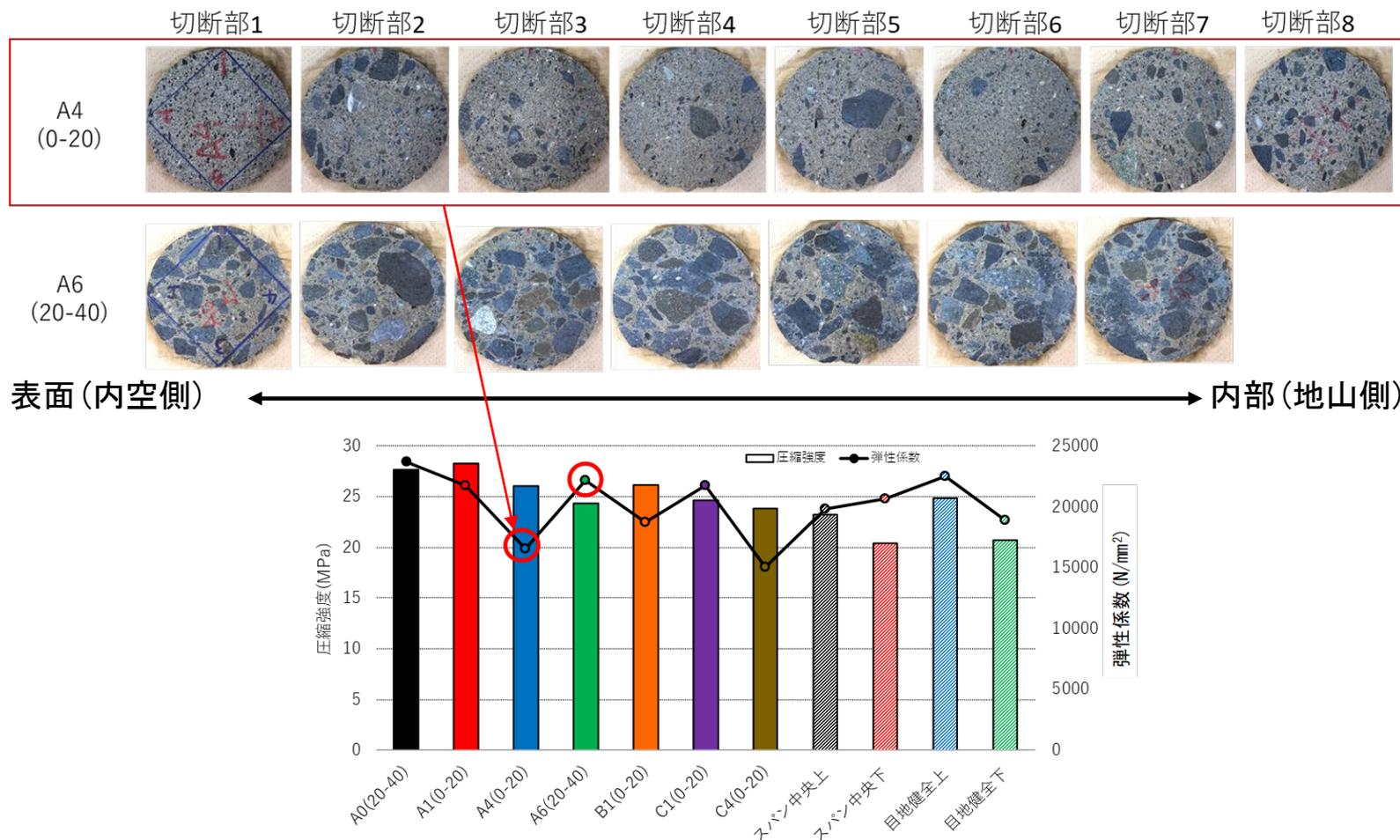


図 2.6.3.10(抜粋)-11 面的サンプリング部の深度方向粗骨材分布と強度特性

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

覆工コンクリートつま部に生じる変状の発生要因(まとめ)

<力学的要因>

- ・ 若材齢時(強度発現が小さい時点)のラップ型枠押当てによるせん断破壊
- ・ 脱型時の妻型枠やラップ型枠の付着による引張破壊
- ・ 不均一なジャッキダウンによる型枠ねじれによる圧縮破壊

<材料特性>

- ・ 乾燥収縮によるつま部の接触面に生じる引張応力

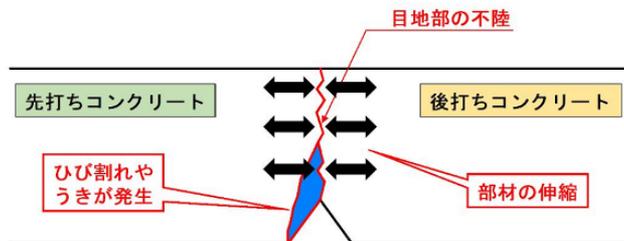


図 1-15 施工目地部に不具合が発生する機構の概念図

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月より

<施工要因>

- ・ 吹上げ口からの長距離流動に伴う、材料分離や締固め不足に起因した均質性の低下(乾燥収縮の増大にも影響)
 - 適切な締固めなど、施工方法の改善
 - 適切な配合やスランプ(スランプフロー)の選定



図2.6.3.7 打込中のつま部の状況

2.6 覆工コンクリートの不具合と劣化の実態

2.6.4 まとめ

覆工コンクリートの不具合や材質劣化の発生要因は、施工由来と設計や環境に由来するものに大別され、それぞれの発生要因別に必要な対策を行う必要がある。

表2.6.4.1 NATM工法における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ブリーディングやノロの除去不良 ブリーディング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。

3章 目指すべき方向性

3. 目指すべき方向性

3.1 品質確保の取組み

3.1.1 東北地方整備局の品質確保の取組み

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、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取組みである。

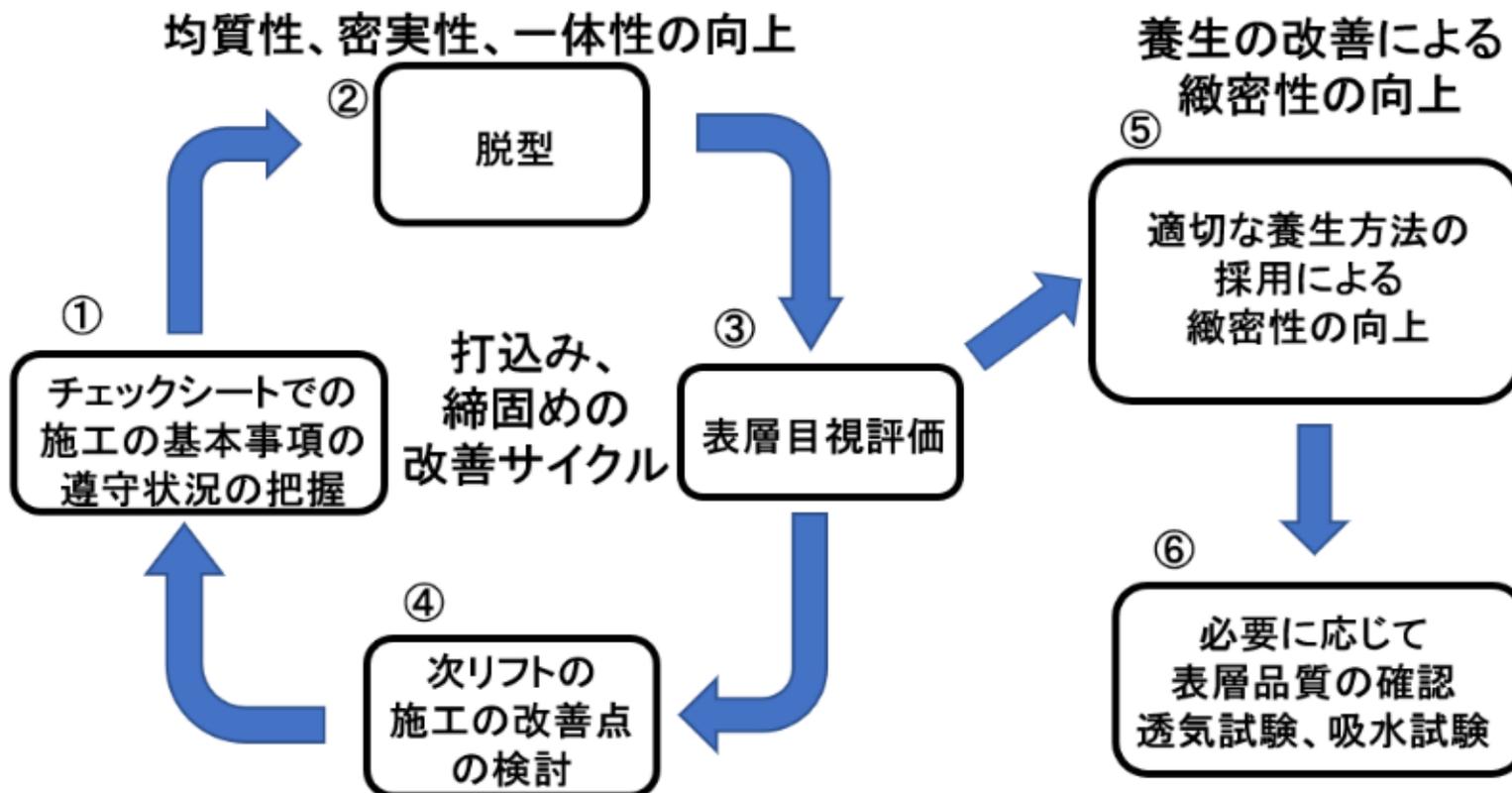


図3.1.1.1 東北地方整備局の品質確保の取組み

3.1.2 近畿地方整備局の試行工事の効果の検証

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	
上石トンネル	1,231	109 (10.5m)	R1.8	○

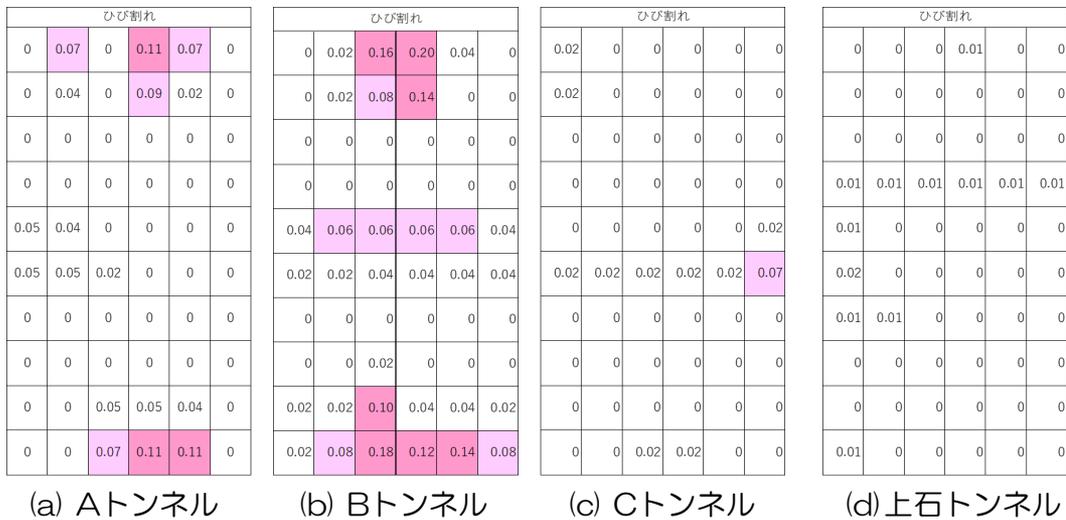


図3.1.2.3 ひび割れの発生頻度



図3.1.2.6 天端部のひび割れ (Bトンネル)

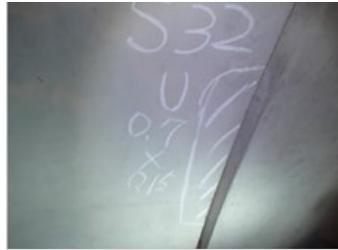


図3.1.2.7 目地部のうき (Aトンネル)



図3.1.2.8 天端部のうき (Cトンネル)



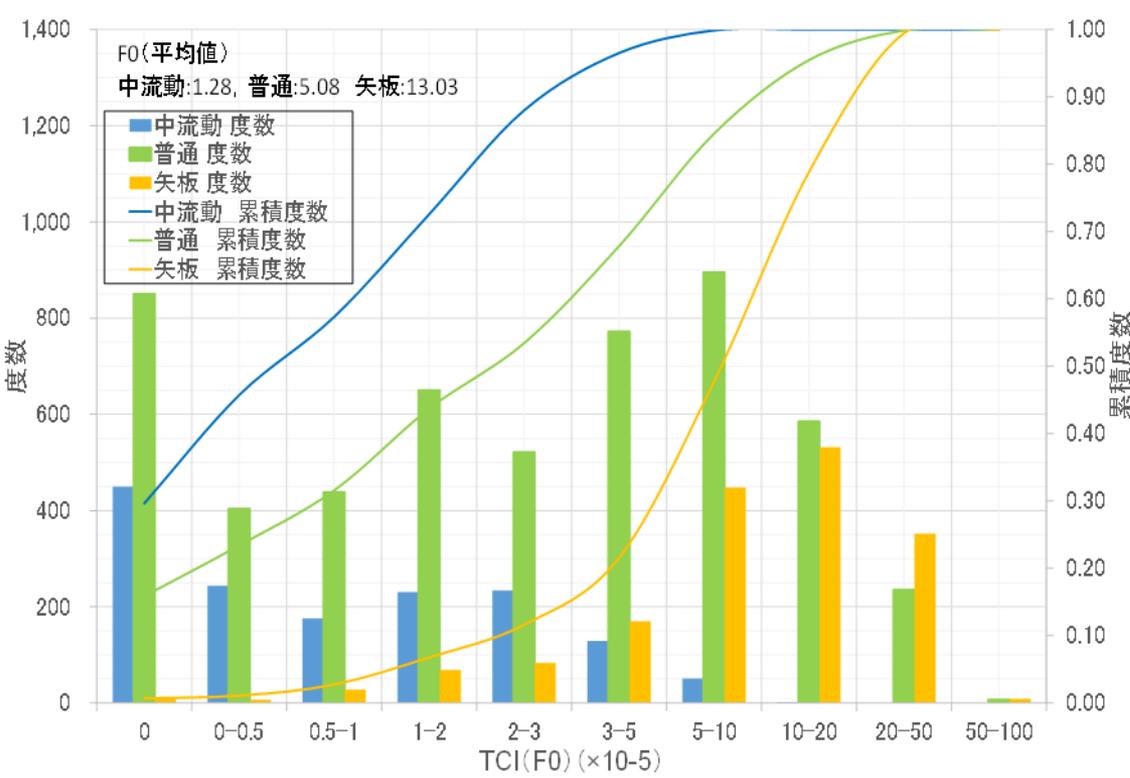
図3.1.2.9 目地部の豆板 (Cトンネル)

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、試行工事の対象である上石トンネルは同時期に施工された他のトンネルと比較して、ひび割れ、うき、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。

3.1.3 NEXCOの品質確保の取組み（中流動覆工コンクリート標準化による長期耐久性の向上）

中流動覆工コンクリートは、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、

- ・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。



TCI (Tunnel-lining Crack Index) により、長期耐久性を評価した。幅広い年代を対象（全81チューブ）に分析した。

ひび割れ総量の指数は、中流動1.28、普通5.08、矢板13.03と中流動がかなり少ない。ひび割れの大小割合は、中流動は小さ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。

中流動覆工コンクリートを採用することで、密実でひび割れの少ない覆工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。

4章 施工要因により生じる不具合を抑制するための提案

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

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パイプレータの振動等による強制的な横移動を行わずに打込むことを基本とする。配合は、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。

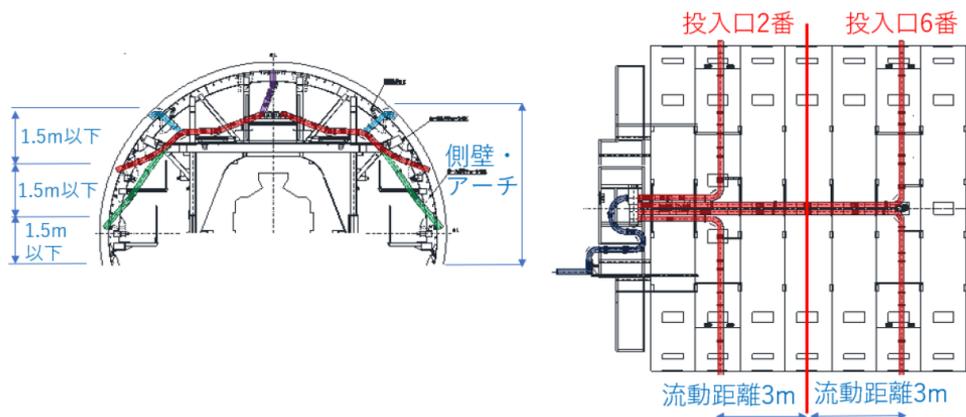


図 4.1.1 移動式型枠の仕様（側壁からアーチ）

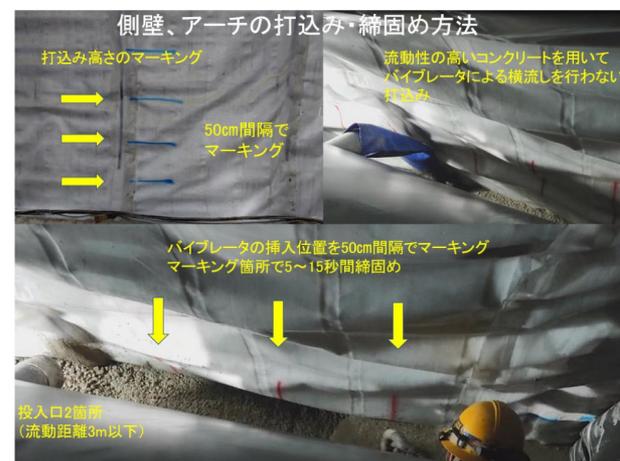


図 4.1.1.1 側壁からアーチの打込み概要図

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	パイプレータ使用, 挿入間隔 50cm 以下, 振動時間 5～15 秒, 左右同時施工

4.1.2 アーチラウン部（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。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。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
	流動性	自然流動距離 10m 以上，材料分離なし
コンクリート配合	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	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	棒状パイプレータ，型枠パイプレータ，引抜きパイプレータおよび伸縮パイプレータを適宜使用
	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
	流動性	自然流動距離 10m 以上，材料分離なし
コンクリート配合	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

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。

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, プラスト加工など
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。

4. 施工要因により生じる不具合を抑制するための提案

4.2 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を勘案して、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。

(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及び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。

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	

4.2.1 施工状況把握チェックシート活用

(3) - 1) 施工前に1回のみチェックする項目

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。品質確保の観点から、施工計画上の打込み方法のほか、教育の項目が設けられ、覆工従事者に対する打込み手順等の周知や、施工者と監督職員が合同で臨場する時期の調整がチェック項目となっている。

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箇所での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固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

4.2.1 施工状況把握チェックシート活用

(3) - 2) 施工の準備, 運搬, 品質に関する項目

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。
こ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

4.2.1 施工状況把握チェックシート活用

(3) - 3) 施工中の打込み及び移動式型枠の取外しの項目

施工段階における打込みと移動式型枠の取外しに関するチェック項目で構成されている。打込みが側壁～アーチと天端部に別れているのは、側壁～アーチは一般構造物に近い施工が可能であるのに対して、天端部は吹上方式の打込みとなるためである、移動式型枠の取外し時期のチェック項目を設け、養生不足による不具合の防止を目指している。

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. 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
	5. 締固め時間の管理を実施しているか
	6. 締固め時のバイブ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（締め付け）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. 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
	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
	14. 充填確認を行ない打込みを終了したか
取外し	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

4.2.1 施工状況把握チェックシート活用

(3) - 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)」において、施工状況把握チェックシートの活用の際する留意事項が示されており、以下にその主要な点を示す。

施工状況把握チェックシート活用時の留意事項

- 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。

4.2.2 表層目視評価法の活用

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である。

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	既型直後から初期養生開始前					不適合時、どんな点を改善させるべきか？		
調査方法	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					原因	Keyワード	改善策
	評価点	4	3	2	1	施工状況把握チェックシートの項目		
① 表面はく離		無し	50cm四方程度の大ききで見られる	1m ² 程度の大ききで見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる	準備-5	ケレン預しを無くする	・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)
						準備-6	剥離剤の全体塗布	・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-1, 5	打込み方法	・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
						打込み-9	天端仕上げ周囲の打込み当初の残留コンクリートを除去する	
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程度の気泡が見られる	10mm以上が5mm以下が20%程度見られる	10mm以上が20%程度見られる	品質-1	生コンの規格を満足か	・エア量、スタンプが規格外の場合は原因の追及を行い、是正する
						打込み-1	吐出口からの落差高	・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
						準備-11	1層の打込み高さ	・1層の打込み高さを管理し、適切な締めで巻込み空気を除去する(かけ過ぎは避ける)
						打込み-2	左右対称の打込み	・打込み用の配管切り替え手順をあらかじめ決めておく(余留り、箱抜きの有無考慮)
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に見られる	品質-1	生コンの規格を満足か	・規格外の生コンは廃棄する(特にスランパ大の場合発生)
						打込み-2	1層の打込み高さ	・急速な打込みをやめて、1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)
						打込み-4, 5, 10	打込み・締めの方法	・バイブレータによる締めの方法・締めの時間を改善する(かけ過ぎは避ける)
						準備工-9	箱抜き型枠の加工誤差	・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
④ 色むら (天端のみ評価)		ほぼ無し	天端の1/10程度に見られる	天端の1/2程度にみられる	2点の状態以上に広範囲に見られる	品質-1	生コンの規格を満足か	・規格外の生コンは廃棄する
						打込み-2	1層の打込み高さ	・急速な打込みをやめて、1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)
						打込み-4, 5, 10	打込み・締めの方法	・バイブレータによる締めの方法・締めの時間を改善する(かけ過ぎは避ける)
						準備工-9	箱抜き型枠の加工誤差	・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
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見られる	不規則な打重ね線が見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる	準備-5	ケレン預しを無くする	・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)
						準備-6	剥離剤の適度な塗布量	・施工計画書で定められた適量を均一に塗布する
						運搬-1	一定間隔の打込み	・打重ね時間を一定間隔にし、中断時間が発生しないように打込む
						打込み-12	ブリーディング水等の排出	・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
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	打込み箇所底部の清掃	・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)
						準備-2	堅硬な地盤	・不平等下防止対策を講ずる
						準備-3	型枠の設置・脱枠・移動の音	・型枠の設置・脱枠・移動時の手順について再確認する
						準備-7, 8	目地材/つなぎ型枠の固定不良	・固定方法の改善、固定状況を確認して打込み前に再確認する
⑦ ヒンジ・検査窓枠・箱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箇所を越える箇所が発生する	品質-1	生コンの規格を満足か	・規格外の生コンは廃棄する
						打込み-11	打重ね時間	・層(アーチ)から天端仕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
						準備-1	打込み箇所底部の清掃	・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)
						準備-2	堅硬な地盤	・不平等下防止対策を講ずる

表層目視評価の評価項目は、当初6項目であったが、現在では、

- 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

表層目視評価法の活用事例

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

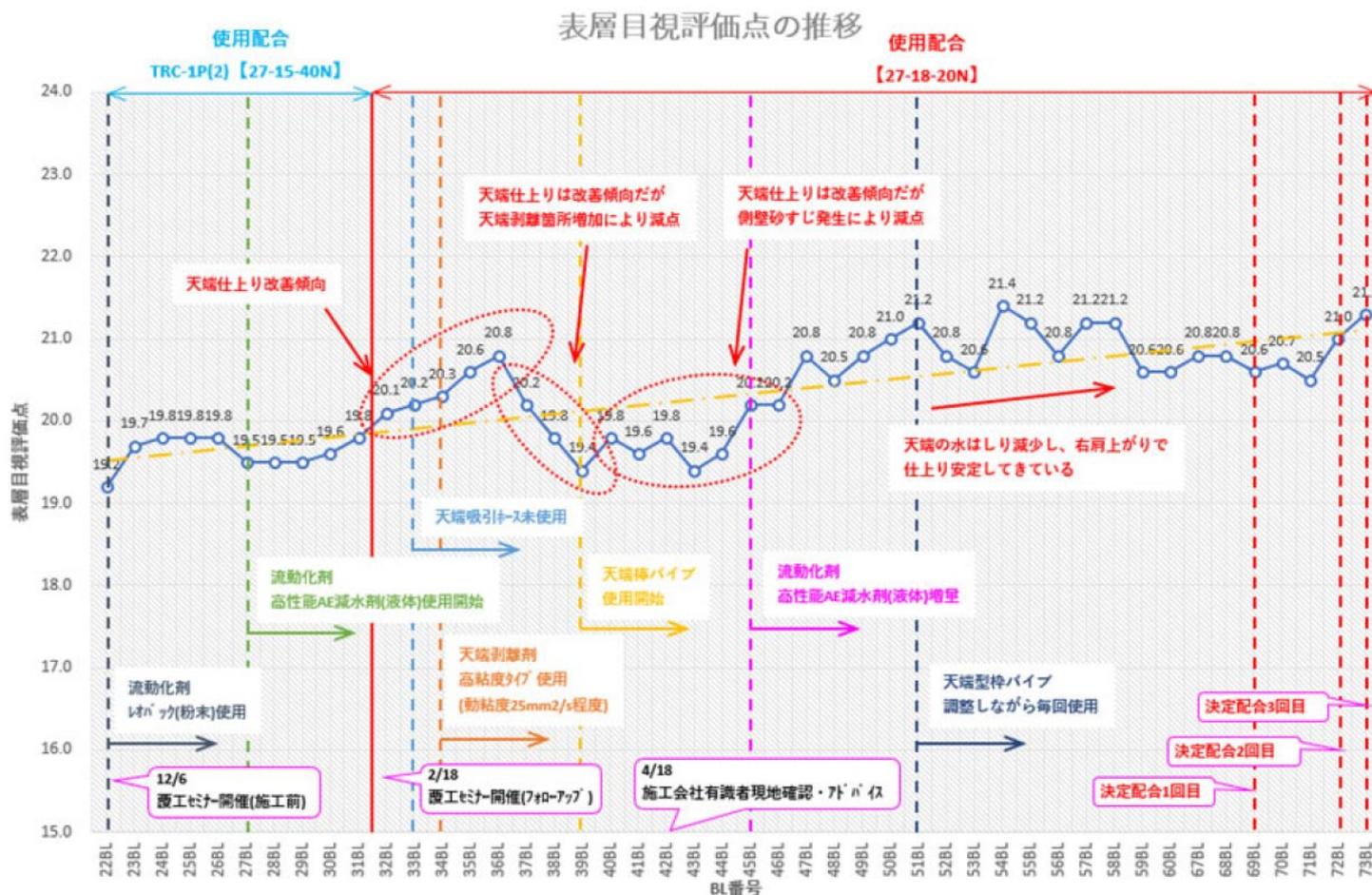


図 4.2.2.1 表層目視評価点の PDCA の推移

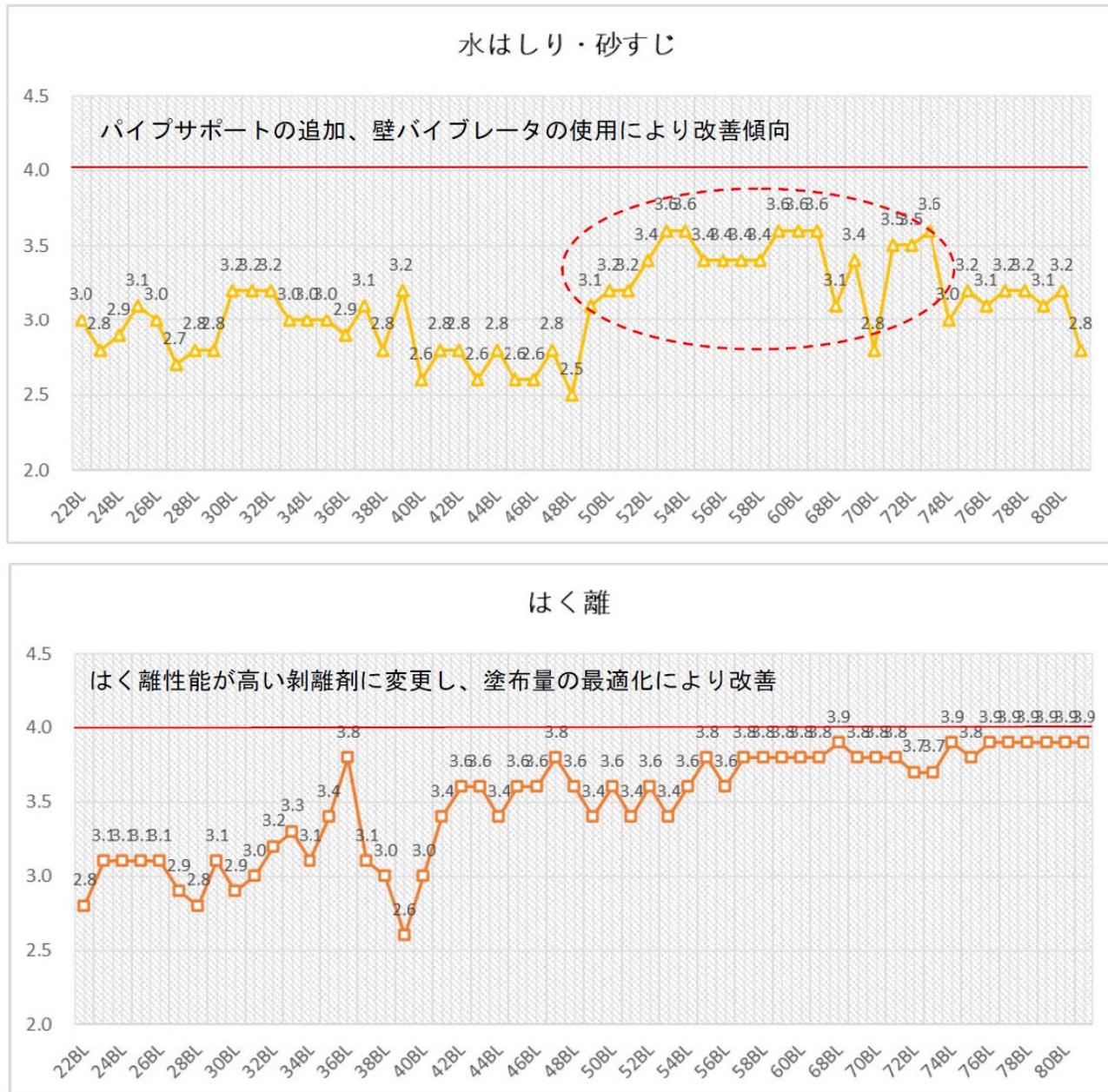


図 4.2.2.3 表層目視評価点（はく離）の推移

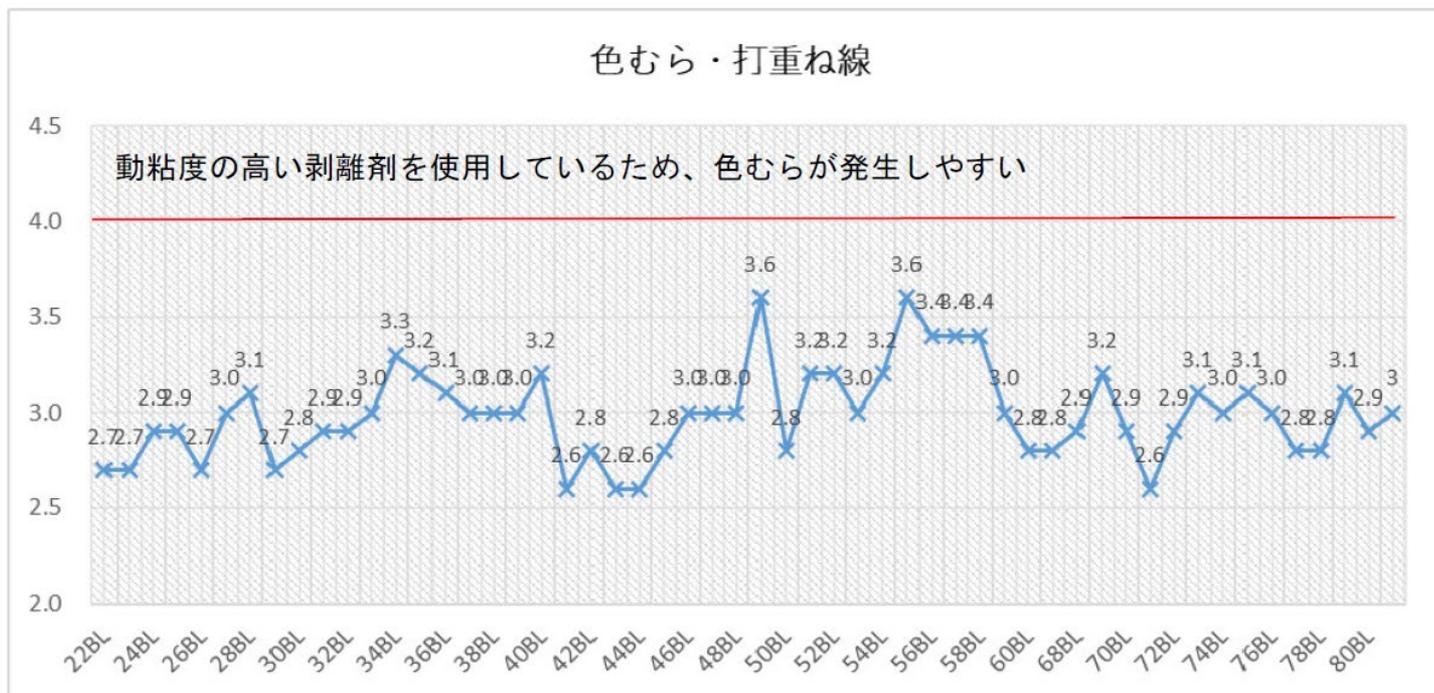


図 4.2.2.4 表層目視評価点（色むら・打重ね線）の推移

表層目視評価法の課題

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。

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。

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。

4.3 施工目地部の不具合を抑制する対策事例

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、対策区分Ⅲ（早期に措置を講じる必要がある状態）の変状の発生位置は、施工目地部が60%を占めている。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。

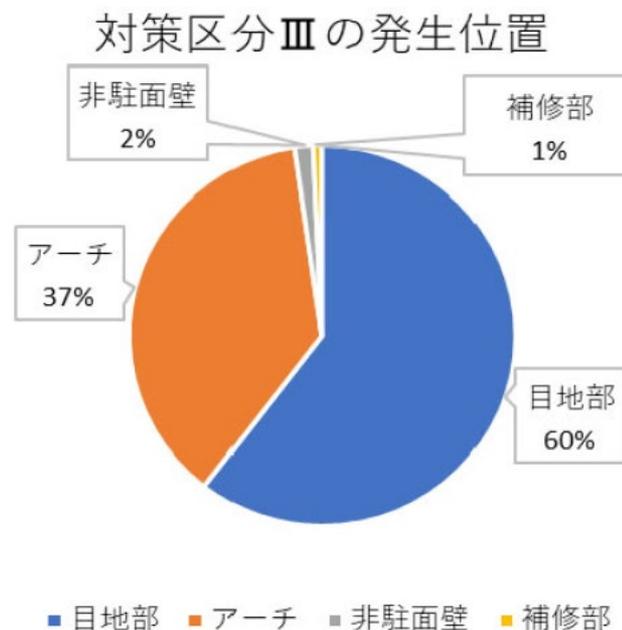


図 4.3.1 対策区分Ⅲの発生位置

対策事例

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、三角形状が標準とされ、打継ぎ部にブチルゴム系止水材を設置する対策が実施されている。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、四国地方整備局および東北地方整備局の品質確保の手引き（案）で紹介されている。

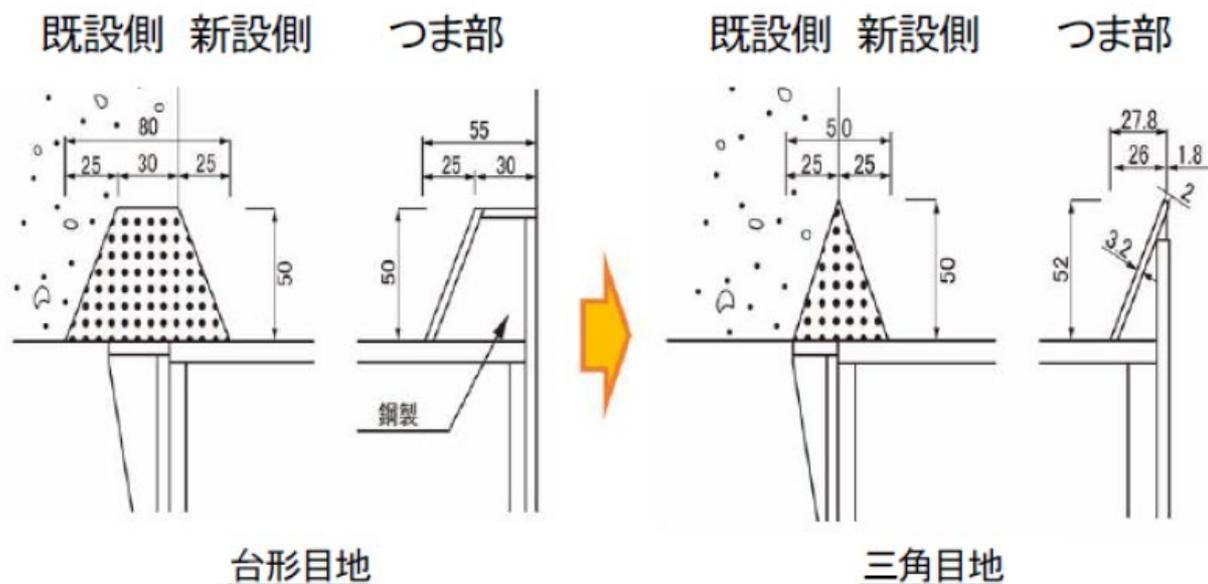


図 4.3.2 施工目地の溝型枠²⁾を一部加工

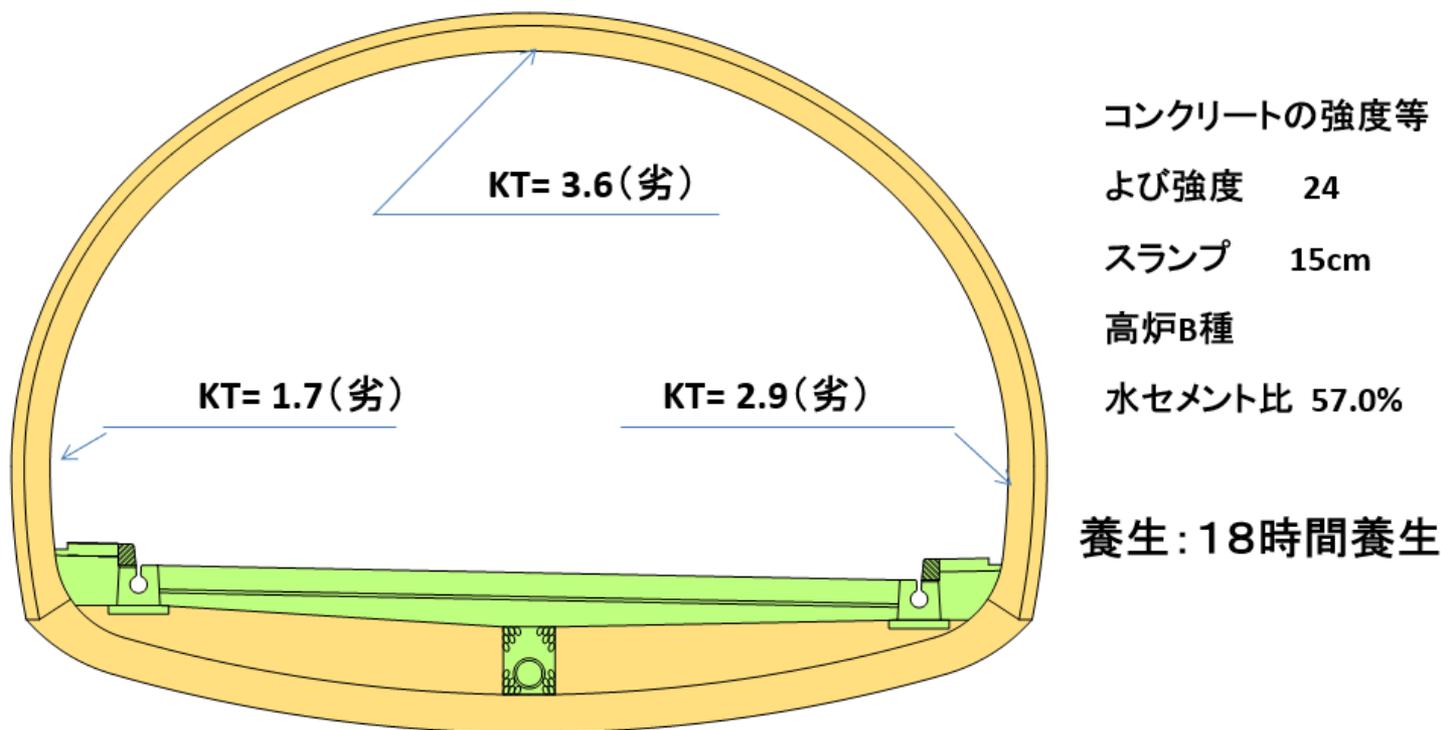
5章 養生の留意点

5. 養生の留意点

5.1 養生の課題

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

覆工コンクリートの移動式型枠存置による養生時間は、18時間程度と若材齢での脱型となり、図5.1.1.1に示すように低い緻密性等の問題が発生していた。



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

図5.1.1.1 覆工コンクリートの透気係数による緻密性の評価事例

5. 養生の留意点

5.1 養生の課題

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

覆工コンクリートの若材令脱型により、(1)低い緻密性、(2)坑口付近や貫通時のひび割れ発生、(3)天端部の剥離発生という課題が発生していた。このため、東北地方整備局では、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。覆工コンクリートの若材令脱型における主な課題とその対策を表5.1.1.1に示す

表5.1.1.1 覆工コンクリートの若材令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

5. 養生の留意点

5.1 養生の課題

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

以下に覆工コンクリートの養生の取組み事例の一部を示す。

(1)低い緻密性に対して、移動養生装置による7日間養生を実施した事例



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

5. 養生の留意点

5.1 養生の課題

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

(1)低い緻密性に対して、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となる。



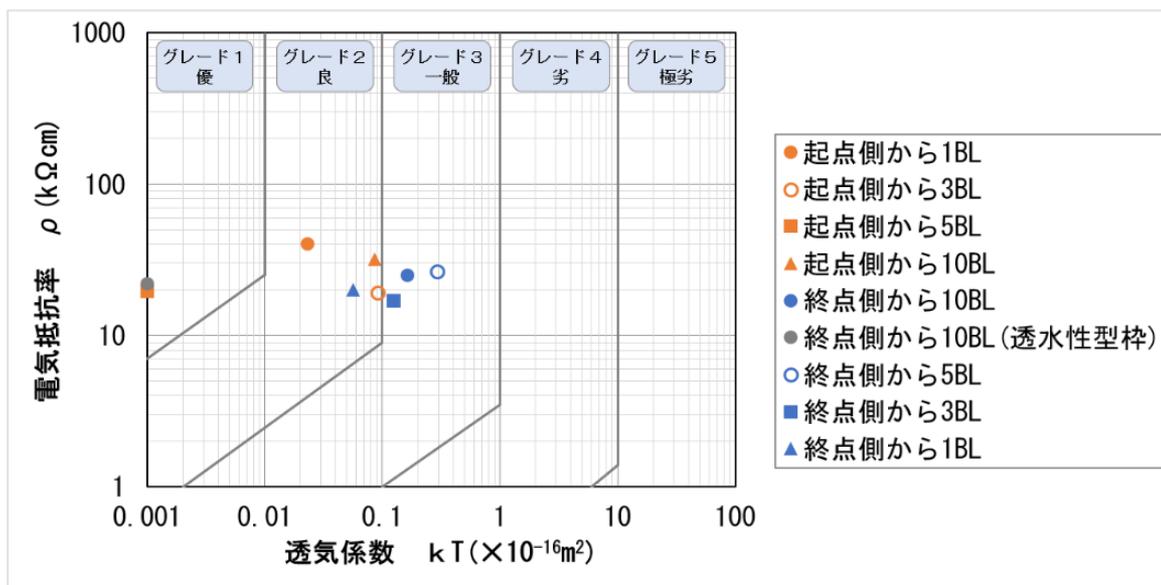
図5.1.1.4 覆工コンクリートにビニールシートを長期間貼り付けて養生した事例

5. 養生の留意点

5.1 養生の課題

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

(1)低い緻密性に対して、坑内の高湿度環境を利用して湿潤養生を実施した事例を示す。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施工されているため、終点側の覆工コンクリートは貫通後に施工された。このため、終点側は低湿度な環境下で養生されたことが、起点側より透気係数のグレードが低下した要因と推察される。



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 kT ($\times 10^{-16}m^2$)	$kT < 0.01$	$0.01 \sim 0.1$	$0.1 \sim 1$	$1 \sim 10$	$kT > 10$

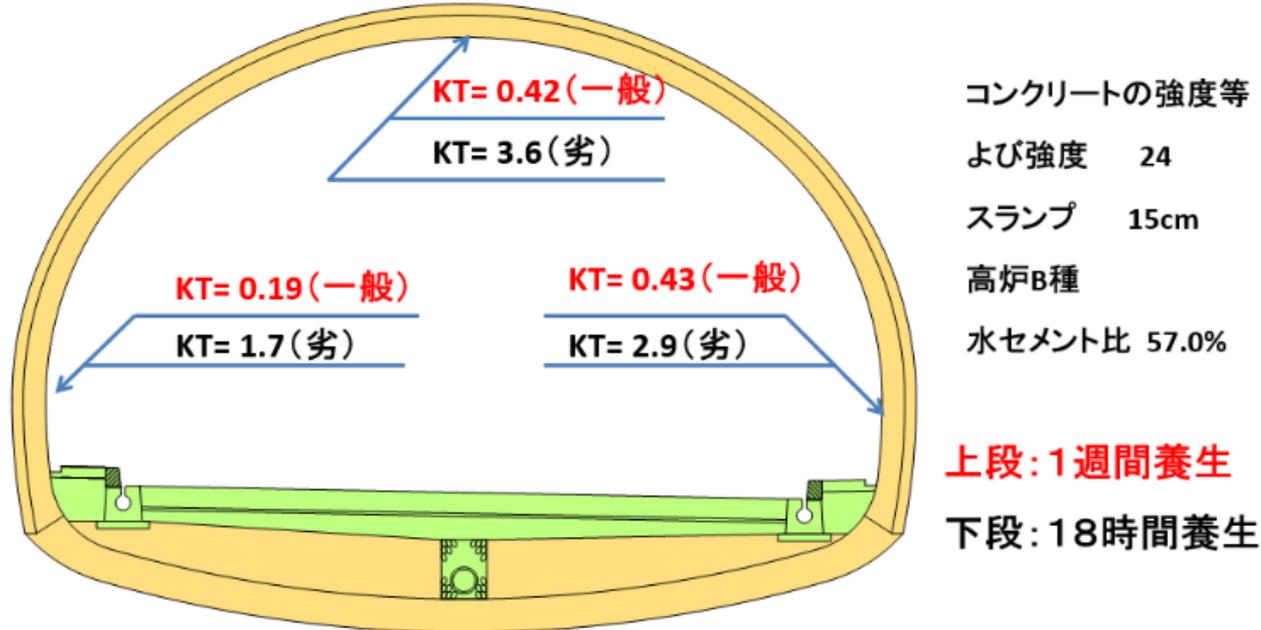
図5.1.1.6 延長2,875mのトンネルを片押しで施工した覆工コンクリートの透気係数

5. 養生の留意点

5.1 養生の課題

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

(2) 坑口付近や貫通時のひび割れの発生に対して、坑口から2パネルを型枠存置による7日間養生した事例を示す。このような養生をするのは、坑口部分の覆工コンクリートが若材令で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のを抑制するためである。坑口部における1週間養生の効果透気試験で検証した結果を図5.1.1.7に示す。透気係数のグレードが劣から一般に向上していることがわかる。



透気係数 $KT(\times 10^{-16}m^2)$	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週間養生の効果透気試験で検証した結果

5. 養生の留意点

5.1 養生の課題

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

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。

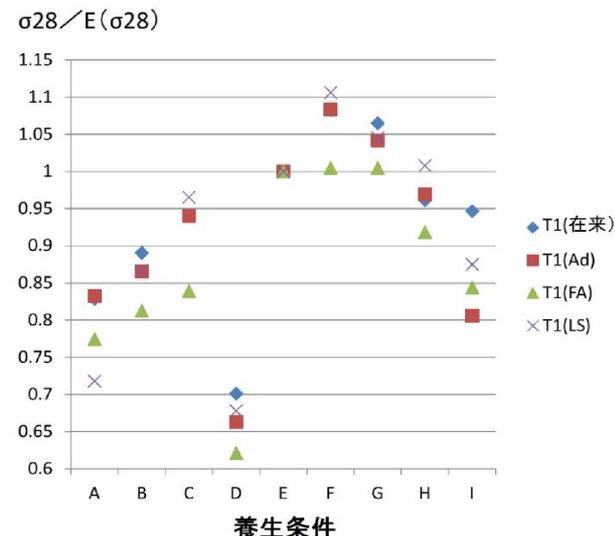
(3)天端部のはく離対策として、①積算温度による脱型時期の判定と、②移動式型枠の加温による対策がある。

対策の種類	内 容
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
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、はく離の発生を防止する。

5.1.2 NEXCOにおける養生の取組み（中流動覆工コンクリートの養生における留意点）

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時間以内に実施する。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。これらは以下の実験結果を考慮して決められている。

- 圧縮強度
 - ・ 養生期間が長くなるほど強度が増進している
- 透気係数
 - ・ 下記の方法でコンクリートの緻密性を確保できる
 - ・ 養生期間を7日間とする
 - ・ 脱型時間を3日まで延長する
 - ・ 膜養生で乾燥収縮低減剤を塗布する



養生	項目	透気係数kT (10 ⁻¹⁶ m ²)			
		配合種別			
		T _{I-1} (従来)	T _{I-4} (Ad)	T _{I-4} (FA)	T _{I-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。

記号	種別	養生内容
A	無養生	18時間脱型後20℃湿度60%養生（坑内環境）
B	脱型時期	48時間脱型後20℃湿度60%養生
C	脱型時期	72時間脱型後20℃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

5. 養生の留意点

5.2 養生の課題

覆工コンクリートの養生に関しては、①求める緻密性の程度と②安価で効果的な養生方法の追求という二つの課題があると考える。

養生の課題	内 容
①求める緻密性の程度	<p>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。</p>
②安価で効果的な養生方法の追究	<p>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。</p>

6章 ひび割れ対策の留意点

6. ひび割れ対策の留意点

6.1 ひび割れ抑制対策の基本

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、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。この図から、適切な施工により品質が確保されていれば、施工に起因するひび割れの多くは抑制可能であり、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	
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納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

6. ひび割れ対策の留意点

6.1 ひび割れ抑制対策の基本

6.1.2 覆工コンクリートに生じるひび割れ抑制対策の基本

図6.1.1.2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し、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ことを示している。

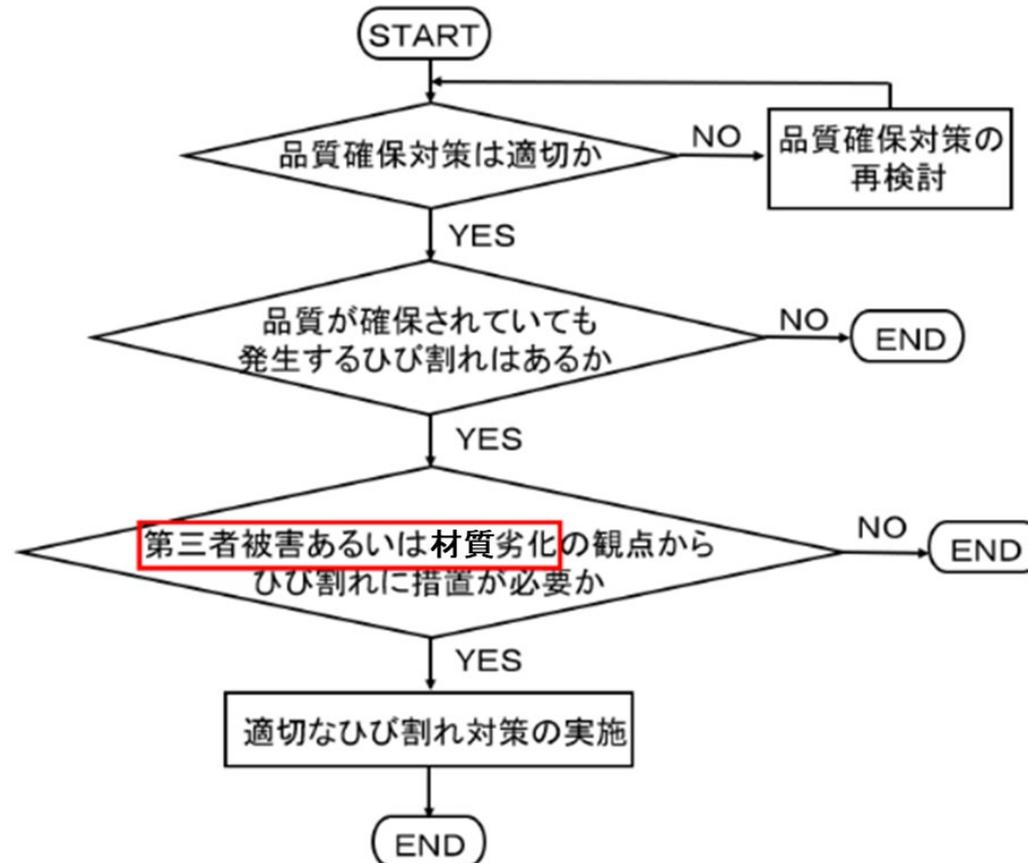


図6.1.1.2 覆工コンクリートに生じるひび割れ対策の検討フローの例

6. ひび割れ対策の留意点

6.1 ひび割れ抑制対策の基本

6.1.3 措置が必要なひび割れ

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、それで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。

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。

7章 凍害対策の留意点

東北地方の凍害危険度の高い地域における凍害による劣化

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種別

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⁾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。

表7.1.1.1 凍害区分と対策の種別

散布量 凍害区分	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

対策種別S：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

対策種別B：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

対策種別A：それ以外

東北地方整備局の覆工コンクリートの凍害対策用の配合

- ・ 対策種別S：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（JIS A 5308に規定された空気量の範囲の適用を除外）
- ・ 対策種別A：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%）（あくまでも努力目標、荷卸し時の空気量がJIS範囲であれば受入れ）
- ・ 対策種別B：目標空気量をJISの空気量の規定範囲内
- ・ 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（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）

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

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

リニアトラバース法による硬化後の空気量，および気泡間隔係数の測定結果

- ・ 目標空気量を6.0%，7.0%とした覆工コンクリートでは，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トンネルのように，空気量が2.0%以下で気泡間隔係数が大きいものもある。

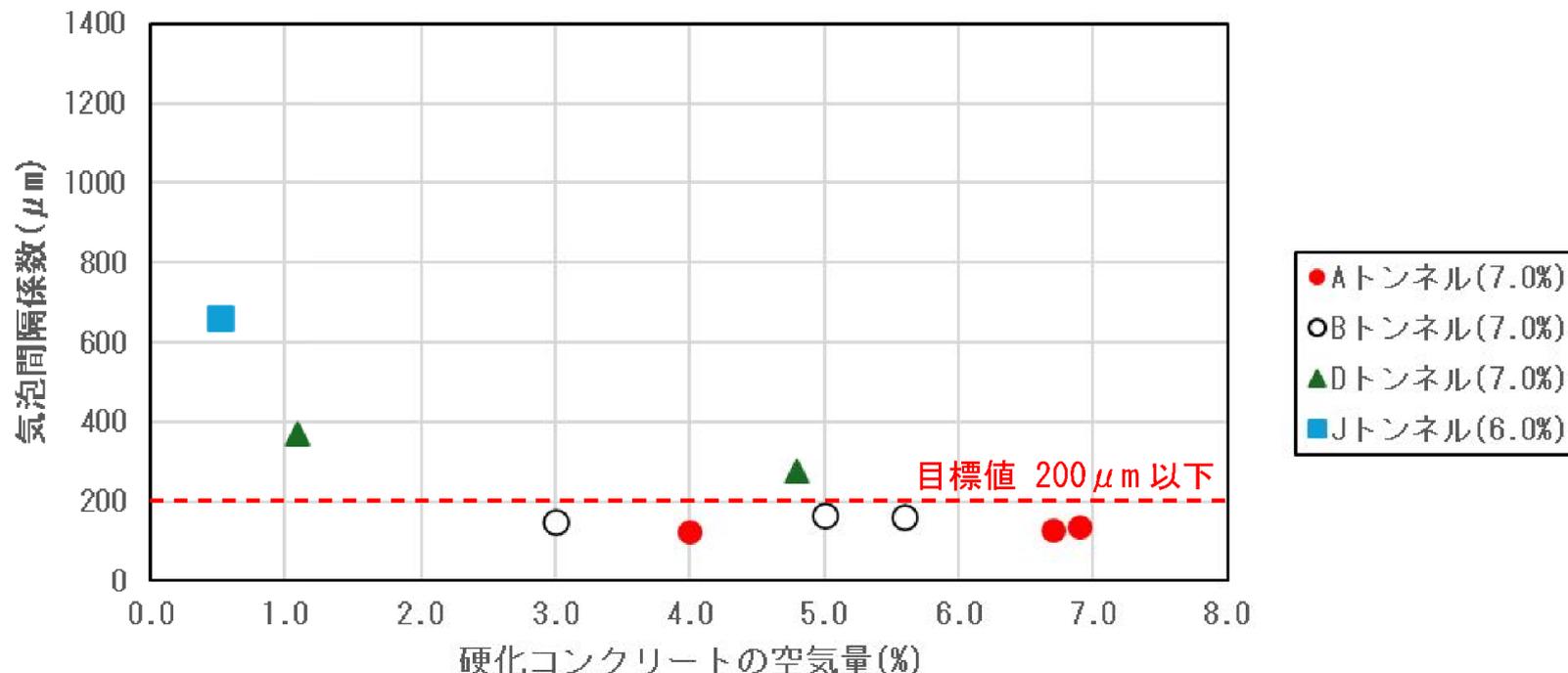


図7.2.2.1 空気量および気泡間隔係数の測定結果 (目標空気量6.0%および7.0%)

リニアトラバース法による硬化後の空気量，および気泡間隔係数の測定結果

- ・ 目標空気量を4.5%とした覆工コンクリートでは，空気量が2.0%よりも少ないものも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。

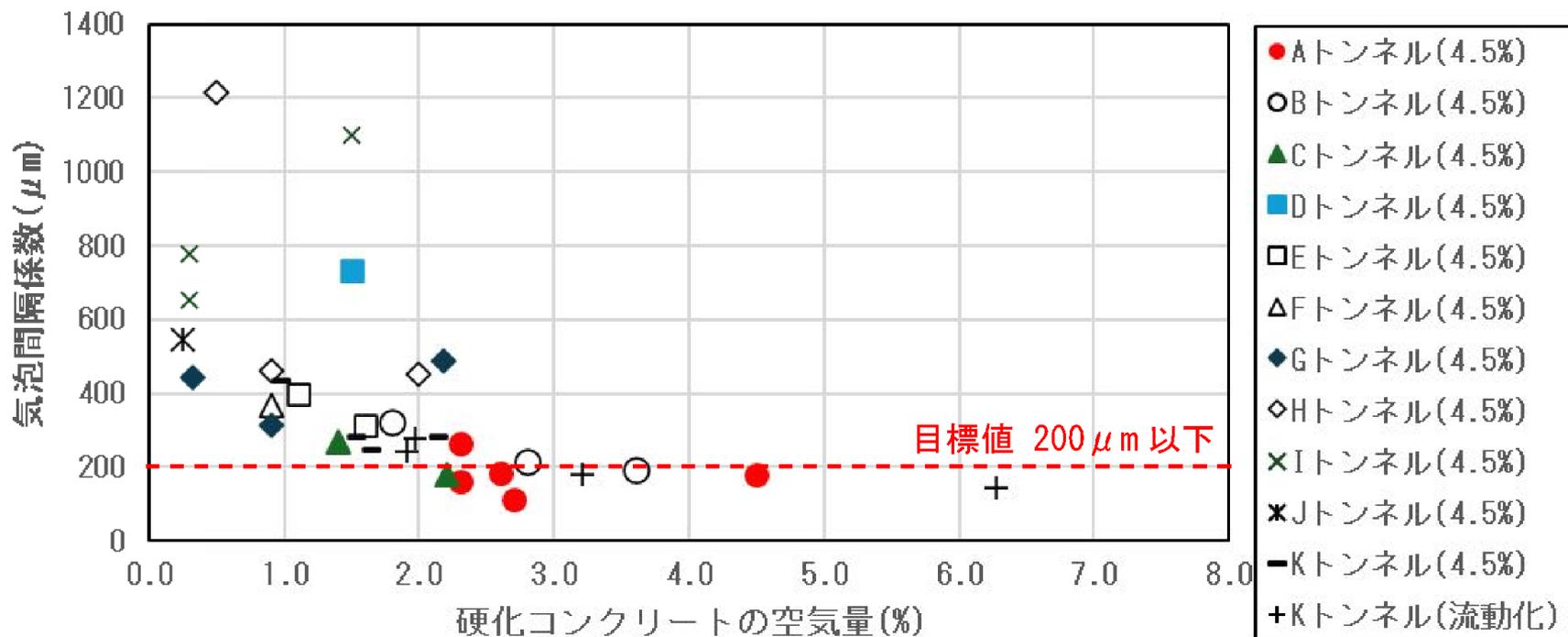


図7.2.2.2 空気量および気泡間隔係数の測定結果(目標空気量4.5%)

リニアトラバース法による硬化後の空気量，および気泡間隔係数の測定結果

- ・ 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 より下方に分類すると，SLより上方では空気量が2.0%以下のものが多く，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．

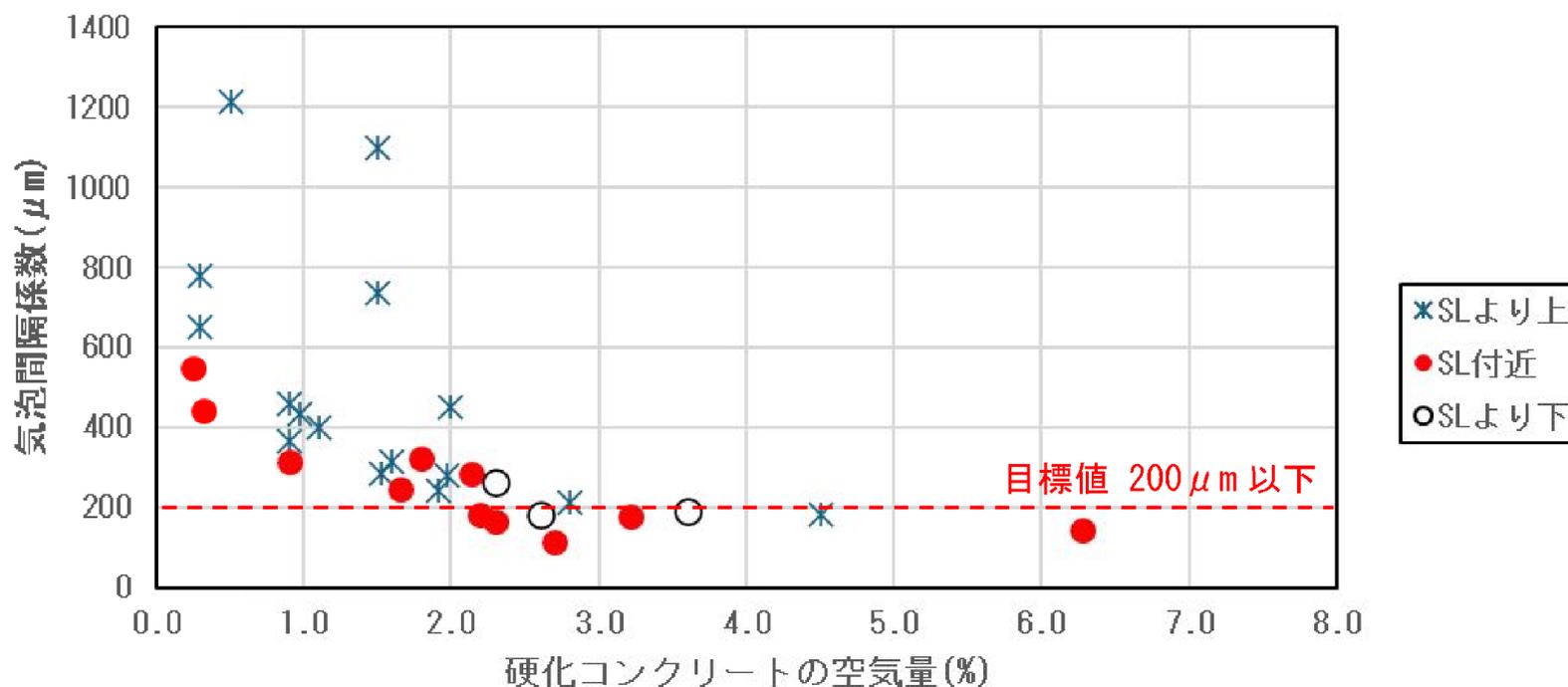


図7.2.2.3 空気量および気泡間隔係数の測定結果(目標空気量4.5%(測定位置毎に分類))

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

- ・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。
- ・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、バイブ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。

[参考文献]

- 1) 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
国土交通省 東北地方整備局 令和 3年 6 月
- 2) 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

8章 検査のあり方

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。

➤ 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」

東北地整で実施。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が第一の目的。

➤ 施工記録の維持管理部門への引継ぎ

補修履歴や不具合箇所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

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。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。

9章 生産性向上や環境負荷低減について

生産性の飛躍的向上と資源循環・環境負荷低減が社会的な要請となっている。

➤ 生産性向上

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。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。

➤ 環境負荷低減

締固めを必要としない高流動コンクリートを活用し、水和熱を低減するため、フライアッシュや石灰石微粉末の活用の促進が期待される。

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。

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

10章 おわりに

- 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。
- 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。
- 施工における基本事項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。
- 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り、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。
- 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、改善の必要性を述べた。
- 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。
- 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。