

トンネル覆工コンクリート 品質確保検討について

四国技術事務所 防災・技術課 十川 倫男
四国技術事務所 副所長 金滝 和彦
四国技術事務所 技術情報管理官 瀬戸 寿和

本検討は、トンネル覆工コンクリートの品質確保のための調査を行い、トンネル覆工コンクリートの実態を把握して品質確保における課題や対応策について検討することにより、四国地方整備局の「トンネル覆工コンクリート品質確保の手引き（案）」の作成を行うものである。

キーワード トンネル覆工、施工状況把握チェックシート、表層目視評価シート

1. はじめに

（１）検討を必要とする経緯

近年、トンネルや高架橋などで発生しているコンクリート片の落下等により、コンクリート構造物の安全性への社会的関心が高まっている。

そのため、コンクリート構造物の長期保証の取組みにおいてコンクリート構造物の施工方法、管理方法等のフィードバック（PDCAサイクル）により、良好なコンクリート構造物（本検討では「トンネル覆工コンクリート」）の構築を図る必要がある。

なお、コンクリート構造物の品質確保を目的とした「手引き（案）」の先行事例としては、東北地方整備局作成の「コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）トンネル覆工コンクリート編（H28年5月）」、山口県建設建築部が作成した「コンクリート構造物品質確保ガイド（H28年4月）」等が挙げられる。

（２）検討方針・概要

四国地整管内のトンネル点検・診断結果およびトンネル修繕実績から現状を把握し、その結果からトンネル覆工コンクリートの劣化要因等を現場状況から整理・分析を行い、トンネル覆工コンクリートの品質確保を図るための留意点等を整理する。

また、モデル工事として、「覆工コンクリート施工状況把握チェックシートと目視評価の試行」により施工中の香川河川国道事務所管内「新猪ノ鼻トンネル工事」に関して品質調査および施工業者ヒアリング等を行い、四国地整版の「トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）」の作成を図る。

2. 覆工コンクリートの変状調査結果の整理・検討

（１）覆工コンクリートの現状把握・変状の特徴

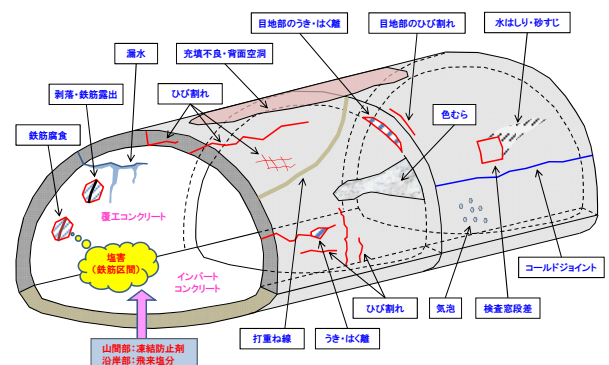
1）整理対象トンネル

整理対象は、四国地整管内のNATM工法により施工され、定期点検要領¹⁾で点検実績を有するトンネル（59トンネル）とした。

2）覆工コンクリートの変状の特徴

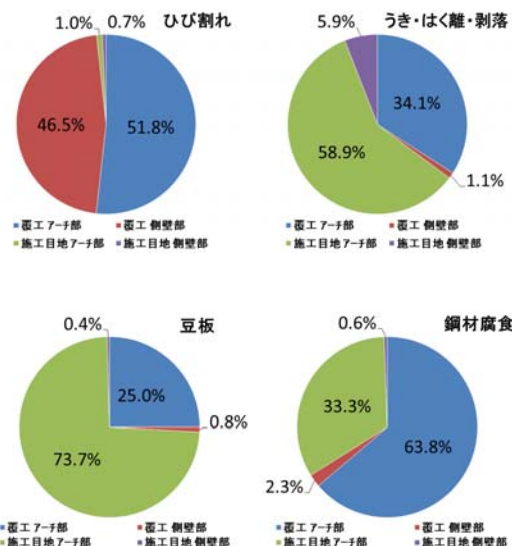
覆工コンクリートに発生している変状は、「ひび割れ」及び「うき・はく離・剥落」が多い。「うき・はく離・剥落」は、施工目地部に発生している割合が過半数を占めているとともに、特にアーチ部に多い。

「ひび割れ」は、覆工部（施工目地部を除く部分）に発生している割合が過半数を占めているとともに、アーチ部に多い。



図ー１ トンネル覆工コンクリートに発生しやすい不具合や変状

以上のことから、直ちに第三者被害につながる可能性の高い「うき・はく離・剥落」と、進展すれば「うき・はく離・剥落」につながる可能性の高い「ひび割れ」の発生を抑制する必要がある。

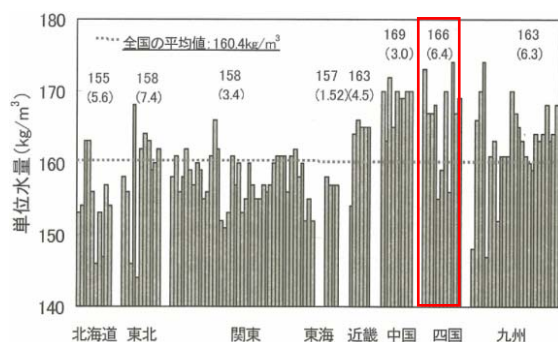


図－2 覆工コンクリートにおける変状発生箇所の割合

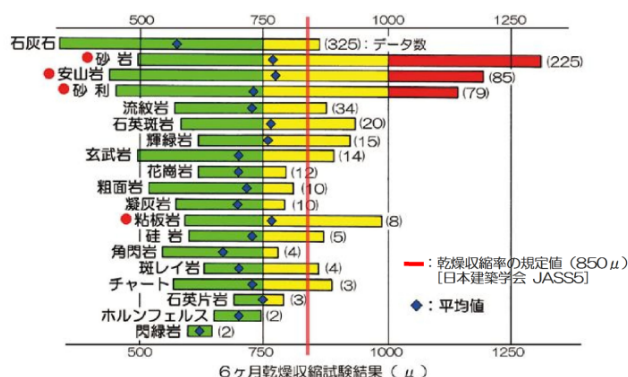
3. 骨材の違いによる影響

図－3は、全国の生コンクリート工場を対象とした生コンクリート規格が24-8-20Nの場合における単位水量の調査結果であり、粗骨材として砕石、細骨材として砕砂や海砂を使用している西日本の地域が大きい傾向にある。

また、図－4は、全国の生コンクリート工場における、骨材の種別とコンクリートの乾燥収縮試験結果の調査結果であり、砂岩や安山岩を骨材としたコンクリートは、石灰石などの骨材と比べて、乾燥収縮量が大きい傾向にある。



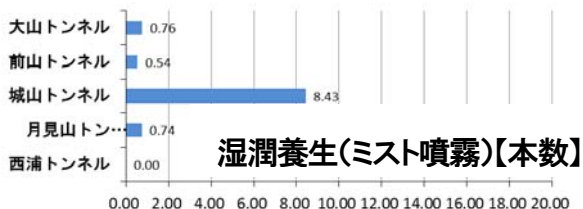
図－3 全国の生コン工場の単位水量²⁾



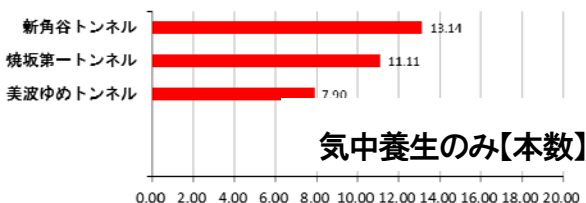
図－4 全国の生コン工場の乾燥収縮試験結果³⁾

4. 養生方法と変状との関係

コンクリートに水分を与えて湿潤状態を保つ養生実績のあるトンネルは、経年後のひび割れ発生が、比較的少ない傾向が見られた。



図－5 養生方法の違いと単位スパン当りひび割れ数との関係 [湿潤養生 (ミスト噴霧)]



図－6 養生方法の違いと単位スパン当りひび割れ数との関係 [気中養生のみ]

5. 覆工厚のばらつきと変状との関係

覆工背面の掘削や発破による凹凸により生じる覆工厚のばらつきと、ひび割れ発生との関係については、明確な相関が見られなかった。

6. 坑口部の変状の実態

飛来塩分及び凍結防止剤の影響を受けると考えられるトンネル (20トンネル) について、坑口部の変状の実態を整理した結果、塩害が原因であると特定できる変状は認められなかった。しかし、外気の影響 (温度変化、乾燥収縮等) を受けやすい坑口部は有筋区間で、比較的ひび割れが多い傾向にあり、今後、ひび割れからの劣化因子 (塩化物イオン) の侵入で、鉄筋腐食による被りコンクリートのうき・はく離・剥落が生じる危険性が高く、注意を要する。

7. 品質確保モデル工事試行事例調査

(1) 試行工事における品質確保手法の有効性評価

試行工事 (新猪ノ鼻トンネル) では、東北地整版を基本とした「表層目視評価シート」と「施工状況把握チェックシート」による品質確保手法が実施されており、その試行結果から同手法の有効性について評価を行った。図－7は、試行工事での代表的な表層目視評価点の推移

であるが、試行工事では7項目全ての評価項目において15点以上の高水準を維持している。同工事では「表層目視評価シート」により原因の抽出を行い、「施工状況把握チェックシート」により適切な改善策の立案を実行しており、PDCAサイクルが確実に機能していることで品質の維持および向上が図られ、チェックシートを使用した品質確保手法の有効性の高いことが示されていた。

(2) 施工状況把握チェックシート

東北地整版⁴⁾は、現場での使用性を考慮して、最低限遵守すべき項目に絞り込んだチェックシートとなっているが、本検討で提案する四国地整版では、施工業者へのヒアリング結果や試行工事での実施状況及び有識者への意見聴取の結果を踏まえ、現場での使用で特に問題とならない範囲で、以下の標準チェック項目を追加した。

- ・コンクリートポンプの能力および圧送配管の良否の確認（打設時の不具合発生の防止）
- ・鉄筋かぶりの確保および鉄筋固定の確認（鉄筋かぶり不足、鉄筋の偏りの防止〔有筋区間〕）
- ・運搬時および打設時における暑中（寒中）コンクリートとしての取扱い確認（温度変化によるコンクリートの品質低下の防止）
- ・コンクリートのフレッシュ性状の良否の確認（経時変化によるコンクリートの品質低下の防止）
- ・打重ね時間の確認（コールドジョイントの防止）
- ・コンクリートのフレッシュ性状を考慮した締固め時間の確認（締固めの過不足の防止）
- ・覆工コンクリート種別（無筋、有筋）の区分を表示
- ・確認場所（現場、現場事務所）の区分を表示

表－2 施工状況把握チェックシート（四国地整版としての提案）

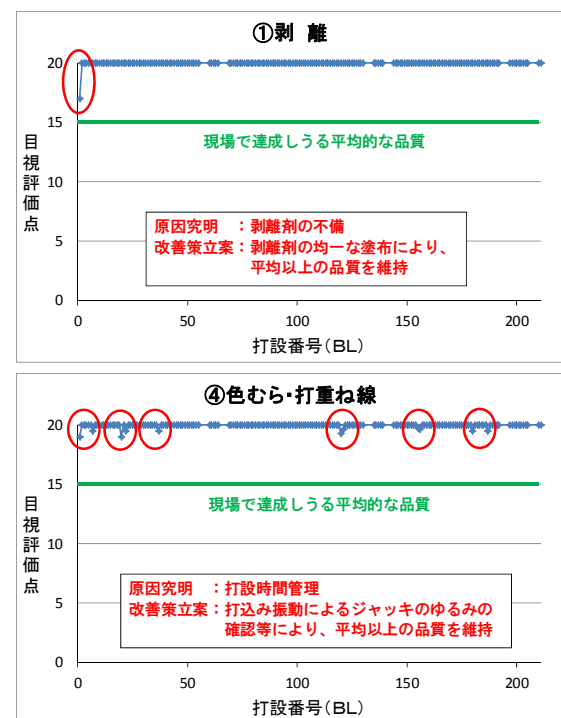
記録様式①A トンネル覆工コンクリート施工状況把握チェックシート

事 務 所 名		工 事 名		打 設 区 間		打 設 区 間 番号					
トンネル名称		打 設 区 間		備 考		区分：無筋・有筋					
設 計 者		備 考		備 考		備 考					
配 合		確認年月日		平成 年 月 日 ()		備 考					
打込み開始時刻		時 分		打込み時気内温度		℃					
打込み終了時刻		時 分		打込み作業人数		名 (予備含む)					
仮体掘削時間		時 分		打設数量 (m³)		m³/平均打設量					
施 工 区 間	チ ャ ッ ク 項 目			記 述		確 認 場 所		確 認 点 数		備 考	
	1. 打設位置に水たまりは無い、打設位置の正確性は十分か			無し		現場		20		○	
	2. 既設コンクリートのラップ部に、セントルの過度の押上りによるひび割れは無い			無し		現場		20		○	
	3. 型枠の設置場所は、適切に良好な状態で不適切な状態は無い			無し		現場		20		○	
	4. 防水シートのたるみは適当か（張りすぎても不適合）、剥離は無い			無し		現場		20		○	
	5. 型枠表面状況は良好か（ケレン残しは無い）、剥離は無い			無し		現場		20		○	
	6. 剥離剤の塗布状況は良好か（塗布もれやムラは無い）			無し		現場		20		○	
	7. 施工目地の固定は確実か、曲がりは無い			無し		現場		20		○	
	8. 鋼鉄型枠、セントルとセパレーター（縦断方向）に加工誤差による隙間は無い			無し		現場		20		○	
	9. ポンプの能力は適切か			良好		現場		20		○	
	10. 内部漏洩は十分か、配管に傷や漏れは無い			良好		現場		20		○	
	11. 所定の鉄筋位置が確保できているか（有筋区間）			無し		現場		20		○	
運 搬	12. 鉄筋は十分に固定されているか（有筋区間）			無し		現場		20		○	
	1. 練混ぜ時から打設終了までの時間は適切か（外気温25℃以下2.0時間以内、25℃以上1.5時間以内）			良好		現場		20		○	
	2. 暑中（寒中）コンクリートの扱いに注意しているか			良好		現場		20		○	
	3. 入庫検査結果はコンクリートの規格を満足しているか			問題なし		現場		20		○	
	4. フレッシュコンクリートの性状は良好か			良好		現場		20		○	
	5. フレッシュコンクリートの性状は低下していないか			良好		現場		20		○	
	6. 左右対称に打設している			良好		現場		20		○	
	7. 打重ね時間は適当か（外気温25℃以下2.0時間以内、25℃以上1.5時間以内）			良好		現場		20		○	
	8. コンクリート吐出口から打込み位置までの距離は1.5m以下となっている			良好		現場		20		○	
	9. コンクリートコンクリートの性状に注意しているか（練混ぜ時間と時間）			良好		現場		20		○	
	10. 6インチ以上の骨格筋は適切か（コンクリートの移動や過度な締固めを行っていない）			適当		現場		20		○	
	打 設	11. 左側面および右側面に、打込み半分の距離でコンクリートは無い			無し		現場		20		○
12. 打設口（仮養生）の閉鎖状況（締め付け）は十分な			良好		現場		20		○		
13. 3メートルのブリーディングの発生は十分に防止されているか（有筋区間）			良好		現場		20		○		
14. 締固め中にブリーディングを数回にわたって行っているか（有筋区間）			問題なし		現場		20		○		
15. 暑中（寒中）コンクリートの適切な温度対策（上昇および低下防止）がなされているか			問題なし		現場		20		○		
16. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○		
17. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○		
18. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○		
19. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○		
20. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○		
21. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○		
特 記 事 項		22. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○
	23. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	24. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	25. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	26. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	27. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	28. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	29. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	30. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	31. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	
	32. 打ち重ね時間は適切か			良好		現場		20		○	

※：特記仕様書、受注者の創意工夫、技術提案等により個別のトンネルごとに定めるものとする。

表－1 表層目視評価の基本項目

評 価 点 数	評 価 の 内 容
4	現場で使用する材料、工法および人員で達成しうる最高品質
3	現場で達成しうる平均的な品質
2	明らかに改善の余地がある状態
1	2点より劣る状態



図－7 試行工事における表層目視評価点の推移

※ 評価項目別の点数＝評価部位5箇所×各部位の評価点数（満点4）＝20点満点

表－３ 表層目視評価の基本項目（四国地整版としての提案）

評価項目	施工段階における発生原因	品質に及ぼす影響
はく離	型枠のケレン不足、剥離剤の塗布むら	表層品質（耐久性）の低下を招き、進展すればうき・はく離につながる
気泡	締固め不足	表層品質（耐久性）の低下を招き、進展すればうき・はく離につながる
水はしり・砂すじ	ブリーディング水の除去不足	局所的に耐久性が低下した部位が発生し、進展すればうき・はく離につながる
色むら・打重ね線	打重ね時間の管理不足、締固め不足	ひび割れを内在している可能性があり、進展すればうき・はく離につながる
施工目地不良	目地材の固定不足	局所的に耐久性が低下した部位が発生し、進展すればうき・はく離につながる
検査窓枠段差	検査窓の固定不足	局所的に耐久性が低下した部位が発生し、進展すればうき・はく離につながる

（３）表層目視評価の方法

施工業者へのヒアリング結果や試行工事での実施状況及び有識者への意見聴取の結果を踏まえ、表層目視評価項目については、特に過不足はないものと判断し、東北地整版⁴⁾と同様の表－３に示す６つの基本項目とした。なお、試行工事では、「ひび割れ」を評価項目として追加していたが、脱型直後の表層目視にそぐわないこと、施工段階以外の発生要因も多いことなどから、基本項目からは除外した。

（ただし、更なる品質向上を目的に、評価項目に追加して運用しても良いこととした。）

8. まとめ

① 四国地域の覆工コンクリートに発生している変状は、「ひび割れ」および「うき・はく離・剥落」が主体であり、「うき・はく離・剥落」は、施工目地部のアーチ部に多く、「ひび割れ」は、覆工部（施工目地部を除く部分）のアーチ部に多い。したがって、直ちに第三者被害につながる可能性の高い「うき・はく離・剥落」と、進展すればうき・はく離・剥落につながる「ひび割れ」の発生を抑制する必要がある。

② 覆工コンクリートの品質向上策は、材料面や施工段階で様々な手法が提案・採用されており、今後の点検等でその効果の確認を行うとともに、最新技術の動向にも注視していく必要がある。

③ 四国地域の生コンクリートは全体的に単位水量が多い傾向にあるとともに、骨材に砂岩や安山岩を使用したコンクリートは乾燥収縮量が大きい傾向にある。したがって、施工においては十分な養生管理やブリーディング水の排除などに留意する必要がある。

④ コンクリートの湿潤状態を保つ養生実績のあるトンネルは、経年後のひび割れ発生が比較的少ない傾向が見られ、覆工コンクリートの品質確保における養生の重要性が示唆された。

⑤ 試行工事での実施結果から、覆工コンクリートの品質を確保する上で、「表層目視評価シート」と「施工状況把握チェックシート」を使用した品質確保手法の有効性の高いことが示された。

⑥ 四国地整版のチェックシートは、現場での使用で特に問題とならない範囲で、基本である東北地整版⁴⁾に、施工上チェックするのが望ましいと考えられる項目を追加した。

参考文献

１）国土交通省 道路局 国道・防災課 「トンネル覆工コンクリート 定期点検要領」 平成26年6月

２）土木学会 「コンクリートライブラリー１４５ 施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針」 2016年版

３）須藤定久「コンクリートの乾燥収縮 ー地質学の立場からの考察ー GREEN Report 2011！地圏資源環境研究部門成果報告」 2011年

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）」 平成28年5月