

# 報告 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

三井 功如\*1・佐藤 和徳\*2・細田 暁\*3・寺山 雄大\*4

**要旨**：東北地方整備局では、覆工コンクリートの品質・耐久性を確保するために「品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編）」の活用を継続し、様々な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や、「気泡」を無くすために過剰な締固めが行われ本来確保すべき耐凍害性が低下するなど、「目視評価法」の課題が確認された。このため、より的確な目視評価を行うために評価項目・評価範囲の改善を提案した。また、覆工特有の打込み方法から生じる施工由来の不具合、材料分離による均質性低下や充填不良を防止するため、流動性が高いコンクリートの基本配合や試験方法等について提案し、改訂した手引きに反映した。

**キーワード**：品質確保, 目視評価法, 施工状況把握チェックシート, 流動性, 手引き

## 1. はじめに

トンネルの覆工コンクリートは、道路・鉄道・水路等の使用目的に適合し、長期間にわたって第三者被害が発生することが無いよう品質・耐久性の確保が求められる。

覆工コンクリートの構築は、セントル型枠内の狭隘な空間の中で、作業従事者が苦渋作業をしいられた状態で施工が行われる。また、天端部の打込みは、図-1に示すように吹上げ方式で打ち込まれるため、理想的な打込み・締固めが難しい。

このため、施工由来のコールドジョイント、ひびわれ、表面はく離、巻厚不足、背面空洞、施工目地部の不具合（うき・はく離・はく落）、表層品質の低下（気泡・色むら）等が発生しやすい。図-2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部位<sup>1)</sup>を示す。

このような背景のもと、国土交通省東北地方整備局（以下、東北地整と記載）では、国道45号田老第6トンネル工事（施工中の名称、工期：2013年3月から2014年10月）で覆工コンクリートの施工の基本事項の遵守を支援する手段となる「施工状況把握チェックシート」と目視評価法の具体的手段となる「表層目視評価シート」を開発し、覆工コンクリートの品質確保の取り組みに活用が開始された<sup>2)</sup>。

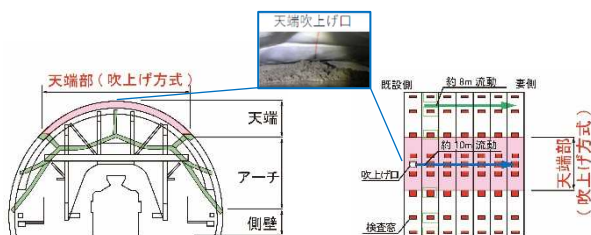


図-1 天端部の打込み方法（吹上げ方式）

その後、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）」<sup>3)</sup>（以下、手引きと記載）を策定し、東北地整発注のトンネル工事で試行を継続してきた。2021年6月には第1回改訂を実施し、それまでの試行工事の効果の分析結果を示すとともに、新たに手引きの適用範囲に凍害対策とASR対策を加えている<sup>4)</sup>。

現在まで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るなど、評価方法の一部に改善を要する状況が明らかになってきた。

例えば、手引き発行後に完成した覆工コンクリートを対象に、東北地整が表層品質を調査した一部のトンネルにおいて、覆工コンクリートの側壁部に残存する硬化後の空気量が目標空気量に達していない場合があり、本来確保すべき耐凍害性が低下する場合があることが明らかになった。この原因は、「気泡」の目視評価点の向上を図るために、側壁部で過剰な締固めが行われたことで、エントレインドエアが喪失したためと推定された。

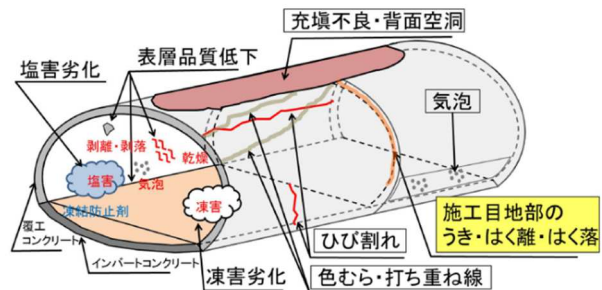


図-2 覆工の劣化しやすい部位と不具合の発生部位<sup>1)</sup>

\*1 西松建設（株）北日本支社 土木技術部（正会員）

\*2 日本大学 工学部 土木工学科 上席客員研究員 博士（工学）

\*3 横浜国立大学 大学院都市イノベーション研究院 教授 博士（工学）（正会員）

\*4 国土交通省 東北地方整備局 道路部 道路工事課

また、「色むら・打重ね線」の項目について、「色むら」と「打重ね」の2つの現象があるにもかかわらず、一つの評価項目としてまとめており、評価が難しいなどの課題が実務者から提起された。

さらに、従来から行われている覆工特有のコンクリートの流動距離が長い打込み方法が原因で発生する材料分離やブリーディングの排出不良等による均質性の低下、充填不良および施工目地部の不具合は、手引き発行後においても一部のトンネルで報告されているため、配合の改善による品質確保についても課題となっていることが明らかとなった。

本稿は、目視評価法において的確な目視評価を行うため、評価項目・評価範囲の改善について提案した内容と、施工由来が原因で発生する不具合を防止する目的で、コンクリート配合からのアプローチを行い、流動性が高いコンクリートの基本配合と試験方法等について提案した内容について報告する。

## 2. 目視評価法の改善

### 2.1 改善の背景

#### (1) 試行現場からの改善要望

東北地整では手引き発行後から表-1 に示すとおり、2022年度までにトンネル工事48件、トンネル数53件の工事を実施しており、目視評価法に対する多くの知見を蓄積してきた。

表-1 手引き発行後の東北地整のトンネル数

年度	工事件数	トンネル数
2016	7	7
2017	12	15
2018	12	14
2019	3	3
2020	5	5
2021	4	4
2022	5	5
計	48	53

目視評価法を活用する現場から、評価項目の名称と評価の着目点がわかりづらい、評価項目によっては着目する不具合の現象ごとに評価する部位を適切に設定する方が良い等の改善要望が挙がったため、改善することとした。

### (2) 硬化後の覆工コンクリートの耐凍害性の実態

トンネル覆工コンクリートのうち、特にSL下の側壁部(図-3)は、締固め作業によりトンネル内空側に気泡が集まるため、「気泡」の評価点の向上が難しい箇所である。この部位は、「気泡」の評価点を向上するために、締固め時間が長くなる傾向にあり、その結果が材料分離を助長させているとともに、エントレインドエアの喪失により耐凍害性が低下している可能性が指摘された。

手引き発行後に完成した覆工コンクリートの耐凍害性を確認するため、東北地整が行った硬化コンクリート中の空気量の測定結果では、図-4に示すとおり、「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)」<sup>5)</sup>に示される「耐凍害性に有効な硬化コンクリート中の空気量が3%以上」を確保できていない覆工が多く確認された。このため、「気泡」の評価法の改善が必要となった。

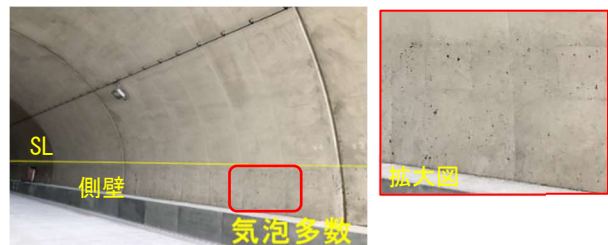


図-3 側壁(SL下)の気泡の発生状況

### 2.2 各評価項目の改善内容

覆工コンクリートの目視評価法の改善を行うため、東北地整を主体とした著者らを含む改訂委員会が立ち上がり、産官学のメンバーで議論が行われた。その結果、2023年3月に第3回目の手引き改訂が行われ、目視評価法の改善が行われ、評価項目数は従来の6項目から7項目に変更された。以下に評価項目ごとの改善内容を示す。

#### (1) はく離

目視評価を行う時点での「はく離」は覆工コンクリートの表面のはく離を評価することから、評価項目の名称を「表面はく離」に変更した(図-5)。

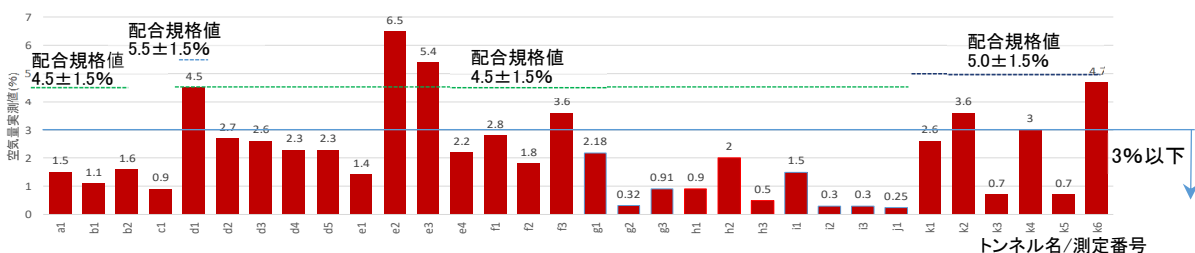


図-4 実覆工の硬化コンクリートの空気量

	4点	3点	2点	1点
① 表面はく離				
	無し	50cm四方程度の大ききで見られる	1㎡四方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

図-5 表面はく離の目視評価グレーディング<sup>1)</sup>

## (2) 気泡

「気泡」の評価部位は、覆工コンクリートの左右の側壁、左右のアーチ部、天端部の全ての部位を評価していたが、アーチ部のみを評価することに変更した。側壁の気泡を除去するために締め時間が長くなることで材料分離を助長するとともに、エントレインドエアの喪失により耐凍害性が低下することが分かってきたため、側壁を評価部位から除外することとし、気泡の発生を容認することにしたものである。ただし、側壁は凍結防止剤による塩害リスクが高い部位であるため、緻密性の向上を目的に、長期養生を推奨することにした。また、天端部は締めめによりエアが上方に移動し、内空側には気泡が発生しにくいいため評価部位から除外した(図-6)。

	4点	3点	2点	1点
② 気泡 (アーチ部の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ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる

図-6 気泡の目視評価グレーディング<sup>1)</sup>

## (3) 色むら・打重ね線

「色むら・打重ね線」は、図-7および図-8に示すように異なる現象を一つの評価項目としているため、評価するのが難しいとの改善要望があったため、「色むら」と「打重ね線」に評価項目を分けることとし、色むらの評価部位は天端部のみ、打重ね線の評価部位は側壁からアーチ部に変更した(図-9)。

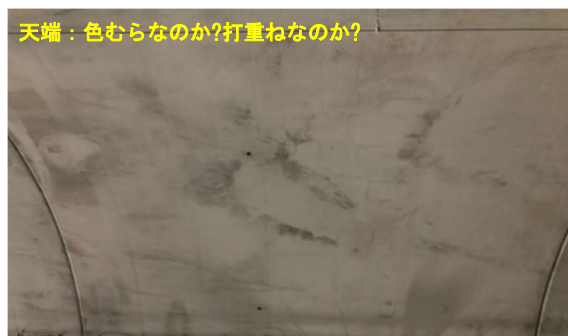


図-7 色むらと打重ね線の評価が難しい事例1



図-8 色むらと打重ね線の評価が難しい事例2

	4点	3点	2点	1点
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程度に見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる
⑤ 打重ね線を評価(側壁・アーチ)				
	規則的(50cm間隔で水平な打重ね線)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程度に見られる	不規則な打重ね線が調査対象範囲の1/2程度に見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる

図-9 色むらと打重ね線の目視評価グレーディング<sup>1)</sup>

## (4) 施工目地不良

「施工目地不良」は、他の評価項目と同様に、着眼点を明確化するために、「曲がり」「ひび割れ」「角かけ」「ノロ漏れ」と評価基準内に具体的な事象を記載した(図-10)。

	4点	3点	2点	1点
⑥ 施工目地不良				
	無し	側壁の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

図-10 施工目地不良の目視評価グレーディング<sup>1)</sup>

## (5) 検査窓枠段差

「検査窓枠段差」は、施工時の事象として段差によりノロ漏れが発生するため、評価項目を「ノロ漏れ」に変更した。また、ノロ漏れが発生する部位は、セントル型枠のヒンジや箱抜き型枠の周囲も該当するため、評価部位を加えて、評価項目の名称を「ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ」に変更した(図-11)。

	4点	3点	2点	1点
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箇所程度見られる	3箇所を超える箇所に発生 段差がある

図-11 ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れの目視評価グレーディング<sup>1)</sup>

## 2.3 改善の結果

以上の評価項目を改訂したトンネル覆工コンクリート表層目視評価の方法を図-12に、表層目視評価シートの改訂箇所を図-13に示す。

目視調査項目		項目	表面剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色もら	打重ね線	施工目地不良	ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ	点数計
記号		h	a	s	i	u	m	d		
位置	左側壁									
	左アーチ									
	天端 <sup>注</sup>									
	右アーチ									
	右側壁									
点数平均										

・参考文献<sup>1)</sup>表6-4の目視評価項目を抽出し、改訂箇所を赤文字・赤囲いにして掲載

図-13 表層目視評価シートの改訂箇所<sup>1)</sup>

### 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	評価点	原因				Keyワード	不適合時、どんな点を改善させるべきか？	
			4	3	2	1		改善策	
① 表面はく離	脱型直後から初期養生開始前	無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m <sup>2</sup> 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	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 締めの方法 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 ・天端仕上げ口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めの方法を改善する ・型枠脱型時、養生温度を改善する	
② 気泡(アーチの1.5m×10m範囲で調査)	脱型直後から初期養生開始前	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以上に20%程度見られる	品質-1 打込み-1 打込み-11 打込み-2 打込み-3	品質-1 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	・エア量、スランピングが短絡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(余裕り、箱抜きの有無考慮)	
③ 水はしり・砂すじ	脱型直後から初期養生開始前	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	品質-1 打込み-2 打込み-4,5,10 打込み-7,12	品質-1 1層の打込み高さ 打込み・締めの方法 フリーディング水等の排出	・バイブレータによる締めの方法・締め時間等を改善する(かけ過ぎは避ける) ・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 ・脱型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(特にスランピング大の場合発生) ・急速な打込みをやめて、1層の高さを50cm以下に押さえる(フ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めの方法・締め時間を改善する(かけ過ぎは避ける) ・排出方法(ヒンティング型枠等の使用)や排出速度を改善する	
④ 色もら(天端のみ評価)	脱型直後から初期養生開始前	ほぼ無し	天端の1/10程度に見られる	天端の1/2程度に見られる	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 運搬-1 フリーディング水等の排出 締めの方法	・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にし、中断時間が発生しないように打込む ・排出方法(ヒンティング型枠等の使用)や排出速度を改善する ・天端のコンクリート締めの方法を改善する	
⑤ 打重ね線(側壁・アーチを評価)	脱型直後から初期養生開始前	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で見られる	準備-11 打込み-2,3 運搬-1 品質-1 打込み-11	準備-11 打込み-2,3 運搬-1 品質-1 打重ね時間	・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運量を一層に投入する ・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 ・規格外の生コンは廃棄する ・(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	
⑥ 施工目地不良	脱型直後から初期養生開始前	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1/2程度に曲がり・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-2,3 打込み-7,12 打込み-13	準備-1 脱枠底面 型枠の設置・脱枠・移動の管理 目地材・固定型枠の固定不足 1層の打込み高さ フリーディング水等の排出 締めの方法	・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) ・不平等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めを行う ・排出方法(ヒンティング型枠等の使用)や排出速度を改善する	
⑦ ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ	脱型直後から初期養生開始前	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	準備-9 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 ・脱型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、検査窓周囲に軸寸(例:長さ50cm、厚さ1mm、幅6mm)を設置	

※評価点は中間点も可とする。

・参考文献<sup>1)</sup>表6-3の改訂箇所を赤文字にして掲載

図-12 トンネル覆工コンクリートの表層目視評価の方法<sup>1)</sup>(7項目)

## 3. 施工由来の不具合を防止する方法

### 3.1 改善の背景

#### (1) 施工目地部の不具合の要因

トンネル定期点検結果で指摘される不具合は、施工目地部(吹上げ口から流動した先端の目地部)のうき・はく離・はく落の発生頻度が高いことが確認されている<sup>6)</sup>。施工目地部に発生する不具合の原因は、スライドセントルのセットや脱型時のジャッキアップ操作により、施工目地部のラップ型枠が、まだ十分に強度が発現していない打込み済み覆工を押し上げてひび割れを発生させるものと、覆工コンクリート特有の打込み方法によりコンクリートの流動距離が長くなり、材料分離により均質性が低下し、施工目地部まで十分に粗骨材が運搬されず、脆弱なコンクリートが打ち込まれていることの二つと推定される。

施工目地部の均質性の低下は、実覆工を模した模擬型枠に、国土交通省で標準となるスランピング15cm、粗骨材最大寸法40mmのコンクリートを打込んだ試験で確認されている。この試験では、試験体の打込み部、中央部、妻部(施工目地部を想定)でコアサンプリングを行い、粗骨材分布量や密度を比較した結果、コンクリートが妻部

まで流動する過程で粗骨材が沈降し、妻部まで十分に粗骨材を連行できておらず、均質性が低下していることが確認されている<sup>7)</sup>。

### (2) 覆工コンクリートの配合の実態

覆工コンクリートのスランプは、締固め作業性や充填性を確保するために、従来から受注者による承諾行為により、スランプを上げる方向で配合変更が行われてきたのが実態である。

近年の覆工コンクリートの使用配合の実態を把握するため、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」(2018-2022)<sup>8)</sup>で収集したデータを活用し、2013年から2021年に完成した東北地整発注のトンネル工事の全数ではないものの、収集することができた覆工コンクリートの配合の調査結果を図-14、15に示す。約43%の工事でスランプが変更され、約89%の工事で粗骨材最大寸法が変更されていることが解る。特に鉄筋区間では流動性の高いコンクリートに変更されていることが分かる。

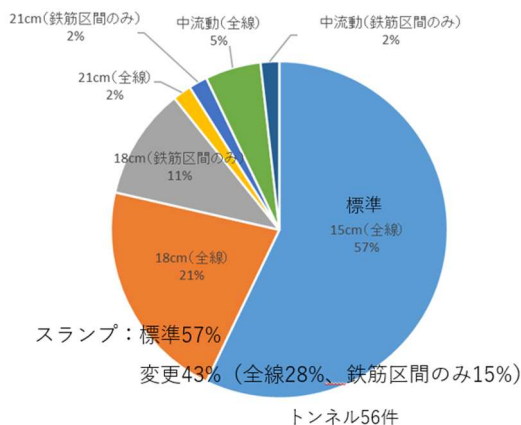


図-14 スランプの採用実績

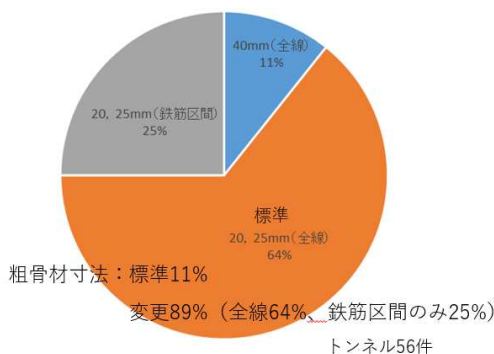


図-15 粗骨材最大寸法の採用実績

### 3.2 流動性の高いコンクリートの提案

東北地整で使用されている覆工コンクリートの配合の実態を踏まえ、著者らを含む手引き改訂委員会で流動性の高いコンクリートの適用について議論を行った。その結果、手引きの第3回改訂においては、受注者が施工地域の施工条件やコンクリート材料等の条件を勘案して、使用するコンクリートの選択肢を増やすことができるよう、流動性の高いコンクリートを使用する場合の基本配合を示すとともに、配合決定や施工管理に必要な試験項目等の留意点を示すことにした。

#### (1) 配合設計の考え方

東北地方の覆工コンクリートの配合設計では、施工地域の凍害環境に応じて凍害対策に留意する必要がある。また、土木工事共通仕様書で標準とされているスランプ15cmのコンクリートよりも流動性の高いコンクリートを採用する場合は、配合決定で留意すべき事項があるため、第3回改訂の手引きでは配合設計の章を新設し、以下の留意点を記載している。

表-2 に流動性の高いコンクリートを採用する場合の基本配合を示す。流動性の高いコンクリートを採用する場合には、側壁、アーチ部、天端部のそれぞれの施工条件に応じて、流動性、材料分離抵抗性、耐凍害性に配慮した配合としなければならないこととした。また、室内試験や模擬型枠を用いた試験施工を実施して、流動性、材料分離抵抗性、耐凍害性および施工管理上必要となる締固め時間の確認を行うことを推奨した。

#### (2) 試験項目

流動性の高いコンクリート配合を決定するために実施する室内試験での確認項目は、表-3 に示す通りとした。

表-3 室内試験での確認項目 (案)<sup>1)</sup>

項目	内容
単位水量	練混ぜ時の単位水量
スランプ	練混ぜ時のスランプ
スランプの経時変化	練混ぜ後、30分、60分、90分、120分
空気量	練混ぜ時の空気量
空気量の経時変化	練混ぜ後、30分、60分、90分、120分
配合の決定	練混ぜから、アジテータ車1台の現地到着見込み時間、打込み完了見込み時間のスランプと空気量の減少量が施工可能な範囲に入るように、練混ぜ時のスランプと空気量の上越し量を決めて配合を決定
圧縮強度	決定した配合による28日強度

・参考文献1) 表5-2の備考欄を削除して掲載

表-2 流動性が高いコンクリートを使用する場合の基本配合<sup>1)</sup>

呼び強度	スランプ	粗骨材最大寸法	最小セメント使用量	水セメント比	目標空気量
18以上	18±2.5～21±1.5cm	20もしくは25mm	270kg	60%以下	※東北地整の凍害対策種別による

・参考文献1) 表5-1の目標空気量欄の文章に加筆して掲載

表-4 模擬型枠による試験施工での確認項目 (案) 1)

項目	内容	凍害環境*		備考
		厳しい	それほど 厳しくない	
受け入れ 検査	現場到着見込み時間でのスランプ、空気量、単位水量が決定配合による規格値範囲内であることを確認	○	○	運搬時間は、実施工と同等の時間を確保すること
流動性	打設口と同等位置から層厚50cmになるまで打込み、特別な作業をしなくても5m先までほぼ水平に流動することを確認	○	○	ポンプ配管は実施工と同等の圧送状態を確保すること
締固め時間	1層目15秒、2層目10秒、3層目5秒で締固め、硬化後コア抜き、巻き込みエアと粗骨材の材料分離の状態から適切な締固め時間を決定	○	○	各層の打重ねは、実施工と同等の時間をあけること
硬化コンクリート中の空気量	硬化後、締固め時間毎にコアを抜き、リニアトラバース法により、気泡径分布、AE剤により連行した総空気量、気泡間隔係数をもとめ、総空気量2%以上、気泡間隔係数200μm以下であることを確認	○	整備局担当課と打合せにより決定する	リニアトラバース法と同等性能の非破壊試験等の確認でもよい
配合の決定	特別な作業をしなくても5m先までほぼ水平に流動し、巻き込みエアもなく、材料分離もない適切な締固め時間において、硬化コンクリート中の空気量が規定の範囲内に入っていることを確認	○	○	
圧縮強度	決定した配合による 28 日強度	○	○	

※凍害環境の目安

厳しい：冬期間の日平均気温が0℃を下回る地域（凍害区分2、3の地域）

それほど厳しくない：冬期間の日平均気温が0℃を上回る地域（凍害区分1の地域）

・参考文献 1) 表 5-3 の項目欄の強度を圧縮強度に修正して掲載

室内試験で決定した配合の流動性、材料分離抵抗性、耐凍害性および施工管理上必要となる指標等の確認を行う目的で実施する模擬型枠による試験施工の確認項目は、表-4 に示す通りとした。なお、耐凍害性の確認については、「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)」<sup>5)</sup>に従い、冬期間の日平均気温 0℃を境として、硬化コンクリート中の空気量測定について必要の有無を定めた。

#### 4. まとめ

覆工コンクリートの目視評価法の活用を継続してきた中で多くの知見が蓄積され、現場から目視評価法に対する改善要望が挙げられたため、適切な評価方法への改善および評価項目ごとの着眼点を明確にする必要性が生じ、評価項目・評価範囲の改善を提案した。また、覆工特有の打込み方法から生じる施工由来の不具合や材料分離による均質性の低下および充填不良を防止するため、流動性の高いコンクリートを使用する場合の基本配合や配合決定のための試験方法について提案した。2016年に手引きの初版が発行されてから、覆工コンクリートの品質は「化粧巻き」の概念で施工してきた時代に比べて格段に施工由来の不具合が減少し、品質が確保されてきている。しかし、一部の覆工コンクリートでは、目視評価法を活用した施工方法の逐次改善による品質確保の重要性に対する意識不足により、各スパンの同様の部位に同様の不具合が連続して発生している事例も確認されている。

このように、手引きが策定され、改訂されたからと言って、必ずしも全ての覆工コンクリートの品質・耐久性が確保されるわけではない。このため、今後も手引きの内容や目視評価法等の活用時の現場からの改善要望に耳を傾けるとともに、完成後の覆工コンクリートの調査を継続し、その実態に応じて手引きや目視評価法等の改善

を行っていく必要があると考える。

謝辞：目視評価法の改善の議論において、土木学会 356 委員会の各委員、試行現場の発注者や受注者に貴重なご意見をいただきました。深く感謝いたします。

#### 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, 2023.3
- 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組みと表層品質の評価, 土木学会コンクリート工学報告集, 第24巻, I-4号, pp.1-9, 2014.12
- 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), 2016.5
- 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) 2021年改訂版, 2021.6
- 5) 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, pp.17, 2021.6
- 6) 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
- 7) 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, 土木学会全国大会年次学術講演会(Web), VI-974, pp.3, 2023
- 8) 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, pp.218-235, 2022