

5. トンネル覆工コンクリートの品質確保

5.1 施工の基本事項の遵守

施工の基本事項を遵守するとともに、均質かつ密実で一体性のある覆工コンクリートとなるように、「施工状況把握チェックシート」および「表層目視評価チェックシート」を活用して、品質確保に取り組む。

- (1) 施工の基本事項については、「土木工事共通仕様書（案） 令和6年4月京都府」において覆工コンクリートの施工について、以下のとおり規定されている。（要約）
- 1) コンクリートが材料分離を起こさないようにするとともに、十分に締め固める。
 - 2) 打ち込んだコンクリートが必要な強度に達するまで型枠を取り外さない。
 - 3) 硬化に必要な温度条件を保ち、有害な作用の影響がないように養生を行う。
- (2) 型枠の脱型後、「表層目視評価チェックシート」により覆工コンクリートの品質を評価し、必要に応じて施工時の改善策をまとめて、次の施工段階に反映する。覆工コンクリートの施工において、「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を組み合わせ、覆工コンクリートの打設工程毎の施工における改善事項を明確化し、次の打設ブロックの施工を改善するためのP D C Aサイクルの構築により、施工の基本事項を遵守し、覆工コンクリートの品質確保を図る。
- (3) うき・はく離および将来的にこれらに進展する可能性のある有害なひび割れは、利用者被害の防止のみならず、道路インフラの維持管理費の軽減の観点からも発生を抑止する必要がある。したがって、施工の基本事項を遵守するとともに、有害なひび割れの防止対策を適切に実施し、均質かつ密実で一体性のある覆工コンクリートを目指す。なお、一時的な補修にとどまることなく、長期的な品質確保を検討し修繕することが望ましい。
- (4) 今後の発生要因を分析するために、骨材の収縮率やブリーディング特性などの試験を実施し、記録することが望ましい。骨材の収縮量やブリーディング特性を把握しておけば、変状の要因が材料や環境面に起因するものか、施工の不具合に起因するものか、後から分析が可能となる。
- (5) 現行基準の施工技術では、技術の発展により、覆工コンクリートの充填不良、背面空洞は、発生しにくくなっているが、やむを得ず施工中に未充填を確認した際は、供用前に空洞充填工を実施すること。

5.2 品質確保チェックシート

「施工状況把握チェックシート」および「表層目視評価シート」は、発注者の監督職員と施工者が双方で確認を行い、品質確保に取り組むものである。

5.2.1 品質確保チェックシートを活用した品質確保

(1) 「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）令和5年3月月国土交通省東北地方整備局」においては、品質確保チェックシート（「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」）を活用し、施工の基本事項を遵守したPDC Aサイクルを構築することで、施工段階における品質確保を行うための手法が提示されている。



図 5.2.1 品質確保チェックシートを利用した品質確保の流れ

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）
国土交通省四国地方整備局 令和2年3月に加筆

5.2.2 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は、トンネル特有の施工条件も勘案して、施工の各段階における施工時に留意すべき事項をチェック項目として抽出したシートである。チェック項目を施工計画の段階で確認し、施工の事前準備に反映させて、基本事項を遵守した施工を行うことが重要である。

(2) 活用にあたっての留意事項

- 1) 各項目をなぜチェックするのか、また、その項目が覆工コンクリートの出来映えにどのように影響するのかを十分に理解することが重要である。これらを理解するために、チェックシートには各チェック項目について、「なぜ（それを）チェックするのか」の欄にチェックする理由を記載することとしている。
- 2) 各項目が覆工コンクリートの出来映えにどのように影響するのかを「出来映えの影響」の欄に示している。「出来映えの影響」の項目は表層目視評価の判定項目と整合させて、「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」の関連が分かるようにしている。
- 3) 施工時において、発注者の監督職員と施工者が双方でチェックすることにより、改善すべき事項が明確になるとともに、共通認識を図ることができる。
- 4) 施工者は覆工コンクリートの施工計画書を作成する際に、このチェックシートを参考として適切な準備を行う必要がある。
- 5) 「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を併用することにより、施工時の改善点が明確になり、次の施工段階における不具合を解消もしくは抑制することが可能となる。
- 6) 打設時間管理表による運搬時間や打重ね時間の管理など、項目によっては「施工状況把握チェックシート」と他の管理資料との併用によりチェックを行う。
- 7) 確認レ点の欄は、現場で確認した事項と、持ち帰った資料等により事務所内などで確認した事項が区分できるようにしている。
- 8) 覆工コンクリートの品質を確保するためのチェック項目について、特記仕様書の記載事項、施工者の創意工夫や技術提案などによるものは、「特記事項の例」の欄に記載することとしている。
- 9) 本手引き（案）に掲載している「施工状況把握チェックシート」のチェック項目はあくまで一例であり、地域の特性、現場条件、環境条件や材料特性などを勘案し、適宜変更および追加するなどして使用することが望ましい。

事務所名		工事名	
トンネル名称		打設位置	打設番号: 区分: 無筋・有筋
受注者		確認者	
配合		確認年月日	令和 年 月 日 ()
打込み開始時刻	時 分	打込み時坑内温度	℃
打込み終了時刻	時 分	打込み作業人員	名 バイブ台数 台(予備含む)
休憩時間	時 分~ 時 分	打設数量 (m)	m 平均打設量 m/分

m

出来映えの影響						第三者被害防止に関する事項
表層目視評価の項目						
はく離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら・打重ね線	施工目地不良	検査窓枠・段差	

施工段階	チェック項目	記述	確認地点		なぜ(それを)チェックするか	①	②	③	④	⑤	⑥
			現場	事務所							
準備工	1. 打設底盤に水まわりは無いが、打設底盤の締固めは十分か				・コンクリートの品質低下、不等沈下によるひび割れを防止するため						
	2. 既設コンクリートのラップ部に、セントルの過度の押し上げによるひび割れはないか				・半月状ひび割れがうきから剥落となる危険性があり、第三者被害を防止するため						
	3. 型枠の設置場所は、数均し良好な地盤で不当沈下の懸念はないか					・不等沈下による有害ひび割れ(半月状・縦断ひび割れ等)を防止するため					
	4. 防水シートのたるみは適当か(張りすぎても不適合)、剥離はないか					・張りすぎると生じやすい背面空間、破損による漏水を防止するため					
	5. 型枠表面状況は良好か(ケレン残しは無い)					・型枠表面の凹凸による欠陥(凹陥等)を防止するため					
	6. 剥離剤の塗布状況は良好か(塗布もれやムラは無い)					・剥離剤の塗布不足による型枠からの剥離を防止するため					
	7. 施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか					・目地材の固定不良による目地材の脱落を防止するため					
	8. 箱抜き型枠、セントルヒンジ部(縦断方向)に加工誤差による隙間は無い					・隙間によるコンクリートの漏れを防止するため					
	9. ポンプの能力は適切か					・吐出圧力不足による閉塞、打設速度の低下を防止するため					
	10. 内部清掃は十分か、配管に傷や潰みはないか					・内空断面不足によるコンクリートの閉塞、配管の破損を防止するため					
	11. 所定の鉄筋張りが確保できているか(有筋区間)					・劣化因子(塩分等)の侵入を防ぎ、鉄筋の腐食発生を防止するため					
	12. 鉄筋は十分に固定されているか(有筋区間)					・打設時に鉄筋が移動して、擁り不足や鉄筋の偏りが発生することを防止するため					
運搬	1. 運搬してから打設終了までの時間は適切か(外気温20℃以下2.0時間以内、20℃以上1.0時間以内)				・材料分離、スランプロス、空気量の変動などによる施工性の低下を防止するため						
	2. 暑中(寒中) コンクリートの扱いは十分されているか				・色むら、打重ね線、コールドジョイント等の発生によるコンクリート密実性の低下を防止するため						
品質	1. 受入検査結果はコンクリートの規格を満足しているか				・所定の品質が確保されたコンクリート以外の受け入れを防止するため(規格外時は原因の追突)						
	2. フレッシュコンクリートの性状は低下していないか				・経時変化により所定の品質から外れたコンクリートの受け入れを防止するため						
打設	1. 左右対称に打設しているか				・偏重による型枠変形や押出しによる施工目地部への不具合発生を防止するため						
	2. 打重ね時間は適当か(外気温25℃以下2.5時間以内、25℃以上2.0時間以内)				・色むら、打重ね線、コールドジョイント等の発生によるコンクリート密実性の低下を防止するため						
	3. コンクリート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				・高すぎると生じやすい背面空間、破損による漏水を防止するため						
	4. コンクリートの一層あたりの打込み高さは50cm以下か				・高すぎると生じやすい背面空間、破損による漏水を防止するため						
	5. フレッシュコンクリートの性状に応じた締固め時間としているか(5秒~15秒)				・締固め不足によるコンクリートの強度低下を防止するため						
	6. バイブレータの使用状況は適切か(コンクリートの横移動や過度な締固めを行っていない)				・材料分離、粗骨材の沈降、フリーチンク発生時の助長を防止するため						
	7. 天端の吹上げ口周辺に、打込み当初の残骨コンクリートはないか				・打重ね線、うき、はく離、剥離等の不具合の発生を防止するため						
	8. 打設口(検査窓)の開閉状況(締め付け)は十分か				・段差の発生、ノロ漏れによる砂すじの発生、コンクリート密実性の低下を防止するため						
	9. つま部のブリーディングの排出は十分に行っているか				・施工目地部の強度低下による早期劣化、うき、はく離、剥離の発生を防止するため						
	10. 締固め中にバイブレータを鉄筋に接触させていないか(有筋区間)				・鉄筋とコンクリートの付着不足を防ぎ、応力伝達の低下を防止するため						
	11. 暑中(寒中) コンクリートの適切な温度制御(上昇および低下防止)がなされているか				・ひび割れやコールドジョイントなどの発生を抑制し、強度不足や耐久性の低下を防ぐため						
特記事項	施工者の創意工夫や技術提案など										

図 5. 2. 2 施工状況把握チェックシートの構成

5.2.3 表層目視評価チェックシートの活用

- (1) 表層目視評価は型枠の脱型直後に目視で行い、以下の6項目について、各項目に対して4点満点で不具合の状態を評価する方法である。これにより、これまでに数値で評価されていなかった覆工コンクリートの表層の状態を定量評価できることから、不具合の発生原因や施工方法の妥当性の検証、施工方法改善の資料としてPDCAサイクルの中で活用でき、次のブロックにおける施工による不具合を解消もしくは抑制することが可能となる。

表 5.2.1 表層目視評価項目

評価項目	評価の目的
① はく離	はく離が生じるのは、セントルのケレン作業が不十分である場合、はく離剤の塗布に問題がある場合や、脱型時間や脱型までの養生温度に問題がある場合等がある。
② 気泡	気泡は、特に傾斜のついたSLより下側の側壁で、締固めが困難となる箇所が発生しやすい。
③ 水はしり 砂すじ	水はしり、砂すじは一つの事象として扱うこととした。SLより下の側壁やアーチ部の下部で、ブリーディング水の除去が十分でない場合等に発生しやすい。
④ 色むら 打重ね線	色むら、打重ね線は本来別の事象であるが、トンネル覆工コンクリートでは、多くの場合で打重ね線の近傍で色むらが発生しており、別の項目にすると実構造物での評価が困難になることを勘案して、一つの評価項目にまとめることとした。色むら、打重ね線はアーチ部の上部や天端部で発生しやすい。
⑤ 施工目地不良	施工目地不良は、施工目地部の目地材の固定が十分でない場合に、本来の設置場所から目地材が動くことにより生じる。
⑥ 検査窓枠段差	検査窓の固定が十分でない場合や、セントル本体と検査窓にすき間がある場合等に生じ、ノロ漏れの原因となる。これらは適切な事前準備により防ぐことができる。

表 5.2.2 表層目視評価点数

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

(※ 評価点数は中間点も可とする)

(2) 活用にあたっての留意事項

- 1) 「表層目視」各項目をなぜチェックするのか、また、その項目が覆工コンクリートの出来映えにどのように影響するのかを十分に理解することが重要である。これらを理解するために、チェックシートには各チェック項目について、「なぜ（それを）チェックするのか」の欄にチェックする理由を記載することとしている。
 - 2) 「不具合の発生時にどのような点を改善すべきか」の欄に改善策を記述することとしているとともに、想定される不具合の原因を「表層目視評価チェックシート」のチェック項目と関連させることで、次の施工段階に反映できるようにしている。また、表層目視評価シートの内容は、施工者と監督職員が覆工コンクリート打設開始前に、施工中に明らかな不具合が生じた場合は、相互に確認するのがよい。
 - 3) 通常の現場においては、評価結果の個人差を排除するため、元請職人（覆工担当者）が継続して各施工段階の評価を行うことが望ましい。
 - 4) 次段階の施工に対して、施工方法の改善策、留意事項等のフィードバックを行う必要性から、実施時期は型枠脱型直後から初期養生開始までの間で実施する。
 - 5) 本手引き（案）に掲載している「表層目視表シート」の判定項目や判定基準はあくまで一例であり、地域の特性、現場条件、環境条件や材料特性などを勘案し、適宜変更および追加するなどして使用することが望ましい。
 - 6) 脱型養生以降に変状が発生する可能性もあることから、1 スパンごとの施工サイクルのみにおける表層目視評価だけでなく、ある程度のまとまった範囲の施工後（例えば 10 スパン程度など）に、施工範囲全体について再度チェックを行うことが望ましい。
- (3) ひび割れについては、発生要因が施工段階以外にも、材料面や環境面など多岐に渡ることや、型枠脱型直後の目視評価にはそぐわないことから、基本的な評価項目からは除外している。ただし、目視評価の時点ではひび割れの発生がなくても、時間の経過とともに発生する可能性もあることから、ひび割れを評価項目に加えることは差し支えない。

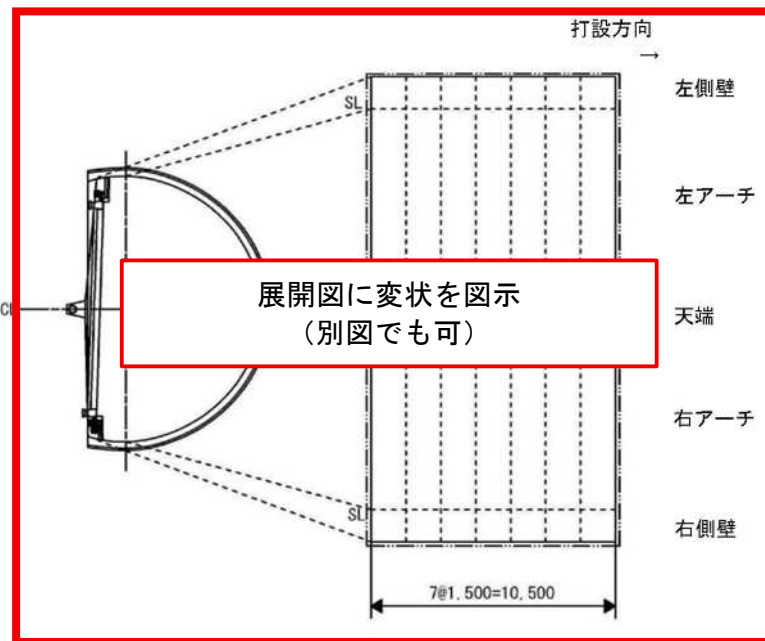
調査時期		脱型直後から初期養生開始前				不適合時、どんな点を改善させるべきか？		
調査方法		・近接できない範囲は、覆工センターから照明を当てながら観察				原因	Keyワード	改善策
評価点		4	3	2	1	施工状況把握チェックシートの項目		
① はく離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる			
② 気泡 (1.5m x 1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または、5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる			
③ 水はしり・砂すじ		無し	一部に見られる	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			
④ 色むら・打重ね線		ほぼ無し	一部に見られる(全体の1/10程度)	全体の半分程度に見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる			
⑤ 施工目地不良		無し	一部に見られる(1/10程度)	多く見られる(1/3程度)	側壁全てに見られる(天端に見られたら1)			
⑥ 検査窓枠段差		無し	1箇所程度見られる	2~3箇所見られる	3箇所を越える箇所に発生			

評価基準

施工状況把握チェックシートでの該当項目および施工における改善策を記入

図 5.2.4 表層目視評価シートおよび表層目視評価の方法の構成(1)

工事名		打設番号		スパン長(m)		打設回数		調査者	
トンネル 名称	測点	座 至	打設日		初期養生終了日		調査日	確認者	
			脱型日						
配合		セメント 打設システム等							



- 調査時期：脱型直後から初期養生開始にかけて実施
- 調査方法：天端からアーチ、側壁へと覆工表面を目視調査

目視調査項目		項目	剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら、打重ね線	施工目地不良	検査窓枠段差	点数計
位置		記号	h	a	s	i	m	d	
	左側壁								
	左アーチ								
	天端※								
	右アーチ								
	右側壁								
	点数平均								

注) 評価点は4段階(4~1)、中間点も可とする
 ・天端※：天端は吹上げ打設範囲
 ・左右：打設進行方向に対して
 ・色むら、打重ね線：側壁～アーチは打重ね線
 天端は色むらと称する

スパン点

(満点24点)

◆全体記事	
◆改善策(施工状況把握)	特質すべき事項や改善策などを記入

図 5.2.5 表層目視評価シートおよび表層目視評価の方法の構成(2)







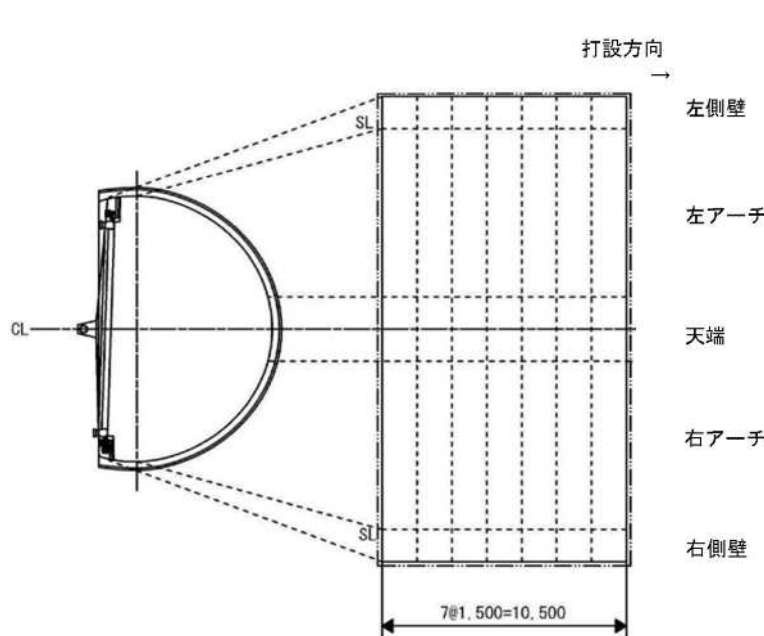
調査時期		脱型直後から初期養生開始前				不適合時、どんな点を改善させるべきか？		
調査方法		・近接できない範囲は、覆工センターから照明を当てながら観察				原因	キーワード	改善策
	評価点	4	3	2	1	施工状況把握チェックシートの項目		
① はく離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる			
② 気泡 (1.5m×1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または、5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる			
② 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			
④ 色むら・打重ね線		ほぼ無し	一部に見られる(全体の1/10程度)	全体の半分程度に見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる			
⑤ 施工目地不良		無し	一部に見られる(1/10程度)	多く見られる(1/3程度)	側壁全てに見られる(天端に見られたら1)			
⑥ 検査窓枠段差		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			

図 5.2.6 表層目視評価の方法（記載例）

工事名		打設番号		スパン長(m)		打設回数		調査者	
トンネル 名称		測点	壁	打設日		初期養生終了日		確認者	
			至	脱型日		調査日			
配合		セントル 打設システム等							



目視調査項目

項目	剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら、打重ね線	施工目地不良	検査窓枠段差	点数計
	記号	h	a	s	i	m	
位置							
左側壁							
左アーチ							
天端※							
右アーチ							
右側壁							
点数平均							

注) 評価点は4段階(4~1)、中間点も可とする

- ・天端※: 天端は吹上げ打設範囲
- ・左右: 打設進行方向に対して
- ・色むら、打重ね線: 側壁~アーチは打重ね線
天端は色むらと称する

スパン点	
------	--

(満点24点)

■ 調査時期: 脱型直後から初期養生開始にかけて実施

■ 調査方法: 天端からアーチ、側壁へと覆工表面を目視調査

◆ 全体記事

◆ 改善策 (施工状況把握チェックシートとの関連性を記載)

図 5.2.7 表層目視評価シート (記載例)

5.2.4 表層目視評価の効果

(1) 図5.2.8 は、四国地方整備局管内のトンネルにおける品質確保の試行工事において、東北地方整備局が策定した表層目視評価を試験的に実施した評価点数の推移を、評価項目ごとにグラフ化したものである。覆工打設初期以降は、品質が安定した状態で施工が継続されていることが確認できる。

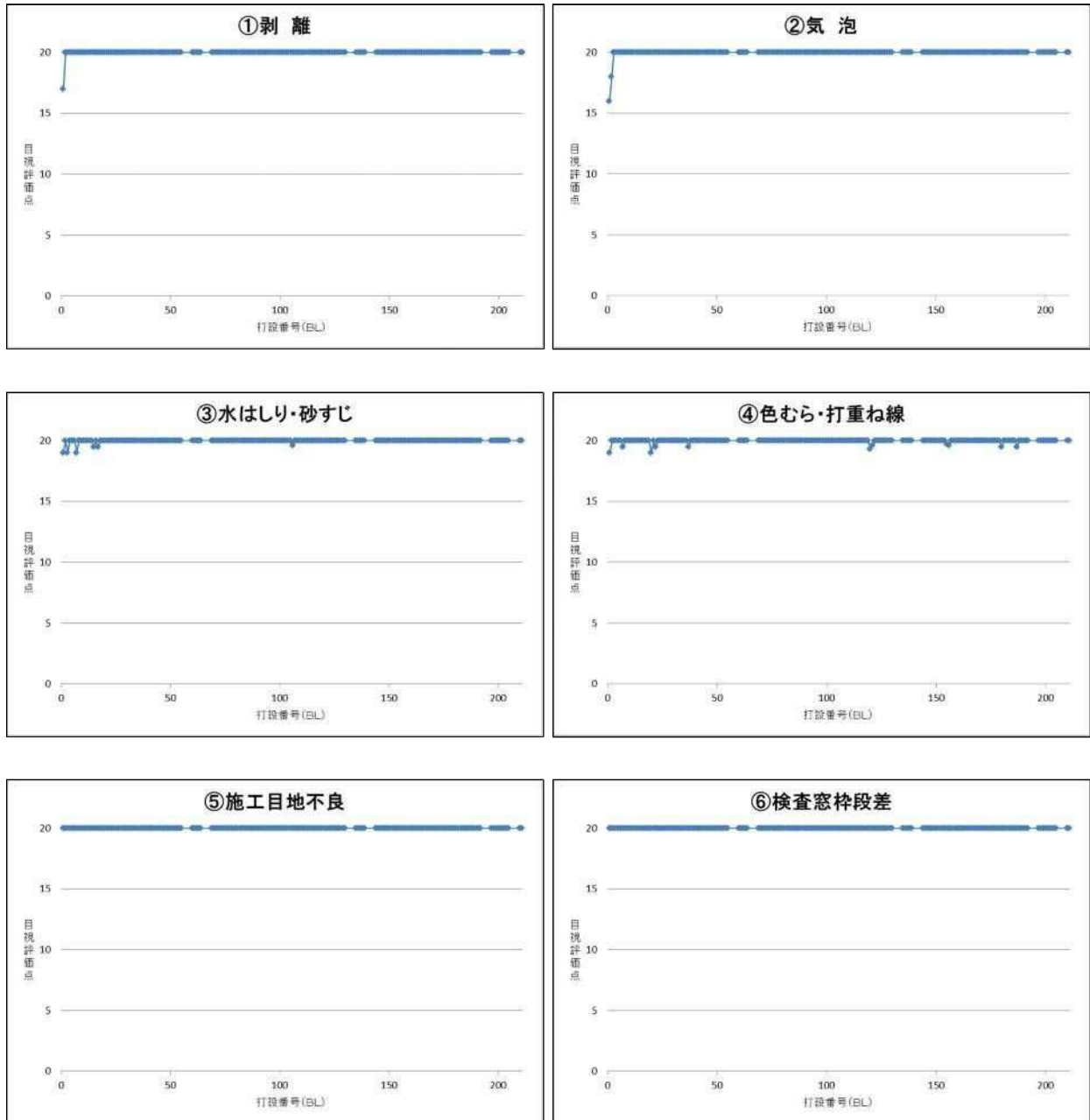


図 5.2.8 表層目視評価結果の実例

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）

国土交通省四国地方整備局 令和2年3月

(2) 図5.2.9 は、東北地方整備局のトンネル工事において、表層目視評価による品質向上の効果を表面吸水試験で確認を行った結果である。計測値は、値が小さいほど吸水速度が遅く、コンクリート表面が緻密で良質なことを示すが、目視評価点と吸水速度の比較結果から、表層目視評価点の上昇に伴い吸水速度も減少しており、表層目視評価法によりP D C Aサイクルを実践した結果、出来栄えが向上したコンクリートは、コンクリートの表層品質も向上している結果が示されている。

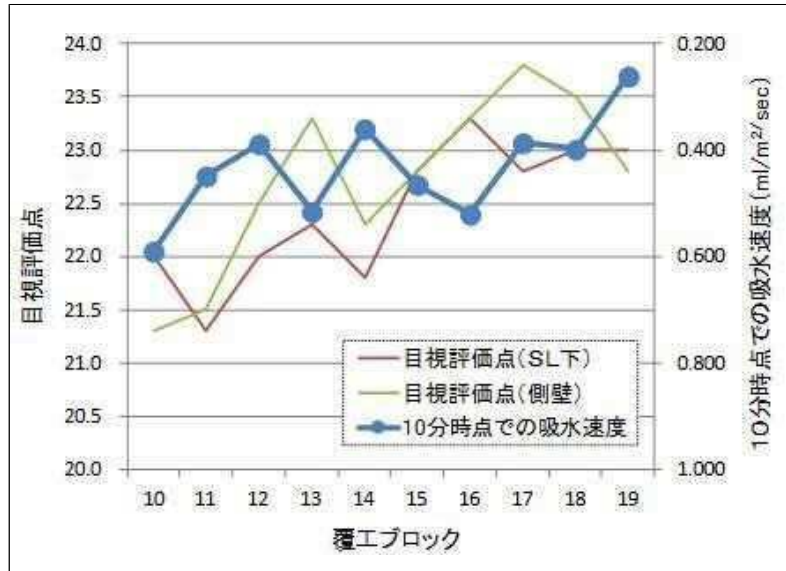


図5.2.9 表層目視評価点と吸水速度との関係 ⁶⁾

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）

国土交通省四国地方整備局 令和2年3月

5.3 養生による緻密性の向上

適切な養生の実施により、覆工コンクリートの十分な耐久性の確保と緻密性の向上を目指す。

- (1) 施工中に生じる不具合を可能な限り抑制したとしても、コンクリート表層の緻密性が低ければ、そこから劣化因子が侵入することとなる。コンクリートは適切な養生を行うことで、セメントなどの結合材の反応が進み、内部組織が緻密になることで、コンクリートが本来持っている能力を十分に引き出すことができる。また、コンクリートが緻密になることで、ひび割れに対する抵抗性の向上も期待できる。
- (2) 現時点では、覆工コンクリートにおける養生期間と緻密性を明瞭に示すデータは多くないが、適切に養生を行うことで緻密性が高まるデータが蓄積されつつある。⁶⁾
- (3) トンネル坑内の環境条件によっては、特に冬期ではコンクリートの温度変化を抑制する養生、貫通後の施工においては、通風により温度が低下することを抑制するために、通風の遮断や保温養生を必要に応じて行うことがよい。
- (4) 東北地方整備局においては、坑口部は外気の影響を受けやすいことから、コンクリートの緻密性を向上させるために、坑口部の約20mにおいて型枠の存置を7日以上行うこととしている。なお、セントル養生期間を7日間とする場合、トンネル横断方向（周方向）の収縮をセントルが拘束して引張応力が発生し、ひび割れを誘発する恐れもある。このような場合、セントルを2日程度で若干緩める（約2mm程度のジャッキダウン）ことが望ましい。この程度の僅かなジャッキダウンでは、セントルとコンクリートとの間の通風はほとんど生じないと考えられる。以下に養生の事例を示す。

1) 保湿養生の事例である。これは、コンクリートが水和するのに必要な水分がコンクリートから逸散しないように、コンクリート面の湿潤状態を保ち乾燥を防ぐための養生である。



写真 5.3.1 保湿養生（バルーン養生）の事例¹⁸⁾

写真 5.3.2 セントル自体を覆った事例¹⁸⁾

出典：トンネル覆工コンクリートトータル養生工法
株式会社東宏 令和6年

2) 給水養生の事例である。これは、コンクリートが水和するのに必要な水分を与えるために、コンクリート面に水分を補給して湿潤状態を保ち乾燥を防ぐための養生である。



写真 5.3.3 給水養生（アクアカーテン養生）の事例¹⁹⁾

出典：給水養生工法「アクアカーテン」とは
株式会社東宏 令和6年

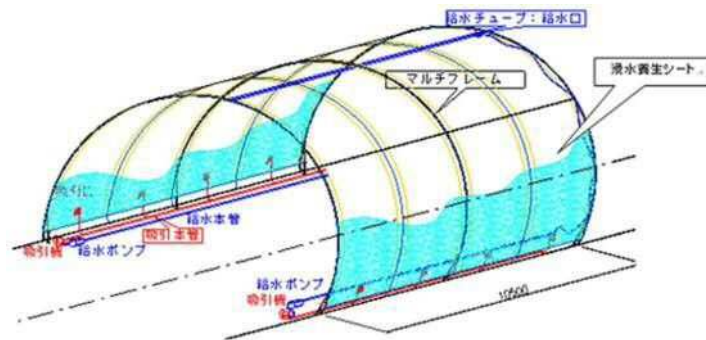


図 5.3.1 給水養生（アクアカーテン養生）の概要図¹⁹⁾

出典：給水養生工法「アクアカーテン」とは
株式会社東宏 令和6年

3) パネル養生の事例である。これは、コンクリート表面に断熱効果のあるパネルを貼り付けて、コンクリート面の急激な温度変化を防ぐための養生である。



写真 5.3.4 パネル養生の事例²⁰⁾

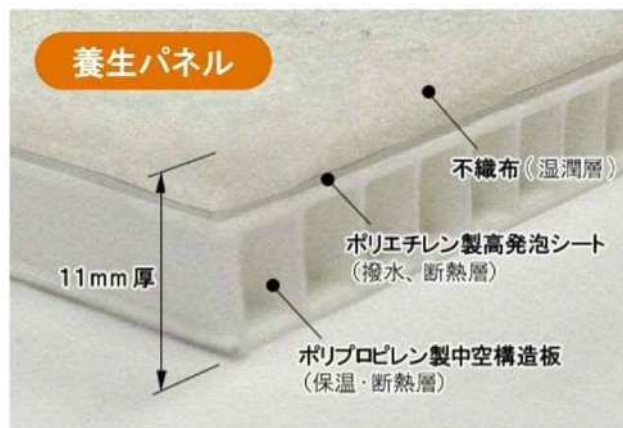


図 5.3.2 養生パネル²⁰⁾

出典：覆工コンクリート養生技術の開発
西松建設株式会社 平成22年

4) シート養生の事例である。これは、コンクリート表面に保温・保湿効果を持つシートを貼り付けて、コンクリート面の湿潤状態を保ち乾燥を防ぐための養生である。



写真 5.3.5 シート養生の事例²¹⁾

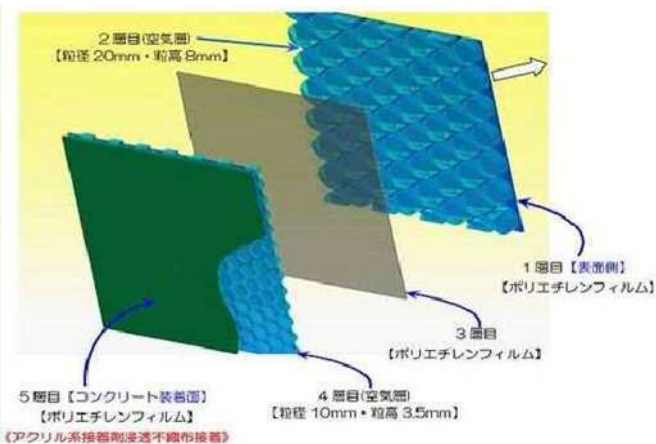


図 5.3.3 養生シート²¹⁾

出典：コンクリート保湿・保温養生シート (LHT) NETIS

- 5) 隔壁の事例である。これは、トンネル貫通後の通風による、坑内の急激な温度変化を防止するために、隔壁を設けて通風を遮断する。

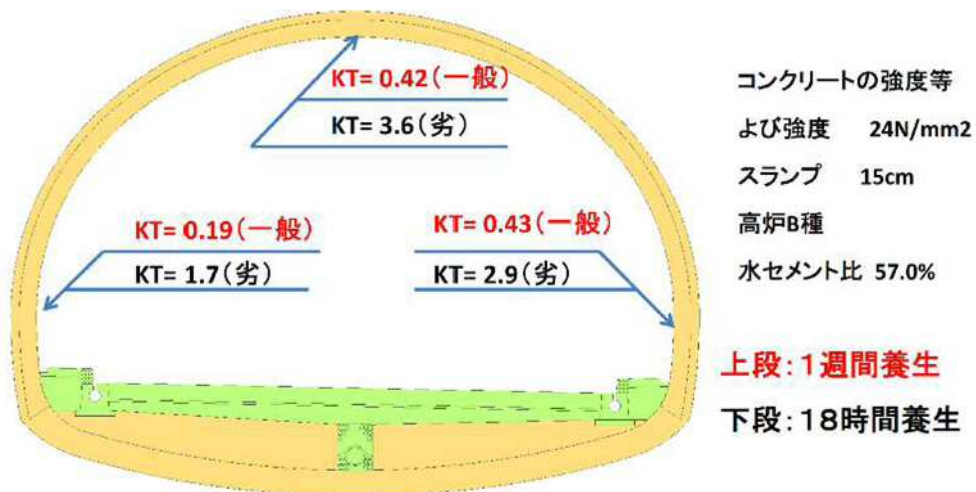


写真 5.3.6 隔壁（バルーン隔壁）の事例²²⁾

出典：移動式隔壁バルーン
株式会社東宏 令和6年

- 6) 坑口部の長期養生の事例である。東北地方整備局においては、覆工コンクリートの坑口部2スパン分は1週間養生とすることとしている。⁷⁾

これは、施工が丁寧で不具合がなくても、日射や風雨の影響を受ける坑口部では、ひび割れの発生事例が多いことから、コンクリート強度が十分に発現され、ひび割れに対する抵抗力が上がった段階まで養生を行うようにしているものである。



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 5.3.4 長期養生によるコンクリート表層の緻密化⁷⁾

出典：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 令和5年3月に加筆

(5) 養生の結果、覆工コンクリート表層の緻密性がどの程度向上したのか、非破壊試験により評価を行うことが望ましい。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）令和5年3月」においては、非破壊試験の代表的手法として、「表層透気試験」および「表面吸水試験」について述べられており、以下に各試験方法の概要を示す。

- 1) 表層透気試験（Torrent 法）は、ダブルチャンバーの吸引によってコンクリート表層を真空状態にし、吸引停止後、チャンバー内の気圧が回復するまでの時間から、一次元方向の表層透気係数 KT （ $\times 10^{-16}m^2$ ）を算出する手法である。
- 測定結果はコンクリートの含水率に影響を受けるため、含水計でコンクリートの含水率を計測し、5.5%以下であることを確認したうえで計測を行う必要がある。また、測定は材令28日程度以降で行うことが望ましい。ただし、材令が十分に経過した場合でも、夏期では屋外とトンネル坑内の温度差により水滴が付着し、含水率が高くなる場合があるため、注意が必要である。
- 測定箇所を選定する際は、測定結果がコンクリート表面の微細なひび割れや打重ね線などの影響を受けることも考慮する必要がある。また、同一箇所でも時間間隔を空けずに繰り返し測定を行うと、二度目は透気係数が小さく測定されることにも注意が必要である。
- 測定は複数箇所で行い、品質のばらつきを把握するためにも、平均値ではなく全ての測定結果を記録に残しておくことが望ましい。また、透気係数と合わせて含水率も記録に残しておくことが望ましい。



表層透気試験の測定状況



測定機器

写真 5.3.7 表層透気試験の概要

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）
国土交通省四国地方整備局 令和2年3月

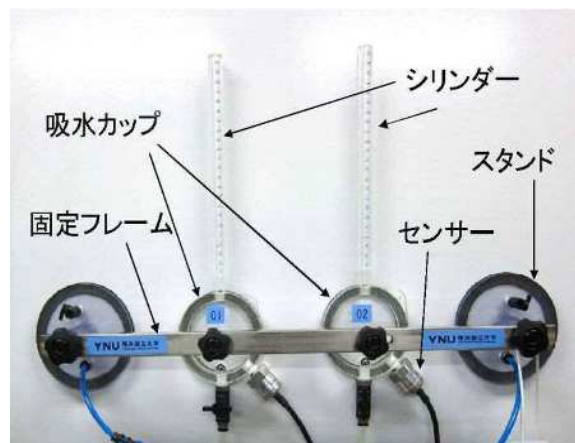
2) 表面吸水試験 (SWAT) は、吸水カップをコンクリート表面に密着させ、吸水カップに水を満たした直後から、コンクリート表面が吸水する速度を測定するものである。測定結果はコンクリートの含水率に影響を受けるため、含水計でコンクリートの含水率を計測し、5.5%以下であることを確認したうえで計測を行う必要がある。

また、測定は材令28日程度以降で行うことが望ましい。ただし、材令が十分に経過した場合でもコンクリートの含水率は天候によっても左右されるため、注意が必要である。測定に使用する水温と吸水カップやシリンダなどの水が触れる機材の温度が大きく異なると測定結果に影響をおよぼすため、あらかじめ吸置きした水を計測に用い、本計測を行う前に予備計測を行うことで、水と機材の温度を同程度にしておくことが望ましい。

なお、斜面や鉛直面など測定面の計測角度が測定結果に影響をおよぼすことはない。測定は複数箇所で行い、品質のばらつきを把握するためにも、平均値ではなく全ての測定結果を記録に残しておくことが望ましい。また、吸水試験結果と合わせて含水率も記録に残しておくことが望ましい。



表面吸水試験の測定状況



測定機器

写真 5.3.8 表面吸水試験の概要

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）

国土交通省四国地方整備局 令和2年3月

(6) 施工の基本事項が遵守され、適切に養生が行われた構造物の表層品質を計測した結果の蓄積に基づき、コンクリート表層の緻密性を評価する指標の目安を表5.3.1 および表5.3.2に示す。なお、この目安は水がかりのない安定した含水条件による測定数値の場合である。

1) 表層透気試験 (Torrent 法) の判定基準

表 5.3.1 表層透気試験の判定基準

表層透気係数KT (10^{-16} m ²)	0.001 ~0.01	0.01 ~0.1	0.1 ~1	1 ~10	10 ~100
透気性グレード	1	2	3	4	5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣

※ 本手引きでは表層透気係数 1 以下 (グレード 3 以上) を目標とする。

2) 表面吸水試験 (SWAT) の評価基準

表 5.3.2 表面吸水試験の評価基準

吸水抵抗性	良	一般	劣
表面吸水速度 P ₆₀₀ (ml/m ² /s)	≤0.25	0.25 < P ₆₀₀ ≤ 0.5	>0.5

※ 本手引きでは表面吸水速度 0.5以下 (吸水抵抗性一般以上) を目標とする。

(7) 記録しておくべき事項として、以下の情報を施工記録とともに残しておくことが望ましい。

- 1) 打設日、計測日時、天候、気温、湿度、計測者
- 2) 測定箇所 (天端、肩部、側壁など)、計測時の材令
- 3) 養生条件、脱型時の材令
- 4) 表面吸水試験に使用する水の温度
- 5) コンクリートの含水率
- 6) 表層透気係数 KT、測定深さ (表層透気試験の場合)
- 7) 表面吸水速度 P₆₀₀、10分間の総吸水量 (表面吸水試験の場合)