

新設道路トンネル【NATM】における
覆工品質管理の手引き（案）

令和8年3月

京都府建設交通部道路建設課

要 旨

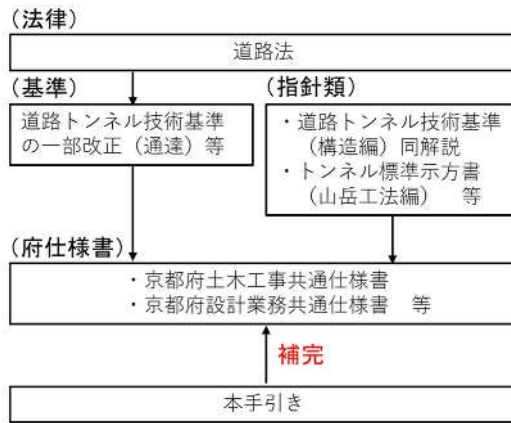
本手引き（案）は、新設道路トンネルの施工時における品質確保のための手法を提示するものである。これにより、覆工コンクリートの品質を確保し、長寿命化を図ることで維持管理の効率化および管理コストの縮減を目指す。

今般、道路トンネル【NATM】における覆工背面空洞の補修設計および工事について、「府道談夜久野線ゆずりトンネル技術検討委員会」における委員意見を踏まえ、NATMトンネルを対象とした施工時の留意事項を覆工品質管理の手引き（案）として取りまとめた。

取りまとめにあたっては、トンネル点検・診断等から蓄積されている不具合データを基に、発生原因および課題を整理した。そのうえで、京都府として目指すべき方向性を示し、覆工コンクリートの品質向上に取り組むものとした。

なお、現行基準に基づく施工技術では、覆工コンクリートの充填不良や背面空洞は発生しにくくなっており、これらは共通仕様書等に記載された「施工の基本事項」として位置づけられている。今後の新設トンネルにおいては、「施工の基本事項」を遵守するとともに、本手引きで定めるチェックシートを活用することで、良質な覆工コンクリートの築造が可能となる。

本手引き（案）は、京都府が定める道路トンネル【NATM】に関する仕様書を補完するものである。新設道路トンネル工事の現場監督者にとって分かりやすい内容としたため、今後の業務および施工管理に活用されたい。



本手引きの位置づけ

新設道路トンネル【NATM】における 覆工品質管理の手引き（案）

— 目 次 —

1. 適用の範囲.....	1
2. 京都府の地域特性.....	3
2.1 京都府の地域特性.....	3
2.1.1 京都府の地形.....	3
3. トンネル覆工コンクリートの課題.....	5
3.1 トンネルの不具合発生状況.....	5
3.1.1 不具合の発生状況.....	5
3.2 トンネル覆工コンクリートの不具合の発生原因.....	8
3.2.1 覆工コンクリートは化粧巻であるという認識.....	8
3.2.2 不具合が発生する可能性のあるトンネル特有の打設方法.....	9
3.2.3 適切な養生による緻密性の向上.....	12
3.2.4 コンクリートの収縮による施工目地の開き（準備-7、打設-9）.....	13
3.2.5 型枠の過度な押し上げによる既設コンクリートのひび割れ（準備-2）.....	14
3.2.6 施工目地部のブリーディングによる品質の低下（打設-9）.....	16
3.2.7 トンネル縦断勾配による天端部の充填不良.....	17
3.2.8 防水シートの破損・たるみによる品質への影響（準備-4）.....	18
3.2.9 掘削時に生じる覆工背面の凹凸による品質への影響（準備-4）.....	19
4. 京都府のトンネル覆工コンクリートが目指すべき方向.....	20
4.1 トンネル覆工コンクリートの課題.....	20
4.2 トンネル覆工コンクリートの目指すべき方向.....	22
5. トンネル覆工コンクリートの品質確保.....	24
5.1 施工の基本事項の遵守.....	24
5.2 品質確保チェックシート.....	25
5.2.1 品質確保チェックシートを活用した品質確保.....	25
5.2.2 施工状況把握チェックシートの活用.....	26

5.2.3 表層目視評価チェックシートの活用.....	29
5.2.4 表層目視評価の効果.....	35
5.3 養生による緻密性の向上.....	37
6. 記録と保存.....	45
7. 巻末資料.....	46
7.1 巻末資料-1 不具合の抑制対策の事例.....	61
7.2 巻末資料-2 トンネル定期点検について.....	88
7.3 巻末資料-3 非破壊試験による表層品質の確認方法.....	90
7.4 巻末資料-4 用語の定義.....	104
7.5 巻末資料-5 参考文献.....	107
7.6 巻末資料-6 記録様式.....	113

1. 適用の範囲

この手引きは、トンネル覆工コンクリートにおける施工不良に起因したひび割れ等の発生について、施工段階での改善により抑制することを目的として取りまとめたものである。

また、京都府が定める道路トンネル覆工コンクリート【NATM】に関する各種規定・基準および指針を補完する位置付けのものである。

- (1) コンクリートの劣化が道路管理に大きな影響を与える構造物のひとつがトンネルであり、利用者被害の防止を図るとともに、増大するインフラの維持管理費を軽減するためにも、施工時における覆工コンクリートの品質確保が重要となっている。
- (2) 現場の施工段階における品質確保のための有効な方法には様々なものがあるが、代表的なものとしては、東北地方整備局の「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を組み合わせたPDC Aサイクルによる品質確保手法が運用されており、覆工コンクリートの品質確保において効果を確認している。このような状況を踏まえ、施工の基本事項を遵守して「均質かつ密実で一体性のあるコンクリート」を目指すために、施工段階において必要な事項を「手引き」としてまとめることとした。
- (3) この手引きは、トンネル覆工コンクリートを対象に、「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を活用して、施工の基本事項を遵守して覆工コンクリートの品質確保を図る工事の施工段階に適用する。ただし、ひび割れ抑制対策や配合計画については、この手引きの適用範囲外とする。
- (4) 京都府道路トンネル【NATM】における覆工コンクリートの新設時には、この手引きを参考にするとよい。
- (5) この手引きは、トンネル覆工コンクリートを対象として、「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を組み合わせたPDC Aサイクルを活用して、品質確保を図るために必要な事項を記載したものである。ひび割れには、温度変化や乾燥収縮によって生じるひび割れなど、現実的には発生を抑制することが困難なものもあることから、施工の不具合により、コンクリートの一体性や緻密性が損なわれた結果生じるひび割れの抑制を本手引き（案）の対象とした。また、現時点では、骨材に起因する変状については、骨材の種別などとの関連性について不明な点が多いことから、本手引き（案）の対象外とした。本手引きの適用範囲のイメージを図1.1.1に示す。

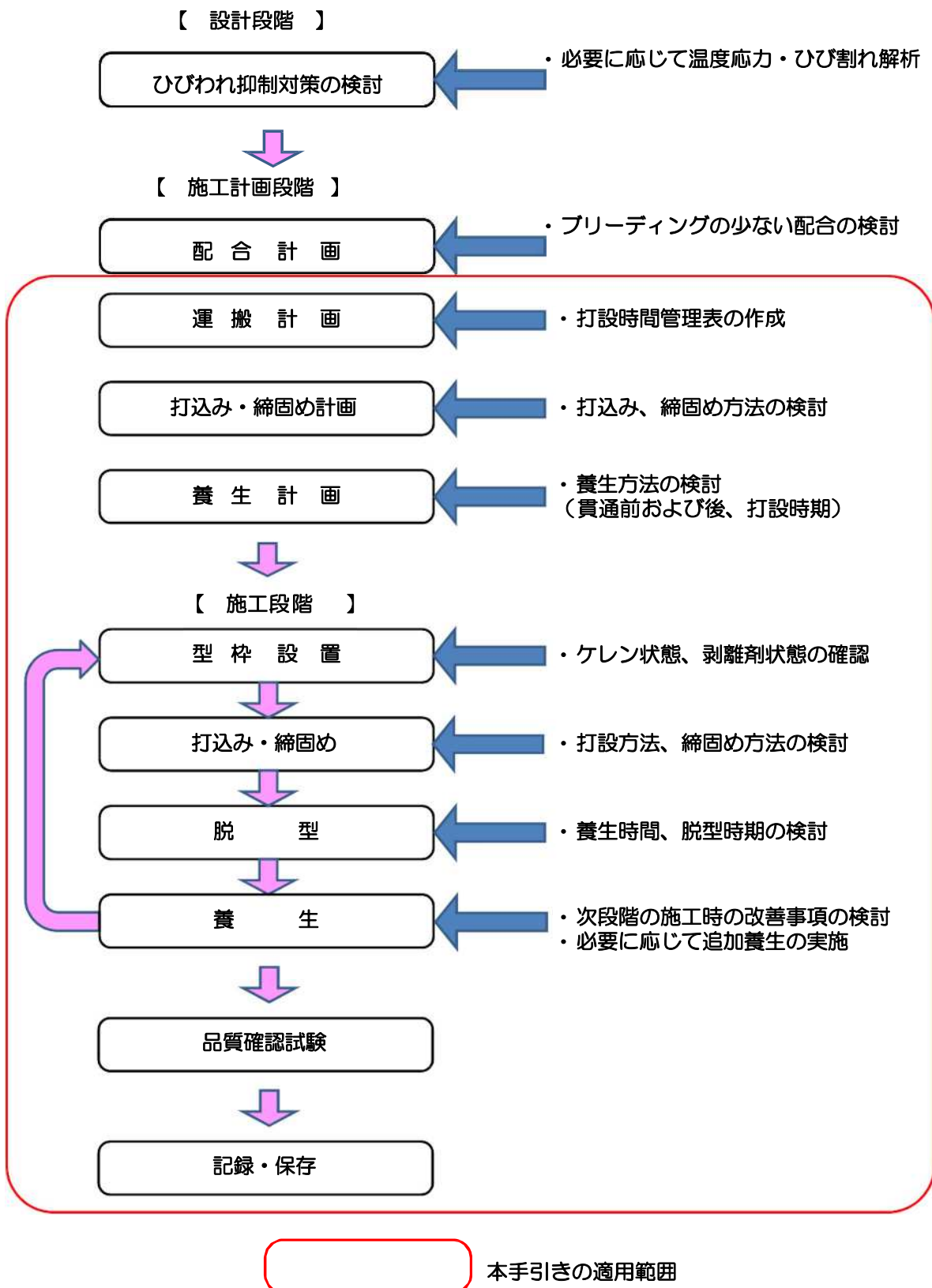


図 1.1.1 手引きの適用範囲

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

2. 京都府の地域特性

2.1 京都府の地域特性

京都府の地形は、断層や定高性山地、盆地、リアス式海岸など多様な特徴を有している。丹後半島や京都盆地など代表的な地形は存在するものの、他府県で見られるような特異的な地形は少ない。一方で、京都府の岩盤は割れ目が多く、トンネル掘削時に余掘が発生しやすい地質である。

2.1.1 京都府の地形¹⁾

- (1) 京都府の地形は大きく五つに区分され、北から丹後区、宮福区、丹波区、山城区、笠置区に分類される。
- (2) 丹後区の丹後半島区は、高度 500～600m の定高性をもつ山地と、それを取り巻く高度 200～300m 程度の小起伏面から構成されている。山地東縁には、角突山や太鼓山が南北方向に連なって突出している。この地形区の特徴としては、地すべり地が多いことが挙げられる。また、北海岸には海成段丘が発達している。竹野川以西の北丹後区には、網野峰山低地および久美浜低地が南北方向に分布し、その南縁には山田断層による急峻な断層崖が形成されており、その崖頂には東北東方向に定高性の尾根が連なる。さらに、東縁には北北西方向の郷村断層および仲禅寺断層が並走している。
- (3) 宮福区は、北西縁を山田断層および野田川河谷、南東縁を上林川断層および上林川河谷が画し、その西方延長は綾部・福知山付近に至る。海岸部は宮津湾から舞鶴湾、大浦半島西部までの範囲を占める。地域は、東北東—西南西方向に延びる山列と複雑に入り組んだ水系によって特徴づけられ、海岸線はリアス式である。由良川河谷から舞鶴湾の長軸を結ぶ線の北側が大江山区である。北東端は大浦半島北部で、舞鶴湾より西側には標高 600～700m 級の定高性をもつ大江山連峰が連なる。この南側、雲原川の谷の南には、天ヶ峰から西方へ同じく標高 600～700m の定高性をもつ山地が連続している。舞福区との境界部には青葉山および田倉山が位置する。舞福区は由良川以東に広がり、東北方向および東西南西方向に 3 列の山地が並走している。福知山や綾部の盆地周辺には、更新世中期に形成された新しい時期の河湖成層である大阪層群最上部相当層が広がっている。また、かつて由良川は福知山から竹田川河谷を経て加古川へ流下していたといわれている。
- (4) 丹波区は、府内中央部に広がる丹波高地を中心とした広域の山地である。南縁は保津峡から京都盆地北縁を経て比叡山北側へ至る。若丹地区と摂丹地区の境界は、綾部から由良川中流河谷、胡麻を経由して桂川沿いに亀岡盆地へ至り、西山東縁へと続く線で示される。若丹地区は、由良川および桂川という二大水系の上流域に位置する。山地の標高は東部で 800～900m、西部で 500～600m と東高西低の地形を呈し、東縁は花折断層によって比良山地と区分される。

また、両河川が東から西へ流下する必従的流路を示すことから、この地域は西へ傾動しつつ隆起した傾動地塊とみなされる。撰丹地区は丹波高地の西部にあたり、南丹市日吉町胡麻には、由良川および桂川の両水系にまたがる大規模な谷中分水界が存在する。かつては、園部川を含む桂川水系が北流し、由良川に合流していたとされる。また、三峠断層系には、三峠断層、殿田断層、神吉越畑断層、亀岡断層などが並走している。

- (5) 山城区の東部には南北方向に延びる比叡醍醐山地が位置し、西部には京都盆地と山城盆地が南北に連なっている。両盆地の境界は宇治川であり、山城盆地南部の東側、比叡醍醐山地の南側には笠置区が広がる。比叡醍醐山地は、丹波高地や京都盆地とは花折断層系によって区分されている。比叡山地は山科盆地北縁で終わり、醍醐山地はそこから約 3km 東方へずれた位置で再び南北に延び、宇治川の先行谷を挟んで郷ノ口低地で終端する。京都盆地は、花折断層系と西山断層系により東西を限られており、その東部には“京都盆地のミニアチュア”ともいえる山科盆地が存在する。山城盆地は、木津川市から北流する木津川河谷と、その東西両側に広がる丘陵地から構成され、東西の支流の多くは天井川化している。
- (6) 笠置区は府最南東部の山地域で、基盤地質構造帯である領家帯に属する。地域は、和東谷および木津川谷によって、北から鷲峰山地塊、信楽高原西部、大和高原北部に区分される。これらの山地はいずれも山塊南縁に逆断層を伴い、北へ傾動した傾動地塊を形成している。
- (7) 京都府は北部エリアが積雪地域に該当するものの、覆工コンクリートの品質に影響を及ぼすような地域特性は確認されていない。また、丹後半島や京都盆地などの代表的な地形は存在するものの、他府県で見られるような特異な地形も少ない。ただし、京都府の岩盤は割れ目が多く、トンネル掘削時に余掘が発生しやすい地質である。



図 2.1.1 京都府の地形

出典：京都府レッドデータブック 2015 平成 27 年 4 月 京都府

3. トンネル覆工コンクリートの課題

3.1 トンネルの不具合発生状況

京都府が所管するNATMトンネルの覆工コンクリートにおいては、空洞に起因する不具合は発生していないものの、維持管理の段階で問題になる変状の中には施工の不具合に起因するものもあるので、それらを極力無くすような施工上の配慮が必要である。

3.1.1 不具合の発生状況

(1) 道路トンネルの覆工コンクリートにおいては、主として以下のような不具合や変状が発生している。特に、覆工コンクリートの充填不良・背面空洞は、覆工コンクリートの構造安定性が損なわれる他、覆工コンクリートのはく落のおそれがあるため重要な課題である。

- 1) 覆工コンクリートの充填不良・背面空洞
- 2) 施工目地部の周辺に発生するうき、はく離、剥落及びひび割れ
- 3) 側壁、アーチ部の縦断方向及び横断方向のひび割れ
- 4) 天端部の縦断方向のひび割れ
- 5) 表面の水はしり、砂すじ及び気泡
- 6) コンクリート打継目の打重ね線、色むら及びコールドジョイント

(2) 図3.1.1 に、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を模式的に示す。

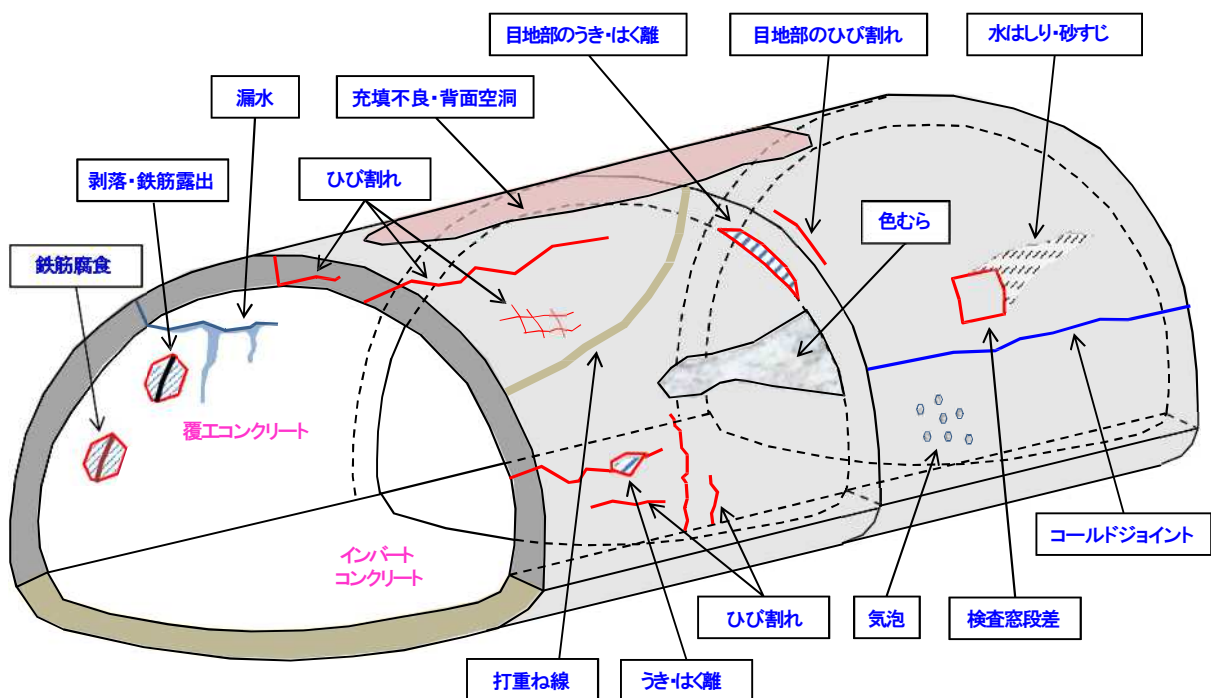


図3.1.1 トンネル覆工コンクリートに発生しやすい不具合や変状

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

(3) 本手引き（案）では、覆工コンクリート各部の名称を以下のとおり表記している。

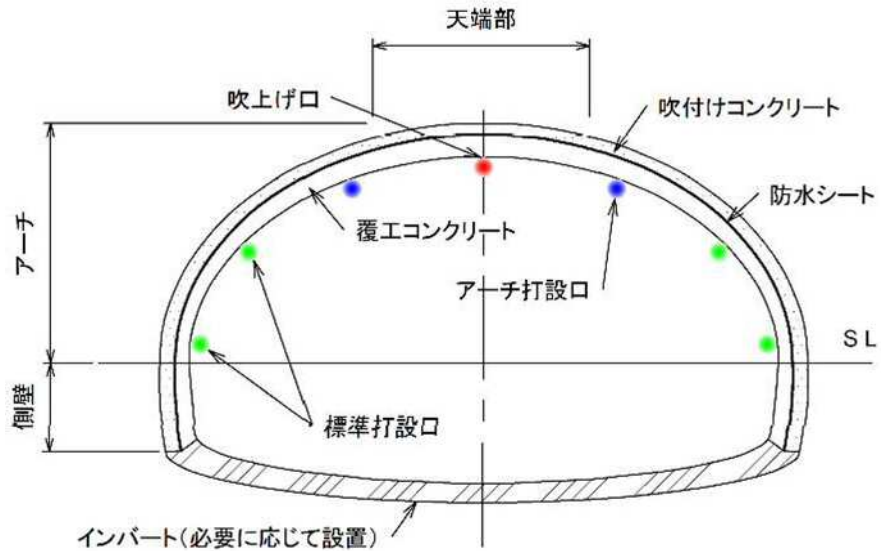


図3.1.2 覆工コンクリート各部の名称（横断方向）

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

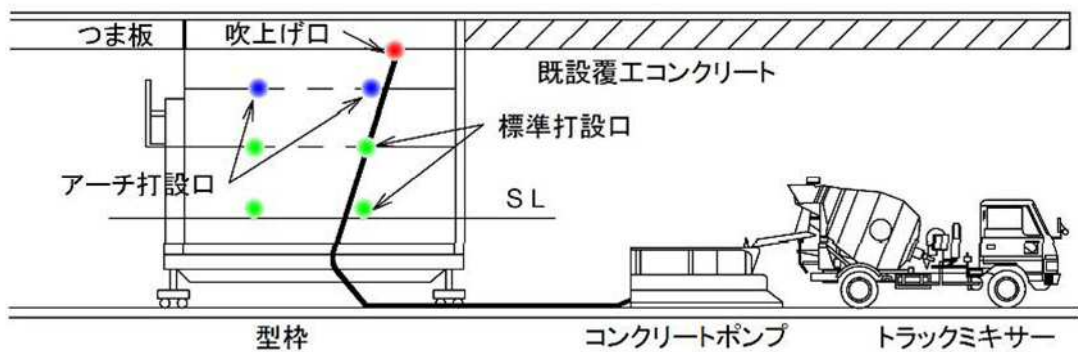


図3.1.3 覆工コンクリート各部の名称（縦断方向）

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

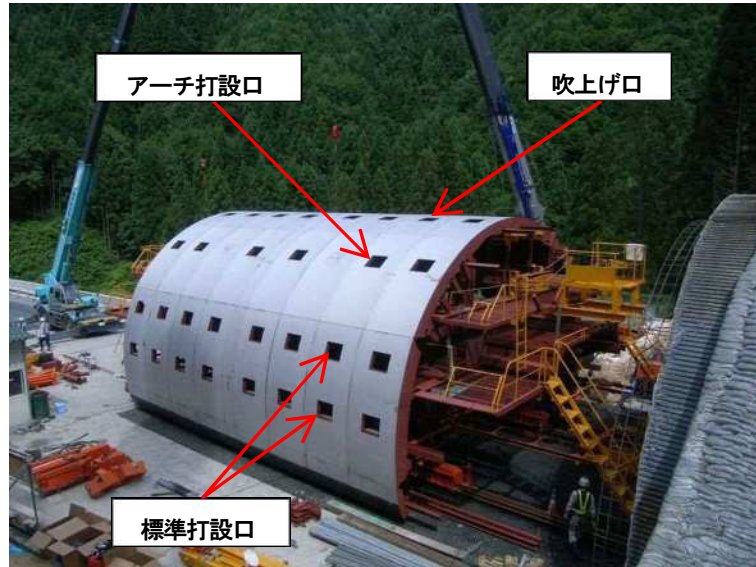


写真3.1.1 型枠（セントル）

出典：大茂内第二トンネル工事状況
国土交通省東北地方整備局 平成20年9月に加筆

3.2 トンネル覆工コンクリートの不具合の発生原因

覆工コンクリートの不具合発生原因は、覆工を化粧巻きとして捉える認識の違い、作業員の熟練度、施工時の条件等、さまざまな要因が複合的に影響して生じている。

3.2.1 覆工コンクリートは化粧巻きであるという認識

(1) NATM のトンネルは、地山の掘削完了後に吹付コンクリートおよびロックボルトを施工することで地山自体を支持しており、これによりトンネル周囲の地盤がトンネルを保持しようとする「グランドアーチ効果」を有効に活用し、構造的な安定性を確保している。

これらの施工後に、地山の变形が収束したことを確認したうえで、吹付コンクリート面の長期安定性の確保（劣化防止）、トンネル湧水の排水処理、利用者被害の防止等を目的とした二次コンクリートとして、覆工コンクリートが施工されている。このため、覆工コンクリートは構造的な安定性に寄与していないことから、あくまで仕上げのための化粧巻きコンクリートであるといった認識が強く、「設計基準強度が確保できていればよい」「縞模様などが生じていても気にしない」といった見解に至るおそれがある。

(2) 覆工コンクリートはトンネル設備（非常用設備、照明や内装板など）の基礎コンクリートとなる部分でもあり、覆工コンクリートの不具合はトンネル設備の損傷や落下などを引き起こす可能性があり、利用者被害のみならず、トンネルとしての機能を喪失することとなる。このため、利用者被害やトンネルとしての機能喪失を防止するとともに、維持管理費用の負担を軽減するためにも、覆工コンクリートは「化粧巻き」ではなく「**本体構造物で重要な部分**」であるという認識のもとに品質確保に努める必要がある。

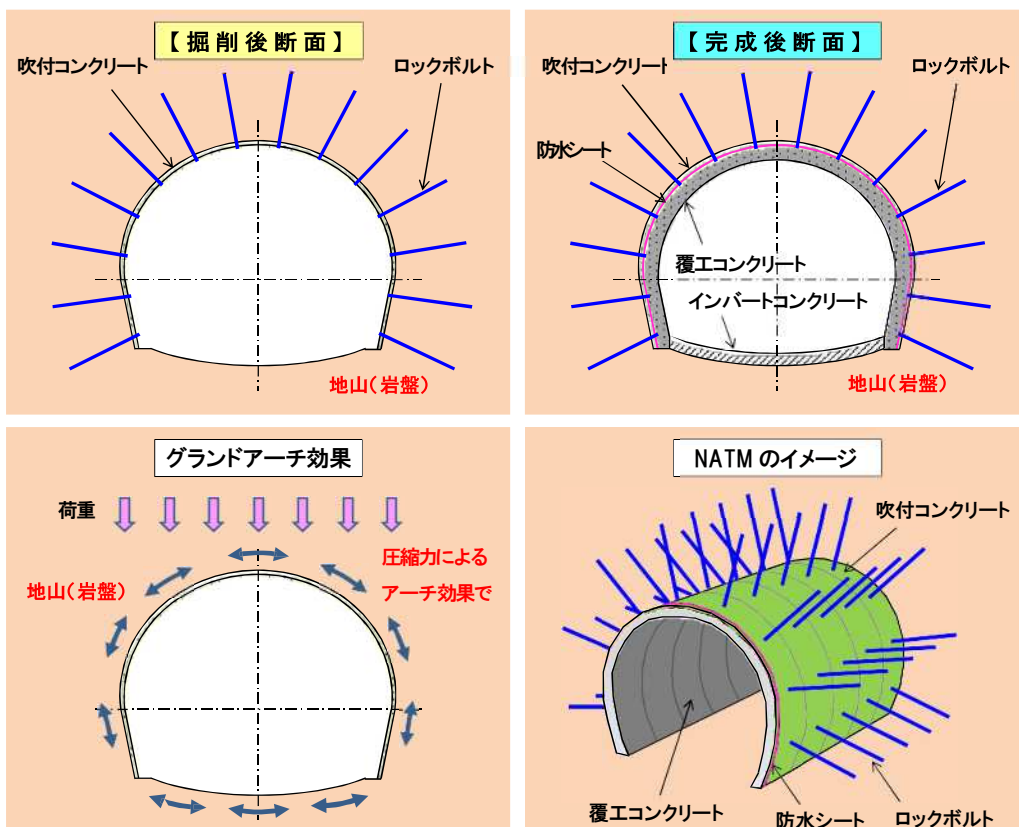


図3.2.1 NATMの概要

3.2.2 不具合が発生する可能性のあるトンネル特有の打設方法

- (1) 一般的な明かり構造物のコンクリート打設方法と比較すると、トンネル覆工コンクリートは不具合の発生する可能性のある特有の打設方法となる。狭小な空間内で打込みや締固めを行う必要があり、特に天端部は吹上げによる打設になる¹⁰⁾ ことから、締固めが困難となる場合がある。また、目視確認が困難であることから、締固め不足や充填不足が発生しやすく、均質かつ密実で一体性のあるコンクリートとなっていない場合がある。適切な締固めが不足した場合には不均質なコンクリートとなり、アーチから天端部にかけて色むらや打ち重ね線が発生する可能性がある。これらの変状は、将来的に打ち重ね線に沿ったひび割れが発生する恐れがあるため、丁寧な施工を行う必要がある。
- (2) 天端部一か所からの打込みの場合は、吹上げ口から妻部までのコンクリートが流動する距離が長くなり、材料分離やブリーディングが発生しやすいため、打設方法について作業計画で十分に検討することが重要である。特殊な環境下での施工となるため、統一的な施工方法が確立しにくいとともに、仕上がりの良否が作業員の技量や熟練度に左右されやすい側面もある。
- (3) 図 3.2.2～図 3.2.3 に、トンネル覆工コンクリートの標準的な施工手順および天端部の打設手順を示す。



天端部の打設状況



アーチ部の打設状況写真

写真 3.2.1 トンネル覆工コンクリートの打設状況

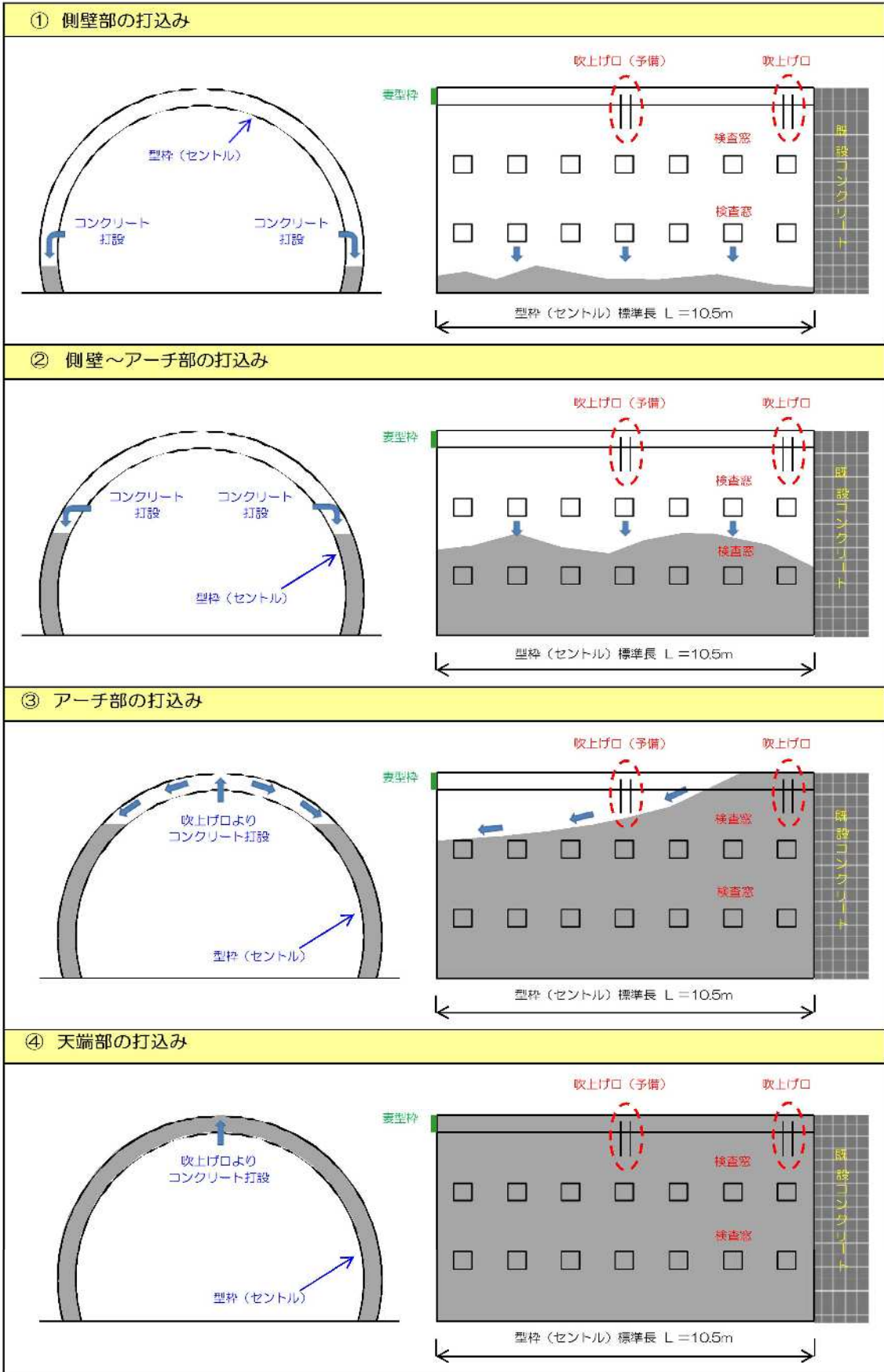
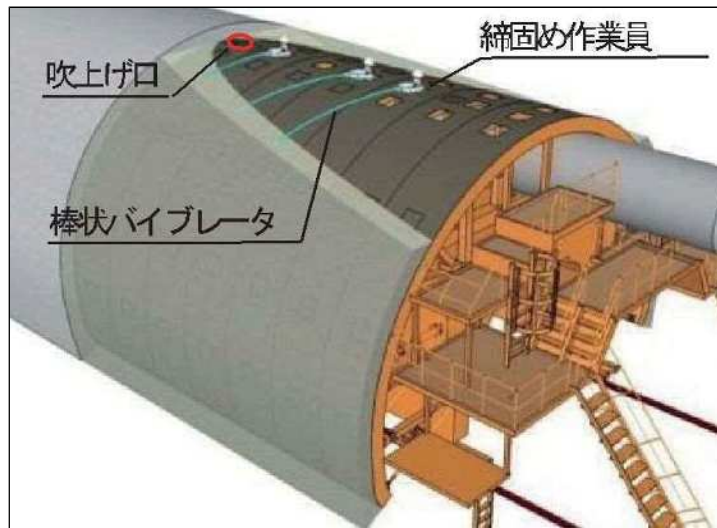


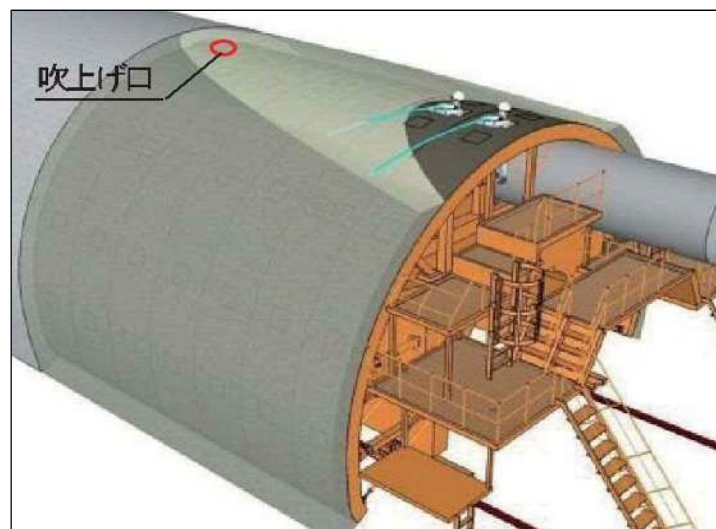
図 3.2.2 標準的な覆工コンクリートの打設手順

出典：トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）

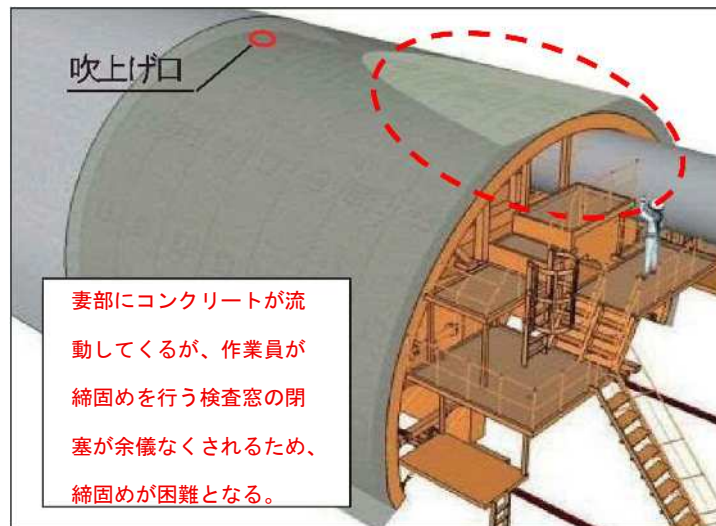
国土交通省四国地方整備局 令和2年3月



① 天端部吹上げ口からの打込み（打込み序盤）



② 天端部吹上げ口からの打込み（打込み中盤）



③ 天端部吹上げ口からの打込み（打込み終盤）

図 3.2.3 標準的な天端部の打込み手順¹⁰⁾に加筆

出典：覆工コンクリート天端部の品質に関する実験的検討 安藤ハザマ(株) 平成 29 年に加筆

3.2.3 適切な養生による緻密性の向上

- (1) 覆工コンクリートは、一般的に2日に1回の打設サイクルとなり、コンクリートの打込み後、脱型強度が確保できる12～20時間後に脱型している場合が多い。⁶⁾
- (2) コンクリートは、施工の基本事項を遵守した打込みを行った後、適切に養生を行うことにより、セメントなどの結合材が十分に反応して緻密な組織を形成することから、ひび割れ抵抗性の向上や劣化因子の侵入に対する抵抗性の向上が期待できる。

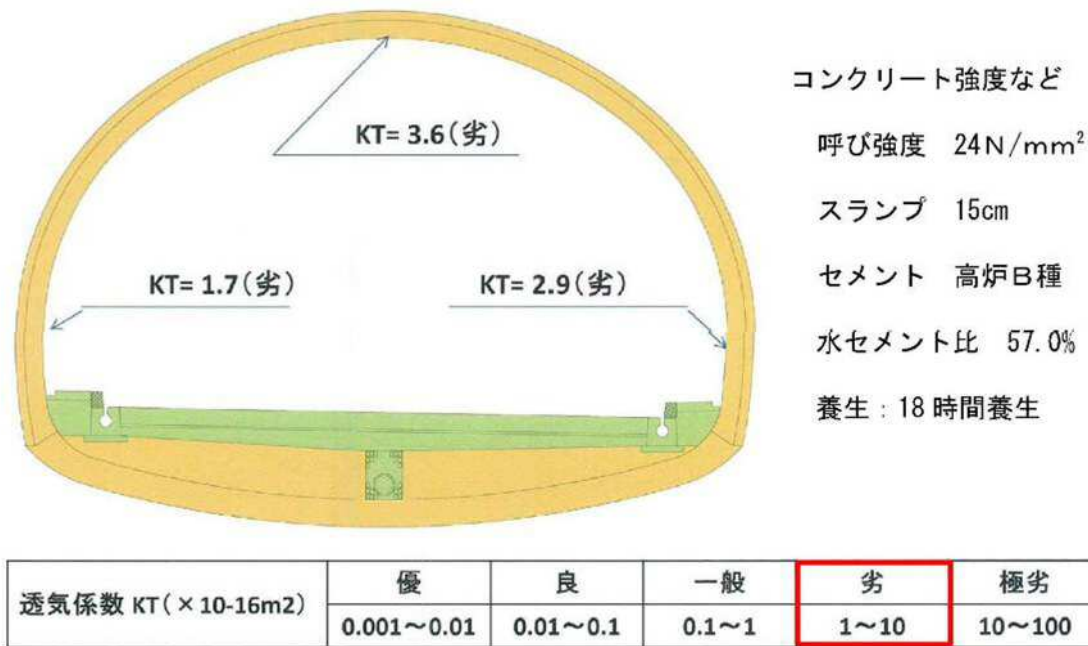


図3.2.4 従来の一般的な方法で施工された覆工コンクリートの透気係数⁶⁾

※透気試験とは、コンクリート内部から空気が吸い出されにくい度合いを指標として、その密実性を評価する手法である。
 空気が吸い出されにくいほどコンクリートは密実であり、その指標となる透気係数は小さい値となる。

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

3.2.4 コンクリートの収縮による施工目地の開き（準備-7、打設-9）※

- (1) 後打ちコンクリートの打込み後、温度や乾燥収縮による体積変化により、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートは離れる方向に変形する。このとき、先打ちコンクリートの妻部が十分平滑でない場合には、両者の間に付着力による引張応力が発生し、抵抗力が弱い側の目地部にひび割れが発生することがある。

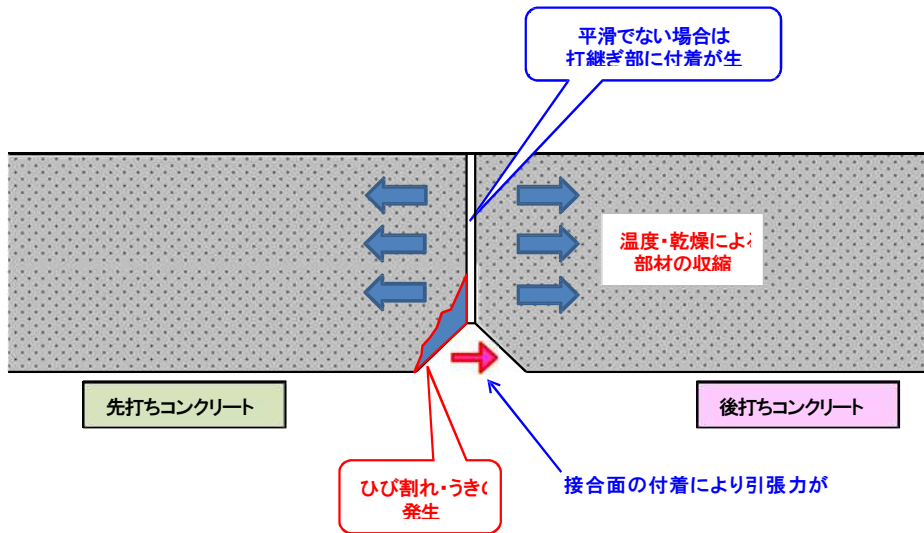


図 3.2.5 施工目地部の付着力によるひび割れ発生

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

- (2) 施工目地の形状が台形の場合、先打ちコンクリートの台形斜辺部は、後打ちコンクリートの斜辺部より抵抗力が弱いことから、収縮に伴う引張応力によりひび割れが発生することがある。

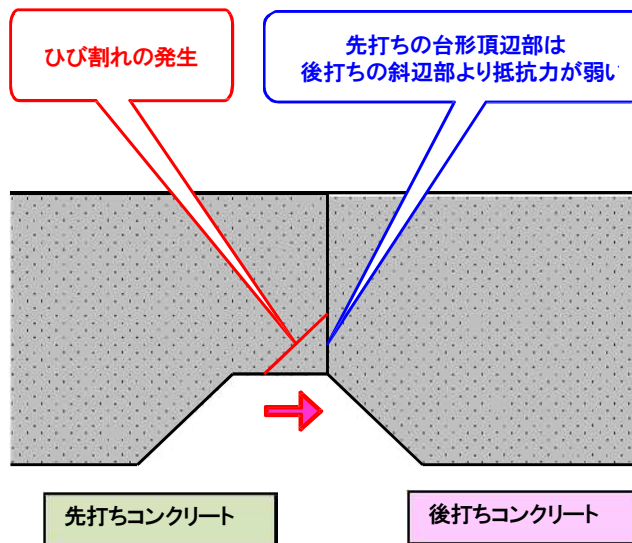


図 3.2.6 施工目地部が台形形状の場合のひび割れ発生

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

※チェックシートのチェック項目の番号

3.2.5 型枠の過度な押し上げによる既設コンクリートのひび割れ（準備-2）

（1）型枠の設置時には、既に打設した若材齢の覆工コンクリートに型枠をラップさせて設置するが、以下の要因で端部の角欠けや半月状のひび割れが発生することがある。

- 1) 型枠セット時に、確認不足や電動油圧ジャッキの操作の誤りにより、既打設コンクリートに型枠を過度に押し付けてしまうおそれがある。

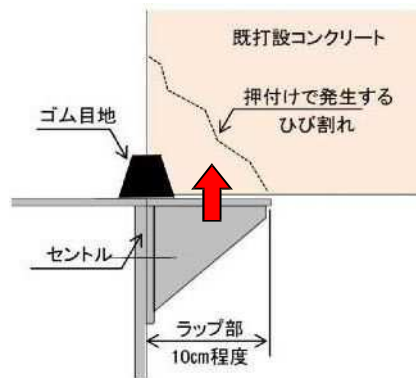


図 3.2.7 型枠押し上げによるひび割れ発生¹²⁾

出典：コンクリート端部のひび割れ発生を防止する「コンラップ監視システム」を開発
戸田建設㈱ 平成27年6月に加筆

- 2) コンクリート打設時に、コンクリートの側圧がセントルに作用して横方向に移動しようとし、ラップ部で既打設コンクリートを過度に押し付けてしまうおそれがある。

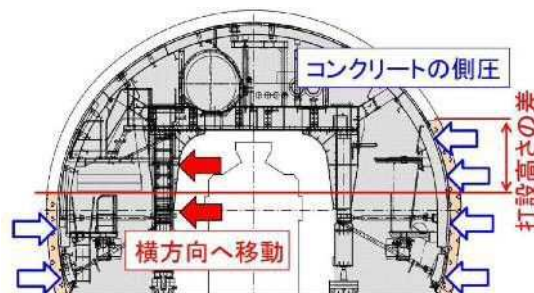


図 3.2.8 コンクリート側圧によるひび割れ発生¹²⁾

出典：コンクリート端部のひび割れ発生を防止する「コンラップ監視システム」を開発
戸田建設㈱ 平成27年6月に加筆

- 3) セントル脱枠時に、作業手順の認識不足や機械故障により、妻側の電動油圧ジャッキだけを下降させてしまい、既打設コンクリートのラップ部を押し付けてしまうおそれがある。

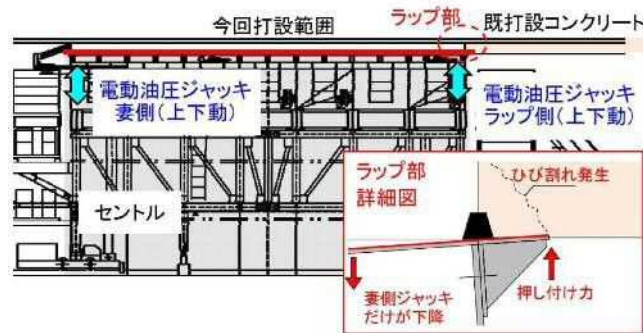


図3.2.9 型枠設置時の操作の誤りによるひび割れ発生¹²⁾

出典：コンクリート端部のひび割れ発生を防止する「コンラップ監視システム」を開発
戸田建設株式会社 平成27年6月に加筆

3.2.6 施工目地部のブリーディングによる品質の低下（打設-9）

- (1) 妻部においては、覆工コンクリートの打込み中にブリーディング水が集積しやすく、打込み後数時間経過すると徐々に発生する。このブリーディング水を適切に排除しないと、コンクリートの密実性が損なわれ、局所的に品質の低い部分が発生する可能性がある。



写真 3.2.2 妻部からのブリーディング水排出の事例

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月に加筆

3.2.7 トンネル縦断勾配による天端部の充填不良

- (1) トンネルの縦断勾配により高低差が生じる場合、下り勾配で打設する場合には、天端部に締固め不足や未充填の箇所が発生するおそれがある。

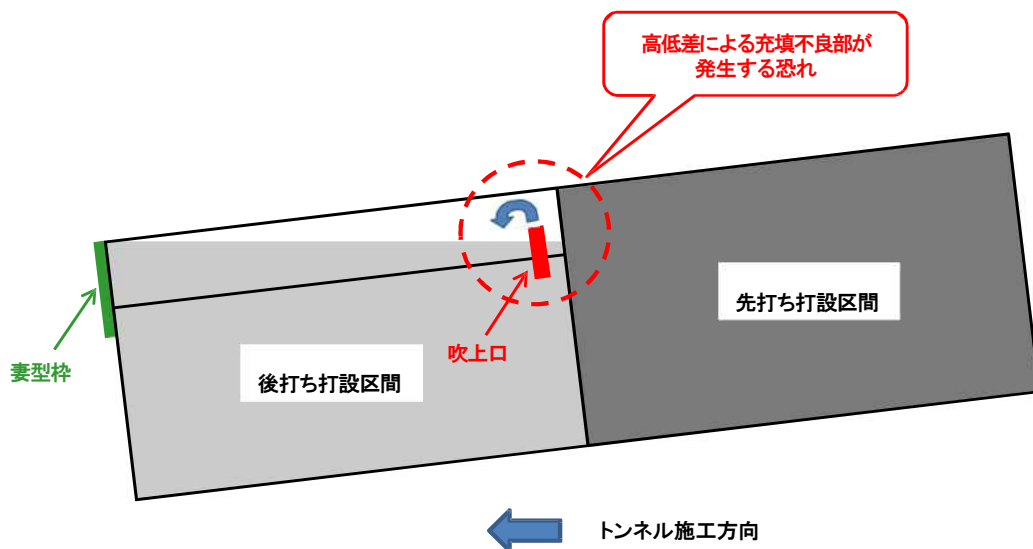


図 3.2.10 縦断方向の高低差による天端空洞発生¹³⁾に加筆

出典：覆工コンクリート品質向上に関する取組み
西松建設(株) 平成 27 年に加筆

3.2.8 防水シートの破損・たるみによる品質への影響（準備-4）

- (1) NATMのトンネルでは掘削面の凹凸が生じやすく、吹付コンクリート面も凹凸が生じやすい。
- (2) 一般的に、凹凸が大きい場合には、吹付コンクリート余吹きなどにより、なるべく吹付面が平滑になるように施工を行うが、完全に平滑にすることは難しい。このとき、防水シート設置時に適切な余裕（たるみ）がなければ、覆工コンクリートの打設時に引張力が生じ、損傷する可能性が高くなる。
- (3) 余裕が大きすぎる場合には、シートのゆるみにより覆工コンクリート背面に空隙が発生する可能性が高くなる。これらは、覆工背面の地下水の滞留空間となり、覆工コンクリートの損傷箇所や打継ぎ目などからの漏水が発生して、品質の低下につながる。

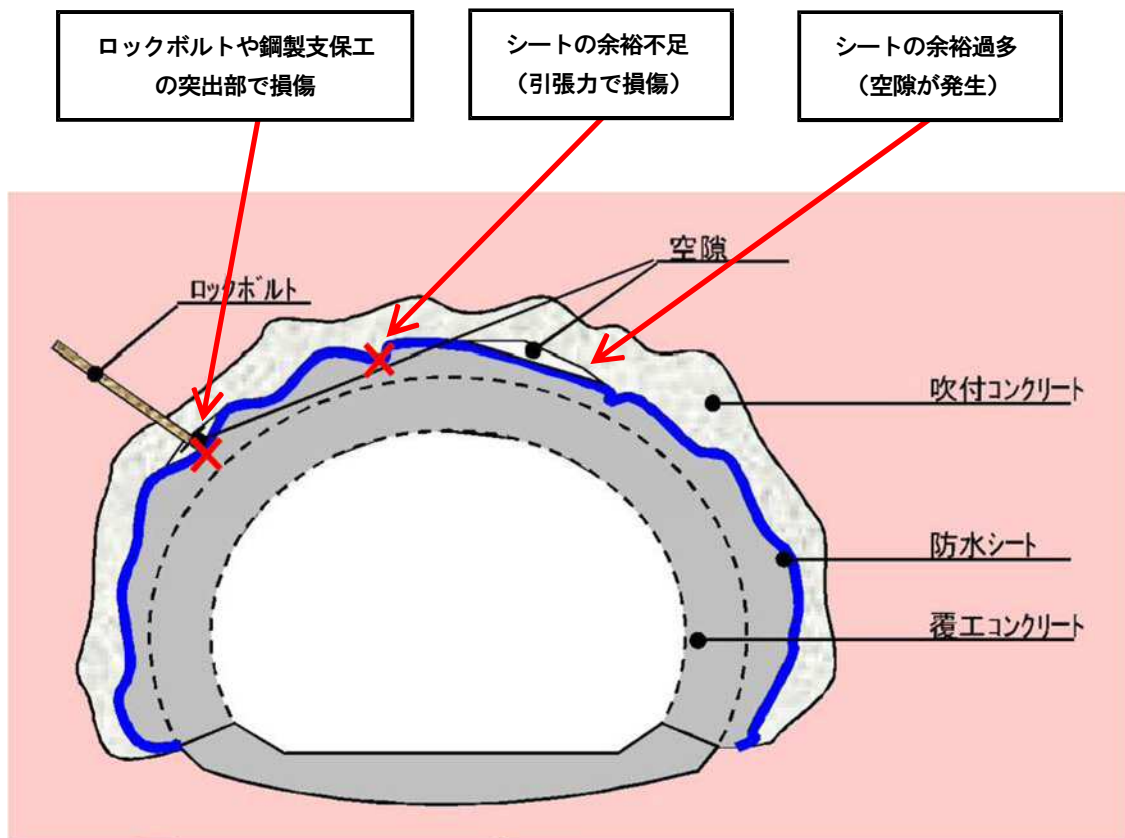


図 3.2.11 覆工背面の凹凸による防水シートの損傷 ¹⁴⁾に加筆

出典：背面平滑型トンネルライニング工法 FFシートシリーズ
フジモリ産業株式会社 平成 28 年 9 月に加筆

3.2.9 掘削時に生じる覆工背面の凹凸による品質への影響（準備-4）

- (1) NATMでは主として発破工法で掘削を行うため、覆工の背面に凹凸が生じやすく、覆工の凹凸の差が大きい場合には、乾燥収縮によるひずみ量の違いや、背面の拘束が生じることなどから、ひび割れが生じやすくなることが懸念される。
- (2) 以下は、覆工厚に差異が生じた場合における、ひび割れ発生の程度を解析的に検討した事例であるが、覆工背面が平滑でない場合には、背面の拘束を受けやすく、局所的な応力増加が生じてひび割れが発生しやすくなることが示唆されている。

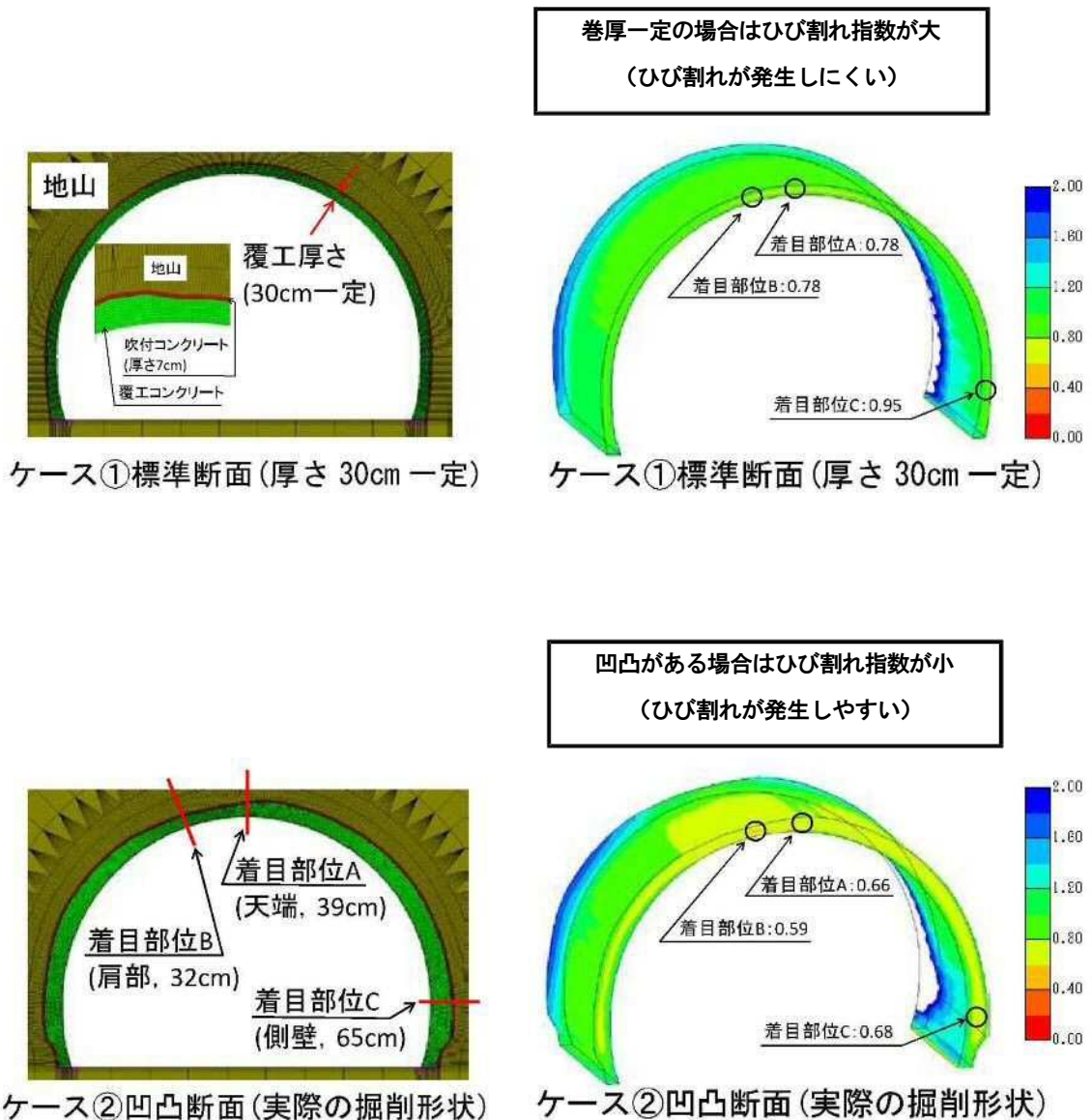


図 3.2.12 覆工巻厚の差異がひび割れ発生に与える影響の解析事例 15)に加筆

出典：覆工コンクリート背面の凹凸形状が温度ひび割れの発生に及ぼす影響に関する解析的検討
鈴木ほか 平成 26 年 9 月に加筆に加筆

4. 京都府のトンネル覆工コンクリートが目指すべき方向

4.1 トンネル覆工コンクリートの課題

覆工コンクリートの課題としては、施工の基本事項を遵守していない場合や十分な養生が行われていない場合等により、ひび割れや緻密性不足といった不具合が生じていると考えられる。

(1) 施工中に生じる不具合および施工に起因するひび割れの発生

- 1) 十分な締固めを行っていないなどの理由で、打重ね線、色むらや砂すじなどの不具合が生じていると考えられ、打重ね線や色むらなどに沿ってひび割れの発生が見られる。また、天端部のコンクリートには、充填不足やブリーディング水の除去不足が原因と考えられる、縦断方向のひび割れの発生が見られる。
- 2) このようなひび割れは、不均質で密実性が低く一体化が損なわれたコンクリートが原因であると考えられ、本来入るはずのないひび割れが発生していると考えられる。
- 3) これらの不具合は、将来的にうきやはく離に進展する可能性が高いだけでなく、坑口部では塩分などの劣化因子の侵入を促進し、早期劣化につながる恐れもあることから、発生を抑制することが重要である。

(2) 施工目地部に生じる不具合の発生

- 1) 型枠の過度な押上げや目地部の開きなどにより施工目地部に生じるひび割れは、将来的にうきやはく離に進展する可能性が高い。
- 2) これらの不具合は、コンクリート片の剥落による利用者被害の発生が懸念されることから、発生を抑制することが重要である。

(3) 緻密性

- 1) 覆工コンクリートは、一般的に約18時間程度で脱型強度に達した時点で脱型し、その後は特に養生を行わないのが発注仕様の標準となっている。⁶⁾このため、さらなる養生によりコンクリートの緻密性が向上し、飛来塩分や凍結防止材に起因する塩化物イオンなどの劣化因子が侵入しづらいコンクリート表層となる。

(4) 側壁の横断方向ひび割れ

- 1) 覆工コンクリートがインバートの拘束を受ける場合には、覆工コンクリートに横断方向のひび割れが発生する可能性がある。

- (5) これらの不具合のうち、(1)～(2)は、「均質かつ密実で一体性のあるコンクリート」を施工段階で目指していないために発生していると考えられる。また、(3)は、必要となる対策を講じていれば十分抑制可能な事象であると考えられ、さらなる対策の実施により不具合が生じづらくなると考えられる。

4.2 トンネル覆工コンクリートの目指すべき方向

京都府の自然環境や現場条件、構造物や使用材料の特性などを踏まえ、設計、施工、維持管理の各段階で、十分な耐久性をもつトンネル覆工コンクリートの品質確保を目指す。

(1) 施工中に生じる不具合および施工に起因するひび割れの抑制

- 1) 一般的に、コンクリートの充填不足や締固め不足、ブリーディング水の除去不足などから、打重ね線や色むら、気泡の残留、水はしりや砂すじなどの施工の丁寧さが不足したことによる不具合が発生していると考えられる。また、打重ね線や色むらに沿ったひび割れの発生や、天端部の充填不足やブリーディング水の除去不足などから、天端部に縦断方向のひび割れが発生していると考えられる。
- 2) ひび割れには、温度変化や乾燥収縮によって生じるひび割れなど、現実的には発生を抑制することが困難なものもあるが、特に、施工の不具合により、コンクリートの一体性や緻密性が損なわれた結果生じるひび割れは、将来的にうき・はく離・剥落につながるものが多く、利用者被害防止の観点から発生を抑制することが重要である。
- 3) このような、施工の丁寧さに起因する不具合を抑制するためには、施工の基本事項を遵守し、施工段階において設計で想定しているような「均質かつ密実で一体性のあるコンクリート」を目指す。

(2) 施工目地部に生じる不具合の抑制

- 1) 一般的に、施工目地部は、施工時点では不具合がなくても、供用後早期にうきが発生し、剥落の可能性を有する事例もある。
- 2) 施工目地部は、ブリーディング水が集積しやすいため、他の部位と比較して脆弱なコンクリートになりやすい傾向にある。
- 3) このため、施工目地のブリーディング水を十分に除去するとともに、密実なコンクリートを充填する努力を行ったうえで、脱型後の施工目地の開きによって生じる、施工目地部の不具合の防止を目指す。

(3) 緻密性の向上

- 1) 覆工コンクリートの一般的な脱型時間である、18時間で脱型したコンクリートの表層の緻密性を透気試験で確認した事例では、「劣」の評価となっているが、同じコンクリートを一週間程度養生すると、「一般」の評価まで表層品質が向上する結果となる。
- 2) このため、施工の基本事項を遵守し、施工中に生じる不具合や施工に起因するひび割れの発生を抑制したうえで、適切な養生を行い、劣化因子が侵入しにくい密実性の高いコンクリートを目指す。

(4) 側壁の横断方向ひび割れの抑制

- 1) インバートのある区間では、温度変化に伴う覆工コンクリートの収縮がインバートによって拘束されることにより、横断方向のひび割れが側壁に発生する場合がある。
- 2) このようなひび割れは、一般的に水セメント比(W/C)が50%程度よりも小さいと発生する可能性が高く⁶⁾、また、均質かつ密実で一体性のあるコンクリートであっても発生する場合がある。
- 3) このため、水和反応による急激な温度上昇の抑制や、急激な温度降下を招かないような対策を講じることで抑制することを目指す。

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)
休憩越時間	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. 打設底盤に水たまりは無いが、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ひび割れ等の発生を防止するため					
	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ひび割れ等の発生を防止するため					
	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、コンクリート密実性の低下を防止するため					
	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. 降服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				・落下によるコンクリートの崩壊、型枠等の発生を防止するため						
	4. コンクリートの一層あたりの打込み高さは50cm以下か				・コンクリートの層間剥離等の発生を防止するため						
	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、フリーチオン発生時の動長を防止するため						
	7. 天端の吹上げ口周辺に、打込み当初の残留コンクリートはないか				・打重ね線、うき、はく離、剥落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。

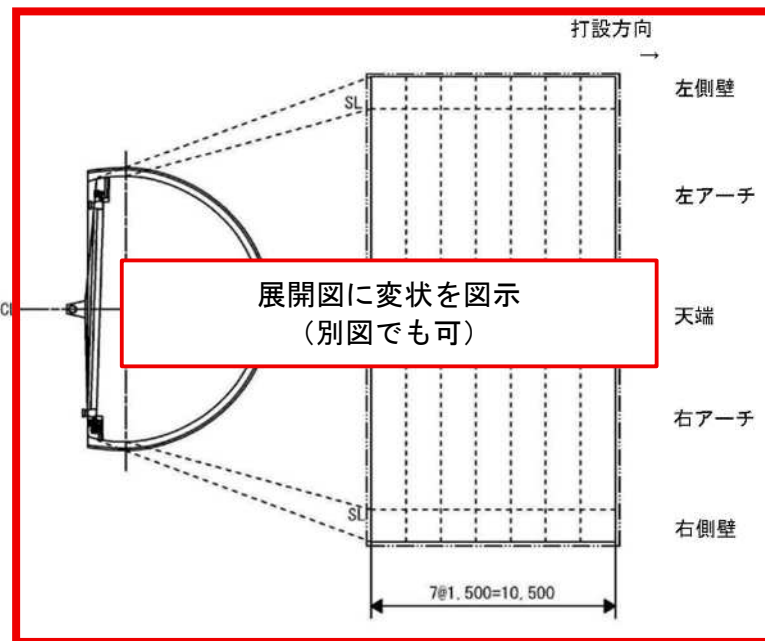
調査時期		脱型直後から初期養生開始前				不適合時、どんな点を改善させるべきか？		
調査方法		・近接できない範囲は、覆工センターから照明を当てながら観察				原因	Keyワード	改善策
評価点		4	3	2	1	施工状況把握チェックシートの項目		
① はく離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる			
② 気泡 (1.5m x 1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または、5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる			
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	脱型日	初期養生終了日	調査日	確認者		
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	
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)

◆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)







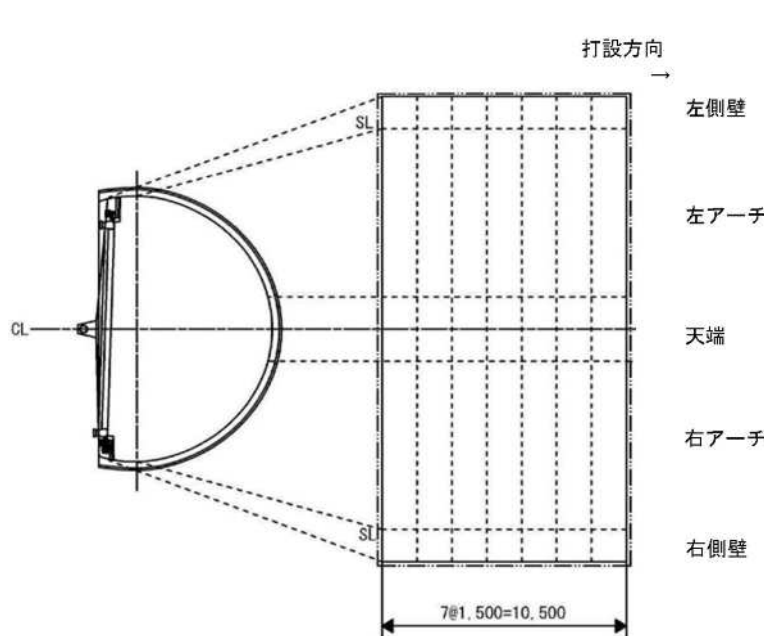
調査時期		脱型直後から初期養生開始前				不適合時、どんな点を改善させるべきか？		
調査方法		・近接できない範囲は、覆工センターから照明を当てながら観察				原因	キーワード	改善策
	評価点	4	3	2	1	施工状況把握チェックシートの項目		
① はく離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲に見られる			
② 気泡 (1.5m x 1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または、5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる			
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							



- 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
	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)

◆ 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。

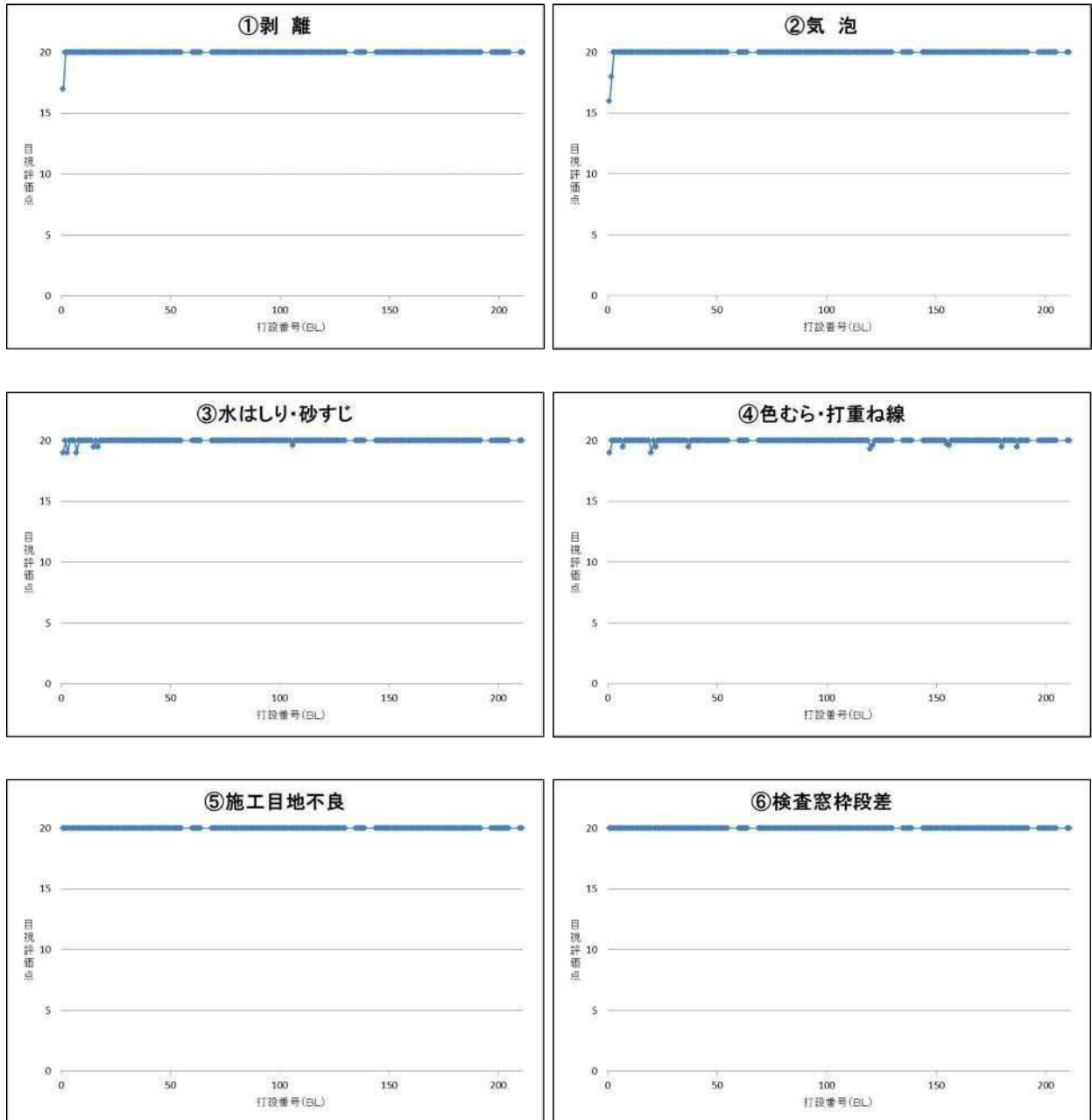


図 5.2.8 表層目視評価結果の実例

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。

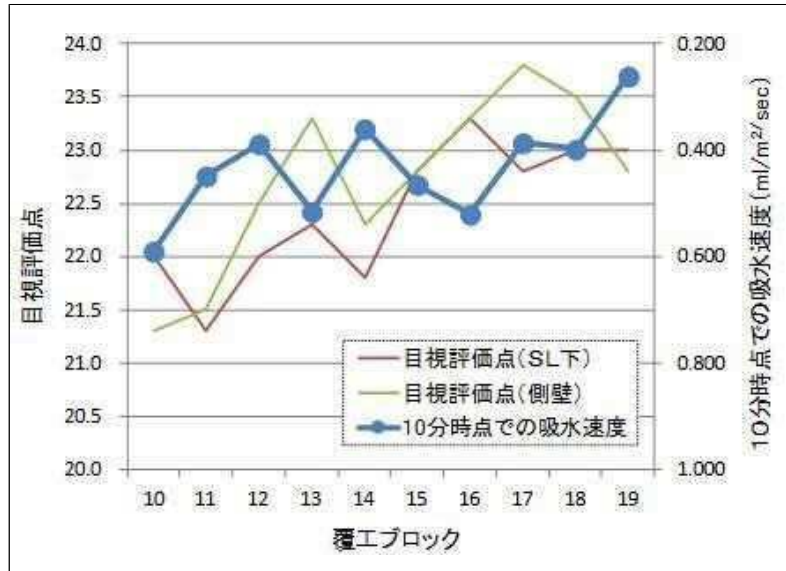


図5.2.9 表層目視評価点と吸水速度との関係⁶⁾

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

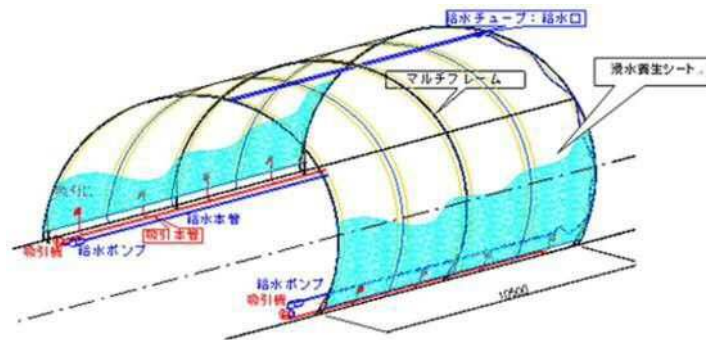


図 5.3.1 給水養生（アクアカーテン養生）の概要図¹⁹⁾

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⁾

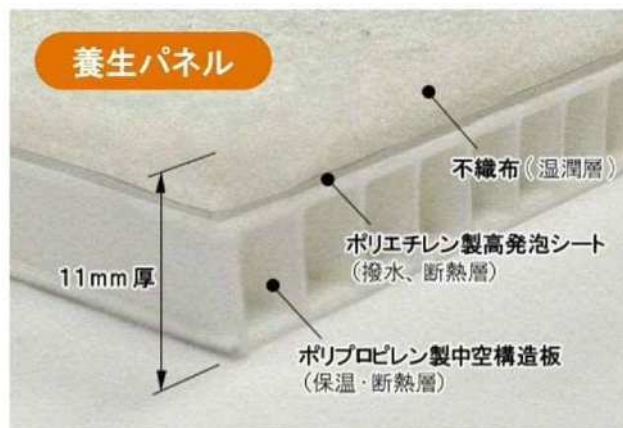


図 5.3.2 養生パネル²⁰⁾

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⁾

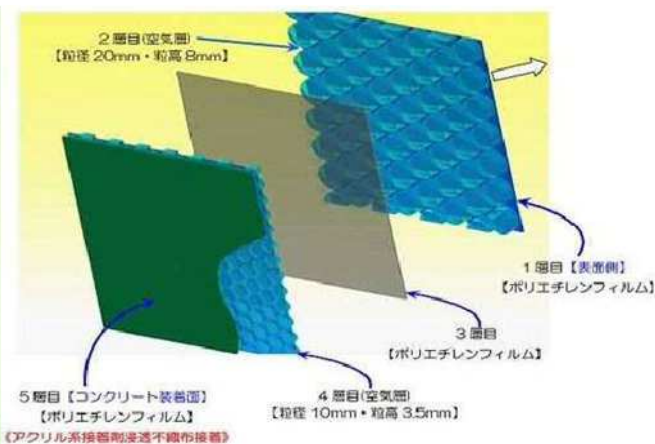


図 5.3.3 養生シート²¹⁾

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。

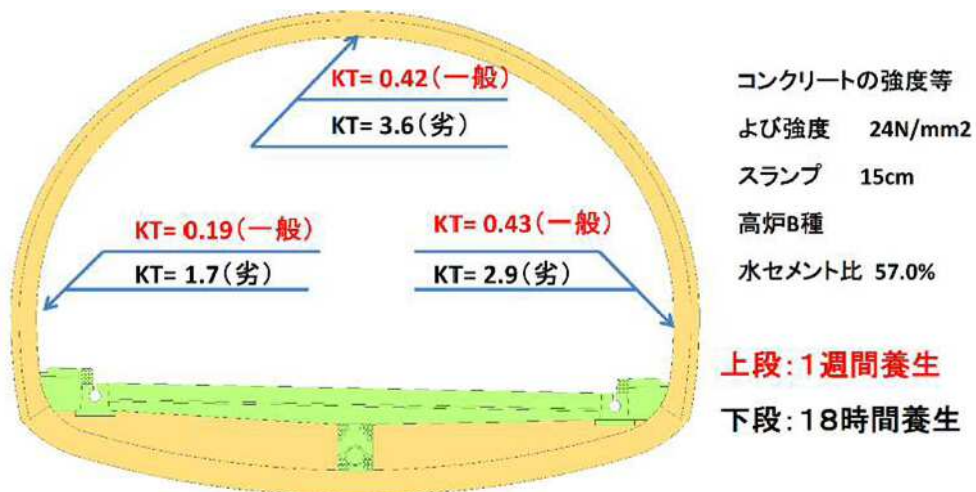


写真 5.3.6 隔壁（バルーン隔壁）の事例 ²²⁾

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 （ $\times 10^{-16} \text{m}^2$ ）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

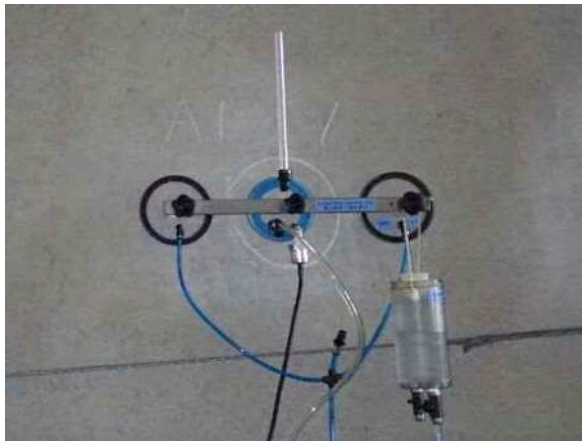
写真 5.3.7 表層透気試験の概要

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

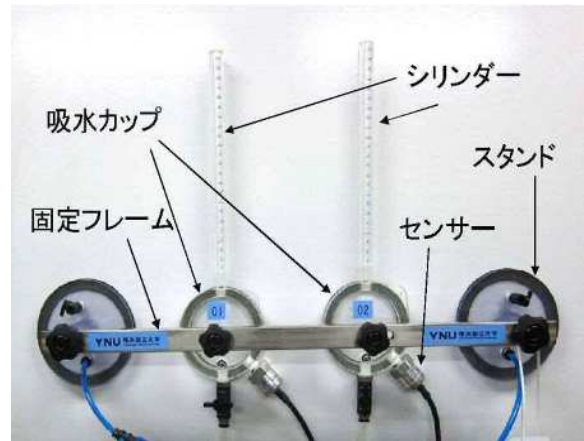
2) 表面吸水試験 (SWAT) は、吸水カップをコンクリート表面に密着させ、吸水カップに水を満たした直後から、コンクリート表面が吸水する速度を測定するものである。測定結果はコンクリートの含水率に影響を受けるため、含水計でコンクリートの含水率を計測し、5.5%以下であることを確認したうえで計測を行う必要がある。

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)

6. 記録と保存

コンクリート構造物の施工条件や初期品質の状態を記録するとともに、将来施工条件と品質の関係などの分析および評価を可能とするために、必要なデータを工事の完成図書類の一部としてデジタルデータを記録・保存するものとする。

(1) 施工計画、施工状況把握チェックシートの記録、養生方法、表層の緻密性の調査結果やひび割れのデータなど、品質確保のためのデータは、後に分析および評価が可能となるように記録し保存するものとする。記録し保存するデータの一覧を表6.1.1及び表6.1.2に示す。

表 6.1.1 記録・保存するデータの一覧

◆ 施工計画書

◆ コンクリート打設管理記録

1) 構造に関する記録

・コンクリート配合表 ・補強鉄筋の有無および区間 ・補助工法の内容

2) 環境に関する記録

・トンネル貫通前および貫通後

3) 材料に関する記録

・受入れ検査の記録

4) 施工に関する記録

・打設ブロック割 ・各ブロックの施工状況把握チェックシートの結果
・施工記録表（打設日、打設時間、脱型日、養生時間）
・養生方法、坑内環境計測結果（温度、湿度など）

5) 出来映えに関する記録

・表層目視評価結果、改善事項
・表層品質の確認記録（非破壊試験）
・初期変状の変状図（スケッチ図）

6) 施工の工夫に関する記録

・技術提案事項 ・施工者の創意工夫

表 6.1.2 必要に応じて記録・保存するのが望ましいデータの一覧

◆ その他（必要に応じて実施した試験記録など）

1) 材料試験に関する記録

・骨材の収縮率 ・ブリーディングの特性

2) 施工時の各種記録

・切羽観察記録 ・A計測等

7. 巻末資料

巻末資料－1 不具合の抑制対策の事例

巻末資料－2 トンネル定期点検について

巻末資料－3 破壊試験による表層品質の確認方法

巻末資料－4 記録様式

巻末資料－5 用語の定義

巻末資料－6 参考文献