

令和元年度

トンネル覆工コンクリートの品質確保の
手引き（案）

令和２年３月

国土交通省四国地方整備局
四 国 技 術 事 務 所

要 旨

本手引き（案）は、トンネル施工段階における品質確保を行うための手法を提示している。これにより、トンネル覆工コンクリートの品質を確保し、覆工コンクリートの長寿命化による維持管理の効率化や管理コストの縮減を図るものである。

とりまとめにあたっては、トンネル点検・診断結果の既往成果をもとに、覆工コンクリートの変状の現状把握を行い、変状の種類ごとに代表的な事例の抽出を行った。抽出トンネル【NATM】において、変状区分、現場環境条件、施工状況等について、完成図書等からその状態の要因分析を行い、課題や対応策について検討した。

本手引き（案）は、トンネル工事の現場監督者のためにわかりやすくまとめているので、施工管理に活用されたい。

トンネル覆工コンクリートの品質確保の手引き（案）

— 目 次 —

1. 四国地方の地域特性	1
1. 1 四国地方の地域特性	1
1. 2 四国地方のトンネルが置かれる環境	2
1. 3 四国地方の骨材事情	4
2. 四国地方のトンネル覆工コンクリートの課題	6
2. 1 四国地方のトンネルの不具合発生状況	6
2. 2 トンネル覆工コンクリートの不具合の発生原因	27
2. 3 骨材による影響	38
3. 四国地方のトンネル覆工コンクリートの目指すべき方向	40
3. 1 トンネル覆工コンクリートの課題	40
3. 2 トンネル覆工コンクリートの目指すべき方向	42
4. 適用の範囲	44
5. トンネル覆工コンクリートの品質確保	46
5. 1 施工の基本事項の遵守	46
5. 2 品質確保チェックシート	48
5. 3 養生による緻密性の向上	57
6. 記録と保存	64
7. 巻末資料	65
巻末資料-1 不具合の抑制対策の事例	66
巻末資料-2 トンネル定期点検について	91
巻末資料-3 非破壊試験による表層品質の確認方法	93
巻末資料-4 記録様式	103
巻末資料-5 用語の定義	113
巻末資料-6 参考文献	115

1. 四国地方の地域特性

1.1 四国地方の地域特性

四国地方は山地割合が約 80%であり、地方別では全国で最も高く、瀬戸内海側と太平洋側に部分的に平野が存在する。

特に、太平洋側の沿岸部においては、山地と海岸線との距離が非常に短く、平地の面積は狭小である。

このため、主要な国道は山間部、もしくは山地と海岸線と間に存在する狭小な平地部となる。

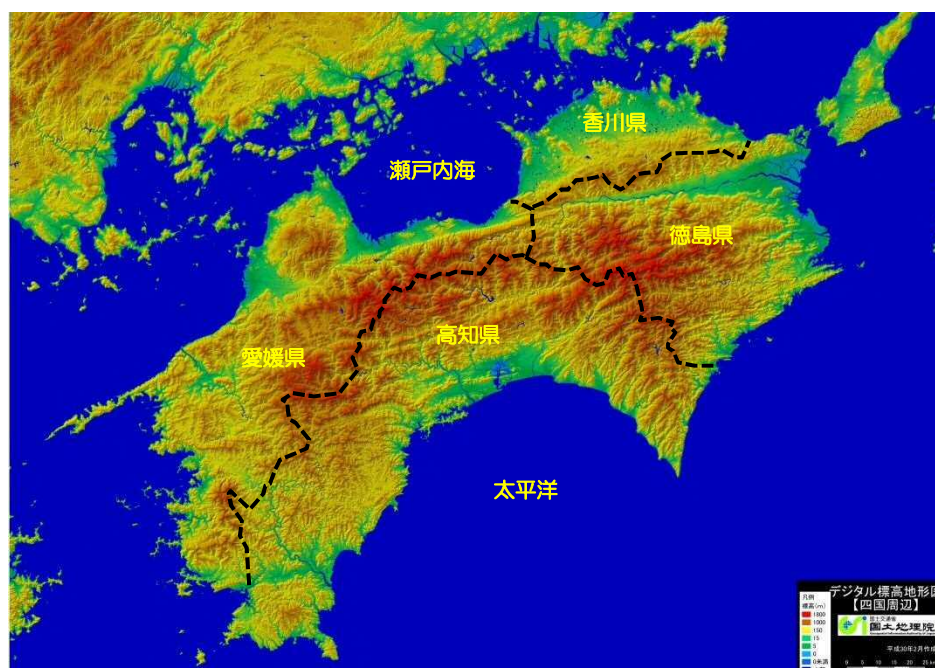


図 1-1 四国地方の地形 1)に加筆

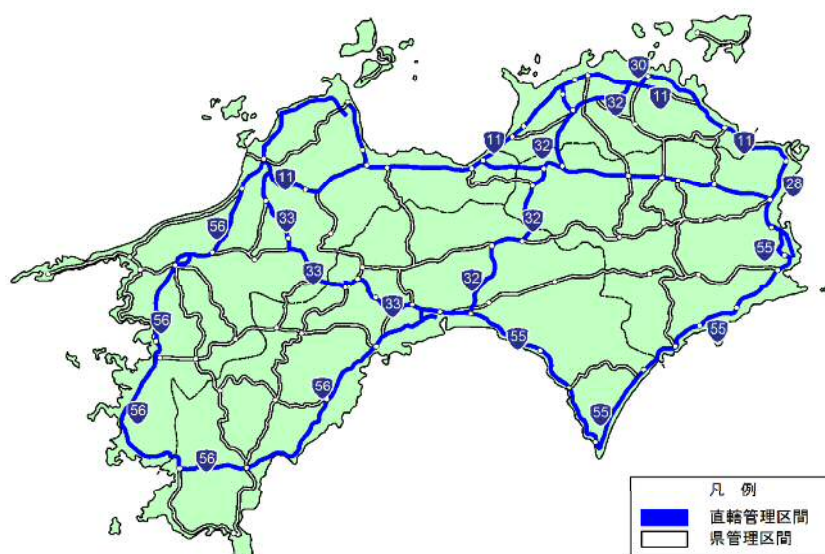


図 1-2 四国地方の主要国道ルート

1.2 四国地方のトンネルが置かれる環境

(1) 飛来塩分

四国地方は、塩害環境においてはC区分に該当し、東北地方の日本海側や沖縄県などと比べると、劣悪な塩害環境ではないが、飛来塩分量の調査結果では、徳島県から高知県にかけての太平洋沿岸部では比較的飛来塩分量が多く、坑口部などの有筋区間では塩害劣化が懸念される。

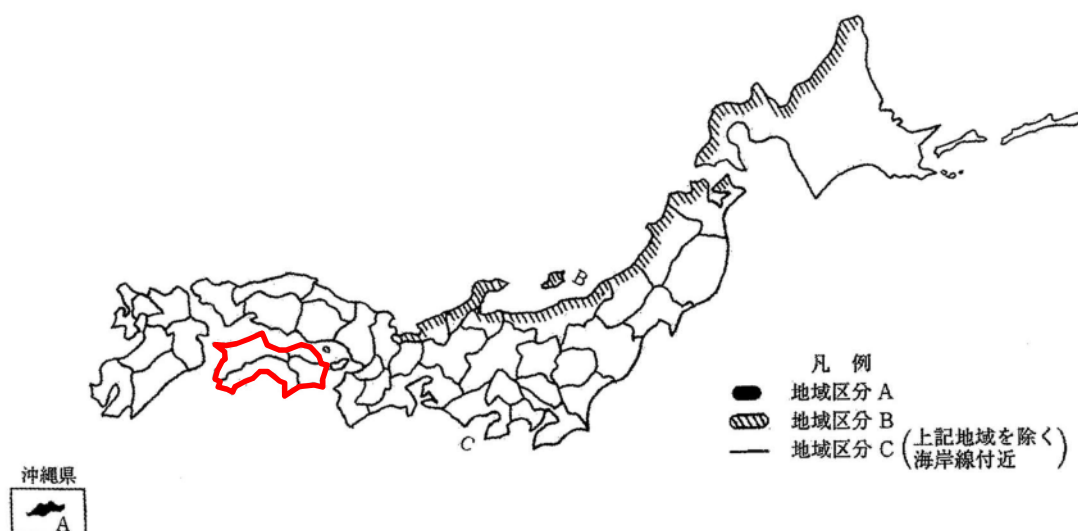


図 1-3 塩害の影響の度合いの地域区分 ²⁾に加筆



図 1-4 飛来塩分量 ³⁾に加筆

(2) 凍結防止剤

温暖な四国地方においても、冬期の山間部では想像以上に気温が下がるため、積雪および路面凍結が発生しており、除雪や凍結防止剤の散布が行われている。

また、温暖な太平洋側の平野部においても、冬期は積雪や路面凍結が発生している。このため、坑口部などの鉄筋区間では凍結防止剤による塩害劣化が懸念される。



図 1-5 四国内の積雪・凍結注意区間、集中除雪区間 4),5)に加筆

1.3 四国地方の骨材事情

四国地方においては、生コンクリート工場で使用されている骨材岩種が地域により異なり、砂岩、石灰岩を主体に安山岩、輝緑岩など多様である。
この骨材岩種の違いも、コンクリートの性状に影響をおよぼしていると考えられる。

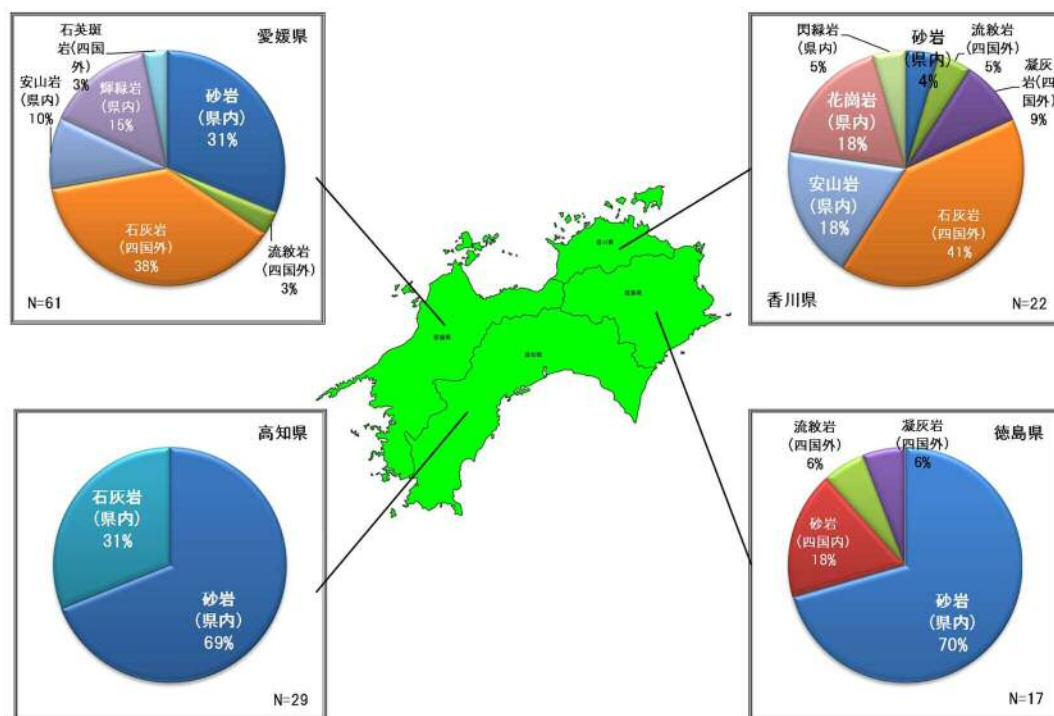


図 1-6 四国地域の生コン工場で使用されている細骨材の岩種区分

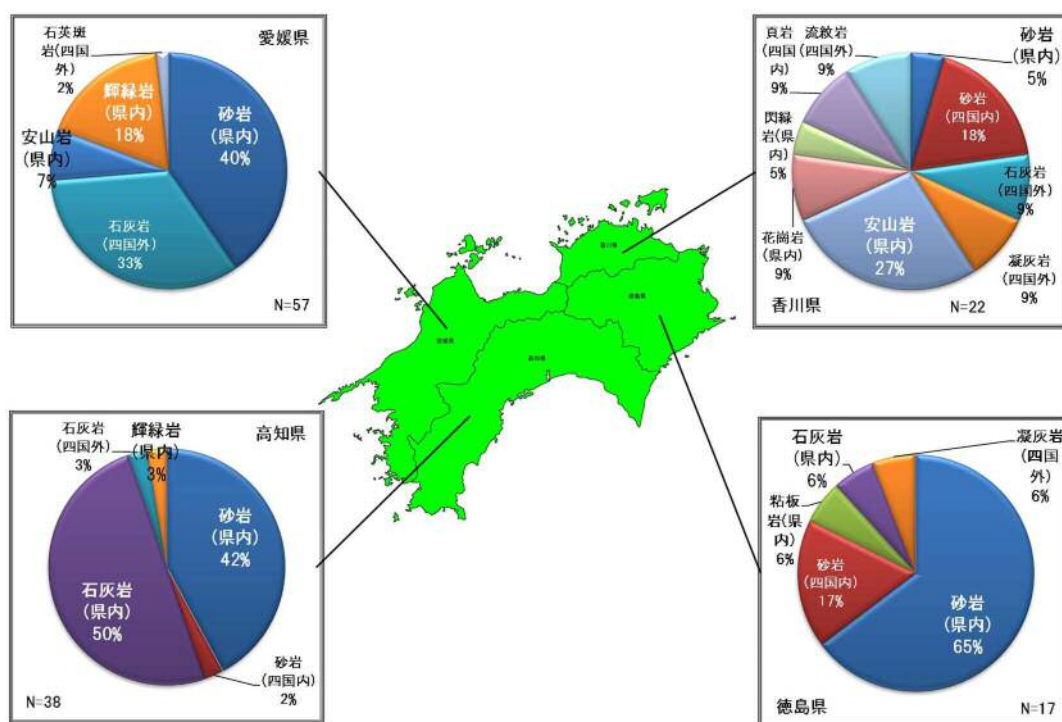


図 1-7 四国地域の生コン工場で使用されている粗骨材の岩種区分

また、一部の生コンクリート工場では、九州地方の石灰碎石、砕砂、海砂を海上輸送にて利用している。

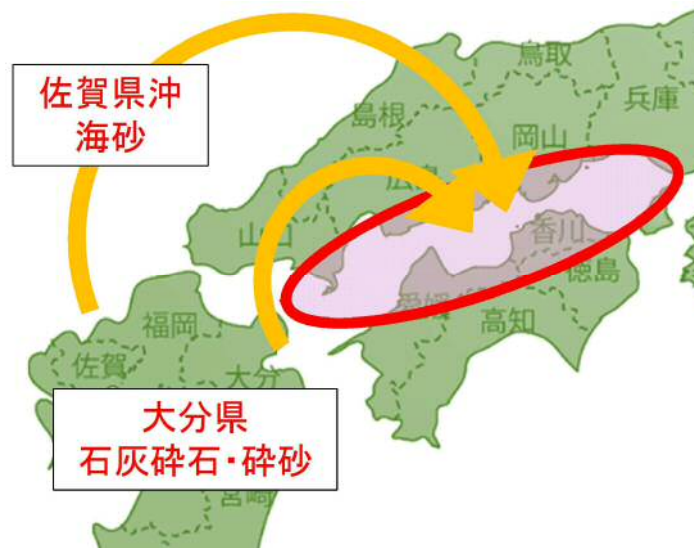


図 1-8 海上輸送による四国地方圏外の骨材使用の現状⁶⁾

2. 四国地方のトンネル覆工コンクリートの課題

2.1 四国地方のトンネルの不具合発生状況

(1) 不具合の発生状況

図 2-1 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。

四国地方の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。

- ◆ 施工目地部の周辺に発生するうき、はく離、剥落およびひび割れ
- ◆ 側壁、アーチ部の縦断方向および横断方向のひび割れ
- ◆ 天端部の縦断方向のひび割れ
- ◆ 表面の水はしり、砂すじおよび気泡
- ◆ コンクリート打継目の打重ね線、色むらおよびコールドジョイント

また、トンネル坑口周辺部では、沿岸部における飛来塩分および山間部における凍結防止剤の散布により、塩害劣化が懸念される。

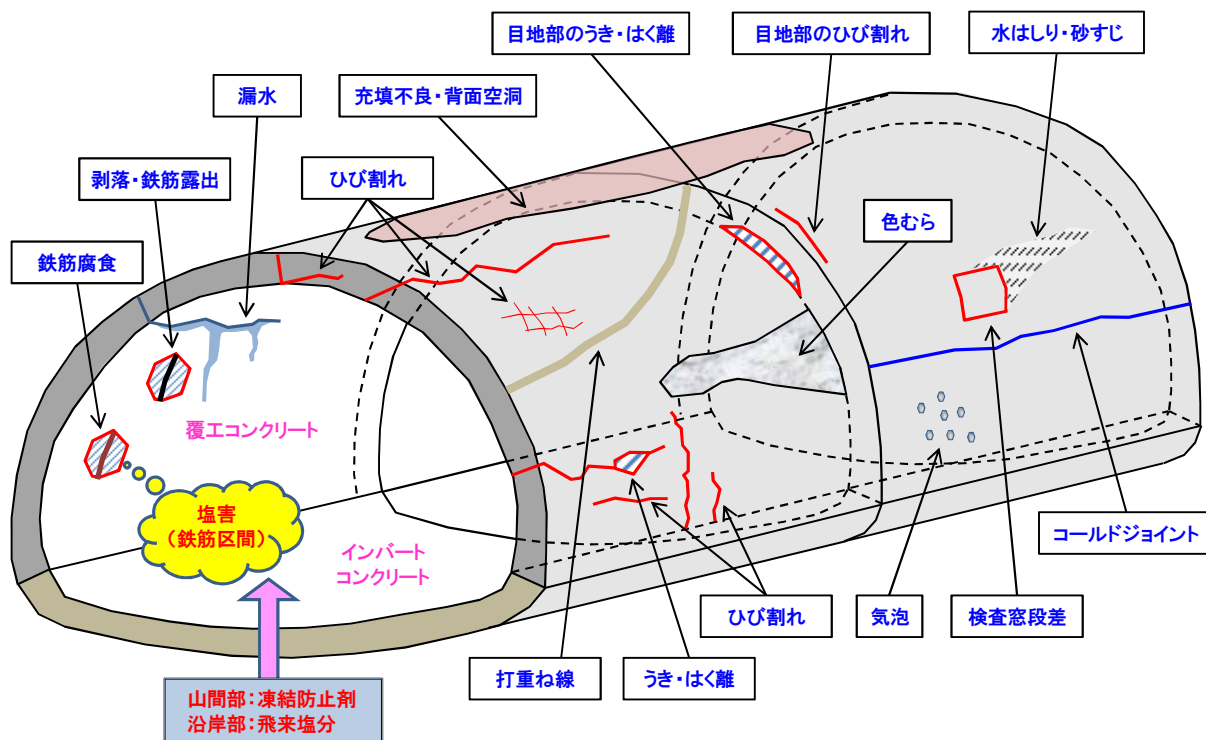


図 2-1 トンネル覆工コンクリートに発生しやすい不具合や変状 ⁷⁾に加筆

なお、この手引きでは、覆エコンクリート各部の名称を以下の通り表記している。

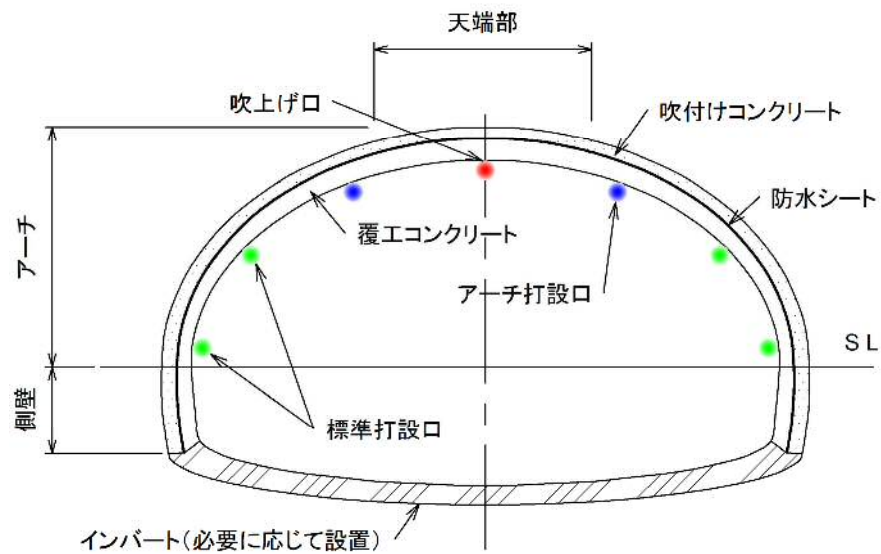


図 2-2 覆エコンクリート各部の名称（横断方向）⁷⁾に加筆

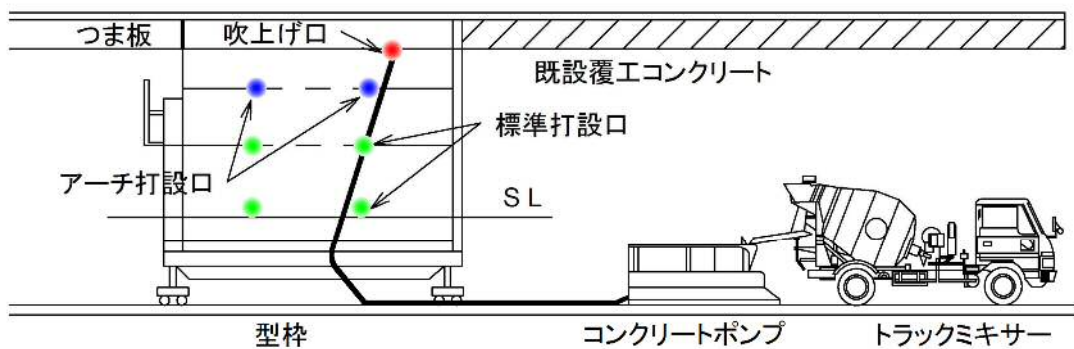


図 2-3 覆エコンクリート各部の名称（縦断方向）⁷⁾

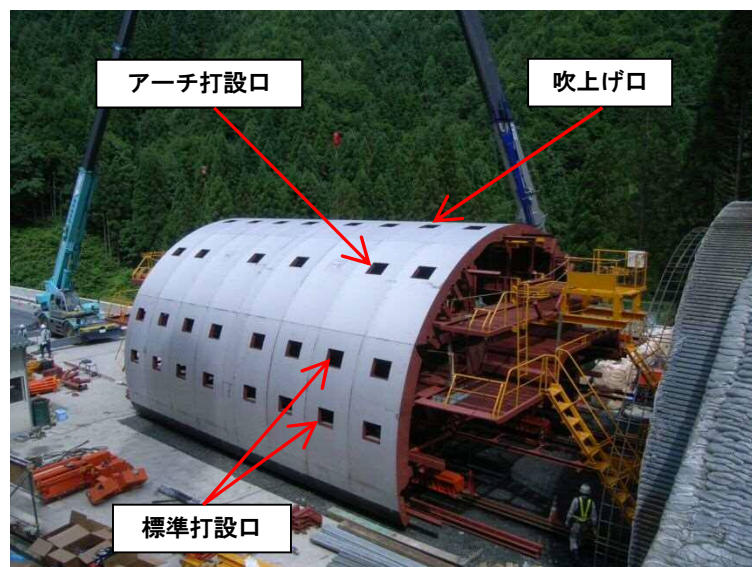


写真 2-1 型枠（セントル）⁸⁾

(2) トンネル定期点検の結果による不具合の傾向

四国地方整備局が管理している、N A T M工法により施工されたトンネル(59トンネル)について、「道路トンネル定期点検要領 平成26年6月 国土交通省 道路局」に基づいて行われた定期点検結果を基に、変状の状態について整理した結果を以下に示す。

図2-4は、対象59トンネルの施工年次の割合をグラフ化したものである。
施工年次から10年～20年程度経過したトンネルが過半数を占めている。

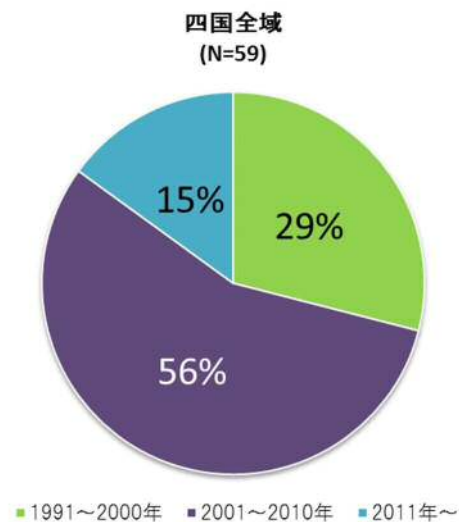


図2-4 N A T M工法により施工されたトンネル施工年次の割合（四国地方整備局管内）

図2-5は、対象59トンネルの延長の割合をグラフ化したものである。
500m以下の比較的短いトンネルがほぼ半数を占めており、貫通後の外気の影響（乾燥や急激な温度変化）を受けやすいトンネルが多いと考えられる。

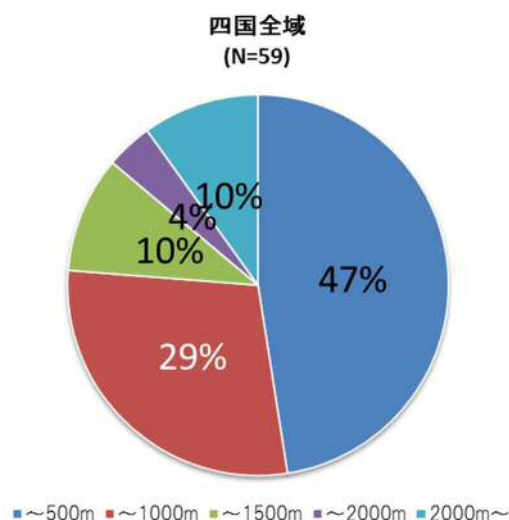


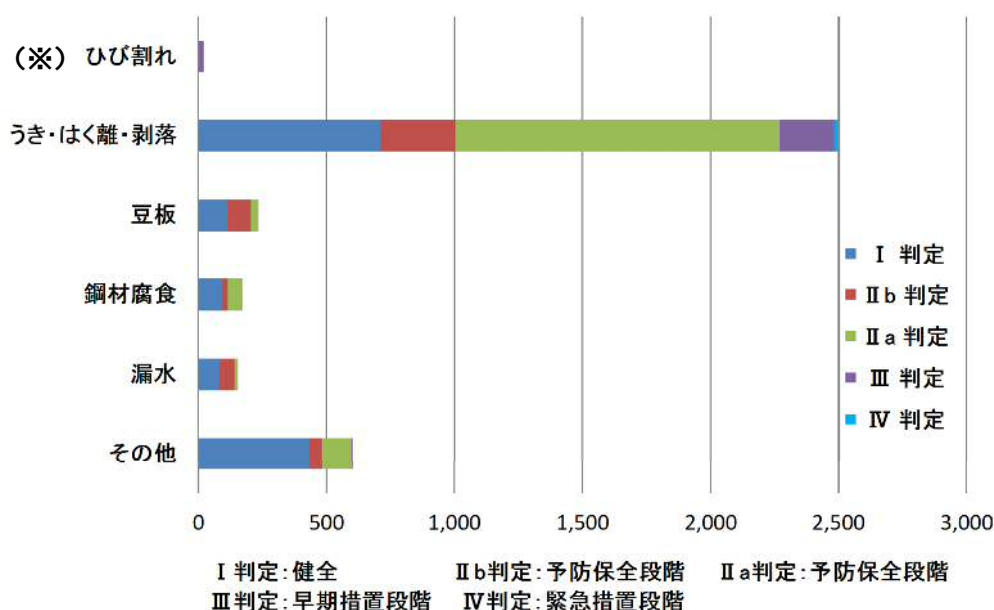
図2-5 N A T M工法により施工されたトンネル延長の割合（四国地方整備局管内）

図 2-6 は、対象 59 トンネルにおける変状の種類および健全度の判定について、変状の発生数と健全度判定結果の割合をグラフ化したものであるが、特にうき・はく離・剥落が多数を占めている。

特に、ひび割れは、Ⅲ判定（早期措置段階）が約 7 割を占めているとともに、うき・はく離・剥落はⅡb 判定およびⅡa 判定（予防保全段階）を含めると約 7 割を占めている。

このため、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を抑制する必要があると言える。

判 定	I 判定	Ⅱ b 判定	Ⅱ a 判定	Ⅲ 判定	Ⅳ 判定	計
ひび割れ	0	4	0	17	0	21
うき・はく離・剥落	711	294	1,265	215	14	2,499
豆板	116	89	31	0	0	236
鋼材腐食	94	21	59	0	0	174
漏水	83	59	12	1	0	155
その他	433	51	115	3	0	602
総計	1,437	518	1,482	236	14	3,687



(※) 道路トンネル定期点検要領においては、ひび割れ幅は 3 mm 以上が判定対象

図 2-6 NATM 工法により施工されたトンネルの変状総数（四国地方整備局管内）

表 2-1 道路トンネル定期点検要領（平成 26 年 6 月）における判定区分⁹⁾

定期点検では、トンネルの変状の状況を把握したうえで、変状毎に表-8.1の判定区分による判定を行う。

表-8.1 判定区分

区分	定 義
I	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	II b 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	II a 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III	早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。
IV	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

※1 判定区分IVにおける「緊急」とは、早期に措置を講じる必要がある状態から、交通開放できない状態までを言う。

図 2-8 は、対象 59 トンネルにおける変状の種類ごとに、発生箇所の割合をグラフ化したものである。

うき・はく離・剥落は、施工目地に発生している割合が過半数を占めているとともに、アーチ部に多く発生している。また、覆工部分での発生を含めると、9割がアーチ部で発生している。

ひび割れは、覆工部に発生している割合が過半数を占めているとともに、アーチ部に多く発生している。

これらのことから、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を抑制する必要があるといえる。

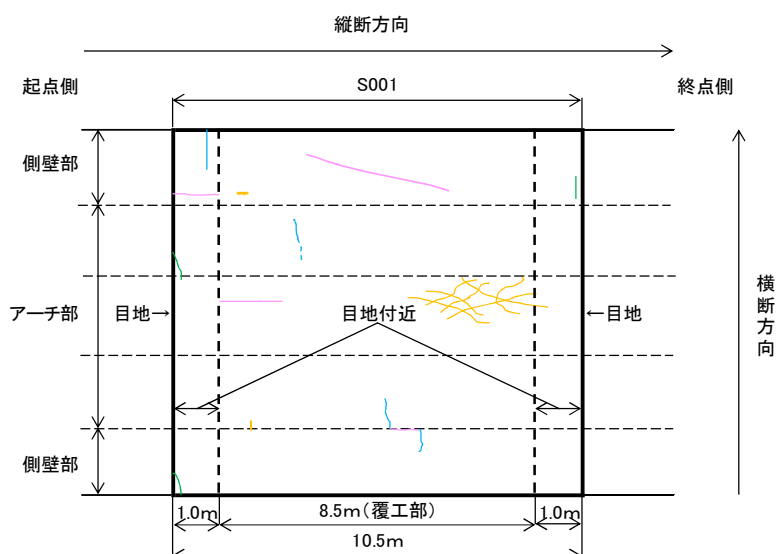
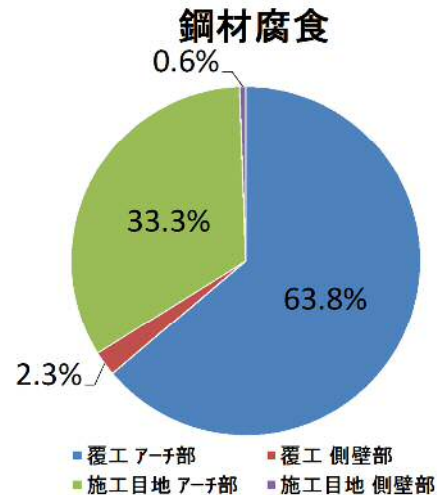
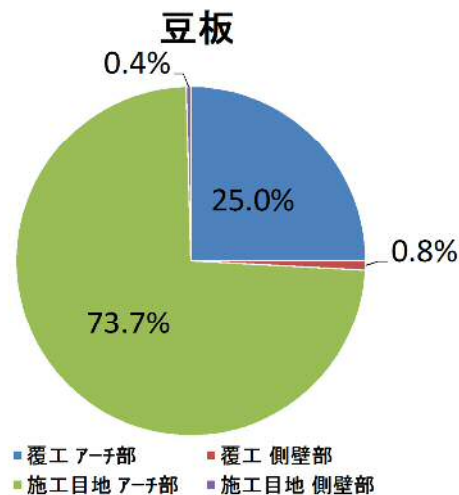
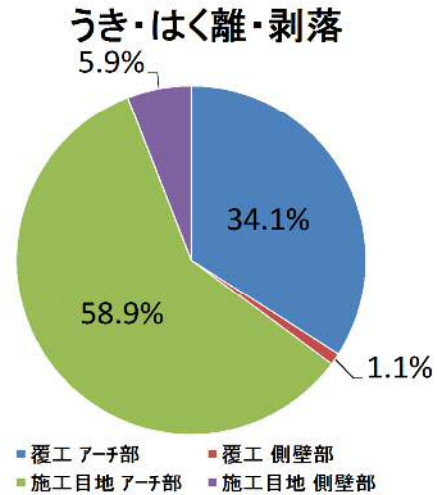
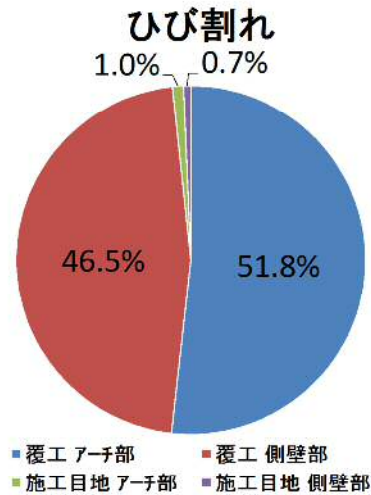
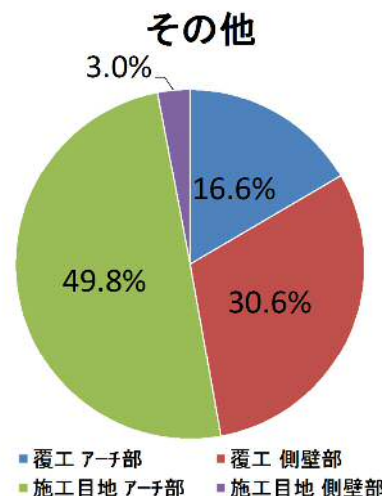
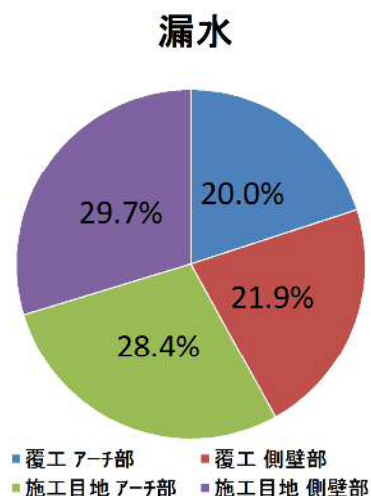


図 2-7 変状発生箇所の概要図

項 目	覆工 アーチ部	覆工 側壁部	施工目地 アーチ部	施工目地 側壁部	計
ひび割れ	14,542	13,071	288	188	28,089
うき・はく離・剥落	852	27	1,472	148	2,499
豆板	59	2	174	1	236
鋼材腐食	111	4	58	1	174
漏水	31	34	44	46	155
その他	100	184	300	18	602
総計	15,695	13,322	2,336	402	31,755



・鉄筋腐食
・鉄筋露出
・鋼材の劣化、腐食(付属物)



・補修シートの劣化
・内装板の劣化、取付不良
・異物混入
・段差
・目地の開き

図 2-8 変状の種類と発生箇所の割合（四国地方整備局管内）

(3) トンネル覆工コンクリートに発生している不具合の種類

次ページ以降に、四国地方整備局が管理している、N A T M工法により施工されたトンネルに、数多く発生している主な変状の実例を示す。

なお、各変状項目には、関連する施工状況把握チェックシートのチェック項目番号を併記している。

【うき・はく離・剥落】（準備工-7、打設-8、打設-9）

施工目地間の付着力の発生やブリーディング水の除去不足による目地部の弱体化などにより、施工目地および目地付近にひび割れが発生することがある。

このひび割れは、進展すればうき・はく離・剥落につながる恐れがある。

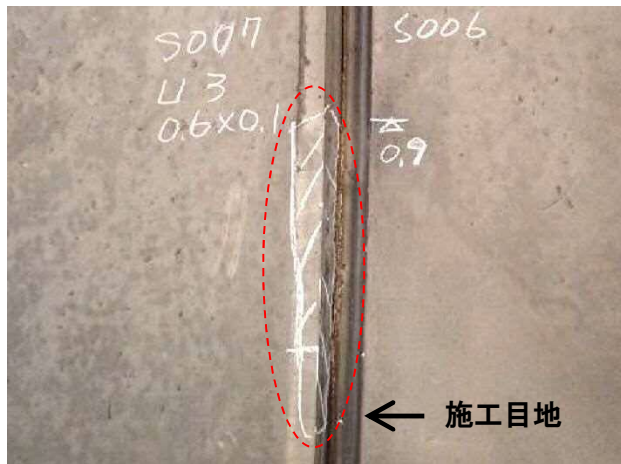


写真 2-2 施工目地のうき

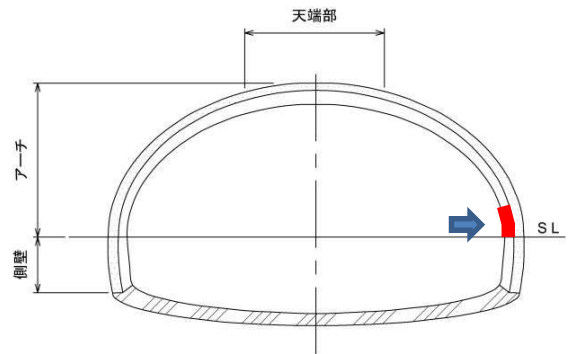


写真 2-3 施工目地のはく離

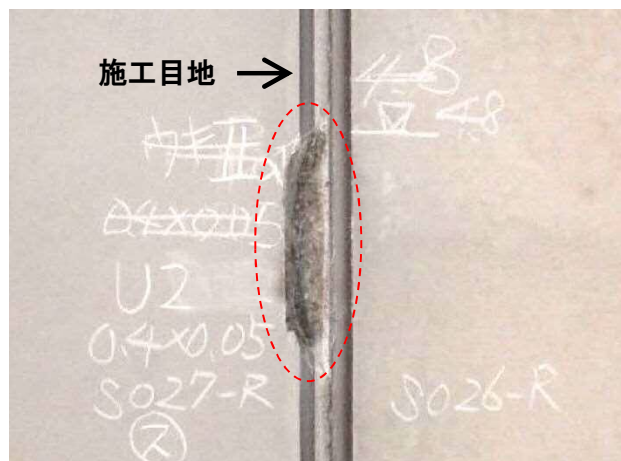
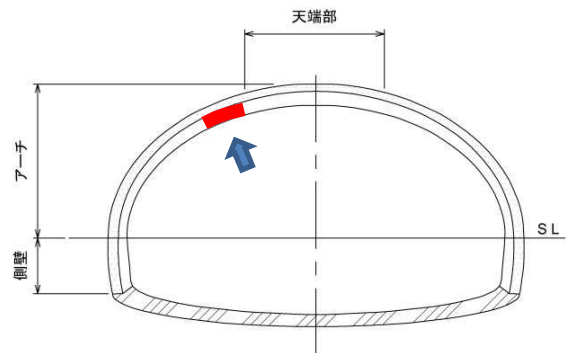
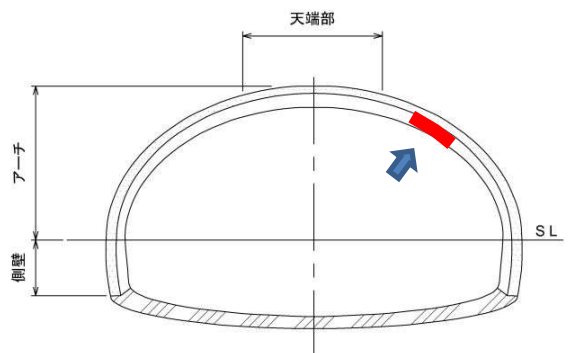


写真 2-4 施工目地の剥落



施工目地以外においても、ひび割れや検査窓枠段差の隅角部など、応力が集中しやすい箇所にはうきが発生することがある。

これらは、進展すればはく離・剥落につながる恐れがある。

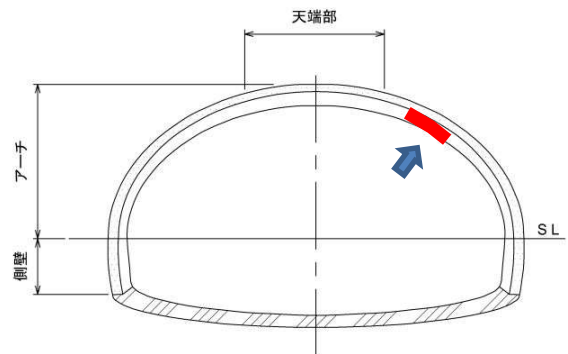
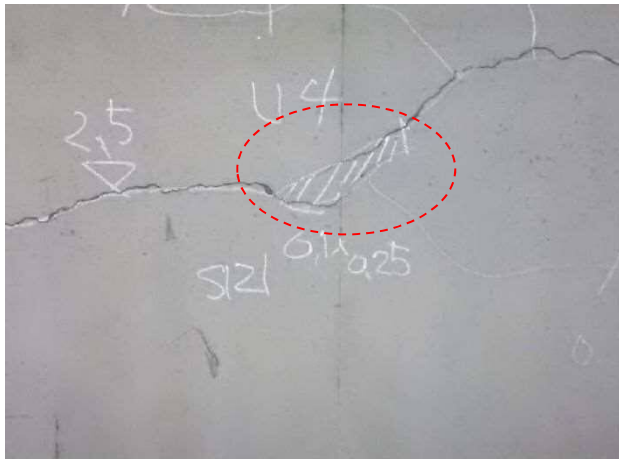


写真 2-5 縦断方向ひび割れが進展したうき

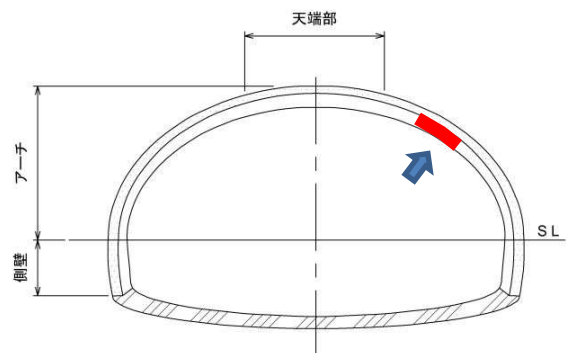
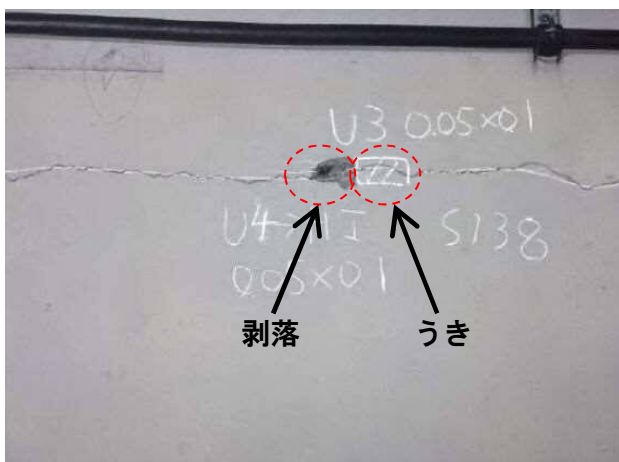


写真 2-6 縦断方向ひび割れが進展したうき・剥落

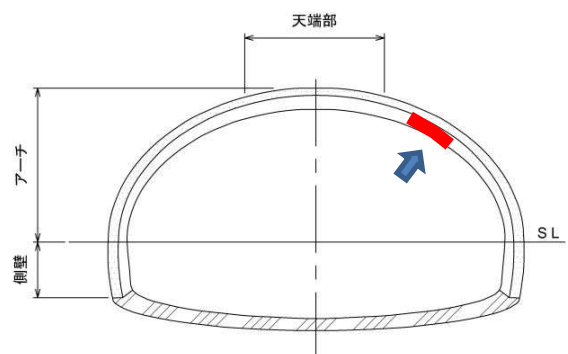
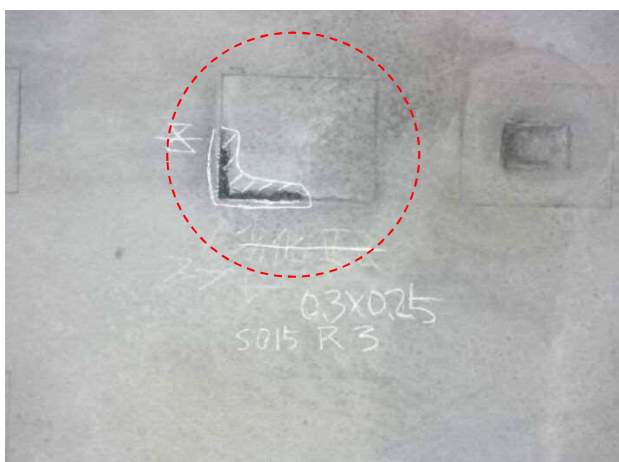


写真 2-7 検査窓枠段差に沿って発生したうき

【色むら・打重ね線】（準備工-3, 6, 9, 10、運搬-1, 2、品質-1, 2、打設-1～7, 9～11）

主に締固め不足や打ち重ね時間が長い場合などに発生しやすい。

色むらや打重ね線はひび割れを内在している場合もあり、コンクリートの乾燥収縮や温度変化により、将来的にはひび割れの発生や進展につながる恐れがある。

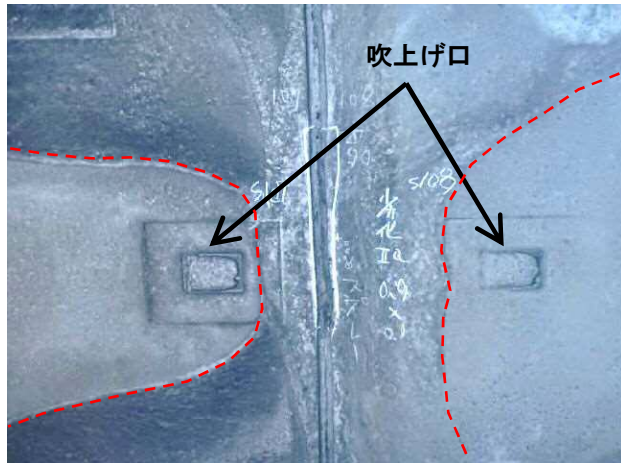


写真 2-8 吹上げ口から発生した色むら・打重ね線

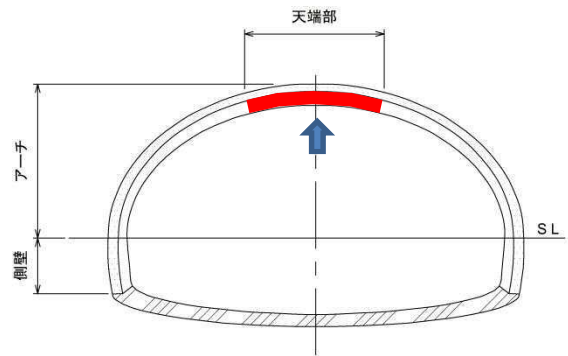


写真 2-9 吹上げ口から発生した色むら・打重ね線

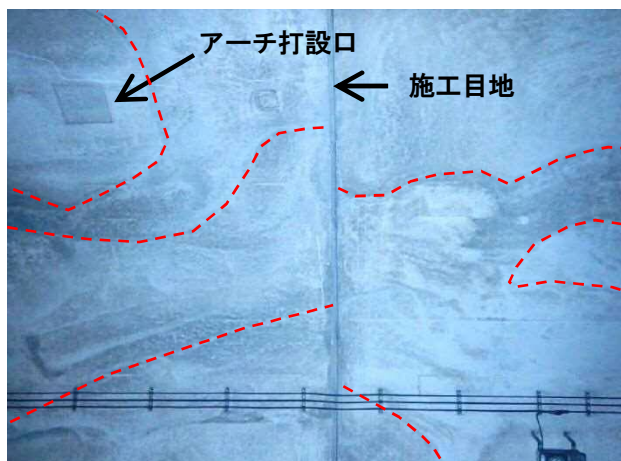
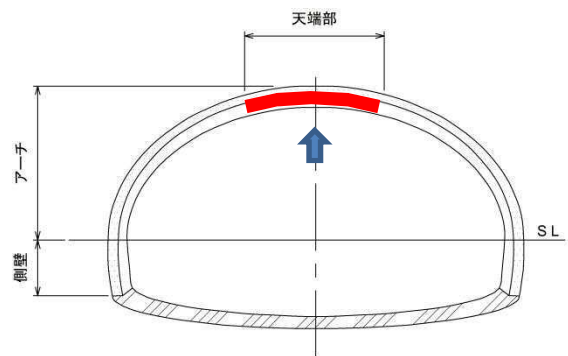
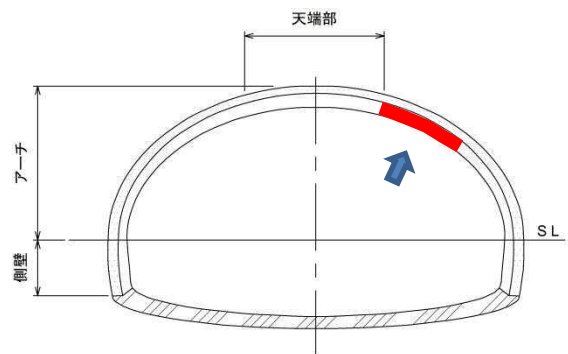


写真 2-10 アーチ部に発生した色むら・打重ね線



【ひび割れ】（準備工-1, 3, 8, 9, 10、運搬-1, 2、品質-1, 2、打設-1～7, 9～11）

図 2-9 に材料・環境に起因するひび割れのパターンを示す。

覆工コンクリートは断面の厚さに比べて延長が長く、また、全長にわたって外周面が掘削面と接しているため、コンクリート自体の変形が拘束されやすい構造になっていることから、温度変化や乾燥収縮によるひび割れが生じやすい。

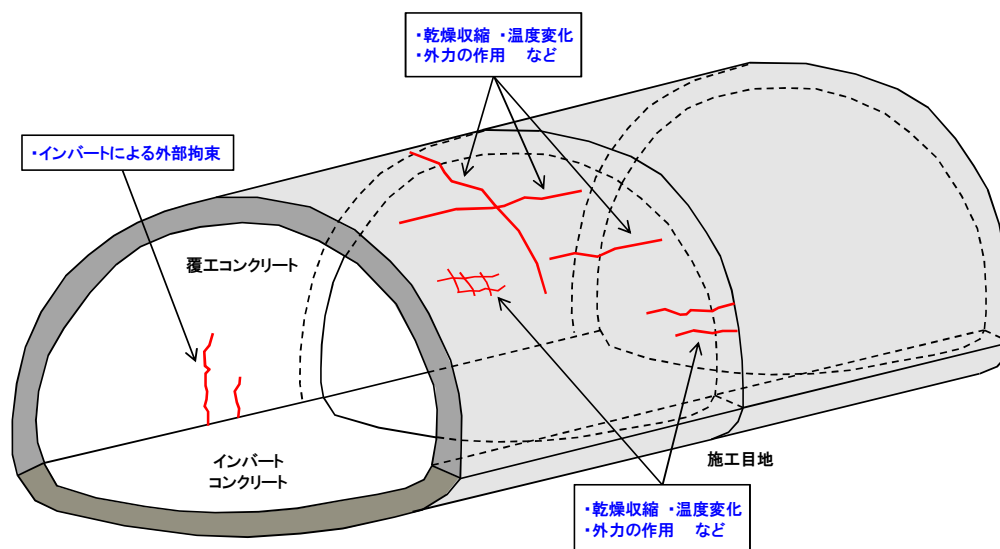


図 2-9 材料・環境に起因するひび割れのパターン

図 2-10 に施工に起因するひび割れのパターンを示す。

覆工コンクリートは、地山（吹付面）と型枠の間にコンクリートを打設するため、目視管理が容易ではない。このため、施工時に十分な配慮がなされていないと、ひび割れや欠陥が生じやすくなる。これらは、コンクリートの若材令時における脱型や、型枠据付あるいは打設時の不都合などにより生じているものである。

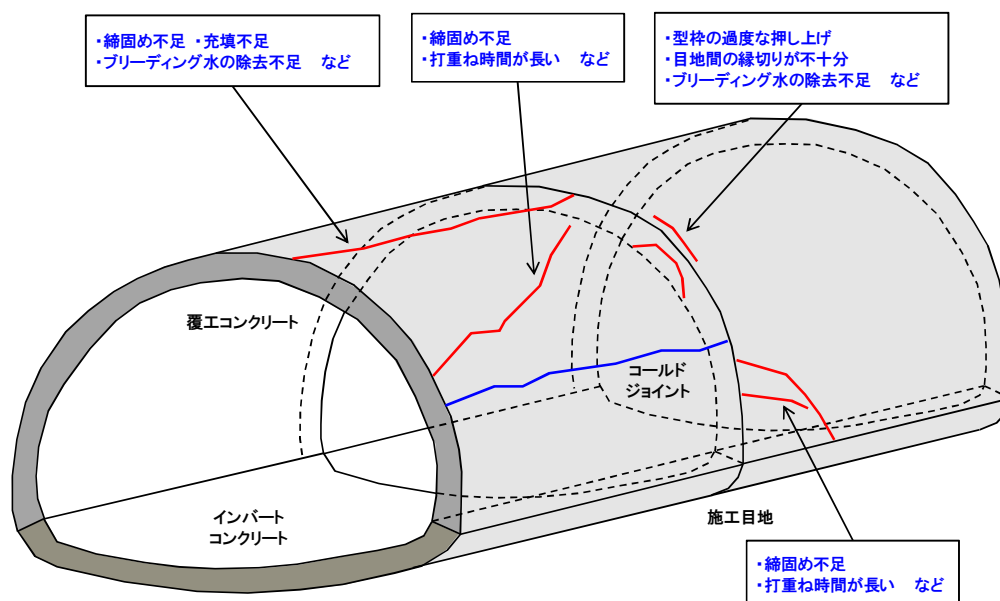


図 2-10 施工に起因するひび割れのパターン

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、施工が丁寧で不具合がなくても、発生を抑制することが困難なものもあるが、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、第三者被害防止の観点から発生を抑制する必要がある。

◆ 材料・環境に起因するひび割れ

インバートで底部が拘束された場合、覆工コンクリートの乾燥収縮が制約され、引張応力が発生するため、側壁に沿って横断方向のひび割れが生じやすい。

インバートが施工されるのは、主として地盤条件の悪い坑口部であることが多く、坑口部は基本的に補強鉄筋区間であるため、横断方向のひび割れが貫通ひび割れの場合は、劣化因子の侵入を促進し、鉄筋の腐食開始を早めることとなる。

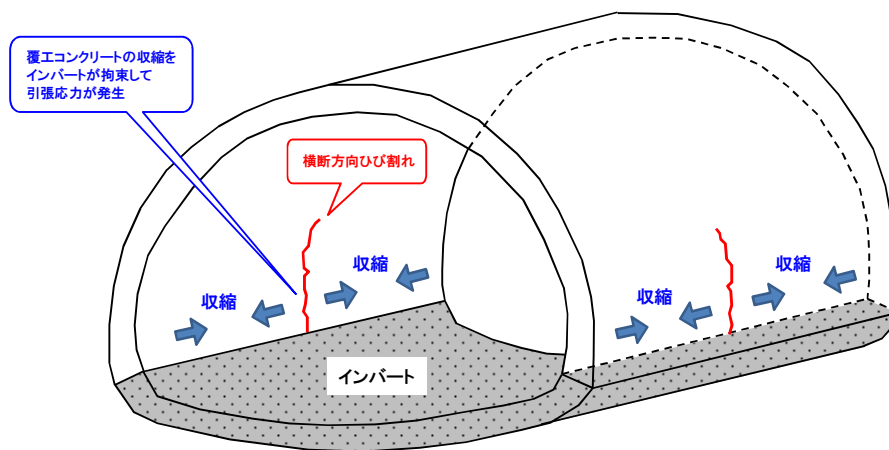


図 2-11 インバート拘束によるひび割れ発生概念

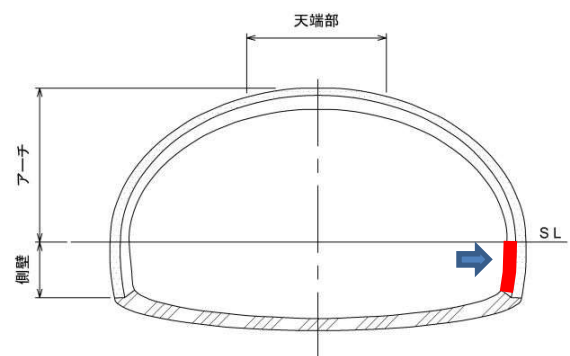
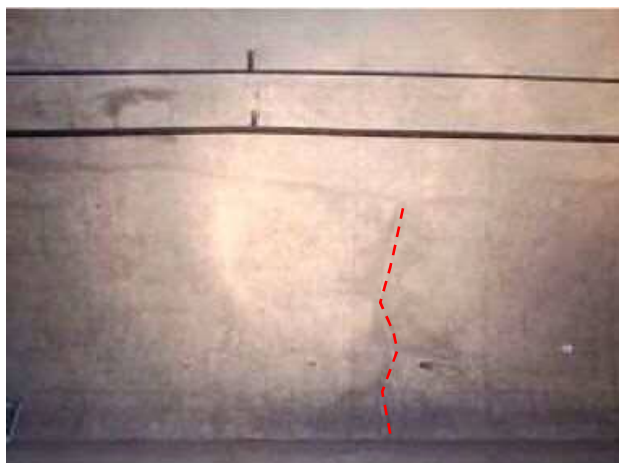


写真 2-11 インバート拘束による横断方向のひび割れ

また、写真 2-12 は、本来鉛直方向に発生するインバート拘束によるひび割れが、不均質なコンクリート側にも広がったと考えられる事例である。

このように、予期せぬ方向へのひび割れの進展を防ぐためにも、均質かつ密実で一体性のあるコンクリートの施工を行う必要がある。

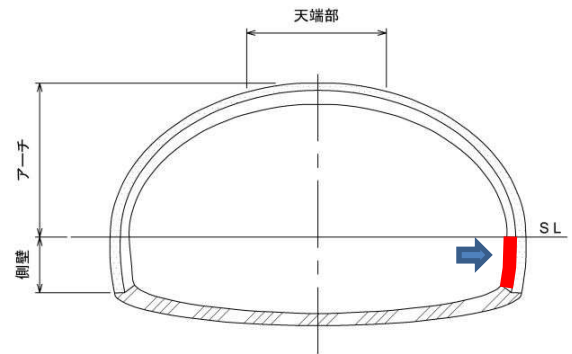


写真 2-12 インバート拘束による横断方向のひび割れ

また、写真 2-13 は、乾燥収縮および温度変化により、アーチ部から側壁にかけて、横断方向に多数生じたひび割れの事例である。

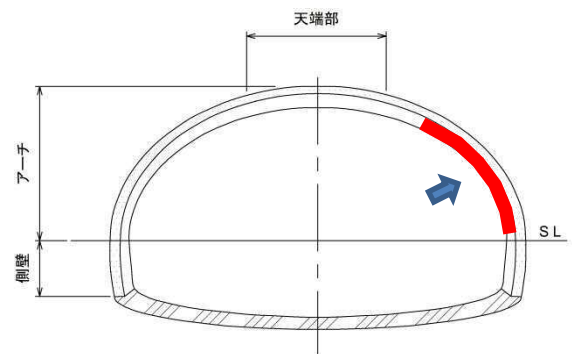
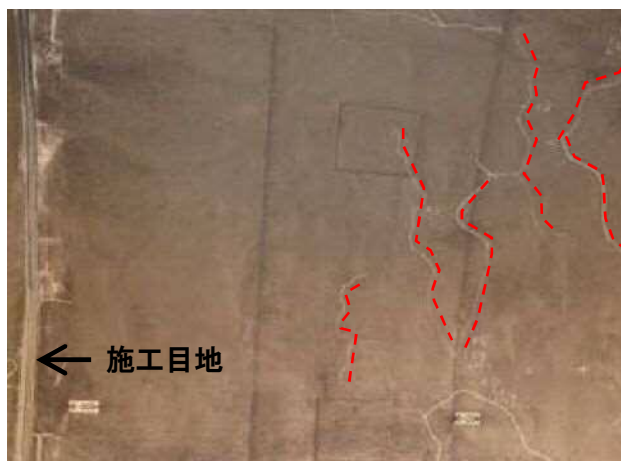


写真 2-13 乾燥収縮、温度変化による横断方向のひび割れ

◆ 施工に起因するひび割れ

既設コンクリートとのラップ部分において、型枠の過度な押上げにより半月状のひび割れが発生する場合がある。

このひび割れは、進展すればうき・はく離・剥落につながる恐れがある。

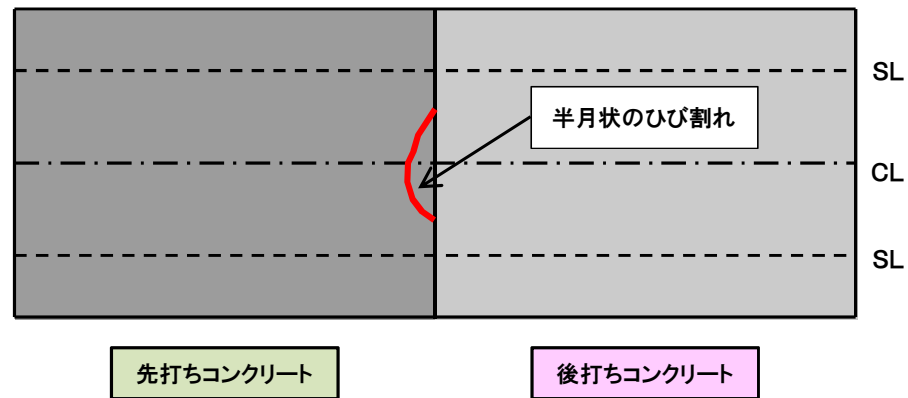


図 2-12 型枠押上げによる半月状のひび割れ発生イメージ

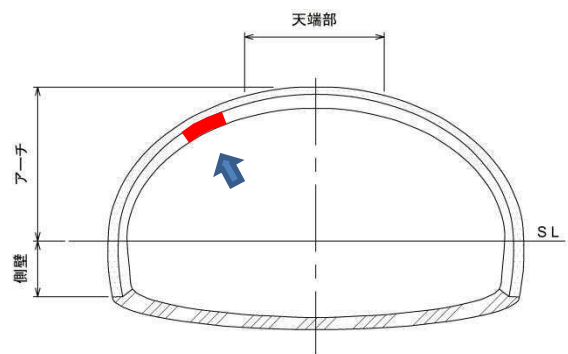
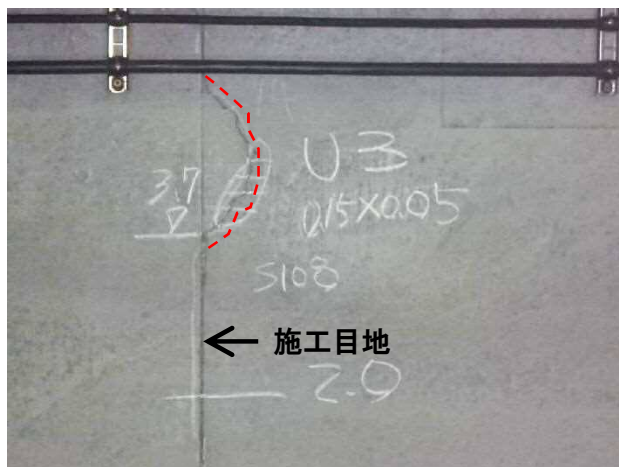


写真 2-14 施工目地の半月状のひび割れ

コンクリートを打ち重ねる適正な時間の間隔を過ぎて、コンクリートを打設した場合には、前に打ち込まれたコンクリートの上に後から打ち込まれたコンクリートが一体化しない状態となって、打ち重ねた部分に不連続な面（コールドジョイント）が生じる。

特に、アーチ部にコールドジョイントが出来ると、経年劣化により薄い部分がはく離しやすくなる。

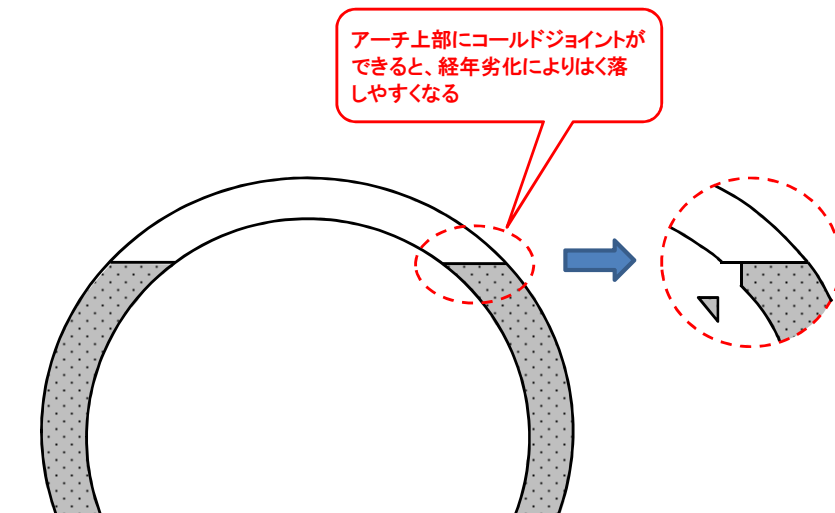


図 2-13 コールドジョイントに起因するはく離

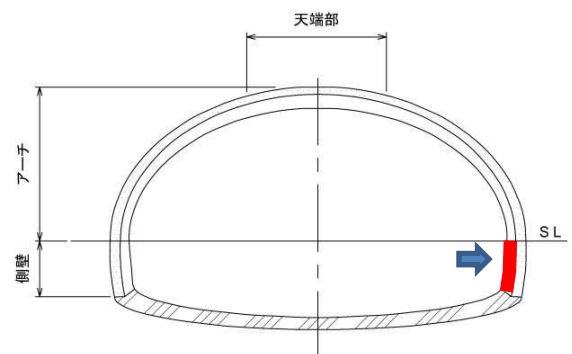
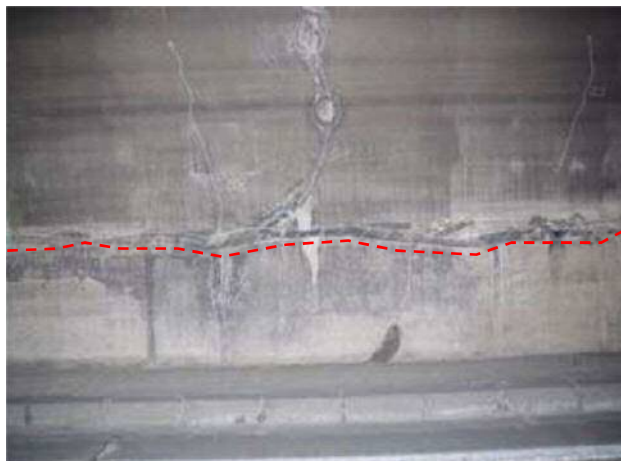


写真 2-15 コールドジョイントに沿って発生したひび割れ

色むら・打重ね線はコンクリートの不連続面でもあることから、将来的にひび割れに進展する可能性がある。

また、発生したひび割れが進展すれば、うき・はく離・剥落につながる恐れがある。

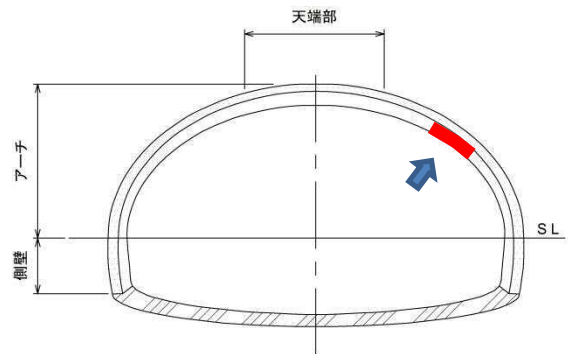


写真 2-16 色むら・打重ね線に沿って発生したひび割れ

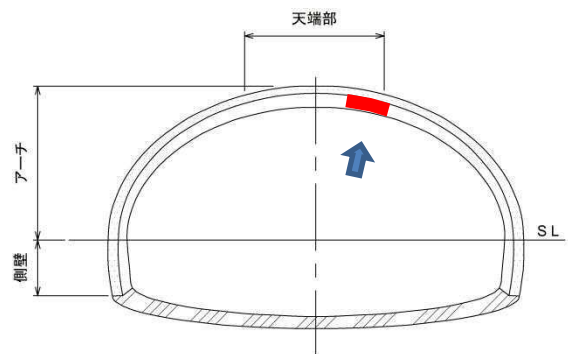


写真 2-17 色むら・打重ね線に沿って発生したひび割れ

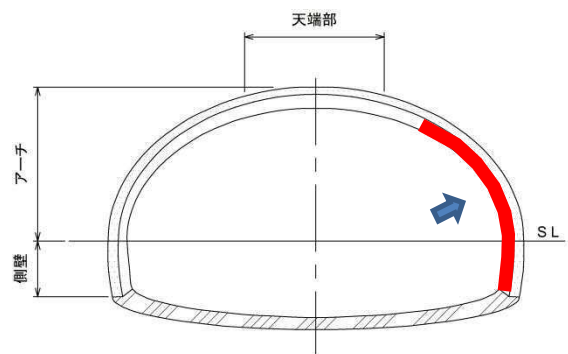


写真 2-18 打重ね線に沿って発生したひび割れ

写真 2-19 は、アーチ部において発生した、目地から目地まで到達している縦断方向のひび割れである。

このようなひび割れは、締固め不足や強度不足での脱型などにより、弱体化しているコンクリートに乾燥収縮や温度変化が生じたことにより発生したと考えられる。

また、縦断方向のひび割れから、温度変化などにより横断方向のひび割れが発生する場合があります、進展すればひび割れがブロック化し、うき・はく離・剥落に至る場合もあるため、注意が必要である。

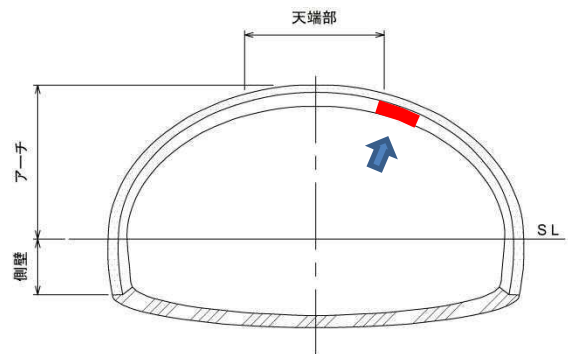
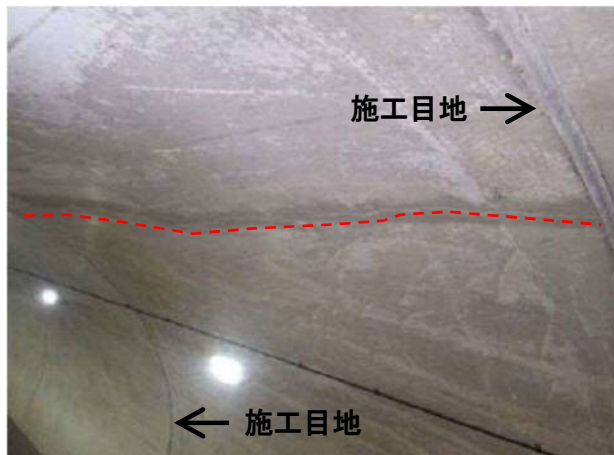


写真 2-19 アーチ部の縦断方向ひび割れ

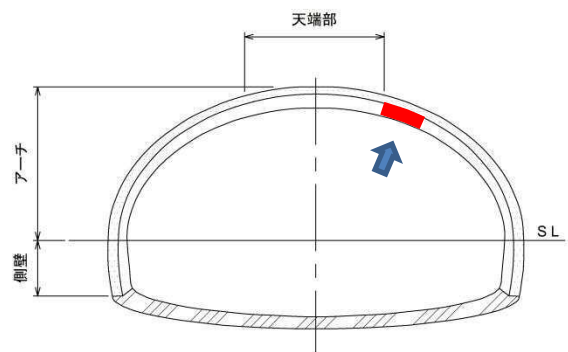


写真 2-20 アーチ部の縦断方向ひび割れから発生した横断方向のひび割れ

【あばた】（準備-5, 6, 8、打設-3, 7, 8, 10）

型枠脱型時に、型枠表面にコンクリートが付着することにより、表面が部分的にはがれてあばたが発生する場合がある。

このようなあばたは、型枠表面のケレン不足、剥離剤の塗布むらなどのほか、脱型時のコンクリート強度不足や不十分な養生管理などによって発生しやすい。

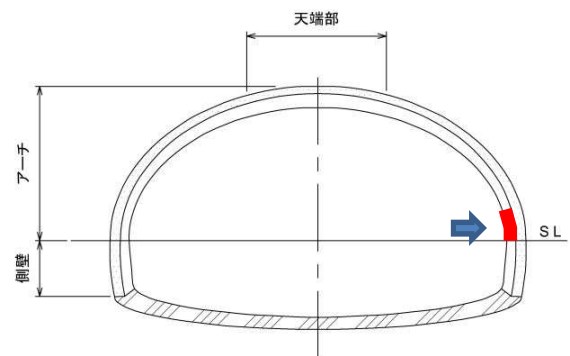


写真 2-21 表面のあばた（表面のはく離）

【気泡】（準備-1, 3, 5, 6、打設-3, 4, 5）

SL 付近より下側にある側壁部は、トンネル断面が大きい場合、曲率が小さくなることから気泡が抜けにくい場所があり、十分な締固めを行わなければ気泡が生じやすい。

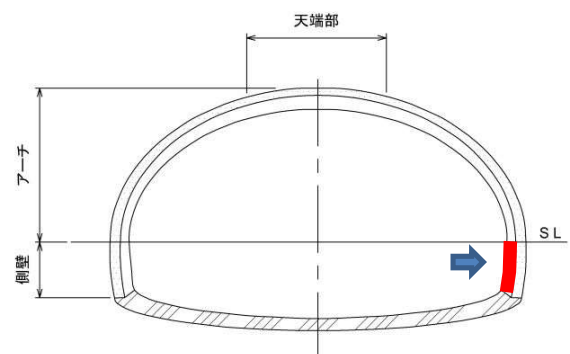


写真 2-22 表面の気泡

【水はしり・砂すじ】（準備-8、品質-1、打設-1, 2, 4, 5, 8, 9）

急速な打ち込みやブリーディング水の除去不足、型枠の加工精度が悪い場合などには、コンクリート表面に水はしりや砂すじが発生しやすくなる、
このような表層の不具合は、早期劣化の要因となる可能性がある。

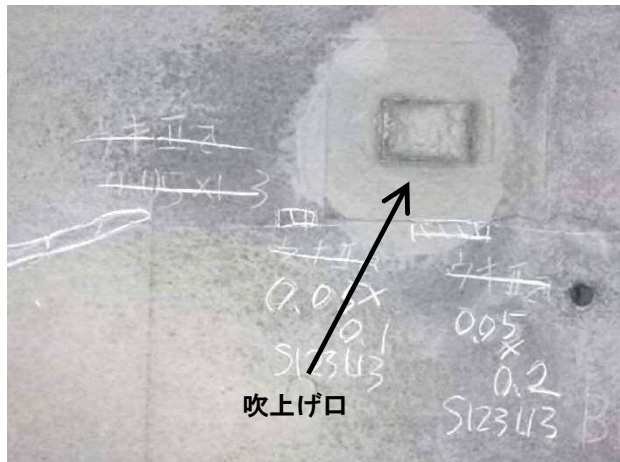
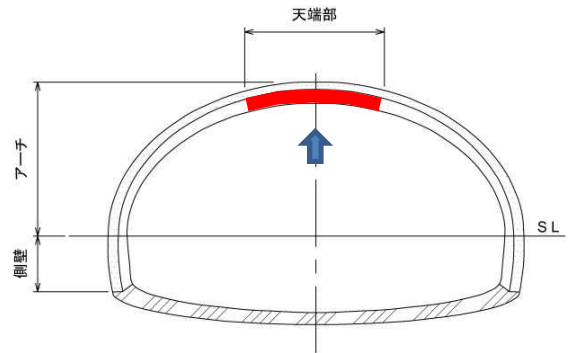


写真 2-23 天端部に発生した砂すじ



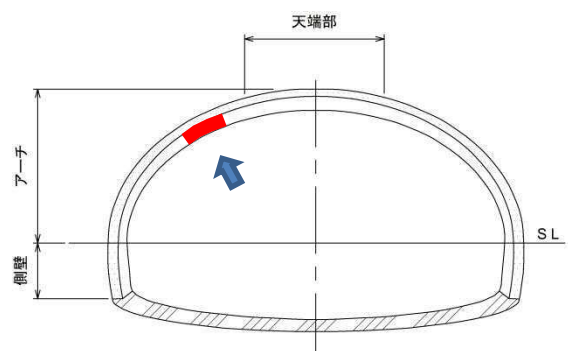
【施工目地の不良】（準備-7）

施工型枠の固定不足などにより、施工目地に豆板（骨材が表面に集中してセメントペーストが十分に充填されず、コンクリートに空隙が生じる状態）などの不具合が生じる場合がある。

このような場合、コンクリートの乾燥収縮や温度変化により、目地部の弱点部からひび割れなどの不具合が発生しやすくなる。



写真 2-24 施工目地の不良（豆板）



【漏水】

覆工背面の防水シートの損傷や空洞の存在などにより、トンネル内への漏水が生じる場合がある。

トンネルの漏水は、覆工コンクリートの耐久性を低下させるとともに、冬期の山間部などにおいては路面凍結の要因にもなるため、注意が必要である。

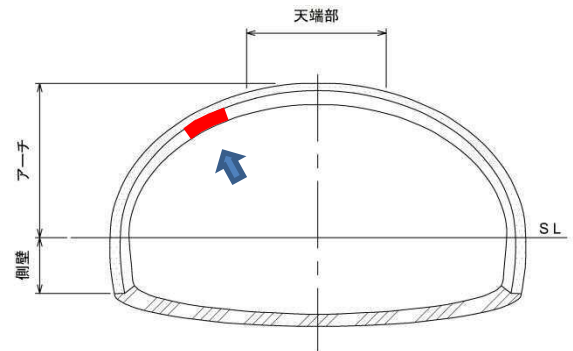


写真 2-25 施工目地からの漏水

【坑口部の変状】

写真 2-26 は、坑口から 3 スパン目の側壁上部に腐食鉄筋の露出が発生した事例である。

側壁に発生した縦断方向のひび割れからの漏水に起因した腐食鉄筋の体積膨張により、被りコンクリートが剥落したものと考えられる、

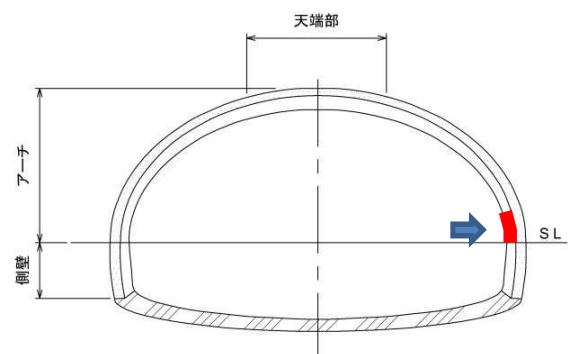


写真 2-26 腐食鉄筋の露出

写真 2-27 は、海岸線直近にあるトンネルの坑口において、打継目からひび割れが進展したことによるコンクリート片のはく離を、炭素繊維シートで補強している事例であるが、経年劣化によりシートのうきが発生している。

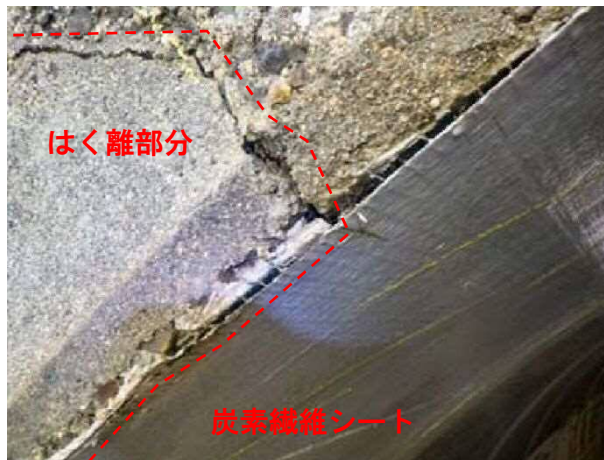


写真 2-27 坑口部のはく離（補修工の劣化）

写真 2-28 は、写真 2-27 と同じトンネル坑口の、反対側のアーチ部において、打継目から剥落している事例である。また、経年劣化によりシートのうきが発生している。



写真 2-28 坑口部の剥落（補修工の劣化）

飛来塩分や凍結防止剤の影響を受ける箇所や、漏水が発生しているような箇所では、このような劣化部分から劣化因子が侵入し、鉄筋の腐食発生および進行を速めることとなる。

2.2 トンネル覆工コンクリートの不具合の発生原因

(1) 覆工コンクリートは化粧巻という誤った認識

NATM工法のトンネルは、地山の掘削完了後に吹付コンクリートと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のグランドアーチ効果（トンネル周囲の地盤がトンネルを支えようとする保持力）を有効に活用し、構造的な安定性を確保しており、これらの施工後に地山の变形が収束したのを確認した後、吹付コンクリート面の長期安定性の確保（劣化防止）やトンネル湧水の排水処理、第三者被害防止など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」といった見解が発生することになる。

一方、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、第三者被害のみならず、トンネルとしての機能を喪失することとなる。

このため、第三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」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。

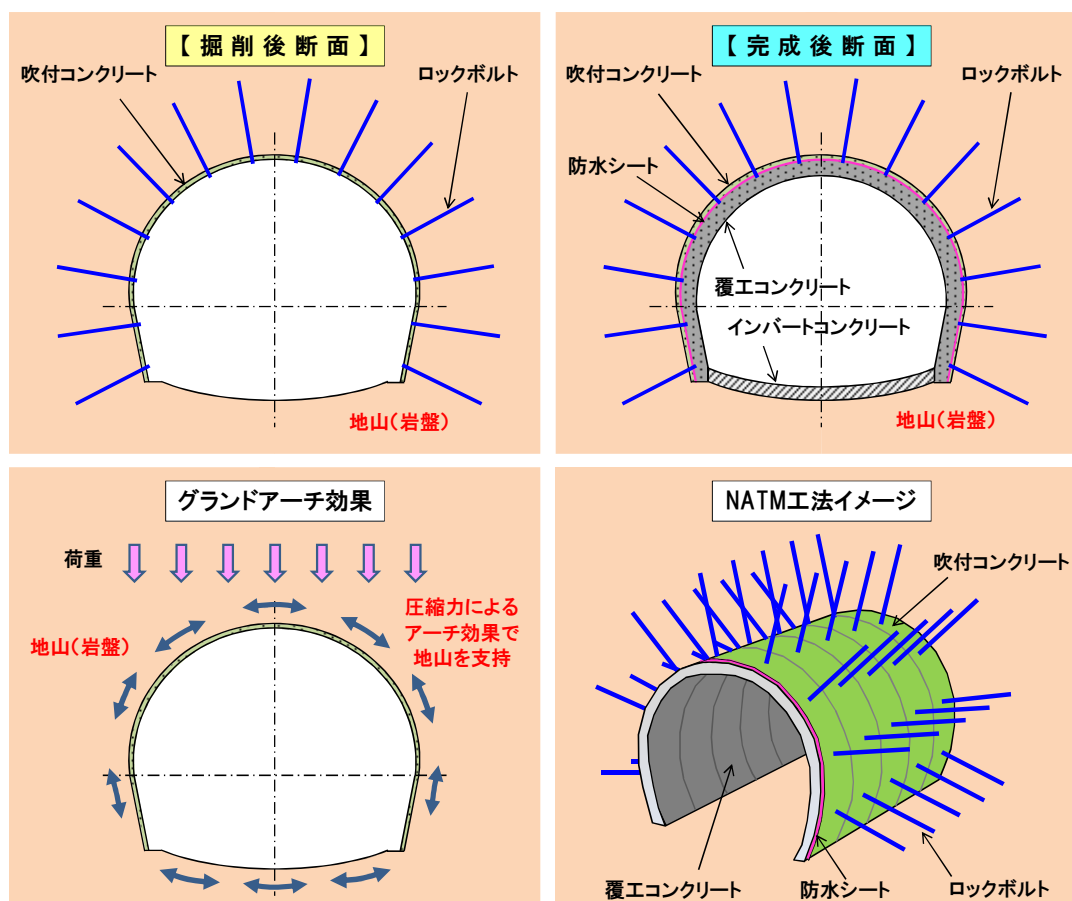


図 2-14 NATM工法の概要

(2) 不具合が発生しやすいトンネル特有の打設方法

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しやすい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ことから、締固めが困難になりやすい。

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。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。

さらに、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。

次ページ以降の図 2-15～図 2-16 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 2-29 トンネル覆工コンクリートの打設状況

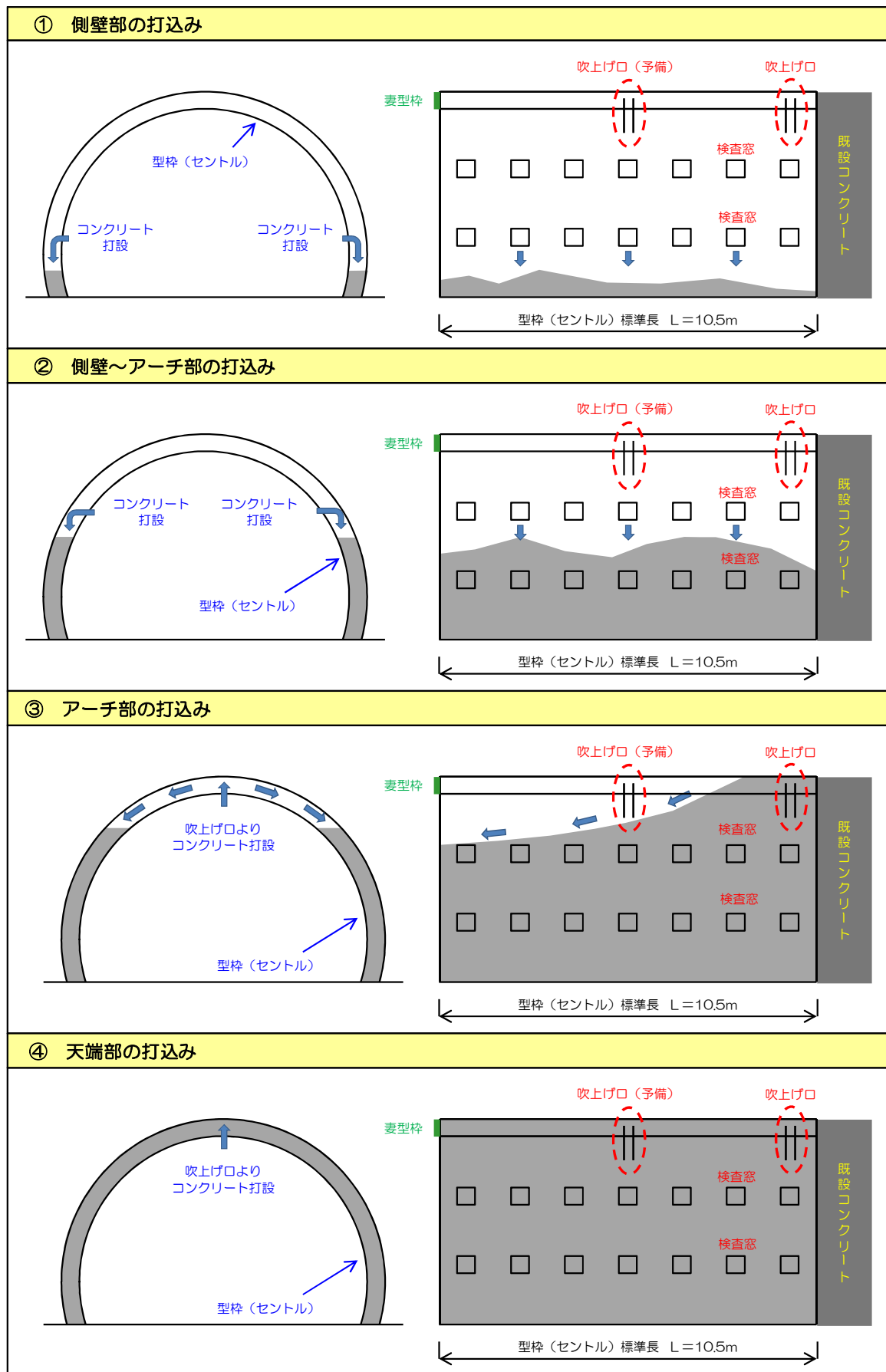
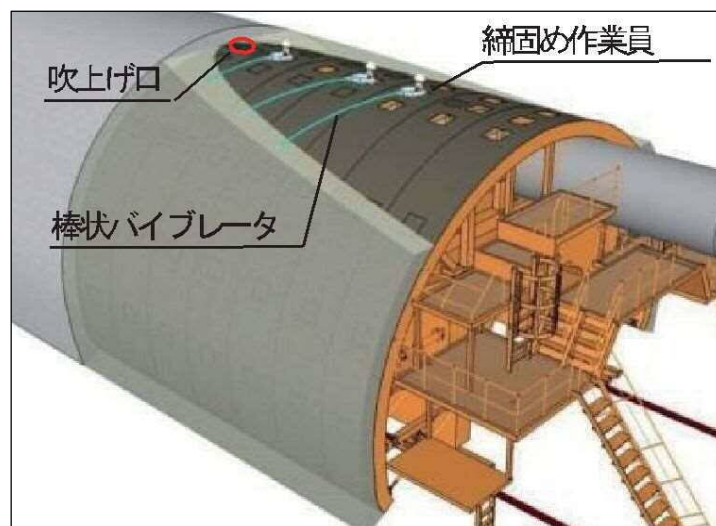
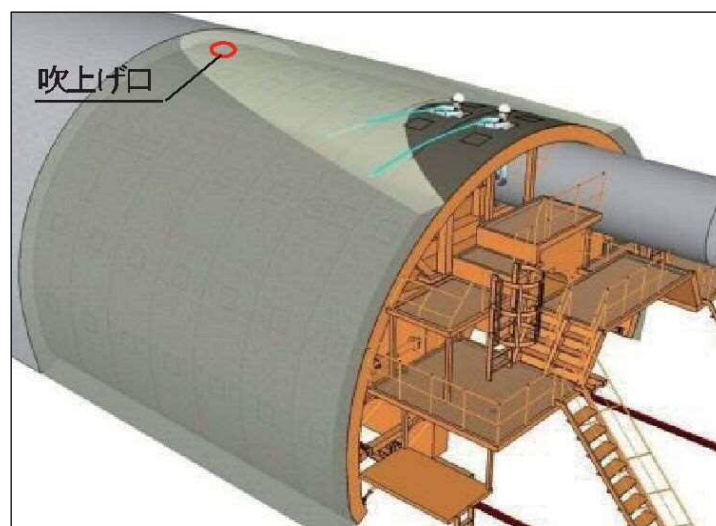


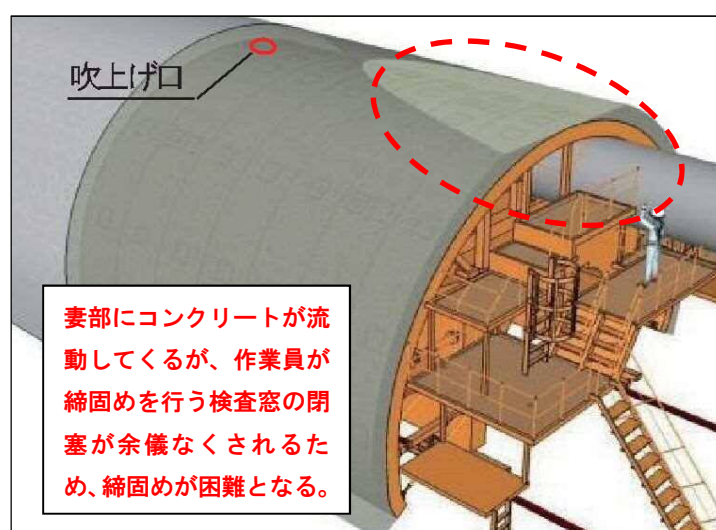
図 2-15 標準的な覆工コンクリートの打設手順



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）

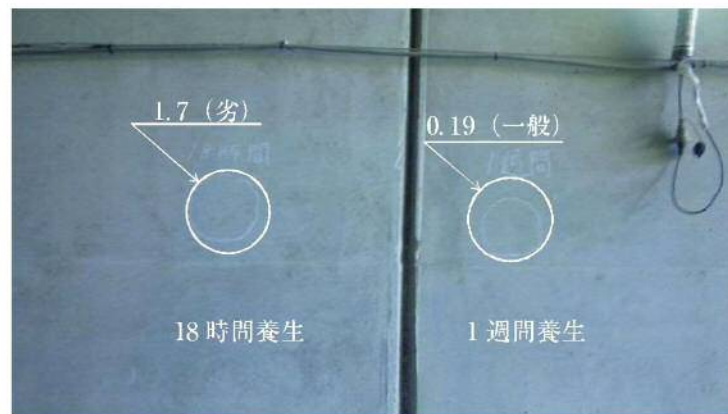
図 2-16 標準的な天端部の打込み手順 ¹⁰⁾に加筆

(3) 早期の脱型による緻密性の不足

覆工コンクリートは、施工速度を確保して工程内に完成させる観点から、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。

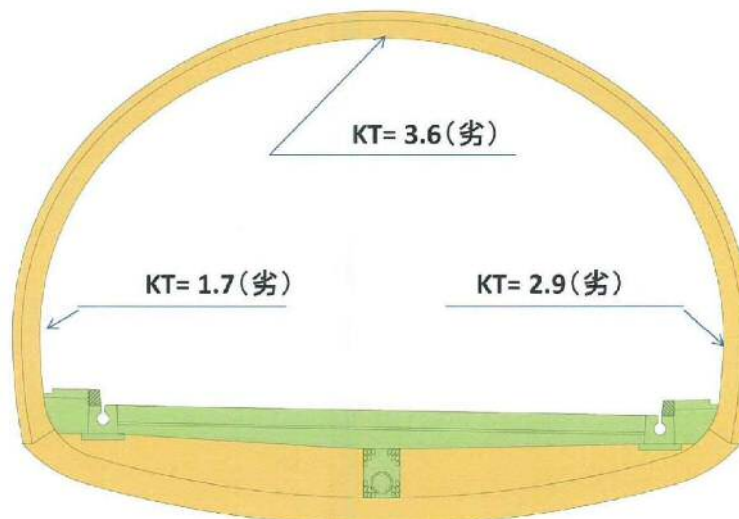
このような施工方法から、脱型するまでの十分な養生時間が確保できず、コンクリートの緻密性が十分に得られていないのが現状である。

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。



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	10～100

写真 2-30 養生期間と透気係数の試験結果の実例¹¹⁾



コンクリート強度など
 呼び強度 24N/mm²
 スランプ 15cm
 セメント 高炉B種
 水セメント比 57.0%
 養生：18時間養生

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	10～100

図 2-17 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⁷⁾

(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）

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。

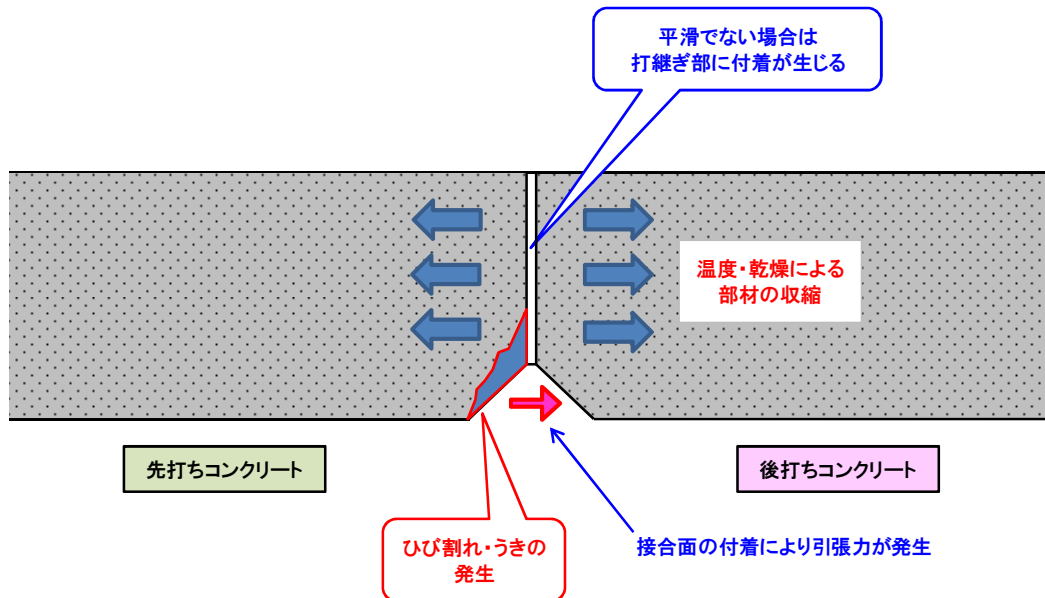


図 2-18 施工目地部の付着力によるひび割れ発生

また、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。

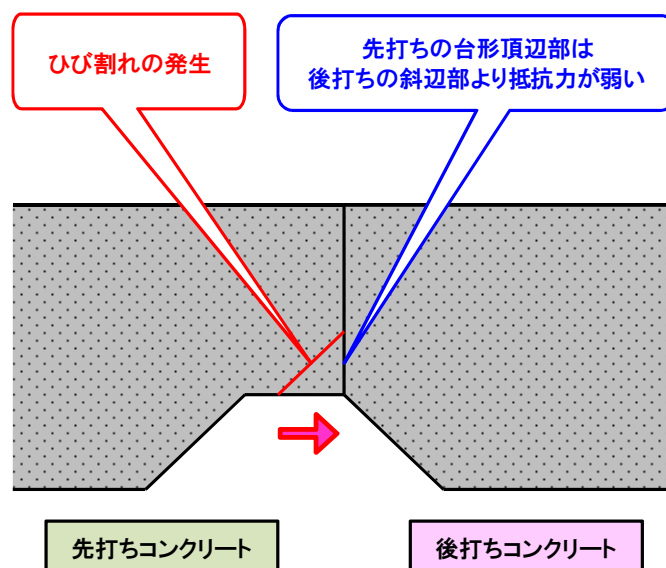


図 2-19 施工目地部が台形状の場合のひび割れ発生

(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）

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。

- ◆ 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。

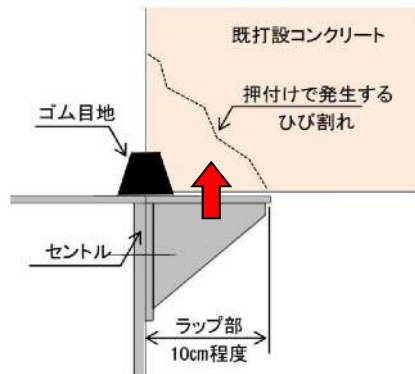


図 2-20 型枠押し上げによるひび割れ発生¹²⁾

- ◆ 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

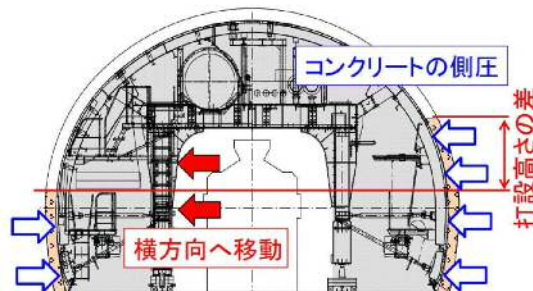


図 2-21 コンクリート側圧によるひび割れ発生¹²⁾

- ◆ 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。

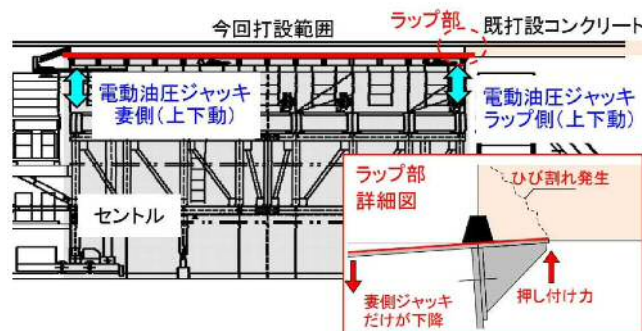


図 2-22 型枠設置時の操作の誤りによるひび割れ発生¹²⁾

(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）

妻部においては、覆工コンクリート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してくる。

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。

四国地方における骨材を使用したコンクリートの場合、単位水量が多くなる傾向にあることから、特に留意が必要であり、必要に応じてブリーディング試験を実施してブリーディング特性を把握することが望ましい。



写真 2-31 妻部からのブリーディング水排出の事例

(7) トンネル縦断勾配による天端部の充填不良

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恐れがある。

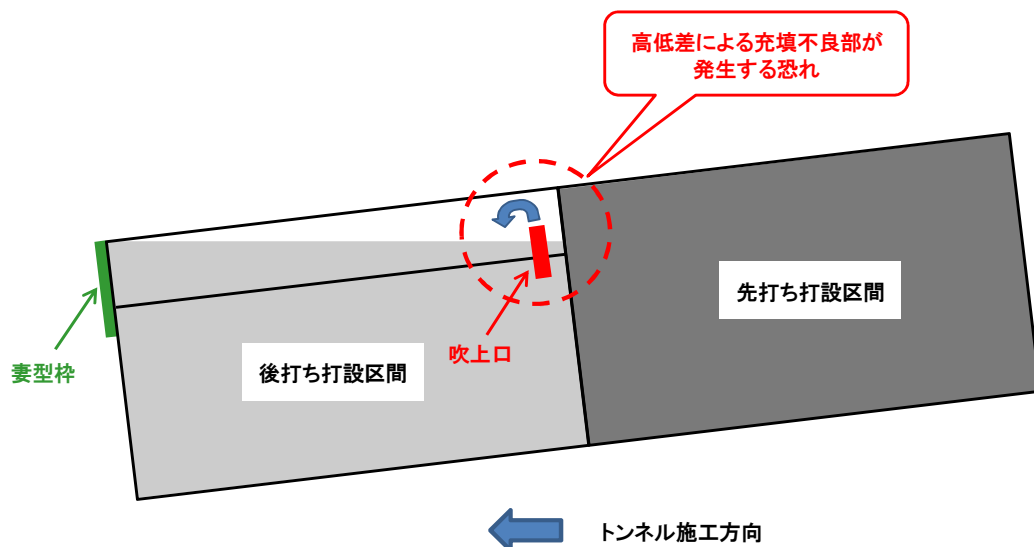


図 2-23 縦断方向の高低差による天端空洞発生 ¹³⁾に加筆

(8) 防水シートの破損・たるみによる品質への影響（準備-4）

NATM工法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。

一般的には、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。

一方、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。

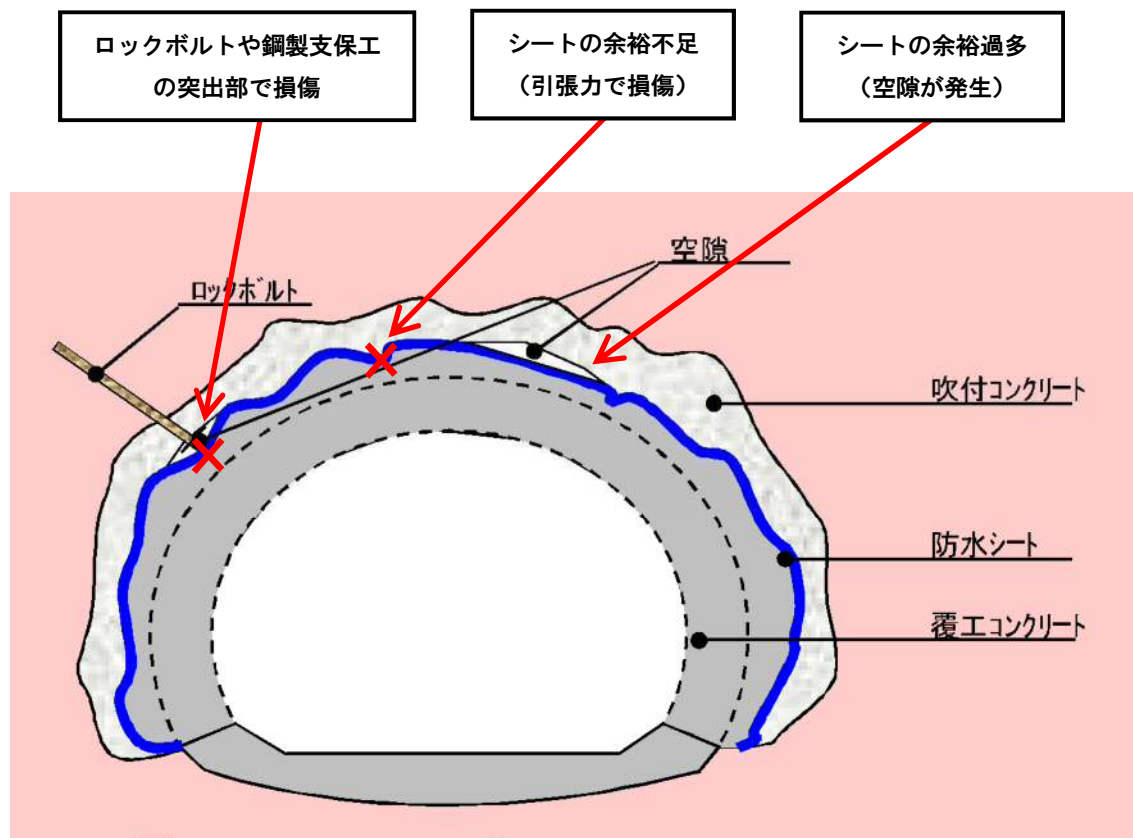


図 2-24 覆工背面の凹凸による防水シートの損傷 ¹⁴⁾に加筆

(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)

NATM工法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。

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、局所程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。

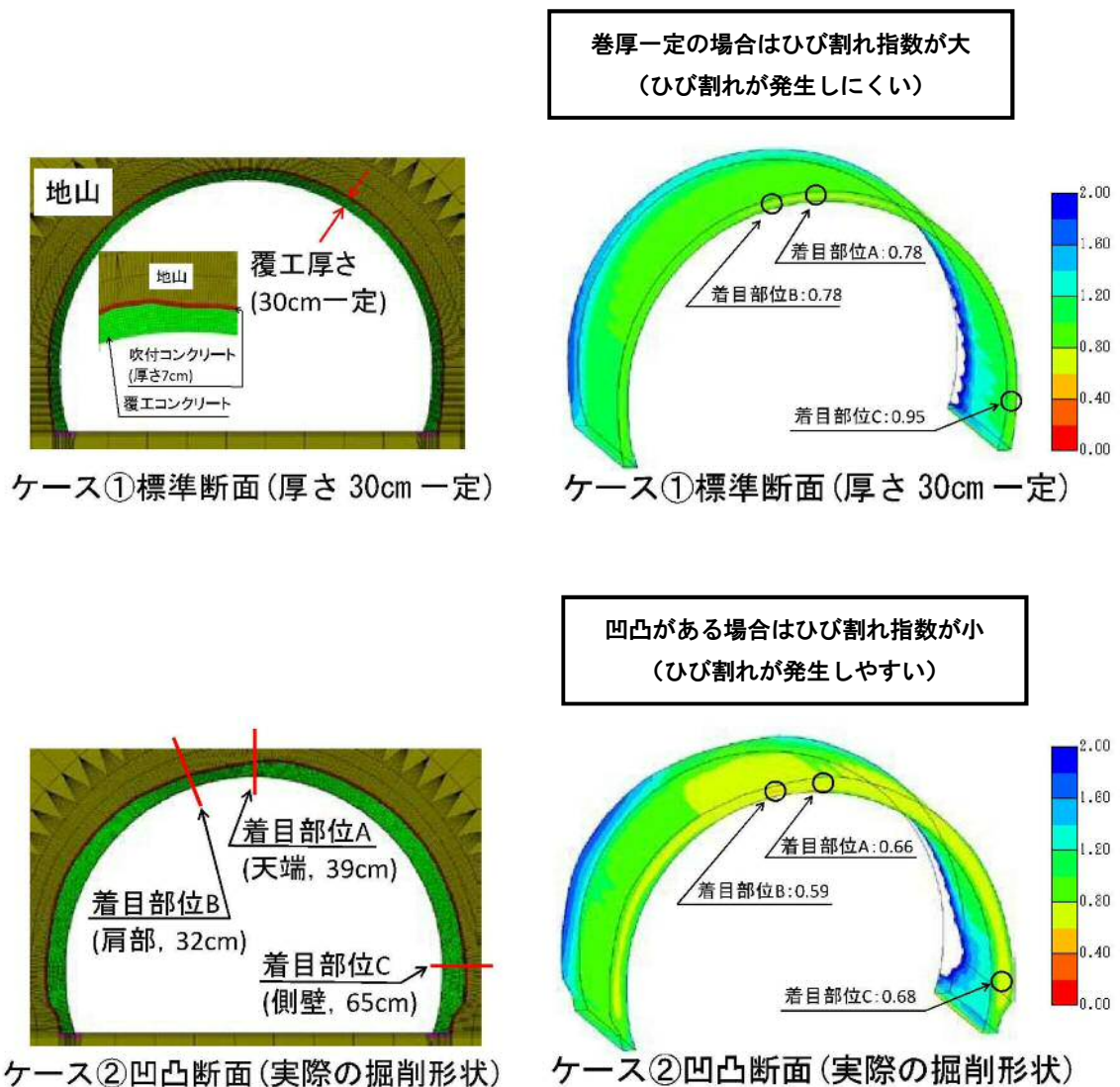


図 2-25 覆工巻厚の差異がひび割れ発生に与える影響の解析事例 ¹⁵⁾に加筆

(10) 坑口部の劣化（塩害の場合）

飛来塩分の影響を受ける沿岸部や、凍結防止剤の散布を行っている山間部では、覆工コンクリートの緻密性が確保できていないと、劣化因子である塩化物イオンのコンクリート内部への浸透が早まり、鉄筋の腐食を引き起こす。

鉄筋の腐食は、体積膨張による腐食ひび割れを発生させるとともに、時間がたてばうき・はく離へと進展し、第三者被害を引き起こす可能性がある。

また、補強鉄筋は、坑口部周辺の地山条件が比較的悪い箇所に設けられることが多く、鉄筋の腐食により断面欠損などが生じた場合は、トンネルの構造的な安定性が損なわれることにもなりかねない。

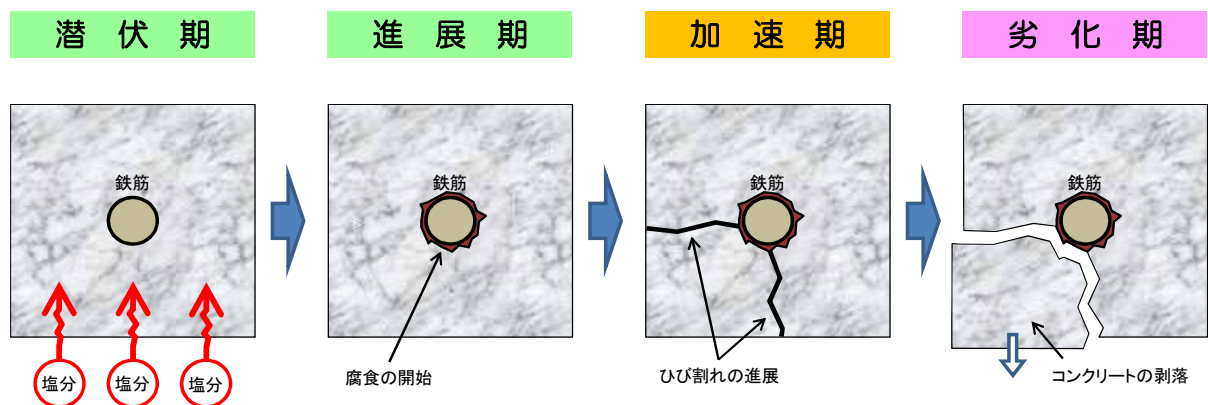


図 2-26 塩害による腐食劣化進行過程

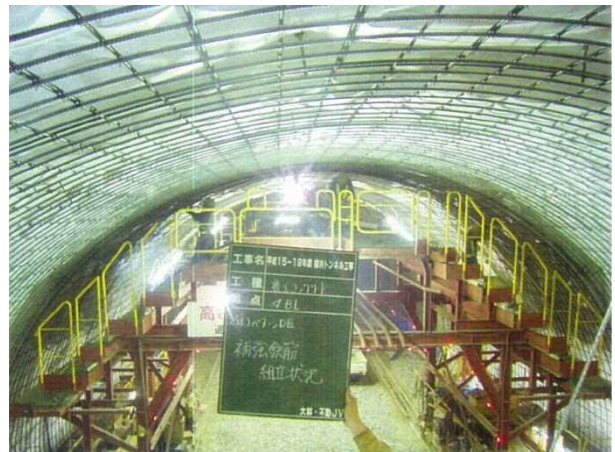


写真 2-32 覆工コンクリートの補強鉄筋の事例

2.3 骨材による影響

(1) 骨材による影響

図 2-27 は、全国の生コン工場における、生コン規格が 24-8-20N（呼び強度 24N/mm²、スランプ 8cm、粗骨材の最大寸法 20mm、普通ポルトランド）の単位水量の調査結果であるが、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関西より西の地域が大きい傾向にある。

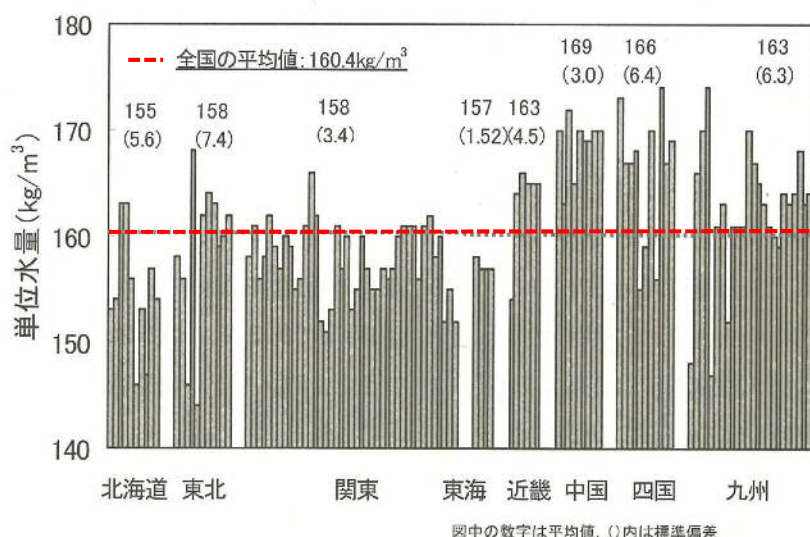


図 2-27 全国の生コン工場における単位水量調査結果 16)に加筆

図 2-28 は、骨材の種別とコンクリートの乾燥収縮試験結果との関係であるが、砂岩や安山岩を骨材としたコンクリートは、石灰岩などの骨材と比べて、乾燥収縮が大きい傾向にある。

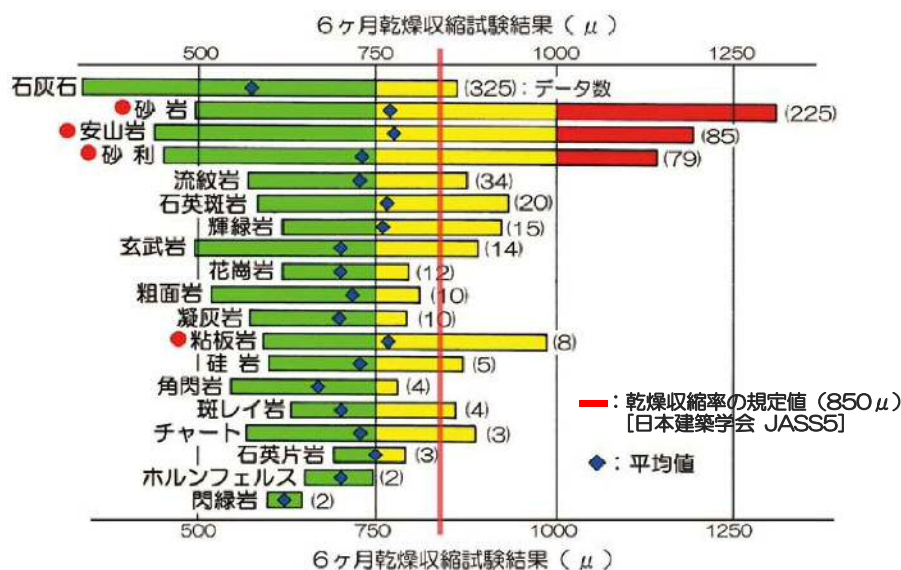


図 2 仕様骨材の岩種別の乾燥収縮（全生述の資料を基に作成）。試験値の分布範囲と平均値を示す。基準値を縦の赤線で表示した。非常に大きな乾燥収縮値を示す岩種は、砂岩・安山岩・砂利・粘板岩など（赤丸を付した）である。石灰石の値に注意。

図 2-28 骨材の違いによるコンクリートの乾燥収縮率 17)に加筆

（２）施工における留意点

四国地方における骨材の状態が、コンクリートの品質に与える影響を考慮して、施工にあたっては以下のような点に留意する必要がある。

- ① 単位水量が大きいコンクリートの場合、水和反応に必要な余剰水はコンクリート硬化後には蒸発して空隙となる。

したがって、単位水量の多い配合ほど空隙の多いコンクリートとなり、中性化や塩分浸透が生じやすく、また、乾燥収縮も大きくなることから、コンクリート打込み温度の抑制、初期養生の管理、脱型時の温度管理、脱型後の養生温度管理などに留意する必要がある。

- ② 単位水量が大きいコンクリートの場合、ブリーディング水の発生が多くなりやすいことから、適切なブリーディング水の処理を行う必要がある。

- ③ 採取される地層が互層の場合は骨材の混合状態にばらつきがある、骨材粒径にばらつきがある場合があるなどの理由により、同じ生コン工場のコンクリートを使用しても、現場に搬入されるコンクリートの状態が異なる場合がある。

したがって、コンクリートのフレッシュ性状や硬化性状など、現地に搬入されるコンクリートの特性を十分に把握したうえで、現場条件に応じた適切な打設や締固めを行う必要がある。

3. 四国地方のトンネル覆工コンクリートの目指すべき方向

3.1 トンネル覆工コンクリートの課題

トンネル定期点検の結果などから、トンネル覆工コンクリートは、施工の基本事項を遵守していない場合や十分な養生を行っていないことなどから、以下のような課題が生じている。

(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

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。

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。

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、不適切な施工方法に起因して、本来入るはずのないひび割れが発生している。

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必要である

(2) 施工目地部に生じる不具合の発生

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。

これらの不具合は、コンクリート片の剥落による第三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必要である。

(3) 緻密性の不足

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。

このため、養生不足によりコンクリートの緻密性が不足し、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やすいコンクリートの表層となっている。

(4) 側壁の横断方向ひび割れ

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見られる。

インバートは、比較的地質が悪い坑口部などに設けられることが多いが、坑口部は塩化物イオンなどの劣化因子の影響を受ける部分でもあり、拘束による側壁の横断方向のひび割れのように、ひび割れが深い場合には劣化因子が侵入し、将来的に内部の鉄筋腐食や腐食膨張によるコンクリートのうきやはく離を引き起こす恐れがある。

(5) 坑口部に生じる不具合の発生

トンネルにおける坑口部は、橋梁などと同じ有筋構造物であり、鉄筋腐食による変状が懸念される箇所であるが、これまでには鉄筋腐食による重大な損害が発生していないことから、坑口部の劣化についてはあまりクローズアップされていない。

しかし、冬期の山間部における凍結防止剤、沿岸部における飛来塩分に起因する塩害や、ひび割れからの漏水に起因する鉄筋腐食などの変状が、今後発生および進展する可能性があり、将来的にかぶりコンクリートのうきやはく離を引き起こす恐れがある。

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。

また、(3)～(5)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、必要な対策が行われていない場合があることが問題である。

3.2 トンネル覆工コンクリートの目指すべき方向

四国地方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を目指さなければならない。

【解説】

四国地方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、現状のトンネル覆工コンクリートにおける課題を解決して、十分な耐久性をもつトンネル覆工コンクリートとするためには以下のような対応を取らなければならない。

(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

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。

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。

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、第三者被害防止の観点から発生を抑制する必要がある。

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」を目指さなければならない。

(2) 施工目地部に生じる不具合の抑制

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。

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。

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さなければならない。

(3) 緻密性の確保

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。

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止したうえで、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さなければならない。

(4) 側壁の横断方向ひび割れの抑制

インバートのある区間では、温度変化による覆工コンクリートの収縮を、インバートが拘束することが原因となる、横断方向のひび割れが側壁に発生する場合がある。

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、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。

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なければならない。

(5) 坑口部に生じる不具合の抑制

坑口部においては、冬期の山間部における凍結防止剤の散布、沿岸部における飛来塩分に起因する塩害や、ひび割れからの漏水に起因する鉄筋腐食の発生が懸念される。

このように、厳しい環境におかれる坑口部は、基本的に有筋区間であることから、鉄筋腐食による変状が発生すれば、第三者被害のみならず、トンネルの構造的な安定性が損なわれる事態にもなりかねない。

このため、坑口部は劣化因子の遮断を目的として、均質かつ密実で一体性のあるコンクリートを目指すとともに、必要に応じて適切な対策を講じなければならない。

4. 適用の範囲

この手引きは、トンネル覆工コンクリートを対象に、施工の不具合に起因したひび割れの発生について、施工の改善による施工段階での抑制を目的としたものである。

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。

【解説】

コンクリートの劣化が、道路管理に与える影響が大きい構造物がトンネルであり、第三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急務となっている。

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PDCA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あげている。

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。

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PDCA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。

なお、トンネル覆工コンクリートの品質確保のためには、設計段階におけるひび割れ抑制対策や、施工段階における配合計画なども重要な要素であるが、これらは今後、別途「手引き」を作成するなどの検討を進めるものとして、この手引きの適用範囲外とした。

したがって、ひび割れ抑制対策や、施工段階における配合計画などについては、必要に応じて別途検討とするものとする。

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 4-1 に示す。

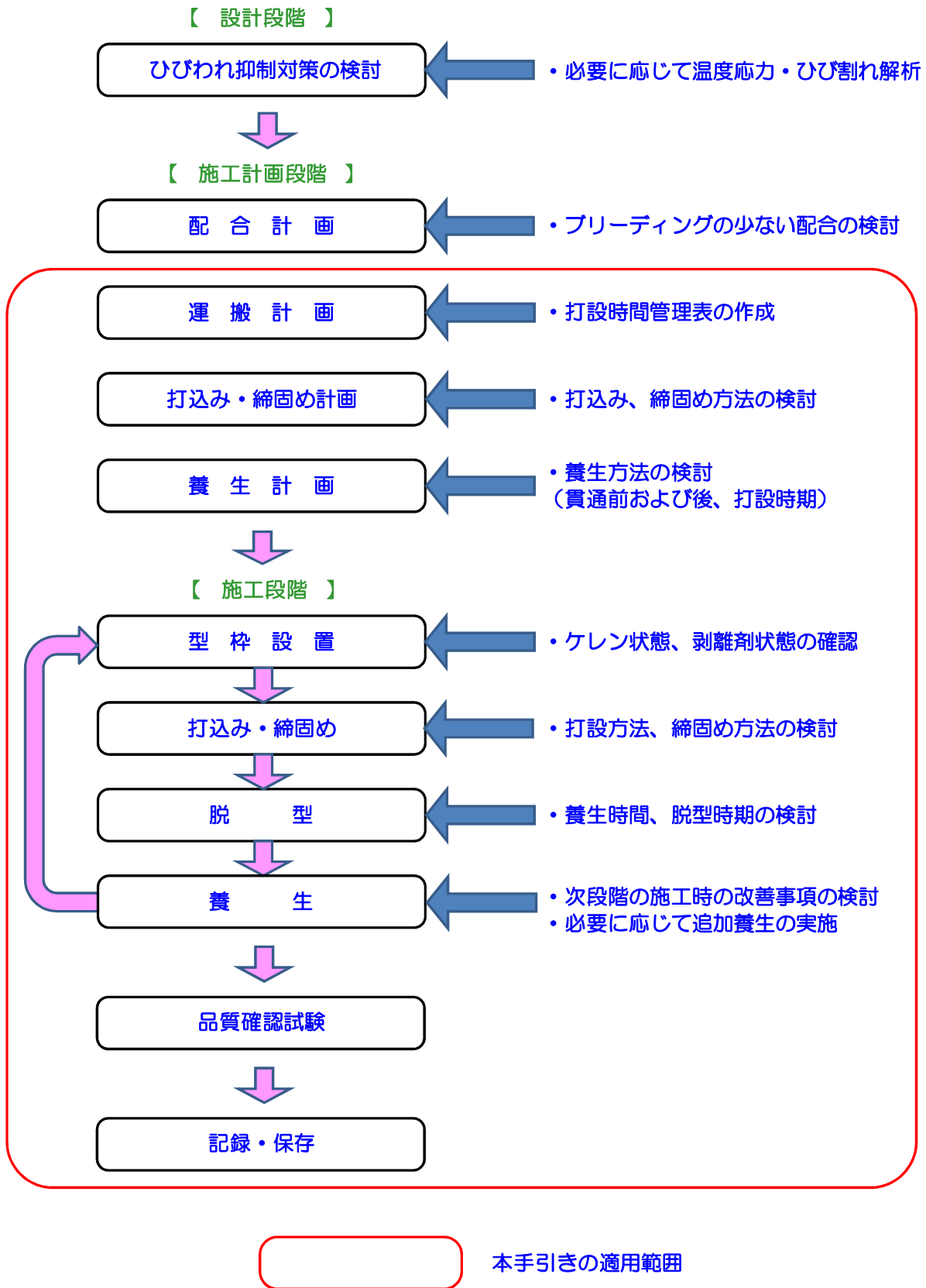


図 4-1 手引きの適用範囲

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

- (1) 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ことが望ましい。
- (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ことが望ましい。
- (3) 第三者被害防止の観点から、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の防止対策を適切に行わなければならない。

【解説】

(1) について

施工の基本事項については、「土木工事共通仕様書 平成 30 年 3 月 国土交通省」において覆工コンクリートの施工について規定されており、要約すると以下の通りである。

- ◆ 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。
- ◆ 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。
- ◆ 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) について

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PDCA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らねばならない。

(3) について

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、第三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、均質かつ密実で一体性のある覆工コンクリートを目指さなければならない。

【その他】

今後、発生要因の分析を可能とするために、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、記録しておくことが望ましい。

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。

5.2 品質確保チェックシート

(1) 品質確保チェックシートを活用した品質確保

「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6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PDCA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。

トンネル覆工コンクリートの品質確保を図るうえで、有効であると考えられる同手法の活用について、以降に解説する。



図 5-1 品質確保チェックシートを利用した品質確保の流れ

（２）施工状況把握チェックシートの活用

【目的と特徴】

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。

これらの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。

【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。これらの理解を助けるために、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。

第三者被害防止に関する 検査意図・検査	施工日直不良	色むら・打重・陥 水はじり・砂すじ 気泡	表層は視評価の項目 出欠機との影響 はく離
	検査意図・検査	色むら・打重・陥 水はじり・砂すじ 気泡	表層は視評価の項目 出欠機との影響 はく離

※ 特記仕様書、受注者の創設工天、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。

国東映之の影響	第三巻禁書防止に関する
表層日親・備の項目	検査覚悟・設弁
はく麗	施工口地不致
気冠	色むら・打或ね親
水ほしり・勢十じ	水ほしり・勢十じ

※：特設仕様書、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。

- 50 -

(3) 表層目視評価チェックシートの活用

【目的と特徴】

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。

表 5-1 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で発生しやすい。
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 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)

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。

【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。これらの理解を助けるために、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。

【その他】

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。

記録様式②案 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	脱型直後から初期養生開始時					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 Word
	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	1㎡程度の大きさで見られる	2点の状況以上に広範囲に見られる		
② 気泡 (1.5m×1.0m範囲で観察)		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 (全体の1/10程度)	やや多く見られる (全体の1/3程度)	2点の状況以上に広範囲に見られる		
④ 色むら、打重ね		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点の状況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)	隔壁全てに見られる (欠陥に見られたら1)		
⑥ 横断方向段差		無し	1箇所程度見られる	2～3箇所見られる	3箇所を越える箇所は発生		

※評価点は中間点も可とする。

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

記録様式③案 トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

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	打設日	初期養生終了日	確認者
配合	セメント 打設システム等	脱型日	調査日	

展開図に変状を図示 (別図でも可)

■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	施工目地不良	検査窓枠段差	点数計
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)

特筆すべき事項や改善策などを記入

図 5-4 表層目視評価シートおよび表層目視評価の方法の構成

記録様式②案 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		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		・近接できない箇所は、環工センターから照会を当てながら観察					原 因 K e y W o r d	
		評価点	4	3	2	1	施工状況把握チェックシートの項目	
① はく露		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1が程度 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	準備-5 準備-6 打設-7	ケレン拭きを怠くする ・施工状況把握チェックシートにて最終確認（不具合時は作業員の再教育） ・面工状況把握チェックシートにて最終確認（不具合時は作業員の再教育） ・天端仕上げ口周囲の打込み当初の熟層コンクリートを除去する	
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30ヶ程度 見られる	10mm以上 が20ヶ程度 見られる	品質-1 打設-1 打設-3 打設-4	生コンの規格を満足か ・エアリー量、スランプが期待外の場合は原因の追究と是正 左右対称の打設 ・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、霜付きの有無を考慮） 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できるだけ小さくする 一層の打込み高さ ・1層の打込み高さを制限し、適切な締固めで表込み空気を除去する（かけすぎは避ける）	
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	準備工-8 品質-1 打設-4	箱抜き型枠の加工精度 ・型枠加工精度を上げて、セメントとの隙間を無くす及びセメントとの固定を確実にする ・縦断方向のセメントに隙間がある場合、定期的にコーキングを行う 生コンの規格を満足か ・規格外の生コンは廃棄（特にスランプ大の場合発生） 一層の打込み高さ ・急速な打込みをやめて、一層の高さを50cm以下に抑ええる（ブリーディングが内部に残留することを防止）	
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	打設-2 準備工-6	一定間隔の打込み ・打重ね時間を短くして、下層コンクリートにパイプを入れて10cm程度挿入し適切な締固めを行う 剥離剤の過大な塗布量 ・施工計画書で定められた適量な塗布量	
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)	剥離剤に 見られる (天端に見 られたら1)	準備工-3 準備工-7	堅硬な地盤 ・不平等下防止策を講ずる 目地材の固定不足 ・固定方法の改善、固定状況を打設前に再確認する	
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	打設-8 打設-8 打設-8	検査窓の固定不足 ・ハンマー打撃で固定ピンを叩いて確実に挿入 検査窓の隙間 ・検査窓に直接当ててパイプをかける 検査窓の隙間 ・セメント本体と検査窓に隙間がある場合、検査窓周囲に輪ゴム（例：長さ50cm、厚さ1mm、幅6mm）を設置	

※評価点は中間点も可とする。

図 5-5 表層目視評価の方法（記載例）

記録様式③案 トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

工事名	〇〇トンネル工事事務所	打設番号	35BL・無筋	スパン長(m)	10.5	打設回数	1	調査者	〇〇 〇〇
トンネル 名 称	〇〇トンネル	測点	自 NO. 〇〇・〇〇 至 NO. 〇〇・〇〇	打設日	平成〇〇年〇月〇日	初期養生終了日	平成〇〇年〇月〇日	確認者	〇〇 〇〇
配合	21-15-40BB	セメント 打設システム等		養生の工夫等					

■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	d	
左側壁	4	4	4	4	4	4	24
左アーチ	4	3	4	4	4	4	23
天端 ^注	4	4	4	4	4	4	24
右アーチ	4	3	4	4	4	4	23
右側壁	4	4	4	4	4	4	24
点数平均	4.0	3.6	4.0	4.0	4.0	4.0	23.6

注）評価点は4段階（4～1）、中間点も可とする

- ・天端^注：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

◆全体記事

① 打設口列の配管切り替え高さ付近で気泡が生じている。

② インバートとの打継部に部分的に豆板が生じた。

◆改善策（施工状況把握チェックシートとの関連性を記載）

① センサーパイプレーターが感知してから引上げるまでの設定振動時間の変更。（8秒）
打設口列のポイントに人力でパイプレーターをかける。

② センサーパイプレーターが感知してから引上げるまでの設定振動時間の変更。（8秒）
型枠パイプレーターで型枠外面より隅部部分を締固める。
打設口列のポイントに人力でパイプレーターをかける。

図 5-6 表層目視評価シート（記載例）

(4) 表層目視評価の効果

図 5-7 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、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。

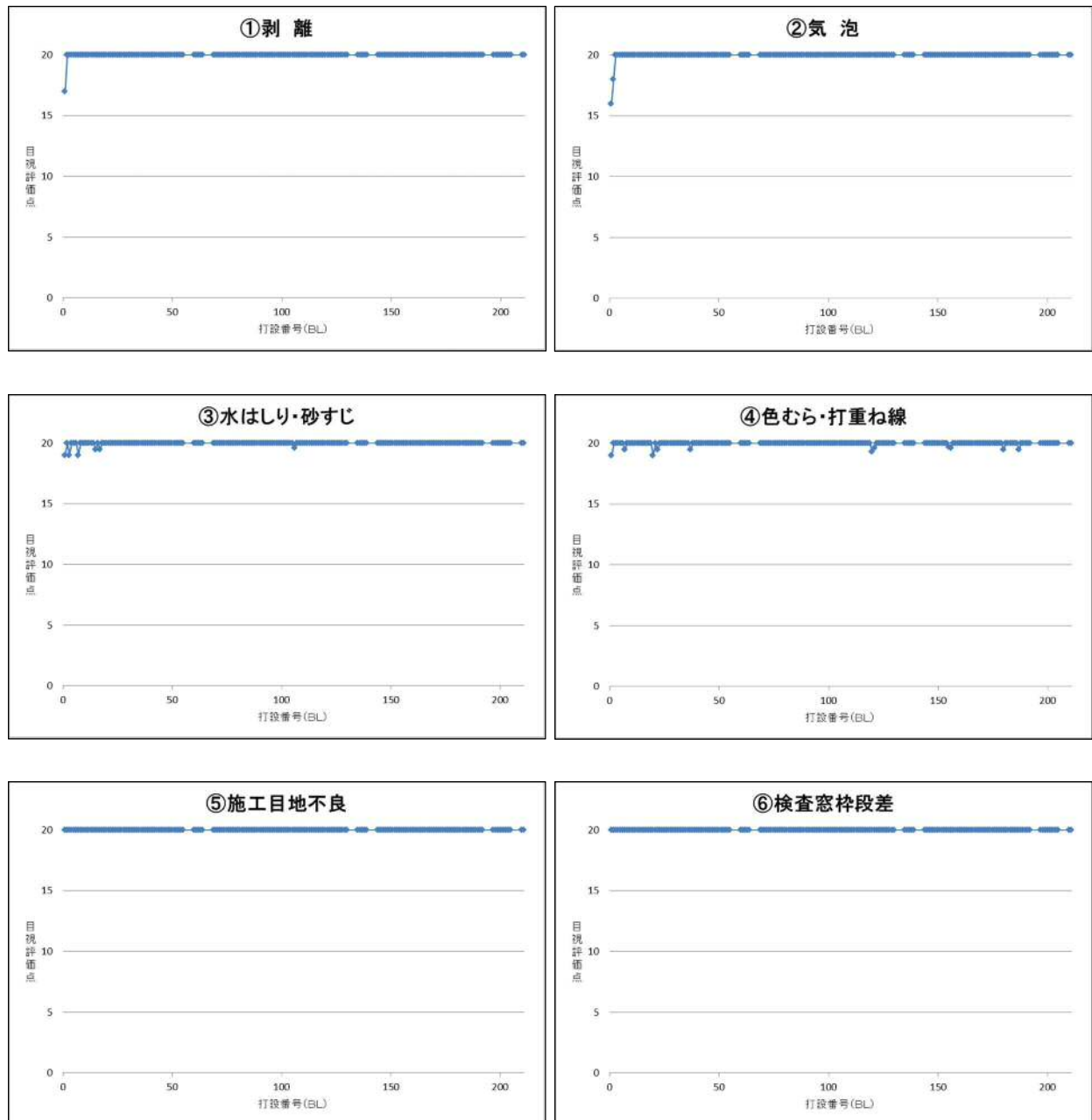


図 5-7 表層目視評価結果の実例

図 5-8 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。

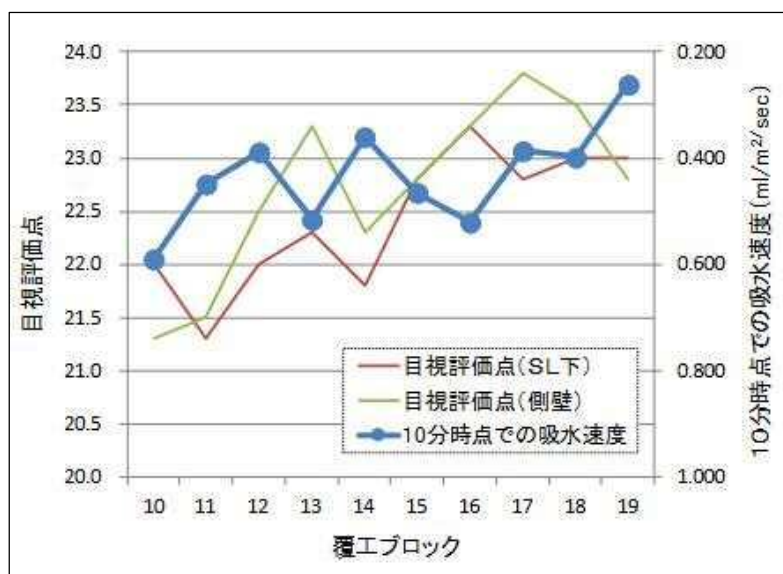


図 5-8 表層目視評価点と吸水速度との関係¹³⁾

5.3 養生による緻密性の向上

- (1) 覆工コンクリートの十分な耐久性の確保と、必要なコンクリートの緻密性を得るために、適切な養生を行うことが望ましい。
- (2) 養生による効果を把握するため、緻密性を適切に評価のできる「非破壊試験」を行い、施工記録に残すことが望ましい。

【解説】

(1) について

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。

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。

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。

参考として、NEXCOの覆工コンクリートの養生例として、以下のように記載されている。

「覆工コンクリートの養生は、給水、水分逸散防止、封緘および膜養生など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、型枠の取り外し後から8時間以内に実施する。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。」

また、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において型枠の存知を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。

① 保湿養生

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。



写真 5-1 保湿養生（バルーン養生）の事例 ¹⁸⁾



写真 5-2 セントル自体を覆った事例 ¹⁸⁾

② 給水養生

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。



写真 5-3 給水養生（アクアカーテン養生）の事例 ¹⁹⁾

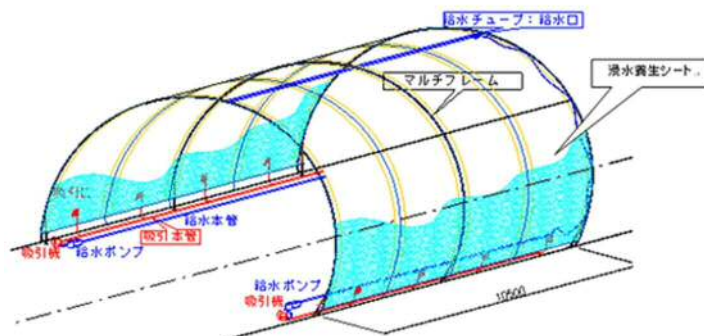


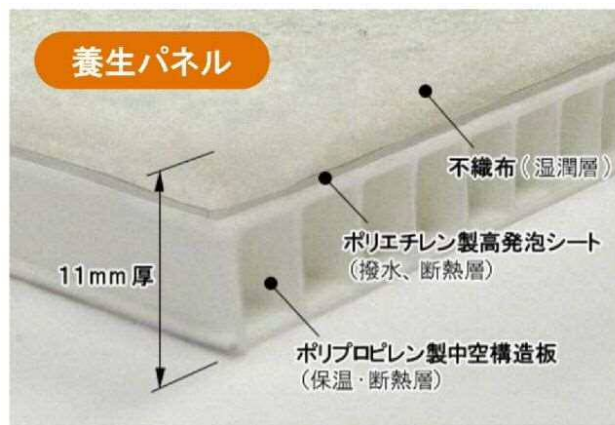
図 5-9 給水養生（アクアカーテン養生）の概要図 ¹⁹⁾

③ パネル養生

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。



写真 5-4 パネル養生の事例 ²⁰⁾



※ 不織布面を覆工コンクリート表面に接触させて設置

図 5-10 養生パネル ²⁰⁾

④ シート養生

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。



写真 5-5 シート養生の事例 ²¹⁾

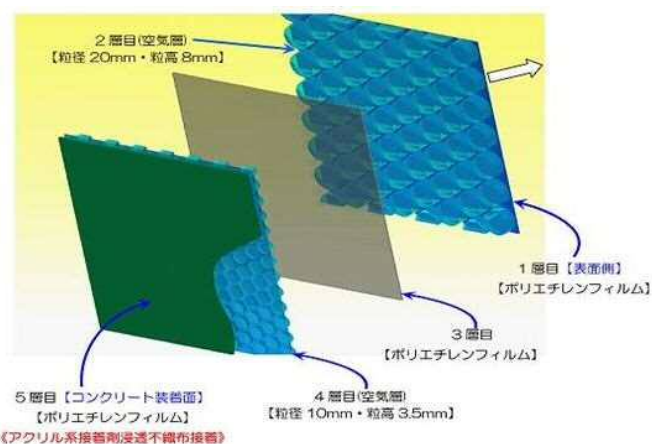


図 5-11 養生シート ²¹⁾

⑤ 隔壁

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。



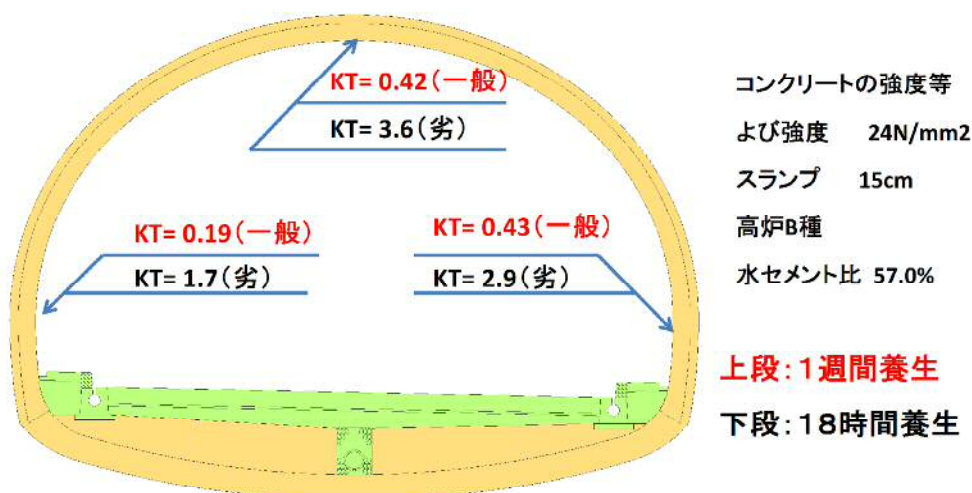
写真 5-6 隔壁（バルーン隔壁）の事例²²⁾

⑥ 坑口部の長期養生

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。（18 時間で脱型しても構わないが、直ちに封緘養生を 1 週間行うのが趣旨である。）

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。

（坑口部の長期養生について、本手引きでは任意での対応とする。）



透気係数 $KT (\times 10^{-16} \text{m}^2)$	優	良	一般	劣	極劣
	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	10~100

図 5-12 長期養生によるコンクリート表層の緻密化^{7)に加筆}

(2) について

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） 平成 28 年 6 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、以降に各試験方法の概要を示す。

① 表層透気試験（Torrent 法）

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 5-7 表層透気試験の概要

② 表面吸水試験（SWAT）

表面吸水試験は、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。

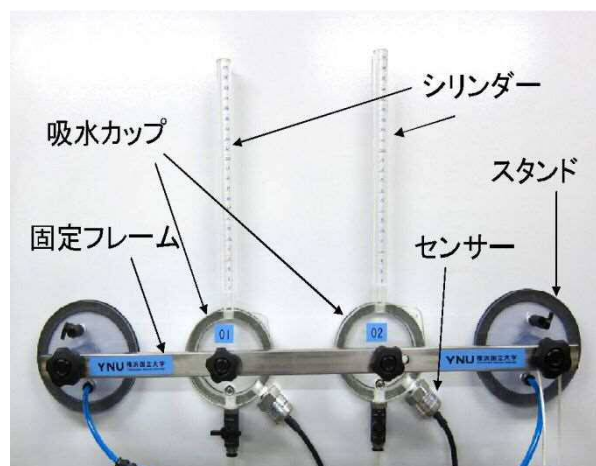
測定に使用する水温と、吸水カップやシリンダーなどの水が触れる機材の温度が大きく異なると、測定結果に影響をおよぼすため、あらかじめ吸置きした水を計測に用い、本計測を行う前に予備計測を行うことで、水と機材の温度を同程度にしておくことが望ましい。

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 5-8 表面吸水試験の概要

③ 表層コンクリート緻密性評価の目安

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 および表 5-4 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。

◆ 表層透気試験（Torrent 法）の判定基準

表 5-3 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。

◆ 表面吸水試験（SWAT）の評価基準

表 5-4 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} ($\text{ml/m}^2/\text{s}$)	≤ 0.25	$0.25 < P_{600} \leq 0.5$	> 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。

④ 記録しておくべき事項

以下の情報を施工記録とともに残しておくのがよい。

- ◆ 打設日、計測日時、天候、気温、湿度、計測者
- ◆ 測定箇所（天端、肩部、側壁など）、計測時の材令
- ◆ 養生条件、脱型時の材令
- ◆ 表面吸水試験に使用する水の温度
- ◆ コンクリートの含水率
- ◆ 表層透気係数 KT、測定深さ（表層透気試験の場合）
- ◆ 表面吸水速度 P_{600} 、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記録・保存するものとする。

【解説】

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。記録し保存するのが望ましいデータの一覧を以下に示す。

表 6-1 記録・保存するのが望ましいデータの一覧

◆ 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（遮風壁などの有無）

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 6-2 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

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

非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

巻末資料－１．不具合の抑制対策の事例

施工段階における不具合の抑制対策の事例として、以下の視点から代表的と思われるものを抽出し、表-1 に示した。

- ◆ 近年では標準的となっている対策の事例
- ◆ 施工業者へのヒアリングや有識者への意見聴取による対策の事例
- ◆ 近年開発されている新技術による対策の事例

各対策事例の詳細については、次ページ以降に記載する。

なお、養生方法については、本編「5.3 養生による緻密性の向上」中に記載している。

また、各事例には、関連する施工状況把握チェックシートのチェック項目番号を併記している。

表-1 施工段階における不具合の抑制対策の事例

対策の目的	対策の事例
型枠設置時の不具合の抑制対策	型枠の過度な押上げ防止
打設時の不具合の抑制対策	圧力センサーによる充填状況の確認
	加圧充填による再充填
	充填検知センサーによる充填状況の確認
	目視による充填の確認
	打設時間管理表による打込み管理
締固め時の不具合の抑制対策	天端引抜きバイブレーターによる締固め
	伸縮式バイブレーターによる締固め
	型枠振動バイブレーターによる締固め
	型枠への透水性シート貼付による気泡排出
脱型時の不具合の抑制対策	型枠の表面処理
	FRP製型枠の採用
ブリーディング水の排除	有孔型枠によるブリーディング水の排除
	吸引チューブによるブリーディング水の排除
	不織布テープによるブリーディング水の排除
施工目地の不具合の抑制対策	施工目地の付着低減
	施工目地の形状変更
	施工目地への目地材設置
覆工背面の平滑化	防水シートの損傷防止
	緩衝材付き防水シートによる覆工背面の平滑化
	覆工背面平滑型ライニング工法による覆工背面の平滑化
施工方法の工夫	坑口部の後施工
	上り勾配での打設
覆工背面からの漏水対策	裏面排水材の設置
坑口部の不具合の抑制対策	表面含浸材の塗布
	ひび割れ低減ネット
	鉄筋防錆塗装

1. 型枠設置時の不具合の抑制対策

(1) 型枠の過度な押上げ防止（準備工-2）

型枠の過度な押上げによる施工目地部の損傷防止については、押上げ防止センサーにより型枠設置時の電動油圧ジャッキの操作の誤りを防ぐ方法が主流となっている。

ただし、これはあくまで補助的なものであるため、最終的には作業員の目視による確認が重要である。

また、最近ではレーザー計測により型枠の離隔を検知し、接近しすぎた場合は型枠の操作を自動停止させる方法も開発されている。



写真-1 押上げ防止センサー²³⁾に加筆

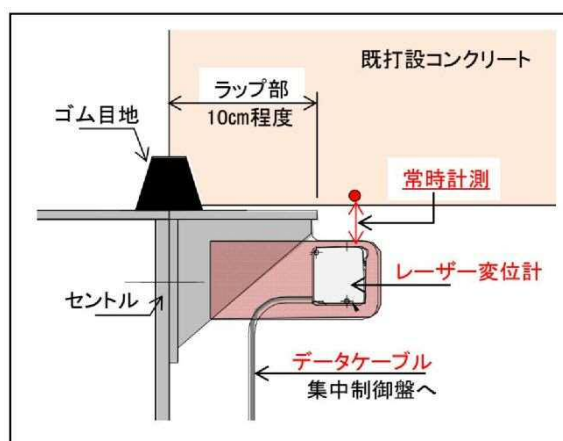


図-1 自動監視システムの概要¹²⁾



写真-2 自動監視システムの事例¹²⁾

2. 打設時の不具合の抑制対策

(1) 圧力センサーによる充填状況の確認（準備-9, 10、打設-1~8）

近年では、型枠に取り付けた圧力センサーにより、コンクリートの充填状況を検知して数値化することで充填管理を行う方法が主流となっている。

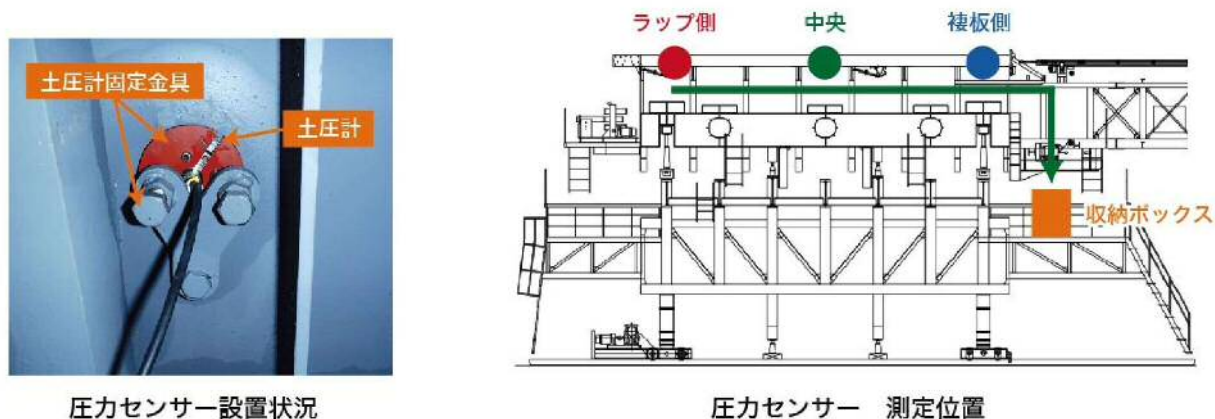


図-2 圧力センサーの配置事例²⁴⁾

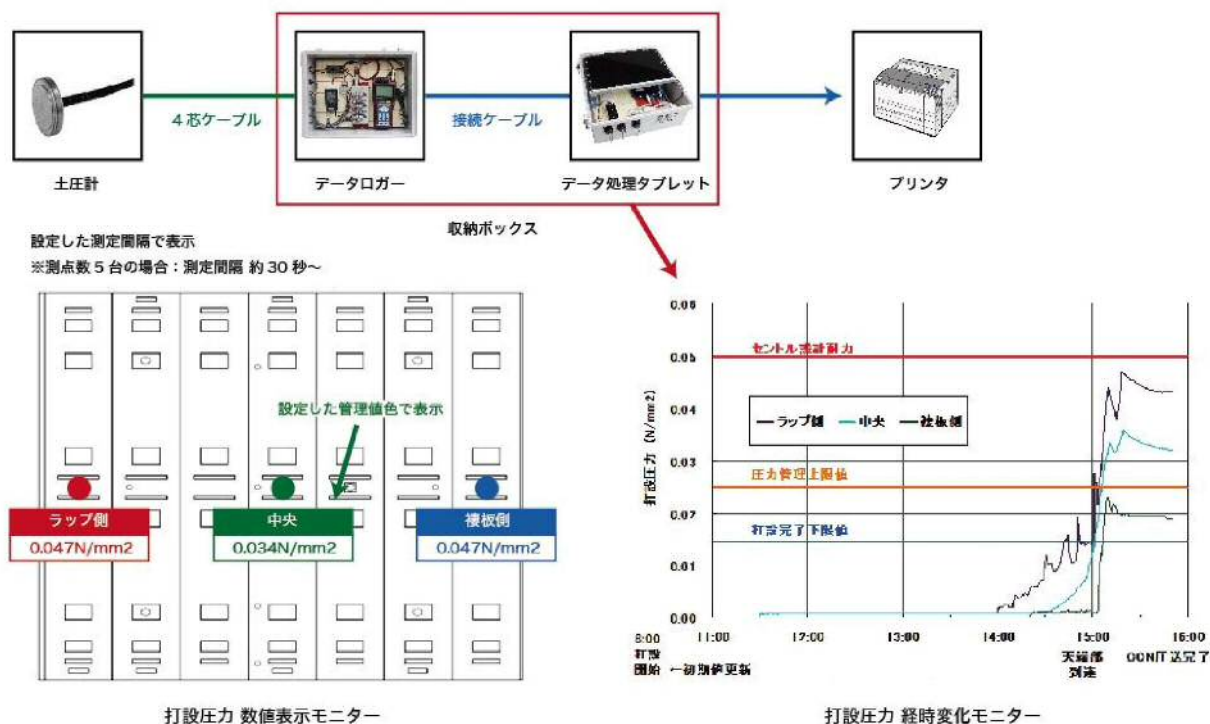


図-3 圧力センサーによる充填状態の確認例²⁴⁾

(2) 加圧充填による再充填（準備-9, 10、打設-1~8）

天端部コンクリートを打設して締固めた後に、圧力センサーにより型枠への作用圧を確認しながら、型枠の耐力範囲内において加圧により再度充填を行うことで、コンクリートの密実性を向上させるものである。

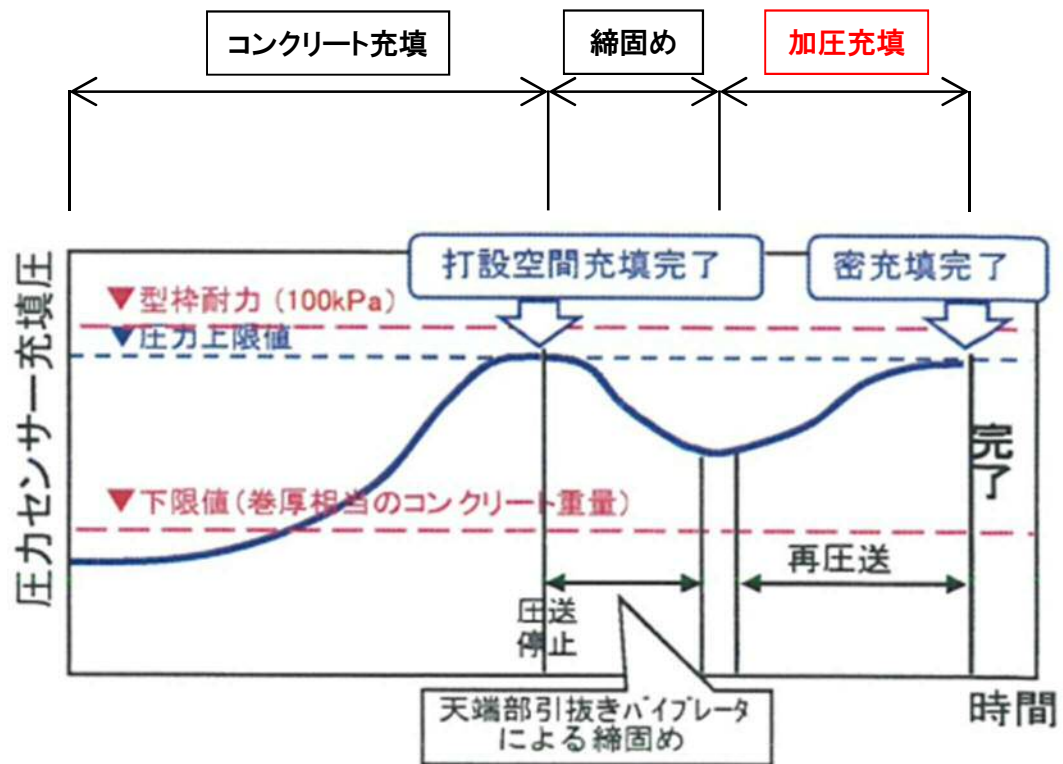


図-4 再加圧による加圧充填の概要

(3) 充填検知センサーによる充填状況の確認（準備-9, 10、打設-1~8）

型枠に取り付けた充填検知センサーを振動させ、その周波数の特性から、コンクリートと水および空気の混ざり具合を検知する方法や、材料の電気抵抗を計測し、センサーに触れている物質を識別する方法などで、コンクリートの充填管理を行う方法が採用されている。

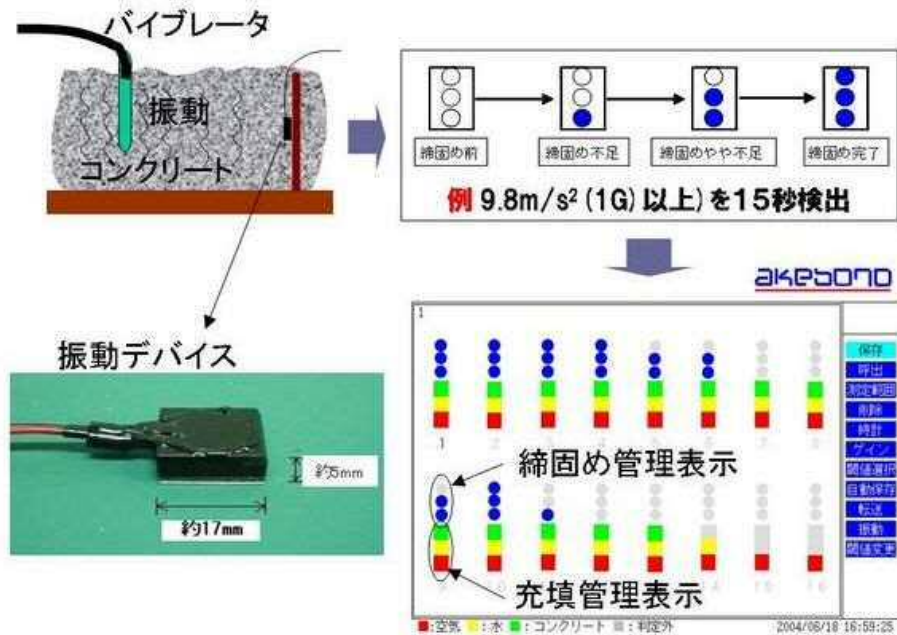


図-5 充填検知センサー（周波数による検知）の概要²⁵⁾

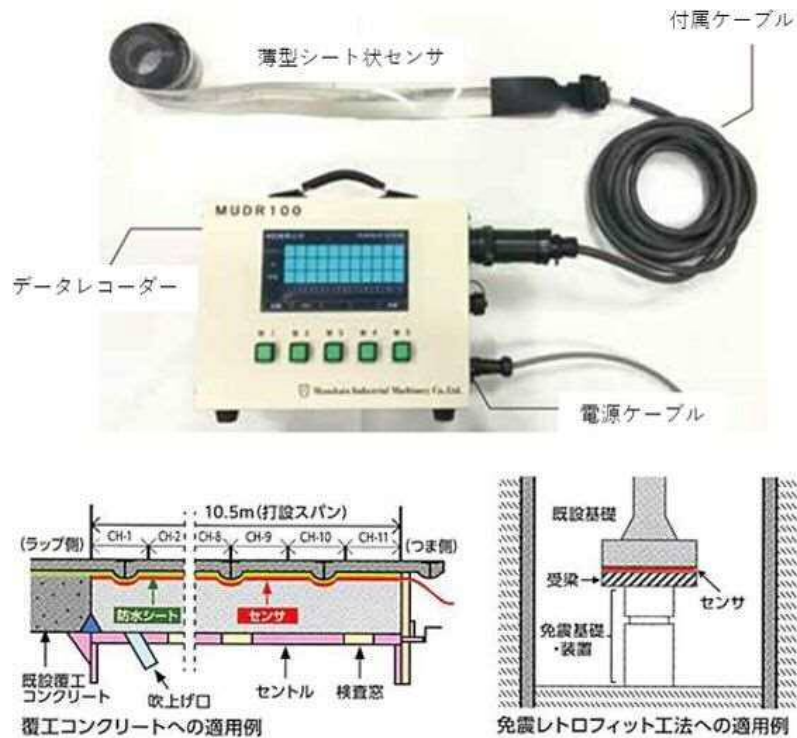


図-6 充填検知センサー（電気抵抗による検知）の概要²⁶⁾

(4) 目視による充填の確認（準備-9, 10、打設-1～8）

妻型枠の一部に透明妻型枠を使用することで、妻部のコンクリート充填状況を目視で確認する方法もとられている。

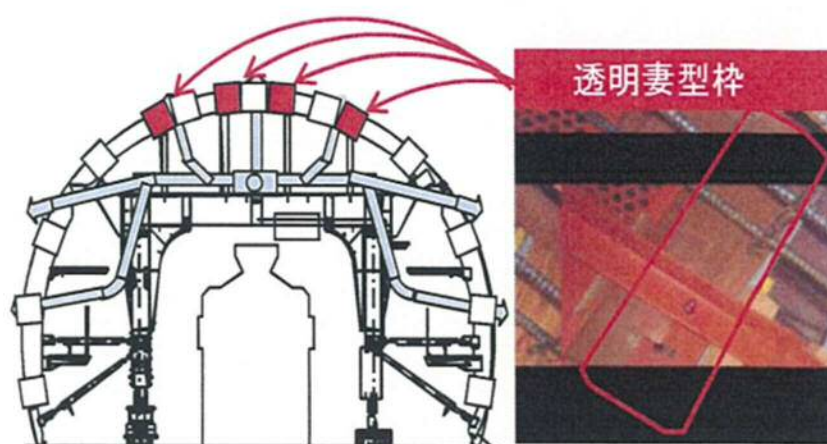


図-7 透明妻型枠の配置事例



写真-3 透明妻型枠の状況（充填前）



写真-4 透明妻型枠の状況（充填後）

(5) 打設時間管理表による打込み管理（運搬-1、打設-2）

覆工コンクリートの打設時間管理表は、施工者が事前に作成し、生コンクリート工場へ出荷指示書として提出する。工場は、指示された時間での現場到着を目標として出荷を行う。

この打設時間管理表を打込み箇所近傍に掲示し、打込み開始および終了時間を記入して打込み状況の管理を行うことで、打込みおよび生コンクリート供給の待機時間を無くして、打込み作業の効率化や打継時間の適正化により、不具合の発生を抑制することができるほか、施工の不具合のトレーサビリティにも利用することができる。

順	打設箇所	工場発	現場着	打込み開始	打込み終了	車番	打設箇所	打設時間	目標スランプ
1	4	7:00	7:20	7:30	7:35	2	打設箇所①	3.5台/h	15~18
2	8	7:24	7:44	7:45	7:50	17	打設箇所①	3.5台/h	15~18
3	12	7:41	8:01	8:03	8:08	3	打設箇所①	3.5台/h	15~18
4	16	7:58	8:18	8:20	8:25	100	打設箇所①	3.5台/h	15~18
5	20	8:14	8:34	8:36	8:41	12	打設箇所②	3.5台/h	15~18
6	24	8:31	8:51	8:53	8:58	16	打設箇所②	4台/h	18~17
7	28	8:48	9:08	9:10	9:15	21	打設箇所②	4台/h	18~17
8	32	9:02	9:22	9:24	9:29	1	打設箇所②	4台/h	18~17
9	36	9:17	9:37	9:39	9:44	5	打設箇所②	4台/h	18~17
10	40	9:31	9:51	9:53	9:58	20	打設箇所②	4台/h	18~17
11	44	9:46	10:06	10:08	10:13	7	打設箇所②	4台/h	18~17
12	48	10:00	10:20	10:22	10:27	27	打設箇所②	4台/h	18~17
13	52	10:12	10:32	10:34	10:39	21	打設箇所②	4台/h	18~17
14	56	10:24	10:44	10:46	10:51	100	打設箇所②	4台/h	18~17
15	60	10:36	10:56	10:58	11:03	100	打設箇所②	4台/h	18~17
16	64	10:47	11:07	11:09	11:14	100	打設箇所②	4台/h	18~17
17	68	10:59	11:19	11:21	11:26	100	打設箇所②	4台/h	18~17
18	72	11:11	11:31	11:33	11:38	100	打設箇所②	4台/h	18~17
19	76	11:53	12:13	12:15	12:20	100	打設箇所②	4台/h	18~17
20	80	12:05	12:25	12:27	12:32	100	打設箇所②	4台/h	18~17
21	84	12:17	12:37	12:39	12:44	100	打設箇所②	4台/h	18~17

アジテータ車運転手が記入

写真-5 打設時間管理表⁷⁾

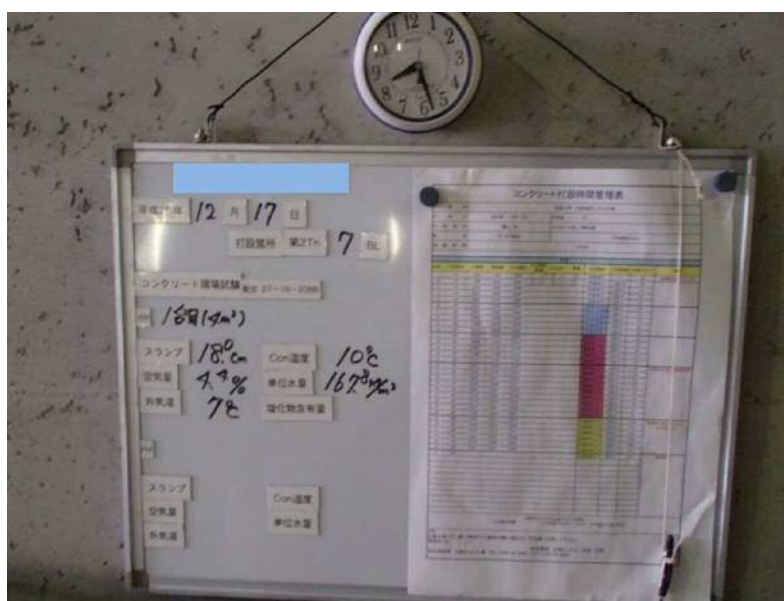


写真-6 打設時間管理表の打込み箇所付近への掲示⁷⁾

3. 締固め時の不具合の抑制対策

(1) 天端引抜きバイブレーターによる締固め（準備工-9, 10、打設 1～8）

天端部にあらかじめ水平方向に引抜きバイブレーターを設置しておき、天端部コンクリートの充填後、水平方向にバイブレーターを引き抜きながら締固めを行い、天端部の確実な締固めを行うものである。

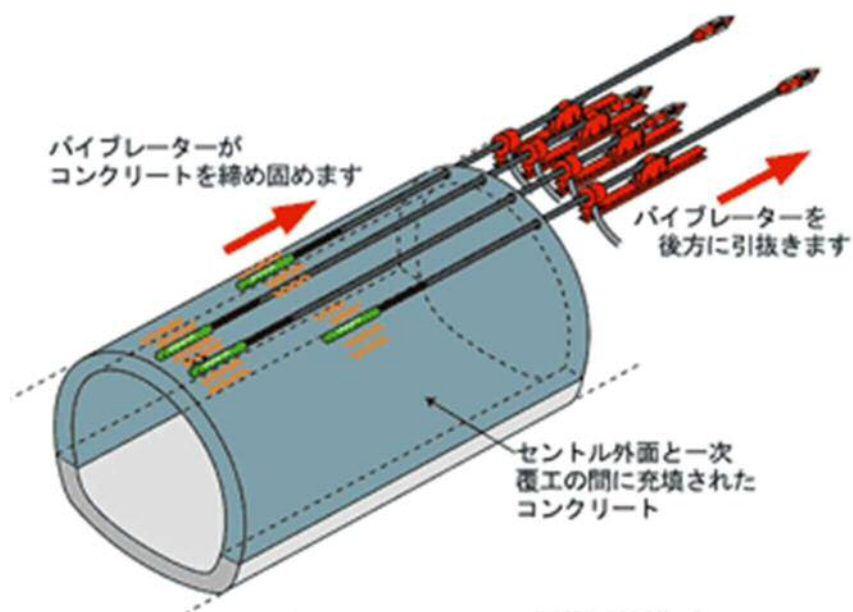


図-8 天端引抜きバイブレーターの概要⁴⁸⁾



写真-7 天端引抜きバイブレーターの事例⁴⁸⁾に加筆

(2) 伸縮式バイブレーターによる締固め（準備工-9, 10、打設 1～8）

型枠断面から垂直方向に突出させたバイブレーターにより、検査窓からの締固めが困難となる部分を、型枠の内部から締固めを行うものである。

使用後は、型枠内部方向へ格納することにより、型枠表面に収まる。



写真-8 伸縮式バイブレーター 45)に加筆

(3) 型枠振動バイブレーターによる締固め（準備工-9, 10、打設 1～8）

締固め不足を軽減するために、型枠に型枠振動バイブレーターを取り付け、高周波で型枠自体を振動させて、コンクリートの締固めを行うものである。



写真-9 型枠振動バイブレーター 46)に加筆

(4) 型枠への透水性シート貼付による気泡排出（準備-1, 3, 5, 6、打設-3, 4, 5）

トンネル断面が大きい場合、曲率の関係からSLより下側で締固めが困難な場所が発生する場合がある、

このような場合、型枠に透水性シートを張り付けて、気泡や余剰水を排出することで、コンクリート表面のあばた発生を抑制する方法がある。

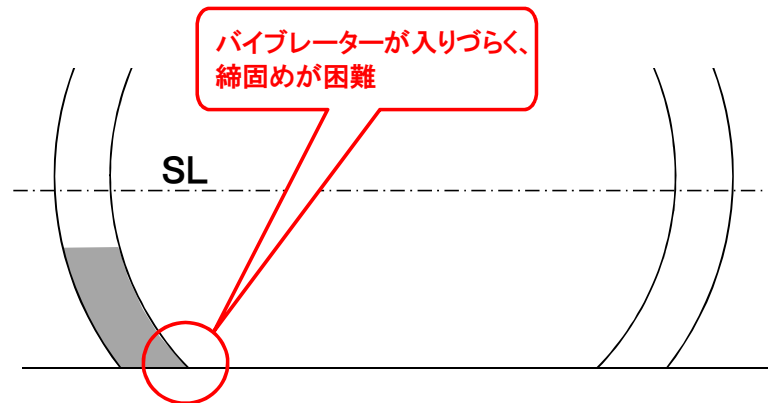


図-9 SL下側の締固めが困難な箇所

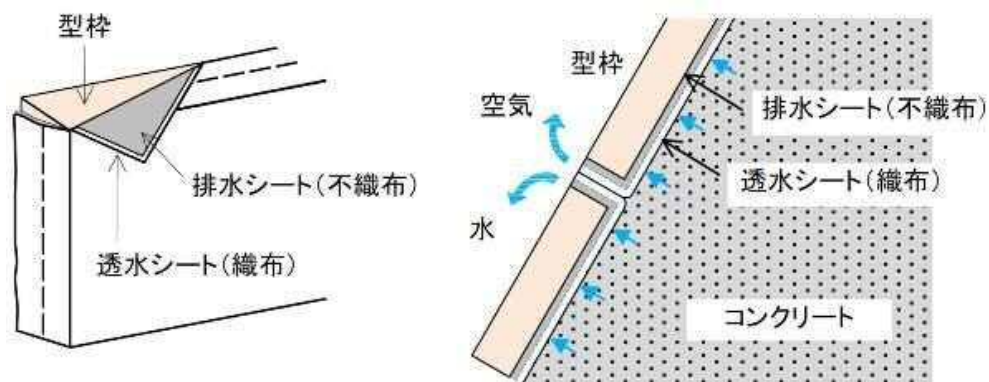


図-10 透水性シート³⁰⁾



写真-10 型枠への貼付け状況³⁰⁾

4. 脱型時の不具合の抑制対策

(1) 型枠の表面処理（準備工-5, 6）

型枠の表面に処理を施すことで、脱型時の剥離性を向上し、コンクリート表面の仕上がりの品質向上を図る方法として、以下のような方法がある。

表-2 型枠の表面処理方法

方法	樹脂コート	ステンレス溶射	セラミック溶射	ブラスト処理
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・スキンプレート表面に特殊樹脂を塗布又は吹き付け焼き付け加工する。 ・短距離覆工および中古フォームに施す場合が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スキンプレート表面にステンレス（316L）を溶融噴射し、ステンレス皮膜を形成する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミナを主成分として1760℃以上にて燃焼加工した粉末を、スキンプレート表面に溶融噴射し、セラミック皮膜を形成する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スチールグリッドを吹き付け、表面の酸化皮膜を除去し、表面に細かい凹凸を作る。
効果	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂コーティングをすることによりスキンプレート表面が円滑化されコンクリートの剥離性が向上すると共に打設表面の仕上がりが向上する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ステンレス溶射によりスキンプレートに細かい空隙を有する層が形成され剥離剤が浸透しやすく剥離性が良く耐久性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・セラミック溶射によりスキンプレート上に細かい空隙を有する層が形成され、剥離剤が浸透しやすくなり剥離性が良く耐久性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・再利用フォームの表面仕上げに適し、表面はセラミック溶射に類似する。 ・剥離剤の保持力が高く、剥離性に優れる。
欠点	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性・衝撃性に難点があり延長の短い覆工に適する。（打設回数30回を目安とする） 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶射によりステンレスがバーナーと化合し耐蝕性が欠け、錆が発生しやすい。 ・セラミック溶射同様にスキンプレートに水分が浸透すると錆が発生し仕上り表面に付着する場合がある。 ・セラミックに比べ高価な上、硬度が低いため耐久性に難点がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・酸化物の本質的欠点である脆性（ゼイセイ）破壊を起こしやすく、パイプレーター打撃による破壊剥離や衝撃による破壊などが発生する。 ・スキンプレートまで水分が浸透すると錆が発生し、仕上り表面に付着する場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・酸化皮膜がないため、発錆し易い。 ・長距離施工時に、表面の凹凸が少なくなり、平滑になる。



写真-11 樹脂コートの事例 ⁴³⁾



写真-12 セラミック溶射の事例 ⁴²⁾

(2) F R P 製型枠の採用 (準備工-5, 6)

近年では、型枠自体の材質を従来の鋼製から F R P 製に変更した事例 (工法) もある。
この場合は、脱型時の剥離性の向上のほか、半透明である F R P 製型枠にライトを当てることで、コンクリートの充填状況が確認できるというメリットもある。



写真-13 F R P 製型枠 ⁴⁴⁾



写真-14 セントルへの取付け状況 ⁴⁴⁾

5. ブリーディング水の排除

(1) 有孔型枠によるブリーディング水の排除（打設-9）

コンクリート打設後、妻部に集積してくるブリーディング水の排出としては、従来は木製型枠の隙間を空ける簡易な方法や、検査窓からバキュームポンプで除去する方法などがとられてきたが、最近では、鋼製や透明アクリル製のパンチング加工を施した型枠が主流となっている。



写真-15 木製型枠の隙間を空けた事例



写真-16 バキュームポンプによる除去



写真-17 鋼製パンチングメタルの事例



写真-18 ブリーディング水の排出状況



写真-19 透明型枠の事例



写真-20 ブリーディング水の排出状況

(2) 吸引チューブによるブリーディング水の排除（打設-9）

型枠内に設置した吸引チューブにより、打設後のコンクリート内の余剰空気およびブリーディング水の積極的な排除を行うことにより、覆工コンクリートの充填性向上および品質向上を図る方法がある。

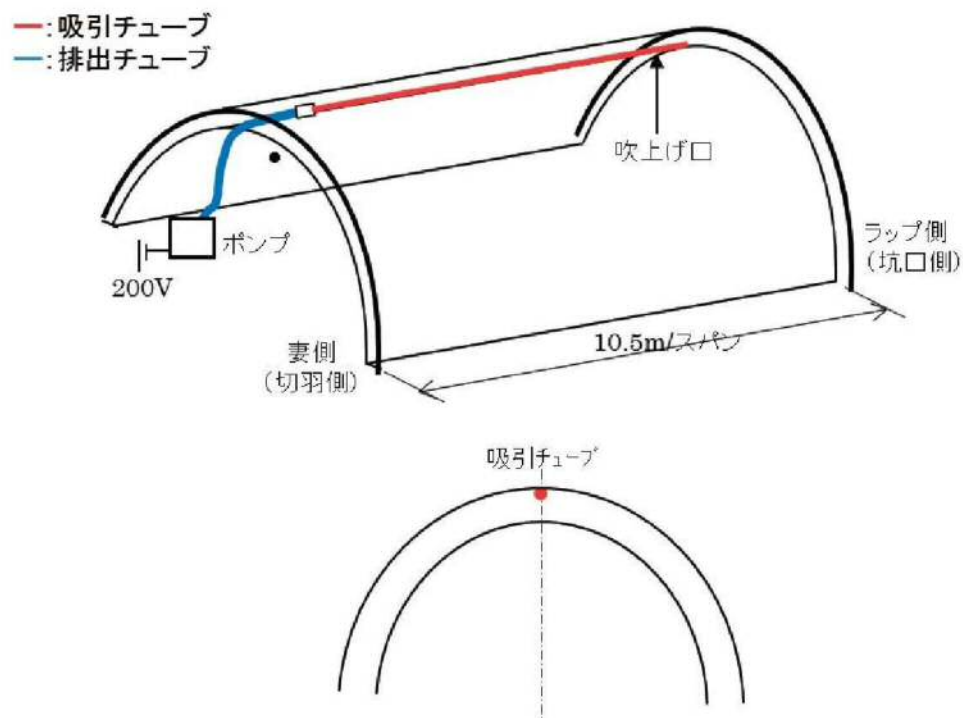


図-11 吸引チューブの配置図¹³⁾

ブリーディング水



写真-21 ブリーディング水の排出状況¹³⁾

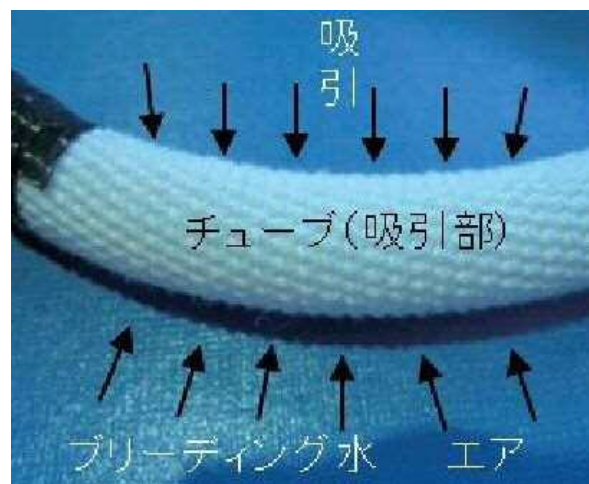


写真-22 吸引チューブ¹³⁾

(3) 不織布テープによるブリーディング水の排除（打設-9）

型枠内に設置した不織布テープにより、打設後のコンクリート内の余剰空気およびブリーディング水の積極的な排除を行うことにより、覆工コンクリートの充填性向上および品質向上を図る方法がある。

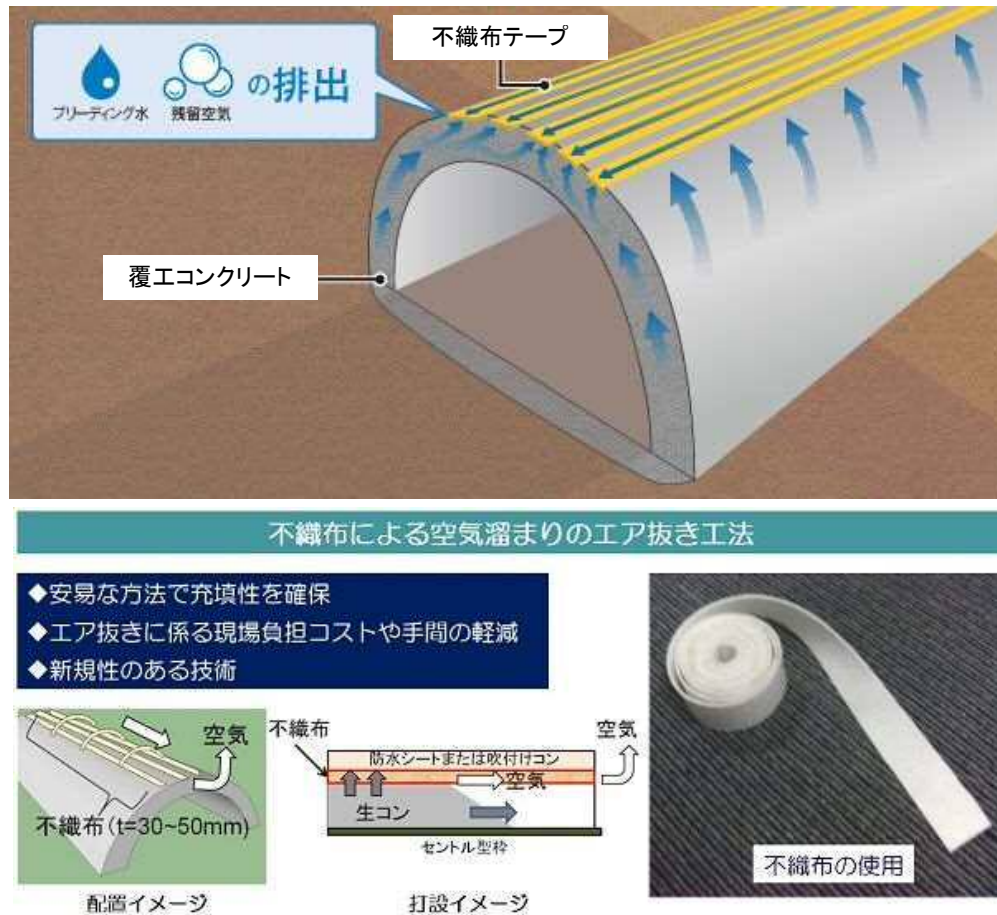


図-12 不織布テープの概要³¹⁾

6. 施工目地の不具合の抑制対策

(1) 施工目地の付着低減（準備工-7）

先打ちコンクリートと後打ちコンクリートとの付着力を低減するために、施工目地部に付着低減剤を塗布する方法がある。



写真-23 既設目地部への付着低減剤の塗布 ³²⁾

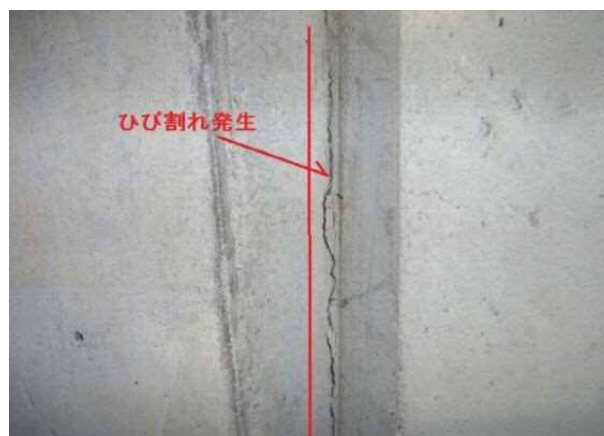


写真-24 付着低減剤の塗布なしの場合 ³²⁾



写真-25 付着低減剤の塗布ありの場合 ³²⁾に加筆

(2) 施工目地の形状変更 (準備工-7)

中国地方整備局の事例では、型枠脱型時および乾燥収縮に対して、弱点となりやすい頂辺部がない三角形目地とすることとしている。

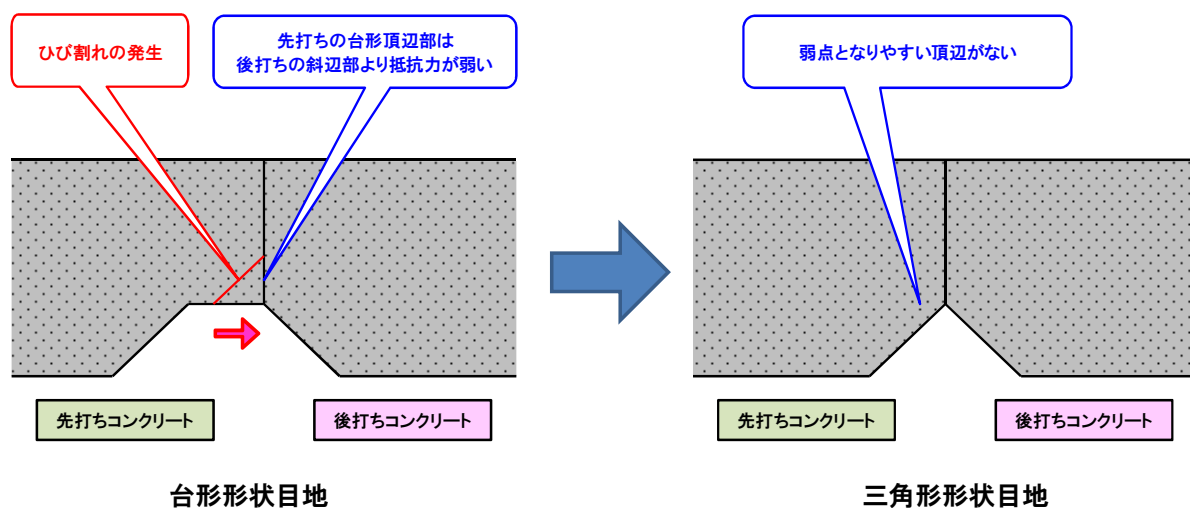


図-13 目地形状変更の概要

(3) 施工目地への目地材設置 (準備工-7)

中国地方整備局の事例では、乾燥収縮による引張力に対応するために、目地材を設置することとしている。

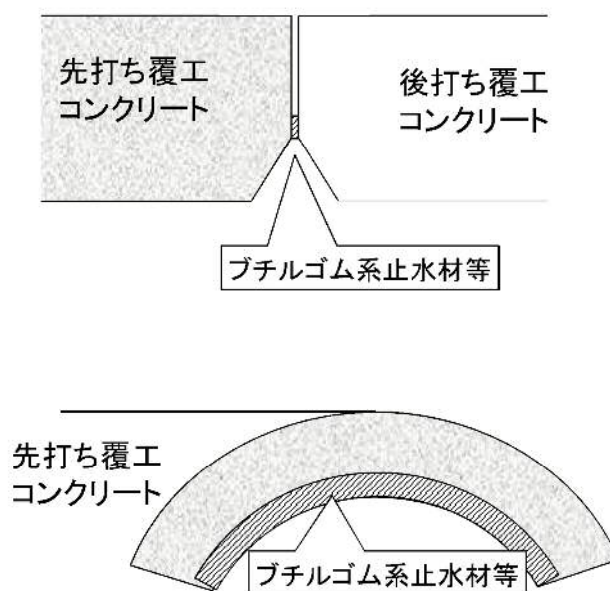


図-14 目地材設置の概要⁴⁷

7. 覆工背面の平滑化

(1) 防水シートの損傷防止（準備工-4）

突出部の形状を工夫したロックボルトや、ロックボルトの突出部を滑らかにするキャップなどの使用により、防水シートの損傷を低減する方法がある。



図-15 突出レスロックボルト 33)

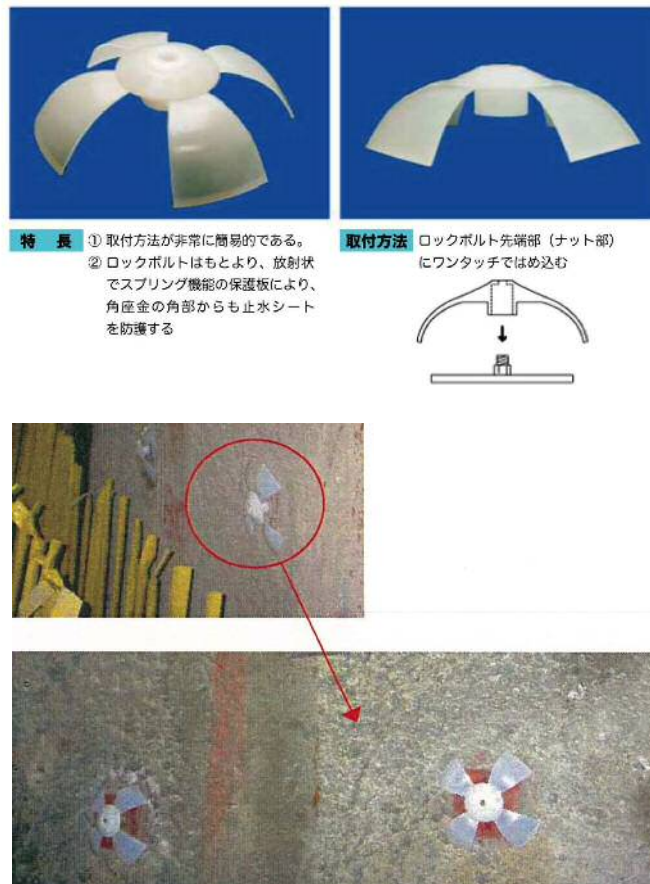


図-16 ロックボルトキャップ 34)

（２）緩衝材付き防水シートによる覆工背面の平滑化（準備工-4）

吹付面を完全に平滑化することは困難であることから、防水シートの背面側に貼付けた緩衝剤が凹凸に追従することで、防水シートの平滑化を確保する事例もある。

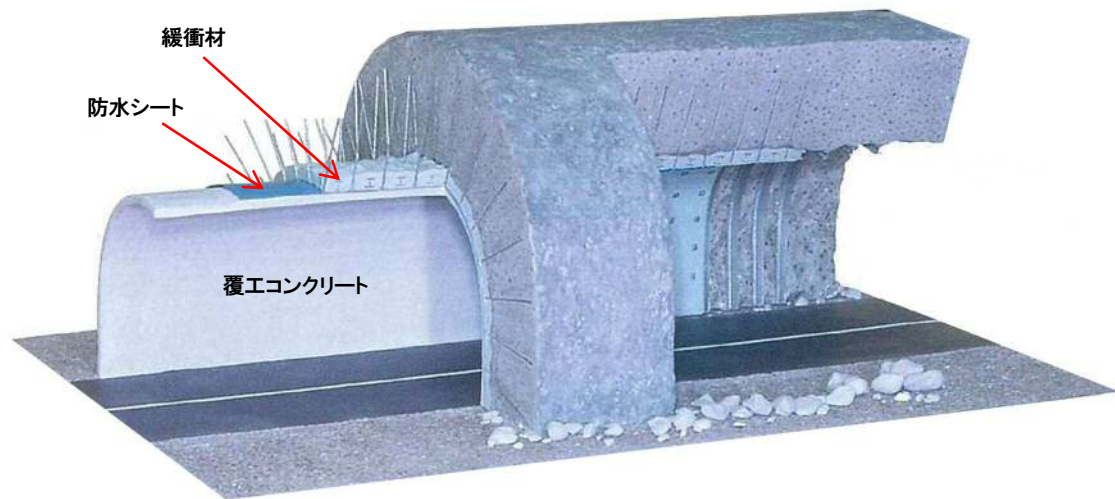


図-17 緩衝材付き防水シートの概要 ⁴⁰⁾に加筆



写真-26 施工事例 ³⁷⁾

(3) 背面平滑型トンネルライニング工法による覆工背面の平滑化（準備工-4）

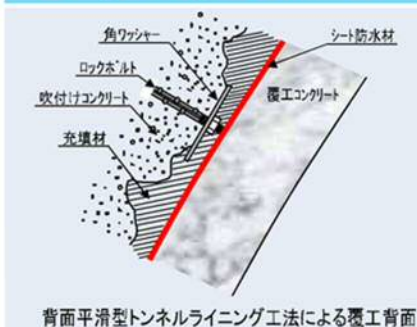
あらかじめ型枠面に防水シートを貼り付けたのち、防水シート背面の空隙部に充填材を充填して固定することで、防水シートの仕上がり面を平滑化する事例もある。

■ 背面平滑型トンネルライニング工法の特長



- ◇ 高いインシュレーション効果による覆工のひび割れ低減
- ◇ 覆工巻厚の均一化
- ◇ 幅広シートにより現場溶着不良箇所の低減
- ◇ 覆工打設中の防水シート引き込み現象によるクラウン部の防水シート裏面の空隙根絶
- ◇ 防水シート表面が平滑であるため覆工コンクリートの流動性が阻害されことなく空隙の低減向上
- ◇ 防水シート表面が平滑であるため鉄筋組立作業時に防水シートを傷付ける危険性減少
- ◇ 寒冷地での断熱材設置区間の覆工品質向上
- ◇ シート展張架台によりシート作業時の工安全性向上

■ 背面平滑型トンネルライニング工法概要図



背面平滑型トンネルライニング工法での防水工の利点

- ① 吹付け厚さは設計巻厚で良く、平滑にするために余吹きする必要がない。
- ② ロックボルト頭部、支保工継手板等の突起部による防水シートの損傷の危険性がない。
- ③ 現場での溶着箇所が少なく、しかも波打っていない防水シートの溶着となるため、溶着接合を失敗する危険性が低い。
- ④ 寒冷地でシート表面に断熱材を設置（断熱材吹付け・板状断熱材貼り付け）する場合、表面に空隙が残る危険性が低い。

一般工法による防水工の問題点

- ① ロックボルトキャップ脇に空隙が生じ易い。特に自穿孔ボルトや鋼管膨張型ボルト等頭部の高さが高いボルトの場合には、空隙が生じる。
- ② 防水シートが波打っていると、鉄筋を組み立てる場合に鉄筋の端部が防水シート面に接触して傷付ける危険性が高い。
- ③ 下図のように覆工コンクリートの打設により防水シートが下に引き込まれ、クラウン部の防水シートの裏面に空隙が残ってしまう。
- ④ 防水シートが大きく波打っている場合には、シート同士の溶着接合を失敗する確率が高い。

■ 一般工法概要図(問題点)

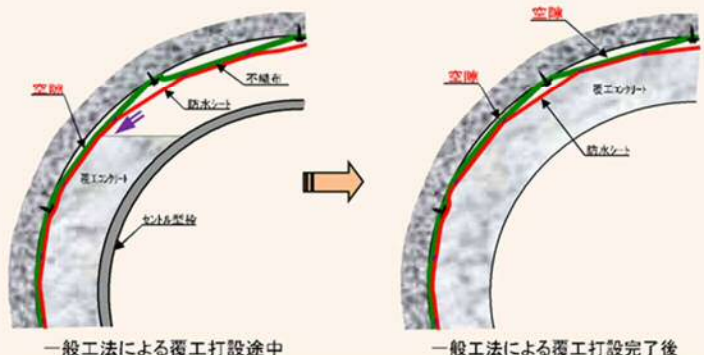
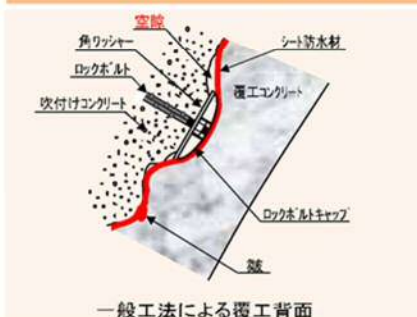


図-18 背面平滑型トンネルライニング工法（FILM 工法）³⁹⁾

8. 施工方法の工夫

(1) 坑口部の後施工

工事の初期には作業員がまだ作業に慣れていないことに加え、坑口部は環境条件が一般部より厳しいことなどから、施工による不具合が生じやすい。

このため、東北地方整備局管内のトンネル工事では、一般部から先に施工を行い、作業に慣れた段階もしくは最後に坑口部の施工を行うことで、坑口部の品質向上を図っている事例もある。

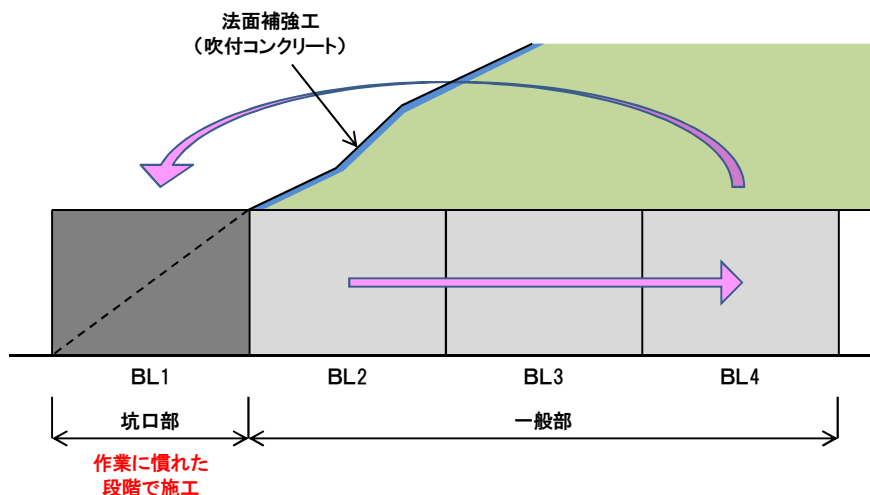


図-19 坑口部の後施工の概要

(2) 上り勾配での打設

トンネルの縦断勾配が急な場合、縦断の上り勾配方向に向かって打設を行うことで、充填性の向上を図ることが必要である。

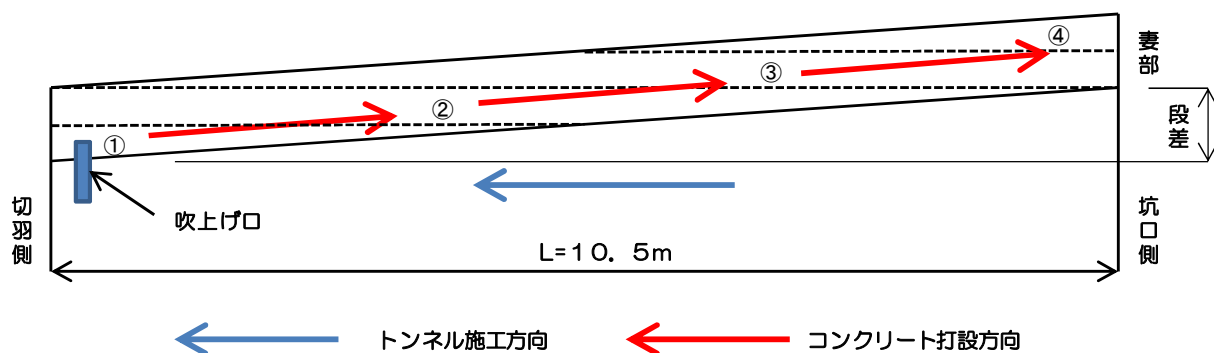


図-20 上り勾配による覆エコンクリートの打設

9. 覆工背面からの漏水対策

(1) トンネル裏面排水材の設置

施工不良などにより、覆工背面の防水シートが損傷・劣化して十分に機能していない場合、施工目地などから漏水が発生する事例が数多く見受けられる。

このような漏水の防止対策として、覆工コンクリート打設前に、排水機能を向上させるために裏面排水材を設置しておく方法も実施されている。



図-21 裏面排水材の一例³⁶⁾

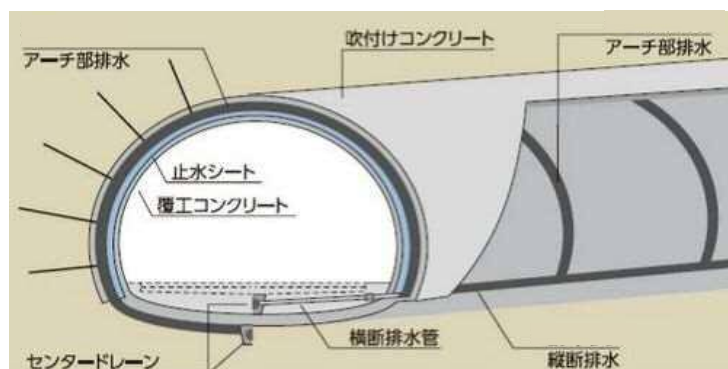


図-22 裏面排水材の施工概要図³⁶⁾

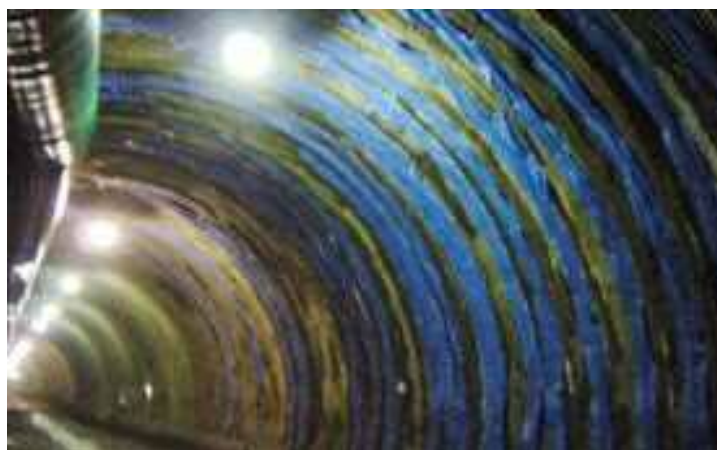


写真-27 トンネルでの施工事例³⁷⁾

10. 坑口部の不具合の抑制対策

(1) 表面含浸材の塗布（準備工-11, 12、打設-10）

鉄筋区間であるトンネル坑口部においては、コンクリート表面に表面含浸材（シラン系）を塗布し、コンクリート表面に吸水防止層を形成することで、鉄筋腐食を防ぐことも実施されている。

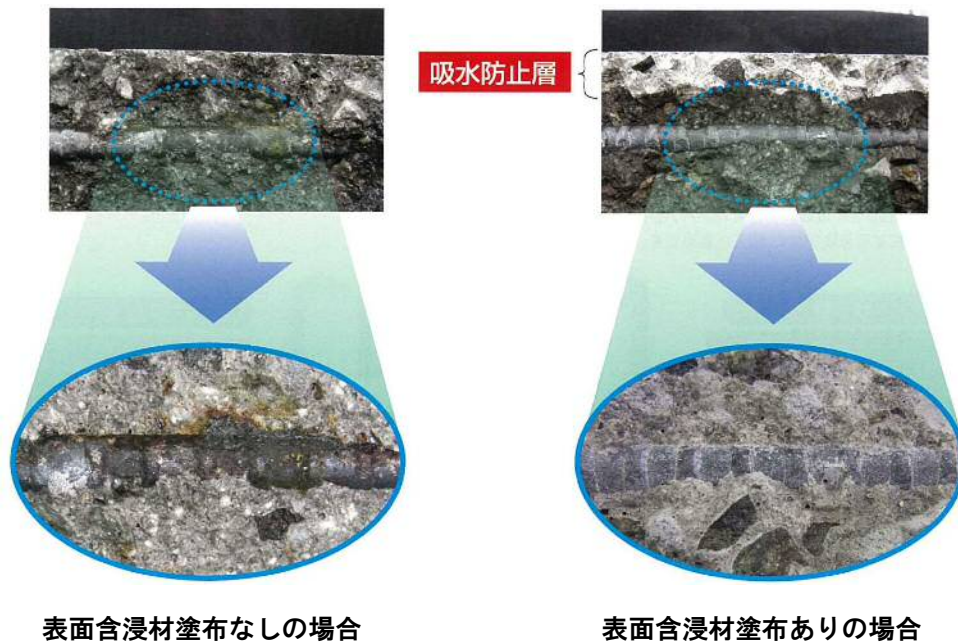


図-23 表面含浸材による鉄筋腐食防止効果（促進試験の結果）²⁷⁾



写真-28 トンネル覆工コンクリートへの施工事例²⁸⁾

(2) ひび割れ低減用ネット（準備工-11, 12、打設-10）

インバートの拘束によるひび割れを防止するために、高い引張剛性とコンクリートとの良好な付着性能を持ったひび割れ低減ネットを用いることも実施されている。

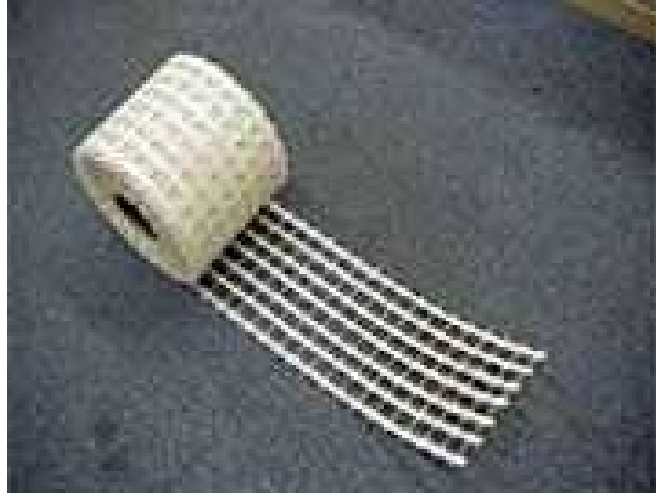


図-24 ひび割れ低減用ネットの一例³⁵⁾



写真-29 トンネル覆工コンクリートへの施工事例³⁵⁾

(3) 鉄筋防錆塗装（準備工-11, 12、打設-10）

坑口部の鉄筋腐食の防止対策として、エポキシ樹脂系などの防錆塗装を施すことも実施されている。



写真-30 トンネルにおける補強鉄筋への防錆塗装の施工事例

巻末資料－２．トンネル定期点検について

１．トンネル定期点検について

トンネル定期点検は、道路トンネルの変状・以上の把握および診断を行い、当該道路トンネルに必要な措置を特定するための情報を得て、安全で円滑な交通の確保や第三者への被害の防止を図るなど、道路トンネルに関わる維持管理を適切に行うための情報を得ることを目的として実施されている。（基本的に５年に１回の頻度で実施する。）

また、これまでの点検結果データからは、第三者被害につながる可能性のある損傷が複数報告されている。

本手引きの利用により、トンネル覆工コンクリートの品質確保を達成していくことで、第三者被害防止の観点から、将来における判定区分ⅢおよびⅣなどの重大な劣化の発生を抑制する必要がある。

２．トンネル定期点検が実施されている背景

平成 11 年以降、覆工コンクリートの剥落事故が相次いで発生したことを受けて、平成 14 年 4 月より「トンネル定期点検要領（案）平成 14 年 4 月 国土交通省 道路局国道課」に基づき、道路トンネルの定期点検が開始されている。

なお、平成 26 年 6 月に「トンネル定期点検要領 平成 26 年 6 月 国土交通省 道路局国道・防災課」が策定されており、以降はこれに基づいた点検が実施されている。

【過去に発生したトンネルでの事故例】

- ◆ 平成 11 年 1 月 国道 5 号忍路トンネルコンクリート剥落事故
- ◆ 平成 11 年 6 月 JR 山陽新幹線福岡トンネルコンクリート剥落事故
- ◆ 平成 24 年 8 月 東北自動車道（上り）坂梨トンネル事故（内装板の落下）
- ◆ 平成 24 年 12 月 中央自動車道（上り）笹子トンネル事故（天井版の落下）

３．トンネル定期点検における判定区分

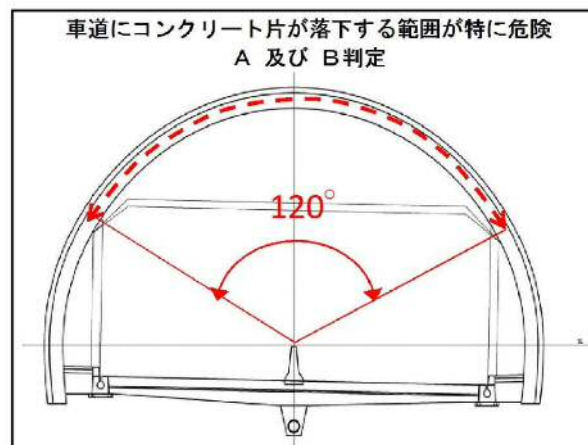


図-1 トンネルにおいて第三者被害が懸念される範囲⁷⁾

表-1 に、「トンネル定期点検要領 平成 26 年 6 月 国土交通省 道路局国道・防災課」における判定区分とその定義を示す。

表-1 判定区分（トンネル定期点検要領 平成 26 年 6 月）⁹⁾

区分	定 義
I	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	II b 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	II a 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III	早晚、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。
IV	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

※1 判定区分Ⅳにおける「緊急」とは、早期に措置を講じる必要がある状態から、交通開放できない状態までを言う。

なお、判定区分Ⅰ～Ⅳまでの定義については表-1 の通りであるが、平成 26 年 6 月以前に実施した定期点検データの分析を行う場合などもあることから、「トンネル定期点検要領 平成 26 年 6 月 国土交通省 道路局国道・防災課」（本要領）と、「トンネル定期点検要領（案） 平成 14 年 4 月 国土交通省 道路局国道課」および「道路トンネル維持管理便覧 平成 5 年 11 月」（便覧等）による判定区分の対比を表-2 に示す。

表-2 H26.6 定期点検要領と便覧等の判定区分の対比⁹⁾

本要領	便覧等	
判定区分 (5 区分)	点検結果判定 (3 区分)	調査結果判定 (4 区分)
I : 健全	S (変状無, 軽微)	—
II b : 予防保全段階	B (変状あり : 危険性低, 要調査)	B (軽微 : 要監視)
II a : 予防保全段階		A (変状あり : 重点的監視, 計画的に対策)
III : 早期措置段階		2 A (変状あり : 早期に対策)
IV : 緊急措置段階	A (変状大 : 危険性高, 要 応急対策, 要調査)	3 A (変状大 : 直ちに対策)

巻末資料－３．非破壊試験による表層品質の確認方法

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 6 月」において、コンクリートの養生の効果を把握する手法として、緻密性を適切に評価できる「非破壊試験」を行うことが望ましいとされており、代表的な手法として「表層透気試験」「表面吸水試験」が紹介されている。コンクリートの「圧縮強度」と耐久性に影響を与える表層の「緻密性」とは必ずしも相関が高くないためである。特に施工の影響を受けるため、完成した構造物を用いてチェックを行うことが望ましい。

これらの非破壊試験の開発は日進月歩であり、上記の手引き発行後も各種の手法が開発されており、製品として販売され入手可能な手法は増えてきている。

また、学協会において規格化が進められている手法もあるが、その手法を用いた結果の統一的な評価基準が定められているわけではない。

現時点では、購入した製品を用いて簡単に確定的な表面品質の判定ができる状態にはなっておらず、測定位置、測定回数、評価可能なコンクリートの材齢や含水状態などを留意しなければならないため、それらの知識を有するコンサルタントや大学等の研究機関に相談をすることが望まれる。

ここでは、製品化の有無や規格化の有無にかかわらず、関連する学協会において、コンクリートの緻密性や養生の効果を判定することを目的として発表されている手法を紹介する。

これらの目的のための非破壊試験には、大きく分けて、気体の動きを計測する透気試験、水の動きを測定する吸水・透水試験がある。それ以外に、弾性波や超音波を用いて強度・硬度を推定する手法もあり、それが表層緻密性と関連があるという結果が示された手法もある。

(1) 表層品質を確認するための非破壊試験

① 透気試験

コンクリート構造物原位置での透気試験装置には、大きく分けてダブルチャンバー法、シングルチャンバー法、ドリル削孔法およびその他の手法が提案されている。

国内規格として、日本非破壊検査協会にて「表層透気性試験方法研究委員会」ならびに本手法に関する「NDIS 原案作成委員会」が活動を進めており、透気試験の有効性および国内規格化に向けた活動を行っている。

表-1 国内で販売・研究されている主な透気試験法

区分	ダブルチャンバー法		シングルチャンバー法	ドリル削孔法	その他 (四国で研究されている手法)
	減圧法	加圧法			
	(Torrent法)	(WAPP法)			
市販品	・ダブルチャンバー式減圧透気試験機「パーマトルAC」 販売元： エフティーエス(株) 評価項目： 透気係数	・ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機「WAPP」(透気透水両用) 販売元： ユニセンス(株) 評価項目： 透気速度	—	・「ポロスコプ」(透気透水両用) 販売元： (株)マルイ 評価項目： 透気時間	—
研究・提案されている手法	—	—	・シングルチャンバー法(東京理科大学) 評価項目： 透気速度	・Figg-Poroscope法 評価項目： 透気時間 ・削孔法(日本大学) 評価項目： 透気速度	・シール法に基づく表層透気試験(愛媛大学) 評価項目： 透気速度 ・シリンダを用いた簡易透気試験(徳島大学) 評価項目： 透気時間

② 吸水・透水試験

コンクリート構造物原位置での媒体に水を用いた試験方法には、圧力をほとんど掛けない吸水試験と圧力をかけた透水試験の両方が存在する。

国内規格として、日本非破壊検査協会にて表記を検討する委員会が活動を進めており、表層品質を確認するための吸水・透水試験の有効性および国内規格化に向けた活動を行っている。

表-2 国内で販売・研究されている主な吸水・透水試験法

区分	吸水試験	加圧透水試験	ドリル削孔透水試験	散水試験
市販品	・表面吸水試験 「SWAT」 販売元： (株)丸東製作所 評価項目： 吸水速度	・ダブルチャンパー式 加圧透水・透気試験機 「WAPP」 (透気透水両用) 販売元： ユニセンス(株) 評価項目： 表層透水係数 ・「GWT」 販売元： (株)マルイ 評価項目： 透水量	・「ポロスコプ」(透気・ 透水両用) 販売元： (株)マルイ 評価項目： 透水時間	—
研究・提案 されている 手法	・表面吸水試験 (九州産業大学) 評価項目： 吸水速度	—	・削孔法 (日本大学) 評価項目： 透水時間	・散水試験A法、B法 (鉄道総合技術研究 所) 評価項目： 散水回数 ・流下試験 (東京大学生産技術研 究所) 評価項目： 流下長さ

③ 接触時間試験方法

日本非破壊検査協会規格として NDIS3434-2 コンクリートの非破壊試験—打撃試験方法—第2部：接触時間方法がある。

その中で、附属書 A (参考)としてコンクリートの硬さ比較試験方法が記載されており、コンクリート表面を打撃した際の接触時間がコンクリートの表層緻密性と関連があることが解説 pp. 24-27 に示されているが、現時点では市販されている装置はなく、研究者が提案する手法に留まっている。

(2) 非破壊試験の手法

以降に、各種の非破壊試験の手法について概要を示す。

なお、「表層透気試験」および「表面吸水試験」の概要については、本編「5.3 養生による緻密性の向上」中に記載している。

① ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機（WAPP）による加圧透気試験^{49) 50)}

ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機（WAPP）による加圧透気試験法は、ダブルチャンバー式減圧透気試験機（Torrent）法の問題点を解決した改良試験法であり、コンクリート表面に特殊シール材を貼り付け後に外側チャンバー内の減圧（80kPa）によってダブルチャンバー部を吸着させて、内側チャンバー内を P_1 （標準 55kPa）に加圧後、気圧が P_2 （最小値 0kPa）に低下するまでの時間 T （最大値 20 分）から、透気速度 K_v 値（kPa/s）を $K_v = (P_1 - P_2) / T$ 式によって算出する手法である（試験原理は下図、試験装置は後掲の WAPP による加圧透水試験を参照）。

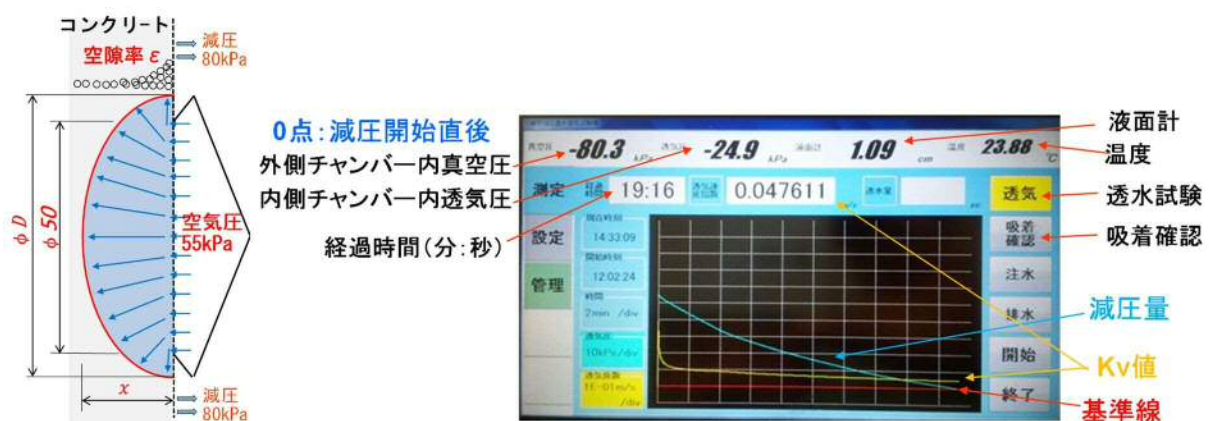
Torrent 法の場合、以下の問題点がある

- ◆ 空気の流れは、内部からの一次元流れと仮定して透気係数を定義しており、実際の空気の流れと異なる。
- ◆ コンクリート品質は均質でどの箇所でも空隙率 $\varepsilon = 0.15$ と仮定しているが、品質変動や乾燥により ε と透気係数が変動する。
- ◆ コンクリート表面は凹凸があるため空気漏れし、測定不能や透気係数の変動が生じる。

これに対し WAPP 法の場合、以下のようにそれぞれ改良が図られている。また、WAPP 法は、同一箇所において「加圧透気試験法の透水速度 K_v 値」と「加圧透水試験法の表層透水係数 P 値」とを、1 台で測定することが可能な唯一の完全非破壊検査法である。

- ◆ 空気の流れは、実際通り外部からの三次元流れとして透気速度を定義しているため、実際の空気の流れに近似して測定される。
- ◆ コンクリート品質は、不均質で空隙率 ε が変動しても、透気速度には ε の測定を含んでおり、透気性を正しく評価が可能である。
- ◆ 凹凸（小穴）があるコンクリート表面であっても、特殊シール材を貼り付け（厚さ 0.7mm、小穴は内部に充填）後、ダブルチャンバーを設置して測定し、試験完了後シール材を綺麗に剥がすため、常に測定可能である。

WAPP の表示部は、下図に示すように、減圧量と K_v 値の変化とが時系列で表示されるため、勾配の変化を観察することによってコンクリートの均質性（空隙率の変動）を判定可能である。



WAPP 法による加圧透気試験の試験原理 VAPP 法による加圧透気試験（減圧量と K_v 値の変化を、時系列表示）

図-1 ダブルチャンバー式加圧透気試験（WAPP）の概要

② ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機（WAPP）による加圧透水試験^{51) 52)}

ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機（WAPP）による加圧透水試験は、コンクリート表面に特殊シール材を貼り付け後に外側チャンバー内の減圧（80kPa）によってダブルチャンバー部を吸着させて、内側チャンバー内を満水後 P_u （標準 55kPa）に加圧することによって試験を開始し、水圧 P_u を保った状態における透水時間 t （標準 20 分）の透水量 w から、表層透水係数 P 値（ $\times 10^{-10}$ m/s）を次式より求める非破壊検査法である。

$$P = \frac{G \rho w^2}{2tA^2P_u} \times 10^{-4}$$

ここで、 w ：透水量（cc、加圧開始 3 秒後 0 点）、 G ：重力加速度（m/sec²）、

ρ ：水の単位容積質量（g/cm³）、 t ：透水時間（sec、標準 20 分）、

A ：内側チャンバーの断面積（cm²）、 P_u ：透水水圧（kPa、標準 55kPa）

WAPP の表示部は、透水量 w と P 値の変化とが系列で表示されるため、勾配の変化を観察することによってコンクリートの水密性を判定可能である。また、 P 値によって水密性・耐久性を判定することが可能である。



測定装置（WAPP）



円柱供試体（Φ15×30cm）上の測定



WAPP 法による加圧透水試験（ w と P 値の変化を、時系列表示）

図-2 ダブルチャンバー式加圧透水試験（WAPP）の概要

表-3 水密性・耐久性から規定される最大水セメント比 W/C に対応した表層透水係数 P 値の判定（NETISS 登録番号 QS-170036-A）

土木学会コンクリート標準示方書で、最大水セメント比が規定されるコンクリートの種類	最大水セメント比 W/C	最大表層透水係数 P 値（ $\times 10^{-10}$ m/s）※
海洋コンクリート（一般の現場施工の場合で、環境区分が海上大気中・飛沫帯および干満帯、工場製品の場合で、環境区分が飛沫帯および干満帯）、化学的侵食抵抗性（凍結防止剤を用いる場合）、耐凍害性（凍結融解試験における相対動弾性係数90%）	45%以下	0.27以下
一般的な環境下における耐久性を満足する通常のコンクリート構造物（柱、はり、スラブ）、海洋コンクリート（一般の現場施工の場合で、環境区分が海中、工場製品の場合で、環境区分が海上大気中・海中）、化学的侵食抵抗性（ SO_4 として0.2%以上の硫酸塩を含む土や水に接する場合）、一般の水中コンクリート	50%以下	0.45以下
一般的な環境下における耐久性を満足する通常のコンクリート構造物（橋脚）、水密性を有するコンクリート、耐凍害性（凍結融解試験における相対動弾性係数85%）	55%以下	0.73以下
耐凍害性（凍結融解試験における相対動弾性係数70%）	60%以下	1.20以下
耐凍害性（凍結融解試験における相対動弾性係数60%）	65%以下	1.97以下

※土木学会コンクリート標準示方書の透水係数 K_k (m/s) の規定式 $\log K_k = 4.3 W/C - 12.5$ および水密性・耐久性を満足する最大水セメント比 W/C の規定値から計算

③ ドリル削孔法（ポロスコープ） 53) 54) 55) 56)

ポロスコープを使用した透気および透水試験は、コンクリート表面を電動式振動ドリルにて削孔し、その削孔内部を用いて透気試験や透水試験を行うものである。透気試験では削孔内の空気を減圧後、所定の圧力に回復するまでの時間を測定する。透水試験では削孔内を水で満たした後、コンクリートに 0.01ml 透水するのにかかる時間を測定する。

ポロスコープを使用した透気・透水試験評価では、下記の表で透気時間または算出されたコンクリートの空気排除率（AER：Air Exclusion Rating）、透水時間から算出された吸水率（WAR：Water Absorption Rate）について、暫定表層評価を行うものである。暫定評価を示す表を合わせて示す。

$$AER = \frac{t}{\left(\frac{55V}{50} - V\right) \left(\frac{52.5}{100}\right)} = 19.05 \frac{t}{V} \quad \text{式(1)}$$

$$AER = 0.247 t$$

ただし t = 測定時間(s)、 V = 体積 (ml) = 77.1 ml （定められたドリル径および深さの場合）

$$WAR = 100t(\text{secs/ml}) \quad \text{式(2)} \quad t = \text{測定時間(s)}$$

表-4 ポロスコープ法によるコンクリートの品質評価値

Concrete Category	Protective Quality	Air Time (s)	Permeability AER* Value (s/ml)	Water Absorption Rate 10 ³ (sec/ml)
0	Poor	<30	<8	<3
1	Not Very Good	30-100	8-25	3-10
2	Fair	100-300	25-75	10-30
3	Good	300-1000	75-250	30-100
4	Excellent	>1000	>250	>100

*Air Exclusion Rating



図-3 計測の状況

④ シリンダを用いた簡易的な表層透気試験^{57) 58)}

シリンダを用いた簡易透気試験方法は、コンクリート表面に配管パテ等で設置したシリンダの吸引によってコンクリート表層を真空状態にし、一定時間経過後、シリンダ内部に流入した空気量によって表層の透気性について定性的に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。定性的な値として出力されるため定量的な評価とするためには、トレント法などによる透気係数との相関を確認しておくことが望ましい。

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、流入空気量と合わせて含水率も記録に残しておくことが望ましい。

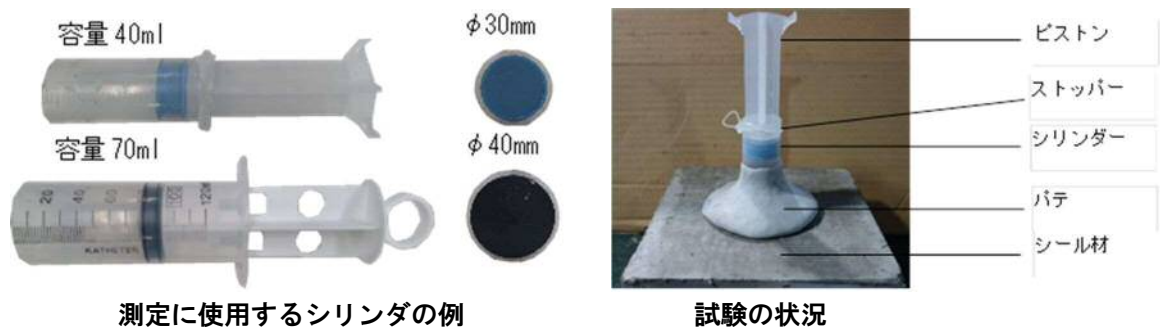


図-4 シリンダを用いた簡易透気試験の概要

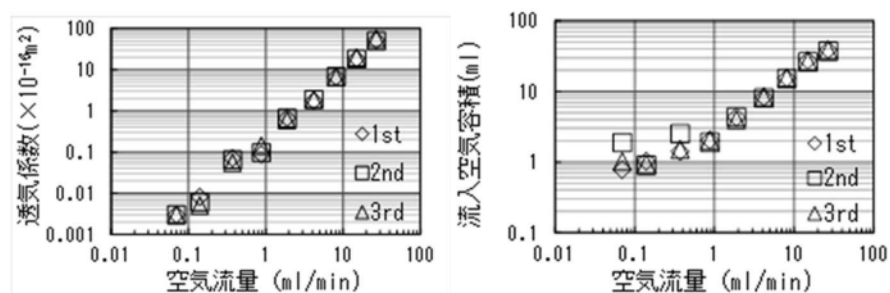


図-5 空気流量を変化させた際のダブルチャンバー法（左）および簡易透気試験（右）の結果の比較

上記の文献の後に、パテの成型や測定時にシール材の塗布、測定値のノギスでの読み取りの手間を省略する等の改良がなされている。

図-6 に示す試験装置は外径φ100 mmのシリコンリング、アルミ製のアタッチメント、シリンダ、および内部ピストンの固定器具で構成されている。コンクリート表面への設置の時間、測定の手間が大幅に軽減されている。



図-6 改良された試験装置の概略図

⑤ シール法に基づく表層透気試験^{59) 60)}

本手法は、コンクリート表面を円形状に気密処理して、その中心から吸引して透気量を測定するものである。

計測された透気量に関するコンクリート内部の透気領域を明確し、それに基づき、透気量から透気係数を算出しているところに、他の手法との大きな違いがある。

シングルチャンバー法やトレント法など、いずれの手法においても透過領域を明確化していないか、透気係数を計算上仮定しているため、手法や寸法の相違に依存しない透気係数による評価が難しいことや正しくないという問題があったが、本手法は透気領域が明確なため最も正確である。

気密性を高めるためのシール材も除去が容易であり、コンクリートに痕跡を残さないことも特徴的である。

また、透気係数から、例えばコンクリートの塩化物イオン拡散係数への換算なども可能である。

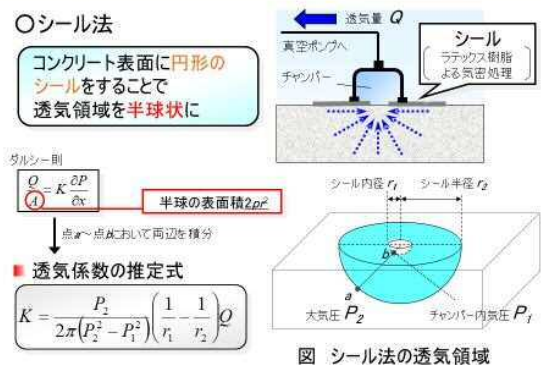
従来の透気試験の問題点

- × 既往のシングルチャンバー、ダブルチャンバー方式
→ 透気領域が不明



→ 氏家・岡崎は、透気領域を明確にし、透気係数を算出できる手法を提案(2008, 2009セメントコンクリート論文集など)

提案する現場透気試験方法①



測定の様子



シール法による透気試験と透気係数算出

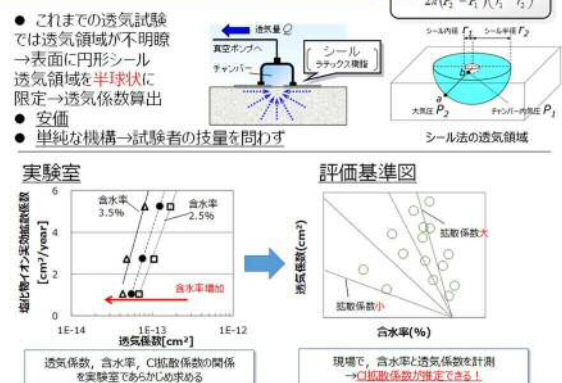


図-7 シール法に基づく表層透気試験の概要

⑥ 表層透水試験装置（GWT）⁶¹⁾

装置をアンカーまたは真空ポンプによる治具で固定し、チャンバー内に水を満たした後、圧力調整用の栓を閉めることによりチャンバー内部の圧力を調整（50kPa から 100kPa）し、マイクロメータを廻すことにより圧力を一定に保ちながらコンクリート表層部の透水性を測定するものである。

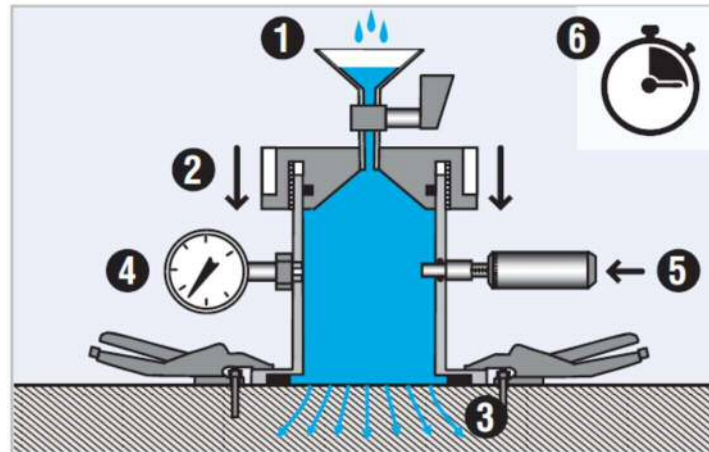


図-8 装置の概要図

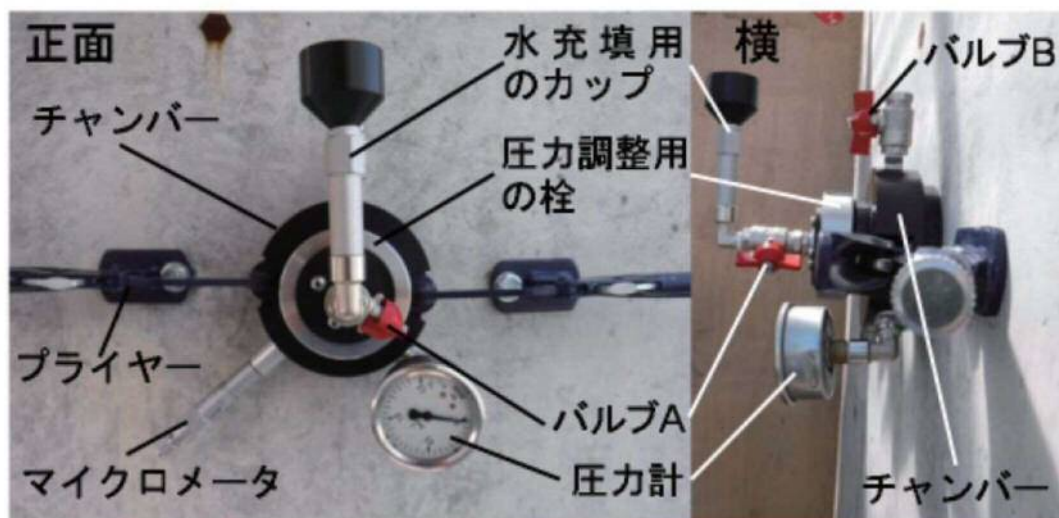


図-9 装置の設置状況

文献 61 においては、水を注入してから 10 分静置した後測定を開始する「従来法」および水を注入してから 60 秒で 1 回目の測定を開始して、計 2 回測定する手法が提案されており、後者の 1 回目の結果は表層部の品質の違いを検討することに適し、2 回目の結果は従来法と比較できるとしている。

⑦ 散水試験 ⁶²⁾ ⁶³⁾ ⁶⁴⁾

散水試験 A 法は、乾燥したコンクリート表面にスプレーにより約 $0.1\text{mg}/\text{mm}^2$ の水を同一箇所を繰り返し散布し、コンクリート表面における微量水分の吸水性状の評価を目視によって行う方法である。



図-10 測定の概要

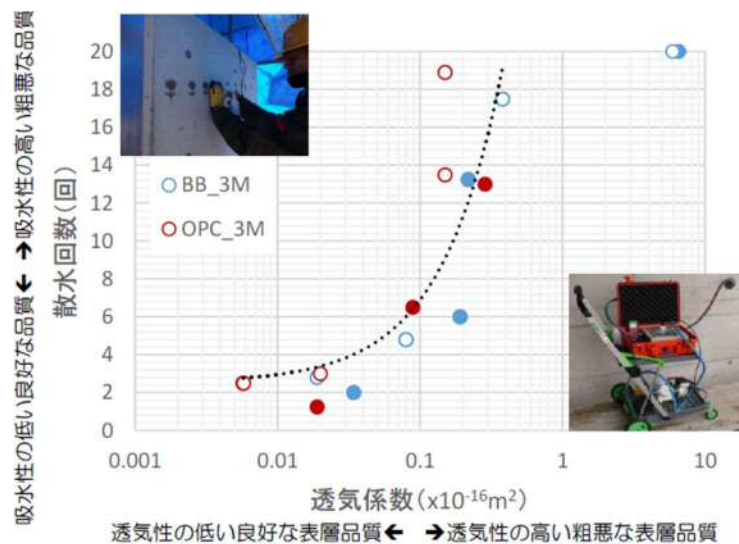


図-11 群馬県試行工事における散水試験と透気試験の相関

品質確保に関する適用先としては、J R 西日本における目視評価法と併せた品質確保の試行 ⁶³⁾ や、群馬県における新設コンクリートの品質確保の試行工事での検証 ⁶⁴⁾ として用いられている。

巻末資料－４．記録様式

記録様式①案

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

記録様式②案

トンネル覆工コンクリート表層目視評価の方法

記録様式③案

トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

記録様式④案

表層透気試験記録

記録様式⑤案

表面吸水試験記録

記録様式⑥案

打設時間管理表

記録様式①案 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			
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	平成 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	パイプ台数	台(予備含む)
昼休憩時間	時 分～ 時 分	打設数量 (m³)	m³	平均打設量	m³/h

施 工 段 階	チ ェ ッ ク 項 目	記 述	確 認 点		なぜ（それを）チェックするか	出来映えの影響						第三者被害防止に関する事項
			現場	事務所		①	②	③	④	⑤	⑥	
準備工	1. 打設底盤に水たまりは無い、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上げによるひび割れはないか				・班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、敷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洞、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）				・覆工表面の緻密性の低下（平滑でない出来形）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）				・覆工表面の緻密性の低下（豆板の発生）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				・目地材の遊動による付着モルタル剥離の危険性があり、第三者被害を防止するため							
	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				・モルタル分の流出による砂すじ・豆板の発生、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、配管に傷や痛みはないか				・内空断面不足によるコンクリートの閉塞、配管の破裂を防止するため							
	11. 所定の鉄筋被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、被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. 練混ぜて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）				・材料分離、スランブロス、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究）							
	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				・偏荷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				・自由落下による過大な気泡の巻き込み、材料分離、豆板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				・締固め不足や材料分離によるコンクリート密実性の低下を防止するため							
	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）				・締固め不足や材料分離によるコンクリート密実性の低下を防止するため							
	6. パイプ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るか）				・材料分離、粗骨材の沈降、ブリーディング発生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）の閉鎖状況（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、剥落の発生を防止するため							
	10. 締固め中にパイプ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対策（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 ※												

※：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。

記録様式①案 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







記載例

事務所名	〇〇トンネル工事事務所	工事名	平成〇〇～〇〇年度 〇〇トンネル工事		
トンネル名称	〇〇トンネル	打設位置	打設番号：35BL 区分：(無筋)・有筋		
受注者	〇〇建設	確認者	〇〇 〇〇		
配合	21-15-40BB	確認年月日	平成 〇〇 年 〇月 〇日 (月)		
打込み開始時刻	8 時 00 分	打込み時坑内温度	29 ℃		
打込み終了時刻	15 時 00 分	打込み作業人員	6 名	パイプ台数	22 台(予備含む)
昼休憩時間	0 時 0 分 ～ 0 時 0 分	打設数量 (m³)	84 m³	平均打設量	11 m³/h

施工段階	チェック項目	記述	確認点		なぜ(それを)チェックするか	出来映えの影響						第三者被害防止に関する事項
			現場	事務所		①	②	③	④	⑤	⑥	
準備工	1. 打設底盤に水たまりは無い、打設底盤の締固めは十分か	無し	レ	—	・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上げによるひび割れはないか	無し	レ	—	・班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、敷均し良好な地盤で不当沈下の懸念はないか	無し	レ	—	・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	異状無し	レ	—	・張りすぎると生じやすい背面空洞、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)	良好	レ	—	・覆工表面の緻密性の低下(平滑でない出来形)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)	良好	レ	—	・覆工表面の緻密性の低下(豆板の発生)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	良好	レ	—	・目地材の遊動による付着モルタル剥離の危険性があり、第三者被害を防止するため					○		○
	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	無し	レ	—	・モルタル分の流出による砂すじ・豆板の発生、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	良好	レ	レ	・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、配管に傷や痛みはないか	良好	レ	—	・内空断面不足によるコンクリートの閉塞、配管の破裂を防止するため				○		○	
	11. 所定の鉄筋被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、被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. 練混ぜて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	レ	レ	・材料分離、スランブロス、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	問題なし	レ	レ	・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	問題なし	レ	—	・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究)			○	○			○
	2. 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	レ	—	・経時変化により所定の品質から外れたコンクリー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	良好	レ	—	・偏荷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)	良好	レ	レ	・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	良好	レ	—	・自由落下による過大な気泡の巻き込み、材料分離、豆板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	良好	レ	—	・締固め不足や材料分離によるコンクリート密実性の低下を防止するため		○	○	○			
	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)	適切	レ	レ	・締固め不足や材料分離によるコンクリート密実性の低下を防止するため		○	○				
	6. パイプ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る)	良好	レ	—	・材料分離、粗骨材の沈降、ブリーディング発生を防止するため				○			○
	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	無し	レ	—	・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)の閉鎖状況(締め付け)は十分か	良好	レ	—	・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	良好	レ	—	・施工目地部の強度低下による早期劣化、うき、はく離、剥落の発生を防止するため			○	○			○
	10. 締固め中にパイプ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対策(上昇および低下防止)がなされているか	問題なし	レ	レ	・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※	充填対策	1. 充填補助システムは正常に作動しているか	良好	レ	—	・覆工肩部から天端部の充填を確実にし、未充填箇所の発生を防止するため		○		○		
		2. パイプレータに取り付けた仕組みは正常に機能しているか	良好	レ	—	・覆工側壁部から肩部の締固めを確実にし、コンクリート密実性の低下を防止するため		○		○		
	ひび割れに対する養生方法	1. 保温のための養生システムは正常に作動しているか	良好	レ	—	・加温、保湿、湿潤養生の実施により脱型時の強度不足を防止するため						
		2. 湿潤のための養生システムは正常に作動しているか	今後使用予定	—	—	・脱型後、湿潤養生の実施により覆工全体の乾燥を防止するため						
	打継ぎ部対策	1. セントルに取り付けた仕組みは正常に機能しているか	良好	レ	—	・セントルの過度の押し上げによるひび割れを抑制するため					○	
		2. ひび割れ低減を目的に取り付けた補強材は計画通りに配置されているか	良好	レ	—	・インバート拘束によるひび割れを防止するため						

※：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。







記録様式②案 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	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	1㎡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箇所を越える箇所に発生			

※評価点は中間点も可とする。

記載例

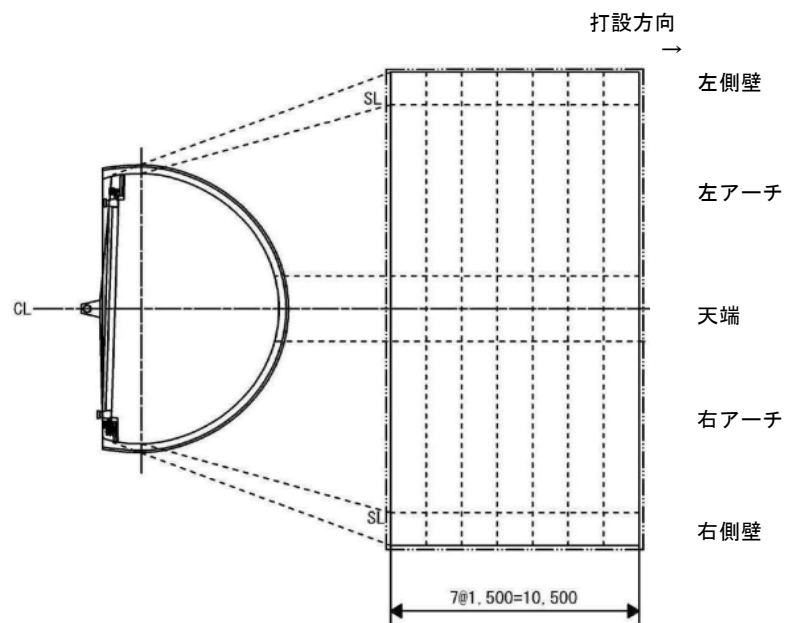
記録様式②案 トンネル覆工コンクリート表層目視評価の方法

調査時期	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	K e y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	1㎡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	準備－5	ケレン残しを無くする	・施工状況把握チェックシートにて最終確認（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（不具合時は作業員の再教育）
						打設－7	打込みコンの残留	・天端吹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
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	品質－1	生コンの規格を満足か	・エア量、スランプが規格外の場合は原因の追究と是正
						打設－1	左右対称の打設	・打込み用の配管切り替え手順をあらかじめ決めておく（余掘り、箱抜きの有無を考慮）
						打設－3	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できるだけ小さくする
						打設－4	一層の打込み高さ	・1層の打込み高さを制限し、適切な締固めで巻込み空気を除去する（かけすぎは避ける）
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	準備工－8	箱抜き型枠の加工誤差	・型枠加工精度を上げて、セントルとの隙間を無くす及びセントルとの固定を確実にする
						準備工－8	セントルヒンジ部の隙間	・縦断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
						品質－1	生コンの規格を満足か	・規格外の生コンは廃棄（特にスランプ大の場合発生）
						打設－4	一層の打込み高さ	・急速な打込みをやめて、一層の高さを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）
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	打設－2	一定間隔の打込み	・打重ね時間を短くして、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固めを行う
						準備－6	剥離剤の過大な塗布量	・施工計画書で定められた適量な塗布量
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）	準備－3	堅硬な地盤	・不等沈下防止策を講ずる
						準備－7	目地材の固定不足	・固定方法の改善、固定状況を打設前に再確認する
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	打設－8	検査窓の固定不足	・ハンマー打撃で固定ピンを叩いて確実に挿入
						打設－8	検査窓の隙間	・検査窓に直接当ててバイブレータをかけない
						打設－8	検査窓の隙間	・セントル本体と検査窓に隙間がある場合、検査窓周囲に輪ゴム（例：長さ50cm、厚さ1mm、幅6mm）を設置

※評価点は中間点も可とする。

記録様式③案 トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

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	自	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	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

--

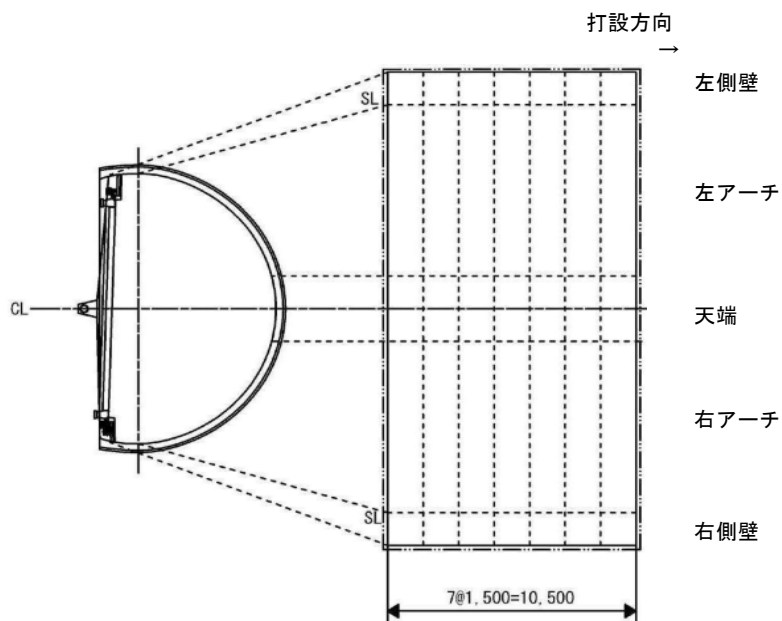
◆改善策(施工状況把握チェックシートとの関連性を記載)

--

記載例

記録様式③案 トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

工事名	〇〇トンネル工事事務所	打設番号		35BL・無筋	スパン長(m)	10.5	打設回数	1	調査者	〇〇 〇〇
トンネル 名 称	〇〇トンネル	測点	自	N0. 〇〇+〇〇	打設日	平成〇〇年〇月〇日	初期養生終了日	平成〇〇年〇月〇日	確認者	〇〇 〇〇
			至	N0. 〇〇+〇〇	脱型日	平成〇〇年〇月〇日	調査日	平成〇〇年〇月〇日		
配合	21-15-40BB	セントル 打設システム等				養生の工夫等				



■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	d	
左側壁	4	4	4	4	4	4	24
左アーチ	4	3	4	4	4	4	23
天端※	4	4	4	4	4	4	24
右アーチ	4	3	4	4	4	4	23
右側壁	4	4	4	4	4	4	24
点数平均	4.0	3.6	4.0	4.0	4.0	4.0	23.6

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	23.6
------	------

(満点24点)

全体記事

- ① 打設口列の配管切り替え高さ付近で気泡が生じている。
- ② インバートとの打継部に部分的に豆板が生じた。

改善策（施工状況把握チェックシートとの関連性を記載）

- ① センサーバイブレーターが感知してから引上げるまでの設定振動時間の変更。(8秒)
打設口列のポイントに人力でバイブレーターをかける。
- ② センサーバイブレーターが感知してから引上げるまでの設定振動時間の変更。(8秒)
型枠バイブレーターで型枠外面より踏前部分を締固める。
打設口列のポイントに人力でバイブレーターをかける。

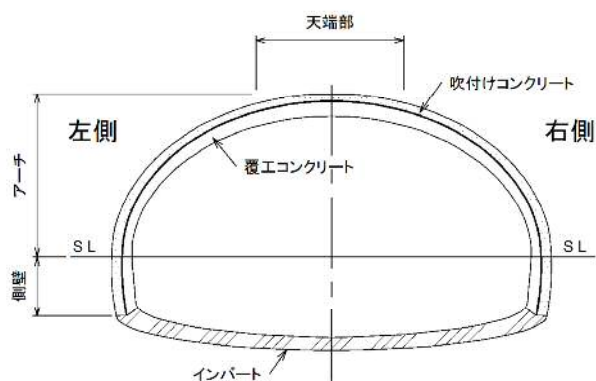
表 層 透 気 試 験 記 録

トンネル名：	測定者	
打設ブロック番号：No.	測定日時	年 月 日
打設年月日： 年 月 日	測定時の天候	
測定時の覆工コンクリートの材齢： 日 (ヶ月)	測定時の気温	℃
脱型時の覆工コンクリートの材齢： 日 (ヶ月)	測定時の湿度	%
覆工コンクリートの養生条件：		
覆工コンクリートの追加養生：		
その他特記事項：		

測定結果		測定ブロック番号		
覆工コンクリートの含水率	%			
表層透気係数 (K T 値)	$\times 10^{-16} \text{m}^2$			
測定深さ	c m			
品 質 評 価	グ レード			
備 考				

試験位置

表面状況写真



断面図（打設方向に対して）

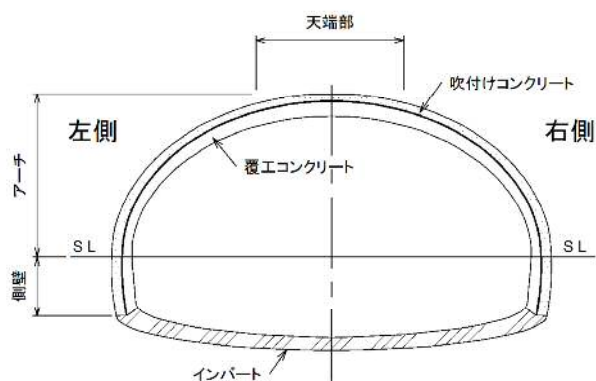
表面吸水試験記録

トンネル名：	測定者	
打設ブロック番号：No.	測定日時	年 月 日
打設年月日： 年 月 日	測定時の天候	
測定時の覆工コンクリートの材齢： 日 (ヶ月)	測定時の気温	℃
脱型時の覆工コンクリートの材齢： 日 (ヶ月)	測定時の湿度	%
覆工コンクリートの養生条件：		
覆工コンクリートの追加養生：		
その他特記事項：		

測定結果		測定ブロック番号		
水の温度（試験に使用する水）	度			
覆工コンクリートの含水率	%			
表面吸水速度（ P_{600} ）	$\text{ml}/\text{m}^2/\text{s}$			
10分間の総吸水量	ml			
品質評価	グレード			
備考				

試験位置

表面状況写真



断面図（打設方向に対して）

打 設 時 間 管 理 表

計画台数・計画時間					実績・時間		打設口 位 置	打設目標 時間/台	記 事 欄			
台 数	打設累計量 (m ³)	工場発 時間	現場着 時間	打込み開始 時間	打込み開始 時間	打込み終了 時間						
1									打込み開始時			
2									スランプ	空気量	コン温度	外気温
3									c m	%	℃	℃
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31									打込み開始から〇〇m ³			
32									スランプ	空気量	コン温度	外気温
33									c m	%	℃	℃
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												

巻末資料－５．用語の定義

本手引きで用いる用語の定義を以下に示す。

【解説】

◆ コンクリートの密実性

適切な打込み、締固めにより型枠内にコンクリートが隙間なく充填された状態。

◆ コンクリートの緻密性

密実なコンクリートに対して適切な養生が行われることにより得られる、硬化コンクリートが持つ劣化因子の侵入に対する抵抗性。

◆ 試行工事

品質確保チェックシートの現場への適用性や、骨材の違いがコンクリートの品質に与える影響などを検証するために、四国地方整備局管内で実施されている、品質確保のための試行工事。

◆ 施工中に生じる不具合

施工中のコンクリート構造物のある部位または箇所が、コンクリートの材料・配合または施工の方法などによって、所定の性能を満たしていないこと、あるいはその状態。

代表的なものとして、ひび割れ、充填不良（豆板や内部空洞）、異常な変形、欠け（局部的な欠損）、かぶり（厚さ）不足、コールドジョイント、漏水、砂すじ、圧縮強度不足、変色、色むらなどが挙げられる。

◆ うき・はく離・剥落

う き：覆工表面を点検ハンマーで打音したとき、濁音を発する状態。

はく離：うきの部分が覆工表面から剥がれかけているが、まだくっついている状態。

剥 落：はく離していたコンクリート片が剥がれ落ちてしまった状態。

◆ ブリーディング

フレッシュコンクリート内部で骨材やセメントなどの固体材料が分離・沈降することによって、コンクリート内に含まれていた水の一部が遊離し、コンクリートの表層まで上昇する現象。単位水量が多い場合や、スランプが大きい場合などにその現象が顕著となる。

◆ フレッシュコンクリート

コンクリートはセメントと水が接触した直後（練混ぜ直後）から水和反応が始まり、水和反応に伴って徐々に流動性を失い、やがて凝結・硬化する。フレッシュコンクリートとは、練混ぜ直後から凝結・硬化までの「まだ固まらない状態にあるコンクリート」のこと。

◆ 品質確保チェックシート

施工状況把握チェックシート、表層目視評価シート、表層目視評価の方法の３種のシートの総称。

◆ PDCAサイクル

生産技術における品質管理などの継続的改善手法。

PLAN（計画）→DO（実行）→CHECK（評価）→ACTION（改善）という4段階のサイクルを繰り返すことによって、業務を継続的に改善していく手法のこと。

◆ NATM工法（New Austrian Tunneling Method）

本来自然なアーチ状となったトンネルは、地山が安定していると自らを支える力を持っているので潰れない。NATM工法は、トンネルが自らを支えるという支保機能を利用した掘削技術であり、主に山岳部の道路トンネルや鉄道トンネルで使われる、

具体的には、地山の掘削完了後に吹付コンクリートと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のグランドアーチ効果（トンネル周囲の地盤がトンネルを支えようとする保持力）を有効に活用し、構造的な安定性を確保している。

◆ 覆工コンクリート

NATM工法による吹付コンクリートとロックボルトの施工後に、地山の变形が収束したのを確認した後、吹付コンクリート面の長期安定性の確保やトンネル湧水の排水処理、第三者被害防止などを目的とした二次コンクリートとして施工するコンクリート。

NATM工法の場合は、トンネルのグランドアーチ効果によりトンネルが自ら荷重（外力）を支えていることから、基本的に覆工コンクリートは無筋構造物である。

◆ 坑口部

トンネル坑口部というのは、「グランドアーチの形成が困難で特別な構造と施工法が必要な範囲」のことを言う。

グランドアーチ効果が十分に発揮されるためには、ある程度の土被りが必要であり、土被りが十分に確保できず、グランドアーチ効果が十分に発揮されない範囲（明かり部からトンネル坑内に向かって、土被りが1D～2D〔D：トンネル径〕程度までの範囲）では、インバートの設置や鉄筋構造とすることが一般的である。

◆ インバート

トンネル底面の逆アーチに仕上げられた覆工部分。

地盤が不良な場合などに、トンネルの両側側壁基部の間を逆アーチのコンクリートで結合して、覆工コンクリートを閉合断面とすることで耐力を増加させ、沈下や変状を防止するのが目的である。

巻末資料－６．参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：[デジタル標高地形図「四国」技術資料D1-No. 882], http://www.gsi.go.jp/kankyochiri/degitalelevationmap_shikoku.html
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 Ⅲ コンクリート橋・コンクリート部材編 平成29年11月]
- 3) 土木研究所資料：飛来塩分量全国調査（Ⅳ）飛来塩分量の分布特性と風の関係 平成5年3月
- 4) 国土交通省四国地方整備局：[四国の道路でも、冬期は積雪と路面凍結にご注意!], <https://www.skr.mlit.go.jp/pres/h28backnum/index.html>
- 5) 国土交通省四国地方整備局中村河川国道事務所：[油断大敵！高知でも積雪・路面凍結に注意！], <http://www.skr.mlit.go.jp/nakamura/press/2011/20111220.pdf>
- 6) 四国におけるコンクリートの品質・耐久性確保：[四国におけるコンクリートの品質・耐久性確保HP:四国におけるコンクリートの品質確保の取組みの方向性～材料の課題を解決するために～2017年8月25日高知・香川による山口県視察時の話題提供資料]
- 7) 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], <http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/tebiki/tonnelfukoukonkurito.pdf>
- 8) 国土交通省東北地方整備局能代河川国道事務所：[大茂内第二トンネル工事状況], <http://www.thr.mlit.go.jp/noshiro/douro/kantokukansitu2/20080910/05.htm>
- 9) 国土交通省道路局：[道路トンネル定期点検要領 平成26年6月], <http://www.mlit.go.jp/common/001044575.pdf>
- 10) 安藤ハザマ：[研究年報VOL.5 2017 覆工コンクリート天端部の品質に関する実験的検討], http://www.ad-hzm.co.jp/trr/2017/pdf_file/04.pdf
- 11) 佐藤和徳：[復興道路・復興支援道路に関する取組み コンクリート工学 2014年53巻1号 p.15-20], https://www.jstage.jst.go.jp/article/coj/53/1/53_15/_pdf/-char/ja
- 12) 戸田建設：[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], <https://www.toda.co.jp/news/pdf/20150625.pdf>
- 13) 西松建設：[覆工コンクリート品質向上に関する取組み 西松建設技報VOL.38（2015）], https://www.nishimatsu.co.jp/solution/report/pdf/vol38/g038_05.pdf
- 14) フジモリ産業：[背面平滑型トンネルライニング工法 FFシートシリーズ], <https://www.fujimori.co.jp/wp/wp-content/uploads/2016/09/FilmSheet.pdf>
- 15) 鈴木正寛, 西浦秀明, 桜井邦明, 馬場弘二, 志村泰弘：[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 土木学会第69回年次学術講演会 平成26年9月 VI-067 p.133-134], <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00035/2014/69-06/69-06-0067.pdf>
- 16) 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 資料-37
 - 17) 須藤定久：[コンクリートの乾燥収縮 ―地質学の立場からの考察― GREEN Report 2011! 地圏資源環境研究部門成果報告―震災と地圏システム― p.72-73], https://unit.aist.go.jp/georeseenv/product/gr/green_report2011.pdf
 - 18) 東宏：[トンネル覆工コンクリートトータル養生工法], <http://www.k-toukou.jp/balloon/tunnel/>
 - 19) 東宏：[給水養生工法「アクアカーテン」とは], <http://www.k-toukou.jp/products/aquacurtain/>
 - 20) 西松建設：[覆工コンクリート養生技術の開発―「うるおい」「温めく」― 西松建設技報VOL. 33 (2010)], https://www.nishimatsu.co.jp/solution/report/pdf/vol33/g033_01.pdf
 - 21) NETIS：[コンクリート保湿・保温養生シート〈LHT〉登録No. QS-090031-VE], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=QS-090031
 - 22) 東宏：[移動式隔壁バルーン], <http://www.k-toukou.jp/wordpress/wp-content/uploads/2016/11/ac86a492215c8e88b0d4ecff7509fbb6.pdf>
 - 23) 岐阜工業：[クラック防止センサー], <http://www.gifukogyo.co.jp/jp/crack-prevent-sensor.html>
 - 24) アスコム：[セントル打設管理システム], <https://www.ascom411.com/rental/soil/concrete/centre/>
 - 25) NETIS：[コンクリートの充填検知システム「ジューテンダー」登録No. KT-090011-VE], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=KT-090011
 - 26) NETIS：[コンクリート充填管理システム「ジューテンミエルカ」登録No. KT-090011-VE], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=TH-180010
 - 27) 大同塗料：[シラン・シロキサン系表面含浸材 アクアシーラ1400], <http://www.aquaseal.jp/products/pdf/1400.pdf>
 - 28) 大同塗料：[下閉伊トンネル(岩手県) アクアシーラ1400], <http://www.aquaseal.jp/works/works17.html>
 - 29) アルファ科研：[コンクリート打ち継ぎ目地のひび割れ防止材パスリキッド], http://www.alpha-pl.co.jp/mwbhwp/wp-content/uploads/20180626_pass.pdf

- 30) NETIS : [アバノン(透水性型枠用シート) 登録No. KK-140008-VE], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=KK-140008
- 31) NETIS : [コンフィルテープ工法 登録No. KK-170043-A], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=KK-170043
- 32) NETIS : [打継目のひび割れ防止材 【パスリキッド】 登録No. TH-160013-A], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=TH-160013
- 33) NETIS : [突起レスロックボルト 登録No. OG-160012-A], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=CG-160012
- 34) NETIS : [NATMトンネルロックボルトキャップ「AKキャップ」 登録No. CB-090004-VE], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=CB-090004
- 35) NETIS : [コンクリートひび割れ低減用ネット「ハイパーネット60」 登録No. SK-080003-VE], http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=SK-080003
- 36) 前田工織 : [前田工織総合カタログ], https://www.maedakosen.jp/mdk/product/catalog/general/_SWF_Window.html
- 37) 前田工織 : [排水材「モノドレン」], <https://www.mdk-recruit.jp/familiar/>
- 38) 太平洋マテリアル : [ハイパーネット60], <https://www.taiheiyo-m.co.jp/archives/001/201810/5bb5b8c975a67.pdf>
- 39) ケー・エフ・シー : [背面平滑型トンネルライニング工法 シート防水工 技術資料], <http://www.kfcmasdic.co.jp/catalog/FILM.pdf>
- 40) ケー・エフ・シー : [ハイパネルSSシート・SPシート], http://www.kfc-net.co.jp/products/images/mt/6-2_hpss_201808.pdf
- 41) 吉原化工 : [NATMトンネルロックボルトキャップ], <http://www.yoshiharakakou.co.jp/pro6.html>
- 42) エムケーエンジニアリング : [スキン面 セラミック溶射], <https://m-k-e.jp/technical/%E3%82%BB%E3%83%A9%E3%83%9F%E3%83%83%E3%82%AF%E6%BA%B6%E5%B0%84/>
- 43) エムケーエンジニアリング : [スキン面 樹脂コート], <https://m-k-e.jp/technical/%E6%A8%B9%E8%84%82%E3%82%B3%E3%83%BC%E3%83%88/>
- 44) エムケーエンジニアリングHP : [スキン面 ハイブリッドフォーム (FRP型枠)], <https://m-k-e.jp/technical/%E3%83%8F%E3%82%A4%E3%83%96%E3%83%AA%E3%83%83%E3%83%89%E3%83%95%E3%82%A9%E3%83%BC%E3%83%A0frp%E5%9E%8B%E6%9E%A0/>
- 45) エムケーエンジニアリングHP : [締め固め機械 伸縮式バイブレータ], <https://m-k-e.jp/technical/%E4%BC%B8%E7%B8%AE%E5%BC%8F%E3%83%90%E3%82%A4%E3%83%96%E3%83%AC%E3%83%BC>

%E3%82%BF/

- 46) エムケーエンジニアリングHP：[締め固め機械型枠バイブレータ], <https://m-k-e.jp/technical/%E5%9E%8B%E6%9E%A0%E3%83%90%E3%82%A4%E3%83%96%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%BF/>
- 47) 国土交通省中国地方整備局：[トンネル覆工コンクリートの 長期保証について], https://www.cgr.mlit.go.jp/hattyu/pdf/tonnerufukukou_concrete.pdf
- 48) 前田建設：[その声に応える前田の技術 トンネル覆工の品質], <https://www.maeda.co.jp/works/jirei/004/09.html>
- 49) 高橋典子, 白谷祐太, 豊福俊泰, 永松武則：ダブルチャンバー透水性・透気性試験機による表層コンクリートの非破壊検査法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 1, pp. 2025-2030, 2016. 7
- 50) 豊福俊泰, 峰村富夫, 野中英：ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機 (WAPP) 法による高耐久性コンクリートの水密性の非破壊検査報告, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 (Vol. 6), 日本非破壊検査協会, pp. 165-170, 2018. 8
- 51) 豊福俊泰, 峰村富夫, 野中英, 後藤佳子：ダブルチャンバー式加圧透水・透気試験機 (WAPP) による表層コンクリートの水密性検査法に関する研究, 日本非破壊検査協会, 平成30年秋季講演大会講演概要集, pp. 39-42, 2018. 11
- 52) 豊福俊泰, 藤岡靖, 緒方辰男：高速道路における橋梁RC床版の水による疲労・劣化の原因とその非破壊検査法に関する研究, 土木学会第10回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp. 123-128, 2018. 11
- 53) J.W.Figg: Methods of Measuring the Air and Water Permeability of Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 25, No. 85, pp. 213-218-, 1973.
- 54) RILEM TC116-PCD: Recommendations of TC 116-PCD, Test for gas permeability of concrete. B. measurement of the gas permeability of concrete by the RILEM-CEMBUREAU method, Materials and Structures, Vol. 32, pp. 176-178-. 1999
- 55) 笠井芳夫, 松井勇, 湯浅昇：構造体コンクリートの簡易な品質評価方法に関する研究 (その1～その3), 日本大学生産工学部第23回学術講演会, pp. 41-52, 1990.
- 56) 笠井芳夫, 松井勇, 湯浅昇：飛坂基夫, 柳啓, 野中英：簡易透気試験を用いた構造体コンクリートの耐久性評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, pp. 151-152. 1997. 9.
- 57) 小谷健太, 渡邊健, 面矢建次郎, 関川昌之：シリンダーを用いた簡易透気試験の検討および検定器による測定精度の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 1, pp. 1701-1706, 2018
- 58) 面矢建次郎, 渡邊健, 小谷健太, 関川昌之, 橋本親典：シリンダーを用いた簡易透気試験による実大コンクリート壁を対象とした表層品質評価の検討, コンクリート構造物の補修, 補

強, アップグレード論文報告集, Vol. 18, pp. 739-744, 2018

- 59) 氏家勲, 岡崎慎一郎, 中村翼: コンクリート構造物における現場透気試験方法の改善に関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol. 63, pp. 189-195, 2010
- 60) 氏家勲, 土屋崇, 岡崎慎一郎: 実構造物でのコンクリートの透気係数の測定方法に関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol. 62, pp. 197-204, 2009
- 61) 野中英, 三谷和裕, 清水峻, 湯浅昇: 表層透水試験方法に関する検討, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 (Vol. 6), 日本非破壊検査協会, pp. 175-180, 2018. 8
- 62) 西尾壮平: 散水によるコンクリート表層品質評価の基準値設定に関する実験的検討, 土木学会第73回年次学術講演会, V-37, pp. 793-794, 2018. 8
- 63) 半井圭介, 横田直倫, 西尾壮平: 鉄道構造物の散水試験と目視評価法の試行と一考察, 土木学会第71回年次学術講演会, V-311, pp. 621-622, 2016. 9
- 64) 半井健一郎: 群馬県における品質確保の取り組みとコンクリートの表層品質, 山口県技術講習会 (第11回) 資料, 2017. 9. 4 (山口県土木建築部技術管理課ホームページより入手可能 <https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/201710160001.html>)