

コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）

（トンネル覆工コンクリート編）

2023年 改訂版

令和5年3月

国土交通省 東北地方整備局

目 次

1. 東北地方のトンネル覆工コンクリートの課題	1
1. 1 東北地方のトンネルの不具合発生状況	1
1. 2 トンネル覆工コンクリートの不具合の発生原因	13
1. 3 品質確保の試行工事の効果の分析	20
2. 東北地方のトンネル覆工コンクリートの目指すべき方向	23
2. 1 トンネル覆工コンクリートの課題	23
2. 2 トンネル覆工コンクリートの目指すべき方向	24
3. 適用の範囲	27
4. 品質確保の留意点	29
5. 配合設計	32
6. トンネル覆工コンクリートの品質確保	36
6. 1 施工の基本事項の遵守	36
6. 2 養生による緻密性の向上	56
7. ひび割れ抑制対策の基本	64
8. 記録と保存	70

巻末資料

－1 覆工コンクリートの品質確保・施工中に生じる不具合抑制参考事例	71
－2 トンネル定期点検について	100
－3 覆工コンクリートの色むら・打ち重ね線と不具合の関係	103
－4 用語の定義	106
－5 グレーディングの事例写真	109
－6 記録様式	113

1. 東北地方のトンネル覆工コンクリートの課題

1. 1 東北地方のトンネルの不具合発生状況

1) 不具合の発生状況

東北地方では、積雪・寒冷の気候に伴う坑口部の凍害による劣化や、冬期に凍結抑制剤を散布することから、主に坑口部での塩害の発生が懸念される。

また、施工目地の周辺(以下、「施工目地部」と称する)に部分的に発生するうき・はく離・はく落、側壁の気泡、色むら・打重ね線などの施工中に生じる不具合の他、天端のコンクリートの充填不良や背面空洞、インバートの拘束による側壁の横断方向ひび割れ、コンクリートの乾燥収縮や天端コンクリートの厚さ不足などによる縦断方向ひび割れなどの不具合が発生している。

図 1-1 に、トンネル覆工コンクリートの劣化しやすい部位と不具合の発生しやすい部位を模式的に示した。

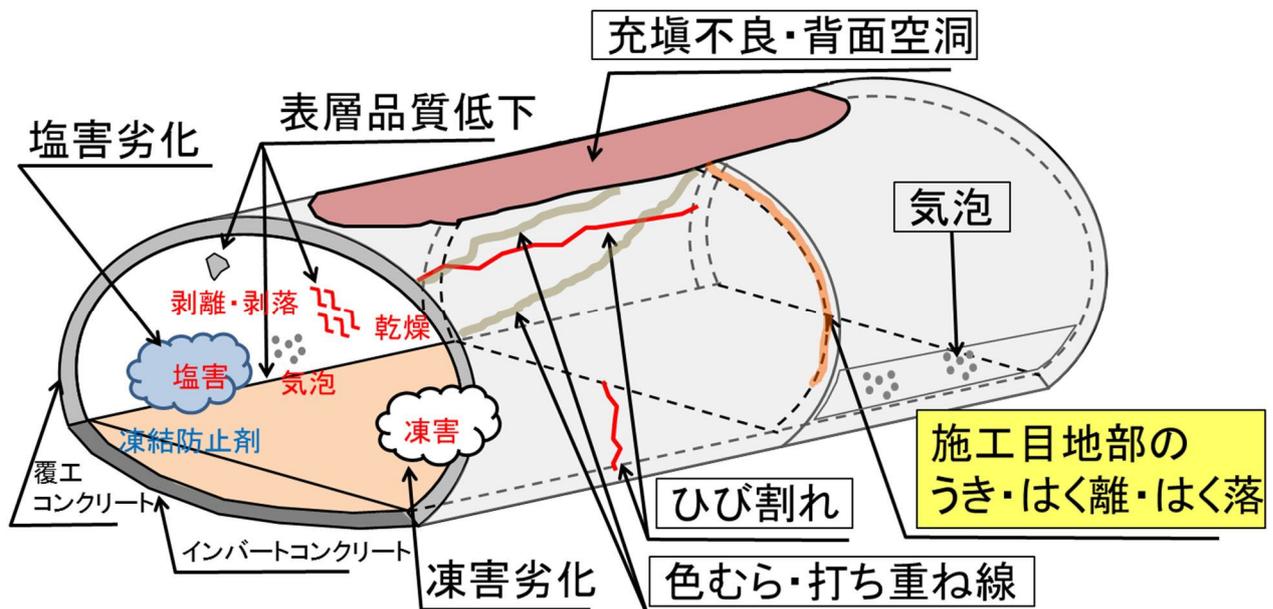


図 1-1 トンネル覆工コンクリートの劣化しやすい部位と不具合の発生部位

なお、この手引きでは、覆工コンクリートの各部の名称を図 1-2 と図 1-3 に示すように表記している。

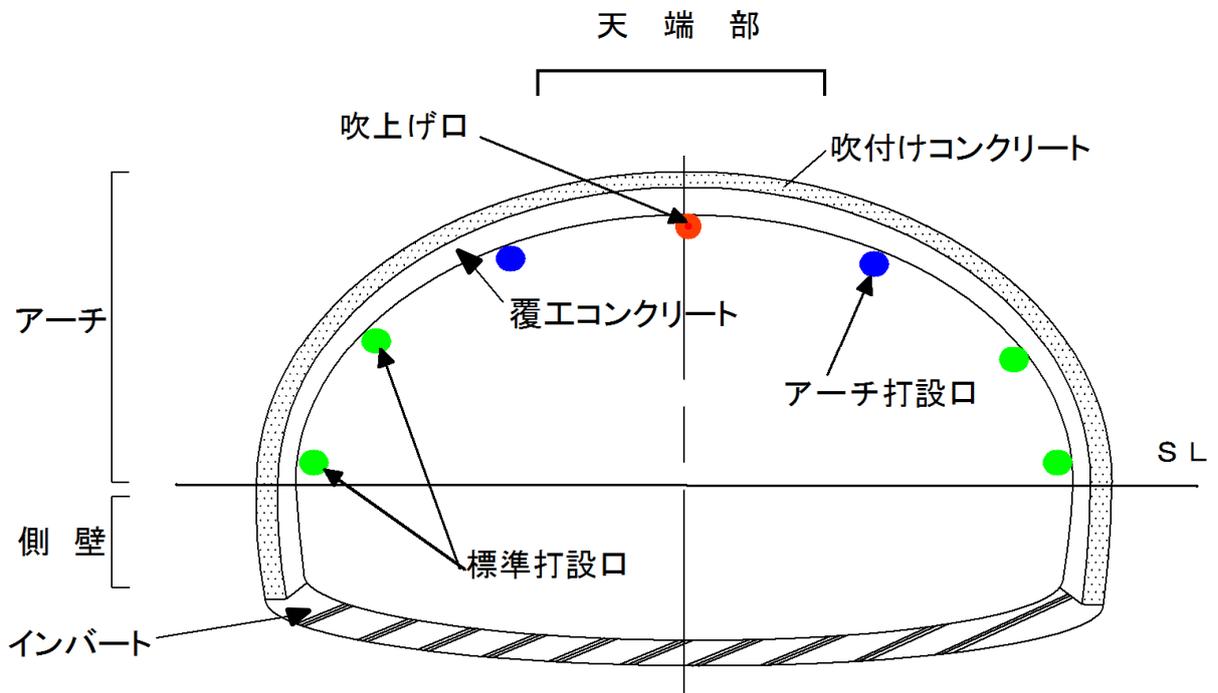


図 1-2 覆工コンクリートの各部の名称

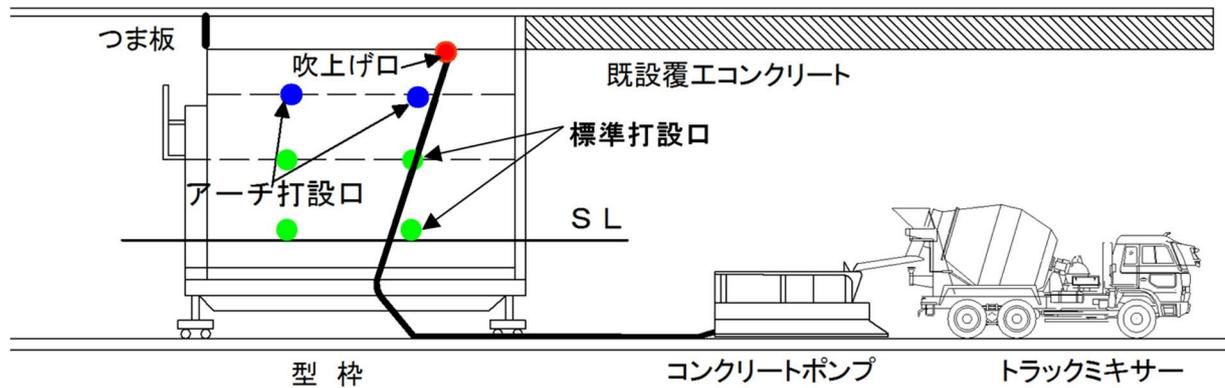


図 1-3 覆工コンクリートの吹上げ口などの部位と名称

2) トンネル定期点検 ※¹の結果による不具合の傾向

東北地方整備局が管理する52(Σ=59, 833m)のNATMトンネルを分析した結果、図1-4に示すように、ひび割れ、うき・はく離・はく落、豆板、その他の変状が数多く認められた。

※¹ 巻末資料-2 参照

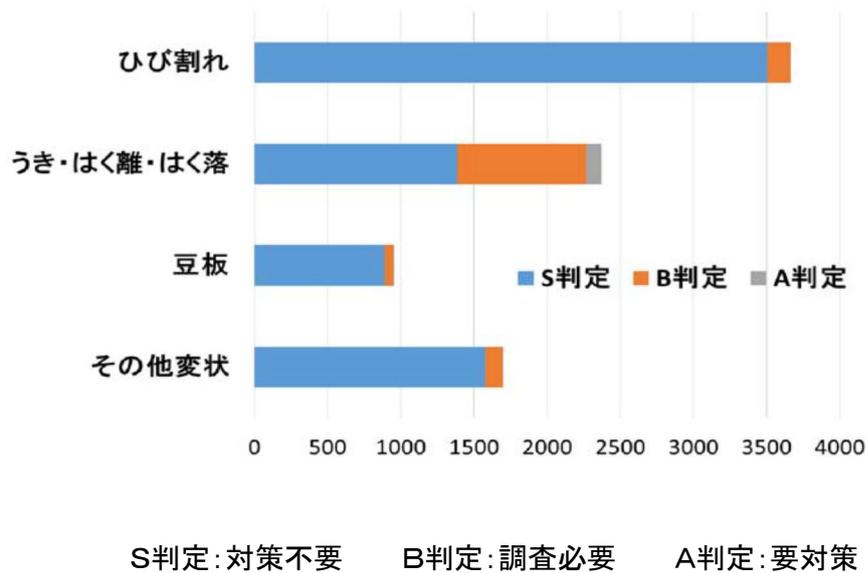


図1-4 52のNATMトンネルの点検データにおける変状の総数

図1-5に示すように、ひび割れに比べてうき・はく離・はく落は、A判定(要対策)とB判定(調査必要)の割合が高く、第三者被害を防止する観点から、うき・はく離・はく落を抑制する必要があると言える。

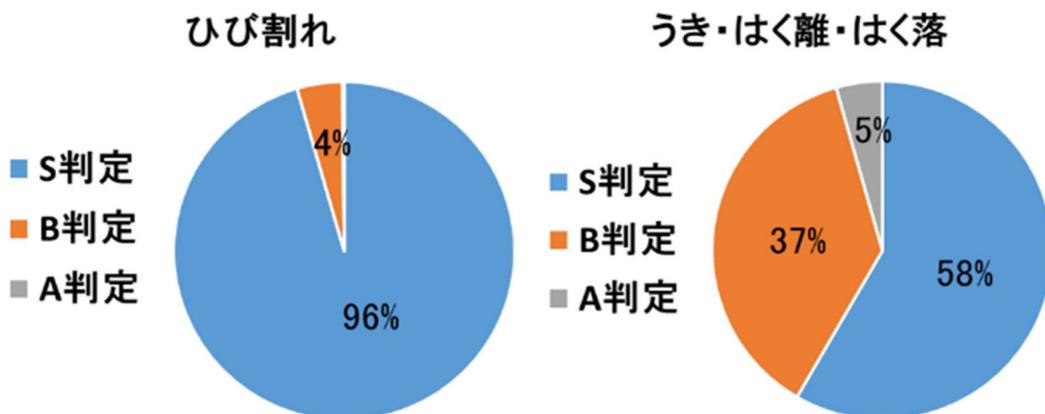


図1-5 52のNATMトンネルの点検データにおける変状の判定結果の割合

また、1992年に完成したトンネル(L=1,340m、N=129ブロック)について分析した例を図1-6に示す。10年目でB判定の変状を含むブロックの割合が大半を占めており、15年目ではA判定の変状を含むブロックも多く表れている。

1992年完成トンネルの10年目、15年目の例

15年目の点検でA判定(要対策)出現

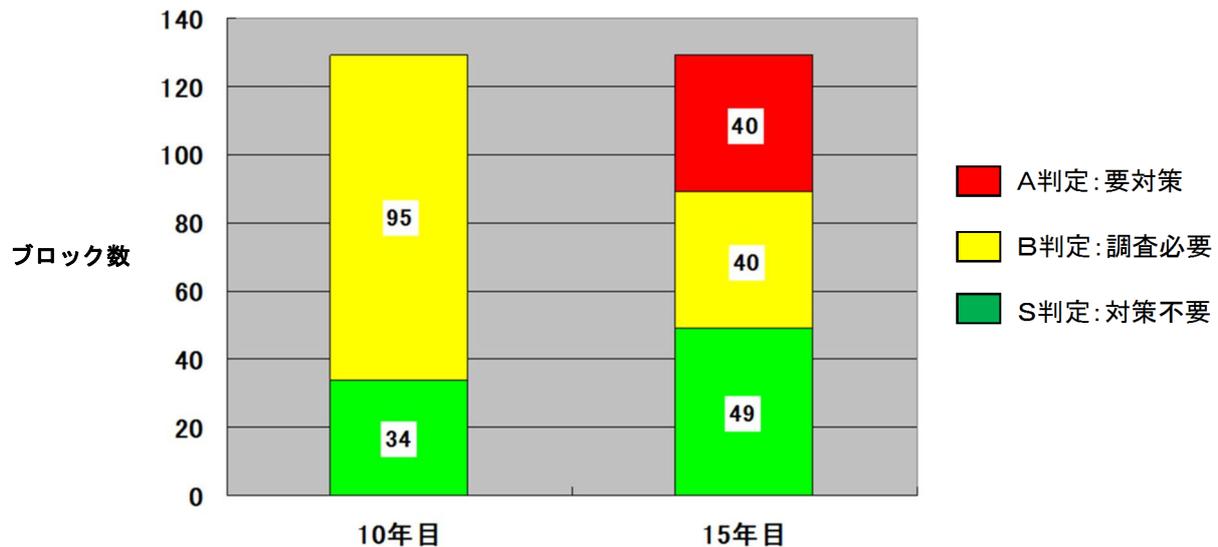


図1-6 1992年に完成したトンネルの10年目・15年目での変状の状況 (打設ブロック毎の判定結果)

図1-7は、図1-6で示したトンネルのうちA判定は、どのような変状で起きているかを調べたものである。

図1-7に示すように、A判定となっているのは、施工目地部のひび割れ、うき、はく離であり、建設後15年程度と比較的短い期間で、対策が必要となるような変状が発生していることから、このような変状が比較的短期間で生じないようにするためにも、施工時の品質確保が重要である。

A判定の大半が施工目地部のひび割れ、うき、はく離

建設後15年目の点検の例

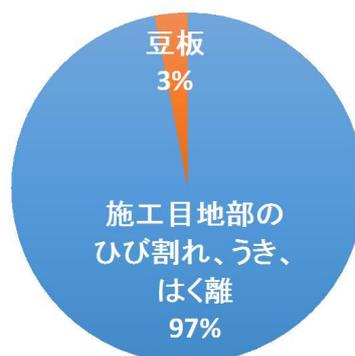


図1-7 A判定の変状の内訳

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

① 施工目地のうき・はく離・はく落

施工目地に部分的に発生するうき・はく離・はく落は、第三者被害防止の観点から特に抑制しなければならない。写真 1-1 は、施工目地のアーチに発生したうきである。(2004 年完成)

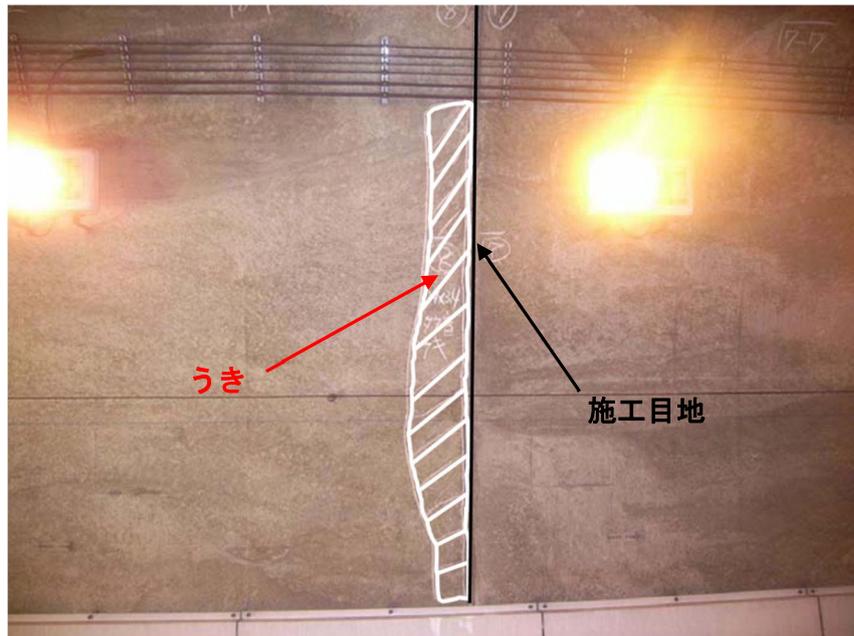


写真 1-1 施工目地部 (アーチ) のうき

写真 1-2 は、施工目地の天端部に発生したうき・はく落である。はく落箇所はトンネル定期点検時にうきの部分を叩き落とした状態である。

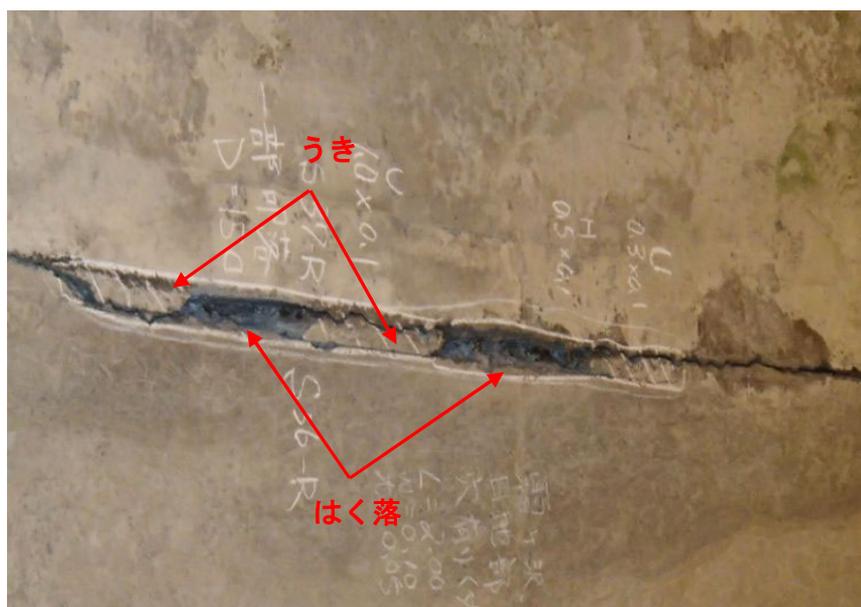


写真 1-2 施工目地部 (天端部) のうき・はく落

写真 1-3 は、施工目地部の天端に発生したうきである。今後経年劣化により、はく離・はく落による第三者被害が懸念される。

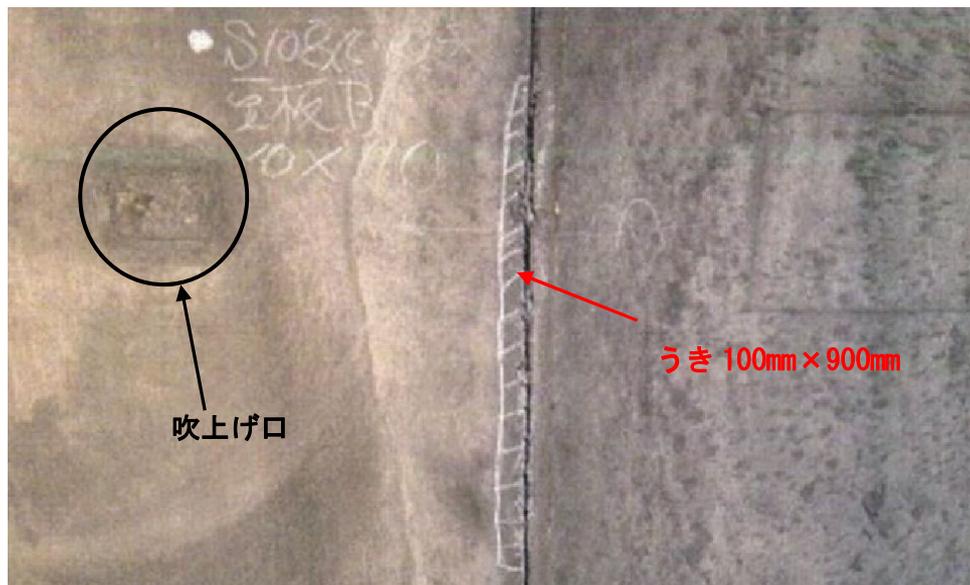


写真 1-3 施工目地部（天端部）のうき

② 色むら・打重ね線

写真 1-4 は、アーチに生じた打重ね線である。主に締固め不足や、打重ね時間が長い場合などに発生する。このためコンクリートの乾燥収縮、気温、湿度の変化などによって将来、打重ね線に沿ってひび割れが発生する恐れがある。

なお、巻末資料-3 に色むら・打重ね線が「うき・はく離・はく落」に関連することを記述している。

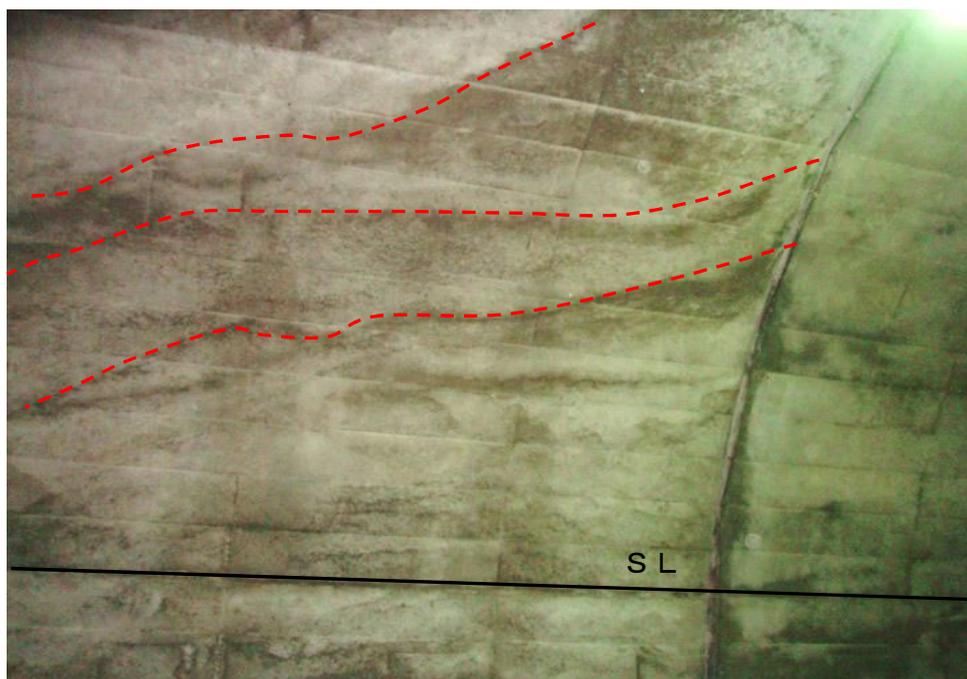


写真 1-4 アーチに生じた打重ね線

写真 1-5 は、天端部の打込み時に、締固めが不十分のために発生した明確な色むら・打重ね線である。



写真 1-5 天端部の色むら・アーチの打重ね線

写真 1-6 は、打重ね時間が長くコールドジョイントとなり、それに沿ってひび割れが発生したものと考えられる。

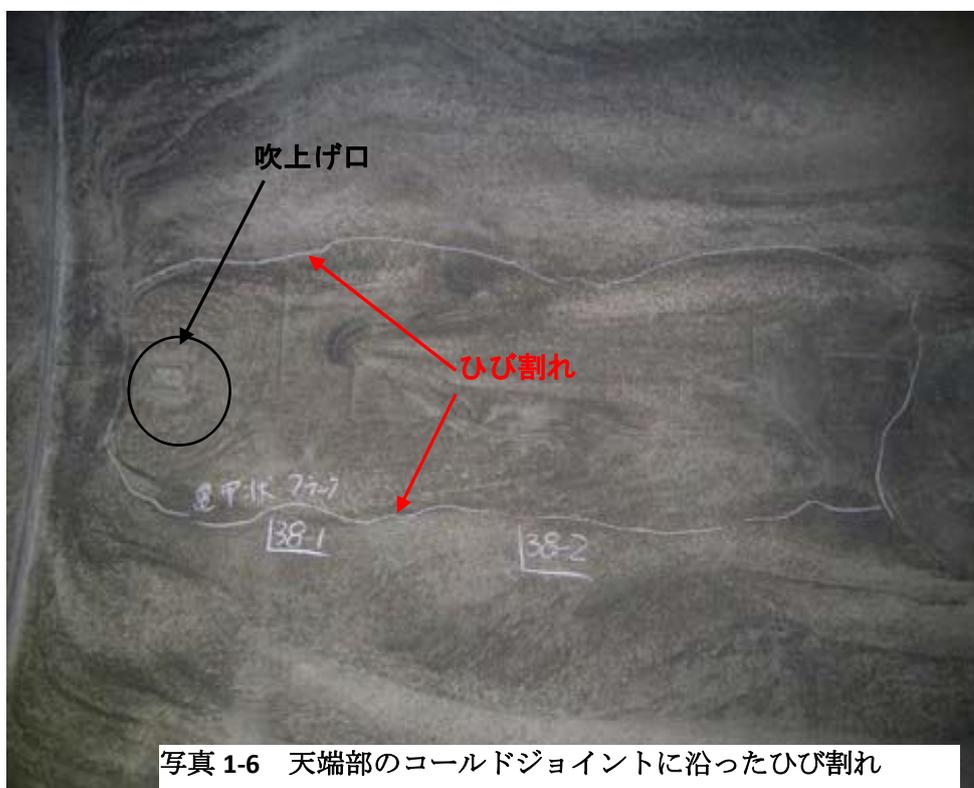


写真 1-6 天端部のコールドジョイントに沿ったひび割れ

写真 1-7 は、吹上げ口にモルタル分が多く残留し、乾燥による収縮が大きくなり、亀甲状のひび割れが発生したものと考えられる。



写真 1-7 吹上げ口付近で色むら沿いに発生した亀甲状ひび割れ

③ ひび割れ

図 1-8 の側壁の横断ひび割れは、主にコンクリートの収縮がインバートなどにより拘束されることにより発生し、天端部の縦断ひび割れは、主に乾燥収縮、巻厚不足、気温、湿度の変化などの原因が考えられる。

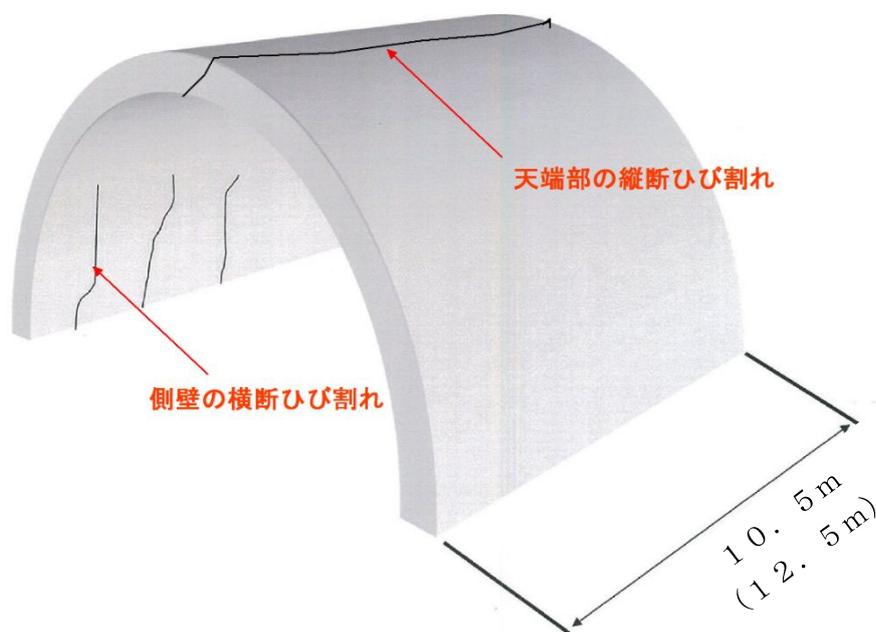


図 1-8 側壁及び天端部に発生するひび割れ (イメージ)

写真 1-8 は、主にインバート端部から S L 付近に発生する側壁の横断ひび割れである。打設スパンのほぼ中央付近に発生する拘束ひび割れと考えられる。



写真 1-8 側壁の横断ひび割れ

写真 1-9 は、側壁の施工目地部に発生したひび割れである。発生原因は型枠設置時もしくは脱型時の偏圧と思われる。経年劣化により、うき、はく離に発展する可能性がある。

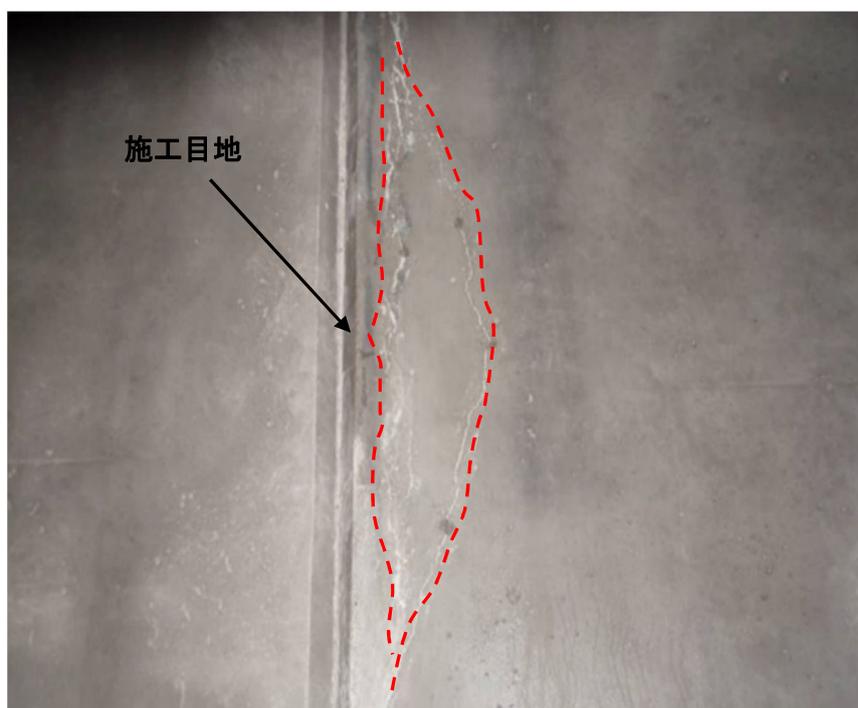


写真 1-9 施工目地部のひび割れ（ブロック化している）

写真 1-10 は、打重ね線などの施工中に生じる不具合が原因で、ひび割れが発生したものと考えられる。



写真 1-10 側壁に発生したひび割れ

④ はく離

脱型時の型枠にコンクリート表面が付着して、部分的にはく離した状態である。将来、うきや早期劣化の起点となる可能性がある。要因としては脱型時の強度不足、不適切な養生温度、型枠のケレン不足、剥離剤の塗布むら、型枠表面のコーティングの劣化などが考えられる。

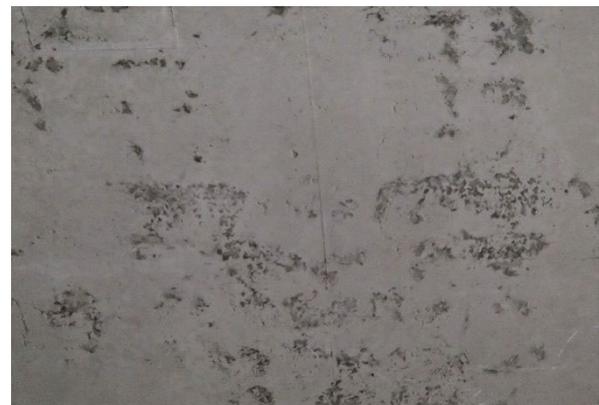


写真 1-11 天端部の表面はく離

⑤ 気泡

S L 付近より下の側壁部は、断面形状により気泡が抜けにくい場合がある。不十分な締固めによる過大な気泡は、早期劣化の要因となる場合がある。

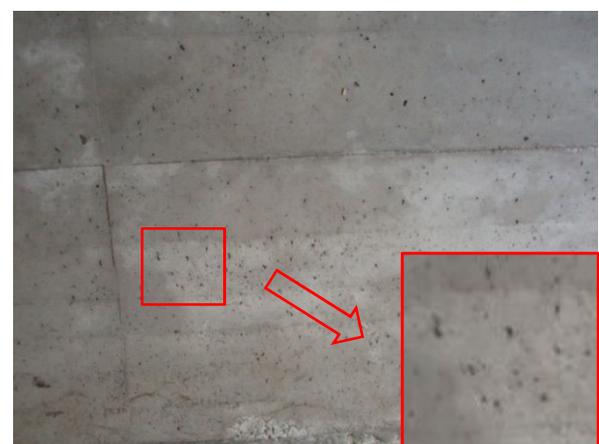


図 1-12 側壁表面の気泡

⑥ 水はしり・砂すじ

発生原因として、急速な打込みやブリーディングの排出不足、型枠の加工精度が悪い場合などが考えられる。早期劣化の要因となる場合がある。



写真 1-13 検査窓周辺の水はしり・砂すじ

⑦ 施工目地の不良

施工目地型枠の固定不足が原因である。コンクリートの乾燥収縮、温度変化によりうき、ひび割れなどの不具合が発生しやすくなる。

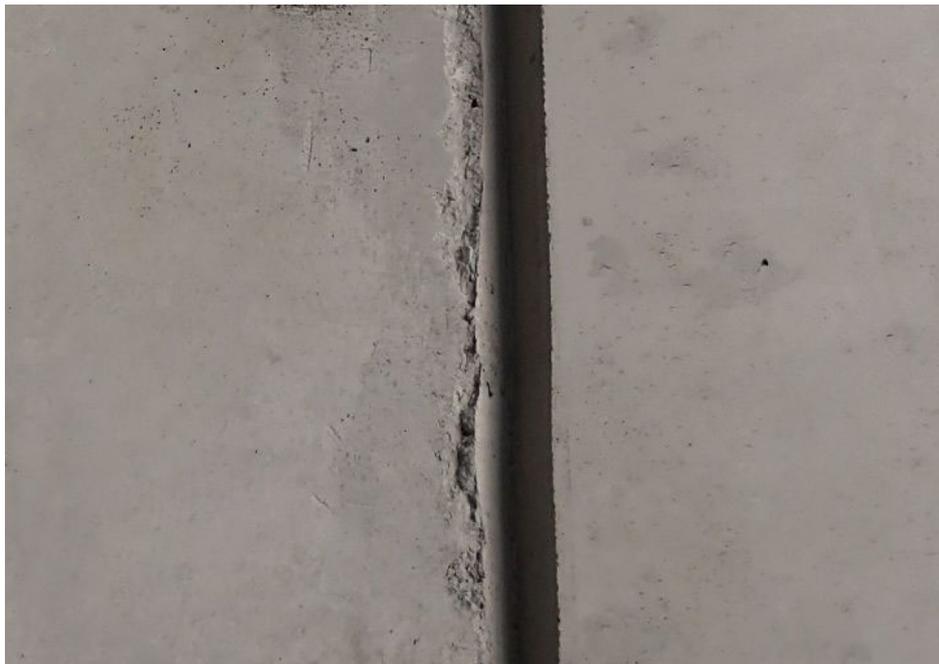


写真 1-14 施工目地の不良

⑧ 凍害劣化

写真 1-15 は、凍害危険度の高い地域(危険度 4)におけるトンネル坑口のコンクリートの凍害による劣化状況である。空気量が適切でないことや、十分な緻密性が達成されていないなどの理由で、凍結融解に対する十分な抵抗性を持っていなかったために凍害が進行し、はく落に至ったものと考えられる。

凍結抑制剤は凍害を促進させることが知られており、坑口付近のコンクリートには十分な凍害抵抗性を持たせる必要がある。



写真 1-15 トンネル坑口の凍害による劣化

1. 2 トンネル覆工コンクリートの不具合の発生原因

1) 覆工コンクリートの認識とトンネル特有の打設方法

① 覆工コンクリートは化粧巻という認識

NATMの覆工コンクリートは「化粧巻」という認識をもってしまうと

- ・覆工コンクリートの強度が出ていれば良いのではないか
- ・トンネルの内壁に縞模様が生じていても、特に気にしない

ということになる。

NATMトンネルでは、吹付けコンクリートとロックボルトで地山を支保しており、これにより構造安全性を担保している。さらに吹付けコンクリート内壁の長期安定性の確保や、湧水排水処理、第三者被害防止のために、二次覆工コンクリートを施工している。

供用中に第三者に直接見えるのは二次覆工の部分であり、第三者被害を防止し、維持管理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「本巻で重要な部位」という認識で品質確保に努めなければならない。

② 不具合が生じやすいトンネル特有の打設方法

明かり構造物のコンクリート打設方法に比較すると、トンネルの覆工コンクリートは狭隘空間での作業となる。特に天端部は一箇所からの吹上げ口からの打設となる。(図1-3) そのため締固め作業が困難となり、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は不均質なコンクリートとなり、アーチから天端部に色むら・打重ね線が発生する。(写真1-5) 将来、打重ね線に沿ってひび割れが発生する恐れがあるため、丁寧な施工が望まれる。

また、天端部分の一箇所からの打込みによって、吹上げ口からつま板までコンクリートの流れる距離が長くなり、材料分離、ブリーディングなどが発生しやすいため、打設方法の作業計画が重要である。また、剥離剤の種類や塗布量によっても、天端付近に色むら・打重ね線が発生しやすい。

次に、現在の標準的な天端部の打込み方法を示すが、天端部の吹上げ口からの打込みにおいて、締固めが困難な場所が余儀なくされ、色むら・打重ね線が発生しやすい。(図1-10、図1-11)

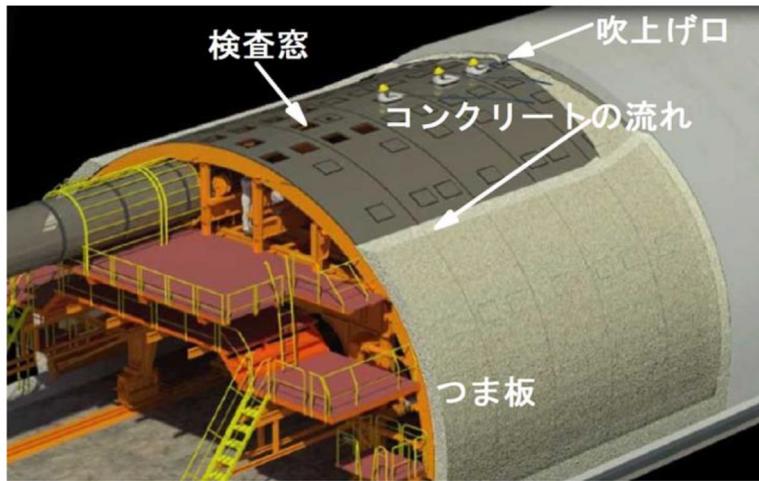


図 1-9 天端部の吹上げ口からの打込み開始時（初期）

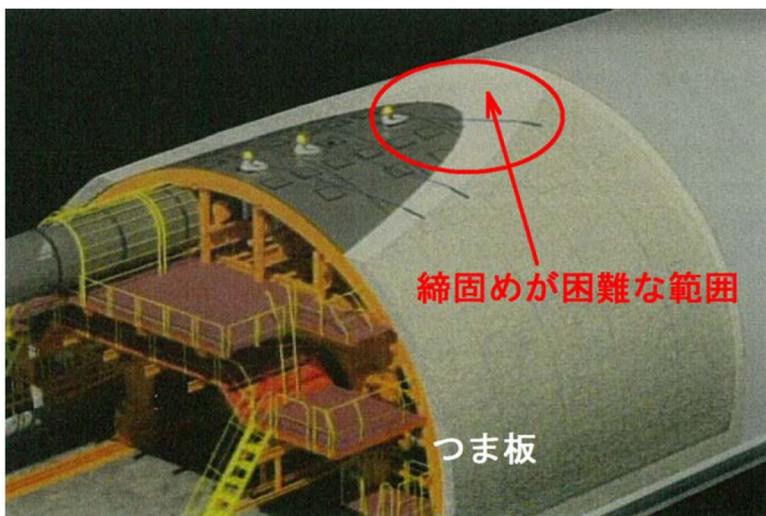


図 1-10 天端部の吹上げ口からの打込み中盤時

- ・締固めを行うと、つま板側にコンクリートが流動してくる。
- ・天端検査窓の閉鎖が余儀なくされ、締固め困難な場所が発生する。



図 1-11 天端部の吹上げ口からの打込み終盤時

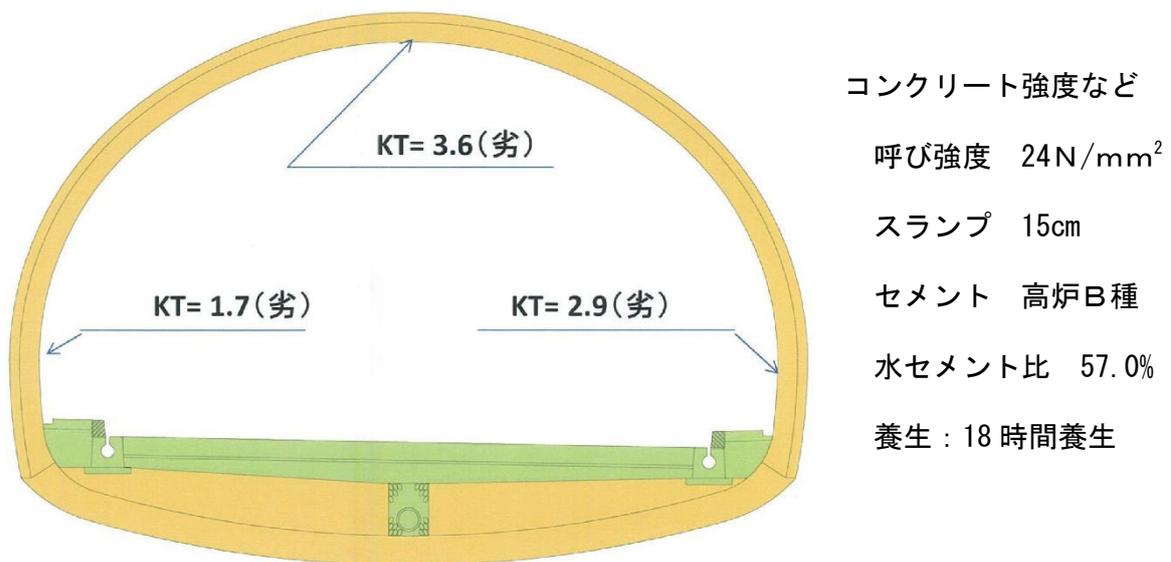
- ・天端部のつま板を極力遅く設置（閉塞）するが、締固め困難な場所が発生する。

③ 若材齢脱型による緻密性の不足

覆工コンクリートは、施工速度を確保する観点から、一般的に、打込み後に脱型強度が確保出来る 12~20 時間後に脱型している例が多い。

このような施工方法によりコンクリート表層の「緻密性」が十分得られていないのが現状である。(図 1-12)

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、適切に養生することにより、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し、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 (× 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 1-12 従来の一般的な方法で施工されたトンネル覆工コンクリートの透気係数
(データ提供 : 東北技術事務所)

2) 施工目地のうき・はく離・はく落

① 施工目地部に集中するうき・はく離・はく落

施工目地部にうき・はく離・はく落が多く発生することをトンネル点検データの分析結果を用いて示す。分析にあたっては、打設ブロック毎の変状展開図を縦断方向6と横断方向10の60ブロックに分割し、変状に位置情報を与えた。(図1-13)

図1-14は、2007年に完成したトンネルにおける1ブロックあたりの変状の発生頻度を示したものである。うき・はく離・はく落は、施工目地部で多く、特に天端部では0.36と3ブロックに1つ以上の頻度で発生していた。また、施工目地部には豆板の発生頻度も高く、施工中の配慮が必要である。なお、施工目地部に変状が多くなる傾向は、他の変状が多く生じたトンネルでも共通した傾向であった。

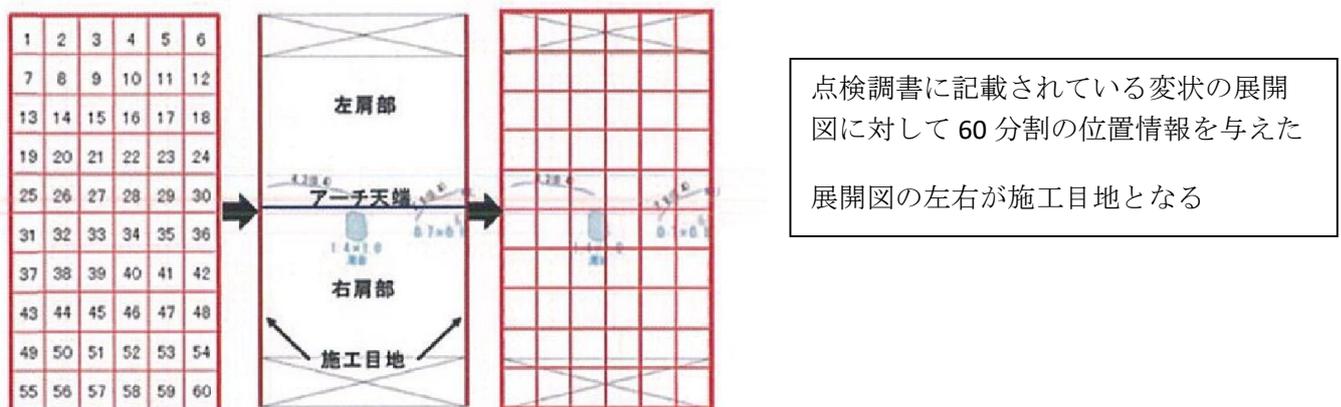


図1-13 トンネル点検データの変状への位置情報の付与

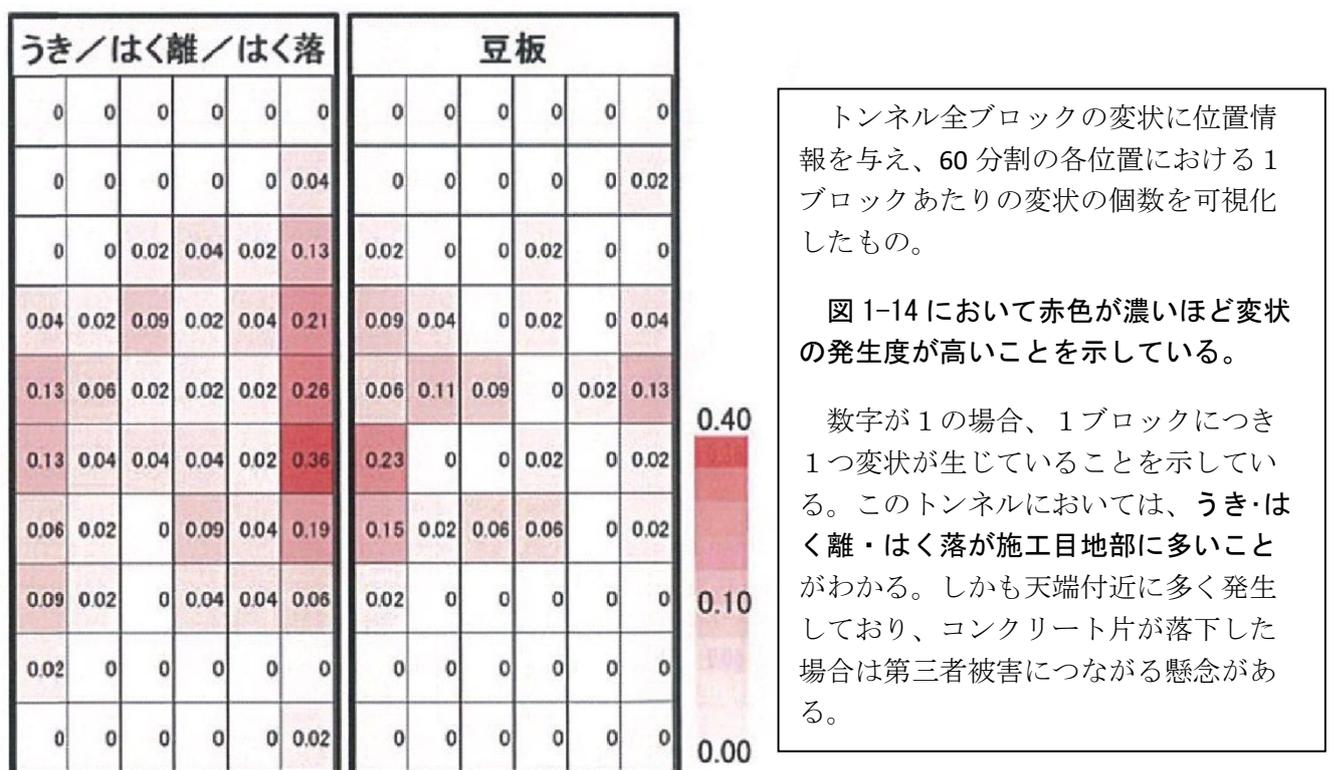


図1-14 2007年に完成したトンネルにおける1ブロックあたりの変状の発生頻度

② コンクリートの伸縮による施工目地部の不具合

図 1-15 に、推察される施工目地部での不具合発生メカニズムを示す。後打ち（新設）コンクリートの打込み後、コンクリートの温度や乾燥収縮による体積変化により、後打ちコンクリートと先打ち（既設）コンクリートは離れる方向に変形する。

また、冬季施工の覆工コンクリートは、夏季に向けて膨張し、目地部で押し合う形となった場合にも弱点部からひび割れやうきが発生する懸念がある(写真 1-16)。

図 1-16 は、あるトンネルの二つの施工目地をまたぐ形で設置した標点間 250mm のコンタクトゲージで計測した目地の開きである。二つの目地とともに同様の挙動を示しており、打込み後 20 日程度で 2~3mm 程度の開きを示した。このときに、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートの間に付着が存在する場合、弱点部に沿ってひび割れが発生し（写真 1-17）、うきにつながる可能性が考えられる。

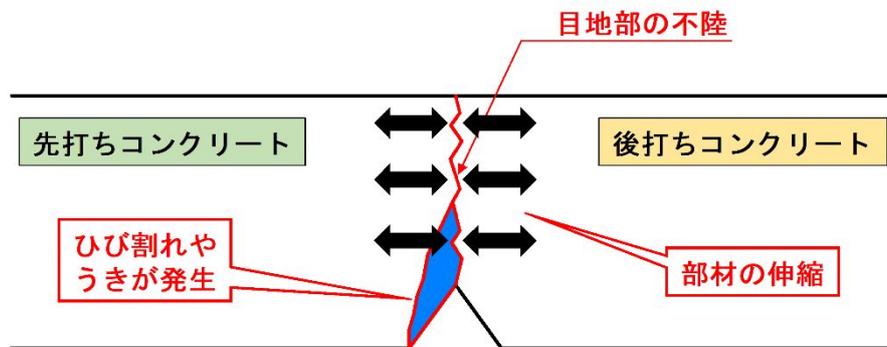


図 1-15 施工目地部に不具合が発生する機構の概念図

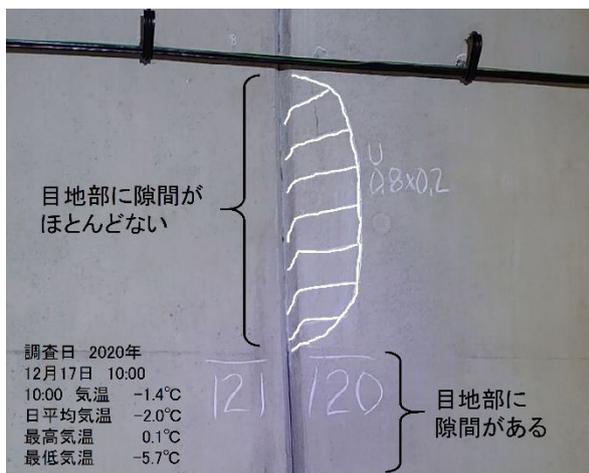


写真 1-16 コンクリートの膨張によって生じたと思われる目地部でのうき



写真 1-17 コンクリートの収縮による開きで生じたと思われる目地部でのひび割れ

図 1-15 においては、先打ちコンクリート側に不具合が生じる状況を描いている。強度がより発現しているはずの先打ちコンクリート側に不具合が生じている事例が、現場において少なくない。その理由として、つま部にコンクリートの品質の低い部分が生じている可能性が考えられる。

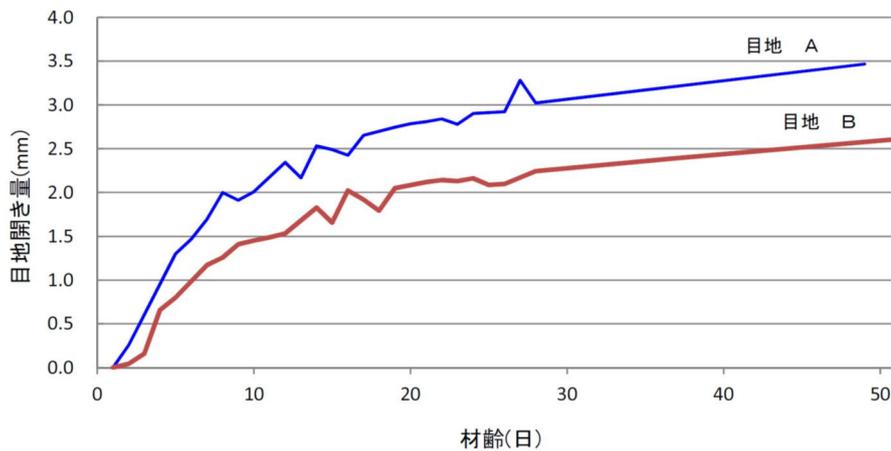


図 1-16 実構造物で計測した打込み後の目地の開き

③ 施工目地部のブリーディングによる品質の低下

写真 1-18 は覆工コンクリート打込み中に、つま部に集積してくるブリーディングである。これは打込み後、数時間経過すると徐々に発生してくる。

写真 1-19 に示すように、現場での呼び強度 24 N/mm^2 の覆工コンクリートを打ち込む際に、つま部に設置したパンチングメタルから排出された、ブリーディングの混入したモルタル供試体を 3 本採取し、材齢 28 日まで現場養生したものについて圧縮試験を行った。結果を以下に示す。

- 1 本目：最初に排出されたブリーディング・泡を多く含んだ試料の強度： 11.7 N/mm^2
- 2 本目：排出された中間部で採取し、モルタル分の多い試料の強度： 22.4 N/mm^2
- 3 本目：排出された最後の部分の強度： 23.8 N/mm^2

つま部においては、ブリーディングを適切に排除しないと、局所的に品質の低い部分ができる可能性があり、これが、図 1-15 に示すような先打ちコンクリート側の不具合につながる原因の一つであると考えられる。



写真 1-18 つま部に集積したブリーディング



写真 1-19 ブリーディングの混入した試料

3) 東北地方の厳しい自然環境、供用環境

東北地方はそのほとんどが積雪・寒冷地域であり、日本海側の海岸線に近い地域では、冬期の北西からの季節風により海からの飛来塩分の影響を受ける。

また、図 1-17 に示すように、東北地方の全域で凍結抑制剤として主に塩化ナトリウムが散布されており、特に奥羽山脈を横断する峠部や日本海側では大量に散布されている。

このように、積雪・寒冷の影響と海からの塩分および凍結抑制剤による塩分の影響を受けているのが東北地方であり、コンクリート構造物には厳しい自然環境や供用環境となっている。

トンネル覆工コンクリートにおいても、塩分の影響を受ける箇所については、スケーリングや塩害について、適切に対策を講じる必要がある。

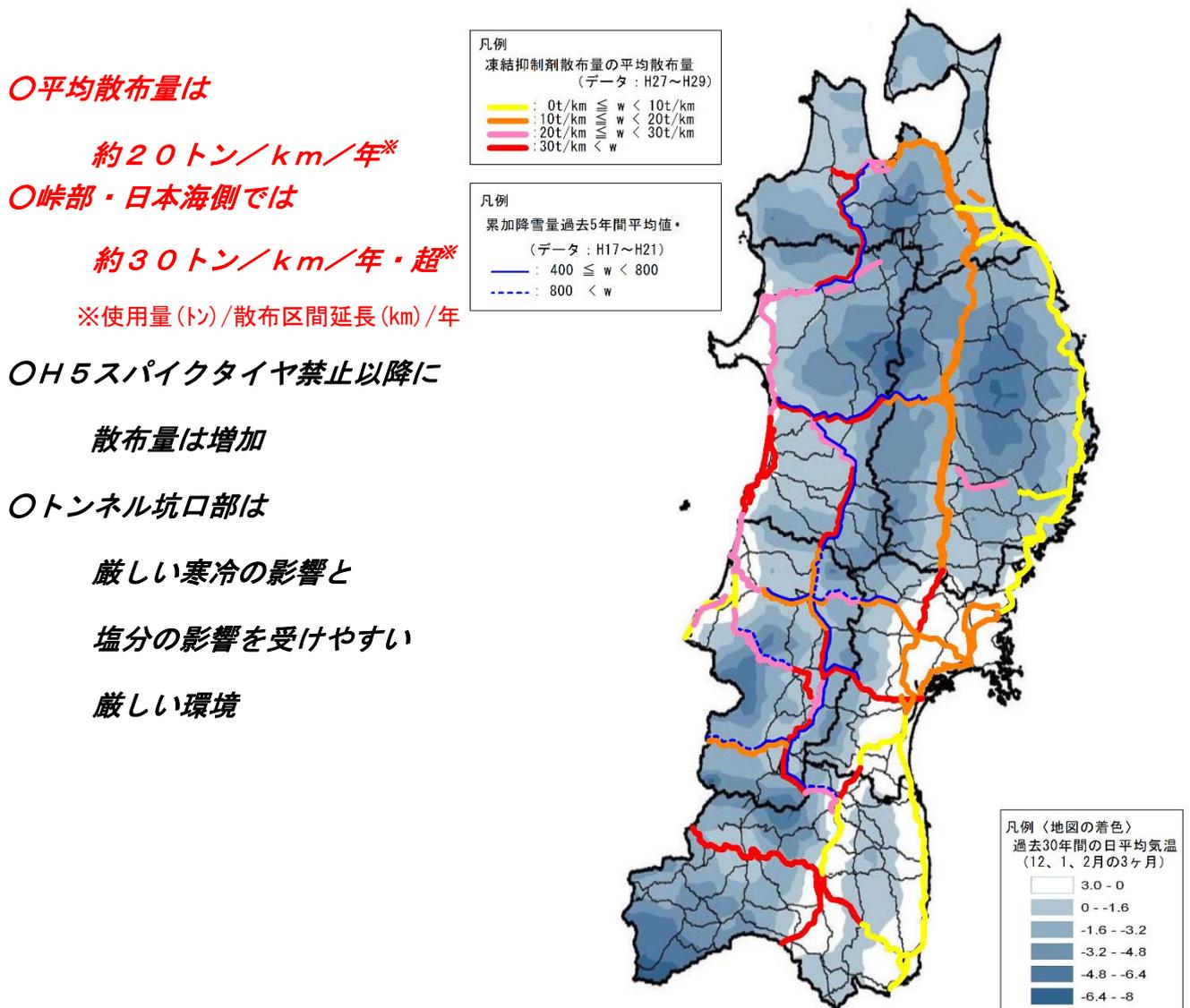


図 1-17 国管理国道の除雪工区毎の凍結抑制剤平均散布量 (H27～H29) と地域毎の寒冷の度合い

1. 3 品質確保の試行工事の効果の分析

東北地方整備局管内の1992～2007年に完成したトンネル7本（B1～B7）と2014年以降に完成したトンネル10本（A1～A10）に対して、2014～2018年度に実施された点検の結果を分析した。これらのトンネルは、表1-1に示すように合計83本のトンネルの点検データから抽出したが、1スパンあたりのうき・はく離・はく落の発生数が母集団と大きく異ならないように配慮した。

表 1-1 2014～2018 年度に点検されたトンネルと分析のために選択したトンネル

トンネルの分類	平均スパン数	うき・はく離・はく落発生総数	1スパンあたりのうき・はく離・はく落発生数
2014年以降に完成したトンネル(41本)	99.7	1299	0.31
A1-A10トンネル	58.4	218	0.37
1992年-2007年に完成したトンネル(42本)	84.1	2353	0.68
B1-B7トンネル	45.3	223	0.70

【各変状の発生頻度分析の結果】

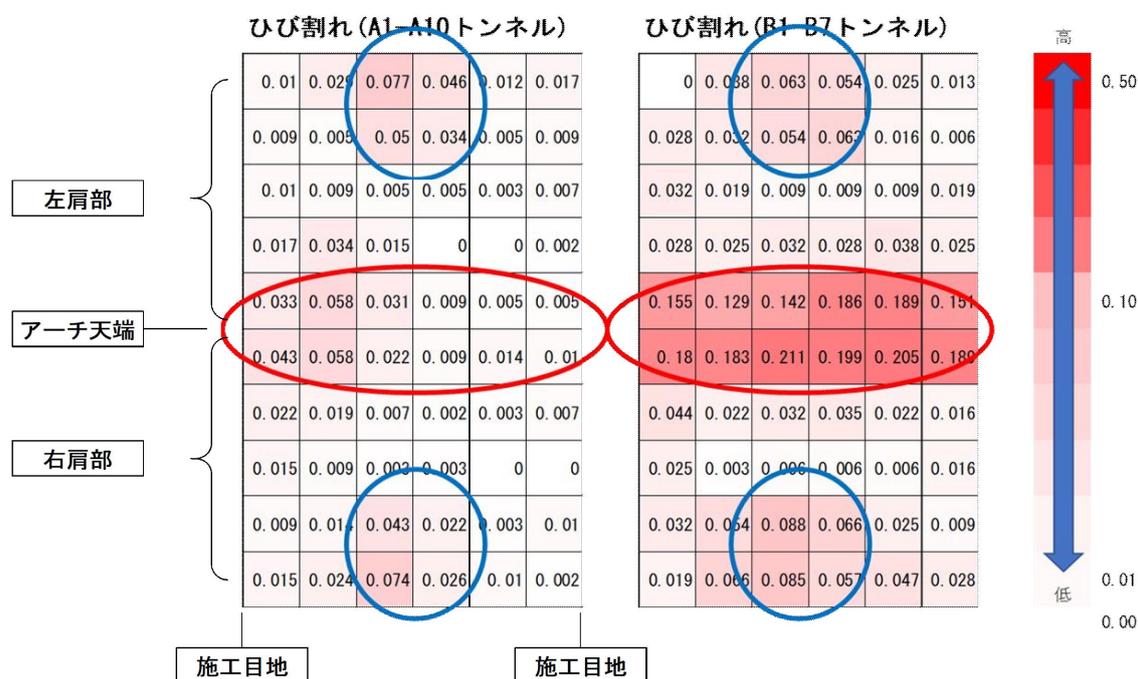


図 1-18 ひび割れ発生状況の変化

図1-18に示すように、品質確保の試行開始時期以降に完成したA群のトンネルでは、赤丸で囲った天端付近の縦断方向のひび割れが顕著に抑制されている傾向が認められる。一方で、青丸で囲った側壁部では若干の改善は見られるものの、この部

位に発生するひび割れは、施工由来のものだけではなく、インバートによる拘束ひび割れの発生もあることから、丁寧に施工しただけではひび割れの抑制が難しい部位であるためと考えられる。

また、図 1-19 に示すように、全体として A 群のうき・はく離・はく落の発生頻度が低く、特に、施工目地部でのうき・はく離・はく落の発生頻度の差が顕著である。品質確保の試行の一定の効果が見られていると考えられる。



図 1-19 うき・はく離・はく落の発生状況の変化

しかし、図 1-20 に示すように、個別のトンネルの状況を見ると、品質確保の試行開始時期以降に完成した A 群のトンネルにおいても、天端部のひび割れが多かったり、施工目地部のうき・はく離・はく落が少ないトンネルもある。

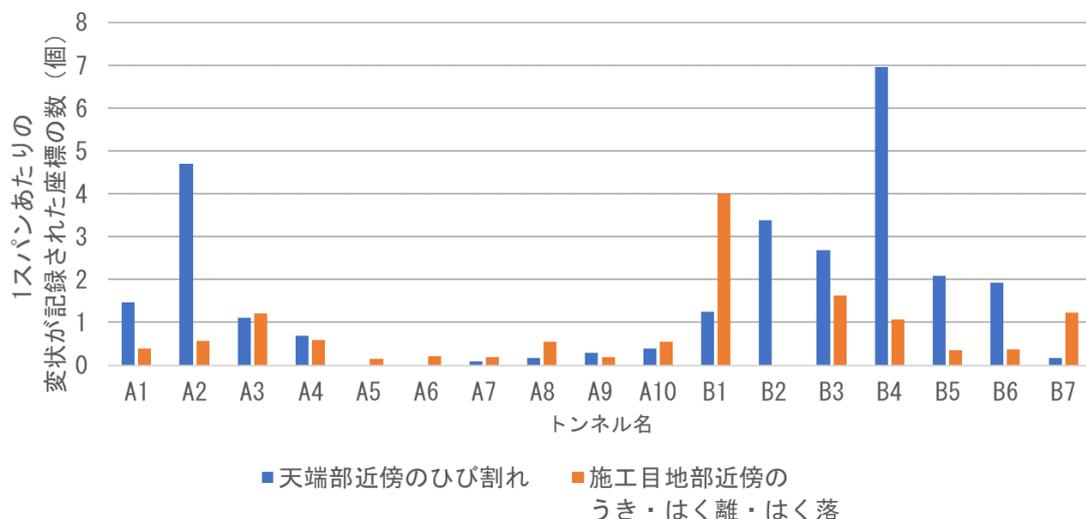


図 1-20 分析したトンネルごとのひび割れ、うき・はく離・はく落の発生状況

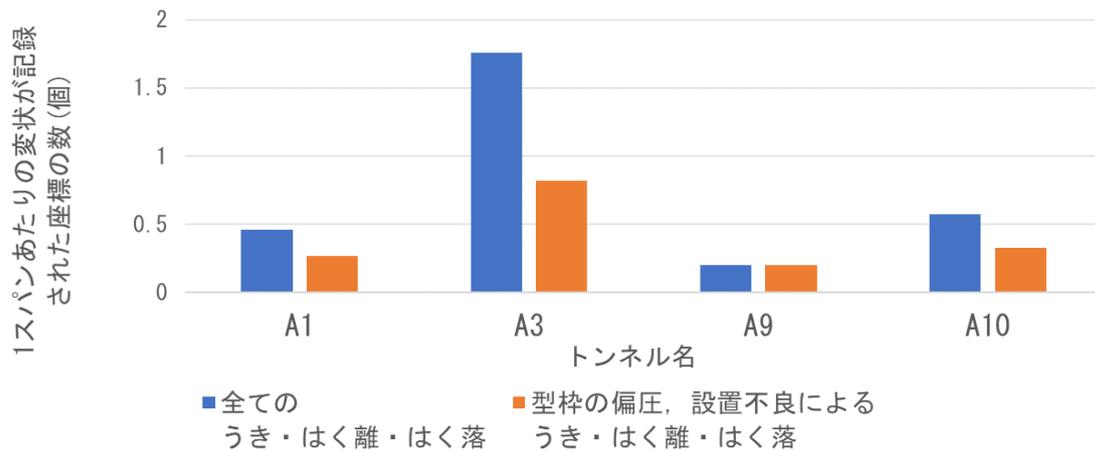


図 1-21 型枠の偏圧、固定不足が原因と記録されたうき・はく離・はく落の発生状況

図 1-21 には、点検調書にうき・はく離・はく落の発生原因が記載してあった 4 つのトンネルの状況を示しており、施工目地部に限らない全てのうき・はく離・はく落の数が示されている。うき・はく離・はく落の原因として、型枠の偏圧や設置不良による割合が多いことが分かる。これらに配慮することで、さらに品質が向上する可能性がある。

2. 東北地方のトンネル覆工コンクリートの目指すべき方向

東北地方の自然環境や構造物の供用される環境を踏まえ、設計、施工、維持管理の各段階で、十分な耐久性を持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】

2. 1 トンネル覆工コンクリートの課題

トンネル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ために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、打重ね線や色むら、砂すじなどの施工中に生じる不具合が見られる。

2) 施工目地部の不具合の発生

完成後に比較的早期に施工目地部にひび割れ、うきやはく離が発生し、コンクリートのはく離による第三者被害の発生が懸念される場合がある。

3) 施工に起因するひび割れの発生

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。天端部のコンクリートには、充填不良やブリージングの除去不足などから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、不均質で密実性も低く一体性が損なわれたコンクリートが原因で発生しており、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。

4) 緻密性の不足

覆工コンクリートは、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標準となっているため、コンクリートの緻密性が不足し、凍結抑制剤の主たる成分である塩化ナトリウム (NaCl) などの劣化因子が入りやすいコンクリートの表層となっている。

5) 側壁の横断方向ひび割れ

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、比較的地質の弱い坑口部などに設けられる場合が多く、トンネル坑口部は凍結抑制剤の影響を受ける区間でもあるので、インバートの拘束による側壁の横断方向ひび割れのように深いひび割れの場合は、ひび割れに沿って凍結抑制剤が侵入し、将来、内部の鉄筋を腐食させる塩害を引き起こす可能性がある。

6) 凍害の発生

寒冷の度合いが厳しい地域や凍害に対する抵抗性が低いコンクリートの場合には、坑口部に凍害によるはく離などが見られる。

これらの不具合のうち1)～3)は、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」を施工段階で目指していないために生じている。

また、4)～6)は、必要となる対策を行えば十分抑制可能な事象であり、そのような対策が行われていない場合があることが課題である。

2. 2 トンネル覆工コンクリートの目指すべき方向

東北地方の自然環境やトンネルが供用される環境を踏まえ、現状のトンネル覆工コンクリートの課題を解決して、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及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良や締固め不足、ブリージングの除去不足などにより、打重ね線や色むら、比較的大きな気泡の残留、水はしりや砂すじなどの施工中に生じ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、天端の充填不良やブリージングの除去不足などから天端に縦断方向のひび割れの発生が見られる。

このような施工中に生じる不具合や施工に起因するひび割れ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) 施工目地部の不具合の抑制

施工目地部は、竣工時点では不具合がなくても、供用15年程度の短期間でうきが発生し、はく落する危険性のある事例が発生している。(図1-6)

施工目地部は、ブリージングが集まりやすいため、他の箇所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、まず施工目地部のブリージングを

除去し、密実なコンクリートを充填する努力を行った上で、脱型後の施工目地部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

トンネル覆工コンクリートは、18時間程度で脱型し、その後特に養生を行わないことが発注標準となっているため、コンクリートの表層品質を透気試験で調査すると「劣」の評価となっている。(図1-12) 同じコンクリートを1週間程度養生すると「一般」の評価までコンクリートの表層品質が向上することが知られている。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を抑制した上で、適切な養生を行い、劣化因子が侵入しにくい緻密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、側壁に横断方向のひび割れが生じる場合がある。このひび割れは、側壁の水和反応による温度上昇によって、側壁が体積膨張し、水和反応の収束とともに温度が低下し体積も収縮する際に、インバートの拘束を受けて発生している。

一般に水セメント比(W/C)が50%程度よりも小さいと発生する可能性が高くなる。このように、側壁に生じる横断方向ひび割れは、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り、水和反応による急激な温度上昇を抑制したり、急激な温度の降下をまねかないような対策をすることによって、抑制することを目指さなければならない。

5) 自然環境、供用環境への対応

東北地方はそのほとんどが積雪・寒冷地域であり、凍結抑制剤の散布量も多いことから(図1-17) 凍害や塩害などの観点でコンクリート構造物には過酷な環境である。

トンネル内部では凍結抑制剤を散布しないものの、トンネル坑口部では凍結抑制剤の影響を受ける。また、トンネル坑口部まで散布された凍結抑制剤がタイヤによる引きずりや巻上げによってトンネル内部にも飛散している事が調査の結果、分かっている。(図2-1)

凍結抑制剤は塩害を引き起こすだけではなく、凍害を促進させることが明らかになっている。そこで凍害の危険性が高く、凍結抑制剤の影響を受ける可能性のある坑口部分では、凍害防止に必要な空気量を確保した上で、緻密性の高いコンクリートを目指す必要がある。

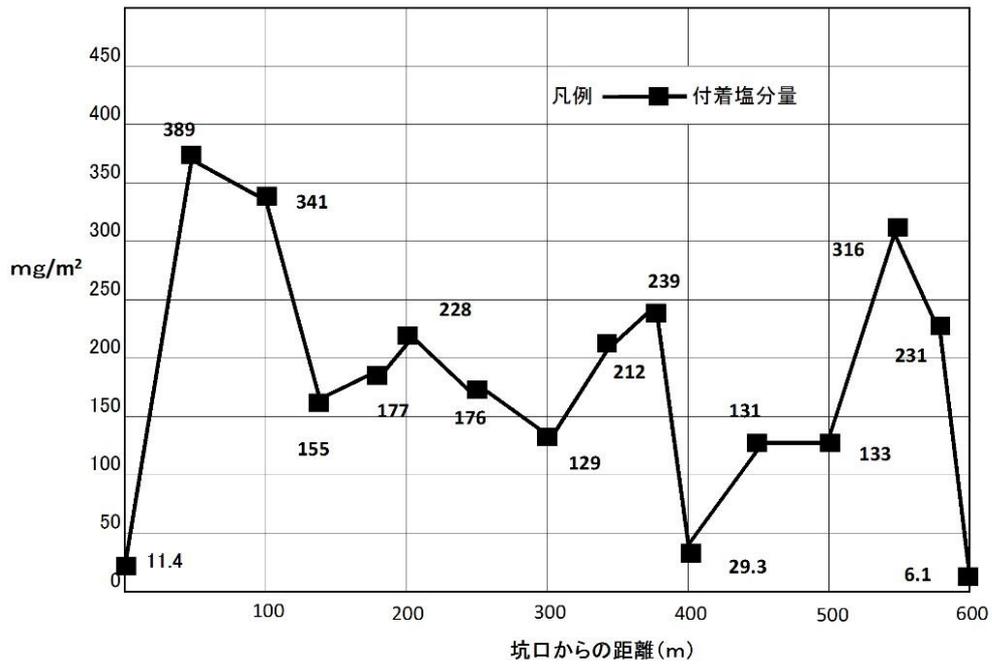


図 2-1 トンネル内部の凍結抑制剤の状況（データ提供：東北技術事務所）

3. 適用の範囲

この手引きは、普通コンクリートを用いた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、覆工コンクリートの品質確保を図る試行工事の施工段階に適用する。

ただし、凍害対策、ASR対策、ひび割れ抑制対策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のひとつが、トンネルであり、増大するインフラの維持管理費を軽減するためにも、施工時の覆工コンクリートの品質確保が急務である。

現場における品質確保のための有効な方法は様々なものがあるが、東北地方整備局では「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を組み合わせた品質確保がトンネル工事においても試行されており、現場適応性や効果の検証が進められている。

このような状況から、普通コンクリートを用いたトンネル覆工コンクリートの品質確保が円滑になされるように、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にした。

この手引きは、トンネル覆工コンクリートを対象に施工段階における「配合設計」や、「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、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。

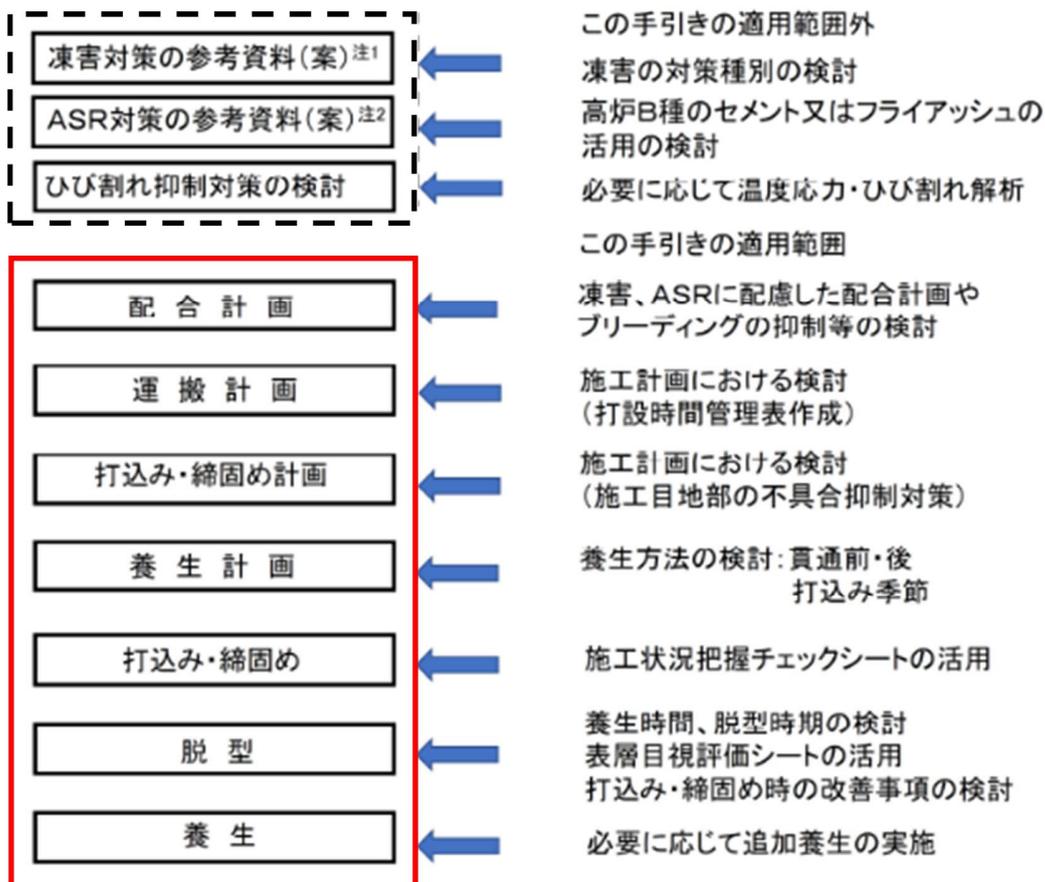
なお、トンネル覆工コンクリートの品質・耐久性確保のためには、設計段階における凍害対策、ASR対策、ひび割れ抑制対策なども重要な要素であるが、この手引きの適用範囲外としている。

凍害対策は、「配合設計」で必要に応じて凍害対策を考慮した配合とするようにこの手引きに記載しているものの、具体の凍害対策については、「東北地方における凍害対策の参考資料（案）（令和3年3月改訂）」を参照するようにしているため、この手引きの適用範囲外とした。また、この手引きでは「ひび割れ抑制対策の基本」を記載しているが、具体のひび割れ発生予測等は、適切な方法で別途検討する必要があるため、この手引きの適用範囲外とした。レディーミクストコンクリート標準仕様基準では、トンネル覆工は標準がASR対策に有効な混合セメントである高炉セメント（B種）であり、ASRについては改めて対策の必要はない。レディーミクストコンクリート標準仕様基準において、高炉セメント（B種）か普通ポルトランドセメントが選択できる場合

には、ASR対策に有効な混合セメントとして、高炉セメント（B種）を選択するか、普通ポルトランドセメントにフライアッシュを混入した混合セメントを使用することが、「東北地方におけるアルカリシリカ反応（ASR）対策に関する参考資料（案）について（平成31年3月）」にて通知されているので参考とするのがよい。

本手引きの適用範囲のイメージを表3-1に示す。

表3-1 手引きの適用範囲「対象構造物：トンネル覆工コンクリート」



注1) 凍害対策： 東北地方における凍害対策に関する参考資料（案）（令和3年3月改訂）

注2) ASR対策： 東北地方におけるアルカリシリカ反応（ASR）対策に関する参考資料（案）について（平成31年3月）

4. 品質確保のための留意点

- 1) 品質確保を図る試行工事を行う監督員および施工者は、覆工コンクリートの品質が、施工段階、特に打込み・締固めを行う日の施工方法の良否でほとんど決定されることを認識しなければならない。
- 2) 監督員および施工者は、品質確保を図る試行工事の意義を理解し、品質確保上の課題に対して、公共工事の品質確保の促進に関する法律の基本理念に基づき、それぞれの役割分担に応じて、受発注者が協働して解決にあたるように努めなければならない。
- 3) 監督員は、施工者に対して品質を求めている姿勢を明確に示すとともに、覆工コンクリートの品質確保のため、施工者に、施工中に生じる不具合の抑制を促すように努めなければならない。
- 4) 覆工コンクリートの品質確保のため、施工者は施工中に生じる不具合の抑制に向けて、施工方法の改善に努めなければならない。

【解説】

1) について

コンクリート標準示方書の施工編に記載されているように、「一層の高さは 50 cm 程度とし、水平に打込み、下層に 10 cm 程度バイブレータを挿入し、締固めの振動時間は 5 ～15 秒程度とし、上下層が一体化するように施工する。」(図 4. 1 参照) に代表されるいわゆる「施工の基本事項」が守られていないことが、覆工コンクリートの品質低下の原因であり、この結果、6. 1 で述べる表層目視評価の評価項目にある「気泡」、「色むら」や「打重ね線」などの施工中に生じる不具合の発生をまねいている。覆工コンクリートの場合、セントルの狭隘空間内で限られた打設口からの打込み・締固め作業となることや、生コンクリートの流動性が十分ではないためにやむを得ずバイブレータによる横流しを行わざるを得ない等、必ずしも「施工の基本事項」が全て遵守できる環境にあるわけではない。しかし、覆工コンクリートの品質は、施工方法の良否によって決定される点は、橋台等の一般構造物の場合と何ら変わることはない。

このように、覆工コンクリートの品質は、コンクリートを打込み・締固めする日の施工方法の良否でほとんど決定される。監督員も施工者も、このことを十分認識しておくことが、覆工コンクリートの品質確保において重要である。

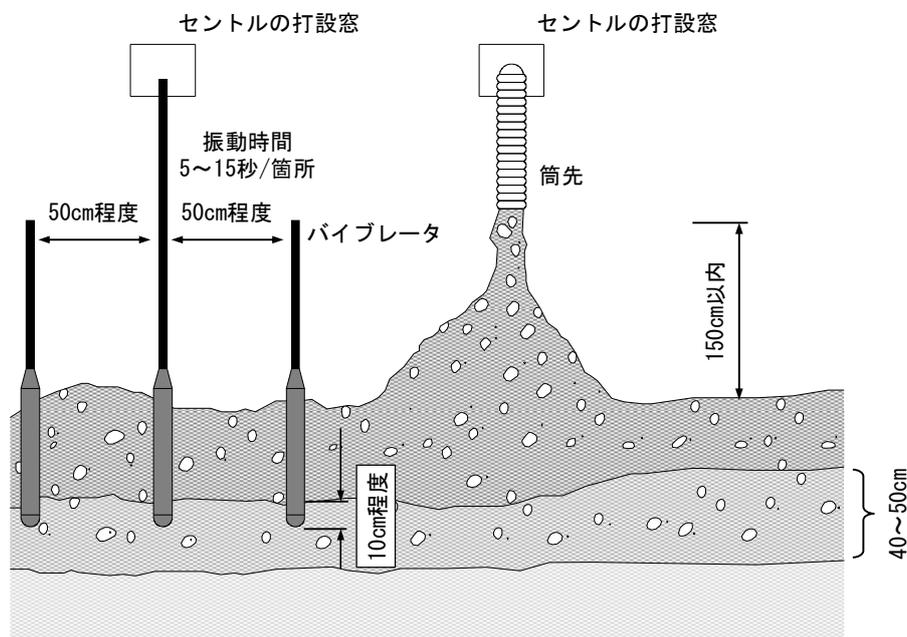


図4. 1 コンクリートの基本的な打込み・締固め方法

2) について

現状、多くの既設の覆工コンクリートにおいて、品質が確保されていないという実態の改善を目指すのが、品質確保を図る試行工事の目的である。覆工コンクリートの品質は、施工方法の良否でほとんど決まると言っても、施工者の努力だけでは限界がある。例えば、工期内では施工が夏期となり、凝結時間が早くなることから、スランプの増大や凝結遅延剤の使用、施工時期を夏期から外すなど、監督員の判断を必要とする場合が少なくない。

公共工事の品質確保の促進に関する法律第三条基本理念第1項には「公共工事の品質は、公共工事が現在及び将来における国民生活及び経済活動の基盤となる社会資本を整備するものとして社会経済上重要な意義を有することに鑑み、国及び地方公共団体並びに公共工事等（公共工事及び公共工事に関する調査等をいう。以下同じ。）の発注者及び受注者がそれぞれの役割を果たすことにより、現在及び将来の国民のために確保されなければならない。」と規定されている。この法律の趣旨に鑑み、覆工コンクリートの品質確保を図るためには、受発注者がそれぞれの役割に応じて、課題解決に向けて協働で取り組むように努める必要がある。

3) について

品質確保を図る試行工事は、品質確保に向けて様々な試行を行なうために発注者が設定した工事である。

したがって、監督員が品質に関心がないと施工者が感じてしまうと、施工者も苦勞して品質確保を図ろうとは思わなくなるため、品質確保を図る試行工事がうまくいかなくなる場合が多い。このため、品質確保を図る試行工事の監督員は、施工者に対して品質を求める姿勢を明確に示すことが重要である。例えば施工前に元請けの施工者と協力業者の技能者が集まって、事前に施工方法の確認を行う周知会に監督員も参加して、監督員から品質確保の意義や重要性を話す等の積極的な姿勢を示すことが必要である。

その上で、監督員は、覆工コンクリートの品質確保に向けて、施工中に生じる不具合の抑制を促すように努めなければならない

4) について

施工者は、監督員から示された施工中に生じる不具合の抑制という目標に向けて、施工の基本事項の遵守の徹底や不具合を無くすための施工上の工夫を、実際に施工を行う技能者に周知し、施工当日の役割分担を明確にするため、施工日の前日等に関係者を集めて周知会を行うことが重要である。また、脱型後に改善を要する不具合が確認された場合には、協力業者とともにそのブロックの施工の振り返りを行い、問題点を探り、改善策を検討し、次のブロックの施工に改善策を反映するなどして、不具合の抑制に努めることが重要である。

5. 配合設計

- 1) 覆工で凍害対策を必要とする区間は、その地域の凍害環境の状況に応じて必要な凍害対策を行った配合としなければならない。
- 2) 流動性の高いコンクリートを採用する場合には、側壁、アーチ部、天端吹き上げ部のそれぞれの施工条件に応じて、流動性、材料分離抵抗性、耐凍害性に配慮した配合としなければならない。また、試験施工等により、流動性の確認や耐凍害性の確認及び施工管理上必要な締固め時間等の確認を行うのがよい。

【解説】

1) について

トンネルの覆工コンクリートは、コンクリート片のはく落等による第三者被害を防止するため、施工由来の不具合を抑制し、低品質なコンクリートとならない様に留意することが極めて重要である。覆工コンクリートでモルタルが薄片状にはく落するスケーリングが発生すると、いずれはモルタルが粗骨材を保持できなくなり、粗骨材等の落下につながる恐れがある。また、一旦凍害が発生したコンクリートは、補修材料が如何に優秀であっても、母材のコンクリートに耐凍害性が不足しているため、補修材料の周辺のコンクリートが凍害を起こして、再劣化する事例が多く報告されている。このように、覆工コンクリートでは、第三者被害予防の観点から、品質を確保した上で、凍害の発生を抑制することが、重要である。

凍害の発生を抑制するためには、トンネルが置かれている地域の凍害環境に応じて、凍害対策に有効な微細で独立した空気泡であるエントレインドエアを、硬化コンクリート中に適切な量連行できる配合設計とする必要がある。このような凍害対策は、「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)国土交通省 東北地方整備局」に記載されているので参照するとよい。

現在までに東北地方整備局で行われている覆工コンクリートの凍害対策は、坑口から100mの区間において、凍害対策用に配合設計された生コンクリートを用いて行われている。坑口から100mとしている理由は、スケーリングが凍結抑制剤によって促進されること、トンネル内は凍結抑制剤を散布しないと言っても、車両のタイヤによる巻き上げ等によって、坑口から100m付近までは、路肩に凍結抑制剤の結晶が確認されているためである。

凍害対策用の配合設計の実例については、「東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)国土交通省 東北地方整備局」に記載されているので参照するとよい。

2) について

トンネル覆工コンクリート施工時の流動性や、材料分離抵抗性を確保するため、流動性の高いコンクリートを採用する場合の基本配合は、当面の間以下の通りとする。

表5-1 流動性が高いコンクリートを採用する場合の基本配合

呼び強度	スランプ (cm)	粗骨材 最大寸法 (mm)	最小セメント 使用量 (kg)	水 セメント比 (%)	目標 空気量 (%)
18以上	18(±2.5) ～ 21(±1.5)	20もしくは25	270	60以下	* 凍害対策 種別による

※凍害対策種別：東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)国土交通省東北地方整備局に記載されている、施工現場の冬期の平均気温から決まる凍害区分と、凍結抑制剤の散布量から、凍害対策の種別が決まる。この種別に基づき決定される目標空気量や水セメント比によること。

上記で示した基本配合を基に、室内試験練りを行い、最終的に覆工の側壁を模した模擬型枠による試験施工等を行って、必要となる流動性、材料分離抵抗性や耐凍害性と、施工管理上必要となる指標等の確認を行うのがよい。

このように模擬型枠で試験施工を行うのは、流動性が確保され、受け入れ検査時の空気量が目標空気量に達していても、硬化コンクリート中にはエントレインドエアがあまり入っておらず、耐凍害性が確保できていない場合が見られるためである。

このような事態を避けるためには、まず空気の保持力の高い配合とする必要がある。しかしこのためには、セメント量、細骨材率、総粉体量、AE剤の種類や量、現地で使用している骨材との関係や、練混ぜから打終わりまでの時間などが複雑に関係し、現状で配合を明示的に示すことが困難な状況にある。

このため、室内試験練りで配合を検討し、実施工に近い状態で模擬型枠による試験施工を行い流動性や耐凍害性の確認をすることにした。

表5-2に室内試験練り時に確認すべき項目、表5-3に模擬型枠を用いた試験施工で確認すべき項目を示した。写真5-1には模擬型枠の形状を示した。また、模擬型枠を用いた試験施工の例を巻末資料の1-3)に示した。なお、冬期間の日平均気温が0℃を上回る凍害区分1の地域など、凍害環境がそれほど厳しくない地域において

は、硬化コンクリート中の空気量を確認する試験の実施について整備局担当課と打合せで決めるものとする。

表5-2 室内試験練りでの確認項目（案）

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

表5-3 模擬型枠による試験施工での確認項目（案）

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

※凍害環境の目安

厳しい：冬期間の日平均気温が0℃を下回る地域（凍害区分2、3の地域）

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

[凍害区分については、東北地方における凍害対策に関する参考資料(案)国土交通省東北地方整備局を参照]



模擬型枠端部に設けた生コンクリートの投入口



センターの側壁部分を模した型枠(幅0.3m、高さ1.5m、長さ5.0m)

写真5-1 模擬型枠の例

エントレンドエアの消失を抑制するためには、施工段階で生コンクリートのバイブレータによる横流し等による過振動を無くす必要がある。このため、流動性の高いコンクリートを採用する場合には、6.1 施工の基本事項の遵守の表 6-1-2 で示した流動性の高いコンクリートを採用する場合の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を使用することを前提に施工計画を定めることを基本とするのがよい。

6. トンネル覆工コンクリートの品質確保

6. 1 施工の基本事項の遵守

- 1) 施工の基本事項を遵守し、均質かつ密実で一体性のあるトンネル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」を活用しなければならない。
- 2) セントル脱型後、「表層目視評価シート」を活用し、コンクリート表層の品質を評価し、必要に応じて施工の改善事項をまとめて、次の施工に反映するように努めなければならない。
- 3) 第三者被害防止の観点から、施工目地部の不具合の防止対策を適切に行わなければならない。

【解説】

従来、覆工コンクリートに求められる品質は強度が中心であったが、覆工コンクリートの耐久性を確保するためには、密実で緻密なコンクリートを施工することが不可欠である。また、東北地方のトンネルでは坑口付近で凍害の発生が確認されているため、良質な空気を硬化コンクリート中に連行する必要がある。

そこで、覆工コンクリートの施工段階において基本事項の遵守を促し、その状況を把握することは、施工由来の不具合を解消するだけでなく、コンクリートの密実性および緻密性を確保する上で極めて重要となる。施工の基本事項の遵守による覆工コンクリートの品質確保は工事を受注した施工者が主体となって行われる行為である。一方、発注者側の監督員（主任監督員または主任監督員が指示した者、以下監督員と記載）が現場に臨場し、適宜施工状況を把握することに加えて、施工後に行うコンクリートの表層目視評価を通じて品質確保のために必要な指摘・改善を行い情報共有することは、発注者と施工者が協働で良質なコンクリートを施工するために有効な行為となる。

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、打設ロット毎に施工の改善事項を明確化し、次の打設ロットの施工を改善することを目的に、施工中に生じる不具合を抑制するために必要な事項をとりまとめた。

特に覆工作業に携わる関係者（覆工作業主任者）と元請け職員とが不具合改善に向けて活用できるシートとしており、次の施工ロットの品質確保につながることを期待される。

1) 施工状況把握チェックシート (表 6-1-1) (表 6-1-2)について

1) -1 施工状況把握チェックシートの改訂理由

施工状況把握チェックシートは、従来打込みを行う日の準備から施工中のチェック項目をまとめたものであったが、施工前にもチェックしておく項目があるため、施工開始前に1回だけ行う施工前のチェック項目を追加し、打込みを行う日の施工中のチェック項目とわけている。また、施工中のチェック項目は、側壁～アーチ部と天端部の打込み方法が異なるため、打込み箇所別にチェック項目をわけている。また、脱枠時のチェック項目も追加している。

今回の改訂で、施工状況把握チェックシートは、以下の2種類を策定している。

表 6-1-1 の施工状況把握チェックシートは、標準配合の普通コンクリートを採用した場合に使用するものである。表 6-1-2 の施工状況把握チェックシートは、側壁からアーチ部の打込み用として延長方向に2箇所の打込み口を設けた型枠を使用する事を前提に、普通コンクリートで流動性の高い配合を採用した場合に使用するものである。

流動性の高い配合を採用した場合に使用する施工状況把握チェックシートの施工前のチェック項目には、流動性等を確認するため、配合のチェック項目を追加している。

今回の施工状況把握チェックシートの構成の改訂概要を図 6-1 に示した。

施工状況把握チェックシートの改訂内容

		構成の変更			
		(現行の変更案) (標準配合を使用)		(流動性の高い配合を使用する場合の変更案)	
(現行)					
施工段階		施工段階		施工段階	
準備工		施工前	打込み方法	施工前	配合
運搬			教育		打込み方法
品質		施工中	準備工		教育
打設			運搬	準備工	
			品質	運搬	
			打込み (側壁～ アーチ)	品質	
			打込み (天端)	打込み (側壁～ アーチ)	
			取外し	打込み (天端)	
			取外し		

赤字:今回新たに追加または修正したチェック項目
 青字:流動性の高い配合を使用する場合のチェック項目

図 6-1 施工状況把握チェックシートの改訂概要

1) -2 施工状況把握チェックシートの目的と特徴

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、施工前および施工中の各段階における基本事項を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、基本事項を遵守した施工を行うことが重要である。なお、施工前のチェックは、施工開始前に1回のみ実施すればよい。

また、施工目地部のうき・はく離・はく落など、第三者被害におよぶ不具合が発生しているため、この不具合を抑制するために必要な事項も記述している。なお、巻末資料-1に「覆工コンクリートの品質確保・施工中に生じる不具合抑制事例」を記述している。

また、表 6-1-1、表 6-1-2 の特記事項(例)の欄では「均質かつ密実で一体性のあるコンクリート」とするための工夫のうち、特記仕様書の記載事項、受注者の創意工夫、技術提案などによるチェック項目を、現場ごとに記述するのがよい。

1) -3 活用時の留意事項

- ・各項目をなぜチェックするのか、また、その項目が出来映えにどのように影響するのかを良く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、表 6-1-1 および表 6-1-2 には各項目をチェックする意味「なぜ（それを）チェックするのか」を記述している。
- ・各項目が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」の欄に示した。なお、「出来映えへの影響」の項目は覆工目視評価の7項目と整合させているので、チェックシートと目視評価シートの関連が分かるようにした。
- ・打込み時において、発注者の監督員と施工者が双方でチェックすることにより、改善すべき事項を明確にすることが目的である。また、発注者と施工者の協働で品質確保を目指すためにも、発注者の監督員は、覆工コンクリートの施工の初期段階から施工状況の把握に努めることが望ましい。
- ・施工者は覆工コンクリートの施工計画書を作成する時に、このチェックシートを参考にして適切な準備を行うものとする。
- ・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、次のロットで施工の改善を図る事が可能となり、施工中に生じる不具合を抑制することができる。

1) -4 覆工コンクリートの密実性・充填性の確保について

覆工コンクリートは、覆工コンクリート特有の打込み方法のため、コンクリートの流動距離が長く、材料分離による均質性の低下や吹上げ打設を行う天端部の充填不良（空洞の発生）が多く発生している。均質性・密実性を確保するために試行されている対策として、下記の3事例を巻末資料-1の中で示した。

- 事例
- 1) アーチ打込み口の増設+天端引抜きバイブレータによる締固め
 - 2) 充填圧管理システムによる天端部の充填管理
 - 3) 流動性の高い配合を使用する場合の模擬型枠試験の実施例

1) -5 取り組み事例の参考

施工計画の立案及び打設前教育等での活用を念頭に、東北地方整備局のホームページでは、施工状況把握チェックシートの内容に沿った覆工コンクリートの打込み事例（標準配合を使用）を動画にまとめ、下記のアドレスに公開している。

<http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/index.html>

検索キーワード：東北地方整備局，道路，施策の紹介

The screenshot shows the homepage of the National Highway Bureau (国土交通省 東北地方整備局 道路部). It features a search bar, navigation tabs for 'Road Traffic Information', 'Introduction of Measures', 'Road Restoration', 'Introduction of Projects', 'Road Information Site', and 'General Learning Corner'. The 'Introduction of Measures' section is active, displaying a list of services including road occupation, ETC smart interchange connections, and bridge drainage plans. A red box highlights the link for 'Reference: Construction Video (Tunnel) (mp4)'.

2) 表層目視評価の方法 (表 6-3) ・表層目視評価シート (表 6-4) について

2) -1 表層目視評価の改訂理由

表層目視評価は、従来の 6 項目の評価から 7 項目の評価に改訂している。これは活用現場から、評価項目の名称と評価の着目点がわかりづらい、項目によっては、着目している現象毎に分けて評価した方がよい、表面気泡を無くそうとして SL 下の側壁の材料分離を助長させるとともに耐凍害性を低下させている恐れがあるなどの意見を受けて変更したものである。

表 6-2 に改訂前と改訂後の評価項目、主な変更理由を記載した。

表 6-2 改訂前と改訂後の評価項目、主な変更理由

改訂前	改訂後	主な変更理由
①はく離	①表面はく離	覆工表面のはく離を評価
②気泡	②気泡	SL～アーチ部の気泡のみを評価
③水はしり・砂すじ	③水はしり・砂すじ	—
④色むら・打重ね線	④色むら	着目している現象毎に分けて評価 天端のみを評価
⑤施工目地不良	⑤打重ね線	着目している現象毎に分けて評価 側壁・アーチを評価
⑥検査窓枠段差	⑥施工目地不良	評価の着目点を明確化
—	⑦ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ	ヒンジ・箱抜き型枠を追加 砂すじからノロ漏れに評価を変更

2) -2 表層目視評価の目的と特徴

表層目視評価法は、脱型後に目視で、①表面はく離②気泡③水はしり・砂すじ④色むら⑤打重ね線⑥施工目地不良⑦ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れの7項目に分けて評価し、各項目に対して4点満点の0.5点刻みで不具合の状態を評価する方法である。

各評価項目の4段階のグレーディングの事例写真を巻末資料-5に示した。

これまで数値で評価されなかった表層状態を7項目4段階グレーディングで定量評価出来ることから、施工方法の妥当性の検証や施工方法改善のためのPDCAに活用することができる。

2) -3 活用時の留意事項

表層目視評価法の活用にあたっては、施工状況把握チェックシートと同様に、生じている不具合とその発生原因を良く理解しておくことが重要である。

表6-3に「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した。さらに、想定される不具合の原因を施工状況把握チェックシート項目と関連させ、次の施工に反映できるようにした。

発注者と施工者の協働で品質確保を目指すためにも、発注者の監督員は、覆工コンクリートの施工の初期段階から、セントル脱型後に表層目視評価シートにより施工中に生じる不具合の程度を確認し、改善が必要な施工中に生じる不具合を施工者と共有することが望ましい。その上で、施工者は不具合の抑制に向けた施工方法の改善を検討することが重要である。

表6-4に示す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、施工中に明らかな不具合が生じたとき、相互に確認するのがよい。

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、元請け職員（覆工担当者）が継続して各ロットの表層目視評価を行うのが望ましい。表層目視評価シートにより覆工コンクリート表面の出来映えを定量的に把握でき、また協力会社と情報共有しお互いに議論する事で、コミュニケーションを活性化させるツールとしても活用ができる。

表6-1-1 トンネル覆工コンクリート施工状況把握シート（標準配合を使用）

事務所名	工事名	トンネル名称		打込み位置		打込み番号		出来映えの影響							第三者被害防止に関する事項			
		受注者	確認者	確認年月日	年	月	日	()	表層目視評価の項目									
									表面はく離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら	打重ね線	施工目地不良		箱抜き型枠のノロ漏		
打込み開始時間	時 分	打込み時坑内温度	°C		パイプレータ台数		台(予備含む)											
打込み終了時間	時 分	打込み作業人員	名		平均打込み量		m³/h											
トラブルによる打込み中断時間	時 分 ~ 時 分	打込み数量	m³		平均打込み量		m³/h											
施工段階	チェック項目		記述	確認	✓点	チェック理由		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦				
施工前	1.側壁から肩（アーチ）の範囲の打込み・締固め方法を計画したか					・横流しによる過度な締固めが要因となる材料分離の発生やエントレインドエアの喪失による耐凍害性の低下を防止する												
打込み方法	2.天端吹上げ方式による打込み範囲の締固め方法を計画したか					・施工に起因する不具合の発生を防止する ・天端部の充填性を確保する												
	3.完成後のコンクリートの収縮・膨張による施工目地部の不具合の抑制方法について計画したか					・施工目地部のコンクリートの付着を防止し、施工目地部のうき、はく離、ひび割れの発生を防止する												
	4.型枠の設置・打込み・脱枠・移動の作業時に既設覆工にひび割れを発生させない対策を計画したか					・施工目地部の施工に起因する不具合を防止する												
	教育		1.覆工従事者に対して、品質確保の取組みの重要性、打込み手順等について周知したか				・発注者・施工者が一体となり品質確保の取り組みを行うことで、施工に起因する不具合の発生を防止する											
	2.監督員と施工状況把握チェックシート・表層目視評価の実施時期について提出したか					・覆工コンクリートの施工状況を把握してPDCAをまわすことで、品質を継続的に向上する。												
施工時	1.打込み範囲の底部に水たまりや結束線の残物はないか					・水たまりによる底部や施工目地部のコンクリートの品質低下やひび割れを防止する												
準備工	2.型枠の設置場所は、数均し良好な地盤で不等沈下の懸念はないか					・不平等沈下による有害なひび割れの発生（半月状・縦断ひび割れ、はく離等）を防止する												
	3.既設コンクリートの施工目地部に、型枠の過度の押し上げによるひび割れはないか					・半月状ひび割れのうき・はく離への進展による第三者被害の発生を防止する												
	4.防水シートのたるみは適当であるか（張りすぎても不適當）					・張りすぎによる背面空洞及び漏水の発生を防止する												
	5.型枠表面状況の確認（ケレン残しは無い）					・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する												
	6.剥離剤の塗布状況の確認（塗布もれは無い）					・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する												
	7.施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか					・目地材の移動による豆板・うき・はく離の発生による第三者被害の発生を防止する												
	8.つま型枠の固定は確実か					・つま型枠の移動等による目地部不良の発生、つま型枠崩壊による打込みの中断を防止する												
	9.箱抜き型枠、型枠ヒンジ部（縦断方向）に加工誤差・設置不良による隙間はないか					・モルタル分の流出による砂すじ・豆板の発生、緻密性の低下を防止する												
	10.鉄筋のかぶり厚は確保されているか、整固に固定されているか					・かぶり不足による耐久性の低下を防止する												
	11.覆工従事者が確認できるよう打重ね高さの管理方法が周知されているか					・打重ね不良（コールドジョイント）の発生を防止する												
	運搬	1.練り混ぜ完了から打込み完了までの時間は適切か					・規定時間を超過した場合の材料分離、スランプ低下、空気量の変動による施工性・品質の低下を防止する											
品質	1.受入検査結果はコンクリートの品質規格を満足しているか					・品質が規格外となった場合は、原因の追究を行い改善する ・水はしり・砂すじ・打重ね線、豆板等が発生し、コンクリートの品質が確保出来ない												
打込み（側壁～アーチ）	1.コンクリートの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					・材料分離による過大な気泡、豆板等の発生及び品質低下を防止する												
	2.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を防止する												
	3.左右対称の高さで打込みをしているか					・偏荷重による型枠変形や押し出しによる施工目地部の不具合の発生を防止する												
	4.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか					・材料分離およびブリーディングの発生を防止する												
	5.締固め時間の管理を実施しているか					・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する ・過度な締固めによる材料分離およびブリーディングの発生を防止する ・打重ね線の発生を防止する												
	6.締固め時のパイプレータと鉄筋の接触により、鉄筋の移動や結束不良によるかぶり不足は発生していないか					・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する ・鉄筋とコンクリートの付着不足を防止する												
	7.つま部のブリーディングやノロの排出は十分に行っているか					・かぶり不足による鉄筋の露出や耐久性の低下を防止する												
	8.打込み口（検査窓）の閉鎖状況（締め付け）は十分か					・施工目地部の強度低下による早期劣化、うき、はく離、はく落を発生する ・段差の発生とノロ漏れによる砂すじ発生、緻密性の低下を防止する												
打込み（天端）	9.天端吹上げ口周囲に打込み当初の残留コンクリートはないか					・色むら、うき、はく離、はく落の発生防止												
	10.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか					・材料分離およびブリーディングの発生を防止する												
	11.肩部との打重ね箇所の締固めは確実に行ったか					・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する												
	12.天端部のブリーディングやノロの排出は十分に行っているか					・ひび割れに発展する打重ね線の発生を防止する												
	13.天端部の締固めは計画通りに実施したか					・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する												
	14.充填確認を行ない打込みを終了したか					・はく離・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する ・背面空洞の発生や密実性の低下を防止する												
取外し	1.型枠の取外しに必要な強度が発現する養生時間（○時間）を厳守して、取外しを行ったか					・コンクリートの強度不足によるはく離を防止する												
※	特記事項	型枠設備																
		配合																
		養生設備																
		運搬																

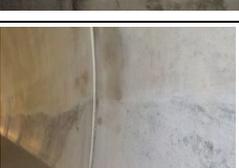
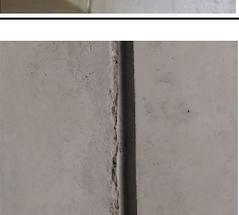
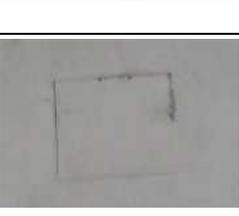
※：特記仕様書、受注者の創意工夫、技術提案等により個別にトンネル毎に定めるものとする

表6-1-2 トンネル覆工コンクリート施工状況把握シート（流動性が高い配合を使用）

事務所名	トンネル名称	工事名	打込み位置	打込み番号	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																			
					表面はく離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら	打重ね線	施工目地不良	抜き型枠のノロ漏れ													
受注者	配合	側壁～アーチ： 天端：	確認者	確認年月日	年	月	日	()																
打込み開始時間	時	分	打込み時坑内温度	°C																				
打込み終了時間	時	分	打込み作業人員	名	パイプレータ台数																			
トラブルによる打込み中断時間	時	分	打込み数量	m ³	平均打込み量																m ³ /h			
施工段階	チェック項目			記述	確認 √点	チェック理由					①	②	③	④	⑤	⑥	⑦							
配合	1.側壁から肩（アーチ）の範囲に使用する場合は、横流しが不要となる流動性と材料分離抵抗性を確保したか					・流動性・材料分離抵抗性を向上したコンクリートの使用により、覆工コンクリート全体の均質性、つま部の密実性を確保する																		
	2.天端範囲に使用する場合は、吹上げ打設方式に適した流動性と材料分離抵抗性を確保したか					・横流しが要因となる、材料分離の発生やエントレインドエアの喪失による耐凍害性の低下を防止する																		
打込み方法	1.側壁から肩（アーチ）の範囲は、延長方向2箇所の打込み口を設置したか					・施工に起因する不具合の発生を防止する																		
	2.天端吹上げ方式による打込み範囲の締固め方法を計画したか					・天端部の充填性を確保する																		
	3.完成後のコンクリートの収縮・膨張による施工目地部の不具合の抑制方法について計画したか					・施工目地部のコンクリートの付着を防止し、施工目地部のうき、はく離、ひび割れの発生を防止する																		
教育	1.覆工従事者に対して、品質確保の取組みの重要性、打込み手順等について周知したか					・発注者・施工者が一体となり品質確保の取組みを行うことで、施工に起因する不具合の発生を防止する																		
	2.監督員と施工状況把握チェックシート・表層目視評価の実施時期について提出したか					・覆工コンクリートの施工状況を把握してPDCAをまわすことで、品質を継続的に向上する。																		
準備工	1.打込み範囲の底部に水たまりや結束線の残物はないか					・水たまりによる底部や施工目地部のコンクリートの品質低下やひび割れを防止する																		
	2.型枠の設置場所は、数均し良好な地盤で不等沈下の懸念はないか					・不等沈下による有害なひび割れの発生（半月状・縦断ひび割れ、はく離等）を防止する																		
	3.既設コンクリートの施工目地部に、型枠の過度の押し上げによるひび割れはないか					・半月状ひび割れのうき・はく離の進展による第三者被害の発生を防止する																		
	4.防水シートのたるみは適当であるか（張りすぎても不相当）					・張りすぎによる背面空洞及び漏水の発生を防止する																		
	5.型枠表面状況の確認（ケレン残しはないか）					・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する																		
	6.剥離剤の塗布状況の確認（塗布もれはないか）					・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する																		
	7.施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか					・目地材の移動による豆板・うき・はく離の発生による第三者被害の発生を防止する																		
	8.つま型枠の固定は確実か					・つま型枠の移動等による目地部不良の発生、つま型枠崩壊による打込みの中断を防止する																		
	9.箱抜き型枠、型枠ヒンジ部（縦断方向）に加工誤差・設置不良による隙間はないか					・モルタル分の流出による砂すじ・豆板の発生、緻密性の低下を防止する																		
	10.鉄筋のかぶり厚は確保されているか、堅固に固定されているか					・かぶり不足による耐久性の低下を防止する																		
	11.覆工従事者が確認できるよう打重ね高さの管理方法が周知されているか					・打重ね不良（コールドジョイント）の発生を防止する																		
運搬	1.練り混ぜ完了から打込み完了までの時間は適切か					・規定時間を超過した場合の材料分離、スランプ低下、空気量の変動による施工性・品質の低下を防止する																		
	2.品質が規格外となった場合は、原因の追究を行い改善する					・品質が規格外となった場合は、原因の追究を行い改善する																		
品質	1.受入検査結果はコンクリートの品質規格を満足しているか					・水はしり・砂すじ・打重ね線、豆板等が発生し、コンクリートの品質が確保出来ない																		
	2.コンクリートの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					・材料分離による過大な気泡、豆板等の発生及び品質低下を防止する																		
打込み（側壁～アーチ）	1.コンクリートの吐出口から打込み面までの高さは50cm以下か					・締固め不足や材料分離を防止する																		
	2.左右対称の高さで打込みをしているか					・偏荷重による型枠変形や押し出しによる施工目地部の不具合の発生を防止する																		
	3.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか					・材料分離およびブリーディングの発生を防止する																		
	4.エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する					・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する																		
	5.締固め時間の管理を実施しているか					・過度な締固めによる材料分離およびブリーディングの発生を防止する																		
	6.打重ね線の発生を防止する					・打重ね線の発生を防止する																		
	7.エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する					・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する																		
打込み（天端）	1.締固め時のパイプレータと鉄筋の接触により、鉄筋の移動や結束不良によるかぶり不足は発生していないか					・かぶり不足による鉄筋の露出や耐久性の低下を防止する																		
	2.つま部のブリーディングやノロ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、はく落を発生する																		
	3.打込み口（検査窓）の閉鎖状況（締め付け）は十分か					・段差の発生とノロ漏れによる砂すじ発生、緻密性の低下を防止する																		
	4.天端吹上げ口周囲に打込み当初の残留コンクリートはないか					・色むら、うき、はく離、はく落の発生防止																		
	5.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか					・材料分離およびブリーディングの発生を防止する																		
	6.エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する					・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する																		
	7.ひび割れに発展する打重ね線の発生を防止する					・ひび割れに発展する打重ね線の発生を防止する																		
取外し	1.水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する					・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する																		
	2.はく離・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する					・はく離・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する																		
※	特記事項	1.型枠の取外しに必要な強度が発現する養生時間（○時間）を厳守して、取外しを行ったか					・コンクリートの強度不足によるはく離を防止する																	
		型枠設備																						
		配合																						
		養生設備																						
		運搬																						

※： 特記仕様書、受注者の創意工夫、技術提案等により個別にトンネル毎に定めるものとする

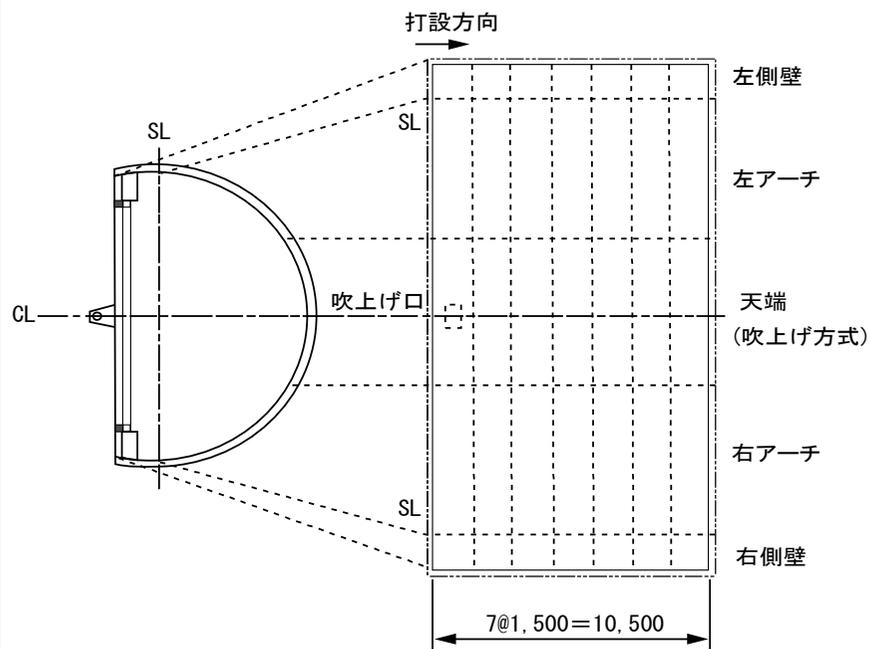
表6-3 トンネル覆工コンクリート表層目視評価の方法

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 表面はく離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m ² 程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる	準備-5	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する(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する(不具合時は作業員の再教育)
						打込み-1, 5	打込み方法	・打込み方法を改善し、コンクリートの材料分離を防止する
						打込み-9	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
						打込み-13	締固め方法	・天端のコンクリート締固め方法を改善する
② 気泡 (アーチの1.5m×1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる	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及を行い、是正する
						打込み-1	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出来るだけ小さくする
						準備-11 打込み-2	1層の打込み高さ	・1層の打込み高さを管理し、適切な締固めで巻き込み空気を除去する(かけ過ぎは避ける)
						打込み-3	左右対称の打込み	・打込み用の配管切り替え手順をあらかじめ決めておく(余振り、箱抜きの有無考慮)
						打込み-4, 5	打込み・締固め方法	・バイブレータによる締固め方法・締固め時間を改善する(かけ過ぎは避ける)
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で見られる	準備工-9	箱抜き型枠の加工誤差 セントルヒンジ部の隙間	・型枠加工精度を上げて、型枠との隙間を無くする及び型枠との固定を確実にする ・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する(特にスランプ大の場合発生)
						打込み-2	1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)
						打込み-4, 5, 10	打込み・締固め方法	・バイブレータによる締固め方法・締固め時間を改善する(かけ過ぎは避ける)
						打込み-7, 12	ブリーディング水等の排出	・排出方法(パンチング型枠等の使用)や排出頻度を改善する
④ 色むら (天端のみ評価)		ほぼ無し	天端の1/10程度に見られる	天端の1/2程度にみられる	2点の状態以上に広範囲で見られる	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する(不具合時は作業員の再教育)
						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を均一に塗布する ・施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育)
						運搬-1	一定間隔の打込み	・打重ね時間を一定間隔にとし、中断時間が発生しないように打込む
						打込み-12	ブリーディング水等の排出	・排出方法(パンチング型枠等の使用)や排出頻度を改善する
						打込み-13	締固め方法	・天端のコンクリート締固め方法を改善する
⑤ 打重ね線 (側壁・アーチを評価)		規則的(50cm間隔で水平な打重ね線)な打重ね線が見られる、もしくは打重ね線が見られない	不規則な打重ね線が調査対象範囲の1/5程度に見られる	不規則な打重ね線が調査対象範囲の1/2程度に見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる	準備-11 打込み-2, 3	1層の打込み高さ	・1層の打込み高さを管理し、下層コンクリートにバイブレータを10cm程度挿入し適切な締固めを行う
						運搬-1	一定間隔の打込み	・打重ね時間を一定間隔にとし、中断時間が発生しないように打込む
						品質-1	生コンの規格を満足か	・規格外の生コンは廃棄する
						打込み-11	打重ね時間	・肩(アーチ)から天端吹上げ方式への移行は迅速に行い、可能な限り打重ね時間を短縮する
⑥ 施工目地不良		無し	側壁・アーチの1/10程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁・アーチの1/3程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁・アーチの全体、もしくは天端範囲に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	準備-1	打込み箇所底部の清掃	・施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育)
						準備-2	堅硬な地盤	・不等沈下防止対策を講ずる
						準備-3	型枠の設置・脱枠・移動の管理	・型枠の設置・脱枠・移動時の手順について再確認する
						準備-7, 8	目地材・つま型枠の固定不足	・固定方法の改善、固定状況を打込み前に再確認する
						準備-11 打込み-2, 3	1層の打込み高さ	・1層の打込み高さを管理し、下層コンクリートにバイブレータを10cm程度挿入し適切な締固めを行う
⑦ ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ		無し	1箇所程度見られる	2~3箇所見られる	3箇所を越える箇所に発生 段差がある	準備-9	箱抜き型枠の加工誤差 セントルヒンジ部の隙間	・型枠加工精度を上げて、型枠との隙間を無くする及び型枠との固定を確実にする ・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
						打込み-8	検査窓の固定不足 検査窓の隙間	・ハンマー打撃で固定ピンを叩いて確実に挿入する、検査窓にバイブレータを当てて締固めを行わない ・型枠本体と検査窓に隙間がある場合、検査窓周囲に輪ゴム(例:長さ50cm、厚さ1mm、幅6mm)を設置

※評価点は中間点も可とする。

表6-4 トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

工事名	国道〇号 〇〇〇トンネル工事	打込み番号	〇 BL	スパン長(m)	10.5	打込み回数	〇	調査者	〇〇 〇〇
トンネル名称	〇〇〇トンネル	測点	自	P=	打込み日		初期養生終了日	確認者	〇〇 〇〇
			至	P=	脱型日		調査日		
配合	〇-〇-〇 BB	セントル 打設システム等				養生の工夫等			



目視調査項目

項目	表面剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら	打重ね線	施工目地不良	ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ	点数計	
	記号	h	a	s	i	u	m		d
位置	左側壁	4.0	/	3.0	/	3.0	4.0	4.0	18.0
	左アーチ	3.0	3.0	3.0	/	3.0	4.0	3.0	19.0
	天端*	2.0	/	3.5	2.0	/	4.0	3.0	14.5
	右アーチ	3.0	3.5	3.0	/	3.0	3.0	3.0	18.5
	右側壁	4.0	/	3.0	/	3.0	3.0	4.0	17.0
点数平均	3.20	3.25	3.10	2.00	3.00	3.60	3.40	87.0	

注) 評価点は4段階(4~1)中間点も可とする

天端*: 天端は吹上げ方式による打込み範囲

左右: 打設進行方向に対して

スパン点 21.6

(満点28点)

打込み毎の表層目視評価に対する改善検討・対策を行いP D C Aを廻すことが重要

◆全体記事

結果の総評を記載

◆改善策(施工状況把握チェックシートの関連性を記載)

施工方法の改善点を記載

■調査時期: 脱型直後から初期養生開始前にかけて実施

■調査方法: 天端部からアーチ、側壁へと覆工表面を目視調査



写真 6-1 表層目視評価勉強会の状況

・表層目視評価シートにおける評価点の基準

「4点」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点」現場で達成しうる平均的な品質

「2点」明らかに改善の余地がある状態

「1点」2点より劣る状態

表層目視評価シートは、検査ではなく目視によりコンクリート品質を定量的に評価し、品質の向上に活用するためのものである。補修を必要とする不適合な品質は対象外とし、発生した場合は別途対策を講じる必要がある。

表層目視評価では、コンクリートの表面に生じる不具合を項目に分けて定量的に評価する。項目に分けることで、定量的な評価が可能になる。不具合ごとに原因は異なり、原因を分析して次回の施工方法の改善につなげることが重要である。そのため、項目別に分けた評価点を安易に合計すると、表層目視評価法の特長が発揮されない可能性もあるので留意が必要である。

2) -4 評価項目毎の留意事項

各評価項目毎に評価時の着目点や発生原因について以下に述べる。

①表面はく離

覆工表面のモルタルや粗骨材のはく離の範囲と程度で評価する。

覆工コンクリートに表面はく離が生じる原因は、主に以下の2点である。

i) セントル表面と覆工コンクリートの付着の増大

一般的に覆工コンクリートは、打込み翌日の若材令で脱枠する。このため、セントル表面のケレンが十分ではない、剥離剤の塗布にばらつきがある、あるいはセントル表面に残コンなどの異物が付着している等が原因で、セントル表面と覆工コンクリートの付着が大きくなり、若材令での脱枠によって、表面のモルタルや粗骨材の表面はく離を起こす場合。

ii) 冬期など低温期間における養生時間不足

覆工コンクリート天端部妻側の打込み箇所は、打込みの最後にコンクリートの打込みが完了するため、他の部分に比べて養生期間が最も短くなる。冬期などの低温期間では、セメントの水和反応もゆっくり進むため、わずかな養生時間の差による強度不足によって、覆工コンクリート天端部妻側に表面はく離が生じる場合。

このように表面はく離には、発生原因によって、発生部位が異なる傾向があるため、表面はく離の範囲と程度で評価を行いつつ、発生原因を追究してから対策を行うのがよい。

②気泡

SL から上のアーチ部で 1.5m×1.0m の範囲で、気泡の大きさや発生範囲で評価する。

覆工コンクリートの表面に比較的大きな気泡が残る原因は、主に以下の2点である。

i) 巻き込みエアの影響

コンクリートの打込み高さが高いため、巻き込みエアが多く入り、除去できなかった場合

ii) 締固め不足

バイブレータによる締固めが不十分な場合

SLから上のアーチ部は、覆工コンクリートがトンネル内空に傾き始める部位である。このため、適切に締固めを行えば、気泡は地山側に浮きがり、大きな気泡は通常見られない。

しかしながら、この部位に比較的大きな気泡が見られる場合は、締固めが不十分である可能性が高いため、気泡の評価範囲に定めた。

天端部は、気泡が地山側に浮き上がるため、評価対象範囲から除外している。また、SL下の側壁も評価対象から除外した。これは、側壁部の形状がアーチ部とは逆になっており、締固めにより気泡が内面側（型枠側）に浮き上がる傾向がある。この気泡を除くために長時間バイブレータを使用すると凍害に有効なエントレインドエアがコンクリート中に残留しないことになる。このため、側壁部の締固めは、適切なバイブレータの締固め時間で終了し、気泡の残留は容認することとした。

容認によりSL下の側壁に気泡が残留しやすくなるため、緻密性の向上と防汚を行う目的で写真6-2に示すようなビニールシート等を用いた長期養生を行うことが望ましい。



写真6-2 SL下の側壁のビニールシートを用いた長期養生の事例

③水はしり・砂すじ

覆工表面の水はしりの模様や砂すじの範囲と程度で評価する。

覆工表面に水はしり・砂すじが発生する原因は、主に以下の3点である。

i) 滞留したブリーディング水の影響

打込みが水平ではなく、低い箇所に滞留したブリーディング水を除去せずに次の層を打重ねた場合。一層の打込み高さが高く、しかも急速に打込んだため、ブリーディング水が上昇しきる前に次の層を打重ねた場合。妻部からのブリーディング水の排出が適切ではない場合。

ii) ノロ漏れの影響

型枠の隙間（検査窓枠、側壁型枠とアーチ型枠の接合部）にノロ漏れが生じ、そこにブリーディング水が集まって、水はしりや砂すじが生じる場合

iii) 締固め方法の影響

ブリーディング水を排出できるような適切な締固めを行わない場合

④色むら

天端の範囲の覆工表面の色むらの範囲と程度で評価する。

覆工表面に色むらが生じる原因は、主に以下の3点である。

i) 打込み時間の差による影響

打込み箇所の切り替え等で発生する打込み時間の差により、硬化の程度が異なるコンクリートを打重ねた場合

ii) 性状の異なるコンクリートの締固め不足

ブリーディング水やノロの排出が不十分で、性状の異なるコンクリートを打重ね、締固めも不適切な場合

iii) 剥離剤の影響

剥離剤の種類や塗布状況（塗布量・均一性）によって色むらが出る場合

表面はく離は、主に型枠と覆工コンクリートの付着によって生じる現象であるが、色むらは、主に硬化の状態や性状の異なるコンクリートを打重ね、それを一体化するように締固めを行わなかった場合、あるいは剥離剤の影響により生じる現象である。このため、表面はく離は、冬期の養生不足により天端部妻側に発生しやすく、それ以外は、セントル表面のケレン不足や不適切な剥離剤の塗布によって生じるため、発生場所がその都度異なる傾向がある。

一方、色むらは、硬化の状態や性状の異なるコンクリートの打重ねによりコンクリートが流動した形が色むらとして発生する場合、もしくは剥離剤と面板の材質との適合性や塗布状況（塗布量・均一性）が原因で発生する場合がある。このため、打込みの状況を把握し、継続的に改善する必要がある。

側壁やアーチに発生する色むらは、水はしりや砂すじ、打ち重ね線との評価区別が難しいため、色むらは天端のみを評価することとした。

⑤打重ね線

側壁からアーチ部の打重ね線の水平性、1層の厚さ 50cm の管理、上下層の一体性で評価する。

側壁からアーチ部に打重ね線が発生する原因は、以下の3点である。

i) 不適切な打込み管理

各層を水平に打込まず、層厚を管理していない場合

ii) 不適切な締固め管理

打重ね箇所の締固めが不適切な場合

iii) 打込み時間差による影響

打込み時間差により、先に打込んだコンクリートが硬化を開始し、打重ね箇所の一体性が確保できない場合

打重ね箇所が水平に管理されていない場合、低い部分にブリーディング水が集中し、次層を打重ねる際に、一体性を確保できない。また、各層の厚さが不均一の場合は、バイレータの振動が下層まで届かずに、打重ね箇所の一体性が確保できない。アーチから天端範囲に移行する際は、吹上げ方式への段取り替えに時間を要するため、打重ねまでの時間が長くなるため、可能な限り打重ね間隔を短くするようにすべきである。

以上から、打重ね線の評価にあたっては、打重ね線が明瞭であるかを判断するのではなく、打込み管理と締固め管理に着目した評価を行うとよい。

天端の吹き上げ方式による打込みは、コンクリートの打重ね管理が難しいため、打重ね線の評価は、側壁からアーチについて行うこととした。

⑥施工目地不良

施工目地部の目地材の設置不良等による、施工目地部の曲がり、ひび割れ、角かけ、ノロ漏れの発生範囲の程度で評価する。

施工目地不良は、目地材の曲がりに起因するものと、ひび割れ、角欠け、ノロ漏れなど、目地部が弱部となって発生するものがあり、その両方を合わせて評価している。

施工目地不良が発生する原因は、以下の6点である。

i) 目地材の固定不良

目地材の固定不良により、打込み中に目地材が移動した場合

ii) 目地部への異物等の混入

目地部の清掃不足などによって、異物が混入し残留した場合

iii) セントルの不等沈下

施工地盤の地耐力不足等により、打込み時に型枠が不等沈下が生じた時に目地材も同時に沈下した場合、型枠の不等沈下により、既設側覆工コンクリートの施工目地部に外力が作用した場合

iv) セントルの設置、脱枠、移動時の施工管理不足

セントルの設置作業等の施工管理が不適切で、既設側覆工コンクリートの施工目地部に外力が作用した場合

v) ブリージング水の排出不足

妻側の目地部に集中するブリージング水の排出が不十分で、施工目地部周辺のコンクリートの密実性が低下した場合

vi) 目地部周辺の締固め不足

目地部周辺の締固め方法が不適切で、施工目地部が弱部となる場合

⑦ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ

型枠のヒンジ部、検査窓枠および箱抜き型枠のノロ漏れの程度で評価する。また、検査窓枠については、段差も評価する。

ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れの主な発生原因は、以下の3点である。

i) 型枠のヒンジ部の隙間の影響

型枠のヒンジ部に隙間が生じている場合

ii) 検査窓の隙間の影響

検査窓の閉塞不良などで隙間が生じている場合

iii) 箱抜き型枠とセントルに生じた隙間の影響

箱抜き型枠とセントルとの間に隙間が生じている場合、打込み時のコンクリート自重による型枠の変形やずれにより、隙間が生じる場合

2) -5 表層目視評価の効果

図 6-3 は実際のトンネルにおける表層目視評価の結果をグラフ化した例である。目視評価の結果、次のロットで施工が改善されていけば、通常、覆工打設初期に比較し打設後半は品質が改善され安定した状況となる場合が多い。ものであるが、覆工打設初期に比較し打設後半は品質が改善され安定した状況が確認できる。

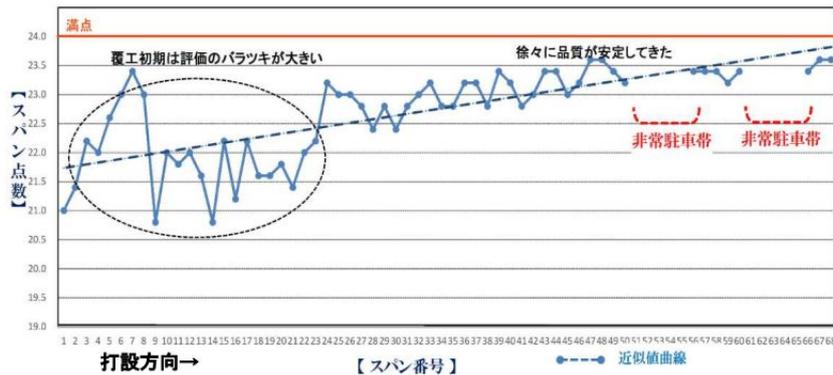


図 6-3 表層目視評価の記入例（評価項目数が 6 項目の場合）

2) -6 表層目視評価シートの記載

図 6-4 は表層目視評価シートの記載例であるが、出来映えのコメント、考えられる原因などのコメントを具体的に残すことが次の打込みでの改善に向けての第一歩となる。

トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート									
工事名	国道〇号 〇〇〇トンネル工事	打込み番号	〇 BL	スパン長(m)	10.5	打込み回数	〇	調査者	〇〇 〇〇
トンネル名称	〇〇〇トンネル	測点	目 至	P=	打込み日	初期養生終了日		確認者	〇〇 〇〇
配合	〇-〇-〇 BB	センター打設システム等				養生の工夫等			

項目	目視調査項目						施工目地不良	ピンシ-接着剤等付着の発生	点数計
	表面剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら	打重ね線	施工目地不良			
記号	h	a	s	i	u	m	d		
左側壁	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	18.0
左アーチ	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	19.0
天端*	2.0	3.5	3.5	2.0	4.0	3.0	4.0	3.0	14.5
右アーチ	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	18.5
右側壁	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	17.0
点数平均	3.20	3.25	3.10	2.00	3.00	3.60	3.40	3.40	87.0

注) 評価点は4段階(4~1)中間点も可とする
 天端*: 天端は吹上げ方式による打込み範囲
 左右: 打設進行方向に対して (満点26点)

打込み毎の表層目視評価に対する改善検討・対策を行いP D C Aを廻すことが重要

◆全体記事

結果の総評を記載

◆改善策(施工状況把握チェックシートとの関連性を記載)

施工方法の改善点を記載

スパン点 21.6

図 6-4 表層目視評価シートの記載例

3) 施工目地部の不具合の防止対策（事例）について

覆工コンクリートの施工目地部に生じる不具合について、トンネル点検のデータを分析した結果（図 1-14）、施工目地部にうき・はく離・はく落が多く発生していることが分かった。また、施工状況把握チェックシートと目視評価シートを活用して適切な施工がなされたトンネルにおいても、施工目地部のうき・はく離・はく落が根絶できていなかったため、適切な施工に加えて、施工目地部の不具合を防止する対策を講じることが望ましい。施工目地部の不具合を防止するために試行されている対策として、下記の4事例を巻末資料-1の中で示した。なお、各対策の効果については、検証を進めて行く必要がある。

- 事例
- 4) つま板へのパンチングメタル設置（ブリーディングの積極的な排出）
 - 5) 施工目地の平滑化
 - 6) 移動式型枠の過度な押し上げの防止
 - 7) 打設時間管理表による打込み管理

6. 2 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) 養生の効果を把握するため、緻密性を適切に評価できる「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になる。コンクリートは、適切な養生により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、そのコンクリートが本来もっている能力を十分に引き出せることになる。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。

現在、トンネル覆工コンクリートにおいて、養生期間と緻密性の関係を明瞭に示すデータは多くはないが、適切に養生を行うことで、緻密性が高まるデータが得られてきている。

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低下を抑制する養生、貫通後の施工においては通風により温度、湿度が低下することを抑制するための通風の遮断や保温養生を、必要に応じて行うのがよい。

また坑口部の覆工コンクリートは、凍害および凍結抑制剤の散布による塩害が発生しやすい環境下にある。

覆工コンクリートは一般的に $2\sim 3\text{N}/\text{mm}^2$ が発現する12~20時間で脱型をしている事例が多い。しかし、特に坑口部分は気候の影響を受けやすく、十分な耐久性を得ることを目的にコンクリートの緻密性を向上するために、坑口部の約20mにおいて型枠の存置を7日以上行うことを、東北地方整備局では推奨している。

型枠を1週間存置した場合は、標準の18時間程度で脱型した場合に比較して、コンクリート表層部の緻密性が向上した結果が得られている。

図6-6の表層透気試験の結果からは、7日養生の方が透気抵抗性のグレードが向上している。

また、表面吸水試験の結果（図 6-7）からも同様に吸水抵抗性のグレードが向上している

1週間養生（7日）の効果確認



図 6-5 表層透気試験と表面吸水試験を実施した位置



図 6-6 表層透気試験の結果

吸水抵抗値評価

良	一般	劣
<0.25	0.25~0.5	0.5<

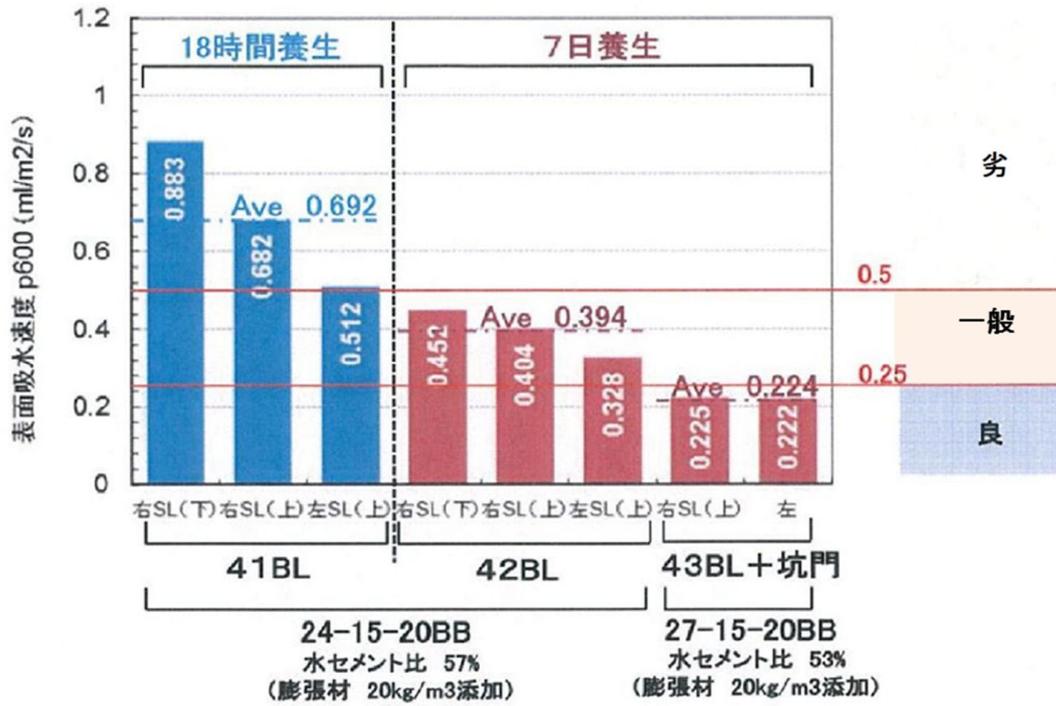


図 6-7 表面吸水試験の結果

表 6-5 表層透気試験・表面吸水試験結果

配合 24-15-20BB (膨張材)

	18時間養生		7日養生	
	表層透気試験 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	2.30	劣	0.31
表面吸水試験 ($\text{ml}/\text{m}^2/\text{s}$)	0.692	劣	0.394	一般

標準的な 18 時間で脱型した場合に比べて、1 週間型枠を存置した場合には、コンクリート表層部の緻密性が向上したことを確認できた。コンクリートの凍害や、凍結抑制剤による塩害などに対する抵抗性が向上したと考えられる。

また、NEXCO の覆工コンクリートの養生例として以下の記述がある。

「覆工コンクリートの養生は、給水、水分逸散防止、封緘及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 時間以内を実施する。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。」

セントル養生期間を 7 日間とする場合、ひび割れ発生に対する配慮が必要と考えられる。トンネル横断方向（周方向）の収縮変形をセントルが拘束して引張応力が発生し、ひび割れ発生を誘発する恐れもある。セントルを 2 日程度で若干緩める（約 2mm 程度のダウン）のが望ましい。この程度のわずかなジャッキダウンでは、セントルとコンクリート間の通風はほとんど生じないと考えられる。

① 養生の事例

（i）保温・加湿（湿潤）・保湿養生の例



写真 6-3 保温・加湿（湿潤）養生



写真 6-4 保湿養生（側壁部の長期養生）

(ii) セントル全体を保温養生する例

目的：脱型時のコンクリートはく離の防止及び初期材令時の強度の向上



写真 6-5 保温養生（移動型枠全体を覆う）

② 養生の留意事項

(i) 養生移行時の留意事項

脱型後は、コンクリートの表面が乾燥する前に封緘養生や湿潤養生に移行する事が望ましい。これは脱型から追加養生の開始までの期間が長いとコンクリート表面に乾燥した空気にあたることにより、コンクリートの収縮が促進され、表面に微細なひび割れ（亀甲状など）が発生する恐れがあるためである。

コンクリート表面に微細なひび割れが発生すると、水分や湿気が侵入し他の部分より劣化が早まる。また、表面が乾燥した後に追加養生として封緘養生を行っても、水和に必要な水分が不足するので、コンクリート表層の水和反応が進まず養生の効果を大きく損なう恐れがある。

2) について

① 緻密性の評価に使用する非破壊試験手法

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、「表層透気試験」や「表面吸水試験」などで評価を行うことが望ましい。

表層透気試験、表面吸水試験は、試験の実施方法として

- ① 工事のなかで、費用を計上して行う方法
- ② 試験そのものをコンサルタントなどに外注する方法
- ③ 東北技術事務所に試験を依頼する方法などが考えられる。

ただし、表層透気試験、表面吸水試験を行える施工者やコンサルタントは限られており、当面は東北技術事務所に依頼することを基本とするのが良い。

② 各種非破壊試験の活用上の留意事項

(i) 表層透気試験

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、その後吸引を停止し、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。

試験結果はコンクリートの含水率に影響を受けることが知られている。付属の含水計（Tramex、Concrete Encounter CMEX II）で計測したコンクリートの含水率 5.5%以下であることを確認した上で計測する事が必要である。表層透気試験係数と合わせて含水率も施工記録に残すのが良い。計測は材令 28 日程度以降で行うことが望ましい。材令が十分に経過した場合でも、夏期間では屋外と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ので、含水計による含水率の計測が必要である。



写真 6-6 表層透気試験状況

測定箇所を選定する際には、測定がコンクリート表面の微細なひび割れ、打重ね線などの影響を受けることも考慮に入れる必要がある。また同一箇所でも時間間隔を開けずに繰り返して行くと、二度目には表層透気係数が小さく測定されることが知られている。

測定は複数箇所で行い、品質のばらつきを知るためにも、平均値ではなく計測結果全てを記録に残しておくのが良い。本手引きで対象とするコンクリート構造物の表層コンクリートの緻密性の目安を表 6-6 に示す。

(ii) 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、コンクリート表面における吸水速度を、時々刻々算出する手法である。



写真 6-7 天端部分の表面吸水試験



写真 6-8 側壁部分の表面吸水試験

SWAT はコンクリートの含水率に影響を受けることが知られている。測定箇所の含水率を市販の含水計 (Tramex、Concrete Encounter CMEX II) で計測し、含水率が 5.5%以下で計測することを推奨している。その他の市販の含水計 (Kett、コンクリート・モルタル水分計 HI-520) でも計測し、表面吸水試験の結果とともに残しておくのが良い。計測は材齢 28 日程度以降で行うことが望ましい。

材齢が十分に経過した場合でも天候に左右されるので、含水計による含水率の計測が必要である。測定は複数箇所で行い品質のばらつきを知るためにも平均値でなく、計測結果全てを記録に残しておくのが良い。SWAT の計測に使用する水温と、吸水カップ・シリンダなどの水の触れる機材の温度が大きく異なると、計測結果に影響を及ぼすことが解っている。あらかじめ吸置きした水を計測に用い、本計測を行う前の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のが良い。鉛直・傾斜壁面、床面の上下面など測定面の計測角度が測定結果に影響を及ぼすことはないと考えて良い。

本手引きで対象とするコンクリート構造物の表層コンクリートの緻密性の目安を表 4-5 に示す。

(iii) 表層コンクリートの緻密性評価の目安

コンクリート構造物が十分な耐久性を発揮するために必要な、初期品質としての表層コンクリートの緻密性は十分に明らかにはされていない。しかし施工の基本事項が遵守され、適切に養生された構造物の表層品質を計測した結果の蓄積に基づき、緻密性を評価する各指標の目安を表 6-6 に示す。この目安は、水がかりの無い安定した含水条件における測定数値である。

表 6-6 本手引きで対象とするコンクリート構造物の表層コンクリートの緻密性の各指標の目安

表層透気係数 (KT) ($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)	表面吸水速度 : p_{600} ($\text{ ml/m}^2/\text{ s}$)
1 以下 (Grade3 以上)	0.5 以下

※材齢 28 日程度以降に試験を行い、セメントの種類は問わない

表層透気係数 : 図 6-6 参照

表面吸水速度 : 図 6-7 参照

(iv) 施工記録に残しておくべき事項

以下の情報を施工記録とともに残しておくのが良い。

- ・ 打設日、計測日時、天気、気温、湿度、測定者
- ・ 覆工コンクリートの測定箇所（天端、肩部、側壁）と計測時の材齢
- ・ 養生条件、型枠の取外しの材齢
- ・ 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
- ・ 表層透気試験の場合 : 表層透気係数、測定深さ
- ・ 表面吸水試験の場合 : 表面吸水速度 (p_{600})、10 分間の総吸水量
- ・ 備考（測定箇所の特徴など気づいたこと）

7. ひび割れ抑制対策の基本

- 1) ひび割れ抑制対策は、施工段階で品質が確保されていることが前提である。
- 2) 施工段階で品質が確保されても、ひび割れの発生が懸念される場合には、第三者被害や材料劣化を考慮して、対策の要否を検討することが望ましい。
- 3) ひび割れ抑制対策を行っても、施工後にひび割れが発生した場合には、措置の有無の判断を行い、必要に応じて適切な措置を行うことが望ましい。

【解説】

1) について

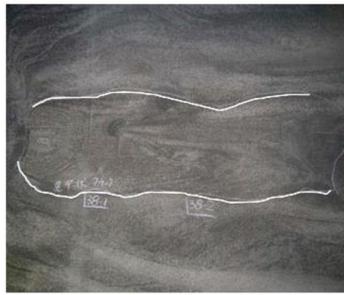
施工前に覆工コンクリートにひび割れが入るかどうかを解析により検討する場合、解析上のコンクリートは、施工中に生じる不具合等がないものを想定している。これは、施工段階で品質が確保されていることを前提にして解析を行っていることを示している。

トンネルの覆工コンクリートに確認されている主なひび割れを写真 7-1 に、発生部位および発生原因をまとめたものを表 7-1 に示す。発生理由が特にトンネルに特有のものを挙げて以下に説明する。

⑥の天端の亀甲状のひび割れは、流動性を求め、単位水量の大きいコンクリートを打設したことにより発生しており、乾燥収縮ひび割れに分類される。一方、亀甲状ひび割れが局所的に発生する事例もある。これは他の部分に比べてひび割れ発生箇所のモルタル分が多いなど、不均質なコンクリートとなった施工上の原因もあると考えられ、不適切な施工によるひび割れにも分類している。⑦の天端の縦断方向ひび割れは、設計覆工厚は確保されているものの、天端頂部の覆工厚が相対的に薄い、あるいは天端頂部に充填不良箇所が点在することなどが発生原因であると考えられ、不適切な施工によるひび割れに分類した。一方、品質確保がなされた覆工コンクリートであっても、富配合のコンクリートを使用したことにより、早期に乾燥収縮が生じてひび割れに進展した事例もあり、乾燥収縮にも分類している。



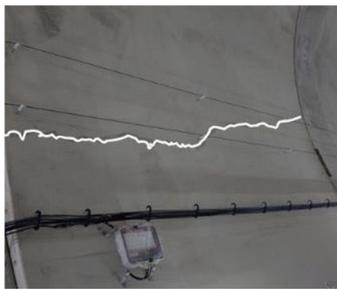
①打重ね線に沿ったひび割れ



②縞模様に沿ったひび割れ



③吹上げ口付近のひび割れ
またはコールドジョイント



④アーチ部と吹上げ施工部
との境界のひび割れ



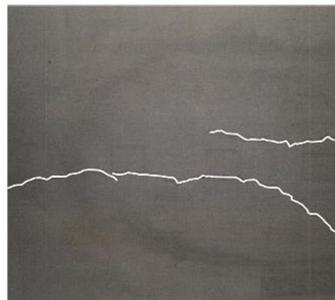
⑤セントルの押し当てに
よる半月状のひび割れ



⑥亀甲状のひび割れ



⑦天端部の縦断方向ひび割れ
(施工由来)



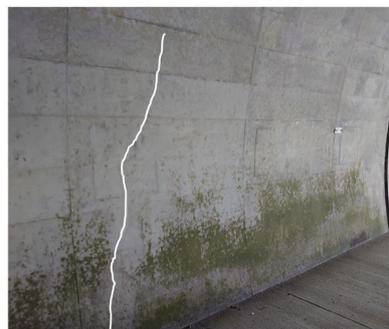
⑦天端部の縦断方向ひび割れ
(乾燥収縮)



⑧施工目地部の半月状
ひび割れ



⑨目地内、目地周辺の
ひび割れ



⑩横断方向ひび割れ

なお、この手引きでは、地山の変状によるひび割れは対象外としている。

表 7-1 に示す通り、覆工コンクリートに確認されている主なひび割れのほとんどが、不適切な施工によって生じていることがわかる。このことは、適切な施工がなされ、品質確保がなされれば、いわゆる不適切な施工由来のひび割れがほぼ抑制できることを示しており、覆工コンクリートの品質確保がひび割れ抑制対策を行う上での前提条件であることがわかる。

解析結果を評価する場合でも、不適切な施工方法に起因するひび割れは発生しない前提であることを認識する必要がある。

表 7-1 覆工に生じる主なひび割れと発生部位および発生原因状

ひび割れ発生原因	ひび割れ発生部位				備考
	SL下の側壁部	アーチ部	天端部	施工目地部	
不適切な施工	①打重ね線に沿ったひび割れ	①打重ね線に沿ったひび割れ	②縞模様に沿ったひび割れ		適切に施工され、品質が確保されれば、発生が抑制可能なひび割れ
			③吹上げ口付近のひび割れまたはコールドジョイント		
		④吹上げ施工部との境界に生じたひび割れまたはコールドジョイント	⑤セントルの押し当てによる半月状のひび割れ		
			⑥亀甲状のひび割れ		
			⑦縦断方向ひび割れ		
				⑧半月状のひび割れ	
乾燥収縮			⑥亀甲状のひび割れ ⑦縦断方向ひび割れ		対策を実施しないと発生を抑制することが難しいひび割れ
温湿度の変化			⑨目地内、目地周辺のひび割れ		
温度応力	⑩横断方向ひび割れ				

2) について

一方、覆工コンクリートの品質確保がなされていても、適切な対策を行わないと発生してしまう恐れのある、施工目地内・周辺ひび割れやSL下の側壁部のインバート拘束による温度応力ひび割れがあることがわかる。

このように、ひび割れ抑制対策を適切に行うためには、図7-1のフローに示すように、覆工コンクリートの品質確保によって、まず不適切な施工によるひび割れを抑制した上で、品質が確保されていても発生するひび割れがあるか検討し、そのひび割れが発生した場合、第三者被害や将来的に材料劣化に進展する可能性を考慮した上で、対策の要否を検討することが望ましい。

ひび割れが発生する恐れがあるからと言って、そのひび割れが発生した場合の第三者被害や材料劣化の可能性を考慮せずに、ひび割れ抑制対策の検討を始めると、往々にして過剰なひび割れ抑制対策となる場合があるので注意が必要である。

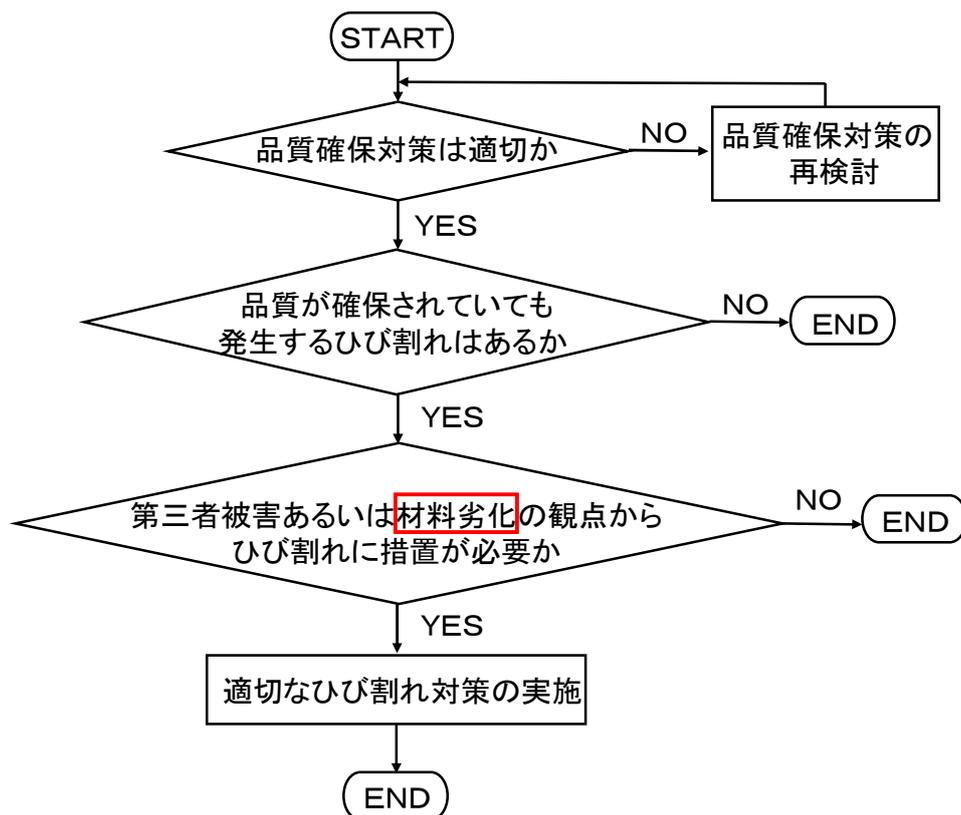


図7-1 覆工コンクリートに生じるひび割れ対策の検討フローの例

3) について

不適切な施工を極力排除して品質確保を目指しても、完璧な施工は難しく、施工に起因したひび割れは発生する可能性がある。また、側壁のインバート拘束による温度応力ひび割れの抑制対策を行っても、打設日の気温が想定よりも高くなるなどの理由で、ひび割れが入ってしまう場合がある。

トンネルの覆工コンクリートの場合、ひび割れが発生したからと言って直ちに措置が必要となるわけではない。措置が必要と判断されるのは、ひび割れによって第三者被害が発生する恐れのある場合、あるいはひび割れによってそこから劣化因子が入り込み他の材料劣化等を誘発する恐れのある場合である。

例えば、側壁にインバート拘束による横断方向の温度応力ひび割れが発生したとしても、このひび割れ単独では、第三者被害が発生する恐れはほとんど無い。また、このひび割れは、路面から高さ3m程度までの範囲内で発生しており、第三者被害の影響範囲外に生じている場合が多い。

側壁にインバート拘束による温度応力ひび割れが発生しても、漏水もなく、凍結抑制剤の散布影響区間でなければ、コンクリート内部に塩害などの材料劣化を引き起こす恐れは無いため、機能上はなんら問題はないと考えられる。凍結抑制剤の散布影響区間であってコンクリート内部に鋼材があれば、ひび割れを埋めて、予防保全的に塩害の発生を抑制することが望ましい。このような考え方を表7-2に示した。

このように、予めひび割れ抑制対策を行っても、ひび割れが発生するリスクは無くないため、ひび割れが発生した場合には、ひび割れの発生状況や発生部位、環境要因などを勘案して、措置の必要性を判断して、必要があれば適切な措置を行うことが望ましい。

表 7-2 ひび割れの措置の考え方

措置を要する項目	ひび割れの措置の必要性	
	覆工コンクリート内部に 鋼材のある区間	覆工コンクリート内部に 鋼材のない区間
第三者被害	○	○
耐久性(塩害)	○	×

注) 塩害に対するひび割れ措置は、凍結抑制剤の散布影響区間かつ覆工コンクリートに内部鋼材がある区間のみ措置を行なえばよい。その他、耐久性に関係する材料劣化として、凍害とASRがあるが、以下の理由によりこの表からは除外している。

凍害は、覆工コンクリート内部の鋼材の有無に関わらず、坑口から凍害が発生する可能性のある区間まで、配合段階で必要な質と量の空気量を硬化コンクリートに連行する対策を実施することが基本であり、ひび割れに起因して措置を実施するものではないため、この表からは除外した。

覆工コンクリートの使用セメントは高炉B種が標準であり、東北のASRの発生状況から、ASRの抑制効果のある高炉B種を使用していれば、ASR対策は不要と考えられるため、この表からは除外した。

5. 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を可能とするために、必要なデータを工事の完成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を表 5-1 に示す。

表 5-1 保存するデータ一覧表

●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

- ・コンクリートの配合表
- ・補強鉄筋の有無
- ・補助工法の内容

2) 環境に関する記録

- ・トンネル貫通前
- ・トンネル貫通後（遮風壁などの有無）

3) 材料に関する記録

- ・受け入れ検査の記録

4) 施工に関する記録

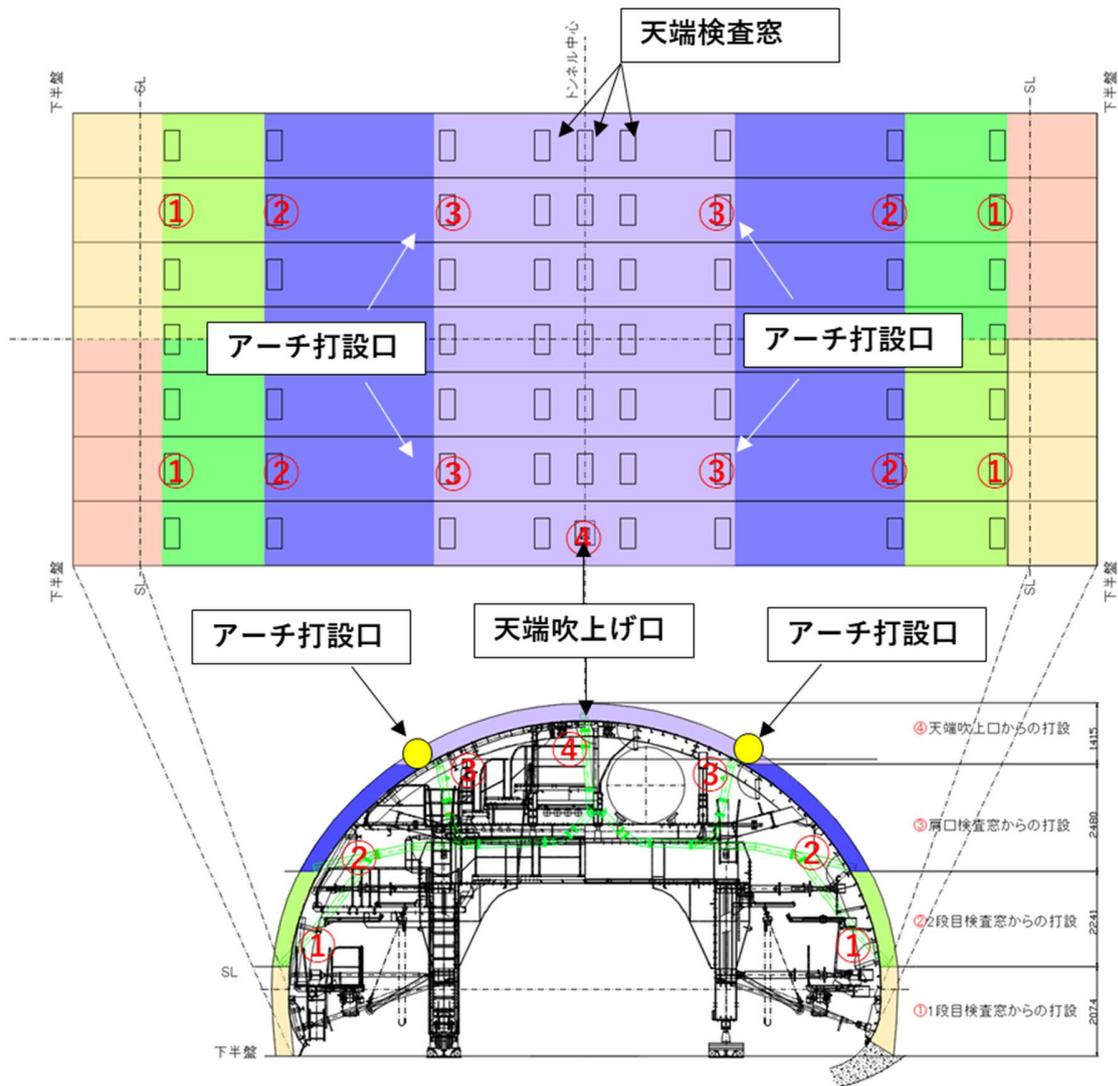
- ・打設ブロック割図
- ・ラップ側の棲側の明示
- ・各ブロックの施工状況把握チェックシートの結果
- ・施工記録表（打設日、脱型日、養生時間）
- ・養生方法、給熱養生の場合、温度の記録

5) 出来映えに関する目視評価などの記録

- ・表層目視評価結果と改善事項
- ・あれば、表層品質の調査記録（透気試験、吸水試験など）
- ・ひび割れスケッチ図

巻末資料-1 覆工コンクリートの品質確保・施工中に生じる不具合抑制参考事例

1) アーチ打込み口の増設+天端引抜きパイププレートによる締固め



※○数字は打設口を表す

図 6-1 覆工コンクリートの打設割図

- ・ 通常は①→②→④の3段階の打込み
- ・ アーチ打設口は①→②→③→④の4段階打設
- ・ アーチ打設口からの打込み量は、全体の約45%を占める

型枠のアーチに打設口を増設する方法は、図 6-1 の③の位置に 4 箇所増設する。天端の吹上げ口からの図 6-1④の 1 箇所からの打込み量に比較して、大幅に打込み量を減ずることができるため、材料分離やブリーディングの発生を抑制できる。

通常、天端吹上げ口④の 1 箇所からコンクリートを打込む場合は、コンクリート移動距離が型枠の長さと同等になる。アーチに打設口を増設した場合は、型枠の長さの約 1/4 にコンクリートの移動距離を減ずることができるため、材料分離の抑制が図れる。

アジテータ車 1 台毎にアーチ打設口を移動する打込み方法を採用した場合は、1 層の打込み高さが一定化するため、バイブレータの挿入深さおよび締固め範囲が定まり、締固め不足を改善できる（写真 6-3）。

アーチ打設口からの吹き上げ打設の最終打設口は、天端引抜きバイブレータの直近とする（写真 6-5）。

通常打設において締固めが困難な天端部分（図 1-10・図 1-11・図 6-1 の④からの打込み範囲）は打込み完了後、天端引抜きバイブレータを使用することにより、締固め不足による色むらや打重ね線、ブリーディングの発生量を抑制することができる（写真 6-5・図 6-2）。



写真 6-1 増設したアーチ打設口

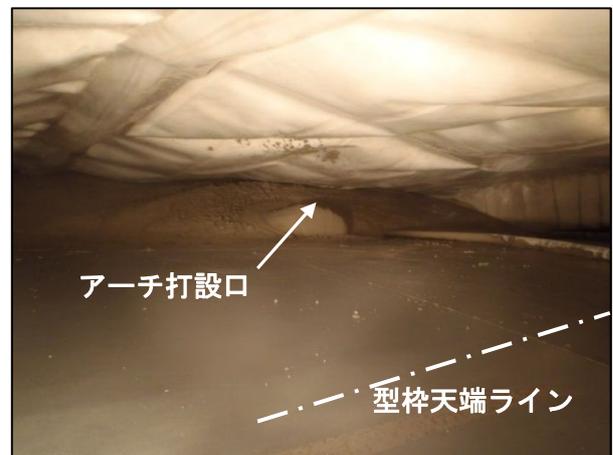


写真 6-2 アーチ打設口からの打込み（開始直後）



写真 6-3 アーチ打設口からの打込み
(前後 2 名による締固め)



写真 6-4 アーチ打設口からの打込み (終盤)



写真 6-5 アーチ打設口からの打込み (完了)



写真 6-6 アーチ打設口からの打込み
(ブリーディングの発生が見られない)



写真 6-7 打設配管切替えシステム

天端④からの打込みは、「天端引抜きバイブレータ」の採用と従来の目視確認を改良した「2) 充填圧管理システム」の併用で密実な充填が可能となる。また、コンクリートの締固めを機械による自動化することで、狭隘場所での作業低減が図れると同時に、十分な締固め作業が可能となる。

※天端引抜きバイブレータの使用にあたっては、打込み途中のトラブル等により天端部のコンクリートが凝結し、バイブレータを引き抜けない事例も報告されているので、打込み時間の管理を徹底する必要がある。

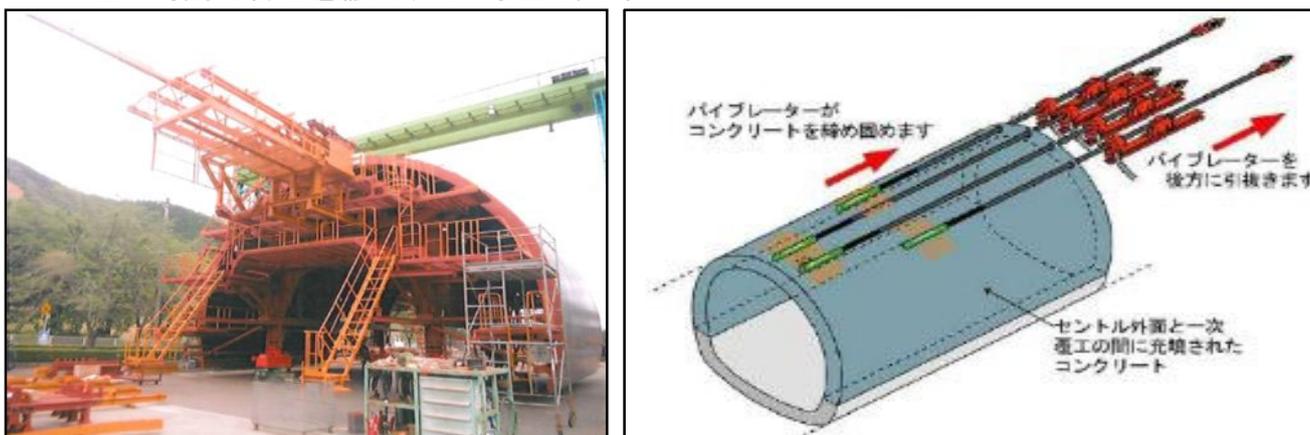


図 6-2 天端引抜きバイブレータシステム (イメージ)



写真 6-8 天端引抜きバイブレータ

最近では、天端引抜きバイブレータの代替として、型枠バイブレータや伸縮バイブレータによる天端部の締固めを行っている参考事例もあるので、採用にあたっては現場条件を踏まえて選定するのが良い。

2) 充填圧管理システムによる天端部の充填管理

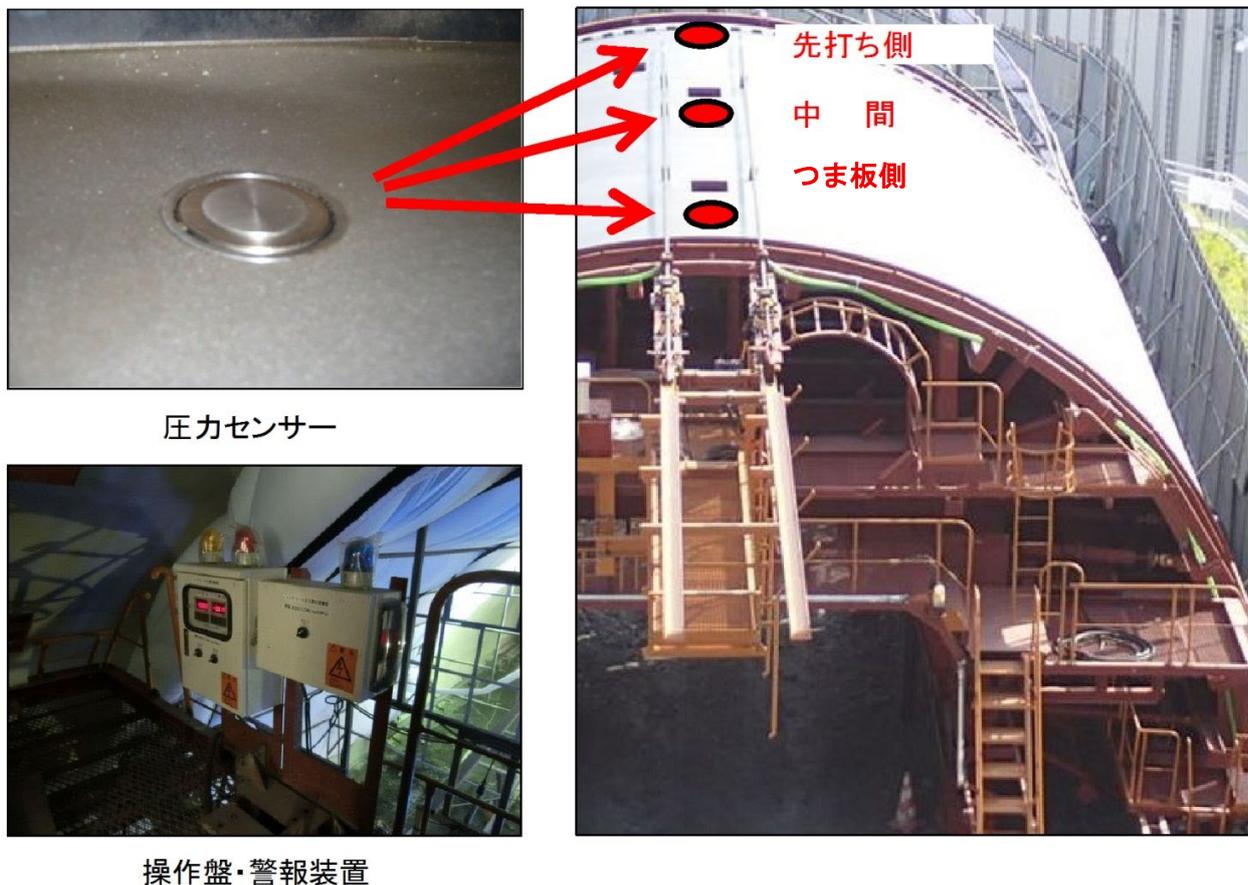


写真 6-9 コンクリート充填圧管理システム

覆工コンクリートの充填圧管理方法は、移動型枠の天端に土圧計（KDF-200KPA）を3～5箇所を設置して、コンクリートの充填圧をリアルタイムに観察して打込みを管理するものである（写真 6-9）。この工法の利点を以下に示す。

- ・従来工法の目視に比較し、定量的な管理が可能で天端部分の充填性が高まる。
- ・移動型枠の強度（一般には 100kpa）まで加圧が可能である。なお、打込み完了時の充填圧の管理は、標準スランプで先打ち側 80～90kpa、つま板側 30kpa を目安に行うのが望ましい。
- ・天端引抜きバイブレータを併用した場合は、コンクリートを高圧で充填した後にバイブレータを引抜きながら締固めを行い、引抜き後に再加圧を行って充填させるため、コンクリートの沈降による空洞は発生しない。充填圧力の管理方法の参考事例を図 6-3 に示す。

- ・ 施工管理が容易で過充填圧による移動型枠の打設口周辺の変形を事前に防止できる。

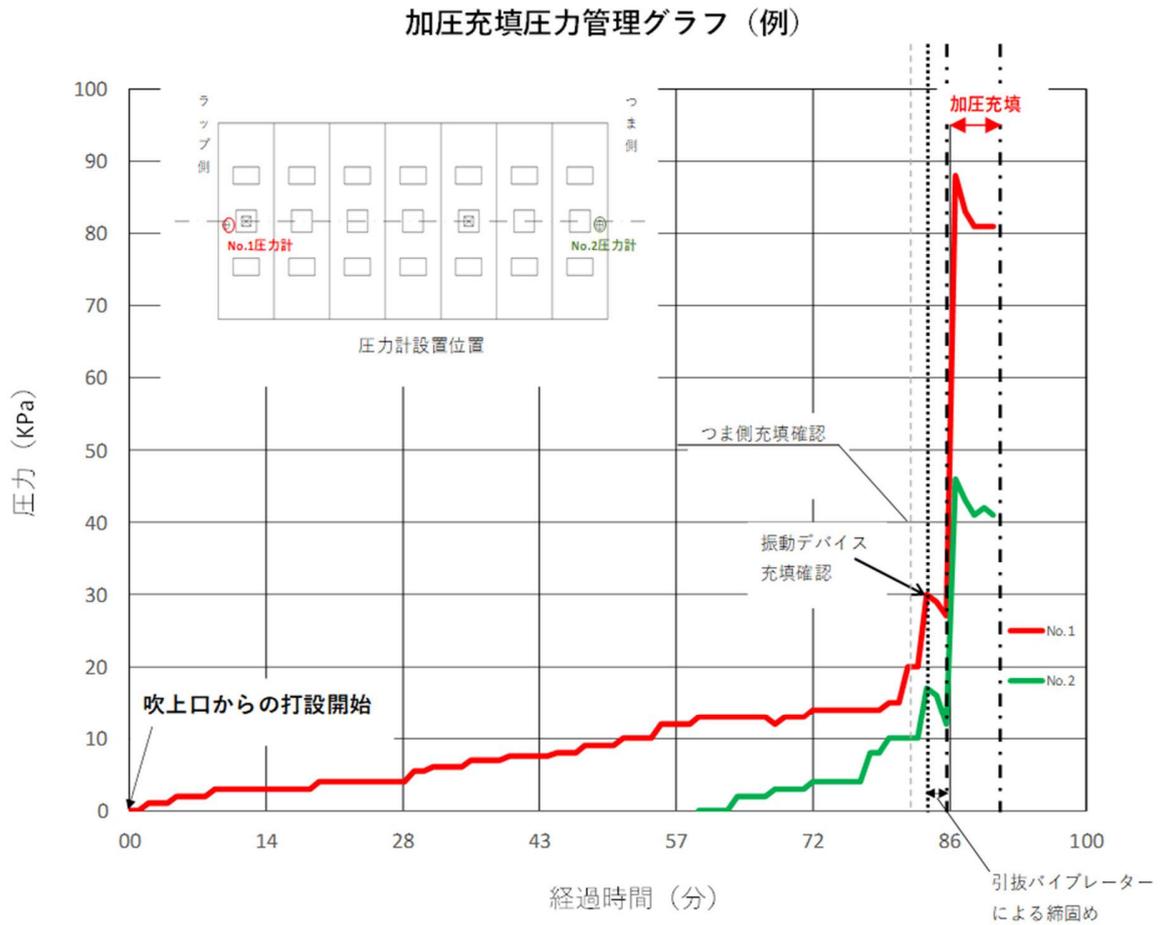


図 6-3 充填圧力の管理方法の参考事例

・コンクリート充填圧と覆工巻厚の関係

(例) 設計覆工巻厚が 30cm の場合の充填圧は 7.05kpa 以上となる (表 6-1)。

表 6-1 コンクリート充填圧管理表

巻厚(cm)	圧力(kpa)	巻厚(cm)	圧力(kpa)
1	0.24	31	7.29
2	0.47	32	7.52
3	0.71	33	7.76
4	0.94	34	7.99
5	1.18	35	8.23
6	1.41	36	8.46
7	1.65	37	8.70
8	1.88	38	8.93
9	2.12	39	9.17
10	2.35	40	9.40
11	2.59	41	9.64
12	2.82	42	9.87
13	3.06	43	10.11
14	3.29	44	10.34
15	3.53	45	10.58
16	3.76	46	10.81
17	4.00	47	11.05
18	4.23	48	11.28
19	4.47	49	11.52
20	4.70	50	11.75
21	4.94		
22	5.17	100	23.50
23	5.41	200	47.00
24	5.64	300	70.50
25	5.88	400	94.00
26	6.11		
27	6.35		
28	6.58		
29	6.82		
30	7.05		

計算内訳 覆工巻厚 1 cm の重さは

$$W = 1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 2400\text{kgf/m}^3 = 1 \times 2400 / 1,000,000 = 0.0024\text{kgf}$$

$$1\text{kgf/cm}^2 = 98.1\text{kpa} \text{ より 巻厚 } 1\text{cm} \text{ の圧力} = 0.0024 \times 98.1 = 0.235\text{kpa}$$

3) 流動性の高い配合を使用する場合の模擬型枠試験の実施例

流動性の高い配合を用いる場合は、事前に室内試験練りにより配合を決定し、模擬型枠を用いて流動性や耐凍害性の確認をする必要がある。ここでは、模擬型枠試験の実施例を示す。

[目的] 3種類のコンクリートを模擬型枠に打込み、コンクリートの流動性を確認することで、実覆工への打込みが可能であるか確認する。

[模擬型枠] セントルの側壁部分を模擬した型枠を使用
幅 0.3m、高さ 1.5m、長さ 5.0m (セントル長の1/2)



写真 模擬型枠



写真 打込み用配管 (約 30m)

[試験ケース]

表 6-2 試験ケース

ケース	備考
模擬-1 24-15-40N (標準配合)	標準配合の性能を確認する
模擬-2 27-18-20N (現行配合)	現場で実打設している現行配合の性能を確認する
模擬-3 27-18-20N+S5 (決定配合)	決定配合の性能を確認し、打込みが可能か確認する

※この現場では施工途中に試験施工を行ったため、現行配合と同等以上の性能確保を目的とした。

[打込み要領]

- ①無振動で、コンクリートが打込み箇所まで 1.0m の高さまで打ち込み、圧送を一時停止する。流動状況（流動距離・勾配）を記録する。
- ②セントルの打設窓の間隔（@1.5m）の位置で打込み箇所から順番にバイブレータを挿入し、10 秒間締固める。締固め完了後に流動状況（流動距離・勾配）を記録する
- ③1 層目 50cm の高さになるまで、不足するコンクリートを打込み、1 層目を平坦に仕上げる。
- ④2 層目 100cm の高さになるまで、コンクリートを打込み、2 層目を平坦に仕上げる。
- ⑤3 層目 150cm の高さになるまで、コンクリートを打込み、3 層目を平坦に仕上げる。
コンクリート天端は、木ごてによる表面仕上げとする。

[打込み状況]



写真 6-12 1 層目、締固め時間管理

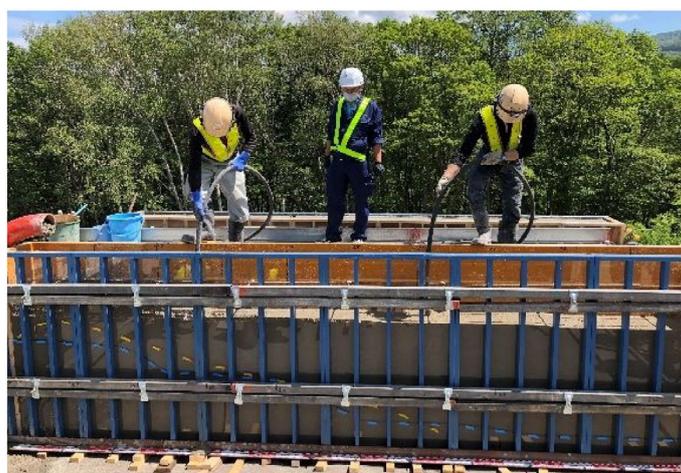


写真 6-13 2 層目、締固め間隔管理

[模擬-1 : 標準配合 24-15-40N] SL=15.0cm

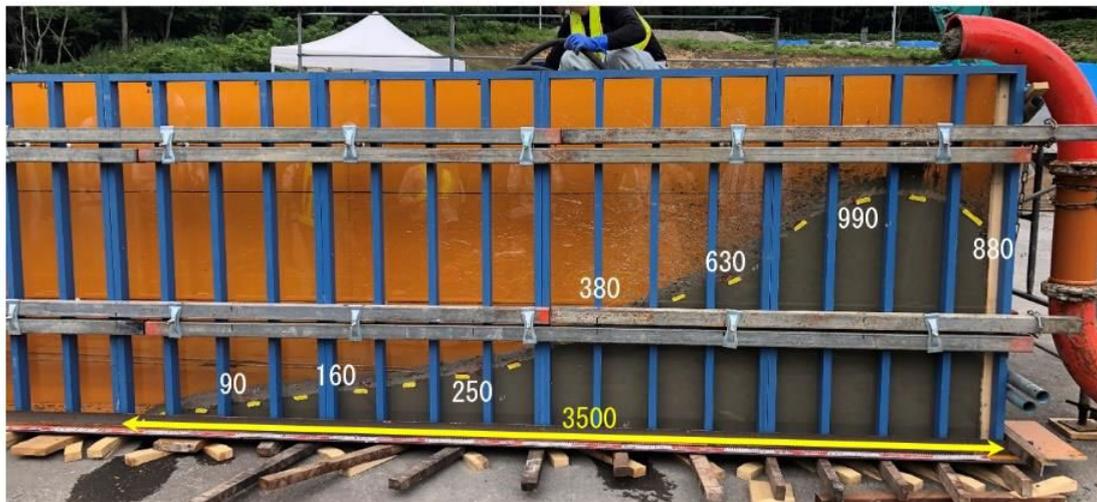


写真 6-14 無振動



写真 6-15 10秒締固め

- ・ 無振動では 3.5m まで流動、勾配はきつい
- ・ 10 秒締固め後は、バイブレータ挿入付近が階段状

[模擬-2：現行配合 27-18-20N] SL=19.5cm



写真 6-16 無振動



写真 6-17 10 秒締め

- ・無振動では 3.6m まで流動、勾配は模擬-1 より緩い
- ・10 秒締め後は、5.0m まで流動、階段状も緩い

[模擬-3 : 決定配合 27-18-20N+S5] SL=23.0cm



写真 6-18 無振動



写真 6-19 二層目 セルフレベリング

- ・ 無振動では 5.0m まで流動、ほぼ水平な上面になる
- ・ スランプが 23cm の場合、中流動コンクリートと同等の流動性を確保
- ・ 極めて施工性（充填性）が高い、材料分離も見られない

[流動性確認結果]

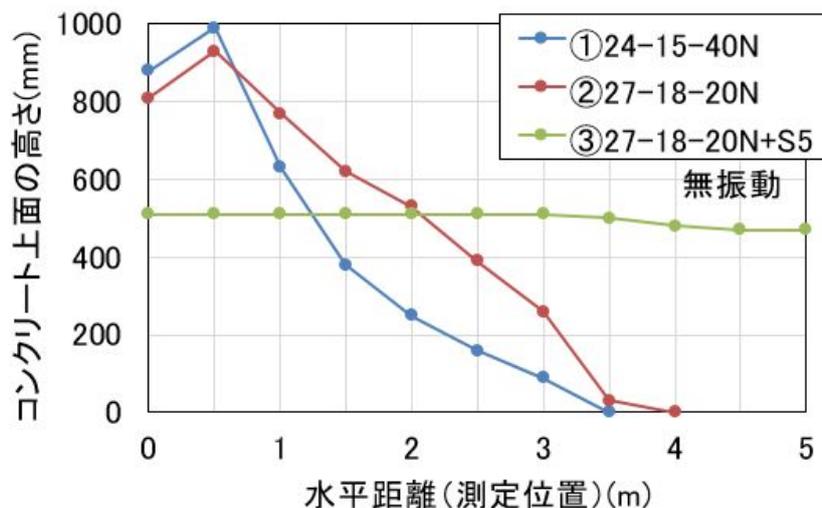


図 6-4 流動結果 (無振動)

- ・ 無振動では、ケース①と②の水平到達距離は同程度だが、②の方が広がりがあるため上面の高さの低下がゆるく、中間部も充填量が多い。
- ・ ケース③は無振動でも上面はほぼ水平となり、型枠先端までほぼ同じ高さで充填された。

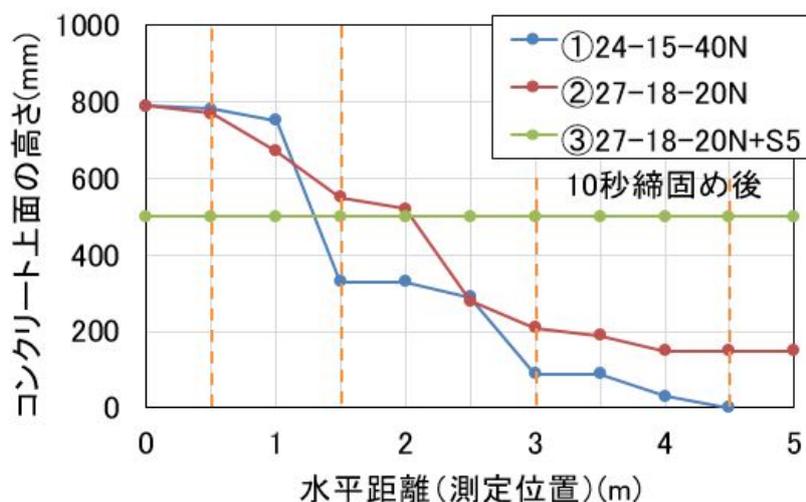


図 6-5 流動結果 (10秒締め後)

- ・ ケース①は、バイブレータ挿入箇所周辺のみ平坦となったが全体には平準化しない。
- ・ ケース②は、型枠先端まで広がって上面の勾配も緩くなり、ケース①よりも充填性が向上しているのを確認した。
- ・ ケース③は、無振動時のわずかな上面の高低差がなくなり完全に平準化し、極めて施工性（充填性）が高いことを確認した。

[コア採取による評価]

打込み側、中間、妻側上・中・下 9箇所コア（ $\phi 100 \times 300\text{mm}$ ）を採取し、コア供試体を用いて、単位体積重量及び粗骨材量（コア供試体表面の粗骨材面積率を画像解析により算出）から均質性を評価した。

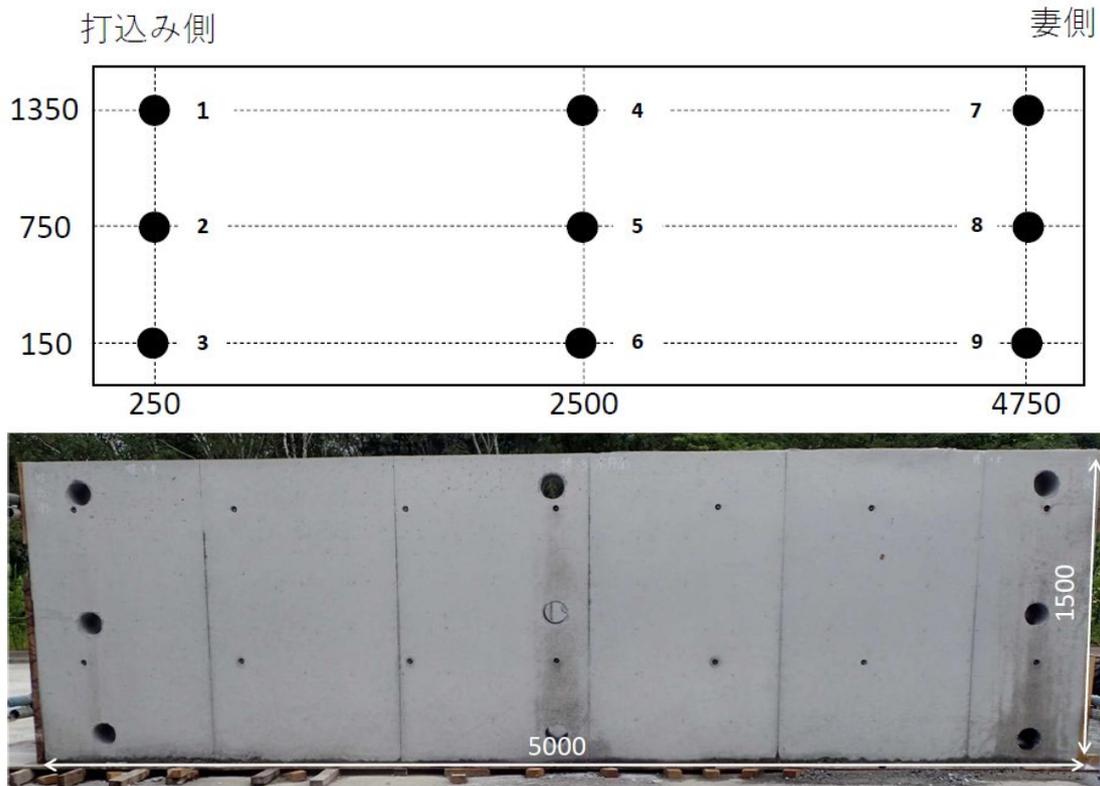
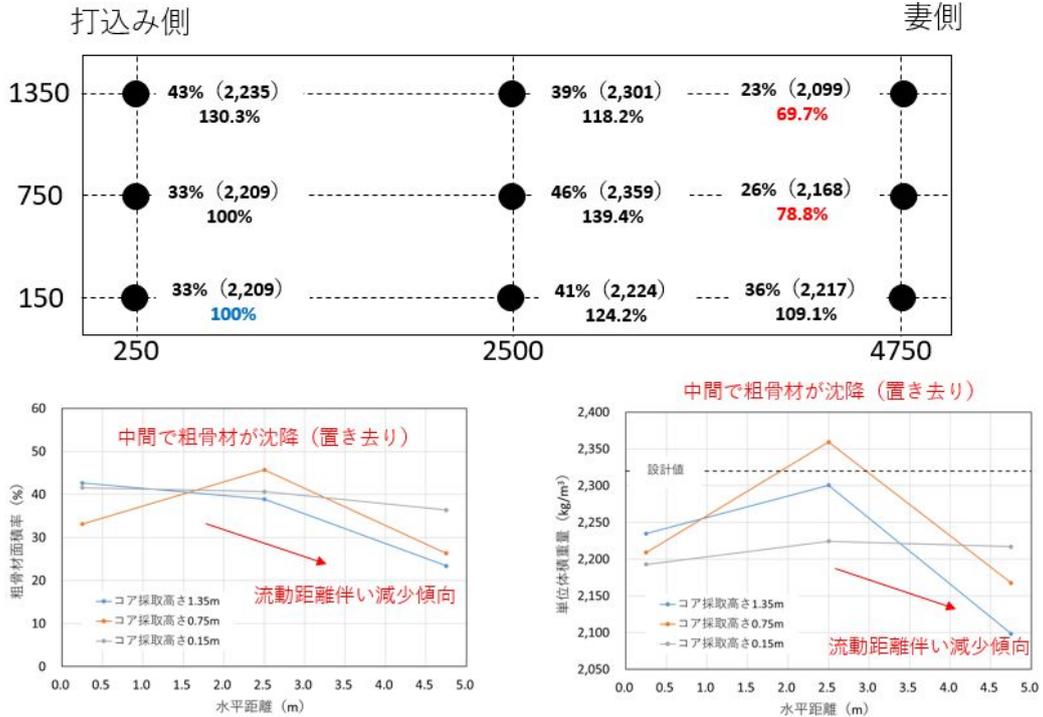


図 6-6 コア採取位置

[粗骨材面積率の評価]



※ () は単位体積重量
 ※下段は打込み側下段の粗骨材量を 100%とした場合の比率

図 6-7 模擬-1 標準配合 24-15-40N

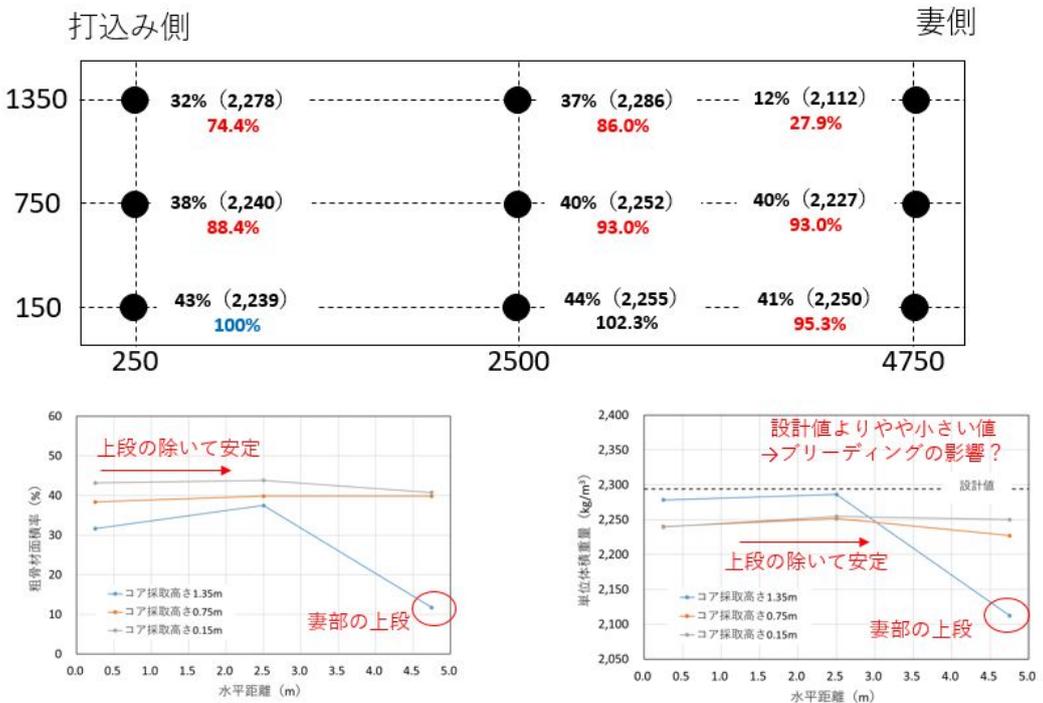


図 6-8 模擬-2 現行配合 27-18-20N

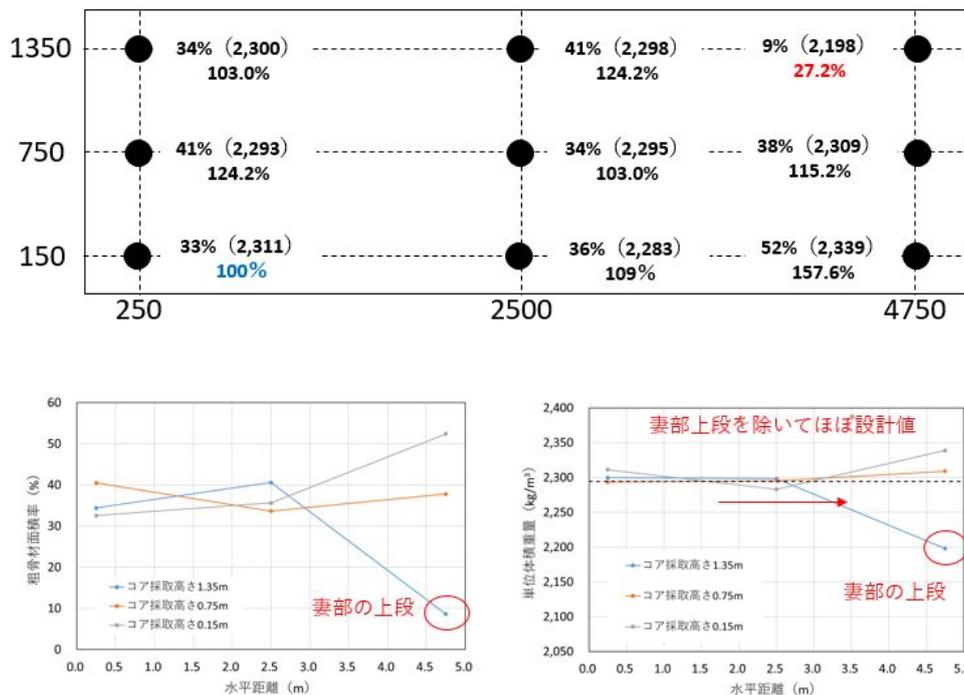


図 6-9 模擬-3 決定配合 27-18-20N+S5

模擬-1 (標準配合 : 24-15-40N)

- 面積率・単位体積重量は打込み側より中間部が高く、妻側は打込み側より小さい
⇒コンクリートが流動する過程で、粗骨材が沈降(置き去り)し、中間部が密となり、妻部が疎になる。
⇒40mm 骨材のため傾向が顕著に表れている。

模擬-2 (現行配合 : 27-18-20N)

- 面積率・単位体積重量は下段・中段はほぼ均一、妻部の上段だけ大きく減少する
⇒妻部上段にモルタル分が集中するのは、締固め時間が長すぎたのが原因と推定
⇒模擬-1 に対し、材料分離抵抗性が向上して粗骨材を妻部まで運んでいる。

模擬-3 (決定配合 : 27-18-20N+S5)

- 面積率・単位体積重量は下段で、打込み側<中間<妻部
- 面積率・単位体積重量は上段だけ大きく減少する
⇒妻部上段にモルタル分が集中するのは、締固め時間が長すぎたのが原因と推定
⇒模擬-2 よりもさらに材料分離抵抗性が向上している。妻部まで確実に粗骨材を運んでいる。

[実覆工への打込み結果]

打込んだコンクリートを定量採取し、モルタル・細骨材を除去した後の粗骨材の重量を確認した。

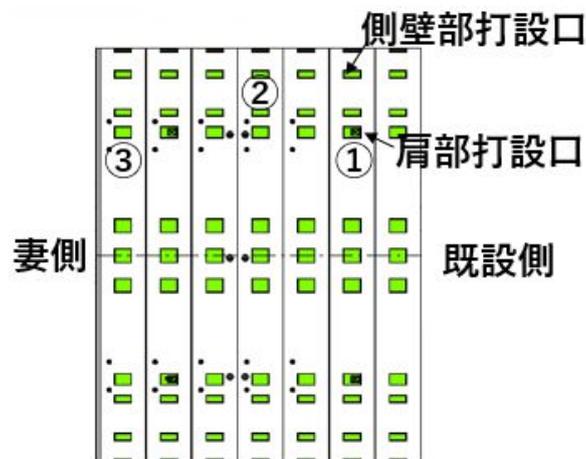


図 6-10 採取位置

表 6-3 定量採取による粗骨材量の確認試験 (参考)

配合	①肩部打設口付近	②側壁部 (流動距離5m)	③肩部 (流動距離10m)
現行配合27-18-20N	78.7%	72.6%	102.6%
決定配合27-18-20N+5S	83.8%	90.6%	93.9%

- ・ 模擬型枠試験でのコアの粗骨材面積率で見られた粗骨材量の減少傾向は無い。
- ・ スランプ 18cm 以上を確保すれば粗骨材は妻部まで運搬できる。
- ・ 覆工全体の均質性が向上している。

[まとめ]

- ・ 標準配合のスランプ 15cm は、流動過程で粗骨材が沈降し、妻部まで粗骨材が運搬されず、均質性が低下している可能性がある。このため、粗骨材を妻部まで確実に流動できるスランプ 18cm 以上を採用する。
- ・ 現地の骨材事情を調査し、流動性を確保できる最大骨材径を選定する。特に鉄筋区間は 20mm もしくは 25mm を選定する。
- ・ 側壁から肩部までの範囲の打込みは、打設口をセントル延長に対して 2 ヲ所以上設置して コンクリートの流動距離を短縮し、材料分離の発生を防止する。長時間の締固めは、粗骨材を沈降させるため、適切な締固め時間の設定と管理を行う。

[参考] 流動性の高い配合決定までの概略工程

表 6-3 流動性の高い配合決定までの概略工程表

月	1	2	3	4	5	6	7
計画書作成	作成 協議						
室内試験練り		試験 養生					
模擬型枠発注	計画・発注	製作	組立				
模擬型枠試験			試験 養生	コア採取	各種試験		
報告書作成						取り纏め 協議	本施工開始 →

4) つま板へのパンチングメタル設置（ブリーディングの積極的な排出）

覆エコンクリート打込み中に、つま部に集積してくるブリーディング・泡の排除は、従来から「木製つま板の隙間を開けて排出する簡易な方法」や「バキュームによる方法」が取られてきた。最近では、つま板への「パンチングメタル設置による方法」の採用事例が多くなっている。



写真 6-20 パンチングメタルの設置状況



写真 6-21 ブリーディング・泡の排出状況

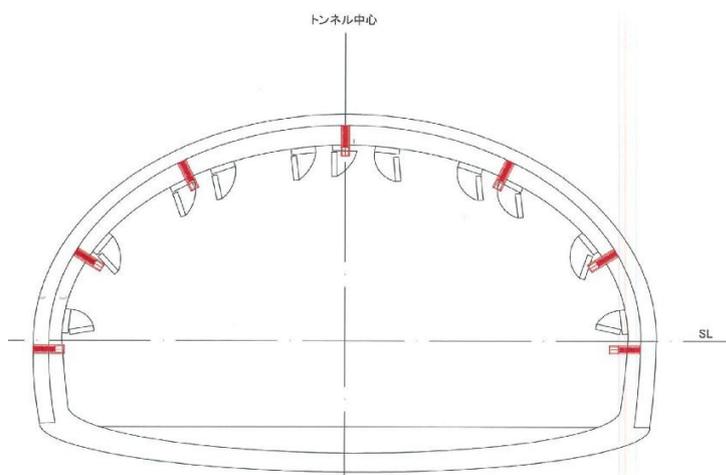


図 6-11 パンチングメタルの設置例（7箇所）

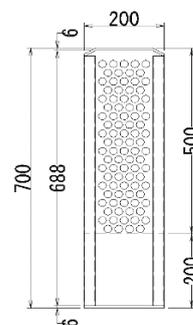


図 6-12 パンチングメタルの詳細図（例）

パンチングメタルの位置は、ブリーディングがコンクリート打込み開始後、数時間程でつま部に集積してくることから、その打込み高さにコンクリートが到達する時間帯で、ブリーディングが強制排出できるように設定している。

5) 施工目地の平滑化

写真 6-22 は、打設後約 5 ヶ月経過した時点で確認した施工目地部のひび割れである。施工不良で発生したものではなく、乾燥収縮や温度変化によるものと考えられる。

通常、施工目地には三角形の切り欠きを設けているが、初期ひび割れの位置が三角形の頂点からずれている。今後、ひび割れが進行することにより、その部分がブロック化して「うき・はく落」となることが懸念される。



写真 6-22 施工目地部のひび割れ発生状況

対策（案）として、乾燥・温度変化による拘束の緩和を目的とした施工目地の縁切り対策を試行したところ、ひび割れ発生の抑制が確認された。以下に参考事例を示す。

① 施工目地へのビニールシート設置

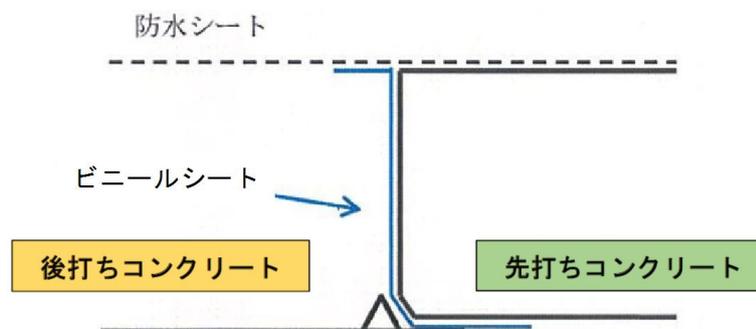


図 6-13 施工目地へのビニールシート設置（イメージ）

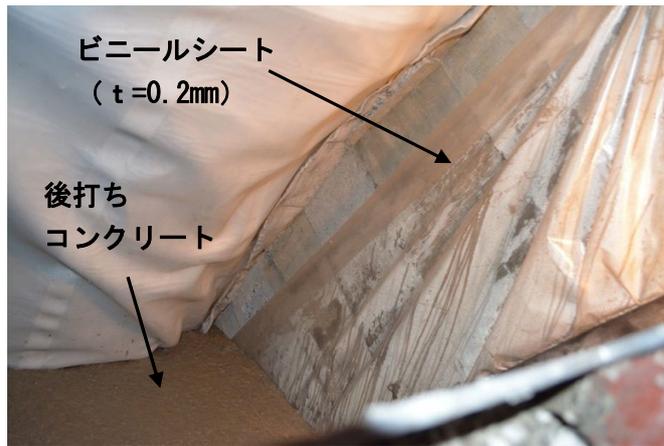


写真 6-23 施工目地へのビニールシート設置状況（コンクリート打設中）



写真 6-24 施工目地へのビニールシート設置状況（脱型後）

ビニールシートを設置した施工目地は、全体で 75 箇所において試行したが、不具合（ひび割れ・うき）の発生が無く、有効性が確認できた。また、ビニールシート無対策の場合、53 ブロックのうち、不具合（うき・ひび割れ）が 11 箇所（21%）確認された（図 6-14）。

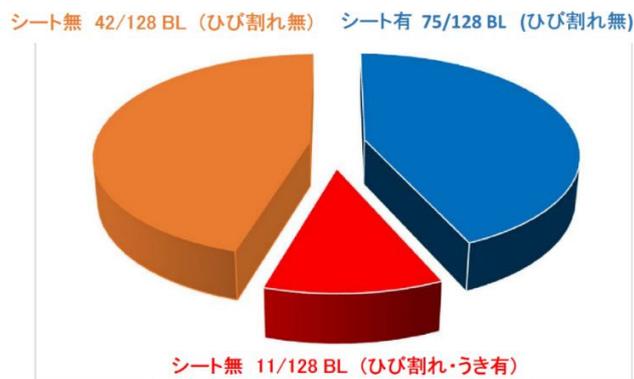


図 6-14 ビニールシート設置の有無による調査結果（試行）

ビニールシート無対策で発生した不具合を写真 6-25・6-26 に示す。打音検査において、三角形の切り欠き部分の側面で濁音（うき）が発生している。



写真 6-25 側壁部に発生したうき
(横 80mm×縦 800mm)



写真 6-26 天端部に発生したうき
(横 50mm×縦 300mm)

これらの施工目地部に発生したうきは、今後、ひび割れが発生しブロック化して「はく離・はく落」となることが懸念される。

② 施工目地への鋼板設置

写真 6-27 は施工目地板の一部（つま型枠部）に鋼板（幅 20cm）を設置した事例、写真 6-28 は施工目地部に鋼製のつま型枠を採用した事例である。このような対策により目地部を平滑化することで、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートの付着を低減し、施工目地部の不具合の抑制を図った参考事例である。



写真 6-27 目地部への鋼板設置状況
(移動式型枠内部より)



写真 6-28 鋼製つま型枠の採用例
(移動式型枠外部より)

③ 施工目地の付着低減による不具合抑制

写真 6-29 は、施工目地部に付着を低減する材料を塗布し、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートの付着を低減することで、施工目地部の不具合の抑制を図った参考事例である。なお、塗布材料に有機溶剤を含有している場合は、換気方法を事前に検討する必要がある。

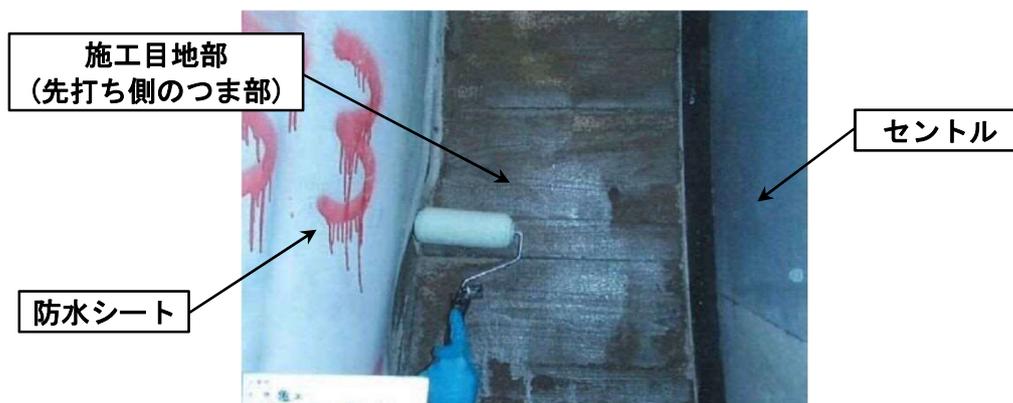


写真 6-29 目地部への付着を低減する材料の塗布例

6) 移動式型枠の過度な押し上げの防止

写真 6-30 は、移動式型枠セット時に、先打ちコンクリート側ラップ部の過度な押し上げによるひび割れの発生を予防するセンサーである。ただし、使用にあたっては補助的役割として利用し、最終段階では目視で確認する慎重な作業が重要である。



写真 6-30 押し上げ予防センサー（先打ち側に設置）

移動式型枠の過度な押し上げは、半月状のひび割れが発生しやすく、将来的に「はく落」につながるリスクがあり、第三者被害が懸念される（図 6-15）。

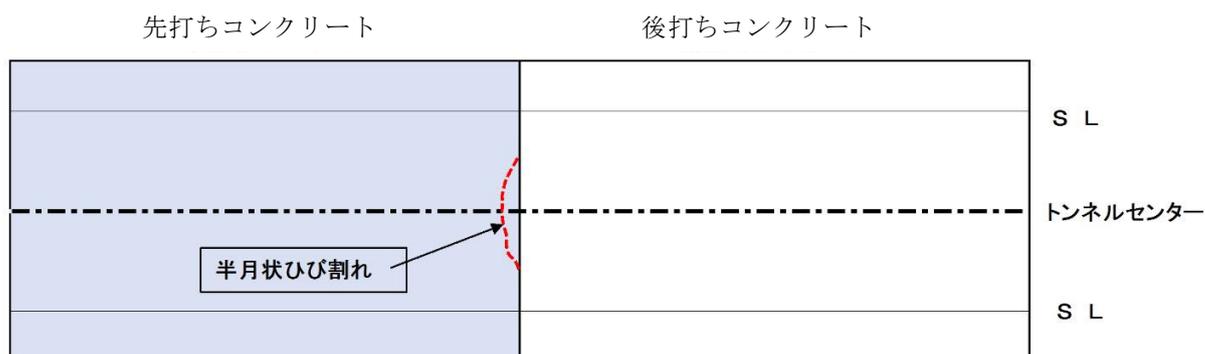


図 6-15 移動式型枠の過度な押し上げによる半月状ひび割れの発生イメージ（平面図）

7) 打設時間管理表による打込み管理

覆エ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する。

打設時間管理表を打込みポンプ車付近に掲示し、打込み開始及び終了時間を記入して打込み運行状況を管理する。これにより打込み及び生コンクリート供給の待機時間を無くして、覆エコンクリートの打込み作業の効率化や不具合の発生抑制が図れるほか、トレーサビリティにも利用可能である。

車番	打設箇所	打設時間	目標スランプ
1	打設窓①	7:00 ~ 7:20	15~16
2	打設窓①	7:24 ~ 7:44	15~16
3	打設窓①	7:41 ~ 8:01	15~16
4	打設窓①	7:58 ~ 8:18	15~16
5	打設窓①	8:14 ~ 8:34	15~16
6	打設窓②	8:31 ~ 8:51	15~16
7	打設窓②	8:48 ~ 9:08	16~17
8	打設窓②	9:02 ~ 9:22	16~17
9	打設窓②	9:17 ~ 9:37	16~17
10	打設窓②	9:31 ~ 9:51	16~17
11	打設窓②	9:46 ~ 10:06	16~17
12	打設窓②	10:00 ~ 10:20	16~17
13	打設窓②	10:12 ~ 10:32	16~17
14	打設窓②	10:24 ~ 10:44	16~17
15	打設窓②	10:38 ~ 10:58	16~17
16	打設窓②	10:47 ~ 11:07	16~17
17	打設窓②	10:59 ~ 11:19	16~17
18	打設窓②	11:11 ~ 11:31	16~17
全体計 30分			
19	打設窓②	11:53 ~ 12:13	16~17
20	打設窓②	12:05 ~ 12:25	16~17
21	打設窓②	12:17 ~ 12:37	16~17
22	打設窓②	12:48 ~ 13:08	16~17

写真 6-31 打設時間管理表

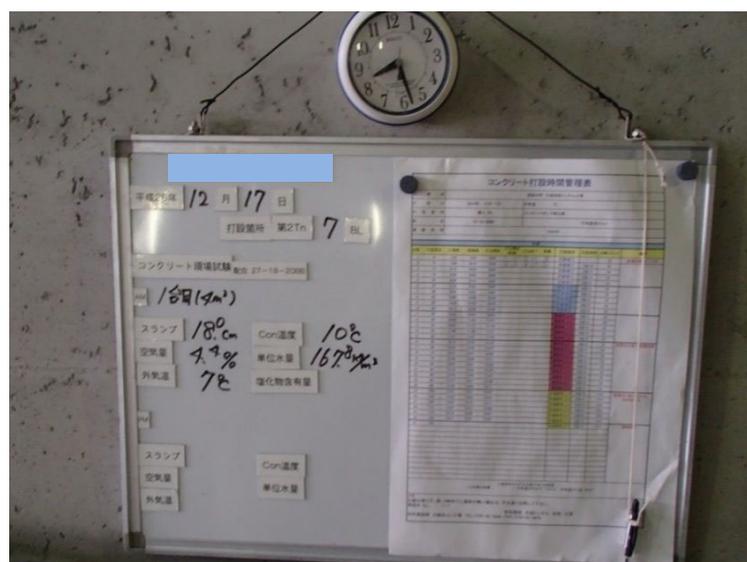


写真 6-32 打設時間管理表+時計+品質管理状況

7) 漏水・湧水対策

トンネル完成数年後、主に坑口付近の覆工コンクリート面の施工目地部やひび割れ部などから漏水が発生することがまれに見られる（写真 6-33、写真 6-34）。



写真 6-33 覆工面（施工目地部）の漏水（氷柱）

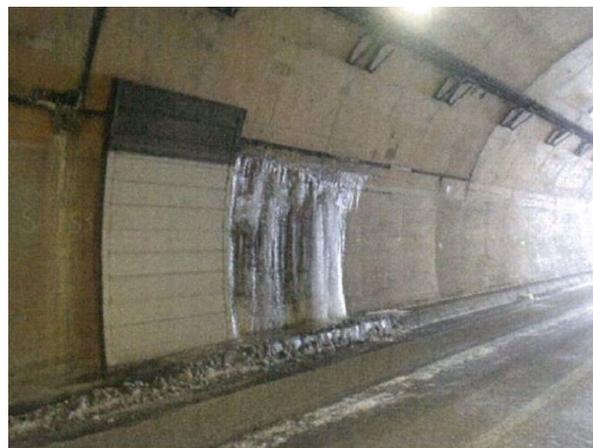


写真 6-34 覆工面（ひび割れ部）の漏水（側氷）

また、覆工コンクリート施工後、豪雨時や融雪期などに側壁下部から湧水が発生する可能性がある（写真 6-35）。

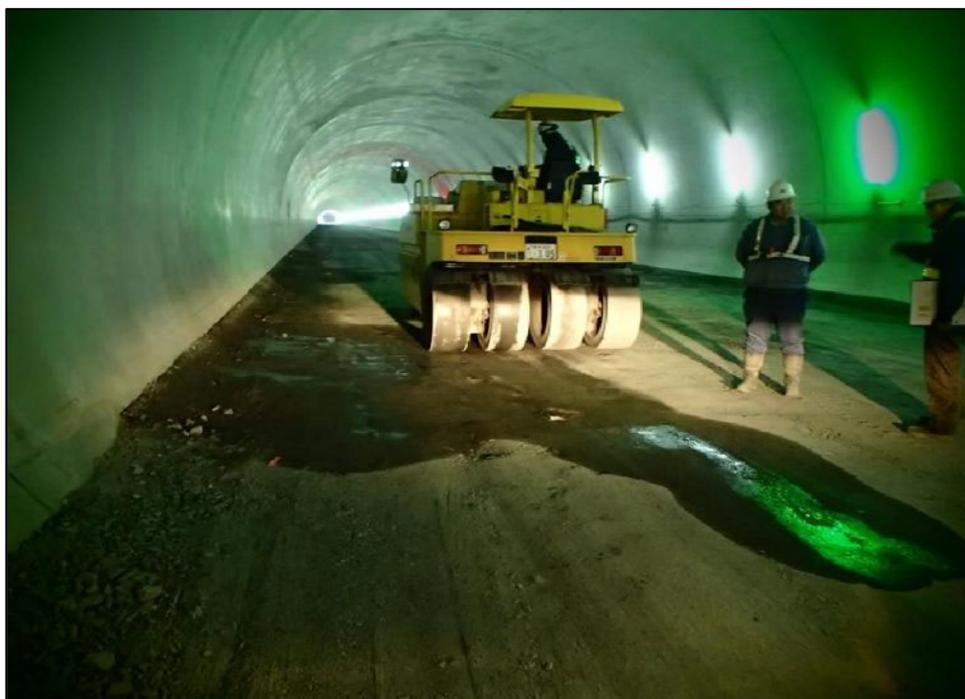


写真 6-35 覆工側壁下部からの湧水（豪雨時、インバート無し区間）

東北地方整備局管内NATMトンネルにおける現在の漏水・湧水対策は、防水シート＋裏面排水工（縦断方向）＋横断排水管（設置間隔@30～50m）＋中央排水管（縦断方向）を標準（図6-16）としている。ただし、地形や現場施工時における湧水などの状況から、完成後の漏水・湧水が懸念される箇所については、追加対策などによる排水機能の向上を図る必要がある。

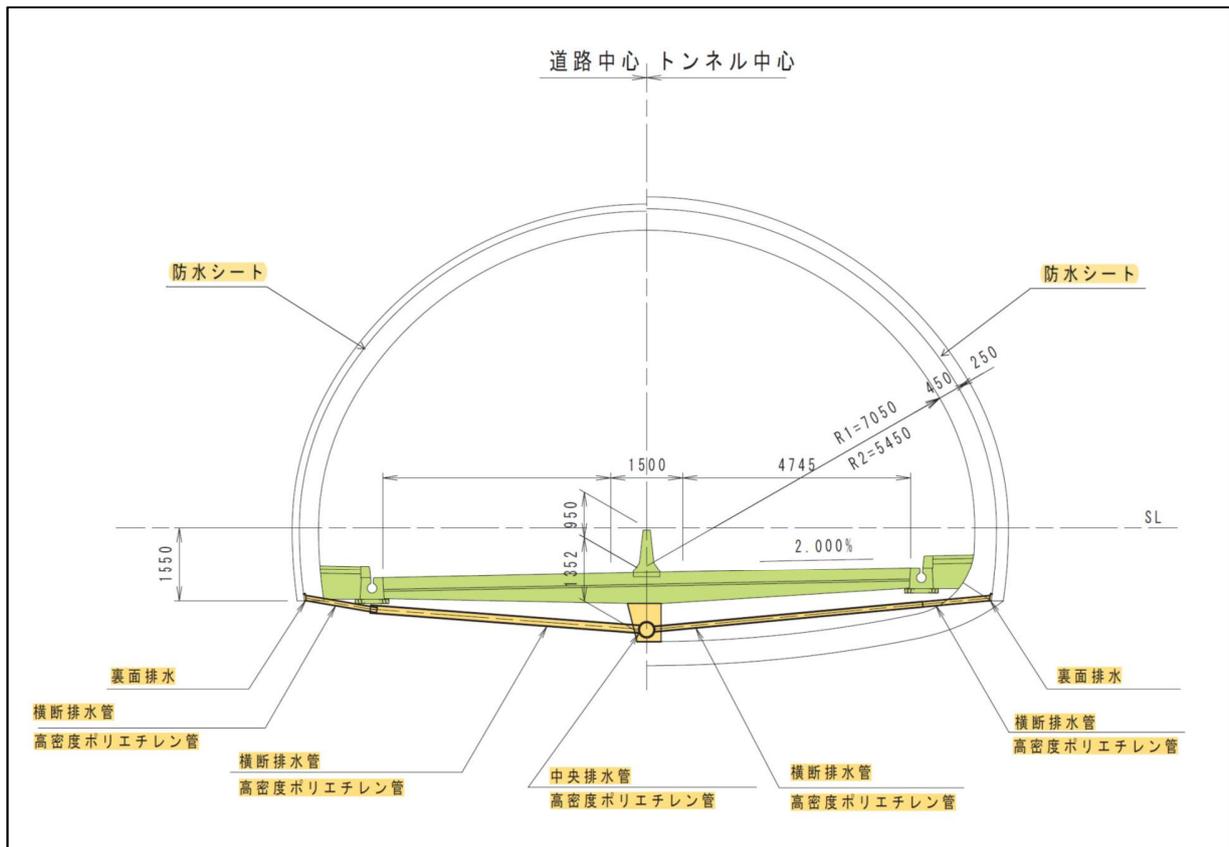


図 6-16 排水系統標準横断面図

8) 覆工面からの漏水対策

(i) 発生要因

- ・ 防水シート背面の不織布による排水機能が、長期にわたり吹付けコンクリート面から湧水がある場合、遊離石灰などで排水機能が低下することが考えられる。
- ・ 坑口部の土被りの小さい場所や沢地形の集水しやすい地形（写真 6-36）において、豪雨時や融雪期に湧水量が増加し、覆工背面の排水機能が不足した場合などが考えられる。



写真 6-36 土被りが小さく集水しやすい地形

(ii) 対策参考事例

湧水箇所に裏面排水マットを積極的に設置し排水機能を向上させる（写真 6-37）。



写真 6-37 裏面排水マットの設置例

9) 覆工側壁下部からの湧水対策

(i) 発生要因

- ・ 防水シート下端部の固定方法は、プレート+釘止めであり止水構造となっていない（写真 6-38）。
- ・ 湧水量が多い箇所と横断排水管の設置位置が離れている場合は、防水シート下端部が止水構造でないため湧水が横断排水管に排水される前に、防水シート下部から漏水することが考えられる。



写真 6-38 防水シート下端部の固定状況

(ii) 対策参考事例

横断排水管を増設して排水機能を向上させる（写真 6-39）。



写真 6-39 横断排水管の増設（施工途中）

巻末資料－2 トンネル定期点検について

1) トンネル覆工コンクリートの課題

トンネル定期点検は、道路トンネルの変状・異常の把握・診断をし、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、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に実施されている。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。

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より、将来の対策区分Ⅱ～Ⅳの劣化を抑止する必要がある。

(表 7-1)

2) トンネルの定期点検を実施している背景：不具合事例

- ・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、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、天井板の落下

平成 11 年以降、覆工コンクリートの剥落事故などが相次いで発生したため、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）」に基づき定期点検を開始した。

なお、平成 31 年 3 月に「道路トンネル定期点検要領（国土交通省道路局国道・技術課）」が策定されており、以降はこれに基づいた点検が行われている。

3) トンネル定期点検結果の判定区分

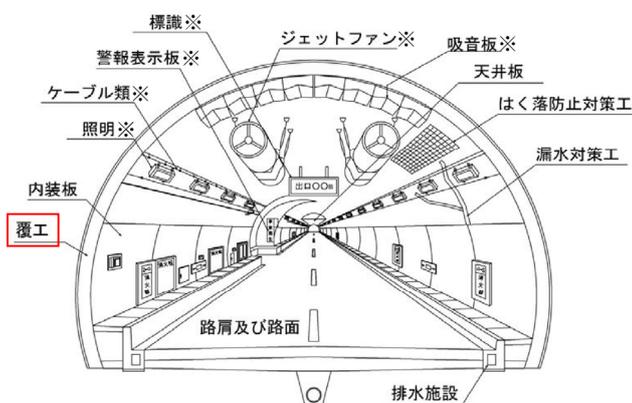


図 7-1 標準的な点検対象箇所（道路トンネル定期点検要領より）

表 7-1 トンネル定期点検の対策区分および定義

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、早期に措置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。

トンネル定期点検業務は、図 7-2 に示す目的で点検を実施し、点検記録を作成している。

- (1) 定期点検は、利用者への被害の回避、通行止めなど長期にわたる機能不全の回避、長寿命化への時宜を得た対応などのトンネルに係る維持管理を適切に行うために必要な情報を得ることを目的に実施する。
- (2) 定期点検では、近接目視を基本とした状態の把握と次回定期点検までの措置方針の参考とするための対策区分の判定を行う。また、省令や告示（以下「法令」という）で求められる道路トンネル毎の健全性の診断、並びに、その参考にするための変状等や覆工スパン毎の健全性の診断を行う。
- (3) 定期点検では（2）に加えて、将来の維持管理の参考となり、かつ将来に向けた維持管理計画の策定や見直しに用いるため、変状等の記録を行う。

図 7-2 トンネル定期点検要領

一般的な点検では写真 7-1 に示すように片側交互通行の規制後、高所作業車を使用し片側を通常 3～4 ブロックに分けて打音点検などを実施することになる。長大トンネルにおいては長期間にわたる片側交互規制が余儀なくされるため、利用者にも多大な迷惑をかけることとなっている。



写真 7-1 高所作業車による打音点検状況

巻末資料-3 覆工コンクリートの色むら・打ち重ね線と不具合の関係 (うき・はく離・はく落)

覆工コンクリートの色むらと、うき・はく離・はく落の関係について、東北地方整備局管内のNATMトンネルの点検データを分析した。

分析の対象としたトンネルは表8-1に示した12トンネルである。点検データから施工目地部から離れた部分で発生した「うき・はく離・はく落」の変状と「色むら」の関係を調べた。

なお、ここでは、「うき・はく離、はく落」は同一の変状であるが、進行程度が異なるものとして分析を行った。

うきと色むらの関連については、以下の3つのパターンが認められた。

A) 色むらの部分とうきがほぼ一致している (写真8-1)

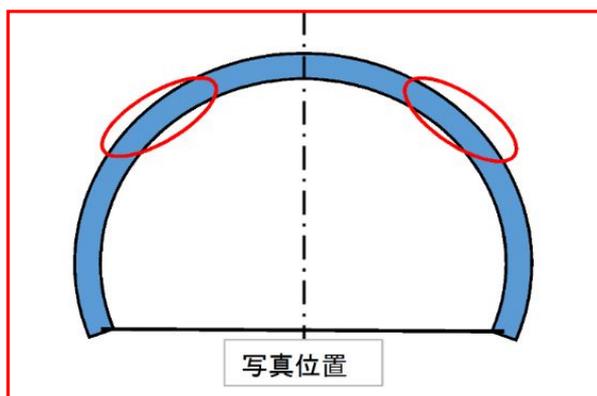


図8-1 色むらの発生位置



写真8-1 肩部付近の色むら

B) 複数の色むらの間がうきとなっている。(写真8-2)

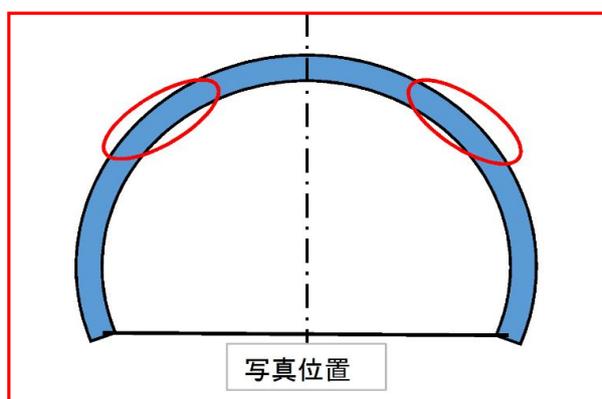


図8-2 色むらの発生位置



写真8-2 肩部付近の色むら

C) 大きな色むらの範囲にうきの部分が含まれている (写真 8-3)

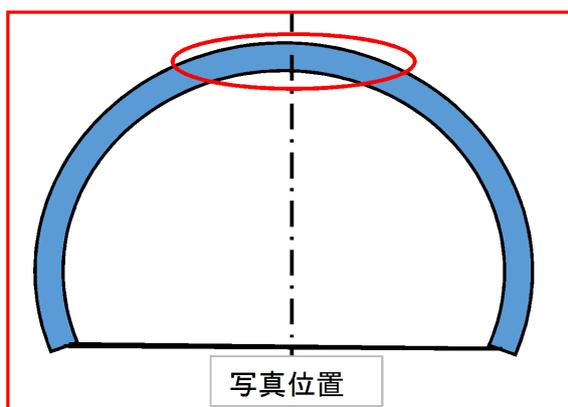


図 8-3 色むらの発生位置

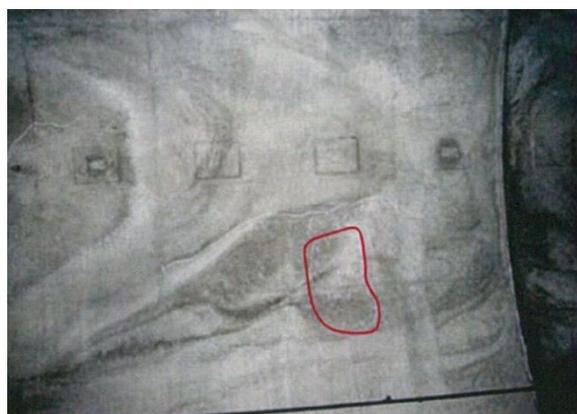


写真 8-3 天端付近の色むら

はく離、はく落の場合も、上記と同様にA、B、Cのいずれかの色むらとの関連が認められた。

表 8-1 施工目地から離れたうき・はく離・はく落の数と色むらの関係

トンネル名	完成年次	点検年次	延長 (m)	浮き数	剥離数	剥落数	3変状総数	色むら関係有	割合 %
A	2007	2009	488	6	0	9	15	12	80.0
B	2006	2009	386	0	6	0	6	6	100.0
C	2007	2009	638	0	4	4	8	7	87.5
D	2007	2011	544	0	2	0	2	2	100.0
E	1996	2003	1287	4	0	7	11	11	100.0
F	1993	2001	563	0	2	0	2	1	50.0
G	2007	2009	4491	31	0	14	45	38	84.4
H	2007	2009	579	0	0	0	0	0	0
J	1992	2002	374	0	0	0	0	0	0
L	1993	2002	154	0	0	1	1	1	100.0
M	2001	2003	774	0	0	5	5	5	100.0
N	1992	2002	122	0	0	0	0	0	0
合計				41	14	40	95	83	87.4

表 8-1 に、12 のトンネルでの分析結果を示した。施工目地から離れた場所での「うき、はく離、はく落」は合計で 95 箇所あり、そのうち色むらとの関連が認められたものが 83 箇所であった。

点検データの分析結果より、施工目地から離れた部分にあるうき・はく離・はく落の約 9 割が、色むらと関係していることが判明した。

本手引きでは、表層目視評価法などを活用して、施工中に生じる不具合を抑制して品質確保を目指している。抑制する不具合の中には色むら・打重ね線が含まれている。

その理由は、うき・はく離・はく落の変状に進行する可能性のある不具合を抑制するためのものである。

ただし、すべての色むらがうき・はく離・はく落に進展するというわけでは決してなく、うき・はく離・はく落が生じた箇所と色むらの関係が分析により判明したということであり、施工時の色むら・打重ね線への対応には留意が必要である。

巻末資料－４ 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

品質確保の方法の一つとして「施工状況把握チェックシート」と「表層目視評価シート」を組み合わせた手法が、現場に適応するかどうかを検証するために東北整備局管内で発注されている、品質確保のための試行工事。

・施工状況把握チェックシート

均質かつ密実で一体性のあるコンクリート構造物となるように、施工の基本事項が遵守されているかを施工中に確認するシート。確認項目は、コンクリート標準示方書や「トンネルコンクリート施工指針（案）」に記載されている「施工の基本事項」から、特に重要と考えられる項目と第三者被害防止に必要な観点からの項目を選定した。

・表層目視評価

表層目視評価は、打ち込まれたコンクリートの脱型後に表面の出来映えを目視で評価するものである。これまでは、数値で評価されなかった表層状態を、4段階のグレーディングにより定量評価することで、施工方法の妥当性の検証や、PDCAに活用することができる。

トンネル覆工コンクリート用の目視評価の項目として、コンクリートの表面に生じる不具合を、「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」の6項目に分類している。

・表層透気試験

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の表層を真空状態にし、その後吸引を停止し、チャンバー内の気圧が回復するまでの時間から一次元方向の表層透気係数 kT ($\times 10^{-16}m^2$) を算出する手法である。

表 9-1 は、表層透気係数によりコンクリート構造物の表面の密実性や緻密性の状態を「優」、「良」、「一般」、「劣」及び「極劣」の 5 段階にグレーディングしたものである。

表 9-1 表層透気係数によるグレーディングの目安

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

・表面吸水試験

コンクリートの表層の性能について、物質移動抵抗性の一つである水分をコンクリートに浸透させ、計測する試験。コンクリート表層の性能を評価する。

表 9-2 は、表面吸水速度によりコンクリート構造物の表面を密実性や緻密性の状態を「良」、「一般」、「劣」の 3 段階にグレーディングしたものである。

表 9-2 表面吸水速度によるグレーディングの目安

表面吸水速度 p_{600}	良	一般	劣
($ml/m^2/s$)	0.0~0.25	0.25~0.50	0.50~

・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、充てん不良（豆板や内部空洞）、異常な変形、欠け

(局所的な欠損)、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。

参考：コンクリート基本技術調査委員会不具合補修WG報告書(日本コンクリート工学会)

・トンネル点検データにおける、「うき」「はく離」「はく落」

「うき」は、覆工表面を点検ハンマーによる打音点検時、濁音を発する状態

「はく離」は、覆工表面から剥がれているが、まだくっついている状態(はく落の手前)

「はく落」は、覆工表面からすでに剥がれ落ちてしまった状態

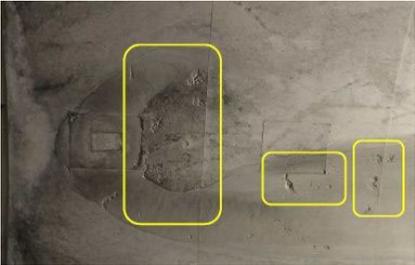
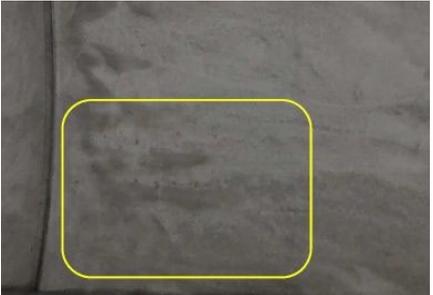
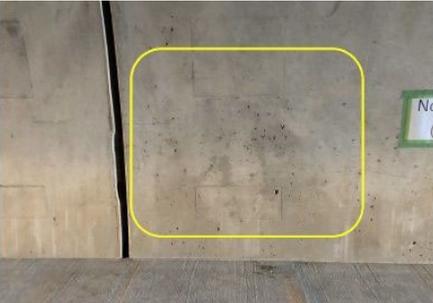
・追加養生

コンクリート構造物が、十分な耐久性を発揮するために必要な緻密性を得るために、追加して行う封緘養生または湿潤養生のこと。

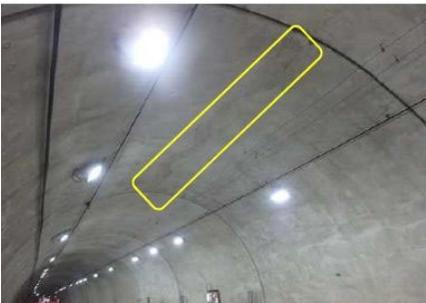
・PDCAサイクル

PLAN・DO・CHECK・ACTという計画、実行、評価、改善のサイクルのこと。ものごとを進める上において、計画と実行、結果の収集とレビューを継続的に行ってその内容を改善しながら次のステージへと進めていくことをPDCAサイクルという。

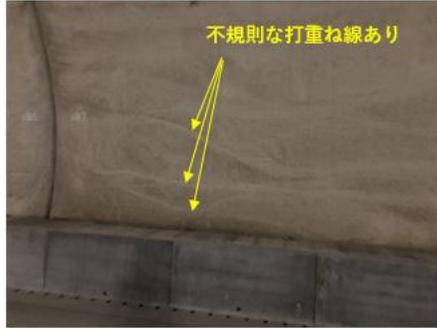
4段階のグレーディングの事例写真(1)

	4点	3点	2点	1点
①表面はく離 (アーチの1.5m×1.0m範囲で調査)				
	無し	50cm四方形程度の大きさで見られる	1㎡四方形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 (アーチの1.5m×1.0m範囲で調査)				
	5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる

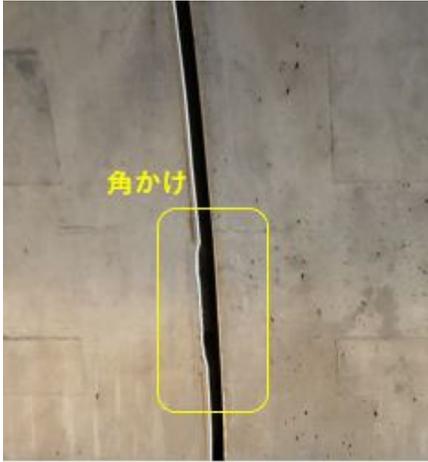
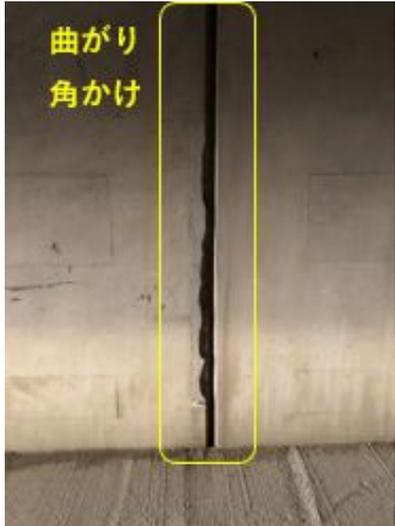
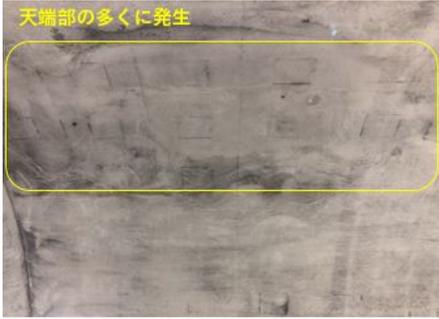
4 段階のグレーディングの事例写真(2)

	4点	3点	2点	1点
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
④ 色むら(天端のみ評価)				
	ほぼ無し	天端の1/10程度に 見られる	天端の1/2程度に 見られる	2点の状態以上に 広範囲に見られる

4段階のグレーディングの事例写真(3)

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

4 段階のグレーディングの事例写真(4)

	4点	3点	2点	1点
⑥ 施工目地不良				
	無し	側壁の1/10 程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁の1/3 程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁全体もしくは天端範囲に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる
⑦ ヒンジ・検査窓枠 ・箱抜き型枠のノロ漏れ				
	無し	1箇所程度見られる	2~3箇所程度見られる	3箇所を超える箇所に発生 段差がある

記録様式①-1案

トンネル覆工コンクリート施工状況把握シート（標準配合を使用）

事務所名	工事名		出来映えの影響				第三者被害防止に関する事項			
トンネル名称	打込み位置	打込み番号	表層目視評価の項目							
受注者	確認者		表面はく離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら		打重ね線	施工目地不良	箱抜き型枠のノロ漏
配合	確認年月日									
打込み開始時間	時	分	打込み時坑内温度	°C						
打込み終了時間	時	分	打込み作業人員	名	パイプレータ台数	台(予備含む)				
トラブルによる打込み中断時間	時	分	打込み数量	m ³	平均打込み量	m ³ /h				

施工開始前に1回のみ実施

施工段階	チェック項目	記述	確認 √点	チェック理由	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
施工前											
打込み 方法	1.側壁から肩（アーチ）の範囲の打込み・締固め方法を計画したか			・横流しによる過度な締固めが要因となる材料分離の発生やエントレインドエアの喪失による耐凍害性の低下を防止する							
	2.天端吹上げ方式による打込み範囲の締固め方法を計画したか			・施工に起因する不具合の発生を防止する ・天端部の充填性を確保する							
	3.完成後のコンクリートの収縮・膨張による施工目地部の不具合の抑制方法について計画したか			・施工目地部のコンクリートの付着を防止し、施工目地部のうき、はく離、ひび割れの発生を防止する							
	4.型枠の設置・打込み・脱枠・移動の作業時に既設覆工にひび割れを発生させない対策を計画したか			・施工目地部の施工に起因する不具合を防止する	○	○	○	○	○	○	○
教育	1.覆工従事者に対して、品質確保の取組みの重要性、打込み手順等について周知したか			・発注者・施工者が一体となり品質確保の取り組みを行うことで、施工に起因する不具合の発生を防止する							
	2.監督員と施工状況把握チェックシート・表層目視評価の実施時期について提出したか			・覆工コンクリートの施工状況を把握してPDCAをまわすことで、品質を継続的に向上する。							
施工時											
準備工	1.打込み範囲の底部に水たまりや結束線の残物はないか			・水たまりによる底部や施工目地部のコンクリートの品質低下やひび割れを防止する				○			○
	2.型枠の設置場所は、数均し良好な地盤で不等沈下の懸念はないか			・不平等沈下による有害なひび割れの発生（半月状・縦断ひび割れ、はく離等）を防止する	○						○
	3.既設コンクリートの施工目地部に、型枠の過度の押し上げによるひび割れはないか			・半月状ひび割れのうき・はく離への進展による第三者被害の発生を防止する							○
	4.防水シートのたるみは適当であるか（張りすぎても不適當）			・張りすぎによる背面空洞及び漏水の発生を防止する							○
	5.型枠表面状況の確認（ケレン残しは無い）			・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する	○	○		○			○
	6.剥離剤の塗布状況の確認（塗布もれは無い）			・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する	○	○		○			○
	7.施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか			・目地材の移動による豆板・うき・はく離の発生による第三者被害の発生を防止する							○
	8.つま型枠の固定は確実か			・つま型枠の移動等による目地部不良の発生、つま型枠崩壊による打込みの中断を防止する							○
	9.箱抜き型枠、型枠ヒンジ部（縦断方向）に加工誤差・設置不良による隙間はないか			・モルタル分の流出による砂すじ・豆板の発生、緻密性の低下を防止する	○		○				○
	10.鉄筋のかぶり厚は確保されているか、整固に固定されているか			・かぶり不足による耐久性の低下を防止する							○
	11.覆工従事者が確認できるように打重ね高さの管理方法が周知されているか			・打重ね不良（コールドジョイント）の発生を防止する	○	○	○	○	○	○	○
運搬	1.練り混ぜ完了から打込み完了までの時間は適切か			・品質が規格外となった場合は、原因の追究を行い改善する ・水はしり・砂すじ・打重ね線、豆板等が発生し、コンクリートの品質が確保出来ない	○	○	○	○	○	○	○
品質	1.受入検査結果はコンクリートの品質規格を満足しているか			・品質が規格外となった場合は、原因の追究を行い改善する ・水はしり・砂すじ・打重ね線、豆板等が発生し、コンクリートの品質が確保出来ない	○	○	○	○	○	○	○
	1.コンクリートの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			・材料分離による過大な気泡、豆板等の発生及び品質低下を防止する	○	○		○			○
	2.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を防止する		○	○	○	○	○	○
	3.左右対称の高さで打込みをしているか			・偏荷重による型枠変形や押し出しによる施工目地部の不具合の発生を防止する		○		○	○	○	○
	4.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか			・材料分離およびブリーディングの発生を防止する ・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する		○	○		○		○
	5.締固め時間の管理を実施しているか			・過度な締固めによる材料分離およびブリーディングの発生を防止する ・打重ね線の発生を防止する ・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する	○	○		○	○	○	○
	6.締固め時のパイプレータと鉄筋の接触により、鉄筋の移動や結束不良によるかぶり不足は発生していないか			・鉄筋とコンクリートの付着不足を防止する							○
	7.つま部のブリーディングやノロの排出は十分に行っているか			・かぶり不足による鉄筋の露出や耐久性の低下を防止する							○
打込み (側壁～ アーチ)	8.打込み口（検査窓）の閉鎖状況（締め付け）は十分か			・施工目地部の強度低下による早期劣化、うき、はく離、はく落を発生する				○	○	○	○
	9.天端吹上げ口周囲に打込み当初の残留コンクリートはないか			・段差の発生とノロ漏れによる砂すじ発生、緻密性の低下を防止する	○						○
	10.パイプレータをコンクリートの横移動に使用していないか			・色むら、うき、はく離、はく落の発生防止 ・材料分離およびブリーディングの発生を防止する				○			○
	11.肩部との打重ね箇所の締固めは確実に行ったか			・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する							○
	12.天端部のブリーディングやノロの排出は十分に行っているか			・ひび割れに発展する打重ね線の発生を防止する							○
	13.天端部の締固めは計画通りに実施したか			・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する							○
取外し	14.充填確認を行ない打込みを終了したか			・はく離・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する	○	○	○	○	○	○	○
	1.型枠の取外しに必要な強度が発現する養生時間（○時間）を厳守して、取外しを行ったか			・背面空洞の発生や密実性の低下を防止する	○						○
※ 特記 事項	型枠 設備										
	配合										
	養生 設備										
	運搬										

※：特記仕様書、受注者の創意工夫、技術提案等により個別にトンネル毎に定めるものとする

記録様式①-2案

トンネル覆工コンクリート施工状況把握シート（流動性が高い配合を使用）

事務所名		工事名	
トンネル名称		打込み位置	打込み番号：
受注者		確認者	
配合	側壁～アーチ： 天端：	確認年月日	年 月 日 ()
打込み開始時間	時 分	打込み時坑内温度	°C
打込み終了時間	時 分	打込み作業人員	名 バイブレータ台数 (予備含む)
トラブルによる打込み中断時間	時 分 ~ 時 分 計 分	打込み数量	m ³ 平均打込み量 m ³ /h

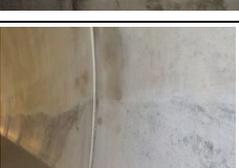
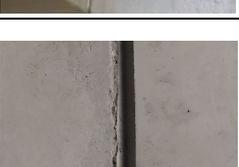
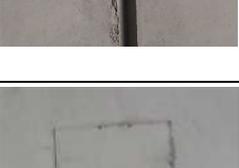
出来映えの影響							第三者被害防止に関する事項 ヒンジ・検査窓・箱 抜き型枠のノロ漏れ
表層目視評価の項目							
表面はく離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら	打重ね線	施工目地不良		

施工開始前に1回のみ実施

施工段階	チェック項目	記述	確認 √点	チェック理由	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
施工前												
配合	1.側壁から肩（アーチ）の範囲に使用する配合は、横流しが不要となる流動性と材料分離抵抗性を確保したか 2.天端範囲に使用する配合は、吹上げ打設方式に適した流動性と材料分離抵抗性を確保したか			・流動性・材料分離抵抗性を向上したコンクリートの使用により、覆工コンクリート全体の均質性、つま部の密実性を確保する ・横流しが要因となる、材料分離の発生やエントレインドエアの喪失による耐凍害性の低下を防止する								
打込み方法	1.側壁から肩（アーチ）の範囲は、延長方向2箇所の打込み口を設置したか 2.天端吹上げ方式による打込み範囲の締固め方法を計画したか 3.完成後のコンクリートの収縮・膨張による施工目地部の不具合の抑制方法について計画したか 4.型枠の設置・打込み・脱枠・移動の作業時に既設覆工にひび割れを発生させない対策を計画したか			・施工に起因する不具合の発生を防止する ・天端部の充填性を確保する ・施工目地部のコンクリートの付着を防止し、施工目地部のうき、はく離、ひび割れの発生を防止する ・施工目地部の施工に起因する不具合を防止する	○	○	○	○	○	○	○	
教育	1.覆工従事者に対して、品質確保の取組みの重要性、打込み手順等について周知したか 2.監督員と施工状況把握チェックシート・表層目視評価の実施時期について提出したか			・発注者・施工者が一体となり品質確保の取組みを行うことで、施工に起因する不具合の発生を防止する ・覆工コンクリートの施工状況を把握してPDCAをまわすことで、品質を継続的に向上する。								
施工時												
準備工	1.打込み範囲の底部に水たまりや結束線の残物はないか 2.型枠の設置場所は、数均し良好な地盤で不等沈下の懸念はないか 3.既設コンクリートの施工目地部に、型枠の過度の押し上げによるひび割れはないか 4.防水シートのたるみは適当であるか（張りすぎても不通過） 5.型枠表面状況の確認（ケレン残しは無い）か 6.剥離剤の塗布状況の確認（塗布もれは無い）か 7.施工目地材の固定は確実か、曲がりはないか 8.つま型枠の固定は確実か 9.箱抜き型枠、型枠ヒンジ部（縦断方向）に加工誤差・設置不良による隙間はないか 10.鉄筋のかぶり厚は確保されているか、堅固に固定されているか 11.覆工従事者が確認できるよう打重ね高さの管理方法が周知されているか			・水たまりによる底部や施工目地部のコンクリートの品質低下やひび割れを防止する ・不等沈下による有害なひび割れの発生（半月状・縦断ひび割れ、はく離等）を防止する ・半月状ひび割れのうき・はく離の進展による第三者被害の発生を防止する ・張りすぎによる背面空洞及び漏水の発生を防止する ・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する ・覆工表面の緻密性の低下（はく離、豆板等の発生）を防止する ・目地材の移動による豆板・うき・はく離の発生による第三者被害の発生を防止する ・つま型枠の移動等による目地部不良の発生、つま型枠崩壊による打込みの中断を防止する ・モルタル分の流出による砂すじ・豆板の発生、緻密性の低下を防止する ・かぶり不足による耐久性の低下を防止する	○	○	○	○	○	○	○	○
運搬	1.練り混ぜ完了から打込み完了までの時間は適切か			・規定時間を超過した場合の材料分離、スランプ低下、空気量の変動による施工性・品質の低下を防止する ・品質が規格外となった場合は、原因の追究を行い改善する	○	○	○	○	○	○	○	
品質	1.受入検査結果はコンクリートの品質規格を満足しているか			・品質が規格外となった場合は、原因の追究を行い改善する ・水はしり・砂すじ・打重ね線、豆板等が発生し、コンクリートの品質が確保出来ない	○	○	○	○	○	○	○	
打込み（側壁～アーチ）	1.コンクリートの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 2.コンクリートの一層あたりの打込み高さは50cm以下か 3.左右対称の高さで打込みをしているか 4.バイブレータをコンクリートの横移動に使用していないか 5.締固め時間の管理を実施しているか 6.締固め時のバイブレータと鉄筋の接触により、鉄筋の移動や結束不良によるかぶり不足は発生していないか 7.つま部のブリーディングやノロの排出は十分に行っているか 8.打込み口（検査窓）の閉鎖状況（締め付け）は十分か 9.天端吹上げ口周囲に打込み当初の残留コンクリートはないか			・材料分離による過大な気泡、豆板等の発生及び品質低下を防止する ・締固め不足や材料分離を防止する ・偏荷重による型枠変形や押し出しによる施工目地部の不具合の発生を防止する ・材料分離およびブリーディングの発生を防止する ・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する ・過度な締固めによる材料分離およびブリーディングの発生を防止する ・打重ね線の発生を防止する ・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する ・かぶり不足による鉄筋の露出や耐久性の低下を防止する ・施工目地部の強度低下による早期劣化、うき、はく離、はく落を発生する ・段差の発生とノロ漏れによる砂すじ発生、緻密性の低下を防止する	○	○	○	○	○	○	○	
打込み（天端）	9.天端吹上げ口周囲に打込み当初の残留コンクリートはないか 10.バイブレータをコンクリートの横移動に使用していないか 11.肩部との打重ね箇所の締固めは確実に行ったか 12.天端部のブリーディングやノロの排出は十分に行っているか 13.天端部の締固めは計画通りに実施したか 14.充填確認を行ない打込みを終了したか			・色むら、うき、はく離、はく落の発生防止 ・材料分離およびブリーディングの発生を防止する ・エントレインドエアを確保し、凍害の発生を防止する ・ひび割れに発展する打重ね線の発生を防止する ・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する ・はく離・水はしり・砂すじ・色むら・施工目地不良の発生を防止する ・背面空洞の発生や密実性の低下を防止する	○	○	○	○	○	○	○	
取外し	1.型枠の取外しに必要な強度が発現する養生時間（〇時間）を厳守して、取外しを行ったか			・コンクリートの強度不足によるはく離を防止する	○						○	
※ 特記事項	型枠設備											
	配合											
	養生設備											
	運搬											

※： 特記仕様書、受注者の創意工夫、技術提案等により個別にトンネル毎に定めるものとする

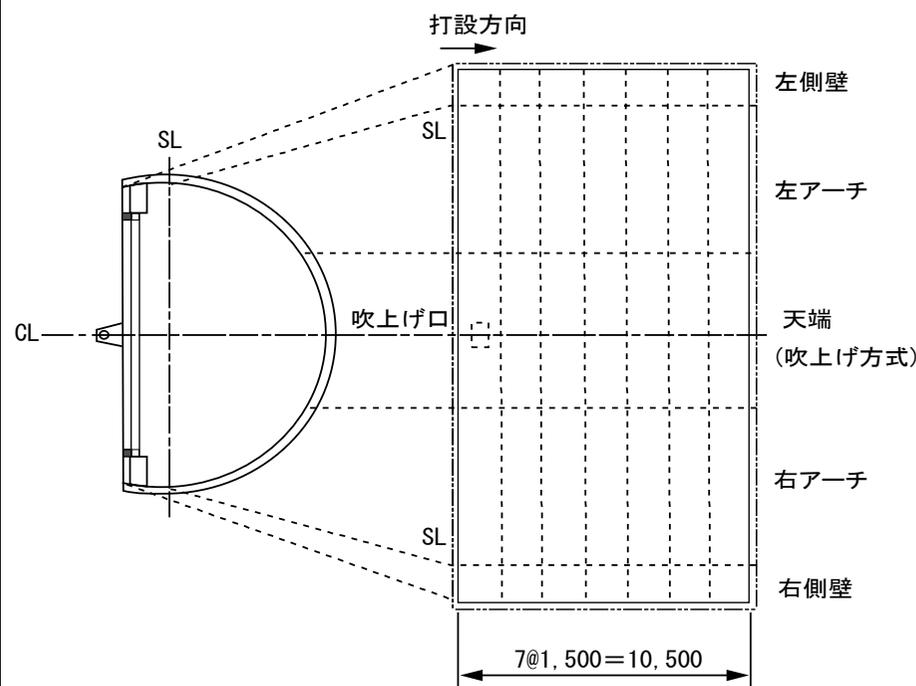
トンネル覆工コンクリート表層目視評価の方法

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 表面はく離		無し	50cm四方程度の大きさで見られる	1m ² 程度の大きさで見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる	準備-5	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する(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する(不具合時は作業員の再教育)
						打込み-1, 5	打込み方法	・打込み方法を改善し、コンクリートの材料分離を防止する
						打込み-9	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
						打込み-13	締固め方法	・天端のコンクリート締固め方法を改善する
② 気泡 (アーチの1.5m×1.0m範囲で調査)		5mm以下の気泡もほぼ無し	5mm程度の気泡が10ヶ程度見られる	10mm以上が10ヶ程度または5mm以下が20ヶ程度見られる	10mm以上が20ヶ程度見られる	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及を行い、是正する
						打込み-1	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出来るだけ小さくする
						準備-11 打込み-2	1層の打込み高さ	・1層の打込み高さを管理し、適切な締固めで巻き込み空気を除去する(かけ過ぎは避ける)
						打込み-3	左右対称の打込み	・打込み用の配管切り替え手順をあらかじめ決めておく(余振り、箱抜きの有無考慮)
						打込み-4, 5	打込み・締固め方法	・バイブレータによる締固め方法・締固め時間を改善する(かけ過ぎは避ける)
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で見られる	準備工-9	箱抜き型枠の加工誤差 セントルヒンジ部の隙間	・型枠加工精度を上げて、型枠との隙間を無くする及び型枠との固定を確実にする ・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する(特にスランプ大の場合発生)
						打込み-2	1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)
						打込み-4, 5, 10	打込み・締固め方法	・バイブレータによる締固め方法・締固め時間を改善する(かけ過ぎは避ける)
						打込み-7, 12	ブリーディング水等の排出	・排出方法(パンチング型枠等の使用)や排出頻度を改善する
④ 色むら (天端のみ評価)		ほぼ無し	天端の1/10程度に見られる	天端の1/2程度にみられる	2点の状態以上に広範囲で見られる	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する(不具合時は作業員の再教育)
						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を均一に塗布する ・施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育)
						運搬-1	一定間隔の打込み	・打重ね時間を一定間隔にとし、中断時間が発生しないように打込む
						打込み-12	ブリーディング水等の排出	・排出方法(パンチング型枠等の使用)や排出頻度を改善する
						打込み-13	締固め方法	・天端のコンクリート締固め方法を改善する
⑤ 打重ね線 (側壁・アーチを評価)		規則的(50cm間隔で水平な打重ね線)な打重ね線が見られる、もしくは打重ね線が見られない	不規則な打重ね線が調査対象範囲の1/5程度に見られる	不規則な打重ね線が調査対象範囲の1/2程度に見られる	2点の状態以上に広範囲で見られる	準備-11 打込み-2, 3	1層の打込み高さ	・1層の打込み高さを管理し、下層コンクリートにバイブレータを10cm程度挿入し適切な締固めを行う
						運搬-1	一定間隔の打込み	・打重ね時間を一定間隔にとし、中断時間が発生しないように打込む
						品質-1	生コンの規格を満足か	・規格外の生コンは廃棄する
						打込み-11	打重ね時間	・肩(アーチ)から天端吹上げ方式への移行は迅速に行い、可能な限り打重ね時間を短縮する
⑥ 施工目地不良		無し	側壁・アーチの1/10程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁・アーチの1/3程度に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	側壁・アーチの全体、もしくは天端範囲に曲がり・ひび割れ・角かけ・ノロ漏れが見られる	準備-1	打込み箇所底部の清掃	・施工状況把握チェックシートにて最終確認する(不具合時は作業員の再教育)
						準備-2	堅硬な地盤	・不等沈下防止対策を講ずる
						準備-3	型枠の設置・脱枠・移動の管理	・型枠の設置・脱枠・移動時の手順について再確認する
						準備-7, 8	目地材・つま型枠の固定不足	・固定方法の改善、固定状況を打込み前に再確認する
						準備-11 打込み-2, 3	1層の打込み高さ	・1層の打込み高さを管理し、下層コンクリートにバイブレータを10cm程度挿入し適切な締固めを行う
⑦ ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ		無し	1箇所程度見られる	2~3箇所見られる	3箇所を越える箇所に発生 段差がある	準備-9	箱抜き型枠の加工誤差 セントルヒンジ部の隙間	・型枠加工精度を上げて、型枠との隙間を無くする及び型枠との固定を確実にする ・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
						打込み-8	検査窓の固定不足 検査窓の隙間	・ハンマー打撃で固定ピンを叩いて確実に挿入する、検査窓にバイブレータを当てて締固めを行わない ・型枠本体と検査窓に隙間がある場合、検査窓周囲に輪ゴム(例:長さ50cm、厚さ1mm、幅6mm)を設置

※評価点は中間点も可とする。

トンネル覆工コンクリート表層目視評価シート

工事名		打込み番号	BL	スパン長(m)	打込み回数	調査者
トンネル名称	測点	自	P=	打込み日	初期養生終了日	確認者
		至	P=	脱型日	調査日	
配合		セントル打設システム等			養生の工夫等	



目視調査項目

項目	表面剥離	気泡	水はしり・砂すじ	色むら	打重ね線	施工目地不良	ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れ	点数計
	記号	h	a	s	i	u	m	
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*: 天端は吹上げ方式による打込み範囲

左右: 打設進行方向に対して

スパン点

(満点28点)

◆全体記事

◆改善策(施工状況把握チェックシートの関連性を記載)

■調査時期: 脱型直後から初期養生開始前にかけて実施

■調査方法: 天端部からアーチ、側壁へと覆工表面を目視調査

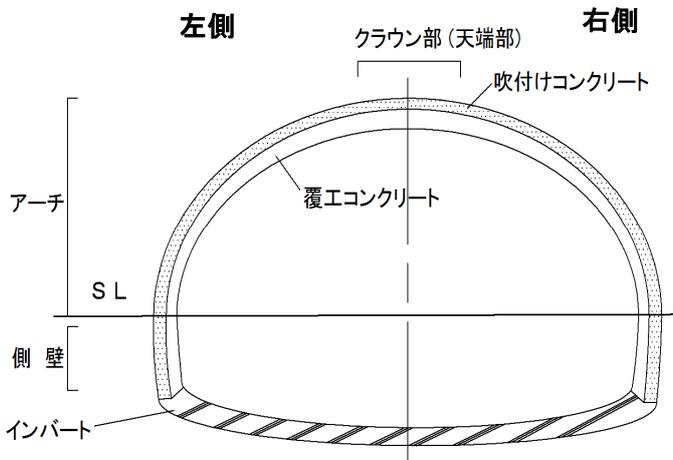
表層透気試験記録

トンネル名:	測定者	
打設ブロック番号:No.	測定日時	平成 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 (月)	測定時の気温	℃
脱型時の覆工コンクリートの材齢: 日 (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:		

	測定ブロック番号		
測定結果			
覆工コンクリートの含水率	%		
表層透気係数(KT値)	$\times 10^{-16} \text{m}^2$		
測定深さ	cm		
品質評価	グレード		
備考			

表面状況写真

試験位置



断面図(打設方向に対して)

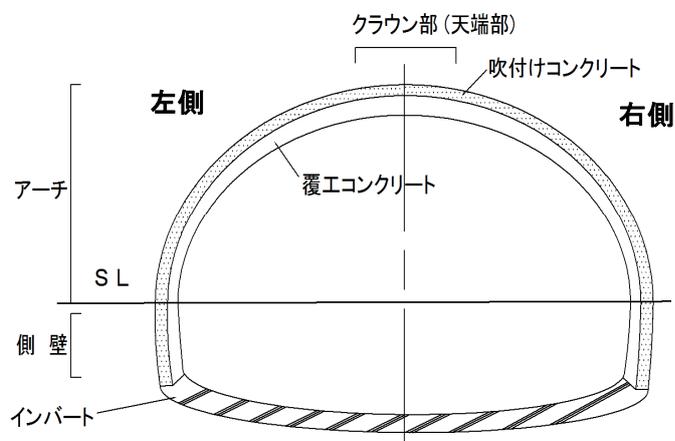
表面吸水試験記録

トンネル名:	測定者	
打設ブロック番号:No.	測定日時	平成 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 (月)	測定時の気温	℃
脱型時の覆工コンクリートの材齢: 日 (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:		

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

表面状況写真

試験位置



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									cm	%	℃	℃
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									cm	%	℃	℃
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												