

はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術を対象とした 新技術導入促進の取り組み

鈴木 健之

道路トンネルでは覆工の老朽化に伴って生じるはく落により通行車両が損傷する等の利用者被害の発生が懸念される。さらに、はく落が発生した場合には、利用者被害の恐れだけではなく、通行止めを伴う緊急点検および応急措置を実施することとなり、一般交通への影響が懸念される。この対策として、トンネル新設時にはく落抑制対策を実施することにより、はく落による被害防止と定期点検時の打音検査、たたき落とし作業の軽減が期待される。

本報文では、「はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術」の導入を促進するためのガイドライン案の作成経緯とその内容について取りまとめた。

キーワード：道路トンネル、維持管理、利用者被害防止、点検作業の省力化、はく落抑制技術

1. はじめに

現在、国内では、約 1.1 万施設の道路トンネルを供用している¹⁾。トンネルを始めとする各種インフラを安全に供用し続けるためには、点検や補修などの一連の維持管理作業を適切に行うことが重要となる。道路トンネルの維持管理に関する要領類としては、「道路トンネル定期点検要領」²⁾があり、同要領には、トンネルに発生する変状として、ひび割れ、うき、はく離、漏水などがあり、5年に1回の頻度で定期点検を行うことが基本であると明記されている。

一方、トンネルの構造的な特徴に目を向けると、トンネルは橋梁などの他のインフラ構造物とは異なり、利用者の周囲に構造体が存在している。このため、トンネルの構造安定性に影響しないような微小なはく落や少量の漏水などであっても、通行車両の損傷などのいわゆる利用者被害を招く可能性がある。このように、トンネルでは、構造安定性のみではなく、利用者被害の観点における維持管理も重要となる。

以上のような背景のもと、国土交通省では道路トンネルの覆工コンクリートからのはく落に対し、はく落の発生抑制等に資する新技術を公募し、技術の検証を実施した上で、その結果を公表し、新技術のさらなる活用の促進を図ることとしている。

2. 道路トンネルにおけるはく落の実態

(1) うき・はく離、はく落の概要

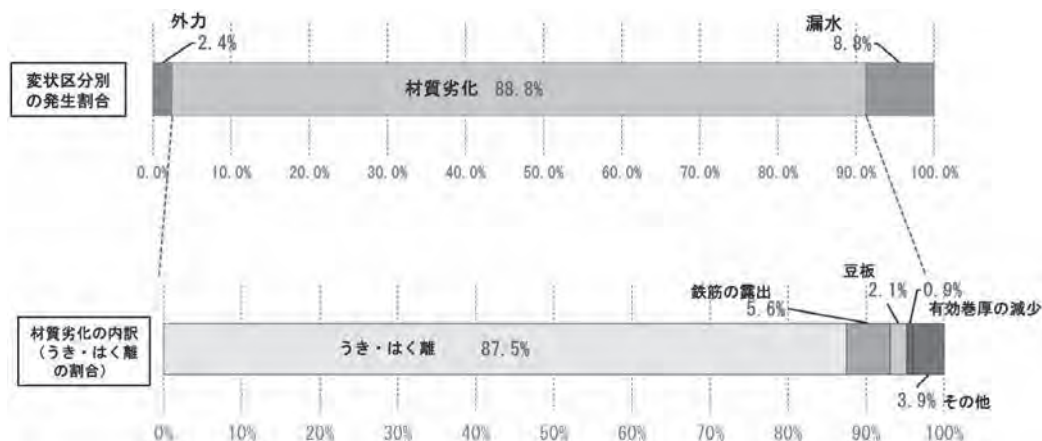
トンネルには、ひび割れ、うき・はく離、漏水等、種々の変状が発生する。これらのトンネルの変状は発生原因により、外力、材質劣化、漏水に区分される²⁾。

トンネルに発生する変状のうち約 90%が材質劣化によるものであるとの報告がある³⁾。また同報告によると、図—1³⁾に示すように、材質劣化を原因とする変状のうち、はく落の要因となる「うき・はく離」が約 90%を占めることが示されている。

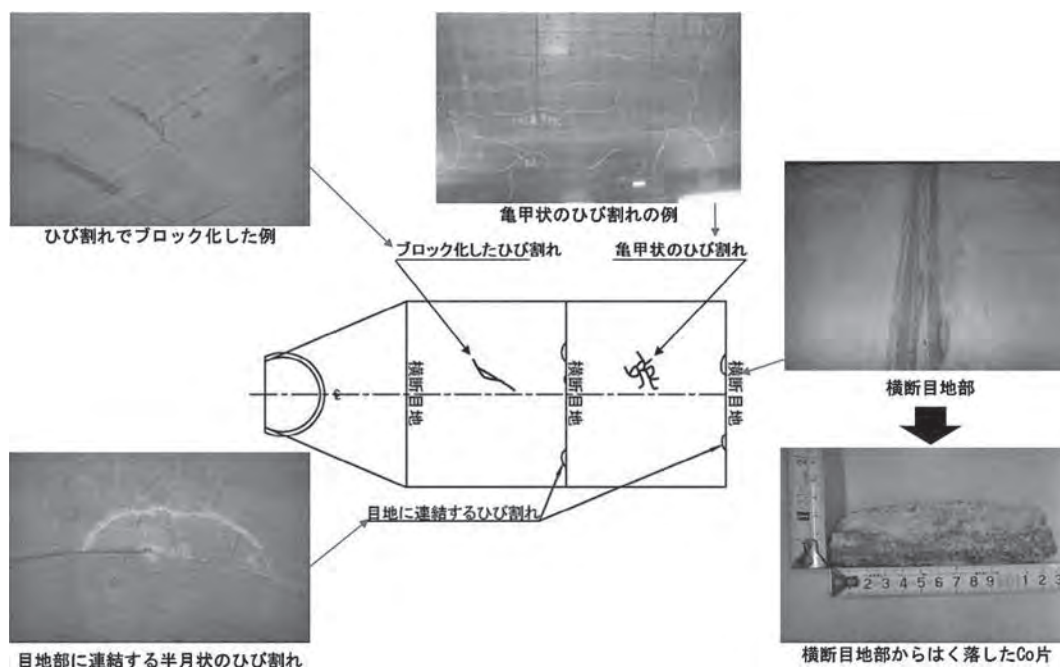
トンネルの覆工コンクリートに発生するうき・はく離は、図—2³⁾に示すようにコンクリートの乾燥収縮および温度伸縮、あるいは外力によるひび割れがブロック化すること等によって生じる。

(2) はく落の発生状況

表—1³⁾は、国が管理する道路トンネルにおけるはく落の発生状況を一覧表に整理したものである。同表によると、平成 25 年から令和元年の間、10 件程度のはく落の発生が認められる。覆工コンクリートのはく落の規模は、写真—1³⁾に示されるように数 cm 程度の大きさであり、供用中の道路トンネルでこのようなはく落片がトンネル上方から落下すると、トンネルを通行する人や車両などの利用者に被害を及ぼすこととなる。



※平成26年～平成30年の定期点検結果（国管理）をもとに作成
 ※変状等の健全性の診断においてⅢおよびⅣと判定された変状を対象
 図一1 トンネルの変状区分と変状種類の関係（文献³⁾に一部加筆）



図一2 うき・はく離ならびにはく落の一例³⁾

(3) はく落対策の現状

はく落の発生を抑制するための一般的な方法として、はく落の発生につながるうき・はく離を事前に把握し、はく落が懸念される場合は該当するうき・はく離を事前にたたき落とすという手法がとられている。うき・はく離の把握は、5年周期で行われる定期点検において、人力での打音検査によるのが一般的である。トンネル坑内での打音検査は上向き作業となる部分が多く、苦渋作業を伴うこととなる。また、はく落が生じた箇所については、内面補強工などによる補修工事を行うことがあるが、補修工事を行う場合には車線規制が必要となることが多い。

我が国では、今後、本格的な少子高齢化社会を迎えるため、人力によるたたき落とし作業の低減など、一

連の維持管理作業の省力化や効率化がより一層求められるものと考えられる。

3. 新技術導入促進の取り組み

(1) 新技術導入促進の概要

国土交通省道路局では、令和元年12月に開催された「道路技術懇談会（座長：久田真東北大学大学院教授）」において、道路分野における新技術導入促進方針（案）が示され、良い技術は活用するとの方針のもと、異業種・他分野技術や新材料など、これまで必ずしも活用が十分でなかった分野も含めて導入を促進していくこととされた。また、令和2年4月に開催された道路技術懇談会において、道路局より令和2年度

表—1 はく落の発生状況を一覧³⁾

発生年度	発生状況	規模	人的・物損被害の有無	推定原因
H25	矢板工法のトンネルで天井アーチ部（張り出し部）からCo片が落下	手のひらサイズ	無	雨水の浸透による部分的なコンクリートの劣化
H25	矢板工法のトンネルで天井アーチ部からCo片が落下	長さ5cm×幅5cm	有 （車両/物損）	たたき落としにより除去できなかった部分の乾燥収縮
H25	矢板工法のトンネルで側壁部水平打継ぎ目から目地モルタルが落下	長さ100cm×幅15cm	無	水平打継ぎ目での乾燥収縮
H26	矢板工法のトンネルで側壁部水平目地目地部から覆工Coが落下	長さ約200cm×幅11cm	無	降雨による地下水位の上昇に伴い、水圧増加によって覆工コンクリートを押し出し
H26	NATMのトンネルでアーチ目地部からCo片が落下	長さ11cm×幅17cm	無	施工時の目地部の処理の不備による可能性
H26	矢板工法のトンネルで天井アーチ部からCo片が落下	長さ約2cm×幅約2cm	有 （車両/物損）	漏水による目地部のコンクリート劣化
H27	矢板工法のトンネルで側壁の補修材（PCL版）の根固めモルタルが落下	長さ20cm×幅10cm	無	補修材（PCL版）支持版の腐食
H31（R1）	矢板工法のトンネルでアーチ部からCo片が落下の疑い（利用者からの申出）	不明	有 （車両/物損）	不明（Co片が落下した箇所を特定することは出来なかった）
H31（R1）	矢板工法のトンネルでアーチ部からCo片が落下の疑い（利用者からの申出）	不明	有 （車両/物損）	不明（Co片が落下した箇所を特定することは出来なかった）
H31（R1）	NATMのトンネルで横断目地部からCo片が落下	長さ13cm×幅3cm	無	施工時の目地部の処理の不備による可能性

写真—1 覆工コンクリートのはく落片の一例³⁾

新技術導入促進計画（案）が提示され、有識者等による議論を経て、「道路分野における新技術導入促進方針」⁴⁾ならびに「令和2年度 新技術導入促進計画」⁵⁾が公表された。新技術導入促進計画⁵⁾には、導入促進の対象となる技術分野と導入促進機関の関係が示されている。ここでいう導入促進機関とは、国土交通省と連携して新技術の活用に必要な技術基準類の検討や技術の実証を行うための第三者機関³⁾のことであり、本取り組みの対象となるトンネル分野では、当協会が指定されている。

(2) はく落発生抑制等に資する新技術の導入促進

現行の覆工コンクリートのはく落発生抑制対策は、車線規制下でのうき等の点検と補修工事を中心となっており、トンネル覆工のはく落に起因する点検や補修などの一連の維持管理作業を省力化するための一つとして、はく落の発生を抑制するためのトンネル覆工技術が考えられる。

そのため、国土交通省では、トンネル覆工のはく落の発生を抑制する技術について新技術の導入促進に取り組んでいる。

4. 対象技術の分類

はく落発生抑制等に資する新技術の導入促進では、対象となる技術を公募し、選定された技術に対して性能確認方法により技術の実証を行うこととなっている。今回、応募された技術は、表—2に示す2分類4細目に分類される。本報文で対象とするはく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術については、「はく落の発生を抑制」する効果が期待される技術のうち、覆工コンクリート施工時もしくは覆工コンクリート施工直後に施工する技術を対象とすることとした。ここで、

表—2 対象技術

分類	細目	技術概要
材料の添加技術	繊維補強	コンクリートへ繊維を添加することで、繊維の架橋効果（コンクリートのひび割れ部において、繊維がコンクリートを繋ぎ止める効果）によりコンクリートのはく落を抑制する。
材料の塗布、貼付け技術	表面シート埋込	コンクリート表面に繊維シートを埋設することで、コンクリートのはく落を抑制する。
	繊維シート+接着剤	繊維シートを樹脂等の接着剤によりコンクリート表面へ貼り付けることで、コンクリートのはく落を抑制する。
	表面被覆樹脂	コンクリート表面を樹脂によって被覆することで、コンクリートのはく落を抑制する。

はく落の発生を抑制する効果が期待される技術とは、うき・はく離が生じて直ちに覆工コンクリート片がはく落（落下）しない技術を指す。

5. 要求性能と性能確認方法

新技術導入促進の取り組みでは、対象となる新技術に対して、以下の項目を明示することが求められている³⁾。

- ①新技術の要求性能
- ②新技術の性能確認方法

以下に、はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術に対する要求性能と性能確認方法について述べる。

(1) 要求性能

本対象技術の要求性能は、以下の観点から設定することとした。

- ①トンネル覆工への影響に関する確認
- ②はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術の要求性能

①は、現行の基準^{6),7)}により建設される覆工に対し、新技術を利用することで覆工に求められる性能を低下させることがないかを確認することを目的としたものである。②は、はく離したコンクリート塊に対するはく落抵抗性を対象としたもので、はく落発生抑制等に対する性能評価を目的としたものである。表—3に覆工への影響確認・はく落発生抑制等の要求性能評価の項目一覧を示す。

(2) 要求性能の確認・評価方法

上述の要求性能を確認・評価するための方法を検討し、新技術の性能確認・評価方法として設定した。要求性能の確認・評価方法は、「トンネル覆工への影響

に関する確認」と「はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術の要求性能評価」のそれぞれについて設け、その確認方法および結果の読み方を表—4に示す。なお、「はく落発生抑制性能」は、技術の分類によって、表—5に示すようにその確認方法が異なるため、それぞれ別の試験ではなく落発生抑制性能を確認する。

6. ガイドライン（案）の作成

はく落抑制技術の導入促進するために、ガイドライン（案）を作成することとした。ガイドライン（案）には、表—4に示したはく落発生抑制性能や耐久性の各種項目以外にも施工方法、経済性などの評価の解釈方法を取りまとめ公表することとした。これにより、各トンネル現場で適したはく落抑制技術の選定、あるいは類似技術を比較するための参考資料として利用することができる。

7. おわりに

今後は、ガイドラインの活用等により、新技術の活用が促進されることが期待される。

謝 辞

本取り組みでは、はく落発生抑制等に資する技術の性能確認項目、試験方法、試験結果等について検討する「はく落発生抑制等トンネル覆工技術の導入促進に関する技術検討委員会（委員長：砂金伸治東京都立大学教授）」を設置し、要求性能や要求性能の確認・評価方法等について審議いただいた。ここに記して委員長ならびに委員各位へ謝意を表す。

表—3 覆工への影響確認・はく落発生抑制等の要求性能評価の項目

影響確認項目／要求性能評価項目			繊維補強	表面シート 埋込	繊維シート + 接着剤	表面被覆 樹脂
要求性能 評価項目	はく落発生の抑制性能	曲げ靱性試験	○			
		押し抜き試験		○	○	○
影響確認 項目	耐荷性（コンクリートの圧縮強度）		○			
	耐荷性（コンクリートの引張強度）		○			
	品質性（コンクリートのスランプ試験）		○			
	品質性（レディーミクストコンクリート）		○			
	付着性				○	○
	耐久性				○	○
	耐火性			○	○	○
視認性				○	○	

表—4 覆工への影響確認・はく落発生抑制等の要求性能評価の確認方法

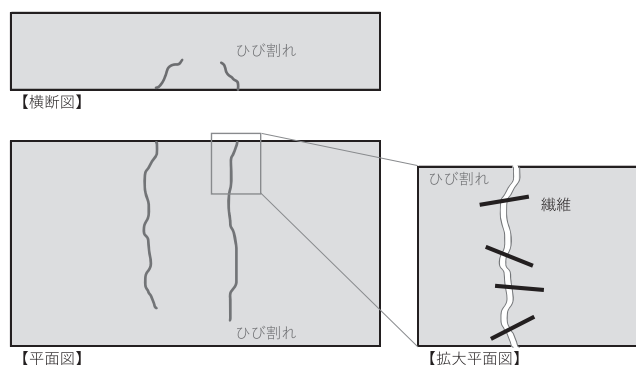
項目	分類	目的	技術細目	確認方法	結果の読み方
① 要求性能 評価項目	はく落発生 の抑制性能	ひび割れの進行抑制, はく落の抵抗性	繊維補強	曲げじん性試験	曲げじん性係数が大きいほどひび割れが進行しにくく、うき・はく離の進行やはく落の発生抑制効果を期待できる。
			表面シート埋込, 繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	押抜き強度試験	押抜き最大荷重が大きい技術は、より重量の大きいはく落塊の落下の抑止が期待できる。
② 影響確認 項目	構造	覆工コンクリートの 強度低下がないこと	繊維補強	覆工コンクリートの 圧縮強度	圧縮強度は、覆工コンクリートの設計基準強度以上であることが求められる。
				覆工コンクリートの 引張強度	圧縮強度の設計基準強度から推定される引張強度以上であることが求められる。
		覆工に使用するコン クリートの品質を有 すること		スランプ値・空気量・ 塩化物含有量の各試験	試験項目の所定の基準値を満たすことで、覆工コンクリートに使用するコンクリートの品質を満たしていると判断できる。
		材料（シートや樹脂） がコンクリートのはく 落抵抗性（引張強度） よりも大きいこと	繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	付着強さ試験	覆工コンクリートの引張強度以上の付着強度があれば、コンクリートのはく落抵抗性よりも高い付着力があることが確認できる。
	維持管理	材料（シートや樹脂） を施工した場合の覆 工表面の視認性	繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	視認性試験（覆工に 生じた変色、漏水、 ひび割れの確認）	覆工表面の変状の視認性の影響度合いを確認できる。
		覆工表面のうき・はく 離、はく落が生じた場 合の材料（シートや樹 脂）の変色等の有無		視認性試験（シート や樹脂の変形、変色 の確認もしくは直接 目視の可否）	覆工表面のうき・はく離、はく落が生じた場合の材料（シートや樹脂）の変色等の発生状況が確認できる。材料（シートや樹脂）の変色等が認められれば、覆工表面にうき・はく離、はく落等の変状の発生が想定される。
		火災時に延焼しない こと		耐火性試験	自己消火性（大気中で熱源が無くなった際に自ら消火する性質）を有する技術であれば、火災の発生時の延焼の危険性は低いと判断できる。
	耐久性	技術の劣化要因	繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	劣化要因のヒアリング	該当する劣化要因が存在すると想定される現場で対象技術を使用する際には留意する必要がある。該当する劣化要因は、第4章「技術の性能一覧表」に記載する。
		技術および付着面の 耐アルカリ性		耐アルカリ性試験実 施の有無のヒアリング	各技術が実施した試験法・試験結果を第4章「技術の性能一覧表」に記載する。材料の選定等の参考となる。（耐久性についてはリクワイヤメントの設定が困難であるため、各技術が実施した試験を「技術の性能一覧表」に掲載している）
		技術および付着面耐 候性		耐候性試験実施の有 無のヒアリング	
		技術および付着面の 温冷繰り返し耐性		温冷繰り返し試験実 施の有無のヒアリング	
		想定耐久年数		想定耐久年数の確認	更新サイクルやライフサイクルコストの検討の参考となる。

表一5 はく落抵抗性の技術区分によるはく落抵抗性の確認方法（試験方法）

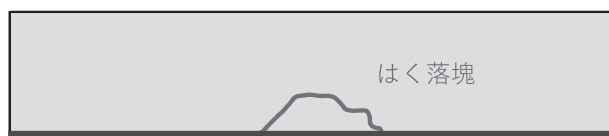
技術区分	技術概要	確認方法
繊維補強	ひび割れが発生しても繊維の架橋効果*により、はく落（ひび割れが進展）しにくい技術（図一3 参照）	曲げじん性試験
表面シート埋込 繊維シート+接着剤 表面被覆樹脂	はく落が生じてても即座に落下することを抑制することが可能な技術（図一4 参照）	押抜き強度試験

※架橋効果とはひび割れの始点と終点に引張に抵抗できる部材（繊維）があることでひび割れの進展を抑制できる効果のことを示す。

J C M A



図一3 架橋効果によるはく落抑制効果



繊維シート+接着剤や表面被覆樹脂等

図一4 繊維シート+接着剤や表面被覆樹脂等によるはく落抑制効果

《参考文献》

- 1) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報，2020.9.
- 2) 国土交通省 道路局：道路トンネル定期点検要領，2019.2.
- 3) 国土交通省：第2回 道路技術懇談会 配付資料，<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/dourogijutsu/doc02.html>，2021.6.22 閲覧
- 4) 国土交通省 道路局：道路分野における新技術導入促進方針，2020.4.
- 5) 国土交通省：令和2年度 新技術導入促進計画，https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001316.html，2021.6.22 閲覧
- 6) 国土交通省：道路トンネル技術基準，1989.5.
- 7) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，2003.12.

【筆者紹介】

鈴木 健之（すずき たけゆき）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所