

トンネル覆工はく落防止対策に新技術を適用 ～補修後も覆工表面が見える工法（NAV工法）～

金谷 元・藤間誠司

1. はじめに

トンネルの覆工コンクリートは、経年的な劣化等によりひび割れが生じ、浮きやはく落を生じる場合がある。はく落事故を未然に防止することはトンネルの維持管理においてひとつの重要なポイントである。また、ひび割れの原因を判定する際、経年的な変化を把握することも有力な手がかりとなる。これらを踏まえ、対策施工後もひび割れの状況を容易に把握することができ、はく落事故を未然に防止できる補修工法の開発が望まれていた。

このような現場のニーズを踏まえ、土木研究所が提案し、共同研究で開発された工法がNAV工法である^{1),2)}。本レポートは、一般国道40号雄信内トンネルで施工されたNAV工法による覆工のはく落防止対策について報告するものである。

2. 現場の概要と補修工法選定の経緯

2.1 トンネル概要

雄信内トンネルは一般国道40号北海道天塩郡に位置し、矢板工法により建設された延長750m、車道幅員6.5mの道路トンネルである（図-1、2）。昭和41年に竣工し、供用から49年が経過しており、冬期においては日最低気温（平年値）が約-12℃程度まで低下する厳しい環境条件下のトンネルである。



図-1 雄信内トンネル位置図断面図

2.2 トンネルの変状状況

平成26年に実施した点検によれば、写真-1に示す横断目地部のうき等を含む複数の材質劣化や断面欠損による変状やひび割れ、漏水等が見受けられた。うきについてはトンネル天端部においても確認され、トンネル利用者に対する影響等も懸念されたため、断面修復の実施と、はく落防止対策の検討を行った。

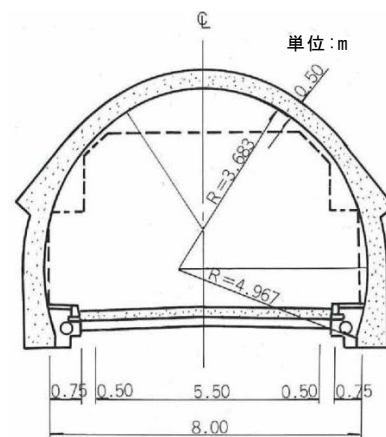


図-2 雄信内トンネル断面図

2.3 対策工法選定の経緯

はく落防止対策の選定にあたっては、当トンネル断面が狭小であるため、建築限界を侵すことのない、極力薄い材料での対策が求められた。また、近隣に他の迂回ルートもないことなどから、通行規制期間を短くする必要があった。これらを考慮し、パネル系当て板工、繊維シート当て板工（炭素繊維シート、可視性の繊維シート）等について比較検討した結果、繊維シート当て板工がパネル系当て板工に較べて工期、工費ともに有利であることが確認された。さらに、可視性の繊維シートが炭素繊維シートに較べて、工費が経済的であり、



写真-1 横断目地部のうきの例

Application of a New Exfoliation Prevention Method for Tunnel Lining ~The NAV Method to keep Concrete Surface Visible Even after its Application~

対策実施後においても既存のひび割れの進展状況や、新たなひび割れ等の発生を継続的に観察することが可能であり、維持管理上有効であることから可視性の繊維シートを用い、耐火性を有するNAV-G工法を採用することとした。

3. NAV工法の概要

NAV工法は、トンネルを管理する現場の要請を踏まえ、2005年に以下の3つの目標を達成するトンネル覆工コンクリートのはく落防止対策として開発された。

- (1)補修後もトンネル覆工表面が視認可能
- (2)冬期等の低温下でも短時間で施工可能
- (3)不燃性、有毒ガスの発生が少ない材料

NAV工法は特殊な繊維シートをアクリル樹脂で貼り付けてコンクリートのはく落を防止するものであり、「NAV」は、その性能や使用材料の頭文字、Nylon(ナイロクロス)、Acrylics(アクリル樹脂)、Visualize(可視化)、の3文字を表している。

その後、さらなる耐火性能の向上、トンネル坑口や坑門部等の明かり部への適用といった要望に対応するため、ガラス(Glass)クロスを適用した難燃性の高いシートに変更したNAV-G工法、表面に特殊な耐候性塗料を塗布し、明かり部での使用で問題となりやすい紫外線による樹脂の劣化を防止することが可能な「NAV-G工法(UV仕様)」が開発された。基本的にナイロン、ガラス、ビニロンのような外観が白色の繊維シートやクロスであれば高い可視性を有するはく落防止対策が可能で、すべて広い意味でNAV工法に属するといえる³⁾。

3.1 NAV工法の構成

図-3にNAV工法およびNAV-G工法の施工断面概念図を、表-1にNAV-G工法の標準的な塗装仕



図-3 NAV工法・NAV-G工法の施工断面概念図

表-1 NAV-G工法の標準仕様

工程	材料 (混合は質量比)	標準使用量 [kg/m ²]	施工間隔 (20℃)
① 下地処理工	-	-	-
② プライマー 塗布工	NAVレジン1 A剤/B剤 A:B 混合比=1:1	0.2	10分~30日
③ 段差修正工 (必要に応じて)	NAVレジン2 A剤/B剤 A:B 混合比=1:1 +超微粉シリカ	(必要量)	2時間~30日
④ 下塗り工	NAVレジン2 A剤/B剤 A:B 混合比=1:1	0.3	0~30分
⑤ 補強シート 貼り付け工	NAV-Gシート(ガラス)	1層 (継ぎ重ね10cm)	直ちに
⑥ 上塗り工	NAVレジン1 A剤/B剤 A:B 混合比=1:1	0.2	-

様を示す。クロス貼り付けに使用する樹脂は2液型のアクリル系樹脂で硬化が速いため、施工時間に制限のある場合や冬期、寒冷地での適用が可能である。この2液型の樹脂は基本的に混合比が1:1であるが、施工時に多少の計量誤差が生じても健全な硬化体が得られる特徴²⁾があり、施工性が高いとすることができる。さらに施工は図-3中に示す工程①~⑥のうち、工程③を除けばそれ以外のすべてで連続施工が可能で、例えば高所作業車で小面積を複数施工する場合に、1箇所ずつ仕上げて次へ進むことができるため、施工自体が効率的であるといった特長を有する。

3.2 可視化の耐久性

NAV工法を最初にコンクリート構造物へ施工したのは、小規模であるが開発当時の2004年、国土交通省国土技術政策総合研究所が所有する実大トンネル(茨城県つくば市、写真-2)に対してである。写真-3は施工11年後の状況、写真-4、5はそれぞれ施工前後のコンクリート面のひび割れの可視化状況を示す室内試験の状況である。

このトンネルは実験用ではあるが、覆工コンクリートの外部が露出しているため、トンネルの内部の季節変動に伴う温度変化が大きく、覆工面には貫通ひび割れも存在し、雨水の流入もあることから、トンネルの環境としては厳しい類に属する



写真-2 国総研の実大トンネル



写真-3 施工11年後の状況

と考えられる。このような環境のもとで、写真-3に示すように施工から11年経過した後まで下地のコンクリートの可視性の低下は認められない。また、施工時に存在したひび割れが白色の筋となって現れる様子が観察された。このことは、季節変動による温度変化によりひび割れが開閉し、シートが繰り返し荷重を受けて局所的に白色となって見えていることを示しており、長期にわたる観察が可能であることを示唆している。また写真-3で左上の大きなひび割れ部に沿ってエフロレッセンス（コンクリートの表面部分に浮き出る白い生成物）と思われる白色の付着物が認められたが、その周囲でははがれや浮きは認められなかった。

以上の経過観察より、本工法の可視化や覆工コ

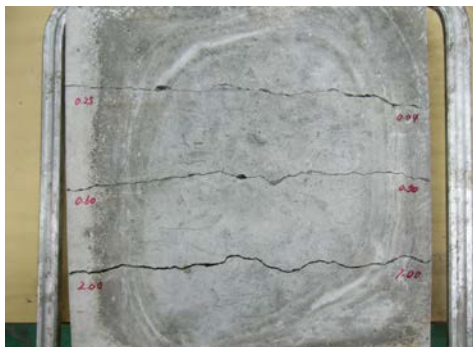


写真-4 NAV工法施工前のひび割れ状況



写真-5 NAV工法施工後の可視化状況

ンクリートとの一体化は少なくとも10年以上は確保できていると考えられる。

3.3 耐火性の確認

NAV工法はナイロクロス（可燃性）の使用を標準として開発したが、トンネル火災時の安全性をより高める工法の開発が求められてきた。そこで不燃性のガラスクロスを採用して、NAV工法を改良し、NAV-G工法として適用を図っている。ナイロン繊維は化学構造上、燃焼時に一部の有毒ガスの発生が懸念されるが、ガラスクロスではその可能性も解消されている。写真-6、7はNAV-G工法の延焼性試験(NEXCO トンネル施工管理要領で規定される試験条件)の状況で、消炎時間および燃焼範囲ともに基準を満たすことが確認された。



写真-6 延焼性試験状況



写真-7 NAV-G工法の延焼性試験後の状況
試験体消炎時間 左0秒 右0秒 基準30秒以内
上端延焼範囲 左426mm 右487mm 基準600mm以下

3.4 適合規格と施工実績

NAV-G工法は以下の規格に適合している。

- (1)NEXCO：トンネル施工管理要領、10「覆工のはく落対策」
- (2)NEXCO：構造物施工管理要領、3.7「はく落防止」（透明な耐候性塗料を施工した仕様）
- (3)阪神高速道路：コンクリート構造物表面保護要領、C種

NAV工法は2005年以降、一般道や高速道路等

のトンネルで施工面積約43,000m²以上の実績を有している。

4. 現場での施工とその後の状況

雄信内トンネルでの施工は片側車線規制の上、高所作業車を足場として行った(写真-8)。NAV工法の施工フローを図-4に示す。状況写真で示すとおり、今回の施工ではトンネル内の1スパンに対する全面接着ではなく、必要箇所へ必要な形状で貼付する形で施工を実施した。写真-9は、はく落防止対策としてNAV-G工法を適用した状況である。対策箇所の中心部でやや白く見える部分が断面修復を実施してからシートを貼付したところである。当初の覆工と比較して、コンクリートの色の違いが明瞭に確認できることが分かるように、本工法の特長である可視化が実現場においても実現できている。また、NAV-G工法の施工後の日常点検時や約1年後に実施した定期点検においても当工法を適用した箇所の覆工の可視性の低下は認められておらず、また、不具合等も認められていないことから、対策工の所期の目的を達成していると考えている。



写真-8 NAV-G工法施工状況
高所作業車での施工

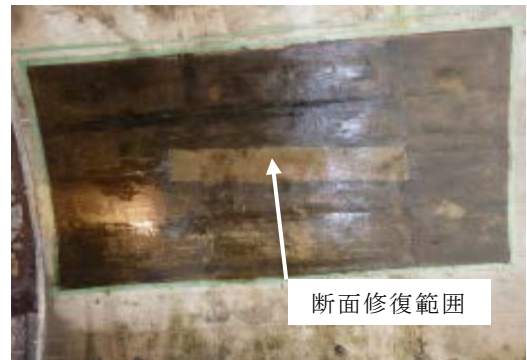


写真-9 トンネルの施工完了部
(中央の淡色部が断面修復範囲)

カジマ・リノベイト(株)で構成)が工法の普及や技術向上にあたっている。

参考文献

- 1) 真下英人、石村利明、箱石安彦：既設トンネルの補修技術の開発に関する共同研究報告書、土木研究所資料、第325巻、67p、2006
- 2) 藤間誠司、金氏眞、真下英人：既設トンネルの補修技術の開発～可能性の高い剥落防止工、土木学会年次学術講演会、VI-37、pp.73～74、2006
- 3) 日本国特許 第4127551号：コンクリート構造物の補修方法及びコンクリート構造物、2008
- 4) 岑山友紀、平野穂菜美、三輪浩二、橘肇、中本啓介、藤間誠司：接着系あと施工アンカーに用いるアクリル樹脂系接着剤について、日本材料学会誌、第65巻、第5号、pp.397～402、2016

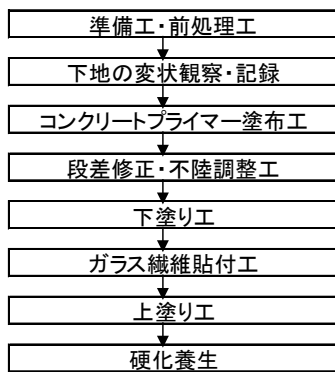


図-4 NAV工法の施工フロー

5. おわりに

道内でも高齢化が進むトンネルは多く、それらは本レポートで紹介した雄信内トンネルのように断面に余裕のないものが多いので、今回適用したNAV工法は有効な工法と考えられる。本レポートが今後の合理的な道路トンネルの維持管理を実施していくうえでの参考となれば幸いである。なお、現在、NAV工法については、NAV工法研究会(国立研究開発法人土木研究所、鹿島建設(株)、デンカ(株)、オリエンタル白石(株)、

金谷 元



北海道開発局留萌開発建設部羽幌道路事務所
工務課事業専門官
Gen KANAYA

藤間誠司



NAV工法研究会(デンカ(株)インフラ・ソーシャルソリューション部門特殊混和材部担当部長
Seiji FUJIMA