技術紹介

ひび割れ低減とはく落防止効果を有する T-FREG 工法の展開

佐藤工業㈱　宇野（Uno）　洋志城（Yoshiki）

1．はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化に伴う機能の低下が問題となっており、トンネルにおける覆工コンクリートも例外ではない。

覆工コンクリートに求められる役割は、トンネルの施工法が矢板工法からＮＡＴＭへ変遷するに伴い変化しており、かつては覆工コンクリートがトンネル外周から作用する緩み土圧を支えて空間の安定性を確保していたが、ＮＡＴＭにおいては吹付けコンクリートやロックボルトまたは鋼製支保工を支保部材として地山と一体で確保している。つまり、現在では構造安定性を確保するのは支保工の役割であり、覆工コンクリートには原則として期待していない。そのため、現在では坑口など地山の安定性が不確定な部位では鉄筋コンクリート造である以外、一般に覆工コンクリートは無筋コンクリート造である。

一方、歩行者、車両、列車などが通行するトンネルに求められる機能は、『安全・円滑・快適に通行させることができ、所定の供用期間中にそれを維持・管理できることである』とされている。

したがって、トンネル自体の構造安定性が確保されていても、供用期間中に覆工コンクリートからのはく落が生じることが通行中の歩行者、車両、列車などに被害を及ぼす可能性は否定できない。これは利用者の安全性能を満足する点において大きな問題である。そのため、覆工コンクリートのはく落を防止することは重要である。

現在、管理者による目視点検や定期点検などの維持管理業務の中で、トンネルのはく落に繋がりそうな変状箇所、または既にはく離・はく落が生じた箇所を連続繊維ネットや金網などを貼り付ける工法による内面補強、いわゆる補修、補強（事後保全）が行われている。

そこで、当社では新設トンネルの施工中あるいは供用開始の段階から覆工コンクリートのはく落リスクを低減できること（保全予防）を目指して所要のはく落防止性能を確保しつつ施工性のよい工法を検証し、新設トンネル工事現場での実用に成功した（本工法は金沢工業大学と西日本高速道路との共同開発成果である）。

今回紹介するＴ－ＦＲＥＧ（Tunnel－Fiber Reinforced EdGing）工法（NETIS登録番号KT-110083-A）は、あらかじめトンネルの覆工コンクリートからのはく落を防止することを目的とした保全予防技術の応用であり、特徴と適用の実績を以下に紹介する。

2．Ｔ－ＦＲＥＧ工法の特徴

覆工コンクリートのはく落事象は、復旧施工に要する費用や人身被害に対する補償などの直接的な経済損失を与えるだけでなく、トンネルが不通になることによる迂回、あるいは復旧施工時の通行規制による移動時間の遅れなどの間接的な経済損失も与えることになる。そのため、効果的で確実性のある保全予防技術の応用が望まれる。また、道路トンネルの実態調査の結果

から、覆工コンクリートの浮き、はく落などの変状発生箇所は施工目地付近に集中していることが明らかとなっている。

今回紹介するT－FREG工法は、新設トンネル工事において、保全予防の観点から覆工コンクリートの表層付近かつ施工目地付近にあらかじめ網目状の繊維シートを敷設しておき、コンクリートの打込みにより繊維シートと覆工コンクリートを一体化させるものであり（図―1）、脱型した時から直にコンクリート片のはく落を防止することが期待できる（図―2、図―3）。

なお、T－FREG工法は本来はく落防止を目的として開発されたものであるが、梁試験体による載荷実験からひび割れ幅の抑制とひび割れの分散の効果が得られることを検証し、はく落以前の段階でひび割れ低減効果にも寄与することが明らかとなった（図―4）。

T－FREG工法の主な特徴を以下に示す。

①優れたはく落防止性能

曲げ靭性係数は、東日本高速路㈱、中日本高速道路㈱、西日本高速道路㈱の3社共通の短繊維補強コンクリートの基準（1・40N／㎟以上）を満足し、押抜き耐力も同様に3社共通の後貼り工法による補強の基準（変位10㎜以上で1・5kN以上）を満足することから、十分なはく落防止性能を有する。

②安全と安心の提供

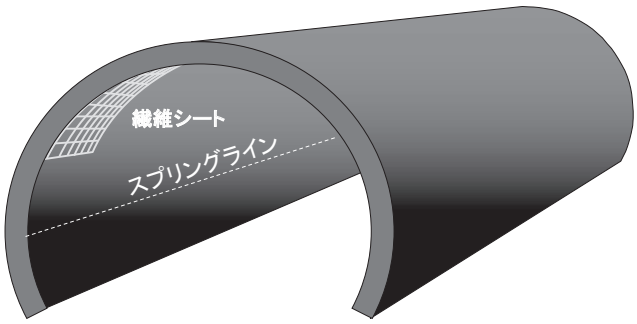
覆工コンクリートのはく落リスクを低減させることで落下したコンクリート片を原因とする交通災害を未然に防ぐことができ、復旧施工による保全コストを抑制、かつ交通遮断による利用者・管理者双方の経済損失を防止することで安全と安心を提供する。

③特殊設備は不要

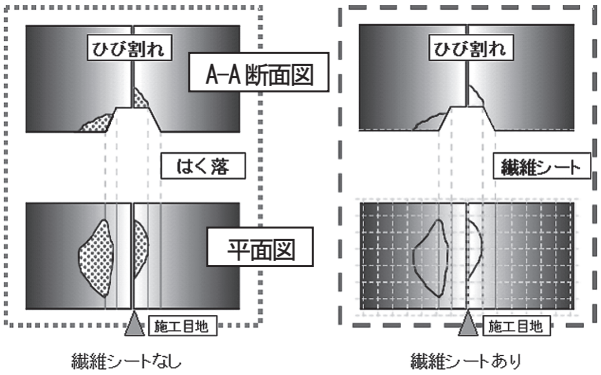
型枠への加工は僅かで済み、従来の型枠をそのまま使用できる。繊維シートの敷設にも特殊な機械を必要としない。

④施工サイクルは不変

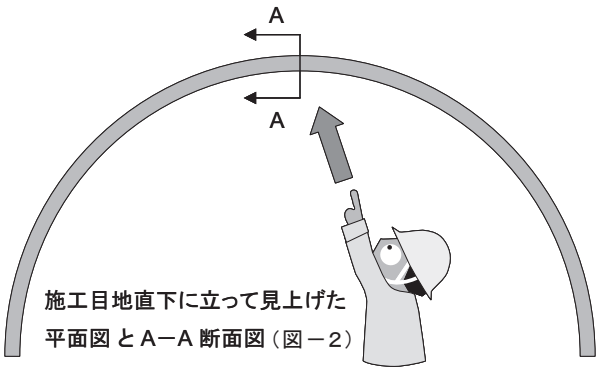
繊維シートの敷設に要する手間と時間はごく僅かであり、本来の作業工程と並行できる。脱



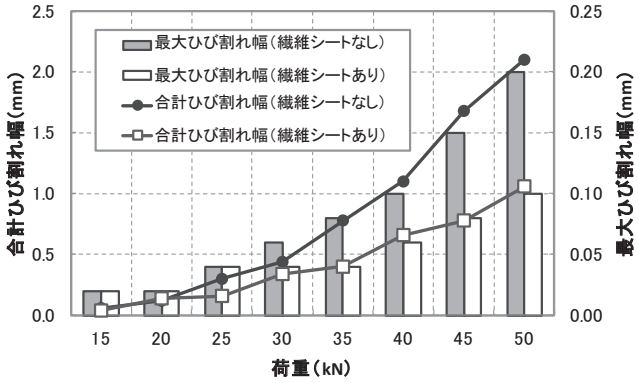
図―1　T-FREG工法の適用イメージ



図―2　はく落防止のイメージ
（上：A-A断面図、下：見上げた平面図）



図―3　トンネルを見上げたイメージ



図―4　梁試験体におけるひび割れ低減効果

型後に特別な養生も必要としないので、従来どおりの作業人員と施工サイクルを遵守できる。

3．T－FREG工法の適用実績

当社では、これまでに3件の新設トンネル工事において適用し、現場への適合性を検証した。

3件の工事における施工条件は同一ではなく、トンネル断面寸法、コンクリート配合、セントルメーカー、繊維シートの固定、覆工打設を担当した協力会社はすべて異なる。当然、各担当者の技量に優劣はあると考えられるが、一連の作業は特殊な設備を不要とする単純作業でなければ多くの現場で水平展開することは難しく、周知徹底するためには細部まで確立された作業方法であることが望ましい。

そこで、繊維シートの設置後、セントルに開けた孔とナイロン製のテグスを利用してセントル内側から固定する方法を確立し、繊維シートの裁断や固定作業を行う要員を固定するなど作業の効率化を図った結果、施工歩掛かりは3件の工事実績を経て1平米あたり8分弱まで向上した（表―1）。とくに3件目では最もスパン数が少なく業者が慣れるまでの時間的余裕はなく、かつ設置面積も大きいにもかかわらず2件目と変わらぬ数値となった。これは作業方法が確立できたことによるものである。施工サイクルの標準を示す（図―5）。

なお、脱型直後には繊維シートと覆工コンクリートの境界は明らかに判るが、4週経過後には気付かない程度となる。（写真―1）

4．おわりに

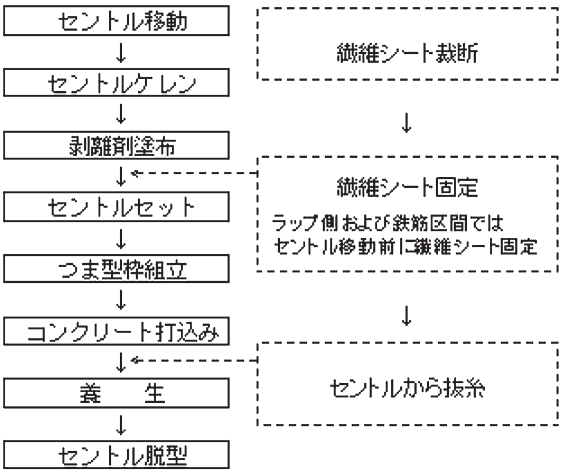
これまでの適用実績から、T－FREG工法は既に確立された技術として現場への適合性が十分認められると判断できる。

また、T－FREG工法がひび割れ低減効果を有することを実験により確認できたことから、今後ははく落防止効果だけでなく、ひび割れ低減効果も併せて謳ったT－FREG工法の適用を積極的に提案したいと考えている。

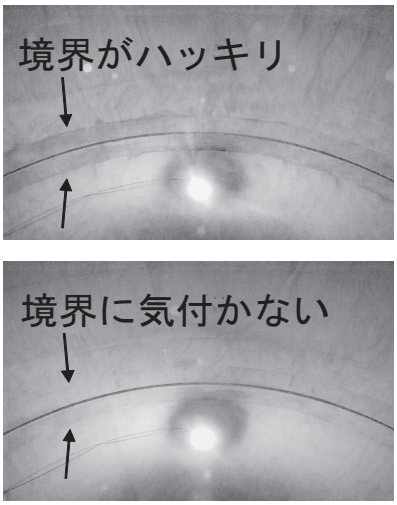
覆工コンクリートの長期耐久性向上を実現することにより、トンネル利用者と管理者双方に対して安心と安全の提供につながることを願う。

表―1　施工歩掛かりの実績

トンネル現場	項目	部位	時間（分）	施工面積（m²）	歩掛かり（分/m²）	合計（分/m²）
A：28スパン 設置面積 12.4m²／スパン（2008年）	繊維シート	つま側	1385	187.6	7.4	12.4
		ラップ側	1730	165.2	10.5	
	準備 他		1260	―	3.6	
B：32スパン 設置面積 9.2m²／スパン（2011年）	繊維シート	つま側	668	147.2	4.7	7.7
		ラップ側	702	147.2	4.8	
	準備 他		878	―	3.0	
C：10スパン 設置面積 15.4m²／スパン（2011）	繊維シート	つま側	540	83.2	6.5	7.7
		ラップ側	575	83.2	6.9	
	準備 他		170	―	1.0	



図―5　施工サイクルの標準



写真―1　出来形
（上：脱型直後、下：4週間後）

（佐藤工業㈱　技術研究所　主席研究員）

（参考文献・資料）
・土木学会：トンネルライブラリー第21号性能規定に基づくトンネルの設計とマネジメント（2009）
・女屋賢人、三坂岳広、宇野洋志城、下村匠：繊維シートのひび割れ低減効果に関する研究、土木学会第67回年次学術講演会（V-280,2012.9）