

## 話題の工法

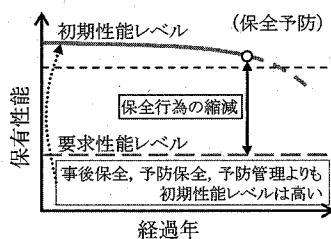
# 繊維シート埋設による覆工の端部補強の実績

＝保全予防を目的としたT-FREG工法＝

佐藤工業(株) 宇野 洋志城・片岡 大到  
Yoshiki Uno Hiroyuki Kataoka

## 1. はじめに

最近、事前の計画、設計段階から将来の性能低下に備えた対策を盛り込むことで機能を永く維持し、保全行為自体を不要とする管理手法(第1図)が提案されており、その概念に基づいた技術、いわゆる保全予防技術に関する研究が盛んに行われている。



第1図 保全予防の管理手法

たとえば、トンネル覆工コンクリートのはく落現象をリスクとしてとらえ、これを防止する対策を新設時に実行する場合、はく落リスクが相当に低減されるため、その後の保全行為そのものも低減できる。この管理手法は建設当初の初期投資を必要とするものの、その後の維持管理に要する調査、点検、修繕費用を低減できる可能性があり、長期間にわたる運用費用の経済性が高まるとされている<sup>(1)</sup>。

筆者らも、コンクリートを打込む前のトンネル覆工用型枠面に耐アルカリガラス繊維シート

(以降、繊維シート)を敷設、脱型時からコンクリートの表面近傍に埋設した状態で供用開始するはく落防止技術(T-FREG: Tunnel-Fiber Reinforced EdGing)を開発し、過去の新設トンネル工事において覆工コンクリート端部(つま側、ラップ側)を対象に適用、報告した<sup>(2)</sup>。

本稿では、T-FREGを道路トンネル新設工事に適用した実績データをもとに、施工上の留意点(施工手順、施工歩掛りなど)について述べる。

## 2. T-FREGの実績

### 2-1 T-FREGの特徴

T-FREGの特徴を整理し、以下に示す。

T-FREGとは、トンネル覆工コンクリートの施工目地付近(隣接するつま側とラップ側は別BLでの施工)の表層近傍において繊維シートと覆工コンクリートを一体化させ、コンクリート片のはく落を防止する技術である。新設トンネル工事の覆工コンクリートを対象に、保全予防の観点から型枠の端部にあらかじめ繊維シートを敷設してあるため、コンクリート打込み段階で繊維シートは所定の位置(覆工コンクリート表層近傍)に埋設されることになり、脱型後からすぐに優れたはく落防止性能を発揮する技術である(特許出願済)。従来の既設コンクリートを対象とした連続繊維シート後貼り工法の

### 特徴 1

#### 優れたはく落防止性能

短繊維補強コンクリートにおける曲げ靱性の基準(1.40N/mm<sup>2</sup>以上:NEXCO)および繊維シート接着工法における押し抜き耐力の基準(変位 10mm 以上で 1.5kN 以上:NEXCO)をクリアする。

### 特徴 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。

### 特徴 2

#### 安全と安心の提供

落下したコンクリート片による交通災害を未然に防ぐことで、緊急補修による保全コストを抑制し、交通遮断による利用者・管理者双方の経済的損失を防止する。

### 特徴 4

#### 施工サイクルはそのまま

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、脱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で施工サイクルを遵守できる。

第2図 T-FREGの特徴

ように、供用開始後に必要に応じて施工する場合と比べてはく落防止性能が劣らないだけでなく、工程に無駄がない。

T-FREGの適用には4つの特徴があり、それらを第2図に示す。

T-FREGは、①一般的なNEXCOの基準を満たす優れたはく落防止性能を呈し、かつ耐火性能も準不燃材料のランクに適合し、②供用後も安全と安心を提供するだけでなく、利用者、管理者双方にメリットを与え、③特殊な技能も型枠も一切使用しないことから特殊設備や作業

員の特別な講習が不要であり、④少しの手間と時間がかかるだけで従来どおりの施工体制、施工サイクルでの対応が可能である。

これらの特徴からわかるとおり、仮に新設トンネル工事における覆工コンクリートの施工途中からでも対応が可能であり、覆工用型枠(以下、セントル)の簡単な加工手間と繊維シートの材料にかかるコストの増分は、供用開始後あるいは覆工コンクリート完成後から連続繊維シートの後貼り施工を追加する場合に掛かる費用とは比較にならない程に安く済む。

第1表 トンネルの概要(NトンネルおよびKトンネル)

| 項目     | Nトンネル諸元                                                | Kトンネル諸元                                                |
|--------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 地山岩種   | 頁岩・砂岩                                                  | 頁岩・砂岩                                                  |
| 線形勾配   | 平面線形 R=4,000m~R=5,000m<br>縦断勾配 2.20%                   | 平面線形 R=7,500m<br>縦断勾配 2.20%                            |
| トンネル延長 | 215 m                                                  | 243 m                                                  |
| 内空断面積  | CI, CII 66.9 m <sup>2</sup> , DIII 73.4 m <sup>2</sup> | CI, CII 66.9 m <sup>2</sup> , DIII 73.4 m <sup>2</sup> |
| トンネル工法 | NATM                                                   | NATM                                                   |
| 掘削方式   | 発破掘削                                                   | 発破掘削                                                   |
| 掘削工法   | 補助ベンチ付全断面掘削方法<br>上半先進ショートベンチカット工法 (DIIIa)              | 補助ベンチ付全断面掘削方法<br>上半先進ショートベンチカット工法 (DIIIa)              |
| 補助工法   | 充填式フォアポーリング (DIIIa)                                    | 充填式フォアポーリング (DIIIa)                                    |

D Ia 断面

D IIIa 断面

(単位: mm)

使用した繊維シートおよびその適用範囲と施工方法に関しては前回報告<sup>(3)</sup>に示しており、今回は割愛する。それ以降に大きな変更はないため、今回は施工手順の例を示し、手順に従って必要となる具体的な作業に関して施工上の留意点について述べる（第3章を参照）。

## 2-2 工事概要

### (1) H自動車道

初めて正式にT-FREGを適用した新設トンネル工事では、Nトンネル（仮称）、Kトンネル（仮称）の2本を施工した。その概要を第1表に示す。

施工期間は2008年11月～2009年3月であり、Nトンネル（延長215m）では10BL、Kトンネル（延長243m）では18BLに適用した。ただし、Kトンネルのうち5BLは有筋区間であり、ポリプロピレン繊維入りの短繊維補強コンクリートが使用された。

本来ならば、短繊維補強コンクリート使用区間ははく落予防技術を適用する必要のない区間と考えられるが、短繊維を混入したコンクリートがセメント表面を流動する際に繊維シートが

障害にならず、T-FREGの出来形に影響を及ぼすことがないことを証明するために実施された。

それぞれのトンネルに使用したコンクリート配合を第2表に示す。

第2表 コンクリート配合（Nトンネル、Kトンネル）

| 区分            | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m³) |     |     |     |     |      |       |
|---------------|---------|---------|-------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|
|               |         |         | W           | C   | S1  | S2  | G   | Ad   | Fiber |
| Nトンネル<br>T1-1 | 57.0    | 48.3    | 172         | 302 | 631 | 236 | 927 | 2.57 | —     |
| Kトンネル<br>T1-1 | 58.4    | 52.0    | 163         | 279 | 475 | 473 | 880 | 2.93 | —     |
| Kトンネル<br>T3-1 | 48.5    | 53.0    | 173         | 357 | 459 | 458 | 820 | 3.21 | 2.73  |

2トンネル共通 / C: 高戸セメントB種、Ad: 高性能AE減水剤  
S1: 延岡市大武長産砕砂、G: 東郷町山陰産砕石  
Nトンネル / S2: 津久見市産 砕砂  
Kトンネル / S2: 東郷町山陰産砕砂、Fiber: ポリプロピレン

### (2) Tダム付替国道

次にT-FREGを適用した新設トンネル工事では、Tトンネル（仮称）を施工中である。その概要を第3表に示す。

全体工期は2010年3月10日～2011年6月8日であり、Tトンネル（延長423m）では無筋区間

第3表 トンネルの概要（Tトンネル）

| 項目     | Tトンネル諸元                                   |
|--------|-------------------------------------------|
| 地山岩種   | 粘板岩                                       |
| 線形勾配   | 平面線形 R=400m<br>縦断勾配 4.00%～2.50%           |
| トンネル延長 | 423 m                                     |
| 内空断面積  | 53.0 m²                                   |
| トンネル工法 | NATM                                      |
| 掘削方式   | 発破掘削                                      |
| 掘削工法   | 補助ベンチ付全断面掘削方法<br>上半先進ショートベンチカット工法 (DIIIa) |
| 補助工法   | 充填式フォアボーリング、AGF (DIIIa)                   |

CIIb 断面

DIIb 断面

(単位: mm)

である全32BLを適用の対象としている。

なお、施工期間は2011年1月～2011年4月の予定であり、現在も施工中である。使用しているコンクリート配合を第4表に示す。

第4表 コンクリート配合 (Tトンネル)

| 区分    | W/C (%) | s/a (%) | 単用量 (kg/m³) |     |     |     |     |     |      |
|-------|---------|---------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|       |         |         | W           | C   | S1  | S2  | G1  | G2  | Ad   |
| Tトンネル | 47.5    | 45.5    | 142         | 300 | 689 | 169 | 735 | 316 | 3.00 |

C: 高炉セメントB種、Ad: 高性能AE減水剤

S1: 大船渡市日頃市町字中宿産砕砂

S2: 遠野市上郷町早瀬川流域産川砂

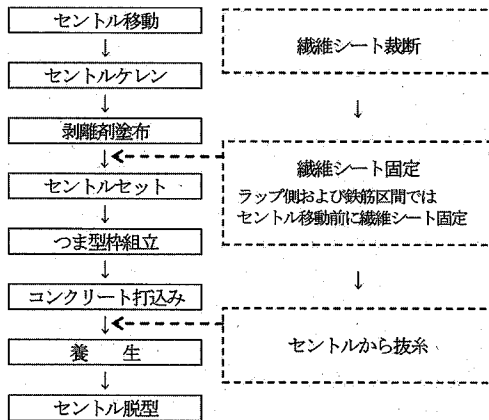
G1: 大船渡市日頃市町字中宿産砕石

G2: 遠野市上郷町早瀬川流域産川砂利

### 3. 施工上の留意点

#### 3-1 施工手順

第3図に示す施工手順の例にあるとおり、T-FREGを適用するにあたり、順を追って繊維シートの裁断から敷設、固定、セントルセットまでの準備作業、コンクリート打込み後にセントルからの抜糸という作業が発生する。



第3図 施工手順の例

それぞれの作業における留意点を以下に示し、作業のポイントを補足する。

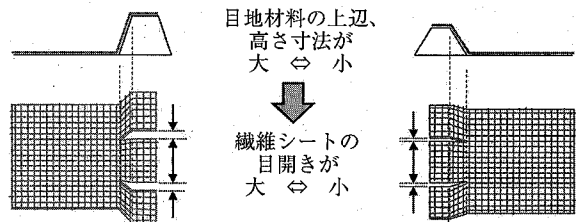
#### (1) 繊維シートの裁断

セントルは曲率を有しているため、施工目地に接する個所では半径(円周)は異なり、目地材の立ち上がり部分は扇形となる。したがって、

セントルおよび目地材表面を平面に展開する際には、連続した同一平面にならない。

そのため、繊維シートをセントルと目地材表面に振れがない状態で敷設するには、施工目地にかかる部分には切り込みを入れて拡張しなければならない(第4図)。その際、施工目地に接する部分で繊維シートに生じる目開きの許容限界を粗骨材の最大寸法程度と考えれば、これまでのトンネル断面では約50cmピッチに切り込みを入れれば十分であった。

※ポイント: セントル表面に繊維シートを密着させるためには切り込みを入れる。



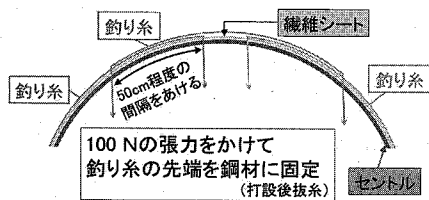
第4図 繊維シートの切り込みイメージ

#### (2) 繊維シートの固定

繊維シートは流動するコンクリートに押し流され、あるいは棒状振動機が直接接触することで、振れや移動が生じないように固定する必要がある。

そのため、セントルに開けた約3mmの孔を通して釣り糸(約0.7mm)を利用してセントル表面に敷設した繊維シートを線状に押さえつけて固定する。また、繊維シートが白色であることから、釣り糸は蛍光色のタイプがあればそれを使用した方が作業状況を目視で確認しやすく、さらに数本ラップさせることで固定を確実なものとし、端部は約100Nの張力で保持、固定する(第5図)。その際、必要以上に釣り糸を繊維シートに絡ませることは避ける。

※ポイント: セントル表面に繊維シートを確実に固定するためにはセントルに開けた孔と釣り糸を利用して線状にラップさせて押さえつける。



第5図 繊維シートの固定イメージ

### (3) セントルからの抜糸

硬化した段階で、覆工コンクリート内部に繊維シート以外の異物を残すことは望ましくない。また、釣り糸で固定したまま脱型作業を行うことで、覆工コンクリート表層から繊維シートが引きはがされることも懸念される。そのため、脱型前には固定用の釣り糸を取り除いておく必要がある。

そこで、コンクリートの打込み作業終了後、繊維シートはもう動くことはないと判断し、コンクリート配管やセントル台車の洗浄作業と並行して釣り糸の固定を解除し、抜糸する。まだ固まらないコンクリートの状態であれば、覆工コンクリートから容易く抜糸することができ、釣り糸の抜けた個所は判別できない程度な仕上がりとすることは、これまでの適用実績で確認済みである。繊維シートの固定の際、必要以上に釣り糸を絡ませない理由はこれである。

※ポイント：釣り糸は打込み作業終了後、直ちにセントルから抜糸する。

### 3-2 施工歩掛り

これまでにT-FREGを適用した新設トンネル工事を対象に、施工歩掛りデータを集計した。

これまでにT-FREGを適用したトンネルは試験施工も含めて4本だが、その断面には多少の違いはあるものの、すべて片側1車線の対面通行であり、適用範囲も横断方向にはセントル部材のジャッキダウンできる天端部分の約120°の範囲で（NトンネルとKトンネルでは約11.8m、Tトンネルでは約8.6m）、縦断方向には施工目地を含む約1m（各BL端部から約500mm）の範

囲であった。

NトンネルとKトンネルにおける全28BL（適用範囲面積の合計約352.8m<sup>2</sup>）に対する施工歩掛り実績を整理した結果、繊維シートの裁断などの準備作業から敷設、固定までの設置作業に要する時間は平均で約12.4分/m<sup>2</sup>であった（第5表）。

第5表 施工歩掛り（Nトンネル、Kトンネル）

| 項目          | 部位   | 時間<br>(分) | 施工面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 歩掛り<br>(分/m <sup>2</sup> ) | 合計<br>(分/m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------|-----------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 繊維シート<br>設置 | つま側  | 1 385     | 187.6                     | 7.4                        | 12.4                      |
|             | ラップ側 | 1 730     | 165.2                     | 10.5                       |                           |
| 準備 他        |      | 1 260     | —                         | 3.6                        |                           |

1回あたりの繊維シートの適用範囲面積が約12.6m<sup>2</sup>であることから、全工程で約156分/回の作業時間となった。しかしながら、準備作業に含まれる裁断などは事前の段取りが可能であり、敷設から固定までの設置作業はセントル移動～セントルケレン～はく離剤塗布～セントルセットとの並行作業が可能であった。

その結果、T-FREGの適用は新たな作業員の増員あるいは時間外作業を必要とせず、通常の作業サイクルの中ですべての作業を吸収することができた。

一方、Tトンネルにおける全32BLに対する施工歩掛りは、まだ施工中のためデータが揃っていない。

Tトンネルにおける施工歩掛り実績を整理することができれば、Nトンネル、Kトンネルよりも多くのBL数で、これまでとは異なる施工条件、作業人員で得られた貴重なデータとして、評価することができる。

今後、T-FREGの適用実績だけでなく、施工歩掛り実績データも2件分があれば、新たにT-FREGの適用を提案する際に、施工体制、施工計画を準備する上で十分な資料になると考えられる。

#### 4. おわりに

T-FREGは、これまでに試験施工を含めて4本のトンネルで適用実績を積み重ねてきた。

今回の実施工を通じて、通常の施工サイクル、通常の人員配置の中でも施工が十分可能であることを証明できるだけでなく、さらに施工上の留意点と施工歩掛りに関する知見が得られることが期待され、より一般的な施工方法として受け入れられ易い環境が整うものと考えられる。

今後は、T-FREGがはく落防止対策に有効な方法の一つとして広く認識され、多くの新設トンネル工事において水平展開されることを願いたい。

#### <参考文献>

- (1) 宇野洋志城・木村定雄：“繊維シートを埋設した覆工コンクリート片のはく落防止に関する研究”、土木学会論文集、F1（トンネル工学）特集号、Vol.66、No.1、pp.79-88（2010.11）

- (2) 宇野洋志城・歌川紀之・川崎真史・小泉直人・上野清・田中康一郎：“T-FREG工法による二次覆工コンクリートのはく落防止対策”、土木建設技術発表会2009概要集、pp.1-6（2009.11）
- (3) 宇野洋志城・京免継彦・小泉直人：“繊維シートによる新設トンネルのはく落防止”、建設機械、9月号、pp.48-52（2010.9）

#### 【筆者紹介】

宇野 洋志城

佐藤工業(株) 土木事業本部 技術研究所  
主任研究員  
〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山14-10  
TEL：046-270-3091 FAX：046-270-3093  
E-mail：uno@satokogyo.co.jp

片岡 大到

佐藤工業(株) 土木事業本部 技術部 技術課  
〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19  
TEL：03-3661-4794 FAX：03-3668-9484  
E-mail：h.kataoka@satokogyo.co.jp

## 建築設備と配管工事

定価：2,000円/年間購読料：24,000円（14冊・増刊2冊含）

50年の歴史をもつ、空調、給排水衛生、電気、特殊設備等の専門技術誌です。大型建物、一般ビル、学校、空港、ホテル、病院、劇場、工場、食品・薬品製造、クリーンルーム、研究施設、商業ビル、集合住宅、また地域冷暖房を含む都市設備など、システムから材料、機器、設計・施工、運転・保守、設備更新、エネルギー面まで、設備に関する総合技術を多角的にとりあげ、設備技術者に実際に役立つ情報を提供します。

年間購読のお申し込みは フリーコール **0120-974-250**

<http://www.nikko-pb.co.jp/>

日本工業出版(株) 販売課

本 社 〒113-8610 東京都文京区本駒込6-3-26 TEL. 03(3944) 8001 FAX. 03(3944) 6826  
E-mail: sale@nikko-pb.co.jp