

アラミド繊維シートを用いた 覆工目地部のはく落防止工法の実用化

内海 豊¹・平野 達之²・渡邊 隆之³・岡田 隆一⁴・高橋 浩⁵

¹ 群馬県利根沼田県民局沼田土木事務所 (〒378-0031 沼田市薄根町4412)

² 正会員 三井住友建設株式会社 東京土木支店 土木部 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1-6)

E-mail: thirano@smcon.co.jp

³ 三井住友建設株式会社 東京土木支店 土木部 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1-6)

⁴ 正会員 三井住友建設株式会社 東京土木支店 土木部 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1-6)

⁵ 正会員 三井住友建設株式会社 土木技術部 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1-6)

近年、覆工コンクリートの目地部のはく落対策として、いろいろな素材の繊維シートを用いた工法が開発されている。トンネル用アラミド三軸メッシュ工法は、橋梁やボックスカルバートに数多く採用されているアラミド繊維シート（砂付きアラミド三軸メッシュシート）を覆工コンクリートに適用したコンクリートはく落防止、高品質化工法である。このたび、道路トンネルにはじめて適用し、狭盆区間での良好な施工性や品質、出来映えを確認することで実用化した。

Key Words : lining, seam part, exfoliation prevention, aramid mesh sheet

1. はじめに

近年、覆工コンクリートの目地部のはく落対策として、耐アクリルガラス繊維シートを用いた工法¹⁾や再生PETメッシュシートを用いた工法²⁾などが開発されている。トンネル用アラミド三軸メッシュ工法は、橋梁やボックスカルバートに数多く採用されているアラミド繊維シート（砂付きアラミド三軸メッシュシート以下、SAMMシート、写真-1）を覆工コンクリートに適用したコンクリートはく落防止・高品質化工法である。

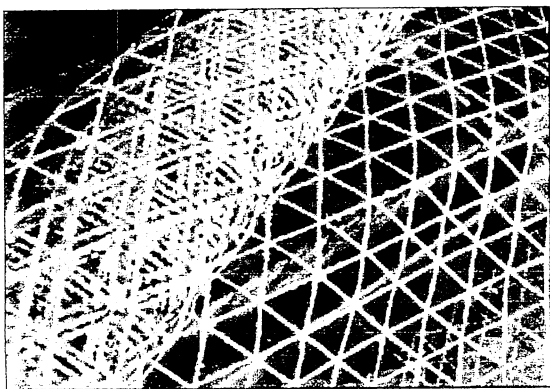


写真-1 SAMMシート

このたび、群馬県沼田市の椎坂白沢トンネルにおいて、群馬県協力のもと、試験施工を実施し、狭盆区間での良好な施工性や品質・出来栄を確認することで実用化した。本報では、トンネル用アラミド三軸メッシュ工法および試験施工結果について報告する。

2. トンネル用アラミド三軸メッシュ工法の概要

トンネル用アラミド三軸メッシュ工法は、SAMMシートを覆工コンクリート目地部の表面近くに設置することにより、コンクリートのはく落を無くし、耐久性を向上させるものである。

SAMMシートとは、アラミド繊維にエポキシ樹脂で珪砂を付着させ、繊維束を三方向にメッシュ状に配置したもので、この三軸メッシュ構造がシートに擬似等方性を与え、型崩れしにくい特徴がある。アラミド繊維の断面積は3 340dtex、引張耐力は1mあたり約30kNである。橋梁上部工等のコンクリート構造物などでは多くの実績を有している。

山岳トンネルにおいては、狭隘空間でのシートの取付け作業が難しく、適用が遅れていたが、シートの取付け

方法等に工夫を加え、試験施工を繰り返し実施することで、施工性およびはく落防止策への有用性を確認することができた。

トンネル用アラミド三軸メッシュ工法は、コンクリートの剥落を防止するだけでなく、コンクリート表面のひびわれ幅も制御できるため、覆工コンクリートの耐久性が向上するほか、SAMM シートがコンクリート表面に露出しないため、仕上がりは通常のコンクリート表面とほぼ変わらないといった優れた特徴もある。

3. SAMM シートの性能試験

SAMM シートの基本性能試験結果について概略を記述する。

(1) はく落防止性能試験

はく落防止性能試験は、鉄筋の膨張を想定し、かぶり厚 45mm の鉄筋コンクリート供試体に静的破碎材を用いてかぶり方向へ膨張圧を与えるものである。結果は、SAMM シートなしの基準供試体に著しいはく落が生じたが(写真-2)、SAMM シート適用供試体には、はく落は生じなかった(写真-3)。とくに 3 面にシートを配置したものは、はく落防止に加えて、ひびわれも抑制できた(写真-4)。

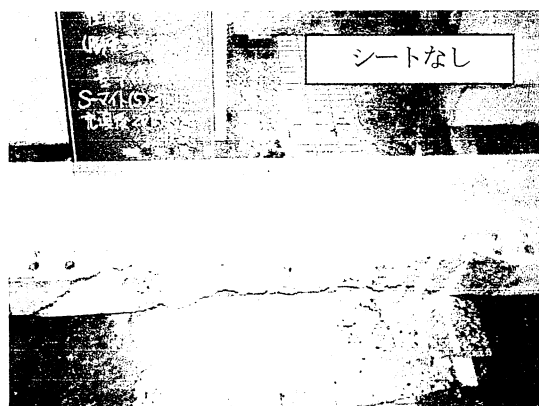


写真-2 はく落防止試験（シートなし）

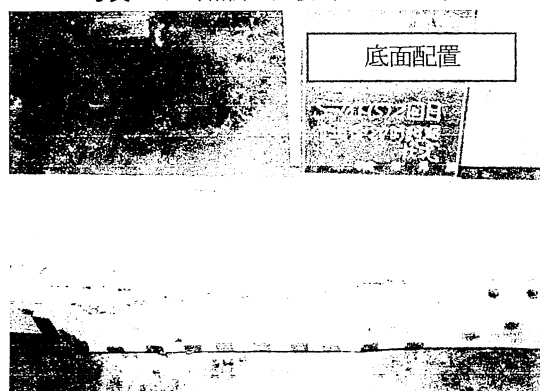


写真-3 はく落防止試験（シート底面配置）

(2) 押抜き抵抗性能試験

500×700×250 の RC 平板 (D13 CTC100 ダブル)φ100mm コアカッターで深さ 200mm 穿孔し、残厚 50mm のコンクリートに対して、押抜きせん断力を載荷(写真-5)、載荷荷重と押抜き点の変位により、耐荷性能を比較した(写真-6)。結果は、SAMM シートを配置することにより、押抜きによりはく落する変位量は 50 倍から 100 倍に増加することがわかった。また、最大耐力も 10% の増分が認められた(図-1)。

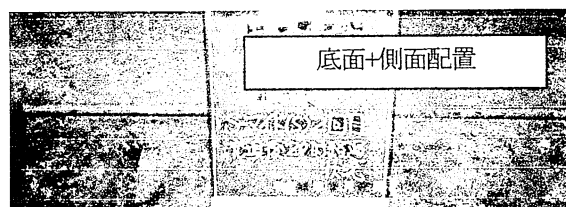


写真-4 はく落防止試験（シート底面+側面配置）



写真-5 押抜き抵抗性能試験状況

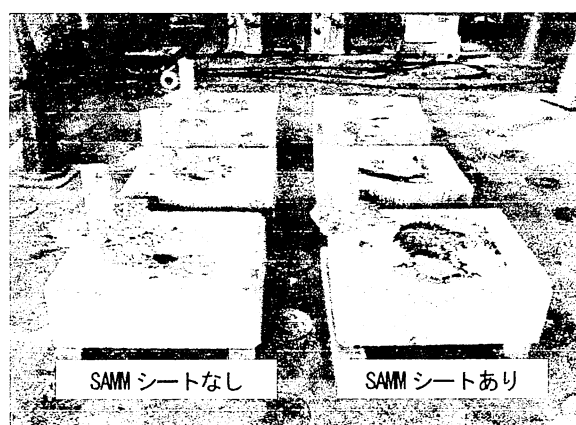


写真-6 試験後の供試体の様子

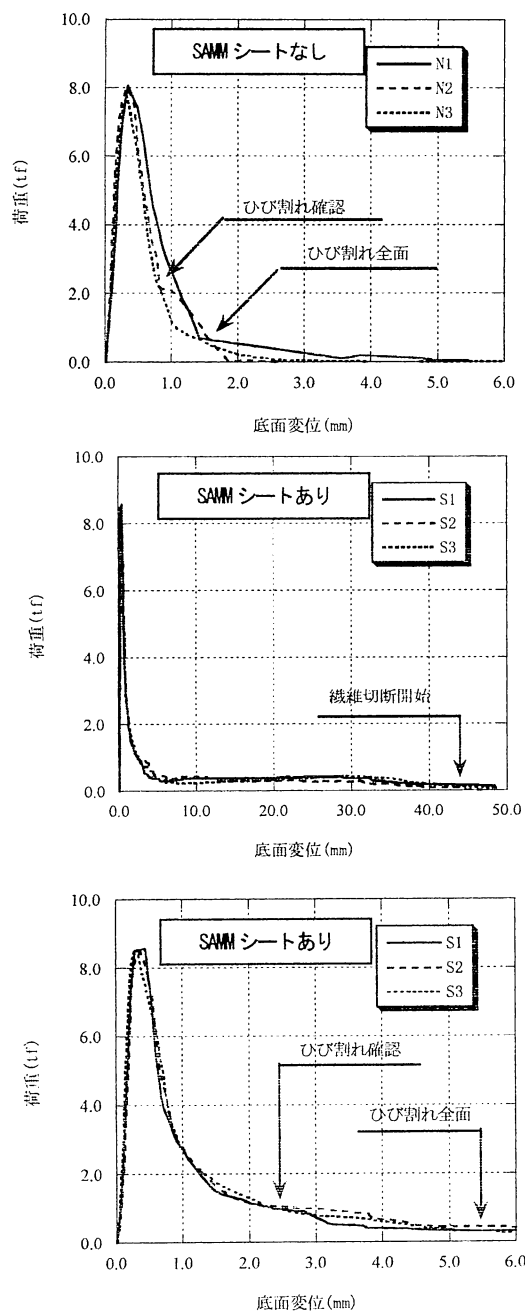


図-1 押抜き抵抗試験結果

(3) ひびわれ制御性能試験

はりの曲げ載荷試験で基準供試体と SAMM シート 3 面張供試体のひびわれ性状の差異を調べた。SAMM シート 3 面張供試体は基準供試体に比して、ひびわれ間隔が均等になり、等しいひびわれ幅に制御されていることが分かった (図-2)。

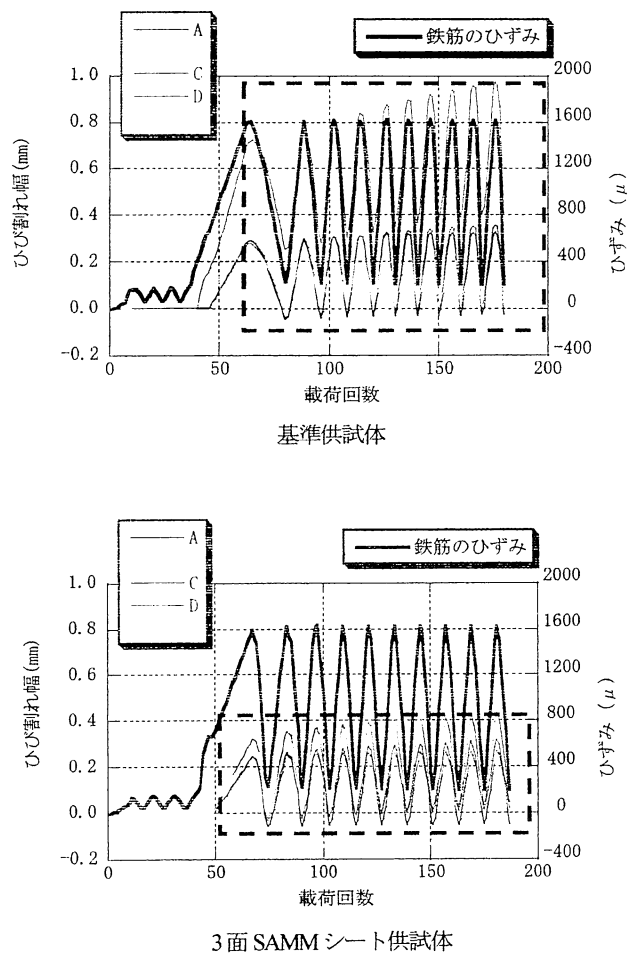


図-2 基準供試体と3面供試体のひびわれ比較

4. 実大試験体による実証試験

実大試験体による実証試験は 2 回実施した。1 回目は、平成 21 年 6 月に SMC コンクリート(株) (栃木県下野市) にて、アーチ内半径 2.75m、覆工厚 30cm のシールド用セグメント型枠 (写真-7) を使用し、D3 区間の補強鉄筋を想定した模型を組み立て、SAMM シートの設置状況、施工性、打込み中のコンクリートの性状、打ち込み中の SAMM シートの固定状況、脱型後の出来映えを確認し、さらには、はく落防止性能試験 (打撃試験) (写真-8) を実施した。

2 回目は、平成 23 年 3 月に岐阜工業(株) (岐阜県本巣市) にて、2 車線道路トンネル用スチールフォームセントル実機の一部を使用し (写真-9)、覆工厚 30cm の無筋断面を想定し、SAMM シートの固定方法、ポンプ圧送による打ち込み方法、打込み中のコンクリートの性状、打ち込み中の SAMM シートの固定状況、脱型後の出来映えを確認した。

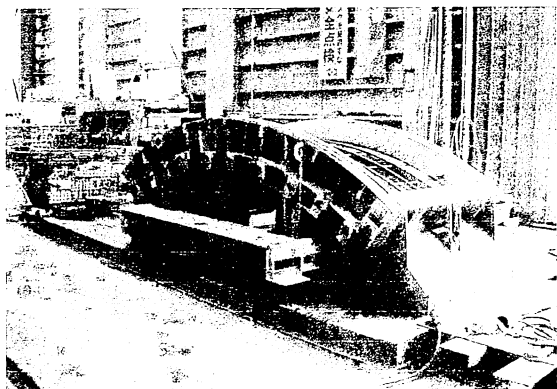


写真-7 シールド用セグメント型枠

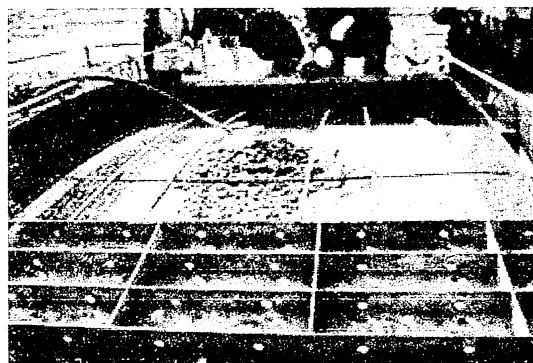


写真-11 コンクリート打ち込み状況 (天端吹上)



写真-8 はく落防止性能試験 (打撃試験)

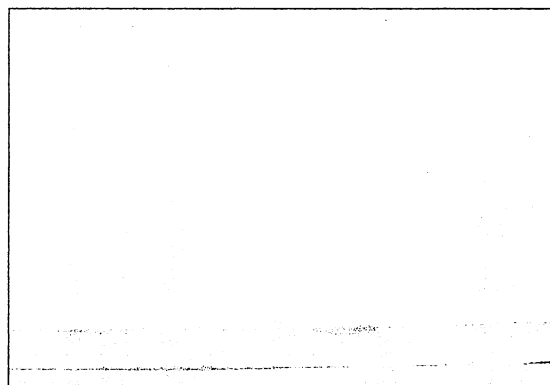


写真-12 コンクリートの表面

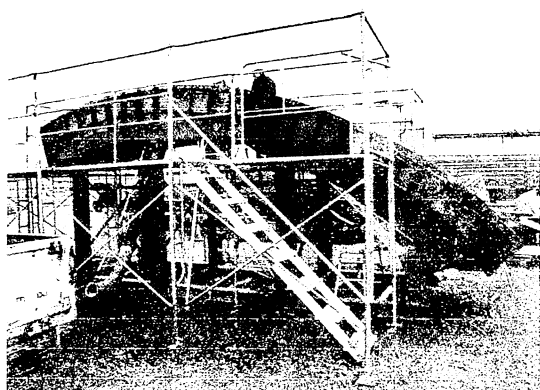


写真-9 スチールフォームセントル (一部)

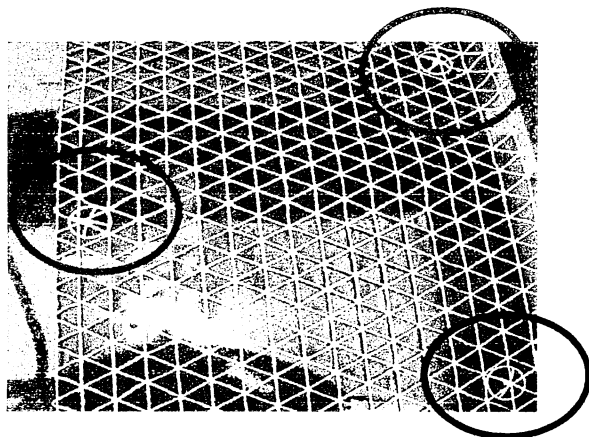


写真-10 SAMMシートの固定状況

実大試験体による実証試験を実施した結果、以下の適用性および有効性を確認することができた。

(1) 狭隘な空間での SAMM シートの設置作業

標準的な覆工コンクリートの巻厚 $t=300\text{mm}$ 程度の空間で、SAMMシートの設置、固定が可能である。

(2) SAMM シートの最適な固定方法

SAMM シートの固定治具を三軸方向に固定 (写真-10) することで、コンクリートの打ち込みによる SAMMシートのまくれやねじれは生じない。

(3) SAMM シート設置箇所への天端吹上げ打設

天端吹上げ口からのコンクリートの流下や圧入に際して、配置した SAMM シートが打設効率や作業性に悪影響を及ぼすことはないが、スランプなどコンクリートの性状を工夫する必要がある (写真-11)。

(4) コンクリート表面の出来映え

型枠脱型後に SAMM シート設置部分の表面に若干の網目模様を確認したが、美観を損なうほどではなく、表面強度も十分であることを確認した (写真-12)。

(5)はく落防止性能試験（打撃試験）

SAMM シート設置箇所と未設置箇所とで、静的破砕剤を充填し、ひびわれを発生させ、そのひびわれの幅、長さを測定し、さらに、ハンマーにより一定の力で打撃を加え、はく落するまでの打撃回数を記録した。未設置箇所では大きなコンクリート片が落下したが、設置箇所ではハンマーが直接あたる部分が細かく砂状に破碎されて落ちるのみで、大きなコンクリート片の落下はなかった（写真-13）。

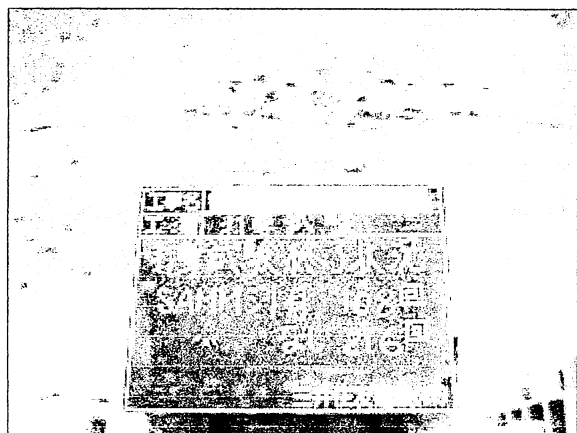


写真-13 打撃試験終了状況

5. 実トンネルにおける試験施工

(1) 試験施工実施トンネルの概要

工事件名：（仮称）椎坂2号トンネル工事（分割1号）
トンネル名称：椎坂白沢トンネル
工 期：平成21年10月15日～平成24年4月19日
発注者：群馬県
工事場所：群馬県沼田市利根町園原地内
延 長：1653m(当JV施工延長L=831m)
掘削断面：70.8m²～94.9m²
掘削工法：NATM,発破掘削

椎坂白沢トンネルは、群馬県発注の国道120号椎坂バイパス事業の一環として整備され、延長L=1653mの2車線道路トンネルである（図-3）。当トンネルの開通により峠の通過時間が短縮し、雨量による交通規制も撤廃される。供用開始は平成26年度の予定となっている。

試験施工は、CII-2-b パターン（覆工コンクリート厚t=300mm）断面において、メタルフォームの加工、SAMM シートの設置、固定などの施工性を確認した。シートの設置位置は、ひびわれやはく落の集中する目地部を挟んで1mとし、断面方向にはクラウン部120°範囲に設置した（図-4）

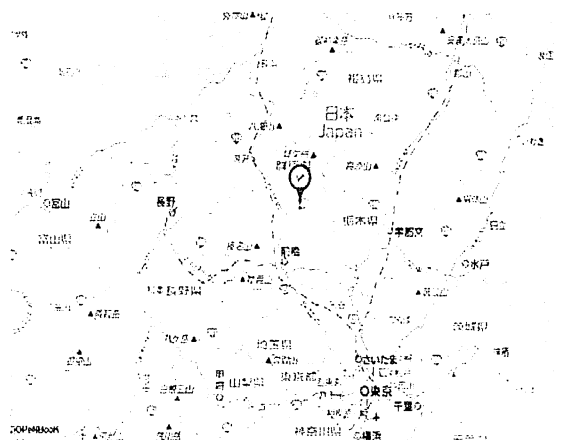


図-3 椎坂白沢トンネル位置図

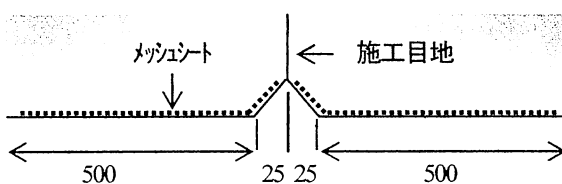
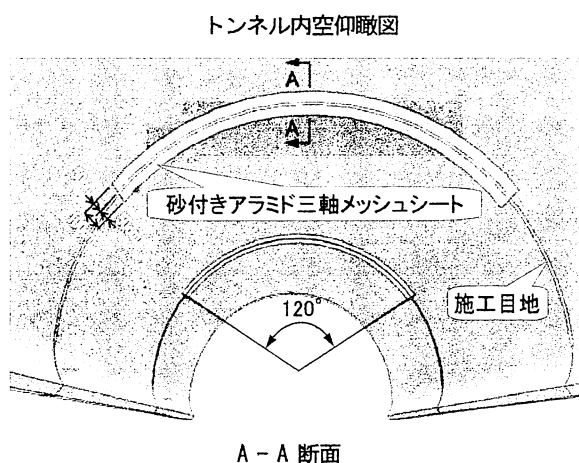


図-4 SAMM シートの設置範囲

(2) SAMM シートの加工

セントル内の作業スペースは狭く、作業しにくいので、シートの裁断および所定寸法への加工は事前に済ませた。

(3) SAMM シートの設置

SAMM シート設置は、ケレン清掃完了後、セントルをダウンさせた状態のまま、妻側、ラップ側にそれぞれ設置した（写真-14）。クラウン部より側壁に向かって、たるみが生じないように丁寧に伸ばしながら、専用治具を打ち込み固定する。固定が完了したら、セントルをセットして、はく離剤を塗布する。同時に治具の固定もれがないか、シートのたるみがないか確認した（写真-15）。

(4) コンクリートの打ち込み

コンクリートの打ち込みは通常通り行なうが、SAMM シート設置面上は SAMM シートが抵抗となり、多少の流動性低下が起きるので、スランプの調整を行った（写真-16）。

(5) 養生、脱型

養生は、通常打ち込み時と同様で、脱型は、SAMM シートを布設した付着確認用供試体を、圧縮強度確認用以外に用意しておき（写真-17）、事前に脱型し、SAMM シートの付着の様子を確認してから、セントルの脱型を実施した。

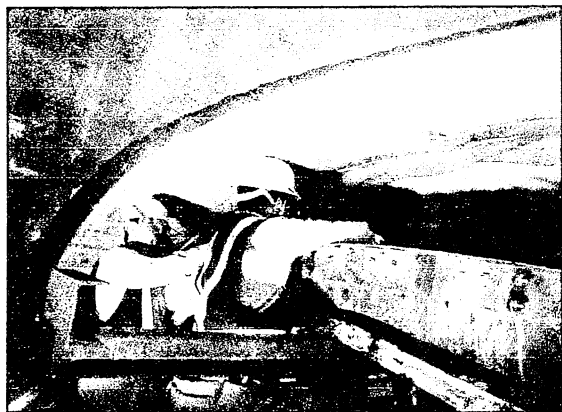


写真-14 SAMM シート設置状況

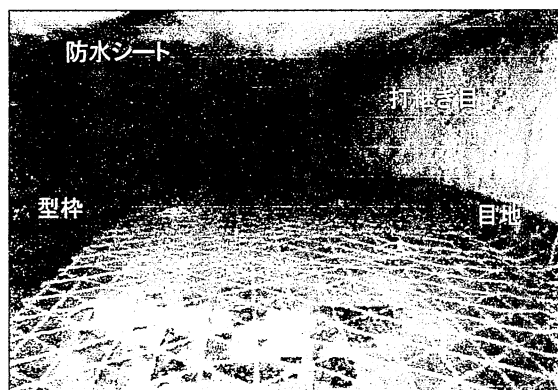


写真-15 SAMM シート設置状況



写真-16 コンクリート打ち込み状況

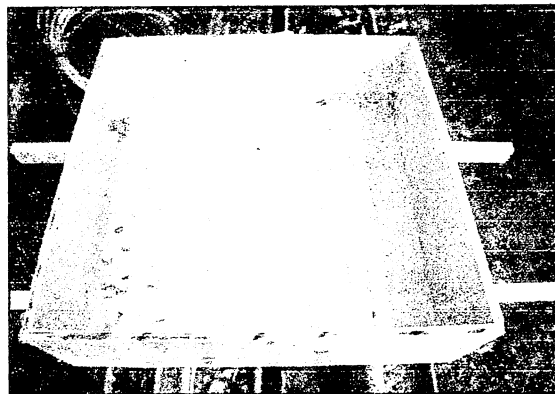


写真-17 SAMM シート付着確認用型枠

(6) 試験施工の結果

実用試験は 2 スパンの両端目地部において、計 4 箇所を実施した。試験施工の結果を以下にまとめる。

- a) SAMM シートは検査窓および妻側から容易に設置、固定が可能であり、施工サイクルへの影響はほとんどなかった。
- b) SAMM シートの特徴（三軸構造）を活かした固定方法により、コンクリートの打設による SAMM シートのねじれやズレが生じないこと、および天端吹上げ口からのコンクリートの流下や圧入に際して、配置した SAMM シートが打設効率や作業性に悪影響を及ぼさないことを確認した。
- c) 脱型直後（1 日後）においては、近接するとコンクリート表面には薄く SAMM シートの網目模様を確認することができるが（写真-18）、数日後には、シート未設置のコンクリートと同様の出来映えとなり（写真-19）、表面強度も十分であることを確認した。

今回の試験施工により、トンネル用アラミド三軸メッシュ工法は、打設作業や出来映えを損ねることなく、覆工コンクリートのはく落防止が図れ、実用化することができた。

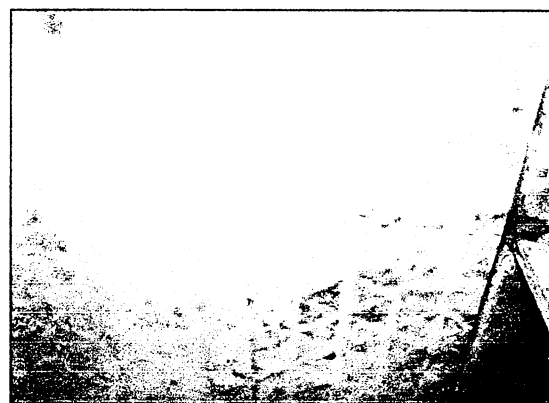


写真-18 コンクリートの表面（打設後 1 日）

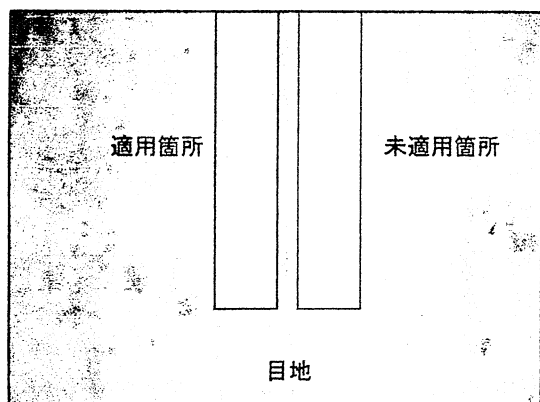


写真-19 コンクリートの表面（打設後7日）
（目地の左側が工法適用箇所）

6. おわりに

トンネル用アラミド三軸メッシュ工法は、トンネル覆工コンクリートの耐久性、安全性の向上を低コストで可能とする工法である。このたびの試験施工により、同工法が作業性や出来栄を損なうことなく、実用化できることが確認できた。

近年、トンネル施工現場においては覆工コンクリートのはく落防止対策のみならず、建設コストはもちろんのこと、トンネル本体の耐久性を向上させ、その維持管理から補修に至るまで、ライフサイクルコストの低減に繋がる新しい技術が求められている。

今回の試験施工結果を踏まえ、トンネル用アラミド三軸メッシュ工法の展開を進め、さらなる品質向上、施工性向上を図り、覆工コンクリートの高品質化に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 山本一也，木村定雄，宇野洋志郎：繊維シートを適用したトンネル覆工コンクリートのつま部のはく落現象の防止，トンネル工学報告集，第18巻，p.31～36.2008.
- 2) 木内勉，石田駿介，西村晋一，佐伯徹，大久保誠：再生 PET メッシュシートによるトンネル覆工コンクリートはく落防止工法の開発，平成24年度土木学会全国大会第67回年次学術講演会，VI-009，2012.

(2012. 9. 3 受付)

PRACTICAL USE THE METHOD OF EXFOLIATION PREVENTION OF CONCRETE USING ARAMID MESH SHEET

Yutaka UTSUMI, Tatsuyuki HIRANO, Takayuki WATANABE,
Ryuichi OKADA and Hiroshi TAKAHASHI

Recently, methods of exfoliation prevention of concrete have been developed by using a fiber sheet of various materials in a seam part of tunnel lining. Triaxiality aramid mesh method for tunnel lining uses the aramid mesh sheet with adhering sand, which has been adopted much in construction of bridges and box type culverts. This time we have applied it to a road tunnel for the first time and have put it to practical use by confirming better workability, quality, and workmanship in the little space of the tunnel.