

## 埋設型連続繊維シート補強コンクリートの曲げ靱性

佐藤工業(株) 正会員 ○宇野洋志城<sup>\*1</sup>  
 佐藤工業(株) 正会員 歌川 紀之<sup>\*1</sup>  
 佐藤工業(株) 正会員 小泉 直人<sup>\*2</sup>  
 金沢工業大学 正会員 木村 定雄<sup>\*3</sup>

## 1. はじめに

ひび割れ補修・補強対策として、既設のトンネル覆工コンクリートにひび割れが発生した際には炭素繊維の連続繊維シートを接着するはく落防止対策が採用されている場合がある<sup>1)</sup>。これらの連続繊維シート接着工法は、補修・補強方法の一つとして既に認識されている技術である<sup>2)</sup>。

一方、ひび割れ発生後に補修するのではなく、はく落防止対策としてコンクリート打込み前の段階で型枠面に連続繊維シートを配置し、脱型時からコンクリート表面近傍に埋設した状態で使用する工法に関しては、橋梁上部工や二次製品のシールドトンネル用セグメントを対象に実用化<sup>3),4)</sup>されているが、山岳トンネルにおける覆工コンクリートへの適用例はない。

そこで、筆者らは山岳トンネルにおける覆工コンクリートにもその技術を適用することを目的として実証試験を実施した。本報告では埋設型連続繊維シートのはく落に対する防止効果を曲げ靱性で評価した結果について述べる。

## 2. 性能評価試験

使用する埋設型連続繊維シート(以降、繊維シートと称す)は前述のシールドトンネル用コンクリートセグメントで適用実績のある耐アルカリ繊維シートとした(写真-1, 表-1参照)。供試体の作製はJIS A 1132『コンクリートの強度試験用供試体の作り方』に準じて行い、打込むコンクリートの配合は21-15-40BBとした(表-2参照)。なお、繊維シートは打込み前に型枠底面の全面(15×53cm)に配置した。

曲げ靱性の評価は、JHS 730-2003『繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性試験方法』に準拠して実施した試験結果によるものとし、φ4.0m×0.3mの

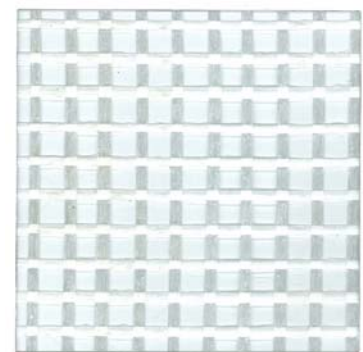


写真-1 耐アルカリガラス繊維シート

表-1 物性値

密度	引張強度	厚さ
400g/m <sup>2</sup>	タテ 60kN/m ヨコ 38kN/m	0.85mm

表-2 コンクリート示方配合

配合記号	Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				Ad		
					W	C	S			G	
							S1	S2		G1(2005)	G2(4020)
21-15-40BB	40	15±2.5	60	47.1	166	277	690	173	585	390	2.77
							863		975		

C: 高炉セメントB種, 密度 3.04g/cm<sup>3</sup>

S1: 山梨県大月市初狩産砕砂, 表乾密度 2.63g/cm<sup>3</sup>, 粗粒率 2.80 S2: 千葉県富津市鶴岡産陸砂, 表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>, 粗粒率 1.80

G1: 山梨県大月市初狩産砕石, 表乾密度 2.64g/cm<sup>3</sup>, 実積率 60.0% G2: 山梨県大月市初狩産砕石, 表乾密度 2.64g/cm<sup>3</sup>, 実積率 60.0%

Ad: 高性能AE減水剤

キーワード 覆工コンクリート, 補強, 連続繊維, 曲げ靱性, 耐アルカリガラス繊維

連絡先 \*1 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 TEL: 046-270-3091 FAX: 046-270-3093

\*2 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19 TEL: 03-3661-4794 FAX: 03-3668-9484

\*3 〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1 TEL: 076-248-8426 FAX: 076-294-6713

覆工コンクリート塊のはく落に対し有効な曲げ靱性係数  $1.40\text{N/mm}^2$  以上<sup>5)</sup>を基準に判断した。

ただし、供試体底面に繊維シートを配置しているため、荷重載荷面はコンクリート打ち上がり面とした。

### 3. 曲げ靱性の評価

曲げ靱性試験の実施状況と試験後の繊維シート面の変状具合をそれぞれ写真-2, 3に、曲げ靱性試験の結果を図-1に示す。

材齢 28 日における圧縮強度試験結果は  $24.6\text{N/mm}^2$  であり、通常のトンネル覆工コンクリートと同等であった。

曲げ靱性係数は平均で  $2.02\text{N/mm}^2$  が得られ、基準の  $1.40\text{N/mm}^2$  を十分上回る結果を示した。その数値は非鋼繊維のポリプロピレン（以降、PP と称す）やポリビニルアルコール（以降、PVA と称す）を使用した短繊維補強コンクリートが混入率 0.3% で示す水準<sup>6)</sup>を超えるものであった。試験結果を見る限り、曲げ靱性のばらつきも少なく、埋設型連続繊維シート補強コンクリートは短繊維補強コンクリートに比べて安定した性能が得られた。

したがって、連続繊維シートを表面近傍に埋設したコンクリートの曲げ靱性は、想定される覆工コンクリート塊のはく落を防止するのに十分な効果があり、その性能はこれまでに使用実績のある短繊維（PP, PVA）を 0.3% 混入した補強コンクリートと同等あるいはそれ以上が期待できるものと考えられる。

### 4. おわりに

現在、山岳トンネルを対象に剥落防止対策として耐アルカリガラス繊維シートを埋設した覆工コンクリートの施工へ向けた準備を進めている。さらに、実規模レベルでの施工試験に加えて押し抜きせん断試験により効果を確認し、型枠セントルの加工あるいは繊維シートの固定方法などの検討を実施している。

### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2003-
- 2) 小島芳之，吉川和行，六車崇司，小林朗，若菜和之，松岡茂，朝倉智深：繊維シート接着工法によるトンネル覆工コンクリートの剥離対策設計法，土木学会論文集，No.756，VI-62，pp.101-116，2004.3
- 3) 寺田典生，青木圭一，中井裕司：繊維シートによる剥落防止対策の開発，橋梁と基礎，pp.27-32，2003.11
- 4) 玉井攻太，木村定雄，松浪康行，倉木修二，水上博之：コンクリート系セグメントの表面補強材としての繊維シートの適用，トンネル工学報告集，Vol.14，pp.389-394，2004.11
- 5) 馬場弘二，伊藤哲男，城間博通：覆工コンクリートのはく離・はく落抑制を目指した鋼繊維補強仕様の確立に関する研究，日本道路公団試験研究所報告，Vol.39，pp.91-106，2002.11
- 6) 宇野洋志城，歌川紀之，小泉直人：長期耐久性を向上させるための覆工コンクリートの配合検討，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.221-226，2007.11



写真-2 試験実施状況

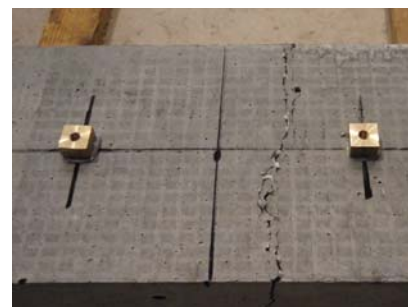


写真-3 繊維シート面  
(試験後変状具合)

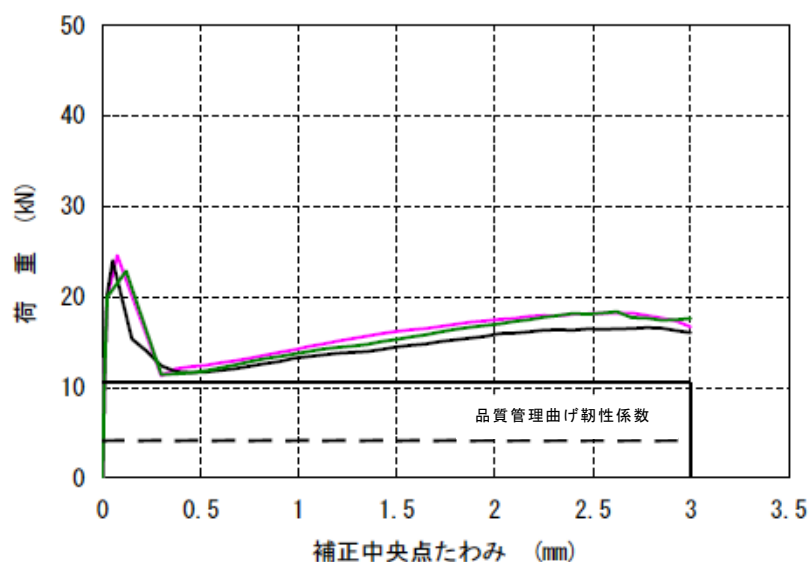


図-1 曲げ靱性試験結果

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

金沢工業大学大学院 学生会員 山本 一也<sup>\*1</sup>  
 金沢工業大学(現,(株)坂口興業) 坂口 安輝  
 金沢工業大学 正会員 木村 定雄<sup>\*1</sup>  
 佐藤工業(株) 正会員 宇野洋志城<sup>\*2</sup>

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートのつま部において、三日月形のはく落現象の事例が幾つか報告<sup>1)</sup>されている。図1はつま部を模式的に示したものである。つま部のはく落現象の原因は、コンクリートの強度が十分に発現していない状態でセトルを移動し、覆工コンクリートの自重によってひび割れが生じること<sup>1)</sup>や型枠移動による偏荷重が作用すること<sup>2)</sup>などが想定される。一方、道路や鉄道などの有人トンネルにおいては、利用者の安全性を確保する観点からはく落現象の防止はとくに重要となる<sup>3)</sup>。

そこで、筆者らはつま部のコンクリート片のはく落を確実に防止するために、覆工コンクリートの表層部に繊維シートを埋設することを考えた。

本報告は覆工コンクリートのつま部をモデル化したコンクリート片の押抜き実験により確認した繊維シートのはく落防止性能について述べたものである。

2. 実験概要

実験に使用した耐アルカリガラス繊維補強シートの概略特性を表1に示す。この繊維シートはシールドトンネルのコンクリート系セグメントですでに実績がある<sup>4)</sup>。

押抜き実験の供試体名および諸元を表2に示す。表中の赤線は繊維シートを表している。繊維シートの配置は、実際の埋設イメージから定めた。繊維シートの配置パターンは表中に示すように、継目部の溝の周辺を囲むものと、そうでないものを設定した。なお比較するために繊維シートのないケース(SN)、既設と新設に跨って繊維シートが埋設されたケース(SA)も設けた。

押抜き形状は円形および三日月形をモデル化した半円形とした。また、その寸法は表中に示したとおりである。

使用したコンクリートの配合は、覆工コンクリートの配合実績を参考<sup>5)</sup>にして、水セメント比が60%、設計基準強度を21N/mm<sup>2</sup>とした。なお、実圧縮強度は34.3N/mm<sup>2</sup>である。なお、つま部を跨ぐ既設と新設のコンクリートは同時に一体化して打設した。

押抜き実験では荷重と抵抗変位量を計測して、これら両

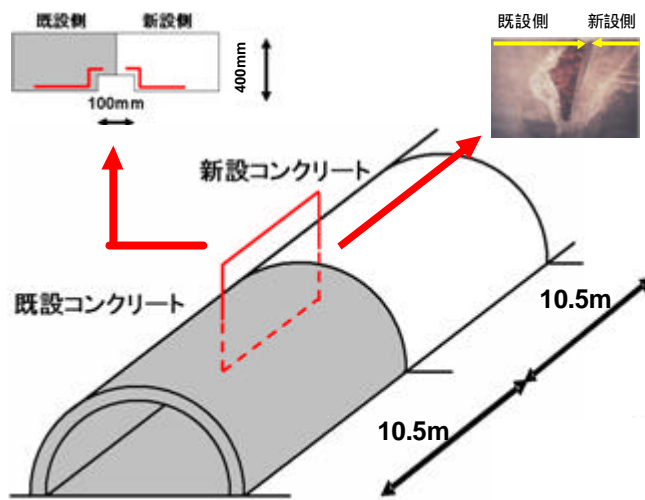


図1 つま部

表1 耐アルカリガラス繊維補強シートの概略特性

繊維シート種類	引張強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張弾性率 (kg/mm <sup>2</sup> )	破断伸度 (%)	単繊維直径 (μ)	密度 (%)
耐アルカリガラス	350~360	7400~7500	4.8	8~12	2.6

表2 押抜き実験の供試体名および諸元

供試体	シート	押抜き形状	繊維シート配置イメージ	供試体	押抜き形状
SN	なし	円形			
SA	あり	円形			
SB	あり	200半円形			
SC	あり	200半円形			
SD	あり	260半円形			
SE	あり	260半円形			

者の抵抗からはく落防止性能を評価することにした<sup>4)</sup>。載荷速度は0.5mm/minとし、変位制御で荷重がゼロになるまで載荷した<sup>4)</sup>。その際、押抜き抵抗変位量が5mmごとに下面の状況を確認し、最終的にはく落段階で繊維シートがコンクリート表面からはく落面積を測定した。

キーワード：はく落防止工法、繊維シート、山岳トンネル、つま部、トンネル覆工

連絡先 \*1: 〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1 TEL: 076-248-8426 FAX: 076-294-6713

\*2: 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 TEL: 046-270-3091 FAX: 046-270-3093

3. 結果およびその考察

押抜き実験により得られた荷重と抵抗変位量の関係を図2~図4に示す。また、図中には押抜き後の最終的な抵抗変位量、荷重が0.5kN時の抵抗変位量および繊維シートのはく離面積をあわせて示してある。なお、抵抗変位量は押抜かれるコンクリートコアが偏心して変位するため、載荷装置で計測された平均的な変位量としている。また、耐荷性は繊維シートがはく落する段階に保持される荷重が0.5kN時で評価した。

繊維シートのない供試体はコンクリートコアが押抜かれると同時に耐荷性を失った。一方、つま部を跨いで繊維シートを埋設した供試体は繊維シートの効果で耐荷力が大きく、かつ抵抗変位量が50mm程度となった。

図3は繊維シートの配置パターンが異なるケース、図4は押抜き形状寸法が異なるケースをまとめたものである。図3をみると、つま部で分離された繊維シートの隙間が狭いパターンが隙間の広いパターンに比べて抵抗変位量が5mm程度大きくなった。また、はく落段階前に保持される0.5kN時の荷重も、隙間の狭いパターンの方が、それが広いものに比べて大きくなった。一方、図4をみると、半円形の直径の大きさにかかわらず、抵抗変位量および耐荷性に大きな差は認められなかった。

以上の結果から、つま部を跨いで繊維シートが分離されると、コンクリートコアのはく落形状寸法にかかわらず、分離された繊維シートの隙間を狭くすることで、はく落防止性能が異なることがわかる。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル, pp.137-139,2007.1.
- 2) 土木学会：トンネルライブラリー12号,山岳トンネル覆工の現状と対策,pp.30-46,2001.9.
- 3) 土木学会平成19年度全国大会研究討論会・研14資料：地下空間のライフサイクルデザイン/マネジメント-時代に求められる良質な地下構造物の作り方のトレンド-, pp.8-9,2007.9.
- 4) 玉井攻太, 木村定雄, 松浪康行, 倉木修二, 水上博之：コンクリート系セグメントの表面補強材としての繊維シートの適用,トンネル工学報告集, No.14, pp.389-394,2004.11.
- 5) 木村定雄, 三村聡, 吉田行生, 水上優：未貫通なひび割れを有する覆工コンクリートの初期劣化進展とその考察,トンネル工学研究論文・報告集, Vol.13, pp.45-52,2003.11.

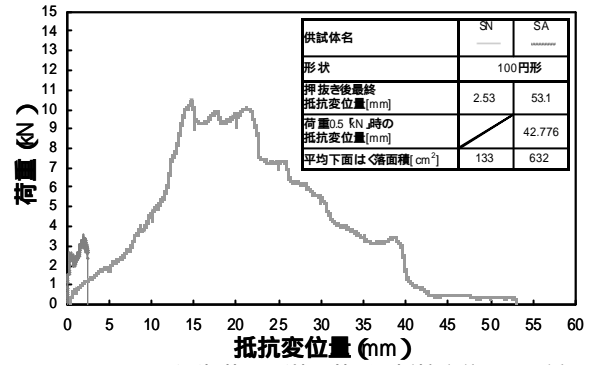


図2 円形型押抜き形状の荷重と抵抗変位量の関係

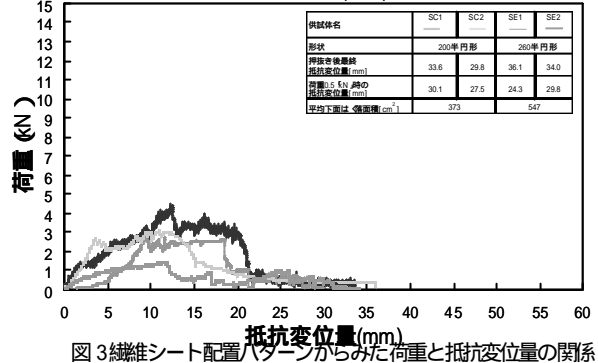
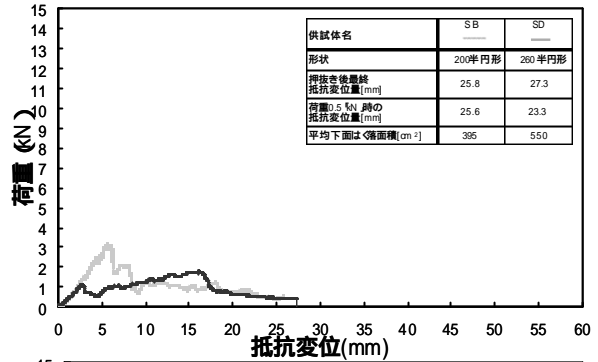


図3 繊維シート配置パターンからみた荷重と抵抗変位量の関係

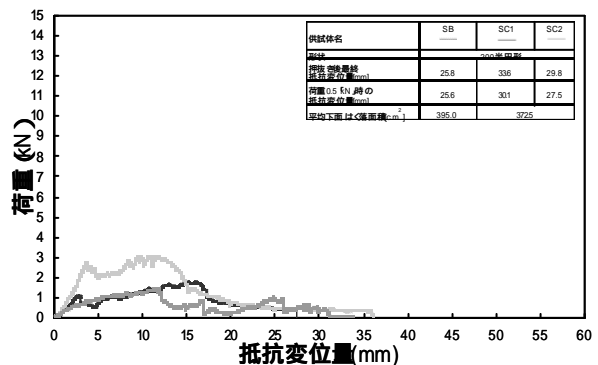
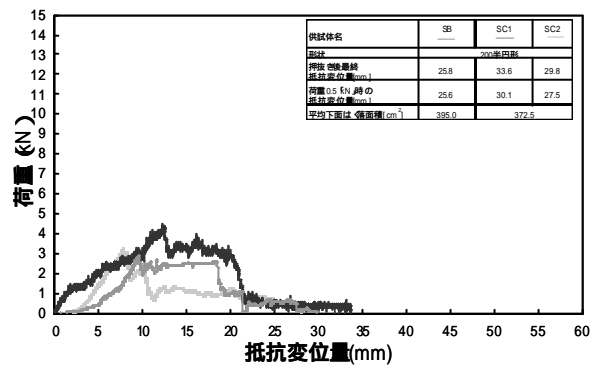


図4 押抜き形状寸法からみた荷重と抵抗変位量の関係