

# トンネル覆工目地部におけるはく落対策用繊維シート接着工の実験的考察

日本道路公団 試験研究所 トンネル研究室 正会員 城間 博通 正会員 伊藤 哲男  
 正会員 大嶋 健二  
 パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 倉持 秀明 正会員 山本 秀樹

## 1. はじめに

近年、トンネルの覆工コンクリートのはく落対策として炭素、アラミドなどの繊維材料を用いたFRPを覆工内面に接着する工法の適用事例が増えている。覆工コンクリートのはく落対象箇所として、横断方向目地部付近に非常に多く存在することが知られており、これらのはく落対策として目地部を跨いで繊維シート接着工を施工する場合が多くなると予想される。しかしながら、覆工

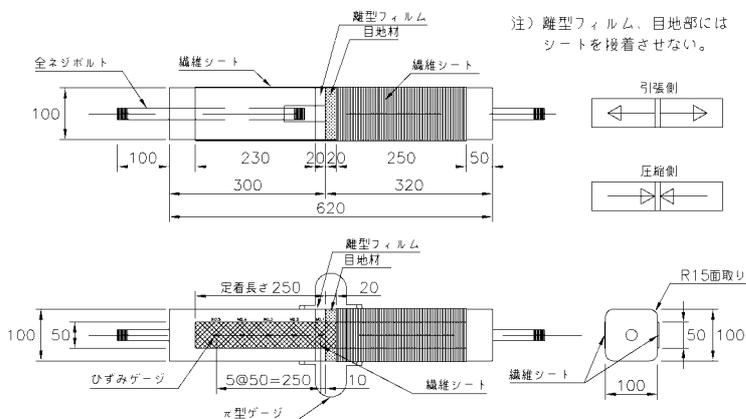


図-1 附着性能試験供試

の横断方向の目地は、トンネル坑内の温度変化に伴うコンクリートの膨張・収縮を吸収する役目があり、年間を通して気温変動が大きいと予想される箇所で目地部を跨いで繊維シートを接着した場合、目地部が変動することによりシートの附着性、シートのたわみ・引張りが問題になり、覆工コンクリートやシートに悪影響を及ぼすことが予想される。そこで目地部を跨いで繊維シートを接着する場合の設計・施工法を確立することを目的として、図1に示すような目地を模擬した供試体<sup>1)</sup>を作製し、目地部に強制的な変位を与え、繊維シート接着工が覆工コンクリートに及ぼす影響を確認した。その結果、設計・施工法を構築する上で有効な知見が得られたので報告する。

## 2. 実験方法

表1に示す3種類の繊維シートを用いて変位制御による単純引張、引張側の繰返し載荷、引張側 - 圧縮側の繰返しの3種類を実施した。単純引張試験は、載荷速度を0.2mm/minとし、0.5mm載荷ごとに2分間のインターバルをとり、繊維シートが破断あるいははく離が端部に進展するまで載荷を行った。繰返し載荷試験は、冬夏の日地部の伸縮を1サイクルと考え、大蔵省令に定める土木構造物の耐用年数を参考に60年間を想定し、60回の繰返し載荷とした。また目地部変位量は表1に示すとおり、冬夏の平均的な温度差を考慮し設定した。1回目の引張載荷は単純引張試験と同様とし、設定値に達した時点で2分間のインターバルをとり、そこから繰返し載荷モードへ移行した。繰返し載荷速度は、10mm/minとした。測定は、荷重、目地部の変位（パイ型ゲージ）、繊維シートのひずみ（表裏合計10箇所）のひずみゲージを1/10秒ごとに測定した。

表-1 試験ケース

繊維シートの種類	目付量 (g/m <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	載荷方法	目地部変位量 (mm)	
				引張側	圧縮側
2方向炭素繊維	200	2.3 × 10 <sup>5</sup>	単純引張	*	
			繰返し	1.5	0
			繰返し	1	-1
2方向アラミド繊維	180	1.18 × 10 <sup>5</sup>	単純引張	*	
			繰返し	1.5	0
			繰返し	1	-1
紫外線硬化型	600	6.0 × 10 <sup>3</sup> 以上	単純引張	*	
			繰返し	0.35	0
			繰返し	0.35	-0.35

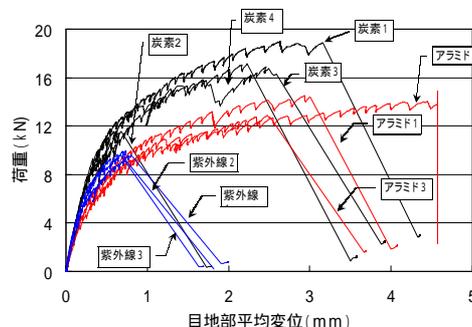


図-2 目地部変位と荷重の関係

## 3. 実験結果

### 3.1 単純引張試験

目地部平均変位と荷重の関係は、図2に示すように目地部の平均変位（開き）



写真-1 はく離面（母材破壊）

が 0.2~0.3mm までは直線的に立ち上がり，その後繊維シートのはく離が開始するため変位 - 荷重関係は徐々に傾きが減少する。炭素繊維とアラミド繊維は目地部平均変位が概ね 2mm 程度まで繊維シートの破断，端部までのはく離は起こらなかった。紫外線硬化型シートは目地部平均変位が 0.7~0.8mm ですべて破断した。はく離開始時の繊維シートのひずみは，炭素繊維，アラミド繊維が約 4800 $\mu$ ，紫外線硬化型は約 2500 $\mu$ であった。また，繊維シートがはく離していく過程で目地部付近のコンクリートは約 2cm 程度の深さで母材破壊を起こした(写真 1)。目地部平均変位とはく離進展距離の関係は図 3 に示すように概ね比例関係にあり，引張剛性の大きな繊維ほど小さな目地部の変位に対してはく離進展距離が大きくなる傾向を示した。

3.2 繰返し載荷試験の結果

引張側の繰返し載荷試験結果を図 4 に示す。サイクル数が増すごとに目地部最大変位時の荷重は緩やかに減少する傾向を示した。これは繰返しの影響により若干はく離が進展したことを意味する。

また，引張側 - 圧縮側の繰返し載荷試験結果を図 5 に示す。炭素繊維，アラミド繊維は圧縮が作用したときに目地部の繊維シート FRP が座屈を起こしひび割れが発生したため，1~10 回の繰返しにより繊維シートが破断した。紫外線硬化型シートは，引張側だけの載荷モードのときははく離進展が見られなかったが，圧縮側の載荷ではく離進展が確認された。写真 2 に紫外線硬化型シートのはく離進展過程をはく離位置とそのときの載荷サイクル数で示した。紫外線硬化型シートは厚さが約 1.5mm あり，軸圧縮力を伝達することによりはく離が進展したと考えられる。

4. まとめ

以上の実験結果から覆工目地部を跨いで繊維シート接着工によりはく落対策工を設計する場合には以下のことに留意する必要があると考える。

トンネル坑内の温度変化と覆工の膨張・収縮による目地部の変位を考慮して，覆工に損傷を与えないため繊維シートに非接着部分（以下自由長と言う）を設ける必要がある。その長さは，繊維シートの引張剛性を考慮して決定する。また，施工時期によっては目地部が圧縮することも考えられるため，繊維シートに発生する軸圧縮力によって繊維シートの座屈やはく離が起こらないように検討する。以上を考慮した繊維シートの必要自由長が，はく落防止対象物に比べ極端に長くなる場合には別のはく落対策工を含めた総合的な検討が必要である。

参考文献 1) : コンクリートライブラリー101 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針 (社)土木学会 平成12年7月

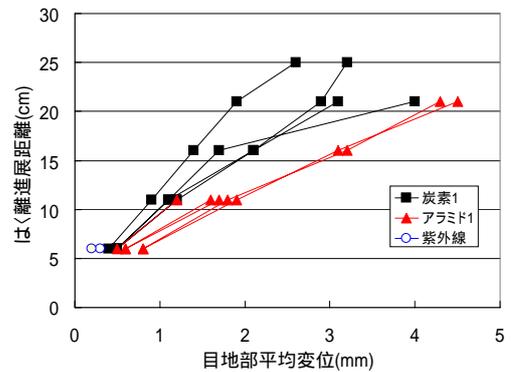


図 3 目地部平均変位とはく離進展距離

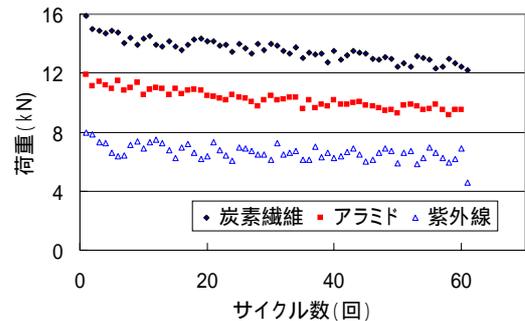


図 4 繰返し載荷試験（引張側）

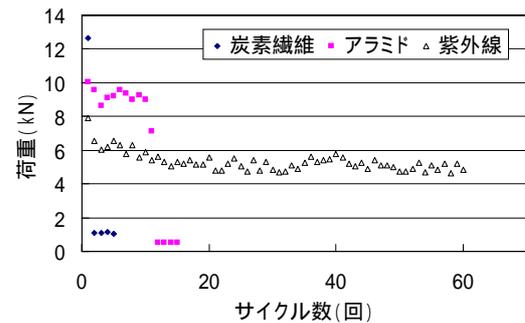


図 5 繰返し載荷試験（引張側 - 圧縮側）

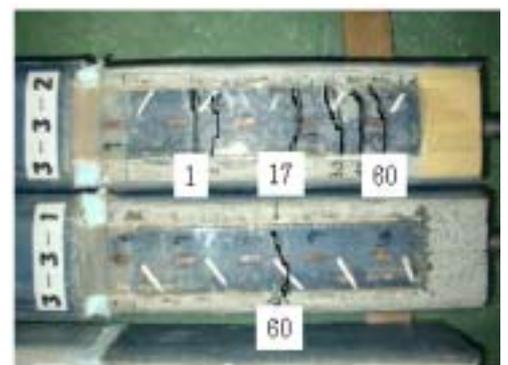


写真 - 2 紫外線硬化型シート (圧縮側におけるはく離進展状況)