

トンネル覆工剥落対策における緩衝材を用いた繊維シート接着工の適用性に関する検討

○新日本石油(株) 正会員 小牧 秀之¹⁾清水建設(株) 正会員 前田 敏也²⁾(株)東邦アーステック 正会員 藤間 章彦³⁾財)鉄道総合技術研究所 正会員 小島 芳之, 吉川 和行, 栗林 健一⁴⁾

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの剥落対策として、炭素やアラミド等の繊維シートを接着する工法の適用性や設計法の確立が進められている。しかし既往の研究によれば、繊維シート接着工による剥落対策においては、曲率が性能に大きく影響するという課題が報告されている¹⁾。

そこで筆者らは、繊維シートの剥離抑制効果が梁の曲げ補強や管渠の内面補強等で確認されている^{2), 3)}、繊維シートとコンクリートとの間に変形性能に優れた緩衝材と称する材料を設置する工法に注目し、小型平板コンクリートおよびトンネルを模擬した曲率を持つ大型平板コンクリートを使用した押抜き試験を実施した。

本報では、これらの試験結果から緩衝材を用いた繊維シート接着工法の剥落対策への適用性を検討するとともに、曲率に対する緩衝材の剥離抑制効果について考察を行った。

2. 実験概要

小型平板および大型平板コンクリートの試験体概要を図-1, 2に示す。大型平板の曲率は在来線単線断面相当の $R=2220$ とした。繊維シート工は、プライマーを塗布後、パテ状の緩衝材を1mmの厚みとなるように塗布し、その後目付量 200g/m^2 の2方向炭素繊維シート（以下CFS）をCFS用の汎用エポキシ樹脂により接着した。緩衝材およびCFSの力学特性を表-1に、試験条件を表-2に示す。大型平板については、緩衝材を用いない従来工法によるCFS接着の結果¹⁾との比較を行った。

押抜き試験はCFS接着後、室温で7日間以上養生した後に実施した。荷重方法は、初期の剥離開始までは荷重速度 $2\text{mm}/10\text{min}$ の変位制御とし、剥離後は $1\text{mm}/\text{min}$ の速度で1ステップ 0.5mm の押し込み量のステップ荷重とした。計測は圧子の押し込み荷重、荷重点の鉛直変位、CFSの剥離周長、CFSのひずみとした。図-3に大型平板の試験状況を示す。

表-1 使用材料の物性値

項目 材料	引張強度 (N/mm ²)		引張弾性率 (N/mm ²)
CFS	2,900		2.30×10 ⁵
項目 材料	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)	伸び率 (%)
緩衝材	4.6	23.0	19

表-2 供試体の仕様

供試体名	試験体	緩衝材 (mm)	CFS 積層数
S-CF	小型平板	—	1層
S-HPCF	小型平板	1.0	1層
HPCF-R=2220	大型平板単線	1.0	1層
CF-R= ∞ *	大型平板	—	1層
CF-R=4750*	大型平板複線	—	1層
CF-R=2220*	大型平板単線	—	1層

*：参考文献1)より引用

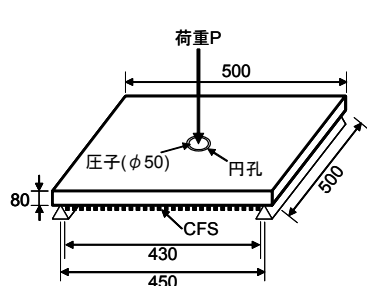


図-1 小型平板試験体

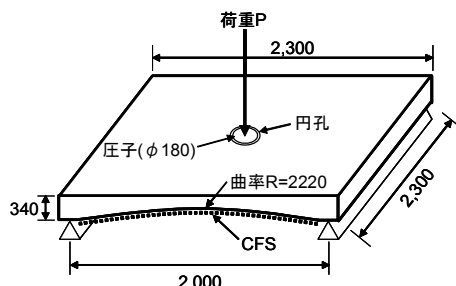


図-2 大型平板試験体



図-3 押し抜き試験状況(大型平板)

キーワード：トンネル、剥落対策、繊維シート接着、緩衝材

- 1) 〒231-0815 横浜市中区千鳥町8
 2) 〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3
 3) 〒950-1123 新潟県新潟市黒島1437-1
 4) 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38

Tel.045-625-7250
 Tel.03-5441-0186
 Tel.025-377-2711
 Tel.042-573-7266

Fax.045-625-7275
 Fax.03-5441-0512
 Fax.025-377-6820
 Fax.042-573-7248

3. 試験結果および考察

(1) 小型平板試験

表-3に試験結果を示す。いずれもシートが端部まで剥離する破壊形態であった。緩衝材を使用したS-HPCFの最大押抜き荷重および変位は、従来工法のS-CFとほぼ同等となったが、単位剥離強さは剥離周長が短いために高い値を示した。これは緩衝材の変形性能によって有効定着長が長くなることで剥離領域が小さくなったためと考えられる。これより緩衝材を使用する場合は、十分な付着長が確保されれば剥離抵抗性が向上すると考えられる。

(2) 大型平板試験

図-4に荷重と載荷点変位の関係を示す。剥離が始まるまでは、緩衝材の有無、および曲率半径に関わらず同様な挙動を示した。剥離後については、緩衝材を使用したHPCF-R2220は同じ曲率のCF-R2220に比べ押抜き荷重は高い値を示した。

図-5に荷重と剥離周長の関係を示す。HPCF-R2220の剥離周長は従来工法に比べて短く、単位剥離強さは3.6kN/mである。従来工法の単位剥離強さはCF-R ∞ (4.9kN/m)に比べ、曲率を有するCF-R2220(1.9kN/m)、CF-R4750(1.7kN/m)の低下が大きい。緩衝材によって曲面での剥離抵抗性が向上するものと考えられる。

図-6にHPCF-R2220のトンネル軸方向における、荷重とCFSひずみの関係を示す。載荷初期の段階から各側点でひずみが発生し、押抜き荷重をCFSの広い範囲で分担していた。この現象は梁の曲げ補強や管渠の内面補強で検討された既往の研究と同様であり^{2), 3)}、緩衝材により曲率を有した場合においても剥離が抑制され単位剥離強さが向上したのと考えられる。またCFSの剥離形状を図-7に示すが、剥離の形態は小型平板と同様に緩衝材層の凝集破壊となった。今後設計法を確立するためには、緩衝材の力学特性や付着特性、繊維シートの引張剛性の影響等を定量化する必要がある。

4. まとめ

- ①緩衝材を使用した繊維シート接着工はトンネル覆工コンクリートの剥落対策工として適用でき、十分な定着長を確保すれば緩衝材の変形性能により剥離耐力が増加する。
- ②今後、設計法の確立に向けて、緩衝材の力学特性や付着特性、繊維シートの引張剛性の影響等を定量化する必要がある。

【参考文献】

- 1)六車,小島,吉川:繊維シート接着工によるトンネル覆工コンクリートの剥落対策における覆工曲率の影響,土木学会第56回年次学術講演会 V-536, 平成13年10月
- 2)前田,小牧,坪内,村上:緩衝材を用いた炭素繊維シート接着工法の補強効果,コンクリート工学年次論文集,Vol.23, No.1, p.817, 2001
- 3)小牧,高木,坪内,前田:緩衝材を用いた炭素繊維シート接着工法による管渠の補強に関する研究,土木学会第57回年次学術講演会 VI-127, 平成14年9月

表-3 小型平板押抜き試験結果

供試体名	最大押抜き荷重(kN)	最大押抜き変位(mm)	最大剥離周長(m)	単位剥離強さ(kN/m)	破壊形態
S-CF	6.66	25.3	1.07	6.66	端部破壊・緩衝材層破壊
S-HPCF	6.49	23.5	0.96	7.50	端部破壊・母材破壊

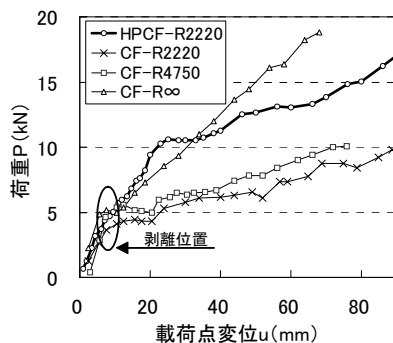


図-4 荷重と載荷点変位の関係

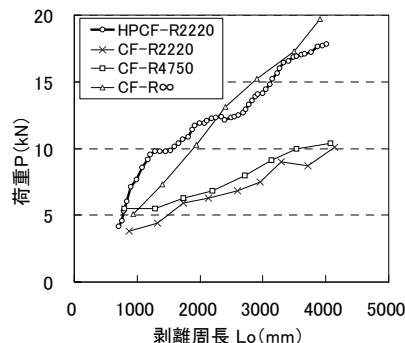


図-5 荷重と剥離周長の関係

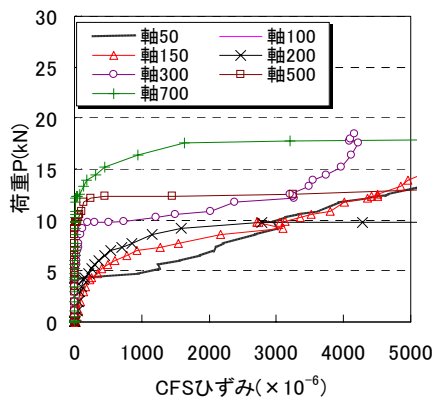


図-6 HPCF-R2220のCFSひずみ
(トンネル軸方向)

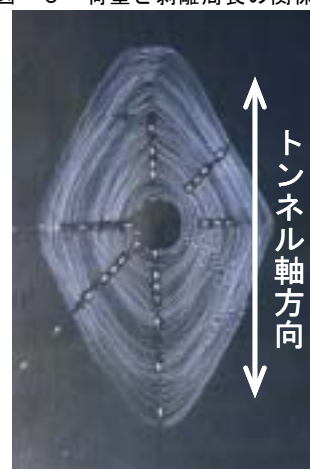


図-7 CFSの剥離形状