

二方向 AFRP シートによるトンネル内面補強工に関する施工事例

A Practical Application of Tunnel Retrofitting Method Using Cross-Textile AFRP sheets

北海道開発局小樽開発建設部 正員 栗山清 (Kiyoshi Kuriyama)
 北海道開発局開発土木研究所 正員 中井健司 (Kenji Nakai)
 北海道開発局小樽開発建設部 非会員 坪西国夫 (Kunio Tsubonishi)
 (株) 間組札幌支店土木部 正員 栗山達生 (Tatsuo Kuriyama)
 計測技販 (株) ○正員 猪又秀一 (Shuichi Inomata)

1. まえがき

通常、トンネルの内面補強は内巻きコンクリート工法やセントル補強工法を用いるのが一般的である。しかしながら、建築限界余裕が十分に確保されていない場合にはこれらの工法を適用することが困難であり、また交通障害の発生を伴うという問題点も指摘されていた。近年、このような問題点を解消する工法として、新素材である炭素繊維シート（以後、CFRPシート）を接着する補強法が脚光を浴びつつある¹⁾²⁾³⁾。しかしながら、CFRPシートは鋼材と同程度のヤング率を有するものの脆性的であるため、2方向織りが不可能でそれほど施工性に優れた補強材料であるとは言い難い。また、帯電性があるため鉄道トンネルへの適用は制約される等の欠点も有している。

一方、塩谷トンネルは一般国道5号線小樽～余市間に位置する全長541mのトンネルである。当該トンネルは小樽側と余市側で大きく二区間に分けられており、その接続部は巻き出し部によって接続される構造となっている。しかしながら、巻き出し部施工後25年経過した平成2年8月の防水工事において、巻き出しコンクリート目地部に最大変位量250mmもの変形が発見された。その後の調査検討により、変形要因としては、山側の壁面に何らかの荷重が作用したことやコンクリートの劣化の進行が考えられた。そのため、応急対策として上載荷重を軽減する部分的排土工とH鋼支保工による内面補強を行った。その結果、巻き出し部の変位増加量が減少する傾向が見られ、支保工の効果がある程度の応力軽減に寄与することが明らかになった。しかしながら、進行変位を止めるほどの効果は得られなかったため、抜本的な対策工が求められた。そこで、今回、当該トンネル内面の断面方向および

軸方向の2方向に関する補強法として、CFRPシートに比べてヤング率が低いものの高伸び特性を有しかつ、しなやかで2方向織り上げも可能なアラミド繊維シート（以後、AFRPシート）接着工法を採用し施工することとした。

本文は、トンネル内面を2方向AFRPシートで補強する実施工例と、今後のトンネル内変状管理のために設置した光ファイバーを用いた計測システムの概要を報告するものである。

2. 施工概要

まえがきにも述べたように、塩谷トンネルにおいてコンクリートの剥落防止および応力軽減に効果を発揮することを期待し、トンネル覆工表面に二方向アラミド繊維シート（以後、単に2方向AFRPシート）を貼ることとした。図-1に、当該トンネルの内面補強工における断面図を示す。なお、施工区間はトンネル巻出し部40mである。

図-2には、内面アーチ部に作用するモーメント分布を示している。図より、目地中央部付近に内側引張となる曲げ応力が作用することがわかる。この曲げモーメントによって内面に発生する引張力は194 kN/mであった。

まず、この引張力に抵抗させるために内壁全面にAFRPシートの一次巻き立てを実施した。さらにクラウン部周

表-1 二方向アラミド繊維シート材料諸元

品番	A K40/40		
設計耐力	縦横	400	(kN/m)
繊維目付量	縦横	320	(g/m ²)
シート厚さ	縦横	0.193	(mm)
引張強度		2060	(MPa)

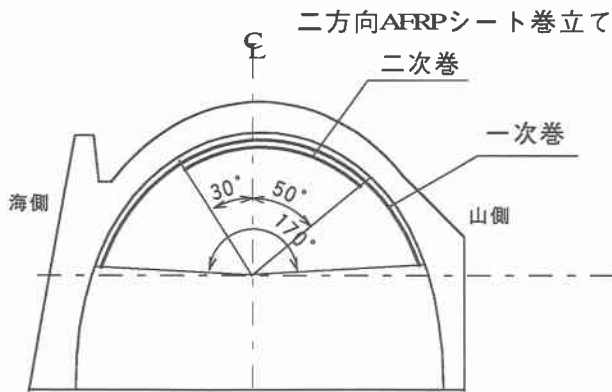


図-1 内面補強工時断面図

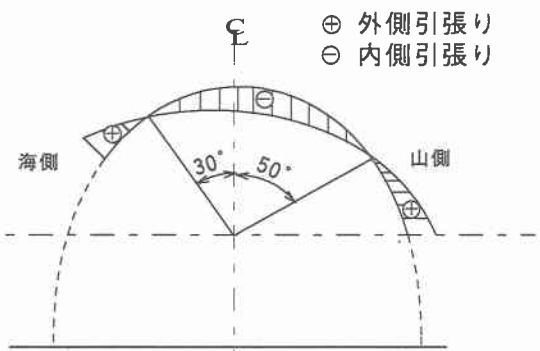


図-2 内面アーチ部に作用するモーメント図

辺コンクリートの劣化が進行していることより、それらの剥落を防止するために、その周辺部の二次巻立てを実施した。一次巻と二次巻の接着面積は、それぞれ 552 ㎡、251 ㎡となり、合計 803 ㎡のアラミドシートを使用している。表-1 に、本法で用いた二方向アラミド繊維シートの材料諸元を示す。

3. 施工手順および内容

当該トンネルは、一般国道として交通量が多いため、

シート接着工は、供用下での夜間作業で行った。作業は、片側交互通行状態で、坑外ヤードで組み立てた仮設プロテクターを坑内作業箇所へ運搬・設置して行った。図-3 に施工手順を示す。

図-4 は、当該トンネルで施工した二方向 AFRP シート接着工法の施工手順を図示しており、表-2 には、図に対応した接着工法作業内容を示している。特にシート巻立てに当たっては、表に示す 3 工程を遂行し、接着性の向上に努めた。

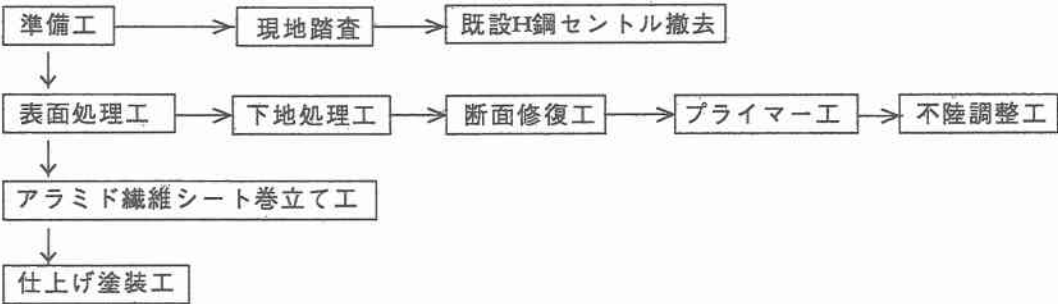


図-3 AFRP シート接着工法用いたトンネル内面補強工事の流れ

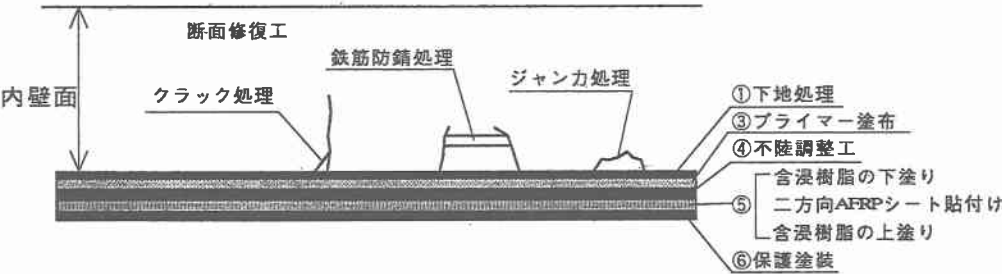


図-4 二方向 AFRP シート接着工法によるトンネル補強部標準断面図

表-2 二方向 AFRP シート接着工法作業内容

工種	作業	目的	使用器具、	材料
① 下地処理工	コンクリートの清掃	排気ガスの煤煙の除去	デスグアンダー、はけ 掃除機、送風機	
	コンクリートの目荒らし	付着力の向上	カップサンダー	
	隅角部の面取り	強度低下の防止		
② 断面修復工	断面欠損部の補修	強度低下の防止、一般的な補修	電動ビック	モルタル補修材 防錆材
	バラ型枠の段差処理	強度低下防止、付着力の向上 空気溜りの解消	ヘラ	不陸調整用パテ
	鉄筋の露出箇所の防錆処理	一般的な補修	刷毛	防錆剤
	著しいひび割れの樹脂注入	強度低下の防止、一般的な補修	エア駆動高粘土ポンプ	エポキシ系注入剤
	豆板、Pコン穴の補修	付着力の向上	小型エアポンプ	モルタル補修材
③ プライマー工	表面清掃	ケレンかすの除去、付着力の向上	刷毛	
	プライマーの塗布	付着力の向上	調合容器、台秤、ハ ンドミキサー、ヘラ、ロー ラー、刷毛、バット	エポキシ樹脂接着剤 (エポキシ樹脂系プライ マー)
④ 不陸調整工	残された段差の解消	付着力の向上、浮き防止	左官コテ	エポキシ樹脂接着剤 ＋増粘剤
	残された豆板の補修	付着力の向上、浮き防止	左官コテ	エポキシ樹脂接着剤 ＋増粘剤
⑤ シート巻立工 (一次、二次)	含浸樹脂の下塗り	付着力の向上	ローラー	エポキシ樹脂接着剤
	事前にシートに含浸樹脂を塗布	シートに樹脂を含ませる (接着性の向上)	金こて	エポキシ樹脂接着剤
	シートの貼付け	空気溜りが残らぬようにしごく	脱泡ローラー	
	含浸樹脂の上塗り	含浸樹脂の効果の促進	ローラー、金こて	エポキシ樹脂接着剤
⑥ 保護塗装	ローラー引き塗装	煤煙付着防止、紫外線防止、火災事 故の防護	ローラー	耐熱イング材

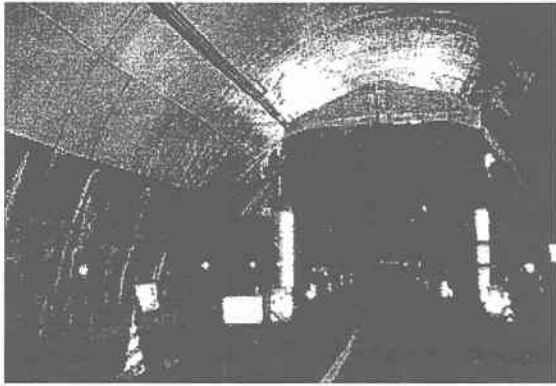


写真-1 作業状況

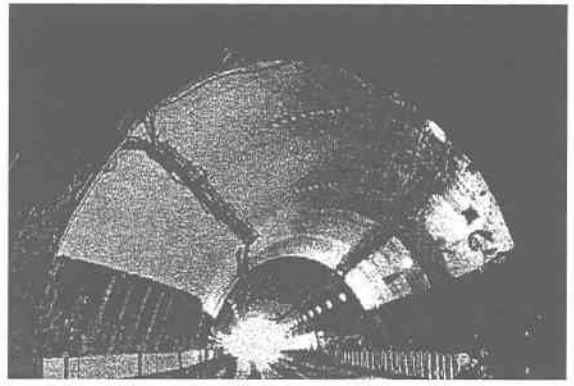


写真-2 施工完了後 AFRP シート接着状況

- ① 垂直上向き作業性を考慮した含浸剤下塗りを実施する；
- ② 事前に含浸させた2方向 AFRP シートを貼りつける；
- ③ 上塗りを行う。

写真-1 に作業状況、写真-2 に施工完了後の AFRP シートの接着状況を示す。

4. 施工管理

施工管理を行うにあたり、特に問題となったのは施工期間が冬期に掛かる 11 月までおよび夜間作業時の外気温の低下である。本工事では、これらを考慮し施工管理基準¹⁾²⁾³⁾より含浸接着樹脂は9～10月中旬期には春・秋型タイプ、10月下旬以降は冬型タイプを採用した。作業期間中の外気温、コンクリート表面温度・表面水分量を、図-5 に示す。図に示すとおり、今回の施工時には含浸施工限界である摂氏5度以上であることを確認している。また、プライマー使用量は、標準使用量である 0.25 kg/m² に対し 0.376 kg/m²、含浸剤は 1.4 kg/m² に対して 1.77 kg/m² 使用した。また、本施工時には二方向 AFRP シートにエポキシ樹脂を事前含浸させて貼りつける一工程を追加したことにより、高品質な施工を可能にすることができた。なお、施工終了後における光波測量による内面変位計測結果、現在変位の進行がないことを確認している。

当該トンネル施工実績を表-3 に掲載した。従来のトン

ネル変状対策には、内巻コンクリート工法やセントル補強工法が多用されている。しかしながら、これらの工法は建築限界高さに十分の余裕のあることが条件となっていた。本報告のように、2方向 AFRP シート接着工法を適用することにより、この種の制限を取り除くことが可能になった。AFRP シートは CFRP シートに比較してヤング係数が小さいものの、軸剛性を等価にすることによって、CFRP シートを用いる場合と同等の特性を確保することが明らかになっている。また、CFRP シートが脆性的な材料で2方向状に編み込むことが不可能であるのに対して、AFRP シートはしなやかで2方向に編み込むことも容易であり、施工性に優れている材料である。

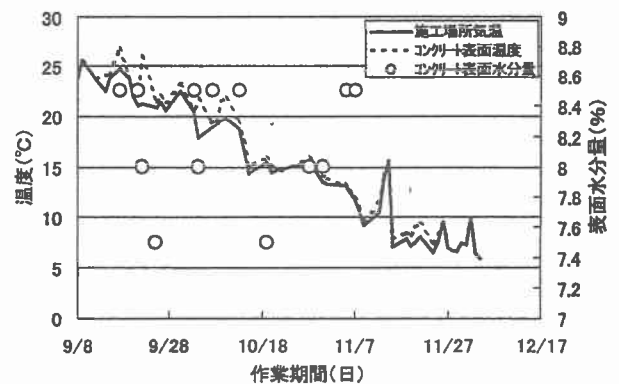


図-5 作業環境とコンクリート表面水分量

表-3 施工表

No	作業名	①	②	③=②/①	クラック注入材 (kg/m ²)	材料使用量				仕上げ剤 (kg/m ²)	備考
		施工面積 (m ²)	総工数 (人)	歩掛 (人/m ²)		補修モルタル (kg/m ²)	プライマー (kg/m ²)	不陸調整材 (kg/m ²)	含浸剤 (kg/m ²)		
1	クラック処理	552	84	0.152	3.1						
2	断面修復工					1.96					
3	ケレン プライマー	552	35	0.063			0.104				補修モルタル プライマー
4	不陸調整工	552	33	0.063				0.273			エポキシ樹脂系
5	AFRP シート 一次巻	552	68	0.060			0.272		1.77		エポキシ樹脂系
	AFRP シート 二次巻	251.3	50	0.200							
6	塗装	552	12	0.022						0.147	耐熱ライニング 剤
	計		282	0.511	3.1	1.96	0.376	0.273	1.77	0.147	

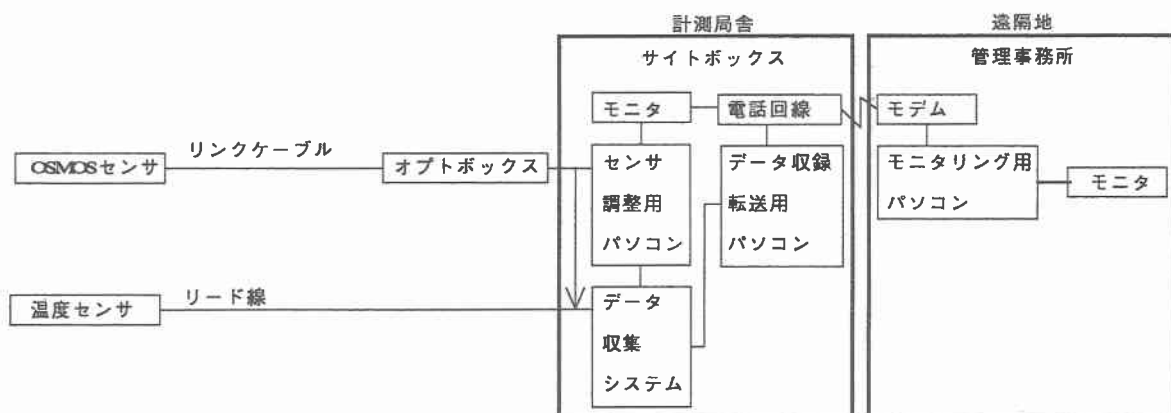


図-6 モニタリング基本システム

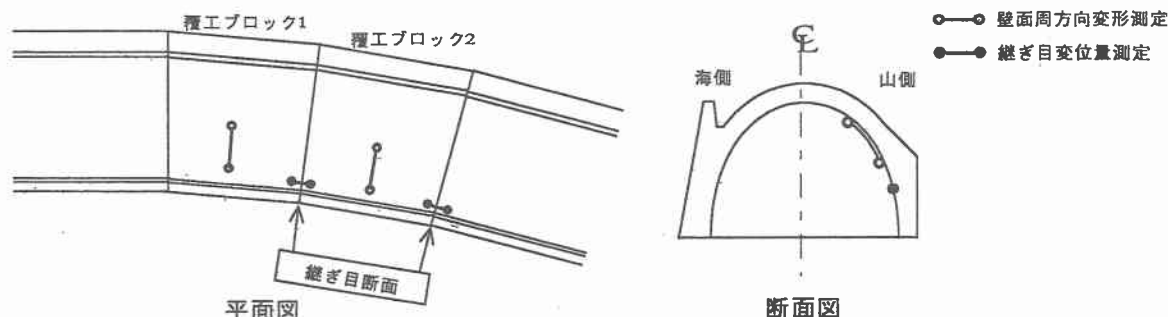


図-7 光学ストランドの設置位置

5. トンネルの維持管理システム

本対策は、将来的な当該路線の改築を考慮した工法に留まっており、維持管理システムを確立しトンネルの長寿命化を図らなければならない。ここでは、その一つとして、光ファイバーによる中長期的な構造物のモニタリングシステムの適用を検討した。光ファイバーによる計測システムは、センサー部分に通電を行わないため電気ノイズの影響を受けないことや、湿潤環境下における使用が可能であること等中長期的な屋外計測を安定的に実施できる利点を有している。ここでは、OSMOS (Optical Strand Monitoring System) を採用し、今後の維持管理を行うこととした。図-6 に、モニタリングの基本システムを示す。

図-7 には、当該トンネルにおける光ファイバーセンサーの設置位置を示している。図に示されているように、覆工に正曲げが作用する領域（図-2 参照）には壁面周方向の変形量を観測するための光学ストランドを2断面に設置している。また、平成2年度の防水工事において覆工ブロックの継ぎ目に大きな開口、目違いが確認できたことから、図に示される2点のブロック継ぎ目にも光学ストランドを設置した。

6. まとめ

当該トンネルのブロック壁面および継ぎ目部に顕著なひび割れや開口・目違いを生じた覆道において、供用下において抜本的な補強対策工事が計画・実施された。

本報は、トンネル内面の断面方向と軸方向の2方向を一枚の2方向アラミド繊維シートを用いて接着補強する

施工事例と、維持管理のための光ファイバーを用いたモニタリングシステムの概要について述べたものである。本施工により、次の事項を実務的に確認することができた。

1. トンネル内面の断面方向および軸方向の2方向を補強する場合には、2方向アラミド繊維シートを用いることにより、大幅に工期を短縮できると共にコストの削減を図ることができる。
2. トンネル内面等シートの上向き接着の場合には、事前含浸法を適用することにより、シートの接着性能を向上させることができる。
3. 光ファイバーによる計測システムは、センサー部分に通電を行わないため電気ノイズの影響を受けないことや、湿潤環境下における使用が可能であること等中長期的な屋外計測に優れている。

謝辞：本報作成にあたり、室蘭工業大学岸徳光教授からご指導を戴いた。また、計測技販(株)の高橋朋代君にご支援を戴いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献：

- 1) 二方向アラミドシート工法研究会「二方向アラミド繊維シートによる床版補強工法」平成10年10月
- 2) アラミド補強研究会「アラミド繊維シートによる耐震補強工法」施工マニュアル平成10年7月
- 3) アラミド補強研究会「高耐力アラミド繊維シートによる耐震補強工法」施工要領（案）平成10年12月