

トンネル覆工におけるFRP剥落対策工の現地施工試験

鉄道総合技術研究所 正会員 吉川和行 小島芳之 六車崇司
 JR西日本 佐野 力
 大鉄工業 佐藤寛治

1. はじめに

最近、トンネル覆工コンクリートの剥落対策として、炭素、アラミドなどの繊維材料を用いたFRP（Fiber Reinforced Plastic）を覆工内面に設置する工法（以下「FRP剥落対策工」という）の実績が増えている。しかしながら、その選定の考え方や設計方法は十分に整理されていない。

そこで、筆者らはFRP剥落対策工の選定法および繊維シート接着工の設計法を提案するにあたって、FRP対策工の施工性がFRP剥落対策工の選定に際して重要な要因となると考え、FRPネット工等も含めたFRP剥落対策工の現場施工性試験を行い、FRPのトンネル内における施工性を概略評価した。なお、FRP剥落対策工に使用した材料の耐久性については、別報にて報告する。

表1 試験ケース

工区	FRP繊維材料			接着剤	パテ工
	連続繊維	二方向平織	アラミド 10t×10t		
1	連続繊維	二方向平織	アラミド 10t×10t	普通エポキシ (冬用)	有
2					
3	ネット工	FRP格子筋	Eガラス	アンカー止め (M6/根入れ60mm) 光硬化型エポキシアクリレート	無
4	短繊維	SMC*			

*: sheet molding compound

2. 試験施工の概要

FRP剥落対策工の施工性を把握することを目的に、パテ工の有無や接着剤の違いによる施工性への影響を評価する現地貼付け試験を行った。ここで、施工性の指標としては、単一面積当たりの総作業（足場工、準備工、下地処理工、プライマー工、パテ工、シート貼り工、仮押え工、片付工）の時間と作業人数の積で評価することとした。

現地貼付け試験の施工場所としては、実トンネルでの施工をなるべく再現できるように上向き施工ができ、かつ施工直後相当な風圧を受ける場所として山陽新幹線六甲トンネル北山斜坑を選定した（図1参照）。表1に実施した各工区の試験ケースを示す。繊維シートには、平織シートを採用し、材質にはその影響を除外するためアラミドの一種類とした。仮押え工については、風圧の影響の差を検証するため各工区ともシート貼り付け部分の半分に設置した。1～3工区の貼付け面積は約5.7m²であり、4工区は約4.2m²である。図2に、第1工区のシート貼り工の状況を示す。

なお、同時に現場における品質管理試験方法として、1)建研式引張り試験（JIS A 6909）、2)簡易剥離試験（JIS K 6854）を実施し、養生時間ごとの品質を管理した。試験に使用した材料のうち、繊維材料は二方向平織アラミド繊維であり、樹脂は表2に示す。

表2 品質管理試験に用いた樹脂

樹脂試験	普通エポキシ		エポキシアクリレート	メチルメタクリレート	速硬エポキシメタルカップタン系	エポキシアクリレート（光硬化）
	夏用	冬用				
建研式引張り試験	○	○	○	○	○	○
簡易剥離試験	○	○	○	○	○	○

注：○印実施

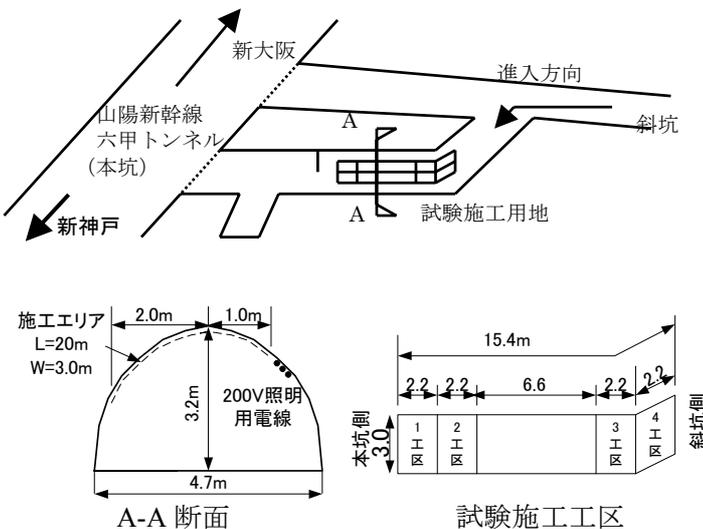


図1 試験施工場所位置図（山陽新幹線六甲トンネル北山斜坑）



図2 シート貼り工の状況（1工区）

キーワード トンネル、覆工、FRP、剥落対策工、試験施工、施工性、品質管理

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel 042-573-7266 Fax 042-573-7248

3. 施工性について

図3中の百分率は、施工面積は少ないものの第1工区の総作業時間（作業人工数×時間）を各工区の総作業時間と比較したもので、その内訳を棒グラフで示す。ただし、作業の慣れ等により足場工、準備工、サンダーケレン工、片付工は、総作業時間から除外した。また、パテ工については、2工区、4工区でも行ったが施工面積が不明確なため除外した。さらに、仮押え工は、全て同じ施工数量であるため各工区の平均値とした。なお、紫外線硬化型工法については、シート貼り工の中に紫外線照射機器の組立時間を含むものとした。図3より、各工区の施工性を1工区と比較すると、パテ工がない場合では約30%、FRPネット工で約50%の短縮となることが分る。よって、パテ工や養生工を必要としないFRPネット工の施工性はかなり良いことが分る。よって、本貼付け試験から概ね各工区の施工性は、以下に示すように従来から想定されていた結果であることが改めて確認された。

FRP格子筋>平織シート>SMC

一方、4工区のSMCについては、紫外線照射機器の組立・撤去を足場工の組立・解体と一体と考えた場合やFRPの硬化までの養生時間の扱いにより施工性が変わるため、一概に評価できないが、施工性は本貼付け試験の結果より向上するもとの推測される。

4. 品質管理試験について

図4に樹脂が硬化するまでの建研式引張試験結果を示す。建研式引張試験は、試験の都合上予めアタッチメントに外側に切込みを入れる必要があり、これを硬化途中で行うとアタッチメントの外れや硬化不良の原因となるため、MMAやエポキシアクリレート等の樹脂では正確に評価することができなかった。普通エポキシ樹脂については、施工時の気温（27～29℃）が高く冬用のタイプが2.5時間後に2.08N/mm²の引張強度を示した。このことから、使用時の気温の範囲を制限することにより、短期間の施工に使用できる樹脂であると考えられる。図5に樹脂が硬化するまでの簡易剥離試験結果を示す。光硬化型エポキシアクリレートについては、紫外線硬化により試験片がFRP化し、今回の簡易剥離試験にはそぐわないため省略した。同図より、普通エポキシ（夏）については養生時間が1.5時間においてほとんど強度の発現が見られなかった。一方、若材令時における風圧による炭素繊維シートの剥離特性は文献²⁾によれば繊維シート端部を未接着にし、風向きと同じ方向に繊維シートを接着した場合、剥離試験の剥離強度が1.75Nでも一部が剥離するという試験結果がある。よって、普通エポキシ（夏）については、夜間といった短期間の作業には向かないものと考えられる。なお、使用した樹脂については、別途耐久性の検討が必要である。

5. まとめ

- ①施工性は養生時間の扱いによっては、FRP格子筋>平織シート≒SMCの順と考えられる。
 - ②現場での品質管理試験方法は、建研式引張試験では、MMA樹脂等において硬化途中で試験自体が困難となることから、特殊な器具を比較的使用しない簡易剥離試験が現場の剥離強度管理に適していると考えられる。
- なお、本研究は、国交省の補助金を得て実施し、FRPによる剥落対策工法の設計法を確立するための一連の研究³⁾の一貫として行ったもので、実施にあたってはTSC研究会の御協力を戴いた。

参考文献 1)小島，六車，吉川，斉藤，高木：トンネル覆工におけるFRP剥落対策工の耐久性試験，第57回土木学会年次学術講演会（投稿中）
 2)鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル，pp.296-297，1998.2
 3)吉川，小島，六車：FRPによるトンネル覆工剥落対策工への適用性評価，鉄道総研報告，Vol.16, No.3, pp.37-42，2002.3

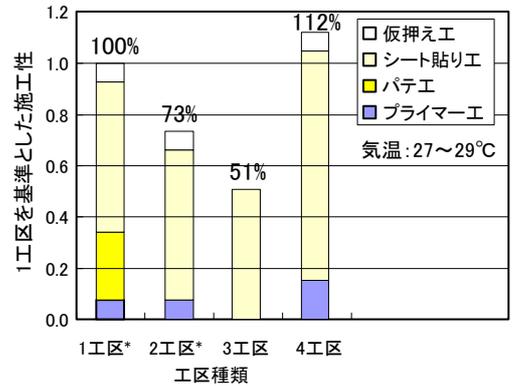


図3 各工区の施工性

(*の工区は、養生工を含めていない)

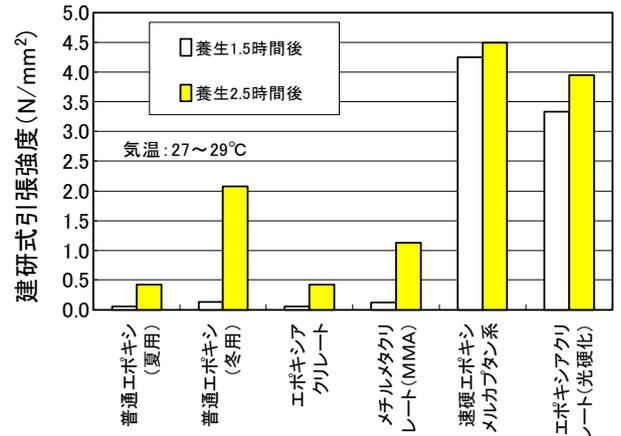


図4 建研式引張試験の結果

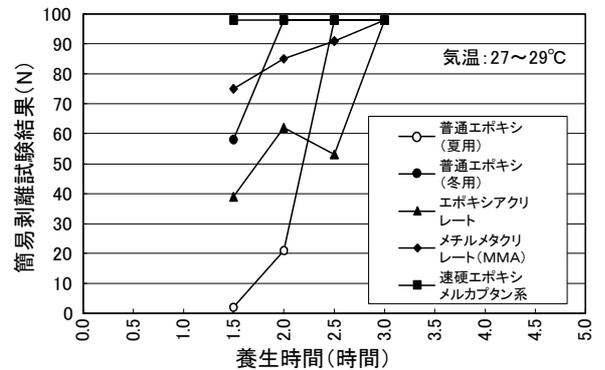


図5 簡易剥離試験の結果