

## トンネル覆工におけるFRP剥落対策工の耐久性試験

鉄道総合技術研究所 正会員 小島芳之, 六車崇司, 吉川和行

○ 日鉄コンポジット(株) 齊藤 誠

日石三菱(株)

高木秀敏

## 1. はじめに

平成11年に鉄道トンネルの覆工の剥落事故が相次いで発生した。これにともない、様々なトンネル覆工の剥落対策が行われてきた。その中でFRPによる剥落対策工は、その材料特性と覆工コンクリートとの接着・剥離特性を理解し適切に活用すれば、簡便で短時間に施工できる有効な剥落対策工法として期待できる。

そこで、材料特性のひとつである耐久性を評価するために室内耐久性試験を行った。試験項目は、耐水性、耐アルカリ性とし、試験は、FRP供試体を一定期間浸漬後、引張試験及び接着試験を行った。

## 2. 試験概要

浸漬条件を表1<sup>1)</sup>に、また供試体種類は繊維シート系とネット系とし、その試験水準を表2に示す。また、繊維シートの諸元を表3に、繊維シートに用いた含浸接着剤の諸元を表4に、ネット系の諸元を表5に示す。

評価項目としては、繊維シート系材料に関しては、引張試験(JISK7073準拠)と接着試験(JIS K5400準拠)を、またネット系材料に関しては引張試験を行った。

また、浸漬状況、引張試験状況、接着試験状況を写真1、2、3に示す。

表3 繊維シートの諸元

| 繊維種類       | 目付量<br>g/m <sup>2</sup> | 引張強度<br>N/mm <sup>2</sup> | 引張弾性係数<br>N/mm <sup>2</sup>                    |
|------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|
| 2方向炭素繊維    | 200                     | 2,900                     | $2.3 \times 10^5$                              |
| 2方向アラミド1繊維 | 175                     | 2,000                     | $1.1 \times 10^5$                              |
| 2方向アラミド2繊維 | 162                     | 2,300                     | $0.8 \times 10^5$                              |
| 2方向ガラス繊維   | 200                     | 2,200                     | $0.7 \times 10^5$                              |
| 3方向ビニロン繊維  | 44                      | 縦: 1240<br>横: 1286        | 縦: $2.85 \times 10^3$<br>横: $2.53 \times 10^3$ |
| SMC        | ---                     | 99.6                      | $9.1 \times 10^3$                              |

表1 浸漬条件

| 試験項目   | 溶液条件               | 試験温度 | 試験期間          |
|--------|--------------------|------|---------------|
| 耐水性    | 蒸留水                | 40℃  | 0, 1, 4, 8 週間 |
| 耐アルカリ性 | NaOHaq (1.0 mol/l) | 20℃  |               |
|        |                    | 40℃  |               |

表2 試験水準

| 種 類      | 繊維材料またはFRP材料      | 含浸接着剤<br>被覆材      | ケース名   |
|----------|-------------------|-------------------|--------|
| 繊維シート接着工 | 炭素繊維              | エポキシ              | CF-EP  |
|          |                   | MMA <sup>1)</sup> | CF-MMA |
|          | アラミド1繊維           | エポキシ              | AF1-EP |
|          | アラミド2繊維           | エポキシ              | AF2-EP |
|          | ガラス繊維             | エポキシ              | GF-EP  |
| ネット工     | SMC <sup>2)</sup> | エポキシアクリレート        | SMC    |
|          | メッシュシート (ポリエステル)  | ポリ塩化ビニル           | HM     |
|          | FRP格子筋 (炭素)       | ビニルエステル           | CF格子   |
|          | FRP格子筋 (アラミド)     | ビニルエステル           | AF格子   |
|          | FRP格子筋 (ガラス)      | ビニルエステル           | GF格子   |

1) メチルメタクリレート

2) Sheet Molding Compound

表4 繊維シートに用いた含浸接着剤の諸元

| 含浸接着剤       | 引張強度<br>N/mm <sup>2</sup> | 曲げ強度<br>N/mm <sup>2</sup> | 引張せん断強度<br>N/mm <sup>2</sup> |
|-------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| エポキシ<br>MMA | 29 以上                     | 39 以上                     | 9.8 以上                       |

表5 ネット工の諸元

| 種 類           | 目合、<br>mm              | 引張強度<br>kN/m              | 伸率<br>%                     |
|---------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| メッシュシート       | 8×8                    | 39.2                      | <19                         |
| 種 類           | 断面積<br>mm <sup>2</sup> | 引張強度<br>N/mm <sup>2</sup> | 引張弾性係数<br>N/mm <sup>2</sup> |
| FRP格子筋 (炭素)   | 6.6                    | 11.8                      | $9.8 \times 10^3$           |
| FRP格子筋 (アラミド) | 6.1                    | 12.7                      | $5.9 \times 10^3$           |
| FRP格子筋 (ガラス)  | 13.1                   | 5.9                       | $2.9 \times 10^3$           |



写真1. 浸漬状況

写真2. 引張試験状況

写真3. 接着試験状況

キーワード：トンネル、剥落、繊維シート、ネット、FRP

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266 FAX 042-573-7248

### 3. 試験結果

#### 1) 繊維シート系材料

図1に引張強度の試験結果を示す。炭素繊維(CF-EP,CF-MMA), アラミド繊維(AF1-EP,AF2-EP), ガラス繊維(SMC)に関しては, 各条件において引張強度の低下は見られなかった。

ガラス繊維(GF-EP)に関しては, 引張強度において, アルカリ溶液 20℃で約 40%, アルカリ溶液 40℃で約 30% に低下した。なお, 引張弾性率に関しては, 低下見られなかった。

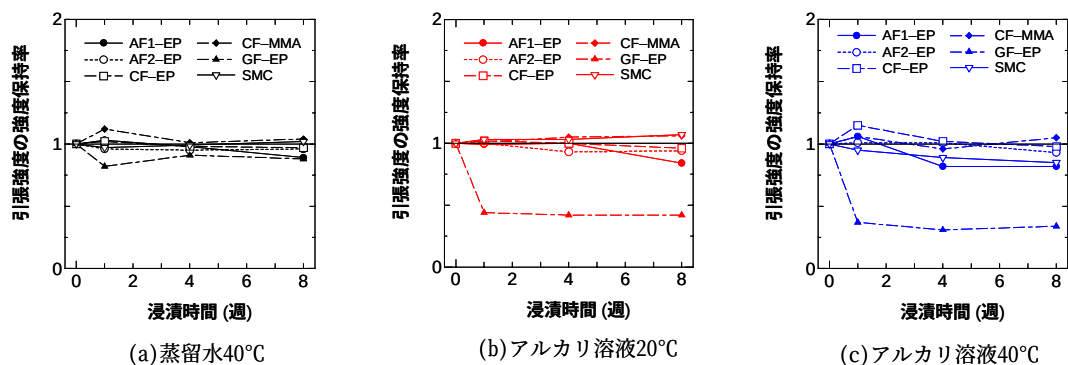


図1 引張試験結果（繊維シート系材料の引張強度）

#### 2) ネット系材料

図2に引張強度の試験結果を示す。FRP格子筋は各条件において引張強度の低下は見られなかった。しかし, ポリエステル繊維を用いたメッシュシート(HM)は引張強度がアルカリ溶液 40℃の条件において約 50%に低下した。なお, FRP格子筋の引張弾性率に関しては, 低下は見られなかった。

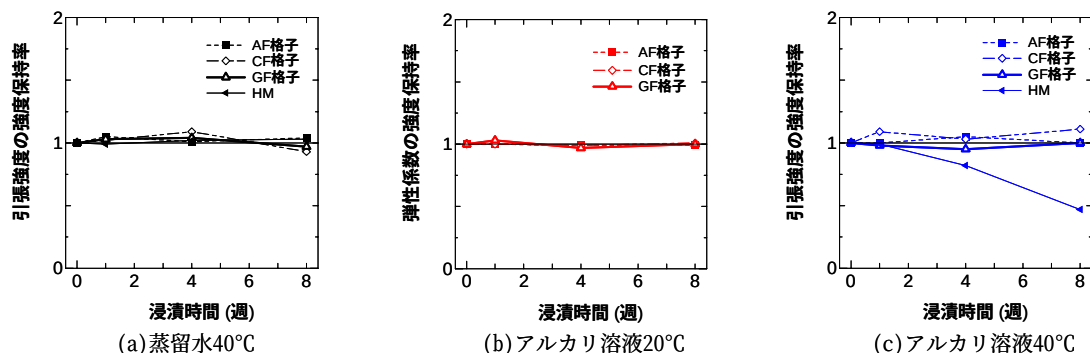


図2 引張試験結果（ネット系材料の引張強度）

3) 接着試験 図3に繊維シート系材料の接着試験結果を示す。各条件において, 保持率が約 70%に低下しているものもあるが, 破壊形態は概ねモルタルの母材破壊である。

#### 4. まとめ

ガラス繊維以外に関しては, 十分な耐久性を有する。

また, ガラス繊維に関しては, アルカリに弱い傾向があるものの, FRP格子筋やSMCのように含浸接着剤の種類や樹脂含有率によっては, 他の繊維材料に近い耐久性を有する。

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的设计法を確立するための一連の研究の一貫として行ったもので, 実施にあたってはTSC研究会のご協力を戴いた。

参考文献 1) 魚本ら：耐アルカリ性を改善したAGFRPロッドの開発, 土木学会第 51 回年次学術講演会 P964-965, 1996

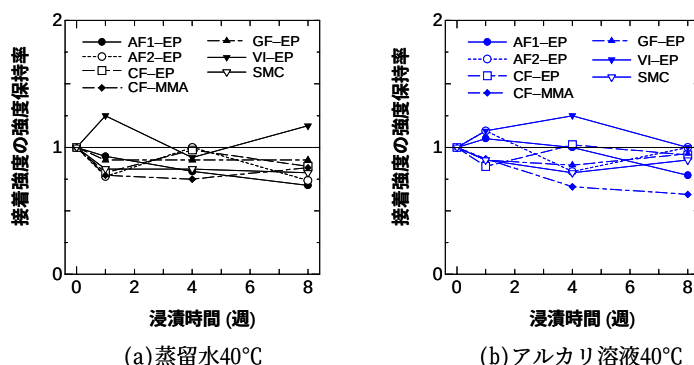


図3 接着試験結果