

## 各種接着剤を用いた CFRP スtrandシートとコンクリートの付着特性

|          |     |     |    |
|----------|-----|-----|----|
| (株) 仲田建設 | 正会員 | ○大野 | 智恵 |
| 九州大学大学院  | 正会員 | 山口  | 浩平 |

|             |        |       |
|-------------|--------|-------|
| 九州大学大学院     | フェロー会員 | 日野 伸一 |
| 日鉄コンポジット(株) | 非会員    | 谷口 硯士 |
| (株) SNC     | 非会員    | 三上 光司 |

## 1 はじめに

CFRP スtrandシート工法は、樹脂を含浸・硬化させた連続繊維strandをすだれ状にシート化し、接着剤により構造物に貼付する補強工法である。従来の連続繊維シート接着工法と比べて、プライマー、不陸修正および樹脂の含浸が不要であり、施工性が向上している。含浸工程が不要なことから、高目付のシート施工が可能である。また、CFRP プレート接着工法と比べて、同等の補強量で広い付着面積を確保でき、剥離抵抗性が向上するため補強効果に優れ、また重ね継手での施工も可能である。

本研究では、接着剤として従来のエポキシ樹脂に加え、メチルメタクリレート（以下 MMA）樹脂およびポリマーセメントモルタル（以下 PCM）を用いた、CFRP スtrandシート の引張強度、継手強度、付着特性について検討する。

## 2 試験概要

表-1 に CFRP スtrandシート，接着剤およびコンクリートの材料特性を示す。

表-1 材料特性

a) CFRP スtrandシート

| 纖維種類         | 纖維目付量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 厚さ<br>(mm) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張弾性<br>係数(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------|------------------------------|------------|------------------------------|--------------------------------|
| 高強度型<br>炭素纖維 | 600                          | 0.333      | 3,400                        | 2.45×10 <sup>5</sup>           |

b) 接着剤

| 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<br>強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮弾性<br>係数(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| エポキシ樹脂 | 35.8                         | 58.8                         | 25.8                            | 78.3                         | 3,970                          |
| MMA樹脂  | 43.0                         | 71.0                         | 22.0                            | 79.0                         | 2,500                          |
| PCM    | -                            | 6.70                         | -                               | 21.9                         | 11,000                         |

c) コンクリート

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 壓縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 49.8                     | 3.38×10 <sup>4</sup>     |

連続繊維シートの試験方法<sup>1)</sup>に準拠し、引張試験 (JSCE-E541-2007)、継手試験 (JSCE-E542-2007) およ

ひび付着試験（JSCE-E543-2007）を行った。試験体概略図を図-1、試験体種類を表-2に示す。ひずみゲージは離型フィルム of 端部から 30mm ピッチで貼付し、CFRP ストランドシート of 軸方向 of ひずみ分布を計測した。

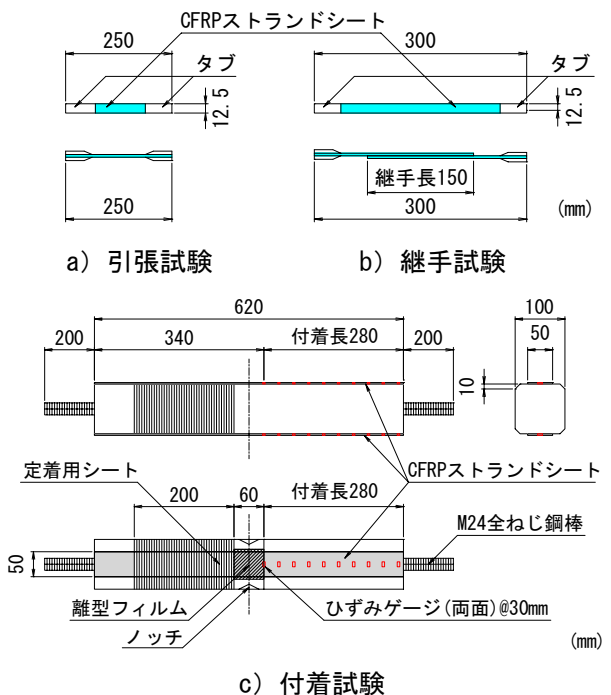


図-1 試験体概略図

表-2 試験体種類

| Type | 試験名 | 接着剤の種類 | 継手長(mm) | 付着長(mm) | 試験体数 |
|------|-----|--------|---------|---------|------|
| E    | 引張  | エポキシ樹脂 | -       | -       | 5    |
| M    |     | MMA樹脂  | -       | -       | 5    |
| EJ   | 継手  | エポキシ樹脂 | 150     | -       | 5    |
| MJ   |     | MMA樹脂  | 150     | -       | 5    |
| EF   | 付着  | エポキシ樹脂 | -       | 280     | 3    |
| MF   |     | MMA樹脂  | -       | 280     | 3    |
| PF   |     | PCM    | -       | 280     | 3    |

### 3 試験結果および考察

引張試験および継手試験の試験結果を表-3, 4 に示す。  
破壊形態は全ての試験体において母材破断であった。  
継手破壊せずに母材破壊したので、継手強度は母材強度となる。

各試験体における引張強度および継手強度は全ての試験体において保証値である  $3400\text{N/mm}^2$  以上であった.

キーワード：CFRP スtrandシート，連続繊維シート，接着剤，界面破壊隔離エネルギー，付着強度

連絡先：〒811-1313 福岡市南区日佐5丁目15-24 TEL 092-585-5133

表-3 引張試験結果

| Type | 試験体名 | 最大荷重(kN) |      | 引張強度(N/mm <sup>2</sup> ) |      | 破壊形態 |
|------|------|----------|------|--------------------------|------|------|
|      |      | 試験値      | 平均   | 試験値                      | 平均   |      |
| E    | NO.1 | 16.1     | 16.2 | 4146                     | 4169 | 母材破断 |
|      | NO.2 | 15.6     |      | 4007                     |      |      |
|      | NO.3 | 16.4     |      | 4207                     |      |      |
|      | NO.4 | 16.1     |      | 4142                     |      |      |
|      | NO.5 | 16.9     |      | 4341                     |      |      |
| M    | NO.1 | 16.4     | 17.2 | 4210                     | 4412 | 母材破断 |
|      | NO.2 | 18.2     |      | 4670                     |      |      |
|      | NO.3 | 15.7     |      | 4040                     |      |      |
|      | NO.4 | 16.5     |      | 4230                     |      |      |
|      | NO.5 | 19.1     |      | 4910                     |      |      |

表-4 継手試験結果

| Type | 試験体名 | 最大荷重(kN) |      | 引張強度(N/mm <sup>2</sup> ) |      | 破壊形態 |
|------|------|----------|------|--------------------------|------|------|
|      |      | 試験値      | 平均   | 試験値                      | 平均   |      |
| EJ   | NO.1 | 15.6     | 15.2 | 4001                     | 3910 | 母材破断 |
|      | NO.2 | 16.2     |      | 4175                     |      |      |
|      | NO.3 | 13.4     |      | 3465                     |      |      |
|      | NO.4 | 16.3     |      | 4197                     |      |      |
|      | NO.5 | 14.4     |      | 3713                     |      |      |
| MJ   | NO.1 | 17.1     | 17.1 | 4390                     | 4394 | 母材破断 |
|      | NO.2 | 16.2     |      | 4160                     |      |      |
|      | NO.3 | 17.3     |      | 4450                     |      |      |
|      | NO.4 | 17.9     |      | 4580                     |      |      |
|      | NO.5 | 17.1     |      | 4390                     |      |      |

表-5 付着試験結果

| Type | 試験体名 | P <sub>max</sub> (kN) |      | G <sub>f</sub> (N/mm) |       | τ <sub>max</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) |      |
|------|------|-----------------------|------|-----------------------|-------|---------------------------------------|------|
|      |      | 試験値                   | 平均   | 試験値                   | 平均    | 試験値                                   | 平均   |
| EF   | NO.1 | 32.2                  | 33.6 | 0.637                 | 0.694 | 1.15                                  | 1.20 |
|      | NO.2 | 35.7                  |      | 0.780                 |       | 1.27                                  |      |
|      | NO.3 | 32.9                  |      | 0.664                 |       | 1.18                                  |      |
| MF   | NO.1 | 40.6                  | 36.0 | 1.009                 | 0.801 | 1.45                                  | 1.29 |
|      | NO.2 | 32.2                  |      | 0.637                 |       | 1.15                                  |      |
|      | NO.3 | 35.2                  |      | 0.759                 |       | 1.26                                  |      |
| PF   | NO.1 | 30.5                  | 30.2 | 0.569                 | 0.563 | 1.09                                  | 1.08 |
|      | NO.2 | 32.6                  |      | 0.653                 |       | 1.17                                  |      |
|      | NO.3 | 27.6                  |      | 0.468                 |       | 0.99                                  |      |

P<sub>max</sub>:最大荷重, G<sub>f</sub>:界面剥離破壊エネルギー, τ<sub>max</sub>:付着強度

付着試験の試験結果を表-5に示す。全ての試験体とも片側の付着面のみが剥離した、コンクリートとCFRPストランドシート界面での剥離破壊であった。破壊面は、CFRPストランドシートにコンクリート表面が薄く付着した状態であった。

界面剥離破壊エネルギーG<sub>f</sub>および付着強度τ<sub>max</sub>は、JSCE-E543-2007<sup>1)</sup>に準じて式(1)、(2)を用いて算定した。

$$G_f = \frac{P_{max}^2}{8b^2 E_f t} \quad (1)$$

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{2bl} \quad (2)$$

ここにP<sub>max</sub>は最大荷重(N)、b、E<sub>f</sub>およびtはそれぞれシートの幅(mm)、弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)、厚さ(mm)、lは試験部分における有効付着長(mm)である。

連続繊維シートとコンクリートの付着に関する界面剥離破壊エネルギーは一般に0.5N/mm<sup>2</sup>であり、各接着剤においてこれを上回った。

また、本試験結果において各接着剤の付着強度は、1.0N/mm<sup>2</sup>を上回った。繊維材シートの設計用付着強度0.44N/mm<sup>23)</sup>を満足した。

図-2に各荷重における軸方向ひずみ分布(付着試験)を示す。剥離破壊直前である、エポキシ樹脂およびMMA樹脂は30kN以下、PCMは25kN以下の荷重において、離型フィルムからの距離150mm以降のひずみは100μ以下と微少である。このことからCFRPストランドシートの付着長は150mm以上が望ましいと言える。

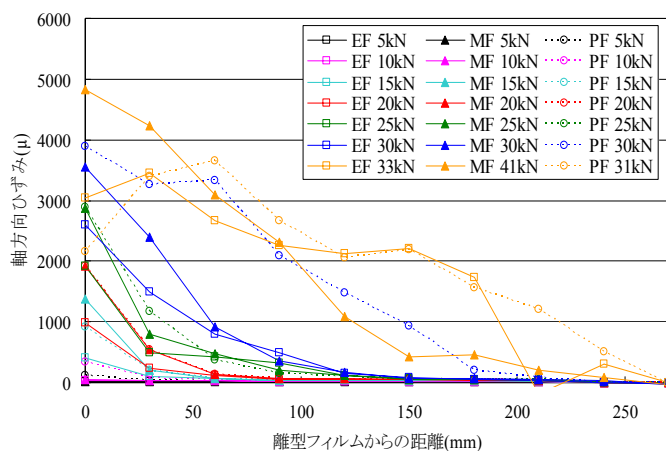


図-2 軸方向ひずみ分布(付着試験)

#### 4 まとめ

- (1) エポキシ樹脂およびMMA樹脂を用いた場合、150mmの継手長を確保すれば、母材の破壊により破断した。
- (2) コンクリートとCFRPストランドシートの付着に関する界面破壊エネルギーは各接着剤とも0.5N/mmを上回る結果となり、十分な付着強度を得られることがわかった。
- (3) コンクリートとCFRPストランドシートの有効付着長は150mm程度である。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔基準編〕，2007.5
- 2) 土木学会：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，コンクリートライブラリー第101号，2000.7
- 3) 海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集，2005.4