

## 各種接着材を適用した CFRP スtrandシート補強 RC はりの耐荷性状

九州大学大学院 学生会員 ○秋山 功樹                      九州大学大学院 フェロー会員 日野 伸一  
九州大学大学院 正会員 山口 浩平                      (株) さとうベネック 正会員 中村 智  
住友大阪セメント(株) 非会員 若杉 三紀夫                      (株) さとうベネック 非会員 石田 耕生

表-1 材料特性値

(a) スtrandシート

| 補強材 FSS-HT-600                |            |                                |                              |
|-------------------------------|------------|--------------------------------|------------------------------|
| 繊維目付量<br>(g/mm <sup>2</sup> ) | 厚さ<br>(mm) | 引張弾性係数<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 600                           | 0.333      | 24,500                         | 3,400                        |

(b) 接着剤 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

| 接着剤の種類  | エポキシ  | MMA   | PCM    |
|---------|-------|-------|--------|
| 引張強度    | 35.8  | 43.0  | —      |
| 曲げ強度    | 58.8  | 71.0  | 6.7    |
| 引張せん断強度 | 25.8  | 22.0  | —      |
| 圧縮強度    | 78.3  | 79.0  | 21.9   |
| 圧縮弾性係数  | 3,970 | 2,500 | 11,000 |

(c) 鉄筋およびコンクリート (単位: N/mm<sup>2</sup>)

| 材料             | 材料特性 |      |                               |
|----------------|------|------|-------------------------------|
| D13<br>(SD345) | 降伏強度 | 397  | 弾性係数<br>2.0 × 10 <sup>5</sup> |
|                | 引張強度 | 569  |                               |
| D19<br>(SD345) | 降伏強度 | 396  |                               |
|                | 引張強度 | 561  |                               |
| コンクリート         | 圧縮強度 | 49.8 | 3.38 × 10 <sup>4</sup>        |

## 1 はじめに

既設コンクリート部材の曲げ補強工法として、連続繊維シート接着工法やCFRP プレート接着工法が普及している。しかし、連続繊維シート接着工法は、作業手順が多く施工品質が作業員の技量に依存され、高目付のシートでは含浸工程を数回に分ける必要がある等、施工性に問題があり、また、CFRP プレート接着工法は、現場含浸工程がなく、施工性は良好であるが、幅の狭いプレートを部分的に接着するため、付着面積が小さく、低荷重で剥離するため部材の耐荷力向上の面では連続繊維シート接着工法と同等の補強効果が得られず、また、重ね継手で母材強度を確保できないなどの問題があった。そこで、これらを解決するためにストランド 1 本ずつに樹脂を含浸・硬化させ線材をすだれ状にシート化した CFRP スtrandシート<sup>1)</sup> (以下ストランドシート) を用いた補強工法を開発した。通常、接着材としてエポキシ樹脂が使用されるが、本研究では、接着剤、積層数、重ね継手の有無をパラメータとし、ストランドシートを接着して補強した RC はりの曲げ載荷試験により、それらがはりの耐荷性状に及ぼす影響を検討した。

## 2 試験体および実験方法

ストランドシート、接着剤、鉄筋およびコンクリートの材料特性を表-1 にそれぞれ示す。ここでストランドシートは高強度型を用いた。また、試験体概略図を図-1 に示す。試験体は 8 種類とし、接着剤にはエポキシ樹脂、メチルメタクリレート樹脂 (以下、MMA 樹脂) およびポリマーセメントモルタル (以下、PCM) の 3 種類とした。コンクリート表面はブラストにより下地処理した後、接着剤を塗布し、ストランドシートをはり下面に長さ 1500mm、幅 200mm の範囲で設置した。ストランドシートの貼付層数は 1 層または 2 層とした。重ね継手を設ける試験体は、はり中央の等曲げ区間で 2 枚のストランドシートを 200mm の長さで重ねて接着した。試験方法は、せん断スパン 700mm、等曲げ区間 200mm の 2 点漸増載荷とした。

## 3 試験結果および考察

表-2 に試験結果および破壊性状を、図-2 にスパン中央荷重-変位関係を、写真-1 に破壊形式を示す。ここで降伏荷重は、引張鉄筋ひずみが降伏ひずみとなる 1980 $\mu$  と定義し、ストランドシートと既設 RC はりが一体となる、平面保持の仮定の下で算出した。最大荷重時も同様に、別途行った要素試験より界面剥離破壊エネルギーを算出し、最大曲げモーメントによる曲げひび割れ位置でのストランドシートの応力<sup>2)</sup>に換算することで算出した。

無補強試験体に比べ補強試験体は降伏荷重、最大荷重ともに増加した。また、各種接着剤および継手の有無による差異はほとんど認められず、実験値と計算値の比は、鉄筋降伏直前においては 0.95~1.18、最大荷重時には、1.09~1.39 を示した。また、図-2 より無補強の試験体に比べ、1 層および継手補強試験体では曲げ剛性が向上し、最大荷重も 48% 向上した。2 層補強試験体では、1 層補強試験体と比べ、更に曲げ剛性が向上し、最大荷重が 9% 向上した。

キーワード: CFRP スtrandシート, 曲げ補強, エポキシ樹脂, ポリマーセメントモルタル, MMA 樹脂

連絡先: 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL: 092-802-3392

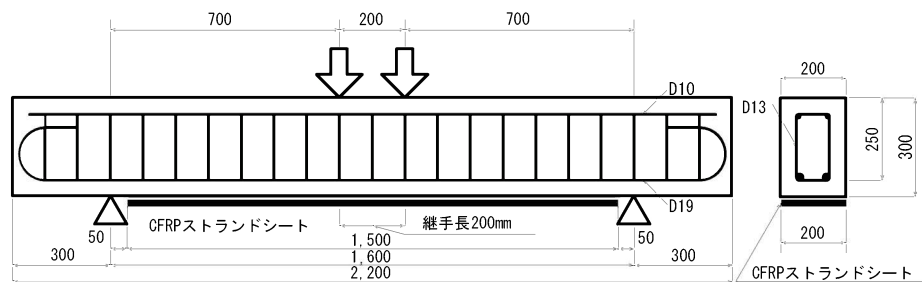


図-1 試験体概略図(単位: mm)

 $P_{crex}$ : ひび割れ発生荷重(実験)

 $P_{yex}$ : 降伏荷重(実験)

 $P_{yca}$ : 降伏荷重(計算)

 $P_{max}$ : 最大荷重(実験)

 $P_{uca}$ : 最大荷重(計算)

 $N$ : 無補強,  $EP$ : エポキシ,

 $MM$ : MMA 樹脂,  $PC$ : PCM,

 $1$ : 1層,  $2$ : 2層,  $J$ : 継手,

 $S$ : ストランドシート

表-2 試験結果および破壊性状

| 試験体名 | 接着剤  | 継手 | $P_{crex}$ (kN) | $P_{yex}$ (kN) | $P_{yca}$ (kN) | $P_{yex}/P_{yca}$ | $P_{max}$ (kN) | $P_{uca}$ (kN) | $P_{max}/P_{uca}$ | 破壊性状    | ひび割れ分散性            |
|------|------|----|-----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|
| N-1  | 無し   | 無し | 39.8            | 135            | 142            | 0.95              | 179            | 156            | 1.15              | 曲げ圧縮破壊  | -                  |
| N-2  |      |    | 40.3            | 150            | 142            | 1.06              | 178            |                | 1.14              | 曲げ圧縮破壊  | -                  |
| N-3  |      |    | 50.4            | 150            | 142            | 1.06              | 171            |                | 1.09              | 曲げ圧縮破壊  | -                  |
| EP1S | エポキシ | 無し | 50.4            | 191            | 178            | 1.07              | 278            | 200            | 1.39              | 剥離+基材破壊 | シート接着部全体に分散        |
| EP2S |      |    | 55.0            | 236            | 212            | 1.11              | 295            | 217            | 1.36              | 剥離+基材破壊 | シート接着部全体に分散        |
| EPJS |      |    | 49.9            | 210            | 178            | 1.18              | 271            | 200            | 1.35              | 剥離+基材破壊 | シート接着部全体に分散        |
| MM1S | MMA  | 無し | 50.1            | 205            | 178            | 1.15              | 255            | 204            | 1.25              | 剥離+基材破壊 | シート接着部全体に分散        |
| MM2S |      |    | 44.9            | 216            | 212            | 1.02              | 272            | 222            | 1.23              | 剥離+基材破壊 | シート接着部全体に分散        |
| MMJS |      |    | 55.1            | 211            | 178            | 1.18              | 245            | 204            | 1.20              | 剥離+基材破壊 | シート接着部全体に分散        |
| PC1S | PCM  | 無し | 50.2            | 191            | 178            | 1.07              | 249            | 193            | 1.29              | 剥離      | スパン中央から600mmの範囲で分散 |

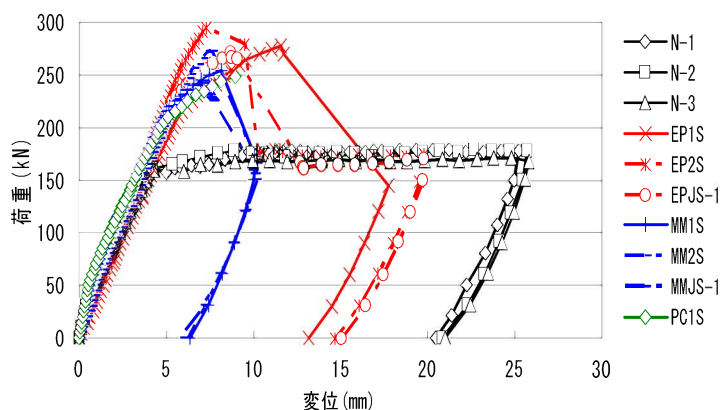


図-2 スパン中央荷重-変位関係

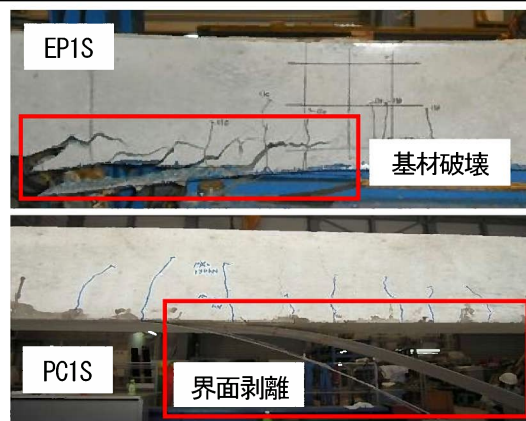


写真-1 破壊形式

破壊形式は、無補強試験体は設計で想定した通り曲げ圧縮破壊を呈した。補強試験体は、いずれもストランドシートの剥離破壊後に荷重が無補強の降伏荷重程度まで急落し、その後変位が急増して圧縮縁のコンクリートが破壊した。

ここで、ストランドシートの剥離と同時にかぶりコンクリートごと破壊したものを基材破壊、コンクリートとストランドシート界面で剥離したものを界面剥離と定義した。エポキシ樹脂および MMA 樹脂を用いた場合は、ひび割れがほぼ等間隔でほぼ全体に分散し、界面剥離と同時にかぶりコンクリートごと破壊した。破壊後の試験体は、既設引張鉄筋位置で水平方向にひび割れが卓越している事が確認された。一方、PCM は設計で想定した強度は十分に満足したものの、エポキシ樹脂や MMA 樹脂ほどひび割れが分散せず、等曲げ区間に集中する傾向が見られ、最大荷重時にもかぶりコンクリートまでは破壊せず、界面剥離を呈した。破壊後のストランドシートが面外方向にも破壊したのが確認されており、これは接着剤の付着力に起因するものであると考えられる。

#### 4 まとめ

本研究で得られた知見をまとめると以下のようになる。

1. 補強試験体はいずれも剥離破壊を呈し、無補強試験体と比べ補強試験体は最大荷重が 48%程度向上した。
2. 要素試験によって求められた界面剥離破壊エネルギーを用いて計算した剥離荷重の実験値と設計値の比は、1.09~1.39 を示した。
3. エポキシ樹脂および MMA 樹脂を用いて補強した場合、と PCM を用いて補強した場合は破壊形式に若干の差異が認められた。

#### 参考文献

- 1) 小林朗, 佐藤靖彦, 高橋義裕, 立石晶洋: FRP ストランドシートの材料特性と RC 梁の曲げ補強効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1561-1566, 2008.7
- 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