

# 高弾性 CFRP プレート接着補強工法におけるポリウレア樹脂挿入による付着性能の改善

九州大学大学院 学生会員 ○扇 孝洋 学生会員 櫻井 俊太  
九州大学大学院 フェロー会員 日野 伸一 正会員 畠山 繁忠  
新日鉄住金マテリアルズ(株) 正会員 小林 朗 正会員 小森 篤也

## 1. まえがき

CFRP プレート接着補強工法は、CFRP シート接着工法のように現場での含浸作業や積層作業の必要がなく施工がより簡便に行えるという利点がある。しかし、この補強方法では CFRP プレートが引張強度に達する前にプレートが接着界面より剥離し、機能を喪失することが知られている。そのため、プレート接着に柔軟層であるポリウレア樹脂を挿入することで、補強界面の応力集中を緩和し、プレートの付着性能の改善を目指している。既往の研究<sup>1)</sup>により高強度タイプの CFRP プレートについてはポリウレア樹脂による付着性能の改善が確認されたが、高弾性タイプについてはまだ検証が行われていない。そこで、本研究ではポリウレア樹脂が高弾性タイプの CFRP プレートの付着性能に与える影響について、ポリウレア樹脂の有無および CFRP プレートの厚さを要因として付着実験を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 材料特性

表-1 に使用した高弾性タイプの CFRP プレートの材料特性を示す。また、表-2 にプレート接着に用いた接着剤およびポリウレア樹脂の材料特性を示す。また、本研究で用いたコンクリートの圧縮強度は 49.8N/mm<sup>2</sup>である。

### 2.2 試験体概要

本研究で作製した試験体の種類を表-3 に示す。本実験では高弾性タイプ厚さ 2 種類 (1mm、2mm) の CFRP プレート、およびポリウレア樹脂の有無を要因として、付着性能の検討を行った。CFRP プレートの接着長は、全て 590mm とした。試験体の概要および貼付したひずみゲージの位置を図-1 に示す。コンクリート供試体の寸法は 150×150×1200mm とし、試験に用いた CFRP プレートは幅 50×長さ 1200mm とした。供試体内部の鉄筋は中央で切れており、接着剤を用いて CFRP プレートを接着した後、ひずみ計測部において破壊が先行するよう図-1 のように鉄板を用いて底部を支圧力により固定した。図-2 に試験体のプレート接着部詳細を示す。写真-1 のように門型フレームに試験体を設置し、引張载荷試験を行った。なお、载荷速度は 5kN/min とした。

表-1 CFRP プレートの材料特性値

| タイプ                         | 高弾性     |
|-----------------------------|---------|
| 引張弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )  | 410,000 |
| 引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )   | 1,625   |
| 単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 1,700   |

表-2 使用材料特性値 (N/mm<sup>2</sup>)

|         | エポキシ樹脂 | ポリウレア樹脂 |
|---------|--------|---------|
| 圧縮弾性率   | 7,230  | 34      |
| 引張弾性率   | 5,300  | 20      |
| 圧縮強度    | 96.0   | 6.8     |
| 引張強度    | 37.0   | 12      |
| 曲げ強度    | 63.0   | -       |
| 引張せん断強度 | 16.6   | 5.6     |

表-3 試験体種類

| 試験体名 | 厚さ(mm) | ポリウレア樹脂 | 試験体数 |
|------|--------|---------|------|
| 1HMS | 1      | 有       | 3    |
| 1HMN |        | 無       | 3    |
| 2HMS | 2      | 有       | 3    |
| 2HMN |        | 無       | 3    |

HM:高弾性タイプ

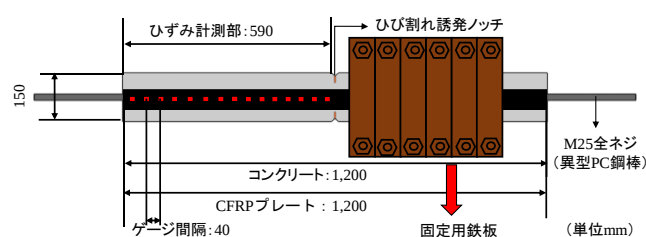
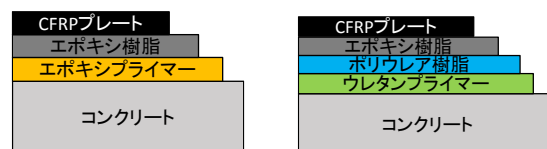


図-1 試験体概要



(a) ポリウレア無

(b) ポリウレア有

図-2 接着部詳細



写真-1 実験状況

表-4 結果一覧

| 試験体名 | 厚さ<br>(mm) | ポリウレア | No. | $P_{max}$ (kN) |     | $\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> ) |      | $G_f$ (N/mm) |      | 破壊モード        |
|------|------------|-------|-----|----------------|-----|-----------------------------------|------|--------------|------|--------------|
|      |            |       |     | 実測値            | 平均値 | 実測値                               | 平均値  | 実測値          | 平均値  |              |
| 1HMS | 1          | 有     | 1   | 115            | 131 | 1.95                              | 2.21 | 1.61         | 2.10 | プレートの破断      |
|      |            |       | 2   | 135            |     | 2.29                              |      | 2.22         |      | プレートの破断      |
|      |            |       | 3   | 142            |     | 2.41                              |      | 2.46         |      | プレートの破断      |
| 1HMN |            | 無     | 1   | 98             | 96  | 1.65                              | 1.62 | 1.16         | 1.12 | エポキシ-プレート間剥離 |
|      |            |       | 2   | 88             |     | 1.48                              |      | 0.93         |      | エポキシ-プレート間剥離 |
|      |            |       | 3   | 102            |     | 1.73                              |      | 1.27         |      | エポキシ-プレート間剥離 |
| 2HMS | 2          | 有     | 1   | 160            | 169 | 2.72                              | 2.87 | 1.56         | 1.80 | コンクリート表層破壊   |
|      |            |       | 2   | 183            |     | 3.10                              |      | 2.04         |      | コンクリートかぶり破壊  |
|      |            |       | 3   | 164            |     | 2.79                              |      | 1.65         |      | コンクリートかぶり破壊  |
| 2HMN |            | 無     | 1   | 170            | 160 | 2.88                              | 2.70 | 1.76         | 1.60 | エポキシ-プレート間剥離 |
|      |            |       | 2   | 153            |     | 2.60                              |      | 1.43         |      | エポキシ-プレート間剥離 |
|      |            |       | 3   | 155            |     | 2.63                              |      | 1.46         |      | エポキシ-プレート間剥離 |

### 3. 結果および考察

表-4 に各試験体の最大荷重  $P_{max}$ 、最大せん断応力度  $\tau_{max}$  および界面剥離破壊エネルギー  $G_f$  を示す。 $\tau_{max}$  および  $G_f$  は土木学会<sup>2)</sup>の示す式(1)、式(2)を用いて算出した。

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{2b\ell} \dots (1), \quad G_f = \frac{(P_{max})^2}{8b^2 E_p \ell} \dots (2)$$

ここで、

$P_{max}$  : 最大荷重(N)       $t$  : プレートの厚さ(mm)

$b$  : プレート幅(mm)       $\ell$  : 接着長さ(mm)

$E_p$  : プレートの弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)

高弾性 1mm の場合、ポリウレア樹脂を挿入することにより各数値は 1.4~2 倍向上しており、ポリウレア樹脂の有効性が確認できた。一方、厚さ 2mm の場合、各数値はほぼ同等であった。図-3 に高弾性 1mm、高弾性 2mm の最大荷重時のひずみと計測位置の関係図を示す。厚さが 1mm の場合はポリウレア樹脂無では試験体中心部近傍でひずみが卓越しているが、ポリウレア樹脂を用いた場合、接着領域全域にわたってひずみ値が線形的に減少し、応力が分散されていることが確認できた。一方、厚さが 2mm の場合、ひずみ値、およびひずみ挙動に大きな変化は見られなかった。

$$\tau_y = \frac{(\varepsilon_{p,i} - \varepsilon_{p,i-1}) \cdot t_p \cdot E_p}{\Delta x} \dots (3)$$

ここで

$\tau_{b,i}$  : 試験体の自由端より  $i$  番目と  $i-1$  番目の位置における平均付着力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_{p,i}$  : 試験体の自由端より  $i$  番目の CFRP プレートのひずみ

$t_p$  : CFRP プレートの厚さ(mm)

$E_p$  : CFRP プレートの引張弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)

$\Delta x$  : ひずみゲージの間隔(mm)

式(3)を用いて CFRP プレートの各位置における平均付着力を算出した。図-4 に各試験体一俣ずつ平均付着力-計測位置関係図を示す。このとき、平均付着力が最大付着力の 10%を上回る区間を有効付着長と定義した。1HMN の試験体では有効付着長を約 200mm と

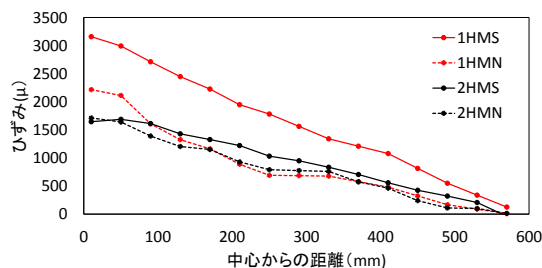


図-3 ひずみ-計測位置関係図

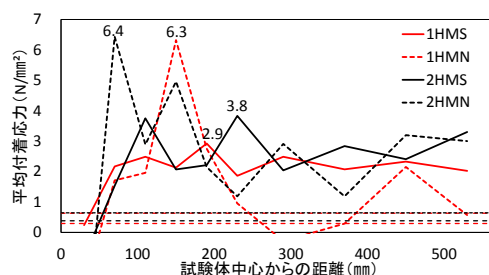


図-4 平均付着力-計測位置関係図

評価できたが、1HMS、2HM では平均付着力が接着長さ全域で最大平均付着力の 10%を上回っていたため、有効付着長を評価できなかった。

### 4. まとめ

接着長さが 590mm の場合、厚さ 1mm の高弾性プレートに関しては、ポリウレア樹脂を用いて柔軟層を設けることにより、最大耐力が向上することが確認されたが、厚さ 2mm に関しては、ポリウレア樹脂による改善は確認できなかった。しかし、接着長さを有効付着長以上に確保した場合は厚さ 2mm の場合も付着性能は改善されると想定され、今後の検証が必要である。

### 参考文献

- 1) R.BAHSUAN, S.HINO, T.OHGI, A.KOMORI, Effect of Polyurea Soft Layer on the Bonding Performance between CFRP Plate and Concrete, the 11th GJBS(2016)
- 2) 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、土木学会、(JSCE-E 543-2000)