

# PCM 吹付けによる CFRP グリッドを用いた RC はりのせん断補強効果

九州大学

学生会員 ○扇 孝洋

九州大学大学院

学生会員

郭 瑞

学生会員

RIFADLI BAHSUAN

フェロー会員

日野 伸一

正会員

畠山 繁忠

## 1. はじめに

東日本大震災で、河川構造物、特に樋門函体部は壊滅的な被害を受けた。これを踏まえ、近い将来発生が予想されている大規模地震に備え、樋門函体部のせん断補強が急務となっている。その耐震補強は、対象となる柱や壁部に補強筋として鉄筋を配置し、コンクリートおよびモルタル等で増厚する方法が一般的である。しかし、補強鉄筋の定着を確保するため既設部に削孔する際に、既設鉄筋を切断する可能性があることや、増厚することで、樋門に機能上の問題が発生する場合がある。そこで、補強筋に耐腐食性のグリッドを用い、ハンチ部削孔も不要で、増厚量も少なく済む CFRP グリッド PCM 吹付け工法の適用を検討した。この際、グリッドがせん断力に抵抗する際に生じるひずみの算定が重要である。しかし、補強用 CFRP グリッドとしてせん断耐力の算定法が確立されていないのが現状である。本研究では図-1 に青色で示す隔壁を対象とし、縦・横両方向の CFRP グリッドの有効ひずみの解明および CFRP グリッドとしてせん断耐力の算定法を確立するために、CFRP グリッドの補強量および配置間隔をパラメータとして実験的検討を行った。

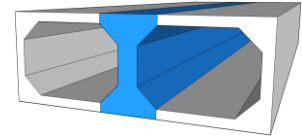


図-1 樋門函体部

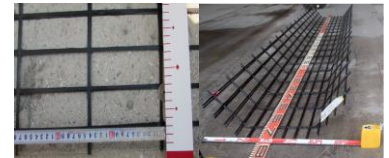


写真-1 CFRP グリッド

## 2. 試験概要および結果

### 2.1 試験体概要

各試験体の概要を表-1 に示す。CFRP グリッドは、CR4、CR6、CR8、CR4&6（横筋：CR-6、縦筋：CR-4）を使用した（写真-1）。試験体に用いた CFRP グリッドの材料特性値を表-2 に、試験体の種類、コンクリートおよび PCM の材料特性値を表-3 に示す。また、CFRP グリッドに貼付したひずみゲージの位置を図-2 に示す。

表-1 試験体概要

| TYPE | CFRP グリッド<br>(補強筋) | 格子間隔 (縦×横)<br>(mm) |
|------|--------------------|--------------------|
| P-1  | CR4                | 150×50             |
| P-2  | CR8                | 150×50             |
| P-3  | CR4                | 50×50              |
| P-4  | CR4&6              | 150×50             |

### 2.2 せん断耐力の評価

せん断耐力の比較を表-4 に示す。設計値は、道路橋示方書 V<sup>3)</sup> のせん断耐力式を用いて算出したものである。式(1)の  $V_{con}$  はハンチの断面を考慮したコンクリート、 $V_{pcm}$  は PCM、 $V_{st}$  はせん断補強筋、 $V_g$  は CFRP グリッドが受け持つせん断力を示す。ここで、せん断方向の CFRP グリッドの保有せん断耐力は式(2)を用いた。

$$V = V_{con} + V_{pcm} + V_{st} + V_g \quad (1)$$

$$\text{ここで、} V_g = A_w E_w \varepsilon (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / S_s \cdot z / \gamma_b \quad (2)$$

$A_w$  : 区間  $S_s$  におけるグリッドの総断面積(mm<sup>2</sup>)

$E_w$  : CFRP グリッドのヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha_s$  : CFRP グリッドが部材軸となす角度

$S_s$  : CFRP グリッドの配置間隔(mm)

$$z = d/1.15, \gamma_b = 1.15$$

設計値①で式(2)の  $\varepsilon$  はロッド有効ひずみに基づき算定した。その結果、実験値と設計値①の比は全ての試験体において 1.00 を大幅に超えており、過小評価となった。

図-3 に各試験体の縦方向の CFRP グリッドの剥離ひずみを示す。また、既往の研究の実験結果とロッドの有効ひずみに基づくひずみの評価を併せて示す。試験体 P-4 を除いて、縦方向の CFRP グリッドの剥離ひずみはロッドの有効ひずみ式より大幅に超えており、設計式として用いるには合理的でないといえる。これは有効ひずみの考え方は棒部材に対するものであり、今回対象とした試験体は CFRP グリッドが面的にせん断抵抗したためであると考えられる。

表-2 CFRP グリッドの材料特性値

| 呼び径 | 公称断面積<br>(mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| CR4 | 6.6                         | 1400                         | 100                           |
| CR6 | 17.5                        |                              |                               |
| CR8 | 26.4                        |                              |                               |

表-3 PCM およびコンクリートの材料特性値

|        | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------|-------------------------------|
| PCM    | 50.9                         | 24.5                          |
| コンクリート | 26.8                         | 24.5                          |

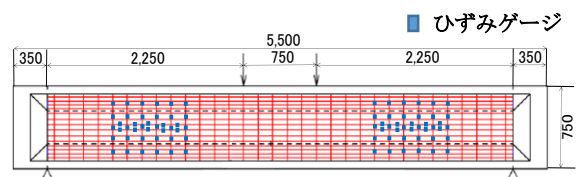


図-2 CFRP グリッドのひずみゲージの設置位置

### 3. CFRP グリッドの有効ひずみ

試験より、ロッドの有効ひずみ式ではせん断耐力を過小評価することがわかった。それを踏まえ、設計せん断耐力を評価するため、本工法における CFRP グリッドの有効ひずみの再検討を行った。縦方向の CFRP グリッドの剥離ひずみより式(3)を求めた。

$$\varepsilon_{ver} = \left( \frac{1}{0.0352 \rho_{ver} + 0.0079} \right)^2 \times 10^{-6} \quad (3)$$

ここで、 $\rho_{ver}$ :単位長さ当りの縦筋の断面積(mm<sup>2</sup>/mm)

式(3)より求めた設計値②を表-4 に併せて示す。また、式(3)を図-3 中に示す。CFRP グリッドのひずみ式はロッドの有効ひずみ式より上側となり、試験体 P-4 を除いて実験値にかなり近い値となった。

続いて、横筋について考慮する。実験より横筋と縦筋のひずみの比は 0.23 程度であったため式(3)に 0.23 を乗じて式(4)を求めた。

$$\varepsilon_{hor} = \alpha \times \varepsilon_{ver} = \alpha \times \left( \frac{1}{0.0352 \rho_{ver} + 0.0079} \right)^2 \times 10^{-6} \quad (4)$$

ここで、 $\alpha$ : 比較係数、 $\alpha=0.23$

図-4 は、縦横筋のひずみの実験値（既往の実験も含む）と提案した式(3)、式(4)で計算した推定値との比較を示したものである。試験体 P-4 の縦筋のひずみを除いて、実験値と推定値はよく一致している。CFRP グリッドの有効ひずみ式は式(3)、式(4)を採用することが妥当であることがわかる。そこで、縦・横両方向の CFRP グリッドを考慮した CFRP グリッドが受け持つせん断耐力  $V_g$  は式(5)により求めた。

$$V_g = 2 \cdot E_w \cdot (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) \cdot (\rho_{ver} \cdot \varepsilon_{ver} + \rho_{hor} \cdot \varepsilon_{hor}) \cdot Z / \gamma_b \quad (5)$$

ここで、 $\rho_{hor}$ :単位長さ当り横筋の断面積(mm<sup>2</sup>/mm)

式(5)より求めた設計値③を表-4 に併せて示す。設計値③の比は他の設計値と比べ実験値とかなり近い値となり、安全側の評価ができた。ただし、試験体数が少ないため、今後データを集積して回帰式の精度を高めることで一般化していく必要がある。

### 4. まとめ

- (1) 実験値と設計値②の比は全ての試験体において 1.00 を大きく上回っており、ロッドの有効ひずみの考え方をを用いることで、実際の CFRP グリッドに発生するひずみを適切に評価できるが、十分すぎる安全の評価となってしまった。
- (2) CFRP グリッドのせん断耐力評価に用いる有効ひずみ式を提案した。実験値にかなり近い値となり、安全側の評価ができた。ただし、今後データの集積による精度の向上の必要がある。

### 参考文献

- 1) 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の補修補強指針, 土木学会, 1996
- 2) 郭瑞, 山口浩平, 日野伸一, 宮野暢紘: ハンチを補強領域とした CFRP グリッドを用いた RC はりのせん断補強効果, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.725-733, 2015.4
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2012

表-4 せん断耐力の比較 (kN)

| TYPE | 実験値 | 設計値①          | 設計値②          | 設計値③          |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|
| P-1  | 881 | 618<br>(1.43) | 668<br>(1.32) | 750<br>(1.17) |
| P-2  | 943 | 707<br>(1.33) | 784<br>(1.20) | 892<br>(1.06) |
| P-3  | 950 | 667<br>(1.42) | 751<br>(1.27) | 931<br>(1.02) |
| P-4  | 860 | 632<br>(1.36) | 682<br>(1.26) | 797<br>(1.08) |

※ () は実験値/設計値

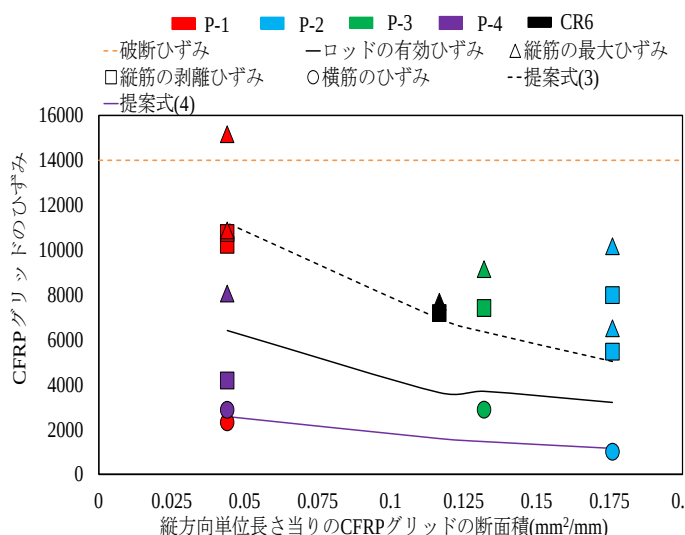


図-3 各試験体の剥離ひずみ

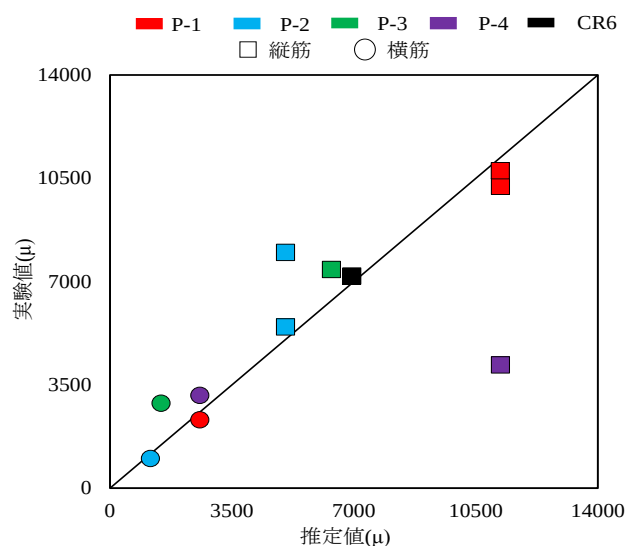


図-4 CFRP グリッドの実験値と推定値