

## 高靱性材料と FRP グリッドの併用による RC 下面増厚補強工法の開発

北海道大学 正会員 ○松本 浩嗣  
 北海道大学 非会員 福田 竜也  
 前田工織(株) 正会員 大久保 誠

## 1. 研究背景および目的

下面増厚補強工法は、道路橋床版に対する補強工法として多く用いられている。床版下面に補強材を配置し、モルタルやコンクリートで吹き付け等を行うことで既設床版と増厚部を一体化させ、既設鉄筋の応力低減による疲労耐久性の向上、部材のたわみの低減、耐荷力の向上を図ることができる。交通規制を必要としない等のメリットがある反面、増厚部の剥離が問題となっている。既往の研究<sup>1)</sup>では、増厚部補強材として剛性が大きい鉄筋を用いており、変形に追従できないことが剥離の主たる原因と考えられた。そこで本研究では、鉄筋と比較して剛性が非常に小さく、高強度を有する FRP グリッドを補強材として採用し、高靱性材料(ポリマーセメントモルタルとアラミド短繊維の混合材)により増厚補強を行った。下面補強 RC はりの載荷試験を行い、補強効果や剥離抑制性を実験的に検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 補強はりの載荷試験

実験供試体の寸法、配筋、載荷点と支点位置を図-1に示す。母材コンクリートの寸法は  $150 \times 150 \times 1440\text{mm}$  で、D10 のせん断補強鉄筋を  $120\text{mm}$  間隔で配置した。増厚部の厚さは  $20\text{mm}$  で、供試体幅  $150\text{mm}$  に対して部材軸方向に FRP グリッド格子筋を 2 本配置した。表-1 に実験ケースを示す。実験パラメータは既設コンクリートの引張鉄筋量、補強筋の種類、補強筋量、混入する繊維の有無である。また、増厚端部に発生する剥離はせん断による斜めひび割れに起因することが分かっている<sup>2)</sup>。そこで、せん断スパン比  $a/d$  の剥離への影響を考慮して、既往の研究<sup>1)</sup>ではせん断スパン  $a=300\text{mm}$ 、 $a/d=2.5$  であったが、本研究では  $a=420\text{mm}$ 、 $a/d=3.5$  とした。

## 2.2 施工手順と材料物性

本研究における増厚補強の施工手順を以下に示す。

- ①母材コンクリート型枠底面へ遅延剤を塗布する。
- ②散水により表面の目粗し処理をする。
- ③母材コンクリ

ート底面に FRP グリッドを固定し、プライマーを塗布する。④高靱性材料をコテ塗りする。

本研究では、2 種類の FRP グリッド( $50 \times 50\text{mm}$  の格子筋)を用いた。表-2 に試験成績書の内容を記す。PCM はコンパウンド  $C_o$  とエマルジョン  $E$  を重量比  $C_o/E=4$  で調合した。繊維ありの場合、体積比で  $1.5\%$  のアラミド短繊維を PCM に混入した。

母材コンクリート圧縮試験の結果、圧縮強度(平均値)は  $50.9\text{N/mm}^2$  であり、後述の耐力計算にも利用した。

## 3. 実験結果および考察

表-3 に RC はりの載荷試験結果と合わせて曲げ耐力の計算値を示す。加えて、補強材に鉄筋を用いた高瀬<sup>1)</sup>による実験の結果(供試体⑥D16-D10-あり)も示す。既往の研究では、端部剥離が発生している。耐力計算には、

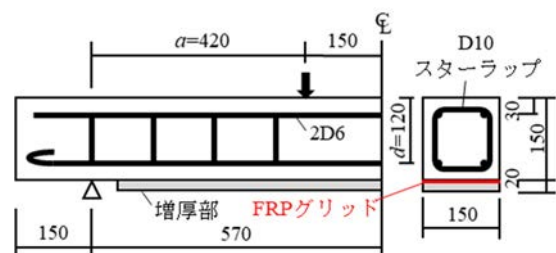


図-1 供試体寸法

表-1 実験ケース

| 供試体         | 既設鉄筋 | 補強筋 | 繊維量  |
|-------------|------|-----|------|
| ①D10-CR6-あり | D10  | CR6 | 1.5% |
| ②D10-CR8-あり | D10  | CR8 | 1.5% |
| ③D10-CR6-なし | D10  | CR6 | なし   |
| ④D10-CR8-なし | D10  | CR8 | なし   |
| ⑤D16-CR6-あり | D16  | CR6 | 1.5% |
| ⑥D16-D10-あり | D16  | D10 | 1.5% |

表-2 FRP グリッドに関する成績試験書

| 製品番号                      | FTG-CR6 | FTG-CR8 |
|---------------------------|---------|---------|
| 公称断面積 ( $\text{mm}^2$ )   | 17.5    | 26.4    |
| 引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )  | 1820    | 1580    |
| 引張弾性率 ( $\text{N/mm}^2$ ) | 108000  | 102000  |

キーワード 下面増厚補強工法, ポリマーセメントモルタル, アラミド短繊維, FRP グリッド, 端部剥離

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学工学部 TEL 011-706-621

終局曲げ耐力算定法を用いており、既設部と増厚部の完全付着を仮定した。鉄筋は弾塑性体、FRP グリッドは弾性体を仮定し、コンクリートの応力分布には等価応力ブロックを用いた。なお、PCM の引張負担は無視している。図-2にはひび割れ・破壊状況を示す。

供試体⑤では、供試体⑥と比較して約 30%もの耐力増加(曲げモーメント比)が確認された。上縁コンクリートの圧壊に伴う曲げ破壊が発生したが、増厚部には剥離が見られなかった。供試体④の曲げ耐力は最も低く、実験値が大幅に計算値を下回っている。端部剥離の発生によって増厚部の完全付着の仮定が成り立たなくなり、想定していた破壊荷重よりも低い荷重で部材全体の破壊に至ったと考えられる。供試体①, ②では、せん断耐力の計算値(133.967kN)に対して非常に小さい荷重でせん断破壊が生じている。その原因として、主鉄筋比が 0.79%と非常に小さいことが挙げられる。荷重-鉄筋ひずみ関係から引張鉄筋の降伏荷重(スパン中央)を求めると約 40kNであった。供試体①, ②の降伏荷重は破壊荷重の約半分であり、鉄筋降伏後も荷重が増加していることから、スパンのほぼ全体での主鉄筋の降伏が推察される。早期段階での主鉄筋降伏、小鉄筋比であることによるダウエル抵抗力<sup>3)</sup>の低下等により、せん断耐力が低下した可能性がある。供試体③では、引張鉄筋の降伏荷重が約 34kN と最も低かった。鉄筋降伏後の付着応力は弾性範囲内よりも大きく低下するため、早期段階での主鉄筋降伏が鉄筋の付着強度を低下させ、主鉄筋に沿った付着割裂破壊が発生したと考えられる。

図-3には荷重-変位曲線を示す。補強材に FRP グリッド CR8 を用いた供試体②, ④では最大荷重到達時の変位が 12mm 程であるのに対して、CR6 を用いた供試体①では約 19mm、供試体③では約 16mm となった。CR6 の剛性は CR8 の 2/3 程であり、増厚部の剛性が小さい程、はりの変形性能が向上する傾向があると考えられる。

本研究では、主鉄筋の剛性に対する FRP グリッドの剛性の割合として剛性比を求めた。D16-CR6 では、剛性比が 0.048 と小さい値を示した。一方で、D10-CR6 では 0.133、D10-CR8 では 0.189 であり、剛性比が大きい RC はりでは、破壊モードが曲げ破壊から付着・せん断破壊、剥離破壊に移行したことが分かる。せん断スパン比が大きく、補強材に FRP グリッド、増厚材に高靱性材料を用いた場合、剛性比がより小さいはりで曲げ破壊が生じ、高い曲げ補強効果が得られることを示唆している。

表-3 載荷試験結果

| 供試体         | 破壊荷重<br>(実験値)<br>(kN) | 曲げモーメント<br>(kN*m) | 破壊荷重<br>(計算値)<br>(kN) |
|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| ①D10-CR6-あり | 79.0                  | 16.6              | 69.0                  |
| ②D10-CR8-あり | 73.0                  | 15.3              | 82.0                  |
| ③D10-CR6-なし | 76.0                  | 16.0              | 69.0                  |
| ④D10-CR8-なし | 66.5                  | 14.0              | 82.0                  |
| ⑤D16-CR6-あり | 129.3                 | 27.2              | 105.0                 |
| ⑥D16-D10-あり | 127.5                 | 19.1              | 141.4                 |

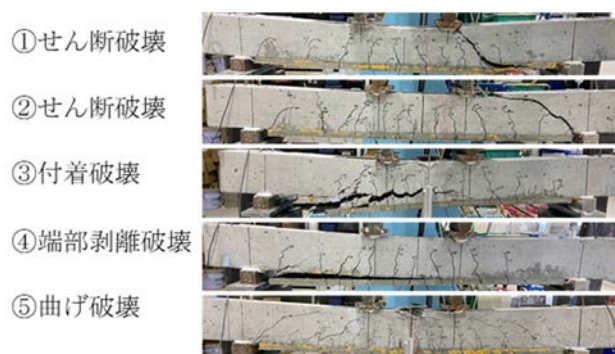


図-2 ひび割れ・破壊状況

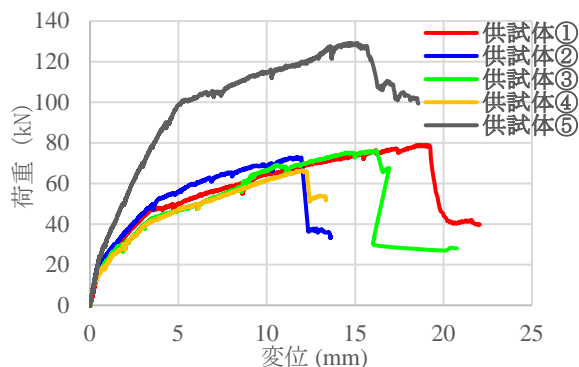


図-3 荷重-変位曲線

#### 4. まとめ

- 1) せん断スパン比が大きく、剛性比が小さいケースにおいて、高い曲げ補強効果が確認された。補強材に FRP グリッドを用いることで高靱性材料との組み合わせ効果が得られ、剥離抑制・補強効果の向上が期待できる。
- 2) 増厚部補強材の剛性は、部材の変形性能に影響し、剛性が小さく、高強度な補強材を用いることで高い変形性能が得られる傾向がある。

#### 参考文献

- 1) 高瀬匡充：アラミド繊維を混入した PCM 増厚補強 RC はりの曲げ挙動，2019 年度北海道大学卒業論文。
- 2) 佐藤貢一，小玉克己：ポリマーセメントモルタル増厚補強した RC はりの剥離破壊性状に関する基礎的研究，土木学会論文集，NO. 746/V-61，pp. 115-128，2003。
- 3) 二羽淳一郎：コンクリート構造の基礎 [改訂第二版]，pp. 10-12，数理工学社，2018。