

PCM 吹付け工法による 2 層接触配置された CFRP グリッドを用いた RC はりの曲げ補強効果

榊さとうベネック 正会員 ○中村 智
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

1. 目的

CFRP グリッド (以下, グリッド) を用いたポリマーセメントモルタル (以下, PCM) 吹付けによる増厚工法はグリッドの高強度・軽量・高耐食性といった特徴から, 施工性, 耐久性に優れ, 橋梁上部工やボックスカルバートの補強等に広く用いられてきた工法である¹⁾。

一般的にグリッドは可搬性に優れ, 狭い場所での作業が可能だが下水道, 導水トンネル等, 搬入口が狭小な場合, 通常 3.0m×2.0m 程度の平板状のグリッドを搬入する際には, 搬入口に合わせて曲げて搬入する必要があった。しかし, 断面積が大きく剛性の高いグリッドを使用する場合には, 曲げて搬入することが難しく, 多量の材料ロスが発生するなどの問題があった。

そこで, 本試験では既設構造物を模擬した RC はりを作成し, 断面積の大きなグリッドを 1 層接触配置した場合と同等の補強量となるように, 断面積の小さなグリッドを 2 層接触配置し, PCM 吹付け工法によって増厚した RC はりの曲げ試験を行い, 曲げ補強効果を検証するとともに, 補強量を従来設計法の 1/2 程度とした供試体を作成し, 既設鉄筋降伏後の曲げ補強効果についても確認した。

2. 供試体

供試体の種類, 概略図を表-1, 図-1 に示す。供試体は全 5 種類 (各 3 体) でグリッドの補強量および層数をパラメータとした。Type1 は無補強で既設構造物を模擬し, 軸方向引張鉄筋比を 0.39% とし, 曲げ破壊先行型となるように帯鉄筋を 50mm 間隔で設置した。コンクリートの設計基準強度は 30N/mm² とし, PCM は高強度型を用いた。Type2~Type5 は既設部下面の下地処理 (ブラスト) を行い, グリッドを既設部下面全面に接触配置し, かぶり厚さが 10mm となるように PCM を吹付けた。表-2 に本試験で用いた材料特性値を示す。なお, 荷重は片側をローラー支持, 他方をピン支持として, せん断スパン 600mm で 2 点漸増荷重を行った。

3. 補強設計

表-3 に設計値を示す。本試験では材料特性値の設計値を用いたものを設計値, 実測値を用いたものを計算値と定義し, 後者を試験結果と比較した。Type2, Type4 は従来の設計法^{2), 3)}に基づき, 既設引張鉄筋が許容引張応力度 ($\sigma_a=180\text{N/mm}^2$) を満足するようにグリッドの補強量を設計した。このときの設計荷重は 54.2kN, 51.9kN で, グリッドの発生応力は許容引張応力度 ($\sigma_{ga}=400\text{N/mm}^2$) の約 58% の 230 N/mm² 程度である。Type3, Type5 は既設鉄筋は許容引張応力度を超過するが, グリッドは許容引張応力度を満足するよう設計した。このときの設計荷重は Type2, Type4 とほぼ同じ 55.5kN, 58.4kN である。旧基準で設計された構造物の既設引張鉄筋が, 死荷重時に許容引張応力度を超過する場合には, 安全側として既設引張鉄筋は引張力を負担せず, グリッドの応力度が許容引張応力度を満足するように設計するのが一般的であるが, 本研究では実験値との比較の意味もあり, 既設鉄筋は降伏後も引張力を負担するとして設計した。

表-1 供試体種類

Type	規格	層数 (層)	1層当り グリッド厚 (mm)	1本当り 断面積 (mm ²)	筋間隔 (mm)	単位幅当り 補強量 (mm ² /m)	増厚材	増厚量 (mm)
1	無補強							
2	CMR13	1	8.0	65.0	75	867	高強度 PCM	18
3	CMR6	1	4.0	17.5	50	350		14
4	CMR10	2	7.0	39.2	100	784		24
5	CMR5	2	3.0	13.2	75	352		16

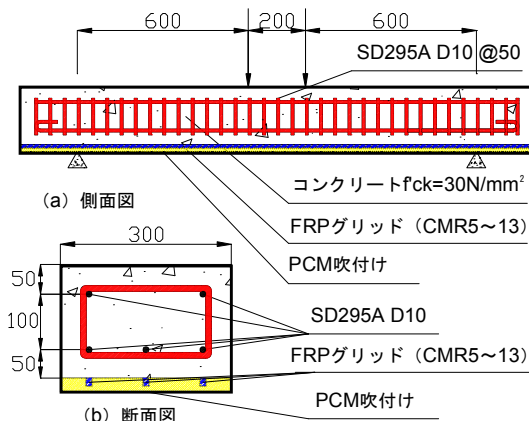


図-1 供試体概略図

表-2 材料特性値

(a) コンクリートおよび PCM

規格	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
コンクリート	設計 30.0	2.22	2.80×10^4
	実測 43.6	2.85	3.28×10^4
PCM	設計 68.2	3.16	2.70×10^4
	実測* 36.3	3.60	-

*ただし7日強度

(b) 鉄筋

規格	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
SD295A	設計 295	-	-
	実測 372	543	28.0

(c) CFRP グリッド

規格	1本当り 断面積 (mm ²)	許容引張 応力度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
			設計 実測	設計 実測
CMR13	65.0	400	1371	1.72×10^5
CMR6	17.5		1683	2.00×10^5
CMR10	39.2		1352	1.87×10^5
CMR5	13.2		1778	2.12×10^5

表-3 設計値

応力状態	(a) 既設鉄筋 許容応力	(b) グリッド 許容応力	(c) 既設鉄筋 降伏
Type	1 2 4	3 5	3 5
荷重 (kN)	17.7 54.2 51.9	55.5 58.4	52.7 53.1
コンクリート 応力度 (N/mm ²)	5.55 10.4 10.1	13.5 13.8	12.7 12.7
既設鉄筋 応力度 (N/mm ²)	180 = σ_a 180 = σ_a 180 = σ_a	295 = σ_y 295 = σ_y	295 = σ_y 295 = σ_y
グリッド 応力度 (N/mm ²)	- 229 < σ_{ga} 233 < σ_{ga}	400 = σ_{ga} 400 = σ_{ga}	361 < σ_{ga} 363 < σ_{ga}

表-4 試験結果

Type	(a)既設鉄筋許容応力 (=180N/mm ²)		(b)グリッド許容応力 (=400N/mm ²)		(c)最大荷重				
	計算 (kN)	実験 (kN)	計算 (kN)	実験 (kN)	計算 (kN)	実験 (kN)	平均 (kN)	平均 計算	破壊 モード
1	17.9	29.0 24.8 30.0	-	-	45.7	55.0 55.6 55.6	55.4	1.21	曲げ 圧縮破壊
2	55.8	75.6 65.1 85.6	94.4	85.4 90.6 90.6	263	185 221 199	202	0.77	グリッド 付着破壊
3	35.3	50.9 54.7 55.1	53.0	59.6 64.9 65.3	152	187 190 180	186	1.22	グリッド 破断
4	56.6	69.5 64.9 60.2	86.1	90.6 95.3 90.6	241	205 218 196	207	0.86	グリッド 付着破壊
5	36.6	39.5 39.6 -	51.6	65.3 60.0 65.3	159	145 184 180	169	1.06	グリッド 破断

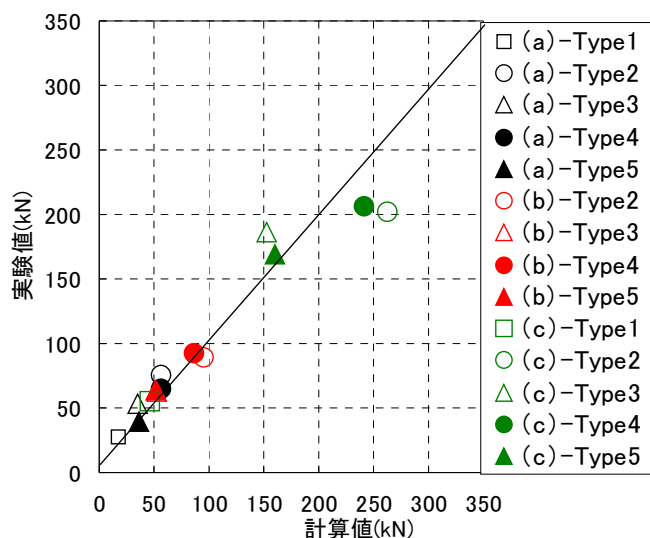


図-2 試験結果比較



(a) FRP グリッド付着破壊 (Type2)



(b) FRP グリッド破断 (Type3)

図-3 破壊性状

4. 結果および考察

表-4, 図-2 に試験結果を示す。(a) 既設鉄筋許容引張応力度, (b) グリッド許容引張応力度, (c) 最大荷重の各状態における載荷荷重実験値と計算値を比較した。無補強の Type1 は設計で想定した通り曲げ圧縮破壊を呈し, 最大荷重の実験値と計算値との比は 1.21 であった。Type2, Type4 は最外縁のグリッドの破断前に既設コンクリートと PCM の界面で付着破壊し, その比は 0.77, 0.86 と 1 を下回った。本試験では Type2, Type4 は既設引張鉄筋の許容引張応力度を満足するように, グリッドの補強量を Type3, Type5 に比べて多く設置したため, 補強部の剛性が極端に高くなり, 変形に追従できず付着破壊したものと考えられる。グリッドが許容引張応力を満足するように補強量を設計した Type3, Type5 はスパン中央部のグリッドが破断したため 1 以上の 1.22, 1.06 となった。また, いずれの試験結果も既設鉄筋許容引張応力時は 1.08~1.56, グリッド許容引張応力時は 0.94~1.23 であり, 従来の設計法で概ね評価できた。

図-3 に破壊性状の一例を示す。Type2~Type4 は Type1 に比べひび割れが分散しており, 主としてスパン中央部および載荷点直下の 3 本のひび割れが卓越した。試験時の観察により, ひび割れ幅はスパン中央部より載荷点直下の方が大きいことが確認された。Type2, Type4 はグリッドが母材の破断に至る前に既設コンクリートと PCM の界面で付着破壊し, 試験終了時に界面でのひび割れが確認された。Type3, Type5 はグリッドが母材の性能を発揮し, 設計で想定した通りにスパン中央部で破断した。

5. まとめ

本研究ではグリッドの補強量および層数をパラメータとしてグリッドをはり下面に接触配置し, PCM 吹付け工法によって一体化した RC はりの曲げ補強効果について実験的に検証した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 無補強の Type1 は設計通りに曲げ圧縮破壊し, グリッドの補強量を従来設計法に基づき設計した Type2, Type4 はグリッドが破断する前に既設コンクリートと PCM の界面で付着破壊したため, 最大荷重の実験値と計算値の比は 0.77, 0.86 と 1 を下回った。一方, グリッドが許容引張応力を満足するように補強量を設計した Type3, Type5 は設計で想定した通りにスパン中央部のグリッドが破断して, 実験値と計算値の比は 1.22, 1.06 とやや安全側で評価できた。
- (2) 最大荷重に至るまでの応力状態で既設鉄筋許容引張応力度時は実験値と計算値との比は 1.08~1.56, グリッド許容引張応力度時は同じく 0.94~1.23 であり, 従来の設計法で概ね評価できた。

以上より, PCM 吹付け工法による 2 層接触配置されたグリッドを用いた RC はりの曲げ補強効果が確認され, 既設鉄筋は許容応力度を超過するが, グリッドが許容引張応力度を満足するように補強量を設計した場合にも十分な補強効果が得られた。

参考文献

- 1) FRP グリッド工法研究会: コンクリート構造物の補修・補強材 FRP グリッド技術資料, 2001.11
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅲ コンクリート橋編, 2002.3
- 3) 土木学会: コンクリート構造物の補強指針(案), コンクリートライブラリー第 95 号, pp.88-97, 1999.9