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

㈱さとうベネック　正会員　○中村　智　　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　日鉄コンポジット㈱　非会員　谷口　硯士

１．目的

FRP グリッド（以下，グリッド）を補強筋としたポリマーセメントモルタル（以下，PCM）吹付け工法は橋梁，ボックスカルバートなどの増厚補強工法として広く用いられている．しかし，現行の設計法では既設引張鉄筋が許容引張応力度を満足するように設計するため，グリッドの補強量が多くなり可撤性や合理性に問題がある．そこで著者らは断面積の小さなグリッドを 2 層接触配置した場合の曲げ補強効果および既設鉄筋が許容応力度を超過した際の挙動について実験的に検証した．

２．供試体

供試体の種類，概略図を**表－1**，**図－2** に示す．Type1 は無補強でボックスカルバート頂版を模擬し，軸方向引張鉄筋比 0.39%で，曲げ破壊先行型となるように帯鉄筋を設置した．補強供試体は既設部下面の下地処理を行い，グリッドを既設部下面に接触配置し，かぶり厚が 10mm となるように PCM を吹付けた．また Type2,3 はグリッドを 1 層，Type4,5 は 2 層とし 3 体ずつ作製した．**表－2～5** に示すようにコンクリートの設計基準強度は 30N/mm^2，PCM は高強度型とし，グリッドは CMR5～13（高弾性型）を用いた．なお，載荷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 点漸増載荷を行った．

３．補強設計

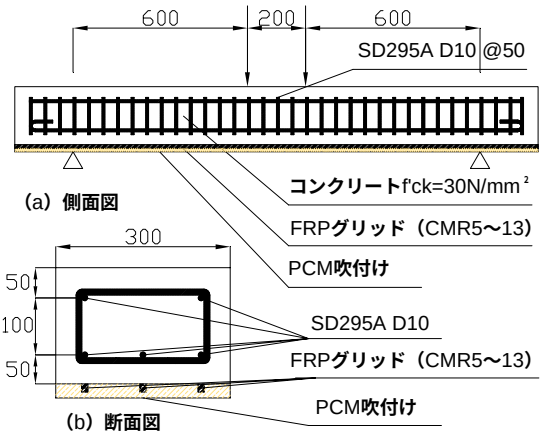
設計値を**表－5** に示す．本試験では材料特性値の設計値を用いたものを設計値，実測値を用いたものを計算値と定義し，後者を実験値と比較した．Type2,4 は従来設計法に基づき，既設引張鉄筋が許容引張応力度(σ_a=180N/mm^2)を満足するように設計し，Type3,5 は既設鉄筋は降伏応力度を超過するが，グリッドは許容引張応力度(σga=400N/mm^2)を満足するように設計した．旧基準で設計された構造物の既設引張鉄筋が，死荷重時に許容引張応力度を超過する場合には，安全側として既設引張鉄筋は引張力を負担せず，グリッドの応力度が許容引張応力度を満足するように設計するのが一般的である．なお，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ものとして設計した．

４．試験結果および考察

表－6 に試験結果を，**写真－1** に破壊性状を示す．(a)既設鉄筋

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　コンクリートおよび PCM の材料特性

規格		圧縮強度(N/mm^2)	引張強度(N/mm^2)	ヤング係数(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

表－3　鉄筋の材料特性

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

表－4　グリッドの材料特性

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) 設計	引張強度(N/mm^2) 実測	ヤング係数(N/mm^2) 設計	ヤング係数(N/mm^2) 実測
CMR13	65.0	400	1200	1371	1.65×10^5	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

キーワード　FRP グリッド，曲げ補強，ポリマーセメントモルタル，2 層接触配置
連絡先　〒870-0913　大分県大分市松原町 1-3-7　㈱さとうベネック　土木部　TEL097-573-0077

許容引張応力(b)グリッド許容引張応力, (d)最大荷重の各状態における載荷荷重の実験値と計算値を比較した。最大荷重は Type1 は設計で想定した通り曲げ圧縮破壊を呈し，実験値と計算値との比は 1.21 であった。Type2,4 は最外縁の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，その比は 0.77, 0.86 と 1 を下回った。本試験では Type2,4 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 Type3,5 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度を満足するように補強量を設計した Type3,5 は設計で想定した通り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，現行の設計法で概ね評価できた。**図－2** に横軸を計算値，縦軸を実験値として結果を比較した。いずれの供試体も既設鉄筋許容引張応力時，グリッド許容引張応力時での載荷荷重は計算値とほぼ一致しているが, Type2,4 は実験値と計算値の比が 1 を下回っており，最大荷重時にグリッドが付着破壊したものと考えられる。

５．まとめ

本研究により得られた知見は以下の通りである.

(1) 現行の設計法により補強設計した Type2,4 は，設計荷重レベルでは設計通りの曲げ挙動を呈したが, 終局時には設計上想定したグリッドの破断前にグリッドが付着破壊した。

(2) グリッドの許容引張応力度を満足するように補強設計した Type3,5 は (1)のような付着破壊ではなく, 設計上想定したグリッドの引張破壊で終局に至り, 引張強度が高いグリッドの性能が十分に発揮された。

(3) グリッドを 2 層接触配置した場合でも, グリッドは一体となって曲げ補強筋として機能しており，2 層分の曲げ補強効果が得られた。

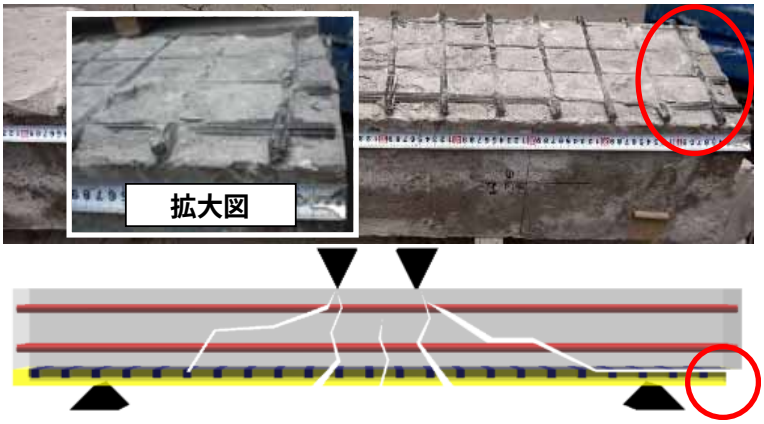
以上より，PCM 吹付け工法による 2 層接触配置されたグリッドを用いた RC はりの曲げ補強効果が確認された。

表－5　設計値

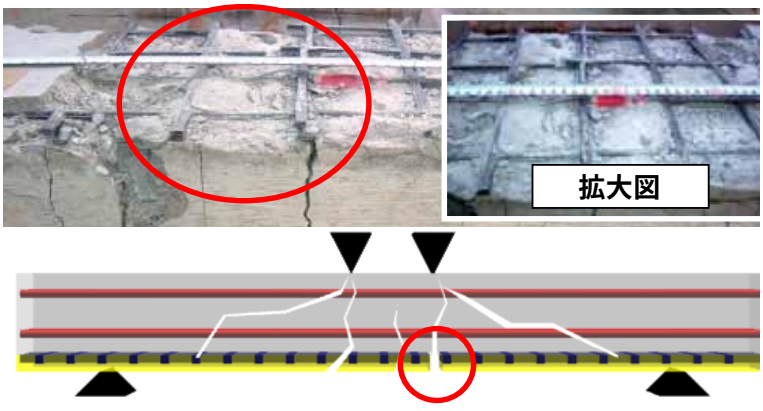
応力状態		(a) 既設鉄筋許容応力			(b) グリッド許容応力		(c) 既設鉄筋降伏	
Type		1	2	4	3	5	3	5
荷重	(kN)	17.7	54.2	51.9	55.5	58.4	52.7	53.1
コンクリート応力度	(N/mm^2)	5.55	10.4	10.1	13.5	13.8	12.7	12.7
既設鉄筋応力度	(N/mm^2)	180 $=\sigma_a$	180 $=\sigma_a$	180 $=\sigma_a$	295 $=\sigma_y$	295 $=\sigma_y$	295 $=\sigma_y$	295 $=\sigma_y$
グリッド応力度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

表－6　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 ($=400N/mm^2$)			(d)最大荷重			
	計算 (kN)	実験 (kN)		計算 (kN)	実験 (kN)	平均計算	計算 (kN)	実験 (kN)	平均計算	破壊モード
1 （無補強）	17.9	29.0 24.8 30.0	1.56	-	-	-	45.7	55.0 55.6 55.6	1.21	曲げ圧縮破壊
2 （太径1層）	55.8	75.6 65.1 85.6	1.35	94.4	85.4 90.6 90.6	0.94	263	185 221 199	0.77	グリッド付着破壊
3 （細径2層）	35.3	50.9 54.7 55.1	1.52	53.0	59.6 64.9 65.3	1.19	152	187 190 180	1.22	グリッド破断
4 （太径1層）	56.6	69.5 64.9 60.2	1.15	86.1	90.6 95.3 90.6	1.07	241	205 218 196	0.86	グリッド付着破壊
5 （細径2層）	36.6	39.5 39.6 -	1.08	51.6	65.3 60.0 65.3	1.23	159	145 184 180	1.06	グリッド破断



(a)　FRP グリッド付着破壊（Type2）



(b)　FRP グリッド破断（Type3）

写真－4　破壊性状