論文 CFRP 格子筋と吹付けモルタルを用いた補強における格子筋定着特 性

笠倉 亮太*1・宇治 公隆*2・梁 俊*3・佐藤 貢一*4

要旨:本論文では,CFRP 格子筋と吹付けモルタルを用いた補修・補強工法を取り上げている。 本工法を部材側面に適用してせん断補強した RC 梁の格子筋定着部挙動の把握を目的と し,CFRP 格子筋の引抜き試験を行った。試験要因としてコンクリート表面の処理方法,プライ マーの有無,格子筋量,吹付け厚を取り上げ,格子筋定着部の破壊形態として,格子筋の破断,吹 付けモルタルの割裂破壊,吹付けモルタル層の剥離の 3 種類を呈することを明らかにすると ともに,吹付けモルタルと既設コンクリートの付着を介した格子筋の定着機構について検討 した。

キーワード: せん断補強,補修・補強,CFRP 格子筋,吹付けモルタル,定着

1. はじめに

近年,既設コンクリート構造物の機能回復・向 上を目的として様々な補修・補強が行われてお り,高強度で耐久性に優れ,施工性も良好な連続 繊維補強材を用いた補修・補強が注目されてい る。特に,連続繊維格子筋を配置し,その後ポリマ ーセメントモルタルを配置する工法が RC 床版 の下面増厚等の曲げ補強に用いられている。本 工法は,部材側面を対象とした,はり部材のせん 断補強工法としても有効であると考えられる。

しかしながら,部材側面に適用した場合のせん断 耐荷挙動は,CFRP 格子筋の定着,吹付けモルタル と既設コンクリートとの一体性,格子筋の部材軸 方向筋の存在など,様々な要因の影響があり,未 だ十分に解明されていない。

本工法でせん断補強する場合,既設コンクリー トと吹付けモルタル界面に格子筋が存在し,格子 筋が受け持つことのできるせん断力は界面の影 響を受ける。格子筋の定着機構の研究は,小林ら ¹⁾により行われているが,界面の影響を考慮した ものは見られない。そこで,本研究では,CFRP 格 子筋と吹付けモルタルによりせん断補強を行ったRC梁の格子筋定着部に注目してCFRP格子筋引抜き試験を行い,既設コンクリートと吹付けモルタルの界面を考慮した格子筋の定着機構について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

CFRP 格子筋には,炭素繊維を格子状に積層成 形した格子間隔 50mm(CR4)および 100mm(CR13) の市販製品を使用した。吹付けモルタルには,短 繊維を混合したプレミックス湿式吹付けモルタ ルに SBR 系ポリマーを混和する市販製品を使用 した。また,界面のドライアウトの防止,および接 着性向上のため,EVA 系エマルジョンを主成分と するプライマーを使用した。表—1 に CFRP,ポリ マーおよびプライマーの性状を示す。

また,コンクリートには普通ポルトランドセメ ント(密度 3.16g/cm³)を使用し,**表―2** に示す各材 料を使用した。

*1 首都大学東京大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員) *2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 教授 工博 (正会員) *3 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 工博 (正会員) *4 奈良建設(株) 土木研究所 工博 (正会員)

表—1 CFRP, 補修ポリマー, プライマーの性状

		性状				
	括 粘	断面積	引張強度	引張弾性率		
CFRP	作里決現	(mm ²)	(N/mm²)	(kN/mm²)		
	CR4	6.6	1658	102. 220		
	CR13	65. 0	1594	102. 300		
		主成分	SBR系合成ゴ.	ムラテックス		
		固形分	45~46 (質量%)			
補修用7	ポリマー	外観	乳白色液体			
		粘度	500∽1500 (mPa·s)			
		рН	8.0~9.0			
		密度	1.0 (g/cm ³)			
		主成分	変性酢酸ビニルーエチレン系共 重合体エマルジョン			
		固形分	45~48 (質量%)			
プライ	ィー	外観	乳白色液体			
		粘度	500∽2000 (mPa·s)			
		pН	4.5~6.5			
		密度	$1.06 (g/cm^3)$			

表―2 コンクリート用骨材の物性

千禾 米石	ᅔᆍᄮᆆ	密度 (g/cm ³)		吸水率	単位容積質量	実積率	粗粒率
作里天見	座吧	表乾	絶乾	(%)	(kg/1)	(%)	(F.M.)
細骨材細目S1	富津	2. 58	2. 52	2.48	1.52	60.4	1.65
細骨材粗目S2	津久井	2.63	2.60	1.01	1.71	65.7	2.76
粗骨材G	津久井	2.64	2.61	1.15	1.54	59.0	6.63

2.2 供試体

(1)配合

使用したコンクリートの示方配合を表—3 に, 吹付けモルタルの 1m³ あたりの配合を表—4 に 示す。なお,リグニンスルホン酸化合物ポリオー ル複合体を主成分とする減水剤を使用した。

表—3 コンクリートの	示方配合
-------------	------

Gmax	W/C	s/a	空気量	単位量(kg)m					
(mm)	(%)	(%)	(%)	W	C	S1	S2	G	Ad
20	57.0	42.0	5.0	172	302	75	677	1045	0. 905

水	普通セメ	ン無機混和棒	有機混和骨体	才有機質	質ファイ	イボサマ
234	٢g	483kg	966	kg 1.	45kg	70kg

(2)供試体諸元

表—5 に供試体諸元を示す。検討項目は,補強筋の種類,吹付け厚さ,プライマーの有無,表面処理方法である。

(3)供試体寸法

代表例として,No.1 供試体(格子間隔 50mm)形 状・寸法を図-1に示す。なお本実験では,CFRP 格子筋の引抜抵抗挙動を簡便に把握できるよう, 格子筋のうち 1 本だけを供試体外に突出させて 引張力を作用させた。

表—5 供試体諸元

No	補強筋	吹付け厚(mm)	プライマー	表面処理
1	CR4@50mm	20	有	ブラスト
2				ディスクサンダー
3	$A_F = 6.6 \text{mm}^2$		無	ブラスト
4				ディスクサンダー
5	CR13@100mm	20	有	ブラスト
6			無	
7			有	ディスクサンダー
8	A _F =65mm ²	40	有	ブラスト
9			無	
10			有	ディスクサンダー

(4)供試体の作製



ールブラ 図―1 No.1 供試体寸法

ストあるいはディスクサンダーで処理した。ブ ラスト材にはアルミナを使用し,投射密度は 30kg/m²とし5min/m²を目安にブラスト処理を行 った。ディスクサンダー処理も5min/m²を目安に 行った。その後,コンクリート材齢4週において プライマーの塗布とモルタルの吹付けを行った。 吹付けには,4kPaのコンプレッサーを用いた。

2.3 物性値

コンクリートと吹付けモルタルのフレッシュ 時の物性値を表—6 に,試験時の物性値を表—7 に示す。コンクリートおよび吹付けモルタルの 試験時の物性値はそれぞれ3本の平均値とした。

表—6 フレッシュ時の物性

	スランプ	空気量
コンクリート	(cm)	(%)
	8.0	4.5
	フロー	(mm)
吹付けモルタル	0打	15打
	102.0	147.0

表—7 試験時の物性値					
	圧縮強度	割裂引張強度	静弾性係数		
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/mm ²)		
コンクリート	40.6	2. 94	28. 3		
モルタル	35.0	3, 36	16.2		

2.4 表面処理

スチールブラストあ るいはディスクサンダ ーで処理を行った基盤 コンクリートの表面部 の凹凸状態を,レーザ 一変位計を用いて定量 化した。レーザー変位



計を23.4mm/sで等速直線運動させ,1msごとに測定した。測定位置を図-2に示す。

表面凹凸の定量化には、レーザー変位計より得られたデータから表面のうねりなど、表面形状の影響を取り除き、表面の粗さを求め、機械分野で用いられる「中心線平均粗さ Rave^{2」}」を用いた。

図-3,4 にスチールブラストとディスクサン ダー処理による表面粗さの 1 例(No.1,No.4)を示 す。また,表-8に,中心線平均粗さ R_{ave}を示す。







図—4 ディスクサンダー処理による表面粗さ (No. 4)

表---8 中心線平均粗さ

No	加田士士	中心線平均粗さR _{ave} mm			
NO	処理方法	処理前	処理後		
1	ブラスト	0.057	0.095		
2	ディスクサンダー	0.046	0.065		
3	ブラスト	0.095	0. 105		
4	ディスクサンダー	0.119	0.041		
5	ブラスト	0.073	0. 081		
6	ブラスト	0.063	0.110		
7	ディスクサンダー	0. 106	0.126		
8	ブラスト	0.100	0.102		
9	ブラスト	0.040	0.068		
10	ディスクサンダー	0 208	0 084		

2.5 実験方法

引抜き試験 は,吹付け施工 後28日間,平均 気温 20℃の実 験生した供気 にので湿 す にた。荷重 調 荷 たし,載荷速



図—5 供試体概念図

度は 500N/mm²/min とした。図—5 に試験方法の 概念図を示す。試験には 1000kN 万能試験機を用



図—6 引抜き供試体



なお,吹付けモルタルと偏心防止用ブロックと の間隙を確保するため,間隙確保用鋼材を配置し た。 載荷時に適宜,格子筋のひずみを測定した。ひ ずみ測定位置を図-7に示す。横筋の交差部前後 のひずみ差は横筋の負担分,交差部を含まない区 間のひずみ差は吹付けモルタルの負担分と考え ることができる。

3.1 実験結果

表―9 に各供試体の終局荷重と破壊形態を示 す。また,図―8 および図―9 に終局荷重ならびに ひび割れ状況を示す。



表—9 終局荷重および破壊形態



供試体 No.1 は断面積の小さい CR4 の格子筋を 用いており,その縦筋が吹付けモルタルの外側で 破断した。供試体 No.5 および 8 は,縦筋付近の吹 付けモルタルに割裂のひび割れが発生し,部分的 剥離を生じて破壊した。供試体 No.2~4,6,7,9,10 は吹付けモルタルと試験基盤の付着面全体が剥 離した。以上のように,破壊形態は,格子筋の破断, 吹付けモルタルの割裂破壊,吹付けモルタルの剥 離,に分類できる。

3.2 考察

(1)表面処理の影響

供試体 No.1~4 の中心線平均粗さ Rave と終局 荷重 P_{max}の関係を図—10 に示す。CR4 格子筋を 用いた No.1~4 でみると、プライマーの有無に係 わらず、ディスクサンダー処理に比べてブラスト 処理は中心線平均粗さ Rave が大きくなるととも に終局荷重 Pmax も大きくなっている。ただし,こ こでは図示しないが、CR13 格子筋を用いた供試 体 No.5~10 では必ずしもそのような傾向は認め られなかった。これは、ディスクサンダー処理し た供試体 No.7 がブラスト処理の供試体 No.5 よ りも大きなRaveであることや、供試体No.5とNo.8 が割裂で破壊しており,剥離で破壊した他の供試 体と終局近傍での挙動が相違していたことなど が原因と考えられる。なお,供試体 No.1~4 でプ ライマーの効果についてみると、ディスクサンダ ー処理でプライマー有りの供試体 No.2 の終局荷 重はブラスト処理でプライマー無しの供試体 No.3の終局荷重に及ばないことから、剥離に対し ては表面の凹凸形状の影響が大きいと言える。



格子筋の破断を生じた供試体 No.1 の縦筋ひず

み分布を図―11 に示す。なお,終局直前の段階に ついては,測定不能の点があり,プロットのみに とどめている。



縦筋のひずみは,載荷端から奥に向かって小さ くなっている。1 つ目の横筋がある載荷端から 25mm の交差部前後のひずみ差(図—7 左,ゲージ 位置 1,2 のひずみ差)が認められ,横筋が引張力を 負担していることがわかる。また,終局近くにな ると,ひずみ差が小さくなる。これは,1 つ目の横 筋の定着が切れたためと考えられる。

横筋交差部を挟まない区間のひずみは,図-7 のゲージ位置 2 からゲージ位置 3,ゲージ位置 4 からゲージ位置 5 の傾向より分かるように,奥側 のひずみの方が大きくなっている。すなわち,横 筋が引張力に抵抗しているため,横筋直奥のひず みが小さくなったと考えられる。筆者らの研究 ³⁾では,格子筋の横筋交差部を挟まない区間の中 間でひずみ分布を評価してきた。本研究では縦 筋全体に比べ,横筋直奥の微視的な現象を示すこ とができた。

(3)吹付けモルタルの割裂破壊

吹付けモルタルの割裂破壊を生じた供試体 No.8 縦筋のひずみ分布を図-12 に示す。



供試体 No.5,8 では,格子筋の耐力を残した破壊 を呈している。この破壊形態は,縦筋の引抜けと, その引抜けに対し横筋が抵抗することに起因す る,縦筋位置でのモルタルの割裂と考えられる。

縦筋の応力レベルが小さいため,1 つ目の横筋 交差部前後にはひずみ差(図 7 右,ゲージ位置 1,2 のひずみ差)が生じているが,2 つ目の横筋交差部 前後(図 7 右,ゲージ位置 3,4)にひずみ差はほとん ど生じていない。1 つ目の横筋交差部以降は,ひ ずみの変化が小さく,1 つめの交差部で縦筋が定 着され,引張力に抵抗していると言える。

(4)吹付けモルタルの剥離

1例として, 吹付けモルタルの剥離を生じた供 試体 No.10の縦筋のひずみ分布を図—13に示す。



吹付けモルタルの割裂破壊同様,格子筋の耐力 を残した破壊である。この破壊形態は,縦筋から 吹付けモルタルに伝達された引張力が,吹付けモ ルタルと基盤コンクリート界面の付着応力に達 したときに生じると考えられる。

表面処理方法が同じ(ディスクサンダー、プラ イマー有)である供試体 No.2,7,10 の終局荷重を 比べると,格子間隔の影響を受けていると考えら れ(No.2:50mm,No.7,10:100mm),以降では,格子 筋で囲まれた1マスでの最大耐力により,供試体 の終局荷重が決定すると仮定する。

そこで,図—12,13 中の載荷端から 25mm,75mm 位置でのひずみ差の急変,図—9 のひび割れ状況 図の横筋に沿ったひび割れの発生を考慮し,図— 14の斜線部に示すように,界面の付着力を分担す る領域を設定し,各供試体の終局荷重時の界面付 着応力を式(1)により求めた。結果を表—10 に示 す。また,図—15 に中心線平均粗さと界面の付着 応力の関係を示す。

$$\tau_{m-c} = \frac{P_u}{A} \qquad (1)$$

ここで,

τ_{m-c}:界面の付着応力 (N/mm²)

P_u:終局荷重 (N)

A:界面の付着力分担面積 (mm²)



図-15 中の黒および灰色の印はプライマーを 塗布した供試体であり,白抜きの印はプライマー を塗布していない供試体である。プライマーの 有無の影響も含まれており,中心線平均粗さと界 面付着力の明確な関係は認められない。ただし、 プライマーを塗布することで表面処理状態にか かわらず界面付着力1.0N/mm²以上を確保できる。 なお,筆者らが行った RC 梁にせん断補強とし て本工法を用いた場合の研究⁴⁾によると,格子筋 の部材軸直交方向筋(縦筋)はスターラップと同 様,せん断力に抵抗することが期待できることか ら,界面の付着応力から求まる格子筋縦筋の引張 抵抗力を組み込んだ,耐力計算が行えるものと考 える。

4まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

(1)CFRP 格子筋の定着部の破壊形態は,格子筋の 破断,吹付けモルタルの割裂破壊,吹付けモルタ ルの剥離に分類される。

(2)格子筋の定着は,引張力作用方向に対し,1マス 分の耐力で決定される。ただし,プライマーの有 無による界面付着力の違いを考慮しておかなけ ればならない。

(3)プライマーを塗布した場合,1.0N/mm² 以上の界面付着力が期待できる。

謝辞

本実験にあたり材料の提供をして頂きました 日鉄コンポジット株式会社殿に深く感謝致しま す。

参考文献

1)小林朗,佐藤靖彦,阿部篤史:埋込型 FRP 格子筋の付着特性とはり部材のせん断補強効果,コンクリートの補修・補強アップグレード論文報告書,

第4巻,pp.401-408,2004.10

2) 槇谷貴光,香取慶一,林静雄:コンクリートの打 継ぎ面における表面粗さとせん断伝達能力に関 する実験研究,コンクリート工学年次論文報告 集, Vol.17, No.2, 1995

 大池幸史,宇治公隆,國府勝郎,笠倉亮太:既 設コンクリート部材の補強における CFRP 格子筋 のせん断耐荷挙動,土木学会第 61 回年次学術講 演会講演概要集,第 V部, pp. 57-58, 2006.9

4) 宇治公隆, 笠倉亮太, 佐藤貢一, 小林朗: 炭素繊 維格子筋と吹付けモルタルにより補強した RC 部 材の耐荷特性, 土木学会第60回年次学術講演会 講演概要集, 第 V 部, pp. 111-112, 2005.9