CFRP 格子筋と吹付けモルタルによる RC 梁のせん断補強に関する基礎的実験とモデル化

首都大学東京 学生会員 ○チャン ヴ ズン,正会員 宇治 公隆 首都大学東京 正会員 上野 敦,正会員 大野 健太郎

### 1. はじめに

母材コンクリートとモルタルの付着性状は、補修後の信頼性や耐久性に影響を与える重要な要因の一つであ る。本研究では、母材コンクリートと補修材料の界面におけるせん断付着特性を評価するために、要素供試 体の実験および解析を実施した。検討対象は RC 梁部材の斜めひび割れ発生領域であり、母材 RC 梁は CFRP 格子筋と吹付けモルタルで補修されたものを想定した。実験では、斜めひび割れ発生領域を模擬した要素供 試体の引張実験を実施し、解析では、界面の付着挙動を応力方法と2つのエネルギー方法(Cohesive Zone Model: CZM と Virtual Crack Closure Technique: VCCT)の計3つのアプローチを FEM により検討した。

# 2. 実験概要

# 2. 1 使用材料

供試体の力学的特性を表—1に示す。母材コンクリートには 早強ポルトランドセメントを使用し、吹付けモルタルには短繊 維を混合した SBR 系ポリマーセメントモルタルを使用した。 CFRP 格子筋には、炭素繊維を格子状に積層成形した市販品を使 用した(引張強度:1400N/mm<sup>2</sup>、弾性係数:100kN/mm<sup>2</sup>)。付着 界面にはエチレン-酢酸ビニル共重合体エマルジョンを主成分 とするプライマーを塗布した。

# 2. 2 供試体

供試体の寸法および CFRP 格子筋の断面積、間隔を表—2 に示す。供試体のパラメータは、CFRP 格子筋の断面積、 格子間隔、および付着界面へのプライマーの適用有無とし た。供試体作製方法は、母材コンクリート版を作製したの ち、材齢 11 日目に付着界面にブラスト処理を施し、材齢 14 日目に CFRP 格子筋を配置し、付着界面にプライマーを 塗布した。翌日にポリマーセメントモルタルを吹付け、母 材材齢 32~34 日目に CFRP 格子筋の引抜試験を実施した。

#### 2. 3 実験方法

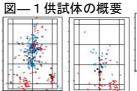
表-1 使用材料の力学的特性

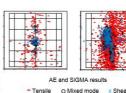
	圧縮強度 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	引張強度 (N/mm²)	せん断付着 プライマー 有	強度(N/mm²) プライマー 無
母材コンクリート	36.7	30.1	3.23	4.69	3.90
吹付けモルタル	47.1	16.8	3.21	4.00	

表—2 供試体諸元

供試体	母材コンクリート	吹付けモルタル	CFRP	格子筋間隔	プライマー	
No.	(mm)	(mm)	(断面積)	(mm)	J 51 V	
1	300×370×±90	250×350× ±40	CR13	100	有	
2	200 ~ 270 ~ 220	200 ~ 300 ~ 540	(65mm²)	100	無	
3	300×270× ±90	250×250× ±40	CR8	50	有	
4			(26.5mm²)	100	79	

		Concrete	表―3 実験と解析の結果					
	Nortar		モデル	実験	応力手法	CZM	VCCT	破壊形態
	2		No.	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
	- 11		1	69.63	34.75	78.30	89.73	割裂+剥離
	' 7		2	45.83	29.51	51.61	58.27	割裂+剥離
II.			3	34.72	32.30	37.1	37.1	割裂引張
▼ 1	'		4	28.12	32.25	37.1	37.1	抜出し













図―2 AEの解析と供試体のひび割れ図

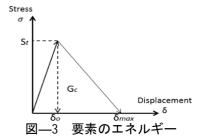
実験は、土木学会「引抜き試験による鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法(案)(JSCE-G503)」を参考 に、図―1に示すように供試体の中央部分から延長させた CFRP 格子筋の先端に引張荷重を与えた。実験で は、荷重および格子筋のひずみを測定し、同時にアコースティック・エミッション(AE)法を適用した。

### 2. 4 実験結果および考察

各供試体の終局荷重および破壊形態を表—3に、各供試体の破壊後の様子を図—2に示す。表—3より、 プライマーの有無(No.1 と No.2)の比較では、プライマーを塗布した供試体の方が終局荷重は 40%程度大き く、格子間隔(No.3 と No.4) の比較では、格子間隔が狭い方が終局荷重は大きくなっている。また、ひび割 れは格子筋に沿って発生し、No.1 および No.2 では、1 本の引張を受ける縦筋に対して、構筋がモルタルに 支圧力を伝達し耐荷力を発揮するが、その後、モルタルにひび割れが生じ、荷重がコンクリートとモルタル

キーワード CFRP格子筋,吹付けモルタル,FEM, せん断抵抗,AE法 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 042-677-1111 の付着力を超えて剥離破壊を呈したと考えられる。格子間隔を 50mm とした No.3 では、母材コンクリートとモルタルの間のせん断耐力が CFRP 格子筋の引張強度を超えたため、CFRP 格子筋が破断した。格子間隔

100mmの No.4では、CFRP 格子筋の縦筋が抜け出す結果となった。図 — 2に SiGMA 解析結果を示す。図より、全ての供試体において、供試体下部では引張型の AE 源、中央部ではせん断型の AE 源が卓越していることがわかり、格子筋が抜け出した No.4では、格子筋とモルタルの摩擦に伴う AE 源が供試体縦方向に分布していることがわかる。



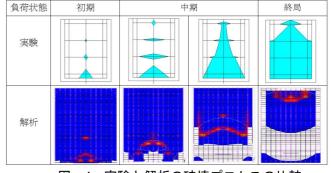
### 3.モデル化の検討

### 3.1モデル化の概要

本研究では、母材コンクリートとモルタルの界面破壊挙動を、(1)限界付着応力と、(2)2つのエネルギー(CZM と VCCT)から検討した。限界付着応力による検討では、付着界面のせん断応力が以下の式を満たす場合に、その要素で剥離が生じるとした。

$$\left(\frac{\sigma_t}{S_s}\right) > 1$$
 (1)

ここで、 $\sigma_t$  は付着界面に作用するせん断応力  $(N/mm^2)$ 、 $S_t$  は表-1に示すせん断付着強度 $(N/mm^2)$ である。



図―4 実験と解析の破壊プロセスの比較

また、界面結合力モデルの CZM およびき裂のエネルギー解放率を評価する一般的な方法である VCCT では、図—3 に示すように界面における付着軟化特性を導入し、せん断付着強度  $S_t$  を超えたのち、最大変位  $\delta_{max}$  まで応力低下を伴いながら変形するモデルとした。ここで、図—3 中の  $G_c$  は界面の付着エネルギーであり、既往の研究  $^{1)}$ を参考に、界面にプライマーを塗布した場合は  $80J/m^2$ 、塗布しない場合は  $35J/m^2$  とした。また、せん断強度  $S_t$  における変位  $\delta_0$  は、最大応力時までは弾性挙動を示すと仮定し、プライマーの有無により、0.000279mm (プライマーの有), 0.000232mm (プライマーの無)とした。

なお、解析にあったては、MARC-Mentat を使用し、コンクリートとモルタルは 3D ソリッド要素、CFRP 格子筋はトラス及び梁要素とした。また、モルタルと CFRP の結合は剛結とした。

#### 3.2解析結果

表—3に解析結果を示す。限界付着応力による検討結果では、全ての供試体において他の解析手法よりも低い耐荷力となり、CZM 及び VCCT では実験値とほぼ同じ耐力を示した。限界付着応力では、付着界面全体で表—1のせん断付着強度を超えて、全面剥離に至った。一方、エネルギー概念を導入した 2 つの解析結果では、No.1 と No.2 のみに界面の剥離破壊が生じ、No.3 と No.4 では、CFRP 縦筋の引張応力が先に限界を迎え、破断する結果となった。図—4 に実験により推察される付着界面における破壊過程と解析結果を示す。両者の結果は非常によく対応しており、付着界面の破壊過程は、供試体下部から剥離が発生し、最終的に供試体上部に進展することがわかる。以上の結果より、解析においては界面の付着エネルギーを導入することで、実験結果と解析結果は概ね一致し、破壊過程評価が可能となることが示された。

#### 4. まとめ

本研究では、母材コンクリートを CFRP 格子筋及び吹付けモルタルによって補修した要素供試体を対象に、付着界面の破壊挙動を実験的かつ解析的検討を行った。その結果、付着界面の破壊過程は、供試体下部から上部へとせん断応力負担域が移行することが確認された。

#### 参考文献

1. A.G. Evans, M. Rühle, B.J. Dalgleish, P.G. Charalambides. The fracture Energy of Bi-Material Interfaces. *Materials Science and Engineering*, P.53–64, June 1990.