

定着金物を用いた連続繊維シートによるRC構造物補強工法の開発

その7 実大基礎梁の加力実験結果の検討

炭素繊維シート 定着金物 耐震補強
鉄筋コンクリート

正会員 藤本 効*1 同 福山 洋*2
同 岸本 剛*3 同 中村 洋行*4
同 高橋 茂治*5 同 鈴木 英之*6
同 加藤 貴久*7

1. はじめに

本報ではその7に引き続き、加力実験の結果を述べ、補強効果や耐力評価、さらにRC基準の短期許容せん断力時の損傷の検証を、実大梁のひび割れ幅により行った結果について報告する。

2. 包絡線での比較

2.1 補強効果の検討

図1に有開孔試験体 No.2~5 のせん断力と部材角関係の包絡線の比較を示す。無補強である No.2 に対し、補強した No.3~No.5 はいずれの試験体においても正負とも最大耐力は大きくなっている。いずれの補強方法も効果があったと考えられる。一方、補強した試験体のうち、No.5の最大耐力以降の耐力低下はNo.3, 4に比べ小さいものであった。No.5はCFシートの定着金物を、スラブを貫通したボルトにより固定としているが、この定着方法がスラブ下面と梁の境界部分のせん断亀裂による耐力低下を防止すると考えられる。写真1にNo.3, 5の1/50radの写真を示す。No.5は他の試験体と比べ、スラブ下面と梁の境界部分の損傷が一番小さいものであった。

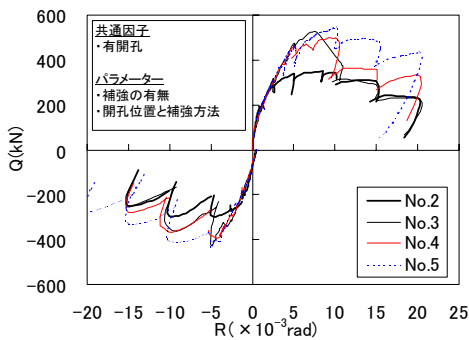


図1 包絡線 (補強の有無)

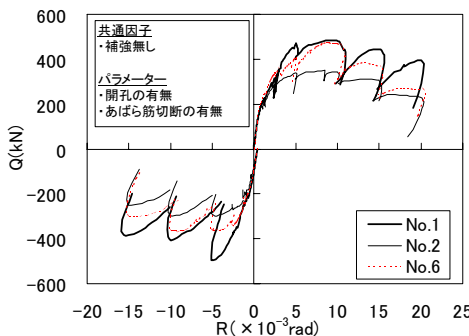


図2 包絡線 (補強の有無)

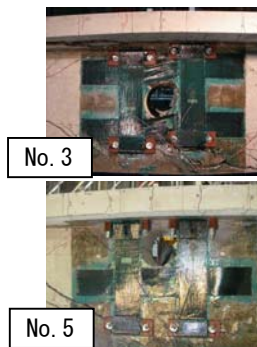


写真1 +1/50rad時

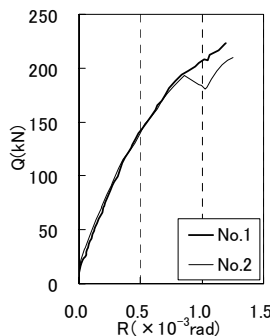


図3 初期剛性の比較

2.2 開孔の有無による検討

図2に有開孔試験体 No.1, 2, 6のせん断力と部材角関係の包絡線の比較を示す。あばら筋の切断を想定した No.2 に対し、想定しない No.6 は正負載荷時とも大きな耐力を示し、特に正載荷時には無開孔試験体の No.1 と同等の耐力であった。しかしながら、負載荷時は No.1 よりも小さな耐力を示し、あばら筋を切断しない場合においても開孔を設けることによる影響がみられた。

図3にNo.1, 2の1/800radまでのせん断力と部材角関係を示す。初期剛性はほぼ同じであり、開孔の有無による顕著な違いは見られなかった。

3. CFシートおよびCFプレートのひずみ分布

図4にNo.3~5試験体のCFシートおよびCFプレートのひずみ分布を示す。各試験体の梁せい方向のCFシートのひずみは、1/400rad時には小さいものの1/200rad以降に増大し始め、最大耐力時におけるCFシートのひずみはNo.3で約0.4%、No.4, 5で約0.5%程度であった。材軸方向のCFシートおよびCFプレートのひずみはNo.3, 4で約0.2%程度と梁せい方向に比べ小さかった。

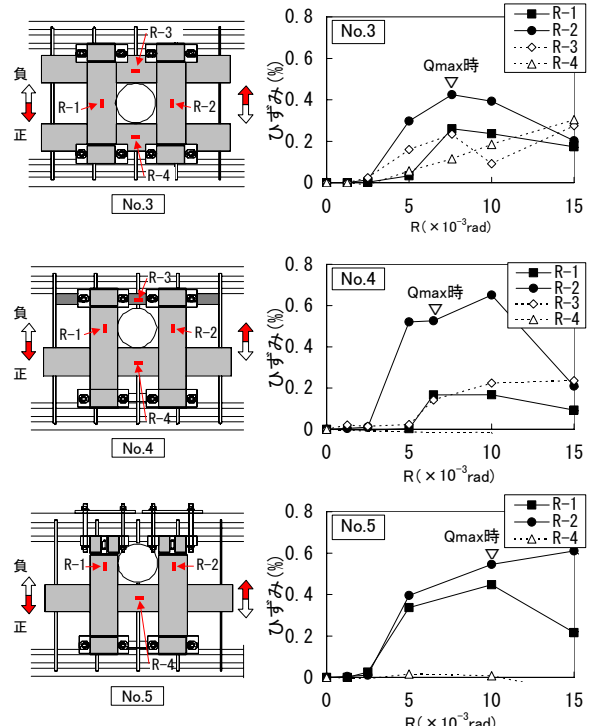


図4 CFシート, CFプレートのひずみ分布

Development of Reinforcement Method for RC Members Using Casting Steel Plate and Continuous Fiber Sheets
-Part7- Study on Test Results

FUJIMOTO Isao, FUKUYAMA Hiroshi, KISHIMOTO Takeshi, NAKAMURA Hiroyuki,
TAKAHASHI Shigeharu, KATOH Takahisa, and SUZUKI Hideyuki

4. 耐力式の検討

表1に各試験体の終局耐力計算値と実験値を示す。曲げ耐力は略算式¹⁾、無開孔試験体のせん断耐力は荒川 min 式¹⁾で、有開孔のせん断耐力は広沢式¹⁾を準用した(1)式で求めた。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.092k_u k_p (F_c + 18)}{\frac{M}{Qd} + 0.12} (1 - 1.61 \frac{H}{D}) + 0.85 \sqrt{p_s \cdot \sigma_y + c_f \cdot p \cdot \sigma_y} \right\} b j \quad (1)$$

ここで、 $c_f p$ ：孔周囲のCFシートの補強比
 σ_y ：CFシートの設計用引張強度(N/mm²)
 他の諸元は文献[1]を参照

(1)式中の $c_f p \cdot \sigma_y$ が CF シートの寄与分である。ただし、CF シートの設計用引張強度は連続繊維改修指針を参考に、*1) No.3~5 の()内は No.2 に対する比率、*2) 略算式による 0.7% ひずみにカタログ値の弾性係数を乗じた 1610N/mm² *3) 無開孔梁は荒川 min 式、有開孔梁は広沢式 (1)式) によるとした。また、補強比算出における孔周囲の CF シートには孔の両側の梁せい方向に貼り付けた分を考慮した。

有開孔で補強した試験体 No.3~5 の最大耐力は無補強の No.2 の最大耐力に対し、1.43~1.51 倍の値を示した。また、補強した試験体の最大耐力のせん断終局耐力計算値に対する比は、No.3 で 1.32 倍、No.4 で 1.26 倍、No.5 で 1.37 倍を示し、(1)式による計算値は安全に評価していた。

5. ひび割れ幅の検討

2010 年度版 RC 規準¹⁾では、短期設計のうち中地震などの短期荷重に対し損傷限界以下であることをせん断設計の目標性能としている。具体的には残留ひび割れ幅が機能上、耐久性上問題とならない範囲内(外面で 0.2~0.25mm、内面で 0.3~0.4mm)にとどまるせん断力レベルを想定している。ここでは実大梁のひび割れ幅により、短期許容せん断力時の損傷の検証を行った。

表2に RC 規準による無開孔梁、有開孔梁の短期許容せん断力の計算値(Q_{AS}, Q_{AOS})とその荷重に対応する実験時の試験体のひび割れ幅の関係を示す。ここでひび割れ幅は、ひび割れを各部材角ごとに正側ピークで測定したものであり、表中の値は短期許容せん断力の計算値近傍の部材角におけるピーク時、除荷時のひび割れ幅である。

無補強で有開孔梁(No.2,6)のひび割れ幅は、ピーク、除荷時とも開孔部のひび割れ幅の方が開孔部以外よりも大きい。補強した有開孔梁(No.3~5)では同程度であった。

無開孔梁の短期許容せん断力時(Q_{AS} =251kN)のひび割れ幅は、No.1 がピーク時で 0.25mm、除荷時で 0.05mm であったが、No.2 ではそれぞれ 1.6mm、1.0mm であった。これに対し、No.3~5 では最大でも 0.45mm、0.2mm であり、無開孔梁よりも若干大きいものの、補強無しの有開孔梁に対しひび割れ幅は小さくなった。また、この時の残留ひび割れ幅は 0.2mm より、補強した有開孔梁の場合、無開孔梁の短期許容せん断力を経験した後も修復性を阻害するような残留ひび割れがみられないことが確認できた。

*1 ベターリビング 工博 *2 建築研究所 工博
 *3 奥村組 *4 コンステック 工博
 *5 川金テクノソリューション *6 安藤建設 工博
 *7 三菱樹脂

表1 実験値と計算値の比較

試験体	開孔補強		実験値		計算値		実験値 / 計算値
	開孔	補強	最大耐力*1	曲げ耐力*2	せん断耐力*3	せん断余裕度	
			Qmax (kN)	Qmu (kN)	Qsu (kN)	Qsu / Qmu	
			(1)	(2)	(3)	(3)/(2)	(1)/(3)
No.1	無し	-	484	484	443	0.92	1.09
No.2	無し	無し	350	484	296	0.61	1.18
No.3	有り	有り	528 (1.51)	484	399	0.82	1.32
No.4			501 (1.43)	484	399	0.82	1.26
No.5			546 (1.56)	484	399	0.82	1.37
No.6			無し	475	481	343	0.71

*1) No.3~5 の()内は No.2 に対する比率、*2) 略算式による 0.7% ひずみにカタログ値の弾性係数を乗じた 1610N/mm² *3) 無開孔梁は荒川 min 式、有開孔梁は広沢式 (1)式) による

表2 短期許容せん断力とひび割れ幅の関係

試験体	開孔補強		ひび割れ幅 (mm)							
	開孔	補強	無開孔梁の短期許容せん断力時 (Q _{AS} =251kN)*1				有開孔梁の短期許容せん断力時 (Q _{AOS} =180kN)*2			
			開孔部*3		開孔部以外*3		開孔部*3		開孔部以外*3	
			ピーク時*4	除荷時	ピーク時*4	除荷時	ピーク時*5	除荷時	ピーク時*5	除荷時
No.1	無し	-	-	-	0.25	0.05	-	-	-	-
No.2	有り	無し	1.60	1.00	0.30	0.05	0.40	0.15	0.15	0.05
No.3			0.30	0.15	0.40	0.15	0.15	0.05	0.20	0.10
No.4			0.40	0.15	0.45	0.15	0.15	0.05	0.15	0.05
No.5			0.40	0.20	0.40	0.15	0.15	0.05	0.20	0.05
No.6	無し	無し	0.70	0.30	0.30	0.15	0.20	0.05	0.10	0.05

*1) 無開孔の場合 $Q_{AS} = bj \left\{ \frac{2}{3} c_f \sigma_y + 0.5_w f_t (p_w - 0.002) \right\}$

*2) 有開孔の場合 $Q_{AOS} = bj \left\{ \frac{2}{3} c_f \sigma_y (1 - H/D) + 0.5_w f_t (p_s - 0.002) \right\}$

ここで、Q_{AS}, Q_{AOS}: 短期許容せん断力, b: 梁幅, j: 有効せい, α: せん断スパン比, f_s: 短期許容せん断応力度, H: 孔の直径, D: 梁せい, w f_t: 許容引張応力度, p_w: 横補強筋比, p_s: 孔際補強筋比で 0.002 以下の時はコンクリートの項のみ考慮

*3) 開孔部は開孔部周りの最大のひび割れ幅、開孔部以外はそれ以外の部分の最大ひび割れ幅

*4) 1/400rad 時の荷重、*5) 1/800rad 時の荷重

有開孔梁の短期許容せん断力時(Q_{AOS} =180kN)のひび割れ幅は No.2 がピーク時で 0.40mm、除荷時で 0.15mm であったが No.3~No.5 では最大でもそれぞれ 0.20mm、0.10mm と小さくなることが確認できた。

6. まとめ

- (1)提案した補強方法によるせん断耐力は既往の計算式で安全側に評価することができた。
- (2)実大試験体で損傷評価を行った結果、CF シートで補強した有開孔梁には修復性を阻害するような残留ひび割れはみられなかった。

【参考文献】

- [1]日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010
 [2]日本建築防災協会：連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造および鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針・同解説、1999

*1 Center for Better Living, Dr.Eng

*2 Building Research Institute, Dr.Eng *3 Okumura Corporation

*4 Constec Engineering, Dr.Eng *5 Kawakin Techno Solution

*6 ANDO Corporation, Dr.Eng *7 Mitsubishi Plastics