

V-6 ひび割れを有するRCはりの炭素繊維シートによるせん断補強効果

高松高専専攻科 学生員○森末 美紀子
高松高専 正会員 長友 克寛
豊橋技術科学大学 正会員 角 徹三
高松高専 松原 三郎

1. 研究目的 炭素繊維シート（以下、CFS と略記）の既存RC構造への適用は、当初は柱への耐震補強が主であった。しかし、柱の補強後、はりにせん断破壊が生ずる場合があることが指摘されたこと等から、近年はりの補強への適用も増えてきている。CFSのはりせん断耐力への補強効果は、その有効強度（耐力時の平均CFS応力）を用いて表現されることが多いが、その評価は現時点では実験的手法に依らざるを得ず、さらには効率的なせん断設計を行う上で重要な最小CFS量でさえも、未だ十分定量化されているとは言えない。

本研究は、予めせん断スパン内にひび割れを生じさせたRCはりを対象とし、これにCFSを貼付した場合の補強効果を実験的に検討するとともに、せん断破壊防止に必要な最小CFS量について考察したものである。

2. 実験方法 図-1に試験体の形状・寸法の一例を示す。試験体は、幅100mm、高さ300mm、長さ1600mmのコンクリートにD16鉄筋を2本配置した単鉄筋長方形はりであり、その主鉄筋比は $p_w = 1.42\%$ 、つり合い鉄筋比は $p_b = 3.39\%$ である。実験には、せん断補強無しの試験体1体、CFS補強した試験体3体の計4体を用いた。議論を簡単にするため、全ての試験体においてスターラップ補強は行わなかった。

CFS補強した試験体には、まず予めせん断力を30kNまで負荷してせん断スパン内にひび割れを発生させた後、一旦除荷し、CFSを貼付した。この初期載荷せん断力は、せん断補強無しの試験体のせん断耐力の85%、土木学会標準示方書せん断耐力式による計算値（全ての安全係数=1.0）の110%に相当した。

表-1に実験概要を示す。実験変数はCFS量pcfであり、CFSの目付量（200, 300g/m²）、幅（30.9, 46.3, 45.6mm）および純間隔（61.7, 46.3, 45.6mm）を組み合わせることにより、同表中に記したように変化させた。表-2に使用したCFS（三菱レイヨン製）の力学的性質を示す。CFSは、常温硬化型MMA樹脂を用いてU字型に接着し、特別な定着処理は施さなかった。CFS表面には、はり下面から100mmの位置に歪みゲージを貼付した。表-3、4に使用した鉄筋及びコンクリートの性質をそれぞれ示す。

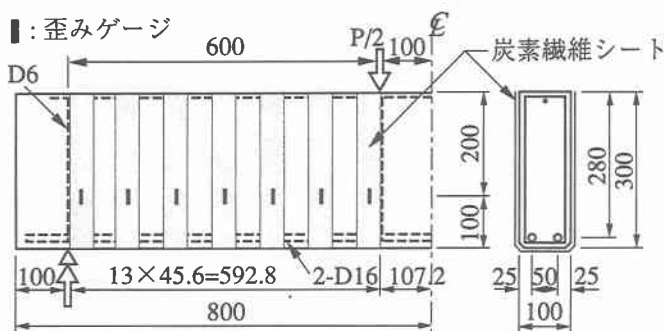


図-1 試験体の形状・寸法（単位 mm）
（試験体 RCFH の場合）

表-2 CFSの性質（カタログ値）

CFSの種類	AUC-TH30BL	AUC-TH20BL
目付量 (g/m ²)	300	200
平均引張強度 (MPa)	4200	4100
保証引張強度 (MPa)	3400	3400
引張弾性率 (GPa)	230	230
設計厚さ (mm)	0.167	0.111

表-3 鉄筋の力学的性質

使用鋼材	断面積 A (mm ²)	降伏応力 fy (MPa)	弾性係数 Es (GPa)
D16	198.6	371	190

表-4 コンクリートの力学的性質

試験体名	圧縮強度 fc' (MPa)	引張強度 ft (MPa)
RC-0	31.7	2.8
RCFL	28.8	2.9
RCFM		
RCFH		

表-1 実験概要

試験体名	CFS			CFS 量 pcf (%)	ひび割れ 確認荷重 Pu (kN)	破壊時 せん断力 Vbu (kN)
	目付量 (g/m ²)	幅 (mm)	純間隔 (mm)			
RC-0	—	—	—	0	19.4	34.4
RCFL	200	30.9	61.7	0.074	24.5	62.9
RCFM	200	46.3	46.3	0.111	22.6	62.5
RCFH	300	45.6	45.6	0.167	21.6	63.6

3. 実験結果及びその考察

3. 1 破壊状況

図-2に最も pcf の大きい試験体 RCFH の破壊時におけるひび割れ状況を示す。CFS 補強した試験体は、全て同図に示したような曲げ引張破壊を生じた。その際、pcf が大きくなるほど、主ひび割れ本数は増加した。せん断補強無しの試験体 RC-0 は、斜め引張破壊を生じた。

3. 2 荷重 P－中央たわみ $\Delta \delta c$ 関係

以下では、議論を簡明にするため、再載荷時における諸量の増分値を対象とする。

図-3に各試験体の荷重 P と中央たわみ増分 $\Delta \delta c$ との関係を示す。何れの試験体においても、ひび割れの発生・進展に伴ってたわみ剛性が次第に小さくなり、 $P=120\text{ kN}$ 付近での主鉄筋降伏以後は、ほぼ P が一定のまま $\Delta \delta c$ のみが増大する靱性的な挙動を示した。なお、せん断破壊した RC-0 は、最大荷重到達後 P が急激に低下する脆性的な挙動を示した。

3. 3 曲げモーメント M－曲率 ϕ 関係

図-4に CFS 補強した試験体の曲げスパン内における曲げモーメント M と曲率増分 $\Delta \phi$ との関係を示す。何れの試験体においても、図-3と同様の靱性的な挙動を示した。

3. 4 炭素繊維シート歪み分布

図-5に試験体 RCFL の CFS 応力 σ_{cf} 分布の推移を示す。 σ_{cf} は、各 CFS に貼付した歪みゲージの読みより実験的に求めた。同図より、CFS は通常のスターラップと比較して高い引張応力を負担していることが分かる。これは、表-2に示したように CFS の引張強度が非常に高いためである。RCFL, RCFM, RCFH の各試験体における耐力時の σ_{cf} は、それぞれ 923, 564, 688 MPa であった。なお、今回使用した MMA 樹脂は強力な接着力を有しており、既往の研究の一部で報告されているような CFS の剥離は、主斜めひび割れがはり上面の約 30~40 mm にまで達しても生じなかった。そのため、耐力は、斜めひび割れ先端を含めたはり中央部領域でのコンクリートの圧壊に支配された。

3. 5 必要最小 CFS 量

本実験では、全ての CFS 補強試験体が曲げ破壊を生じたため、せん断破壊防止に必要な最小 pcf の値は明らかとはならなかった。しかし、採用した pcf は 0.074~0.167 % であり、今回の主鉄筋比 pw 程度の RC はりに対しては、土木学会標準示方書の最小スターラップ量規定 $ps=0.15\%$ を準用することで、十分な補強効果が得られるものと考えられる。ただし、pw の大きなはりについては、今後さらに検討が必要である。

4. まとめ

本研究では、(1) 今回使用した CFS と MMA 樹脂による RC はりの補強法は良好な耐力の改善効果を有していること、(2) 今回の実験の範囲内においては、土木学会標準示方書の最小スターラップ量に相当する CFS 量を用いることで十分なせん断補強効果が得られること、等を明らかにした。

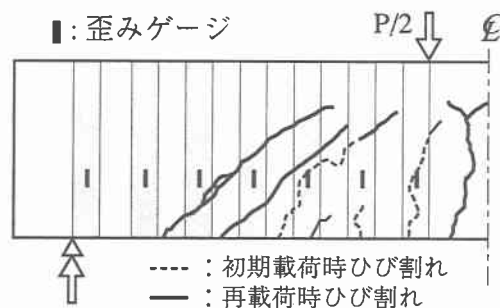


図-2 破壊時のひび割れ状況
(試験体 RCFH の場合)

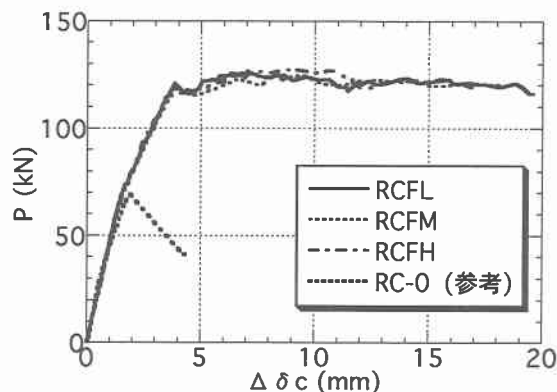


図-3 荷重 P－中央たわみ増分 $\Delta \delta c$ 関係

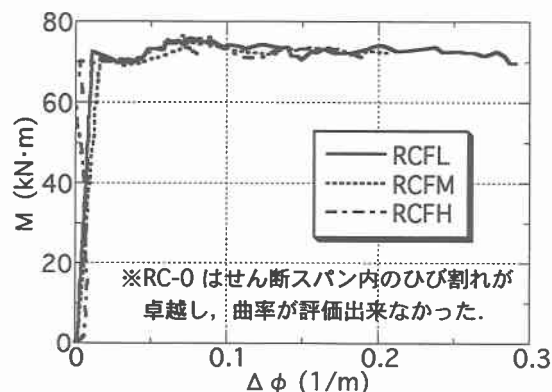


図-4 曲げモーメント M－曲率増分 $\Delta \phi$ 関係

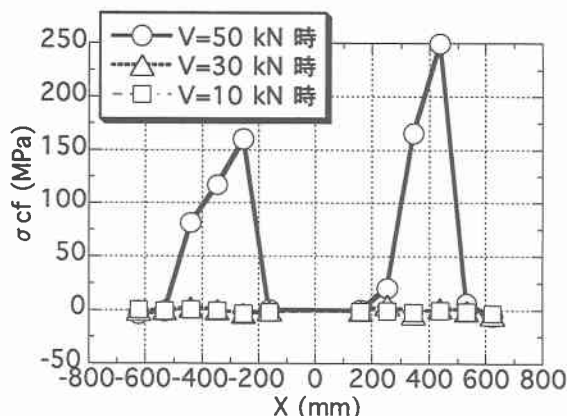


図-5 炭素繊維シート応力 σ_{cf} 分布
(試験体 RCFL の場合)