

CFRP 製せん断補強筋の曲げ成形部強度の評価方法

九州大学大学院 学生会員 ○田北 翔 九州大学大学院 正会員 山口浩平
九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一 九州大学大学院 学生会員 山中翔太
九州大学大学院 非会員 柴田博之

1. 目的

高強度・軽量・耐候性などの特長を有する CFRP をせん断補強筋として RC はりに用いた場合、CFRP は曲げ成形部から破断することが確認されている。連続繊維補強材の曲げ成形部強度は、土木学会「連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」¹⁾に定義されている(以下、指針式、図 - 1)が、本指針式は連続繊維全般を対象とした式であり、CFRP のみを対象とした式は存在しない。また、 $r/h=5$ 未満は実験データにばらつきがあり、 $r/h=5$ 以上はデータが不足している。そこで本研究では CFRP 曲げ成形部強度試験を行い指針式の適用性を確認し、また、FEM 解析により破壊メカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. CFRP 曲げ成形部強度試験

2.1 試験体概要

表 - 1 に試験体緒元、図 - 2 に試験体概略図を示す。試験体は矩形 CFRP をコンクリートブロックで覆う形状である。曲げ成形部強度を把握するため、アクリル管により曲げ成形部付近まで CFRP とコンクリートとの付着を無くすことで、CFRP 曲げ成形部のみで荷重を負担させ、同部で破断するようにした。コンクリート部には補強筋 D6 を格子状に配置しコンクリートの破壊を防止するとともに、曲げ成形部に RC はりの主筋を模擬した異形鉄筋を配置し、CFRP とコンクリートとの滑り抜け破壊を防止した。使用した CFRP は引張強度 2300N/mm^2 、弾性係数 132kN/mm^2 である。本研究では

CFRP の曲げ内半径 r および断面高さ h をパラメータとした 7 種類の試験体を用いた。図 - 3 に試験方法を示す。コンクリート部を治具により固定し、治具に取り付けた鋼棒に引張り荷重を与えた。式(1)に指針式¹⁾を示す。

$$f_{fbd} = (0.05 + 0.3r/h)f_{fuk} \quad (1)$$

ここで、 f_{fbd} : 曲げ成形部強度(N/mm^2)、 r : 曲げ内半径(mm)、 h : 断面高さ(mm)、 f_{fuk} : 直線部強度(N/mm^2)である。

2.2 試験結果

表 - 2 に試験結果を示す。実験値と指針式より求めた耐力算定値とを比較すると、19-1.98 を除いて実験値は算定値を下回っており、 r/h が小さいほど実験値と算定値との比が小さくなった。これは指針式が実験データを基に決められているためだと考えられる。図 - 4 に CFRP の破断状況を示す。全ての試験体において、アクリル管によりコンクリートとの付着を切った側の左右両方の曲げ成形部が破断していた。試験体によって左右の曲げ成形部の破断状況が異なるが、左右両方の曲げ成形部で

CFRP が破断していたことから、実験値は曲げ成形部強度として評価可能であると考えられる。

表 - 1 試験体緒元

試験体名	曲げ内半径 $r(\text{mm})$	断面高さ $h(\text{mm})$	r/h	断面積 (mm^2)
11-3.30	11	3.30	3.33	9.91
11-1.15		1.15	9.59	
5-1.98	5	1.98	2.53	
11-1.98	11		5.56	
19-1.98	19		9.60	5.66
12.5-1.42	12.5	1.42	8.80	
10-1.42	10		7.04	

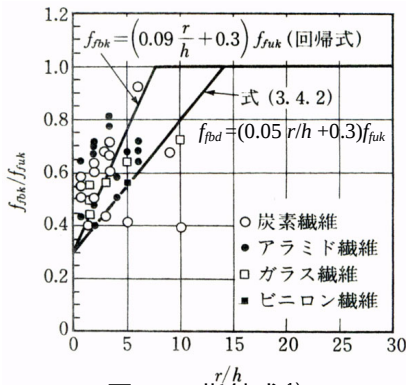


図 - 1 指針式¹⁾

(出典: 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案))

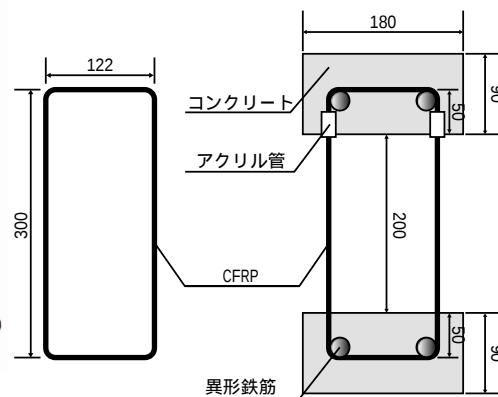


図 - 2 試験体概略図 (mm)

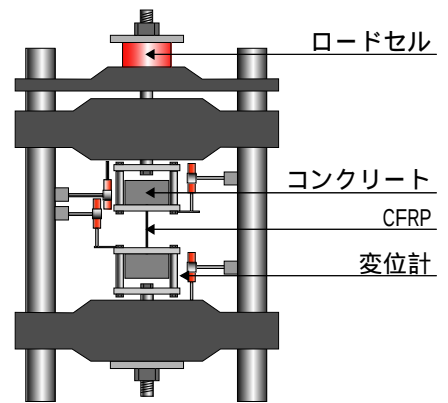


図 - 3 試験方法

キーワード CFRP, せん断補強筋, 曲げ成形部強度

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

Tel:092-802-3392 Fax:092-802-3391

表 - 2 試験結果

試験体名	実験値(kN)	算定値 (kN)	実験値/ 算定値
	平均値		
11-3.30	14.9	16.6	0.78
	18.2		
	16.8		
11-1.15	35.0	30.2	0.85
	26.1		
	29.4		
	30.3		
5-1.98	16.3	15.7	0.81
	16.3		
	14.4		
11-1.98	23.3	24.9	0.94
	25.2		
	26.1		
19-1.98	39.2	39.0	1.10
	40.6		
	40.6		
	35.5		
12.5-1.42	18.2	18.2	0.94
	18.2		
	18.2		
10-1.42	15.8	14.1	0.83
	13.5		
	13.0		

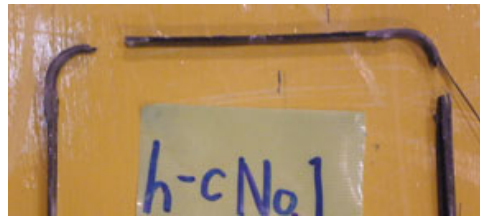


図 - 4 CFRP 破断状況

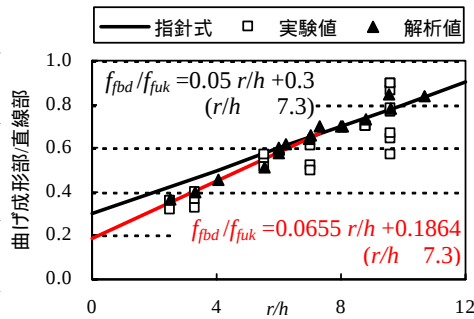
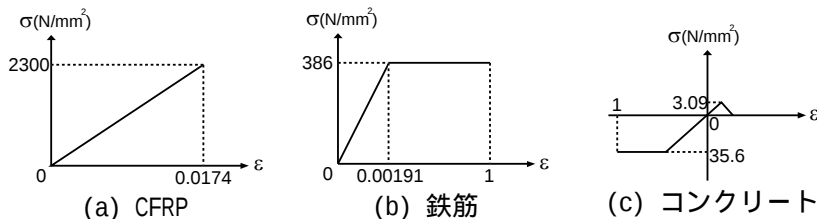
図 - 5 母材強度に対する
曲げ成形部強度の比

図 - 6 材料構成則

図 - 5 に母材強度に対する曲げ成形部強度の比を示す。同図では横軸に r/h を、縦軸に CFRP の曲げ成形部と直線部との耐力比を示している。 $r/h > 7.3$ の範囲において実験値および解析値ともに指針式を下回っており、この範囲における直線近似式を修正式とした。

2.3 FEM 解析

本試験における破壊メカニズムの確認のため、2次元非線形解析を行った。解析ソフトは MSC.Marc を使用し、モデルの奥行きは CFRP、鉄筋およびコンクリートともに試験体と同一の平面要素である。CFRP、コンクリートおよび鉄筋の接触条件は、摩擦は考慮せず要素同士が接触するモデルとした。図 - 6 に各材料の材料構成則を示す。CFRP は軸方向のみに荷重を伝達する一方向性材料として、コンクリートはひび割れを考慮した異方性材料、鉄筋は等方性材料として定義した。

図 - 7 に 11-1.98 モデルの解析終了時 (23.4kN) の曲げ成形部の主応力コンター図を示す。応力集中箇所は CFRP 曲げ成形部と鉄筋とが接触し始める両端であり、左右両方の曲げ成形部で同様の応力状態であった。試験における破断状況と比較すると、応力集中点と同様の位置で CFRP が破断しており、試験においても CFRP は応力集中点付近から破断したと考えられる。また、主応力方向は CFRP の軸方向と概ね一致していたこと

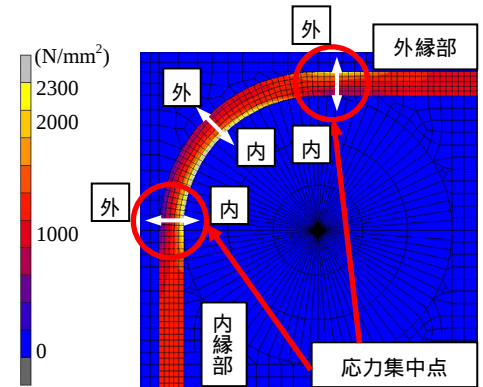


図 - 7 主応力コンター図

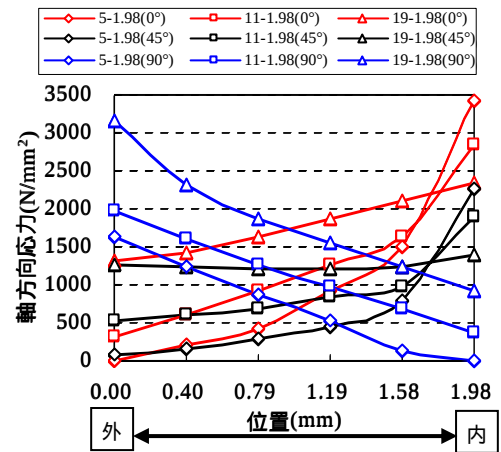


図 - 8 軸方向応力分布

から、軸方向応力により評価可能であると考えられる。図 - 8 に解析終了時の曲げ成形部 0° 、 45° および 90° 位置における軸方向応力分布を示す。図 - 5 における指針式修正範囲である 5-1.98 モデルおよび 11-1.98 モデルは、19-1.98 モデルと比較して 0° および 45° 位置において内縁と外縁との応力差が小さく、異なる傾向を示していることが確認できた。

3. まとめ

- (1) 全ての試験体において CFRP は曲げ成形部で破断しており、解析による応力集中点と一致していた。
- (2) 解析により、 r/h の値が大きいほど内縁と外縁との応力差が小さくなることが確認できた。
- (3) 実験値および解析値より、指針式を以下のように修正した。

$$f_{bdf} = (0.0655 r/h + 0.1864) f_{fuk} \quad (r/h > 7.3) \quad (2)$$

謝辞

本研究は日本管洗工業(株)との共同研究であるとともに、一部に科学研究費若手研究 (B) (代表 山口浩平) による補助を受けています。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針 (案), 1996