

24. 連続炭素繊維補強材を用いた薄肉コンクリート部材の曲げ特性に関する基礎的研究

松本 明子

1. 目的

連続炭素繊維補強材(Carbon Fiber Reinforced Plastic 以下 CFRP と称する)は軽量, 高強度, 高耐食性など様々な特色を有しており, 鉄筋や PC 鋼材の代替として利用が進められている. 本研究室では, 独自に開発した自動配筋ロボットを用いて製作した CFRP ロッド(通称 UCAS ロッド)について, その力学特性を実験的に明らかにしてきた. UCAS ロッドは両端部に U 字型アンカーを有する特徴があり, 将来的にはこの U 字型アンカーを利用して, UCAS ロッドを用いたコンクリート部材同士を接合し, プレキャスト埋設薄肉型枠の開発に取り組む予定である.

本研究ではその導入として, CFRP ロッドを用いた薄肉コンクリート部材を製作し, 曲げ破壊試験を行うことにより, 基本的な曲げ特性および設計手法について検討した.

2. 内容

(1) 試験概要 補強材には, 市販品である CFRP ロッド, UCAS ロッドおよび鉄筋の 3 種類を用いて曲げ破壊試験を行い, 比較検討した. 表 - 1 に使用した補強材の仕様を示す.

表 - 2 に供試体タイプおよびコンクリート強度を示す. 供試体は板厚 h および主筋配筋数 n をパラメータとして, 市販品 CFRP ロッド 6 種類, UCAS ロッド 2 種類, 鉄筋 3 種類の合計 11 種類(各 2 体)である. 鉄筋は, 市販品 CFRP ロッド 4 本配筋と同等の最大荷重となるように設計し, 配筋数を決定した. また, コンクリートは早強セメントを使用し, 材齢 14 日の設計基準強度を 50N/mm^2 とした高流動コンクリートを使用した. 図 - 1 に供試体構造図を示す. 荷重はスパン 750mm の 3 等分点 2 線荷重とした.

表 - 1 補強材の仕様

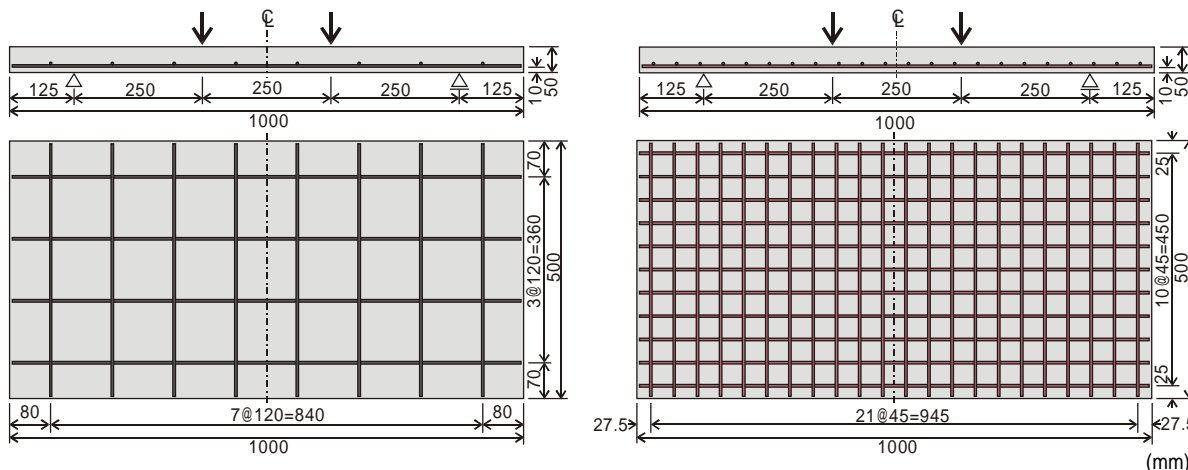
市販品 CFRP ロッド	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm^2)	最大荷重 (kN)	ヤング係数 (kN/mm^2)	単位質量 (g/m)
	6.2	30.1	54.0	91.4	44.5
UCAS ロッド	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm^2)	最大荷重 (kN)	ヤング係数 (kN/mm^2)	単位質量 (g/m)
	6.9	37.8	76.5	120	57.2
鉄筋	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)	単位質量 (g/m)
	6.4	31.7	368	200	249

市販品CFRPロッドおよびUCASロッドは試験値, 鉄筋はメーカー値を使用

表 - 2 供試体タイプ

補強材	供試体タイプ	板厚 h (mm)	配筋数 n (本)	配筋ピッチ p (mm)	コンクリート強度	
					f'_c (N/mm^2)	E (kN/mm^2)
市販品 CFRP ロッド	N30-4	30	4	120	53.9	33.2
	N50-4	50				
	N70-4	70				
	N30-8	30	8	60		
	N50-8	50				
	N70-8	70				
UCAS ロッド	U30-4	30	4	120	62.3	34.4
	U50-4	50				
鉄筋	RC30-4	30	7	70	57.3	30.6
	RC50-4	50	11	45		
	RC70-4	70	14	35		

f'_c : 圧縮強度, E : ヤング係数



(a) N50-4 および U50-4

(b) RC50-4

図 - 1 供試体構造図

(2) 耐力評価 耐力一覧表を表 - 3 に示す。ひび割れ発生荷重，最大荷重ともにいずれの供試体とも理論値とほぼ同じ値を示しており，CFRP ロッドを用いた薄肉コンクリート部材のひび割れ発生荷重および最大荷重の設計には，通常の曲げを受ける RC 部材の設計法が十分適用可能といえる。

せん断破壊荷重の算定についてもスレンダーな RC はりの実験式により算出可能である。試験結果より，せん断破壊を起こさない板厚の最大限界は 70mm 付近であることがわかった。

また，UCAS ロッドは市販品 CFRP ロッドと同じ配筋量で同等の最大耐力を発揮することができ，鉄筋は市販品 CFRP ロッドと同等の最大荷重を発揮するために，板厚 50mm の場合には，断面積で約 3 倍，質量で約 15 倍の配筋が必要であることがわかった。

(3) 変形性状 図 - 2 に N30 4 と U30 4 の荷重 - たわみ関係を示す。両者ともにひび割れ発生直後に急激な荷重の低下が見られた。これは板厚 30mm に対して有効高さが 17mm と極端に小さく，ひび割れ断面へ移行する際に補強筋に急激な負担がかかり，附着切れを起こしたためであると考えられる。

図 - 3 に N30 8 の荷重 - たわみ関係を示す。板厚 30mm であっても配筋数を 8 本にすれば，ひび割れ発生後の荷重の低下は見られず附着切れを起こすことなく理論値と同様の挙動を示した。

図 - 4 に N50 4 と U50 4 の荷重 - たわみ関係を示す。板厚 50mm では両者ともにひび割れ発生後に荷重が低下することはなく，理論値と同様の挙動を示した。

(4) 充填性およびひび割れ性状 曲げ破壊試験後に供試体をコンクリートカッターで切断し断面を観察したところ，空隙などは全く見られず，骨材も十分に詰まっております，充填性は良好であった。

全供試体ともにひび割れ分散性は良好で，表面が剥離するなどの現象も見られず，かぶり厚は十分であったといえる。

3. 結論

CFRP ロッドを用いた薄肉コンクリート部材の設計には変形性状，最大荷重ともに通常の RC 部材の弾性理論が適用可能である。ただし，配筋数 4 本(配筋ピッチ 120mm)の場合は，板厚の最小限界は 30~50mm の間にあり，板厚 30mm の場合は，配筋数の最小限界は 4~8 本(配筋ピッチ 60~120mm)の間にある。また，CFRP ロッドは降伏せずに破壊するために，鉄筋を用いたはりのような曲げ引張破壊ではなく脆性的な破壊をするので，実際に使用する際には注意する必要がある。今後の課題は，CFRP ロッドは鉄筋に比べて高強度であるため，ひびわれ発生荷重と最大荷重に開きがあり，ひびわれ発生荷重を増大させるために，プレストレスを導入した PC 板への適用を検討する必要がある。

表 - 3 耐力一覧表

供試体タイプ	ひび割れ発生荷重			最大荷重				破壊形態	
	試験値	理論値	試験値/理論値	試験値	理論値(曲げ破壊荷重)	試験値/理論値	理論値(せん断破壊荷重)		試験値/理論値
N30-4	2.16	1.98	1.09	9.37	10.3	0.91	33.8		曲げ
N50-4	5.72	5.55	1.03	40.3	36.1	1.12	52.9		曲げ
N70-4	11.8	10.9	1.08	68.5	71.7		70.7	0.97	せん断
N30-8	2.39	2.04	1.17	21.1	12.8	1.64	43.1		曲げ
N50-8	6.26	5.82	1.07	56.6	46.0	1.23	67.5		曲げ
N70-8	12.3	11.5	1.07	76.8	92.3		90.3	0.85	せん断
U30-4	3.36	2.18	1.54	11.2	12.0	0.94	38.2		曲げ
U50-4	7.88	6.17	1.28	42.3	42.5	0.99	59.9		曲げ
RC30-4	1.99	2.09	0.95	13.2	9.92	1.33	42.2		曲げ
RC50-4	6.08	6.28	0.97	44.4	35.0	1.27	76.9		曲げ
RC70-4	12.2	12.8	0.95	84.8	69.7	1.22	111		曲げ

各タイプ2体の平均

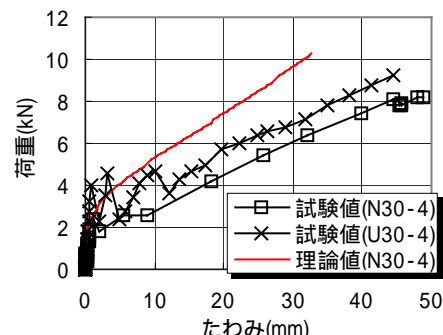


図 - 2 荷重 - たわみ関係(30-4)

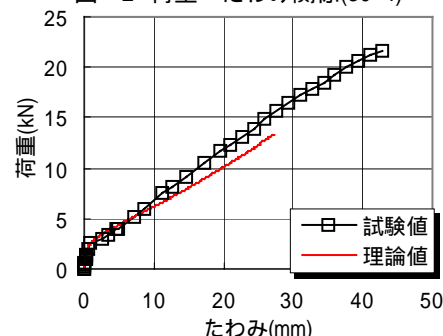


図 - 3 荷重 - たわみ関係(N30-8)

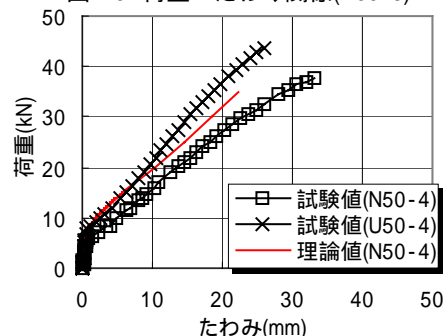


図 - 4 荷重 - たわみ関係(50-4)



写真 - 1 供試体切断面(N30-8)