鉄筋補強された超高強度繊維補強セメント系複合材料はり部材の曲げ挙動

東京工業大学大学院	学生員	掛井孝俊
東京工業大学大学院	学生員	村田裕志
太平洋セメント(株)	正会員	兵頭彦次
東京工業大学大学院	フェロー	二羽淳一郎

1. はじめに

本研究は、新しく開発された超高強度繊維補強セメント系複合材料(Ultra High Strength Fiber Reinforced) Cementitious Composites:以下 UFC と略記)の構造部材としての性質を把握することを目的として,鉄筋補 強された UFC はり部材の曲げ載荷試験を行った.また,破壊力学に基づく構造解析を行い UFC はり部材の 耐荷力や破壊挙動の推測を試みた.

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

UFC は,水,プレミックス(セメント,シリカフュー ム, 珪石微粉末), 鋼繊維(長さ15mm, 直径0.2mm, ス トレート繊維),高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系) から構成される.本研究では、表-1のように鋼繊維を 無混入 (NF), 単位体積あたり 2%混入 (FM2%) の 2 水 準とした.養生方法は、20℃湿潤養生を48時間行い、脱 型後,90℃で48時間の蒸気養生を行った。

2.2 供試体概要および実験方法

はり供試体は, NF でせん断補強を行ったもの(NF345), FM2%でせん断補強を行わないもの(FM345), FM2%で せん断補強を行わず,軸方向鉄筋の降伏強度と断面積を 増加させたもの(FM930)の3体とした(表-2).これ らは全て a/d=3.5 の同一の形状で断面は I 形とした(図 -1). 試験は静的単調載荷の4点曲げである.

3. 実験結果

図-2に荷重-たわみ関係を,表-3に実験結果を示す. NF345 と FM345 の破壊モードは、いずれも鉄筋降伏によ る曲げ引張破壊であった.また,軸方向鉄筋量が等しい にも拘わらず, FM345の耐荷力は NF345の約1.7 倍とな った. FM930の破壊モードは、せん断破壊することなく 上フランジ部が曲げ圧壊し,耐荷力は約350kNであった. 写真-1 にひび割れ性状を示す.繊維を混入した供試体 は,ひび割れ部での繊維の架橋効果によってひび割れが 分散し、ひび割れ幅が抑制されているのが確認された. このように、繊維補強された UFC を用いたはり部材は繊 維補強のないものと比較して、せん断に対する抵抗性が

表-1 示方配合

				単位量(kg/m ³)* ¹		
名称 W/C			プレミックス			高性能
- H (61	(%)	(%) 水*2	セメント	珪石微粉末, シリカフューム	鋼繊維	AE 減水剤
FM2%	22	180	818	1479	157	24
NF	22	180	818	1479	0	24

*¹NFは 0.98m³となる *²水は減水剤を含む

表-2 供試体概要

12日	試験体名称			
項目	NF345	FM345	FM930	
繊維混入率(%)	0	2.0		
軸方向鉄筋径(mm)	D13		D22	
軸方向鉄筋材質	SD345		SBPD930	
軸方向鉄筋断面積(mm ²)	380.1		774.2	
せん断補強鉄筋材質	SD295A	使用し	しない	
せん断補強鉄筋比(%)	2.11	0	0	
軸方向鉄筋比(%)	149 30		3 04	





	表-3	実験結果	
供試体名称	圧縮強度	終局荷重	破壊モード
	f'_{c} (N/mm ²)	P_u (kN)	収壊モート
FM930	219.9	346.3	曲げ圧縮破壊
FM345	224.3	141.9	曲げ引張破壊
NF345	209.4	85.2	曲げ引張破壊

キーワード:高強度セメント系材料,繊維補強, RC はり,曲げ試験,非線形有限要素解析 連絡先:〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL03-5734-2584 FAX03-5734-3577

高く曲げ耐荷力が増加すること、またひび割れ幅が抑制 されひび割れが分散することがわかった.これらのこと から、UFCを用いたはり部材はウェブ厚を薄くすること によって構造物の軽量化を可能とし、ひび割れ幅の抑制 により高い耐久性が期待できるといえる.

4. 破壊力学特性値を組み込んだ非線形有限要素解析

解析コード DIANA¹⁾を用いて2次元非線形有限要素解 析を行った. 図-3 に要素分割図を示す. UFC の圧縮構 成則はφ50×100mmの円柱供試体の一軸圧縮試験より得 張構成則は引張強度(=10MPa)までは弾性係数 50GPa の弾性体とし、ポストピークは切欠きはりの3点曲げ試 験から得られた引張軟化曲線(図-4b)のひび割れ幅を 要素幅で割ってひずみとした. 図-5 に荷重-たわみ関 係の解析結果および実験結果を示す. 両者の耐荷力は概 ね一致しており,破壊力学特性値を組み込んだ解析によ って、UFC はり部材の耐荷力を推定できることが示され た.一方、変形挙動は、FM930において若干乖離する結 果となった.これは、引張構成則における、ひび割れ幅 からひずみへの変換に起因しているものと思われる. す なわち本解析では,引張軟化曲線のひび割れ幅を平均要 素幅で割ることにより平均ひずみに変換しているが、実 際には多数のひび割れが試験体に発生している.つまり, 現実に1要素に多数のひび割れが入るような場合には, 解析上の仮定と異なるため,変形の予測精度が悪くなっ たものと考えられる.

5. 断面解析による終局曲げ耐荷力の算定

繊維が分担した引張応力を考慮し、断面解析によって、 終局曲げ耐荷力の算定を試みた. 圧縮応力分布は圧縮強 度 f_e'までを直線とした三角形の応力分布を仮定し、引張 応力分布は繊維の抵抗分を考慮して中立軸位置 x から有 効高さ d の距離まで一様に f_tで分布していると仮定した

(図-6). 算定結果を表-4 に示す. 以上の方法により 比較的妥当な範囲で終局曲げ耐荷力が算定できた.

6. 結論

1)鋼繊維を混入した UFC はり部材は,鋼繊維無混入の場合と比べ曲げ耐荷力が増加し,ひび割れが分散した.
2)破壊力学特性値を組み込んだ非線形有限要素解析によって,UFC はり部材の耐荷力を予測することができた.
3)繊維が分担する引張応力を考慮した断面解析を行うことで,UFC はり部材の終局曲げ耐荷力を概ね算定できた.
【参考文献】1)DIANA User's manual-Nonlinear Analysis



供試体名称	f_c ' (N/mm^2)	f_t (N/mm ²)	P _{exp} (kN)	P _{cal} (kN)	P_{exp}/P_{cal}
NF345	200	0	85.2	80.3	1.06
FM345	200	10	141.9	120.1	1.18
FM930	200	10	346.3	387.1	0.89

-360-