

# 連続繊維筋を主筋に用いたコンクリート部材の曲げ・付着性状に関する研究

豊橋技術科学大学建設工学教授 会員 角 徹三  
 豊橋技術科学大学建設工学大学院 会員 山下 恵康

## 1 はじめに

連続繊維は軽量かつ高強度、耐腐食性に優れているなどの特徴を持った材料であり、PC 橋の緊張材に頻繁に使用されている。このような材料をコンクリート構造物の補強材として用いる為の研究が近年進められている。本研究では芯材となる繊維に表皮材となる繊維を沿わせ、それをビニロン系で絞り込むことによって表面を異形化した連続繊維補強筋(以下連続繊維筋)を、曲げ補強材に用いたコンクリート梁の単調及び繰り返し載荷試験を行い、梁部材の単調載荷曲げ、付着性状及び繰り返し性状について考察した。

## 2 使用材料

表1に主筋の材料特性及び詳細を、表2に使用したコンクリートの配合と強度を示す。括弧内は1999年に実施された引張試験結果を示す。図1に主筋の応力度 - 歪度関係を示す。本実験で用いた連続繊維筋の強度は、炭素繊維が1859N/mm<sup>2</sup>、ガラス繊維が775N/mm<sup>2</sup>であった。本研究では比較用鉄筋として強度をより連続繊維筋に近づける為高強度異形鉄筋(以下高強度鉄筋)を用いた。図1より、連続繊維筋は鉄筋と違い降伏域を持たない完全弾性・脆性材料であることを確認した。

## 3 実験概要

図2、表3に試験体詳細及び試験結果を示す。試験体は幅130mm、梁成230mm、長さ1900mmで計8体であり、そのうちの6体は図2の(a)のように、主筋に炭素繊維、ガラス繊維、そして比較の為、高強度鉄筋を用いて、曲げスパン内の単調及び正負繰り返し載荷における曲げ性状を検討する試験体とした。残りは、主筋に炭素を用い、はね出し部の付着性状を検討するため、図2の(b)、(c)のように下端筋の定着長さを低減させ、はね出し部の横補強筋を配さない試験体とした。載荷方法は対称3分点載荷とし、曲げスパン400mm、せん断スパン550mm跳ね出し部の長さ200mmとした。試験体の引張鉄筋比、横補強筋比は全て一様にした。

## 4 実験結果

表3より、はね出し部の定着長さが200mmの試験体はいずれの試験体も曲げ破壊し、コンクリートの圧壊、主筋の破断によって部材耐力が決まった。また正負繰り返しによる著しい耐力の低下は見られなかった。定着長さを低減させてある試験体はいずれも部材の被りが剥離する付着割裂破壊を起こした。

表1 主筋の材料特性

種類	炭素	ガラス	普通異形鉄筋	高強度異形鉄筋	横補強筋
記号	CF-D-10-W	GF-D-10-W	S-D-10	HS-D-10	S- -6
直径 (mm)	10.56	10.54	9.53	9.53	6.00
断面積 (mm <sup>2</sup> )	87.6	87.3	71.3	71.3	28.3
弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )	196(162)	54(68)	185	193	231
降伏点強度(N/mm <sup>2</sup> )			352	694	520(520)
引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	1859(1209)	775(888)	513	930	644(633)
繊維含有率 (vol%)	57.2	66.5			
節間隔 (mm)	6	6	9	9	
繊維一本当たり	直径(μm)	7	10		
	密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.51	2.07		
	引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	3432	3432		
	弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )	235	72		

表2 コンクリートの配合及び圧縮強度

最大粒径 (mm)	W/C (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位粗骨材量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位細骨材量 (kg/m <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
20	49.0	178	364	924	841	41.6

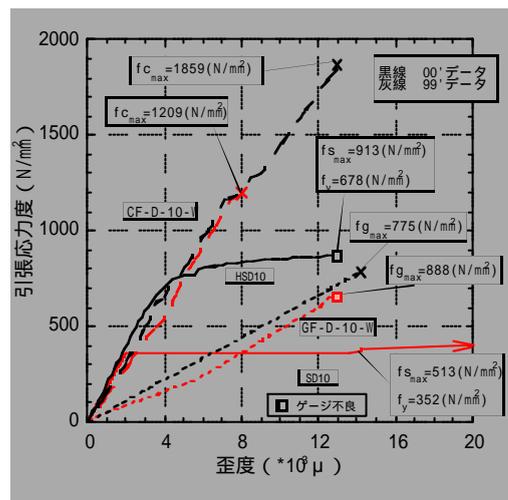


図1 主筋の引張応力度 - 歪度関係

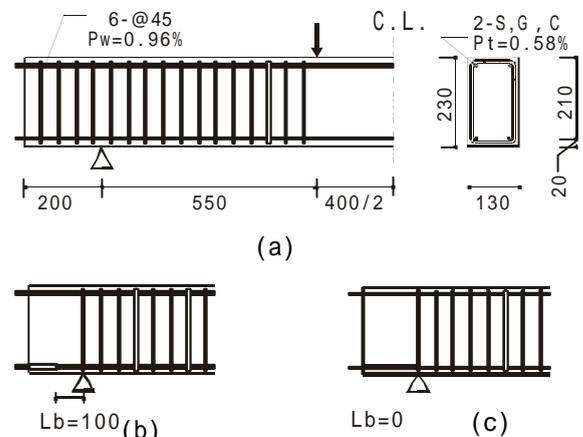


図2 試験体詳細

キーワード: 連続繊維筋、単調載荷試験、繰り返し載荷試験、曲げ破壊、付着割裂破壊

441-8580 天伯町雲雀ヶ丘1-1 豊橋技術科学大学建設工学専攻 TEL 0532-47-0111内線5611 FAX 47-6831

4.1 跳ね出し部の付着性状

図3にせん断力 - 支点位置下端筋付着応力度関係を示す。この図は定着長さを低減した試験体と比較の為のC200をプロットしてある。構造力学上の考えでは、支点位置曲げモーメントはゼロであり、下端筋に働く応力もゼロのはずであるが、実際にはトラス理論により下端筋に引張応力度が生じ、それに伴ってコンクリートと下端筋の表面に付着応力度が生じる。図よりせん断力が約25kNから付着応力度が生じ始めその後は一定の傾きで連続的に増加していく傾向にある。C0は定着長さを低減したことによる耐力低下が見られた。C100はC200とほぼ同じ耐力であったが、破壊形式が付着割裂破壊とより脆性的な破壊になった。藤井・森田式( $f_b = f_{co} + f_{st}$ )とC200を比較すると付着割裂破壊するにはまだ余裕があり、付着割裂耐力に達する前に曲げ耐力に達した事が言える。計算値との相関は良好であると考えられる。一方藤井・森田式( $f_b = f_{co}$ )とC100では平面保持の仮定による曲げ耐力に達する前に $f_{bcal} = 4.49N/mm^2$ を超え $f_{bexp} = 5.90N/mm^2$ で付着割裂破壊を起こした。またその比率は約1.3であることから安全側であることがわかる。

4.2 繰り返し性状

図4に単調荷重における曲げモーメント - 曲率関係、図5に荷重 - 中央たわみ関係、図6に荷重 - 中央位置主筋歪度関係を示す。図6は炭素繊維のみを示す。繰り返し荷重のルールは、単調荷重試験によって確認された曲げ耐力の30%、60%、90%をそれぞれ2回正負繰り返しした。図4より曲げひび割れ後は各主筋の弾性係数に依存した曲げ剛性になっており、図5より正負繰り返しにおいても同様なことが言える。また、エネルギー吸収量を比較すると炭素繊維は鉄筋の約2/3、ガラス繊維は約1/10程度と鉄筋には劣る。しかし、除荷後の残留変形は非常に小さいことから、地震後の補修の面で有利であると考えられる。非等方・非等質性材料である連続繊維筋は圧縮応力を受けると結合材である樹脂が繊維から剥離し材料の引張強度が低下する可能性がある。従って正負繰り返しによる部材耐力の低下が考えられる。図6より同一の連続繊維筋が負担する正荷重時と負荷重時の圧縮、引張歪を比較すると圧縮歪はごくわずかであり、耐力も単調荷重時と変わらないことから、圧縮力負担履歴による材料の引張強度低下はなかったと考えられる。

5 結論

- 1) 連続繊維コンクリート部材の曲げ変形量は、引張強度が限界に達していなければ、良好な復元特性を示す。
- 2) 跳ね出しの定着長さを低減すると脆性的な破壊となり、耐力も低下する。
- 3) 正負繰り返し荷重による耐力の低下は見られなかった。
- 4) 連続繊維筋が負担する負荷重時と正荷重時の圧縮、引張歪を比較すると圧縮歪はごくわずかであり圧縮力負担履歴による引張強度の低下は見られなかった。

表3 試験結果及び試験体詳細

試験体名 <sup>1)</sup>	ひび割れ発生 せん断力 (kN)	最大 せん断力 (kN)	破壊形式	主筋		横補強筋	
				配筋	$\rho$ (%)	配筋	$\rho_v$ (%)
S200	9.8	53.1	主筋破断	4-HSD10	0.52	S 6 @45	0.96
G200	2.9	49.7	主筋破断	2-GF-D-10-W	0.58		
C200	6.9	86.9	コンクリート圧壊 付着割裂破壊	2-CF-D-10-W			
C100	5.9	83.9	付着割裂破壊	2-CF-D-10-W			
C0	6.9	58.9	付着割裂破壊	2-HSD10	0.52		
RS200	8.5(5.0) <sup>2)</sup>	54.0	コンクリート圧壊	2-HSD10	0.58		
RG200	8.0(2.0)	49.5	主筋破断	2-GF-D-10-W			
RC200	7.0(5.0)	86.5	コンクリート圧壊	2-CF-D-10-W			

1) R:正負繰り返し S:鉄筋 C:炭素 G:ガラス 数字:定着をmmで示す。  
2) 負荷荷時を示す。

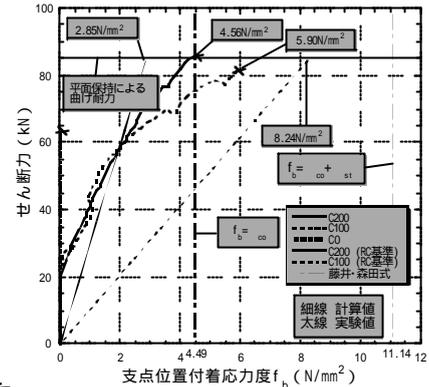


図3 せん断力 - 付着応力度関係

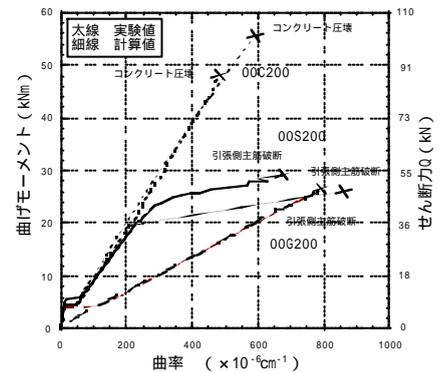


図4 曲げモーメント - 曲率関係

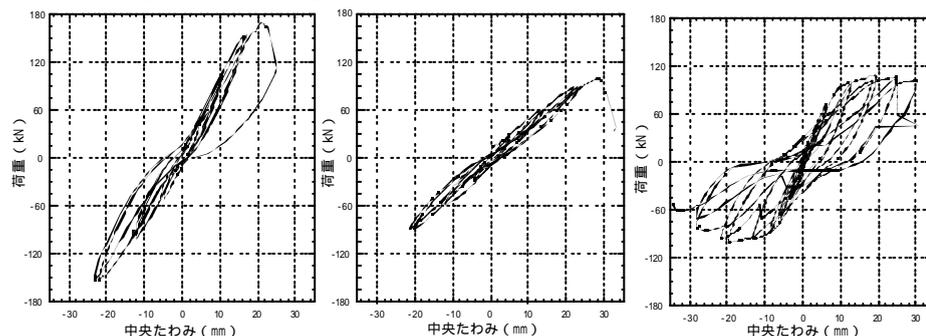


図5 荷重 - 中央たわみ関係 (左:炭素 中:ガラス 右:鉄筋)

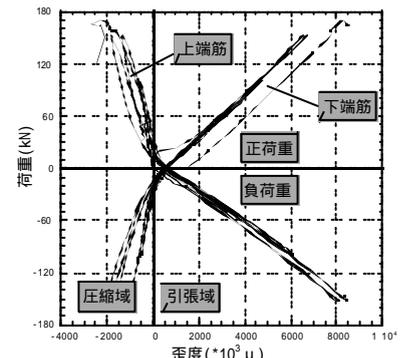


図6 荷重 - 中央位置歪度関係