

報告

[2136] 長繊維補強材を用いたRC梁の曲げ性状に関する実験的研究

正会員 松崎育弘 (東京理科大学建築学科)

正会員 中野克彦 (東京理科大学建築学科)

正会員 河合幹太 (東京理科大学大学院)

1. はじめに

新素材 (アラミド繊維や炭素繊維、ガラス繊維) をマトリックス材である樹脂で硬化せしめた長繊維補強材を鉄筋の代替材として、コンクリート系構造に利用して行く際の構造性能評価手法をまとめるための一連の研究が進められている。

本研究は、長繊維補強材を梁部材の主筋に使用した場合の曲げ性状の把握と、その評価方法を明らかにすることを目的としている。ここでは特に部材実験を行い、その結果より従来の鉄筋コンクリート構造に用いる手法の適用性について検討することにした。

2. 実験概要

2-1. 新素材の評価法

本研究においては、メーカー提示の外径を有する一様な円断面として扱い材料特性、および引張主筋比  $P_t$  を求めた。尚、伸びの測定は試験部分の中央200mm間を電気式変位計を用い行った。

2-2. 試験体

試験体形状を図1に、試験体一覧を表1に示す。断面  $b \times D = 20 \times 30$  (cm)、支持スパン 240 (cm)、純曲げ区間 60 (cm)、せん断スパン比  $a/D = 3.0$  の試験体である。既往の研究において新素材を主筋に用いた梁部材は、普通鉄筋を用いた場合に比べ低補強であったが [1] [2]、本実験では高補強の試験体を加えた。主筋はアラミド繊維と炭素繊維を組紐状に成形し、樹脂含有率40%で表面に砂を接着したもの、炭素繊維とガラス繊維を螺旋糸巻状に成形し、樹脂含有率50

表1 試験体一覧

試験体名	主筋種類	主筋形状	主筋径一本数	$P_t$ (%)	$c \sigma_B$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\frac{P_t \cdot s \cdot \sigma_u}{c \sigma_B}$
AK-0.28-300	アラミド	組紐砂付き	8φ-3	0.28	300	0.13
AK-0.28-780	アラミド	組紐砂付き	8φ-3	0.28	780	0.05
AK-0.81-300	アラミド	組紐砂付き	8φ-8	0.81	300	0.37
AK-1.82-300	アラミド	組紐砂付き	12φ-8	1.82	300	0.83
AK-3.23-300	アラミド	組紐砂付き	16φ-8	3.23	300	1.47
AK-0.81-780	アラミド	組紐砂付き	8φ-8	0.81	780	0.14
CK-0.81-300	炭素	組紐砂付き	8φ-8	0.81	300	0.37
CK-0.81-780	炭素	組紐砂付き	8φ-8	0.81	780	0.14
CR-1.26-780	炭素	螺旋砂無し	10φ-8	1.26	780	0.22
GR-1.26-780	ガラス	螺旋砂無し	10φ-8	1.26	780	0.16
SD-3.20-300	SD30	異形鉄筋	D16-8	3.20	300	0.38
SD-1.14-300	SD30	異形鉄筋	D10-8	1.14	300	0.12

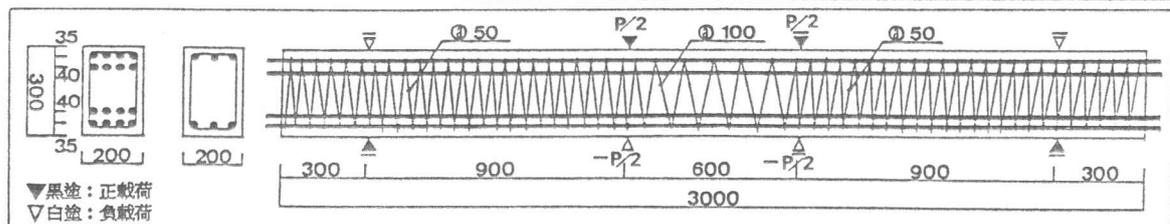


図1 試験体形状

%のもの、及び異形鉄筋を用いその材料特性を表2に示す。せん断補強筋は、主筋に新素材を用いた試験体では組紐状アラミド繊維をスパイラル状に成形したものを使用し、異形鉄筋を用いた試験体では135度フック付閉鎖型のものを使用した。尚、せん断補強筋ピッチは純曲げ部を10cm、せん断スパン部を5cmと曲げ破壊が先行する様、密に配筋し、これを共通要因とした。変動要因は主筋種類、引張主筋比 $P_t$ 、コンクリート強度 $c\sigma_B$ の3要因である。尚、コンクリート材料試験結果を表3に示す。配筋は $P_t = 0.28\%$ の試験体のみ一段配筋とし、他の試験体はすべて二段配筋であり、圧縮筋は引張筋と同様に配筋した。

### 2-3. 加力及び測定方法

加力は単純梁形式の2点集中とし正負交番繰返しを行った。載荷履歴は荷重制御により、+3ないし、+4サイクルまで行い主筋破断、もしくは限界変形を確認するまでとした。測定は、荷重をロードセル、変位を電気式変位計、補強筋のひずみを検長1mmのf. s. gで行なった。

### 3. 実験結果および検討

#### 3-1. 破壊性状

図2にAK-0.28-780, AK-0.81-300, SD-1.14-300の試験体における最終破壊性状を示す。CR-1.26-780の試験体はせん断破壊したが他の試験体はすべて曲げ破壊し、コンクリート圧壊先行型、主筋破断先行型（異形鉄筋は引張降伏）の2つの破壊モードが見られた。図3にコンクリート圧壊先行型AK-0.81-300の試験体における荷重-たわみ曲線を示す。主筋に降伏という性状を持たない新素材を用いてもコンクリート圧壊により限界変形時まで主筋破断を起こすことなく梁部材としてのじん性能を持たせることができた。試験体は複筋比 $\gamma = 1.0$ の試験体であることから圧縮筋も十分有効に効いていることを示している。

ひび割れ経過は、主筋に異形鉄筋を用いた試験体は純曲げ区間においてほぼせん断補強筋ピッチ間隔で発生したが、 $P_t = 0.81\%$ 以上有する新素材を主筋に用いた試験体は、そのせん断補強筋ピッチ間隔で発生したひび割れ間にも新たなひび割れが見られ、ひび割れが分散した。

次に新素材を主筋に用いた試験体において表1に示す補強係数として $P_t \cdot s\sigma_u / c\sigma_B$  ( $s\sigma_u$ : 主筋引張強度)を用い破壊モードを分類してみると、コンクリート圧壊先行型と主筋破断先行型の境界値は0.14程度となった。

表2 主筋材料特性

	引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
組紐アラミド	13670	$0.51 \times 10^6$	2.53
組紐炭素	14850	$1.1 \times 10^6$	1.32
螺旋炭素	10630	$0.86 \times 10^6$	1.24
螺旋ガラス	8940	$0.34 \times 10^6$	2.62
D16	3600 *	$1.81 \times 10^6$	0.195 *
D10	3460 *	$1.74 \times 10^6$	0.200 *

\*降伏時を表す

表3 コンクリート材料試験結果

圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kg/cm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (%)
300	$2.13 \times 10^6$	0.22
780	$3.83 \times 10^6$	0.26

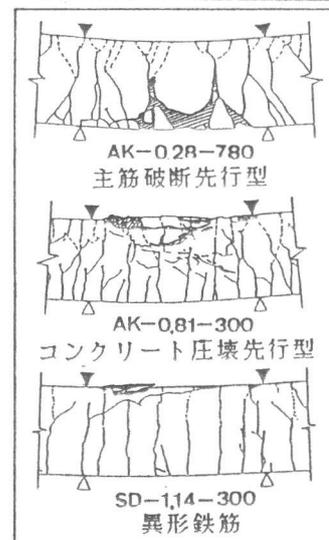


図2 最終破壊性状

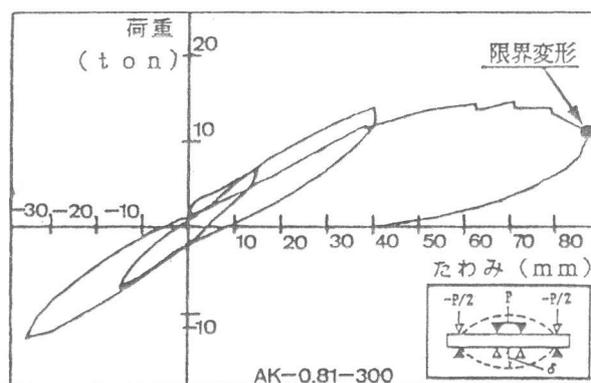


図3 荷重-たわみ曲線

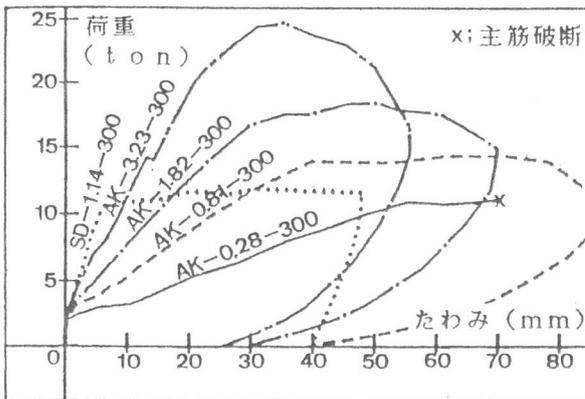


図4 荷重-たわみ包絡線 要因 Pt

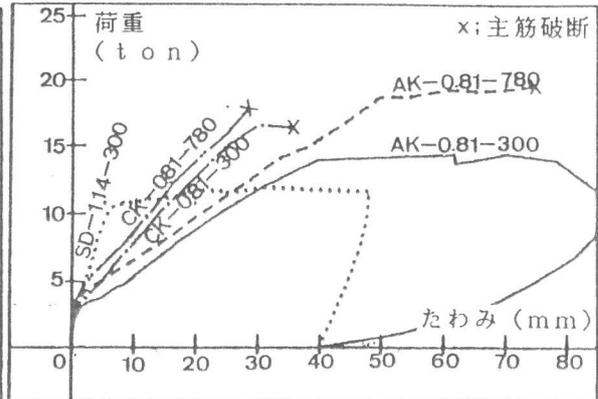


図5 荷重-たわみ包絡線 要因 主筋種類, cσB

### 3-2. 変形性状

図4に引張主筋比Ptを、図5に主筋種類、およびコンクリート強度を要因とする荷重-たわみ関係の包絡線を示す。曲げ初ひび割れ後の剛性については、主筋に組紐アラミド繊維を用いPt=0.28, 0.81, 1.82, 3.23% と上昇させることにより顕著な剛性の上昇が見られた。また、Ptを共通とし、主筋ヤング係数Eを  $0.6 \times 10^6$  から  $1.0 \times 10^6$  と高くすることによっても剛性の上昇が見られた。しかし、コンクリート強度の違いによる剛性への影響は顕著には見られなかった。図6に曲げ初ひび割れ後の剛性KとPt・E関係を示す。新素材を用いた試験体のK-Pt・E関係は

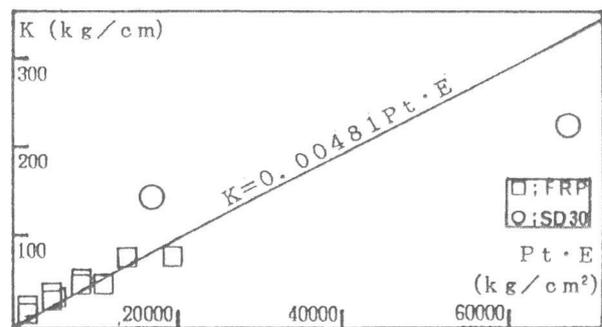


図6 剛性 K - 引張主筋比 Pt × ヤング係数 E 関係

$$K = 0.00481 Pt \cdot E \quad (1)$$

という比例式を回帰計算により得られた。これより、梁部材の断面を決めることにより曲げひび割れ発生以後の剛性をコントロールできる。

### 3-3. ひずみ性状

図7にAK-1.82-300 および CK-0.81-780 の試験体の純曲げ区間における部材切断面の主筋ひずみ度分布を示す。これは、各サイクルの折り返し時、および最大耐力時の主筋に貼付したゲージの出力を結んだものである。ほぼ直線的に分布していることから平面保持が成立しており、新素材とコンクリート間の付着が良好であると言える。

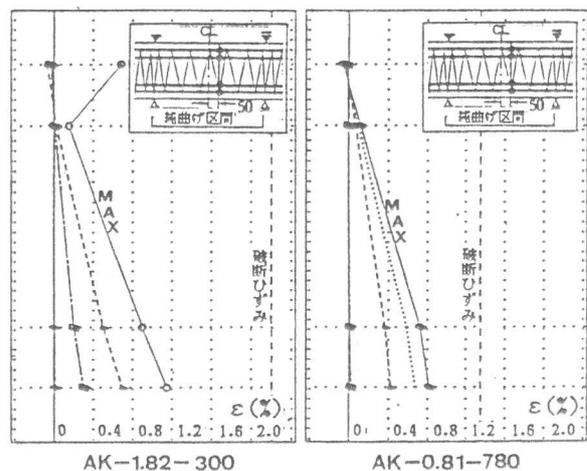


図7 主筋ひずみ度分布

### 3-4. 実験値・計算値関係

表4に実験結果、および計算値一覧を示す。

計算値①、②共に部材断面に平面保持が成立しコンクリート終局ひずみを0.35% [3] という仮定を用い曲げ終局強度を計算した。計算値①は圧縮側コンクリートのストレスブロックを長方形として扱い、簡略的に求めた値であり [4]、計算値②はe関数法を用い断面の釣合を反復計算により求めた値である。計算値①、②における耐力の差は殆ど見られず破壊モードもほぼ一致した。計算値と実験値の対応を見ると、耐力については主筋に新素材を用いた試験体は計算値を下回ったが、破壊モードについてはせん断破壊したCR-1.26-780 の試験体を除きほぼ一致し、良好な対応を示した。

次に、図8に AK-0.81-300 および CK-0.81-780 の試験体の主筋上端、下端に貼付したゲージより平面保持を仮定して求めた実験値の曲げモーメント-曲率関係と計算値②の手法より求めた関係との比較を示す。曲げ初ひび割れ後の剛性は良好な対応を見せている。これより、曲げ性状の詳細は、破壊モードも含め従来の鉄筋コンクリート部材に用いる手法で対応できることが明らかとなった。

#### 4. まとめ

- 1) 新素材を用いた梁部材として比較的主筋量の多い試験体においても既往の計算手法により設計可能である。
- 2) 降伏という性状にを持たない新素材を主筋に用いた場合においてコンクリート圧壊により梁部材としてのじん性能を持たせることが可能である。
- 3) 本実験における主筋に新素材を用いた梁部材において、補強係数として  $Pt \cdot s \sigma_u / c \sigma_B$  を用いることで、コンクリート圧壊先行型、主筋破断先行型の破壊モードを設計でき、その境界値は0.14となった。
- 4) 本実験における主筋に新素材を用いた梁部材において、曲げ初ひび割れ後の剛性を(1)式  $K=0.00481 \cdot Pt \cdot E$  で表すことが出来た。

【謝辞】本研究は建設省新素材総プロ長繊維補強コンクリートWG(委員長:園部泰寿筑波大学教授)の一環として行なったものである。本研究の実施に際し平成3年度本学卒論生の梅林一貴君の協力を得ました。ここに謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 岡本、遠藤、松原、谷垣「アラミド繊維による組紐状棒材を用いたPRCはりの曲げ性状」コンクリート工学年次論文報告集 NO.10-2,1988,PP671-676
- 2) 永坂、近藤「組紐状炭素繊維棒材で補強されたコンクリート梁の曲げ挙動に関する実験研究」コンクリート工学年次論文報告集 NO.12-1,1990,PP1105-1110
- 3) 武藤清「耐震設計シリーズ2 鉄筋コンクリート構造物の塑性設計」PP41-65
- 4) 日本建築学会 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」1988 付20 PP600-606

表4 実験結果および計算値一覧

試験体名	計算値 (ton)	解析値 (ton)	実験値 (ton)	破壊モード		
				計算①	計算②	実験
AK-0.28-300	10.5	11.2	10.9	圧壊	圧壊	圧壊後破断
AK-0.28-780	11.5	11.7	13.1	圧壊	破断	破断
AK-0.81-300	14.3	14.6	12.9	圧壊	圧壊	圧壊
AK-1.82-300	20.7	20.8	17.6	圧壊	圧壊	圧壊
AK-3.23-300	27.0	27.3	23.0	圧壊	圧壊	圧壊
AK-0.81-780	24.7	25.3	18.7	圧壊	圧壊	圧壊後破断
CK-0.81-300	18.0	18.0	16.6	圧壊	圧壊	圧壊後破断
CK-0.81-780	27.6	25.5	19.6	圧壊	破断	破断
CR-1.26-780	38.7	34.2	30.4	圧壊	破断	せん断破壊
GR-1.26-780	16.6	25.8	17.9	圧壊	圧壊	圧壊後破断
SD-3.20-300	24.6	23.2	26.4	降伏	降伏	降伏後圧壊
SD-1.14-300	10.5	8.7	10.3	降伏	降伏	降伏後圧壊

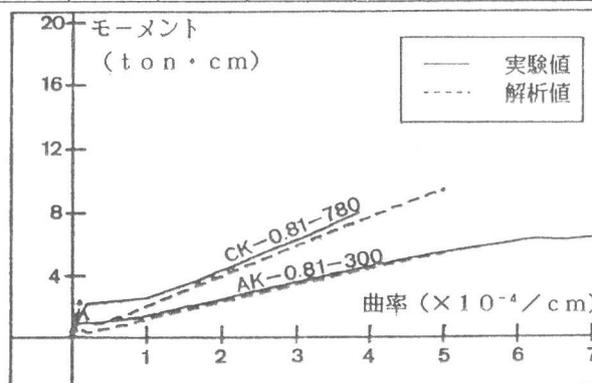


図8 モーメント-曲率関係