

論文

[2127] アラミド繊維巻付けによる既存 RC 柱のせん断補強

小田 稔<sup>\*1</sup>・岡本 直<sup>\*2</sup>・山中 久幸<sup>\*3</sup>・浅倉 晃<sup>\*4</sup>

1. はじめに

既存鉄筋コンクリート造柱のせん断補強としては、溶接金網とモルタル、あるいは鋼板、帯板を用いる方法がある [1]。また、高強度繊維を柱に巻付ける方法も提案されており、これまでに炭素繊維を用いた補強方法の効果が確認されている [2]。この補強方法は、繊維の持つ高強度、軽量、高耐久性などの材料の特性を生かして、補強効果が高く、施工性にも優れるといった利点をねらうものである。本論文は、アラミド繊維をせん断補強に用いる工法に関して、その効果を把握するために行った基礎的実験の結果について述べるものである。

2. 実験計画

2. 1 巻付け繊維材料

実験に用いた巻付け補強材料は、「平織り」、「UDテープ」（写真1）および「シート」の3種類の繊維材料である。平織りはアラミド繊維を組紐状に編んだもので幅約2cm、UDテープは軸方向にアラミド繊維を、軸直交方向にガラス繊維を用いたテープ状の織物で幅約7.5cm、シートはアラミド繊維を縦横に布状に織ったものである。平織り、UDテープの断面あたりの繊維量は同一で307,200デニール（1デニール=1g/9000m）、シートは1cm幅あたり7,630デニールである。

表1に、補強材料の材料特性を示す。実験値は、平織りをエポキシ樹脂で含浸し硬化させたものの試験結果である。

2. 2 試験体

表2に試験体一覧を示す。試験体は、既存RC部のせん断補強量、補強材料の種類、巻付け補強量をパラメータとする合計8体である。

既存RC部は、図1に示すような正方形断面の片持ち部材で、せん断補強量の異なるAタイプ ( $p_w=0.26\%$ ) とBタイプ ( $p_w=0.06\%$ )

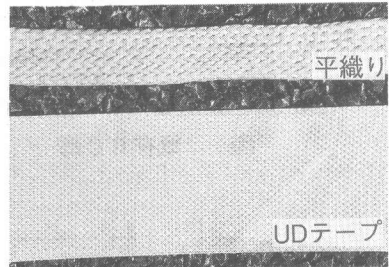


写真1 補強材料

表1 補強材料の特性

	引張耐力	断面積	ヤング率
平織り	5.58ton	0.345cm <sup>2</sup>	0.6×10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>

表2 試験体一覧

試験体	既存RC部		補強材の種類	補強量
	曲げ補強筋	せん断補強筋		
A-0		D6@100	なし	—
ABS-15		$p_w=0.256\%$	平織り	@150
B-0			なし	—
BBS-15	4-D16 Pt=1.27%	$\phi 3@100$ $p_w=0.056\%$	平織り	@150
BBS-10				@100
BBS-5				@50
BF-10			UDテープ	@100 <sup>*1</sup>
BS-10			シート	全面 <sup>*1</sup>

\*1: BBS-10と同繊維量

\* 1 三井建設 (株) 技術開発本部技術研究所 (正会員)  
 \* 2 三井建設 (株) 技術開発本部技術開発推進部主席研究員 (正会員)  
 \* 3 三井建設 (株) 技術開発本部技術研究所主任研究員  
 \* 4 ショーボンド建設 (株) 建築事業部技術部

表3 鉄筋材料試験結果

使用箇所	種類	降伏強度 kg/cm <sup>2</sup>	引張強度 kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 ×10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup>
曲げ補強筋	D16	4535	6350	1.77
せん断補強筋	D6	3575	5157	1.80
	φ3	6040	6523	2.08

表4 コンクリート材料試験結果

材令 (日)	圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	割裂強度 kg/cm <sup>2</sup>
1 4	303	2.83	19.9
2 1	317	2.89	27.1
3 2	330	2.88	31.1

表5 試験体の計算耐力

タイプ	試験体名	既存RC部			補強部材			
		cQm (ton)	cQs (ton)	cQs/cQm	f <sub>pw</sub> (%)	f <sub>pw</sub> f <sub>σwy</sub>	cQsf (ton)	cQsf/cQm
A	A-0	10.1	10.1	0.93	0.00	0.00	10.1	0.93
	ABS-15				0.10	9.92	11.8	1.09
B	B-0	10.9	8.6	0.79	0.00	0.00	8.6	0.79
	BBS-15				0.10	9.92	10.9	1.00
	BBS-10				0.14	14.88	11.7	1.08
	BBS-5				0.28	29.76	13.6	1.25
	BF-10				0.15	14.88	11.7	1.08
	BS-10				0.15	14.88	11.7	1.08

【記号説明】

cQm:既存RC部曲げ耐力      cQs:既存RC部せん断耐力

cQsf:巻付け補強後せん断耐力

f<sub>pw</sub>:巻付け繊維換算せん断補強筋比 (f<sub>pw</sub>=1/2·f<sub>pw'</sub>)

f<sub>σwy</sub>:巻付け繊維の引張強度 (f<sub>σwy</sub>=2/3f<sub>σwy'</sub>)

f<sub>pw'</sub>:巻付け繊維せん断補強筋比

f<sub>σwy'</sub>:繊維直線部の引張強度

p<sub>w'</sub>:既存RC部せん断補強筋比

σ<sub>wy'</sub>:既存RC部せん断補強筋引張強度

注) コンクリート設計基準強度はF<sub>c</sub>=300kg/cm<sup>2</sup>とした

曲げ耐力 : cQm=0.9·a<sub>t</sub>·σ<sub>y</sub>·d/a

せん断耐力 :

$$cQ_s = \left\{ \frac{0.068p_t^{0.23}(180+F_c)}{M_{Qd}+0.12} + 2.7\sqrt{f_{pw}\sigma_{wy}} \right\} b_j$$

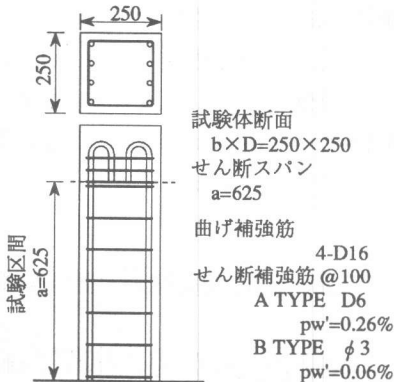


図1 既存RC部

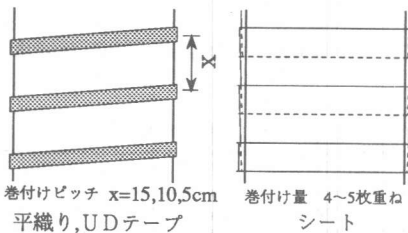


図2 巻付け状況

の2種類である。使用したコンクリートおよび鉄筋の材料特性を表3, 4に示す。

試験体の種類は、Aタイプについては補強なしと平織りを15cmピッチで巻付けた計2体である。Bタイプについては、補強なしと平織りを15,10,5cmピッチで、UDテープを10cmピッチで巻付けたもの、およびシートを平織り10cmピッチで補強したBBS-10と同繊維量となるように補強したものの計6体である。

柱への巻付けは、常温硬化型エポキシ樹脂（以下樹脂とする）を柱表面に塗り、補強材料を巻付け、その上から樹脂を含浸させる方法で行った。なお、柱コーナー部に面取り等の処理は行っていない。図2は巻付け状況を示したもので、平織りおよびUDテープはスパイラル状に、シートは幅16cmのものを相互に4～5層重ねあわせて貼り付けられている。

### 2.3 試験体計算耐力

表5に各試験体の耐力の計算値を示す。

既存RC部において、Aタイプは、せん断耐力(cQs)と曲げ耐力(cQm)がほぼ同程度(せん断余裕度 cQs/cQm=0.93)で、Bタイプはせん断破壊が先行する(cQs/cQm=0.79)ように設計した。せ

せん断耐力は、荒川mean式 [4] を用いている。

補強後のせん断耐力は、せん断補強筋量を (1) 式で評価し、荒川mean式を用いて算出した。繊維の換算せん断補強筋比 $fpw'$ については、これまでに鉄筋と繊維のヤング係数比 $Ef/Es$ を用いて繊維のせん断補強筋比 $fpw$ を修正する方法がいくつか提案されている。ここでは、文献 [5] に示されているように、 $Ef/Es$ の平方根 ( $\sqrt{Ef/Es} \approx 1/2$ ) を用いて (2) 式のように $fpw$ を求めることとした。引張強度 $f\sigma_{wy}$ は、コーナー部での耐力低下 [6] を考慮して (3) 式で評価した。なお、繊維直線部の引張強度 $f\sigma_{wy}'$ は、表 1 に示す平織りを用いた。

$$pw \cdot \sigma_{wy} = pw' \cdot \sigma_{wy}' + fpw \cdot f\sigma_{wy} \quad - (1)$$

$$fpw = 1/2 \cdot fpw' \quad - (2)$$

$$f\sigma_{wy} = 2/3 \cdot f\sigma_{wy}' \quad - (3)$$

## 2. 4 実験方法

図 3 に加力装置を示す。加力には、油圧ジャッキを用い、柱の頂部に正負交番繰返し载荷を加えた。加力ルールは、表 6 に示す通りである。

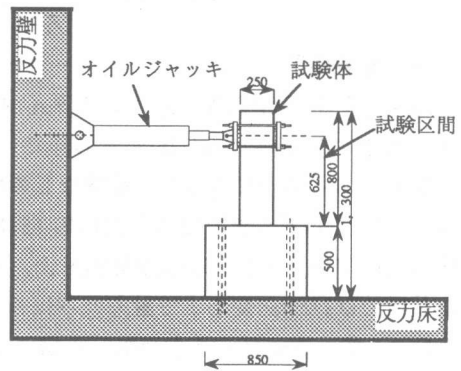


図 3 加力装置

表 6 加力ルール

	1	2	3	4	5	6	7
変形角 (rad)	1/400	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/25
変形 (mm)	1.56	3.13	4.17	6.25	8.33	12.5	25.0

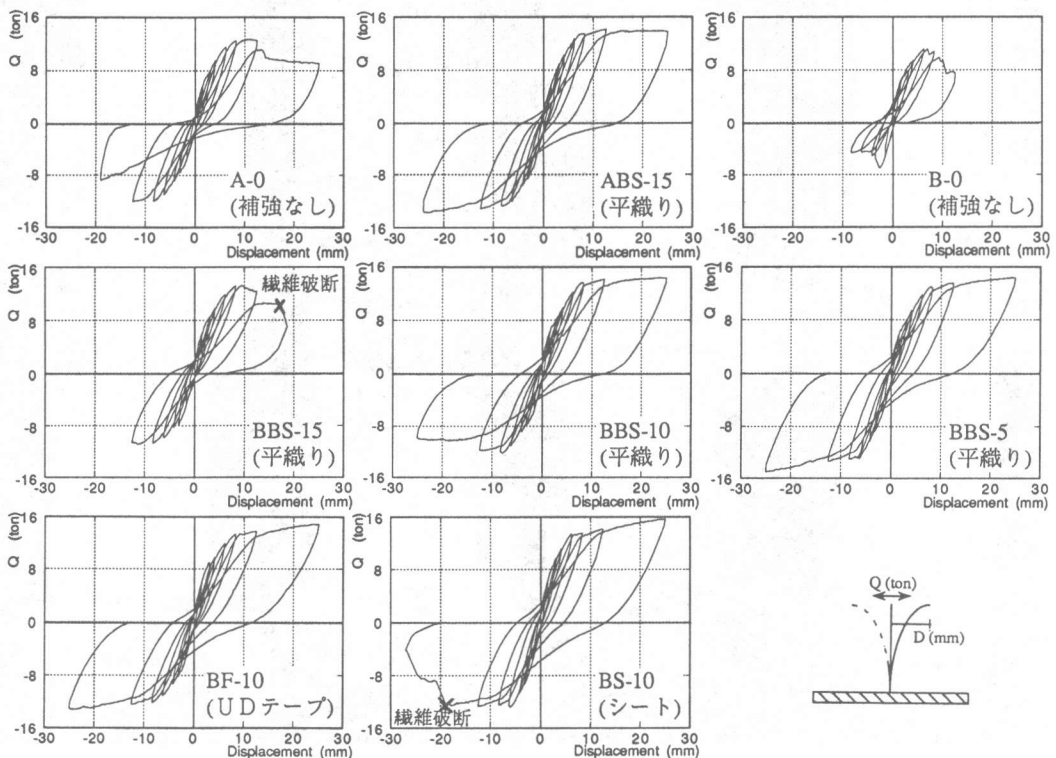


図 4 荷重-変形関係

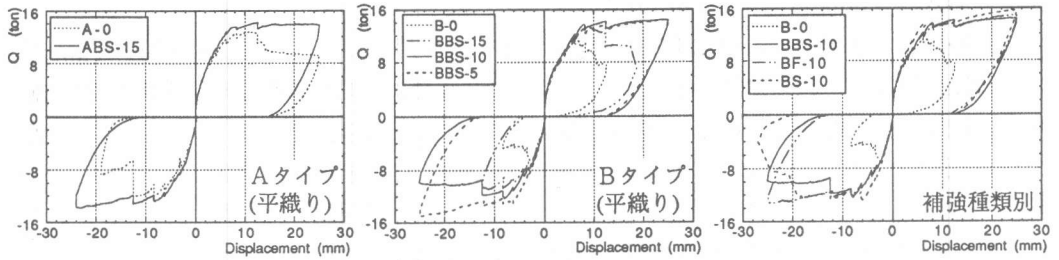


図5 荷重—変形包絡線

### 3. 実験結果

図4に荷重—変形関係を示す。Aタイプでは、補強なしのA-0は曲げ降伏後せん断破壊したが、補強したABS-15は1/25rad変形時でも耐力低下はみられなかった。

Bタイプについて見ると、補強なしのB-0はせん断破壊しているが、平織りで補強した試験体では、15cmピッチで補強したBBS-15は、曲げ降伏後せん断破壊して耐力が低下し、1/36rad変形時にコーナー部で繊維が破断した。10cmピッチで補強したBBS-10は、曲げ降伏破壊で、正載荷では1/25rad変形まで耐力低下はみられなかったが、負載荷の最終サイクルでは若干耐力が低下した。5cmピッチで補強したBBS-5は、最終サイクルまで耐力低下がみられず曲げ降伏破壊した。

UDテープで補強したBF-10は、最終サイクルまで耐力が低下することなく曲げ降伏破壊している。シートで補強したBS-10は、正載荷ではBBS-10、BF-10と同様な性状を示したが、負載荷では1/33rad変形時にコーナー部の繊維が破断し、耐力が落ちている。

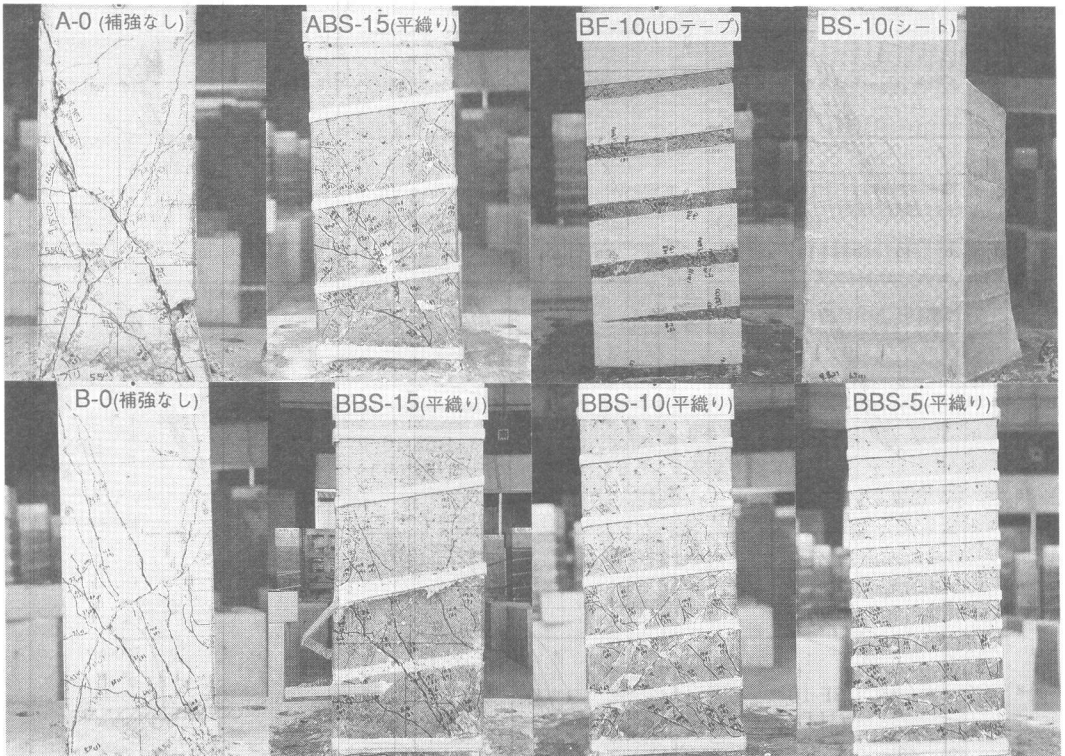


写真2 破壊状況

図5に平織りで補強したA, Bタイプ、および補強材料の種類別の包絡線を示す。平織りで補強したA, Bタイプの包絡線は、補強量の増加に伴って最大耐力が上がり、変形性能が増していることがわかる。補強種類別の包絡線は、同繊維量の試験体を比較したもので、正載荷ではほとんど違いはないが、負載荷では平織りおよびシートにおいて耐力低下がみられた。

写真2に最終破壊状況を示す。せん断破壊した試験体は、A-0, B-0, BBS-15の3体である。BBS-15は、コーナー部で繊維が破断したが、平織りで補強したその他の試験体は、繊維の破断は生じなかった。また、BBS-10では、コーナー部でコンクリートへの繊維材のめりこみが観察された。これに対してUDテープのBF-10およびシートのBS-10は、繊維材のめりこみは見られず、コンクリートに対する拘束効果は平織りの場合(BBS-10)よりも大きいと考えられる。ただし、BS-10は、終局時にシートが柱脚コーナー部付近から上方へ破断した。

表7に実験結果一覧を示す。すべての試験体において、曲げおよびせん断初ひび割れの発生荷重にはほとんど差がみられなかった。曲げ降伏開始荷重は各試験体とも約13tonで、最大耐力は、巻付け補強量が多い試験体ほど増加する傾向がみられた。

#### 4. 考察

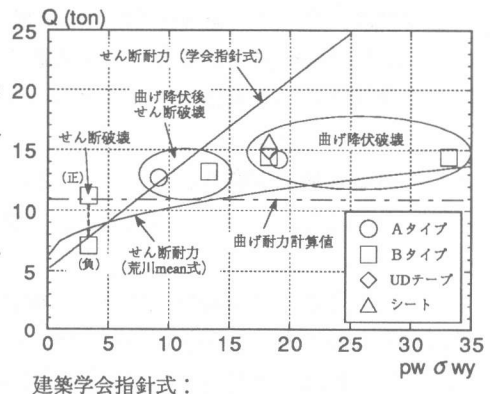
##### 4.1 耐力

図6に、せん断補強筋量( $pw \cdot \sigma wy$ )と最大耐力( $eQu$ )の関係をせん断耐力の計算値(建築学会指針式[7], 荒川mean式)とあわせて示す。B-0については、正負の耐力が異なっていたので、両方を示した。せん断補強筋量は、(1)式に基づいて算出した。 $pw \cdot \sigma wy$ が約15を下回る試験体はせん断破壊し、せん断補強筋量の増加とともに最大耐力

表7 実験結果一覧

試験体	初ひび割れ荷重(ton)		曲げ降伏開始荷重 eQy (ton)	最大耐力 eQu (ton)	破壊形式
	曲げ	せん断			
A-0	4.7	6.8	12.6	12.7	BD→SD
	-3.3	-7.1	-11.8	-12.1	
ABS-15	3.5	8.9	13.4	14.2	BD
	-2.8	-7.7	-12.3	-13.8	
B-0	4.0	7.1	—	11.2	SD
	-3.1	-6.7	—	-7.1	
BBS-15	5.1	7.8	—	13.2	BD→SD(CD)
	-2.9	-5.9	-10.0	-10.8	
BBS-10	4.2	7.2	13.4	14.4	BD
	-2.7	-6.5	-12.1	-12.3	
BBS-5	3.9	6.5	12.9	14.4	BD
	-3.6	-6.8	-13.0	-15.0	
BF-10	7.3	7.3	13.0	14.9	BD
	-3.1	-5.4	-12.0	-13.2	
BS-10	—	—	13.4	15.7	BD→CD
	—	—	-12.4	-12.8	

上段：正載荷 下段：負載荷  
 〈破壊形式〉 BD:曲げ破壊 SD:せん断破壊 CD:繊維破断



建築学会指針式：  
 $V_u = b_j p_w \sigma_w y c o t \phi + \tan \theta (1 - \beta) b D_v \sigma_B / 2$   
 図6 せん断補強筋量( $pw \cdot \sigma wy$ )  
 —終局耐力( $eQu$ )の関係

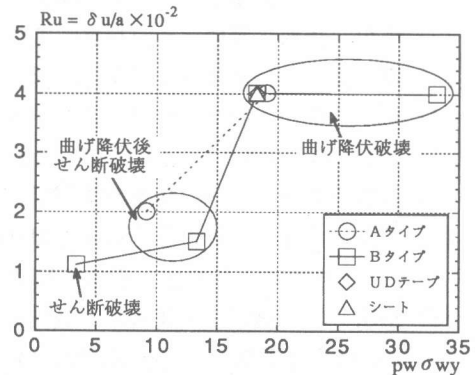


図7 せん断補強筋量( $pw \cdot \sigma wy$ )  
 —終局部材角( $Ru$ )の関係

が大きくなる。 $p_w \cdot \sigma_{wy}$ が15以上の試験体は、曲げ降伏破壊し、耐力はほぼ一定となっている。せん断破壊した試験体の最大耐力は、両式による計算値とほぼ対応しているが、せん断破壊した試験体が3体と少ないため、巻付け補強によるせん断耐力の効果を、定量的には評価することは困難である。曲げ降伏破壊した試験体の最大耐力は約14.7tonで、曲げ耐力計算値の約1.35倍となっている。これは、巻付け補強によって圧縮側コンクリートが拘束されたためと考えられるが、詳細については今後検討が必要である。

#### 4. 2 変形性能の評価

図7にせん断補強筋量( $p_w \cdot \sigma_{wy}$ )と終局部材角( $R_u$ )の関係を示す。 $p_w \cdot \sigma_{wy}$ が増すにつれて、 $R_u$ は増加している。 $p_w \cdot \sigma_{wy}$ が15以上の試験体は実験終了時の1/25rad変形時でも耐力低下がみられず、変形能力はさらに大きくなることが予想される。また、巻付け補強量の多い試験体ほど、柱脚部のコンクリートの終局時圧縮ひずみは大きくなる傾向にあった。したがって、巻付けによる変形性能の改善には、せん断耐力の上昇による効果だけでなく、圧縮側コンクリートの拘束作用によりコンクリートの圧縮靱性が向上する効果も寄与しているものと考えられる。

#### 5. まとめ

本論では、アラミド繊維巻付けによる既存RC柱のせん断補強効果を実験により確認した。

- 〈1〉巻付け繊維量に応じて、せん断耐力は上昇した。
- 〈2〉巻付けによる補強は、コンクリートの圧縮靱性の増大にも効果があり、部材の変形性能を向上させる。
- 〈3〉同繊維量の平織り、UDテープおよびシートで補強した試験体は、ほぼ同様な補強効果を示したが、シート補強では、柱脚コーナー部から繊維が破断した。

最後に、ここでの結論は、アラミド繊維を柱のせん断補強に利用するための基礎的な実験結果によるものである。今後さらに、せん断補強筋量や軸力などをパラメータとした各種実験を行い、補強効果をより定量的に評価していく予定である。

#### 参考文献

- [1] 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説，1990
- [2] 小島 克郎・勝俣 英雄ほか：炭素繊維の巻付けによる既存鉄筋コンクリート部材の耐震補強，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11，No.1，pp.861-866，1989
- [3] 蓮尾 孝一・岡本 直ほか：アラミド繊維による組紐状棒材の研究（その14．引張特性とそのバラツキ），日本建築学会大会学術講演梗概集，A，pp.687-388，1991
- [4] 日本建築センター：構造計算指針・同解説，1991
- [5] 遠藤 克彦・谷垣 正治ほか：組紐状FRPロッドによるスパイラル筋を用いたコンクリート梁のせん断性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，C，pp.977-978，1990
- [6] 福山 洋・藤沢 正視ほか：長繊維補強材の曲げ加工部の引張強度，日本建築学会大会学術講演梗概集，C，pp.801-802，1991
- [7] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990