

# 論文 プレストレスの方向が異なる PC 薄板埋設型枠 RC 合成はりの挙動

高山俊一\* 1 · 出光隆\* 2 · 成富勝\* 3 · 白浜昭二\* 4

**要旨：** 耐久性に優れているアラミド連続繊維をPC薄板埋設型枠の緊張材として使用することが、アラミド連続繊維の有効な使用方法であると考える。また、繊維の緊張方向を軸方向のみだけでなく、せん断補強効果を期待して縦方向に緊張してみた。PC薄板埋設型枠RC合成はりの載荷実験の結果、縦PC合成はりでのたわみおよびひびわれ状況から、はり軸方向にも連続繊維を配置する必要があるものと考える。

**キーワード：**アラミド連続繊維、プレストレストコンクリート、せん断補強

## 1. まえがき

アラミド連続繊維は軽量、高強度および高耐久性等の特徴を有している。これらの特徴を活かして、アラミド繊維および炭素繊維がPC桁の補強として外ケーブルに使用されている。繊維は高耐久性のため鋼材と異なり、かぶりを考慮しなくて良いものと考える。アラミド連続繊維を用いて作製したPC薄板埋設型枠がC1<sup>-1</sup>イオンやCO<sub>2</sub>を遮断し、この埋設型枠を用いれば高耐久性の鉄筋コンクリート合成はりになるものと考える。また、埋設型枠に軸方向と直角に配置した縦方向プレストレス連続繊維筋が、せん断補強の効果としてどの程度認められるか検討を行った。比較のために、はりの軸方向にプレストレスを導入した埋設型枠合成はりについても試験を行った。

## 2. 実験方法

### 2. 1 PC埋設型枠の作製

PC埋設型枠の種類は表-1に示す。緊張材は、アラミド

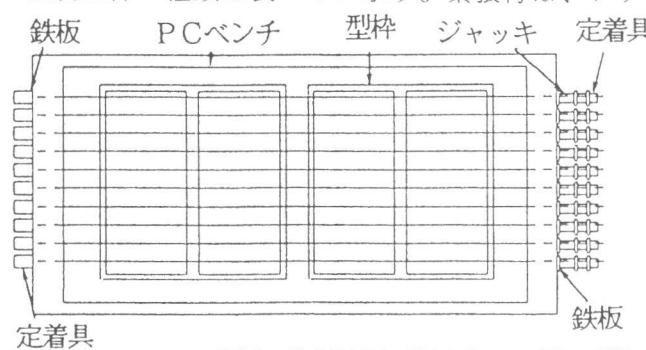


図-1 PC薄板の作製状況（縦方向PC埋設型枠）

表-1 PC埋設型枠の種類

番号	種類	はり側面図
1	アラミド無	
2	NON PC (縦)	
3	NON PC (横)	
4	縦方向 PC	
5	横方向 PC	
6	縦方向 PC NON PC (横)	

注) 断面図中の実線はプレストレスを、点線はNON-プレストレスの連続繊維筋を示す。

\* 1 九州共立大学工学部土木工学科 工博（正会員）

\* 2 九州工業大学工学部設計生産工学科 工博（正会員）

\* 3 九州共立大学工学部開発学科 工博

\* 4 神鋼鋼線工業（株）開発本部（正会員）

連続繊維ロッド ( $\Phi 5.2\text{ mm}$ , 最大引張荷重  $3300\text{ kgf}$ 、メーカーの保証荷重  $3200\text{ kgf}$ ) を使用した。アラミド連続繊維の表面は、砂まぶしになっているためザラザラしており、付着力が大きくなるようになっている。連続繊維の引張試験および連続繊維を緊張する場合、連続繊維の定着は、鋼管（外径  $21.7\text{ mm}$ , 厚さ  $2.8\text{ mm}$ , 長さ  $110\sim150\text{ mm}$ ）中にセメント膨張定着材を注入して行った。埋設型枠 ( $104\times35\text{ cm}$ , 厚さ  $3.5\text{ cm}$ ) の連続繊維の配置は、縦方向埋設型枠（表-1の番号2, 4および6番）の場合が軸方向と直角の縦に  $10\text{ cm}$  間隔に10本配置し、軸方向埋設型枠（表-1の番号3および5番）の場合が軸方向に  $9\text{ cm}$  間隔で4本配置した。表-1のはり側面図の中の実線は緊張した連続繊維を、点線は緊張しなかった繊維をそれぞれ示している。プレストレスはプレテンション方式で行った。連続繊維の緊張力は最大引張荷重の約  $50\%$  の  $1600\text{ kgf}$  で行った。使用したジャッキは5連式多岐型機を使用し、各連続繊維の端部には  $5\sim10\text{ t f}$  用ロードセルを取り付け、プレストレスの管理をおこなった。図-1に番号1の縦方向PC埋設型枠の作製状況を示す。型枠の表面には、 $13\sim20\text{ mm}$  の碎石を  $1/2$  程度埋め込み、後打ちコンクリートとの付着が十分であるようにした。表-2には埋設型枠コンクリートおよび後打ちコンクリートの配合を示す。

## 2.2. RC合成はりの製作およびはりの曲げ試験方法

RC合成はりは、表-1に示す6種類のPC埋設型枠を使用し、各2本ずつ（番号5の供試体のみ3本）作製した。RC合成はり（長さ  $104\times$  幅  $18\times$  高さ  $35\text{ cm}$ ）は、図-2に示すように2枚のPC薄板をそれぞれ埋設型枠とし、後打ちコンクリートを打設して作製した。はりには、D16の鉄筋を2本配置した。荷重載荷は、図-2および3に示すように2点載荷とし、 $100\text{ t f}$  用の圧縮試験機を用いて曲げ試験を行った。せん断スパンと有効高さの比（a/d）を  $1.2$  とし、はりの破壊形式がせん断破壊となるようにした。図-3に示すように、供試体にはストレンゲージを貼付し、変位計を5個取り付けて合成はりの挙動を調べた。荷重毎にコンクリート面のひずみ、はりのたわみおよびひびわれ状況を測定した。

表-2 コンクリートの配合

	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨 材率 s/a (%)	空氣 量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメ ント C	細骨 材 S	粗骨 材 G	混和 剤
埋設型枠 コンクリート	15	35	49	2.0	170	486	819	914	3.88*
後打ち コンクリート	20	55	47	2.0	177	322	804	967	400** (cc)

(注) \*マイティイ 150  
\*\*ポゾリス N.O. 70

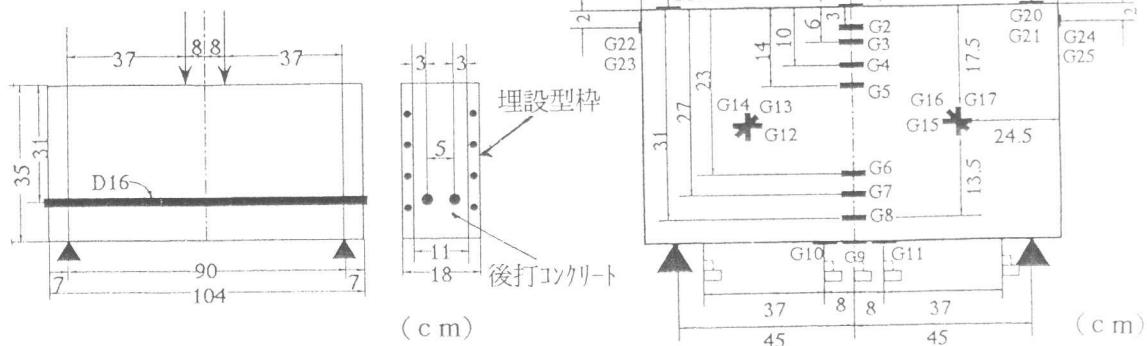


図-2 供試体寸法および荷重載荷位置

図-3 ストレンゲージおよび変位計の取り付け位置

### 3. 結果および考察

表-3に埋設型枠RC合成はりのひびわれ発生荷重、最大荷重および最大耐力の計算値を示す。表-4にはコンクリートの圧縮強度を示す。RC合成はりの最終の破壊は、曲げせん断破壊であった。埋設型枠にアラミド連続繊維筋を補強していない合成はり（供試体番号1番）の平均最大荷重が25.2tfを示して最も小さく、横方向にアラミド連続繊維筋でプレストレスを導入したはり（番号5番）の平均最大荷重が、49.8tfで最も大きくなった。プレストレストの導入の有無による最大荷重の相違は、プレストレスを導入した場合に縦方向で4.1tf、横方向はりの場合で9.0tfだけ大きくなつた。したがつて、プレストレスの効果は十分にあったものと考えられる。縦方向に連続繊維筋を配置した場合の最大耐力の計算値は48.3tfをも異なつてゐる。計算値は鉄筋にスターラップを使用した場合であるため、破壊時までスターラップが役割を果たすものと考えられる。他方、著者らの縦方向に連続繊維筋を配置した場合、ひびわれが発生した後、十分にスターラップが役目を果たさなかつたことが考えられる。したがつて連続繊維筋はもっと十に加工でき、比較的簡便にU形およびW形を作成できるようにする必要があるものと考える。縦方向RC合成はりでは、破壊時に型枠と後打ちコンクリートとの剥離が発生したが、横方向RCはりでは、型枠と後打コンクリートとの一体性が破壊時でもほぼ保たれていた。したがつて、3番、5番の合成はりの最大荷重が大きくなつたものと考えられる。横方向合成はりと同様に、最大荷重を示す際に剥離が生じなければ、縦方向合成はりの最大荷重はさらに大きくなつたことが考えられる。

図-4、5に荷重とスパン中央点のたわみの関係を示す。図-4によると、供試体番号1～3番の3種類の合成はりのたわみは、荷重約20tfまでではほぼ同程度であったものと考えられる。図-5によると、荷重25tfの場合のはりのたわみ（スパン中央の位置）は、PC横合成はりの場合が約0.7mm、PC縦・NON-PC横合成はりの場合が0.9mmおよびPC縦はりの場合が約1.5mmとなつた。最大荷重が大きい合成はりほどたわみは小さくなつた。スパン

表-3 ひびわれ発生荷重と最大荷重

供試 体の 番号	供試体 の種類	ひびわれ発生荷重(tf)			最大 荷重 (tf)	最大耐力 の計算値 (tf)	破壊状況
		目視	下線 ひずみ	たわみ 曲線			
1	アラミド無	A 6.16	3.5	15.2	22.2	*1)	型枠と後打ちコンクリートは破壊時に剥離。型枠は曲げ破壊。後打ちコンクリートは曲げせん断破壊。
	B 8.02	6.5	12.8	28.1	20.18		
2	NON	A 11.8	7.9	14.5	26.6	*2)	型枠と後打ちコンクリートは破壊時に剥離し、型枠は曲げ破壊。後打ちコンクリートは曲げせん断破壊。
	PC(縦) B 6.08	5.9	11.2	25.4	48.30		
3	NON	A 7.0	6.9	9.8	39.6		型枠と後打ちコンクリートは破壊時においても一体性を保持。型枠、後打ちコンクリートとも曲げせん断破壊。
	PC(横) B 6.0	5.2	34.0	42.0	20.18		
4	縦方向	A 4.5	4.5	15.5	29.3		型枠は曲げ破壊。後打ちコンクリートはせん断破壊。
	PC B 5.5	5.3	25.5	30.8	48.30		破壊時に剥離。
5	横方向	A 8.0	6.5	42.3	49.8	*3)	B,Cのはりでは破壊時においてもほぼ一体性を保持。型枠、後打ちコンクリートとも曲げせん断破壊。
	PC B 6.0	5.8	33.2	53.2	31.06		
	C 7.0	6.7	30.2	46.4			
6	縦PC A 4.5	4.5	32.0	40.2			型枠と後打ちコンクリートは破壊時においても一体性を保持、ひびわれは網目模様。曲げせん断破壊。
	NON B 7.0	7.0	32.5	38.2	48.30		
	PC(横)						

\*1)  $V_{c,d} = f_{v,c,d} \cdot b_w \cdot (d/\gamma_b)$ ,  $f_{v,c,d} = 0.9 \beta_n \cdot \beta_d \cdot \beta_p (f_{c,d})^{1/3}$

$1.0 < a/d < 2.5$  のため  $0.9 \beta_n = 3.58 (a/d)^{-1.166}$  を利用 [2] [3]

\*2)  $V_{s,v} = A_w \cdot f_{w,y,d} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) \cdot z / (s_s \cdot \gamma_b)$  を利用 [2]

\*3)  $V_p = p/3 \cdot (1+6e/h)/(a/h)$  を利用 [4]

$P_{c,a,1} = 2(V_c + V_s)$  or  $2(V_c + V_p)$

中央のひずみ分布図を図-6に示す。図中の実線は荷重が1, 2, 4, 6および8tfの場合のコンクリート表面のひずみである。同図の(A)は縦PC合成はりの場合であるが、6tf以降ひびわれが発生し、8tfで下縁から8cmの位置までひびわれが伸びていることが分かる。軸方向の拘束がないため、ひびわれが上方向に伸びやすいものと考えられる。(B)は横PC合成はりの場合であるが、4~6tfでコンクリートにひびわれが発生しているものと考えられる。し

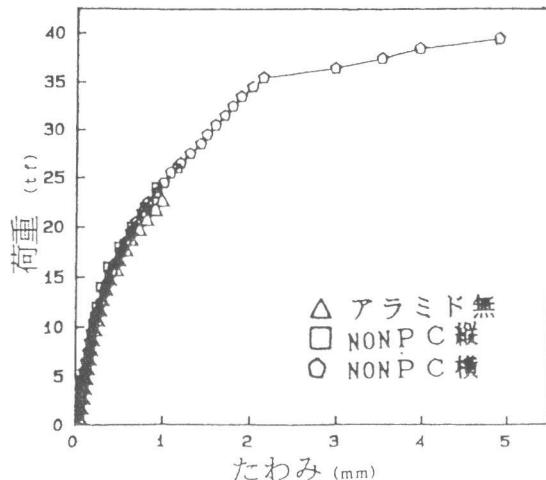


図-4 荷重-たわみ曲線

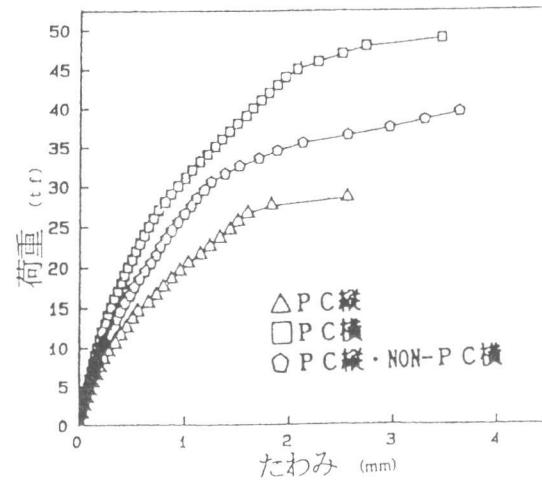
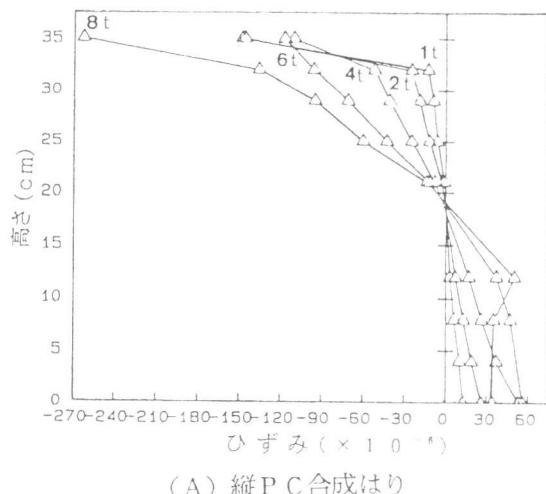
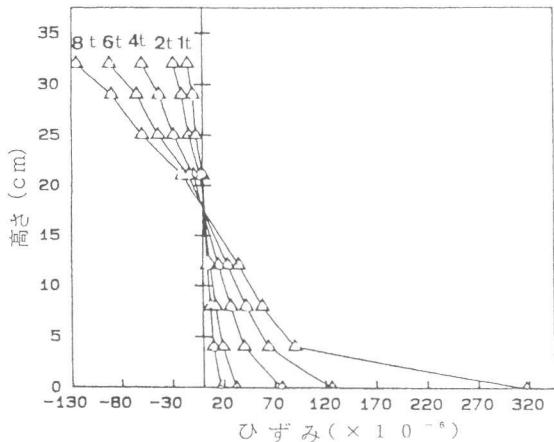


図-5 荷重-たわみ曲線

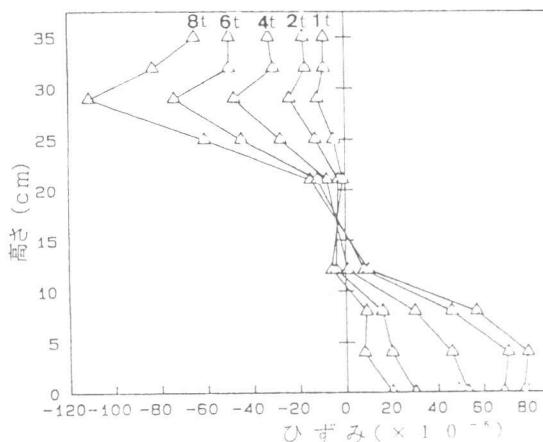
表-4 平均圧縮強度			
供試 体の 番号	埋設型 枠の 種類	型枠コン クリートの 圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	後打ちコン クリートの 圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>
1	アラミド 無		
3	NON-PC (横)	725	473
2	NON-PC (縦)	619	313
5	横PC		432
4	縦PC	547	
6	縦PC NON-PC (横)	582	405
	R.C合成の全断面積 埋設型枠の断面積 後打ちコンクリートの断面積	35×18=630(cm <sup>2</sup> ) 3.5×35×2=245(cm <sup>2</sup> ) 11×35=385(cm <sup>2</sup> )	



(A) 縦PC合成はり



(B) 横PC合成はり



(C) 縦PC・横NON-PC合成はり

図-6 合成はりのひずみ分布図

かし、軸方向プレストレスによって上向きのひびわれの伸びが抑えられているため、下縁から4cmの位置のひずみの伸びが小さいものと考えられる。(c)は縦P C・横N O N - P C合成はりであるが、ひずみ分布は(A)と(B)の結果を合成した様な形状を示している。

ひびわれ状況を図-7に示す。アラミド無し供試体では曲げひびわれの形状がみられ、破壊時にせん断ひびわれが生じた。N O N - P C 縦合成はりおよび縦P C合成はりのひびわれは、鉛直上方へまっすぐ伸びる傾向がみられた。縦P C合成はりのひびわれは、縦方向プレストレスの影響によって軸方向は制限されるため、連続繊維筋と連続繊維筋の間の上方向に沿って生じたものと考えられる。N O N - P C 横合成はりおよび横P C合成はりのひびわれは、通常の曲げひびわれと同様にひびわれが上方のスパン中央へ伸びている。縦P C・横N O N - P C合成はり(番号6番)のひびわれは、横P C合成の場合と類似したひびわれもみられたが、網目状となったもの

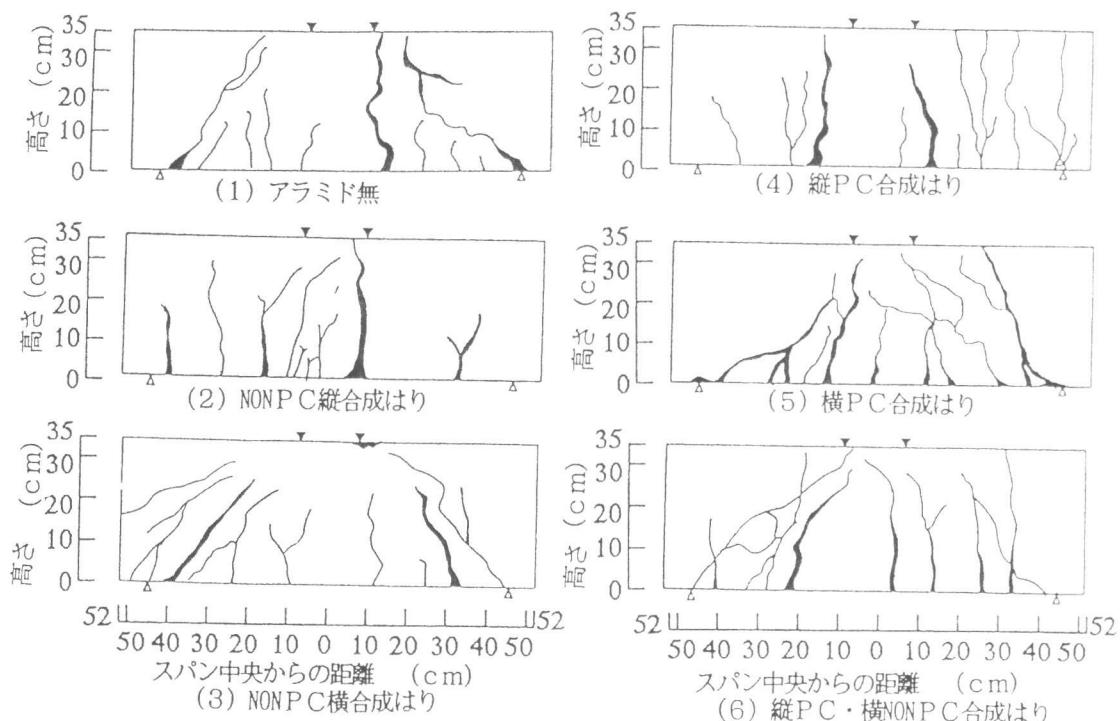


図-7 合成はりのひびわれ状況

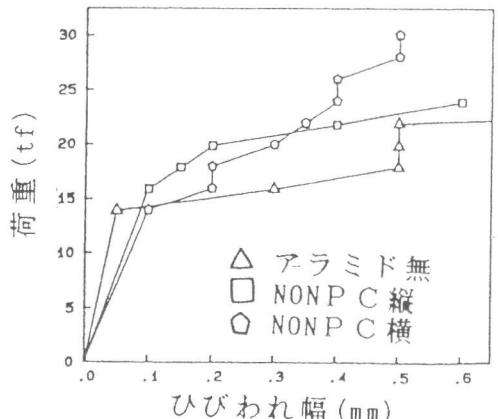


図-8 荷重とひびわれ幅

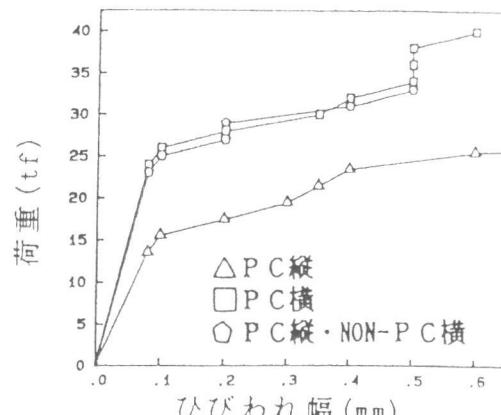


図-9 荷重とひびわれ幅

もみられた。荷重とひびわれ幅の関係を図-8, 9に示す。図-8によると、アラミド無し合成はりのひびわれは、約14t fでひびわれが発生すると、ひびわれ幅の伸びが著しく、わずかな增加荷重によって0.5mmのひびわれ幅に達している。図-9によるとプレストレスが導入されている横PC合成はりおよび縦PC・横NON-PC合成はりでのひびわれ幅が0.2mmの場合、荷重は27~30t fとなっており、プレストレスの効果が十分に発揮されているものと考える。縦PC合成はりのひびわれ幅は、小さな荷重で大きくなる傾向がみられる。したがって、縦PC合成はりは縦方向のみの補強なく、6番の供試体のように、軸方向にも補強が必要になることが考えられる。

#### 4.まとめ

本実験で得られた事柄をまとめて示す。

- ① 埋設型枠と後打コンクリートが破壊時に剥離した場合、PC合成はりの最大荷重は計算値より小さな値であった。したがって、合成はりでは一体性の確保極めて大切であるものと考える。
- ② 縦PC合成はりの最大荷重は、NON-PC縦合成はりの場合に比べて大きくなり、プレストレスの効果はあったものと考えられる。
- ③ ひびわれ状況から縦PC合成はりのひびわれ幅が大きくなる傾向がみられるため、縦PC合成はりでは軸方向にも補強が必要であろうと考えられる。

終わりに、実験に対して適切なご指導を戴いた本学教授 渡辺明先生に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- [1]高山俊一、出光隆、白濱昭二：アラミド繊維ロッドを用いたPC薄板埋設型枠を利用したRC部材の挙動、セメント・コンクリート論文集、No.49, 1995
- [2]大塚、庄谷、外門、原：鉄筋コンクリート工学、技報堂出版、1992年1月
- [3]石橋忠良、斎藤啓一、寺田年夫：RCはりの腹部に配置された軸方向鉄筋のせん断破壊性状に及ぼす影響について、セメント技術年報、40、昭和61年、pp.495~497
- [4]鳥取誠一、佐藤勉：連続繊維補強材を用いた側壁ビーム方式ガイドウェイの設計法に関する研究、プレストレスコンクリート、Vol.35, No.1, Jan. 1993, pp.59~67.