

P C 角柱を用いた重ねばりの実験的研究

本岡 順二郎*・杉 森 光 一***
志村 昭太郎**・中山 紀 男****

1. ま え が き

遠心力 P C パイルの製造技術を応用して中空の角柱を工場生産し、それを現場で組み合わせて建築用の柱や、はりをつくる新しいプレハブ工法について基礎的な実験を行なったので以下に報告する。

今までにも遠心力コンクリート製品を建物やクレーンガーダの柱、高架橋の橋脚などに利用した例はいくつかあるが、今度の場合はさらに建築物のプレハブ化との結びつきを強め、大量生産方式で作った中空 P C 角柱を現場で合成して柱、はりなどの部材を経済的に作ろうとするものである。

この方式によれば、(1) 遠心力 P C パイルの製造設備をほぼそのまま利用して、長さ 15 m くらいまでの製品が経済的にできる、(2) 遠心力を利用して十分締固められるので、圧縮強度 500 kg/cm^2 以上の一定した品質の製品が容易に得られる、(3) 中空になるので剛性を保ちながら軽量化をはかることができる、(4) 合成しない単材は、小ばりとしてそのまま利用できる、柱、大ばり、小ばりなどの単材を共通にすることができる、(5) 製品表面が非常になめらかである、などの長所があるものと思われる。

これらの組合せ部材のうち、柱や小ばりについてはとくに問題がないと思われるので、中空角柱を組み合わせて重ねばりとした場合の曲げ性能について試験を行なった。供試体は、断面が $35 \times 35 \text{ cm}$ で中央に直径 22 cm の穴のあいた単材を 2 本かさねた、 $35 \times 72 \times 320 \text{ cm}$ の矩形ばりである。

単材の結合方法は独特で、単材の端部にはめてある鉄板を溶接してつないだのち、重ねばりの上・下縁に等量のプレストレス力を入れて P C ばりとするものである。

単材の両端を固定した状態で緊張することにより、上

下の単材の逆方向に反りかえろうとする力を拘束し、はりの接合面に圧縮力を働かせてずれを生じにくくすることを期待した。

ただし、実際に製品化する場合には現場で緊張する手間をはぶくため、プレテンション方式で全断面一様にプレストレスの入った単材を作り、結合後中立軸側の P C 鋼材のプレストレス力を解放する方法がとられるものと思われる。

接合面のシアキイの数を 0, 3, 5 個とした重ねばり計 9 本と、比較のため重ねばりと同一断面、配筋をもった単体ばり 2 本について載荷試験を行なった結果、シアキイ 0, 3 の重ねばりは若干劣るが、シアキイ 5 個のはりは単体ばりとほぼ同等の性能を持っていることが確かめられた。

プレキャスト部材を用いる場合、問題になるのは仕口であるが、これについてもいくつかの方法が考えられており、次の段階で研究することになっている。

なお、本実験は筆者らとアサノポール技術開発部の高橋直、一木孝両氏らの協力によって行なわれたものである。

2. 試 験 方 法

(1) 供 試 体

供試体は 図—1 に示すように、幅 35 cm × 高さ 72 cm × 全長 320 cm の実物に近い矩形ばりで、直径 22 cm の穴が 2 個あいている。

供試体の種類と数は表—1 に示す通りである。

重ね合わせる前の単材は $35 \times 35 \text{ cm}$ の正方形断面で中央に穴がある。一

辺には、P C 鋼棒用のシースと、補強鉄筋をかねた外径 42.7 mm のガス管が埋めてあり、それと向い合った一辺には径 16 mm の異形丸鋼が補強筋として入っている。

表—1 供試体の種類と数

種 類	試 験	曲げ試験	
		曲げ試験	せん断試験
単 体 ば り		1	1
重ねばり, シアキイ 0 個		2	1
〃 シアキイ 3 個		2	1
〃 シアキイ 5 個		2	1

* 日本大学助教授、理工学部建築科

** (株) 志村建築設計事務所副所長

*** アサノポール (株) 技術開発部長

**** アサノポール (株) 技術開発部

図-1 供 試 体
単 体 ば り

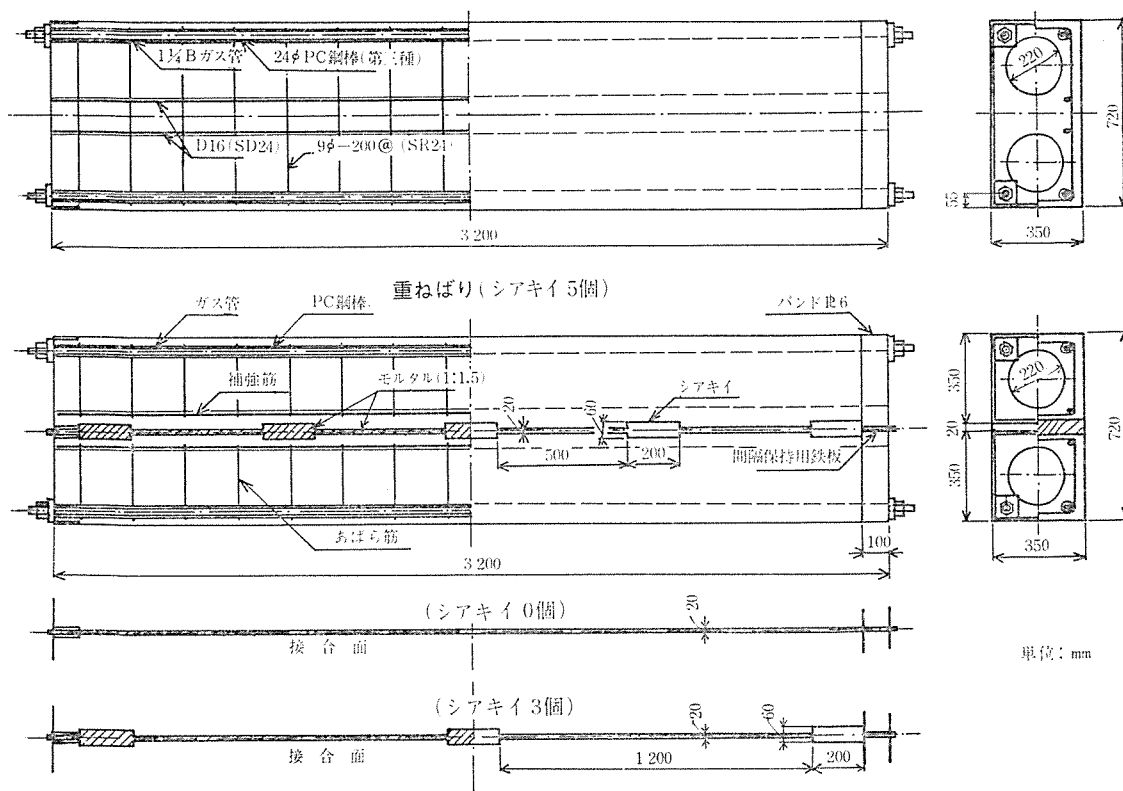


写真-1 脱型後の供試体



写真-2 緊張作業 (のちにグラウチング)



単材の両端には幅 10 cm×厚さ 6 mm の結合用の鉄バンドをはめ、径 10 mm×長さ 30 cm の異形丸鋼 4 本でアンカーしてある。上・下の単材の間には 2 cm の目地を設け、この目地とシアキ部分には 1:1.5 モルタルを詰めた。

緊張材は 3 種相当の径 24 mm PC 鋼棒を 4 本用い、1 本あたり 26.9 t のプレストレスを導入した。有効プレストレスは断面に一様に入っていると仮定して、51.0 kg/cm² になる。なお、単材の反りかえりの拘束により接合面に働く圧縮力は計算上 12.5 t である。

供試体の製造にあたっては、今回は構造的な試験なので遠心成形を行わず振動詰めとした。鋼製型わくを使用し、中空部分は 2 つ割りの鋼管を入れておいてあとで

抜く方法をとった。

低圧蒸気養生を行なって材令 1 日で脱型し、屋外で 2,3 日湿布養生したのち自然放置とした。写真-1,2 は供試体製作の様子である。

コンクリート用使用材料はアサノ普通ポルトランドセメント、相模川付近の陸砂、および 20 mm 以下の砕石である。

調査は表-2 に示すように PC パイルと同程度の非

表-2 コンクリートの調合 (kg/m³)

セメント	単位水量	砂	砕石 (5号)	砕石 (6号)	分散剤	水セメント比 (%)	砂率 (%)	平均スランプ (cm)
457	182	701	685	293	2.30	39.8	42	9.4

常に富なものである。この調合による圧縮強度は標準養生材令 28 日で平均 573 kg/cm^2 、プレストレス導入時

(材令 2~3 週) の現場養生供試体強度が約 450 kg/cm^2 、載荷試験時 (材令 1~2 ヶ月) の同じく現場養生強度が平均 501 kg/cm^2 であった。また、試験時におけるコンクリートのヤング係数は $3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であった。

P C 鋼棒の機械的性質を表-3 に示す。

表-3 P C 鋼棒の機械的性質

直 径 (mm)	引張強度 110 以上 (kg/mm^2)	降伏点応力度 95 以上 (kg/mm^2)	伸び 5 以上 (%)	ねじ部引張強度、 110 以上 (kg/mm^2)
22.53	125.3	117.3	8.4	114.7

(2) 載 荷 試 験

図-2 に示すようにスパン 2.80 m の中央 1 点載荷および 2 点載荷を行なった。

1 点載荷は曲げ試験、2 点載荷はせん断試験を意図したのであるが、せん断試験の方は試験機の容量 100 t で破壊に至らずせん断耐力を調べることは失敗した。せん断スパンとはり有効せいの比 a/d は、曲げ試験で 2.1、せん断試験で 1.5 である。

測定項目は、ひびわれ荷重、破壊荷重、たわみ、繊維ひずみの分布、接合面のずれなどである。試験の様子を写真-3、4 に示す。

3. 試験結果および考察

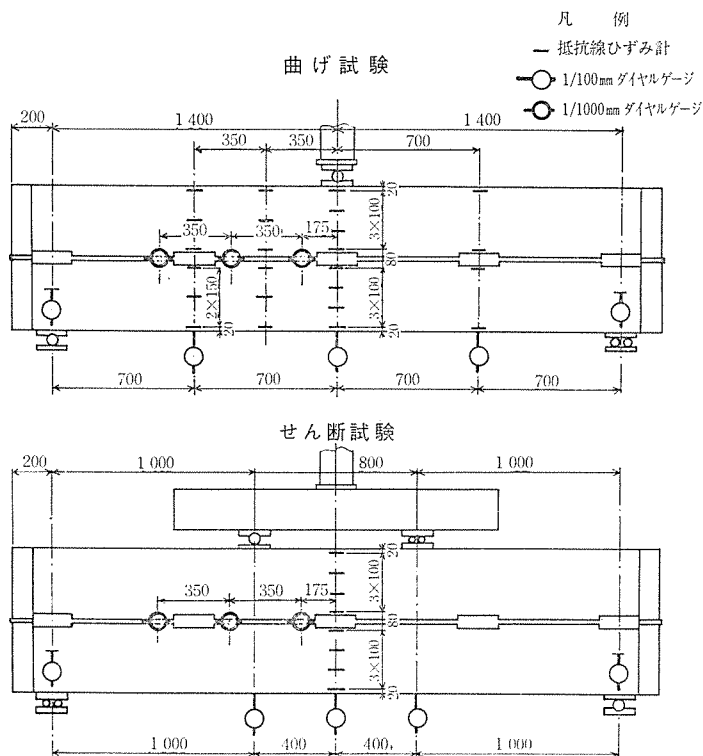
(1) ひびわれおよび

破壊

ひびわれモーメント、破壊モーメントの実測値、単体ばりとの比、計算値との比などを表-4、5 に示す。

また 図-3、4 は、ひびわれ図の代表的なものである。これらの図表からつぎのようなことがわかるもの

図-2 載 荷 試 験



単位: mm

表-4 曲 げ 試 験 結 果

供 試 体	ひびわれモーメント ($\text{t}\cdot\text{m}$)			破壊モーメント ($\text{t}\cdot\text{m}$)			斜めひびわれ モーメント ($\text{t}\cdot\text{m}$)
	実測値 M_{cr}	$\frac{M_{cr}}{M_{cr}\text{-単体}}$	$\frac{M_{cr}}{M_{cr}\text{-計算}}$	実測値 M_u	$\frac{M_u}{M_u\text{-単体}}$	$\frac{M_u}{M_u\text{-計算}}$	
単 体 は り	23.4	1.00	0.91	63.4	1.00	1.00	35.4
シアキイ 0 (No.1)	—	—	—	52.9	0.84	0.83	—
” (No.2)	23.4	1.00	0.91	57.8	0.91	0.91	45.9
シアキイ 3 (No.1)	24.9	1.06	0.97	54.0	0.85	0.85	42.4
” (No.2)	27.4	1.17	1.07	40.9	0.64	0.64	38.9
シアキイ 5 (No.1)	27.4	1.17	1.07	59.9	0.94	0.94	49.4
” (No.2)	27.8	1.19	1.08	62.8	0.99	0.99	35.4

$M_{cr}\text{-計算}=25.7 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_u\text{-計算}=63.6 \text{ t}\cdot\text{m}$

写真-3 載 荷 試 験

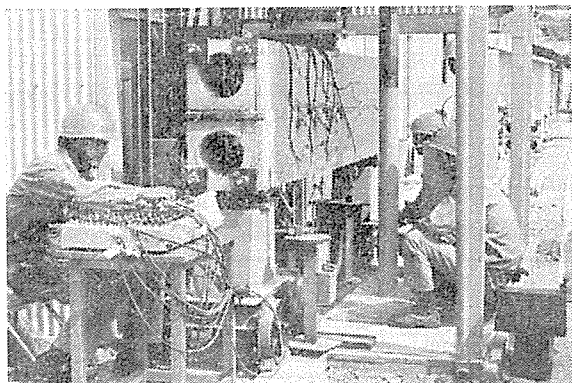


写真-4 接合面のずれの測定
(1/1000 mm ダイヤルゲージ)

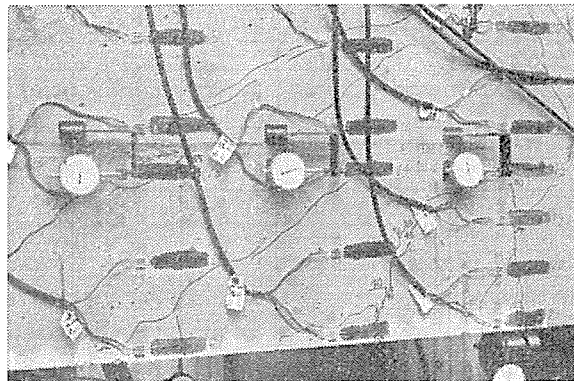
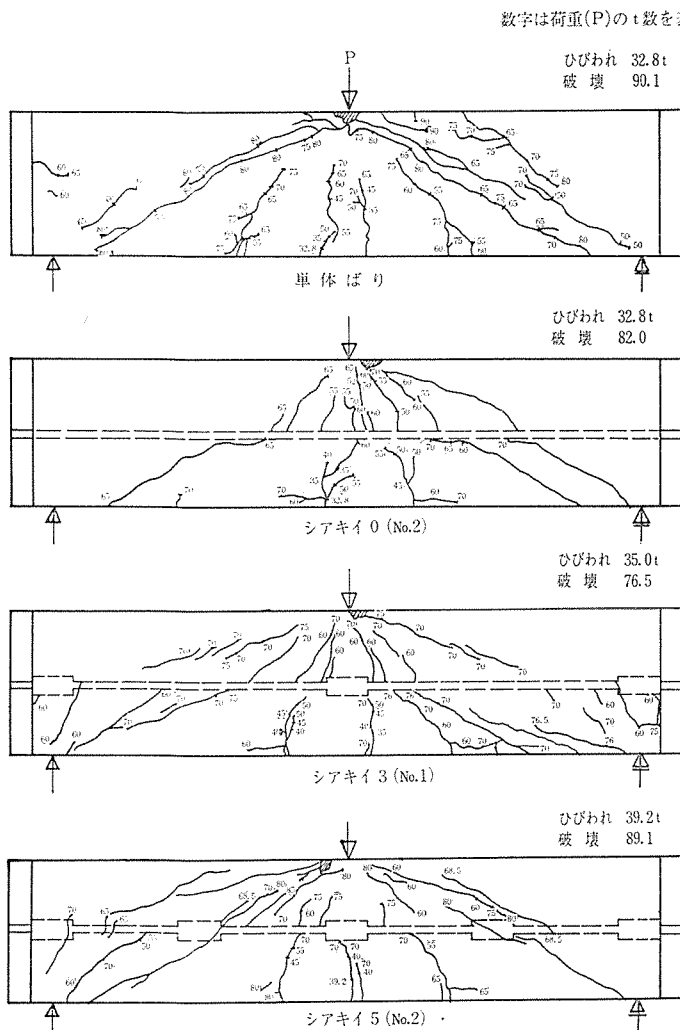


表-5 セン断試験結果
(いずれも試験機の容量不足で破壊せず)

供試体	ひびわれモーメント (t・m)			斜めひびわれ モーメント (t・m)
	実測値 M_{cr}	M_{cr} M_{cr} -単体	M_{cr} M_{cr} -計算	
単体はり	17.5	1.00	0.68	21.5
シアキイ 0	21.4	1.22	0.83	30.0
シアキイ 3	20.0	1.14	0.78	20.0
シアキイ 5	18.0	1.03	0.70	20.0

M_{cr} -計算=25.7 t・m

図-3 ひびわれ図 (曲げ試験)



と思われる。

1) ひびわれモーメントは、曲げ試験の場合、単体ばりの 23.4 t・m に対し重ねばりでは 23.4~27.8 t・m と単体と同等かもしくはそれ以上である。また、せん断試験の結果でも単体の 17.5 t・m に対し 重ねばりは 18.0~21.4 t・m と上まわっている。そしていずれもシアキイの数による差は、ほとんど認められない。

これは今回の試験条件におけるひびわれモーメント程度では、接合面の付着、両端の結合バンドによる拘束などで重ねばりの一体性が十分確保され、シアキイの効果

はまだ表われないためと思われる。弾性計算式による単体ばりのひびわれモーメントの計算値は 25.7 t・m で、単体および重ねばりの実測値のこの計算値に対する比率は曲げ試験の場合 0.91~1.08 とよく一致しているが、せん断試験の場合には 0.68~0.83 とかなり低くなっている。

2) 破壊モーメントは単体ばりが 63.4 t・m であるのに対し、シアキイ 0 個のはりは 52.9 と 57.8 t・m,

シアキイ 3 個のはりは 54.0 と 40.9 t・m で、やや異常な 40.9 t・m を除いても単体はりより 9~16%

劣っている。一方シアキイ 5 個のはりは 59.9 と 62.8 t・m で単体にほぼ等しい値を示している。建築学会プレストレストコンクリート設計施工規準によって計算した破壊モーメントは 63.6 t・m で、単体はりおよびシアキイ 5 個のはりの実測値とよく一致している。シアキイがひびわれにはほとんど影響がなく、破壊に対して効果を示すのは、ある程度荷重が上って変形を生じて、キイが周壁と密着してからであろうことから推察がつく。

また接合面のずれはせん断スパンの中央付近で最大になることが従来の研究¹⁾ から確かめられておりシアキイ 3 個のはりではキイが両端と中央だけでせん断スパンにはないので、シアキイ 0 個のはりと同じような結果になったものと思われる。

はりの端部にある結合用鉄バンドは 2 つの単材の反りを拘束するだけでなく、接合面のずれも拘束して、はりを一体化する上で大きな効果を示した。すなわち、シアキイ 0, 3 個のはりでは荷重が高くなると、下側単材のバンドの上側単材に接する部分が外側に押しだされてくるのが認められた。そしてシアキイ 3 個のはりのうちの 1 本の破壊モーメントが著しく低下したのもバンドによる端部の拘束が破壊して接合面がすべったためと思われる。

3) 図-3, 4 からひびわれと破壊の状態をみる。

曲げ試験の場合、単体はりでは最初曲げひびわれが生じるが、その後斜めひびわれが発達してついには圧縮縁のコンクリートが圧壊する、いわゆるせん断圧縮破壊の状態を示している。シアキイ 0 と 3 個の重ねばりでは荷重 60 t (42.4 t・m) 位から接合面がすべって一体性がくずれだし、最終的には上側単材の曲げ圧縮破壊になっているように思われる。

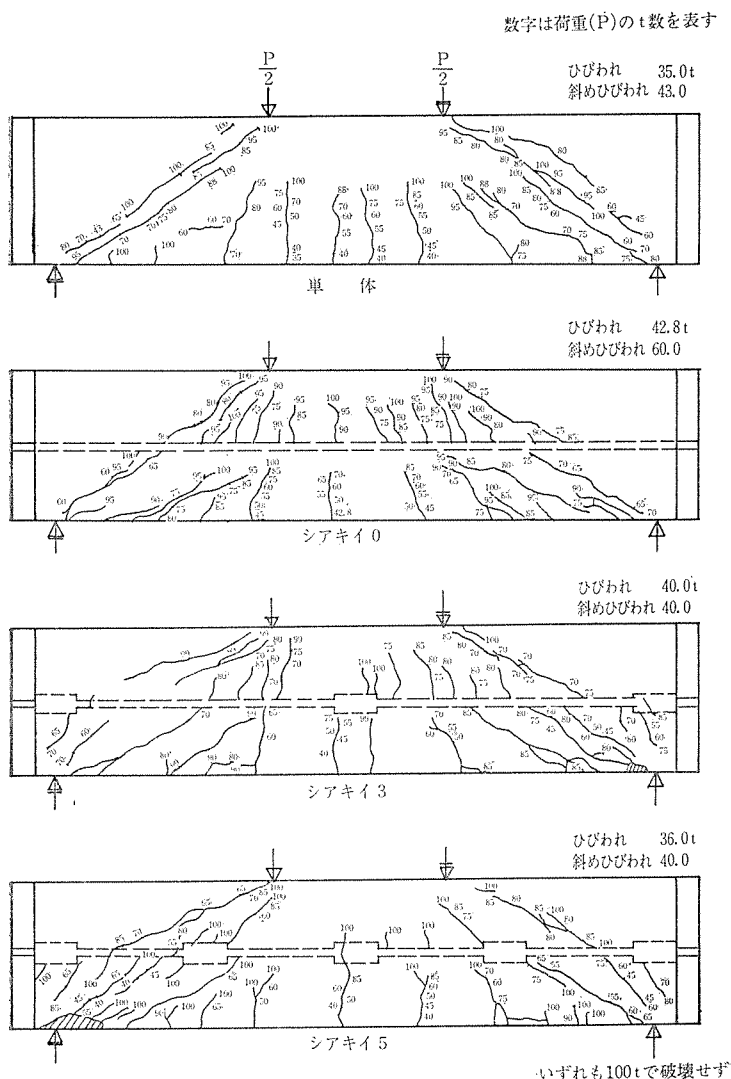
一方シアキイ 5 個のはりは単体はりとはほぼ同様なひびわれ状態で、破壊もせん断圧縮破壊になっている。せん断試験の場合もシアキイ 0 と 3 個のはりでは上・下の単材間にひびわれの不連続が認められるのに対し、シアキイ 5 個のはりは一体に近い。

せん断試験のときの破壊状態がどうなるかは試験機の容量不足でわからないが、ひびわれの様子からみて破壊寸前であり、斜めひびわれにつながった圧縮破壊を起こすものと思われる。

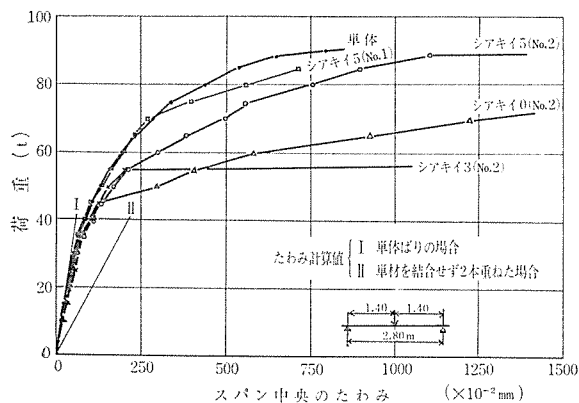
(2) たわみ

図—5 は曲げ試験におけるスパン中央のたわみのグラ

図—4 ひびわれ図 (せん断試験)



図—5 たわみ測定結果 (曲げ試験)



フである。ひびわれ荷重の 30~40 t くらいまではシアキイ 0, 3, 5 個のいずれの重ねりも単体はりと同程度である。

しかし 50 t 以上になるとシアキイの数によって差が認められ、シアキイ 0, 3 個のはりではたわみが著しく増加するのにひきかえ、シアキイ 5 個のはりのたわみ曲線は単体はかなり近く、破壊時まで一体性がよく保たれている。

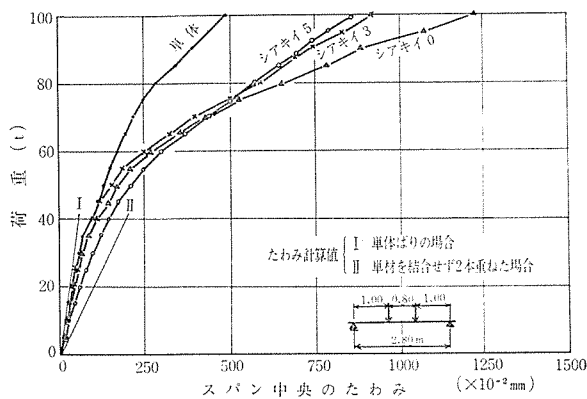
図—5 中の直線 I, II は単体はりの弾性たわみ計算値および単材を 2 本結合せずただ重ねただけの場合の弾性たわみ計算値であるが、ひびわれ発生付近までは単体、重ねりとも単体はりのたわみ計算値とほぼ一致している。また図中には示してないが、実際の載荷ではひびわれ荷重から 0 までもどすサイクルを加えている。そのときのたわみの残留値は $3 \sim 12 \times 10^{-2}$ mm と小さく、いずれのはりも P C 部材としての特性を十分備えている。せん断試験のときのスパン中央におけるたわみは 図—6 のとおりである。

この場合はシアキイの数による差はほとんどない。そしてひびわれ付近までは単体はりのたわみとほぼ等しいが、荷重が高くなると単体に比べて若干大きくなっている。しかし、曲げ試験のときのような極端な増加はみられない。これはせん断試験が破壊まで至っていないことのほか、接合面のずれの項でふれるように、荷重点が 2 ヶ所になり、接合面にずれを生じにくくなったためと思われる。また、重ねりのたわみ量が高荷重域で単体より増えたといっても、その絶対値は 60 t で約 2.5 mm, 80 t で約 5.5 mm とスパンの 1/1000 および 1/500 程度で実用上十分小さな値といえる。

(3) 繊維ひずみの分布と接合面のずれ

重ねりの一体性を繊維ひずみの分布と接合

図—6 たわみ測定結果 (せん断試験)



面のずれの測定値から調べたものが図-7~10である。

まず 図-7, 8 の中央 1 点载荷の曲げ試験結果についてみる。

繊維ひずみの分布は、いずれの重ねばりもひびわれ発生付近の 30 t 位までは完全な直線状で単体ばりと何ら変わらない。

ひびわれが入ったのちの 40~60 t になると、シアキイ 0, 3 個のはりでは中立軸が上縁から 10 cm くらいのところまで上り、圧縮縁のひずみも著しく増加している。たとえば 60 t の荷重でみると、単体はりの圧縮縁のひずみが約 600×10^{-6} であるのに対し、シアキイ 0 と 3 個のはりでは $1000 \sim 1200 \times 10^{-6}$ と 2 倍近い。これを接合面のずれからみると、シアキイ 0 と 3 個のはりはそれまでほとんど 0 に等しかったずれが 50~60 t 付近で 1 mm 以上急増しており、一体性のくずれが認められる。なお、接合面に生じるせん断応力度を一般に用いられている弾性計算式で求めると、荷重 50 t で 12.6 kg/cm^2 、60 t で 15.0 kg/cm^2 となる。

一方シアキイ 5 個の重ねばりの場合には、図-8 のようにずれを生じるのが 80 t と非常に遅いか、ここには示していないが、シアキイ 5 個 (No. 2) はりのように 30~40 t 位からずれを生じていても、その増加は非常に緩慢で、60 t で 0.3 mm 程度である。そしてひずみ分布も単体ばりとほぼ同様で、中立軸の極端な移動は認め

られない。

つぎに 図-9, 10 のせん断試験の結果をみると、たわみの場合と同様シアキイの数による極端な差は認められなくなり、いずれもかなりよい成績を示している。また下側単材の上縁に圧縮ひずみの生じる様子が曲げ試験のときよりはっきり認められる。

シアキイの数による差が少なくなったのはせん断試験が 2 点载荷であるためで、荷重点の下に接合面に圧縮力が働いてずれを生じにくくなり、あたかも曲げ試験のときのシアスパンの中央近くにシアキイを入れたのと同様な効果になったものと思われる。

したがって、重ねばりの接合面のすべりに対しては中央 1 点载荷が最もきびしい条件であり、一般の建築構造物の大ばりなどに用いられる場合にはその上に小ばり、スラブなどの固定荷重が等分布に近い状態にかかるので今回の曲げ試験の条件よりは有利になると考えられる。

4. ま と め

建築構造物のプレハブ化の一つの方法として、遠心力 PC くい製造設備と技術を応用して中空 PC 角柱を作り、それを現地で組み合わせ、はりや柱を作ることが考えられた。

その実用化のための基礎試験として、断面が $35 \times 35 \text{ cm}$ で中央に直径 22 cm の穴のあいた長さ 320 cm の単

図-7 スパン中央における繊維ひずみの分布 (曲げ試験)

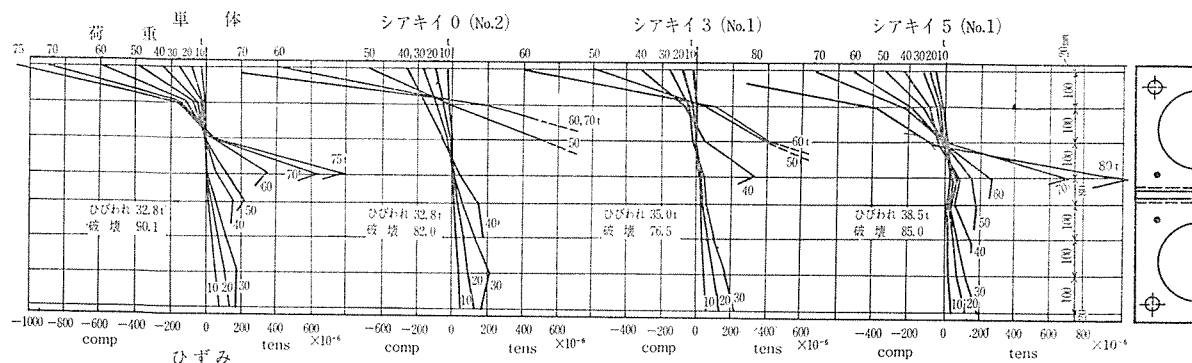
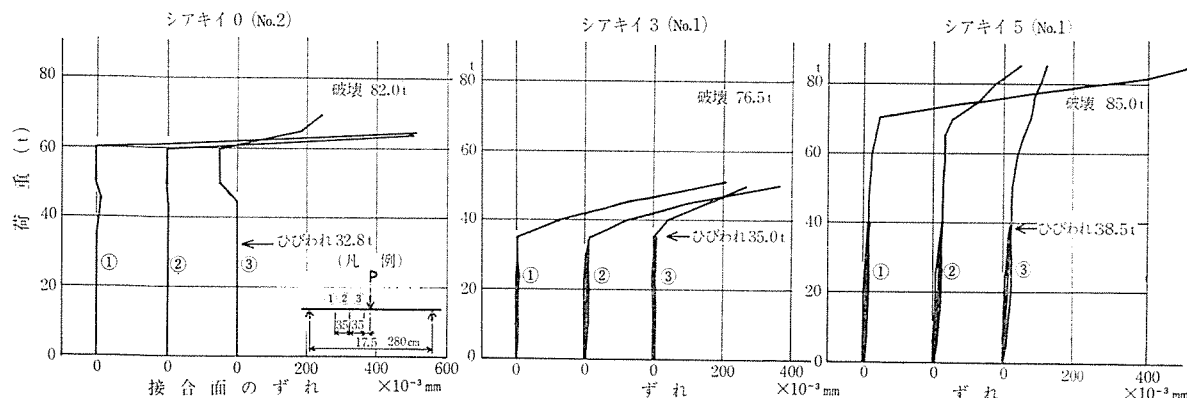


図-8 接合面のずれ (曲げ試験)



材を上下に2本組み合わせた重ねばり供試体を作り、曲げおよびせん断荷重試験を行なった。そのさい、接合面に設けたシアキイの数を0, 3, 5個と変化させ、重ねばりと同一断面、配筋をもった単体はりと比較検討することにした。また結合にあたっては、単材の両端にはめてある鋼製バンドをあらかじめ溶接でつないだのちはりの上・下縁にプレストレスを導入し、単材の反りかえる力を拘束して接合面に圧縮力が働くようにした。

限られた実験の範囲内ではあるが、おおよそつぎのような結論がえられた。

(1) シアキイ5個をもった重ねばりは単体はりとはほぼ同等の性能をもっている。

すなわち、曲げ試験の結果についてみると、2本の供試体の平均値で、ひびわれモーメントは27.6 t・m、破壊モーメントは61.4 t・mであって、単体はりのそれぞれ23.4 t・m および 63.4 t・m とほぼ等しい。

荷重—たわみ曲線はひびわれ荷重までは単体はりとは全く同様であり、ひびわれ発生後も1本の供試体では単体はりより若干大きくなったが、他の1本は単体にきわめて近い。そしてシアキイ0や3個のはりにみられるようなたわみの急増はない。

また繊維ひずみの分布、接合面のすべり、あるいはひびわれや破壊状態から判断してもはりの一体性は十分確保されていることがわかった。

せん断試験の場合は、試験機の容量不足で破壊モーメントは不明であるが、たわみ量が高荷重域で単体より若干大きくなるだけで、その他の性質はとくに問題はなかった。そのときのたわみ量が絶対値としては実用上十分小さく、荷重60 t (30.4 t・m) でスパンの1/1 000程度である。

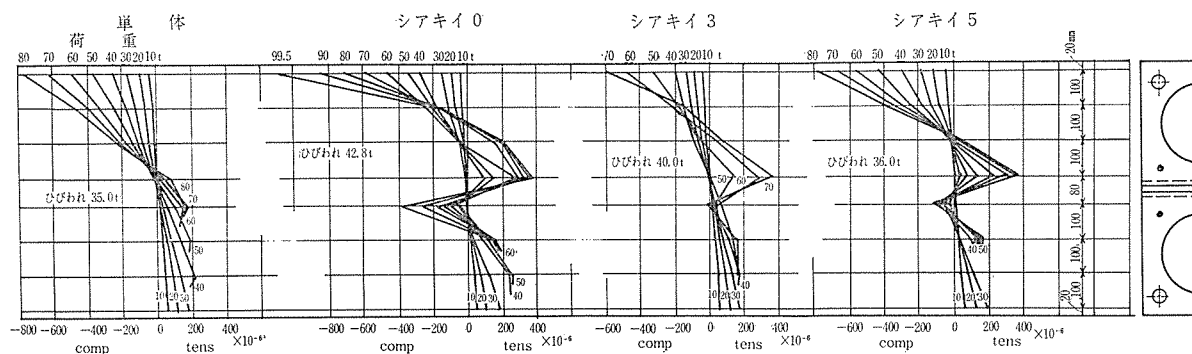
(2) シアキイ3個と0個の重ねばりもひびわれ発生までは単体はりとはほぼ同様な性能をもっている。ひびわれモーメントは単体に劣らないし、たわみやひずみ分布からも一体とみなしうる。しかし、ひびわれが生じたあとは一体性がくずれて接合面に大きなずれを生じ、中立軸が上昇してたわみも急増する。そして最終耐力も10~15%程度単体より低い。ただし、これは中央1点荷重の曲げ試験の場合であって、2点荷重のせん断試験の結果ではシアキイ3個、0個のはりもシアキイ5個のはりとほとんど差がなく単体はりに近い。

せん断試験の場合に、シアキイによる差がなくなったのは、荷重点の下に接合面に圧縮力が働いてずれを生じにくくなったためと考えられる。

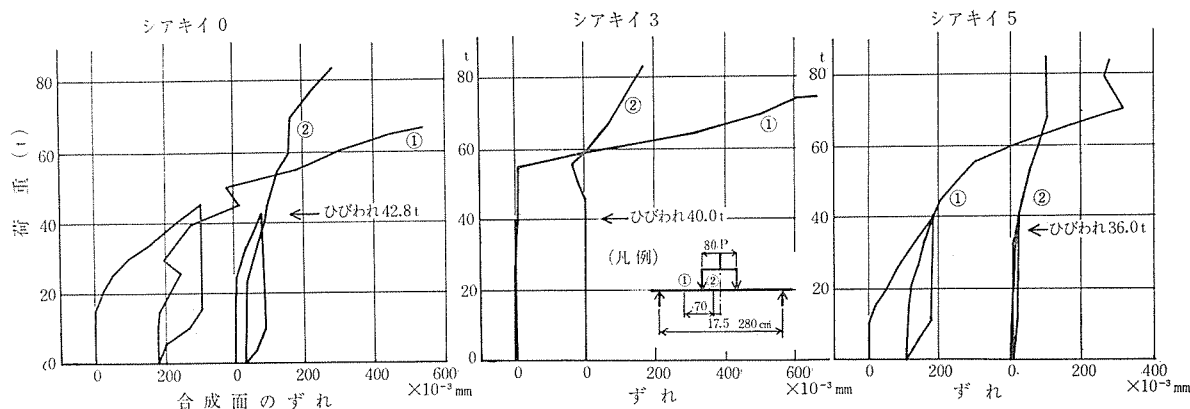
(3) いずれの重ねばりにおいてもひびわれ荷重から0にもどしたときの残留たわみは0.1 mm程度で、P C ばりとしての性質を十分保持している。

このように中空角柱を上、下に2本組み合わせて重ね

図—9 スパン中央における繊維ひずみの分布 (せん断試験)



図—10 接合面のすべり



ばりとして用いる方法は、単材の両端部の固定を十分に
行ない、シアキイを適当な間隔、たとえば 70 cm ピッチ
位に入れるならば、単体はりとはほぼ同等の性能の得られ
ることが確められた。

参 考 文 献

- (1) 乙藤憲一ほか：コンクリート合成桁の接合面に関する

研究，プレストレスト コンクリート Vol. 9, No. 2,
4, 1967

- (2) 黒正清治：プレストレスト コンクリート構造接合部耐
力に関する研究，建築学会論文報告集，89 号，9，昭・
38

- (3) 高橋久雄，外：組立式鉄筋工法，コンクリート ジャー
ナル，Vol. 5, No. 6, 6，昭・42

1969.8.6・受付

会 員 増 加 に つ い て お 願 い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証
されています。現在の会員数は創立当時に比較すると約 4 倍の 1500 余名ですが、ま
だまだ開拓すべき分野が残されております。お知合いの方を一人でも余計ご紹介下さ
い。事務局へお申し出で下されば 入会申込書 はすぐお送りいたします。

申込先：東京都中央区銀座 2 の 12 の 4 銀鹿ビル 3 階

プレストレストコンクリート技術協会 TEL (541) 3595

東京製網製品



PPC

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
BBR工法鋼線
多層鋼より線 (19~127本より)

製造元 東京製網
発売元

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電 話 (211) 2851 (大代表)