

軽量PCコンクリート部材に関する基礎実験

——定着部試験，中型桁試験（曲げ，せん断）——

津 野 和 男*
 泉 満 明**
 杉 浦 征 二***

1. ま え が き

普通コンクリートPC桁と人工軽量骨材コンクリートPC桁（軽量PC桁）との経済比較を行なうと，橋脚，フーチングまで含めた全工事費の比較では，軽量PC桁のほうが安くなる傾向にある。しかしながら人工軽量骨材コンクリートで作ったPC桁に関しては，国鉄の橋梁に数例をみる程度で実施例も少なく，設計にあたっての設計指針の整備も十分でないのが現状である。この実験は，軽量PC桁を計画するに際しての設計の基礎資料の不足を感じて計画したものである。したがって，この実験では，比較的資料の少ないPC鋼材定着部に関する実験，スパン8m程度の中型桁による曲げ，せん断試験および部材のねじりに関する実験を行なった。ここでは誌面の都合もあり，1) PC鋼材定着部試験，2) 中型桁試験，に限って報告する。

2. PC 鋼材定着部試験

(1) 実験の目的

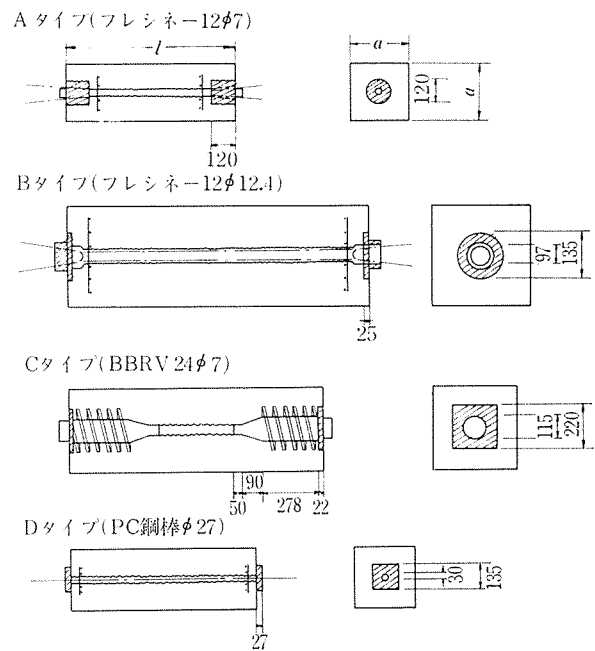
従来，定着部だけ普通コンクリートを用いた軽量PC桁は施工されているが，定着部まで軽量コンクリートを用いた桁は少なく，設計に際しての標準的な方法は示されていない。本実験は，各種PC鋼材定着法による定着具の最小かぶり，および配置間隔を求めるのを主目的とし，軽量コンクリート部材定着部の破壊強度，破壊性状

等を調べることを目的としている。このため，定着工法として，摩擦定着，ねじ止め定着，両者の中間的な定着の3種類の4工法を選んで試験した。

(2) 供試体の種類および諸元

実験に用いた定着工法と供試体の種類，寸法を表一，図一1，2に示す。また，便宜上，各供試体にA-1~D-3までの記号を付けた。供試体の長さは，原則として

図一1 第1回~第3回実験供試体

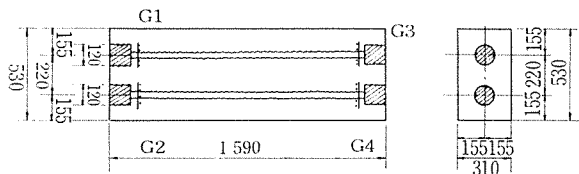


表一1 定着工法と供試体の種類，寸法

定着工法	第1回試験		第2回試験		第3回試験		第4回試験	
	供試体寸法	記号	供試体寸法	記号	供試体寸法	記号	供試体寸法	記号
A工法	280×280×840	A-1	400×400×1200	A-2	200×200×600	A-3	530×310×1590	A-4
B工法	500×500×1500	B-1	360×360×1080	B-2	400×400×1200	B-3		
C工法	420×420×1260	C-1	600×600×1800	C-2	560×560×1800	C-3		
D工法	304×304×912	D-1	216×216×648	D-2	160×160×480	D-3		
供試体数	4体		4体		4体		1体	

* 首都高速道路公団 神奈川建設局次長
 ** " 保全施設部保全企画課
 *** " 第3建設部設計課

図-2 第4回実験供試体
A-4 (フレッシェナー 12φ7 2本)



断面の一边の3倍とした。また供試体には各工法における所定のグリッド以外の補強鋼材は用いていない。

(3) 使用材料

供試体に使用した人工軽量骨材コンクリートは非造粒形の骨材を使用し、試験時目標強度を 400 kg/cm² とし、表-2 に示すような配合のものを用いた。

表-2 軽量コンクリート配合表 (m³)

σ_{ck} (kg/cm ²)	W/C (%)	W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	ボゾリス (kg)	スランブ (cm)	d_{max} (mm)
400	42	169	410	462	607	1.03	8±2	15

P C鋼材は、P C鋼線 φ7 mm、P C鋼より線 φ12.4 mm、P C鋼棒 φ27 mm (第2種) を用いた。

(4) 実験方法

定着部のかぶり：定着具間の間隔を求めることを目的としたため、実験は4回に分けて行ない、前回の結果を検討して次回の供試体の寸法を決定するという方法を取った。

第1回実験：定着具のかぶりの値を普通コンクリートの規定値の1/0.7倍とした供試体により試験した(供試体 A-1, B-1, C-1, D-1)。これは、軽量コンクリートの引張強度が普通コンクリートの約0.7倍という事実から決定した。

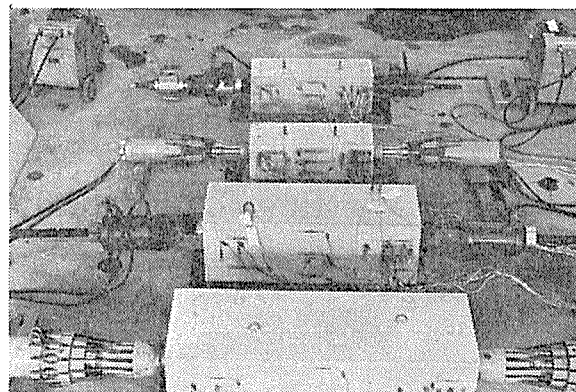
第2回実験：第1回実験で破壊したものは、かぶりの値を普通コンクリートの規定値の2倍まで大きくし(供試体 A-2, C-2)、破壊しなかったものは普通コンクリートの規定値まで小さくした(供試体 B-2, D-2)。

第3回実験：第1回、第2回実験結果から、P C鋼材の最大引張力(P C鋼材の降伏荷重の95%)近くで破壊するように想定した値をとった。

第4回実験：第1回～第3回までの定着具が、一つの供試体の実験結果から、定着具の間隔、かぶりの最適値を求め、これを用いて、二つの並列した定着部を持つ供試体の試験を行ない、その値の確認を行なった(供試体 A-4)。

載荷方法は、第1回～第3回実験では、供試体の両端に各工法のジャッキをセットし、両引きによりプレストレッシングを行なった(写真-1参照)。第4回実験は片引きとし、二つの定着部にジャッキを並列にセットし部材に曲げ引張力が発生しないようにプレストレッシングを行なった。なお、載荷はP C鋼材の最大引張力(降伏点の95%)までとし、それ以上の耐力のあるものはアムスラーを用いて載荷したが、部材が大きくてアムスラーの使用が不可能なものもあった(B-1, A-2)。

写真-1 定着部試験の各タイプ(A, B, C, Dタイプ)(第1回実験)



(5) 第1回～第3回実験の実験結果および考察

表-3 に第1回～第3回実験の結果を示す。本実験の場合、供試体にグリッド筋以外の補強筋を入れなかったため、クラックが発生すると同時に爆発的に破壊する供

表-3 第1回～第3回実験結果一覧表

定着工法	$P_y^{(1)}$ (t)	第1回目実験				第2回目実験				第3回目実験			
		e (mm)	$\sigma_c^{(2)}$ (kg/cm ²)	$\sigma_t^{(3)}$ (kg/cm ²)	破壊荷重 (t)	e (mm)	σ_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	破壊荷重 (t)	e (mm)	σ_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	破壊荷重 (t)
A	67.3 (63.9)	140	441	22.0	63.5	200	413	22.5		100	393	22.6	45[25]
B	167.0 (158.5)	250	435	23.2		180	417	22.0	138	200	404	24.6	135[120]
C	124.6 (118.3)	210	435	23.2	84.0	300	420	24.5	124	115	399	23.2	115[60]
D	41.5 (39.4)	152	441	22.0	73.4*	108	409	22.1	55.8*	80	393	22.6	58.7*

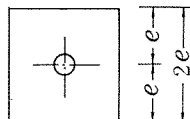
(1) P_y ：降伏点

() 内の値は最大引張力 ($P_y \times 0.95$)

(2) (3) : σ_c , σ_t は円筒供試体による圧縮試験, 割裂試験の値

* はプレストレッシングでは破壊せずアムスラーで破壊した値

[] 内の値はクラック発生荷重である。



報 告

試体が多く、クラック発生荷重と破壊荷重を明確に分けることができないものが多かった。クラック発生荷重が測定できた供試体 (A-3, B-3, C-3, A-4) についてみると、クラック発生荷重 P_{cr} と破壊荷重 P との比 P_{cr}/P は大体 0.5~0.9 の間にあった (写真-2 参照)。

実験結果から、支圧強度 σ_c' とコンクリートの圧縮強度 σ_c の比 σ_c'/σ_c と $\sqrt[3]{A/A'}$ の関係を図示すると 図-3 のようになる。

ここに $\sigma_c' = P/A'$ P : 破壊荷重

A' : 支圧面積

A : 供試体断面積

これによると、工法の違いにより大きな差がみられ、西沢氏の軽量コンクリートの支圧強度を求める実用式¹⁾ $\sigma_c' = 0.6 \sigma_c \sqrt[3]{A/A'}$ も A および D 工法には適用可能とも

写真-2 A-3 供試体の破壊状況

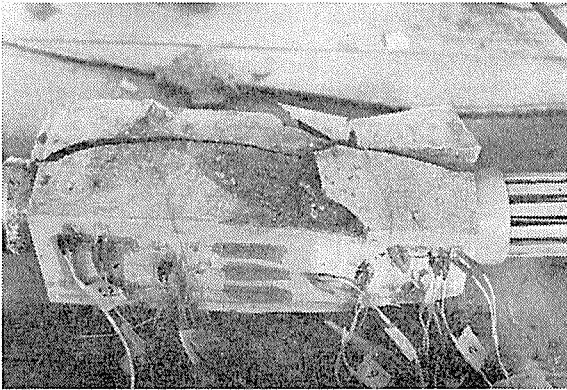


図-3 支圧強度 σ_c' と $\sqrt[3]{A/A'}$ との関係

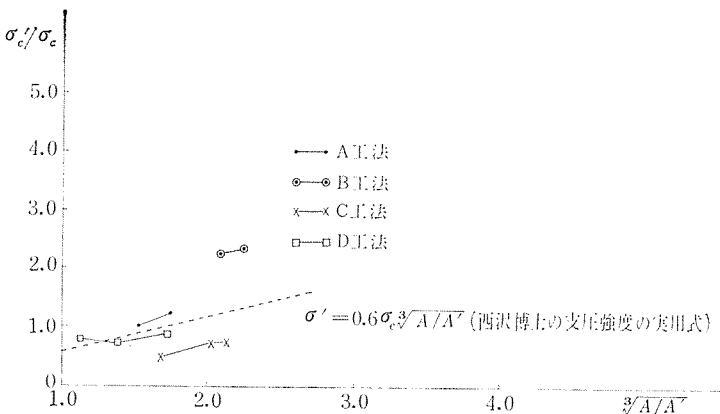


表-4 部材軸直角方向の最大引張応力

(載荷重 $P=20t$ のとき)

供 試 体	第 1 回 実 験		第 2 回 実 験		第 3 回 実 験	
	実 測 値 (kg/cm ²)	理 論 値 (kg/cm ²)	実 測 値 (kg/cm ²)	理 論 値 (kg/cm ²)	実 測 値 (kg/cm ²)	理 論 値 (kg/cm ²)
A 工 法	12.6	22.7	6.3	16.9	21.0	24.7
B 工 法	5.0	10.3	9.5	16.1	4.2	15.2
C 工 法	5.1	6.1	3.1	5.1	3.9	4.9
D 工 法	11.2	14.4	11.9	16.1	28.3	11.1

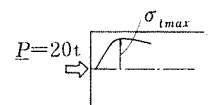
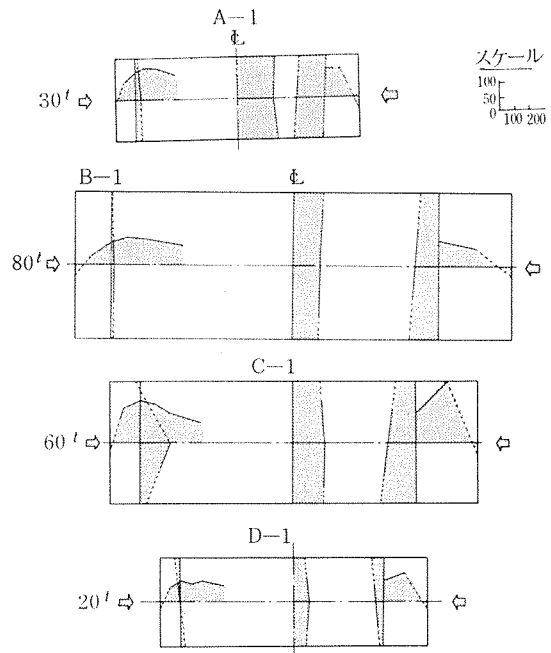


図-4 各タイプのひずみ分布 (第1回実験)

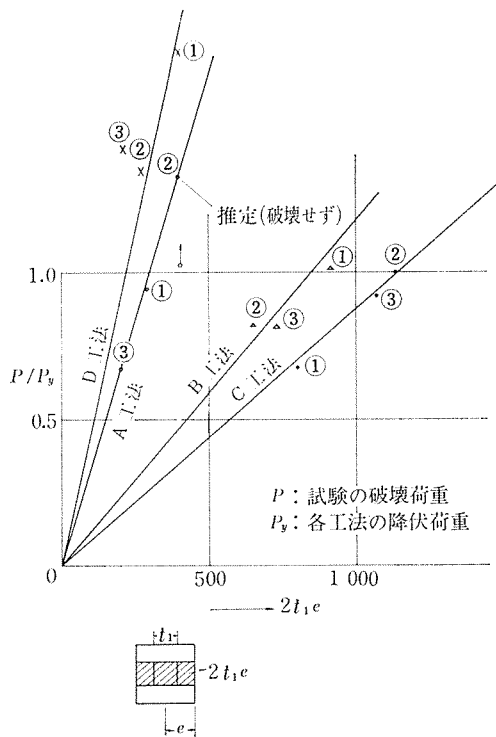


思われるが、B および C 工法に適用はできないように思われる。

図-4 に、各タイプのひずみ分布の一例を示す。これによると、軸方向圧縮ひずみは部材中央断面で一様に分布しており、部材端から断面の一边の 1.5 倍程度離れたらば応力のみだれの影響がなくなる、と考えてよいようである。軸直角方向引張ひずみは、部材端から $1/4 \sim 1/3 a$ (a : 部材断面の辺長) だけ離れた点で最大値を示している。また、軸直角方向ひずみの荷重-ひずみ曲線は、破壊に至るまでほとんど直線的な伸びを示している。

弾性範囲内における軸直角方向の最大引張応力度の実測値と計算値を表-4 に示す。これによると弾性範囲内では、定着部の加圧板が矩形の C タイプと D タイプのものは、おおよそ一致している。A B タイプについては、計算値との間に大きな差がみられる。これは計算の過程で、最大引張応力の発生位置を部材端から $0.3 a$ (a : 部材断面の辺長) だけ離れた所と仮定したこと、加圧面積と同一面積の正方形に換算しな

図-5 定着部試験結果



していることなどが影響しているとも思われる。なお、ここで示した計算値とは、坂、六車、小垣、寺沢氏らが提案している支圧強度に関する近似式によった²⁾。

上記2方法によっては、実験値を十分整理できなかつたので、横軸に $2t_1e$ 、縦軸に P/P_y をとった座標上に実験値をプロットした結果、各工法別に大体直線関係を示していることを発見した。これを図-5に示す。この場合、 P ：破壊荷重、 P_y ：PC鋼材の降伏荷重、 t_1 ：アンカプレート換算辺長（定着具が円形の場合 $t_1 = \sqrt{\pi D^2/4}$ をとる）、 $2e$ ：部材断面の辺長である。この結果から、 $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$ 程度の軽量コンクリートPC部材の定着部の破壊荷重 P を求める式として次の4式を考えた。

A工法

$$P = \frac{2t_1e}{300} P_y \dots\dots\dots (1)$$

B工法

$$P = \frac{2t_1e}{850} P_y \dots\dots\dots (2)$$

C工法

$$P = \frac{2t_1e}{1140} P_y \dots\dots\dots (3)$$

D工法

$$P = \frac{2t_1e}{220} P_y \dots\dots\dots (4)$$

なお、これらの式は、データの数も不十分な実験結果から導き出したもので、コンクリートの強度の影響など

不明な点が多く、今後、データの積み重ねや理論的裏づけを行なう必要がある。

(6) 2つの定着部を持つ供試体の実験(第4回実験)の結果および考察

第1回～第3回の実験から求めた値を確認すると同時に、定着具の適当な間隔を求めるために定着具を2個有する供試体 A-4 を造り実験を行なった。A-4 供試体の製作にあたっては、 $P/P_y = 1.1$ 程度が実用的な値であるとの判断から、定着具の最小かぶり、間隔を決めた。これによると、最小かぶり、間隔とも、普通コンクリートの規定値の 1.55 倍となった。

実験結果を表-5に示す。クラックは上・下の定着具にそれぞれ 50 t, 40 t 合計 90 t を加圧したときに埋殺し、定着端で発生したが、その後、最大引張力 $2 \times 63.9 \text{ t} = 127.8 \text{ t}$ まで加圧しても破壊せず、アムスラーを用いて 140 t のところで破壊した(写真-3 参照)。破壊荷重は前述の式(1)を用いて推定した結果とよく一致しており、式(1)～(4)の式の適用可能なが確認された。しかし、埋殺し定着端において破壊荷重の 65% 程度の荷重でクラックが発生したことは予想外であった。これは、埋殺し定着具がくさび式定着である場合、直径方向に拡大しようとするため、軸直角方向の引張応力が増加、クラックを発生させるものと考えられる。このため、くさび式定着方式の場合、定着具の直径方向の拡大を考慮して、前述の式を補正する必要があると思われる。図

表-5 2つの並列した定着部を持つ供試体の実験結果

供試体	P_y (t)	e (mm)	h (mm)	σ_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	クラック荷重 (t)	破壊荷重 (t)
A-4	67.3 (63.9)	155	220	405	24.5	上 50 下 49	140[90*]

この場合、最大引張力は $2 \times 63.9 = 127.8 \text{ t}$

* はアムスラーで破壊した値

[] 内の値はクラック発生荷重

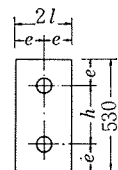


写真-3 A-4 供試体の破壊状況

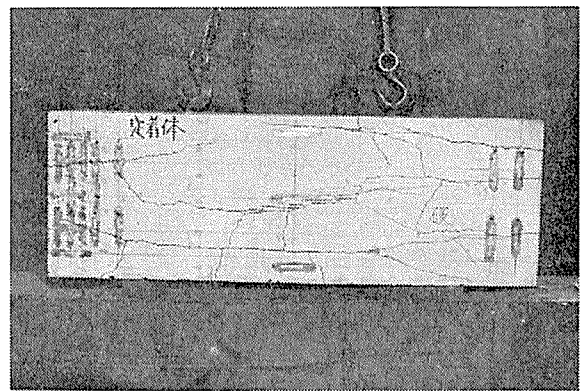
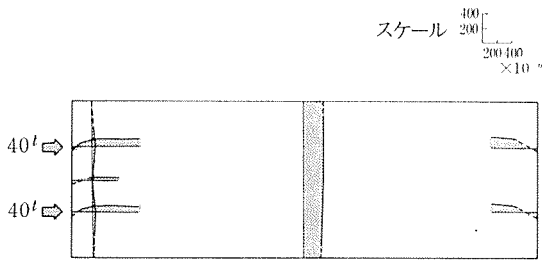


図-6 A-4 供試体のひずみ分布図



—6にA-4 供試体のひずみ分布を示す。

3. 中型桁試験（曲げ，せん断）

(1) 実験の目的

軽量P C桁の曲げ強度，せん断強度に関するデータは多数報告されている。そのため，本実験は，できるだけ大きな供試体を用いて既存のデータの確認をするとともに，実橋に近い桁の性状を調べるのを目的とした。実験には，スパン $l=8.5$ m，桁高 $H=90$ cm の桁を用い，

曲げ実験とせん断実験を，それぞれ1回ずつ行なった。

(2) 供試体の種類および諸元

1) 曲げ実験とせん断実験の供試体は，せん断破壊を起こさせるために，M 桁に比べて S 桁のスターラップ筋の量を減らしてある以外は同じである。M 桁，S 桁諸元および詳細を表-6，図-7に示す。

表-6 曲げせん断供試体の諸元

供試体	スパン (m)	載荷スパン (m)	桁高 (m)	a/d	プレストレス (t)	スターラップピッチ (mm)
M	8.5	1.6	0.9	4.78	30×2=60	150
S	8.5	5.6	0.9	2.01	30×2=60	300

2) 使用材料：軽量コンクリートは，定着部試験に用いたと同じ配合のコンクリート ($\sigma_{ck}=400$ kg/cm²) を用いた。P C鋼材は，P C鋼棒 $\phi 33$ mm (第4種) を用いた。

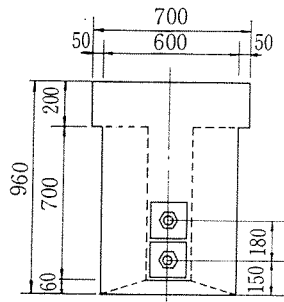
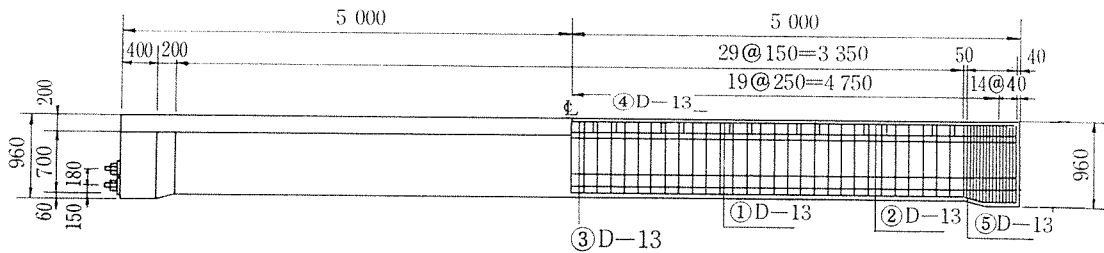
(3) 実験方法

載荷位置は，M 桁では曲げ破壊をするように，載荷ス

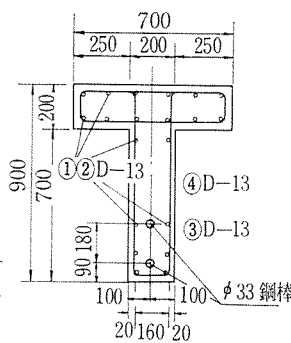
図-7 曲げ，せん断実験用供試体

曲げ供試体 (M)

側面図

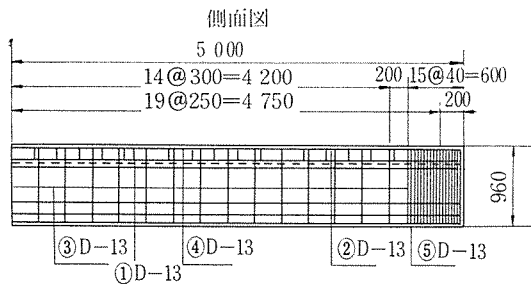


端部外観図



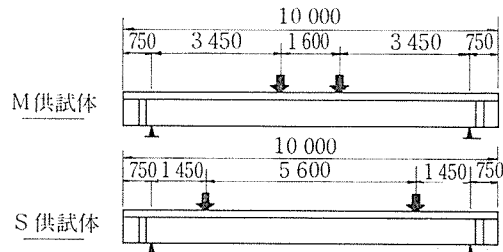
中央断面図

せん断供試体 (S)



側面図

載荷図



パンと桁高の比 $a/d=4.87$ の所, S 桁ではせん断圧縮破壊をするように $a/d=2.01$ の所を選んだ。

載荷方法は, 油圧ジャッキにより 図-7 に示すように 2 点載荷とした。載荷サイクルは, 設計荷重, 弾性限, クラック発生荷重, 弾性限の 2 倍の点まであげて, それぞれ 0 にもどし, その後に破壊までもっていく 5 サイクルのくり返し載荷を行なった。

(4) 実験結果および考察

a) クラック発生荷重, 破壊荷重 クラック発生荷重, 破壊荷重の実測値と計算値を表-7 に示す。これによると曲げクラック発生荷重, 破壊荷重は, 実測値と計算値が比較的よく一致している。破壊性状は, M 桁が曲げスパン内の曲げクラックが伸びて破壊に至る曲げ破壊を示し, S 桁は, せん断スパン内に生じた斜めクラックが伸びて破壊するせん断圧縮破壊を示した。このことは, 既存の曲げ破壊強度, せん断破壊強度を求める計算式の軽量 P C 桁への適用が可能であることを示していると思われる。なお, せん断破壊強度を求める計算式は神山氏の提案式³⁾によった。M 桁, S 桁の破壊の状況を写真-4, 5 に示す。

b) コンクリートのひずみ, 鋼材のひずみ コンクリートのひずみ, P C 鋼材のひずみとも, 弾性範囲内では直線的伸びを示し, 計算値とよく一致している。また, スターラップのひずみは, 斜めクラックの発生までは, ほとんど 0 であるが, 斜めクラック発生後は, トラス理論で計算した値に近い値を示しており, 破壊時近くでは, S 桁で $\epsilon=1\,500 \times 10^{-6}$ ($\sigma_s=3\,000 \text{ kg/cm}^2$), M 桁で $\epsilon=1\,200 \times 10^{-6}$ ($\sigma_s=2\,400 \text{ kg/cm}^2$) にまで達している。

c) 桁のたわみ 図-8 にスパン中央の荷重-たわみ曲線を示す。これによると実測値と計算値は, よく一致している。

4. 結 論

(1) 定着部試験

1) 破壊性状: クラックの発生と同時に急激に破壊してしまうものが大部分であったが, A-3, C-3, A-4 供試体はクラック発生後も相当な耐力を残していた。

2) コンクリートのひずみ: 軸方向圧縮ひずみは, 部材中央断面で一様な分布をしている。軸直角方向引張ひずみの最大値は, 部材端から部材断面辺長の $1/4 \sim 1/3$ 程度の長さだけ入った位置に発生している。最

表-7 クラック発生荷重, 破壊荷重

供 試 体	曲げクラック荷重(t)		斜めクラック荷重 (t)	
	実 測 値	計 算 値	実 測 値	計 算 値
曲 げ 桁 (M)	13.0	10.9	24.0	39.0
せん断桁 (S)	28.0	26.0	36.0	39.0

写真-4 曲げ試験桁の曲げ破壊状況

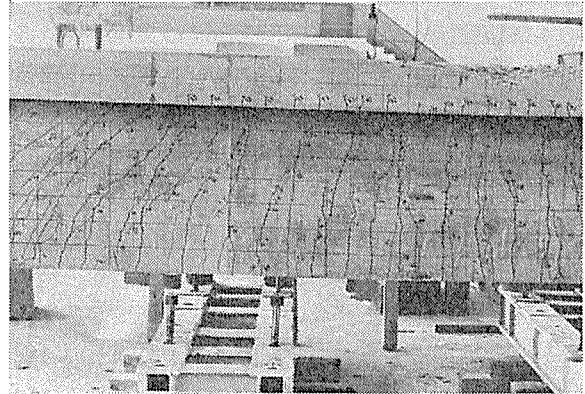
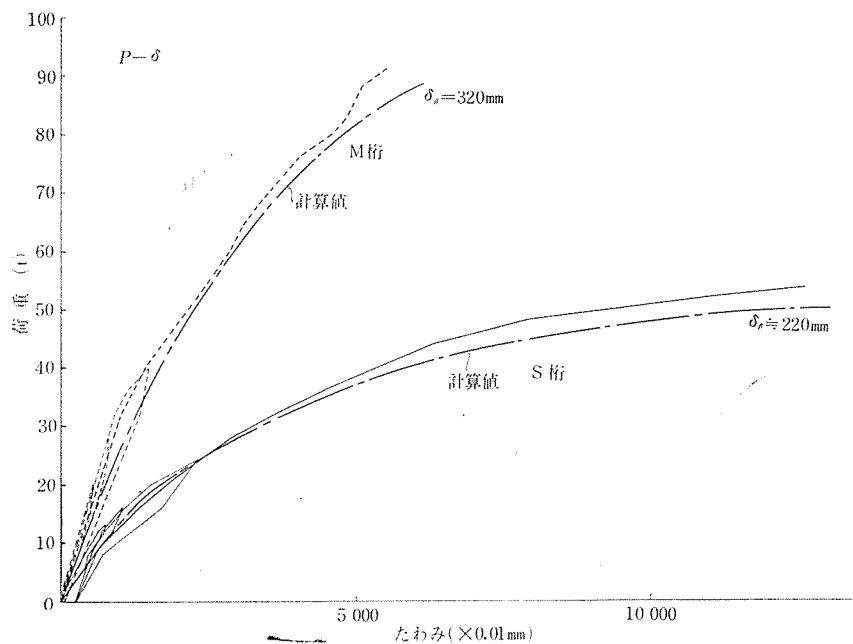


写真-5 せん断試験桁のせん断圧縮破壊状況



図-8 スパン中央たわみ曲線



報 告

大値は、理論値とあまりよい一致を示さなかった。

3) グリッドのひずみ：グリッドのひずみは荷重増加に伴い直線的に伸びており、その大きさはコンクリートひずみの70~90%程度である。C工法のグリッド筋はらせん状で、その直径がアンカープレートより小さいことから、ひずみが一樣な伸びを示さず、グリッド筋としての働きに疑問が残った。

4) 破壊強度：PC工法の場合、その支圧強度は各工法により差が大きく一般にコンクリートで用いるような支圧強度計算式は適用できないと思われる。

実験結果より破壊荷重を推定する式を提案した。その理論的裏づけが急がれるが、今回の実験のように同一コンクリート強度の供試体による実験を整理するうえでは、相当有力な方法と思われる。くさび式定着の場合は埋殺し定着部の実験を行ない再検討する必要がある。

5) 定着具のかぶりおよび間隔：定着具のかぶりについては、部材の破壊耐力をPC鋼材の最大引張力の何倍にしたらよいかの明確な考え方がなく、最小かぶりを決めるときに問題となるが、A-4の供試体の結果から式(1)~(4)で求めたかぶりの1.1~1.2倍程度が目安になるとと思われる。

各工法定着具のかぶりの値は

① D工法の場合、普通コンクリートと同程度のかぶりであり。

② C工法の場合、普通コンクリートの2倍以上必要である。

③ AおよびB工法については不明であった。

④ 定着具の間隔は、AおよびB工法では、普通コンクリートの値の1.5倍程度あれば十分と思われる。

(2) 中型桁試験

1) 桁の挙動がほぼ計算値に一致していることから、

軽量PC桁の曲げおよびせん断の設計計算は、普通コンクリートPC桁の理論式を準用してよいと思われる。

5. あとがき

これらの実験により、人工軽量骨材コンクリートPC桁の定着部に関する多少の資料が得られた。しかしながら、実験結果の検討段階から明らかなように、未解決の問題が多く、今後いっそうの実験的研究の必要が痛感された。

最後に、実験の実施ならびにデータ整理解析を担当された住友建設(株)技術研究所 山本・迎両氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 西沢紀昭・池田状雄：人工軽量骨材を用いたコンクリートの支圧強度に関する実験結果について，日本ACI構造用軽量コンクリートシンポジウム論文集，昭和39年11月
- 2) 坂 静雄・六車 熙・小寺善一・寺沢輝夫：鋼棒使用ポストテンション型PCの定着部応力に関する研究，日本建築学会論文報告集，第55号(昭和32年2月)，第57号(昭和32年7月)，VDC，539.5/6：691.87
- 3) 神山 一：鉄筋コンクリートはりのせん断破壊機構，コンクリートジャーナル，1968年8月
- 4) 山田邦光：レオバ工法966K66型定着試験，プレストレストコンクリート，1968年4月
- 5) 山田邦光・千葉哲雄・金成貞男：PC緊張端の研究，プレストレストコンクリート，1969年3月
- 6) 国分正胤・松本嘉司・村田二郎：軽量PC桁の曲げおよびせん断試験，土木学会コンクリートライブラリー第24号
- 7) 西郷勲次郎・浅沼久志：軽量PCけたの曲げおよびせん断強度，セメントコンクリートNo.279
- 8) 村田二郎：人工軽量骨材コンクリート，コンクリートパンフレット第79号，セメント協会

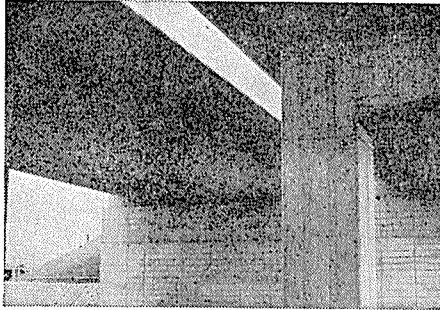
1972.9.20・受付

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5倍の1850余名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されており、お知合いの方を一人でも多くご紹介下さい。事務局へお申し出で下されば入会申込書をお送りいたします。



最高の技術を誇る
鋼弦コンクリート用



是政第1橋

PC

ワイヤ
インデントワイヤ
ストランド
2本ヨリ，7本ヨリ

日本工業規格表示工場 B.B.R.V.工法用鋼線認定工場 P.C.I. (アメリカPC協会) 会員

興國鋼線索株式會社

本社 東京都中央区宝町2丁目3番地 電話 東京 (561) 代表 2171
工場 東京・大阪・新潟

プレストレスト
コンクリート
建設工事 — 設計施工
製 品 — 製造販売



建設省 西湘バイパス道路



日本鋼弦コンクリート株式會社

取締役社長 仙波 隆

本社 東京都新宿区西新宿1丁目21番1号 電話 (343) 5281 (代表)
営業所 東京 Tel 03(343)5271 工場 多摩工場 Tel 0423(64)2681~3
大阪 Tel 06(371)7804~5 滋賀工場 Tel 07487(2)1212
中部 Tel 07487(2)1212 相模原工場 Tel 0427(78)1351
仙台 Tel 0222(23)3842