

プレキャスト コンクリート パイルを柱材とした橋脚の 急速施工と関連の実験

日本コンクリート工業(株)	技術部長	高 野 民 夫
"	研究部長	工 博 杉 木 六 郎
"	研究課長	大 野 英 明

1. まえがき

工場で製造したプレキャストコンクリート部材を現場で組み立てて構造物をつくるという工法は次第に多くなりつつある。このような、いわゆるプレハブ工法の大きなねらいは、構造物の急速施工にあるものと思う。すなわち、コンクリート工事において工期短縮をはばむ、型わく組立て、打ち込み、養生期間をプレキャスト コンクリートで解決しようというのである。これに加えてプレキャストコンクリートは工場生産のために品質のバラツキが少なく、形状・寸法が正確なこと、現場においても天候や気象の影響を比較的受けにくいこと、たとえば寒中の施工管理もプレキャスト部材を用いることにより容易となること、なども大きな利点であろう。

ここに述べるのは、橋梁の橋脚の柱材にPCパイルを用いた例で、同形の橋脚が多数連なる長い橋の場合では、かなり工期の短縮が見込まれるものと思う。

2. 施工の例

(a) 名阪国道一宮避溢橋の例¹⁾

橋脚の構造は図-1に、また柱材とまくらばりおよびフーチングとの取付け部の構造は図-2に示す。

用いたPCパイルは、次のようである。(図-3)

外径 800 mm, 長さ 8 m, 両端部鋼製座板およびバンド付き, プレストレス 89 Kg/cm², 設計ひびわれ曲げモーメント 54 t・m。

施工は、基礎くいの上にPCパイルを建て込み、フーチングのコンクリートを打つ。フーチングとパイルとの結合を完全にするためには写真-1のようにフーチングのアンカー鉄筋をパイルのバンドに溶接している。

(b) 松阪市五曲橋の例²⁾

橋脚の構造は図-4に示す。用いたPCパイルは外径 800 mm, 長さ 3.5 m, 両端部は鋼製座板およびバンド付き, プレストレス 49 Kg/cm², 設計ひびわれ曲げモーメント 37 t・m 施工は(a)の場合と同様である。

(a) 一般図

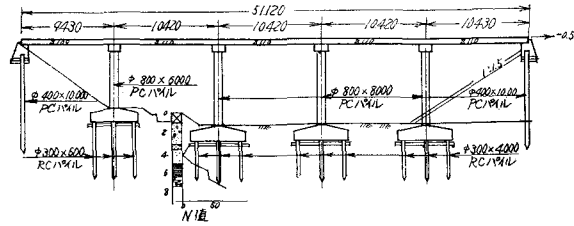


図-1 名阪国道の例

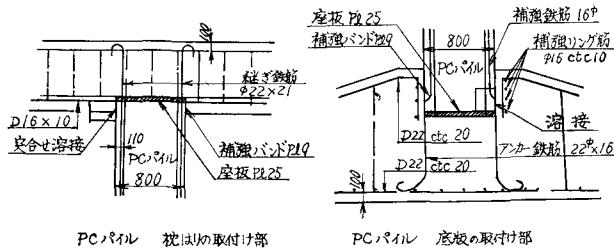
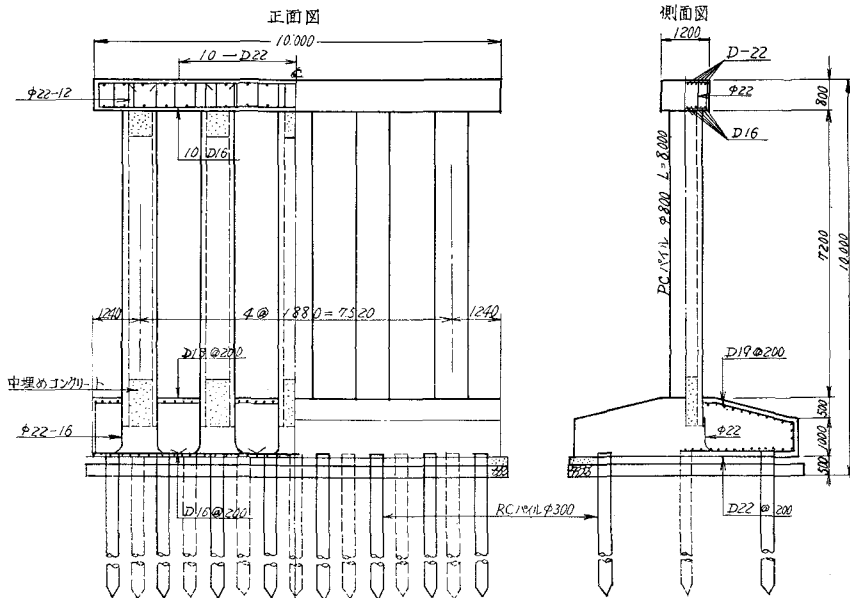


図-2 PCパイル端部の取付け構造



(b) PCパイルを柱材とした橋脚

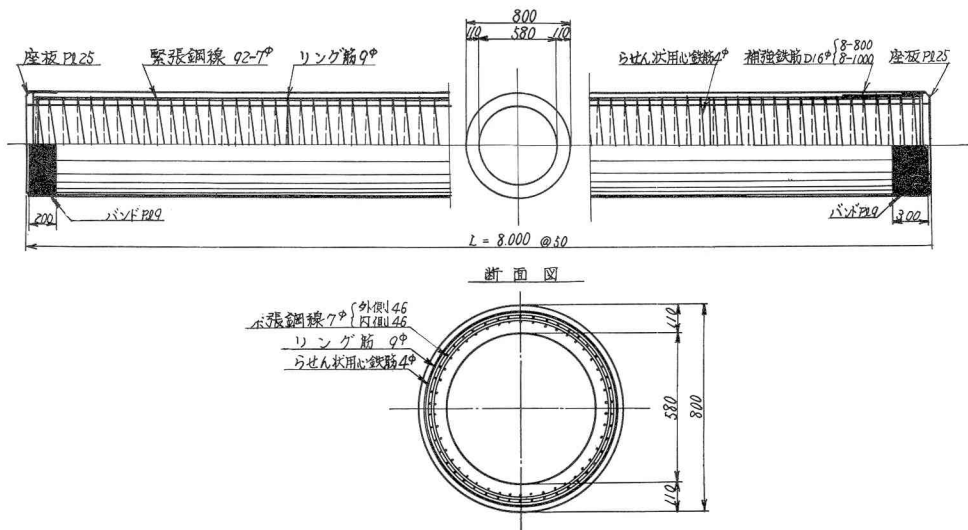


図-3 PCパイルの構造

(c) 愛知県第2天白水管橋の例³⁾

写真-2 に概観を示す。

用いた PC パイルは、外径 1000 mm、長さ 6 m、両端部は鋼製座板およびバンド付き、プレストレス 40 Kg/cm²、設計ひびわれ曲げモーメント 67.4 t.m

施工は、(a)の場合と同様である。

3. 橋脚の載荷実験

前述の例に示したような PC パイルを用いた橋脚が、鉛直荷重および水平荷重を受けたとき、どのような挙動を示すかを調べるため、日本コンクリート工業(株)鈴鹿工場構内に実物模型をつくり実験した。

模型は図-5 に示す通りで、脚柱には径 500 mm、長さ 3 m の PC パイル 2 本を用い、まくらけたおよびフーチングは場所打ちコンクリートとした。

(1) 基礎

基礎地盤は、ボーリング調査の結果表-1 のとおりである。基礎ぐいとして図-5 に示すように径 300 mm、長さ 13 m PC ぐいを 6 本打ち込み、30 cm 厚にぐり石をつめたうえに、厚 10

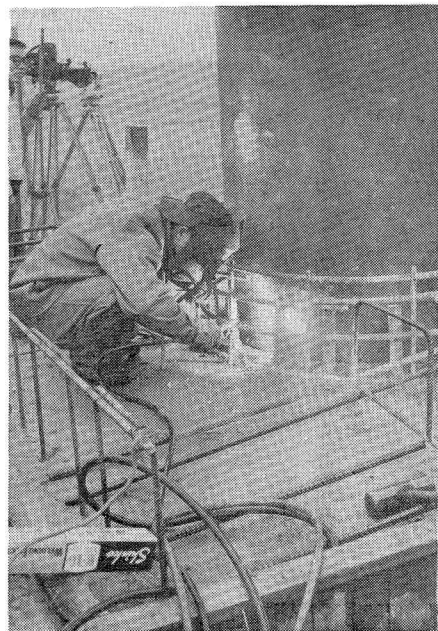


写真-1 アンカー鉄筋と鋼製バンドとの溶接

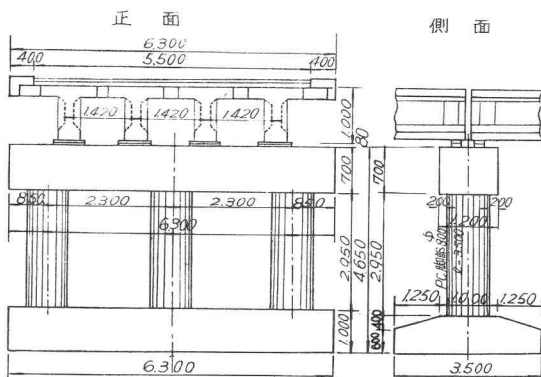


図-4 松阪市五曲橋の橋脚

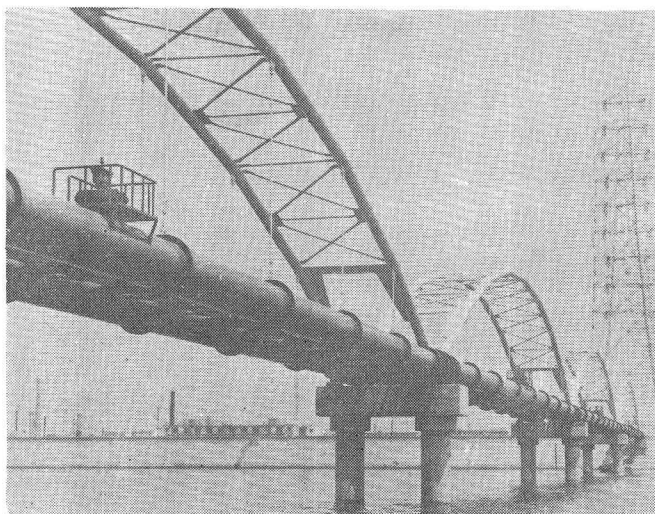


写真-2 第2天白水管橋

鋼 線 : $\phi 7$ mm 鋼線, 引張強度 130 Kg/cm^2 。 降伏点応力度 100 Kg/cm^2 ,
ヤング係数 $2,000,000 \text{ Kg/cm}^2$

プレストレスの導入および成形 : 鋼製端板に定着した鋼線を緊張して型わくにコンクリートを盛り込み, 遠心力締固め成形したのち, 蒸気養生を行なう。蒸気養生を終えたところでプレストレスを導入する。この時のコンクリートの強度は $300 \sim 330 \text{ Kg/cm}^2$ である。

$\phi 7$ mm 鋼線に最初に与えた緊張力は1本当り $2,800 \text{ Kg}$ (プレストレス 74.2 Kg/cm^2) で, 有効引張力はこの 80% とすると1本当り $2,240 \text{ Kg}$ (有効プレストレス 59.4 Kg/cm^2) となる。ただし,

cmの捨てコンクリートを施工した。

(2) 荷重の想定

橋長 9 m の1等道路橋を考え, 橋げたとしてはプレキャストのスラブ橋用 PC 橋げた S-109 (JIS A 5313) を 10 本かけることを想定すると, 脚柱1本当りに対し次のようになる。

鉛直荷重 $V = 38.8/2 = 19.4 \text{ t}$

地震時水平荷重 $H = 7.76/2 = 3.88 \text{ t}$
ただし, 水平震度 $K = 0.2$ とする。

橋軸方向の水平荷重 H により脚柱に生じる最大曲げモーメントはフーチングと

の結合部において

$M = 11.25 \text{ t} \cdot \text{m}$ となる。

橋軸に直角方向の水平荷重

H により脚柱およびまぐらばりに生じる曲げモーメントおよびせん断力は門形ラーメンとして計算すると図-6のようになる。

(3) 柱材に用いたPCパイ

ルの形状, 寸法は図-7のとおり

コンクリート : 単位セメント量 435 Kg , 水セメント比 39% , 標準供試体圧縮強度 530 Kg/cm^2 ,
ヤング係数 $400,000 \text{ Kg/cm}^2$,

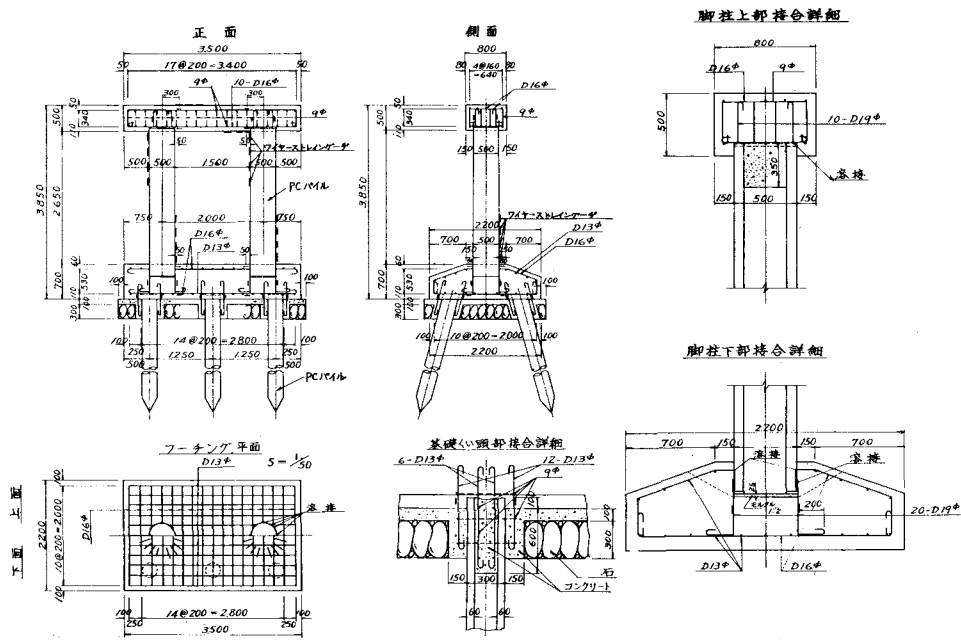


図-5 実験用橋脚構造図

表-1 地質状態

地表よりの 深さ (m)	土 質	標準貫入試験 値 (N 値)
0 ~ 4	表土, 砂質粘土	2~4
4 ~ 7.5	れき混り粗砂	24
7.5~10.5	シルト質粘土	5~10
10.5~14	中 砂	30~40
14 ~15	砂 れ き	40

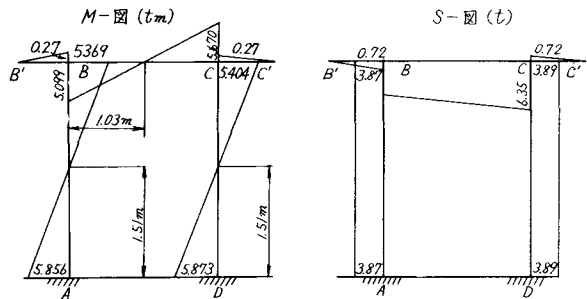


図-6 曲げモーメント図およびせん断力図

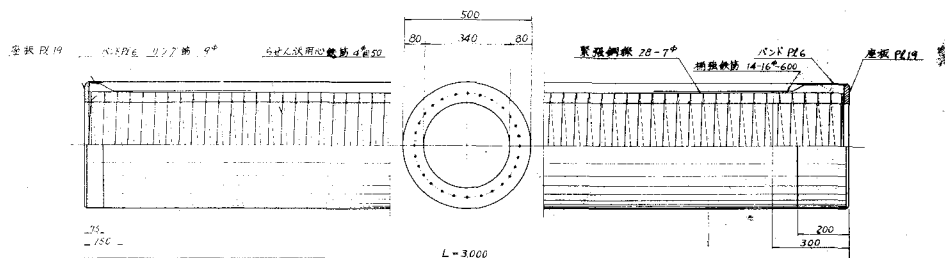


図-7 PCパイプ

ヤング係数比 $E_s/E_c = n = 5$ とした。

(4) まくらげたおよびフーチングのコンクリート

水セメント比 49%, スランプ 7cm, 材令 28 日圧縮強度 340 Kg/cm^2 。コンクリートのヤング係数は 300,000 Kg/cm^2 , 鉄筋とコンクリートとのヤング係数比 $n = 7$ とした。

(5) 載荷試験の方法

載荷方法は図-8に示す。すなわち、容量 100t および 50t のジャッキを用いて、それぞれ鉛直および水平方向に所定の荷重を加えた。

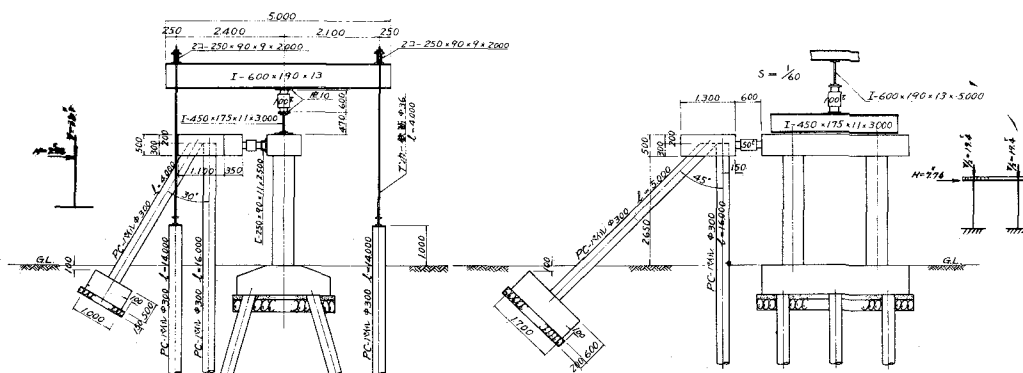


図-8 模型実験載荷装置

まくらばり、柱、フーチングのコンクリート表面（載荷により圧縮側となる面）にはワイヤーストレインゲージをはりつけ、載荷によるひずみを測定した。図-5および表-2にストレインゲージのはりつけ位置を示す。荷重によるたわみはダイヤルゲージで測定した。なお、プレキャスト脚柱と場所打ちコンクリートのはりおよびフーチングとの結合状態を調べるため、この部分の鉄筋にゲージをはりつけておいて載荷時における鉄筋のひずみを測定した。

(6) 載荷試験の結果

(a) 橋軸方向に水平力 $H = 7.76\text{t}$ （脚柱 1 本当たり 3.88t）を加えたとき脚柱各部に生じる応力度は表-2のとおりである。応力度の計算は円環断面をもつ片持ちばりとして求めた。ただし、コンクリ

表-2 橋軸方向載荷により脚柱各部に生じる応力度(Kg/cm^2)

ゲージ		圧縮応力度		引張応力度		載荷とゲージの位置
番号		計算値	実測値	計算値	実測値	
7	95	107	54	—	—	
5	107	110	66	—	—	
3	118	110	77	—	—	
1	131	113	89	—	—	
0	132	—	91	—	—	

〔注〕 圧縮応力度実測値は、測定されたひずみから、 $E_C = 400,000 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ として算出したもの。

ートには、プレストレスがはいっているから、実際にコンクリートに生じる圧縮応力度は表-2の値に有効プレストレス $59.4 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ が加算されることになる。すなわち、1の点についていえば、圧縮応力は計算値で $190 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ 、実測値で $172 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ となる。

(b) 橋軸と直角の方向に

水平力 $H = 7.76 \text{ t}$ を加えたとき脚柱各部に生じる応力度

各部に生じる曲げモーメント(図-6参照)から断面に生じる応力度を計算し、実測値より算出した値と比較したものを表-3に示す。

表-3 橋軸直角方向載荷により脚柱各部に生じる圧縮応力度(Kg/cm^2)

柱 ①			柱 ②			載荷とゲージの位置
ゲージ番号	計算値	実測値	ゲージ番号	計算値	実測値	
20	57	26	19	67	38	
18	45	46	17	55	44	
16	34	40	15	44	36	
14	22	32	13	32	—	
12	37	26	11	48	24	
10	48	38	9	59	24	
8	60	40	7	71	—	
6	72	54	5	82	18	

〔注〕 実測値は、測定されたひずみから $E_C = 400,000 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ として算出したもの。

(c) まくらばり各部に生じる応力度

(b)に示す荷重条件における各部応力度は表-4のとおりである。

(d) 脚柱とまくらばりおよびフーチングとの結合部における鉄筋の応力度

プレキャスト部材と場所打ちコンクリート部材との結合を確実にするため、図-5に示すように $\phi 19 \text{ mm}$ 異

表-4 載荷によりまくらばり各部に生じる圧縮応力度(Kg/cm^2)

ゲージ番号	計算値	実測値	ゲージの位置
26	11.6	2	
25	8.7	2	
24	5.9	2	
23	5.3	5	
22	8.6	5	
21	12.3	3	

〔注〕 実測値は、測定されたひずみから $E_C = 300,000 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ として算出

形丸鋼を、上部結合部(はりとの結合)では10本、下部結合部(フーチングとの結合)では20本用いている。ゲージは場所打ちコンクリートを施工するまえに、圧縮側と引張側との鉄筋をえらび、それぞれ定着長のほぼ中央にはりつけておいた。載荷の方法は(a)お

表-5 載荷によりアンカー鉄筋に生じる応力度 (Kg/cm^2)

水平荷重の方向	はりとの結合部		フーチングとの結合部	
	圧縮側	引張側	圧縮側	引張側
(a) 橋軸に平行	—	—	110	165
(b) 橋軸に直角				
脚柱 ①	60	20	10	—
脚柱 ②	90	30	10	40

[注] 応力度は、測定されたひずみから

$$E_s = 2100000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ として算出}$$

よび(b)と同じである。測定の結果は表-5に示す。

(e) 水平荷重によるたわみ

(a), (b)の載荷時におけるまくらばり中心軸の水平変位量は、表-6のとおりである。

ただし、表-6の値は、載荷によって生じるフーチングの水平変位と傾斜とを補正した値である。これはフーチングは固定されて動かないものと仮定して計算した値と比較するためである。

(7) 破壊の状態

橋軸に直角方向の荷重 H を次第に増加して行くと各部にひびわれが発生し、 $H = 40 \text{ t}$ にいたり、まくらばりの引張側のひびわれが大きく開口し、荷重の上昇はとまった。その状態を図-9に示す。なお、荷重増加にともなう橋脚天ばの水平移動量は図-10のとおりであった。

(8) 実験結果の考察

本実験の結果から、プレキャスト PC パイルを橋脚の柱材に用いた場合、次のことが考えられる。

1) 橋軸方向載荷に対しては、実測されたコンクリートの応力度が計算値に比較的近い値となった。橋軸直角方向載荷では、実測値が計算値

表-6 水平荷重 H によるまくらばりの水平変位位置

(mm)

荷重の方向	計算値	実測値	加えた加重
(a) 橋軸に平行	3.7	3.68	$H = 7.78 \text{ t}$ $V = 38.8 \text{ t}$
(b) 橋軸に直角	2.0	1.38	$H = 7.78 \text{ t}$ $V = 38.8 \text{ t}$

[注] 1) 荷重の大きさは、脚柱1本当りでは $\frac{1}{2}$ となる。

2) 鉛直荷重としては、まくらばりの自重 3.36 t が加わる。

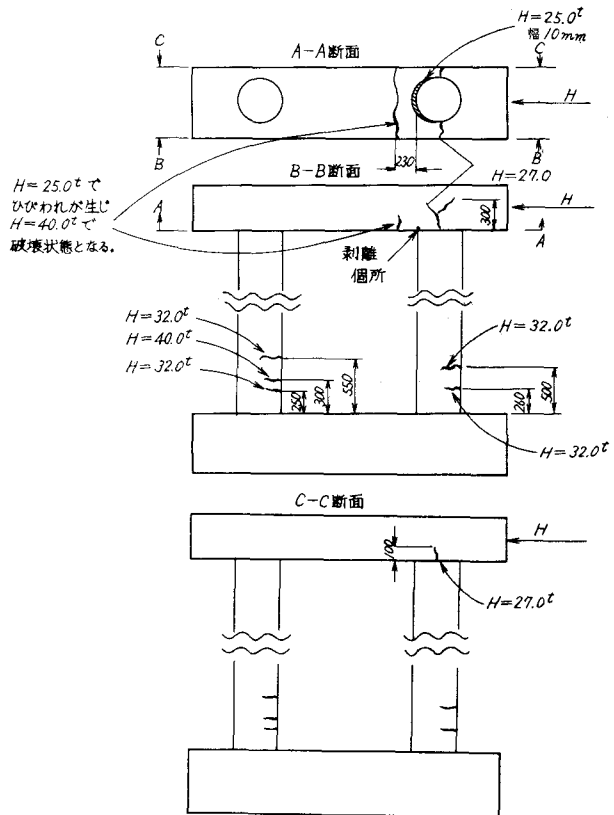


図-9 破壊の状態

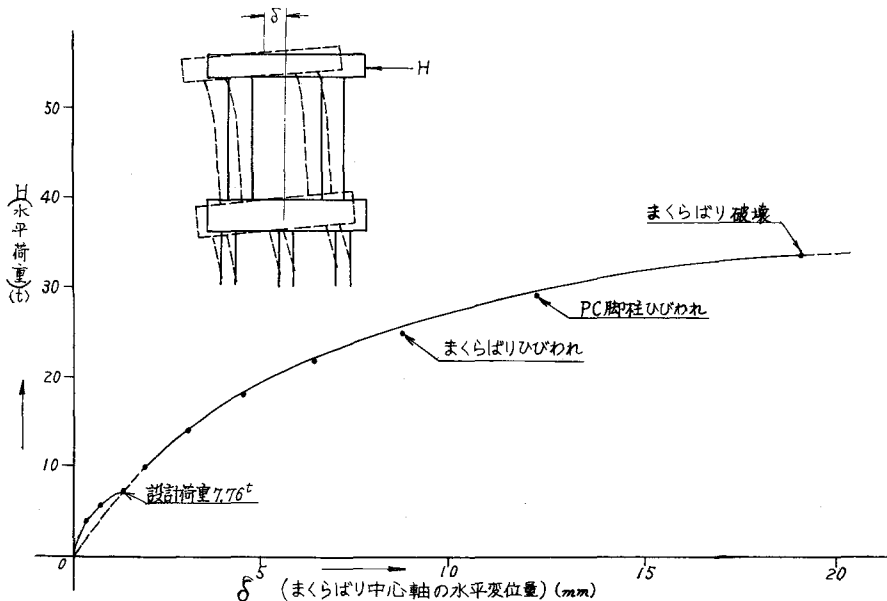


図-10 荷重Hによるまくらばりの水平変位

よりかなり小さい値を示した。これは、前者の場合は片持ばりなので問題ないが、後者では門形ラーメンであるから部材図心間距離をもって計算スパンとしたことに実測値と計算値との間に相違をきたす原因があったと思う。すなわち実際には剛節点が下にさがってスパンが計算スパンより短くなるからであろう。このことは、破壊時においても、まくらばり、脚柱、フーチングの結合部付近は健全であったことから明らかである。

2) 破かい荷重は設計水平荷重の約5倍で、まくらばりの引張側で破壊した。

3) 1), 2)のことから、プレキャスト部材と場所打ちコンクリート部材との結合部は、本実験におけるような設計施工をすれば十分に信頼できる。したがって、剛結合のラーメンとして計算し、これより部材断面応力度を求め、あるいは断面を決定することは充分安全なものと思う。

4. 板と丸鋼との溶接の試験

PCパイルの端部には、鋼板のバンドを付けている。前述のように、この鋼製バンドに丸鋼を溶接してアンカー鉄筋とすることは、プレキャスト部材と場所打ち部材との結合を確実にするうえから大切な工法と思う。そこで、板と丸鋼とを溶接したときの接着強度について試験した。

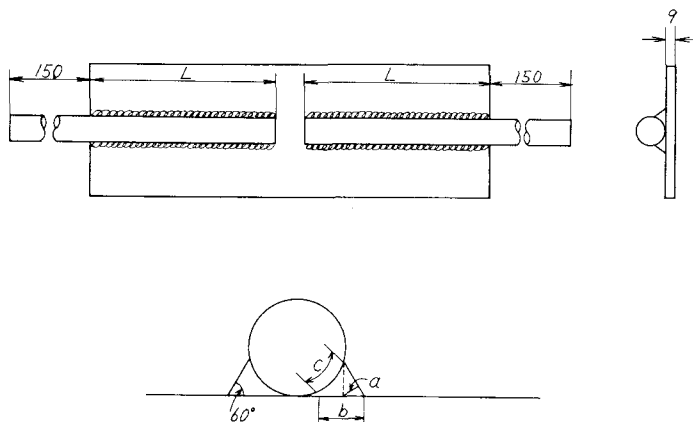
(1) 供試体の製作

鉄筋はSD 30, 径 32, 29, 25, 22, 19mm, 板は厚さ 9 mm, 溶接棒はJIS Z 3211 軟鋼用被覆アーク溶接棒, 溶接機は日立交流アーク 300A. 下向き溶接

(2) 試験結果

試験は鉄筋の両端をくわえて、破断するまで引張った。結果は表-7のとおりで、大部分が母材で破壊し、溶接部が破壊したものは15本中2本であった。しかも、溶接部で破断したのは、溶接長を短く、設計の $\frac{1}{2}$ としたものである。これよりみて定着筋をバンドに溶接する工法は溶接作業さえ適当であれば充分信頼できるものと思われる。

表-7 溶接部引張り試験成績



ϕ	h (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	L (mm)	Smax (t)	鉄筋破断強さ (t)	供試体破断 荷重 (t)	破断箇所
D32	11	5.5	12	13	162	21.38	38.92	37.20	プレート 切断
					130			39.60	母材 "
					100			37.40	プレート "
D29	10	5.0	13	13	144	17.28	31.48	36.60	母材 "
					110			31.70	母材 "
					80			30.50	母材 "
D25	9	4.5	10	11	126	13.61	24.83	28.30	母材 "
					90			24.80	母材 "
					60			23.10	溶接部 "
D22	8	4.0	8	8	109	10.46	18.97	20.30	母材 "
					80			20.30	母材 "
					50			18.60	溶接部より剝離
D19	7	3.5	8	8	92	7.73	14.04	14.80	母材 切断
					70			14.90	母材 "
					50			14.80	母材 "

〔注〕 $S_{max} = \Sigma 2 a L \tau_s$ 設計に使用したせん断強さ

ここに $\tau_s = 800 \times 1.5 = 1,200 \text{ Kg/cm}^2$

5. む す び

プレキャスト コンクリート パイルを柱材とした橋脚の例と、その載荷実験とについて述べた。載荷実験の結果からは、本工法が設計に対し充分安全であり、信頼できることがわかった。問題は、本工法を採用することにより、現場打ち施工と比べ、工期と工費の点でどのくらい有利となるかということである。これについてはまだ施工例が少ないし、筆者らメーカーの立場からは求めにくい問題である。ここに発表された三重県松阪市五曲橋報告²⁾の一部を引用させていただくと次のとおりである。

この例における P O 脚柱の建て込みは表-8 に示した実績のとおり、工費、人員、工期において現場打ち鉄筋コンクリート造に比べてかなりの利点を示している。

表-8 プレキャスト工法と現場打ち工法との比較

区 分	種 別	橋 脚 (1 基 当 り)					備 考
		工 事 費	率	作業者 延員数	率	工 期	率
	プレキャスト P O 橋脚	1,399,100 円	99.7 %	133 人	72.3 %	15 日	72.5 %
	現場打ち R C 橋脚	1,403,300 円	100 %	184 人	100 %	20.7 日	100 %

以上、本報文を書くにあたって、図面の掲載ならびに報告を引用させていただいた中部地建名阪国道工事々務所、愛知県工業用水課および、三重県松阪市役所の関係の方々に心からお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 住友、林、尾関： P O パイルを用いたラーメン橋脚，第 14 回工事報告会論文集，道路編，昭．40．8
- 2) 道路橋の橋脚に既成遠心力 P O 部材を使用した設計例，橋梁，昭．40．9．
- 3) 第 2 天白水管橋構造計算書，太田義一，昭．39．2．