

遠心力成型によるプレストレスト コンクリート建築部材について

杉 森 光 一*
本 田 賢 太 郎**

1. ま え が き

建築業界は経済性、工期短縮、省力化等にウエイトをおいたプレハブ化建築が急速に増大し、各種工法と部材をつぎつぎと開発している。

コンクリート系ではその主流は板式構造によって代表されているが、しかし、最近では自由に設計できるラーメン式構造の技術開発が活発になるとともに、その部材の開発、量産化の関心がたかまってきた。

コンクリート建築資材メーカーは、鉄鋼などと同様にプレハブ建築に必要な柱、はり、桁等の骨組部材を供給する体勢を整えるべきであるとの心構えから、筆者らはこの部材の研究開発に深い感心を持ったわけである。大きなプラントと販売網を持ち、かつ大量生産ができるパイル・ポールメーカーが既存の遠心力成型技術と設備を活用し、その特色を生かした部材を供給することも一策である。

遠心力によりコンクリートを締め固め成型する技術は、1920年頃にオーストラリアの W.R. Hume によって発明され、いわゆるヒューム管の呼称で鉄筋コンクリート管が製造されるようになった。この技術は、わが国には昭和の初め頃導入され、幾多の研鑽を経て遠心力締め固め成型による高強度プレストレスト コンクリートくい、プレストレスト コンクリートくい、コンクリートポール、ヒューム管等のすぐれたコンクリート製品製造に利用された。今日ではこの分野では質、量とも先進国に優るとも劣らないまで目覚しい発展をみるにいたった。ちなみにわが国の主要コンクリート製品の昭和46年度(1月～12月)出荷高は表-1のごとく、遠心力成型製品が最大である。なお、昭和46年12月末におけるパイル・ポールメーカーは57社130工場である。

遠心力締め固め成型技術の特色は、一般的に

1) 同一配合の通常締め固めコンクリートに比べ、圧縮強度が大きく、経済的なコンクリートの成型ができる。

* アサノポール株式会社 技術開発部長
** " 技術開発部

表-1 昭和46年度主要コンクリート製品出荷高

(単位：t)

遠心力製品			護岸用コンクリートブロック	道路用コンクリート製品	P C 製品		
管	ポール	パイル			まくらぎ	はり・桁	その他
3 720 363	810 968	6 407 145	4 235 602	3 910 473	303 131	341 497	341 827
10 938 476			—		986 455		

通常10～20%くらい大きいといわれている。

- 2) 均一緻密な高強度良質のコンクリートが得られる。
 - 3) 仕上り肌が美しい。
 - 4) 大量生産方式に適している。
 - 5) プレテンション方式によるプレストレス導入が型わくをとおして簡易にできる。
 - 6) 中空部を種々の目的(機能、軽量、施工)に対し有効に利用できる。
- 等きわめて利点が多い。

筆者らはこの優れた技術をプレハブ建築部材に利用することに着想した。すなわち、

- 1) 大量生産ができる。
- 2) 品質管理のゆきとどいた工場で一貫作業ができ、良品の製品が得られる。
- 3) 建築部材として必要な耐火、耐久、仕上り、軽量化の面で優れている。
- 4) コストが安くできる。

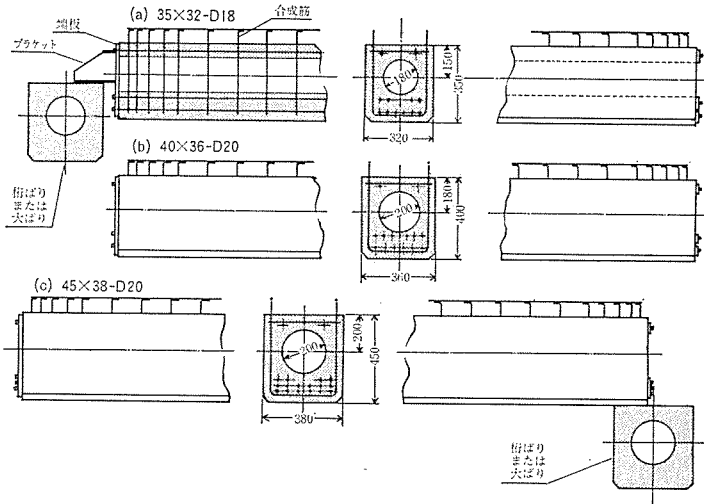
等のメリットを考え、数年前よりこの研究開発に取り組んできた。

先に本誌上に報告した基礎実験研究等に引続き、種々の問題点を解決し、プレストレスト コンクリート建築部材の一つとして Prefab Hollow Concrete Beam の製品を企業化したので概要を報告する。

2. PHC ビーム

Prefab Hollow Concrete Beam を PHC ビームと呼び、説明に便ならしめる。この PHC ビームはすでにまえがきでも述べているが、遠心力を利用して成型され

図-1 PHC ビーム規格断面構造図



たプレキャストコンクリート製品であり、その際できる円型の中空孔の中心をそのコンクリート断面の中心軸に対して偏心して製作され、同時にプレテンション方式により導入されたプレストレスの合力の中心もまた、同軸に対して反対側に偏心して製作された特殊なPCビームである。いまこのPCビームを単体ばり (BS) と名付け、そのBS上面に合成筋を突出させ、この部分に現場打ちコンクリートを施工したT型ばりを合成ばり (BC) と名付けておく。

3. BS の規格断面構造図

PHC ビームの BS としての規格断面は 図-1 (a)~(c) の3種類とし、長さは 15m 以下に限定されている。

注：図-1 (a)~(c) の各断面は次の特徴がある。

- 1) 円形、中空孔および合力中心が偏心している。
- 2) はり上面に合成筋が突出。
- 3) 支持方法は左端には端板およびブレイクを用い、右端には支持金物がなく、直接桁はあるいは大ばり等に支持した場合は示す。
- 4) はりはすべて単純支持ばりである。

4. 規格断面の性能図表

注：1) 表-2~4, 図-2 はすべて規格3種の断面について後記の公式より算出したものである。2) BS については許容の M_a, Q_a 等が示されているが、BC については示していない。これは公式で了解されるが、荷重の ω_D, ω_L によって許容の M_A, Q_A が異なるためである。すなわち、BC の場合は荷

表-2 断面の記号

(BS, 用)		(BC, 用)	
h 寸幅	A コンクリート全断面積 (中空孔は除外)	BC 左のBSの上に増板(B)を合成したもの	H 寸幅
b 寸幅	A の重心	G 全断面(A+B)の重心	B 寸幅
f 中空孔の中心	PC筋の合力の中心とg軸との距離	H-G	G 軸に対する全断面の2次モーメント
A コンクリート全断面積 (中空孔は除外)	g 軸に対するAの2次モーメント	H ₁ H-G	Z ₁ I ₀ /G
B 全断面(A+B)の重心	Z ₁ I ₀ /G	H ₂ H-G	Z ₂ I ₀ /H ₂
G 全断面(A+B)の重心	Z ₂ I ₀ /H ₂	I ₀ G 軸に対する全断面の2次モーメント	σ_f f軸より下部の断面積のG軸に対する1次モーメント
H-G	Z ₁ I ₀ /G	Z ₁ I ₀ /G	σ_t f軸より上部の断面積のG軸に対する1次モーメント
H ₁ H-G	Z ₂ I ₀ /H ₂	Jf I ₀ /G	Jf I ₀ /G
H ₂ H-G	Jf I ₀ /G	J1 I ₀ /G	J1 I ₀ /G
I ₀ G 軸に対する全断面の2次モーメント	M _a 許容モーメント	M ₁ 許容モーメント	M ₁ 許容モーメント
Z ₁ I ₀ /G	M _{cr} きれつ	M _{cr} きれつ	M _{cr} きれつ
Z ₂ I ₀ /H ₂	M _b きれつ	M _b きれつ	M _b きれつ
Jf I ₀ /G	η 有効率=0.8	η 有効率=0.8	η 有効率=0.8
J1 I ₀ /G	$n_0 = \frac{\text{現型コンクリート} E_c}{\text{プレカス} E_p} = 0.725$	$n_0 = \frac{\text{現型コンクリート} E_c}{\text{プレカス} E_p} = 0.725$	$n_0 = \frac{\text{現型コンクリート} E_c}{\text{プレカス} E_p} = 0.725$
M _a 許容モーメント	Q _a 許容せん断	M ₁ 許容モーメント	Q ₁ 許容せん断
M _{cr} きれつ	Q _y 降伏せん断	M _{cr} きれつ	Q _y 降伏せん断
M _b きれつ		M _b きれつ	Q _y 降伏せん断
η 有効率=0.8		η 有効率=0.8	

重 $\omega_T = \omega_D + \omega_L$ の ω_T のみにて M_A, Q_A 等が一定値をとるのではなく、 ω_D と ω_L のおのおのの荷重の大きさにより、 M_A, Q_A が種々の値をとるものである。念のため付言しておく。

5. PHC ビームの速算設計グラフ

B S, B C の PHC ばりとしての設計は許容設計抵抗モーメントのみを設計すれば、その他のひびわれ、破壊モーメントはもちろん、せん断に対する検算も普通の場合には必要がないことが多くの計算結果より認められた。そのため、積載荷重としてはアパート、学校、事務所およびガレージに準じて建築規準荷重と仕上げ荷重の和を用い、もっとも手数のかからない速算設計グラフを次の

図-2 BC の性能グラフ

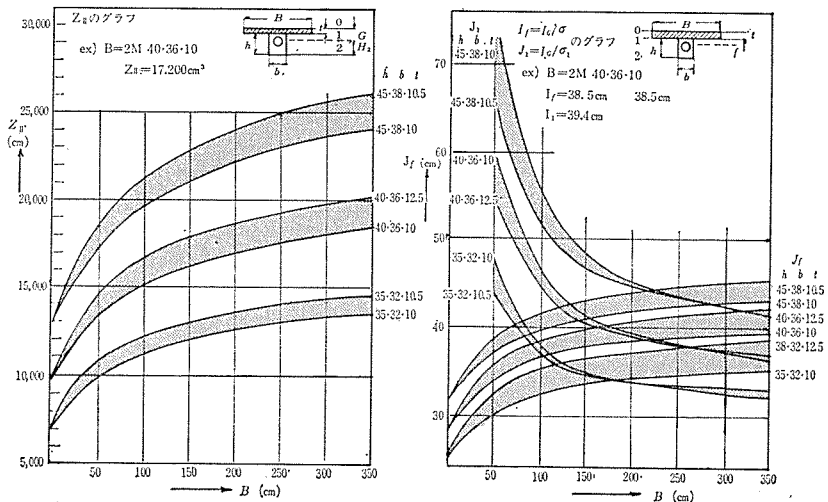


表-3 B S 性能表

断面の種類	h	b	f	A	g	h_2	I_g	Z_1	Z_2	P	e	Pe	S_f	$j_f = \frac{I_g}{S_f}$
cm×cm	cm	cm	cm	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm ³	kg	cm	kg-cm	cm ³	cm
35×32	35	32	15	866	18.2	16.8	107 000	5 879	6 369	89 180	7.64	6.81×10 ⁵	4 244	25.20
40×36	40	36	18	1 126	20.6	19.4	182 400	8 854	9 402	114 600	8.90	10.19×10 ⁵	6 441	28.31
	45	38	20	1 396	23.1	21.9	277 800	12 020	12 680	147 400	9.00	13.26×10 ⁵	8 803	31.55

表-4 B C の性能表

35×32						40×36						45×38					
t (cm)	B (cm)	Z_{II} (cm ³)	J_1 (cm)	J_f (cm)	G (cm)	t (cm)	B (cm)	Z_{II} (cm ³)	J_1 (cm)	J_f (cm)	G (cm)	t (cm)	B (cm)	Z_{II} (cm ³)	J_1 (cm)	J_f (cm)	G (cm)
10	50	9 803	46.7	30.9	22.8	10	50	13 370	59.5	34.2	25.7	10	50	17 248	73.2	37.0	28.6
10	100	11 241	37.9	32.7	19.4	10	100	15 302	46.0	36.4	22.4	10	100	19 723	54.4	39.3	25.4
10	150	12 048	35.0	33.7	17.15	10	150	16 457	41.6	37.6	20.0	10	150	21 286	48.2	40.6	22.9
10	200	12 576	33.7	34.3	15.5	10	200	17 233	39.4	38.4	18.2	10	200	22 369	45.1	41.4	21.0
10	250	12 956	33.0	34.8	14.2	10	250	17 793	38.0	38.9	16.8	10	250	23 169	43.25	42.1	19.5
10	300	13 247	32.4	35.2	13.2	10	300	18 230	37.3	39.4	15.6	10	300	23 786	42.1	42.5	18.2
10	350	13 482	32.2	35.52	12.4	10	350	18 576	36.7	39.7	14.7	10	350	24 281	41.3	42.9	17.1
12.5	50	10 779	43.6	32.8	23.9	12.5	50	14 527	54.2	36.1	27.0	12.5	50	18 589	65.5	38.7	30.0
12.5	100	12 389	37.2	34.9	20.1	12.5	100	16 725	44.0	38.6	23.2	12.5	100	21 444	51.2	41.4	26.2
12.5	150	13 259	35.2	36.1	17.7	12.5	150	17 975	40.7	39.9	20.5	12.5	150	23 148	46.5	42.8	23.4
12.5	200	13 827	34.2	36.8	15.9	12.5	200	18 799	39.1	40.8	18.6	12.5	200	24 295	44.2	43.8	21.3
12.5	250	14 242	33.7	37.4	14.7	12.5	250	19 396	39.0	41.5	17.1	12.5	250	25 130	42.9	44.5	19.2
12.5	300	14 569	33.5	37.9	13.7	12.5	300	19 858	37.6	42.0	16.0	12.5	300	25 773	41.9	45.0	18.4
12.5	350	14 541	33.4	38.3	12.9	12.5	350	20 231	37.3	42.4	15.1	12.5	350	26 289	41.4	45.4	17.3

規約により作成した。

表-5 荷 重 表

(1) 1 断面の形状, 張間, 間隔等

h : BS の 2 はり丈 (cm)

b : BS の 2 はり幅 (cm)

t : BC の床版の厚さ (cm)

B : BC の床版の有効幅, m,

$$B = b' + \left(1 + 0.6 \frac{a}{l_0}\right) a$$

b' : BC の合成面の幅 (m),

$$b' = (b-4)/100$$

a : 小ばりの内のり近似間隔 (m),

$$a = p - b'$$

p : 小ばりの中心間隔 (m)

(2) 荷 重

ω_D : (はり+床版+型わく等) の自重 (T/m)

ω_L : (積載+仕上げ-型わく等) の荷重 (T/m)

として表-5を得る。

(3) 計 算 式

a) BS はり間隔 p と有効張間 l_0 との関係

$$l_0^2 = 134 \times z_2 \times 10^{-4} / \omega_T,$$

$$\omega_T = (\omega_D + \omega_L) p \dots\dots\dots (a)$$

p と l_0 の関係を 図-3~5 の点線の部

	ω_D (T/m)	ω_L (T/m)
は り	h b	仕 上 げ 0.12 } 型わくその他 0.04 } 0.08 T/m ² × p
	自重 35・32……0.25 T/m	
	40・26……0.31 ”	
ス ラ ブ 型わくその他	45・38……0.38 ”	積載荷重 アパート……0.18× p 学 校……0.23× p 事 務 所……0.30× p
	t	
	自重 0.1 M・0.24 T/m ² } 0.04 ” } 0.28 T/m ² × p	
ス ラ ブ 型わくその他	t	ガレージ……0.55× p
	自重 0.125 M・0.30 T/m ² } 0.04 ” } 0.34 T/m ² × p	

上表より下記の荷重表を得る。

h b	BC 用 荷 重 (T/m)			BS 用 荷 重 (T/m)	
	ω_D	ω_L	$\omega_T = \omega_D + \omega_L$	ω_T	
35・32	0.25+0.28 p	0.26 p	0.25+0.54 p	0.25+0.54 p	アパート
		0.31 p	0.25+0.59 p	0.25+0.59 p	学 校
		0.38 p	0.25+0.66 p	0.25+0.66 p	事 務 所
	0.25+0.34 p	0.63 p	0.25+0.97 p	0.25+0.97 p	ガレージ
40・36	0.31+0.28 p	0.26 p	0.31+0.54 p	同 左	アパート
		0.31 p	0.31+0.59 p	”	学 校
		0.38 p	0.31+0.66 p	”	事 務 所
	0.31+0.34 p	0.63 p	0.31+0.97 p	”	ガレージ
45・38	0.38+0.28 p	0.26 p	0.38+0.54 p	同 左	アパート
		0.31 p	0.38+0.59 p	”	学 校
		0.38 p	0.38+0.66 p	”	事 務 所
	0.38+0.34 p	0.63 p	0.38+0.97 p	”	ガレージ

$p = m$

Q_a	P/A	Pe/Z_1	Pe/Z_2	f_1'	f_2'	f_1	M_a
t	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg-cm
8.8	102.8	115.8	106.9	13.0	209.7	171.4	10.68×10^5
11.3	101.7	115.0	108.3	13.3	210.0	167.6	15.79×10^5
14.2	105.5	110.3	104.5	4.8	210.0	173.4	21.30×10^5

図-3

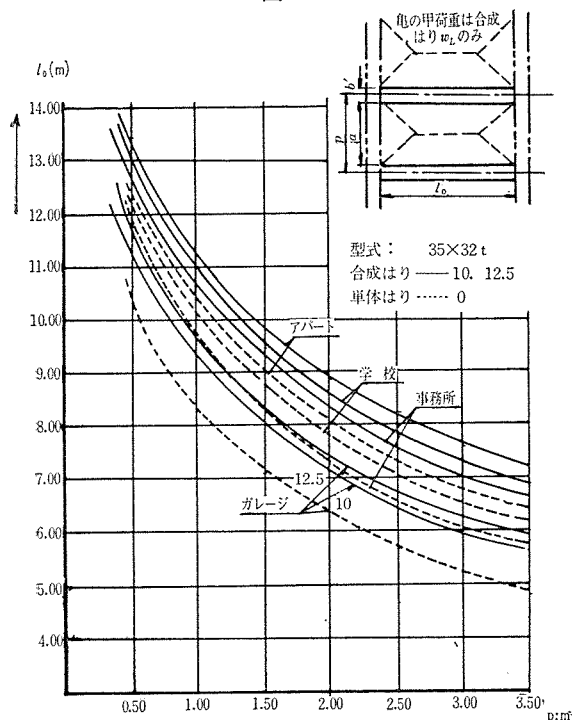


図-4

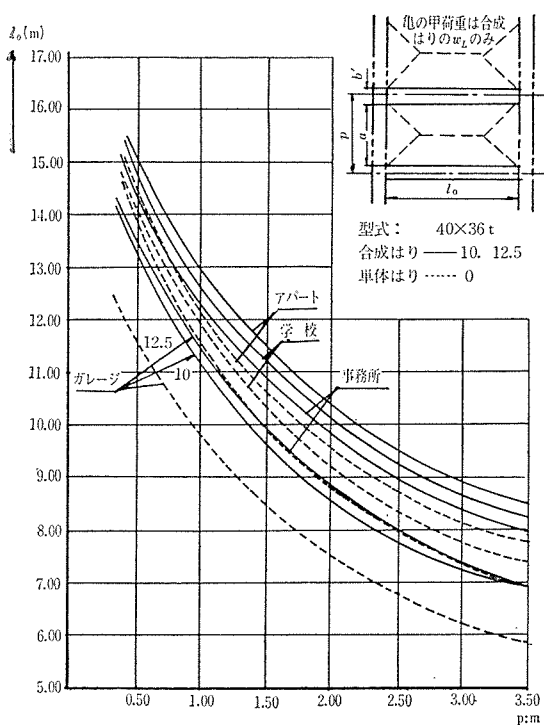
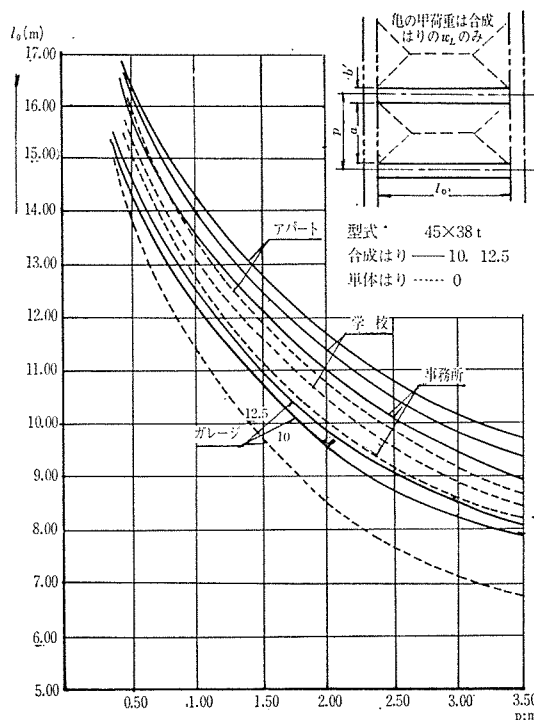


図-5



分に示す。

b) BC のはり間隔 p と有効張間 l_0 との関係

$$B = b' + \left(1 + 0.6 \frac{a}{l_0}\right) a < p < 3.5 \text{ m として}$$

$$M_D = \omega_D l_0^2 / 8$$

$$M_L = \omega_L l_0^2 / 8 - \omega_L a^3 / 24 p_1 = \text{亀の甲型荷重による } M_L$$

$$l_0^2 = \frac{134 Z_{II} \times 10^{-4} + \frac{\omega_D a^3}{3 p}}{\omega_D \left(\frac{Z_{II}}{z_2} + \frac{\omega_L}{\omega_D} \right)} \dots \dots \dots (b)$$

p と l_0 の関係を 図-3~5 の実線部に示す。式 (a), (b) の単位 l_0 : m, $Z_{II} z_2$: cm³, ω_D : T/m, a, p : m

(4) グラフを利用したの断面選定例

例1 学 校：合成はりで $p=3$ m, $l_0=8.5$ m が与えられたときに、どの種のはりを選定すればよいか。
40x36-10 の場合 図-4 より $p=3$ m, $l_0=8.8$ m で十分である。

例2 学 校：例1と同様に $p=3$ m, $l_0=8.5$ m が与えられたとき、単体はりとしてはどの種のはりが利用できるか。

40x36-0 では 図-4 より $p=3$ m では

$$l_0 = 7.8 \text{ m で不可}$$

45x38-0 では 図-5 より $p=3$ m では

$$l_0 = 8.9 \text{ m で可}$$

例3 ガレージ： $p=2.5$ m, $l_0=9$ m の場合合成はりとしてどの種別を採用すればよいか。

40x36-12.5 のとき 図-2 より $p=2.5$ m のとき

報 告

$l_0=8.05\text{ m}$ が不可

$45 \times 38-12.5$ のとき 図-5 より $p=2.5\text{ m}$ のとき

$l_0=9.1\text{ m}$ で可

注： ω_L, ω_D が限定されて M_A が定った (4.の注1) 参照)。

6. 規格断面のせん断抵抗筋

1) スターラップ 2-9φ @ 10 cm 以下 定着長内
@ 22~44 cm 以下 定着長外

2) 合成筋 2-9φ @ 10 cm 以下 定着長内
@ 22 cm 以下 定着長外

注：スターラップ合成筋ともに公式より算出したものである。

7. はり端部金物

- 1) 端 板 厚：12 mm 以上
端板上部定着筋 2-D 13 を端板のリブに溶接
- 2) ブラケット：ブラケットは荷重の状況によりそのつど設計し，許容荷重の1.5倍の荷重試験で安全度を確認する。

注：1) の端板厚端板上部の定着筋は計算によって求め

た。

8. 強度計算公式

(1) 強度表

注： τ_y, τ_a は実験値より定めたものである。

(2) 公 式

a) BS

$$f_1 = \frac{Pe}{z_1} - \frac{P}{A} < f_t' = 14.7 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$f_2' = \frac{Pe}{z_2} + \frac{P}{A} < f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$f_2 = -\eta f_2' + \frac{M_a}{z_2} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

$$f_1 = -\eta f_1' + \frac{M_a}{z_1} < f_c = 175 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$M_a = \eta f_2' Z_2 \text{ kg/cm} \dots\dots\dots (3)'$$

$$M_{cr} = (\eta f_2' + f_{by}) z_2 \approx 226 z_2 \text{ kg/cm} \dots\dots\dots (5)$$

$$M_b = \frac{P}{0.7} (d_s - 0.42 r n) r > 350 z_2 \dots\dots\dots (6)$$

$$r = \frac{(1-n) \text{間のコンクリート面積}}{bn} = \frac{bn - \text{セグメント面積}}{bn}$$

n ：BS のRCとしての中軸位置，および上端からの距離を示す。

表-6 強 度 表

	PC用 (プレカスト部)				RC (現場打ちの一例) 用				
	名 称	符 号	規 定	kg/cm ² 強度	名 称	符 号	規 定	kg/cm ² 強度	
コン ク リ ー ト	圧縮強度	F_c	$> 210 \times 1.7 = 360 > 350$	500	圧縮強度	${}_0F_c$	225	225	
	破壊時 導入時	F_c'			破壊時				
	降伏強度	f_{ty}	$< 0.07 \times F_c = 35$	35	引 張	${}_0f_{ty}$	${}_0f_c \times 2$	150	
	引 張	f_{dy}	f_{ty}	35	斜 張	${}_0f_{dy}$	${}_0f_t \times 1.5$	11.2	
	斜 張	f_{by}	$f_{ty} \times 5/3$	58	曲 げ	${}_0f_{by}$	${}_0f_d \times 1.5$	11.2	
	曲 げ	許容強度			せん断	${}_0f_{by}$	${}_0f_b \times 1.5$	16.8	
	許容強度	圧縮 (導入時)	f_c'	< 210	210	許容強度	${}_0f_{by}$	$s^2 a \times 1.5$	11.2
	" (載荷時)	f_c	$F_c \times 0.35 = 175$ $F_c \times 0.45 = 225$	175	圧 縮	${}_0f_c$	${}_0F_c \times 1/3$	75	
	引張 (導入時)	f_t'	$< f_c' \times 0.07$	14.7	引 張	${}_0f_t$	${}_0F_c \times 1/30$	7.5	
	自重=0	"	0		斜 張	${}_0f_a$	${}_0f_t$	7.5	
	自重≠0	"	0		曲 げ	${}_0f_b$	${}_0f_t \times 1.5$	11.2	
	(載荷時)	f_t	中央 0, 端 $0.1 f_c$	17.5	せん断	${}_0f_b$	${}_0F_c \times 1/30$	7.5	
	斜 張	f_d	$< f_c \times 0.07$	12	ボンド (異形)				
	ヤング係数	E_c		4×10^5	降 伏	${}_0f_{by}$	${}_0f_{ba} \times 1.5$	22.5~33.7	
ボンド (丸鋼)	f_{ba}	$1.35 \text{ kg/cm}^2 \times 2$ (RCの倍)	27	許 容	${}_0f_{ba}$	${}_0F_c (1/15 \sim 1/10)$	15~22.5		
せん断強度	τ	(プレテンションによる)		ボンド (丸鋼)					
端部降伏時	τ_y	両端定着長 内外	50 60	降 伏	${}_0f_{by}$	${}_0f_{ba} \times 1.5$	13.5~20.2		
端部許容時	τ_a	" 内外	25 30	許 容	${}_0f_{ba}$	${}_0F_c (4/100 \sim 6/100)$	9~13.5		
鋼 材	破壊引張強度	$s f_b$	14.5×10^3	同左	異 形	${}_0f_y$	3×10^3	21 × 10 ⁵	
	降伏引張強度	$s f_y$	13.0×10^3	"		${}_0f_a$	2×10^3		
	許容引張強度	$s f_a$	9.1×10^3	"	丸 鋼	${}_0f_y$	3×10^3		
	ヤング係数	E_s		20.5×10^5	(せん断用)	${}_0f_a$	2×10^3		
					(M用)	${}_0f_a$	1.6×10^3		
				ヤング係数	${}_0E_s$				

$$Q_a = \tau_a b_f j_f$$

$$\tau_a = 25 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長内}) \sim 30 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長外})$$

.....(7)

$$Q_y = \tau_y b_f j_f$$

$$\tau_y = 50 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長内}) \sim 60 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長外})$$

.....(8)

$$j_f = I_g / s_f$$

注：1) Pを決める

$$\frac{P}{A} = \frac{f_2' h_1 - f_1' h_2}{h} = f_2' \left(\frac{h_1}{h} - \frac{f_1'}{f_2'} \cdot \frac{h_2}{h} \right)$$

eを決める $e = \frac{z_2}{A} \cdot \frac{f_2' - P/A}{P/A}$ とすると便利である。

注：2) コンクリート全断面の g, I_g, z_2, s_f, j_f 等を参考のため示すと

$$g = \frac{bh \times h/2 - r^2 \pi \times f}{bh - r^2 \pi}$$

$$I_g = bh \left\{ \frac{h^2}{12} + \left(g - \frac{h}{2} \right)^2 - \pi r^2 \left\{ \frac{r^2}{4} + (g-f)^2 \right\} \right\}$$

$$z_1 = I_g / g \quad z_2 = I_g / h - g$$

$$s_f = fb \left(g - \frac{f}{2} \right) - \frac{r^2 \pi}{2} (g-f+r \times 0.4244)$$

$$j_f = I_g / s_f$$

b) BC

$$\left(\eta f_c' - \frac{M_D}{z_2} \right) Z_{II} = M_L \dots\dots$$

M_D と M_L の関係を示す基本理論式.....(9)

• 長方形荷重のとき

$$\left. \begin{aligned} M_D &= \omega_D L^2 / 8 & M_L &= \omega_L L^2 / 8 \\ L^2 &= \frac{134 Z_{II} \times 10^{-4}}{\omega_D (Z_{II} / z_2 + \omega_D / \omega_D)} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \\ & \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} -\eta : 0.8 & & f_c' : 0.21 \text{ T/cm}^2 \\ \omega_D : \text{T/m} & & \omega_L : \text{T/m} & L : \text{m} \end{aligned} \right\} \dots\dots(9) \text{長}$$

• ω_L のみ亀の甲荷重のとき

$$\left. \begin{aligned} M_D &= \omega_D L^2 / 8 \\ M_L &= \omega_L L^2 / 8 - \omega_L a^3 / 24 p \\ L^2 &= \frac{134 Z_{II} 10^{-4} + \omega_D a^3 / 3 p}{\omega_D (Z_{II} / z_2 + \omega_D / \omega_L)} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \text{同上} \\ & a : \text{m} \quad b' : \text{m} \\ & p : \text{m} \quad a = p - b' \end{aligned}$$

.....(9) 亀

• $M_A > M_T = M_D + M_L$ (9) A

• $M_{CR} = M_A + f_{by} Z_{II}$ (9) CR

• $M_B = \frac{P}{0.7} (D_s - 0.42 r N) r \geq 0.1 bh^2 \text{ T.C.M.}$

$D_s = g + e + t$ (9) B

• Q_A (許容せん断力)

(a) 法 (Q_T のチェック)

$$Q_A > Q_T = Q_D + Q_L = \frac{\tau_a b_f}{\omega_T} (\omega_D j_f + \omega_L J_f)$$

(b) 法 (τ_a のチェック)

$$\tau_a > \tau_T = \tau_D + \tau_L = \frac{1}{b_f} (Q_D / j_f + Q_L / J_f)$$

$$\doteq \frac{2 Q_T}{b_f (j_f + J_f)} \dots\dots(10) A_b$$

• Q_Y (降伏せん断力)

(a) 法

$$Q_Y > Q_{TY} = Q_{DY} + Q_{LY} = \frac{\tau_y b_f}{\omega'T}$$

$$\times (\omega_D' j_f + \omega_L' J_f) \dots\dots(11) Y_a$$

$$\omega_D' \doteq 2 \omega_D \quad \omega_L' \doteq 2 \omega_L$$

(b) 法

$$\tau_y > \tau_{Ty} = \tau_{Dy} + \tau_{Ly} = \frac{2}{b_f} (Q_D / j_f + Q_L / J_f)$$

.....(11) Y_b

注：1)

$$\tau_a = 25 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長内}) \sim 30 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長外})$$

$$\tau_y = 50 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長内}) \sim 60 \text{ kg/cm}^2 (\text{定着長外})$$

としたのは、 $\tau = f_d \sqrt{1 + \eta \sigma_g / f_d}$ なる式において、

定着長内 $\eta = \eta_0 = 0.4$

$f_d = f_{da} = 12$ のとき $\tau = \tau_a \doteq 25 \text{ kg/cm}^2$

$f_d = f_{dy} = 35$ のとき $\tau = \tau_y \doteq 50$ "

定着長外 $\eta = 0.8$

$f_d = f_{da} = 12$ のとき $\tau = \tau_a \doteq 30$ "

$f_d = f_{dy} = 35$ のとき $\tau = \tau_y \doteq 60$ "

によったものである。

注：2) 断面諸係数を参考のため示すと、 $n_0 = 0.525$

$$G = \frac{B t n_0 \times t/2 + A_{1-2} (g+t)}{B t n_0 + A_{1-2}}$$

$$I_G = B t n_0 \left[\left(G - \frac{t}{2} \right)^2 + \frac{t^2}{12} \right] + A_{1-2} (t+g-G)^2$$

$$+ I_g$$

$$Z_0 = I_G / G \quad Z_{II} = I_G / H_2 \quad H_2 = h + t - G$$

$$\mathcal{E}_1 = n_0 t B (G - t/2)$$

$$\mathcal{E}_f = \left[(h-f)b \times \left\{ \frac{(h-f)}{2} + (t+f-G) \right\} \right]$$

$$- \frac{r^2 \pi}{2} \times \{ r \times 0.424 + (t+f-G) \}$$

$$J_1 = I_G / \mathcal{E}_1 \quad J_f = I_G / \mathcal{E}_f$$

注：3) $B < b' + (1 + 0.6 a / l_0) a < p$ でよい。

注：4) $M_b \doteq 350 z_2 \text{ kg/cm}$ $M_B = 0.1 bh^2 \text{ T.C.M.}$ 概算法である。..... $z_2 : \text{cm}^3 \cdot bh^2 : \text{cm}^2$

(3) スターラップ

- 補強可能の範囲 $\tau_T < \tau_a = 35 \text{ kg/cm}^2$
- 補強不要の範囲 $\tau_T < \tau_a = 25 \text{ kg/cm}^2$

定着長内 $\eta_0 = 0.4$(12)

a) BS のスターラップ

- $\tau_T = Q_T / b_f j_f$
- スターラップのピッチ = Δx
- $\Delta x = a_t f_t / \sigma_{sd} \times b_f$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{sd} &= \sigma_{da} - f_{da} \\ \sigma_{da} &= \tau_T \times \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\eta_0 \sigma_g}{\tau_T}\right)^2 + 4} - \frac{\eta_0 \sigma_g}{\tau_T} \\ &< 20 \text{ kg/cm}^2 \\ f_{da} &< 12 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots(13) \Delta x$$

- せん断力合計

$$Q_T = Q_s + Q_c < 35 b_f j_f \dots\dots(13) Q_T$$

Q_s : スターラップのせん断力
 Q_c : コンクリートのせん断力

b) BC のスターラップ

- $\tau_T \div 2 Q_T / b_f (j_f + J_f) < \tau_a = 35 \text{ kg/cm}^2 \dots(14) \tau_T$
- スターラップピッチ = Δx

$$\Delta x = a_t f_t / \sigma_{sd} \times b_f \quad \sigma_{sd} \text{ は式 (13) } \Delta x \text{ に 依 う。} \dots\dots(14) \Delta x$$

- せん断合計

$$Q_T < 35 \times b_f \times \frac{1}{2} (j_f + J_f) \dots\dots(14) Q_T$$

注: 1) $\tau_a > 35 \text{ kg/cm}^2$ のときはスターラップの補強力は考えないで、コンクリートのみのせん断抵抗を求めらる。

(4) 合成筋

$$\tau_1 = \frac{Q_L}{b_1 J_1} < 5 \text{ kg/cm}^2 \quad J_1 = I_G / \sigma_1 \dots$$

$$\Delta x = \frac{a_t \times 100}{b_1 \times 0.15} = \frac{a_t}{b_1} \times 666 \dots\dots \text{合成筋ピッチ} \dots\dots(15)$$

a_t : Δx 間の合成筋の断面積合計

注: 1) 上式で十分なことは特長のところで述べる。

9. 実験からの結論

実験の目的はP C鋼の緊張有効率 $\eta=0.8$ ととってよいか。またはりの端部においてはプレテンション方式の場合に $\eta=0\sim 0.8$ の間にあるが、これを 0.4 として安全か否かを確かめるためであった。実験の結果次の結論を得た。

- 1) P C鋼の緊張有効率…… $\eta=0.8$ 定着外
 - 2) P C鋼の緊張有効率…… $\eta_0=0.4$ 定着内
- この結論をもとにして次のことがいえる。
- 1) M (モーメント) に対しては、はり中央で検討するために $\eta=0.8$ としてよい。
 - 2) Q (せん断) に対しては、

定着長内 $\eta_0=0.4$

$\tau_a = 25 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau_y = 50 \text{ kg/cm}^2$ は次式より求める

$$\tau_a = f_{da} \sqrt{1 + \eta_0 \sigma_g / f_{da}} = 12 \sqrt{1 + 0.4 \times \frac{105}{12}}$$

$$= 25.5 \div 25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_y = f_{dy} \sqrt{1 + \eta_0 \sigma_g / f_{dy}} = 35 \sqrt{1 + 0.4 \times \frac{105}{35}}$$

$$= 52.0 \div 50 \text{ kg/cm}^2$$

ただし、両端支持の条件として

ブラケットにて支持のとき 再締め付け力 $> P \times 0.5$

はり下面にて支持のとき 再締め付け力 $> P \times 0.3$

とすることにした。これは $\eta_0 > 0.4$ とするための安全対策であって、実験の結果は再締め付けしなくてもよかった。再締め付け力はトルクレンチにて確認した。

定着長外 $\eta=0.8$ として同様の式より

$$\tau_a = 30 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau_y = 60 \text{ kg/cm}^2$$

表-7 B S の実験、計算比較表 (端板なし)

記号	はり自重	載荷方法	年月日	試験種別	実験値 A		計算値 B	A/B	実験値 C		計算値 D	C/D	
					荷重(P)	M_p, M_b, M_T	$\eta=0.9$		Q_p, Q_b, Q_T	$\eta=0.9$			
BS-1	0.35T/M $M_p=4.2\text{TM}$ $Q_b=1.7\text{T}$		製作 S.45.10.1 試験 S.45.11.10	M_{cr}	12.0T	$\times 22=264.42.366$	29.5TM	1.03			$\eta=0.8$ の時 1.135 倍		
				Q_{b1} 初	21.0	$\times =462.42.504$	51.2						
				Q_{b2} 終	28.5	$\times =628.42.67.0$	51.2						
BS-2 (BS-1を 再使用)	同上		同上	M_{cr}	17.0	$\times 12=204.42.256$	(29.5)	(0.81)	$\times 0.816=37.3.1.7.39.0$		27.9	1.1	再使用のため M_{cr} の計算値 は $I_y \times z_2$ $=58 \times 12.200$ $=71\text{TM}$ を引く
				Q_{b1} 初	44.0		7.0						
				Q_{b2} 終	50.0		22.5						
BS-4	0.35T/M $M_p=0.34\text{TM}$ $Q_b=0.5\text{T}$		製作 S.45.10.29 試験 S.45.12.10	M_{cr}	49.0	$\times 0.6=294.034.297$	29.5	1.01	$\times 0.5 =37.5.0.5.38.0$ $\times 0.5 =41.1.41.6.41.5$		27.9	1.36	
				Q_{b1} 初	75.0								
				Q_{b2} 終	82.3								

M_{b1}, Q_{b1} は破壊の初期を、 M_{b2}, Q_{b2} は終期を示す。 実験値 > 計算値

表-8 BC の実験, 計算比較表 (端板なし)

記号	はり自重	載荷方法	年月日	試験種別	実験値 A		計算値 B	A/B	実験値 C		計算値 D	C/D	※指針耐震のため M_{cr} を超えて載荷した。 $f_{1g} \times \epsilon_s = 58 \times 19.5 = 11.3$ T/M 計算値 M_{cr} より引く	
					荷重(P)	M_p, M_B, M_T	$\eta=0.9$		Q_p, Q_B, Q_T	$\eta=0.9$				
BC-1	0.35 0.23 0.58 $M_B=7.0$ T/M		製梁 S.45.10.8 作床 S.45.11.21 試験 S.45.11.24	M_{cr}	14 T	$\times 22=308$ 7.9 37.8	47.2-11.3=35.9	1.05 1.0						
				M_{B1}	28 T	$\times 22=615$ 7.0 68.6	68.8							
BC-2	0.58 T/M $M_B=0.6$ T/M $Q_B=0.8$ T		製梁 S.45.10.20 作床 S.45.11.21 試験 S.41.11.28	Q_{B1}	79 T						37.9	1.06		
				Q_{B2}	100 T									$\times 0.5=39.5$ 0.8 40.3 $\times 0.5=50.0$ 0.8 50.8
BC-3	同 上		製梁 S.45.10.20 作床 S.45.11.27 試験 S.45.12.2	M_{cr}	77 T	$\times 0.7=539$ 0.6 54.5	47.2	1.15			37.9	1.04		
				Q_{B1}	77 T									$\times 0.5=38.5$ 0.8 39.3
				Q_{B2}	94 T									$\times 0.5=47.0$ 0.8 47.8
BC-4	同 上		製梁 S.45.10.20 作床 S.45.11.27 試験 S.45.12.2	M_{cr}	78.5	$\times 0.6=471$ 0.6 47.7	47.2	1.01			37.9	1.10		
				Q_{B1}	82.0									$\times 0.5=45.0$ 0.8 45.8
				Q_{B2}	90.0									$\times 0.5=48.7$ 0.8 49.5
				Q_{B2}	97.5									

M_{B1}, Q_{B1} は破壊の初期を, M_{B2}, Q_{B2} は終期を示す。 実験値 > 計算値

表-9 BS の実験, 計算比較表 (端板付)

供試体	支持型式	ひびわれモーメント M_{cr}				破壊モーメント M_b			
		実験値 (a)		計算値 (b)		実験値 (a)		計算値 (b)	
		P	M_{cr}	P	M_{cr}	P	M_b	P	M_b
No.1		14	24.2	22.6	1.07	26	43.5	38.8	1.12
No.2		15	25.75	22.6	1.14	29	48.0	38.8	1.24

はり自重 0.3 t/m
試験値 > 計算値

供試体	P	試験値 (a)		計算値 (b)		a/b
		Q_r	Q_r	Q_r	Q_r	
No.1	42 TON	42	33.5	34.5	26.7	1.25
No.2	37 TON	37	30.0	31.0	26.7	1.16

試験値 > 計算値

を得た。

実験と計算値の比較を 表-7~9 に示す。

10. 特長と解説

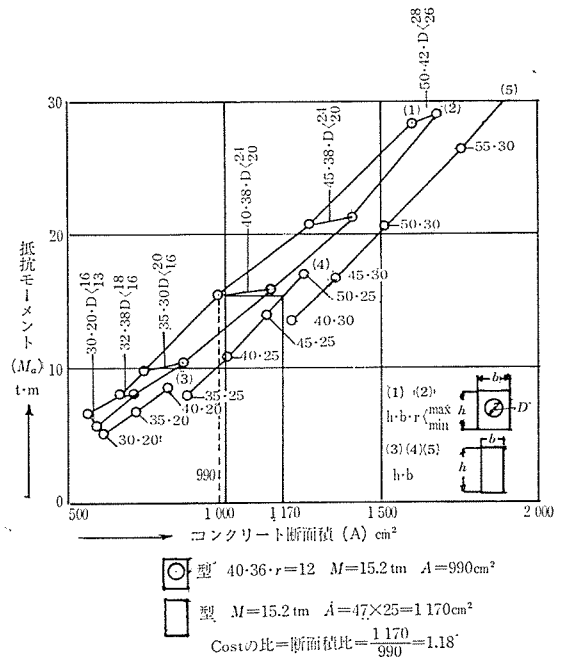
1.~9.までは設計に必要な項目を述べたが、これらを基礎として次のような特長が見出された。

1) 遠心力を利用して、かつ中空孔およびプレテンションの合力の中心をともに偏心させた。従来のもはとも偏心が無いので抵抗モーメントは小であったが、上記偏心製法により、耐力を約2倍に増大することに成功した。

2) 単体ばり (BS) はもちろん、合成ばり (BC) として利用できるようなはりの上面に合成用鉄筋を突出させた。これも遠心力利用の製法としては新しい考案である。

3) PHC ビームは幅と丈の比が 0.8~0.85 なので、普通の PC ビームのはり丈大で幅の小さいものと比べて不経済と思われがちである。すなわち、はり丈の小なることは階高を減少して空間利用上のメリットであることは認められるが、はり幅を大にして果して経済的であろうか。その検討用に 図-6 を製作した。元来、PC ばりは RC ばりと異なり、PC 鋼ははり断面に比例してそう入されるので、その材料コストの比は結局はり断面に比例することになる。しかるに PHC ビームは中空孔を有するゆえに断面が少なくなり、相当長手の長方形

図-6 断面積モーメント比較



ビームより割安であることがわかった。

4) はり端部でコンクリートの肉厚を特に増大する要がない。それは前述したとおり実験値から $\eta_0=0.4$ を確保するため、はり端部でプレストレス力の 0.5~0.3 程度の力で再締め付けを行なったためである。

5) PHC ビームの速算設計グラフを作って、設計の便をはかったが、 M_a, M_A のみを設計して安全であれ

報 告

ば、ひびわれ、破壊に対するモーメントおよびシャーの検討は省略してもよいことは、多くの計算をして確認した。

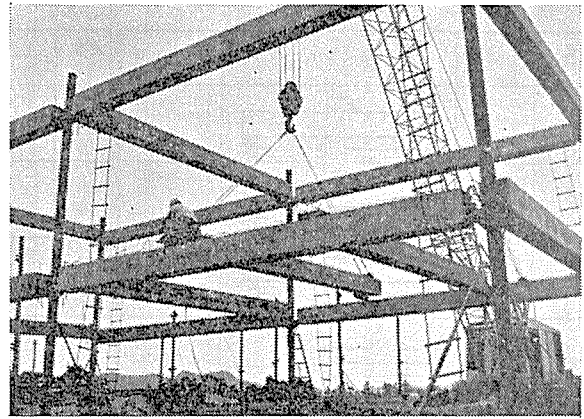
6) 合成筋(合成ばりとする鉄筋)は、合成面の τ が下の許容値より小であれば $0.15\% \times (\text{合成面の面積})$ としてよいとされている。すなわち、 $\tau_L < 5 \text{ kg/cm}^2$ (本規格), $\tau_L + \tau_D / 2 < 10 \text{ kg/cm}^2$ (土木学会), $\tau_L + \tau_D < 24.5 \text{ kg/cm}^2$ (ACI), しかるに PHC ビームにおいては幅大で、常に τ は上記の値より小であった。

7) 使用事例は志村建築設計事務所の設計で写真-1に示す。小ばりはP C鋼棒を用いたPHC ビームを合成ばりとして用い、ラーメン構造としては規格の鉄板製型わくを用いて造った鉄筋入りの合成ばりを用い、柱は現場打ちコンクリートとされた。

11. あとがき

以上、遠心力成型によるプレストレスト コンクリート建築部材の一つとし、PHC ビームについて報告したが、さらに同製法による柱桁材とその仕口等に関するも

写真-1

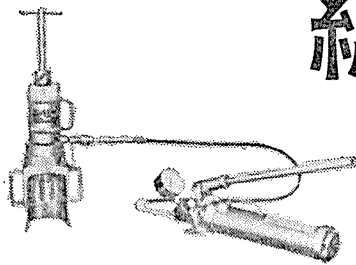


研究を進めているので申し添える。

本研究に関しては本岡順二郎、志村照太郎両先生の御懇切なご指導をいただき、かつ本岡研究室、志村設計事務所、アサノポール(株)技術開発部の研究員各位のご協力を得たことを深く感謝します。

1972.5.2・受付

PC 用 油 圧 機 器 の 総 合 メ ー カ ー



センターホールジャッキ・モリプラー
PAT.No. 467154

住友 DWジャッキ
PAT.No. 226429

製造元

K.K 平林製作所

京都市宇治市槇島町目川8
TEL 宇治(0774) 22-3770番

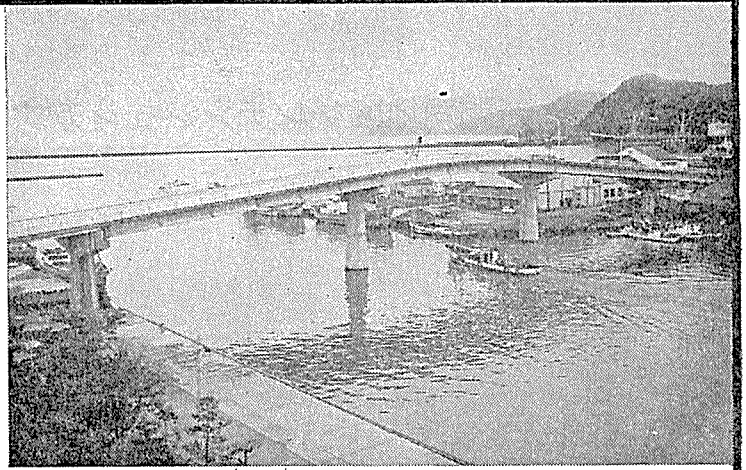
発売元

草野産業株式会社

本 社
大阪市東区備後町1丁目11番地
TEL 大阪(261)~8710・8720
東京事務所
東京都千代田区神田錦町3丁目21番地
柴田錦橋ビル TEL (201)~3546



港大橋
(敦賀市)



ピーエスコンクリート設計施工並に製作

日本ピー・エス・コンクリート株式会社

顧問 山内一郎 顧問 稲浦鹿蔵 取締役社長 有馬義夫

本社	福井県敦賀市泉125号2番地	電話敦賀 1400(代)
東京支店	東京都千代田区大手町1丁目4番地(大手町ビル2階232号室)	電話東京 201-8651(代)
大阪支店	大阪市北区堂島上2丁目39番地(毎日産業ビル別館5階)	電話大阪 344-7731(代)
名古屋支店	名古屋市中村区広井町2丁目54番地(交通ビル5階52号室)	電話名古屋 571-4515(代)
福岡支店	福岡市天神一丁目10番24号(福岡三和ビル3階)	電話福岡 74-9426
北陸支店	福井県敦賀市泉125号2番地	電話敦賀 1400

スパイラルシース



特許 第506996号

神奈川県工業試験所で
製品の優秀性 実証



PC器材専門製造



鋼弦器材株式会社

取締役社長 平野勝之助

本社 横浜市西区中央2丁目42番6号
電話 横浜 (321) 5851

製造工場 (合)平野機械製作所

関西支社 大阪鋼弦器材株式会社