

鋼管コンクリート杭の設計と杭頭結合部の試験

和 田 克 哉*

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物、鋼合成桁等に見られるように、コンクリートと鋼の合成効果により作用力に抵抗する構造物が開発されて以来、その思想は、形式、材料を変え多くの構造物に引き継がれ、今日に至った。

ここに紹介する高強度コンクリート鋼管杭（以下 SP-AC 杭：Steel Pile-Autoclaved Concrete Pile と呼ぶ）とは、オートクレーブ養生した高強度 P C 杭を鋼管でつつむことにより補強した杭であり、鋼管杭と P C 杭の共同作用により外力に抵抗する杭である。

首都高速湾岸線 I 期工事のうち、江東区有明地先 13 号埋立地（その 1）地内の擁壁の一部にこの SP-AC 杭を使用した。使用径は $\phi 600$ であり、鋼管は 9 mm 厚、杭頭より 7 m の上杭に 1100 本使用している。

以下ここでは、この SP-AC 杭を用いた概要と、杭頭接合部について実施した試験の結果について述べる。

2. SP-AC 杭の設計

(1) 首都高速湾岸線 I 期工事の概要

首都高速湾岸線は、東京湾環状道路計画（図-1）の一環として江東区 12 号埋立地を起点に、大田区平和島 2 丁目（京浜 3 区埋立地）に至る延長 10.5 km、往復分離 6 車線の都市高速道路として、昭和 45 年 1 月 21 日都市計画決定を受け、首都高速道路公団において、第 I 期工事に着手した。

今回報告の対象となる第 I 期工事区間は、東京港トンネル（沈埋函）を中央に、品川区大井埠頭埋立地（その 1）から、江東区地先 13 号埋立地（その 1）に至る 2.8 km の区間である。

湾岸線（I 期）は総幅員 100 m のうち、中央部 35 m を首都高速 2 種 1 級道路とし、両側残り 65 m に 3 種 1 級、4 種 1 級の国道がある。この 2 種 1 級および 3 種 1 級道路は高速道路として、交差道路とはすべて立体交差するため、13 号埋立地内では掘割形式で計画されてい

る（図-2）。SP-AC 杭を用いたのは、この 13 号埋立地の終点近く有明橋梁付近に位置する擁壁部分である。

(2) 経済比較

擁壁に用いる基礎杭を選定するため、詳細設計に先立ち経済比較を二、三試みた。比較した杭は、 $\phi 1200$ の場所打ち杭（ベノト杭）と、 $\phi 600$ の SP-AC 杭である。その他 1 ケースのみ P C 杭 A 種、B 種を追加し比較した。

比較の基本的設計条件として、杭頭での地震時許容変位量を 15 mm、常時の許容変位量を 10 mm と定め、この許容変位量におさまるように各杭を配置した。

経済比較の結果は図-3、4 に示した。図-3 は、擁壁に作用する諸力のうち擁壁 1 m あたりの水平力を要素として取り上げ、同時に擁壁 1 m あたりに要する杭本数と合せてまとめた。水平力が小さい場合のみ、P C 杭の必要杭本数を併記してある。これによると、水平力が大きくなるとともに、当然のことながら必要杭本数は、場所打ち杭、SP-AC 杭とも多くなり、その傾向は SP-AC 杭の方が顕著である。また、P C 杭と SP-AC 杭の比較では、B 種では SP-AC 杭の 2 倍、A 種では 3 倍の杭本数が必要となる。

図-4 は、所要杭本数に対する工事費を比較したものである。杭長は 26 m とし、SP-AC 杭は、杭頭 7 m に用いており、中杭、下杭はオートクレーブ養生した P C 杭としている。図-4 によると場所打ち杭に比較して $1/2 \sim 1/3$ SP-AC 杭が経済的な結果を示し、P C 杭と比較しても $1/1.4 \sim 1/2$ である。

(3) SP-AC 杭の設計

設計条件を以下に、標準擁壁断面を図-5 に示す。

標準横方向地盤反力係数 $K_0 = 1.0 \text{ kg/cm}^3$

設計 K 値 $K = K_0 \times \left(\frac{1.0}{0.587} \right)^{3/4} = 1.49 \text{ kg/cm}^3$

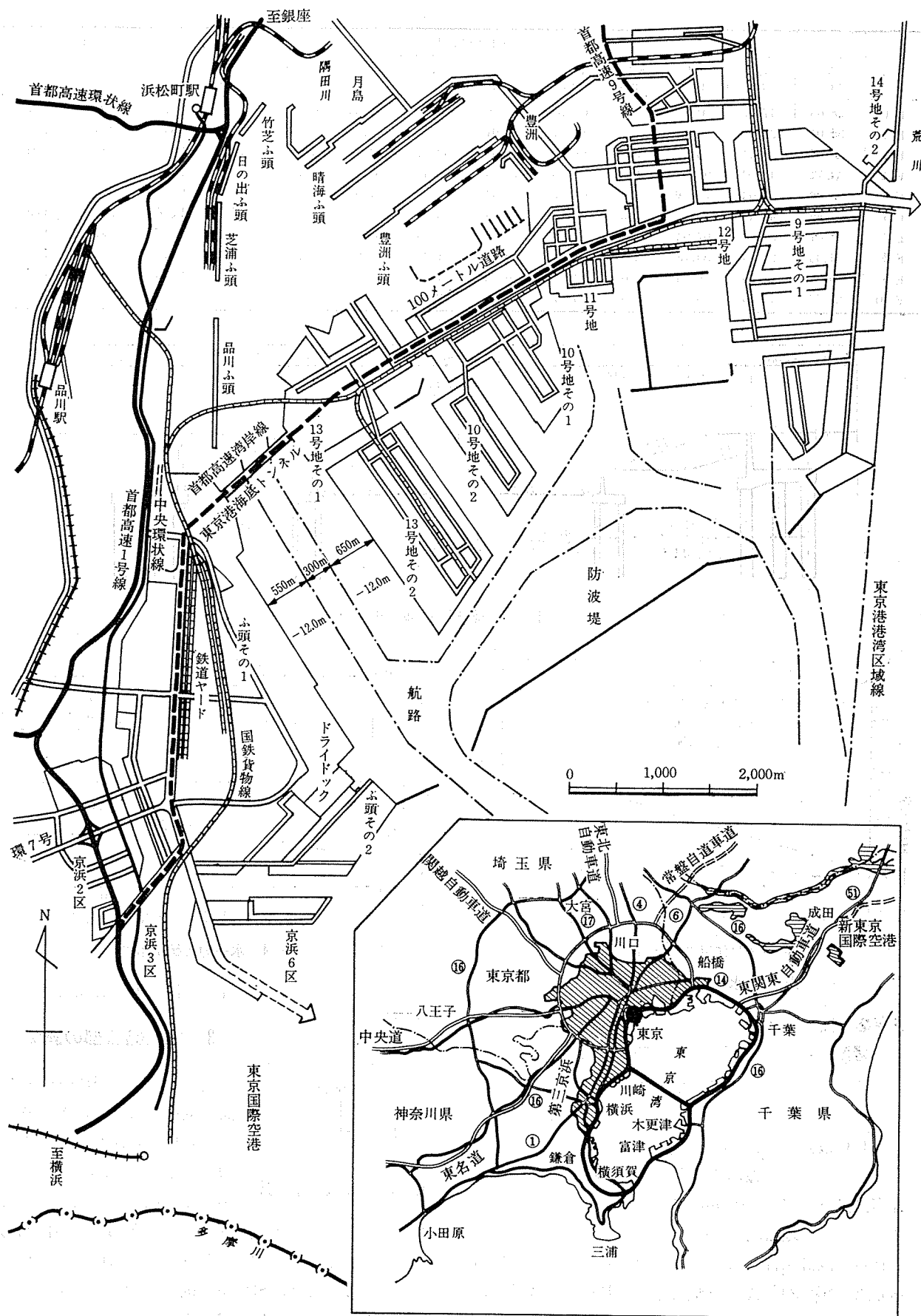
杭径 $D = 587$

内径 $d = 42 \text{ mm}$

鋼管 STK 41, 肉厚 $t = 9 \text{ mm}$ (腐食代 2 mm 含む)

P C 鋼線 7 ϕ -18

* 首都高速道路公団工務部設計技術課



図一 東京湾環状道路計画図

表一 計算結果一覧表

	諸力/m			杭間隔 (m)	杭1本の諸力				杭頭変位量 (cm)	V_{max}		V_{min}	
	N (t)	H (t)	M (t・m)		V_{max} (t)	V_{min} (t)	H_0 (t)	M_0 (t)		σ_c (kg/cm ²)	σ_s (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	σ_s (kg/cm ²)
E 1	28.65	17.05	20.52	3.0	63.50	22.46	25.58	41.66	0.90	253	976	239	1271
E 2	35.01	26.36	44.10	2.5	80.51	7.01	32.95	53.56	1.16	295	1942	320	1391
E 3	40.86	36.34	74.72	1.8	81.61	-8.06	32.71	53.27	1.15	318	1367	287	2040
E 4	44.71	43.28	97.74	1.5	82.40	-15.34	32.46	52.87	1.14	316	1344	282	2080
E 5	43.41	49.04	89.20	1.3	66.87	-10.44	31.88	51.92	1.12	306	1411	280	1998
E 6	40.86	43.49	78.65	1.5	43.75	17.54	32.62	53.13	1.14	305	1636	296	1835
E 7	38.01	37.67	67.04	1.7	70.30	-5.68	28.25	52.15	0.99	309	1397	282	1971
E 8	33.45	25.04	39.78	2.5	74.96	8.66	31.30	50.98	1.10	304	1311	282	1805
E 9	30.22	21.15	28.94	3.0	74.27	16.39	31.73	51.68	1.11	307	1346	288	1778
E 10	26.27	15.24	16.20	3.0	55.61	23.21	22.86	37.23	0.80	228	833	217	1064

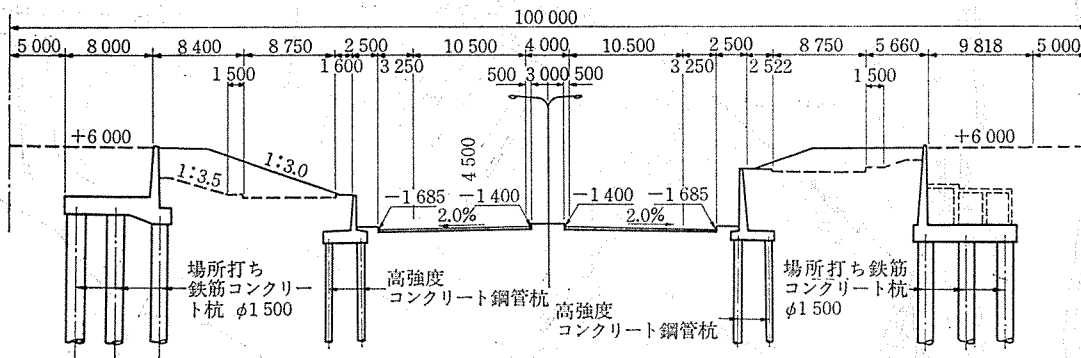


図-2 擁壁断面図

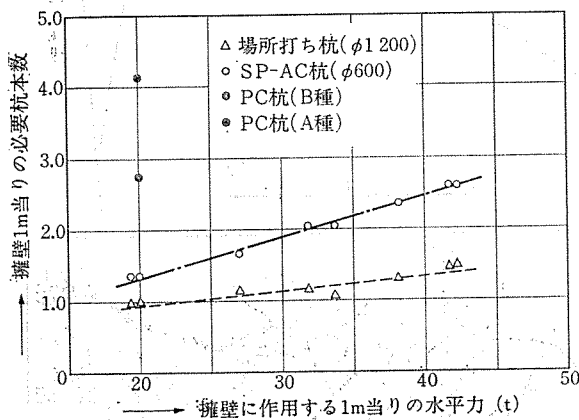


図-3 水平力と必要杭本数

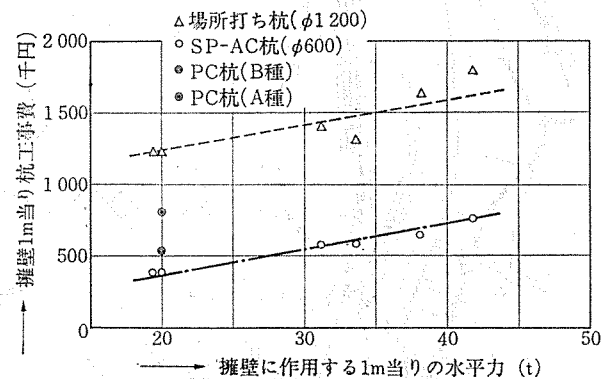


図-4 水平力と杭工事費

許容応力度

鋼管 $\sigma_{sa} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ (常時)

コンクリート $\sigma_{ck} = 800 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{ca} = \frac{\sigma_{ck}}{3} \text{ kg/cm}^2 \text{ (常時)}$$

PC鋼線 $\sigma_{py} = 13500 \text{ kg/cm}^2$

(地震時は上記値の 50% 増し)

許容変位量 常時 10 mm (杭頭)

地震時 15 mm

これらの設計条件をもとに、計算された結果を 表一に示した。SP-AC 杭の計算仮定は、PC杭の外縁部に鋼管の断面積に等しい鉄筋が配置された計算モデルで計算されている。この仮定によって、鋼管とPC

杭面の付着力は必要となる。

3. 杭頭結合部の試験

前述のとおり SP-AC 杭は、曲げ剛性が大きく、PC杭、現場打ち杭等と比較して多大な横力を杭本体で負担できる。したがって、杭本体と同様に、杭の

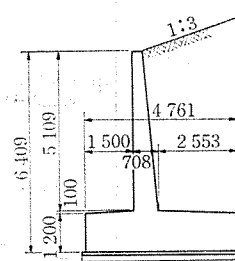
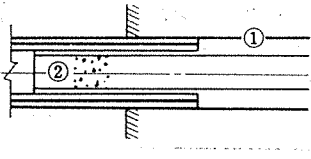
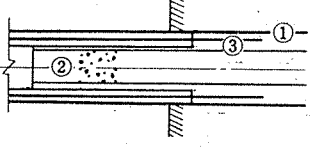
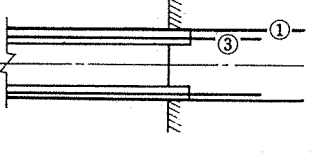


図-5 擁壁構造寸法図

フーチングへの定着が問題となり、上部からの作用力がフーチングを通じ、杭へと無理なく応力伝達する構造が必要となる。また、SP-AC 杭は杭頭とフーチングとの結合が鋼管に結合鉄筋を溶接することにより容易にできる特徴を有しており、これらの要素も考慮し、施工性と、

表-2 供試体一覧表

供試体形状	補強方法	補強筋鉄	中詰め コンク リート	フーチ ング埋 込み深 さ	結 合 概 要
A タイプ 	① 鋼管溶接鉄筋 ② 中 詰	SD30 16φ-12 SD30 13φ-6	あり	30cm	フーチングへ杭径(30cm)埋込み、鋼管表面に結合鉄筋を溶接し、杭中空部に中詰めコンクリートを杭頭より70cm打設、さらに結合部の剛性を高めるために鉄筋籠を施す。杭頭部はカットオフしない。
B タイプ 	① 鋼管溶接鉄筋 ② 中 詰 ③ P C 鋼 線	SD30 16φ-12 SD30 13φ-6 7φ-6	あり	10cm	鋼管表面の結合鉄筋、中結鉄筋籠はAタイプと同様であるがフーチングへの杭埋込み長さは10cmとし、杭頭部はカットオフし、P C鋼線もフーチングへ定着した。
C タイプ 	① 鋼管溶接鉄筋 ③ P C 鋼 線	SD30 16φ-12 7φ-6	なし	10cm	Bタイプから中詰め鉄筋コンクリートを取り除いたもの。

(注) ワイヤーストレンゲージ取付け用鉄筋棒は別

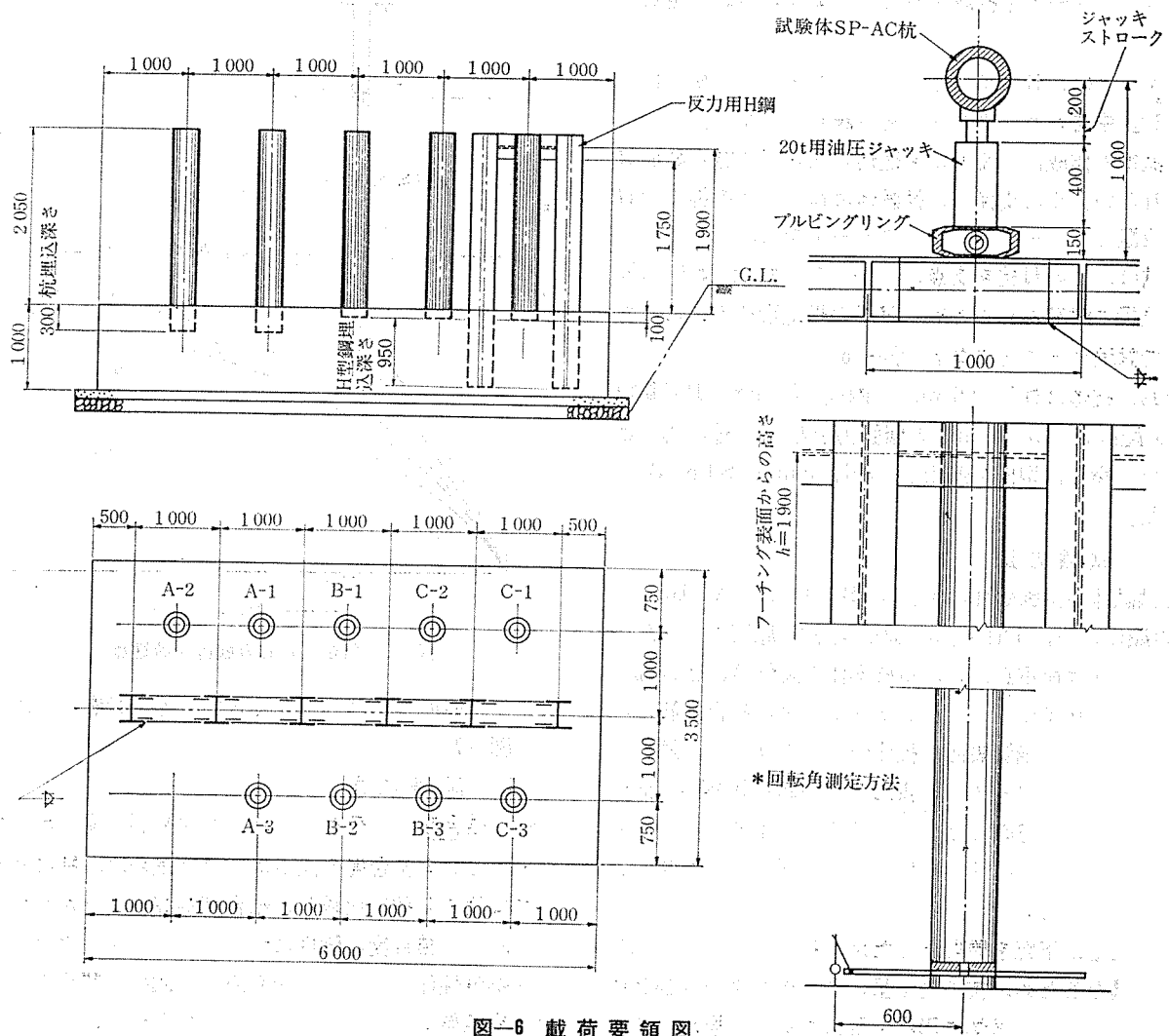


図-6 載荷要領図

報 告

構造面から杭頭結合方法に関し3種類の供試体を作製し、結合部の強度特性について実験した、

(1) 試験目的

結合方法による固定度の相違および結合部での応力伝達機構の解明が主目的である。

その他に鋼管内にジベルに相当する特別なコネクタを有していないため、コンクリートと鋼管面でのせん断伝達機構の定量的な把握および杭頭部の設計方法の資料を得る計画も含んでいる。

(2) 供試体

杭頭結合方法を3種類(A, B, C)とし、1種類につき各3体、合計9体実施した(表-2)。

杭頭結合方法は、剛結を原則とし、Aタイプは、フーチングへ杭径だけ埋込み、鋼管表面に結合鉄筋を溶接するとともに、杭中空部に中詰めコンクリートを打設した。これは、構造上完全固定を想定し、定着可能なものはすべて施してある。

Bタイプは、フーチングへ10cm埋込み、鋼管よりの結合鉄筋、杭体をカットオフしたPC鋼線、および中詰めコンクリートを打設することによりおのおの定着した。

Cタイプは、Bタイプとほぼ同様であるが、施工性を考慮し、中詰めコンクリートを打設していない。

供試体の作成は、まず杭を建込んだ状態で結合鉄筋等に触れないように支保し、供試体載荷のための控えのH杭を設置してフーチングコンクリートを打設した。

荷重は、このH杭を支点に、フーチング上面より1.90mの位置に載荷されるため、実際の構造形式を逆にした状態で試験することになる(図-6)。

なお、杭体は外径297mm、内径180mm、PC鋼線7φ-6配置し、27kg/cm²の緊張力を与え、遠心力で締固めた。鋼管は型枠を兼用し、板厚5mm、STK41を用いた。

(3) 試験方法

各供試体の試験順序はC₁, B₁, B₂, A₁, A₂, A₃, B₃, C₂, C₃の順に行い、1日1体の試験実施を原則に行った。採取データは荷重点における杭本体の変位量、結合部での回転角、ワイヤーストレンゲージによる結合鉄筋のひずみ量、および鋼管表面、杭体のコンクリート、鉄筋のひずみ、およびフーチング表面のひびわれ状態も合わせて、各荷重ごとを追跡した。また負荷は、オイルジャッキ(揚量40t)により行い、荷重制御はプルピングリング(20t)を用いた。

荷重段階は下記を原則としたが、各供試体の結合部の剛性が異なるため、杭の変位量、フーチングのひびわれ状態(隣接する供試体に影響を及ぼさないとされるフ

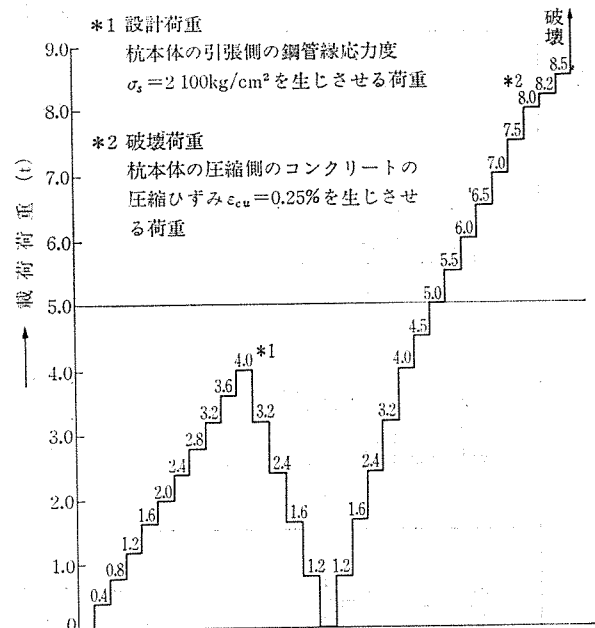


図-7 荷重段階図

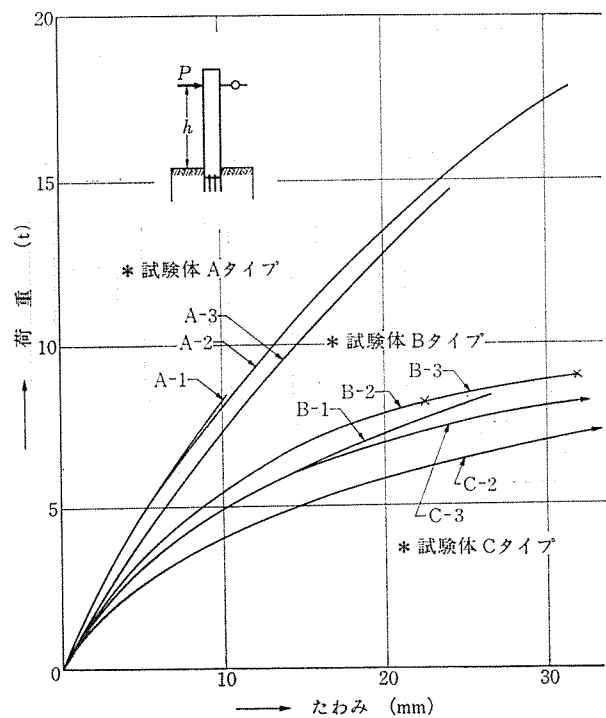


図-8 荷重-たわみ曲線(荷重点)

ーチング表面のひびわれ進行状態)等を考慮して決定した(図-7)。

(4) 試験結果

a) 結合度 荷重-たわみ曲線を図-8に示した。タイプによる結合度の差がはっきり表われ、特にAタイプでは他の2種に比較し、結合度が高いことがわかる。これより結合度の剛性について、フーチングコンクリートが弾性体であることを考慮し、回転に関するばね定数を実験値より算出し、実地盤に打ち込まれたと仮定し

表-3 回転ばね定数一覧表

タイプ	No.	たわみ (× mm 1/100)			回転角 (× 10 ⁻⁴ rad)		傾斜角 (× 10 ⁻⁴ rad)			回転角 (× 10 ⁻⁴ rad)		回転ばね定数 (× 10 ⁻⁴ rad/t · m)			
		理論値	実測値	平均		平均	理論値	実測値	平均		平均	たわみから	平均	傾斜角から	平均
A	1		400		2.89			10.58		6.59		0.3803		0.8671	
	2	345	395	418	2.63	3.84	3.99	9.50	10.19	5.51	6.22	0.3461	0.5075	0.7250	0.8162
	3		460		6.05			10.50		6.51		0.7961		0.8566	
B	1		711		19.26			23.50		19.51		2.5342		2.5671	
	2	345	583	637	12.53	15.37	3.99	19.92	21.95	15.93	17.96	1.6487	2.0224	2.0961	2.3627
	3		617		14.32			22.42		18.43		1.8842		2.4250	
C	1		852		26.05			31.17		26.89		3.4276		3.5382	
	2	357	985	851	33.05	26.00	4.28	39.17	32.45	34.89	28.16	4.3487	3.4206	4.5908	3.7062
	3		716		18.89			27.00		22.72		2.4855		2.9895	

各数値は荷重 4.0 t において算出したものである。

たときの杭頭部の力学的挙動について論じる。

フーチング表面に回転の原点があると仮定し、実測回転角と、杭頭部を完全剛結としたときの理論回転角を求め、理論値と実測値の差が杭頭部で生じた回転角と考え、回転ばね定数を算出する (表-3)。

杭に水平力が作用する場合、地盤を次のように考慮する方法がある。

- ① 極限地盤反力法
- ② 弾性地盤反力法
- ③ 複合地盤反力法

現在、設計計算に用いられる方法は②が一般的であり、その代表的な設計手法は Y.L. Chang の提案によるものである。杭が地上部分に突き出していないとすれば、土を完全弾性体として取扱い、弾性床上のはりとして次式が得られる。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s y = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

この一般解は次式で得られる。

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} \cdot (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad \dots\dots\dots (2)$$

杭の根入長が無限の場合 $A=0, B=0$ となり

$$y = e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。次にたわみ曲線の方程式から

$$\text{たわみ角 } \theta = \frac{dy}{dx} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{曲げモーメント } M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{せん断力 } S = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} \quad \dots\dots\dots (6)$$

が計算できる。すなわち、地表面下 x に生ずる θ_x, M_x, H_x は下記の式で与えられる。

$$\theta_x = y' = -\beta e^{-\beta x} \{ \cos \beta x (C - D) + \sin \beta x (C + D) \} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$M_x = -EI y'' = -\beta^2 e^{-\beta x} \{ \cos \beta x \cdot 2D + \sin \beta x \cdot 2C \} EI \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$H_x = -EI y''' = \beta^3 e^{-\beta x} \{ 2(C + D) \cos \beta x$$

$$-2(C - D) \sin \beta x \} EI \quad \dots\dots\dots (9)$$

これらに境界条件として $x=0$ (杭頭) を与えると

$$\theta_0 = -\beta(C - D) \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$M_{0(\theta)} = 2\beta^2 DEI \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$H_0 = -2\beta^3(C + D)EI \quad \dots\dots\dots (12)$$

となり、式 (10), (12) より

$$C = \frac{H_0}{4\beta^3 EI} - \frac{\theta_0}{2\beta} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$D = -\left(\frac{H_0}{4\beta^3 EI} + \frac{\theta_0}{2\beta} \right) \quad \dots\dots\dots (14)$$

式 (13), (14) を式 (7), (8), (9) に代入して

$$\theta_{x(\theta)} = -\beta e^{-\beta x} \left\{ \frac{H_0 \cos \beta x}{2\beta^3 EI} - \frac{\theta_0 \sin \beta x}{\beta} \right\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$M_{x(\theta)} = -\beta^2 e^{-\beta x} \left\{ -\left(\frac{H_0}{2\beta^3 EI} + \frac{\theta_0}{\beta} \right) \cos \beta x + \left(\frac{H_0}{2\beta^3 EI} - \frac{\theta_0}{\beta} \right) \sin \beta x \right\} EI \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$H_{x(\theta)} = \beta^3 e^{-\beta x} \left\{ -\frac{2\theta_0}{\beta} \cos \beta x - \frac{H_0 \cos \beta x}{\beta^3 EI} \right\} EI \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$y_{x(\theta)} = e^{-\beta x} \left\{ \left(\frac{H_0}{4\beta^3 EI} - \frac{\theta_0}{2\beta} \right) \cos \beta x - \left(\frac{H_0}{4\beta^3 EI} + \frac{\theta_0}{2\beta} \right) \sin \beta x \right\} \quad \dots\dots\dots (18)$$

次に杭頭部について論じると、杭頭におけるモーメント $M_{0(\theta)} = -\left(\frac{H_0}{2\beta} - \beta EI \theta_0 \right)$ であり、杭頭での回転角 θ_0 は杭頭での曲げモーメント M_0 に比例するから、実験値と理論値との比較で求めた回転ばね定数を用いて $\theta_0 = -M_{0(\theta)}/k$ を代入すると以下になる。

$$M_{0(\theta)} = -\left\{ \frac{H}{2\beta} + \beta EI k M_{0(\theta)} \right\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$M_{0(\theta)} = -\frac{H}{2\beta} \left(\frac{1}{1 + \beta EI k} \right) \quad \dots\dots\dots (20)$$

また杭頭における水平変位量は次式で表わされる。

$$y_{0(\theta)} = \frac{H_0(1 + 2\beta EI k)}{4\beta^3 EI(1 + \beta EI k)} \quad \dots\dots\dots (21)$$

表—4 剛結度一覧表

タイプ	No.	回転ばね定数 k ($\times 10^{-4}$ rad/t·m)				(杭頭モーメント) $\frac{2\beta M_0(\theta)}{H}$				剛結度 $\frac{1}{1+\beta EI k}$				平均剛結度
		たわみから		部材傾斜角から		たわみから		部材傾斜角から		たわみから		部材傾斜角から		
			平均		平均		平均		平均		平均		平均	
A	1	0.3803		0.8671		0.978		0.950		0.978		0.950		0.962
	2	0.3461	0.5075	0.7250	0.8162	0.980	0.970	0.958	0.953	0.980	0.970	0.958	0.953	
	3	0.7961		0.8566		0.954		0.951		0.954		0.951		
B	1	2.5342		2.5671		0.867		0.865		0.867		0.865		0.883
	2	1.6487	2.0234	2.0961	2.3627	0.909	0.891	0.888	0.875	0.909	0.891	0.888	0.875	
	3	1.8842		2.4250		0.898		0.872		0.898		0.872		
C	1	3.4276		3.5382		0.829		0.824		0.829		0.824		0.823
	2	4.3487	3.4206	4.5908	3.7062	0.792	0.829	0.783	0.817	0.792	0.829	0.783	0.829	
	3	2.4855		2.9895		0.870		0.847		0.870		0.847		

タイプ	No.	杭頭部変位量 $\frac{\delta_0(\theta) 4\beta^2 EI}{H}$		剛結度 $\frac{1+3EI k}{1+2\beta EI k}$		平均剛結度
A	1	1.023		1.050		0.963
	2	1.021	1.030	1.042	1.047	
	3	1.046		1.050		
B	1	1.133		1.134		0.895
	2	1.091	1.109	1.112	1.125	
	3	1.102		1.128		
C	1	1.172		1.176		0.850
	2	1.208	1.171	1.217	1.183	
	3	1.131		1.153		

杭径 $D=31.85$ cm
 横方向地盤反力係数 $K=1.0$ kg/cm²
 曲げ剛性 $EI=2559$ t·m²

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{KD}{4EI}} = 0.236 \text{ m}^{-1}$$

注：曲げ剛性 EI は中詰めコンクリートを考慮していない。

式 (20), (21) を用いて, 横方向地盤反力係数 $K=1.0$ kg/cm² とし, 半無限長の杭を想定し, 試験により求められた, 前述回転ばね定数 (表—3) を適用し, 結合方法による有意性を計算する。

Aタイプの結合方法での回転ばね定数は, たわみから求めた $k=0.5075 \times 10^{-4}$ rad/t·m を用い, $\beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}} = 0.236 \text{ m}^{-1}$ ($D=31.85$ cm, $EI=25.59 \times 10^9$ kg·cm²) を式 (20) に代入すると,

$$M_0(\theta) = -\frac{H}{2\beta} \left(\frac{1}{1+0.236 \times 25.59 \times 10^9 \times 0.5075 \times 10^{-4}} \right) = -0.9703 \frac{H}{2\beta}$$

となる。

杭頭部を完全剛結としたときの杭頭拘束モーメント $M_0(\theta) = -\frac{H}{2\beta}$ であるから, Aタイプの結合方法を用いれば杭頭に生ずるモーメントは設計値に比較して 97.03% 生じると推定される。この剛結度を $R_{(M)}$ とすると

$$R_{(M)} = \frac{1}{1+\beta EI k} \dots \dots \dots (22)$$

で表わされる。次に杭頭での変位量を同様に式 (21) より求めると,

$$y_0(\theta) = \frac{H_0}{4\beta^3 EI} \times \frac{1+2 \times 0.236 \times 2559 \times 0.5075 \times 10^{-4}}{1+0.236 \times 2559 \times 0.5075 \times 10^{-4}} = 1.0297 \frac{H_0}{4\beta^3 EI}$$

となり, 完全剛結としたときが $y_0 = \frac{H_0}{4\beta^3 EI}$ であるから, 完全剛結とした場合より 2.97% 変位量が增大する

ことになる。この剛結度を $R_{(D)}$ とする。

$$R_{(D)} = \frac{1+2\beta EI k}{1+\beta EI k} \dots \dots \dots (23)$$

表—4 に, 地盤条件として横方向地盤反力係数 $K=1.0$ kg/cm² としたときの剛結度一覧表を, 各タイプ荷重 4.0 t について示す。図—9, 10 には横方向地盤反力係数 $K=0.5 \sim 7.0$ kg/cm² における回転ばね定数と剛結度 $R_{(M)}$, $R_{(D)}$ の関係を示した。

特殊な地盤を除けば, 横方向地盤反力係数は $K=0.5 \sim 2.0$ kg/cm² が一般的に設計に用いられる数値であり, この範囲では Aタイプの剛結度 $R_{(M)}=0.945 \sim 0.975$, $R_{(D)}=0.948 \sim 0.975$ であるから, 設計上完全剛結としてもさしつかえないと思われる。

同様の地盤条件で Bタイプについてみると, $R_{(M)}=0.855 \sim 0.907$, $R_{(D)}=0.873 \sim 0.915$ となり, Aタイプに比較して剛結度が低下する。

Cタイプについては $R_{(M)}=0.790 \sim 0.852$, $R_{(D)}=0.826 \sim 0.871$ とかなり剛結度が低下し, 構造物の設計に際しては, これらの数値を考慮の上, 変位, モーメントを算定する必要がある。

また, 降伏荷重まで載荷した各段階ごとのフーチング表面に表われたひびわれの状態を 図—11 に示した。これによると, Aタイプでは, 杭前面のフーチングコンクリートが有効に支圧分担し, B, Cタイプでは鋼管に溶接した定着鉄筋を通じてフーチングに応力伝達してゆくであろうことが推察される。

b) 杭体の一体性に関する検討 SP-AC

杭は、鋼管とコンクリートとの間にはせん断力を伝達させるコネクター、あるいはジベル等を特別設けてはいない。これはコンクリートの自由面が内面のみに限られており、杭体に生ずる曲げ応力による変形、プレストレスによるポアソン効果により、鋼管とコンクリートにかなりのフリクションが生じると予想されるためであるが、その定量的な把握はむずかしい。ここでは、鋼管とコンクリートのひずみ分布、曲げ応力の分担等より杭の一体性について検討してみた。

鋼管とコンクリート（杭本体）のひずみから曲げモーメントを算出し、各位置における実測分担モーメントを各タイプごとに 図-12 にまとめた。この実験では軸力 $N=0$ であるから、鋼管とコンクリート、P C鋼線がおおの負担しているモーメントを計算すれば、その比は鋼管 67.1%、コンクリート杭 31.6%、P C鋼線 1.3% となる。

この計算分担モーメントと実測分担モーメントを比較してみると（図-12）各タイプとも、理論計算値に比較し、鋼管+コンクリートのモーメントは小さな値を示しているが、これは中詰めコンクリートの影響を考慮していないためである。また、コンクリート杭本体の分担率はほぼ理論値と一致しているが、鋼管の分担率は、理論値に比較して、実測値はやや下回っている。これは、計算仮定においてコンクリートの引張応力を無視し、すべ

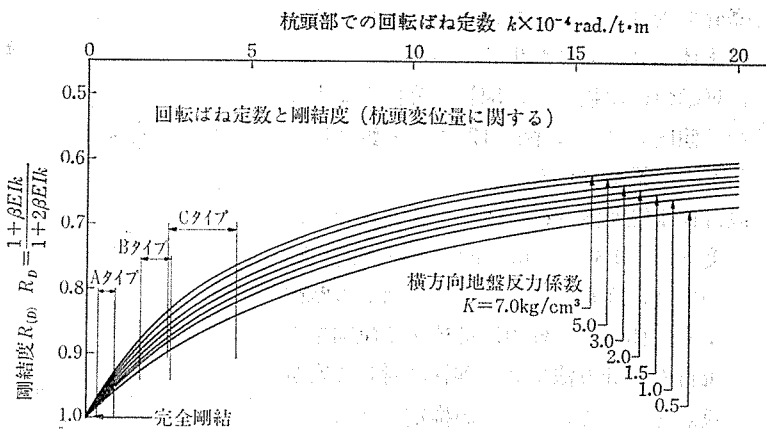


図-9 回転ばね定数と曲げモーメントに関する剛結度

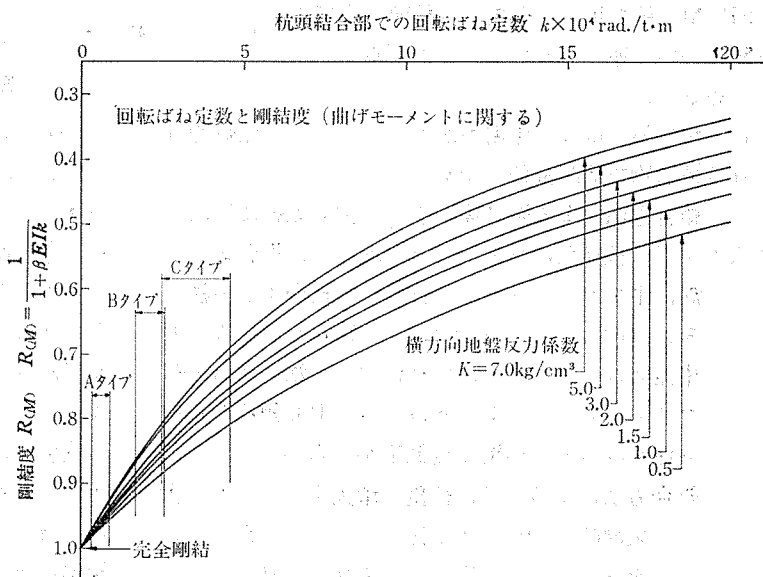


図-10 回転ばね定数と変位に関する剛結度

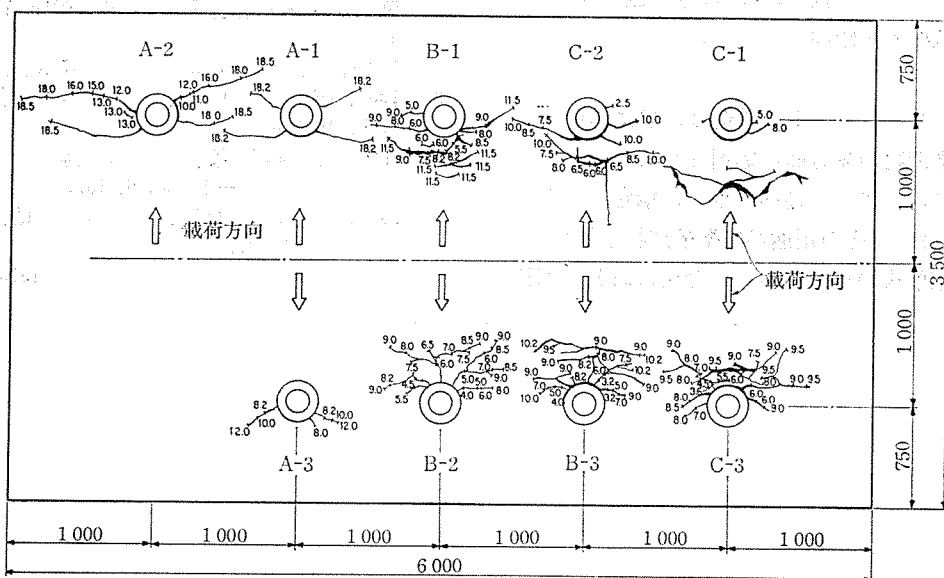


図-11 露びわれ図

て鋼管で受けもつとしているが、コンクリート杭本体にクラックが生じていないとすれば、理論値に比較して、鋼管の分担率は少なくなる傾向になり、図-12 に示す値に近くなるものと推察される。

設計荷重範囲内（杭本体の引張側鋼管の緑応力度 $\sigma_s = 2100 \text{ kg/cm}^2$ を生じさせる荷重）においては、鋼管とコンクリートはその摩擦力により一体として外力に抵抗する傾向をみせ、現行の設計方法では、鋼管に対して安全側の設計となっていることが推定できる。

4. ま と め

SP-AC 杭を用いた概要と、杭頭結合部の実験について述べてきたが、その要点をとりまとめると、

- 1) SP-AC 杭は、作用力が大きく、変位が比較的許される構造物では経済的となる。
- 2) 結合方法による剛結度の差は、完全剛結に比較してAタイプ（杭径だけフーチングに埋込み、鋼管よりの定着鉄筋、中詰めコンクリート打設にて結合する方法）は約5%、Bタイプ（フーチングに10cm埋込み、PC鋼線中詰めコンクリートにて結合する方法）は10%、Cタイプ（フーチングに10cm埋込み、PC鋼線のみ結合する方法）は15%の剛結度低下が明らかになった。
- 3) 結合方法による差は、荷重が増大するとともに大きくなり、破壊時で約倍の差が出てくる。したがって、SP-AC 杭をフーチングに定着する場合は、杭径以上フーチングに埋込み、鋼管とコンクリート杭両方とも、なん等かの方法によりフーチングに結合する必要がある。
- 4) 鋼管とコンクリート杭は、設計荷重段階では一体となり、外力に抵抗する傾向を示している。

等があげられる。

最近、充てんコンクリート鋼管構造は、建築構造物のみならず、土木構造物の多方面に応用されようとしている。その1分野に、いままで述べてきた、鋼管コンクリート杭がある。しかし、その用途が建築構造物と異なり、構造上の問題も未解決の部分が多く、今後の研究に期待

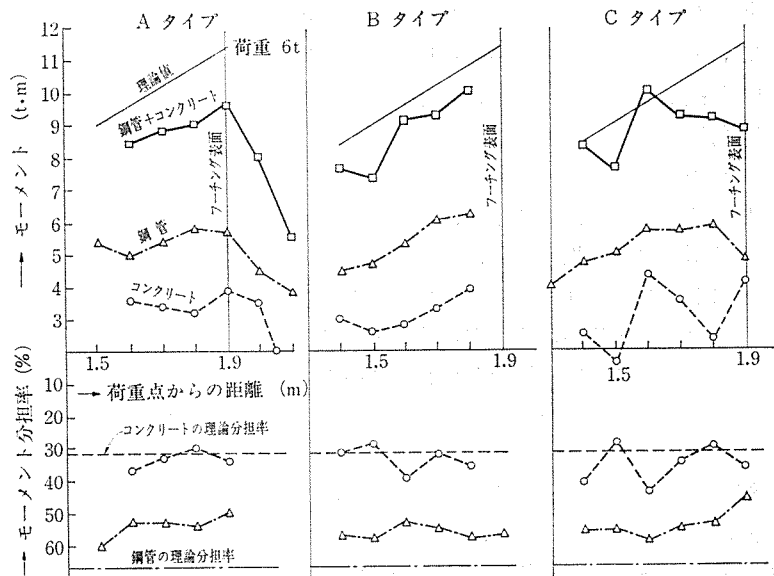


図-12 モーメント分担率

する所が大である。構造物が高強度化し細く長くなるにしたがい、その安全率は小さくなり、ある1か所の破壊が大きな崩壊につながる危険性を含んでいる。このため、今後使用されてゆく材料は、高強度化してゆくのみならず、ダクティリティーに豊んだ。ねばり強い性質をもった材料である必要があるこれらの傾向を考えると、充てんコンクリート鋼管構造が新しい方向を見い出してゆくように思える。

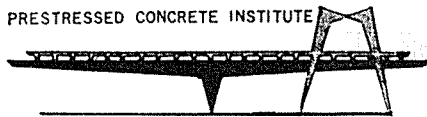
最後に、本稿を取りまとめるにあたり、御甚力をいただいた、首都高速道路公団西山啓伸氏、矢作 枢氏（現建設省土木研究所）、徳良賢一氏をはじめとする、湾岸線建設局関係者、および日本コンクリート担当者に誌上をかり厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) SP-AC 杭杭頭結合試験報告書（昭和49年）、首都高速道路公団
- 2) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造設計規準
- 3) 駒田、岡山：くい頭部とフーチングの結合に関する実験、道路、1975.6
- 4) 津野：くい頭部の接合に関する実験について、プレストレスト コンクリート No. 6, 1971
- 5) 浅間、足立：くい頭部とフーチングの結合部設計について、道路、1972.7

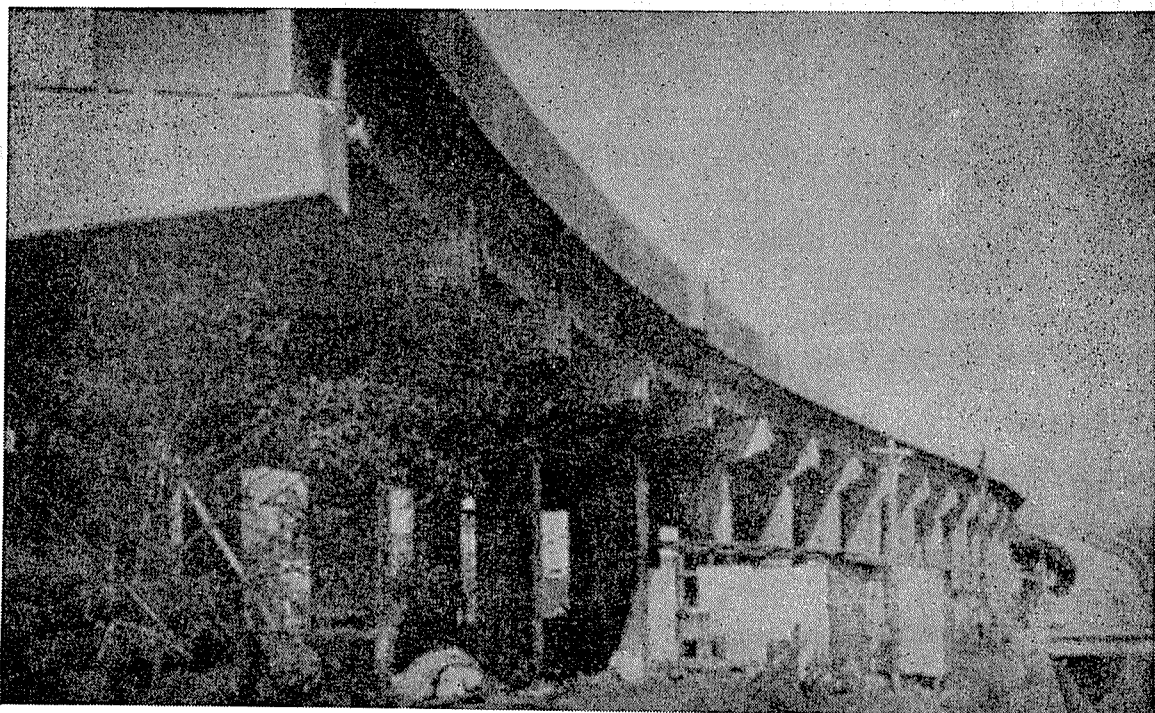
1975.11.30・受付

MEMBER
PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE



興國のPC鋼線

鋼線・より線・異形線



★興國のPC鋼線・より線・鋼棒は国内はもとより海外の土木・建築に好評を得ております★



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P. C.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9番地 宝町清水ビル	電話	東京 (561) 2 1 7 1 代表
大阪営業所	大阪市西区阿波通り1の67の1 大急ビル550	電話	大阪 (541) 3 5 9 5 代表
東京工場	東京都江東区亀戸町九丁目19-15号	電話	東京 (681) 5 3 7 1 代表
大阪工場	大阪府貝塚市堤300番地	電話	岸和田貝塚(3)3701 代表
新潟工場	新潟県加茂市上条1369番地	電話	加茂(2) 0 2 8 0 代表