神戸ポートアイランドで用いた PC 杭の実験報告

FIELD TESTS ON PRESTRESSED CONCRETE PILES USED IN KOBE PORT ISLAND



1. まえがき

神戸ポートアイランドは,昭和41年に埋立てが開始され, 昭和53年にほぼ完成した総面積 436 ha の人工島である。 比較的早期に埋め立てられた外周部は,すでに港湾施設が 稼動しており,中央部の用地には各種施設の本格的な建設 の時期になっている。本報告は当敷地の中に鉄筋コンクリ ート造3階建の倉庫を建設するに当たり,沖積粘土層の圧 密に伴うネガティブフリクションを低減する目的で異径杭 を採用し,これに関して実施した諸試験及び施工記録をま とめたものである。

本工事に用いた杭は、端部800 mm の部分でテーパーを とり、杭径を100 mm 大きくした杭を中杭に使用し、下 杭(径 600 mm)、上杭(径500 mm)は同一径の高強度プ レストレストコンクリート杭(以下 PC 杭と略す)である。 この杭を使用した目的は、下杭の径を大きくすることによ り先端支持力を大きくし、中杭、上杭の径を小さくするこ とによりアスファルト塗布層と杭周囲の地盤に間隙ができ、 杭打込み時にアスファルトのはく離を生じないこと、周面 積が小さくなることによりネガティブフリクションを低減 できること、などである。

この種の杭を打込み杭として大規模に使用したのは初め てのことで、①打込み試験、②鉛直載荷試験、③水平交番 載荷試験などを行い、建物完成後、④杭体に作用するネガ ティブフリクションの長期測定、⑤建物及び周辺地盤の沈 下測定などを実施している。本報告は①、②、③の項目及 び杭打ち施工記録についてまとめたものである。

2. 地盤の概要と試験抗

2.1 地盤の概要

敷地はポートアイランドの東側に位置し,他の場所より も比較的新しく埋立てが行われた。埋立て以前の地盤高さ は K.P(神戸港修築工事基準面,神戸市)-12.3m程度で あったが,昭和44年10月頃から昭和47年6月頃には K.P.

*(株)住友倉庫 管財課 技師 **(株)日建設計 構造部副部長 ***(株)日建設計 構造部 -11.5m, 昭和47年末には急速に埋め立てられて約 K.P. -1.0 m となった。その後,次第に埋立てが進み,昭和52 年4月には K.P.+5.1 m となった。

敷地内に深度57mのボーリングを2本,80mのボーリン グを1本行い,前者は標準貫入試験,後者はシンウォール サンプリング,デニソンサンプリングにより土質試験を行 った。図ー1に付近見取図,ボーリング位置図を示す。層 序としては図ー2に示すように,最上部に埋立て土層が約 20mあり,主として礫混り砂層で良質のまさ土が多いが, 部分的に鉱さい,コンクリート塊などの混入物がある。標 準貫入試験における打撃数(以下N値と略す)は10前後か ら20程度を示し相対密度は中位以下となっている。埋立て 土層の下は海成粘土層(Ma 13)で梅田層と呼ばれる大阪 沖積平野を構成する地層と同じ沖積粘土層で,厚さ約10m が堆積している。さらに,砂と砂礫及び粘性土層の互層が 複雑に分布しながら約25m存在し,その下部には厚さ約20 mの洪積粘土層が存在する。この洪積粘土層は Ma 11 に 相当し,上部でN値11~14,下部で16~22と大きな値を示

表一1 粘土の土質試験結果

	沖 積 粘 土	洪 積 粘 土
 含水比	65~ 79%	50~ 57%
液性限界	93~109%	73~100%
塑性限界	27~ 30%	24~ 25%
間 隙 比	1.6~ 2.0	1.4
単位体積重量	1.53~1.63 g/cm ³	1.66~1.69 g/cm ³
一軸圧縮強度	$0.6 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$	$1.7 \sim 2.2 \text{kg/cm}^2$
三軸圧縮強度	$c_u \ 0.3 \ \sim 0.4 \ \mathrm{kg/cm^2}$	$c_u 1.7 \sim 2.1 \text{kg/cm}^2$
圧密降伏応力	1.0 ~1.7 kg/cm ²	4 ~7 kg/cm ²
圧 縮 指 数	0.7 ~0.8	0.6 ~1.0



図-1 付近見取り図,ボーリング位置図

No. 1122



図ー2 ボーリング柱状図及び杭姿図

しており,地質的には大阪層群の上にある上部洪積粘土層 である。沖積粘土層及び洪積粘土層の土質試験結果を表一 1に示す。圧密特性についてみると,沖積粘土の圧密降伏 応力度が 1.0~1.7 kg/cm² であるのに対し,現在の土 か ぶり圧は約 2.0 kg/cm² 以上であり圧密未完了粘土となっ ている。また洪積粘土は圧密降伏応力度が 4~7 kg/cm² と 大きく,過圧密粘土となっている。

以上より、当敷地においては沖積粘土の圧密による地盤 沈下が生じており、その沈下量は今後 100 cm~130 cm と 予測される。

2.2 試験杭について

試験杭は打込み時の打撃応力,鉛直載荷試験,水平交番 載荷試験及び長期応力測定を目的とした P1 (アスファル ト処理) 杭と,打撃応力,長期応力測定を目的とした P2 (無処理) 杭の2本である。両杭共,上杭は直径 500 mm, 長さ14mのB種,中杭は端部 800 mm の部分でテーパーを つけ直径を 100 mm 大きくした異径杭で長さ13mのB種, 下杭は直径 600 mm,長さ6m(L/d=10,L:杭長さ,d:

表-2 杭の諸元

杭	Ø	諸	元	上,中杭	下杭
杭の	直	径	(mm)	500	600
杭の	壁	厚	(mm)	90	100
杭の	断 面	積	(cm ²)	1, 159	1, 571
	, ∫ ^直	径 -	一本 数	7.4¢—28	7.4 <i>4</i> —18
РСщ	™〔断	面積	(cm ²)	12.04	7.74
断面二岁	マモーメ	ント	(cm4)	255, 324	510, 508
換算断面ニ	こ次モーメ	ント	(cm*)	269, 200	522, 700
杭		種		B 種	A 種
有効プレ	ノストレ	ノス((kg/cm²)	75.6	38.0
ひびわれ曲	はげモーメ	ント	(t•m)	16.2	19.7
破壊曲げ	モーメ	ント	(t•m)	32.4	28.3
				1	1

杭直径)のA種で全長33mの継ぎ杭である。杭先端部には 保護のため十字クロス鋼板を有する鋼管(長さ:200mm) を取り付けた。杭の諸元を表一2に示す。

P1 杭の中杭は 11.5m の範囲にわたりアスファルトを塗 布した。使用したアスファルトはシェル石油㈱の Bグレー ド(針入度:40/60, 軟化点:65/73℃, 溶解温度:130~ 150℃)で,杭体回転浸漬方法により,1回の塗厚 2mm, 3回塗布で計 6mm の塗厚とした。

杭に設置したひずみ計は高温度用のワイヤーストレイン ゲージで、杭体製造過程において鋼棒の位置に取付け杭体 に埋め込んである。ひずみ計の設置位置は図一3に示すと おり、P1 杭には①から③断面の各2か所(A・C 側)、P2 杭には①から④断面の各2か所(A・C 側)である。試験 杭、反力杭の配置を図一4に、試験の工程を表一3に示す。



図-3 ひずみ計の設置位置



表	-3 ⊥	程 表	
1977年 項目	8 月	9	月
試験杭,反力杭	P2.8/27 P1.8/30 ■ 反力8/27 ~	9/2	1
鉛直載荷試験		経過日数 18日	— ■ 9/16~9/18
水平載荷試験		_ 経過日数 26日	9/25

3. 杭の打込み試験

3.1 杭の打込み性状

試験杭 P1, P2 及び反力杭 8本は,アースオーガー(先 端部:径 700 mm,長さ 70 cm,本体部:径 600 mm,長 さ15m)が先掘りを行い,ディーゼルパイルハンマーM43 により打設した。掘削深度は P1・P2 杭では 11.0m,反力 杭では13.0mである。なお,アースオーガー掘削孔と杭体 との間隙には海砂を充てんした。

本設計に用いた杭全数(386本)について,打込み長さ, 打止め貫入量,杭打ち公式による計算値,総打撃回数など を観測記録し,縦軸を無次元化した頻度分布として整理し 図-5に示した。なお杭打ち公式は次式を採用した。

$R_{\alpha} = \frac{2 WH}{5 S + 0.1}$		(1)	
	(\mathbf{t})		
Aa · 反射計谷又付力	(t)		
W・ノム重重 U・ラム茲下言	(r) . (m)		
11・ノム裕一同 く・貫入島	(m)		
ロ・スノノ里			

図-2の土質柱状図からわかるように本地盤の支持層付 近は打止め深さが一定せず¹⁾,杭打込み深さは 32 m から 40 m の範囲にかなりのばらつきがある。打止め貫入量は 1~3 mm (平均値 2.48 mm) で,(1)式による計算値は平均 171 t /本 となった。総打撃回数は 800 回から 2,500 回と 広範囲に分布しており,打込み深さのばらつきからみても, 地盤のかたさが一様でないことがうかがわれる。

また,各層の打撃回数比を試験杭,反力杭について調べてみると,埋立て土層は40~60%,粘土層は15~30%,支



図-5 頻度分布

持層は15~35%となり、埋立て土層貫入に相当の打込みエ ネルギーを要することがわかる。

P1・P2 杭の打込み深さと 50 cm 毎の打撃回数及び打止 め貫入量の測定記録を参考までに図一6 に示す。

3.2 打撃応力について

P1・P2 杭において打撃応力の測定を行った。測定は動 ひずみ測定器と記録計(直記式電磁オッシログラフ,ガル バー固有振動数 1000 Hz)などによった。両杭共,中杭の 打込み開始から測定し,杭貫入深さ 50 cm 毎に 4~5打 連続記録させ,そのうちの3打を読みとり,その平均値を もってその深さにおけるひずみとした。

両杭の測定断面は次のとおりである。

P1 杭(処理杭, 打込み時砂充てん)

中杭打込み時:①,②,③,⑤ 各断面の A・C 測点 上杭打込み時:①,③,⑤,③ 各断面の A・C 測点 P2 杭 (無処理杭,砂あと詰め)

中杭打込み時:①,②,③,⑤ 各断面の A・C 測点 上杭打込み時:①,③,⑤,① 各断面の A・C 測点 各断面の応力度の算定はA・C 測点の平均値をとり、コ ンクリートのヤング係数を 4×10⁵ kg/cm² として求めた。

測定結果は、P1, P2 杭頭の打撃応力度を図ー7, P1 杭 の引張り応力度を図ー8, P2 杭の引張り応力度を図ー9, 杭打ち時の偏心量を図ー10に示した。また図ー11に杭打込 み時の動ひずみ分布を、図ー12に動ひずみ記録の一例を示 した。

杭頭の打撃応力度は,打設深度が16mを越えると急に大 きくなり, P1 杭では 300 kg/cm², P2 杭では 220 kg/cm² の値を示し, 図-6の50 cm 毎の打撃回数の急増すること と関連性がある。20 m 以深の粘土層では P1 杭では 270 kg/cm², P2 杭では 150 kg/cm² と減少し, 30 m 以深の支 持層では P1 杭は 280~300 kg/cm², P2 杭は 200~210 kg/cm² と再び増加する傾向を示した。

なお両杭の応力差の原因は、砂充てんの施工順序にある のではなく、地盤の堅さに違いがあるものと推察される (P1 杭の総打撃回数: 2,558回, P2 杭の総打撃回数: 1,312 回)。

引張り応力度については、P1 杭は粘土層へ貫入するに つれて増加する傾向がみられ、P2 杭はこの傾向が顕著で ある。P1 杭は中杭打込み時に 10 kg/cm² 程度、上杭打込 み時に最大 35 kg/cm² であった。P2 杭は中杭打込み時は P1 杭とほぼ同様の値があるが、上杭打込み時に⑤断面で 60~65 kg/cm² の引張り応力度を示した。

両杭応力に違いがある原因は、P1 杭が砂充てんによる 拘束効果が考えられるのに対し、P2 杭はこの効果が少な いことにあると推察される。従って砂充てんの施工順序に 関係があるといえよう。

発生した引張り応力度に対しては、中杭・上杭は B 種 (有効プレストレス:75.6 kg/cm²)を使用しており、コン

No. 1122



図-6 杭打込み深さと打撃回数

クリートの引張り強度が約 50 kg/cm² あると仮定すると, 全引張り抵抗力は 125 kg/cm² となりまだ十分な余力があ ると考えられる。

杭頭ひずみと中杭下部の③断面のひずみとの割合は,図 -11に示すように P1 杭で70%, P2杭で86%となり,杭頭 応力の杭先端部への伝達比はかなり大きい。このことから, 中杭・上杭の動摩擦抵抗は小さいものと考えられる。また, 杭頭応力が杭先端に伝達する割合は,杭が支持 層付近に到達すると大きくなり,その比率は, 打止め時において P1 杭先端で 60%, P2 杭先 端で55.7%となっている²⁾ことが**図—12**よりう かがわれる。

以上,打撃応力測定結果より次の現象が指摘 される³⁾。

- i) 各断面の圧縮ひずみは、杭の根入れとと もに増加してゆき、17~19mで一つのピー クがある。支持層到達以前は杭先端に向っ て減少するが、支持層に到達すると杭先端 部ひずみが増大する。
- i) 引張りひずみは、一般に杭頭、杭先端部 で小さく中間部で大きい。引張りひずみの 最大値は、杭が粘土層中にある時に発生し、 支持層に入るとひずみ量は減少する傾向に ある。
- n) 杭頭における偏心量は,最大 2.5 cm で
 あり,全般的に 2.0 cm 以下である。

ー般に杭打込み時,杭体に引張り応力が発生する場合と して,杭の先端地盤が軟弱で先端抵抗力が小さいとき,杭 の周面摩擦が少なく打撃エネルギーの逸散が少ないときな ど⁴が考えられるが,本地盤においてもこれが確認された。 次に施工上の問題として,杭打ちに際し,地上の拘束を 受けていない部分(突出し部分)が長いときは,打撃ごと に横振れを生じて,杭折損の原因となることもある⁹。



土と基礎, 27-6 (256)



図-11 P1, P2 杭打込み時の動ひずみ分布

この種の杭は砂充てんを後で行う場合、突出し長さが常 に一定で折損の原因となりやすい。従って砂充てんは杭打 ち時に行う方がより安全といえよう。

今回の杭打ち工事では慎重に施工を行った結果、杭折損 などの問題は生じなかった。



図-12 杭打込み時の動ひずみ記録 (プロマイド送り速度 20 cm/sec)

杭の鉛直載荷試験 4.

P1 杭において杭打設 18 日経過後,鉛直載荷試験を実施 した。載荷方法は反力杭方式とし、長期設計支持力90 t の 約5倍の440t を最大荷重とした。載荷は緩速載荷法3サ イクル(第1サイクル:160t,第2サイクル:320t,第 3サイクル:440t)にわけて行った。

試験結果を次の図にまとめた。

- i) 荷重~沈下量~時間曲線………図—13
- i) $\log(P_0, R_p) \sim \log(S_0, S_p)$ 曲線……」図—14



 \boxtimes -14 log $P_0 \sim \log S \boxtimes$

39





ii) S₀~log t 曲線 ………図—15
 iv) 各荷重階における軸力分布図………図—16

降伏荷重の判定は通常用いられている方法により行った。 それによると、図―14では 320 t (杭先端荷重 150 t)付 近にわずかの折点が認められ、また 図―15では 360 t (杭 先端荷重 193 t)付近に折点が認められる。なお、極限荷 重はファンデルビーン (Van der Veen)の推定法⁹⁾によ ると 800 t となった。

一方杭体に設置したひずみ計から軸力を算出し (コンク



リートのヤング係数は③断面の軸力を杭頭荷重と等しいと 仮定し求めた。 $E_c \approx 4.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$), 各荷重階における 杭軸力分布を図—16に示した。同図によると⑧断面までの 杭長さ8mの間は, 載荷重とほぼ等しい軸力が作用してお り,それ以深は周面摩擦の影響で軸力が減少している。① 断面の軸力を杭先端荷重と定義することにするが, 杭先端 荷重は最大荷重時 440 t で 260 t になり杭頭荷重との割合 は59%となった。打撃応力測定時の杭頭応力の杭先端への 伝達比は, 3.に述べたように杭打止め時約60%となり, 静 的載荷試験の場合と一致した。

②断面のひずみ計の一つが不調なので①~③断面の間は 破線で表示した。

杭先端荷重 R_p と摩擦力 R_f の関係は図—17に示すよう に,杭頭荷重 P_0 が 160 t を越えると, R_f の増加より R_p の増加荷重が大きくなり, P_0 が 330 t の時, $R_p = R_f$ とな った。以後杭頭荷重の増加に従い, P_0 の増加分の大部分 は杭先端に伝達された。

³断面と④断面の軸力差を埋土層の摩擦力とみなし図ー 17に示したが、全摩擦力の傾向と類似している。

埋土層の摩擦応力度は、杭頭荷重が 160 t の時 τ =3.13 t/m²、同 440 t の時 τ =3.78 t/m² となった。 砂質土の摩擦力最大値とN値との関係を示す式⁶⁾、 τ =3+N/5(t/m²) により埋土層の平均 N 値を 15 として計算すると τ =6.0 t/m² となり実測値は小さい。

この原因はアースオーガー使用による地盤のゆるみと異 径杭打込みによる上杭と周辺土との摩擦抵抗の低下などが 考えられ、このことは打撃試験の結果からも類推できる。 ネガティブフリクションに対しては、摩擦抵抗の小さいこ とは望ましいが、杭打ちにより乱された地盤が回復し、摩 擦力の増加が考えられるので現時点で判断することはむつ かしいと思う。

粘土層及び根入れ部の摩擦力は図一16から説明はできないが、粘土層の摩擦力は表一1 に示す土質試験結果から 3~5 t/m² 程度とみておいて大差ないと思われる。

中杭に塗布したアスファルト層の影響は、今回の短期的 な載荷試験ではでてこないので、長期測定の結果をみた上 で総合的に判断する必要がある。

土と基礎, 27-6 (256)



杭先端部の支持力特性を考察するため、図—14に $\log R_p$ ~ $\log S_p$ 曲線を併記し、図—18に杭先端荷重度 $R_p/A \sim S_p$ /d 図を示した。A は杭の先端閉鎖断面積, d は杭の直径 である。杭先端沈下量は杭のひずみ測定値より、杭の全変 形量を算出し、杭頭沈下量より差引いて求めた。 $\log R_p \sim$ $\log S_p$ 図より 230 t ($R_p/A = 814 \text{ t/m}^2$ に相当) に折点が認 められ、図—18 の P1 曲線では視覚的に 810 t/m² に折点 があり、降伏荷重度は 810 t/m² と判定できる。図—18 に は筆者らが行ったポートアイランドの他敷地での載荷試験 の曲線 (A, B) 及び文献⁷ による平均曲線を参考に示し ておいた。

A現場における降伏荷重度は 770 t/m² (B現場のものは 未降伏) と判定され,本試験 P1 杭の降伏荷重度と近似し ており,極限荷重度 Rup は 1,200 t/m² 程度とみられる。

P1 杭先端部の平均 N 値を40とした場合,文献⁸⁾の先端 支持力係数30はほぼ妥当であり,本地盤においても適用で きると判断した。

地盤沈下を生じている地域では,杭頭の荷重~沈下関係 より杭の降伏荷重を判定することは不適当で,杭先端の極 限支持力を求める必要がある。しかし現実の問題として杭 先端の極限支持力を正確に把握することは,載荷重と計測 技術の面からそれほど簡単ではない。

今回の載荷試験では、摩擦力及び杭先端部の降伏荷重を ある程度確認することができた。以上に述べた検討の結果、 アスファルトの塗布効果は安全率を増すことを意図し、支 持力の検討には考慮せず、単杭の長期許容支持力を 90 t / 本とした。実施設計の杭配置は4本~7本の群杭とした。

5. 杭の水平載荷試験

鉛直載荷試験を行った8日後,水平載荷試験を実施した。 載荷方法は急速繰返し交番4サイクル方法とし,図ー4に 示す反力杭を用いて,A・C方向に加力した。

測定結果を次の図にまとめた。

- i) 荷重~変位関係図………図—19
- ii) 横方向地盤反力係数とN値関係図………図―21
- iv) 曲げモーメントの実験値と理論値の比較…図-22



図-22 曲げモーメントの実験値と理論値の比較

降伏荷重の判定を log *H*~log *y* 曲線, *y*~log *t* 曲線 より行った。log *H*~log *y* 曲線の A 方向加力時10 t 付近

No. 1122

で折点が認められたが,図一19の判定からも明確な降伏荷 重はないとみられる。またブロムス(B. B. Broms)の方 法⁸⁾によると極限荷重は約22 t と推定される。

杭の水平抵抗の考察に際して、横方向地盤反力係数の適 切な評価が重要である。本実験の結果をチャン (Chang) 式⁶⁾を用い、地表面変位より*K*値を求め、地表面変位*y*と の関係を図一20に示した。建築関係の設計では水平変位の 考え方が設計者の判断によることになっており⁶⁾、特別な 規定がないので文献⁹⁾の主旨にならって、変位量 10 mm の時の横方向地盤反力係数を求め比較検討をすることにし た。文献¹⁰⁾では載荷試験により求めた*K*値と*N*値との相関 性を統計的に検討した資料が掲載されているので、図一21 に引用し、この資料 (PC 杭の資料のみ)と対比すること にした。 $y_0=10$ mm の時、A方向加力では $K_a=1.50$ kg/ cm³、C 方向加力では $K_c=1.84$ kg/cm³ となり、地表面 から $1/\beta$ の範囲の平均 N 値を 15 とし図一21にプロットし た。同図によるとN-K図の範囲に入っているが下限に近 い。

曲げモーメントの実験値とチャン式(根入れ長さ無限長, 杭頭自由)による理論値を図-22に示した。全般的にみて 実験値は理論値より大きく,水平荷重15 t のとき,理論最 大曲げモーメントは約 13.7 t・m,実験値は約 1.2倍の16.6 t・m (A・C 加力方向の平均)となった。なお杭の設計ひ び割れ曲げモーメントは 16.2 t・m であるが,ひび割れの 発生は特に認められなかった。

最大曲げモーメントの発生深度は、実験値、理論値共ほ ぼ同位置であるとみられる。理論式による曲げモーメント が小さいのは、地盤を弾性と扱っているためであろう。参 考のため弾塑性解析法¹¹⁾による検討を行い、図一19に同法 に用いた土圧・変位関係及び仮想点(土が塑性化し始める 荷重)を示し、図一22に最大曲げモーメントを併記した。 弾塑性解による最大曲げモーメントは弾性解よりも実験値 とよくあっている。

以上により,打込み同径杭と異径杭に砂充てんを行った ものとは,水平加力に対する応力・変形関係に著しい差は 生じておらず,本工法による場合でも設計上特に問題はな いと判断した。

6. あとがき

以上,試験の概要と結果について記述した。現在建物沈 下・地盤沈下測定及び試験杭の長期応力を測定中である。

新設地盤においては、ネガティブフリクションの評価や 杭の支持力の判定などまだ不明な点が多い。まえがきに述 べた主旨にそって筆者らは一つの試みとして、この種の杭 を採用した。

試験の結果,採用した杭(下杭直径と上杭直径との差が 10 cm)の打込み性状は,施工管理に注意すれば同径杭と 変わらず施工できること,杭頭荷重の杭先端部への伝達性 は大きいこと,周辺土と杭体との間隙は砂詰めを行うこと により水平抵抗の低下は避けられること,また杭先端支持 力の判定に際し,拡大部長さと杭径比が10の場合,杭先端 の閉鎖全断面積を評価できることなどがわかった。

なお,異径杭の中間部に塗布したアスファルト層は,同 地域において実施した鋼杭の打込み・引抜き試験(昭和52 年4月)^{12),13)}の結果から類推して,杭の打込み後も損傷が ないものと思われる。

先端部を拡大した杭は、外国ではノルウエーやオランダ において実施例^{14),15)} があり、わが国では場所打ち杭の実 績が古くからある。既製杭では筆者の知る限りでは鋼杭, PC 杭あわせて約20数例の施工実績がある。

この杭の採用に際し,慎重を期し諸試験を行ったもので あるが,筆者らの気付かない問題点や検討すべき事項など があるかも知れない。ご批判,ご教示をいただければ幸で ある。

本建家は㈱日建設計の設計監理,㈱鴻池組・戸田建設㈱ 共同企業体の施工である。杭の施工,実験の実施は日本コ ンクリート工業㈱であり,担当していただいた内田正教氏 をはじめ関係者各位の熱心なご協力に対し,謝意を表する 次第である。

参考文献

- 小林・川村・福井・原:海岸埋立地盤における打込みぐいの 打撃性状について、日本建築学会近畿支部研究報告集,昭和 52年5月.
- 2) 吉成元伸: 既製コンクリートくいの打撃応力, 建築技術, 19 68.10. No. 206
- 3) 山肩邦男:森の宮市街地住宅建設現場におけるPCぐいの総 合的実験,昭和43年2月.
- コンクリートポール・パイル協会: PCパイルハンドブック 昭和45年9月,山海堂.
- 5) 榎並 昭: コンクリート製品の使用上の問題点―くいの施工 について―, コンクリート・ジャーナル, 1972.9. Vol. 10, No.9
- 6) 阪口 理:くいに働く砂質土の摩擦力推定式,日本建築学会 大会梗概集,昭和44年8月
- 7) 山肩・冨永:打込みグイの載荷試験における先端荷重~先端 沈下量曲線,第11回土質工学研究発表会,昭和51年6月
- 8)日本建築学会:建築基礎構造設計規準・同解説,昭和49年11 月
- 9) 山肩・冨永: 埋込み鋼管ぐいの横抵抗,第13回土質工学研究 発表会,昭和53年6月
- 10) 日本道路協会:道路橋下部構造設計指針・同解説一くい基礎 の設計編―1976.8
- 11) 山肩・富永: くいの水平加力試験結果に関する実用的な弾塑 性解析法,日本建築学会大会梗概集,昭和49年9月.
- 12) 福井・小堀:神戸ポートアイランドにおける杭実験について (その1.予備実験の概要)日本建築学会近畿支部研究報告 集,昭和54年6月.
- 13) 小堀・福井:神戸ポートアイランドにおける杭実験について (その2.本実験の概要)日本建築学会近畿支部研究報告集, 昭和54年6月.
- 14) 柴田 徹: くい基礎に働く負の摩擦力,施工技術, 1972.2.
- Van. Der. Veen, E. Horvat.: Settlement of Pile Fundoations, Experimental Deta, 8 th, I. C. S. M. F. E., 1973 (原稿受理 1978.10.20)

土と基礎, 27-6(256)