

薄層支持杭載荷試験の解析

大阪第一建設部

中村 忠 春

中村 求

広瀬 鉄 夫

要 約

湾岸線（南伸部2期）脇浜工区において、場所打ち杭（脇浜杭）の載荷試験及びその解析を行った。脇浜杭は有効な支持層厚さが、1.17m（0.97D）しかなく、薄層支持杭となっているが、先端支持力度と有効支持層厚さの関係から支持砂礫層の破壊形態はパンチング破壊に近いことがわかった。また、杭および杭周辺地盤をモデル化し、有限要素法による解析を行い、実測から得られた荷重～沈下量曲線と比較検討した。これより、本脇浜杭のような地盤状況下での杭の挙動には、下層粘土層の弾性係数や、地盤強度が大きな影響を及ぼすことなどがわかった。本報分はこれら実験および解析結果について報告し、薄層支持杭における今後の検討の一資料とするものである。

まえがき

大阪湾岸域の構造物支持地盤は、兵庫県域～大阪市域と堺市域～泉佐野市域とで大きく別れており、後者では洪積層の卓越した地盤となっているものの、薄層をなす砂質土と比較的厚い粘性土との複雑な多層地盤となっている¹⁾。

このような薄層地盤に杭基礎を施工する際には薄層支持機構に対し、十分な検討を行い設計する必要がある。

今回湾岸線（南伸部2期）脇浜工区で薄層支持の場所打ち杭について載荷試験を実施し、支持力の算定のほか、杭先端地盤の変形挙動を計測した。本研究では、この場所打ち杭の載荷試験の結果を報告するとともに、得られた載荷時のデータを用いて杭周辺地盤をFEM解析した結果も併せて述べていくことにする。

1 載荷試験の概要及び結果

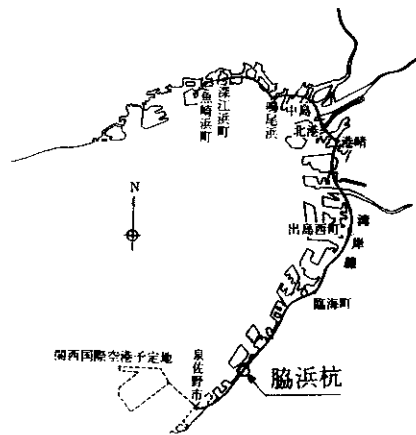


図-1 位置図

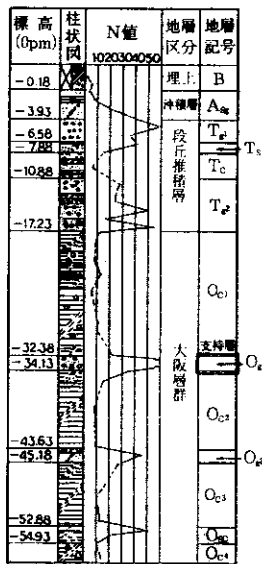


図-2 土質柱状図

1-1 地盤概要

調査地は、大阪湾に流入する近木川の右岸河口付近にあたり、昭和57年頃から埋立て造成が行われた新しい造成地である(図-1位置図 参照)。試験を行うに先立ち、試験杭位置で行ったボーリングによる柱状図を図-2に示す。これによれば、0P+1.2m~-0.18mまでは粘土質砂礫を主体とした埋立層である。0P-0.18m~-3.93mの間は砂質土からなる沖積層である。0P-3.93m~-17.23mの間は砂礫土、砂質土を主体とする段丘堆積層である。

0P-17.23m以深は粘性土層と砂礫層の互層からなる大阪層群である。本試験で試験杭の先端はこの大阪層群の厚さ1.75mの砂礫層O_g1に根入れしている。O_g1層のN値は60以上となっている。

表-1 試験杭及び反力杭の緒元

	試験杭	反力杭
外径 D (mm)	1200	1200
杭長 L (mm)	36.30	32.50
周長 U (mm)	3.770	3.770

1-2 試験概要

試験杭及び反力杭の緒元を表-1に示す。計画最大荷重は2400tで、試験方法は土質工学会編「杭の鉛直載荷試験基準・同解説」の多サイクルB法による。荷重は100tづつ増加させ、各荷重段階では2時間保持した。さらに、本試験では杭の沈下に伴う杭先端地盤の変形挙動を計測した。鉛直方向についてはワイヤ式変位計により、水平変位については挿入式傾斜計により計測を行った。図-3に各計器の配置を示す。

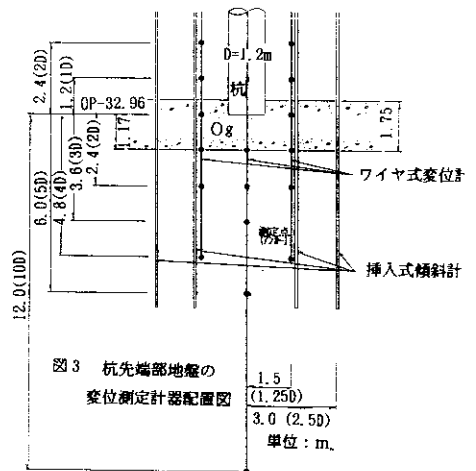


図-3 杭先端部地盤の変移測定計器配置図

1-3 降伏支持力及び極限支持力の判定

載荷試験における杭の降伏支持力及び極限支持力の判定には幾つかのものが用いられているが、ここでは

- (a) 杭頭荷重～沈下量曲線による判定
- (b) 慣用判定法による降伏支持力の判定
 - ① log P ~ log S 法
 - ② S ~ log t 法
 - ③ P ~ ΔS / Δlog t 法

ここに、P：荷重、S：沈下量、t：時間

- (c) Van der veen の方法による極限支持力の推定
- (d) ワイブル分布曲線による極限支持力の推定

(e) 沈下量を限定した場合の降伏支持力

の5つの方法を用いて判定を行った。表-2に判定結果を示す。これらの判定結果から降伏支持力は1100tf、極限支持力は1600tfとした。

	降伏支持力 (tf)	極限支持力 (tf)
設計値		1347.5
荷重-沈下量曲線		1600
10% P ~ 10% S法	1100	
S ~ 10% t法	1200	
P ~ 10% ΔS Δ 10% t法	1160	
Van der veen 法		1600
ワイヤル分布曲線	1030	1626
S / D = 4 %	1460	
S R / D = 2 %	1350	
総合判定	1100	1600

表-2 降伏支持力および極限支持力の判定結果一覧

1-4 杭先端地盤の変形

杭先端付近に埋設した計器により杭先端地盤の変形挙動を計測した。

(1) 鉛直変位

図-4に杭頭荷重と杭直下の地盤の鉛直変位の関係を示した。極限支持力である1600tfで変位が大きくなっており、中でも、S-1-1のように支持層直下の変位が大きくなっているのがわかる。

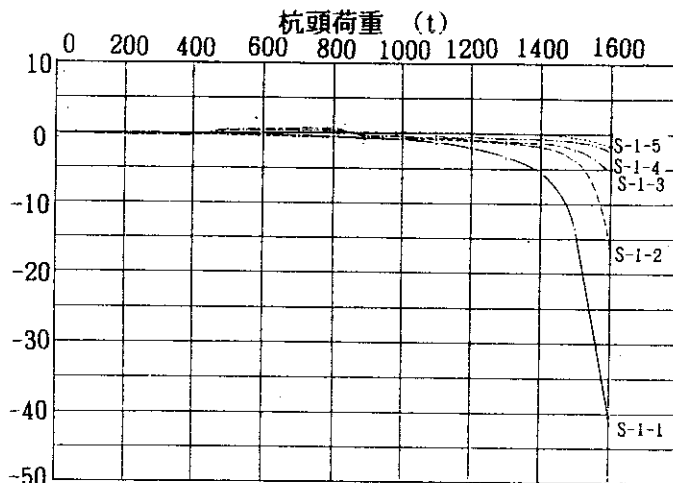


図-4 杭頭荷重～杭先端地盤鉛直変移量 (ワイヤ式変位計 No. S-1)

(2) 水平変位

図-5に、杭頭沈下量が30cmの場合の杭先端地盤付近の水平変位を示した。支持層以下での地盤で、杭から外側への地盤のはらみ出しがみられる。

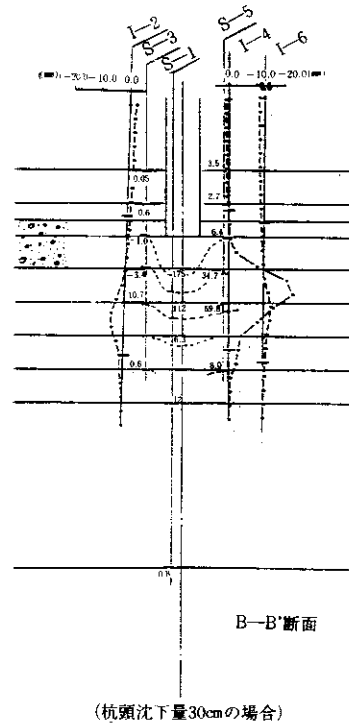
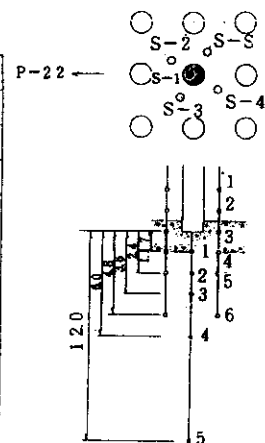


図-5 杭先端部地盤の変移断面図 (杭頭沈下量30cmの場合)



1-5 脇浜杭の先端支持力

杭先端にあらかじめ埋設した計器により計測された先端極限支持力度は $375\text{tf}/\text{m}^2$ であった(杭頭沈下量 $S_p = 103\text{mm} = 0.086 \cdot D$, D : 杭径 mm)。

ところで、根入れしている砂礫層だけでこの $375\text{tf}/\text{m}^2$ を受けもっているわけではなく下層の粘土層と共同分担しているはずである。しかし、本脇浜杭のような薄層支持杭において先端の砂礫層と下層の粘土層の荷重分担量を正確に論じることは困難である。そこで、本報分では、下層の粘土層の極限支持力を従来よりの支持力理論によって求め、この値と砂礫層の破壊形態を考慮して先端の極限支持力 $375\text{tf}/\text{m}^2$ から砂礫層の分担支持力を求めた。粘土層の極限支持力については、載荷試験による実測例はないため、粘土層の強度定数を、圧密係数 $C_v = 20\text{tf}/\text{m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 0$ 。と仮定し、Meyerhof、Terzaghiらの各種支持力理論を用いて試算すると、粘土層の極限支持力度(q_i)は、 $190\text{tf}/\text{m}^2$ 程度と推定される²⁾。

1-6 2層地盤に対する支持力算定式に基づく試算

上部砂層、下部粘土層の2層地盤に対する支持力算定方法のうち、ここでは図-6に示す3つの

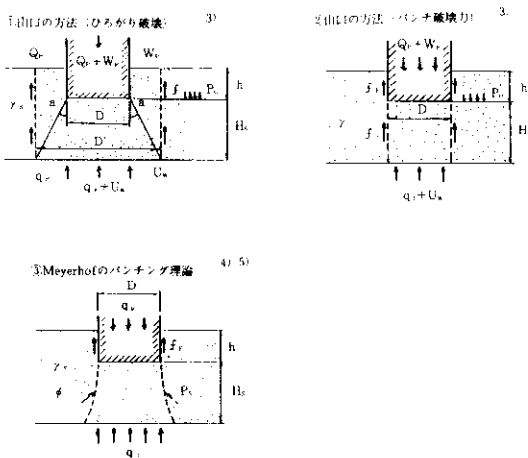


図-6 2層地盤に対する支持力算定

方法^{3) 4) 5)}を用いて、脇浜工区の地盤における支持力を算定した²⁾。支持層のせん断抵抗角 $\phi = 45^\circ$ 、粘土層の極限支持力 $q_i = 190\text{tf}/\text{m}^2$ と仮定し、支持層厚さ H_s を変化させたときの H_s/D (D : 杭径 mm)と先端極限支持力度 q_d の関係をそれぞれの方法によりもとめてみると、図-7のようになる。これより、

① 脇浜工区の条件では、実測値に比較的近い値を与えるのはパンチング破壊でありMeywrhofの方法が最も近い値となった。

② パンチング破壊を仮定したときの砂礫層のせん断抵抗は $185\text{tf}/\text{m}^2$ となり、道路橋示方書IV下部構造編⁶⁾の $300\text{tf}/\text{m}^2$ の約6割に相当する。

③ 先端支持力の上限を $600\text{tf}/\text{m}^2$ とすれば、 H_s が2D程度より厚くなれば、上限値に近い値が得られる。

ことなどが指摘できる。

2 既往載荷試験結果との比較検討

脇浜杭の特徴をみるために、当公団で過去に実施した他の場所打ち杭の載荷試験との比較検討⁷⁾

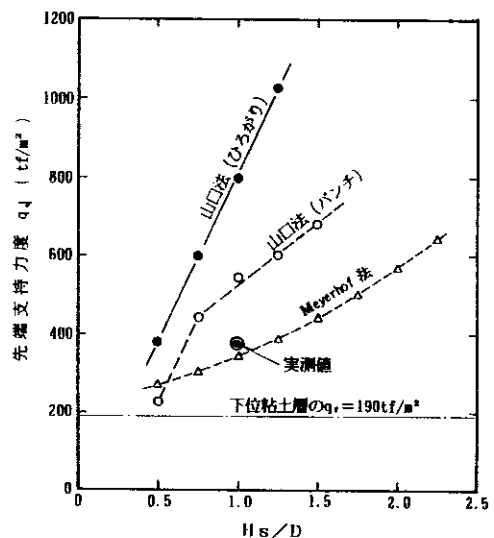


図-7 各種支持力算定式による先端支持力度 q_d
 H_s/D の関係

を行う。比較の対象としたのは

A安治川杭、B長田杭、C九条杭、D杉本杭、E高砂杭、F桜島杭、G池田杭、H深江杭、I脇浜杭、J西宮杭の計10本の杭である。

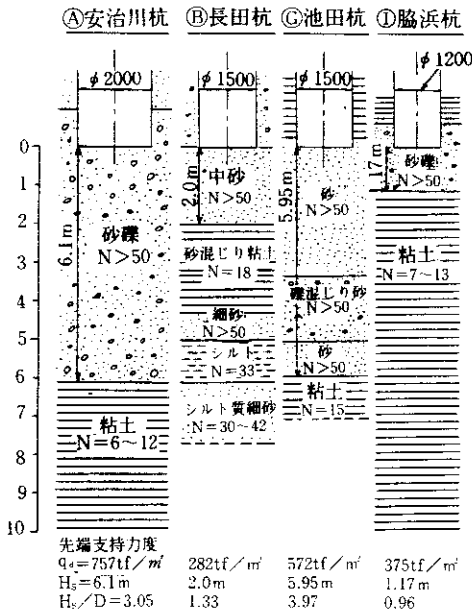


図-8 既往の抗載荷試験の先端地盤状況

2-1 支持層厚さと先端支持力度との関係

図-8にこれらの載荷試験杭の先端地盤状況をいくつか示した。さらに、杭先端下方の支持層厚さ H_s (mm) (以下有効支持層厚さと称す) の杭径 D (mm) に対する比 H_s/D に対して先端支持力度 q_d (tf/m²) をプロットしたのが図-9である。

図-9にみられるように、砂礫地盤についてみると、支持層厚の薄い脇浜杭は、他の杭に比べて q_d は小さくなっており、薄層による影響が認められる。

2-2 荷重～沈下量曲線

図-10に載荷試験杭の杭先端荷重～杭先端沈下量曲線を一括して示した。脇浜杭の杭先端荷重～杭先端沈下量曲線は、低荷重レベルでは場所打ち杭特有の傾向を示すが、他の杭と比較して極限状

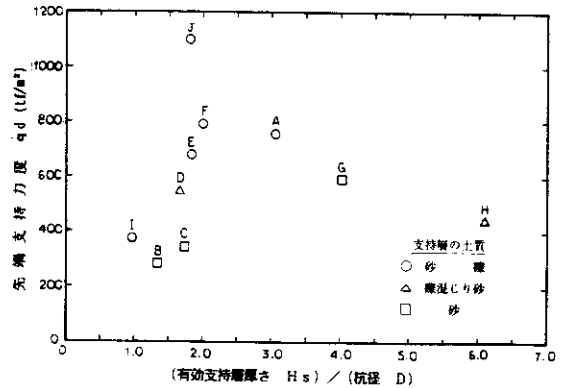


図-9 先端支持力度 q_d と H_s/D の関係

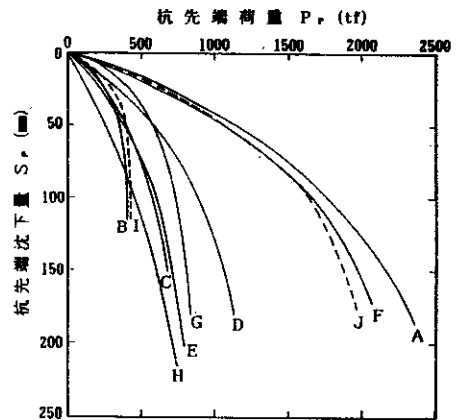


図-10 杭先端荷重 P_p ～杭先端沈下量 S_p 曲線

態に達する荷重ならびに沈下量は小さく、曲がり方がより急激であるという特徴を有する。これは伴野ら⁸⁾のモデル実験結果と同様な傾向を示しており、薄層支持杭の特徴のひとつと考えられる。以上より、脇浜杭は薄層支持杭としての特徴を示しているものと判断される。

3 杭周辺地盤のFEM解析

この章では、杭周辺地盤について行ったFEM

解析について述べる。杭周辺地盤を数値的にモデル化し、計算機によるシミュレーションにより杭の載荷による杭先端地盤の変形挙動の再現を試みた。比較的簡単な地盤モデルでのシミュレーションにより、実験によってえられた杭の荷重～沈下量関係を再現できれば、脇浜杭のような薄層支持杭における杭の支持機構を考えるうえでの有力な資料となりえる。杭の載荷による杭先端付近の地盤の挙動は、一般に弾塑性的な挙動を示すと考えられる。そこで、本解析では地盤を弾塑性体と考え、弾塑性状態の取り扱いが可能な有限要素法の汎用的プログラムである”SIGNAS”を用いて解析を行った。

解析は次の2つのモデルを用いて行った。

簡易モデル …… 杭先端より下方の地盤だけをモデル化。

計算手法、パラメータの選択の仕方について検討

詳細モデル …… 杭全長にわたってモデル化
周面摩擦を考慮した杭、および地盤の挙動について検討

3-1 弾塑性状態の考え方

3-1-1 降伏関数

塑性力学的挙動を論じるためには、まず、降伏関数を選定しなければならない。降伏関数の具体的な形については古くから多くの形が提案されているが、計算機が未発達な段階では、数学的な取り扱いが容易であるTreesscsyaやvon Misesの降伏条件を考えるのが主流であった。しかし、計算機の発達に伴い、さらに高度なものも用いられるようになってきた。ここでは、Draucker—Pregerの降伏条件を採用した。Draucker—Pregerの降伏条件は次のように書ける

$$f = \alpha I_1 + J_2^k - K = 0 \quad (1)$$

ここに

f : 降伏関数

α : 体積ひずみの影響度を表わすパラメータ

I_1 : 一次の応力不変量

J_2 : $J_2 = -I_2'$ I_2' は偏差応力に関する二次の応力不変量

K : 純粋せん断下での降伏せん断力

もし、 $\alpha = 0$ なら $f = J_2^k - K = 0$ となり、von Mises の降伏条件に一致するが、今回は、塑性変形による体積ひずみも考慮に入れるため $\alpha \neq 0$ とする。

ところで、降伏曲面は降伏後のひずみ硬化によって変化するが、今回は簡単のために等方硬化法則を考えた。これは、ひずみ硬化によって負荷曲線の形は相似のまま大きさだけが変化し、位置が移動しないことを意味する。この等方硬化法則を考えたときの降伏条件式は

$$f' = f - k = 0 \quad (2)$$

ただし、 $f = \alpha I_1 + J_2^k - K$

k はひずみ硬化パラメータ

と書くことができる。

3-1-2 降伏条件式パラメータの選定

降伏条件式①のパラメータ α 、 K は地盤解析の場合、次のような条件を与えることにより

Mohr—Coulombの破壊条件のパラメータ C 、 ϕ と関連づけることができる

Mohr—Coulombの破壊条件は

$$\frac{\alpha_1 - \alpha_3}{2} - \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{2} \sin \phi = C \cos \phi$$

変形して

$$\alpha_1 - \alpha_3 \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{2 C \cos \phi}{1 - \sin \phi}$$

となる。

①式は、 $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ (三軸試験の状態) の条件下では

$$K = (2\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{\sqrt{3}} (\sigma_1 - \sigma_3)$$

となる。変形して

$$\sigma_1 - \sigma_3 \left(\frac{1 - \sqrt{3} \alpha}{1 + \sqrt{3} \alpha} \right) = \frac{\sqrt{3}}{1 + 2\sqrt{3} \alpha} K$$

となるから、係数を比較して

$$\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1 - \sqrt{3} \alpha}{1 + 2\sqrt{3} \alpha} \frac{2 C \cos \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{\sqrt{3} K}{1 + 2\sqrt{3} \alpha}$$

を得る。これを α 、 K について解けば

$$\alpha = \frac{-2 \sin \phi}{\sqrt{3} (3 + \sin \phi)} \quad k = \frac{6 C \cos \phi}{\sqrt{3} (3 + \sin \phi)}$$

を得る。

以上の条件を FEM 解析に考慮して以下解析を進める。

3-2 簡易モデルに対する解析

3-2-1 解析モデル

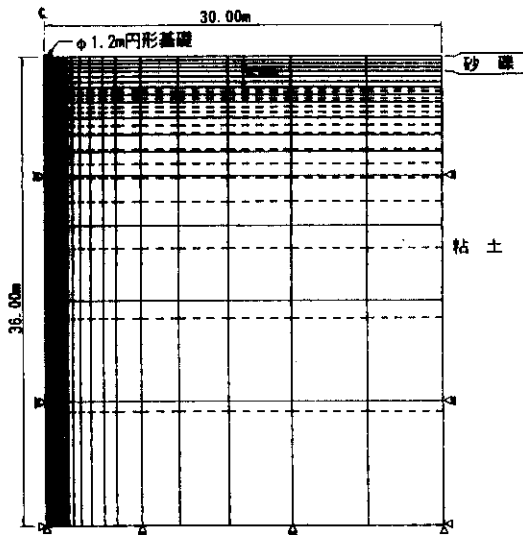


図-11 要素分割図およびSTEP 1 (上載圧+自重) 変移図

図-11に解析に用いたFEMの要素分割図を示す。杭の先端部を $\phi 1.2\text{m}$ の円形基礎とみなし、この中心軸に対する軸対象モデルとした。要素の種類は可変8節点四角形要素 (アイソパラメトリック要素) とした。

解析は、全部で11ケースの検討を行ったが、ここでは代表的なもののみ4ケースを示した。表-3にこの4ケースの各種パラメータの値を示す。ここに、

E : 弾性係数 砂礫層では N 値より $E = 28N$ 、

表-3 計算結果一覧表 (簡易モデル)

地層名	パラメータ	Case A-1	Case A-2	Case A-3	Case A-4
砂礫層	E (tf/m ²)	18000	18000	18000	13000
	V	0.3	0.3	0.15	0.3
	C (tf/m ²)	0	0	0	0
	ϕ	35	45	45	36
	H'	2000	2000	4500	0
	σ_v	0	0	0	0
	σ_v	0	0	0	0
粘土層	E (tf/m ²)	4000	4000	9600	9000
	V	0.4	0.4	0.4	0.4
	C (tf/m ²)	24	24	20	20
	ϕ	0	0	0	0
	H'	0	0	0	0
	σ_v	0	0	0	0
	σ_v	0	0	0	0
要素の構成節点数		4節点	4節点	8節点	4節点
備 考					

(tf/m²) 粘土層では $E = 480C$ or $210C$ とした。

ν : ポアソン比

α 、 K : Drucker-Prager の降伏条件のパラメータ

$$\alpha = \frac{-2 \sin \phi}{\sqrt{3} (3 + \sin \phi)}, \quad K = \frac{6 C \cos \phi}{\sqrt{3} (3 + \sin \phi)}$$

H' : ひずみ硬化パラメーター

応力ひずみ関係が図-12のようにバイリニアの関係にあるとして

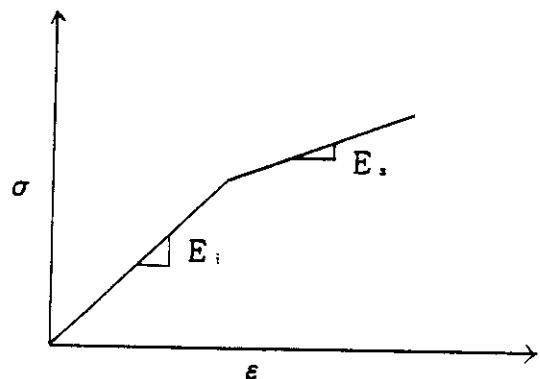


図-12 バイリニア応力ひずみ関係

$$H' = \frac{E_i E_s}{E_i - E_s}$$

で求められる。弾完全塑性体とすると、 $E_s = 0$ であるから $H' = 0$ となる。ここでは、 $E_s = 0.1 E_i$ とした $H' = 2000$ の場合を2ケースと、 $E_s = 0.2 E_i$ とした $H' = 4500$ の場合1ケースの他はすべて $H' = 0$ として解析した。

σ_T : 引張限界応力 すべて $\sigma_T = 0$ とした。

また、荷重は以下のようにステップ計算により順次かけていくこととした。

Step 1 初期応力解析

杭先端深度における有効土被り圧を上載圧として与え、さらに土の自重も考慮した。

Step 2 載荷重の付加

杭先端を十分な剛度を持つ載荷板と考へ、載荷板の上面に分布荷重を作用させた。荷重は $380 \text{tf}/\text{m}^2 (= 429.4 \text{tf})$ までかけることとし、途中30段階に分

けて、次のような荷重増分にしたがって計算を行った。

0 ~ 190 tf/m^2 : 1.9 $\text{tf}/\text{m}^2 \times 10$ 段階

190 ~ 380 tf/m^2 : 9.5 $\text{tf}/\text{m}^2 \times 20$ 段階

3-2-2 簡易モデルの解析結果

図-13に各ケースの杭先端荷重～沈下量曲線を一括して示した。

○Case A-1 およびCase A-2は、砂礫層の ϕ 以外はすべて同じパラメータを用い、砂礫層の ϕ の影響を調べたものである。両ケースとも沈下量は実測値と比べてかなり大きな値となっており、しかも、後半部の急激な沈下量の増加は表現できない。

○Case A-3は、荷重ステップの前半部での粘土層上面の沈下量をより小さくするために粘土層の弾性係数 E を大きく、沈下曲線の後半部の曲りを大きくするために粘土層の強度を小さく、さらに載荷重がより下方に伝わるように砂礫層の H' を大きく、ポアソン比を小さくして解析を行ったものである。また解析の精度を上げるために要素

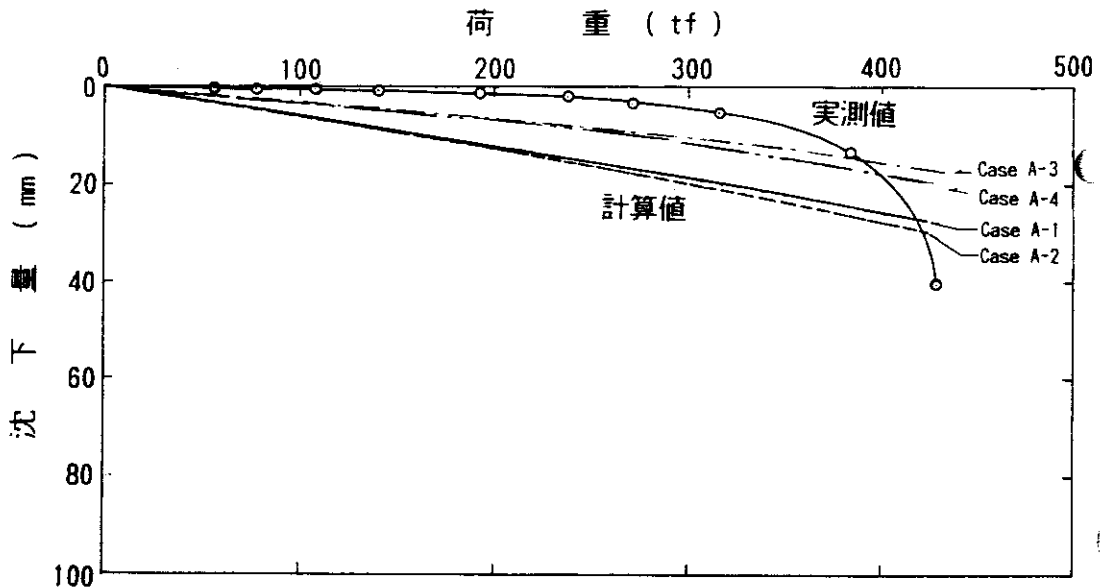


図-13 荷重～沈下量曲線(粘土層上面)

の構成節点を8節点とした。荷重～沈下量曲線において、前半部は実測値とほぼ一致しているものの、後半部ではやはり曲線の曲がりはみられなかった。塑性域図 図-14を見ると荷重ステップNo.1で既に基礎直下の砂礫層に塑性域が生じていること、荷重ステップNo.10（最大荷重の半分）で粘土層の上面に塑性域が発生し、その後、荷重の増加に伴い、塑性域が拡大していくことなどが認められる。

○最後にCase A-4は、先に示したCase A-1～A-3までの他にも、パラメータを変えていくつか試算してみて、最も良い結果のえられたものを示した。基礎底面における沈下量は先端の降伏荷重である240tf付近までは実測値に比較的合っており、また後半部の曲線の曲がりも、まだ十分でないものの、これまでで最も大きくなった。

3-3 詳細モデルに対する解析

3-3-1 解析モデル

(1) モデル化

解析に用いた地盤モデルを図-15に示す。また図-16にはFEM要素分割図を示した。モデルは直径1.2m、 $l=35.78$ mの杭の中心軸に対する軸対称モデルとした。地層構成はボーリングデータに基づいて決定した。杭は線形弾性材料とし、地

盤は弾塑性体とし、降伏条件は簡易モデルと同じくDrucker-Pragerの降伏条件を考えた。要素は可変8節点四角形要素（アイソパラメトリック要素）とした。

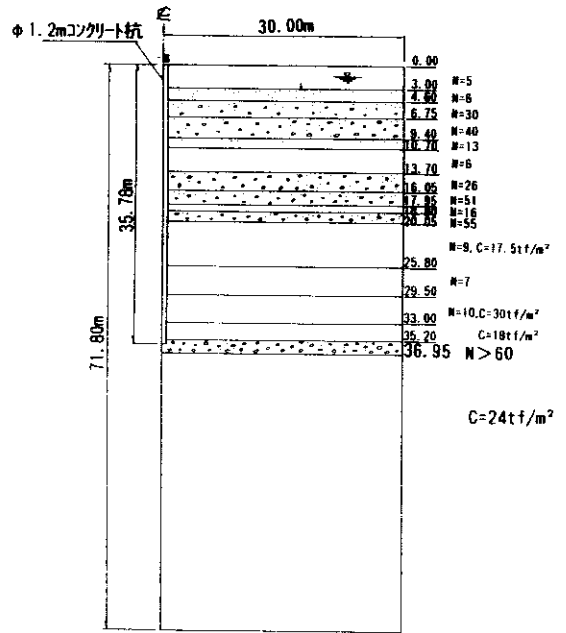


図-15 詳細モデル

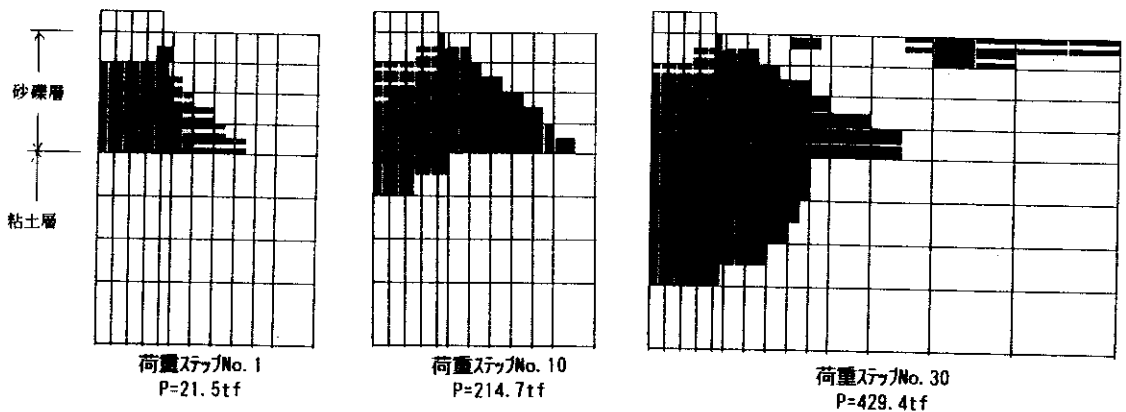


図-14 塑性域図

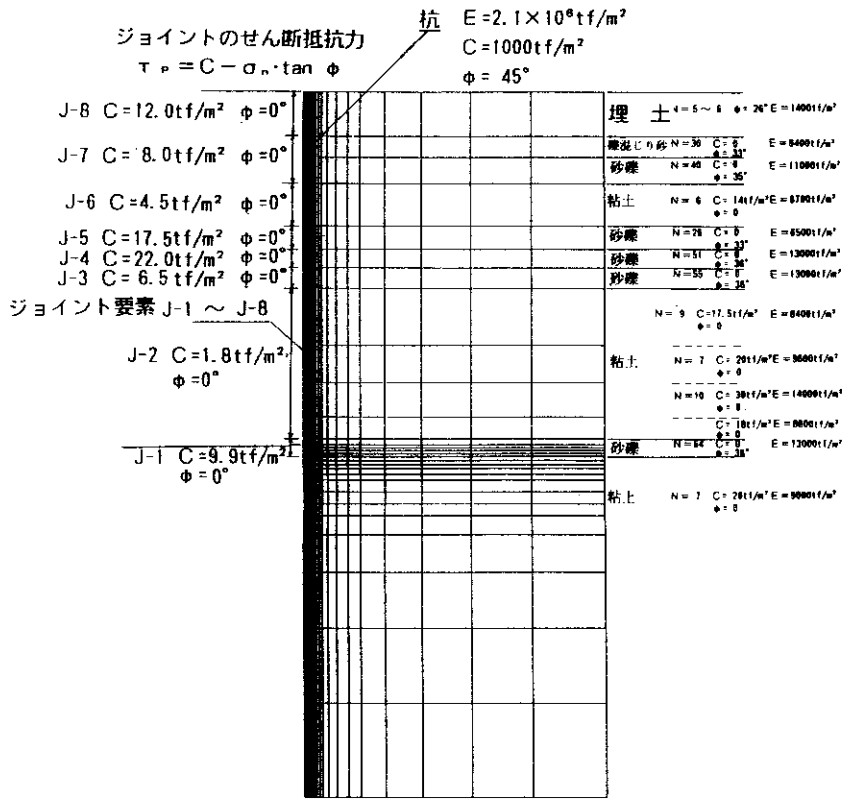


図-16 要素分割図

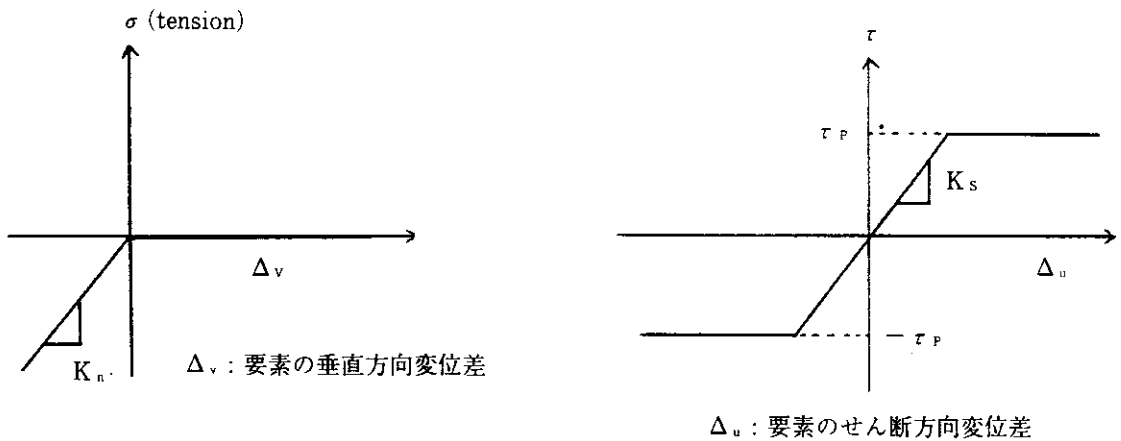


図-17 ジョイント要素の垂直応力と開閉およびせん断応力とすべりの関係

表-4 詳細モデルの材料パラメータ値

	パラメータ	設定値
コンクリート	E (tf/m ²)	2.1×10
	ν	0.3
	γ (tf/m ²)	0.9
	C (tf/m ²)	1000
	φ	45°
砂礫層 砂層	E (tf/m ²)	28N (NはN値)
	ν	0.3
	C (tf/m ²)	0
	H'	0
	σ _T	0
粘土層	E (tf/m ²)	480C or 210C
	ν	
	C (tf/m ²)	0.4
	φ	20~30
	H'	0
	σ _T	0

また、杭と地盤の間、及び支持層内には”すべり”を表現するジョイント要素（摩擦型）を採用し、より現実に近い解析となるよう考慮した。ジョイント要素の、垂直応力と開閉およびせん断応力とすべりの関係は図-17に示すとおりである。

(2) 材料パラメータの設定

コンクリート、砂礫層、粘土層の材料パラメータは表4に示すとおりである。ジョイント要素の材料定数については以下のように設定した。ジョイント（摩擦型）のせん断抵抗力は次式で与えられる

$$\tau_p = C - \sigma_n \tan \phi$$

ここに、 τ_p : せん断抵抗力

C : 粘着力

σ_n : 垂直応力（引張が正）

φ : 内部摩擦角

杭周面に配置したジョイントについては、杭載荷試験によって得られた周面摩擦力 f の実測値に基づき $C = f$ 、 $\phi = 0^\circ$ とした。f はあらかじめ

行った予備的検討により、終局状態の時の値を用いることとした。また、今回用いたプログラム SIGNAS はジョイント要素のパラメータは全て粘着力 C の値をもって与えるものとなっている。そこで、杭先端支持層内においては C、φ の2つの値を C の1つの値にまとめて $\phi = 0^\circ$ とした。

すなわち

$$C = K_0 \sigma_v' \tan \phi$$

$$\text{ここに } K_0 = \frac{V}{1-V} = \frac{0.3}{1-0.3} = 0.43$$

$$\sigma_v' = 31.6 \text{tf/m}^2$$

$$\phi = 36^\circ$$

より、 $C = 0.43 \times 31.6 \tan 36^\circ$

$$= 9.9 \text{tf/m}^2, \phi = 0^\circ \text{ とした。}$$

(3) 解析条件

Step 1 初期応力解析

土の自重による地盤内初期応力を求める。杭の部分は周囲の土と同じ材

Step 2 料とした。
 載荷重の付加
 最大荷重を $1800\text{tf}/\text{m}^2$ とし、これを
 60段階に細分して載荷した。荷重
 ピッチは
 0~20段階 ($0\sim 900\text{tf}/\text{m}^2$)
 ・ $45\text{tf}/\text{m}^2$ ピッチ
 20~60段階 ($900\sim 1800\text{tf}/\text{m}^2$)
 ・ $22.5\text{tf}/\text{m}^2$ ピッチ

収束の判定に用いる許容誤差は $\epsilon = 25\%$ とし、
 最大反復回数は1000回とした。

3-3-2 解析結果

(1) CPU時間

計算は非常に長時間を要したため(実時間で約

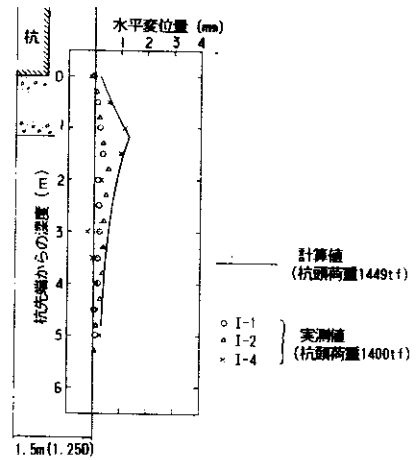


図-19 杭周辺地盤の水平沈下量関係図

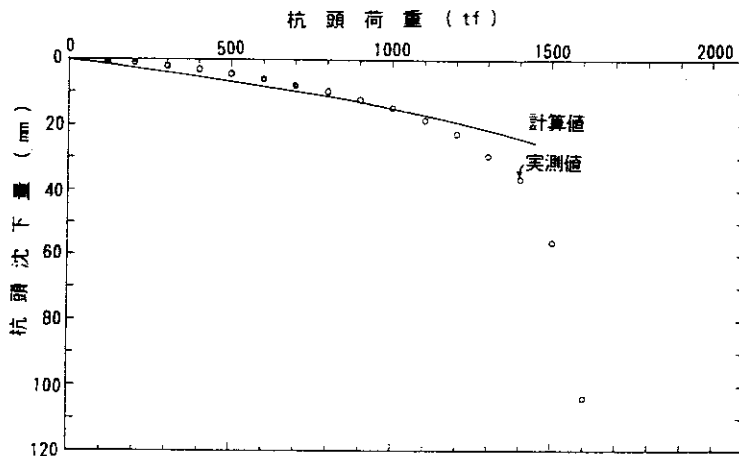


図-18 杭頭荷重～杭頭沈下量関係図

1週間)、途中で打ち切った。その時点で37ステップ(杭頭荷重1449tf)まで終了しており、要したCPU時間は85時間であった。

(2) 荷重～沈下量曲線

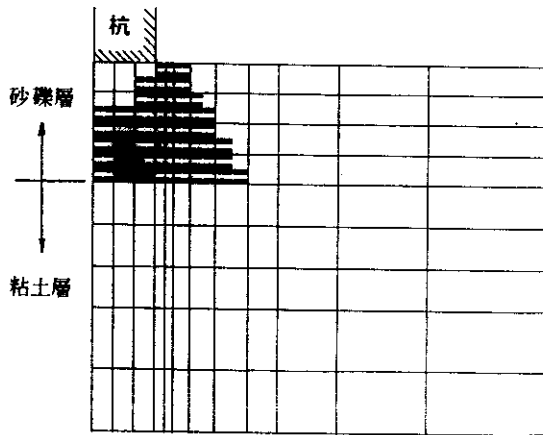
図-18に杭頭荷重～沈下量曲線を示す。後半部に曲がりが見られることがわかる。簡易モデルで得られていた杭先端荷重～杭先端沈下量曲線では、後半部の曲がりの程度が小さく、また荷重の初期段階での実測値とのずれが大きかったことを考えるとこの詳細モデルではそれらの点が改善されていると言える。これは、杭体と周辺地盤の間にジョ

イント要素を入れたことによるものと思われる。

(3) 杭先端部地盤の変形

図-19は杭中心から1.5m (1.25D) 離れた位置での水平変位について実測値と計算値を比較したものである。これによれば、実測値、計算値とも砂礫層と下位粘土層の境界付近で最大値を示す点でよく似た傾向をみせているほか変位量の大きさも概ね一致している。

図-20は最終荷重段階(杭頭荷重1449tf)のときの杭先端地盤の塑性域を表したものである。杭先端にはコアが形成され、その周りに塑性域が広



図一20 杭先端部地盤の塑性域図

がっているのがわかる。

4 考察

以上、簡易モデル、詳細モデルについて解析結果を述べてきた。杭から下の地盤のみをモデル化した簡易モデルにおいて行った解析から、下層の粘土層の弾性係数や地盤強度が荷重～沈下量曲線の形状に大きな影響を及ぼすことがわかった。詳細モデルについて行った解析からは、杭と周辺地盤との間にジョイント要素を入れたFEMモデルは実際の地盤状況をかなり再現できることがわかった。また、簡易モデルで得た塑性域図からは荷重の増加に従い、まず砂礫層内に塑性域が発生し、次いで下層の粘土層内に塑性域が生じることがわかった。しかし、詳細モデルから得られた荷重～沈下量曲線は実測にみられるような降伏荷重に達した後の急激な曲がり表現できなかった。地盤のモデル化の精度をさらに上げることによってもっと改善できるものと思われる。

あとがき

今回、薄層支持杭の支持機構解明の一助とする

ために、湾岸線（南伸部2期）脇浜工区において場所打ち杭の載荷試験を行うとともに、FEMにより杭周辺及び先端地盤の塑性変形の挙動を解析した。その結果、このような杭の挙動には、下層粘土層の弾性係数や地盤強度が大きな影響を及ぼすことなど一定の成果を得ることができた。今後本工区のような薄層支持杭を設計する際の参考になれば幸いである。

最後になるが、本解析の実施にあたっては、大阪大学工学部 松井 保教授より貴重な御助言を賜った。ここに記して感謝の意を表するものとする。

参考文献

- 1) 中村、横山：「湾岸線（南伸部2期）の地質特性と基礎設計上の問題点」阪神高速道路公団技報、第八号、1988
- 2) 阪神高速道路公団：「薄層支持杭の載荷試験結果検討 南伸部2期脇浜工区」阪神高速道路公団 技術審議会基礎構造分科会資料 平成1年3月
- 3) 山口柏樹：「深い基礎の支持層厚さの評価法」第21回土質工学研究発表会、1986
- 4) meyerhof, g.g., "Ultimate bearing capacity of footings on sand overlying clay", *can. geotech. j.*, vol. 11, pp. 223~229, 1974
- 5) g.g.meyerhof, a.j.valsangkar, "bearing capacity of piles in layered soils", *Int.conf. soil mech.found.—eng.*, vol. 9, No. 1 pp. 645~650, 1977
- 6) 日本道路協会：「道路橋示方書・同解説IV 下部構造編」昭和55年5月 載荷試験結果の評価と設計への適用」阪神高速道路公団技報、第七号、1987
- 7) 伴野、上田、加倉井、山下、小島：「地盤への離散極限解析法の適用」竹中技術研究報告、第28号、1982