



土木研究所資料

第775号

周面摩擦によって支持される
くいの挙動に関する資料

昭和48年12月

建設省土木研究所

周面摩擦によって支持されるぐいの挙動に関する資料

目 次

1. ま え が き	1
2. くいの周面摩擦に関する既往の研究	2
3. くいの支持機構の考察	3
3.1 二次元棒モデル実験	3
1) 実験の概要	3
2) 実験方法	3
3) 実験結果およびその考察	4
4. くいの荷重と沈下に関する理論式の誘導	7
4.1 概 要	7
4.2 基 本 式	7
4.3 適 用 式	8
5. 単ぐいの荷重と沈下に関する模型実験	10
5.1 実験の概要	10
5.2 実験方法	10
1) 試験地盤	10
2) 試験ぐい	10
3) 試験ぐいの設置	13
4) 試験装置	13
5) 測定装置	13
5.3 実験結果およびその考察	14
6. 実ぐいによる単ぐいの載荷試験	29
6.1 概 要	29
6.2 純摩擦ぐいによる載荷試験	29
1) 試験地点および土質条件	29
2) 試験方法	29
3) 試験結果およびその考察	31
6.3 鋼管ぐいによる試験結果	35
6.4 場所打ちぐいによる試験結果	37
7. 群ぐいの鉛直載荷試験	38
7.1 実験の概要	38
7.2 実験方法	38

1) 試験地盤	38
2) 模型群ぐい	38
3) くいの建込み	39
4) 載荷方法	43
5) 測定項目	43
7.3 実験結果およびその考察	43
8. 結 論	45
9. あ と が き	45
10. 資 料	46
10.1 単ぐいの鉛直載荷試験における荷重—沈下量曲線	46
10.2 群ぐいの鉛直載荷試験における荷重—沈下量曲線	55
10.3 鋼管ぐいの現場載荷試験結果	60
10.4 場所打ちぐいの現場載荷試験結果	62
11. 参 考 文 献	65

1. ま え が き

1 本のくいがく軸方向に押込まれるときの挙動は、くい先端の挙動とくい周面の挙動の両者によって支配されと考えてよい。その両者の挙動はそれぞれくい周面や、くい先端の地盤性状、くい先端の閉塞効果などの状態、くいの材質、荷重の大きさ、時間などのいろいろな条件によって変りうるものである。さらにくい体に生ずる変形量によってもその挙動は変化するであろう。ここでは基本的な性状という目的より、主として地盤の相違、変位量との関係、くいの寸法効果、くいの種別という点を中心にまとめてみる。

くいを変位という概念からとらえると、多くの載荷試験結果にみられるように、作用荷重のほとんどがくいの周面摩擦によって地盤中に分布される傾向が見受けられる。したがってここでは、みかけのバネという考え方に基ずいてくいの挙動を調べ、くい先端と周面とを分離していない。また周面と先端の挙動を分離することは、かなり難しい論議となり実務とかけはなれてしまうであろう。なおここでは地盤の耐力という概念については全くふれていない。

くい基礎は一般に群ぐいとして構成されるのが普通である。群ぐいに軸方向荷重が作用すると、その荷重はくい周面と底面から周囲の土に伝達される。くい周面から伝達される荷重は周面摩擦力となり、土粒子のせん断応力となるが、群ぐい構成の場合には、互いに重なり合って相互に干渉することが予想される。先端部から伝達する荷重も同じことである。したがって、群ぐいの支持機構は単ぐいの支持機構とは明らかに異なっていると推察される。

本資料は、昭和46年度に摩擦ぐいの鉛直支持力について、模型ぐいを用いて行なった単ぐいの載荷試験結果を中心にして、それに鋼管ぐいと場所打ちぐいに関する現場載荷試験結果を加味して、くいの挙動をバネという概念でまとめたものと、昭和47年度に行なった群ぐい模型による載荷試験結果をまとめて報告するものである。これらの試験は浅間達雄前研究室長のもとで実施したもので、ここに謝意を表する。

基礎研究室

駒 田 敬 一

足 立 義 雄

亀 甲 勝 信

2. くいの周面摩擦に関する既往の研究

単ぐいの鉛直支持力に関する研究は、今までに数多くなされている。その中でくいの周面摩擦抵抗に関して研究したものについて次のように分類できる。

- (1) くいの周面摩擦抵抗は、くいとくい周囲の土との間の摩擦力、付着力によって支持されるとする考え方で、くいの周面積に単位面積当りの平均抵抗力を乗じて計算するものである。単位面積当りの平均抵抗力は、砂質地盤に対してはくい周面への垂直応力に比例する摩擦抵抗と付着力とから求められる。粘性土地盤に対しては深さに無関係に土質によって一義的に決まるとして計算する。1),2),3)
- (2) 摩擦ぐいの沈下の現象を粘土のクリープに起因するものとして考え、レオロジーの問題としてとらえてくいの沈下量、くい周面の土のせん断応力を理論的に計算する。4)
- (3) 地盤を半無限弾性体と考え、これにくいが打込まれているものとし、地盤内の応力状態から平衡方程式をたて、地表面で境界条件を与えて、地中応力の分布、くい周面のせん断応力、摩擦抵抗、くい周面の地盤の変形を計算する。また地盤を塑性体と考えた場合の解も与えている。6),7)
- (4) くいの周面摩擦抵抗をくい軸にそって作用するいくつかの集中荷重におきかえて、それぞれの集中荷重によって生じる応力を重ね合せて計算する方法である。Mindlin の式を用いて解を与えたものと、土質試験結果から計算するものがある。5),11),12)
- (5) くい軸にそった任意の深さにおいて微少要素を考え、その点における軸力と変位のつり合いから微分方程式を導き、地表面とくい先端で境界条件を与えて、くいの沈下量、くい体の軸力、くい周面のせん断応力等を計算する方法である。くい周面摩擦抵抗は、その値が最大値に達するまでは変形量と線形関係にあるものとし、最大値を越えれば一定値であるとする弾塑性体の地盤を仮定して解を与えている。8),9)

これらのうち、(1)については摩擦抵抗の分布に問題があるばかりでなく、単位面積当りの平均摩擦抵抗を推定するのが困難である。これは土質によって変化するばかりでなく、その層が存在する深度によっても変化するからである。(2)についてはレオロジー定数、土質定数等を決定するのが困難である。(3)、(4)については土質定数の計算式への導入が困難であり、また計算が非常に煩雑であって実際の設計への適用が困難である。ここでは載荷試験の結果から(5)の考え方にもとずいて検討を行なうものである。

3. くいの支持機構の考察

くいの軸方向の支持機構を知るために、1本のくいに軸方向に荷重が作用するとき、くい周面から地盤へどのように荷重が分布し、伝達するかを調べるため二次元棒モデルによる模型実験を行った。

3.1 二次元棒モデル実験

1) 実験概要

二次元棒にて模型地盤を作成し、その中に鉄板を鉛直方向に埋設してくいとしたものである。鉄板から鉄板周囲の二次元棒に伝達される摩擦力とその分布を調べる。

2) 実験方法

図-3.1に示すような二次元棒模型実験装置を用いて行なった。中央部に鉄板(たて60cm, よこ15cm, 厚さ2.0mm)を鉛直に浮かして置いた後、鉄板の両側面に塩化ビニール棒(外径1.3mmと外径2.0mm, 長さ15cmが等量に混合されてい

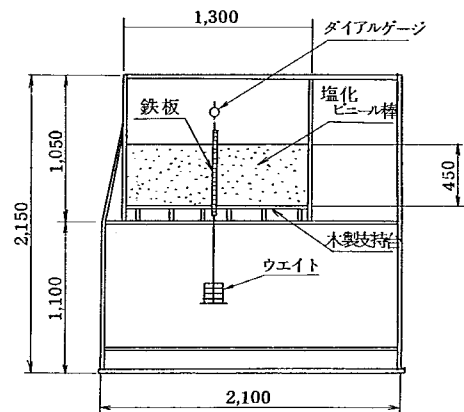


図-3.1 二次元棒模型実験装置

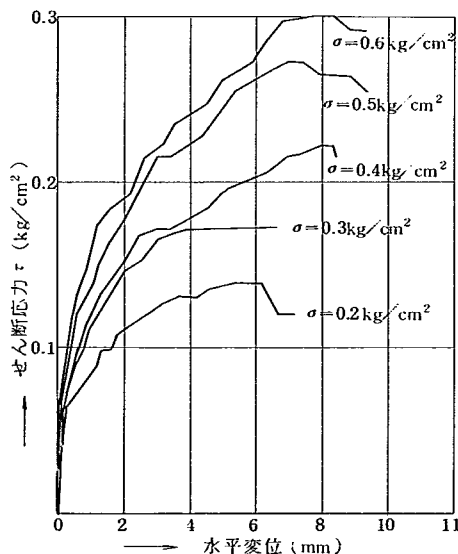


図-3.2 せん断応力-水平変位曲線

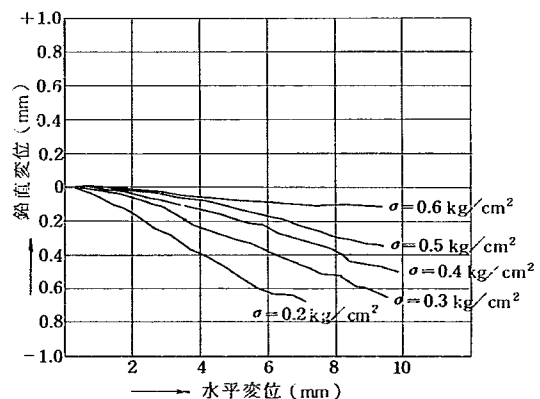


図-3.3 鉛直変位-水平変位曲線

る)を積み重ねて締め固め、地盤とくいを構成したものである。この鉄板に鉛直方向に荷重を載荷すると荷重は鉄板と塩化ビニール棒との間の摩擦力だけで抵抗していることになる。これより二次元状態における鉄板と塩化ビニール棒との間の摩擦力、鉄板より周囲に伝達される抵抗力の分布を知ることが出来る。

載荷重をひずみゲージ、鉄板の鉛直方向の変位をダイヤルゲージで測定を行ない、摩擦力の分布状態は二重写しの写真撮影によって記録した。

載荷は、A) 鉄板に荷重を上から下へ載荷する。B) 鉄板に荷重を下から上へ載荷する。C) 上載荷重を二次元棒上加えて後、鉄板に下から上へ載荷するの3通り行なった。

二次元棒で作成した模型地盤のせん断定数は、大型一面せん断試験機を用いて行なった一面せん断試験の結果、内部摩擦角 $\phi \div 24^\circ$ 、粘着力 $C \div 0.045 \text{ kg/cm}^2$ であり、密度は 1.12 g/cm^3 であった。したがって粘着力は微少であり、ほとんど摩擦力によって抵抗すると考えてよい。C、 ϕ を調べるための試験結果を図-3.2にせん断応力—水平変位の関係、図-3.3に鉛直変位—水平変位の関係、図-3.4にせん断試験結果を示した。

3) 実験結果およびその考察

せん断応力度と変位の関係を図-3.5～図-3.7に示す。載荷の各条件によるせん断応力度の大きさは表-3.1に示す値となる。これより条件[A]と条件[B]は同じ結果になり、上載荷重がある場合は地盤のせん断強度が強くなるため若干大きな値を示している。またせん断応力度が一定値以上をこえると急激に変位量が大きくなる。

表-3.1 せん断応力度

載荷条件	せん断応力度 (kg/cm^2)
A	0.005 - 0.0075
B	0.005 - 0.0075
C	0.007 - 0.0085

表-3.2 τ/C

載荷条件	τ/C
A	0.1 - 0.17
B	0.1 - 0.17
C	0.16 - 0.20

地盤の粘着力との関係は、せん断応力度/粘着力と変位との関係を図-3.8～図3.10に示す。載荷の条件による τ/C の値は表-3.2に示す通りとなり、条件[A]、[B]においてせん断応力度は粘着力の0.1～0.17倍、条件[C]で0.16～0.20倍である。

せん断応力の分布は写真-3.1に示す通りである。写真より塩化ビニール棒の動きとその移動状態をみると、鉄板と塩化ビニール棒との間ですべりが生じているのではなく、塩化ビニール棒が移動していることが解る。移動する範囲は片側で鉄板の厚さの約5倍である。このことから鉄板に作用する

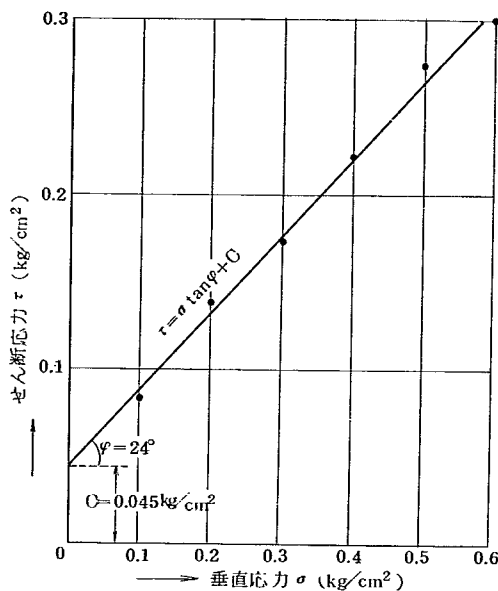


図-3.4 せん断試験結果

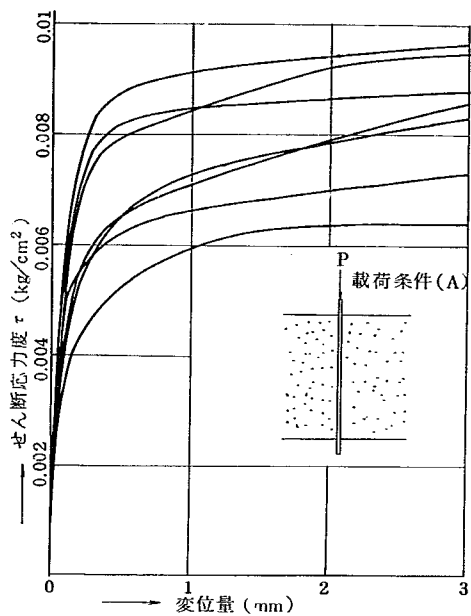


図- 3.5 せん断応力度—変位量曲線

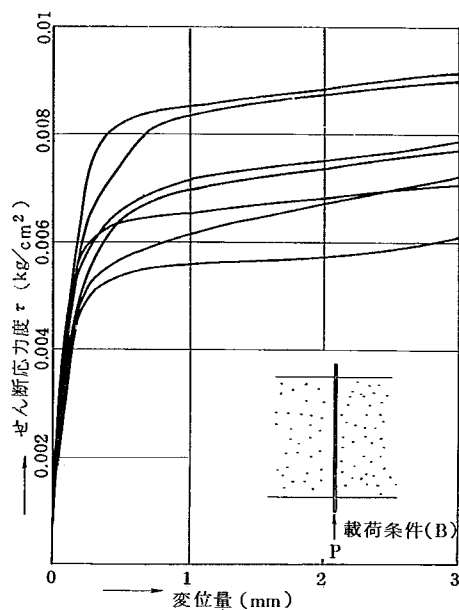


図- 3.6 せん断応力度—変位量曲線

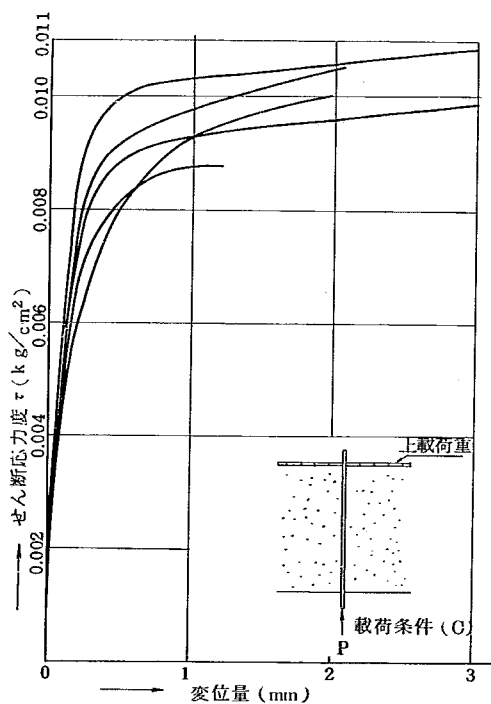


図- 3.7 せん断応力度—変位量曲線

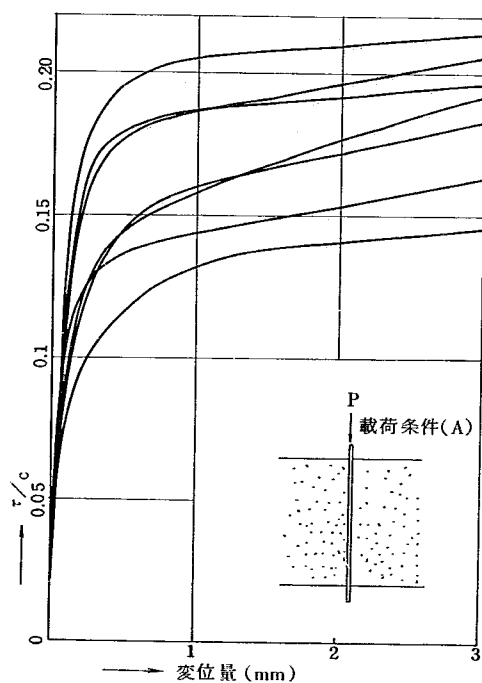


図- 3.8 (せん断応力度/粘着力)—変位量曲線

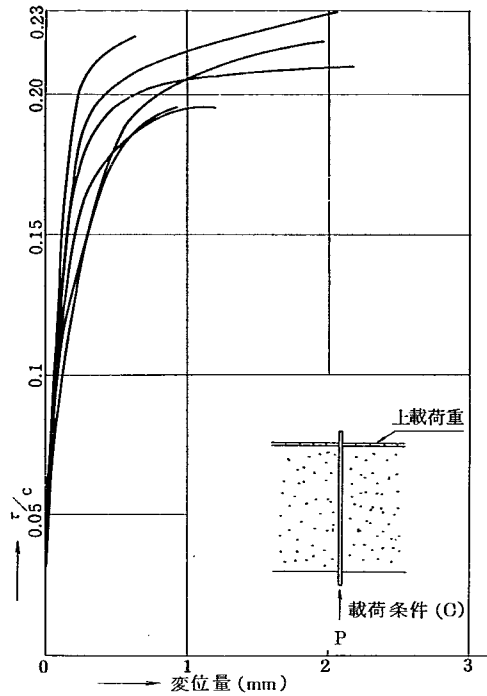
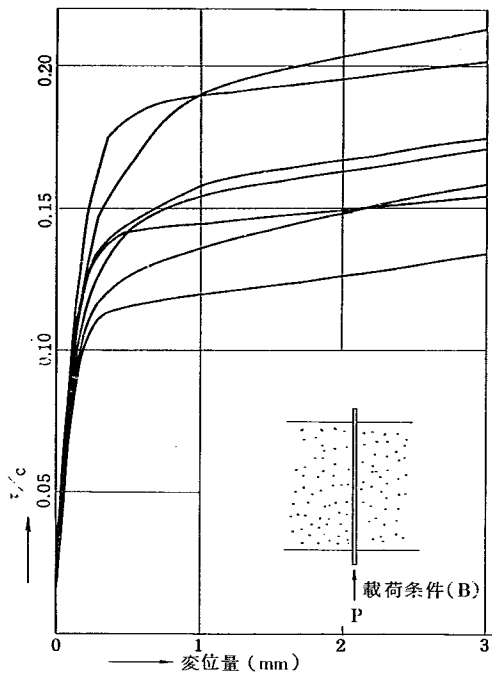


図-3.9 (せん断応力度/粘着力)—変位量曲線 図-3.10 (せん断応力度/粘着力)—変位量曲線

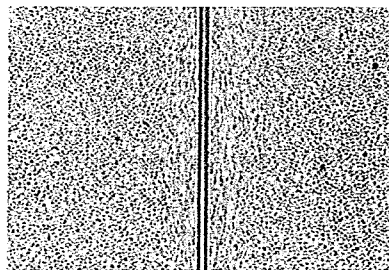
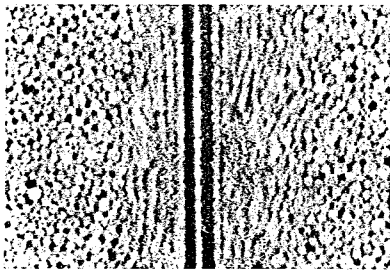


写真 - 3. 1

荷重は、塩化ビニール棒相互間のせん断変形によって抵抗していると考えられる。

くいに軸方向の荷重が作用する場合の支持機構は、くいに軸方向荷重が作用すると、くい周囲の地盤はくいの沈下とともにせん断変形を起す。このときせん断変形をさせないように地盤が抵抗する。この力がくいの周囲抵抗であると考えられる。したがって周囲摩擦によって支持されるくいは、地盤のせん断抵抗によって支持されると考えてよい。

4. くいの荷重と沈下に関する理論式の誘導

1) 概 要

周面摩擦によって支持されるくいの研究は、今までに2の項で述べたような方法があるが、本資料では周面摩擦によって支持されるくいは地盤のせん断抵抗によって支持されると考え(5)の理論をもとに検討を行なう。

2) 基 本 式

図-4.1のように地盤中に打込まれた長さ l のくいに軸方向荷重 P_0 がくい頭に作用した場合、地表より深さ x の点の軸力、変位量はくい体に微小要素 dx を考え、この点でくい体の軸力とくい周面抵抗のつり合い条件を考えると次のように表わされる。

x 点の軸力 N_x は、くい頭の荷重 P_0 から x 点までのくい周面抵抗を差引いたものに等しいから

$$N_x = P_0 - \int_0^x U \cdot \tau_x \cdot dx \quad \dots\dots\dots (1)$$

と表わされる。

x 点の変位量 δ_x は、くい先端の地中への貫入量 δ_l と、 $x = x$ から、 $x = l$ までのくいの圧縮量を加えたものに等しいから

$$\delta_x = \delta_l + \frac{1}{A_p \cdot E_p} \int_x^l N_x \quad \dots\dots\dots (2)$$

と表わされる。

(1)式より

$$\frac{dN_x}{dx} = -U \cdot \tau_x \quad \dots\dots\dots (3)$$

(2)式より

$$\frac{d^2 \delta_x}{dx^2} = -\frac{1}{A_p \cdot E_p} \cdot \frac{dN_x}{dx} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(4)式に(3)式を代入すれば

$$\frac{d^2 \delta_x}{dx^2} - \frac{U}{A_p \cdot E_p} \cdot \tau_x = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに

N_x ; 任意深さにおけるくいの軸力

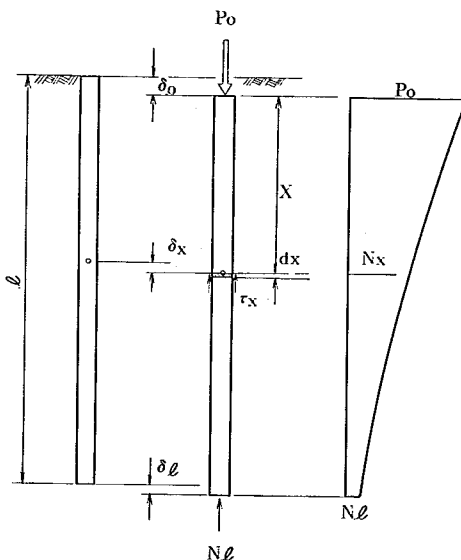


図 - 4. 1

P_0 ; くい頭荷重

τ_x ; 任意深さにおけるくい周面抵抗

δ_x ; 任意深さにおけるくいの変形量

δ_l ; くい先端の地盤への貫入量

A_p ; くいの純断面積

U ; くいの周長

E_p ; くい材料のヤング率

(5)式が基本式である。

(5)式においてくい周面抵抗 τ_x は、くい周面から地盤に荷重が伝達されるとき、くいの沈下にもなって周面地盤はせん断変形する。この地盤をせん断変形させようとする力がくい周面抵抗であると考えて地盤のせん断変形を一種のバネにおきかえて考える。そしてくい周面抵抗 τ_x とくい頭の沈下量 δ_x との間に線形関係が成立つものとする。

$$\tau_x = k_s \cdot \delta_x \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに k_s ; せん断バネ係数 (kg/cm³) とする。

と表わされる。

τ_x と δ_x との関係は実際には、地盤の性状、深さ、経過時間等によって変化しうる要素であり、必ずしも線形関係であるとは言えないが設計を行なう上では線形関係であるとしても計算結果に大きな違いを生じないと考えられる。

3) 適用式

(6)式より(5)式は

$$\frac{d^2 \delta_x}{dx^2} - \frac{U}{A_p \cdot E_p} \cdot k_s \cdot \delta_x = 0$$

$$a^2 = \frac{k_s \cdot U}{A_p \cdot E_p} \quad \text{とおくと}$$

$$\frac{d^2 \delta_x}{dx^2} - a^2 \cdot \delta_x = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

(5)式の一般解は

$$\delta_x = A \cdot e^{ax} + B \cdot e^{-ax} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに A, B は常数である。

と表わされる。 $\beta = a \cdot l, \mu = x/l$ とおくと(8)式は

$$\delta_x = A \cdot e^{\beta \mu} + B \cdot e^{-\beta \mu}$$

と表わされる。

ここで多くの載荷試験結果をみると降伏荷重まではほとんど周面抵抗で荷重をささえており、先端抵抗は非常に小さく表われている。また摩擦ぐいでは先端抵抗はほとんど無視し得る。せん断バネ係数 k_s を地盤が一層系の一様地盤であるとし、深さ方向に一定であるとして(8)式の境界条件を

$$x = 0, \quad \delta_x = \delta_o \text{ のとき } \mu = 0$$

$$x = l, \quad \delta_x = \delta_l \text{ のとき } \mu = 1$$

とし、くいの先端抵抗をゼロとすれば

くい頭沈下量 δ_o は、

$$\delta_o = \frac{P_o \cdot l}{A_p \cdot E_p} \cdot \frac{1}{\beta \tanh \beta} \dots\dots\dots (9)$$

くい先端の先端地盤への貫入量 δ_l は、

$$\delta_l = \frac{P_o \cdot l}{A_p \cdot E_p} \cdot \frac{1}{\beta \sinh \beta} \dots\dots\dots (10)$$

任意の深さのくい軸力 N_x は

$$N_x = P_o \cdot \left[\frac{\cosh \beta \cdot \sinh \beta (1 - \mu) + \cosh \mu \beta}{(\sinh \beta)^2} \right] \dots\dots\dots (10)$$

任意の深さのくい周面抵抗 τ_x は

$$\tau_x = \frac{P_o \beta}{U \cdot l} \left[\frac{\cosh \beta \cdot \sinh \beta (1 - \mu) + \sinh \mu \beta}{(\sinh \beta)^2} \right] \dots\dots\dots (11)$$

と表わされる。

5. 単ぐいの荷重と沈下に関する模型実験

5.1 実験の概要

模型のくいを用いて実験用土槽内に人工的に作った砂地盤と、屋外の関東ロームの粘性土地盤とで単ぐいの載荷試験を行ない、周面抵抗によって支持されるくいの荷重と沈下の関係を調べたものである。

5.2 実験方法

くい径、くい長さの異なる模型ぐいを製作して、砂地盤および粘性土地盤にて載荷試験を行ない、くい周面抵抗によるくい体のひずみ、くい頭沈下量を測定してくいの周面抵抗を調べる。

1) 試験地盤

(1) 砂地盤

室内実験土槽（たて5.0m、よこ8.0m、深さ4.0m）に細砂を搬入して、湿潤密度が 1.6t/m^3 以上、標準貫入試験の N 値が10以上となるまで締固めて深さ4mの均一な砂地盤を作成した。砂は比重2.73、砂分98%、シルト分1%、レキ分1%、粘土分0%、60%粒径0.31mm、均等係数2.4のものであり、試験地盤の土質試験の結果を表-5.1に示す。

表-5.1 砂地盤の土質試験結果

地盤作成時	載 荷 試 験 後						
湿 潤 密 度	くい周地盤	乾燥密度	含 水 比	一 面 セ ン 断		三 軸 圧 縮	
	平 均 N 値			C	ϕ	C	ϕ
$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ 1.58~1.70	12	$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ 1.43	10.5%	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 0.29	30°	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 0.20	29°

(2) 粘性土地盤

粘性土地盤としては、土木研究所千葉支所構内に自然にたい積している関東ロームを対象とした。この関東ロームは湿潤密度 1.3g/cm^3 、含水比110%、乾燥密度 0.6g/cm^3 、粘着力 $C=0.34\text{kg/cm}^2$ 、内部摩擦角 12° である。

2) 試験ぐい

模型ぐいは図-5.1、図-5.2、写真-5.1に示すように、一般構造用鋼管を中心から軸方向に真二つにたて割りしたものを当て板、ビスを用いて組立てて1本のくいとしたものである。取りはずしが可能な構造とし、くいの先端部は開放、閉塞のいずれもが可能な構造となっている。試験ぐいの種別を表-5.2に示す。

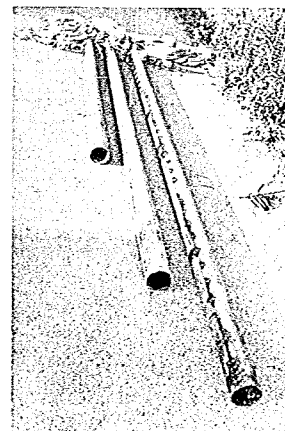


写真-5.1 模型ぐい

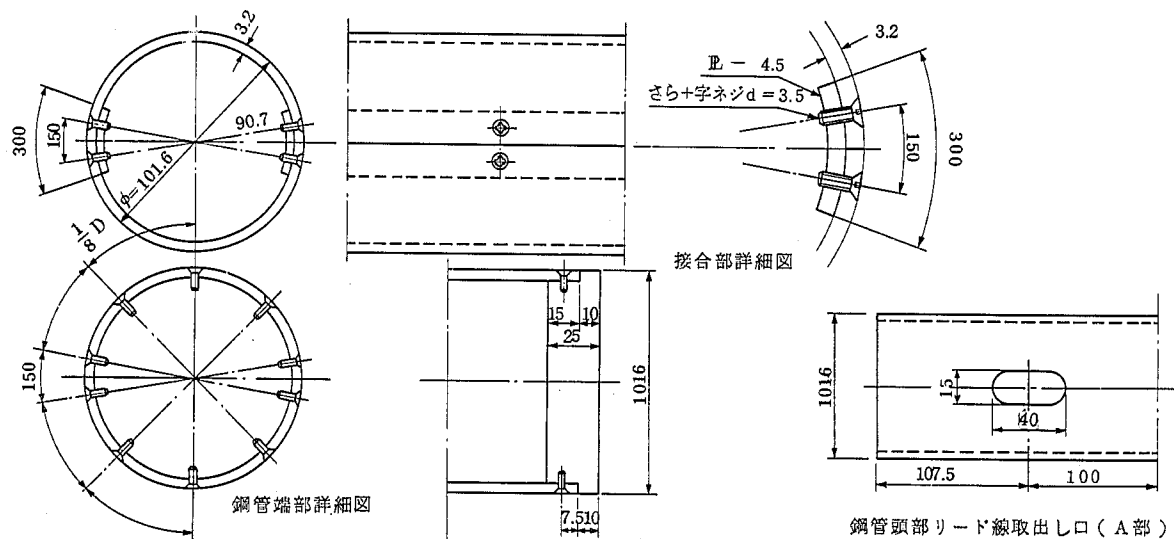
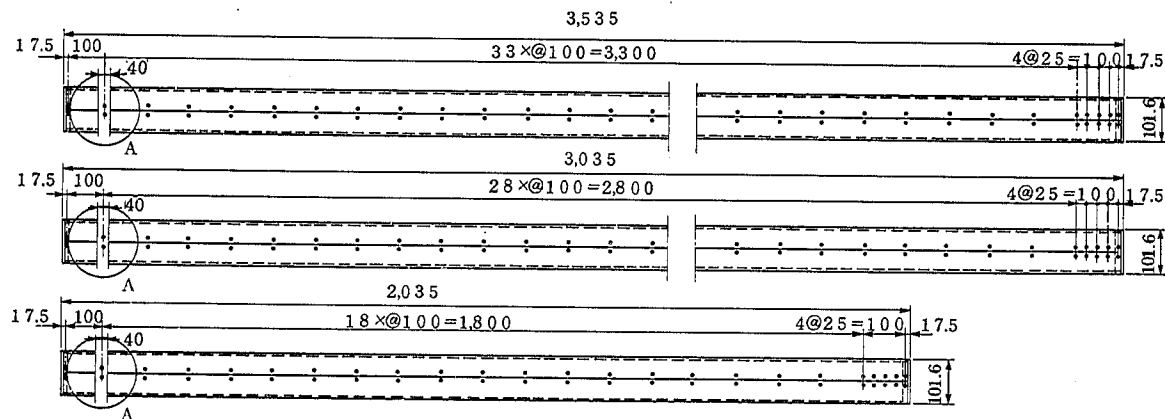


図-5.1 模型ぐい ($\phi 101.6$ mm)

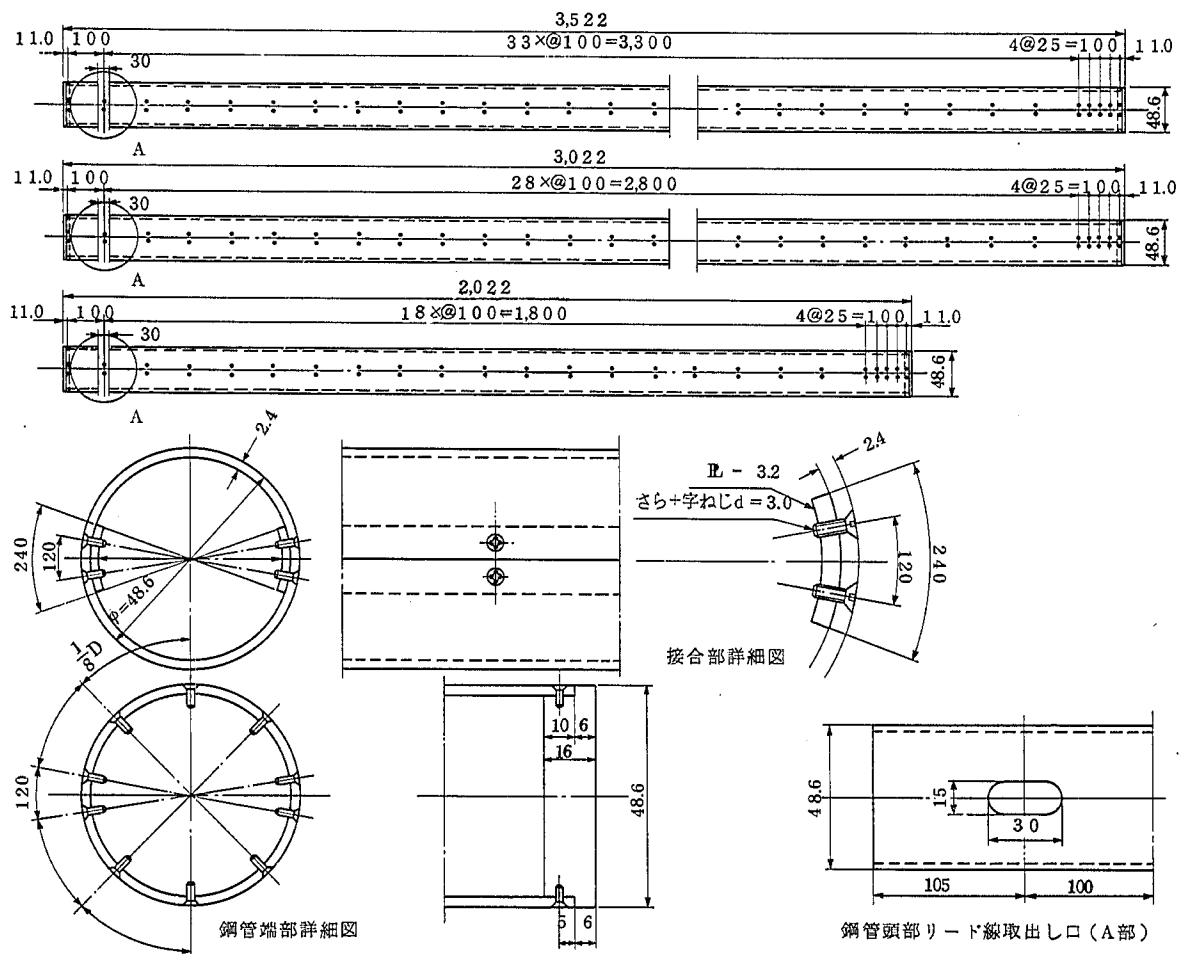


図-5.2 模型ぐい ($\phi=48.6\text{mm}$)

表- 5.2 模型ぐいの寸法、種別

くい径 (mm)	肉厚 (mm)	長さ (cm)	くい先端部
48.6	2.4	200	開 端 , 閉 端
48.6	2.4	300	" "
48.6	2.4	350	" "
101.6	3.2	200	" "
101.6	3.2	300	" "
101.6	3.2	350	" "

3) 試験ぐいの設置

(1) 砂地盤での設置方法

地盤中にくい径程度の孔をオーガーで掘りくいを挿入して、くい周面をくい先より順次上部へ突き固め鉛直に設置した後に地盤全体を水締めしてくいと地盤とが一体となるようにした。

(2) 粘性土地盤での設置方法

地盤中にくい径より小さい径のオーガーを用いて孔を掘り、それにくいを打込んで設置した。

なお砂地盤および粘性土地盤とも載荷試験は、くい設置後少なくとも1週間放置した後に行なった。

4) 試験装置

砂地盤における載荷試験では実験土槽に取付けてある油圧ジャッキで載荷を行ない、粘性土地盤における載荷試験では積載量5トンの散水車のボディに反力を取り油圧ジャッキで載荷を行なった。写真- 5.2, 写真- 5.3にその状態を示す。

5) 測定装置

載荷重はくい頭とオイルジャッキとの間にブルーピングリング型荷重計を置き測定した。く

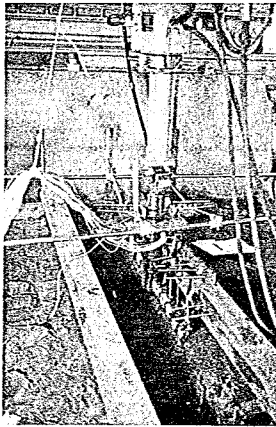


写真- 5.2 載荷試験状況
(砂地盤)



写真- 5.3 載荷試験状況
(粘性土地盤)

くい頭の沈下量はダイヤルゲージで測定している。くい体のひずみは、二つ割りにした鋼管の内面に図- 5.3, 写真- 5.4に示すようにひずみゲージを貼付測定を行なった。

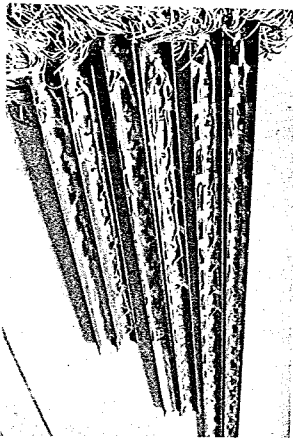


写真- 5.4 ひずみゲージ取付状態

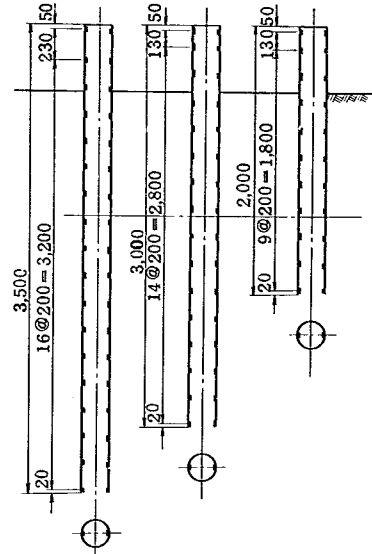


図- 5.3 くい体ひずみゲージ取付位置図

5.3 実験結果および考察

(1) くいの沈下について

くいの荷重—沈下曲線を資料101, 図- 10. 1 から図- 10. 34に示す。この実験では, 先端開放ぐいは周面抵抗のみで支持されると考えられ, 荷重が小さい間は, 周面抵抗と先端支持が期待できる先端閉そくぐいと同じ挙動を示すが, ある荷重を越えると急に沈下量が大きくなる。砂地盤, 粘性土地盤における試験とも同じ傾向を示す。この関係はくいの軸力分布からも明らかである。これに対し先端閉そくぐいは, 周面抵抗が期待できなくなっても先端の支持効果により, 沈下は増大するが支持力も増える。したがって, 周面摩擦のみで支持させる場合には荷重の小さい範囲, すなわち先端閉そくぐいと同じ挙動を示す範囲で使用する必要がある。

砂地盤と粘性土地盤とは同一荷重時での沈下量に大きな違いがある。

(2) くいの周面抵抗について

くいのせん断バネ係数 k_s について, 荷重—沈下曲線より見かけのせん断バネ係数を

$$\delta_x = \frac{P_o \cdot l}{A_p \cdot E_p} \frac{1}{\beta \cdot \tanh \beta}$$

$$\beta = l \sqrt{\frac{k_s \cdot U}{A_p \cdot E_p}}$$

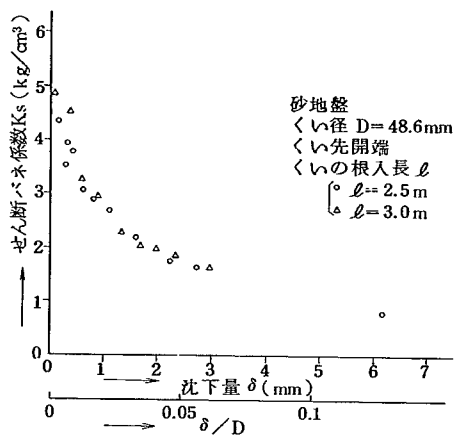


図- 5.4 沈下量とせん断バネ係数の関係 (1)

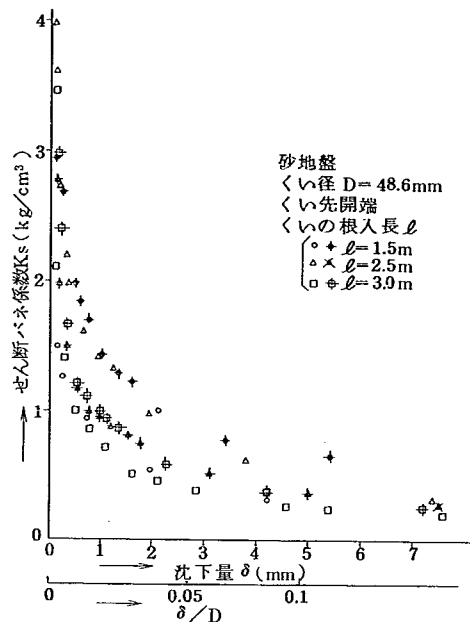


図- 5.5 沈下量とせん断バネ係数の関係 (2)

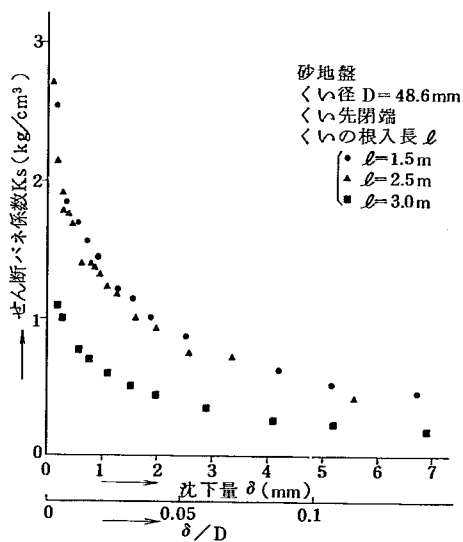


図- 5.6 沈下量とせん断バネ係数の関係 (3)

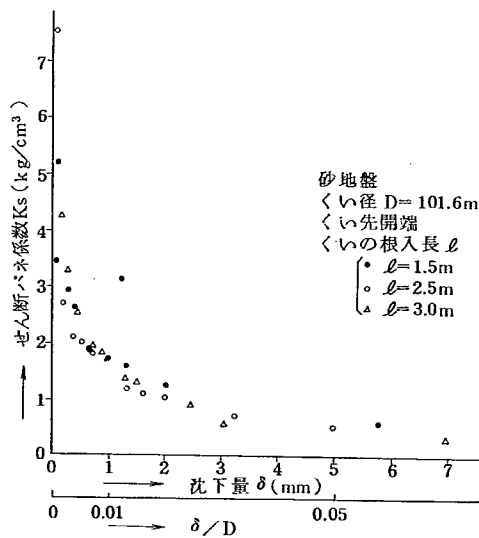


図- 5.7 沈下量とせん断バネ係数の関係 (4)

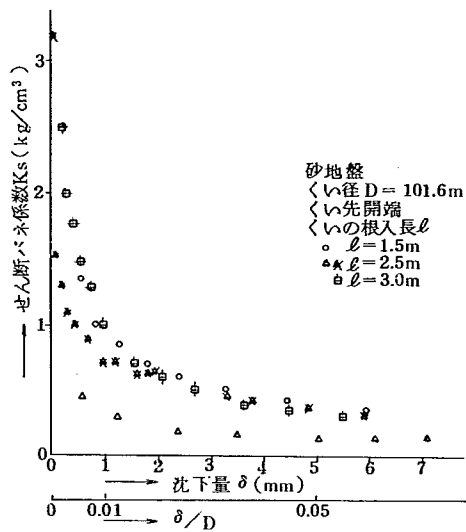


図-5.8 沈下量とせん断バネ係数の関係 (5)

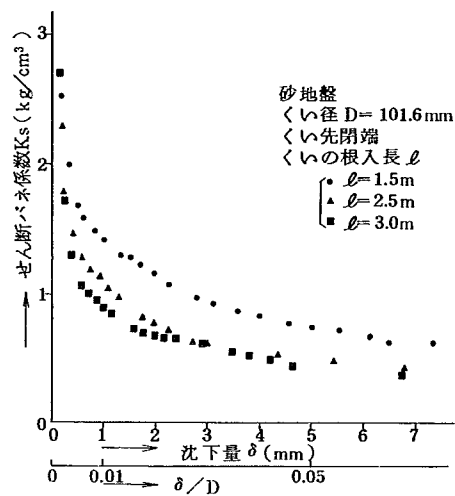


図-5.9 沈下量とせん断バネ係数の関係 (6)

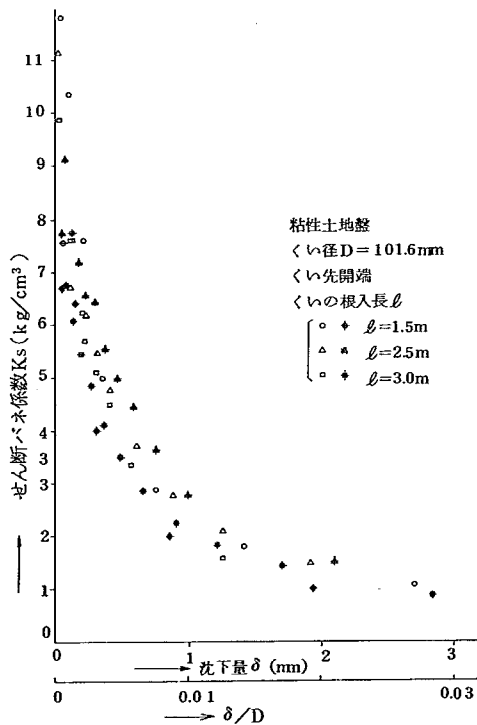


図-5.10 沈下量とせん断バネ係数の関係 (7)

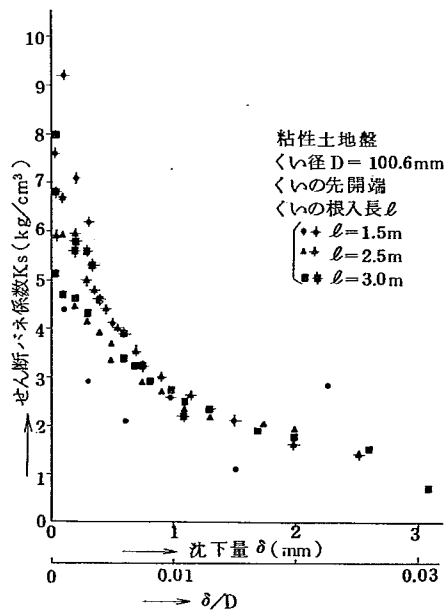


図-5.11 沈下量とせん断バネ係数の関係 (8)

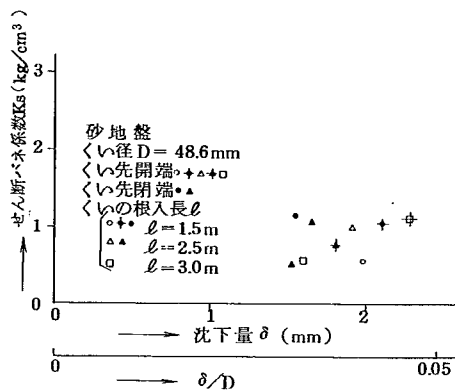


図- 5.12 降伏荷重時における沈下量とせん断バネ係数の関係

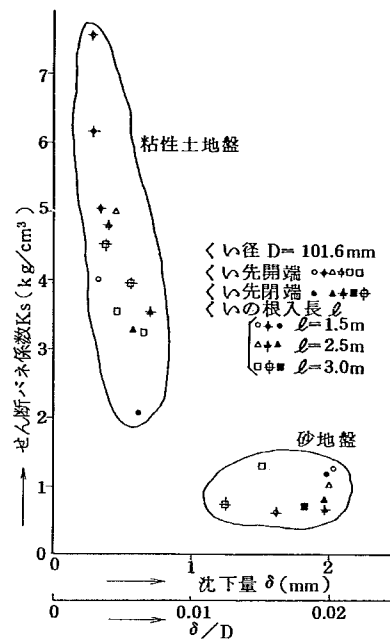


図- 5.13 降伏荷重時における沈下量とせん断バネ係数の関係

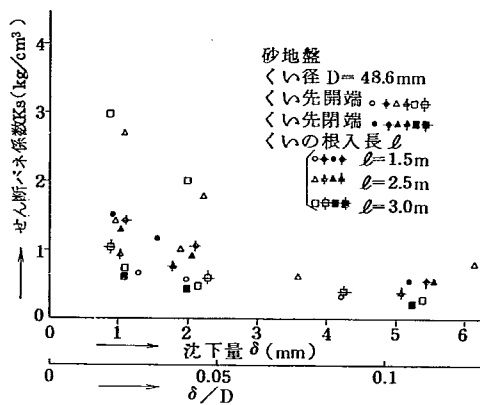


図- 5.14 沈下量 (1mm, 2mm, 5mm 付近) とせん断バネ係数との関係

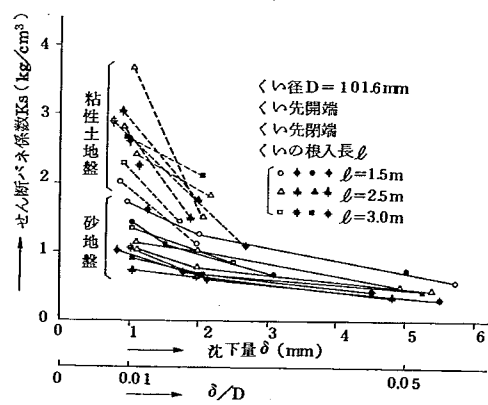


図- 5.15 沈下量 (1mm, 2mm, 5mm 付近) とせん断バネ係数との関係

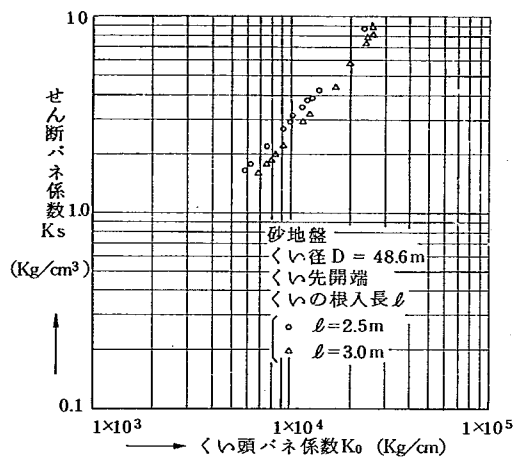


図- 5.16 くい頭バネ係数とせん断バネ係数との関係 (1)

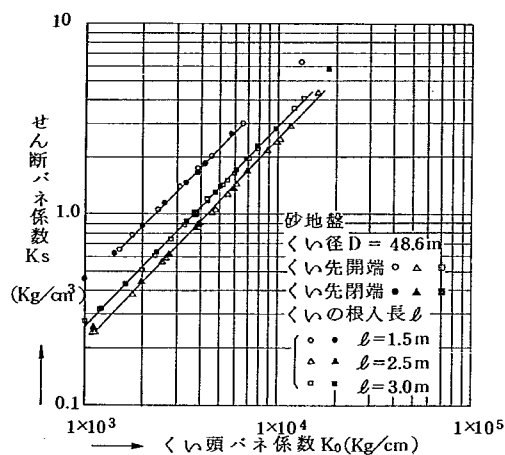


図- 5.17 くい頭バネ係数とせん断バネ係数との関係 (2)

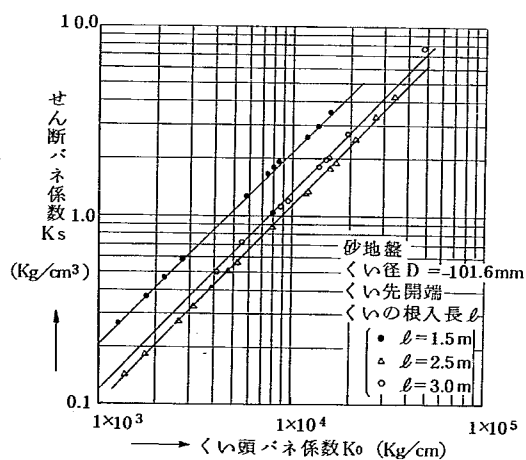


図- 5.18 くい頭バネ係数とせん断バネ係数との関係 (3)

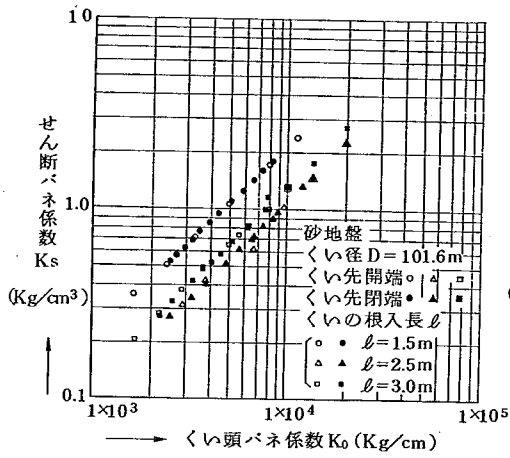


図- 5.19 くい頭バネ係数とせん断バネ係数との関係 (4)

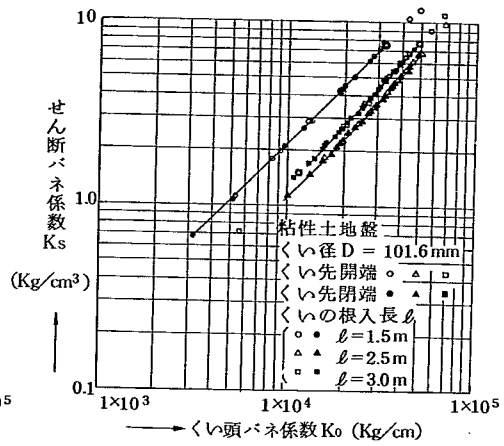


図- 5.20 くい頭バネ係数とせん断バネ係数との関係 (5)

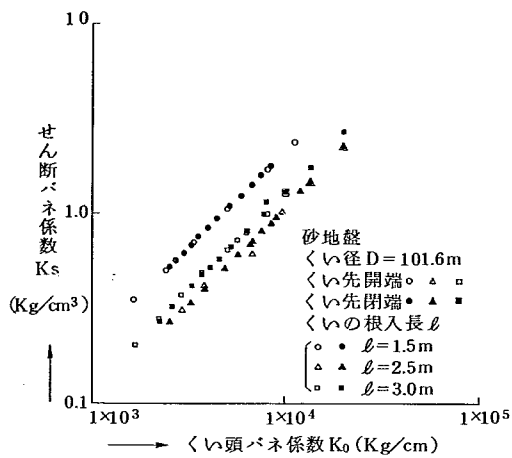


図- 5.19 くい頭バネ係数とせん断バネ係数との関係 (4)

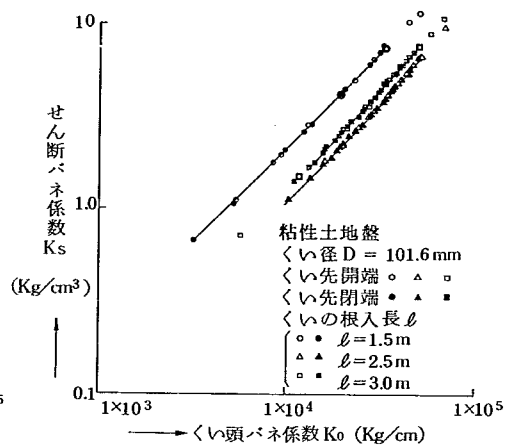


図- 5.20 くい頭バネ係数とせん断バネ係数との関係 (5)

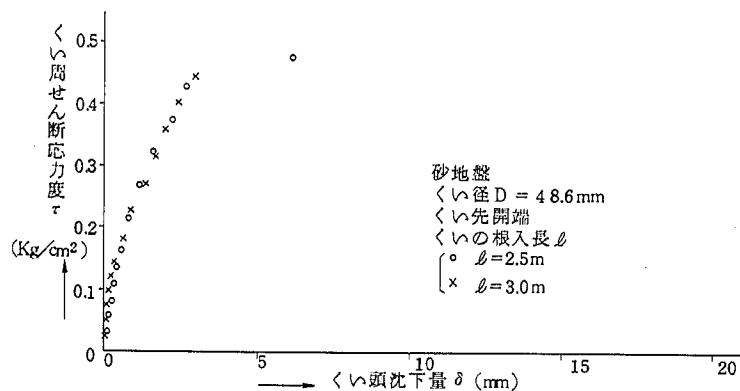


図- 5.2.1 沈下量とくい周せん断応力度との関係(1)

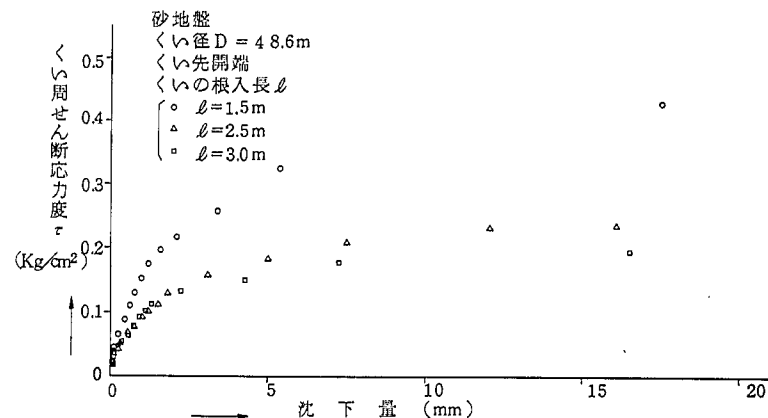


図- 5.2.2 沈下量とくい周せん断応力度との関係(2)

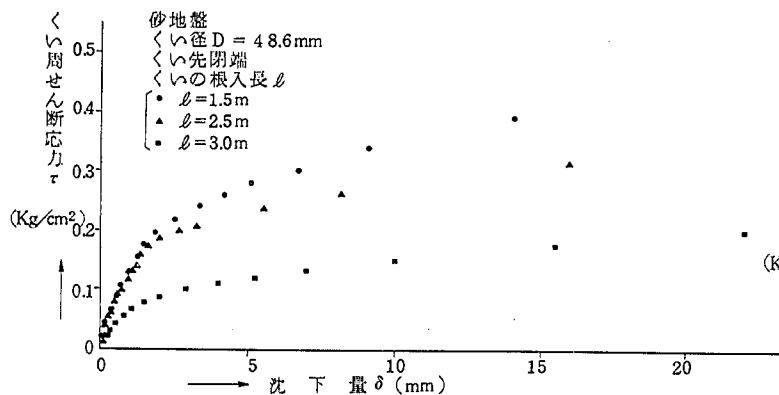


図- 5.2.3 沈下量とくい周せん断応力度との関係(3)

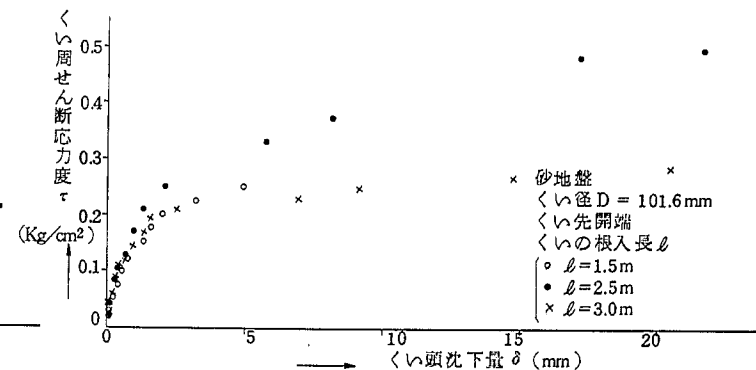


図- 5.2.4 沈下量とくい周せん断応力度との関係(4)

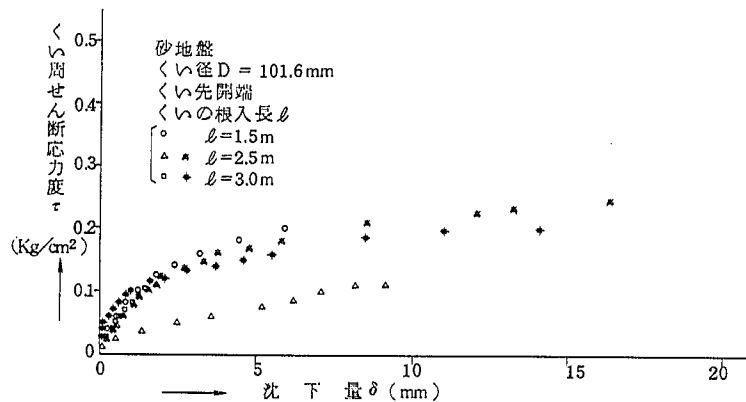


図- 5.25 沈下量とくい周せん断応力度との関係(5)

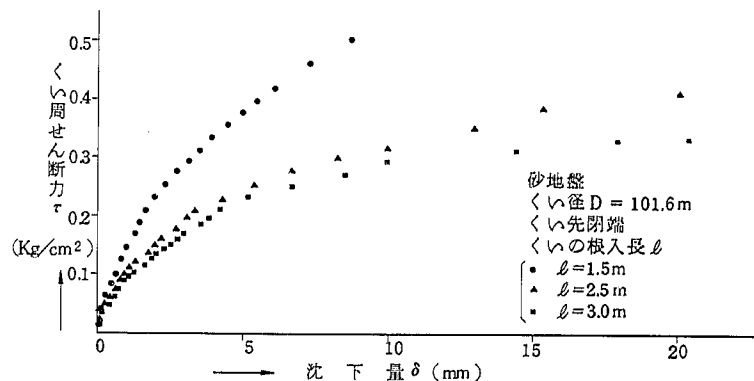


図- 5.26 沈下量とくい周せん断応力度との関係(6)

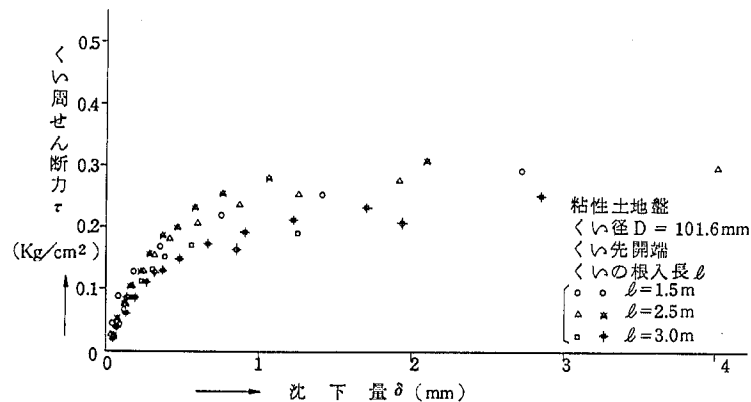


図- 5.27 沈下量とくい周せん断応力度との関係(7)

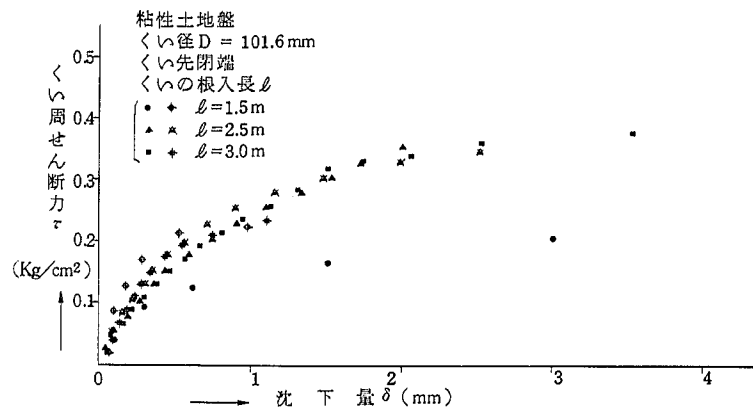


図- 5.28 沈下量とくい周せん断応力度との関係(8)

より求めると図-5.4～図-5.11に示すようになる。変位が大きくなると急にせん断バネ係数が小さくなり、ある変位量以上になるとほぼ一定値となる。図-5.12と図-5.13は、降伏荷重時における沈下量とせん断バネ係数との関係を示したものである。砂地盤において、降伏荷重時の沈下量とせん断バネ係数は、外径48.6mmのくいで沈下量は1.5mm～2.3mm、せん断バネ係数は $0.5\text{ kg/cm}^3 \sim 1.2\text{ kg/cm}^3$ である。外径101.6mmのくいでは沈下量1.2mm～2.0mmで、せん断バネ係数は $0.6\text{ kg/cm}^3 \sim 1.3\text{ kg/cm}^3$ となっている。くいの根入長さおよびくい先端の開放、閉塞による差異は認められない。

粘性土地盤においては、外径101.6mmのくいで沈下量は0.3mm～0.7mm、せん断バネ係数は $3\text{ kg/cm}^3 \sim 5\text{ kg/cm}^3$ であり、砂地盤に比して沈下量は小さく、せん断バネ係数は大きな値となっている。また砂地盤と同様くいの根入長さおよびくい先端の開放、閉塞による差異は認められない。

図-5.14と図-5.15は沈下量1mm、2mm、5mm付近におけるせん断バネ係数を示したものである。

図-5.16～図-5.20は、せん断バネ係数とくい頭バネ係数との関係を示したものである。

図-5.21～図-5.28は、(1)式から求めたせん断応力度でくいの長さ方向に変化するが、それを平均し、沈下量との関係を示したものである。沈下量がある値以上となるとせん断応力度はほぼ一

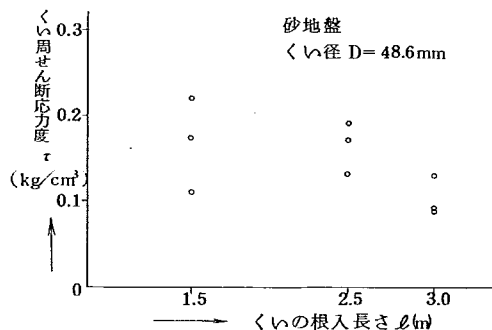


図-5.29 降伏荷重時におけるくいの根入長さとくい周せん断応力度との関係

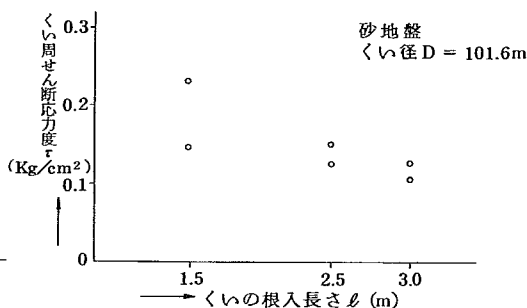


図-5.30 降伏荷重時におけるくいの根入長さとくい周せん断応力度との関係

定値となる。これは土のせん断応力度と変形量との関係と同じである。図-5.29～図-5.31は、降伏荷重時におけるくいの根入長さとせん断応力度との関係を示したもので、せん断応力度は、砂地盤においては $0.1\text{ kg/cm}^2 \sim 0.25\text{ kg/cm}^2$ 、粘性土地盤では $0.1\text{ kg/cm}^2 \sim 0.20\text{ kg/cm}^2$ となっている。またくいの根入長さの違いによってせん断応力度は異なった値を示している。

(3) くいの軸力分布について

くいの軸力分布について荷重—沈下量曲線から

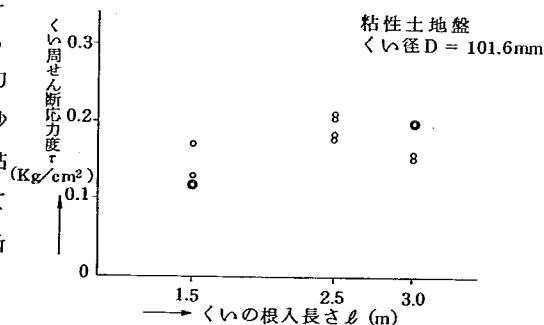


図-5.31 降伏荷重時におけるくいの根入長さとくい周せん断応力度との関係

00式によって計算した結果と実測値との比較を図-5.32～図-5.48に示した。計算値では、摩擦ぐいとしての計算であるために軸力は地表面で最大値を示し、くい先端部へ直線的に小さくなって先端部でゼロとなる分布を示す。これに対し実測値は荷重が小さいときは、ほぼ計算値と一致するが、荷重が大きくなるにつれて一致しなくなり、くい下部の軸力が大きくなって最終的にはくい全長ほぼ一様な軸力分布を示す傾向にある。このことは(6)式の直線関係がある荷重以上では成立しなくなることを意味しており、本式の適用に限界のあることを示している。

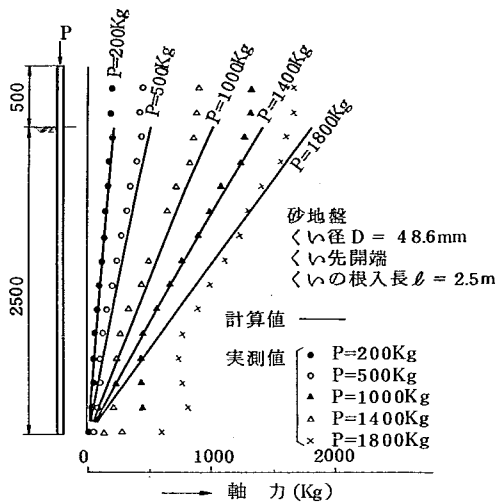


図- 5.32 くい体軸力(1)

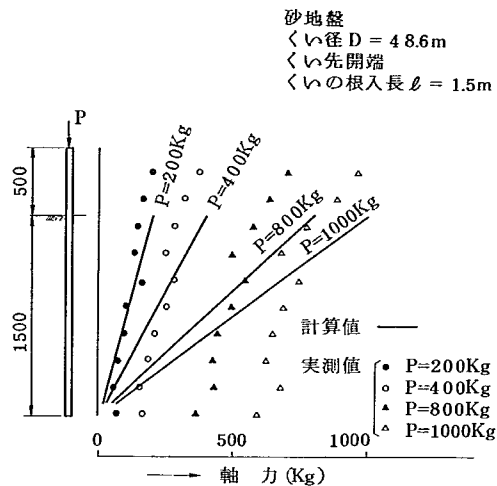


図- 5.33 くい体軸力(2)

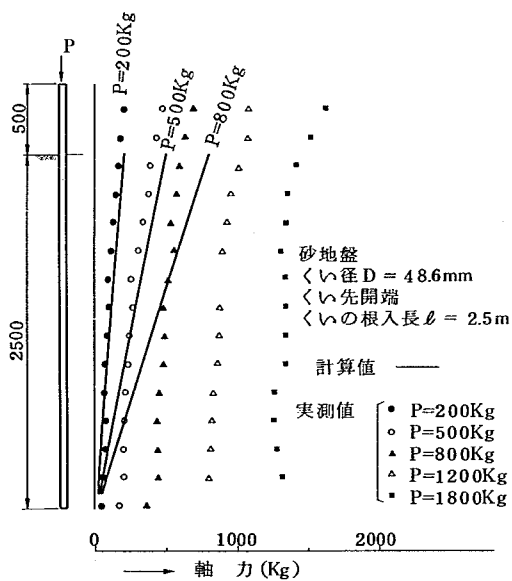


図- 5.34 くい体軸力(3)

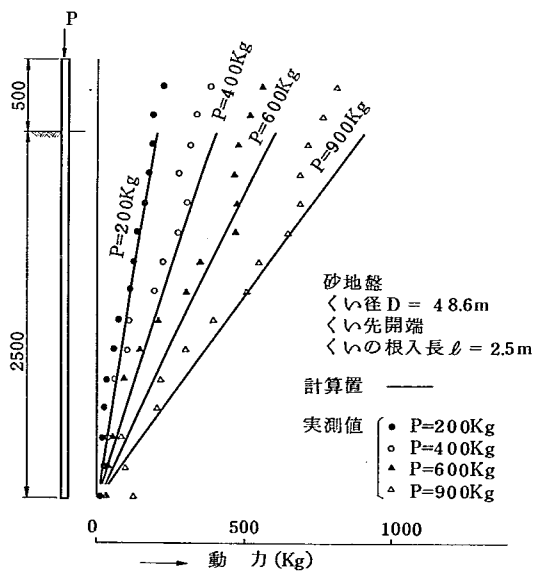


図- 5.35 くい体軸力(4)

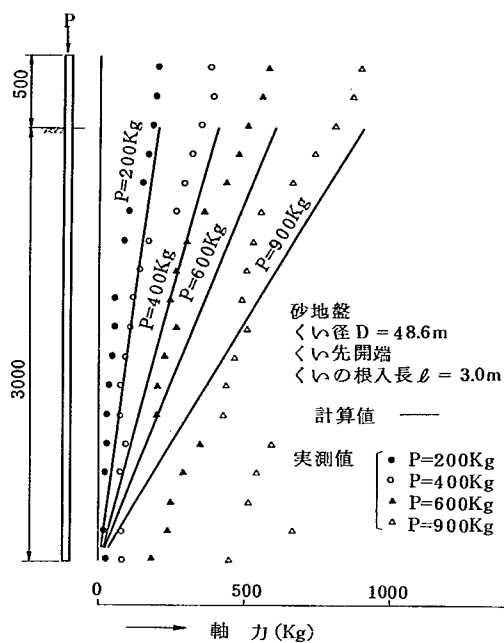


図- 5.36 <い体軸力(5)

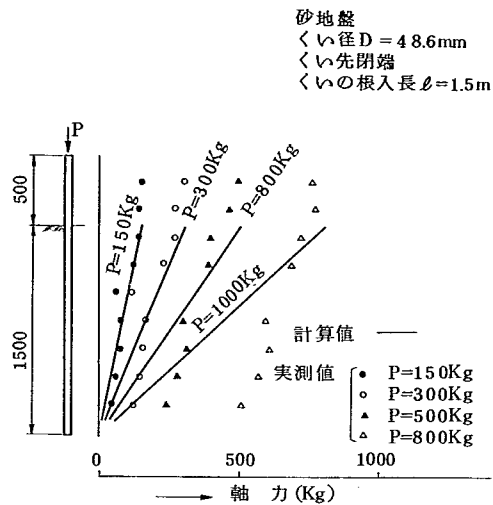


図- 5.37 <い体軸力(6)

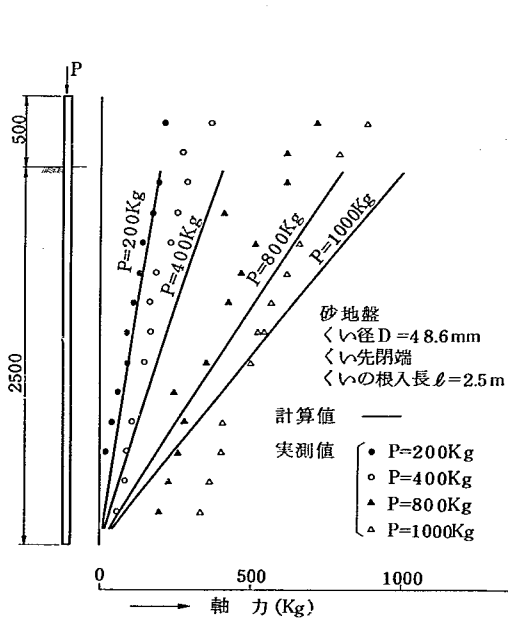


図- 5.38 <い体軸力(7)

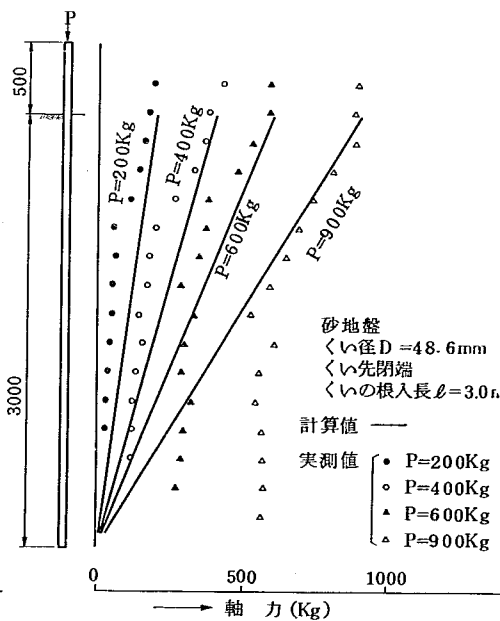


図- 5.39 <い体軸力(8)

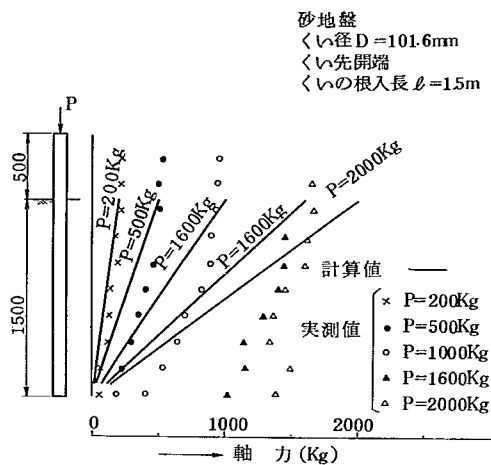


図- 5.40 <い体軸力(9)

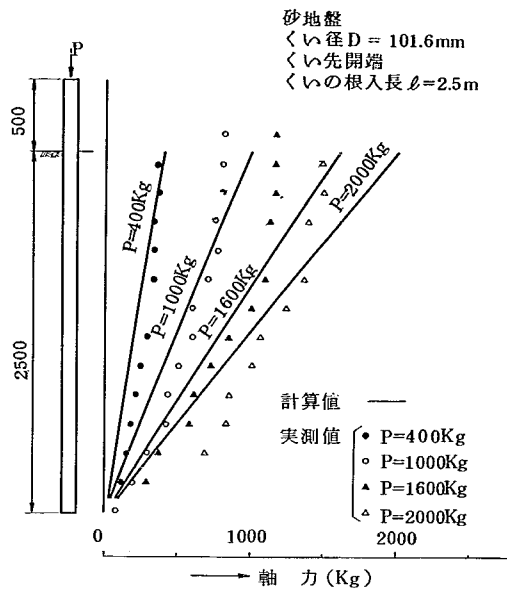


図- 5.41 <い体軸力(10)

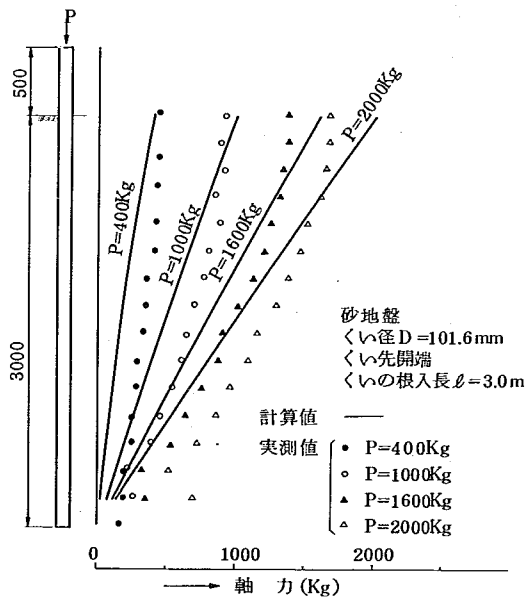


図- 5.42 <い体軸力(11)

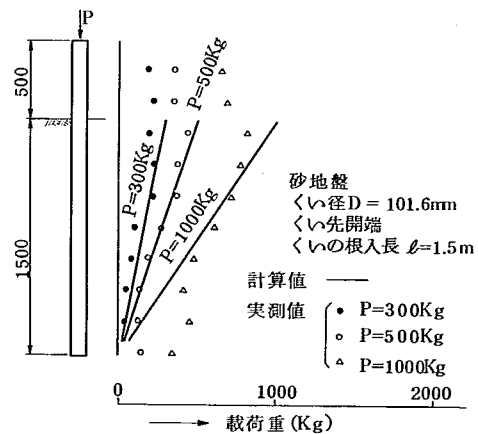


図- 5.43 <い体軸力(12)

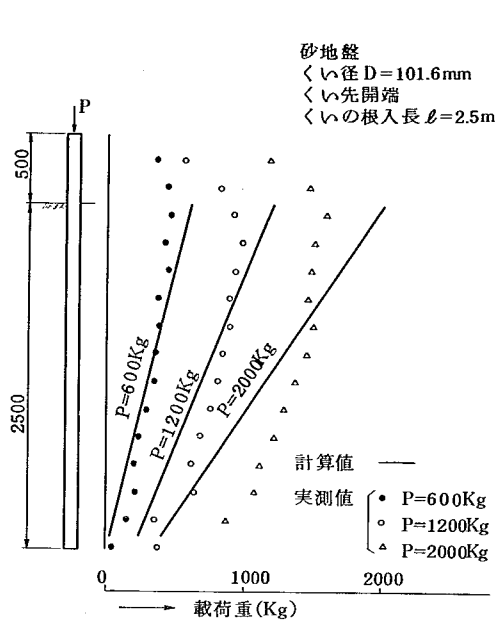


図- 5.44 くい体軸力(3)

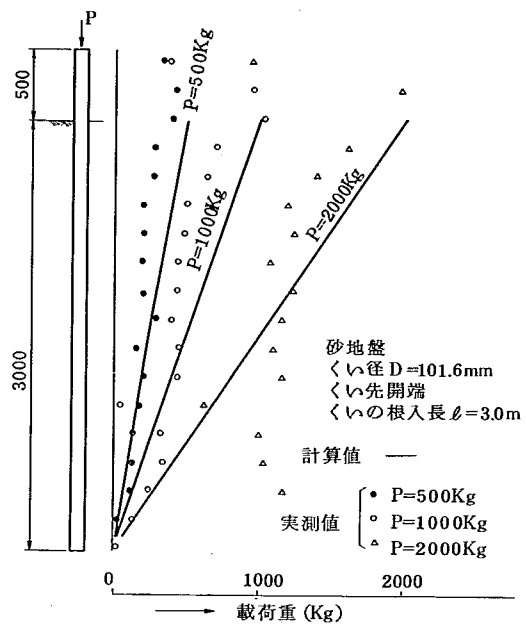


図- 5.45 くい体軸力(4)

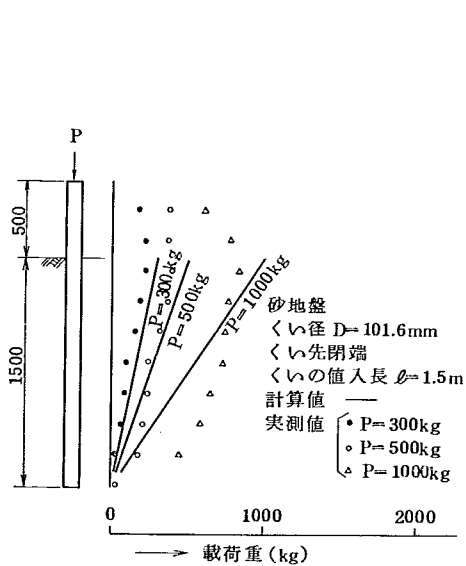


図- 5.46 くい体軸力(5)

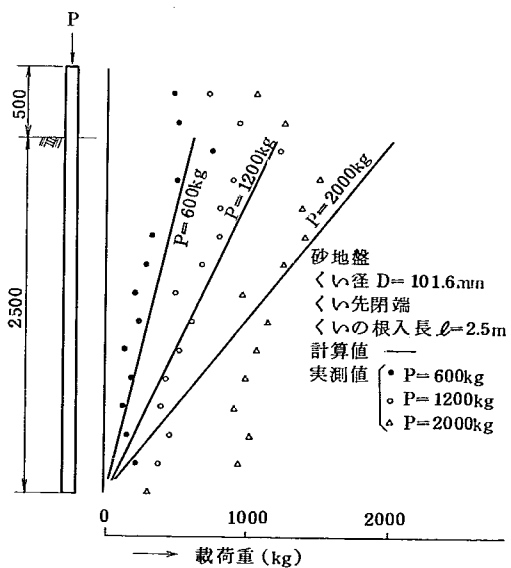


図- 5.47 くい体軸力(6)

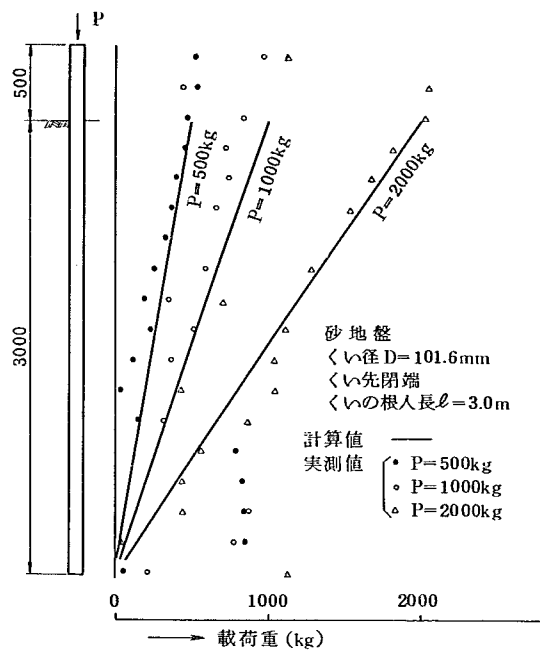


図- 5.48 くい体軸力 Q

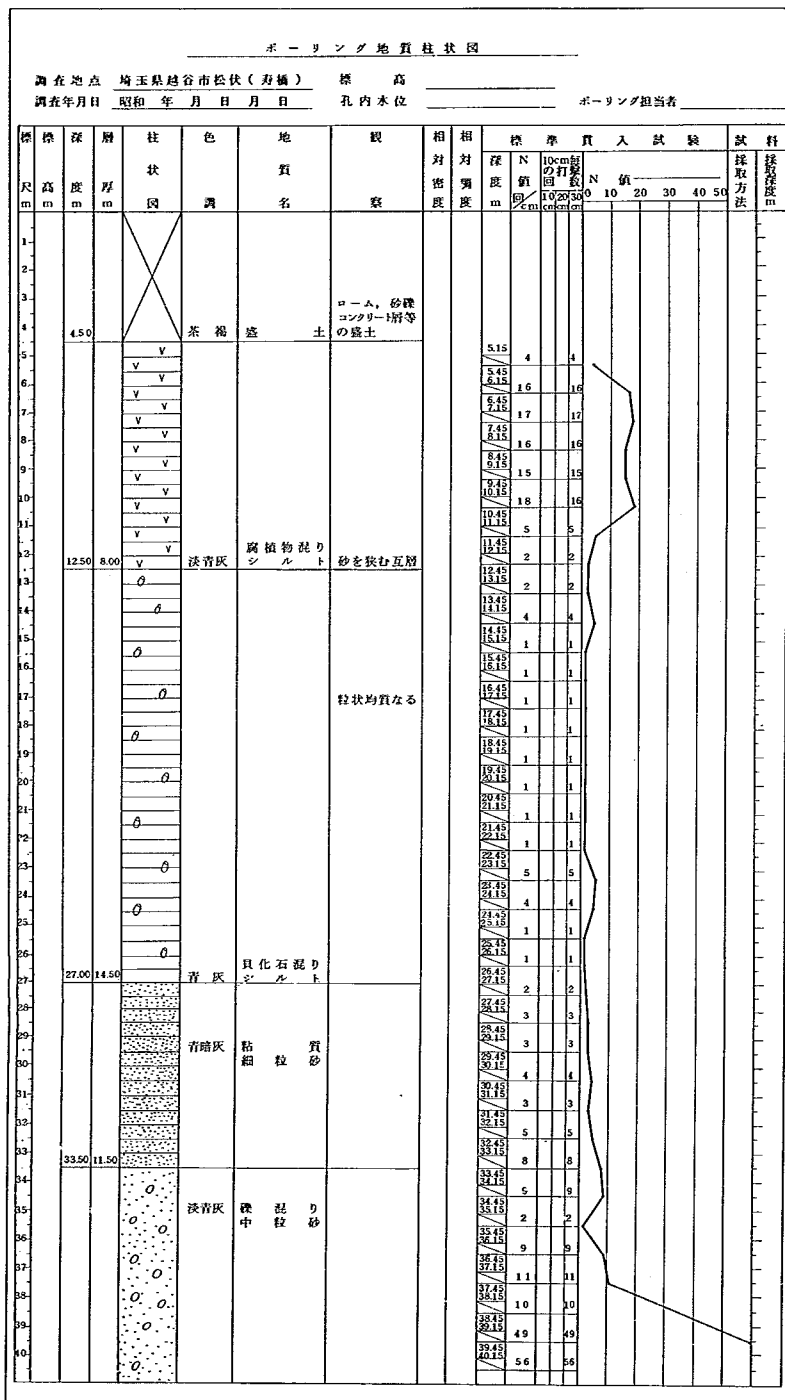
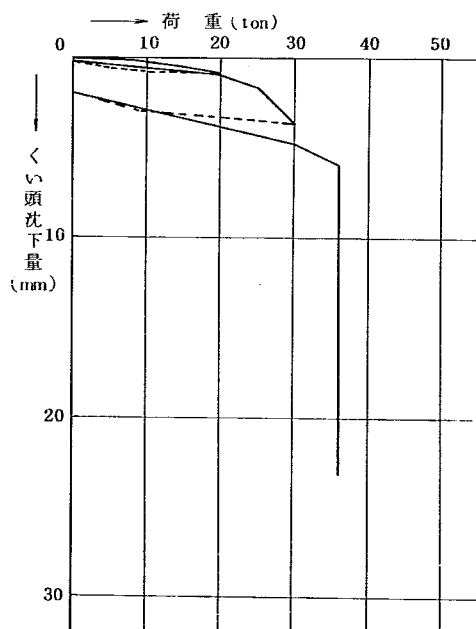


図-6.2 ボーリング地質柱状図

模型ぐいによる試験と同様に荷重一沈下曲線よりせん断バネ係数を求めると図-6.9, 図-6.10 のようになる。沈下量が大きくなると急激にせん断バネ係数は小さくなる。せん断バネ係数は同一



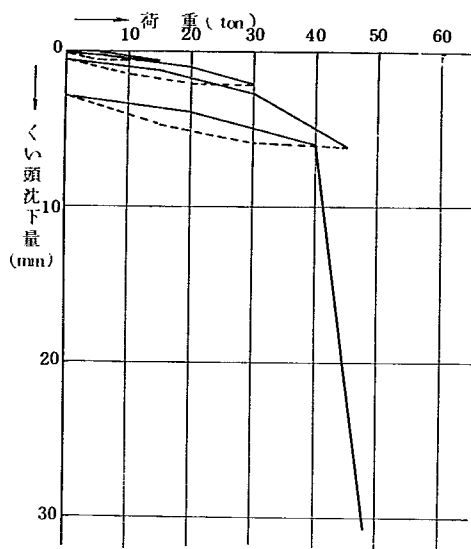


図- 6. 7 寿橋鋼管抗載荷試験結果
荷重—沈下量曲線
($l = 21.7 \text{ m}$)

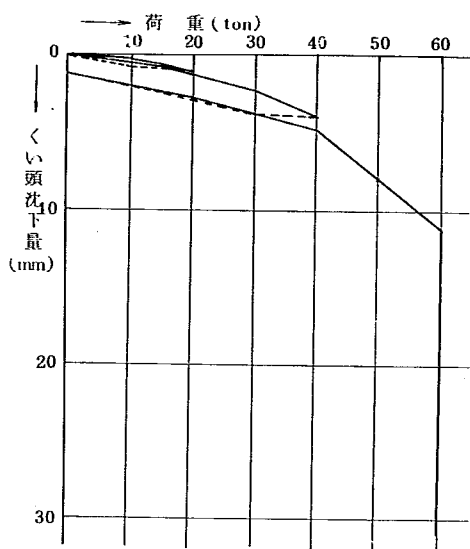


図- 6. 8 寿橋鋼管抗載荷試験結果
荷重—沈下量曲線
($l = 28.7 \text{ m}$)

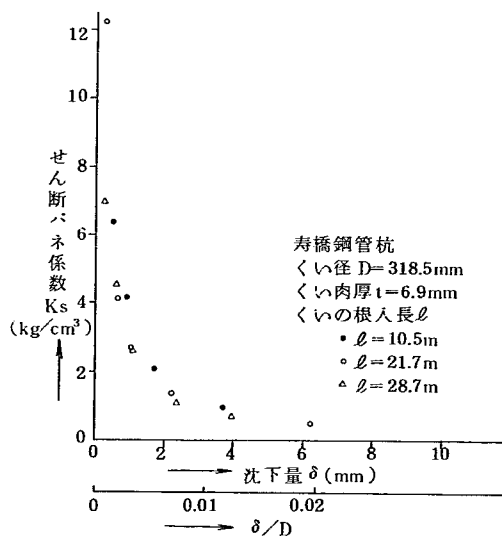


図- 6. 9 寿橋鋼管抗載荷試験結果
沈下量とせん断バネ係数
の関係

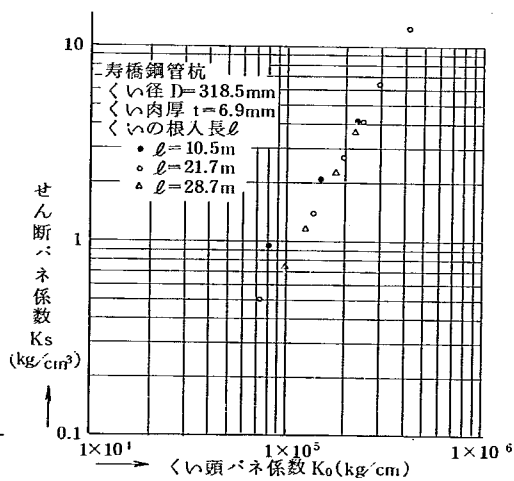


図- 6. 10 寿橋鋼管抗載荷試験結果
くい頭バネ係数とせん断
バネ係数との関係

沈下量においては、根入長さが異なってもほとんど同一の値を示し、沈下量1mm, 2mm, 4mmのときのせん断ベネ係数は 2.5 kg/cm^3 , 1.6 kg/cm^3 , 0.8 kg/cm^3 の値となっている。これは粘性土地盤における模型ぐいの結果とほぼ一致していると考えてよい。極限時の荷重をくいの根入部周面積で除した値 (kg/cm^2) を根入長さ別に比較すると図- 6.1 1 に示すとおりとなり、それぞれ 0.34 kg/cm^2 , 0.24 kg/cm^2 , 0.21 kg/cm^2 で同一の値となっていない。なお埋論式(1)式において荷重一沈下曲線より計算すると図- 6.1 2~図- 6.1 4の通りとなる。

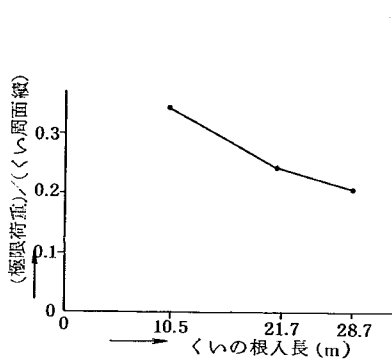


図- 6.1 1 寿橋鋼管抗荷試験結果
極限荷重時における(極
限荷重/くいの周面積)

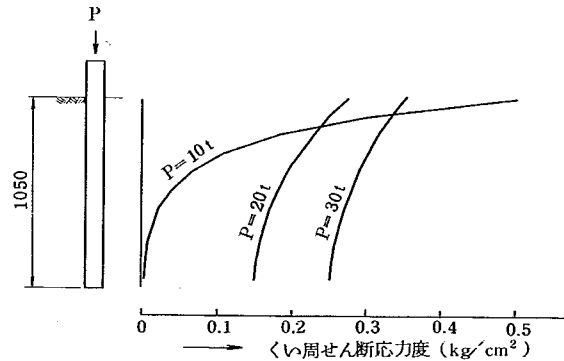


図- 6.1 2 くい周面せん断応力度
(計算値)

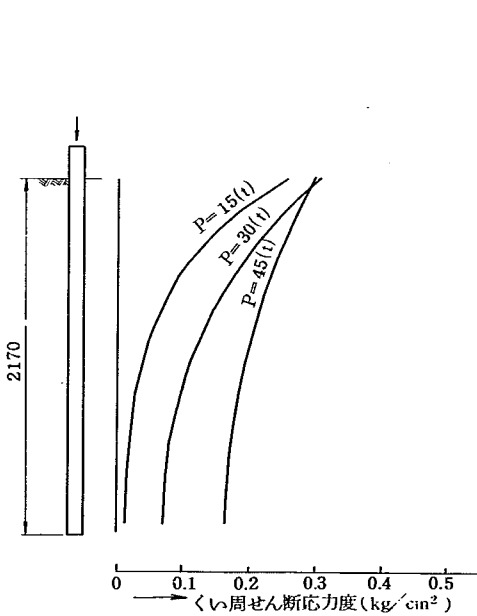


図- 6.1 3 くい周面せん断応力度
(計算値)

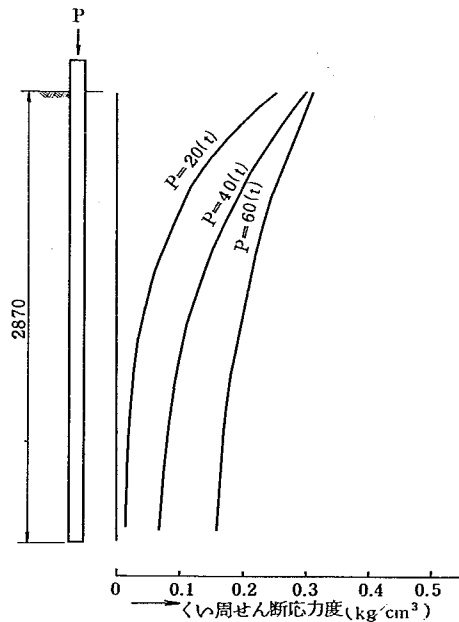


図- 6.1 4 くい周面せん断応力度
(計算値)

(3) くいの軸力について

くいの軸力について模型ぐいと同様、荷重—沈下曲線よりQ0式によって求めた結果と実測値との比較を図-6.15～図-6.17に示した。軸力の分布は、くい頭部では計算値と実測値はほぼ一致するが、くい先端に深くなるにつれて異なっており、実測値の方が大きな値となっている。また荷重が小さいうちは比較的一致するが、荷重が大きくなるにつれて大きく異なっている。

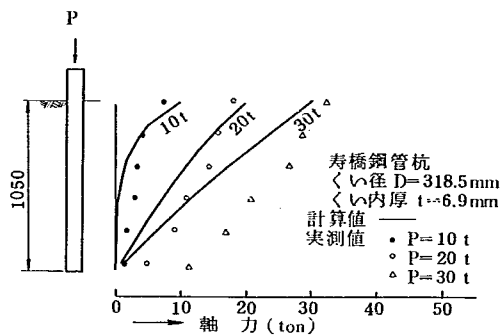


図-6.15 くい体軸力

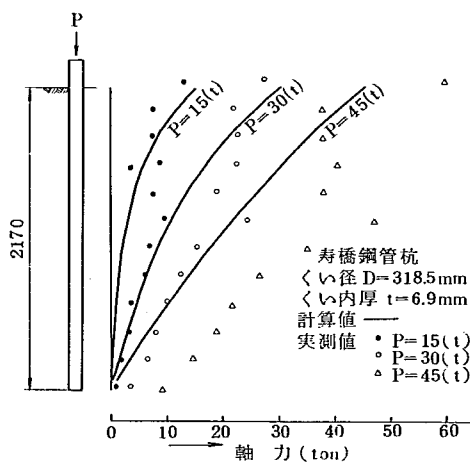


図-6.16 くい体軸力

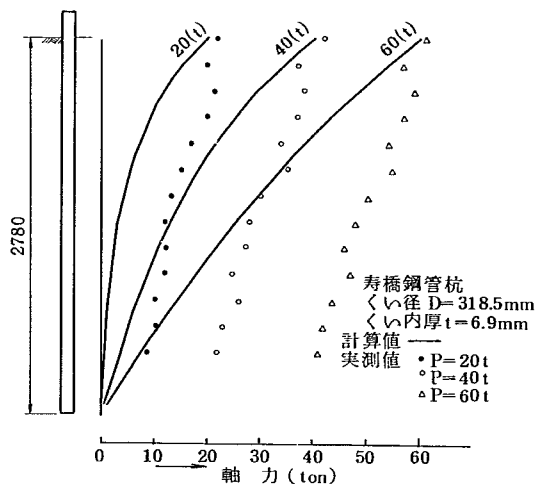


図-6.17 くい体軸力

6.3 鋼管ぐいによる試験結果

土質工学会、鋼ぐい研究委員会が調査した鉛直支持力調査から鋼管ぐいについて、ぐいの荷重と沈下量との関係を調べ、(9)式を用いてせん断バネ係数を求めた。その結果を図-6.18～図-6.20に示した。

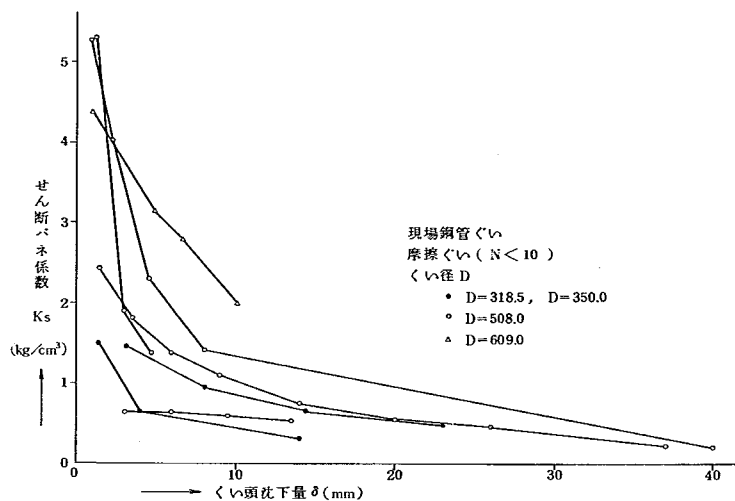


図-6.18 鋼管ぐい現場載荷試験
ぐい頭沈下量とせん断バネ係数の関係

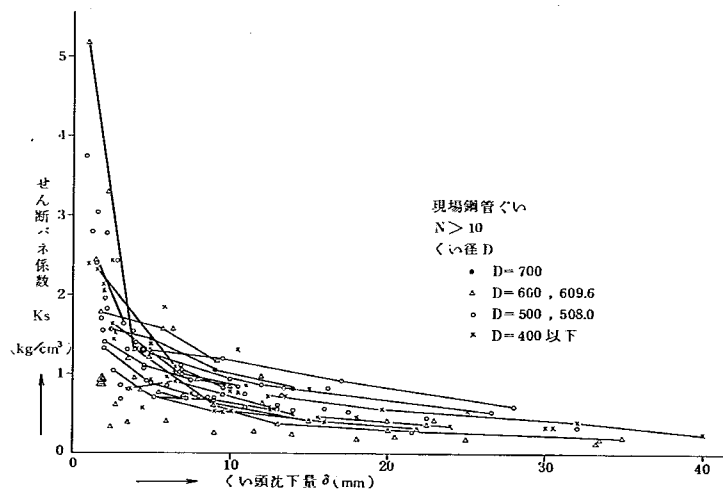
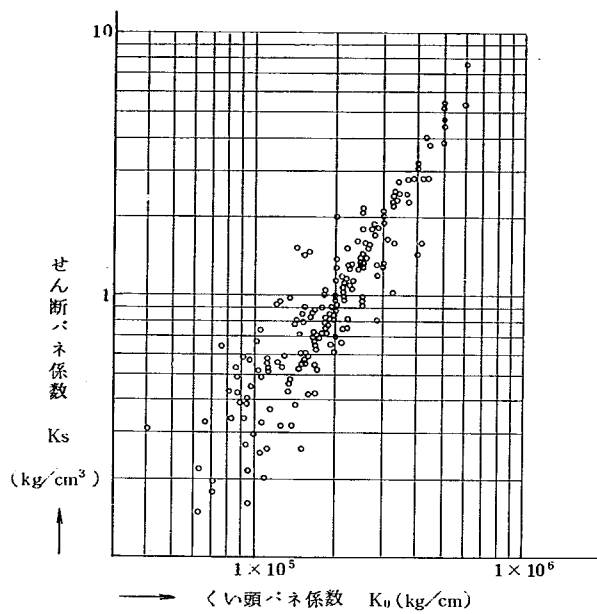


図-6.19 鋼管ぐい現場載荷試験
ぐい頭沈下量とせん断バネ係数の関係



図一 6.20 鋼管くい現場載荷試験
くい頭バネ係数とせん
断バネ係数との関係

6.4 場所打ちぐいによる試験結果

場所打ちぐいの荷重試験結果を収集して、ぐいの荷重と沈下量との関係調べ、鋼管ぐいと同様にせん断バネ係数を求めた。その結果を図-6.21～図-6.22に示した。

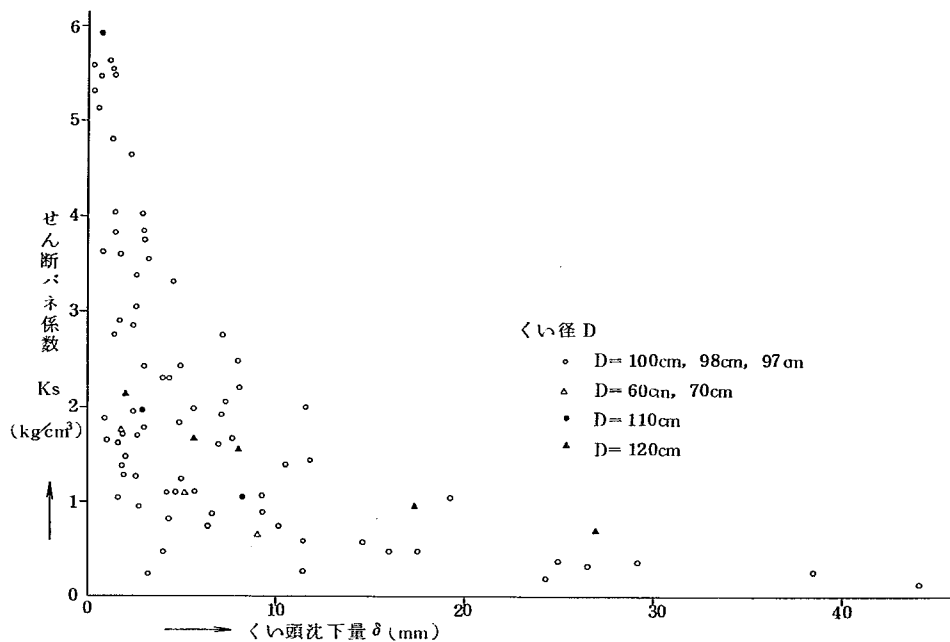


図-6.21 場所打ちぐい荷重試験
ぐい頭沈下量とせん断バネ係数の関係

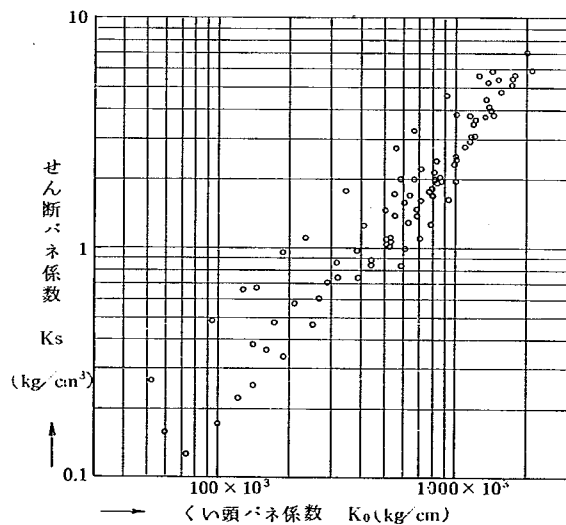


図-6.22 場所打ちぐい荷重試験
ぐい頭バネ係数とせん断バネ係数の関係

7. 群ぐいの鉛直載荷試験

7.1 実験の概要

軸方向荷重に対する群ぐいの挙動を調べるため、模型ぐいを用いて載荷試験を行ない、その支持機構を調べようとするものである。群ぐいの支持機構に影響する因子としては、地盤の土質条件、ぐいの大きさ、長さ、ぐいの本数、ぐいの間隔、ぐいの建込み方法などが関係すると考えられるが、ここでは土質条件、ぐいの長さ、ぐいの建込み方法を同一条件として、ぐいの本数、ぐいの間隔を変えて載荷試験を行なった。

7.2 実験方法

一般に群ぐいは行列方向のぐいで構成されるが、ここでは列構成のぐいについて試験を行なった。模型ぐいを用いてフーチングをぐい頭部に作成することにより模型群ぐいを構成し、ぐい本数とぐい間隔を変えて載荷試験を行ない、各ぐいの荷重分担割合とぐい周面抵抗分布などについて調べる。

1) 試験地盤

試験地盤は室内実験土槽（たて5.0m、よこ8.0m、深さ4.0m）に砂地盤を最適含水比で締固めて、湿潤密度で 1.6 t/m^3 以上となるように作成した。試験に用いられた地盤は、粘着力 $C = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 33^\circ$ 、標準貫入試験の N 値 $= 7 \sim 15$ 程度の性状を示している。

2) 模型群ぐい

模型は表-7.1に示す種別のもので作成した。その一例を図-7.1に示す。ぐいとフーチングとの取合い部の構造は図-7.2および写真-7.5に示すように、ぐい頭部に荷重計を取付け、（写真

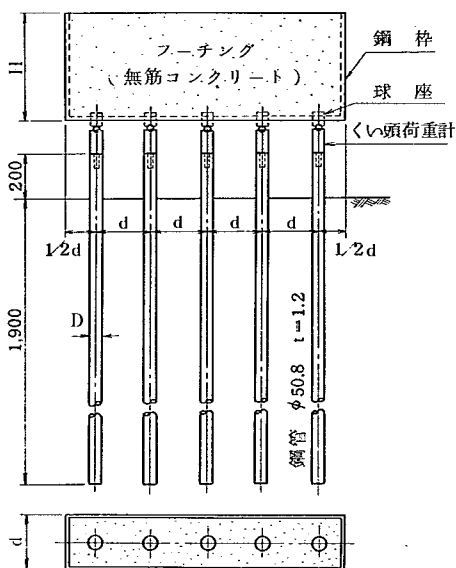


図-7.1 群ぐい模型図

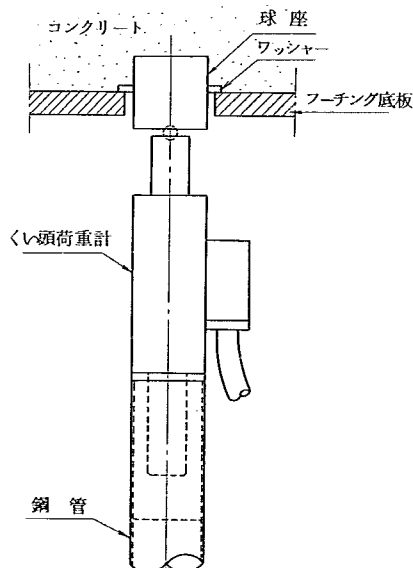


図-7.2 ぐいとフーチングの取合

- 7.3) その上に球座を置いてヒンジ構造となるようにし、軸方向力のみが作用するように工夫した。フーチングとしては、各くい頭の不陸をなくするためと、完全な剛度を有する板となるように、鋼製の型枠の中にコンクリートを打設して製作した(写真-7.4)

表-7.1 群ぐいの種別

くい本数	くい列数	くい間隔 d (mm), D はくい径	H (mm)
1			
3	1	$2D, 3D, 4D, 5D$	$2d$
4	1	$2D, 3D, 4D, 5D$	$2d$
5	1	$2D, 3D, 4D, 5D$	$2d$

模型ぐいは図-7.3に示すように、外径50.8mm、板厚1.2mm長さ2.1mの鋼管を用い、鋼管をそのまま単管として用いたものと、中心より縦に2つ割にした後、当て板を用いてビスで組立てたものの2種類を組合せて使用した。組立管はくい周面抵抗の分布が測定できるように、内部にひずみゲージを貼付れるようにしたものであり、図-7.4に示すような位置に貼付けて測定した。

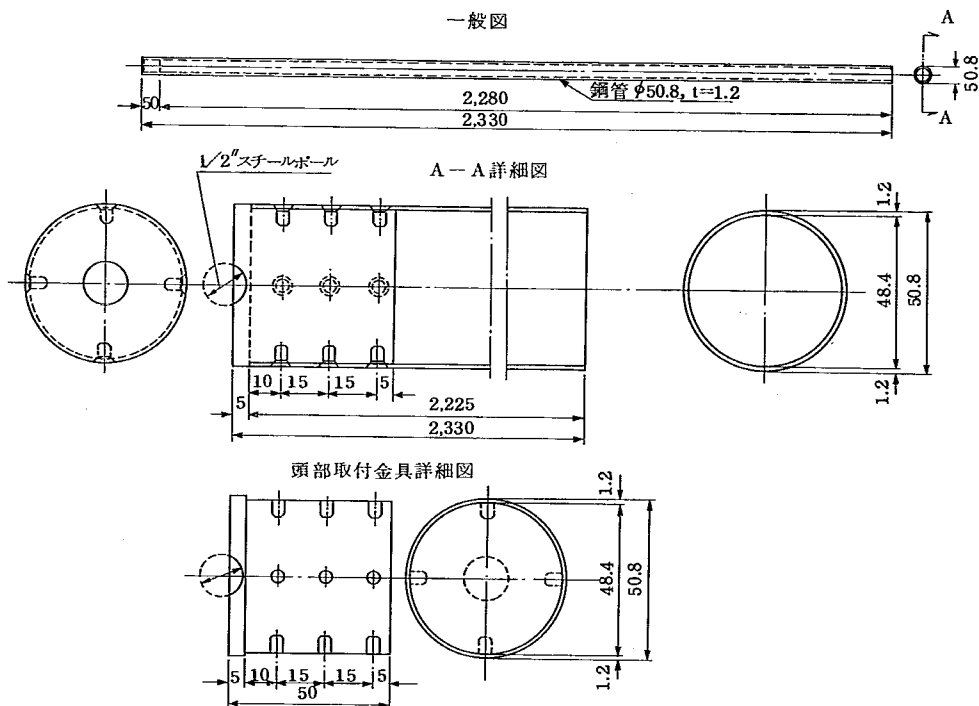


図-7.3(A) 模型ぐい(単管)

3) ぐいの建込み

ぐいの建込みは所定の間隔で、真直ぐに設置できるように枠組を用いてジェット工法で行なった(写真-7.1)。建込みに際しては、先端地盤が乱されないようにジェット先端部よりくい先端が先行するようにしながら、くい体内の砂を排除すると同時に、ぐいを圧入して所定の根入長さまで建込んだ(写真-7.2)。

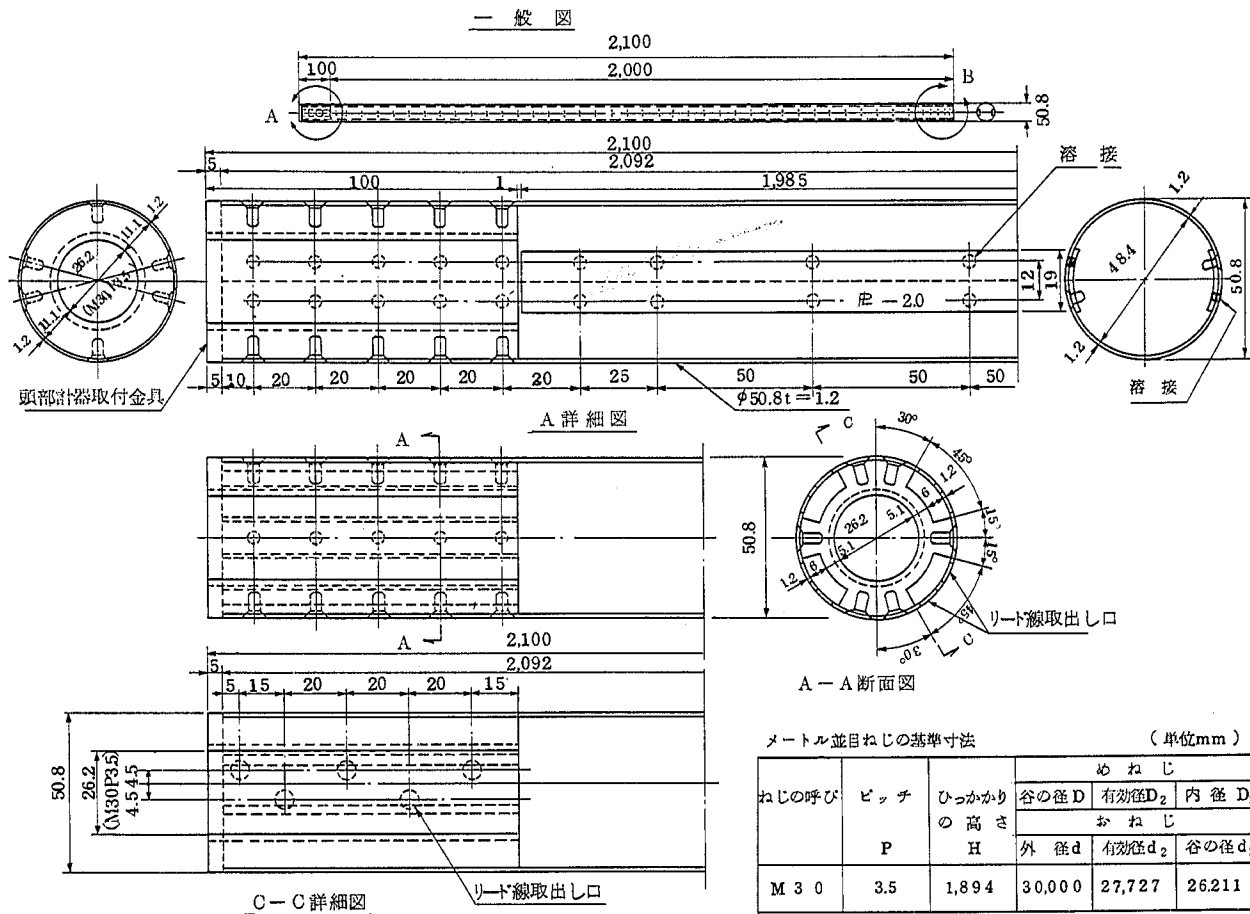
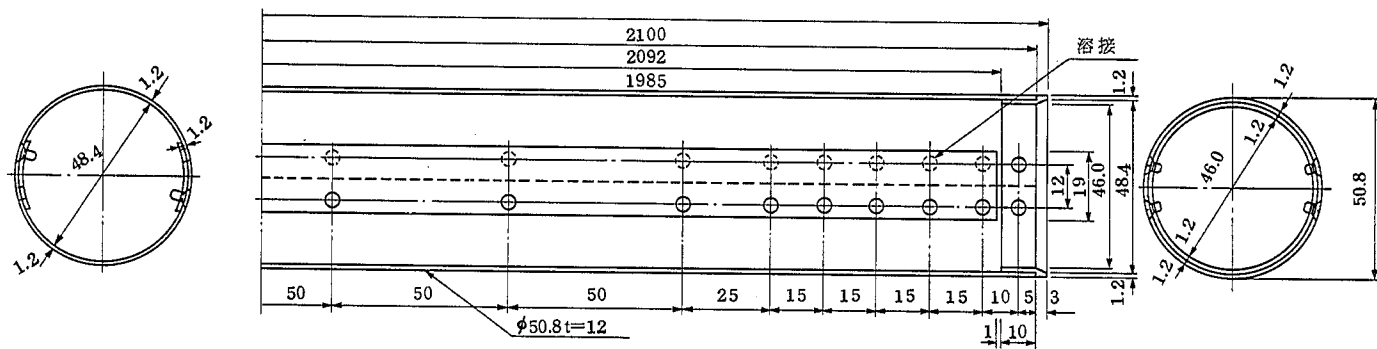
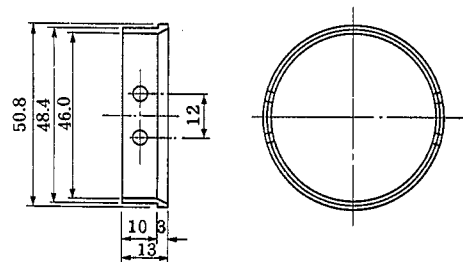


図-7.3(B) 模型ぐい(組立管)



B 詳細図



B 先端部詳細図

図- 7.3 (C) 模型ぐい (組立管)



写真- 7.1 くい建込み状況

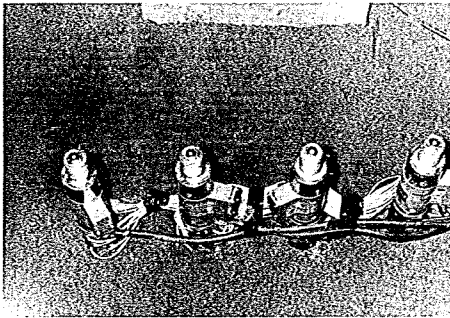


写真- 7.3 くい頭荷重計設置

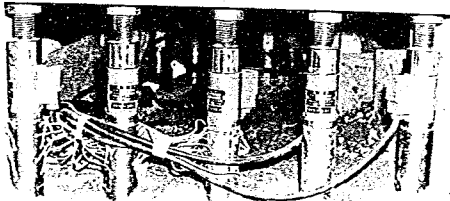


写真- 7.5 くいとフーチングとの取合部

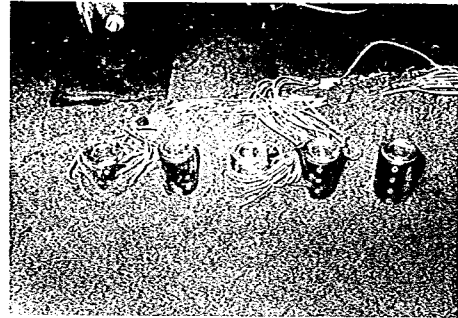


写真- 7.2 くい建込み完了

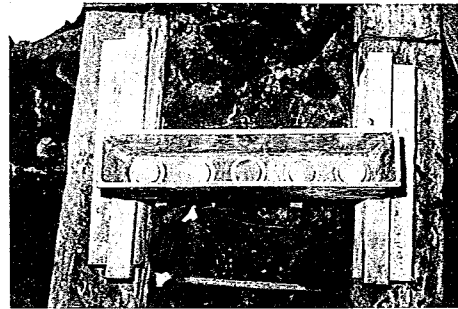


写真- 7.4 フーチング型枠および球座設置

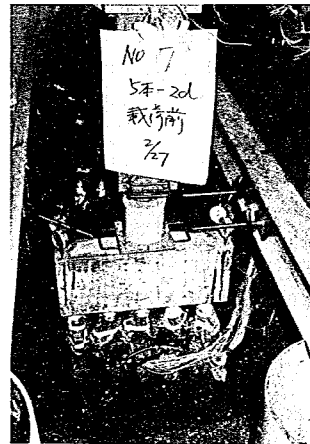


写真- 7.6 載荷試験状況

4) 載荷方法

模型のコンクリート打設完了後に実験土槽全体を水締めすることにより、くいと地盤とが一体となるようにするとともに地盤の均一化をはかり、1週間以上放置した後、載荷を行なった。載荷装置は実験土槽に備え付けてある油圧ジャッキを用いた。載荷は弾性荷重と考えられる範囲で、3回のくり返し載荷を行なった後に、地盤が降伏するまで継続した(写真-7.6)。

5) 測定項目

測定は表-7.2に示す項目について、それぞれの計器を用いて行なった。

表-7.2 測定項目および測定器具

測定項目	測定器具, 材料
載 荷 重	歪ゲージ式荷重計(5ton, 10ton)
くい頭荷重	歪ゲージ式荷重計(2ton)
くい体の歪	歪ゲージ
くいの沈下量	ダイヤルゲージ

7.3 実験結果およびその考察

測定結果を1.0.資料, 1.0.2群ぐいの鉛直載荷試験における荷重-沈下量曲線に示した。図-7.5は、群ぐいの支持効率を示したもので、くい間隔が小さくなるにつれて1本当りに換算したくいの支持効率が小さくなってゆく。またくい本数が多いほど有効性が劣ることも判断できる。また図-7.6に示す群ぐいの荷重分担割合にその傾向が示されている。このことはくい周面から地盤に伝達された応力が相互に干渉していると考えられる。なお現在、次の事柄について詳細な検討を行なっている。

- (i) 荷重と沈下の関係(単ぐいと群ぐい)
- (ii) 各くいの荷重分担割合と、くい本数、くい間隔の関係
- (iii) 群ぐいの支持力とその効率
- (iv) くい周面の摩擦抵抗分布および荷重の大きさとの関係

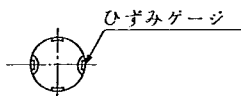
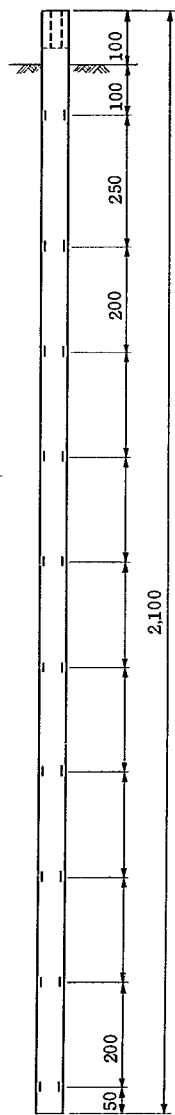


図-7.4 ゲージ貼付位置図

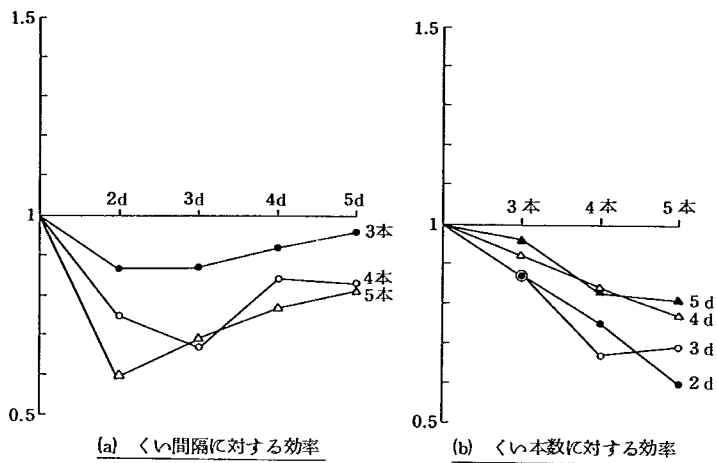


図-7.5 群ぐいの支持効率 (降伏荷重)

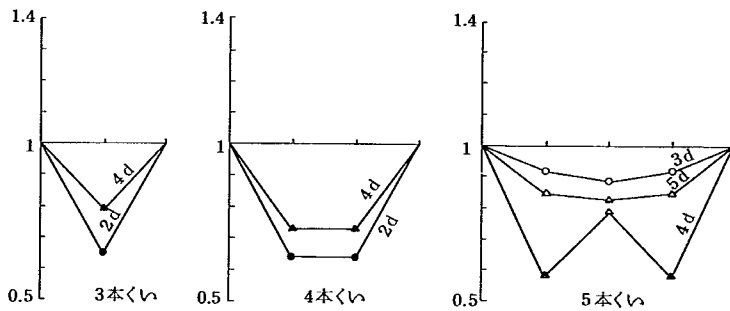


図-7.6 群ぐいの荷重分担割合 (両端部のくいを1とした場合)

8. 結 論

模型ぐいによる載荷試験および現場載荷試験結果を整理して検討を行なったことから次のことが指摘できる。

- 1) 周面摩擦によって支持されるぐいの支持機構は、ほとんど全荷重をぐい周面で抵抗し、それはぐい周囲の地盤のせん断抵抗によって支持される。
- 2) 周面摩擦で支持されるぐいは、ある荷重を越えると急に沈下量が増大する。したがって実際の使用にあたっては荷重の小さい範囲で使用する必要がある。
- 3) 実測した荷重—沈下量曲線より求めたせん断ベネ係数は、
 - ① 模型ぐいの試験では降伏荷重のとき、砂地盤で $0.5 \text{ kg/cm}^3 \sim 1.3 \text{ kg/cm}^3$ 、粘性土地盤で $3 \text{ kg/cm}^3 \sim 5 \text{ kg/cm}^3$ となり、ぐい径、ぐい長さおよびぐい先端の開閉による差異は認められない。
 - ② 実ぐいにおける現場載荷試験では、純摩擦ぐいで沈下量 1mm, 2mm, 4mm のとき、 2.5 kg/cm^3 , 1.6 kg/cm^3 , 0.8 kg/cm^3 となっており、鋼管ぐいの場合、沈下量 5mm, 10mm のときそれぞれ $0.8 \text{ kg/cm}^3 \sim 1.8 \text{ kg/cm}^3$, $0.6 \text{ kg/cm}^3 \sim 1.2 \text{ kg/cm}^3$ となっている。
- 4) ぐい軸力は、荷重の小さい間は比較的計算値と近似するが、荷重が大きくなるにつれて異なってくる。このことは(6)式の関係が成立しなくなることを示しており、(6)式の適用に限界がある。
- 5) 群ぐいでは、支持効率および荷重分担の割合から判断して、明らかにぐい周面から地盤へ伝達される応力が、相互に干渉していることが判明した。

9. あ と が き

ぐい周面抵抗によって支持されるぐいがどのような挙動を示すかを調べる目的から模型ぐいによる載荷試験を行なうとともに、現場実ぐい載荷試験の結果を収集して整理したので、その結果をとりあえず資料としてまとめた。今後十分な検討を加えて詳細な研究を行ない内容を充実していくつもりである。

10. 資 料

10.1 単ぐいの鉛直載荷試験における荷重—沈下量曲線

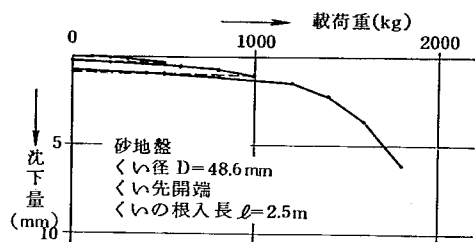


図-10.1 荷重—沈下量曲線 (1)

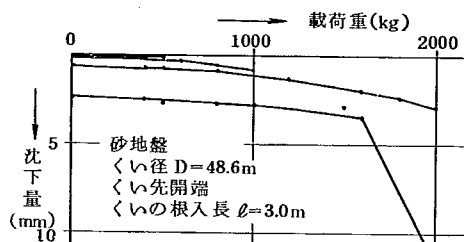


図-10.2 荷重—沈下量曲線 (2)

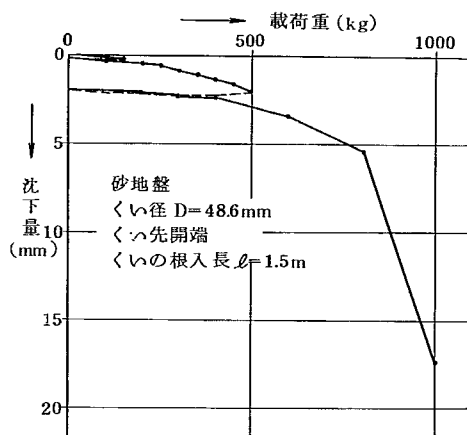


図-10.3 荷重—沈下量曲線 (3)

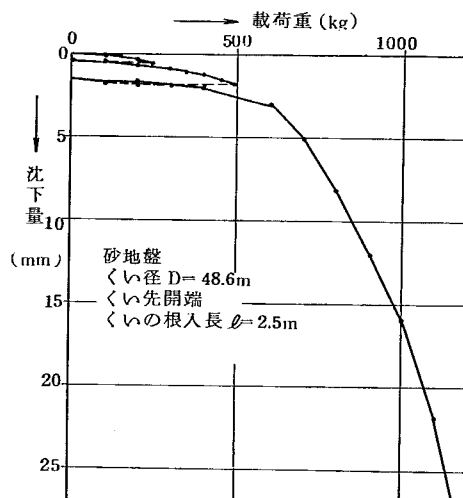


図-10.4 荷重—沈下量曲線 (4)

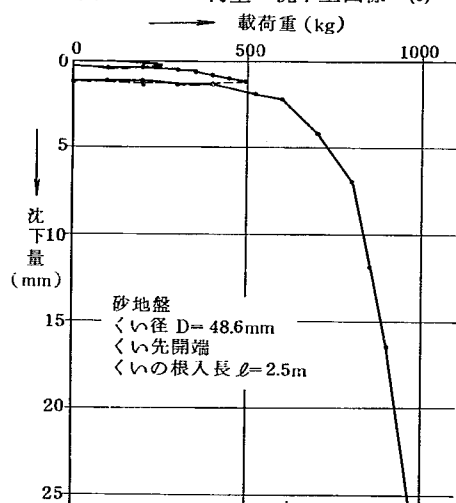


図-10.5 荷重—沈下量曲線 (5)

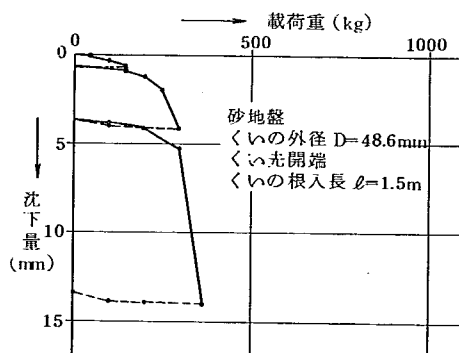


図-10.6 荷重—沈下量曲線 (6)

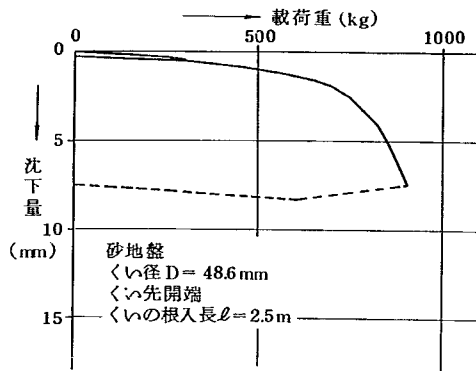


図-10.7 荷重—沈下量曲線 (7)

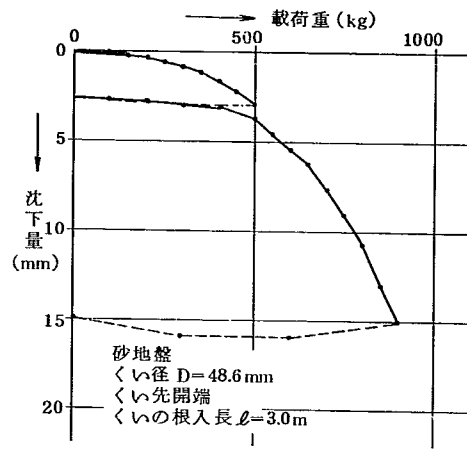


図-10.8 荷重—沈下量曲線 (8)

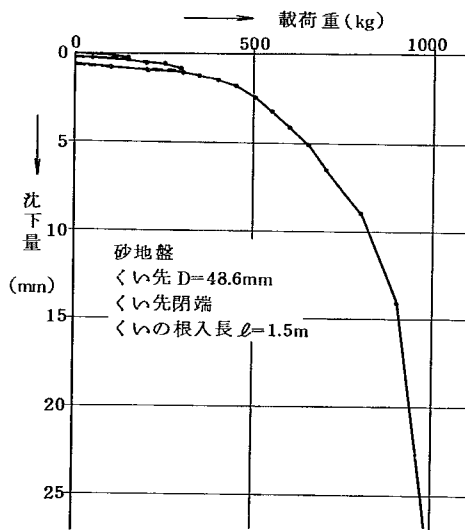


図-10.9 荷重—沈下量曲線 (9)

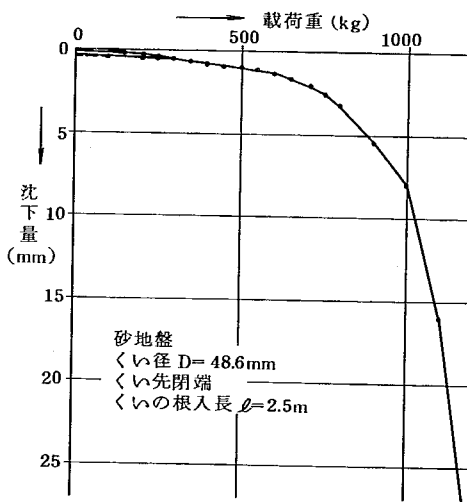


図-10.10 荷重—沈下量曲線 (10)

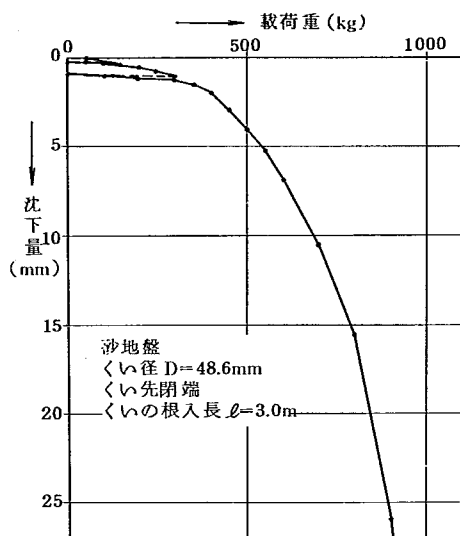


図-10.11 荷重—沈下量曲線 (11)

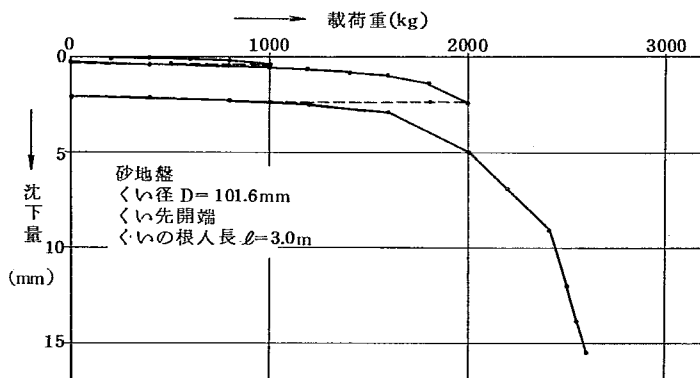


図-10.12 荷重—沈下量曲線 (12)

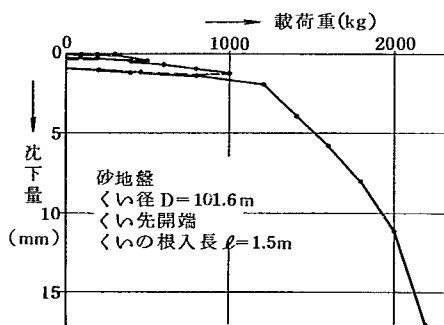


図-10.13 荷重—沈下量曲線 (13)

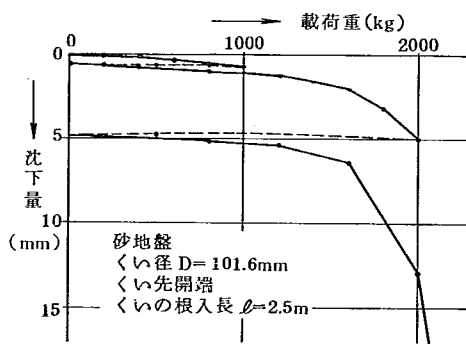


図-10.14 荷重—沈下量曲線 (14)

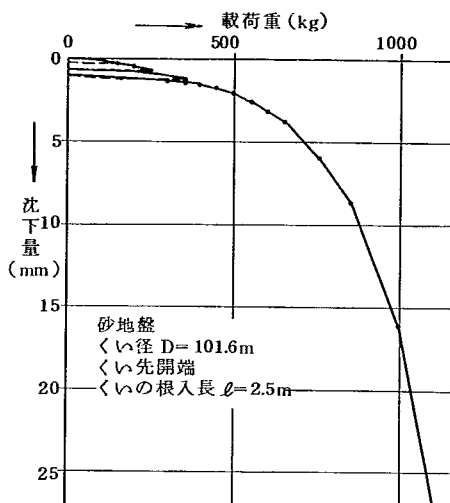


図-10.15 荷重—沈下量曲線 (15)

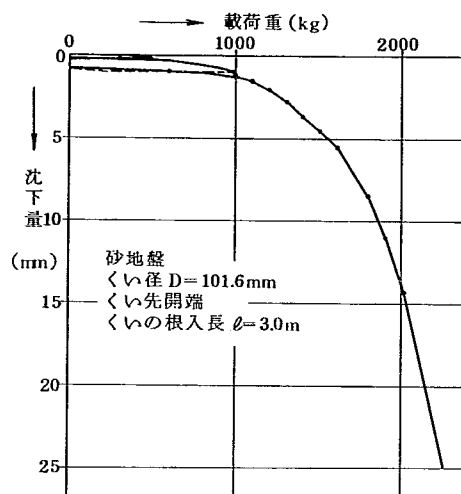


図-10.16 荷重—沈下量曲線 (16)

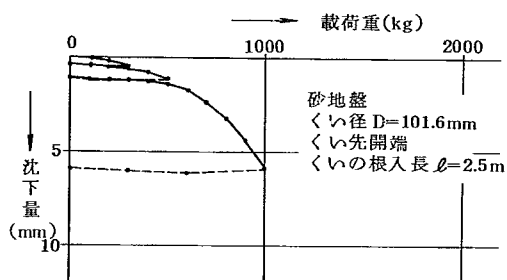


図-10.17 荷重—沈下量曲線 (17)

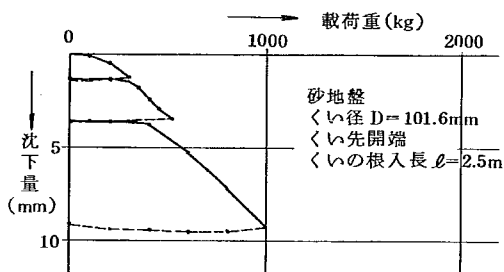


図-10.18 荷重—沈下量曲線 (18)

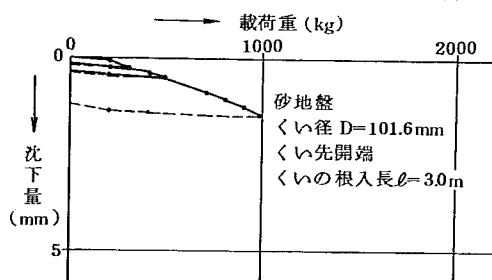


図-10.19 荷重—沈下量曲線 (19)

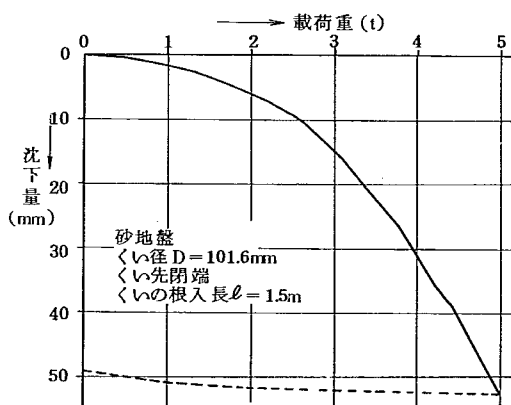


図-10.20(1) 荷重—沈下量曲線 (20)

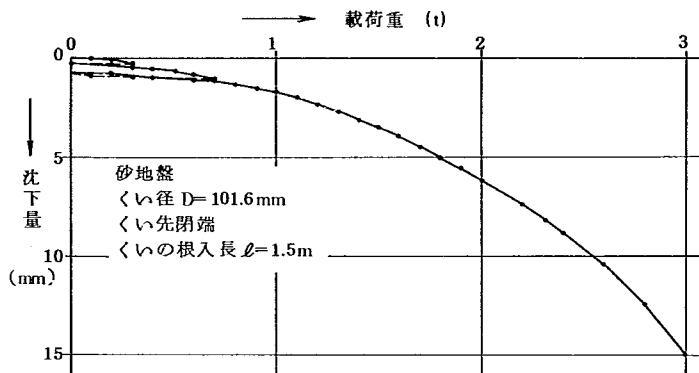


図-10.20(2) 荷重—沈下量曲線(2) (図-10.20(1)の拡大図)

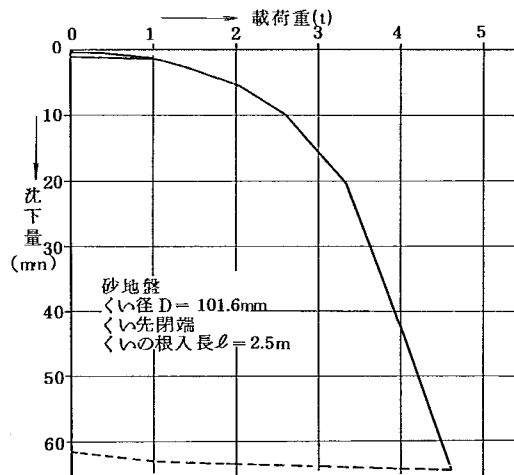


図-10.21(1) 荷重—沈下量曲線 (2)

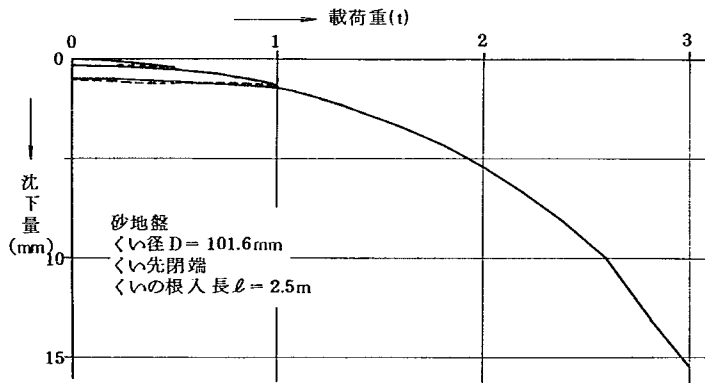


図-10.21(2) 荷重—沈下量曲線(2) (図-10.21(1)の拡大図)

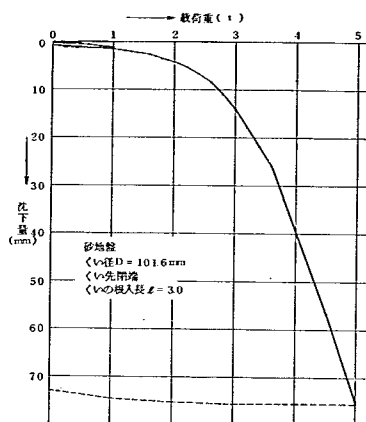


図 - 10.2.2(1) 荷重—沈下量曲線 ②

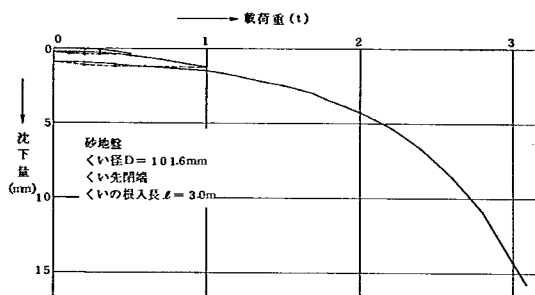


図 - 10.2.2(2) 荷重—沈下量曲線 ②
(図 - 10.2.2(1)の拡大図)

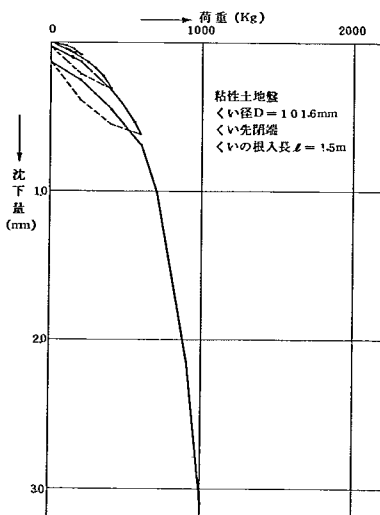


図 - 10.2.3 荷重—沈下量曲線③

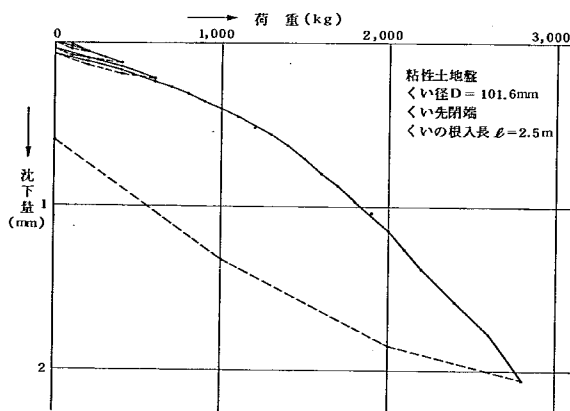


図 - 10.2.4 荷重—沈下量曲線 ④

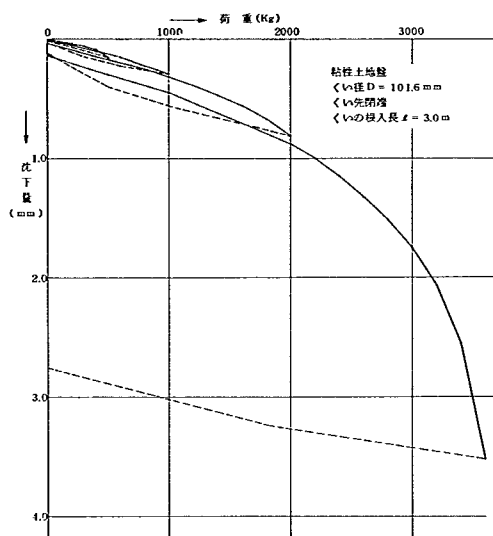


図-10.25 荷重—沈下量曲線 (例)

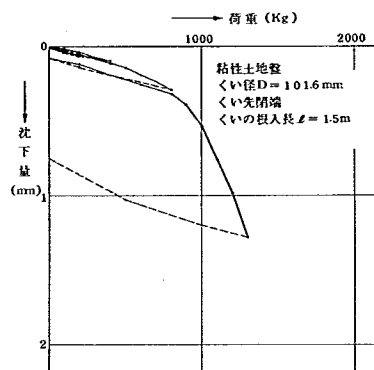


図-10.26 荷重—沈下量曲線 (例)

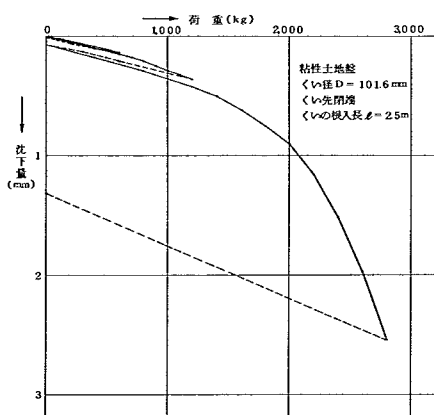


図-10.27 荷重—沈下量曲線 (例)

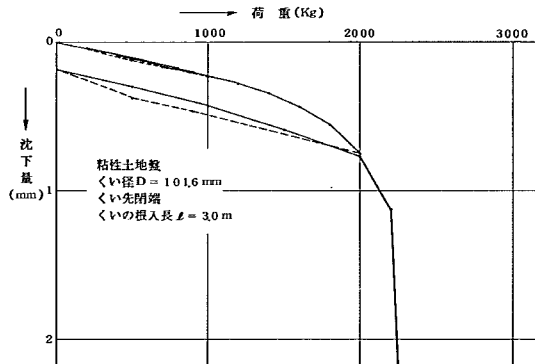


図-10.28 荷重—沈下量曲線 (例)

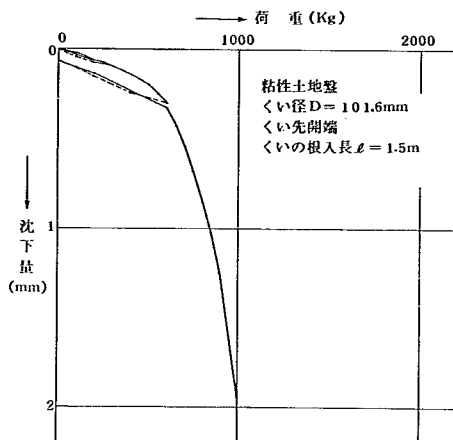


図-10.2.9 荷重—沈下量曲線 (2)

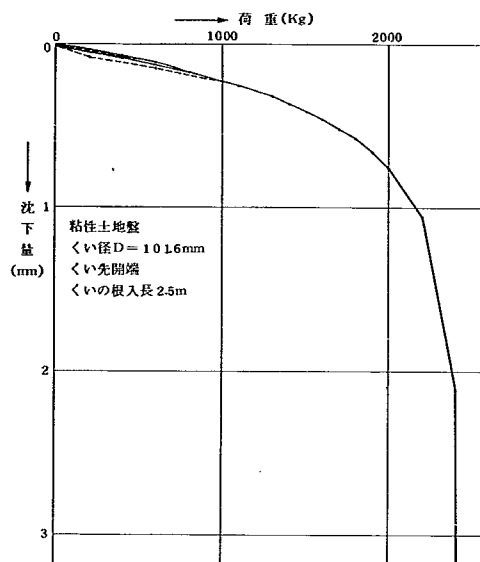


図-10.3.0 荷重—沈下量曲線 (3)

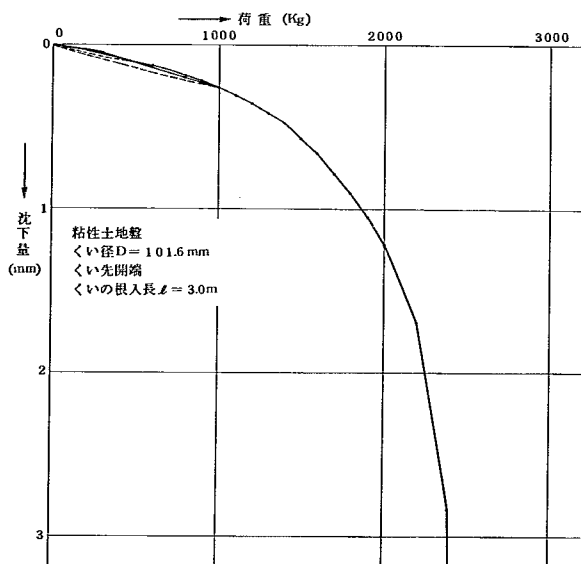


図-10.3.1 荷重—沈下量曲線 (3)

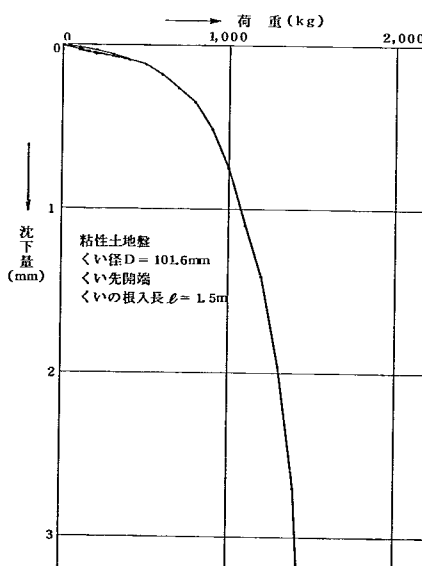


図-10.3.2 荷重—沈下量曲線 (2)

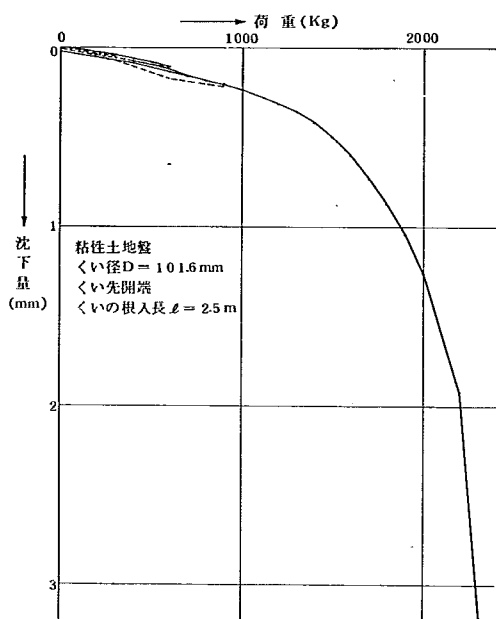


図-1.3.3 荷重—沈下量曲線 (3)

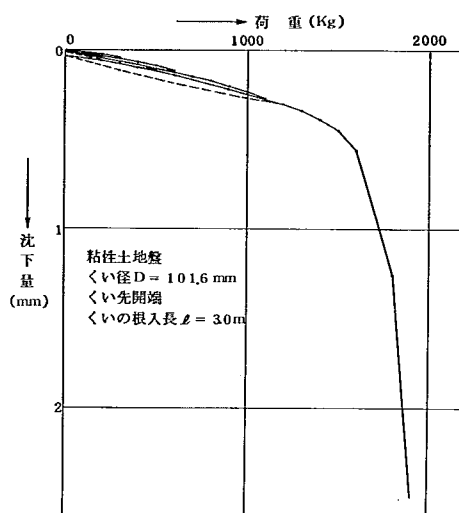


図-1.0.3.4 荷重—沈下量曲線 (4)

10.2 群ぐいの鉛直載荷試験における荷重—沈下量曲線

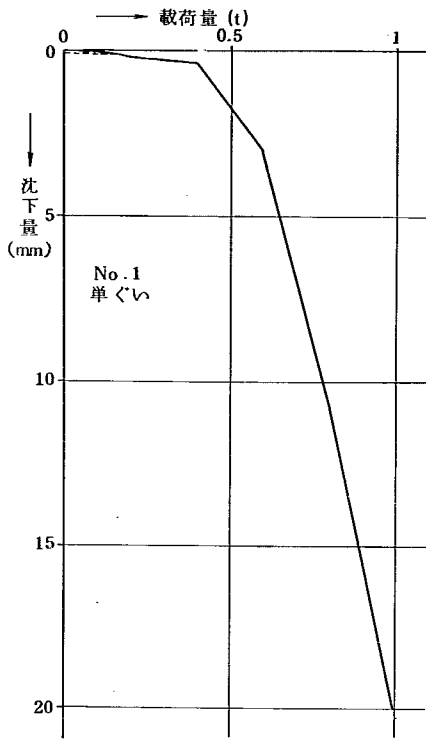


図-11.1 荷重—沈下量曲線(1)

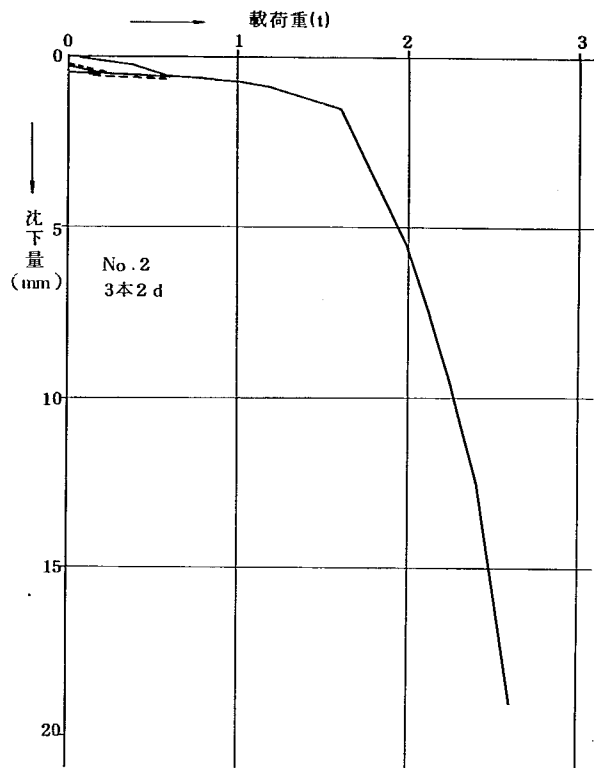


図-11.2 荷重—沈下量曲線(2)

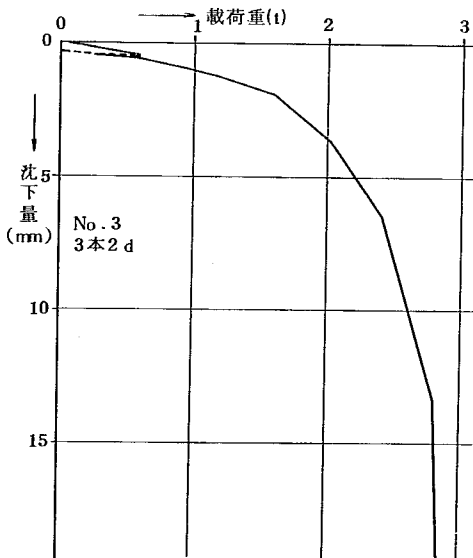


図-11.3 荷重—沈下量曲線(3)

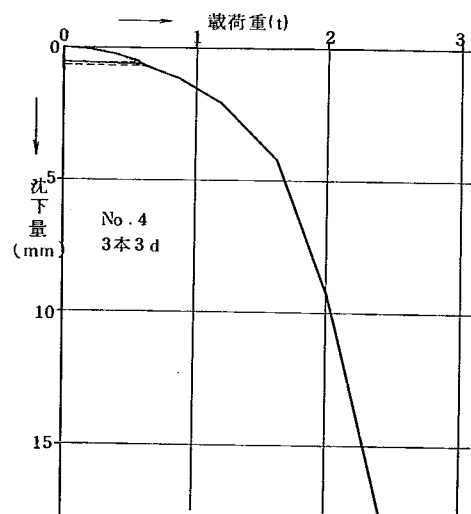


図-11.4 荷重—沈下量曲線(4)

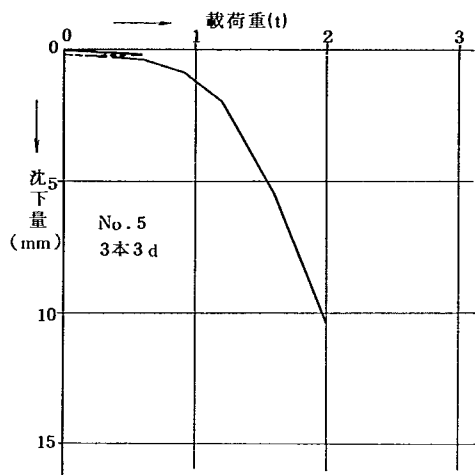


図-11.5 荷重—沈下量曲線(5)

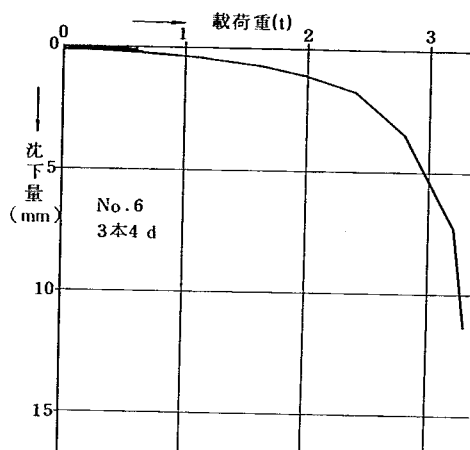


図-11.6 荷重—沈下量曲線(6)

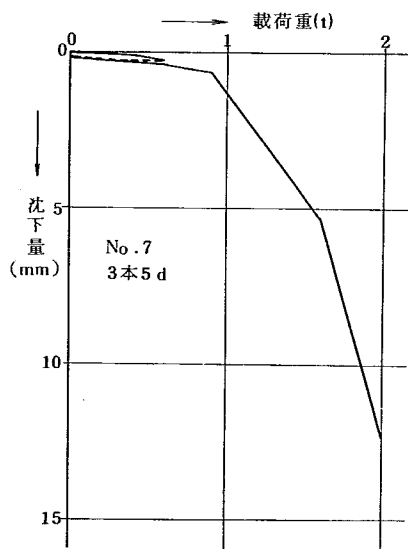


図-11.7 荷重—沈下量曲線(7)

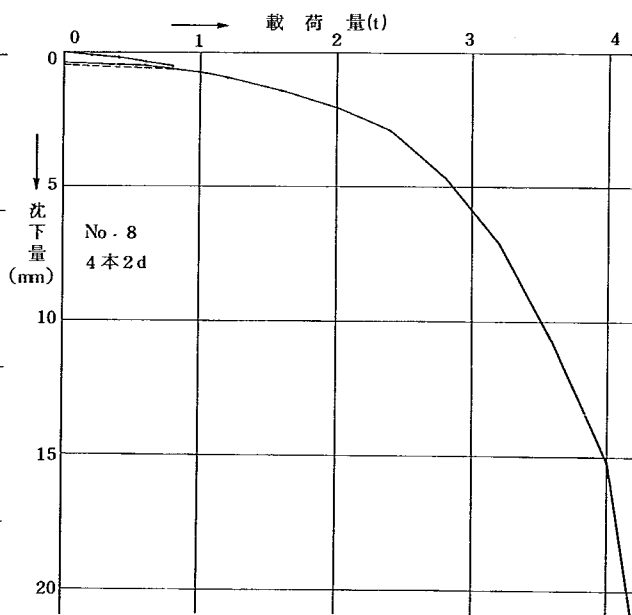


図-11.8 荷重—沈下量曲線(8)

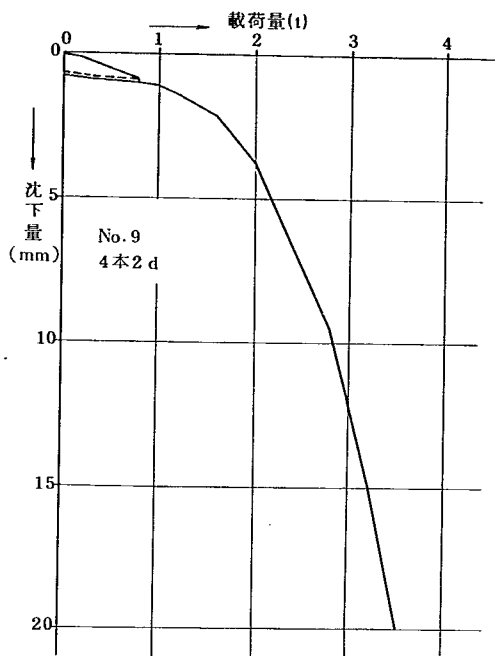


图-11.9 荷重—沈下量曲线(9)

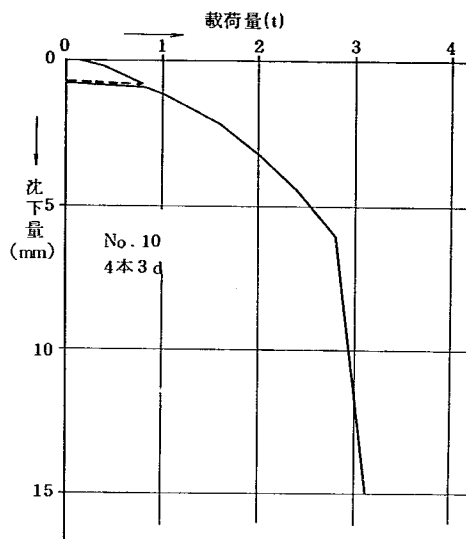


图-11.10 荷重—沈下量曲线(10)

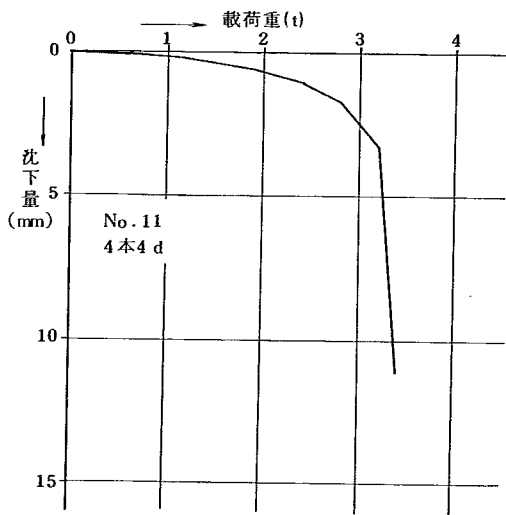


图-11.11 荷重—沈下量曲线(11)

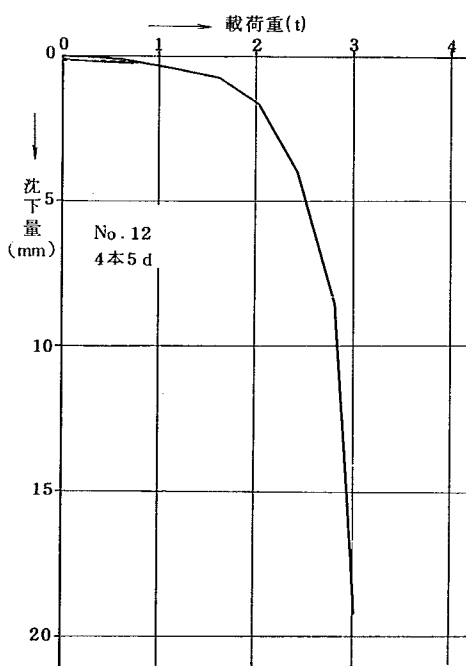


图-11.12 荷重—沈下量曲线(12)

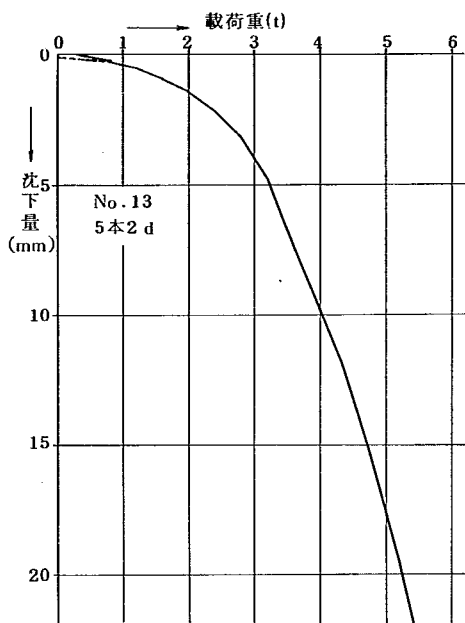


图- 11.13 荷重—沈下量曲线(3)

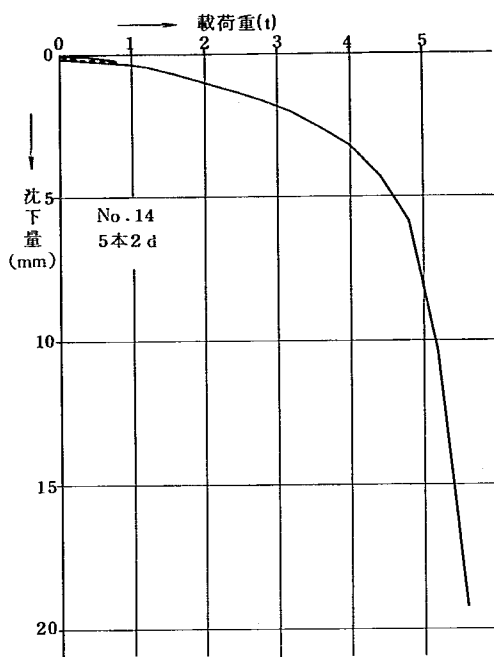


图- 11.14 荷重—沈下量曲线(4)

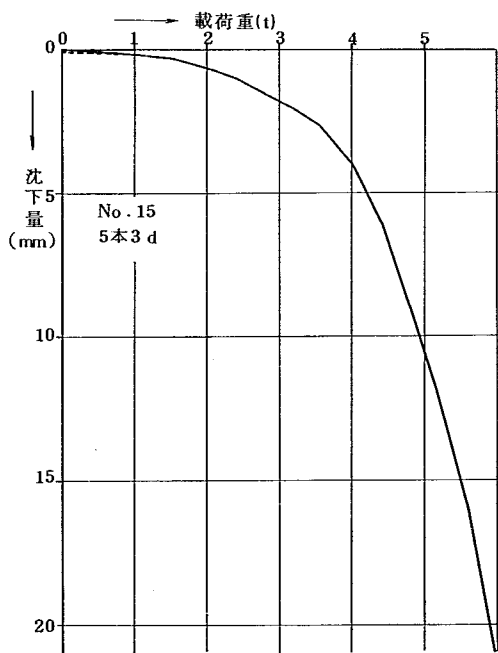


图- 11.15 荷重—沈下量曲线(5)

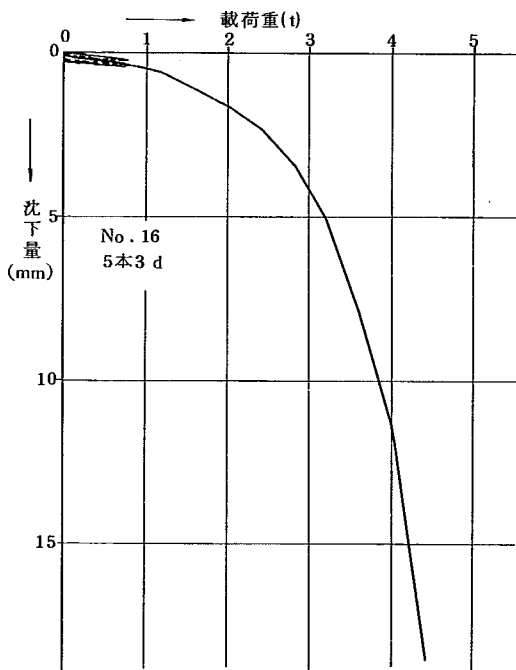


图- 11.16 荷重—沈下量曲线(6)

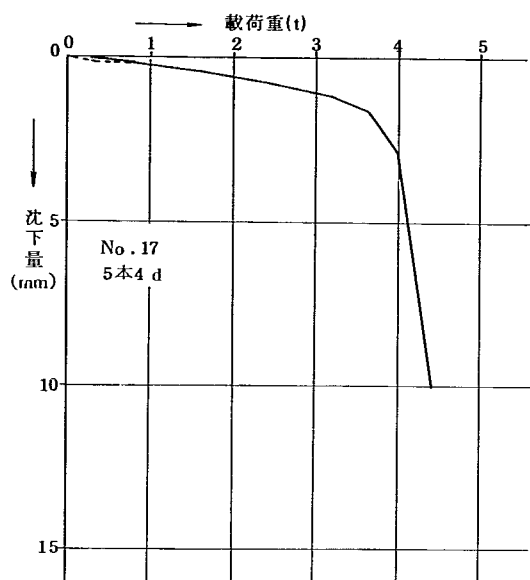


图-11.17 荷重—沈下量曲线(17)

10.3 鋼管ぐいの現場載荷試験結果

試 験 名	ぐいの寸法 外径(mm)×内厚(mm)	ぐいの 埋入長(m)	ぐい先端地盤 () はN値	ぐい先の 開 閉	載 荷 試 験 結 果										備 考	
摩擦杭打込試験 (堺) (No.164)	355.6×6.5	32.0	粘土(17~32)	開	荷 重(t)	50	100	150	200							
					沈下量(mm)	3.2	8.0	14.5	23.0							
摩擦杭打込試験 (堺) (No.165)	500.0×9.0	32.0	粘土(17~32)	開	荷 重(t)	50	100	150	200	250	300	350	400			
					沈下量(mm)	1.5	3.5	6.0	9.0	14.0	20.0	26.0	3.7			
山の下埠頭基礎杭 載荷試験(新潟) (No.134)	508.0×9.0	40.0	砂(14)	開	荷 重(t)	20	40	60	80	100						
					沈下量(mm)	2.0	3.0	4.0	5.0	36.0						
富山火力発電所 (No.145)	508.0×9.0	23.0	(26)	開	荷 重(t)	50	100	150	200	250						
					沈下量(mm)	1.0	2.3	4.6	8.0	40.0						
(No.120)	508.0×7.0	39.0		開	荷 重(t)	50	100	150								
					沈下量(mm)	7.0	16.0	42								
(No.128)	508.0×9.0	41.0		開	荷 重(t)	30	60	90	120							
					沈下量(mm)	0.5	1.2	3.0	4.7							
(No.125)	609.6×9.0	10.0		開	荷 重(t)	50	100	150	200	250	300					
					沈下量(mm)	1.0	1.0	3.0	5.0	6.8	10.1					
(No.148)	318.5×9.0	32.0		開	荷 重(t)	20	30	60	90							
					沈下量(mm)	1.4	4.0	15.0	50.0							
(No.116)	508.0×9.0	32.0		開	荷 重(t)	50	100	150	200							
					沈下量(mm)	3.0	6.0	9.5	13.5							
今里電々局事務棟 (大阪) (No. 59)	450.0×9.0	22.9	砂レキ(50以上)	開	荷 重(t)	60	120	180	240	300						
					沈下量(mm)	2.5	6.6	12.4	19.6	32.0						
王子運輸機 芝浦倉庫 (No. 55)	500.0×9.0	17.7	砂レキ(50以上)	開	荷 重(t)	100	200	300								
					沈下量(mm)	4.5	12.0	26.5								
関電尼崎火力発電 所 (No.166)	600.0×6.1	26.85	砂レキ(50以上)	開	荷 重(t)	50	100	150	200	250						
					沈下量(mm)	1.5	5.5	13.0	20.0	35.0						
鋼杭載荷試験 (尼崎製鉄) (No.153)	500.0×9.0	29.5	砂レキ(50以上)	開	荷 重(t)	50	100	150	200	250						
					沈下量(mm)	2.0	4.5	7.5	10.5	15.0						
(No.114)	609.6×9.0	38.5		開	荷 重(t)	60	120	180	240	300						
					沈下量(mm)	1.0	4.0	9.0	15.0	22.0						

鋼杭載荷試験(尼崎製鉄) (No. 154)	500.0×9.0	29.5	砂レキ(50以上)	開	荷 重(t)	100	200						
					沈下量(mm)	4.0	10.5						
鋼杭載荷試験(尼崎製鉄) (No. 94)	600.0×6.0	19.5	砂レキ(50以上)	開	荷 重(t)	50	100	150	200				
					沈下量(mm)	1.8	3.2	5.8	9.2				
(No. 51)	750.0×10.0	29.95		開	荷 重(t)	100	200	300	400				
					沈下量(mm)	2.4	5.0	9.0	14.0				
(No. 121)	508.0×9.0	33.20		開	荷 重(t)	50	100	150	200				
					沈下量(mm)	2.0	5.0	9.0	13.0				
(No. 23)	457.0×6.0	27.5		開	荷 重(t)	50	100	150					
					沈下量(mm)	3.6	9.0	16.0					
(No. 22)	410.0×8.0	29.0		開	荷 重(t)	50	100	150	200	250			
					沈下量(mm)	3.5	6.5	14.0	24.0	40.0			
(No. 155)	500.0×9.0	29.5		開	荷 重(t)	50	100	150	200				
					沈下量(mm)	1.8	3.8	7.0	12.0				
鋼杭載荷試験(尼崎製鉄) (No. 157)	500.0×9.0	28.3	砂レキ(50以上)	開	荷 重(t)	50	100	150	200	250	300		
					沈下量(mm)	1.0	3.6	6.0	9.6	13.2	18.0		
(No. 158)	500.0×9.0	28.3		開	荷 重(t)	50	100	150	200	250	300		
					沈下量(mm)	1.9	4.0	6.8	10.0	13.4	16.2		
(No. 81)	508.0×10.0	32.3		開	荷 重(t)	20	40	60	80	100			
					沈下量(mm)	0.4	0.9	1.5	2.1	2.8			
鋼管杭打試験(岐阜県羽島市) (No. 142)	508.0×12.0	39.0	砂レキ(50)	開	荷 重(t)	100	200	300	400				
					沈下量(mm)	3.5	9.5	17.5	32.5				
(No. 29)	508.0×12.0	26.5		開	荷 重(t)	50	100	150	200				
					沈下量(mm)	1.2	3.2	8.0	21.5				
第4高炉基礎(富士鉄空欄) (No. 32)	400.0×9.0	39.0	砂質土(40~50)	開	荷 重(t)	50	100	150	200				
					沈下量(mm)	2.0	5.0	10.0	18.0				
(No. 9)	609.6×9.0	28.5		開	荷 重(t)	50	100	150	200				
					沈下量(mm)	2.0	4.0	7.0	10.2				
(No. 57)	609.6×9.0	16.0		開	荷 重(t)	50	100	150	200	250			
					沈下量(mm)	0.5	2.0	4.0	8.0	15.0			

10.4 場所打ちぐいの現場載荷試験結果

試験名	くいの 種 別	くいの寸法 外径(mm)×内厚(mm)	くいの 根入長(m)	周 面 地 盤 () は N 値	先 端 地 盤 () は N 値	載 荷 試 験 結 果													備 考					
関西電力病院 新築工事	アースドリル	1000.0	18.95	粘土(2)×11m+砂質 粘土ローム(10)×5m+砂 (30~60以上)×3.5m	砂(30~60)	荷 重(t)	100	200	300	400	500													
						沈下量(mm)	0.58	1.75	3.00	10.3	26.5													
豊明高架橋下 部工(地名四 国道工事)	ベノト	1000.0	18.85	砂レキ(10~50)×7m+砂 粘土の互層(10~37)×5m +砂シルト,粘土の互層(10 ~18)×6m+砂(40)×2m	砂(40)	荷 重(t)	80	160	240	320														
						沈下量(mm)	4.0	11.4	24.2	44.1														
中国電力下松 火力発電所	ベノト	1000.0	14.85	シルト混り砂(30)×3m+砂 (15)×4.5m+粘土,砂(10) ×2.5m+レキ,砂(30~60以 上)	レキ混り砂 (60以上)	荷 重(t)	100	200	300	400	500													
						沈下量(mm)	1.82	6.31	11.50	24.89	31.70													
日本建築学会 論文報告集第 103号より	ベノト	1000.0	13.00	砂混り粘土(4)×2m 砂(70以上)×11m	砂(70以上)	荷 重(t)	100	200	300	400	500													
						沈下量(mm)	0.66	1.30	2.60	4.90	8.00													
三井生命本社 ビル	ベノト	1000.0	20.00	シルト(1~4)×11m+砂レ キ(50)×2m+粘土(10)× 5m+砂レキ(100以上)× 2m	砂レキ(100以上)	荷 重(t)	100	200	300	400	500	600	700											
						沈下量(mm)	0.50	1.14	2.50	4.05	5.65	7.65	10.46											
首都高1号線 119,121 工 区	カルウェルド アースドリル	600.0	13.00	砂(5~15)×2m+粘土(3 ~10)×6.5m+砂質シルト (5)×2.5m+砂レキ(10~50 ×2m+砂(40)	砂レキ(10~50) ×1.5m 砂(20)×2m 砂(40)×5m	荷 重(t)	60	120	135															
						沈下量(mm)	1.75	5.15	9.05															
首都高1号線 115 工区	カルウェルド アースドリル	1000.0	16.00	表土+砂質シルト(1)×4m +粘土(1~15)×6m+砂質 シルト(15)×3m+シルト質 ローム(10)×1m+砂レキ (30)×4m+土質	砂レキ(30)	荷 重(t)	100	150	200	250	300													
						沈下量(mm)	0.25	0.35	0.85	1.20	2.61													
パレスホテル	ベノト	980.0	20.0	シルト質粘土 砂混り粘土 粘土混り砂レキ	粘土混り砂レキ	荷 重(t)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000								
						沈下量(mm)	0.51	1.43	2.53	3.00	5.42	7.14	9.75	11.80	14.44	19.21								
日本長期信用 銀行	ベノト	980.0	20.0	パレスホテルと同	粘土混り砂レキ	荷 重(t)	600	100	200	300	400	500	600	1000	700	800	900	1000						
						沈下量(mm)	5.31	1.42	2.11	2.87	3.69	4.60	5.99	12.98	10.93	11.80	12.72	15.44						

試験名	くいの 種別	くいの寸法 外径(mm)×内厚(mm)	くいの 根入長(m)	周面地盤 () は N 値	先端地盤 () は N 値	載荷試験結果											備考
富士銀行 (向品)	ベノト	1000.0	33.0	表土1m+シルト(0~13) ×11m+細砂粘土(13~6) ×3m+砂レキ(50以上)	砂レキ(50以上) ×2m	荷重(t)	50	100	150	200	250	300	350	400			
						沈下量(mm)	0.45	1.08	1.73	2.54	3.33	4.16	5.45	6.75			
道路公園, 尼 崎工事 久々知地区	ベノト	970.0	6.50	粘土質中砂(5)×5m+砂レキ (50~15)×2m	砂レキ(50~15)	荷重(t)	50	100	150	200							
						沈下量(mm)	2.7	7.8	16.0	38.4							
道路公園, 尼 崎工事 園田地区	ベノト	970.0	12.0	シルト質粘土(5)×2m+粗砂 混り細砂(5~28)×4m+砂 混りシルト質粘土(0)×3m シルト質砂(5~20)×3m レキ混り粗砂(11)	レキ混り粗砂 (4~11)	荷重(t)	50	100	150	200							
						沈下量(mm)	0.36	1.81	2.75	4.87							
日本住宅公団 赤羽4丁目市 街地住宅	アースドリル	1000.0	10.0	細砂(10)×2.5m+細砂レキ 混り中砂(10~23)×4m+レ キ混り粗砂(20~30)×3.5m +砂レキ(30~40)	砂レキ(30~40)	荷重(t)	60	120	180	240	300	360	420	500			
						沈下量(mm)	0.42	0.85	1.35	1.94	2.99	4.78	7.27	12.54			
名鉄バスター ミナル	アースドリル	1200.0	11.0	砂(15)×5m+砂質ローム (10)×1.5m+砂レキ(60以 上)×5m以上	砂レキ(60以上)	荷重(t)	60	160	261	361	478	555	658	770			
						沈下量(mm)	0.07	2.00	2.92	5.59	7.99	11.53	17.31	26.90			
国鉄蒲田駅 本屋	アースドリル	1100.0	21.34	シルト質細砂(10)×6m+粘 土質砂レキ(20)×3m+細砂, 砂レキ(60)×5m+頁岩	頁岩(80以上)	荷重(t)	150	200	250	300	350	400	450	500			
						沈下量(mm)	0.72	1.18	1.86	2.93	3.95	5.21	6.43	8.15			
住友白台 アパート	アースドリル	700.0	13.0	砂レキ(70)×2m+砂(10~ 40)×6m+シルト(20~30) ×3.5m+砂レキ(80以上)	砂レキ(80以上)	荷重(t)	40	80	120	160	200	240	280	320	400		
						沈下量(mm)	0.19	0.37	0.58	0.87	0.96	1.31	1.43	1.61	2.00		
新幹線第1 若宮築道橋	リバース	1016.0	28.0	粘土+砂+粘土+砂	砂	荷重(t)	40	50	60	100	140	180	200	240	300		
						沈下量(mm)	0.12	0.23	0.31	0.58	0.90	1.01	1.36	1.79	2.40		
電々公社大阪 市外電話局	アースドリル	1000.0	17.70	シルト質細砂(3)×3m+中砂 (25)×5m+シルト, 砂質粘土 (4)×13m+シルト質砂(15) ×4m+砂, レキ混り粗砂(60 以上)	レキ混り粗砂 (60以上)	荷重(t)	120	240	360	440	460						
						沈下量(mm)	1.69	4.38	16.27	66.05	77.74						
上記と同	アースドリル	1000.0	17.30	上記と同	レキ混り粗砂 (40~60以上)	荷重(t)	120	240	360	420							
						沈下量(mm)	1.95	4.65	30.19	84.74							
上記と同	アースドリル	1000.0	18.60	上記と同	レキ混り粗砂 (50~60)	荷重(t)	120	240	360	480	560						
						沈下量(mm)	1.49	3.04	6.93	9.29	37.66						

小津ビル (日本橋本町)	アースドリル	700.0	21.10	レキ+シルト質粘土(3)×2m +粘土混り細砂(4)×4m+シル ト質粘土(4)×3m+粘土 細砂(6~35)×9m+砂レキ (60以上)	砂レキ(60以上)	荷重(t)	50	100	150	200	250	300		
						沈下量(mm)	03	0.7	1.15	1.80	2.75	3.90		
東京電力病院	アースドリル	1000.0	18.00	盛土2m+ローム, 粘土(5~ 8)×8m+細砂, 粘土(30~ 2)×4m+腐蝕土(2~5)× 3m+細砂+砂レキ(50)	細砂(45)	荷重(t)	150	200	250	300	350	400		
						沈下量(mm)	1.4	2.4	4.0	5.7	7.4	9.2		
上記と同	アースドリル	600.0	18.00	上記と同	細砂(45)	荷重(t)	40	80	120	160	180			
						沈下量(mm)	0.3	1.2	2.5	6.9	12.1			
首都高4号線 414, 415 工区	カルウェルド アースドリル	1000.0	16.50	ローム(4)×4m+ローム質シ ルト(7)×8m+砂(7~30) ×6m+砂レキ(100)	砂(20~100)	荷重(t)	50	100	150	200	250	300	350	400
						沈下量(mm)	0.2	0.4	0.7	1.0	1.35	1.7	2.05	2.6
国鉄, 中央線 中野~ 高円寺間	ウイルアムズ デッガー	1000.0	12.00	粘土+ローム(5)×4m+粘土 シルト(5)×5m+砂レキ (25)×1m+砂(60)×1m	砂(60)×1m+砂レ キ, シルト(60~ 12)×2m レキ, 砂レキ(110以上)	荷重(t)	100	200	250	290				
						沈下量(mm)	2.0	6.5	14.5	29.1				
上記と同	ウイルアムズ デッガー	1000.0	12.00	上記と同	上記と同	荷重(t)	100	200	300	400				
						沈下量(mm)	1.5	2.8	17.5	67.3				
若竹跨線橋工 事(道々小樽 港線)	アースドリル	1000.0	15.0	砂, 粘土(40~15)×1.5m+ 凝灰岩(7~12)×14m	凝灰岩(15)	荷重(t)	50	100	200	300	400	500		
						沈下量(mm)	0.44	0.83	1.67	2.55	3.37	4.58		
近畿高速道路 大阪線炭栖工事	ベノト	1000.0	7.00	粘土, レキ混り中砂(0~20) ×4m+砂レキ(50)×4m+ 粘土(10)	砂レキ(50)	荷重(t)	100	200	300	400	500	600		
						沈下量(mm)	0.8	2.2	4.5	7.1	10.2	14.7		
神戸高架橋 (関東地建)	ベノト	1000.0	20.0	中砂(5~15)×6.5m+シル ト質粘土(2)×10.5m+中砂 (7~20)×3m+砂質シル (3)	中砂(18)	荷重(t)	20	40	60	80	120	190	240	
						沈下量(mm)	0.53	0.74	0.87	0.94	1.9	4.3	8.3	

11. 参 考 文 献

- 1) 松下清夫, 岸田英明; 摩擦抗の支持力推定に関する研究, 日本建築学会論文報告集 66号 昭和35年10月
- 2) 山原浩; 鋼管ぐいの閉そく効果と支持力機構(その1, その2), 日本建築学会論文報告集 96号 昭和39年3月
- 3) 石堂稔; 砂と杭材との周面摩擦係数について 第24回土木学会年次学術講演会 昭和44年
- 4) 村山朔郎, 柴田英明; 粘土中の摩擦ぐいの支持力とその新測定法, 土木学会論文集 第59号 昭和33年11月
- 5) Mindlin R.D.; Force at a point in the Interior of a Semi Infinite Solid. Physics Vol 7 No.5 1936
- 6) 村山朔郎, 谷本喜一; 摩擦ぐい支持力の静力学的解析, 土木学会誌 Vol 39 No.7 昭和29年7月
- 7) 西田義親, 射場正和, 中川誠志; 摩擦ぐい周面の地盤の応力の一計算式 土木学会論文集 第137号 昭和42年1月
- 8) Seed, H.B. and Reese L.C; The action of soft clay along Friction Pile. Transaction of A.S.C.E Vol 1957
- 9) 佐藤悟; 基礎抗の支持力機構(1)~(5), 土木技術 Vol 20 No.1~5 昭和40年1月~5月
- 10) 横尾義貴, 山肩邦男, 長岡弘明; 摩擦ぐいの荷重—沈下曲線に関する理論的考察 日本建築学会論文報告集 第117号 昭和40年11月
- 11) Nair K; Load Settlement and Load Transfer. Characteristics of a Friction Pile subject to a Vertical Load, III C.P.M.S.I.F.
- 12) Coyle, H.M. and Reese L.C; Load Transfer for Axially Loaded Piles in clay Proc of A.S.C.E, SM, Vol No.2 1966