

運輸省港湾技術研究所

= 2-2 コレクション

# 港湾技術研究所 報告

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

資料係  
文献複写  
禁持出

VOL. 10

10

NO. 3

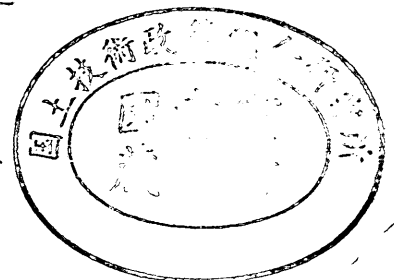
3

SEPT. 1971

MAR.

1971

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。  
報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第10巻 第3号 (Vol. 10, No. 3), 1971年9月 (Sept. 1971)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 来島海峡潮流模型実験 (第1報)  
..... 木村久雄・宮原英治・須藤 茂  
柴山煒彦・浜田徳一..... 3  
(A Model Experiment on a Tidal Current at the Kurushima Strait (1st Report)  
..... Hisao KIMURA, Hideharu MIYAHARA, Shigeru SUDO, Akihiko  
SHIBAYAMA and Tokuichi HAMADA)
2. クイの負の周面摩擦についての近似計算法..... 沢口正俊..... 67  
(Approximate Calculation of Negative Skin Friction of a Pile  
..... Masatoshi SAWAGUCHI)
3. 砂質土の現場 CBR と室内 CBR の関係  
..... 須田 澁・佐藤勝久・吉田富雄..... 89  
(The Relations between Field and Laboratory CBR Values of Sandy Soils  
..... Hiroshi SUDA, Katsuhisa SATO and Tomio YOSHIDA)
4. 砂杭を打設した粘性土地盤の挙動  
——衣浦港における実験について——..... 木庭宏美・堀江宏保.....135  
(Behavior of Cohesive Soil Stratum with Driven Sand Piles  
—On the field tests at Port of KINUURA—  
..... Hiromi KOBAYASHI and Hiroyasu HORIE)
5. コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察  
..... 奥山育英・中井典倫子・久保重美.....159  
(Study on Determination of Container Yard Requirements and Container Handling  
System..... Yasuhide OKUYAMA, Noriko NAKAI and Shigemi KUBO)
6. 浚渫土質と掘削機構に関する研究 (第1報) ..... 岩田尚生.....237  
(Study on the Soil to be Dredged and the Mechanism of an Excavation (The first  
report) ..... Hisao IWATA)
7. 超音波斜入射が測深精度と反響記録特性に及ぼす影響について  
..... 木原純孝・奥出 律.....265  
(Study on Echo-Sounder—Effect of Oblique-Incident Ultrasonic wave on Echo-  
Sounding precision and Echo-Recording Characteristics—  
..... Sumitaka KIHARA and Tadasu OKUDE)

## 2. クイの負の周面摩擦についての近似計算法

沢 口 正 俊\*

### 要 旨

クイの一部分に作用する力のつり合いから導きだされる

$$A \frac{d\sigma_z}{dz} = \phi \bar{f}$$

の基本式を解くことによって、ネガティブフリクションを受けるクイに発生する圧縮応力が求められる。ただし、この場合、クイと周辺地盤との間の付着力と相対変位とが、ある関係で表わされることを前提とする。このようにして求めた圧縮応力の一般式から、クイの中立点の深さ、最大圧縮応力、およびクイの頭部と先端での沈下量を求める諸式が誘導されうる。

クイ頭部に働らく荷重に抵抗して発生する初期の周面摩擦分布と、クイの周辺地盤の沈下分布が深さに対する関係として、

$$\rho_0 = \text{一定} \quad \text{と} \quad \rho_1 = \frac{\rho_s}{L} z$$

を仮定することによって、これらの諸式が実際的なものになりうることを示し、図表化し実用に便利なものとした。ただし図表化したものは  $W=0$  の場合のみである。

最後に、このようにして求められた諸式を使って、現場実験で得られた結果を検討したが、その結果、ある値については比較的良く一致したが、ある値はかなりかけ離れていた。この原因は幾つか考えられるが、最も大きな原因は数式中の定数の扱ひ方によるものと思われる。

---

\* 土質部 基礎工研究室長

## 2. Approximate Calculation of Negative Skin Friction of a Pile

Masatoshi SAWAGUCHI\*

### Synopsis

Solving the basic equation

$$A \frac{d\sigma_z}{dz} = \phi \bar{f}$$

which can be derived from the equilibrium of forces acting on an element of pile, compressive stress in a pile subjected to negative skin friction can be expressed in a general equation by assuming a certain relationship between skin friction and relative displacement of the surrounding soil. It can also give the depth of neutral point, maximum compressive stress and settlement of the top and the tip of a pile. If an initial skin friction resisting a load acting on the pile top and a subsidence of the surrounding soil are related to a depth, these result in practical expressions; in this paper, the case of

$$\rho_0 = \text{const. and } \rho_1 = \frac{\rho_s}{L} z$$

is demonstrated. Finally numerical examination on the formulae thus obtained is carried out with the use of the measurements of a field experiment. As a result, satisfactory agreement has been found except on a few results. It seems that the disagreement is mainly due to erroneous selection of the constants in the formulae.

---

\* Chief of Foundation Laboratory, Soils Division

## 目 次

要 旨 .....	67
1. ま え が き .....	71
2. 一 般 式 .....	72
a) 第一の關係を用いた一般式 .....	74
b) 第二の關係を用いた一般式 .....	74
3. 2つの極端な状態での一般式 .....	75
a) 第一の關係で表わせる場合 .....	76
b) 第二の關係で表わせる場合 .....	76
4. $\rho_0$ と $\rho_1$ の近似式 .....	76
5. 実 用 諸 式 .....	76
a) 第一の關係 .....	76
b) 第二の關係 .....	77
6. 数 値 的 検 討 .....	77
7. あ と が き .....	79
参 考 文 献 .....	79
付録—1 $f$ と $\rho_1$ との理論的關係についての一試案 .....	80
付録—2 実用諸式のグラフ化 .....	81
a) 第一の關係 .....	81
b) 第二の關係 .....	82
付録—3 グラフを使った計算例 .....	84
付録—4 地表面沈下量を求める影響図 .....	85
付録—5 記 号 表 .....	86

### 1. まえがき

沈下を生ずるような地盤，例えば圧縮性のある地盤あるいはそのような地盤の上にある層の中にクイ基礎がある場合，クイは周辺の地盤の沈下に伴って，下向きの負の周面摩擦，いわゆるネガティブフリクションを受ける。この結果，クイ体中に過度の圧縮応力が発生し，クイ体が圧縮破壊を起こしたり，また過度のクイ頭の沈下をひき起こして，上部構造物に機能的あるいは構造的障害を与える危険がある。

クイの負の周面摩擦に関する研究および設計法は，現在までいくつかの刊行物に発表されているが，まだ確立された定量論と，発生機構の解明が得られていない状態である<sup>1)</sup>。これらの諸論のうち現在のところ，最も信ぴょう性のあると思われる考察は J. Ahu (1960) によって行われたもので，彼は中立点位置の決定法と，その結果得られる最大圧縮力とクイ頭の沈下量などを図式的に求める方法を提案している。以下，J. Ahu の考察の概略を述べよう<sup>2)</sup>。

クイが打込まれて上部構造物が建築された時点では，クイの周面摩擦は上向きに働いている。つまり正の周面摩擦と呼ばれるものである。ところが，その後クイの周辺の地盤が何らかの原因で沈下し始めると，地表面近くから次第に負の周面摩擦が発生しはじめる。この正と負の周面摩擦の境を中立点 (Neutral point または Velocity-pile point) という<sup>3)</sup>。いまクイ頭に作用する荷重と浮力を差引いたクイの自重 (一般にはこのクイの自重は無視される) との和を  $W$ ，負の周面摩擦力 (周面摩擦の総和) を  $F_N$ ，正の周面摩擦力を  $F_P$ ，クイの先端支持力を  $Q_P$  とすると，

$$W + F_N = F_P + Q_P \quad (1)$$

であらわれる。図-1 (a) において縦軸にクイ頭よりの深さ，横軸に沈下量をとると，地盤の沈下量分布は実線  $S_e$  のように示される。この沈下量分布は本来の地盤の圧密沈下量分布に加えて，負の摩擦力と正の摩擦力によって受ける地盤中に発生する応力による圧密沈下量分布をも含んでいる。また  $S_P'$  直線はクイの全体的な移動量で，いわゆるクイ先端の貫入量である。また， $S_P$  直線はこのクイ先端の貫入量に加えることの，クイの弾性圧縮沈下量で，この弾性圧縮沈下量だけを取り出してみると，深さ方向に直線的に減少して，クイ先端で零になる。

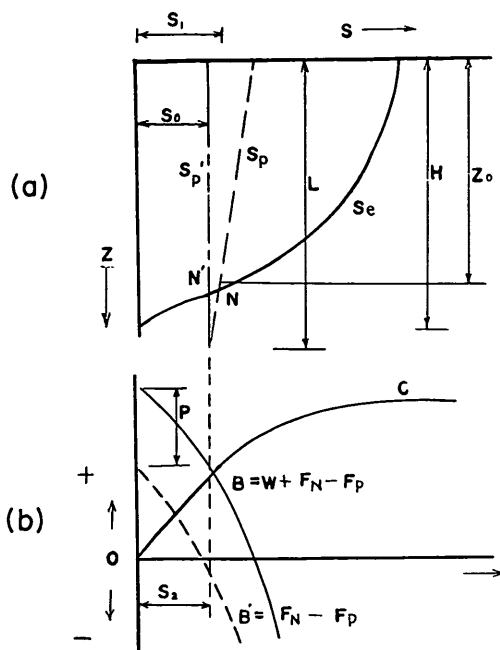


図-1 (a) 深さに対する沈下量分布，(b) クイ先端伝達荷重と沈下量との関係 (J. Ahu による)

沈下量分布曲線と  $S_P'$  直線との交点  $N$  がクイと周辺地盤の相対変位零の位置となって，いわゆる中立点の位置になるが，近似的には沈下量分布曲線と  $S_P'$  直線の交点  $N'$  を中立点として考えてもよい。さて，図-1 (b) はクイ先端伝達荷重を縦軸に，クイ先端の沈下量を横軸に取ったもので， $C$  曲線は実測曲線である。これは厳密には二重管式貫入試験などで測定されるべきものであろうが，近似的には一般に行なわれるクイの鉛直載荷試験で得られる荷重-沈下量曲線を利用することができる。一方  $B$  曲線は  $S_P'$  直線を零からずらしていったときの中立点の位置から求まる  $F_N$  と  $F_P$  の値から

$$B = W + F_N - F_P \quad (2)$$

で計算した値を縦軸にとって試行的にプロットした曲線である。この場合，正と負の周面摩擦は深さに対して一様な値をとるものと仮定する。このようにして得られた  $B$  曲線と  $C$  曲線の交点の位置が，そのときの正しいクイ先端の貫入量 (横座標) と  $N'$  の位置 (図-1(a) において対応する  $N'$  の深さ) が求められる。図-1(b) における点線は  $W=0$ ，つまり上部構造物がない場合である。またさらに厳密に計算する場合には，クイの弾性圧縮沈

下量も考慮するために、 $S_P'$  直線の代わりに  $S_P$  直線を使用する。この際、 $S_P$  直線の位置は試行的に求めなければならない。

以上の考察が最も原理的な考え方であるが、難点としては、図式的試行方式を取らねばならない点と部分的載荷重による圧密沈下を、どのように算定にとり入れるかということであろう。

なお、この考察以外に針生 (1956), Habib (1960), 山肩とその他 (1967), 白石 (1956), 別所 (1961) らが、クイの周辺地盤のセン断弾性変形、あるいは土の粘弾性特性に基づいて、負の周辺摩擦に関する研究を行っているが、これらは周辺地盤の沈下と負の周辺摩擦の大きさとの関連を追求したものである。また、Bjerrum (1965) は有効応力の表現を用いた式で、地盤のセン断特性に基づいた推定方法を提案している。これらの詳細については文献 1) を参照されたい。

現在、港湾構造物設計基準の中に採用されている推定方法は、沈下を生ずる危険性のある地層にクイを打込んだときには、負の周辺摩擦としてクイに対し、下向きに最大周辺摩擦力が地表面からクイ先端まで、クイ全長にわたって働らくものとして計算することを規定している<sup>7)</sup>。ただし、実際にはこの方法で求まる値の 1/2~1/3 程度であろうといわれている。この規定のしかたでは、圧縮を起こす地層の位置や、周辺地盤の沈下に伴って変化するクイ体中の応力、クイの沈下量などが求められない。特に問題なのは負の周辺摩擦を考慮しなければならないものは支持グイのみと規定しているが、摩擦グイについても考慮する必要がある。何故ならば、摩擦グイでもクイの下部分に比べて上部の地盤の沈下量が大きい場合—一般に地盤のヒズミが深さ方向に一定であれば、沈下量分布は深さとともに小さくなる—には、クイと周辺地盤との相対変位は上方の部分で負になりうる—ここで負の相対変位とは、クイに比較して周辺地盤が先に沈下する。したがって負の周辺摩擦をクイに与える—ことが当然考えられるし、また、そのような事例が実際にみられる<sup>8)</sup>。この場合、当然下部の正の周辺摩擦は増加しなければクイの力学的つり合いは保たれない。その結果、中立点に発生する圧縮応力、つまり最大圧縮応力は増加することが考えられる。同時に、支持グイに比べて負の周辺摩擦によるクイ頭の沈下量は支持グイに比べて著しく、もし、このクイの沈下が有害な結果をもたらす場合には、充分考慮すべき性質のものであると考えられる。

## 2. 一般式

まえがきで述べたように、負の周辺摩擦を受けるクイの応力状態および沈下を、周辺地盤の土質条件に加えて沈下の進行状況とともに、どのように変化して行くか、つまり、原理的には最も信ぴょう性があると思われる J. Ahu の考察を、ある仮定のもとで数式化してゆくことがこの報告の目的である。

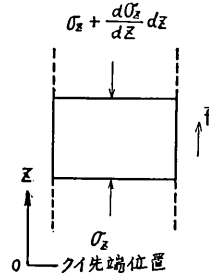


図-2 クイの微少部分に働らく力

図-2 のように、クイ軸に沿ってクイ先端を原点として上向きに  $z$  軸と取り、ある位置  $z$  でのクイの微少部分に働らく力のつり合いを考えると、

$$A \frac{d\sigma_z}{dz} = \phi \bar{f} \quad (3)$$

ここに、 $A$ : クイの純断面積

$\sigma_z$ : クイの圧縮応力

$\phi$ : クイの周長

$\bar{f}$ : 全周辺摩擦 (上の方向を正とする)

が得られる。この式については、Seed & Reese が求めたクイの圧縮応力に関する基本式と同じものである<sup>9)</sup>。この式で  $\bar{f}$  はクイ頭部に働らく荷重を受けて生じる初期の周辺摩擦  $f_0$  と、クイの周辺地盤の沈下によって生じる過剰周辺摩擦  $f$  との差として、

$$\bar{f} = f_0 - f \quad (4)$$

で表わされる。この式の中の  $f_0$  は座標  $z$  の関数として与えられることが、やはり Seed & Reese の基本式を使って求めた数式によって明らかである<sup>9)</sup>。また、 $f$  はクイとその周辺地盤との相対変位との関係で示される。ところで、式(3)と式(4)の基本式に基づいて、負の周辺摩擦を受けるクイの圧縮応力および沈下量を求める計算式を誘導する上で、つぎのようないくつかの仮定を設ける必要がある。これらは、いずれも従来利用されてきたことがらであるか、あるいは常識的に認容されうるこ



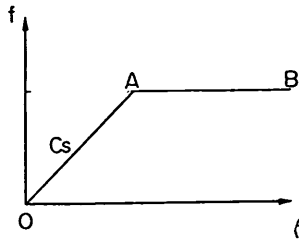


図-3 相対変位と周面摩擦との弾塑的關係

とであると思われる。

仮定

- 1) クイとその周辺地盤との間の相対変位と、周面摩擦との間に、図-3 に示すようなせん断特性がある。つまり、この関係は弾塑性的なものである。
- 2) クイ先端における沈下量と地盤反力は線型関係であらわされる。
- 3) 地盤の沈下量分布は深さに対して直線的に変化する。
- 4) クイの弾性圧縮沈下量は、最初の計算では無視されるが、もし、より厳密な解を得るためには試行的計算を行なうものとする。
- 5) 図-3 であらはした弾塑性的関係の中の定数は深さに対して一定である。
- 6) クイは同一断面を有するが、クイ先端で受ける地盤反力は開放端の場合でも完全閉塞状態となって、閉鎖面積から伝えられる。

まず、1) 2) および 5) は文献 7) にも見られるように実際の土のせん断特性および圧縮特性を、線型あるいは図-3 に見られるような二直線関係で置き換えることは、一般にある程度認容されることがらである。3) についてはこの報告特有な仮定であるが、もし、実際に近い沈下分布で計算しようとする場合には、後に示す一般表現式の中に、例えば Terzaghi の圧密理論で求まる理論式を代入して数値計算を行なえばよい。しかし、表題にも断ったとおり、ここに示す諸式は、いわゆる近似式であり、また、厳密理論を運用したところで、どの程度意義があるかどうか不明であるので、ここでは 3) のような仮定のもとで、実用に供しうる数式を与えた。また、図-4 は後に述べる鋼クイ委員会(土質工学会)で行なわれた沈下分布の測定結果であるが、その中に著者が参考のために書き込んだ直線分布と比較してもわかるように、実際の地盤の沈下分布が近似的に直線分布に置き換えられることも、実用上の立場から認容されうるものである。

つぎに仮定の 4) に対しては、J. Ahu が試みた考察においてもとられた措置で、この点の取扱い方はやむをえないものとする。6) についてはクイ先端地盤から伝達される反力は、全てクイ先端の実質的な面積だけをとることは、かえって不合理であって、地盤からの反力は当然クイの閉塞土から伝えられるものとする方が正しい。ただし、クイの断面寸法が大きい場合には、この閉塞効果そのものについての問題が残されよう。

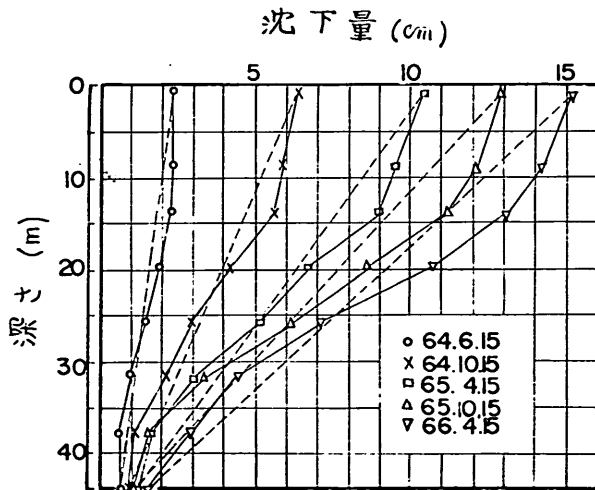


図-4 地盤の沈下量分布の実測結果(鋼クイ研究委員会報告による)  
(注) 図中の直線は著者が記入したものである。

さて、地盤の沈下量が比較的小さい場合、例えば圧縮を起こしうる層が薄すいときなどでは、クイと周辺地盤との相対変位が弾性領域内にとどまることが考えられる。つまり、図-4においてOAの範囲にある場合である。もう一つの場合は、沈下量が大きくなって相対変位が弾性領域を超過して、その一部が塑性領域—主として相対変位の大きいクイの上部分—に入った状態にある場合である。以下、2つの場合について検討しよう。

a) 第一の関係をを用いた一般式

この関係は

$$f = C_s \rho \quad (5)$$

で表わすことができる。ここに  $C_s$  は定数ですべり係数と呼ばれるものである。 $\rho$  はクイと周辺地盤との相対変位で、式(5)を式(4)に代入し、さらに式(3)に代入すると、

$$A \frac{d\sigma_z}{dz} = \psi C_s (\rho_0 - \rho) \quad (6)$$

が得られる。ここに、 $\rho_0 = f_0 / C_s$  である。 $\rho$  はクイの周辺地盤の沈下量  $\rho_1$ 、負の周面摩擦によるクイの弾性圧縮沈下量  $\rho_2$ 、およびクイ先端貫入量  $\rho_3$  とからなり、

$$\rho = \rho_1 - \rho_2 - \rho_3 \quad (7)$$

で表わされる。これらの数量のうち  $\rho_2$  は他の  $\rho_1$ 、 $\rho_3$  に比べて、一時的に無視できるものと仮定し、また、 $\rho_3$  はクイ全長にわたって一定である。

式(7)を式(6)に代入した後、クイ頭部の  $\sigma_z$  は上部構造物から受ける荷重強度そのものに等しいという境界条件のもとで、式(6)を積分すれば、クイの圧縮応力に関する一般式

$$\sigma_z = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_L^z \rho_0 dz - \int_L^z \rho_1 dz + \rho_3(z-L) \right\} + \frac{W}{A} \quad (8)$$

が得られる。ここに、 $L$  はクイの根入長さであり、 $W$  はクイにかかる上部構造物の作用力である。この式を用いれば、クイ先端の圧縮応力  $\sigma_{z0}$  は容易に求まる。

$$\sigma_{z0} = \frac{\psi C_s}{A} \left( \int_L^0 \rho_0 dz - \int_L^0 \rho_1 dz - \rho_3 L \right) + \frac{W}{A} \quad (9)$$

この圧縮応力のうち、周辺地盤の沈下によって生ずる過剰圧縮応力は

$$\bar{\sigma}_{z0} = \frac{\psi C_s}{A} \left( \int_0^L \rho_1 dz - \rho_3 L \right) \quad (10)$$

であり、この過剰圧縮応力によってクイ先端の地盤への貫入量  $\rho_3$  が生ずる。

クイが例えば円管のように中空である場合には、クイ先端から地盤に伝わる力は、クイの直径があまり大きい

ものでない限り、 $A\bar{\sigma}_{z0}/A'$  まで減少する。ここに、 $A'$  はクイの閉鎖面積である。したがって、閉鎖面積の単位面積当りの荷重と、クイ先端の地盤への貫入量が、線型関係で結ばれるものと仮定すれば、

$$\rho_3 = \frac{A\bar{\sigma}_{z0}}{A'k} \quad (11)$$

である。ここに、 $k$  は地盤反力係数である。

式(11)の中に式(10)を代入すれば、

$$\rho_3 = \frac{\psi C_s}{A'k + \psi C_s L} \int_0^L \rho_1 dz \quad (12)$$

が求められる。この式を式(8)に戻すと、任意のクイの位置での圧縮応力は、つぎの表現に示されるように、 $\rho_0$  と  $\rho_1$  のみによって与えられる。

$$\sigma_z = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_L^z \rho_0 dz - \int_L^z \rho_1 dz + \frac{\psi C_s(z-L)}{A'k + \psi C_s L} \int_0^L \rho_1 dz \right\} + \frac{W}{A} \quad (13)$$

また、過剰圧縮応力は

$$\bar{\sigma}_z = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_L^z \rho_1 dz + \frac{\psi C_s(z-L)}{A'k + \psi C_s L} \int_0^L \rho_1 dz \right\} \quad (14)$$

したがって、最初に無視した  $\rho_2$  の値は式(14)を使って、

$$\rho_2 = \frac{\psi C_s}{AE} \left\{ \int_0^z \int_z^L \rho_1 dz dz + \frac{\psi C_s z(z-2L)}{2(A'k + \psi C_s L)} \int_0^L \rho_1 dz \right\} \quad (15)$$

のように表わされる。ここに、 $E$  はクイのヤング係数である。この  $\rho_2$  を式(7)に代入して、上に述べた同じ計算を繰返せば、より正確な結果が求められる。周辺地盤の沈下によるクイ頭の沈下量は、式(15)の  $z$  に  $L$  を代入した、いわゆるクイの全弾性圧縮量に、式(12)で求まる  $\rho_3$  を加算することによって求めることができる。

負の周面摩擦の作用において、クイとその周辺地盤との間の零の相対変位として定義される中立点の位置  $z_0$  は、式(6)の右辺を零と置くことによって求められる。すなわち、

$$\rho_0 - \rho = 0 \quad (16)$$

この式の中の  $\rho$  は式(7)に示す諸量からなっている。さらに、 $z_0$  を式(13)に代入すると、クイの最大圧縮力が、

$$\sigma_{z \max} = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_L^{z_0} \rho_0 dz - \int_L^{z_0} \rho_1 dz + \frac{\psi C_s(z_0-L)}{A'k + \psi C_s L} \int_0^L \rho_1 dz \right\} + \frac{W}{A} \quad (17)$$

として求められる。

b) 第二の関係をを用いた一般式

この関係は相対変位がある値に達した後、周面摩擦が最小の一定値  $f_m$  になることを意味する。周辺地盤の沈下が起こる際には、地表面近くから相対変位が増大して、周面摩擦の最小値  $f_m$  に達してゆき、沈下の増大とともにその位置が次第に下がる。この  $f_m$  に達した点の位置を  $z_m$  とすると、 $z \geq z_m$  の範囲でのクイ体中の圧縮応力は

$$\sigma_z = \frac{\psi f_m}{A}(z-L) + \frac{W}{A} \quad (18)$$

であり、 $z < z_m$  の範囲では、式(13)と式(18)より

$$\sigma_z = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_{z_m}^z \rho_0 dz - \int_{z_m}^z \rho_1 dz + \rho_3(z-z_m) \right\} + \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) + \frac{W}{A} \quad (19)$$

である。ここにおいても  $\rho_3$  は一時的に無視してある。

この式を使うことによって、クイ下端の圧縮応力は

$$\sigma_{z0} = \frac{\psi C_s}{A} \left( \int_{z_m}^0 \rho_0 dz - \int_{z_m}^0 \rho_1 dz - \rho_3 z_m \right) + \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) + \frac{W}{A} \quad (20)$$

クイ頭部に働らく荷重による圧縮応力を式(20)より差引くと、周辺地盤の沈下によるクイ先端の過剰圧縮応力は

$$\bar{\sigma}_{z0} = \frac{\psi C_s}{A} \left( \int_{z_m}^L \rho_0 dz + \int_0^{z_m} \rho_1 dz - \rho_3 z_m \right) + \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) \quad (21)$$

となる。この圧縮応力を a) の場合と同様な条件のもとで  $\rho_3$  と関係づけようとすれば、

$$\rho_3 = \frac{\psi C_s \left( \int_{z_m}^L \rho_0 dz + \int_0^{z_m} \rho_1 dz \right) + \psi f_m(z_m-L)}{A'k + \psi C_s z_m} \quad (22)$$

式(22)を式(19)に代入すれば、 $z_m$  以下の任意の深さにおけるクイの圧縮応力が求められる。ところで、 $z_m$  の値は周面摩擦  $\bar{f}$  が、この任意の深さにおける最小値  $f_m$  に達するという条件から求められる。すなわち、

$$\rho_0 - \rho = \frac{f_m}{C_s} \quad (23)$$

その結果、クイの圧縮応力は式(23)で求まった  $z_m$  を式(19)と式(22)に代入し、その後式(22)を式(19)に代入することによって求められる。

クイの中立点の位置  $z_0$  は、この場合もやはり式(16)から求められる。したがって、クイの最大圧縮力はこの  $z_0$  を式(19)に代入することによって

$$\sigma_{z \max} = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_{z_m}^{z_0} \rho_0 dz - \int_{z_m}^{z_0} \rho_1 dz + \rho_3(z_0 - z_m) \right\}$$

$$+ \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) + \frac{W}{A} \quad (24)$$

として計算できる。負の周面摩擦による過剰圧縮応力は  $z \geq z_m$  の範囲では

$$\bar{\sigma}_z = \frac{\psi f_m}{A}(z-L) + \frac{\psi C_s}{A} \int_z^L \rho_0 dz \quad (25)$$

$z < z_m$  の範囲では

$$\bar{\sigma}_z = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_{z_m}^L \rho_0 dz - \int_{z_m}^z \rho_1 dz + \rho_3(z-z_m) \right\} + \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) \quad (26)$$

であるので、 $\rho_3$  はこれらの式から、 $z \geq z_m$  の範囲では

$$\rho_3 = \frac{\psi f_m}{2AE} (z^2 - 2Lz + z_m^2) - \frac{\psi C_s}{AE} \left\{ \frac{\rho_3 z_m^2}{2} - \left( \int_{z_m}^z \int_z^L \rho_0 dz dz - \int_0^{z_m} \int_{z_m}^L \rho_0 dz dz \right) - \int_0^{z_m} \int_{z_m}^z \rho_1 dz dz \right\} \quad (27)$$

$z < z_m$  の範囲では

$$\rho_3 = \frac{\psi C_s}{AE} \left\{ \int_0^z \int_{z_m}^L \rho_0 dz dz - \int_0^z \int_{z_m}^z \rho_1 dz dz \right\} + \frac{\rho_3}{2} (z^2 - 2z_m z) + \frac{\psi f_m}{AE} (z_m-L)z \quad (28)$$

もし、弾性圧縮沈下量も含めて、より正確な諸量の計算を行なおうと思うならば、式(27)と式(28)で得られた  $\rho_3$  を  $\bar{\rho}$  の中に戻して、それぞれの範囲についての諸計算を行なえばよい。また、弾性圧縮によるクイ頭の沈下量は、式(27)において  $z=L$  を代入することにより求められるから、クイ頭沈下量  $\rho_4$  はこの量と  $\rho_3$  との和として計算することができる。

### 3. 2つの極端な状態での一般式

ここでは2つの極端な状態、すなわち  $k=0$  と  $k \rightarrow \infty$  の場合を考えることにしよう。このうち、 $k=0$  の場合はクイの先端地盤がまったくぜい弱な場合で、いわゆる理想的な摩擦グイに対してであり、 $k \rightarrow \infty$  の場合はクイの先端地盤が完全に剛な場合、いわゆる完全な支持グイに対してである。このように両極端の場合を考えるということは、実際の地盤はこの中間状態にあることはわかっていても、具体的な  $k$  値を知ることが、きわめて困難なために、両極端の場合の諸量から内挿法によって推定せざるをえない場合が生ずると考えられるからである。以下、式だけを列挙する。

a) 第一の関係で表わせる場合

i)  $k=0$  の状態に対して

$$\sigma_{z0} = -\frac{\psi C_s}{A} \int_0^L \rho_0 dz + \frac{W}{A} \quad (29)$$

$$\rho_3 = \frac{1}{L} \int_0^L \rho_1 dz \quad (30)$$

$$\rho_1(z_0) = \rho_0(z_0) + \rho_3 \quad (z_0 \text{ を求める式}) \quad (31)$$

$$\sigma_{z \max} = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_L^{z_0} \rho_0 dz - \int_L^{z_0} \rho_1 dz + \rho_3(z_0 - L) \right\} + \frac{W}{A} \quad (32)$$

$$\rho_t = \frac{\psi C_s}{AE} \left( \int_0^L \rho_1 dz - \frac{L^2}{2} \rho_3 \right) + \rho_3 \quad (33)$$

ii)  $k \rightarrow \infty$  の状態に対して

$$\sigma_{z0} = -\frac{\psi C_s}{A} \int_0^L \rho_0 dz + \frac{\psi C_s}{A} \int_0^L \rho_1 dz + \frac{W}{A} \quad (34)$$

$$\rho_3 = 0 \quad (35)$$

$z_0, \sigma_{z \max}, \rho_t$  は  $\rho_3=0$  と置くことによって、 $k=0$  の場合と同一の式から求められる。

b) 第二の関係で表わせる場合

i)  $k=0$  の状態に対して

$$\rho_0(z_m) - \rho_1(z_m) + \frac{1}{z_m} \left\{ \int_{z_m}^L \rho_0 dz + \int_0^{z_m} \rho_1 dz + \frac{f_m}{C_s} (z_m - L) \right\} = \frac{f_m}{C_s} \quad (z_m \text{ を求める式}) \quad (36)$$

$$\sigma_{z0} = -\frac{\psi C_s}{A} \int_0^L \rho_0 dz + \frac{W}{A} \quad (29)$$

$$\rho_0(z_0) - \rho_1(z_0) = \rho_0(z_m) - \rho_1(z_m) - \frac{f_m}{C_s} \quad (z_0 \text{ を求める式}) \quad (37)$$

$$\sigma_{z \max} = \frac{\psi C_s}{A} \left\{ \int_{z_m}^{z_0} \rho_0 dz - \int_{z_m}^{z_0} \rho_1 dz + \rho_3(z_0 - z_m) \right\} + \frac{\psi f_m}{A} (z_m - L) + \frac{W}{A} \quad (38)$$

$$\rho_t = \frac{\psi C_s}{AE} \left\{ \int_{z_m}^L \left( \int_0^{z_m} \rho_0 dz + \int_z^L \rho_0 dz \right) dz - \int_0^{z_m} \int_{z_m}^z \rho_1 dz dz - \frac{\rho_3}{2} z_m^2 \right\} + \frac{\psi f_m}{2AE} (z_m^2 - L^2) + \rho_3 \quad (39)$$

ii)  $k \rightarrow \infty$  の状態に対して

$$\rho_3 = 0 \quad (35)$$

$$\rho_0(z_m) - \rho_1(z_m) = \frac{f_m}{C_s} \quad (z_m \text{ を求める式}) \quad (40)$$

$$\rho_0(z_0) - \rho_1(z_0) = 0 \quad (z_0 \text{ を求める式}) \quad (41)$$

$$\sigma_{z0} = \frac{\psi C_s}{A} \left( \int_{z_m}^0 \rho_0 dz - \int_{z_m}^0 \rho_1 dz \right) + \frac{\psi f_m}{A} (z_m - L) + \frac{W}{A} \quad (42)$$

$\sigma_{z \max}$  と  $\rho_t$  は  $\rho_3=0$  と置くことによって、 $k=0$  の場合と同一の式から求められる。

4.  $\rho_0$  と  $\rho_1$  の近似式

周面摩擦と相対変位との関係およびクイ先端地盤の線型的関係を与えた上での一般的な諸式をこれまで求めてきた。この節からはこれまでの一般式を実用化するため、 $\rho_0$  と  $\rho_1$  の近似的表現を用いて具体化することにする。

クイ頭部に働らく荷重によって発生する初期の周面摩擦の分布が、種々の形態になることは周知のことである。この諸形態は地盤性状のみならず、クイ頭部に作用する荷重の大きさによっても影響を受ける。この報告では最も単純な場合として、初期の周面摩擦がクイ長全体にわたって一定である場合、すなわち  $\rho_0$  が一定であるとする。一方、地盤の沈下が圧密によるものとすれば、クイの周辺地盤の沈下分布の形態は圧密理論によって決めることができる。しかし、本報告では第2節で述べたように沈下分布が深さに対して線形的に変化するものと仮定する。つまり、

$$\rho_s = \frac{\rho_s}{L} z \quad (43)$$

ここに、 $\rho_s$  はクイの根入れ範囲の地盤の圧縮量である。クイ先端以下の沈下量は、これまで述べてきた諸式における  $k$  値に若干影響を与える以外には、本質的な影響はない。したがって、 $\rho_s$  は何らかの方法で、この領域での圧縮量を観測または推定する必要がある。特に、この  $\rho_s$  は圧密理論によって推定すれば、時間に関する関係式として表わすことができる。

もし、クイ基礎の近辺にある部分的載荷重によって、クイに負の周面摩擦が起こることが考えられる場合には、この  $\rho_s$  をクイ基礎の地点における地表面沈下量と、クイ先端における地中部沈下量を弾性論的に求めて、その差として求めることも近似的には正しい。もし、クイ基礎が支持グイからなる場合は、当然クイ先端以下の沈下量は零となるから、地表面の沈下量そのものを  $\rho_s$  として使うことが許される。

5. 実用諸式

a) 第一の関係

$$\rho_3 = \frac{\rho_s}{2} \frac{\psi C_s L}{A'k + \psi C_s L} \quad (44)$$

$k=0$ , クイ先端地盤が完全にぜい弱な場合;  $\rho_3 = \frac{\rho_s}{2}$

クイの負の周面摩擦についての近似計算法

$k = \infty$ , クイ先端地盤が完全に剛な場合;  $\rho_3 = 0$

$$\sigma_z = \frac{\psi C_s}{A}(z-L) \left\{ \rho_0 - \frac{\rho_s}{2L}(z+L) + \rho_3 \right\} + \frac{W}{A} \quad (45)$$

$$\sigma_{z0} = \frac{\psi C_s L}{A} \left( \frac{\rho_s}{2} - \rho_0 - \rho_3 \right) + \frac{W}{A} \quad (46)$$

$$z_0 = \frac{L}{\rho_s}(\rho_0 + \rho_3) \quad (47)$$

$$\sigma_{z \max} = \frac{\psi C_s L}{2A\rho_s}(\rho_0 + \rho_3 - \rho_s)^2 + \frac{W}{A} \quad (48)$$

$$\rho_t = \frac{\psi C_s L^2}{AE} \left( \frac{\rho_s}{3} - \frac{\rho_3}{2} \right) + \rho_3 \quad (49)$$

b) 第二の関係

$\rho_2$  を無視して, 式(22) を式(23) に代入して,  $z_m$  を求めれば,

$$z_m = \frac{-\rho_s A' k + \sqrt{\rho_s^2 A'^2 k^2 + 2L\rho_s \psi (A' k + \psi C_s L)(\rho_0 C_s - f_m)}}{\psi C_s \rho_s} \quad (50)$$

$$\left. \begin{aligned} k=0 : z_m &= L \sqrt{\frac{2}{\rho_s} \left( \rho_0 - \frac{f_m}{C_s} \right)} \\ k \rightarrow \infty : z_m &= \frac{L}{\rho_s} \left( \rho_0 - \frac{f_m}{C_s} \right) \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

$$\rho_3 = \frac{\rho_s}{L} z_m - \left( \rho_0 - \frac{f_m}{C_s} \right) \quad (52)$$

$z \geq z_m$  に対して

$$\sigma_z = \frac{\psi f_m}{A}(z-L) + \frac{W}{A} \quad (18)$$

$z < z_m$  に対して

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{\psi C_s}{A}(z-z_m) \left\{ \rho_0 - \frac{\rho_s}{2L}(z+z_m) + \rho_3 \right\} \\ &\quad + \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) + \frac{W}{A} \end{aligned} \quad (53)$$

$$\sigma_{z0} = -\frac{\psi C_s z_m}{2A} \left( \frac{f_m}{C_s} + \rho_0 + \rho_3 \right) + \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) + \frac{W}{A} \quad (54)$$

$$z_0 = \frac{L}{\rho_s}(\rho_0 + \rho_3) \quad (47)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{z \max} &= \frac{\psi f_m L}{A\rho_s} \left\{ (\rho_0 + \rho_3) - \frac{\rho_s}{2L}(z_0 + z_m) \right\} \\ &\quad + \frac{\psi f_m}{A}(z_m-L) + \frac{W}{A} \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} \rho_t &= \frac{\psi C_s}{AE} \left\{ \frac{1}{2}(L^2 - z_m^2) \left( \rho_0 - \frac{f_m}{C_s} \right) + z_m^2 \left( \frac{\rho_s z_m}{3L} - \frac{\rho_3}{2} \right) \right\} \\ &\quad + \rho_3 \end{aligned} \quad (49)$$

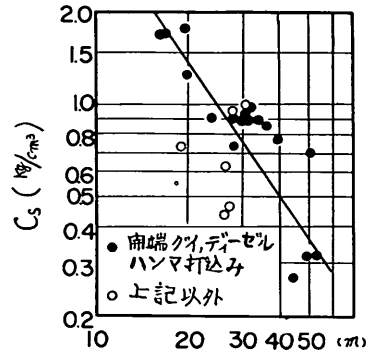
以上に列記した諸式を利用しやすいようにグラフ化したものが 付録-2 に掲げられてある。ただし, この場合

上部構造物からの力が存在しない状態, つまり  $W=0$ , したがって  $\rho_0=0$  の場合についてのグラフである。

6. 数値的検討

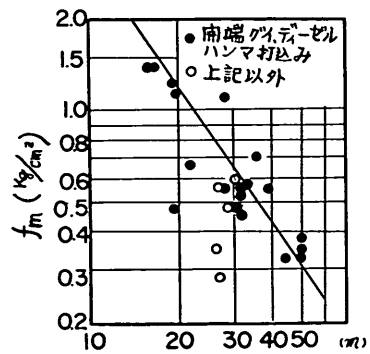
第5節に与えられた実用諸式について, 土質工学会の鋼グイ委員会が行なった実験結果を使って検討してみよう。これを行なうのに先だち, これらの諸式に含まれる定数,  $C_s$ ,  $f_m$  および  $k$  の値を決めなければならない。さいわい, 藤田は  $C_s$  と  $f_m$  についてクイの根入れ長さとの相関関係を 図-5 および 図-6 のように求めている<sup>3)</sup>。また,  $k$  値については Terzaghi が示した土の性質との関係が役立つ<sup>3)</sup>。

ところで, 実験用に供した地盤の土層断面は 図-7 の如きものである。この地盤に 表-1 に示した形状寸法を



根入れ長さ

図-5 クイの根入れ長さ と  $C_s$  との関係 (藤田による)



根入れ長さ

図-6 クイの根入れ長さ と  $f_m$  との関係 (藤田による)

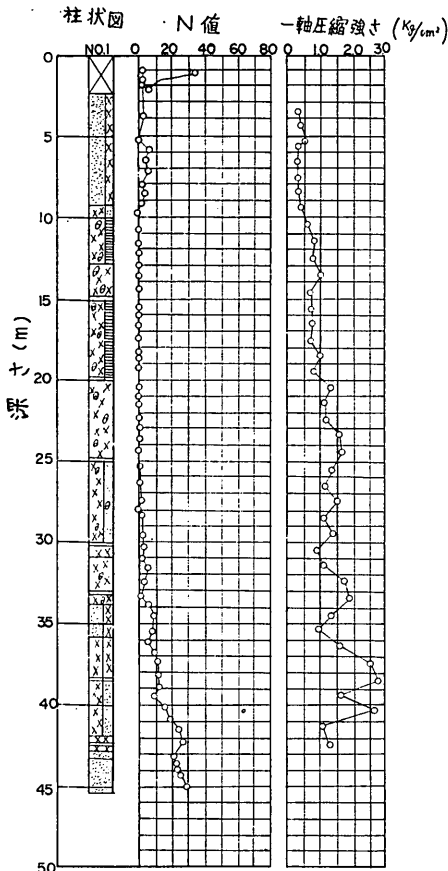


図-7 実験用地盤のボーリング結果—ボーリング No. 1 (鋼グイ研究委員会報告による)

もつ4種類のクイを打込み、約2年間放置した。その間、地表面沈下、クイの圧縮応力およびクイ頭部の沈下を測定した。この実験で求められた主な測定値は表-1に要約されている。この実験の詳細については、文献1)の第5章に述べられている。

実用諸式を用いた計算結果は、測定値と比較するために表-2に示されている。これは、相対変位と周面摩擦についての第二の関係に基づいたものであり、この計算に使用した定数  $C_s$ ,  $f_m$  および  $k$  の値は図-5、図-6および Terzaghi の  $k$  値を参考にした上で、実験結果を総合判断してきめたものである。

表-1と表-2の値で、いくらかの差異が生じた原因として下記のことが考えられる。

- 1) 試験用地盤の土層断面が一樣でない。
- 2) 鋼管グイの中の土の影響を無視している。
- 3) 式(43)の沈下分布を仮定して生じた結果と、実際の

表-1 実験グイの諸元と観測結果 (鋼グイ研究委員会報告による)

	開端鉛直支持	閉端鉛直支持	閉端斜支持	閉端鉛直摩擦
クイ長 (cm)	L=4300		L=3100	
断面寸法	外径 609.6mm	肉厚 9.5mm	純断面積 179.1 cm <sup>2</sup>	断面係数 2,650 cm <sup>3</sup>
クイ頭部の沈下量 (cm)	5.4	4.8	4.4	7.6
クイ頭部の地表面に対する相対的浮上り (cm)	6.4	7.0	7.4	4.2
クイ先端の貫入量 (cm)	3.0	2.7	1.7	3.7
最大圧縮応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	984	1964	1420	905
クイ先端の圧縮応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	396	831	673	359
中立点の深さ* (cm)	3200	3160	3260	2420

\* ヒズミから直接求めたものである

表-2 計算による結果

	開端鉛直支持	閉端鉛直支持	閉端斜支持	閉端鉛直摩擦
$f_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	-0.3*	—	—**	-0.6
$C_s$ (kg/cm <sup>3</sup> )	0.5	—	—	0.8
$k$ (kg/cm <sup>3</sup> )	7.5	—	—	0.5
$\rho_s$ (cm)	11.8	—	—	9.3
クイの頭部の沈下量 (cm)	6.9	—	—	4.6
クイ先端の貫入量 (cm)	2.7	—	—	3.0
最大圧縮応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	1015	—	—	1250
クイ先端の圧縮応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	223	—	—	0
中立点の深さ (cm)	3310	—	—	2100

\* 閉端と開端の区別は、この計算方法ではできない。

\*\* 斜グイについての計算方法は示されていない。

## クイの負の周面摩擦についての近似計算法

沈下分布との差。

- 4) 定数  $C_s$ ,  $f_m$  および  $k$  の値として適正でない値を採用したため。

以上、いくつかの原因が考えられるが、要するに本報告に示した計算方法は近似的推定法であるため、実測値と計算値がある程度の差異をもつことは避けえないものと考えられる。

なお、付録-1 にはクイの周辺地盤の弾性的挙動から  $\rho_1$  と  $f$  との関係式を求める一つの試案、付録-3 には付録-2 を使った計算例、付録-4 には  $\rho_s$  を弾性理論的に求めるための影響図について記述してある。

### 7. あとがき

本報告に用いたクイの負の周面摩擦についての実験結果は、すべて土質工学会、鋼グイ研究委員会で行なわれた現場実験によるものである。当委員会および、有用なデータを利用して頂いた藤田圭一氏には深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土質工学会編、鋼グイ—鋼グイ研究委員会報告—土質基礎工学ライブラリー 6, 昭和44年  
あるいは

土質工学会、鋼グイ研究委員会；クイに作用する負の摩擦力の研究，第2分科会報告，昭和43年

- 2) 1) による。  
3) L. Zeevaert; Foundation Problems Related to Ground Surface Subsidence in Mexico City, ASTM Spec. Tech. Pub. No. 322, 1963  
4) 港湾協会編；港湾構造物設計基準，昭和42年  
5) 日本港湾コンサルタント；砂町水門構造検討調査報告書，昭和46年  
6) H.B. Seed & L.C. Reese; The Action of Soft Clay Along Friction Piles, Proc. ASCE, Vol. 81, 1955.  
7) 佐藤 悟；基礎杭の支持力機構，土木基礎講座，土木技術，20巻，昭和40年  
8) 藤田圭一；くい打ち技術ノート—設計・施工上のポイント—，日刊工業新聞社，昭和45年

あるいは

藤田圭一，下村嘉平衛；鋼グイの沈下量とその推定とその精度について（第3報），第5回土質工学研究発表会，昭和45年

- 9) K. Terzaghi; Evaluation of Coefficient of Subgrade Reaction, *Geotechnique*, Vol. V, 1955  
10) 沢口正俊；弾性的地盤における沈下計算の影響図，土と基礎，Vol. 16, No. 3, 1968

(1971.6.30 受付)

付録-i  $f$  と  $\rho_1$  との理論的關係についての一試案

クイの周辺地盤が沈下するとき、クイ周辺近くの土は地盤と一緒に沈下せず、クイにぶら下がった状態になって残る。このような状態での地盤の沈下量  $\rho_s$  のとり方に注意を要する。つまり、クイの近傍の地盤沈下はクイの周面摩擦の影響を受けて、真の地盤沈下量とは異なる。特に部分載荷のように沈下量が小さいときは、この  $\rho_s$  を取る観測位置に注意しなければならない。

このためには、どの位クイから離れた地点での沈下量を  $\rho_s$  とするかについて検討する。同時に、このような状態にある任意の深さにおける地盤の沈下量  $\rho_1$  と、それによって生じるクイの周面摩擦  $f$  との關係が、理論的にはどのような表現になるかを、簡単化した弾性理論によって推察してみよう。

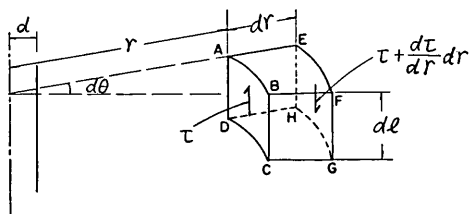


図-i

まず、図-i のようにクイ軸を中心とする円環状の土の一部分の要素を取り出し、その要素に働らく力が釣り合うという条件から基本式を求める。面 ABCD に作用するせん断応力を  $\tau$ 、面 EFGH に作用するせん断応力は  $\tau + \frac{d\tau}{dr} \cdot dr$  となるから、これらのせん断力とこの要素の自重が釣り合うとして、

$$\frac{d\tau}{dr} + \frac{\tau}{r} = -\gamma \quad (i)$$

が求められる。ここに、 $\gamma$  は土の単位体積重量である。その他の面に働らく応力は、それらの応力だけで釣り合っているものとする。この式を解けば、

$$\tau = \frac{1}{r} \left( C_1 - \frac{\gamma}{2} r^2 \right) \quad (ii)$$

ここに、 $C_1$  は積分定数である。この式において、 $f$  をクイ面の周面摩擦、 $\tau=0$  となる  $r$  の値を  $D$  とすれば、

$$f = \frac{\gamma}{2d} (D^2 - d^2) \quad (iii)$$

が求められる。この式は、クイの周面摩擦と、土の自重とが釣り合う範囲の値  $D$  をもって表わされている。

さて、一方弾性理論によれば、ある  $r$  における沈下量  $\rho_r$  と  $\tau$  との關係は

$$\tau = G \frac{d\rho_r}{dr} \quad (iv)$$

で示されるから、この式を式(i)に代入して次の基本式を得る。

$$\frac{d^2\rho_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\rho_r}{dr} = -\zeta \quad (v)$$

ここに、 $\zeta = \gamma/G$  で  $G$  はせん断弾性係数である。この式を解けば

$$\rho_r = -\frac{\zeta}{3} r^3 + C_2 \ln r + C_3 \quad (vi)$$

が求まる。ここに、 $C_2, C_3$  は積分定数である。この式の積分定数を求めるために、 $r=D$  において  $\rho_r = \rho_1$ 、および  $d\rho_r/dr = 0$  を代入することによって、

$$\rho_1 = -\frac{d^2\zeta}{3} \left\{ \frac{2f}{\gamma d} - \left( 1 + \frac{2f}{\gamma d} \right) \ln \left( 1 + \frac{2f}{\gamma d} \right) \right\} \quad (vii)$$

が求められる。つまり、 $\rho_s$  を観測する範囲としては、式(ii)で示された  $R$  より離れた位置、および図-4で仮定された  $f$  と  $\rho$  との關係も、理論的には式(vii)のような形になるであろうことが予想される。この式をプロット

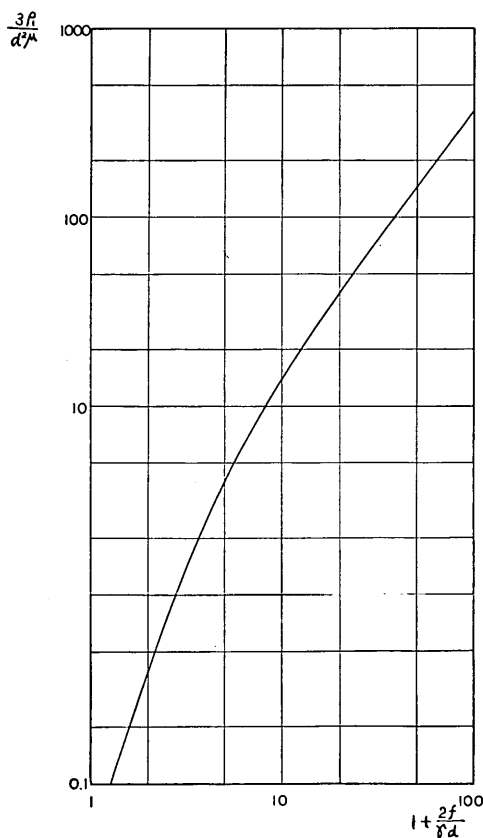


図-ii



クイの負の周面摩擦についての近似計算法

トしたものが 図-ii である。ただし、グラフの縦軸、横軸には  $\rho_1$  および  $f$  を無次元化した値を使って示してある。

付録—2 実用諸式のグラフ化

本文中の実用諸式を使用しやういようにグラフ化した

ものが 図-iii~xi である。ただし、簡単な場合として  $W=0$ 、つまり  $\rho_0=0$  の場合についてのものである。縦軸、横軸の値はいずれも無次元化してあり、実際に考えられる数値の範囲にとどめてある。なお、このグラフに用いた記号については、記号表を参照されたい。

a) 第一の関係

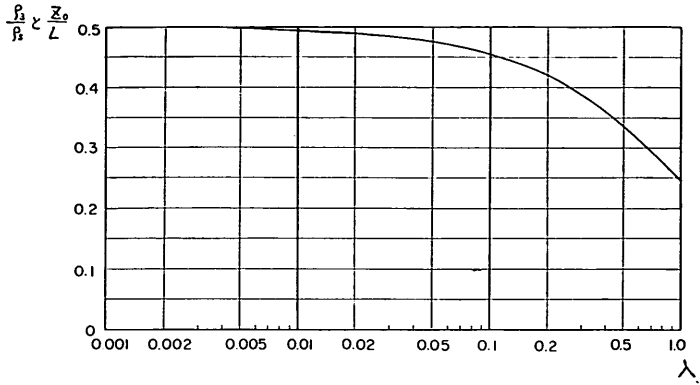


図-iii  $\rho_s/\rho_s \sim \lambda, z_0/L \sim \lambda$

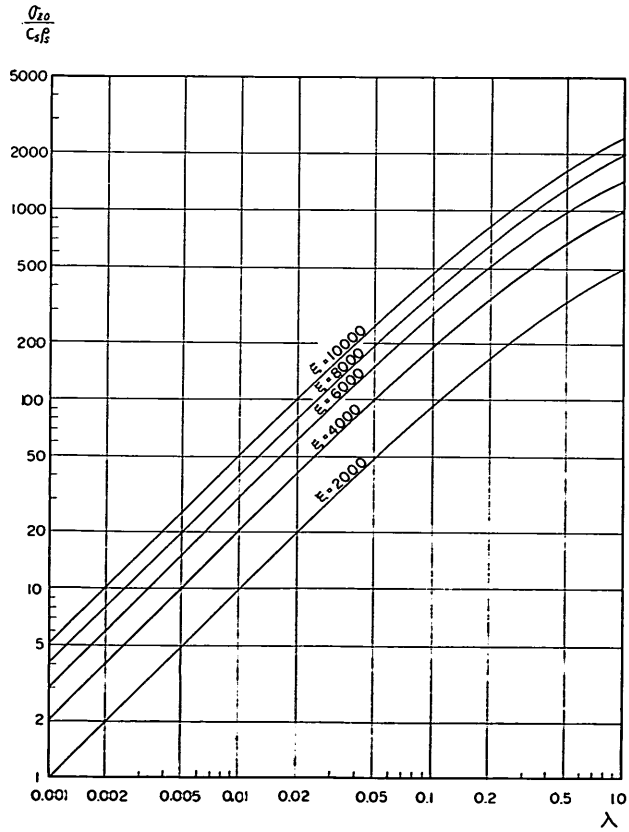


図-iv  $\sigma_{z_0}/C_s \rho_s \sim \lambda$

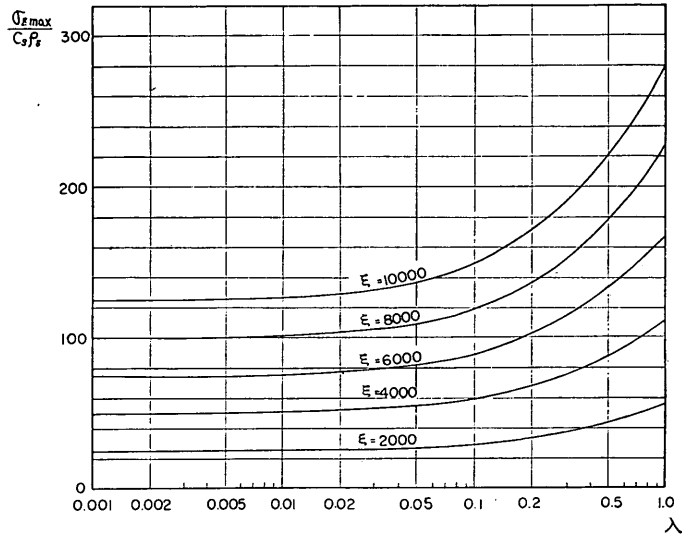


図-v  $\sigma_{z \max}/C_s \rho_s \sim \lambda$

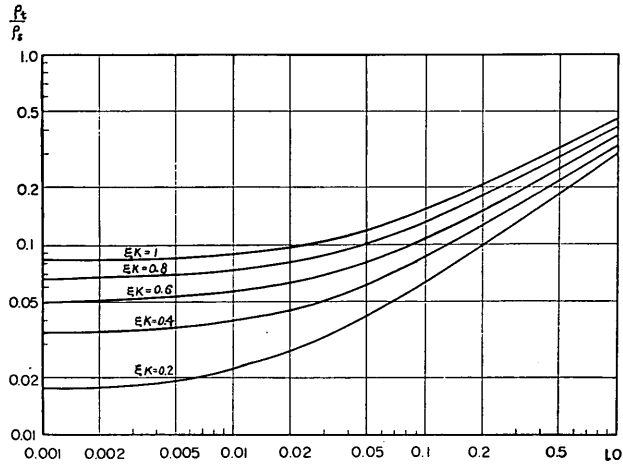


図-vi  $\rho_t/\rho_s \sim \lambda$

b) 第二の関係

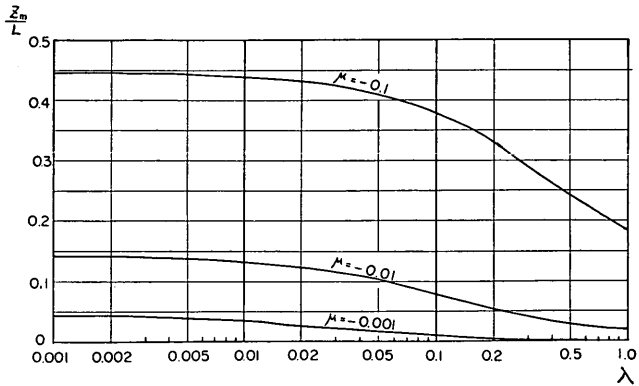


図-vii  $z_m/L \sim \lambda$

クイの負の周面摩擦についての近似計算法

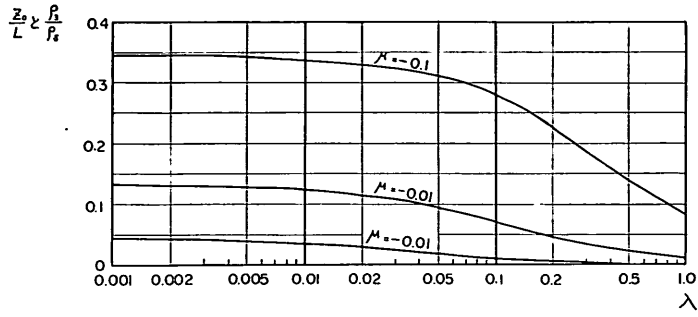


図-viii  $z_0/L \sim \lambda, \rho_s/\rho_s \sim \lambda$

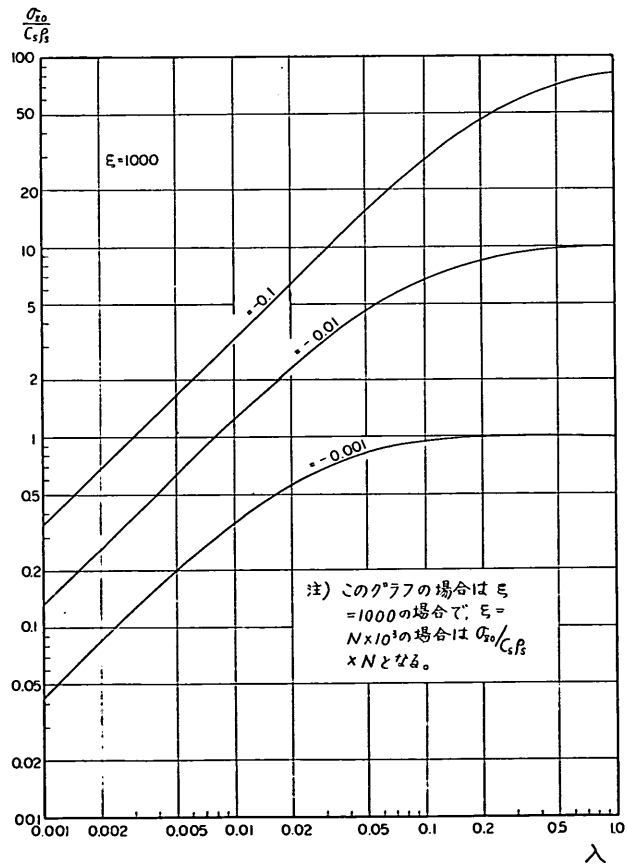


図-ix  $\sigma_{z0}/C_s \rho_s \sim \lambda$

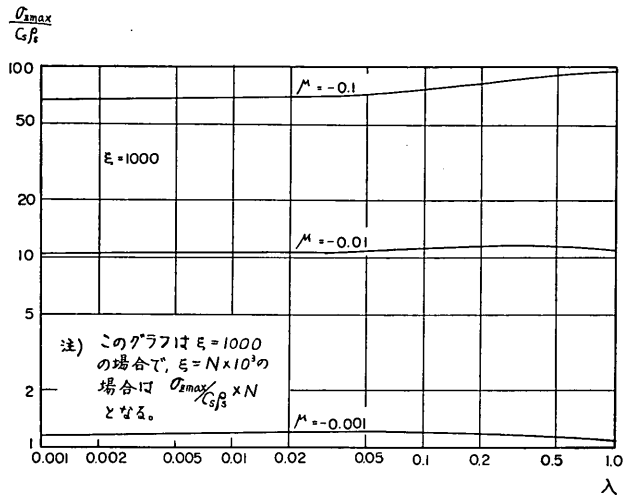


図-x  $\sigma_{zmax}/C_s \rho_s \sim \lambda$

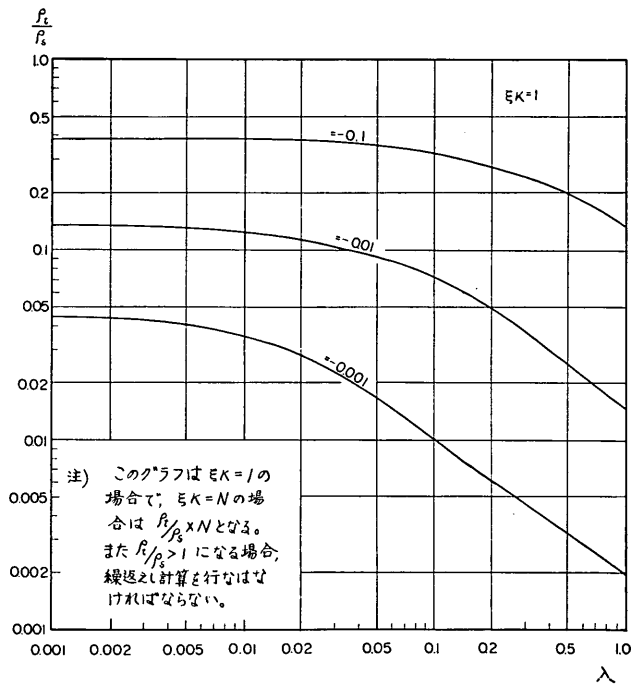


図-xi  $\rho_z/\rho_s \sim \lambda$

付録-3 グラフを使った計算例

例題 軟弱な粘土層に打込まれた、外径 508mm、厚さ 9mm、根入れ深さ 24.0m の鋼管グイに働らく負の周面摩擦によって生ずる、中立点の深さ、最大圧縮応力、

クイ先端応力、およびクイ頭部の沈下量を計算せよ。ただし、クイの位置より 20m の位置に中心を持ち、直径 10m の規模の円形基礎(接地圧 15t/m<sup>2</sup>) がクイ打設後建造されたものとする。この地盤のせん断特性は第二の関係で示されうるものとし、土のヤング係数は 1000t/m<sup>2</sup>、

およびポアソン比は0.4とする。

解答 円形基礎によるクイ設置位置での地表面での沈下量を、簡単に弾性的に求めるためには、例えば、付録-4の影響図を利用すればよい。この場合、クイ先端以下の沈下は無視する。概算、マス目の数は2.5であるから(図-xiii)

$$\rho_s' = \frac{\rho_s E_s}{2(1-\nu^2)} = 15 \times 2.5 = 37.5 \text{ (t/m)}$$

ゆえに、

$$\rho_s = \frac{2(1-0.4^2)}{1000} \times 37.5 = 6.30 \text{ (cm)}$$

また、この場合の  $C_s$ ,  $f_m$  および  $k$  は、図-5、図-6 および文献 9) によって、次の値として設定される。

$$C_s = 1.51 \text{ kg/cm}^3, f_m = -0.095 \text{ kg/cm}^2$$

$$k = 2.0 \text{ kg/cm}^3 \quad (E_s/2d = 100/50.8)$$

したがって、無次元量  $\kappa$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$  および  $\xi$  は

$$\kappa = \frac{C_s L}{E} = \frac{1.51 \times 2400}{2.1 \times 10^6} = 0.00173$$

$$\lambda = \frac{A'k}{\phi C_s L} = \frac{\frac{1}{4} \times 50.8^2 \times 3.14 \times 2}{50.8 \times 1.51 \times 2400} = 0.022$$

$$\mu = \frac{f_m}{\rho_s C_s} = \frac{-0.095}{6.30 \times 1.51} = -0.01$$

$$\xi = \frac{\phi L}{A} = \frac{50.8 \times 3.14 \times 2400}{50.8 \times 3.14 \times 0.9} = 2670$$

したがって、まず 図-viii より

$$z_0/L = 0.12, z_0 = 0.12 \times 24 = 2.9 \text{ m}$$

それゆえ、中立点の深さは  $24 - 2.9 = 21.1 \text{ m}$  となる。

また、図-ix より  $\xi = 1000$  に対しては  $\sigma_{z0}/C_s \rho_s = 2.4$

したがって、 $\xi = 2670$  に対しては

$$\sigma_{z0}/C_s \rho_s = 2.4 \times 2.67 = 6.41$$

$$\sigma_{z0} = 6.41 \times 1.51 \times 6.30 = 61.0 \text{ kg/cm}^2$$

図-x より  $\xi = 1000$  に対しては  $\sigma_{z \max}/C_s \rho_s = 11$ 、したがって、 $\xi = 2670$  に対しては、

$$\sigma_{z \max}/C_s \rho_s = 11 \times 2.67 = 29.4$$

$$\sigma_{z \max} = 29.4 \times 1.51 \times 6.30 = 280 \text{ kg/cm}^2$$

最後に、図-xi より  $\xi \kappa = 1$  に対して  $\rho_t/\rho_s = 0.11$ 、この例題の場合  $\xi \kappa = 2670 \times 0.00173 = 4.62$  に対しては、

$$\rho_t/\rho_s = 0.11 \times 4.62 = 0.51$$

$$\rho_t = 0.51 \times 6.30 = 3.2 \text{ cm}$$

以上まとめると、

$$\text{中立点の深さ} = 21.1 \text{ m}$$

$$\text{クイ先端圧縮応力} = 61.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{最大圧縮応力} = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{クイ頭部の沈下量} = 3.2 \text{ cm}$$

付録-4 地表面沈下量を求める影響図<sup>10)</sup>

本文におけるクイの負の周面摩擦についての計算の過程で、部分的な荷重による周辺地盤の圧密沈下が原因になる場合、クイ設置位置での地表面沈下量を知る必要が生じる。この場合の沈下量は、初期の沈下量と圧密による沈下量との総和を考える必要があるが、ここでは、その両者を含めた沈下量を弾性理論によって求める必要がある場合に利用されるものである。ただし、部分荷重によるクイの横方向の土圧が作用して生ずる曲げ応力については別個に検討しなければならない。

いま地盤を半無限弾性体と仮定した場合、その表面に垂直な点荷重  $P$  が作用したとき、その荷重点から  $r$  だけ離れた点での地表面沈下量は

$$\rho_s = \frac{1-\nu^2}{\pi E_s} \frac{P}{r'} \quad \text{(viii)}$$

で表わされる。ここに  $\nu$  は土のポアソン比、 $E_s$  は土のヤング係数である。したがって、この式を使って半径  $R$  の円形状に荷重したときの中心部における沈下量  $\rho_s$  は、式(viii)を円形面積で積分して

$$\rho_s = \frac{2(1-\nu^2)}{E_s} p R \quad \text{(ix)}$$

となる。ここに、 $p$  は荷重強さである。この式であらためて、

$$\rho_s' = \frac{\rho_s E_s}{2(1-\nu^2)} \quad \text{(x)}$$

とおけば、

$$\rho_s' = p R \quad \text{(xi)}$$

となる。沈下計算において  $\rho_s'$  が求められれば、地盤の性質から  $E_s, \nu$  が与えられ沈下量  $\rho_s$  が求められる。したがって、この場合  $\rho_s$  の代りに  $\rho_s'$  が求められれば充分である。ところで、図-xiiの点線で示すような内径

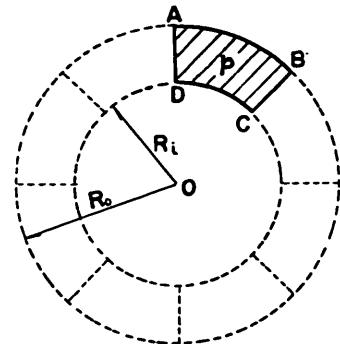


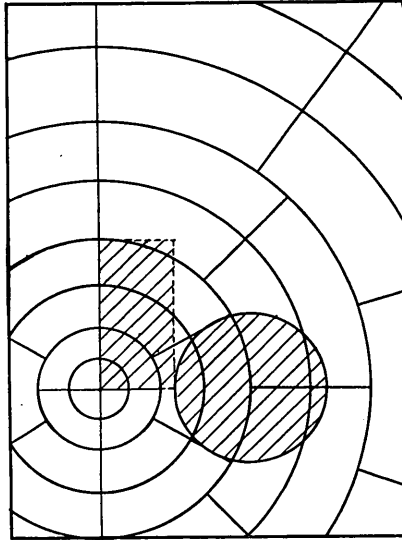


図-xii

 付録-3の例題  
 付録-4の例題



10m

図-xiii

$R_i$ , 外径  $R_0$  の円環状の載荷重による中心  $O$  における  $\rho_s'$  の値は, 式(xi)より

$$\rho_s' = p(R_0 - R_i) \quad (\text{xii})$$

である。この式から明らかなように  $p=1$  に対して,  $R_0 - R_i = 1$  の値が  $\rho_s' = 1$  を与える。もし, 円環を  $N$  個に分割したとすれば, その1つのマスが  $\rho_s' = 1$  に寄与するようにするためには  $R_0 - R_i = N$  に取ればよい。例えば, 図-xiiの実線に示すマスは  $N=8$  である。図-xiiiは  $R_0 - R_i (N=1)$  として 1m にとった場合の影響図である。したがって,  $p$  に  $t/m^2$  の単位を使えば  $\rho_s'$  の単位は  $t/m$  となる。この影響図を使うには, 求めようとする地点が中心  $O$  に一致するように構造物を縮尺に合わせて記入し, その構造物が占めるマスの数を数えれば, 次の式からただちに求まる。

$$\rho_s'(t/m) = p(t/m^2) \times \text{マスの数} \quad (\text{xiii})$$

この式の右辺には縮尺長さの次元 (m) が含まれている。  
**計算例**  $p=1t/m^2$  で  $10m \times 20m$  の矩形構造物における隅角部での  $\rho_s$  を求めよ。ただし,  $E_s=1,000t/m^2$ ,  $\nu=0.5$  とする。

影響図中に縮尺した構造物を描けば (図-xiii) 構造物によって占められるマスの数は 3.8 であるから, 式 (xiii)

によって

$$\rho_s' = \frac{\rho_s E_s}{2(1-\nu^2)} = 1 \times 3.8 = 3.8 \text{ (t/m)}$$

ゆえに

$$\rho_s = \frac{2(1-0.5^2)}{1000} \times 3.8 = 0.57 \text{ cm}$$

厳密解では  $\rho_s = 0.59 \text{ cm}$  である。

### 付録-5 記号表

- $A$ : クイの純断面積
- $A'$ : クイの閉鎖面積
- $B$ :  $W + F_N - F_P$
- $C_s$ : すべり係数
- $C_1, C_2, C_3$ : 積分定数
- $D$ : クイの周辺地盤が周面摩擦の影響を受ける最大距離
- $d$ : クイの半径
- $E$ : クイのヤング係数
- $E_s$ : 土のヤング係数
- $F_N$ : 負の周面摩擦力
- $F_P$ : 正の周面摩擦力
- $f$ : 周辺地盤の沈下によって生ずる過剰周面摩擦
- $f_m$ : 周面摩擦の最小値 (第二の関係において)
- $f_0$ :  $W$  によって生ずる初期周面摩擦
- $\bar{f}$ : 全周面摩擦
- $G$ : 土のせん断弾性係数
- $k$ : 地盤反力係数
- $L$ : クイの根入れ長さ
- $N$ : 1つの円環に含まれるマスの数
- $P$ : 点荷重の大きさ
- $p$ : 分布荷重の大きさ
- $Q_p$ : クイの先端支持力
- $R$ : 円形載荷面の半径
- $R_i$ : 環状載荷面の内径
- $R_0$ : 環状載荷面の外径
- $r$ : クイ軸を中心とした半径方向の距離
- $r'$ : 点荷重  $P$  を中心とした半径方向の距離
- $W$ : クイ頭部に働らく荷重 (浮力を差引いたクイ自重を含む)
- $z$ : クイ先端を原点として上向きにとった座標
- $z_m$ : 周面摩擦が最小値に達した位置の座標 (第二の関係において)
- $z_0$ : 中立点位置の座標

クイの負の周面摩擦についての近似計算法

$\gamma$ : 土の単位体積重量	$\rho_1$ : 周辺地盤の沈下量 (クイ先端以下の沈下量を含まず)
$\zeta$ : $\gamma/G$	$\rho_2$ : クイの弾性圧縮沈下量
$\kappa$ : $C_s L/E$	$\rho_3$ : クイの先端貫入量
$\lambda$ : $A'k/\phi C_s L$	$\sigma_2$ : クイの圧縮応力
$\mu$ : $f_{ms}/\rho_s C_s$	$\sigma_{\sigma\max}$ : クイの最大圧縮応力
$\nu$ : 土のポアソン比	$\sigma_{z0}$ : クイ先端の圧縮応力
$\xi$ : $\phi L/A$	$\bar{\sigma}_2$ : 周辺地盤の沈下によって生ずるクイの過剰圧縮応力
$\rho$ : 周辺地盤の沈下によって生ずる相対変位	$\bar{\sigma}_0$ : 周辺地盤の沈下によって生ずるクイ先端の過剰圧縮応力
$\rho_r$ : 距離 $r$ における地盤の沈下量	$\tau$ : 土の中のせん断応力
$\rho_s$ : 地表面の地盤沈下量 (クイ先端以下の沈下量は含まず)	$\phi$ : クイの周長
$\rho_s'$ : $\rho_s E_s/2(1-\nu^2)$	
$\rho_s$ : クイ頭沈下量	
$\rho_0$ : $f_0/C_s$	