

# 軟弱粘土地盤における逆舟型床版基礎及び杭床版基礎の支持力

誌名	佐賀大学農学部彙報
ISSN	05812801
著者	甲本, 達也 加来, 研
巻/号	62号
掲載ページ	p. 17-23
発行年月	1987年3月

## 軟弱粘土地盤における逆舟型床版基礎及び 杭床版基礎の支持力

甲本 達也・加来 研

(農業造構学教室)

昭和61年9月29日 受理

### Bearing Capacity of Skirted Slab Footings and Piled Slab Footings in Soft Clay Ground

Tatsuya KOUMOTO and Ken KAKU

(Laboratory of Construction Engineering)

Received September 29, 1986

#### Summary

An investigation is made on the bearing capacity factors for estimating the ultimate bearing capacity of skirted slab footings and piled slab footings in homogeneous soft clay.

The theoretical bearing capacity factors of skirted slab footings are obtained by combining the bearing capacity factor of slab and that of vertical walls under the slab based on the adhesion of clay.

Similarly, the theoretical bearing capacity factor of piled slab footings are obtained by combining that of slab and of friction piles under the slab.

These theoretical values are well supported by test results of some model skirted slab footings and piled slab footings in homogeneous soft Ariake clay.

#### 緒 言

軟弱な地盤上に構造物を設置するとその荷重により地盤は容易に変形しさらには破壊に到り構造物の機能を著しく阻害することもある。このような軟弱地盤上に構造物を安全に設置するためには何等かの基礎工を施す必要がある。そのような基礎工のうち最も安全で確実な工法の1つは支持杭工法であり盛んに用いられている。しかし有明粘土地盤のように軟弱層が一般に深い場合には周辺地盤の沈下により構造物の抜け上りを生じ、構造物の機能が阻害され、電気・水道・ガス及び排水などの付帯施設が破壊されることになる。さらに地盤沈下により杭にネガティブフリクションが働き、杭そのものが破壊されることもある。従って、家屋等の小規模構造物の基礎工としては許容沈下量以内で周辺地盤と同様の沈下をし、しかも不等沈下が大きくならない工法を用いる方が得策といえよう。

有明粘土地帯における家屋の鉾害復旧工事においてもこのような考え方から、平床版、舟型床版、逆舟型床版、松杭床版あるいは地盤改良といった諸基礎工がとりあげられ実際に施工されてきた。そしてこれらの基礎工法について10年以上も前から種々の追跡調査が行われ、ある

程度の効果が確かめられてきている。しかし各々の基礎の支持力あるいは沈下の機構については尚不明確な点が多い。本論文はこれらの基礎のうちとくに逆舟型床版基礎と杭床版基礎とについて主に支持力機構の解析を試みるとともに、解析結果をこれらの基礎の室内におけるモデル実験結果とを対比して解析結果の適用性を検討したものである。

基礎の支持力理論

逆舟型床版基礎の支持力：逆舟型床版基礎は平床版基礎と箱型の垂直壁より構成される (Fig. 1)。従って逆舟型床版基礎の全支持力  $Q_{ss}$  を平床版基礎による支持力  $Q_{sl}$  と箱型の垂直壁の壁表面における粘土の付着力による支持力  $Q_{sk}$  との和で表わされると仮定する。 $Q_{ss}$  は Fig. 1 (a), (b) を参照すると次式で表わされる。

$$\begin{aligned} Q_{ss} &= Q_{sl} + Q_{sk} \\ &= q_{sl} \cdot A_{sl} + c_a \cdot A_{sk} \\ &= q_{sl}(B \cdot L) + c_a \{ 2H(B + L) \} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

ただし  $q_{sl}$  は単位面積当りの平床版基礎の支持力、 $c_a$  は粘土の壁表面への付着力、 $A_{sl}$  及び  $A_{sk}$  は夫々平床版の底面積及び垂直壁外周面の表面積である。

また  $q_{sl}$  は帯状基礎の支持力  $q$  に形状係数を考慮して一般的に次式で表わされる。

$$\begin{aligned} q_{sl} &= (1 + 0.2 \frac{B}{L}) q \\ &= (1 + 0.2 \frac{B}{L}) c_u \cdot N_c \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

ただし  $c_u$  は粘土の非排水せん断強さで、 $N_c$  は帯状基礎の粘着力に関する支持力係数である。Prandtl によれば剛塑性体と考えた粘土地盤表面上の帯状基礎に対して  $N_c$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} N_c &= (\pi + 2) \\ &= 5.14 \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

従って逆舟型床版基礎の単位面積当りの支持力  $q_{ss}$  は(1), (2), (3)式より

$$\begin{aligned} q_{ss} &= Q_{ss} / B \cdot L \\ &= 5.14 (1 + 0.2 \frac{B}{L}) c_u + 2 c_a (1 + \frac{B}{L}) \frac{H}{B} \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

さらに両辺を  $c_u$  で除して

$$\frac{q_{ss}}{c_u} = 5.14 (1 + 0.2 \frac{B}{L}) + 2 \frac{c_a}{c_u} (1 + \frac{B}{L}) \frac{H}{B} \dots\dots\dots(5)$$

いま(5)式を

$$\frac{q_{ss}}{c_u} = N_{css} \dots\dots\dots(6)$$

と表わして  $N_{css}$  を逆舟型床版基礎の支持力係数と呼ぶことにする。 $N_{css}$  は次式で与えられる。

$$N_{css} = 5.14 (1 + 0.2 \frac{B}{L}) + 2 \frac{c_a}{c_u} (1 + \frac{B}{L}) \frac{H}{B} \dots\dots\dots(7)$$

(7)式による  $N_{css}$  の計算値を  $H/B$  に対して  $B/L$  及び  $c_a/c_u$  をパラメータとして示したものが Fig. 2 である。

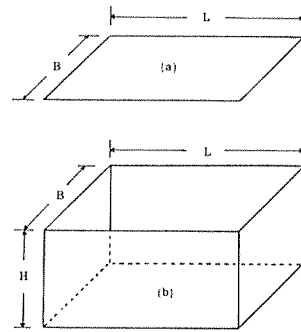


Fig. 1 Skirted slab footing (a) slab, (b) skirt

杭床版基礎の支持力：杭床版基礎は軟弱な粘土地盤において構造物の沈下を軽減するために用いられる摩擦杭と前述の平床版とを組合せた基礎である。いま群杭効果を生じていない杭床版基礎を考え、その全支持力  $Q_{ps}$  を摩擦杭による支持力  $Q_{pf}$  と平床版基礎の支持力  $Q_{st}$  との和で表わされると仮定する。 $Q_{pf}$  は群杭効果を生じない  $n$  本の摩擦杭の場合次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$\begin{aligned} Q_{pf} &= n(Q_p + Q_f) \\ &= n(q_p \cdot A_p + \bar{c}_a \cdot A_f) \\ &= n(c_u \cdot N_{cp} \cdot \pi R^2 + 2\pi R D \bar{c}_a) \\ &\dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

ただし  $Q_p$ ,  $Q_f$  は夫々 1 本当たり杭の先端支持力と杭周摩擦抵抗力,  $A_p$ ,  $A_f$  は夫々杭の断面積と周面積,  $q_p$  は単位面積当たり杭先端支持力,  $N_{cp}$  は杭の支持力係数,  $R$ ,  $D$  は夫々杭の半径と貫入深さ,  $\bar{c}_a$  は杭表面における平均付着力を表わしている。 $N_{cp}$  は杭の先端角  $2\alpha$  と根入れ幅比  $D/2R$  の関数であり,  $D/2R = 0$  のとき  $2\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 180^\circ$  に対する  $N_{cp}$  は夫々 8.8, 6.7, 6.1 であり,  $D/2R \geq 2$  のとき  $2\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 180^\circ$  に対する  $N_{cp}$  は夫々 11.9, 9.8, 9.2 である<sup>2)</sup>。

(8)式を変形して次式を得る。

$$\frac{Q_{pf}}{nc_u\pi R^2} = N_{cp} + 4 \frac{\bar{c}_a}{c_u} \cdot \frac{D}{2R} \dots\dots\dots(9)$$

従って、群杭効果を生じていない杭床版基礎の全支持力  $Q_{ps}$  は

$$\begin{aligned} Q_{ps} &= Q_{st} + Q_{pf} \\ &= 5.14c_u(1 + 0.2\frac{B}{L})B \cdot L \\ &\quad + nc_u\pi R^2(N_{cp} + 4 \frac{\bar{c}_a}{c_u} \frac{D}{2R}) \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

いま単位面積当りの杭床版基礎の支持力を  $q_{ps}$  とすると

$$\begin{aligned} \frac{q_{ps}}{c_u} &= \frac{Q_{ps}}{c_u B \cdot L} \\ &= 5.14(1 + 0.2\frac{B}{L}) \\ &\quad + \frac{nc_u\pi R^2}{B \cdot L}(N_{cp} + 4\frac{\bar{c}_a}{c_u} \frac{D}{2R}) \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

ここで(11)式の右辺を  $N_{cps}$  とおいて杭床版基礎の支持力係数と呼ぶことにする。 $N_{cps}$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} N_{cps} &= 5.14(1 + 0.2\frac{B}{L}) + \frac{n\pi R^2}{B \cdot L}(N_{cp} + 4\frac{\bar{c}_a}{c_u} \frac{D}{2R}) \\ &\dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

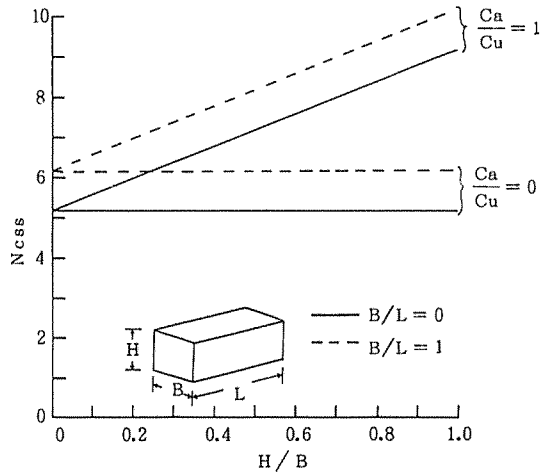


Fig. 2 Calculated values of bearing capacity factor for skirted slab footing,  $N_{css}$ .

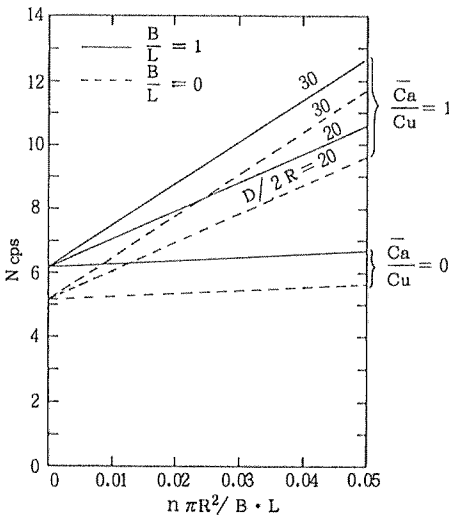


Fig. 3 Calculated values of bearing capacity factor for piled slab footing,  $N_{cps}$ .

(12)式による $2\alpha=60^\circ$ の場合の $N_{c_{ps}}$ の計算値を $n\pi R^2/B \cdot L$ に対して $B/L$ ,  $\bar{c}_a/c_u$ 及び $D/2R$ をパラメーターとして示したものがFig. 3である。

### 基礎の室内モデル実験

**逆舟型床版基礎の場合：**実験のために作成した地盤はTable 1に示すような物理的性質を有する有明粘土を液性限界付近で含水比調整したものを内径60cmの立方体容器（底部に排水用砂層と排水孔を有する）に充填した後ある程度の強度を出すために $p=5.6\text{kPa}$ の圧密圧力で1週間圧密したものである。実験に用いたモデル基礎は1辺 $B=L=10\text{cm}$ の正方形平床版とこれに $H=2.5, 4.5, 6.5\text{cm}$ の3種類の高さの箱型の垂直壁を組み合わせた逆舟型床版基礎である（材料はアクリル板）。載荷試験は電動式載荷装置を用いて定速（ $0.9\text{cm/min}$ ）で行った。実験終了後乱されていない部分から採土し、ベーン試験、含水比及び湿潤密度の測定を行った。また毎回実験終了後は試料土の攪拌と含水比の調整を行った。

実験時供試土の含水比は $w=119\sim 128\%$ 、湿潤密度は $\gamma_t=1.34\sim 1.42\text{Mg/cm}^3$ 、ベーンせん断強さは $c_u=1.41\sim 2.49\text{kPa}$ であった。平床版基礎の載荷試験結果をFig. 4に、逆舟型床版基礎

Table 1 Physical properties of Ariake clay

Specific Gravity, $G_s$	Liquid Limit $W_L$ (%)	Plastic Limit $W_P$ (%)	Plasticity Index $I_P$ (%)
2.65	142.1	60.7	81.4

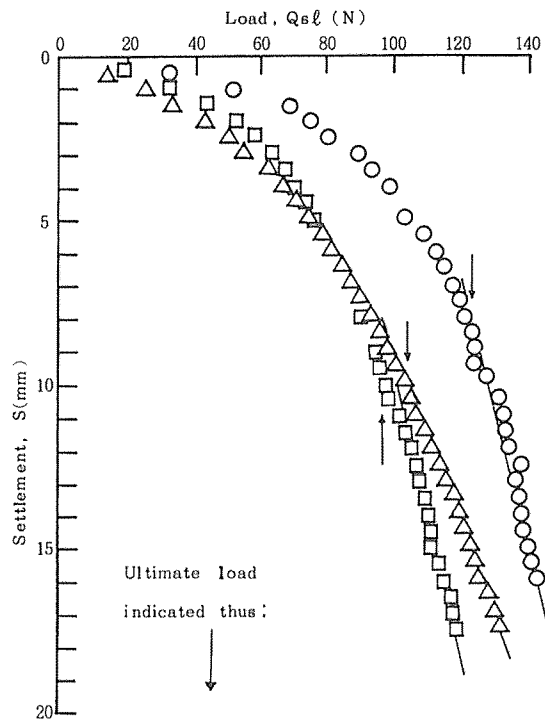


Fig. 4 Results on slab footing tests.

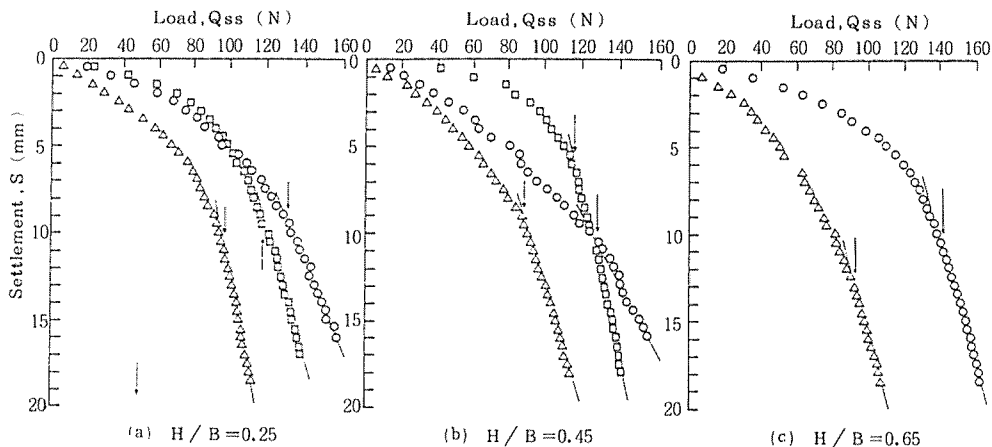


Fig. 5 Results on skirted slab footing tests.

の載荷試験結果を Fig. 5 (a), (b), (c)に示した。

**杭床版基礎の場合：**実験に用いた容器と粘土は逆舟型床版基礎の場合と同じものであるが、本実験では粘土を攪乱後直ちに実験に供した。杭の配置は Fig. 6 に示すごとく  $B = L = 20\text{cm}$ の平床版底部に直径  $2R = 1\text{cm}$ 、長さ  $\ell = 20\text{cm}$ 、先端角  $2\alpha = 30^\circ$ の表面粗な杭を群杭効果が生じないように（杭間の最小間隔を  $1.5\sqrt{R \cdot \ell} = 4.7\text{cm}$ より大きく  $5\text{cm}$ とした）配置した。杭の載荷試験は実荷重による定荷重方式を用いて行い、床版底面が粘土表面に達した後は逆舟型床版基礎の場合と同じように載荷試験を行った。実験時の粘土の含水比は  $w = 111.4\%$ で一軸圧縮強さは  $q_u = 6.0\text{kPa}$  ( $c_u = \frac{1}{2} q_u = 3.0\text{kPa}$ )であった。実験により得られた杭の貫入試験結果を Fig. 7 に、杭の本数が  $n = 9$ 本の場合の杭床版基礎の載荷試験結果を平床版基礎 ( $B = L = 15\text{cm}$ )の載荷試験結果とともに Fig. 8 に示した。

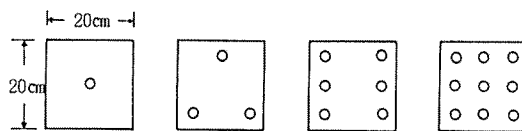


Fig. 6 Arrangement of piles on slab.

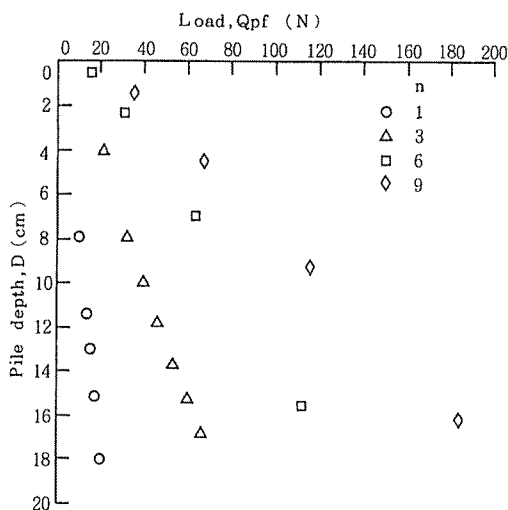


Fig. 7 Results on pile tests.

### 実験結果の考察

**逆舟型床版基礎の場合：** Fig. 4, Fig. 5 (a), (b), (c)によると一般的に沈下は荷重の増加とともにだだらと増加するという典型的な進行性破壊による局部せん断破壊が生じていることがわかる。このような荷重～沈下曲線からは明確に極限支持力を決定することは不可能であるので、

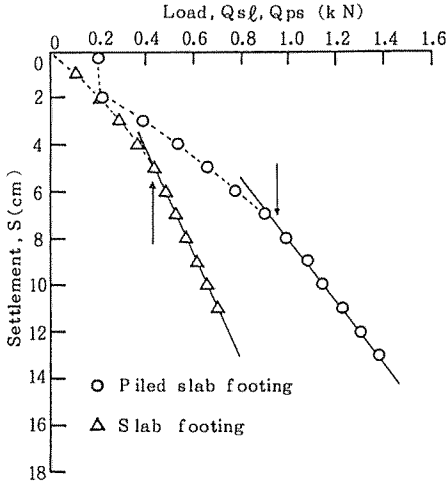


Fig. 8 Results on slab footing and Piled slab footing tests.

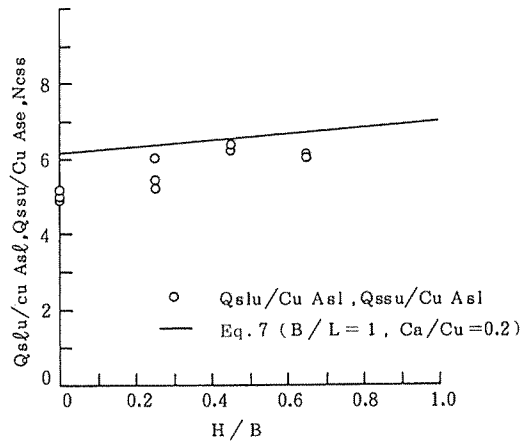


Fig. 9 Comparison of test results with theoretical values for slab footing and skirted slab footings.

荷重～沈下曲線の曲率最大の点を過ぎた領域に現われる直線部と曲線部との交点を求め、その点での載荷荷重を極限荷重  $Q_u$  (↓印) とみなした。

このようにして求めた  $Q_u$  を  $Q_u/c_u \cdot A_{sl}$  のように無次元化して  $H/B$  に対して図示したものが Fig. 9 である。これによれば平床版下の垂直壁の高さが増すにつれて支持力が増加することが認められる。また同図には(7)式において  $B/L = 1, c_a/c_u = 0.2^{9)}$  において得られる計算値を実線で示して実験結果と対比した。これによれば両者は比較的良好に一致しており、逆舟型床版基礎の極限支持力  $q_{ss}$  は(7)式で推定できることがわかる。

杭床版基礎の場合：Fig. 7 より  $Q_{pf}/nc_u\pi R^2$  のように無次元化して  $D/2R$  に対して図示したものが Fig. 10 である。同図にはまた(9)式において  $\bar{c}_a/c_u = 1.0$  とおき  $2\alpha = 30^\circ$  に対する  $N_{cp}$  の値を用いて得られる計算値を実線で示して実験結果と対比した。これによれば両者は大変よく一致しており摩擦杭の全支持力  $Q_{pf}$  は(9)式で精度よく推定できることがわかる。

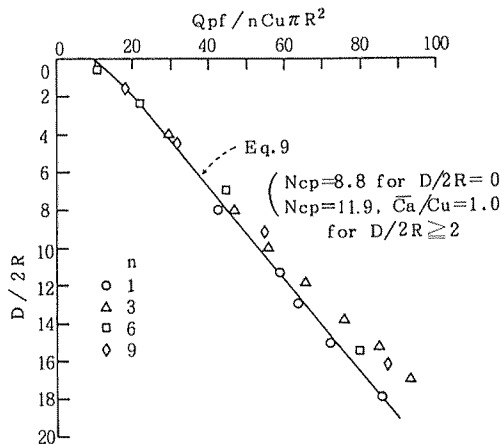


Fig. 10 Comparison of test results with theoretical values for friction piles.

一方 Fig. 8 より平床版基礎 ( $B = L = 15\text{cm}$ ) の極限荷重を  $Q_{stu} = 0.43\text{kN}$ 、杭床版基礎 ( $B = L = 20\text{cm}, n = 9$ ) の降伏荷重を  $Q_{psu} = 0.94\text{kN}$  と読み取ることができる。これらより単位面積当りの極限支持力  $q_{stu}, q_{psu}$  が夫々  $q_{stu} = 19.0\text{ kPa}$  及び  $q_{psu} = 23.5\text{ kPa}$  となる。さらに  $c_u$  で除して無次元化した値は夫々  $q_{stu}/c_u = 6.3$  及び  $q_{psu}/c_u = 7.8$  となる。

いま(2)式及び(11)式を用いて計算した値は夫々  $q_{sl}/c_u = 6.17$  及び  $q_{ps}/c_u = 7.8$  (但し、 $B = L = 20\text{ cm}, n = 9$  本、 $2R = 1\text{ cm}, N_{cp} = 11.9, c_a/c_u = 1.0, D/2R = 20$  として求めた) となる。実験値と計算値を対比してみると大変よく一致している。従って実験例はとくに杭床版基礎については 1 例しかないが、群杭効果を生じていない杭

床版基礎の支持力は(II)式で推定できるのではないかと考える。今後実験的に(II)式の適用性を確かめたいと考えている。また平床版下の杭が群杭効果を生じるような配置や本数である場合には(II)式中の杭の支持力の項を何らかの方法で割引かなければならない。この方法についても今後検討したいと考えている。

## 謝 辞

本研究は石炭鉱害事業団九州支部の委託を受けて行われたものであること及び本実験は主に本学大学院学生の泉博文君（現佐賀県土地改良連合会）により行われたことを付記して謝意を表します。

## 摘 要

本研究は均質な軟弱粘土地盤上における逆舟型床版基礎及び杭床版基礎の極限支持力を推定するために必要な支持力係数について行ったものである。逆舟型床版基礎の支持力係数は平床版基礎の支持力係数と粘土の付着力に基づく平床版下の垂直壁の支持力係数とを組み合わせる。

同様にして杭床版基礎の支持力係数は平床版基礎の支持力係数と平床版下の摩擦杭の支持力係数とを組み合わせる。

このようにして理論的に得られた支持力係数値は均一な有明軟弱粘土について行った逆舟型床版基礎及び杭床版基礎のモデル実験により得られた結果とよく一致することがわかった。

## 参 考 文 献

1. Meyerhof, G. G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, 102 (GT3), 195-228.
2. 甲本達也・加来研 (1984). 鋭敏性粘土地盤におけるコーン支持力の理論的解析. 土質工学会論文報告集, 24, No. 2, 145-152.
3. 甲本達也 (1980). 粘性土地盤におけるコーンの貫入に関する塑性論的研究. 佐賀大学農学部彙報48, 1-63.