

## 1. はじめに

沖縄県に広く分布する琉球層群は層相の変化が激しく、空洞部、砂礫部、石灰岩部などが混在する。岩塊部は構造物基礎として十分な支持力はあるとしても軟弱部の混在で問題点が多く支持地盤として評価されていない。したがって、合理的に琉球層群を支持地盤として評価する方法を確立することができれば経済的にも有用である。本研究では、その琉球層群を効率よく支持層として取り入れることを目的としている。

著者らは既往の研究で、単杭による支持力<sup>1)</sup>と信頼性設計法を用いた単杭の破壊確率について報告した<sup>2)</sup>。本文では琉球層群を含む地域から収集されたN値の統計解析を行い、琉球層群中に打設された群杭の支持力をモンテカルロ法を用いて数値シミュレーションを行なった。そして、深度と極限支持力の出現・変化の様子を求め、群杭基礎の破壊確率算定の問題点について述べる。

## 2. 群杭の支持力について

### 2.1 群杭の極限支持力

群杭の押込み支持力は、杭の中心間隔が広い場合には、単杭の支持力の本数倍とみなしてよいが、中心間隔がある程度より密になると杭と杭間の上塊が一体となって、あたかも一基のケーソン基礎として挙動を示すこととなり、杭一本当たりの支持力が低下する。この限界の杭中心間隔は地盤の性質、杭の配列によって異なり一律に規定することはできない。そこで、杭基礎を仮想ケーソン基礎と考えると、支持力の計算を行うとする。杭径の2.5倍以下であると群杭の影響が顕著に表れるとされている<sup>3)</sup>。従って、本研究では、極限支持力を群杭として考慮しているため、杭の間隔を杭径の2.5倍として計算を行う。

群杭の押込み支持力は、道路橋示方書(下部構造編)<sup>3)</sup>による式(1)で求めるとする。

$$Q = Q_p + Q_f \quad (1)$$

ここに

$Q$  : 群杭としての軸方向押込み支持力(kN)

$Q_p$  : 群杭としての杭先端の極限支持力(kN)

$Q_f$  : 群杭としての周面摩擦力(kN)

$$Q_p = A_G q_d' - W \quad (2)$$

$A_G$  : 仮想ケーソン基礎の底面積(m<sup>2</sup>)

$q_d'$  : 仮想ケーソン基礎底面地盤の極限支持力(kN)

$W$  : 仮想ケーソン基礎で置き換える土の有効重量(kN)

$$Q_f = U_G \sum L_i \tau_i \quad (3)$$

$U_G$  : 仮想ケーソン基礎の周長(m)

$L_i$  : フーチング底面から先端支持層までの各層の層厚(m)

$\tau_i$  : 各層の土のせん断抵抗力(kN/m<sup>2</sup>)

である。ただし、支持層が琉球層群のみであるため $L_i$ はフーチング底面から地表までの層厚、 $\tau_i$ は琉球層群のせん断抵抗力の値を適用する。

### 2.2 仮想ケーソン基礎底面地盤の極限支持力 $q_d'$ について

ケーソン基礎のような深い基礎の場合には、支持力係数の寸法効果の影響はまだ定量的に明らかにはされてはいない。従ってここでは道路示方書を参考に、荷重の偏心傾斜および支持力係数の寸法効果の影響を無視して鉛直荷重に対する極限支持力を適用することとし、支持力係数(2.5参照)は全般せん断破壊かつ荷重が傾斜していない場合のものを適用する<sup>3)</sup>。

仮想ケーソン基礎底面地盤の極限支持力 $q_d'$ <sup>3)</sup>は式(4)で表される。

$$q_d' = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_f N_q \quad (4)$$

ここに

$c$  : 基礎底面より下にある地盤の粘着力

(kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_1$  : 基礎底面より下にある地盤の単位重量 (kN/m<sup>3</sup>)

ただし, 地下水位以下では水中単位重量とする.

$\gamma_2$  : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位重量 (kN/m<sup>3</sup>)

ただし, 地下水位以下では水中単位重量とする.

$\alpha, \beta$  : 基礎底面の形状係数

$$\alpha = 1 + 0.3 \frac{B}{D} \quad (5)$$

$$\beta = 1 - 0.4 \frac{B}{D} \quad (6)$$

$B$  : 基礎幅(m)

$D$  : 側面幅(m)

$D_f$  : 基礎の有効根入れ深さ(m)

$N_c, N_q, N_r$  : 支持力係数

である.

### 2.3 杭基礎寸法および配置の仮定

図 - 1 には仮定した杭基礎寸法および配置を示す.

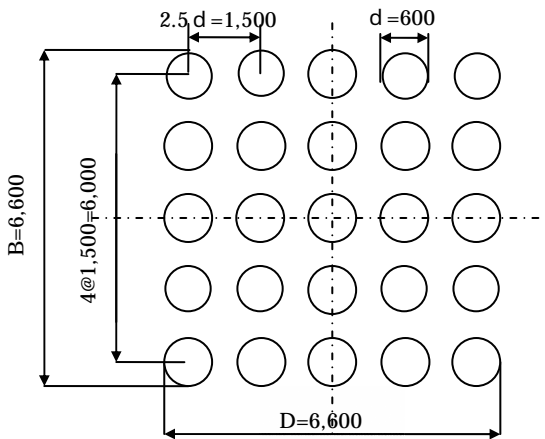


図 - 1 杭基礎寸法および配置(mm)

ここに

- ・ 鋼管杭の杭径と厚さ:  $d = 0.6\text{m}$ ,  $t = 16\text{mm}$
- ・ 杭の中心間隔:  $2.5d = 1.5\text{m}$
- ・ 杭本: 縦 5 本, 横 5 本, 計  $5 \times 5 = 25$  本
- ・ 形状係数:  $\alpha = 1.3, \beta = 0.6$

と仮定する.

### 2.4 地盤条件

本研究では, 琉球層群のみを扱っているため, (4)式における  $\gamma_1, \gamma_2$  は同一のものとなる. 計算上対象とする琉球層群は, おおよその一軸圧縮強度  $q_u$  を  $N$  値より推定を行い<sup>4)</sup>, 長堂ら<sup>5)</sup>が収集した琉球層群の一軸圧縮強度  $q_u$  と単位体積重量  $\gamma$  の関係図(図 - 2 参照)を元に  $\gamma$  の値を安全側設計を考慮した上で 地盤の単位重量  $\gamma$  を  $17.6(\text{kN/m}^3)$  と仮定した. また, 地下水以下の単位重量を考慮すると  $\gamma_1 = \gamma_2 = 17.6 - 9.8 = 7.8(\text{kN/m}^3)$  となる.

琉球層群は砂質土地盤であるため, 地盤の粘着力  $c = 0$  とし, さらに, 基礎根入れ有効深さ  $D_f$  は, シミュレーションにより変化させる. 図 - 3 には対象としたオリジナル  $N$  値の分布を示す.

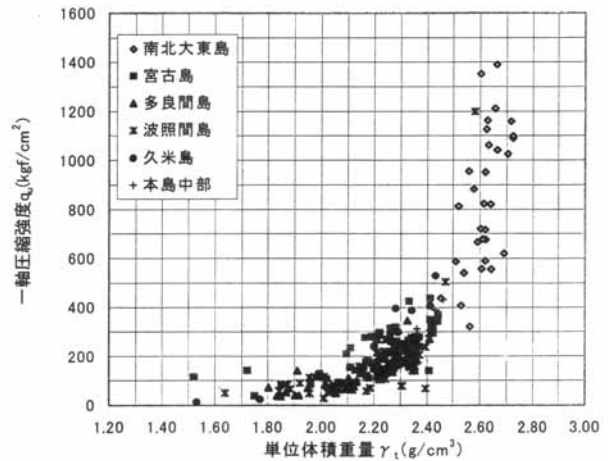


図 - 2 各地域の一軸圧縮強度と単位体積重量の関係

図 - 2 琉球層群の一軸圧縮強度と単位体積重量の関係<sup>5)</sup>

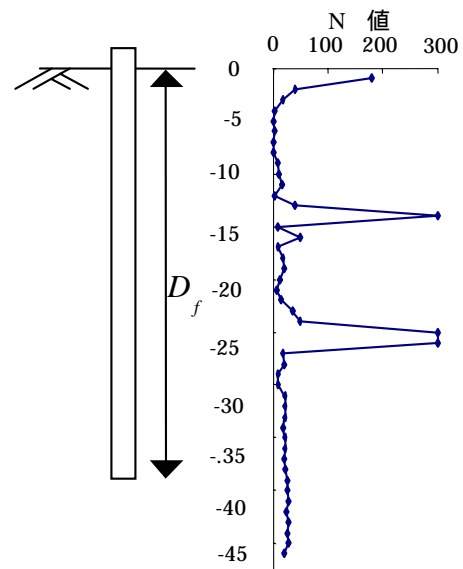


図 - 3 オリジナル換算  $N$  値分布

(古宇利大橋土質調査<sup>6)</sup>)

## 2.5 N値と $\phi$ , $\phi$ と $N_c, N_q, N_r$ について

N値とせん断抵抗角 $\phi$ の関係<sup>7)</sup>については

$$\phi = \sqrt{15 N} + 15 \quad (7)$$

$\phi$  : せん断抵抗角(°)

N : N値

の式で表すことができる。この式(7)によりN値が求まればせん断抵抗角 $\phi$ が決定する。 $\phi$ が求まると図-4に示すのせん断抵抗角と支持力係数の関係<sup>3)</sup>より、支持力係数 $N_c, N_q, N_r$ がそれぞれ求めることができる。

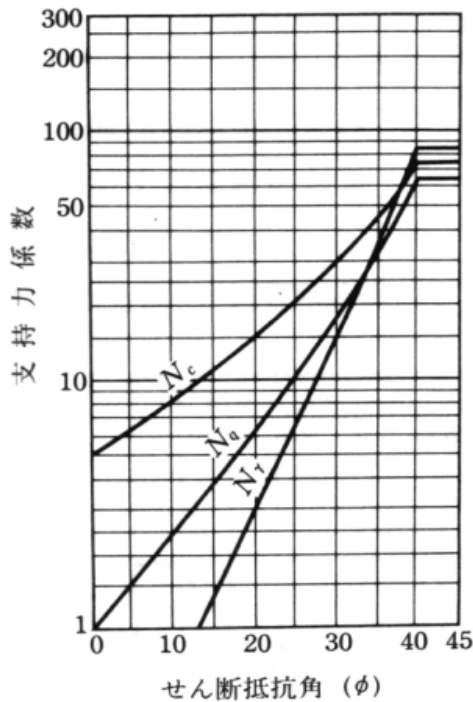


図-4 支持力係数を求めるグラフ<sup>3)</sup>

## 3. シミュレーション結果と考察

本研究の数値解析に利用した手法は、個々のばらつき要因であるN値に対し確率分布に応じた任意の乱数を発生させて一つの状態を仮定し、これを大量に実施するモンテカルロ・シミュレーション法<sup>8)</sup>を用いた。

式(1)で与えられる群杭の極限支持力は、杭径と杭の配置、N値、有効根入れ深さの関数となっており、N値の分布形状にも左右される。図-5はシミュレーション試行回数500回行ったときの深度と先端支持力、摩擦抵抗力、極限支持力の平均値の分布を示す。摩擦抵抗力は深度に比例して増加し、先端支持力は先端部分のN値の強度と有効根入れ深さに依存しているのが図からみてわかる。この例の場合、地盤中央の硬質部で打ち止めした方が高い支持力が得られることを示しており、これを打ち抜いてしまうと不経済ばかりか全体の支持力低下につながっている。

図-6に単杭の極限支持力に25倍(群杭の杭本数倍)と群杭の極限支持力の分布を示す。一般的に群杭は単杭の本数倍より、支持力が低下するものとされている(群杭効果)が、図から見てわかるようにほとんどの深度にたいして群杭の支持力が単杭の支持力を上回っている。

本研究では、群杭の影響が顕著に現れるとされる杭間の間隔を2.5D以下に設定している。このような結果が現れたのは式(1)の支持力機構に問題あるものと思われる。実際のケーソン基礎の設計は、許容支持力を元に行われている。この許

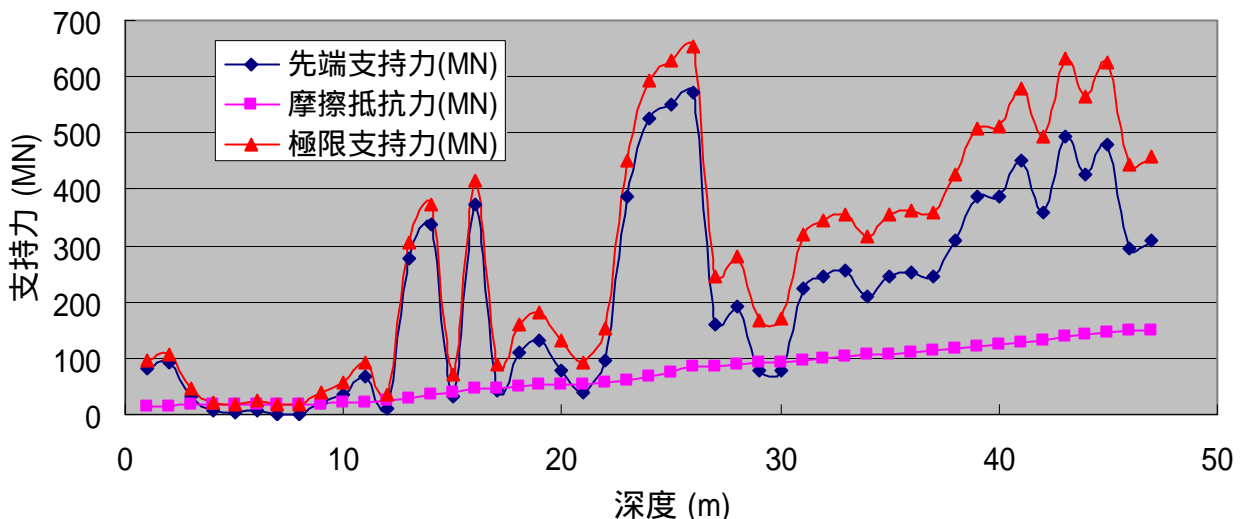


図-5 群杭シミュレーションによる深度と支持力の関係

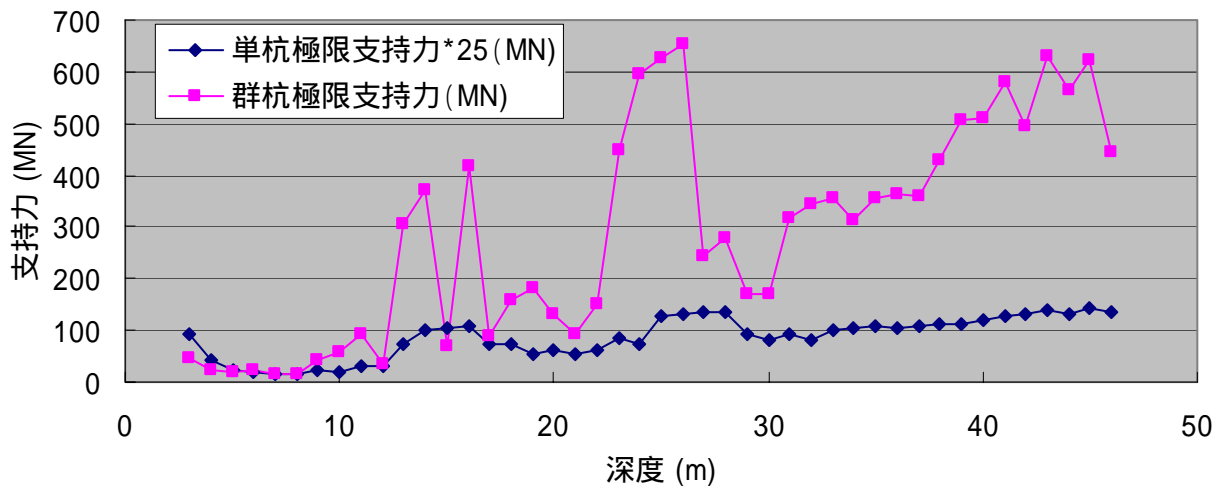


図 - 6 単杭\*25本と群杭の支持力の比較

容支持力の算定には、基礎の沈下より定まる上限値(図 - 7 参照)がある。これより許容支持力について、単杭の本数倍支持力と群杭の支持力を比較すると単杭支持力が大きく、逆転はないと考えられる。図 - 6 に示す支持力は、極限支持力についての比較であり、式(1)で算定される群杭の極限支持力は単杭の本数倍よりかなり大きい値となる。従って、式(1)による極限支持力を使って群杭の破壊確率の算定することは不適当と考えられる。

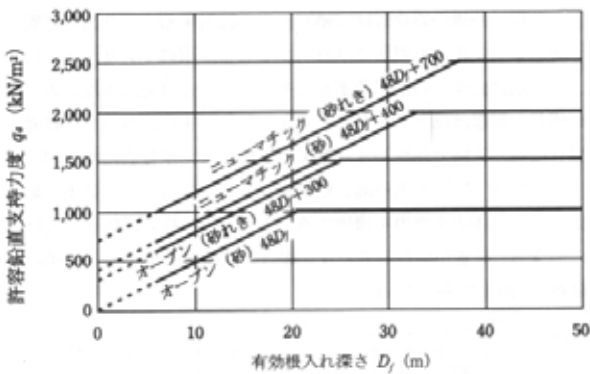


図 - 7 ケーソン基礎底面地盤の許容支持力の上限(常時)<sup>3)</sup>

今後の課題として、群杭の破壊確率を求めるために近似解法の1つとしてAngにより提案されるPNET法<sup>8)</sup>を参考に求める方法を検討中である。

#### 4. 参考文献

1)平木幹啓, 安谷屋賢, 原久夫: 琉球層群の打設杭による支持力の信頼性設計法への適用性に関する研究, 第16回沖縄地盤工学研究発表会講演

概要集, pp.27-30, 2003.11

2)安谷屋賢, 原久夫: 琉球層群中の打設杭支持力に関するモンテカル口法による破壊確率の評価, 平成15年度土木学会西部支部発表会, 第1分冊-36, pp.A244-A245, 2004.3.

3)(社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説. 下部構造編, (社)日本道路協会, 2003.

4)福井次郎, 石田雅博, 白戸真大, 松井謙二: 部分安全係数設計法に基づく構造物基礎の設計基準に関するいくつかの考察, 土木学会論文集 No.771/ -68, pp.315-320, 2004.9.

5)長堂嘉光, 真栄田義安, 金城正幸, 前川淳, 内村雄一: 琉球石灰岩地盤データベース作成活動に関する調査研究(その1)第13回沖縄地盤工学研究発表会講演概要集, pp.70~73, 2000.

6)古謝昌也: 琉球層群のN値の統計特性およびその信頼性設計法への適用性に関する研究, 平成14年度卒業論文

7)(社)地盤工学会: 地盤調査法, (社)地盤工学会, pp.200-2001, 1995.

8)星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿児島出版会, 1998.