

# 琉球層群中の打設杭支持力に関するモンテカルロ法による破壊確率の評価

琉球大学大学院理工学研究科 学 安谷屋 賢  
琉球大学工学部 正 原 久夫

## 1. はじめに

主にサンゴ礁の死骸などで構成される琉球層群は、固結層と未固結層が複雑に堆積した琉球列島特有の地盤である。岩塊部では構造物基礎として十分な支持力はあるが、軟弱部の混在で基礎の支持地盤としては信頼性が乏しい。よって構造物の設計時の支持層は琉球層群の下部にある島尻層群を支持層とすることが多い。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有用である。

本文では、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に琉球層群の  $N$  値データを収集し、その統計解析から琉球層群中に打設された杭の支持力の推定を行い、その結果から破壊確率を算出した。杭の支持力の算出にあたっては実測  $N$  値の対数分布の平均値、標準偏差をもとに新たな  $N$  値分布を発生させるモンテカルロシミュレーション法を利用した。推定された杭の支持力からまた新たに安全率と変動係数を用いて、上部構造の荷重と標準偏差から荷重分布を乱数によって発生させた。そして、杭の支持力分布と上部構造の荷重分布の結果から破壊確率を算出した。

## 2. モンテカルロ法による破壊確率計算概要

### 2.1 琉球層群 $N$ 値の統計特性

琉球層群を含んだ地域（沖縄島、宮古島）での架橋調査で得られた 34 地点のボーリング柱状図から、対象層である琉球層群中で、 $N$  値が「自沈」、「反発」とあるところを除いた 964 個のデータを対象とした。 $N$  値 50 以上あるいは、1 回あたりの貫入量が 30cm 以上となる  $N$  値については、30cm 貫入量相当値に換算した  $N$  値を解析対象とした。既往の研究<sup>1)</sup>で  $N$  値そのものではなく、統計的に扱いやすい正規分布とはかけ離れたものとなったので、 $N$  値の属性が比率であることから、換算  $N$  値についてその対数を取ることで正規分布に従うことが示されている。なお、これ以降の記述において「 $N$  値」はすべて換算  $N$  値を表す。

### 2.2 杭の極限支持力公式

杭の極限支持力の算定方法は「道路橋示方書」下

部構造編」による(1)式（記号説明省略）で求めるものとする。

$$R_u = q_d A + U \sum l_i f_i \quad (1)$$

式中の各項の値は、杭径、打設長、 $N$  値の深度分布が与えられると決定される。この式から計算される極限支持力は、 $N$  値が大きくなると増大する構造を持つが、そのほかに  $q_d$ 、 $f_i$  に上限があることや  $N$  値の深度分布形状に影響されるという特徴を持っている。また、計算条件では直径 1.2m の開端鋼管杭を打設するものとする。

### 2.3 コレスキー行列による $N$ 値抽出方法

解析対象として 964 個の  $N$  値データを使い、 $N$  値と打撃長 10 cm ごとの区間打撃回数 ( $N_1, N_2, N_3$ ) の対数が正規分布するものとして、それらの平均値、共分散から新たに  $N$  値を発生させた<sup>2)</sup>。(2)式における  $c_{ij}$  は共分散行列から作られるコレスキー行列である。

$$[n_i] = \exp\{[c_{ij}][a_j] + [\mu_i]\} \quad (2)$$

$$n = n_1 + n_2 + n_3 \quad (3)$$

ここで  $n_0$  : オリジナル  $N$  値 ( $i = 0$ )

$n_i$  : 10cm 区間打撃数 ( $i = 1, 2, 3$ )

$c_{ij}$  :  $\sigma_{ij}$  のコレスキー行列要素

$\sigma_{ij}$  :  $\ln(n_i)$  の共分散行列

$a_j$  : 0 ~ 1 の乱数 ( $j = 0 \sim 3$ )

$\mu_i$  :  $\ln(n_i)$  の観測値の平均値 ( $i = 0 \sim 3$ )

$n$  :  $N$  抽出値

### 2.4 上部構造の荷重と破壊確率

破壊確率計算で使う荷重は、支持力の試行値を基準として設定した。すなわち、試行値の支持力平均値を安全率  $F_s$  で割った値を中心とする正規分布に従うものとした。正規分布の定量化は変動係数  $V_R$  (0.3, 0.25, 0.2) を想定して行った。支持力の試行値を  $S$ 、荷重の試行値を  $R$  とし、性能関数  $Z (= S - R)$  より  $Z \leq 0$  となる破壊回数を算出し破壊確率((4)式参照)を求めた。

$$P_f = P(Z \leq 0) \quad (4)$$

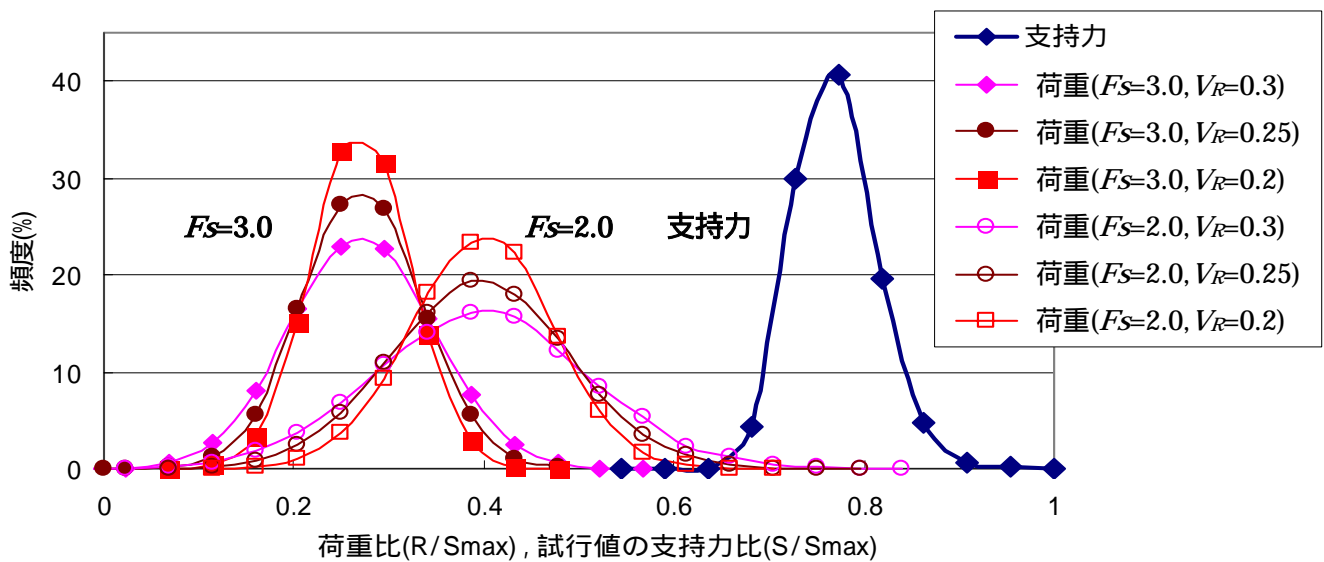


図-1 試行値の支持力と荷重の頻度分布

### 3.シミュレーションと結果、考察

2.2, 2.3 節までの計算を試行回数 10,000 回繰返し,  $N$  値のばらつきより(1)式で与えられる極限支持力がどのように影響を受けるかを調べた。また2.4節より, 安全率  $F_s$  (3.0, 2.5, 2.0), 変動係数  $V_R$  (0.3, 0.25, 0.2) に変化を与え荷重分布のばらつき特性から破壊確率についての関連性についても検討する。

図-1 は杭の打設深度 8 m における試行値の支持力と荷重の頻度分布である。図-1 の右側太線で描かれた曲線は, 試行値の支持力比 ( $S/S_{max}$ ) と頻度(%) の分布を示している。 $\bar{S}=1642.4(\text{kN})$ ,  $S_{max}=2120.5(\text{kN})$  である。支持力比の分布形状は, ほぼ正規分布を示している。図-1 の左側に描かれた 6 本の曲線は安全率  $F_s$  (3.0, 2.0), 変動係数  $V_R$  (0.3, 0.25, 0.2) と変化させた正規化した荷重比の頻度分布を示す。荷重比は安全率の低下, 変動係数の増加とともにばらつきが増大することがわかる。安全率  $F_s=2.0$  では荷重分布が支持力分布を上回る箇所も現れている。

図-2 は変動係数と破壊確率の関連性について検討した図である。安全率  $F_s=3.0, 2.5$  の場合, 変動係数  $V_R=0.2, 0.25, 0.3$  の間では破壊は見られなかった。安全率  $F_s=2.0$  の場合, 変動係数が増加すると破壊確率は増加することがわかる。 $F_s=2.0, V_R=0.3$  では破壊確率  $P_f=0.11(\%)$  であった。

### 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応性に関する研究, 第 16 回沖縄地盤工学研究会講演概要集, pp.27-30, 2003.11.
- 2) 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版, 1998

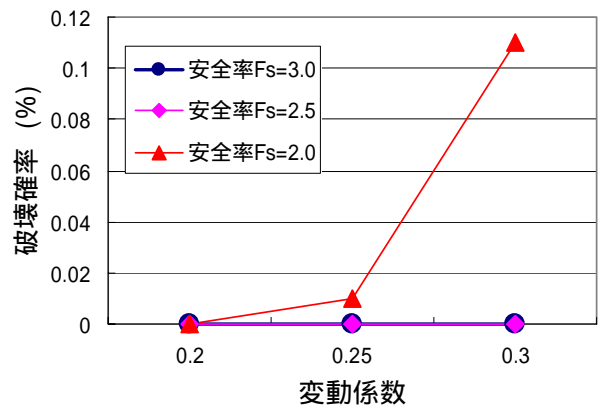


図-2 変動係数と破壊確率の関係

### 4.まとめ

本文では, 琉球層群を支持地盤としての有効に活用することを目的とし, モンテカルロ法を用いて破壊確率を算定することで, その支持地盤としての評価を行った。その結果をまとめると, 安全率  $F_s=2.5, 3.0$  の破壊は見られず, 安全率  $F_s=2.0$  で破壊がみられ, 変動係数  $V_R=3.0$  の場合には破壊確率  $P_f=0.11(\%)$  であった。

上部構造の荷重値に対し, 地盤支持力が荷重値を上回るようにするためには, 安全率 2.5 以上ないし重要構造物に対しては安全率 3.0 に設定することが望ましい。また, 変動係数が大きい場合にはその荷重のばらつきを考慮し, 安全率を上げるなどの配慮が必要である。