

琉球層群中の打設杭に関する支持力の統計的推定

琉球大学 正会員 ○原 久夫

1. まえがき

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があっても軟弱部の混在で支持地盤として評価されていない。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試みた結果について述べる。算出にあたっては実測 N 値分布の平均値、標準偏差をもとに新たな N 値分布を乱数によって発生させ、杭の支持力を求めるモンテカルロシミュレーション法によった。

その結果から、琉球層群のような N 値変動の激しい地層中に打設された杭を対象として、打設長と極限支持力の関係について考察した。これらの結果は、結局、杭の支持力計算公式自体がもつ上限制限値や特性に支配されており、より信頼性の高い信頼性設計の確立には支持力機構の解明が不可欠であろう。

2. 琉球層群の N 値と支持力計算2-1 琉球層群の N 値の収集とその統計的特性

琉球層群を含む地域(沖縄島、宮古島)での架橋調査で得られた 34 地点で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」とあるところ除いた 1214 個のデータを解析対象とした。 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。換算 N 値は、実際の地盤の硬さを反映しているものと考えられるが、その値は 0.353 ~ 1500 と非常に広範囲にわたる。そのため換算 N 値の平均値は 72.9、標準偏差は 159 となる。ヒストグラムのひずみ度は 6.23 となり、 N 値そのものでは、統計的に扱いやすい正規分布とはかけ離れたものとなる。 N 値のもつ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り分布を調べることが有効で、実際にそれらは平均値 3.45、標準偏差 0.345 の正規分布に従うことが示されている¹。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 杭の支持力公式と支持力計算のシミュレーション

杭の極限支持力は、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。

あるボーリング地点を対象とした地質調査による N 値データは、琉球層群の N 値母集団からのひとつの実現値と考えて、

その平均値、標準偏差を使い、 N 値の対数が正規分布するものとして新たに N 値を発生させる。さらに、調査による N 値の深度方向について大小関係を一致させ、 N 値の試行値系列を作成する。その試行値系列に対し、琉球層群中への打設杭の極限支持力計算を(1)式により求める。このような試行を数多く行い、その調査地点において、 N 値の深度分布を考慮した杭の極限支持力の統計分布を調べるものである。計算条件は、直径 60cm の鋼管杭を打設するものとして行った。

3. シミュレーション結果と考察

(1)式で与えられる極限支持力は、杭径と打設長と N 値の関数となっており、 N 値の分布形状にも左右される。ここでは実測の N 値データの中から、途中に固結部と軟弱部を挟む形状パターンについての結果を示す。

図-1(A)は、琉球層群上位面を基点としたオリジナル N 値の深度分布と試行抽出して得られる N 値の深度分布の一例を比較したものである。試行による抽出は、 $\ln N$ に対して行っているので $\ln N$ でのオリジナル値と抽出値との比較を示すものが図-2(B)である。これらの図からシミュレーション抽出した N 値分布は、オリジナル N 値の深度分布の特性をよく反映したものとなっていることが確認できる。このような抽出試行を 100 回行い、それぞれについて(1)式に基づいて極限支持力を計算し、その出現の様子から統計特性を調べる。このような作業を杭の打ち止め深度をへたて行い、対象地点の琉球層群 N 値の深度分布を取り入れた支持力の確率変動を考察する。

図-1(C)は、オリジナル N 値分布から計算される先端支持力、摩擦抵抗力、極限支持力と杭の打ち止め深度との関係を示す。同様に図-1(D)は、試行値から計算される支持力の平均値との関係を示す。両者の比較から、オリジナル N 値分布からの支持力と抽出値からの支持力に大きな違いはないことがわかる。さらに摩擦力は打ち止め深度に比例して単調に増加すること、先端支持力は、先端部分の N 値に依存することがわかる。またこの例では、地盤中央部の硬質部で打ち止めにしたほうが高い極限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となるばかりか、全体の支持力が低下することになる。

図-2 は、試行による極限支持力の出現特性を示すヒストグラムの一例で、打設深度 44m の場合を示す。図-2(A)、(B)、(C)はそれぞれ先端支持力、摩擦抵抗力、極限支持力の頻度分布である。図に示すように先端支持力はいびつな分布形状を示し、正規分布からは大きな隔たりがあり、摩擦抵抗力はほぼ正規分布に近い分布となっている。また極限支持力は先端支持力の影響を受けて少しいびつな分布形状となる。このような原因は、(1)式の支持力計算において係数に上限値を設けてあることによる。したがってこの分布形状は地盤特性よりも支持力公式の

特性を反映したものとなっている．また上載荷重が設定されると、このヒストグラムから直接、杭の破壊確率が求まり、杭の打設深度の増加に伴う破壊確率の増減を評価でき信頼性設計²が可能となる．

4. まとめ

本文では、琉球層群を基礎地盤として有効に活用することを目的として、 N 値の変動を統計的に取り入れた杭の支持力特性について考察した．その結果をまとめると以下のようである．

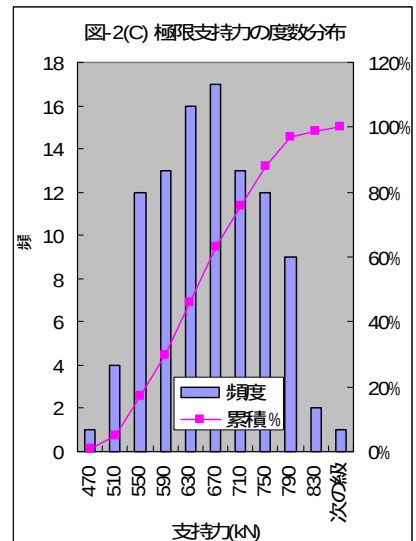
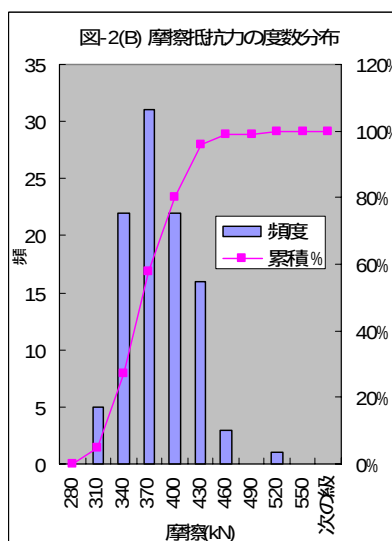
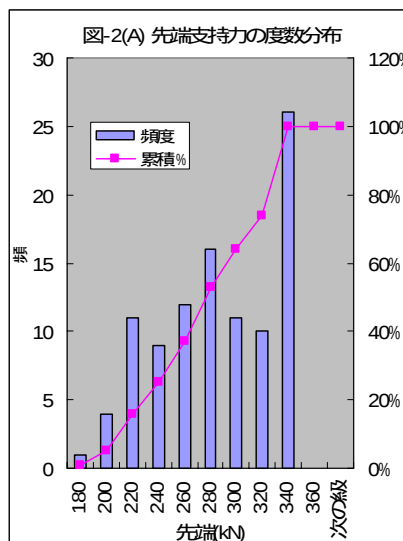
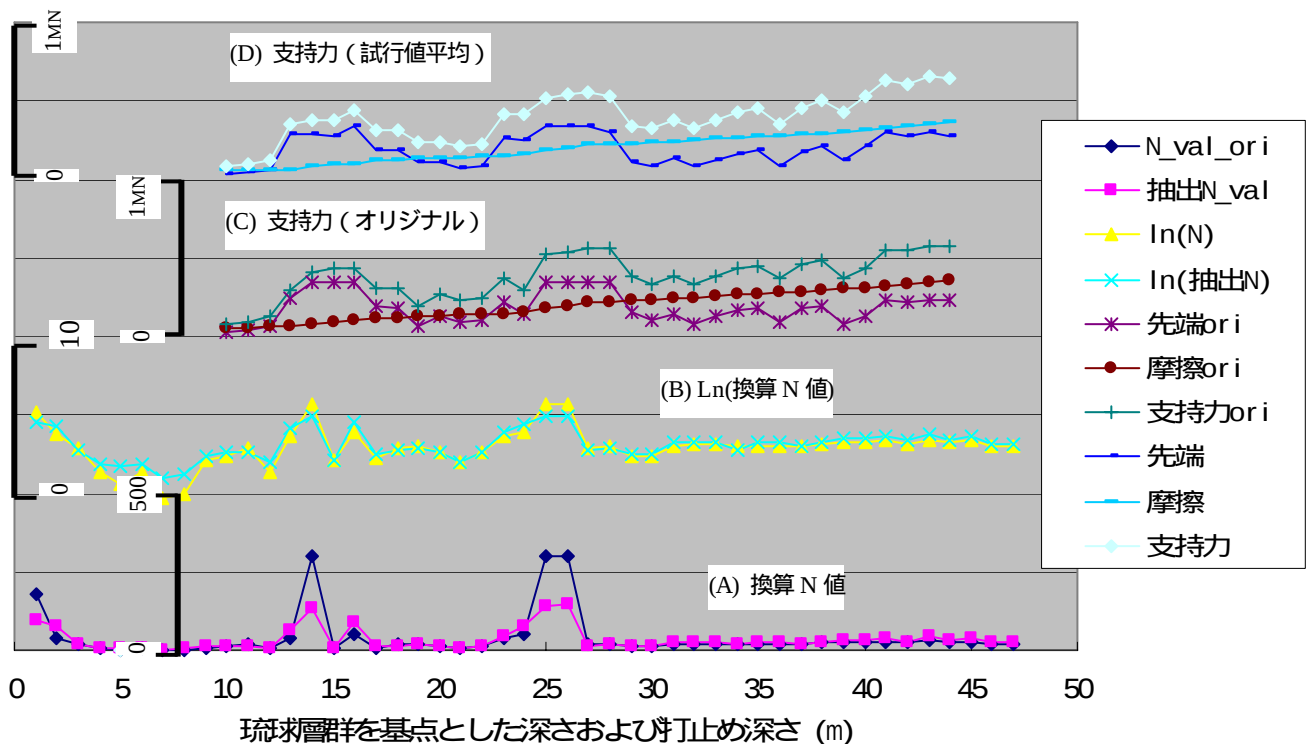
1. 試行による支持力の出現頻度分布は、先端支持力はい

びつな分布形状を示し、摩擦抵抗力はほぼ正規分布に近い分布となる．

2. この原因は、(1)式の支持力計算において係数に上限値を設けてあることによる．したがってこの分布形状は地盤特性よりも支持力公式の特性を反映したものとなっている．

3. 上載荷重が設定されると、このヒストグラムを利用して、杭の打設深度の増加に伴う破壊確率の増減を評価でき、信頼性設計が可能となる．

図-1 琉球層群中の深度と N 値、支持力関係 (id_33)



¹ 古謝昌也, 原久夫: 琉球層群の N 値に関する統計的性質について, 第 15 回沖縄地盤工学研究発表会, 63-66, 2002.11

² 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1998