

III-435

摩擦杭のNFの簡易化算定法

(株)ジオトップ 正会員 平山 英喜

1. まえがき

地盤沈下地帯における杭に作用するネガティブ・フリクション(NF)の算定には、まず中立点の深度を決める必要がある。中立点の位置は、杭先端地盤が堅固な場合は杭先端付近になるが、極限先端支持力が小さくなるにつれて中立点は浅くなる。このような場合は実大杭による実測が望ましいが、微分方程式に基づいた理論解析でも算定できる¹⁾。しかし、いわゆる摩擦杭の場合は、ある程度沈下すると、中立点の近傍を除いて正負の摩擦抵抗および先端抵抗が極限状態に至っている。本稿では、その中立点の簡易化計算式を用いてNFを算定する方法を述べる。さらに、実測例に対する簡易化算定法および非線形BEMによる解析結果を比較して、提案した簡易化算定法がその簡潔性にもかかわらず、よりずっと厳密な数値解析法とほぼ同じ結果を与えることを示す。

2. 中立点深さの簡易化計算式に基づくNF算定

2.1 中立点深さの簡易化計算式

周面摩擦抵抗 f は、杭径の1%程度の相対変位で極限值 f_{ult} に至る。先端抵抗 q は、先端地盤が砂質系地盤の場合の場所打ち杭を除いて、杭径の数%程度の先端沈下ではほぼ極限值 q_{ult} に至る。したがって、いわゆる摩擦杭では中立点付近で杭径の数%程度の地盤沈下が生じると、中立点の近傍を除いて $|f| \cdot q$ とも $|f_{ult}| \cdot q_{ult}$ と見なせる。中立点近傍での正負の f はほぼキャンセルしあうことと、杭体の変形量は無視しうることから、次の力の釣合式のみから中立点の深度を近似的に算定しう²⁾。

$$Q + Q_{NF} = Q_T + Q_{PF} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Q = 杭頭荷重、 Q_T = 極限先端支持力、 Q_{NF} = 負の摩擦力、 Q_{PF} = 正の摩擦力。

図-1(a)(b)に示すように、深度方向に f_{ult} が線形増加する地盤および一定の地盤中の杭に対する中立点の深度を、次の条件で(1)式により算定してみる。

① 杭は、根入れ長さ L 、直径 D とする。

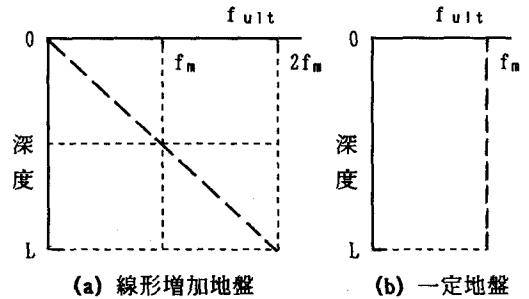


図-1 地盤条件

- ② f_{ult} の平均値を f_m とする。したがって、一定地盤では $f_{ult} = f_m$ 、線形増加地盤では $L/2$ の深度で $f_{ult} = f_m$ となる。中立点より浅い所では $f = -f_{ult}$ 、深い所では $f = f_{ult}$ とし、遷移領域は考慮しない。
- ③ 先端抵抗は $q = q_{ult}$ とする。
- ④ 杭頭荷重は $Q = p(\pi D^2/4)$ とする。

以上より、中立点の深度 z_n は、次のように計算される。

$$z_n = L(1/2 + C/8)^x \quad \dots\dots\dots (2)$$

$x = 1/2$ (図-1(a)の線形増加地盤の場合)

$x = 1$ (図-1(b)の一定地盤の場合)

ここに、 $C = \{(q_{ult} - p)/f_m\}(D/L)$ 。

摩擦杭では、一般に(2)式において C が小さいことが多い。その場合、線形増加地盤で $z_n/L \approx 1/\sqrt{2} = 0.71$ 、一定地盤で $z_n/L \approx 0.5$ となり、 f_{ult} の平均値 f_m が同じでも、後者のほうが中立点の深度が浅くなる。その程度が、(2)式の指数 $x = 1/2$ と $x = 1$ の違いに表されている。

なお、地盤条件がより一般的に $f_{ult} = a + bz$ の形で線形増加する場合は次のようになる。

$$z_n = L \{-R + [R^2 + R + 1/2 + (D/L)R(q_{ult} - p)/4a]^{1/2}\} \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 $R = a/bL$ 。

2.2 NF算定法

実際の地盤の各地層の $f_{ult,i}$ の深度分布から、図-1の(a)線形増加地盤、(b)一定地盤、または $f_{ult} = a + bz$ のいずれかの直線分布パターンを仮定して、(2)式または(3)式で中立点の深度 z_n

表－1 解析対象とした実測例

	cF ₃₁ 杭 ⁴⁾	P-5 杭 ⁵⁾
杭	D=60.96cm L=31m	D=4.8cm L=40cm
地盤	$f_{ult} [tf/m^2]$ N値=3 $f_{ult} = N/3$ $f_{ult} = C_u$ $Q_{ult} = 9 \times 7 = 63 [tf/m^2]$	$f_{ult} [tf/m^2]$ $f_{ult} = C_u$ $Q_{ult} = 9 \times 0.8 = 7.2 [tf/m^2]$
地盤沈下	地表面 12.9cm 杭先端 2.8cm 備考 中間深さも実測値	1.0cm 0.2cm BEM計算収束の関係で上記の値が限界

を計算する。そして、 Q_{NF} および Q_{PF} を各々 $0 \leq z \leq z_n$ および $z_n \leq z \leq L$ の区間で、 $\pi D \sum f_{ult,i} \Delta z_i$ で計算する。この際には、地層ごとの $f_{ult,i}$ は、 z_n を計算するために仮定した直線分布パターンに厳密に一致する必要はない。

3. 解析例

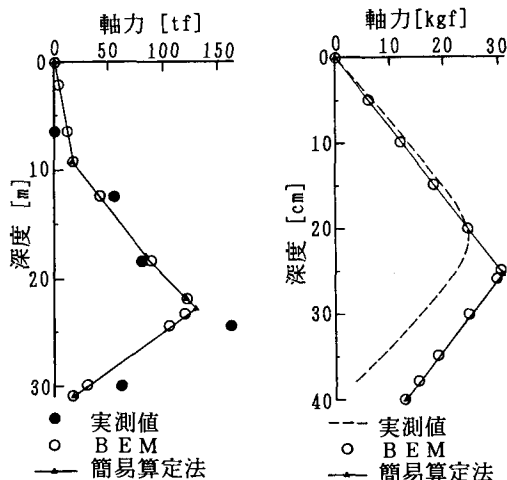
双曲線型の非線形 BEM³⁾ は、土のせん断応力－せん断ひずみ関係・先端抵抗－先端沈下量関係の非線形性、杭体の弾性変形、任意の地盤沈下量、任意の地盤条件を考慮して NF を解析できる。そこで、前章の簡易化算定法の精度チェックの観点から、実測例に対して両方法で解析した結果を比較してみる。

実測例として、表－1 に示した線形増加地盤型の cF₃₁ 杭⁴⁾ と一定地盤型の P-5 杭⁵⁾ を対象とする。解析に用いたインプット定数を表－2 に示す。計算結果を、実測値と比較して図－2 に示す。実測値は cF₃₁ 杭が 6m ピッチ、P-5 杭が 10cm ピッチであるので詳細な比較はできないが、両計算結果と良く対応していると言える。さらに、両方法による計算結果は、ほとんど一致している。

したがって、 f_{ult} の深度分布が直線近似できる場合は、2 章で述べた方法で、いわゆる摩擦杭の NF を簡潔に算定できる。

表－2 解析インプット定数

	簡易化算定法	BEM
$f_{ult} \cdot Q_{ult}$	表－1 参照	表－1 参照
$f_m \cdot x$	cF ₃₁ : 4 [tf/m ²] x = 1/2 P-5: 0.8 [tf/m ²] x = 1	
E_i ³⁾		1500 f_{ult} or 1400 N [tf/m ²]
ν		0.5
R_{fs} ⁶⁾		0.3
杭の換算 E		cF ₃₁ : 1.29 $\times 10^6$ [tf/m ²] P-5: 4.4 $\times 10^4$ [tf/m ²]
地盤沈下量		表－1 参照



(a) cF₃₁ 杭 (b) P-5 杭
図－2 NF の計算結果と実測値の比較

参考文献

- 1) 日本建築学会(1988): 建築基礎構造設計指針, p. 293.
- 2) 平山英喜(1992): 長尺摩擦杭の支持機構から見た設計上の留意点, 土と基礎, Vol. 40, No. 2, pp. 35-40.
- 3) 平山英喜(1990): 杭の沈下解析法と構成式, 土と基礎, Vol. 38, No. 7, pp. 51-56.
- 4) 遠藤正明(1969): 第5章 ネガティブフリクション, 土質基礎工学ライブラリー 6 鋼ゲイ, 土質工学会.
- 5) 高橋邦夫(1985): 沈下地盤中の単杭の挙動に関する実験的研究, 港湾技研資料, No. 533.
- 6) 平山英喜・山下啓明(1991): 単杭の沈下解析における双曲線フィッティング係数, 土木学会第46回年講, III, pp. 794-795.