

要 旨 杭の振り抵抗を支配する杭周面摩擦強度が、周方向変位の中乗で表わされる場合の非線形2階微分方程式を、1階の方程式に近似的に低階させることにより、繰返し収束計算を行わずに杭の振り変形を求める方法について述べたものである。実測値から中指数と反力係数を求めた例も示した。

1. 杭の振り変形の一般式

杭を外径 $2r_0$ の円形または円環断面とし、地表面から下向きに z 軸をとると、釣合い条件： $dT_z/dz - m_z = 0$ 、と変形条件： $T_z = G_p J_p (d\phi_z/dz)$ とから、振り変形の一般式は次式で与えられる。

$$G_p J_p (d^2\phi_z/dz^2) + m_z = 0 \quad (1)$$

こゝに、 T_z : 振りモーメント、 G_p : 杭材料のせん断弾性係数、 J_p : 杭断面の振り定数、 m_z : 杭の単位長さ当りの分布振りモーメント、および、 ϕ_z : 杭の振り角、である。

杭外周面に作用するせん断応力 T_z が、杭周方向変位 $v_z = r_0 \phi_z$ と深さ z の関数として

$$T_z = k_s z^m (r_0 \phi_z)^n \quad (2)$$

と表わされるものとする。こゝに $m \geq 0$ 、 $0 < n \leq 1$ で k_s はせん断変形地の地盤反力係数($\text{tf}/\text{m}^{2+m+n}$)である。式(1)の m_z は $m_z = -2\pi r_0^2 T_z$ で与えられる。

$n=1$ 、すなわち線形の場合で、 $m=0$ および $m=1$ のときの解は既に与えられており、Randolph⁹⁾(1981)は上のせん断弾性係数 $G_s (= r_0 k_s/2)$ と標準貫入試験の N 値との間に、 $G_s = N$ (MN/m^2)の関係が成り立つことを示している。

2. 非線形近似解

$n \neq 1$ 、すなわち非線形の場合で、一様地盤($m=0$)と根入れ長が十分大きいことを仮定する。 $n=1$ とした線形方程式：

$$d^2\phi_z/dz^2 - \alpha_1^2 \phi_z = 0; \quad \alpha_1^2 = 2\pi r_0^3 k_s / G_p J_p \quad (3)$$

の収束解： $\phi_z = C e^{-\alpha_1 z}$ が1階の微分方程式：

$$d\phi_z/dz + \alpha_1 \phi_z = 0 \quad (4)$$

を満足することから、非線形方程式：

$$d^2\phi_z/dz^2 - (2\pi r_0^{2+n} k_s / G_p J_p) \phi_z^n = 0 \quad (5)$$

と等価な1階の非線形方程式を

$$d\phi_z/dz + \alpha_n \phi_z^{(n+1)/2} = 0 \quad (6)$$

と仮定すると、 α_n が次の値をとるとき式(6)は式(5)を満足する。

$$\alpha_n = \sqrt{4\pi r_0^{2+n} k_s / (n+1) G_p J_p} \quad (7)$$

深さ z の奥の振りモーメント T_z は

$$T_z = -G_p J_p (d\phi_z/dz) = G_p J_p \alpha_n \phi_z^{(n+1)/2} \quad (8)$$

表1 杭の諸元²⁾

杭	A	B
$2r_0$ (mm)	600	812.8
$G_p J_p$ (tf·m ²)	1.18×10^4	2.97×10^4
根入れ長 (m)	40	40

表2 実測値 ϕ_n (mR)²⁾

T (tf·m)	A	B
3	2.22	1.10
6	4.53	2.34
9	7.03	3.73
12	9.79	5.25
15	13.11	6.92
18	16.75	8.71

表3 推算値

	A	B
n	0.7	0.7
k_s (tf/m ^{2.7})	119	61

であるから、地表面($z=0$)での捩りモーメントを T_0 、捩り角を ϕ_0 とすると、 $T_0 = G_p J_p \alpha_n \phi_0^{(n+1)/2}$ または $\phi_0 = (T_0 / G_p J_p \alpha_n)^{2/(n+1)}$ より T_0 と ϕ_0 の実測値を用いて n と ϕ_0 を推定できる。

式(6)を差分表示すると、 Δz を等間隔の分割長として

$$\phi_i = \phi_{i-2} - 2\alpha_n \Delta z \cdot \phi_{i-1}^{(n+1)/2} \quad (9)$$

であり、 ϕ_0 と $\phi_1 = \phi_0 - \alpha_n \Delta z \cdot \phi_0^{(n+1)/2}$ とを出発値として、収束計算を行うことなく ϕ_i ($i \geq 2$)が求められる。

3. 実測値からの推算

佐藤・広瀬(1980)²⁾は表1の鋼管杭について捩り試験を行い、地上 $h=0.8$ mの位置での実測値 ϕ_h として表2の結果を得ている。 $\phi_h = \phi_0 + Th / G_p J_p$ であるから、

$$\alpha_n = (T / G_p J_p) \{ \phi_h - (Th / G_p J_p) \}^{2/(n+1)} \quad (10)$$

と式(7)より、 n をパラメータとして各荷重段階ごとの ϕ_0 とその平均値を求め、残差平方和が最小になる場合をとると表3の結果が得られる。

これらの値を用いて実測値と計算値とを対比させたのが図1であり、A杭について $\Delta z=0.2$ mとして、式(5)を繰返し収束計算したものと、式(9)を逐次計算したものとを示したのが図2である。

これらの結果から、式(6)の低階近似式は実用上十分な精度をもつものと考えられる。

4. あとがき

非線形捩り抵抗の1ケースについて低階近似化の方法を述べたが、他の土質定数と中指数 n および反力係数 k との関係については今後の検討課題である。この方法は摩擦杭の沈下性状の研究にも適用することができる。

[参考文献]

- 1) Randolph, M.F.: Piles Subjected to Torsion, Proc. ASCE, Vol. 107, No. GT8, Aug. 1981, pp. 1095-1111.
- 2) 佐藤寛一, 広瀬荘八郎: 単, 組ぐいの偏心水平載荷試験結果について, 北海道開発局土木試験所報告, No. 328, Sept. 1980, pp. 7-15.

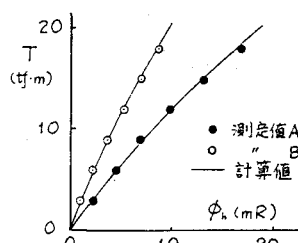


図1 実測値と計算値の比較

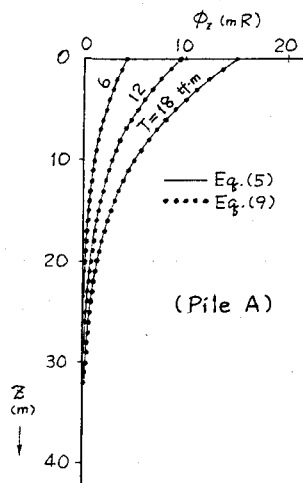


図2 低階近似式の精度