

多層地盤中の群杭の水平方向複素剛性の簡易評価式

株式会社熊谷組 技術研究所 正会員 ○勝川 藤太、鈴木 猛康
 東京大学 生産技術研究所 正会員 小長井 一男

1. はじめに

地震時に構造物は基礎・地盤の影響を受けて振動し、基礎・地盤もこの構造物の振動による影響を受けて振動が変化する。このような動的相互作用のうち、構造物の慣性力による基礎と地盤との相互作用は地盤の複素剛性で評価することができる。水平成層地盤における複素剛性は、薄層要素法¹⁾を基本として小長井により開発された数値解析プログラムTLEM²⁾等を用いて精度良く評価することができるが、設計に動的相互作用を取り込むことを想定した場合、初期段階においてはより簡便な評価方法が必要と考えられる。既に単一層地盤における水平方向複素剛性に関しては、小長井により簡易評価式³⁾が提案されている。本稿は、この簡易評価式を水平成層地盤に拡張することを目的にTLEMを用いて実施したパラメトリックスタディ、およびその結果得られた簡易評価式について報告するものである。

2. 単一層地盤における水平方向複素剛性の簡易評価式

式(1)は単一層地盤における水平方向複素剛性の簡易評価式である。 μ は土のせん断弾性係数、 L_0 は杭と地盤の剛性比を示す定数で L_a/α 、 R_0 は群杭と等価な鉛直梁²⁾の半径である。ここで、 L_a はActive Pile Lengthと定義され、図-1に示すように実際に変形する群杭の長さである。なお、 α は地層構造により変化する係数である。また、 ω は円振動数、 V_s はせん断弾性波速度、 EI は杭の曲げ剛性である。

$$k_{xx} \cong \mu L_0 \left[\left\{ c_1 \frac{R_0}{L_0} + c_2 \right\} + i \cdot c_3 \cdot a - c_4 \cdot a^2 \right] \quad (1)$$

$$(c_1 = 2\pi, c_2 = \pi/2, c_3 = 2\pi, c_4 = \pi/4)$$

$$a = \frac{\omega R_0}{V_s}, \quad L_0 = \sqrt[4]{\frac{EI}{\mu}}, \quad L_a = \alpha L_0 \quad (2a)-(2c)$$

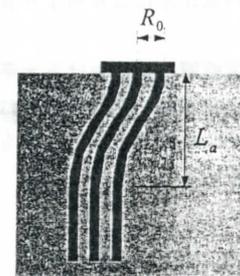


図-1 Active Pile Length

3. 解析モデル

図-2は解析対象とした群杭を示したもので、杭径0.6m、杭長20mの4本の杭が1.5mの間隔で正方形に配置されているものとした。また、杭の弾性係数は $E_p = 2.01 \times 10^7 \text{tf/m}^2$ 、密度は $\rho_p = 0.80 \text{t/m}^3$ である。図-3は解析対象とした水平成層地盤を示したもので、せん断弾性波速度が1番上の地層から基盤に向かって線形に変化するものとした。本解析ではこのせん断弾性波速度の単位長さ当たりの変化率をパラメータ r_{vs} としており、図-3に示した5つの地層構造S1~S5を想定した。なお、土の密度は $\rho_s = 0.153 \text{t/m}^3$ 、ポアソン比は $\nu = 0.49$ で、S1~S5で一定である。

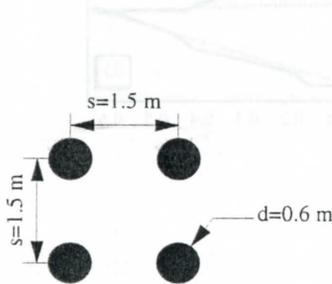


図-2 解析対象とした群杭

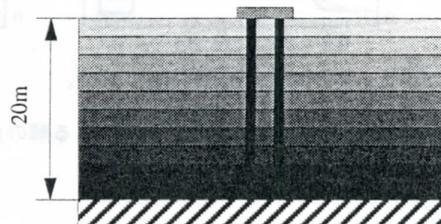


図-3 解析対象とした水平成層地盤パターン

	S1	S2	S3	S4	S5
	80	80	80	80	80

	120	160	200	240	280

unit : m/sec

4. 水平成層地盤への拡張方法

式(1)中の係数 $C_1 \sim C_4$ に補正係数 $r_1 \sim r_4$ を乗ずることで、式(1)を水平成層地盤へ拡張することとした。これに当たり、
 Simple Expression of the Dynamic Stiffness of Grouped Piles Embedded in an In-Homogeneous Soil Deposit in Sway Motion;
 Touta KATSUKAWA, Takeyasu SUZUKI (Technical Research and Development Institute Kumagai Gumi Co., Ltd.)
 Kazuo KONAGAI (Institute of Industrial Science, University of Tokyo),

L_0 および各地層構造S1~S5を代表するせん断弾性係数 μ を設定する必要があるので、 L_0 は各地層構造の第1層の物性値を用いて求め、 μ は深さ $2L_0$ までの平均値として求めることとした。また、杭の振動モードを $\psi(z)$ とすると、係数 $C_1 \sim C_4$ には式(3a)・(3d)の関係がある。そこで、式(3a)・(3d)の右辺が単一層地盤の場合と水平成層地盤の場合のそれぞれの値の比を取り、これを補正係数 $r_1 \sim r_4$ とした。さらに、補正係数 $r_1 \sim r_4$ とせん断弾性波速度の変化率 r_{vs} の関係式を求め、係数 $C_1 \sim C_4$ にこの関係式を乗じて水平成層地盤の簡易評価式を求めた。ここで単一層地盤には、 L_0 を求めたときの物性値を用いた。以後、単一層地盤をS0とする。

$$C_1 \propto \int_0^{L_a} \mu(z)(\psi(z))^2 dz, \quad C_2, C_3 \propto L_a \int_0^{L_a} \mu(z)(\psi(z))^2 dz, \quad C_4 \propto L_a \int_0^{L_a} (\psi(z))^2 dz \quad (3a)-(3d)$$

5. パラメトリックスタディによる解析結果

TLEMを用いて地層構造S0~S5における杭の振動モードおよびActive Pile Length L_a を求めた。図-4は振動数約0.3Hzのときの振動モードを示したものであり、振動モードおよび L_a が地層構造によらずほぼ一定であることが分かる。この傾向は0.2~5.0Hzの範囲では同様であった。図-5はこの振動モードを用いて求めた補正係数とせん断弾性波速度の変化率の関係であり、 $r_1 \sim r_3$ がほぼ直線的に変化していること、および r_4 がせん断弾性波速度の変化率によりあまり変化しないことが分かる。

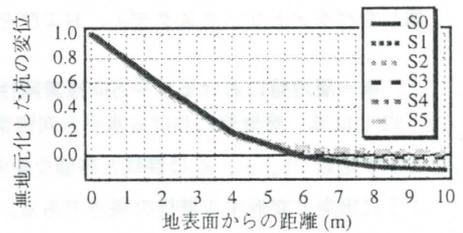


図-4 杭の振動モード

6. 水平成層地盤における水平方向複素剛性の簡易評価式

以上の結果より簡易評価式は式(4)のようになる。図-6は式(4)による解とTLEMによる解を比較したものであり、いずれのケースも良好な近似を示している。

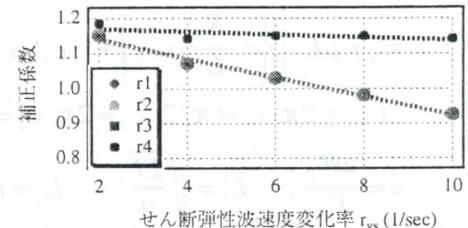


図-5 補正係数とせん断弾性波速度変化率の関係

$$k_{xx} \equiv \mu L_0 \left[\left\{ r_1 c_1 \frac{R_0}{L_0} + r_2 c_2 \right\} + i \cdot r_3 c_3 \cdot a - r_4 c_4 \cdot a^2 \right] \quad (4)$$

$$(r_1, r_2, r_3 = 1.193 - 0.027r_{vs}, \quad r_4 = 1.177 - 0.004r_{vs})$$

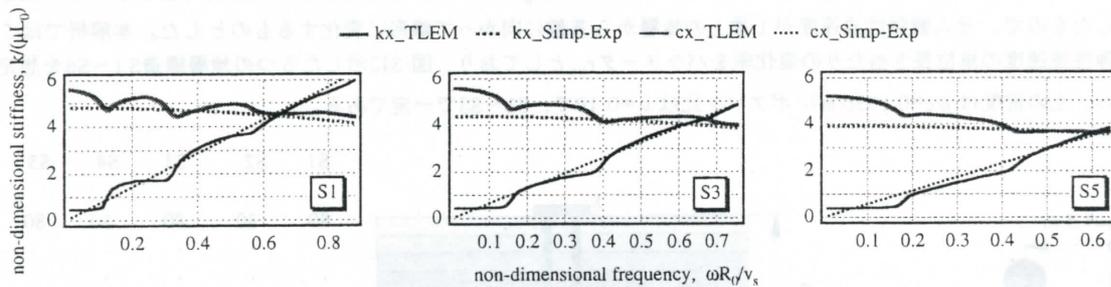


図-6 簡易評価式による解とTLEMによる解の比較

7. まとめ

補正係数を導入して単一層地盤の簡易評価式を拡張することで、水平成層地盤についても水平方向複素剛性の簡易評価式を得ることができた。また、この簡易式は薄層要素法による解を実用上十分な精度で近似できることを示した。ただし、今回のケースは地盤に比して群杭の剛性が低い可能性もあるので、より剛性の高い群杭を用いたケースに対する検討も必要である。今後は、簡易評価式の回転方向への拡張を実施する予定である。

参考文献

1)田治見, 下村: 3次元薄層要素による建物-地盤系の動的解析, 日本建築学会論文報告集, 第243号 pp.41-51 1976.
 2)Konagai, K.: Guide to "TLEM", program manual No.5, Konagai Lab., IIS, Univ. Of Tokyo, June, 1998.
 3)小長井, 勝川, AHSAN, 丸山: Simple Expression of the Dynamic Stiffness of Grouped Piles in Sway Motion, 生産研究, 投稿中.