

京都大学 工学部 正会員 ○木村 亮
岐阜大学 工学部 正会員 八嶋 厚
京都大学防災研究所 正会員 柴田 徹

1. はじめに

筆者らは、群杭の水平抵抗の問題を解明するために、現在までに以下のような模型実験を実施した。

- 1) 杭径 2cm, 杭長40cmの室内小型模型実験¹⁾ パラメータ; 杭配置, 杭中心間隔
- 2) 杭径 2cm, 杭長80cmの室内中型模型実験²⁾ パラメータ; 杭配置, 杭中心間隔, 杭本数, 杭と地盤の相対剛性
- 3) 杭径16.5cm, 杭長4.5mの野外大型模型実験³⁾ パラメータ; 杭配置, 杭中心間隔, 杭本数, 7-フィット抵抗の有無

また、実験結果を説明できる数値解析手法として、地盤を層状に分割した擬似3次元FEMモデル(GPILE)⁴⁾を開発し、Randolphが提案した簡便法(PIGLET)⁵⁾と共にその適用性に対して、上記の模型実験結果を用いて検討を加えた。さらに、実際問題に GPILEおよびPIGLETを適用する第一歩として、PIGLETを用いて、地盤定数の決定に関し単杭の実大水平載荷試験の結果を用い検討を加えた⁶⁾。本報告は、GPILE をさらに発展させるために、新たに3次元有限要素法を開発し、簡単な数値解析を行ったものである。

2. 3次元有限要素法の概要

まず始めに、GPILEの概要をまとめると以下のようになる。

- 1) 地盤と構造物を水平方向に切ったパネルを考え、このパネルを水平の2次元平面ひずみモデルと仮定する。
- 2) 各パネル間を、水平2方向のせん断パネで連結することにより、深さ方向に荷重の伝達が行われる。
- 3) 杭に相当する部分に、曲げ剛性を考慮した杭要素（立体ラーメン要素）をパネル間に挿入する。
- 4) 任意の地盤条件で解析可能であり、1節点当りの自由度は3次元解析と比較して3から2に減少する。

ここで、図-1に示すように、GPILE による杭の変形パターンは、鉛直方向の自由度を持たないために、曲げ変形は考慮できず、せん断変形のみが可能となり、実際の杭の変形よりも水平変位を過小評価する。そこで、実際の杭の変形パターンを表現するためには、どうしても3次元解析が必要となる。しかし、純粋な3次元解析では記憶容量と計算時間が膨大となる。

表-1 杭の諸元および地盤の諸元

杭の諸元	杭長 40 cm, 直径 2 cm 剛性 $E = 4,200 \text{ kgf/cm}^2$, ポアソン比 $\nu = 0.20$
地盤の諸元	Eが深さ方向に一定 $E = 8 \text{ kgf/cm}^2$ Eが深さとともに増加 $\Delta E / \Delta z = 0.8 \text{ kgf/cm}^3$ ポアソン比 $\nu = 0.33$ 弾塑性の場合 $\gamma = 2 \text{ gf/cm}^3$, $K_g = 1.0$, $c = 0$, $\phi = 45^\circ$

そこで、新しく開発した3次元有限要素法では、反復法の一つであり、連立方程式を解くにあたり非ゼロ要素のみ計算する共役傾斜法を用いて、記憶容量と演算量の縮小化を図った。本解析は、弾塑性解析であり、塑性構成式は Drucker・Prager の降伏関数と Associated Flow ruleを適用して求めるものとした。また、杭要素はビーム要素ではなく、弾性係数の大きい要素

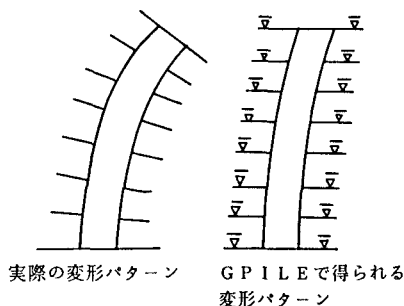


図-1 水平力を受ける杭の変形パターン

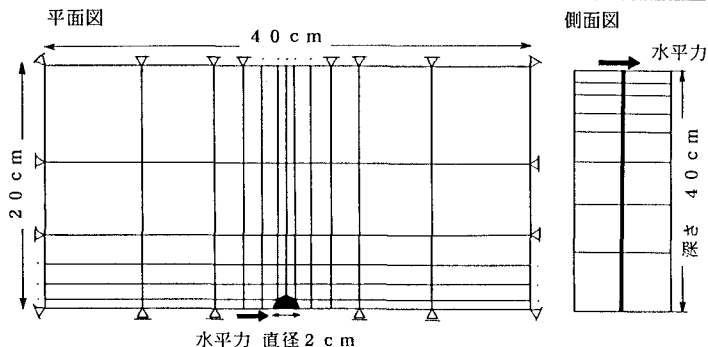


図-2 3次元有限要素メッシュ

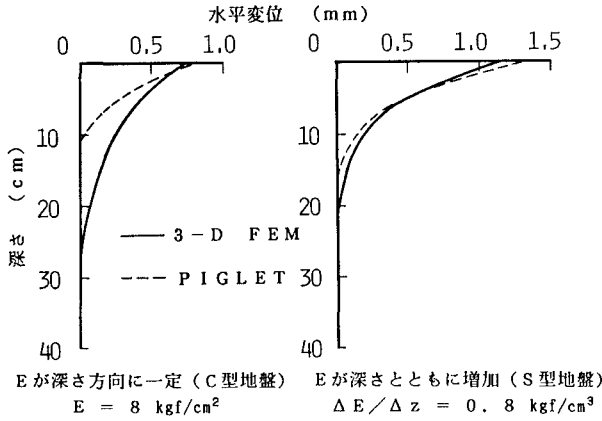


図-3 単杭の変位分布

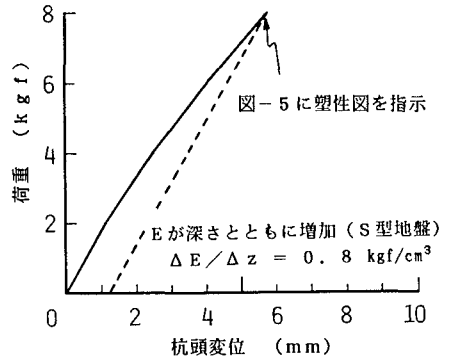


図-4 弾塑性解析による
荷重～杭頭変位関係 (S型地盤)

を用いている。

解析例は、杭径 2cm、杭長40cmのモデル単杭 (杭頭自由) を想定し、杭の諸元、地盤の諸元および弾塑性の場合の地盤の諸元をまとめて表-1 に示す。有限要素メッシュは対称性を考慮して図-2 のように設定した。深さ方向は図に示すように 8 層に分割した。従来のGPILE、3次元FEM (ハートマトリクス法)、3次元FEM (共役傾斜法) それぞれの解法 (倍精度) における全体剛性マトリクスの記憶容量を比較すると、2.35Mバイト、5.96Mバイト、1.52Mバイトとなり、共役傾斜法を用いた本解析手法の有効性が理解できる。

3. 解析結果と考察

図-3 に単杭の水平力 2kgf 載荷時の変位分布を示す。図中左図が弾性係数 E が深さ方向に一定の場合 (C型地盤) で、右図が E が深さと共に増加する場合 (S型地盤) である。PIGLET の結果もあわせて示したが、C型地盤の場合は変位を過大評価するものの、S型地盤の場合はPIGLETの結果と一致した。

図-4 は荷重～杭頭変位関係 (S型地盤) を示したもので、弾塑性解析である本手法によれば、荷重～杭頭変位関係の非線形性が表現できる。8kgf 載荷時の、地盤の塑性域を示したものが、図-5 である。杭の水

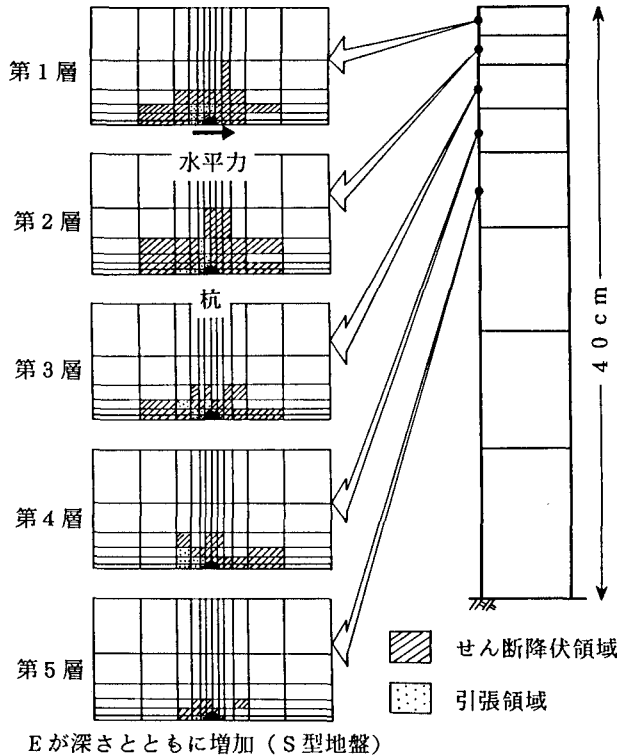


図-5 地盤の塑性域 (S型地盤, 水平荷重 = 8 kgf のとき)

平抵抗の問題は、杭の深さ方向の杭周辺地盤の挙動が問題となるが、本手法によれば図に示すように杭の深さ方向の地盤の状態がどの様に変化しているかも把握でき、有効な手法であるといえる。今後は、本解析手法を過去の模型杭の実験結果および実際の群杭基礎の載荷試験に適用する予定である。

***参考文献** 1) 木村ほか：水平力を受ける群杭の相互作用に関する研究，土質工学会発表会，1990 (投稿中) 2) Shibata, T. et al.: S & F, Vol. 29 No. 1, pp. 31-44, 1989 3) 木村ほか：京大防災年報，第30号B-2, pp. 149-166, 1987 4) Shibata, T. et al.: Proc. 6th ICNMG, Vol. 2, pp. 1051-1058, 1988 5) Randolph, M. F.: Geotechnique, Vol. 31 No. 2, pp. 247-259, 1981 6) 木村ほか：京大防災年報，第31号B-2, pp. 66-81, 1988