

建設省 土木研究所 正員 福井 次郎
 株式会社組技研研究所 正員 〇平野 晶己*

1. まえがき

多柱式基礎は水面上にフーチングを構築して基礎とするため、流れの速い地点、水深の深い場所、軟弱層の厚い地域などに設ける河川および海洋構造物に用いられ、施工管理の面で有利な工法として近年数多く計画されている。多柱式基礎は軸心載荷の場合、2次元解析によって最適な斜杭の本数、角度等を検討できる簡略設計法が開発されているが、偏心荷重を受けた場合の載荷時の挙動については立体ラーメンモデルあるいはシェルモデルによって検討されているのが現状である。今回、多柱式基礎の振り剛性を推定する方法を示し、この振り剛性により2次元解析の拡張として3次元的な偏心載荷時の挙動を検討してみた。

2. 偏心載荷時の群杭の振り剛性

フーチングが角 θ だけ回転する場合の群杭の振り抵抗モーメント M_r は、杭体の振り抵抗モーメント M_{pi} とセン断力に対する振り抵抗 $K_{hi}h_i^2\theta$ の和として次の様に表わすことができる。

$$M_r = \sum_{i=1}^n M_{pi} + \sum_{i=1}^n K_{hi}h_i^2\theta = K_\theta \cdot \theta \quad (1)$$

斜杭も含めた杭体の振り抵抗モーメント M_{pi} の一般式は軸方向ねじり角 θ_p による杭体の振り抵抗モーメント m_{pi} と斜杭の場合に生じる軸直角方向のたわみ角 θ_b に対する抵抗曲げモーメントの和として表わせる。

$$\begin{aligned} \text{図-1より } m_{pi} &= G I_p \frac{\theta_p}{h + l_0} = G I_p \frac{\theta_p \cos \alpha}{h + l_0} \\ m_{bi} &= \frac{1}{\omega} \frac{4 E I B \{ (1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})^2 + 1 \}}{(1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})(1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})^2 + 2} \theta_b \end{aligned}$$

ここで、 $\theta_p = \theta \cos \alpha$ 、 $\theta_b = \theta \sin \alpha$

$$M_{zi} = m_{pi} \cos \alpha + m_{bi} \sin \alpha \quad \text{より}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{zi} \cdot A \theta = \sum_{i=1}^n \left(\frac{G I_p}{h + l_0} \cos^2 \alpha + \frac{1}{\omega} \frac{4 E I B \{ (1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})^2 + 1 \}}{(1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})(1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})^2 + 2} \sin^2 \alpha \right) \cdot \theta \quad (2)$$

また斜杭も含めた杭体のセン断力に対する振り抵抗は、杭頭固定の条件下で斜杭方向に水平力を受けた場合の抵抗力 H_a と、斜杭直角方向に水平力を受けた場合の抵抗力 H_b に分けて考える。

$$\text{図-2より } H_a = \left\{ \mu \frac{12 E I B^3}{(1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})^2 + 2} \cos^2 \alpha + K_v \sin^2 \alpha \right\} \delta_h \cos \psi$$

$$H_b = \frac{12 E I B^3}{(1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})^2 + 2} \delta_h \sin \psi$$

$$H = H_a \cos \psi + H_b \sin \psi, \quad K_H = \frac{H}{\delta_H}$$

従って

$$\sum_{i=1}^n K_{hi} h_i^2 \theta = B \theta = \sum_{i=1}^n \left(\frac{12 E I B^3}{(1 + \frac{\theta_p}{\cos \alpha})^2 + 2} (\mu \cos^2 \alpha \cos^2 \psi + \sin^2 \psi) + K_v \sin^2 \alpha \cos^2 \psi \right) h_i^2 \theta \quad (3)$$

これより群杭の振り剛性は $K_\theta = A + B$ の式で求めることができる。

ここで、 h : 杭の自由長、 α : 杭の斜角

ι : 振りの中心から杭軸までの距離

γ : X軸から斜杭軸までの水平角度

φ : $\tan^{-1} \frac{\delta_y}{\delta_x}$ 、 ψ : $\frac{\pi}{2} - (\gamma - \varphi)$

ω , μ : 斜杭の場合の補正係数

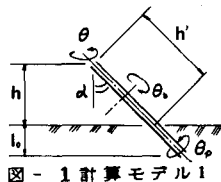


図-1 計算モデル1

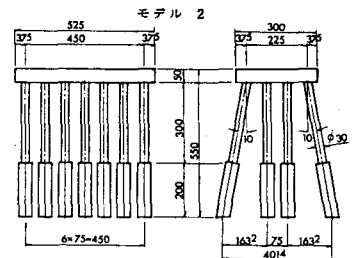
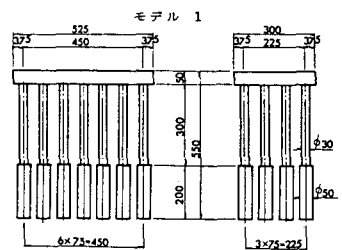


図-2 計算モデル2

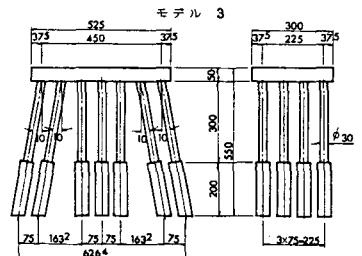


図-3 模型一般図

* 元建設省受入れ研究員

また振りモーメントが働く場合の地表面から仮想固定点までの距離 l_0 は振りに関する杭の特性値 ε により次式で表わせる。 $l_0 = \frac{1}{\varepsilon}$, $\varepsilon = \left(\frac{\pi D^3 K_s}{4 I_p G} \right)^{1/2}$
この ε を $K_s = \frac{K_v}{\pi D \varepsilon A}$, $K_v = \alpha \frac{AE}{l}$ により曲げに関する杭の特性値 β の関数として表わると次式となる。

$$\varepsilon = n\beta = \left\{ \frac{(1+\nu)^2 \pi E}{K D} \right\}^{1/4} \cdot \alpha \left(\frac{D}{l} \right) \cdot \beta \quad (4)$$

ここで α は載荷試験による実測 K_v からの逆算 α 値(道路橋示方書)式(4)より n は D の影響が大きく、一係数として表わすことはできないが使用頻度の高い範囲について考えると $1.3 > n > 0.3$ の範囲となる。

3. 多柱式基礎模型の水平載荷試験による照査

模型はアクリル樹脂を用いて製作し、地盤のモデル化は地盤のバネを杭の剛性に近似換算して杭径を変化させた。試験体は直杭のみから成るモデル1と、橋軸あるいは橋軸直角方向のみ斜杭を有するモデル2, 3の3種類で一般図を図-3に示す。図-5は橋軸方向に水平載荷した場合の水平変位に着目したものであるが、軸心載荷の場合と偏心載荷の場合はほとんど同値を示し、このことから偏心載荷の場合図-4の様に分解して検討すれば良いことになる。従ってフーチングに水平逆対称荷重が働いた場合の挙動が推定できれば2次元解析の延長としての3次元的な偏心時の挙動を把握することができる。図-6は水平偏心載荷時のねじり角に着目したものであるが、実験値は線形性を示し、かつ式(1)で求めた計算値に比較的適合している。また表-1は図-4の H_2 の位置に水平力200kgを載荷した場合の実験値・解析値・計算値で、振れの仮想固定点は中掘り杭の場合の α 値(道路橋示方書)を基に式(4)によって求めた値より算出し、斜杭の場合の補正係数は港湾技研の久保氏の杭の傾斜角による横方向地盤反力係数の補正式より求めた値を使用した。

4. まとめ

- ① フーチングの振り角が小さい範囲では振り角と振りモーメントは正比例の関係を保ち基礎全体の振り剛性を画一的に表わせる。
- ② 群杭の振り剛性は式(1)(2)(3)により推定できる。
- ③ 振りに関する仮想固定点は杭の曲げによる特性値 β によって式(4)として求めることができる。
- ④ 式(2)(3)により振りモーメントが働いている場合の抵抗モーメントの分担率を知ることができる。

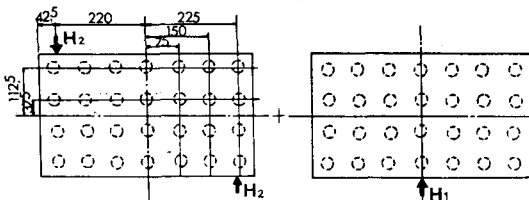


図-4 偏心載荷時の分解成分

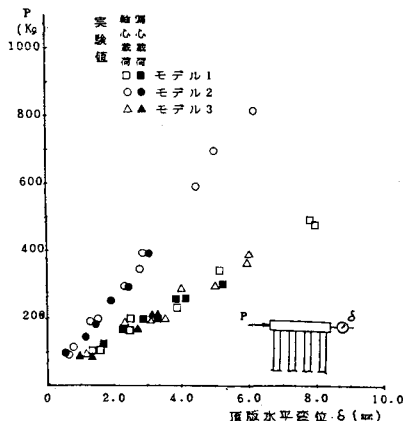


図-5 荷重～水平変位の関係

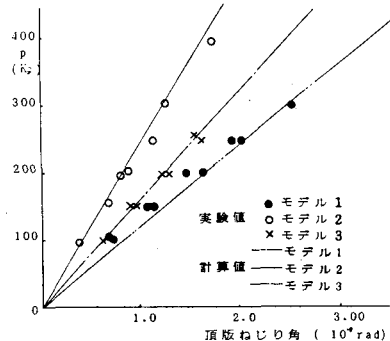


図-6 荷重～ねじり角の関係

表-1 実験値・解析値・計算値の比較表

	モデル1	モデル2	モデル3
実験値			
立体ラマン解析杭	D 0.0156 rad	0.0080 rad	0.0123 rad
シェル要素解析杭	A1 0.0159 rad	0.0083 rad	0.0121 rad
シェル要素解析杭	A2 0.0167 rad	0.0083 rad	0.0123 rad
計算値			
C	0.0167 rad	0.0083 rad	0.0124 rad
A/A2	0.952	1.000	0.983
C/A2	1.000	1.000	1.008
D/A2	0.934	0.904	1.000

最後に本実験および調査において御指導していただいた本州四国連絡橋公団設計第三課長(前土木研究所基礎研究室長)塩井幸武氏に謝意を表します。

- 参考文献 (1) 塩井, 光敏, 千野, 清水; 多柱式基礎の設計法に関する調査 土木研究所資料1404号 昭和55年8月
(2) 茂田, 塩井, 光敏, 千野; 多柱式基礎の設計法に関する調査 土木研究所資料1407号 昭和55年7月
(3) 久保浩一; 杭の傾斜角に関する実験的研究 斜杭の設計固定点の推定 港湾技術研究所報告101号 1972
(4) 多柱式基礎の構造特性に関する実験報告 建設省土木研究所構造基礎部基礎研究室 建設技術部工技101号 1979