

# III-349

## 群杭の水平抵抗に関する 2, 3 の考察

京都大学工学部 ○木村 亮 京都大学防災研究所 柴田 徹, 八嶋 厚

### 1. まえがき

構造物の支持杭の設計には、群杭の水平抵抗に対する考え方が重要なポイントとなるが、この問題は杭群に囲まれた土の挙動、杭頭の拘束条件、荷重分担率、施工法の違い等複雑な要因を含んでおり、未解明の点を多く残している。杭中心間隔が狭くなるほど、水平支持力の低減は顕著となるが、果たして杭の水平抵抗に対する低減率をどのように評価すればよいのか不明であり、本報告では群杭の水平抵抗に関して 2, 3 の考察を行う。

### 2. 杭と地盤の相対剛性と群杭効率の関係

筆者らは現在までに、杭と地盤の相対剛性を広い範囲で変えた群杭の水平抵抗に関する模型実験を実施した<sup>1)</sup>。図-1に群杭効率と相対剛性の関係の一例を示す。杭と地盤の相対剛性にはそれぞれ杭の有効ヤング率  $E_p$  ( $E_p = 4(EI)_p / \pi r^4$ ,  $r$ : 杭の半径) と地盤のせん断剛性率  $G_s$  (杭の限界長の  $1/4$  深さにおける地盤のせん断剛性率  $G_s = G(1 + 3\nu/4)$ ,  $\nu$ : ポアソン比) を用いた。図は杭中心間隔  $s = 2.5d$  のボックス配列杭 (3×3本) の結果で、実験値と Randolph<sup>2)</sup> および 玉置<sup>3)</sup> の提案式もあわせて示している。Randolphの解は相対剛性が大きくなると群杭効率が低下するという実験結果をよく表現し得ている。

一方、玉置の実験式は相対剛性の影響を評価できず、 $E_p/G_s$  が変化しても  $e$  は不変であり、実験の傾向とは一致しない。

### 3. Randolphの解析手法を用いたケーススタディー

実地盤に高架橋基礎として実大群杭が施工された場合を想定し、Randolph解法を用いたケーススタディーを行った。実物杭のディメンションは図-2に示すように、杭径  $d = 1.5m$ 、杭長  $l = 30m$  であり杭の有効ヤング率は場所打ちコンクリート杭を想定し、 $E_p = 2.7 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  とした。次に地盤定数であるが、ここでは  $N$  値からせん断弾性係数  $G$  を推定することとし、ヤング率  $E$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) と  $N$  値との関係が  $E = 7N^{1/2}$  で表されるとした。従ってポアソン比  $\nu = 0.33$  を用いると、 $G = 7N / \{2(1 + \nu)\} \approx 2.69N$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) となる。また、杭頭固定条件は杭頭自由として計算した。

ここでは用地の制限を受けて、限られたフーチング面積しかとれず、なおかつフーチングに作用する水平力が決定している問題を想定し、群杭の挙動を調べる。いま杭の施工可能な範囲が、仮に図-3に示す  $12.75m \times 9.0m$  であるとし、 $N$  値 = 6 の地盤に設計水平荷重 120tf の杭基礎を設計する。杭本数・杭配置等いろいろな場合が考えられるが、図-3の杭基礎に対し、群杭効率  $e$ ・群杭変位  $\delta_g$ ・杭1本当りの最大水平力を計算する。この場合、12本杭の杭中心間隔比は  $s/d = 2.5$  に相当し、他はいずれも  $s/d > 2.5$  である。群杭効率を計算するために、まず水平荷重 120tf 載荷時の群杭1本当りの平均作用荷重を求め、その荷重に対する単杭変位量を  $\delta_s$  とし、群杭効率を  $e = \delta_s / \delta_g$  として計算する。ところで現行の道路橋示方書 (以下、道示と略称) では、杭中心間隔に応じた群杭効率の低減法として、補正係数  $\mu$  を横方向地盤反力係数  $k$  値に掛ければよいとしているが、杭中心間隔比が 2.5 以上であれば、単杭の  $k$  値をそのまま使っても実用上さしつかえないとして扱う。以上に述べたことをベースにして、実物杭に対し

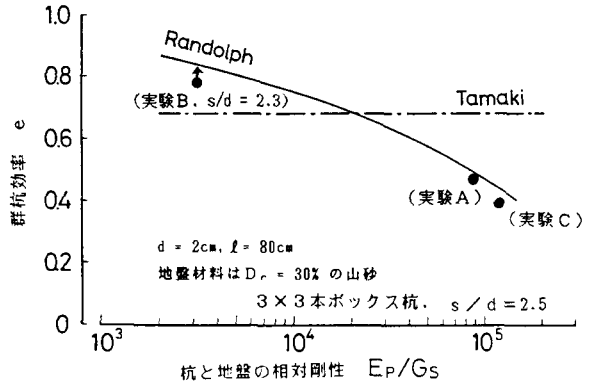


図-1 群杭効率と相対剛性

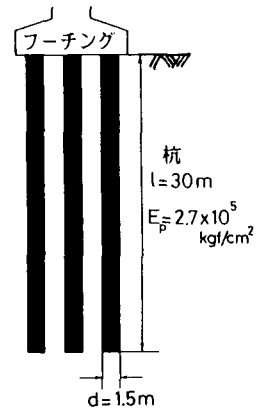


図-2 想定したピア基礎

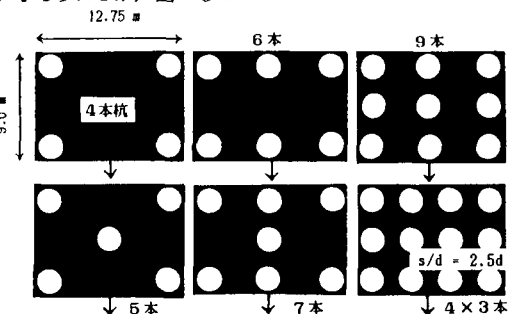


図-3 基礎面積が限定された場合の杭配列 (水平力はいずれも120tf)

てRandolph解法と道示設計法を適用した場合の比較例を図-4に示す。そしてこれらの図(a), (b), (c)より、次の事項が指摘されよう。

- 1) 図(a)の群杭効率 $e$ に関しては、道示では杭本数がふえても $s/d > 2.5$ の条件から、 $e = 1.0$ である。一方、Randolph解は杭本数が増加すると $e$ の低減が著しい。
- 2) 図(b)の群杭変位量 $\delta_g$ について、道示では $\delta_g$ が杭本数に逆比例して漸減するが、Randolph解による $\delta_g$ はほとんど変わらない。
- 3) 図(c)は杭1本当りに加わる最大荷重である。Randolph解では各杭の荷重分担率が考慮でき、結果として道示よりも過大な値が計算されている。

以上に説明したのは、ケーススタディーの一例に過ぎない。しかし地盤の $N$ 値を3~50の広範囲に変化させ、また地盤のタイプを考慮した結果によれば、上記1)~3)に要約した定性的な特徴は同じであった。従って、現行の設計法では杭間隔比 $s/d$ が2.5以上になると群杭効率を考慮しないので、杭本数を増せば群杭全体としての水平変位量を所定値以下におさえられるが、この考え方は見直す必要があるのではなかろうか。

#### 4. フーチングと杭の荷重分担

現行の設計法では杭基礎に作用する水平力 $H$ は原則として杭体で抵抗させ、フーチング前面・側面・底面の抵抗は無視している。底面は沈下により空隙ができる可能性があり、抵抗を期待できないが、根入れの影響は大きく、フーチングも水平力を分担しているはずである。そこでフーチング前面に土の無い場合と、前面に土を盛り土圧の抵抗を期待した場合の試験を行った

(大型土槽内に杭径16.52cm、長さ4.45mの杭を建て込んだ水平載荷試験<sup>3)</sup>、地盤材料は5号珪砂)。この場合、フーチング高さは50cmであり、前面に4個の土圧計を設置した。土圧が有る実験は土圧が無い実験の後、新たに前面に地盤を作成し同一地盤で再び載荷した。

一例として図-5に4本杭・ $s = 2.5d$ の結果を示す。各記号は、 $H$ ：杭基礎に作用する全水平力・ $P$ ：フーチング前面に作用する土圧の合力・ $S$ ：各杭に作用する水平力を表している。杭基礎は $\Sigma S$ と $P$ で $H$ に抵抗することになるが、各載荷段階で $\Sigma S + P = H$ であった。図より以下のことが読み取れる。

- 1) 図(a)より、根入れの効果より変形はかなり抑えられる。
- 2) 図(a), (b)から、前面土圧が極限状態に達すると杭基礎の変形は急激に進行する。
- 3) 図(c)より $H$ の増大により徐々に杭の分担割合は増加するが、変形の小さい範囲では高々50~60%である。

他の実験ケースに関しても同様の傾向がうかがえ、9本杭・ $s = 2.5d$ の場合で60~70%であった。3.の結果を参照すると、設計に際して群杭効果のマイナス作用とフーチング効果のプラス作用を今後十分検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 柴田ほか：京大防災研年報、第28号 B-2、1985、pp.97-110。
- 2) Randolph, M.F. : Geotechnique Vol.31 No.2、1981、pp.247-259。
- 3) 玉置ほか：土木学会論文報告集、No.192、1971、pp.79-89。
- 4) 宇都：基礎地盤調査、構造物の基礎、土木学会関東支部、1967、p.46
- 5) 木村ほか：群杭の水平抵抗に関する実験的研究、第22回土質工学研究発表会、1987、(投稿中)

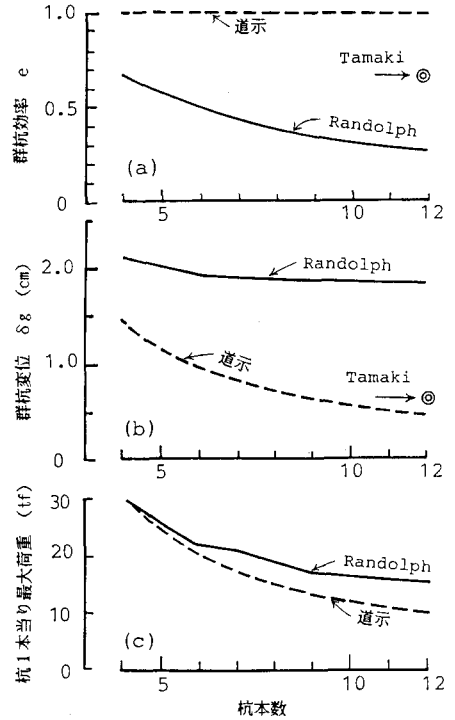


図-4 Randolph解法と道示設計法の比較

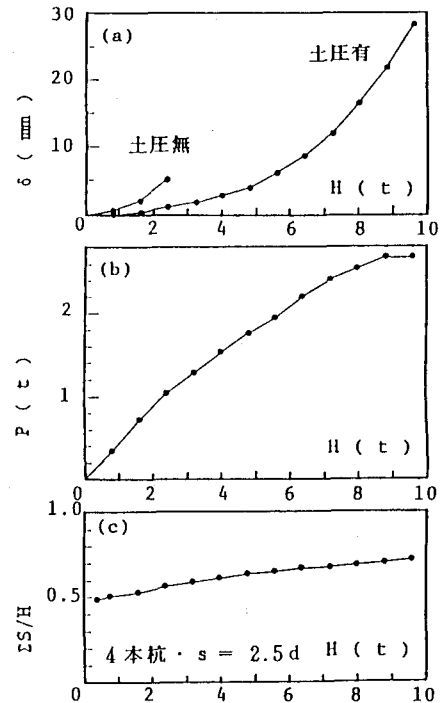


図-5 フーチング効果