

パイルド・ラフト基礎の沈下量および荷重分担の簡易推定方法

正会員○佐野大作^{*1}, 同 金子 治^{*1}
同 土屋 勉^{*2}

パイルド・ラフト基礎 沈下 弾性論
簡易推定式

1. はじめに

パイルド・ラフト基礎は、杭と直接基礎（ラフト）の両方の支持性能を有効利用した合理的な基礎工法であるが、設計のための沈下量や荷重分担の評価にあたっては有限要素法と弾性論を組み合わせたハイブリッド法などの高度な解析が必要である。採用の可能性の検討など初期計画段階では、より簡便に評価が可能な実用性の高い手法が望まれる。杭、直接基礎それぞれの沈下剛性からパイルド・ラフト基礎の挙動を推定する手法も提案¹⁾²⁾されているが、その検証は十分なされていない。

そこで、本報では、弾性解に基づく簡易的な推定方法について、それと大型土槽における実験結果³⁾とを比較し、その適用性について検証を行った。

2. パイルド・ラフト基礎の挙動の簡易推定式

Randolph¹⁾はラフトおよび群杭の平均的な沈下剛性(k_r, k_p)からパイルド・ラフト基礎の沈下剛性 k_{pr} および荷重分担を推定する下式を提案している。

$$k_{pr} = \frac{k_p + (1 - 2\alpha_{rp})k_r}{1 - \alpha_{rp}^2(k_r/k_p)} \quad (1)$$

$$\frac{P_r}{P_r + P_p} = \frac{(1 - \alpha_{rp})k_r}{k_p + (1 - 2\alpha_{rp})k_r} \quad (2)$$

α_{rp} : 相互作用係数 ($= 1 - \log_e(r_c/r_o)/\zeta, \zeta = \log_e(r_m/r_o)$)
 r_c : 各杭が負担するラフトの換算半径, r_o : 杭半径
 r_m : 杭の影響半径 ($= (0.25 + \xi)(2.5\rho(1 - \nu_s) - 0.25)L$)
 ξ, ρ : 地盤の異質性に関する係数¹⁾
 ν_s : 地盤のポアソン比, L : 杭長
 P_r : ラフトの分担荷重, P_p : 群杭の分担荷重

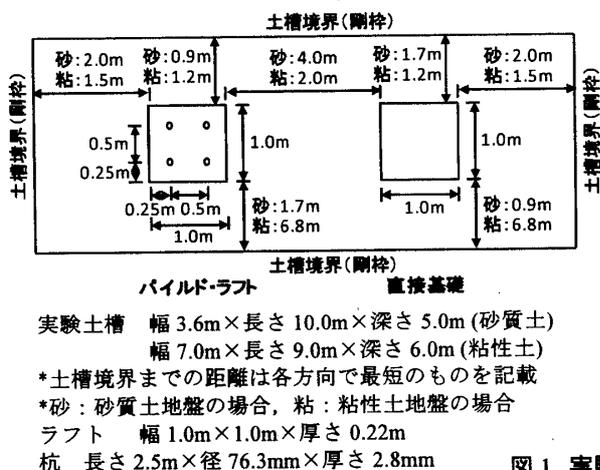


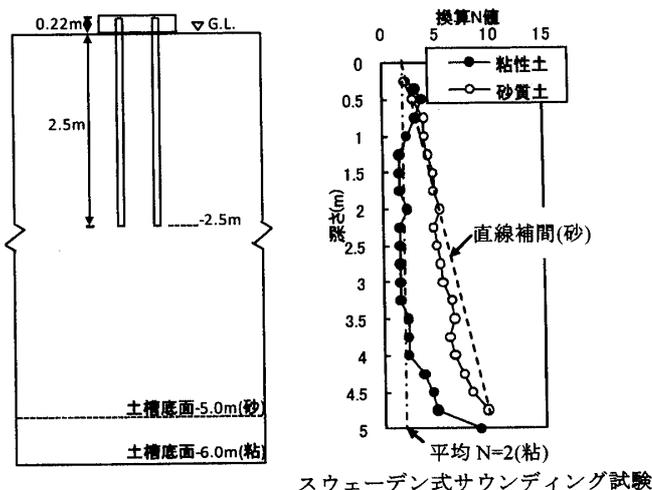
図1 実験概要・地盤条件

なお、これらの式は、①平面規模が杭長に比べて十分大きい、②平面形状が整形、③荷重がほぼ均等、④杭配置が規則的かつ杭径・杭長がほぼ等しい、という条件で弾性論に基づいて導かれたものである。また、本会「建築基礎構造設計指針(AIJ 指針)²⁾に示された簡易式は式(1)(2)において $\alpha_{rp} = 0.8$ とした式である。

3. 実験結果との比較

2. に示した推定方法の検証のため、図1に示す大型土槽において砂質土、粘性土の2種類の地盤を用いて単杭、直接基礎（ラフト）、パイルド・ラフト基礎それぞれの鉛直載荷試験結果³⁾と比較する。実験結果のうち図2に示すラフトおよび単杭の載荷試験結果を元に、同一沈下量におけるラフトおよび群杭の沈下剛性(k_r, k_p)を算定した結果を表1に示す。ここで示した沈下剛性は、実験結果を直線補間して求めた沈下量と荷重の比(割線剛性)で、群杭の算定では単杭の実験結果の荷重を4倍したが、群杭効果(杭中心間隔比 500/76.3=6.6)は考慮していない。また相互作用係数 α_{rp} に用いる地盤の剛性比(ρ)はN 値またはコーン貫入抵抗分布から、N 値とせん断剛性Gが比例するものとして算定した。

実験結果から導いた k_r, k_p から式(1)を用いて k_{pr} を算定してパイルド・ラフト基礎の荷重-沈下関係を推定した結果を図3に、式(2)から求めた荷重分担率を図4に、実験結果と比較して示す。図中には「AIJ 指針」²⁾の簡易式による値もあわせて示した。



Simple Approaches for Estimation of Settlement and Load-Distribution of Piled Raft Foundations,

SANO Daisaku, KANEKO Osamu and TSUCHIYA Tsutomu

ここで、沈下剛性の大きい砂質土地盤の沈下量 5mm 程度の弾性的挙動を示す範囲では、実験結果と簡易推定式による値は比較的良い一致を示しているが、非線形的な傾向の強い粘性土では簡易推定式による沈下量が大きくなり実験結果と離れて行く傾向がある。また、荷重分担については荷重・沈下量が小さく、ラフトの分担が小さい（杭の分担が大きい）範囲では対応しているが、荷重が大きくなると推定値はラフトの分担を過大に評価するようになる。

実験結果と推定値の差が生じる原因としては、実験が推定方法の前提である①の平面規模の条件が満たされていないことと同時に、地盤の非線形化の影響が大きいと思われる。そこで、剛性低下の影響が大きいと思われる粘性土地盤において、 $(k_r, k_p) \times S_{pr}^x$ (S_{pr} : 沈下量, x : 変数) と仮定して杭とラフトの実験値から非線形化分を除いた。図4に示すように $x=-0.2$ 乗とすると実験結果と推定値はよく対応し、非線形化はそれぞれの挙動には影響するが、相互作用への影響は小さいと判断される。

以上から、適用範囲や地盤の剛性低下の影響の考慮などが適切に行われれば、例えば、荷重伝達法²⁾によって

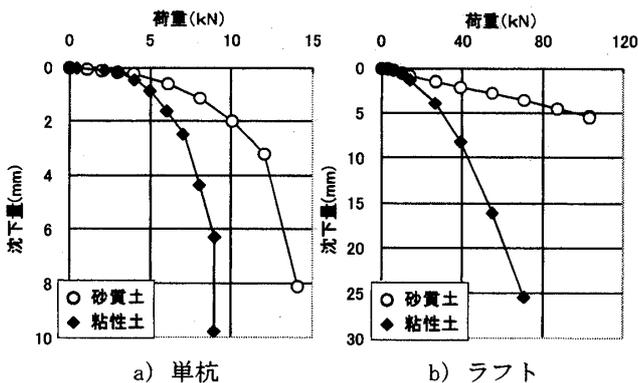


図2 単杭・ラフト鉛直載荷試験結果

表1 簡易推定式による推定結果

砂質土 ($\alpha_{ro}=0.63, \nu_s=0.33$)				
沈下量 (mm)	k_p (kN/m) 実験値	k_r (kN/m) 実験値	k_{pr} (kN/m) 式(1)	$P_r/(P_p+P_r)$ 式(2)
0.5	44,800	18,800	47,900	0.17
1.0	30,300	18,000	33,500	0.26
1.5	23,900	18,500	27,500	0.36
2.0	20,300	19,100	24,500	0.46
3.0	15,700	19,700	21,100	0.69
5.0	10,300	19,300	20,600	-
粘性土 ($\alpha_{ro}=0.62, \nu_s=0.4$)				
沈下量 (mm)	k_p (kN/m) 実験値	k_r (kN/m) 実験値	k_{pr} (kN/m) 式(1)	$P_r/(P_p+P_r)$ 式(2)
0.5	33,200	19,000	36,700	0.25
1.0	20,800	12,500	23,200	0.27
1.5	15,700	10,100	17,700	0.29
2.0	13,000	8,800	14,700	0.30
3.0	9,800	7,400	11,300	0.35
5.0	6,700	6,000	8,000	0.43
8.0	4,500	4,800	5,700	0.55

算出された杭の沈下剛性と Steinbrenner の解²⁾や Mindlin の解を用いて算出されたラフトの沈下剛性からパイルド・ラフト基礎の沈下剛性を得ることが可能であり、パイルド・ラフト基礎の初期設計段階の検討においては十分な適用性があると考えられる。

4. まとめ

パイルド・ラフト基礎の沈下量および荷重分担を推定するための実用的な簡易推定方法について、実験結果との比較を行い、剛性低下の影響が小さい範囲では良い対応を示すことを確認した。

この手法を初期段階の概略的な検討に適用することが可能で、さらに地盤の非線形化の影響等を適切に考慮すれば精度の向上を図ることもできると考えられる。

謝辞 本報は本会「パイルドラフト基礎の設計法検討小委員会」(主査: 土屋勉室蘭工大教授)の活動の一部として実施したものである。貴重なご助言、ご意見をいただいた委員各位に深謝します。

参考文献 1) Randolph, M. F.: Design methods for pile groups and piled rafts, Proc. 13th ICSMFE, Vol.5, pp.61~82, 1994, 2)日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, pp.343~344,2001, 3)佐野他, パイルド・ラフト基礎に関する大型模型実験(その5 鉛直載荷時の比較実験), 日本建築学会大会 B-1, pp.373~374, 2006

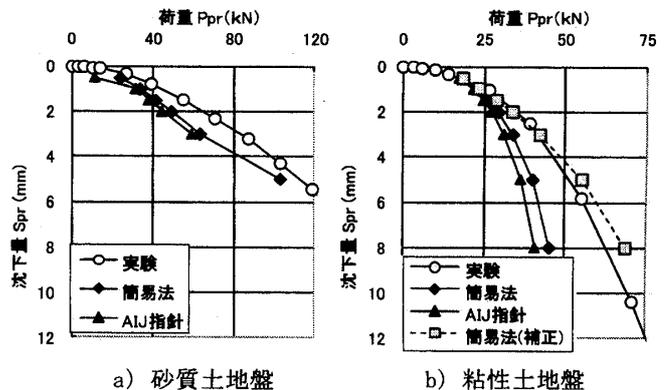


図3 荷重-沈下量関係の比較

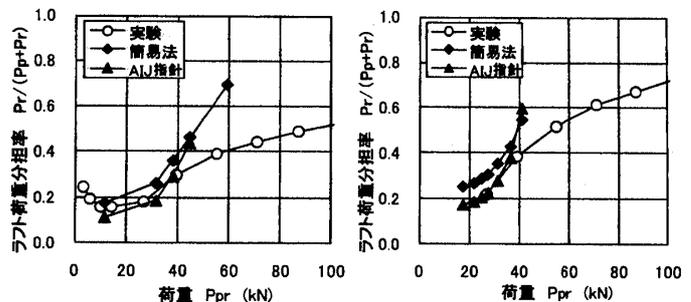


図4 ラフト荷重分担率の比較

*1 戸田建設
*2 室蘭工業大学

*1 Toda Corporation
*2 Muroran Institute of Technology