

691 拡底場所打ちコンクリート杭の先端支持力に関する一実験

広島大学 学○深田卓宏 正 徐 挺
正 山本春行 正 富永晃司
ジオトップ 正 小椋仁志

§ 1. はじめに

現行の設計規準では、拡底場所打ちコンクリート杭の支持力評価は、杭先端まで一様断面を持つストレート杭の研究成果に基づいて行っている。これは、長年の経験と多くの施工実績から得られた評価方法であって、拡底杭の鉛直支持力に関する独自の研究が数少ないことに起因している。現在の評価法で設計される拡底杭において、過度の危険性が指摘されている訳ではないが、性能設計の風潮が強くなってきた今日、より厳密な拡底杭の支持力機構を解明することが要求されるものと考えている。

この観点に立ち、筆者らは、圧砂地盤タンクを用いた小型模型実験から拡底杭の先端支持力機構を明らかにする研究を行っている。本報では、これら一連の実験の内、拡底模型杭とストレート模型杭の載荷実験結果を比較検討した内容について述べる。

§ 2. 実験概要

本実験に用いた載荷装置、実験土槽（加圧砂地盤タンク）、模型地盤、および実験方法等は、文献^{1)~3)}に示した通りである。したがって、その詳細については、これらの文献を参照されたい。

模型地盤には、気乾状態の豊浦砂を用いた。この豊浦砂を、空中落下法により、相対密度 D_r が約 90% の密な地盤に調整した。その後、厚さ 30mm の鋼剛板を介して 4 個の油圧ジャッキにより加圧し、模型地盤表面から上載圧 $P_v=58.8\text{N/cm}^2$ を加えることにより、地盤深さ約 40m の密な支持層に相当する地盤条件を擬似的に再現している。

模型杭は、図 1 に示すフラット型拡底杭およびストレート杭 2 種類、計 3 種類を採用した。これらの杭の先端部はモルタル製とし、モルタル圧縮強度 F_c は約 2000N/cm^2 となるよう調整した。なお、場所打ちコンクリート杭底面の表面状態に近い条件とするため、杭体と地盤材料間で十分な摩擦が発生するように、杭先端部底面を粗の状態に加工した。本研究では、先端支持力機構に着目していること、また、加圧砂地盤タンクでは地盤表面から杭先端までの実地盤応力状態を再現することが困難であることなどを考慮し、加圧砂地盤タンク内壁と同様に、2 重のテフロンシートとシリコングリスにより、杭軸部の周面摩擦力の低減処理も施した。

§ 3. 実験結果およびその考察

本実験で得られた、拡底杭およびストレート杭の荷重～沈下量関係を、図 2 に示す。この図より、全ての杭においてモルタル部（杭軸部）で圧縮破壊が生じ、急激に支持力が低下していることが分かる。これは、モルタルの圧縮強度 F_c に軸部断面積を乗じた値が最大荷重とほぼ一致していること、および軸部での顕著な破壊を目視により確認できていること（例えば、図 3 (a) 参照）等から推測できる。

また、拡底杭の載荷実験では、拡底径の 10% にも満たないごく小さな沈下量までの荷重～沈下量関係しか得られておらず、地盤で決まる極限支持力に関する検討は行えなかった。ただし、拡底杭軸部と同径のストレート杭（ $\phi 30\text{mm}$ ）との比較から、拡径することにより、最大荷重時における沈下量は、約 1/4 に抑制できていることが示された。

これに対して、拡底径と同径のストレート杭（ $\phi 54\text{mm}$ ）との比較においては、拡底杭の方が同一沈下量で小さな荷重値を示し、杭先端の抵抗剛性が若干小さくなることを示唆している。このことをよりの確に把握するため、

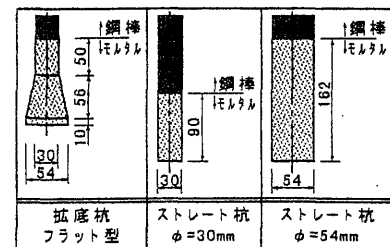


図 1. 模型杭の先端形状（単位：mm）

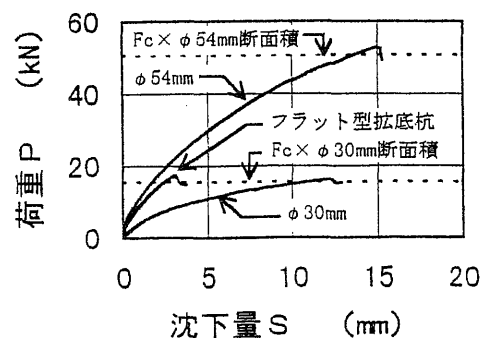


図 2. 荷重～沈下量関係

同一沈下量時における支持力の関係を、拡底杭に対するストレート杭 ($\phi 54\text{mm}$) の支持力比 (ストレート杭の支持力/拡底杭の支持力) で表現することとした (図4参照)。図4から、軸部の破壊により拡底杭の支持力が急激に減少するまでは、ストレート杭 ($\phi 54\text{mm}$) は拡底杭の1.2~1.3倍程度大きな支持力を発揮していることが分かる。

また、本実験においては、前述の急激な支持力低下に対する直接的な原因になると思われませんが、拡底杭先端部底面に、同心円状および半径方向へのクラックの発生が確認できた (図3 (b)参照)。これらのクラックは、山崎らの有限要素解析結果⁴⁾から指摘されている破壊形式に類似しており、従来の設計では考慮されていないものである。

以上の考察より、一般的に行われている、ストレート杭の支持力評価法を用いた拡底杭の支持力推定では、支持力を過大に評価する可能性があることが指摘できる。したがって、今後、拡底杭独自の支持力機構を解明することが、急務になるものと考えている。

次に、拡底杭の荷重~沈下量関係を双曲線で近似し、実験値と比較することを試みた。図5に、近似双曲線と実験結果を比較して示す。また、図6には、図5の近似双曲線、ストレート杭 ($\phi 54\text{mm}$) の実験値、および Vesic⁵⁾ の空洞押広げ理論⁵⁾に基づいて推定した支持力値を示している。高野⁶⁾は、この空洞押広げ理論に基づいて算出される支持力値が、非排土杭の第1極限支持力 (杭先端の沈下量が杭径の20%に対応する先端支持力)に相当すると指摘している。この高野の指摘に対して、ストレート杭の第1極限支持力は、Vesic⁵⁾の理論による推定値の約1.3倍と大きい、拡底杭の近似双曲線から推定される支持力値は、同理論値の約0.75倍と小さい。このことから、拡底杭独自の支持力理論を確立することの重要性が指摘できる。

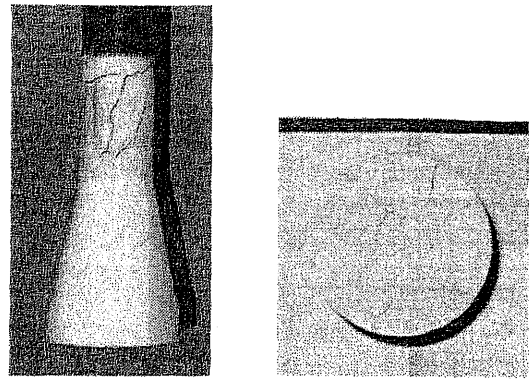
本研究では、引き続き、地盤強度と杭体強度の関係をパラメータとした実験、載荷時の杭体の歪み測定、および砂粒子の移動状況の観察等を実施し、拡底杭の先端支持力機構を解明してゆく予定である。

[謝辞]

最後に、本実験の計画から実施に至るまで、広島大学工学部技官・原田誠一氏、および学部4回生松尾徹司氏、山本秀明氏には多大な協力をいただいた。ここに記して、感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 深田ら：杭の鉛直支持力に及ぼす先端形状の影響 (載荷実験用加圧砂地盤タンクのキャリブレーション), 日本建築学会中国支部研究報告集, 1997. 3
- 2) 松尾ら：杭の鉛直支持力に及ぼす先端形状の影響に関する実験研究 (その1: 実験の概要), 日本建築学会中国支部研究報告集 (投稿中)
- 3) 深田：杭の鉛直支持力に及ぼす先端形状の影響, 広島大学大学院国際協力研究科修士論文, 1998
- 4) 山崎ら：拡底場所打ちコンクリート杭耐力に対する先端部施工形状の影響の解析, 日本建築学会構造系論文集, 第470号, 1995. 4
- 5) Vesic, A. S.: Expansion of Cavities in Infinite Soil Mass, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 98 No. SM3
- 6) 高野：砂地盤に設置されたNONDISPLACEMENT PILEの先端支持力, 東京工業大学博士論文, 1981



(a) 軸部 (b) 底面
図3. 実験後の拡底杭破壊状況

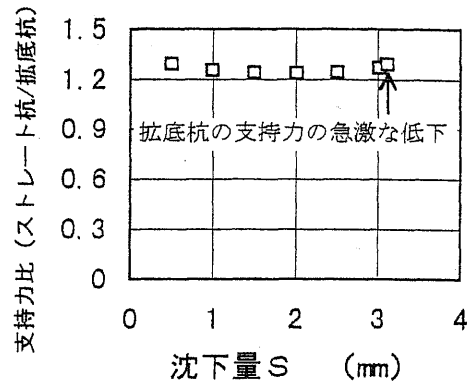


図4. ストレート杭と拡底杭の支持力の比較

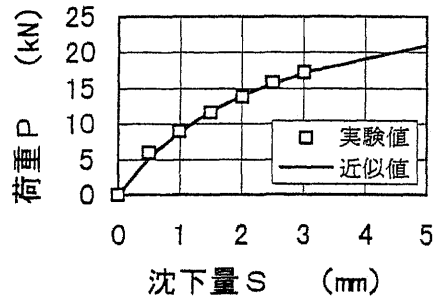


図5. 拡底杭の荷重~沈下量関係の双曲線近似

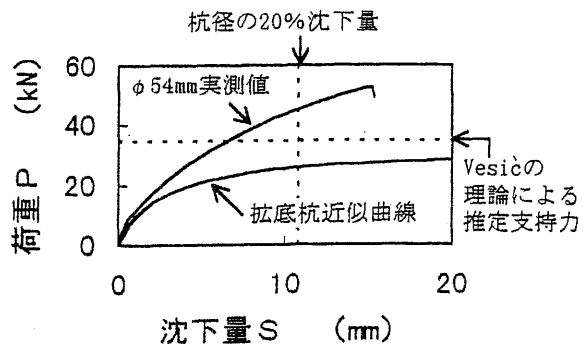


図6. Vesicの支持力理論と実験値の比較