

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

○正会員 山本 秀明*¹ 正会員 深田 卓宏*²
 同 徐 挺*³ 同 山本 春行*⁴
 同 富永 晃司*⁵ 同 小椋 仁志*⁶

§ 1. はじめに

先端部の受圧面積を拡大させた拡底場所打ちコンクリート杭が多く使用されている現在、拡底杭のより厳密な支持力評価が重要となる。しかしながら、現在の拡底杭の設計は、杭先端部まで一様な断面を持つストレート杭の研究成果に基づいたものとなっている。これは、拡底杭の研究において、その成果が設計に取り入れるるまでに至っていないためであると言える。

このように数少ない拡底杭の研究の中で、山崎ら¹⁾は、有限要素法による解析結果を基に、場所打ちコンクリート杭先端部がフラットな形状を持つ場合、拡底端部に引張応力が生じ、設計支持力よりも小さな支持力で、杭先端部に破壊が生じる可能性があることを指摘した。そして、このような杭先端部の破壊を防ぐための拡底部形状として、ペンシル型などの数種の形状を提案している。しかし、これらの指摘は解析によるものであり、実験で検証されたものではない。

以上述べた研究背景に基づき、筆者らは、模型実験により拡底杭の先端形状が支持力や破壊現象に及ぼす影響を捕らえることを目的とした研究を進めている^{2)~4)}。本論文では、文献^{3) 4)}で示した内容のうち、フラット型とペンシル型拡底杭の実験結果を比較検討した結果について報告する。

§ 2. 実験概要

本実験装置等の詳細は文献³⁾に示しているが、その概要は以下の通りである。

実験装置は、杭先端部の応力状態を擬似的に再現させることを目的とした実験土槽部、小型模型杭を載荷する載荷部、および測定部で構成されている。また、模型地盤は、実験の再現性と地盤の均一性を得るために、サンドレイナー法により作製した。ただし、本実験では、実杭の杭先端深さにおける応力状態を擬似的に作り出すために、厚さ 30mm の鋼製盤を介して 4 個の油圧ジャッキにより実験地盤を加圧 (約 5.8kgf/cm²) することとした。したがって、実験地盤と実験土槽内壁間に摩擦抵抗力が働くのを極力抑えるために、シリコングリスを全面に塗布した 2 重のテフロンシートを貼り付ける処置を施した。なお、地盤材料としては、表 1 に示す物理特性を持つ気乾状態の豊浦砂を用い、実験地盤の相対密度は約 90% に調整した。

一方、本実験は、地盤を掘削し孔内にコンクリートを打設して施工される場所打ちコンクリート拡底杭を対象としている。しかし、本模型実験において杭を現場と同じように施工することは困難である。したがって、杭の設置は、実験土

槽の底面より 30cm までサンドレイナーにより地盤を作製した上で、予め型枠内に打設し養生しておいたモルタル製模型杭をこの地盤面におき、その後杭周面地盤をサンドレイナーで堆積させる方法を採用することとした。実験には、図 1 に示すように 4 種類の形状を持つ拡底杭を採用した (図中の α は、杭先端の傾斜角を表している)。これらの模型杭の圧縮強度は、表 2 に示す通りである。なお、本実験は載荷による拡底杭先端部の状態を調べることを目的としているため、図 1 中に示す各杭の鋼棒の部分には、上述した実験土槽内面と同じように、シリコングリスを塗布した 2 重のテフロンシートを貼り付け、地盤材料と鋼棒の摩擦力を極力低減させる処理を行った。

表 1. 地盤材料の諸元

50%粒径D ₅₀ (mm)	0.20
均等係数U ₀	1.21
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.656
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.646
最小乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm ³)	1.332

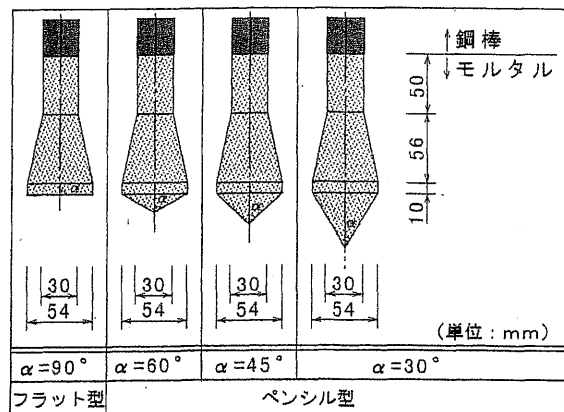


図 1. 拡底杭の先端形状

§ 3. 実験結果及びその考察

各載荷実験終了後、杭先端部周辺を注意深く掘削し、各模型杭を観察した。観察結果より、ペンシル型拡底杭は、いずれも類似の破壊形式を示すことが認められたので、本論文では先端傾斜角 $\alpha=45^\circ$ の拡底杭をペンシル型拡底杭の代表として考察することとする。

フラット型拡底杭 (先端傾斜角 $\alpha=90^\circ$) の破壊状況の写真を図 2 に示す。この写真から読み取れるように、フラット

Study on effect of shape of enlarged base on bearing capacity of a pile in sand

YAMAMOTO Hideaki, FUKADA Takuhiro, XU Ting, YAMAMOTO Haruyuki, TOMINAGA Koji and OGURA Hitoshi

型拡底杭は、底面における破壊と、軸部における破壊が発生している。そして、底面の破壊に関して、半径方向に伸びるクラックと同心円上のクラックのあることが分かる。これらのクラックは、山崎らが文献¹⁾で予測したクラックの発生状態とほぼ一致するものである。ただし、同写真で見られるように、本実験においては拡底杭底面に比べ、軸部における破壊状態が著しいので、本杭の最大支持力（後出の図4参照）の発生は軸部の圧壊によるものであると推測できたが、本実験では載荷終了後に回収した杭の状態を確認する方法を採用したため、杭先端部クラックが支持力発生機構にどの程度影響したかを調べるができなかった。この点については、今後解析を通して明らかにする予定である。一方、ペンシル型拡底杭は、図3の写真に示すように底面にはクラックの発生は認められなかった。しかし、フラット型拡底杭と同様に、軸部において破壊が著しく、この杭の最大支持力に関しても、軸部モルタルの圧壊によるものと推測できる。

次に、載荷実験結果における載荷荷重～沈下量を図4に示す。なお、本実験の載荷は変位制御法によっているので、以降では載荷荷重を抵抗力と別称することもあることをお断りしておく。図4より、異なる先端形状を持つ拡底杭が、いずれの荷重～沈下量関係曲線においても、その載荷初期段階（荷重が0kgf～約500kgfの範囲）で、ほぼ同じ抵抗性状を示していることが読み取れる。この理由として、載荷初期では杭底面と地盤間にずれが生ぜず一體的に挙動し、かつ杭近傍地盤が弾性的挙動したために杭先端形状が抵抗性状に与える影響が微少であったことが考えられる。したがって、この結果に基づけば、本実験で作成した模型地盤は、いずれの実験においても再現性が高くできていると結論できよう。

また、図4において、各載荷荷重～沈下量関係曲線は、沈下量の増加に伴って抵抗力が増加し続けた後、明確なピークを示し、その後、急激な荷重の低下が生じている。ここに、先端形状が異なるために支持機構が異なり、その結果最大支持力も異なるものと推測されるが、 $Dr=90\%$ と地盤の相対密度が高いことや閉じられた実験土槽内の地盤であること等を考慮すると、前述したように、同図の各載荷荷重～沈下量関係曲線における最大抵抗力は地盤の破壊ではなく、杭体自身の破壊であると推測できる。このことは、各拡底杭の最大抵抗力が約1500kgf～1600kgfの範囲にあり、この値は模型実験杭のモルタル圧縮強度（表2参照）に軸部断面積を積した値とほぼ一致することからも立証できる。

さらに、図4から、拡底杭の先端傾斜角 α が小さい杭ほど、同一の荷重下において沈下量が大きくなる、すなわち、先端が鋭くなる杭ほどその抵抗剛性は低下する傾向のあることが読み取れる。

【参考文献】

- 1) 山崎、長岡、中村：拡底場所打ちコンクリート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，pp.95-103，1995
- 2) 深田ら：拡底杭の鉛直支持力に及ぼす先端形状の影響に関する実験，第32回地盤工学研究発表会，pp.1469-1470，1997

* 1 広島大学大学院生
* 2 旭化成株式会社
* 3 広島大学助手・工博

* 4 広島大学助教授・工博
* 5 広島大学教授・工博
* 6 (株)ジオトップ・工博

* 1 Graduate School, Hiroshima Univ.
* 2 Asahikasei Corporation.
* 3 Res. Assoc, Hiroshima Univ. Dr. Eng.

* 4 Assoc. Prof., Hiroshima Univ. Dr. Eng.
* 5 Prof., Hiroshima Univ. Dr. Eng.
* 6 GEOTOP. Dr. Eng.

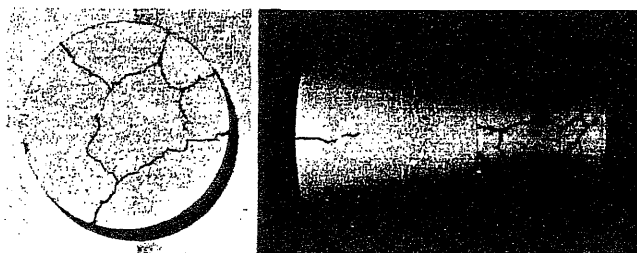


図2. 杭先端部破壊状況（フラット型）

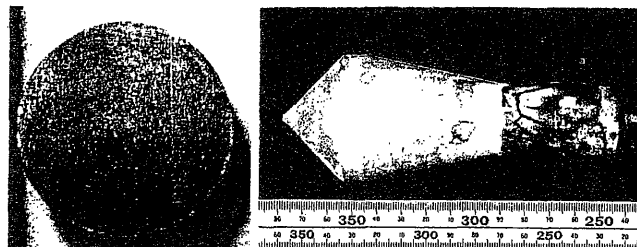


図3. 杭先端部破壊状況（ペンシル型）

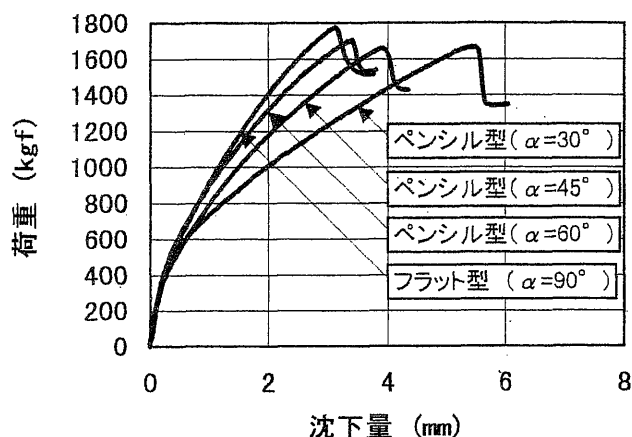


図4. 荷重～沈下量関係

表2. モルタル圧縮強度

	モルタル圧縮強度(kgf/cm ²)
フラット型 ($\alpha=90^\circ$)	215.5
ペンシル型 ($\alpha=60^\circ$)	213.6
ペンシル型 ($\alpha=45^\circ$)	222.0
ペンシル型 ($\alpha=30^\circ$)	211.6

§ 4. 結語

本実験の拡底杭載荷実験より、①本実験拡底杭の最大抵抗力は、その先端形状に関わらず軸部のモルタル圧縮強度に依存していること、及び②拡底杭の先端形状に関する影響は、先端傾斜角を鋭角にするほど、拡底杭の抵抗剛性は低下すること、等が明らかとなった。

- 3) 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，pp.81-84，1998
- 4) 山本ら：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2 実験結果とその考察)，日本建築学会中国支部研究報告集，pp.85-88，1998