

(株)ジオトップ (正) 小椋仁志 (正) 桑山晋一
東京理科大学 (正) 岸田英明
(株) 創造社 五十嵐寛

1. 序

杭先端載荷試験法は、杭の簡便な品質管理手法の一つとして提案されたもので、図1のように、杭の先端部にジャッキを設置して先端抵抗と摩擦抵抗とを互いに反力として載荷する試験法である。場所打ち杭に対しては、これまで米国のJ.O.ワカ'-カ' ¹⁾を始め、筆者ら ²⁾や青木ら ³⁾の適用例がある。この試験法は、杭先端に大きな荷重を直接載荷するため、支持地盤の性能を確実に把握できることが最大の長である。

なお、この試験法を、筆者らは、これまで、その簡便性(反力杭や載荷架構が不要なこと、試験の準備時間が短くて済むこと、経済的なこと等)に注目して「簡易載荷試験法」と呼んできた。しかし、今後は、実際の載荷状態や前述の特長を考慮して「杭先端載荷試験法」という名称を用いることとした。

今回、東京都葛飾区東四つ木に建設される高層住宅等の設計に当たって、この試験法を用いて場所打ち杭の鉛直支持力の検討を行った。本報告は、その試験の概要と検討結果について紹介したものである。

2. 試験概要

試験地盤 図2に地盤の概要を示す。GL-2.5~7.9m

はN=10~20の細砂で、その下はGL-26mまで軟弱なシルト層が続いている。GL-26m以深は細砂層であるがN値が連続的に50を超えて支持層になり得るのはGL-36mから下である。試験杭はこの細砂層に支持されている。

試験杭 杭は杭径1.2m、長さ38.5m(根入れ深さ38.0m)の場所打ちコンクリート杭(リバース工法)である。掘削は平成5年8月26日に行われたが、先端に埋め込むジャッキ(以下、先端ジャッキ)の設置やコンクリートの打設は台風などのため4日後の8月30日となった。

先端ジャッキ 筆者らがこれまで行った場所打ち杭と深礎杭の杭先端載荷試験 ²⁾⁴⁾では、ワカ'-カ'のジャッキを用いてきたが、そのまま日本の場所打ち杭に適用するにはいくつかの問題点が指摘された ²⁾。このため、筆者らは日本での施工に適したジャッキの開発を進め、東京都港区での試験(直径1.2m、長さ47mの場所打ち杭)で初めて適用した。今回の試験はそれに続くもの

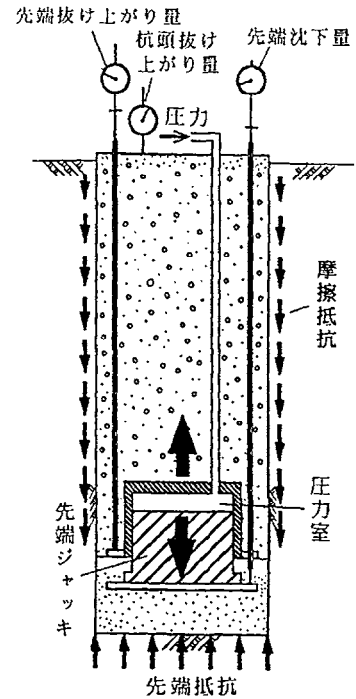


図1 先端載荷試験法

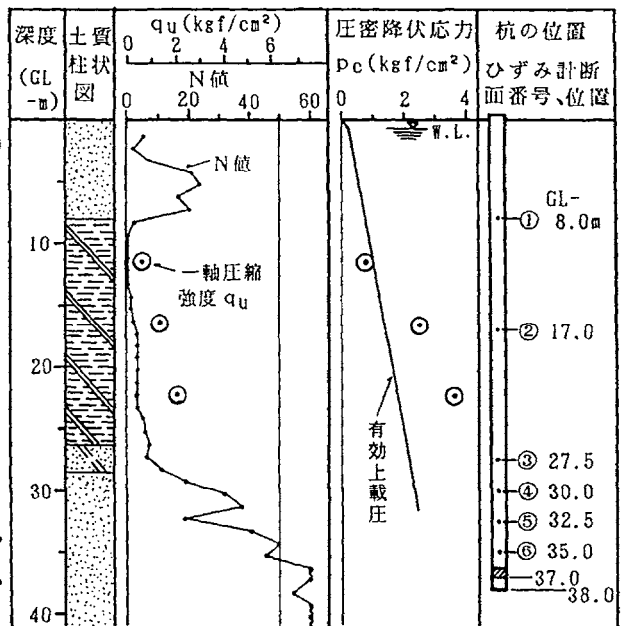


図2 地盤の概要

Bearing Capacity of Cast-in-Place Concrete Pile from Toe Loading Test

H.Ogura, S.Kuwayama(GEOTOP Corporation), H.Kishida(Science Univ. of Tokyo)
and H.Igarashi(Sozosha Co., Ltd.)

である。使用した先端ジャッキは外径810mm、設計容量1,050tf、設計ストローク400mmのもので、これに直径1,050mmのフランジを取り付けている。

先端ジャッキの設置手順を図3に示す。あらかじめホッパーを用いて水中モルタル（水中不分離性混和剤を入れたモルタル）を掘削孔の底に投入したあと、先端ジャッキを鉄筋籠と一緒に下ろす方式である。ジャッキの底面の位置は、杭先端から1m上方とした。

補助反力 先端載荷試験では、原則として杭頭に反力装置は必要としない。しかし、今回の試験では先端地盤に約1,000tf載荷する計画であるのに対し、地盤調査結果から推定される周面摩擦力は500~700tfであって、計画通り載荷する事は難しい。そこで、杭頭部に補助的な反力装置（設計能力560tf）を設置することとした。GL-7.9m以浅にはN=10~20の細砂層が存在しているため、反力杭としてPHC節杭（節部径500mm、軸部径400mm、根入れ長さ8.5m）を16本採用した。杭頭には荷重計として用いるために容量650tfのジャッキ（以下、杭頭ジャッキ。）を置いたが、反力桁との間には約7cm隙間をあけておいた。これは、摩擦抵抗が極限になるまで杭頭をフリーの状態にしておくためである。

3. 試験結果

荷重～沈下量、抜け上がり量関係 載荷試験はコンクリート打設から28日経過後に、土質工学会基準「杭の鉛直載荷試験の方法」に準拠し、一段階荷重100tf、処女荷重の荷重保持時間を60分として行った。

図4は、先端荷重 P_p と先端沈下量 S_p 、先端抜け上がり量（ジャッキ上面での抜け上がり量） U_p との関係である。最終的な P_p と S_p はそれぞれ1,020tf（ $P_p/A=902\text{tf}/\text{m}^2$ 、 A ：杭の断面積）、401.5mm（ $S_p/D=34\%$ 、 D ：杭径）と、通常の方法による載荷試験では難しいような大きな先端抵抗や沈下量まで載荷することができた。なお、 $P_p=1,020\text{tf}$ を保持中に先端ジャッキのストロークが限界(523.8mm)に達し試験を終了した。

摩擦抵抗は、 $P_p=800\text{tf}$ を保持している時に極限状態となった。杭は急速に抜け上がるとともに漸減し、杭頭ジャッキが載荷桁に当たる直前（ $U_o=70.33\text{mm}$ 、 $U_p=74.24\text{mm}$ ）の残留摩擦力は676tfであった。その後は杭頭抵抗 R_o が生じる。（ P_p-R_o ）は650tf程度の値を維持していたが、杭頭を拘束された状態であるため純粋な摩擦抵抗を表すものではない。

なお、載荷初期に急激な沈下や抜け上がりが見られないことから、杭先端部や先端ジャッキ上面のスライムは、ほぼ完全に除去されていたものと考えられる。また、先端ジャッキの設置状態も良好であったと判断できる。

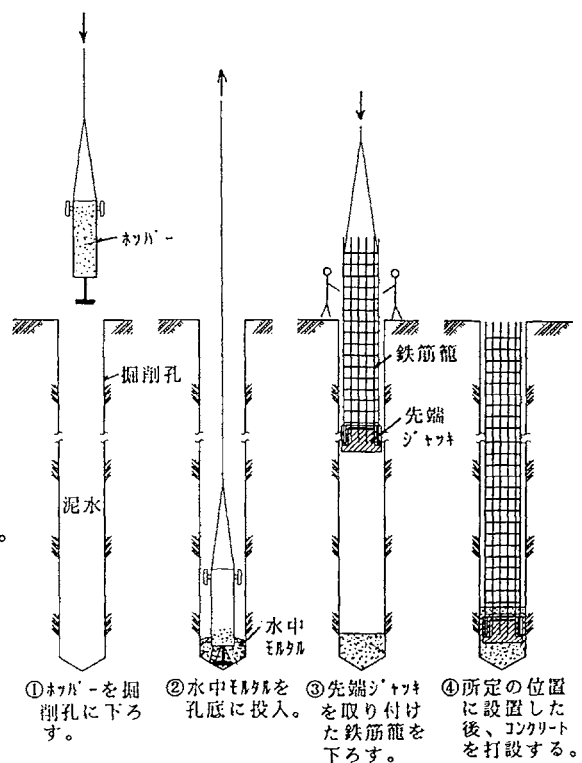


図3 先端ジャッキの設置手順

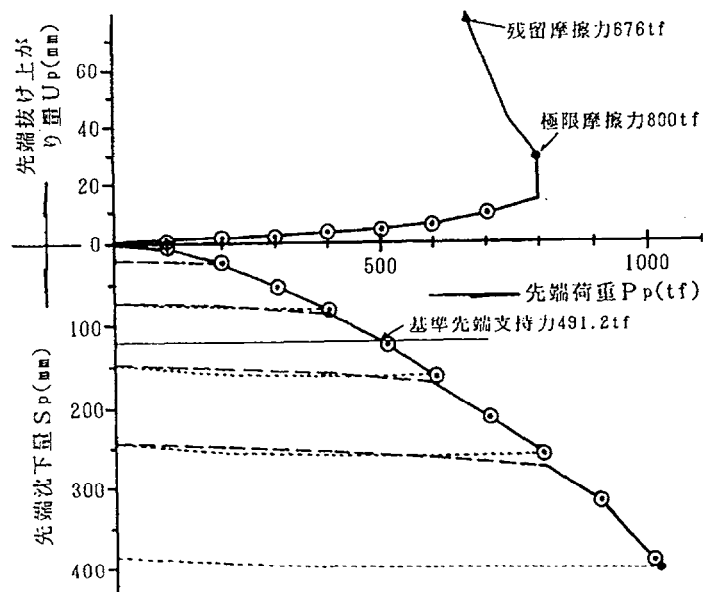


図4 $P_p \sim S_p, U_p$ 関係

先端抵抗 $P_p \sim S_p$ 関係から、 $S_p = 120\text{mm}$ （杭径の10%）時の P_p の値（基準先端支持力）を求めると 491.2tf （ $P_p/A = 434.7\text{tf/m}^2$ ）となる。この値は、場所打ち杭の極限先端支持力や $P_p \sim S_p$ 関係に関する山肩らの統計²⁾に比べるとかなり小さい。この理由として、山肩らの統計では砂礫層に支持された試験例が大部分であるのに対し、本試験の場合は細砂層であること、杭の掘削からコンクリートの打設までの4日間の放置期間がありこの間に地盤が緩んだ可能性があること、などが考えられる。

もっとも、先端地盤には $P_p = 1,020\text{tf}$ （ $P_p/A = 902.6\text{tf/m}^2$ ）まで載荷できたことから、「真の極限先端支持力」は $1,020\text{tf}$ 以上である。したがって、本試験で支持層とした細砂層は、基礎杭の支持地盤として十分な支持力を持っているものと言えよう。

摩擦抵抗 図5（a）に軸力分布図を示す。（ $R_o > 0\text{tf}$ でのデータは破線。） また、図6と図5（b）は、各断面間の周面摩擦力度 $f_i \sim$ 抜け上がり量 U_i 関係図と、 f_i の深さ方向の分布図である。

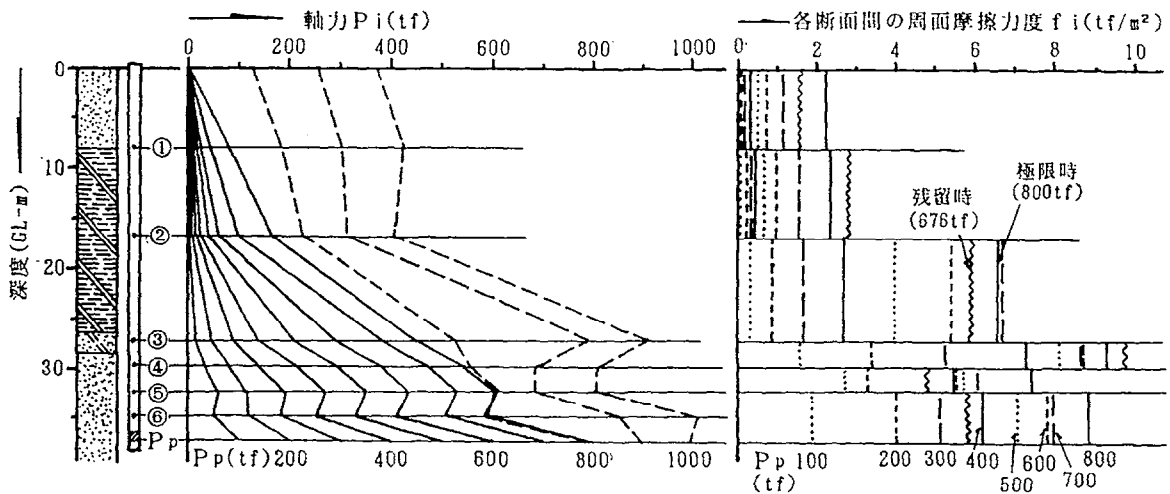


図5(a) 軸力分布図

図5(b) 周面摩擦力度の分布図

これらの図から以下のことが分かる。(i) 本試験では杭先端部に載荷しているため、 f_i は深い位置の方が浅いところよりも先に発揮されている。したがって、杭先端載荷試験では摩擦抵抗が最も期待できる深い層での値が詳しく測定できることになる。(ii) 杭頭～②断面間の f_i の最大値は、杭頭～①断面間が $N = 20$ 程度の砂層であるにもかかわらず、約 2tf/m^2 と小さい値となっている。これは、杭先端載荷試験法では杭周地盤の上載圧が減少するためと推察される。(iii) 極限時($P_p = 800\text{tf}$)と残留時($P_p = 676\text{tf}$)の f_i

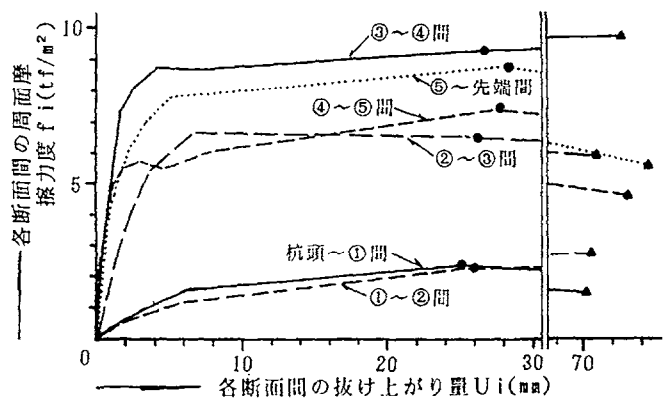


図6 $f_i \sim U_i$ 関係

を比較すると、④断面～先端間で著しく減少している。ただし、 $P_p = 800\text{tf}$ 時の2つの軸力分布では、 R_o が生じると杭頭～②断面間で f_i が減少しているのに対して、②断面～先端間での変化は小さくなっている。

4. 許容支持力の検討

今回の試験結果から、設計に用いる長期許容鉛直支持力を考える。まず、先端支持力として、ここでは基準先端支持力（ 491.2tf ）を採用するのが妥当であろう。次に、周面摩擦力としては、設計荷重時の沈下量を考えれば極限值の 800tf を用いても差し支えないとの議論もあるが、ここでは安全側の値として残留摩擦力（ 676tf ）から杭の自重（ 60tf ）を差し引いた 616tf を採用する。以上より、長期許容支持力は、 $(491 + 616) / 3 = 1107 / 3 = 369\text{tf}$ とするのが妥当と考えられる。

なお、杭先端載荷試験法では杭を上方に移動させることから、先端面付近の上載圧が減少するため、基準

支持力は通常の試験法より10%程度小さくなるとされている⁶⁾。また、摩擦抵抗も同様に、杭周の上載圧が減少するため小さくなると考えられる。したがって、実際の杭の支持力は、本試験の結果よりも大きいものとして差し支えない。

5. 杭頭の荷重～沈下量関係

杭先端載荷試験法の問題点の一つに、設計に最も重要な杭頭荷重 P_o ～杭頭沈下量 S_o 関係が得られないことがある。そこで、試験で得られた P_p ～ S_p 関係や f_i ～ U_i 関係からモデル曲線を近似し、荷重伝達法をベースにしたKISHIDA⁷⁾やHIRAYAMA⁸⁾の解析法を適用して P_o ～ S_o 関係を求めた。

図7(a)は、この解析で得られた P_o ～ S_o 関係である。図には P_p ～ S_p 関係の実測値とモデル曲線なども併記している。また、図7(b)は摩擦抵抗 f ～沈下量 S 関係のモデルであるが、図のように不連続な曲線とした。これは、試験で得られた極限值までの f_i ～ U_i 関係だけでなく残留値を重視し、且つ、プログラムが複雑になることを避けるためである。その結果、 P_o ～ S_o 関係は滑らかな曲線にはなっていない。ただし、設計では設計荷重付近や $S_o = D/10$ 付近での P_o ～ S_o 関係が重要となるが、いずれも摩擦抵抗が極限值から残留値に移る範囲からは外れているため、実用上は問題はない。

P_o ～ S_o 関係から基準支持力を求めると、1,120tfとなる。この値は4章の検討値(1,107tf)とほぼ等しい。

6. 結語

以上、杭先端載荷試験による鉛直支持力の検討結果を報告した。この試験では、新たに開発した先端ジャッキを用いて先端地盤に十分な荷重と沈下量を与えることができたほか、摩擦抵抗の極限值も確認できた。

謝辞 本試験の実施に当たり、ご指導・ご協力を頂いた東京都東部住宅建設事務所建設課・工事課の諸氏、(株)TRAの福田豊氏、長谷工・大末・大木・金子建設共同企業体の川本泉所長・小野田稔副所長および東洋テクノ(株)の稲村利男氏・宮本和徹氏に厚く感謝致します。また、杭先端載荷試験法の検討や先端ジャッキの開発などに当たってご指導・ご助言を賜った(社)建築研究振興協会「杭の簡易試験法に関する調査研究委員会」の委員各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) J.O. 木村、吉(吉見吉昭訳)：杭載荷試験用の新しい加力装置——埋め込み杭および打ち込み杭に適用可能——、基礎工、Vol. 19, No. 8, pp. 114～119、総合土木研究所、平成3年8月
- 2) 小椋仁志、須見光二、鈴木俊雄、稲村利男、岸田英明：簡易載荷試験法による場所打ち杭の載荷試験(その1)、(その2)、第27回土質工学研究発表会(高知)、pp. 28～29, pp. 1531～1532、平成4年6月
- 3) 青木一二三、丸山修、田中弘、桐山賢次、高瀬昭雄、藤岡豊一：扇状地砂礫地盤における場所打ち杭の鉛直載荷試験(その1)、(その2)、土木学会第47回年次学術講演会、Ⅲ-413, 414, pp. Ⅲ-866～869、平成4年9月
- 4) 斎藤淳、海野隆哉、栗山道夫、国弘仁、桑山晋一、小椋仁志：砂礫層に支持された深礎杭の鉛直載荷試験(その1)、(その2)、第28回土質工学研究発表会(神戸)、pp. 1759～1762、平成5年6月
- 5) 山肩邦男、伊藤淳志、山田毅、田中健：場所打ちコンクリート杭の極限先端荷重および先端荷重～先端沈下量特性に関する統計的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第423号、pp. 137～146、1991年5月
- 6) 平山英喜：無反力杭式載荷試験における載荷位置・方向の影響、第28回土質工学研究発表会(神戸)、pp. 1715～1716、平成5年6月
- 7) H. KISHIDA, Y. TSUBAKIHARA: An Analytical Method for Predicting the Displacement of a Pile and Soil Layers, 11th Southeast Asian Geotechnical Conference, Singapore, 1993
- 8) H. HIRAYAMA: LOAD-SETTLEMENT ANALYSIS FOR BORED PILES USING HYPERBOLIC TRANSFER FUNCTIONS, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 30, No. 1, pp. 55-64, 1990. 5.

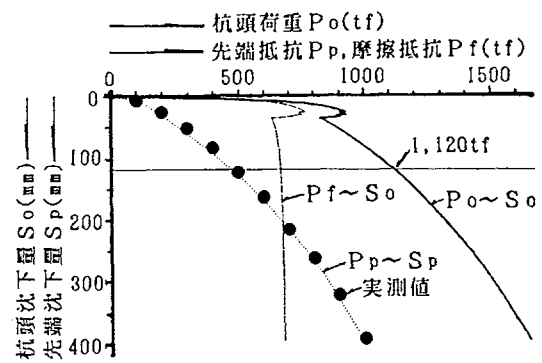


図7(a) P_o ～ S_o 関係の解析結果と P_p ～ S_p 関係のモデル

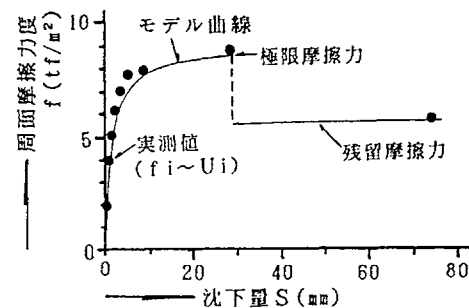


図7(b) f ～ S 関係のモデル (◎～先端間)