

## 杭先端載荷試験法の場所打ち杭と既製杭への適用例

Application of Pile Toe Load Test to Cast-in-place Concrete Pile and Precast Pile

小 棕 仁 志 (おぐら ひとし)

(株)ジオトップ技術部部長

岸 田 英 明 (きしだ ひであき)

東京理科大学教授 工学部第2部建築学科

東京工業大学名誉教授

須 見 光 二 (すみ みつじ)

(株)ジオトップ開発部部長

吉 福 司 (よしふく つかさ)

日建設計 土木設計事務所

### 1. 序 文

杭先端載荷試験法とは、図-1のように杭の先端部分に設置したジャッキを用いて、先端抵抗と摩擦抵抗とを互いに反力として載荷する方式の試験法である。提案者である J.O.Osterberg (オスター・バーグ) は、場所打ち杭や鋼管杭に対して米国を中心に40例以上の試験を行っており、その一部を文献<sup>1)</sup>に紹介している。

本報告は、筆者らがこの試験法を場所打ち杭や深礎杭および既製杭に対して適用した16の事例を示し、代表的な試験結果の概要を紹介したものである。

### 2. 杭先端載荷試験法の概要

杭頭から載荷する通常の試験方法（以下、杭頭載荷試

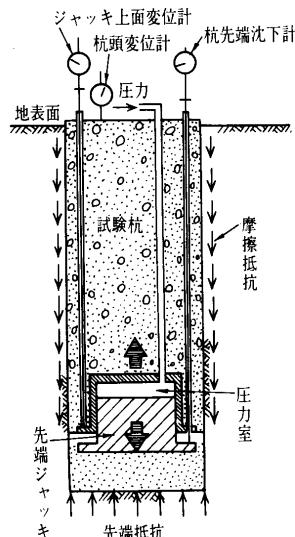


図-1 杭先端載荷試験法

験法と呼ぶ）では反力杭や大がかりな載荷装置が必要なのに対し、杭先端載荷試験法ではこれらが不要なため試験費用や準備時間が少なくて済むという特長がある。このため、杭の簡便な品質管理手法として本試験法が有望であることから、筆者らは（株）建築研究振興協会に「杭の簡易試験法に関する調査研究委員会」を設けて、その実用性や問題点などについて基礎的な検討を行ってきた。

また、杭頭載荷試験法では載荷荷重の大部分が周面摩擦で抵抗されるため、先端地盤に十分な荷重を伝えるのは難しい。これに対して、杭先端載荷試験法では杭の先端地盤に直接載荷するため、確実に先端地盤の性状を把握することができるのも特長の一つである。

杭先端載荷試験法の問題点としては、①先端抵抗と摩擦抵抗の一方の極限値までしか載荷できないこと、②杭頭での荷重～変位量関係が得られないこと、③摩擦抵抗の向きが通常とは逆方向になることなどが挙げられる。これらの問題点に対する対応策は本報告中で述べる。

### 3. 場所打ち杭への適用例

表-1に場所打ち杭に適用した例を示す。先端ジャッキは、No.1, 2の試験がOsterbergから導入した米国製のものを、No.3～6の試験は筆者らが改良した国産のものを用いている。ジャッキの設置は、あらかじめ水中不分離性モルタルをホッパーを用いて投入したあと、鉄筋籠と一緒に建て込む方法<sup>6)</sup>を標準としている。

ここでは、杭頭載荷試験法と比較したNo.5の試験について概要を紹介する。地盤状況を図-2に示す。この試験では、計画最大荷重に対して摩擦抵抗が不足することが予想されたため、補助反力杭を設置した。これは、前章で述べた問題点①への対応策の一つである。

表-1 場所打ち杭への適用例の一覧表

No.	試験年月	試験場所	施工法	杭径(m)	根入れ長(m)	先端地盤	最大先端荷重(tf)	先端沈下量(mm)	最大摩擦力(tf)	抜上り量(mm)	他の試験	発表文献
1	H3.12.	大阪市	RCD	1.2	38.5	細砂	803	104	803(以上)	4.2	杭頭載荷引抜き	2)～4)
2	H3.12.			1.2	38.5	細砂	688	100	688(以上)	3.0		
3	H5.07.	東京都港区	ED	1.2	47.0	細砂	490	183	490(以上)	6.9		5)
4	H5.09.	東京都葛飾区	RCD	1.2	38.0	細砂	1 020	400	800	(74)		6)
5	H5.10.	東京都中央区	ED	1.2	26.5	細砂	800	300	558	(70)	杭頭載荷水平載荷	7),8)
6	H5.10.			1.2	30.2	細砂	900	300	700	(50)		

## 事例報告

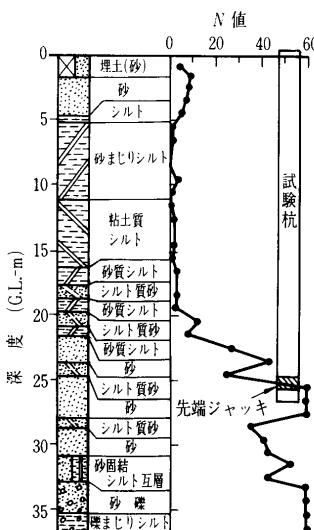


図-2 地盤状況(No. 5)

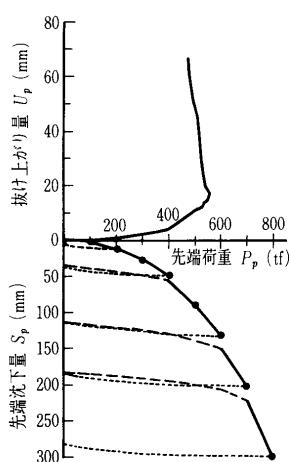
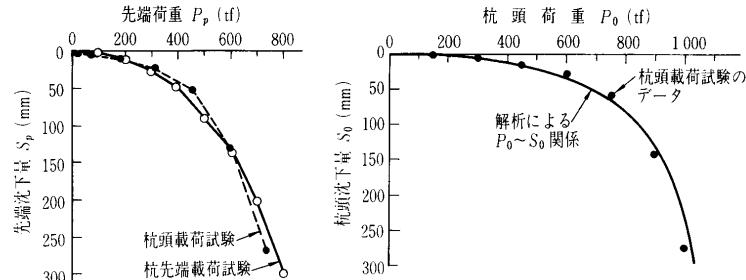


図-3 試験結果(No. 5)

図-3に、先端荷重  $P_p$  と先端沈下量  $S_p$ 、抜上がり量  $U_p$  との関係を示す。最終的な  $P_p$  と  $S_p$  はそれぞれ800tf, 300mm,  $S_p$  が杭径の10%時の  $P_p$  は573.1tfであった。摩擦抵抗は、 $P_p = 558$ tf の時に極限状態となり、以後、杭の急速な抜上がりとともに低下し、杭頭が反力杭に当たる直前の残留摩擦力は478tfであった。

図-4は杭頭載荷試験と杭先端載荷試験の  $P_p \sim S_p$  関係を比較している。前者の  $P_p$  はひずみ計から求めた値であるが、両者はほぼ一致していることが分かる。なお、No.1, 2の試験でも、同様の結果が得られている。

図-5は、解析による杭頭荷重  $P_0$  ~杭頭沈下量  $S_0$  関係を、杭頭載荷試験の結果と比較したものである。解析値は、杭先端載荷試験による  $P_p \sim S_p$  関係や摩擦抵抗 ~抜上がり量関係の測定結果を、荷重伝達法をベースにした解析法<sup>9)</sup>に適用して求めている。図からも明らかなように、解析値は実験結果によく近似している。したがって、杭先端載荷試験でも精度の高い  $P_0 \sim S_0$  関係が得

図-4  $P_p \sim S_p$  関係の比較図  
(No. 5)図-5  $P_0 \sim S_0$  関係の比較図  
(No. 5)

られることになり、前述の問題点②が解決される。

以上より、本試験法は杭頭載荷試験法より簡便であるにもかかわらず、同等のデータを得られることが分かる。

## 4. 深礎杭への適用例

表-2に深礎杭への適用例を示す。No.2と3は、載荷径が杭径の1/2以下の先端ジャッキを用いた試験である。これによって、先端抵抗に比べて摩擦抵抗が小さい深礎杭の場合でも、支持層の性状を確実に調べることができる。問題点①への対応策の一つの方法である。

## 5. 既製杭への適用例

杭先端載荷試験法の既製杭への適用例には、鋼管杭に対するOsterberg<sup>11)</sup>や、PHC杭に対する藤岡ら<sup>13)</sup>の報告がある。表-3は、筆者らによるPHC節杭への適用例である。PHC節杭は摩擦抵抗が大きいのに対し、材料強度は軸部断面で決まるため、杭頭載荷試験法では先端支持力を十分に調べることができないことが多い。その場合、杭先端載荷試験法が有効となる。

以下、No.4の試験について概要を紹介する。試験地盤を図-6に示す。この試験では杭先端載荷試験法の応用として、先端抵抗試験と摩擦抵抗試験を行った。前者は杭頭と杭先端に設置した2台のジャッキで摩擦抵抗が

表-2 深礎杭への適用例の一覧表

No.	試験年月	試験場所	杭径(m)	載荷径(m)	根入れ長(m)	先端地盤	最大先端荷重(tf)	先端沈下量(mm)	最大摩擦力(tf)	変位量(mm)	他の試験	発表文献
1	H4.10.	小金井市	1.6	1.2	11.5	砂礫	900	125	400	100	杭頭載荷	10), 11)
2	H5.12.	小金井市	1.2	0.5	10.3	砂礫	240	70	240	20		12)
3	H5.12.		1.2	0.3	10.3	砂礫	100	55	100(以上)	0.6		

表-3 既製杭(PHC節杭)への適用例の一覧表

No.	試験年月	試験場所	節部径(m)	載荷径(m)	根入れ長(m)	先端地盤	最大先端荷重(tf)	先端沈下量(mm)	最大摩擦力(tf)	変位量(mm)	他の試験	発表文献
1	H3.06.	堺市	0.5	0.5	10.0	粘土	108	60	108(以上)	1.5	杭頭載荷	14)
2	H3.06.		0.5	0.4	10.0	粘土	84	143	84(以上)	1.3		
3	H5.11.	京都市	0.5	0.5	15.5	粘土	120	83	140	70	杭頭載荷	
4	H6.04.	宮崎市	0.5	0.5	9.2	細砂	80	60	140	48	杭頭載荷	
5	H6.06.	鹿児島県隼人町	0.5	0.5	20.0	細砂	100	94	300	75	杭頭載荷 引抜き掘り出し	
6	H6.07.		0.5	0.5	20.0	細砂	85	99	320	62		
7	H6.08.		0.5	0.5	6.0	細砂	28	73	70	65		

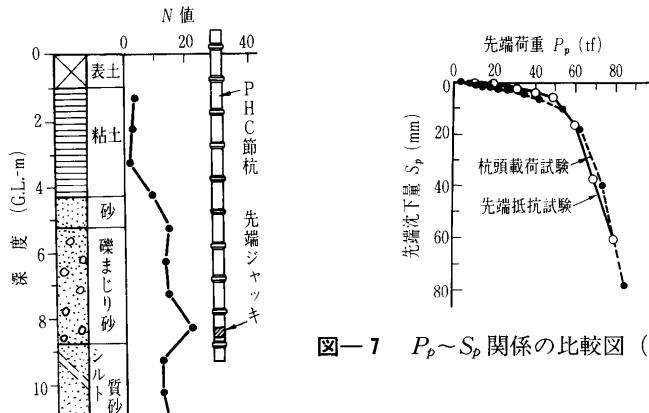


図-6 地盤状況 (No. 4)

生じないようにした状態で、先端地盤に載荷する試験法である。後者は、先端抵抗試験の終了後、先端ジャッキの油圧を解放して  $P_p = 0$  の状態で杭頭から載荷する試験法であって、問題点③への対応策となる。

図-7, 8は、先端抵抗試験と摩擦抵抗試験の結果を、同じ現場で行った杭頭載荷試験の結果と比較したものである。摩擦力  $P_f \sim S_0$  関係では少し差が生じているものの、 $P_p \sim S_p$  関係はほぼ一致しており、これらの試験法は杭頭載荷試験と同等なものと判断される。

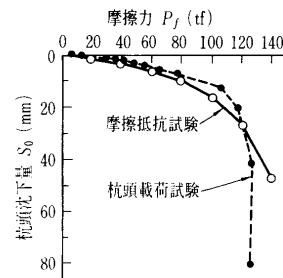
## 6. 今後の展望

最近、限界状態設計法の導入が議論されているが、杭の合理的な設計を行うためには簡便な品質管理手法の開発が不可欠となる。杭先端載荷試験法は、その一つと位置づけられる。今後は先端ジャッキの設置方法などハーフ面の課題の解決とともに、マニュアルの整備などソフト面の充実も重要となる。この観点から筆者らは(社)建築研究振興協会に「杭先端載荷試験法のマニュアル作成委員会」を設けて検討している。これらの活動や今後の試験例の蓄積によって、杭先端載荷試験法を簡便な品質管理手法として確立させていきたい。

最後に、本試験法の検討に当たってご指導をいただいた J.O.Osterberg 先生、吉見吉昭先生、(社)建築研究振興協会の両委員会の委員諸氏、および解析法の共同提案者である元東京工大助手の椿原康則氏(株竹中工務店)に謝意を表します。また、三菱地所㈱の鈴木俊雄氏、JR 東日本コンサルタンツ㈱の海野隆哉氏、東洋テクノ㈱の稻村利男氏や山森製作所をはじめ、諸試験の関係各位に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) J.O.オスター・バーグ(吉見吉昭訳):杭載荷試験用の新しい加力装置—埋込み杭および打込み杭に適用可能—, 基礎工, Vol. 19, No. 8, pp. 114~119, 1991.
- 2) 小椋仁志・須見光二・鈴木俊雄・稻村利男・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:試験の概要と施工上の問題点), 第27回土質工学研究発表会, pp. 28~29, 1992.

図-8  $P_f \sim S_0$  関係の比較図 (No. 4)

- 3) 小椋仁志・須見光二・鈴木俊雄・川村 浩・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2:試験の結果と問題点), 第27回土質工学研究発表会, pp. 1531~1532, 1992.
- 4) 小椋仁志・須見光二・鈴木俊雄・稻村利男・桑原文夫・岸田英明:OAP(大阪アメニティーパーク)計画における杭の支持力実験(その3:簡易載荷試験), 日本建築学会大会梗概集, pp. 1261~1262, 1992.
- 5) 小椋仁志・大杉文哉・妹尾博明・岸田英明:東京地域の細砂層に支持された場所打ち杭の杭先端載荷試験, 日本建築学会大会梗概集, pp. 1343~1344, 1994.
- 6) 小椋仁志・桑山晋一・岸田英明・五十嵐寛:杭先端載荷試験による場所打ち杭の鉛直支持力の検討, 第29回土質工学研究発表会, pp. 1397~1400, 1994.
- 7) 吉福 司・山田耕三・掛川誠一・岸田英明:先端載荷試験法による場所打ち杭の載荷試験, 第29回土質工学研究発表会, pp. 1401~1402, 1994.
- 8) 吉福 司・山田耕三・掛川誠一・岸田英明:先端載荷試験法による場所打ち杭の載荷試験, 日本建築学会大会梗概集, pp. 1341~1342, 1994.
- 9) Kishida, H. and Tsubakihara, Y.: An analytical method for predicting the displacement of a pile and soil layers, 11th SE Asian Geotechnical Conf., 1993.
- 10) 斎藤 淳・海野隆哉・栗山道夫・桑山晋一:砂礫層に支持された深礎杭の鉛直載荷試験(その1), 第28回土質工学研究発表会, pp. 1759~1760, 1993.
- 11) 国弘 仁・海野隆哉・栗山道夫・斎藤 淳・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2), 第28回土質工学研究発表会, pp. 1761~1762, 1993.
- 12) 斎藤 淳・海野隆哉・金井重夫:砂礫層に支持された杭の先端載荷試験(その3), 第29回土質工学研究発表会, pp. 1395~1396, 1994.
- 13) 藤岡豊一・新井邦彦・加藤弘文・青木一二三・山田清臣:新載荷試験法の原理と事例報告, 杭の鉛直載荷試験方法および支持力判定法に関するシンポジウム, pp. 7~14, 1991.
- 14) 小椋仁志・小寺浩二・椿原康則・岸田英明:杭の簡易載荷試験法の基礎的検討, 杭の鉛直載荷試験方法および支持力判定法に関するシンポジウム, pp. 1~6, 1991.

(原稿受理 1994.12.20)