

## 大口径長尺埋込み杭の先端載荷試験 - 試験結果と課題 -

杭 載荷試験 支持力

ジャパンパイル(株)	国際会員 小椋仁志
同上	正会員 小松吾郎
(株)ジオトップ	正会員 須見光二
日本コンクリート工業(株)	大島 章
(有)山森製作所	山森貞樹

## 1. はじめに

建築分野においては既製杭工法の大径化や高支持力化が進んでいるが、それに伴い鉛直載荷試験において載荷重が過大となりその確保が困難になってきている。一方、2002年に地盤工学会で基準された先端載荷試験方法<sup>1)</sup>では、大きな静的荷重を比較的容易に載荷できる。今回、55MNの載荷が可能な先端ジャッキを製作し、大口径長尺埋込み杭に対して先端載荷試験を行った。本報では、この試験の概要とその結果、およびこの試験で分かった課題について述べる。

## 2. 先端ジャッキ

先端載荷試験は、杭の先端付近に設置した先端ジャッキによって先端抵抗と周面抵抗とを互いに反力として載荷する試験方法である。反力杭などの反力装置が原則として不要なこと、先端地盤の支持性能が確実に把握できる等の特長がある。米国ノースウエスタン大学のOsterberg教授が考案・実用化し、O-cell Test等の名で米国やアジアを中心に数多くの試験が行われている。最近では、韓国で杭径3mの場所打ち杭に従来の世界記録116MNを大幅に更新する278MN(先端抵抗と周面抵抗の合計。先端ジャッキに載荷したのは半分の139MN。)を載荷したとのニュースが報じられている<sup>2)</sup>。

我が国では1990年ごろから始められ、場所打ち杭を中心に50例以上の試験実績があるが、載荷重(先端ジャッキ荷重)の大きなものは藤岡らによる42.3MNの試験<sup>3)</sup>や筆者らによる31.6MNの試験<sup>4), 5)</sup>が代表的なものである。これらの試験はいずれも場所打ち杭に対するもので、杭径は前者が2500mm、後者が2200mmとなっている。場所打ち杭の場合、先端ジャッキのシリンダー面積として、杭のほぼ全断面積を有効に活用できる。このため、杭径が大きければ油圧は比較的低圧の35MPa仕様でも、大きな載荷重が可能な先端ジャッキを製作することができる。

これに対して、既製杭では施工法の制約から先端ジャッキは中空部を持つようにドーナツ型(もしくはドーナツ状配置)にする必要がある。また、場所打ち杭に比べて杭径が小さく、ジャッキの寸法が制約される。このため、シリンダー面積は小さくならざるを得ず、高支持力工法の載荷試験では油圧が高圧の70MPa仕様やさらに高圧の120MPa仕様でも必要な載荷重を得られないことがある。これらの事情から、国内においては既製杭に対してはジャッキ荷重が10MNを超える先端載荷試験は、筆者らが昨年発表した節部径1000mm(軸部径800mm)の節杭に対する2例(載荷重10.9MNと24.0MN)<sup>6)</sup>が報告されているに過ぎない。

今回、節部径1200mm(軸部径1000mm)、長さ69mの大径・長尺の埋込み杭に対する鉛直載荷試験を行う必要が生じた。杭頭から載荷する場合は80MNを超える荷重が必要なため、実質的には不可能に近い。このため先端載荷試験を計画したが、ジャッキを杭先端から5m上方の位置に設置した場合、設計式で計算した先端支持力(先端ジャッキから下5m間の周面抵抗+先端面の抵抗)は約40MNとなり、実際に発揮される可能性のある支持力を考えると50MNを超える載荷能力のある先端ジャッキが必要となる。種々検討したが、油圧を120MPa仕様としてもこの載荷重を得るのは難しい。このため、ホースやポンプは200MPa仕様のもとし、外径380mmで容量が9MN余のジャッキ6台を円周上に並べたものを使用した。ストロークは300mm(公称)である。一連のジャッキは、厚さ100mm、外径1200mm、内径500mmのドーナツ型の鋼製フランジを上下に取り付けて連結している。写真-1は、杭に取り付けた先端ジャッキである。



写真-1 先端ジャッキ

## 3. 試験概要

3.1 試験地盤 試験場所は茨城県猿島郡で、図1のように砂層と砂礫層の中間層を掘削し、GL-65m以深の砂礫層に試験杭は根入れされている。根入れ長さはGL-68.5mである。杭先端から下方2.4m間の平均N値は64.3となっている。

3.2 試験杭 試験杭は全長69.5m(先端ジャッキ0.5mを含む)のSC杭で、ジャッキより下方の5mは節部径1200mm

Pile Toe Load Test on Large Diameter Long Bored Pre-cast Pile - Test Results and Problems -

H.Ogura, G.Komatsu(JAPAN PILE Corp.), M.Sumii(GEOTOP Corp.)

A.Oshima(Nippon Concrete Industries Co.,Ltd) and S.Yamamori(YAMAMORI JACKS)

(軸部径 1000mm)の節杭、上方の 64mは 1000mm のストレート杭になっている。杭にはジャッキより上方に 8 点、下方に 4 点、軸力測定のためのひずみ計を貼付している。

3.3 施工法 試験杭の施工は、プレボーリング拡大根固め工法である。掘削径は、上方約 50m は 1250mm、下方約 19m は約 1500mm である。杭先端から 2 mの間には水セメント比  $w/c=65\%$  の、その上方には  $w/c=100\%$  のセメントミルクを送って、掘削土砂と混合攪拌している。掘削 - 拡大掘削 - 充填液の注入 - 攪拌 - 杭の建込み - 杭の定着に至る工程は、この工法の施工指針に則って行われ、問題なく無事に終了した。

3.4 補助反力装置 先端ジャッキから上方の杭の押し上げ抵抗は、約 50MN と推測された。先端ジャッキの最大の荷重は 55MN の予定であるため、押し上げ抵抗が推測値よりも小さい場合を考慮して、35MN の荷重能力を持つ補助反力装置を設置した。

#### 4. 試験結果

杭施工後約 4 ヶ月後に荷重試験を実施した。先端ジャッキの荷重  $P_j$  が 24MN までは 1 段階荷重を 3MN とする段階荷重方式で、そのあとはピーク値等を確実に測定するため連続荷重方式で荷重した。試験で得られた  $P_j$  ~ ジャッキ下面変位量  $S_j$ 、先端変位量  $S_p$  曲線を図 - 2 に示す。ジャッキ下方の最終変位量は  $S_j =$

81.62mm、 $S_p = 77.22\text{mm}$  であり、最大荷重は  $P_j = 44.1\text{MN}$  であった。最大荷重時の最下端節部の抵抗は約 24 MN であり、掘削面積  $1\text{m}^2$  あたりの支持力は  $13.6\text{MN/m}^2$ 、この値を杭先端から下方の平均  $N$  値で除して求めた支持力係数は 211 となる。

#### 5. 試験時の課題

今回の試験では、油圧を 200MPa 仕様としたため、吐出量の少ないポンプと内径が細いホースを用いざるを得なかった。また、長尺杭のためホースは 90m 以上となった。このため、ポンプからの送る時の油圧(圧送圧)と先端ジャッキ内に作用する油圧の差が大きく、ポンプの能力の関係から杭には 45MN 荷重するのが限度となった。このため、 $S_p$  が杭径の 10% の 120mm に達するまで荷重できなかった。また、ポンプの圧送による脈動が激しかったため、杭頭付近で測定した  $P_j$  の測定値はのこぎり状になった。図 - 2 の  $P_j$  の値は、変位速度などから測定値を一部補正している。

さらに、杭が剛性の比較的小さい既製杭で、かつ長

尺であるため杭体の縮み量が大きく、先端ジャッキは上方への伸張が卓越してきたため、補助反力装置を利用して杭頭からも荷重する必要があった。このため、先端ジャッキより上方の荷重状態は文献 6) の先端抵抗試験に似た状態となり、 $P_j$  ~ ジャッキ上面変位量  $S_{ju}$  曲線と周面摩擦応力度のデータは、物理的な意味がないものとなった。また、試験後に周面抵抗試験を試みたが、周面抵抗が補助反力装置の荷重能力を上回ったため、有意なデータは得られなかった。

今回の試験で生じた上記の課題は、油圧の測定位置や使用するポンプ・ホースの改善等で解決できると考えられる。

#### 6. おわりに

本報では、節部径 1200mm (軸部径 1000mm) 根入れ長さ 68.5m の大径・長尺の埋込み既製杭に対して、油圧が 200MPa という超々高圧仕様を採用して行った先端荷重試験について述べた。試験では先端ジャッキの荷重が国内最高の 44.1MN を記録するなど、先端ジャッキより下方の杭を中心に最低限必要なデータは得られた。反面、主に油圧が非常に高いことと長尺既製杭であることによる課題も浮き彫りになった。しかし、今回の試験のような厳しい条件下でも先端荷重試験を実施できたことを考えると、今回の課題を克服することにより、さらに高支持力の既製杭や場所打ち杭にもこの試験方法を十分に適用できることが分かった。今後も経済的な試験法の一つとして、発展させていきたい。

参考文献 1)地盤工学会基準:杭の鉛直荷重試験方法・同解説 - 第一回改訂版 -, pp.61 ~ 104, 地盤工学会, 2002.5. 2)Loadtest, inc. Sets World Record, The Magazine of the Deep Foundations Institute, Summer 2005, pp.60. 3)杉村・板橋・田村・鳥井・萩原・藤岡: 低コスト化を目的とした大口径場所打ち杭の鉛直荷重試験 - 同一敷地における杭径 2.5m, 1.5m の 2 本の荷重試験 -, 基礎工, Vol.25, No.12, pp.129 ~ 135, 1997.12 4)渋谷・小椋・川村・妹尾: 関東郵政局等庁舎新築工事における大口径場所打ち杭の先端荷重試験 (その 1: 試験の計画と結果), 第 32 回地盤工学研究発表会(熊本), pp.1431 ~ 1432, 1997.3 5)小椋・渋谷・加村・齊藤: 4)と同名論文 (その 2: 試験結果の検討), 第 32 回地盤工学研究発表会(熊本), pp.1433 ~ 1434, 1997.3 6)小椋・桑山・鈴木・山森: 大口径埋込み杭の先端抵抗試験と周面抵抗試験, 第 40 回地盤工学研究発表会(函館), pp.1613 ~ 1614, 2005.7

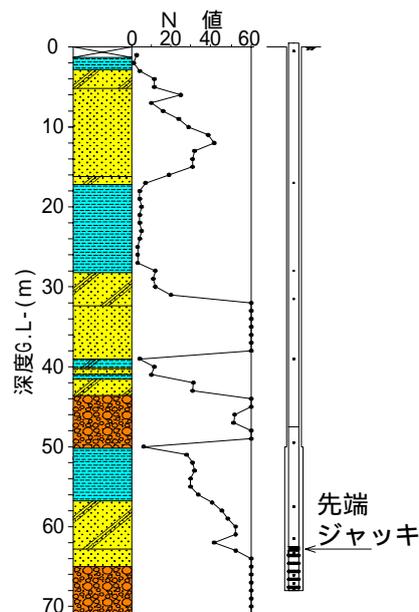


図 - 1 . 地盤概要、試験杭

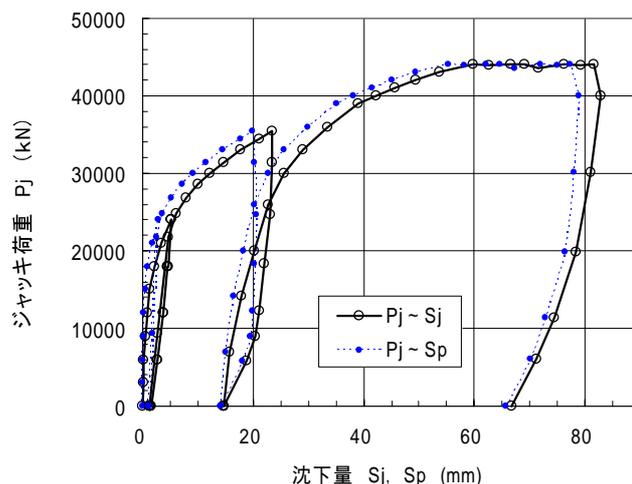


図 - 2 .  $P_j$  -  $S_j$ ,  $S_p$  曲線