# 新しい杭の鉛直載荷試験法の開発

Development of a New Pile Load Testing Method

藤 岡 豊 一 (ふじおか とよかず) 千代田化工建設㈱建設技術部 課長 新 井 厚 生 (あらい あつお) 大同コンクリート工業㈱技術部 次長

# 1. まえがき

杭の設計支持力は鉛直載荷試験を行って確認する のが最も望ましいが,反力杭や載荷装置に多額の費 用を要する等の理由から鉛直載荷試験を行うのは支 持力や沈下性状の不明な杭あるいは新しい杭工法の 開発等に限られているように思われる。杭の支持力 を推定するための載荷試験法がいくつか提案<sup>1)~3)</sup>さ れているが,施工された杭の支持力を確認する力学 的管理手段として実用化されるに至っていない。

このような現状にかんがみて、杭先端近くにジャ ッキを装着し、上・下方向に載荷することにより反 力杭を要せずに周面摩擦力と先端支持力を同時に測 定する新しい鉛直載荷試験方法(新載荷試験法)と 装置を考案し、1987年初めから各種の杭工法に応じ たジャッキの設計と試作および杭の上下方向への円 滑な切り離しのための予備実験を行った。その結果 新載荷試験法が従来の鉛直載荷試験(標準試験)と 同程度の有用性を持って利用できる可能性があると 予想された。その後ジャッキの改良を行い実大杭を セメントミルク工法により設置して標準試験と新載 荷試験の比較試験を試みた。比較試験の結果新載荷 試験法の有用性について一つの目安が得られたと考 えられる。以下に新載荷試験の原理と杭頭載荷への 換算方法および実用化に向けた第1ステップとして の今回の試験結果について報告する。

# 新載荷試験の原理と杭頭載荷への換算 方法

新載荷試験では図ー1に示すようにジャッキの荷 重とその上・下方向の変位量および各深度における

April, 1991

新井邦 彦 (あらい くにひこ) 千代田化工建設㈱建設技術部 次長 山田清臣 (やまだ きよおみ) 日本大学教授 理工学部土木工学科



図-1 新載荷試験杭の軸力,周面摩擦力度および変 位量の関係

杭のひずみと変位を測定する。各深度の周面摩擦力 度は杭のひずみと断面剛性から算出した軸力分布か ら求められる。この周面摩擦力度と変位量の関係お よびジャッキ荷重と下向き変位量の関係を荷重伝達 解析<sup>4)</sup>することにより杭頭載荷に対する荷重〜沈下 量関係に換算することができる。荷重伝達解析を行 う上での仮定は次のとおりである。

- ① 杭は弾性体とする。
- ② 各要素のひずみは要素上・下面の軸力と断面 剛性の平均から求められる。
- 航先端の支持力~沈下量関係および各深度の 周面摩擦力度~変位量関係は新載荷試験と標準 試験で等しい。

#### 報文-2114



図-2 新載荷試験結果の杭頭載荷への換算方法

新載荷試験結果から杭頭載荷に換算する方法を模 式的に図-2に示す。新載荷試験杭のジャッキ装着 深度より上をn個に分割すると任意の点 i における 杭の軸力 P(i)と変位量 S(i)は、次式で表される。

ま

式

$$S(i) = S(i+1) + \frac{h(i)}{A(i)E(i) + A(i+1)E(i+1)} [2P_j + \sum_{m=i+1}^{n} f(m) \{U(m) + U(m+1)\}h(m) + f(i) \{U(i) + U(i+1)\}h(i)/2] \dots (4)$$

$$S_m(i) = S(i+1) + \frac{h(i)}{A(i)E(i) + 3A(i+1)E(i+1)} [2P_j]$$

+ 
$$\sum_{m=i+1}^{n} f(m) \{U(m) + U(m+1)\}h(m)$$
  
+  $f(i) \{U(i) + U(i+1)\}h(i)/4\}$  .....(5)  
ただし、 $i=n$ の場合は次のようになる。  
 $S(n)=S_{j}$   
+  $\frac{h(n)}{A(n)E(n) + A(n+1)E(n+1)}[2P_{j}]$   
+  $f(n) \{U(n) + U(n+1)\}h(n)/2]$  .....(6)  
 $S_{m}(n)=S_{j}$   
+  $\frac{h(n)}{A(n)E(n)+3A(n+1)E(n+1)}[2P_{j}]$ 

 $+f(n)\{U(n)+U(n+1)\}h(n)/4$ ] .....(7)

以上の式で f(i) は新載荷試験の周面摩擦力度と 変位量の関係(図ー1(e))からym(i)=Sm(i)と して $\tau(i)$ を求め、さらに $f(i) = -\tau(i)$ として求ま り、 $P_i$ はジャッキ荷重と沈下量の関係(図-1(f)) から求まる。したがってS(i)および $S_m(i)$ の2n個 の未知数に対して2n個の連立方程式が成り立つこ とになる。新載荷試験結果から杭頭載荷へ換算する 具体的な荷重伝達解析の手順を図-3に示す。



図-3 杭頭載荷へ換算する荷重伝達解析の流れ図

#### 3. 載 荷 試 験

## 3.1 試験装置

新載荷試験装置の模式図を図-4に,ジャッキの 詳細を図-5に示す。使用したジャッキは杭中空部 を利用してジャッキを降下させ所定の位置に装着し

土と基礎, 39-4 (399)



図-4 新載荷試験装置

て試験を行い 試験後回収 する 回収型ジャッキ(図-5(a))と, 杭とジャッキが一体となるよう組み込み試験後回収しない非回収型ジャッキ(図-5(b))の2種類である。

非回収型ジャッキにはセメントミルクが杭中空部 に入るように貫流孔を設けているが,回収型ジャッ キは試験後回収する関係上ジャッキより上の杭中空



図-5 ジャッキ詳細図

April, 1991

部にセメントミルクが入らない構造になっている。 杭外周のセメントミルクがジャッキの位置で上下方 向に的確に切り離れるように縁切りゴム板を2枚重 ねてジャッキに取りつけている。また,杭設置時の 回転や上下動に対してジャッキと杭が一体となるよ うに回転止めボルトとシアーボルトをジャッキに装 着している。

### 3.2 試験内容

試験地:茨城県猿島郡総和町北利根1番地 杭の設置:昭和63年12月12日〜昭和63年12月16日 試験日:平成元年1月〜4月(図―6参照) 杭の仕様: Ø450遠心力高強度プレストレストコ

ンクリート杭(PHC 杭)のA種23~24

m標準試験杭1本,新載荷試験杭4本 (回収型2本,非回収型2本)

施工方法:セメントミルク工法

地 盤: 図-6参照

計測項目:ジャッキの荷重とその上・下方向の変 位量および杭各部のひずみと変位量を計 測(計測位置は図-6参照)





写真--2 新載荷試験の状況

載荷方法:土質工学会編「クイの鉛直載荷試験基 準・同解説」<sup>5)</sup>のA載荷方法(処女荷重 の保持時間30分)に準拠

新載荷試験杭の建て込みと新載荷試験の状況を**写** 真一1と写真一2に示す。

4. 試験結果

新載荷試験結果の一例を図-7~図-9に示す。 図-7はジャッキ荷重とジャッキの上・下方向の変 位量の関係を示す。最大載荷重(240 tf)における ジャッキの上向き変位量は急速に変位が進み始める 時(10分後)と荷重を保持できた最終時点(15分後) の2点をプロットしている。図-8は杭の深さ方向



図-8 新載荷試験杭の軸力と周面摩擦力度の分布

の軸力分布と周面摩擦力度分布,図-9は周面摩擦 力度~変位量曲線である。

図-10は標準試験杭(No.1 杭)の周面摩擦力度 ~変位量曲線である。図-9と図-10の周面摩擦力 度を比較すると地表面から深さ15mの間で新載荷試 験杭の周面摩擦力度が標準試験杭より小さい。この 原因として杭周固定液の配合の差(杭設置時に採取 した杭周固定液の試料により新載荷試験杭の杭周固 定液が貧配合であることを確認)による影響等が考 えられるが,今回の試験では十分究明できなかった。

土と基礎, 39-4 (399)



この点は今後の課題と考えている。

杭を弾性体とし、杭各部の周面摩擦力度~変位量 関係を上向き(新載荷試験)と下向き(標準試験) 載荷で同じと仮定して新載荷試験の結果を荷重伝達 解析により杭頭の荷重~沈下量に換算し標準試験結 果と比較したのが図ー11である。No.1 杭は 450 tf までしか載荷できなかったので、杭先端の荷重~沈 下量関係を双曲線で外挿し、さらに周面摩擦力度を 450 tf 以降一定として解析した。No.4 杭は 180 tf で



**図―11**新載荷試験杭と標準試験杭の杭頭荷重~杭頭 沈下量曲線の比較

April, 1991

先端沈下量がジャッキのストローク (150 mm)まで達したため周面摩擦力 度を180 tf 以降一定として解析した。 このため図—11の中でNo.1杭とNo.4 杭は外挿部分を破線で示している。各 杭の支持力に差があるがそれぞれの曲 線は通常の荷重~沈下量のパターンを 示している。また,杭頭荷重の大部分 が周面摩擦力で支持されるような小さ な荷重段階から各杭の沈下量に差がみ られることから各杭の周面摩擦力が相 違していることを示唆しているように 思われる。

実大杭の載荷試験では杭の支持力に ばらつきがあることはよく知られてい るが、今回の場合施工精度の違いによ ることも考えられたので杭内のセメン トミルクをコアリングして原因の究明 を試みた。その結果杭先端の根固めセ

メントミルク造成長が図-6に示すように,計画長 (0.9m) に対して No.1 杭は1.6m 長く, No.2 杭 は0.8m 短く, No.3 杭と No.4 杭はほぼ計画どお りで, No.5 杭は0.9m 短く造成されていることが 明らかになった。図-12は標準試験杭先端の軸力~ 沈下量関係と新載荷試験杭のジャッキ下の荷重~沈 下量関係を比較したものである。根固めセメントミ ルク先端からほぼ同じ高さの位置(No.1 杭とNo.5 杭は先端から約2.5m上, No.3 杭とNo.4 杭は先端 から約1.0m上)における荷重~沈下量関係を比較



## 報文—2114

すると No.1 杭と No.5 杭および No.3 杭と No.4 杭の曲線はそれ ぞれよく合っている。また図—13 は PHC 杭先端の沈下量が55 mm の時の軸力分布を比較したもので 根固めセメントミルク造成長の相 違による先端支持力の差がよく分 かる。根固めセメントミルクが計 画どおり造成されていた No.3 杭 の先端支持力と比較すると No.1 杭は 46 tf 大きく, No.5 杭は 51 tf 小さい。もし根固めセメントミル クが計画どおりに造成できていた とすると No.1 杭の全 支持力は



図-13 新載荷試験杭と標準試験杭の軸力分布の比較

505 tf, No.5 杭は 483 tf と推定され支持力の差は小 さくなる。杭周固定液の配合の差が無かったならさ らに支持力の差は小さくなっていたと推察される。 これらのことから新載荷試験は標準試験とほぼ同等 の情報を提供してくれるものとみてよかろう。

埋込み杭には施工上の不確定要因,つまり品質の 管理され難い点があるため支持力のばらつきが大き いと言われているので,更に多くの比較試験を行っ て新載荷試験の精度を高めてゆきたい。

# 5. 結論

杭先端近くにジャッキを装着し上・下方向に載荷 して周面摩擦力と先端支持力を分離して測定する新 載荷試験の原理と実施例について述べた。まだ未解 決の問題もあるが新載荷試験法の開発の第1ステッ プとして報告した。今回の試験で新載荷試験法の有 用性について一つの目安が得られたと考えている。 新載荷試験法は反力杭や載荷桁を必要としないので 安全で簡単にしかも安価に試験を行うことができる 利点があるもののいくつか課題も残されている。今 後の主な課題は次のようなものと考えられる。

- 種々の地盤で更に多くの比較試験を行って新 載荷試験の精度を高める必要がある。
- ② 載荷試験の資料を多数蓄積の上支持力を最も 効果的に測定できるジャッキ装着位置を決定す る方法をみつける必要がある。
- 6. あとがき

道路橋示方書<sup>6)</sup> は載荷試験を行って杭を設計する 場合得られた支持力の信頼性を配慮して許容支持力 を20%割り増しできるように改訂された。このよう な時代の要請からも手軽にしかも経済的に載荷試験 を行う必要性がますます多くなってくるものと思わ れる。今後は新載荷試験の実用化に向け種々の地盤 条件や杭長の埋込み杭に対して新載荷試験を行うと 共に打込み杭や場所打ち杭にも応用して行きたい。 さらに斜杭やネガティブフリクションの作用する杭 の載荷試験,杭の引抜き抵抗力を求める試験および 摩擦杭の群杭効率を求めるための群杭の鉛直載荷試 験として応用できるのではないかと考えている。

本稿で述べた新載荷試験法の開発については日本 鉄道建設公団の青木一二三氏から種々の貴重な助言 を受けました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 金谷・秋野:深層載荷試験による地盤の荷重-沈下 性状の調査,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp. 1369~1372, 1975.
- 2) 大塚・山下・相沢・根元:深い基礎の新原位置載荷 試験装置について,第12回土質工学研究発表講演集, pp.83~86,1977.
- 3) 松井・小田・樫山・足立:杭の鉛直支持力に関する 新しい載荷試験に関する模型実験,昭和63年度土木 学会関西支部学術講演概要,pp.Ⅲ-21-1~2,1988.
- Seed, H.B. and Reese, L.C.: Action of Soft Clay along Friction Piles, Proc. ASCE, Vol. 81, Paper, No. 842, pp. 1~28, 1955.
- 5) 土質工学会編: クイの鉛直載荷試験基準・同解説, pp. 1~12, 1971.
- 6) 日本道路協会編:道路橋示方書・同解説, pp. 276~ 283, 1990.
   (原稿受理 1990.8.1)

土と基礎, 39-4 (399)