

名古屋高速道路公社 日野原稔紀 岡本真悟  
(株) ジオトップ 正〇小椋仁志 川村 明

1. はじめに

愛知県豊山町内の国道41号線上に建設される名古屋高速道路(県道高速名古屋小牧線)の橋梁下部工事において、全周回転式オールケーシングを用いたベント工法により施工される杭径 $D=2.0\text{m}$ 、杭長 $L=13.5\sim 18.0\text{m}$ ( $L/D=7\sim 9$ )の大口径場所打ち杭について、その鉛直支持力特性などを確認するために杭先端載荷試験法による鉛直載荷試験を行ったので、その試験概要と結果について報告する。

2. 試験概要

(1)目的 本試験は、鉛直載荷試験を実施し当該地盤の鉛直支持力特性(先端地盤の極限支持力、各層の周面摩擦力等)を把握することによって、県道高速名古屋小牧線の杭基礎の設計手法の妥当性を確認することを目的としている。

(2)地盤と試験杭の概要 本試験は、県道高速名古屋小牧線豊山(その2)工区内のP42橋脚近傍に、本設杭とは別に増設した試験杭を用いて行うこととした。図1に、地盤と試験杭の概要を示す。 $L/D$ が7~9の大口径杭の支持力特性を的確に把握するため、その寸法的な諸元等を本設杭(P42橋脚基礎杭)と同じとした。すなわち、その形状は $D=2.0\text{m}$ 、 $L=16.25\text{m}$ (杭先端深さ $GL-21.65\text{m}$ 、杭頭深さ $GL-5.40\text{m}$ )、 $L/D=8.1$ とし、施工位置も本設杭の近傍(地盤概要は本設杭と同じ)とした。また、使用材料や施工法も、本設杭と同様、呼び強度 $30\text{N/mm}^2$ の水中コンクリート(設計基準強度 $240\text{kgf/cm}^2$ )、全周回転式オールケーシングを用いたベント工法とした。

(3)試験方法 この試験杭に対し、杭頭から載荷する通常の鉛直載荷試験法を用いた場合、先端地盤の極限支持力を確認するためには非常に大規模な載荷荷重および反力装置が必要となり、多大の費用を要することになる。また、交通量の多い国道上の狭小な工事区域内での載荷試験の実施は、作業性や安全性等の点においても問題がある。そこで、反力杭や反力装置を必要とせず狭小な工事区域内でも安全性や作業性に優れている杭先端載荷試験法<sup>1)</sup>を採用することとした。この方法は、杭の先端部に設置したジャッキ(以下、先端ジャッキ)によって、先端抵抗と周面摩擦抵抗とを互いに反力として載荷するものであり、杭頭から載荷する通常の鉛直載荷試験法に比べ遥かに小さい載荷重で先端地盤の極限支持力を把握することが可能であるという利点も持っている。

(4)計画最大荷重 試験杭の極限支持力は、道路橋示方書に照会されている場所打ち杭の支持力推定式を用いて、周面摩擦力 $1,550\text{tf}$ 程度、先端支持力 $950\text{tf}$ 程度と推定した。今回の試験では、周面摩擦力の極限值を確認できるように先端ジャッキの計画最大荷重を $2,400\text{tf}$ と設定した。これは、道路橋示方書推定式による周面摩擦力の推定値の精度(ばらつき)を考慮し50%の余裕をもたせたものである。

(5)先端ジャッキ 今回使用した先端ジャッキは、外径 $1,250\text{mm}$ (ジャッキ下方には外径 $1,750\text{mm}$ のフランジを取り付けている)、高さ $975\text{mm}$ 、設計容量 $2,400\text{tf}$ 、設計スローク400mmの特殊な油圧ジャッキである。これを写真1のように鉄筋籠に取り付けて、試験杭の先端部に設置した。

(6)載荷方法 載荷方法は地盤工学会基準 JGS1811 杭の鉛直載荷試験方法に準拠し、 $200\text{tf}$ ずつ12段階、6サイクルで載荷し、荷重保持時間を処女荷重では60分、ゼロ荷重では15分、履歴内荷重では5分とした。

(7)計測項目 計測項目は、ジャッキ荷重、ジャッキ上下面及び杭頭の鉛直変位量および鉄筋応力である。鉄筋応力は、図1のように地層区分面の4断面に設置した鉄筋計によって計測した。

3. 試験結果と考察

鉛直載荷試験は、コンクリートの養生期間を待ち、その4週強度を確認したうえで行った。

(1)荷重~変位量関係 試験で得られた先端荷重 $P_p$ ~ジャッキ下面沈下量 $S_p$ 、ジャッキ上面抜け上がり量 $U_p$ 、杭頭抜け上

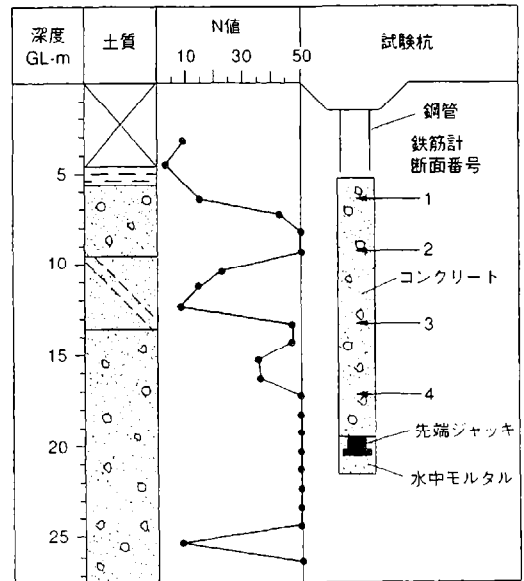


図1. 地盤概要と試験杭

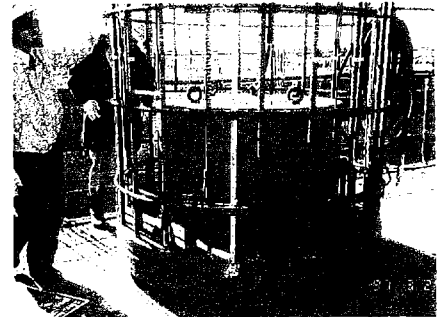


写真1 先端ジャッキ

がり量  $U_0$  関係を **図2** に示す。60分間保持できた最大荷重は2,200tfでありこの時の  $S_p$  は187.75mm (杭径の9.4%)、 $U_p$  と  $U_0$  はそれぞれ34.41mm、33.06mmであった。 $P_p$  を2,400tfへ増荷中に  $U_p$  が40mmを超えた頃から杭体が急激に抜け上がりはじめ、載荷重は2,360tfから増えなくなり周面摩擦力が極限状態に達したと判断されたため試験を終了した。この時の  $S_p$  は197.12mm、 $U_p$  は59.87mm、 $U_0$  は58.16mmであった。

**(2)先端支持力** 載荷重を60分間保持できた最大荷重での  $S_p$  は、第2限界荷重を与える沈下量  $S_p = D/10 = 200\text{mm}$  にわずかに達していない。そこで、 $\log P_p \sim \log S_p$  関係より外挿して  $S_p = 200\text{mm}$  時の  $P_p$  (第2限界荷重) を求めると2,280tfとなり、設計時に想定した先端支持力の推定値(950tf)の2.4倍の先端支持力が確認された。

**(3)周面摩擦力**  $P_p = 2,360\text{tf}$  時に周面摩擦力は極限值に達したが、この値には杭の自重  $W$  が含まれている。したがって、 $W = 120\text{tf}$  を差し引いた2,240tfが真の周面摩擦力となり、設計時に想定した周面摩擦力の推定値(1,550tf)の約1.45倍の周面摩擦力が確認された。

次に、**図3** に軸力分布図、**図4** に区間周面摩擦力  $f_i \sim$  区間抜け上がり量  $U_i$  関係図を示す。これらの図から以下のことが分かる。

- ① 第3～第4断面間および第4断面～先端間の  $N$  値の大きい砂礫層での周面摩擦力は、変位量が小さいうちから大きな値を示している。
- ② 杭頭～第1断面間および第2～第3断面間の比較的緩い層では、試験終了以前(杭の周面摩擦力の極限状態以前)に  $f_i$  が極限值に達しており、これらは極限值に達した後もその値を維持している。

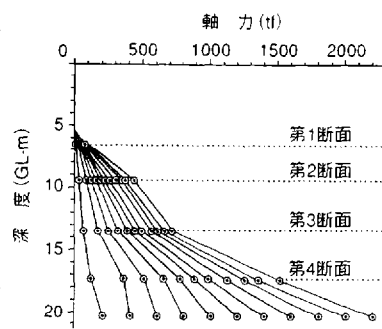


図3. 軸力分布図

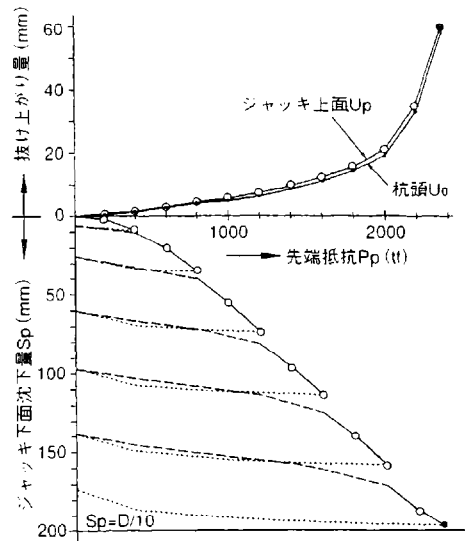


図2.  $P_p \sim S_p$ ,  $U_p$ ,  $U_0$  関係

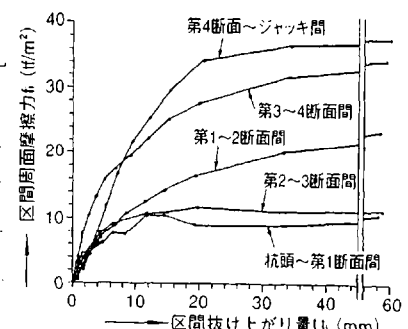


図4.  $f_i \sim U_i$  関係

**(4)  $P_o \sim S_o$  関係** この試験から得られる極限支持力として、先端抵抗の第2限界荷重2,280tfと周面摩擦力の極限值2,240tfとを加えた4,520tfを採用する考え方もできる<sup>2)</sup>。ただし、この方法では両者を与える変位量は異なっており、変位量の適合条件を満たしていない。そこで、試験で得られた  $P_p \sim S_p$  関係と  $f_i \sim U_i$  関係を用いて杭頭の荷重  $P_o \sim$  沈下量  $S_o$  関係を解析し、これから変位の適合条件を満たした極限支持力を求める方法<sup>2)</sup>もある。この解析では杭体を弾性体として荷重伝達法を適用するのが一般的であるが、今回の試験杭は圧縮剛性の大きい杭であることから杭体を剛体と仮定し、 $P_p \sim S_p$  関係と周面摩擦抵抗  $P_f (=P_p - W) \sim U_0$  関係の  $S_p$  と  $U_0$  を  $S_o$  に置き換えたうえで、同じ  $S_o$  のときの  $P_p$  と  $P_f$  の和を  $P_o$  として求めたのが、**図5** の  $P_o \sim S_o$  関係である。

**(5)設計支持力の確認** 本試験は  $U_0 = 58.16\text{mm}$  の時に試験を終了したため、**図5** の  $P_o \sim S_o$  関係のうち試験で確認されたのは  $S_o = 58.16\text{mm}$  までであって、それ以後は「周面摩擦力が極限值を保つ」と仮定したときの曲線となる。このことを考慮して、試験で得られた支持力値として  $S_o = 58.16\text{mm}$  の時の  $P_o$  の値3,272tf/本を採用する。この値は、設計時に想定した極限支持力2,500tf/本(道路橋示方書の支持力推定式を準用して算出)の約1.3倍の値である。したがって設計支持力は十分安全側の値であり、設計手法は妥当であったことが確認できた。

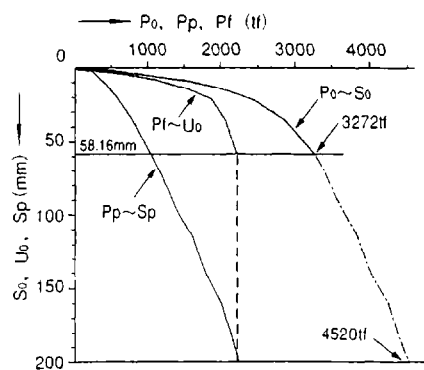


図5.  $P_o \sim S_o$  関係の計算結果

#### 4. まとめ

本鉛直載荷試験によって、県道高速名古屋小牧線における橋脚基礎杭の先端支持力、極限周面摩擦力および各地層の区間周面摩擦特性等を把握することができた。これらの結果から、基礎杭の設計支持力は十分安全側のものであり設計手法も妥当であることを確認した。また、杭先端載荷試験法を採用したことによって、経済的に、かつ国道上の狭小な試験ヤードでも安全に試験を実施することができた。最後に、本試験の実施にあたりご協力を頂いた中部復建(株)、不動・村本JVおよび試験杭の施工を担当された関特工業(株)の担当諸氏に厚く感謝致します。

参考文献 1)小椋、須見、岸田、吉福：杭先端載荷試験法の場所打ち杭と既製杭への適用例、土と基礎、Vol. 43, No. 5, pp. 31～33, 1995. 5.  
2)小椋、渋谷、加十、斎藤：関東郵政局等庁舎新築工事における大口径杭場所打ち杭の先端載荷試験(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. 7.