

III-390 場所打ちコンクリート杭(短杭)の鉛直載荷試験結果とその解析

首都高速道路公団 正会員 田 沢 誠 也
首都高速道路公団 正会員 小笠原 政 文

1. まえがき

現在、杭の支持力推定においては載荷試験を行う方法と、支持力推定式を用いて求める方法の二つがある。その推定式も、過去の載荷試験から得られたデータに基づいて設定されており、載荷データの蓄積により精度の高いものとなっている。一方、いわゆる短杭(杭の根入れ比: $L/D < 10$)については、その採用頻度とともに載荷試験事例が少ないこともあって支持力推定式においては特に配慮はなされていない。また、短杭と長杭とでは杭周面と先端との荷重の分担割合、沈下量等がおのずと異なってくるものと考えられる。

そこで、試験データの少ない短杭の鉛直支持力機構を解明するため、首都高速5号線(2期)581工区における場所打ち杭(ベント杭、杭径 $D=1.5$ m、根入れ長 $L=9.5$ m、 $L/D=6.3$)の鉛直載荷試験を行った。本報告は、この鉛直載荷試験結果の整理と、そのデータを用いて数値解析を行った結果について若干の考察をするものである。

2. 地質概要

試験位置の土質構成を把握するため、試験杭の側面から0.5 m離れた位置で、杭施工前と杭施工後に調査ボーリングを実施した。図-1には、それらの結果と試験杭の根入れ図を併記して示した。当該土質は、TP+2.96 m以深は砂質土が支配的であり、粒度特性の均等係数は、 $U_c=2.2\sim 88.9$ の範囲にあった。杭施工前と杭施工後におけるN値の比較によればTP-6.55 m付近までは杭の施工による地盤の緩みが若干みられたが、それ以深は $N=50$ 以上であり地盤の緩み減少はなかったものと考えられる。

3. 杭の鉛直載荷試験

試験は、当初の計画どおり $P=3000$ t f 載荷し終了した。荷重沈下曲線を示すと図-2のとおりである。最終荷重における沈下量は、杭頭部で $S_o=315$ mmで、残留沈下量は $S_{or}=299$ mmであり、杭先端部ではそれぞれ、 $S_p=312$ mm、 $S_{or}=299$ mmであった。また、試験最大荷重の $P=3000$ t f のときの杭先端荷重は、 $P_p=1420$ t f であり、杭頭荷重に対して47%が伝達された。杭頭荷重と対数沈下測度の関係より、地盤の降伏荷重を判定すると $P_y=1400$ t f であった。よって長期許容支持力は、 $R_a=1/2 \cdot P_y=700$ t f /本となり、設計支持力の $R_a=450$ t f /本以上であることが確認できた。その際の沈下量は、 $S_o=5.7$ mmであった。また、極限荷重は明確な値が得られなかったため、土質工学会の定義に従い、杭径の10%の沈下量に対応する荷重を極限荷重としてみると、 $P_u=2250$ t f となった。杭の深度方向の軸力差より、各区間の周面摩擦力度を求めた結果を図-3に示している。これによれば、①～②区間と②～③区間は杭頭荷重の増加に伴い、摩擦力度も増す傾向にあった。それに比べると、③～④区間は $P_o=1800$ t f で $T_f=36$

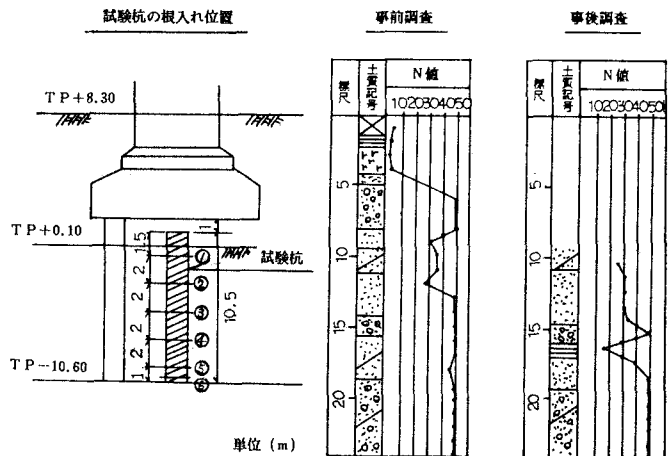


図-1 地質条件と場所打ち杭の施工深さ

$t f / m^2$ 、④～⑤区間は $P_o = 600 t f$ で $T f = 11 t f / m^2$ 、
⑤～⑥区間は $P_o = 1650 t f$ で $T f = 22 t f / m^2$ がそれぞれ最大摩擦力度になりそれ以上増加する傾向はないと言える。

4. 解析条件

今回実施した鉛直載荷試験の短杭をモデルとして捕え、境界条件、地盤条件を設定し短杭の数値実験を試みた。解析モデルの基本的な考え方は、次のとおりである。

1) 杭と周辺地盤との間に剛塑性バネを考え、その抵抗強度は杭に作用する側圧の関数として表現する。理由は、 L/D が 6.3 と非常に小さく、杭先端の地盤の挙動が地表面付近まで強く影響し、これが通常の杭の周面抵抗機構と異なる挙動を示しているものと推測されるからである。

2) 試験杭の周面は、高さ 9.4 m の土止め矢板があり、この効果を地表面から掘削位置までを上載荷重に変換し、杭に常時作用している側圧として評価する。

3) 杭先端以深の地盤は、弾塑性解析とし、塑性域の範囲に着目する。

以上の項目について考慮し、解析モデルを作成した。解析モデルの諸元及び物性値を図-4に示す。杭頭荷重は、7ステップに段階分けをし、地盤条件は、深度方向において5種類に分割した。FEM解析におけるメッシュ割については、接点数を214、要素数を182としている。

5. 解析結果及び考察

載荷試験より直接得られた荷重沈下関係（図-2）及び杭の軸力分布に対して、解析結果は比較的良くシミュレートできており、設定した解析条件はほぼ妥当であったと考えられる。解析結果より杭周辺地盤に関して以下の考察が得られた。

1) 杭の周辺地盤の動きについては、荷重の初期段階では地盤が杭に押されるような動きを示すが、荷重が増加するにしたがって逆に地盤が杭を押すように杭側へ移動する傾向を示している。これは、杭先端地盤の回り込みによるものであると考えられる。

2) 杭周面に作用する側圧は、杭頭荷重と供に増加する傾向を示す。その傾向は、地盤の浅部程大きく、周面摩擦力度と同様の傾向を示している。

3) 杭周辺地盤の塑性化状況については、荷重の初期段階に杭先端付近で塑性化領域が認められ、荷重の増加にしたがって杭頭付近にも塑性化領域が発生する。次の段階として、杭周辺近傍地盤がほぼ全層にわたって塑性化し、この時期と同時期に今度は杭先端付近において塑性域が全方向に広がる傾向を示した。

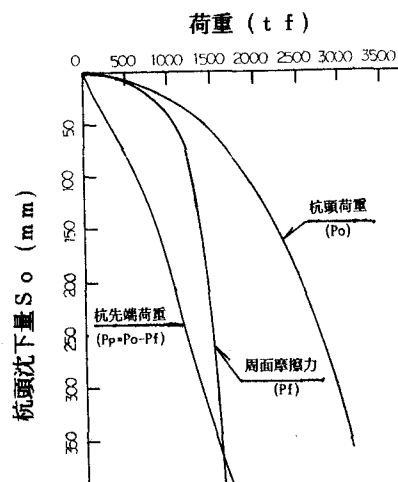


図-2 荷重～杭頭沈下量曲線

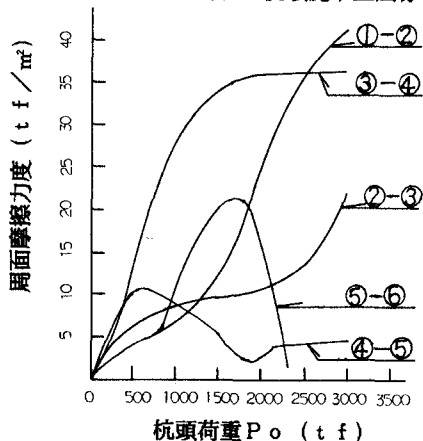


図-3 杭頭荷重～周面摩擦力度の関係

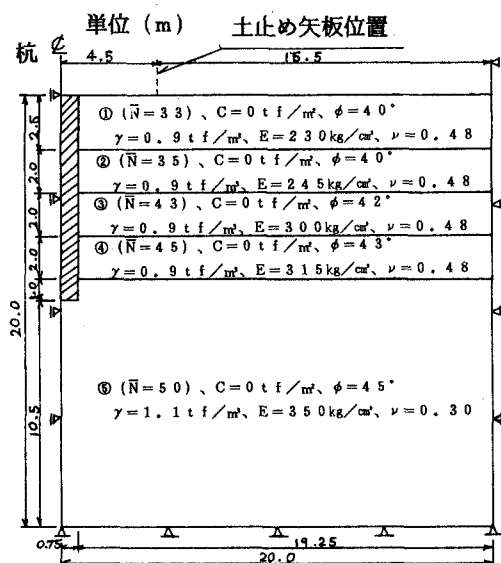


図-4 解析モデルの諸元及び物性値