

## 5 打込み節杭の鉛直載荷試験における段階載荷方式と連続載荷方式の比較例

榑ジオトップ 正会員 ○小椋仁志  
同上 正会員 菊地登志光

### 1. はじめに

筆者らは、節杭の支持力機構の研究の一環として、実地盤において鉛直載荷試験や水平載荷試験等の一連の実験を行った。この実験では、同一荷重を一定時間保持する通常の載荷方式(「段階載荷方式」と呼ぶ)による鉛直載荷試験の他に、これ以前に行われていた模型実験<sup>1)</sup>に合わせるため、荷重を保持せずに連続的に荷重を増加する方式での試験も行った。

今回、杭の鉛直載荷試験方法の基準改正で、後者の方式が「連続載荷方式」として基準化される<sup>2)</sup>のを機に、試験データを再検討して、両載荷方式による試験結果の比較・検討を試みた。本報告は、この比較検討結果に関するものである。

### 2. 試験概要

試験は宮城県矢本町において1983年に行われた。図-1に示すように、N値が13~18の細砂層がGL-1mからGL-13.5mまで続く比較的均一で、水平方向の変化も少ない地盤である。載荷方式を比較した試験には、節部径440mm、軸部径300mm、杭長8mのPHC節杭を1本ずつ使用し、6m離れた位置にダイベルハンマー(MH25)によってGL-7mまで打ち込んだ。打設に要した時間はほぼ同じであった。節杭打込み時の充填材には、模型実験に合わせるため現場の砂とほぼ同じ粒径の砂を用いた(通常は砂利を用いる)。

連続載荷方式による試験は、模型実験に合わせて沈下速度が1mm/min以下になるようにジャッキのポンプを制御することとした。沈下量等の計測間隔は、約30secとした。段階載荷方式による試験は、当時の載荷試験基準(1972年版)のA法多サイクル方式とし、一段階荷重147kN(15tf)、処女荷重階の保持時間30分、4段階ごとに1サイクルとした。両方式とも杭頭荷重はロードセルにより計測している。

### 3. 試験結果

杭の打設後約2週間養生し、両方式による試験を順次行った。

極限荷重 $P_u$ と最終沈下量 $S_{max}$ は、連続載荷方式では $P_u \approx 1500$  kN、 $S_{max}$ は節部径を少し超える約450mmであり、段階載荷方式では $P_u \approx 1470$  kN、 $S_{max} \approx 300$  mmであった。

図-2に両方式における沈下量 $S$ ~時間 $t$ 関係を、図-3に荷重 $P$ ~ $t$ 関係を示す。連続載荷方式では図-2のように $S = 100$  mmまでの沈下速度は平均では約0.3mm/minであるが、0.05mm/min( $t < 100$  min)から0.8mm/min( $240 < t < 300$  min)まで徐々に速くなっている。これに対して、荷重速度は、図-3のように $P < 1000$  kN(降伏荷重)の範囲ではほぼ一定しており、沈下速度の変化には影響されていないことが分かる。また、連続載荷方式では試験に要する時間は段階載荷方式に比べ一般には短いですが、本実験では遅い速度で載荷したために $S_{max}$ まではほぼ同じ時間を要している。それでも、 $S = 0.1D$  ( $D$ : 節部径)に達した時の時間は、段階載荷方式の390minに対して連続載荷方式は240minと6割程度の時間で済んでいる。

図-4は、両方式の $P$ ~ $S$ 関係( $S < 80$  mm)である。同一沈下量時の荷重を比べると、段階載荷方式の方が少し大きくなっている。ただし、 $P_u$ は、前述のように、わずかに連続載荷方式の方が大きい。また、図中の○印は段階載荷方式の処女荷重階の最終値であり破線はそれらを結んだものであるが、この線で求められる第2限界荷重は、連続載荷方式のそれとほぼ等しい値(約1234kN)となっている。図-5の $\log P$ ~ $\log S$ 関係から得られる第1限界荷重も、ほぼ同じ値(約1000kN)となっている。以上より、本実験では、段階載荷方式の方がやや大きな荷重となる傾向はあるものの、両方式による $P$ ~

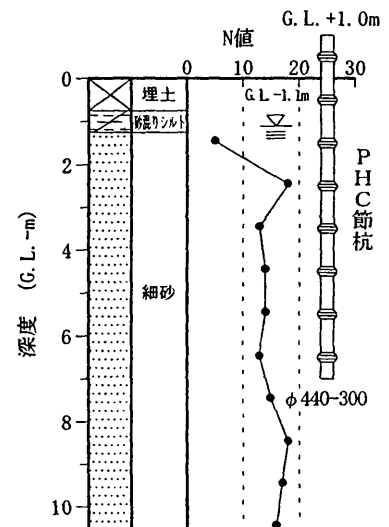


図-1 地盤概要

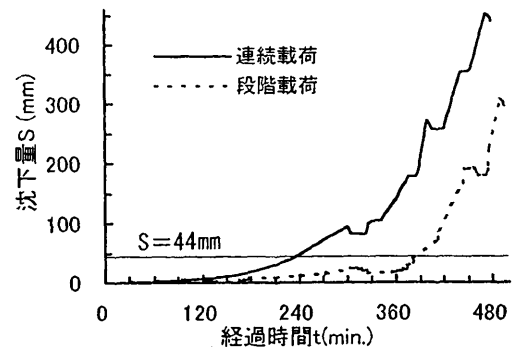


図-2 沈下量~時間関係

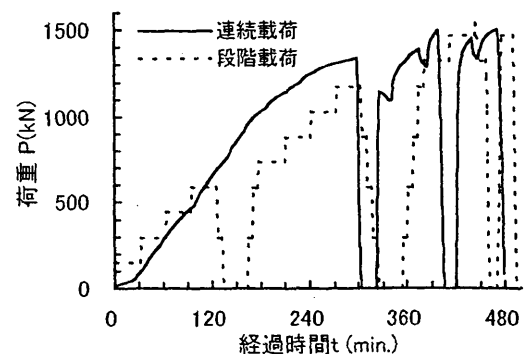


図-3 荷重~時間関係

S 関係には大差がないと言える。本実験の場合、両方式に各々の杭を用いて試験を行ったが、変化の少ない均一な地盤で 6 m しか離れていないことを考えると、杭や地盤の条件は同一とみてよからう。

#### 4. 既往の比較実験例

##### 4.1 BCP 委員会の実験<sup>3)</sup>

この実験は、 $\phi$  200mm、根入れ長さ L が 4 m と 11 m の 8 本の鋼杭を用いて、主に杭の先端抵抗特性を調べるために行われた。杭周地盤は大半が細砂層、杭先端地盤は中密な砂層 (L = 4 m) と密な砂礫層

(L = 11m) である。載荷試験は荷重サイクルごとに沈下速度  $V_s$  を 0.5 ~ 20mm/min に変えた連続載荷方式(原文では「沈下制御」)を中心に段階載荷方式(同「荷重制御」)も行われている。その結果、①  $V_s$  が大きくなると支持力は増大する傾向があり、 $V_s = 2$  mm/min を基準に 0.9 ~ 1.1 倍の範囲となること、②段階載荷方式による支持力は連続載荷方式の 0.9 ~ 1.1 倍であり、 $v$  による変化の範囲と一致すること、等から両方式による差は  $\pm 10$  %程度と大差がないとしている。

4.2 岸田・辻らの実験<sup>4)</sup> モノトック工法で杭周が  $N = 4 \sim 10$  のロームや粘土、杭先端が  $N$  値 30 程度の中砂の地盤に設置した  $\phi$  500mm、杭長 12 ~ 14 m の 5 本の PC 杭に対して、2種類の荷重速度  $V_p$  による段階載荷方式(原文では「荷重速度制御」)や  $V_s = 0.6$ mm/min とした連続載荷方式(同「貫入速度制御」)による載荷を、荷重サイクルごとに試みている。その結果、① 段階載荷方式では、 $V_p$  の違いによる最大荷重のばらつきは 10 %程度と大差がないこと、②連続載荷方式では最大荷重が少し低かったがこれは貫入量が小さかったことによる、等から 4.1 の実験と同じほぼ結論を示している。

4.3 急速載荷試験法研究会の実験<sup>5)6)</sup> この研究会では、PHC 杭等を用いた急速載荷試験法の結果と比べるため、同じ杭に対して段階載荷方式と連続載荷方式(原文では「モノトック試験」)による静的載荷試験も行っている。その結果、連続載荷方式の方が約 20 %荷重が大きくなる場合<sup>5)</sup>や、両方式がほぼ同じ荷重となる場合<sup>6)</sup>などの試験例を報告している。

以上の3つの実験では、同一の杭に対して両方式による試験を行っているため、荷重履歴の影響が問題である。

#### 5. 両方式で得られる荷重の検討

連続載荷方式が段階載荷方式よりも荷重が大きくなる(4.3の例など)要因としては、以下のことが考えられる。

- ① 連続載荷方式では、地盤のクリープ変形量が少ないため沈下量が小さくなる。その結果、荷重は大きくなる。
- ② 連続載荷方式では、ポンプは常にジャッキに油を送っているため、油圧は安定した時よりも高い状態にある。このため、荷重を圧力計で計測すると、実際に杭に作用している荷重よりも大きな値を計測値とすることがある。

これに対して連続載荷方式が段階載荷方式よりも荷重が小さくなる(本実験の例など)のは次の要因が考えられる。

- ③ 連続載荷方式では、載荷重によって上昇した地盤の間隙水圧が十分に消散される時間がない。このため、有効応力が減少することによって、地盤の支持力が小さくなり、荷重が小さくなる。

本実験や 4.1 ~ 4.3 の実験では、①~③の要因などが複雑に影響していたものと予想される。しかし、これらの実験結果をみると両方式による差は  $\pm 10$  %程度であって、両者は実用上は大差がない載荷方式であると言える。

#### 6. おわりに

以上、連続載荷方式と段階載荷方式を比べた実験例について報告し、両方式について検討した。連続載荷方式には、①試験が短時間でできる、②極限荷重が明確になる、③極限荷重後の荷重の低下も測定できる、などの利点がある。新しい基準に採用されるのを機に、今後は試験例も増えるものと期待される。ただし、1サイクルで計画最大荷重まで載荷すると、短時間で大きな荷重に達するため、反力装置の安全性には十二分の注意を払う必要がある。可能であれば、計画最大荷重まで数サイクルに分けて載荷すべきであると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 小椋・山肩・岸田：模型実験による節付き円筒杭の支持力特性の検討、日本建築学会構造系論文報告集、No.374、pp.87 ~ 97、1987.4.
- 2) 地盤工学会基準部：地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験試験方法」の改正案について、土と基礎、Vol.47、No.12、pp.67 ~ 84、1999.12.
- 3) BCP委員会：砂層に支持されるくい/support力に関する実験的研究、1969.7
- 4) 岸田・辻他：クイの載荷試験における載荷方法と最大荷重の判定、第7回土質工学研究発表会、pp.447 ~ 450、1972.6.
- 5) 篠田・松木他：急速載荷試験法によるモデル杭試験報告(その2)ー埋込みコンクリート杭のスタティック試験ー、第29回土質工学研究発表会、pp.1419 ~ 1422、1994.6
- 6) 加藤・稲川他：同(その3)ー打込みコンクリート杭のスタティック試験ー、第29回土質工学研究発表会、pp.1411 ~ 1414、1994.6

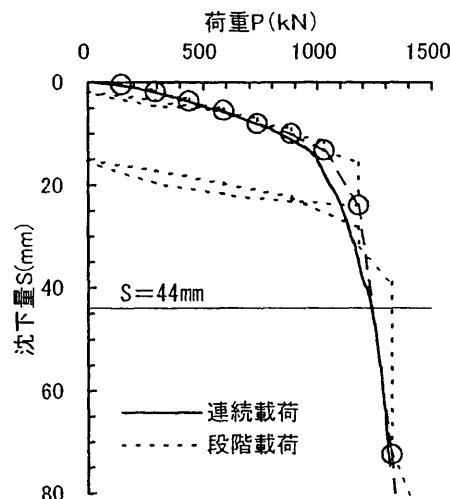


図-4 荷重～沈下量関係

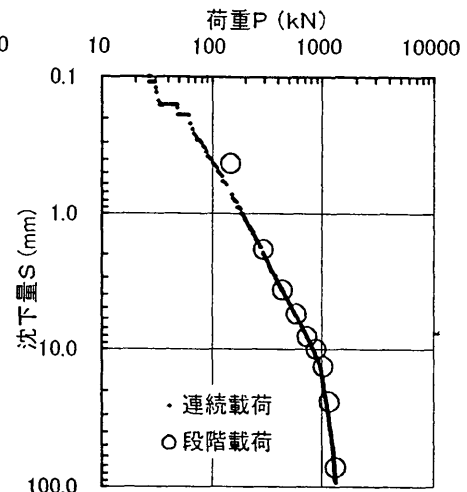


図-5 logP～logS関係