

杭の押込み試験における連続荷重方式に関する諸検討
(段階荷重方式との比較)

杭 荷重試験 連続荷重方式

ジャパンパイル ○正 会 員 小梅 慎平
同 国際会員 小椋 仁志
同 正 会 員 宮坂 怜奈
同 同 小松 吾郎

1. はじめに

2002年に改訂された杭の鉛直荷重試験基準¹⁾で新たに導入された連続荷重方式については、得られる荷重～変位量関係が従来の段階荷重方式とどの程度異なるかが問題になる。両荷重方式を比べた押込み試験は、打込み節杭による試験など数例報告されており、両者の差は10%以内に納まると報告されている²⁾。今回、第一限界抵抗力までであるが、両者を比較する試験を行ったので、本報ではその結果を報告する。また、連続荷重方式の利点や、段階荷重方式との併用の意義についても検討する。

2. 試験地盤、試験杭

連続荷重方式と段階荷重方式を比較するために、以下の2種類の荷重試験を行った。

試験A：降伏荷重過ぎまで段階荷重方式で3サイクル荷重し、それ以降は連続荷重方式により1サイクル荷重。

試験B：最初から連続荷重方式により5サイクル荷重。第3サイクルまでは、試験Aと同じ荷重ピッチで荷重。

試験場所は鹿児島県霧島市で、地盤は図1のようにGL-6mまで盛土とロームで、以深はN値が漸増するシラスとなっている。試験杭は、試験A、Bとも同じ仕様のPHC杭で、杭長は15m(節杭9m+PHC杭6m)、節杭の節径は600mmである。プレボーリング拡大根固め工法(拡大掘削径800mm)で施工後、試験Aは36日後に、試験Bは316日後に試験を行っている。なお、この試験では荷重速度や油圧の脈動の影響についても検討している³⁾。

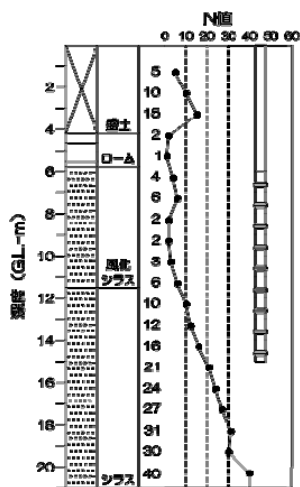
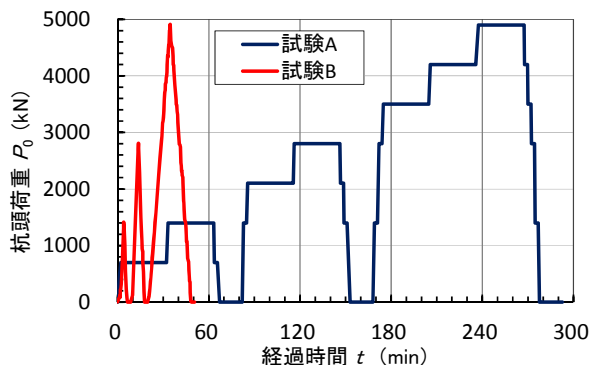
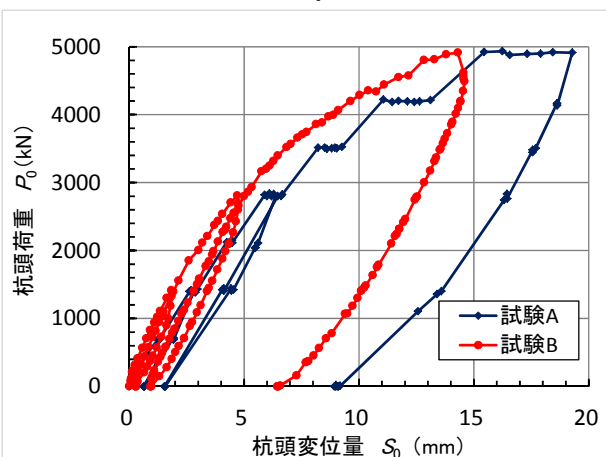


図1 試験地盤

図2 杭頭荷重 P_0 ～経過時間 t 関係図3 杭頭荷重 P_0 ～杭頭変位量 S_0 関係

両試験の第2限界抵抗力は試験Aが7160kN、試験Bが7480kNと、試験Bの方が4%ほど大きい。これは、養生期間が長いことも一因と考えられる。

図2より、連続荷重方式では試験時間がたいへん短縮できることが確認できる。なお、段階荷重方式での保持時間は、新規荷重では30分、ゼロ荷重では15分、履歴荷重は2分であり、連続荷重方式でのゼロ荷重の保持時間は2分である。

4. 両荷重方式による $P_0 \sim S_0$ 関係の比較

図3の $P_0 \sim S_0$ 関係において、同じ P_0 での S_0 を比べると第1サイクル終了時は0.98mm (35%)、第2サイクル終了時には1.66mm (26%)、第3サイクル終了時には4.97mm (26%) 連続荷重方式の方が小さくなっている。今回の試験では、養生期間が大きく異なることもあって、文献2)よりも両者の差は大きくなっている。

図3の $P_0 \sim S_0$ 関係のうち、新規荷重のみを比較したのが図4である。この図には、試験Aで増荷直後の P_0 と S_0 を結んだ曲線を点線で、荷重保持後の P_0 と S_0 を結んだ曲線を破線で示している。段階載荷方式の方が同じ荷重時に変位量が大きくなっているのは保持時間中にクリープ変位が生じることも一因と考え、試験Aの荷重保持中のクリープ変位を差し引いた $P_0 \sim S_0$ 関係も併記している。また、養生期間の差を補正するため、試験Bの第2限界抵抗力を試験Aの第2限界抵抗力に合わせるように、試験Bの荷重を $7160/7480=0.957$ 倍した P_0 と S_0 の関係も、参考として加えている。

この図から、載荷初期では連続載荷方式の試験Bの変位量が小さいが、 $P_0=3500\text{kN}$ を過ぎると近づくようになり、特に、試験Bの補正した $P_0 \sim S_0$ 関係と試験Aの増荷直後の $P_0 \sim S_0$ 関係はほぼ同じ曲線となる

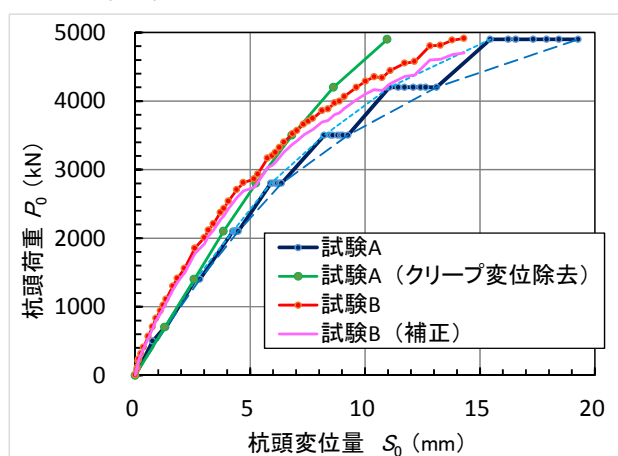


図4 新規荷重の $P_0 \sim S_0$ 関係の比較（第1～3サイクル）

両試験の $\log P_0 \sim \log S_0$ 関係の折れ点として得られる第1限界抵抗力は、試験Aと試験Bともに 3500kN 程度となった。したがって、第1限界抵抗力の判定に関しては、載荷方式による差はないものと判断できる。

図5は、連続載荷方式で載荷した第4サイクルを含めて描いた試験Aと試験Bの新規荷重時での $P_0 \sim S_0$ 関係である。 P_0 は試験Bの方が4～5%大きくなっているが、試験全体でみると両者の $P_0 \sim S_0$ 関係はほぼ同じ傾向を示している。したがって、段階載荷方式と連続載荷方式で得られる $P_0 \sim S_0$ 関係は、大差がないものと判断される。

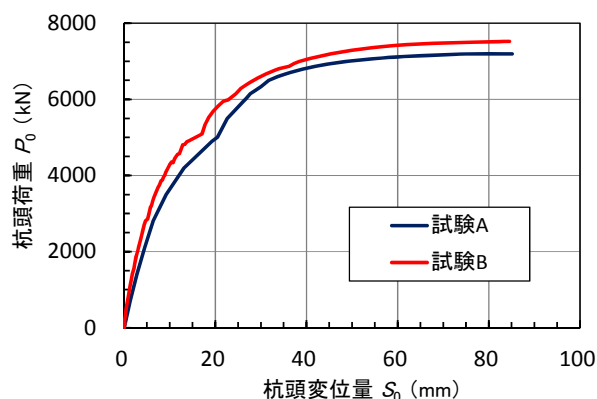


図5 新規荷重の $P_0 \sim S_0$ 関係の比較（第1～4サイクル）

5. 段階載荷方式と連続載荷方式の併用

段階載荷方式の長所には、①長期荷重に対応している、② $S_0 \sim \Delta \log t$ 関係や $P_0 - \Delta S_0 / \Delta \log t$ 関係が得られるため第1限界抵抗力が判断しやすい、などがあげられる。一方、連続載荷方式の長所には、①地震力や風力など短期荷重に対応している、②第2限界抵抗力が確実に得られる、③荷重がピーク後に低下する場合でも測定できる、④試験時間を短縮できる、などがあげられる。

図6は、上記の長所を生かして両載荷方式を併用して得られた $P_0 \sim S_0$ 関係である（先端平均N値15.7の砂地盤に節部径800mm、杭長44m、拡大掘削径1100mmの杭の試験例）。この試験では、 9600kN まで段階載荷方式で 1600kN ピッチで載荷したあと、連続載荷方式で載荷した。その結果、 $S_0=51.41\text{mm}$ で第2限界抵抗力の 13053kN に達したあと、荷重が減少していく状況が明確に測定できた。もし段階載荷方式での載荷を続けていれば、 12800kN から 14400kN に増荷する途中で荷重は上がらなくなり、変位は大きく進むため、正確な第2限界荷重やその時の変位量は得られなかったものと思われる。

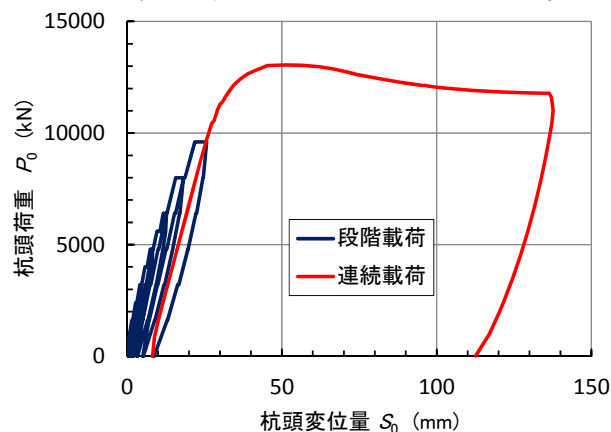


図6 両載荷方式を併用して得られた $P_0 \sim S_0$ 関係の例

このように、両載荷方式を併用することは有意義である。長期荷重までは段階載荷方式で載荷する意味はあるが、それを過ぎると地震力や風力などによる荷重が対象になることから荷重を保持する意味はなく連続載荷方式の方が適している。段階載荷方式から連続載荷方式に切り替えるのは、①長期荷重載荷後、②短期荷重載荷後、③降伏荷重確認後($\log P_0 \sim \log S_0$ 関係)、④クリープ限界荷重確認後($P_0 - \Delta S_0 / \Delta \log t$ 関係)などが考えられる。

6. おわりに

本報では、連続載荷方式と段階載荷方式による載荷を比べた試験の結果から、両方式から得られる $P_0 \sim S_0$ 関係には大差がないこと、両方式を併用して載荷することは有意義であることが確認された。

参考文献 1)地盤工学会編：「地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説—第一回改訂版—」，2002 2)小椋仁志・菊地登志光：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，第35回地盤工学研究発表会(岐阜), pp.9-10, 2000 3)宮坂怜奈・小椋仁志・小梅慎平・小松吾郎：杭の押込み試験における連続載荷方式に関する諸検討（載荷速度や脈動の影響），第53回地盤工学研究発表会(高松), 2018