

実大杭の水平連続載荷と段階載荷との比較実験

正会員 本間裕介*
同 富永晃司**

水平 連続載荷 段階載荷
地盤反力係数 杭 クリーブ

1. はじめに

杭基礎の水平抵抗に関する設計に用いる水平地盤反力係数 k_h の評価式は、ほとんどが深さ方向に一定の k_h を仮定して杭の静的水平載荷試験で得られた杭頭水平荷重 ~ 水平変位の関係に適合するように逆算した結果に基づいている。また静的水平載荷試験は、文献 1) に示されている各段階で荷重を一定時間保持する方法で実施されたものである。したがって、文献 2) 等に示されている k_h は杭体や地盤のクリープによる変位を含んだ値となる。

一方、地震時に発生する杭基礎への水平力は極短期間に作用するため、杭基礎の地震時水平抵抗を扱う場合、杭体や地盤のクリープの影響を含まない水平地盤反力係数を用いるほうが望ましい。しかし、このような水平地盤反力係数に関する研究³⁾は少なく、現状は文献 2) で推奨されている値、あるいは文献 4) で示されている「地震時=常時の 2 倍」を採用している。

そこで、同一杭においてクリープ変位の発生を極力抑えた連続載荷(クリープ変位無しの状態)および文献 1) に準拠した方法の段階載荷(クリープ変位有りの状態)

の 2 つの載荷方式で水平載荷実験を行い、クリープ変位の有無により水平地盤反力係数にどの程度の違いが生じるかを検討したので報告する。

2. 水平載荷実験概要

水平載荷実験を行った敷地の土質柱状図と載荷杭の姿図を図 1 に示す。実験地盤は、腐植物を少量混入するが、G.L.-2m まで N 値 4~6 でそれ以深は N 値 2 のほぼ一様なシルトで構成されている。載荷杭は、杭径 500mm、杭長 10m の SC 杭である。杭の施工は、ソイルセメント埋込み杭工法で行い、ソイルセメントの外径は 550mm である。

加力方向で異なった載荷方式により水平載荷実験を実施した。正方向への載荷は、荷重を段階的に増加させ各段階で一定時間保持する一方向一サイクル段階載荷方式(以下、段階載荷と表示)であり、文献 1) を参考に、荷重速度を約 0.08 kN/s、荷重保持時間を 180 秒とした。段階載荷での載荷杭と反力杭の関係を図 2 に示す。一方、負方向の載荷は荷重を保持せず、荷重速度 約 5 kN/s で増加する一方向一サイクル連続載荷方式(以下、連続載荷と表示)とした。連続載荷での載荷杭と反力杭の関係を図 3 に示す。図 3 に示すように、水平力は載荷杭と反力の組杭を挟み込むようにフレームを組み、鋼棒により載荷杭を引き寄せるようにして作用させた。

段階載荷の結果から得られる水平地盤反力係数はクリープの影響を含んだ条件で評価された値となり、連続載荷より得られる水平地盤反力係数は、クリープの影響を含まない条件で評価された値となる。

実験時の計測項目は、荷重、載荷杭の変位(載荷点 G.L.+575mm ; 2 点、G.L.+100mm ; 2 点)および反力杭の変位とした。これらの項目を所定荷重の 0 秒時、段階載荷に関しては、さらに 180 秒間の荷重保持の間に 4 回(30,60,120,180 秒)計測した。載荷実験は、初めに段階載荷を実施し、1 日置いて連続載荷を実施した。段階載荷は、載荷杭の G.L.+100mm の位置での平均変位量が 5mm(杭径の 1%) に達した時点で終了させ、連続載荷はジャッキ能力の 500 kN まで載荷して終了した。

3. 載荷実験結果

(1) 荷重 ~ 変位関係について

各載荷で得られた荷重 H ~ 変位量 y_G の関係を図 4 に示す。ただし、 y_G は G.L.+100mm の平均変位量を示す。なお、同図には段階載荷の H ~ y_G 関係において各荷重階の最終変位量を結んだ曲線も破線で示している。また、段階載荷について変位量 y_G と保持経過時間の対数との関係

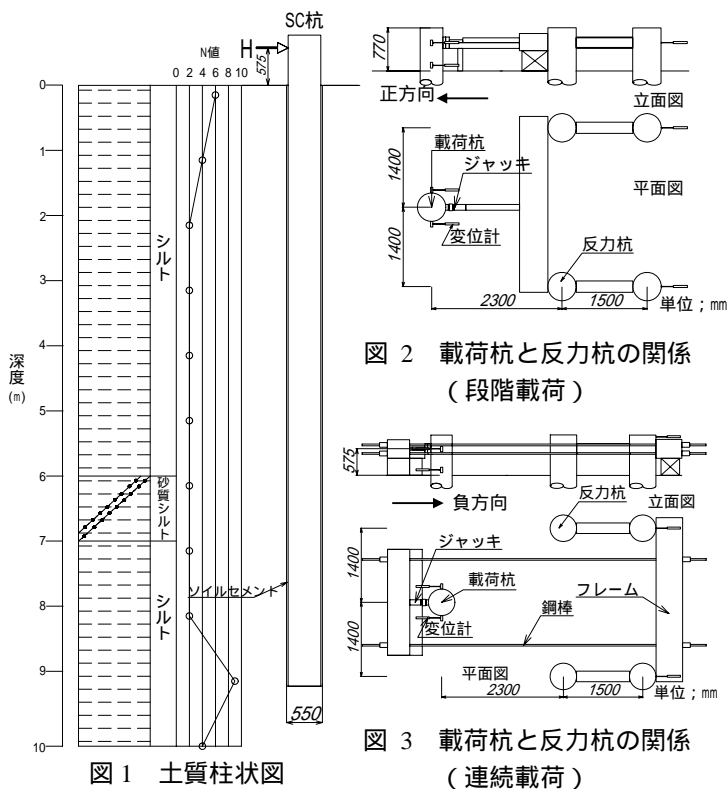


図 2 載荷杭と反力杭の関係 (段階載荷)

図 3 載荷杭と反力杭の関係 (連続載荷)

($y_G \sim \log t$) を図 5 に示す。これらの図より、以下のことがわかる。

各荷重階における $y_G \sim \log t$ は、ほぼ線形の関係にある。荷重が小さい範囲では、 $y_G \sim \log t$ の傾きが小さいが、荷重が大きくなると、勾配が大きくなり、クリープによる変位量が増加している。

段階載荷の実験終了時の変位量で比較すれば、連続載荷の水平荷重は段階載荷より約 1.2 倍大きい。

(2) 水平地盤反力係数 k_h について

水平地盤反力係数 k_h は、各載荷で得られた載荷点の荷重～変位関係を用いて弾性支承梁法 (Chang 式) により逆算した。なお、段階載荷の結果から k_h を求める際には、各荷重階の最終変位量を用いた。

逆算した水平地盤反力係数 $k_h \sim$ 変位量 y_G の関係を図 6 に示す。なお、同図には文献 2) で推奨している式 1 で求めた k_{h0} と無次元化変位の -0.5 乗との積で求めた曲線も示している。

$$k_{h0} = \cdot E_0 \cdot B^{-0.75} \dots (1)$$

：定数 (=60) E_0 : 変形係数 (=700N, 平均 N 値=4)
 B : 無次元化杭径 (=50)

図 6 中に示す 5 つの変位量におけるそれぞれの水平地盤反力係数 k_h を表 1 に示す。また、連続載荷と段階載荷との水平地盤反力係数比を図 7 に示す。これらの図および表から、以下のことがわかる。

杭径の 1% 程度の変位量 ($y_G = 5.1\text{mm}$) では、段階載荷の結果から求めた k_h は、推奨式から算出した k_h の 1.14 倍の値である。

水平地盤反力係数比は、変位量が小さいほど大きくなる傾向がある。

杭径の 1% 程度の変位量において水平地盤反力係数比は 1.53 となった。このことから、本実験におけるクリープの影響を含まない水平地盤反力係数はクリープの影響を含む水平地盤反力係数の約 1.5 倍であることが分かった。

4. まとめ

粘性土地盤中に施工された実大杭でクリープ変位の発生を極力抑えた連続載荷および文献 1) に準拠した段階載荷の 2 つの載荷方式で水平載荷実験を行った。実験結果から、杭径の 1% 程度の変位において、クリープの影響を含まない水平地盤反力係数は、含むものより約 1.5 倍大きな値となった。

参考文献

- 1) 土質工学会「土質工学会基準 杭の水平載荷試験方法・同解説」
- 2) 日本建築学会「建築基礎構造設計指針」, pp276-278, 2001
- 3) 富永晃司「単杭の水平加力試験結果に基づく水平地盤反力係数-クリープ変位を除いた係数評価法の提案」, pp491-496, 構造工学論文集, Vol.50B, 2004.3
- 4) 日本道路協会「道路橋示方書・同解説 (共通編 下部構造編)」, pp.254-257, 2000

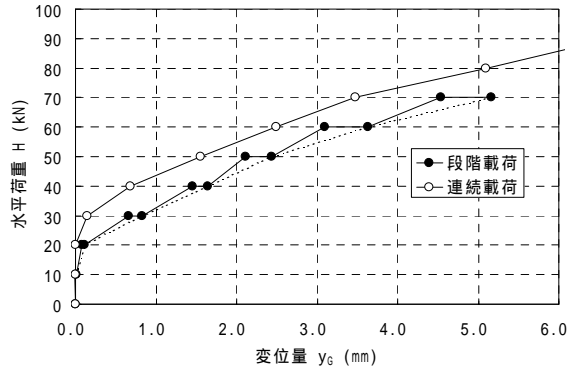


図 4 荷重 H～変位量 y_G の関係

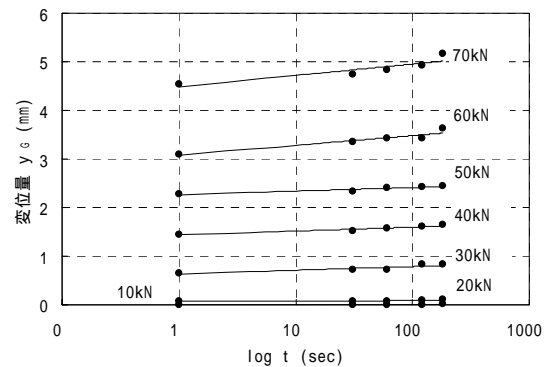


図 5 変位量 y_G と経過時間の対数 $\log t$ の関係

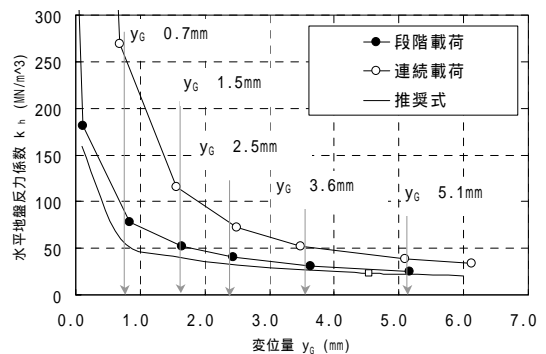


図 6 変位量 y_G と水平地盤反力係数 k_h の関係

表 1 各変位量における水平地盤反力係数 k_h

変位量 y_G	0.7	1.5	2.5	3.5	5.1
段階載荷	78.2	52.4	40.1	31.3	25.4
連続載荷	269.1	115.5	72.6	52.4	38.8
推奨式	60.1	41.0	31.8	26.9	22.2

(MN/mm³)

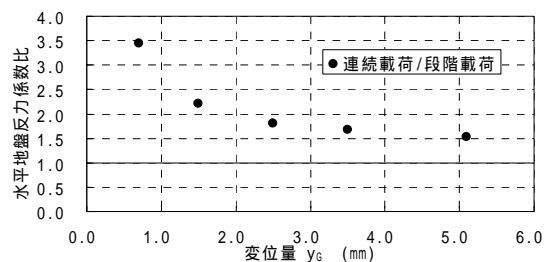


図 7 水平地盤反力係数比

*ジオトップ 設計技術本部

*GEOTOP Corporation, Design & Engineering Division

**広島大学大学院国際協力研究科 教授・工博

**Prof., Graduate School for IDEC, Hiroshima University, Dr.Eng.