

実大水平載荷試験における荷重速度と荷重保持時間の影響

杭の水平抵抗 荷重速度 荷重保持時間

ジャパンパイル 正会員 本間裕介  
 ジャパンパイル 国際会員 小椋仁志

1. はじめに

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  $k_h$  を用いるほう望ましい。一方、現行の水平載荷基準<sup>1)</sup>(以下、現行基準)に示されている段階載荷方式では、各荷重階で荷重を一定時間保持するため、この方式で実施された結果から得られる  $k_h$  値はクリープ変位を含んだ値となる。そこで、筆者らは、文献 2)において荷重速度(荷重を増加させる時の速度)が異なる 2 つの載荷方式(連続載荷、段階載荷)で実大水平載荷試験を実施し、クリープ変位の有無により荷重変位関係から逆算される  $k_h$  値に約 1.5 倍の違いが生じることを報告してきた。本報では、さらに検討パラメータを増やし、載荷方式(段階載荷、連続載荷)、荷重速度および荷重保持時間の違いにより得られる  $k_h$  値にどの程度違いが生じるかどうか検討を行ったので報告する。

2. 水平載荷実験概要

実験を行った敷地の土質柱状図と試験杭の姿図を図 1 に示す。水平抵抗に寄与する範囲の地盤は関東ローム(一軸圧縮強度  $q_u=52.3kN/m^2$ )であり、それ以深はN値 10 程度の細砂で構成されている。実験ケースおよび載荷計画を、表 1 および図 2 にそれぞれ示す。Case1 は、現行基準に準拠した段階載荷方式を採用し、荷重速度を 30 kN/min および荷重保持時間を 3 min とした基本ケースであり、これに対して Case2 は、長期的なクリープ変位の発生を含むように荷重保持時間を長めに 30 min としたケースである。ここで、保持時間 30 min は押し込み試験基準<sup>3)</sup>と同じ値とした。一方、Case3 および Case4 は、クリープ変位の発生を抑える目的で、荷重を保持せず Case1 と同じ荷重速度で連続的に増加させたケースであり、Case5 は、さらに 12 倍速度を速め、極力クリープ変位の発生を抑えたケースである。段階載荷については、荷重段階数を 7 とした一方向一サイクル方式を採用した。各ケースの試験杭と反力杭の関係を図 3 に示す。試験杭には、過去に押し込み試験の反力杭として用いられた PHC 節杭(節径 650mm、軸径 500mm、ソイルセメント径 700mm)を用いた。なお、押し込み試験時の杭頭引抜き変位量は 2.0mm 以下であり、杭体およびソイルセメント等に大きな損傷は生じていないものと判断される。杭の施工はソイルセメント埋込み杭工法で行った。図 4 に載荷装置図を示す。載荷装置は杭頭自由の条件でお互いを押し合うように計画した。実験時の計測項目は、荷重、試験杭の変位(加力点 G.L.+150mm; 2 点, G.L.+300mm; 2 点)およびジャッキ加力反対側の杭変位とした。これらの項目を所定荷重の 0 min

表 1 実験ケース

実験ケース	試験杭			載荷方式	荷重速度	荷重保持時間(min)
	杭径	杭種	杭長			
Case1	φ650-500	B種	8m	段階	30 kN/min	3
Case2	φ650-500	B種	8m	段階	30 kN/min	30
Case3	φ650-500	B種	8m	連続	30 kN/min	0
Case4	φ650-500	C種	10m	連続	30 kN/min	0
Case5	φ650-500	C種	10m	連続	360 kN/min	0

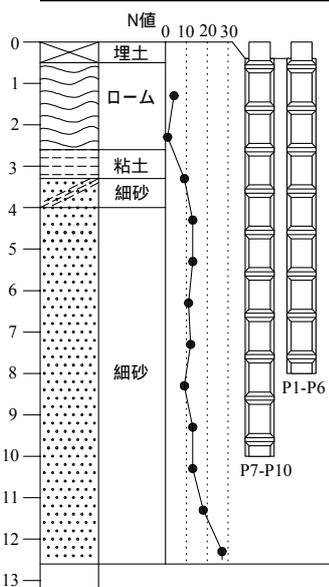


図 1 土質柱状図

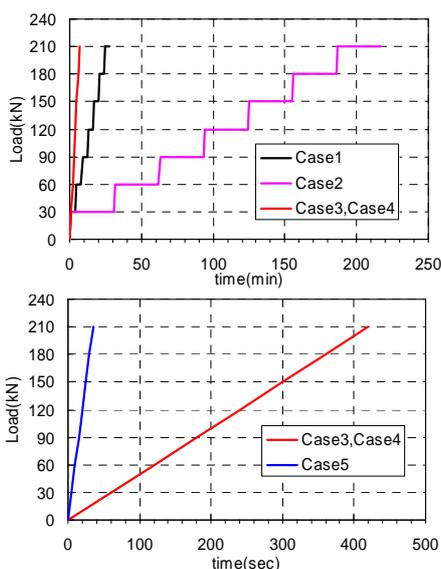


図 2 載荷計画

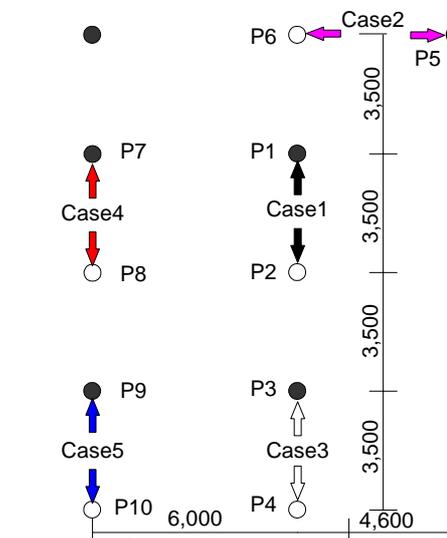


図 3 試験杭と反力杭の関係

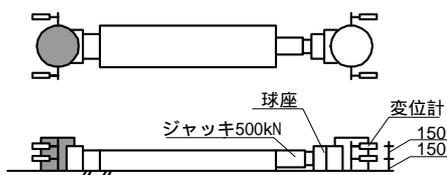


図 4 載荷装置

時、段階载荷に関しては、さらに荷重保持終了時にも測定した。  
 なお、Case2 のみ、鉛直基準に準拠し、荷重保持の間に 5 回の測定 (1,2,5,10,15min) も行った。

### 3. 実験結果

#### (1) 荷重変位関係

各実験で得られた加力点における荷重変位関係を図 5 に、図 5 の両対数グラフを図 6 に示す。また、段階载荷について変位量  $y$  と保持経過時間の対数  $\log t$  との関係 ( $y \sim \log t$ ) を図 7 に示す。これらの図より以下のことがわかる。

図 6 で確認できる折れ点より、各ケースともに荷重 180 ~ 200kN 付近で杭体にひび割れが発生したと推定できる。

荷重が小さい段階では、荷重保持時間の長短 (Case1 と Case2) による差は小さいが、短期水平荷重レベル (150kN ~ 170kN = 長期支持力の 0.2 倍) 以降から荷重保持の間にクリープ変位が増大し始め、保持時間の違いによる影響が生じ始めている。また、 $y \sim \log t$  関係より 30 分保持以後もクリープ変位が増大し続けていく傾向が読み取れる。

荷重速度の速い方が各荷重階で発生する変位量も小さい傾向がある。このことから、荷重増加時においても少ないながらクリープ的な変位増加が発生しているものと推測される。

#### (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、加力点で得られた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、段階载荷の結果については、クリープ変位の影響を含んだ各荷重階の最終変位量についても算出している。 $k_h$  値と杭地表面位置での変位の関係を図 8 に示す。同図には建築基礎構造設計指針<sup>4)</sup>で推奨している式を基に次式で求めた  $k_{h0}$  と無次元化変位の -0.5 乗との積で求めた曲線も付記している。

$$k_{h0} = \frac{1}{B} \cdot E_0 \cdot B^{-0.75} \quad ( ; \text{定数}=80 \quad E_0=105qu \quad B ; \text{杭径}=50) \dots (1)$$

また、杭径 (軸部径) 1.0% に相当する 5.0mm 時および建築の基準変位量 10.0mm 時の  $k_h$  値をまとめて図 9 に示す。これらの図および表から以下のことがわかる。

各変位量において、荷重速度が速い Case5 の方が Case4 に比べて約 1.06 ~ 1.08 倍大きな  $k_h$  値が得られている。

クリープ変位を極力含まない Case5 の  $k_h$  値は、それを含んだ評価となる Case2(30min) より大きく、変位 5.0mm で 1.19 倍、変位 10.0mm で 1.25 倍と、変位量 (荷重) が大きくなるにしたがって大きくなる傾向がある。

Case1(0min), Case2(0min), Case3 および Case4 の  $k_h$  値が同程度であることから、荷重速度が同じであれば、段階载荷と連続载荷とで得られる  $k_h$  値に大きな差は生じないものと推測される。

### 4. まとめ

現行基準に準拠した载荷方法に対して、荷重速度や荷重保持時間を変化させた水平载荷実験を 4 ケース実施した。実験結果から次の知見を得た。荷重速度が速い方が得られる  $k_h$  値も大きくなる。

荷重速度が同じであれば、段階载荷 (荷重到達時) と連続载荷とで得られる  $k_h$  値に大きな違いは生じない。荷重が大きくなるにしたがって、荷重保持時間の長い方がクリープ変位の影響を多く受け、クリープ変位の影響を含まない  $k_h$  値より約 2 割程度小さい値となる。

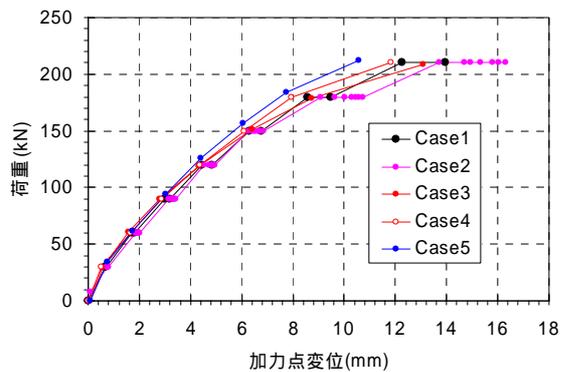


図 5 荷重変位関係

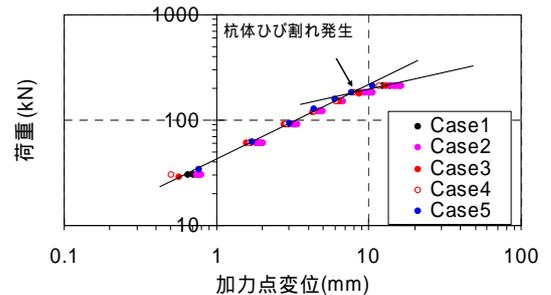


図 6 荷重変位関係の両対数

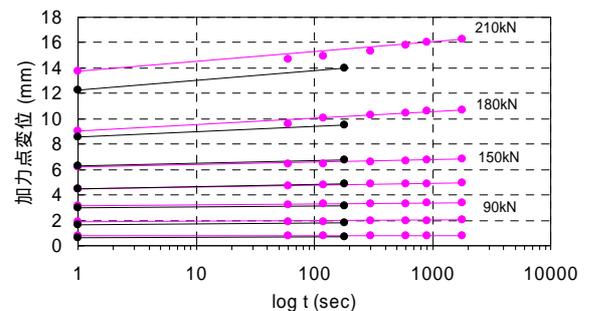


図 7  $y \sim \log t$  関係

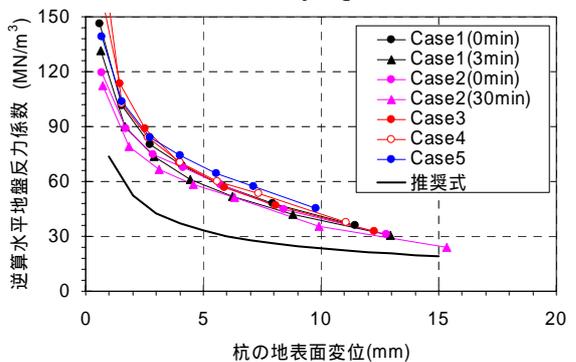


図 8 逆算  $k_h$  値と杭地表面変位の関係

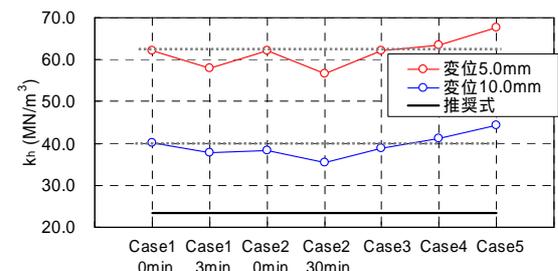


図 9 各ケースの逆算  $k_h$  値 ( $\text{MN}/\text{m}^3$ )

1)地盤工学会基準「杭の水平载荷試験方法・同解説」1983 2)本間・富永「実大杭の水平連続载荷と段階载荷との比較実験」,日本建築学会大会(北海道),pp485-486,2004 3)地盤工学会基準「杭の鉛直载荷試験方法・同解説」2002 4)日本建築学会「建築基礎構造設計指針」,pp.276-278,2001