

はじめに

鉛直方向荷重に対する杭の載荷試験方法としては、杭頭に静的荷重を載荷する静的載荷試験が「杭の鉛直載荷試験」として考えられてきた。

しかし静的載荷試験は、杭頭に大規模な反力装置が必要、試験には多大な時間を要する。近年では、短時間で簡便に支持力を算定できる急速載荷試験が普及。

【特徴】

静的載荷試験で得られる静的な支持力を推定することが可能。急速載荷試験を活用する上で、地盤条件が飽和地盤の場合、過剰間隙水圧の発生を考慮する必要がある。

静的載荷の場合 → 飽和砂地盤は排水状態

急速載荷の場合 → 飽和砂地盤は非排水状態

排水条件の違いが、杭の鉛直支持力に与える影響に関して、十分な研究実績が蓄積されているとは言えず、まだ未解明な点が多く存在しているのが現状。

本研究の目的

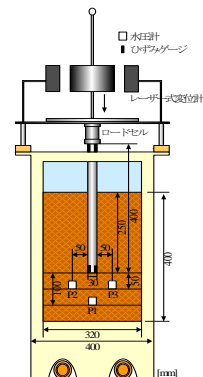
飽和砂地盤における杭の鉛直支持力特性の把握を目的とし、鉛直載荷模型実験および数値解析を実施。

模型実験により、定性的な支持力傾向を把握し、鉛直支持力特性について検討する。

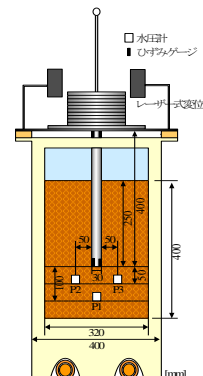
載荷模型実験 概要

- 重錘をガイドシャフトに沿って鉛直落下させることで急速載荷を行う FM(Falling Mass) 試験をモデル化

急速載荷実験



静的載荷実験



載荷模型実験 概要

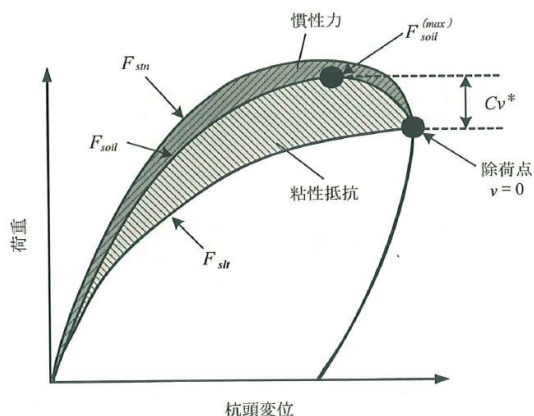
模型杭の諸元

材料	アルミニウム
杭径 D [mm]	30.0
肉厚 t [mm]	4.0
杭長 L [mm]	400.0
根入れ長さ [mm]	250.0
弾性係数 E [MPa]	6.77×10^4

実験ケース

Case-No.	載荷条件	地盤条件	相対密度 [%]
Case-1	静的載荷	乾燥砂	91.7
Case-2		飽和砂	87.6
Case-3(a)	急速載荷(落下高さ 15 cm)	乾燥砂	94.6
Case-3(b)	急速載荷(落下高さ 30 cm)		
Case-3(c)	急速載荷(落下高さ 45 cm)		
Case-4(a)	急速載荷(落下高さ 15 cm)	飽和砂	97.5
Case-4(b)	急速載荷(落下高さ 30 cm)		
Case-4(c)	急速載荷(落下高さ 45 cm)		

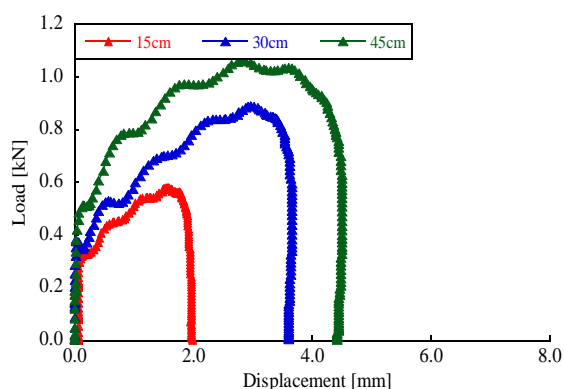
西川さんの実験結果について



除荷点法の概要図

急速載荷試験の荷重（急速荷重）は、慣性力と地盤抵抗力の和である。また、地盤抵抗力は動的抵抗成分と静的抵抗成分との和である。したがって、杭体からリバウンド（除荷）に転じる点、変位量最大時には杭体の貫入速度はゼロとなる。

よって、動的抵抗成分は作用せず静的抵抗成分のみとなる。すなわち、除荷点での静的抵抗成分は、急速載荷試験における静的支持力の最大値といえる。



荷重～変位関係「飽和」

- ① 初期の立ち上がりが早い
- ② 波うつことが多い
- ③ 除荷点を見つからない

西川（2012）の実験装置

- ① 受皿は重い鉄板を使った
 鉄板を使うと：実験の地盤に対して鉄板の質量が大きすぎて、リバウンドがなくなった
- ② クッション材は硬質ゴムを使った（硬質ゴムの振動吸収性と振動伝動性が悪い）
 硬質ゴムの振動吸収性が悪い理由：材料の性質により
 硬質ゴムの振動吸収性が悪いと：グラフで表現する時は波動が多い
 硬質ゴムの振動伝動性が悪い理由：硬質ゴムと鉄板の接着面積が少ない
 硬質ゴムの振動伝動性が悪いと：有効圧力の伝動性が悪い
- ③ 加速度計の測量範囲が小さいと精度が悪い。
 写真に様子を示す。

精度が悪いと：線性加速度法により正確な変位が出られない、変位計の挙動が正しいかどうかことが確認できない



急速載荷模型実験装置

本実験で実験装置の改善

- ① 受皿は軽いアルミ板を使った
 使う理由：受皿の重さは実験に及ぼす影響が少なくなった
- ② クッション材としては重錘に4つスーパボールをつけてことと受皿の上に空気袋をかけること

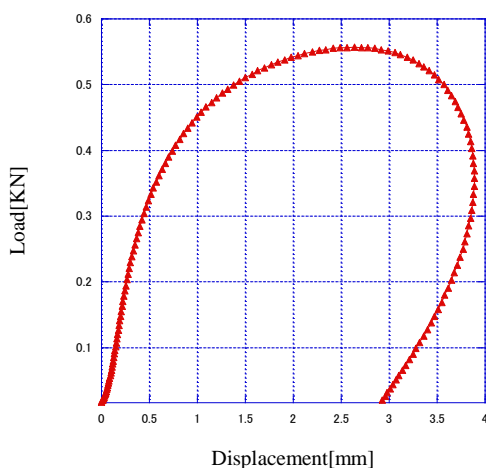
スーパボールをつける理由：スーパボールは硬質ゴムより振動吸収性が良い
 受皿の上に空気袋をかけること：空気袋は硬質ゴムより振動伝動性が良い

- ③ 精度がよい加速度計を使った．写真に様子を示す．



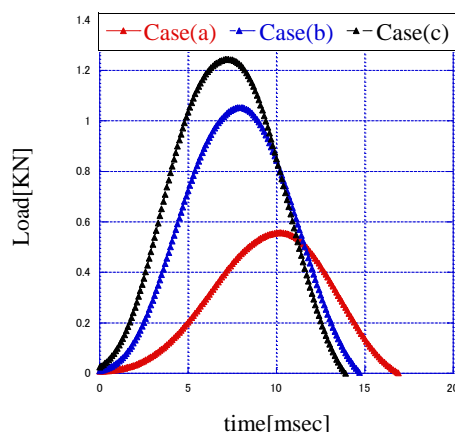
急速荷重模型実験装置

本実験の実験結果



荷重－変位「本実験」

除荷点の概要図に近似していることがわかる．



荷重-変位経時変化

急速の制限値の検討

学会基準では荷重時間による杭体の波動現象を評価する指標として，相対荷重時間 T_r が採用されている．

$$T_r = \frac{t_L}{2L/c}$$

ここに，

T_r ：相対荷重時間， t_L ：荷重時間， L ：杭長， c ：縦波伝播速度

縦波伝播速度 c は以下の式で表現される．

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E ：杭体の弾性係数 ρ ：杭体の密度

相対荷重時間が大きいほど，すなわち，荷重時間内に応力が杭体を往復する回数が多いほど，杭体に生ずる波動現象の影響は小さくなる．衝撃荷重試験と急速荷重試験の境界を表す相対荷重時間は $T_r = 5$ である．

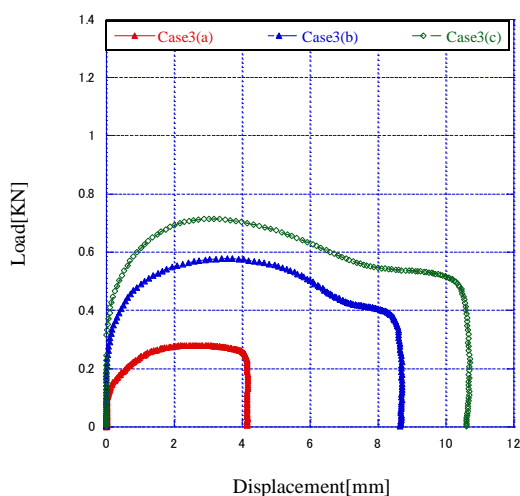
縦波伝播速度はアルミ等の金属であれば5000 m/s程度である．杭の弾性係数 6.77×10^4 MPa，杭の密度 2.70 g/cm^3 を用いて値を求めると5007 m/sと近似している．

そこに， $T_r = 5$ ，模型杭の杭長 $L = 0.4 \text{ m}$ を

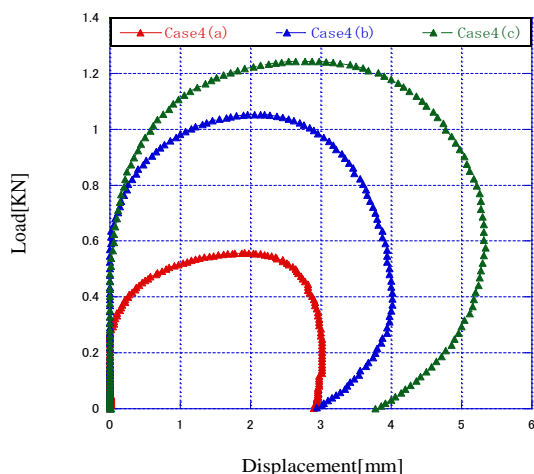
加えて荷重時間 t_L を求めると、0.8 msec 以上となる。この条件を満たすように荷重方法を調整した。

本試験の荷重時間 t_L は、Case3(a)～Case3(c)と Case4(a)～Case4(c)のどのパターンも急速荷重試験でありえる最低限の荷重時間 0.8 msec 以上の値を示している。よって、急速荷重試験として問題ないことがいえる。

乾燥と飽和の比較



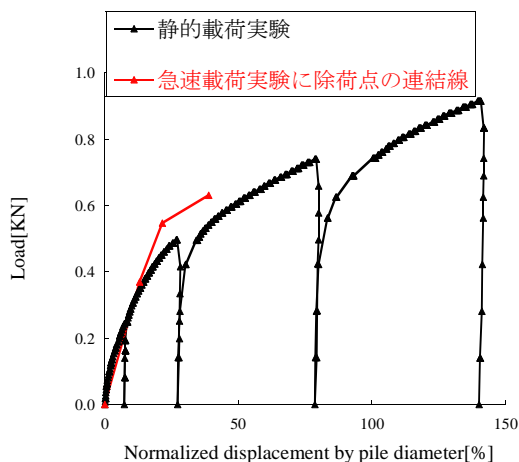
荷重～変位関係「乾燥」



荷重～変位関係「飽和」

飽和実験で荷重が大きいのに変位量が小さい。荷重荷重は水圧が受け持つものと考えられ、変位量も位置抑制され、飽和の方はリバウンドがはっきり出た。

本実験の除荷点法の結果



除荷点連結線（飽和）

杭径（30 mm）の10%つまり3 mmまで沈下量として、急速荷重実験に除荷点の連結線と静的荷重実験と一致できれば、除荷点法が適用できると考える。

飽和砂地盤に除荷点連結線は静的荷重曲線に近似している。よって、飽和砂地盤のデータに除荷点法を適用する。

結論

- ① 急速荷重試験の定義の範囲に含まれる
- ② FM 試験をモデル化出来た
- ③ 非排水状態であることが確認出来た
- ④ 除荷点法を適用する

課題

- ① 急速荷重の実験ケースを細分化し、1 回の試験では、1 つの実験パターンにする。
- ② 乾燥砂地盤を除荷点法に適用できるように改善必要がある。

参考文献：

(1) Horvath, R.G. Berminbham, P. and Middendorp, P. : The equilibrium point method of analysis for the STATNAMIC loading test with supporting case histories, Prac. The Deep Foundation Conf. Pittsburgh, pp.18-20, 1993

(2) 西川佑樹：飽和砂地盤における杭の鉛直支持力に関する実験・解析的考察, pp. 32-44, 2012