

杭の急速載荷試験における解析手法に関する考察

押し込み試験
急速載荷試験
一質点系

地盤試験所 正会員 ○高野 公作 正会員 亀井 秀一
非会員 樋口 靖 非会員 山本 伊作
非会員 中山 敦

1. はじめに

『地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説』1)は 2002 年に改定された。2002 年以降、杭の支持力は動的載荷試験『衝撃載荷試験、急速載荷試験』でも支持力判定が出来るようになった。

特に急速載荷試験では除荷点解析法により杭の動的抵抗成分（加速度成分と速度成分）を取り除くことによって押し込み試験と同様な荷重と変位量の関係を得ることが出来る。しかし急速載荷試験の載荷時間は 0.1 秒前後と非常に短いため、載荷中の杭に動的抵抗成分が生じることから、一質点系という仮定条件のもとで支持力が求められている。今回の発表は一質点系という仮定条件が成立した試験結果（以下:No1 成立試験）と成立しない場合の試験結果（以下: No2 不成立試験）の載荷試験中の特徴と解析手法および留意について考察したものである。

2. 試験杭概要

No1 試験および No2 試験の杭仕様と試験条件を表-1 に示す。また土質柱状図と試験杭根入れ状態および計測機器設置を図-1 ~2 に示す。No1 は場所打ち杭で歪計及び加速度計を設置し急速載荷試験を実施した。また No2 はプレボーリング工法で施工された既成コンクリート杭で押し込み載荷試験の後に急速載荷試験を実施し両試験の整合性を比較した試験であった。

No	一質点系条件	杭径(mm)	杭長(m)	杭の仕様	施工方法	試験方法	計測機器の設置	杭本数
1	成立試験	φ1000	11.5	場所打ち杭	オールケーシング工法	RLT	ひずみ計、加速度計	1
2	不成立試験	φ700	37	SC杭+PHC杭	プレボーリング工法	SLT後にRLT	杭頭の荷重と変位量	1

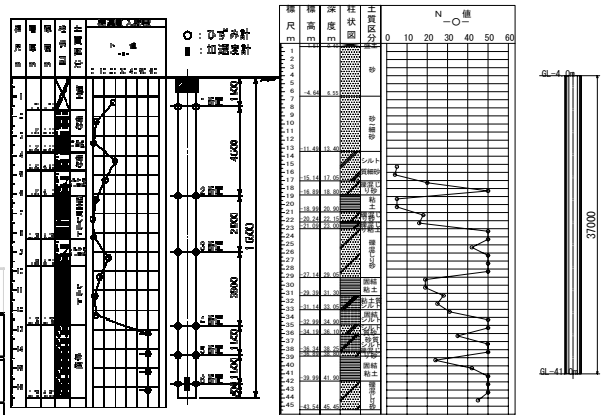


図-1 No1試験の土質柱状図 図-2 No2試験の土質柱状図

3. 載荷試験計画および試験方法

急速載荷試験は杭地盤系を剛体として杭長、波動伝播速度を入力し計画相対載荷時間及び計画最大荷重を満足する必要重錘質量、最大落下高さ及び軟クッションの必要ばね定数を決定した。その結果を表-2 に示す。

試験No	杭径 Dp(m)	杭長 L(m)	伝播速度 V(m/s)	重錘質量 m(ton)	クッションばね定数 k(kg/cm)	重錘の落下高さ h(cm)
No1	1	11.5	3,500	70	197,188	30, 45, 60, 75, 90, 120, 150, 180, 210, 240
No2	0.7	37	4,500	22	67,599	30, 60, 90, 120, 180, 240

押し込み載荷試験は試験最大荷重 Pmax=4100kN に対し必要な反力アンカーおよび載荷試験装置を計画した。その結果を表-3 に示す。

試験No	杭径 Dp(m)	杭長 L(m)	計画最大荷重 P(kN)	反力アンカー 本数	載荷方法	載荷時間
No2	0.7	37	4100	8	5サイクル10段階の段階載荷試験方式	新規荷重は30分保持、履歴荷重は2分保持、ゼロ荷重は15分開放

4. 載荷試験結果

(1) No1 試験結果

急速載荷試験は質量 70t の重錘を 0.3m から 2.4m まで 10 段階の落下高さで実施した。試験杭に埋込んだ歪計と加速度計の内、杭頭と杭先端の加速度計の比較値を図-3 に示す。杭先端に設置した加速度計の値は試験開始時から最終段階まで杭頭の 82%と一定の割合を示している。多サイクルで実施した地盤抵抗力(Rsoil : m・αを考慮)と変位量の関係を図-4 に示す。除荷点抵抗力 (Rulp) は最大で 21760kN である。また最大変位量は S=108mm、残留変位量は Sr=92mm と大変形している。

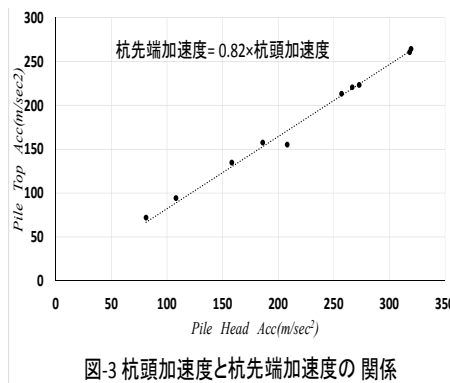


図-3 杭頭加速度と杭先端加速度の関係

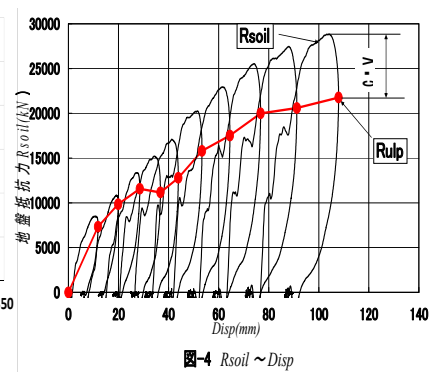


図-4 Rsoil ~ Disp

第10サイクル目の重錘を2.4mから落下させた時の時刻歴と荷重、変位、速度、加速度の関係を図-5に示す。図-5において試験杭の変位量が最大値の時に杭速度 ($V=0m/sec^2$) がゼロとなっておりこの時の荷重が除荷点抵抗力 $\{Rulp\}$ である。この時、杭頭及び杭先端の加速度は負の値を示すとともに、同等の値 $\{Acc=-100m/sec^2\}$ を示している。このような現象が生じるのは急速載荷試験中に一質点系の仮定条件を満足した事を示すものである。

(2) No2 試験結果

押し込み試験結果を図-6に示す。図-6に示される通り試験最大荷重は $Pmax=4000KN$ で最大変位量は $S=7.78mm$ 、残留変位量は $Sr=0.83mm$ であった。荷重と変位量の関係は弾性変形の変形性状を示しており、残留変位量も少ない事から杭先端には十分に荷重が伝達していない。また杭先端変位も微小と判断される。同図に示すように杭体の慣性力 $\{m \cdot \alpha\}$ を考慮していない杭頭荷重 $\{Frapid\}$ ~ 変位量 $\{Disp(max)\}$ 曲線の方が地盤抵抗力 $\{Rsoil\}$ ~ 変位量 $\{Disp(max)\}$ 曲線より押し込み試験結果に近似した結果を示している。No2 試験杭のように杭長が $L=37m$ と比較的長く、杭先端に荷重が十分に伝達されず杭先端沈下も少ない状況では、重錘落下試験中の杭体は剛体として沈下しているとは言えない。図-7のように $Frapid$ と $Rulp$ の値が近似している場合は粘性減衰 $\{C \cdot V\}$ の効果も少なく一質点系の挙動を有していない。したがって同図のような荷重と変位量の関係を示す急速載荷試験結果に一質点系の仮定条件を適用する事は望ましくない。以上の事から図-9に示される通り一質点系の仮定条件を満足していない試験結果において慣性質量を考慮して解析すると試験結果が危険側に判定される事になる。

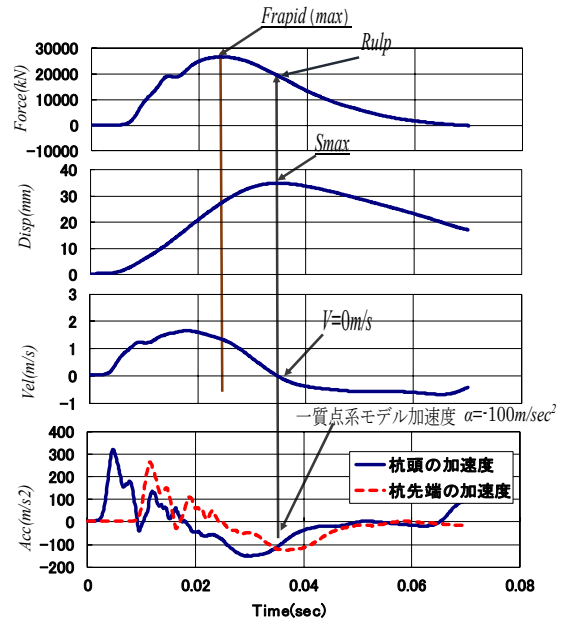


図-5 荷重、変位、速度、加速度～時刻歴曲線

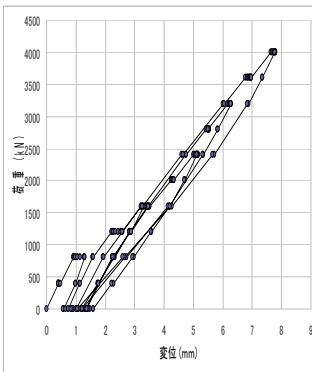


図-6 荷重～変位量曲線

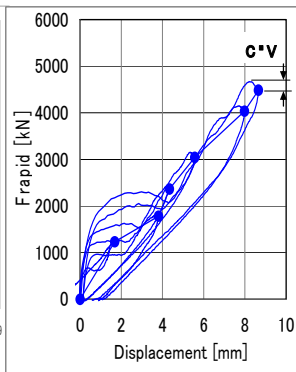


図-7 杭頭荷重(Frapid) ~ 変位量曲線

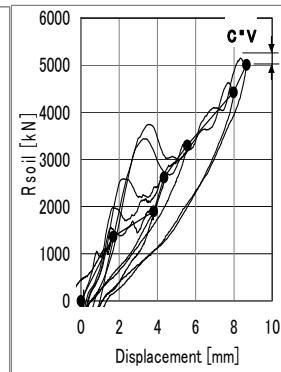


図-8 地盤抵抗力(Rsoil) ~ 変位量曲線

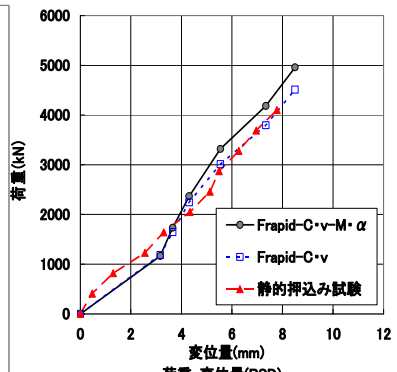


図-9 押し込み試験と急速載荷試験の比較

5. 試験結果のまとめ

急速載荷試験で杭の支持力を評価する場合、以下の点に留意する必要がある。

- 1) 一質点系の仮定条件が成立している事を確認するためには杭先端に加速度計が設置する必要がある。また杭長が長い場合は杭中間にも設置する事が望ましい。
- 2) 杭長が比較的長いと判断される場合、急速載荷試験の荷重～変位量曲線を用いて支持力を判定する場合は残留変位量が少ない場合や杭頭荷重 $\{Frapid\}$ と除荷点 $\{Rulp\}$ の値が近似している場合、一質点系の仮定条件は満足していないと判断し $m \cdot \alpha$ を考慮しない事が望ましい。
- 3) 一質点系の仮定が成立する試験条件は杭長が短ければ短いほど成り立ち易い。
- 4) 杭に十分なエネルギーを与えられ杭の支持力が充分に発揮された状態となった時に一質点系の現象に至る。

【参考文献】

- 1) 杭の鉛直載荷試験方法・同解説；(社)地盤工学会
- 2) 山崎,青木他；場所打ち杭のハイブリッドナミック急速載荷試験 その1 第44回地盤工学研究発表会 2009年8月
- 3) 高野,亀井他；押し込み試験と急速載荷試験の支持力比較事例 第59回地盤工学シンポジウム