

# 急速載荷試験を適用した杭の除荷点法解析手法の妥当性について

杭 急速載荷試験 除荷点法

地盤試験所 正会員 ○吉國 将大  
正会員 亀井 秀一  
正会員 小林 剛

## 1. はじめに

杭の鉛直載荷試験方法・同解説<sup>1)</sup>が2002年に改定し新たに動的載荷試験(急速, 衝撃)が追加され, 多くの動的載荷試験が実施されてきている。この中の急速載荷試験は, 一定の相対載荷時間(500>Tr≥5)を確保することによって, 一質点系モデルを用いた除荷点法による解析で静的抵抗力を求めている。しかし, 杭の仕様, 変位量などによってはこのモデルの挙動を示さない事例が顕在化してきている。

本稿では, この一質点系モデルの加速度( $\alpha$ )に注目して, 押し込み試験結果と比較可能な杭について急速載荷試験を実施してモデルの妥当性を検討したものである。

## 2. 試験概要

今回比較した3ヶ所の試験杭の概要を表-1に, 試験内容を表-2に示す。島根<sup>2) 3)</sup>, 岡山<sup>4) 5)</sup>は, 同一杭で押し込み試験を, ウガンダ<sup>6) 7) 8)</sup>は近傍の別杭で押し込み試験を実施している。なお, 岡山は押し込み試験の段階, 連続の両載荷試験を実施している。同一杭の場合は, 押し込み試験後に所定の養生期間を経て急速載荷試験を実施している。また, 加速度計は島根のみ杭頭部に, 岡山は, 杭頭, 杭中間部, 杭先端部に, ウガンダは, 杭頭, 杭先端部に取り付けられている。

急速載荷試験は, 軟クッション重錘落下方式で重錘落下高さを上げて荷重を増加させる多サイクル方式にて実施している。

## 3. 急速載荷試験結果

### 3.1 急速荷重と杭頭変位量

各試験場所の急速荷重(動的成分+静的成分)と杭頭変位量の関係を図-1に示す。

島根は, 急速荷重-変位量曲線はループして抵抗力は極限状態に近づいている試験である。一方, 岡山, ウガンダは, 急速荷重-変位量関係が弾性的な挙動を示しており, まだ極限状態までには十分余裕のある試験であることを示している。

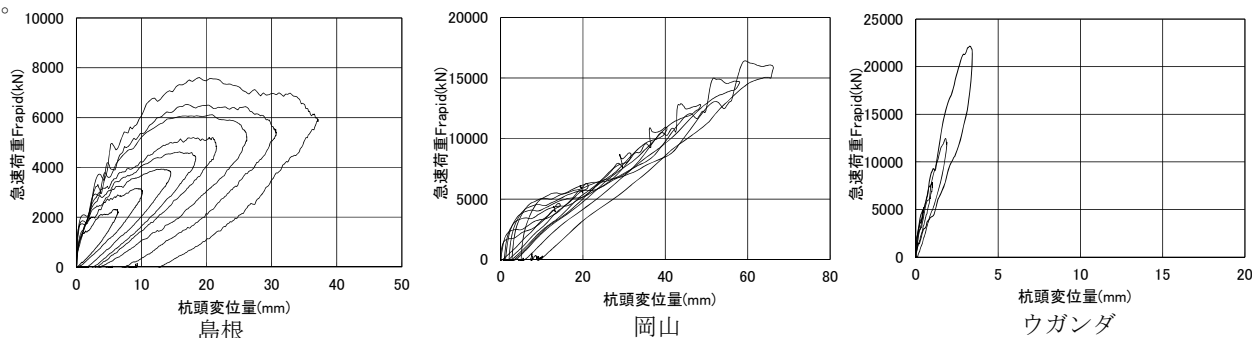


図-1 急速荷重と杭頭変位量の関係

### 3.2 深度方向の加速度

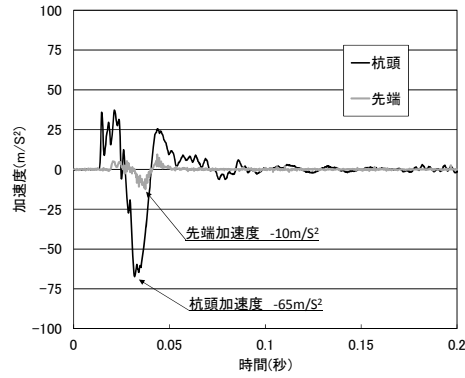
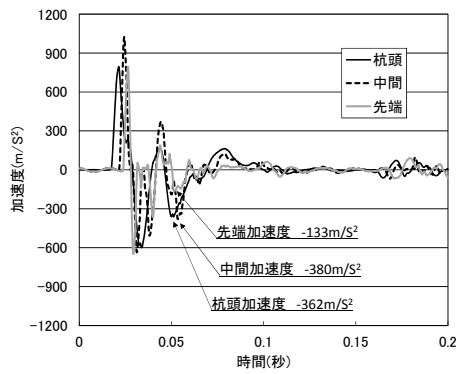
一質点系のモデルを検証するため, 地中部にも取付けてある岡山とウガンダの加速度の時刻歴を図-2に示す。着目する加速度の値は, それぞれの設置深度で加速度を2回積分した時の最大変位量時としている。岡山では杭頭の加速度に対して, 杭中間が105%, 杭先端が37%となっている。また, ウガンダも杭頭の加速度に対して, 杭先端はわずか15%となっている。このように, 極限状態の抵抗力まで十分余裕のある杭の場合, 一質点系として挙動していないことが明らかになった。

表-1 試験概要

No.	試験場所	杭種	杭工法	杭径 (mm)	杭長 (m)	支持層	地中部ひずみ計 加速度計
1	島根	鋼管杭	WJ併用パイプ工法 (中詰めコンクリート打設)	1000	15.5	砂岩	無
2	岡山	鋼管杭	ダウンザホールハンマ工法 (杭先端コンクリート打設)	800	23.8	弱風化岩	有
3	ウガンダ	場所打ち杭	オールケーシング工法	2000	21	砂岩 (サトロック)	有

表-2 載荷試験の概要

No.	試験場所	重錘質量 (t)	最大落下高さ (m)	備考
1	島根	22	2.2	押し込み試験後、急速載荷試験を実施
2	岡山	44	3.0	同上
3	ウガンダ	30	2.4	近傍にて押し込み試験を実施



岡山

ウガンダ

図-2 深度毎の加速度波形結果

#### 4. 押し込み試験と急速載荷試験結果の比較

押し込み試験結果を基本として、急速載荷試験結果について除荷点法を用いて解析した地盤抵抗力和変位量とを比較したものを図-3 に示す。この図の除荷点法に用いた $\alpha$ は、① $\alpha$  = 杭頭値、② $\alpha$  = 深度毎の $\alpha$ の平均値、③ $\alpha$  = 杭頭値 $\times$ (先端値の杭頭値に対する比)の3ケースである。 $\alpha$ はそれぞれの深度で最大変位量時の値を用いている。

島根の図では、①で解析した値が押し込み試験の履歴曲線に連続する性状を示しており、杭頭の加速度を用いた除荷点法と押し込み試験結果との整合が確認できた。なお、島根は先端の加速度計がないことから、「先端値の杭頭値に対する比」としてウガンダの値を代用し③として解析を試みたが、押し込み試験結果に対して過小評価になる結果であった。

岡山の場合、押し込み試験の連続載荷結果と比較すると、①は 108%と大きい結果となっている。その他の解析ケースについては②が 102%、③が 97%と連続載荷試験結果に近い値であった。なお、③は段階載荷の荷重-変位量曲線の性状に最も近い勾配となっている。

ウガンダの試験は、変位量が杭径の 0.15%程度と極めて少ない杭の評価であるが、試験の最大荷重時に着目すると、①の場合は押し込み試験に対して 130%大きな結果を示している。②の場合は押し込み試験に対して 111%、③の場合は 92%である。急速載荷試験の荷重-変位量曲線を線形に延長すると、③の結果は押し込み試験結果に曲線が重なっており整合性を最も示している。

以上より、島根のように杭の極限状態まで載荷した杭の場合は、一質点系モデルを用いた除荷点法の結果と押し込み試験結果が一致する。岡山やウガンダのように杭の極限状態まで十分余裕のある杭については、一質点系の仮定条件では整合が取れない可能性がある。

このように、急速荷重と杭頭変位量の関係を作図して、そのループの傾向や急速荷重と変位量の関係から一質点系モデルを用いた除荷点法の適用が可能かに注意が必要であることが明らかになった。

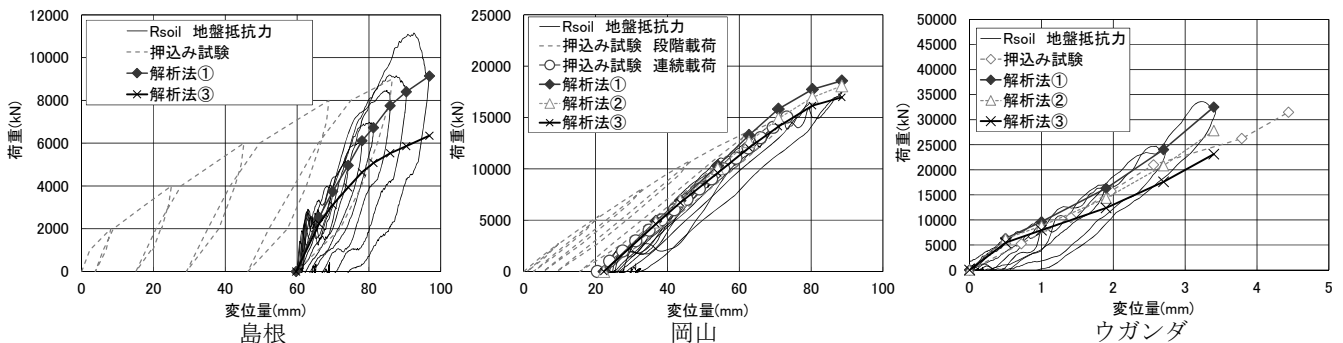


図-3 押し込み試験と急速載荷試験結果の比較

#### 5. まとめ

本事例のように杭頭と先端の加速度の大きさが極端に異なる場合は、深度毎の加速度の平均や先端相当の加速度を用いて除荷点法を適用することが妥当と考えられる。また、試験計画に際して、 $\alpha$ によって支持力評価に大きな影響を及ぼす可能性がある時は、杭の中間部や先端部に加速度計を設置し杭全体の挙動を把握しておくことが望ましい。

今回、杭-地盤系の挙動が弾性範囲内の場合の除荷点法解析について、支持力評価の妥当性確認が可能な一例を見いだした。今後も試験事例を積み重ねつつ、急速載荷試験による支持力評価について精度を上げるべく取り組んでいきたい。

【参考文献】1) 社団法人地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説第一回改定版，2002.5 2) 佐藤啓介他：鋼管矢板井筒基礎の鉛直支持力-その1 押し込み試験について，第45回地盤工学研究発表会，松山，2010.08 3) 小林剛他：鋼管矢板井筒基礎の鉛直支持力-その2 杭の急速載荷試験について，第45回地盤工学研究発表会，松山，2010.08 4) 今広人他：実地盤に施工した杭に対する段階載荷試験と動的載荷試験の比較，第53回地盤工学研究発表会，高松，2018.07 5) 高野公作他：実地盤に施工した杭に対する連続載荷試験と動的載荷試験の比較，第53回地盤工学研究発表会，高松，2018.07 6) 高野公作他：ナイル・ジンジャ高架橋建設工事(その1)に伴う杭の品質管理，第51回地盤工学研究発表会，岡山，2016.09 7) 中山敦他：ナイル・ジンジャ高架橋建設工事(その2)に伴う杭の急速載荷試験，第51回地盤工学研究発表会，岡山，2016.09 8) 亀井秀一他：ナイル・ジンジャ高架橋建設工事(その3)に伴う杭の押し込み試験，第51回地盤工学研究発表会，岡山，2016.09