

ナイル・ジンジャ高架橋建設工事(その2)に伴う杭の急速载荷試験

場所打ち杭  
急速载荷試験 杭の支持力

○地盤試験所 正会員 中山 敦  
Professor Jackson A. Mwakali  
地盤試験所 正会員 高野 公作

UNRA Lawrence Pario  
銭高組 町田 裕  
地盤試験所 小林 剛

1. はじめに

ウガンダ共和国のナイル・ジンジャ高架橋建設工事<sup>1)</sup>では斜張橋の基礎に場所打ち杭採用されている。この基礎杭の支持力を確認するためA1橋台(杭径:φ1,500mm),P2橋脚(杭径:φ2,000mm)の本杭近傍に施工した試験杭を用いた急速载荷試験(Rapid Load Test:以下,RLTと呼ぶ)と両者の本杭を用いた押込み試験<sup>2)</sup>(Static Axial Compressive Load Test:以下でSLTと呼ぶ)を実施した。なお,P2橋脚杭については,RLT,SLTとも杭にヒズミ計等を取り付けて先端支持力と周面摩擦力の分離を図った。本論文では、この内のRLTについて支持力とその解析内容について発表する。

2. 試験概要

2.1 地盤概要と試験目的

試験を実施したA1橋台の本杭およびRLT試験杭配置を図1に、P2橋脚のそれを文献<sup>1)</sup>に示す。土質柱状図と杭の根入れ状態を図2に示す。

杭の設計は、BS8004-1986に基づいて実施され、この設計支持力を確認することを目的として実施した。表1に設計支持力と計画最大荷重を示す。

A1橋台は杭頭の荷重と変位量の関係から杭の支持力確認を、P2橋脚は杭にヒズミ計と加速度計を設置し支持力確認に併せて周面摩擦力度と先端支持力を求め設計値の妥当性の検証を行った。

ヒズミ計は図2に示すように杭頭部と杭先端部に配置し、ヒズミ計の軸力差から杭周面摩擦力度を求めた。加速度計は杭に作用する慣性力を補正するために設置してある。

表1 設計値と試験荷重および軟クッションの仕様

内容		A1橋台	P2橋脚
設計支持力		5,400kN	21,000kN
計画最大荷重		5,400kN	21,000kN
試験最大荷重		9,538kN	
軟クッションの仕様	バネ定数	52,002 (kN/m)	290,130 (kN/m)
	サイズ	1.0m×1.0m×0.75m	1.5m×1.5m×0.3m

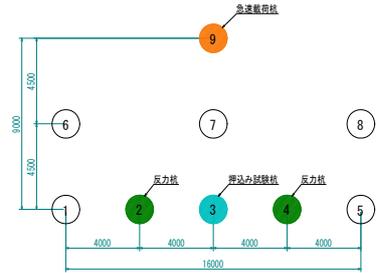


図1 杭の配置図

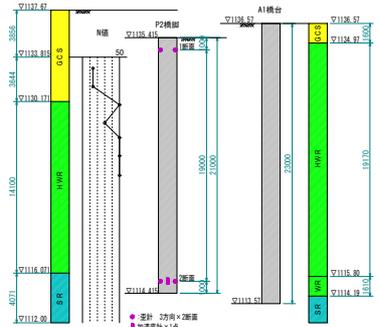


図2 土質柱状図と杭の根入れ状態

2.2 試験装置と計測項目

RLTは、重錘を落下させて発生させた打撃力を、軟クッションを用いて急速荷重に変換して载荷させる試験法である。この試験の特長は、反力杭を必要とせず、試験杭のみで支持力を確認できることである。

今回の試験では、図3に示すように杭と軟クッションの間にロードセル挿入して载荷重を確認した。軟クッションにはRLT用に開発した表1に示す仕様のハイブリッドナミッククッション®を用いて、質量30tの重錘を最大高さ2.4mから落下させた。

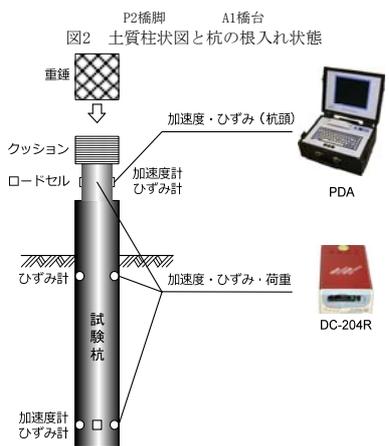


図3 計測機器の構成と急速装置の概念図

2.3 試験方法

試験方法は、JGS1815-2002とASTM D\_7383-08に基づいて実施した。

重錘の落下高は、まず0.3mで計測機器が正常に作動しデータが取得されていた事を確認した後、0.6mピッチで最大落下高さ2.4mの高さまで計4回実施した。

3. 解析方法 (一質点系モデル)

静的な地盤抵抗力は、一質点系モデルとして(式1)の除荷点抵抗力として求めた。

$$R_{ulp} = F_{rapid}(disp) - M \cdot \alpha(disp(max)) \dots \dots \dots (式1)$$

ここに

$R_{ulp}$  : 除荷点抵抗力,  $F_{rapid}(disp)$  : 最大変位時の荷重,  
 $M$  : 杭体の質量,  $\alpha(disp(max))$  : 最大変位時の杭体の加速度

4. 試験結果

4.1 地盤抵抗力の考え方

図4はP2橋脚の試験で重錘を2.4mから落下させた時のデータである。横軸に経過時間を取り縦軸は上のグラフから順番に荷重, 変位, 速度, 加速度である。

図4の時間～変位グラフで赤の縦線と時間軸の交点は速度0である。この時に杭体の加速度は杭頭部で-63m/sec<sup>2</sup>,杭先端部は-6m/sec<sup>2</sup>の値を示している。すなわち軟クッションを用いて重錘が杭頭部に衝突すると杭頭には大きな加速度が発生しているが,杭先端部の加速度は杭頭の10%しか発生していない。

杭頭は変位しているが杭先端の変位量が少いため杭は剛体の状態で変形していないことを意味している。このことは,杭頭変位は杭体の弾性変形を計測していることになる。よって,図4の加速度グラフから試験杭は一質点系モデルの仮定条件が成立していないことが分かる。この図は,速度が0の時の加速度αは(-)の値で(式1)で除荷点抵抗力を求めると,特に質量が大きい場所打ち杭の場合は大きな支持力となり危険側に判定する事となる。

$$R_{ulp} = F_{rapid}(disp) - M \cdot \alpha(disp(max))$$

$$\Rightarrow F_{rapid}(disp) + M \cdot \alpha(disp(max)) \dots \dots \dots (式1)$$

今回の杭のように杭頭変位量が3.43mm(残留変位量:0mm)と少ない場合の支持力判定は,一質点系モデルが成り立たないとして下記に示す(式2)で判定すべきと考える。

$$R_w = F_{rapid}(disp) \dots \dots \dots (式2)$$

これについては文献<sup>2)</sup>で検証する。

#### 4.2 地盤抵抗力

試験結果を,(式2)で解析したA1橋台の結果を図5に,P2橋脚のそれを図6に,まとめた結果を表2,表3に示す。A1橋台は計画最大荷重5400kNでも変形量が小さかったこと,装置の余裕があったことから荷重を9538kNの支持力まで載荷した。またP2橋脚は計画の21,000kNに対し21,499kNまで支持力を確認した。このように各杭は,計画の設計支持力を十分満足する事が確認された。

各杭の変位量は,表2,表3に示すように,A1橋台,P2橋脚とも杭頭で3.5mm以下と少なく荷重と変位のグラフは弾性変形性状を示している。またP2橋脚は杭先端変位量がSp=0.27mmと微小な値であり,設計支持力では杭はほとんど変位しないことが確認できた。

表2 A1橋台の荷重と変位量の結果

静的抵抗成分	変位量	残留変位量
R <sub>g</sub> (kN)	S <sub>o</sub> (mm)	S <sub>r</sub> (mm)
9,538	3.43	0.00

表3 P2橋脚の荷重と変位量の結果

杭頭部			杭先端部	
静的抵抗成分	変位量	残留変位量	静的抵抗成分	変位量
R <sub>g</sub> (kN)	S <sub>o</sub> (mm)	S <sub>r</sub> (mm)	R <sub>g</sub> (kN)	S <sub>p</sub> (mm)
21,429	3.43	0.00	3,934	0.27

#### 4.3 周面摩擦力と先端支持力

P2橋脚で計測した杭頭と先端のヒズミ計から計算した軸力から求めた杭周面摩擦力度を図7に示す。このHWR層区間の設計摩擦力度はτ=133kN/m<sup>2</sup>(C=200kN/m<sup>2</sup>)であったが試験結果はτ=146kN/m<sup>2</sup>と10%程度上回る結果であった。

杭先端に伝達した荷重はR<sub>w</sub>=3,934kN(q<sub>d</sub>=1,250kN/m<sup>2</sup>)と少なくSR層の先端支持力を確認する以前に試験を終了した。

#### 5. おわりに

ウガンダ共和国においてオールケーシング工法の場合打ち杭が初めて採用された。この基礎の支持力をRLTで確認した結果,設計支持力載荷時では,杭と地盤はまだ弾性挙動を示しており,高支持力の杭が築造されていることを確認した。RLTは反力杭を必要とせず,試験杭があれば実施出来る利点があるので,工期短縮とコスト削減に適した支持力確認方法と考えている。今後,他のアフリカ地域においても基礎杭の支持力確認が急速載荷試験で行われれば幸いである。

最後に,本試験のご指導とご協力を頂いたProfessor Jackson A. Mwakali氏を始め関係各位に感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 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(投稿中)
- 2) 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(投稿中)
- 3) 高野,亀井,武田,小林:第59回地盤工学シンポジウム 押し込み試験と急速載荷試験の支持力比較事例

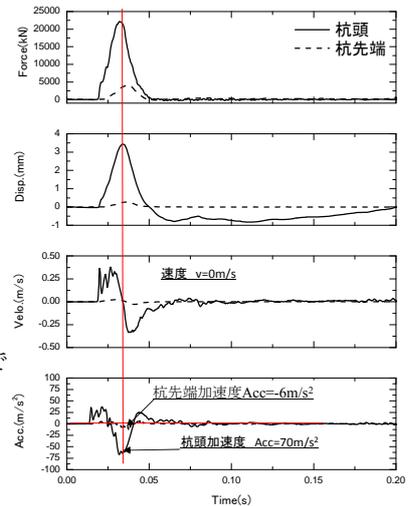


図4 荷重,変位,速度,加速度～経過時間

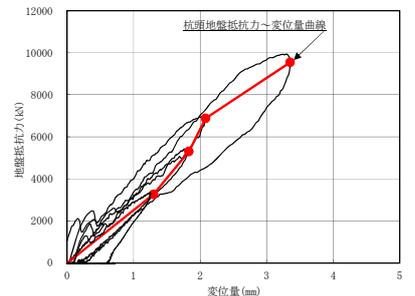


図5 A1橋台の地盤抵抗力～変位量曲線

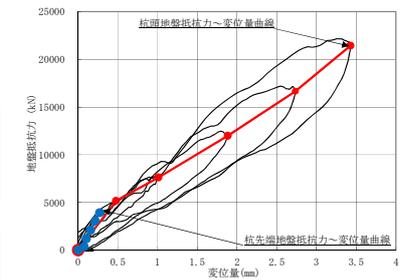


図6 P2橋脚の地盤抵抗力～変位量曲線

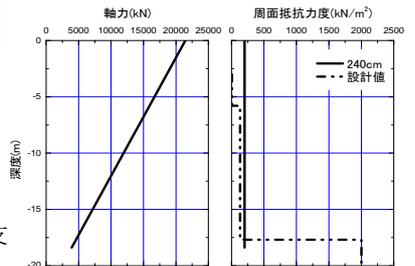


図7 P2橋脚の軸力分布と杭周面摩擦力度