

大沈下を伴う杭急速載荷試験結果の解釈

急速載荷試験 (株)地盤試験所 国際会員 宮坂 享明 (株)地盤試験所 正会員 大石 淳之
 大沈下 Pile Dynamics Inc 国際会員 Garland Likins (株)地盤試験所 正会員○富岡 努
 極限地盤抵抗 日本工業大学 国際会員 桑原 文夫 (株)地盤試験所 正会員 吉国 将大

1 はじめに

近年、最大試験荷重が 30MN も超える、軟クッションを用いる重錘落下方式急速載荷試験が開発され、実用化されている。一方、既製杭の先端に大きな球根を築造した高支持力杭も数多く開発され、その高支持力を前述の杭急速載荷試験で確認できるかどうか注目的となっている。一般に杭の鉛直方向極限支持力は、杭一地盤系が降伏まで載荷を行わないと評価できないことから、今回の研究は、2ヶ月前に静的押し込み載荷試験をした杭に対して、杭頭残留沈下が D/25 を超えるような大沈下を生じさせた杭急速載荷試験を行い、両試験方法から得られた鉛直方向極限支持力を比較検討するとともに、CAPWAPにより波形マッチングを行い、周面摩擦抵抗の深度分布についても検討した。

2 試験概要

2-1 試験装置

今回の急速載荷試験は、大沈下を起こすために図-1に示す大型重錘落下方式試験装置を使用した。重錘及び軟クッションの仕様を表-1に示す。重錘の質量は、計画最大荷重(6000kN)に対して約 7.5%程度で、45 t のものを使用した。試験は、大変位時の挙動を検証するため、落下高を 0.5m 及び 1.0m の 2 段階とした。載荷時間は、弾性波が杭体中約 7.2 回往復する時間(72 ms)とした。また、軟クッションのばね定数は、軟クッションが剛床上に置かれているものと仮定し、重錘がこれ

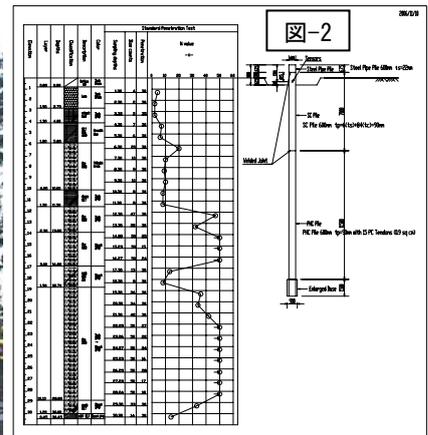


Table-1 Ram and Cushion Specification

Pile Length L (m)	Wave Speed V (m/s)	Travel Round	Load Duration tmin (ms)	Ram Mass M (kg)	Cushion Spring k (kN/m)
20	4,000	7.2	72	45,000	87,000

に接してから離れるまでの時間が上記載荷時間(72 ms)を満足できるように決めた。また、45 t の重錘の計画落下高と試験計画荷重の関係は表-2に示すとおりである。

Table-2 Drop Height-Cushion- Deformation-Load

Drop Height h (cm)	Cushion- Deformation x (cm)	Load P (kN)
50	7.7	6,270
100	10.7	8,870

2-2 試験杭および試験地盤仕様

今回の試験地盤の土質柱状図を図-2に示す。また、試験杭は、中掘り根固め工法で施工した既製杭で、静的押し込み試験後 8 週間養生した後、急速載荷試験を実施した。試験杭仕様および静的押し込み試験結果は、それぞれ表-3および表-4に示す。杭先端は GL-14m, N 値約 30 の砂層の先端に位置している。静的押し込み試験結果としては、表-4に示すとおり、第一限界抵抗が 4500kN, 第二限界抵抗が約 5775kN, 杭頭沈下剛性が 400kN/mm であった。

Table-3 Test Pile Specification

Dia. Dp (mm)	Type	Thickness	Length	Installation Method
		tp (mm)	L (m)	
600	SPP	22	0.675	Welded afterward
600	SC	90(6+84)	7.0	
600	PHC	90	11.5	Center Boring Method
900	Enlarged Base	NA	1.5	

2-3 計測項目

計測項目は表-5に示すとおり、ブリッジタイプひずみ計および圧電タイプ加速度計がそれぞれ 2 点ずつとした。残留沈下の測定は 1 点とし、時刻歴変位は速度からの数値積分値を用いた。

Table-4 Static Load Test Results

Yield Resistance		Ultimate Resistance		Pile-Soil Stiffness ko (kN/mm)
Load(kN)	Top Disp(mm)	Load(kN)	Top Disp(mm)	
4,500	12	5,775	60	400

Table-5 Measuring Items

Strain Gauge	2
Accelerometer	2
Permanent Displacement	1

3 試験結果

3-1 杭頭荷重経時変化

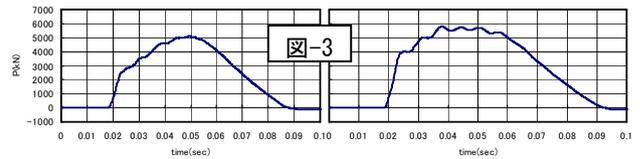
ひずみ計から算定した各落下高時の荷重経時変化をまとめて図-3に示す。図-3を見ると、実載荷時間は落下高 0.5m

Interpretation of Pseudostatic Pile Load Test Results with Large Permanent Displacement

T. MIYASAKA¹⁾; G. Likins²⁾; F. KUWABARA³⁾; J. OISHI¹⁾; T. TOMIOKA¹⁾; M. YOSHIKUNI¹⁾

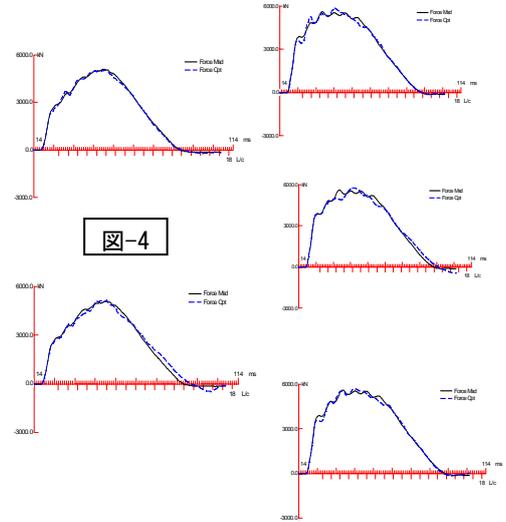
¹⁾Jibanshikenjo Co., Ltd. ²⁾Pile Dynamics Inc, ³⁾Nippon Institute of Technology

時が 70-ms で、落下高 1.0m 時が 74-ms であったこと、登り部が波を打っていること、落下高 1.0-m 時の波形が 0.5 m 時の波形と比べると形が完全に異なっていることなどがわかる。前述の実載荷時間から算定すると、波動が杭体中約 8 往復する時間に等しい。図-3 の落下高 0.5-m 時の波形をよく見ると、登り部に現れる波の数は約 3.5 であり、応力波が杭体中を往復している回数とほぼ一致している。また、落下高 1.0m 時の波形に最大値が現れており、地盤抵抗が極限值に達したことを示唆していると考えられる。

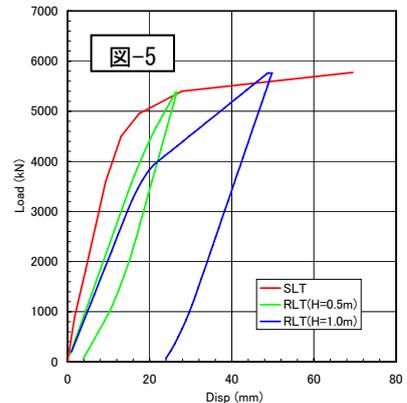


3-2 静的極限地盤抵抗の推定

静的極限地盤抵抗を推定するために CAPWAP により波形マッチング解析を行った。杭モデルは杭先端外周部モルタルがある場合 (A) と無い場合 (B) の 2 ケースとした。荷重波形の解析結果をまとめて図-4 に示す。図-4 をみると、落下高 0.5m 時では、B モデルに比べて A モデルの方がよくマッチングができてることがわかる。これに対して、落下高 1.0m 時では、逆に B モデルの方がよくマッチングができています。さらに同じ B モデルであっても、第 1 波に合わせたものよりも、第 2 波に合わせた方が全般的にマッチングが良く合っている結果となった。B モデルの方がよくマッチングができて理由は、落下高 1.0m 時で残留沈下量 (21mm) が大きく、モルタル部が杭本体から剥離していると考えられる。また、第 2 波に合わせた方が全般的にマッチングが良く合っている理由は、第 2 波が先端からの反射であることによるものと思われる。波動走時から第 1 波は GL-12m~17m 間の密な砂層からの反射であることがわかる。



静的押し込み試験及び波形マッチングから得られた荷重-沈下曲線を図-5 に示す。図-5 を見ると、初期沈下剛性は静的試験結果 (400kN/mm) に比べて、急速試験から推定した値が約半分 (200kN/mm) であること、推定された静的極限地盤抵抗は、落下高 0.5m 時が 5380kN で、落下高 1.0m 時が 5762kN であり、静的試験結果 (5800kN) に対して、推定精度はそれぞれ 93% と 99% であった。



3-3 杭周面抵抗分布

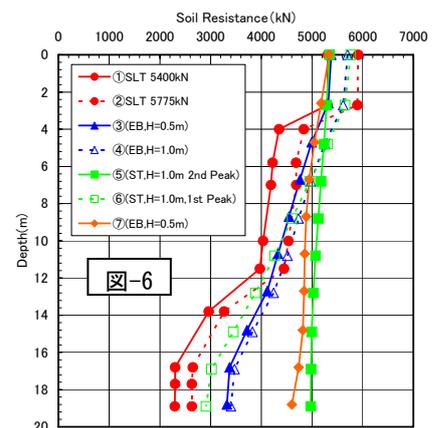
図-6 に静的押し込み試験及び波形マッチングから得られた杭周面抵抗分布を示す。図-5 と図-6 を合わせて見ると、杭周面抵抗は静的試験結果に近い分布でマッチングした波形の方が、幾分計測波形に近いことがわかる。杭モデルを正しく評価し、地盤条件も念頭に入れて解析することが重要であると思われる。

4 考察およびまとめ

今回の杭急速載荷試験の最大な特徴は、下記のとおりである。

- ① 最大残留沈下量 (H=1.0m 時) は 21mm であり、D/30 を超えている。
- ② 最大実載荷速度 (H=1.0m 時) は、荷重で約 290MN/s、変位で約 1.4m/s である。
- ③ 実載荷時間は約 70-ms で、波動が杭体中約 7 往復する時間であった。また、今回の試験から、下記の考察が得られた。

- ① 荷重経時変化グラフから応力波伝播現象が確認できた。
- ② 静的極限地盤抵抗の推定精度は、残留沈下量が D/100 以下の場合 7% 程度であったが、D/30 を超える残留沈下量を起こすことにより、精度良く (±2%) 推定することができた。
- ③ 杭周面抵抗分布を推定する場合も、周面抵抗を十分にモビライズさせる必要がある。杭モデルを正しく評価し、地盤条件も念頭に入れて解析することが重要である。杭周面抵抗の評価がある程度不正確でも、それなりに波形マッチングができてしまう可能性もあることに留意しなければならない。



【参考文献】

- 1) 地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説 第一回改訂版(2003.5)
- 2) 宮坂享明, 桑原文夫, その他; 大型重錘落下方式急速載荷試験その 1 重錘落下による地盤振動及び極限地盤抵抗, 第 4 1 回地盤工学研究発表会 pp1547-pp1548, 鹿児島, 2006 年 7 月