

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

急速載荷試験, 地盤振動 (株)地盤試験所 国際会員 宮坂 享明 日本工業大学 国際会員 桑原 文夫  
 極限地盤抵抗 (株)地盤試験所 正会員 坪井 秀樹 (株)地盤試験所 正会員 ○大石 淳之

1 はじめに

近年 70 t級の重錘を装備して, 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・実用化されている。このような大型載荷試験装置を用いた杭急速載荷試験において, 重錘の質量が極めて大きいため, 重錘リリース時または載荷時の地盤振動が杭の変位計測に与える影響や, 従来の載荷時間をさらに長くした場合の試験結果の精度に及ぼす影響など, 不明な点が多い。

筆者らはこれらの問題を明らかにするため, 静的押し込み試験後約3週間養生した既製杭について, 大型載荷試験装置を用いた杭急速載荷試験を行い, 試験時における地盤振動を調べたほか, CAPWAPにより波形マッチングを行い, 杭急速載荷試験結果及び静的押し込み試験結果と合わせて比較検討した。

2 試験概要

2-1 試験装置

今回の急速載荷試験は, 重錘の質量による影響を調べるため, 大型重錘落下方式試験装置を使用した。重錘は, 通常では計画最大荷重(2500kN)の2%程度であるのに対して, 今回はその6倍程度重い33.1 tのものを使用した。載荷は, 軟クッションによる多サイクル重錘落下方式とし, 試験装置は図-1に示すとおりである。

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, バイプロ工法で施工したφ600 鋼管杭で, 静的押し込み試験後3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-1および表-2に示す。杭先端はGL-14m, N値約30の砂層の上端に位置している。静的押し込み試験結果としては, 表-2に示すとおり, 第一限界抵抗が約1780kN, 第二限界抵抗が約2130kN, 杭頭沈下剛性が110kN/mmであった。

2-3 軟クッション, 落下高及び試験荷重

今回の試験に用いた軟クッションのパネ定数は, 表-3に示すとおり, 波動が杭体中約10往復する時間0.062 s(杭の沈下剛性を無限大にした場合)を確保できるように決定した。また, 33.1 tの重錘の計画落下高と試験計画荷重の関係は表-4に示すとおりである。最大落下高12cmにおける計画最大荷重は約2500kNである。試験は, 最大落下高12cmまで3cmピッチで行い, その後大変位時の挙動を検証するため, 落下高を20cm, 50cmとした。

2-4 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4点ずつ, 非接触型PSD変位計が1点, 合計項目となっている。

3 試験結果

3-1 杭頭荷重経時変化

2種類のブリッジタイプ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, いずれの落下高においても, 荷重が杭断面にほぼ均等に作用していること, 実載荷時間は約0.09秒であること, 登り部が波を打っていること, 落下高50cm時の波形が他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。0.09秒という実載荷時間は, 波動が杭体中約14.5往復する時間に等しい。図-3をよく見ると, 登り部に現れる波の数は約7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50cm時の波形が他の波形と比べると形が完全に異なっているのは, 杭先端抵抗も含めて杭全支持力が原地

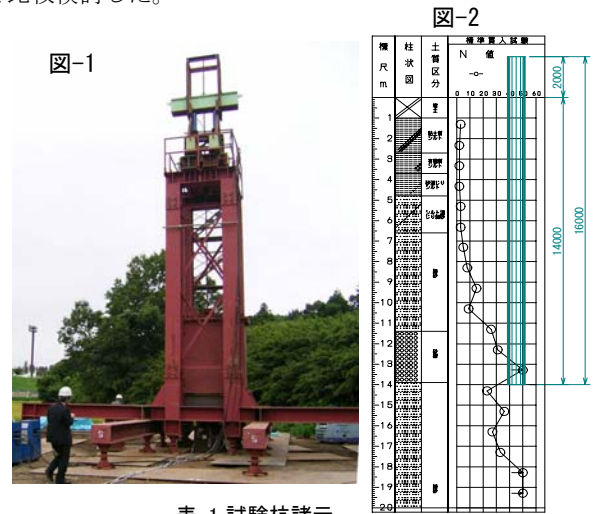


表-1 試験杭諸元

杭径	杭種	鋼管厚	長さ	杭体質量	施工法
Dp (mm)		ts (mm)	L (m)	M(t)	
600	鋼管杭	12	15.9	3.64	バイプロハンマー工法

表-2 静的押し込み試験結果一覧

第1限界抵抗力		第2限界抵抗力		杭頭沈下剛性
荷重(kN)	変位量(mm)	荷重(kN)	変位量(mm)	ko (kN/mm)
1,780	18.86	2,126	60	110

表-3 重錘及び軟クッションの仕様

杭長	伝播速度	往復	載荷時間	重錘質量	軟クッション
L (m)	V (m/s)	Round	tmin (s)	M (kg)	k (kN/m)
15.9	5,120	10	0.062	33,100	86,400

表-4 落下高及び試験荷重

落下高	軟クッション変位量	計画荷重
h (cm)	x (cm)	P (kN)
3	1.5	1,280
6	2.1	1,810
9	2.6	2,220
12	3.0	2,570

表-5 計測項目

ブリッジタイプひずみ計	4
圧電タイプ加速度計	4
非接触型PSD変位計	1

Large Scale Pseudostatic Pile Load Test Part.1-Ground Oscillation and Ultimate Soil Resistance

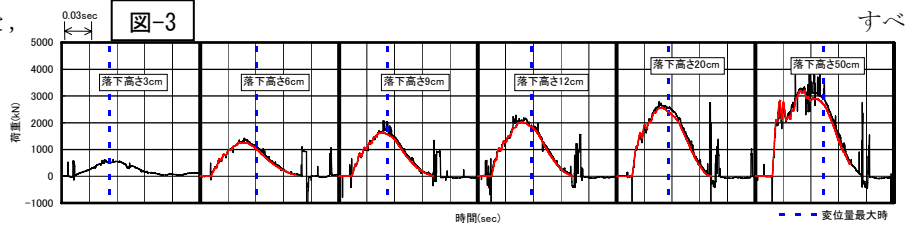
T. MIYASAKA<sup>1)</sup>; F. KUWABARA<sup>2)</sup>; H. TSUBOI<sup>1)</sup>; J. OISHI<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jibanshikenjo Co., Ltd. <sup>2)</sup>Nippon Institute of Technology

盤の極限抵抗を越え、まったく別な地盤抵抗モードになっていたこと（杭打ち効果）に起因したものと思われる。

### 3-2 杭頭沈下量経時変化

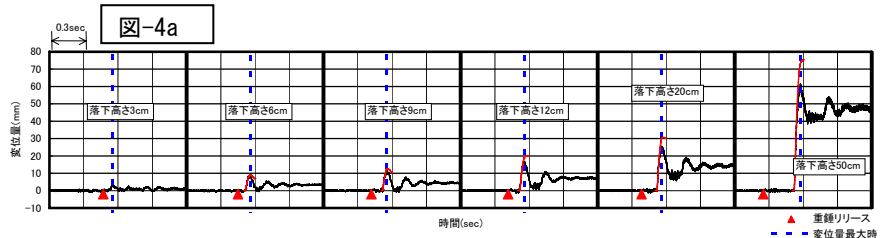
各落下高時の加速度から積分した沈下量および PSD 変位計の実測結果をまとめて図-4 に示す。PSD 変位計の実測結果をみると、33.1t 重錘をリリースした瞬間に、周波数 40~50Hz、振幅±1mm 程度の地盤振動が認められたこと、この地盤振動が収まるのに要した時間は、落下高 50cm のグラフを見ると約 0.3 s 程度であることなどがわかった。この値から逆算すれば、重錘の落下高が 44cm 以上であれば、この地盤振動の影響を受けないことになる。実際、落下高 50cm 以外の沈下量経時変化グラフを見ると、



て周波数 40~50Hz の波が示されており、リリースによる地盤振動の影響を受けていたことが明らかである。

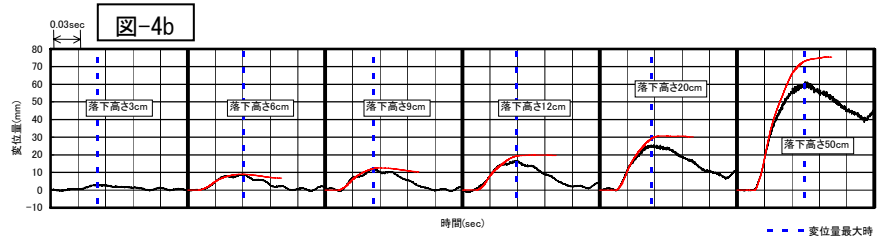
一方、加速度から積分した沈下量および PSD 変位計の実測結果を見比べると、落下高が 9cm までは、登り部を含めて最大変位まで両方ほぼ一致しているが、最大変位を過ぎると積分値のほうが大きな値を示すながら、徐々にその差が増える傾向になっている。落下高が 9cm を超えると、最大変位にも相違が見られ、落下高が 50cm 時において、PSD 変位計の実測値が 60cm になっているのに対し、積分値が 75cm となっており、その差は 15cm にも達している結果となった。この相違は、加速度計の精度

または慣性滑りによる影響の可能性が大きく、PSD 変位計の動き（カメラ位置における地盤振動）による影響も若干含まれている可能性もあると考えられるが、今後の究明課題のひとつとして残される。



### 3-3 杭頭加速度経時変化

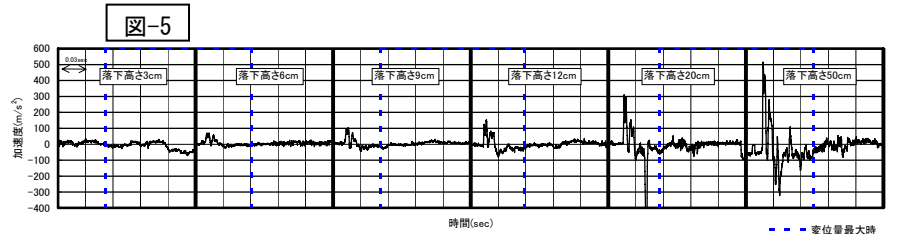
図-5 に各落下高における杭頭加速度経時変化を示す。また、図-5 から各落下高における杭頭変位が最大値になったときの加速度を、各最大変位量とともに表-6 に示す。図-5 を見ると、いずれの落下高においても、加速度も荷重波形と同様に波を打っていることがわかる。これは応力波の伝播によるものと思われる。また、表-6 をみると、落下高 12cm までの最大加速度は 3G 程度で、大変位を起こしたときは 5G 程度であることがわかる。載荷時間が比較的に長いことによる結果と思われる。



## 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重錘の重量は地盤極限抵抗の約 12% である。
- ②最大実載荷速度 (H=12cm 時) は、荷重で約 20MN/s、沈下量で約 200mm/s、応力度で杭先端閉塞断面積に対して約 73MPa/s である。



- ③実載荷時間は約 0.09 秒で、波動が杭体中約 14.5 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重錘のリリースにより、周波数 40~50Hz、振幅が±1mm 程度の地盤振動が確認できた。この地盤振動周期は、地盤の固有周期と比べて、5~10 倍程度短くなっている。
- ③地盤極限抵抗は約 2500kN となっており、静的載荷試験の最大荷重 2300kN よりやや大きな値となっている。
- ④加速度から積分した沈下量は、PSD 変位計の実測結果より大きな値を示す。加速度計の精度または慣性滑りによる影響と思われる。

### 【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)

表-6 測定結果

落下高さ (cm)	荷重 Frapid(kN)	最大変位量 S(mm)	加速度 a(m/s <sup>2</sup> )	地盤抵抗力 Rsoil(kN)
3cm	505	2.81	-5	523
6cm	1125	10.30	-8	1154
9cm	1685	16.56	-30	1794
12cm	1858	25.12	-23	1942
20cm	2511	41.04	-49	2689
50cm	2910	90.18	-33	3030