

重錘落下方式急速載荷試験
その2 試験過程のシミュレーション

急速載荷試験 正会員 (株)地盤試験所 亀井 秀一 国際会員 (株)フジタ 岸下 崇裕
波形マッチング 国際会員 日本工業大学 桑原 文夫 国際会員 (株)トーヨーアサノ 林 隆浩
時刻歴応答 正会員 (株)地盤試験所 宮坂 享明 正会員 (株)地盤試験所 坪井 秀樹

1 はじめ

軟クッションを用いる重錘落下方式急速載荷試験の動的挙動を究明するために、レーザー変位計、高性能非接触型変位計、ロードセル、ひずみ計、加速度計などを用いて現場試験を実施した。その試験結果を検証するために、まず CAPWAP 法により波形マッチング解析を行い、杭周面および先端抵抗に関わるパラメータを収集した。次にこれらのデータを用いて、自由落下を含めた試験過程における時刻歴応答解析を行い、各時刻歴におけるハンマーの軌跡、杭頭荷重、変位、速度および加速度などについてシミュレーションを行った。

2 解析モデル

2 - 1 解析モデル

重錘自由落下による急速載荷試験の時刻歴応答解析モデルを図-1 に示す。

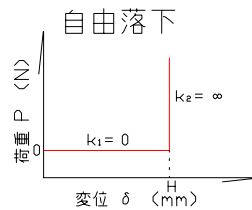


図-2

2 - 2 軟クッションのモデル化

自由落下過程および軟クッションの挙動は非線形ばね要素でモデル化し、その要素特性をそれぞれ図-2、図-3 および表-1 に示した。

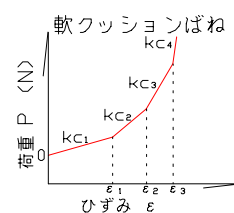


図-3

2 - 3 地盤抵抗のモデル化

地盤抵抗 (杭周面抵抗および杭先端抵抗) は、ばねスライダとダッシュポットと組合せたモデルとした。杭先端部にはさらに地盤付加質量を加え、地盤の慣性抵抗を考慮した。各要素特性は、CAPWAP 法により波形マッチング解析から得られたパラメータの結果を参考にして、図-4、図-5 および表-2 に示すとりの値を用いた。

表-1 軟クッションの要素特性

ひずみ	変位量 (mm)	荷重 F(kN)	バネ定数 kc(N/mm)
0	0	0	3.3.E+03
0.3	99	327	1.5.E+04
0.35	116	572	4.5.E+04
0.4	132	1307	2.9.E+06
0.45	149	49005	1.0.E+10

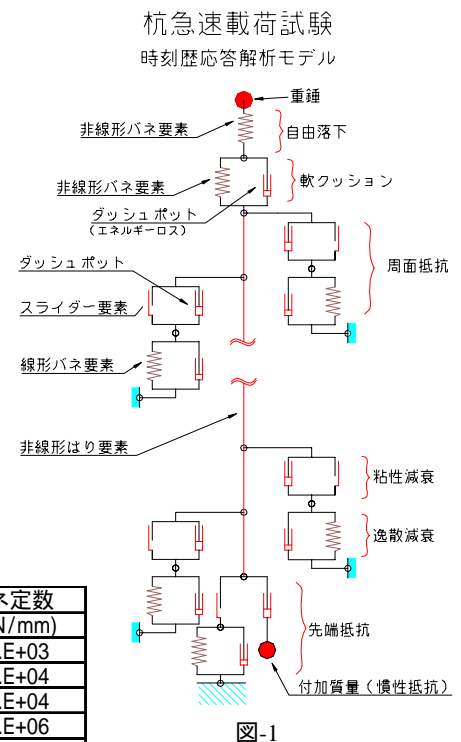


図-1

3 解析結果と試験結果の比較

今回の時刻歴応答解析は、試験結果から杭が降伏に至る直前と判断される 4t 重錘で落下高が 0.8m のケースについて行った。

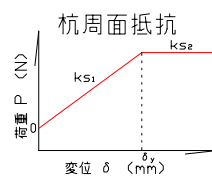


図-4

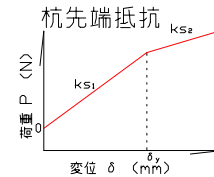


図-5

3 - 1 自由落下の軌跡

落下高 0.8m 時における自由落下による重錘の軌跡を図-6 に示す。落下開始から約 0.4 秒後に重錘が軟クッションに接触し、軟クッションと一緒に約 145mm 沈下してから上向きに浮き上がってゆくことがわかる。なお、重錘が軟クッションと接触してから離れるまでの時間、すなわち載荷時間は約 0.1 秒であることも確認できた。

表-2 杭周面抵抗および杭先端抵抗の要素特性

杭要素区間(m)	地盤種別	バネ定数(N/mm)		逸散/粘性減衰 Cs(N/(mm/s))
		降伏前	降伏後	
0.0 ~ 1.0	ローム	6	1	12
1.0 ~ 2.0		6	1	12
2.0 ~ 3.0		6	1	12
3.0 ~ 4.0		6	1	12
4.0 ~ 5.0		6	1	12
5.0 ~ 6.0	シルト	120	1	12
6.0 ~ 7.0		3600	1	12
7.0 ~ 8.0		10800	1	12
8.0 ~ 9.0		15000	1	12
9.0 ~ 10.0		15000	1	12
10.0 ~	砂	600000	300000	12

* 降伏変位は、周面抵抗が20mm、先端抵抗が30mm

3 - 2 杭頭部の挙動

杭頭部の荷重、変位、速度および加速度の時刻歴に関する解析結果を、ブリッドストレインゲージ-PSD 変位計による試験結果と合わせて図-7 に示す。図-7 を見ると、荷重に関しては、

最大荷重経過後に両者の違いが認められた。これは、軟クッションの荷重 変位に関する実際の回復特性が解析モデルと相違していることに起因するものと思われる。変位に関しては解析結果は概ね試験結果と合致していることがわかる。

3-3 荷重
沈下曲線
解析による
杭頭荷重 杭
頭沈下曲線お
よび地盤抵抗
力 杭頭変位
量曲線を試験
結果と合わせ

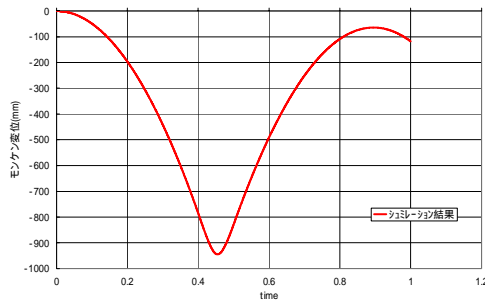


図-6 重錘の運動軌

て図-8 に示す。最大荷重に至る経路は両方ほぼ一致しているのに対して、解析結果による荷重減少時の戻り曲線は試験結果と較べて、急な勾配になっていることがわかる。これも、軟クッションの解析モデルは実際の履歴特性と相違していることによるものと思われる。また、図-8 に速度 $v=0$ の点も合わせてプロットした。解析結果および試験結果のいずれも速度 $v=0$ の点は、荷重もしくは地盤抵抗の最大点尚且つ変位の最大点と一致していることがわかる。

4 考察およびまとめ

今回の自由落下を含めた試験過程における時刻歴応答解析により、各時刻歴におけるハンマーの軌跡、杭頭荷重、変位、速度および加速度などについて、精度よくシミュレーションできることが明らかとなった。

今回のシミュレーションにより、地盤・杭が弾性的挙動を示す範囲内では、すべて除荷点(速度 $v=0$ 、沈下 $S=\max$)において、地盤抵抗 P が最大値になっていること、つまり地盤最大抵抗力と除荷点抵抗力が等しいという試験結果を裏付ける根拠となった。これにより、落下エネルギーを調整して、杭・地盤が弾性的挙動を示す範囲内において、多段階の急速載荷を行えば、信頼性の高い杭の静的荷重沈下特性の推定ができることが明らかとなった。

今回の解析により、軟クッションの履歴特性は解析結果に大きな影響を及ぼすことがわかり、正確にシミュレーションを行うためには、その特性を反映できるモデルが必要である。今後、軟クッションのモデル化に関する研究を進めてゆく所存である。

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)
- 2) Randolph, M.F. and Deeks, A.J.:Dynamic and static soil models for axial pile response, Keynote lecture, Proceedings of 3rd International Conference on Application of Stress-Wave Theory to Piles, pp.3-14, 1992.

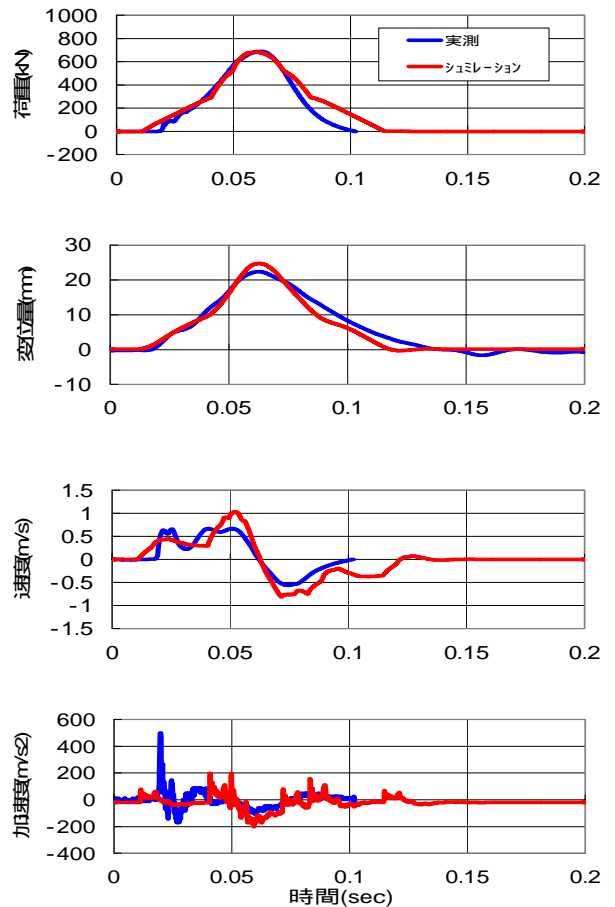


図-7 杭頭部の荷重、変位、速度および加速度の時刻歴

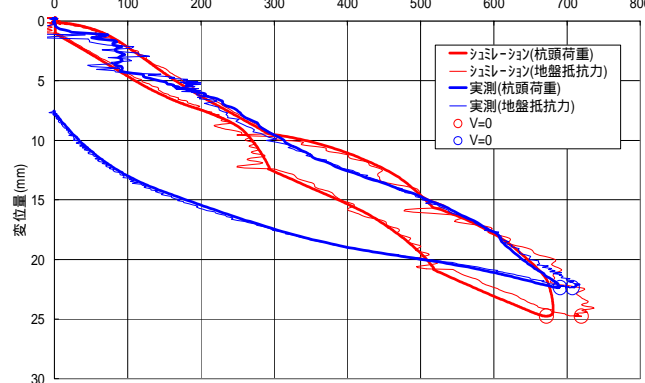


図-8 荷重（地盤抵抗力） 沈下曲線

Rapid Load Test by Falling Mass Method 2. Simulation of Load Test Process

(株)地盤試験所 技術部	主任	亀井 秀一
日本工業大学 建築学科	教授	桑原 文夫
(株)フジタ 技術センター 土木研究部	主査	岸下 崇裕
(株)トーヨーアサノ 技術工事部	統括部長	林 隆浩
(株)地盤試験所	技術部長	宮坂 享明
(株)地盤試験所	技術部 課長	坪井 秀樹