

差分法による杭打ちの一次元波動方程式解析法の開発 (その2:先端支持杭への適用事例)

杭打ち マッチング解析 事例

(株)ジオトップ 正会員 小嶋英治
 金沢大学 学生会員 脇坂誉志
 (株)ジオトップ 正会員 桑山晋一
 金沢大学 国際会員 松本樹典

1.はじめに 本報告(その2)では、その1で開発した杭打ち解析プログラムを実杭へ適用した事例を述べる。

2.適用対象杭 解析対象は、長さ8m、直径400mmの均一断面を有するコンクリート杭(表1参照)である¹⁾。この杭は、周面摩擦が作用しない条件で地盤孔内に設置され、杭先端に厚さ10mmのゴム板を4枚敷いている。この杭に対して、重錘の自由落下による衝撃载荷試験と静的押込み試験が実施された。マッチング解析においては、杭頭から下方0.9mの位置で計測したひずみと加速度を用いて、杭頭の衝撃力を求め、これを杭頭の境界条件(衝撃荷重)として使用した。

表1 杭条件

杭長	8 m
断面積	$72.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
ヤング率	$3.922 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
伝播速度	4636 m/s
密度	1.825 ton/m ³
杭質量	1.05 ton

3. マッチング解析結果

3.1 Case 1 図1が解析に用いた杭先端地盤モデル(Deeks & Randolph, 1993)である。このモデルが有する地盤定数は、式(1)に基づいて決定した。ここでGは地盤のせん断剛性、rは杭半径、νはポアソン比、V_sは地盤のせん断波速度、そしてρ_sは土密度である。図2に示す静的押込み試験結果からバネ定数k_bを求めた。求めたk_bから式(1)に基づき、せん断剛性Gを逆算し、減衰定数c_bおよび付加質量M_bを順に求めた。ポアソン比νを0.3、土密度ρ_sを1.8 ton/m³とした。その結果をマッチング解析における地盤抵抗パラメーターの初期値として表2に示す。Case 1での重錘の落下高さは1.1mである。その時の杭頭荷重を図3に示す。杭頭から0.9mの測定位置での、力および速度波形のマッチング結果はそれぞれ図4と図5である。力および速度波形の両マッチング結果とも、周期は良く一致しているものの、解析値では実測値に見られるような減衰はしていない。これは実験概要で述べたように、杭先端にゴムを敷いているため、静的押込み試験結果から求めたk_bの値が実際の地盤のそれよりも小さく、式(1)から算定した減衰定数が実際よりも小さかったと言える。実際は地盤への逸散減衰が影響しているため、実測値には減衰が見られる。

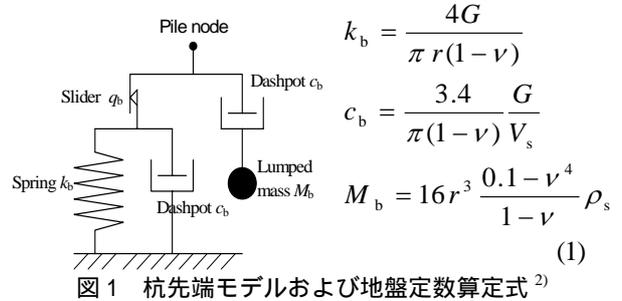


図1 杭先端モデルおよび地盤定数算定式²⁾

表2 地盤定数(初期解析)

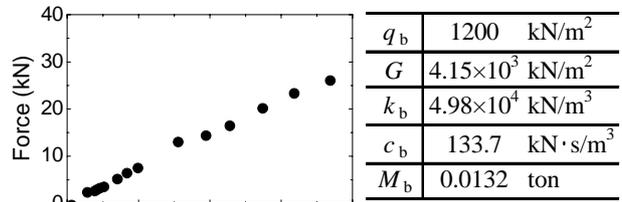


図2 静的押込み試験結果

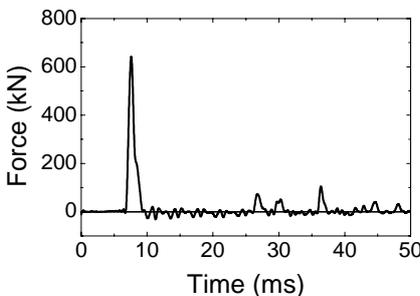


図3 杭頭入力波形

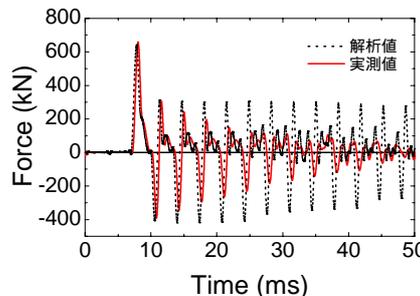


図4 力波形のマッチング結果(1)

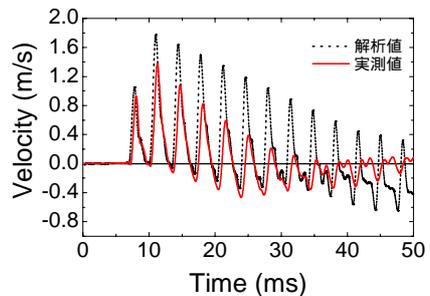


図5 速度波形のマッチング結果(1)

“Development of finite-difference analysis method for wave propagation in pile (Part2: Case of an end-bearing pile)”

Eiji Kojima, Shinichi Kuwayama (Geotop Corp)
 Takashi Wakisaka, Tatsunori Matsumoto (Kanazawa University)

そこで c_b の値を $800 \text{ kN} \cdot \text{s}/\text{m}^3$ まで大きくしてマッチング解析を行った。この時の地盤定数を最終解析値として表 3 に示す。杭条件は表 1 と同じである。力波形および速度波形のマッチング結果をそれぞれ、図 6 と図 7 に示す。力波形および速度波形の両マッチング結果とも、解析値は実測値と非常に良く一致した。

表 3 地盤定数(最終解析)

q_b	1200 kN/m^2
G	$4.15 \times 10^3 \text{ kN}/\text{m}^2$
k_b	$4.98 \times 10^4 \text{ kN}/\text{m}^3$
c_b	800 $\text{kN} \cdot \text{s}/\text{m}^3$
M_b	0.0132 ton

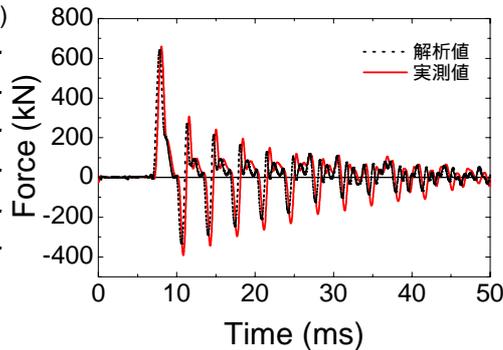


図 6 力波形のマッチング結果(2)

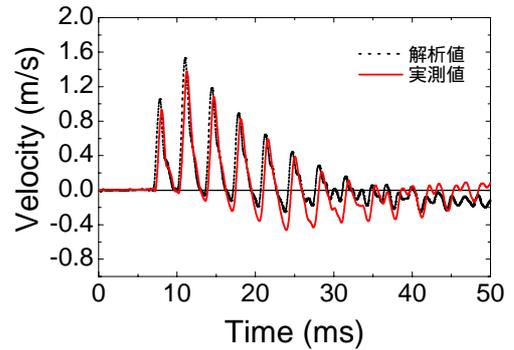


図 7 速度波形のマッチング結果(2)

3.2 Case 2 適用対象杭、実験条件および表 3 に示す地盤定数を変えることなく、Case 1 とは異なる重錘の落下高さによる打撃試験の予測解析を行った。Case 2 では重錘の落下高さは 0.9 m である。この時の杭頭載荷荷重を図 8 に示す。測定位置での力波形の予測結果が図 9 である。Case 2 の場合においても測定値と解析値が非常に良く一致した。よって、マッチング解析で求めた最終地盤定数は妥当であったと言える。

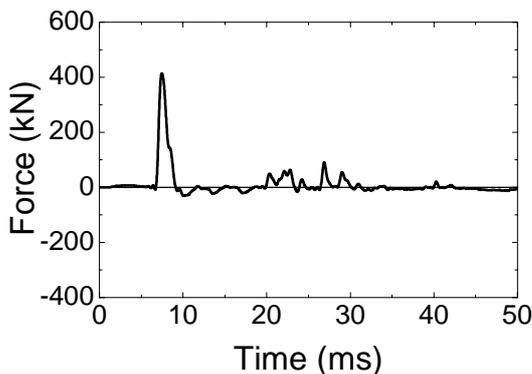


図 8 杭頭入力波形

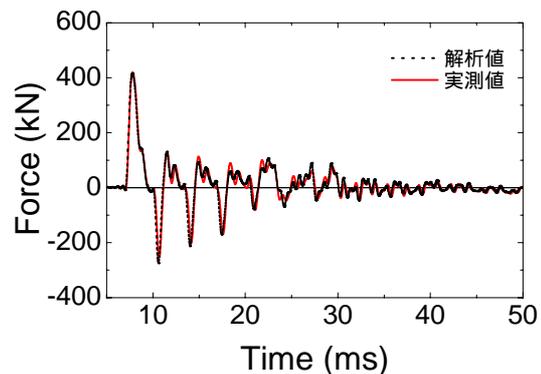


図 9 力波形の予測結果

4. 静的載荷解析 杭打ち解析で用いたプログラムにより、杭頭の静的載荷における杭の挙動を解析した。杭および地盤条件は表 1 および表 2 に示すとおりである。図 10 が杭頭の荷重-沈下関係である。静的載荷解析においても、解析値と実測値が非常に良く一致していることがわかる。解析では 50 kN の荷重を 10 秒間で載荷した。この時間は入力波が杭を約 2900 往復するだけの時間に対応している。この場合、杭中に生じる波動現象をほぼ無視できていると言える。

5. 結論 本報告その 1 で開発した杭打ち解析プログラムを用いてのマッチング解析において、測定結果を非常に良く再現することができた。このマッチング解析で求めた地盤定数を用いて、載荷荷重が異なる試験の予測解析にも成功した。同時に静的解析も可能であり、新たに開発したプログラムの有用性が確かめられた。

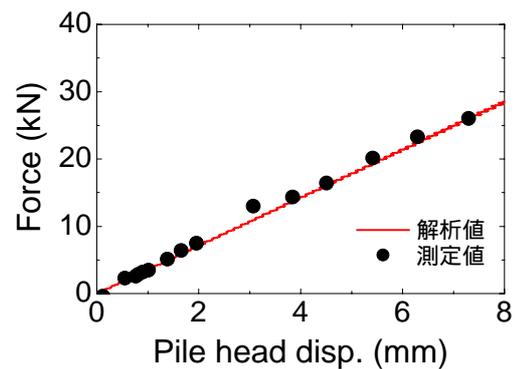


図 10 静的載荷解析結果

参考文献

- 1) 小嶋英治、桑山晋一(2003): 杭の衝撃載荷試験システムの開発と実験による検証. 第 48 回地盤工学シンポジウム: 99-106.
- 2) Deeks AJ & Randolph MF(1993): Analytical modeling of hammer impact for pile driving. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 17: 279-302.