

杭基礎のハイブリッド解析法における動的相互作用に関する考察 (その4: 動的相互作用係数の決定手法)

正会員 ○園田 隆一*
正会員 松本 樹典**
正会員 Kitiyodom Pastsakorn ***

動的相互作用係数 動的 FEM 解析 静的 Kelvin 解
動的 Kelvin 解 縦波 横波

1. はじめに

筆者らは、ハイブリッド解析法に基づく杭基礎の簡易三次元動的変形解析法¹⁾²⁾に地盤ばね間の動的相互作用係数を導入することを目的として検討³⁾⁴⁾を進めている。その³⁾⁵⁾では、動的鉛直集中荷重に対するMindlin問題と重ね合せKelvin問題の動的FEM解析結果を比較することにより、動的な問題においても、重ね合せKelvin解析結果は、動的Mindlin解析結果にほぼ一致することを確認した。

これらの検討結果に基づき、動的 Kelvin 問題による鉛直および水平変位が、時間とともにどのような挙動をしながら静的 Kelvin 解に漸近するのかを明らかにすれば、動的相互作用係数を決定することができる。

本報告では、松岡・八幡⁶⁾によって導かれた衝撃荷重が原点に作用する場合の動的Kelvin解と動的集中荷重に対するKelvin問題の動的FEM解析結果を比較検討することにより、動的相互作用係数の決定手法を提案する。

2. 松岡・八幡(1980)の理論とそれに基づく動的相互作用係数決定手法の提案

図1の細線は、ある地点における静的Kelvin解で求められる変位を1とした場合に、松岡・八幡の理論解より得られる縦波と横波による変位の割合を示している。横軸はある地点における波の到達時間を縦波到達時間 t_1 で除してある。太線は、提案する動的相互作用係数の時刻歴で、縦波が到達した時刻より変位が矩形に立ち上がり、横波が到達した時点で縦波による変位と横波による変位が足し合わされることにより、静的Kelvin解に一致する。

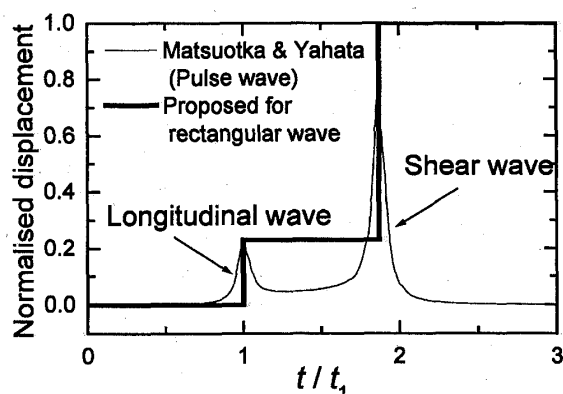


図1 松岡・八幡(1980)の理論に基づく動的相互作用係数決定手法の概要

2. 動的 FEM 解析と提案方法の比較

2.1 解析概要

図2に動的 FEM のメッシュを示す。問題の対称性を考慮して、地盤の半分をモデル化した。対称面の y 方向変位および底面の全方向変位を完全固定した。表1に設定した地盤条件を示す。図3に載荷荷重を示す。荷重は、解析結果の安定性を考慮し、原点($x=y=z=0$)に $t=0 \sim 0.05$ s まで動的鉛直集中荷重を 500 kN となるよう比例的に増加させ、その後、500 kN を与え続けた。なお、解析時間は縦波が地盤境界に達する時間($t=0.32$ s)に立ち上がり時間を加えた 0.37 s までとした。

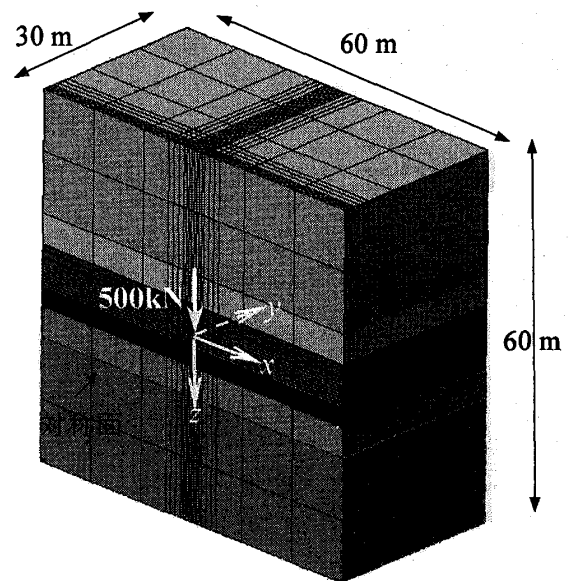


図2 動的 Kelvin 問題解析に用いた FEM メッシュ

表1 地盤材料諸元

Property	value
Young's modulus, E (kPa)	11700
Poisson's ratio, ν	0.30
Shear modulus, G (kPa)	4500
Density, ρ (ton/m ³)	1.8
Longitudinal wave velocity, c_1 (m/s)	93.5
Shear wave velocity, c_2 (m/s)	50

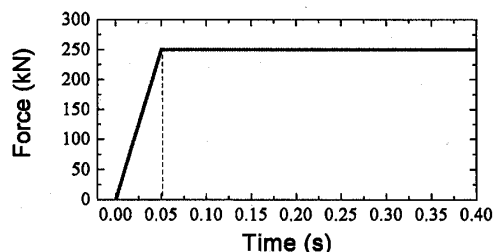
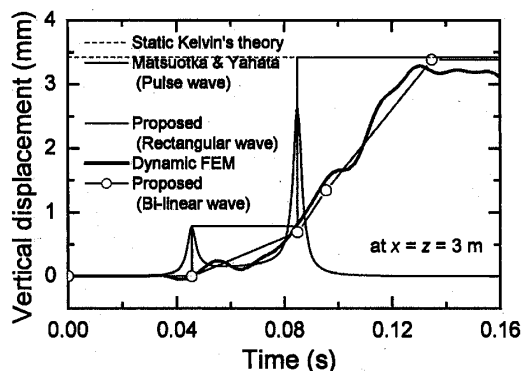
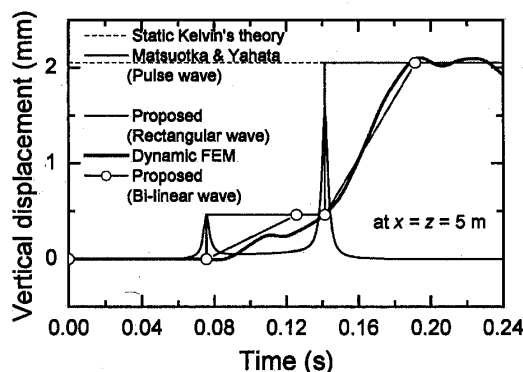


図3 載荷荷重

2.2 解析結果

図4, 図5に, $x = z = 3 \text{ m}$ および $x = z = 5 \text{ m}$ の地点における動的 FEM 解析結果に対する鉛直変位の時間変化を示す。同図には, 静的 Kelvin 解, 松岡・八幡の理論解および提案方法に基づく動的相互作用係数に対する鉛直変位の時間変化を示す。図中, 白丸線は載荷荷重が 500 kN に達するまでの時間 $t = 0.05 \text{ s}$ を考慮した縦波と横波の挙動を松岡・八幡の理論に基づいて記載した提案手法である。

両図とも, 動的 FEM 解析における最大荷重到達時間を考慮した提案手法は, 動的 FEM 解析結果の変位挙動とよく一致している。したがって, FEM 解析結果の安定性を考慮して Bi-Linear 型に設定した載荷荷重を完全矩形型とすれば, 縦波が到達した時刻より変位が矩形に立ちあがり, 横波が到達した時点で縦波による変位と横波による変位が足し合わされることにより, 静的 Kelvin 解に一致することは容易に想像がつく。

図4 動的 FEM 解析と提案方法の比較 ($x = z = 3 \text{ m}$)図5 動的 FEM 解析と提案方法の比較 ($x = z = 5 \text{ m}$)

2.3 動的的水平集中荷重が作用した場合の動的相互作用係数決定手法

図6に, $x = z = 3 \text{ m}$ の地点における松岡・八幡の理論に基づく鉛直変位 (太線) と水平変位 (細線) を示す。縦波と横波による水平変位は鉛直変位と相関関係にあることがわかる (式(1))。したがって, 松岡・八幡の理論により鉛直方向の動的相互作用係数を決定すれば, 水平方向の動的相互作用係数はその相関性より決定することができる。

$$\frac{c_1 u}{c_1 W} = \frac{c_2 u}{c_2 W} = \text{一定} \quad (1)$$

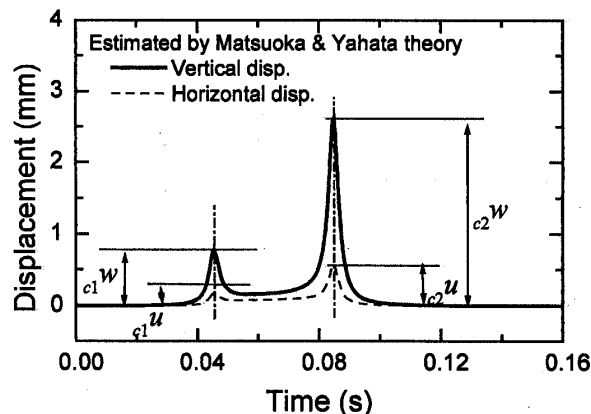


図6 松岡・八幡(1980)の理論に基づく鉛直変位と水平変位に対する動的相互作用係数の相関性

3 まとめ

静的 Kelvin 解と松岡・八幡の理論を組み合わせることにより, 動的相互作用係数を決定する手法を提案した。本提案法の妥当性は, 動的 Kelvin 問題の FEM 解析結果との比較・考察によって, 示された。

参考文献

- 1) Kitiyodom, P., Sonoda, R., Matsumoto, T. (2005): Simplified analysis of single pile subjected to dynamic active and passive loadings, *Proc. Int. Symp. on Frontiers in Offshore Geotech.*, Perth, pp. 837-843.
- 2) Sonoda, R., Kitiyodom, P., Matsumoto, T. (2005): Simplified dynamic analysis of pile group subjected to horizontal loadings, *ditto*, pp. 845-851.
- 3) 園田 隆一, 酒井 智則, 松本 樹典, Kitiyodom P. (2006). 杭基礎のハイブリッド解析法における動的相互作用に関する考察 (その1: 静的 Kelvin 解の応用), 第41回地盤工学研究発表会.
- 4) 酒井 智則, 園田 隆一, 松本 樹典, Kitiyodom P. (2006). 杭基礎のハイブリッド解析法における動的相互作用に関する考察 (その2: 動的 Kelvin 問題の応用), 第41回地盤工学研究発表会.
- 5) 松本 樹典, 園田 隆一, Kitiyodom P. (2006). 杭基礎のハイブリッド解析法における動的相互作用に関する考察 (その3: 水平載荷に対する動的 Kelvin 問題の応用), 日本建築学会大会学術講演梗概集.
- 6) 松岡 理, 八幡 夏恵子(1980).三次元均質等方弾性体動問題の基本解とその応用 (Mindlin 問題 その1), 日本建築学会論文報告集, 第288号, pp. 73-84.

*金沢大学大学院 博士後期課程学生・工修

**金沢大学大学院 教授・工博

***金沢大学大学院 助手・工博

*Doctor Student, Kanazawa University, M. Eng.

**Professor, Kanazawa University, Dr. Eng.

***Research Associate, Kanazawa University, Dr. Eng.