

I-B415

地盤—構造物間の相互作用の非線形性を考慮した FEM 動的応答解析

大成建設(株) 土木設計第1部 正会員 福岡研一 立石章 志田智之
大成建設(株) 技術研究所 正会員 岡本晋 坂下克之

1. はじめに

近年、土木構造物の耐震設計を行う際に逐次積分法による動的 FEM 解析を行う必要性が増えてきている。このとき、地盤の非線形性を考慮に入れて解析を行う場合には、従来であれば R-O モデルや H-D モデルなどの非線形モデルが適用されてきた事例が多い。しかし、相互作用による垂直ひずみを受ける場合や、数パーセントにも達するような大きなひずみを受ける場合、さらには 3 次的に荷重が載荷される地盤を対象とする際には、高度な理論より導かれる複雑なモデルを用いて解析を行う必要があった。

著者らはこのような状況下でも適用できる簡便な地盤の非線形モデルを開発し、大型振動実験の結果を数値シミュレートすることで、このモデルの適用性を検証した。

2. 大型振動台によるケーソン基礎の振動実験

本研究では大型振動台を用いて、地震時の構造物の挙動を評価する模型振動実験を実施した¹⁾。構造系としてはケーソン基礎を対象に考え、実験時の模型を剛体としている。この模型は図-1 に示すせん断土槽中に作成する高さ 1.5m×長さ 2.7m×幅 1.2m の砂層地盤に設置されるものとする。また、地盤は液状化の影響を考えず、気乾状態の 4 号ケイ砂を使用した。砂の物性値については 3 種類の拘束圧に対して大ひずみレベルでの中空ねじり試験を実施した²⁾、模型振動実験の地盤の初期拘束圧を考慮している。物性値の一覧を表-1 に示す。

入力地震動には兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で観測された加速度記録(NS 成分)を用いた。ただし、入力地震波の振動数特性が模型地盤の卓越振動数に近づくように、時間軸を 2/5 に縮小した波(図-3)を水平 1 方向加振に用いている。

3. 有限要素法による動的非線形解析

模型振動実験を数値解析するために用いた 3 次元 FEM モデルを図-2 に示す。地盤の非線形特性を Shawky モデル³⁾と複合履歴モデル⁴⁾により表現し、地盤モデルの違いによる解析結果の比較を行った。

地盤の加速度ならびに変位の最大値分布を図-4 に示す。加速度最大値分布によると、いずれの地盤モデルを用いても実験結果と大きな違いが見られない。しかし、図-5 に示した地表面(Point-A)の加速度時刻歴と比較をすると、応答波形に大きな違いがみられる。Shawky モデルでは相互作用の影響を考慮に入れた非線形解析を行えるが、その構成則の基本的な考え方は R-O モデルと Masing 則をテンソルにより表記したものであるため、地盤要素が大きなひずみを受ける場合には実地盤よりも剛性が低下しにくい。このため加速度波形に高周期成分が多く、位相も異なる結果となった。一方の複合履歴モデルを用いた解析では、加速度応答波形が振動実験の結果を精度良く再現している。ちなみに、複合履歴モデルを用いたときの Point-B の変位、ならびに Point-C の加速度時刻歴を図-6 に示す。この結果からも高い精度で実験結果をシミュレートしていることが確認できる。

また図-4 の地盤の変位最大値分布では、Shawky モデルは地盤の剛性が低下しにくいことから変位量が実験結果よりも小さくなっているが、複合履歴モデルでは実験結果と同程度の変位量が生じている。ちなみに、実験結果から地盤内に 1% 程度のせん断ひずみが発生していることがわかる。また、構造物周辺では 5% の最大せん断ひずみが発生していることから、複合履歴モデルは大ひずみレベルでの相互作用問題にとって、有効な非線形モデルであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、複合履歴モデルを用いて 3 次元 FEM 動的応答解析を実施した。その結果、レベル 2 地震動に対するケーソン基礎の動的特性を精度良く評価することが出来た。現時点では、定性的・定量的な検討を十分に行っていないが、今後はより多くの事例に適用してこの非線形モデルの妥当性を検証していく予定である。

キーワード：動的非線形解析、動的相互作用、3 次元解析

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 TEL 03-5381-5289 FAX 03-3345-1914

参考文献 1)岡本晋 他：レベル2地震動入力時のケーソン基礎の模型振動実験、第25回地震工学研究発表会、1999（投稿中）。 2)福岡研一、後藤聡、岡本晋、坂下克之：大きなせん断ひずみを受ける砂の非線形挙動、土木学会第53回年次学術講演会概要集第Ⅲ部(A)pp.314～315、1998。 3)福岡研一、立石章、志波由紀夫：垂直ひずみによる剛性低下を考慮した構造物－地盤相互作用解析に用いる地盤非線形モデルの検討、土木学会第52回年次学術講演会概要集第Ⅰ部(B)pp.746～747、1997。 4)福岡研一 他：大きなひずみレベルでの動的相互作用問題に適用可能な地盤非線形モデルの提案、第25回地震工学研究発表会、1999（投稿中）。

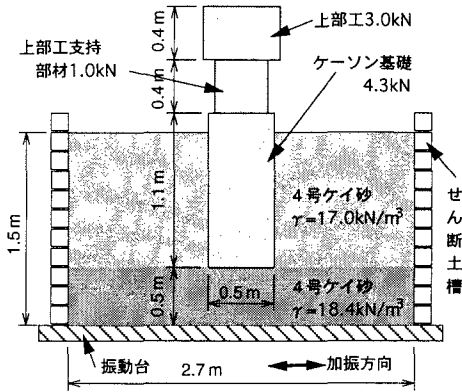


図-1 大型模型振動実験の概要

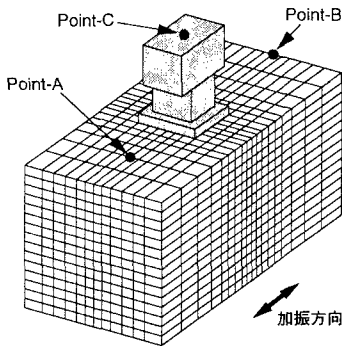


図-2 3次元FEM解析モデル

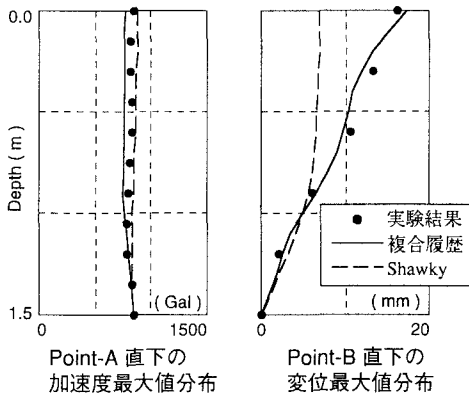


図-4 地盤の応答最大値分布

表-1 4号ケイ砂の基本物性

拘束圧 σ'_c (kN/m ²)	剛性 G_0 (MN/m ²)	最大減衰定数 h_{max} (%)	基準ひずみ γ_r
4.9	33.2	33.1	1.47×10^{-2}
19.6	42.4	34.2	2.06×10^{-2}
29.4	51.4	34.6	2.96×10^{-2}

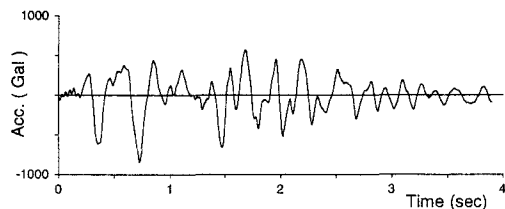


図-3 入力加速度波形

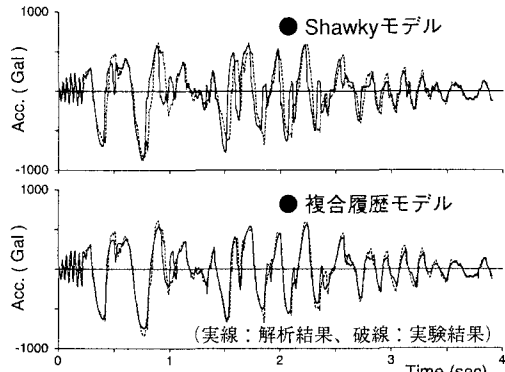


図-5 Point-Aの加速度時刻歴の比較

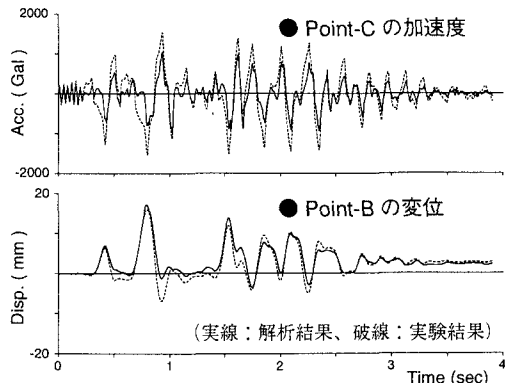


図-6 複合履歴モデルによる応答時刻歴