

PS I - 20 表層地盤の地震動解析のための疑似三次元モデル

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎

東京大学生産技術研究所 正員 小長井一男

1. 緒言

表層地盤、およびここに設置される構造物の地震時挙動は、着目している地点の地質構成が、広く一様に分布しているという想定のもとに検討されることが多い。しかし溺れ谷地形に発達した沖積地盤の場合のように三次元的に複雑な地形条件下では、この地形が地震動に著しい影響を与えることが、震害調査も含めた実証的研究によって明確にされつつあり、その解明は基礎構造物、地下構造物の耐震設計上必要不可欠である。本報告では、この目的のため筆者が開発した疑似三次元地盤モデルを概説し、このモデルの応用の妥当性について検討した。

2. モデルの概要

提案したモデルは、バネ一質点系とこれを連結する平面の有限要素網からなるハイブリッドモデルである。まず当該表層地盤を三角柱、あるいは四角柱状の地盤要素に分割し、その各々をせん断1次振動状態で等価なバネ一質点系に置き換える。そして各々の質点を、要素間相互の力学的釣合状態を表現すべく平面応力状態の有限要素網で連結し地盤モデルを構築する（Fig. 1）。平面要素の各節点*i*における等価ヤング率 E_i 、並びに質量 m_i は、深さ方向のヤング率並びに密度分布、 $E'_i(z)$ 、 $m'_i(z)$ に土柱のせん断1次振動モード $F_i(z)$ の重みを掛けこれを積分する形で以下のように算定される：

$$E_i = \int_0^H E'_i(z) F_i(z) dz \quad (1)$$

$$m_i = \int_0^H m'_i(z) F_i(z) dz \quad (2)$$

但し、ここで用いるモード $F_i(z)$ は以下の形で標準化されており、このため各節点の質量（式（2））は当該地点の単位面積を断面とする土柱の総質量と一致する。

$$F_i(z) = f_i(z) / \left(\int_0^H m'_i(z) f_i(z) dz / \int_0^H m'_i(z) dz \right) \quad (3)$$

各要素の質点の質量、ならびに各平面要素の等価ヤング率は式（1）、式（2）で得られた値に柱状要素の断面積の重みを乗じて最終的に決定される。

3. モデルの妥当性の検証

これまでに実地盤を対象に本モデルによる地震応答の解析を行い、観測記録と比較しよい符合の得られることを確認している。著者らはさらにこの数学モデルの特性、妥当性を検討するため、ゼラチンを表層地盤の模型材料として溺れ谷状地形の模型を作製し振動実験を行い、その結果を本モデルによる解析解と比較した。

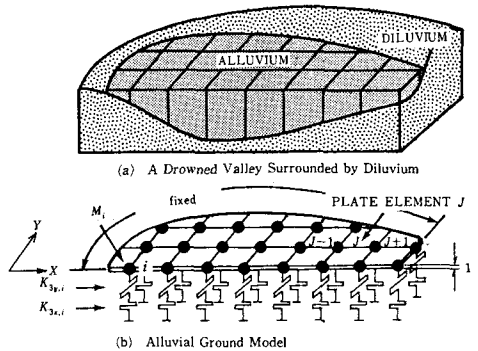


Fig. 1 Quasi-Three-Dimensional Ground Model

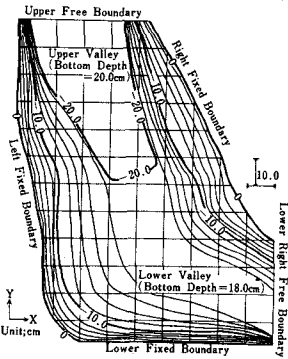


Fig. 2 Ground Model for Experiment

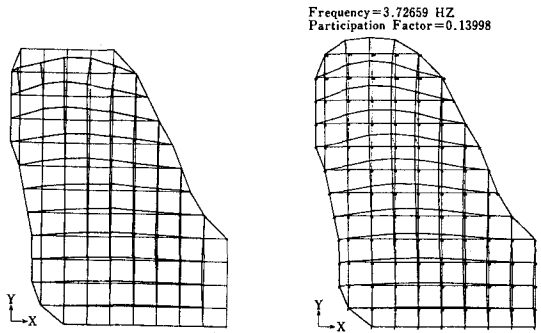


Fig. 3 Fundamental natural Mode of Vibration

Fig. 2 は、表層地盤表面の標高を0.0mとして示した基礎岩盤の等深線である。図の上半部の表層厚が最も大きく20cmとなっている。この模型実験でえられた卓越振動モード（一次）とこれに対応する解析解との比較を Fig. 3に示す。第二次以上の固有振動モードでは一部一致しない箇所があり、高次振動の取り扱いで今後更に検討を進める必要があるが、基本振動モードについては予想されたように実験結果をかなりの精度で再現しうることが示された。この基本振動数の解析解は実測値より2.2%大きく評価されている。

4. 基礎構造物と地盤の相互作用の評価

基礎構造物の動的解析では、地盤のせん断一次の固有振動数を大幅に越える高い振動数領域まで考慮する状況も考えられる。この場合には提案の数学モデルを直接適用すると精度が低下することが予想される。しかし、基礎がケーソンのように剛なものの場合、これを取り巻く地盤の高次振動は大きく拘束されるから、表層地盤部分を疑似三次元地盤モデルで置き換えて解析できることが期待される。Fig. 4 は田治見により求められた弾性波動論によるケーソン側方地盤の複素剛性の厳密解と、波動逸散を考慮した疑似三次元地盤モデルによる近似解との比較である。両者は極めて良く一致しこの分野でも本モデルを活用しうる可能性を示唆している。

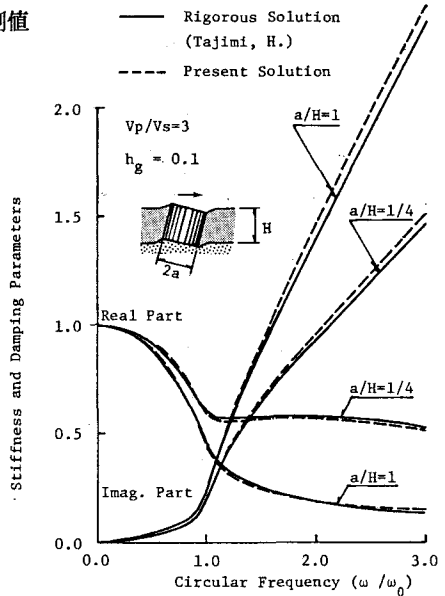


Fig. 4 Variation of Stiffness with Frequency

5. まとめ

提案した地盤モデルでは表層地盤深さ方向のせん断二次以上の高次振動を考慮の対象から外しているが、三次元FEMと比較して三次元的地盤構造が地震応答に与える影響を簡便に、かつ合理的に評価できるメリットは大きい。しかし地盤状況、特に基礎岩盤などの深さの変化が著しい場合や、せん断の高次モードの寄与が目立ってくる場合に対しては、さらにこのモデルの改良を検討する必要がある。最後に本研究を実施するにあたり鈴木猛康、稲森光洋、池田隆明の各氏の協力があつた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) Tamura, C., and T. Suzuki ; A Quasi-Three-Dimensional Ground Model for Earthquake Response Analysis of Underground Structures — Construction of Ground Model, "SEISAN-KENKYU", Vol. 39 No. 1, 1987.