

## I-642

## 軟弱な不整形表層地盤の応答解析の簡便化

○ 東京大学生産技術研究所 正員 小長井 一男  
日本大学生産工学部 正員 田村 重四郎

## はじめに

軟弱な不整形表層地盤全体の応答解析は地下に埋設される構造物の耐震性を論ずる上で重要である。この目的のため田村らが提案した擬似3次元地盤モデル<sup>1)</sup>では不整形な表層地盤は図1に示すようなせん断土柱に分割される。各々の柱は、その基本振動モードを考慮した振動子に置き換えられ、さらに水平に広がった2次元有限要素網で連結され、モデルの完成となる。このモデルでは解析の簡便化のために(1)振動子を連結する有限要素網を平面応力状態とする(2)深さ方向の振動モードを、土柱の1次せん断振動モードと近似する、(3)土柱間の変形を直線的に変化させるという3つの主要な仮定が採用されている。本報では2次元地盤を対象として(1),(2)の仮定について検討を行ない、本手法の妥当性、適用上の限界に触れる。

## 平面応力状態の仮定

一般に水平に広がった軟弱な表層地盤を解析する場合、地盤の上下動が水平動に比べて小さいものとしてこれを無視することが多い。この簡便化は表層地盤の不整形性が顕著でない場合には有効であるが、基盤の起伏が大きく上下動が無視できない場合には上下方向の応力を0と近似するほうが妥当とも考えられ、擬似3次元モデルの仮定(1)は後者に対応する。この仮定を検証するため矩形の表層地盤の固有振動数を2つの仮定の下で算定した。上下動を無視した場合(平面ひずみ状態)と応力を0とした場合での固有振動数  $f_{nm}$  はともに同じ形の式で以下の様に表現できる。

$$f_{nm}/f_0 = \sqrt{1 + (H/L)^2 (n/(2m-1))^2 (V_p/V_s)^2}$$

ただし  $f_0 = V_s/4H$ ,  $V_p = \sqrt{\lambda^* + 2\mu/\rho}$ ,  $\lambda^* = \lambda$  (平面ひずみ状態),  $\lambda^* = 2\lambda\mu/(\lambda + 2\mu)$  (平面応力状態),  $\lambda, \mu$  = ラメの定数,  $V_s$  = せん断波速度。図2はこの固有振動数の細長比  $H/L$  による変化を厳密解(FEM)と比較したものである。2つの仮定による近似解の差はポアソン比が0.5に近づくほど顕著になるが、平面応力状態を仮定した方がより厳密解に近い結果を与えることが示されている。

## 深さ方向の振動モード

基盤の深さが急激に変化する場合、あるいは加振周波数が地盤の1次の固有振動数を大きく上回る場合は土柱の深さ方向に要素を分割する必要が生ずる。しかしながら擬似3次元モデルの簡便さを損なわないためにはこの分割数を極力少なくすることが望ましい。そこで要素内の深さ方向の変位分布を要素の支配方程式および両端での境界条件を満たす多項式(3次式)で表現すると、時刻歴あるいは周波数領域でも伝達マトリックス法による応答解析が可能になる。図3に示すような不整形地盤の基盤を深い部分の土柱の固有振動数の3倍に当たる1.5Hzで加振したときのこの土柱の時刻歴応答を同図(b),(c)に示す。この図の(d)は差分法による厳密解である。わずかな分割数の増加で応答の計算値が大きく改善される様子が示されている。

## まとめ

擬似3次元地盤モデルの解析上の仮定について検討した。モデルを構成する振動子を連結する有限要素を平面応力状態とすることで地盤の上下動の影響を近似的に解析結果に反映できること、また深さ方向に複雑な振動モードが現れる場合には3次曲線状に変形する要素を用いることで本手法の適用範囲を拡張し得ることが示された。

1) Tamura C. et al., Proc., 9th WCEE, Vol.II, pp.665-670, 1991.

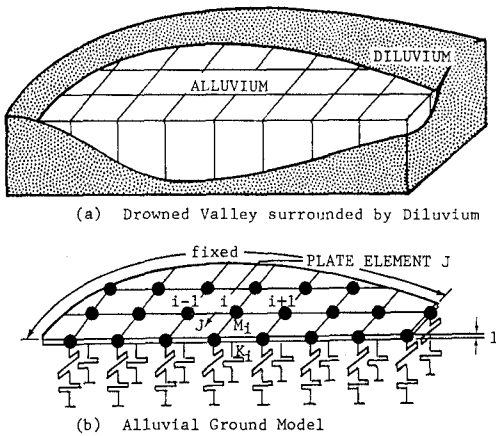


図1 擬似3次元地盤モデル

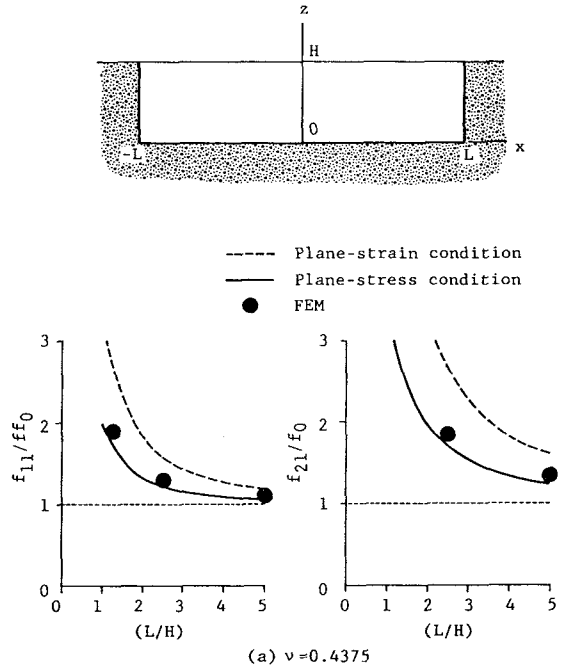
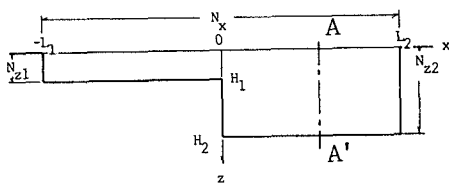
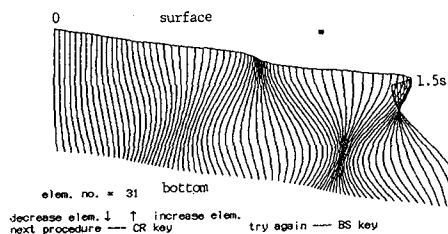


図2 矩形表層地盤の固有振動数



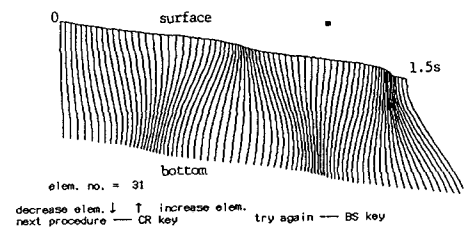
$V_s = 120 \text{ m/s}$   
 $V_p = 600 \text{ m/s}$   
 $\rho = 1.6 \text{ t/m}^3$   
 exciting frequency = 1.5 Hz  
 $N_x, N_{z1}, N_{z2}$ : Number of slices

Time history of displacement along z axis  
 ... scale = .5  
 .. Element No. = 31



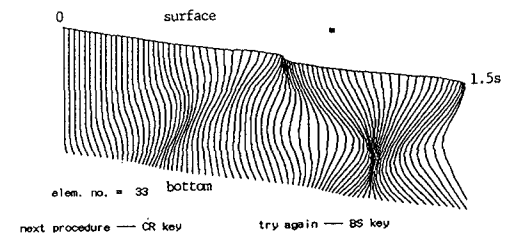
(c) Transfer matrix approach ( $N_{z2}=3$ )

Time history of displacement along z axis  
 ... scale = .5  
 .. Element No. = 31



(b) Transfer matrix approach ( $N_{z2}=2$ )

Time history of displacement along z axis  
 ... scale = .5



(d) Finite difference method ( $N_{z2}=12$ )

図3 不整形地盤内(断面 AA')の時刻歴応答