

岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和
東洋建設（株） 正員 ○合田 和哉

1. まえがき

本研究は、地盤と構造物基礎の3次元動的相互作用問題を、特にその地震応答解析に主眼を置いて扱ったものである。解析手法として、境界要素法（BEM）および有限要素と境界要素のハイブリッド法（BEM-FEM）を適用し、地盤を3次元半無限体としての基礎の応答自由度における地盤インピーダンス関数および有効入力を評価した。さらに、入力地震波として平面波（SV波）を採用し、波動伝播を考慮した地盤-基礎系の応答解析を行った結果、その重要性を示した。

2. 定式化

【境界要素法】地盤を半無限地盤を有する層状地盤とし、深さ方向の離散化を行った。座標系には円筒座標系を選び、応答を周方向に関するフーリエ級数展開（ $n=0,1$ ）により表した。そして、間接法により地盤と基礎のインターフェイス上における境界積分方程式を導き、インピーダンス関数を定義した。

グリーン関数¹⁾ 加振外力として、フーリエモード（ $n=0,1$ ）に対応したシリンドラ外力とディスク外力を採用した。各加振パターンに対するグリーン関数の評価は、まず波数領域において、基礎と地盤のインターフェイス上の離散節点における変位解および応力解を求める。この際、3次元波動論より得られるトランスファー・マトリックス法の定式化より、各層および半無限地盤に対する動的剛性マトリックスを定義し、スティッフネス法を用いた。波数領域から振動数領域への変換には、逆ハンケル変換を施し、高速フーリエ・ベッセル変換を適用して効率的に行った。変位および応力のグリーン関数は、要素内で線形分布するものとして、線形内挿関数を用いて表した。

有効入力 入力地震波として、X 軸正方向に伝播する平面波（SV波）を仮定した（図1）。自然地盤内における平面波の応答解析には、トランスファー・マトリックス法を用いた。そして、波動伝播に関する項を波数に関するフーリエ級数展開で表し、自然地盤応答を $n=0,1$ のフーリエ振幅として表した。これらの自然地盤応答とインピーダンス関数より、有効入力を評価した。

地盤-基礎系の支配方程式 基礎を剛体と仮定して、その幾何学的条件から基礎重心に関するインピーダンス関数および有効入力を定義し、地盤-基礎系の支配方程式を導いた。

【ハイブリッド法】地盤-基礎系を、基礎とその近傍地盤から成る領域と、無限遠境界を持つその周辺地盤に分割する。無限遠境界を持つ周辺地盤領域の定式化には、上述の境界要素法を適用し、両領域のインターフェイス節点でのインピーダンス関数および有効入力を評価する。そして、基礎とその近傍地盤から成る領域には有限要素法を適用し、インターフェイス上での力のつりあい式と変位の適合条件から両領域の連成を図り、地盤-基礎系の解析を行っていく。

3. 数値解析例および考察

根入れを有する剛体ケーソンを解析対象とし、そのBEMモデルを図2に示した。各手法（BEM, FEM, BEM-FEM）によるインピーダンス関数を図3において比較した。ただし、これらはケース1において下方境界を剛基盤としたものである。図4では、鉛直入射に対する振動数応答をそれぞれ比較した。これらより、各手法とも地盤の振動特性を良く握っているのがわかる。図5、図6には、SV波が任意の傾斜角を持って入力した場合のフォーチング重心における有効入力動を、それぞれケース1およびケース2について、示した。ただし、これらは基盤面において単位の入射振幅を与えた場合の有効入力動であり、地表面上の応答振幅によって無次元化して表した。これらは、SH波の入射の場合と同様波動伝播を考慮した動的相互作用解析の必要性を示している。

《参考文献》1) Apsel, R.J. (1979) Dynamic Green Functions for Layered Media and Applications to Boundary Value Problem, Ph.D. Thesis, Univ. of Calif., San Diego, CA.

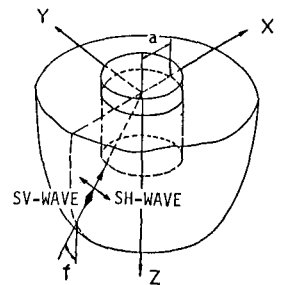


図1 平面波の入射

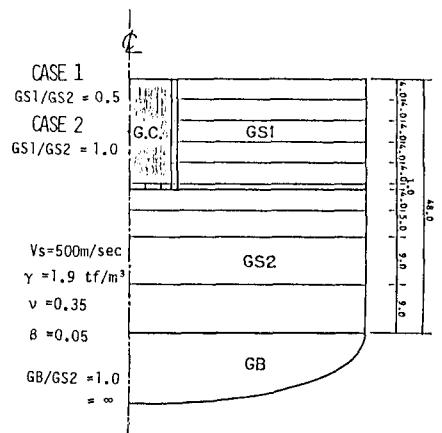


図2 BEMによる解析モデル

2) Takemiya, H. and Goda, K.: BEM Analysis of 3-D Soil-Structure Foundation Interaction For Incident Body Waves, 3rd Int. Conf. Soil Dyn. Earthq. Eng., Princeton, June 1987.

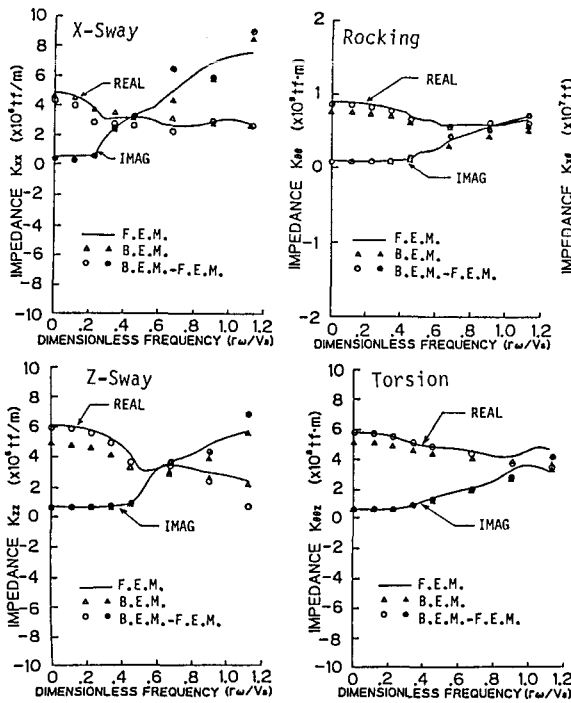


図3 ケーソン重心におけるインピーダンス関数

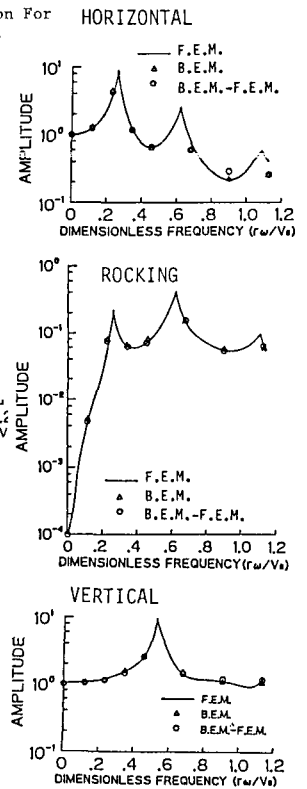


図4 ケーソン重心における振動数応答

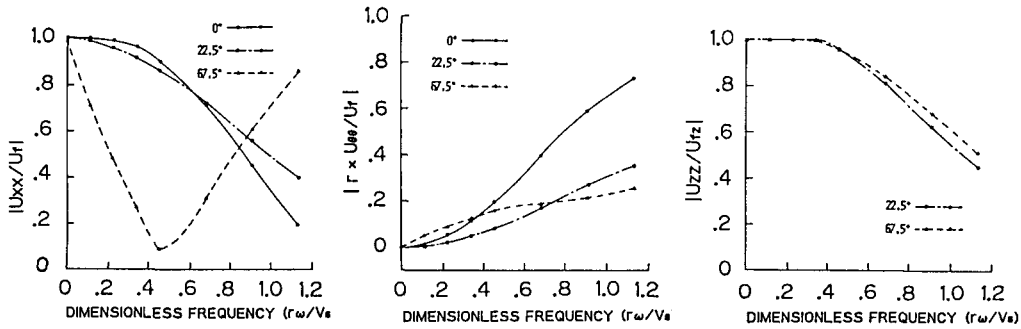


図5 有効入力動（ケース1）

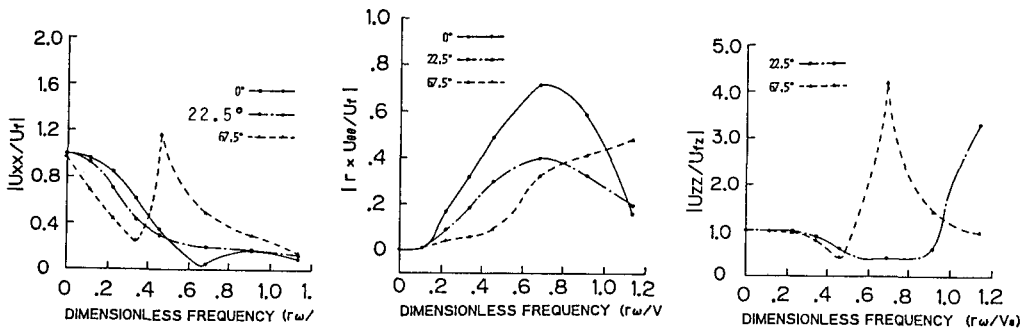


図6 有効入力動（ケース2）