

基礎と構造物の連成振動解析

京都大学工学部	正員	山田善一
京都大学工学部	正員	河野健二
電源開発(株)	正員	○ 龍本純也

1. まえがき

本報告は、基礎と地盤の動的相互作用を評価するために有限要素法を用いて解析を行ない、根入れのある基礎の場合の変位関数を求めて、地盤の剛性、減衰を定めようとするものである。基礎と地盤の動的相互作用を評価しようとする試みは Reissner 以来数多く行なわれてはいるものの任意の形状の基礎に適用できる解析結果は未だ求められていない。波動論に基づく解析では基礎と地盤の間の境界条件の設定が容易ではない。その点、有限要素法による解析では境界条件が比較的簡単であり任意形状の基礎を取り扱える利点を持っている。しかし、有限要素法では無限に続く地盤を有限の大きさで切ってしまうため、無限に広がってゆくはずの振動エネルギーを吸収するシステムが必要となる。本報告では、Lysmer が提案している Viscous Boundary を導入して有限要素法による解析の可能性を探るものである。

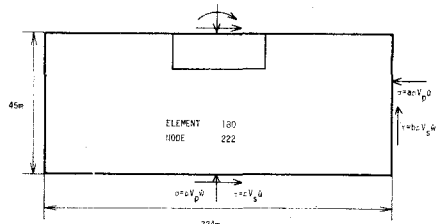


Fig. 1 FEM Model

は基礎と地盤の間の境界条件の設定が容易ではない。その点、有限要素法による解析では境界条件が比較的簡単であり任意形状の基礎を取り扱える利点を持っている。しかし、有限要素法では無限に続く地盤を有限の大きさで切ってしまうため、無限に広がってゆくはずの振動エネルギーを吸収するシステムが必要となる。本報告では、Lysmer が提案している Viscous Boundary を導入して有限要素法による解析の可能性を探るものである。

2. 解析

1) モデル 本報告に用いたモデルは Fig. 1 に示すような根入れのある基礎を用い、鉛直振動、水平振動、ロッキング振動の3種の振動に対する変位関数 (Displacement Function) を求めた。

2) Viscous Boundary 波動エネルギーを吸収するシステムとして次式の境界条件を用いる。

$$\sigma = a \rho V_p \dot{u}$$

$$\tau = b \rho V_s \dot{w} \quad a, b \text{ インピーダンス比}$$

ただし、両サイドは Rayleigh 波が卓越するものとして Rayleigh 波吸収システムを、底部は実体波が卓越するものとして実体波吸収システムを用いた。これを、運動方程式内の減衰マトリックスとして導入して解析を行なった。

3) 計算手順

i) 系の運動方程式 $[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{P\}$ における $[M]$, $[C]$, $[K]$ マトリックスの作成

ii) 固有値解析してモーダルマトリックス $[Q]$ を求める。

iii) 固有値解析の結果を用いて運動方程式を変換して解く

$$\{f\} = (-\omega^2 [I] + [\omega_c^2] + i\omega [C])^{-1} \{f\}$$

$$\text{ただし } [Q]^T [M] [Q] = [I], [Q]^T [K] [Q] = [\omega_c^2], [Q]^T [C] [Q] = [C]$$

iv) iii) の結果を用いて次式で f_1 , f_2 を求める。

$$\delta_{\max} = \frac{P_0}{k_s N} \sqrt{\frac{f_1^2 + f_2^2}{(1 - b a_0^2 f_1^2) + (b a_0^2 f_2^2)}}$$

$$\tan \varphi = \frac{f_2}{-f_1 + b a_0^2 (f_1^2 + f_2^2)}$$

b: 質量比, a_0 : 無次元振動数, f_1, f_2 : 変位関数

3. 計算結果

Fig2は波動論の結果を利用して Vielak が求めたロッキング振動に対する近似解である。RHは基礎の深さを半径で割ったものであり、根入れの影響を表わす。この図は根入れが倍になったときの応答の影響が f_1 に大きくあらわれることを示している。Fig5はRH=0.5に相当するFEMを用いた解であり、太線が深さ54m、細線が45mの時のものである。これをFig2と比較すると低振動数においては若干 f_2 が低目に求まっているもののかなりの一致を示している。しかし、振動数が高くなると f_1 曲線にピークを生じてくる。次に鉛直振動をFig3とFig4で比較するとNovakによる近似解より f_1 がかなり大きく評価されていることがわかる。 f_2 に関しては深さ54mのモデルがかなりの一致を示しているものの少し小さく評価されている。これは変位関数はmasslessの基礎に対する応答に換算したものであるから、FEMによる解ではmassがはいっているんで、この影響が完全には取り除かれていない可能性があること。インピーダンス比の取り方にさらに改良の余地があること。Rayleigh波ばかりでなく実体波の取り扱い方も大きな要因となること。最後に、解析解が3次元な振動を許した基礎であるのに対して、このFEMモデルは2次元モデルであることなどが原因として考えられる。

4. あとがき

Lysmerによつて鉛直振動に対して解かれたFEMによる解析法が水平振動、ロッキング振動にも適用できることがわかった。これをもとと実用的な精度にするにはRayleigh波吸収システム、モデル化に改良の余地があるが、モデル化については、リング要素を用いた3次元解析で計算中である。

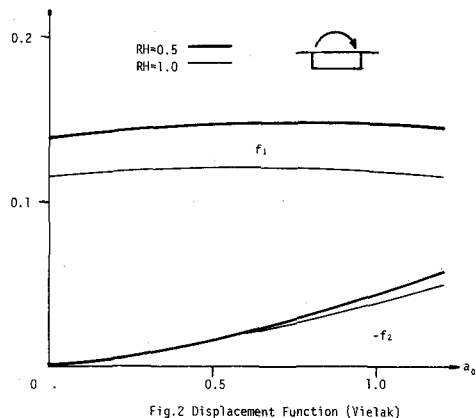


Fig.2 Displacement Function (Vielak)

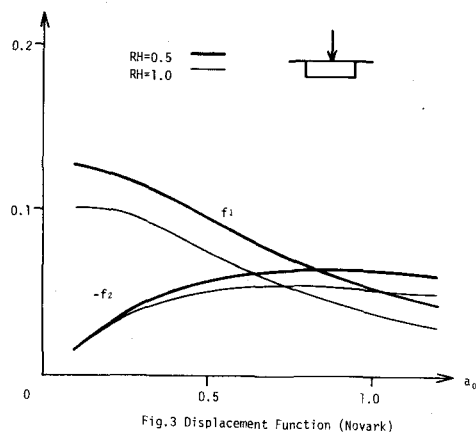


Fig.3 Displacement Function (Novak)

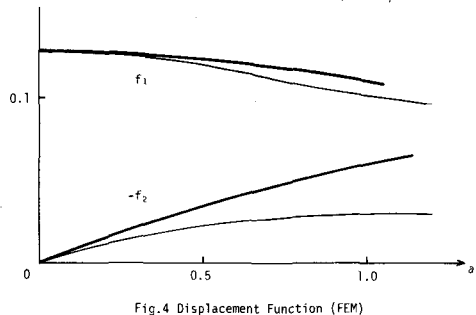


Fig.4 Displacement Function (FEM)

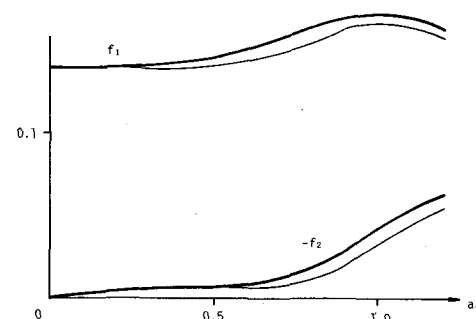


Fig.5 Displacement Function (FEM)

1) J. Bielak, "Dynamic Behaviour of Structures with Embedded Foundations," Earthquake Eng. & Structural Dynamics, Vol.3, 1975