

半無限層状地盤上の根入れ基礎の動特性評価

岡山大学 正会員 竹宮 宏和

岡山大学 学生員 王 燦雲

(株) 大本組

○平松恵美子

1. まえがき 構造物の地震時における応答性状には、構造物のみでなく、その設置地盤の動特性及び地震波の伝播に伴う振動性状が関係してくる。また、構造物の耐震解析をする場合、地盤との動的相互作用問題として扱はなければならない。したがって、本研究では、特に地盤の動特性のうち地盤インピーダンスに注目し、波動の伝播現象を忠実に捉えた地盤インピーダンスの評価に努めた。また、今回はインピーダンスの評価にあたり、波数領域でのグリーン関数の収束性の検討をすることで、より適切なグリーン関数を求める工夫を行った。

2. 定式化【地盤インピーダンス】本研究では、地盤中に根入れされた構造物基礎を対象とする。サブストラクチャ法を適用して、地盤と基礎のインターフェイスを一時的に分離する(図1.a)。また、補助系として図1.bのような自然地盤を採り、インターフェイスから距離 e だけオフセットをとった仮想境界 S' 上での加振外力に対して求めたグリーン関数から間接法による定式化を行う。境界上の変位及び応力の分布は線形分布を仮定する。また、軸対称問題を取り扱っているため、周方向にフーリエ級数展開($n=0,1$)している。地盤と基礎のインターフェイス S における変位 $u_b(x)$ 、表面力 $t_b(x)$ は、境界要素節点変位 $\hat{u}_b$ と表面力 $\hat{t}_b$ で内挿関数 $N(x)$ を用いて表される。

$$u_b(x) = N(x) \hat{u}_b \quad (1)$$

$$t_b(x) = N(x) \hat{t}_b \quad (2)$$

つぎに、インターフェイス S 上の表面力 $t_b(x)$ は、 S' 上に離散力ベクトル $P(\xi)$ を仮定して、グリーン関数を介して表される。

$$t_b(x) = G_t(x, \xi) P(\xi) \quad (3)$$

また、補助系としての自然地盤(肩添字 p)における離散応力値 $P(\xi)$ による仮想インターフェイス上の変位、表面力はそれぞれ対応したグリーン関数マトリックス G_u, G_t より表される。

$$u_b^p(x) = G_u(x, \xi) P(\xi) \quad (4)$$

$$t_b^p(x) = G_t(x, \xi) P(\xi) \quad (5)$$

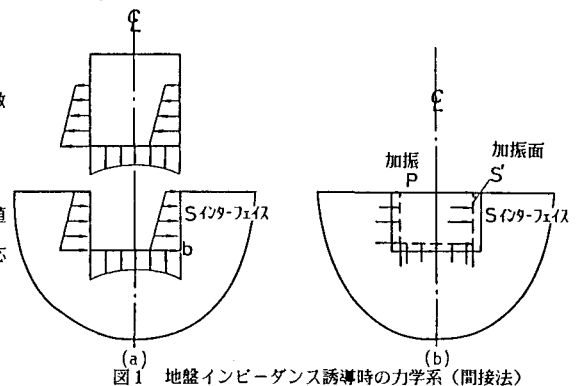


図1 地盤インピーダンス誘導時の力学系(間接法)

両系に対して、Maxwell-Bettiの相反則を適用して境界積分方程式を導けば、

$$\int_S G_t^T(x, \xi) u_b(x) dS(x) = \int_S G_u^T(x, \xi) t_b(x) dS(x) \quad (6)$$

これを離散化すれば、

$$\bar{G} = \left[\dots \int_{S_e} G_u^T(x, \xi) G_t(x, \xi) dS(x) \dots \right] H = \left[\dots \int_{S_e} G_t^T(x, \xi) N(x) dS(x) \dots \right] \quad (7)$$

ただし、マトリックス $\bar{G}$ と H は、

$$\bar{G} P = H u_b \quad (8)$$

となる。インターフェイス S 上の節点自由度 $\hat{u}_b$ に対応した節点力 $\hat{P}_b$ は式(1)、式(3)より、

$$\hat{P}_b = H^T P \quad (9)$$

ここで、式(7)より P を消去すると、インターフェイス節点 b に関する力-変位関係は

$$\hat{P}_b = H^T \bar{G}^{-1} H \hat{u}_b \quad (10)$$

となる。ところで、剛体基礎構造物を対象とする場合は、境界上の変位 $\hat{u}_b$ は剛体基礎の重心位置での変位 u_f とつぎの関係がある。

$$\hat{u}_b = \alpha u_f \quad \alpha: \text{剛体結合に関する変換マトリックス} \quad (11)$$

この関係を使えば、基礎の自由度に関する力-変位関係が求められる。

$$P_f = K_f u_f \quad (12)$$

ここに K_f は基礎の自由度に対する動的剛性マトリックスで、 $K_f = \alpha^T H^T \bar{G}^{-1} H \alpha$ である。

【グリーン関数】以上の定式化に使われ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と応力解を求める。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、スティフネス法を用いた。波数領域から空間領域への変換には、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。加振外力として、フーリエモード($n=0,1$)に対応したシリンダー外力とディスク外力を採用した。

3. 数値解析例及び考察 地盤内に完全に根入れされた剛体ケーソン基礎を解析対象構造物とし、境界要素法からの解析結果と、有限要素法からの解析結果を比較検討した。それぞれのモデル化は図2に示す通りで、基礎の諸元については表1に示す。図3は基礎重心位置での地盤インピーダンス関数である。これより、両手法とも地盤の振動特性を捉えていることがわかる。ここで、境界要素法に対しては、地盤のインピーダンスを求めるに際して、グリーン関数の波数領域での収束性の検討を行ない(図4)、高速フーリエ・ベッセル変換を適用する際の積分区間を決定した。今後は、より多くの現実的な地盤-基礎系に対して境界要素法による動的相互作用解析を行ない、各手法の特徴を明らかにすると共に、両手法の利点を生じた有効なハイブリッド法の開発を行う必要がある。

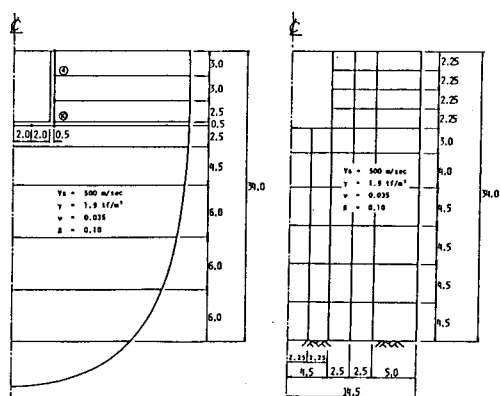


図2 解析モデル

表1 基礎の諸元

RADIUS (m)	4.5
HEIGHT (m)	9.0
HEIGHT (ft)	140.8
MASS MOMENT OF INERTIA (t/m ⁴)	
J_x	1663.2
J_y	1663.2
J_z	1425.6

《参考文献》

- 1) R.J. Aspel: Dynamic Green Functions for Layered Media and Application to Boundary Value Problem, Ph.D. Thesis, Univ. of Calif., San Diego, CA., 1979
- 2) 谷田 和敏: BEM-FEMによる地盤と構造物基礎の動的相互作用解析に関する研究, 岡山大学大学院工学研究科土木工学専攻修士論文, 1987

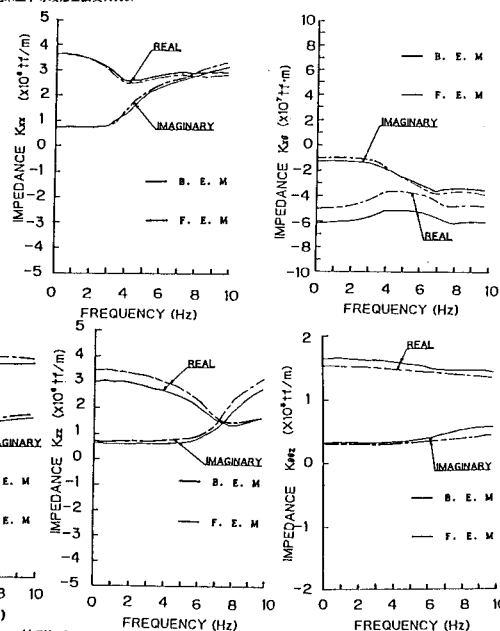


図3 基礎重心位置でのインピーダンス関数

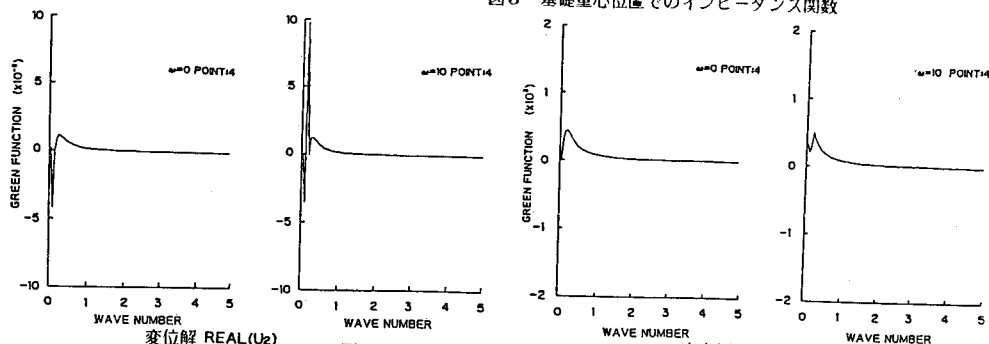


図4 波数領域でのグリーン関数