

I-537 半無限層状地盤上の帯状基礎におけるコンプライアンス関数

岡山大学	正会員	竹宮宏和
東洋建設	正会員	有岡謙一
岡山大学	学生員	渡辺和明

1. まえがき

地震工学の研究において、地盤と構造物の動的相互作用解析は重要な見地の1つである。本論文では、半無限層状地盤状に置かれた剛で帯状な表面基礎及び埋込み基礎を対象モデルと考へて解析を行ない、その妥当性を検証している。

解析においては、地盤と構造物を分けて考へる動的サブストラクチャー法を適用し、境界要素法の間接法を基礎とするソース法を用いている。また、他者によって精巧に開発された半無限多層系粘弾性地盤において、集中加振及び分布加振によるグリーン関数を用いている⁴⁾。そして、変位と力を関係づけるコンプライアンス関数を求めている。この関数に対する地盤特性や基礎性状の影響及び効果についても研究し、有益な動的特性を求めている。

2. 定式化

半無限体における変位及び表面力のグリーン関数 $G_u(y, x)$, $G_t(y, x)$ を用い、地盤と構造物の境界において境界積分方程式を適用する。今、地盤と構造物のインターフェイスから少しだけ離れた仮想境界をもうけ、自然地盤への一定加振 $p(x)$ を仮定する。ここで加振は集中加振もしくは等分布加振を考へている。仮想境界における変位及び表面力はそれぞれ

$$u_b^p(y) = \int_s G_u(y, x) p(x) ds(x) \quad , \quad t_b^p(y) = \int_s G_t(y, x) p(x) ds(x) \quad (1), (2)$$

次に、式(1),(2)と実際のインターフェイス上の変位及び表面力の間に、重み付き残差法を適用し、未知加振力 $p(x)$ を決定する。

$$\int_s w_d^T(y) (u_b(y) - u_b^p(y)) ds(y) + \int_s w_t^T(y) (t_b(y) - t_b^p(y)) ds(y) = 0 \quad (3)$$

ここで、 w_d と w_t は独立重み関数である。今、剛体基礎を仮定しているため次のように定義できる。

$$w_d(y) = t_b^p(y) \quad \text{and} \quad w_t(y) = 0 \quad (4)$$

また、表面基礎の場合は

$$w_d(y) = \delta(y - \hat{y}) \quad (5)$$

次に、幾何学的変換マトリックス $\alpha(y)$ を用いることにより、重心位置での全変位 U_F と合力 P_F 、インターフェイス上での変位と表面力をそれぞれ関係づけることができる。

$$u_b(y) = \alpha(y) U_F \quad (6)$$

$$P_F = \int_{S_b} \alpha^T(y) t_b(y) ds(y) = \int_{S_b} \alpha^T(y) t_b^p(y) ds(y) \quad (7)$$

数値計算においては、離散化手法を用いる。

$$\text{実変位: } u_b(y) = \Phi_u^e(y) u_b^e(y) \quad (8)$$

$$\text{仮想応答: } u_b^p(y) = \Phi_u^e(y) \hat{u}^p(\hat{y}) \quad , \quad t_b^p(y) = \Phi_t^e(y) \hat{t}^p(\hat{y}) \quad (9), (10)$$

さらに、線形内挿関数を用いて、グリーン関数についても離散化する。

$$G_u(y, x_e) = \Phi_u^e(y) G_u^e(y, x_e) \quad , \quad G_t(y, x_e) = \Phi_t^e(y) G_t^e(y, x_e) \quad (11), (12)$$

これらの近似によって式(3)の第1項は、

$$\hat{H} u_b = \hat{G} P \quad (13)$$

$$\text{ここで、} \quad \hat{G} = [-\hat{G}_{te}^T \Phi_{tu}^e \hat{G}_{ue}] \quad , \quad \hat{H} = [-\hat{G}_{te}^T \Phi_{tu}^e]$$

また、

$$\Phi_{ut} = \Phi_{tu}^T = [\Phi_{ut}^e] = \left[-\int_{S_e} \Phi_u^e(y) \Phi_t^e(y) ds(y) \right]$$

力の離散化された評価は、

$$\hat{P}_b = \sum_e \sum_{e'} \Phi_{ut}^T(y) G_{te}(y, x_e) P_{e'} = \hat{H}^T P \quad (14)$$

式(13)をPについて解き、式(14)に代入すると

$$\hat{P}_b = \hat{H}^T (\hat{G})^{-1} \hat{H} u_b = K_{bb} u_b \quad (15)$$

ここで、 K_{bb} は地盤のインピーダンス関数である。これを幾何学的変換マトリックス $\alpha(y)$ を用いて、剛体重心に変換するのは容易である。

表面基礎においては、式(5)を用いるので、式(15)の代わりに直接インピーダンス関数を求めることができる。

$$P_b = G_u^{-1} u_b \quad (16)$$

3. 数値計算例と考察

時間的には調和振動問題 $e^{-i\omega t}$ を考える。 ω は角振動数である。地盤特性を表すラメー定数は脱歴減衰を用いて、複素数型で与えられる。解析においては、地盤インピーダンス関数の逆関数であるコンプライアンス関数を、無次元振動数 $a_0 = \omega B/V_s$ に従属した無次元量で求めている。

$$C_{ii} = (\mu F_{VV}^*, \mu F_{HH}^*, \mu F_{MM}^*/B^2) = \text{Re}(C_{ii}) + i\text{Im}(C_{ii}) \quad (17)$$

ここで、 B は基礎の半幅を示し、 V_s は第1層目のせん断波速度である。また、式(17)の i は応答の方向を示している。

本解析手法の妥当性を示すため、図1, 2のようなモデルを考え解析結果を図3, 4に示している。それぞれ文献(1), (2), (3)と比較している。表面基礎の解析においては、分布加振に対するグリーン関数を用い、加振幅は基礎幅 $2B$ を20等分割している。埋め込み基礎においては、集中加振に対するグリーン関数を用いている。加振点については、オフセットを $B/5$ とし、側面底面とも、それぞれ等間隔で4分割して、合計13個の加振点を取り、応答点については、側面を等間隔で10分割し、底面を12分割し、合計33個の点を取っている。

図3より C_{vv} , C_{hh} については、ほぼ妥当な結果が得られている。また C_{mm} については、特に高振動数領域で若干のずれが生じている。これは、分割数を増やすことで良い一致が見られることを確かめている。よって表面基礎において本解析のような手法を用いるためには、基礎の分割をある程度細かくする必要がある。次に図4より、埋め込み基礎の場合は、ほぼ妥当な結果が得られている。またグリーン関数について集中加振のかわりに分布加振を用いた場合は加振点個数及び応答点個数とも約半分の数で良い結果を得ることがわかった。

参考文献

- (1) A.S.M. Israil and S. Ahmad: Dynamic Vertical Compliance of Strip Foundations in Layered Soils, Earthq. Eng. and Struct. Dyn., 18, 1989, 933-950
- (2) S. Ahmad and P. K. Banerjee, Multi-Domain BEM for Two-Dimensional Problems in Elastodynamics, Int. j. numer. method eng. 26, pp. 891-911.
- (3) G. Gazetas and J. M. Roesset: Forced Vibrations of Strip Footings on Layered Soils, Method struct. anal. ASCE1, pp. 115-131, 1976
- (4) H. Takemiya, K. Arioka, Numerical Computation Method of Green Functions 2D Viscoelastic Layered Halfspace for Buried Uniformly-distributed Loads, Prof. JSCE, (submitted)

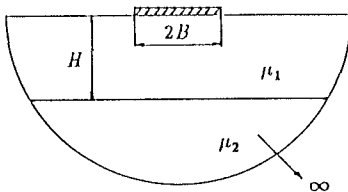


図1 表面基礎

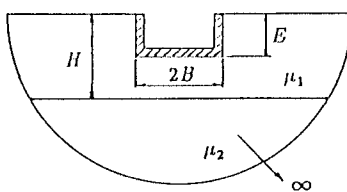
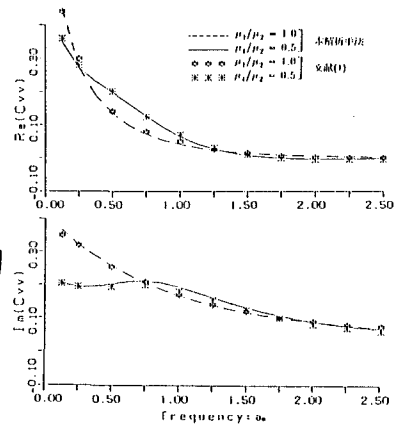
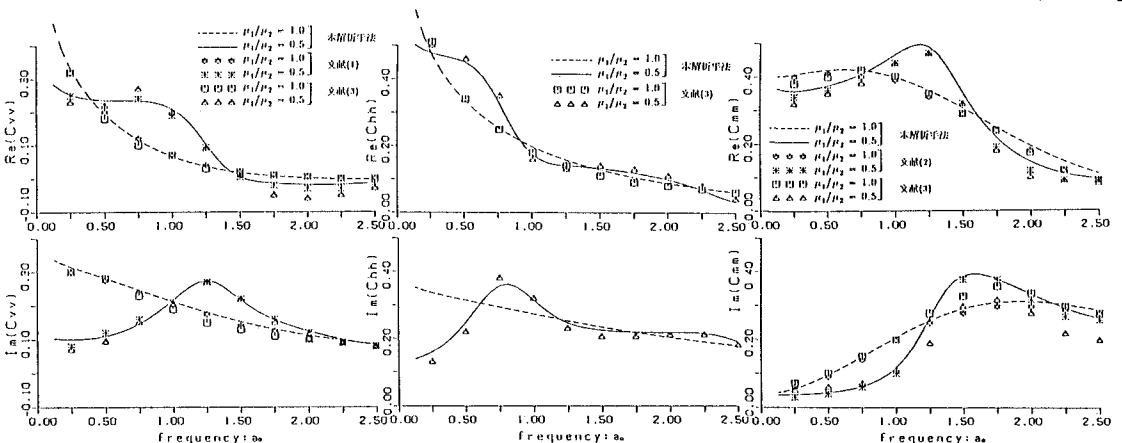


図2 埋込み基礎



(a) 鉛直, C_{vv}
計算結果の比較: 埋込み基礎
[$H/B=3$, $E/B=1$, $\nu=0.33$, $\beta=0.05$]



(a) 鉛直, C_{vv} (b) 水平, C_{hh} (c) 回転, C_{mm} (Relaxed)

図3 計算結果の比較: 表面基礎 [$H/B=2$, $\nu=0.40$, $\beta=0.05$]