

根入れ基礎の動的地盤反力の境界要素法解析

佐賀大学 ○学生員 山村 涼一
佐賀大学 正 員 荒牧 軍治

1. はじめに

地盤と構造物の動的相互作用の問題は古くから多くの研究者によって論ぜられ、数多くの優れた研究が発表されている。特に Lymer 等の伝達境界マトリックスを用いた有限要素法解析は、同手法の基本的欠陥と見なされていた境界面における波動の反射の問題を見事に解決した点で、相互作用問題に一大転機をもたらした。彼等の解析法は、構造物と地盤とを一体として解析できる利点を有し、実在構造物の地震時応答解析に大きな偉力を發揮している。またそのプログラムは誰もが使える形で公表されているので、設計者、研究者にとって便利な道具になっている。しかし、最近改良をされつつあるとはいえ、その基本は2次元であり、3次元に拡張するには多くの困難さがある。その点最近注目されつつある境界要素法は、要素を境界面のみに限定できると、波動の透散について何等考慮を要するの必要のないことの利点があるため、地盤と構造物の動的相互作用の問題には最適の手法であると考えられる。著者の1人は前回、境界要素法を用いた地盤-構造物系の解析法についての定式化について述べた。今回は、その中で最も基本的な動的地盤反力特性について述べる。この問題についてはすでに Ottensmeyer などの優れた研究があるが、全体解析への第1歩としてこの研究を行なった。

2. 動的地盤反力の境界要素法表示

簡単のため半無限弾性体に根入れされた基礎のみを考える。境界面を自由表面_fと剛基礎_r上表面_rとし、それぞれの境界面における変位ベクトル、表面力ベクトルを U_f, U_r, P_f, P_r とすると境界要素法を用いて次式が与えられる。

$$\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_f \\ U_r \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_f \\ P_r \end{Bmatrix} \quad (1)$$

剛基礎は3変位、3回転、計6コ自由度を有する。すなわち剛基礎表面の変位 U_r は剛基礎の変位ベクトル U_r を用いて次式で与えられる。

$$U_r = T \tilde{U}_r \quad (2)$$

式(1)の両辺に AG^{-1} を掛け、 $Q = AG^{-1}H$ とすると

$$\begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_f \\ U_r \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_r & 0 \\ 0 & A_f \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_r \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

式(3)に式(2)を代入して整理すると剛基礎の動的剛性マトリックス K (6×6) は次式で与えられる。

$$K = T^T (Q_{11} - Q_{12} Q_{22}^{-1} Q_{21}) T \quad (4)$$

3. 特異点の取扱

境界要素法においては基本解として点外力における任意点の変位および表面力を用いるため、載荷点近くの積分における特異性が最大の問題となる。ここで載荷点と積分点が一一致した場合について論ずる。今考えている要素の部分座標系を図-2のように取る。P点において右方向に載荷した時のQ点のy方向の変位は次式で与えられる。

$$U_{ij}^i = U_{ij}^* = \frac{1}{\alpha \pi \rho C_s^2} (\psi \delta_{ij} - \chi r_{ij} \chi_{ij}) \quad (5)$$

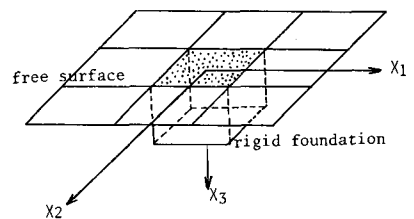


Fig-1

ただし r は P と Q の距離を r_i とは $\partial r / \partial x_i$ を示す。 $i \neq j$ の時は $\delta_{ij} = 0$ かつ要素平面の性質より $r_{i3} = 0$ である。また長方形要素の対称性より、上上の積分がキャンセルされて全て 0 となる。すなわち U_{ij}^* の積分については $i = j$ の時のみを考えれば良い。表面カベクトル P_{ij}^* の積分においては $\partial r / \partial x_i = 0$, $r_{i3} = 0$, $n_i = n_2 = 0$ の性質より全て 0 となり H_{ij} については考慮する必要のないことがわかる。部分座標系から全体座標系への変換は座標変換マトリックスを用いればよい。

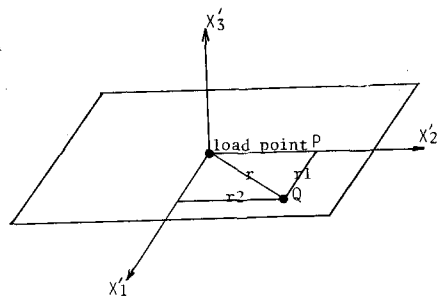


Fig-2

次に ψ , χ の積分においては最大 r^{-3} の次数の積分が表われる。それを直接数値積分すると大きな誤差を生ずる。この特異性を解消するため、 ψ , χ の中の関数 $e^{-\alpha r}$ をべき級数に展開して整理すると次式が得られる。

$$r\psi = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_n r^n \quad r\chi = \sum_{n=0}^{\infty} \chi_n r^n \quad (6)$$

ただし α_n , χ_n は各次数における係数であり r に無関係である。 ψ , χ は最大 r^{-1} の関数となり面積積分は十分な精度で数値積分できる。

4. 数値計算例

数値計算の1例として半無限弾性体表面に設置した1辺20cmの正方形剛板に作用する動的地盤反力特性を求めた。図-3は計算に用いたモデルであり、中4コの境界要素が剛板と考へた要素であり、周囲の12コの要素が自由境界表面である。ここで用いた地盤の物性値は横波速度 $C_2 = 40 \text{ m}$ ポアソン比 $\nu = 1/2$, $1/3$ である。理論解のわかっている上下方向加振について境界要素解と田治見の解と比較する。田治見の解は円形剛板分布のそれであるが、 Q_0 が小さい範囲では正方形の解とはほぼ一致すると考えられるので境界要素法との比較のために用いた。数値計算結果を図-4, 図-5に示す。図に示すように境界要素解と、波動理論解はほぼ一致し、境界要素法の有用性が確かめられた。現在根入れを有する基礎の動的復元力特性を計算中であり講演時に発表の予定である。

[参考文献]

- 1) 小林他; 定常動弾性学における積分方程式の解析的方法
土木学会年次学術講演会 (1980)
- 2) 村田他; 境界要素法による任意形状地盤構造物系の弾性解析
建築学会年次学術講演会 (1982)
- 3) M. Ottenstreuer and G. Schmid; Boundary elements applied to soil foundation interaction pp.293-309
in Proc. 3rd Int. B.E Seminar - C.A. Brebbia (1981)
- 4) J. Domingues and E. Alarcón; Elastodynamics pp.213-257
in Progress in Boundary Element Methods, 1 (1981)

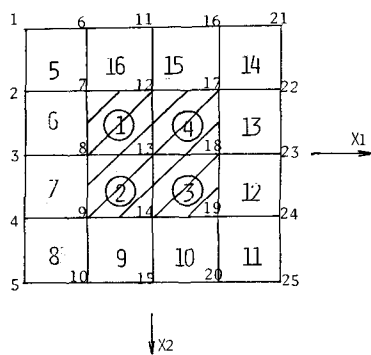


Fig-3

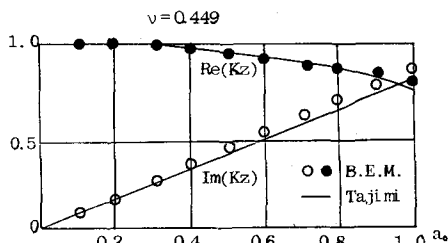


Fig-4

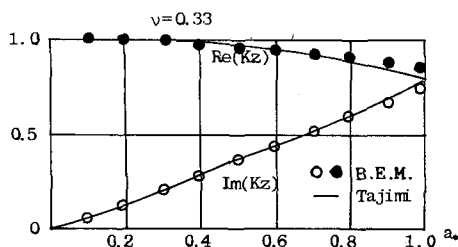


Fig-5