

I-225 基礎の特性を考慮した構造物の動的解析(2)

早稲田大学 理工学部 正員 宮原 玄

本文は地盤・基礎・構造系の動的相互作用の解析法について述べている。相互作用の解析では、地盤を半無限弾性体で置換える方法が古くから用いられ、多くの成果を上げているが、地盤の材料の性質は線形挙動を示す等方等質であると仮定し、幾何的形狀および境界条件を任意に選択することができず、また微分方程式の差分化に問題がある等の理由から、実用的問題に適用しにくい欠点がある。一方、地盤を集中バネや集中質量に置換える方法や有限要素で置換える方法も用いられている。これらの集中化モデルには半無限弾性体モデルで指摘されている欠点はないが、放射減衰(radiational damping)を算入できない欠点がある。

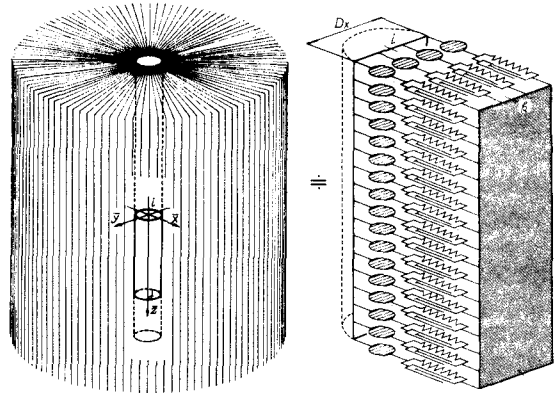


図-1

本文では地盤を拡張したWinkler仮定に従う有限要素で置換えて、その特性をエネルギー的に等価な量に集中化している。すなわち図-1で基礎杭要素*i-j*の挙動に与する地盤要素は弾性論的には左側のように考えられるが、Winkler仮定を地盤の剛性のみならず質量特性および減衰特性に拡張して適用し、右側のような地盤要素に*i-j*を考慮する。夫々の特性をエネルギー的に等価な量に集中化しマトリックス表示する。図-2は節点*i*の加速度、速度および変位に対応する夫々の特性の集中化を示しており、マトリックスのオーダーは元である。この集中化は構造要素の consistent mass に相当している。この地盤要素を用いて図-3に示した埋込みはりの運動方程式を構成すれば式(1)

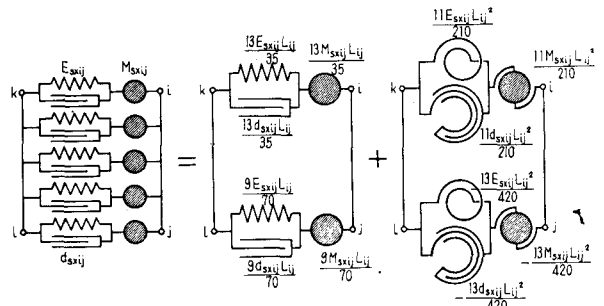


図-2

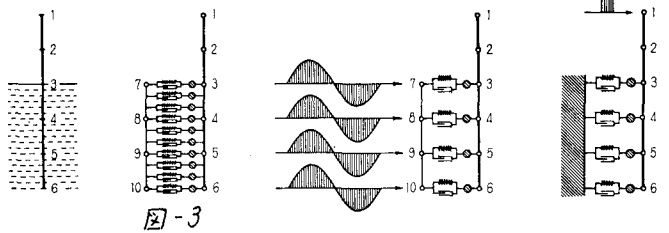


図-3

$$\begin{bmatrix} M_{aa} & M_{ab} \\ M_{ba} & M_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\delta}_1 \\ \ddot{\delta}_2 \\ \ddot{\delta}_3 \\ \ddot{\delta}_4 \\ \ddot{\delta}_5 \\ \ddot{\delta}_6 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{aa} & D_{ab} \\ D_{ba} & D_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\delta}_1 \\ \dot{\delta}_2 \\ \dot{\delta}_3 \\ \dot{\delta}_4 \\ \dot{\delta}_5 \\ \dot{\delta}_6 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $\square$: はり要素および杭要素の特性マトリックス $\square$: 地盤要素の特性マトリックス。

を得る。地震動による系の挙動の解析を行う場合には、地盤要素の節点 k, l に相当する節点 $7, 8, 9, 10$ を加振するが、上部構造に入力のある場合には、節点 $7, 8, 9, 10$ が系の支点となりこれらは拘束される。この場合には運動方程式は式(2)となる。

$$\begin{bmatrix} M_{kk} & M_{kl} \\ M_{lk} & M_{ll} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_k \\ \ddot{x}_l \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{kk} & D_{kl} \\ D_{lk} & D_{ll} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_k \\ \dot{x}_l \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{kk} & K_{kl} \\ K_{lk} & K_{ll} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_k \\ x_l \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_k \\ Q_l \end{Bmatrix} \quad (2)$$

図-2の地盤要素では材料減衰は考慮されているが、放射減衰は無視されている。放射によって散逸するエネルギーは地盤の粘性による散逸エネルギーよりも大きいことが知られている。この減衰を地盤要素に取入れ、図-4の左側に示した地盤要素 $i-j-k-l-m-n$ を考える。図-4の右側は図-2と同様に節点 i の状態量に対応する特性の集中化を示している。

この地盤要素を用いて図-3に示した埋込みばりの運動方程式を構成すれば式(3)を得る。

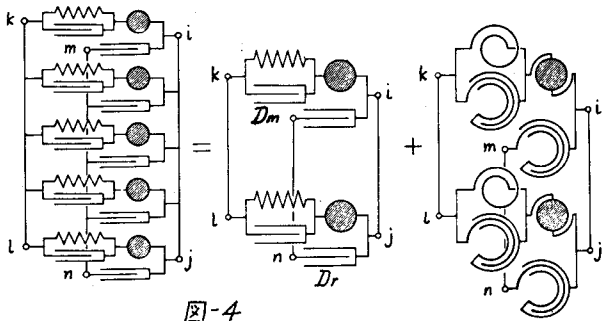


図-4

$$\begin{bmatrix} M_{kk} & M_{kl} & M_{km} & M_{kn} \\ M_{lk} & M_{ll} & M_{lm} & M_{ln} \\ M_{mk} & M_{ml} & M_{mm} & M_{mn} \\ M_{nk} & M_{nl} & M_{nm} & M_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_k \\ \ddot{x}_l \\ \ddot{x}_m \\ \ddot{x}_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{kk} & D_{kl} & D_{km} & D_{kn} \\ D_{lk} & D_{ll} & D_{lm} & D_{ln} \\ D_{mk} & D_{ml} & D_{mm} & D_{mn} \\ D_{nk} & D_{nl} & D_{nm} & D_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_k \\ \dot{x}_l \\ \dot{x}_m \\ \dot{x}_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{kk} & K_{kl} & K_{km} & K_{kn} \\ K_{lk} & K_{ll} & K_{lm} & K_{ln} \\ K_{mk} & K_{ml} & K_{mm} & K_{mn} \\ K_{nk} & K_{nl} & K_{nm} & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_k \\ x_l \\ x_m \\ x_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_k \\ Q_l \\ Q_m \\ Q_n \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここに、 : 地盤要素の放射減衰マトリックス。

放射減衰のダッシュポット D_r は基礎杭から離れた所で支持されているから、節点 m, n に相当する節点 $11, 12, 13, 14$ は拘束される。下部構造への地震入力または上部構造への入力による上部構造の振動は節点 i, j を通じて地盤要素に伝達され、材料減衰のダッシュポット D_m と放射減衰のダッシュポット D_r によってエネルギーの散逸がおこる。

地盤要素の諸定数を決定することができれば、地盤に必要最少限の節点を設け、地盤・基礎・構造系の動的相互作用解析をここに述べた方法で行うことができる。

参考文献

- 1) Merritt, R. G. and Housner, G. W., "Effects of Foundation Compliance on Earthquake Stresses in Multistory Buildings", Bull., SSA, Vol.44, No.4, 1954.
- 2) Penzien, J., Scheffey, C. F. and Parmelee, R. A., "Seismic Analysis of Bridges on Long Piles", Jour., Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.90, No.EM3, 1964.
- 3) Hashiba, T. and Whitman, R. V., "Soil-Structure Interaction during Earthquakes", Jour., Soil Mech. Div., ASCE, Vol.94, No.SM2, 1968.
- 4) Lysmer, J. and Kuhlemeyer, R. L., "Finite Dynamic Model for Infinite Media", Jour., Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.95, No.EM4, 1969.
- 5) Miyahara, F., "A Method of Analysis for the Structure- Foundation Interaction", Memoirs of the School of Science & Engineering, Waseda Univ. No.40, 1976.
- 6) Archer, J. S., "Consistent Mass Matrix for Distributed Mass Systems", Jour., Str. Div., ASCE, Vol.89, No.ST4, 1963.