

早稲田大学 理工学部 正員 宮原 玄
志波 由紀夫

本文は著者が提案した地盤・基礎・構造系の動的相互作用解析法を応用して、長大な構造物の多数の支持点に性質の異なった地震動が作用する場合、その系の応答解析法を示し、簡単な例題を用いて多支持点入力の影響について検討を行ったものである。

地盤・基礎・構造系の動的相互作用を解析するために、地盤に拡張した Winkler 仮定を適用して地盤の質量、減衰および剛性に関する特性をエネルギー的に等価な量に集中化してマトリックスに表示する。これらのマトリックスと骨組要素の特性を表わすマトリックスとを用いて、図1に示した構造物の運動方程式を構成すると式(1)のようになる。

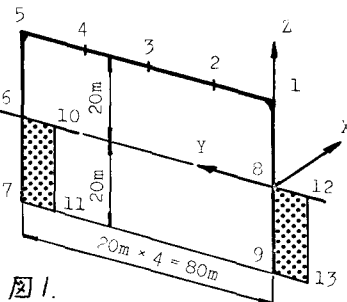
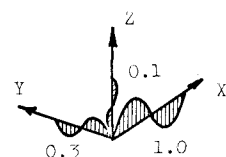


図1.



入力地震波の割合

式(1)の $\dot{q}_\alpha$ ($\alpha = 1 \sim 9$) は構造物の節点変位であり、それぞれ X 軸、Y 軸および Z 軸の並進方向ならび回転方向の 6 自由度を、また $\dot{q}_\beta$ ($\beta = 10 \sim 13$) は地盤節点 β に作用する地震動変位であり 3 軸の並進方向の 3 自由度を含んでいる。

$$\begin{pmatrix} M_{\alpha\alpha} & M_{\alpha\beta} \\ M_{\beta\alpha} & M_{\beta\beta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}_\alpha \\ \dot{q}_\beta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_{\alpha\alpha} & D_{\alpha\beta} \\ D_{\beta\alpha} & D_{\beta\beta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}_\alpha \\ \dot{q}_\beta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_{\alpha\alpha} & K_{\alpha\beta} \\ K_{\beta\alpha} & K_{\beta\beta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_\alpha \\ q_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_\alpha \\ Q_\beta \end{pmatrix} \quad (1)$$

長大スパンあるいは多径間連続の構造物では地震時に各支持点に全く同一の地震動が作用するとは考えられない。震源を離れた地震動は岩盤では 1000 m/sec 以上、また表層では $50 \sim 500 \text{ m/sec}$ 程度の伝播速度で進行する。従って、地表面の 2 地点間に地震動が到達する時刻に差を生ずる。すなわち構造物の支持点に作用する地震動に時間遅れを考えねばならない。また基礎地盤の性質が支持点間で大きく異なっている場合には、地震動の波形も異なっていると考えべきだろう。こうように考えれば、式(1)の $\dot{q}_\beta$ ($\beta = 10 \sim 13$) は一般にすべて異なった波形であると考えられる。しかし表層地盤が余りばげく変化していない地点に建設される構造物の支持点に作用する地震動波形間に大きな差異はないであろうから、ここでは入力地震動の時間遅れのみを考慮し、地震動波形はすべて地盤節点で同一であるとした。すなわち $\beta = 10 \sim 13$ に対して、

$$\dot{q}_\beta(t) = \begin{cases} 0 & (t < TL_\beta) \\ \dot{\bar{q}}_\beta(t - TL_\beta) & (t \geq TL_\beta) \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{q}_\beta$ は局所時間座標系を、また TL_β は時間遅れを表わす。図2に局所時間座標系と基準時間座標系の関係を示す。

上部構造に外力が作用せず、下部構造が地震動によって加振される場合には運動方程式(1)は

$$M_{\alpha\alpha} \ddot{q}_\alpha + D_{\alpha\alpha} \dot{q}_\alpha + K_{\alpha\alpha} q_\alpha = -(M_{\alpha\beta} \ddot{q}_\beta + D_{\alpha\beta} \dot{q}_\beta + K_{\alpha\beta} q_\beta) \quad (3)$$

となり、右辺は既知量であるから構造内の各節点の状態量を求めることができる。

構造モデルとして外径 120 cm 、肉厚 2 cm の円形断面を持つ、門型ラーメン(図1)を用い、地盤反力係数は 1.0 kg/cm^3 とした。入力正弦波は周波数 3 Hz 、変位振幅 $\pm 0.5 \text{ cm}$ 、速度振幅 $\pm 9.42 \text{ cm/sec}$ 、加速度振幅 $\pm 177.7 \text{ cm/sec}^2$ とし

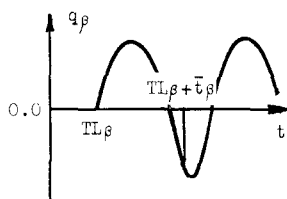
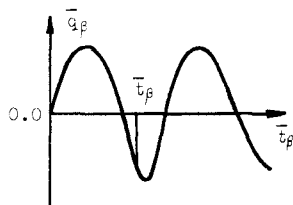


図2

波の伝播速度；位相差および時間遅れは $\infty, 960, 480$ m/sec； $0, \pi/2, \pi$ rad および $0.0, 0.0833, 0.1666$ sec とした。入力模擬地震波を上岐の方法で発生させ(図3),伝播速度および時間遅れは $\infty, 160, 80$ m/sec および $0.0, 0.5, 1.0$ sec とした。

図4は正弦波による節点2,3のY軸まわりの回転変位を,また図5は模擬地震波加振による節点3のX軸方向の変位を示している。図4によれば時間遅れのない場合に節点2,3の変位が等しいこと,位相差が π の場合に節点3の変位が時間と共に0に漸近していること等から作成したプログラムが正しいことが示される。また時間遅れが $0.0833, 0.1666$ secの場合に節点2,3に相対変位があることは,異入力によつてこの部材にねじれを生じること示している。図5によれば時間遅れが増加するに従つて,変位振幅は減少し,位相が遅にずれる傾向がみら

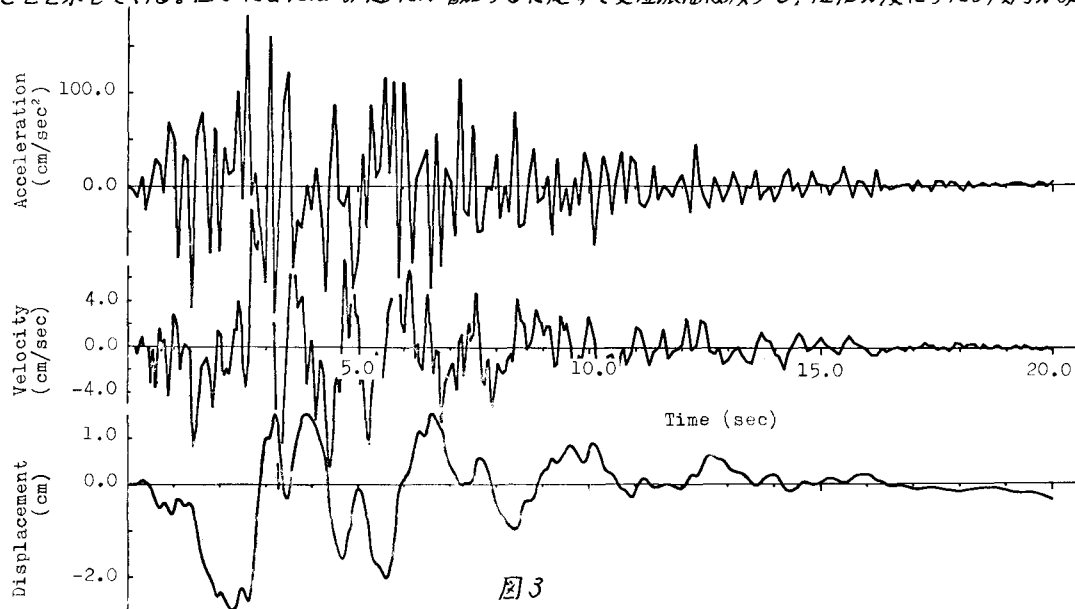


図3

れるが,これは入力される地震波によって異なり同一入力の場合より変位振幅が大きくなった例もある。なおここでは構造物の変位応答を中心に考えて来たが,今後は異入力に対して部材断面に生ずる付加的な曲げモーメントせん断力について考えてみたい。

参考文献：宮原 玄,平嶋政治

“地盤・基礎・構造系の地震動加振に対す

る振動解析” 早大理工研報告・才72輯・1976.

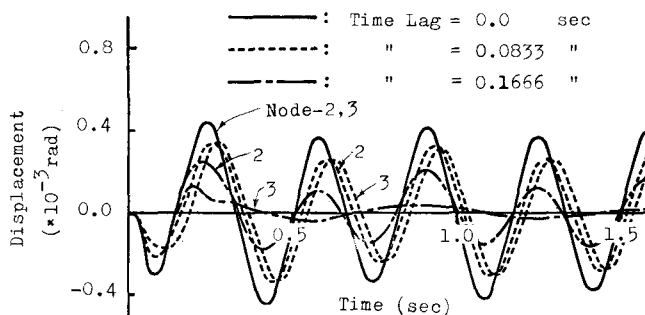


図4

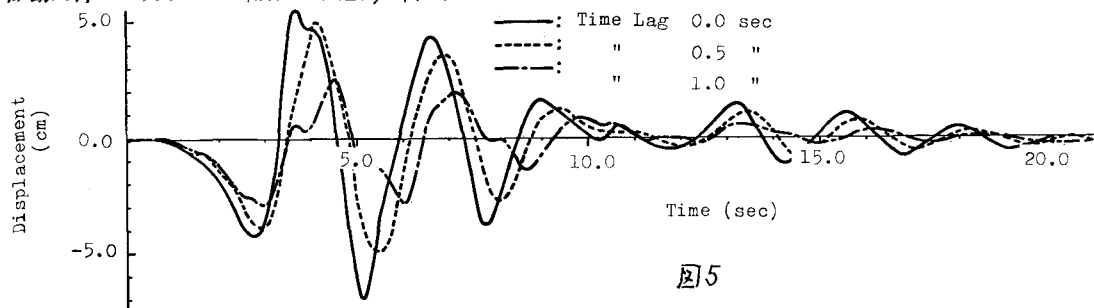


図5