

岡山大学工学部 正員 竹宮宏和
建設技術研究所 正員 甲斐史郎
松村組 正員 土井敏正

1. まえがき

本研究は、地震時の構造物の応答性状を把握した合理的な設計のため、地盤-基礎-上部構造物系としての耐震解析システム(サブシステム)の開発を試みたものである。その特徴は、(1)解析対象系を地盤-基礎系(下部構造系)と上部構造系に分割して、前者の解析から基礎の運動に関する地盤インピーダンスおよびそれへの有効地震入力の評価する(2)次に同結果を後者の解析のために導入する(3)定式化は上部構造物の固有モード分解解析を併用した動的サグストラクチャ法から行なう(4)地震入力は、基礎面への任意入射角を有する実体波を想定する等にある。

2. 解析システム

基礎面において地震動の入射を受ける地盤-構造物系の解析フローを図1に示す。半無限地盤への伝わりを有する地盤領域に有限境界を設定した場合、同面上では断面力および変位の連続性を考慮しなければならない。このため、側方境界にはいわゆる応力伝達境界トリックが導入される。従って基礎用現地盤の運動方程式は、

$$([K] - \omega^2[M])\{U\} = \{P\}_R - \{P\}_L - \{P\}_L \quad (1)$$

ここに $\{P\}_R, \{P\}_L$ は右および左側方境界上の作用力

$$\begin{aligned} \{P\}_R &= [D_R][D_0] \begin{Bmatrix} U_R^0 \\ U_R^1 \end{Bmatrix} + [R] \{U\}_R - \{U\}_R^0 \\ \{P\}_L &= [D_L][D_0] \begin{Bmatrix} U_L^0 \\ U_L^1 \end{Bmatrix} + [L] \{U\}_L - \{U\}_L^0 \end{aligned}$$

と与えられる。 $\{U\}^0$ は自然地盤変位で、添字は基礎面を境としてそれより上の表層を指す。そして $[D]$ はその静的剛性マトリックス、 $[K]$ 、 $[M]$ は対象領域の剛性および質量マトリックス、 $[R]$ 、 $[L]$ は右および左側方伝達境界マトリックス、 $\{P\}_E$ は基礎との接点における断面力である。

表層地盤内の平面波は、水平方向に波数 k で伝播するとすれば、運動方程式が、

$$(k^2[A] + i\omega[B] + [C] - \omega^2[G])\{U^0\} = \{P\} \quad (2)$$

と表わされる。ここにマトリックス $[A]$ 、 $[B]$ 、 $[C]$ 、 $[G]$ は地盤の物性値より求められる。基礎入力に対しては、基礎面での連続性を考慮して、入射波振中によって正規化した表層地盤内の変位が得られる。

つぎに地盤-基礎部の解析において、地盤インピーダンス $[K]_F$ および有効地震入力 $\{P\}_F$ を基礎部の特定点において評価する。その際、基礎形式、地盤モデルによって、図1に示した解析法を採用することが出来る。基礎-上部構造物系の定式化において、上部構造物の応答は完全固定系としての動的成分と基礎の自由度 $\{U\}_F$ に応じて生じる準静的成分の和と考えると、運動方程式

$$\begin{bmatrix} -\omega^2[I] + [2\zeta\omega] + [5\omega^2] & -\omega^2[\Phi]_s^T[M]_s[\Phi] + i\omega[\Phi]_s^T[C]_s[\Phi]_s \\ \text{対称} & -\omega^2([M]_F + [\Phi]_s^T[M]_s[\Phi]_s) + [K]_F + [K]_{Fs}[\Phi] + [K]_{Fs}^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{U\}_F \\ \{U\}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{0\} \\ [K]_F^T\{U\}_F^0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

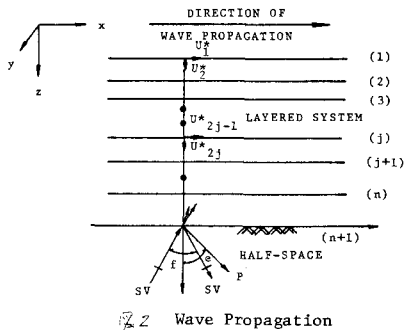
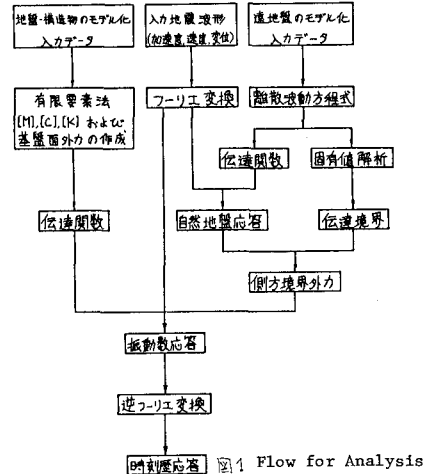


図2 Wave Propagation

を得る。ここに $\{M\}_s, \{C\}_s, \{K\}_s$ は上部構造物の質量、減衰および剛性マトリックス、 $\{Q\}_s$ はその固有モードマトリックスで $\{Q\}_s^T \{M\}_s \{Q\}_s = [I]$ 、 $\{Q\}_s^T \{C\}_s \{Q\}_s = [2\zeta_e \omega_e]$ 、 $\{Q\}_s^T \{K\}_s \{Q\}_s = [\omega_e^2]$ の正規直交性を満たす。 ω_e は固有振動数、 ζ_e は固有モード減衰定数、 $\{B\}$ は基礎の自由度に近する上部構造物への変位影響マトリックス、 $\{U\}_R$ は図3の自由表面地盤の基礎との接触点変位である。同解析手法の利点は、上部構造物が複雑化しても、同固有モードのうちの数少ない重要な固有モードのみを併用して工学的な精度内の応答評価が可能である。また、上下部構造系のうちのいずれか一方の部分系の修正あるいは変更に対して、既に計算されている他部分系の諸量を有効に利用できる点にある。

3. 解析例

図4は、基礎面入射角の違いによる入力評価の検討を応答スペクトル図においてしたものであり、これより地震入射角の重要性が指摘される。地盤一構造物の解析例として、今回は図5の超高煙突を検討した。図6は、その剛体基礎の重心に関して地盤インピーダンスを、三次元軸対称モデルの非軸対称荷重の下に評価したもので、比較のため Novak 近似解も示した。図7には、加速度応答の1例を描いた。

基礎別		弾性基礎		
解析モデル	剛体モデル	接触面モデル		接触点モデル
		地盤インピーダンス	剛体基礎	弾性基礎
地盤モデル	剛体基礎			
	弾性基礎			
構造物モデル		上部構造物	上部構造物	上部構造物
入力源点		基礎	基礎	基礎

図3 Dynamic Substructuring

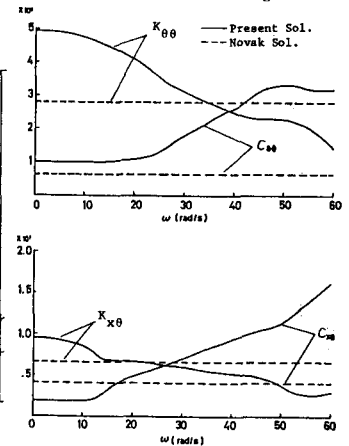


図5 Structure

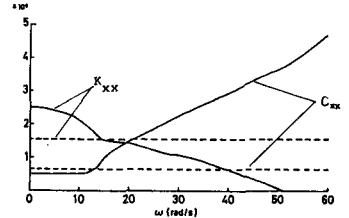


図6 Impedance Functions

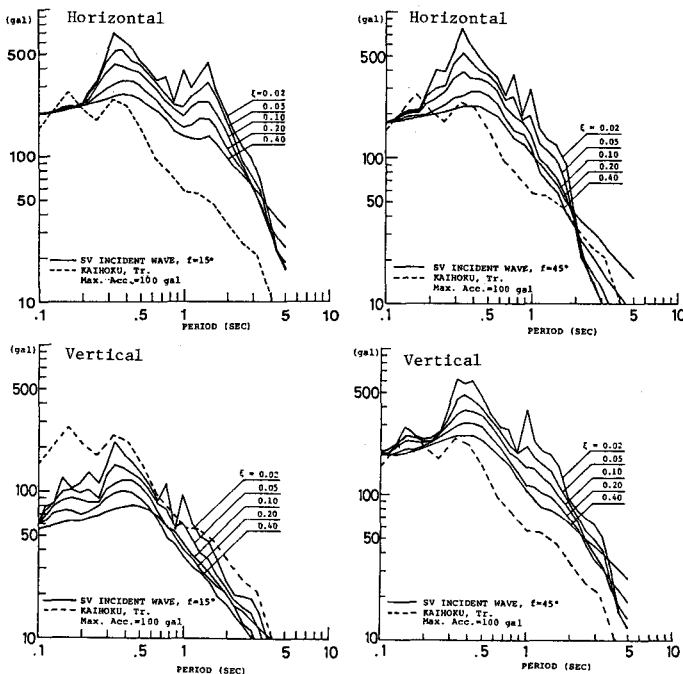


図7 Response Spectra

Input: Kaihoku Bridge Tr., Miyagiken-oki Eq., 1973

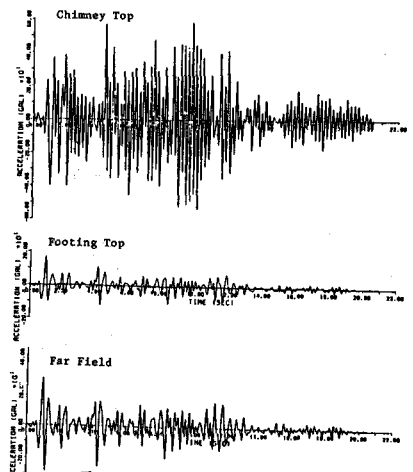


図8 Acceleration Response
Input: Kaihoku Bridge Tr.
Max. Acc. 100 gal at Base