

地盤-構造物系の振動特性に関する研究

鹿児島大学工学部 正員 河野 健二

鹿児島大学工学部 正員 吉原 進

鹿児島大学工学部 学生員 山口 茂

1. まえがき

地震時における構造物の応答は、構造物の振動特性だけでなく、地盤の動的特性とも密接に関係しており、地盤と構造物の動的相互作用を考慮した耐震応答解析法を確立することは重要である。地震時における基礎構造物の応答は構造物系と地盤系の2つの振動から構成される。このため基礎-地盤系の振動特性の解析においては、インピーダンス関数の評価と基礎構造物に作用する入力地震動の大きさを明確にしておくことが必要になる。

本研究では基礎-地盤系の動的相互作用解析に有限要素法を適用する場合問題となる有限境界の設定法について考察し、その動的相互作用特性について述べたものである。

2. 地盤-基礎構造物系の振動解析

地盤-基礎構造物系の振動解析に有限要素法を適用する場合の有限境界として粘性境界がある。これは境界における波動エネルギーの吸収を速度に比例した境界応力で行なうものである。粘性境界は一次元的な波動伝播に基いて表わされたものであり実体波の扱いに関してはその適用が簡単である。ところで平面ひずみ問題において波動方程式の基本解を用いて境界における反射波を実体波で表わすと境界での応力が速度に比例した形で表わされる。すなわち

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} a_1 V_p & a_2 V_p \\ b_1 V_s & b_2 V_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{w} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに ρ は地盤の密度であり、 V_p, V_s はP波、S波の速度を表す。境界への波動の入射角が90°のとき $a_1=1, b_2=1, a_2=$

$b_1=0$ となり粘性境界に対応しており、一般に a_1, a_2, b_1, b_2 は、入射角、層地盤のせん断定数、密度の関数である。

ところで基礎-地盤系を平面ひずみ問題として有限要素法を適用して離散化すると、運動方程式は次のように表わされる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F_b\} + \{F_f\} \quad (2)$$

ここに $[M], [K]$ は質量および剛性マトリックスであり、 $[C]$ は減衰マトリックスである。 $\{F_b\}$ は基盤からの入力による外力ベクトルであり、 $\{F_f\}$ はフーチングからの入力による外力ベクトルを表わしている。

解析モデルとしてはFig-1に示すように深さHの地盤に相入れされた基礎構造物を考えた。 V_{s1}, V_{s2} はそれぞれ上層、下層地盤のせん断波速度である。Fig-2は地盤深さH=40mで $V_{s1}=100\%$ 、 $V_{s2}=1000\%$ の場合のインピーダンス関数を示したものである。実線はいずれも粘性境界によるものであり破線は式(1)で示した有限境界を用いて求めたインピーダンス関数を示している。 k_b, k_s はその実部に相当しており、それぞれ下層、側方地盤によるものである。また C_b, C_s はインピーダンス関数の虚部を表わしており、それぞれ下層、上層地盤によるものである。式(1)で示した有限境界を用いて求めたインピーダンス関数は粘性境界を用

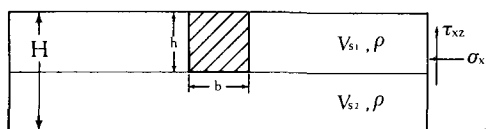


Fig. 1 解析モデル

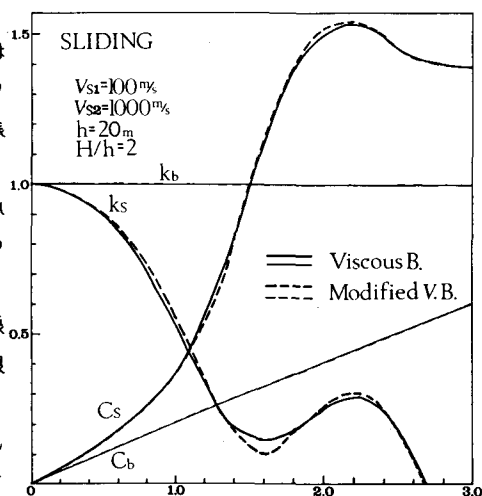


Fig. 2 インピーダンス関数

いて求めた値と比較的よく一致していることがわかる。基礎の並進振動に関して下層地盤のインピーダンス関数は振動数による変化が僅かであることがわかる。一方側方地盤のインピーダンス関数は振動数と共に大きく変化しており、振動数の変化に伴う地盤剛性の低下と減衰の増加がみられる。

Fig.3はロッキング振動に対するインピーダンス関数を示したものである。実線で示した粘性境界を用いて求めたインピーダンス関数に対して破線で示した(1)による有限境界によるインピーダンス関数は比較的よく一致している。下層地盤によるインピーダンス関数は振動数による変化は僅かであるが、側方地盤によるインピーダンス関数は振動数と共に大きく変化していることがわかる。

Fig.4は基礎-地盤系の動的相互作用特性が入力の大さに及ぼす影響を示したものであり粘性境界を有限境界として用いている。実線は基礎からの正弦波入力に対する応答であり、基礎を質量のない構造物として扱った場合であり地盤系の振動に相当する。また細線は基礎からの入力に対して質量のない基礎に生じた応答を基礎への入力として求めたものである。さらに破線は基礎からの入力に対して基礎の質量を考慮した場合の応答を示したものである。基礎における加速度応答は基礎の質量を無視すると若干低下する。これは基礎による構造物としての振動によるものである。図からわかるように地盤系としての振動が卓越しているが、構造物系としての振動も約1割程度見込まれるため、上部構造物を含めた動的解析では入力の大さの決定には注意を要することがわかる。

Fig.5は同様に基礎および基礎からの入力に対する応答を示したものであり、式(1)で示した有限境界を用いている。粘性境界に比べて若干応答の増加がみられる。地盤系振動に対して構造物系の振動が応答に及ぼす割合は粘性境界の場合よりも増加していることがわかる。ところで動的相互作用を考慮した地盤-構造物系の地震応答解析法に動的サブストラクチ法を適用する場合、インピーダンス関数の評価と入力強度の評価が問題となる。この場合、構造物系としての振動の大きさを把握しておくことは大切であることがわかる。

3. あとがき

地盤-基礎構造物系の動的相互作用解析に及ぼす有限境界の影響について検討を加えた。地盤条件や基礎の大きさなどがインピーダンス関数や入力強度の大きさに及ぼす影響を把握しておくことは、動的相互作用を考慮した地震応答解析において重要であると思われる。

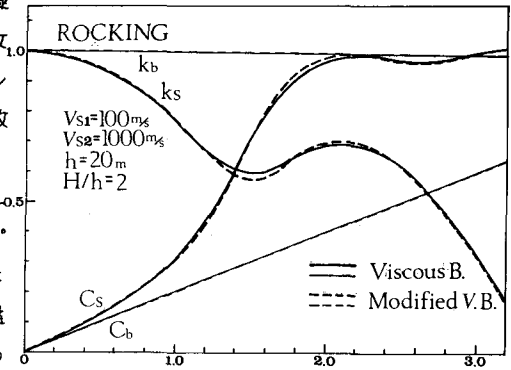


Fig.3 インピーダンス関数

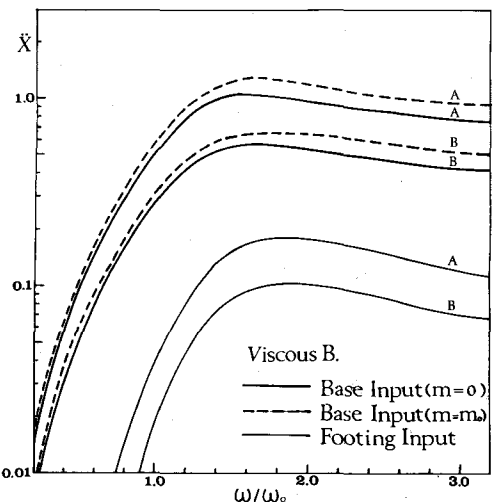


Fig.4 基礎-地盤系の応答

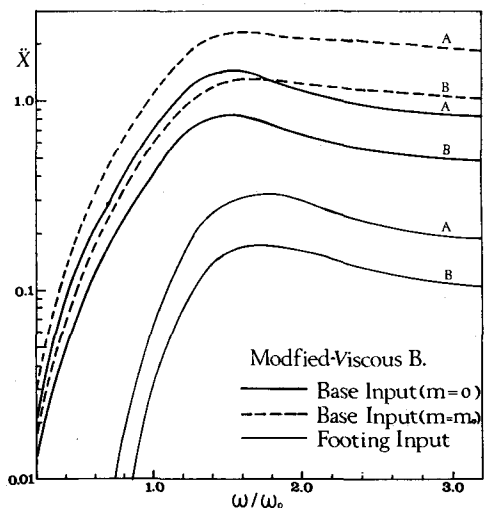


Fig.5 基礎-地盤系の応答