

I-49

地盤-基礎構造物系の動的相互作用特性の解析

鹿児島大学大学院 学生員 ○山口 茂

鹿児島大学工学部 正員 河野 健二

1. まえがき 地震時における構造物の応答は、構造物のみならず地盤の振動特性とも密接に関係しており、現在、地盤と構造物の動的相互作用を考慮した耐震応答解析手法の確立が望まれている。動的相互作用を受ける基礎の応答は、構造物系と地盤系の2つの振動系から構成される。本研究では、3次元にモデル化した基礎-地盤系に関して、インピーダンス関数の評価と、前述の2つの振動系を用いて基礎に作用する入力の評価を行ない、その除問題となる有限境界の設定についても検討を加えた。

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は、粘性境界と伝達境界を設けた。前者は、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り、平面問題で提案されたものを3次元に拡張して適用した。後者は、有限境界に連続体の場合と同様の応力状態を等価な形で与えたもので、境界における変位は応力と一様に対応しているものとする。ところで、基礎-地盤系にリング要素を用いて、円筒座標系における3次元のひずみ・変位関係式を、有限要素法に適用し離散化すると、その運動方程式は、基盤からの入力によるものと、基礎の振動によるものに、それぞれ分けて表わされる。すなわち、

$$[M_1]\ddot{Y}_1 + [C_1]\dot{Y}_1 + [K_1]Y_1 = -[M_1]\ddot{Z}_g \quad \text{----- (1)}$$

$$[M_2]\ddot{Y}_2 + [C_2]\dot{Y}_2 + [K_2]Y_2 = -[M_2](\ddot{Y}_1 + \ddot{Z}_g) \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 $[M_1]$, $[M_2]$ は、それぞれ地盤のみ、フーチングのみの質量マトリクスであり、 $[M]$ は、系全体の質量マトリクスを表わす。また、 $[C]$, $[K]$ は、それぞれ減衰および剛性マトリクスを表わしており、境界の影響を含むものとする。また、 $\{Z_g\}$ は、基盤における変位であり、 $\{Y_1\}$, $\{Y_2\}$ は、それぞれ系の変位を表わすものとする。

解析モデルとしては、Fig-1に示す様に、深さHの地盤に掘入れられた高さhの基礎を考えた。また、上述の境界を地盤側面に設定し、地盤に半無限性をもたせた。 V_{s1} , V_{s2} は、それぞれ上層、下層地盤のせん断波速度を表わし、 ρ は、土の単位体積重量を表わすものとする。

Fig-2およびFig-3は、地盤深さH=50m、せん断波速度比 $V_{s1}/V_{s2}=0.5$ の下層に硬い地盤を持つ基礎の並進振動について、下層地盤、側方地盤によるインピーダンス関数を示したものである。実線は有限境界として伝達境界を用いた場合であり、破線は粘性境界を用いて求めたものである。また、 K_B , K_S は、インピーダンス関数の実部に相当し、地盤のバネ特性を表わす。また、 C_B , C_S は、その関数の虚部に相当し、地盤の減衰特性を表わしている。図から、下層地盤によるインピーダンス関数は、振動数による変化が僅かであり、減衰の若干の増加が見られる。尚、境界の設定による違いはほとんど見られない。一方、側方地盤によるインピーダンス関数には、振動数による変化が顕著に現われており、地盤のバネ、減衰特性が、振動数に依存してくることが

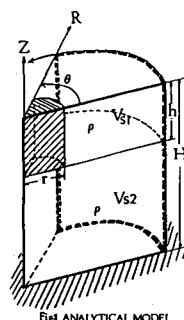


Fig.1 ANALYTICAL MODEL

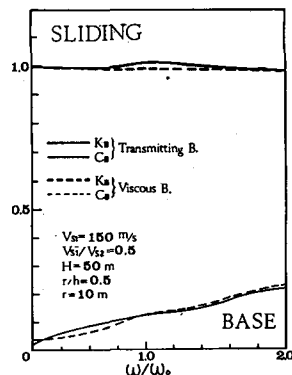


Fig.2 IMPEDANCE FUNCTION

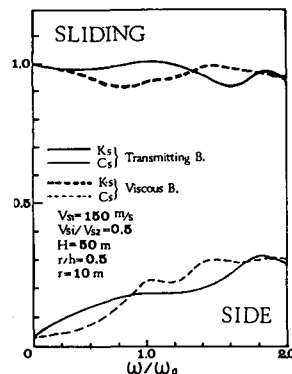


Fig.3 IMPEDANCE FUNCTION

わかる。また、この場合下層地盤によるものと比較して、境界の設定の影響が顕著である。

Fig-4および5は、ロッキング振動に対する下層、側方地盤によるインピーダンス関数を示している。モデルの設定は、並進運動で用いたものと同様である。下層地盤によるバネ特性は振動数と共に低下し、減衰特性はほぼ一定の値をとっている。これに対して、側方地盤によるバネ特性はほぼ一定の値をとるが、減衰特性は振動数と共に増加する傾向を示している。いずれの場合も、境界設定の違いによる影響が見られる。

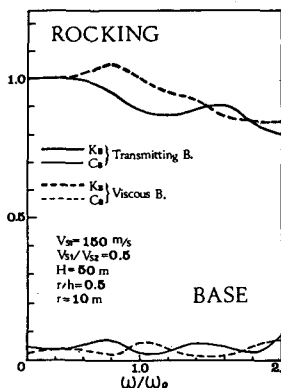


Fig 4 IMPEDANCE FUNCTION

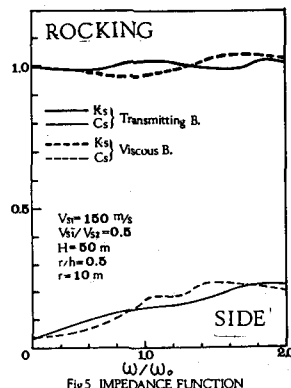


Fig 5 IMPEDANCE FUNCTION

Fig-6は、地盤-基礎構造物系の動的相互作用特性が、基礎に対する入力に及ぼす影響を示したもので、伝達境界を有限境界として用いた場合である。実線は、基盤からの正弦波入力に対する応答を示したもので、基礎と質量のない構造物として扱った場合である。運動方程式は式(1)により表われ、地盤系の振動に相当する。破線は、基盤からの入力に対して、式(1)及び式(2)を用いて同時に求めたものであり、基礎の質量を考慮した場合の全体系における応答を示し、構造物系の応答に相当する。尚、この場合、地盤は $V_{s1}=150$ m/s の均質地盤、基礎の質量は m_0 と $3m_0$ の2通りについて、基礎天端での変位応答を求めた。図からわかる様に、基礎の質量を無視した際の応答は、質量を考慮した際の応答よりも若干低下している。このことは、基礎の動的相互作用による影響に起因するものと考えられる。また、基礎の質量を $3m_0$ とした場合、 m_0 の場合と比較して大きな応答を示していることから、前述の影響が確かめられる。尚、二層地盤の場合も同様の傾向が示される。

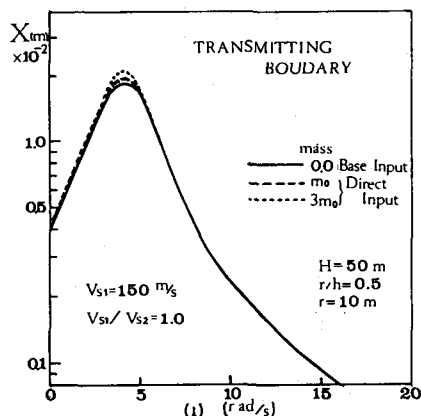


Fig 6 INPUT EVALUATION

Fig-7は、同様に2通りの入力方法に対して、図中のモデル図のA, B, C点において得られた変位応答を示している。図より、基礎構造物からの距離が離れる程、入力方法の違いによる応答の差は小さくなっている。つまり、基礎構造物付近ほど、動的相互作用の影響が大きくなることを示している。

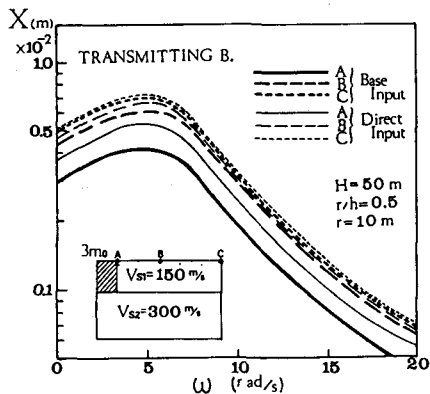


Fig 7 INPUT EVALUATION

また、Fig-6および7より、均質地盤を用いた場合、下層に硬い地盤をもつ二層地盤を用いた場合に比較し変位応答は小さくなっている。

基礎の動的相互作用による影響は1割程度しか現われていないことがわかる。これに対して、二層地盤を用いると、その影響は4割程度にも及んでいることがわかる。また、二層地盤を用いると、基礎による動的相互作用の影響は全振動数にわたり現われているが、均質地盤を用いた場合、その影響は共振点付近のみに現われていることがわかる。

3. あとがき 本解析の結果、地盤条件や基礎構造物の質量、及び有限境界の設定が、インピーダンス関数や基礎に作用する入力の評価に及ぼす影響を把握しておくことは、地盤-基礎構造物系の動的相互作用特性を解析する際に重要であると思われる。