

I - 402

時間領域BEM(間接法)による地盤と構造物の動的相互作用場の遷移応答解析

岡山大学大学院 学生員 祐保芳樹
岡山大学 正会員 竹宮宏和

1. まえがき

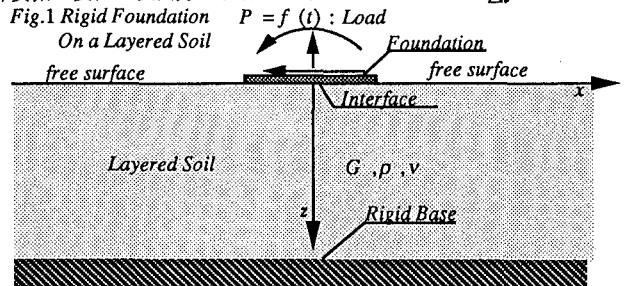
前論文1)において全無限弾性体内部一様分布衝撃力に対する時間領域グリーン関数の評価手法及びその妥当性を報告した。本研究では、その結果を用いて、地盤と構造物の動的相互作用混合境界値問題を扱った、半無限地盤モデル、あるいは、成層地盤のモデルの下における無質量剛体基礎構造物の、2次元平面内両者の遷移応答解析結果から、それらのモデル化の特徴について考察した。

1. 定式化

解析対象Modelとして、Fig.1に示すような、下部に半無限/剛基盤を有する一様、等方、均質な線形表層弾性体上に、無質量剛体構造物が存在する場合を想定する。剛体に作用する衝撃外力として水平、鉛直、回転の3成分が、それぞれ独立に作用するものとする。解析手法として、地表面 $\{b\}$ 、剛体と表面のインターフェイス $\{c\}$ 及び剛基盤面 $\{d\}$ を境界要素に離散化し、各要素内では、強度一定の変位、表面力を想定して、本グリーン関数を初期境界値問題の時間領域BEM(間接法)に導入した。従って、各境界要素の変位と表面力は、合積で与えられ、時間刻み Δt に対して

$$\begin{Bmatrix} U_s \\ U_c \\ U_r \end{Bmatrix}^m = \sum_{j=1}^m F^j \begin{Bmatrix} f_s \\ f_c \\ f_r \end{Bmatrix}^{mj} \quad (1) \quad \begin{Bmatrix} T_s \\ T_c \\ T_r \end{Bmatrix}^m = \sum_{j=1}^m H^j \begin{Bmatrix} f_s \\ f_c \\ f_r \end{Bmatrix}^{mj} \quad (2)$$

ここに、 j は、時間ステップ、 F^j, H^j は、変位応力のグリーン関数から得られる境界要素マトリックス、 $\{f\}^{mj}$ は各境界要素に設定する作用力である。次に、未知量である変位と応力を求めるために、同じく未知量である作用力を次の2つの境界条件、つまり1.自由表面上での零表面力条件、2.剛基盤面上での零変位条件を与える。さらに剛体インターフェイスを、剛体内部中心点で表現する。その時(1)と(2)の作用力が共通であることから、以上全ての条件を考慮して次の(3)のように変位と表面力の式を結合することができる。



$$(\beta \bar{H}^0 \bar{F}^0 \bar{\beta}^T) \bar{U}^m = \left\{ \bar{T}^m + \beta \bar{H}^0 \left[\bar{F}^0 \right]^{-1} \sum_{j=1}^m F^j f^{mj} \cdot \left[\bar{H}^0 \right]^{-1} \sum_{j=1}^m H^j f^{mj} \right\} \quad (3)$$

$$\text{where } \bar{U}^m = \begin{Bmatrix} U_s \\ \Delta \\ T_r \end{Bmatrix}, \bar{T}^m = \begin{Bmatrix} T_s(=0) \\ P \\ U_r(=0) \end{Bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \alpha_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & z_c \\ 0 & 1 & x_i \end{bmatrix}, \alpha = [\alpha_1 \dots \alpha_r \dots \alpha_n]$$

3. 数値解析例

比較対象として、Antesモデル2)と直接時間領域BEM4)の結果を用いて、本解析手法の妥当性を検証した。Fig.2a,bは、成層地盤上の剛体基礎に水平衝撃载荷を層厚別に加えた場合の水平遷移応答である。三者とも $T=2H/V_s$ の周期性を完全に満足している。ところが、Antes&Estorffの解だけは、他の2者に比べて極めて反射波の減衰度が、大きい結果を与えている。一方Fig.2aにおいては、本解と4)の結果が、極めて類似した結果を与えていることから、本解の信頼性は、極めて高いものと思われる。次に、半無限地盤モデルと本解析モデルの差異について言及する。前者では、放射波動場のみが対象となるが、後者では、それに加えて実体波で構成される反射波動場による波動増幅が、表面で卓越して現われる。従って後者において、媒質中での減衰効果により、反射波動増幅が無視できる出来る時には、前者と同一とみなしてよい。Fig.3a,b,cでは、各荷重パターンごとに、層厚の変化による反射波動減衰の様相を調べている。Fig.3aの鉛直荷重作用下において、卓越反射波動場は、P波である。層厚の増大に従って顕著な減衰が見られる。20m付近から非卓越波動場(S波)による増幅は、ほぼ消失し、40m付近から卓越波動場による増幅が、載荷時のピーク値の20%程度に減衰する。Fig.3bの水平荷重作用下では、P波が卓越、S波が非卓越反射波動場になる。鉛直荷重の場合と同様20m付近から非卓越反射波動場は、ほぼ消失し、30m以上で卓越反射波動場による増幅が、20%程度に減衰すると思われる。Fig.3cの回転荷重下では、他の2成分と異なり、卓越、非卓越反射波動場とも急速に減衰し、10m付近からは増幅は見られない。以上の結果により、剛体基礎幅と層厚の比で考察すると、水平荷重の場合1:20以上、鉛直荷重の場合1:20、回転荷重の場合1:5で、成層地盤モデルと半無限地盤モデルの間に差異はないと結論できる。

Antes Model

G	10^5 [KN/m ²]
ρ	2.0 [t/m ³]
ν	0.33
V_p	443.9 [m/s]
V_s	223.6 [m/s]
P	1776 [KN/m]
$2B$	2.0 [m]
Δt	5.63×10^{-4} [s]

Impulse Loading
 P
 Δt
 G : shear modulus
 Δt : length of time step

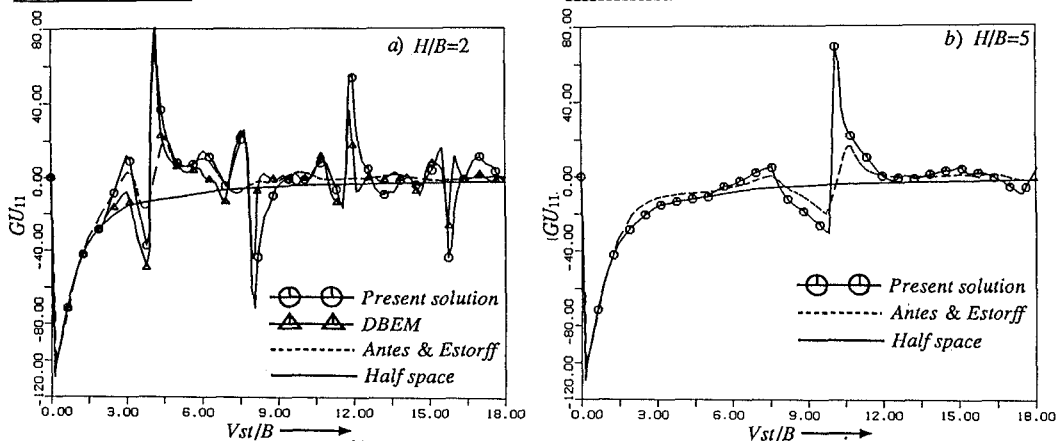
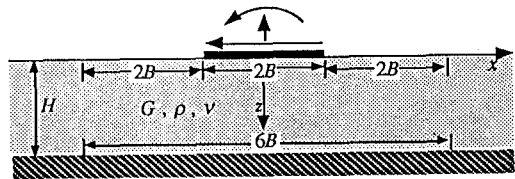


Fig.2 Horizontal responses of a massless rigid strip foundation due to impulse loading

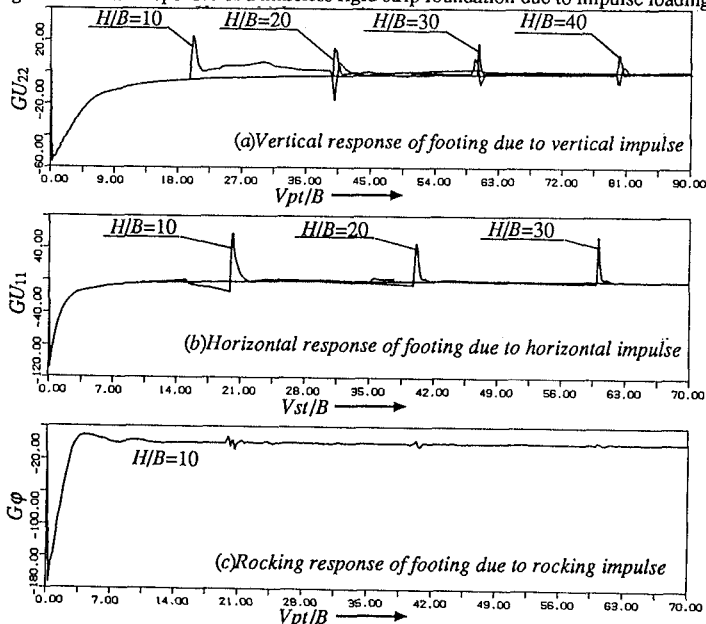


Fig.3 Influences of layer thickness to the responses (vertical, horizontal, rotational)

References

- 1) 岡田、祐保、竹宮 "分布衝撃力に対する全/半無限弾性体の面内/面外遷移応答解析" 土木学会全国大会(1992)
- 2) H. Antes and O. von Estorff, 'Dynamic response analysis of rigid foundations and of elastic structures by Boundary Element Procedures', Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1989, Vol.8, No.2
- 3) Takemiya, H., Guan, F. and Sukeyasu, Y., 'Transient Wave Propagation in soils through interaction with structures', submitted to E.E.S.D.(1992)
- 4) Takemita, H. and Fujiwara, A., 'Transient response of a rigid surface foundation on a halfplane/stratum soil due to time dependent loading, submitted to E.E.S.D.(1993)