

I-B 332

境界要素法による不整形地盤の地震応答に関する研究

日本技術開発（株）○張 海洲
 豊橋技術科学大学 栗林 栄一
 豊橋技術科学大学 粟津 裕之

1 概要

不整形地盤の地震動に対する影響は大変地震工学研究者に注目されている。地震後の現地地震害調査，強震観測と実験及び理論解析，いずれも不整形地盤の地震動への影響を無視してはいけなことを立証している。特に1985年メキシコ地震以来堆積層盆地および堆積層丘陵の増幅特性および地震波の散乱に関する研究は盛んに行われている。本研究では豊橋技術科学大学周辺の不整形地盤をモデル化し、2次元動的境界要素法を用いてSH波入射による不整形地盤の応答について解析を行う。

2 平面波入射による動的弾性問題の定式化

半無限弾性体 Ω_1 の自由表面に body Ω_2 （不整形地盤弾性体）が存在するとき、入射平面波 U^i による半無限弾性体 Ω_1 内部における変位場は次の関係を満足する。

$$u = u^i + u^r + u^s = u^f + u^s$$

ただし、 u^i は入射波、 u^r は半無限弾性体自由表面における反射によって生じた反射波で、 u^s は body Ω_2 存在により生じた散乱場(scattering field)の変位で、 u^f は入射波と反射波の合成した自由場(freefield)の変位である。最終的に Ω_1 、 Ω_2 の結合条件を利用して全体的なマトリクス方程式は次式となる。

$$\begin{pmatrix} H_1 & -G_1 \\ H_2 & G_2 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ Q \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} U_0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{こうして } H_n, G_n \text{ を用いて、} n \text{ 個領域を結合する全体的なマトリクス方程式も書ける。}$$

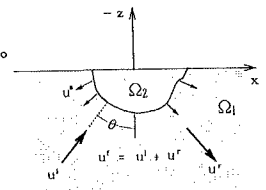


図-1

3 解析モデル及び地盤の物性値

本研究では豊橋技術科学大学周辺の不整形地盤を4層の丘型モデルA、2層の谷型モデルBと考え、全節点の数はそれぞれ1057、1055と設定する。また、本研究では土のせん断波速度Vsが350m/s以上である地層を地震波の入射基盤とし、Vsの増加の具合により入射基盤の値を推算する。

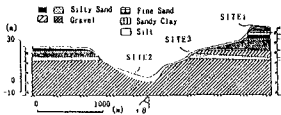
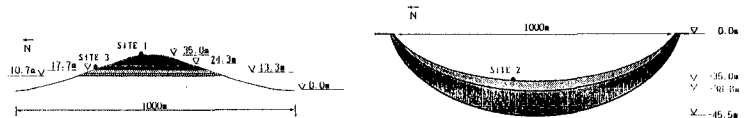


図-2 解析対象地盤



(a) モデルA

(b) モデルB

図-3 解析モデル

4 解析結果

モデルAについて 図-4 (a) は単位振幅SH波が 0° で入射する時の丘の表面における増幅率を示している。丘は4層の水平層から構成され、入射波はこの4層の間で反射、散乱を生じて最終的に地表面に達する為、地表面特に丘の中央部の応答は非常に複雑である。入射角度が 0° の時、中央部から両側へ増幅率の変化はよりスムーズになり、一定の規律性が表れる。これは中央部を離れるにつれ、水平地層の存在による生じた散乱場が地表面における全体的変位場への影響が少なくなることが原因だろうと思われる。さらに、水平層のある区間を離れると、地表面の増幅率が急激に低下することから、地形の不整形が入射波の増幅に大きな影響を与えないことが認められる。また、1次卓越振動数の分布を見比べると、 $|x/a| = 0.4$ の時、卓越振動数 f と増幅率 am はそれぞれ4.9Hz、4.1で、 $|x/a| = 0.2$ の時、 f と am はそれぞれ3.3Hz、5.22で、 $|x/a| = 0$ の時、 f と am はそれぞれ2.7Hz、7.27である。丘の中央に近づくに従い1次卓越振動数が低下するの

対して増幅率が増加する傾向が認められる。図-5に $x/a = 0.0$ の地点においてSH波が 0° 、 60° 、 90° 入射する場合の各層での応答を示している。まずlay1（表面）の卓越振動数の分布を見ると、入射角度が 0° の時、卓越振動数はほぼ全振動数域にわたって分布しており、 60° になると、その大多数が $0 \sim 10 \text{ Hz}$ の範囲に集中している。さらに 90° になると、 10 Hz 以上の卓越振動数が見当たらない。従って入射角度が大きくなるにつれ卓越振動数が低振動数側に移行することが認められる。次に各層間の応答を見るとlay4からlay3へ、増幅率はほとんど変化せず、ところにより低下することがあるのに対してlay3からlay1へ増幅率が一方的に増大することから軟弱層は入射波を大きく増幅させる要因であると思われる（lay3はlay4より硬い）。また、卓越振動数毎にlay1とlay4の増幅率の入射角度別に比べると、 0° 時の両者の比率は卓越振動数によらずほぼ同じであるのに対して、 60° の時 10 Hz 以下の比率は 10 Hz 以上のより大きい、さらに 90° になると 10 Hz 以下の成分だけが増幅されたことから入射角度が増大すると低振動数成分は高振動数成分より大きく増幅されることが認められる。

モデルBについて 図-4（b）に単位振幅SH波が 0° で入射する時の谷の表面における増幅率を示している。入射角度は 0° の時、谷の中央に卓越振動数 7.4 Hz で最大増幅率 8.1 に達した。中央から両側へ卓越振動数は逓減するのに対して、増幅率が逓増する。

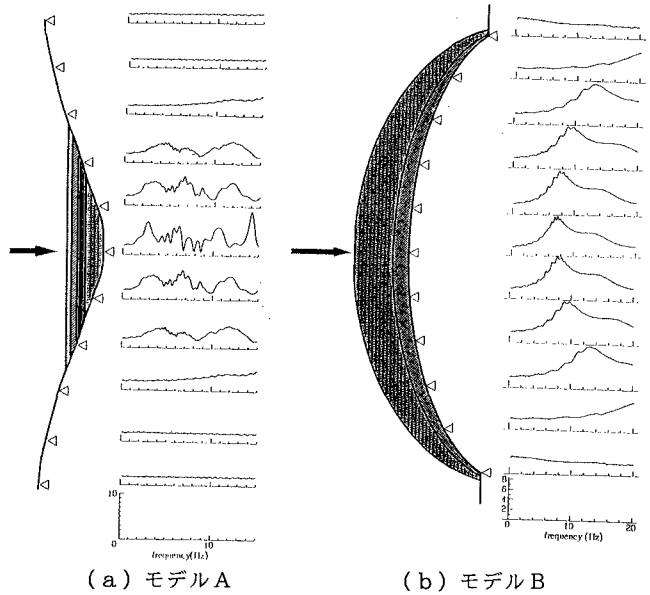


図-4 SH波の鉛直入射による地表面の応答

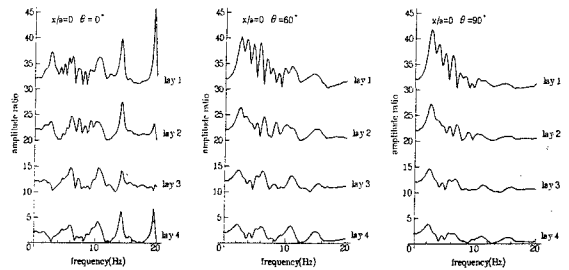


図-5 $x/a=0.0$ 地点での応答変化

4 結論

①散乱体の存在は地形の不整形より入射波の増幅に大きな影響を与える。地層は厚くなるに従い地面の一次卓越振動数が低下し、増幅率が増大するが、入射側と入射の反対側の増幅率は大差がない。水平入射の時、地面の一次卓越振動数は地層の厚さに関係なく入射側から入射の反対側へ一方的に減小し、入射側は入射反対側より増幅率が高い。②入射波は軟弱層を通した後増幅される。上層は下層より硬い場合は、入射波が増幅されないと考えられる。③入射角度がある時、層間の反射波は入射反対側に伝播し、層間距離の短いところに反射回数が増加することによって低振動域の増幅率に影響を与える。入射角度が増大するに従い地面の卓越振動数は低い側に集中する傾向が見られる。

参考文献

[1]C.A.Brebbia, J.C.F.Telles & L.C.Wrqbel, Boundary Element Techniques, Theory and Applications in Engineering, pp376-379, 1984