

境界要素法による不整形地盤の震動解析

京都大学防災研究所

正会員

土岐寛三

京都大学防災研究所

正会員

佐藤忠信

阪神電鉄

正会員

○前田恭司

1. まえがき

本研究では、複雑な地下構造を有している不整形地盤の解析を行うために、境界要素法を用いた地盤の応答解析プログラムを開発し、実地盤に適用したものである。なお、波動は、SH波に限定した。

2. 重みつき残差法による定式化

2次元波動方程式の周波数領域における表現形式は、Helmholtzの方程式になり、次式のように表示される。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + k^2 u = 0 \quad (1)$$

ここに、 k は波数、 u は紙面に垂直な方向の変位、 x は水平座標、 y は鉛直座標である。式(1)を重みつき残差法により置きなおし、線形要素を用いれば、図-1に示すような複合地盤に入射角 θ で波動が入射するような場合には、運動方程式は次式のように離散化される。

$$[K_I + K_{II}]\{u\} = -\{f_0\} + [K_I]\{u_0\} \quad (2)$$

ここに K_I, K_{II} は各々領域 I, II に対する剛性マトリックス、 f_0, u_0 は、一樣な半無限地盤を仮定した時の境界面上の節点の応力ベクトルと変位ベクトルである。

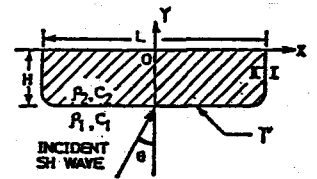


図-1 地盤モデル

3. 北神戸地盤の震動解析例

ここで解析するモデルは、阪神高速道路公団の神戸市高速道路北神戸線に予定されている地域の前開付近の地盤で、盛土・切土を施工した道路完成後の断面を2次元的にモデル化したものである。モデルの諸元を図-2に示した。図-3は、

入射波の振動数を1.9 Hzとし、入射角を $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ と変化した場合の地表面変位応答倍率分布を示している。図中の点線は重複反射理論によるものである。入射角 0° の場合の解と比べてみても、応答倍率の分布形は、かなり異なり、

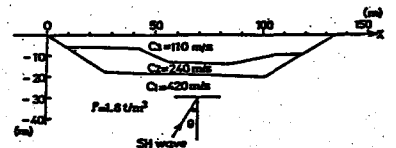


図-2 北神戸地盤モデル

こゝがわかる。また入射角が大きくなるにつれ、応答倍率のピークの発生地点が右側へ移動しピーク値も大きくなり、ている。こうしたこゝから、従来から行われているように重複反射理論を用いて近似的に地盤震動強度を求める手法は、応答を過少評価する恐れがあるこゝがわかる。図-4, 5は波動の入射角が $0^\circ, 90^\circ$ の場合について、 $X=75, 84$ m地点の周波数応答倍率を示したものである。両地点は9 m程度しか離れてないが、地表面の応答特性はかなり

Kenzō TOKI, Tadanobu SATO, Kyōzi MAEDA

異っている。図-6は、El Centro (1940) NS成分記録にフィルターを掛け、5Hz以上の長周期成分をカットした入力加速度波形で、図-7はそのパワースペクトルである。図-8, 9は、波動の入射角が 0° の時の、それぞれ $X=75, 84$ m地点における加速度の時刻歴であるが、この両者を比べてみると、わずかに離れた場所でも加速度波形に差があることがわかる。同様に図-10, 11は入射角が 90° の時の時刻歴であるが、入射角 0° の時に比べ、両地点の時刻歴はよく似ている。このことは、入力地震波の卓越周波数により、近い場所でも入射角の変化に伴い、応答もかなり変化するものと考えられる。図-12は、波動の入射角が $0^\circ, 90^\circ$ の場合の地表面最大加速度分布を示している。入射角が 0° の時は、 $X=75$ m付近に最大加速度の極大値が現れている。このことは、軟弱層の一番深い場所に極大値が現れるだけでなく、地震波の卓越振動数、地盤条件等により、極大値の出現する場所が変化することを示唆している。また、入射角 90° の場合は、不整形地盤の右方で入射した波動エネルギーが蓄積されるため、かなり大きな加速度値を示している。図-13のRMS値の分布によっても、このことが裏付けられる。以上の結果より、不整形地盤では、入射波の卓越振動数、入射角、場所等により、かなり異なった応答を示すので、不整形性を考慮した詳細な検討を要すると考えられる。

参考文献
リ：境界要素法入門：C.A. Brebbia 著、神谷他3名共訳：培風館

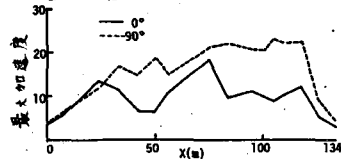


図-12 地表面最大加速度分布

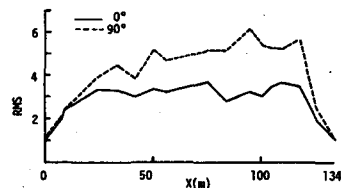


図-13 地表面加速度のr.m.s.分布

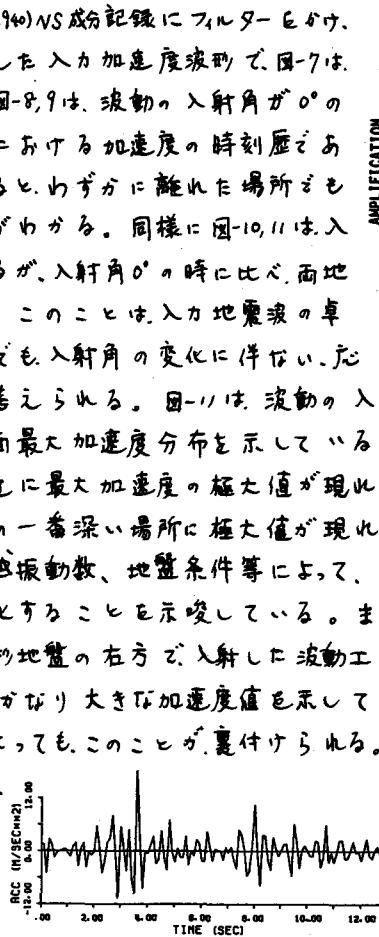


図-8 $X=75$ 地点の加速度波形 ($\theta=0^\circ$)

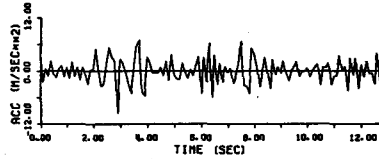


図-9 $X=84$ 地点の加速度波形 ($\theta=0^\circ$)

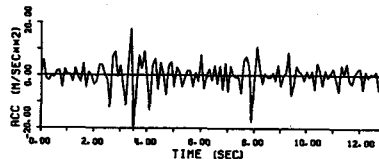


図-10 $X=75$ 地点の加速度波形 ($\theta=90^\circ$)

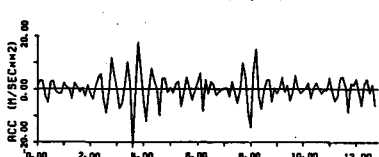


図-11 $X=84$ 地点の加速度波形 ($\theta=90^\circ$)

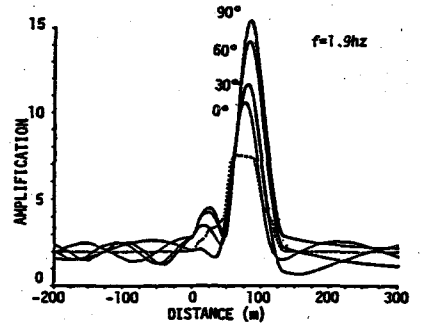


図-3 地表面の変位応答倍率分布

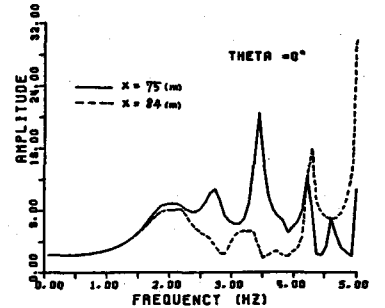


図-4 周波数変位応答倍率分布 ($\theta=0^\circ$)

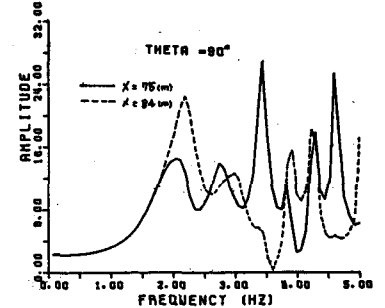


図-5 周波数変位応答倍率分布 ($\theta=90^\circ$)

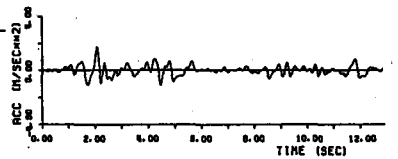


図-6 El Centro (1940) NS成分の加速度波形

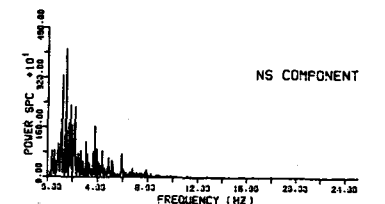


図-7 El Centro (1940) NS成分のパワースペクトル