

高速多重極境界要素法による広域地震動シミュレーション に関する基礎的考察

福井大学大学院 学生員 近藤 喜彦
福井大学大学院 学生員 稲津 恭介
福井大学工学部 正会員 福井 卓雄

研究目的

本報は、著者らのこれまで高速多重極境界要素法の研究により地震のシミュレーション解析がこれを使用して距離が 100km 程度で深さが数 10m での 2 次元解析、または 3 次元解析ができるめどがついたため、まずは 2 次元で福井平野を対象に解析をすることとなった。福井平野を対象したのは 1948 年 6 月 28 日にマグニチュード 7.1 程の福井地震が福井県の福井平野で起きたからである。この地震では死者 3700 名程、家屋全壊 36000 戸以上の大きな被害であった。この時の数値的データは地震計がこの時の衝撃で壊れたためほとんど残っていない。そのため、この解析をすることでこの時の地震波がどのように伝播したのか、また地盤の特性より被害状況などを調べるなどしてその当時の状況を明らかにしてみることとなった。

解析モデル

解析のモデルは福井平野全域を想定しておりボーリング調査から得られている地盤データを使い下図のようなモデルを考える。

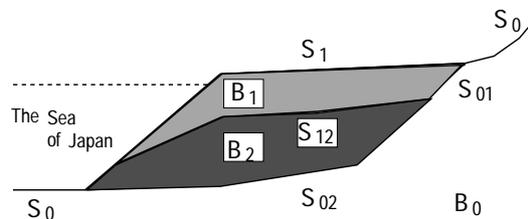


図 1 解析モデル

B_i は領域を表し、 S_{ij} は接触境界を表している。

解析における問題

この解析モデルに高速多重極境界要素法を適用して解析をする場合いくつかの問題が上げられる。

1. 波数の大きい問題

横波の位相速度 c_T が 400m/sec ならば $k_T = w/c_T$ より、領域が 100km であれば、考えている波数は $k_T L$ (L は領域の幅である) より 1570 程度になってしまう。

2. 多層領域の問題

高速多重極境界要素法は反復法を使用して解析しているため反復性能を改善するためにいくつかの前処理をする必要がある。

解析手法

2次元動弾性問題の高速多重極境界要素法 [1] を基礎として解析をする。弾性体は等方等質であると仮定する。領域 B およびその境界 ∂B における周波数領域を考える。境界値問題は次のようになる。

$$c_T^2 u_{i,ij} + (c_L^2 - c_T^2) u_{j,ji} + w^2 u_i + X_i = 0 \quad \text{in } B, \quad u_i = \hat{u}_i \quad \text{on } \partial B_1, \quad n_j \sigma_{ji} = \hat{s}_i \quad \text{on } \partial B_2 \quad (1)$$

ここに、 u_i は変位、 X_i は物体力、 c_L 、 c_T は縦波および横波の位相速度であり、 w は与えられた角周波数である。

領域 B が無限で、入射波 u_i が境界 ∂B に入射するときの散乱問題を考える。物体力がない場合において、境界積分方程式は、動弾性学における Somigliana の公式から導かれる。

$$C_{ij}(\mathbf{x}) u_j(\mathbf{x}) = \tilde{u}_i(\mathbf{x}) + \int_{\partial B} [G_{ij}(\mathbf{x}; \mathbf{y}) T_{jk}^n u_k(\mathbf{y}) - S_{ij}(\mathbf{x}; \mathbf{y}) u_j(\mathbf{y})] ds_y \quad (2)$$

ここに、 ds_y は点 y における境界の線素である。この方程式を離散化した方程式は

$$-As + Bu = \tilde{u} \quad (3)$$

となる。この方程式は係数が密な行列になる。そのため問題の規模が大きくなると、記憶容量・計算量が極めて膨大なものになってしまう。これを回避するために高速多重極法を導入しそれらを改善する。しかし、以上の方法で問題を解析しようとする、上で述べた問題によって解を得ることが困難になってくる。そこで

- 1. に対しては、高速多重極境界要素法 [1] に高速 Fourier 変換を使用した高速多重極境界要素法による 2次元散乱問題の解析 [2] と同じく FFT を適用することで高い周波数問題に対応させる。
- 2. に対しては、境界要素方程式にいくつかの前処理をする。
図 1 の各層間の接続関係をグラフで表す。

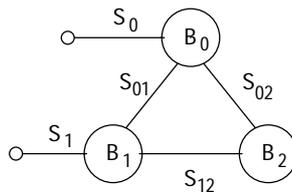


図 2 接続関係のグラフ

1. 方程式 (3) において図 1 についての方程式を連続条件を与えてまとめてやると弾性係数の違いを除いて、ほぼ同じ性質の行列がある。これらの行を加えるあうことで、非対角行列の値をかなり小さくすることができる。
2. 領域間の接続グラフにおいて、接続の強度を接触面積で評価することで弱い接続をはずす。

以上の方法で解析をし、これらの方法で解析をして地震波がどのように地盤を伝わるのかをシュミレーションして被害状況と解析結果をてらしあわせる。

参考文献

- [1] 福井卓雄, 井上耕一: 高速多重極境界要素法による 2次元動弾性問題の解析, 応用力学論文集, Vol. 1, pp.373-380, 1998.
- [2] 福井卓雄, 勝本順三: 高速 Fourier 変換を援用した高速多重極境界要素法による 2次元散乱問題の解析, 境界要素法論文集, Vol. 15, pp. 99-104, 1998.