高速多重極境界要素法による福井平野における地震動シミュレーションの基礎的研究

福井大学大学院　学生会員　○　近藤 喜彦
福井大学工学部　正会員　　　福井 卓雄

はじめに

今日, 都市部における地震動シミュレーションの解析が行われているが, 本研究では都市含んだ平野全体の解析を目指している。このような都市を含んだ平野全体での解析により地震動の情報が得ることができれば, その社会的意義や工学的意義は大きい。

1948 年 6 月 28 日, 福井平野でマグニチュード 7.1 程度の福井地震が起きた。この地震は死者 3700 名, 家屋全壊 36000 戸以上の大きな被害を与えた。当時の観測データは強震計がなかったため全く残っていない。著者らのこれまで高速多重極境界要素法の研究により 2 次元,3 次元での高速多重極境界要素法による都市を含んだ平野全体での地震動シミュレーションの解析ができる。本研究では福井平野における地震動シミュレーションを行い, 当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ことで, その当時の状況を明らかにすることを目的とする。

1　福井平野の地盤構造

この解析では福井平野の地盤構造を最上部に砂や粘土で構成される沖積層があり, その下にレキ層を主とする洪積層があるとする。洪積層の最下部は安山岩で構成されているため, これを基礎岩盤層として, 3 層からなるとみなす (図 3, 図 4)。

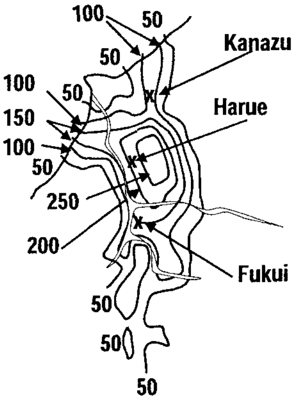

図 1. 基礎岩盤層 (第三紀安山岩) 表面の深度分布

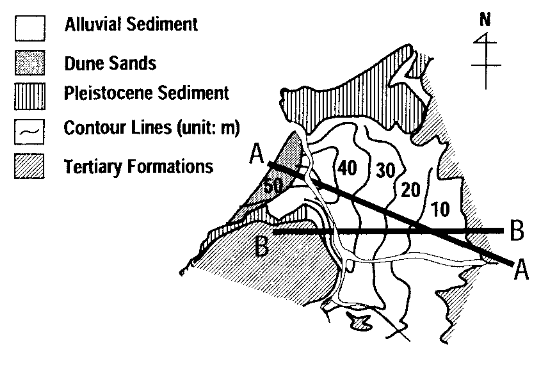

図 2. レキ層表面の深度分布

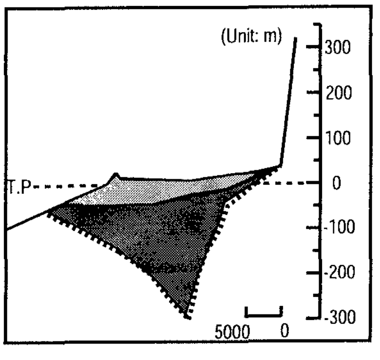

図 3. 福井平野 A－A ’断面

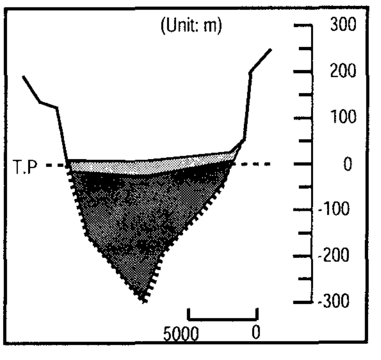

図 4. 福井平野 B－B ’断面

2 解析モデル

解析モデルは2次元では図3, 図4のような解析モデルとなる。3次元では基礎岩盤層が図1のように分布した上に洪積層が図2のように分布し, この上に沖積層がある3層構造とする。

2.1 解析モデルの特性

福井平野の地盤構造や解析モデルの特性を調べ、解析にはどのような条件が必要なのかを3次元でみてみる。

福井平野の解析モデルにおける問題をみるために解析モデルのいくつかのパラメーターを求める	
弾性波速度	$c_L = 762.6m/sec$ (福井市内の実測値), $c_T = 311.3m/sec$ (Poisson 比 $= 0.4$)
波長 ($f = 1/sec$)	$L_L = c_L/f = 762.6m$, $L_T = c_T/f = 311.3m$
波数	$k_L = 2\pi f/c_L = 0.008239/m$, $k_T = 2\pi f/c_T = 0.02018/m$

3次元での解析規模をみるために要素数を求め, 高速多重極境界要素法における波数 (無次元波数) を求める	
最小要素サイズ	$L_T = 300m$ として, 半波長を5等分すれば, $\triangle = 30m$
要素数 (N)	領域が $40km \times 40km$ で $\triangle = 30m$ のとき 3層では $N = (40/30)^2 \times 10^6 \times 3 = 5.1 \times 10^6$
無次元波数 ($k_T L$)	領域が $40km \times 40km$ で $k_T = 0.02/m$ のとき $k_T L = 0.02 \times 40\sqrt{2} \times 10^3 \simeq 1131$

(注; 右の表では $40km \times 40km$ の正方形の領域だけを考えている)

以上より次のことがいえる。

1. 3層からなる多層領域を扱う。
2. 解析に必要な要素数は3層を扱うので500万程度である要素数の大きい解析となる
3. 無次元波数の大きな解析となる

3 解析手法

上記で示した特性から次の解析手法を使うことにする。

- 解析は動弾性問題であり要素数の大きい, 大規模領域を扱うことになるため境界だけを考える境界要素法を基礎とし, 大きい要素数でも高速, 高精度な解析のできる動弾性問題における高速多重極境界要素法 [1] を使い解析をする。
- 無次元波数の大きい問題を扱うことになる。無次元波数が大きくなると計算時間がかかる。高速多重極法における多重極展開, 局所展開の係数を Fourier 変換して, Fourier 像空間の中で解くことで係数変換を高速化でき, 全体の計算時間を減すことができる [2]。
- 解析は計算時間の高速化をはかろうとしている。そのため反復法の収束速度を速くする必要がある。反復法の収束速度は一般に境界積分方程式を離散化した代数方程式の係数行列の特性によって決まるため, 与えられた方程式を同じ解を持ち, より良い係数を持つ方程式にかえて (前処理), 反復法を適用する。
  - 非均質領域における前処理

    代数方程式の係数において非対角項に対角項の大きな部分行列が入っているのでこれの特性を弱めることを考え, 弾性係数の違いを除いてほぼ同じ性質の部分行列がある場合, これらの行を加えあうことで非対角項の値を小さくする
  - Wavelet 変換を利用した前処理

    係数行列に Wavelet 変換をほどこすことで行列の情報が対角成分付近に集められ前処理行列を得ることができる [3]

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, **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, **15**, pp. 99–104, 1998.

[3] 福井卓雄：Wavelet 変換を用いた境界要素反復解法における前処理, BEM・テクノロジー・コンファレンス論文集, **9**, pp. 85–90, 1999.