

I-B 172 1995年兵庫県南部地震における神戸市域の三次元地震動シミュレーション

東京工業大学総合理工 学生員 片岡正次郎
 清水建設 正会員 本多 基之
 東京工業大学総合理工 正会員 大町 達夫

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震は震源の浅い内陸型の直下地震であり、神戸市を中心に非常に大きな被害をもたらした。なかでも、神戸市から西宮市に至る震度7の区域に被害が集中し、震災の帯とよばれている（図-1）。被害集中区域が細長い帯状となった原因には諸説あり、その解明は重要な課題である。本稿では深い基盤構造の影響に注目し、三次元境界要素法を用いて神戸市周辺における地震動のシミュレーションを行った結果について報告する。

2. 計算手法と計算モデル

計算には三次元空間で定義された直接境界要素法を用いる。図-1に示す20km×14kmの範囲の地下構造を簡単な二層地盤として、図-2のように節点間隔1kmのisoparametric線形要素を用いたモデルを作成した。基盤は六甲山系から大阪湾側にかけて約10度の傾斜をもち、走行直交方向の断面は一定である。断層は長さ25km、幅13kmの右横ずれで、断層上端の深さは1km、破壊は西南西から東北東にunilateralに伝播するものとした。モデル化した領域外にも断層があり、この部分の表層を伝わってくる入射波は無視していることになる。

このとき、基盤領域の境界を Γ_B とすると、この領域に関する境界積分方程式は次のようになる。

$$c_{ij}(x_0)u_j(x_0) + \int_{\Gamma_B} T_{ij}(x, x_0)u_j(x)d\Gamma(x) - \int_{\Gamma_B} U_{ij}(x, x_0)t_j(x)d\Gamma(x) = \bar{\psi}_i(x_0) \quad (1)$$

ここで、 c_{ij} は境界 Γ の点 x_0 における形状によって定まる係数、 u_i 、 t_i は変位、表面力の x_i 成分であり、 U_{ij} 、 T_{ij} はそれぞれ x_0 を作用点、 x を観測点とする変位および表面力の基本解テンソルを表す。左辺第2項の積分記号は主値積分を示している。また、 $\bar{\psi}_i$ は入射波の影響を表す項である。

破壊が長さ方向に速度 c_r で伝播する場合、 $\bar{\psi}_i$ は次式で表される¹⁾。

$$\bar{\psi}_i(x_0) = i \frac{c_r}{\omega} W' \sum_{l=1}^{n_L} \sum_{k=1}^{n_W} T_{ij}(x_{kl}, x_0) d_j(x_{kl}) \cdot \left\{ \exp\left(-i\omega \frac{lL'}{c_r}\right) - \exp\left(-i\omega \frac{(l-1)L'}{c_r}\right) \right\} \quad (2)$$

ここで、 n_L 、 n_W は断層の分割数、 L' 、 W' はそれぞれ小断層の長さおよび幅であり、 x_{kl} は小断層面上の代表点である。

また、表層領域の境界を Γ_S とすると、この領域に関する境界積分方程式は次のようになる。

$$c_{ij}(x_0)u_j(x_0) + \int_{\Gamma_S} T_{ij}(x, x_0)u_j(x)d\Gamma(x) - \int_{\Gamma_S} U_{ij}(x, x_0)t_j(x)d\Gamma(x) = 0 \quad (3)$$

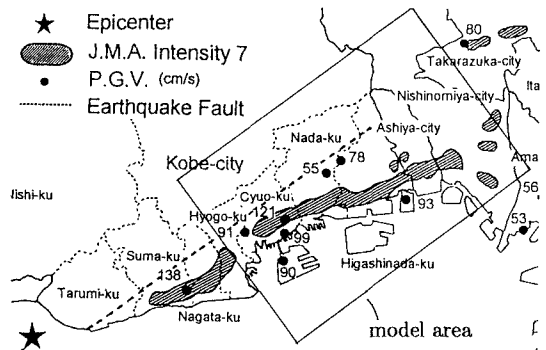


図-1 震度7の分布と計算モデルの範囲

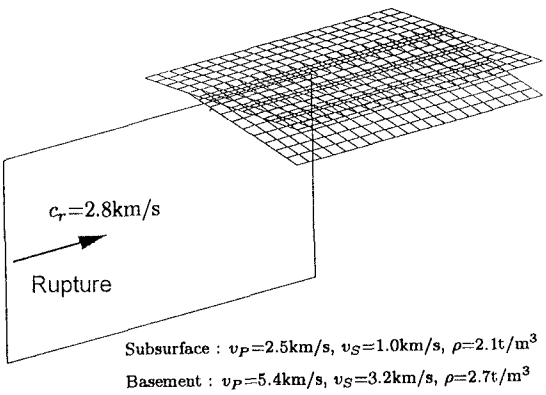


図-2 計算モデル

以上の式をマトリクス方程式化し、境界条件式とともに連立して解くことにより、三次元境界要素法に断層震源を組み入れた計算を行う。

なお、物性値は香川・堀江²⁾に従って定め、震源時間関数はライズタイム1.0秒のramp functionとした。

3. 計算結果

図-3に破壊開始後3秒から19秒の変位のスナップショットを示す。これによると、1)観測点下の基盤から表層に入射して地表に達する波と、2)断層付近から表層に入射し、地表面を伝って観測点に到達する波があり、1)の見かけの伝播速度は約1.8km/s、2)の伝播速度は約0.7km/sである。

また、計算結果から地表での最大速度分布を描くと図-4のようになる。最大速度の大きい地点はやや細長い帯状に分布しており、液化化した区域を除けば、図-1の震度7の分布とある程度対応している。また、帯から少し離れて最大速度が大きくなる地点もあり、実際の現象と調和的である。

4. まとめ

三次元境界要素法に断層震源を導入した手法を用いて、1995年兵庫県南部地震における神戸市域の地震動シミュレーションを行った。その結果、地震動強さの大きい地点は、断層から少し離れて帯状に分布した。したがって、地盤の浅い部分による増幅だけでなく、不整形な基盤構造と断層の破壊伝播によって引き起こされた地震動が「震災の帯」の原因となった可能性がある。

本稿ではごく単純な基盤構造、断層破壊を仮定した結果について示した。今後はより現実に即したモデルを用いて同様のシミュレーションを行い、浅い地盤構造による増幅の影響と合わせて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 片岡, 大町: 震源近傍の不整形地盤における地震動の三次元シミュレーション, 土木学会論文集(投稿中).
- 2) 香川, 堀江: 大阪堆積盆地深部地盤構造のモデル化(その2), 土木学会第50回年次講演会, 1264-1265, 1995.

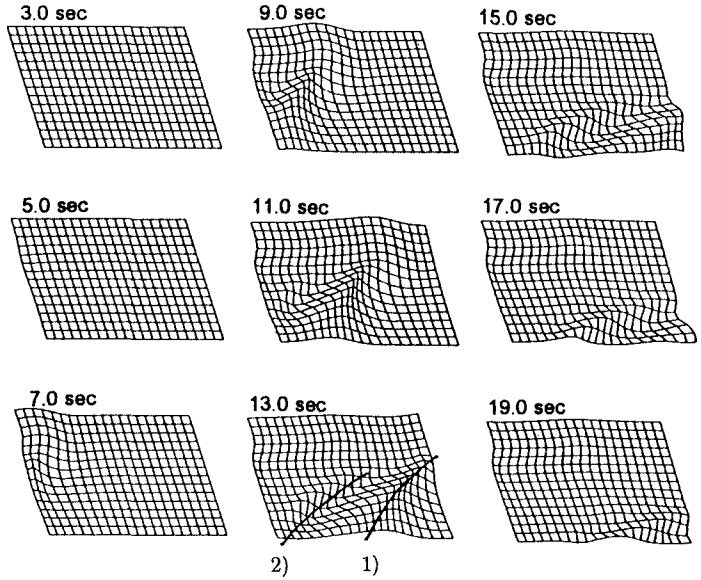


図-3 変位のスナップショット

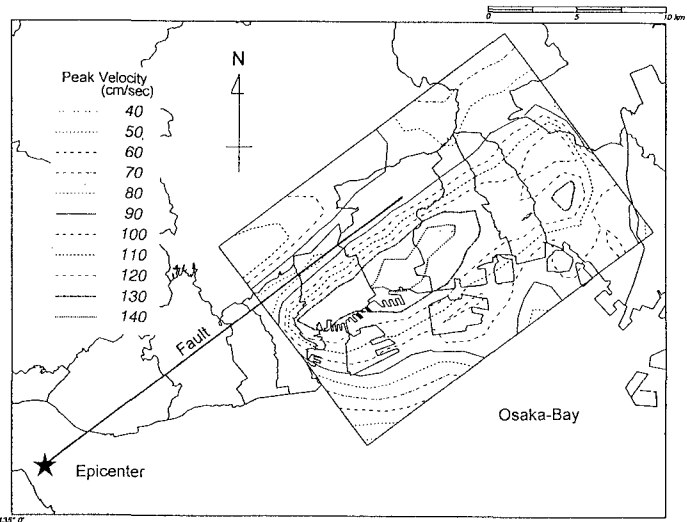


図-4 最大速度分布