

南海、東海地震の地震動予測—有限要素法を用いた大領域地盤構造の3次元地震動評価法—

Ground motion prediction for the Nankai & Tokai earthquake -3D ground motion evaluation method for large-scale structures-

永野 正行[1], 山田 有孝[2], 山添 正稔[1]

Masayuki Nagano[1], Ariyoshi Yamada[1], Masatoshi Yamazoe[2]

[1] 鹿島・小堀研究室, [2] 鹿島小堀研究室

[1] Kabori Research Complex, Kajima Corporation, [2] Kabori Research Complex, Kajima Corporation

(1) 研究目的

近年では大領域の地盤構造の3次元地震動評価に、差分法(FDM)を中心とする離散化手法による計算が広く普及しつつある。従来から工学の分野で広く用いられてきた有限要素法(FEM)を用いた適用例もいくつか見られ[Bao(1998)]、将来的には構造物との一体解析や非線形解析への発展も期待できる。

東海、南海地震による大阪、神戸、名古屋等の大都市における地震動を理論的に評価するためには、震源領域から大阪平野までを含めた極めて広い領域の地盤構造をモデル化する必要があるとともに、これに伴う膨大な数値計算が要求される。本研究では大領域地盤の3次元震動解析を目的に、有限要素法と陽解法による時間積分法に基づき、地盤構造のモデル化と計算量を効率化できる解析手法を開発した。

(2) 解析手法

3次元領域のモデル化では、対象領域の直交する3辺を任意長さのグリッドで分割し、それを格子状に切断した解析モデルを用いる。これは差分法で定式化された不等間隔グリッド[Pitarka(1999)]の考え方と同じである。有限要素は全て直方体の8節点6面体アイソパラメトリック要素とする。このときの変位-ひずみ関係を3辺の長さのみでコントロールし、マトリックス演算を回避することにより、節点力の計算を効率化している。

震源断層を含む大領域地盤を解析対象とする場合、通常地盤領域全体の一部に低速度層の領域が存在する。例えば震源断層より離れた位置にある盆地状の堆積地盤を検討するときには、震源断層面から堆積盆地縁までは基盤層が、堆積盆地部は低速度層が仮定される場合がある。前述の不等間隔グリッドを用いることにより、ある程度解決することができるが、解析モデルの規模が大きくなると、堆積盆地に用いる細かいグリッド間隔により、全体のグリッド数も大きくなる。また差分解法の収束条件に支配される解析時間刻みも、細かいグリッドに合わせる必要があるため、演算回数が増大する。

本解析法では、解析領域の一部に堆積盆地のような低速度層が存在する場合、これをグリッド間隔の細かい副領域として設定し、グリッド間隔の粗い主領域と結合して解く方法を採用した[藤原・藤枝(2001)]。結合空間では主領域の4節点で囲まれた平面上に、副領域の節点が複数点定義されることになる。主領域と副領域間の変位の連続性や節点力の釣り合いは、内挿関数で補間した。さらに最小のグリッド間隔で支配される時間刻みを、各領域のサイズに応じて変動させるアルゴリズムを採用した。グリッド間隔の粗い主領域で時間刻みを大きくすることにより、演算回数を低減させることができる。副領域の状態量は主領域の速度を時間内線形で内挿することにより評価し、副領域の節点力を時間方向に積分し主領域の節点力に加えることにより全体の釣り合いを考慮した。

(3) 検証と適用例

検証例として、成層地盤に点震源を仮定したときの地震動を評価し、速度波形が波数積分法と概ね一致することを確認した。また全体領域を主領域とグリッド間隔が半分の副領域に分割した解析モデルで計算し、速度波形が全体領域のみの結果とほぼ一致することを確認した。次に堆積盆地状の不整形地盤に点震源を仮定したときの地震動を評価した。主領域、副領域に分割した手法で計算した速度波形は、1つの領域のみで計算した結果と良好に一致し、かつ計算時間が1/3程度であった。

適用例として南海、東南海地震の発生を想定し、大阪平野を含む関西全域を対象とした3次元計算を実施した。東西600km、南北400km、深さ90kmの関西地域全体を解析対象とし、大阪平野を含む90km×75km×10kmの領域はグリッド間隔の細かい副領域に、これ以外は7倍のグリッド間隔(1.0km)を持つ主領域とした。大阪平野は宮越・他(1997)、栗本・他(2000)を参考に最小のせん断波速度を0.5km/sとしてモデル化した。主領域は全てせん断波速度3.2km/sの基盤を仮定した。1せん断波長内に最低5グリッド確保し、1.6s以上の周期域を検討対象とした。震源位置等は地震調査研究推進本部(2001)による震源域、アスペリティ、破壊開始点を参考に決定した。時間刻みは主領域で0.07s、副領域で0.01sとし、約250sの計算を行った。大阪平野内で速度波形を評価した結果、盆地構造に起因する地震動の増幅、継続時間の延伸が確認された。主領域と副領域の要素数の合計は約3000万であ

り、領域分割をしない場合の約 $1/3$ となる。本ケースでの演算回数は領域分割をしない場合の約 $1/10$ であり、提案手法が大領域地盤の波動伝播解析に極めて有効であることを示した。