

神戸市直下の3次元地盤構造による地震動増幅特性と2次元結果との比較

The amplification characteristics of ground motions in the 3-D underground structure beneath Kobe City compared with 2-D results

永野 正行[1], 山田 有孝[2]

Masayuki Nagano[1], Ariyoshi Yamada[1]

[1] 鹿島・小堀研究室, [2] 鹿島小堀研究室

[1] Kobori Research Complex, Kajima Corporation

神戸市中心部直下に存在する深部地盤構造を3次元有限要素によりモデル化し、1995年兵庫県南部地震時の地震動増幅特性を調べた。3次元領域への入射場は、基盤地震波を断層直交方向に入射することにより表現した。計算された速度波形を観測記録と比較し、最大速度コンターを実際の被害分布と比較することにより、本解析モデルの妥当性を検証した。2次元結果との比較から、段差地盤の3次元的变化が段差境界近傍での地震動増幅に与える影響を調べた。段差境界近傍の地震動増幅は、2次元地盤による増幅特性により支配され、東西方向での段差地盤の連続的な変化に起因する3次元波動場の影響は小さいことが分かった。

1995年兵庫県南部地震では、神戸市中心部の東西方向に甚大な被害領域が広がる「震災の帯」が形成された。この原因の1つとして、神戸市中心部直下に存在する深部地盤構造の不整形性による地震動増幅が地震直後から指摘された。段差地盤を考慮した地震動増幅に関しては既に多くの数値計算が行われており、特に近年の計算機環境の飛躍的な向上を背景に、震源断層とともに3次元地盤構造を考慮したシミュレーション解析手法が実用化されつつある。3次元シミュレーション解析で得られる地震動の空間分布から、「震災の帯」が東西方向に断続的に出現する現象を説明することができる。この現象は、断層の破壊により生じる地震波の変動と、段差構造の東西方向の3次元的变化による地震動増幅特性の両者に起因する。しかしながら後者による地震動増幅特性の違いに着目した議論は極めて少ない。

本研究では神戸市中心部直下の3次元地盤構造を考慮した強震動シミュレーションを有限要素法(FEM)を用いて実施し、「震災の帯」域を含む神戸市中心部での地震動評価や地盤増幅特性を検討した。このとき観測記録と2次元FEMにより既に算定している基盤地震波を利用し、これを断層直交方向に鉛直入射、もしくは断層方向に沿って移動入射し、3次元地盤応答を算定した。この場合、震源断層からの地震動の周期特性やディレクティブリティ効果等は、基盤地震波に既に含まれることになる。移動入射条件は、地震断層の破壊過程により発生する複雑な入射波動場を近似的に表現するものである。解析結果を2次元FEMによる結果と比較することにより、東西方向での段差地盤の連続的な変化に起因する3次元波動が地震動増幅に及ぼす影響を調べた。3次元領域の大きさは六甲断層系に沿って約22km、断層直交方向に6.5km、深さ約2.0kmであり、すべて4節点4面体要素でモデル化する。要素分割後の節点数は533447、要素数3036000である。要素分割にあたってはS波動の最大透過振動数が2Hzとなるように、最大要素長を各地盤領域におけるS波速度の1/10以下とした。

最初に3次元解析による計算波形と神戸市中心部で得られた観測記録を比較した。神戸市中心部の断層直交方向の速度波形は、鉛直、移動入射条件と3次元解析との組み合わせにより、概ね良好に再現された。これは2次元FEMを用いて逆算した基盤波が、3次元領域への入射波としても有効であることを示すものである。次に神戸市中心部で評価した最大速度コンターを実際の被害分布と比較した。この結果、鷹取断面から兵庫断面にかけて、神戸大学断面から芦屋断面にかけての段差境界より約1km大阪湾寄りの地域、三宮断面周辺で最大速度の大きな領域が現れた。移動入射時の最大速度コンターは、鉛直入射時に比べ特に段差境界近傍で最大速度がやや増加するものの、全般的に鉛直入射時と同様の傾向を示した。実際の被害分布と比較すると、解析では最大速度の大きな領域がやや海岸線寄りに現れているものの、「震災の帯」内で断続的な分布を示す被害大の領域と似通った分布を示す。以上の結果は、本解析で用いた3次元地盤構造や基盤地震波による入射条件が概ね妥当であることを示す。また「震災の帯」内での東西方向での断続的な被害分布が、大阪層群上での地震動の空間変動により説明できることを示す。

断層直交断面の最大速度分布を2次元FEMによる計算結果と比較した。最大速度分布に関し、東西方向における段差地盤の変化がやや大きな都賀川断面以外は、鉛直入射時の結果と2次元結果は概ね一致した。移動入射時の最大速度分布は、入射波動場による増幅特性の違いが若干現れるものの、全般的に2次元結果と同じ分布形状を呈した。最後に神戸大学断面における断層直交方向の速度波形を対象として、これらの速度波形に含まれる段差地盤の3次元、2次元効果を抽出するために、3次元結果から2次元結果を差し引いた速度波形(3D-2D)、2次元結果から1次元結果を差し引いた速度波形(2D-1D)を示した。3D-2Dは東西段差構造の連続的な変化に起因する波動成分と解釈することができる。「震災の帯」に相当する地点では、2D-1D波はS波初動部から現れ、1D波と増幅的に干渉する。一方、3D-2D波に関してはS波初動部での振幅はほとんど見られず、その絶対値も2D-1D波に比べ小

さいため全体の地震動に及ぼす影響は小さい。これらの結果より、段差境界近傍の地震動増幅は、2次元段差地盤による増幅特性により支配され、東西方向での段差地盤の連続的な変化に起因する3次元波動場の影響は小さいことが分かった。