

京都大学防災研究所 正会員 佐藤 忠信  
 京都大学防災研究所 正会員 北 勝利  
 東京大学大学院 学生員 ○前田 知就

**1.概説** 1995年兵庫県南部地震では、神戸市域に震度7の帯状地域が現われ、多くの構造物が崩壊した。本研究ではこの被害の原因をつかむための指標として、加速度応答スペクトルに着目する。強震域では、地震観測記録が得られていないので、加速度時刻歴を基に加速度応答スペクトルを求めることができない。そこで、断層破壊過程を基に計算した理論地震動を用いて地盤による増幅と1自由度系の応答を考慮した加速度応答スペクトルの推定を行い、観測記録より計算した応答スペクトルと比較する。次に理論加速度応答スペクトルを観測記録を用いて補正する手法を提案し、強震域の未観測点における応答スペクトルを推定する。

**2.震源断層の破壊過程と地盤の増幅特性を考慮した1自由度系の最大加速度応答値の推定**

本研究における理論加速度応答の計算方法を図1に示す。まず、震源断層モデルの断層面上に仮定した小地震による地震動の重ね合わせより大地震による基盤面での地震動を評価した<sup>1)</sup>。その際、入倉による震源断層モデルを用い、小地震の震源スペクトルとしてGellerのスペクトルを用いた。深層および表層地盤における地震動の増幅は重複反射法により評価した。各点の基盤深度は、重力探査結果を基に中川ら<sup>2)</sup>が示した図より読み取る。基盤からN値50の工学的基盤までの深層地盤の層構造および各層のパラメーターは、大阪市地域防災計画参考資料<sup>3)</sup>より決定した。工学的基盤から地表までの表層地盤モデルはボーリングデータ<sup>4)</sup>より決定した。せん断波速度  $V_s$  は各層の平均N値より回帰式  $V_s = 89.8 \times N^{0.341}$  を用いて計算した。深層地盤の伝達関数  $H_d(\omega)$  は、地盤が線形挙動をするとして重複反射理論により求めた。表層地盤の伝達関数  $H_s(\omega)$  は、せん断弾性係数Gや減衰定数hのひずみ依存性を考慮した双曲線型応力~ひずみモデルにより等価線形解析により求めた。その際地盤内に発生するせん断ひずみ  $\gamma$  の評価には各層中央におけるひずみの最大値の期待値を用いた。1自由度系の応答は、周波数伝達関数  $H_x(\omega)$  により評価した。これらの伝達関数から1自由度系の応答のフーリエスペクトル  $X(\omega)$  は、基盤面における地震動のフーリエスペクトル  $g_{0L}(\omega)$  を用いて次式のように表すことができる。

$$X(\omega) = H_x(\omega) \times H_s(\omega) \times H_d(\omega) \times g_{0L}(\omega)$$

これから1自由度系の加速度のパワースペクトルを求め、Kiureghianの方法<sup>5)</sup>により1自由度系の最大加速度応答値の期待値を推定する。この値を各固有周期毎に推定すれば、加速度応答スペクトルが求まる。

**3.観測点での理論加速度応答スペクトルと観測記録より求めた加速度応答スペクトルの比較**

2.の手法により推定した、兵庫県南部地震の神

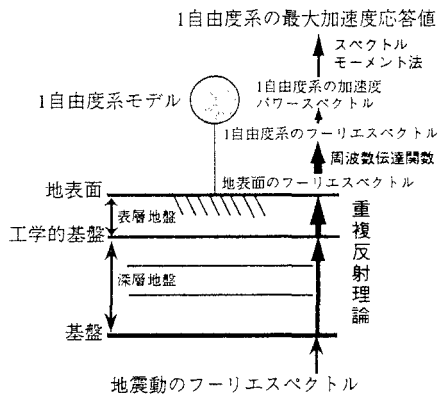


図1 計算手順

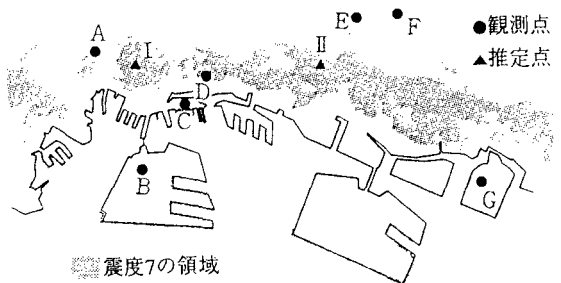


図2 地震観測点及び応答スペクトル推定地点

Tadanobu SATO, Katsutoshi KITA, Tomonari MAEDA

戸市域の地震観測点（図2中B，D）における理論加速度応答スペクトルを図3に示す（図中実線）。同図には、観測波形から線形加速度法による直接積分法を用いて求めた加速度応答スペクトルを併せて示している（図中破線）。ここでは、構造物の減衰は5%とした。B地点では、埋立地盤が液状化することにより、特に高周波域で応答加速度値が小さくなっている（図3(a)）。同点では、理論値と観測値がほぼ一致していることから、等価線形解析法が、液状化した地盤の地震応答解析にも適用可能であることがわかる。図3(b)には、D地点において、深層地盤構造を考慮せず、深層地盤による増幅を一律1.75倍とし表層地盤による増幅を重複反射理論により評価した場合の理論加速度応答スペクトルも示している（図中一点鎖線）。深層地盤構造を考慮することにより、高周波域での応答加速度がある程度低減すると共に、低周波域での応答加速度が増大し、観測記録に基づく加速度応答スペクトルの形状に近くなっている。ただし本地点の場合には、深層構造を考慮した場合でも、固有周期0.5から2.0秒の所で、観測値が理論値を大きく上回っている。この原因として強震域における深層地盤の不整形構造の影響が考えられる。

#### 4. 強震域の地点における加速度応答スペクトルの推定

図3より、理論加速度応答スペクトルと実際の加速度応答スペクトルにはある程度の誤差が生じることがわかる。そこで、観測点において同じ固有周期 $T_0$ について求めた理論加速度応答値 $f_a(x, y, T_0)$ と観測記録に基づく加速度応答値の比 $R_m(T_0)$ を用いて、観測点により形成される3角形内の点 $(x, y)$ における理論加速度応答値と補正加速度応答値の比 $R(x, y, T_0)$ を線形内挿により求め、 $R(x, y, T_0)$ を用いて補正加速度応答値 $f_e(x, y, T_0)$ を次式で求める。

$$\log\{f_e(x, y, T_0)\} = \log\{f_a(x, y, T_0)\} + \log\{\Delta A(x, y, T_0)\}$$

図2に示す強震域内の地点IとIIで求めた理論加速度応答スペクトル（破線）および前述の方法により観測記録を用いて補正した応答スペクトル（実線）を図4に示す。いずれの地点においても加速度応答のピーク値が2Gを越えているが、地点IとIIではピークとなる固有周期に差が見られる。

参考文献 1) Irikura, K.: Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., pp.151-156, 1986. 2) Nakagawa et al.: Soils and Found.

Special Issue, 1996 (in printing). 3) 大阪市: 大阪市地域防災計画参考資料, 1995. 4) 神戸市: 神戸の地盤, 1980. 5) Kiureghian, A. D.: Proc. ASCE, Vol. 106, No. EM6, pp. 1195-1213, 1980.

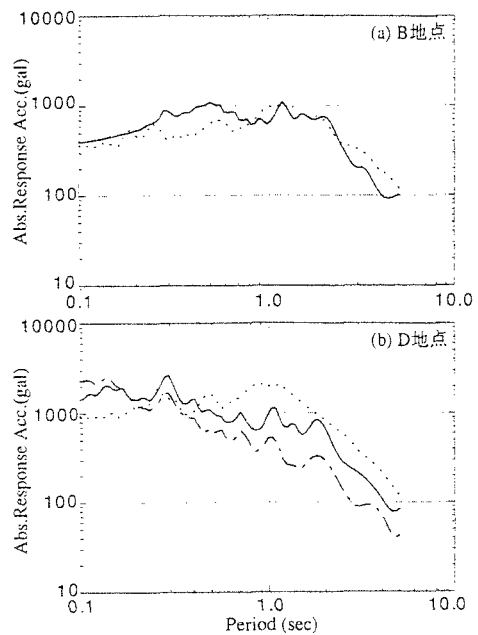


図3 理論加速度応答スペクトルと観測記録に基づく加速度応答スペクトル

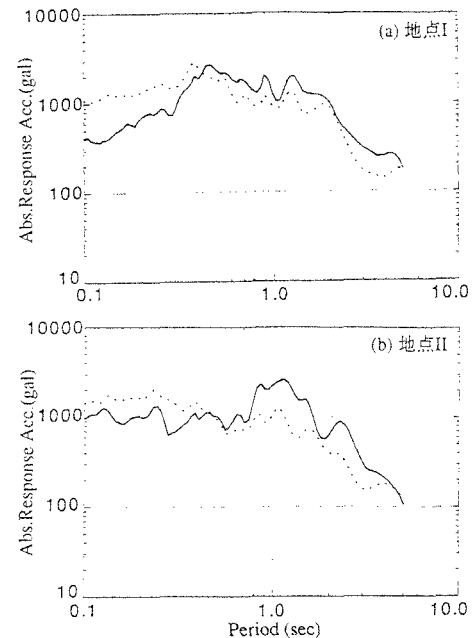


図4 強震域での理論加速度応答スペクトルと実観測記録による補正結果