

V-234 震動卓越方向を考慮した兵庫県南部地震の強震動シミュレーション

岐阜大学 正会員 ○古本吉倫 杉戸真太
名古屋工業大学 正会員 梅原秀哲

1 はじめに

兵庫県南部地震において多くのコンクリート構造物が被害を受けたが、これらの被害分析を行う際に当該地点の地震動波形が必要になることがある。そこでこれらを簡便に求めるために、著者らによる断層の広がりや破壊伝播方向を考慮できる地震動予測法(EMPR)¹⁾を兵庫県南部地震に適用し、任意地点での地震動の再現を試みた。特に、断層近傍にあたる阪神地域について、工学的基盤レベルにおける震動卓越方向に対する周波数依存性を考慮し、観測記録に基づく補正を行った上で水平方向2成分の地震動波形を作成した。

なお、本報告は土木学会コンクリート委員会に設置された「阪神・淡路大震災被害分析委員会」における検討課題の一つとして行われているものである。

2 強震動予測モデル(EMPR)の概要

2.1 非定常地震動の統計的予測モデル

非定常性を有する地震動は、次式のように時刻 t 、周波数 f_k における非定常パワースペクトル $\sqrt{G_x(t, 2\pi f_k)}$ を用いて表現できる²⁾。

$$x(t) = \sum_{k=1}^m \sqrt{4\pi \cdot G_x(t, 2\pi f_k) \cdot \Delta f} \cdot \cos(2\pi f_k t + \phi_k) \quad (1)$$

ここに、 Δf : 振動数の刻み幅、 ϕ_k : $t=0$ における位相($0 \sim 2\pi$ の一樣乱数)である。さらに、非定常パワースペクトルは次式によりモデル化することができ、強度(α_m)、立ち上がり時刻(t_p)、継続時間(t_s)を表す3つのモデルパラメータを得る(図1)。

$$\sqrt{G_x(t, 2\pi f)} = \alpha_m(f) \frac{t - t_s(f)}{t_p(f)} \exp\left\{1 - \frac{t - t_s(f)}{t_p(f)}\right\} \quad (2)$$

(ただし、 $t_s < t$ 、 $0 \leq t \leq t_s$ では0)

こうして兵庫県南部地震を含む国内における主要強震記録118成分(水平方向成分のみ)を対象に、FDEL³⁾による地盤応答計算により解放基盤相当波に変換した波形についてモデルパラメータを算出し、これらをマグニチュード(M)と震源距離(R)に対して周波数ごとに重回帰分析することにより、与えられたM、Rに対する解放基盤波形の予測式を得た。

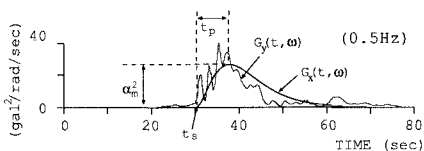


図1 非定常パワースペクトルのモデル化

2.2 非定常パワースペクトルの重ね合わせによる断層近傍の地震動予測

断層の広がりや破壊方向、破壊伝播速度などを考慮した震源近傍における地震動波形は、大規模な断層破壊をM=6相当の小規模断層破壊の重ね合わせとしてとらえ、分割された各小規模断層からの非定常パワースペクトルを時間軸上で重ね合わせることで予測することができる(図2)。

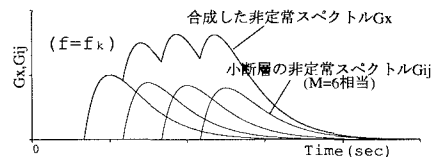


図2 非定常スペクトルの重ね合わせ

重ね合わせによる断層近傍の非定常パワースペクトルは次式により得られる。

$$\sqrt{G_x(t, 2\pi f)} = \frac{A_p(f)}{N_x \cdot N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \sqrt{G_{ij}(t, 2\pi f)} \quad (3)$$

ここに、 $\sqrt{G_{ij}}$ は、M=6相当の小規模断層破壊による非定常パワースペクトルであり前述の予測式から震源距離に応じて求められる。 N_x, N_y は、断層の長さおよび幅方向の分割数を表している。 $A_p(f)$ は、振動数ごとに与えられる大規模断層破壊に対する小規模断層破壊の重ね合わせ数であり、今回の試みのように過去に発生した特定の地震を対象とし、その断層近傍の基盤相当の波形が得られている場合は、実際に得られた断層近傍の基盤波形より次式を用いて各震動数ごとに最適な重ね合わせ数を計算する。

$$A_p(f) = \frac{\alpha'_m(f) \cdot t'_p(f)}{\alpha_m(f) \cdot t_p(f)} \quad (4)$$

ここに、 $\alpha_m(f), t_p(f)$ は、予測式により推定される等しい震源距離におけるM=6相当の小断層破壊によるモデルパラメータ、 $\alpha'_m(f), t'_p(f)$ は実際に得られた断層近傍の基盤波形より計算されたモデルパラメータとする。

3 強震動予測モデルによる地震動シミュレーション

3.1 水平成分の重ね合わせ数 $A_p(f)$

兵庫県南部地震においては地震動の方向依存性が報告されている(図4)。このため、地震動の断層の走行方向成分(N51.6E)とその直交方向成分(N38.4W)に着目することにする。図3に、兵庫県南部地震における神戸ポートアイランド、関西電力総合技術研究所、関西電力新神戸変電所、神戸海洋気象台それぞれの観測地点の解放基盤波形より得られる $A_p(f)$ のこれらの方向成分ごとの平均値を示す。

地震モーメント $M_0 = 2.5 \times 10^{26} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ から推定される平均的な重ね合わせ数 (図中 model) に比べ、兵庫県南部地震における基盤波形の平均の方が、両方向成分ともほぼ全周波数において大きくなっており、とくに低振動数になるにしたがって大きくなる傾向がある。また、断層の走行方向に対する直交成分 (N38.4W) の方が、断層の走行方向成分 (N51.6E) より大きく、方向性の違いによる強度の変化が現われている。

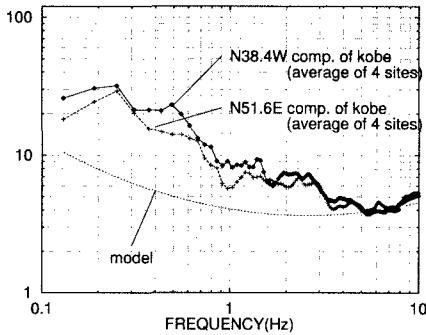


図3 断層の走行方向とその直交方向成分の重ね合わせ数 $A_p(f)$

3.2 解放基盤波形の水平方向成分の推定

菊地⁴⁾によるメカニズムを参考に震源パラメータを決定し、兵庫県南部地震のシミュレーションを行った。このとき $A_p(f)$ に関して、断層の走行方向 (N51.6E) の平均値とその直交方向 (N38.4W) の平均値、それぞれを式 (3) に代入し、方向成分ごとの地震動を得た。

表1には、兵庫県南部地震において神戸ポートアイランド、関西電力総合技術研究所、関西電力新神戸変電所ならびに気象庁神戸海洋気象台における解放基盤波形と強震動予測モデルによるシミュレーションそれぞれについて、水

平2成分 (N38.4W, N51.6E) の方向成分ごとに、最大加速度、実効加速度、最大速度を示した。いずれの観測地点においても、精度よく観測値を再現しており、方向成分ごとの違いが現れていることがわかる。

4 まとめ

兵庫県南部地震における任意地点での地震動時刻歴の再現を試みた。断層近傍での記録を加え改訂された非定常強地震動予測モデル (EMPR) を基本にしながら、兵庫県南部地震において実際に観測された波形から小断層破壊の重ね合わせ倍率を周波数ごとに決定する拡張を行った。実際の波形を用いて小断層破壊の重ね合わせ倍率を決定することにより、スペクトル特性まで含めて、当該地震による地震動を精度よく再現できることが示された。

なお本研究では、気象庁神戸海洋気象台、神戸市港湾整備局ならびに関西電力の強震記録を使わせて頂きました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 洞谷元司, 杉戸真太, 古本吉倫, 杉山武: 非定常スペクトル重ね合わせによる強震動予測法の再検討, 土木学会第53回年次学術講演会論文集, I-B, pp.550-551 (1998)
- 2) 亀田弘行: 強震地震動の非定常パワースペクトルの算出法に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第235号, pp.55-62 (1977)
- 3) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫: 周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No.493/III-27, pp.49-58, (1994)
- 4) 菊地正幸: 日本建築学会兵庫県南部地震災害調査緊急報告会, 社団法人日本建築学会 (1995)

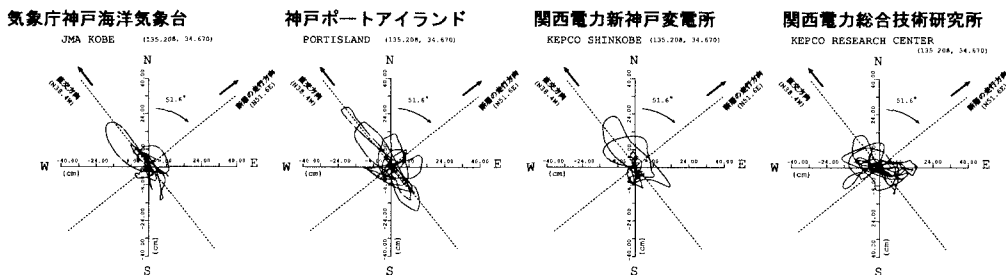


図4 断層近傍の工学的基盤における変位軌跡 (兵庫県南部地震の観測記録を工学的基盤相当に変換した波形による)

表1 シミュレーションと観測値の比較

地点名 強度指標 単位	神戸海洋気象台		ポートアイランド		新神戸変電所		総合技術研究所	
	Amax(実効) (cm/sec ²)	Vmax (cm/sec)	Amax(実効) (cm/sec ²)	Vmax (cm/sec)	Amax(実効) (cm/sec ²)	Vmax (cm/sec)	Amax(実効) (cm/sec ²)	Vmax (cm/sec)
観測値 * (N38.4W)	733 (614)	97	1126 (469)	94	501 (399)	80	477 (238)	39
観測値 * (N51.6E)	441 (303)	43	437 (231)	40	431 (358)	58	438 (265)	37
模擬地震動 (N38.4W)	680 (410)	68	680 (387)	67	621 (414)	73	349 (238)	40
模擬地震動 (N51.6E)	638 (336)	54	638 (325)	54	580 (340)	53	327 (204)	29

* 工学的基盤相当の地震動に変換した波形による。