

I - B 275

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

大成建設 会員○洞谷元司 岐阜大学 会員 杉戸真太
中部電力 会員 杉山 武 岐阜大学 会員 古本吉倫

1. はじめに 兵庫県南部地震以来、想定された断層に対する着目点での地震動を時刻歴波形で推定することの必要性が高まり、著者ら¹⁾による工学的基盤における非定常地震動シミュレーション法も推定法の一つとして使われてはいるが、とくに断層近傍での地震動シミュレーション結果と観測記録の比較において、スペクトル特性の大きな違いがあることが指摘されてきた。この理由の一つとして、基礎となる基盤地震動のデータセット作成において、堆積地盤での加速度記録を通常の等価線形化法により基盤地震動を算出したため、個々の波形に短周期成分が過剰に含まれていることがある。兵庫県南部地震以降、断層近傍での強震記録が多く得られたこともあり、このような記録を含めて、等価ひずみの周波数依存性を考慮した解析法²⁾により個々の記録からあらためて基盤地震動を算出し、それを基に従来の強震動予測モデル¹⁾の見直しを行った。

2. 解放基盤地震動のデータセット

従来モデルで対象とした強震記録に、兵庫県南部地震など比較的断層近傍で得られた記録^{3)~6)}を加えた114成分の加速度記録について、それらが得られた地点での地盤モデルから、S波速度が500~600m/sec程度のいわゆる工学的基盤での地震動を算出した。解放基盤地震動算出には、ひずみの周波数依存性を考慮した等価線形化法(FDEL)²⁾を用いた。図-1、図-2に、このようにして整理された基盤地震動のデータセットのマグニチュードM、震源距離Rの分布および最大加速度とRの分布を示した。図-1における◆印は、従来モデル¹⁾のデータセットを表している。

3. 非定常地震動予測モデル

従来モデル¹⁾作成と同様の手順により地震動シミュレーションモデルを作成した。個々の解放基盤地震動波形に対して各振動数毎に得られる非定常スペクトル⁷⁾を、図-3に示す強度、継続時間、立ち上がり時刻を表す3つのパラメータでモデル化し、各パラメータをM,Rに対して重回帰分析した。非定常パワースペクトルのモデル関数は以下の式で与えられる。

$$\sqrt{G_x(t, 2\pi f)} = \begin{cases} 0 & ; 0 \leq t \leq t_s \\ \alpha_m(f) \frac{t - t_s(f)}{t_p(f)} \exp \left[1 - \frac{t - t_s(f)}{t_p(f)} \right] & ; t_s < t \end{cases} \quad (1)$$

モデルパラメータの回帰係数は振動数軸上での特定の傾向を示すことから、表-1のように振動数の関数としてモデル化した。これにより、与えられたM、Rに対する工学的基盤での非定常地震動が以下の式によりシミュレーションできる。

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

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）、 $G_x(t, 2\pi f_k)$ ：時刻 t 、周波数 f_k におけるモデル化された非定常パワースペクトルである。図-4には、地震動強度にとくに影響する強度パラメータの推定式まわりでのデータのばらつきを、従来モデルと比較して示した。全振動数において推定式まわりでのばらつきが平均的に20%程度減少し、予測モデルの信頼性が向上したことがわかる。

表-1 モデルパラメータの推定式

強度パラメータ α_m の回帰係数	$B_1(f) = 0.551 - 0.206 \cdot (\log f) + 0.0602 \cdot (\log f)^2$
	$B_2(f) = 1.327 - 0.0710 \cdot (\log f) - 0.353 \cdot (\log f)^2$
	$B_3(f) = -0.606 + 1.714 \cdot (\log f) - 1.749 \cdot (\log f)^2$
継続時間パラメータ t_p の回帰係数	$P_1(f) = 0.135 + 0.124 \cdot (\log f)$
	$P_2(f) = 0.335 - 0.0741 \cdot (\log f)$
	$P_3(f) = -0.845 - 0.844 \cdot (\log f)$
時間パラメータ t_s の回帰係数	$S_1(f) = 0.0141 - 0.00536 \cdot (\log f) - 0.0221 \cdot (\log f)^2$

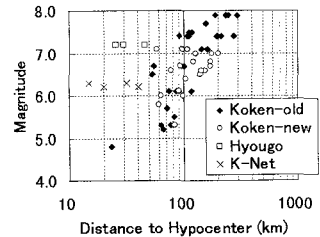


図-1 マグニチュード-震源距離

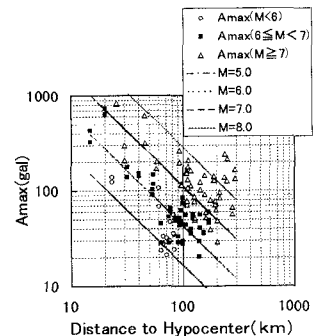


図-2 最大加速度-震源距離

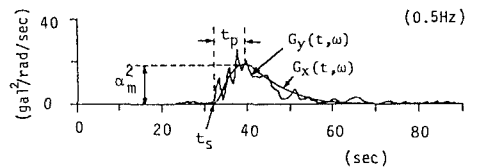


図-3 非定常パワースペクトルのモデル化

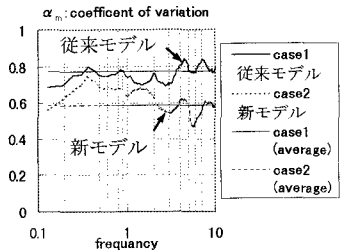


図-4 強度パラメータの推定式の変動係数

Key words: Earthquake motion prediction, evolutionary power spectrum, rock surface motion, superposition of earthquakes

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部土木工学科、058-293-2420 (Fax 兼用)

4. 非常定スペクトルの重ね合わせによる断層近傍地震動予測モデル

与えられた地震マグニチュードと震源距離より地震動をシミュレーションする上記のモデルを拡張し、断層のひろがりと破壊方向、破壊伝播速度などを考慮して、とくに震源近傍での地震動予測に対応できるモデルとした。大規模な断層破壊を、マグニチュード6クラス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常定スペクトルを時間軸上で重ね合わせることで地震動時刻歴を得る。断層の重ね合わせ数 N_G は、与えられた大規模断層の地震モーメントにより規定し、その関係式は図-5 に示すように得られている。図-5 は、個々の基盤地震動から得られる非常定スペクトルが、等しい震源距離と $M=6$ の条件から得られる上記モデルの非常定スペクトルの何個分に相当するかを求め、さらに振動数軸上での平均個数としたうえで地震モーメントとの関係から算定したものである。重ね合わせによる地震動波形は以下の式により得られる。

$$\sqrt{G_{x0}(t, 2\pi f)} = \frac{N_G(M_0)}{N_x \cdot N_y} \beta(f, M_0) \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \sqrt{G_{ij}(t, 2\pi f)} \quad (3)$$

$$x(t) = \sum_{k=1}^m \sqrt{4\pi \cdot G_{x0}(t, 2\pi f_k)} \cdot \Delta f \cdot \cos(2\pi f_k t + \phi_k) \quad (4)$$

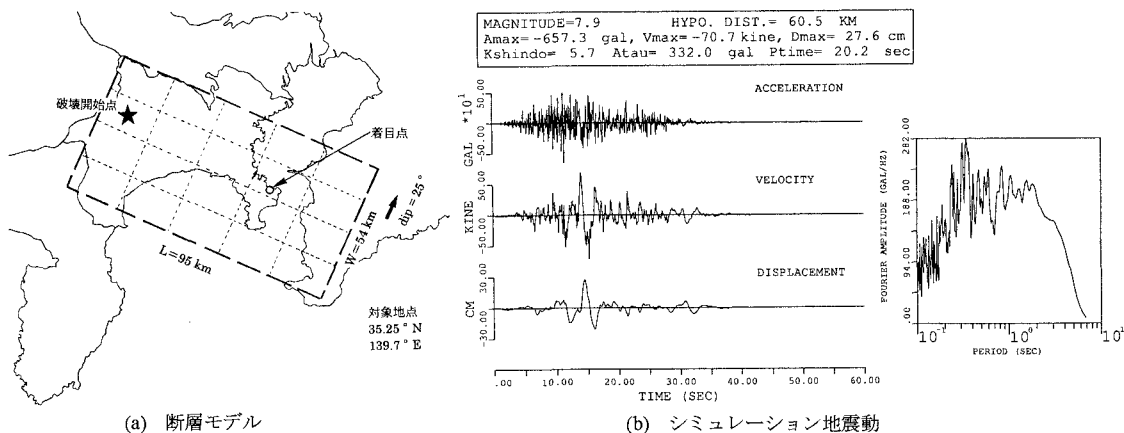
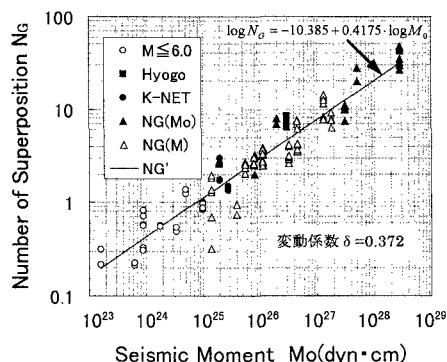
式(3)における $N_G(M_0)$ は、与えられた地震モーメントに対する $M=6$ クラスの地震動の重ね合わせ数を表し、 N_x, N_y は断層の長さおよび幅方向の分割数を表している。 $\beta(f, M_0)$ は、重ね合わせ数を一律に N_G とすることによる振動数方向の補正係数を表し、扱ったデータセットから次式のように地震モーメントの関数としてモデル化されている。

$$\log \beta(f, M_0) = d_0(f) + d_1(f) \cdot M_0 \quad (5)$$

$$\log d_1(f) = 0.00645 - 0.0206 \cdot (\log f) \quad (6)$$

$$\log d_0(f) = -0.221 + 0.358 \cdot (\log f) + 0.235 \cdot (\log f)^2 \quad (7) \quad \text{図-5 スペクトルの重ね合わせ数 } N_G \text{ と地震モーメントの関係}$$

図-6 には、関東地震を対象とした地震動シミュレーションの一例を示した。地震モーメントを $M_0 = 8 \times 10^{27}$ dyne-cm と与えることにより重ね合わせ数は $N_G = 18.4$ となり、断層長さ、幅の比を考慮して $5 \times 4 = 20$ 個に分割される。破壊開始点を図中に示す点にとり、破壊伝播速度 $= 2.5 \text{ km/sec}$ 、地震波の着目点までの伝播速度を 3.0 km/sec と与えることにより地震動がシミュレーションされる。着目地点は横須賀市とした。破壊伝播速度と各小断層からの地震波伝播速度の関係により着目点での地震動強度が大きく影響を受ける。この試算例では、基盤レベルでの最大速度が 70 kine となり、大きな地震動強度になっている。



(a) 断層モデル

(b) シミュレーション地震動

図-6 関東地震を対象とした地震動シミュレーション例（着目点は横須賀市）

<参考文献>

- 1) Sugito, M. and Kameda, H.: Prediction of Nonstationary Earthquake Motion on Rock Surface, Proc. of Jsee Structural Eng./Earthquake Eng. Vol.2, No.2 October 1985, pp.149-159.
- 2) 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, 土木学会論文報告集, No.493 / III-27, 1994, pp.49-58.
- 3) 建設省土木研究所: 土木研究所資料, No.876, 877, 1072.
- 4) 運輸省港湾技術研究所: 港湾技研資料, No.80, 98, 100, 116, 136, 181, 202, 236, 250, 317, 319, 446, 458.
- 5) 神戸市開発局: 兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査（ポートアイランド、六甲アイランド）報告書, 1995.
- 6) 科学技術庁 K-Net ホームページ: <http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 7) 亀田弘行: 強震地震動の非常定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, 1977, pp.55-62.