

応答スペクトルに適合する入力地震動の作成における反復法の検討

正会員 ○ 佐藤耕司*1

同 Madan B. Karkee*2

同 飛田 潤*3

同 杉村義広*4

1. はじめに

近年、マイクロゾーネーションの手法を用いて、都市内及び周辺部へのきめ細かな入力地震動の評価が行なわれているが、その際に地盤の非線形性に関連して、入力地震動の大きさと、特に長周期域におけるスペクトル成分の評価が重要な問題である。

本研究では前報[1]で設定した非線形性を考慮した3通りの入力レベルを用いて、それぞれのレベルに適合した入力地震動を、周波数領域と時間領域で反復法によって求め、その結果の比較検討を行なった。このようにして作成した地震波を地盤の非線形応答解析の入力として用い、マイクロゾーニングの検討を行うことになる。

2. 地震動レベルの設定

ある場所における地震記録をもとに地震規模や発生頻度等を考慮して3通りの地震動レベル(Frequent, Medium, Extreme)の定義を行ない、それぞれのレベルに対しターゲットスペクトルを作成するために短周期域では大崎スペクトルを、長周期域では経験的グリーン関数を用いた[1]。本研究では仙台における高密度アレー記録[2]のうち岩盤の露出したTAMA地点の記録を使用している。入力地震動のそれぞれの特性を表.1にまとめている。

3. 応答スペクトルに適合する入力地震動の作成

3.1 地震動継続時間と包絡形関数

ある場所における地震動継続時間は、地震規模・距離・地盤条件の要因によって影響される。本研究では地盤条件は第1種地盤であるため影響しないものと仮定する。残り2つのパラメータ、マグニチュードと距離に関しては、継続時間は前者に支配される[3]ことから、マグニチュードの影響のみを考慮する。継続時間は、日本の原子力発電所設計法により、 $T_D = 10^{0.31M_1 - 0.774}$ 、 $M_1 = 7.0, 7.5, 8.0$ (マグニチュード)に対応した継続時間 T_D をFrequent, Medium, Extremeとして考慮し、それぞれ、30.0, 40.0, 52.0秒とした。時間領域における地震動の包絡形関数を以下の様に定義する。

$$E(t) = \begin{cases} \left(\frac{t}{t_1}\right)^2, & \text{for } t \leq t_1 \\ 1, & \text{for } t_1 < t \leq t_2 \\ e^{-C(t-t_2)}, & \text{for } t_2 < t \leq T_D \end{cases} \quad (1)$$

式中の減衰定数 C は、地震継続時間 T_D 後における $E(t)$ の値が0.10になるように設定した値である。

入力地震動の3つのレベルに対する t_1, t_2, C の値を表.2に示す。

3.2 周波数領域における反復

地震動 $a(t)$ をそれぞれのターゲットスペクトルに一致させる場合、周波数領域で次式を用いる。

$$a(t) = E(t) \times \sum_{j=1}^{M_c} m_j \cos(\omega_j t - \psi_j) \quad (2)$$

M_c : 応答スペクトル上の周期点数

m_j : フーリエ振幅スペクトル

ω_j : 角振動数

ψ_j : フーリエ位相スペクトル

(2)式を用いて、計算したスペクトルと対応するターゲットスペクトル(減衰5%)を比較する。そしてフーリエ振幅の修正は、ターゲットスペクトルと計算によるスペクトルの比を乗じて行なう。この時刻歴における修正の反復は、ターゲットスペクトルと計算によるスペクトルで、ある一定レベルの一致が達成されるまで続けられる。図1に、3つのターゲットスペクトルを太線、反復計算によるスペクトルを細線で示す。短周期域においてはかなり良い結果を示しているが、長周期域ではターゲットスペクトルに対する一致度はまだ不十分である。

3つのレベルの周波数領域における反復の結果に対する時刻歴を図2に示す。挙動の最初と最後における長周期成分の不自然な卓越が共通して見られる。その原因としては①周波数領域における長周期成分の取り扱いが困難、②ターゲットスペクトルに一致させる際に考慮する周期点数が少ない、などが考えられる。

3.3 時間領域における反復

ここで用いた手法[4]は、各周期成分に関する非定常な微小時刻歴を元の波形に加える操作を反復し、ターゲットスペクトルとの一致度を向上させるものである。その反復結果を図3に示す。図2における不自然な長周期成分の卓越などがかなり改善されていることが分かる。

時間領域反復後のそれぞれのレベルにおけるスペクトルを図4に示す。3通りの地震レベルにおいて、入力地震動に適合した応答スペクトルがターゲットスペクトルに対し良く一致しており、とりわけ長周期域における改善が顕著である。

表.1 3つの入力地震動の特性

Earthquake level	Occurrence rate	$N(M_0)$ in 376 years	Δ range (km)	Characteristic Δ (km)	Size in M_0 (dyne-cm)	Approx. M_J
Frequent	Once in 20 years	19	100 to 200	100	1.77×10^{28}	7.0
			60 to 100	70	3.14×10^{24}	6.0
			0 to 60	40	6.10×10^{23}	5.5
Medium	Once in 50 years	7	100 to 200	100	1.52×10^{27}	7.5
			60 to 100	70	4.84×10^{25}	7.0
			0 to 60	40	2.90×10^{25}	6.7
Extreme	Once in data-set duration	1	100 to 200	100	9.80×10^{28}	8.5
			60 to 100	70	1.00×10^{28}	7.7
			0 to 60	40	1.13×10^{28}	7.7

表.2 各入力地震動の定数

Level	T_D	t_1	t_2	C
Frequent	30.0	5.0	16.0	0.164
Medium	40.0	5.0	20.0	0.115
Extreme	52.0	4.0	24.0	0.082

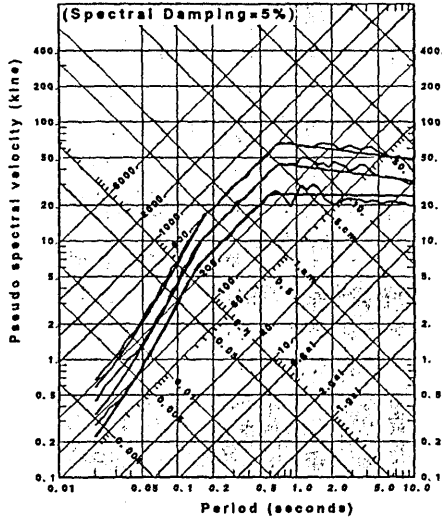


図.1 周波数領域における反復計算後のスペクトルとターゲットスペクトルとの比較

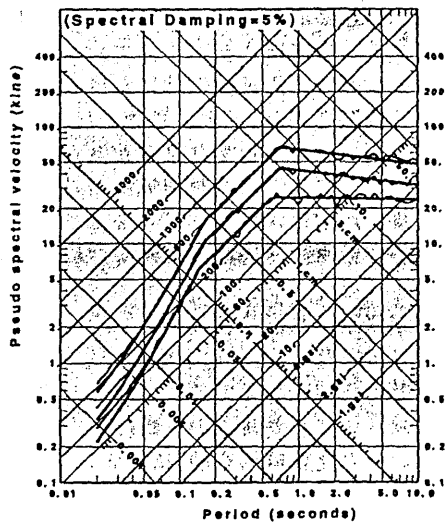


図.4 時間領域における反復計算後のスペクトルのターゲットスペクトルとの比較

(参考文献)

- [1]佐藤耕司, KARKEE M. B., 飛田潤, 杉村義広: 異なる入力地震動レベルに対応する基盤応答スペクトル特性の長周期範囲における評価 日本建築学会東北支部研究報告集, 第56号, 1993.
- [2]Y. Kitagawa, I. Ohkawa, and T. Kashima. Dense strong motion earthquake seismometer array at site with different topographic and geologic conditions in Sendai. Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Volume II, pp. 215-220, Tokyo-Kyoto, August 2-9 1988.
- [3]K. Kawashima and K. Aizawa. Bracketed and normalized durations of earthquake ground accelerations. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18, pp. 1041-1051, 1989.
- [4]K. Lilhananda and W. S. Tseng. Development and application of realistic earthquake time histories compatible with multiple damping design spectra. Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Volume II, pp. 819-824, Tokyo-Kyoto, 1988.

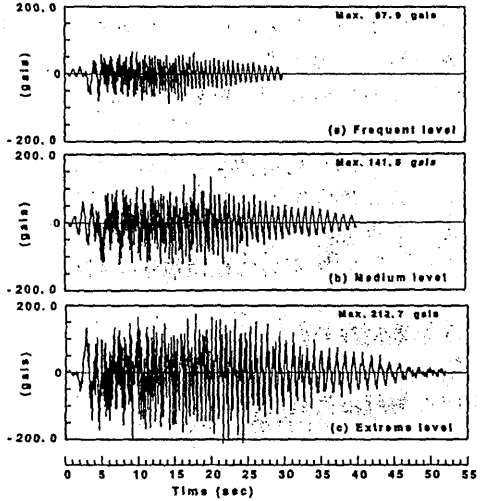


図.2 周波数領域における反復後の時刻歴

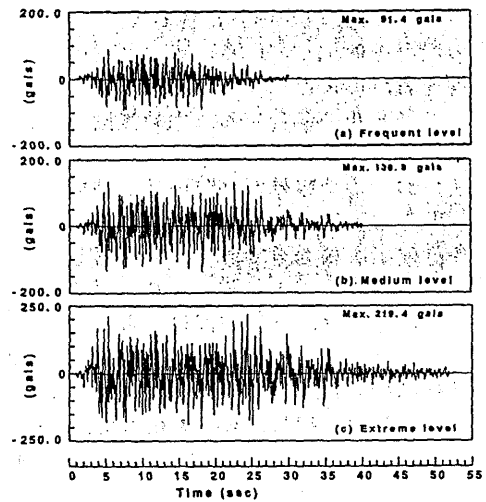


図.3 時間領域における反復後の時刻歴

*1 東北大学 大学院生

*2 (株)ジオトップ・工博

*3 東北大学 助手・工博

*4 同 教授・工博