

地震動波形のばらつきが地盤応答スペクトルに与える影響

大成建設(株) 正会員 ○畑 明仁
大成建設(株) フェロー会員 志波 由紀夫

1. 目的

筆者らは、地震動波形が地盤の基本的な応答性状に与える影響を把握するための手法として、一質点系力学モデルにより計算する応答スペクトル(以下、一質点系応答スペクトル)の概念を拡張した地盤応答スペクトルを別報¹⁾により提案した。別報においては、兵庫県南部地震における神戸海洋気象台波形を用いて、一質点系応答スペクトルとの違いを比較し、特に長周期側において従来の一質点系応答スペクトルと地盤応答スペクトルの差異が大きくなることを示した。本報では、同一の一質点系応答スペクトルを持ち、異なる位相特性を持つ多数の地震動群に対して地盤応答スペクトルを算定し、地震動波形のばらつきが地盤応答スペクトルに与える影響を検討したので、その結果を報告する。

2. 解析条件

地盤応答スペクトル算定に用いる地震動の振幅特性には、鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編²⁾に示されるL2地震動スペクトルIおよびスペクトルIIを用いた。また、位相特性については、佐藤ら³⁾の方法に従って設定した。佐藤らの研究では、過去の地震動波形を統計的に分析し、地震動の群遅延時間が概ね正規分布に従うこと、また、群遅延時間の平均と標準偏差が、地震のマグニチュードおよび震央距離の関数として表現されることを示している。佐藤らによる群遅延時間の平均および標準偏差の回帰式を以下に示す。

$$\mu_{igr}^{(j)} = \alpha_1^{(j)} \times 10^{\beta_1^{(j)}M} \times \Delta^{\gamma_1^{(j)}}$$

$$\sigma_{igr}^{(j)} = \alpha_2^{(j)} \times 10^{\beta_2^{(j)}M} \times \Delta^{\gamma_2^{(j)}}$$

ここで、 M はマグニチュード、 Δ は震央距離(km)、()内の上付添字 j は対象周波数範囲の次数を示す。

本検討では、マグニチュード8クラスの地震を想定し、震央距離は50kmおよび100kmとして、上式により求められる平均と標準偏差をもつ正規乱数として群遅延時間を発生させ、その結果を角周波数で積分することにより位相スペクトルを設定した。 $M=8$ の場合の各周期帯における群遅延時間の平均と標準偏差を図-1に示す。

模擬地震動の作成においては、定常ランダム波をフーリエ変換後、その振幅特性は先述のL2地震動の応答スペクトルにフィッティングし、位相特性には上述の位相スペクトルを用いて逆フーリエ変換することにより100波作成した。その後、それぞれの模擬地震動に対して地盤応答スペクトルを求めることにより、その平均およびばらつき特性を評価した。地震動群の一質点系応答スペクトルを図-2に示す。全ての周期帯で変動係数がほぼ0.1以下となっている。

3. 評価結果

上記の一質点系応答スペクトルを持つ100波の地震動群に対して地盤応答スペクトルを求めて、その平均とキーワード 地盤応答スペクトル, 応答スペクトル, 群遅延時間, 位相スペクトル, ばらつき

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 TEL:045-814-7231

表-1 群遅延時間算定に用いた回帰係数

次数	サポート区間		$\alpha 1$	$\beta 1$	$\gamma 1$	$\alpha 2$	$\beta 2$	$\gamma 2$
	最大	最小						
7	20.48	10.24	1.011	0	0.864	27.708	0	0.203
8	10.24	5.12	0.83	0.04	0.79	14.584	0	0.337
9	5.12	2.56	0.543	0.086	0.7	17.968	-0.03	0.344
10	2.56	1.28	0.806	0.06	0.686	8.451	-0.005	0.321
11	1.28	0.64	0.85	0.026	0.764	2.97	0.016	0.366
12	0.64	0.32	0.511	0.058	0.744	0.392	0.143	0.295
13	0.32	0.16	0.367	0.077	0.739	0.079	0.267	0.201
14	0.16	0.08	0.33	0.081	0.742	0.0572	0.287	0.239

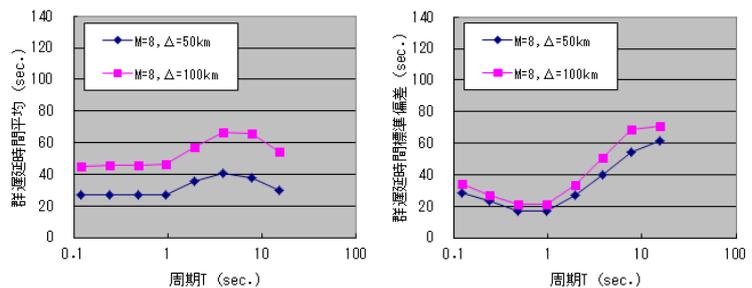
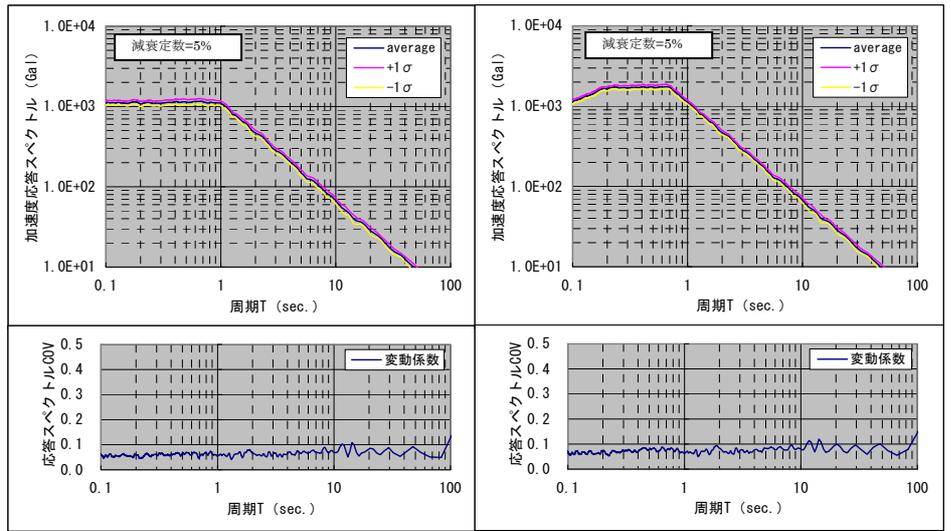


図1 群遅延時間の平均値と標準偏差の周期特性

ばらつきを評価した結果の一例を図-3に示す。ここでは $M=8$, $\Delta=50\text{km}$, L2 地震動スペクトル II の地震動群に対する 100 個の地盤応答スペクトルの結果から各周期帯毎に算定した平均およびその $\pm 1\sigma$ 区間を周期 0~5 s について示している。なお、上段が一質点系応答スペクトル、下段が地盤応答スペクトルの結果である。

これらの結果を見ると、応答変位の平均には顕著な差が見られないが、応答加速度および応答速度に関しては、地盤応答スペクトルが大きくなっており、その傾向は長周期側において顕著になることが分かる。また、そのばらつき (1σ 区間) に着目すると応答加速度においては地盤



(a) L2 スペクトル I (b) L2 スペクトル II
 図-2 算定に用いた地震動群の一質点系応答スペクトル特性

応答スペクトルのばらつきが一質点系応答スペクトルのそれよりも大きくなっていることが分かる。本結果は地盤の加速度応答スペクトルが一質点系応答スペクトルよりも長周期側で大きく

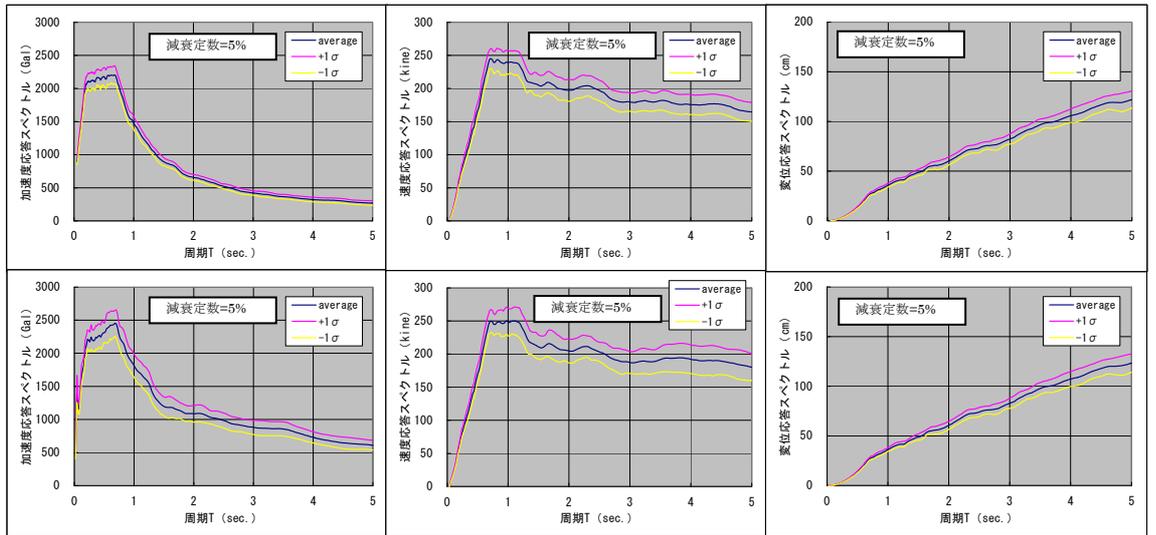


図-3 一質点系応答スペクトルと地盤応答スペクトルの比較 (上段：質点系、下段：地盤)

なった別報の結果 (神戸海洋気象台波形) と整合的であり、地盤の固有周期が長い場合、地盤の 1 次モード応答に加えて高次モード成分の応答が加わるために生じる傾向と考えられる。

図-4 には、地盤の中央深度におけるせん断ひずみの応答スペクトルを示す。地盤のせん断ひずみの応答スペクトルは、変位応答スペクトルと類似の形状となっているが、そのばらつきは 1 秒程度以上の長周期側で変位よりも大きくなっており、これも高次モード振動の影響によるものと予想される。

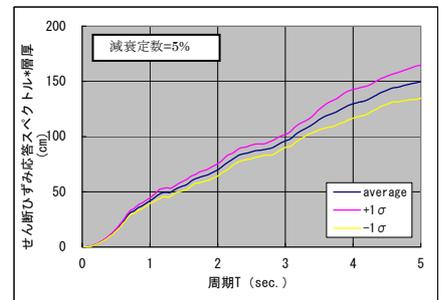


図-4 せん断ひずみ応答スペクトル

参考文献

- 1) 志波由紀夫, 畑明仁: 「地盤応答スペクトル」の提案, 第 66 回土木学会年次学術講演会論文集, 2011
- 2) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説, 1999
- 3) 佐藤忠信, 室野剛隆, 西村昭彦: 観測波に基づく地震動の位相スペクトルのモデル化, 土木学会論文集, No. 640/I-50, pp. 119-130, 2000. 1