

I-332 地盤係数のばらつきを考慮した点推定法による効果的地震応答解析法

金沢大学工学部 正会員 池本敏和、同 北浦 勝

1. はじめに

地盤の地震応答解析においては、地盤係数、例えば密度、せん断弾性係数などを確定量（平均値を用いる場合が多い）として取り扱うのが一般的であった。しかし、地盤係数が本来持っているばらつきを考慮し、このばらつきの程度が地盤の地震応答にどの程度の影響を与えているかを知ることも重要である。一般にばらつきを考慮した解析法としてモンテカルロ法が用いられている。この方法を地盤の地震応答解析に適用した場合、解を得るまでに膨大な演算時間が必要である。そこで本研究では、モンテカルロ法に代わる点推定法を用いた地盤の地震応答解析法を提案する。このとき、点推定法として1) 従来の点推定法、2) 簡略化した点推定法、3) ラテン方格法を利用した点推定法から得られる結果をモンテカルロ法のそれと比較検討する。

2. ばらつきを考慮した地震応答解析法

ばらつきを持つ地盤係数として密度とせん断弾性係数を考える。松尾らの報告よれば¹⁾ 密度のばらつきの程度は変動係数にして0.02~0.08程度である。また、せん断弾性係数の変動係数をN値から間接的に求めると、0.2程度である。したがって、本解析における密度とせん断弾性係数の変動係数は0.1、0.2とし、また簡単のためにこれらは正規分布に従うと仮定した。

本解析では、モンテカルロ法（以下MCSと称す）と点推定法（PEM）、簡略化した点推定法（SPEM）、ラテン方格法を利用した点推定法（LPEM）をそれぞれ比較検討した。PEM、SPEM、LPEMでは、確率変数の確率密度関数をわずか数点にのみ値を持つ確率質量関数に置換する。この置換の際、2点による近似と3点による近似を行った。各手法の概要を以下に示す。

PEM 2：各層の密度とせん断弾性係数の組合せとして平均値±標準偏差の2点の組合せ、すなわち1層につき4通りの組合せで検討した。すなわち、ここでは地盤全体として 4^m （ m は地表層数である）の組合せである。

PEM 3：平均値 $\pm\sqrt{3}$ ×標準偏差の3点の組合せ、すなわち1層につき9通りなので、ここでは地盤全体として 9^m の組合せである。

SPEM 2、SPEM 3：PEM 2、PEM 3と同様に1層につき2点、3点の組合せを検討する。ただし2層目より深い地盤の組合せは1層目の組合せと同じである。したがって、解析回数は地盤層数に関係なくSPEM 2では4通り、SPEM 3では9通りである。

LPEM 2、LPEM 3：各層の地盤係数の組み合わせをラテン方格法により行なう。ここでは、ラテン方格法による地盤係数の組み合わせ数を16とした。

3. 解析モデル

解析モデルとして表1に示した4つのモデルを用いる。MODEL 1は1種2層地盤、MODEL 2は2種4層地盤、MODEL 3は2種4層地盤、MODEL 4は3種7層地盤である。このうちMODEL 3とMODEL 4は実際の地盤である。

表1 解析モデル

MODEL 1 (1種2層地盤)					MODEL 2 (2種4層地盤)				
層	密度 (t/m^3)	せん断弾性係数 (tf/m^2)	厚厚 (m)	せん断波速度 (m/sec)	層	密度 (t/m^3)	せん断弾性係数 (tf/m^2)	厚厚 (m)	せん断波速度 (m/sec)
1	1.8	36,000	3.0	150	1	1.8	36,000	3.0	150
2	1.8	112,500	3.0	250	2	1.8	112,500	3.0	250
					3	1.8	36,000	3.0	150
					4	1.8	112,500	3.0	250
基盤	2.2	625,000	—	533	基盤	2.2	625,000	—	533

MODEL 3 (2種4層地盤)					MODEL 4 (3種7層地盤)				
層	密度 (t/m^3)	せん断弾性係数 (tf/m^2)	厚厚 (m)	せん断波速度 (m/sec)	層	密度 (t/m^3)	せん断弾性係数 (tf/m^2)	厚厚 (m)	せん断波速度 (m/sec)
1	1.9	34,550	3.6	134	1	1.9	40,200	3.8	144
2	1.9	87,000	4.0	186	2	1.9	32,410	3.6	129
3	1.9	59,570	6.4	173	3	1.4	36,480	12.2	160
4	1.9	75,700	5.6	198	4	1.9	58,160	0.9	173
					5	1.4	36,340	11.5	160
					6	1.9	50,260	5.0	161
					7	1.9	66,670	6.0	188
基盤	2.2	625,000	—	500	基盤	2.2	625,000	—	500

4. 結果および考察

地盤応答解析として重複反射理論による1次元震動解析を行ない、周波数応答関数の1次ピークに注目してモンテカルロ法と各種点推定法の精度を比較検討した。地盤固有振動数の平均値と標準偏差、応答倍率の平均値と標準偏差に関してMCSに対する点推定法の結果の相対誤差を図1に示す。また、このときの演算時間を表2にまとめる。PEM2、PEM3の結果に注目すると、平均値と標準偏差の相対誤差は数パーセント以内である。しかし地盤層数の増加にともない演算時間は相当に長くなる。またSPEM2、SPEM3の結果では、標準偏差の誤差が大きいがわかる。言い換えると、簡略化した点推定法から求まる標準偏差はモンテカルロ法のそれよりも大きくなる。これは、SPEMでは解析回数が少ないため、すべての層の地盤係数が小さい、あるいは大きい組み合わせの応答結果が全体の誤差に影響したためと考えられる。しかし平均値の誤差は比較的良好なことから、平均値の評価には本推定法でも十分であるといえる。つぎにLPEM2、LPEM3の結果に注目すると、平均値の誤差はよく、標準偏差もSPEM2、SPEM3のそれに比較して10~60%の誤差の向上がみられる。ラテン方格法の組合せ個数を多くすることでさらに精度の向上を期待できる。

5. まとめ

本研究では、モンテカルロ法では演算時間、演算容量の制約を受けることが多いので、これに代わる有力な地盤応答解析法として、点推定法を用いた地盤の効率的応答解析法を提案し、両者の比較検討を行なった。地盤の1次固有振動数とその応答倍率に注目して結果を整理したところ、モンテカルロ法に対する各種点推定法の解析精度や演算時間の短縮程度などを明らかにすることができた。

最後に本解析の一部を分担していただいた元本学学生・向川泰弘氏(現福井県庁)に感謝いたします。なお、解析には富士通社製、FACOM M760/20を用いた。

参考文献

- 1) 松尾稔:地盤工学 一信頼性設計の理念と実際一、技報堂出版、pp.62~64、1984。
- 2) Rosenbleuth,E.:Point Estimates for Probability Moments,Proceedings of the National Academy of Science,Vol.72,No.10,pp3812~3814,1975。
- 3) 土岐憲三:構造物の耐震解析、技報堂出版、pp.82~90、1981。

表2 演算時間

地盤	解析方法	演算時間	相対時間
MODEL 1	MCS	38.89 SEC	1
	PEM2	0.79 SEC	1/49
	PEM3	3.32 SEC	1/12
	SPEM2	0.31 SEC	1/125
	SPEM3	0.50 SEC	1/78
	LPEM2	0.39 SEC	1/100
LPEM3	0.50 SEC	1/78	
MODEL 2	MCS	1MIN 0.25 SEC	1
	PEM2	15.41 SEC	1/4
	PEM3	22.37 SEC	6/3
	SPEM2	0.38 SEC	1/158
	SPEM3	0.88 SEC	1/89
	LPEM2	0.52 SEC	1/116
LPEM3	0.69 SEC	1/87	
MODEL 3	MCS	1MIN 0.45 SEC	1
	PEM2	15.18 SEC	1/4
	PEM3	26.51 SEC	6.4
	SPEM2	0.38 SEC	1/158
	SPEM3	0.68 SEC	1/89
	LPEM2	0.53 SEC	1/114
LPEM3	0.69 SEC	1/88	
MODEL 4	MCS	1MIN 29.39 SEC	1
	PEM2	24MIN 28.96 SEC	16
	PEM3		
	SPEM2	0.54 SEC	1/165
	SPEM3	0.97 SEC	1/92
	LPEM2	0.71 SEC	1/126
LPEM3	0.97 SEC	1/92	

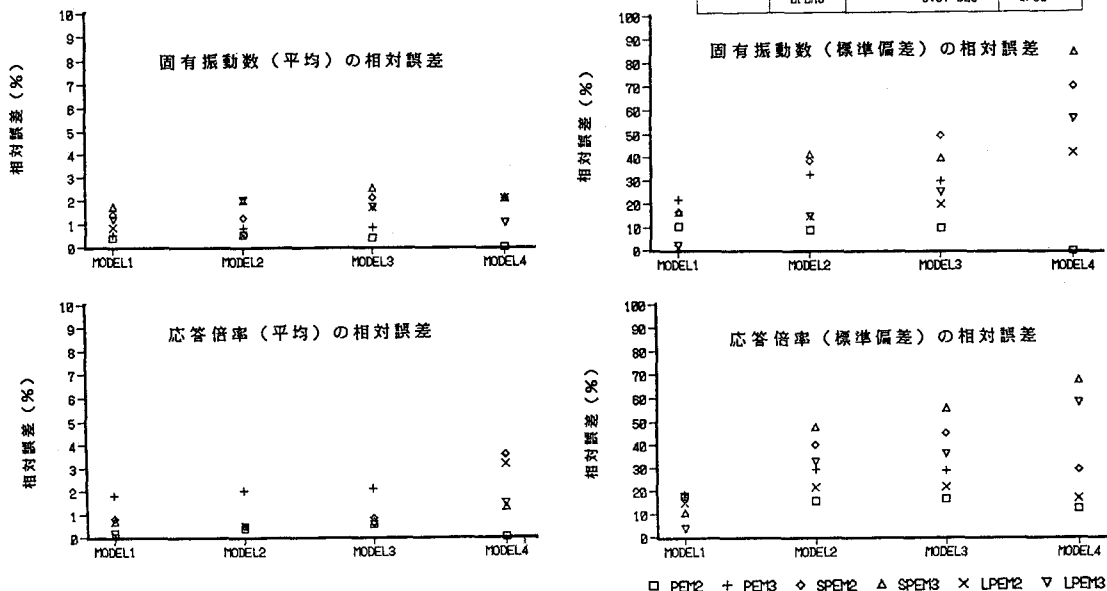


図1 相対誤差による解析結果