

モンテカルロシミュレーションを用いた
地盤物性のばらつきと地盤応答特性との関係に関する基礎検討

大成建設株式会社 正会員 ○畑 明仁
大成建設株式会社 フェロー会員 志波 由紀夫
大成建設株式会社 正会員 坂下 克之

1. 目的

平成 19 年度に原子力学会において制定された「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準」においては、地盤物性のばらつきに起因する自由地盤応答のばらつきを等価線形解析により評価することが示されている。等価線形解析には豊富な実績があり、その適用性等について多くの検討が既に実施されているが、地盤物性の不確実性に起因する応答振幅のばらつきについて検討した例は少ない。本稿では、等価線形解析にモンテカルロシミュレーションを適用し、材料物性のばらつきに起因する自由地盤応答のばらつきを評価するとともに、R-O モデルによる逐次非線形解析でも同様の検討を行い、両者を比較した。

2. 解析条件

解析モデルは一次元自由地盤モデルとし、図 1 に示す深度 20m に位置する岩盤上の表層地盤を想定した。表層地盤のせん断剛性 G_0 は拘束圧依存性を考慮して各層ごとに設定し、 $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h-\gamma$ 関係は表層地盤内で一定とした(図 2)。また、地盤材料モデルは等価線形モデル(解析コード: SHAKE) および R-O モデル(解析

コード: TDAPIII) を用いた。なお、岩盤(層 18)は線形とした。入力波形は、内陸直下型地震として兵庫県南部地震の神戸海洋気象台波形(以下、神戸波)および海洋型地震として宮城県沖地震の東北大学波形(以下、宮城波)を選定し(図 3)、それぞれ最大加速度を 300, 600, 900Gal に振幅調整して入力した。また、等価線形モデルでは岩盤層に上昇波(E波)を、R-O モデルでは表層地盤底面に粘性境界を設け 2E 波を入力した。

地盤物性のばらつきの条件は各層が互いに独立に対数正規分布に従うものとし、対数標準偏差 $\sigma=0.1, 0.2, 0.3$ (\equiv 変動係数)の 3 ケースを設定した。図 1 には、

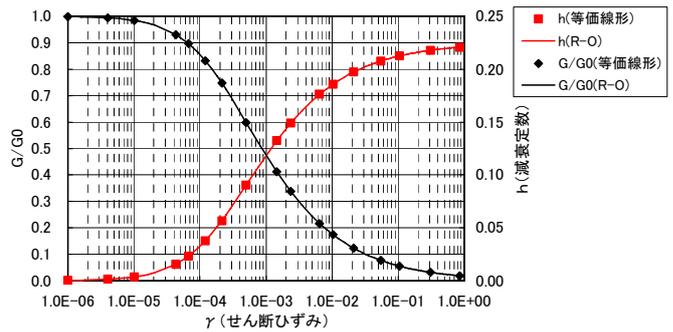


図 2 地盤の非線形特性

層番号	層厚 m	単重 kN/m ³	G ₀ kN/m ²	V _s m/s
1	0.625	19.6	2.11E+04	103
2	0.625	19.6	3.46E+04	132
3	0.750	19.6	4.43E+04	149
4	1.000	20.6	5.16E+04	157
5	1.000	20.6	5.69E+04	164
6	1.000	20.6	6.16E+04	171
7	1.050	20.6	6.60E+04	177
8	1.300	20.6	7.07E+04	183
9	1.400	20.6	7.57E+04	190
10	1.500	20.6	8.06E+04	196
11	1.500	20.6	8.53E+04	201
12	1.500	20.6	8.97E+04	207
13	1.500	20.6	9.39E+04	211
14	1.500	20.6	9.78E+04	216
15	1.500	20.6	1.02E+05	220
16	1.500	20.6	1.05E+05	224
17	0.750	20.6	1.08E+05	226
18	岩盤	23.5	6.00E+05	500

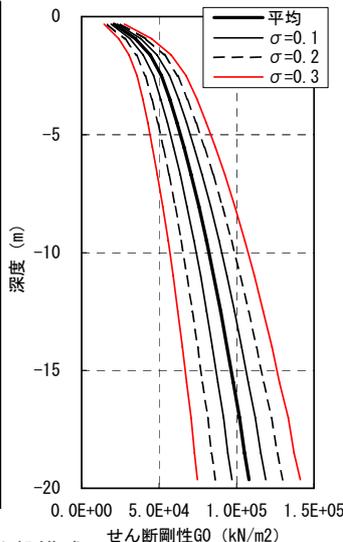


図 1 地盤構成

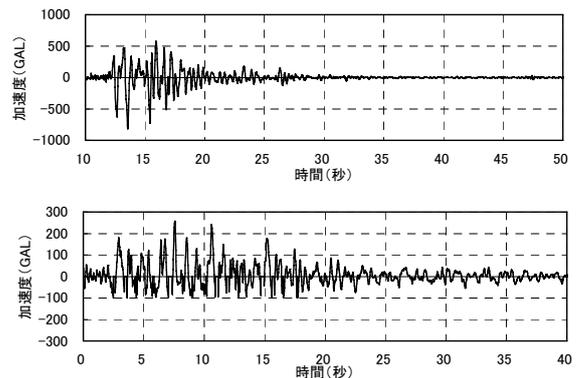


図 3 入力波形

(上: 兵庫県南部地震, 下: 宮城県沖地震)

表 1 解析ケース

入力波形	神戸海洋気象台波形、東北大学波形
入力加速度	最大加速度=300Gal、600Gal、900Gal
G ₀ の分布	対数正規分布(対数標準偏差=0.1、0.2、0.3)
非線形モデル	等価線形(SHAKE)、R-Oモデル(TDAPIII)

キーワード 等価線形解析, 逐次非線形解析, R-O モデル, モンテカルロシミュレーション, 確率論的安全評価
連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社技術センター TEL045-814-7231

それぞれの対数標準偏差に対応する 1σ 区間を示す.

モンテカルロシミュレーションにおいては, ラテンハイパーキューブサンプリング(層分割 300)を用いて, 各ケースのリアライゼーション数を 300 とした. 一例として, 対数標準偏差 0.3 のケースで用いた G0 の値およびその分布を図 4, 図 5 に示す.

3. 解析結果

解析結果は, 深度 20m の岩盤と地表面の最大相対変位, 地表面の最大応答加速度について整理した. モンテカルロシミュレーションの結果としては, 各ケースごとに 300 個の結果が出力されるが, それらを統計処理し, その平均値, 変動係数についてその傾向を評価した.

図 6~図 9 にそれらの結果を示す. 地表面の最大応答変位については, 入力加速度の増加に対して, 全てのケースではほぼ比例的に平均応答が増加しているが, その変動係数は約 0.15 以下の範囲ではほぼ一定あるいは減少する結果となっている. また, 地表面の最大応答加速度については, 入力加速度の増大に応じて R-0 モデル (TDAPIII) と等価線形モデル (SHAKE) でその程度は異なるが, 全てのケースではほぼ比例的に増加している. 一方, その変動係数は, 入力加速度の増加に合わせて, 等価線形モデル (SHAKE) では増加するが, R-0 モデル (TDAPIII) では頭打ちとなる結果となった.

4. まとめ

本結果は, 地表面の応答変位および応答加速度の平均応答は入力加速度の増大に合わせて増加するものの,

その応答のばらつきは必ずしも増加せず条件によってはむしろばらつきが減少すると集約される. また, 地盤物性のばらつきの変動係数 0.3 に対して応答変位および応答加速度の変動係数は 0.15 以下程度となった.

今後も, 地震応答解析の確率論的評価を実施していく上で, このようなばらつきに対する基礎的知見の蓄積を継続することが重要と考えている.

参考文献

- 1) 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準, 原子力学会, 2007
- 2) 平成 15 年度 地震に係る確率論的安全評価手法の整備に関する報告書, 財団法人原子力発電技術機構, 2003
- 3) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針, 土木学会, 2005

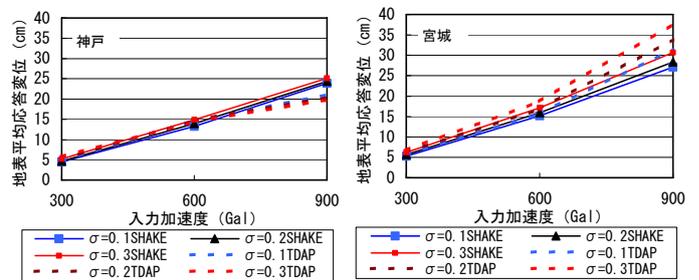


図 6 地表面最大応答変位の平均値

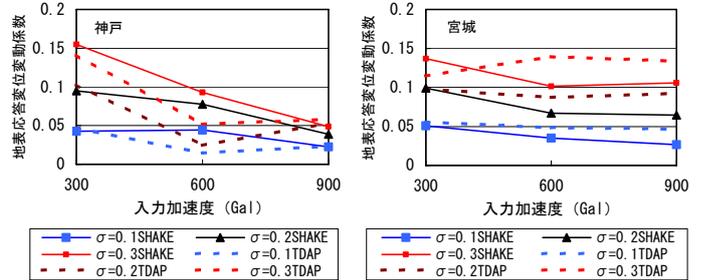


図 7 地表面最大応答変位の変動係数

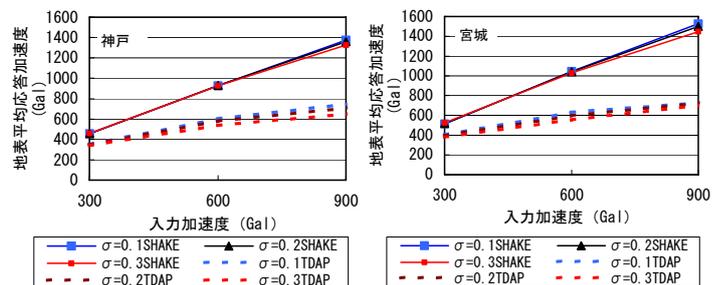


図 8 地表面最大応答加速度の平均値

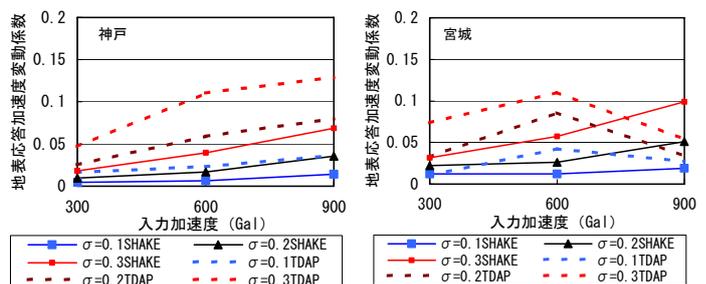


図 9 地表面最大応答加速度の変動係数

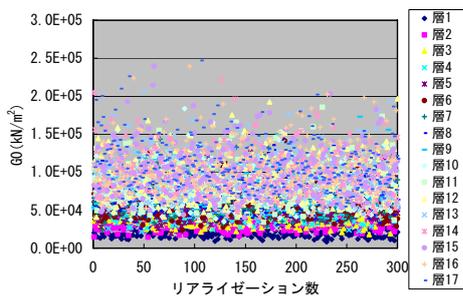


図 4 計算に用いた G0 の値

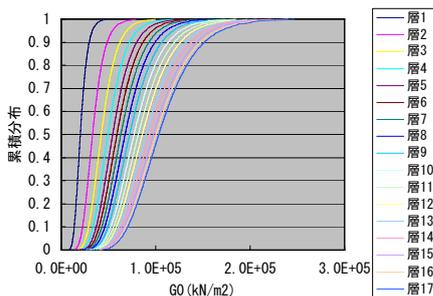


図 5 計算に用いた G0 の分布