

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(その2)

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-会員 志波 由紀夫

1. 目的

原子力発電所耐震設計審査指針の改訂にともなう耐震安全評価における確率論的評価の導入,各種設計コードにおける性能設計および信頼性設計の導入などを背景に,筆者らは地盤物性のばらつきが地震応答解析結果に与える影響について,簡単な次元モデルを対象として等価線形解析にモンテカルロシミュレーションを適用することにより数値的な検討を行ってきた。(その1)¹⁾においては,地盤の初期せん断剛性 G_0 が応答解析結果に与える影響を検討した。またその後, $G/G_0 \sim$, $h \sim$ 関係などのひずみ依存性が地震応答解析に与える影響を検討した結果, $G/G_0 \sim$ 関係が応答のばらつきに与える影響が最も大きいことを別報²⁾に報告した。本稿では,上記結果のうち応答解析結果の変動が最も大きい結果となった $G/G_0 \sim$ 関係を変動させた場合について,最大応答値と卓越周期の関係を整理した結果を報告する。

2. 解析条件

解析モデルは図-1に示す工学的基盤(岩盤)が深度20mに位置する次元自由地盤モデルとし,層分割および物性は同図に示すとおりである。なお,表層地盤の初期せん断剛性 G_0 は拘束圧依存性を考慮して各層ごとに設定し,各層の非線形特性 $G/G_0 \sim$ 関係および $h \sim$ 関係は,図-2に示す関係を用いた。ただし,最下層の岩盤(層18)は線形とした。表層地盤(層1~層17)の物性のばらつきは, $G/G_0 \sim$ 関係を変動させた。具体的には,基準ひずみにおける G/G_0 を正規分布させ,ひずみ最小値(1.0E-06)および最大値(1.0)で変動が0となるように基準ひずみから対数軸上で比例配分して $G/G_0 \sim$ 関係を設定した。なお,各層は独立にばらつくものとし,変動係数 $\sigma = 0.1, 0.2, 0.3$ の3ケースを設定した。図-2に,各ケースにおける $G/G_0 \sim$ 関係の変動幅(1区間)を併記する。

入力地震動は,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)を,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)をそれぞれ選定した。これらの加速度波形,応答スペクトルを図-3,図-4に示す。各波形の入力にあたっては,それぞれ最大加速度を300,600,900Galに振幅調整し,岩盤層

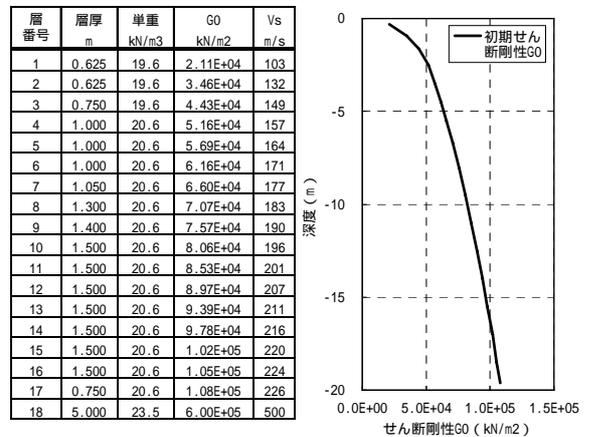


図-1 地盤構成

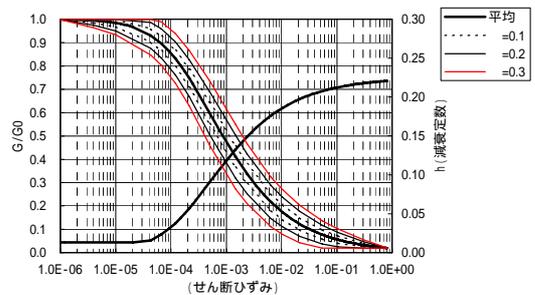


図-2 地盤の非線形特性

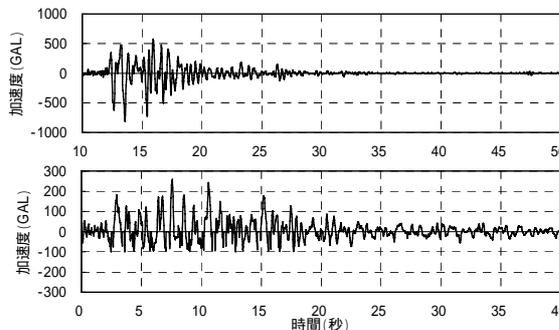


図-3 入力地震動(上:神戸波,下:宮城波)

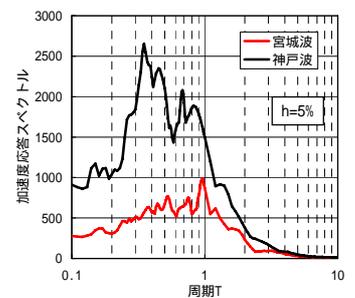


図-4 加速度応答スペクトル

キーワード モンテカルロシミュレーション, 等価線形解析, 不確実性, 地盤物性, 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 TEL 045-814-7231

(層 18) に 2E 波として入力した。

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,各ケースのリライゼーション数を 300 とした. 図-5 には,実際の計算で得られた層 1 における $G/G_0 \sim$ のサンプル曲線(変動係数 $=0.3$ の場合)を一例として示す.

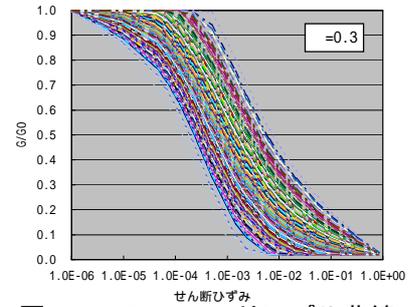


図-5 $G/G_0 \sim$ のサンプル曲線

3. 解析結果

図-6 に地表面最大応答加速度および最大応答変位を表層地盤の卓越周期(収束剛性時)で整理した結果を示す. また, ここには減衰定数が 15% の場合の加速度応答スペクトルおよび変位応答スペクトルも合わせて示している. モンテカルロシミュレーションにおける入力物性 ($G/G_0 \sim$ 関係) は, 各層独立に変動させており, その結果, 卓越周期は各リライゼーション毎に異なるが, 全ての結果が概ね応答スペクトル曲線の周りに分布していることが分かる. これは入力物性によって地盤振動系の状態は様々に変化するが, 地震動に対する応答は結局一次モード振動に概ね支配されていることを示している. また, モンテカルロシミュレーションの結果は, 入力加速度が大きくなるとばらつきが大きくなるが, これはせん断ひずみの増大と共に, 大きなひずみが発生した層においては減衰が急激に増加した結果, 系全体の減衰の変動を大きくしたためと考えられる. 図-7 には, これらの計算結果から得られる統計量(平均値および変動係数)を示す. これらを見ると, 応答の平均値は入力加速度の増大に対しほぼ比例的に増大すると言えるが, 変動係数については明瞭な傾向は判別し難い. こうした特性は, 応答地盤の収束剛性時の卓越周期が, 応答スペクトル曲線状のどの位置に分布するかによって依存すると考えられるが, 詳細な分析は今後の課題と考えている.

4. まとめ

単純な一次元自由地盤モデルを対象に, $G/G_0 \sim$ 関係のばらつきが地表面の地震応答特性に与える影響についてモンテカルロシミュレーションを用いて評価した. その結果, その応答は一次モード振動を前提とした応答スペクトルで概ね評価できることが分かった.

- 参考文献**
- 1) 畑明仁, 志波由紀夫, 坂下克之: 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, 第 63 回土木学会年次学術講演会概要集 (CD-ROM), 2008
 - 2) 畑明仁, 志波由紀夫: モンテカルロシミュレーションによる地盤物性のばらつきが地震応答に与える影響に関するケーススタディ: 第 30 回土木学会地震工学研究発表会概要集 (投稿中)

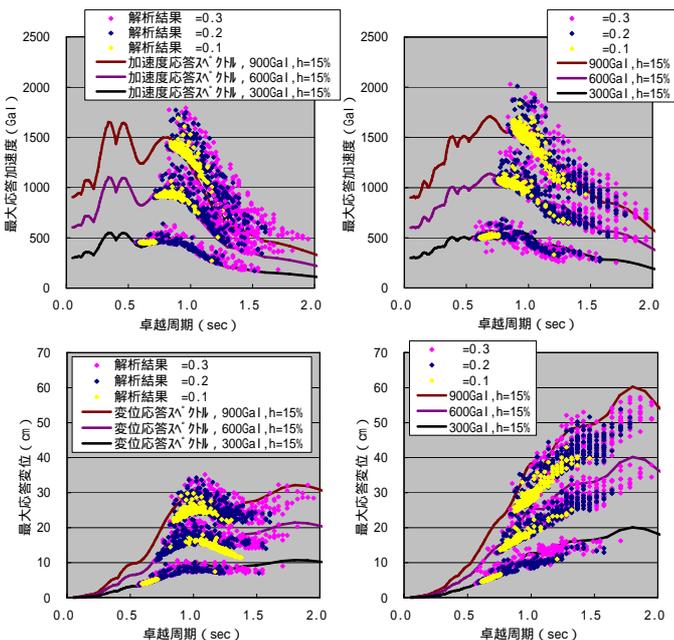


図-6 地表面最大応答値(左:神戸波、右:宮城波)

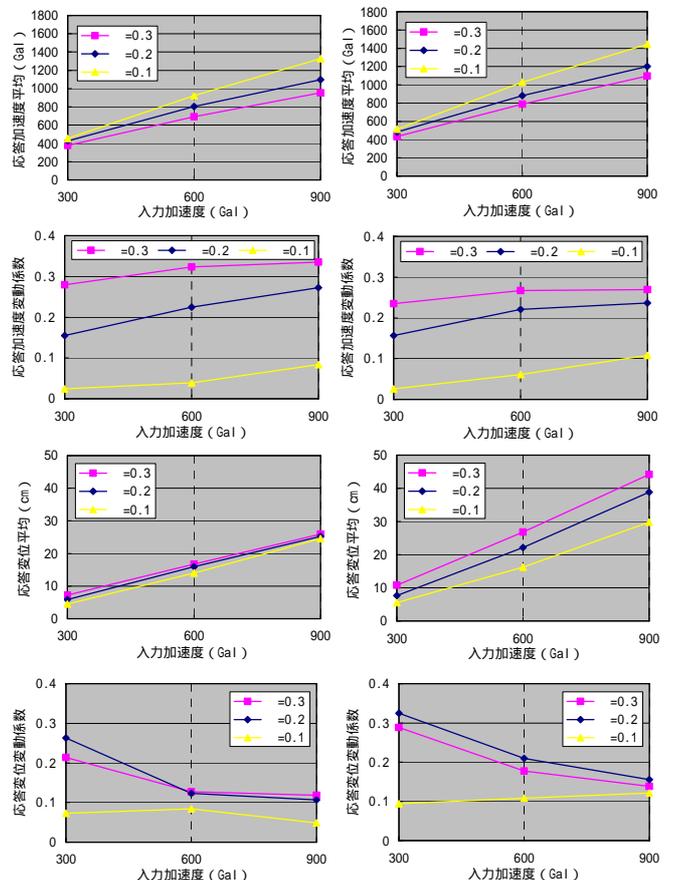


図-7 平均値と変動係数(左:神戸波、右:宮城波)