

二点推定法とモンテカルロシミュレーションによる 斜面の安定限界に関するフラジリティ評価

(株)ユニック 正会員 ○西村 聡, 前原達也

東京都市大学 正会員 吉田郁政

日本大学 正会員 中村 晋

1. はじめに

原子力発電所施設周辺斜面の安定限界に関するフラジリティ評価について、現状では既存の地震応答解析法(周波数領域において等価線形化法により地盤材料の非線形性を考慮する方法)を用いて行っているのが一般的であると考えられる。既存の地震応答解析法を用いて斜面の安定限界に関するフラジリティ評価を簡易にあるいは詳細に実施する場合、両者がどの程度の相違を有するのか、その傾向を事前に把握しておきたいと考え、二点推定法とモンテカルロシミュレーション(以下、MCS)によるフラジリティ評価を実施し、両者を比較した。

2. 検討条件

検討用斜面モデルを図-1 に、検討用地震動(水平動と鉛直動の同時入力)を図-2 に、地盤材料の物性値一覧を表-1 に示す。力の釣合いに基づくすべり安全率 $F_s=1.0$ となるときの入力水平地震動の振幅レベル(基盤最大加速度 Peak Ground Acceleration : PGA)を限界加速度^{1),2)}とすると、この限界加速度が最小となるすべり線が斜面の安定限界を示す崩壊領域と考える。 F_s は中央値物性のもとで算出した。すべり線はD級岩盤内のみを通り、限界加速度は433Galであった。

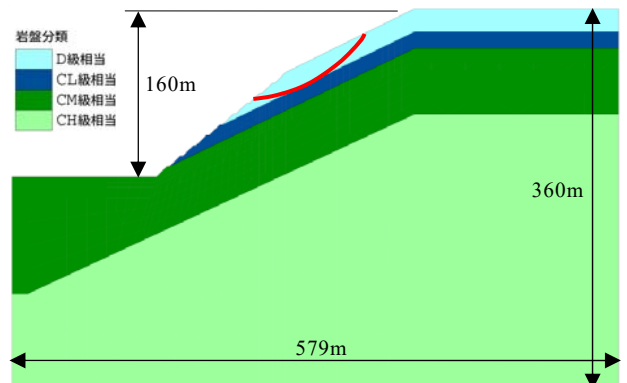


図-1 検討用斜面モデルと安定限界を示す崩壊領域

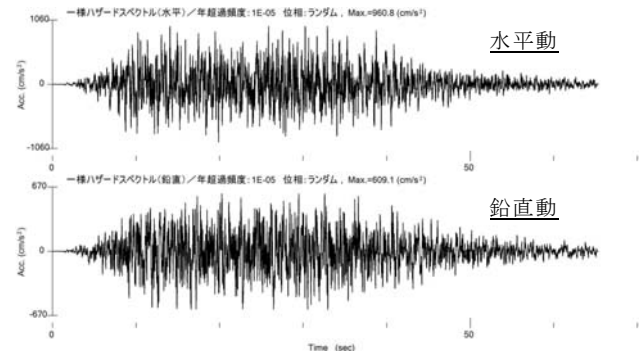


図-2 検討用地震動

3. 二点推定法によるフラジリティ評価

二点推定法では各岩級の強度定数の中央値(λ)±対数標準偏差(ξ)の値を用いた。変動係数は全ての地盤物性値で0.4としている。ピークせん断強度の粘着力(C_p)と引張強度(σ_t)は $\sigma_t=2/3 \cdot C_p$ の関係を設定している(表-1参照)ことから両者は連動してばらつく。内部摩擦角はピーク強度(ϕ_p)と残留強度(ϕ_r)の両者で同一値としている。すなわち、粘着力と内部摩擦角の2種類のパラメータが独立であるとしたケース(A)では $2^2=4$ 回の試行解析を、2種類のパラメータが完全相関であるとしたケース(B)では2回の試行解析を実施した。入力地震動(水平動)は最大振幅(PGA)を100~800Galに調整して100Gal刻みとした。

4. MCSによるフラジリティ評価

地盤物性値及び入力地震動レベルを種々変化させた動的FEM解析ならびにすべり安全率算

表-1 地盤材料の物性値一覧(中央値)

項目	単位	岩 盤				備考	
		D級相当	CL級相当	CM級相当	CH級相当		
単位体積重量(γ)		MN/m ³	0.02	0.02	0.025	0.026	
ピーク強度	粘着力(C_p)	MPa	0.28	0.46	1.39	1.86	
	内部摩擦角(ϕ_p)	度	27.9	37.1	41.8	46.4	
	引張強度(σ_c)	MPa	0.19	0.31	0.93	1.24	2/3・ C_p
残留強度	粘着力(C_r)	MPa	0.00	0.00	0.00	0.00	
	内部摩擦角(ϕ_r)	度	27.9	37.1	41.8	46.4	
初期せん断弾性係数(G_0)		MPa	464	669	3900	10213	
動ポアソン比(ν_d)		—	0.43	0.40	0.37	0.35	
$G/G_0 \sim \gamma : \gamma$ (%)		—	1/(1+4.5 $\gamma^{0.6}$)	線形 (一定)	線形 (一定)	線形 (一定)	
$h \sim \gamma : \gamma$ (%)		%	11.4 $\gamma^{0.2} + 2.0$	3.0 (一定)	3.0 (一定)	2.0 (一定)	
減衰定数hの下限値		%	3.0	—	—	—	

キーワード：斜面、地震 PRA、安定限界、フラジリティ

連絡先：〒153-0041 東京都目黒区駒場 3-5-18, (株)ユニック 03-3468-6711

定を MCS(試行数 100 回)にて実施した。図-3 に示すように、各試行解析においてはせん断ひずみ(γ)に依存する地盤物性値(D 級岩盤の動的変形特性)の収束計算とすべり安全率 $F_s=1.0$ となる地震動レベル(基盤最大加速度 PGA)の探索を同時に行っている^{1),2)}。ばらつきを考慮する地盤物性値は、動的解析(地震時増分応力算定)及びすべり安全率算定に関連する物性値とし、初期せん断弾性係数(G_0)、ピーク強度の粘着力(C_p)及び引張強度(σ_t)、ピーク強度及び残留強度の内部摩擦角(ϕ_p, ϕ_r)である。常時応力解析(自重解析)では、変形特性は岩級によらず一定($E=980\text{MPa}$, $\nu=0.49$)とし、単位体積重量は岩級区分ごとの値を適用した。各地盤物性値の確率分布は対数正規分布を仮定した。ばらつきの幅(上・下限値)は基本的に $\lambda \pm 3\zeta$ (λ : 中央値, ζ : 対数標準偏差)を考慮した。変動係数はいずれの地盤物性値も 0.4 とした。同一岩級区分内の粘着力と内部摩擦角は独立とし、異なる岩級区分間も独立である。

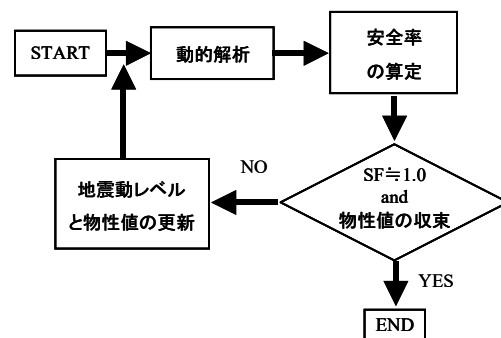


図-3 物性のひずみ依存性と限界加速度に関する繰り返し計算

○ 点推定(A): 試行 4回 △ 点推定(B): 試行 2回
中央値加速度: $A_m=506.9\text{Gal}$ 中央値加速度: $A_m=364.4\text{Gal}$
対数標準偏差: $\beta r=0.472$ 対数標準偏差: $\beta r=0.817$

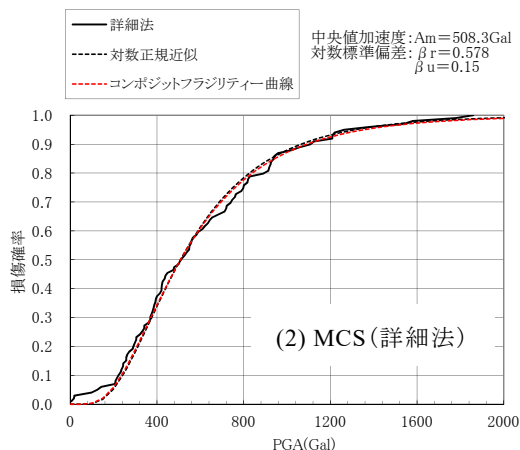
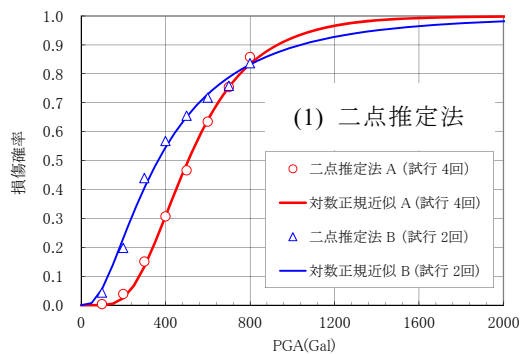


図-4 安定限界に関する fragility 曲線

5. 評価結果の比較と考察

二点推定法及び MCS による fragility 曲線の評価結果を図-4(1)及び(2)に示す。図中には対数正規分布を仮定して算出した fragility 曲線を併せて示している。二点推定法(A)及び(B)による fragility 曲線の中央値加速度はそれぞれ 507Gal 及び 364Gal であった。粘着力と内部摩擦角を独立と仮定(A)するか、完全相関と仮定(B)するかによって二点推定法による評価結果は大きく異なる。MCS による対数近似 fragility 曲線の中央値加速度は 508Gal であり、二点推定法(A)による評価は詳細法である MCS とほぼ同等の結果となった。

図-5 に示した感度分析結果から、PGA に対する G_0 の感度は小さく、強度(C_p, ϕ)については PGA と比較的大きな正の相関が認められる。二点推定法(A)と MCS の fragility 評価結果がほぼ同等となった一因であると考えられる。

参考文献

- 1) 吉田郁政, 秋吉良樹, 北爪貴史: 限界加速度を用いた斜面の損傷確率の算定法, 土木学会第 58 回年次学術講演会, pp.425-426, 2003.
- 2) 吉田郁政, 荒川武久, 北爪貴史, 大津仁史: 斜面の地震時確率的安定性評価に関する研究, 土木学会論文集 No.785/III-70, pp.27-37, 2005.

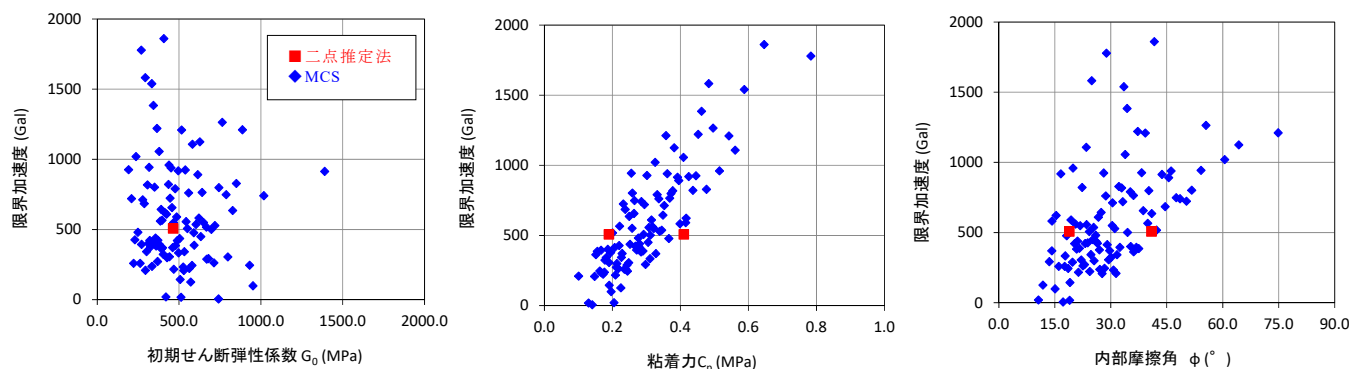


図-5 感度分析結果