

フィルダムの終局挙動を考慮した地震リスク評価法について

電力中央研究所 フェロー会員 ○平田 和太
電力中央研究所 正会員 中島 正人

1. 背景と目的

構造物地震リスク評価においては、地震動の発生確率評価（ハザード評価）と地震動が発生した条件下での損傷確率評価（フラジリティ評価）が行われる。構造物の終局限界を考慮した地震リスク評価を行うためには応答、耐力の不確実さと入力地震動の不確実さを考慮した非線形応答解析を行う必要があるが¹⁾、実用化に向けては評価精度を損なうことなく計算量を低減化することが望まれている。本報では、材料物性と地震動の不確実さを同時に考慮してフィルダムの損傷確率評価を行った結果について報告する。

2. 解析モデルおよび解析方法

(1) 解析モデル

解析の対象としたのは図-1に示す高さ100mの中央遮水壁型ロックフィルダムで、堤体物性値は文献2)に基づき標準的なものを設定し、基礎地盤は $V_s1500\text{m/s}$ とした。M7.8、断層最短距離10kmの震源を想定し、加速度応答スペクトルの回帰式³⁾に適合する模擬地震波を作成した。入力地震動は基礎地盤底面からダンパーを介して入力し（側方はエネルギー伝達境界）、堤体部については等価線形解析による応答解析を実施した。なお、地震応答解析に先立ち堤体の築堤、湛水解析を行い、初期応力に地震時応力を加えた応力状態から堤体の安定評価を行っている。図-1に示す、すべり線-1, 2について安全率評価を行い、安全率が時刻歴中で1.0を下回る場合には、すべり土塊の滑動量をNewmark法により算出した。

(2) 物性値と入力地震動の不確実さを考慮した解析

堤体材料の物性値の不確実さ（ばらつき）についてはラテン超方格サンプリング（LHS）法（図-2）により、堤体材料の物性値をサンプリングし、その影響を評価する。LHS法では考慮する確率変数の確率密度関数を各区間で等確率になるように分割し、各区間から標本値のサンプリングを行う。ここでは加速度応答スペクトルについても、確率変数とみなし、図-3に示すようにサンプル数に応じた上下限值間でLHSによるサンプリングを行い、サンプリングされた応答スペクトルに適合する模擬地震波を入力波とした。なお、サンプリングは各区間の中央値を採るMidpoint LHSとしている。不確実さを考慮した因子（物性値と地震動）は対数正規分布を仮定し、表-1に示すばらつき量（対数標準偏差）を与えた。

3. 解析結果

図-4には、すべり線-2のすべり安全率について計算結果を、（常用）対数正規確率紙上にプロットしたものである。すべり線-2については安全率が1.0を下回り、すべりが生じるケースが比較的少ないため安全率について整理している。プロット点は直線上に分布しており、対数正規分布と近似できる。サンプル数 N が大きくなるに従い、直線の傾きは増加し、ばらつきの評価結果は大きくなる。84%、50%フラクティル値間の勾配から求めた（自然）対数標準偏差 β は、 $N=10, 30, 50$ に対してそれぞれ0.204, 0.396, 0.396となっており、この場合はサンプル数30でほぼ収束している。図-5にはすべり線-1上の土塊の滑動量の計算結果についての結果を示す。この場合は、（常用）対数正規確率紙上でプロット点は直線上に分布しておらず対数正規分布の仮定は当てはまらないといえる。いま、滑動量の限界値を2.0mとすると、 $N=30, 50$ の結果から、想定した震源で地震が生じたときの条件付損傷確率（土塊の滑動量が2.0mを超える確率）は双方とも5%程度となる。図-6には、地震動の不確実さと物性値の不確実さを個別、同時に考慮した時の結果を示す。

4. 結論

フィルダムの地震時変形量（滑動量）の不確実さをLHS法にもとづき評価した。本報で示した方法によれば入力と構造物側の不確実さを同時に評価することができる。今後、サンプリングの方法やサンプル数についての検討が必要であると考えている。

キーワード フィルダム, 地震リスク, 損傷確率, 滑動量, Newmark法, LHS法

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 (財)電力中央研究所 地球工学研究所 TEL. 04-7182-1181

表-1 不確かさを考慮する因子と対数標準偏差

不確かさを考慮する因子	せん断弾性係数 (堤体) Gd	減衰定数 (堤体) hd	せん断弾性係数 (基礎地盤) Gr	減衰定数 (基礎地盤) hr	強度定数 (堤体) Cd	強度定数 (堤体) ϕd	加速度波 acc(t)
対数標準偏差	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5

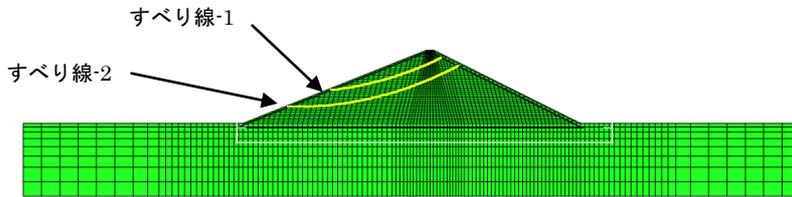


図-1 解析モデルと想定したすべり線

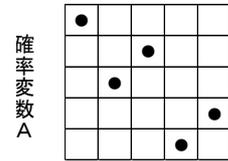


図-2 LHS サンプリング

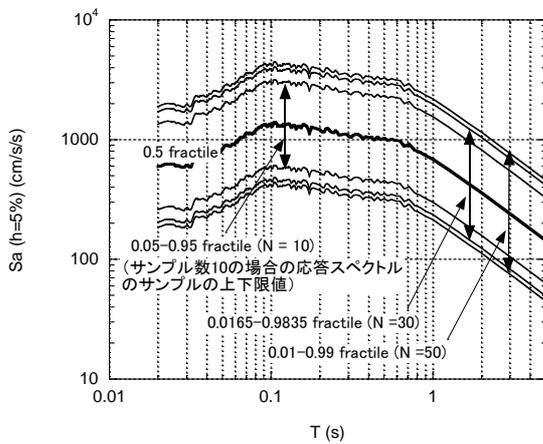


図-3 入力地震動の加速度応答スペクトルの上下限值

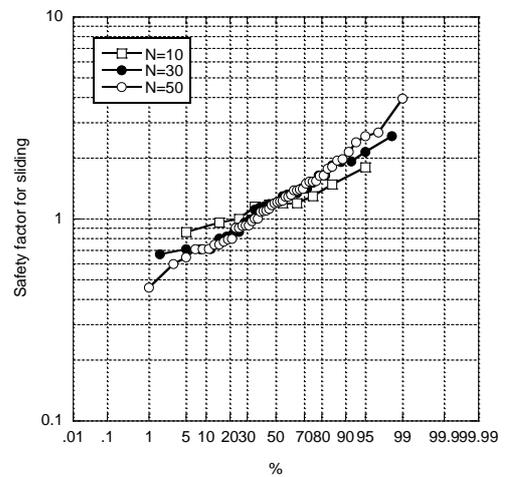


図-4 すべり線-2の安全率の確率プロット (サンプル数による比較)

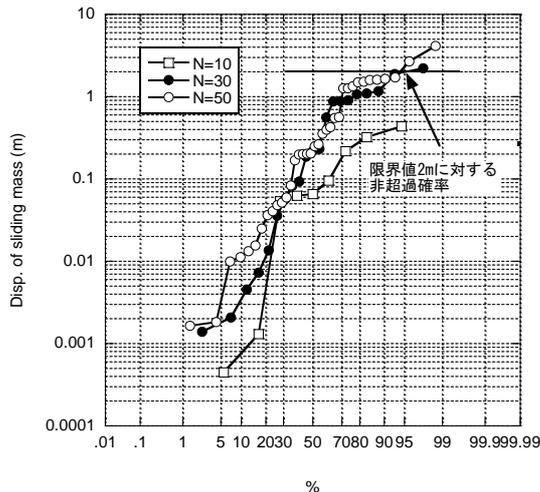


図-5 すべり土塊の滑動量の確率プロット (サンプル数による比較)

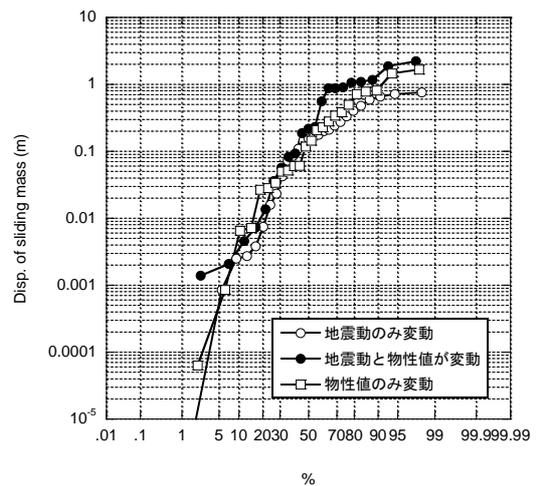


図-6 すべり土塊の滑動量の確率プロット (地震動と物性値の不確かさの影響)

参考文献

1) 中島, 平田, 盛川: 起こり得る全ての地震の発生確率を考慮した構造物の..., 土木論, Vol. 64, No.2, 2008 2) 岡本敏郎: ロックフィルダム地震時安定性評価に関する設計・照査の現状と今後の展望, 電力中央研究所調査報告, 2004, 3) Nishimura, Noda, et al.: Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, Trans. 16th SMiRT, 2001