# フィルダムの終局限界を考慮した地震リスク評価法について -LHS 法による検討事例-

電力中央研究所 フェロー会員 ○平田 和太同 正会員 中島 正人

## 1. 背景と目的

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 慮した損傷確率の評価が必要となる。一般に構造物の終局域近傍での評価精度を確保するためには非線形応答解析 を行う必要があるが,応答の不確実さをモンテカルロ・シミュレーションで評価する場合には計算時間が多大とな る。計算の効率化を図るための手法として層別抽出法の一種であるラテン超方格サンプリング(LHS)法があるが, 本報では前報<sup>1)</sup>に引き続き,材料物性と地震動の不確実さの影響をLHS法により評価してフィルダムの地震リスク 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)解析モデルと入力地震動

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,解析モデルおよび堤体物性値の中央値は前報と同じとし,2次元 FEM による地盤-堤体モデルの応答解析を行った。入力地震動は加速度応答スペクトルの経験式<sup>2</sup>に基づき与えるものとする。応答解析結果から,設定したすべり面(図-1)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

堤体物性値と地震動の振幅は対数正規分布に従うものとし、対数標準偏差をそれぞれ 0.2, 0.5 としている。これ らの不確実さが堤体のすべり安全率とすべり土塊の滑動量(すべり安全率が 1.0 を下回った場合)に及ぼす影響を LHS 法により評価した。ここでは LHS において堤体物性値と地震動の振幅の両者を確率変数と見なしてサンプリ ングを行っている。想定した震源は地震規模 M と距離(等価震源距離 Xeq)の組合せとして与え、経験式<sup>2</sup>によっ て与えられる加速度応答スペクトルの中央値(図-2)と対数標準偏差から超過確率区間に応じた加速度応答スペク トルを与え、これに適合する模擬地震波を作成して入力地震動とした。サンプル数 N は N=50 を基本ケースとした が、特定のケースについては N=50、100、200 とした解析を行っている。

## 3. 解析結果

#### (1) 不確実さの影響評価

図-3 は上流側すべり面 U4 についての安全率の計算結果(時刻歴中の最小値)を(常用)対数正規確率紙上にプ ロットしたものであるが、プロット点はほぼ直線上に分布しており、すべり安全率については対数正規分布と見な すことができる。また、サンプル数(N=50, 100, 200)による中央値(50%値)や(常用)対数標準偏差(直線の 傾き)の差も小さい。一方、すべり土塊の滑動変位量(鉛直成分 Uz)についてみると、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成り立たない。また、サンプル数(N=50, 100, 200)による分布の差は小さい ものの、検討した範囲ではサンプル数Nが大きくなるに従い収束していくような結果とはならず、サンプリングに 用いた乱数の組合せによる影響を受けているものと考えられる。

#### (2)終局限界を対象とした年損傷頻度の評価

想定した各震源(図-2)で発生する地震に対してLHSによる滑動量を算出し、Hazenプロット((m-0.5)/Nで累積確率を算出)による累積確率分布を求めた結果を図-5、6に示す。堤頂の沈下量 1.0m を終局限界として、すべり 土塊の滑動量の鉛直成分 Uz が 1.0m を超えた状態を終局状態とすると、震源 i (i=1~Ns)で発生した地震による損 傷確率 Pfi は、Pfi=1.0 - Sn(Dz=1)(Sn(Dz=1)は Dz=1m に対応する累積分布関数値で図より読み取ることができる) となる。各震源での 1 年間当たりの地震の発生頻度を vi とすれば、想定した震源で発生する地震による堤体の年損 傷頻度は  $v_F=\Sigma vi \cdot Pfi$  (i=1~Ns の総和)と算出される。

#### 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、サイト周辺で想定される震源で発生する地震による損傷確率および年損傷頻度の評価手法を示した。ここで示した手法はフィルダムに限らず、構造物一般に適用可能と考えられる。

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 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



図-1 フィルダムの解析モデルとすべり面



図-3 すべり安全率の確率プロット (上流側すべり面 U4, サンプル数 N=50,100, 200, 震源: M7.8, Xeq20km)







図-4 滑動変位量(上下成分)の確率プロット (上流側すべり面 U4, サンプル数 N=50,100, 200, 震源: M7.8, Xeq20km)



図−6 滑動変位量(上下成分)の累積確率分布 (下流側すべり面 D3,サンプル数 N=50)

# 参考文献

平田,中島: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,土木学会年講概要集,2010
Nishimura, Noda, et al.: Response Spectra for Design Purpose of Stiff Structures on Rock Sites, Trans. 16th SMiRT, 2001