

水力発電設備の確率論的地震リスク評価手法についての一考察

東京電力ホールディングス(株)

東電設計(株)

東京都市大学

正会員 ○恒川 明伸, 黒瀬 高秀, 高尾 誠

正会員 栗田 哲史, 安中 正, 松本 陽介

正会員 大鳥 靖樹

1. はじめに

近年の巨大地震の発生を受けて、インフラ設備の安全性評価に対する社会的要請が高まっている。インフラ設備の中で、水力発電設備は山間部を中心に広く分布し、立地する環境や建設年代などが異なることから、複数の設備を対象として安全性を横並びに評価することは容易でない。このような場合、確率論的な地震リスク評価手法を適用することが合理的である。

本研究は、水力発電所水路構造物の内、過去の被災事例からも地震リスク上のクリティカルになる設備として水槽擁壁や水圧鉄管固定台およびそれら構造物が設置されている斜面に着目し、立地環境の異なる複数の設備(表-1)に対して以下の手順で確率論的地震リスク評価(PRA)を試みた。

- ① 安全係数法によるフラジリティ評価
- ② 設備損壊・溢水電力による自己被害と浸水による公衆被害を考慮した損失の評価
- ③ 地震動予測式によるばらつき、対象地点の地盤増幅特性を考慮した確率論的地震動ハザード解析
- ④ ①～③の検討結果に基づく水路構造物の確率論的地震リスク評価

表-1 検討対象設備・斜面

発電所 (発電規模順位)	設備・斜面	所在地
A(1)	鉄管固定台	X県
B(3)	鉄管固定台	Y県
C(4)	水槽擁壁	X県
D(2)	鉄管路斜面	Z県

2. 安全係数法によるフラジリティ評価

当社では、鉄管固定台や水路・水槽擁壁等の水路構造物は安定性の照査で、斜面は円弧滑り計算による照査で耐震性を評価している。今回用いる安全係数法は、照査において安全率が1.0を下回る水平震度(A_D)、応答係数(F_R)、耐力係数(F_C)の乗算により、フラジリティ曲線の耐力中央値(A_m)を簡便に評価できる手法である。

$$A_m = F_R \cdot F_C \cdot A_D \quad (\text{式-1})$$

フラジリティの評価で考慮する応答係数(F_R)として、水平震度から加速度に換算する際の係数(F_a)や地山形状に応じた係数(F_G)を考慮した。

$$F_R = F_a \cdot F_G \quad (\text{式-2})$$

補強効果は、レベル2地震動相当の水平震度に対して補強後の設備の安全率が1.2となる耐力中央値を用いて評価した。

3. 自己被害と公衆被害を考慮した損失の評価

自己被害として、損壊した構造物の復旧費用と発電停止期間における溢水電力量による損失額を元に損失被害を評価した。

公衆被害は、電力中央研究所が開発した溢水・浸水解析プログラム(約10m格子の標高データと、運動量保存則・質量保存則に基づく流れ計算の方程式を基に、任意の点からの溢水による浸水範囲内の水深、流速等を解析)¹⁾を用いた浸水解析結果を基に、浸水域の家屋数を集計し、損失被害を評価した。

浸水解析結果の事例を図-1に示す。

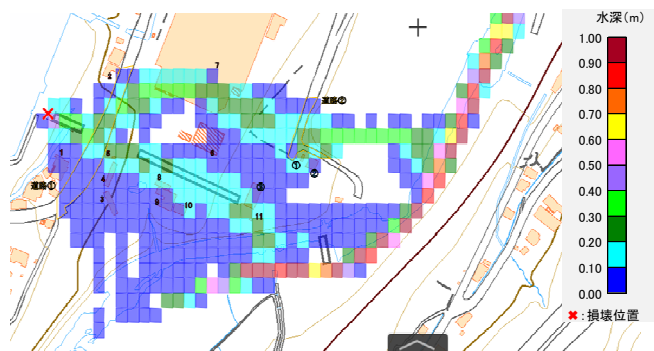


図-1 浸水解析結果の例

キーワード 地震リスク, PRA, PML, 確率論的地震ハザード, 水力発電設備

連絡先 〒100-8560 東京都千代田区幸町 1-1-3 東京電力ホールディングス(株) TEL 03-6373-1111

4. 確率論的地震ハザード解析

地震発生モデルは地震本部 2018 年版モデルを用いて検討した。地震ハザード曲線の算定では、4 つの地震動予測式 (Annaka & Nozawa(1988), Morikawa & Fujiwara(2013), 国交省ダムの距離減衰式 (最短距離式), 国交省ダムの距離減衰式 (等価震源距離式)) を用い、地盤増幅特性や地震動予測式のばらつきを考慮に入れ検討した。

検討から得られたハザード曲線を図-2に示す。地点毎に主要活断層帯や基盤 S 波速度の違いから、ハザード曲線に違いが見られる。A と C は曲線形状が似ており、比較的立地が近いことが表れている。

fragility 曲線 (図-3) は、安全係数法で求めた耐力中央値(A_m)を加速度中央値とし、ばらつきとして対数標準偏差を一律 0.4 として描いた。構造物・斜面毎に異なる耐震性能が表現されていることが分かる。

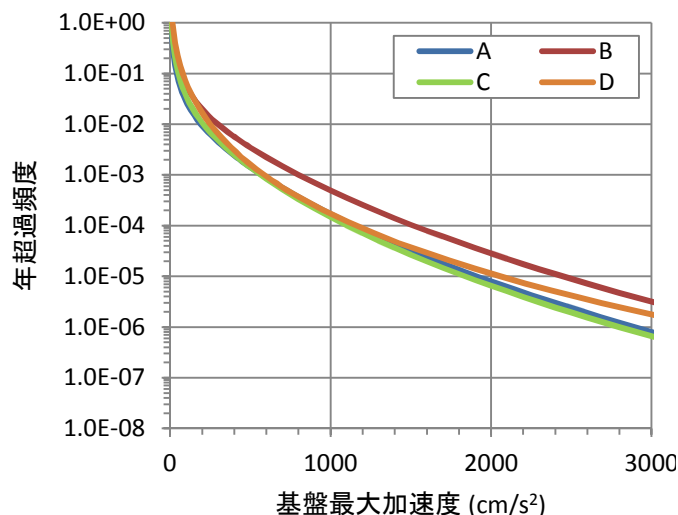


図-2 各地点のハザード曲線

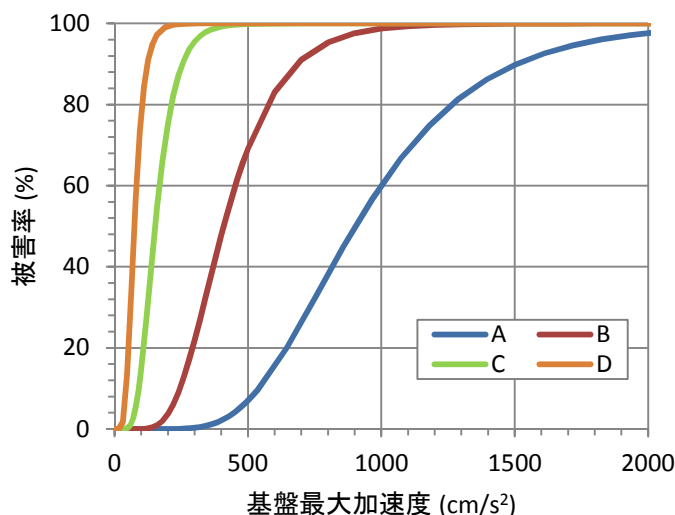


図-3 各設備・斜面の fragility 曲線

5. 水路構造物の確率論的地震リスク評価

以上を整理し、対象の地震ハザードと fragility から構造物・斜面のリスク評価を行った。

構造物・斜面毎の現状ならびに耐震補強後の設備被害額の PML (予想最大損失額: Probable Maximum Loss ここでは 50 年間の供用期間中に許容される損傷確率を 10%とした) を表-2

に示す。ここで、PML の値は貨幣価値で算出された値を補強後の最小値(※)で除した換算値としている。

現状の PML を比較すると、A, D 発電所は B, C 発電所に比べ、予想される損失が非常に大きい事が分かる。この違いには、損失の評価において自己被害で考慮した発電所の年間可能発電量や、公衆被害で考慮した立地地点周辺の土地利用状況に基づく浸水被害による損失が大きく影響している。補強後の PML や PML の低減効果は耐震補強効果を貨幣価値換算により定量化したものであり、限られた経営資源を有効に活用するための重要な指標だと言える。

6. まとめ

今回試行した手法により、耐震性能照査で不適合となった設備・斜面を対象にした現状の PML や耐震補強前後の PML の比較が可能となる。これにより、複数の設備に対し、地震リスクや補強効果を貨幣価値換算により定量化することが可能となり、耐震補強検討および耐震化工事の優先順位を明確にすることが可能となる。

参考文献 1) Arai, R. et al., Development of a system for practical prediction of flood and debris flow throughout Japan. EPiC Series in Engineering, 3, 45-53, 2018

表-2 各設備・斜面の PML (換算値)

発電所 (発電規模順位)	PML(換算値)				
	現状		補強後		補強効果
	自己被害	公衆被害	自己被害	公衆被害	
A(1)	167.2	0.0	3.0	0.0	164.2
B(3)	4.7	0.0	1.3	0.0	3.4
C(4)	6.6	0.0	(※)1.0	0.0	5.6
D(2)	65.0	85.5	2.7	3.6	144.2