

水力発電設備の地震リスク評価における地震ハザード解析の適用とその効果

東京電力ホールディングス(株)

正会員 ○恒川 明伸, 黒瀬 高秀

東電設計(株)

正会員 栗田 哲史, 安中 正

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(図-1)、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と考えられる。弊社ではこれまでも適用性の検討を実施しており、その有効性を確認してきた。^{1)~3)}

既報³⁾では、耐震性能照査の結果、大規模地震時に損傷・

大規模溢水が発生する恐れのある地点に対して、補強対策検討・実施に向けた優先順位の設定に確率論的地震リスク評価(PRA)を用いた。この場合、既に対象とする設備の耐震性が判明していることから、対象の脆弱性を考慮する事が出来たが、耐震性能照査実施の優先順位を検討する際は、対象設備の耐震性能が不明であることから、PRAに脆弱性を考慮する事が出来ない。

本検討では、耐震性(脆弱性)が不明の設備に対して照査実施の優先順位を明確にする事を目的に、設備損傷時の想定被害(発電不能や公衆災害)と確率論的地震ハザード評価を用いたリスク評価手法を策定した。具体的には、立地環境の異なる20地点の設備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、従来の、公衆災害への影響度のみに基づく評価との違いを分析し、地震ハザード解析の適用効果を検討した。

- ① 設備損壊に伴う発電不能による自己被害、浸水による公衆被害の評価
- ② 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
- ③ 上記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

2. 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、設備損壊に伴う発電停止による溢水電力量(停止期間を1年と仮定)を元に損失額を算出した。

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)を用いた浸水解析結果を基に検討した。従来は浸水解析結果を基に、水深0.2m以上の浸水域内の建物数や道路・鉄道の有無を点数化(表-1 影響度の評価点)し、点数の大きい地点から、耐震性能評価及び耐震対策を実施していた。

本検討では、浸水解析から求められる歩行困難度を基に公衆被害の影響を評価した。歩行困難度は、格子毎に計算される水深と流速の関係から、浸水時に避難が可能かどうかを1~4の指数で評価する。公衆被害は、設備毎に歩行困難指数が3以上と判定された格子に含まれる家屋数を集計し、それを基に損失額を算出した。

浸水解析(歩行困難指数)結果の事例を図-2に示す。図において着色された格子が浸水範囲であり、このうち黄と赤の範囲が歩行による避難が困難と想定される箇所となる。

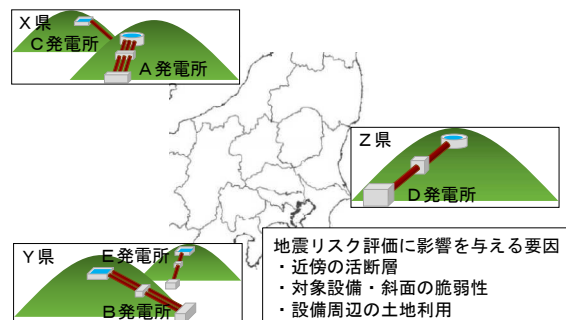


図-1 水力発電設備立地イメージ

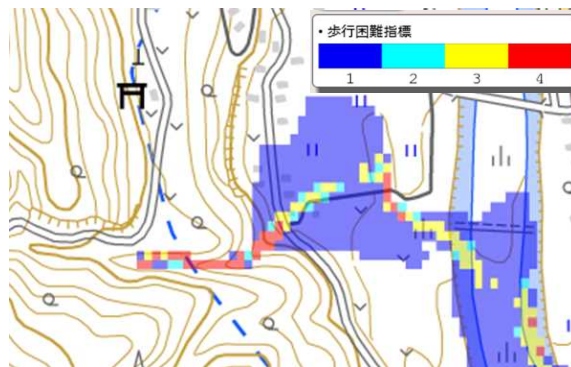


図-2 浸水解析結果の例

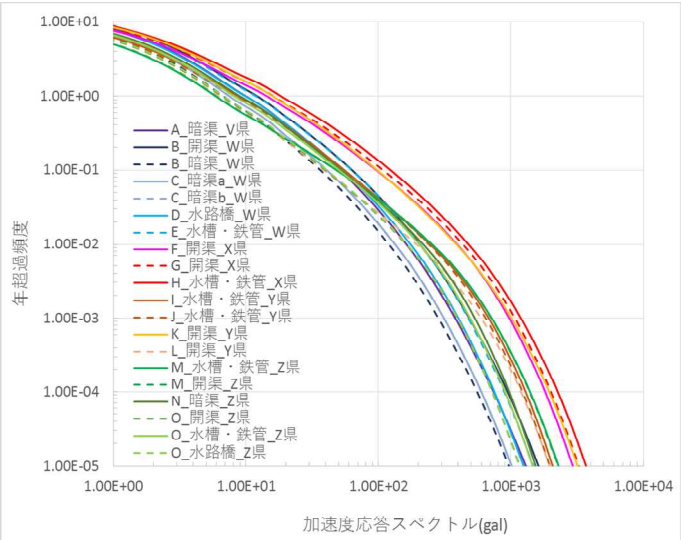
キーワード 地震リスク, PRA, 確率論的地震ハザード, 水力発電設備

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

3. 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－3 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。X 県 (赤系着色) に立地した発電所設備は W 県 (青系着色) や Z 県 (緑系着色) に比べ地震ハザードが大きい事が分かる。



図－3 各地点のハザード曲線

4. 水路構造物の確率論的地震リスク評価

以上を整理し、地震ハザードと影響度 (損失) から対象設備のリスク評価を行った。評価に用いる地震ハザードについては、さまざまな考え方があがるが、本検討では工学的基盤面における最大加速度 300gal の地震の再現期間 (年) とした。リスク評価の指標は、損失額 (自己被害 + 公衆被害) を再現期間で除する事で、損失額の年当たりの期待値とした。評価結果を表－1 に示す。ここで年期待損失額は、最も小さい値で除した換算値としている。

リスク評価に地震ハザードを考慮する事で、影響度のみの評価では差が見られなかった地点に対しても明確な順位付けが可能となった。K 発電所開渠は影響度のみの評価では 20 点 (20 地点中 9 位) であったが、地震の再現期間が 62 年と短く、年期待損失が 2 番目に大きな値となった。また、地震ハザードが比較的小さいと評価された W 県や Z 県に立地する発電所であっても、被害額が大きいと想定される地点は優先順位が上位に留まる結果となった。

表－1 大規模地震に対する水力発電所設備の年期待損失額 (換算値)

順位	発電所	設備	水量規模 (m3/s)	再現期間 (年)	年期待損失 (換算値)	影響度の評価点	立地県	順位	発電所	設備	水量規模 (m3/s)	再現期間 (年)	年期待損失 (換算値)	影響度の評価点	立地県
1	G	開渠	20	50	79.69	36	X	11	O	水路橋	30	430	7.00	26	Z
2	K	開渠	40	62	51.34	20	Y	12	B	開渠	10	253	4.74	16	W
3	D	水路橋	20	410	20.97	36	W	13	A	暗渠	50	494	4.33	16	V
4	H	水槽・鉄管	20	41	19.30	16	X	14	M	水槽・鉄管	10	135	4.16	16	Z
5	E	水槽・鉄管	40	257	16.99	36	W	15	M	開渠	10	136	4.13	16	Z
6	O	水槽・鉄管	30	241	15.94	26	Z	16	C	暗渠a	10	884	3.60	26	W
7	L	開渠	30	214	11.54	16	Y	17	I	水槽・鉄管	10	144	2.94	16	Y
8	N	暗渠	10	200	9.60	26	Z	18	J	水槽・鉄管	5	153	2.87	10	Y
9	O	開渠	30	438	8.77	26	Z	19	C	暗渠b	10	888	1.30	16	W
10	F	開渠	10	60	8.44	16	X	20	B	暗渠	10	1199	1.00	16	W

5. まとめ

地震リスク評価に影響度 (損失) と地震ハザードの双方を考慮することにより、耐震性能が不明の設備に対して、大規模地震による被害の年期待損失の比較が可能となる。これにより、耐震性能照査を実施する上での適切な優先順位付けが可能となった。

参考文献 1)動的非線形解析によるダム洪水吐ピアの地震時確率論的損傷評価, 土木学会第 73 回年次学術講演会, I -608
2)重力式ダム洪水吐ピアの確率論的地震リスク評価, 土木学会第 73 回年次学術講演会, I -609
3)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, 土木学会第 74 回年次講演会, VI-842