

岩盤斜面の地震リスク評価フローの構築

電力中央研究所	正会員	中島正人	栃木均
関西電力	正会員	小澤和弘	
電力計算センター	非会員	野村幸男	

1 はじめに

確率論的リスク評価手法 (Probabilistic Risk Assessment:PRA¹⁾²⁾) は、対象地点・対象構造物・施設で起こり得るシナリオを網羅的に考慮することで、重要施設のリスクを定量的に評価することに加えて、システムとしての施設を構成する要素の相対的弱点を特定することが可能である。米国では原子力発電所を含む重要施設を対象に、地震に対する PRA が実施されてきており、我が国においてもこれまでの種々の関連研究およびプロジェクトが実施されてきている。

原子力発電所周辺斜面については地震随件事象として扱われており、我が国においては日本原子力学会標準「原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2015」において地震時損傷確率評価について記されている。加えて、斜面の安全性評価から構造物への影響評価までを連続的に扱う方法に関する研究 (例えば文献³⁾⁴⁾⁵⁾) も行われている。本稿では、岩盤斜面の地震リスク評価法について現時点での最新の解析手法の実装も含めて形で検討した結果について報告する。

2 斜面の地震時損傷確率の評価手順

(1) 提案する評価手順の概要

本研究では岩盤斜面に地震動が作用した場合のリスク評価フローを図1のように提案する。評価フロー中の確率論的地震ハザード評価については別途実施、年超過確率に対応したハザード適合地震動群および地震ハザード曲線が得られているとする。斜面の地震リスク評価は次のように2段階で定義する。即ち、斜面に地震動が作用することで斜面が損傷する確率を評価するまでを第1段階、その斜面損傷 (崩壊) 事象が低頻度ではあるものの斜面崩落により法尻先に位置する構造物・施設に重大な影響を与える可能性を無視できないと判断された場合 (スクリーニング判定) に、崩落岩塊による構造物・施設への影響 (損傷) までを定量的に評価する第2段階とする。

(2) 評価手順の特徴

提案手法は三つの特徴を有する。一番目は複数のシナリオ (例えば、浅いが高頻度で発生する滑り、深い低頻度で発生する滑り) を設定・考慮する点である。これは入力地震動のレベルの応じて変わる可能性があるすべり線 (すべり領域) を考慮するためである。二番目は非線形時刻歴応答解析手法 (例えば石丸ら⁶⁾) に基づき崩壊領域を設定する点であり、これにより現実的な崩壊領域評価が可能となると考えている。三番目は実験との比較検証がなされた不連続解析手法を採用する点である。栃木らは不連続体解析手法の一つである DEM (Discrete Element Method) を用いた岩塊崩落の到達距離解析について実験との比較検証を実施しており、その特徴および詳細は文献⁷⁾を参照されたい。

(3) スクリーニング判定

評価手順中、崩落解析およびそれ以降に進む必要があるかは斜面安定性評価の後にスクリーニング判定を行う必要がある。日本原子力学会による実施基準²⁾では、原子炉施設周辺斜面の崩壊による炉心損傷への影響評価について以下のように附属書 (規定) で記載している。

「原子炉施設周辺斜面の崩壊が炉心損傷頻度を与える影響は次の手順で確認する。a) 斜面の高さ及び重要施設と斜面の距離から、斜面崩壊による炉心損傷頻度への影響の有無を工学的判断に基づき決定する。b) 上記 a) の結果に基づき斜面崩壊が炉心損傷頻度に影響を与えると判断した場合は、斜面崩壊確率を評価し、影響を与える可能性のある建屋・機器などの損傷確率と比べることなどによって、スクリーニングアウトが可能かどうか判断する。c) 斜面崩壊確率の評価によるスクリーニングアウトができない場合は、斜面崩壊後の土塊または岩塊が炉心損傷頻度を与える影響を確認する。」上記のスクリーニング手順 a)b) においては、用いる解析手法の高度化・検証および予測誤差 (偶然のおよび認識論的不確実さ) の評価が重要であり、別途研究を実施中である。

Key Words: 岩盤斜面, 不確実さ, 地震フラジリティ, 地震ハザード, 地震 PRA

〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646, TEL.04-7182-1181, FAX.04-7184-2941, E-mail : masato@criepi.denken.or.jp

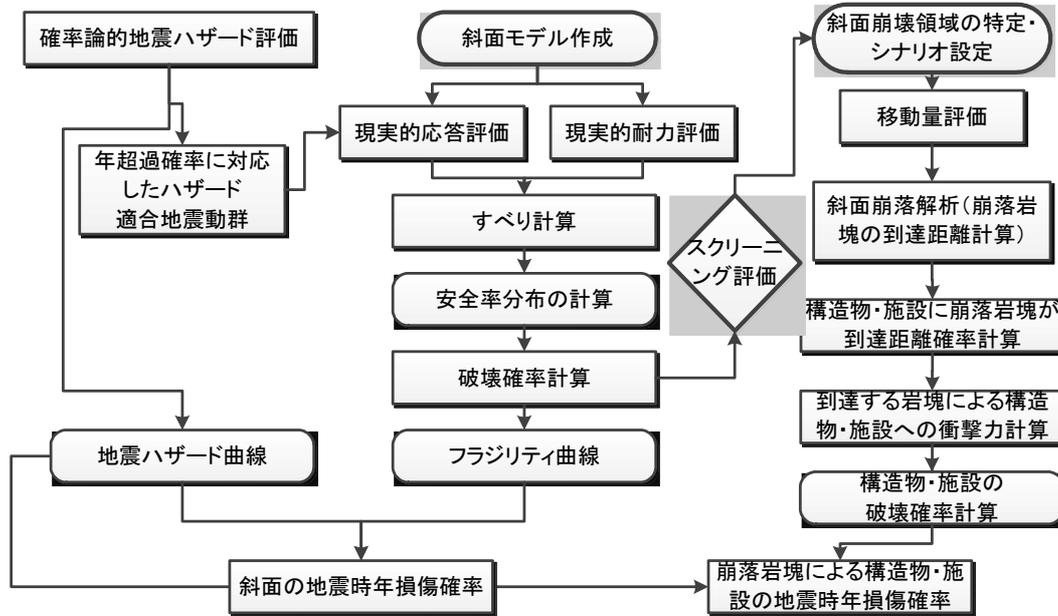


図1 岩盤斜面の地震リスク評価フロー

3 地震 PRA 上での位置付け・考察

重要施設に対する地震 PRA の観点から提案手法について論じる。前項で説明したスクリーニング判定において、斜面崩壊が法尻先の施設に重大な影響を与えると判断される場合は、図 2 に示すようなイベントツリーに基づき、シナリオと対応付けた形でリスク評価を行う。

$$P_{f_{ijkl}} = P_{0i} \times P_{1j} \times P_{2k} \times P_{3l} \tag{1}$$

上式中、 P_{0i} は地震動強さ（例えば地動最大加速度） i の超過確率を表す。 P_{1j} は斜面崩壊のシナリオ j の発生（生起）確率、 P_{2k} は崩落岩塊がある距離を超えて構造物・施設に到達する確率、 P_{3l} は到達した岩塊による構造物・施設の損傷確率を示す。

4 まとめ

本稿では岩盤斜面の地震リスク評価手順について提案すると共にその特徴を論じた。斜面の地震リスク評価は連続する複数の現象・挙動評価から成り立つため、各プロセスでの定量的評価およびプロセス間の連続性（評価精度のバランス）を可能な限り保持することが重要である。今後の課題としては、非線形地震応答解析手法や崩落解析手法の高度化と並行してスクリーニング基準の設定、構造物・施設への影響評価の妥当性検証が挙げられる。

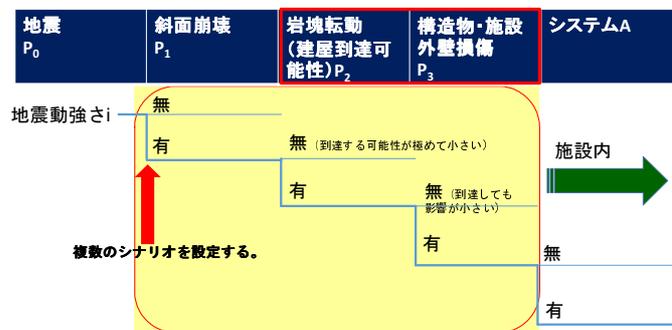


図2 斜面の地震時損傷から構造物・施設損傷計算までのイベントツリー

謝辞：本研究は電力会社 9 社，日本原子力発電，電源開発，日本原燃による平成 28 年度～平成 29 年度原子力リスク研究センター共通研究として実施した内容である。

参考文献

1) EPRI: Seismic Probabilistic Risk Assessment Implementation Guide, TR3002000709, 2013. 2) 日本原子力学会：日本原子力学会標準 原子力発電所に対する確率論的リスク評価に関する実施基準：2015. 3) 中村晋・吉田郁政・別府万寿博・河井正：地震作用による斜面崩壊が原子力発電施設に及ぼす影響評価手法の構築，土木学会 第 72 回年次学術講演会 VI-010, 2017. 4) 吉田郁政・中村晋：斜面崩壊による岩塊の衝突ハザードの提案，土木学会 第 72 回年次学術講演会 VI-008, 2017. 5) 別府万寿博・吉田郁政・中村晋：斜面崩壊に伴う岩塊衝突による鉄筋コンクリート版の損傷限界に関する評価手法の検討，土木学会 第 72 回年次学術講演会 VI-009, 2017. 6) 石丸 真，岡田 哲実，中村 大史，河井 正，風間 基樹：軟岩のせん断破壊後の強度変形特性のモデル化と斜面の地震時すべり安定性評価への適用，土木学会論文集 C (地圏工学)，Vol.73, No.1, pp.23-38, 2017. 7) 栃木均・野村幸男・小澤和弘：原子力発電所周辺斜面の地震時崩壊を想定した到達距離の DEM 解析，土木学会 第 73 回学術講演会 (投稿中)