

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

防衛大学校 正会員 ○別府 万寿博 東京都市大学 正会員 吉田 郁政
 日本大学 正会員 中村 晋

1. 緒言

原子力発電所周辺における斜面が不安定化して、斜面崩壊等が発生した場合には、崩壊した土砂、土塊・岩塊が対象施設へ衝突し、施設が損傷する可能性がある。本研究は、施設の損傷限界に対する評価に必要な崩壊条件付き損傷確率の算定手法について検討を行ったものである。ここで、対象は鉄筋コンクリート版 (RC 版) 部材とし、岩塊の運動量を指標とした衝突ハザードと RC 版の fragility 曲線を組み合わせて崩壊条件付き損傷確率を算定する方法について検討を行った。

2. 岩塊の運動量と RC 版の条件付き損傷確率の関係評価

2.1 評価の概要

RC 版の破壊モードとしては、曲げ破壊と押し抜きせん断破壊が生じるものとした。RC 版の曲げ損傷評価には、図-1 に示す 1 質点系モデル¹⁾を用いた。衝撃荷重を受ける RC 版の押し抜きせん断破壊については、衝撃荷重を等価な静的荷重に置換したうえで、静的な押し抜きせん断耐力と比較して破壊の発生を判定した。衝撃作用にばらつきを考慮したモンテカルロシミュレーションを行って、RC 版の条件付き損傷確率を算定した。

2.2 衝撃荷重の算定

衝撃作用としては、岩塊の運動量 mv (m : 岩塊の質量, v : 速度) および荷重を指標とした。既往の実験結果²⁾から、図-1 示すような岩塊の運動量 mv と最大荷重 P_0 および力積 I の平均的關係および正規分布を仮定した場合の変動係数が得られている。岩塊の衝突によって RC 版に作用する荷重～時間関係を図-3 に示す二等辺三角形にモデル化し、モンテカルロシミュレーションの中において、上記の關係式から RC 版に作用する荷重～時間関係を算定した。

2.3 条件付き損傷確率と運動量の関係の評価例

RC 版の曲げ変形と 1 質点系モデルで用いるバネ特性は、図-4 を参照して、次式のバネ係数 K と曲げ耐力 R_m を用いた。

$$K = \frac{192EI(l_x^3 + l_y^3)}{l_x^2 \cdot l_y^3}, \quad R_m = \frac{8(l_x + l_y)}{l_x} a_t \cdot f_t \cdot j \quad (1)$$

ここに、 E : ヤング係数, I : 単位幅あたりの断面二次モーメント, l_x, l_y : それぞれ版の短辺と長辺の長さ, a_t : 単位幅あたりの鉄筋量 ($a_t = p \times j$), p : 鉄筋比, j : スラブの応力中心間距離 ($j = 7d/8$, d はスラブの有効せい), f_t : 鉄筋の降

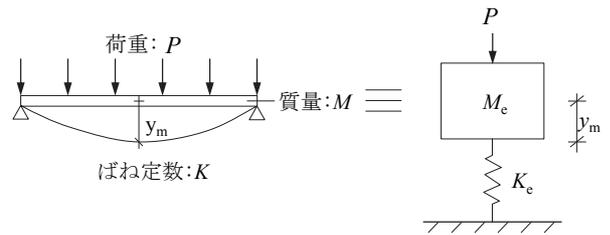
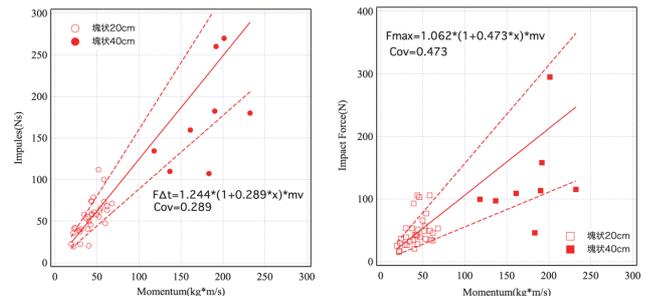


図-1 1 質点系モデル



(a) 力積 (b) 最大荷重
 図-2 力積および最大荷重と運動量の関係

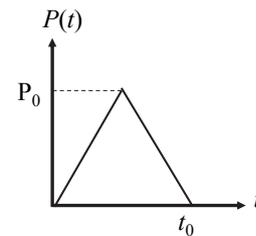


図-3 二等辺三角形荷重

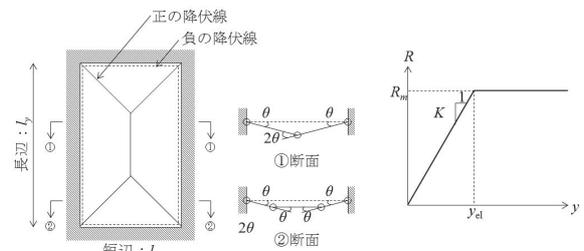


図-4 RC 版の曲げ変形と抵抗力特性

キーワード 斜面崩壊, RC 版, 損傷限界, 条件付き損傷確率

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL 046-841-3810

伏強度である。

RC版の曲げ損傷の区分については、材端回転角に基づいて、日本建築学会が提案している損傷基準¹⁾を参照して決定した。RC版の押し抜きせん断破壊については、既往の研究を参考にして最大衝突荷重に低減係数0.2を乗じて設計外力(設計衝撃力)とした。次に、鉄筋コンクリート版の静的押し抜きせん断耐力を算定し、両者を比較することで押し抜きせん断破壊の発生を判定した。

図-5に、対象としたRC版の断面図を示す。RC版の高さと幅は6mであり、版厚は1m、鉄筋比は1.2%である。コンクリートの圧縮強度および鉄筋の降伏強度はそれぞれ24N/mm²および345N/mm²である。図-6に、RC版の fragility 曲線およびその対数正規分布近似を示す。図より、岩塊の運動量20000kg・m/sから押し抜きせん断破壊および曲げの小損傷が発生し、運動量が300000kg・m/sになると破壊確率は1.0となった。岩塊の運動量が100000kg・m/s、200000kg・m/sを超えると曲げの中損傷、大損傷が発生した。なお、曲げの甚大損傷は曲げの大損傷と重なった。最終的に、岩塊の運動量が800000kg・m/sを超えると全ての破壊モードの破壊確率は1.0となる。

3. 岩塊の衝突ハザードと組み合わせた条件付き損傷確率の評価

別報³⁾に示した斜面の安定限界の評価で用いた4層斜面モデルの安定限界に関する崩壊領域内の崩壊体積は128,406m³であり、その中に、直径1m、2m、4m、8mの岩塊がそれぞれ10%含まれているものとする。その粒径分布を有する岩塊が崩壊領域から滑落・転動すると、別報⁴⁾で報告した図-7に示す運動量と超過到達確率の関係(衝突ハザード)が得られる。これと図-6に示したRC版の押し抜きせん断破壊に関する運動量と条件付き損傷確率の関係を重ねると図-8が得られる。図-8から、安定限界の崩壊領域上の崩壊土塊が対象施設のRC版に衝突した際の条件付き損傷確率が 2.9×10^{-4} と算定される。

4. 結言

本研究は、岩塊の衝突を受けるRC版の条件付損傷確率を求めたものである。岩塊の運動量を指標とした衝突ハザードとRC版の fragility 曲線から、RC版の条件付き損傷確率を算定する方法を提案した。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物の耐衝撃設計の考え方，2015，
- 2) 阿部慶太他：岩塊転動・衝突リスク評価に向けた検討(2)，第51回地盤工学研究発表会講演集，pp.2081-2082，2016，
- 3) 西村聡他：二点推定法とモンテカルロシミュレーションによる斜面の安定限界に関する fragility 評価，土木学会第72回年次講演会，2017，
- 4) 吉田郁政他：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回年次講演会，2017

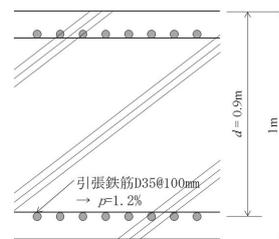


図-5 対象としたRC版の断面

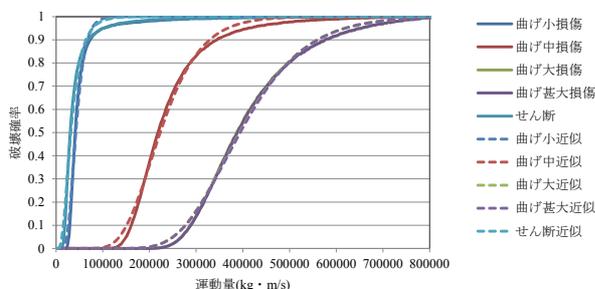


図-6 RC版の fragility 曲線

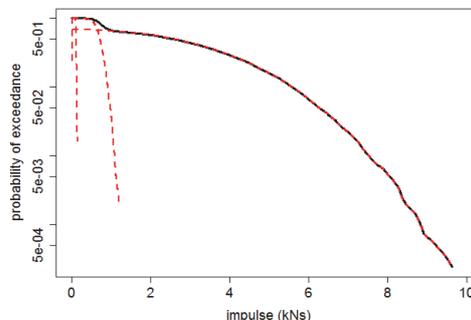


図-7 衝突ハザード

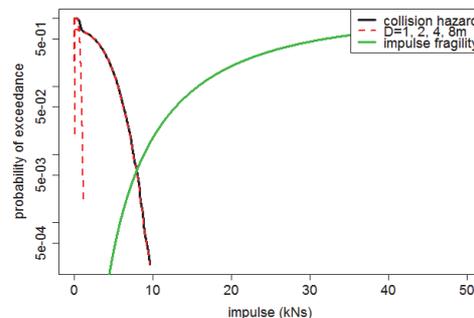


図-8 衝突ハザードと押し抜きせん断破壊の fragility 曲線