

斜面崩壊による岩塊の衝突ハザードの提案

東京都市大学工学部 正会員 ○吉田 郁政
 日本大学工学部 正会員 中村 晋

1. はじめに

落石の挙動には大きな不確定性が伴い、確定的に挙動把握することは困難である。1個の落石の挙動については初期の姿勢を微小に変化させた個別要素法¹⁾や、斜面に球要素を敷き詰めて凹凸を表現した個別要素法²⁾、あるいは乱数を用いた質点解析³⁾を多数繰り返すことで、落石の到達位置などの確率的な特性を評価することができる。本報告ではこうした解析結果に基づき、ある領域で斜面の崩壊が生じた場合の斜面付近に存在する構造物への危険度を定量的に評価するための衝突ハザードを提案する。衝突ハザードは構造物に衝突する際の力積とその超確率として定義して、その算定例を示す。

2. 衝突ハザードの考え方と定式化

崩壊領域について k 種類の半径 r_i の岩塊、対応する崩壊体積 V_i を仮定して、その個数を $n(r_i)$ とすると、以下の式で落石が所定の構造物に衝突する際の法線速度 v とその超確率を算定することができる。

$$P_n(v) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_1(v))^{n(r_i)}, \quad n(r_i) = \frac{V_i}{\frac{4}{3}\pi r_i^3} \quad (1)$$

ここで、 v : 法線速度、 r_i : 半径、 $P_n(v)$: n 個の岩塊(落石)のうち構造物に衝突する際の最大速度が v を超過する確率、 V_i : 半径 r_i の岩塊の崩壊体積である。落石が1個の場合の法線方向速度とその超確率の関係 $P_1(v)$ は質点解析や個別要素法によって算定する。

次に力積 I 、すなわち速度×重量に関するハザードを考える。力積 I については次式で評価する。

$$I = m_i v = w \left(\frac{4}{3} \pi r_i^3 \right) v \quad (2)$$

力積 I に関するハザード $P_{imp}(I)$ は次式で評価する。これを衝突ハザードと呼ぶ。

$$P_{imp}(I) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_1(I/m_i))^{n(r_i)} \quad (3)$$

ここで、 m : 重量、 w : 単位体積重量、 $P_{imp}(I)$: 最大力積が基準点で I を超過する確率(衝突ハザード)である。

3. 衝突ハザードの評価の例

図-1 に示す斜面の法肩から落石が生じたとして、 $P_1(v)$ を評価する。本検討では質点解析³⁾を用いた。図-2 に落石の到達位置の分布を示す。ここでは表示用に1000個の落石解析の結果を示した。図からわかるように100mまで離れるとほとんど落石は到達していない。解析手法やパラメタは文献3)と基本的に同様としているが、斜面高さがある一定以上大きくなると、落石の速度は上限を持つことが知られており、落石対策便覧⁴⁾に示されている図と整合するように斜面で反発する際の速度に上限を設けている。図-1の法肩からの落石の解析を多数行い、落石が斜面に衝突する際の速度を調べた結果を図-3に示す。斜面高さ40m付近ではほぼ上限に達するような分布となっている。

対象構造物は法尻から50mあるいは100m地点にあり、横幅は十分に広いと仮定した。 $P_1(v)$ の算定では50m地点に対しては10万個、100m地点に対しては500万個の落石解析を行った。質点解析は計算アルゴリズムが簡単であり、計算時間も短い。

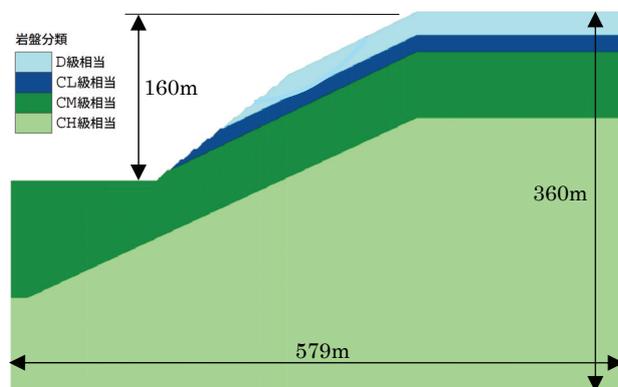


図-1 検討対象とした斜面

キーワード 斜面崩壊, 力積, 落石, 危険度, リスク

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL 03-3703-3111

直径 1, 2, 4, 8m の岩塊の体積がそれぞれ 1280m³ と仮定して衝突ハザードを評価した. 単位体積重量は 2.0 (密度 2041 (kg/m³)) とした. 例えば直径 1, 8m 一個あたりの体積は 0.524, 268m³ となるのでその個数は約 2450 個, 5 個となる. 図-4 に 50m 地点の構造物に対して衝突ハザードを算定した結果を示す. 直径別の個別の衝突ハザードも赤の破線で合わせて示しているが, それらを包絡するような形で全体の衝突ハザード (黒の実線) が決まっていることがわかる. 衝突の確率はほぼ 1.0 であるが, 力積が大きくなるにつれて超過確率は小さくなっている. 力積が 1.5kNs 以下であれば直径 4m 以下の岩塊が支配的であるが, それ以上になると直径 8m の岩塊によって衝突ハザードが決まっていることがわかる. このように力積の大きさに応じて支配的な岩塊の大きさが決まる.

4 まとめ

本報告では斜面崩壊が生じた場合に, 斜面付近の構造物への危険度を定量的に評価するための衝突ハザード, すなわち, 構造物に衝突する際の力積とその超過確率の算定方法を提案した. 崩壊体積の設定方法や反発係数, 岩塊の大きさの決め方など, 今後の課題も多いが, 3次元的な斜面形状や任意の構造物との位置関係を考慮できるハザード評価の方法となっており, 落石のリスクを評価する上で有用と考えている. なお, 本研究は原子力規制庁からの委託業務として実施したものである. 記して謝意を表す.

参考文献

- 1) 吉田他: MPS法あるいはDEMを用いた破壊挙動の不確定性に関する基礎的考察, 土木学会論文集A2 (応用力学), Vol. 67, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 14) , I_365-I_374, 2011
- 2) 中瀬他, 個別要素法による原子力発電所周辺の地震起因性斜面崩落挙動のモデル化と適用性, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学) , 2015.
- 3) 吉田他, 質点系解析による簡易な落石シミュレーションの提案, 第8回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム論文集 (A論文), Vol.8, pp.522-528, 2015.
- 4) 日本道路協会, 落石対策便覧, p.11, 2000.

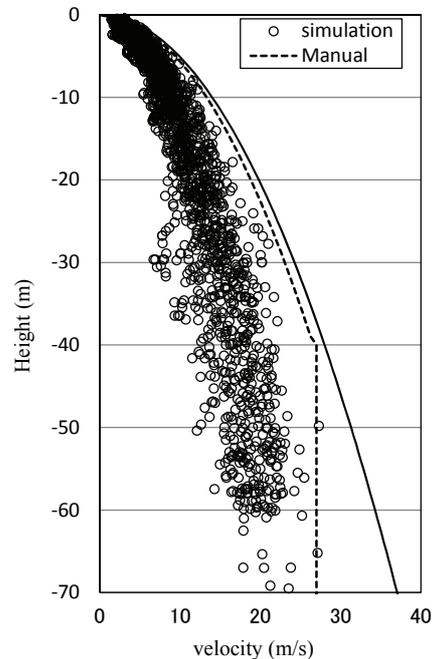


図-3 斜面高さ と 落石の地面衝突時の速度

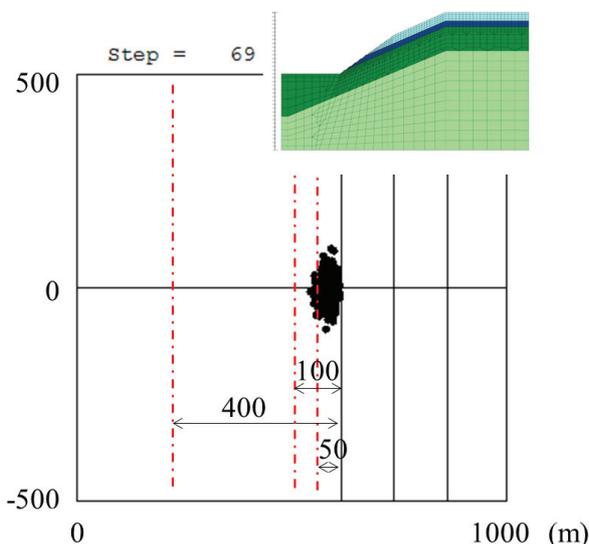


図-2 質点系解析による落石の到達位置の分布

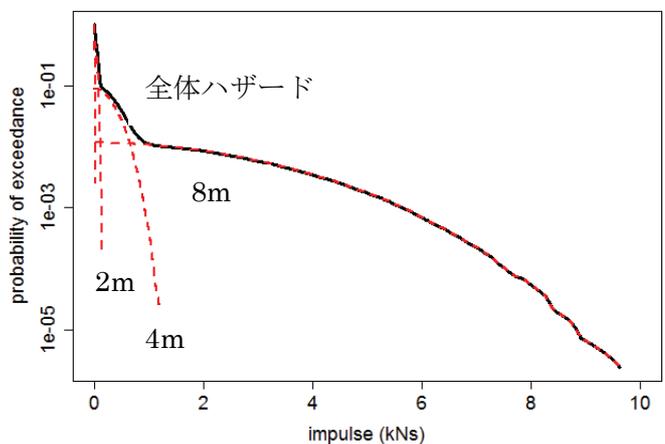


図-4 直径別 (赤の破線) と全体の衝突ハザード (黒の実線)