

3次元質点解析を用いた落石の衝突エネルギーに基づく確率論的危険度評価

東京都市大学 学生会員 ○中村 朋佳
 東京都市大学 学生会員 津田 悠人
 東京都市大学 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

近年においても落石の被害は散発している。落石現象は不確実性が大きく確定的に予測、評価することは困難である。そのため、著者らのグループでは落石到達時の速度に注目した確率論的危険度評価を試みた¹⁾。しかし、落石防護工を設計、計画する場合、防護工の強度は落石の運動エネルギーに基づくことが多い²⁾。

本検討では、落石のエネルギーによる危険度評価を行うため、岩塊の大きさを既往の文献より調査し、岩塊の大きさ分布のモデル化を行う。その分布に基づき質点系解析を用いて得られた衝突速度をエネルギーに変換し、落石エネルギーに関する確率論的危険度評価を行う。本報告では実斜面付近の道路に対して危険度評価を行った例を示す。

2. 対象となる道路周辺斜面のモデル化

基盤地図情報ダウンロードサービス³⁾よりある道路周辺の5mメッシュの標高データを入手し、3次元斜面モデルを作成した。本検討では1500m平方の領域を対象とし、90,000個の標高データを用いた。本検討での落石発生地点は、単純に勾配に応じて確率的に割り当て、図-1に示すように斜面直下に存在する道路を長さ10mずつのセグメントに147分割し、各セグメントについて危険度評価を行う。

3. 落石の大きさのモデル化

本検討では落石の大きさを示した7つの文献の調査を行う。比較を行うために、体積で示されている文献では岩塊を球体と仮定することにより落石の大きさを仮定、重量で示されている文献では土粒子の密度を 2.7g/cm^3 とし体積を算出することにより落石の大きさを仮定する。

直径に関する累積分布を図-2に示す。本研究では

指数分布を用いて落石の大きさのモデル化を行う。指数分布の累積確率分布を式(1)に示す。

$$p(x|\lambda) = \lambda \exp(-\lambda x) \quad (1)$$

ここで、 λ : 大きさに関するパラメタ、 x : 落石の直径である。図-2より文献ごとに傾向が異なっており、落石の大きさはおよそ $\lambda=0.6$ と 3.0 の間で分布していることがわかる。ここで、 $\lambda=3.0$ では小さい落石、 $\lambda=0.6$ では大きな落石が多く分布していることを示している。

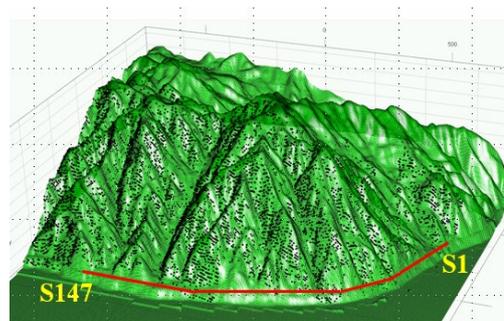


図-1 対象とした斜面地形と危険度評価の対象とした道路

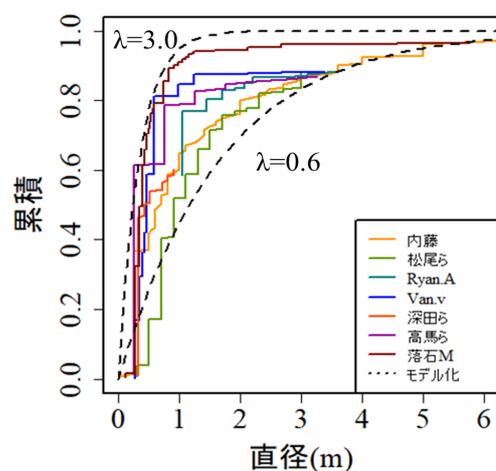


図-2 落石の大きさに関する指数分布によるモデル化

キーワード 落石の大きさ、落石シミュレーション、危険度評価、エネルギー

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 都市工学科 TEL 03-5707-0104

4. 3次元質点系解析による危険度評価

質点系落石シミュレーションで用いた反発係数などのパラメタは室内実験結果より定めた値⁴⁾を用いており、法線方向の反発係数0.43、接線方向の反発係数0.85から1.05の一様分布、凹凸度0.3とした。質点個数は100万個として計算を行った。

あるセグメントについての落石エネルギーに関する危険度曲線（以下、衝突危険度）を以下の手順で算定した。

- 1) 質点解析結果より落石がセグメントを通過した際の速度の抽出、
- 2) 指数分布により乱数を発生させ落石の大きさを仮定、
- 3) 速度と落石の大きさからエネルギー算出、
- 4) セグメントを通過した全ての質点のエネルギーから超過確率算出。

本研究における衝突危険度は1個の落石が生じる場合にそれぞれのセグメントを通過する際のエネルギーと超過確率の関係を表す。

セグメントへの衝突危険度の例を図-3に示し、 $\lambda=0.6, 3.0$ における各セグメントのエネルギーがそれぞれ0, 100, 1000 kJに対する超過確率を図-4に示す。図-4より、各エネルギーにおける超過確率は λ の値に対応している。 $\lambda=3.0$ のときエネルギーの大きさに応じた超過確率の違いが大きいのに対し、 $\lambda=0.6$ の場合は小さい。セグメントごとに注目するとS20, S53付近ではエネルギーが1000kJ以上の超過確率が高いが、S10ではすべてのエネルギーにおいて超過確率が低い。S105以降でエネルギーが1000kJ以上での超過確率が低い理由として、図-1より対象となるセグメント付近では勾配が緩やかな斜面となっていることが要因であると考えられる。

5. おわりに

本報告では落石の大きさ分布について、文献調査に基づき指数分布を用いてモデル化を行った。質点解析を行うことで得られた速度をエネルギーに変換し、斜面付近の道路に対する衝突エネルギーを評価する。検討対象の道路を147個のセグメントに分割して落石の危険度評価を実施した。

落石の大きさに関するパラメタ λ の値は岩種などに依存することが考えられるため、地質調査等に基

づくパラメタ λ の値の決め方が将来課題のひとつである。

参考文献

- 1) 吉田ら：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.
- 2) 勘田ら：落石対策工の設計法 落石運動の予測から性能評価まで，森北出版株式会社，p.8，2019.
- 3) 基盤地図情報ダウンロードサービス-国土地理院，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>，2019.2.27. 閲覧.
- 4) 吉田ら：簡易な質点系解析による落石実験の再現性，平成28年度全国大会第71回年次学術講演会 第III部門，pp.703-704，2016.

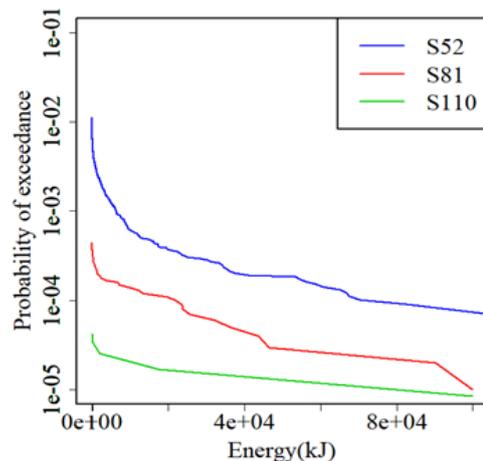


図-3 S52, S81, S110でのエネルギーと超過確率の関係

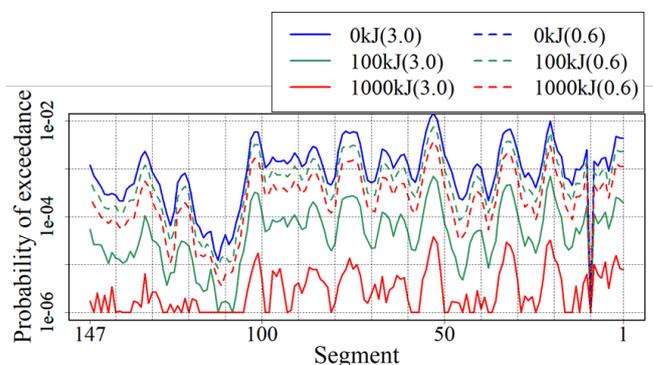


図-4 $\lambda=0.6, 3.0$ のときの各セグメントのエネルギーごとの超過確率