道路周辺斜面の3次元質点解析による落石挙動の確率論的衝突速度ハザード評価

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

原子力発電所などの重要施設のリスクマネジメントにおいてアクセス道路のリスク評価も重要な評価項目の1つである．近年，2016年熊本地震，2018年北海道胆振東部地震においても斜面災害が多発している[1)]．現状では構造物や道路に対する危険度評価は経験的であり，地形の影響評価が定性的評価な場合が多い．さらなる高度化のためには定量的総合評価が好ましい．

本研究では簡易的3次元落石シミュレーションに基づき落石挙動を評価し，道路に対する崩落岩塊のハザード評価手法（危険性の確率的評価）の提案を行う．

2.　本研究で用いた質点系落石解析の概要

本研究で用いる質点系落石シミュレーション手法は落石の回転やすべりは考慮せず，斜面との衝突，跳ね返りのみを考慮している簡易的な方法である．DEM（Distinct Element Method）などの非質点系は実現象に近い高精度な挙動予測が可能であるが，膨大な計算量が必要である．加えて微小な斜面形状や岩塊形状の詳細なモデル化は実質的に困難である．本研究では落石挙動の確率的評価を目的としており，そのためには多くの繰り返し計算が必要である．

そこで，本研究では計算時間の短い質点系シミュレーション手法を用いる．入力パラメタとしては反発係数と凹凸度のみであり，反発係数は質点が反発する時のエネルギー損失に関係したパラメタ，凹凸度は斜面表面や岩石の形状の不規則性を表すパラメタである．

3.　検討対象とした斜面及び評価位置

基盤地図情報ダウンロードサービス[2)]によりある国道周辺の5mグリッドの標高データから3次元斜面モデルを作成した．本検討では1500m四方の領域を設定した．地震を起因とする斜面崩壊の危険個所は別途実施する斜面の損傷度解析と地震危険度解析から推定することを想定しているが，本検討では落石発生地点を単純に勾配に応じて割り当てた．本報告では**図-1** 示すように斜面直下に存在する道路を10個のセグメントに分割し，各セグメントについてハザード評価を行った．

4.　ハザード解析結果及び分析

質点系落石シミュレーションのパラメタは実験結果より反発係数は法線方向の値を0.43，接線方向の値を0.85から1.05の一様分布，凹凸度は0.3とし[3)]質点個数は約50000個で計算を行った．

シミュレーション結果によると多くの質点が沢に沿って崩落しており，地形に応じて道路を通過する頻度（ハザード）は大きく異なることが容易に予想される．**図-2** の衝突速度ハザードは1個の落石が生じる場合に各道路のセグメントを通過する際の速度と超過確率の関係を表している．それぞれのセグメントを通過する落石の速度について累積分布を算定することで求めている．**図-3** は各セグメントの速度0, 10, 15 m/sに対する超過確率である．**図-2**, **図-3** によるとセグメントに到達する確率（速度0以

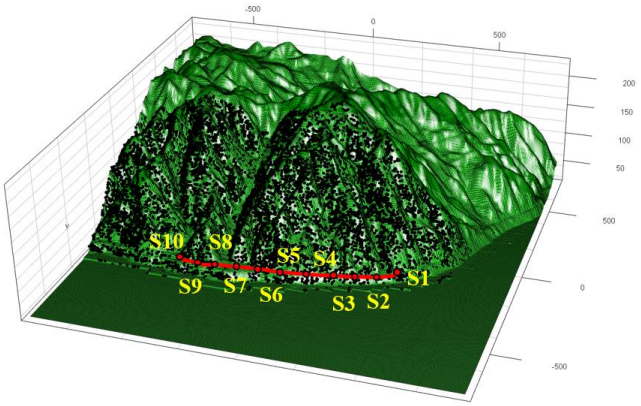

図-1　対象とした地形，崩壊領域，ハザード評価地点

キーワード　道路防災点検，落石シミュレーション，ハザード，衝突速度ハザード
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ＴＥＬ03-5707-0104

© Japan Society of Civil Engineers

上）に大きなバラツキがあることが確認できる．S4, S1 では落石の危険性が高く，S8, 9, 10 では落石の危険性が相対的に低いことがわかる．また，速度 15 m/s の超過確率，すなわちある程度大きな衝撃を与える落石に注目すると S4 についで S5 で危険性が高く，S10 は危険性が低く，S8 と S9 では 15 m/s 以上の落石は到達しないことがわかる．

5. 衝突速度ハザードに対する反発係数の影響

実斜面では道路に達する可能性は低く，多くの岩塊は斜面途中で停止することが予想される．本研究で用いたパラメタはコンクリート斜面と小さな岩塊を使用する再現実験を再現[3)]するように決められたものであり，実斜面に対して適切とは限らない．斜面状況に応じた反発係数が報告されており[4)]，いずれも今回用いた数値よりも小さい．そこで，法線方向の反発係数の影響を調べるために，0.43に加えて0.1によるハザード評価を行った．反発係数を小さくすると，斜面途中で停止する岩塊が増えるため，全体的なハザードレベルが減少し，安全なセグメントと危険なセグメントの差が明確になる．また，**図-4**に反発係数0.43と0.1の場合のS1とS6の衝突速度ハザード曲線の比較を示す．近傍に沢があり緩勾配の斜面があるS1では反発係数の影響は大きいが，急勾配の斜面があるS6では低速度の領域では影響は小さいものの速度15 m/sの超過確率のようにある程度衝撃力をもって到達する確率は反発係数の影響が大きいことが分かる．

6. おわりに

本検討では質点系解析を行い，実斜面付近の道路に対する衝突速度ハザード評価を実施した．評価対象の道路を数個のセグメントに分割し，それぞれについて地形の特徴を反映した定量的なハザード評価の例を示した．

将来的な課題として，1) 斜面や岩石の非線形性の影響を考慮した反発係数の設定，2) 岩塊の大きさを反映したハザード評価，3) 地震動強度や勾配に応じた斜面崩壊や落石発生のモデル化，などが挙げられる．

参考文献

1) 国土交通省・気象庁：日本付近で発生した主な被害地震（平成8年以降），https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/higai/higai1996-new.html，2018.11.15. 閲覧.

2) 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，2018.3.26. 閲覧.

3) 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.

4) Barrett, R.K. & T. Pfeiffer. Rockfall Modeling and Attenuator Testing, Colorado Department of Transportation Report CDOH-DTDED3/CSM-89-2, Denver, Colorado, USA, p.44.1989.

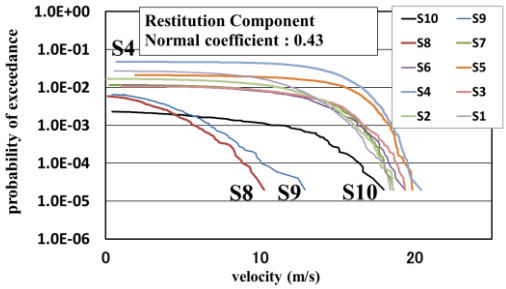

図-2 反発係数 0.43 のときの衝突速度ハザード

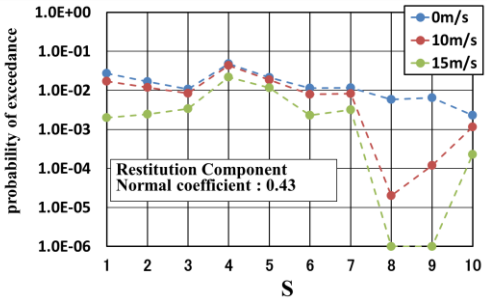

図-3 各セグメントの速度 0, 10, 15 m/s に対する超過確率

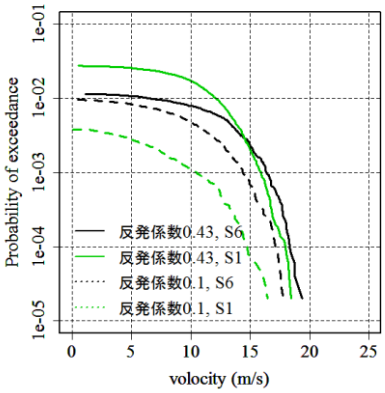

図-4 反発係数 0.43, 0.1 のときの衝突速度ハザード(S1, S6)

© Japan Society of Civil Engineers