

平成 29 年 4 月 17 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金  
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 御中

## 研究概要書

研究課題：リスクの空間的広がりを考慮した数値解析に基づく確率論的落石危険度評価

研究代表者：東北大学災害科学国際研究所 准教授 森口 周二

共同研究者：東北大学災害科学国際研究所 教授 寺田 賢二郎

共同研究者：東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 助教 高瀬 慎介

共同研究者：新潟大学工学部建設学科 准教授 大竹 雄

はじめに

現状の落石危険度評価は、有識者の判断や落石対策便覧に基づく評価が一般的であるが、今後の防災対策の中では、現代の高度に発展した数値解析（数値シミュレーション）が重要な役割を担うことはまちがいない。数値解析による危険度評価については多くの事例があるが、既往の研究は限られた解析ケースの条件下で各数値解析の有用性を論じるものが多く、落石現象にもともと含まれる挙動バラツキやそれによって生じるリスクの空間分布の分析法については議論が十分ではない。そのため、本研究では、落石危険度評価の中で数値解析をより効率的に使用し、リスクの空間分布を考慮した上で評価を行うための具体的な手法の開発を行った。

### 1. 研究の目的

落石危険度評価において、数値解析の結果に基づいて落石リスクの空間分布を考慮して落石リスクを評価可能とする具体的な手法の提示すること、およびその手法を実問題に適用することで有用性を確認することを目的とする。

### 2. 評価手法の提案

本研究では、数値解析手法に個別要素法（DEM）を用いて、その結果に基づいて落石リスクを評価する方法を提案した。具体的には、斜面表面をメッシュ分割し、DEM の計算結果から得られる複数ケースの落石経路とエネルギーの情報から、予め設定された落石エネルギーの上限値に対するメッシュ毎の超過確率を算出する方法である。また、超過確率分布の計算の際に、DEM の結果を直接用いるのではなく、混合ガウスモデル（GMM）を用いて空間の連続性を向上させてから計算を行う方法を採用した。これらの手法の詳細を論文として公表している<sup>[1, 2]</sup>。

### 3. 実問題への適用

提案手法の検証のため、2015 年 6 月に愛知県蒲郡市で発生した落石事例（図-1）に適用した。この事例では、現場の斜面下に設置されていた落石防護柵を破壊して落石が停止した。検証では、落石防護土堤の新設を想定し、同規模の落石が発生する場合の危険度評価を行った。落石の経路やエネルギーの空間的な広がりを調べるため、乱数を用いて落石の初期姿勢に小さなばらつきを与えながら試行を繰り返し、現象の不確実性を考慮した。例えば 2000 回のシミュレーション結果を重ね合わせると、図-2 のようになる。同図では落下経路を線で、落石が持つ全運動エネルギーの変化を線の色で表現した。また、図-3 が DEM の計算結果から得られた超過確率の空間分布である。この検証を通じて、実務的観点から提案手法のメリットを 2 点確認した。その 1 つ目は、斜面のり

先からの水平距離の長さによって変化する落石リスクを定量化できることである。図-4は水平距離に従って変化する超過確率を表現しており、この情報はこれまでの落石対策の中では評価の難しかったものである。2つ目のメリットは、GMMを用いたことによる計算コストの削減である。図-5は、斜面直下における超過確率の空間分布を示しており、計算の試行回数5000回の結果を正として、DEMのみを用いた結果とGMMのみを用いた結果をそれぞれ示している。DEMだけの結果は区間的に大きく振動するのに対して、DEMとGMMを用いた結果はそのような振動はなく、5000回の結果ともよく一致している。つまり、GMMを導入したことで、正しい区間分布を得るための能力が向上し、その結果、必要となる計算コストの低下につながっている。



図-1 落石現場の様子

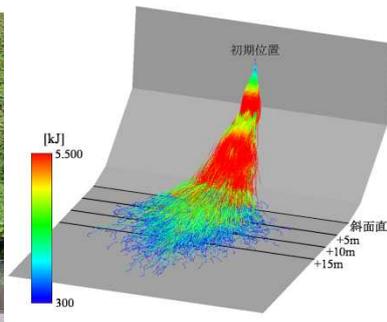


図-2 DEMの計算結果

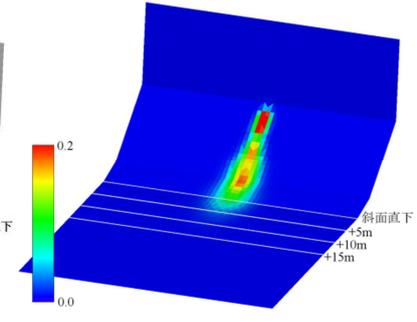


図-3 超過確率分布

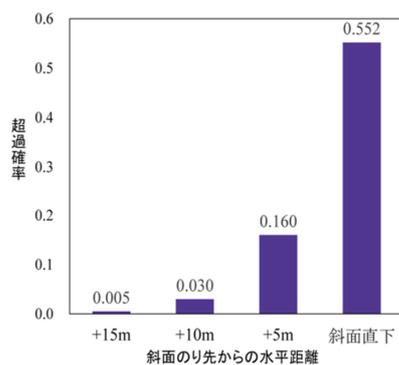


図-4 落石現場の様子

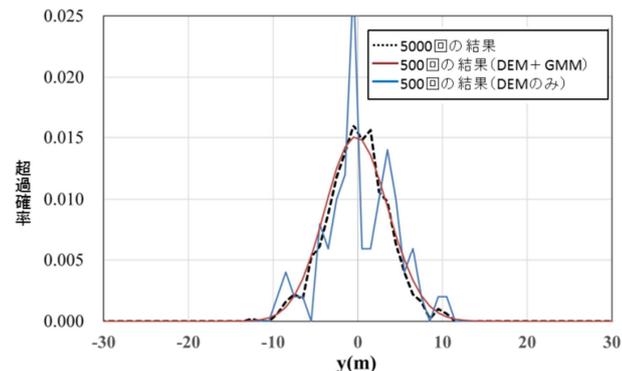


図-5 落石現場の様子

#### 4. まとめ、今研究で得られた成果、今後の課題等

本研究では、DEMとGMMを組み合わせることで、空間分布を考慮した落石の確率論的危険度評価手法を構築した。GMMの導入により、離散した超過確率の分布を空間全体で連続的に扱いやすくなるだけでなく、危険度評価の精度を維持しながら計算コストを削減できることが確認された。さらに本手法を実際の落石に基づく数値実験へ適用し、落石防護工の設計のための有効な情報が得られることを具体的に示した。本論文で開発した評価手法を高度化することで、落石防護工の最適配置などを評価できる可能性もある。今後、そのような応用を見据えて、手法の改良と高度化を進めていく予定である。

#### <参考文献>

- [1] 菅野蓮華, 森口周二, 高瀬慎介, 寺田賢二郎, 沢田和秀, 児波昌則, 混合ガウスモデルを用いた落石リスクの空間的・確率論的評価, 地盤工学ジャーナル(掲載決定), 2017年6月予定.
- [2] 森口周二, 菅野蓮華, 寺田賢二郎, 高瀬慎介, 沢田和秀, 混合ガウスモデルを用いた落石の確率論的リスク評価, 第51回地盤工学研究発表会概要集, 2016.