

混合ガウスモデルによる落石危険度評価のための基礎検討

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

1. 目的

落石の予測には大きな不確定性が伴うため、斜面崩壊による岩塊や落石がどこまで到達するか、さらに構造物等へ与える影響の大きさについて確定的に評価することは容易ではない。そのため注目する構造物に対する衝突の確率などによりその危険性を評価することが好ましい。さらに、構造物等への影響を評価するには衝突確率だけではなく、衝突の激しさに関する情報も必要である。吉田ら¹⁾は残存距離を構造物に衝突しない場合のさらなる移動量と定義して、残存距離とその超過確率に関するハザード曲線を提案している。こうした確率評価のためには落石の到達位置について確率分布を評価する必要がある。自然斜面のような任意の斜面形状を対象とする場合にはその確率密度分布も複雑になり、単純に正規分布や対数正規分布などでモデル化することには限界が生じる。

そこで、本研究では混合ガウスモデル GMM (Gaussian Mixture Model) を用いた落石の確率密度分布を評価する方法について提案する。混合ガウス分布の平均、共分散、混合比などのパラメタの推定には EM アルゴリズムを用いる。既往の実験結果による落石の到達位置の確率分布の評価を行い、仮定した構造物への衝突確率や衝突の衝撃の強さとその関係を表す衝突ハザード曲線の評価を試みる。

2. 栃木による落石実験^{2), 3)}の概要

斜面崩壊後の岩塊の飛散分布特性を把握するため岩塊の崩落実験が実施された。本研究では 40-80mm の単一岩塊の落下を行った実験を対象とする。単一岩塊の

落下実験では、40-80mm の岩塊の中から代表 300 個を抽出し、ひとつずつ落下させたときの到達位置を記録している。落下方法は、図-1 の斜面中央の法肩手前に岩塊の長辺が斜面傾斜方向に向くようセットし、指で少しずつ押し出して落下させる。岩塊は、数 cm 滑動したところで回転し始め、法尻まで滑動するケースはほとんどなかった。

3. 落石到達位置の確率分布の評価

岩塊の崩落実験結果について、岩塊の到達位置の確率分布を推定した結果を示す。GMM におけるガウス分布の足し合わせの数を情報量基準のひとつである BIC から決める。個数を 1 から 9 までとした場合について BIC を求めた結果を図-2 に示す。3 個の場合が BIC 最小となっていることがわかる。EM アルゴリズムは局所解探索の方法であるため、最小に近い個数に対しては、収束計算の初期値を決める乱数の種をかえて複数回の計算を行った結果をプロットしている。3 個の場合について算定された GMM による確率分布を図-3 に示す。

4. 落石衝突ハザードの評価

適当な構造物を想定して残存距離ハザード曲線の算定例を示す。衝突確率算定のための積分領域を定めるために必要となる崩落中心の座標は(0, -92cm)とした。想定した構造物 A1, ~ B3 を図-4 に示す。構造物の形状は考えずに一つの線分(辺)として表し、その線分の背後の領域を積分して衝突確率を算定する。

残存距離ハザードの算定結果を図-5 に示す。縦軸は超過確率を表しており、残存距離 0 の場合の超過確率が衝突確率を表している。図ではこのうちの 1 個以上

キーワード 落石の予測 混合ガウスモデル GMM EM アルゴリズム 衝突確率 衝突ハザード曲線

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

が衝突する確率に関する残存距離ハザードを示している。残存距離が大きくなる、すなわち激しい衝突になるに従い超過確率が小さくなっている様子がわかる。当然のことながら斜面に近い A の方が、また、中心位置に近い 1 の方が、全体的に衝突確率が大きくなっている。また、中心からの距離が大きくなるに従い、すなわち、1, 2, 3 の順に残存距離に対する勾配が大きくなっている。つまり、中心から離れた地点では衝突してもその衝撃は比較的小さいことを意味している。このように斜面と注目する構造物の位置関係に応じて残存距離ハザード曲線を評価することができ、残存距離に対応した衝突確率を評価することができる。

参考文献

- 1) 吉田郁政, 内藤直人, 中瀬仁: 斜面崩壊による岩塊や落石の衝突ハザードの評価法落石ハザード評価に関する提案, 土木学会論文集(地震工学), 2015.
- 2) 栃木均: 地震時崩落岩塊の到達距離に関する影響要因の検討-斜面崩壊を想定した振動台実験と二次元個別要素法解析による影響予測手法の開発, 電力中央研究所報告, N08084, 2009.
- 3) 栃木均: 地震時崩落岩塊の到達距離に及ぼす岩塊の大きさや形状の影響, 電力中央研究所報告, N09021, 2010.

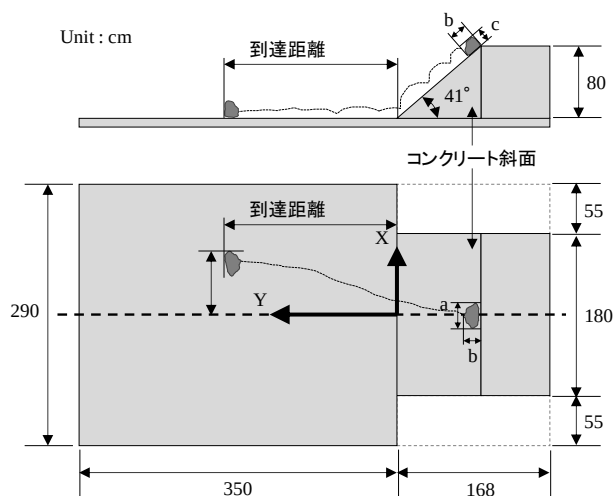


図-1 栃木らにより実施された落石実験の概要

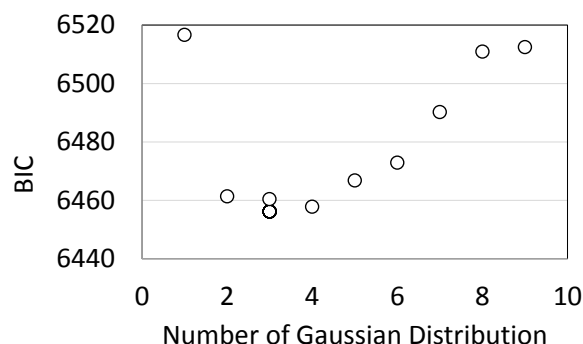


図-2 GMM の個数と BIC の比較

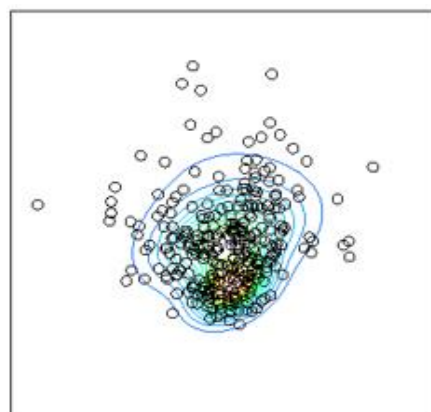


図-3 GMM による確率密度分布

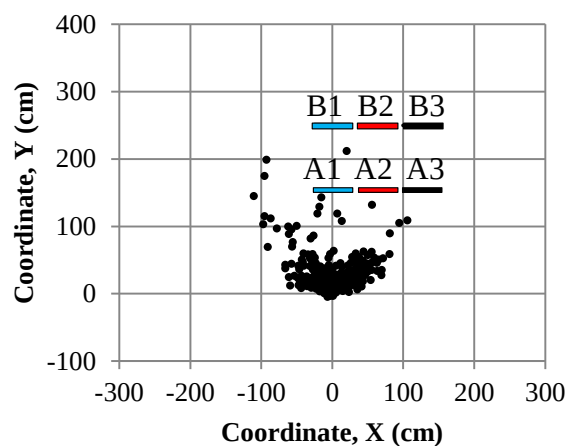


図-4 衝突確率算定のために仮定した構造物の位置

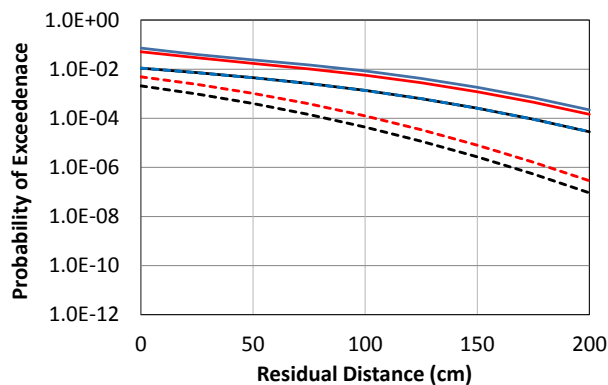


図-5 GMM+EMA による個別の衝突確率