

モンテカルロ法を用いた落石の3次元運動解析

鳥取大学大学院 学生会員○精山 誉志

サンイン技術コンサルタント 正会員 谷口 洋二

鳥取大学工学部 正会員 西村 強・木山英郎

1. はじめに

山地の多いわが国では、主要幹線道路や観光道路が、山間部を縫うように走っている。脆い地盤が広く分布しているため、降雨や地震等によって土石流や落石が発生し、道路が寸断されるあるいは重大な事故に通じるといった事例が後を絶たない。2000年10月に発生した鳥取県西部地震においても落石が発生し、被害が発生している。山間地域での道路交通の安全確保は重要な問題といえる。

このうち落石についてみれば、防護施設の施工が進められているものの、防護工の設計に際しては、落石の最終到達位置や跳躍運動を含む落石の運動エネルギーを算定する方法は確立されているとはいい難い。岩塊を質点あるいは剛体と見なした解析が提案されているが、このうちの多くは2次元解析であり、軌跡の水平方向への広がりや表現できない。3次元解析を用いれば、水平方向への広がりや跳躍高さに関する解析が可能になる。この本文では、個別要素法を用いた3次元落石数値シミュレーション[1]の計算例について示す。

2. 入力変数の不確定性

- 確率論的アプローチ -

落石の運動を解析するには、次のような岩塊の諸元や地表面との接触に関する事項を把握する必要がある。

- 岩塊に関する事項、

体積、密度、形状、初期位置、初速度など、

- 地表面に関する事項、

表面形状、地表面の微視的变化、接線および法線方向速度比、摩擦係数など。

しかし、これらに関する情報を、事前に把握することは難しく、何らかの値を仮定する、さらにはある分布を持つ量として取り扱わざるを得ないことになる。本例では、これらの事項は2つの区分で取り扱うことにした。1つは“random”と呼ぶものであり、もう1つは“unknown”と呼ぶ区分である。randomに属す変数は予め定義した分布に従い取り扱えるとする。一方、unknownに区分する変数は、解析に際して未知であり、何らかの値を仮定する。つまり、randomに区分した変数は、用いられるとき（例えば、岩塊が地表面に接する毎に）、モンテカルロ法により、既知の分布形に基づき決定されるのに対し、unknownに区分した変数は岩塊の運動開始前に与えられ、その試行中は一定値として取り扱う。当然、unknownとした変数の値を、適宜変化させて試行を繰り返し、運動軌跡への影響を知ることは可能である。

3. 落石軌跡解析への適用

ここでは、3次元シミュレーション例を示す。地形の概観を示すと図-1のようになる。尾根部

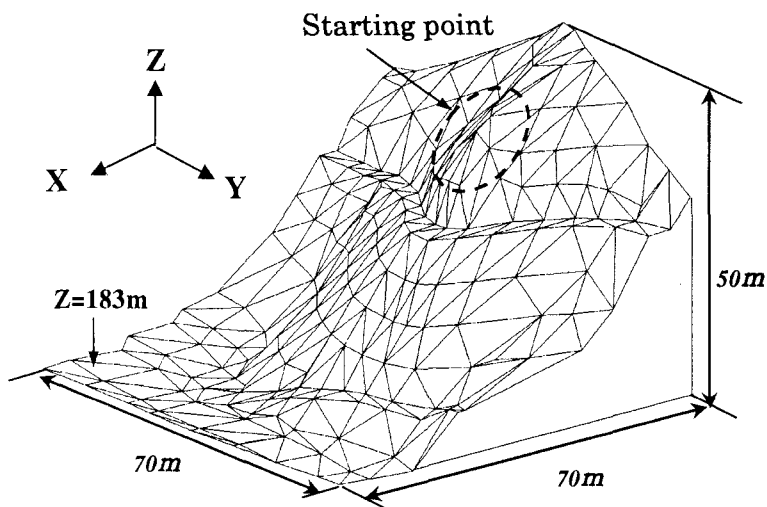


図-1 解析モデル図

を連ねる断面では、斜面高さは50mであり、最大傾斜角は90°に近く、平均傾斜角は40°となっている。この解析では、入力条件は次のように取り扱った。

- random とした事項

粘性係数比 $\eta/\eta_0 = \bar{\eta}/\eta_0 \pm 20\%$ (正規分布)

- unknown とした事項

岩塊の形状、初期位置、初速度、地表面を表す三角形頂点の座標値、地表面の微視的变化、粘性係数比 η/η_0 と ϕ の中央値 ($\bar{\eta}/\eta_0$, $\bar{\phi}$)

これらの事項については、次のような値を与えた。

- 形 状：立方体
- 大 き さ：1m×1m×1m
- 密 度：2.650Mg/m³
- 粘性係数比： $\bar{\eta}/\eta_0 = 0.16$ ($R_c = 0.60$)
- 表面摩擦角： $\bar{\phi} = 30^\circ$

初期位置は、一様分布を仮定して試行を繰り返すとともに、5例について解析を実施した。

図-2は、要素重心の軌跡を水平面への投影したものである。各位置について、5000回の試行のうち、500例を示した。また、これらの試行の結果から落石要素の最終停止位置を図-3に示した。初期位置から軌跡解析を繰り返し、同じ標高まで到達した時の運動エネルギーの平均値を軌跡上に円として図-4に示した。これらの結果より、尾根地形においては、落石発生位置がわずかに変動するだけでも、広範囲にわたって到達することがわかる。

4. まとめ

落石が生活圏や交通施設におよぶ可能性を評価し、かつ到達速度などの客観的な資料を提供することが、このような数値解析法の役目である。本研究で示したことをまとめると以下のようになる。

1. 落石の運動に影響を与える事項を二つに区分し、それらの運動解析への与え方について考察した。
2. 上記1.の内容を元に、入力条件の不確定性を考慮した3次元解析を実施し、ある地点における運動軌跡、落石の到達域、運動エネルギーの結果を示した。

参考文献

- [1] 谷口 洋二, 西村 強, 精山 啓志, 木山 英郎, 落石運動に影響を与える不確定要因のモデル化と3次元軌跡解析, 第33回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.343-348.

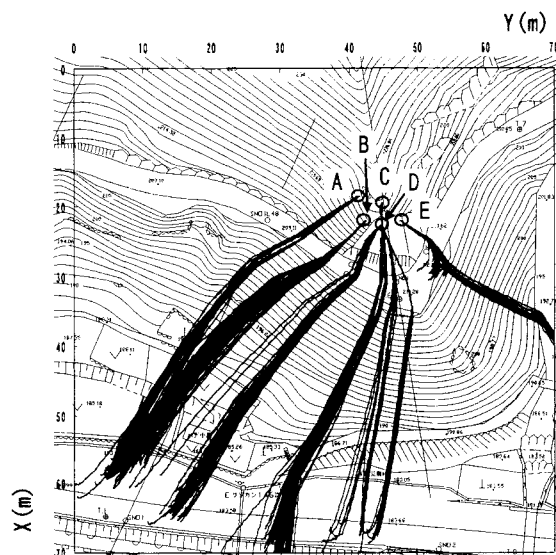


図-2 要素重心軌跡の水平面への投影図

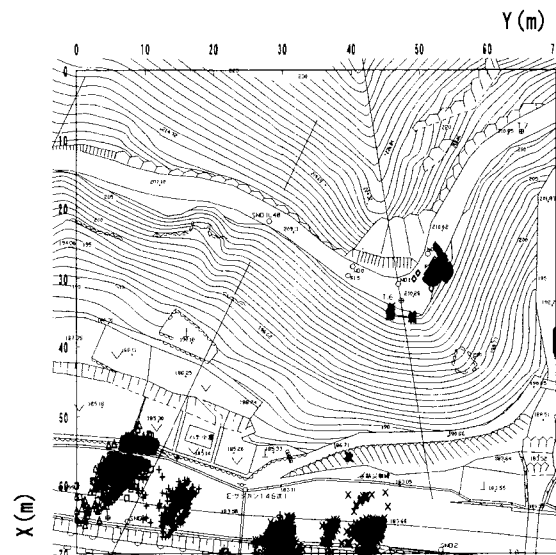


図-3 岩塊の最終到達位置

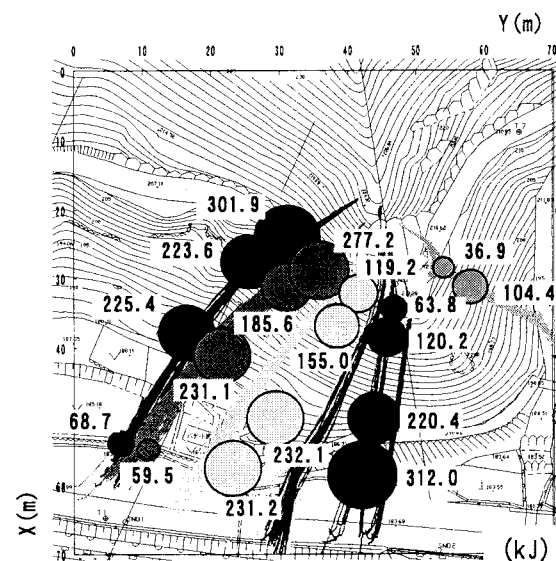


図-4 運動エネルギー