

斜面の凹凸を考慮した落石シミュレーション手法

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 布川 修 正会員 村石 尚
 正会員 杉山 友康 正会員 佐溝 昌彦

1. はじめに

落石災害から鉄道の安全・安定輸送を確保するためには、過去の落石発生記録や現地観察から落石を推定し、対策を講じる必要がある。落石対策として落石防護工を設置する際には、落石の速度やエネルギーを、落石実験結果を利用し推定しているのが現状である。一方、近年、より合理的な推定手法としてパソコンを用いた落石シミュレーションが注目されている。そこで、落石の軌跡や速度、エネルギーに大きな影響を与えると考えられる斜面の凹凸を考慮した落石シミュレーション手法を開発しているの、その手法の特徴について報告する。なお、本研究は運輸省の補助金のもとに「自然災害制御技術の開発」の一環として進められている。

2. シミュレーション手法の特徴

検討中の落石シミュレーションは、落石を球と仮定し、二次元斜面断面上での落石運動をシミュレートすることにより、落石軌跡、速度、運動エネルギー等を入力するものである。落石軌跡、速度の計算手法は、質点系の力学にもとづいている。シミュレーション手法の特徴は、入力情報として与える落石対象斜面に、微小な凹凸をランダムに発生させた上で落石運動をシミュレートすることである。この手法により、斜面の凹凸の影響を考慮した落石運動シミュレート結果が得られると考えられる。概略を図1に示す。図1に示すとおり、落石シミュレーションは、「入力情報」と「計算」、「結果出力」で構成される。落石運動の計算は、まず入力した斜面座標を対象として行う。その後、入力情報として設定した計算回数分、斜面上に計算ごとに異なる凹凸を発生させ、落石運動計算を行うこととした。

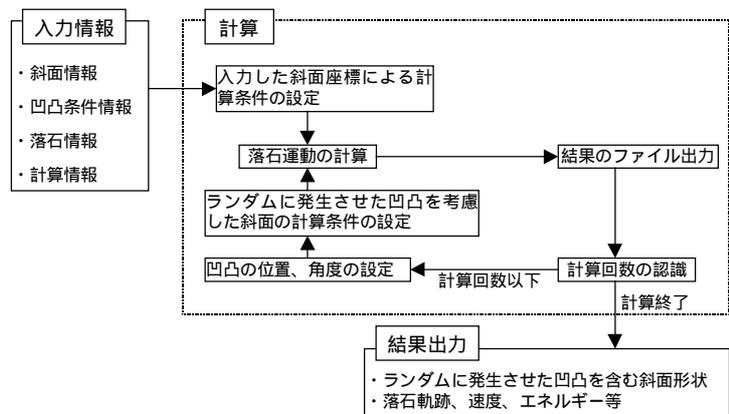


図1 落石シミュレーションの概要

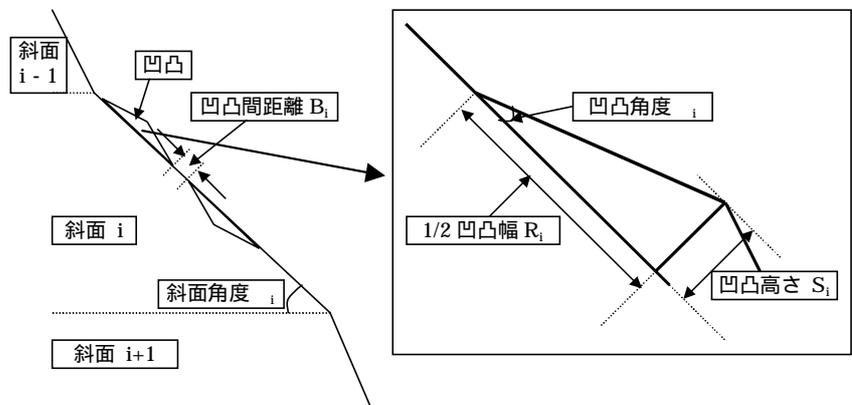


図2 凹凸を設定するパラメータ

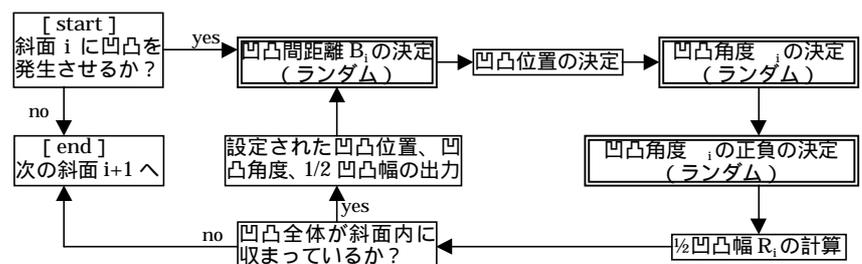


図3 凹凸設定手順

キーワード：落石、防災、シミュレーション

連絡先：〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7263 FAX 042-573-7398

3 . 凹凸の設定手法

計算対象である斜面全体の中で、同一勾配区間を斜面 i と定義する。斜面 i に凹凸を発生させる場合、凹凸は図 2 に示す凹凸間距離 B_i 、凹凸高さ S_i 、凹凸角度 θ_i 、1/2 凹凸幅 R_i で設定される。これらのパラメータの内、ランダムに値が決定されるのは、凹凸間距離 B_i と凹凸角度 θ_i とし、凹凸高さ S_i は固定値、1/2 凹凸幅 R_i は、凹凸高さ S_i と凹凸角度 θ_i から $R_i = S_i / \tan \theta_i$ で計算される。ランダムに設定される凹凸間距離 B_i は、最大凹凸間距離 B_{maxi} を入力情報として設定することにより、この距離以下の値に決定されることとした。凹凸角度 θ_i は、斜面角度 α_i 以下の 5 つの角度 (凹凸角度 $\theta_{i1} \sim \theta_{i5}$) を入力情報として設定することにより、この中からランダムに決定されるとともに、正負もランダムに決定されるものとした。凹凸の設定手順を図 3 に示す。これらの手順により設定された凹凸位置、凹凸角度、1/2 凹凸幅から、新たに凹凸を考慮した斜面座標を作製する。

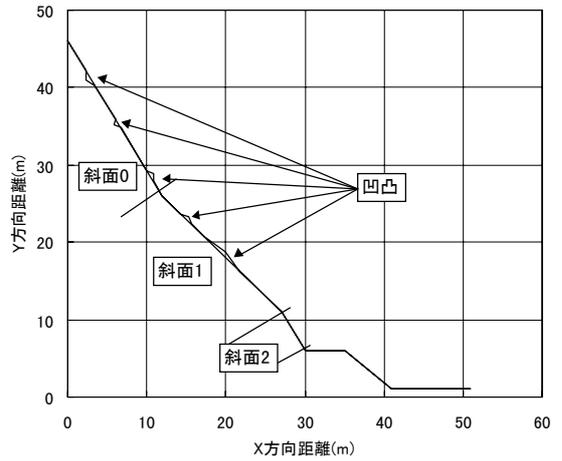


図 4 斜面上に凹凸をランダムに発生させた断面例

表 1 凹凸設定パラメータ

斜面番号 i	凹凸高さ S_i	凹凸角度 θ_{i1}	凹凸角度 θ_{i2}	凹凸角度 θ_{i3}	凹凸角度 θ_{i4}	凹凸角度 θ_{i5}
0	0.50(m)	11.8(度)	23.6(度)	35.4(度)	47.2(度)	59.0(度)
1	0.50(m)	9.0(度)	18.0(度)	27.0(度)	36.0(度)	45.0(度)
斜面番号 i	1/2 凹凸長さ R_{i1}	1/2 凹凸長さ R_{i2}	1/2 凹凸長さ R_{i3}	1/2 凹凸長さ R_{i4}	1/2 凹凸長さ R_{i5}	最大凹凸距離 B_{maxi}
0	2.39(m)	1.14(m)	0.70(m)	0.46(m)	0.30(m)	4.00(m)
1	3.16(m)	1.54(m)	0.98(m)	0.69(m)	0.50(m)	4.00(m)

4 . 計算例

計算対象斜面上に凹凸を発生させた断面図例を図 4 に示す。この図は、設定された計算回数の中の 1 断面であり、この断面について落石運動計算を行うことで、計算結果である落石軌跡等を 1 つ出力する。この計算で凹凸を発生させた斜面は、図 4 に示した 7 斜面 0、1 である。表 1 に斜面 0、1 における凹凸の設定パラメータを示す。斜面番号は、計算対象斜面の上部から同一勾配ごと順番に付けることにした。設定した凹凸高さ S_i は 0.5m、凹凸角度 $\theta_{i1} \sim \theta_{i5}$ はそれぞれ斜面角度 α_i の 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 倍とし、最大凹凸距離 B_{maxi} は 4m とした。

図 5、図 6 にそれぞれ凹凸高さ S_i を 0.5m、0.25m として計算した落石軌跡の全出力結果例を示す。図 4 と図 5 の計算で用いた入力情報は、凹凸高さ S_i と凹凸高さ S_i から計算される 1/2 凹凸幅 R_i が異なり、その他のパラメータは同である。球体と仮定している落石の半径は 0.5m、斜面上に凹凸をランダムに発生させた上で落石運動の計算を行う回数は 15 回とした。図 4、図 5 を比較すると、凹凸を発生させた斜面部分の境界である斜面 1 と斜面 2 の境界 (図中点線部) では、凹凸高さ $S_i=0.5m$ の計算結果の方が、落石が斜面と離れるケースが多い。今後は、実際の落石現象を踏まえて、落石運動の計算方法や凹凸の設定パラメータの考察を行う予定である。

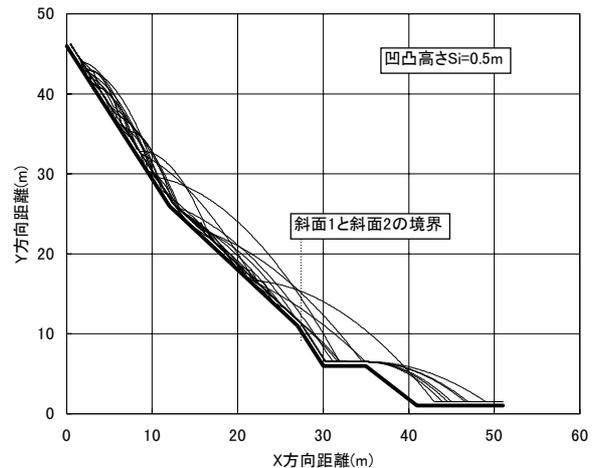


図 5 凹凸高さ $S_i=0.5m$ の時の計算例

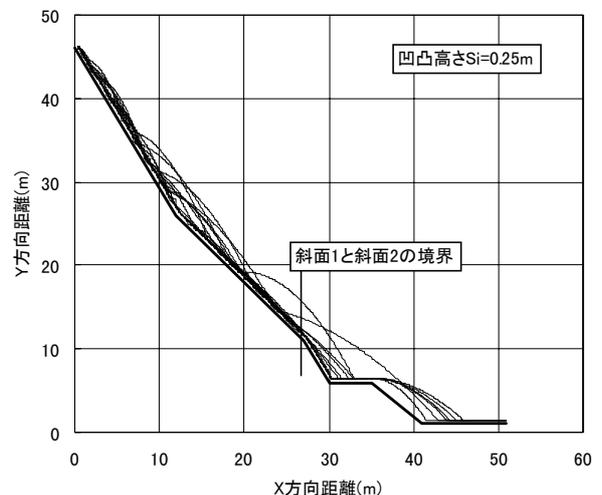


図 6 凹凸高さ $S_i=0.25m$ の時の計算例