

I-B183

斜面における落石落下シミュレーションに関する研究

金沢大学大学院
金沢大学工学部
日本サミコン(株)
(株)鴻池組

学生員 田中 志人
正会員 榊谷 浩
正会員 音田 奨
正会員 堤下 克彦

1. はじめに

落石に対する研究、技術開発の要望はますます高まっている。特に、落石防護施設の設計は落石の問題の中で最も重要な位置を占めているが、落石の運動の予測法のみが確立されておらず、技術者の判断に委ねられている。本研究では特に不十分とみなされる落石の運動形態についてより実用的なシミュレーション手法の開発の確立を目指し、また実際の運動では跳躍運動、回転運動、滑り運動のいずれかまたは組み合わさった場合が多いことを考慮して落石がどのような挙動をとるかを解析する。

2. 落石の挙動解析手法

小さな凹凸は無視して、大きな変化点のみに着目し、図-1 のように斜面を三角形の平面に分割しモデル化する。この時、斜面は n_s 個の三角形平面と n_p 個の節点で表すことができる。また、落石の運動解析を行う場合、考えている時刻に落石がどの斜面にあるかを判定しなければならない。

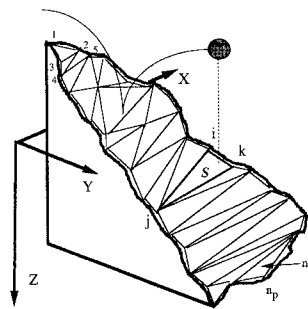


図-1 斜面のモデル化

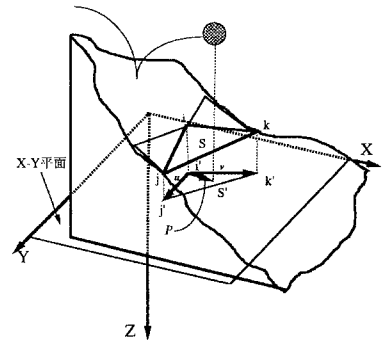


図-2 斜面の位置判定

そこで落石が斜面上にある時、その斜面 S と接点 i, j, k の $X-Y$ 平面への投影を面 S' と点 i', j', k' とし、落石の現座標の位置ベクトルを $\mathbf{P}=[X \ Y]$ とするとベクトル $\mathbf{u}=[X_j-X_i \ Y_j-Y_i]$ 、 $\mathbf{v}=[X_k-X_i \ Y_k-Y_i]$ が次式を満たせば、落石は斜面 S 内あるいは S 上にあると判定できる。

$$\mathbf{P} = s\mathbf{u} + (1-s)\mathbf{v} \quad (\text{ただし } 0 \leq s \leq 1) \quad (1)$$

3 解析結果と考察

図-3、図-4 は斜面上に質量 500kg、半径 50cm の石を最初の衝突地点上 3m の高さより鉛直自由落下させた時の落下経路である。反発係数は $e=0.6, 0.5, 0.4$ の3種とし、ばね定数 $k=10^6 (N/m)$ 、摩擦係数は一定とし $\mu=0.2$ とした。ただし、図-3 に対し図-4 では落石防護柵

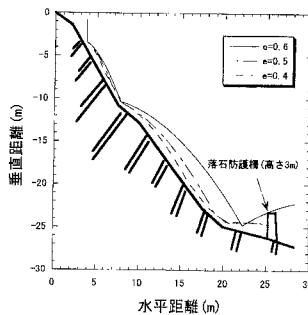


図-3 2次元斜面(1)

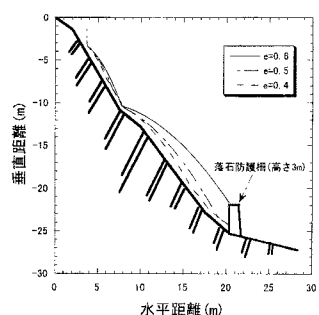


図-4 2次元斜面(2)

を 1m 上方に設置したため落石がすべて止まっている。これより本シミュレーションでは落石防護柵をどのような位置に設置すればよいか推測できることを示した。

Keyword: 落石、斜面、衝撃、落石の運動形態

920-8667 金沢市小立野 2-40-20

TEL 076-234-4603

FAX 076-234-4632

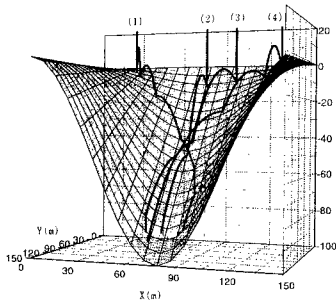


図-5 3次元斜面における解析例(1)

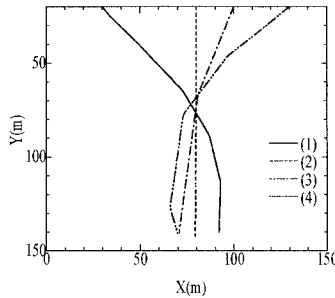


図-6 X-Y平面の落下経路(1)

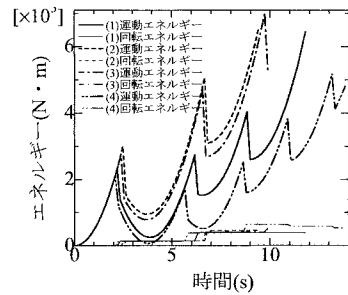


図-7 エネルギーと時間変化(1)

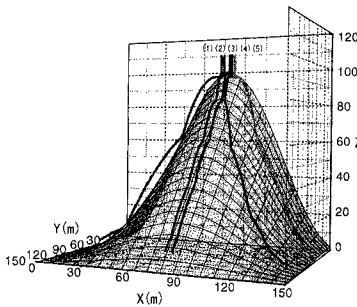


図-8 3次元斜面における解析例(2)

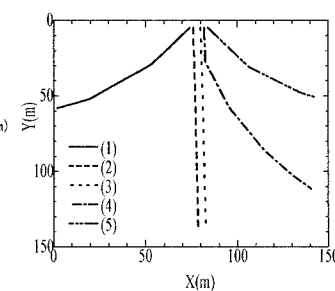


図-9 X-Y平面の落下経路(2)

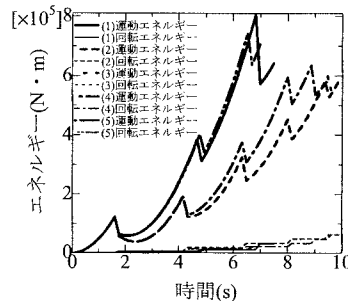


図-10 エネルギーと時間変化(2)

図-5 は凹型斜面(沢型斜面)上に、図-8 は凸型斜面(尾根型斜面)上に質量 1000kg、半径 1.0m の落石を高き 20m から鉛直落下させたときの 3 次元斜面における落石の落下経路であり、この時の反発係数 $e=0.8$ 、ばね定数 $k=10^6(N/m)$ 、摩擦係数 $\mu=0.2$ である。図-6、図-9 は X-Y 平面における落石の落下経路、図-7、図-10 は落石の落下におけるエネルギーと時間の変化を表したものである。図-6 より凹型斜面では谷筋に落石の軌跡が集中するという経験的によく知られた現象がうまく再現されていることがわかる。また、図-7 より谷筋から離れた所で落石が発生した場合は斜面との衝突の回数が多く、その衝突で回転エネルギーが増加する。一方、谷筋に近い所で落石が発生した場合は回転エネルギーの増加が谷筋から離れた所で落石が発生した場合より少ない。したがって、落石が斜面の衝突により回転エネルギーが生じ、運動エネルギーが減少していくことから谷筋から離れた所から落石が落下した方が衝突回数が多く、落石の落下していく速度が小さくなるのが分かる。次に図-9 より凸型斜面においては落石が分散して落下するのをうまくとらえている。また、図-10 より落石が急な勾配を落下しているときは衝突回数が少ない。そのことにより、回転エネルギーの増加が少なく運動エネルギーの減少が少なく斜面の最終地点での運動エネルギーは大きいことがわかり、またその場所での衝撃エネルギーも大きいことが分かる。

4. まとめ

本研究の内容は次のようにまとめられる。1) 3 次元斜面における落石の挙動について基本的解析手法を示した。2) 本解析理論においては滑りを伴う回転運動を考慮したより現実的な落石の挙動の取り扱いが可能となった。3) 落石の衝撃を受ける防護施設の設置位置および防護施設の規模の検討に本解析を役立てることが可能であることを示した。

参考文献

1) 日本道路協会：落石対策便覧，日本道路協会，1983。2) 右城猛：剛性擁壁の合理的な土圧評価法と落石の運動に関する研究，平成 9 年 7 月。3) 土木学会衝撃問題小委員会：構造物の衝撃挙動と設計法，土木学会，構造工学シリーズ 6，1994 年 1 月。4) 園田恵一郎：落石覆工の設計法についての提案，構造工学論文集，Vol. 39A，pp1563-1572，1992 年。