

落石運動解析の現状について

金沢大学工学部	正	榊谷 浩
日本サミコン(株)	正	音田 奨
金沢大学大学院	学	田中志人
金沢大学工学部		井原朋美

1. まえがき

落石は斜面崩壊の中の一つの現象であり、急傾斜地を通る道路、鉄道は落石の発生により交通の安全性が損なわれる場合が多い。落石に対する防護施設の設計には、対象とする落石の規模と発生位置、落石の運動、防護施設建設地における運動エネルギーあるいは衝撃力さらに防護工の衝撃挙動、耐衝撃性能などが必要である。衝突条件がわかっている場合の落石衝突時の発生衝撃力、また耐衝撃性能に関する研究は最近多くなされ、ある程度明らかにされてきている。しかしながら、落石の発生、斜面上の運動、最終的な防護工設置位置での危険度評価、外力の設定に関しては不明な点が多く、防護工の安全性を確保するためまた防護工の限界状態設計法への移行に関して解決すべき問題の一つと考えられる。斜面上の落石運動解析を行い危険度評価に役立てようといった研究はなされているが一定の基準に基づいているわけではない。本研究では、斜面上の落石運動解析に関する研究の現状について報告するとともに問題点を明らかにし、落石に対する安全度評価を合理的に行う上での基礎資料を提示する。

2. 落石運動とシミュレーション手法

(1) 落石の運動形態

落石の運動形態の取り扱い研究者により多少異なるが、一般に用いられている落石の運動形態を表す言葉を列挙すると以下の通りである(図-1)。

- 飛翔(跳躍) : 空中の運動であり、空気抵抗を無視すれば重力だけが作用する放物運動
- 自由落下 : もっとも単純な落下運動であり、水平方向の速度成分を持たない飛翔運動の一つ
- 転がり : 落石の回転を表すが、特に落石が斜面に接した場合の回転運動を示す場合が多い。
- 滑り : 落石が斜面に接する場合の接触点におけるずれの発生を示す。並進運動を示す場合が多い。
- 衝突 : 飛翔している落石が斜面に接触する現象を表す。
- 線運動 : 斜面上での転がりと滑りを表す。
- 飛び出し : 斜面の凹凸や落石の凹凸を原因として線運動から飛翔運動への突然の移行

主に落石に作用する作用力で考えると、以下のような3種の分類となる。

- I. 主として重力作用が重要である飛翔運動(自由落下を含む)
- II. 重力以外の作用力が重要である線運動(滑りと転がり)
- III. 突然の大きな運動変化が生ずる衝突(飛びだしも含まれる)

また、重力作用が重要である飛翔運動(上記I)と、他の作用力が主となるその他の運動状態(上記のIIとIII)の2種にも分類できる。

(2) 落石の運動方程式

質点の力学で最も簡単な落石運動を考えた場合には、落石の運動は落石を一つの質点とする運動方程式(Newtonの運動の第2法則)で表現される(図-2)。

$$m_i a = F \quad (1)$$

ここに、 m_i は落石質量、 a は落石の重心の加速度ベクトル、 F は落石が受ける力のベクトルであり、重力、斜面からの力、空気抵抗などの作用力を表す。

さらに、図-3に示すような落石の回転を考慮する場合、回転の運動方程式は次式で表現される。

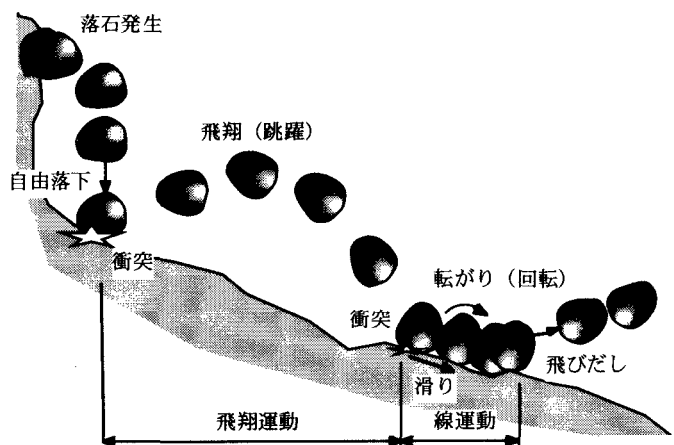


図-1 斜面上の落石運動

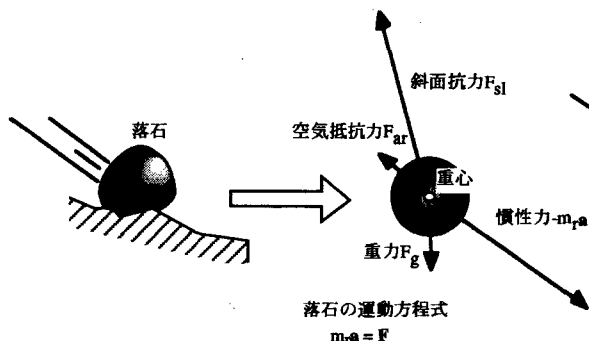


図-2 落石の質点表現と運動方程式

$$I_r \dot{\omega} = M \quad (2)$$

ここに、 I_r は重心を通る回転軸回りの落石の慣性モーメント、 ω はその軸回りの回転速度ベクトル、 M は落石に作用する回転軸回りのモーメントベクトルであり、斜面からの抗力などにより発生する回転力である。

落石形状や斜面形状は複雑であり、落石を多角形で表現する場合もあるが、落石形状と斜面形状双方を詳細にモデル化した研究は見あたらない。ほとんどの研究は落石形状を円形と仮定し斜面を直線とする2次元解析である。落石の運動は上述したように重力以外の作用力を受ける落石と斜面との接触時が最も重要であると考えられる（（1）のⅡとⅢ）。現在、衝突時にはこれらの影響を反発係数と低減係数、あるいは反発角度などで評価する解析方法、斜面間の摩擦力を仮定する解析方法などが提案されている。

（3）斜面条件

落石が発生する斜面の斜面地質（自然斜面、切取法面、軟岩、硬岩など）、斜面性状（尾根型、谷型、凹型、凸型など）、斜面勾配、植生が落石発生的重要原因と考えられ、直接落石を発生させる誘因としては降雨、積雪、凍結融解、風、地震また人為的要因が挙げられる。落石運動を支配する要因も上記の発生素因はすべて含まれ、他に斜面上の柵やネットなどの防護対策工の有無や配置も関係する。現在までに主として行われている落石運動に関する現場実験は自然斜面、切り土法面、コンクリート法面とさまざまな斜面に対して行われているが、植生のない2次元的な斜面である、立木、草などの植生の影響も明らかにしていく必要がある。

3. まとめ

落石の安全度評価のため、落石の運動の推測が求められており、落石の運動解析手法について現状を紹介した。現在基礎データを調査中であり、より合理的な推定方法をめざし解析手法の開発・改良を進めている。

謝辞 本報告作成にあたり、建設省土木研究所動土質研究室の松尾修、堤達也両氏に貴重なご助言をいただいたことを記しここに深く謝意を表す。

参考文献

建設省土木研究所動土質研究室：落石防災対策に関する調査報告書（その1）、土木研究所資料第2770号、1989.2など

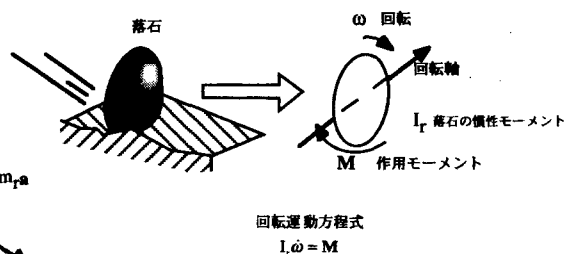


図-3 落石の回転運動

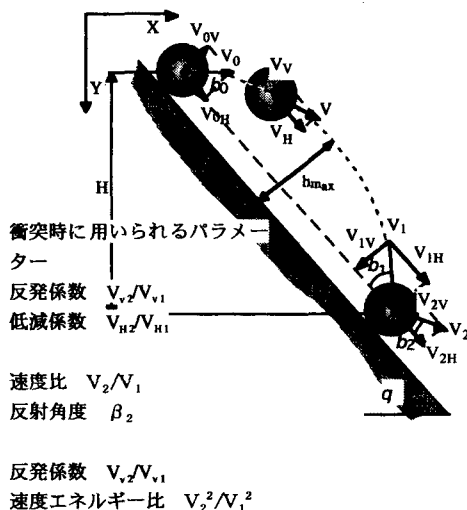


図-4 衝突時の処理方法例

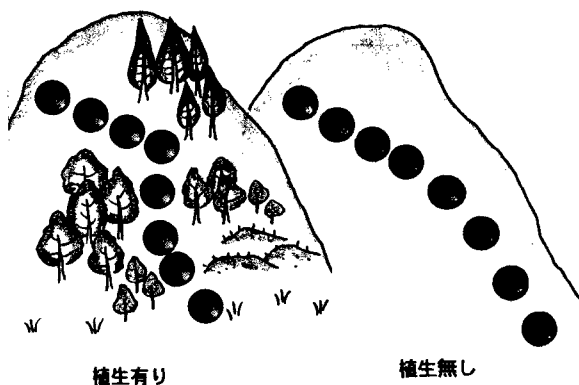


図-5 植生の影響