

# 斜面植生の落石運動に与える影響について

金沢大学工学部	正	梶谷 浩
日本サミコン株式会社	正	若林 修
日本サミコン株式会社	正	音田 奨
金沢大学工学部		井原朋美
株式会社本間組		氣谷慶太

## 1. まえがき

落石防護対策において落石発生の危険度と設計対象とする落石条件は基本的に重要な問題である。一般に巡回点検、既存資料調査、空中写真判読、現地踏査などにより落石に対する危険度が判定される。これらの調査結果に基づき、具体的に落石の量、寸法、形状、発生位置が定めれば、落石の落下経路、到達位置、落下速度（運動エネルギー）を推定する必要がある。

落石対策便覧などでは斜面の等価摩擦係数と斜面勾配により速度が算出でき、過去のデータに基づく最大跳躍量も示されているため、設計ではこれらを利用できる。しかしながら、実際の斜面は複雑で様ではなく、個々に性状、凹凸が異なるため、複雑な斜面条件を考慮する各種の数値シミュレーション手法が設計に利用される場合も多くなってきている。

日本の山岳地帯には植生がある場合がほとんどである。過去に行われた実験のほとんどは植生のない岩斜面と崖錐斜面で行われており、斜面の植生の影響は不明な点が多いのが現状である。このような現状より、本研究では、斜面における植生（特に立木）の取り扱い方法について検討した。ここではその概念とシミュレーション手法への導入についてその一部を紹介する。

## 2. 斜面植生と落石

日本は湿潤なモンスーン気候のため、亜熱帯から亜寒帯まで森林帯が発達している。斜面に立木を含む植生がある場合、地表面が保護されるため、表土の流失を防ぎ落石発生防止効果があると考えられている。また、立木群により落石が途中で止まるなどの落石予防効果もある。一方、立木の根の緩みや岩内への根の成長による岩目の発達を原因として落石が発生したり、倒木の際に落石が発生するといった側面もある。

本研究では植生のなかでも立木に注目し、図-1に示すように立木のモ

デル化を行った。実際の立木は枝葉が存在し、一本の木でも幹の太さが一定ではないが、ここでは簡単のため、枝葉は考慮せず、幹の太さも木の根元から先端まで変化しないとした。

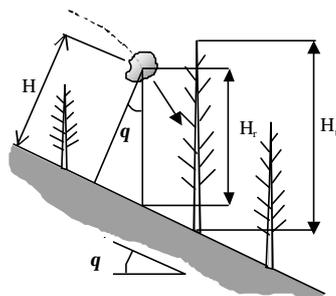


図-2 飛翔中の落石と立木

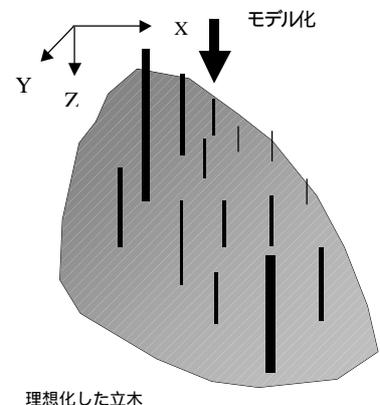
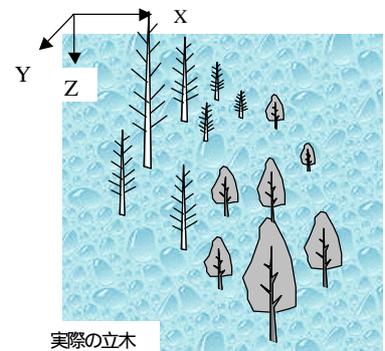


図-1 立木のモデル化

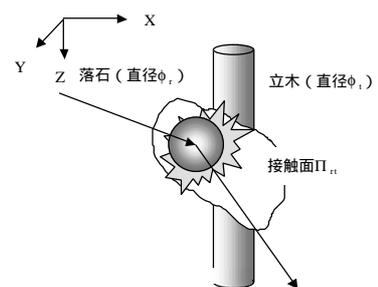


図-3 落石と立木の接触

また、立木は鉛直に成育しているものとした。

立木は、高さ  $h_t$ 、幹の太さ（立木の直径） $\phi_t$ 、樹木密度（単位面積あたりに存在する木の本数） $\rho_t$  の3つの基本パラメータで表現できるとした。なお、特定の大きな樹木を考慮する場合以外は、これらのパラメータは確率変数として考える方が合理的と考えられる。

立木の存在する斜面を平面で表現した場合、落石、斜面、立木の位置関係を示したのが図-2 である。ある時刻に飛翔中の落石と斜面との距離を  $H$  とし、斜面勾配を  $\theta$  とすると落石と斜面との鉛直距離  $H_r$  は次式で表される。

$$H_r = H/\cos\theta \quad (1)$$

この場合、落石が直径  $\phi_r$  の球であると仮定すると次式を満足する立木が存在する場合、衝突することになる。

$$H_t = H_r - \phi_r/2 \quad (2)$$

落石が  $\Delta t$  時間に距離  $\Delta l$  進む場合、樹木密度との関係で  $\Delta t$  時間内の衝突期待本数が次式で算出できる。

$$P_{col} = (\phi_r + \phi_t) \Delta l \rho_t \quad (3)$$

落石が立木と衝突する場合、落石は直径  $\phi_r$  の球であり、立木は直径  $\phi_t$  の円柱で鉛直に立っているとの仮定より、図-3 に示すように落石と接触面  $\Pi_{rt}$  との衝突問題となる。接触面  $\Pi_{rt}$  の方程式は次式で表現される。

$$aX + bY = d \quad (4)$$

ここに、 $a$ 、 $b$ 、 $d$  は定数である。

この場合、斜面に対する落石の衝突処理と同様な手法で処理できる。

### 3. 落石運動シミュレーションへの適用

落石衝突時に立木が変形したり損傷したりするため、衝突時の落石の運動変化は立木の挙動に依存する。しかしながら、適切な反発係数などを用いれば衝突時の運動変化は表現可能であると思われる。ここでは簡単のため立木は剛として取り扱う。

斜面が平面内の直線で表現できるような、すなわち2次元斜面で表現できる斜面であっても、立木の存在する場合衝突時に3次元的な運動形態を示すことがあり、重要なのはこの現象を表現することである。

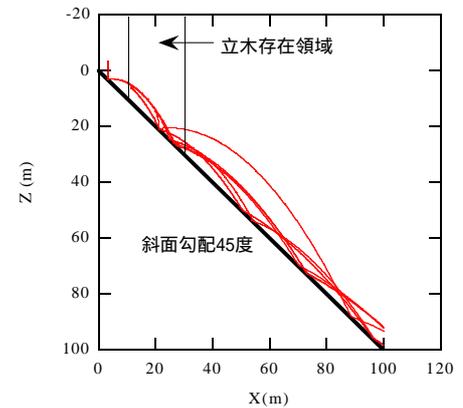
図-4 は幅 200m、高さ 100m、勾配 45 度の平面である斜面上の落石運動シミュレーションによる落石の軌跡図である。用いた解析条件は表-1 に示す通りである。本解析例では立木は斜面上方にだけ存在する。この領域での立木との衝突により、落石の運動方向が変化し、落石到達範囲が Y 方向に広がることを確認できる。

### 4. まとめ

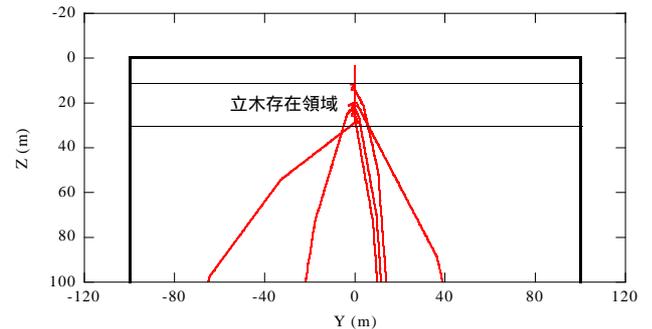
本研究では、現在著者らが開発中の落石運動シミュレーションにおける植生の取り扱い方法についてその一部を紹介した。本研究で示した手法は植生のある山岳地帯の落石危険度評価の一つの合理的な方法と考えている。今後、落石シミュレーションに立木の影響を中心とする植生の影響をさらに有効に取り入れていくため、植生に関する諸定数に関して検討していきたい。最後に本研究を進めるにあたり落石シミュレーション手法検討 WG の皆様には落石運動に関する貴重な御助言をいただきました。ここに謝意を表します。

表-1 解析条件

落石質量	300kg
落石径	0.6m
落石初期条件	X=3.5m, Y=0m, Z=-3.5m より自由落下
斜面反発係数	0.9
地盤ばね定数	$1.0 \times 10^6$ N/m
摩擦係数	0.3
立木反発係数	1.0
立木高さ	10m
立木径	0.3m
樹木密度	0.1 本/m <sup>2</sup>



(a) XZ 平面における落石の軌跡



(b) YZ 平面における軌跡

図-4 落石運動解析例