

落石斜面の植生の影響に関する一考察

A STUDY OF ROCK FALLS ON SLOPE WITH VEGETATION

梶谷 浩*、氣谷慶太**、若林修***、音田 奨***、井原朋美****

Hiroshi MASUYA, Keita KIDANI, Osamu WAKABAYASHI, Susumu ONDA and Tomomi IHARA

*工博 金沢大学助教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667、金沢市小立野 2-40-20)

** 金沢大学 工学部土木建設工学科 (〒920-8667、金沢市小立野 2-40-20)

*** 日本サミコン株式会社 技術部 (〒950-0925 新潟市弁天橋通り 1-8-23)

**** 金沢大学技術専門職員 工学部土木建設工学科 (〒920-8667、金沢市小立野 2-40-20)

キーワード：落石、植生、斜面、運動シミュレーション

(rock fall, vegetation, slope, motion simulation)

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。

道路の落石対策を考える場合、維持管理、落石対策計画また落石対策工施工など、調査の目的により調査方法は多少異なるが、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¹⁾。鉄道においても同様な調査が行われ落石に対する危険度が判定される²⁾。

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)を推定する必要が生ずる。落石発生後の落石の具体的な運動が重要となる。その推定は経験工学に基づく方法と数値シミュレーションによる方法に大別される。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一様ではなく、個々に性状、凹凸が異なるため、予測結果と実現象とが異なる場合も少なくないと考えられる。そのため、危険度の評価(安全性の評価)をできる限り明らかにするため、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³⁾。

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。また、日本の山岳地帯には植生がある場合がほとんどである。

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. 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。南西諸島では亜熱帯林、九州・四国・本州の西半分では常緑広葉樹林(カシ、シイなど)、北海道南部、東北、中部地方では落葉広葉樹林(ブナ、ナラなど)、中部以北の高山地域や亜寒帯地域では針葉樹林(モミ、エゾマツ、ハイマツなど)とおおまかに分類できる。

山岳・丘陵部で災害の発生しやすい場所は、斜面(山崩れ、崖崩れ、地滑りなど)と谷底部(土石流、泥流など)であり、尾根の被災の危険性は一般に少ない。落石に関しては、斜面あるいは尾根部に発生源があり、斜面、谷底部がやはり危険

地帯である。

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こともある。

このように斜面上の植生は落石の発生と運動に影響を与える。次章では、植生のうち立木に注目し、落石の斜面上の運動を考える上での影響と取り扱い方法について検討する。

3. 立木のモデル化と取り扱い方法

山岳斜面には、一般に図-1 に示すように植生が存在する。落石が発生した場合、草、樹木は落石には障害物でありその運動に影響を与える。植生の中でも比較的大きな樹木（立木）は大きな障害物であり、地形や斜面途中の防護構造物と同様に落石の運動に大きな影響を与える。

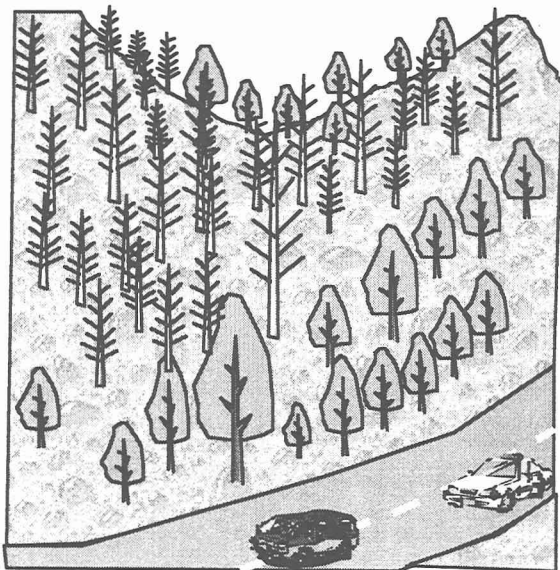


図-1 斜面における植生

3. 1 立木のモデル化

本研究では植生のなかでも立木に注目し、図-2 に示す立木をモデル化を行った。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

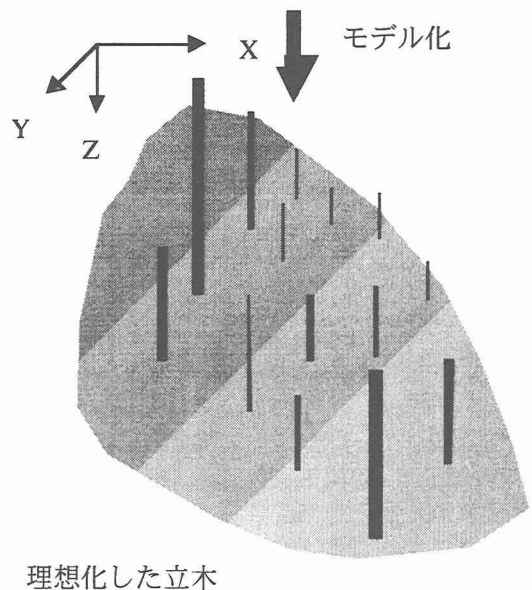
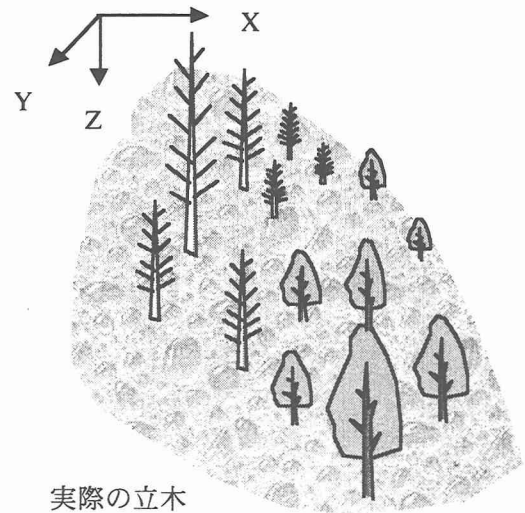


図-2 立木のモデル化

た。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_i 、幹の太さ（立木の直径） ϕ_i 、樹木密度（単位面積あたりに存在する木の本数） ρ_i の3つの基本パラメータで表現できると仮定した。なを、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。

3. 2 落石と立木との衝突

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-3 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 θ とすると落石と斜面との鉛直距離 H_v は次式で表される。

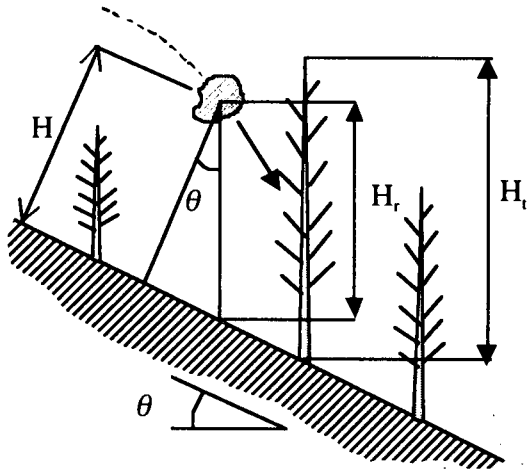


図-3 飛翔中の落石と立木

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

この場合、落石が直径 ϕ_r の球であると仮定すると次式を満足する場合、立木との衝突の可能性がある。

$$H_r \geq H_r - \phi_r / 2 \quad (2)$$

落石が Δt 時間に距離 Δl 進む場合、図-4に示す斜線の領域に立木が存在する時に落石と立木の衝突が生ずる。樹木密度との関係で Δt 時間内の衝突期待本数が算出できる。

$$P_{col} = (\phi_r + \phi_l) \Delta l / \rho_l \quad (3)$$

3. 3 衝突時の運動変化

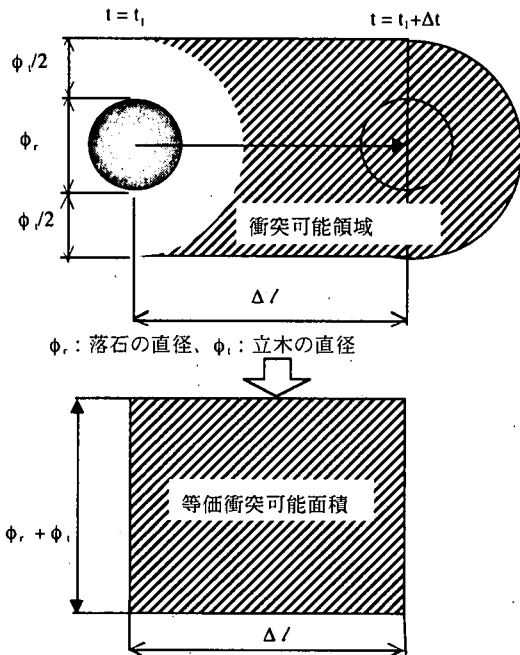


図-4 立木の衝突可能領域

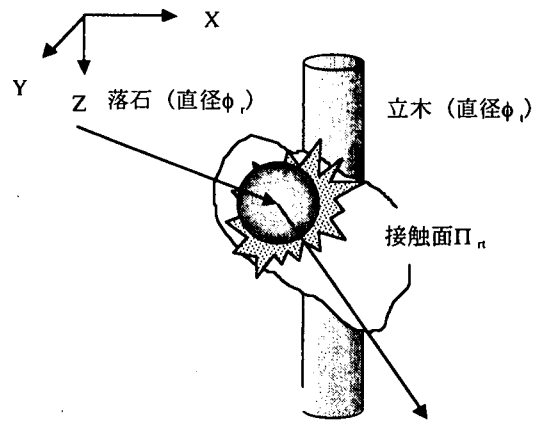


図-5 落石と立木の接触

落石が立木と衝突する場合、落石は直径 ϕ_r の球であり、立木は直径 ϕ_l の円柱で鉛直に立っているとの仮定より、図-5に示すように落石と接触面 Π_n との衝突問題となる。接触面 Π_n 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. 4 落石運動シミュレーションへの導入

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が表現は可能と思われる。ここでは簡単のため立木は剛として取り扱

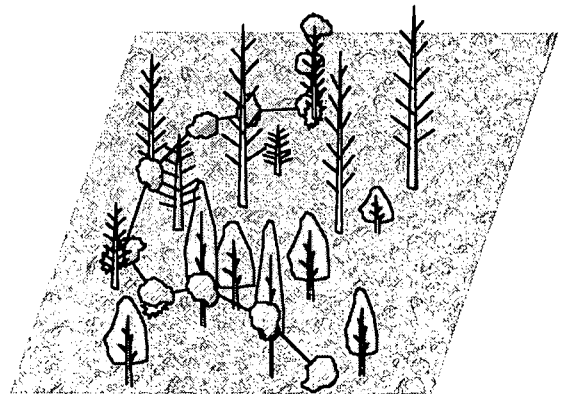


図-6 2次元斜面での落石運動

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	1.0×10^6 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 ²

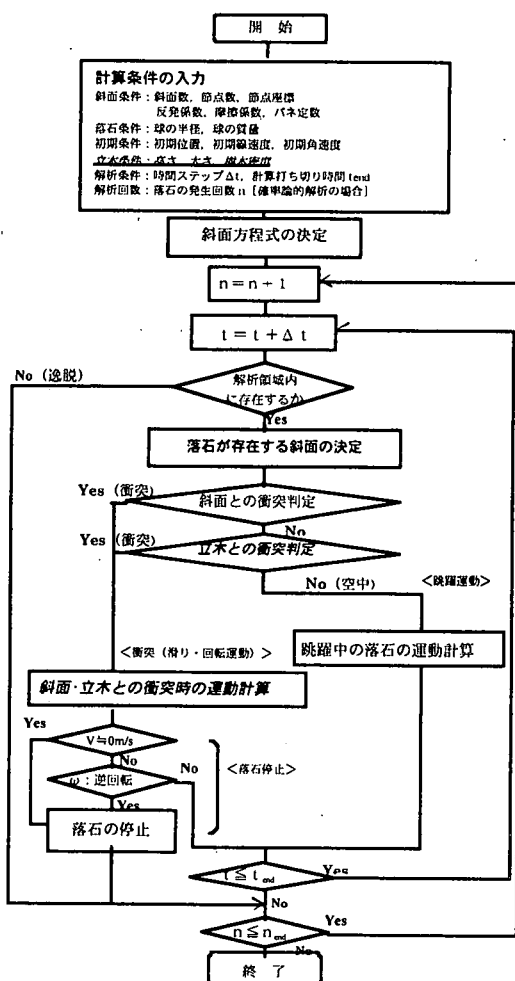


図-7 シミュレーションのアルゴリズム

う。

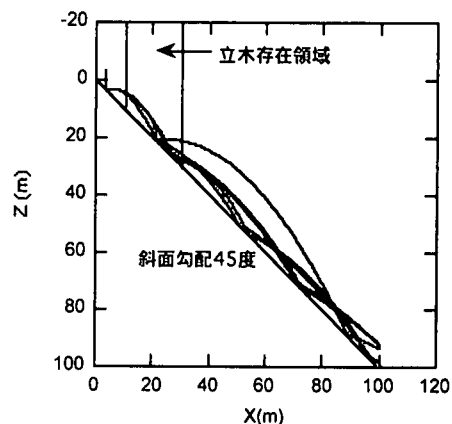
重要なのは、図-6 に示すように斜面が平面内の直線で表現できるような、すなわち 2 次元斜面で表現できる斜面であっても、立木の存在する場合衝突時に 3 次元的な運動形態を示すことである。

図-7 に現在開発中の落石シミュレーション手法のアルゴリズムを示す。

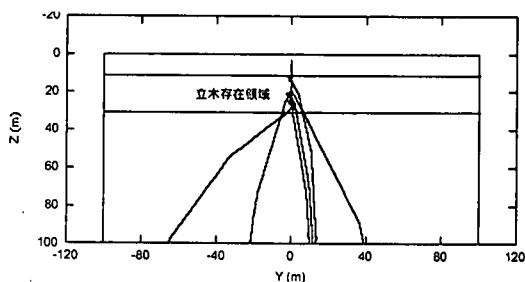
幅 200m、高さ 100m、勾配 45 度の直線斜面 (2 次元斜面) に対して行った落石運動シミュレーションの解析結果を図-8 に示す。なお、用いた解析条件は表-1 に示す通りである。本解析例では立木は斜面上方にだけ存在する。この領域での立木との衝突により、落石の運動方向が変化し、落石到達範囲が Y 方向に広がることを確認できる。

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 (特に立木) の取り扱い方法についてその一部を紹介した。本研究で



(a) XZ 平面における落石の軌跡



(a) YZ 平面における軌跡

図-8 落石運動解析例

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には、解析に用いる植生の諸定数に関する検討が必要と考えている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、1983.7.
- 2) 日本鉄道施設協会：落石対策の手引き、1978.3.
- 3) 土木学会：ロックシェットの耐衝撃設計、1998.11.