

# 落石の運動と樹木の阻止機能

柳井清治 清水 一 斎藤新一郎

## はじめに

北海道の沿岸地帯、とくに道南から日本海沿岸にかけては、岩盤の露出した急峻な崖や段丘地帯が発達し、風光明媚な景勝地を形成するが、同時に崖の直下に分布する人家や道路に岩石が落下して災害をもたらすことが多い。こうした地域の災害防止を考える上で、落下しそうな不安定岩石の分布、形態、落下した場合の到達距離、衝撃力などの予測を行うことが必要である。とくに、石が斜面を落下する場合の運動は、斜面の微地形、石の形状および植生などの地表状態によっても極めて異なる。このため、防止対策は画一的でなくその場ごとの条件に応じた対策を行うことが望ましい。

本報告は、道内落石多発地帯の一つである、渡島支庁管内の南端にある亀田半島を例にとり、山地斜面における落石の実態を明らかにし、樹木群の落石阻止効果についても検討を行った。さらにこれらの結果を基に、パソコンを用いて落石運動のシミュレーションを行い、災害予測の可能性について考察を行った。

## 落石の実態

調査地域における落石災害は、グリーンタフ（新第3紀中新世に噴出した緑色の凝灰岩や火山角れき岩）や恵山山麓の溶岩岩塊の崩壊によってひき起こされる場合が多い。調査地域内の沿岸のほぼ50%はこうした災害の起きやすい地形、地質である（図-1）。主要な災害は、昭和56年に林地から岩石が落下して人家を破壊したほか、集中豪雨の際には頻繁に道路に岩石が落下して、交通が止まるなど小規模な落石災害、さらには十勝沖地震などの際にも岩石が落下した事例が報告されている。

次に、こうした地域の災害発生環境について

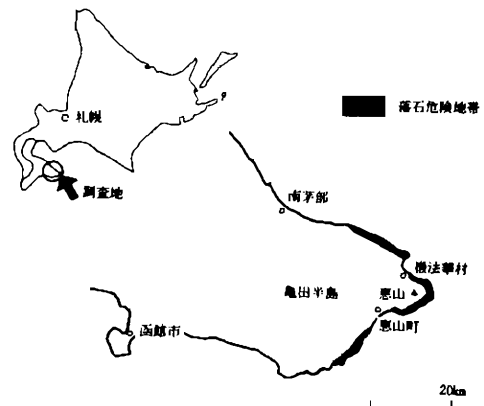


図-1 調査地位置と落石危険地帯の分布

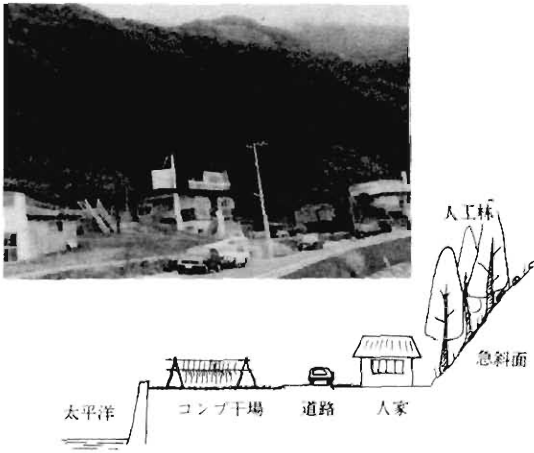


図-2 落石災害多発地帯の土地利用形態

人工林がベルト状に植栽され、その上部は、イタヤカエデ、ミズナラなどの天然林となっている。これらの林地内には上部から転落して来た石や、れきが剥落しつつある岩石の露出した崖が多くみられる。

恵山山麓における落石地帯の地形と岩れきの分布例を、図-3に示した。斜面は、長さが300 mにのぼる長い斜面で、上部がほぼ垂直な崩壊地、中腹は20°~30°とややゆるやかな樹林のある崖錐、さらに斜面下部が急な露岩地帯、斜面最下部がゆるやかな崖錐となっている。落石源は上部の恵山溶岩流と斜面下部の凝灰角れき岩である。崩壊形態はいずれも基岩から剝がれて落下するはく離型である。一方転石の分布は、図中の矢印で示したが、上部崩壊地下の樹林帯と斜面最下部の崖錐地帯に多く分布しているのが認められた。これら石の重量は図-

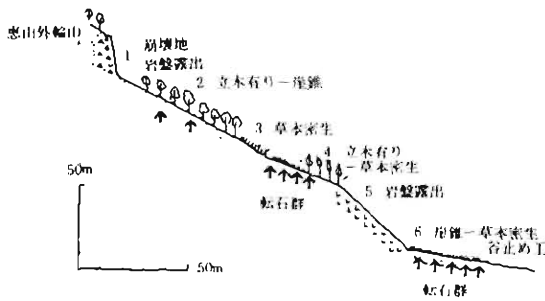


図-3 恵山町御崎地区における斜面地形と落石の実態

模式的に図-2に示した。この地区の主な産業は水産業で、コンブなど豊富な漁業資源を背景に栽培漁業が営まれている。漁家は海岸に面して狭小な平地に建てられており、最前線にコンブを干す場所（これを干場と呼んでいる）、さらに生活の動脈である道路、そして一番奥に人家という土地の利用形態となっている。人家は斜度35°~45°とかなり急な斜面直下に接して建てられており、斜面の崩れや落石が発生した場合危険である。極端な場合は、オーバーハングした露岩の下に人家が建てられている。

人家裏の斜面上はスギ、トドマツなどの

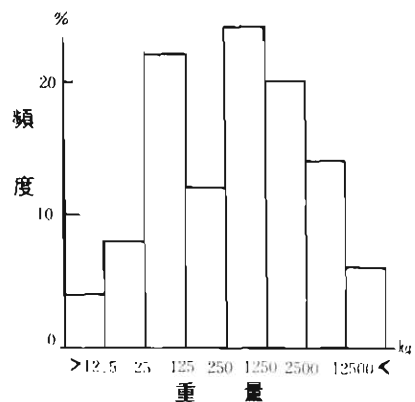


図-4 落石の重量構成比

4のヒストグラムで示すように、重さ10 Kg以下から10 t以上とかなり幅はあるが、最も頻度が高いものは250~2,500 Kg前後のものである。

### 樹木の落石阻止効果

この斜面を踏査した時、落下して来た石が樹木にぶつかり停止した事例を多く見ることができた。この樹木が落石を阻止している事例を、写真に示す。これは、スギの樹幹によって阻止された直径100 cmの真新しい転石を示したものである。崩壊源は約8 m上方の崖で、立木につけられた傷の位置と方位から見て、崖からはく離れた石は途中の樹木に衝突し、あたかもパチンコ玉のようにはじかれ



写真 樹木にぶつかって停止した真新しい巨石

ながら落下し、写真の樹木にぶつかり停止したものと判定された。

同様な事例は調査地内の林帯内で数多く観察され、これら林帯の現況と阻止された落石との関係を表-1に示す。人工林は林帯幅は10~20 mと狭いが、落石源近くまで植栽され、しかもhaあたり4,000本とかなり密植されている。これらの人工林内においては、落石を単木で阻止しているというよりは複数の樹木にぶつかり勢いが減殺されて停止するという例が多い。一方天然林内では、haあたり400本と密度が低い。このため樹木にぶつかる割合が少なく石の移動距離が長いということが言え、エネルギーを単木的に受けやすい。これら天然林内の樹木は、衝撃による損傷が著しく、場合によっては根元から転倒している事例もみられた。

表-1 林帯の落石阻止事例

大きさ(m <sup>2</sup> )	落石		傾斜(°)	樹種	落石を阻止した林帯		林帯幅(m)
	重さ(kg)	滑落距離(m)			密度(本/ha)	胸高直径(cm)	
0.42	1,030	8	42	スギ	4,000	12-20	10
2.46	6,070	6	38	スギ	1,800	15-40	20
0.16	400	10	34	スギ	1,800	15-40	20
0.03	74	20+	30	クロマツ	4,000	20	10
0.53	1,300	30	34	広葉樹	400	15-30	
5.85	14,400	40	34	広葉樹	400	15-30	
0.42	1,040	50	34	広葉樹	400	15-30	

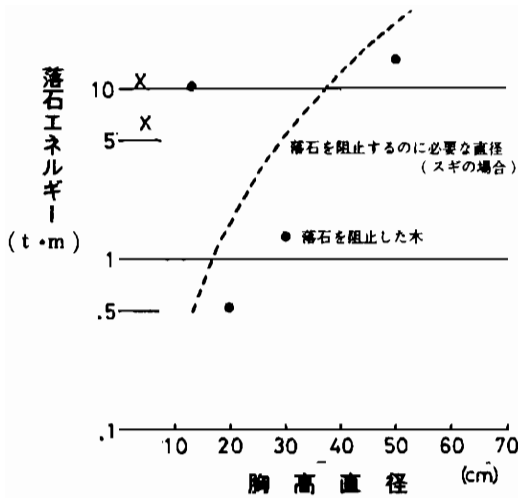


図-5 落石エネルギーと立木直径の関係

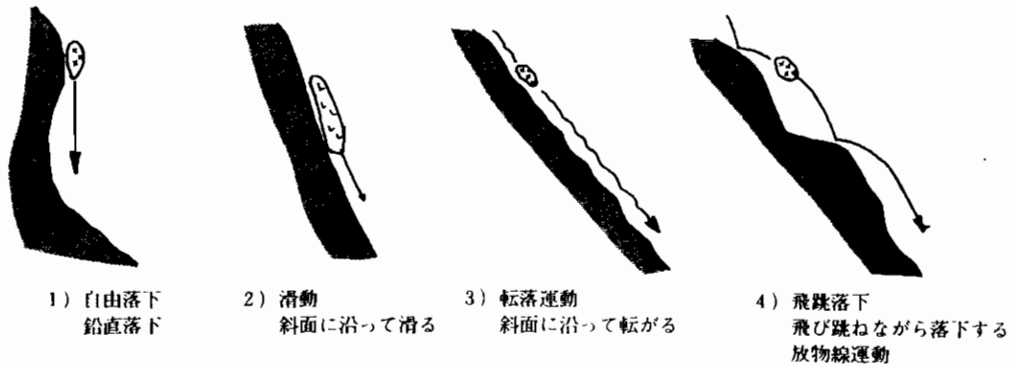
斜面の土壌条件は比較的良好であり、特に人工林の生長がよく、20年生程度で胸高直径が20 cm以上に達するが多い。

これら立木の直径と推定落石エネルギーとの関係を示すと図-5のようになる。サンプル数が少ないので詳しいことはいえないが、落石により折られた木の直径は20 cm以下であり、逆に落石を阻止した樹木は20~50 cm程度となっており、破線で示したラインがその限界と推定される。すなわち20 cm以上の樹木であれば1~10 t·m程度のエネルギーをもった石は阻止できるものといえよう。

### 落石運動の予測法

これらの落石実態をふまえて、これから将来発生する災害を予測できるかどうか問題となる。そこで、斜面にある石が動いた場合どこまで到達するか、またその際の衝撃力はどうかについて検討を行った。落石運動を予測する手法の1つとして、シミュレーションという方法がある。これはある現象についていくつかモデル化を行い、これを数式化してコンピューターなどで計算させ数値的に予測を行う方法であり、ここではその適用例について述べてみよう。

落石の運動形態は大きく分けて4つに分類される(図-6)。自由落下はオーバーハングの上の斜面から垂直に落下する運動であり、滑落は斜面にそって滑り落ちる運動、転落は斜面から転がり落ちる運動、そして飛跳は地面にぶつかった石が飛び跳ねる運動形態である。これらの運動方程式は簡単な物理公式で表わすことができ、これを図-7に示した。シミュレーションはすでにいくつかの方法が行われており、基本的には高橋、川北(1984)らの方法によった。シミュレーションのフローチャートを図-8に示す。現地の測量図を基に地形を入力し、地盤の状態別に夫々の定数を入力して行く。次にシミュレートしようとする落石の位置および重量を入力し、落石の始まりが自由落下か滑動かを判断してシミュレートを開始する。落石の軌跡計算は飛跳か転がりかを判断し、石が停止するまで軌跡の計算をループして、コンピューターのCRT画面上に図化する。各種のパラメーターは、最もよく使われている値(高速道路調査会、1976)によった。



図一6 落石の運動機構の分類

1) 自由落下

2), 3) 滑落, 転落運動

$$H = 1/2 Gt^2 \quad L = VOt + 1/2 Gt^2 (\sin \theta - \mu \cos \theta)$$

G: 重力加速度 t: 時間 H: 落下距離  
L: 転落距離  $\theta$ : 斜面の角度  $\mu$ : 等価摩擦係数 VO: 初速

4) 飛跳運動

$$Y: AX^2 + BX + C \quad A = G/2(V0^2 \cos^2 \phi) \quad B = \tan \phi - 2AX0$$

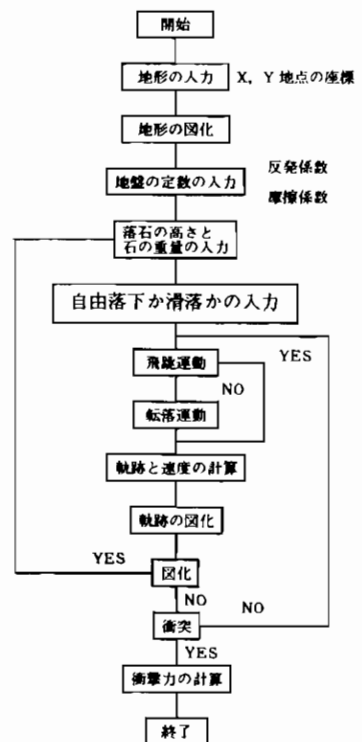
$$C = YO - X0 \tan \phi + AX0$$

X: X座標の位置 Y: Y座標の位置  $\phi$ : 放出角 X0, YO: 衝突点のX, Y座標

$$\text{衝突時 } e = V2 \cos \beta / V1 \cos \alpha \quad r = (V2/V1)^2$$

e: 反発係数 r: エネルギー比 V1: 衝突前の速度 V2: 衝突後の速度  
 $\alpha$ : 入射角  $\beta$ : 反射角

図一7 落石軌跡の計算式



図一8 シミュレーションフローチャート

## シミュレーションの結果

このシミュレーションの結果を、図-9に示す。落石の軌跡は、斜面に森林がある場合と植生のない斜面を通った場合と2通りのケースを考え、落石の運動を計算で求めた。林地を通った場合の軌跡は3~4地点にかけての崖錐地帯で停止するのに対し、裸地を通った軌跡は5で再び加速されて6の半ばで停止する。この結果と実際の落石の分布を見ると、比較的良好に適合しており、落石の運動過程を再現することが可能といえよう。また、これらの運動軌跡

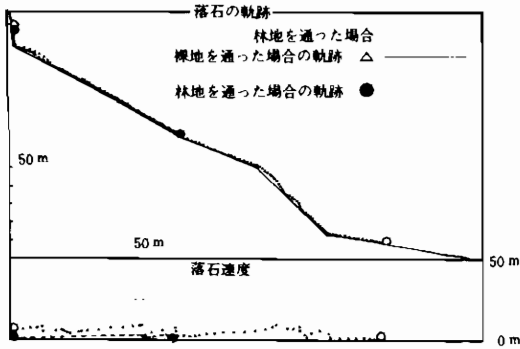


図-9 御崎地区における落石軌跡のシミュレーション

から推定される落石速度を計算すると、3および5地点前後で最大となり、地形の変換点で急速に減少する。さらに、落石速度からエネルギーを推定することができ、工作物の適正な位置や規模などを地形にあわせて決定することができる。計算結果から山腹に工作物を設ける場合、地形の変換点など衝撃力が最も小さくなる場所を造ることが効果的である。

## 落石防止林の造成法

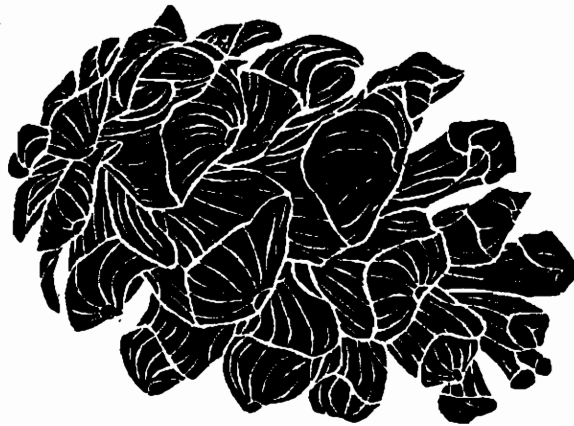
これまでの結果から落石を防ぐために効果の高い林帯の造成法については次のことが考えられる。

- 1 造成樹種としては、崖錐地帯に適しかつ生長が速く早期に効果を発揮する、スギ、トドマツ、クロマツ等が適当である。
- 2 落石運動は移動距離が増すにつれて破壊エネルギーが増大するため、落石源近くまで接近し、なおかつ高密度に植栽することが望ましい。
- 3 植栽された樹木が十分効果を発揮するためには大体20年程度の時間が必要であり、それまでの期間は人工的な工作物によって保全をはかる必要がある。
- 4 3で必要とした工作物を設ける場合、落石の軌跡を予測した上で、衝撃力が最小になる場所、例えば地形の変換点などを選定する必要がある。
- 5 更新に関しては、樹木の阻止効果を維持するような伐採法、例えばある程度石がぶつかる高さで伐採するかあるいは萌芽性の低木を林床に植栽し、摩擦係数を可能なかぎり大きくするなどの方法が考えられる。

## おわりに

落石の運動は、地形や森林の有無によって大きな違いが見られ、こうした現地の条件を細かく入力し視覚的に解析できるという点でパソコンによる解析は有効である。また、樹木の落石阻止機能はかなり有効であり、工作物と林帯との有機的な配置により、効果の高い防止対策が可能となる。

(防災科)



キタゴヨウの球果

61年10月、移動林業試験場が、日高支庁管内の浦河町で開催された。そのおり、井寒台森林公園で、樹木の名前や森林の働き、野鳥の観察などを、参加の児童や一般の人々に話をし、地元の木ということで、ヒダカゴヨウ(キタゴヨウ)を記念植樹した。そのときのテキストに、このマツを説明し、スケッチを添えた。その後、版画にしてみた。(斎藤新一郎)