

斜面条件を考慮した落石速度の推定法

(株) 第一コンサルタンツ 正会員 ○ 明坂宣行
正会員 右城 猛

1. はじめに

落石防護工の設計の実務では、速度残存係数もしくは等価摩擦係数を用いて落石の速度を推定しているが、落石対策便覧等においても既往の落石実験から得られたデータを参考値として提示するに留まっているのが実状である。

これまでに、斜面を落下する落石の運動形態を解明する目的で、現場落石実験が実施されている。さらに、著者らは、著者らが直接あるいは間接的に関わった落石災害調査事例から、斜面上に残された痕跡をもとに落石の運動機構を解明し、落石の速度及び運動定数を逆解析によって求めた。

本論文はこれらの結果を踏まえ、落石速度の推定法について実用的計算式を提案するとともに、計算に用いる運動定数について示す。

2. 落石速度と速度残存係数

速度残存係数とは、斜面を落下する落石の速度と自由落下速度との比であり、(1)式で定義される。

$$\alpha_v = \frac{V}{\sqrt{2gH}} \quad (1)$$

ここに、 α_v は速度残存係数、 V は落石の速度(m/s)、 g は重力加速度(9.8m/s²)、 H は落下高さ(m)である。

3. 現場落石実験から求められる速度残存係数

現場落石実験より得られた落石の速度から(1)式によって速度残存係数を求めた。なお、数値データが入手できなかったものについては、落下高と速度の関係を表したグラフから読みとって速度残存係数を求めた。いずれの実験データも概ね正規分布とみることができた。しかし、得られた速度残存係数は非常にばらつきが大きいことが解った。

つぎにデータ数が比較的多い藺原 A、藺原 B、高松、広島での各実験について、落下高さと速度残存係数の関係を調べた。いずれの実験においても落下高さが増加するにしたがって速度残存係数は減少す

る傾向が見られた。このことは、落石の速度は、落下高が大きくなれば、ある速度に収束することを意味する。この原因としては、斜面の抵抗が速度に比例して増加すること、落下高が大きくなると跳躍運動が卓越し、斜面に衝突した際のエネルギー損失が大きくなるためと考えられる。

落石の形状と大きさが速度残存係数に及ぼす影響を調べた。その結果、最大値は落石の形状や大きさによって大きなばらつきを示すが、平均値はほとんど変わらないことが解った。

図-1 は、斜面の地質が速度残存係数に及ぼす影響を調べるため、岩盤斜面と崖錐斜面に区分してヒストグラムを描いたものである。岩盤斜面には神戸、藺原 A、高松、鳴門の実験データを、崖錐斜面には、雷電岬、岩殿、浅利、藺原 B、愛岐、広島の実験データを使用した。岩盤斜面の速度残存係数は平均値が 0.73、標準偏差が 0.176 である。これに対して、崖錐斜面は平均値が 0.60、標準偏差が 0.153 である。岩盤斜面と崖錐斜面では明らかに異なり、速度残存係数の平均値、標準偏差とも岩盤斜面が大きな値を示している。

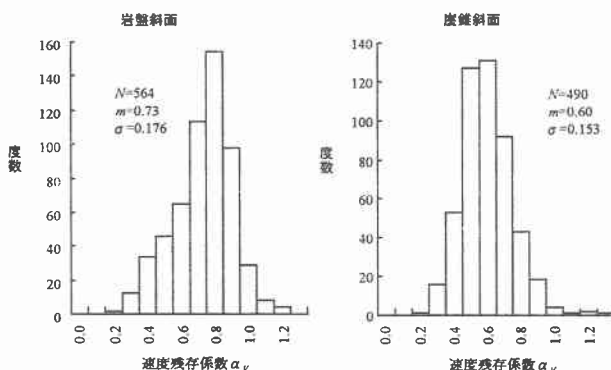


図-1 斜面の地質と速度残存係数

図-2 は、斜面傾斜角と速度残存係数の関係を求めたものである。この図の作成においては落石災害発生斜面の調査データも使用した。斜面傾斜角の正接と速度残存係数の相関性はかなり高いといえる。

図-2 で現場落石実験データと落石災害斜面での調査データを比較すると、岩盤斜面については両者の

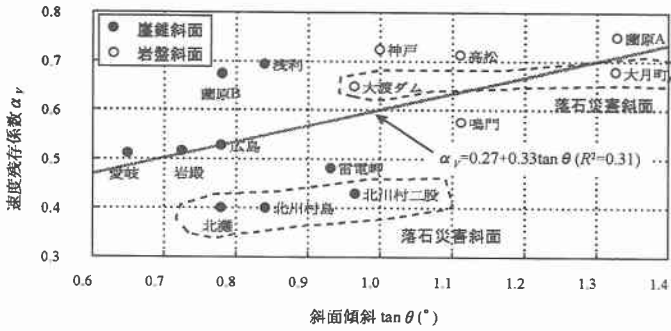


図-2 斜面の傾斜角と平均速度残存係数の関係

データに有意な差は認められない。しかし、崖錐斜面については、現場落石実験よりも25%程度落石災害斜面から得られたデータが小さい。これは斜面上の立木の影響と考えられる。

4. 速度残存係数の合理的な推定法

これまでに斜面上を落下する落石の速度は、斜面勾配、地質、植生の影響を受けることが明らかになった。ただし、斜面の地質は斜面勾配45度付近を境にして崖錐と岩盤に区分される。したがって、速度残存係数を決めるパラメーターに斜面勾配 θ を採用すれば、この中に地質の影響を包含していると考えてよい。すなわち、斜面勾配 θ と植生状況がわかれば落石の速度残存係数を推定することができる。

(2)式は既往の現場落石実験データから得られた速度残存係数の平均値より線形回帰式を求め、これを立木によるエネルギー散逸とデータのばらつきの影響を考慮し補正したものである。

$$\alpha_v = (0.27 + 0.33 \tan \theta) K_1 + 0.15 K_2 \leq 1.0 \quad (2)$$

ここに、 θ は斜面の平均傾斜角、 K_1 は立木による抵抗係数、 K_2 は速度残存係数の信頼度係数である。 K_1 の値は斜面の立木の状況に応じて1.0～0.75の範囲で考えればよいと思われる。落石災害を生じた斜面の調査によれば、広葉樹のある崖錐斜面は0.75、樹木の少ない岩盤斜面は1.0であった。 K_2 は信頼区間を表す係数であり、信頼度を95%とすれば $K_2=1.96$ 、

80%とすれば1.28となる。 $K_2=0$ とあれば落石実験の平均値が与えられる。

斜面上に立木がある場合及びない場合のそれぞれ95%信頼値と平均値を(2)式によって計算すると図-3のようになる。ただし、立木がある場合の K_1 は0.75として計算してある。

図中の落石対策便覧掲載値とは、実験データを概ね包含する速度残存係数を実験者が主観的判断によって決定した値であり、統計分析によって得られたものではない。

提案式で求められる値は、落石災害斜面の調査から得られた速度残存係数と極めてよく一致している。

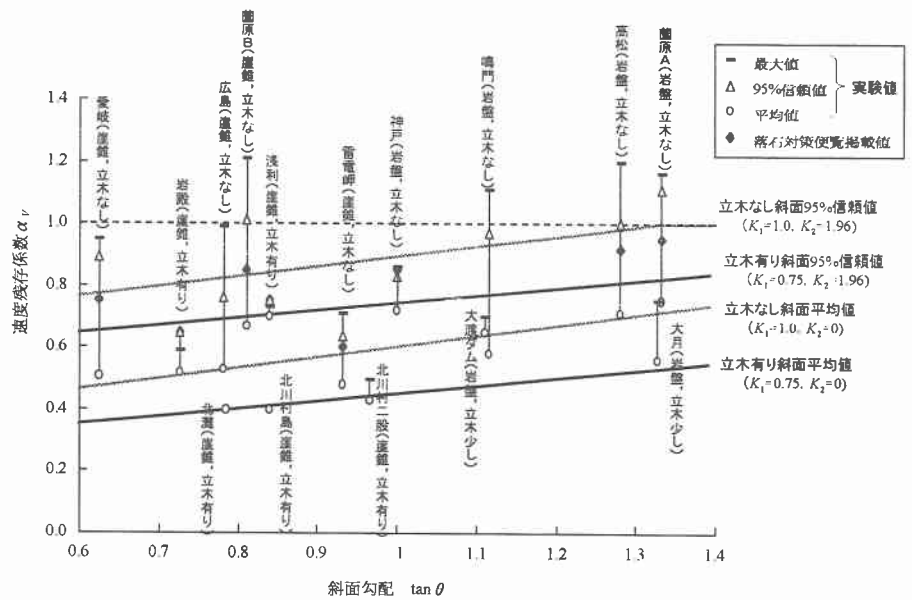


図-3 速度残存係数に関する提案式と実験データの比較

5. まとめ

速度残存係数を合理的に推定する方法として、斜面勾配と立木抵抗係数を変数とする線形回帰式を提案した。そして、現場落石実験および落石災害斜面調査データより求められる速度残存係数と比較検討したところ、工学的に十分な精度で速度残存係数を推定することが可能であるという結論に達した。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 落石対策便覧, 1983年7月
- 2) 日本道路公団東京支社・特建設企画コンサルト: 落石実験調査報告書, 1973年11月
- 3) 建設省土木研究所・特建設企画コンサルト: 落石の跳躍量に関する現場実験報告書, 1980年10月
- 4) 神戸製鋼所: 落石防止柵現地実験報告(概要) 1966年10月
- 5) 高速道路調査会: 落石防護施設の設置に関する調査研究報告書, 1974年2月
- 6) 日本道路公団名古屋管理局・特建設企画コンサルト: 愛岐落石防止柵耐衝撃力測定実験報告書, 1973年9月～11月