

現場観察から得られた反発係数と速度エネルギー比の基礎的特性に関する研究

明治コンサルタント(株) 正会員 島内哲哉 酒井直樹
 京都大学 大学院 正会員 大西有三 西山哲

1. はじめに

近年、既設落石対策工の機能や施工時安全対策などの評価を目的とした、落石シミュレーションの適用機会が増えている。シミュレーションでは、速度残存係数、等価摩擦係数や粘性係数といった斜面全体に関する特性以外にも、反発係数や速度エネルギー比、摩擦係数といった、個々の衝突箇所での状況に関わる特性値が必要となる。しかしながら、前者については指針もあるが¹⁾、後者に関しては報告も少なく、適用する際の留意点などもよくわかっていない。ここでは、採石場や危険岩塊除去時の観察結果を基に、これらの特性値に関する基礎的特性について述べる。

2. 観察現場と反発係数、速度エネルギー比

図-1 は、本報告で扱う反発係数、速度エネルギー比に関する定義を示したものである。ただし、現場観察から得られるこれらの係数には、個々の衝突箇所の斜面状況や落石の規模や形状などの影響が含まれている。

図-2 は、筆者等がこれまで観察を行った斜面の代表断面形状である²⁾。図中の矢印と記号は、それぞれの斜面での代表的な跳躍位置(計測地点)を示す。(c)現場が採石場である他は、いずれも危険岩塊の除去現場である。特徴的なのは、落下斜面がほぼ一樣な傾斜の(c)現場と、経路途中に大きな地形変換点を持つその他の斜面とに分かれることである。このため(c)現場の入射角は斜面全体でそれほど変化しないが、その他の現場では、例えば b1, d1 から b2, d2 へと入射角が小さい場所から大きい場所へと変化する。

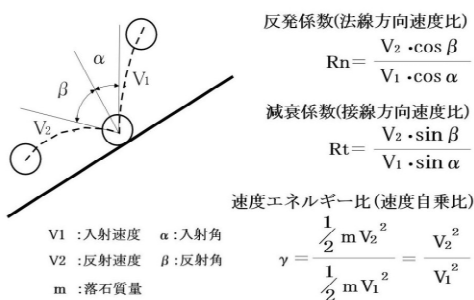


図-1 反発係数と速度エネルギー比

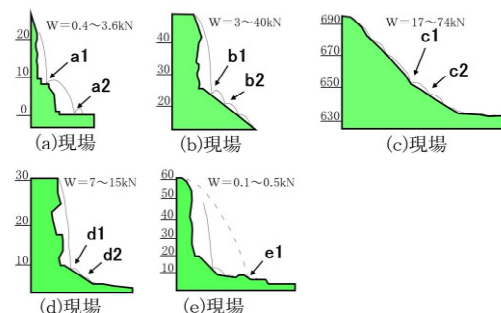


図-2 観察現場の代表断面形状と計測箇所

3. 落石の形状や衝突角度の違いが反発係数と速度エネルギー比に与える影響

表-1 観察現場から得られた計測値

		入射速度 (m/s)	入射角度 (°)	Rn	Rt	γ
(a)現場	a1	15.9(16.6)	10.0	0.21±0.05	0.86±0.16	0.11±0.01
	a2	15.9(15.4)	14.5	0.39±0.14	0.61±0.26	0.18±0.11
(b)現場	b1	22.4(16.3)	43.2	0.26±0.11	0.44±0.20	0.11±0.03
	b2	9.7(4.3)	61.8	0.61±0.26	0.73±0.14	0.50±0.26
(c)現場	c1	19.3(7.0)	75.0	0.69±0.24	0.60±0.24	0.42±0.32
	c2	18.2(4.6)	68.9	0.38±0.24	0.92±0.11	0.80±0.15
(d)現場	d1	16.6(14.5)	28.0	0.23±0.10	0.56±0.29	0.14±0.14
	d2	7.2(3.1)	64.0	0.96±0.48	0.55±0.19	0.40±0.16
(e)現場	e1	26.2(21.6)	50.3	0.30±0.09	0.30±0.13	0.10±0.07

表-1 は、図-2 の現場での観察結果のうち、形状が確認できた落石の計測データである。図-3、図-4 には、これらの反発係数(Rn)、減衰係数(Rt)と速度エネルギー比()を、各観察箇所別に平均値でプロットした(E 現場を除く)。各斜面における、計測地点での値を矢印で示し、どのように変化したかを示している。また、同図中には、文献 1)を基に、既往の現場落石実験データ(藪原 AB)についてもプロットしている。この斜面形状は(c)現場とほぼ同様であり、高速度カメラを用いて落下開始点から終点までの間を精細に観察

し、5 ~ 6 回にわたる跳躍時の挙動を計測している。図中には斜面の上から計測値を順番に矢印(点線)で追って示した(文献 1, 点線枠中)。この結果からもわかるように、一つの斜面中で入射角度や速度に大きな変

キーワード：反発係数、速度エネルギー比、落石シミュレーション

連絡先：〒 333-0801 埼玉県川口市東川口 1-22-4 明治コンサルタント(株)技術統括部東川口分室

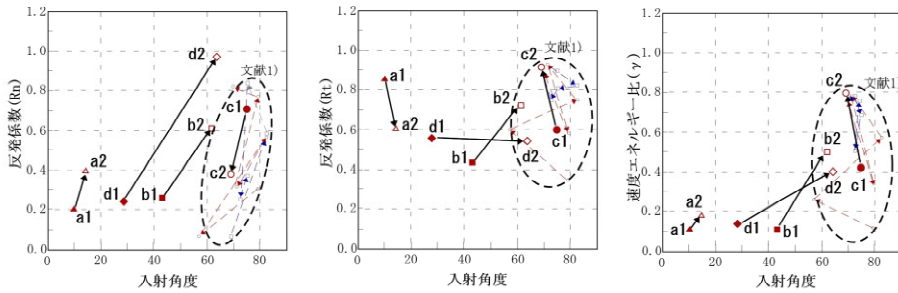


図-3 入射角度に違いによる反発係数と速度エネルギー比の変化

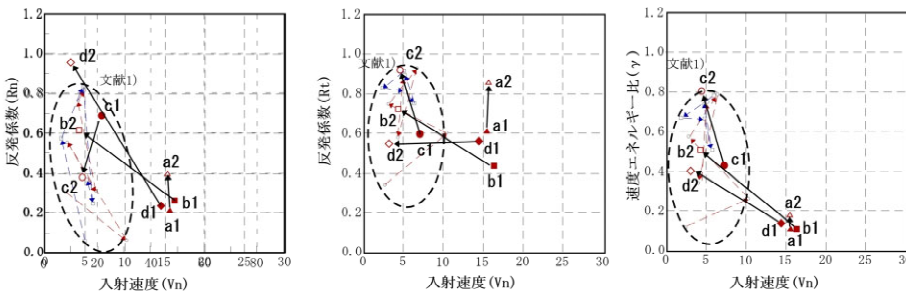


図-4 入射速度に違いによる反発係数と速度エネルギー比の変化

化がなくても、 R_n 、 R_t は大きな範囲を持つ。観察現場のデータも平均値でプロットしたためバラツキは表現されていないが、個々のデータをすべてプロットすると現場毎に大きくバラツキ、なかには 1.0 を超えるものもある。しかし、それでも (b) (d) 現場のように、1 回目と 2 回目とで入射角度が 20 度以上も異なるケースではその違いは比較的明瞭で、入射角が大きくなると、 R_n の値は高い方へとシフトする。この違いは入射速度の違いにも表れている。

一方、このようなバラツキの原因には、衝突斜面の形状や性質、落石の規模や形状などが複雑に影響している。(d)現場は、斜面途中に地形の変化点を持つため、入射角度が d_1 と d_2 で約 30 度近く異なる。現在までの観察結果(15 例)では、 d_2 地点で半分近くの R_n, R_t が 1.0 を超える結果となっている。(d)現場の特徴は、この他にも扁平な岩塊の割合が他現場に比べてに多いことである。図-6 は、この点に着目して塊状と板状の挙動の違いを、長短比で区別して d_1 から d_2 への変化を個々に追跡したものである。計測個数が少なく、落石規模も 7 ~ 15kN と限定されているなどの問題もあるが、塊状岩塊では入射角度の違いによる変化がある分布範囲の移動として表れるのに対し、板状の場合には塊状岩塊の分布範囲から大きく逸脱するものが多く、また、 R_n のバラツキは、いずれも塊状岩塊の移動範囲より上側にズレるという傾向があることがわかる。岩塊規模や落下地点の性状が同じであることを考えると、この影響は落石の形状と衝突状態によるものが大きいものと考えられる。

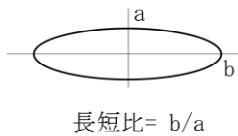


図-5 落石形状の長短比

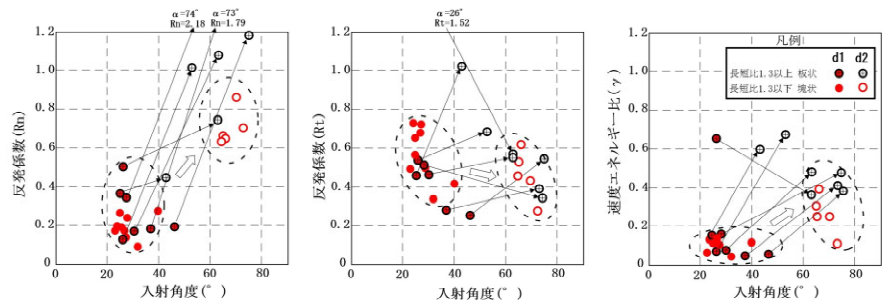


図-6 (d)現場 d_1 から d_2 への R_n, R_t の変化

4. 今後の課題

5 箇所の現場での実験結果を基に、反発係数や速度エネルギーは一つの斜面中でも大きくばらつくこと、その影響は、斜面全体でみると入射角度の影響が大きく、個々の衝突箇所では落石の扁平性の影響が大きいことを述べた。今後、さらにデータの収集と解析を重ねるとともに、これらの再現実験を通じて適切な入力方法についても検討を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧に関する参考資料，2002.
- 2) 島内哲哉，酒井直樹，大西有三：衝突角度の違いが落石解析結果に与える影響，第 33 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，337-342，2004.