

落石の反発係数と摩擦係数に関する基礎実験

FUNDAMENTAL TEST ON RESTITUTION COEFFICIENT AND FRICTIONAL COEFFICIENT OF ROCK FALL

上條明洋*, 音田 奨**, 榎谷 浩***, 田中志人****

Akihiro KAMIJO, Susumu ONDA, Hiroshi MASUYA and Yukihiro TANAKA

- * 日本サミコン株式会社 北陸支店 (〒920-8002 金沢市玉鉾5-12)
- ** 日本サミコン株式会社 技術部 (〒950-0925 新潟市弁天橋通1-8-23)
- *** 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)
- **** 石川県輪島土木事務所 道路建設課 (〒928-0001 輪島市河井町22部1-1)

キーワード : 落石, シミュレーション, 反発係数, 摩擦係数
(Rock fall, Simulation, Restitution coefficient, Frictional coefficient)

1. はじめに

近年, 山間地や段丘崖近傍の道路および道路に隣接した山斜面の多くに, 落石対策工が整備されつつある。この落石対策工は, 山斜面の落石発生源での対策である予防工と, 道路際あるいは道路上の落石到達地点での対策である防護工に大別されるが, これら工法の選択, 対策区間は, 現地調査や過去の事例を基にした技術者の経験的予測により決定されているのが現状である。

一方, 近年の電子計算機技術の著しい発展に伴い, 落石の運動形態(斜面上での軌跡と速度)をコンピュータ上で再現する落石シミュレーションの開発, 研究が進められてきている。

各種の落石シミュレーションでは, より実現象に近いシミュレートを課題とし, 開発機関独自のパラメータを導入しているが, 落石と地盤の反発係数と摩擦係数はいずれの手法にも共通して用いられているパラメータである。

しかしながら, 反発係数と摩擦係数は地盤条件によって異なる値になると考えられ, 多種多様な自然斜面ごとにその値を正確に示すことは困難である。

本報告は, 落石シミュレーションのパラメータである反発係数と摩擦係数の参考値を得ることを目的とした, 基礎的実験に関するものである。

2. 実験供試体

実験供試体として使用した岩は, 表1に示すように形状および質量の異なる3種類とした。岩質はいずれも花崗岩である。写真1に使用した岩を示す。

表1 岩の形状と質量

岩のサイズ	形状	質量 (kg)
1	長方形型	219
2	長方形型	433
3	球型	800

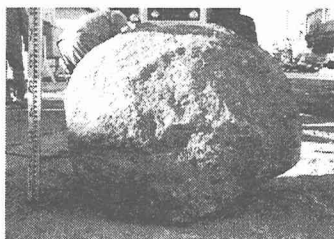
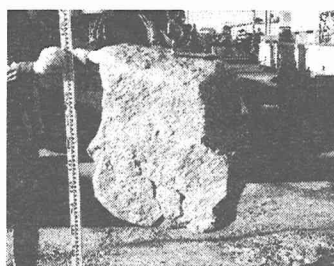


写真1 岩の形状(上:長方形型, 下:球型)

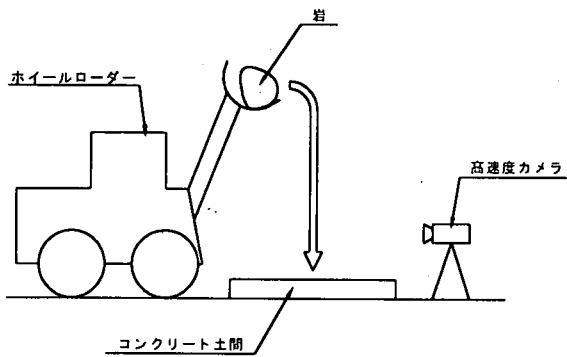


図1 反発係数実験概要図

表2 コンクリート土間の特性

圧縮強度	ヤング係数
46 N/mm ²	3.22 × 10 ⁵ N/mm ²

3. 反発係数実験

図1に実験概要を示す。

実験は、長さ3600mm、幅3600mm、厚さ400mmのコンクリート土間上に、ホイールローダにより岩を落下させるものとし、その落下高さからコンクリート土間に衝突後の跳ね返り高さより反発係数を求めた。

岩は、長方形型（質量219kg）と球型（質量800kg）の2種類を使用し、落下高さは0.5m～3.0mとした。なお、岩のコンクリート土間に衝突後の跳ね返り高さは高速カメラで撮影した映像から求めた。

表2に、シュミットテストハンマーで測定したコンクリート土間の特性を示す。表3に、実験結果を示す。図2は、表3に示した反発係数と落下高さの関係をプロットしたものである。

なお、反発係数 e は次式より算出した。

$$\text{反発係数 } e = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\sqrt{2gh_2}}{\sqrt{2gh_1}} \quad (1)$$

ここで、 V_1 : 衝突前の岩の速度

V_2 : 衝突後の岩の速度

h_1 : 落下高さ

h_2 : 衝突後の跳ね返り高さ

g : 重力加速度

表3 反発係数実験結果一覧

	岩形状	落下高 (m)	跳返高 (m)	反発係数
CASE 1	長方形型 (219kg)	0.50	—	—
CASE 2		1.00	0.040	0.20
CASE 3		2.00	0.230	0.34
CASE 4		2.50	0.025	0.10
CASE 5		3.00	0.025	0.09
CASE 6	球型 (800kg)	0.50	0.005	0.10
CASE 7		1.00	0.010	0.10
CASE 8		1.50	0.010	0.08
CASE 9		2.00	0.015	0.09
CASE 10		2.50	—	—
CASE 11		3.00	0.020	0.08
平均値	長方形型			0.18
	球型			0.09
	全体			0.14

※表中の「—」は映像から跳ね返り高さが測定できなかったケースである

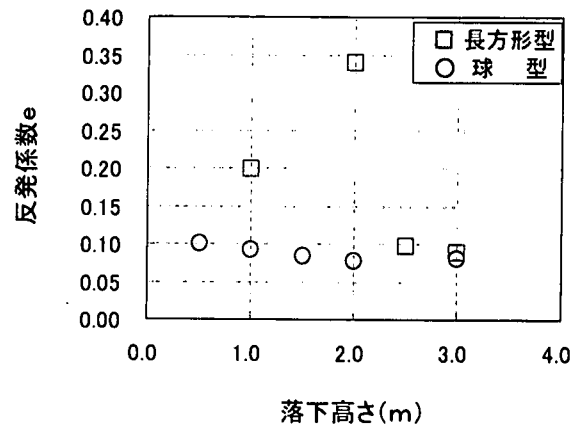


図2 反発係数実験結果

コンクリート土間に衝突した岩は、形状、落下高さに関わらずほとんどのケースで回転を伴って水平方向に飛び出す状況を示した。これは、岩の重心が衝突部分の延長上になかった事や、岩の表面とコンクリート土間の凹凸が原因と考えられた。

一方、他のケースに比べて大きな反発係数が得られたCASE3については、衝突後の岩の回転が比較的少ないことが確認された。従って、表3の反発係数のばらつきは、岩の衝突後の運動形態（回転の有無）による影響が大きいと考えられ、岩の形状、落下高さによる反発係数の傾向は確認できなかった。

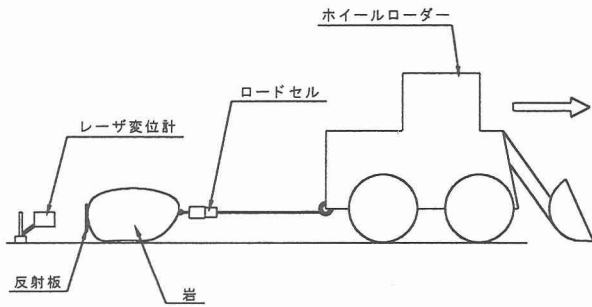


図3 摩擦実験概要図

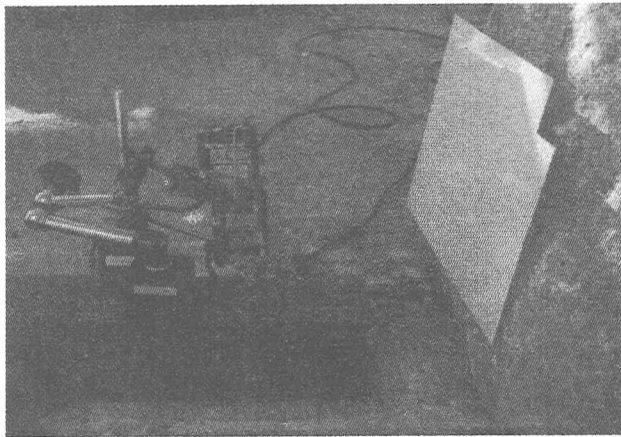


写真2 移動量の測定（レーザ変位計）

4. 摩擦係数実験

図3に実験概要を示す。

実験は、コンクリート、砂利、土の3種類の地盤上で長方形型の岩（質量433kg）をホイールローダーにより移動させることとし、そのときの引張荷重と移動距離より、摩擦係数を求めた。なお、引張荷重はワイヤーロープに取り付けたロードセルにより、移動距離はレーザ変位計により求めた。

写真2に移動距離の測定状況を示す。

表4に実験結果を示す。表中の最大摩擦係数は、実験データの最大荷重 P_{max} より、最小摩擦係数は、最小荷重 P_{min} より、平均摩擦係数は、荷重-移動量曲線の積分より求めた平均荷重 P_a より算出した。

また、表4に示す実験結果は、各地盤ごとに行った実験回数の平均値である。

図4、図5、図6は、それぞれコンクリート、砂利、土地盤上での実験データ例である。

コンクリート地盤の波形は、地盤の凹凸と岩のかみ合わせにより急激に荷重が増加した後、岩の移動と同時に荷重が減少する傾向を示した。一方、砂利地盤の波形は、コンクリート地盤に比べて荷重の増

表4 摩擦実験結果

地盤条件	実験回数	最大摩擦係数	最小摩擦係数	平均摩擦係数
コンクリート	5	0.90	0.30	0.59
砂利	5	1.03	0.25	0.68
土	4	1.29	0.29	0.90

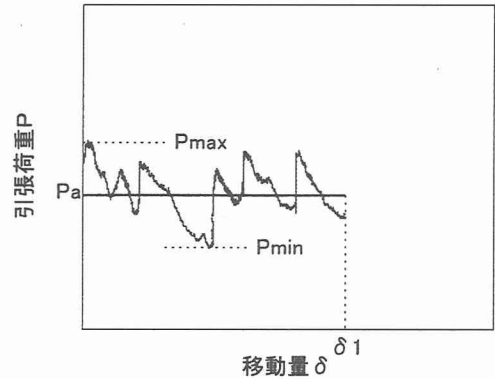


図4 コンクリート地盤の実験データ例

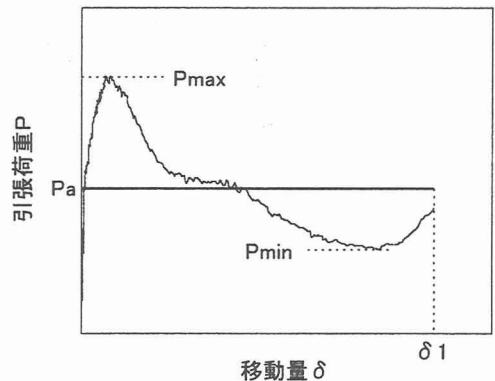


図5 砂利地盤の実験データ例

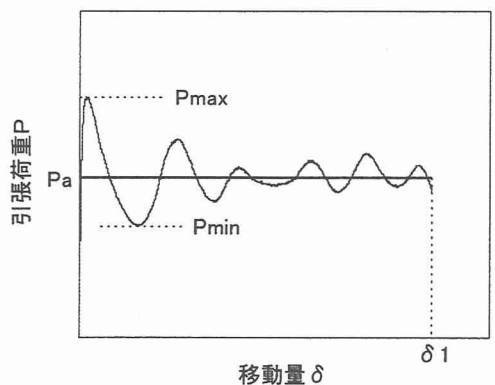


図6 土地盤の実験データ例

加が緩やかになり、1回の荷重の減少で大きく移動する傾向を示した。また、土地盤の波形は、岩の移動に伴い、荷重の増加と減少が繰り返される傾向を示した。



写真3 実験状況1 (反発係数実験)



写真5 実験状況3 (摩擦係数実験)

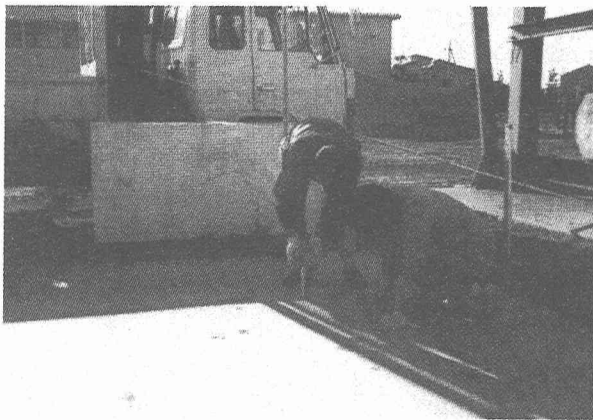


写真4 実験状況2 (コンクリート土間の測定)

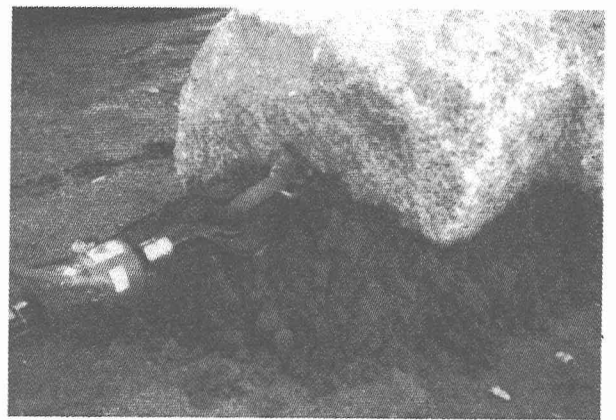


写真6 実験状況4 (摩擦係数実験)

5. まとめ

本実験は、現在、開発・研究が進められている各種の落石シミュレーションにおいて、共通なパラメータとして用いられている反発係数および摩擦係数の参考値を得るために実物の岩で行った基礎的実験であった。

反発係数実験では、全11ケースの実験値に、コンクリート土間に衝突後の岩の回転運動が原因と考えられる不規則なばらつきがあり、岩の形状、落下高さによる反発係数の傾向は確認できなかった。しかしながら、反発係数として取り得るおおよその参考値を得ることができた。

摩擦係数実験では、コンクリート、砂利、土の3種類の地盤における摩擦係数の参考値を得ることができた。

本実験で得られた反発係数および摩擦係数の値は、限られた条件の数少ないデータより求めた参考値であるため、落石シミュレーションへの適用にあ

たっては、今後の十分なデータの蓄積と検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1)日本道路協会：落石対策便覧，昭和58年7月
- 2)堤下克彦，田中志人，榎谷 浩，音田 奨：斜面上における落石挙動に関する研究，第4回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集，1998
- 3)榎谷 浩，福田尚晃，堤下克彦：斜面上の落石の運動解析手法の開発，構造工学論文集 Vol.43A，1997
- 4)右城 猛，村上哲彦：落石の飛翔高の推定，第1回落石の衝撃力およびロックシェッドの設計に関するシンポジウム論文集，1983
- 5)吉田 博，荒田久和：マイコンによる落石の飛跡のシミュレーション，第1回落石の衝撃力およびロックシェッドの設計に関するシンポジウム論文集，1983