

落石による岩盤侵食様式の検討

Experimental Study of Bedrock Erosion by Rock Fall

目代 邦康*, 池田 宏**, 飯島 英夫***, 柚洞 一央****

Kuniyasu MOKUDAI, Hiroshi IKEDA, Hideo IJIMA and Kazuhiro YUHORA

キーワード：落石，侵食，跳動，循環水路，乾燥岩屑流

Key words：rock fall, erosion, saltation, re-circulating flume, dry fragment flow

I. はじめに

山地斜面の変化過程において、重力による物質移動（マスマーブメント）の寄与は大きい。重力により岩盤や土壌、岩屑が変形・移動して地形が変化し、さらにその移動に伴って移動体と非移動体の境界で侵食が発生する。マスマーブメントの発生、移動、堆積プロセスについては多くの研究があり、体系化が試みられている（例えば、Varnes, 1978; Dikau et al., 1996；日本地すべり学会地すべりに関する地形地質用語委員会, 2004）。しかし、マスマーブメントによる侵食作用の研究は、土石流の研究例（例えば、Beger et al., 2011）を除いて、これまで十分に行われているとはいえない。

侵食作用の研究が進んでいないマスマーブメントの一つとして落石があげられる。落石とは、落ちた岩片のことか、高所から低所への岩片の落下作用とのことである。崖の自由面から剥離した岩片が、落下して地山の岩盤や堆積斜面に衝突し、その衝撃により岩盤や堆積物の破壊および移動を起こす。これが落石による侵食作用である。落石の場所が岩盤であれば、岩片はそこから跳動あるいは転動し、その移動に伴って岩盤が研磨され、その侵食が進行する。そこが堆積場であれば、斜面が不安定になるまで岩片は堆積し、やがてその堆積物は、重力により斜面下方に移動していく。岩片落下の衝撃や、地震、水分の

供給、風などの外的営力が誘因となり堆積物の移動が起こる。これまで、そのモニタリング（例えば、荏谷ほか, 2008）や、発生メカニズム（例えば、岩船, 1996；Flageollet and Weber, 1996；Matsuoka and Sakai, 1999）、運動様式のモデル化や移動範囲の推定（例えば、Azzoni et al., 1995；山本, 1996；Dorren, 2003）などの研究が行われている。落石によって生長する崖錐の研究は進んでおり、その表面では、岩片の落下・転動、乾燥岩屑流、土石流が発生していることがわかっている（町田ほか, 1975）。この内の乾燥岩屑流とは、乾燥した岩屑が粉流体として移動する様式であり（石井, 1981）、崖錐発達的主要な営力である（石井, 1988）。このように、落石現象とそれに伴う堆積作用については多くの蓄積があるが、落石が引き起こす侵食作用に関しての地形学的な研究はほとんど行われていない。

一連の系として捉えることのできる、落石発生、地表の侵食、堆積物の移動といったプロセスは、山地での崩壊に伴って、あるいはビュートなどの基部斜面（basal slope）や崖錐において発生し、それぞれの場所で、その侵食作用により地形変化を引き起こしていることが考えられる。さらに、French（2007）は、無植生の高山や極地では、この落石によるプロセスは、地形変化を引き起こす重要な斜面侵食プロセスであると述べている。

*公益財団法人自然保護助成基金／Pro Natura Foundation Japan

**公益財団法人深田地質研究所／Fukada Geological Institute, Japan

***筑波大学陸域環境研究センター／Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba, Japan

****室戸ジオパーク推進協議会／Muroto Geopark Promotion Committee, Japan

日本の山地の稜線付近には周水河作用によって形成されたと考えられている平滑斜面と呼ばれる斜面が広がっているが、これまで、この斜面の形成プロセスについて、ほとんど議論がなされていない(小泉, 1992)。わずかに、柳町・小泉(1988)が、木曾山脈において、斜面の平滑性は、基盤構造によるものではなく、表面の削剥により形成されたものであることを示している。欧米では、高山、極地でみられる直線的な形状を持つ斜面は、その最初の記載者(Richter, 1900)にちなみ、リヒター削剥斜面(Richter denudation slope)と呼ばれ(Young, 1972; Selby, 1993; French, 2007)、落石による岩盤の侵食が長期的に進んでいる場所と考えられている。南極(Iwata, 1987)をはじめ、世界各地で報告されている。これらの斜面が同様なものであるか否か議論を深めていくためにも、落石による侵食の様式と量を評価することは重要である。これまでの研究の空白を埋め、特に山稜上部の山地斜面の形状の理解を進めることになる。

山地斜面での落石による斜面の侵食に関するより詳細な議論は、現地での観察や観測が必要である。しかし、実際には落石が発生する瞬間を観察することは難しく、さらに低強度のプロセスのため、継続的な地形変化を記録することも困難である。このような斜面形成メカニズムの理解には、実験地形学的手法は有効である。急傾斜の斜面において、落石がどのように落下、移動し、どの程度の侵食作用が発生するか、実験の結果を比較することにより現象の理解が深まるだろう。以上のような問題意識を持って、本研究では長さ6mの傾斜可変砂礫循環装置を作成し、模擬岩盤上に礫を落下させ、その侵食量を計測する実験を行った。その結果に基づき、落石による岩盤斜面侵食プロセスについて考察した。

II. 実験方法

1. 実験装置

落石による岩盤の侵食は、礫が落下による衝突と、その後の移動で起こる。この過程を再現するため、ベルトコンベアと模擬岩盤を敷いた樋を組み合わせて、循環式的実験装置を作成した(図1)。礫は樋上部に落下し、樋内の模擬岩盤を侵食しながら下方に移動する。樋の下端で回収された礫は、ベ

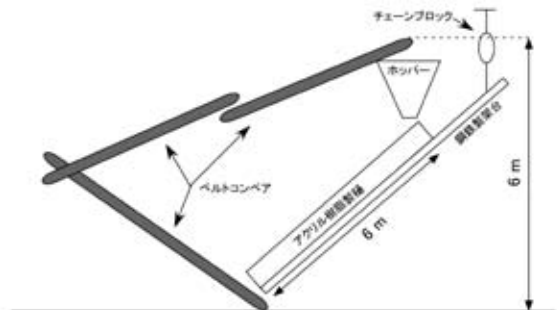


図1 実験装置の概観

ルトコンベアによって再び樋上端から供給される。

樋は幅20 cm、深さ30 cm、長さ600 cmの天板部が開放されたアクリル樹脂製である。これを鋼鉄製の架台に載せ、単管パイプで組んだ槽からチェンブロックで吊るして傾斜可変とした。実験の際には、樋が不安定にならないよう、チェンブロックで傾斜を調整した後に、槽のパイプに樋の荷重がかかるよう単管パイプを補っている。そのため、実験中に落石によって樋が動いてしまうことはない。樋の上部にはホッパーを設け、定量の礫を連続的に供給できるようにした。礫が樋の中を跳動するとき、樋の外に飛びでてしまうことを防ぐため、塩化ビニル製波板を半円状にして樋を覆った。模擬岩盤の侵食量を計測するときに、礫の重量も計測し、礫の損失分は計測時に補充した。この実験装置を礫が一周するのに要する時間は55秒である。樋は半透明であるため、礫の移動様式は実験中に側部から観察可能である。

2. 実験材料

模擬岩盤には、建築用空洞コンクリートブロックA種、いわゆる軽量ブロックを用いた。このブロックは、長辺39 cm、短辺19 cm、厚さ15 cm(JIS規格A5406)の大きさで、圧縮強度は 392 N/cm^2 である。これを模擬岩盤としたのは、

表1 実験に用いた礫の緒元

平均粒径 (mm)	下限の篩 (mm)	上限の篩 (mm)	平均重量 (g)	扁平度*
5.1	4	6.4	12	2.56
9.4	8	11	96	2.29
18.8	16	22	796	1.95
38.0	32	45	5810	1.89

*Wentworthの扁平度: $(a+b)/2c$

a:長径, b:中径, c:短径

表2 実験の緒元と求められた侵食効率

	投入した礫 Q (kg)	樋の角度 S (°)	礫の直径 d (mm)	侵食効率 E
Case 1				
Run 1	60	37	5.1	0.17
Run 2	60	37	9.4	1.04
Run 3	60	37	18.8	1.84
Run 4	60	37	38.0	2.69
Case 2				
Run 5	15	32	18.8	2.49
Run 6	30	32	18.8	2.28
Run 7	60	32	18.8	2.23
Run 8	80	32	18.8	1.99
Run 9	120	32	18.8	1.77
Run 10	240	32	18.8	1.29
Case3				
Run 11	60	27	18.8	2.48
Run 12	60	45	18.8	1.45

Case 3の32° と37° のデータは、それぞれRun7, Run3のデータを用いた。

規格品であるためほぼ一様の密度と強度を持ち、安価であるためである。このブロックを前述の樋に15枚敷いた。模擬岩盤は、樋下端の堰により支持され、樋には直接固定されていない。

実験に用いた礫は、泥岩起源の変成岩（筑波変成岩類）の碎石である。碎石を大小2種類の篩で篩い分けし粒径を揃えた。礫の形態は角礫から亜角礫である。そこから200個をランダムにサンプリングし、長径、中径、短径、重量を計測した。平均粒径 d は三軸の相乗平均を求めた。それぞれの礫の緒元を表1に記す。

3. 実験条件

実験の緒元を表2に示す。具体的には、以下の3通りである。Case 1では粒径 (d) の効果を調べた。礫の総量 (Q) を60 kg, 樋の傾斜 (S) を37° とし、表1に示した4種類の異なる粒径の礫を循環させた (Run 1 ~ Run 4)。Case 2では単

位時間あたりの落石量、すなわち落石密度の効果を調べた。 S は32°, d は18.8 mmである。 Q を15 kg, 30 kg, 60 kg, 80 kg, 120 kg, 240 kgとして礫を循環させた (Run 5 ~ Run 10)。実験装置内を1周に要する時間で Q を除した値を、単位時間あたりの落石量すなわち落石密度 (Q/t) とした。単位は kg/s である。Case 3では S の効果を調べた。 d は18.8 mm, Q は60 kgである。 S は、27°, 32°, 37°, 45° とした。Case 3の32° と37° のデータは、それぞれ条件が同じRun 7, Run 3のデータを用いた。実験は、27° と45° の条件で行った (Run 11, Run 12)。

実験の手順は、以下の通りである。新しい模擬岩盤を樋に設置し180分間礫を循環させる。その後、模擬岩盤を取り出し、模擬岩盤と礫を秤量する。ベルトコンベアと樋との継ぎ目で礫が跳動して樋から飛び出すか、あるいは、礫の角が実験により摩耗し削れたものが粉となり風により飛ばされるので、礫の減少分を重量計測時に補した。これを計3回計540分実施し、1 Run とした。

実験は、夏期に屋外において実施した。いずれも晴天の日である。樋内部と、礫と模擬岩盤は乾燥した状態である。

4. 侵食量の評価の方法

ブロック毎の侵食量を計測すると、図2に見られるように、上流から3.5 m (上流から9つまでのブロック) までは、下方に行くに従って侵食量が増大している。実験中に樋の中での礫の跳動の仕方を観察すると、この上流部では落下した礫が

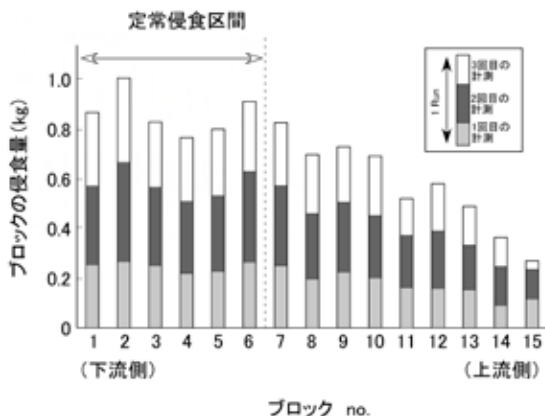


図2 ブロックの侵食量から判断した定常侵食区間

樋の側壁に衝突し、必ずしも下方に跳動していない。これは、いずれのRunでも同様の傾向であった。そのため、上流から3.5 mまでは、侵食量の評価からは除き、その下方の6つのブロック(2.3 m)の侵食量から侵食効率を求めることとした。1回のRunにおける、3回それぞれの計測結果を見ると、その値には多少のバラツキがあった。しかし、いずれの結果でも、樋上端付近では侵食量は少なく、全体の傾向は一致していた。そのため、本論の議論では、各計測時のばらつきは無視し、3回の計測の合計値を元に議論をすすめる。

傾斜や礫の投入量が異なる実験条件により得られた侵食量を比較評価するため、単位距離あたりの礫の通過量に対する侵食量の割合を侵食効率(E)として定義した。 E は、単位距離(1 m)あたりの模擬岩盤の侵食量(模擬岩盤の実験前重量-実験後重量)の平均値 D_{ave} を、樋に供給される礫の全重量 M_{all} と樋の傾斜 θ の正弦の積で除したものである。次章で述べるように、礫の重量に対して岩盤侵食の重量は 10^{-5} のオーダーであった。本稿では、数字の取り扱いを簡便にするため、計算で求められた値を105倍し、それを侵食効率とした。以上まとめると次の式で示される。

$$E = D_{ave} \cdot 10^5 / (M_{all} \cdot \sin \theta) \quad \dots (1)$$

III. 実験結果

Case 2の最も多い礫を投入したRun 10以外では、礫が樋の中を跳動し、模擬岩盤が侵食された。投入した礫の重量に対しての模擬岩盤が侵食された重量の割合は 10^{-5} のオーダーであった(表2)。

以下、それぞれのケースについて、実験結果を示す。

1. 粒径(d)の効果

Case 1の粒径の効果を図3に示す。横軸は平均粒径、縦軸は侵食効率である。礫の粒径が大きくなれば、質量が大きくなり、それぞれの礫の運動エネルギーは大きくなる。このケースでは、礫の重量は60 kgで一定としているため、礫の粒径が大きくなれば、礫の個数は減り、そのため模擬岩盤への衝突の回数は減少する。全体的な傾向として、侵食効率があがっているため、礫の個数が

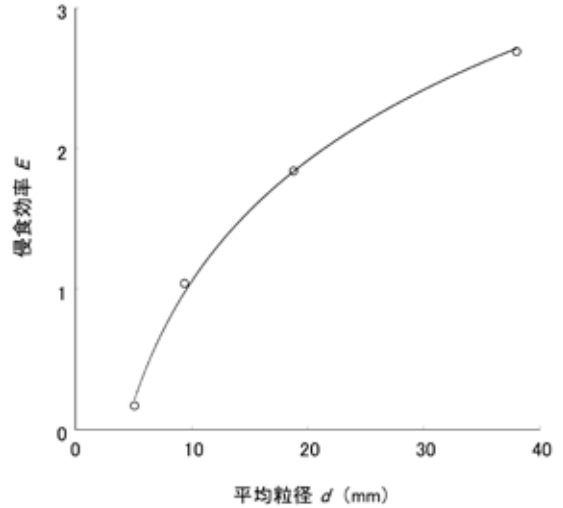


図3 粒径と侵食効率の関係

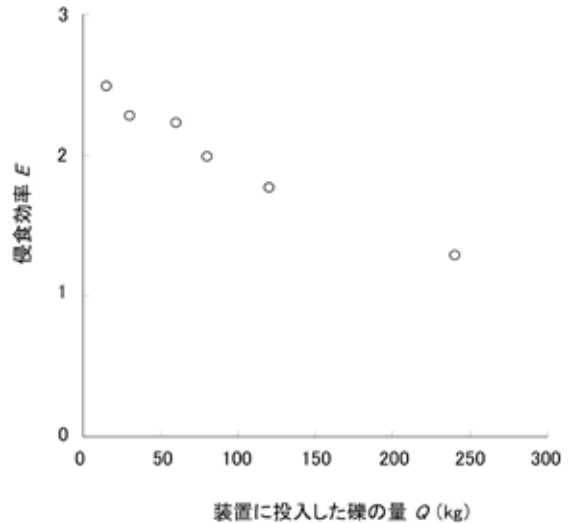


図4 礫の供給量と侵食効率の関係

減少したことよりも、運動エネルギーの増大の方が侵食に大きく影響していると考えられる。4回のRunの結果は、次式の対数関数であらわされる。

$$E = 1.2 \log_e d - 1.8 \quad \dots (2)$$

2. 落石密度(Q/t)の効果

Case 2の落石密度の効果を図4に示す。横軸は礫の供給量、縦軸は侵食効率である。落石密度が増加すると、侵食効率は低下している。礫の量の増加は、礫と模擬岩盤との衝突回数の増加となり、侵食量が増えることが予想される。しかし、

そうならないのは礫同士衝突により礫の運動エネルギーが損失し、模擬岩盤を侵食する能力が低下したためと考えられる。

礫の量を最も多い 240 kg にした Run 10 では、他の Run と異なり、実験開始直後から、礫が跳動せず模擬岩盤上を滑るように集合で滑動した。この集合流動の流れでは礫は全く跳動せず、移動速度が遅くなった。これは礫が高密度になり跳動することができなくなったためと考えられる。このような移動様式の変化があったものの、供給礫量と侵食効率の関係から Run 10 をみると、全体の傾向線上にのる。この状態は、移動速度が低下した礫の渋滞状態といえ、礫と模擬岩盤との接触時間は長くなる。礫の衝突はないが、底面が研磨されることにより侵食が進むことが考えられる。図 4 の横軸の礫の供給量を、単位時間当たりの移動量である落石密度にしたものを図 5 に示す。Run 10 の落石密度は、実験中に樋の下端において一定時間循環している礫をバケツで採取秤量して求めた。Run 10 を除いたデータは、比例関係を示し、その関係は次式で表される。

$$E = -0.3(Q/t) + 2.6 \quad \dots (3)$$

Run 10 の時の侵食効率は、同一の落石密度の跳動の状態で得られた値に対し、約半分となる。

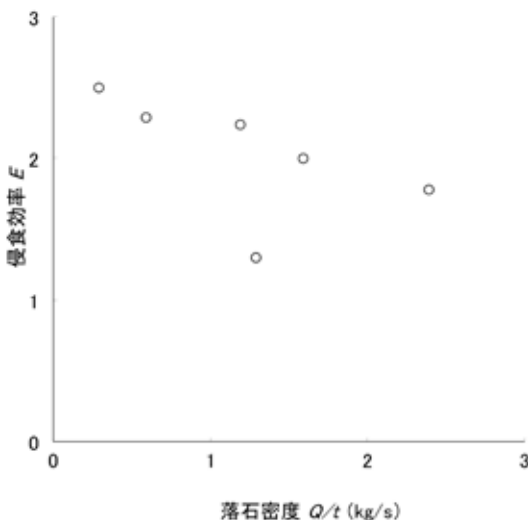


図5 落石密度と侵食効率の関係

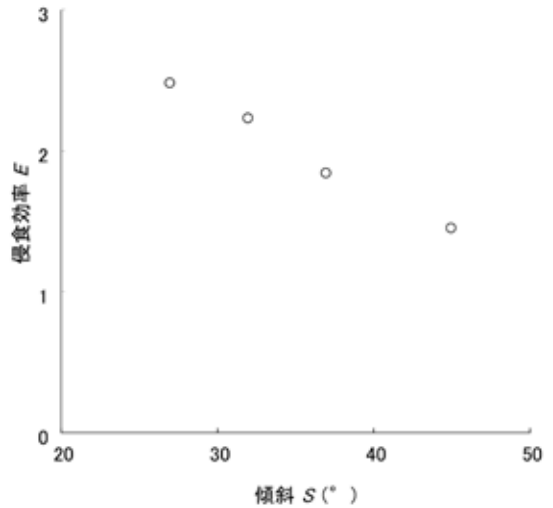


図6 傾斜と侵食効率の関係

3. 傾斜 (S) の効果

Case 3 の傾斜の効果を図 6 に示す。横軸は傾斜、縦軸は侵食効率である。樋の傾斜が大きくなるほど侵食効率は低下する比例関係にある。これは、急傾斜ほど礫の跳動の距離は伸び、岩盤に衝突する回数が少なくなためであると考えられる。その関係は、次式で表される。

$$E = -0.05S + 4.1 \quad \dots (4)$$

IV. 落石による岩盤侵食様式

落石の移動様式は Run 10 を除き、全て跳動であった。そのため、これらの実験において落石による侵食は、礫が落下した際の衝突エネルギーによるものである。Case 1 の実験結果で礫径が大きくなると侵食効率が上昇することは、個数の減少よりも衝突エネルギーの増大の方が、侵食に強く影響しているためと考えられる。その関係は対数関数となった。このような関係になるのは、1) 礫同士の衝突による礫の運動エネルギーの消耗と、2) 礫の質量が小さい場合に岩盤侵食に必要な運動エネルギーが不足するという 2 つの理由が考えられる。Case 2 の実験においては、礫の量が増えると侵食効率が下がっているため、Case 1 においても礫の衝突による運動エネルギーの損失が侵食効率の低下をもたらしていると考えられる。今回の実験は幅 20 cm の樋で行っているが、跳動による侵食量を定量的に評価するためには、今後

はより広い樋で実験を行うことが必要であろう。

Case 2 の Run 10 の実験において、樋への礫の供給を増やし、落石密度が高くなると、移動様式が変化した。すなわち、落石による跳動から集合流動での滑動への変化が確認された。この流れは乾燥岩屑流である。今回は、側方に壁のある樋の中での現象であるが、実際の斜面においても大量の落石があった場合、礫が互いにその移動を制限しあえば、今回のような乾燥岩屑流が発生する可能性が考えられる。今後は、実験において、移動様式の変化に影響を与える条件を探りその閾値を明らかにすることが必要であろう。

従来の乾燥岩屑流の発生過程についての議論は、一面剪断試験結果の解析など、岩屑の物性から力学的な特徴を議論するものであった(石井・平野, 1995)。今回、循環型の実験装置を用いることにより、動的な実験過程のなかで乾燥岩屑流を定常的に発生させることができ、これにより、その侵食過程の実験が可能となった。水と岩屑からなる流れの水路実験では、砂礫の供給量をコントロールすることにより、掃流から掃流状岩屑流、飽和岩屑流、不飽和岩屑流と流動様式を変化させることが可能であり、それぞれの状態は不連続に変化することがわかっている(渡部, 1994; 池田ほか, 1995)。今後、岩屑のみの流れである落石や乾燥岩屑流も、上述の水と岩屑による流れの現象と一連のものとして位置付け、実験することができるだろう。

傾斜の効果を評価する Case 3 の実験では、傾斜が急になるほど侵食効率は低下した。この関係は比例関係であり、礫が落下するときに岩盤に接触する回数が少なくなることが原因と考えられる。今回の実験では、 28° よりも低角での実験は行わなかったが、より低角になった場合、閾値を超えると落石による跳動から滑動へと移動様式が変化し乾燥岩屑流が発生すると考えられる。落石による侵食よりも乾燥岩屑流による侵食の方が侵食効率は低下するので、今回の実験条件では、落石が乾燥岩屑流となる角度よりも高角かつ 28° よりも低角の傾斜を持つ斜面で最も侵食が進むことが予想される。ただし、松倉・恩田(1989)によれば、乾燥した砂礫の流動実験から求められる乾燥岩屑流の流動中の表面勾配は、 $27 \sim 54^\circ$ である。これは、今回の実験よりも低い角度では、落石はもとより乾燥岩屑流

がほとんど発生しないことを示している。安息角よりも低角の斜面で、どのような斜面プロセスが働いているのか、今後より詳しい実験が必要である。

山地斜面の傾斜は、漸移的に変化せず、不連続性を持つことが以前より指摘されている(例えば、羽田野・田中, 1989; 手打ほか, 2007)。これは、斜面の位置に応じて変化するプロセスの違いを反映しているものと考えられる。その中で、安息角よりも低角の、 30° よりも緩い傾斜を持つ斜面の存在は各地で報告されている。例えば、Melton(1965)はアリゾナで傾斜 28° の岩盤斜面を記載し、岩片の動摩擦角との関連を議論している。また加藤・池田(1996)は、実験と現地観察から、富士山のスコリアからなる斜面の傾斜(27°)は、溶岩片の滑動限界傾斜角と対応していると考えている。本実験から 30° よりも緩い傾斜を持つ斜面では、複合的な斜面発達過程があること想像される。このような斜面の形成メカニズムにおいて、落石や乾燥岩屑流がどのように影響しているのか、今後の現地調査や実験で解明されるべき課題であろう。

V. おわりに

本研究では、傾斜可変の樋で礫を循環させる装置を用いて、礫径や落石の量、傾斜を変化させ、落石による岩盤侵食量を計測した。その結果、明らかになったのは、以下の事柄である。

1. 同重量の礫では、より大きな礫による落石の方が岩盤をよく侵食する。ただし、樋の中では礫同士が衝突し運動エネルギーが失われるため、平均粒径と侵食量の関係は対数関数となる。
2. 単位時間あたりの落石量が増えると、侵食量は減少する。これは、礫同士の衝突による運動エネルギーの損失のためである。
3. 傾斜が大きくなるほど、岩盤は侵食されにくくなる。一方で、傾斜が小さくなると落石は発生しない。今回の実験では、 28° での落石による侵食量が最も大きかった。
4. 今回の一連の実験では、侵食効率を定義し、計測された侵食量はその値に換算して評価を行った。侵食効率は、岩盤を侵食する礫に対しての、岩盤の侵食量の比である。その値は 10^{-5} のオーダーであった。

今後、斜面地形学の一分野として落石の侵食作

用の研究を位置づけるには、侵食をうけた斜面の形状変化を明らかにしていく必要があるだろう。また、今回の研究で意図せず出現した、礫の供給量の増加に伴う落石から乾燥岩屑流への移動様式の変化については、継続して実験をすすめその詳細を明らかにしていきたい。

謝辞

本研究の遂行に関して、筑波大学陸域環境研究センターのスタッフの方々と生命環境科学研究科の松倉公憲教授にご理解とご協力をいただいた。末広伸也さん、河野伸裕さん、大原 剛さん(当時筑波大学学生)には、装置の設置および実験の実施に対してご協力いただいた。岩田修二さん、小花和宏之さんには、文献をご教示いただいた。福地慶大さんには文献入手でお手伝い頂いた。記して感謝いたします。

本研究には、2004年度筑波大学学内プロジェクト奨励研究「勾配可変水路を用いた岩盤侵食実験」および日本地すべり学会 2005年度若手ワークショップ助成「ランドスライドに関する地形実験手法の開発」の研究費を用いた。

参考文献

石井孝行 (1981): マスムーブメント. 町田 貞・井口正男・貝塚爽平・佐藤 正・榎根 勇・小野有五編: 『地形学辞典』二宮書店, 593.

石井孝行 (1988): 乾燥岩屑流とテラス斜面. 地理学報, 26, 1-15.

石井孝行・平野昌繁 (1995): 低応力領域における二成分粒径混合乾燥砂のせん断特性 - 乾燥岩屑流の発生を理解するために -. 地形, 16, 329-347.

池田 宏・伊勢屋ふじこ・小玉芳敬 (1995): 岩屑の流れに関する循環式急勾配水路実験. 日本地理学会予稿集, 47, 374-375.

岩船昌起 (1996): 穂高岳涸沢カールで融雪期に生じた岩壁崩壊. 地学雑誌, 105, 569-589.

加藤裕章・池田 宏 (1996): 富士山吉田大沢における傾斜角 27° の斜面の成因. 筑波大学水理実験センター報告, 21, 41-50.

荻谷愛彦・松永 祐・宮澤洋介・小森次郎・石井正樹・佐藤剛 (2008): 北アルプス・白馬大雪渓における落石および雪面滑走岩片のモニタリング. 地学雑誌, 117, 870-877.

小泉武栄 (1992): 日本における周氷河性平滑斜面の研究. 地理学評論, 65A, 132-142.

手打啓一郎・目代邦康・宮本邦明 (2007): 上高地徳沢における山地斜面の地形分類. 地形, 29, 73-74.

日本地すべり学会地すべりに関する地形地質用語委員会編 (2004): 地すべり (landslides) — 地形地質的認識と用語一. 日本地すべり学会.

羽田野誠一・田中耕一 (1989): 対談・筑波山のプロフィール. 筑波応用地学談話会 10 周年誌, 65-75.

町田 貞・松本栄次・石井孝行 (1975): 足尾荒廃地における崖錐の形成プロセス. 地理学評論, 48, 768-783.

松倉公憲・恩田裕一 (1989): 安息角: 定義と測定法にまつわる諸問題. 筑波大学水理実験センター報告, 13, 27-35.

柳町 治・小泉武栄 (1988): 木曾山脈における周氷河成平滑斜面の斜面形と斜面低下量. 東京学芸大学紀要第 3 部門, 40, 129-145.

山本憲志郎 (1996): 有珠オガリ山における転・落石および乾燥岩屑流堆積物のファブリック. 地理学評論, 69A, 165-183.

渡部 真 (1994): 岩屑の流動勾配に及ぼす砂礫と水の混合比の影響に関する実験的研究. 地形, 15, 349-369.

Azzoni, A., La Barbera, G. and Zaninetti, A. (1995): Analysis and prediction of rock fall using a mathematical model. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 32, 709-724.

Berger, C., McArdell, B. W. and Schlunegger F. (2011): Direct measurement of channel erosion by debris flows, Illgraben, Switzerland. *Journal of Geophysical Research*, 116, F01002, doi:10.1029/2010JF001722.

Dikau, R., Brunsten, D., Schrott, L. and Ibsen, M.-L. (1996): *Landslide Recognition: Identification, Movement and Causes*. Wiley.

Dorren, L. K. A. (2003): A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 27, 69-87.

Flageollet, J. C. and Weber, D. (1996): Fall. In: Dikau R. et al. (eds): *Landslide Recognition*. Wiley, 13-28.

French H. (2007): *The Periglacial Environments*. 3rd Edition. Wiley.

Iwata, S. (1987): Debris-mantled rectilinear slopes in the western Sør Rondane Mountains, East Antarctica. *Proceedings, NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, 1, 178-192.

Matsuoka, N. and Sakai, H. (1999): Rockfall activity from an alpine cliff during thawing period. *Geomorphology*, 28, 309-328.

Melton, M. A. (1965): Debris-covered hillslopes of the southern Arizona desert: Consideration of their stability and sediment contribution. *Journal of Geology*, 73, 715-729.

Richter, E. (1900): Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen. *Pet. Mitt. Erg.-Hefte.*, 132.

Selby, M. J. (1993): *Hillslope Materials and Processes*. 2nd Edition. Oxford University Press.

Varnes, D. J. (1978): Slope movement types and processes. Schuster, R. L. & Krizek, R. J. eds. *Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report, 176, National Academy of Science, 11-33.

Young, A. (1972): *Slopes*. Longman.