

平成 21 年 6 月 4 日現在

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2006～2008

課題番号：18681028

研究課題名（和文）崩落岩塊群の長距離運動機構の解明と数値モデルの構築

研究課題名（英文）Examining mechanisms of long runout distances in rock-mass failure and its numerical model.

研究代表者

岡田 康彦 (OKADA YASUHIKO)

独立行政法人森林総合研究所・水土保持研究領域・主任研究員

研究者番号：50360376

研究成果の概要：

大きな災害をもたらす山地の岩盤崩落、落石の到達距離予測の研究を高度化することを目的に、岩塊群の崩落現象について大規模な物理実験と数値実験を行いました。その結果、流下する岩塊個数が多い流れほど運動中に岩塊同士が頻繁に衝突を繰り返し、このために運動エネルギーが多く失われて流下距離が短くなることを明らかにしました。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2007 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	7,200,000	2,160,000	9,360,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：粒状体流れ

## 1. 研究開始当初の背景

地すべり・斜面崩壊が長距離運動することにより、激甚な災害が発生するケースが増加している。広島県土砂災害（平成 11 年）の後、土砂災害新法が制定されハザードマップ作成・公表を各自治体で推進する契機となった。しかし、地すべり・斜面崩壊が長距離運動する基本的メカニズムはいまだ研究途上の状態であり、さらに物理モデルを用いた数値シミュレーションの結果は実現象との間に大きな乖離が存在するのが現状である。

## 2. 研究の目的

地すべり・斜面崩壊の長距離運動機構の解明ならびに物理モデルを用いて危険度・到達範囲を予測する技術を確立することを最終目標とし、とくに、崩落岩塊群の長距離運動機構の解明と、これを表現可能な数値モデルの構築を目的とする。

### 3. 研究の方法

地すべり・斜面崩壊の長距離運動機構を解明するための基盤研究として、準実規模（屋外）かつ流下→堆積時に横方向への広がりを許す条件下で、約0.1m角の花崗岩の岩塊を対象とした崩落実験を実施する。35度の傾斜に設定した実験斜面上に、以下に示す条件に着目して実験を実施する：

- ①水に満たされている、あるいは乾燥している；
- ②岩塊群全体の体積は同じだが個数が異なる；および
- ③岩塊の個数は同じだが、岩塊群全体の体積が異なる。

崩落岩塊の挙動は、実験斜面の正面ならびに左右、合計3カ所に設置した高速度ビデオカメラで収録し、画像解析技術を用いてステレオ解析することにより定量化する。これらの実験から岩塊群の長距離運動機構を解明すると共に、岩塊1つ1つの力学を表現する個別要素法数値モデルを構築する。

数値実験については、粒状体流れの解析に広く使用されている個別要素法を用いてモデル構築をこころみる。岩塊を表現するために、数値球要素を8個剛結するものとし、岩塊の不均一性を再現するため、それぞれの球要素は大きさがランダムに変化するよう設定する。

物理実験で実施するのと同等の条件を数値的に再現し、数値岩塊群の崩落実験を実施し、岩塊の個数や岩塊群の体積が、流下距離におよぼす影響を明らかにする。

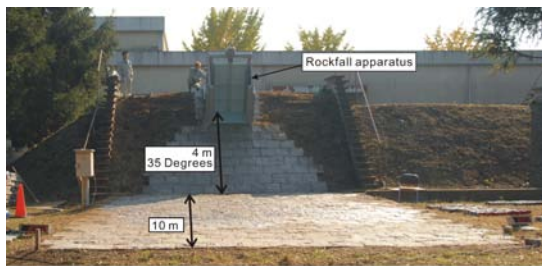


図1 岩塊群崩落装置と実験斜面

### 4. 研究成果

最大1m<sup>3</sup>までの岩塊群を積層可能な岩塊群崩落装置を作成した。岩塊群崩落装置は、勾配35度に調整した斜面上に設置され、岩塊を崩落させるためのゲートから水平面までの斜距離は4mである。水平面は長さ10m、幅6mである。これらの斜面ならびに水平部は、厚さ0.05mの花崗岩の岩板が敷設されている（図1）。

約0.1m角の花崗岩を27個（3×3×3個）、125個（5×5×5個）、343個（7×7×7個）、

1000個（10×10×10個）積層した岩塊群供試体を対象に、乾燥あるいは水で飽和の条件下で流下実験を実施し、その流下距離を調べた（図2）。その結果、崩落開始前の供試体の重心から、実験終了後の堆積時における重心までの縦断方向の流下距離は、岩塊が多い供試体ほど短くなることが明らかになった。この傾向は、乾燥ならびに水で飽和の両条件ともに認められた。縦断方向の流下距離を比較した場合、供試体を構成する岩塊の個数が同じであるならば、水で飽和の条件下では、乾燥条件下に較べて約10%流下距離が大きくなることが示された。

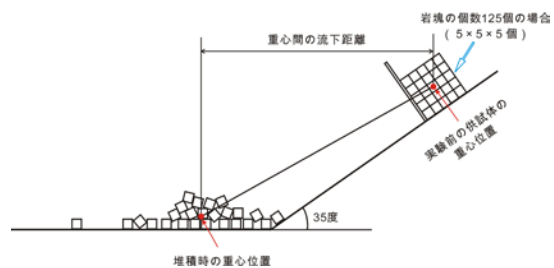


図2 岩塊崩落実験における流下距離計測の模式図

水で飽和の条件下で縦断方向の流下距離が約10%増大したことの理由として、以下の3点が考えられる：1)岩塊がすべる際に発揮される動摩擦計数に関して、水が挟在すると乾燥時のそれよりも小さくなった、2)岩塊が流下する際、周囲に水が存在しているため、岩塊の有効重量が減少した、3)水と岩塊が流下する速度は異なるため、抗力が発揮された。

横断方向の拡がりについても検討した。岩塊それぞれについて、堆積時の重心から横断方向の偏差を計測し、標準偏差を算出した。堆積時の標準偏差については、岩塊の個数が多い実験ほど大きな値を示した。しかし、岩塊個数が異なる供試体では、実験開始前に試験機にセットされている状態の横断方向の標準偏差が異なる。そのため、堆積時に算出された標準偏差値と実験開始前の標準偏差値の比を算出したところ、この比の値については、岩塊個数が多い実験ほど小さくなることがわかった。つまり、崩落開始前の元々の横断方向の拡がりを考慮すれば、堆積時の横断方向の拡がりに関して、岩塊の個数が多い供試体ほど拡がり小さくなる結果が認められた。これは、縦断方向の流下距離に関する結果と調和的となった。

立方体状になるように作成したため、供試体には、前面、上面、背面、底面、2つの側面の合計6面がある。とくに、前面、上面、背面、底面の4面に着目し、その縦断方向の流下距離について調べた。その結果、前面および上面に位置した岩塊がより長い距離を

流下し、一方、背面および底面に位置した岩塊の流下距離は短いことが明らかになった。つまり、マスとしての岩塊群を考えた場合、前面および背面に位置した岩塊の相対位置は、崩落開始前ならびに崩落終了後であまり変化しなかった。岩塊群が流下している様子を高速デジタルビデオで撮影した画像を用いて確認したところ、前方に位置する岩塊は、後方からの岩塊に背後から衝突されることによりさらに前方に移動していた。一方、後方の岩塊は、前方の岩塊に衝突することにより流下運動が抑制されていることがわかった。なお、上面に位置した岩塊は、他の岩塊とその底面において衝突するケースが多く、上方からの拘束が少ないため遠くまで流下した。底面に位置した岩塊は、周囲を他の岩塊に囲まれ拘束が多くより多くの衝突を繰り返すとともに、底面の岩板と接触していたため流下距離が抑制されているとわかった。

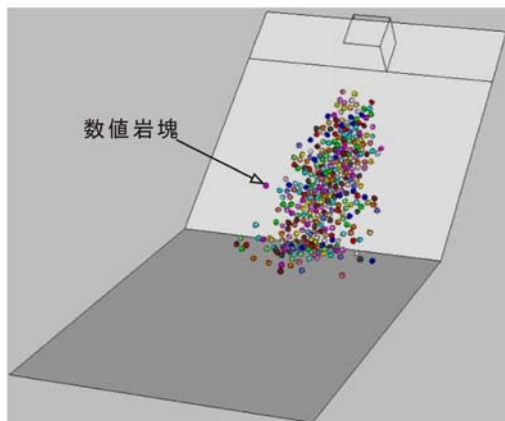


図3 岩塊崩落数値実験中に岩塊群が流下する様子

個別要素法による物理モデルを用いた数値実験(図3)を行った結果、物理実験で得られた上述の結果、すなわち以下の結果が同様に得られた。

- ・崩落実験開始前の重心から、堆積時の重心までの縦断方向の流下距離に関して、岩塊の個数が多い供試体ほど、その値が小さくなる。
- ・堆積時の横断方向の標準偏差と崩落開始前の横断方向の標準偏差の比についても、岩塊の個数が多い供試体ほど、その値が小さくなる。
- ・崩落開始前、前面に位置した数値岩塊はより遠方まで流下し、背面に位置した数値岩塊はその流下距離が抑制される。

古典的な地すべり学で認識されている知見として、「流下する地すべり土塊の体積が大きいほど、遠くまで移動する」ということ

がある。この知見は、実際に発生した地すべり現象を対象に計測した結果その関係が導かれたものであるが、この関係を示すにいたるメカニズムまで解明されているわけではない。今回の岩塊群崩落実験では、岩塊の個数が多くなり、つまり、岩塊群の体積が大きくなるほど、流下距離が短くなっており、従来の地すべり学の知見と逆の結果になった。以下に、この理由を検討する。

先述の通り、体積の大きな地すべりがより遠方まで移動するメカニズムは解明されていないものの、地すべり土塊の底面付近、つまりすべり面付近において、間隙空気圧、もしくは、間隙水圧が上昇し、有効応力の低下に伴うせん断強度が減少して長距離運動にいたると説明するモデルが有力である。このモデルが、地すべりの体積と流下距離の相関関係を説明すると仮定すると、このことは、今回の研究課題で実施した崩落実験には当てはまらないと考えられる。なぜなら、岩塊群が斜面を流下するときの厚さは最大でも0.5m程度であるとともに、岩塊群の内部に間隙構造が形成されていないからである。過剰に圧力が高まるようなゾーンが形成される可能性は極めて低く、マスとして流下しているというよりは、個々にそれぞれ運動している岩塊が集まっていると考える方が妥当であると推定される。個々の岩塊の運動を考えれば、岩塊は、その流下過程で周囲の岩塊や底面の岩板と頻りに衝突を繰り返すと共に、すべったり、角の部分で破損しながら流下している。

そこで、岩塊同士、あるいは岩塊と岩板を衝突させる実験を実施し、それぞれ反発係数を計測した。その結果、反発係数は約0.4になることがわかり、つまり岩塊は他の岩塊や岩板と非弾性衝突する毎に大きくその運動エネルギーを減少させることが示唆された。岩塊個数の多い供試体では、ある岩塊の周囲に多くの岩塊を伴ったまま流下運動するため、岩塊が周囲と非弾性衝突を起こす回数が多くなり、結果として運動エネルギーが早く散逸したと推定された。物理実験の結果を基にこの運動エネルギー値の変化を追跡するのはやや困難なため、数値実験に関して、流下する際に発揮された運動エネルギー(並進ならびに回転エネルギーの和)を算出した。その結果、岩塊の個数が多い供試体では、流下中に位置エネルギーから変換される運動エネルギーは小さくなることが示され、岩塊個数の多い供試体の流下距離が短くなることが裏づけられた。

今回の岩塊群崩落実験(物理実験ならびに数値実験)により、供試体の岩塊個数が多くなると、流下距離が短くなる結果が得られた。この事実は従来の地すべり学で広く認識さ

れてきた事実と異なる結果となったが、崩落岩塊群の流下運動は、岩塊個々それぞれの流下運動の集まりであり、マスとしての間隙構造が形成されないことを考えれば、そのメカニズムを説明可能である。なぜなら、数値実験結果を解析したところ、岩塊個数の多い供試体ほど、流下中の運動エネルギー値が小さくなる事実が得られ、岩塊の非弾性衝突が流下距離を抑制する事実を裏づける結果となったからである。これは、従来とは異なる新しい基礎的知見を解明したものであり、岩盤崩落・落石の到達距離を予測する研究の高度化に大きく貢献するものである。今後は、岩塊の大きさや個数を種々に与えた条件下での実験を繰り返し、さらに、到達距離予測モデル高度化していくことが緊要であると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 岡田康彦、内田一平、落合博貴、松浦純生、岩塊崩落実験における岩塊個数と流下距離の関係について、日本地すべり学会誌、46(1)、9-18、2009年、査読有り
- ② Yasuhiko OKADA、Ippei UCHIDA、Hiroataka OCHIAI、Rockfall run-out distances depending on volume in large-scale experiments、Proceedings of the International Conference on Management of Landslide Hazard in the Asia-Pacific Region、1、482-488、2008年、査読有り

[学会発表] (計4件)

- ① 岡田康彦、崩落岩塊群の流下運動に関する検討、砂防学会、2009年5月28日、広島県広島市
- ② Yasuhiko OKADA、Ippei UCHIDA、Hiroataka OCHIAI、Rockfall run-out distances depending on volume in large-scale experiments、The International Conference on Management of Landslide Hazard in the Asia-Pacific Region、2008年11月11日、宮城県仙台市
- ③ 岡田康彦、内田一平、落合博貴、松浦純生、崩落岩塊群の流下距離と岩塊個数の関係、日本地すべり学会、2008年8月28日、神奈川県足柄下郡
- ④ 岡田康彦、落合博貴、宮島弘行、内田一平、岩塊群の流下距離について、日本地すべり学会、2007年8月30日、三重県四日市市

[図書] (計0件)  
[産業財産権]  
○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等  
なし。

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
岡田 康彦 (OKADA YASUHIKO)  
独立行政法人森林総合研究所・水土保持  
研究領域・主任研究員  
研究者番号：50360376

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号：