

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560459

研究課題名(和文) 斜面崩壊の発生場所と発生規模から崩壊土石流の到達距離を推定する経験則の追及

研究課題名(英文) Estimate of travel distance of debris flows based on the location and volume of slope failures

研究代表者

太田 秀樹 (OHTA HIDEKI)

中央大学 研究開発機構 機構教授

研究者番号：80026187

研究成果の概要(和文)：「結論：斜面崩壊の発生位置から高低差 1 に対して、最大限で水平距離 10 の下流位置まで、土石流が到達し得る。」 我国のデータを見る限り、これ以上の距離にまで土石流が到達する可能性はないだろう、というのが結論である。土石流による被災の恐れがある民家や道路・構造物から見て、谷の上流に向かって高低差 1 に対して水平距離 10 の範囲内に崩壊しそうな斜面がなければ、土石流の心配はおそらくないだろうと判断してよい。

研究成果の概要(英文)：Conclusion: Possibly maximum travel distance of a debris flow is horizontal distance of 10 against altitude difference of 1 starting from the location of the slope failure where the debris flow is initiated from. We do not have to worry about the possible danger of a debris flow in case that there is no potentially collapsible slope within horizontal distance of 10 to the upstream direction with vertical height difference of 1.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤防災・土石流・斜面崩壊

1. 研究開始当初の背景：2005年・2006年当時、台風にもなう異常降雨による土砂災害が急増し、地球温暖化との関連が話題にのぼった。たとえば2005年にフィリピンのレイテ島で発生した山岳崩壊とそれにもなう土石流が、麓にあったギンザウゴンの集落を一掃し、1500人の犠牲者が出た。我国の2006年は台風の当たり年で多数の土砂災害があったが、特に規模が大きかったのが中央自動車道沿線にあたる岡谷南部地域における土石流であった。泥流化した崩壊地山が相当な遠距離にまで高速で流れ下り、発生位置

から遠く離れた場所において大きな破壊力を発揮するのが土石流であるが、被害を受ける村落や高速道路からみれば、突然予告なしに他所から襲ってくるもらい災害であり、対応に窮する災害であるといえる。破壊力が強大であるにもかかわらず、潜在的な発生位置からの流下距離が予測できないため、現状では防ぎようがない災害のひとつであった。問題点は(1)どこで斜面崩壊が起こるか予測が難しい(2)斜面崩壊の規模が予測できない(3)土石流の流下到達距離が判らない、である。以上が、研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的：傾斜地の崩壊にともなって発生する土石流による被害範囲が、土石流発生源から遠距離にわたることが多いため、潜在的な土石流の発生に対してあらかじめ防護施設を構築することが経済的に容認されにくい。発生するかどうか判然としない潜在的斜面崩壊に対して、到達しないかもしれない土石流を対象に防護施設をつくらうという合意が得られにくいのである。不必要になるかもしれない防護施設の建設が、緊急性に欠けるとして予算化されにくい。こういった事情の根底にあるのが、(1) 崩壊したあと土石流となって流下する可能性が高いと見られるような斜面崩壊がどこで発生するのか、潜在的発生箇所を特定することが容易でない、(2) 発生した土石流がどの範囲にまで到達するのか、潜在的被災箇所を特定することが容易でない、というふたつの技術的制約である。

遠くの他所から流下した土石流による被害は、通常きわめて受動的なものである。突然一瞬にしておそってくる土石流が、強力な破壊力を発揮して人命・財産を無に帰する事例は毎年のように報道されているが、被害の状況は写真-1 (2006年8月、中央自動車道沿線岡谷付近) から想像できるように悲惨なものである。したがって、上記の技術的制約を可能なかぎり軽減したい。これが研究の目的である。



写真-1 2006年8月、中央自動車道沿線岡谷付近

3. 研究の方法：本研究の研究方法を概観すると次のようである。(1) 土石流の発生源がもつ地形的な特徴から、斜面崩壊が発生する場所における地下水の水みちが天然のトンネル状になっている場所が多いことが推測されたので、水みちの天然トンネル内を流下する地下水を探知し、土石

流の潜在的発生源を特定するための調査法を提案する。(2) 既往の斜面崩壊から惹起された土石流の流下距離を経験的にまとめて Scheidegger (1973)¹⁾ が作成したグラフに、わが国の土石流災害事例を追加プロットすることによって、わが国における土石流の被害範囲を推定する手法を提案する。

4. 研究成果：上記(1)(2)のなかの(2)から、先に始めよう。発生した土石流がどこで堆積・停止するかがわかれば、土石流危険区域を特定することができる。池谷(1999)²⁾ によれば、土石流が流下する谷の出口や扇状地の頂部ならびに溪床勾配が 10° 以下の地点で土砂堆積が始まり、地形勾配が 3° 程度までの範囲で土石流の流下が停止するといった傾向がある。理論的な研究もなされており、そこからも経験的な予測と同様の結果(例えば芦田・高橋・道上(1983)³⁾) が得られている。しかしながら、個々の溪流の持つ特性によっても土石流の流下距離が変化するため、正確な予測が容易でなく概略的な推定範囲を特定できる程度にとどまっている。

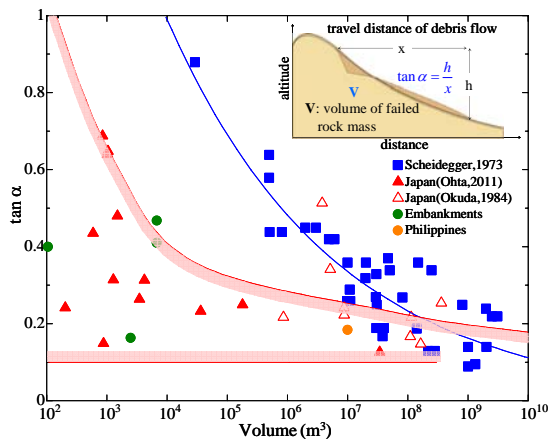
過去の土石流災害のデータを、Scheidegger (1973)¹⁾ が図-1と同じ縦軸と横軸をもつグラフ上にプロットしたところ、大崩壊ほど相対的に遠くまで土石流が流下するといった比較的明瞭な傾向がえられた。彼はデータポイントの範囲を直線的な帯で示したが、つづいて Hsu (1975)⁴⁾ も類似の結果を得ている。図-1の縦軸は平均摩擦係数とか等価摩擦係数と呼ばれることが多いが、奥田(1984)⁵⁾ が日本における既往の大規模土石流のデータを付け加えたところ、日本の土石流にも同様の傾向があるという結果が得られた。

数百万 m^3 から数千万 m^3 という大規模な山岳崩壊もさることながら、毎年わが国で発生する斜面崩壊はもっと小規模なものが数としては圧倒的に多く、土石流災害も中小規模のものが多数発生する。大規模な山岳崩壊に加えて、こういった日本におけるいわば日常的な土石流災害の事例を集めて、筆者らが Scheidegger の図にプロットしてみたところ図-1の左下部分に示すような結果を得た。

Scheidegger や Hsu・奥田のデータとは明らかに異なり、はるかに小さな等価摩擦係数が得られたわけである。

用いたデータは、石川県手取川上流別当谷最上部の崩壊(2004年)や、田中(1985)⁶⁾ が紹介している長野県西部地震による伝上川東部(御岳崩れ)といった大規模崩壊に加えて、中央自動車道沿線で2006年8月に発生した5ヶ所の土石流や四国・関

西・中国・九州の高速道路沿線で発生した中小規模の土石流を含んだデータである。かなりのバラツキがあり大きな幅をもったデータポイントになったが、Scheidegger や Hsu ・奥田のデータと比較して相対的に、はるかに遠くまで土石流が流下していることが見てとれる。データポイントの範囲を図中に示したが、はるかに小さな等価摩擦係数でもって小規模な土石流が遠くまで流下していることがわかる。このような差がどこから出てくるのか、どうしてこれほど明らかな相違が見られるのか、これが気になるところである。



図ー1 土石流の流下到達距離と崩壊規模の関係



写真ー2 フィリピンのレイテ島ギンザウゴンにおける大規模山岳崩壊と土石流災害 (2006)

明快な証拠が得られていないので現時点では推測の域をでないが、日本を含むモンスーン多雨地域では地山に含まれている含水量が欧米等の少雨地域にくらべて格段に大きいのではないだろうか、筆者らは考えている。こういった仮説の参考として、2006年に発生してギンザウゴン集落のほとんど全員1,500人を生き埋めにした、フィリピン・レイテ島の大規模山岳崩壊(写真ー2)のデータを図ー1に付け加えた。やはり低い等価摩擦係数に

なるから、上記の仮説を支持しているのではないかと推測している。

図ー1における Scheidegger ・ Hsu ・奥田のデータが工学的に役に立つのは、図中で左上から右下まで示されている一本の線の近くにデータポイントが集まっているからである。横軸にプロットしてある崩壊土量の概略値さえ推定できれば、土石流の流下距離を縦軸の数値をもちいて計算できる。土石流の被害範囲を推定できるわけである。ところが図中の左上から右下にかけて図の対角線の下半分をしめる日本やフィリピンのデータは、仮に崩壊土量の概略値が推定できたとしても、それに対応する縦軸の値が広範囲すぎて土石流の被害範囲を推定するには不向きである。筆者らが集めた日本の土石流に関するデータポイントの利用価値が、Scheidegger らのデータとくらべて少なくなったように見える。

崩壊土量と等価摩擦係数が、明快な1対1の関係をもたないという日本のデータではあるが、同時に利点もあるように筆者らは考えている。図ー1の日本のデータを見ると、崩壊土量の如何にかかわらず等価摩擦係数が0.1以上である。すなわち「最悪の場合でも、ここまでしか土石流は流下してこない」という範囲を特定することができる。しかも好都合なことに、崩壊土量を予測する必要がない。崩壊土量の事前予測は実際問題として容易でないから、それができなくても(最も悲観的な、すなわち最悪の場合を想定した)被災領域を推定できるのは、欠点ではなく却って利点であるということもできよう。すなわち、最も悲観的(かつ安全側)な予測値を、「被災しては困る地点から上流に向かって、等価摩擦係数が0.1の範囲にある土石流発生源だけが危険発生源である」として、特定することができる。地図さえあればできる作業なので、危険土石流の潜在発生源を特定する方法として使うならば、結果が得られるのに迅速かつ安価である。これが研究代表者の提案する手法である。

次に「研究の方法(1)土石流の発生源がもつ地形的な特徴から、斜面崩壊が発生する場所における地下水の水みちが天然のトンネル状になっている場所が多いことが推測されたので、水みちの天然トンネル内を流下する地下水を探知し、土石流の潜在的発生源を特定するための調査法を提案する。」に関する成果について述べる。

大規模な山岳崩壊から発生するスケールの大きな土石流は別として、わが国において毎年発生する程度の豪雨や地震によって惹起される中小規模の

土石流は、その発生源が緩やかな谷状をなす杉林にあることが比較的多い。水はけがよい土地を好むとされる杉林が、崩壊土砂がたまった崖堆状の斜面に生育することは広く知られているが、そのような斜面には永年のあいだに尾根状斜面と谷状斜面が発達してくるのであろう。斜面の内部を浸透する地下水の流れは次第に谷状部分に集まって、最終的に溪流として地表に顔を出すようになる。溪流として地表に現れるまえの地下水は、谷の底部の透水性がよい土中に形成された水みちを伝わって谷底の地中を流下する。

切り斜面の法面を降雨時に見ていると、斜面のあちこちから水が噴水のように吹き出ている場面に遭遇することがある。水が噴出している穴は、親指程度の直径であることが多い。こんなに小さなパイプ状の水みちが、こんなにたくさん地山の中に存在しているのかと驚かされる。筆者らのこのような観察事例から類推して、谷底の水みちの大きさが家庭に配水される水道管程度のものと想像していたのであるが、先年図-2のような水の通り道となっている天然トンネルを見るに至ってその想像が間違っていたと思い始めた。

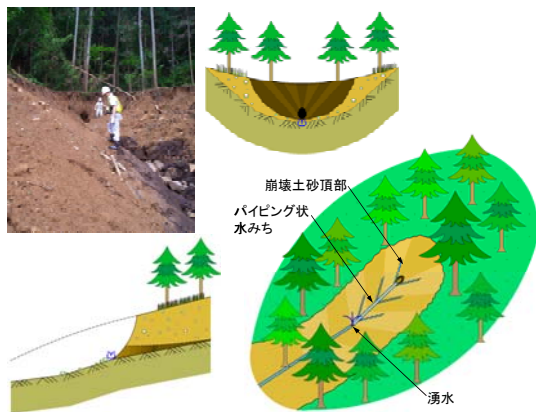


図-2 土石流発生源における天然トンネル

一見して明らかなように、図-2は杉林で覆われたゆるやかな谷部にある土石流の発生源である。左上の写真の人物の左側に、直径1m強のトンネル状の穴が見られる。トンネルの内壁はスムーズであり、水がかなりの流速で流下していたと想像される。トンネルの大きさは、親指程度の小パイプどころか、人が屈んで出入りできる程度の大口徑である。危険なので中には入らなかったが、さらに谷の上に向かって続いているものと想像された。図-2のような天然の水みちトンネルの存在が一般的で、なおかつトンネルの位置が写真のよ

うに地表から1~2m程度の深さであるのが一般的であるのであれば、地下トンネルを流下する地下流水の存在を音で聞いて、土石流の潜在的発生源を探索することができるのではなかろうか。これが筆者らの提案する調査法である。

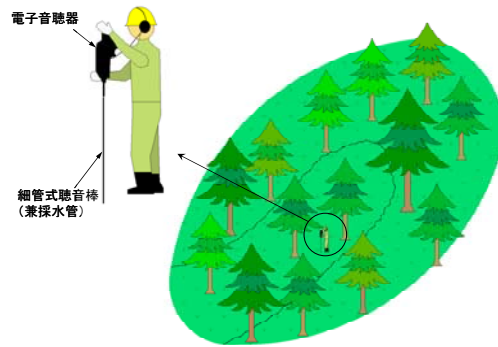


図-3 土中の地下水流を探知するための聴音器

結構浅いところを多量の地下水が流れているのであれば、音を聞いて天然の地下トンネルが存在していることを探知できるのではないだろうか、筆者らは期待している次第である。こういう期待をこめて作成したのが、図-3に描いたような聴音器である。雨が土砂降りに降っている時に、雑草が生い茂る山中に入ってゆく必要があるから、快適な探査法とは言えないが、自動化するなどの改善もありうると考えている。地下水が流れる音を測定して山崩れの潜在的発生源の位置を特定しようとする過去の研究を調べたところ、多田(2008)⁷⁾による研究があることがわかった。極めて良好な成果があがっているようであるから、研究の方向としては有望だと期待できよう。

参考文献

- 1) A.E. Scheidegger: On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides, *Rock Mechanics*, Vol. 5, 231-236, 1973.
- 2) 池谷浩: 土石流災害, 岩波新書, 1999.
- 3) 芦田和男・高橋保・道上正規: 河川の土砂災害と対策, 森北出版, 1983.
- 4) K.J. Hsu: Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls, *Geological Society of America, Bulletin* Vol. 86, 129-140, 1975.
- 5) 奥田節夫: 歴史記録から見た大崩壊の土石流堆積状態の特性, *京都大学防災研究所年報*, 27号 B-1, 353-368, 1984.
- 6) 田中耕平: 長野県西部地震における斜面崩壊の

特徴, 土と基礎 33-11, 地盤工学会, 5-11, 1985.

7) 多田泰之: 地下水から崩壊を予測する, 平成 20 年度独立法人森林総合研究所公開講演会講演要旨, 18-24, 2008.

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 12 件)

- 1 Honda, M., Ohno, S., Iizuka, A., Kawai, K. and Ohta, H.: Theoretical evaluation of the mechanical behavior of unsaturated soils; Geotechnical and Geological Engineering, Springer, ISSN 0960-3182, 査読有 Vol. 29, No. 2, 2011, pp. 171-180
- 2 太田秀樹, 内田善久, 藤山哲雄, 荒井幸夫, 石垣勉, 竜田尚希, 林雄介: 締固め地盤材料の構造部材としての工学的応用の可能性; 土木学会論文集, C 部門, 査読有 Vol.66, No.4, 2010.11, pp.757-775
- 3 Thirapong Pipatpongsa, Sokbil Heng, Atsushi Iizuka and Hideki Ohta: Statics of loose triangular embankment under Nadai's sand hill analogy; Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Japanese Geotechnical Society, 査読有 Vol.58, 2010.10, pp.1506-1523
- 4 T. Pipatpongsa, A. Iizuka and H. Ohta: Analyses of pressure distribution using arching criteria in 2D sand heaps; Theoretical and Applied Mechanics Japan, Science Council of Japan; 査読有 Vol.58, 2010, pp.41-48
- 5 H. Ohta, T. Pipatpongsa, S. Heng, S. Yokota and M. Takemoto: Significance of saturated clays seams for the stability of rainfall-induced landslides; Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Springer; 査読有 Vol.69, Issue 1, 2010, pp.71-87
- 6 王宗健, 竜田尚希, 服部浩崇, 辻慎一郎, 太田秀樹: 二重構造を有する補強土壁の地震後の状況と補修; ジオシンセティックス論文集, 国際ジオシンセティックス学会日本支部, 査読有 Vol.24, 2009.12, pp.125-130
- 7 D. Apriadi, S. Likitlersuang, T. Pipatpongsa and H. Ohta: On the numerical implementation of hyperplasticity non-linear kinematic hardening modified cam clay model; Journal of The Institution of Engineers, Singapore (the IES Journal) Part A: Civil & Structural Engineering; 査読有 Vol.2, No.3, Taylor & Francis, 2009.8.1, pp.187-201
- 8 ピパットポンサー・ティラポン, ヘン・ソクビル, 飯塚敦, 太田秀樹: 二次元砂山における静止土圧係数解析の原理; 応用力学論文集, 土木学会, 査読有 Vol.12, 2009.8, pp.383-394
- 9 平田昌史, 藤山哲雄, 竹山智英, 飯塚敦, 太田秀樹: HPM を用いた土/水連成有限要素解析における水頭の空間離散化; 応用力学論文集, 土木学会, 査読有 Vol.12, 2009.8, pp.187-194
- 10 石垣勉, 渡邊真一, 尾本志展, 太田秀樹: 静的締固め粗粒材料の等体積単純せん断挙動; 土木学会舗装工学論文集, 査読有 第 13 巻, 2008.12, pp.115-123
- 11 大川広, 桑野二郎, 日下部治, 太田秀樹: 中空ねじり試験機を用いた豊浦砂の変形特性に関する研究; 応用力学論文集, 土木学会, 査読有, Vol.11, 2008.8, pp.377-388
- 12 Wawan Budianta, Chris Salim,

Hirofumi Hinode and Hideki Ohta:
In situ Soil Washing on
Metal-Contaminated Sandy Soil by
Sedimentation Method; A New
Approach on Soil Remediation;
Philippine Engineering Journal, 査
読有 Vol.27, No.1, 2008.6, pp.65-76

[学会発表] (計 74 件)

- 1 T. Pipatpongsa, S. Heng, H. Ohta and T. Takeyama: Analysis of groundwater influence and destabilized mechanisms of the Guinsaugon rockslide; Proceedings of the 17th Southeast Asian Geotechnical Conference, 10-12 May 2010, Taipei, Taiwan
- 2 S. Heng, H. Ohta, T. Pipatpongsa, M. Takemoto and S. Yokota: Constant-volume direct box-shear test on clay-seam materials; Proceedings of the 17th Southeast Asian Geotechnical Conference, 10-12 May 2010, Taipei, Taiwan
- 3 H. Ohta, T. Takeyama, K. Okubo, S. Yokota, T. Ishigaki and S. Omoto: Trial of geotechnical asset management for highway embankments constructed on soft clay foundation; Proceeding of 17th International Conference Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, 5-9 October 2009, Alexandria, Egypt
- 4 T. Ishigaki, S. Yokota and H. Ohta: Numerical assessment of long-term settlement and deformation of highway embankments on soft foundations; Proceeding of 13th REAAA (Road Engineering Association of Asia and Australasia) Conference, 23-26 September 2009, 2009.9, Incheon, Korea
- 5 T. Pipatpongsa, M. H. Khosravi and H.

Ohta: Backward-Euler stress update algorithm for the original Cam-clay model with vertex singularity; International Symposium on Prediction and Simulation Methods for Geohazard Mitigation (IS-Kyoto 2009), 25-27 May 2009, Kyoto, Japan

- 6 Barames Vardhanabhuti, Shinishi Watanabe and Hideki Ohta: Estimating Ko-value of natural soft clay deposit using COWK triaxial apparatus; Proceeding of the 6th Regional Symposium on Infrastructure Development RSID6, 12-13 January 2009, Bangkok, Thailand
- 7 T. Pipatpongsa, S. Heng and H. Ohta: Statics of Granular Media in Wedge-Shaped Heap; Proceeding of the 6th Regional Symposium on Infrastructure Development (RSID6), 12-13 January 2009, Bangkok, Thailand

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 秀樹 (HIDEKI OHTA)

中央大学・研究開発機構・機構教授

研究者番号：80026187