

機関番号：14301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008~2010

課題番号：20404009

研究課題名 (和文) インドシナ地域における降雨に起因する地すべりの発生機構に関する調査  
研究課題名 (英文) Investigation on Mechanism of Landslide Caused by Rainfall in Indochina Countries

研究代表者

大津 宏康 (OHTSU HIROYASU)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40293881

## 研究成果の概要 (和文)：

本研究では、タイでの計測結果に基づき、降雨に起因する地すべりの発生機構について検討を加えた。この結果は、次のように要約される。まず、観測された降雨強度の高い降雨の降雨特性は、日本の短時間集中豪雨と高い類似性がある。次に、短時間・高強度降雨の場合には、斜面表面近傍での水収支において、表面流が卓越し最大値が累積雨量の 80%程度になる。この表面流が卓越することが、東南アジアで多発しているガリ浸食の発生要因となる。さらに、原位置で観測された斜面への雨水浸透特性は、先行履歴降雨の影響を受ける。このため、土砂災害早期警戒体制を立案する上では、先行履歴降雨の影響を評価できる新たな降雨指標を設定することが必要となる。

## 研究成果の概要 (英文)：

This study investigates the mechanism of landslide event caused by heavy rainfall based on field measurement results conducted in Thailand. The obtained results are summarized as follows. First, rainfall characteristics observed in Thailand are similar to those of torrential rainfall observed in Japan. Second, in proportion to the increase of rainfall, surface flow along slope becomes dominating and increases by 80 %, causing slope erosion, frequent events observed in Southeast Asia. Furthermore, the monitoring results on rainfall infiltration into subsoil suggest the possibility that it is necessary to adopt the new rainfall indices considering the effect of antecedent rainfall on slope stability, in order to establish landslide early warning system.

## 交付決定額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費      | 合計         |
|---------|-----------|-----------|------------|
| 2008 年度 | 2,900,000 | 870,000   | 3,770,000  |
| 2009 年度 | 3,200,000 | 960,000   | 4,160,000  |
| 2010 年度 | 2,300,000 | 690,000   | 2,990,000  |
| 総計      | 8,400,000 | 2,520,000 | 10,920,000 |

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：豪雨，斜面，土砂災害早期警戒体制

## 1. 研究開始当初の背景

インドシナ地域の各国 (タイ・ベトナム) においては、昨今降雨に起因する浅層地すべり/浅層斜面崩壊 (以下、地すべりと総称す

る)が多発し、甚大な被害を引き起こしている。この降雨に起因する地すべりの特徴は、斜面表面から 1-2m の比較的浅い領域で斜面崩壊が生じた後、崩壊土塊が土石流を引き起

こすことである。この地すべりが急増している誘因としては、気候変動による降雨パターンの変化、熱帯雨林地域での道路・住宅等の社会基盤構造物開発等が挙げられている。このような地すべりの発生は、地域住民の安全に対する重大なハザード要因となることに加え、インドシナ地域での社会資本整備において重大な支障となることが想定される。

このような観点から、インドシナ地域における降雨に起因する地すべりの発生機構の解明は、極めて重要な地盤工学的課題と位置付けられる。加えて、昨今日本においても、これまでに観測されていない短時間・高強度降雨が多発し、それに起因する災害が増加しつつある。このため、本研究で対象とする集中豪雨に起因する地すべりの発生機構の解明は、気候変動に起因すると解釈される降雨パターンの変動が顕在化しつつある日本においても有益な情報となりうるものと考えられる。

## 2. 研究の目的

降雨量は、発散量、斜面の表面流量および地中への浸透量の3項目に分類される(図-1参照)。ただし、降雨期間中の発散量がわずかであると仮定すれば、降雨量を斜面の表面流量と地中への浸透量とに分離されると解釈される。いうまでもなく、斜面が崩壊に至る誘因は、地中の間隙水圧を上昇させ、すべり抵抗力となる有効応力を低下させる地中への浸透量である。したがって、本研究で対象とする熱帯性豪雨(スコール)のように短時間・高強度の降雨時には、この比率を原位置で確認することが重要な検討課題となる。

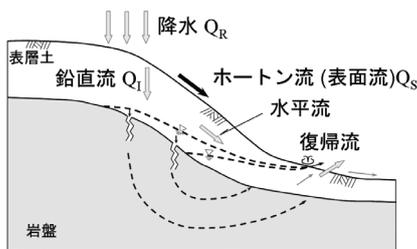


図-1 降雨時の斜面における水循環モデル

ここで、起案者らは、本研究に先立ち平成19年9月よりカセサート大学(タイ)との共同研究フィールド(ナコンナヨック)において原位置計測を実施してきた(図-2)。同計測では、雨量・体積含水率・サクシオン(負の間隙圧)に加えて、直接表面流量を計測するシステムを導入した(図-2参照)。

この計測システムを用いて、短時間・高強度の降雨時での斜面における表面流量と地中への浸透量との分離比率について明らかにすることを試みた。また、地中への浸透量

を表す体積含水率の変動特性、および斜面内のサクシオンの変動に着目して、先行履歴降雨が斜面安定に及ぼす影響についても検討を加えた。

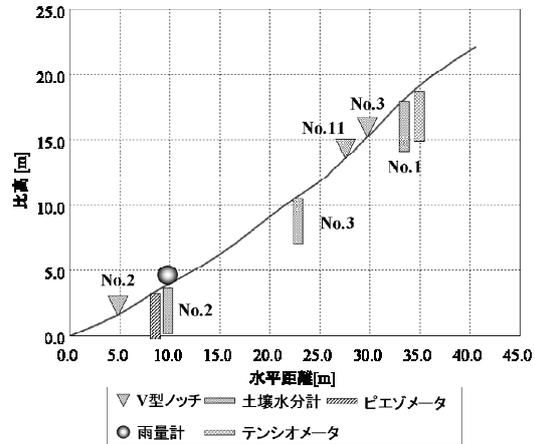


図-2 計測器配置(断面図)

## 3. 研究の方法

原位置計測で得られた結果について、以下のような分析を実施した。

(1) 降雨計測結果の分析に基づき、タイで計測された降雨と日本での短時間集中豪雨との比較検討を実施した。また、豪雨に対する雨量計の計測精度を検証するために、原位置計測サイトでの転倒ます型雨量計とドップラーレーダー式雨量計との計測結果の比較を実施した。

(2) 短時間・高強度の降雨時での斜面における表面流量と地中への浸透量との分離比率を算定するとともに、累積降雨量との相関性について明らかにした。

(3) 地中への浸透量を表す体積含水率の変動特性、特に一時地中に蓄積された水分量の消散過程を分析することで、先行履歴降雨の影響を考慮すべき期間について検討を加えた。

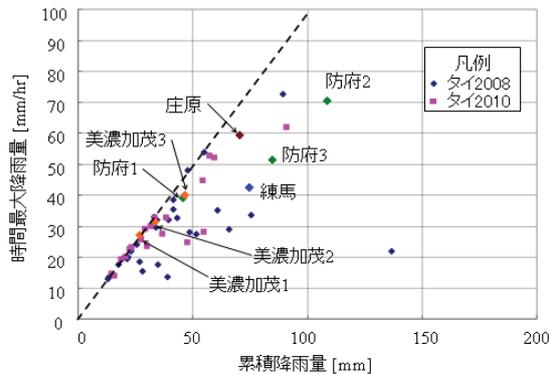
(4) (3)の地中に蓄積された水分量の消散過程に基づく降雨指標を作成し、その指標と斜面内のサクシオンの変動の相関性から、同指標の有用性について検討を加えた。

## 4. 研究成果

本研究において得られた知見は、以下のように要約される。

(1) 日本での短時間集中豪雨とスコールとの降雨特性は、いずれも概ね2時間という短時間に集中して高い降雨強度の雨が降るという点では共通している。詳細には、累積降雨、最大時間降雨、降雨継続特性等の降雨特性に着目した比較結果において、観測されたスコールの中で降雨強度の高い降雨の降雨特性は、日本での短時間集中豪雨と

極めて高い類似性がある(図-3 参照). また, 当該サイトの地盤特性は, 力学的/水理学的な地盤定数の比較から, 日本の火山岩系の岩盤が風化して崩壊土塊が斜面表面に堆積した斜面とほぼ同等である. 以上の2つの事項より, 当該サイトにおいて得られた知見は, 日本においても適用可能であると考えられる.



注) 図中の地名は, 日本における観測箇所を示す.

図-3 時間最大降雨量と累積降雨量の関係

(2) 原位置計測サイトでの転倒ます型雨量計とドップラーレーダー式雨量計との計測結果の比較(図-4 参照)で, 10分間雨量で10mmを上回らないような比較的降雨強度の小さい降雨の場合には, 2種類の雨量計による差異は微小である(図-4中のGroup1). ただし, 短期間に非定常的に高降雨強度が変動する場合には, 転倒ます型雨量計とドップラーレーダー式雨量計では顕著な差異が認められた(図-4中のGroup2). このことから, 集中豪雨時の流出・浸透を検討する上では, いずれの雨量計を用いて短期間に変動する降雨波形の特性について評価するかが今後の課題となる(図-4参照).

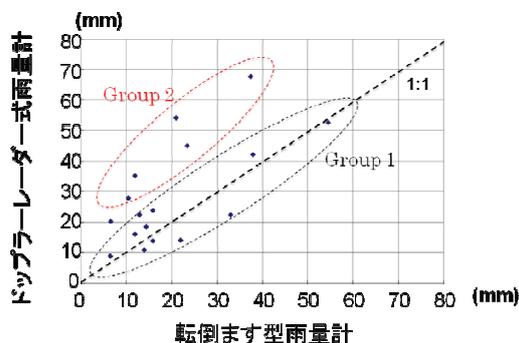


図-4 2種類の雨量計による累積雨量の比較

(3) 短時間に高強度の降雨が発生する場合には, 表面流が卓越し最大値が累積雨量の80%程度になる(図-5参照). この豪雨時に表面

流が卓越することが, 東南アジア諸国で多発しているガリ浸食に代表される斜面表面の浸食の発生要因となる. また, 表面流は斜面法尻部に集水されるため, 集中豪雨時の特有の浅層斜面崩壊は, 法尻から発生する危険性がある. この斜面法尻部における雨水浸透を抑制する対策としては, 小段に設けられた排水工を十分に維持管理することによる表面流の流下抑制, および法尻部へのふとんかごの設置による浸透抑制(排水促進)等があげられる.

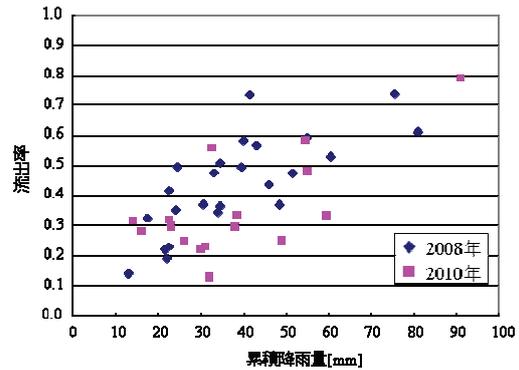


図-5 流出率と累積降雨量の関係

(4) タイでの斜面崩壊事例の分析結果から, 斜面内部に先行降雨の影響が残留している場合には, 豪雨発生直後でも斜面崩壊が多発してことから, 斜面崩壊には先行履歴降雨の影響を考慮する方法(先行履歴降雨指標API法)が提案されている. しかし, タイでは限界降雨曲線の設定は日雨量を用いたものとなっている. この課題に対処するため, 当該サイトでの10分間雨量の値を用いた水収支計測結果に基づき, APIを改良した修正先行履歴降雨指標MAPIを提案した. この結果として, MAPIの変動は, 当該斜面で観測された間隙圧の変動と調和的であることが確認され, MAPIが新たな通行規制体制での有効な降雨指標となる可能性がある(図-6参照).

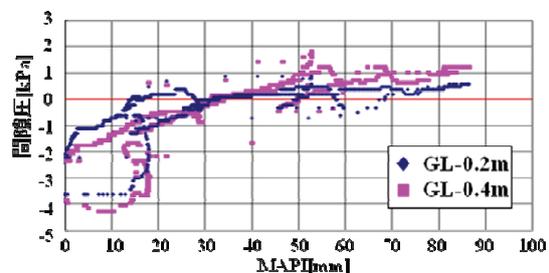


図-6 MAPIと間隙圧との相関

(5) 本研究で得られたMAPIを用いた通行規制体制の構築の可能性に関する知見は, 比較

的透水性が低い風化流紋岩での地盤に限定されるものである。このため、この知見をより一般的なものとするためには、透水性が高く、かつ日本・タイにおいて最も浅層斜面崩壊事例が多い風化花崗岩（まさ土）を対象とした原位置計測結果に基づく検討が必要である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計8件）

- ① 大津宏康, 堀田洋平, 高橋健二, 中村一樹: マルチタンクモデルを用いた斜面水分量の予測及びその適用範囲に関する研究, 第12回岩の力学国内シンポジウム論文集, 査読有, 2008, pp. 687-694.
- ② T. Suwanishwong, Ohtsu, H. and Takahashi, K.: Application of Kalman filter algorithm in Parameters identification of modified Multi Tank Model system, Journal of the Southeast Asian Geotechnical Society, 査読有, 2008, pp. 113-121.
- ③ 大津宏康, 新村知也, 高橋健二: 降雨に起因した斜面不飽和領域の土壌水分量変化の把握及びその予測手法に関する研究, 降雨と地震に対する斜面崩壊機構と安定性評価に関するシンポジウム論文集, 査読有, 2009, pp. 281-286.
- ④ 大津宏康, 堀田洋平, 高橋健二, 中村一樹, 新村知也: 熱帯性豪雨（スコール）に起因する斜面降雨浸透に関する原位置モニタリング, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2009 論文集, 査読有, 2009, pp. 1-6.
- ⑤ 大津宏康, 堀田洋平, Suttisak Soralump, 新村知也: 熱帯性豪雨による斜面降雨浸透特性に関する研究, 材料, Vol. 59, No. 3, 査読有, 2010, pp. 192-198.
- ⑥ 大津宏康, 高橋健二, 矢部満, 米澤裕之: 豪雨時の斜面浅層部における浸透特性に関する原位置モニタリング, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2010 論文集, 査読有, 2010, pp. 1-6.
- ⑦ 大津宏康, 高橋健二, 新村知也, 川合良治: 斜面降雨浸透に関する原位置モニタリング結果に対する逆解析システムの開発, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2010 論文集, 査読有, 2010, pp. 7-14.
- ⑧ Ohtsu, H., Maeda, Y., Yabe, M., Takahashi, K. and Yonezawa, H.: Field Monitoring of Moisture Infiltration Caused by Torrential Rainfall, Vietnam Geotechnical Journal, Volume 14, Number 2E, 査読無, 2010, pp. 3-9.

〔学会発表〕（計4件）

- ① H. Ohtsu, Y. Hotta, Y., Takahashi, K. and Nakamura, K.: A Study on Applicability of Modified Multi-Tank Model for Unsaturated Soil Slope, Proceedings of the EIT-JSCE Joint International Seminar on Rock Engineering 2008, pp. 184-191, 2008年9月15日, バンコク, タイ王国.
- ② H. Ohtsu: Risk Evaluation on Shallow Slope Failure against Guerilla Rainfall, Pro. of EIT-JSCE Joint International Symposium 2009 -Geotechnical Infrastructure Asset Management-, pp. 87-92, 2009年9月7日, バンコク, タイ王国.
- ③ H. Ohtsu, T. Niimura, Y. Hotta, K. Takahashi, and S. Soralump: A Study on the Monitoring and Prediction Method of Soil Moisture Characteristics at an Unsaturated Slope, Proc. of EIT-JSCE Joint International Symposium 2009 -Geotechnical Infra-structure Asset Management-, 2009年9月7日, バンコク, タイ王国.
- ④ Ohtsu, H.: Field monitoring in Nakhon Nayok, Thailand, Proc. of 2010 AIT-KU Joint Symposium on Human Security Engineering, pp. 66-75, 2010年9月6日, バンコク, タイ王国.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大津 宏康 (OHTSU HIROYASU)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 40293881

### (2) 研究分担者

楠見 晴重 (KUSUMI HARUSHIGE)  
関西大学・環境都市工学科・教授  
研究者番号: 70158880  
(H20-H21: 研究分担者)  
稲積 真哉 (INAZUMI SHINYA)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 90362459