

# 京都市東山山麓周辺における現地計測データを用いた 斜面安定度評価に関する研究

Study of the slope stability analysis based on the field measurement data  
around the base of Higasiyama in Kyoto city

里見知昭<sup>1</sup>・酒匂一成<sup>2</sup>・中川太郎<sup>3</sup>・安川郁夫<sup>4</sup>・深川良一<sup>5</sup>

Tomoaki Satomi, Kazunari Sako, Taro Nakagawa, Ikuo Yasukawa and Ryoichi Fukagawa

<sup>1</sup>立命館大学大学院 理工学研究科 博士後期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Doctoral Program, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>2</sup>立命館大学 COE推進機構 ポスドクトラルフェロー (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Postdoctoral Fellow, COE Promotion Program, Ritsumeikan University

<sup>3</sup>立命館大学大学院 理工学研究科 博士前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Master's Program, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>4</sup>立命館大学 COE推進機構 特別研究員 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Fellow, COE Promotion Program, Ritsumeikan University

<sup>5</sup>立命館大学 都市システム工学科 教授 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Dept. of Civil Engineering, Ritsumeikan University

Recently in Japan, slope disaster often occurs due to heavy rainfall. As a result, the damages including life, infrastructure, and heritage are increasing. In order to quantitatively evaluate the slope stability, evaluations of water behavior in soil are very important. Therefore, we have been measuring pore-water pressure, rainfall...etc., of a slope behind an important cultural asset in Kyoto city. In this paper, firstly, the estimation of slope stability based on the rainfall index are discribed. Then, the results that combine the rainfall index with the water behavior are presented. Consequently, a relationship between the water behavior and the rainfall intensity are obtained, which can be used for the prediction of slope failule.

**Key Words :** *Monitoring, rainfall index, pore-water pressure, slope failure*

## 1. はじめに

京都市内の山麓周辺には代替性のない重要文化財が数多く存在しており、これらが一旦降雨や地震などの自然災害で被災すると修復が困難であることは容易に想像できる。さらに、観光客や周辺住民の生命にも影響するため、自然災害に対する防災対策が必要である。特に近年、わが国では梅雨期や台風襲来期の大雨によって斜面崩壊などの土砂災害が多発しており、人的および物的被害が拡大する傾向にある。そこで、土砂災害から人命を守るために2001年に土砂災害防止法が施行され、施行後には土砂災害警戒区域等の指定が実施されており、指定箇所が年々増加する傾向にある<sup>1)</sup>。降雨を要因とした斜面崩壊に対する防災対策として、従来、降雨量に基づいて斜面の安定性を判断して、避難勧告や交通規制を発令することに重点が置かれてきた。しかし、降雨による斜面の安定性をより定量的に評価するためには、地盤内の水分変動(間隙水圧、体積含水率など)を現地計測によって具体的に把握することが望ましい。それは、降雨時の表層崩壊の要因が、

(1) 雨水の浸透による土塊自重の増加、(2) 地盤内の飽和度の増加によるせん断強度の低下、(3) 地下水位の上昇による浸透力の増加であると言われているからである。筆者らの研究グループでは、京都市東山山麓の重要文化財後背斜面を対象に（以降、対象斜面と記載）、2004年7月から現地計測（間隙水圧、10分間雨量）を行っている。本論文では、現地計測データを使用して従来の評価方法である雨量指標に基づく場合と、雨量指標と地盤内の水分変動を組み合わせた場合の斜面安定度に関する分析結果について考察する。

## 2. 現地計測の概要

図1に対象斜面の地質断面図および計測位置を示す。地質断面図は対象斜面の4箇所で行った簡易貫入試験の結果に基づいて、基盤面を推定して作成されたものである。試験結果より、斜面全体の表層厚さは約1~2mであることが分かった。計測位置は、対象斜面に対して上部からB、M、C地点と位置付けている。計測機器は2004年から計測しているM地点では、間隙水圧を計測するためのテンシオメータ（深さ20, 40, 60, 80, 100cm：計5本）と10分間雨量を計測するための転倒ます型雨量計を設置している。そして、2006年より新たに増設したB、C地点ではテンシオメータ（深さ40, 80, 100cm：各地点3本、計6本）を使用している。

本論文では、M地点の計測データをもとに斜面安定度に関して分析し考察している。

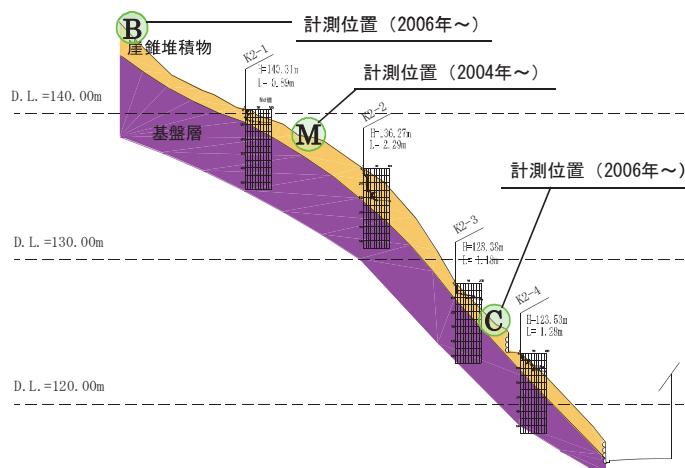


図1 地質断面図および計測位置

## 3. 雨量指標による斜面の安定度評価

雨量データを雨量指標（連続雨量、時間雨量、実効雨量、土壌雨量指数など）で表し、一般にその結果をもとに土砂災害発生基準線（Critical Line：CL）を設定して土砂災害の発生危険度を評価している。評価方法として、雨量指標の時系列方向による方法と縦軸を短期間雨量指標、横軸を長期間雨量指標として表現した方法があり、官庁、道路、鉄道などの各機関で採用されている。そこで、各機関が採用する評価方法や雨量指標について説明する。なお、これらの概説は本研究で使用する評価方法および雨量指標を選定するための参考資料として位置付けている。

国土交通省（旧建設省）では、昭和59年に「土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定作成指針（案）」<sup>2)</sup>を公表し、「実効雨量と時間雨量を用いた方法（A案）」と「実効雨量と有効雨量強度を用いた方法（B案）」を挙げている。この案ではがけ崩れは評価対象ではなかったため、平成5年10月に「集中的に発生するがけ崩れ」も対象とした「総合土砂災害対策委員会における提言および検討結果」<sup>3)</sup>を公表した。最近では、平成17年2月に「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法（案）」<sup>4)</sup>を公表し、「土壌雨量指数と時間雨量」を採用している。一方、各高速道路株式会社（旧日本道路公団）では「連続雨量と時間雨量」を、一般国道は「時系列による連続雨量、または実効雨量」を採用している<sup>5)</sup>。そして、JR各社のほとんどは「連続雨量と時雨量（任意の時刻に対して1時間前からその時刻までの降雨量の合計）」を採用している。しかし、JR九州は「連続雨量」ではなく、連続雨量に前期実効雨量（降り始めから過去7日間の実効雨量を日単位で求めた雨量）を加えた指標「JR九州式実効雨量」を採用している<sup>6),7)</sup>。

このように、各機関が採用する評価方法および雨量指標より、本論文では、短期間雨量指標と長期間雨量指標を組み合わせた方法を適用し、雨量指標として「時間雨量、実効雨量、土壌雨量指数」を採用した（実効雨量と土壌雨量指数は(1)で説明）。そして、雨量指標を使ってCLを設定し、最も有効な雨量指標の組み合わせについて検討した。

(1) 雨量指標の概要

a) 実効雨量<sup>8), 9), 10)</sup>

降雨による斜面崩壊の多くは地盤内への雨水浸透が影響しており、現在降っている雨だけではなく、前に降った雨も影響する。つまり、現在との時間差が大きくなるほど雨の影響が小さくなると考えられ、式(1)の半減係数によって表される。この半減係数を使った雨量指標が実効雨量であり、式(2)のように定義される。

$$\alpha_{t-n} = (0.5)^{n/T} \quad (1)$$

$$R(t) = R_w(t) + \sum R_w(t-n) \cdot \alpha_{t-n} = R_w(t) + R(t-n) \cdot \alpha_{t-n} \quad (2)$$

ここで、 $\alpha_{t-n}$  は半減係数、 $T$  は半減期（1.5hour, 24hour, 72hour など [以降、1.5h 半減期, 24h 半減期, 72h 半減期と表記]）、 $R_w(t)$  は時刻  $t$  の時間雨量 [mm/hour]、 $R_w(t-n)$  は時刻  $t$  から  $n$  時間前の時間雨量 [mm/hour]、 $R(t-n)$  は時刻  $t$  から  $n$  時間前の実効雨量 [mm] を表す。

b) 土壌雨量指数<sup>11), 12)</sup>

土壌雨量指数は図2に示す直列3段タンクモデルの貯留高の合計値である。貯留高の合計値が大きいほど土砂災害発生の危険性が高く、1段目は地表面流出、2段目は表層浸透流出、3段目は地下水流出に対応している。各流出量は式(3)、各貯留高は式(4)のように表される。

$$\begin{aligned} q_1(t) &= \alpha_1 \{S_1(t) - L_1\} + \alpha_2 \{S_1(t) - L_2\} \\ q_2(t) &= \alpha_3 \{S_2(t) - L_3\} \\ q_3(t) &= \alpha_4 \{S_3(t) - L_4\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_1(t + \Delta t) &= (1 - \beta_1 \Delta t) \cdot S_1(t) - q_1(t) \cdot \Delta t + R(t + \Delta t) \\ S_2(t + \Delta t) &= (1 - \beta_2 \Delta t) \cdot S_2(t) - q_2(t) \cdot \Delta t + \beta_1 \cdot S_1(t) \cdot \Delta t \\ S_3(t + \Delta t) &= (1 - \beta_3 \Delta t) \cdot S_3(t) - q_3(t) \cdot \Delta t + \beta_2 \cdot S_2(t) \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

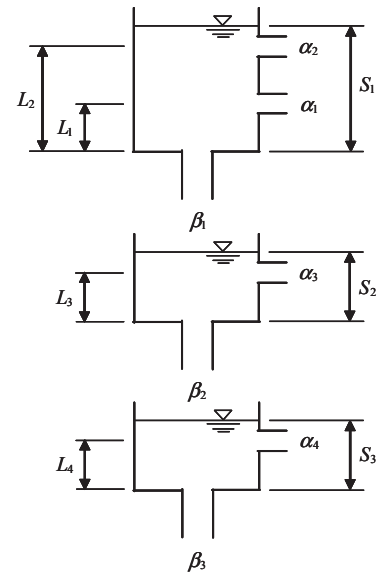


図2 直列3段タンクモデル

ここで、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  は各流出孔の流出係数 [1/hour]、 $L_1, L_2, L_3, L_4$  は各流出孔の高さ [mm]、 $S_1, S_2, S_3$  は各タンクの貯留高、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  は各浸透流出孔の浸透係数 [1/hour]、 $\Delta t$  は計測間隔（10min, 1hour など）、 $R$  は降雨量 [mm/10min, mm/hour など] を表す。

式(3), 式(4)の設定パラメータを表1に示す。このパラメータは、平成17年6月に国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部が連携して策定した「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法(案)」に基づいている。

表1 各タンクモデルの設定パラメータ

	1 段目	2 段目	3 段目
流出孔の流出係数 [1/hour]	$\alpha_1 = 0.10$ $\alpha_2 = 0.15$	$\alpha_3 = 0.05$	$\alpha_4 = 0.01$
流出孔の高さ [mm]	$L_1 = 15$ $L_2 = 60$	$L_3 = 15$	$L_4 = 15$
浸透流出孔の浸透係数 [1/hour]	$\beta_1 = 0.12$	$\beta_2 = 0.05$	$\beta_3 = 0.01$

## (2) CLの設定方法

本研究で対象としている東山麓周辺では斜面崩壊が過去に1972年7月12日と1999年6月27日に発生しており、1999年6月27日の1時間毎の雨量記録がある<sup>13)</sup>。そこで、本論文では図3に示すような崩壊発生時の降雨（発生降雨と呼称）が1つで崩壊が非発生時の降雨（非発生降雨と呼称）と離れ、さらに発生・非発生降雨の信頼性が高い場合と仮定してCLを設定した<sup>14)</sup>。

## (3) 計測データの収集範囲

データ整理には、対象斜面での計測データ（10分毎のデータ、2004年7月22日から2006年11月30日まで）と、気象庁による過去の観測データ（1時間毎のデータ、1999年1月1日から2004年7月21日まで、観測地点は、京都地方気象台〔京都〕<sup>13)</sup>を用いた。また、雨が降り始めてから無降雨状態が3時間継続した時刻までをデータの収集範囲とした。

## (4) 雨量指標の選定に関する検討

本論文では、短期間雨量指標を「時間雨量、1.5h半減期実効雨量」、長期間雨量指標を「24h半減期実効雨量、72h半減期実効雨量、土壌雨量指数」としてCLを設定した。一例として、「時間雨量－24h半減期実効雨量」（矢野案(1990)<sup>8)</sup>の結果を図4に示す。図4の青線は「気象庁観測データ」、赤線は「現地計測データ」である。ただし、「2005年2月、2006年4、5、7月」の現地計測データは、転倒ます型雨量計の受水口フィルターに枯れ葉などが堆積して計測できなかったため、気象庁観測データを使用した。同様に、「1.5h半減期実効雨量－72h半減期実効雨量」（提言案(1993)）、「時間雨量－72h半減期実効雨量」（比較検討のため）、「時間雨量－土壌雨量指数」（連携案(2005)）で整理した結果をもとにCLを設定した。そして、それぞれの場合で設定したCLの結果に基づいて、最も有効な雨量指標の組み合わせについて検討する。倉本らの研究<sup>15)</sup>では、既往の発生・非発生降雨から精度（災害補足率、空振り）、CLを超過している時間（CL超過時間）を検討している。しかし、発生降雨データは1個だけのため、空振りなどの精度を検査することは容易ではない。そこで、CL超過時間に注目して短期間および長期間の雨量指標の選定について検討する。

### a) 短期間雨量指標

長期間雨量指標を「72h半減期実効雨量」で固定し、短期間雨量指標を「時間雨量、1.5h半減期実効雨量」とした場合について検討する（図5参照）。図5より、CLによる非発生降雨領域で「1.5h半減期実効雨量」の方が「時間雨量」に比べて広い。仮に長期間の降雨が

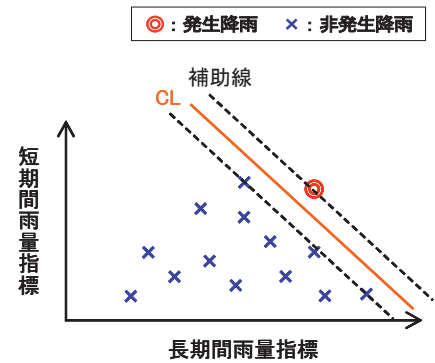


図3 CLの設定方法

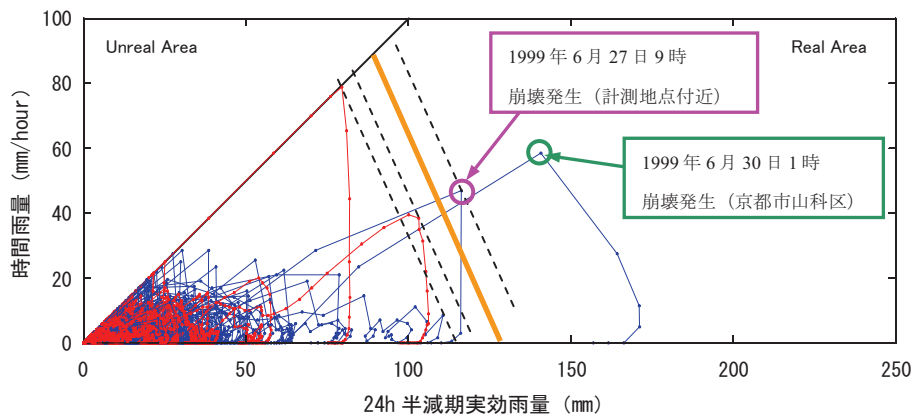


図4 時間雨量－24h 半減期実効雨量

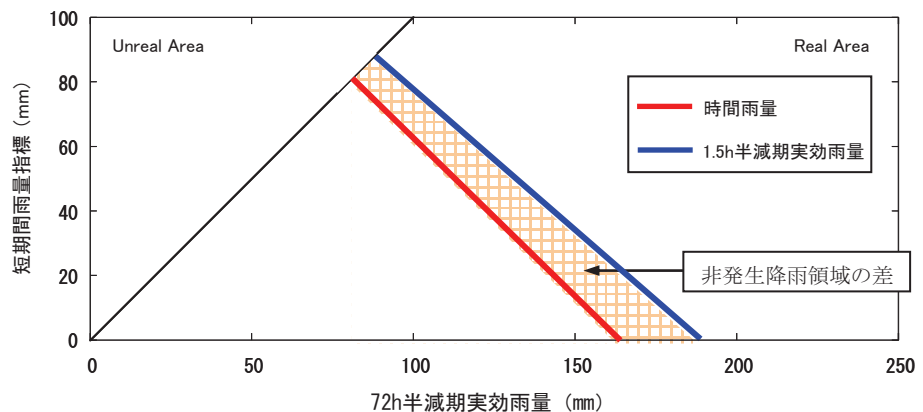


図5 短期間雨量指標の採用（長期間雨量指標：72h 半減期実効雨量）

続いた場合、「1.5h半減期実効雨量」は危険側の評価指標となるため、避難勧告などの指示が遅れるおそれがあり被害が拡大すると予測される。したがって、避難勧告を指示する場合には、安全側の評価指標である「時間雨量」の方が望ましいと考えられる。

#### b) 長期間雨量指標

短期間雨量指標を「時間雨量」で固定し、長期間雨量指標を「24h半減期実効雨量、72h半減期実効雨量、土壌雨量指数」とした場合で検討する(図6参照)。ここで、横軸とCLの交点(最大長期間雨量と定義)に注目すると、「72h半減期実効雨量」は「24h半減期実効雨量、土壌雨量指数」に比べて値が大きい。長期間の降雨が続いた場合、「72h半減期実効雨量」では危険側の評価指標となるため、避難勧告などの発令が遅れる可能性がある。一方、「24h半減期実効雨量、土壌雨量指数」の最大長期間雨量はほとんど同じなので、他の検討方法を使う。今回は「雨量指標の時系列プロットの軌跡(スネーク曲線と呼称)」に注目する。図7に「24h半減期実効雨量」と「土壌雨量指数」の一例を示す。図7より、「土壌雨量指数」のほうが「24h半減期実効雨量」よりもピーク値からの回復率が大きい。したがって、「土壌雨量指数」を使うほうが避難勧告を発令し続ける時間が短縮できるので、避難による精神的苦痛や規制による社会経済への負担が緩和されるのではないかと推測される。

以上の短期間および長期間雨量指標の選定に関する検討より、最も有効な組み合わせは「時間雨量-土壌雨量指数」であると分かった。倉本ら<sup>15)</sup>の雨量指標の選定に関する研究においても、災害補足度や空振り率の検討から「時間雨量-土壌雨量指数」の組み合わせが最も妥当であると結論付けられている。

以上、

## 4. 雨量と間隙水圧の変化傾向に関する分析・評価

### (1) 降雨パターンの違いによる間隙水圧の変化 (M地点)

これまでの現地計測結果より、降雨パターンの違いによって間隙水圧の変化傾向が異なる様子が見られた。そこで、図1のM地点を対象に2004年7月22日から2006年11月30日までの計測データを使って、降雨パターンの違いによる間隙水圧の変化傾向を以下の6パターンに分類し、データ整理を行った<sup>16)</sup>。

- 1) × : 間隙水圧の増加なし。
- 2) △ : 深さ20, 40cm地点の間隙水圧のみ増加。
- 3) □ : 地表面から順に全ての間隙水圧が増加するが、深い部分の間隙水圧の増加は小。
- 4) ■ : 地表面から順に全ての間隙水圧が大きく増加。
- 5) ○ : 深さ100cm地点の間隙水圧の急な増加が見られるが、深さ60, 80cm地点の間隙水圧の増加は小。
- 6) ● : 深さ100cm地点の間隙水圧の急な増加が見られ、全ての深さの間隙水圧も急激に増加。

図8は、旧日本道路公団が異常降雨時における道路通行規制基準値を設定するときの連続時間雨量法で使われている降雨履歴図<sup>17)</sup>に、6パターンに分類した間隙水圧の変化傾向の結果をプロットしたものである。

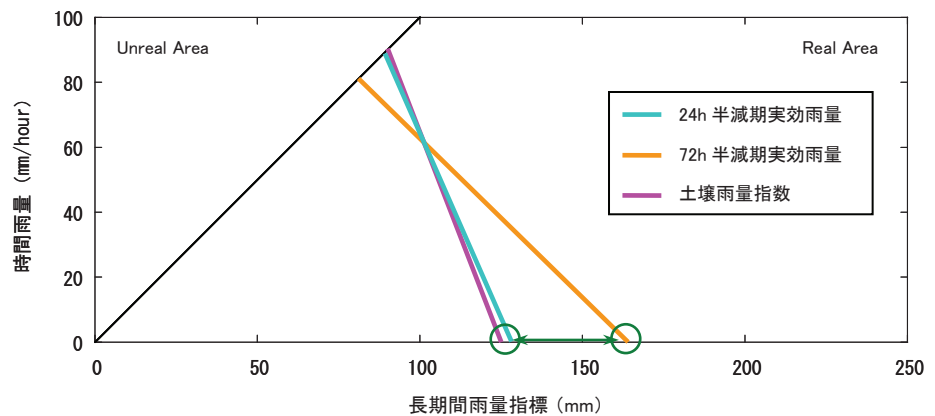


図6 長期間雨量指標の採用(短期間雨量指標:時間雨量)

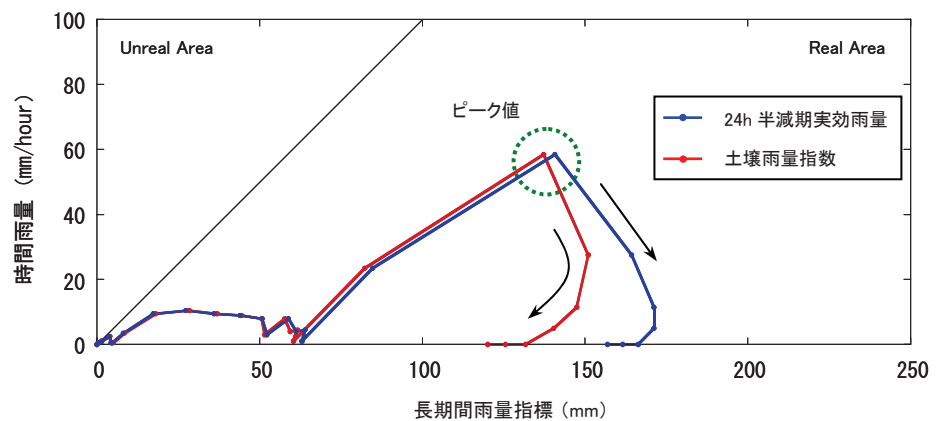


図7 スネーク曲線による検討結果

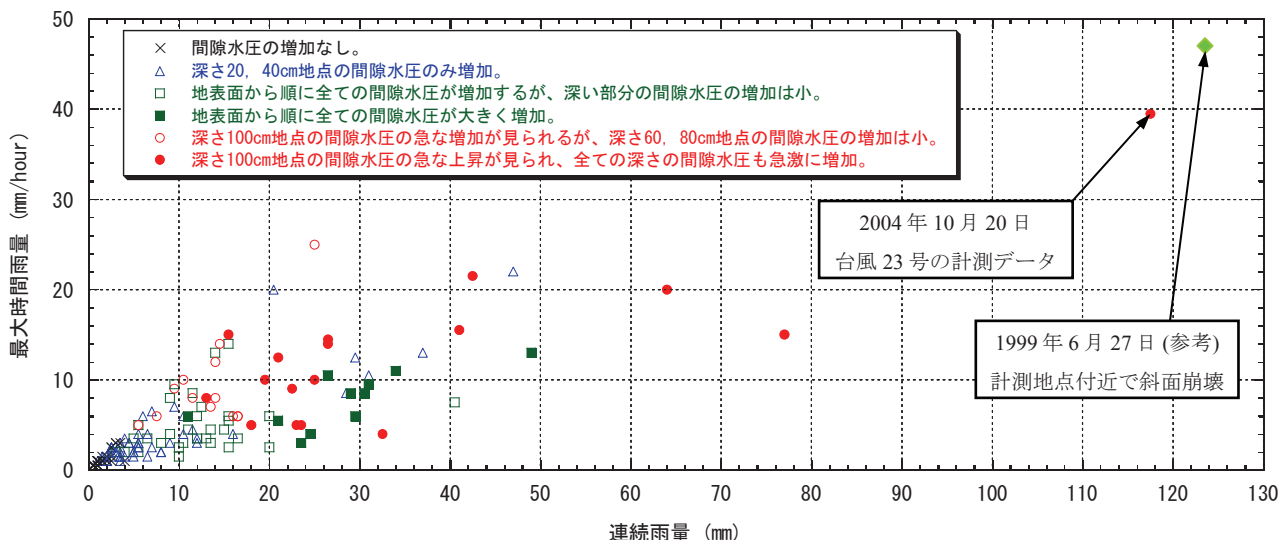


図8 降雨パターンの違いによる間隙水圧の変化傾向

表2 各年の間隙水圧の変化傾向

間隙水圧の変化傾向	連続雨量 [mm]			
	2004年	2005年	2006年	3年間の平均
全ての深さの間隙水圧が増加なし (×)	1.5mm 以下	3.0mm 以下	4.0mm 以下	2.8mm 以下
深さ 100cm の間隙水圧が増加 (○, ●)	7.0mm 以上	8.0mm 以上	11.5mm 以上	8.8mm 以上
全ての深さの間隙水圧が急増する傾向 (■, ●)	18.0mm 以上	23.0mm 以上	21.0mm 以上	20.7mm 以上

参考データとして、図8に1999年6月27日の午前8時45分頃に計測地点付近で斜面崩壊が発生したときの気象庁観測データ（午前9時：連続雨量が123.5mm、時間雨量が47mm/hour）を表示している。このデータをもとに2004年10月20日に発生した台風23号のときの現地計測データと比較すると、斜面崩壊が発生する危険度が大きい状況にあったと推測される。そして、表2のように各年の間隙水圧の変化傾向を連続雨量でまとめると、約3年間の傾向は比較的似ていることが分かった。また、2005、2006年の連続雨量が2004年と比べて増加したのは、集中豪雨の記録回数と1年間通しての降雨回数が少なく、さらに地盤が乾燥状態であったためと考えられる。

## (2) 深さ100cmの間隙水圧の変化傾向について (M地点)

“(1) 降雨パターンの違いによる間隙水圧の変化 (M地点)” では、M地点全体の間隙水圧の変化傾向について分析した結果、深さ100cmの間隙水圧が他の地点よりも先に反応した計測結果が得られた。この原因は、地盤内を雨水が浸透する過程にあると考えられる。一般に雨量が多い場合は、雨水は地表面から順番に浸透するだけではなく、地表面を流出したあとで地盤内に浸透する。図1のように、M地点付近では地表面から約1~1.2m地点に基盤層があり、基盤層は崖錐堆積物層（表層）に比べて不透水層である。つまり、M地点の上部から浸透した雨水が表層と基盤層の間を流れることで、深さ100cmの間隙水圧が反応しやすくなると推測される。そこで、降雨時の斜面表層の深い地点（100cm）における水分変動に注目して、降雨直前の地盤内の水分状態、雨量強度を考慮して検討する。今回使用する物理量を図9、表3に示し、表4の指標を用いて分析を行う。この指標を使うのは、不飽和土中の水の流れは水分量や水分分布の状態に関係するからである<sup>18)</sup>。また、降雨パターンの違いによって間隙水圧の変化傾向が異なるという計測結果から、地表面から順番に間隙水圧が反応した場合（まとめた図では、●と表記）と、深さ100cmの間隙水圧が他の地点よりも先に反応した場合（■と表記）に分けて計測データを整理した。

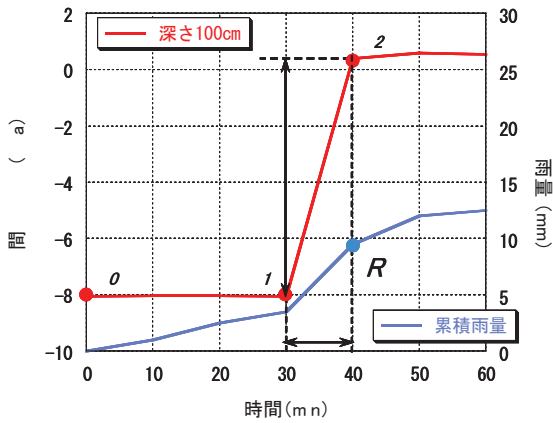


図9 分析に使用する物理量

表4 分析に使用する指標

$u_0$ (kPa)	降雨直前の深さ 100cm の間隙水圧の初期値
$du/dt$ (kPa/min)	深さ 100cm の間隙水圧の時間変化
$R/du$ (-)	累積雨量 / 間隙水圧 (圧力水頭) の変化

a) 100cm の間隙水圧の初期値 - 100cm の間隙水圧の時間変化

分析結果を図 10 に示す。降雨直前の地盤状態が湿潤状態であるほど、間隙水圧の時間変化は小さくなる傾向となった。また、地表面から順に浸透した●は図 11 の水分特性曲線のような S 字カーブを描く傾向である。一方、■も似た傾向であるが、●の結果よりも明確ではないので異なった浸透過程であると推測できる。

b) 100cm の間隙水圧の初期値 - 累積雨量 / 間隙水圧の変化

評価指標の「累積雨量 / 間隙水圧の変化」は「透水係数  $k$ 」をイメージしており、飽和度が大きいほど水が流れやすいことを表している (図 11 参照)。このイメージを、式(5) (ダルシー則) と式(6) (連続式) を使って具体的に表すと、式(7)のように示される。

$$v = ki = k \frac{\Delta h}{L} \quad (5)$$

$$Q = vA \quad (6)$$

$$k = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{\Delta h} \quad (7)$$

ここで、 $v$  は流速 [m/sec]、 $k$  は透水係数 [m/sec]、 $i$  は動水勾配、 $\Delta h$  は水等差 [m]、 $L$  は透水距離 [m]、 $Q$  は流量 [m<sup>3</sup>/sec]、 $A$  は断面積 [m<sup>2</sup>] である。

式(7)より、「透水係数  $k$ 」は「流量  $Q$ 」と「水頭差  $\Delta h$ 」の関係であることが判断できる。つまり、「透水係数  $k$ 」は「累積雨量」と「間隙水圧の変化」の関係で表されることが分かる。

図 12 に示すように、降雨直前の地盤状態が湿潤状態であるほど、「累積雨量 / 間隙水圧の変化」は大きくなる傾向であった。また、●の結果のほうが■の結果よりも明確な関係をもつと推測され、浸透過程の違いによって間隙水圧の変化傾向が異なると判断される。

表3 分析に使用する物理量

$u_0$ (kPa)	降雨直前の深さ 100cm の間隙水圧の初期値
$u_1, u_2$ (kPa)	深さ 100cm の間隙水圧の変化する直前、変化後の値
$ du $ (kPa)	深さ 100cm の間隙水圧の変化
$dt$ (min)	間隙水圧が変化する直前から変化後までの時間
$R$ (mm)	降雨開始から間隙水圧が変化するまでの累積雨量

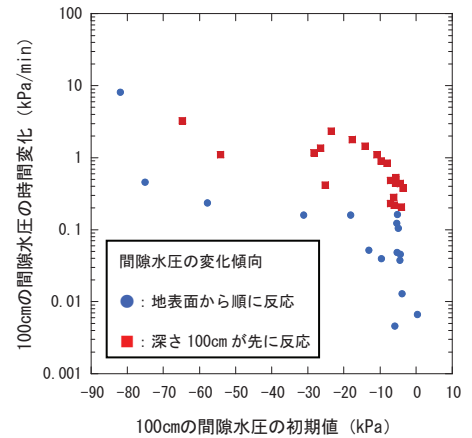


図10  $u_0 - du/dt$

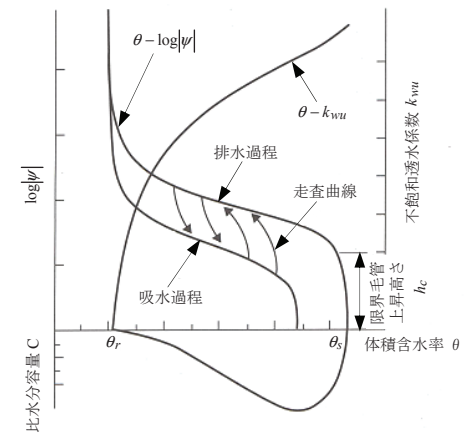


図11 地盤内の浸透特性<sup>18)</sup>

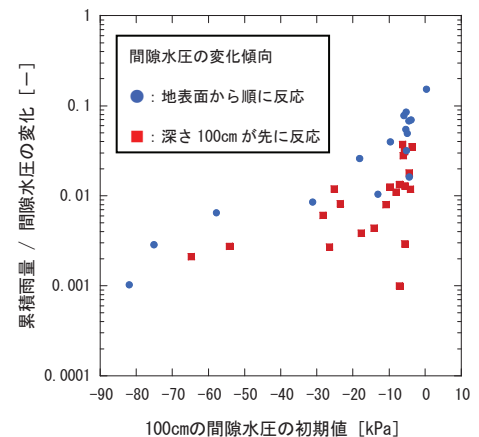


図12  $u_0 - R/du$

以上の a)、b)の結果をまとめると、■の結果は●と異なると推測でき、上部からの浸透が影響したのではないかと考えられる。

## 5. おわりに

本論文では、現地計測データ（間隙水圧、降雨量）から従来の降雨量を用いた評価方法、雨量指標と間隙水圧の変化傾向を組み合わせた評価方法を用いて、斜面の安定度評価の検討を行った。従来の評価方法における雨量指標の選定で「CL超過時間、スネーク曲線の軌跡」を検討項目とした結果、「時間雨量－土壌雨量指数」が最も有効な組み合わせであることが分かった。一方、雨量指標と間隙水圧の変化傾向を組み合わせた評価では、旧日本道路公団が採用している連続時間雨量法の降雨履歴図を使って計測データをまとめた結果、連続雨量が8.8mm以上になると深さ100cmの間隙水圧が変化することが分かった。

深さ100cmの間隙水圧が他の地点よりも先に反応した計測データがあったので、深さ100cmの間隙水圧の変化傾向に注目した結果、「降雨直前の地盤内の水分状態、雨量強度」に関係していることが推測できた。さらに、雨水の浸透過程が地表面から順に浸透する場合と順に浸透しない場合では、分析結果に違いが生じた。今後は、多点化したB、C地点の計測データを加えて地盤内の浸透過程を詳細に把握したいと考えている。

## 参考文献

- 1) (社)全国治水砂防協会：各都道府県における土砂災害警戒区域等の指定状況(告示日別)  
<http://www.sabo.or.jp/topics/0005-0508/shitei-jyoukyou2.htm> (2007/05/05 現在)
- 2) 建設省河川局砂防部：土流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定作成指針(案), 1984.
- 3) 建設省河川局砂防課：総合土砂災害対策委員会における提言および検討結果, 1993.
- 4) 国土交通省河川局, 気象庁予報部, 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法(案), 2005.
- 5) 北野和基, 西井幸春：実効雨量法（換算連続雨量法）を使用した事前通行規制手法のガイドライン(案), 中部地方整備局, 2001.
- 6) 東日本旅客鉄道株式会社：降雨時の運転規制に用いる新しい雨量指標に関する技術検討会(資料), 2004.
- 7) 川野輝信：降雨時の運転規制の変遷と今後の取り組み, わかりやすい土木講座, 日本鉄道施設協会誌, 1997.
- 8) 矢野勝太郎：前期降雨の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究, 砂防学会誌, Vol.43, No.4, pp.3-13, 1990.
- 9) 寺田秀樹, 中谷洋明：土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法, 国土技術政策総合研究所資料, 第5号, p.32, 2001.
- 10) 福井県土木部河川課・砂防海岸課：土砂災害情報システム, 用語解説  
[http://fukui-pref.bosai.info/fukui-kaisetu/term\\_internet/terms\\_inter.htm](http://fukui-pref.bosai.info/fukui-kaisetu/term_internet/terms_inter.htm) (2007/05/05 現在)
- 11) 岡田憲治：土壌雨量指数, 測候時報, Vol.69, No.5, pp.67-97, 2002.
- 12) 国土交通省河川局, 気象庁予報部, 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法(案), 別紙資料1, 2005.
- 13) 気象庁 電子閲覧室：<http://www.data.kishou.go.jp/etrm/index.html>
- 14) 寺田秀樹, 中谷洋明：土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法, 国土技術政策総合研究所資料, 第5号, pp.40-42, 2001.
- 15) 倉本和正, 野呂智之, 小山内信智, 小林幹男, 岡田憲治：土砂災害警戒情報の作成・発表基準に用いる降雨指標の検討, 砂防学会研究発表会概要集, pp.186-187, 2005.
- 16) 酒匂一成, 深川良一, 岩崎賢一, 里見知昭, 安川郁夫：降雨時の斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地モニタリング, 地盤工学ジャーナル, Vol.1, No.3, pp.57-69, 2006.
- 17) (社)地盤工学会 豪雨時の斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測に関する研究委員会編：豪雨時の斜面崩壊メカニズムおよび危険度予測に関する研究報告書, pp.1-7, 2003.
- 18) (社)地盤工学会：不飽和地盤の挙動と評価, pp.29-31, 2004.