

京都大学工学部地球工学科
 京都大学大学院工学研究科
 西日本高速道路株式会社
 京都大学大学院工学研究科

学生員 〇古賀 博久
 正会員 大津 宏康
 正会員 前田 良刀
 学生員 米澤 裕之

1. はじめに

近年日本において、温暖化に伴う気候変動の影響の一つと捉えられる局所的な短期間集中豪雨、いわゆるゲリラ豪雨の発生が増加し、それに起因する斜面崩壊あるいは地すべりによる土砂災害が増加することが懸念されている。現状において、日本では降雨に起因する斜面災害に対する防災対策としては様々な方策が採用されているが、その一つの方策として、図-1に示す降雨に起因する斜面崩壊の早期警戒体制の適用が挙げられる。この手法は、過去の降雨時の斜面崩壊事例に基づき、時間降雨量と累積降雨量（あるいは連続雨量）を組み合わせ、管理値となる限界降雨包絡線¹⁾を設定するものである。ただし、前述のようにゲリラ豪雨がこれまでに日本ではほとんど観測されていなかったことから、既往の降雨記録の統計処理を基本とする手法を適用することは必ずしも適切でないと危惧される。そこで、集中豪雨時の、斜面における降雨流出浸透特性を把握し、新しい早期警戒体制の手法を検討することは、地盤工学分野において喫急の課題となる。

2. 原位置モニタリングの概要

ゲリラ豪雨時の斜面における雨水流出および雨水浸透のメカニズムの解明を目的として、タイにおいて、降雨特性がゲリラ豪雨と等価と推定されるスコール時の斜面における降雨流出浸透特性の原位置計測（体積含水率・表面流出量・降雨量・間隙圧）を実施している。図-2に斜面計器平面図を示す。土壌水分計およびテンシオメータにより、それぞれ体積含水率および間隙圧を計測している。また、斜面に建設されている河道に対してVノッチを設置し、Vノッチからの越流水位を水位計により計測し、JIS B 8302のせき式流量公式により表面流出量を算出している。これらによって、斜面表層部における降雨流出浸透特性に関する結果を示すとともに、考察を加える。

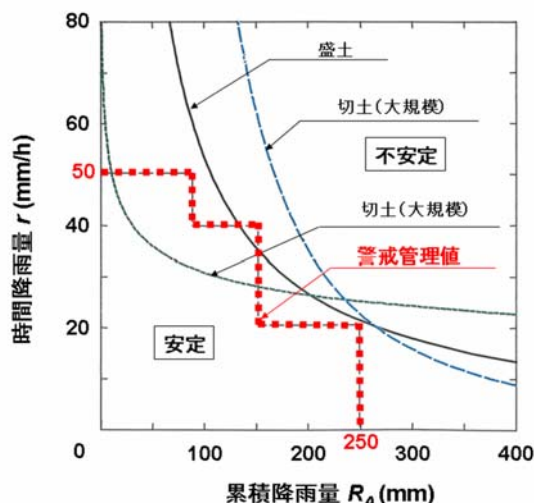


図-1 降雨に起因する斜面崩壊の早期警戒体制¹⁾に加筆

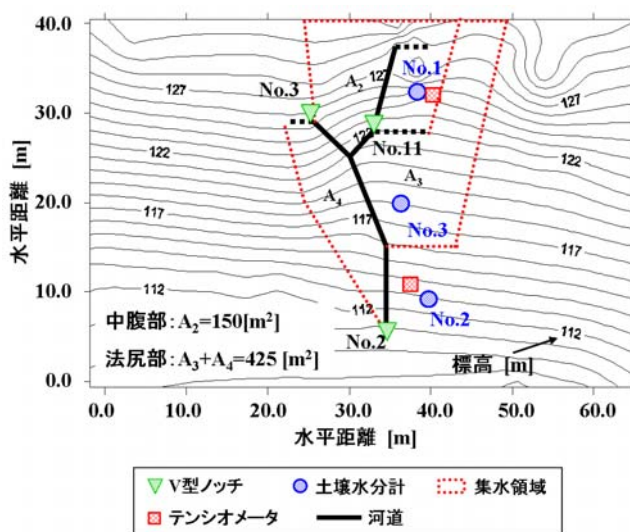


図-2 斜面計器平面図

ここで、当該斜面の地質は、中生代ジュラ紀から白亜紀の流紋岩の風化帯からなっており、表層部は高温多湿の条件下での強風化によって粘土化したものである。

3. 水収支に関する原位置計測結果

本章では、タイで計測されたデータを用いて、斜面に降った雨が、斜面内部への浸透量と表面流出量へどのような比率で分離されるかについて検討する。

まず、**図-3**に累積降雨量と流出率の関係を示す。ここで、流出率は当該斜面から集水される総流出量を累積降雨量で除した値である。同図に示すように、流出率は累積降雨量が増加するにつれて増加するが、0.8程度に収束する傾向となる。すなわち、短時間に高強度の降雨が発生する場合、表面流が卓越し、流出率の最大値が0.8程度になる。本計測を行っているタイを始めとする東南アジア諸国の斜面で、ガリ浸食に代表される斜面表面の浸食が多発している。表面流が卓越することが、斜面表面の浸食の発生要因になっているものと推察される。

次に、斜面内部への浸透量について、以下の簡便な2つの手法に基づき検討を加える。

1) 手法1

斜面中腹部に設置した土壌水分計により計測された、降雨開始から終了時点までの体積含水率変化の累積量を斜面内部への浸透量と定義する。

2) 手法2

以下に示す式(1)に基づき、集水域全体に降った累積降雨量から総流出量、および欠損雨量を差し引き、その値を集水面積の総和で除した値を、単位面積あたりの斜面内部への浸透量と定義する。

$$q_I = (Q_P - Q_R - Q_S) / A \quad (1)$$

ここに、 $q_I[L/m^2]$ は表面流出量から逆算して算定される単位面積あたりの浸透量で、単位としては、 $[L/m^2]$ は $[mm]$ と等価である。 $A[m^2]$ は集水面積の総和、 $Q_P[L]$ は集水域全体に降った累積降雨量、 $Q_R[L]$ は1雨における集水域全体の総流出量、 $Q_S[L]$ は集水域全体の欠損雨量である。欠損雨量とは表層植生が保持する水量のことで、当該斜面における欠損雨量は、原位置計測結果より $1m^2$ あたり $5mm$ と定めるものとする。ここで、手法1は中腹部の1点に対応する量を与えるのに対して、手法2は斜面全体での平均量を与えるものであることに留意されたい。

上記の留意事項を踏まえて、2つの手法により浸透量を算出し、その量を累積降雨量で除した値を浸透率と定義する。累積降雨量と浸透率の関係を**図-4**に示す。同図に示すように、2つの手法による算定結果はばらついた分布となるが、手法1と手法2の分布が概ね等しくなり、いずれの結果も累積降雨量の増加に従い、浸透率が減少し、0.1から0.2程度に収束する傾向となる。両手法の分布が等しいことから、斜面中腹部の不飽和領域において、鉛直方向の浸透が卓越していると推察される。浸透率の

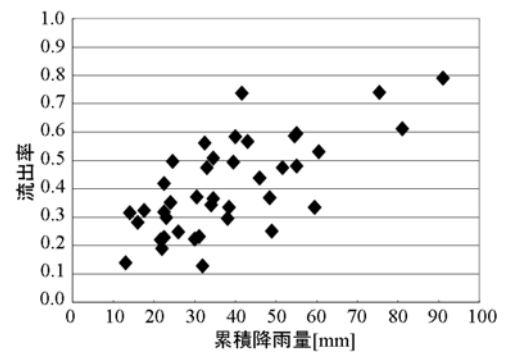


図-3 累積降雨量と流出率の関係

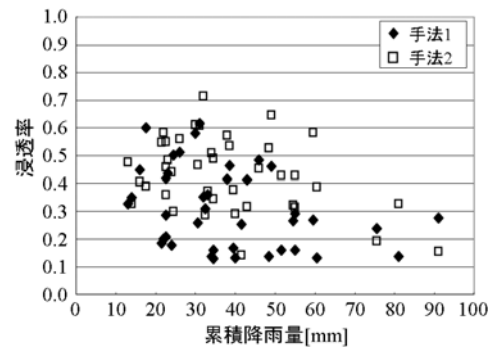


図-4 累積降雨量と浸透率の関係

傾向は、降雨継続に従い、浸透能が減少し、ある値に収束するという Horton の浸透理論²⁾と調和的である。

また、**図-4**は**図-3**に示した流出率と累積降雨量の関係と調和的な結果となり、水収支に関して整合性が確認される。以上の結果より、当該斜面での体積含水率および表面流出量の測定に関して、若干の誤差が出る場合はあるものの、計測精度が高いということが裏付けられる。

4. まとめ

短時間に高強度の降雨が発生する場合、表面流が卓越し、流出率の最大値が0.8程度になる。これが、斜面表面の浸食の発生要因となるものと推察される。

また、降雨量の増加に伴い、斜面内部への浸透率が小さくなり、0.1から0.2程度に収束する傾向を示す。この傾向は、Hortonにより示された結果と一致するものである。

参考文献

- 1) 杉山友康, 布川修: 降雨時の斜面崩壊危険度と鉄道における運転規制, 土と基礎, Vol.55, No.9, pp.14-16, 2007.
- 2) Horton, E. R.: An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity, Soil Sci. Soc. Am., Proc., 5, pp.399-417, 1940