

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○益田 浩
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康

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、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、新しい土砂災害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緊の課題となる。

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浸透特性の原位置計測（体積含水率・降雨量・間隙圧）を実施している¹⁾。図-1に斜面断面図を示す。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。これらによって、斜面表層部における降雨浸透特性に関する結果を示すとともに、考察を加える。

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。

また、原位置計測サイトは、図-2で示すように、2004年8月に集中豪雨によって斜面崩壊が発生しており、これを埋め戻した斜面である。そのため、過去のすべり面が深さ2m~3mあたりにあり、地質境界となっている。

3. 雨水の浸透挙動に関する原位置計測結果

タイでは、その気候的特徴から、蒸発散量が大きく、蒸発散が斜面内の水分挙動に与える影響が大きいものと推察される。本章では、原位置計測で得られた結果をも

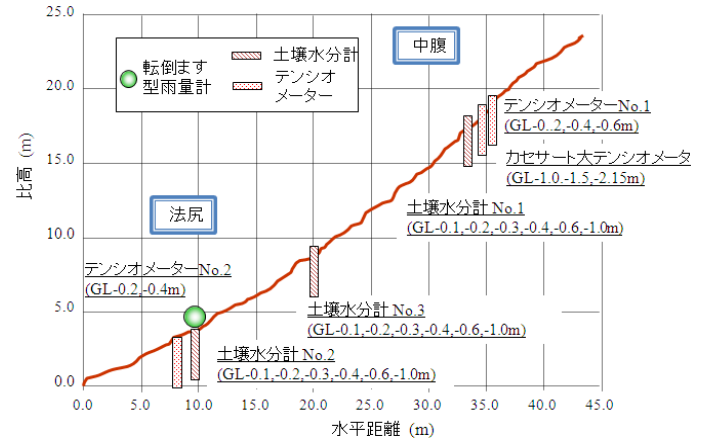


図-1 斜面断面図



(a)崩壊時(2004年) (b)計測器設置前(2007年)

図-2 原位置計測サイト

とに、中腹部を対象として、斜面表層部の雨水浸透挙動についての検討を行う。

地表面付近の水の流れは、降水、蒸発散の繰り返しにより上向き、下向きの流れを繰り返す。蒸発散の影響による土壌水の移動は、地中のある深さまでしか及ばず、水の動きが無くなる面が存在する。その面をゼロフラックス面²⁾と呼び、ゼロフラックス面では以下の式(1)に示すように、ダルシー式における水分ポテンシャル勾配がゼロとなり、水分フラックスもゼロとなる。

$$q = -k \left(\frac{\partial \phi_m}{\partial z} + 1 \right) \quad (1)$$

ここに、 q は水分フラックス、 k は透水係数、 ϕ_m はマトリックポテンシャル、 z は基準面からの高さである。

図-3に2010年9月20日から9月26日の期間に計測された、深度(GL-0.2,-0.4,-0.6,-1.0,-1.5,-2.15m)と全水頭の

相関を示す。全水頭は計測された間隙圧のデータから、GL-1.0m を基準として算定している。図に示す計測期間では、9月20日の4:10から4:30の間に降雨があり、その後9月26日まで無降雨期間が続いている。まず、地表面に近いGL-0.2mおよびGL-0.4mの全水頭について、降雨直後の4:40のGL-0.2mの全水頭が最も大きく、深度を増すごとに全水頭は小さくなっている。これは、斜面内の水分が下向きに移動していることを表しており、深部への浸透が卓越しているといえる。

その後、降雨が終了してから時間が経過するとともに、蒸発散の影響を受けてGL-0.2mとGL-0.4mの全水頭は減少していき、9月22日の8:00と20:00の間を境に、深さ方向への全水頭の勾配が負から正へ変化している。つまり、地表面付近の土壤水の挙動が下向きから上向きの挙動に変化しているといえる。GL-0.6mに関しては、全水頭の変動は小さくGL-1.0mの全水頭との差は小さい。また、GL-1.0m以深の全水頭に関しては、ほぼ一定であり、GL-1.5m、GL-2.15mと深度を増すにつれて全水頭は小さくなる。このことから、GL-0.6mからGL-1.0mの区間において土壤水の動きが無くなる面、すなわちゼロフラックス面が存在していると推察される。以上より、当該斜面のGL-0.6mより地表面に近い領域では、土壤水は蒸発散の影響を受けるが、GL-1.0mを通過する水はそのまま深部へ浸透するといえる。

次に、図-4に2008年9月17日から9月24日の期間に計測された深度(GL-1.0,-1.5,-2.15m)と間隙圧の相関を示す。この期間では、9月18日と9月19日にそれぞれ累積降雨量75.5mmおよび41.5mm、10分間最大降雨量が9mmおよび9.5mmと高強度の降雨が降っている。図に示すように、9月18日の降雨があった翌日9月19日にGL-1.5mの間隙圧は4kPaまで上昇し、その後減少していく。GL-2.15mの間隙圧は、18日は-1kPaの値であったものが19日は3kPa、20日には4kPaとなる。以上のように、深さ方向に時間遅れを伴いながら、GL-1.5m、GL-2.15mの間隙圧が正圧まで上昇している。つまり、雨水の浸透がGL-2.15mの深部まで及んでいるといえる。

前述したように、計測斜面は過去のすべり面がGL-2.0m~GL-3.0mにあり、そこに地質境界があると考えられる。図-4に示すように、降雨の発生後にGL-2.15mの間隙圧が正圧となっていることから、過去のすべり面付近において、降雨浸透によって飽和帯が形成されてい

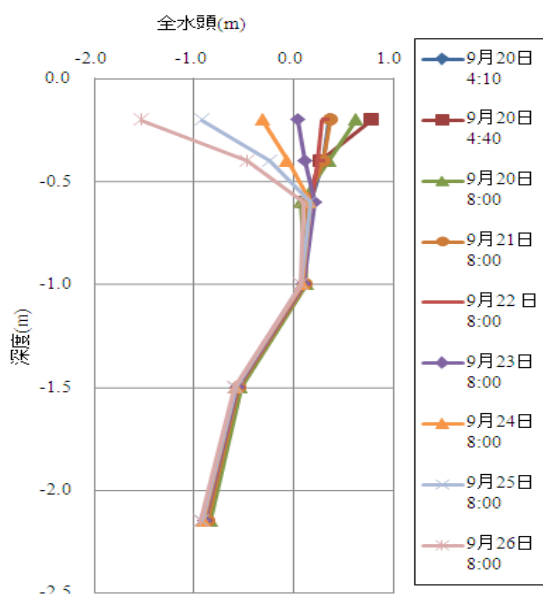


図-3 深度と全水頭の相関

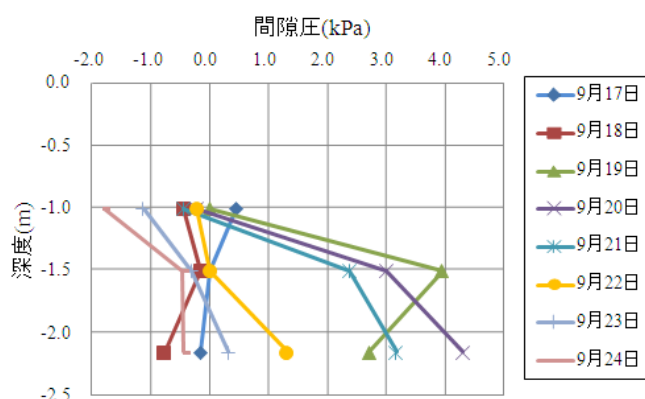


図-4 深度と間隙圧の相関

るものと推察される。

4. まとめ

計測斜面表層部の浸透した雨水の挙動について、GL-0.6mより地表面に近い領域は、降雨中及び降雨終了後は深部への浸透が起こっているが、時間経過に伴い蒸発散の影響を受け、土壤水は上向きの挙動を示す。GL-1.0mを通過する水分はそのまま深部へ浸透する。そして、すべり面付近で飽和帯が形成されることが、間隙圧上昇の要因となる。

参考文献

- 1) 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, pp1-6, 2009.
- 2) 坂井勝, MagdiKhail, 宮崎毅, 井本博美, 土壤中の水分移動とゼロフラックス面に関する研究, 農業土木学会全国大会講演要旨集, pp320-321, 2002.