

# 豪雨に伴うマサ土斜面中の水流の挙動と土砂崩壊の関係

Relationship between behavior of water flux and slope failure on the Masa-sloped under heavy rain condition

遠藤 明\*・井良沢 道也\*\*・勝又 善明\*\*\*・高橋 健\*\*\*\*

Akira ENDO\*, Michiya IRASAWA\*\*, Yoshiaki KATSUMATA\*\*\* and Ken TAKAHASHI\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年、豪雨による斜面災害が多発し、その被害が深刻な状況にある。従来、斜面崩壊の前兆現象を把握するためには、各種変位計や加速度計等を用いてその動態観測が行われてきたが、地盤内部の水分量や水フラックス密度ベクトルには着目されていないのが現状である。著者らは、斜面内の水流の挙動と斜面の崩壊との定性的関係を明らかにするため、小規模な模型斜面と人工降雨装置を用い、豪雨に伴う斜面崩壊実験を行い、斜面内の水流の挙動と斜面の崩壊挙動との関係について明らかにしたのでここに報告する。

## 2. 材料および方法

(1) **試料の物理性**: 模型斜面を造成する試料は、岩手県盛岡市玉山区の姫神山麓から採取した中世界白亜系白亜紀花崗岩類(姫神岩体マサ土)である。2.2 kgf cm<sup>-2</sup>の締固め強度における飽和透水係数は、6.42 × 10<sup>-3</sup> cm s<sup>-1</sup>、JIS法による中分類用三角座標における当該試料は砂質土(SF)と同定した(勝又, 2009)。

(2) **模型斜面の造成方法と計測系の概要**: 写真1と写真2に模型斜面を造成する模型斜面装置を示す。本装置は、幅 50 cm, 天端長含め 80 cm, 厚さ 50 cmのステンレス・アクリル・木製の試料充填箱であり、可変傾斜角度は 0 ~ 45 ° である。はじめに、天端長 10 cm, 斜面長 70 cm, 斜面勾配 45 ° の模型斜面を、自然含水比 0.15 kg kg<sup>-1</sup>, 締固め強度 2.2 kgf cm<sup>-2</sup>, 斜面厚さ 10 cmにて均一に成形した。次に、斜面中の水フラックス密度ベクトルと熱物性の同時計測を行うため、法面中央部左寄りの深度 5 cmにQPHPセンサ(Endo and Hara, 2007)を、斜面等高方向(以下、x-z方向と呼ぶ)と斜面傾斜方向(以下、x-y方向と呼ぶ)に埋設した。最後に、人工降雨装置(大起理化工業社製)を用い、降雨強度 30 mm hr<sup>-1</sup> の降水を 39 分間与えた。次に、降水を停止し、斜面の変形・崩壊挙動の観察とQPHP法による水フラックス密度ベクトルと熱物性の同時連続計測を 10 分インターバルで 120 分間実施した。

(3) **水流ベクトルの軌跡の解析方法**: 任意の体積含水率(締固め強度は 2.2 kgf cm<sup>-2</sup>)の試料から、体積含水率と体積比熱の関係(Ren et al., 2000)をDPHP法により同定した。また、QPHP計測により

得られた体積比熱から、降水中・降水後の体積含水率の経時変化を算出した。間隙流速はQPHP計測から得られた水フラックス密度を上記体積含水率で除すことにより算出し、当該流速ベクトルの経時変化を算出した。最後に、QPHPセンサを用いて測定した間隙流速ベクトルと計測インターバルの積の総和を式[1]により算出(遠藤・原, 2004)し、斜面中を流れる水の軌跡とした。

$$|\vec{L}_n| = \sum_{i=1}^n |\vec{v}_{w,i}| \cdot \Delta t_i \quad [1]$$

ここに、 $|\vec{v}_w|$ : 間隙流速ベクトル,  $\Delta t$ : QPHP計測を行う時間間隔,  $|\vec{L}_n|$ : 各時刻における間隙流の方向と距離の総和,  $i$ :  $i$  回目の測定回数である。



写真1 模型斜面装置（正面から撮影）  
ステンレス製の土砂留め兼ドレーン孔が確認される



写真2 模型斜面装置（側面から撮影）  
手前側にアクリル板・奥側に木製板が確認される

\*東洋食品工業短期大学 \*\*岩手大学農学部 \*\*\*アジア航測株式会社 \*\*\*\*農水省林野庁関東森林管理局

\*Toyo collage of Food Technology \*\*Iwate University \*\*\*Asia Air Survey Co., Ltd. \*\*\*\*Kanto Regional Forest Office, MAFF  
マサ土, 斜面崩壊実験, 斜面内の水流の挙動, QPHP 法

### 3. 実験結果および考察

写真3に降雨終了後約80分後の斜面の様子を示す。斜面法尻左側に堆積している試料は降水中に浸食されたものである。また、斜面中腹部の中央部における表面部の斜面勾配側への変位が最も大きかった。降雨終了後も天端側の斜面においてクリープ的な挙動を呈していたものの、明瞭な亀裂や崩壊は認められなかった。

図1に QPHP 法による水フラックス密度ベクトルの計測結果を示す。同図左は x-y 方向の水流を、同図右は x-z 方向の水流の挙動を表している。同図上部の矢印は、降雨開始を t=0 として、39 分間の降水を与えていることを示している。x 方向、すなわち、斜面勾配方向(法肩から法尻)の水フラックス密度は、降水を印加した直後で最も大きかった。また、y 方向、すなわち、斜面等高線方向(左側から右側)への水流も同様に観測された。この左側から右側への水流は、x-z 方向に埋設した QPHP センサと、その配線を y 方向に設置したため、これらが x 方向へと流れる水の障壁となり、選択的な流れを誘発したものと考えられる。一方、z 方向、すなわち、斜面に対して鉛直下向きの水フラックス密度は、x 方向の水流と同様に降雨を印加した直後で最も大きく、降雨を停止した直後から、徐々に水フラックス密度が減少する傾向にあった。これらの水フラックス密度ベクトルの情報は直感的には判り辛いので、[1]式を用いて図2に示したような、各時刻の間隙流の方向と距離の総和のグラフを作成し、各計測時刻における水流の大きさと向きを定性的に把握するための可視化を行った。同図内データポイントに付されている数値は降雨開始からの経過時間を分単位で示したものである。同図右の x-z 方向の水流は、一見、斜面勾配の 45° で推移すると見て取ることができるが、実際には、図2を三次元的に表示した図3に示した間隙流速ベクトルの軌跡を描くことになる。従って、計測した斜面中の水流は、重力が作用する鉛直下向きに流れていることが明らかになった。

### 4. おわりに

本研究は、豪雨発生に伴う模型斜面の亀裂生成状況や斜面の変形形状を目視で観測しつつ、これらの前兆現象を捉えるために、水流の挙動を経時的にモニタリングしたものである。しかし、水流の挙動は正確に捉えたものの、豪雨による斜面の亀裂生成・変位・クリープ現象等と斜面中の水流との関係を定量化することができなかった。今後は、斜面の任意の位置に、ひずみゲージを挿入し、 $\mu$  ストレインの経時変化を把握しながら QPHP 計測を実施し、豪雨による斜面の不安定性評価を実施したいと考えている。

### 引用文献

- 勝又善明(2009): 岩手大学大学院農学研究科修士論文  
 A. Endo and M. Hara(2007): Paddy and Water Environment, 5(3) p.171-180  
 T. Ren et al.(2000): Soil Sci. Soc. Am. J. 64, p.552-560  
 遠藤明・原道宏(2004): 計測自動制御学会産業論文集 3(2) p.12-24



写真3 降雨終了後約80分後の斜面の様子

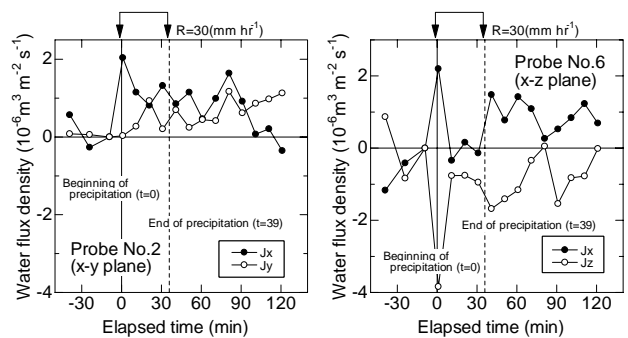


図1 水フラックス密度ベクトルの経時変化

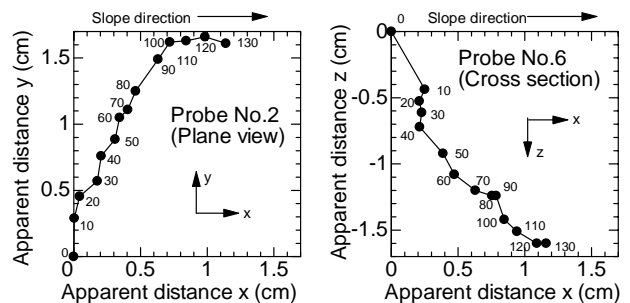


図2 各時刻における間隙流の方向と距離の総和

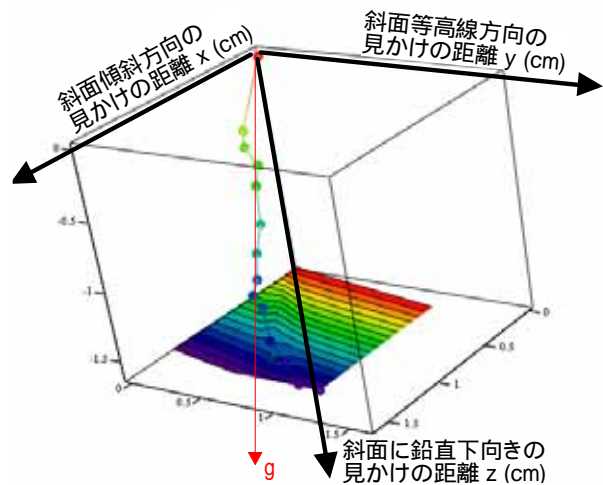


図3 図2の三次元表示結果