

六甲山系における土砂流出の検知について

久保 正和

近畿地方整備局 淀川河川事務所 河川公園課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

六甲山系では、降雨時の土砂生産流出予測技術及び流域監視技術の構築のために、2010(H22)年以降、8箇所の小流域斜面崩壊観測所を設け、崩壊検知センサーを設置するとともに、土層内地下水位、谷部流量等を常時観測してきた。2015(H27)年7月の11号台風時に崩壊検知センサーが作動し、土砂流出の発生タイミングとその時の水文現象を把握することができた。そこで、降雨の推移とともに土層内地下水位、谷部流量がどのように変動し、どのタイミングで土砂流出が発生したか、また、約6年間の観測の中でその時の水文現象がどう位置づけられるかについて検討した。その結果について報告する。

キーワード 崩壊検知センサー、土砂流出、発生タイミング、土層内地下水位、谷部流量

1. はじめに

豪雨時に山腹斜面で発生する土砂生産流出現象は、毎年各地で発生し、甚大な土砂災害を与えている。この現象による土砂災害を防止・軽減するためには、降雨時の土砂生産流出予測技術および流域監視技術の構築が必要である。前者の技術は、現在主に、流域を同じ大きさのメッシュに分割し、これに土層厚を想定して基本要素として雨水流動を追跡するとともに斜面安定解析を行って評価している¹⁾²⁾。この場合、最も土層内地下水位が高くなった時に土砂生産流出現象が発生することになるが、実際はどうかのデータはほとんど見当たらない。また、流域監視技術は、主に降雨を用いて行われている³⁾。さらに、流域内の土層内地下水位、流量、土砂流出などの情報を加味すると、流域監視技術の精度が向上すると考えられるが、どのような情報が利用できるのかを検討するデータはまだ非常に少ない。

このようなデータを得るためには、斜面上で発生する土砂生産流出現象の発生タイミング（発生時刻）を検知する必要がある。そのために、土砂生産流出を検知する崩壊検知センサーが開発されてきた⁴⁾。そして、同時にその時の斜面の土層内地下水位、谷部流量を計測すれば、先の両技術の構築に際して、有意義な検討データ得られるはずである。

この観点から六甲山系では、8箇所の小流域斜面崩壊観測所を設け、雨量計、土層内地下水計、量水堰＋水位計、崩壊検知センサーを設置し、2010(H22)年から継続して観測してきた。その結果、2015(H27)年7月の11号台風時に、斜面崩壊観測所の1崩壊検知センサーが作動し、

土砂生産流出の発生タイミングを捉え、その時の水文現象を把握することができた。同様な方法で表層崩壊の発生タイミングを捉えた事例⁵⁾があるが、土砂生産域内の崩壊検知センサーが作動し、土砂生産域内の土層内地下水位が計測され、かつ、その周辺の小流域内の土層内地下水位も同時に計測され、さらに約6年間の観測データの中で土砂生産流出時の水文現象を評価できるのは初めてである。そこで、その実態について検討したので、報告する。

2. 斜面崩壊観測所と観測方法

(1) 斜面崩壊観測所

六甲山系では、図-1に示すように2010(H22)年から8箇所の小流域斜面崩壊観測所を設置している。このうち、2015(H27)年7月の11号台風時に崩壊検知センサーが作動した斜面崩壊観測所は、住吉川流域支流西谷支溪渦森元神社裏のSF-9斜面崩壊観測所である（図-1）。

SF-9斜面崩壊観測所は、地質は六甲花崗岩で、植生はスギ・ヒノキ群落、流域の平均斜面傾斜は約28°、流域面積は0.02km²の小流域である。

(2) 観測方法

斜面崩壊観測所には、崩壊検知センサー、土層内地下水位計、量水堰＋水位計、雨量計等が設置されている。

崩壊検知センサーは図-2に示すように内蔵する傾斜計センサーでX-Y方向の傾き(±30°)を時刻(10分間隔)とと

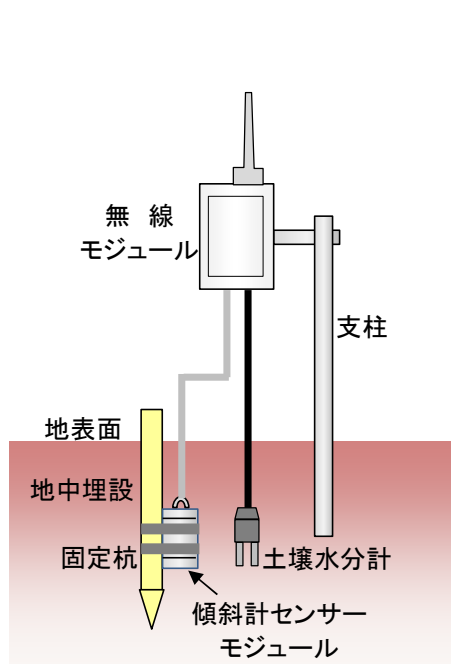
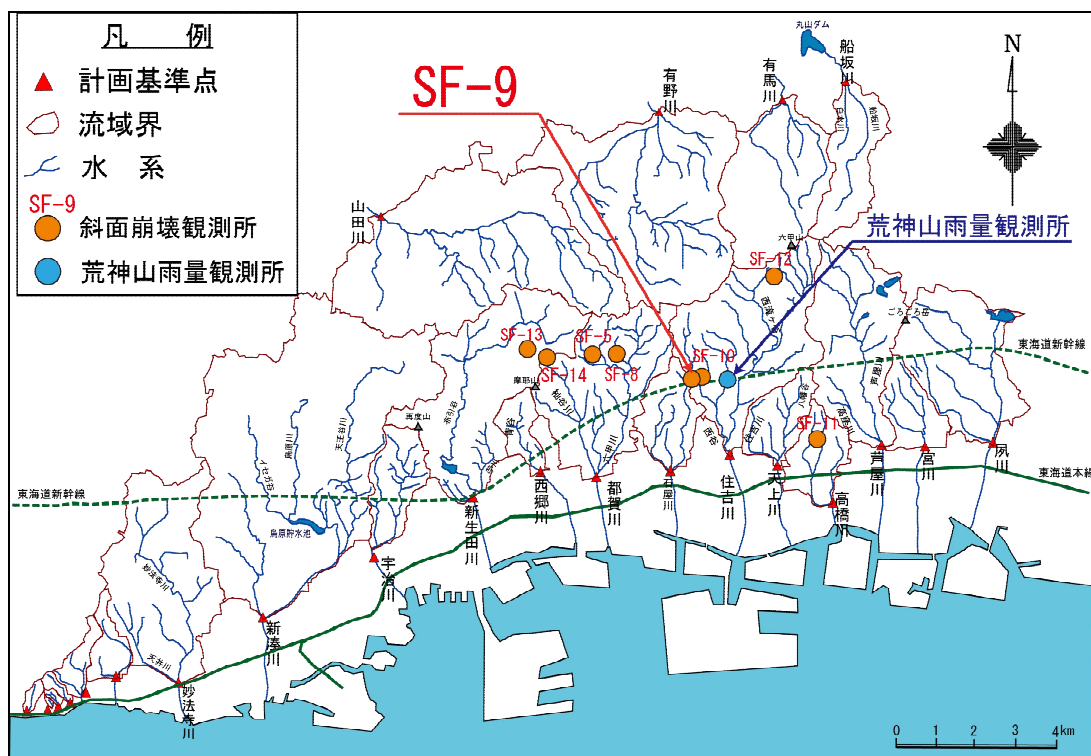


図-2 崩壊検知センサーの概要

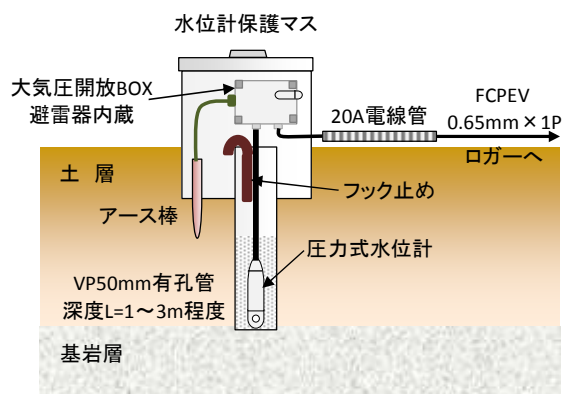


図-3 土層内地下水位観測の概要

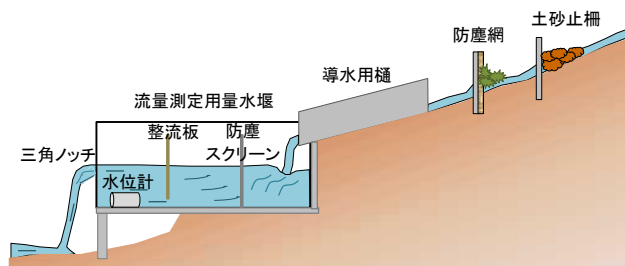


図-4 谷部流量観測の概要

もに記録するもので、同時に外付けの土壌水分計を設置し、土層の土壌水分も計測できるものである。土層内地下水位の観測は図-3に示すように土層内に形成される地下水位を圧力式水位計で計測するものである。谷部流量観測は図-4に示すように量水堰の越流水深を圧力式水位計で計測するものである。これらの観測結果は無線ある

いは有線でデータロガーに送られ記録される。

斜面崩壊観測所SF-9では、図-5に示すように、22基の崩壊検知センサー、14箇所に土層内地下水位観測施設、3箇所に谷部流量観測施設、1基の雨量計等が設置された。また、10m間隔で簡易貫入試験が行われ、小流域内の土層分布が把握されている。

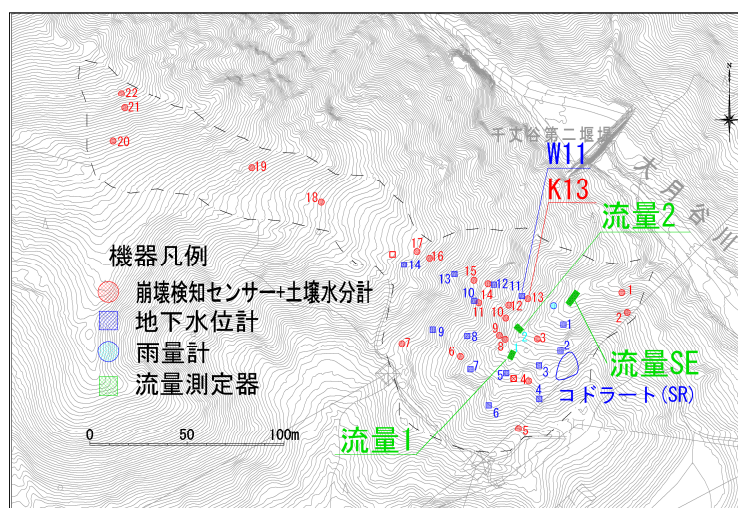


図-5 斜面崩壊観測所 SF-9 の観測機器の配置状況

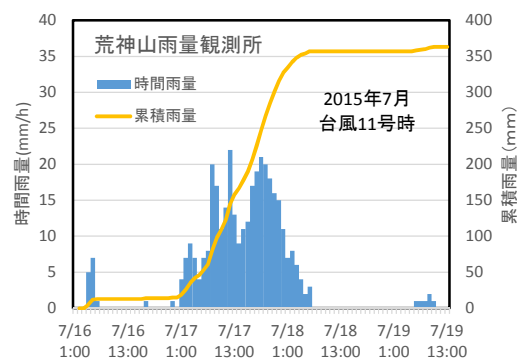
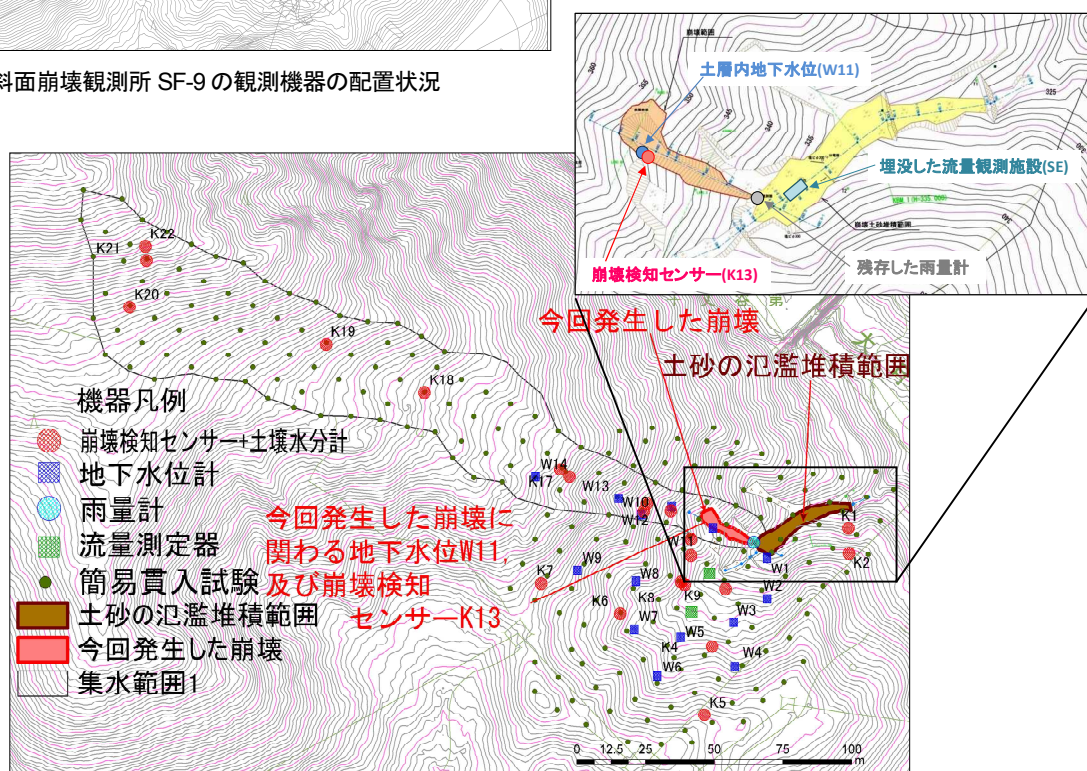
図-6 2015(H26)年7月の11号台風時の雨量
(荒神山雨量観測所)

図-7 2015(H27)年7月11号台風時の土砂流出実態

されていたが、これらの施設は破壊することなく、流量観測施設については、完全に埋没していた。

3. 観測結果

(1) 土砂流出発生時の降雨と土砂流出実態

斜面崩壊観測所SF-9で土砂流出が発生したのは、2015(H26)年7月の11号台風時であった。この時の観測所近傍、荒神山雨量観測所の雨量は図-6のとおりである。同図より総雨量は約350mmと多いが降雨強度は20mm/h程度とさほど強くない。

この降雨により発生した土砂流出・堆積範囲は図-7のとおりである。土砂流出域は、勾配約40°の斜面が長さ17m、幅5m、平均深1.2m（最大深3.0m）の規模で、侵食土砂量（流出土砂量）は約100m³であった。土砂流出・堆積範囲には雨量計1基と流量観測施設1基が設置

(2) 土砂流出の発生時刻の検知

土砂流出（侵食）範囲に位置する崩壊検知センサー(K13)が作動した（図-7）。その状況(b)を降雨量(a)との関係で図示すると図-8のとおりである。崩壊検知センサー（傾斜と土壌水分）の挙動より、土砂流出を示唆する時刻は、①土壌水分計の値が急激に上昇する時刻（16:30）、②崩壊検知センサーが傾き始め、土壌水分計の値が急激に低下する時刻（20:20）、崩壊検知センサーが急激に傾き始める時刻（23:00）である。崩壊検知センサーはクリープ状の変動を示し、傾き始めてから急激に傾くのは降雨の後半であった。

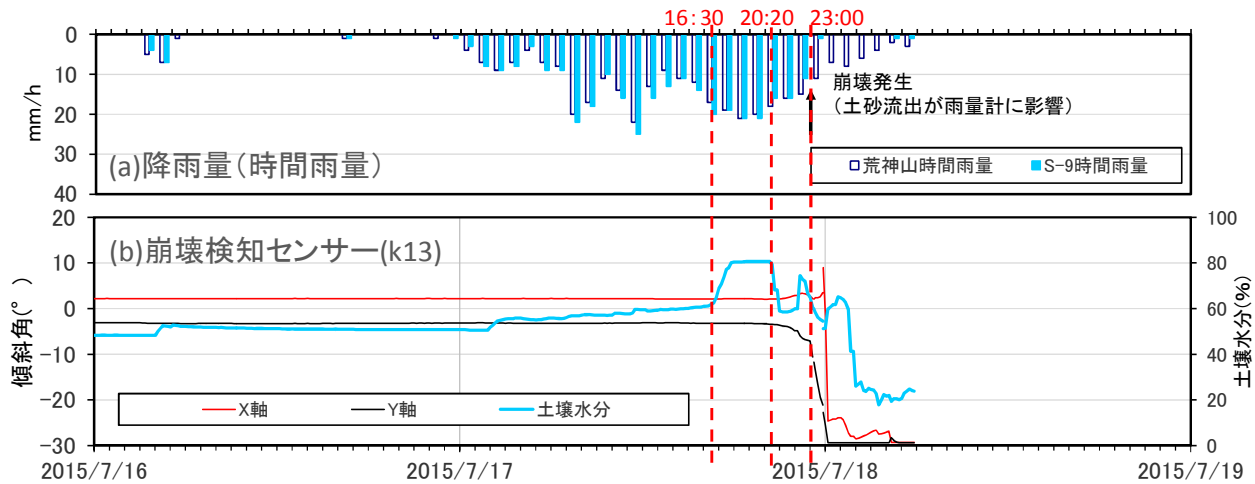


図-8 崩壊検知センサーの応答と降雨量

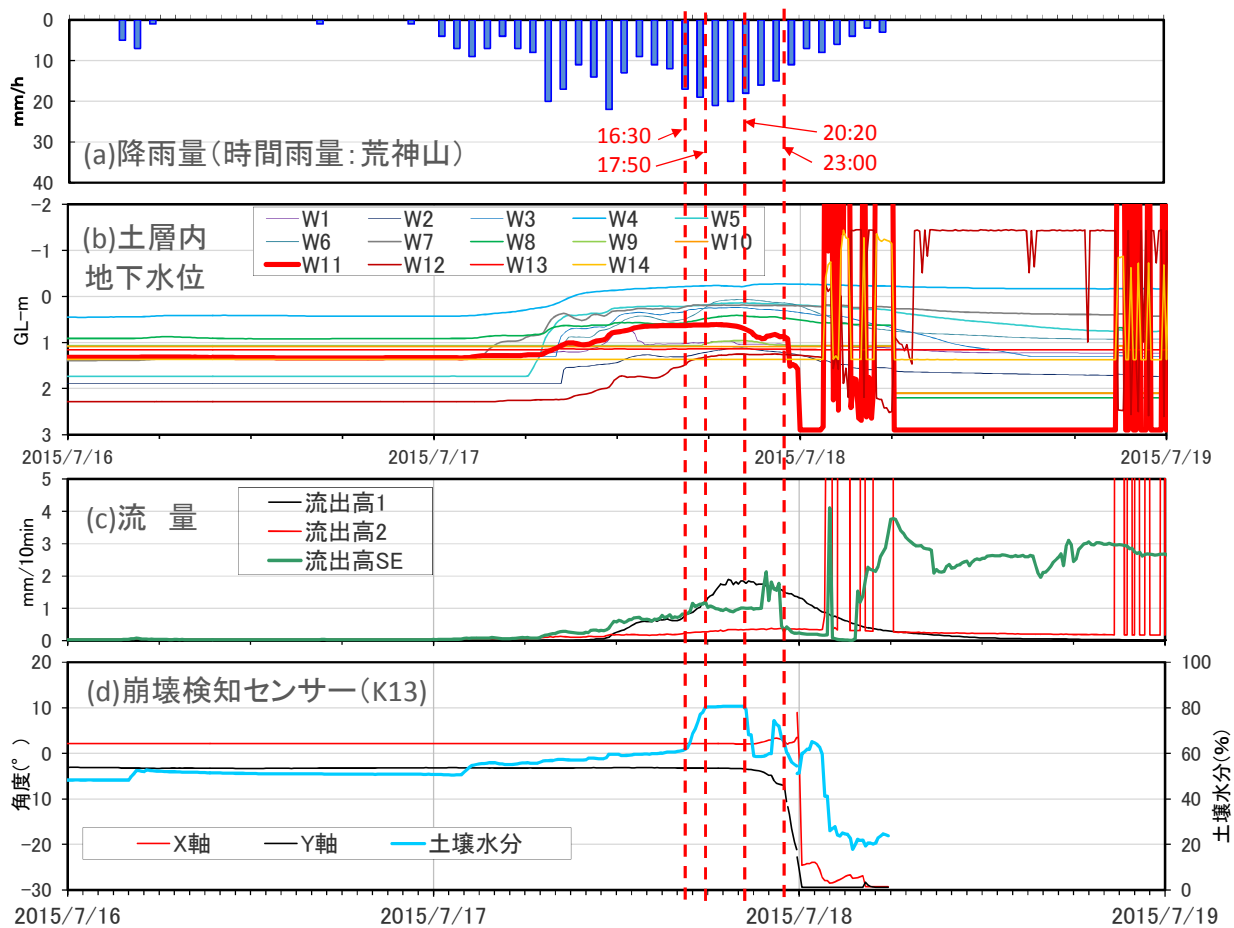


図-9 斜面観測所SF-9の土砂流出のタイミングと水文現象

(3) 土砂流出時の水文現象

崩壊検知センサーが作動した状況(d)及び降雨量(a)と対比する形で土層内地下水位の変動状況(b)、谷部流量の変動状況(c)を図-9に示す。同図の流量変動(c)の流出高SEを見ると17:50分頃から流量の増加が認められず一定値を示している。これは流量観測施設(SE)の量水堰に土砂が流入し始めたことによる。また、21:30分頃から流

量がスパイク状に上昇し23:00分頃に逆に急激に低下している。これは流量観測施設(SE)の量水堰に急激に土砂が流入し始めたことを示している。

これらの時刻を基に土層内地下水位(b)の変動をみると、①土層内地下水位の上昇は降雨前半部の2回のピークよりも後半部の降雨に影響され、②ほとんどの土層内地下水位は、崩壊検知センサーから示唆される土砂流出

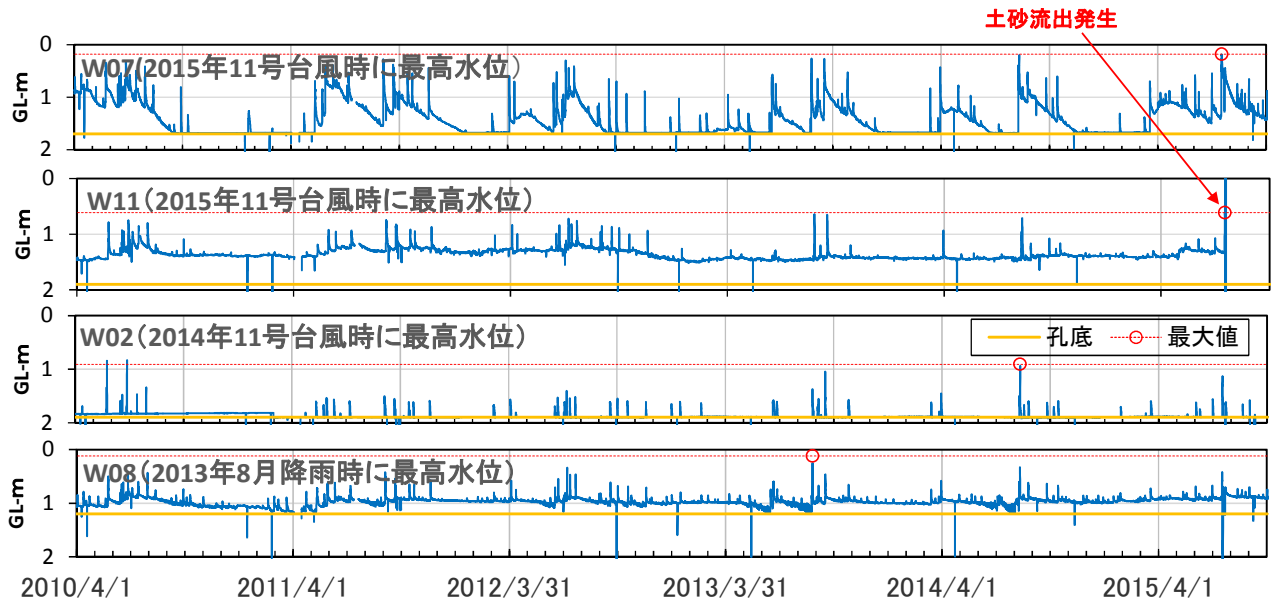


図-10 観測期間内の土層内地下水位変動と最高水位

のタイミング内で最高水位を示していることがわかる。

4. 考 察

(1) 土砂流出現象の推定

2015(H26)年7月の11号台風時の土砂流出は、①崩壊検知センサーのクリープ状の挙動、②土砂侵食域の狭長でガリー状の侵食(最大侵食深3.0m)、③土砂流出堆積範囲内に位置した雨量計の残存及び流量観測施設の破壊されることなく完全に埋没した状況、④斜面下部凹地部に既往湧水点の存在(土砂流出前に確認)から考えると、表層崩壊に基づく土砂流出ではなく、既往湧水点あるいは土層内地下水位の上昇による地表面流発生地点での流水の掃流力に基づく堆積土層の侵食流出と谷部での堆積であると考えられる。

(2) 観測期間内の降雨に対する水文現象の応答

土砂流出が発生した時間内で、ほとんどの土層内地下水位が最高水位を示していたことが分かったが、各土層内地下水位は観測を開始した2010(H22)年から現在までの約6年間でいつ最高水位を示したか見ると、①2014(H25)年8月の11号台風時に6観測孔、②2015(H26)年7月の11号台風時に3観測孔、③2013(H24)年8月25日の夕立時に2観測孔、④ほとんど水位が形成されない観測孔が3孔であり、各代表的な観測孔の土層内地下水位の約6年間の変動状況は図-10のとおりである。同図より、①各土層内地下水位が最高水位を示す時は降雨によって異なること、②土砂流出が発生した地点の土層内地下水位は、その時の降雨で過去最高水位を示したことがわかる。

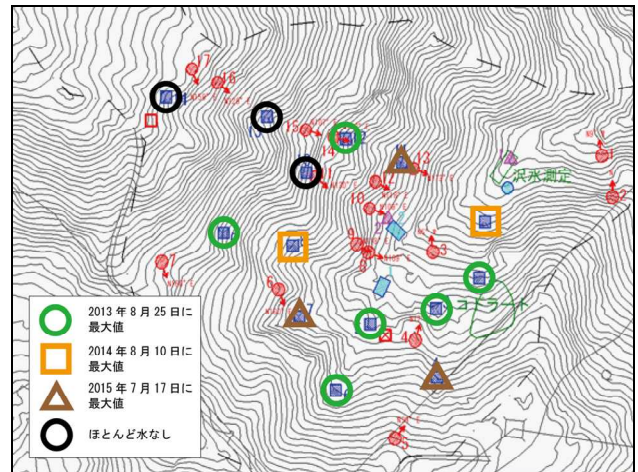


図-11 観測期間内最高水位を示す観測孔の平面分布

(3) 観測期間内の最高水位を示す観測孔とその平面分布

観測期間内で土層内地下水位が最高水位を示す降雨が異なることが分かったが、その観測孔に平面的な分布の特徴があるのかどうかを検討すると図-11のようになる。同図より、最高水位を示す観測孔の平面的分布には規則性は認められないことがわかる。

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

以上の検討より得られた知見は、①今回の土砂流出は斜面下部湧水点あるいは地表面流発生地点での流水の掃流力に基づく侵食・流出・堆積である、②土砂流出域の土層内地下水位は過去最高で、その時土砂流出が発生し

た、③土層内地下水位が最高水位を示す降雨は観測孔によって異なる、である。

すなわち、土砂流出が発生する場合、その地点の土層内地下水は過去最高水位を示した時であり、斜面上の地下水位の変動を観測・予測することが最も重要となる。しかし、斜面上の土層内地下水位は地点によって最高水位を示す降雨が異なることが分かった。このことは、どの斜面で土層内地下水位を観測したら良いかを定めるのが難しいことを示す。このような難しさは基岩に浸透した雨水が土層内に再湧出するため、そのシステムが非常に複雑であることによると考えている。

(2) 今後の課題

斜面上の土層内地下水位及び谷部流量を観測しながら崩壊検知センサーを用いると、土砂生産・流出に関する貴重なデータが得られるものの、崩壊検知センサーがいつ作動しデータが得られるかは非常に不確実である。すでに亀裂等が生じ崩壊の危険性が高いエリアに崩壊検知センサーを設置し、監視するには適しているが、どこで発生するか不確かな斜面上の土砂生産流出現象に関しては得策でない。また、斜面上の土砂生産流出を予測するには斜面上の土層内地下水位を観測することが最も望ましいが、どの地点で観測するかを決めることが非常に難

しいことが分かった。次の展開を検討する必要がある。

※ 本論文の内容は、従前の所属である六甲砂防事務所調査課における業務に基づくものである。

参考文献

- 1) 沖村孝・市川龍平・藤井郁也（1985）：表土層内浸透水の集水モデルを用いた花崗岩表層崩壊発生位置の予知のための手法，砂防学会誌 Vol.37, No.5, pp.4-13
- 2) 平松晋也・水山高久・石川芳治（1990）：雨水の浸透・流下過程を考慮した表層崩壊発生予測手法に関する研究，砂防学会誌 Vol.43, No.1, pp.5-15
- 3) 国土交通省河川局砂防部・気象庁予報部・国土交通省国土技術政策総合研究所（2005）：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手法(案)，平成 17 年 6 月，13pp.
- 4) 独立行政法人土木研究所土砂管理グループ火山土石流チーム・有限会社秋山調査設計・坂田電機株式会社・株式会社拓和・中央開発株式会社・日本工営株式会社（2009）：土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサーの開発，協同研究報告書，第 419 号，平成 23 年 3 月，33pp.
- 5) 西村義・幸田学・山口昌志・武澤永純（2013）：斜面崩壊検知センサーによる表層崩壊の検知について～石狩川上流における事例～，土木技術資料 55-4, pp.38-41