

ハイドロフォン・濁度計等を活用した天然ダム 監視観測方法について

The monitoring and observation for the status of landslide dam
with hydrophone, turbidity, and water level

田中健貴¹・吉村元吾²・菅原寛明²・木下篤彦³

臼杵伸浩⁴・岡野和行⁴・吉野弘祐⁴

Yasutaka TANAKA, Gengo YOSHIMURA, Hiroaki SUGAWARA, Atsuhiko KINOSHITA,
Nobuhiro USUKI, Kazuyuki OKANO, Kousuke YOSHINO

¹非正会員 農修 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5332 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町大字市野々3027-6)

¹非正会員 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
(〒649-5332 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町大字市野々3027-6)

³正会員 農博 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

⁴非正会員 アジア航測株式会社 (〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺1-2-2)

In 2011, by typhoon Talas, a lot of deep-seated landslide occurred. And they made some landslide dams. The break of landslide dam causes great damage in downstream basin. To prevent the damage, the monitoring and observation of landslide dams are needed. Then we discuss the way to monitor and observe landslide dam with hydrophone, and turbidity and so on.

As a result, we found that the changing for the situation of erosion in upstream basin of observation site affects the relationship between water level and bed load sediment. For example, in 2017, typhoon Lan, while the erosion proceeded, the amount of bed load sediment was increasing. And in the middle of event it showed the increasing of bed load sediment without increasing water level. It may indicate that around that time, the erosion of landslide dam has proceeded rapidly. Therefore we will continue to observation, and we would like to develop the way to monitor and observation landslide dam.

Key Words : landslide dam, monitoring and observation, hydrophone, turbidity, water level

1. はじめに

平成23年台風12号により紀伊半島各地で大規模な斜面崩壊による天然ダムが形成された¹⁾。天然ダムが越流侵食などにより決壊すると、大きな被害が生じる場合がある²⁾。天然ダム決壊による被害を防止、軽減するためには、天然ダムの監視観測が必要である。これまでも天然ダムの監視観測方法として、カメラによる堤体の監視や水位計による湛水池水位の観測が提案されてきた³⁾。しかし、夜間や悪天候時のカメラによる監視は難しく、また水位観測では天然ダムの越流開始は把握できるが、侵食状況の把握は困難である。このような状況では、越流侵食による天然ダムの状況変化は把握困難であり、地域

住民の避難に必要な情報の伝達が遅れる可能性がある。

一方で、近年山地河川におけるハイドロフォン等を活用した流砂水文観測技術が確立されてきた⁴⁾。ハイドロフォンとは管状またはプレート状の観測機器であり、観測機器への砂礫の衝突音を利用した掃流砂量観測装置である。ハイドロフォンは濁度計、水位計等とともに、観測に利用され、土石流による流砂量の変化を検知した事例が報告されてきており^{5)・6)}、流砂水文観測が流域状況変化把握に活用できることが示されてきている。ここで天然ダムの越流侵食時には、堤体の侵食に伴う土砂移動が発生し、またその状況に変化が見られることが想定され、その変化を捉えることが天然ダムを監視観測する上で重要と考えられる。これらから、流砂水文観測技術により、天然ダム侵食状況をふまえた天然ダムの監視観

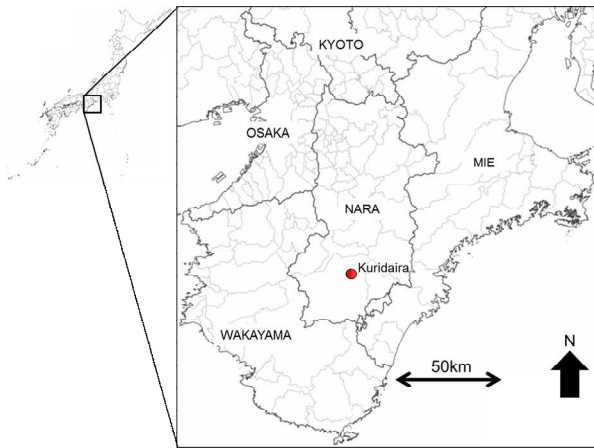


図-1 調査地概要

測が可能になると考えられる。そこで、本報告ではハイドロフォン等の流砂水文観測技術を活用した天然ダム監視観測技術について検討する。

2. 調査地の概要および台風5号、台風21号の概要

(1) 調査方法

栗平地区（奈良県吉野郡十津川村）における崩壊地は高さ450m、幅600m、長さ650mであり、崩壊土砂量は約2385万 m^3 であった（図-1）。栗平地区の天然ダムはこれまでも台風等による降雨によって越流侵食が生じている。平成29年にも8月台風5号および10月台風21号によって越流侵食が生じた。なお、栗平地区の天然ダム堤体には仮排水路が設置されており、この仮排水路の敷高は535.53mである。天然ダム湛水池の水位がこれを超えると越流が始まる。

栗平地区ではこれまでも水位計やカメラによる監視が行われてきた。今回設置した観測機器は、水位計、底面流速計、濁度計、パルス式ハイドロフォンである。パルス式ハイドロフォンでは砂礫衝突音を1倍、4倍、16倍、64倍、256倍、1024倍の各増幅率で増幅を行い、現地試験等を実施し、掃流砂量への変換式を構築する。これらの機器を天然ダム下流約2kmにある砂防堰堤直下流に設置し、平成29年6月より観測を開始した（図-2）。また



図-2 観測箇所および機器設置状況

台風5号、台風21号による降雨後に河床形状を測量した。

(2) 対象とした降雨および越流侵食

観測対象とした降雨は平成29年8月6日から8日にかけての台風5号による降雨、ならびに10月20日から24日にかけての台風21号による降雨である。台風5号は8月6日から8日にかけて累積雨量323.0mm、台風21号では平成29年10月20日から24日にかけて累積雨量468.5mmの降雨が観測された。台風5号による降雨は台風21号と比較し、総雨量は大きくはないが、時間雨量は大きい（図-3）。侵食後の地形については、台風5号時はUAVによる写真撮影、台風21号時には有人ヘリコプターによる写真撮影を行い、これらを基に写真測量を行った。その結果、図-4に示す通り、台風5号時は仮排水路下流部が延長10mにわたり流出、直下に落差15mの侵食が見られ、この侵食に伴う土砂が下流に流出している状況が捉えられた。またこれらの土砂の大部分は観測機器直上流の砂防堰堤で捕捉された。一方で、図-5に示す通り、台風21号時は仮排水路の下流部が延長80mにわたり流出、直下の落差が28mとなる侵食を受けた。なお、仮排水路から砂防堰堤までの河床にも土砂移動が生じた状況が確認された。また台風21号による降雨によって移動した土砂は砂防堰堤に堆砂し、さらに堰堤が満砂したことから一部の土砂は、砂防堰堤よりもさらに下流へと流出したと考えられる。

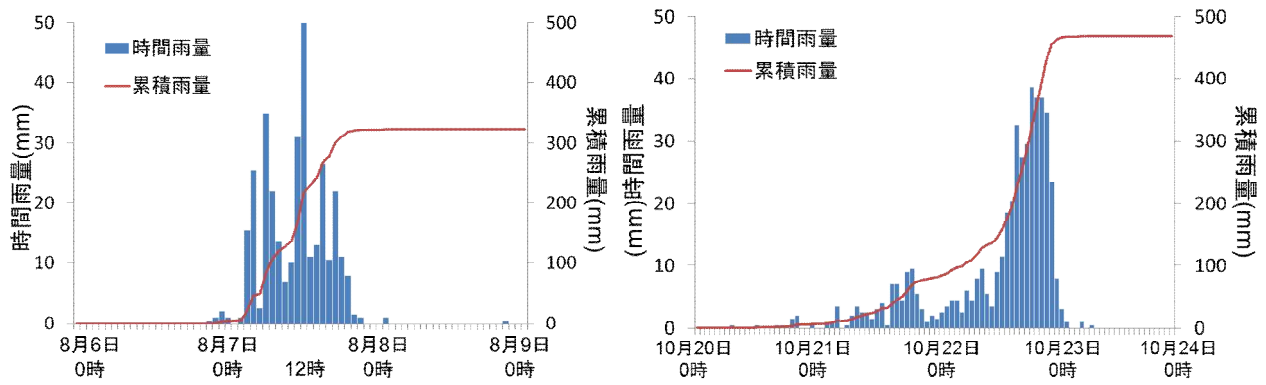


図-3 出水期間中の降雨 左：平成29年台風5号 右：平成29年台風21号

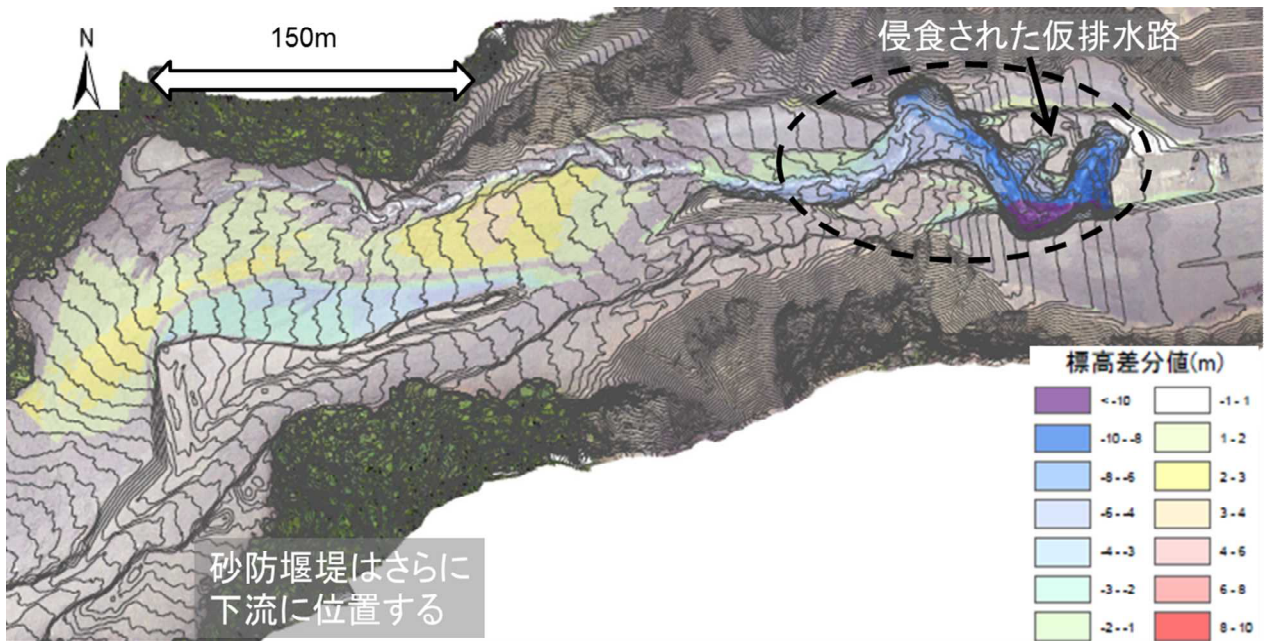


図-4 台風5号による河床高の変化。破線は侵食が顕著であったエリアを示す。

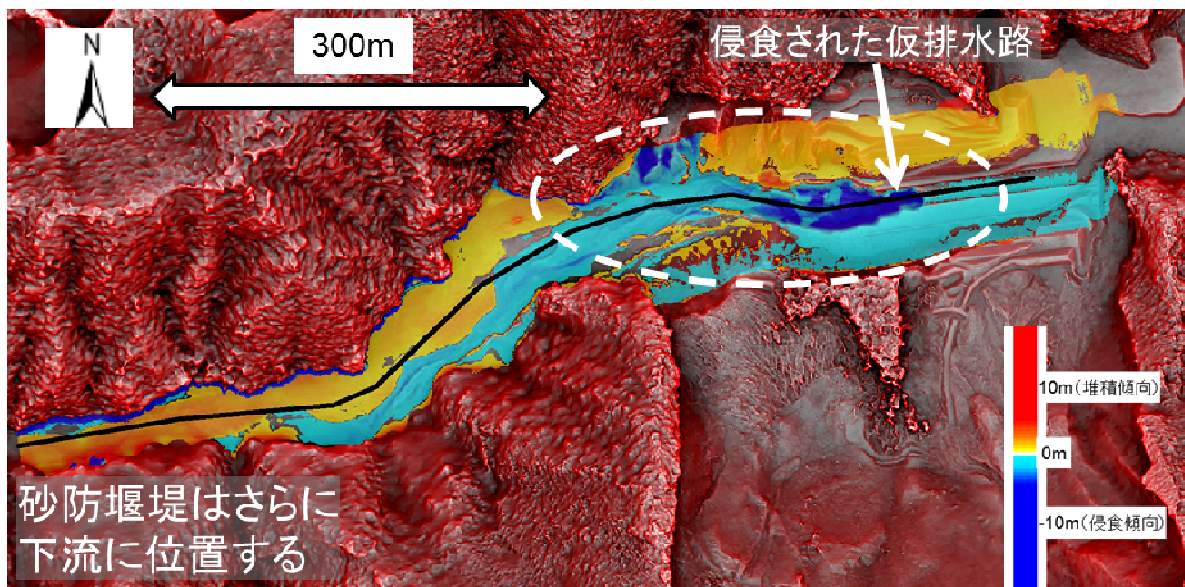


図-5 台風21号による河床高の変化 破線は侵食が顕著であったエリアを示す。

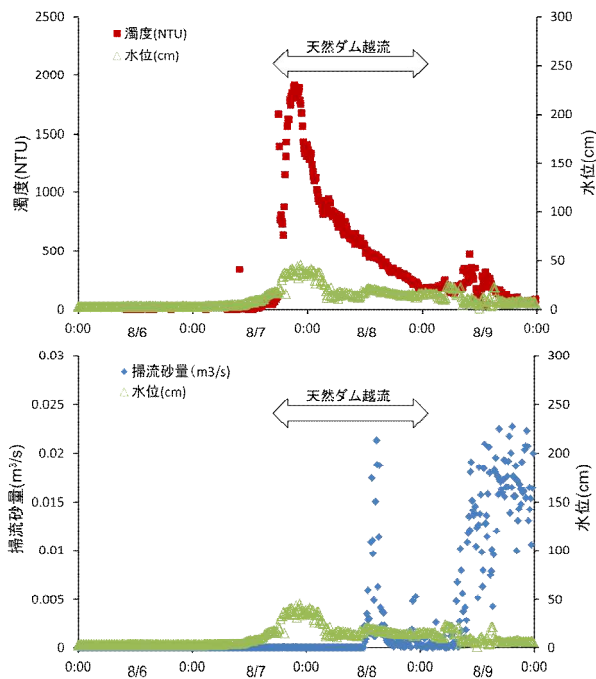


図-6 台風5号時の水位、濁度、掃流砂量の変化



写真-1 台風5号後の観測箇所直上流砂防堰堤

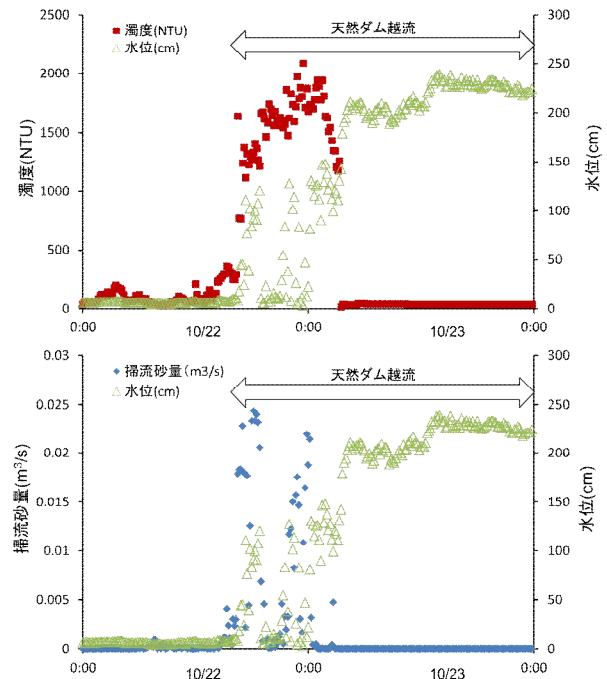


図-7 台風21号時の水位、濁度、掃流砂量の変化



写真-2 台風21号後の観測箇所直上流砂防堰堤

3. 台風5号と21号の観測データ比較

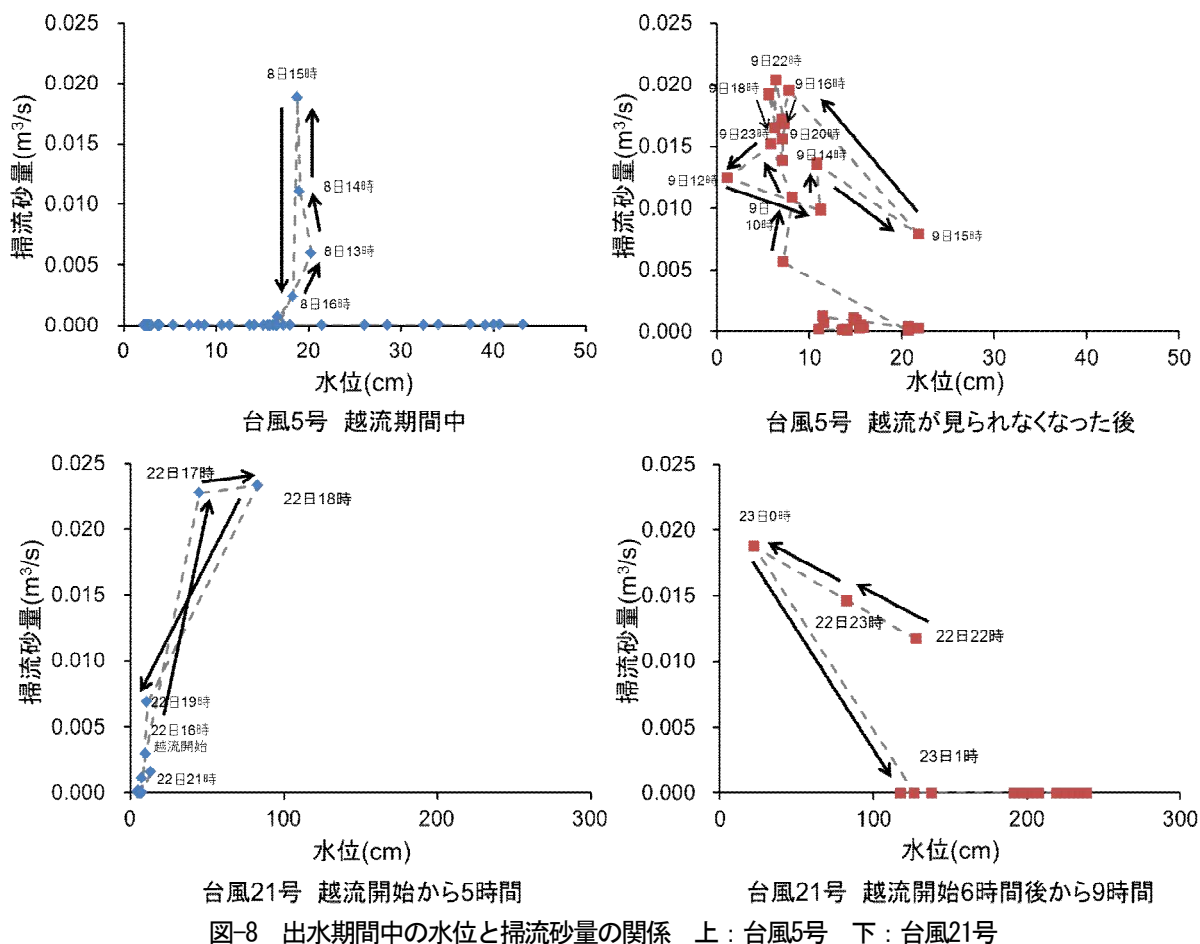
(1) 台風5号時の観測結果分析

台風5号による降雨時では、天然ダムの越流は8月7日18時から8月9日2時まで見られた、天然ダムの越流水位のピークは8月7日19時頃95cmを記録し、その後時間経過とともに低下した。ここで観測箇所周辺の濁度と水位の急激な増加は天然ダムの越流開始とほぼ同じ18時頃に見られた。また水位・濁度のピークは8月7日21時頃であり、天然ダムの越流水位がピークとなった19時から2時間程度遅れている。一方で、掃流砂量のピークは水位ならびに濁度のピークからさらに遅れ、越流が見られなくなった8月9日2時以降に増加している。なお、この時のデータは大きくばらついている（図-6）。なお台風5号によって移動した土砂は天然ダム下流に位置する砂防堰堤により捕捉されている様子が出水後の現地調査で確認

された（写真-1）。

(2) 台風21号時の観測結果分析

台風21号による降雨時には、観測された水位データは不安定ではあるが、台風5号の時よりも大きな水位を記録した。天然ダムの越流は10月22日16時頃から降雨期間中を通して見られ、24時間以上降雨がなかった24日以降も越流が続いた。越流開始後、水位増加にともなって濁度、掃流砂量が増加し、濁度・掃流砂量および水位の急激な増加は越流開始とほぼ同じ16時30分頃に観測された。その後濁度および掃流砂量は一度低下しているが、掃流砂量については2度のピークが見られる。23日2時から3時以降は濁度と掃流砂量が急激に低下し、水位も高い値を示したままとなった（図-7）。台風21号では、出水後の現地調査で観測箇所に土砂が堆積し、観測機器が埋没していることが確認された（写真-2）。



矢印は侵食箇所を示す。なお、カメラの方向は異なる方向を映している。

4. 台風5号と台風21号の観測データの違い

越流開始前には台風5号時、台風21号時ともに濁度、掃流砂量に大きな変化は見られなかった。これは観測箇所での流砂量が天然ダムの越流侵食により規定されることを示唆していると考えられる。また濁度と水位は、台風5号では越流開始とほぼ同時刻に、台風21号では越流開始から30分程度経過した後には上昇が見られた。このことから、越流侵食により初期に移動した土砂は30分程度までには観測箇所に到達する可能性があると考えられる。

台風5号時の観測データでは、観測箇所周辺の水位と濁度のピークがほぼ同じであったが、掃流砂量は水位低下後にピークがあった。また砂防堰堤に土砂が捕捉されていた。以上から、掃流砂量のピークの遅れは、砂防堰堤の土砂捕捉による影響が考えられる。また図-8に示す水位と掃流砂量の関係によれば、掃流砂量は一度ほぼ水位20cmで、水位変化と関係なく大きく増大・減少した。越流後については、掃流砂量が大きくばらついていたことを反映し、ヒステリシスも水位の増加によらない掃流砂量の増加を示しているが、水抜き暗渠からの土砂流出を反映している可能性がある。

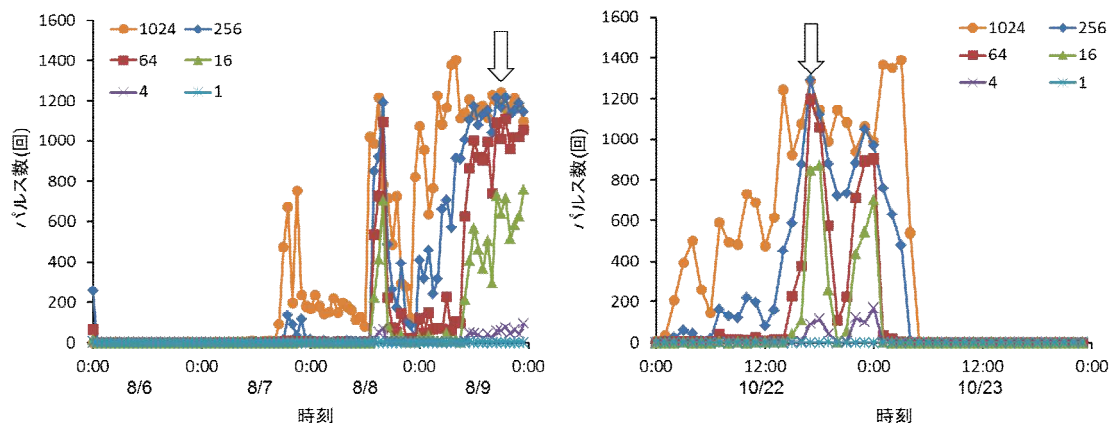


図-9 増幅率毎のパルス数 左：台風5号 右：台風21号
凡例の数字は増幅率を示し、矢印は複数の増幅率でパルス数がほぼ同じの時間を示す

台風21号時の観測データでは、掃流砂量のピークが越流開始直後ならびに越流開始後から約8時間後の2度見られ、土砂移動現象は大きく2度あった可能性がある。また水位と掃流砂量の関係は、1回目は右回り、2回目は左回りのループを描いた(図-8)。ここで出水後の調査結果から、天然ダム堤体と河床の侵食が見られ、写真-3、4に示す出水中に撮影されたカメラ映像から、左回りのループが描かれた時間周辺で仮排水路が侵食された様子が観察された。ここで下流の砂防堰堤は台風5号によって運搬された土砂によりほぼ満砂状態であり、台風21号による土砂はほぼそのまま観測箇所到達したことが考えられる。また仮排水路侵食前には天然ダム堤体部分から土砂運搬することなく、比較的土砂濃度が小さいまま流下したことが考えられるが、仮排水路侵食後には本来運搬可能な土砂が運搬されることにより、侵食前よりも掃流砂量が大きくなった可能性がある。以上から、天然ダム下流での観測データを基に、越流期間中に水位と掃流砂量の関係に着目し、天然ダム堤体侵食状況を把握出来る可能性が示唆される。

一方で、課題も残された。各出水時に掃流砂量の最大値は約 $0.025\text{m}^3/\text{s}$ を示している。ここで台風21号時のハイドロフォンによる増幅率毎のパルス数を図-9に示すが、22日17時頃複数の増幅率でパルス数がほぼ同じ値を示し、パルス数が頭打ちとなり、掃流砂量が実際よりも小さく算出された可能性がある。この要因としてハイドロフォンへ衝突する礫同士の干渉が考えられる⁴⁾。また水位の観測データにばらつきが見られた。これは水位計が圧力式であることや水面の乱れが要因として考えられる。さらに観測終盤では水位が高止まりした。出水後の現地調査によって観測機器が埋没していたことから、堆積土砂中の地下水圧を計測していた可能性が考えられる。

砂流出状況を整理した。その結果、観測データから天然ダム侵食状況の変化が把握可能であることが示唆され、特に水位と掃流砂量の関係に着目して天然ダムの状況を推定する方法が有効と考えられた。しかし、観測に関する課題もある。今後も観測を続け、より詳細に天然ダムの状況を観測から把握する手法を検討したい。

参考文献

- 1) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英二, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.45-53, 2012.
- 2) 田畑茂清, 水山高久, 井上公夫: 天然ダムと災害, 古今書院, 2002
- 3) 田村圭司, 山越隆雄, 松岡暁, 伊藤洋輔, 田方智, 柳町利輝: 天然ダム監視技術マニュアル(案), 土木研究所資料第4121号, 2008
- 4) 桜井亘, 内田太郎, 田中健貴, 井内拓馬, 蒲原潤一: 近年の山地河川における流砂水文観測, 国総研資料第887号, 2016.
- 5) 光永健男, 佐藤勇, 齋藤一裕, 池田幸太郎, 長井斎, 松原智生, 田島規雄: 流砂量自動観測装置が捉えた日光大谷川(稲荷川)の土石流発生事象, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B276-B277, 2013
- 6) 蒲原潤一, 中島一郎, 福本晃久, 玉置和基, 山下伸太郎, 内柴良和, 家田泰弘, 佐伯響, 梅村裕也, 江口友章: 天竜川水系与田切川における土砂移動特性に関する考察, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, pp.300-301, 2012

5. まとめ

栗平地区における観測結果から、天然ダム越流時の土

(2018. 4. 3受付)