

最新調査から紐解く五十里洪水の背景

横尾 満沙也・工藤 卓也

関東地方整備局 日光砂防事務所 調査課 (〒321-1414 栃木県日光市萩垣面2390)

行政の土木職員の減少、高齢化等により災害発生時の対応が問題視されている状況にある。

このような状況を踏まえ、大規模土砂災害を対象とした緊急調査や復旧事業の対応等について、既往災害の発生状況を踏まえた検討・計画が重要である。本稿では、約300年前に発生した既往の大規模土砂災害に対して最新の調査技術を活用し、災害発生メカニズム及び災害過程を調査した事例を報告する。

キーワード 河道閉塞、古五十里湖、UAV、空中電磁探査

1. はじめに

近年、自然災害が頻発化、激甚化が進んでいる。最近では、令和6年能登半島地震で456件もの土砂災害が発生¹⁾したほか、全国的にも土砂災害の件数や被害が年々増加する傾向が見られる。当事務所でも大規模土砂災害に対する危機管理のあり方を検討しているところであるが、実効性を向上させるためには、過去に管内で発生した土砂災害について、当時の災害発生メカニズムや経過を技術的に把握することが重要である。

管内における災害履歴においては、1723年、江戸時代に未曾有の被害をもたらした五十里洪水が顕著な例である。しかしながら、五十里洪水については、これまで古文書や現地での痕跡調査による検証が行われたことはあるものの、工学的な視点で調査された事例は少ない。

本稿では、発生から300年の節目でもある五十里洪水について、特に地質解析を中心とした最新技術を利用して、当時の発災メカニズムや被害の経過について調査検討した結果を報告する。

2. 五十里洪水の概要

1683年10月20日に栃木県日光市で推定マグニチュード7.0の『天和日光地震』が発生し、葛老山近くの斜面で大規模崩壊が発生した。崩壊した土砂により直下を流れている男鹿川が閉塞されて河道閉塞（所謂「天然ダム」）を生じ、上流に湛水による堰止湖（以下、「古五十里湖」という。）が形成された。

古五十里湖は形成され約4カ月程度で満水となったと推定²⁾されるが、その後40年間は決壊することなく安定が保たれていた。しかし、1723年夏に関東から東北にかけ豪雨が続き、古五十里湖の水位が急激に上昇した結果、9月9日に古五十里湖は一気に決壊し、大規模

土石流が発生した。土石流は栃木県南部、茨城県にまで達し、一説には12,000人が犠牲になったと言われている。（図-1）



図-1 古五十里湖決壊イメージ

3. 河道閉塞の発生メカニズム

五十里洪水が発生した要因である河道閉塞の発生メカニズムや規模を推定すべく、現地の地質を調査をした。

(1) UAV空中電磁探査

1) 目的

崩壊箇所の地質的な特徴について調査行うことで、崩壊規模の推定、地下水の賦存状況や崩壊地背後の地質状況を把握することができるため、空中電磁探査を実施した。また一般的に空中電磁探査はヘリコプターにて実施される例が多いが、本調査では小規模な箇所別の斜面を調査対象としているため、ヘリを用いるより調査費用も抑えられ、精度も向上するため、UAVを活用した空中電磁探査を用いることとした。

2) 調査方法

調査対象の斜面近辺に電極を打ち込み、それらをケーブルで繋ぎ、短時間で電流のON、OFFを繰り返す。

返すことで対象斜面の地に磁場を発生させる。上空からは、UAVに磁場を読み取ることができるセンサーを付け（写真－1）、飛行させることで鉛直方向の磁場を記録する。そのデータを比抵抗値に換算して、地下水や地質の分布状態を推定するものである。



写真－1 探査中の写真

3) 調査結果

崩壊した斜面と、隣接している崩壊をしていない斜面の比抵抗値を比べてみると、崩壊地外側の尾根部では、硬質の岩盤の上に低比抵抗帯が形成されており、土砂が20～50m層厚で堆積していることが現地で確認できた。このことから崩壊前の斜面には、隣接する斜面と同様に崩土が堆積していたと想定され、元々非常に緩んだ地層が斜面上部に分布していたことが推測される。

(2) 既存ボーリングコアや弾性波探査結果の活用

現地の地質調査履歴を確認したところ、大規模崩壊の斜面下部で宇都宮国道事務所がボーリング調査を実施していたことから、保管されているボーリングコアを借用し、観察を行った。また、ボアホールカメラ観測、弾性波探査も実施されていたので、空中電磁探査結果と比較した。

1) 考察結果

調査結果から考察した結果、斜面下部ほど岩盤にせん断面や亀裂が発達しており、これらのせん断面や亀裂が斜面に対して流れ盤を形成していることが判った。

また、対象斜面は男鹿川の攻撃斜面となっていることから、崩壊前も脚部が侵食されやすく、斜面の不安定化が進んでいたことが推測される。

(3) 崩壊機構の推定

1) 地形

現地調査から崩壊地尾根部には、線上凹地あり岩盤クリープの特徴を示す地形があったこと、斜面脚部については、男鹿川の攻撃斜面となっており侵食がされやすい地形であったことが確認でき、対象地が痩せ尾根部のため周辺の尾根部に比べ地震の際の震動が増幅されやすい地形であることが推定できた。

2) 地質

崩壊地に隣接する尾根部では周辺が緩斜面になっており、硬質な岩盤の上部に緩んだ土砂が堆積しているため、地震時は物性が異なり、上部の土砂が崩落しやすい条件であったこと、岩盤クリープにより岩盤が緩んだ状態で地震動の影響を受けやすい条件であったことが考えられる。

なお、斜面下部では既存のボーリング観察結果などから、下部になるほどせん断面が発達しており、脆弱な岩盤が分布しているため、地震時には斜面下部に応力が集中する際に、せん断面が低下して岩盤が破壊されやすかったと考えられる。

以上の点をまとめて以下にイメージ図を示す。
(図－2)



図－2 崩壊の背景

(4) 河道閉塞規模の推定

調査結果から1683年の崩壊規模は、崩壊斜面長約800m、崩壊斜面幅約400m、崩壊最大深約60m、崩壊土砂量約650万 m^3 と考えられる。(図－3) 空中電磁探査及び既存ボーリング調査結果より、1683年に発生した河道閉塞は地震が要因となり崩壊し、流出した土砂の大部分は男鹿川に堆積したものと推測される。そのため、調査結果から推定される全体の崩壊土砂量から現在残存している土砂量を差し引いた土砂量が河道を閉塞した土砂量とした。

$$\text{河道閉塞量} = \text{崩壊土砂量 } 6,545,901 - \text{残存土砂量 } 3,208,412 = 3,337,489$$

3. 古五十里湖形成から決壊まで

天然ダムは一般的には、水位の上昇に伴い越流決壊、浸透決壊等の危険性が高まることから、可能な限り早

急に水位低下を図る必要がある³⁾。古五十里湖においても、当時の会津藩により水位低下を目的とした、「掘割」を施工したことが文献などから明らかになっている⁴⁾。だが、一般的には会津藩が施工した掘割工事は「失敗」と語られることが多い⁵⁾。

しかしながら、前述のとおり古五十里湖は40年もの間決壊することなく湛水状態を保っていたことから、会津藩が施工した「掘割」の効果を検証した。

(1) 掘割跡物理探査

1) 目的

会津藩が施工した「掘割」の位置及び掘割底面の深度を把握するため、地中レーダー探査及び表面波探査を実施した。

2) 調査方法

① 地中レーダ探査

空洞や埋没物及び地盤構造などを、電波の反射で可視化する物理探査の一種である。その結果を基に掘割の位置や地盤上面の深度について探査するものである。(図-3、4)

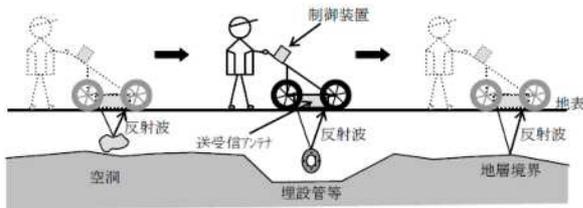


図-3 地中レーダ探査の方法

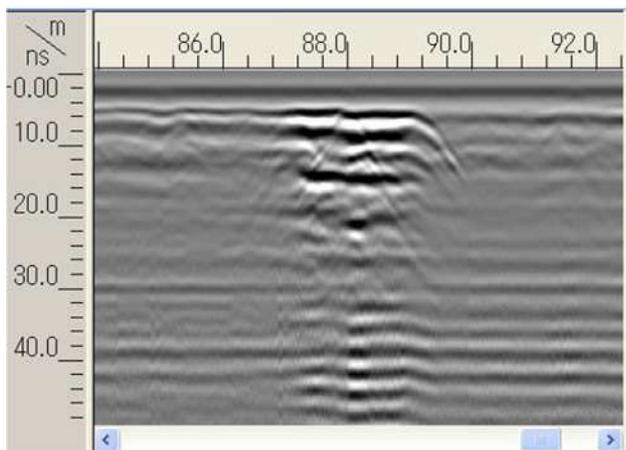


図-4 地中レーダの空洞反応例

② 表面波探査

地表をハンマーなどで叩き、人工的に表面波を発生させ、その波動を地表に等間隔で設置した受振器で測定する。(図-5、6)

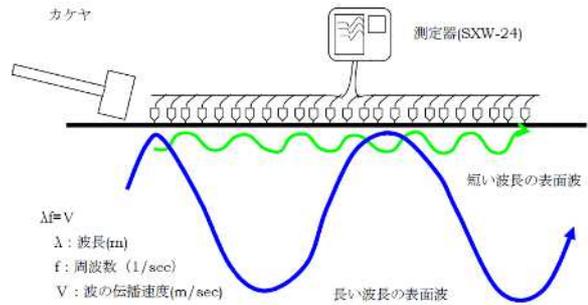


図-5 表面波探査の方法

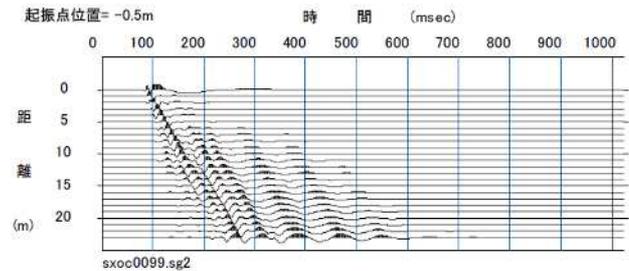


図-6 測定波の反応例

3) 調査結果

以下(図-7、8)が示しているとおりに周りとは比べて、速度層の速い層が下に凸型の形状を示したり、緩んだ水分の多い層が帯状に分布するなど、周辺と土質が岩盤の状態が違う地盤を把握することができ、文献などに記されている掘割の位置⁶⁾と相違がないことから掘割の位置を特定し、その掘割底面の標高は600.5m~601.0mとした。

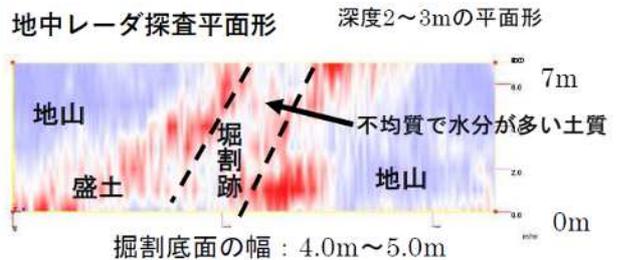


図-7 表面波探査縦断面図

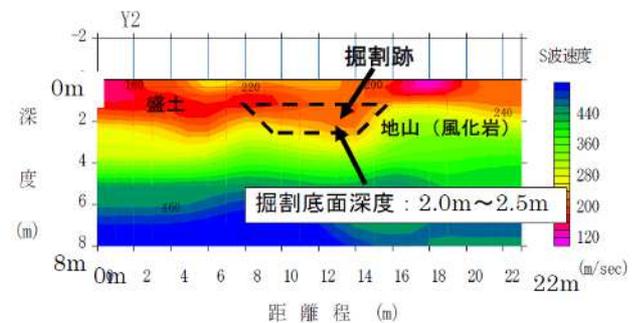


図-8 地中レーダ探査平面図

4) 河道閉塞天端高の考察

掘割地区付近の湛水斜面には、現地調査結果から河道閉塞の汀線の痕跡が標高602m~605mに残され

ている。このため、このため、標高605m以上に河道閉塞の天端があったと考えられる。

海尻橋北側の小尾根を現地調査したところ、標高607mに崩壊由来の巨礫が堆積し、これより上方の尾根部には岩塊が堆積していないことが判った。汀線跡の標高と岩塊の標高から、小尾根部付近（河道閉塞の上流端）では、標高607mを河道閉塞の天端高と推定した。

(2) 掘割の効果

1) 掘割底面の標高と古五十里湖汀線標高の比較

上項の調査により掘割底面の標高は、600.5m～601.0mであると特定した。既往資料では602m付近に古五十里湖の汀線があったとの記録⁷⁾があり、現地調査結果でも掘割付近の斜面には河道閉塞の汀線の痕跡が標高602m～605mに残されている。したがって掘割底面は古五十里湖の湛水標高よりも低い位置に存在したことから、仮排水路として機能していたことがわかった。

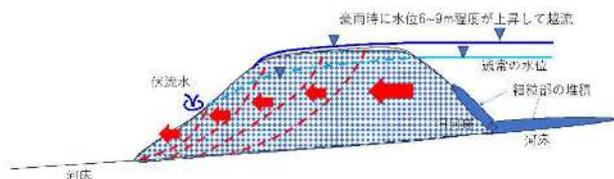
② 40年間河道閉塞が継続できた理由

河道閉塞は10月に形成され、「約133日で満水になった」との記録²⁾がある。標高607mを天端高とすると、湛水量は5,400万 m^3 と算出され、河道閉塞形成後の平均流入量は5,400万 m^3 / 133日 = 4.7 m^3 / sである。五十里ダム管理支所の2012年～2021年の年平均流入量の観測結果から、少雨期（10月～3月）の平均流入量は7.2 m^3 / sであるので、同程度の流入量を仮定し、少雨期の平均流入量7.2 m^3 / sから1683年の流入量4.7 m^3 / sを差し引くと2.5 m^3 / s（約35%）が漏水量となり、漏水率が大きい特徴がある。

古五十里湖が決壊した際の雨量では水位が6m～9mも上昇しており、掘割底面の標高が600.5m～601.0mであることから河道閉塞天端の標高607mを超過するため越流してしまう。

上記より会津藩の掘割は失敗とされていたが、掘割が小雨期に施工されて仮排水路としての役割を果たしており、標高602m～605m程度までの水位上昇に対しては排水効果を発揮していたことや河道閉塞自体の漏水率が高かったこともあり、40年間、河道閉塞が継続したと考えられる。

しかしながら、1723年の豪雨時では、上昇した水位が河道閉塞の天端高を超過したため河道閉塞が決壊に至ったと推察される。（図－9）



図－9 河道閉塞決壊の概念図

4. おわりに

300年前に発生した大規模土砂災害に対して、UAV 空中電磁探査や表面波探査など現在の調査技術を駆使

し当時の発生メカニズムを工学的な視点で解析した。発災から長期間が経過していても現地に残された地形地質データの解析によって、天然ダムの形成から決壊までの経過や規模など、当時の発災状況について技術的に推定できる可能性が示された。加えて、従来の文献調査において一般的には「失敗」と断じられてきた会津藩による掘割工事について、現代の天然ダム対応における仮排水路工事同様の効果があったことを新たに考察することができた。

引き続き、過去の災害に目を向けながら、大規模土砂災害への対応方針を検討してまいりたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：砂防，災害情報，令和6年能登半島地震による土砂災害発生状況（2025年1月28日13：00時点）
- 2) 利根川治水史，1943
- 3) 国土交通省，近畿地方整備局，紀伊山系砂防事務所：紀伊山系における大規模河道閉塞（天然ダム）対策の考え方（案）
- 4) 五十里湖水，1970
- 5) 藤原町史，通史編，第2編，1982
- 6) 藤原町史，後編（著者，発行年不明）
- 7) 第62回企画展シルビアシジミ発見130年・鬼怒川改修80年記念 大いなる五十里川