

河川堤防の被害および土砂崩壊による河道閉塞

福嶋 祐介・細山田 得三・犬飼 直之

長岡技術科学大学 環境・建設系

1. 河川の被害状況の総括

平成 16 年 10 月 23 日に新潟県の中越地方で発生した地震により、図 1 に示すように中越地区の信濃川（魚野川含む）および中小支川のほぼ全川の河川堤防・堰・水門に被災が生じた。その総数は国の直轄河川（信濃川・魚野川）で 185 箇所、信濃川の支川で 425 箇所である。地震の 2 日前には台風 23 号による大量の出水（戦後 5 番目）を記録しており、堤防の内部に多くの浸透水を含有した状態であったことが河川堤防の被災の一因と考えられる。もし、出水と地震が逆の順序で発生していたら、更に大規模な被災が生じたことが想像される。また、旧山古志村（長岡市山古志）から小千谷市、魚沼市（旧堀之内町）にかけて流れる芋川の周辺の斜面から土塊が崩落し、河道の閉塞が生じた。さらに閉塞した土砂からの土石流の発生が懸念され、広く報道された。ダムに関しては、国および県が管理している 22 のダムについて調査が行われ、安全が確認された。本稿では、本学地震調査団による現地踏査や数値実験結果および関係機関によって入手された資料をもとに河川の災害状況について報告する。

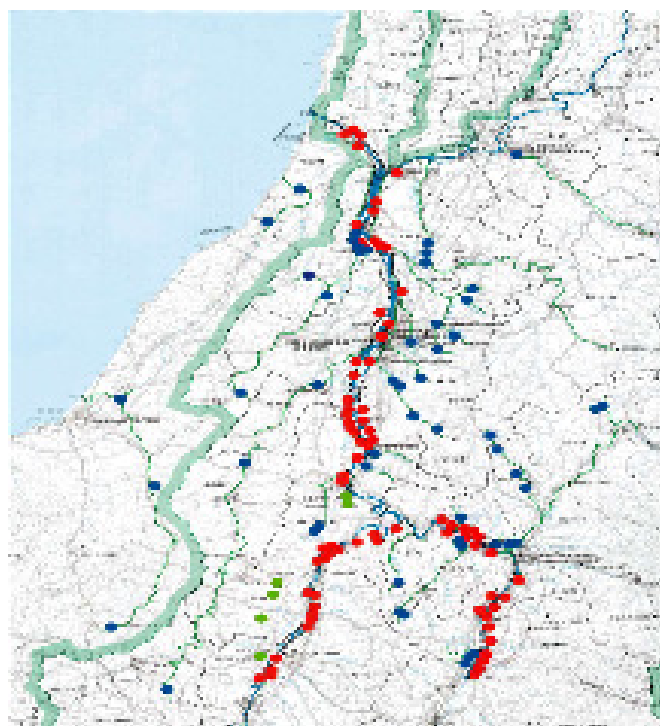


図 1 河川被災状況¹⁾より抜粋

(赤：国直轄，青：県，黄緑：利水者管理ダム)

2. 河川堤防の被災

河川堤防の被害は、堤防の縦断方向の亀裂、はらみだし（堤防のすべり破壊）、液状化等による沈下が挙げられる。国土交通省によれば、今回の地震では縦断亀裂による被災が顕著であったとのことである。この縦断亀裂により、天端上のアスファルトにも縦方向の亀裂が数多く発生した（写真 1）。写真 1 の右は長岡市三俣野町の信濃川右岸の被災の状況であり、天端幅 7m のうちの



写真 1 河川堤防上の縦断方向の亀裂¹⁾より抜粋

越路町釜ヶ島（左）、長岡市三俣野町（右）

4m の崩壊が縦断方向 150m に渡って生じた。また裏のり面の陥没や低水護岸においても被災を受けた。この地点が今回の地震で最も大規模な河川堤防の被害となっている。



写真2 刈谷田川五百刈地先の堤防被害 【GPS】 : N 37° 31' 35" E 138° 52' 43" 2004.10.28

左上：下流方向

右上：上下の亀裂の長さは50cm 上流方向

左中：複雑な亀裂

右中：亀裂面に石灰粉散布し白くなっている

左下：上流方向2列の亀裂

右下：作業用ブルーシート 亀裂が長く続く

また、同年の7月13日に大水害が発生した刈谷田川（新潟県管理）においても堤防に大きな被害が生じた。写真2には刈谷田川の五百刈地先

（国道8号線見附大橋上流）の左岸堤防上の大きな亀裂を示している。ここにおいても主として、堤防の縦断方向に亀裂が発生していた。このように



写真3 刈谷田川山吉町地先の右岸堤防

【GPS】：N 37° 31' 35" E 138° 52' 43"

2004. 10. 28

左上：左岸の低水護岸が小規模に破壊

右上：復旧するための工事用道路

右下：堤防上の重機



県が管理する補助河川では堤防上がアスファルト舗装されていない場合多く、草地の堤防天端上に亀裂が見られる。写真のところどころに見える白い袋は土のうである。堤防の亀裂部には石灰がまかれており、白くなっている。亀裂は水平方向だけでなく鉛直方向の段差を生じており、その長さは約 50cm であった。

写真3には刈谷田川の五百刈地先の対岸の山吉町地先の被災の様子と復旧活動の一例を示す。左岸堤防と同様の亀裂が発生していた。この場所においても堤防上はアスファルト舗装されていなかった。また、亀裂内には石灰がまかれていた。亀裂は左右に開いているもの、上下に段差があるものなどであった。この写真は、地震の発生後5日目に撮影されたものであり、復旧用の工事道路などの築造も完了している。地震直後に24号台風が23号台風とほぼ同じ経路で日本に接近しつつあり、そのため、迅速な工事が行われたためと思われる。

写真4には写真3と同一地点の堤防上の亀裂を示している。上段の3枚は他の地点の堤防被害と同様に縦断方向に亀裂が生じている。ただし、上段中に示すように亀裂の形状が複雑になっているものもある。また、上段左は天端の端部から川側ののり肩に亀裂が見られる。

写真5には地震発生の約3ヶ月前の7月13日に発生した水害の破堤点の堤防の様子を示す。右に示すように堤防の天端が堤内地側に拡幅されており、裏のりにはビニールシートがかけられ、地震時にも安定が保たれた。表のり上には波消ブロックによる護岸が施されており、これにも地震被害は発生しなかった。

写真6には長岡市中心部付近の信濃川の両岸の天端上のアスファルトの亀裂を示している。国が管理する一級河川信濃川の天端であり、かつ長岡市中心付近を防護し、交通手段としても活用されているため、アスファルト舗装が施されている。左上の写真が示すように、工事に人工的に与え



写真4 刈谷田川山吉町地先の右岸堤防

上段3枚： 堤防上の亀裂 上段中： やや複雑な亀裂の形状

下段左： 堤防上を斜めの亀裂が入っている。このような堤防に斜めの亀裂は珍しい

下段右： 上下に開いた亀裂が生じている。その上にかぶっているのはススキとブルーシート

た切込みから地震による外力によって亀裂が延伸しているようである。

ここまで述べてきた堤防の被災を発生させる原因の1つに液状化が挙げられる。前述したが、地震が発生する2日前に台風23号が日本に上陸し、信濃川の上流部となる長野県を通過した。このときの出水は最高水位が小千谷（信濃川の基準点）において警戒水位(46.5m)を超えて48.02mを記録し、戦後第5位となっている。高島⁷⁾によると、信濃川の流域において大きな出水となるのは、雨域が上流から下流に移動してくる場合であり、

前線性よりも台風性の気象擾乱による出水である。今回の台風は信濃川で大出水となるパターンであった。このため、河川堤防は地下水位が高い状態となっている。また、中越地区は山間地を流れた信濃川が平地に流れ出る扇状地にあたり、土粒子分布が均一な部分が多く、このため、越路橋付近と長岡からその下流の中之島町にかけて液状化が発生した。部分的に砂礫や玉石を含んでいる堤防（例えば渋海川合流部付近）もあるが、そのような部分では液状化がみとめられず、地震動による飛散などが見られた。魚野川や十日町付近



写真5 7.13 水害の破堤点付近 旧中之島町刈谷田川左岸
 右は左の背後部である。地震被害は発生しなかった



写真6 信濃川長生橋付近の堤防天端上のアスファルトの亀裂

左上：上流左岸 人工的な亀裂から地震による亀裂が延伸
 上中：左岸上流方向
 上左：右岸下流方向
 下左：左岸上流方向
 下中：左岸上流方向 石灰が見える



の信濃川では堤防の地盤材料や地形によって地下水位が低いことなどにより、液状化はみとめられなかった。

3. 河川堤防以外の構造物の被災

河川堤防以外の被災としては、堰、水門などの

河川構造物の被災が挙げられる。今回の地震では、復旧を要する水門等の被害件数は7件であった。その中でも妙見堰の被災が顕著である。妙見堰は、その上流の JR 東日本の水力発電に用いた水の調節や河床の安定、長岡市への浄水の安定取水のために設けられた施設である。妙見堰の被災は、○管理事務所の亀裂 ○ゲートの被災 ○通信鉄塔の撤去 などである。被災を受けた No.1 ゲートは遠隔操作が不能となった(写真7)。このとき、台風接近による出水が予想されたことから、ゲートを全開とした。このため、浄水のための取水が十分できなくなり、排水ポンプ車や水中ポンプを設置し、直接浄水場へのくみ上げを行った。

水門以外では、例えば堤防に埋設してある光ケーブルの崩壊が長岡市三俣野で発生した(写真1)。ケーブルは切断されていなかったため、堤防の整形後、再度埋設して復旧した。

4. 復旧に向けての取り組み

河川災害の復旧については、地震直後 24 号台風の接近が予想されていたため、迅速な河川の巡視と緊急復旧工事が実施された。このとき、雨の



写真7 妙見堰 No.1 ゲートの被災¹⁾より抜粋
コンクリートの剥落と鉄筋の露出

浸透を防ぐためにブルーシートが張られた。今回の地震は本震後の余震の継続が特徴として挙げられる。図2には地震発生から約3日間の余震の発生分布を示している。震度4以上の余震が3日後も継続しており、緊急復旧工事の進捗を阻んだものと思われる。24号台風は温帯低気圧となり、上陸することもなかった。

その後の復旧は、応急復旧と本復旧工事に分か

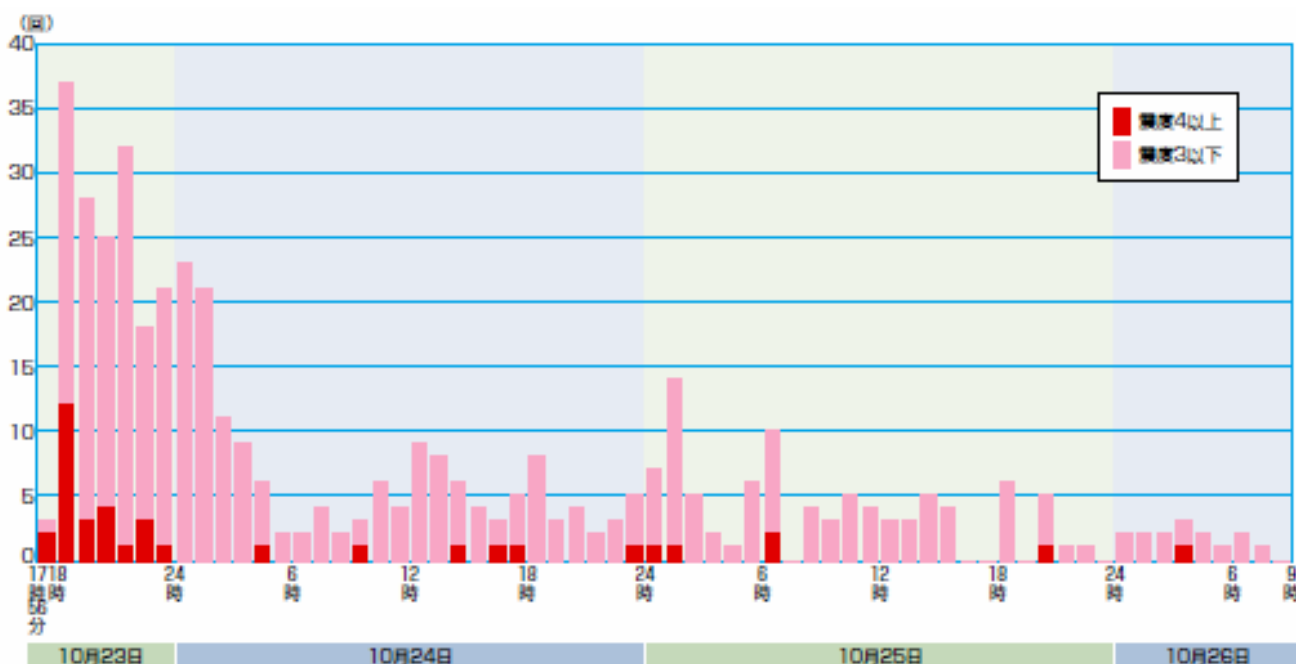


図2 地震発生後3日間の余震の継続状況¹⁾より抜粋

れる。応急復旧は、ブルーシート張りなどを中心に行われた。本復旧では、低水護岸のすべりやはらみ出しには仮締切を行い、連結ブロック張や裏込材充填などが行われた。堤防の縦断亀裂には切り返しや張芝などで対応された。液状化に対しては、堤防前面を二重締切などして地盤改良や大型連結ブロックの設置などにおいて対応した。

5. 土砂崩壊による河道閉塞

5.1 芋川流域の被災について

中越地震では、本震および余震を含め3回の大規模な地震が発生したが、それらは長岡市山古志(旧山古志村)から小千谷市、魚沼市(旧堀之内町)にかけて流れる芋川(魚野川支流)流域付近で発生した。国土院によると、これにより芋川流域では32箇所で大規模な河道閉塞が発生し、5箇所で大規模な震生湖が生成した⁹⁾。その中でも、寺野地区および東竹沢地区では大規模な河道閉塞による巨大な震生湖が生成した。その貯水量は寺野地区で約43万立方メートル、東竹沢地区で約330万立方メートルと推定され、特に、もし東竹沢地区の堆積土砂が崩壊し土石流となり流下した場合、下流地域へ甚大な被害を及ぼす可能性があり、早急な対策が必要とされた。

そこで本節では、大規模な河道閉塞により土石流発生の可能性が懸念された芋川流域の状況を把握する為に現地調査を実施した。また、もし土石流が発生した場合の被害を最小に防ぐ為にも下流域での氾濫水域を早急に特定し、防災対策を施す必要性もあると考え、竜光地区へ到達する土石流の規模・流下速度などを予測する為に数値シミュレーションを実施した。調査では、被災地への進入経路の制約もあり、南平(図5参照)を中心とした上流域及び、大規模な河道閉塞が生じた東竹沢地区(図4参照)、そして竜光地区(図4参照)を中心とした下流域の3流域について調査を実施した。特に、大規模な土石流発生が懸念された東竹沢地区については、複数回調査を実施し、その結果を基に震生湖の排水能力を推算した。

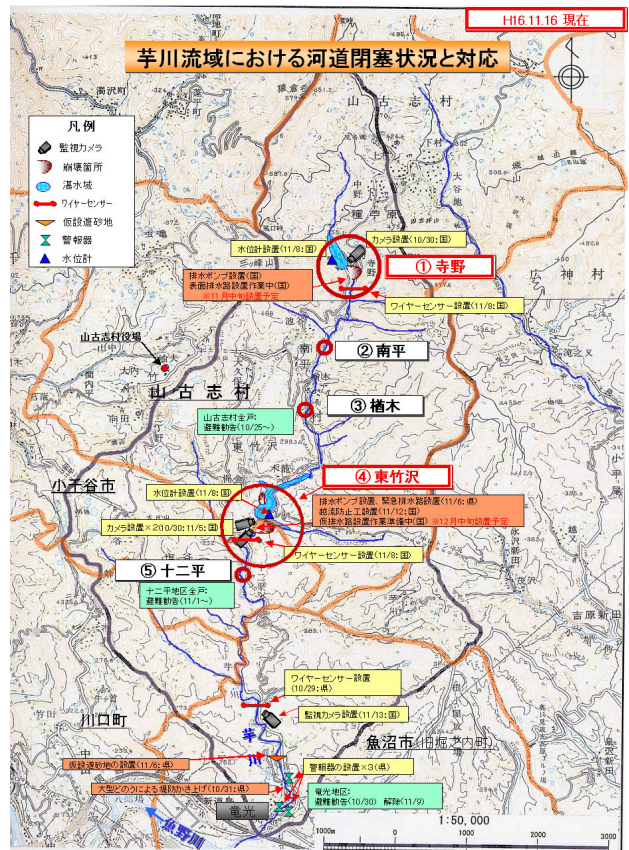


図3 芋川流域図及び主要な河道閉塞発生箇所¹⁾
(○が河道閉塞発生現場)

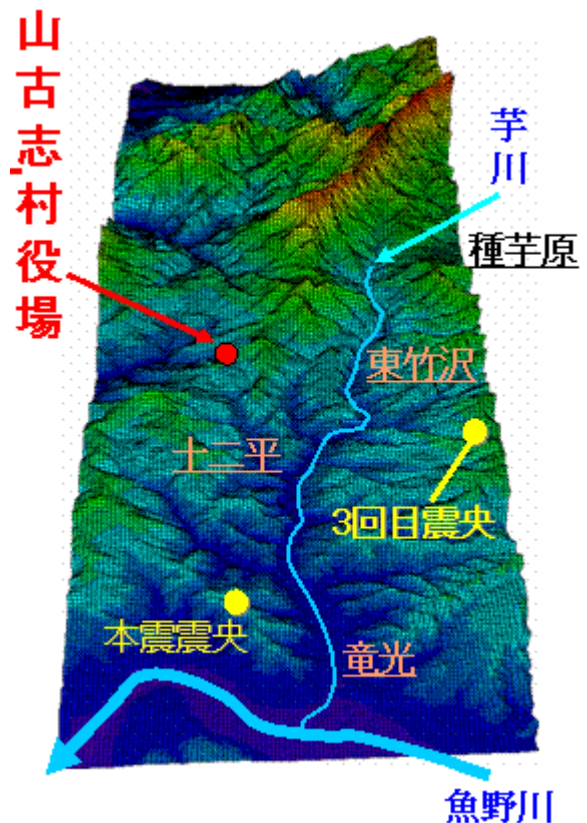


図4 芋川流域地形鳥瞰⁸⁾より作成

5.2 芋川上・中流域の被災状況

寺野から榎木の流域では、土砂崩壊による河道閉塞が複数箇所が発生した。本節では、そのうちの南平周辺（図5）および東竹沢地区（図7）について報告する。調査時は、南平地区へは旧山古志村役場（図5）まで車で進入し、それから先は徒歩で羽黒トンネルを経由し現地へ向かった。また、東竹沢地区へは小松倉集落（図10）まで車で進入し、それから先は徒歩で現地へ向かった。

(1) 寺野～榎木地区（平成16年11月20日）

この流域では無数の土砂崩壊により複数の河道閉塞が発生した。そのうち、南平地区周辺の河道閉塞の状況を示す（写真8, 9）。



図5 芋川上流域（寺野～榎木）

(2) 東竹沢地区（平成16年11月13, 20日）

東竹沢地区は、魚野川の合流点より約8km上流の地点（図7）であり、芋川流域の中で最大規模の河道閉塞が発生し、それにより巨大な震生湖が生成した場所である。

この地区は、芋川と前沢川の2つの谷が合流するY字谷地形（図8）であるが、そのY字谷の合流点（標高約130メートル）付近で大規模な地すべりが発生し、2河川を閉塞させた（図10）。それによりせき止められた水は芋川と前沢川の2つの谷に貯水され大規模な震生湖が生成した（図10）。図9および図10に震災前後（平成16年11月20日当時の水位、標高約153メートル、標高差約23メートル）の地形図を示す。

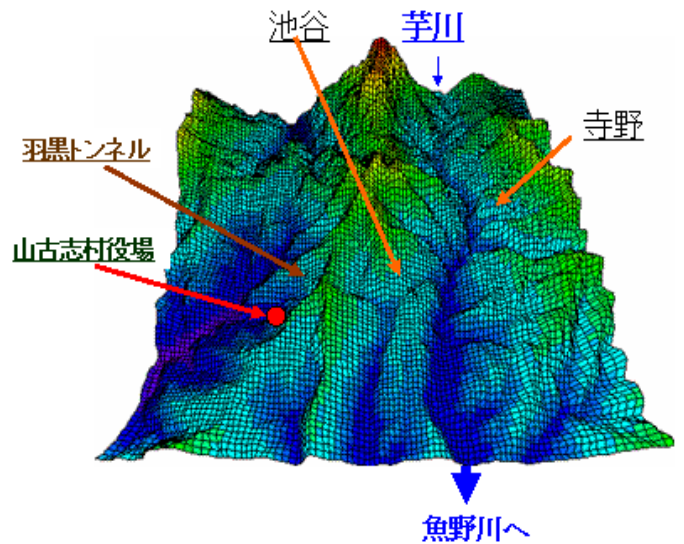


図6 芋川上流域鳥瞰（図5と同じ）(8)より作成



写真8 河道閉塞箇所（南平，閉塞河道）



写真9 河道閉塞箇所（写真8の右側状況）

平成 16 年 11 月 13 日当時，国土交通省によると，閉塞箇所の土塊高さは約 28 メートル，閉塞長は約 350 メートル，閉塞幅は約 300 メートルであった．この湖の総貯水量は東京ドーム 2.5 杯分の約 330 万立方メートル，表面積は約 27 万平方メートルであり，越流水位までなお約 200 万立方メートルの余裕があると考えられていた．

また，東竹沢地区より約 4 キロメートル上流の寺野地区の震生湖では，越流水位ぎりぎりの約 43 万立方メートルの貯水量であった．しかし，例え寺野地区の水が流出しても，220 万立方メートル余裕のある東竹沢の震生湖へは悪影響は及ぼさないと考えられていた．

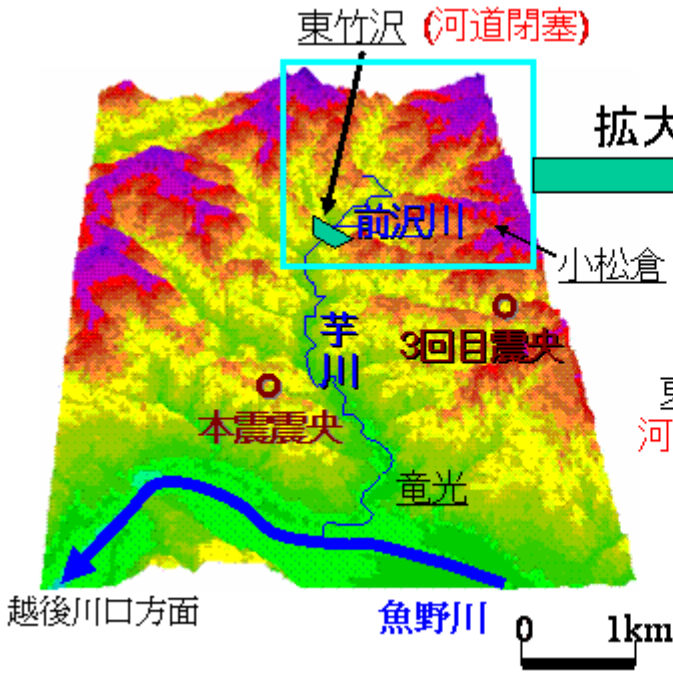


図 7 芋川流域鳥瞰 (□は図 8 の領域) 8) より作成

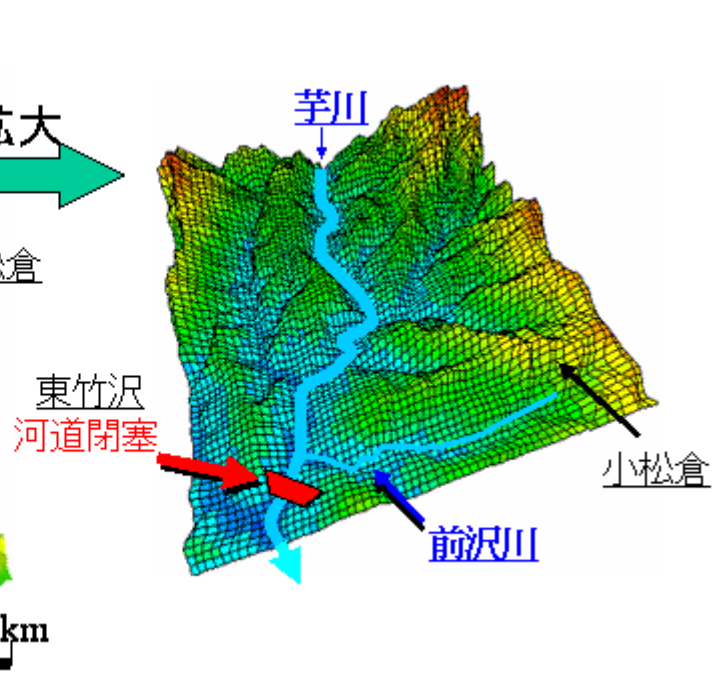


図 8 東竹沢地区付近地形鳥瞰 8) より作成



図 9 東竹沢地区 (震災前の地形, 図 8 と同領域)

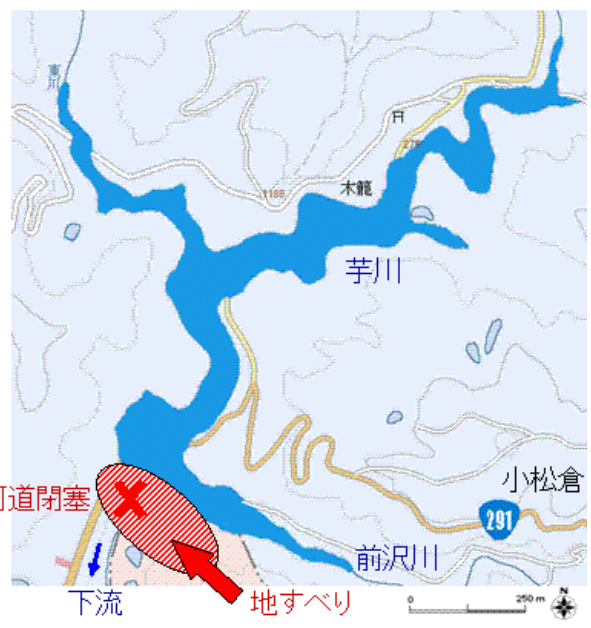


図 10 東竹沢地区 (震災後の地形)

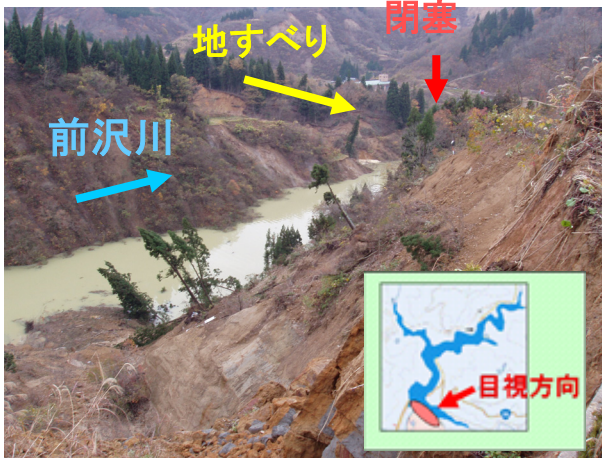


写真10 前沢川（小松倉～東竹沢）
（平成16年11月13日）



写真11 震生湖上流方向（平成16年11月13日）



写真12 閉塞箇所および震生湖（平成16年11月13日）

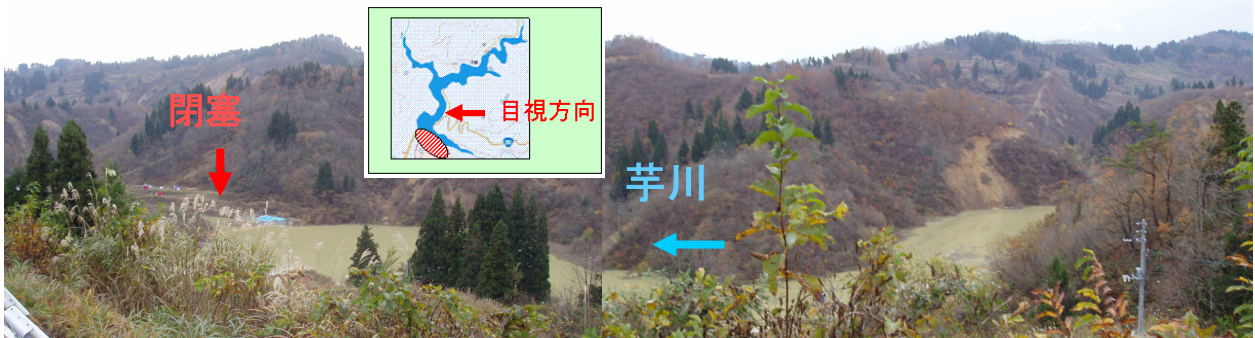


写真13 芋川側震生湖遠景（平成16年11月13日）



写真14 孤立した木箆地区（震生湖上流，平成16年11月13日）

5.3 芋川下流域の被災状況

芋川下流域の調査は、魚沼市（旧堀の内町）側より芋川に沿って車道を走行しながら移動した。しかし、竜光地区より約2キロメートル上流の地点で道路が崩壊しており、それ以上の進行は不可能となり、それより上流側の調査を断念した。

(1) 竜光地区上流域（平成16年11月20日）

竜光地区の集落の上流では、土石流緩和対策のために芋川本川内にブロック、側面での土嚢の設置など（写真15）で土石流が竜光地区への到達をできるだけ軽減させるための対策が施されていた。芋川の下流域では、大規模な土砂崩壊による河道閉塞は発生しなかったが、小規模な土砂崩壊は至るところで発生しており（写真19など）、こういう崩壊土砂が河道内に流入することにより、流下能力に少なからずとも影響を及ぼしていたと考えられる。

(2) 竜光地区（平成16年11月20日）

震災により竜光地区でも家屋倒壊などの被害が発生した。平成16年11月9日に避難勧告が解除されたが、その後も上流の東竹沢地区の震生湖の水位は上昇を続けた。もし閉塞土砂が崩壊した場合、土石流は竜光地区へ数分で到達する危険性があったので、上流で土石流センサーを設置したり、竜光地区の河川堤防上に土嚢を設置するなどの土石流緩和対策工を実施した。また、竜光地区では避難経路や警報伝達手法などの体制を整備し、土石流に備えた。



写真16 家屋被災状況（竜光地区）



写真17 土嚢設置状況（竜光地区）



写真18 土石流対策工
(魚野川合流点より約2km上流)



写真15 土嚢設置状況（右岸拡大）



写真19 河道状況（竜光地区上流）
(魚野川合流点より2.5km上流, ○:土砂崩壊)

5.4 土石流予測シミュレーション

(1) 予測シミュレーションの必要性について

震災による河道閉塞が生じた東竹沢地区では巨大な震生湖が生成した。その後も湖面は上昇を続け、平成 16 年 11 月 20 日には、水面は標高 153 メートル（閉塞前標高約 130 メートル）標高差（約 23 メートル）にまでに達した（図 1 1）。もし、この状態で土砂が崩壊した場合、土石流は約 6.4 キロメートル下流の竜光地区へ到達し、甚大な被害を与える可能性があり、今後も水位が上昇を続けるようであれば、被害予想を早急に行う必要性があった。また、現在は大丈夫でも春季の融雪期には大量の融雪水により河川水が増加する事が予想され、もし排水能力が不足し再び水位が上昇した場合、越流＝決壊の可能性が生じるのではないかという懸念が生じた。もし土石流が発生した場合には、下流の竜光地区の住民は速やかに安全な場所へ非難する必要性があり、被害を最小に防止するためにも、土石流が竜光地区へ到達する時間や規模を事前に予測しておくことは極めて重要な問題であった。

そこで、ここでは、11 月下旬の段階での排水能力を推算し、それがその当時十分な能力であるのか、その後の融雪期でも十分な能力であるのかを確認すると共に、もし土石流が発生した場合、竜光地区へ到達する土石流の規模・到達時間を数値シミュレーションで予測する事とした。

(2) 排水能力の把握について

① 東竹沢地区上流域の面積について

東竹沢地区で発生した河道閉塞箇所よりも上流の流域面積を国土数値情報⁸⁾を利用して換算すると、同地区より上流の流域面積は約 651 万平方メートルであった。これにより、流域内の降雨は 1 日以内に東竹沢地区に到達すると仮定した。

② 流域の降雨量について

現地調査を実施した平成 16 年 11 月 13 日及び 20 日の期間内の芋川流域の降雨量を、流域に一番近い国土交通省の堀之内と守門の 2 地点の雨量ゲ

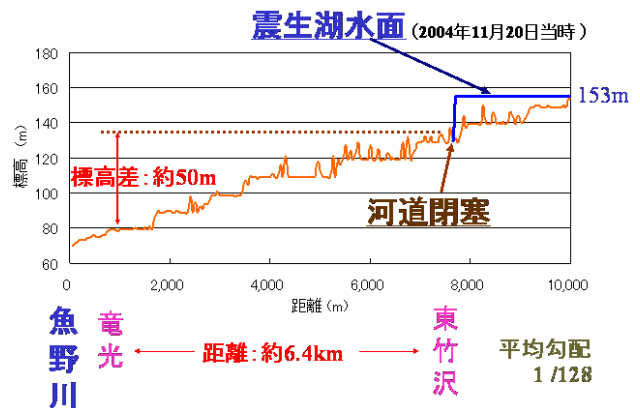


図 1 1 芋川の流下断面と震生湖水位⁸⁾より作成
(平成 16 年 11 月 20 日当時)

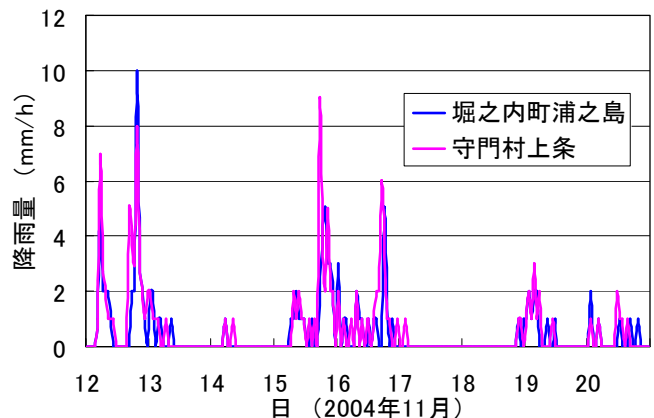


図 1 2 降雨量の経時変化（時間あたり降雨量）
(平成 16 年 11 月 12 日 1 時～21 日 0 時)

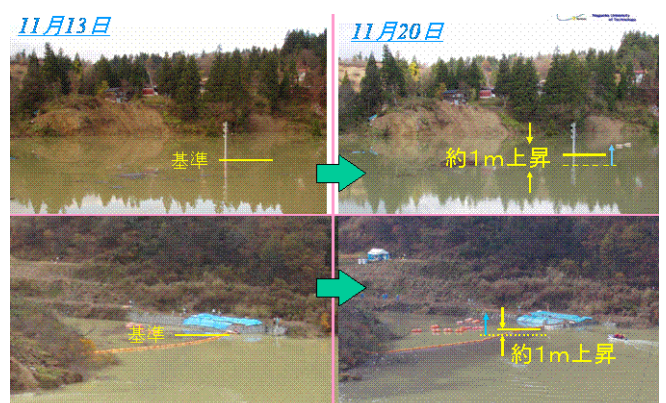


写真 2 0 水位変化
(平成 16 年 11 月 13 日および 11 月 20 日)
(1 週間で約 1 m の水位上昇)
(上：木籠地区，下：閉塞箇所付近)

ータを用い検討をした。データによると、この期間には堀之内、守門でそれぞれ 106mm 及び 133mm の降雨があった。これは平均すると 1 日当たり 12mm の降雨量に相当する。流域面積は①で換算した値であるので、この流域には 1 日当たり平均で約 8 万立方メートル相当の降雨量があった事になる。

② 同期間の水位変動量について

平成 16 年 11 月 13 日と 20 日の調査を実施し、河道閉塞箇所の構造物の水没量および木籠地区の電柱の水没量を比較した。写真 20 に木籠地区の 1 週間の水位変動差を示す。図より 1 週間で約 1 メートル水位上昇をした事が分かった。

③ 融雪期の流出量について

平成 16 年 11 月 24 日の朝日新聞によると、芋川流域では、融雪期に最大で 1 日 10 ミリメートルの降雨量に相当する融雪水が出水することが予想された。これを、東竹沢地区から上流の流域で考えると、この流域では 1 日あたりの流出量は約 6.5 万平方キロメートルということになる。

③ 排水能力の推算

調査期間中 1 日平均 12 ミリメートルの降雨量があり、1 週間で水位が 1 メートル上昇した事から考察すると、この当時の 1 日あたりの排水能力は約 4 万平方キロメートルであったと推測される。よって、この当時の段階では、春の融雪期の流出量には十分対応できなかった可能性が考えられる（注意）。

（注意）その後、閉塞箇所の補修工事が進み、現在では十分な土砂の補強および流出経路が確保されている。

(3) 基礎方程式

11 月 20 日の段階では排水能力の問題や閉塞箇所の崩壊の危険性があった為に、もし土石流が発生した場合、どれくらいの時間及び規模で下流の竜光地区に土石流が到達するのかを推算しておく必要性があった。そこで、ここでは土石流の数値シミュレーションを実施し、竜光地区への

流下状況の把握を試みた。

ここで実施した数値計算には、氾濫流、河道内の流れとともに平面 2 次元で冠水域と没水域の区別を表現できる浅水流方程式を用いた。数値計算に用いた基礎方程式は、式(1)、式(2)に示されている。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{M_i M_j}{h} \right) \\ & = -gh \frac{\partial (z^* + h)}{\partial x_i} + A \left(\frac{\partial^2 M_i}{\partial x_m \partial x_m} \right) - \frac{gn^2}{h^{5/3}} M_i \sqrt{M_m M_m} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで式(1)は連続式、式(2)は平面 2 次元の i 方向の非線形長波方程式である。式(4.2)中のサフィックス $i=1, i=2$ はそれぞれ、東西方向と南北方向に対応する。式中の記号、 $x_i, M_i, g, t, z^*, h, A, n$ はそれぞれ i 方向水平座標、 x_i 方向の線流量、重力加速度、時間、DEM⁸⁾による地盤高、水深、水平粘性係数、マンニングの粗度係数である。未知量 M_i, h はスタガート格子を用いて平面格子内のそれぞれ、右辺上および中心点で定義されている。マンニングの粗度係数及び水平動粘性係数は底面の状況や土砂の混入量などによって変化させるべきであるが、ここでは一定値とした。

(4) 結果

結果を図 13 に示す。結果より、もし土石流が東竹沢地区で発生した場合、土石流は、約 6.4 キロメートルの距離を平均 1/128 の勾配の斜面を流下し、竜光地区へは約 12 分で到達する事がわかった。また、竜光地区の川幅を国土数値情報最小格子間隔である 50 メートルであると仮定すると、水位は約 4 メートルになることが分かった。このように本計算では土石流発生後竜光地区へ到達する時間及び規模を把握する事ができ、土石流の予測シミュレーションの可能性を示すことができた。

しかし、本計算では、山間の複雑な地形形状の領域であるにもかかわらず50メートル格子の地形情報を利用した事や、土砂が混入した際の流体の性質が不明であったことから粗度係数および水平動粘性係数を一定値として取り扱った事よりまだ改善の余地が多々あると考えられる。今後は、この変数および地形精度を向上させることにより、より実現象に近い予測シミュレーションが可能になると考えられる。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、信濃川河川事務所の調査第一課西修（前）課長には資料の提供にご協力を頂いた。河川災害の復旧のため多忙中、迅速に対応頂き、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局河川部, 平成 16 年 (2004 年)新潟県中越地震による河川被害状況 [速報版] <<信濃川他>>, 平成 16 年 10 月.
- 2) 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所, 平成 16 年 10・23 新潟県中越地震 地震発生

- から復旧まで -信濃川河川事務所の対応-, 平成 17 年 10 月.
- 3) 北陸地方整備局中越地震復旧対策室湯沢砂防事務所, 平成 16 年 (2004 年)新潟県中越地震芋川河道閉塞における対応状況, 平成 16 年 12 月.
- 4) 北陸地方整備局河川部・新潟県土木部, 平成 16 年 (2004)新潟県中越地震土砂災害速報, 平成 16 年 10 月.
- 5) 国土交通省北陸地方整備局, 「平成 16 年新潟県中越地震」による被害と復旧状況, 平成 16 年 11 月.
- 6) 新潟日報社, 新潟県中越地震特別報道写真集, 平成 16 年 11 月.
- 7) 高島和夫, 信濃川における「横田切れ」の洪水規模の推定とその位置づけに関する研究, 博士 (工学) 学位論文, 平成 17 年 6 月.
- 8) 国土地理院, 数値地図 50m メッシュ (標高), 平成 12 年 6 月.
- 9) 新潟日報

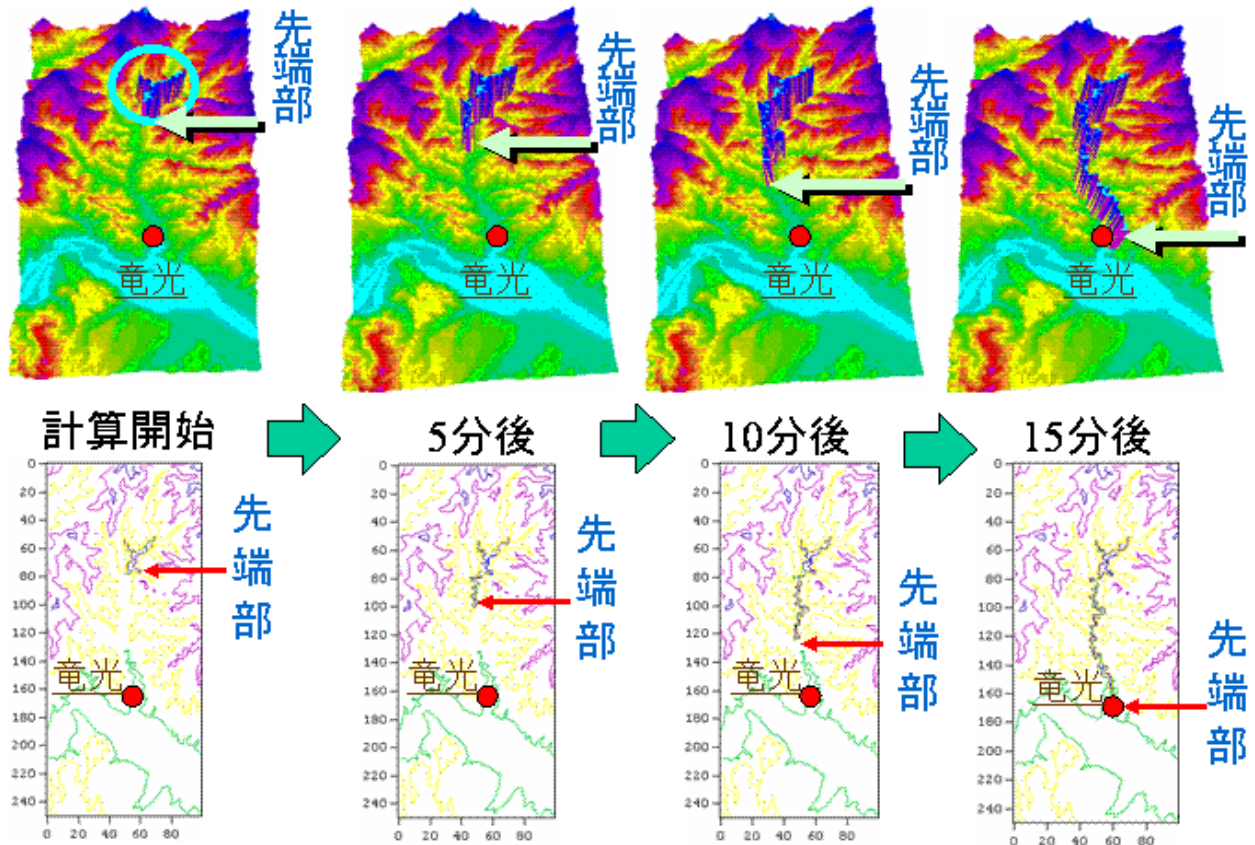


図 1.3 計算結果 (土石流先端部の流下状況)