

# 北海道胆振東部地震による斜面崩壊土砂に 起因した河川の濁水発生状況 および農業取水のリスク管理

田中 健二<sup>1</sup>・鶴木 啓二<sup>1</sup>・川口 清美<sup>1</sup>

<sup>1</sup>土木研究所寒地土木研究所 水利基盤チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

厚真川流域では、平成30年北海道胆振東部地震により斜面崩壊が発生し、濁水発生に伴う農業用水への影響が懸念された。そこで、厚真川本川の頭首工4地点に濁度計を設置し、時期ごとの濁水の発生状況を把握した。その結果、非灌漑期では、支流の崩壊地面積率と関係があることが示唆され、灌漑期では、頭首工の濁水低減効果との関係が明らかとなった。さらに、SS濃度を指標とした取水操作手法を検討した結果、大きな出水時に1週間取水できない可能性があった。灌漑が必要な時期に水不足が生じると収量・品質の低下が懸念されるため、取水を暫定的に許容することが現実的な対応策と考えられた。

キーワード 自然災害，斜面崩壊，浮遊物質濃度，農業用水

## 1. はじめに

近年、平成28年熊本地震に代表される大規模地震や平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨に代表される想定を超える規模の豪雨により大規模な斜面崩壊が頻発している。斜面崩壊に起因した道路の寸断や河道閉塞などの一次的な影響のほか、崩壊地からの土砂流出による河床への堆砂や濁水発生などの二次的な影響も懸念される。2018年9月6日に北海道胆振東部地方において最大震度7の地震（平成30年北海道胆振東部地震）が発生し、震源地である勇払郡厚真町周辺では大規模な斜面崩壊が発生した（図-1）。国土交通省の調査報告<sup>1)</sup>によると、この崩壊面積は国内の地震災害の中で明治以降最大の大きさの13.4 km<sup>2</sup>、崩壊土砂量は5番目に多い3,000万 m<sup>3</sup>と推定されている。そのため出水時には、斜面崩壊地の侵食や堆積した土砂に起因した濁水が厚真川で発生することが予想された。さらに流域下流には水田地帯が広がり、厚真川の水を取水しているため、農業用水の水質への影響が懸念される。

斜面崩壊により濁水が発生し浮遊物質量（以降、SS：suspended solids）が増えると河川生態系などに大きな影響を及ぼす。SSが生態系に及ぼす影響には、魚類のエラを塞ぎ、呼吸を妨げて窒息死させる危険性や、太陽光の透過を妨げ、藻類の光合成を阻害させる等がある

2) 一方で、農業用水として取水され農地に堆積したSSは、稲の活着根の損傷や有機性沈降物質の嫌氣的分解による根の損傷などの被害が及ぶことが知られている<sup>3)</sup>。しかし、斜面崩壊に伴う濁水発生が農業に及ぼす影響を対象とした研究は、一部に限られる<sup>4) 5)</sup>。石川県手取川流域では、豪雨に伴い土砂崩壊が発生し、130万 m<sup>3</sup>の崩壊土砂により最大濁度で4,012度（カオリン度）の濁水が発生した。濁水の発生期間が長期間継続していたため、下流扇状地の水田では農業用水として高濃度の濁水を取水せざるを得ない状況であった。濁水発生前後で水田減水深調査を実施し比較した結果、濁水の影響により水田



図-1 斜面崩壊地の状況（2018年9月13日撮影）

浸透量が36%減少したことが報告されている。以上から、濁水による農業用水への影響が大きい場合には、対応策を検討する必要がある。

厚真川流域で発生した斜面崩壊は、規模が大きく広範囲であることから、濁水発生がより顕著であることが予想される。しかし、厚真川では常時、濁水を観測する態勢がとられていないため、濁水発生状況が不明である。営農を継続するために水田農地にその濁水を取水せざるを得ない期間があれば、農業水利施設に堆砂することによる送水能力の低下や農地の土壌物理性の変化などの影響が懸念される。そのため、本研究では、厚真川本川において採水調査と連続観測を実施し、濁水発生状況の把握を行った。また、濁水発生状況を基に農業用水への影響を緩和させるリスク管理手法を検討した。

## 2. 研究対象地

本研究の対象地である厚真川流域は、流域面積 366.1 km<sup>2</sup>、幹川流路延長 52.3 km である (図-2)。厚真川流域には、樽前山や恵庭岳の第四紀の火山活動がもたらした降下火山砕屑物が堆積し、そのため流域の土壌は、粗粒質火山灰土が大部分を占める。粗粒質火山灰土の理化学性は、土粒子の風化程度によって異なる<sup>6)</sup>。表層の噴火年代の新しい未風化層は、粗粒質なものからなるため透水性に優れ、保水性、保肥力に劣る特徴がある。風化の進んだ埋没土層は、未風化層に比べ保水性、保肥力に優れる特徴がある。厚真川流域の気候は、太平洋側西部気候区に属し、厚真町の年平均降水量は約 1,200 mm、年平均気温は 7°C である。融雪期は例年 3 月中旬から 4 月中旬までであるが、冬季の積雪量や気象条件により時期が変動する。

一方で厚真町は胆振地方有数の穀倉地帯として知られ

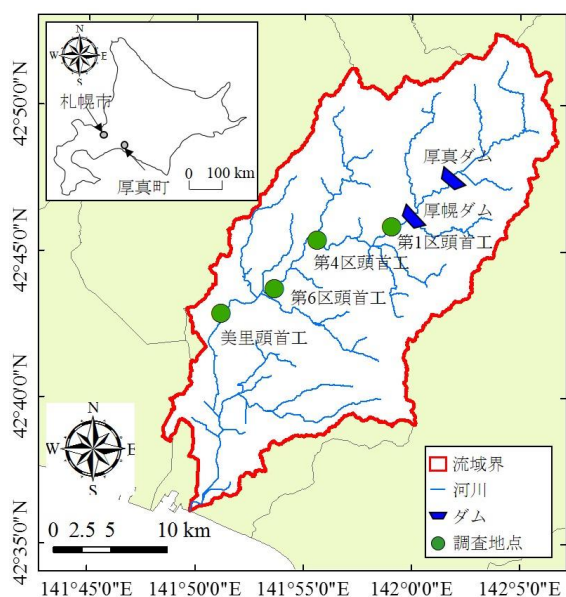


図-2 厚真川流域

て、水田稲作の灌漑期は5月上旬から8月下旬までである。取水源である厚真川の上流域には、農業用ダムである厚真ダムと多目的ダムである厚幌ダムがあり、中・下流域の 3,224 ha の農地 (水田 2,866 ha, 畑地 358 ha) を灌漑している。地震後は、厚真ダムは運用を停止し、厚幌ダムは運用されている。厚幌ダムを取水源とした厚幌導水路の整備が国営かんがい排水事業として実施され、2018年にパイプラインに通水が開始されが、地震により管の離脱や破損が生じ被災した。復旧までは長期化するとみられ、厚真川本川の頭首工を利用した暫定取水を行っている<sup>7)</sup>。

## 3. 研究手法

本研究では、厚真川本川にある農業用頭首工4地点において濁度計を設置した。観測対象は取水する農業用水の水質把握を想定しているため、濁度計の設置位置を、頭首工の堰の直上流部とし、取水口の平均的な高さとした。各地点に設置した濁度計は2種類であり、低濃度域 (0度~3,000度) から高濃度域 (~50,000度) まで観測可能である。測定は10分間隔で行い、連続的に濁水の発生状況を把握した。なお、本研究の観測期間は、2018年11月から2019年8月までである。また、採水調査を非灌漑期の出水時に10回、灌漑期の出水時に2回実施した。採水した試料を室内実験室にてGFPろ過重量法により浮遊物質分析に供し、SS濃度を計測した。試料が対応する日時で濁度-SS濃度関係式を作成し、測定した濁度をSS濃度にキャリブレーションした。一方で、流出土砂の粒径区分を調べるため、非灌漑期における出水時の採水試料から、流出土砂を沈降させて採土し、室内実験室にてレーザー回折・散乱法により粒度分析に供した。

## 4. 結果

### (1) 濁度-SS濃度関係式

濁度とSS濃度の関係を図-3に示す。試料数は、灌漑

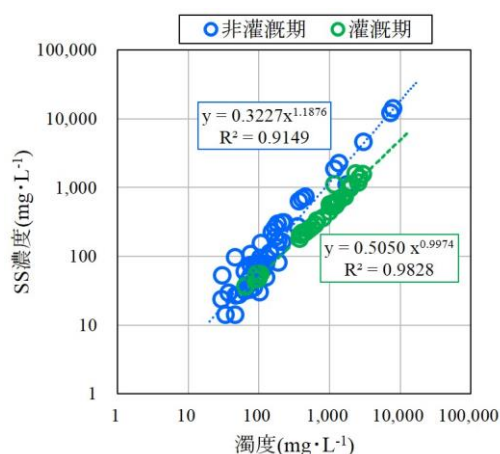


図-3 濁度とSS濃度の関係

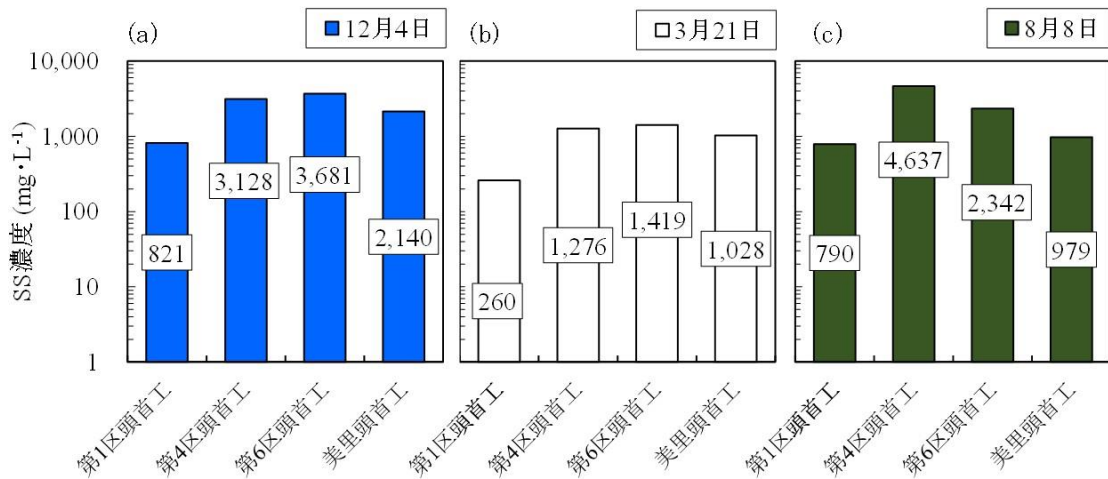


図-4 出水イベントごとのSS濃度の最大値

表-1 出水イベントの詳細

出水イベント	降雨波形	降雨継続時間 (h)	総降水量 (mm)	最大1時間降雨強度 (mm/h)
2018/12/4	複峰型	8	19.5	60
2019/3/21	前方主山型	4	5.5	2.5
2019/8/8	複峰型	21	64.0	170

期で32個、非灌漑期で49個であった。灌漑期に作成した関係式の相関係数は0.98、非灌漑期に作成した関係式の相関係数は0.91であり、高い相関関係が得られた。しかし、SS濃度が2,000mg/Lから10,000mg/Lまでのデータが十分でないため、今後も採水調査を継続し、出水時のデータ数を増やすことで関係式の信頼性を高める必要がある。

## (2) 出水時の濁水発生状況

非灌漑期、融雪期、灌漑期の各時期における出水イベントごとのSS濃度最大値を図-4に示す。出水イベントは各時期における最大の出水であり、詳細を表-1に示す。

全体的にみて総降水量が多く最大1時間降雨強度が強いとSS濃度が高くなる傾向がみられたが、灌漑期と非灌漑期ではSS濃度最大値と気象条件の関係が異なる傾向がみられた。非灌漑期の2018年12月4日の出水では、第6区頭首工で3,681 mg/Lを観測したが、灌漑期の2019年8月8日の出水では、総降水量と最大1時間降雨強度が約3倍にもかかわらず第6区頭首工で2,342 mg/Lを観測した。また、非灌漑期では第6区頭首工が最も高いSS濃度を観測したのに対して、灌漑期では第4区頭首工が最も高いSS濃度を観測した。各時期のその他の出水イベントでも同様の傾向を示した。

融雪期の2019年3月21日の出水では、第6区頭首工で1,419 mg/Lを観測した。特徴として、総降水量が少なく最大1時間降雨強度が弱くてもSS濃度が高くなる傾向がみられた。19日と20日の日最高気温は10℃以上であり、気温上昇に伴う融雪の影響により崩壊地の表層土壌が湿潤状態であったため、21日の少量の降雨でも融雪と相まって侵食が発生したと考えられる。この降雨により積雪深は14cmから0cmまで減少した。2019年の融雪期は積雪量が少なかったことに加え、大きな降雨が無かったためSS濃度最大値が比較的低い値であった。しかし、積雪寒冷地河川では融雪期に降雨があると大きな

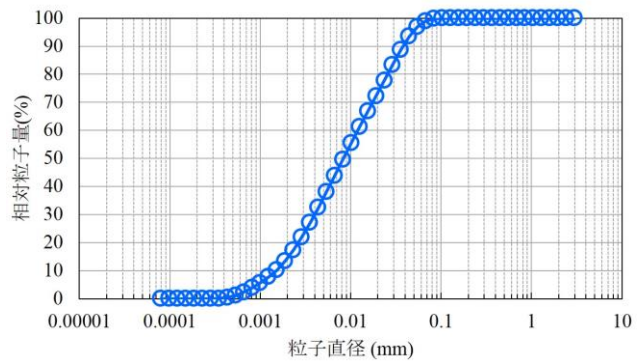


図-5 流出土砂の粒径加積曲線

出水になることが多く、融雪期に濁水発生が顕著になる可能性がある。さらに、融雪期の時期が灌漑期までずれ込む場合に濁水の影響が大きくなるため、そのような年の取水には注意を要する。

## (3) 流出土砂の粒径区分

粒度分析により得られた粒径加積曲線を図-5に示す。国際土壌学会が定義している粒径区分では、細砂(粒子直径: 0.02 mm~0.2 mm)が27.7%、シルト(同: 0.002 mm~0.02 mm)が54.9%、粘土(同: 0.002 mm以下)が17.4%であり、シルト成分が支配的であった。なお、粒粗砂(同: 0.2 mm以上)と礫(同: 2 mm以上)は含まれていなかった。3つの区分の質量組成に基づく土性区分はシルト質壤土であった。流出土砂は、砂礫が少なくシルト質を多く含むことから風化が進んだ埋没土層と推察され、斜面崩壊地で多くみられた粗粒質火山灰土のTa-cやTa-dの粒径区分と類似している<sup>6)</sup>。

## 5. 考察

### (1) 非灌漑期の濁水発生状況と斜面崩壊地の関係

出水時の濁水発生状況の結果から、非灌漑期におけるSS濃度が最も高い観測地点は第6区頭首工であることが示された。次いで第4区頭首工、美里頭首工、第1区頭首工であった(図-4(a), (b))。この濁水発生状況の観測地点ごとの差異について斜面崩壊地との関係から考察する。村上<sup>8)</sup>は、厚真川の中・上流域を対象に、喜田<sup>9)</sup>が作成した斜面崩壊地分布を用いて支川流域ごとの崩壊地面積率を報告した。斜面崩壊地分布に支川流域ごとの崩壊地面積率の情報を追加・編集したものを図-6に示す。第1区頭首工は、上流域に斜面崩壊地が多く分布しているが、直上流には厚幌ダムが在るため土砂が沈降し、SS濃度が高くならなかったと考えられる。第4区頭首工は、上流域に厚真川本川に直接流入する崩壊地や崩壊地面積率が22.6%の日高幌内川が流入しているため、第1区頭首工に比べSS濃度が高くなったと考えられる。第6区頭首工は、上流域に崩壊地面積率が16.1%の頗美宇川と35.3%の東和川が流入しているため、第4区頭首工に比べSS濃度が高くなったと考えられる。美里頭首工は、上流域に崩壊地面積率が26.1%の近悦府川が流入しているが、流域面積が大きく崩壊地面積率が小さい知決辺川(崩壊地面積率10.4%)とウルク川(崩壊地面積率9.0%)が流入しているため、希釈効果により、第6区頭首工に比べSS濃度が低くなったと考えられる。以上から、非灌漑期における濁水発生状況と支流の崩壊地面積率に関係があることが示唆された。しかし、崩壊地面積率は二次元の情報のため、斜面崩壊前後の地形の差分値から崩壊土砂量を計算し、三次元の情報から考察を進める必要がある。

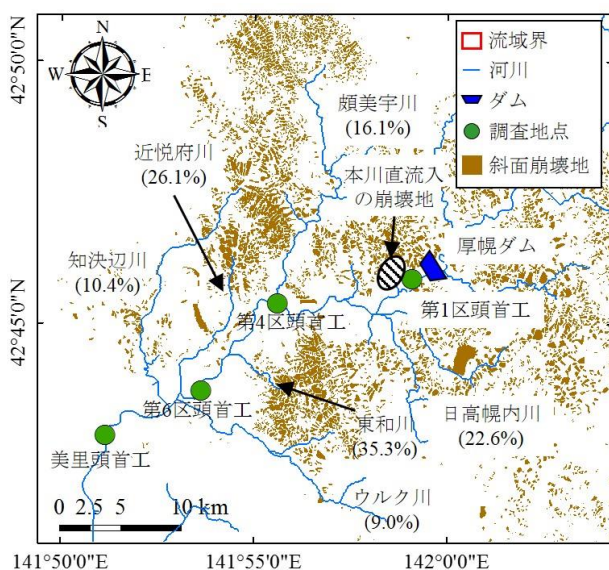


図-6 支川ごとの斜面崩壊地面積率(支川名下の括弧内の数値は崩壊地面積率)

### (2) 灌漑期の濁水発生状況と農業用頭首工の関係

出水時の濁水発生状況の結果から、灌漑期におけるSS濃度は、非灌漑期と比較して総降水量と最大1時間降雨強度が大きいにもかかわらず低い傾向が示された(図-4)。斜面崩壊地から土砂流出量が時期により極端に減少したとは考えづらく、農業用頭首工の存在によってSS濃度が低下したと考えられる。流出土砂の粒径区分は、沈降時間が短い細砂が27.7%含まれ(図-5)、頭首工により河川が堰きとめられ、滞留が生じることで砂成分が沈降したと考えられる。実際に、灌漑期終了後の踏査では、頭首工から上流数十メートルの区間で河床に堆砂が生じていることを確認した。そのため、灌漑期におけるSS濃度の最大値は第4区頭首工が最も高く、次いで第6区頭首工、美里頭首工であり、頭首工による濁水低減効果により、頭首工を流下するごとに段階的にSS濃度が低下したと考えられる。さらに、頭首工の規模により滞留時間が異なるためSS濃度の低減効果が異なると考えられる。今後は、頭首工の規模と堆積した土砂の粒径区分を調査し、濁水発生状況との関係を調べることが課題である。以上から、灌漑期には頭首工による濁水低減効果が得られたが、灌漑期が終了した後に頭首工の堰が倒されると、灌漑期間に堆積した土砂がその後の出水イベントで流出すると予想され、下流への影響が懸念される。そのため、下流の利水などにどのような影響を与えるかの想定や、それを踏まえたゲート操作方法の検討が必要といえる。

### (3) 農業取水のリスク管理手法の検討

2019年8月8日の出水イベントにおけるSS濃度の経時変化を図-7に示す。第1区頭首工を除く第4区頭首工、第6区頭首工、美里頭首工のSS濃度は、降雨後の数時間で急激に上昇し、さらに数時間で急激に低下したが、出水前のレベルまでは下がらず、比較的高濃度の状態が長期間継続した。一方で第1区頭首工の降雨によるピーク後に現れた緩やかな濃度上昇は、直上流の厚幌ダムの影響と考えられる。そのため、下流の頭首工でも同様の変動を示し、降雨開始から50時間を経過したあたりから徐々に低下した。

農業用水としての濁水取水は、農業水利施設や農地の土壌物理性に影響を及ぼすことが予想される。そこで、農業用水における濁水取水の影響を回避する、もしくは最小限に抑えるため、リスク管理として「SS濃度を指標とした取水操作手法」を検討した。今回は、指標としたSS濃度を農業用水水質基準<sup>10)</sup>である100mg/Lと、既往の研究<sup>5), 11)</sup>を参考に設定した農地の物理性及び収量に影響が及ぶ濃度である500mg/Lとした。取水操作の目安となる時間は、降雨開始後100mg/L以下を維持する時間を「a: 取水可能時間」、500mg/L以上の時間を「b: 取水を停止することが望ましい時間」、100mg/L以上500mg/L

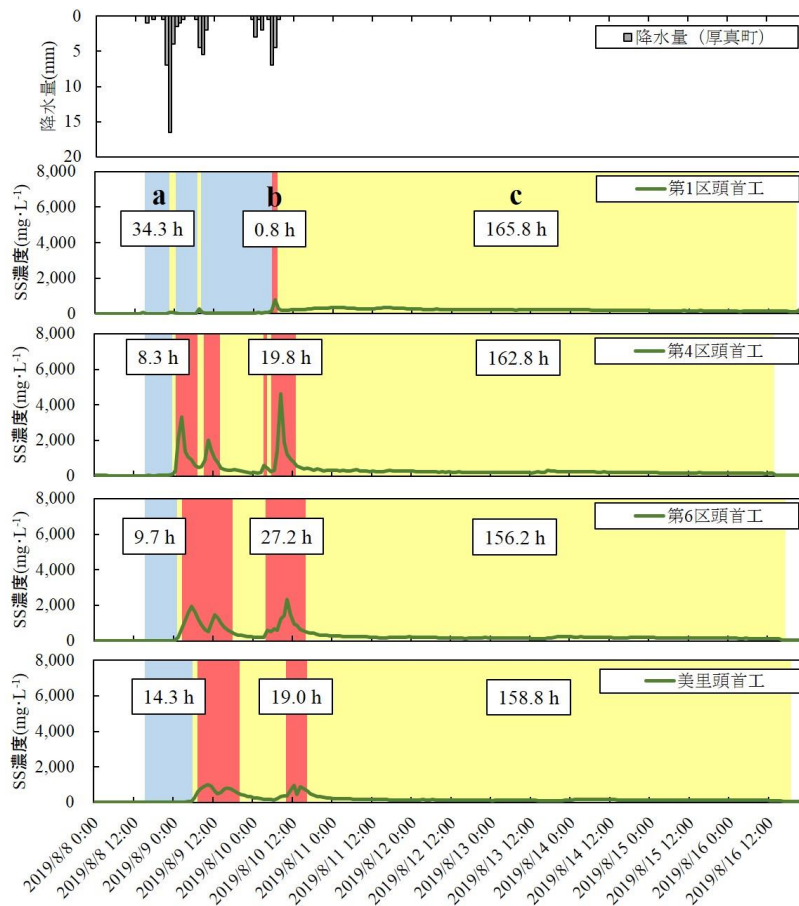


図-7 2019年8月8日の出水イベントにおけるSS濃度の経時変化 (a:取水可能時間, b:取水を停止することが望ましい時間, c:取水に注意を要する時間)

未満の時間を“c: 取水に注意を要する時間”とした。

aは第1区頭首工で34.3時間であり、先に述べたようにダムの影響を受けたことで長くなった。一方で、aはその他頭首工で下流地点ほど長い傾向がみられ、すべての頭首工で8時間以上あり、降雨開始後も一定時間は取水可能であること、取水を停止する操作を行うのに十分に時間があることが示された。bは第1区頭首工を除くその他の頭首工で19時間以上、cはすべての頭首工で155時間以上であり、長期化する傾向がみられた。bとcの合計時間は非常に長く、1週間程度取水できない可能性があり、灌漑が必要な時期に水不足が生じると収量及び品質低下のリスクが懸念される。そのため、SS濃度が“c:取水に注意を要する時間”の場合であっても取水を暫定的に許容することが現実的な対応策と考えられる。今後は、営農に支障の無い許容濃度を明らかにすることが課題である。

## 6. まとめ

近年、大規模災害が常態化するなかで、大規模地震や豪雨により斜面崩壊が頻発している。厚真川流域では、平成30年北海道胆振東部地震により斜面崩壊が発生し、

濁水発生に伴う農業用水への影響が懸念された。そこで、濁水の影響に対して農業用水におけるリスク管理をするため、濁水の発生状況を把握しSS濃度を指標とした取水操作手法を検討した。

厚真川本川の出水時におけるSS濃度は高濃度であることがわかった。また、非灌漑期と灌漑期で濁水発生状況が異なることがわかった。非灌漑期では、地点ごとの濁水発生状況と支流の崩壊地面積率に関係があることが示唆された。灌漑期では、頭首工により河川が堰きとめられ、滞留が生じることで細砂成分が沈降し、SS濃度が低下したことがわかり、地点ごとの濁水発生状況と頭首工の濁水低減効果の関係が明らかとなった。

SS濃度の経時変化は、降雨後の数時間で急激に上昇し、数時間で急激に低下したが、出水前のレベルまでは下がらず、比較的高濃度の状態が長期間継続した。農業用水としての濁水取水は、農業水利施設や農地の土壌物理性に影響を及ぼすことが予想される。そこで、農業用水における濁水取水の影響を回避する、もしくは最小限に抑えるため、SS濃度を指標とした取水操作手法を検討した。出水時を対象に取水操作の目安となる時間を地点ごとに整理すると、灌漑期の2019年8月8日の出水では、降雨開始後の取水可能時間は8時間以上であり、降

雨開始後も一定時間は取水可能であること、取水を停止する操作を行うのに十分に時間があることが示された。一方で、取水を停止することが望ましい時間と取水に注意を要する時間の合計は非常に長く、1週間程度取水できない可能性があり、灌漑が必要な時期に水不足が生じると収量及び品質低下のリスクが懸念された。濁水の発生が長期化する場合、取水を暫定的に許容することが現実的な対応策と考えられる。今後は、営農に支障の無い許容濃度を明らかにすることが課題である。

**謝辞：** この研究は日本学術振興会科学研究費若手研究(課題番号：19K15941, 研究代表者：田中健二)の支援により行われた。また、現地調査を実施するにあたり、北海道開発局農業水産部関係各課及び室蘭開発建設部の協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

### 参考文献

- 1)国土交通省(参照 2018.10.15)：北海道胆振東部地震の崩壊面積と過去の地震災害の比較(オンライン), 入手先<[http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h30\\_jburitobu/181005\\_sediment\\_volume.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h30_jburitobu/181005_sediment_volume.pdf)>2018.
- 2)藤原公一：濁水が琵琶湖やその周辺河川に生息する魚類へおよぼす影響, 滋賀県水産試験場研究報告, 46, 9-37, 1997.
- 3)国土交通省(参照 2019.10.1)：SS(浮遊物質量)(オンライン), 入手先<[http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kasen/suisuitsu/pdf/s04.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/suisuitsu/pdf/s04.pdf)>
- 4)田中健二, 瀬川 学, 藤原洋一, 高瀬恵次, 丸山利輔, 長野峻介：土砂崩壊に伴う高濃度濁水が手取川扇状地水田の地下水涵養機能に与える影響, 水文・水資源学会誌, 30(3), 173-180, 2017.
- 5)田中健二, 瀬川 学, 藤原洋一, 高瀬恵次, 丸山利輔, 長野峻介：高濃度濁水が扇状地の水田浸透量・河川伏流量に及ぼす影響—手取川流域の大規模土砂崩壊を対象として—, 農業農村工学会論文集, 306, 1\_47-1\_54, 2018.
- 6)赤沢 伝：北海道の特殊な土壌-1 火山性土壌 3 粗粒質火山性土, URBANKUBOTA, No.24, 1985.
- 7)北海道開発局(参照 2019.1.7)：平成 30 年北海道胆振東部地震に係る復旧・復興等の状況(オンライン), 入手先<<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/sagai/splaat000001e1uy.html>>, 2018
- 8)村上泰啓, 伊波友生, 藤浪武史：北海道胆振東部地震における厚真川支川の崩壊地調査について, 平成 30 年度北海道開発技術研究発表会, 2019.
- 9)喜田耕一(参照 2018.9.16)：2018 年 9 月 6 日発生北海道胆振東部地震正射画像のトレース(オンライン), 入手先<[https://github.com/koukita/2018\\_09\\_06\\_atumatyou](https://github.com/koukita/2018_09_06_atumatyou)>, 2018.
- 10)田淵俊雄：農業土木技術者のための水質入門, 農業土木学会, 1986.
- 11)皆川裕樹, 増本隆夫, 堀川直紀, 吉田武郎, 工藤亮治, 北川 巖, 瑞慶村知佳：水稻減収尺度の策定のための実水田圃場内に清水・濁水区を設けた模擬冠水試験, 農工研技報, 214, 111-121, 2013.