

震災後の厚真川の濁水状況 および取水管理方法の検討 —平成30年北海道胆振東部地震による 大規模土砂崩壊を対象として—

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム ○田中 健二
鶴木 啓二

本研究では、厚真川において大規模土砂崩壊に起因した濁水が発生したため、その影響が水田農地や農業水利施設に及ぶことが懸念された。そこで、厚真川本川の4箇所の頭首工地点で濁水状況をモニタリングし、斜面崩壊地分布との関係や頭首工による滞留効果の影響について空間的、時間的に考察した。さらに、濁水状況を基に、取水管理方法を検討し、出水イベントごと、頭首工地点ごとに取水操作の目安となる時間を整理した。濁水の影響を回避するために、降雨パターンごとに取水ゲートを閉じることが望ましい時間を示した。

キーワード：土砂災害、農業用水、濁水、頭首工

1. はじめに

2018年9月6日に北海道胆振地方東部を震源とした最大震度7の地震が発生した。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。斜面崩壊地は、厚真川流域の中・上流域の広範囲に広がっている(図-1)。航空レーザー測量を基に地形解析した報告では、崩壊面積は44.0 km²、崩壊土砂量は62.8±22.7百万m³と推定されている¹⁾。この地震による土砂災害では、住家の倒壊、

道路の寸断、土石流の発生、河道閉塞などの一次的な被害をもたらした。また、斜面崩壊地の下部の溪流内では大量の土砂・倒木が不安定な状態で堆積しており、土砂流出などの二次的な影響も確認されている。

厚真川流域の斜面崩壊地は、地震により山腹斜面で表層崩壊し、樹木が倒され、団粒構造が発達していない下層土壌が剥き出しとなり、土壌侵食が発生しやすい条件になった。実際に降雨後には斜面崩壊地で土壌侵食が発生し、リルと呼ばれる小さい水路やガリと呼ばれるリルの集合体が多数観察された。侵食された土は、斜面崩壊地下部に流下し、多数の斜面崩壊地から流出土砂が集まり、濁水として支川、本川を流下する。震災直後に厚真川において現地調査をしたところ、斜面崩壊地の侵食により高濃度の濁水が発生していたことを確認した。濁水の発生は、河床への堆砂や下流へ影響などが懸念されるが、厚真川では、濁水を常時観測する態勢がなかったため、詳細な濁水状況は不明であった。

厚真川流域の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。そこで本研究では、厚真川本川において濁水状況をモニタリングし、基礎的なデータを蓄積するとともに、複数箇所のSS濃度の時系列データを分析することで、崩壊地分布との関係や頭首工が濁水流下に及ぼす影響について空間的、時間的に考察した。また、出水イベントごと、頭首工地点ごとに取水操作の目安となる時間を整理し、水利施設管理者が取水口ゲートを開閉する判断材料となるような取水管理方法を検討した。

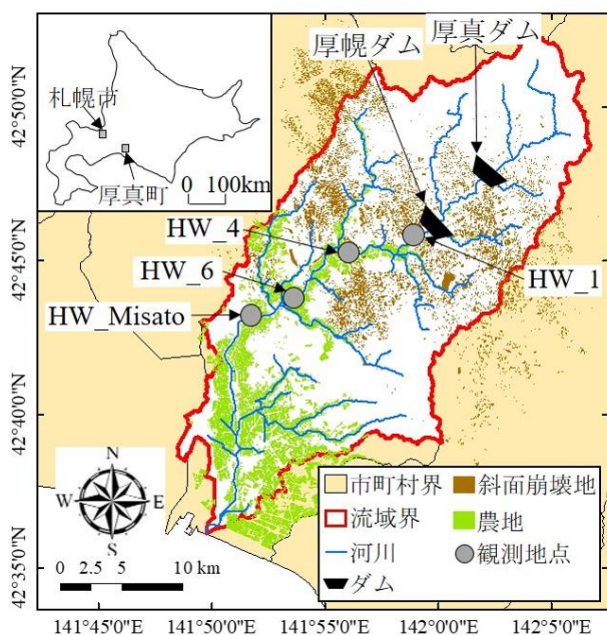


図-1 厚真川流域

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 km²、幹川流路延長52.3 kmである(図-1)。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、流域の土壌は、粗粒質火山灰土が大部分を占める²⁾。この地域の斜面地形では、傾斜が緩い斜面上部から中部にかけては約9,000年前の降下火山砕屑物がみられ、傾斜が急な斜面下部は年代が古い層はみられず約300年前の降下火山砕屑物がみられる³⁾。

厚真川流域で発生した斜面崩壊は、一部の大規模な地すべりを除くと大部分が表層崩壊であった。その特徴として、約9,000年前の降下火山砕屑物が堆積していた斜面上部で発生したこと、斜面上部の緩斜面を形成する厚さ数m程度の土塊が崩壊したこと、土塊が高速で流動・流下していたこと、などがあげられた⁴⁾。

厚真川流域の気候は、太平洋側西部気候区に属している。気象庁アメダス⁵⁾の厚真観測所の年平均降水量は1,028 mm、年平均気温は7.0℃である。これら統計値は、各観測所の1991年から2020年の30年平均値である。

厚真町は胆振地方有数の稲作地帯として知られており、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。震災後は、被災した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は国営かんがい排水事業として整備され、2018年にパイプラインに通水が開始されたが、地震により被災し管の離脱や破損が生じた⁶⁾。2023年までにパイプラインが復旧予定であり、それまでは既設の頭首工と水路を利用し、暫定的に取水を行っている。

3. 研究手法

本研究では、厚真川本川の農業用頭首工地点における濁水状況を把握するため、濁度の連続観測、河川水の採水を実施した。検討対象期間は、2019年1月から2021年12月である。観測対象とした頭首工は上流からHW_1、HW_4、HW_6、HW_Misatoの4地点であり、HW_1は河口から30.6 km地点で厚幌ダム直下流、HW_4は河口から23.6 km地点、HW_6は河口から18.5 km地点、HW_Misatoは河口から14.2 km地点である(図-1)。HW_1は固定堰、HW_4、HW_6、HW_Misatoは可動堰であり、可動堰には洪水吐の転倒式ゲートと土砂吐のスライドゲートが併設されている。いずれの頭首工でも、農業用水の取水口は片側に1箇所設置されている。なお、HW_1、HW_4、

HW_6は厚幌導水路が完成後に取り壊し予定だった頭首工であり、厚幌導水路も被災したことで暫定的に利用されている。

濁度の連続観測は、濁度計により10分間隔で行い、2018年11月から常時観測を継続している。濁度計の設置位置は、頭首工の直上流部にある取水口近傍とした(図-2)。濁度計の設置高さは、水位が低い非灌漑期ではセンサーが常に水没する高さとし、水位が高い灌漑期では取水される農業用水を想定し取水口の高さ範囲の中心付近とした。濁度計は、低濃度域から高濃度域までをカバーするため、欠測期間を少なくするため、各観測地点に2種類設置した。

河川水の採水調査は、各頭首工の濁度計の設置位置と同じ地点において、非灌漑期に10回(計72試料)、灌漑期に2回(計32試料)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。対応した日時の濁度とSS濃度を抽出し、観測条件が異なるため非灌漑期と灌漑期に分けて関係式を作成し、濁度をSS濃度に変換した。

気象値は、気象庁アメダスの厚真観測所の1時間データを利用し、降雨によっては徳別観測所のデータも利用した。1回の降雨を、降雨は雨の降り始めから降り終わりまでとし、無降雨時間が6時間以上となった場合は次の降雨とし整理した。2019年の降雨は117回、2020年の降雨は116回、2021年の降雨は120回であった。この降雨のうち、最大1時間降雨強度が大きい降雨を、出水イベントとして分析対象とした。



図-2 頭首工地点の観測状況

4. 結果・考察

(1) 震災後の濁水状況

震災後3年の灌漑期における濁水状況を把握するため、出水イベントごとの最大1時間降雨強度、総降水量、SS濃度最大値を整理した(図-3)。降水量は気象庁アメダスの厚真観測所の値であり、SS濃度最大値は2つの出水イベントを除きHW_4で観測した値である。2020年7月23日は局地的な降雨分布であったため、降水量は穂別観測所の値であり、SS濃度最大値はHW_6で観測した値である。また、2021年8月9日はHW_4の観測機器の不調により欠測が生じたため、SS濃度最大値はHW_6で観測した値であり、出水イベントの最大値か定かでない。

降雨状況と濁水状況の関係については、3つの降雨パターンで大別できる。降雨パターン1は、2019年7月2日、2019年7月12日、2020年5月24日が該当し、総降水量が少ないイベントである。SS濃度最大値は1,000 mg/L未満であった。降雨パターン2は、2019年6月22日、2020年7月23日、2021年8月9日が該当し、最大1時間降雨強度が大きい、または総降水量が多い、降雨波形が単峰型のイベントである。SS濃度最大値は1,500 mg/L以上2,500 mg/L未満であった。降雨パターン3は、2019年8月8日、2019年8月9日、2020年8月29日が該当し、最大1時間降雨強度が大きい、または総降水量が多く、降雨波形が複峰型のイベントである。SS濃度最大値は2,500 mg/L以上であった。なお、2019年8月8日と2019年8月9日は、連続した降雨イベントである。

降雨パターンごとの出水イベントのSS濃度の経時変化を図-4に示す。HW_1のSS濃度の経時変化は、2020年5月24日の出水イベントでは降雨ピークにตอบสนองせず、

2019年6月22日と2020年8月29日の出水イベントでは、降雨ピークにตอบสนองした後、十数時間後から緩やかに上昇し緩やかに低下する変化がみられた。その変化は直上流にある厚幌ダムが影響していると考えられた。HW_4、HW_6、HW_MisatoのSS濃度の経時変化は、すべての出水イベントで降雨ピークにตอบสนองし数時間後に上昇し緩やかに低下した。しかし、濃度低減の過程でHW_1と同様にダムの放流の影響を受けて濃度低下が遅くなる変化があらわれた。また、2020年8月29日の出水イベントでは、頭首工のゲート操作により水位が低下し、観測機器が空气中に露出したため欠測が生じた。

SS濃度の最大値を観測地点ごとに比較すると、HW_4が最も高く、次いでHW_6、HW_Misato、HW_1の順番であった。この観測地点の順位について、斜面崩壊地分布と頭首工による滞留効果の影響から考察する。喜田が作成した斜面崩壊地分布⁷⁾を用いて、図-5に支川流域ごとの斜面崩壊地面積率と対策工事地点⁸⁾を示す。HW_1からHW_6の区間に斜面崩壊が多く発生し、流域の斜面崩壊面積率が高いため高濃度の濁水が支川から流入している。一方で、濁水は河川を流下し、頭首工により堰止められ滞留が生じることで土砂が沈降し、上澄みの濁水が下流に流れると考えられる(図-6)。灌漑期と非灌漑期の濁水状況を比較すると、気象条件が同程度であっても、灌漑期はSS濃度のピークが低下し、濁水が流下する時間が長くなり、頭首工による滞留効果の影響がみられた⁹⁾。以上から、土砂供給源である斜面崩壊地分布の影響と頭首工による滞留効果の影響により、灌漑期のSS濃度はHW_4でピークとなり上流から下流へ頭首工を流下するごとに段階的に低下したと考えられる。

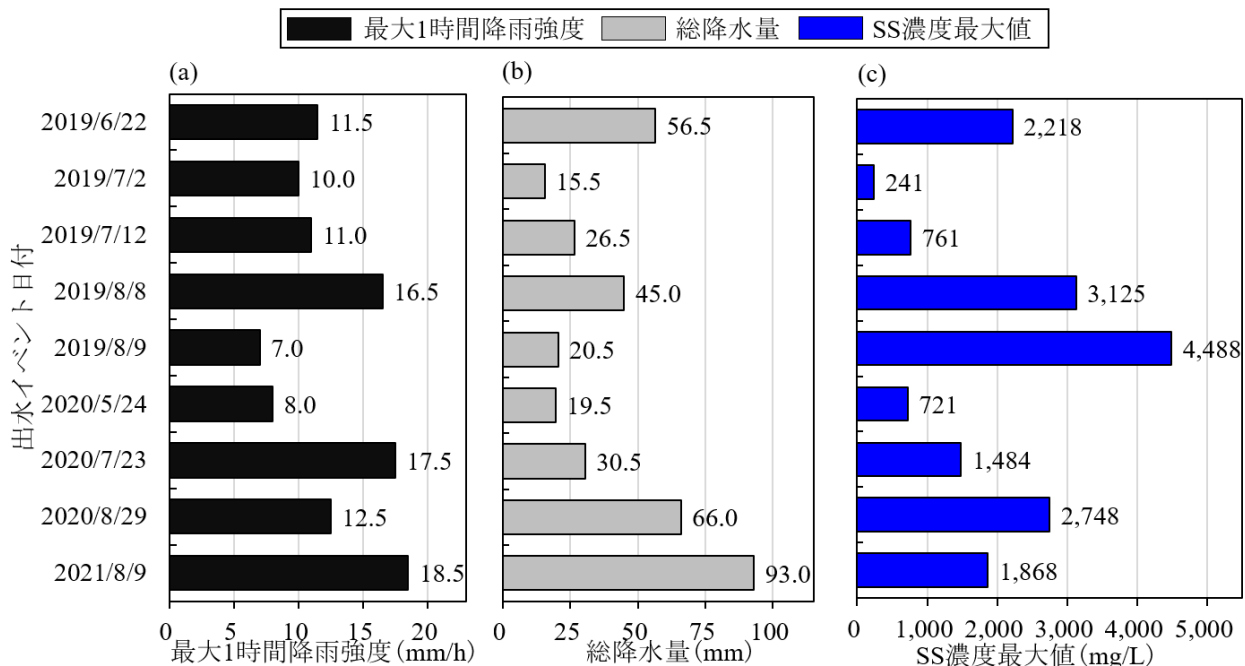


図-3 出水イベントごとの降雨状況とSS濃度：(a)最大1時間降雨強度、(b)総降水量、(c)SS濃度最大値

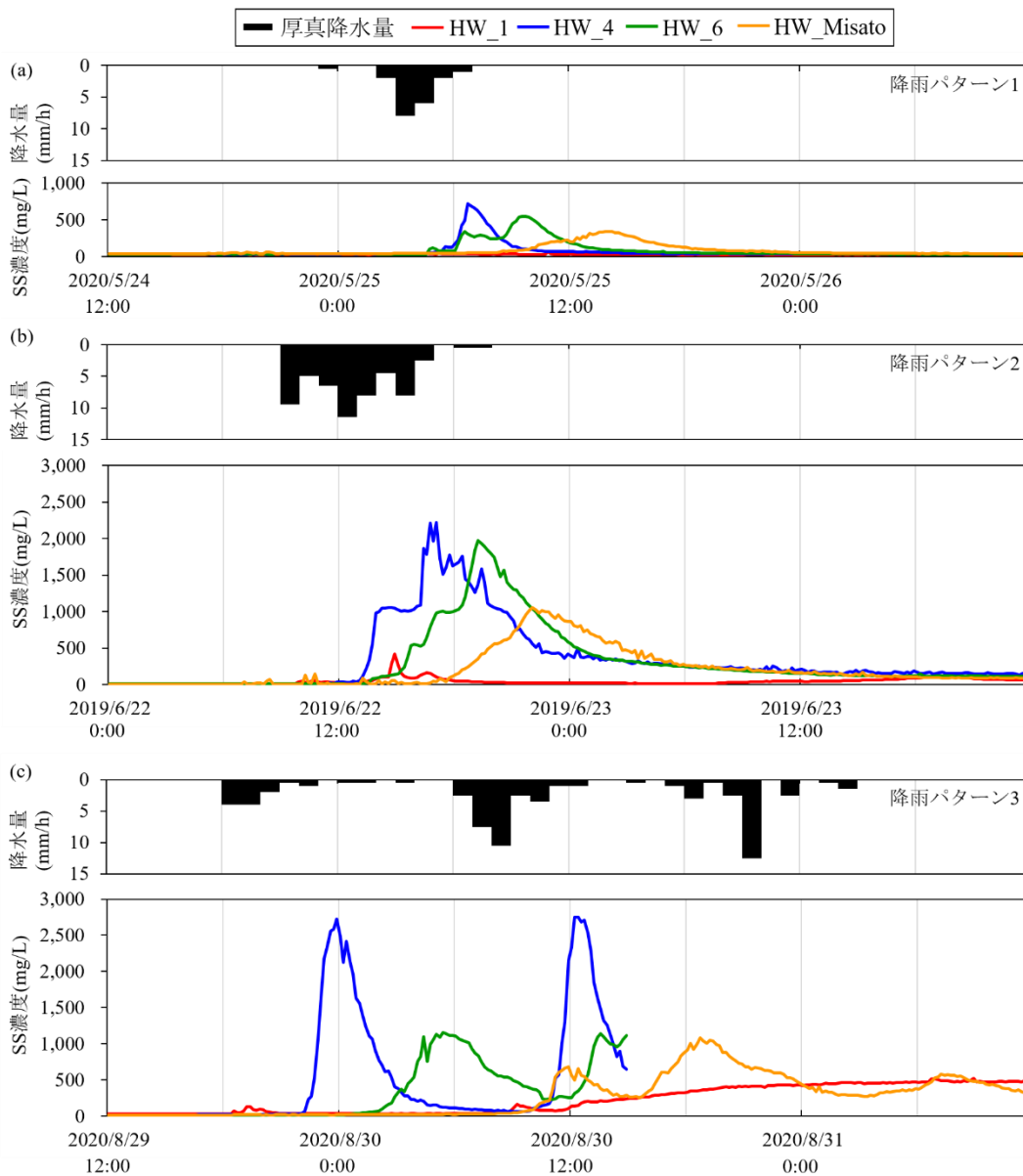


図-4 出水イベントごとのSS濃度の経時変化：(a)2020年5月24日，(b)2019年6月22日，(c)2020年8月29日

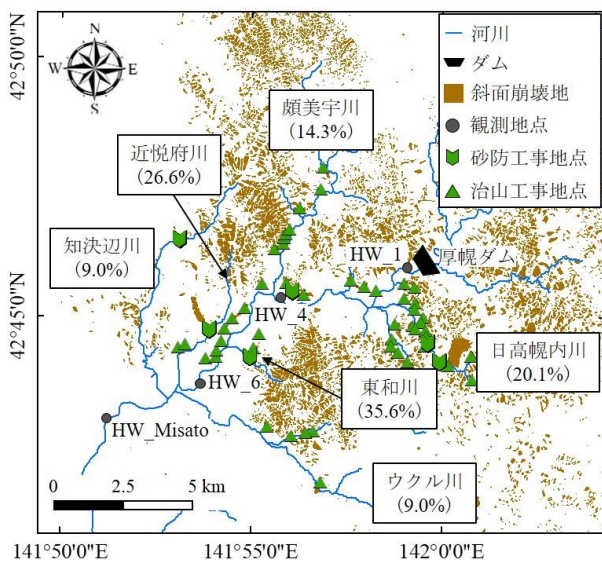


図-5 支川小流域ごとの斜面崩壊率と対策工事地点

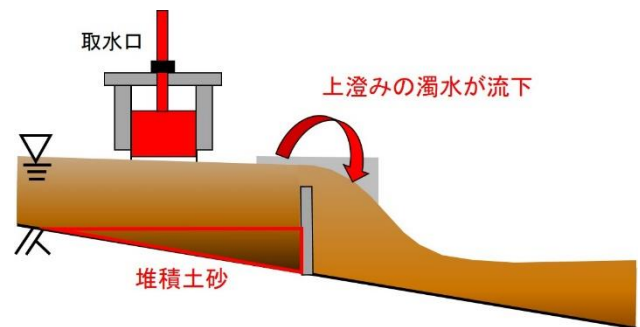


図-6 頭首工による滞留効果のイメージ

(2) 農業用水の取水管理方法の検討

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。水田では、無機性のSS成分が土壌に蓄積すると浸透能の低下によ

り土壌の還元化が進行し、根腐れなどの生育障害を引き起こすことがある¹⁰⁾。そのため、濁水取水を回避する、もしくは影響を最小限に抑える取水管理が必要である。管理者からの聞き取りによると、河川増水時の取水口のゲート操作は、灌漑地区内の排水が滞ることを警戒し閉じられることはあるが、濁水発生時の取水口のゲート操作は、十分に行われていなかった。その要因として、常時観測する態勢がないことや濁水取水の影響が定量的に明らかになっていないことが考えられる。そこで、SS濃度の時系列データを用いて、出水イベントごと、地点ごとに取水操作の目安となる時間を算出し、水利施設管理者が取水口ゲートを開閉する判断材料となるような農業用水の取水管理方法を検討する。

本研究では、3つの取水操作の目安となる時間を定義した。a：取水可能時間は、降雨開始時刻を基点としSS濃度100 mg/L以下を維持する時間とした。b：取水を停止することが望ましい時間は、SS濃度500 mg/L以上の時間とした。c：取水に注意を要する時間は、SS濃度100 mg/L以上500 mg/L未満の時間とした。指標としたSS濃度100 mg/Lは、水稻の農業用水基準¹¹⁾で定められた濃度であり、500 mg/Lは既往の研究^{12), 13)}を参考に設定した農地の土壌物理性および収量に影響が及ぶと考えられる濃度である。SS濃度の経時変化と取水操作の目安となる時間の算出方法を図-7に示す。aは降雨開始時刻の9:00からSS濃度が100 mg/Lを超えた時刻の4:10までであり5.2 hである。bはSS濃度が500 mg/Lを超えた時刻の15:40から500 mg/Lを下回る時刻の翌日0:20までの8.7 hである。cはSS濃度が100 mg/L以上500 mg/L未満で、上昇過程の14:10から15:40までの時間と下降過程の0:20から翌日5:40までの時間であり、合計で30.8 hである。以上のような考え方でSS濃度の時系列データを用いて取水操作の目安となる時間を算出した。

灌漑期の出水イベントごとに取水操作の目安となる時

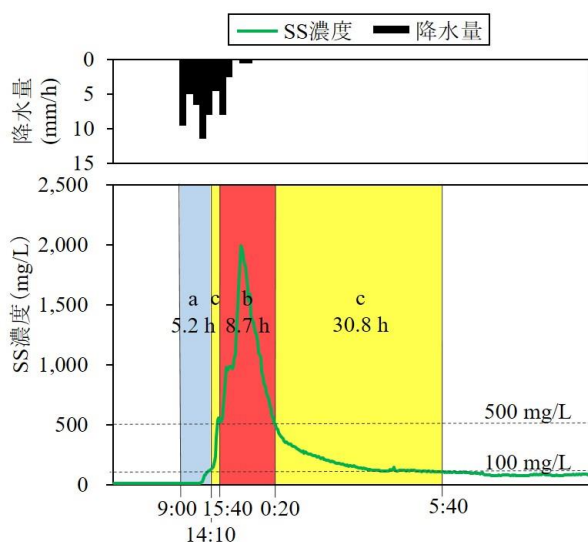


図-7 取水操作の目安となる時間の算出方法

間をそれぞれ整理した(表-1)。全体的に、a、b、cは頭首工の滞留効果による濁水の濃度低下と流下する時間が長くなることにより、上流の観測地点で短く下流の観測地点で長い傾向であった。しかし、ダム of 放流の影響により、SS濃度がHW_1で最も高くなる場合は、a、b、cは上流の観測地点で長くなる傾向がある(2019年6月22日、7月12日、8月8日、8月9日)。一方で、取水操作の目安となる時間の傾向として、降雨パターンで大別することができ、それぞれで対応策を検討した。

降雨パターン1の場合は、aが7 hから10 h程度あり降雨開始から取水口ゲートを閉じるまでの時間が十分あること分かった。bはほぼ無く、cは10 h程度であり、半日程度取水しなければいいことがわかった。

降雨パターン2の場合は、2019年6月22日の出水イベントのように、aが5 h以下で短い場合や降雨ピークが深夜になる場合などは、高いSS濃度の濁水を取水してしまう可能性があり、注意が必要である。bは10 h程度、cは12 hから50 h程度であり、半日から3日程度取水しなければ影響を回避できることがわかった。

降雨パターン3の場合は、堰が倒され欠測したことや、出水イベントが連続し、bとcが計算できないこともあったが、bとcの合計時間が150 hを超える出水イベントもあった(2019年8月8日、8月9日)。bとcの合計時間が非常に長く、7日程度取水口ゲートを閉じれば濁水取水のリスクを回避できるが、穂ばらみ期から出穂期、登熟期など灌漑が必要な時期に水不足が生じると収量および品質低下のリスクが懸念される。そのため、濁水取水や水不足の影響を最小限に抑えるためには、SS濃度がc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。

以上より、SS濃度の時系列データを用いて、水稻の農業用水基準を基に取水管理方法を検討した。今後は、実際に水田に濁水取水された場合の土壌物理性の変化や生育への影響を調べ、生育期ごとに営農に支障のない濁水の許容濃度と許容量を明らかにすることが課題である。

5. まとめ

平成30年北海道胆振東部地震に伴う土砂流出により厚真川で濁水が発生したため、本研究では、厚真川本川の農業用頭首工4箇所において濁度を連続観測し、震災後3年分の濁水状況の把握を行った。SS濃度の時系列データを分析することで、濁水状況と斜面崩壊地分布との関係や頭首工による滞留効果との関係について時間的・空間的に考察した。さらに、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ため、出水イベントごと、頭首工地点ごとに取水操作の目安となる時間を算出した。水利施設管理者

表-1 取水操作の目安となる時間：(a)降雨パターン1の出水イベント、(b)降雨パターン2の出水イベント、(c)降雨パターン3の出水イベント

(a)	地点	2019/7/2			2019/7/12			2020/5/24		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
	HW_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HW_4	12.7	0.0	3.0	13.0	0.0	11.7	6.7	1.0	3.5
	HW_6	14.8	0.0	6.0	13.5	0.0	10.7	6.8	0.8	7.3
	HW_Misato	-	-	-	22.3	0.0	7.2	11.2	0.0	9.0

(b)	地点	2019/6/22			2020/7/23			2021/8/9		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
	HW_1	5.3	0.0	2.3	-	-	-	-	-	-
	HW_4	3.7	8.8	49.2	14.3	1.3	10.0	-	-	-
	HW_6	4.7	8.7	29.2	20.5	5.5	8.2	21.5	7.0	11.7
	HW_Misato	8.3	6.8	17.5	29.8	3.3	10.7	23.8	7.0	11.5

(c)	地点	2019/8/8			2019/8/9			2020/8/29		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
	HW_1	30.3	-	2.0	5.5	0.8	157.7	16.0	0.7	-
	HW_4	9.0	11.8	11.5	-	8.2	151.2	7.3	8.0	5.2
	HW_6	10.3	15.2	6.8	-	12.0	149.3	7.8	7.3	5.3
	HW_Misato	15.0	12.7	4.7	-	6.7	153.8	15.7	10.7	18.0

赤字は欠測や出水イベントの重複により正確に算出できなかった参考値
 “-”はSS濃度が設定値外のため値なし

が取水口ゲートを開閉する判断材料となるような農業用水の取水管理方法を検討した。今後は、実際に水田に濁水取水された場合の土壌物理性の変化や生育への影響を調べ、生育期ごとに営農に支障のない濁水の許容濃度と許容量を明らかにすることが課題である。

参考文献

- 村上泰啓, 水垣 滋, 藤浪武史(2020)：平成30年北海道胆振東部地震における総崩壊地箇所数及び面積について, 令和2年度砂防学会北海道支部研究発表会, 14-15.
- 赤沢 伝 (1985)：北海道の特徴的な土壌-1 火山性土壌3 粗粒質火山性土, URBAN KUBOTA24, 10-11.
- 柳井清治(1999)：斜面変動の年代解析による土砂災害危険値判別に関する研究, 北海道林業試験場研究報告, 27, 51-81.
- 梅田浩司, 千代谷佳織, 柴 正敏, 近藤美左紀(2019)：平成30年北海道胆振東部地震に伴う斜面崩壊, 応用地質, 60(4), 172-179.
- 気象庁(2022) (参照 2022.1.6)：過去の気象データ検索 (オンライン), 入手先<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_and_ym.php?prec_no=21&block_no=0124&year=&month=&day=&view=>
- 松岡宗太郎, 川口清美, 小野尚二, 武下和幸(2020)：平成30

年北海道胆振東部地震での農業水利施設の被災概要, 農業農村工学会誌, 88(2), 33-38.

- 喜田耕一 (2018) (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), <https://github.com/koukita/2018_09_06_atumatyou>
- 厚真町(2020) (参照 2021.8.24)：厚真町復旧・復興計画第2期 (オンライン), <<http://www.town.atsuma.lg.jp/office/content/uploads/2019/11/9a0f567a3e5dc7b2a85273cf498ccf5d.pdf>>
- 田中健二, 鶴木啓二, 川口清美, 中村和正(2020)：平成30年北海道胆振東部地震以降の流域の濁水発生状況および濁水取水の影響を回避するための農業用水の取水管理方法の検討, 農業農村工学会論文集, 311, I_303-I_311.
- 地域環境水利学 (2017)：第8章水環境の管理, 142.
- 農林省公害研究会 (1970)：農業(水稻)用水基準及び水産環境水質基準について, 昭和44年度公害研究会報告.
- 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 (2013)：水稲減収尺度の策定のための実水田圃内に清水・濁水区を設けた模擬冠水試験, 農工研技報, 214, 111-121.
- 田中健二, 瀬川 学, 藤原洋一, 高瀬恵次, 丸山利輔, 長野峻介 (2018)：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, I_47-I_54.