

濁水取水が水田灌漑に及ぼす影響に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 2～令 3

担当チーム：水利基盤チーム

研究担当者：田中健二、鶴木啓二、
川口清美、大久保天

【要旨】

近年の頻発・激甚化する自然災害に対して、国土強靱化基本計画の基本目標である被害の最小化、迅速な復旧復興を実現するため、防災・減災に資する対策を検討することは重要である。厚真川流域では、平成 30 年北海道胆振東部地震により大規模な斜面崩壊が発生した。厚真川では、崩壊土砂に起因した高濃度濁水が発生し、農業水利施設や水田農地への影響が懸念された。実際に出水時には、取水操作が間に合わず、用水路や水田農地に濁水が取水されている状況が観察された。そこで本研究では、濁水取水が水田灌漑に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、現地調査と室内試験を実施した。現地調査では、厚真川本川の農業用頭首工において濁度を連続観測し、震災後 3 年の濁水状況の把握を行った。室内試験では、水田農地を想定した土壌カラムによる定水位透水試験を実施し、濁水取水が透水性に及ぼす影響を調べた。

現地調査では、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。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、頭首工による滞留効果により SS 濃度のピークの遅延効果と急激な上昇を低減されることが明らかとなった。また、震災後 3 年の濁水状況から、以降の試験条件を設定した。土壌カラムによる定水位透水試験では、清水条件と濁水条件の土層ごとの飽和透水係数を求め、比較することで、濁水取水により飽和透水係数が大きく減少することが明らかとなった。特に、上層ほど減少率が大きい傾向であった。濁水に含まれる流出土砂と試験後の土壌の粒度分析の結果から、流出土砂はシルト成分が支配的であり、表層土壌ほど粒径が小さい粘土やシルト成分の割合が増え、濁水により粒径が小さい土砂が土壌間隙に侵入し、目詰まりを起こしたと考えられた。キーワード：土砂災害、SS 濃度、飽和透水係数、目詰まり

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（図-1 (a)）。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。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

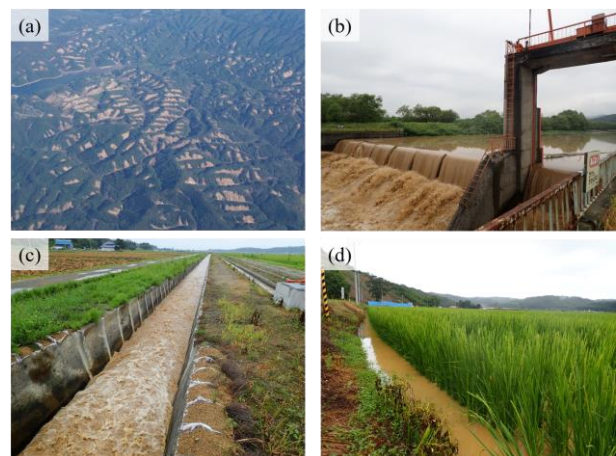


図-1 厚真川流域の震災後の状況：(a) 斜面崩壊状況の空撮、(b) 頭首工地点濁水状況、(c) 用水路への濁水取水の様子、(d) 水田への濁水取水の様子

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（図-1(b)）。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。実際に出水時には、取水操作が間に合わず、用水路や水田に濁水取水されている状況がみられた（図-1(c)、(d)）。

本研究では、濁水取水が水田灌漑に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、濁水状況を把握するための現地調査と取水条件や営農条件を制御した室内試験を実施した。現地調査では、厚真川本川において濁水状況をモニタリングし、試験の濁水条件を設定するための基礎的なデータを蓄積するとともに、複数箇所での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。室内試験では、土壌カラムによる定水位透水試験を実施し、土層ごとの飽和透水係数を算出し、清水条件と濁水条件での試験結果を比較することで濁水取水が水田土壌の透水性に及ぼす影響を調べた。

2. 厚真川の濁水状況および取水管理方法の検討

2.1 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-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、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 °C 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。

2.2 研究方法

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-2）。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

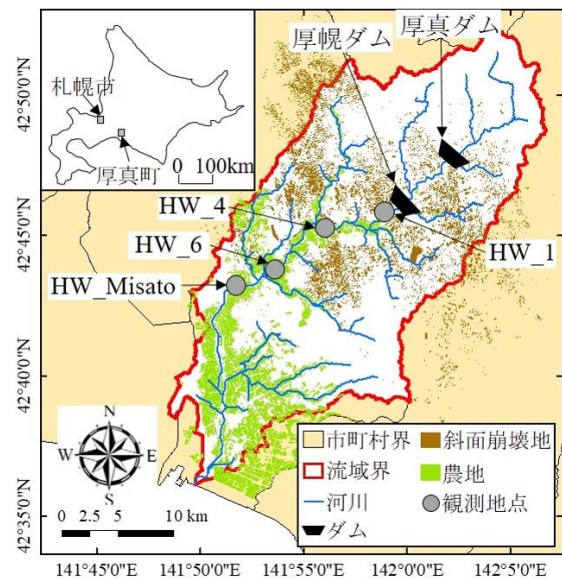


図-2 厚真川流域

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-3)。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。低濃度域の濁度計は、透過光方式により分解能 1 FTU で 0 から 3,000 FTU までを計測し、高濃度域の濁度計は、後方散乱光方式により分解能 15 mg/L で 0 から 50,000 mg/L までを計測する。2種類の濁度計は、計測方法、分解能、単位、測定範囲が異なることから、同一条件で計測した値に差異が生じる。そのため、出水イベントごと、観測地点ごとに、濁度計の共通の計測範囲で補正式を作成し、高濃度域の濁度計の値を補正した(図-4)。各補正式は高い相関があり有意性が示され、補正式を用いることで濁度の経時変化を低濃度域から高濃度域まで連続した状態で分析可能とした。また、低濃度域の濁度計に不備が生じた際に、高濃度域の濁度計が正常であれば補間することも可能である。

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た(図-5)。累乗近似曲線に高い相関があり

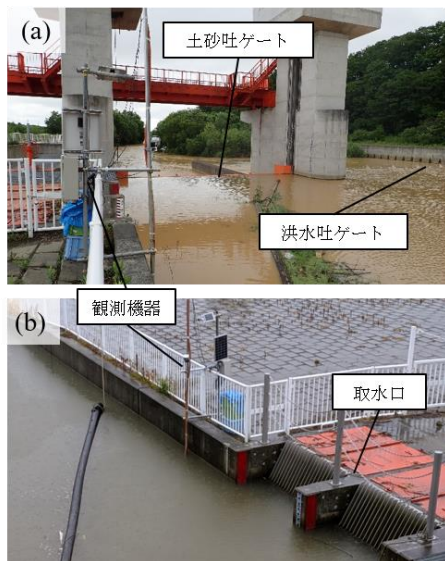


図-3 頭首工地点の観測状況

有意性が示され、得られた関係式から濁度を 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、降雨によっては穂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。

2.3 結果・考察

2.3.1 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-6)。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

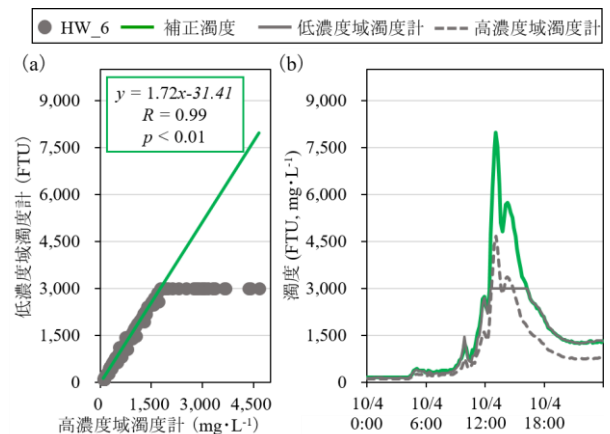


図-4 濁度の補正方法：(a)低濃度域濁度計と高濃度域濁度計の関係、(b)補正濁度の経時変化

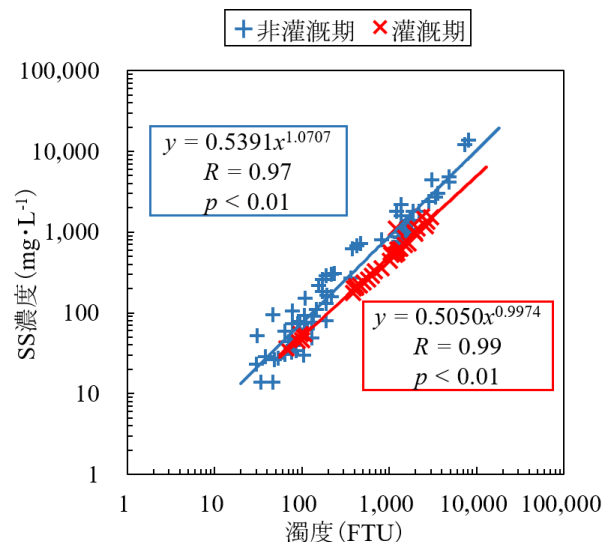


図-5 SS 濃度と濁度の関係

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が定かでない。

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代表的な出水イベントの SS 濃度の経時変化を図-7 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-8 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-9)。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。

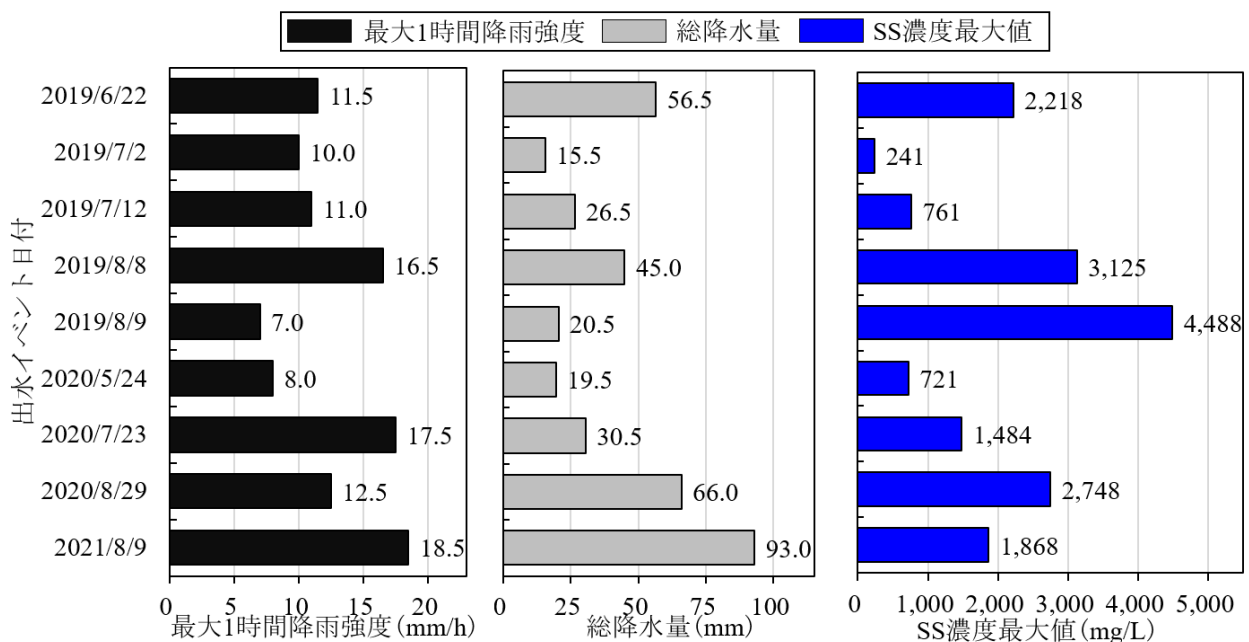


図-6 出水イベントごとの降雨状況と SS 濃度

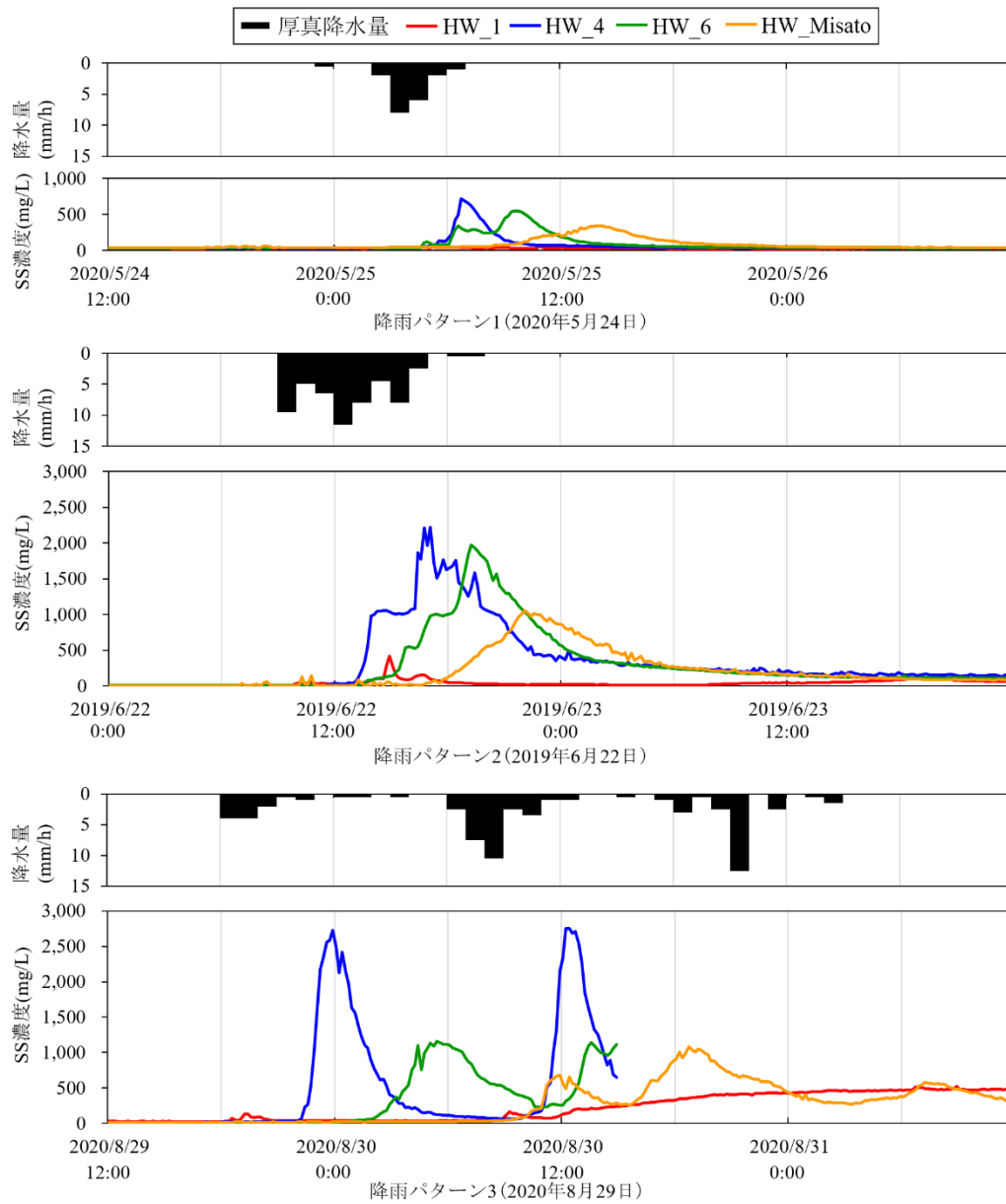


図-7 降雨パターンごとの代表的な出水イベントのSS濃度の経時変化

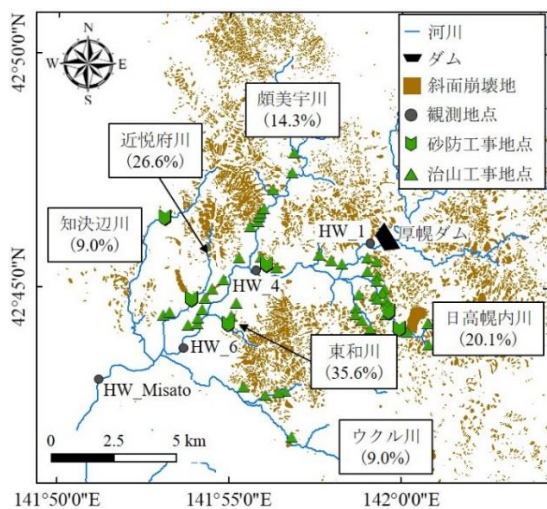


図-8 支川小流域ごとの斜面崩壊率と対策工事地点

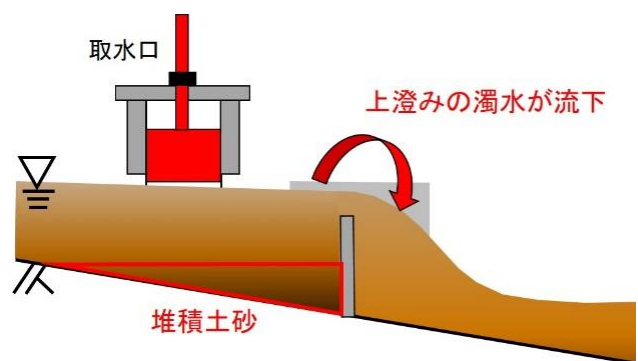


図-9 頭首工による滞留効果のイメージ

2.3.2 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、常時観測する体制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-10 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

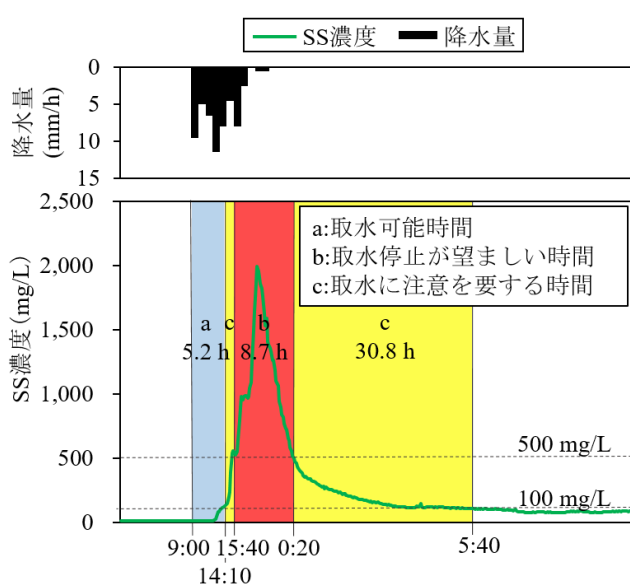


図-10 取水操作の目安となる時間の算出方法

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けないことがわかった。

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。

表-1 降雨パターンごとの取水操作の目安となる時間

地点	2019/7/2			2019/7/12			2020/5/24			
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
降雨パターン1	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
地点	2019/6/22			2020/7/23			2021/8/9			
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
降雨パターン2	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
地点	2019/8/8			2019/8/9			2020/8/29			
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
降雨パターン3	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

a:取水可能時間
 b:取水停止が望ましい時間
 c:取水に注意を要する時間
 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

3. 濁水取水を想定した土壌カラムによる定水位透水試験

3.1 試験方法

室内土壌カラムによる定水位透水試験は、図-11の装置で実施した。試験装置は、土壌カラム、テンシオメータ、電子天秤、マリオットタンクで構成される。

土壌カラムは、内径15.5cm、高さ60cmの円柱状の透明ポリ塩化ビニル樹脂（以下、塩ビ）の管であり、下端に塩ビの底板を接着し、上方と下方に給排水口を設けた。カラムには、下方の給排水口が埋まるのを防ぐため中板を設置し、その上に砂礫を10cm、水田土壌を20cm充填した。カラム下方の給排水口から蒸留水を注水し、土壌間隙に空気が入ることを防ぎながら土壌表面まで飽和させた。その上は代かき層を想定し、水田土壌10cmと、間隙水および湛水深5cmに相当する蒸留水を振とう瓶に入れ、1時間以上攪拌してから充填した。

テンシオメータは、ポラスカップ、塩ビチューブ、ウォータープール、圧力計で構成され、塩ビチューブとウォータープールは蒸留水で満たした後、土壌カラムに設置した。テンシオメータの設置位置は、土壌表層から0

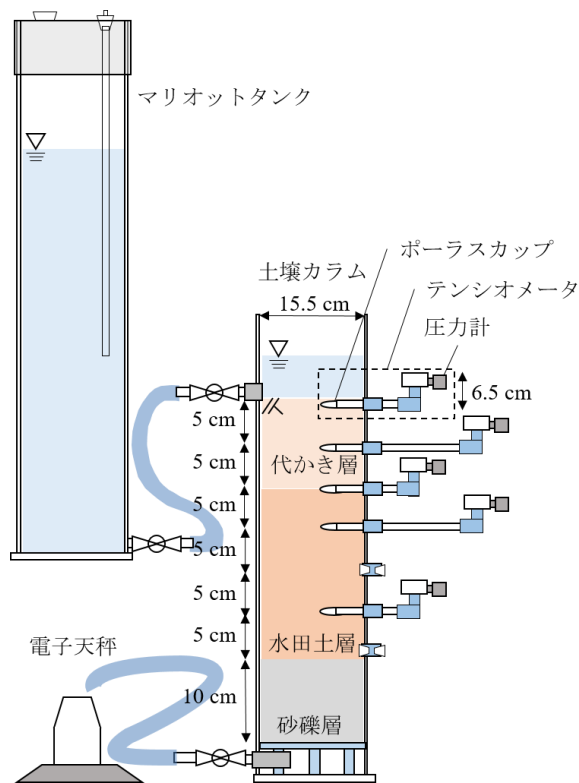


図-11 土壌カラム試験器

cm、5 cm、10 cm、15 cm、25 cm であり、ポーラスカップと圧力計の設置高さの差は 6.5 cm である。テンシオメータにより各位置の圧力水頭を計測する。

電子天秤は、土壌カラム下方からの浸透量を計測するため設置した。テンシオメータと電子天秤はデータロガーに接続し、10 分間隔で計測した。

マリオットタンクは、土壌カラムと同様に塩ビの管であり、土壌カラムの湛水深を一定にするため設置した。

定水位透水試験は、ダルシーの法則に基づき、土の透水係数を求める試験である。

$$k = \frac{Q}{A} \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

ここで、 k は飽和透水係数[cm/s]、 Q は下方浸透水量[cm³/s]、 A は土壌カラムの断面積[cm²]、 Δh は圧力水頭と位置水頭の和[cm]、 L は通水断面高[cm]である。 A は土壌カラムの内径から求め 189.8 cm² であり、 Δh は各テンシオメータの値と設置位置から求め、 L は 5 cm もしくは 10 cm である。 k は、テンシオメータの圧力水頭の測定値が安定するまで静置したのち求める。定水位透水試験は、清水条件と濁水条件で実施した。清水条件は、マリオットタンクから蒸留水を給水し、土壌カラムの湛水深が 5 cm 一定にする条件である。濁水条件は、マリオットタンクからの給水を止め、湛水を一度排水させ、同量の濁水を注水し、その後、マリオットタンクから湛水深が 5 cm 一定になるように蒸留水を供給する条件である。濁水条件は出水時に一時的に水田に濁水が取水され、その後、通常の SS 濃度に下がることを想定している。濁水の SS 濃度は、2 章の観測値から 3,000 mg/L とした。

3. 2 結果・考察

定水位透水試験により各土層（地表面からの深さ 0-5 cm 層、5-10 cm 層、10-15 cm 層、15-25 cm 層）の飽和透水係数を算出した（表-2）。清水条件、濁水条件ともに 5-10 cm 層が最も飽和透水係数の値が低くなっており、最大の浸透抑制層であった。この層は代かき層の下部にあたり、代かきによる土粒子の攪拌により、細粒分が粗大

表-2 土層ごとの飽和透水係数 (cm/s)

試料名	清水条件	濁水条件	減少率
0-5 cm 層	4.37×10^{-5}	2.43×10^{-5}	44.5 %
5-10 cm 層	1.08×10^{-5}	7.12×10^{-6}	33.8 %
10-15 cm 層	2.97×10^{-5}	2.44×10^{-5}	18.0 %
15-25 cm 層	2.26×10^{-4}	1.99×10^{-4}	12.0 %

間隙を埋めることで透水性が低下したためと考えられる。清水条件と濁水条件を層ごとに比較すると、すべての層で濁水条件のほうが飽和透水係数の値が低かった。また、上層ほど減少率が大きい傾向であり、特に、0-5 cm 層で 44.5%、5-10 cm 層で 33.8% であった。もともと代かきにより最大の浸透抑制層が形成されていた層に、濁水により粒径が小さい土砂が土壌間隙に侵入し、目詰まりを起こしたと考えられる。濁水条件では、濁水を湛水させてから、約 2 時間で濁りが無くなり、表層に土砂が薄く堆積し、代かき層の下部付近（地表面からの深さ 8 cm）まで土砂が侵入していく様子が観察された（図-12）。

濁水に含まれる流出土砂と定水位透水試験の終了後の土壌を採取し、レーザー回折・散乱法により粒度分析を実施した。採取したカラムの土壌は、0-5 cm 層（代かき層上部）、5-10 cm 層（代かき層下部）、10-15 cm 層（代かき層より下層）であり、濁水条件の試験終了後の土壌である。粒度分析により得られた粒径加積曲線を図-13 に示す。国際土壌学会が定義している粒径区分における粘土、シルト、細砂、粗砂の割合を表-3 に示す。濁水に含まれる流出土砂の成分は、シルト成分が 58.0%、粘土成分

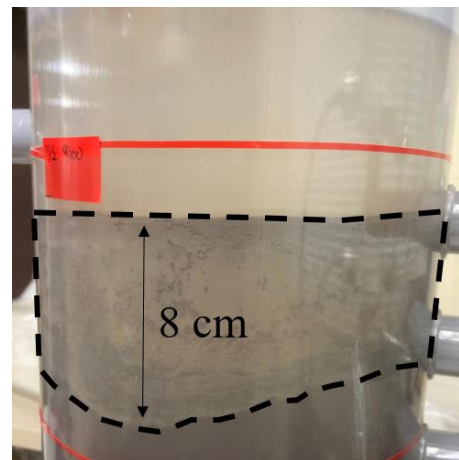


図-12 濁水条件の様子

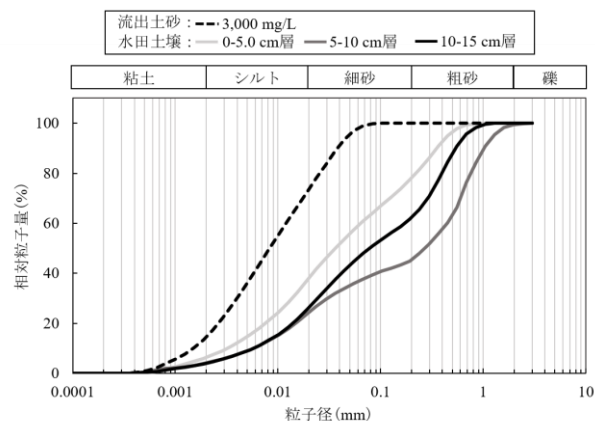


図-13 粒径加積曲線

表-3 粒径区分における成分割合

試料名	粘土	シルト	細砂	粗砂
流出土砂	15.4 %	58.0 %	26.6 %	0.0 %
0-5 cm層	6.4 %	31.5 %	40.0 %	22.1 %
5-10 cm層	4.1 %	20.0 %	21.2 %	54.7 %
10-15 cm層	3.9 %	22.2 %	36.1 %	37.8 %

が 15.4%であり、粒径の小さい土砂が支配的であった。10-15 cm 層土壌の成分は、70%以上が細砂と粗砂成分であった。0-5 cm 層と 5-10 cm 層は、代かき層による攪拌後の充填された土壌であり、5-10 cm 層は粗砂が最も多く 54.7%、0-5 cm 層は細砂が最も多く 40.0%であった。また、0-5 cm 層は、シルト成分が 31.5%であり、濁水が取水されたことにより、増加したと考えられる。今後は、清水条件と濁水条件の粒度分析の結果を比較し、濁水取水による変化を詳細に調べる必要がある。また、濁水取水により土壌の透水性が減少することが明らかとなったが、土壌間隙の目詰まりが進行することは、稲の根の伸長を阻害するとも考えられ、各土層の孔隙率などの土壌物理性を分析し、関係性を考察していく必要がある。さらに、水田土壌は中干しや間断灌漑など営農時期ごとに状態が変化し、水田特有の土壌構造をカラム土壌で再現する必要が生じた。試験器の改良と営農時期ごとの濁水取水の試験条件の追加が必要である。

4. まとめ

厚真川流域では、平成 30 年北海道胆振東部地震により大規模な土砂崩壊が発生し、厚真川では濁水発生により農業水利施設や水田農地への影響が懸念された。そこで本研究では、現地調査および試験により、濁水取水が水田灌漑に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

現地調査では、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。

室内カラムによる定水位透水試験により土層ごとの飽和透水係数を求めた。濁水条件では、清水条件に比べ飽和透水係数が大きく減少することが示され、特に上層ほど減少率が大きい傾向であった。濁水に含まれる流出土

砂と試験後の土壌の粒度分析の結果から、流出土砂はシルト成分が支配的であり、表層土壌ほど粒径が小さい粘土やシルト成分の割合が増え、濁水により粒径が小さい土砂が土壌間隙に侵入し、目詰まりを起こしたと考えられる。一方で、各土層の孔隙率など土壌物理性を分析し関係性を分析すること、営農時期ごとに変化する水田農地特有の状態を想定した試験条件を追加することなどが必要であり、今後の検討課題が整理された。

本研究では、現地調査と室内試験により、濁水取水が水田灌漑に及ぼす影響を明らかにしたが、営農時期ごとに変化する水田特有の土壌物理性を明らかにする必要が生じた。様々な条件の水田特有の土壌構造をカラム試験で再現するためには、さらに試験器の改良と試験の追加が必要であり、今後、後続の研究で進めていく予定である。

参考文献

- 村上泰啓, 水垣 滋, 藤浪武史: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, pp.14-15, 2020.
- 赤沢 伝: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, pp.10-11, 1985.
- 柳井清治: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, pp.51-81, 1999.
- 梅田浩司, 千代谷佳織, 柴 正敏, 近藤美左紀: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), pp. 172-179, 2019.
- 気象庁:過去の気象データ検索(オンライン), 2022, 入手先<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_amd_ym.php?prec_no=21&block_no=0124&year=&month=&day=&view=> (参照 2022.1.6)
- 松岡宗太郎, 川口清美, 小野尚二, 武下和幸: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), pp.33-38, 2020.
- 喜田耕一:2018 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), 2018, 入手先<https://github.com/koukita/2018_09_06_atumatyou> (参照 2018.9.16)
- 厚真町:厚真町復旧・復興計画第 2 期(オンライン), 2020, 入手先<<http://www.town.atsuma.lg.jp/office/content/uploads/2019/11/9a0f567a3e5dc7b2a85273cf498ccf5d.pdf>> (参照 2021.8.24)
- 田中健二, 鶴木啓二, 川口清美, 中村和正: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, pp.I_303-I_311, 2020.
- 10) 地域環境水利学：第8章水環境の管理, p.142, 2017.
- 11) 農林省公害研究会：農業（水稲）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, 1970.
- 12) 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：水稲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, pp.111-121, 2013.
- 13) 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, pp.I_47-I_54, 2018.

STUDY ON THE EFFECT OF TURBIDITY WATER INTAKE ON PADDY FIELD IRRIGATION

Research Period : FY2020-2021

Research Team : Irrigation and Drainage Facilities

Research Team

Author : TANAKA Kenji

UNOKI Keiji

KAWAGUCHI Kiyomi

OHKUBO Takashi

Abstract : In response to the frequent and severe natural disasters that have occurred in recent years, it is important to consider measures that contribute to disaster prevention and mitigation in order to minimize damage and achieve rapid recovery and reconstruction, which are the basic goals of the Basic Plan for National Resilience. In the Atsuma River basin, a large-scale slope failures occurred due to the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake. In the Atsuma River, high concentrations of turbidity water caused by failures sediments were generated, and there were concerns about the impact on agricultural water intake works and paddy field farmlands. In fact, it was observed that when the water was taken out of the river, the intake operation was not completed in time, and the turbidity water was taken into the irrigation canal and paddy field farmland. In this study, a field survey and laboratory tests were conducted to clarify the effects of turbidity water intake on paddy field irrigation. In the field survey, turbidity was continuously observed at an agricultural headworks on the main stem of the Atsuma River to understand the status of turbidity water in the three years after the earthquake. In the laboratory test, a constant head permeability test was conducted using a soil column on the assumption of paddy field farmland, and the effect of turbidity water intake on permeability was investigated.

In the field study, we analyzed time-series data of SS concentrations to examine the temporal and spatial relationship between the turbidity water situation and the slope failure area and the retention effect by the headworks. It was found that the retention effect of the headworks delayed the peak of SS concentration and reduced the rapid increase in SS concentration. Based on the turbidity water situation in the three years after the earthquake, the conditions for the following tests were established. In the constant head permeability test using soil columns, the saturated hydraulic conductivity of each soil layer was calculated and compared for the fresh water and turbidity water conditions. In particular, the rate of decrease was greater in the upper layers. The results of the particle size analysis of the soil after the test and the sediment contained in the turbidity water indicated that the dominant component of the sediment was silt, and that the proportion of clay and silt with smaller particle sizes increased in the surface soil layers, suggesting that the turbidity water caused clogging due to the penetration of sediment with smaller particle sizes into the soil pore spaces.

Key words : Landslide disaster, SS concentration, Saturated hydraulic conductivity, Clogging