

河川氾濫による農地土壌流亡についての 水理実験 —農地における水害リスク評価手法の開発に向けた 初期検討—

寒地土木研究所 寒地河川チーム ○神原 柚乃
島田 友典
堀田 伸之

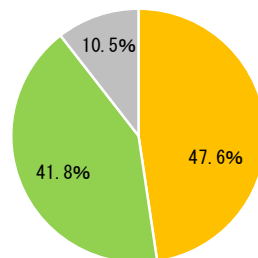
平成28年の北海道豪雨では、河川氾濫により農地土壌が大量に流亡する被害が生じた。土壌流亡が発生した農地の復旧には多大な時間と費用を要し、農業生産に大きな被害をもたらした。これを受け、北海道開発局と寒地土木研究所において、農地における水害リスク評価手法の開発に着手したが、農地土壌流亡のメカニズムは十分に解明されていない。本稿では、課題の背景と、初年度に実施した土壌流亡実験の概要について報告する。

キーワード：土壌流亡、河川氾濫、千代田実験水路

1. はじめに

平成28年8月、北海道では3つの台風が連続して上陸し、河川氾濫や土砂災害が多数発生した。また、同年8月29日からの前線と台風に伴う大雨により、石狩川水系空知川や十勝川水系札内川などの直轄河川においても堤防の決壊が発生した。これらの豪雨により、道内各地で浸水被害が発生し、とりわけ国内有数の農業地帯である十勝地方では農業への影響が甚大であった。図-1に平成28年度の北海道における水害被害額の割合¹⁾を示す。農業に関する被害の割合が全体の42%を占め、住宅に関する被害とほぼ同等の割合になっていると分かる。

農業に関する被害のなかでも、特に深刻となるのは、農作物の浸水被害に加え、氾濫水によって農地土壌が大量に侵食される場合（以下、「土壌流亡」と記載）である。図-2に、土壌流亡被害を受けた畑（帯広市）の状況を示す。この写真からは、農作物の浸水や流出に加え、農地土壌が深く侵食されて、農地に顕著な段差が生じていることが分かる。このように一度土壌流亡が発生すると、浸水が解消した後もすぐには営農を再開できず、農地復旧にあたっては流亡した分の土壌を新たに搬入する必要がある。特に、表層から数10cmは「作土」と呼ばれる農作物の生育に重要な栄養分を豊富に含む土壌である必要があるため²⁾、搬入した土壌の栄養状態が十分に改善されるまでは収量と品質が回復しない。このため、農地の完全復旧には多大な期間と費用を要する。実際に、平成28年北海道豪雨の際には、土壌流亡被害を受けた農地に治水事業で発生した河川浚渫土が搬入された³⁾が、



■ 住宅に関する被害の割合 ■ 農業に関する被害の割合 ■ その他

図-1 北海道における H28 水害被害額の割合¹⁾



図-2 土壌流亡被害を受けた畑（帯広市）

JAめむろによると泥炭土を多く含む河川浚渫土の土壌改良には長期間がかかるであろうとの見解であった⁴⁾。

ところが、治水施設の整備によってもたらされる経済的な便益や費用対効果を計測することを目的として実施されている現行の治水経済調査⁵⁾においては、このよう

表-1 農作物の浸水深別被害率 (%)
(治水経済調査マニュアル⁵⁾より引用)

事項 冠浸水深 浸水日数 作物種類	冠 浸 水												土砂埋没			
	0.5m 未満				0.5～0.99m				1.0m 以上				地表からの 土砂埋没深			
	1 2	3 4	5 5	7 6	1 2	3 4	5 5	7 6	1 2	3 4	5 5	7 6	0.5 m 未 満	0.5 ～ 0.99 m	1.0 m 以 上	
													0.5 m 未 満	0.5 ～ 0.99 m	1.0 m 以 上	
田	水稻	21	30	36	50	24	44	50	71	37	54	64	74	70	100	100
畑	陸稲	20	34	47	60	31	40	50	60	44	60	72	82			
	甘しよ	11	30	50	50	27	40	75	88	38	63	95	100			
	白菜	42	50	70	83	58	70	83	97	47	75	100	100			
	蔬菜	19	33	46	59	20	44	48	75	44	38	71	84			
	根類	32	46	59	62	43	57	100	100	73	87	100	100			
	瓜類	22	30	42	56	31	38	51	100	40	50	63	100			
	豆類	23	41	54	67	30	44	60	73	40	50	68	81			
	畑平均	27	42	54	67	35	48	67	74	51	67	81	91	68	81	100

注) 1. 「蔬菜」は、ねぎ、ほうれん草、その他、「根菜」は、大根、里芋、ごぼう、人参、「瓜類」はきゅうり、瓜、西瓜、「豆類」は小豆、大豆、落花生等である。
2. 土砂埋没の被害率は、河川の氾濫土砂によるものである、「土石流」の場合は実情に応じて修正すること。

な土壌流亡の被害は考慮されておらず、想定被害額（被害防止便益）は「単年の農作物資産額×浸水深に応じた被害率（表-1）」にて算出されている。したがって、想定被害額の最大値は単年の農作物資産額であり、収量の完全回復に複数年を要する土壌流亡被害は見込まれていないことが分かる。こうした課題を踏まえ、「北海道地方における流域治水のあり方検討会」⁶⁾では、市街地（家屋）の治水対策に加え、農地など生産空間の維持を目的とした水害リスク評価の重要性を提言している。

そうした中で、農業分野では雨滴や地表面流による土壌流亡に関する研究が進められてきた。例えば、中尾ら⁷⁾は、畝立て圃場における保土管理の実態と侵食抑制効果を調査し、畝間にわら束を設置することで省力的に侵食抑制効果を高めることができると提案している。大澤ら⁸⁾は、沖縄地方の農地を対象とした土壌侵食の現地観測を行い、経験モデルであるUSLE（Universal Soil Loss Equation）と、土砂侵食機構を組み込んだ物理モデルであるWEPP（Water Erosion Prediction Project）を適用し、モデルの予測精度を調べた。その結果、USLEよりもWEPPの精度が高いこと、どちらにおいても大きな降水量が長期間継続するイベントでは侵食量を過大評価することを示している。鶴木ら⁹⁾は、農村地域において音響式掃流砂計と濁度計を用いて流出土砂量の観測を実施し、当該流域においては浮遊砂は降雨条件や融雪などの出水条件によって流出状況が異なること、緩傾斜で農地の多い流域であれば、掃流砂の流出はほとんどなく、浮遊砂の観測のみで十分であろうと考察している。

しかし、河川氾濫に伴う氾濫流が農地へ流入した際の土壌流亡に関する調査事例は少なく、定量的な考察はほとんど行われていない。例えば、大久保ら¹⁰⁾は平成28年北海道豪雨の際に農地・農業用施設の現地調査を行い、河岸侵食によって河岸沿いの農地が被災したことや、農地を氾濫流が流下したことにより農地表層土が筋状に剥離したと報告している。また、川邊ら¹¹⁾は平成27年関東・東北豪雨の際に鬼怒川決壊地点付近の農地の現地調査を行い、土砂堆積や農業用排水路の流失についてまと



図-3 空知川決壊部周辺の空中写真
(国土地理院撮影の空中写真（2016年撮影）¹³⁾に一部加筆)

めている。これらの調査は局所的な事例報告が中心であり、定量的な被災メカニズムを検討した事例は少ない。また、農地土壌は多くの細粒分や有機物を含むため、従来の砂礫河川を対象とした掃流砂量式などを基とした土砂水理モデルの適用が難しい点も課題である。さらに、小林ら¹²⁾は、平成28年北海道豪雨を受けて、洪水による農業被害に伴う波及被害額の算定手法を検討している。地力の低下した復旧農地における「農作物の減収」及び「対策費用の増加」について、被災前後の収穫量が約3割減となったことや「土づくり」のための有機肥料を購入したことから被害額は3億8,700万円に上ると算出しているが、地力の回復に要する期間のデータが不足しており便宜的に2年と仮定しているなど、具体的な水害リスク評価手法の提案には至っていない。

したがって、農地における土壌流亡の発生メカニズムの解明と、それに基づく定量的な水害リスク評価手法の開発が必要とされている。そこで、本論文では、平成28年北海道豪雨時の被災事例のレビューと、初年度に実施した土壌流亡発生メカニズムを把握するための水理実験の概要を報告する。

2. 平成28年北海道豪雨時の被災事例

土壌流亡発生メカニズムを検討するにあたり、まず過去の水害に関する報告書や論文、寒地土木研究所における調査結果を基にレビューを実施した。本論文では、その中から、平成28年北海道豪雨時に直轄河川の堤防決壊箇所付近で発生したものを2か所紹介する。

(1) 石狩川水系空知川

平成28年8月31日に空知川幾寅地区（KP117.0、KP116.1付近）にて堤防が決壊し、堤防後背地は広範囲に浸水被害を受けた。

図-3に、決壊部周辺の空中写真¹³⁾を示す。空知川堤防



図-4 浸水した農地の侵食状況



図-5 旧流路付近の農地の侵食状況



図-6 浸水した農地の土砂堆積状況

決壊調査委員会報告書¹⁴や土木学会の調査団報告書¹⁵によると、上流側の決壊部から氾濫し、標高が相対的に低い旧流路付近を中心に氾濫流が流下し、浸水深が大きくなった下流決壊部から河川へ戻ったと推定されている。

図-4に浸水した農地の侵食状況を示す。水の流れ方向に表層土が筋状にはぎ取られたことが確認できる。また、図-5に、旧流路付近の農地の侵食状況を示す。氾濫流の主流路となった旧流路付近では、農地が数10cm侵食されている様子がわかる。さらに、図-6に浸水した農地の土砂堆積状況を示す。この箇所では土壌の侵食は見られないものの、河川から掃流されてきた砂が農地に厚く堆積しており、復旧にあたっては堆積土砂の除去が必要であるとわかる。

(2) 十勝川水系札内川・戸蔭別川合流点

平成28年8月31日に札内川・戸蔭別川合流点付近にて、堤防決壊が発生した。

図-7に、札内川・戸蔭別川合流点周辺の空中写真¹³を示す。土木学会の調査団報告書¹⁵によれば、戸蔭別川の決壊部から氾濫した氾濫流が、2河川に挟まれた農地内



図-7 札内川・戸蔭別川合流点周辺の空中写真
(国土地理院撮影の空中写真 (2016年撮影)
¹³(こ一部加筆)



図-8 氾濫流が流下した後の農地の状況



図-9 農地が残存していた箇所

を流下し、札内川決壊部から河川へ戻ったと推定されている。図-8に氾濫流が流下した後の農地の状況を示す。出水前の土地利用は畑（主にビート）であったが、農地であったことが分からないほど、農地土壌が侵食された後に河川から掃流されてきた砂礫が厚く堆積して河原のようになっていた。また、図-9に農地土壌が深く侵食された箇所と侵食されず残存した箇所の境界付近を示す。境界部分には段差が生じていたが、段差の高さは数10cmで概ね同様であった。これは、農地土壌の作土層の下部には、硬くて緻密な耕盤²と呼ばれる層が形成されていることが多く、農地土壌の下刻侵食がその層で停止したと考えられる。また、段差の境界部分に着目すると、下層が削られて、上層が残っている（オーバーハンクしている）ことから、段差ができる過程では下層→上層の順に侵食されていたと推察される。そのため、河川の湾曲部にて河岸侵食が発生する際に、水衝部となる河岸の下層が先に侵食され、追って上層が崩落することと同様に、農地に氾濫流の主流路と河岸に相当するものが形成されて、側方へ侵食が進んだと示唆される。

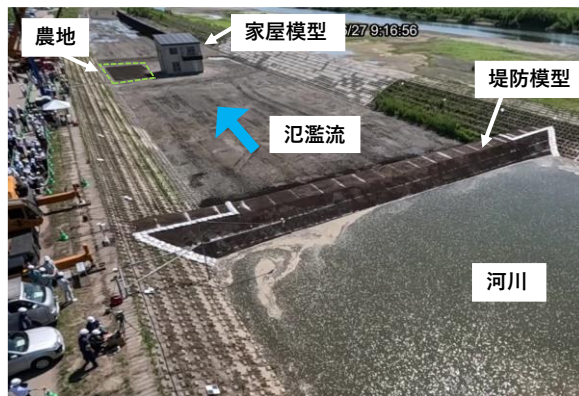


図-10 実験水路と農地の全景

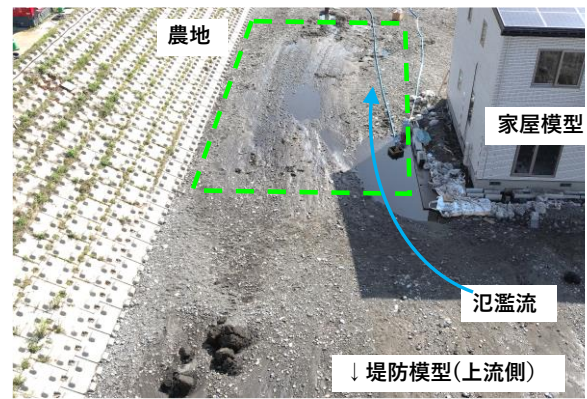


図-12 実験後の侵食状況

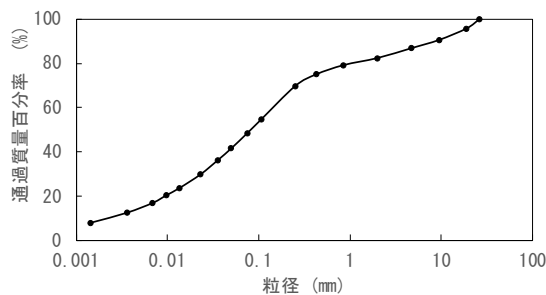


図-11 実験で用いた農地土壌の粒径

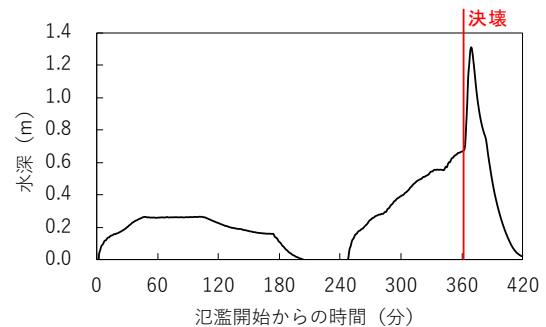


図-13 農地中央部分の水深

3. 千代田実験水路における土壌流亡についての 水理実験

土壌流亡発生メカニズムを検討するにあたり、次に十勝川千代田実験水路¹⁰⁾において、河川氾濫による農地土壌流亡についての水理実験を実施した。本論文では、実験の概要と、結果の速報を報告する。

(1) 実験概要

図-10に実験水路と農地の全景を示す。本実験では、千代田実験水路において実物大の堤防決壊実験を実施した際に、氾濫域側（水路下流側）に農地を造成することで、農地の土壌が氾濫水によってどのように侵食されるのかを実験的に調べた。

農地の位置は堤防から約70m下流側であり、堤防決壊実験によって、落掘ができたり土砂が厚く堆積する箇所から少し下流である。農地の範囲は氾濫流の流向に対して横8m、縦20m、深さは約50cmである。なお、農地の横には家屋模型（別検討用）が設置されている。

図-11に実験で用いた農地土壌の粒径を示す。この土壌は牧草地から採取したものであり、有機物を5%程度含む平均粒径0.082mmの粘性土質礫質砂である。施工は一般的な農地の整地工¹⁾と同様に、バックホウにより均平作業を行い、締固め度の管理や水分量の調整、畝立て、

植生の植え付けは行わなかった。含水比については、施工後、地下水により土壌が水分を多く含んだため、実験日には飽和に近い状態になっていたと考えられる。なお、農地以外の部分の土質については砂礫を中心とした現地河床材料であった。

また、通水条件は農地の upstream 側にある堤防模型の地点において越流水深30cm相当となる一定流量で通水を継続した。氾濫開始から約200分経過した時点で、堤防侵食形状を計測するため通水を一時停止した。その後、越流水深が増加したときの決壊状況を把握するため、通水流量を増加させて再度通水を行った。

計測項目は、水位、流速、地形高、ビデオ画像（上空）であり、土壌流亡発生時の水理量と侵食量の関係を調べた。

(2) 結果速報

図-12に実験後の侵食状況、また、図-13に実験時の農地中央部分の水深を示す。侵食状況については、地下水位が高く自然排水が進まなかったため、水たまり箇所が深く洗掘された箇所である。水深については、河川水が堤防を越水したのちに氾濫水となって流入しはじめるが、最初は0.2m程度と低く、堤防の決壊（氾濫開始から361分後）と同時に水深が急激に上昇し、最大で1.3m程度となっている。

また、図-14に実験前後の地形変化高コンター図を示す。農地部分は、周囲（砂礫主体）に比べて侵食されや

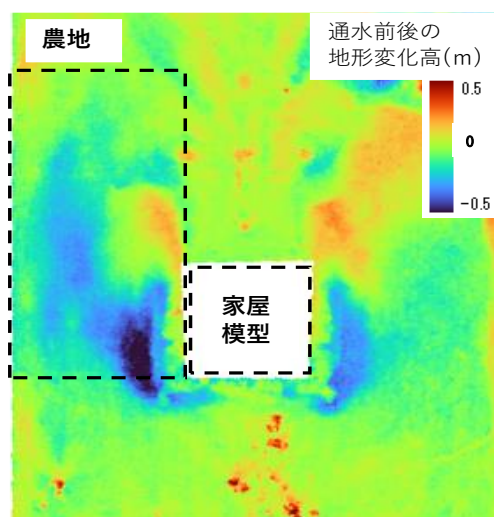


図-14 実験前後の地形変化高コンター図

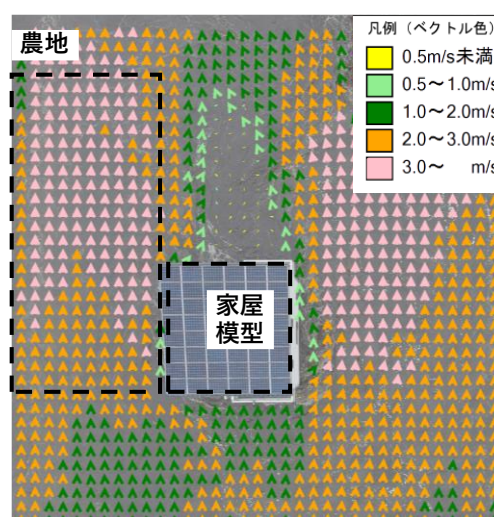


図-15 流速最大時の流速コンター図

すく、平均で0.11mの侵食が発生した。また、図-15に流速が最大となった時点（氾濫開始から366分後）の流速コンター図を示す。隣接して設置された家屋模型の影響により縮流が生じ、流速は最大で3m/s程度に達した。特に、河床材料が砂礫から農地土壌に変わった境界部分では深く侵食され、最大0.67mの侵食が確認された。さらに、図-16に実験後の土層断面を示す。上層数cmは砂礫から成り、下層は農地の土で構成されていることが確認された。このことから、上層部分が侵食され、その後上流から掃流されてきた砂礫を主体とする河床材料で覆われたことが明らかとなった。

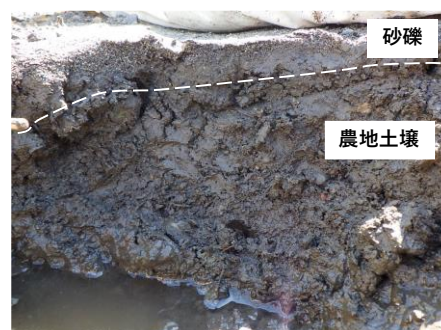


図-16 実験後の土層断面

る予定である。

4. まとめ

農地土壌流亡のメカニズム解明のための初期検討として、被災事例の収集・分析と、土壌流亡実験を実施した。以下に、それぞれについて得られた知見を示す。

被災事例の分析からは、以下の知見が得られた。

- ・表土が氾濫水の流れ方向に筋状に剥ぎ取られる。
- ・硬い層（耕盤など）に到達した後は、それ以上下刻侵食せず、側方へ侵食が進むと推察される。
- ・土壌流亡が発生しなかった箇所においても、氾濫によって河川の土砂が厚く堆積した場合は除去作業が必要となる。

また、土壌流亡実験からは、以下の知見が得られた。

- ・河床材料が砂礫から農地土壌に変わった境界部分では特に深く侵食された。
- ・農地土壌が侵食されて、上流から掃流されてきた河床材料で埋め戻されたことが確認できた。

以上を踏まえた上で、今後、実験にて観測した水位や流速、土質諸量などの詳細な分析を行い、水理量と侵食量の関係を整理することで、定量的にメカニズム解明を行い、農地における水害リスク評価手法の検討につなげ

謝辞：本検討に際しては、北海道開発局建設部河川計画課および河川工事課との連携のもと実施しました。また、実験の実施にあたり、帯広開発建設部治水課および帯広河川事務所にご協力いただきました。さらに、実験に使用した農地土壌は、池田河川事務所のご協力のもと、豊頃町役場よりご提供いただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：水害統計調査、<https://www.mlit.go.jp/river/toukei-chousa/kasen/suigaitoukei/>（参照日：2024.11.20）
- 2) 農林水産省：土壌の基礎知識、https://www.maff.go.jp/seisan/kanryo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/ntuti4.pdf（参照日：2024.11.20）
- 3) 北田久志：日本の食を支える生産空間に生じた被害と与えた影響、開発こうほう、2017年10月号、pp.21-25、2017。
- 4) 地盤工学会：平成28年8月北海道豪雨による地盤災害調査報告書、第7章、pp.127、2017。
- 5) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案）、2024。
- 6) 国土交通省北海道開発局：北海道地方における流域治水のあり方検討会、https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/slo5p_a000000vll5.html（参照日：2024.11.20）

- 7) 中尾誠司、高木東、細川雅敏：傾斜畑における土壌浸食防止のための保全管理とその効果、農業土木学会誌、vol.70、No.7、pp.619-622、2002.
- 8) 大澤和敏、酒井一人、田中忠次、吉永安俊：降雨毎の侵食予測における USLE および WEPP の検証、農業土木学会論文集、No.232、pp.43-50、2004.
- 9) 鵜木啓二、古檜山雅之、鈴木拓郎、中村和正：農林地流域における音響式掃流砂計と濁度計による流出土砂量の観測、農業農村工学会論文集、vol.83、No.5、pp.I_155-I_164、2015.
- 10) 大久保天、立石信次、山口健、桑原淳、辻修、宗岡寿美、木村賢人、山崎由理：農地・農業用施設の被害について、寒地土木研究所月報、vol.771、pp.41-47、2017.
- 11) 川邊翔平、安瀬地一作、中田達：「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」に係る鬼怒川洪水による農地・農業水利施設の被害状況報告、農業農村工学会誌、vol.84、No.4、pp.279-282、2016.
- 12) 小林彩佳、君沢竜也、平出渉、吉田隆年、千葉学、佐々木博文、岡部博一：洪水による農業被害に伴う波及被害額の算定手法の検討、河川技術論文集、vol.25、pp.19-24、2019.
- 13) 国土地理院：防災・災害対応、<https://www.gsi.go.jp/bousai.html> (参照日：2024.11.21)
- 14) 空知川堤防調査委員会：空知川堤防調査委員会報告書、2017.
- 15) 土木学会：2016 年 8 月北海道豪雨災害調査団報告書、2017.
- 16) 国土交通省北海道開発局：十勝川千代田実験水路について、https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/ud49g7000000ry5o.html (参照日：2024.11.20)
- 17) 農林水産省：土木工事共通仕様書、https://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/kyotu_siyosyo/k_doboku/index.html (参照日：2024.11.25)