# 河川基金助成事業

# 土木学会水工学委員会

令和元年台風 19 号豪雨災害調査団報告書 (中部・北陸地区)

助成番号:2019-5112-002

機関名: 土木学会令和元年台風 19 号豪雨災害調查団

総団長 清水 義彦

中部·北陸地区団長 吉谷 純一

2019年度

# 引用例

・報告書全体を引用する場合

土木学会水工学委員会 2020. 令和元年台風 19 号豪雨災害調査団報告書(中部・北陸地区), 土木学会; 222.

Japan Society of Civil Engineers (JSCE) Committee on Hydroscience and Hydraulic Engineering 2020.2019 Typhoon No.19 Heavy Rain Disaster Investigation Report – Volume of Chubu and Hokuriku Regions (in Japanese), JSCE; 222.

・報告書一部を引用する場合

- 吉谷純一,豊田政史 2020. 第1章 千曲川流域と今次災害の概要.令和元年台風 19 号豪雨 災害調査団報告書(中部・北陸地区)(土木学会水工学委員会),土木学会;1-7.
- YOSHITANI Junichi and TOYOTA Masashi 2020. Chapter 1 Summary of Chikuma River Basin and the disaster in 2019. 2019 Typhoon No.19 Heavy Rain Disaster Investigation Report – Volume of Chubu and Hokuriku Regions (Japan Society of Civil Engineers Committee on Hydroscience and Hydraulic Engineering) (in Japanese), JSCE; 1-7.

本報告書の著作権者は土木学会水工学委員会です.本報告書の著作者(原作者)は各自 執筆部分の末尾に記載しています.共同通信社から転載許可を受けた**写真4.3.2.9**を除き, 本報告書は,本文中に断りのない限り,クリエーティブ・コモンズ・ライセンスの「表示」 が適用されます.



# まえがき

私は長野市内にキャンパスを構える大学の河川分野専門家として地区団長を務めること になった.近年は毎年大規模水害が発生しているので、千曲川で水害が発生すればこの役 目を果たす覚悟はしていたが、10月の発災は全くの想定外であった.タンザニアからの 帰路途上での発災だったため、全くの情報不足、事前準備なしで、手探りで災害調査を進 めなければならなかった.このまえがきでは、手探りで進めた本報告書作成までの経過を 今後の災害調査の参考として述べることにする.

望まなくとも発災から2週間程度はメディア対応に忙殺された.メディア対応は社会貢 献であると同時に,災害調査を進めるための情報源である.そのため,できる限り対応す べきである.ただし,個人での対応は限界があり,組織的な対応が望ましい.10月13日 以降,私は同僚の豊田政史准教授(地区幹事)と共に,定常業務すべてを休止し,メディ アに対応したが,すべての取材に対応することはできなかった.もし,本調査団のネット ワークが発災前からできていれば,学会としてより組織的に取材に応じることができたと 考える.

本地区調査団は、まず地区団長、地区副団長、地区幹事を決定し、その後、団員を募集 した. 土木学会の非会員も含めた個別勧誘も随時行った. 結果として、農業や建築分野の 調査結果を含めることができ、報告書の幅が広がったと思う.

災害調査は、各地区団員が独自に自主的に行うことが原則である.ただし、調査に必要 な諸データを国土交通省及び長野県河川課から入手する際は、地区幹事が一括して提供依 頼することで、災害復旧で多忙を極めるこれらの行政機関の負担を極力減らすよう努めた.

本地区報告書は、各地区団員個人またはグループが進めた調査結果の責任執筆原稿を束 ねたものである.しかし、報告書全体の整合性を保つように編集した.そのために会議を 3回行った.第1回は、2020年1月中旬、信州大学長野工学キャンパスに集合し、大まか な報告書目次と執筆分担を決め、各地区団員の一次報告書原稿作成締切を2020年4月上 旬とした.第3章および第4章は多くの地区団員の調査成果なので、章毎のとりまとめ役 が原稿を調整した.第2回は、各地区団員からの原稿が出揃った後の2020年4月下旬 に、章または節ごとにウェブ会議形式で開催し、一次報告書原稿を適切な章節位置へ再配 置するとともに、提言と整合させる修正を行った.第3回は、地区報告書最終原稿案の最 終修正を書面形式で5月下旬に開催した.

地区調査団の提言は、調査団全体に提出するため、3 月下旬に、各地区団員から極力千 曲川特有の提言を提出してもらい、地区幹事がとりまとめて作成した.第2回会議では、 報告書本文と提言の整合性を精査・修正し、提言を完成させた.提言は政策から学術まで 様々な対象が考えられる.本地区調査団は提言対象を意図的に限定せずに提言を作成した. そのため,誰に対する提言か不明確な面はあるが,地区団員共通の観点と認識を端的に理 解するのに役立ち,また,本報告書全体の一貫性を保つことに貢献したと考えている.

メディアからの取材依頼は発災から2週間後から徐々に減り,年末以降は行政の大きな 動きがあるときのみとなった.その代わり,高等学校等の教育機関や千曲川沿川の被災が ほとんどなかった地区住民自治協議会,商工会議所,工業団地などから災害調査の解説依 頼が増えている.このような依頼はどの地域でも被災後に増えると考えられ,本報告書は このような依頼に応えるための基礎資料となる.ただし,本報告書は災害調査記録として の色彩が強く,一般の方々は本報告書を簡単には理解できないであろう.土木学会会員な どがアウトリーチ活動を行うときは,対象者に応じ本報告書内容を選択・加工した上で利 用していただきたい.

本調査では数多くの関係行政機関より多くの資料提供などの協力を得た.また,多くの 被災住民より被災情報等を快くご提供いただいた.地区調査団を代表し,ここに記して謝 意を表すと共に,一日も早い生活基盤の復旧・復興を祈る.

> 2020(令和2)年6月 地区団長 吉谷純一

# 本調査団の構成員と執筆担当

	氏名	所属・職位	執筆担当
団長	吉谷 純一	信州大学 教授	まえがき, 1.1, 1.2,
			2.2, 付録
副団長	戸田 祐嗣	名古屋大学 教授	3.1, 3.5
幹事	豊田 政史	信州大学 准教授	1.1, 1.2, 2.2, 4.3.3,
			4.4.1, 4.4.2, 付録
アドバイザー	松岡 保正	長野高専 名誉教授	
団員	赤堀 良介	愛知工業大学 准教授	4.4.3
団員	朝位 孝二	山口大学 教授	2.3
団員	新井 章珣	三井共同建設コンサルタント(株)	2.1
団員	岩崎 理樹	北海道大学 准教授	3.3
団員	小野村 史穂	東京理科大学 助教	4.2.1
団員	片岡 智哉	東京理科大学 助教	4.2.1
団員	川池健司	京都大学 准教授	4.3.3, 4.4.1, 4.4.2
団員	呉 修一	富山県立大学 准教授	4.5
団員	小山 毅	東京大学 助教	6.3
団員	酒井 美月	長野高専 准教授	4.3.1
団員	白水 元	山口大学 助教	2.3
団員	武田 誠	中部大学 教授	4.3.3, 4.4.1, 4.4.2
団員	田代 喬	名古屋大学 特任教授	6.2
団員	田端 幸輔	中央大学 准教授	3.1, 3.5
団員	土屋 十圀	中央大学 研究員	4.3.2, 5.1, 5.2, 5.3
団員	手計 太一	富山県立大学 准教授	2.1
団員	轟 直希	長野高専 准教授	4.3.1
団員	冨永 晃宏	名古屋工業大学 教授	3.1, 3.5
団員	中村 晋一郎	名古屋大学 准教授	4.1, 4.2.2
団員	西嶋 一欽	京都大学 准教授	6.3
団員	二瓶 泰雄	東京理科大学 教授	4.2.1
団員	畑山 満則	京都大学 教授	7
団員	林義晃	福岡大学 助手	2.1
団員	藤本 郷史	宇都宮大学 准教授	6.3
団員	松下 英次	長野高専 教授	4.3.1

団員	松本 明人	信州大学 准教授	6.1		
団員	溝口 敦子	名城大学 教授	3.2, 3.3		
団員	安田 浩保	新潟大学 准教授	3.4		
団員	山田 真史	京都大学 特定研究員	6.3		
調査協力者	石川 彰真	富山県立大学大学院	4.5		
調査協力者	奥野 佑太	富山県立大学大学院	4.5		
調査協力者	倉田 侑征	信州大学大学院	1.1		
調査協力者	松浦 拓哉	富山県立大学大学院	2.1		
調査協力者	八木 隆聖	富山県立大学大学院	4.5		
調査協力者	山下 拓朗	元信州大学大学院	4.3.3		
調査協力者	ERNESTO ORLANDO	信州大学大学院	2.2, 付録		
	RODRIGUEZ ALAS				

# 目次

まえがき【吉谷】

本調査団の構成員と執筆担当

第1章 千曲川流域と今次災害の概要【吉谷・豊田】・・・・・・・・・・・・・・
1.1 令和元年台風 19 号豪雨災害の被害概況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
1.2 千曲川流域における過去の主な洪水・・・・・・・・・・・・・・・・・5
第2章 千曲川流域の気象・水文・氾濫 ・・・・・・・・・・・・・・・・8
2.1 気象・水文学的特徴【手計・新井・林】 ・・・・・・・・・・・・・・8
2.2 氾濫痕跡調査による越水・溢水氾濫域【吉谷・豊田】・・・・・・・・・・・16
2.3 合成開口レーダーによる氾濫推定【朝位・白水】・・・・・・・・・・・・20
第3章 洪水流下特性および河道内地形変動 ・・・・・・・・・・・・・・28
3.1 洪水流下特性【田端・戸田・冨永】 ・・・・・・・・・・・・・・・28
3.2 河道特性【溝口】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34
3.3 流路変動解析【岩崎・溝口】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
3.4 河道の被災ポテンシャルの簡易推定【安田】・・・・・・・・・・・・・51
3.5 堤防破壊危険性【田端・戸田・冨永】・・・・・・・・・・・・・・・・57
第4章 長野市穂保地先堤防決壊による氾濫・・・・・・・・・・・・・・・59
4.1 土地利用の変遷【中村】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・59
4.2 浸水範囲・浸水位・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・62
4.2.1 浸水位観測【二瓶・小野村・片岡】・・・・・・・・・・・・・・・62
4.2.2 家屋浸水の推定【中村】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・76
4.3 堆積土砂の現地調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・80
4.3.1 農地堆積土砂【酒井・轟・松下】・・・・・・・・・・・・・・・・80
4.3.2 高水敷堆積土砂・果樹木【土屋】・・・・・・・・・・・・・・・・89
4.3.3 破堤点近傍の氾濫域堆積土砂【武田・川池・豊田】・・・・・・・・・97
4.4 氾濫シミュレーションの高度化・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・103
4.4.1 排水過程を考慮した氾濫シミュレーション【武田・川池・豊田】・・・・・103
4.4.2 氾濫域の土砂堆積シミュレーション【川池・豊田・武田】・・・・・・・109
4.4.3 破堤箇所近傍の流木シミュレーション【赤堀】・・・・・・・・・・・・113
4.5 流体力による家屋被害【呉】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・121
第5章 河川構造物等の損壊状況と河川管理【土屋】・・・・・・・・・・・・・・・132
5.1 はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
5.2 千曲川下流・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・133

5.3	千曲川中流・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・139
5.4	千曲川上流・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・145
第6章	公共施設・住宅に関する被災・復旧の実態・・・・・・・・・・・・・・・161
6.1	下水処理場【松本】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・161
6.2	電気・ガスなど供給系ライフライン【田代】・・・・・・・・・・・・・165
6.3	住宅【小山・西島・藤本・山田】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・177
第7章	避難行動と情報【畑山】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・187
7.1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・187
7.2	調査票の設計と調査の実施・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・187
7.3	調査協力者の特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・187
7.4	「避難」と「非避難」を分ける要素に関する分析・・・・・・・・・・189
7.5	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・198
第8章	課題と提言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・199
付録·	•••••••••••••••••••••••••••••••••
A. 信	濃川水系河川整備方針および計画の概要・・・・・・・・・・・・・・・206
B. 長	野市洪水ハザードマップ
	(古里・柳原・浅川・朝陽・若槻・長沼・豊野地区周辺)・・・・・・・・208
C. 浸	水域の詳細図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・209

# 第1章 千曲川流域と今次災害の概要

### 1.1 令和元年台風 19 号豪雨災害の被害概況

台風 19 号の接近にともない,2019(令和元)年10月10日から13日にかけて東日本を 中心に大雨となった.図1.1.1に台風 19号の進路を示す.10月6日3時に南鳥島の南海 上で発生し,西に進んだ後,東経140度線付近で北に進路を変えた.その後は北北西から 北北東に比較的遅い速度で進み12日には本州の南岸に到達した.本州の南海上で北北東 に進路を変え,12日19時前に伊豆半島に上陸した.その後,関東地方の平野部を縦断し て13日未明には福島県沖の太平洋上に抜け,宮城県〜岩手県の沖を北東に進んだ後,13 日12時には温帯低気圧に変わった<sup>1)</sup>.この大雨による被害は,日本全国で死者104名,全 壊家屋 3308棟であった<sup>2)</sup>.

中部・北陸地区では、千曲川沿いを中心に大きな被害を受けた.特に、千曲川上流部での降雨が激しく、降り始めからの24時間雨量は北相木村で411.5mm、軽井沢町で332.5mmを記録<sup>3)</sup>し、長野県内では12日20時45分、42市町村に対して大雨特別警報が発令された.千曲川流域では12日20時35分から13日3時25分にかけて氾濫情報(警戒レベル5相当)が8回発表され<sup>4)</sup>、長野市穂保地先で千曲川本川堤防が決壊したほか、飯山市皿川や佐久市滑津川などの支川でも堤防決壊が発生するなど、東北信地域に甚大な被害をもたらした.本川堤防決壊地点の約5km下流にある立ヶ花水位・流量観測所の最高水位は、1950(昭和25)年の観測開始以降で最大であった1983(昭和58)年洪水時の11.13m(参考:計画高水位は10.75m.)を大きく上回る12.44mを記録した<sup>5)</sup>.

表1.1.1に、長野県内における市町村別の人的被害を示す.長野県内では、橋の陥没や 氾濫に巻き込まれたことによる死者が5名(長野市:2名,佐久市:2名,東御市:1名), 重軽傷者は150名であったの.表1.1.2に、長野県内における市町村別の住家被害を示す. 全壊920棟の9割以上にあたる872棟は、長野市で発生したの.表1.1.3は、2019年度末 時点での長野県内の被害想定額である.総額は275,916百万円であり、そのうち商工業関 係が81,744百万円と最も大きく、次いで土砂堆積や浸水被害を受けた農業関係が66,928百 万円、河川や道路など公共土木施設が66,754百万円となっている<sup>7)</sup>.交通の被害も大きく、 路面冠水や路肩崩壊などにより県管理道路103路線148区間や国道18号線1区間、上信 越自動車道2区間で通行止めとなった<sup>8)</sup>.鉄道では、長野新幹線車両センターが水没し、 北陸新幹線が一部区間で約2週間運休となったほか、橋梁崩落や冠水などにより、上田電 鉄、しなの鉄道、JR各線など在来線でも不通となった.電気・水道・ガスなどのライフラ インについては、長野県内で一時的に寸断される事態となり、市民生活に多大なる影響を 与えた.ライフライン被害に関しては、6.2で詳しく述べる.

1



図 1.1.1 台風 19 号の進路<sup>1)</sup>

衣!! 大野宗内の人的似合(光陽白奴)	6)
---------------------	----

++ =++	저는	伝士プ明		重傷		軽傷				
山口山	96 L	1] 万个明	計	直接	関連	計	直接	関連		
長野市	2	0	8	3	5	92	17	75		
上田市	0	0	1		1	5	1	4		
須坂市	0	0	0			7		7		
中野市	0	0	1		1	0				
飯山市	0	0	1	1		4		4		
佐久市	2	0	0			18	18			
千曲市	0	0	0			5		5		
東御市	1	0	0			1	1			
川上村	0	0	1		1	0				
佐久穂町	0	0	0			2	1	1		
軽井沢町	0	0	0			1	1			
箕輪町	0	0	0			1		1		
坂城町	0	0	2	2		0				
合計	5	0	14	6	8	136	39	97		

			_	_	_	_		_	_		_	_	_		_	_	_	_	_	_	_	_		_	_	_		_	_	_	_	_	_	_		_	_
	$\prec$	11124	41	1076	10	866	402	1622	2475	3968	47	27	12	11	11	18	328	27	2	86	2	55	118	36	1	3	10	10	127	190	1	5	107	26	8	11	22863
合計	世帯	4380	25	462	4	336	131	622	1028	1677	33	14	5	3	9	10	142	6	1	37	1	26	41	13	1	1	3	4	50	57	1	1	27	12	4	4	9171
	棟	4070	8	432	4	289	125	566	994	1347	6	14	5	3	9	10	141	6	1	37	1	26	41	13	1	1	3	4	50	57	1	1	27	12	4	4	8316
	$\prec$		27				59		1766	1399	2		8	9	6		172				2	55					10	10			1		107				3633
未下浸水	十十		20				18		740	771	2		4	2	2		72				1	26					3	4			1		27				1696
A	棟		3				17		717	523	2		4	2	2		72				1	26					3	4			1		27				1407
	${\prec}$									17																											17
末上浸水	十十									10																											10
A	棟									5																											2
	$\prec$	4341	14	1052	10	284	128	1187	321	1595	45	20	4	5		8	12	21	2	78			111	36	1	3			124	75		5		24	8	5	9519
	世帯	1641	5	450	4	107	38	454	124	551	31	10	1	1		5	5	7	1	34			39	13	1	1			49	24		1		11	4	2	3614
	棟	1684	5	421	4	98	37	393	124	497	7	10	1	1		5	5	7	1	34			39	13	1	1			49	24		1		11	4	2	3479
	$\prec$	4176		18		579	199	435	339	956		7			2	9	127	9		~			7						3	92				2		9	6968
半壊	世帯	1705		10		228	67	168	146	344		4			1	3	53	2		3			2						1	28				1		2	2768
	棟	1514		6		190	63	173	136	321		4			1	3	52	2		3			2						1	28				1		2	2505
	$\prec$	2607		9		3	16		49	1						4	17													23							2726
全壊	世帯	1034		2		1	8		18	1						2	12													5							1083
	棟	872		2		1	8		17	1						2	12													5							920
++ - - +		長野市	松本市	十田十	岡谷市	須坂市	中野市	飯山市	佐久市	十曲十	東御市	小海町	川上村	南牧村	南相木村	北相木村	佐久穂町	軽井沢町	御代田町	立科町	青木村	長和町	辰野町	箕輪町	飯島町	南箕輪村	麻績村	筑北村	坂城町	小布施町	高山村	木島平村	野沢温泉村	信濃町	飯綱町	栄村	令書

表 1.1.2 長野県内の住家被害<sup>6)</sup>

# 表 1.1.3 長野県内の被害額<sup>7)</sup>

衣	皮害の別	発生数	単位	被害額(百万円)			
				66,928			
	農作物・樹体被害	2,062	ha	1,925			
農業関係	生産施設等	1,219	箇所	8,575			
	農地・農業用施設	10,365	箇所	56,168			
	農業集落排水施設等	12	箇所	260			
		1,818	箇所	4,685			
林業関係	治山	88	箇所	2,310			
	林道	1,730	箇所	2,375			
		1,266	箇所	66,754			
八十十十七十二	河川	806	箇所	51,477			
公共工个他设	砂防	44	箇所	2,082			
	道路	416	箇所	13,225			
	計	75		40,433			
都市施設	下水道	55	箇所	38,138			
	公園	20	箇所	2,295			
商	工業関係	925	件	81,744			
<u>}</u>	学校施設	171	校	4,388			
学校以外	トの教育施設等	83	施設	2,245			
社会	会福祉施設	133	施設	5,327			
	医療施設	18	施設	1,421			
ŀ	自然公園	23	箇所	42			
	上水道	9	事業体	545			
浄化槽(	(市町村設置型)	5	基	2			
廃棄	物処理施設	8	箇所	80			
/	公営住宅	1,027	戸	1,264			
警察施	設等県有施設	41	箇所	149			
花	波害総額			275,916			

(吉谷純一,豊田政史)

# 1.2 千曲川流域における過去の主な洪水

千曲川流域における過去の主な洪水を表1.2.1 に示す 9,10.

歴史上特記すべき洪水として、「戌の満水」と呼ばれる 1742 (寛保 2) 年の洪水が挙げら れる.千曲川流域での死者は 2800 人前後であり、田畑の被害も大きく、松代藩の財政は困 窮し、その影響は明治まで続いたと言われている.これは、千曲川史上記録に残る最大洪 水として知られている.1847 (弘化 4) 年の善光寺地震にともなう洪水は、地震による土 砂崩れで犀川がせき止められて発生した天然ダムが、地震の 19 日後に崩壊した.高さ 20m にも達する段波となり、下流の善光寺平のほぼ全域に氾濫し<sup>11)</sup>,甚大な被害をもたらした. 地震直後より高台への避難が行われていたので浸水区域の大きさの割に被害は小さく、松 代藩預かり領で、水死者 23 人、流失などの家屋 195 戸であった.

戦後の主な洪水としては、台風が長野県内を縦断し日本海側へ抜けた1959(昭和34)年 8月洪水,台風が千曲川流域の東側から東北・北海道地方へと北上した1982(昭和57)年 9 月洪水, 秋雨前線の影響に加えて日本列島の南側を通過する典型的な雨台風によって発 生した 1983 (昭和 58) 年 9 月洪水が挙げられる 12). 昭和 34 年 8 月洪水では、千曲川上流 域で 227.4mm, 犀川上流域で 160.8mm の総雨量による大きな出水のピークが重なり合流 し、大流量となった. ほとんどの箇所で当時の計画高水位を超過し、死者 65人, 全壊家屋 1,391 戸をはじめとする甚大な被害であった.昭和57年9月洪水では、長野県下全域に大 雨が降った.千曲川上流では大きな出水となったが、犀川では総雨量は比較的大きいもの の、フラットな洪水波形でピーク流量は小さいケースであった。本川堤防決壊には至らな かったが、飯山市にある支川樽川が堤防決壊した.死者2人、全壊家屋3戸をはじめとす る被害であった.昭和 58 年 9 月洪水では,雨量が,犀川上流域で 250mm,千曲川上流域 で 200mm を超えた. 出水ピークが犀川と千曲川でほぼ重なったことにより, 合流後の飯 山市で本川堤防が3か所で決壊した.死者9人,全壊家屋53戸をはじめとする被害であ った. 平成に入ってからは, 立ヶ花水位観測所で高い水位を記録した 2004 (平成 16) 年 10 月洪水(今次洪水を除いて,観測史上5位)と2006(平成18)年7月洪水(今次洪水を除 いて、観測史上2位)が発生したが、死者なし、被災家屋数も上述した昭和の3つの洪水 と比べるとかなり少なかった.

# 表 1. 2.1 千曲川流域における過去の主な洪水<sup>9,10)</sup>

年	洪水名	被害概要
1742	戌の満水 (寛保2年洪水)	被害の状況から,台風が大阪付近に上陸,北上し中部関東を通り, 三陸沖から太平洋に抜けたといわれている.このときに秋雨前線の 活動に刺激を与えたという説がある.千曲川流域で死者2,800人前 後.千曲川史上最大の洪水.
1847	善光寺地震洪水 (弘化4年洪水)	戌の満水と並んで、江戸時代におけるもう1つの大水害. 地震による土砂崩れで犀川がせき止められ、その19日後に崩壊し、 善光寺平に甚大な被害をもたらした.松代藩預かり領で死者23人, 流失家屋195戸.
1959	昭和34年8月洪水	台風7号の進行方向右側(危険半円)にあたった千曲川流域では, ほとんどの箇所で計画高水位を超過し,最大瞬間風速が35m/s以上 に達し,大雨による災害に加え暴風による被害も大きかった.長野 県内で,死者65人,全壊家屋1,391戸,半壊家屋4,091戸,床上浸水 家屋4,238戸,床下浸水家屋10,959戸.
1982	昭和57年8月洪水	梅雨前線の停滞に加えて、台風10号の接近にともない、前線が活発化し、豪雨となった、長野県内で、死者4人、全壊流失家屋23戸、半壊家屋44戸、床上浸水家屋80戸、床下浸水家屋1,384戸.
1982	昭和57年9月洪水	列島を縦断した台風18号によって、支川樽川における破堤氾濫、各 支川における内水氾濫、護岸、根固の流失等大きな被害をもたらし た.長野県内で、死者2人、全壊家屋3戸、半壊家屋13戸、床上浸水 家屋2,022戸、床下浸水家屋3,214戸.
1983	昭和58年9月洪水	秋雨前線および台風10号にともなう出水で、立ヶ花観測所で既往最 高水位(11.13m)を記録する大出水となり、飯山市柏尾橋上流の両岸 堤防が3か所で決壊.長野県内で,死者9人、全壊家屋53戸、半壊家 屋92戸,床上浸水家屋3,906戸,床下浸水家屋6,975戸.
2004	平成16年10月洪水	秋雨前線および関西地方に甚大な被害をもたらした台風23号により,立ヶ花観測所では観測史上5番目となる水位(10.32m)を記録した.長野県内で,全壊家屋1戸,半壊家屋2戸,床上浸水家屋40戸,床下浸水家屋630戸.
2006	平成18年7月洪水	梅雨前線の停滞にともない、立ヶ花観測所では、計画高水位に匹敵 する観測史上第2番目となる水位(10.68m)を記録した.長野県内 で、床上浸水家屋4戸、床下浸水家屋50戸.

(吉谷純一,豊田政史)

# 参考文献

気象庁ホームページ:令和元年台風第19号とそれに伴う大雨などの特徴・要因について(速報),

https://www.jma.go.jp/jma/press/1910/24a/20191024\_mechanism.html (2020.05.15 確認)

 内閣府ホームページ:令和元年台風第19号に係る被害状況等について(令和2年4月 10日9:00現在),

http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19\_45.pdf (2020.04.12 確認)

- 毎日新聞:台風19号 長野で千曲川決壊, https://mainichi.jp/articles/20191014/ddl/k20/040/011000c(2020.04.11 確認)
- 4) 長野県ホームページ: 令和元年東日本台風(台風第19号)への対応について ~災害 対策本部員会議資料 第5回(1)~,
   https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/dai5-1.pdf(2020.04.11 確認)
- 5) 国土交通省北陸地方整備局:千曲川堤防調査委員会第2回資料, https://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-02.pdf(2020.05.17確認)
- 6) 長野県ホームページ:令和元年東日本台風(台風第19号)への対応について ~人的 被害・住宅被害等の状況~(2020.03.23 現在), https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/200323zintekizyuukahigai.pdf(2020.04.11 確 認)
- 7) 長野県ホームページ: 令和元年東日本台風(台風第19号)への対応について ~令和 元年東日本台風(台風第19号)に関する被害額について~(2020.03.23 現在), https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/200323higaigaku.pdf(2020.04.11 確認)
- 8) 長野県ホームページ: 令和元年東日本台風(台風第19号)への対応について ~災害 対策本部員会議資料 第5回(3)~,
   https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/dai5-3.pdf(2020.04.11 確認)
- 9) 国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所ホームページ:洪水の歴史, http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/shiru/kouzui/kiou/index.html (2020.04.11 確認)
- 10) 建設省北陸地方整備局千曲川工事事務所:千曲川・犀川 洪水の歴史, 125p, 1990.
- 11) いさぼうネット:歴史的大規模土砂災害地点を歩く~コラム 21:善光寺地震(1847) による犀川の岩倉山天然ダム~,

https://isabou.net/knowhow/colum-rekishi/colum21.asp (2020.04.12 確認)

12) 国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所:千曲川・犀川の気象, 37p, 2002.

# 第2章 千曲川流域の気象・水文・氾濫

### 2.1 **気象**·水文学的特徴

令和元年東日本台風(令和元年台風第19号(ハギビス))は2019年(令和元)年10月6日 に発生,10月12日に日本に上陸し,関東地方や甲信地方,東北地方などで大規模な水災害 をもたらした台風である.1977年(昭和52)年9月の沖永良部台風以来,42年ぶりに気象 庁が命名したことからも,被害の甚大さがうかがえる.本稿では,千曲川流域における気象 学的特徴について報告する.

本稿では、次の3つの降水量データを利用した. 1) 気象庁,国土交通省,長野県(10月 12日と13日のみ)の地上雨量データ、2) XRAIN データ(X バンド MP レーダ雨量計デー タ&C バンド MP レーダ雨量計 [250m メッシュ,配信間隔1分]),3) 全国合成レーダ GPV (気象庁 C バンドレーダ [1km メッシュ,配信間隔10分]).それぞれ特徴が異なるため, 本稿では全て併記することとした.なお,千曲川流域周辺に位置する岐阜県,富山県,新潟 県,群馬県,埼玉県,山梨県内の気象庁の地上雨量データも加え,Kriging 法を用いて内挿 補完した.

図2.1.1は中部から関東にかけての2019年10月11~14日のXRAINの積算雨量である. 静岡県沿岸から北東方向に帯状に降水量が多かった地域が続いている.また,伊豆半島山間 部から箱根の山間部で降水量が極めて多かったことがわかる.この強雨の帯状の一部が,千 曲川流域の上流部にかかっていた.

図 2.1.2 は 10 月 11~13 日における地上 3 日間雨量データを上述のように解析した分布 である.特に千曲川本川上流域と中流域の山側で 401~650mm の極めて強い降雨となって いた.

図 2.1.3 は期間中最も強雨であった 10 月 12 日の流域雨量について上述した 3 つの降雨 量データを比較した.降水レーダデータには、国土地理院の 50m メッシュ標高データを背 景とした.3 つの降雨分布は似ているものの、流域東側の山沿いの降雨量は、地上雨量計と 気象庁 C バンドレーダは同じ程度に対して、XRAIN は両者と比較すると少ない傾向にある. いずれにしても、上流域の東側で強雨が観測された.一方、XRAIN では流域西側に局所的 に 1500~1600mmの降水量が観測されている.

図 2.1.4 は 2019 年 10 月 11~13 日の 3 つの降水量データによる流域時間雨量の時間変化 である. 同図には立ヶ花における計画降雨量 186mm/2 日(付録 A 参照)を示している(参 考までに,想定最大降雨量は 396mm/2 日(付録 B 参照)である).3 つの降水量データによ る 2 日間流域雨量を比較すると,大きい値から地上雨量計 194.1mm,気象庁 C バンドレー ダ 184.5mm, XRAIN170.7mm であった.また,10 月 12 日 14 時~17 時にかけての降水量の ピーク時では,明らかに XRAIN の値が他データより小さい.

3つの降水量データのいずれも概ね計画降雨量に相当する降雨量であった. さらに、図か

らわかるように、2日間の計画降雨量相当が10月12日の1日で降った.

10 年以上の統計期間を持つ気象官署とアメダスにおいて,統計開始以来の極値を更新したのは,日降水量14地点,1時間降水量1地点であった(表2.1.1).特に,これまでの観測史上1位の値から100mm以上更新したのは,大きい順に北相木137.5mm,立科127mm, 鹿教湯125mm,菅平124mmの4地点である.

一般化極値分布を利用して, 観測開始から 2018 年までのデータで確率分布を求め,本水 害時の降水量の超過確率年を推定した.図2.1.5 は日降水量,2日間降水量,3日間の超過 確率年の地理分布を示す.図中に示す聖高原,菅平,立科,鹿教湯,佐久では日降水量,2 日間降水量ともに超過確率年上位5番目であった.千曲川本川沿いのほとんどの地点で50 年に1度以上の規模であったと推定された.

12日の日降水量において,母数が40年以上ある地点の中で,推定した超過確率年が非常 に大きい上位5地点は,聖高原(43,470年),菅平(6,905年),立科(4,702年),鹿教湯(1,010 年),佐久(197年)である.さらに、2日間降水量(11~12日と12~13日)では,菅平 (1,511年と2,001年),聖高原(1,097年と935年),立科(444年と373年),鹿教湯(362 年と343年),佐久(144年と129年)であった.このように、2日間で計画された降雨量相 当が1日で降ったことが,大規模な水害を引き起こしたことの要因の一つであると考えら れる.

図 2.1.6 は立ヶ花における年最大2日間流域平均降水量と確率降水量である.ここでは, 一般化極値分布を利用して,統計開始から2019年までのデータで確率分布を求め,本水害時の降水量の超過確率を推定した.本調査対象洪水の196.8mm は超過確率年68.9年と推定 された.

本稿で示したように現在では少なくとも 3 種類の降水量データが入手することができる が、手法や観測限界などがあるためいずれか1つに決めずに併記することが望まれる.林ら <sup>2)</sup>による 2017(平成 29)年7月九州北部豪雨の解析結果においても、降水レーダ特性に応 じて慎重に利用すべきであることが示されており、本稿における千曲川水害でも同様の結 果が得られた.本対象流域においても、地上雨量計による空間内挿推算値と XRAIN では約 20mm/2日の相違があった(2日間の計画降雨量相当が10月12日の1日で降ったことを考 えると、実質的には約20mm/日に相当).

(手計太一,新井章珣,林義晃)



図 2.1.1 中部から関東にかけての 2019 年 10 月 11~14 日の XRAIN の積算雨量 (黄緑色部分が千曲川流域)



図 2.1.2 2019 年 10 月 11~13 日における地上雨量データによる降雨分布



図 2.1.3 2019 年 10 月 12 日の千曲川流域の降雨分布 (左:地上雨量計,中:XRAIN,右:気象庁 C バンドレーダ)





要素	地点	値	生起日	E S	統計開始	
		観測史上1位				年月
	長野	132.0	10/12	124.5	2004/10/20	1889/1
	野沢温泉	173.5	10/12	140.0	2017/7/1	1976/1
	信濃町	164.5	10/12	148.0	1982/9/12	1976/4
	笠岳	285.0	10/12	232.0	1986/9/3	1979/7
	信州新町	163.5	10/12	153.0	2004/10/20	1976/3
	菅平	270.0	10/12	146.0	1983/9/28	1976/1
口吹水具	聖高原	242.0	10/12	169.0	2004/10/20	1979/7
口阵小里	東御	148.5	10/12	135.0	1983/9/28	1976/3
	鹿教湯	320.0	10/12	195.0	1982/9/12	1976/1
	立科	264.0	10/12	137.0	1999/8/14	1978/11
	佐久	303.5	10/12	205.0	1999/8/14	1976/4
	白樺湖	228.5	10/12	152.0	2006/7/18	2004/9
	北相木	395.5	10/12	258.0	2007/9/6	2004/9
	高遠	200.0	10/12	133.0	2006/7/18	2004/9
1時間降水量	北相木	37.5	10/12	37.5	2010/8/24	2004/9

# 表 2.1.1 気象官署とアメダスにおいて統計開始以来の極値を更新した地点<sup>1)</sup>

※降水量の最小単位は 2008 年 3 月 26 日から 1mmから 0.5mmであるが、本稿では小数点 1 桁に統一して表記した.







立ヶ花における年最大2日間流域平均降水量と確率降水量



# 2.2 氾濫痕跡調査による越水・溢水氾濫域

図 2.2.1 に浸水範囲,表2.2.1 に範囲ごとの面積を示す.浸水は25 か所,面積は計約 27km<sup>2</sup>であった.浸水は,本川堤防の決壊,本川からの越水・溢水,支川の氾濫,内水のい ずれか,または,これらの組合せにより発生したと考えられる.ここに示す浸水箇所は, 災害直後に国土交通省が行った大臣管理区間沿いの氾濫痕跡調査対象であり,県管理区間 沿いなどの浸水箇所は含まれない.また,浸水面積は,国土交通省調査による浸水域と非 浸水域の境界情報を地形図と照らし合わせながら算出した.そのため,本調査団による痕 跡浸水位計測を用いた浸水面積と完全には一致しない.

浸水面積は大きい順に、本川破堤氾濫域の長野市穂保地区(④:9.66 km<sup>2</sup>)、本川越水・ 内水氾濫が大きいと推測される長野市篠ノ井地区(@:4.44 km<sup>2</sup>)、飯山市常郷・照里地区 (②,③:2.65 km<sup>2</sup>)、本川堤防決壊地点対岸の小布施町大島地区および須坂市相之島地区 (⑮,⑯:2.13 km<sup>2</sup>)である.さらに、霞堤が存在する千曲市新田・杭瀬下地区(③,@: 1.94 km<sup>2</sup>)、旧流路が存在する中野市上今井地区(①:0.92 km<sup>2</sup>)や長野市松代地区(①: 1.47 km<sup>2</sup>)が続く.それぞれの浸水域の拡大図を、付録Cに示す.

長野市穂保地区(④)における排水作業を,表2.2.2 (国土交通省資料<sup>3)</sup>),表2.2.3 (長 野県資料<sup>4)</sup>)にまとめる.10月12日19:46に浅川樋門を閉鎖し,浅川排水機場のポンプ排 水を始めたが,千曲川水位の上昇にともなって,10月13日0:08にポンプ排水を停止した. 0:55に千曲川堤防からの越水が確認され,6:30に堤防欠損が確認された.9:03に浅川排水 機場のポンプ排水を再開したが,内水位の上昇を受けて,操作員の安全確保のため,9:45 にポンプ排水を停止した.10:23に千曲川から浅川への逆流状態が解消されたため,浅川樋 門を開放した.氾濫域の排水に関しては,12:00には浅川樋門でポンプ車6台による排水 が行われ,17:00ごろより全国各地から派遣されたTEC-FORCE(緊急災害対策派遣隊)が 排水ポンプ車を増備することで排水作業を本格化し,浅川樋門でポンプ車23台による排 水を行い,10月14日18:30には稼働を終了している.また,クリーンピア千曲(下水処理 場)においては,10月15日夕刻からポンプ車による排水が開始され,その作業は少なく とも25日までは継続された.なお,長野市穂保地区(④)(本川破堤氾濫域)の状況につ いては4章で,下水処理場の被害・復旧状況については6.1で,詳しく述べる.

(吉谷純一,豊田政史)

16



(信州大学大学院 ERNESTO ORLANDO RODRIGUEZ ALAS 作成)

# 表 2.2.1 浸水範囲ごとの面積

# (国土交通省提供資料をもとに,

信州大学大学院 ERNESTO ORLANDO RODRIGUEZ ALAS が算定)

番号	浸水面積(km <sup>2</sup> )	番号	浸水面積(km <sup>2</sup> )
1	0.1037	(13)	0.7413
2	0.0561	14	9.6554
3	2.5953	(15)	0.6267
4	0.1242	(16)	1.5056
5	0.3432	(17)	0.1648
6	0.0339	(18)	0.5834
$\bigcirc$	0.1653	(19)	1.4739
8	0.3706	20	4.4351
9	0.0179	21)	0.0004
10	0.4000	22	0.2299
(11)	0.9217	2324	1.9433
(12)	0.4809	25	0.1000
		合計	27.073

# 表 2.2.2 堤防決壊状況・排水作業の概要(国土交通省資料<sup>3)</sup>をもとに作成)

日付	時刻	内容
10月13日	0:55	越水確認
	5:30	堤防決壊の模様
	6:30	堤防欠損確認
	7:10	協定業者による、堤防決壊箇所の欠口止(ブロック投入)
	12:00	浅川樋門 ポンプ車6台稼働中
	17:00ごろより	全国のTEC-FORCE(緊急災害対策派遣隊)隊員の力を結集 し,排水ポンプ車を増備することで,排水作業本格化.
10月14日	12:00	浅川樋門 ポンプ車23台稼働中
	18:30	浅川樋門 ポンプ車23台稼働終了
10月15日	10:00	国道18号の浸水解消
	15:15	穂保地区(図2.2.1 ⑭)以外の浸水はすべて解消
	18:00	クリーンピア千曲 ポンプ車6台稼働中 (ポンプ車稼働は, 10月25日まで継続)
10月16日		TEC-FORCEによる浸水地区の路面清掃開始
10月17日		穂保地先堤防決壊場所の仮堤防完成

<ul> <li>マブ</li> <li>(備考 (s)</li> </ul>			51			4   浅川第一, 第二排水機場 運転再開できず	<ul> <li>         、</li></ul>		
ポン 特 」 (m)	)	•	-0	0	•	1	0	0	0
ゲート 開閉	髷←鮨	뮘	¥	윔	뮘	皆	¥۱	開←開	鮨
内容	浅川樋門閉鎖開始	浅川樋門閉鎖完了	浅川第一排水機場~浅川第三排水機場 順次運転開始	浅川第一排水機場~浅川第三排水機場 運転停止	浅川樋門(ポンプ排水用)開放開始	浅川樋門(ポンプ排水用)開放完了, 浅川第三排水機場運転開始	浅川第三排水機場運転停止, 操作員退避	千曲川から浅川への逆流状態が解消, 浅川樋門開放開始	浅川樋門開放完了
時刻	19:18	19:46	$\frac{19:46}{21:05}$	0:08	8:00	9:03	9:45	10:23	10:45
日付	10月 12日			10月13日					

# 表2.2.3 浅川関連排水作業の概要(長野県資料4をもとに作成)

# 2.3 合成開口レーダーによる氾濫推定

2.3.1 はじめに

災後短時間で被災地の画像を取得し被災状況の把握や二次災害の危険察知を目的として、 Lバンド合成開口レーダー「PALSAR-2」を搭載した陸域観測技術衛星2号「だいち2号」

(ALOS-2) が運用されている. 合成開口レーダー (SAR) は人工衛星から電磁波を放出し, 地面におけるマイクロ波の後方散乱の強度を計測するもので,気象衛星に代表される光学 画像と異なり夜間や曇天時にも観測が可能である. 加えて, PALSAR-2 に搭載されるLバン ド帯は長波長で透過性が高く,降雨や雲による減衰に強いため豪雨による河川氾濫や浸水 などの気象災害に対して有力な観測手段である. この節では,だいち2号を運用するJAXA から提供された PALSAR-2 によるレーダー画像もとに千曲川流域の浸水等の状況の解析結 果を報告する.

### 2.3.2 PALSAR-2 による発災直後の観測

千曲川流域を対象とした発災直後の PALSAR-2 による観測は,10月13日11時56分開 始,および,15日12時37分開始の高分解能モード1(単偏波,観測幅50km,分解能3m) のものがある.これらの観測範囲について図2.3.1に示す.また,表2.3.1に観測条件の概 要を示す.衛星進行方向は衛星の南北の移動方向を示し,ディセンディングは南下しながら の観測であることを示す.北上中の観測の場合はアセンディングと表現される.また,観測 方向は進行方向を正面として左側にセンサーを振った観測か右側に振った観測かを示す.



図 2.3.1 発災直後の千曲川流域を対象とした高分解能モード1 での観測

表 2.3.1	発災直後の千曲川流域を対象とした高分解能モー	ド1	での観測
---------	------------------------	----	------

シーン ID	観測日時 (JST)	衛星進行 方向	観測方向	オフ ナディア角	偏波
ALOS2290982870-191013	2019/10/13 11:56	ディセンディング	右側観測	25.6	HH
ALOS2290982880-191013	2019/10/13 11:56	ディセンディング	右側観測	25.6	НН
ALOS2291282830-191015	2019/10/15 12:37	ディセンディング	左側観測	42.7	НН
ALOS2291282840-191015	2019/10/15 12:37	ディセンディング	左側観測	42.7	НН

### 表 2.3.2 解析に利用した発災前に行われた観測

シーン ID	観測日時 (JST)	衛星進行 方向	観測方向	オフ ナディア角	偏波
ALOS2238710760-181024	2018/10/24 23:01	アセンディング	左側観測	32.4	HH



図 2.3.2 発災前後の千曲市埴生・屋代地区のレーダー画像比較

オフナディア角は衛星の直下と衛星から観測対象中心を覗いた線とがなす角である.本節 ではこの観測のうち,浸水状況をよく反映した 13 日観測のシーン ALOS2290982870-191013 を 対象に解析を行った.当該シーンのレーダー画像プロダクトは処理レベル 2.1 で,解析時に はスペックルノイズ低減のために Lee filter 処理を付加している.

# 2.3.3 PALSAR-2 が捉えた千曲川流域の氾濫域

本項では、上記の千曲川流域と対象とした発災後の観測の結果を、表2.3.2 に示す昨年の 同シーズンの観測を発災前として比較しながら確認する.この観測は、観測軌道の条件が解 析対象の発災後の観測とは異なる.図2.3.2 は霞提からの堤内地への流入があった千曲市 埴生・屋代地区の発災前後の状況を示す. 図は後方散乱係数(dB値)を示したもので青色 が濃くなるほど散乱係数が小さいことを表す.水面では鏡面反射を起こすため,衛星に戻っ てくる後方散乱成分が少なくなる.つまり散乱が小さい領域は河川,湖沼,圃場などの水域 であるか,内水や外水による浸水域であることも疑われる.発災後のレーダー画像前後とも に建物が密集していることから散乱係数は全体的に高くなっている.ただし,画像中央の新 田用水・尾米川・伊勢宮川の集中する埴生中学校付近では発災後画像は浸水によるものと思



左: 2018/10/24 の観測

右:2019/10/13の観測

図2.3.3 発災前後の長野市北部地区のレーダー画像比較



図 2.3.4 発災前後の飯山市周辺のレーダー画像比較

われる低散乱の箇所が所々みられる. 図 2.3.3 および図 2.3.4 は,それぞれ大規模な浸水 となった長野市穂保地区および飯山市周辺の発災前後のレーダー画像比較を示す.発災後 は長野市穂保・赤沼・豊野地区の浸水,飯山市常盤地区での浸水,飯山市木島地区と隣の木 島平村樽川沿いの浸水,中野市蓮地区の浸水と対応した散乱係数の低下が確認できる.

# 2.3.4 上田市付近での千曲川の流路変化

本項では、千曲川の砂州地形の応答の一旦として現れた流路変化について、上田市中心街 付近を例にとり解析結果を確認する.発災直後となる13日の観測結果は水位が高く、河川 の堆砂状況等は判読が困難だったが、その次の観測が行われた15日には水位も低下してい たことから、15日の画像では発災前後での砂州地形の移動・形成および流路の変化が認め られた.明瞭に変化が確認できる上田市中心街付近で行った解析結果について、図2.3.5に 示す.発災前後で観測諸元が異なり、全体的なレーダーへの後方散乱の状況は異なるものの、 流水部に関しては発災の前後共に低散乱となるため、低散乱部が暗色となるよう強調表示 した.発災前は蛇行した流路が観察できる.常田新橋直下では流路は右岸寄りに存在し、上 田駅までの間で凸部の堆砂に沿って蛇行し、上田橋の直下では再び右岸側に寄っているこ とが確認できる.一方で発災後は常田新橋直下には中州が発生し、それを挟んで両側に流路 が存在する.発災前に右岸側から見て凸状の流路があった箇所では、左岸側に土砂が堆積し、 流路は両岸のほぼ中央に位置する.落橋の発生した別所線の鉄道橋直下では流路は左岸側 に寄ったことが確認できる.



図 2.3.5 発災前後の上田市中心街のレーダー画像比較

### 2.3.5 長野市穂保地区の浸水深推定

本項では、レーダー画像の前後比較により浸水範囲を求め、地盤高の情報と照合し浸水深 を推定した結果を示す.図2.3.6は発災前後画像の加色混合処理を行い、浸水域を判読した 結果を示す.加色混合処理は、それぞれ単バンド画像である発災前後のレーダー画像をカラ ー画像の赤色のバンド、および青・緑のバンドに割り当てたものである.発災前後の画像間 で変化のなかった箇所は白色になり、水域化した箇所は散乱係数が非常に低いため青・緑バ ンドの値は低く、赤色が卓越する.GIS(地理情報システム)上で穂保地区の長沼体育館近 くの堤防決壊箇所周辺から、水域化した箇所の判読を開始し、千曲川支流の浅川や鳥居川が 流れる豊野地区周辺まで包含した水域を囲ったポリゴンを作成した.その後、この浸水域ポ リゴン辺縁の地盤高データ(DEM)を参照した.



図 2.3.6 浸水域判読

これらはつまり,浸水域境界の地盤高であり,それらの平均値を浸水域ポリゴン内の仮想水 面高とした.この仮想水面高と地盤高の差を推定浸水深として求めた.その分布を図2.3.7 に示す.ここで,図中の〇は当調査団による浸水痕跡調査および山口大学山本晴彦教授らの 浸水痕跡調査の結果を,浸水深分布と同様の浸水深階級で表示したものである.千曲川から



図 2.3.8 実測浸水深と推定浸水深の対応

西側に向かうほど地盤高は低くなるため,浸水深が大きくなることが分かる. 実測値も概ね その傾向を表している. 特に長野新幹線車両センターのある箇所では浸水深は 4~5m 程度 であったことが分かる.



図 2.3.9 仮想水面高と実測浸水位の差分

衛星画像から推定した浸水深の定量的な評価を行うために,実測値との比較を行った.図 2.3.8に衛星実測浸水深と推定浸水深の適合性を示す.横軸は衛星画像による推定浸水深で, 縦軸は実測浸水深である.この図面に傾き1:1の二等分線が描かれている.この線上にデー タがプロットされれば両者の数値は一致していることになり精度が良好であることを意味 する.この図よりデータは概ね二等分線上に集まってはいるものの,散らばりも見受けられ る.実測値と推定値の平均の相対誤差は24%であり,また平均の誤差値(絶対値)は40cm 程度であった.これは二等分線から離れたところにあるデータが平均の誤差値を大きくし ているものと考えられる.

図2.3.9 に実測浸水位から仮想水面高を引いた差を示す. 浸水深が2mより大きい箇所 では本解析による推定はよく実測に対応している. 浸水が浅い箇所では推定値が実測値に 対して低く見積もられている.これは,図2.3.9から確認できるように,浸水範囲の上流側 や,下流側でも支流浅川の左岸側の一部で仮想水面高が低く見積もられていることが影響 している.これらの誤差の原因として水面の勾配を水平と仮定していることや,場所により 最大痕跡を残した時刻が異なることが挙げられる.

(朝位孝二,白水元)

# 参考文献

- 1) 気象庁長野管区気象台:https://www.jma-net.go.jp/nagano/(2020.05.17 確認)
- 2) 林義晃,手計太一,橋本彰博,永島健:平成29年7月九州北部豪雨の被災流域における各種レーダデータの面積雨量に関する比較検討,第26回地球環境シンポジウム講演 集,pp.15-19,2018.
- 3) 国土交通省ホームページ: 令和元年東日本台風(台風 19 号)による対応 記者発表資料,

http://www.hrr.mlit.go.jp/bosai/index.html (2020.05.17 確認)

 4) 長野県浅川改良事務所資料:令和元年(2019年)10月12日(土)~13日(日) 台風 19号に伴う浅川第三排水機場の洪水警戒堆積及びポンプ稼働の実績.

# 第3章 洪水流下特性および河道内地形変動

# 3.1 洪水流下特性

# 3.1.1 千曲川の河道特性

図 3.1.1 と図 3.1.2 に千曲川の平面図と河幅縦断分布を示す. 犀川合流点より上流の河 幅は 400m~500m 程度であるが, 犀川合流点下流部では 1,000m を超える. そして, 立ヶ花 狭窄部で河幅は 120~450m 程度にまで減少する. その下流の飯山盆地では再び河幅が拡が り,約 950m に達した後, 戸狩狭窄部で 150~300m 程度に減少する. このように, 千曲川は 盆地と狭窄部を交互に流れるため, 河幅の縦断変化が大きい.






# 3.1.2 観測水位データに基づいた今次洪水の流下特性の実態把握

観測降雨,観測水位に基づいて,洪水の実態把握を行った.なお,以下に示すデータはい ずれも暫定値であるため,今後見直される可能性があることに注意されたい.

# a) 観測水位ハイドログラフ

図 3.1.3 に千曲川上流に位置する塩名田観測所と生田観測所の降雨ハイエトグラフを, 図 3.1.4 に各水位観測所における水位ハイドログラフを示す. 千曲川の今次洪水では,各 観測所で HWL 程度または HWL を超える高さまで水位が上昇している. 洪水継続時間は, 上流の生田観測所と杭瀬下観測所では概ね1日程度であるが,立ヶ花観測所,柏尾橋観測所 では半日程度長くなっており,洪水流下に伴う水位波形の変形が明確に現れている.また, 生田観測所の降雨ピークと,各観測所の水位ピークとのタイムラグは,生田観測所(108k) で約2時間,杭瀬下観測所(82.4k)で約4時間,立ヶ花観測所(51.5k)で約10時間,柏尾 橋観測所(25.3k)で約13時間であった.



### b) 水位縦断分布

図3.1.5に、洪水痕跡水位と堤防高の縦断分布を示す.この図から、今次洪水はほぼ堤防 満杯で流下したことが明らかである.痕跡水位を見ると、60~80k では水面勾配は概ね 1/1,000 程度である.一方、立ヶ花狭窄部より上流側の長野盆地部 52~55k では、水面勾配 はほぼ水平となっている.これは、立ヶ花狭窄部による背水によるものと推察され、その影響は 58k 付近まで及んでいる.

図3.1.6に、立ヶ花狭窄部上流の観測水位、洪水痕跡水位、堤防高の縦断分布を示す.この区間では、左右岸あわせて4箇所で堤防からの越水が生じ、左岸57.5k付近では堤防が決壊した.53.5kと56.9kには危機管理型水位計が設置されており、ピーク付近の水位が観測されている.危機管理型水位計による観測水位は、立ヶ花観測所と同様、洪水痕跡水位と概ね同じ高さを示している.今後精査が必要であるが、危機管理型水位計は、洪水水面形の時間変化や、流量規模を把握する上でも有益な情報を与えると考えられる.





**縦断距離(k)** 





## <u>c)</u>千曲川の洪水流下特性を踏まえた今後の避難行動への活用について

洪水は、河川に流入した降雨が下流に向かって伝搬する現象である.このため、通常、流 域に降った雨のピークと、上流と下流の河川水位のピークとの間にはタイムラグが生じ、流 域や河道のスケールが大きくなればその差は大きくなる.a)で示したように、千曲川の今次 洪水では、この傾向が顕著に現れており、降雨が小康状態となってしばらく経った後に、水 位がピークを迎えたこと、また、同じ河川でも洪水流下に伴って水位ピークに数時間のタイ ムラグがあったことが確認された.

これらを踏まえると、千曲川沿川地域では、降雨情報に基づいて避難がなされた後、その まま避難を継続すべきかどうかの判断等には、多点での水位観測情報が活用されるべきで ある.これには、従来の水位観測所での水位情報に加えて、2018(平成30)年以降に新設さ れた危機管理型水位計による観測水位情報が、重要な役割を果たすことが期待される.ただ し、計測精度の確保には細心の注意が払われるべきである.また、たとえ密な間隔でなくて も、縦断方向に網羅的な計測が出来るように設置間隔を見直し、必要に応じて移設或いは新 設することが望ましい.引き続き信頼できる水位データを縦断的に取得し、地域の避難行動 の判断に活用していくことが重要である.

(田端幸輔, 戸田祐嗣, 冨永晃宏)

### 3.2 河道特性

#### 3.2.1 千曲川の地形的特徴と砂州基本条件

千曲川は、急峻な山地から多数支川が流れ込む形で山地に囲まれた盆地を流れている.上 田盆地から長野市へ抜ける本川と松本盆地からの犀川が合流し長野盆地を流れ狭窄部を経 由し信濃川となる.図3.2.1は、3~72時間降雨量を更新した地点を示し、棒グラフでおお よその雨量規模を記している.この図に示すように、今回の雨は、松本盆地ではなく上田盆 地側の山地部で多く降り、多くの雨量観測地点で12時間、24時間降雨量を更新した.この ため、支川の犀川の流域より本川側の上野盆地等で多くの被災が確認されている.なお、千 曲川は災害経験が多く、今も多数の痕跡が残されている.

図 3.2.2 に国土交通省北陸地方整備局から提供された資料から河床縦断方向の平均河床 高,堤防高等と確認された被災状況,場所を示す.この図を見ると,勾配によって災害状況 が大きく変化しているのが分かる.特に,急こう配の区間は,護岸の被災が多く起こってい る一方で,勾配が緩やかな 80km 付近から下流域では護岸の被災ではなく溢水が多く発生し ている.参考に,下流部の長野市の破堤現場,中流部の上田市諏訪形地先堤防欠損地点(以 下,堤防欠損地点),上流部の佐久市中込地区の破堤現場を例として,(株)Pascoおよび名城 大学准教授藤井幸泰氏から提供を受けた空中写真を図 3.2.3~5 に示す. これらを見ると, 勾配が急な上流域と緩やかな下流域では、破堤口とその周辺の状況が大きく異なっている のが分かる.穂保地区の堤防は高さ5m程度であり、破堤口の幅は70mであった.この区間 は河道も堤内地も勾配が緩いため大量の水が破堤口から流出し, 広域が水没している. 一方, 佐久市の滑津川の破堤現場は河道も堤内地も勾配が急であり,わずか 10m 弱の川幅であっ たが,破堤幅は 200m 近く広がり,周辺の堤内地には河川から巨礫の氾濫が確認された.活 発な土砂移動が起こった痕跡はあったが,穂保地区に比べ水深は深くはない.つまり,上流 域、下流域では河道内の流れ、破堤口から出た氾濫流ともに、水深、土砂の流れ、流速等の 特徴が異なっていたことが容易に予測される.なお,これらのデータは,名城大学自然災害 リスクセンター(NDRR, 代表者:名城大学教授 小高猛司氏)の活動の一環として小高猛 司氏,藤井幸泰氏らと共に行った現地踏査時に取得したものである.

こうした氾濫が発生した地点の中間にある上田市の堤防欠損地点は、出水流量のピーク 時間帯に河道全体で土砂が活発に動き、川幅全体で砂州が形成されたことにより、流量低減 の際に流れが川岸に集中したことが被災の要因と考えられる現象であった.

ここで,長野市穂保地区周辺と上田市の堤防欠損地点周辺の河道条件について,航空写真, 過去の粒径データ,図3.2.2 などからおおよその値を読み取った概算値を表3.2.1 に示す. この値を用いて,千曲川の穂保地区および上田市の堤防欠損地点,それぞれの基本高水流量 と整備流量,および今回の出水ピークに近い流量などで砂州の発生状況を確認すると,図 3.2.6 のようになる.この図より,大きな流量であれば上田地区の河道では交互砂州の形成 条件に入ることが分かる.なお,既往の研究によって実験と現地の状況は中規模河床形態の 発生領域区分図<sup>1)</sup>から説明ができることがわかっている.また,池田らの経験式<sup>2)</sup>を用い て各流量で形成される砂州波高を求めると,図3.2.7となり,流量がある程度多くなると, 大きな波高の砂州が形成することがわかる.ただし,砂州の発達にはある程度の時間がかか るため,出水時に各流量に応じた河床形態の変化が起こるわけではなく,これまでの変化の 履歴として残っている形状に依存し,流量にみあった河床形態への変化が起こると考えら える.



図 3.2.1 千曲川流域と降雨記録更新地点(気象庁データから整理)



図 3.2.2 千曲川の河床,堤防高等縦断変化と護岸,溢水位置



図 3.2.3 千曲川穂保地区破堤地点付近の様子((株) Pasco 提供)



図 3.2.4 千曲川上田市堤防欠損地点の様子((株) Pasco 提供)



図 3.2.5 千曲川佐久市破堤地点付近の様子(名城大学藤井幸泰(NDRR)提供)

	勾配 I	代表粒径	低水路幅B
		$d_{\rm m}({\rm mm})$	(m)
穂保地区	1/1000	0.0006	500
上田地区	1/200	0.065	200

表 3.2.1 各地点河道条件概算值



図 3.2.6 中規模河床形態領域区分図<sup>1)</sup>と 千曲川の穂保地区および上田地区における発生状況



### 3.2.2 千曲川上田地区堤防欠損地点周辺のこれまでの変化

2019(令和元)年の台風 19号で堤防欠損し落橋が発生した上田地区では,被災前は樹木 が繁茂し高水敷化した砂州があり,低水路内に小さな砂州が形成された状態であった.しか し,今回の大出水を受け,低水路内の小さな砂州ではなく,高水敷化していた砂州を基盤と した河床変動が起き,再び動き出したと考えられる.

前項で示した河道条件も踏まえ,高水敷化した砂州の変遷,および周辺のこれまでの動き について調べるため、国土地理院の航空写真、WEB上の EO-Browser で公開されている Sentinel-2の衛星写真, Pasco 社から提供された航空写真を整理し、図3.2.8 に示す.これに よると、1965(昭和 40)年に川幅全体で大きな砂州ができており、その砂州の上には植生 域が確認される.1975(昭和 50)、1978(昭和 53)年にはそれが拡大し密集した状況である が、1986(昭和 61)年には河道中央にあった砂州上の植生域はほとんど消えたことが確認 される.このときの状況が、今回の出水後の堤防欠損地点上流部に類似している.なお、1986 年の写真上は一部河岸付近に植生が残っており、それが徐々に拡大し、2001(平成 13)年 に帯状や大きな塊となっていること、その後の 2015(平成 27)年は砂州がほとんど植生域 で覆われ高水敷化していることが分かる.この際、河床変動している領域は樹林化していな い部分に限定されていると考えられ、その領域にあたる低水路部分には小さな砂州が存在 し、徐々に動いているのが 2015年以降の写真で確認できる.

ただし、このような状況は 2019 年台風 19 号の大出水を受け一変し、少なくとも流路幅 が狭い区間は低水路幅全体が動き再び大きな砂州が存在している.

このような出水時の変化は,河道条件による砂州形成のポテンシャルや過去の履歴で残っている高低差が現象を支配する可能性があり,その点を踏まえ,次節の河床変動解析で検討する.

(溝口敦子)



図 3.2.8a 上田地区堤防欠損地点周辺における砂州の変遷



図 3.2.8b 上田地区堤防欠損地点周辺における砂州の変遷

### 3.3 流路変動解析

#### 3.3.1 上田市堤防欠損地点における流路変動の状況

台風 19 号に起因する豪雨により、千曲川では大規模出水となり、河道内では流路が大き く変動した.特に、上田市においては、流路変動によって堤防が侵食を受け、上田電鉄鉄道 橋(KP104 付近)が落橋するに至った.ここで、図 3.3.1 に Sentinel2 衛星 <sup>3)</sup>から得られる 上田市近傍における洪水前後の正規化差植生指数 NDVI 画像を示す.3.2 でも示したように、 千曲川上流は、長年の土砂採取等の影響により澪筋が固定化し、高水敷と低水路の比高差が 大きくなる、いわゆる二極化状態にあり、図 3.3.1a に示すように固定化された砂州上には 河畔林が密生した状態にあった<sup>4)</sup>.一方、3.2 に記した過去の状態や河道条件をもとに中規 模河床形態の発生状況を確認すると、本洪水により、交互砂州に起因した流路が大きく変動 し、高水敷の植生が流出するなど、河道内の状態が大きく変化したことが予測される.

堤防欠損地点は、出水前は蛇行している低水路の内岸に当たる植生域側に位置し、 その対 岸側が水衝部であった. しかし, 出水時に起きた砂州や流路の変動によって水衝部の位置が 変化し,堤防を侵食したと考えられる.堤防欠損は 10 月 13 日朝 7 時 35 分ごろに発生した ことが国土交通省北陸地方整備局のライブカメラ映像から分かっている. 図 3.3.2 に示す 水位変化にその時間を当てはめて見ると、ピークが過ぎたころに洗堀が発生し、図3.3.3~ 4に示す写真から出水後に現象は徐々に進んでいたことが確認できる. また, 10月23日の 踏査時の写真を確認すると線路付近に残っていた堤防天端の道路部分が消滅しているため, 14 日以降も側方侵食が上流側に進んだ可能性が高い. 落橋が水位のピーク後におきたこと, その際,植生域が消失し新たな砂州が確認されたこと,さらに3.2.2の河道条件時の領域区 分を踏まえると、植生におおわれ陸化していた領域が出水で水位が上がるとともに河床変 動領域に取り込まれ, 植生繁茂前に明確な砂州域であった河道幅全体での凹凸, つまり河道 幅全体で形成,発達していた砂州形状が基盤となる変化が起きたと考えられる.そのプロセ スで, 河岸侵食や流路変動が急速に進行し, 左岸側に深掘れ部が発生したと推察できる. 特 に,着目すべきなのは,流量ピーク時にできた大きな砂州を基盤として流量低減時に形成さ れた流路が、側方侵食を助長し、流量低減してからも徐々に現象を進めていることである. このように長年固定化、樹林化し固定していた砂州が、出水時に進行、拡大、もしくは侵食 され、災害の原因となることは河川管理上大きな問題であり、河道変化と堤防侵食への影響 について分析する必要がある.そこで、本節において、本洪水イベントに誘発された河床・ 河道変化を数値計算モデルにより再現し、出水時の流路変動特性について明らかにするこ とを試みる.



図 3.3.1 千曲川上田市付近の出水前後の正規化差植生指数. a) 出水前(2019年 10月10日),およびb) 出水後(2019年10月28日)



図 3.3.2 千曲川各水位観測所における出水時の水位変化



図 3.3.3 10 月 13 日の様子(㈱Pasco 提供)



図 3.3.4 10 月 14 日の様子(北陸地整提供資料より)



図 3.3.5 堤防欠損地点を左岸から望む(10月 26日の様子)

# 3.3.2 数値計算モデルと計算条件

流路変動解析には、河川解析ソフトウェア iRIC に同封されている Nays2DH<sup>5)</sup>を用いた. 本モデルは、本研究で対象としているような砂州と流路変動、側岸侵食への適用例が多く、 適切な計算条件、パラメータの設定の下、出水時に見られる流路変動を合理的に表現できる <sup>6)</sup>. 計算モデルの詳細は、文献等 <sup>5,6)</sup>を参照いただくこととし、以下に概略を示す.本モデル では、流れは一般座標変換された二次元非定常浅水流方程式により計算される.抵抗則につ いては、マニング則により与え、植生の影響については、別途植生密生度を与えて、植生抵 抗を考慮する.なお、計算上の密生度の具体値は後述する.また、ここでは掃流砂による河 床変動を扱い、浮遊砂の影響は無視する.掃流砂は、全流砂量を芦田・道上式により求め、 横断方向流砂量については、渡邊の式を用いる.二次流の算定については、二次流強度の発 達と減衰を考慮したモデルを用いている.また、河岸侵食を考慮するために、斜面崩壊角度 を設定し、計算上ではこれを超えた角度を持つ斜面を崩落させるものとしている.なお、こ こで対象としている現象では、植生の流失を考慮する必要がある.ここでは簡単のため、初 期河床よりも、0.3m河床低下した場合に植生が流出するものとした.

計算範囲は、KP102.5-107.5(およそ図3.3.1に示す区間)としている.初期地形について は、砂州等の地上部を2013(平成25)年測量のLPデータより与え、LPデータで欠測して いる水面下については、2017(平成29)年測量の横断測量データにより与えている.上流 端に与える流量については、本計算領域よりも下流に位置する杭瀬下地点における水位観 測データを水位-流量曲線により変換した暫定ハイドログラフ(ピーク値5869 m<sup>3</sup>/s)を用 いた.粗度係数については、計画粗度を参考に0.034を計算領域全体に与えている.これは、 河床・河道変動により低水路・高水敷の様相が計算中に大きく変化するためである



図 3.3.6 ピーク水位時における計算水位と痕跡水位の比較.水路中心での比較とする ために、痕跡水位は左右岸の観測値を平均したものを用いている.

が,設定値により図3.3.6のように痕跡水位を概ね再現できることを確認している.河床材料は均一粒径とし,対象区間の50%粒径である64 mmを与えた.なお,KP106付近に見られる露岩部,並びに航空写真から判断できる護岸部については,固定床として扱っている. 植生密生度については,データがないため,ここでは航空写真から判断される領域について密生度0.01 m<sup>-1</sup>を試行的に与えた.

3.3.3 数値計算結果と考察

図3.3.7に計算された河床・河道変動の時間変化を示す.図中の計算結果は,流量ハイド ログラフに示す時間における河床変動量を意味しており,図3.3.7aはピーク時,また図 3.3.7cは落橋したおよその時刻における計算結果である.また,図3.3.8に計算終了時点 における河床形状の陰影図と水域部を示す.この図より,計算結果は,図3.3.1bに示す砂 州の形状変化や水衝部の変化を定性的に表現できていることがわかる.

次に計算結果について砂州と流れの時間変化から堤防欠損との関連を考察する. 図3.3.8 に示すように、従来交互に形成されていた砂州が、洪水流と土砂移動によってピーク流量時 点で下流側に移動をしていく様子がわかる.この砂州の移動と流路変動、並びに河岸侵食の 関係についてより詳細に検討するために、図3.3.9 に流れの変化と横断面における最深河 床位置の変化を示す.図3.3.9a に示すようにピーク流量時点においては、流れは流路幅全 体にわたって直線的に流れており、最深河床位置も洪水前に形成されている澪筋に沿って



図 3.3.7 計算された河床変動過程



図 3.3.8 計算終了時における河床の陰影図と水域.図中の白実線は、対象とした区間 の千曲川に係る橋の位置を示している.

いる.この時点では、堤防欠損地点から見ると主流路は河川の中央部に位置している.一方、 流量の低下に伴い流線は大きく蛇行しはじめ、最深河床位置が下流に移動しつつ、堤防に近 づいていく様子がわかる(図3.3.9b, c).この時、図3.3.10に示すような川幅全体にわた る大規模な砂州が発達しており、これが流れの蛇行と集中を誘発し、河岸を侵食したと考え られる.また、流量低下に伴い流れの直進性はさらに低下し、砂州により形成された深掘れ 部に流れが集中しやすくなり、侵食力の強い流れを長期間生じさせることで、結果として大 規模な側岸侵食を誘発する<sup>6.7)</sup>.この点について明確に示すために、図3.3.11に図3.3.7と 同じ時系列における流線と無次元掃流力を示す.図からわかるように、流量の減少とともに



図 3.3.9 流れと横断面内における最深河床位置の時間変化. 流れ場は, 水深コンター と流線により可視化している. また, a-1), b-1), c-1)における〇は横断面内における 最深河床の位置を表しており, a-2), b-2), c-2)はその縦断図を示している.



図 3.3.10 流量減衰時に発達する砂州と流れの様子.川幅スケールの砂州が発達し, それにより強い蛇行流が形成されている.

流線の蛇行が顕著となり、流線が集中する箇所で無次元掃流力が大きくなっていくことが わかる.このような砂州による蛇行流の発達と無次元掃流力の増加は主流部において比較 的大きな掃流力が長時間継続することとなり、堤防欠損地点に固定化されていた左岸側の 砂州を侵食し、落橋が確認された図 3.3.7cの時刻においては、新たな水衝部へと変化して いることがわかる.

### 3.3.4 減衰期の流量低減状況の重要性

上述のように、流量減衰時には流路変動が特に進行しやすいことは以前から指摘されて いる<sup>8)</sup>. この点について詳しく考察するために、図 3.3.12 に示すように本洪水のハイドロ グラフを基準として異なる流量減衰過程となる三つのハイドログラフに用いて計算を行っ た. すなわち、ハイドログラフとして 1)本洪水における実績ハイドログラフ、2)減衰時間が 短いケースとして 2013 年における千曲川洪水 (ピーク流量 3073m<sup>3</sup>/s)のハイドログラフを ピーク値が合うように引き延ばしたもの、および 3)減衰時間が長いケースとして、本出水 における流量減衰時間を 1.5 倍に引き延ばしたもの、を用いた. これらのハイドログラフを 通水後に得られた河床変動計算結果を図 3.3.13 に示す. 図より、減衰時間が長いほど落橋 が見られた地点の侵食幅が大きくなっており、減衰時間が大きな影響を持つことがわかる.



図 3.3.11 計算における流線と無次元せん断力の時間変化. 図に示す時刻は,図 3.3.7 と同様である.



図 3.3.12 流量減衰時間を変化させた計算におけるハイドログラフ



図 3.3.13 流量減衰時間を変化させた場合の流路変動の応答

一方,減衰時間が短い場合は,侵食幅は実績ハイドログラブの場合と比較してかなり小さい ため,本出水における減衰過程の長さが,侵食被害を大きくした可能性がある.

このような洪水流の変化に伴う砂州の変化,及びそれに誘発される固定化されていた比 高差の大きい砂州の侵食によって,流路が大規模に変動し,堤防侵食と落橋につながったと 考えられる.

# 3.3.5 まとめ

本節では、2019(令和元)年出水時に千曲川上田市付近においてみられた流路変動につい て二次元数値計算モデルによってその再現を行い、本洪水に起因する堤防欠損、落橋との関 連性について考察した.計算結果より、洪水流によって形成されていた砂州が発達、前進し、 それにより水衝部が大きく変化することで、従来砂州の堆積側であった堤防が侵食を受け、 落橋につながったと推測された.千曲川における砂州は、長年固定化され、植生が密生して いたものも多く、河道はいわゆる二極化状態にあった.しかし、ひとたび大規模出水が発生 すれば、急流河川特有の激しい侵食力により砂州や流路が大きく変動し、堤防侵食や落橋と いったリスクを引き起こすことが本検討で改めて示された.

数値計算結果は、定性的には現象を再現している一方、砂州の移動や流路の切り替わりを 過小評価している傾向にある.これはデータ不足によるかもしれないが、現象の再現に決定 的である河岸侵食モデルの精度による可能性もある.河岸侵食モデルの精度は、固定化され た比高の高い砂州からの土砂供給量の推定精度にも影響する.河岸からの土砂供給はその 下流における流路変動にも大きな影響をもつことから<sup>9</sup>,これらの視点を踏まえて流路変動 機構についてさらに検討する必要がある.

(岩崎理樹, 溝口敦子)

#### 3.4 河道の被災ポテンシャルの簡易推定

確実な災害対策の実施にあたっては、どのような河道のどこが注意すべき場所なのかを 適切かつ簡便に推定できることが望ましい.本節では、まず、常用される川幅水深比を用い た河道の被災ポテンシャルの評価の可能性について調べ、次に、3.3 で実施した計算負荷が 大きな河床変動解析の代わりに、比較的簡易な水理解析のみから河道の被災ポテンシャル を簡便に予測できないかについて検討した.

#### 3.4.1 川幅水深比に基づく被災ポテンシャルの推定

特徴的な災害が発生した穂保地区,上田地区を含む千曲川直轄区間の 51.5 km から 109.5km までの約 60 km の区間における砂州の発生,発達に関する水理量を連続的に把握す ることを目的とした解析を実施した.水理量の把握にあたり,定期横断測量の断面形状をそ のまま水理解析に反映できる一般断面の一次元不等流計算を

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{gnQ^2}{R^{4/3}A}$$
(3.4.1)

と記述される方程式<sup>10</sup>を用いて実施した.ここで,Qは流量,Hは水位,Aは流積,Rは径深, nは粗度係数である.この不等流計算には2017(平成29)年度に測量された横断面形状を用 いた.不等流計算の流下方向の断面間隔は,定期横断測量の実施間隔と同じ500m間隔と し,河床材料は51.5kmから80.0kmまでは20mm,80.0kmから109.5kmの区間は20mm から70mmへ1次関数で変化させた.これらの条件の下で,2000m<sup>3</sup>/s,4000m<sup>3</sup>/s,8000m<sup>3</sup>/s のそれぞれにおける水理量の推定を行なった.

図3.4.1,図3.4.2にそれぞれ3つの流量における水面幅B,一般断面における平均水深である径深R,フルード数Fr,水面勾配iw,無次元掃流力τ,川幅水深比を示した.水面幅Bについては、下流端から65km地点までは800m程度、それより上流の区間においてはいずれの流量においても500mの水面幅となることがわかる.104kmの堤防欠損地点付近での水面幅Bはその前後の区間と比べると2倍程度の水面幅となることが分かった.径深Rについては、平常時と比べると,8000m<sup>3</sup>/sにおいては6から7mほども水深が増加することが分かった.また、104kmの前後については、径深Rの増加率は他よりも小さいことが分かった.また、104kmの前後については、径深Rの増加率は他よりも小さいことが分かった.Frについては、不等流計算を実施した区間の中で相対的に水面幅Bが大きな65kmよりも上流区間となるほど増加する傾向にあり、流量の規模に依らずおおむね0.4から0.8程度の範囲となることが分かった.水面勾配iwについては、65kmよりも上流区間となるほど増加する傾向にあり、流量の規模に依らずおおむね0.4から

図 3.4.1 の下段に 3 つの流量における上記の不等流計算から得られる水理量を用いて算 定した川幅水深比を示した.同図中の川幅水深比は黒木・岸<sup>1)</sup>が提案している*BI*<sup>0.2</sup>/*h*<sub>0</sub>を用 い,河床勾配*I*<sub>0</sub>については水面勾配*i*<sub>w</sub>,水深*h*<sub>0</sub>については一般断面の平均水深を表す径深*R* 



図 3.4.1 流量ごとの河道の幾何学的形状などの縦断分布(上段:不等流計算による水位, 中段 1:水面幅 B, 中段 2:径深 R, 下段:黒木・岸の川幅水深比)

を用いた *Bi<sub>w</sub>*<sup>0.2</sup>/*R* としたものを用いた.まず,流量が 2000 m<sup>3</sup>/s の時の*Bi<sup>0,2</sup>*/*R*については, 解析した全区間を通して 40 程度となり,流量が 8000 m<sup>3</sup>/s の時の*Bi<sup>0,2</sup>*/*R*は 20 から 30 程度 まで低下することが分かった.このうち,越流破堤が発生した長野市穂保の 57 km 地点の *Bi<sup>0,2</sup>*/*R*は,2000 m<sup>3</sup>/s の時に 70 強,8000 m<sup>3</sup>/s の時には 30 程度に減少することが分かった. また,大規模な河岸侵食が発生した上田市諏訪形の 104km 地点は,流量の規模に依る *Bi<sup>0,2</sup>*/*R*の変化の規模は小さく,2000 m<sup>3</sup>/s と 8000 m<sup>3</sup>/s のいずれにおいても 30 から 40 程度 となることが分かった.

河道の特性のうち,砂州などの中規模河床形態についてはしばしば川幅水深比を用いて 評価される.前述の通り,越流破堤が生じた 57 kmの前後の区間と 104km の前後の区間に おける算定されたBi<sup>0,2</sup>/Rは,どちらも 8000 m<sup>3</sup>/s の時は 40 程度と同規模である.しかし, 2019(令和元)年の出水時における両区間での砂州の挙動は全く異なった. BI<sup>0,2</sup>/h<sub>0</sub>は平坦 床からの砂州の発生・非発生の判断指標として提案されたものであり,砂州の変形や移動の 有無の判断にBI<sup>0,2</sup>/h<sub>0</sub>は適さないことが示唆される.



図 3.4.2 流量ごとの各種水理量の縦断分布 (上段: *F*,数,中段:水面勾配*i*<sub>w</sub>,下段:無次元掃流力*τ*<sub>\*</sub>)

## 3.4.2 河床形状の移動速度に基づく被災ポテンシャルの推定

本節では、河床位に関する双曲型方程式における河床形状の移動速度を用いた被災ポテンシャルの推定を試みる.

本節では、河床形状についての双曲型の偏微分方程式における移流速度を用い、3.4.1 で 不等流計算を実施した 51.5 km から 109.5 km の区間における河床形状の移動速度の推定を 行なった.この推定に用いた河床形状の双曲型の偏微分方程式は、河床形状の流下や変形を 水面波などの同様の波動現象と見做し、一般的に用いられる河床の土砂の連続の方程式を 数学的に等価となるように、

$$\frac{\partial z}{\partial t} + M \frac{\partial z}{\partial x} = -i_e M \tag{3.4.2}$$

と記述される双曲型の偏微分方程式へ変形したものである.この方程式の移流速度 Mは,

$$M = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{1}{2}}\sqrt{sgd^3}}{sd(1-\lambda)\left(1-\frac{4}{9}F_r^2\right)}i_e$$
(3.4.3)

と記述され,無次元掃流力 $\tau_*$ ,フルード数 $F_r$ ,エネルギー勾配 $i_e$ の3つが支配変数となる. ここで,zは河床高,Mは河床形状を波動と見做した場合における移動速度, $i_e$ はエネルギ ー勾配である.

本検討では、同式中の M を用いた河床形状の移動速度の規模の空間分布と、移動速度 M



図 3.4.3 流量ごとの河床形状の移動速度 M(上段)と 水面勾配i<sub>w</sub>と径深Rの積と移動速度 Mとの関係(下段)

に対して支配的な影響を及ぼす水理量について調べた. なお,河床形状の双曲型の方程式は, 平面 2 次元の方程式についても導出している<sup>11)</sup>が,流下方向とその法線方向とではエネル ギーの規模が 1 オーダーほど小さく無視しても差し支えがないことを確認している. この ため,本検討では1 次元の方程式を用いることとした. また,土砂の連続の方程式と双曲型 の方程式のそれぞれを用い,交互砂州の発生と発達についての模型実験の再現計算を実施 し,双曲型の方程式を用いても一般的な土砂の連続の方程式と同等の精度解析を得られる ことについても確認している.

図3.4.3の上段に3つの流量における河床形状の移動速度 M を示した.まず,2000 m<sup>3</sup>/s, 4000 m<sup>3</sup>/s,8000 m<sup>3</sup>/sのそれぞれの流量における移動速度 M は,51.5 km から 80 km あたり までの区間では 0.002 m/s 程度と非常に緩慢であることが推定された.特に,51.5 km から 60 km 付近の区間における移動速度 M は極めて緩慢な値となることが示された.このこと は,越流破堤に至った 57 km の地点の前後では,大規模な河岸侵食が発生した 104 km 前後 の区間と比べ,出水後の砂州の変形はわずかだったことと一致する.一方で,80 km よりも 上流の区間での移動速度 M は 0.02 m/s 前後となり,それよりも下流区間よりも 1 オーダー 大きな値であることが示された.移動速度 M は上流に向かうほど増加する傾向となること が示され,流量の規模が大きくなるほど移動速度 M の値は無次元掃流力 $\tau_*$ と水面勾配 $i_w$ の 増加に応じて増大することが推定された.ただし,104 km 付近の移動速度 Mに着目すると, その前後の区間と比べて 50%以上も移動速度 M の値が小さく,流量の規模に依らず 0.01 m/s 程度に留まることが示された.このことは,20年ほどにわたりこの付近の左岸側の砂州の 変形や移動は僅少だったとの報告と一致する.104 km 付近における移動速度 M が小さくな った理由としては,この付近の水面幅は前後の区間より広く,このために径深 R は流量の 規模に依らず小さく,これらの結果として水面勾配 $i_w$ が前後の区間より小さくなるためと



図3.4.4 台風19号の前後での澪筋位置、台風19号による澪筋の移動距離、移動速度



図 3.4.5 式 (3.4.3) で推定した河床形状の移動速度(図 3.4.3 上段の拡大図)

推測される. また, 104 km 付近の下流側と上流側における河床形状の移動速度は相対的に 大きく, 104 km 付近の大規模な河岸侵食の要因は, その下流側と上流側の両区間において 河床変動が前駆的に開始したことが要因の一つとして推測される.

図 3.4.4には,航空写真から判読した,台風 19 号の前後での 102 km から 105 km におけ る澪筋位置,台風 19 号による澪筋の移動距離,移動速度を示した.同図内の澪筋の移動速 度は,下流から 0.014 m/s, 0.010 m/s, 0.014 m/s, 0.008 m/s, 0.010 m/s である.これらの移 動速度は,台風 19 号の流量ハイドログラフを参考にして活発な土砂輸送が 15 時間程度持 続したと仮定して求めた.これらの移動速度と式(3.4.3)で推定した河床形状の移動速度 の比較を図 3.4.5 に示した.同図のとおり,実測値と推定値の値は非常によく一致すること が分かった.式(3.4.3)を用いることで実河川の河床形状の移動速度を良好に推定できる ことが示唆される.

移動速度 M のオーダーは、概ね河床勾配の規模となる<sup>12)</sup>ようである.このことを解析区 間の全体で把握するため、図 3.4.3 の下段に 3 つの流量における水面勾配i<sub>w</sub>と径深Rの積を 式(3.4.2)の河床形状の移動速度 M で除した(4i<sup>2</sup><sub>w</sub>R)/sdMを示した.分子側の係数に 4 を 含めたのは移動速度 M の理論式の係数である 4 を踏襲したためである.同図から分かるよ うに、いずれの流量における(4i<sup>2</sup><sub>w</sub>R)/sdMは、本解析の下流側に位置する狭窄区間がもたら す堰上げの影響が緩和したと考えられる 55 km よりも上流区間では、流量の規模に依らず 1 前後になることが分かった.少なくとも千曲川の直轄区間の河床形状の移動速度 M の概算 値は、(4i<sup>2</sup><sub>w</sub>R)/sdから得られるものと考えて良いようである.

#### 3.4.3 河道の被災ポテンシャルのまとめ

本節では、河道の被災ポテンシャルについて比較的簡便な水理解析を用いて推定できるかについて調べた.

砂州の発生と非発生の指標としてしばしば用いられる川幅水深比を直轄の全区間で算定 したところ,越流破堤した 57 kmの前後の区間と 104 kmの付近はその前後の区間では,ど ちらの区間も 8000 m<sup>3</sup>/s の時は 40 前後の同程度の値となった.しかし,本出水時における 両区間での砂州の挙動は全く異なるものであった.*BI*<sup>0.2</sup>/*h*<sup>0</sup>は平坦床からの砂州の発生・非 発生の判断指標として提案されたものであり,砂州の変形や移動の有無の判断に*BI*<sup>0.2</sup>/*h*<sup>0</sup>は 適さないことが示唆される.

河床形状の移動速度式を用い,河床形状の移動速度を直轄の全区間で推定した.このうち, 越流破堤した 57 km の前後の区間における河床形状は計画高水規模の流量においてさえも 変形や移動は僅少となることが示された.このことは,出水後の砂州の変形はごく僅かだっ たことと一致する.また,104 km の付近の河床形状の移動速度 *M* は下流区間よりも少なく とも 10 倍以上大きな値となることがわかった.このうち,104 km の近傍の移動速度 *M* は その前後に比べて河床形状の移動速度 *M* が 50%ほど小さいことが示された.このことは, 20 年ほどにわたりこの付近の左岸側の砂州の変形や移動は僅少だったとの報告と一致する. さらに,航空写真から判読した洪水前後での河床形状の移動速度の実測値と,理論式から推 定された移動速度の対比をしたところ,良好に推定できることが分かった.

移動速度 M の一連の成果を踏まえると、河床形状の移動速度 M を用いることで、河岸侵 食の発生可能性が高い区間の推定などの河道状態の把握が期待できる.また、砂州の形成に 伴う局所的な土砂堆積の洗掘にあたっては、移動速度 M を客観的指標として用いることで、 局所的な土砂堆積の前後の区間における影響を推定した上での計画的な浚渫ができる可能 性がある.また、大規模な河道改修により、現在の河道における水面勾配i<sub>w</sub>と径深Rの組み 合わせが現時点の値から大きく変化すれば、洪水時の河道の変形の挙動は現時点とは異な る可能性が示唆される.

現時点では,移動速度 M の妥当性の確認は,模型実験の結果を用いたものに限定される. 今後,移動速度 M の実河川における適用事例を増やすことで,移動速度 M を用いた河岸侵 食をはじめとする河道の被災ポテンシャルの把握や,計画的な河道管理の手法への発展が 期待できる.

(安田浩保)

#### 3.5 堤防破壊危険性

#### 3.5.1 今次洪水による堤防決壊,堤防欠損以外の堤防被害

表 3.5.1 に決壊, 欠損以外の堤防被害一覧を示す. 第3回堤防調査委員会による資料<sup>13)</sup> によると, 左岸 57.5k 付近の堤防決壊, 左岸 104.0k 付近の堤防欠損の他にも, 6 箇所で川裏 法崩れが, 2 箇所で堤体からの漏水が確認されている. その一例を写真 3.5.1 に示す. 川裏 法崩れの発生要因は不明であるが, 発生箇所はいずれも越水箇所と一致している.

表3.5.1 堤防決壊,堤防欠損以外の堤防被害一覧(参考資料<sup>13)</sup>を基に作成)

堤防被害	場所	
	右岸 48.5k 付近,右岸 56.5k 付近,	
川裏法崩れ	左岸 57.3~57.75k 付近,右岸 77.75k 付近,	
	左岸 78.25k 付近,左岸 79.5k 付近	
堤防漏水	左岸 78.25k 付近,左岸 82.0k 付近	



<sup>(</sup>a) 右岸 56.5k 付近(裏法崩れ)



₹法崩れ) (b) 左岸 78.25k 付近(堤防からの漏水) 写真 3.5.1 堤防被災の状況 <sup>13)</sup>

# 3.5.2 浸透による堤防破壊の危険性検討と堤防強化・河道整備の必要性

今次洪水における堤防の決壊(左岸 57.5k 付近),欠損(左岸 104.0k 付近)は、それぞれ 越水、侵食が主要因である可能性が高いと推定されている<sup>13)</sup>.しかし、もう少し洪水継続 時間が長ければ、堤体内浸潤線が更に発達し、裏法先を泥濘化させ、裏法滑りや堤防決壊 といった深刻な被害が発生していたかもしれない.また、川裏法崩れは、河川からの越流 水が堤防裏法を流れ落ちる際の高流速の発生によって崩れた可能性があるが、越水する前 の堤体浸透によって発生していた可能性もある.よって、川裏法崩れや漏水が生じた箇所、 狭窄部による背水が及び高水位が継続する区間では、堤体および基盤の土質・構造を把握 し、洪水時における堤体内浸透流の挙動を調べ、浸透による堤防破壊危険性を検討するこ とも重要である.

また,堤体浸透が進んだ状態で更に洪水位が高まり,天端からの越水が生じると,決壊の危険性が著しく高まることが予想される.このため,流下能力不足区間で,堤防からの

越水が発生する危険性のある箇所では,耐越水性も考慮した堤防強化対策が必要であると ともに,河道掘削や樹木群管理等により水位を低減し,氾濫被害を軽減するための対策も 積極的に進めていく必要がある.

(田端幸輔, 戸田祐嗣, 冨永晃宏)

## 参考文献

- 黒木幹男,岸力:中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究,土木学会論文報告集, Vol.342, pp.87-96, 1984.
- 2) 池田駿介: 単列砂州の波長と波高,水理講演会論文集, Vol.27, pp.689-695, 1983.
- 3) https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2
- 4) 西嶋貴彦,前田諭,阿部充,五十嵐武,竹内洋子:千曲川中流域の試験的河道掘削に関 する研究,リバーフロント研究所報告, Vol.25, pp.3-12, 2014.
- 5) https://i-ric.org/
- Iwasaki, T., Shimizu, Y. and Kimura, I.: Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River, Advances in Water Resources, Vol.93, pp.118-134, 2016.
- 7) 寺本敦子, 辻本哲郎:砂州を伴う河道の低水路河岸侵食に関する数値解析による研究, 水工学論文集, Vol.47, pp.649-654, 2003.
- 8) 岡部和憲, 久加朋子, 清水康行, 長谷川和義, 新庄興, 山口里実: 流量ハイドログラフ 形状に対する蛇行流路の移動特性~+勝川水系音更川を事例として~, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.5, pp.I\_1009-I\_1014, 2018.
- 山口里実,久加朋子,清水康行,泉典洋,渡邊康玄,岩崎理樹:河道内の土砂動態と流路変動の関係,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I\_1153-I\_1158, 2018.
- Yasuda, H. A One-Dimensional Study on Propagation of Tsunami Wave in River Channels, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.136, No.2, pp.93–105, 2010.
- 11) 石原道秀,安田浩保:交互砂州の発生・発達過程における底面位の伝播速度式の適用性, 第 23 回応用力学シンポジウム概要集, 2020.
- 12) Seminara G: Fluvial Sedimentary Patterns, Annu. Rev. Fluid Mech., Vol.42, pp.43-66, 2010.
- 13) 国土交通省北陸地方整備局: 第3回千曲川堤防調查委員会資料, 2019.

# 第4章 長野市穂保地先堤防決壊による氾濫

#### 4.1 土地利用の変遷

今回の千曲川の堤防決壊にともなう浸水被害の地域は長野市中心部から北東に位置し (図4.1.1),長沼地区,豊野地区,古里地区,柳原地区にまたがる(図4.1.2).長沼地区 が浸水域の大部分を占め,次いで豊野地区,そして古里地区と柳原地区も一部が浸水した. 今回の浸水地域の大部分は,長沼地区を中心に,市街化調整区域に位置している.各地区全 体の人口及び世帯数の推移(図4.1.3)を見ると,市街化区域を含む古里地区,柳原地区は 1970年代以降に急劇な人口増加が見られ,同じく市街化区域を含む豊野地区も漸次的な増 加傾向が見られる.しかし,その全域が市街化調整区域に指定されている長沼地区では人口, 世帯数とも横ばいである.しかし,近年では,いずれの地域も人口減少の傾向が見られる.

長沼地区(以下,長沼)は善光寺平の北東部に位し,千曲川の西岸に発達した聚落群で, 村の中に一つの丘陵も,坂もない平坦な村であり,古くは長沼城の城下町として栄えたが, 長沼藩解体(1688)後は北国脇街道の宿場町として集落が発達した.そのため古い集落は県 道 368 号村山豊野停車場線(旧北国脇街道)沿いに集中している.長沼は千曲川と浅川に囲 まれ,地形的には千曲川沿いの自然堤防帯とそれ以外の地域の後背湿地帯に二分される.土 地利用としても,後背湿地では水田とされたが浅川の排水が非常に悪く生産力が低かった ため,自然堤防上の畑地では古くから商品作物の栽培が行われた.明治期には養蚕が盛んで 桑畑が広がっていたが,水害被害の少なさなどから大正・昭和初期より次第にりんご畑へと 転換され,1966(昭和41)年には国道18号(アップルライン)が開通して観光園化が進ん だ.1971(昭和46),1972(昭和47)年から赤沼ニュータウン・大町大栄地域での宅地造成 が開始されたため,戸数の増加はみられるが,人口は長期的に停滞している(図 4.1.3)<sup>1)</sup>

豊野地区(以下,豊野)は北西側の丘陵部と浅川,鳥居川沿いの平坦部とに二分され,人 口は平坦部に多い.鉄道開通以前人家は僅かであったが,豊野駅の開業(1888(明治 21) 年)以後は駅周辺を中心に発展した.戦後のリンゴ景気では駅がその拠点となり活気を呈し たが,飯山線の長野駅発着や国道 18 号線の開通により駅前の賑わいは次第に失われていき, 現在は通勤通学客の輸送を担う郊外駅となっている.長野市のベッドタウンとして積極的 に公営住宅の建設や公社による宅地造成が行われた結果世帯数は増加し(図 4.1.3),また 並行して行われた工場誘致により,豊野駅北東部には,工業団地が整備されている<sup>3)4)5)</sup>.

古里地区(以下,古里)は地区を二部するように浅川が流れ,この浅川とその支流の新田 川・駒沢川・田子川により形成された扇状地の扇端と氾濫原との境界付近に集落が作られた. これらの河川は浸食作用が強く,天井川となりやすいため氾濫危険性が高いうえに夏には しばしば水が枯渇し,人々は用水の確保に苦労した.明治以降は長沼同様に養蚕業,そして リンゴ栽培が盛んであったが,宅地化が進むにつれ農村的性格は失われていった.地区内に 信越線の駅(三才駅)が1966(昭和41)年に設置され,信越線と長野電鉄線どちらを利用 しても市の中心部まで10~15分という便利さが買われ,団地や個人住宅の建設が進められ た.1970年ごろから戸口が急速に膨張しており,近年人口は停滞的になっているものの, 戸数は依然増加傾向にある(図4.1.3)<sup>2)</sup>.

古来より当地域は度々水害に見舞われてきており,津野の妙笑寺の洪水水位標や赤沼の 善光寺平洪水水位標はこれをよく示している.長沼では,1983(昭和 58)年の水害を受け て,毎年6月に長沼地区防災訓練を実施している.また,地区防災計画を作成し,2014(平 成 26)年には地区防災計画モデル地区に指定されている<sup>の</sup>.

(中村晋一郎)



図 4.1.1 長野市全域の都市計画区域区分 及び浸水域

図 4.1.2 対象地域の地区構成(白枠 は令和元年台風 19 号での浸水域)



# 4.2 浸水範囲·浸水位

#### 4.2.1 浸水位観測

### a) はじめに

2019(令和元)年10月6日に発生した台風19号(通称ハギビス)は同月12日の19時に非常に強い勢力で日本に上陸し,関東甲信地方・東北地方の1都12県に大雨特別警報が発表された.その結果,東日本の広い範囲に甚大な洪水氾濫・土砂災害が発生した.その中で,千曲川では,11か所の越水・溢水,1か所(長野県長野市穂保地先,57.5k左岸)の堤防決壊が発生し,長野新幹線車両センターを含む甚大な浸水被害が発生した<sup>8)</sup>.また,千曲川周辺では,25箇所の浸水が発生した<sup>9)</sup>.本節では,長野市における破堤氾濫の状況とその氾濫流の挙動を明らかにするため,現地観測と氾濫シミュレーションを実施した.

#### b) 千曲川流域及び対象サイトの概要

調査対象である千曲川を図4.2.1.1に示す.千曲川は,長野・山梨・埼玉県境に位置する 標高2475mの甲武信ヶ岳を水源とし、山間部や盆地(佐久,上田,長野,飯山盆地)を流 れ,新潟県境からは信濃川に名称が変わり、日本海に注ぐ一級河川である.信濃川の流路延 長367km,流域面積11,900km<sup>2</sup>のうち,千曲川は流路延長214km,流域面積7,163km<sup>2</sup>を占め る.千曲川の縦断図(図4.2.1.2)より、千曲川は上流部ではおよそ1/50と急勾配であるの に対し、長野盆地や飯山盆地では1/1000~1/1500と緩勾配になる.また、最大の特徴とし て、千曲川は盆地と山あいの狭窄区間が交互に流れるため、川幅が大きく変化している.具 体的には、長野盆地の下流には立ヶ花狭窄部(40~52kp)、飯山盆地の下流には戸狩狭窄部 が位置している.川幅は立ヶ花狭窄部の120-450mであるが、長野盆地では400-1160mと大 きく異なり、この狭窄部が昔より治水上の課題となっている.



図 4.2.1.1 観測サイト



図 4.2.1.2 千曲川全体の縦断図と川幅(文献 10)より引用,一部加筆)

本対象サイトである決壊地点 (57.5km,河口より210km)は, 犀川合流点よりも下流で,かつ,立 ヶ花狭窄部の約5km上流に位置し ている.この地点は,狭窄部上流側 で河床勾配が相対的に緩い地点に 位置しており,水害常襲地帯であ る.決壊地点のそばには,図 4.2.1.1に示すように,千曲川支川 の浅川(流路延長17km,流域面積 73km<sup>2</sup>)が流れている.このエリア の標高データを図 4.2.1.3 に示



図 4.2.1.3 決壊地点周辺の標高マップ

す.これは、国土地理院・ 基盤地図情報よりダウン ロードした5mメッシュの DEM である. これを見る と, 左岸側の堤内地には, 低地が広範に広がってお り,特に浅川周辺で特に低 くなっている. また, 千曲 川の左岸・右岸堤防 (図中 白色点線)が堤内地よりも 数m高いことが DEM から も明確に分かる.また、こ のエリアには,周辺の山々 で囲まれた盆地地形であ る.このように、千曲川左 岸 57k 付近の破堤氾濫域 では,千曲川の堤防と山に 挟まれた低地が形成され ていることが分かる.な お, 浅川支川の三念沢の左 岸でも堤防決壊が発生し ている.

# <u>c) 降雨・河川水位状況</u>

今次災害における千曲 川流域の気象・洪水状況を 把握するために,雨量と水 位の時間変化を図4.2.1.4 に示す.ここで,雨量デー タは,流域内の北相木・長 野・松本アメダス観測所に



おける時間雨量と 10/11 からの累積雨量を示す. 観測所位置は, 北相木は千曲川上流, 松本 は支川・犀川流域, 長野は千曲川中流に位置する. 水位は, 杭瀬下観測所 (83kp), 立ヶ花 観測所 (52.5kp), 柏尾橋観測所 (25kp) の 10 分間隔のデータである. また, 各水位観測所 の計画高水位 (H.W.L.) も表示し, H.W.L.を上回る水位データにはオレンジ色のマークを重 ねている. まず, 降雨量を見ると, 10/11 には時間雨量は 3mm 以下, 累積雨量は最大 14mm
とほとんど雨は降っていない. 12 日に入り,雨が降り始め, 14-18 時に雨量ピークを迎え, 13 日 0 時には雨はほぼ止だ. ということは 3 地点にて共通している. 時間雨量のピーク値 としては,北相木: 37mm (12 日 15 時),長野: 14mm (同 17 時),松本: 13.5mm (同 17 時) であった. 3 日間総雨量 (10/11-13) としては,北相木: 411.5mm,長野: 149.5mm,松本: 136mm であった. なお,千曲川流域内では,千曲川本川右岸側の上流部に降雨量が集中し ており,同左岸側や犀川流域における総雨量は相対的に雨量が小さかった.

河川水位に関しては、3 地点ともに 12 日 12 時前後から水位上昇が始まり、ピーク時刻は 杭瀬下: 12 日 21:50、立ヶ花: 13 日 3:30、柏尾橋: 13 日 7:10 となっており、降雨のピーク よりも遅れて水位ピークが現れていることが分かる.また、水位ピーク値と H.W.L.を比べ ると、杭瀬下観測所では、水位ピーク値が T.P.362.35m と H.W.L. (= T.P.361.37m) よりも 1.0m 高く、H.W.L.を超えていた時間は 12 日 18:30~13 日 1:50 の約 7 時間であった. 同様に、立 ヶ花観測所では、水位ピーク値が T.P.336.715m と H.W.L. (= T.P.335.005m) を 1.6m 上回り、 H.W.L.を超えていた時間は 13 日 0:30~7:00 の 6 時間半であった.一方、柏尾橋では、水位 ピーク値 (= T.P.315.53m) は H.W.L. (= T.P.315.58m) にぎりぎり到達しなかった.生田観測 所(107kp)の水位ピーク値も H.W.L.と同程度であったことから(図面省略)、杭瀬下・立ヶ 花観測所の水位上昇が顕著であったことが分かる.

## d)氾濫域における現地調査の概要

千曲川流域における洪水氾濫状況を把握するために,主に氾濫域の洪水痕跡調査を行った.調査日は2019年10月13日,10月22-23日,11月19-20日の計5日間である.まず, 発災直後の10/13の10-11時頃には,ヘリコプターによる上空からの視察を行った.また, 残りの4日間では,破堤氾濫域とその上流域における洪水痕跡を調査した.ここでは,千曲川の氾濫域における建物等に付着した洪水痕跡から浸水深と浸水位を計測する.ここで指す痕跡とは,建物等に付着した泥や引っかかった植生のことである.計測には RTK-GNSS(Trimble 社製, R10・R6・R4)を使用する.この機器は水平座標と標高(精度 cm)の点データを取得することができ,多くは,痕跡のある場所の地面高を計測し,スタッフで地面から痕跡までの高さを測ることで浸水深と痕跡水位を求めている.また,地面付近に痕跡がある場合は,直接痕跡水位(浸水位)を計測する.この点データを蓄積し,どこまで氾濫域が広がっているのかを把握する.破堤氾濫域における計測地点数は約130地点である.

また,千曲川河道内の洪水痕跡調査として,河道内痕跡と堤防天端上の痕跡を測ることに より,越流水深を計測した.

## <u>e) 破堤氾濫域における現地調査結果</u>

### (1) 洪水氾濫の様子

今次洪水による千曲川流域における氾濫状況を把握するために,発災当日の10/13 10時



図 4.2.1.5 10/13 10 時頃の洪水氾濫状況(ヘリコプターから二瓶が撮影)

頃に上空のヘリコプターより撮影された氾濫状況を図4.2.1.5 に示す.ここでは,主に堤防 決壊地点とその周囲の氾濫状況を対象とする.千曲川左岸 57.5kpの決壊地点の真上から見 ると(同図(a)),堤防決壊地点から河川水が堤内地側に氾濫しており,堤防決壊幅は70mに 達した.また,堤防の裏のり面側が決壊地点上下流の広範囲にわたり侵食されており,越水 の発生が伺える.千曲川右岸上空から決壊地点周辺を見ると(同図(b)),左岸側ではあたり 一面浸水しており,浸水範囲は非常に広いことが分かる.堤防決壊時刻は13日3時から5 時半の間と推定されており,決壊から5~7時間でこれだけの広範囲に氾濫水が広がったこ とが分かる.この氾濫域内には,北陸新幹線の線路や車両基地が含まれており,新幹線車両 が水没している様子が確認された(同図(c)).決壊地点は狭窄部の上流側に位置しているが, 同図(d)より,狭窄部では河道の周囲が高いため堤内地の浸水範囲は限定的であるが,狭窄 部上流側では氾濫域が左右岸に広域に広がっている様子が分かる.

# (2) 浸水深・浸水位マップ

破堤氾濫域内の浸水状況と洪水痕跡調査により得られた浸水深マップをそれぞれ図 4.2.1.6 と図4.2.1.7 に示す.写真①~④の撮影位置は図4.2.1.7 に表示している.また, 浸水深は一点一点計測した結果の「点」データである.これより,決壊地点の極近傍では浸 水深の最大値(=4.5m)が確認されたが(図4.2.1.6①),その周辺では浸水深は概ね1m~2m台となっている.決壊地点より離れた浅川周辺や長野新幹線車両センター周囲の浸水深が大きく,4mを超える地点も確認されていた.この浸水深が大きい領域は,標高の低い部分(図4.2.1.3)と対応している.決壊地点周辺ではいくつかの家屋が流失するなどの甚大な被害が発生したが(図4.2.1.6②),そのエリアは決壊地点周辺のみに限定されている. また,浸水被害は氾濫域内に広がる農地でも発生しており(図4.2.1.6③),リンゴ畑で大量の泥の堆積が見られた.また,北陸新幹線線路脇の長野新幹線車両センターでは,2mの嵩上げが行われていたが,1.5~2mの浸水深となった((図4.2.1.6④).



図 4.2.1.6 破堤氾濫域の氾濫状況(撮影日は 10/22, 23, 撮影位置は図 4.2.1.7 に示す)



図 4.2.1.7 点浸水深マップ(破堤氾濫域)

現地調査により得られた「点」浸水位を見ると、概ね T.P.334[m]台であった. そこで、浸 水深・浸水位の面コンターを得るために、Nihei et al.11)と同じ手順を用いる.まず、「点」浸 水位データを ArcGIS (ESRI 社) により内挿を行うことで浸水位の面コンターを作製する. ここでは、Natural Neighbor 内挿法を用いた. この手法は密なサンプルデータに対し有効で あり、各ポイントからポリゴンを作製しそのポリゴンの重複の割合から加重平均を算出し ている. また, Natural Neighbor 内挿法では外挿できないので, 計測範囲外の浸水位は近傍 の点から浸水位を推測して外挿した.次に,この浸水位の面コンターから DEM による地盤 高データ(解像度:5m)を引くことにより、浸水深の面コンター図を作製した.このように して得られた浸水位・浸水深の面コンターを図4.2.1.8に示す.このうち浸水位コンターを 見ると、決壊地点付近のみ局所的に浸水位は高いが、それ以外は概ね T.P.334[m]となってい る.また,浅川上流側では T.P.332-333[m]とやや低い.また,洪水氾濫は浅川左岸域にも及 んでおり、浅川下流側では T.P.334 台[m]であることが分かる.次に、浸水深コンターを見る と、浅川や新幹線線路周辺において 4m 以上の浸水深が広く分布している.浅川下流(千曲 川への合流点) 近傍でも浸水深 4m 以上となっている. これらは, 図.4.2.1.3 に示すよう に、相対的に低地部分である.また、全般的には 2-3m の浸水深となっており、一階部分全 体が水没する氾濫が広範囲に発生したことが分かる.



図 4.2.1.8 破堤氾濫域の浸水位(上)・浸水深(下)コンター

また,得られた浸水深コンターより得られた氾濫面積は8.4km<sup>2</sup>,氾濫水量は1796万m<sup>3</sup>であった.氾濫範囲は,概ね国土地理院による推定段彩図と似ていることは確認している.

次に、今次洪水災害と過去の水害の浸水状況を比べるために、決壊地点そば(妙笑寺)の 過去の水域が記録された水位標と今次洪水時の洪水痕跡を比較したものを図 4.2.1.9 に示 す.ここでは、過去最大といわれる「1742(寛保 2)年に発生した戌の満水」と1896(明治 29)年と1847(弘化 4)年の結果も図示している.これより、今次洪水災害では、この地点 の浸水位が 2.4m(基準面:地面)となり、戌の満水よりも1m下であるが、1896年や1847 年の洪水時の値は上回っていることが分かる.このように、今次洪水が如何に大きな洪水で あったかが伺える.



図 4.2.1.9 今次洪水と過去の洪水との浸水位の比較(決壊地点そばの妙笑寺)

### f) 破堤氾濫域以外の氾濫状況

今回の台風 19 号による千曲川の洪水氾濫は,破堤氾濫域以外でも広い範囲で発生した. ここでは,国土地理院による推定浸水段彩図で示された浸水範囲を調査対象として,破堤氾 濫域と同様な洪水痕跡調査を実施した結果を図 4.2.1.10 に示す.ここでは 56kp 付近から 84kp までにおける氾濫域における浸水深コンターを図示している.また,図中には,氾濫 原因となる越水・溢水発生地点及び内水発生地点をそれぞれ分けて表示している.この際, 越水・溢水箇所は文献 9),内水発生箇所は文献 8),それぞれに基づいており,各々の発生 箇所は各文献記載の地図より読み取っているため,大よその位置であることに留意された い.なお,一つの地図で表示すると小さくなるため,右上の地図に示す (a) ~ (d)の4つ のエリアをそれぞれクローズアップし,スケールを統一して図示している.上流から見てい くと,同図(a)では,84kp右岸側 (a1),78kp右岸側 (a2),75-79kp左岸側 (a3) にて浸水が 確認され, a1, a2 では浸水深は概ね 1m 以下であった.また, a3 では 3 か所の越水に伴い 広範囲の浸水が発生し,浸水深も最大で 2m 台となった.氾濫要因としては, a2, a3 は越水 が確認されているが, a1 では霞堤からの氾濫が指摘されている.同図(b)の 71kp 右岸では, 越水による浸水が発生し,浸水面積は狭いながらも 2m を超える浸水深が記録された.同図 (c)の犀川合流点付近の 66kp 右岸側 (c1) や 63kp 右岸側 (c2) でも内水氾濫が確認され, 浸水深は 1m 以下であった.同図(d)の決壊地点対岸の 56-57kp 右岸側では 2 か所の越水に より浸水が発生し,1m 台の浸水深も広範囲に見られ,局所的に 3m を超えていた.このよ うに,破堤氾濫域以外でも,複数のエリアで浸水が発生し,広範囲にわたる洪水氾濫が生じ たことが分かる.



図4.2.1.10 破堤氾濫域以外における千曲川周辺の洪水氾濫状況

千曲川流域における氾濫面積 A と氾濫水量 V を取りまとめた結果を表 4.2.1.1 に示す. ここでは、破堤氾濫域とそれ以外の各エリアにおける浸水深の面コンター(5m メッシュ) を用い、浸水しているメッシュ数と面積(=25m<sup>2</sup>)の積を氾濫面積 A とし、各メッシュの浸 水深と面積(=25m<sup>2</sup>)の積の総和を氾濫水量 V とした.また、表中には各エリアの人的被害 (死者)の数も表示している.これより、破堤氾濫域は氾濫面積で全体の 45%、氾濫水量 で全体の 73%となっており、破堤氾濫域の洪水では、氾濫面積も大きいが、それ以上に氾 濫水量が顕著であることが分かる.これは、破堤氾濫域では堤防決壊により大量の河川水が 氾濫したが、その他の地区では決壊せずに越水・溢水か内水氾濫に留まったため、氾濫水量 は大きくならなかったものと考えられる.また、氾濫状況と人的被害の関係を見ると、人的 被害は破堤氾濫域のみで発生し(2名)、氾濫水量 V と氾濫面積 A の比 V/A が大きいことと 関係しているものと考えられる. V/A は平均水深と見なせるため、破堤氾濫域のみ平均水深 が 2m を超え、垂直避難も含めた避難行動が困難になったものと考えられる.今回の浸水が 夜間から発生したこともその一因になったものと考えられる.

-117	氾濫面	氾濫水量	平均水深	割合	人的被		
エリノ	積 $A$ [km <sup>2</sup> ]	V[百万m <sup>3</sup> ]	<i>V/A</i> [m]	Α	V	害[人]	
破堤氾濫域	8.4	17.96	2.14	45.4	73.4	2	
a1	1.3	0.71	0.55	7.0	2.9	0	
a2	1.4	0.81	0.58	7.6	3.3	0	
a3	3.0	1.84	0.61	16.2	7.5	0	
b	1.0	0.81	0.81	5.4	3.3	0	
c1	0.5	0.32	0.64	2.7	1.3	0	
c2	0.6	0.19	0.32	3.2	0.8	0	
d	2.3	1.83	0.80	12.4	7.5	0	
合計	18.5	24.47	1.32	100.0	100.0	2	
(破堤氾濫 域以外)	10.1	6.51	0.64	54.6	26.6	0	

表 4.2.1.1 各エリアの氾濫面積・水量

## g)破堤氾濫域の氾濫シミュレーション

(1)計算条件

上述した現地調査より浸水範囲を把握することはできたが、氾濫プロセスの時間的推移 は不明である.そのため、平面二次元モデルを用いた氾濫シミュレーションを実施した.本 シミュレーションでは、iRIC Software の平面二次元流モデルである Nays2DFlood<sup>12)</sup>を使用 した.解析対象領域は破堤氾濫域を囲む 7km×2km の範囲で、計算格子は 10m メッシュと した.計算時間は 2019 年 10 月 13 日 1:00~12:00 である.千曲川 57.5kp 地点で越水開始が 確認されたのが 13 日 0:55 頃<sup>8)</sup> であったので、計算開始時間を 1 時にセットした.解析領 域における標高データは 5m メッシュの DEM データより与えた.

本シミュレーションの最大の課題は、決壊地点における氾濫水量の時間変化をどのよう



図 4.2.1.11 氾濫シミュレーションによる浸水深マップの時間的推移

に与えるかであり、そのキーは決壊時刻の推定である.決壊時刻は13日3時から5時半の間であり、5:30時点で決壊幅は70mに達したと報告されている.そこで、氾濫域内にある防犯カメラ映像からその地点の浸水位の時間変化を特定し、それらの結果と一致する決壊

時間条件を試行錯誤した.その結果,決壊時刻を4時とした時が最も再現性が高いことが確認されたので,ここでは決壊時刻を4時と設定した.そのため,1-4時は越水,4時以降は決壊した状態とし,本間の越流公式から氾濫水量の時間変化を与えた.なお,実際の決壊時刻が4時かどうかは不明確な部分が残されており,より詳細な検討には多くの浸水位データを用いた検証を行う必要がある.また,浅川からの流入や千曲川合流点における排水は考慮しない.

### (2)計算結果

本シミュレーションに基づく浸水深マップの時間変化を図 4.2.1.11 に示す.これより, 越水段階の計算開始1時間後(2時,4時)では,浸水深も小さく,越水地点周辺のみに浸 水が確認される.一方,堤防決壊後の6時では,浸水範囲が急激に広がり,浅川左岸側にま で氾濫水が到達している.また,浸水深は大幅に増加し,4m以上となっている場所も見ら れる.また,北陸新幹線線路の一部や長野新幹線車両センターも浸水しており,浸水開始は 5時前後であった.8時では,浸水範囲がより下流側(北東側)に広がり,最終的な浸水範 囲に概ね氾濫水が到達している.また,6時時点よりも浸水深は増加している. 10,12時 では,徐々に浸水深が増加している様子が分かる.このように破堤氾濫域は中央部に低地が ある一種のお椀型の地形をしているため,氾濫水の逃げ場がなく,この地域は短時間(概ね 2-3時間)で広がり,その後,浸水深が増加する,という貯留型氾濫の典型的なパターンと なっている.

本計算結果の妥当性を確認するために,浸水深の現地調査結果と本シミュレーションに よる解析結果の相関図を図4.2.1.12に示す.これより,両者は概ね正の相関関係を有して おり,両者の差のRMS値は0.70mとなった.これより,本解析の一定の妥当性が検証され た.



図 4.2.1.12 氾濫シミュレーションの精度検証(浸水位の実測値と解析値の比較)

## h)浸水位観測のまとめ

本項では,破堤氾濫域とその他の地区における洪水氾濫状況に関する現地観測を行うと 共に,破堤氾濫域の氾濫シミュレーションを行い,以下の結論が得られた.

(1) 破堤氾濫域の浸水状況としては,浅川や新幹線線路周辺において 4m 以上の浸水深が広 く分布し,全般的には 2-3m の浸水深となっており,一階部分全体が水没する氾濫が広範囲 に発生したことが分かる.

(2)本研究対象範囲の千曲川流域では,破堤氾濫域は氾濫面積も大きいが,それ以上に氾濫水量が顕著であることが分かる.これは,破堤氾濫域では堤防決壊により大量の河川水が氾濫したが,その他の地区では決壊せずに越水・溢水か内水氾濫に留まったである.

(3)氾濫シミューション結果より,破堤氾濫域では,氾濫水は短時間(概ね2-3時間)で全体 に広がり,その後,浸水深が増加する,という貯留型氾濫の典型的なパターンが確認された.

(二瓶泰雄,小野村史穂,片岡智哉)

## 4.2.2 家屋浸水の推定

### a) はじめに

令和元年台風 19 号では、一級河川・千曲川の決壊にともない、長野市北部を中心に甚大 な浸水被害が発生した。今回の水害による長野市での被害は、死者 2 名、全壊 869 棟、半壊 1498 棟、一部損壊 1654 棟にも及んだ(1 月 27 日時点)<sup>13)</sup>.これらの被害は、堤防決壊にと もなう大規模氾濫(ハザード)に合わせて、この地域の土地利用や建物立地(暴露・脆弱性) によって規定される。本節では、本水害による被害を、建物ポイントデータをはじめとする 空間・社会データを用いて、建物立地の視点から検証・考察する。

## b)手法

浸水深は吉田ら<sup>14</sup>, 伊藤ら<sup>15)</sup>を参考に,国土地理院が公表した「浸水推定段彩図の浸水 範囲の輪郭線」<sup>10</sup>及び数値標高モデル<sup>17)</sup>を用いて算出した.尚,データ作成及び分析は ESRI 社 ArcGIS を用いた.基準とする浸水深は,浸水範囲の輪郭線から等間隔で 50 地点抽出し, 浸水域を静水面として仮定したうえで,それらの平均標高を浸水深 0m と設定した.この基 準浸水深と浸水域内の数値標高モデル(5m メッシュ)を用いて,標高値の差分をとること で各メッシュの浸水深を算出した.本手法での推定値と,4.2.1 で二瓶らが現地で観測した 浸水深(130 地点)との相関係数は 0.67 であり,全体的に若干の過小評価となっている(図 4.2.2.1).

以上で推計された浸水深と建物ポイントデータの属性を結合することで、地域内の各建物の推定浸水深を推計した.建物ポイントデータには、株式会社ゼンリンが毎年作成・販売している「ゼンリン建物ポイントデータ」(2018(平成30)年度版)を使用した.本建物ポイントデータには、建物ごとの位置情報(緯度経度)のほかに、建物用途、延床面積などのデータが格納されている.

以上で作成された浸水深の属性 を有した建物ポイントデータを用 いて,対象地域内の建物被害の特 徴について分析を行った.

### <u>c) 結果及び考察</u>

本手法を用いて推計された対象 地域全体での建物数は 2209 棟と なり,長野市が報告している被害 建物数 4,021 棟(長野市全域)の約 半分となった.この理由としては, 使用したゼンリン建物ポイントデ



図 4.2.2.1 推定浸水深と二瓶らの現地浸水深との関係

ータが住家のみを対象としており,非住家(納屋や車庫など)は含まれていないことが考え られる.図4.2.2.2に推計された浸水深及び浸水域内の建物(住家及び事業所)の分布を示 す.まず全体として,浸水域西側や北側に位置する浸水深の深い地域を避けるように建物が 立地していることが分かる.浸水深ごとの建物数を割合(図4.2.2.4)でみると,0m-0.5m が27%,0.5m-1.0mが10%、1.0m-2.0mが38%,2.0-3.0mが23%,3.0m以上が2%であり, 全体として比較的,浸水深の浅い地域に建物が立地している傾向が見られる.また,浸水域 内の建物の約8割が住家であり,残り2割が事業所及び「その他」である(図4.2.2.5). 住家は,長沼地区周辺では分散的であるが,豊野及び古里地区内の一部で集中していること が分かる(図4.2.2.2).一方で事業所は国道18号線沿い及び浸水域の南部に集中している

(図 4.2.2.2).

次に地区ごとに見ると,豊野の被害家屋数は 932 棟と推計され,その約4割の建物が浸 水深2m以上の場所に立地しており(図4.2.2.4),極めて深刻な被害が発生していたとみ られる.特に,豊野駅の南東側は市街化地域に指定されており,多くの建物の密集している (図4.2.2.2).この地域は,治水地形分類図において「氾濫平野」もしくは「旧河道」に分 類されている地域であり,これらの立地特性が豊野地区の被害を深刻化したと考えられる (図4.2.2.3).

浸水域の大部分を占める長沼地区の被害建物数は,対象 4 地区のうちで最大の 1075 棟と 推計された.しかし,2m以上の浸水深に位置する被害建物数は全体の1割程度であり,そ の割合は豊野より小さい(図 4.2.2.4).長沼地区の建物の多くが「自然堤防」上に位置し ていることが理由と考えられる(図 4.2.2.3).しかし,長沼地区内でも,決壊地点に近接 している穂保や赤沼といった地域では,現地で家屋の倒壊などの深刻な被害が確認されて いる.今後,流速や土砂を考慮した詳細な分析が必要である.一方で,長沼の被害建物数の 約2割を占める事業所の多くは(図 4.2.2.5),国道 18 号線を中心とした「氾濫平野」や「盛 土・埋立地」の上に立地しており(図 4.2.2.3),これらの多くは国道 18 号線開通後(1966) (昭和 41)年以降)に進出したものとみられる.長沼地区全体としてみれば,その全域が 市街化調整区域に指定され市街化を免れており,土地利用規制が被害拡大の抑制に大きく 寄与したと考えられる.

柳原及び古里地区は浸水域の南端に位置しており,被害建物数は合わせて 202 棟と,豊野 や長沼と比べるとその数は小さい.今回の浸水域の南端は,長野市の市街化区域と市街化調 整区域のほぼ境に位置しており(図4.1.1 及び図4.1.2),柳原及び古里地区内の一部は市 街化区域に含まれ,市街化が進んでいる.仮に氾濫地点がより上流側であったり,より氾濫 規模が大きかったりした場合は,今回以上の深刻な被害が発生したと想像される.

77









図 4.2.2.5 浸水建物の利用形態

## d) 家屋浸水推定のまとめ

本項では、本水害による被害を、建物ポイントデータをはじめとする空間・社会データを 用いて、建物立地の視点から検証・考察を行った.今回は、浸水深の推計方法、推計された 建物被害の検証といった課題が残るものの、対象地域内の建物被害の全体像を捉えること ができたと考える.近年では,被災直後に浸水域が公表さるようになり,且つ数値地理情報の整備も進んできている.今回行った分析方法は,これらの発災直後から入手可能なデータを用いており,より精度を向上することで,発災直後に被災地の建物被害の状況や特徴を把握できるようになり,迅速かつ効果的な復旧・復興計画の立案を可能にすると考えられる.

また、今回の結果から、市街化調整区域では被害が比較的最小化されているのに対して、 市街化区域や市街化調整区域であっても新規に開発された地域では被害が大きくなってい ることが分かった.この結果より、水害被害の軽減に向けた氾濫原内の土地利用や建物立地 の規制・誘導の有効性が改めて示唆されたと考える.一方で、今回被害の大きかった豊野は、 立地適正化計画における居住誘導地域にも指定されており、その指定にめぐってもより水 害ハザードへの配慮が徹底されるべきである.今回の水害以降、水害防御や軽減に向けた河 川分野と都市計画や土地利用計画分野との連携、それにもとづく具体的な氾濫原管理手法 の検討が加速しつつある.今回の報告が、今後の氾濫原管理の在り方を見据える一つの成果 になれば幸いである.

(中村晋一郎)

### 4.3 堆積土砂の現地調査

## 4.3.1 農地堆積土砂

## <u>a) 調査の背景</u>

今回の出水において浸水した千曲川の堤外地は普段,長野市更埴地域から中野市,須坂市, 小布施町の地域にかけて多くのエリアで農用地として利用されている.特産品として長芋, リンゴ,栗などの栽培が古くからおこなわれていたが<sup>18)19)</sup>,そのエリアの多くが浸水し, また大規模流により地点により表層土壌の流失(耕土流出),下流部では果樹地域に土砂の 堆積が起きた.長沼,保穂の破堤地点周辺および下流方向の地帯も同様に,土地改良事業, 農業水利改良事業などが行われた結果,排水路や排水機施設が整備され,住宅地とともにお もに果樹,稲作で構成される多くの農耕地を有している地域であった<sup>20)</sup>.

農用地において災害が発生した場合には,被災状況調査が市町村,県を主体として速やか に行われ,その結果に基づき,被災状況や被害額が農林水産省に報告され,現地の測量,設 計により復旧の工法が決められることにより災害査定が行われ,復旧工事が実施される.今 回のような大規模出水とそれに伴う土壌の流出,堆積などでは広域の調査が早急に必要と なるとともに,発生した土砂の移動手段,場所の確保,その性質の把握など多くの作業が必 要となる.また,農用地においては,特に果樹など樹木園では生産作物の保護のために早急 な対応が必要となるにも関わらず,被災地域においては生活や優先されるため,ボランティ アなどの援助の順番が遅くなる事情がある.しかしながら生活の糧となる農用地の被災は, 同地域にて居住地も被災している状況において被災者にとっては切実な問題である.

ここでは長野県内の,千曲川下流域の更埴地域から中野地域の堤外地および破堤点から 浸水が発生した長沼地域の堤内地のとくに農耕地を対象に,表土流出,土砂堆積の実態の広 域調査の結果とともに,堆積土の土質調査の結果を整理し報告する.

### b)調査内容

## ・土砂堆積状況の調査

長野県内の被災地においては災害直後から県下の各地点で市町村からの依頼を受け、市 町村とともに、長野県地域振興局の各支局による調査が行われている.先に述べた出水のあ った長野市更埴地域から中野市に至る長野エリアは、長野県地域振興局内にある長野地域 振興局の管轄である.本報告書での検討は、長野市農林部森林農地整備課と長野地域振興局 農地整備課が合同で調査を行った、長野市に属する農地を対象とした.これらは上記の災害 査定のため必要な作業であったが、総数は堤外地 235 地点、堤内地 214 地点(以下、市県調 査とよぶ)におよんだ.本報告ではそれに加え、破堤地点の堤内地の追加 49 地点の調査を 行い堆積土壤厚の分布を整理し、GIS (Arc GIS Pro, Ver 2.4.0, Esri 社)により可視化した. 市調査においては図 4.3.1.1の堤外地 19 地域、堤内地 3 地域に分けて調査が行われている. 総調査地域が河川延長で 30km 以上にわたるため,結果は調査点の集中している地域を中心 に、全体を堤外地 3 地域(地域 A: 14~16,地域 B: 7~13,地域 C: -1~3),堤内地 1 地域(堤内 1~3)の 4 地域に分けて図化した.



図 4.3.1.1 市県調査における調査区区分堤外地 19 地域,堤内地 3 地域 (長野市農林部森林農地整備課および長野県長野地域振興局農政課より提供)

## 対象地域内の堆積土壌の土質調査

長野市域では堤外地に多くの農耕地があり、そのほぼ全域で河川水位の上昇があったた め、それに伴い土壌の移動(流失,堆積)が発生した.その面積は、長野市管理の区域にお いて、土砂の排土作業が必要とされる 5cm 以上の堆積があったと確認される農耕地のみで も堤外地で 337.8ha,堤内地の水田で 55.32ha,畑地で 127.69ha に及んだ(市県調査より算 出).この試算は排土作業に基づき行われているため、耕土流出の発生した農耕地を合わせ るとより広範囲に影響があったと予想される.とくに堆積の場合には復旧事業として堆積 土砂等の撤去が必要となるが、土量が膨大となるため、市県調査では排土に際し土質を調査 し、作業、あるいは活用(路体盛土やため池提体盛土等)が可能であるかを数地点の試料よ り検討することとなっていた.その際、堤外地における堆積土砂の土質と、破堤からの流出 土砂の土質および、破堤地点からの距離や越水の湛水時間に応じて、距離および地点により 堆積した土砂の土質が異なると考えられた.そこで、市県調査の堤外地を対象とした土質調 査に加え、堤内地の破堤点からの距離に応じた土質調査を行った.堤内地において破堤点近 傍(地点0:緯度36°41'10" 経度138°16'58"),北西方向のB地点(緯度36°41'26",経度138°16'07"),

北方向のC地点(緯度 経度緯度 36°41'31",経度 138°16'32")に向けた測線上で,農耕地 を対象に直径 75mm の柱状試料を地点に応じ採取し,実験室に持ち帰ったのち堆積土壌の 深度までを性状確認し今回の水害による堆積分のみを実験に供した.採取した柱状試料の 画像の例を図4.3.1.2に示す.画像において,スケールの10cmを表層とし配置しているが, 表層から 3.5cm 程度の地点で土壌の色および質感が変化し,堆積土と従来の耕作土との境 界がこの点にあることが確認される.また別地点での柱状試料であるが,乾燥後(図4.3.1.2, 右図)においても土性の違いが目視で確認できる状況であった.採取地点は各測線上で,100 から 400m までの 100m 間隔の4地点および,500m,700m と 1000m の3 地点(測線 B は 500 および 1000m,測線Cは 700m のみ)の,計18 地点である.距離は採取時の参考値で





図 4.3.1.2 長野市長沼地区 堤内地において採取した堆積土壌の柱状試料例

あり,地点情報は,他情報と重ね合わせての GIS 表示が可能となるよう緯度,経度で把握した.すべての試料について,土粒子の密度試験(JISA1202)および土の粒度試験(JISA1204) を行った.

## c)調査結果

## ・堤外地における土壌堆積状況結果

まず市県調査における堤外地,堤内地での土砂堆積,流亡状況調査の際に撮影された堆積, 流亡状況の例を画像で示す(図4.3.1.3). それぞれの地点における堆積土厚,および表土 流亡の状況が画像から確認される.堤外地にも広域に農耕地があり,農道も利用されている ため,画像に示したようにまず農道の堆積土砂を排除し,農用地の状況調査および復旧が行 われている.





図 4.3.1.3 市県調査における土砂堆積・流亡状況の調査画像 左上:堤内地 水田における堆積 +24cm 左中:堤内地 畑における堆積 +28cm 左下:農耕地における農道の排土作業 右上:堤外地 畑地における耕土流失 -188cm 右中:堤外地 畑における耕土流失 -84cm 堤外地における土砂移動状況を図4.3.1.4, 図4.3.1.5, 図4.3.1.6に地域A(屋代から 更埴地域)地域B(犀川合流地点付近,地域C(長沼から中野地域,破堤点近傍)として区 分しそれぞれ示す.堆積にかかわるコンターの範囲(凡例表示)はすべての図に共通し,グ リッドの赤線は2kmである.全域で-188cm から+77cmまでの範囲で土砂の流出あるい は堆積が発生していた.上流域では河川低水路の蛇行が大きく,短い範囲で表土流出,ある いは堆積が繰り返し起きていることが確認された.地域A(図4.3.1.4)における土砂移動 は-100cmから+77cmの範囲で確認され,大規模な耕土流失および堆積が起きていた. -100cmの耕土流失は,客土が行われた耕作地での発生が確認されている.地域B(図



図 4.3.1.4 堤外 地域 A 屋代から更埴地域 土砂厚変化分布図



図 4.3.1.5 堤外 地域 B 犀川合流点付近 土砂厚変化分布図

4.3.1.5) では-188cm から+55cm の範囲で土砂の移動があり、とくに耕土流失が著しいエ リアが多く確認された.当該地域では特産品として長芋が栽培されており、2m ほどの厚さ に砂を耕作地に敷き詰めて行われる.この表土がほぼ流れによる浸食により流亡したもの と考えられる.他方、同地域においても果樹園などでは堆積が起きていた.

穂保の破堤点近傍においては、堤外地でも耕土流失は確認されずすべての調査点で土砂 堆積が起きていた(図4.3.1.6).地域Cの右岸堤外地は、行政界により須坂市、小布施町 となっており、本報告で使用した調査データには値として含まれていない.しかしながら、 堤外地は果樹、栗などの特産品の耕作地として使用されており、その被害は須坂市で堆積厚 40cm 程度、総面積 121ha、小布施市で堆積厚 50cm 程度、総面積 143ha の土砂堆積があった ことが報告されている<sup>21)</sup>.また、図には含まれないが、立ヶ花狭窄部エリアには中野市の 無堤地に多くの耕作地があり、こちらでも堆積厚 50cm 程度、総面積 102ha の排土が必要な 箇所が報告されている<sup>21)</sup>.

以上から,対象地域においては,犀川合流前の上流部にあたる屋代,松代地域においては 耕土流出および土砂堆積の双方が発生し,下流部の立ヶ花狭窄部による貯留効果で高い水 位が継続しやすい長野盆地のエリアにおいては,広域に土砂堆積が起こっていることが確 認された.



図 4.3.1.6 堤外地域 C 長沼から中野付近



## ・堤内地における土壌堆積状況結果

堤内地における土砂堆積状況を図 4.3.1.7 に示す. 今回破堤点近傍には果樹園があった が,最も堆積していた地点では 100cm の泥厚が確認されている. 堆積厚は破堤点を中心と してほぼ同心円状に広がりながら浅くなっていることが確認された. 他方,国道 18 号を挟 み西側の水田地域にも 30cm を超える堆積が確認された地点が数多くあり,南北に走る農業 用排水路を超えた先にも 10cm を超える堆積の確認地点が複数ある. 新幹線線路より山側で はすべての点で 2cm 以下となっていたが,影響は破堤点からが広範囲に及んだことが確認 できた.



## ・堤内地における堆積土壌の土質調査結果

堤内地における試料の採取地点を,泥厚調査により得られた推定堆積厚と標高のデータ とあわせ図 4.3.1.8 に示し,地点ごとの粒径加積曲線を例示した.破堤点は図の白丸であ る.A方向について例示した粒径加積曲線より,距離が遠くなることにより粒径組成が細粒 分を多く含む形状となっている.各方向の 500m 以遠の図では C 方向など傾向の異なる地 点も確認されたが,A方向,B方向ともに 1000,地点では細粒分の多い構成となっていた. それぞれの結果を堆積泥厚と比べると 20cm 以上のような堆積の地点では粗粒分も確認さ れるが,堆積の少ない場所では粒径の小さいもので堆積土の大半が構成されている傾向を 確認できた.農用地における堆積では,公道や住宅地道路などの表面に堆積した土砂に比べ,

もともとの農耕土壌、あるいは10月の災害という、時期的に耕作を終えた田畑に残る作物 残渣を含む形での再堆積が起こっている可能性もあるため、傾向が異なることも考えられ る. 土の粒度試験の結果として、ほぼすべての試料で細粒分(75μm以下)が 50%以上含ま れる細粒度であったため、現在の地盤工学会基準によれば塑性図による分類を行うところ である. 今回把握したいのは土壌としての分類ではなく, 堆積土砂の地点による組成の変化 であるため,三角座標による分類を行った.加えて現在の基準において礫分,砂分,細粒分 により分類を行うと、礫分がほぼ含まれないという試料の特性から図上での確認が困難で あるため、古い基準となるが日本統一土質分類による G(礫分)、S(砂分)、F(細粒分 粘 土・シルト)の三角座標による比較とした.結果を図4.3.1.9に示す.破堤点近傍およびB, C 方向の数地点(B400, C100, C300)などが一部砂質あるいは砂礫質となったが、大半の 試料が細粒土 (F) に区分され, 通常の農耕地の土性とは異なると考えられる性状を示した. また色分けに示す通り,破堤点近傍からの方向により性状に若干の変化が見られ、とくにA 方向の堆積土はほとんどがシルトおよび粘土で構成されていることが分かった.C方向は図 4.3.1.8 に示した通り堤防沿いのエリアとなるが、観測された性状が距離によらずばらつき がみられた.また C300 の点では目視の観測によっても,有機分が確認されており当該地に おいて多く見られた土塀の剥離などの建材が、農用地にも土砂とともに堆積している可能 性が示唆された.

本調査の対象地域において,農耕地に流入した土砂の排土作業状況は,長野市災害対策本部会議資料として,対応部局である農林部より経過が随時報告されており<sup>22)</sup>,2020(令和2)年3月18日時点の報告において,堤内地では全体の183haのうち1月末までに申請のあった対象地の94%で処理が完了している.畑の進捗率として99%,水田の進捗率として77%となっている.耕作地に土砂が大量に堆積した場合には排土の対象となるが,5cm以下であ



図 4.3.1.9 三角座標により堆積土の分類(日本統一土質分類法による)

ればそのまま耕作を継続することも可能であるとされているため、堆積土の耕作土壌とし ての性質、すなわち可給態窒素量や可給態リン、交換制石灰、交換制苦土などの含有量は堆 積前の作土と堆積土のそれぞれの分析を県の対応機関が行っており、作物別に施肥の状況 や圃場に影響を与えない程度の流入量などの目安を生産者に提示している<sup>23)</sup>.例えば、排 土作業が必要ではないと判断された程度の堆積土厚がある地域で、土砂から窒素供給が見 込める場合には施肥を減肥する対策をとる、他方、砂を多く含む堆積があった場合には追肥 が必要、などである.

前述したように、市県調査では排土に際し土質を調査し他工事への活用が可能であるか を検討するなどしている. 長野市が対象とする排土量は 45 万 m<sup>3</sup>ほどとされ, 破堤した堤内 地のエリアでは土壌の農業環境基準を調査し、クリアしていることを確認したうえで市内 および周辺市町への 4 か所に搬入している.実際に耕作土としての受け入れをしている地 点も存在する. 今回対象となる堆積土の移動は浚渫土撤去に当たるため, 土壌環境基準の適 応がされず、測定の必要がないことが確認されているが、受け入れ側の市町村からは災害廃 棄物とも受け取れる土砂受け入れに不安の声が出ることも想定されることであり,住民説 明会では長野市もこれに答え, 環境基本法上の基準を満たしているか土壌調査を実施し, 土 砂に有害物質が含まれないことを調査するとの回答をしている。市では今後実際に処理を 行った堆積土量,および搬出先への定量的な数値を整理して行くとのことであり,大規模水 害発生時の農用地被害とその処理に係るデータとして重要かつ有用なものとなると考えら れる. 河川堤防の破堤に際し、大量の土砂が堤内に流入・堆積した場合には、農耕地にかか わらずその処理が問題となることは、今後気象水害の甚大化に伴い十分に考えられる危機 である.これまで水害に関しては浸水区域図を用いたハザードマップのような形で、水位に 関する情報が提供されることが常であった.技術的に可能な土砂の堆積に関する同様な情 報が提供されることがあれば, 住宅地, 農耕地にかかわらず有用な資料となることが示唆さ れる. 今後そのような検討を今回のデータをもとに行っていく必要があると考える.

最後に,河川高水敷における耕作は今回の水害の地域だけでなく多くの場所で行われて いる営みであり,今後今回のような水害と同様な出水がある場合には多くの耕作地に影響 があることが想像に難くない.今回の災害で対象となった地域には名産品や古来より栽培 されてきた歴史のある生産物も多くあったが,今後そのような耕作地へのたびたびの影響 も考えられる.農作物には栽培適地があるため,簡単なことではないが,栽培地の変更も含 めた農耕地の防災,減災に関する検討が必要であると考える.

(酒井美月, 轟直希, 松下英次)

88

## 4.3.2 高水敷堆積土砂·果樹木

千曲川下流の河道は地形・地質的に河川形態のセグメント区分では2 あるいは Bc 区間 であり長野盆地を流れている.河川勾配は 1/1,000~1/1,500 で緩勾配である.下流部には 立ケ花狭窄部があり,地形的にも滞留しやすい河道構造となっている.したがって,千曲 川河川事務所の 1995 (平成7)年~2005 (平成17)年の河床変動調査でも狭窄部上流は若 干堆積傾向にあることが把握されている<sup>24)</sup>.このため河床掘削による河床低下を図ること が指摘されている.

今回の台風 19 号がもたらした洪水による流出土砂量は膨大な堆積量が推測される.また,河川幅約 1,000m になる河川敷には地割慣行制度と呼ばれ共有地として果樹栽培などが伝統的に行われている<sup>25)</sup>.更に,河畔周辺には自然林が繁茂している.これらの果樹を含む樹林は高水敷に面的にも広範囲に存在している.これは河道の疎通能力に対して流れを阻害する要因になることは明らかである.このため河道の高水敷内の樹林・果樹・土砂堆積量を把握し,今後の河川維持管理にかかわる資料とすることを目標に実施した.

### a) 堆積土砂および果樹園・樹木調査

### ・調査日時と区間

第一回,2019(令和元)年11月7 日,小布施橋下 54.5k~村山橋 60.0k の区間 5 箇所,第二回,2020年1月 17日小布施橋下 52.5k~屋島橋 62.0k の区間 5 箇所

## ・調査方法及び結果

調査箇所は図 4.3.2.1 に示した黒 枠印の箇所である.河川敷は右岸側 5 箇所,左岸側 5 箇所の計 10 ケ所で実 施した.河川敷の利用形態はリンゴ 果樹園 4 ケ所,栗果樹園 2 ケ所,桃 果樹園 1 ケ所,裸地 2 ケ所,サッカ 一場 1 ケ所となっている.樹木調査 は樹高,目通し高の樹幹直径の測定 を実施し,メジャー,距離計,スタッ フを使用した.調査結果の一覧を表 4.3.2.1,表4.3.2.2 に示した.

土砂堆積深の調査では平均堆 積深の最大値は左岸55.5k付近の リンゴ果樹園 38.05cm(計測箇所



図 4.3.2.1 河川敷土砂堆積・樹木及び越水箇所調査 黒色口印:土砂堆積調査箇所,千曲川水防地形図に加筆 数 20 ケ所),最小値は右岸 57.0k 付近の北相之島のリンゴ果樹園で 11cm(計測箇所数 4 ケ所) となっている.いずれも地質は上層がシルト,下層が粘土で構成されている.全調査地点の 10 か所の平均値 23.18cm,左岸側の平均値 31.53cm,右岸側の平均値は 13.16cm である.

これらの計測・目視から推定すると堆積深の上層がシルト,下層が粘土または下層細砂 となっている.上流および左岸ほど上層シルト・下層細砂が多くなっている.これは洪水 により砂など比重の大きなものが最初に掃流力で運ばれて沈殿し,その後,水位が上昇し 滞留が始まる.更に,流速が減衰する箇所から徐々に浮遊しているシルトが沈降している 現象となっていると考えられる.また,河川敷の左岸は右岸の2倍以上堆積しやすいこと も分かった.小布施橋上流55.5k付近から57.0k付近の左岸ではシルトの堆積が顕著であ った.右岸56.0k付近の栗樹木では支流松川の流入の影響でシルト・細砂で堆積深は 13.5cmと比較的少ない.左岸59k付近の河川敷のリンゴ果樹園の4mポール先端まで葉面 に洪水トレーサーとしてシルトが付着している(写真4.3.2.1).

NO	測定地点	河川敷		利用形態	平均堆積深(cm)	計測箇所数	土質(上層・下層)	周辺環境
1	62.0k屋島橋下流付近(1.17)	左岸		サッカー場	21.78	8	シルト・細砂	川沿い樹林
2	58.2k 村山橋下流岸寄り(1.17)	左岸		裸地1区画	34.06	8	シルト・細砂	巨木
3	59.0k下流 (11.7)	左岸		リンゴ果樹園	26.3cm,32cm	5	細砂・リップル	低水路32cm
4	56.5k低水路側(11.7)	左岸		栗樹木	37	2	シルト・細砂	
5	55.5付近(1.17)	左岸		リンゴ果樹園	38.05	20	シルト・粘土	
6	54.5付近小布施橋下(1.17)		右岸	裸地	13.17	6	シルト・粘土	
7	56.0k付近(1.17)		右岸	栗樹木	13.5	6	シルト・細砂	松川流入
8	57.0k付近上(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	11	2	シルト・粘土	
9	57.0k付近横(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	11	2	シルト・粘土	
10	58.5k付近(1.17)相之島		右岸	桃果樹園	17.14	7	シルト・微細砂	
					平均堆積深23.18cm,左岸31.53cm,右岸13.16cm			

表 4.3.2.1 河川敷土砂堆積調査結果

NO	測定地点	河」	Ⅱ敷	利用形態	樹木本数	面積(m2)	樹木密度(本/m2)	平均樹高(m)	平均直径(cm)
1	62.0k屋島橋下流付近(1.17)	左岸		サッカー場	生垣	約1,500			
2	58.2k 村山橋下流岸寄り(1.17)	左岸		裸地1区画	(ケヤキ樹謌	高35.05mφ5.3	3m,樹高約25m,神社	土鳥居浸水高2	8m¢34.06cm)
3	59.0k下流 (11.7)	左岸		リンゴ果樹園	16	440	0.036	2.52m	15.1
4	56.5k低水路側(11.7)	左岸		栗樹木	17	1,488	0.011	6-7m	41.8
5	55.5付近(1.17)	左岸		リンゴ果樹園	53	4,250	0.0125	2.5m	17
6	54.5付近小布施橋下(1.17)		右岸	裸地	なし	400	なし	なし	なし
7	56.0k付近(1.17)		右岸	栗樹木	14	400	0.035	6-7m	約40
8	57.0k付近上(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	10	312	0.032	2.23m	16.2
9	57.0k付近横(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	14	448	0.031	2.23m	18.3
10	58.5k付近(1.17)相之島		右岸	桃果樹園	21	625	0.034	約3m	約16-18

次に、樹木調査では左岸 58.2k 村山橋下流 の河川敷にはケヤキの樹高 35.05m, 直径 φ5.3m, 樹高約 25m の巨木がある. 神社鳥居 があり浸水高 2.8m, 直径 φ34.06cm の柱があ り象徴的な場所として高水敷にある.また, 樹高約 10~20m の河畔林が右岸左岸とも繁 茂しており,高水敷の河畔に縦断方向に繁茂 している状況は写真でも明らかである(写真 4.3.2.2).

また,伐採され堤防に約 100m にわた り積み上げられた樹木(直径 20~40cm)か らも大量な樹林であることが分かる(写 真4.3.2.3).

一方,高水敷のリンゴ果樹の樹高は
2.23m~2.52m,栗樹木の樹高約 6m~7m,
桃は約 3m となっている.果樹の幹直径は
夫々リンゴ果樹 15.1~18.3cm,栗樹木 40~
42cm,桃 16~18cm である.

樹木密度は夫々リンゴ果樹 0.0125~ 0.036本/m<sup>2</sup>, 栗樹木 0.011~0.035本/m<sup>2</sup>, 桃 0.034本/m<sup>2</sup>となっている.

これらの果樹木の水没状況を電子国土 の河川横断図から読み取り推定した.越 水した堤防天端高から高水敷高との差を 水没深さとした.

その結果,水没深さは決壊地点の左岸 57.5k付近は4.65~5.51m,左岸59.0kは3.11 ~3.28m,下流の左岸55.5kは5.31~5.50m である.右岸57.0kは4.68~5.18m,右岸 58.5kは4.36~5.73m,下流の右岸54.5kは 5.41~5.70mである.

栗樹木を除いて左岸 59.0k・左岸 55.5k・ 右岸 57.0k のリンゴはすべて水没してい る.



写真 4.3.2.1 左岸 59k 付近の河川敷のリン ゴ果樹. ポール先端の葉面にシルト



写真 4.3.2.2 右岸 57k 付近の河川敷に繁茂 する樹林帯,その向こうが低水路



写真 4.3.2.3 伐採し堤防に積み上げられた河川 敷樹木 (左岸 55k 付近 2020.1.17)

次に,表4.3.2.2 河川敷果樹園・樹木調査結果から,河道の高水敷における植樹の基準で 果樹木の密度の評価を行った.河川における樹木管理の手引き<sup>20</sup>で示されている植樹の条 件と許容植樹密度(上限)によると河床勾配 1/2500 以下の場合,高水敷の水深(0.5m~6.0m)と 低水路幅/高水敷幅比(0.2~6.0)の関係が 1ha 当たりの樹木本数が示されている.

調査箇所のリンゴ果樹の平均密度 0.024 本/m<sup>2</sup>, 栗樹木の平均密度 0.023 本/m<sup>2</sup>は 1ha 当た りにすると其々240 本/ha, 230 本/ha となる. この個所の高水敷の水深は 3m~5m, 低水路幅 /高水敷幅比 0.32 であるから基準によると高水敷の水深 4m の場合 0.5 本/ha となっている. これはリンゴ果樹 480 倍, 栗樹木 460 倍になる. 現在の果樹木は超過密した高水敷になっ ている.

## ・土砂堆積に関する考察

写真 4.3.2.4~5 は左岸 59.0k のリンゴ 果樹園の土砂堆積状態を示している.写真 4.3.2.4 は右側の上流から左側下流に土砂 堆積が畝の山波を形成していることが分 かる.リンゴ樹木の間を縦断方向に堆積し ている.正面奥が低水路河道となってい る.堆積した形状は山型となり峯の高さは 45cm,峯と峯の間は4m間隔で,谷では堆 積深さ10cmと小さい.堆積したのは細砂 がほとんどあり,シルトは僅かに地表面と リンゴの葉面,果実表面に分布している. ここで見られた水理現象は砂漣,砂堆が発 生していたことを示している.



写真 4.3.2.4 リンゴ果樹園の堆積状況 Sand ripple(砂漣,砂堆)4m間隔で堆積し, 深さ 10~45cm



写真 4.3.2.5 リンゴ果樹園の土砂 堆積深計測



写真 4.3.2.6 リンゴ果樹園の土砂堆積の 状況左岸 55.5k 付近

洪水時,高水敷を流れる流体の挙動を推測することができる.砂漣は砂粒子が静止状態 から流速が増加する過程で河床の乱れによって最初に現れる現象である.周辺のリンゴ樹 木は流体力による倒伏や変形は認められず,かつ周辺畑地は洗堀や深掘れが発生していな い.また,リンゴ果樹園内の流れは反砂堆ができる射流(Fr>1)とは考えにくい.したがっ て,流向は低水路から河道の横断方向に流れ込み,初めは流速が小さく,細砂が沈降し, さらに増水後,滞留した浮遊性のシルトが時間をかけて沈着したことが推察できる.

## ▪ 土砂堆積状況

小布施橋上流の左岸 55.5k 付近のリンゴ果 樹園は堤防から河川敷に坂路を使って入る ことができる.そこは堤防から見ていた光景 とは全く異なる.リンゴ果樹園内にはアスフ アルト舗装された通路が張りめぐらされて いる.河畔林が生い茂る場所まで調査するこ とができた.幅 3.5m 程度の通路の両側には 堆積した土砂の壁がつづいている(写真 4.2.2.6).

堆積深の計測は区画されたリンゴ園の まとまった一区画の二辺を 5m 間隔に測定 するようにした(写真 4.3.2.7).

作業農家の方のヒアリングにより過去 の堆積した地層を教えていただき計測を

進めることができた.過去に堆積した地層の境界は 雑草などが枯死していることから見分けることが できる.また,シルトは透水性が悪いため新しい堆 積層は水分を含み黒色になっていることかもわか る.

耕作がされていない裸地も 2 箇所の調査を行った.また,深さ約 2m以上の試掘箇所では今回の 19 号による洪水土砂の痕跡を確認することができた.ここの堆積深は約 60cm の深さである.また,過去の堆積土砂は掘削除去されていないことも分かった.リンゴの樹木は幹の枝分かれの腰や肩まで土砂に埋没している(写真 4.3.2.8).



写真 4.3.2.7 リンゴ果樹園の土砂堆積深 の計測 一区画の二辺を 5m 間隔で計測,左 岸 55.5k 付近



写真 4.3.2.8 リンゴ果樹園の土砂 堆積深さの最大値は 60cm の箇所

## ・土砂堆積量の推定

土砂堆積の深さは全調査地点の10か所の平均値23.18cm,左岸側5か所の平均値 31.53cm,右岸側の5か所の平均値は13.16cmである.この数字は堤防からの越水がシビア ーな議論となる中では、決して無視できる数字ではないと考えられる。土砂の除去をしな ければ,この深さの分だけ河川水位を上昇させることにつながる.

台風 19 号の洪水では、小布施橋~村山橋間のうち約 2km 区間の河道の高水敷の堆積量 を推算すると平均堆積深さ 23.2cm では推定約 300,185(m<sup>3</sup>/2km)となる. これはダンプ 4t 車 75,000 台に相当することになる.

## b)広い高水敷を持つ複断面構造の水理

#### ・河川の流れと河道横断面

立ケ花狭窄部から 60k 村山橋の区間 は広い高水敷を持ち複断面構造となっ ている.このような区間においては通常 の開水路の矩形断面とは異なり洪水時 の流れは複雑な不安定流れを有するこ とが知られている.上記の堆積土砂の調 査では洪水痕跡としての土砂の挙動で は興味深い砂漣の形成が見られた.そこ で,既往の水理関係の論文から立ケ花 狭窄部から村山橋間の堤防決壊前の流 れを考察することにした.

写真 4.3.2.9 は 57.5k 付近の決壊箇 所を下流方向に見た鳥瞰である.こ の地点は河幅 950m,低水路幅 230m である.高水敷は横断図から左岸側 約 300m,右岸側約 420m である(図 4.3.2.2).河川勾配は 1/1,100 であ る.写真 4.3.2.9 では堤防決壊後か ら洪水が低減している状況下にある. 左岸高水敷の流れは決壊箇所に向かう 流れが上流,下流からも形成されている.



写真 4.3.2.9 千曲川左岸堤防決壊と洪水流 (写真提供:共同通信社)



一方,右岸側の流れは高水敷に滞留し,停滞した状況がみられる.これは高水敷に繁茂する樹林や果樹園の樹木によって高水敷の流れは滞留されていることが推察される.また,低水路の流れは両側の高水敷と異なり,流心の水面に白濁した気泡を含む流れとなり高水敷より早い流れであることが水面に浮かぶ気泡列の筋からも推察することができる.

この流れの違いを仕切っているのは両河岸の河畔林によるものと考えられる.これらは 洪水時,高水敷と低水路の流れの交換を低減させていると考えられている.河畔林の帯は 欧州ドイツ圏域では高水敷の樹木群と低水路とのインターフェースプレーンで rough wall と呼ばれている<sup>27)</sup>.これは複断面構造が本来,流速差によって発生する渦流を出現させな い役割を果たしているからである.千曲川河畔の樹林管理にかかわる課題である.また, 今回の洪水では高水敷は決壊するまでの水位上昇期は下流から上流に向かって水位が上昇 し,流れが貯留地化し,停滞から次第に背水面が上昇していたものと推察することができ る.

## 広い複断面形状の水理実験例

上記の千曲川の河道に近似した複断面 形状をもつ開水路の水理現象を実験によ って水平渦を三次元乱流構造として明ら かにした池田らの研究<sup>28)</sup>がある.

この研究は複断面開水路流れで発生す る水平渦は,高水敷と低水路の横断方向 の流速差に起因する変曲点不安定性と2 列渦列の安定性という2つの要因の影響 をうける複雑な現象であるとしている. 複断面開水路に発生する水平渦の3次元 乱流構造をレーザー流速計によって計 測し,三次元の流速ベクトルを詳細に 明らかにしている<sup>28)</sup>.

図 4.3.2.3 は境界面に 2 列の非対称 渦列を 2 次元で示している<sup>28)</sup>.

実験は左右に高水敷を両側対称に持 ち,河川幅 B,低水路幅 b の比を変化さ せている<sup>27)</sup> (図 4.3.2.4).水路長 14m、 水路幅 40cm であり,水路勾配は 1/1,000 で ある.この実験では高水敷の樹木相当の粗 度係数は設定されてない.スケール規模を 縮尺でみると小規模であるが,極めて興味 深い示唆を与えている.

複断面境界部に発生する水平渦に伴う流 体の挙動は,高水敷上では強い2次元性が, 低水路側では渦中心の上昇流をともなった



図 4.3.2.3 境界部における流速 uj で動く移動 座標系から見た X-y 面 (z=0.3cm) での流速ベ クトル図, (a) (b) (c) (d) の各横断図は省略



図4.3.2.4 複断面水路の横断図及び記号 の説明 (n<sub>m</sub>, n<sub>f</sub>) はそれぞれ低水路, 高水敷



図 4.3.2.5 水平渦に伴う低水路・高水敷間 の流れの概念図<sup>28)</sup>

3次元性が卓越している.

このような水平渦に伴う低水路と高水敷間の流れの様子を概念的にも示している(図 4.3.2.5).

今回の洪水では同様な水理現象は確認されていないが,池田らの研究<sup>28)</sup>は長野市穂保 57.5k付近の堤防決壊前の洪水流の挙動を理解するためのヒントを与えている.即ち,洪水 時の河川敷の流れは,河川敷の堆積土砂分布への影響,果樹木・樹林による粗度係数の課題, さらに堤外地の坂路への流れの影響に関して理解を深め,粗度係数の評価に繋がる課題と 考えられる.

## c)高水敷堆積土砂・果樹木調査のまとめ

・調査区間はセグメントでは2 あるいは Bc 区分にあり,河川勾配 1/1100 の緩勾配にある・下流の立ヶ花狭窄部から上流の村山橋付近までは,河川敷の樹林・果樹園などの影響もあり,洪水時に流れは貯留池化している.

- ・河道の高水敷における植樹の基準で果樹木の密度の評価を行った. 調査箇所のリンゴ果 樹の平均密度 0.024 本/m<sup>2</sup>, 栗樹木の平均密度 0.023 本/m<sup>2</sup>は 1ha 当たりにすると其々240 本/ha, 230 本/ha となる. 現在の果樹木は超過密した高水敷になっている.
- ・洪水時,高水敷の堆積土砂は膨大な堆積量となり堤防管理においても無視できないもの と考えられる.低水路だけでなく,高水敷も計画的な調査と浚渫が必要である.

・距離標 55.3k-57.3k の区間は河道掘削が令和元年 8 月の河川整備計画でも指摘されていた.また,今後,計画的で持続的な浚渫が必要となる.

- ・樹林,樹木の計画的伐採,私的所有である果樹園の適切な河川占用管理が求められる. これらを粗度係数として評価し,河川管理に反映する必要がある.そのためにも河道の 複断面構造のもつ洪水時流れの水理現象を3次元的にも把握する必要がある.
- ・河川敷の果樹木、樹林の適切な管理、浚渫などがなければ、今後も計画規模を超える洪水では長い河道区間の脆弱な何処かの箇所で越水につながるものと推察される。

(土屋十圀)

## 4.3.3 破堤点近傍の氾濫域堆積土砂

## <u>a) はじめに</u>

本調査では、長野市長沼地区などで生じた千 曲川破堤氾濫による浸水の被害状況を整理し、 氾濫で生じた堆積土砂の粒度分布試験を行い、 その結果を用いて土砂堆積の状況およびシルト や粘土といった微細な粒径が主であった土砂堆 積状況のメカニズムについて考察する.



### 図 4.3.3.1 被災の様子

## b) 堆積厚調査および土砂採採取と粒度調査の概要

信州大学豊田研究室により 10 月 18 日,20 日に千曲川破堤による土砂の堆積厚と土砂採 取が行われた.堆積厚調査にはポールとメジャーを用い,氾濫前の地盤と思われる場所まで ポールを突き刺し,その長さを計測した.また,土砂採取は,道路上,橋の上など,堆積し た土砂と思われる資料を採取した.土砂堆積厚の状況を図4.3.3.2 に示す.本図から,破堤 箇所近傍では,20cm 近くの堆積がみられるが,500m 程遠方では 10cm 以下の堆積厚となっ ている.これらの結果から,土砂堆積厚は破堤箇所近傍で大きいものの,氾濫域全域として みれば,広く薄く広がっているといえる.また,後述するように,拡がった土砂の粒径は非

常に小さく, その排除, 清掃が 大きな問題となり, また, 果樹 園などの農業被害も大きな問 題となった.

採取された資料のうち,図 4.3.3.3に示す地点の資料に対 して土質試験を行った.なお, 中部大学チームも 10 月 27 日 に現地調査を実施しており,そ のときに採取した試料(4か 所,1,2,7,15)も合わせて整理し ている.現在まで,中部大学チ ームの採取地点の4か所,信州 大学チームの多数ある採取地 点のうち8か所の,合計12 か 所の試料が分析された.

「土質試験基本と手引き第 二回改訂版」<sup>29)</sup>を基に,自然含



(元信州大学大学院 山下拓朗作成)

水比試験,液性限界・塑性限界試験, 密度試験,粒度試験を行った.本試 験は,採取した土砂の物性値を把握 することを目的とし、中部大学工学 部都市建設工学科の余川弘至講師, 渡邊翔氏(現3年生)の多大な支援 を得て実施された.ここでは紙面の 都合上,液性限界・塑性限界試験お よび粒度試験を示す.

# 228 234 117 0 300 (m) 15 15 108 ★ 破堤点 7 102 **★** 破堤点 **千曲川** ● 調査地点番号

<u>c)試験結果</u>

図4.3.3.4 に液性限界・塑 性限界試験の結果を記載し た塑性図を示す.なお,見た 目で105の資料が他と異質 であったので,図4.3.3.4 に は記載していない.本図か ら,採取された土砂は粘土分 とシルト分が混在している ことが分かる.

図 4.3.3.5 に粒度試験に よる粒径加積曲線を示す.ま

た,表4.3.3.1にD<sub>20</sub>と透水係数および土質 分類の関係を示す. 粒度分布から求めたD<sub>20</sub> の値と表4.3.3.1より,地点15,226,234 が細粒粘土,地点1,2,7,102,108,115, 117,219が粗粒粘土,地点105が細粒シル トと分類できる.

なお,得られた結果をみると,ほとんどシ ルトおよび粘土の土砂であった.図4.3.3.5 の粒度分布をみても,105のみがズレて現れ 図 4.3.3.3 調査地点情報



図 4.3.3.4 塑性図

表 4.3.3.1 D<sub>20</sub> 粒径と透水係数の関係表<sup>30)</sup>

$D_{20}(mm)$	k(cm/sec)	土質分類
0.0010	1.50E-07	細粒粘土
0.0028	1.00E-06	和希望
0.005	3.00E-06	7日7日7日11-
0.010	1.05E-05	細粒シルト
0.020	4.00E-05	
0.030	8.50E-05	4日 4台 ミノルノト
0.040	1.75E-04	
0.050	2.80E-04	

ている.現地調査において、「非常に細かい土砂が堆積している」というコメントは多数聞 かれた.一方,破堤箇所の上流側(105地点)に限定すれば、大きな粒径の土砂が堆積して いた.これは、破堤時において破堤箇所近傍で大きな渦が発生し、堤防を構成していた土砂 が集積したという考察もできるが、まだ不明である.本調査により、氾濫水と共に流入した 土砂は非常に粒径の細かいものであったことが示された.



# d) 粒度分布に関する考察

図4.3.3.5から,地点15 は他の資料の結果とズレて おり,粒径分布が細かいこと が示されている.これは採取 場所が畑だったことから,畑 の土も混在している可能性 がある.また,地点105の結 果は他の資料の結果と大き くズレている.この違いは見 た目でもわかる程度であり, c)で述べたように,千曲川破 堤による流入土砂というよ りも,堤防破堤による土砂が



堆積したものとも考えられる.したがって、ここでは、地点 15、105 の資料を除外して考察 する.

図4.3.3.5 の地点 219, 226, 234 の粒度分布を図4.3.3.6 に示す.本図から3 つの試料の 粒度分布が一致していることが分かる.このことから地点 219, 226, 234 は同じ成分の土と 推測される.この3 点は破堤点から離れた距離にある点であり,粒径の細かな土砂が堆積し ている.

図4.3.3.7には、地 点1,102,108,117の グラフを示す. グラフ から 50% 粒径を超え る辺りから各数値に 変化が見られた.この 変化を破堤点との距 離と比較すると,距離 が一番近い地点 108 か ら地点102,地点117, 地点1の順でだんだん と粒径が細かくなっ ている. すなわち, 流 速などの影響により,



破堤箇所から遠くになると、50%粒径や80%粒径などが小さくなる様子がみられる.この傾 向を明らかにするために、それぞれの粒度分布から20%粒径、50%粒径、80%粒径を算出し、 破堤点からの距離との関係を示したものが,図4.3.3.8である.本図から,破堤点からの距 離と 20%粒径について、関係はあまり見られないが、50%粒径と 80%粒径では、破堤点から 遠い箇所ほど値が小さくなる様子が分かる. すなわち, 小さな粒径の粒度の割合はあまり変 化していないが,遠距離では比較的大き

な粒径の土砂の割合は小さくなってい ることが示された.これは沈降を考えた 場合には当然の結果であるが,その様子 が定量的に求められた.

粒径(mm)

500

0.03

0.025

0.02

0.015

0.01

0.005 0

0




## e)粘土・シルトの土砂が拡がる要因に関する考察

c)および d)の検討から、千曲川破堤氾濫の状況では、粘土・シルトといった細かい土砂 が流入し、拡がり、堆積していたことが示された.現地調査でも同様のコメントが得られて おり、流入した土砂が細かい粒径を持つものであったと考えられる.ここで、流入した土砂 が細かい粒径を持つメカニズムについて考察する.

千曲川は広域な高水敷を有する河川である.河川水位が低水路より低い場合,水・土砂は 低水路を流れ,掃流土砂の粒径は流れの強さに応じて構成され,上流から下流へ移動する. 水位が低水路より高い場合,低水路部は水・土砂が流れ,高水敷も同様であるが,流れは低 水路より緩やかになる.そのため流れる土砂の粒径は小さい.低水路から流入する土砂もあ るが,岸近くでは浮遊土砂の中の粒径の大きいものは沈降していることが考えられる.さら に,下流の狭窄部に起因する流下能力不足に伴う水位上昇が生じると,主流の流速も低下す るが,特に高水敷の流速が低下する.そのため,高水敷では細かい粒径を持つ濁水となり, 沈降する土砂も細かい粒径のものとなる.

図4.3.3.9に、破堤箇所近く(地点108)と、破堤箇所から20km程度上流の千曲川の高 水敷と低水路の堆積土砂の粒径加積曲線を示す.本図から、低水路と高水敷では、粒径分布 も大きく異なり、高水敷の堆積土砂が低水路よりも細かい粒径で構成されていることが分

かる.このことは,前 述した高水敷と低水 路の堆積土砂の粒径 の特徴と合致する.

破堤が生じた場 合,破堤箇所近くの 浮遊している土砂と 堆積している細かい 粒度の土砂が巻き上 がり,堤内地へ流入 する.破堤が長く続 いても,高水敷にあ る細かい粒径を持つ 土砂が堤内地に入り 拡がったと考えられ る.



図 4.3.3.9 粒径加積曲線(地点 108 と破堤箇所から 1km 程上流 の千曲川高水敷と低水路)

# <u>f)破堤点近傍の氾濫域堆積土砂のまとめ</u>

本研究で得られた成果と課題を以下に示す.

(1) 調査した土砂は、粘土分とシルト分が混在している粒径の細かい土砂である.

- (2) 破堤箇所の堆積土砂の 80%粒径や 50%粒径をみると、破堤点付近を始点として距離が 遠い地点ほど粒径は小さくなる傾向であった.
- (3) 狭窄部のある複断面水路で破堤が生じた場合、シルト・粘土などの細かい粒径を持つ濁水が堤内地に拡がる可能性がある.

(武田誠,豊田政史,川池健司)

#### 4.4 氾濫シミュレーションの高度化

#### 4.4.1 排水過程を考慮した氾濫シミュレーション

#### a) はじめに

本調査では、より精度の高い氾濫解析を行うための情報収集を行い、その情報をもとにした計算結果と観測結果を比較し解析の精度検証を行った.さらに、浸水の様子を考察し、当時の課題を抽出する.浸水災害の対策を検討するためには、被害がどのように発生したのかを評価するとともに、その防御策を検討することが重要であり、そのためには、最大浸水深やそのときの流体力のみではなく、浸水・排水過程を評価する必要がある.本調査では、その全体像を示すことを目的に検討を進めた.

氾濫の経緯 1):

気象庁によると、長野県では12日14時から18時に降雨のピークを迎えた.千曲川では 大雨により流量が増加し、20時以降に堤防からの越水が相次いだ.堤防が決壊した左岸 58.0k地点では、13日2:15にライブカメラ(57.5km)により堤防からの越水が確認された.カ メラは越水を確認した直後倒壊し映像が途切れたため、堤防が決壊した正確な時刻は不明 となっている.13日5:30に国土交通省により堤防の決壊が確認された.なお、破堤箇所近 くの住民からは4時過ぎに大きな音を聞いたという証言があった.

支川の浅川では、本川の千曲川の流量が増したことでバックウォーター(背水)が発生した. 12日 19:18 に国土交通省がバックウォーターを確認し、水門を閉じた.水門を閉じた後はポンプによる排水が行われたが、13日 0:08 に千曲川の水位が高くなり基準を超えたためポンプによる排水は中止された.その後、0:30 に浅川で堤防越水が確認された.そして、58km 地点の破堤が生じ、広域に甚大な浸水が拡がった.浸水深は最大 4.3m に達した.

#### b) 流入状況および排水状況の推定

氾濫解析では流入条件の設定が必要となる.本調査では,危機管理型水位計の情報を基礎に,ライブカメラによる映像データ,各報道機関により発表された情報,ヒアリング調査をもとに流入時間を推定した.図4.4.1.1に示した千曲川左岸57.5k危機管理型水位計では,13日4時以降では水位が計測できていない.この水位計は決壊範囲付近に設置されており,破堤箇所近くの住民の証



図 4. 4. 1.1 千曲川左岸 57.5k 危機管理型水位計<sup>2)</sup>

言から、本計算では13日4:00に破堤が生じたと仮定した.したがって、計算では、破堤 箇所の堤防天端において、13日0:30から越水開始、2:00に越流水深0.8mとし、その間は 直線的に変化するとし、越流水深0.8mが4:00まで継続するとした.破堤時間4:00から は、破堤箇所の近くの低内地に破堤箇所の水深を与えた.破堤箇所の水深として、4:00に 越流水深0.8mに堤防天端高5mを加えた5.8mを与えた.破堤箇所下流の水位計(立ケ 花)の様子から、千曲川本川が5.8m低下する時間を想定し16:00まで破堤箇所からの流入 が続くと仮定し、その間の水深は直線的に減少するとした.

また、排水については、13 日 9:00 頃に浅川第三排水機場が稼働し 9:45 に停止したこと、 9:30 に浅川樋門において排水ポンプ車が稼働し排水を行っていたこと、10:23 に千曲川と浅 川の合流部にある水門が開かれたことが確認されている.現地ヒアリング調査において浅 川付近に住む住民より 13 日 10:30 頃、下流から上流に向かい流れていた氾濫流が上流向き から下流向きの流れに変わったという証言を得ている.浅川樋門は計 5 台あり、一つの大き さは幅 5.8m、高さ 6.1m である.ゲート排水は次のように仮定した.ゲートの開放時間は 10:30 とし、開放は瞬時に行われるものと仮定した.流量算定には千曲川の水位を考慮せず、 樋門箇所の浸水深が樋門の高さを超える場合はオリフィスの式で、超えない場合は越流公 式を用いた.排水において本川の千曲川の影響を考慮していないので、排水量が多大となっ ていることが懸念さえることから、今後検討が必要である.また、ここでは、排水量 14m<sup>3</sup>/s のポンプが 9:00 から稼働し続けたとして、ポンプ排水を仮定した.

#### <u>c) 数值解析法</u>

数値解析には直交座標系の平面2次元不定流解析を使用し,10m 格子で領域分割した.国 土地理院の数値情報を用いて地盤高を設定し,鉄道のアンダーパス,小河川などを考慮した.

境界条件には, b)で示した破堤箇所に水深(越 流水深または破堤後の水深)を設定し, 排水過 程として, 排水(ゲート排水およびポンプ排水) を考慮, ポンプ排水のみを考慮, 排水を考慮せ ず, の3条件を考慮した 計算機間は13日0:00 ~23:00とした.

#### <u>d) 解析結果の妥当性評価</u>

図4.4.1.2に計算で求められた最大浸水深の 分布を示す.また,図4.4.1.3には二瓶らによ る調査結果(最大浸水深)<sup>3)</sup>との比較を示す.解 析結果は,概ね45度線(図4.4.1.3のオレン ジ色の線)に近い値で分布している.散布図の 中で白抜きの値は破堤箇所近くのもの,橋の上



図 4.4.1.2 最大浸水深の分布



図 4.4.1.3 観測値と最大浸水深(計算値)の比較

から測定したものなど誤差の理由が明確なもの である.本検討では,堤内地の地盤高の変化は考 慮していない.しかし,実際には,破堤および氾 濫水の作用により侵食作用が生じており,堤内 地の地盤高が変化している.したがって,破堤点 近傍では地盤の侵食の分だけ計算値は観測値よ



図 4.4.1.4 破堤点と差の分布

りも小さく現れている可能性がある.これらを除けば、計算値と観測値の差の RMS 値は 0.46m であった.

図4.4.1.4に破堤点と図4.4.1.3で得られた誤差(解析値-観測値)の分布を示す.この 図では図4.4.1.3において誤差が大きく原因が判明した箇所(白抜きの値)は省略してい る.赤色・オレンジ色の場所は解析値が観測値より大きいことを意味し,青色・緑色の場所 は解析値が観測値より小さいことを意味する.図4.4.1.4より,浅川の左岸側では解析値が 観測値より大きくなる箇所が,浅川右岸側の千曲川・浅川に挟まれた地域では解析値が観測 値より小さくなる箇所が多く見られた.破堤箇所の境界条件があいまいな点があり,さらに, 計算には破堤前の浅川における内水氾濫と千曲川からの越水が考慮されていない.これら の不明な点はあるが,図4.4.1.3で得られた精度でもって計算が行えていることは確認で きた.

# e)浸水状況に関する考察

つぎに、氾濫現象を考察するために、浸水の時間変化を図4.4.1.5に示す.また、排水を 考慮しない浸水深の時間分布を図4.4.1.6に、ポンプ排水のみを考慮した浸水深の時間分 布を図4.4.1.7に示す.図4.4.1.5から、越水により浸水が拡がる様子が示されており、本 計算の場合、4時に破堤が生じたとしているため、破堤により一気に氾濫水が拡がっている 様子が示されている.また、排水により浸水深が低下している様子も分かる.これは排水を 考慮しない図4.4.1.6との比較からも明らかである.さらに、ポンプ排水のみを考慮した



図4.4.1.6 浸水の時間変化(排水を非考慮)



図 4.4.1.8 浸水域の時間変化(国土交通省北陸地方整備局資料<sup>4)</sup>)

図 4.4.1.7 と図 4.4.1.5 を比較すれば、明らかに図 4.4.1.5 の方が浸水深の低下が現れていることが分かる.このことから、排水においてはゲート操作が重要であることが改めて示された.

国土交通省北陸地方整備局による浸水域図を図4.4.1.8に示す.図4.4.1.8の10月13日 10時の浸水域は、本調査の同時刻の計算結果と非常によく一致している.排水を考慮した 図4.4.1.5の最終計算時間23時の結果(浸水深が大きい地域)は、図4.4.1.8の14日11 時の範囲と比較的類似している.したがって、排水過程を考慮した計算結果のある程度の妥 当性は示されたと考える.ここでは、計算時間を延長させて、図4.4.1.8の結果との定量的 な比較は実施していない.本計算では、10m幅の計算格子を用いており、格子幅では表現で きない排水路などが考慮できていない.排水終了までの時間および状況を課題とするなら ば、都市が有する排水過程を考慮に入れた解析が必要になると考える.

現地の情報から,13日5時に浅川右岸から浅川へ流入する様子が得られていた.本計算 では、5時には千曲川破堤の氾濫水が浅川へ到着しておらず、実際と異なる結果となってい る.本調査において、破堤箇所以外の千曲川からの越水や破堤前の浅川からの越水などが考 慮されておらず、その点からすれば実際と異なる.しかし、d)でも記したように最大浸水 深は概ね一致していることから、本災害において、千曲川破堤による水量が支配的だったと もいえる.さらに、図4.4.1.2に示した黒丸の箇所でヒアリングにおいて、「10時30分頃 に流れの向きが変わった.ボートを使って逃げようとしたが難しかった」という証言を得た. 計算においても、排水を考慮したときに、大きな流れの変化が表現されていた.このことか ら、排水時において、流速が早くなるなどの危険個所を把握し、そのような場所には排水時 の注意喚起を行うなど、安全に配慮する必要がある.

## f) 排水過程を考慮した氾濫シミュレーションのまとめ

本調査では2019(令和元)年台風 19号により発生した千曲川の破堤氾濫に関する情報収 集ならびに浸水の再現計算を行った.また、二瓶らによる浸水実績との比較から、解析の精 度を検証し、精度よく計算できていることを確かめた.さらに、排水のモデル化を行い、氾 濫水に与える影響を考察した.検討を進める中で、排水における千曲川本川の影響の考慮や、 排水機能を考慮した氾濫解析の重要性が示された.

(武田誠,川池健司,豊田政史)

#### 4.4.2 氾濫域の土砂堆積シミュレーション

#### <u>a) はじめに</u>

堤防の決壊や越水によって河川の洪水流が氾濫した場合,洪水流に伴って大量の土砂が 流入し堆積する.住宅や道路や側溝などに堆積した土砂は除去する必要があり,その作業が 復旧の妨げとなる.今回の穂保地区の被災地においても,粒径の細かい粘着性の重い土砂が 家屋内に堆積し,多くの復旧ボランティアを困らせた.また,農地に堆積した土砂は生育中 の作物に被害を与えるだけでなく,土壌が被災して将来の作物の生育にも影響を及ぼすこ とがあり,多くのリンゴ果樹園が被害を受けた.ここでは,破堤氾濫によって洪水流ととも に流入した土砂の挙動を数値解析によって再現し,土砂の堆積の様子を考察する.

#### b)解析モデル

数値解析は平面 2 次元の氾濫流を対象とし,非構造格子による有限体積法を用いて解析 した.氾濫流に伴って土砂が伝播,堆積する現象は,浮遊砂と掃流砂を考慮した高橋,中川 <sup>35)</sup>のモデルを非構造格子に適合できるように改変して解析した.

#### <u>c) 解析条件</u>

解析の対象としたのは堤防決壊の氾濫によって浸水した地域であり、三角形非構造格子 に分割する際には、千曲川の左岸堤防、浅川とその堤防、国道 18 号線の平面形状を考慮し た.解析格子の大きさは、浅川とその堤防と国道 18 号線では約 10m,その他は約 50m とし たが、境界形状によってはさらに細かく分割した箇所もある.国土地理院の 5m 解像度の DEM を用いて、各解析格子の地盤高を決定した.ただし、浅川の河床高は国土地理院の標 高データには反映されていないため、ここでは長野県の浅川の横断測量データに基づいて、 隣接する堤防高から一律に 5m 低い値を与えた.

解析は 10 月 13 日午前 0 時から 14 日午前 0 時までの 24 時間とし,氾濫の条件は千曲川 57.5k 地点の堤防決壊地点からの流入のみを考えた. 4.4.1 と同様に危機管理型水位計の値 を用い,この水位を決壊地点の格子の水深に置き換えて境界条件とする. 危機管理型水位計 が欠測になった 13 日午前 3 時過ぎ以降は,ピークを合わせる形で立ヶ花の水位波形を平行 移動させて仮定した. 越水が 3 時間半ほど続いた後,13 日午前 4 時に決壊が起こったと仮 定した. 決壊については,決壊地点に該当する格子の地盤高を瞬時に堤内地盤高まで 5m 低 下させ,国土交通省の堤防決壊モデル <sup>36)</sup>に基づいて決壊幅は 35m から 70m まで 60 分かけ て拡幅するとした. 決壊幅と格子辺長の比に応じて,決壊地点からの流量フラックスの値を 調整することで,流入流量を決定した <sup>37)</sup>. その他の千曲川からの越水,ならびに浅川からの 排水,浅川排水機場からの排水は考慮しなかった.

土砂は、千曲川の洪水に含まれているとし、氾濫流とともに流入させた.千曲川の洪水流 にどの程度の土砂が含まれているかはデータがないため、いくつかの一様な体積土砂濃度 を仮定して解析を実行した.土砂の粒径は,4.3.3の結果をもとに0.01mmの一様粒径として,解析する.浮遊砂に関しては,初期地盤高よりも堆積した土砂についてのみ侵食されて 巻き上げられる過程を考慮した.

#### d) 解析結果と考察

千曲川の体積土砂濃度を 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 と変化させたときの,計算最終時 刻における土砂堆積厚を図 4.4.2.1 に示す.土砂濃度が 0.01 以下の場合にはほとんど堆積 が起こらず結果にほとんど差が見られないが,0.05 の場合には決壊地点付近に堆積が生じ, 濃度が大きくなるとともにその堆積厚が大きくなる.土砂濃度が 0.1 の場合,決壊地点付近 の土砂堆積厚は最大で 0.6m 程度に達し,そこから遠く離れた地域であっても 0.1~0.2m 程 度の堆積域が西側に広く分布している.信州大学豊田研究室が現地で計測した土砂堆積厚 (図 4.3.3.2)と比較すると,土砂濃度は 0.05 と 0.1 の中間程度と推定される.

つぎに、土砂濃度が 0.1 の場合の土砂堆積厚の時間変化を図 4.4.2.2 に示す. 越水が起こ っている時間帯は薄く土砂が堆積し、堤防が決壊すると速い流速を伴った氾濫流により、一 旦堆積した土砂は巻き上げられ、決壊地点の近傍は侵食されて初期地盤高よりも標高が低 下する.しかし、決壊地点からの流入が落ち着き、氾濫水が貯留された状態になり流速が低 下するとともに、決壊地点の周辺に土砂が沈降して堆積していく.図4.4.2.2 の結果より、 湛水が長引けば長引くほど土砂が堆積していく様子が見られることから、土砂の堆積を抑 えるためには氾濫水の早期排水が重要であることが示唆される.

#### e) 氾濫域の土砂堆積シミュレーションのまとめ

本調査において,土砂の挙動を含めた洪水氾濫の再現計算を行ったが,土砂堆積に関する 再現精度はまだ十分ではない. 今後,粒径分布を考慮したり,土砂濃度を仮定して与えてい る土砂の流入条件を改良したりするなどして,精度を上げていく余地があると考えられる.

各地先の浸水によるリスクは洪水ハザードマップ等の形で示されているものの,土砂堆 積によるリスクはほとんど定量化されていない.しかし,住宅や農地の復興を考えるとき, また何らかの用途に土地を新たに利用しようとするとき,浸水に伴う土砂堆積のリスクは 重要な情報になり得ると考えられる.各河川洪水が流送する土砂の粒径や濃度については 不確定な要素が多く含まれるものの,本研究で用いた手法によって土砂堆積のリスクを定 量的に推測してマップの形で示すことは,今後検討に値すると考える.

(川池健司,豊田政史,武田誠)



(e) 土砂濃度 0.1図 4. 4. 2. 1 計算終了時刻における土砂堆積厚



(a) 13 日 02:00



(c) 13 日 05:00



(d) 13 日07:00(e) 13 日10:00(f) 13 日15:00図 4. 4. 2. 2堆積土砂厚の時間変化

## 4.4.3 破堤箇所近傍の流木シミュレーション

## <u>a) はじめに</u>

千曲川の穂保地区破堤箇所(千曲川左岸 57.5k 決壊地点)周辺における土砂および流木等 の動態に関して,局所的な流れの計算結果に基づく検討を行った.これまでの資料から見た 現地の状況,解析の前提条件および結果に対する考察に関し,以下に詳細を述べる.なお, ここでは流木等の集積が氾濫の被害状況に及ぼす影響までは考察の範囲を広げず,現地の 水理学的な状況から推測される流送機構の検討に留める.なお,本項では数値解析により算 出された局所的な掃流力について空間的な分布のみを提示するが,次節「4.5 流体力によ る家屋被害」(呉)には現地該当箇所における実際の家屋被害状況が詳述されている.本項 の結果と比較の上で参照されたい.

# b) 現地における堆積物の状況

流木等の堆積状況として、出水直後の UAV による撮影画像およびそこから作成されたオ



図 4.4.3.1 左図: 穂保地区破堤箇所周辺のオルソ画像(点線の円は a~c の UAV および地上 画像に対応, 白い矢印は撮影方向を示す), a: 元となった UAV 撮影画像の例(共に 2019 年 10 月 17 日撮影,名古屋大学減災連携研究センター田代喬氏提供), b および c: 筆者による 撮影画像(2020 年 2 月 13 日)

ルソ画像(2019年10月17日撮影,共に名古屋大学減災連携研究センター田代喬氏提供) と、筆者が踏査中に撮影した 2020(令和 2)年2月13日の現地状況から、氾濫流による堆 積物の状況について検討した. 図 4.4.3.1 に 10 月 17 日オルソ画像を拡大したものと, 地 上及び UAV 撮影画像の例を示す.ここで点線の円は後述の写真の撮影位置を示す.図 4.4.3.1 左図のオルソ画像および元となった複数の UAV 画像を詳細に検討する限りでは, 浮遊物が広範囲に満遍なく堆積した状況は見られず、建築物や構造物周辺に局所的に堆積 していた状況が推測される(例:図4.4.3.1のa点, b点およびc点等). なお, 2020年2 月13日時点では、道路上の集積物などは撤去されていたが、一部、民家の周辺の集積物な どは残存している状況であった(例:図4.4.3.1中b点およびc点). 集積していた樹木は 河畔林から流出したと生木と思われ,環境省自然環境局提供の1/25,000植生図<sup>38)</sup>によれば, 右岸高水敷のニセアカシア (ハリエンジュ) 群落もしくはヤナギ群落からの流出であると推 測される. また, こういた流木の集積箇所については礫質の土砂の堆積箇所と重複しており, 流木の堆積の上流側に, 礫によるマウンド状の堆積が見られる場合があった. 現地での聞き 取りからは, 桜づつみからの流出と思われる流木も漂着していたとのことである. なお特徴 的な土砂の堆積状況を示すものとして,図4.4.3.1のc点北側の領域に礫の堆積が広範囲 に見られた.この礫の堆積については該当箇所の地形や水理的な状況を示すものとして,計 算結果とともに後述する.

#### c)現地地形とその出水前後での変化量

該当箇所における地形のデータとして,国土交通省北陸地方整備局提供の R01 千曲川左 岸 57.5k 決壊地点 LP データ(出水後, 2019 年 10 月 18 日取得), 2013(平成 25)年千曲川 L56k~59kのLPデータ(出水前)および基盤地図情報 <sup>17)</sup>で提供される 5m メッシュ数値標 高モデル(出水前)を用いた.2013 年の LP データについては測定範囲が河道周辺に限られ るため, 基盤地図情報の 5m メッシュデータと合成させた地形を出水前の地形として用い た. また R01 の出水後 LP データについては, 取得間隔は密な部分で 0.5m から 1.0m 程度, 2013 年の出水前 LP データについては密な部分で 20cm 程度のランダムなポイントデータで 表現されているため、地理情報システム(GIS)(ESRI、ArcGIS Pro)を用いて Triangulated Irregular Networks (TIN) による補間を行った後に, Inverse Distance Weighted (IDW) 処理に よるラスターデータ化を実施し、1m メッシュの格子データとして統一して検討した.上記 の処理を実施した標高値を示すラスターデータについて、出水前の標高コンター図、および 両者の差分値のコンター図として図 4.4.3.2 に示す. なお図 4.4.3.2 に示した建築物のポ リゴンは、基盤地図情報に基づくデータを破堤箇所周辺のみ抽出したものである.図 4.4.3.2のi)図の出水前の地形では、左岸堤防付近で周辺よりも地盤高が低い領域が存在 しており、概ね長沼城跡の曲輪群の位置に相当していると考えられる. 左岸の堤防はこの長 沼城跡を縦断する形で形成されていたことが見受けられる.図4.4.3.2の ii) 図の標高差 から, 先に示した局所的な堆積箇所が領域内に点在していることが確認されるほか, 礫の堆

積した c 点北側の領域については、そのさらに北側の a 点との間の領域に、洗堀の大きい領域が見られる.

#### d) 流れの数値解析の条件設定について

上記の現地観測に基づいた結果について,以降では数値解析を用いた検討を実施する.まず計算条件を記述する.

地形情報としては、先に記載した 2013 年の LP データと基盤地図情報 5m メッシュデー タを合成したものを用いた.このうち越流時の地形では上記を 2m メッシュの格子データに 変換したものを用いた.また破堤後の地形としては、上記に対して堤防破堤箇所の 70m 程 度の長さにおよぶ区間のみ天端を切り下げた地形を作成したのち、同様に 2m メッシュの格 子データに変換したものを用いた.切り下げの高さに関しては、第3回千曲川堤防調査委員 会資料<sup>32)</sup>を基に、まず天端高の標高を約 338m と置いた上で、後述の台形堰の完全越流の公 式<sup>39)</sup>からの推測に基づき 2m 切り下げた状態を仮定した.格子の形状については、流下方向 および横断方向共に 2m 幅の矩形とした.また基盤地図情報の建築物のポリゴンを破堤箇所 周辺のみ抽出し、これについて計算格子のマスキングを行うことで障害物として設定した.



図 4.4.3.2 i) 穂保地区破堤箇所周辺の 2013 年 LP データ(国土交通省北陸地方整備局提 供)に基づく標高コンター図(2019 年台風 19 号による出水前)および ii) 同標高情報と 2019 年 10 月 18 日取得の LP データ(国土交通省北陸地方整備局提供)との標高差を示した コンター図(点線および破線は図 4.4.3.1 と同様)

流入の境界条件の設定に関しては, 越流時と破堤後の2ケースを設定し, 流入部分の形状お よび流量を変更した.このうち,越流時の状況については,第3回千曲川堤防調査委員会資 料<sup>32)</sup>に基づき越流時の水位を338.3mと仮定したほか,裏法面の洗堀状況から越流幅を590m と仮定した.この仮定に基づき,堤防高さを 5m,越流水深を 30cm として台形堰の完全越 流の式から越流時の流量を140m<sup>3</sup>/s 程度と推測した.また,破堤後の流量に関しては下記の 手順で推測した. まず二瓶ら 40による先行研究の速報値から, 周辺領域での氾濫量の合計 を 1700 万 m<sup>3</sup>, 越流時間を 10 月 13 日 1:00 から 4:00 まで 3 時間, 破堤後の流出を 13 日 4:00 から 15:00 まで 11 時間とした.この前提の上で,越流時流量の合計(140m<sup>3</sup>/s を 3 時間分) を上記の氾濫量(約1700万m<sup>3</sup>)から差し引いた.この値を破堤後の流出時間(11時間)で 割ることで,約 400m³/s との推測を得た.この際,流量 400m³/s を前提として破堤幅を 70m とすると,台形堰の完全越流の公式から流入部分では越流水深約 2m,堤防高さ約 3m であ ったことが推測される. この場合, 元の堤防高さ 5m (標高で 338m) から 2m の切り下げ (標高で336m)となり、先の地形の設定における破堤箇所の切り下げ高さに該当する.流 入部分の形状については, 越流箇所もしくは破堤箇所からの流入のみとし, 堤防沿いに設定 した計算格子のマスキングを除外することで設定した.計算上では、堤外(千曲川)から堤 内(長沼地区)に向かって、上記のマスキングが除外された幅を通して流入する.この際、 堤外から越流あるいは破堤箇所に向けて導流するルートについてもマスキングにより試行 的に作成しているため,後述の計算結果においては堤外側の結果は考慮しないことを留意 されたい. 流入幅については,前述の通り,越流時で 590m,破堤時で 70m とした. また 計算では助走計算部分から徐々に流量を上昇させ,想定した流量に達した後に 3 時間経過 した時刻の値を用いた.このため,計算結果は実時間に応じたハイドログラフに基づく再現 を目指したものではなく、越流時あるいは破堤後の時間帯のスナップショット的な値を示 すものと考えられる.

流出に関しては、それぞれ計算領域の下流側で自由流出条件とした.このため、実際の浸 水領域全体でみた場合の下流側での湛水の状況が考慮されておらず、本計算結果の示す水 深については実測の最大水深とは一致しない.当時の時系列に基づく流量を仮定した武田 ら<sup>41)</sup>による計算の結果との比較では、本計算の破堤後の堤内地の水理的な状況に関しては、 破堤後1時間程度の時刻における水深に相当すると推測された.

計算のモデルとしては,汎用の解析ソフトウェアである iRIC2.1<sup>12)</sup>のプラットフォーム上で,平面2次元の流れの計算ソルバーである Nays2D<sup>42)</sup>にバイナリデータの出力機能を設けた修正版を用いた.なお,河床変動計算は実施しておらず,固定床とて設定した上で水深や流速といった計算値から無次元掃流力の検討を行った.計算格子サイズは前述の通り2mとし,格子数は流下方向に572,横断方向に426である.計算領域は概ね図4.4.3.2に示した領域と一致する.また計算時間刻みは0.05sとした.

# e) 流木挙動の数値解析の条件設定について

流木の挙動を計算するにあたり、既往の拘束条件型の流木モデル 43)を使用した.これは 清水ら 40の粒子型の流木モデルに基づいており,1つの流木を複数の粒子で代表させ,それ ぞれの運動方程式を解いて次時刻の移動を算出した後、改めて元の流木構成粒子に粒子全 体での移動と回転の平均的な情報を与えることで、形状を拘束しながら挙動を解くモデル となっている. なお本研究で用いたモデル 43)は、清水ら 44)の粒子型モデルから、さらに粒 子同士の接触判定を無視して簡略化したモデルとなっている.計算に用いる流れ場の情報 は前述の Navs2D ソルバーによる流れの数値解析の結果を使用し,破堤箇所の付近から 60 本を 2500 ステップごとランダムに投入した.計算時間刻みは流れの計算と同様に 0.05s で あり, 流木を構成する粒子数は5個とした. 流木の樹種に関しては, 環境省自然環境局提供 の 1/25,000 植生図 38)からヤナギおよびニセアカシア(ハリエンジュ)が主な流木であった ことが想定された.計算においては,ヤナギについては長さ4m,直径4.3cm,生材の比重 を 0.7 とし,ニセアカシアについては長さ 15m,直径 40cm,生材の比重を 0.95 とした.な お,ヤナギおよびニセアカシアの気乾比重については,それぞれ 0.4 程度 45)および 0.7 程度 物とされている.一般的な木材の気乾比重と生材比重の比率 ∜から,生材比重とした場合 に、ヤナギについては前述の 0.7 程度であるのに対し、ニセアカシアについては 1.0 を超え ることが推測されるが、流失直後に生材が沈水してしまう状況は想定せず、1 に近い比重と いうことで 0.95 と仮定した.

## f)流れに関する数値解析結果

計算領域のうち越流及び破堤箇所の周辺を拡大し,設定流量に達してから 3 時間経過し た結果を図 4.4.3.3に示す. 結果は上から i), ii) 流速の絶対値のコンター図, iii), iv) 流速ベクトル, v), vi)粒径 1mm(粗砂程度)を想定した場合の無次元掃流力τ\*, vii), viii) 粒径 20mm(中礫程度)を想定した場合の無次元掃流力で\*を示し,それぞれ,左側 が越流時,右側が破堤後を示している.また右側図の a,から c の円は図 4.4.3.1 および図 4.4.3.2の同位置に対応し、vii)、viii)図では顕著に礫が堆積していた領域を実線で示し た.i)からiv)までの流速に関する結果からは、越流時と破堤後で流れの状況が大きく異 なる様子が示されており、対象領域で特徴的であると観察された 40堤内に向かう二股の流 れに関しては,破堤後の結果において顕著であった.また本計算では河床変動解析を実施し ておらず, 地形として用いたデータも出水前の状態を参考としたものであることから, 元の 地形の勾配と建築物による遮蔽に応じて、破堤箇所から一部は長沼体育館の正面を通るル ートに、もう一部は長沼城跡周辺のやや低い領域に向かうルートに分岐していたことが推 測される. v) および vi) の粗砂を想定した無次元掃流力に関しての結果からは, 建築物に よる遮蔽部分を除いて概ね 0.05 の値を超えており(彩色されていない部分は 0.05 以下), 越流時および破堤時どちらの状態においても十分に輸送され得る状況であったことが分か る. ただし, 現地での堆積土砂サンプルの調査 40では, 表層に堆積した成分に関してはさ らに細かい粒子が主体であったことが示されている.計算条件に示した通り,本調査では狭  $\langle v \rangle$ 



図 4.4.3.3 数値解析結果の i), ii) 流速コンター, iii), iv) 同流速ベクトル, v), vi) 無次元掃流力(粒径 1mm), vii), viii) 無次元掃流力(粒径 20mm), すべて左: 越流時, 右: 破堤後

領域の下流端を自由流出としており、下流側で湛水時が進行した際の流速の低下は考慮し ていない.このことから、実際には越流後の水位のピーク時には、多くの領域で細粒分が堆 積できる程度まで掃流力が低下していたと推測される.vii)および viii)の中礫を想定 した無次元掃流力の分布からは、越流後の掃流力の分布が、十分な掃流力を有していた部分 (彩色された箇所)が現地の礫の堆積状況とよく一致していることがわかる.一方で越流時 の無次元掃流力の分布は、実際の礫の堆積状況とあまり関連しておらず、粒径の大きい土砂 に関しては主に越流後の水理条件にその輸送を依存していたと考えられる.また、viii)に 示された流木の堆積箇所である a~c の円について、越流時の無次元掃流力が低下した部分 のフロントに相当する箇所に位置していることが分かる.これについて、流木の挙動に関す る数値解析の結果と合わせて後述する.

なお、上記の結果は無次元掃流力として流れの状況を示したものであるが、次節「4.5 流体力による家屋被害」(呉)には現地該当箇所における実際の家屋被害状況が詳述されている.被害状況の空間的な分布と、上記の計算の結果と比較の上で参照されたい.

#### <u>g)</u>流木挙動に関する数値解析結果

流木挙動の計算については,本来 PIV もしくは PTV 解析を実施するための汎用のソフト



図 4.4.3.4 流木(ヤナギを想定,長さ 4m, 生材比重 0.7) 挙動の数値解析結果を出水前後の標高差コンター図に重ねたもの,流木の挙動は計算開始から 350s 後までの軌跡をすべて

## 重ねてハイライト表示

ウェア(カトウ光研, Flow Expert 1.2)の画像処理機能を用いて,流木モデルの軌跡を輝度 情報として積分したものを図 4.4.3.4 に示す. ニセアカシアを想定(長さ 15m, 生材比重 0.95 を便宜的に仮定) した流木挙動の計算結果については、ヤナギを想定(長さ4m,生材 比重 0.7) したものと比較して一部の領域で到達距離がやや短い傾向が見られたが、概ね軌 跡のパターンは類似していたため、ここでは後者の結果のみ示した. また軌跡を追跡した時 間は計算開始から 350s 後までとし,得られた軌跡は出水前後の標高差を示すコンター図に 重ねた. 流木は破堤箇所付近で散布されたのち, 図4.4.3.3の iv) に示された流速ベクト ルの大きいルートに沿って移動し、場所によってその軌跡を分岐させながら領域内を移動 した. 現地の踏査, あるいは UAV 画像から特徴的に流木の集積が見られた a~c の箇所にお いては、丁度そういった分岐の根元部分に相当しており、本モデルによる流木の移動経路と、 現地での実際の経路が、比較的同様の傾向にあることが推測された.また、図4.4.3.3の viii)から、掃流力の低下する位置を相対的に知ることが可能であるが、概ね a~c の位置 が, 礫の移動が可能である掃流力の分布の先端に位置していることが分かる. これらの結果 を踏まえると,堤内での氾濫流において流木が集積しやすい傾向のある場所としては,流木 移動が集中した流路の分岐点で、かつ掃流力が急激に低下する場所といった特徴が挙げら れた.

(赤堀良介)

## 4.5 流体力による家屋被害

#### 4.5.1 はじめに

日本の各地で毎年のように洪水氾濫等の水害が発生している.2015(平成27)年9月の 関東・東北豪雨では、鬼怒川の堤防決壊に伴う家屋の流失や大規模損壊が多くみられた.洪 水氾濫から人命を守るためには事前避難が重要であるが、河川氾濫などは避難場所に向か う際に被害が生じた事例も多数あるため、自宅に留まり2階などへの垂直避難が有効な場 合もある.このような水平避難と垂直避難の判断を正確に行うためには洪水氾濫が生じた 事例で、家屋の被害状況の空間分布を十分に調査し、水深、流速、流体力、家屋の種類・築 年数等に応じて比較検討することが重要となる.

海岸工学の分野では従来から,津波被害関数を用いて津波の外力と家屋被害の分類を整 理することが進められており,2011(平成23)年の東北地方太平洋沖地震での津波被害を 契機に多くのデータがまとめられている.しかしながら,洪水氾濫では,まだまだデータの 蓄積が少ないのが現状である.このような状況をふまえ,土木学会水工学委員会水害調査ワ ーキンググループ(WG)では水害調査のガイドラインの取りまとめを進めており<sup>48)</sup>,執筆 者は,家屋被害調査の章を担当している<sup>49)</sup>.このようなガイドラインの策定,被害分類の公 表により,洪水被害関数の蓄積が可能となり,水平・垂直避難の判断に資する情報を提供す ることが可能になると考えられる.実際に,国土交通省が公表している洪水浸水想定区域図 では,家屋倒壊等氾濫想定区域が明示されているが,これら区域をより正確に表現し,事前 の水平避難へとつなげる事が重要となってくる.

本節では、台風 19 号での長野県千曲川の洪水氾濫を対象とし、長野市穂保地先の堤防決 壊付近の家屋被害の空間分布を調査した結果を報告する<sup>50)</sup>. なお、建築などの観点からの 住宅の詳細な被災状況は、6.3 住宅を参照されたい.

#### 4.5.2 家屋被害調査マニュアルの概要

水害調査 WG が取りまとめた家屋被害の分類は、①流失(基礎無し)、②流失(基礎有り)、 ③損壊大、④損壊小、⑤浸水のみの5分類となっている.この分類は、調査後に実施する洪 水氾濫計算および流体力の評価の際に検証用に利用することを想定しており、地盤の洗掘 状況も判別項目に含む.損壊大以上が命を守るためには水平避難が必要だったという判断 基準であり、損壊小以下は垂直避難でも対応可能なものであったと判断する.上記の分類を 実際の水害調査時に、外壁の損傷程度で分類できるように整理されている.これは、水害調 査現場で床上浸水深等を詳細に調べるのは時間的制約や被災者のプライバシー保護の観点 から困難な場合が多いためである.表4.5.1に、この家屋被害分類の概要を示す.本ガイド ラインには、家屋被害調査票に加え、各被害分類の家屋写真の例とその解説が多く示されて おり、家屋被害分類に精通していない方でも、上記の5分類の判断が外観のみからできる情 報を提供している.

 損害状況	損害の程度	浸水深の目安
建物および基礎が流失 家屋周辺地盤の激しい洗掘	①流失 (基礎無し)	1階天井以上の浸水
建物は流失するが基礎は残存	②流失 (基礎有り)	1階天井以上の浸水
建物の傾斜 主要構造の破損 修繕なしに再居住不可 流失・全壊の恐れあり 家屋周辺地盤に洗掘あり 外観に穴等の大きな損壊あり	③損壊大	1階天井まで浸水
床上浸水しているが流失・全壊の 恐れ無し 家屋周辺地盤に洗掘なし 外観にへこみや亀裂程度の小さ な損壊 修繕なしで再居住可	④損壊小	床上浸水
浸水のみ 外観に損傷なし	⑤浸水のみ	床下浸水

# 表 4.5.1 家屋被害分類の概要 48),49)

#### 4.5.3 現地調査の概要と調査結果

2019(令和元)年10月11日~13日の台風19号による千曲川での洪水氾濫発生後,10月 17日,18日および11月2日,3日にわたり穂保地区を対象とし,洪水氾濫による家屋被害状 況の調査を上記ガイドラインに基づき行った.

図 4.5.1 に示すよう,浸水被害の生じた家屋に対して,居住者の許可を得たうえ,浸水 深・床上浸水深の計測,侵食状況の判定などを実施し,家屋被害の分類を判断した.また,

家屋被害状況の写真を,こちらも許可が得られれば,個人情報(表札や写真など)が写らな いよう注意しつつ撮影した.被害状況を,ガイドラインの表4.5.1に示す家屋被害分類に基 づき分類し,③の損壊大以上で水平避難が命を守るためには必要不可欠であった状況とす る.

調査の過程で,被害の大きかった公共施設の写真を一例として図4.5.2に示す.また,流 失,損壊大と判断された家屋の状況の一例を図4.5.3に示す.このような被害写真からも当 時の氾濫流の強さが見受けられる.



図 4.5.1 浸水深の調査の様子<sup>50)</sup>



図4.5.2 公共施設の被害状況の一例(左:体育館,右:公民館)<sup>50)</sup>







図 4.5.3 流失(基礎あり),損壊大の家屋の一例

長沼地区の 80 棟を対象とした調査より明らかとなった家屋の被害状況の分布を図 4.5.4 に示す.図4.5.4 に示されるよう,堤防決壊地点から 350 m 程度離れた地点でも損壊大の 被害がある点は特筆すべきである.従来から河川堤防から 300 m までの範囲に避難勧告を 出す市町村が存在したが,河川の規模に応じて見直しが必要となる.図に示すよう,氾濫流 により 200 m 程度流出した家屋も存在するなど,今回の千曲川の破堤氾濫流の強さが感じ 取れる.なお,国土交通省は想定最大規模の出水を対象として家屋倒壊等氾濫想定区域(氾 濫流)を公表しているが,図4.5.4 に示される範囲は家屋倒壊等氾濫想定区域に指定されて おり,事前にこのような想定区域を確認することの重要性が再認識される.

重要な点として,図4.5.4 に示されるよう顕著な家屋被害は2方向に沿って生じている ことがわかる.これは氾濫流が地形や家屋・植物群などの影響で,2方向に顕著な流れを示 したためである.この流れはマスコミの多くの空撮動画や本報告書の他の章・節の記述・写 真などでも確認されている.



図 4.5.4 長沼地区における家屋被害の空間分布<sup>50)</sup>

図4.5.4に示される被害分類の図中で「損壊中」で示される家屋は,現地調査時は「損壊小」と分類されていた.しかしながら,実際の感覚と相違が生じるため著者らの文献<sup>50</sup>に示すよう損壊中と定義・名称を変更して記載している.ちなみに長野市の罹災証明用の家屋被害調査では,一括判定が導入され対象地区の全てが全壊と判定されている.多くの家屋で

は高い床上浸水深を記録していたが、1 階天井までの浸水は確認されず外観の被害なども大きくないため、表4.5.1 に示される損壊大には、今回の調査では判定されなかった.これは今回使用した調査票の目的が簡易かつ現場で床上浸水深などの測定を不要とすることであったためである.

しかしながら、例えば堤防決壊位置が異なるなど、氾濫流況に差異が生じた場合は、今回 の損壊小でも、流失・全壊の恐れがあった可能性は十分高いと考えられる.よって、もし床 上浸水深などの計測が可能であった場合、表4.5.1の分類に今回のように「④損壊中」を含 め詳細な被害分布を算出し示すことも可能となる.これらの詳細は執筆者の文献 <sup>50)</sup>を確認 されたい.また、今後もデータの蓄積と精査を通じ、水害調査ガイドラインの改善が必要と なる点は注意されたい.特に床上浸水しながら「損壊小」という定義・名称は、住民の被災 感情などを考慮すると今後見直しが必要不可欠であると考えている.

## 4.5.4 洪水氾濫解析の概要と速報結果

上記の調査結果に加え,氾濫解析などを実施することで,家屋被害と流体力の関係を定量 的に評価した家屋被害関数を作成する必要がある.また,氾濫解析を通じて,上記したこの 2方向の顕著な流れを表現可能かの検討も行う必要がある.この2方向の流れを表現するた めには,詳細な地形データの使用,地表面粗度係数の設定および家屋の抗力の評価など,細 かいデータの使用と条件の設定が必要であろう.また,河川本流の解析も多くの氾濫解析で 実施されているような1次元の解析ではなく2次元で解析する必要の有無なども今後検証 していく予定である.

第一段階として,河川の流れを1次元不定流で計算を実施し,氾濫域の氾濫流を2次元 不定流で計算した結果を速報として以下に示す.実測の浸水深での検証や粗度係数,破堤条 件の検証などは実施していない速報である点は注意されたい.詳細な氾濫計算結果に関し ては本章の他の方の計算結果を参照されたい.

**図 4.5.5**に,計算より得られた最大浸水深および最大流速の結果を示す.またこれらを長 沼地区に着目し拡大したものを,**図 4.5.6**に示す.

126



図 4.5.5 洪水氾濫解析より得られた最大浸水深, 流速の空間分布



図4.5.6 洪水氾濫解析より得られた最大浸水深, 流速の空間分布(長沼地区周辺)

本計算では地形データとして 30 m の DEM を使用している.よって空間解像度が十分で ない点は注意されたい.長沼地区の堤防決壊地点周辺では,最大深水深が 2.0~3.0 m 程度, 最大流速が 1.5~2.5 m/s 程度となっている.上記の家屋被害調査で明らかとなったような 2 方向への流れは当然ながら全く表現されていない.よって,このような状況では詳細な洪水 被害関数の構築などは行えない状況である.

今後は、高解像度での計算や地表面粗度、家屋の抗力の空間分布の考慮などに取り組んで いく予定である.また、河川内の流れを1次元で解析したが河川内の流れも2次元で解析 することで、より詳細な流況と氾濫流の再現にも取り組んでいく予定である.これらの計算 は現在逐次実施しており、土木学会の水工学講演会(11月富山市開催予定)などで報告す る予定である.また,既に本章の4.4.3で愛知工業大学の赤堀良介先生が詳細な計算を実施 されており、2方向への流れの分流などの計算過程・結果はこちらを参照されたい.

# 4.5.5 流体力による家屋被害のまとめ

千曲川の洪水で氾濫被害の生じた長野市穂保地区を対象に実施した現地調査結果より, 流体力による家屋被害,特に破堤点付近の家屋被害の空間分布を報告した.このような調査 結果を蓄積することで,洪水氾濫被害関数を構築し人々の水平避難の要不要の判断に資す る情報を提供することが必要である.また,堤防決壊付近の氾濫流の挙動を詳細に表現する ためには,どの程度の高解像度・次元の計算が必要であるかなど,これらも整理していく必 要がある.更に人的被害や事前避難状況と家屋被害状況の関係を明らかにすることで,事前 避難により人的被害の拡大をいかに抑制することが出来たかなどを定量的に評価すること も重要となってくる.

(呉修一)

## 参考文献

- 1) 長沼村史編集委員会:長沼村史,長沼村史編纂部, 1975.
- 2) 長野市誌編纂委員会:長野市誌 第八巻 旧市町村史編,長野市, 1997.
- 3) 豊野町誌刊行委員会:豊野町の自然,豊野町誌刊行委員会, 1997.
- 4) 豊野町誌刊行委員会:豊野町の民俗と地区誌,豊野町誌刊行委員会, 1998.
- 5) 豊野町誌刊行委員会:豊野町の歴史,豊野町誌刊行委員会,2000.
- 6) 内閣府:みんなでつくる地区防災計画 平成26年度モデル地区の取組 長沼地区(長野
- 市), http://www.bousai.go.jp/kyoiku/chikubousai/pdf/h26model\_chiku\_summary/gaiyo06.pdf (2020.03.26確認)
- 7) 長野市:長野市町別人口及び世帯数, https://www.city.nagano.nagano.jp/site/kikaku-toukei/58653.html (2020.03.26確認)
- 8) 国土交通省北陸地方整備局:第2回千曲川堤防調查委員会資料, 2019.
- 9) 国土交通省北陸地方整備局:令和元年台風第 19 号による千曲川流域の浸水状況・対応 について(10月15日), 2019.
- 10) 国土交通省北陸地方整備局:信濃川水系河川整備基本方針 信濃川水系流域及び河川の概要,
  https://www.mlit.go.jp/river/basic\_info/jigyo\_keikaku/gaiyou/seibi/shinanogawa\_index.html,

pp.10-1 $\sim$ 10-3, 2019.

- 11) Y. Nihei, A. Shinohara, K. Ohta, S. Maeno, R. Akoh, Y. Akamatsu, T. Komuro, T. Kataoka, S. Onomura, and R. Kaneko: Flooding Along Oda River Due to the Western Japan Heavy Rain in 2018, *J. Disaster Res.*, Vol.14, No.6, pp. 874-885, 2019.
- 12) iRIC Software : https://i-ric.org/ja/.
- 13) 長野県災害対策本部:第39回災害対策本部員会議(令和2年1月29日11:00~), https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/dai39.pdf(2020.03.26確認)
- 14) 吉田一希:平成30年7月豪雨に伴う高梁川流域と肱川流域の浸水範囲と浸水深分布の推定,日本リモートセンシング学会誌, Vol.38, No.5, pp.422-425, 2018.
- 15) 伊藤悠一郎,中村晋一郎,芳村圭,渡部哲史,平林由希子,鼎信次郎:建物立地とその変化過程に着目した平成30年7月豪雨による浸水被害の分析,土木学会論文集B1, Vol.75, No.1, pp.299-307, 2019.
- 16) 国土地理院:令和元年台風19号に伴う大雨による浸水推定段彩図(速報), https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/shinsui/01\_shinsui\_chikuma\_3.pdf(2020.04.03確認)
- 17) 国土地理院:基盤地図情報,https://www.gsi.go.jp/kiban/(2020.04.03確認)
- 18) 吉田和義:千曲川沿岸における地割慣行地の地理学的研究-長野県小布施町山王島集落 の事例-,新地理,日本地理教育学会,Vol.35, No. 1, pp. 1-13, 1987.

- 19) 内山幸久:果樹生産地域における土地利用の変遷-土地利用図にみる長野県小布施町 の例-,地図,日本地図学会, Vol.32, No.3, pp. 1-11, 1994.
- 20) 村上成一:長野県の土地改良事業について,農業土木学会誌, Vol.35, No.11, pp. 652-656, 1968.
- 21) 第 39 回長野県災害対策本部会議,第 3 回暮らし・生業再建本部会議資料,農政部報告:畑・果樹園の土砂撤去について.
- 22) 長野市ホームページ 農林部 長野市災害対策本部会議資料(令和2年3月26日) 被災農地の排土進捗状況:
   https://www.city.nagano.nagano.jp/uploaded/attachment/341070.pdf
- 23) 台風第 19 号により流入した堆積土の分析結果と今後の肥培管理について,災害等に 係る技術対策について,長野県農業技術課, R2.1.27 版
- 24) 国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所ホームページ: http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/,
- 25) 内藤武美:千曲川洪水と土地割地(地割)慣行制度,長野県不動産鑑定協会.
- 26) 財団法人リバーフロント整備センター:河川における樹木管理の手引き,山海堂, pp.183-193, 1999.
- 27) Prof. Dr.-Ing. Eckhard Ritterbach: *Computer Alded Methods for River Restoration*, RWTH Aachen University, pp.8-12 http://www.rwth-aachen.de/
- 28) 池田駿介,村山宣義,空閑健: 複断面開水路水平渦の安定性とその3次元構造,土木学 会論文集 No.509/II-30, pp.131-142, 1995.
- 29) 公益社団法人地盤工学会:土質試験基本と手引き第二回改訂版,丸善, p.251, 2016.
- 30) 土質工学会:土質工学ハンドブック, p.70, 1982.
- 31) 気象庁:台風第 19 号による大雨,暴風等,
  http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/ jyunsoku ji20191010-1013.pdf (2020.05.06 確認)
- 32) 国土交通省北陸地方整備局:第3回千曲川堤防調査委員会資料,
  http://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-03.pdf(2020.05.06 確認)
- 33) 二瓶泰雄ら:千曲川穂保地区痕跡水深データ 191031, 令和元年台風 19 号豪雨災害調 査団中部地区資料, 2019.
- 34) 国土交通省北陸地方整備局:千曲川の堤防決壊箇所の浸水の解消状況について、令和元年10月16日. http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/r011012/191016press2.pdf. (2020.05.06 確認)
- 35) 高橋保,中川一:堤防決壊による土砂堆積のシミュレーション,京都大学防災研究所年 報, Vol.32, B-2, pp.733-756, 1989.
- 36) 建設省土木研究所 河川部都市河川研究室:氾濫シミュレーション・マニュアル (案)

ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証-,1996.

- 37) 川池健司,橋本雅和,中川一:水田地帯における氾濫水の伝播特性と土砂堆積に着目 した鬼怒川洪水氾濫の再現計算,土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.73, No.4, pp.I\_1441-I\_1446, 2017.
- 38) 環境省自然環境生物多様性センター:自然環境調査 Web-GIS, http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html (2020.03.19確認)
- 39) 土木学会水理委員会水理公式集改訂委員会:水理公式集-昭和60年版-,土木学会,1985.
- 40) 二瓶泰雄,小野村史穂,片岡智哉:台風19号による千曲川の洪水氾濫状況,中部・北陸 地区調査団打合せ(2020/1/16) 資料,2020.
- 41) 武田誠, 余川弘至, 渡邊翔, 安間匡志, 日比佑成, 棚橋啓二, 佐藤大介, 村山美月, 豊田政史, 川池健司:千曲川破堤による浸水と堆積土砂に関する検討, 中部・北陸地区調査団打合せ(2020/1/16) 資料, 2020.
- 42) 清水康行, 井上卓也, 濱木道大, 岩崎理樹: iRIC Software Nays2D Solver Manual, https://i-ric.org/download/nays2d-solver-manual/(2020.03.19確認)
- 43)初田直彦,赤堀良介,清水康行:蛇行流路の流体場と流木の挙動に関する実験と数値解 析,応用力学論文集,Vol.15, pp. I.415-I.422, 2012.
- 44) 清水義彦,長田健吾:流木形状を考慮した個別要素法による橋脚周辺の流木集積過程に 関する数値実験,水工学論文集, Vol.51, pp.829-834, 2007.
- 45) 道産木材データベース:
  http://www.fpri.hro.or.jp/gijutsujoho/doumoku-db/doumoku/doumoku-index.htm(2020.03.19確認)
- 46) 阿部房子:森林バイオマスの熱化学的研究,林業試験場研究報告, No. 352, pp.1-95, 1988.
- 47) 森林総合研究所: 改定4版 木材工業ハンドブック, 丸善株式会社, 2004.
- 48) 土木学会水工学委員会水害対策小委員会水害調査法 WG:水害調査ガイドライン, http://www.rs.noda.tus.ac.jp/hydrolab/guideline/ (2020.04.02 確認)
- 49) 呉修一,大槻順朗,八木澤順治,永野博之,二瓶泰雄,水害時における調査方法の標準化および共通データベース構築に向けたガイドラインの提案,河川技術論文集, Vol.23, pp. 67-72, 2017.
- 50) 八木隆聖, 呉修一, 石川彰真, 2019 年長野県千曲川洪水氾濫を対象とした家屋被害の 調査報告と水害調査ガイドライン(案)の改善の提案, 河川技術論文集, Vol.26, 投稿中, 2020.

# 第5章 河川構造物等の損壊状況と河川管理

5.1 はじめに

2019(令和元)年10月11日~12日,台風19号の豪雨は千曲川流域の本川,支川の堤防 や護岸の決壊・氾濫,土砂災害を引き起こし,住民の生命・財産,農業,交通,観光など日 常生活から生産活動まで甚大な被害をもたらした.被災した地域と損壊した河川施設等の 現地調査を行い,その結果を報告する.調査日時,調査箇所は以下の通りである.

2019 年 10 月 21 日,千曲川上流・佐久市内の千曲川本川,支川の滑津川,田子川,佐久 穂町内の千曲川本川,支川の抜井川,余地川を調査し,長野県佐久建設事務所にて情報収集 を行った.

2019年11月6日~7日,千曲川中下流の上田市,長野市,須坂市,中野市,小布施町に て,千曲川堤防決壊,氾濫,河道の調査を実施した.この調査では,塩野敏昭氏((株)北 信ボーリング,工博)および中山俊雄氏(東京都庁)から地質・地盤分野の所見を得た.

2019年11月18日,2020(令和2)年1月6日,佐久市(旧臼田町田口)の雨川,(旧臼田町入澤の)谷川,佐久穂町の余地川上流,抜井川上流の河川施設の損壊状況及びダム地点の調査を実施した.

2020年1月17日,千曲川下流の長野市,須坂市,小布施町の河道調査を実施した.

2020年3月1日, 佐久市内の滑津川, 志賀川, 香坂川, 田子川, 吉沢川, 谷川で住民の協力を受けてヒアリングを含む現地調査を実施した.

調査は国土交通省千曲川河川事務所および長野県管内の建設事務所を訪問し、協力を戴 き、ウェブサイトなどからも資料収集を行っている.河川管理者の河川整備目標を参考に取 りまとめている.また、前者においては千曲川・犀川の堤防整備状況下(2018(平成30)年 3月時点)にあることを踏まえ、水防上重要な工作物一覧<sup>1)</sup>を参考に考察を行っている.後 者の長野県においては千曲川流域の圏域ごとの整備計画による河川工作物の警戒判定によ る資料<sup>2)</sup>を参考に考察している.

なお,千曲川流域の調査区間は直轄管理の区間が下流の中野市立ヶ花地点から上流は東 御市大屋橋までの区間である.また,長野県管理は大屋橋より最上流の南佐久郡川上村まで である.長野県管理区間の調査は圏域単位であり,長野,上小,北佐久,南佐久の各圏域に 区分されている地域の被害が大きい支流を対象としている.

また,河川管理の調査は河川法,河川管理施設等構造令,長野県の重要水防区域による堤防・護岸の警戒度評価と水防工法による資料を参考に考察している.

調査結果を取りまとめるに当たり千曲川の河川形態とセグメント区分の上から3つに区分している.即ち,(1)千曲川下流直轄管理区間,(2)千曲川中流・直轄および県管理区間,(3)千曲川上流長野県管理区間として整理している.

# ・千曲川の河川形態とセグメント区分

千曲川は長野県内の河川名であるが,信濃川水系全体では上流部に位置する.しかし,河 床勾配,砂礫の粒径など河川の地形・地質・生態の要素からみると3つの区分に分けられる <sup>3)</sup>.最上流から佐久盆地まではセグメント区分はAa(侵食),ここから中流の上田(塩田) 盆地から千曲市杭瀬下まではセグメント区分 Bb(運搬),および下流の長野・飯山盆地で はセグメント区分 Bc(堆積)を示す形態となり信濃川水系の上流部だけですべのセグメン

トを有している(図 5.1.1). この区 分は山本のセグメントの定義 4)に順 じれば Aa はセグメント M, Bb はセ グメント 1, Bc はセグメント 2 に, ほぼ対応する.更に,千曲川は地質・ 地形学的にも長野圏域から佐久圏域 において千曲川の河道がフォッサマ グナの地溝帯に位置している.

信濃川の河川延長 367km のうち千 曲川 214km(58%), 信濃川流域面積 12,050km<sup>2</sup>のうち千曲川流域面積は支 流犀川流域を含めて 7,163 km<sup>2</sup>(59%) である. このように千曲川は日本列 島の屋根といわれる山岳地帯を流 れ, 国内河川の中でもすべての河川形 態(セグメント区分)を有する典型的な 最長大河である.



図 5.1.1 信濃川・千曲川の縦断図 (国土交通省北陸地方整備局資料に加筆)

5.2 千曲川下流

#### 5.2.1 堤防 長野市·須坂市·小布施町

長野県内の直轄,県管理の堤防決壊,越水・溢水,内水氾濫および河川管理施設の被害件 数は下記の表 5.2.1 のとおりである.

長野県			被害状況 10月29日時点	
	堤防決壊	越水・溢水	内水被害	河川管理施設被害
国管理河川	1水系1河川1箇所	1水系1河川1箇所	1水系2河川18箇所	1水系1河川34箇所
県管理河川	1水系5河川6箇所	1水系17河川21箇所	1水系3河川3箇所	2水系135河川973箇所

表 5.2.1 長野県内の被害件数(国土交通省北陸地方整備局)

# <u>a) 長野市穂保地先の堤防決壊</u>

千曲川左岸 57.50k 付近の堤防は長さ約70m にわたり決壊した.堤防決壊の状況は,第3 回千曲川堤防調査委員会資料によると堤防 決壊地点付近に設置されている危機管理型 水位計の記録による河川水位は,2019年10 月13日0:30頃から堤防天端に達し,2時間 程度で最高水位に達している.その後,水位 観測は不能となった.また,決壊地点上流の

桜づつみに植樹されている桜の幹で洪水 痕跡を計測した結果が示されている(図 5.2.1). 写真 5.2.1 は左岸 58.0k 越水状 況を示す.

洪水痕跡は図 5.2.1 平面図の①57.5 k 地 点で約 0.5m, ②地点及び③地点で約 0.3m であった.水位記録は,13 日 0:30 頃に堤 防天端 338.2m に達し,その後,2 時間程度 で最高水位に達している.その間に越流が 発生している.さらに,越流は13 日 2:40 にピーク水位 339.0m となり,最大越流水 深 0.8m であった(図 5.2.2,図 5.2.3). 以降,桜づつみ堤防裏のり面が洗堀され未 明頃に決壊したと推測されている.

b) 桜づつみ堤防の側帯について

側帯に関して,河川管理の視点から考察

図 5.2.2 千曲川堤防調査委員会資料

(国土交通省北陸地方整備局)



写真 5.2.1 堤防の越水状況、監視カメラ 58.0k から上流左岸の越流状況(千曲川河川事務所)







図 5.2.3 長野桜づつみ工事標準断面図(国土交通省北陸地方整備局)

する.堤防決壊箇所の河川構造は一般的な盛り土堤防と異なり,桜づつみ事業 <sup>5</sup>と呼ば れ,河川管理施設等構造令<sup>67</sup>,第24条の二項,第二種側帯を有する構造になっている<sup>8</sup> (図5.2.3).

この側帯の機能は堤防の安定を図るため非常用の土砂等を備蓄し、若しくは環境を保全 するため堤防の裏側の脚部に側帯を必要な箇所に設けた堤防となっている.決壊箇所の近 傍には堤防裏のり尻に非常用土嚢などを準備する施設がある.

現地の調査からわかったことは桜を植栽した堤防箇所(側帯)で縦断的に垂直に崩落して いる.構造図からもこの個所は吸出し防止シートを境に縦断方向に垂直に崩れていること



写真 5.2.2 堤防· 側帯 崩落地点(千曲 川河川事務所)

が分かる(写真 5.2.2, 写真 5.2.3). し たがって, 側帯である裏のり側は本体堤防 ではないため植樹を可能とし実施してい

る. この側帯は堤防天端とほぼ 面一 に施 工されて雨水等を浸透・排水させることが 前提になっていた構造である. 吸出し防止 シートは本来,本体堤防への水の浸潤によ る土砂の吸出し防止を目的にしたものであ る.しかし,この吸出し防止シートは上

面・側面に覆土されている桜づつみの土砂 と提体を分離する素材となり,ここに浸透 した雨水,あるいは越水・浸透した水が直 接排水され滑りやすい境界面を作ってしま



写真 5.2.3 桜づつみ盛り土(側帯)越水崩 落地点



写真 5.2.4 左岸 55.5k+133~213m 越水に より堤防(側帯)裏のり侵食箇所から崩落し た砂利

った可能性が推察される.写真 5.2.4 は左岸 55.5k 付近の越水または浸透により堤防(側帯) 裏のりの侵食により崩落し,露出した砂利である.上記のように堤防決壊箇所も側帯の裏 法侵食に始まり崩落から決壊に繋がった可能性が推定される. 桜づつみ堤防の決壊箇所を 含む約 1.5km にわたって越水していたことが分かっている. また、この堤防・側帯は「桜づつみ」と呼ばれ、長沼地区の過去の水害との戦いの歴史を 伝承し、記憶するために地元の小学生の歌詞をここに立て桜を植栽し、百年堤防として地元 の声を反映して完成させた. 桜づつみは12年間を要して2016(平成28)年に完成し、側帯 部分の天端幅14mが拡幅された. しかし、市民の感覚では本来の堤防としてしか見えず、 広げられた堤防構造の側帯の詳細を理解していなかったものと推察することができる. 堤 防の越水により市民の想いとは相反する堤防決壊という悲劇を生んでしまったと考えられ る.

#### <u>c) 坂路</u>

坂路について考察するにあたり堤防河川敷の利用方法に関する資料の及び河川構造設置 基準等<sup>7</sup>をもとにその機能と位置づけを理解し構造に関して考察する.

堤防決壊箇所の河道区間は川幅約 1,000m あり,現在,河川敷は果樹や野菜の栽培が広 く行われ,過去には堤外民地が存在していた.大正期に現在の内務省堤防ができることで 河川敷となったが,それ以前は,堆砂などによる自然堤防は水はけがよいため果樹栽培が 行われていた.地域により長芋,蔬菜が作られる地割慣行制度<sup>910</sup>と呼ばれる共有地であ った.

この制度は現在も引き継がれ、土地共有者が河川の氾濫による被害または利益を公平に 分担するための制度である.共有者は毎年、耕作地を割り替えたり、年期を決めてくじ引 きにより割り替えて農業を行っている.この共有地の権利を保全することは地区住民の義 務であり全期間を通じて築堤、植林、水防の活動が行われていた.近年はリンゴ、栗など の固定した栽培となっているが、行政区の違いもあり作物の種類も混在したものが作られ ている.

以上のような,社会的,歴史的な背景を持つ河川敷でもあり,堤防は堤内地からのアク セスを高めるため坂路が左岸・右岸とも多く設置されている(写真5.2.5). 穂保地先の 決壊箇所にも坂路があり堤外地側に3箇所,堤内地側に2箇所ある.工作物設置許可基準 <sup>の7</sup>などでは坂路の設置が不適当な箇所として水衝部(川表部)となっている. この基準では 詳細は設定されていないが,決壊箇所の57.5kは小さい曲率であるが湾曲し水衝部となっ ている.

坂路は水防,河道の維持管理などを目的と して,表・裏のり面に設置する幅3~4mの道 路であり,アスファルト舗装などがなされ4 トン車の走行も可能である.逆坂路がない場 合でも洪水時に坂路のある湾曲面で流れに偏 流を発生させている可能性も懸念される. 今 後,川表部の坂路は洪水時にどのような流れ を発生させているか検証する必要がある.



写真 5.2.5 坂路·左岸 58.5k·幅員 2.5m
# <u>d) 堤脚・管理用通路・裏のり排水路<sup>6),7)</sup></u>

領坂市北相之島地区の右岸 57.0k~57.5k 付 近はでポンプ排水機施設から相之島の市営住 宅にかけて浸水している(写真 5.2.6, 5.2.7).堤防からの越水のほか堤内地の内水 氾濫も加わり広範囲に浸水していたと考えら れる.その浸水痕跡は堤防裏のりから法尻,堤 脚部にかけて流水の痕跡はフェンスなどに捕 捉されたゴミなどによって認められる.また, 坂路あるいは管理用通路がある箇所は堤脚部 又は犬走に相当するのか不明なほどのり面と 形状が保全されていないことが分かる(写真 5.2.8).これは越水によるものより通常の維 持管理に起因しているものと推察される.



写真 5.2.6 右岸 57.5k 堤防裏のりから 越水,内水と合流.須坂市相之島の住宅浸 水.フェンスに洪水痕跡



写真 5.2.7 須坂市北相之島地区の住 宅が浸水被害手前から高速,住宅,堤防, 河川敷,河道と続く.千曲川右岸東側か らの鳥瞰.10月13日13時頃へリコプタ ーより(長野県)



写真 5.2.8 右岸 57.0k 付近,越水・内水 痕跡堤防裏のり尻,堤脚付近

## e) 千曲川下流直轄管理区間(セグメント区分 Bc)の課題とまとめ

- ・長野市が広域の中核都市として拡大するなか,特に穂保地先の堤防決壊による洪水災害により二名の犠牲者をはじめその後の避難,復旧・復興に向けて日常生活,農業,産業,交通,観光などの被害の大きさとその影響が深刻であることが浮き彫りになっている.
- ・決壊した堤防・側帯の桜づつみは、従来の堤防に 14m 拡幅して 2016 年に完成している. これは河川管理施設等構造令の第 24 条に準じて築造された側帯の構造である.この側帯 は堤防天端とほぼ 面一 に施工されて雨水等を浸透・排水させることが前提になっていた

構造である. なお,堤防・側帯は「桜づつみモデル事業」<sup>5),8)</sup>の一つであり,桜の植樹によ り良好な水辺空間の形成を図り,堤防の強化及び土砂の備蓄等の水防活動に必要な機能 整備のために側帯として位置づけられている. 今次洪水において,側帯を有する堤防が決 壊したことから,このような構造をもつ堤防の決壊メカニズムを実験などで検証するこ とが望ましい.

- ・坂路は広い高水敷の果樹園等の堤外地と堤内地の利用を図るために各所に設置されている.穂保地先の決壊箇所にも坂路があり堤外地側に3箇所,堤内地側に2箇所ある.河川構造設置基準では坂路の設置が不適当な箇所として水衝部(川表部)となっている.この基準では詳細は設定されていないが,決壊箇所の57.5k付近は小さい曲率であるが湾曲し水衝部となっている.また,工作物設置許可基準では坂路は計画堤防内に設置しないことを基本とするとしている.坂路の河川施設管理構造令に即し,課題の検証が必要となる.
- ・兼用工作物である管理用通路あるいは坂路がある箇所は、小段、堤脚部又は犬走に相当 するのか不明なほどのり面とその形状が保全されていない箇所が散見される.

(土屋十圀)

## 5.3 千曲川中流

#### 5.3.1 堤防 上田市城下地区諏訪形

千曲川中流はセグメント区分(Bb)に相当し, 河川勾配 1/200, 粒径の大きな礫も運搬される. 104k 付近の上田市諏訪形地先の左岸側堤防が 約 300m にわたり洗堀され欠損した(写真 5.3.1).また,上田電鉄の鉄橋一径間が落橋し, 不通となった.国土交通省千曲川河川事務所の 資料,読売新聞ネット情報などから落橋に至る までの状況が分かる.2019(令和元)年10月 13 日午前7時10分頃は堤防欠損がみられた が,鉄橋は残っている.しかし,その90分後 の10月13日午前8時40分にはマスコミのへ リコプターから落橋したことが伝えられてい る(写真5.3.2).

国土交通省千曲川河川事務所は飯山から上 田までの河川管理の施設点検を行い管理区間 32箇所は「警戒度合 A, B」としてリストアッ プしている<sup>1)</sup>. 諏訪形地先の堤防欠損箇所は警 戒の度合 B となっている.予想される危険とし て「桁下余裕高不足」であるとしている. 103.8k 千曲川橋梁(上田交通)桁下余裕高不足が指摘さ れていた.

この個所から約 4.7km 上流には生田水位観測 所があり,台風 19 号の洪水では河川水位ピーク 5.87m(T.P.469.47m)が記録されている.また,同 箇所は計画堤防高(T.P.470.2m)であり,既往最大 水位 3.98m を 1.9m 超えている.したがって,推 算すると計画高水の勾配は 1/200 であるから上田 電鉄橋梁付近の洪水ピーク水位は T.P.446.70m と なり,計画高水位を超えていたことになる.また, 現地調査では,堤防洪水痕跡からも推定すること ができる.

桁下余裕高不足によるため橋座などが水没し ていたことが推測される.



写真 5.3.1 上田市諏訪形の堤防左岸約 300m が洗堀欠損(国土交通省)



写真 5.3.2 上田電鉄の落橋 (2019 年 10 月 15 日,豊田政史撮影)



写真 5.3.3 上田電鉄, 上田橋の左右堤 防の前後のり面覆工の違い (Google earth より作成)



図-2 2019.10.14撮影

写真 5.3.4 洪水後の上田電鉄,上田橋の前後 の河床変動は左岸側の砂州が一掃されてい る (国土交通省)

更に、上田電鉄は堤防左右岸の橋台前後の堤防のり面が芝張となっており、下流の上田橋の 堤防のり面と比較する明確な違いを確認することができる.上田橋(道路橋)堤防のり面は路面幅以上にコンクリートブロックで覆工されている(写真5.3.3).上田電鉄橋梁は橋座が水没し、のり面も洗堀されていたのではないかと推定される.また、河川法24,26条の占用許可、工作物の許可では、設置位置の選定基準として不適当な箇所の事例として「河床の変動が大きい箇所は全国いたる箇所にある.



図-1 台風第19号出水前の状況 写真 5.3.5 洪水前の河床状況。左岸側に 大きな砂州がみられる.

(国土交通省)



写真 5.3.6 根固めエ・木工沈床が洗掘 と沈下を受け損壊。遠方の橋脚も傾斜 している

しかし、上田市城下地区の諏訪形周辺の河道・河床の変動は 1947(昭和 22)年9月, 1989 (平成元)年11月, 2004(平成 16)年11月と過去3回の上空写真の資料(国土交通省) があり、砂州形成の変化は激しいことが明らかである.台風19号による洪水後の上田電鉄・ 上田橋の前後の河床変動は左岸側の砂州が一掃されている(写真 5.3.4),洪水出水前後の 砂州の変動も交互砂州の特有の動態を示している(写真 5.3.5).交互砂州の形成は1蛇行区 間に瀬と淵が一対に形成され、河床は必ず移動する.

この個所は「河床の変動が大きい箇所」として認識されているであろうか.上田電鉄は 1912(大正元)年開通であり、当時は1896(明治29)年の河川法の下に許可されたものと 推察できるが、一旦許可されれば、公共性の高い鉄道は本基準に準拠して審査は行なわれる だろうが、既設の古い施設は更新した新しい基準に即して慎重に見直していく必要がある. また、上田電鉄橋梁の上流の諏訪形には根固め工、木工沈床が洗掘と沈下を受けた激流の 痕跡を確認することができる(写真 5.3.6). 伝統工法の更なる検証が求められる.

なお、同箇所は上田市の防災情報として10月12日19時00分、警戒レベル4、避難指示 (緊急)の発令がなされ、千曲川の水位が氾濫危険水位を突破し、堤防の高さを超えるおそ れがあるため浸水想定区域に居住されている方に対し、午後7時、警戒レベル4、避難指示 (緊急)を発令している.避難勧告から避難指示 (緊急)に変わり、人的被害の発生する 可能性が非常に高い状況が伝えられた.上田市城下地区の諏訪形も対象となっている.10月 13日、上田橋と上田電鉄別所線鉄橋の間の左岸で千曲川の堤防が崩れ始めていることが上 田市から発信され「指定緊急避難場所は上田創造館が混雑し始めているため、お近くでは次 の指定緊急避難場所も開設しています.大至急避難してください.上田地区城下地区諏訪形 も対象となっている.」と防災情報が発信された箇所である.

## 5.3.2 護岸 上田市大屋地区

直轄管理最上流 110k は上田市大屋橋である.これより上流は長野県管理区間である.写 真 5.3.7 は大屋橋右岸直上にある 6 基の出し水制群と護岸である.ここ海野宿下の出し水 制は旧建設省富山工事所長で戦前,戦後からの水制工の大家であった橋本規明氏が開発し, ピストル水制と呼ばれた.今日のコンクリート三角中空ブロックなどの原点になっている. この個所は右岸の水衝部であり写真 5.3.7,写真 5.3.8 にも示すように台風 19 号の洪水時 には損壊を免れた事例として取り上げた.伝統工法が洪水流に耐えた箇所,損壊を受けた箇 所の適用方法とその構造をもう一度検証し,研究する必要がある.



写真 5.3.7 写真左は大屋橋, ここより上 流長野県管理の右岸6基の出し水制群(ピ ストル水制) Google earth より作成



写真 5.3.8 6 基のピストル水制と石張り 護岸のセットは損壊なし

## 5.3.3 護岸 東御市海野地区

海野地区は旧北国街道の 江戸時代の宿場町であった. 現在も通りの両側に約 100 棟の家が連なる歴史的な町 並みを形成しており,「日本 の道 100 選」,「重要伝統的 建造物群保存地区」に選定さ れている.これを契機に 1989(平成元)年から海野

宿内の道路環境整備事業を実施し、観光の拠点の

一つになっている.現在は国 道18号からしなの鉄道をオ ーバーパスし,海野バイパス 道路が千曲川右岸沿いに走 っている.この道路の橋梁と 隣接した千曲川河岸が約 250mにわたり洗堀し損壊し た.しなの鉄道に架かる道路 橋の崩落と橋梁に供架して いるガス管が爆発,水道断 水も引き起こし,鉄道は不 通になった.写真5.3.9は



写真 5.3.9 千曲川右岸の護岸・道路・橋梁基礎が約 250m に わたり崩壊(2019.10.19 近隣住民の提供による)



写真 5.3.10 台風 19 号の洪水前の同一箇所.6基の水制工 と石張護岸ののり面の上部に崩落している箇所がある (Google earth より作成)

千曲川右岸の護岸および橋台基礎工などの 下部の河岸水衝部が崩落している.

一方,写真 5.3.10 は台風 19 号の洪水前の同一箇所である.護岸は下部に6 基の水制群とその間に石張りののり面が確認できる.しかし,護岸工の上部は道路の取り付けによる盛り土となっている.この盛り土と護岸の一部に既に崩落している箇所が多数確認することができる.写真 5.3.11 は護岸が崩落する前の 2019 年 10 月 12 日午後4 時30 分に右岸上流の洪水流を映した映像である.



写真 5.3.11 崩壊前の右岸から見た上流 の洪水流(2019.10.12pm4:30 住民提供)

# 5.3.4 護岸·橋梁 東御市田中地区

千曲川に架かる県道 81 号の「田中橋」の右岸の橋台・護岸が崩壊し,橋桁が落橋している.通行の車1台が下流に流され,一時3人行方不明となった.奇跡的にも自動車のから救助された.田中橋の左岸下流の河岸も侵食を受けている.この橋から下流の河川横断面が拡大していることから,狭い上流から洪水流が散乱放射し,両岸の浸食をもたらしたと考えられる.橋台の基礎の地盤は,固結した浅間山噴石物である.



写真 5.3.12 田中橋右岸の橋桁崩落から 浸食した左岸を望む.



写真 5.3.13 田中橋左岸下流の河岸も 侵食を受ける



写真 5.3.14 田中橋右岸の侵食を受けた 橋台と住居



写真 5.3.15 田中橋右岸の侵食された 河床の基盤. 固結した浅間山噴石物

#### 5.3.5 護岸·橋梁 東御市滋野地区

東御市市道の布下橋は 1966(昭和 41)年完 成の 2 径間のワーレントラス橋である.残っ た橋の左岸には吊り橋の木橋があったが,盛 り土もすべて流された(写真 5.3.16).東御 市の報告によると千曲川支川の鹿曲川では切 久保橋ほか 7 カ所の橋が崩落・流失した.

## 5.3.6 霞堤 千曲市

河川構造物のうち霞堤のある千曲市杭瀬下 周辺の市内の冠水によって市長側から霞堤の



写真 5.3.16 東御市市道の布下橋. 左岸 にあった吊り橋の木橋と盛り土が流失 (豊田政史撮影)

閉鎖が提起されている<sup>12)</sup>.市街化が進む中で発生した浸水と考えられる.当該区間は河床 勾配が変曲点にあり,セグメント区分が下流で緩勾配に変化し,重要な治水施設である.地 域の都市政策と治水政策が一体となった流域治水の視点から検討が望まれる.

## 5.3.7 千曲川中流直轄および長野県管理区間(セグメント区分 Bb)の課題とまとめ

- ・千曲川中流域の直轄区間および長野県管理の上小圏域(上田・東御市)の公共土木施設の被害の状況は河岸と一体になった道路,橋梁,堤防の損壊が大きい.いずれも生活道路,鉄道,農業,交通・流通,観光に大きな影響を与えた.
- ・特に,上田電鉄の鉄橋の左岸堤防,橋台の洗堀崩壊,一径間の落橋である.同箇所は国土 交通省千曲川河川事務所の河川管理の施設点検管理区間 32 箇所の「警戒度合 A, B」と してリストアップしていた.諏訪形の堤防欠損箇所は警戒度合 B となっている.予想さ れる危険として「桁下余裕高不足」である.この課題とともに,各地の橋梁で流木等によ る二次被害が発生していることからも,早急な鉄橋の架け替え工事が期待される.
- ・直轄管理から県管理区間であるが、河川勾配 1/200~1/50 の急こう配である.護岸の崩壊した河道は交互砂州が形成される区間にあり、砂礫の移動が長期にわたる自励的現象である瀬と淵の形成は避けられない.このような河道において基礎工は被災前の計画河床高より最深河床を重視し、基礎天端高を設定することが大切である<sup>11)</sup>.その上で、瀬と淵の変動を考慮した侵食・洗堀対策のために根固め工、鋼矢板などを検討する必要がある.
- ・東御市の旧宿場海野町に入る右岸護岸,道路は隣接の道路橋の落橋が大規模な損壊となった.さらに、田中橋の右岸橋台,道路橋の損壊・落橋があり、上流では滋野地区布下橋の 損壊・落橋で甚大な被害となっている.この区間は湾曲部で水衝部に当たる箇所が多い.
  護岸と道路・橋梁の各自立した隣接構造物と兼用構造物の関係,許可構造物の河川管理施 設等構造令に基づく老朽化点検および諸基準との整合,洗堀防止対策,伝統工法の評価が 課題となる.

(土屋十圀)

## 5.4 千曲川上流

#### 5.4.1 北佐久·南佐久圏域の自然

長野県が管理する千曲川上流の北佐久・南佐久圏域は千曲川源流の甲武信岳に発し,西に 八ヶ岳連峰,蓼科山,北東に浅間山,荒船山の連山から流れる支川が多い圏域である.千曲 川本川は北部フォッサマグナの地溝帯の佐久盆地,上田盆地,長野盆地へと北流する源流域 である.地層は千曲川を境に流域の奥から南東に関東山地の秩父帯の中生層,古生層,西側 の山地に猿丸累層(鮮新世)と呼ばれる新第三紀層,北東に最も新しい第四紀層の安山岩か らなっている<sup>13),14)</sup>.降水量は低平地で 600mm 前後,高地で 1,000mm 程度と少なく中央高 原型の気候である<sup>15)</sup>.

#### 5.4.2 被害調査

県が管理する河川は水防上,特に警 戒を要する箇所を選定基準により重要 水防区域箇所として選定している.予 想される危険な状況とそれに対応する 水防工法を選定している.重要水防区 域箇所は佐久市,小諸市,軽井沢町,御 代田町,立科町で河川延長 49,980m, 156箇所が挙げられている.選定基準<sup>2)</sup> は工作物と工作物以外に分けて3ラン クに区分している.赤のマークが「警 戒度合 A」,橙色「警戒度合 B」,黄色 が「要注意」となっている.この選定基 準には予想される河川水位と予想され る危険,水防工法が選定されている.



図 5.4.1 佐久市西部の警戒ランクの箇所と被害 発生箇所(赤色枠), 佐久建設事務所資料に加筆

調査ではこれらの基礎的な情報を参考に,堤防,護岸などの被害状況を調査し,考察を加えた.図5.4.1 は佐久市西部の警戒ランクの箇所と被害発生箇所(赤色枠)で示した.なお,佐久地域の現地調査では,佐久市,佐久市市民活動サポートセンターおよび被災地区の地区長の皆様の協力を得た.

#### a) <u>堤防・護岸 佐久市</u>

## 中込・権現堂・杉の木地区

佐久市内の一級河川滑津川は流域面積 106.5km<sup>2</sup>と比較的大きい河川である.千曲川に合流する直前の佐久市権現堂地区の堤防が 350m にわたって決壊している(写真 5.4.1).こ



写真 5.4.1 滑津川左岸堤防の決壊地点, 堤防のり面が石張り

の決壊による氾濫面積は約35haであり,洪水 は水田,果樹園から幹線道路を超えて下流の 杉の木地区の住宅を浸水させた.被害は避難 中の死者1名,床上浸水15棟,床下浸水6棟 である(写真5.4.2).さらに近接している下 水道処理場も浸水し,機能が停止した.

この地区は 2015 (平成 27) 年に千曲川右岸 の中込地区を含む,想定降雨量 212mm/2 日, 確率 1/100 で浸水想定区域が示されている. 決壊した箇所は警戒度合 B ランクで,場所 名は権現堂とあり,予想される危険は「水位 1.3m,延長 200m 堤防決壊」である.破堤前 の湾曲した滑津川堤防の同左岸は 1949 (昭和 24)年のキティー台風で決壊しているが,そ の時,改修工事をしている.重要水防区域一 覧は水防工法が「蛇篭布せ」とあるが,災害 履歴からも滑津川は河川整備計画を立て抜本 的な治水対策が求められる.

一方, 滑津川と合流直前の千曲川の左岸堤 防は延長 1,400m が警戒 A ランクだが大きな 被害はなかった. この個所は 2 本の霞堤があ る. この桜井地区の堤防は過去に水害が多発 していた. 今回一部のり面の崩落があった が,大きな損壊を受けなかったことを検証す る意義もある.



写真 5.4.2 杉の木地区の浸水家屋 21 棟 黄色のラインは床上浸水家屋



写真 5.4.3 滑津川左岸堤防 350m 決壊地点 実りの水田が砂礫の海となった



写真 5.4.4 滑津川に架かる JR 小海線の鉄橋. 左岸から下流を望む.橋桁,橋台に洪水 痕跡のゴミ,灌木が捕捉されている.右岸の 橋台横に堤防が陥没した後の土嚢積が見え る.決壊箇所より約 200m 上流.

当該地点の洪水流量を**写真 5.4.4** および踏査による洪水痕跡,長野県資料を参考に,電子 国土から河川横断面を作成し,暫定の洪水時の流量をマニング式と連続の式から算定を試 みた.断面は台形断面(河川幅 62m,河床幅 32m,水深 2.7m),粗度係数 n=0.035 である.

その結果、ピーク流量は約450m<sup>3</sup>/s程度であったと推定できる.また、支流志賀川上流の 香坂川ダムの洪水調節は志賀川合流地点において基本洪水252m<sup>3</sup>/sであり、61m<sup>3</sup>/s(24%) をカットし、191m<sup>3</sup>/sにする計画である.しかし、この洪水では流入ピーク流量82.06m<sup>3</sup>/s (10/12、21:18)、放流ピーク流量80.16m<sup>3</sup>/s(同日、21:28)であり、余水吐流量を加えると ピーク109.98m<sup>3</sup>/sであった.流入・放流量ともほぼ同時刻でかつその差1.9m<sup>3</sup>/sであった. ダム調節機能の向上のためシステム改善が求められる.

以上の調査の結果,滑津川は防災の河川水 位観測もされていない.また,河川整備計画 も策定されていないため基礎的な資料の収集 が難しかった.現在,滑津川は志賀川流域に 牧場,工場,香坂川,霞川があり,この小流 域は高速道路,スキー場などが開発されてい る.滑津川流域は上流にはゴルフ場,運動ス タジアムもあり,市役所を中心に市街化も進 んでいる.また,支川の田子川,吉沢川の山 間部も大きな被害となっている.

## ② 千曲川本川·佐久市原地区

原地区では河川幅は約170mあり左岸側は 旧野沢町,右岸側は旧中込町であり,毎年,夏 には下流の野沢橋と佐久大橋の間で千曲川河 畔納涼花火大会が行われている.佐久市の旧中 心市街地を形成している.佐久市西部の警戒箇 所のランクでは対岸の中込地区を含めて「警戒 Bランク」であり,堤防高不足,越水が予測さ れていた(図5.4.1).それに対して積土嚢の対 策工法が検討されている.しかし,左岸側は一 覧表には明示されていないが,堤防の洗堀によ り2棟が洪水に流された(写真5.4.5).また, 右岸側の上流近傍の水上地区は,洪水が堤防天 端の近くまで迫り,越水の危険性があった(写 真5.4.5 左下).もし越水氾濫すれば洪水は市 街地に侵入していた.



写真 5.4.5 千曲川左岸堤防の洗堀により 人家 2 棟が流失した.右岸上流は越水の危険 性があった.佐久市資料に加筆



図 5.4.2 佐久市東部の警戒度合のランク を示した箇所と被害地域(赤色の囲み)



写真 5.4.6 田子川・常和地区の土砂流出 (長野県佐久建設事務所)

## ③ 田子川・常和地区

当該地区は約180戸の家屋がある。その50 戸が損壊,浸水を受けている.図5.4.2 に示 した長野県の資料によると警戒度合Aラン クにあたり,赤色枠のラインで示されてい る.重要水防区域の一覧表には左右700mに わたり記載されている.予想される危険は越 水と断面不足が挙げられている.予想される 水位は1.2mとある.水防工法の対策は積土 嚢である.

この小河川は集落の入り口の伝々橋から



写真 5.4.7 台風 19 号前の田子川・常和 地区, 土砂流出の写真 5.4.6 と同地点 (Google Earth により作成)



写真 5.4.8 家屋の敷地や部屋にまで土 砂が流入し, 被災した民家

上流が砂防指定地である.途中から2本の支流となり,北沢に2基(遊砂池),南沢に3基の 砂防堰堤がある.隣接する滑津川との分水界まで広域に保安林の指定がされている.写真 5.4.6と写真5.4.7は台風前後の常和地区の状況である.河道は砂礫で埋め尽くされ,道路 面まで溢れている.県の予想通りの被害であるが,河川断面不足の解消が喫緊の課題となる. その際,上流の砂防施設の土砂捕捉機能の役割が果たされているか,砂防堰堤,遊砂池の堆 砂状況を検証する必要がある.また,上流は河床勾配が大きくなるが,落差工のステップが 小さいことが分かる.写真5.4.8に示すように,田子川は河岸沿いの家屋が越水と土砂被害 を受けている.道路沿いの家屋は浸水を受けているところが多い.生活道路であるため河川 断面不足は道路の拡幅をセットで検討する必要がある.

# ④ 吉沢川·清川地区

当該地区は約 110 戸の家屋がある.最大で約 40 戸が損壊,浸水を受けている.清川地区の吉沢川は 図 5.4.2 の警戒度合のランクに明示されていない が,重要水防区域の一覧表には警戒度 B とあり,延 長は堰堤下 50m,予想される「水位 1.5m」が記載さ れている.予想される危険は「護岸等の弱体と決壊」 が指摘されている.吉沢川は市道の三分中込線の宮 前橋が架かる前後が急傾斜地崩壊危険区域に設定 されている.集落は道路沿いと吉沢川に沿った急傾 斜の土地に立地しており,道路幅,水路幅も狭小で ある(写真 5.4.9).護岸が崩落したり損壊を受けて いる箇所が数か所みられる.地区の上流には農業 用のため池があり灌漑に利用されている.下流で は写真 5.4.10, 5.4.11 に示すように,洪水時は



# 写真 5.4.9 損壊を受けた護岸と 狭小の吉沢川と生活道路

吉沢川から越水し,河川と道路が区別つかない危険な状態である.住民のヒアリングによる と河道は土砂で埋め尽くされ,路面を洪水が流れたことが分かった.過去にも小規模の豪雨 でも危険な土砂流出があり懸案課題となっていた.この地域は急傾斜地崩壊危険区域であ ると同時に河川からの土砂流出対策が課題となる.下流の水田地帯では土砂による被害も あり,砂防施設も同時に検討する必要が考えられる.また,上流の山林管理がなされていな いこともわかった.



写真5.4.10 吉沢川から越水し道 路を流れる洪水 (住民提供)



写真 5.4.11 吉沢川から越水し道路を流れた洪 水により損壊した家屋(長野県佐久建設事務所)

## ⑤ 志賀川・下宿地区

下宿地区は約215 戸の家屋がある.床上浸 水 17 戸,床下浸水 50 戸,計 67 戸が浸水被 害を受けている.また,志賀川から氾濫した 膨大な土砂の流出によって水田,畑地が土砂 による被害を受けた.地区上流には志賀川右 支川の瀬早川に3 基の砂防堰堤があり,群馬 県境まで保安林の指定がされている.

また、上流は急峻な地形となり、駒込、八 重久保地区が急傾斜地崩壊危険区域に設定 されており、2基の砂防堰堤が設置されてい る.更に、山地部は群馬県境の内山牧場、物 見山まで保安林の指定がされている.

写真 5.4.12, 5.4.13 は土砂災害および堤防決壊の状況を河川の上流から順に示している.写真 5.4.12 はほぼ直線の河道は両側に低い堤防があり,砂礫が左岸の堤防を乗り越えて畑地,水田地帯を埋め尽くしている. 粒径 20cm~1m ほどの中礫,大礫である.図 5.4.2 の佐久市東部の警戒度合のランクは B であり,予想される危険は「左右200m が堤防高不足,越水」が予測され「水位1.3m」となっている.対策工法は積土嚢となっている.

しかし,上流の砂防施設の本水害の効果 を検証し,堤防高の嵩上げ,捕捉土砂量の大 きい砂防ダム,遊砂池の設置など根本的な対 策が必要と考えられる.また,砂防指定地の 拡大も同時に検討する必要があると考えら れる.

写真 5.4.13 は水衝部の右岸堤防が約 70m 決壊し,堤内地の会社の倉庫が損壊してい る.写真 5.4.14 は下宿地区の下流に位置す る五十貫地区の湾曲する左岸堤防の決壊に よる氾濫で水田地帯に浸水している.この 個所は警戒度合のランクには示されてない



写真 5.4.12 下宿地区土砂災害, 右岸下流 から上流を望む



写真 5.4.13 水衝部の右岸堤防の決壊約 70m 河床は中小の礫の堆積が見られる



写真 5.4.14 五十貫地区・左岸に湾曲する 堤防の決壊 (長野県佐久建設事務所)

箇所であった.

#### ⑥ 谷川・入沢地区

図5.4.3の谷川流域入沢地区 は佐久市内の中で最も被害が 大きく,家屋260戸のうち全壊 5戸,半壊10戸,床上浸水10 戸,床下浸水70戸,計75戸の 被害であった.

流域の現状は,入沢口に小規 模の急傾斜地崩壊危険区域に 設定された箇所がある.流路は 比較的短く,上流には1966(昭

和 41)年に入沢砂防ダム(高さ 8.0m 延長 74.2m)が完成し,更に青沼砂防堰堤,赤谷砂防 堰堤が設置されている.保安林の指定はされ ていない.県の重要水防区域の一覧表の予想 される危険は,左右護岸夫々500m,800mにわ たり「護岸等の弱体,決壊」とあり,さ らに予想される「水位 1.5m」が予測されてい た.水防工法は「木流し」となっている.

被害の状況は踏査と住民及び自主消防団の ヒアリングを実施した.写真 5.4.15,写真 5.4.17 に示すように約 1,000m にわたり河岸 護岸が決壊し,道路が基盤まで洗堀崩壊して いる.同時に道路の埋設されている下水道,水 道施設が損壊している.水道施設は復旧のため 夜間の徹夜作業となった.写真 5.4.16 は洪水 前の入沢地区の平時の様子である.河川護岸が 兼用工作物として道路と共用されている.

また, ヒアリングでは道路と対岸の住家のた めに橋が設置され 23 橋中 13 橋が流木・ゴミな どを捕捉して流失している.このとき越水氾濫 も伴っている箇所も見られた(写真 5.4.18). この橋は生活道路の一部であり本来,左岸側に も生活道路が必要であったと考えられる.した



図 5.4.3 佐久市(旧臼田町)の警戒度合のランクを示した 箇所と被災箇所(赤色の囲み)



写真 5.4.15 河岸護岸が決壊し道路が基盤 まで洗堀崩壊 (長野県佐久建設事務所)



写真 5.4.16 写真 5.4.15 と同地点の洪水 前の入沢地区の景観 (Google Earthによ り作成)

がって、河道改修は拡幅とともに生活道路と橋の設置をセットで行うことが地区の復旧・復 興につながるものと考えられる.





写真 5.4.17 谷川上流湾曲部の河岸護岸が 写真 5.4.18 生活道路に掛けられた橋に流 決壊し道路基盤まで洗堀崩壊(自主消防団 木が捕捉.越水氾濫による浸水(住民提供) 提供)

# ⑦ 雨川·旧臼田·田口地区

図 5.4.3 雨川流域の田口地区は、河川施設に被害がみられた.都市計画区域の境界でもある新宮代橋下に大きくカーブする湾曲部がある.この右岸護岸が約 150m にわたり洗堀し崩落している(写真 5.4.19).また、丸山地区の上流、田の上橋付近の右岸側の沢からの土砂流出により河岸の崩壊がみられた(写真 5.4.20).重要水防区域の一覧表には予想される危険は、右護岸 110m「護岸等の弱体、決壊」とあり、予想される「水位 1.5m」、水防工法は「木流し」となっている.なお、雨川は他に 3 箇所の予想される危険が示されていたが被害は見られなかった.

この河川流域は千曲川流域分水界の田口峠までに一か所雨川砂防堰堤がある.積雪のため調査は断念したが,峠より下は利根川流域となる.この流域は保安林に設定されている.



写真 5.4.19 新宮代橋下の右岸護岸約 150mにわたり洗堀し崩落



写真 5.4.20 田の上橋付近の右岸の沢か らの土砂流出と護岸損壊

#### b) 堤防・護岸・土砂災害 佐久穂町

## ①宿岩地区

国道141号線に沿って上流側に向かい千曲川 本川が並行している.上流に堰堤が見える.水 衝部とは言えないが,左岸のり面が約30m洗堀 による損壊を受けている(写真 5.4.21). 重要 水防区域の一覧には危険は予想されていない. 道路と河川護岸の兼用工作物の被害が多い.

## ② 高野町地区

佐久穂町の南佐久大橋下には堰堤があり, 右岸から灌漑用水路が接続している. 堰堤左 岸から直下の護岸が大規模に洗堀崩壊を受け



写真 5.4.21 佐久穂町宿岩地区の兼用 護岸損壊 (長野県佐久建設事務所)

ている.現地の河道の状況は道路橋付近から堰堤下流の河幅が広がっている.写真5.4.22 は広がった洪水が左岸の護岸を円弧状に洗堀していることが分かる。堤内地で下流に約 150m 侵食している.写真 5.4.23 は台風 19 号による洪水前の南佐久大橋から下流を遠望 している.橋梁前後は河川幅が狭小化している.通常の流れは堰堤により滞留し流速は小 さくなり貯留される.このため土砂の堆積が進むものと考えられる.その結果,左右の河 岸に植生が繁茂し、さらに河川幅を減少させている。河川法第26条に工作物設置基準が ある。堰の設置基準に、「設置にあたって対策が必要な箇所」として「河川に設けられた 他の工作物(橋・伏せ腰)に近接した箇所」が挙げられている.「川幅以上,又は 200m 以上 必要」となっている.河川維持管理の検証が必要である.



写真 5.4.22 洪水により左岸の護岸を円弧 写真 5.4.23 洪水前の南佐久大橋から千 状に洗堀している (南佐久大橋から撮影)



曲川下流を望む同一箇所 (Google Earth により作成)

# 抜井川・余地川の概要と水害

抜井川は群馬県境の十石峠(1,356m)に源を発 して西に流下し,下流部の川久保地区で右支川 の余地川が合流し,佐久穂町の中心部で千曲川 に合流する流域面積 73.2km<sup>2</sup>,流路延長 17.0km の一級河川である.余地川流域は流域面積 11.8km<sup>2</sup>,流路延長 8.6km である.抜井川流域 は過去に 1949(昭和 24)年キティ台風,1959 (昭和 34)年には7号台風,伊勢湾台風による 記録的な大洪水を受けている.また,内陸性気 候であり年間 1,000 ミリ程度の降水量のため深 刻な水不足に陥ったこともある.

このため長野県は抜井川の治水を目的に洪 水調節および灌漑用水(不特定揚水補給)を目的 に古谷ダムを計画し,1969(昭和44)年から着 手して,1982(昭和57)年に完成している.

一方,余地川の余地ダムは古谷ダムと同様 の目的と水道用水を目的に,2000(平成12) 年から着手し,2004(平成16)年に完成させ ている.



図 5.4.4 佐久穂町を流れる抜井川, 余 地川流域の概要(長野県佐久建設事務 所)

古谷ダムは重力式ダムで堤高 48.5m, 堤長 162.0m, 総貯水容量 2,200,000m<sup>3</sup>, 有効貯水容量 1,800,000m<sup>3</sup>, 計画高水流量 160m<sup>3</sup>/s, 調節容量 100m<sup>3</sup>/s, 計画放流量 60m<sup>3</sup>/s となっている. また,余地ダムは重力式ダムで堤高 42m, 堤長 147.0m,総貯水容量 523,000m<sup>3</sup>, 有効貯水容 量 397,000m<sup>3</sup>,計画高水流量 20m<sup>3</sup>/s,調節容量 8m<sup>3</sup>/s,計画放流量 12m<sup>3</sup>/s である。

河川管理では重要水防区域の一覧表には、警戒度合の予想される危険のランクは抜井川

15 箇所(A:14, B:1), 延長 2,860m である. 余 地川は 3 箇所, 延長 580m (A:3, B:0)となっ ている.

#### ・抜井川・余地川の護岸決壊と氾濫

写真 5.4.24 は余地川の梅田橋直下で抜井 川に合流する直前の箇所である. 洪水は右岸 側の護岸,家屋を損壊・流失させ,右遠方の 左岸側の家屋,梅田橋前後の護岸も損壊して いる. 警戒度ランク A で「梅田橋上流から



写真 5.4.24 抜井川合流部近くの余地川. 右岸から上流を望む.損壊・流失した家屋. 川久保地区 (長野県佐久建設事務所)

海瀬郵便局まで堤防高不足」,「予想水位 1.5m」が指摘されていた.





写真 5.4.25 左岸の護岸,家屋の損壊.梅田 写真 5.4.26 台風 19 号の洪水前の梅田橋か 橋橋台とマンホールの損壊・流失

ら余地川の下流を望む.写真5.4.25と同一箇 所(Google Earthより)



写真 5.4.27 余地川合流後の抜井川 丸印は上流から流失した2スパンの橋桁床 板. 左岸も越水し洗堀・流亡している水田.



写真 5.4.28 抜井川が越水し,右岸の護岸 崩壊.水田に流れ込んだ大量の土砂.右岸 から上流を望む.

写真 5.4.25 は梅田橋取り付け直下の左岸と家屋の損壊である. 梅田橋左岸の橋台が侵食 を受け、洗堀崩壊、梅田橋道路の下水道マンホールは地中から飛び出し流失した、また、対 岸の護岸・家屋の損壊が著しい. 写真 5.4.27 は抜井川上流の梨の木橋(道路橋)の床板が 2 スパン損壊し、下流に運ばれている.洪水流の激しさが想像される.更に、写真5.4.28は 下流の抜井川が越水し、右岸の護岸の崩壊が激しく、コンクリートブロックのり覆工がはぎ とられている.大量の土砂が水田に流れ込んでいる.

写真 5.4.29 は抜井川上流の大日向地区である. 越水氾濫し, 河川護岸と道路の側壁が 損壊している. 兼用工作物の損壊がここでも発生している. 予想される危険ランク A であ り、アバットが設置されているが、堤防高不足あるいは路床の沈下であると考えられる.

**写真 5.4.30** は大日向・古谷地区.右岸側山腹からの土石流により全壊1戸,半壊1戸 である.この損壊した家屋は道路を挟んで抜井川まで到達している.

写真 5.4.31 は余地地区の河川護岸と道路が激しく損壊している. 仮設の橋によるごみ, 流木の捕捉よる越水が引き金になり氾濫したものと考えられる. 写真 5.4.32 は河道の湾曲 部でもあるが,河道護岸の兼用工作物の損壊がここでも発生している.



写真 5.4.29 大日向地区.河川護岸と道路 の側壁が損壊,兼用工作物の損壊 (長野県佐久建設事務所)



写真 5.4.30 土石流,大日向古谷地区. 全壊1戸半壊1戸



写真 5.4.31 余地地区 左岸護岸と道路が 損壊,兼用工作物の損壊(長野県佐久建設事 務所)



写真 5.4.32 余地地区 河川左岸の護岸と 道路が損壊,兼用工作物損壊

## ・古谷ダム、余地ダムの効果

台風 19 号の豪雨による古谷ダム, 余地ダムの治水効果は水位記録から暫定的な検討を試みた. 図 5.4.5, 図 5.4.6 は古谷ダム, 余地ダムの流入量と流出量のハイドロ・ハイエトグラフである. 24 時間降雨は, 古谷ダム流域の上石堂, ダムサイトの平均値 531mm であり, 余地ダムはダムサイトの降雨量 469mm である. 図は古谷ダムの流入量(青)と流出量(赤)の変化である. 流入量ピーク (116.4m<sup>3</sup>/s) は 10 月 12 日 21:00, 流出量ピーク (58.68m<sup>3</sup>/s) は同日 23:00 である. ピーク時刻は 2 時間遅れで洪水ピークは低減し, カットしている.

一方,余地ダムにおいては同日 21:00 の同時刻に流入量ピーク(29.06m<sup>3</sup>/s),流出量ピーク(28.64m<sup>3</sup>/s)でありピークが重なり,かつほぼ同量の水量である.余地ダムは治水効果を示していないと考えられる.今後のダム操作規則など管理の在り方の検討が望まれる.



なお、ダム効果を含む抜井川流域の降雨・流出解析の検討では抜井川、余地川の合流後の洪水ピーク流量は約720 m<sup>3</sup>/s であり、ダムによる効果はピーク流量で約90 m<sup>3</sup>/s をカッ

トしたと考えられる.この解析では吉見・山田による集中型モデル<sup>10</sup>を使用している.な お、この検討では、小山直紀氏(中央大学大学院博士後期課程)の協力を得た.

## <u>c) 堤防・護岸 小海町, 川上村</u>



写真 5.4.33 小海町千代里地区 落差工直 下の千曲川右岸護岸の損壊 (長野県佐久建設事務所)



写真 5.4.34 川上村御所平地区の男橋 がくの字型に陥没 (長野県佐久建設事 務所)

小海町千代里地区においても落差工の右岸下で決壊している(写真 5.4.33). 佐久穂町 南佐久大橋直下の堰堤下と同様に円弧状に洗堀崩壊している. 従来と同様な復旧では同じ ことが繰り返される可能性がある. このため護岸根入れと落差工,床固工の新たな視点で 技術的改良が必要となる.

**写真 5.4.34** は川上村県道の男橋の橋脚陥没である.この陥没は上流の砂防施設との関係を注視する必要がある.川上村御所平は千曲川最上流の地域であるが,比較的平坦な地形である.本来河床は堆積傾向にある.しかし,上流には居倉砂防堰堤,秋山ダムはじめ計 19 箇所の砂防施設がある.これらの施設で土砂が捕捉され満砂になれば下流への土砂供給は減少する.したがって,御所平では河床低下が発生しているものと考えられる.この傾向は全国的にみられ 19 号台風では多摩川などでも発生し,日野橋の橋脚が陥没し不通となっている.

#### d)災害復旧工事における管内統一事項

長野県佐久建設事務所は2019(令和元)年11月に下記のような河川構造物の基礎構造物に対する指針を提示している<sup>4)</sup>. 基礎工の土台の根入れに関して下記のように示している.

Q2:土ī	台工の必要根入り	及び土台工の規格は、	どのように決定す	つのか?	
A2:±	台工の選定は、以	下の表から決定してくた	<b>ごさい</b> 。		
		川幅	必要根入れ	土台規格	備考
				(高さ)	
	大規模河川	30m 以上	1.5m	1. Om	
		15m 以上 30m 未満	1. Om	0. 7m	
-	中規模河川	5m以上15m未満	1. Om	0. 3m	
-	小規模河川	5 m未満	0. 5m~1. Om	0. 3m	
	急 流 河 川		1.0~1.5m	0. 3m	
※管内0	)河川別の仕様は、	別紙2のとおりです。			

※管内の河川別の仕様は、別紙2のとおりです。

長野県佐久建設事務所

基礎工の根入れに関しては、川幅は重要な指標である.しかし、実際の河道は川幅だけ ではなく複雑な変動を常に受ける.更に、堰堤、水門、道路、橋梁などと隣接する河川構 造物は多い.水害調査では、特に、湾曲部、水衝部は損壊の著しい箇所が多く見られた.

河床勾配が大きい千曲川上流の場合,水衝部,彎曲などでは激しい侵食・洗堀を受ける.そのため深掘れを想定した根入れの深さは大変重要である.基礎工は被災前の計画河 床高より最深河床を重視し,基礎天端高を設定することが大切である<sup>11)</sup>.その上で,洗堀 対策のために根固め工,鋼矢板などを検討する必要がある.ここで提示している根入れ深 さの数字は最深河床が検討されていないと考えられる.また,今回の洪水災害では道路な どの場合,兼用工作物は損壊箇所が多い.兼用工作物は道路部門との交通量やトラックな どの積載荷重に対応した技術的情報の共有と研究開発が必要と考えられる.

#### 5.4.3 千曲川上流長野県管理区間(セグメント Aa)の課題とまとめ

- ・千曲川本川の長野県管理区間は上田市大屋橋より上流である.これより上流の東御市, 小諸市,佐久市,佐久穂町,小海町など最上流の川上村まで約80kmの区間である.長 野県管理において災害復旧工事は直轄代行による復旧工事が行われている.
- ・千曲川合流点に近い佐久市中込・杉ノ木・権現堂地区の滑津川堤防左岸が 350m 決壊し ている.家屋 31 棟が床上・床下浸水を受けた.また,水田,果樹園,下水処理場,幹 線道路など約 35ha が浸水を受けた.ここは避難途中で1名が水死している.滑津川は危 機管理水位計の設置,監視カメラなどの水防監視システムが課題となる.また,流域の 市街化も進んでいる現在,河川整備計画を作成し,バードな治水対策が重要となる.
- ・滑津川支川の田子川は砂防指定区間を含む河道は、予測された危険が警戒ランクAのとおり土砂流出と越水による家屋の損壊・浸水、河岸決壊が多発した.そのため砂防施設の捕捉量の検証を行うことが必要と考えられる.復旧に当たり河道の拡幅、道路の拡幅をセットにした整備が必要と考えられる.
- ・ 滑津川支川の志賀川も危険が警戒ランク B であるが、上流の砂防施設の効果を検証し、 堤防高の嵩上げ、捕捉土砂量の大きい砂防ダム、遊砂池の設置など根本的な対策が必要 と考えられる.また、砂防指定地の拡大も同時に検討する必要がある.
- ・吉沢川は集落の入り口が急傾斜地崩壊危険区域であると同時に狭小の河川からの土砂流 出対策が課題となる.砂防区域の指定も検討し、復旧は河道の拡幅と生活道路の拡幅な どセットにした整備が必要と考えられる.
- ・千曲川支川谷川の入沢地区は洪水によって河岸・道路が約1kmにわたり洗堀崩壊した. 同地区では1名が流され千曲川本川で数週間後に発見された.砂防施設の捕捉量の検証 を行うとともに、復旧に当たり河道の拡幅、生活道路の拡幅などセットにした地区の整 備が必要と考えられる.また、千曲川本川の水位情報をはじめ危機管理水位計の設置, 監視カメラなどの水防監視システムが課題となる。
- ・千曲川本川の河岸崩壊と浸水は十数か所にわたり発生し、佐久市野沢・臼田地区、佐久 穂町、小海町、川上村などで発生している.今回予測された危険度A、Bランクで被害 がなかった箇所の検証、盆地で比較的平坦地形では計画的な土砂浚渫などの維持管理が 望まれる.
- ・長野県管理の区間では、河川整備計画が未策定の圏域もあり、支川の山間部の集落、山 裾の集落は洪水と土砂流出による被害を受けている.上流にダムや砂防施設もあるが、 県の「重要水防区域箇所」以外でも被害が発生している.今後の河川整備計画の策定、

砂防指定の再評価が必要と考えられる.河川構造物は道路などと兼用工作物の損壊が多 くみられている.道路との技術的情報の共有を図り,革新的な技術開発が求められる

・今後も抜井川流域では台風19号による洪水の2つのダムの治水効果に関して詳細な解 析検討を行い、評価する必要がある。今後のダム管理に生かすことが求められる。暫定 的な流出解析では洪水ピーク流量約720m<sup>3</sup>/sであったが、ダムの洪水調節機能のシステ ムの向上を図る必要がある。

謝辞

なお,この調査の一部は京都大学防災研究所・自然災害研究協議会「2019 年台風 19 号 に関する初動調査(科学研究費)」の助成による.

(土屋十圀)

## 参考文献

- 1) 国土交通省千曲川河川事務所:http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/bousai/suibou/index.html.
- 2) 長野県佐久建設事務所: https://www.pref.nagano.lg.jp/sakuken/jigyo/suibokuiki.html,.
- 3) 沖野外輝夫:河川生態学,共立出版社, pp.7-12, 2003.
- 4) 山本晃一:構造沖積河川学—その構造特性と動態,山海堂, p.12, 2004.
- 5) 国土交通省: 桜づつみモデル事業, https://www.mlit.go.jp/river/press\_blog/
- 6) 国土交通省:工作物設置許可基準,平成6年9月22日,建河治発第72号,最終改正平成14年7月12日,国河治第71号.
- 7) 国土交通省:河川管理施設等構造令,平成25年7月5日改正.
- 8) 国土交通省北陸地方整備局:www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/kaitei/sek.../003\_kasen.pdf, 河川編, pp.18-19.
- 9) 内藤武美:千曲川洪水と土地割地(地割)慣行制度,長野県不動産鑑定協会会誌,pp37-47.
- 10) 吉田和義:千曲川沿岸における地割慣行地の地理学的研究-長野県小布施町山王集落の 事例-,新地理, Vol35, No.1, pp.1-13, 1987.
- 11) 財団法人国土技術研究センター: 護岸の力学設計法,山海堂, pp.96-98, 2007 年 11 月改 訂版.
- 12) 信濃毎日新聞特集:台風 19 号長野県内豪雨災害, 2019年10月30日.
- 由井修二,小坂共栄:関東山地西縁部に分布する第三系北相木層の地質,FAC,SCI, SHINSHU UNIVERSITY, Vol.26, No.1, pp.41-61, 1991.
- 14) 斎藤真,下司信夫,渡辺真人:日本の地形・地質,文一総合出版, pp.276-285, 2013.
- 15) 社団法人北陸建設弘済会:千曲川の今昔,監修・国土交通省北陸地方整備局千曲川工 事事務所,社会福祉法人長野若槻園コロニー印刷, pp.2-5, 2001.
- 16) 吉見和紘,山田正:鉛直浸透機構を考慮した斜面内流出計算手法の提案,土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.5, pp. I 145- I 150, 2013.

# 第6章 公共施設・住宅に関する被災・復旧の実態

#### 6.1 下水処理場

#### 6.1.1 下水処理場における浸水被害の概要

2019(令和元)年東日本台風により破堤した長野市穂保地区の約3km 下流に位置する千曲川流域下水道下流処理区終末処理場(以下,クリーンピア千曲と略記)では,大量の雨水および千曲川の氾濫により浸水し,処理場の機能が停止するという被害を受けた.その結果,流域関連市町村(長野市,須坂市,小布施町,高山村処理面積:4,459ha,汚水処理人口: 143,000人)に対し,下水道の使用制限を呼びかける事態となり,現在も施設の復旧作業が続いている.

そこで土木学会水工学委員会として令和元年 11 月 27 日にクリーンピア千曲にて聞き取 り調査と現地視察をおこない, さらに長野県環境部生活排水課からの情報提供とホームペ ージ<sup>1),2)</sup>,そして新聞記事の情報<sup>3)</sup>をもとに,クリーンピア千曲における浸水被害の発生状 況および被災後の復旧状況について取りまとめた.

# 6.1.2 下水処理場における浸水被害の発生と復旧状況

#### <u>a) 被災の経過</u>

12日16時10分から台風に備え、最初沈殿+塩素処理をおこなう簡易処理を開始する.

13 日未明(1 時頃),下水処理水の放流先の千曲川が放流ポンプ強制停止の水位基準(9.8m) を超えたため,放流停止する.同時に長野市,須坂市,小布施町,高山村からの約 14 万 3 千人の下水受け入れを中止し,揚水および沈殿・塩素消毒を停止する.その後,千曲川が決 壊(参考:13 日 0 時 55 分に穂保付近で越流確認,2 時過ぎに決壊地点付近の映像切れる) し,5 時 50 分頃に敷地西側,5 時 55 分頃に敷地南側から浸水が観察された.10 時頃,浸水 は本館一階でピーク(1.95m 敷地基準では2.6m)に達したと考えられる.浸水により管理



写真 6.1.1 場内南側 13 日 5 時 56 分 (クリーンピア千曲提供)

写真 6.1.2 場内南側 13日5時57分 (クリーンピア千曲提供)

機やモーターなど電気系統機械,地下 20m にあ

る汚水汲み上げポンプ 5 台が水没し,反応タンク内の活性汚泥は流出した.(写真 6.1.1~ 6.1.8)





写真 6.1.3 場内南側 13 日 7 時 51 分 (クリーンピア千曲提供)

写真 6.1.4 場内南側 13 日 10 時 00 分 (クリーンピア千曲提供)



写真 6.1.5 場内南側 13日 13時 11分 (クリーンピア千曲提供)



写真 6.1.6 場内南側 14日 07時 49分 (クリーンピア千曲提供)



写真 6.1.7 クリーンピア千曲航空写真 (長野県環境部生活排水課提供)



写真 6.1.8 管理本館1階 13日 08時 30分 (クリーンピア千曲提供)

#### b) 復旧作業の経過

13 日 22 時から長野市がクリーンピア千曲に向かう下水管を長野市東部浄化センターの 下水管につなぐ工事に着手した(現在も,長野市からの汚水の一部は東部浄化センターでの 処理を継続中).

15 日 3 時から放流ゲート修繕,午前中から国土交通省の電源車によるポンプ設置準備を おこなう.昼ごろには場内の浸水状況が改善され,車が入場可能になったため,本格的な復 旧工事を開始した.すなわち流入人孔を中心に水中ポンプによる揚水を実施し,一部は最初 沈殿池へ,残りは放流バイパスへ放流した.なおポンプの稼働にあわせて固形塩素を投入し た.さらに処理場の自家発電設備も水没したため,小型の発電設備を15日夕方にリースで 導入し,管理棟の電源とした.

17 日 ポンプ車や仮設ポンプによる排水とあわせ,吸引車によるマンホールからの排水 を引き続き実施した.(写真 6.1.9)

19日 塩素消毒のみによる簡易処理(目標水質 BOD 200mg/L)の処理量は一日5万m<sup>3</sup> まで回復するが,流入の多い時間帯(午前や夕方)の豊野地区マンホールからの溢水は解消 されず,引き続き節水の呼びかけを継続した.

24 日 下水処理場に設置されていた放流ポンプを移設し(写真 6.1.10),午後より仮設ポ ンプとして流入下水の排水を開始(沈砂池の手前でくみ上げ)する.この結果,豊野地区で のマンホールからの溢水がなくなる.沈殿処理と塩素処理による簡易処理(目標水質 BOD 120mg/L)をおこなう.

25日 24日に設置したポンプ(排水能力 35t/min)の本格稼働を開始する.

11月5日 消毒は固形塩素から液体塩素に変更(大腸菌群数対策),処理場からの放流水中の大腸菌群数は10月31日に67,000個/cm<sup>3</sup>あったものが13日には0個/cm<sup>3</sup>になる.

11 月 29 日 5 つある水処理系列のうち、1 系列で簡易的な生物処理(目標水質 BOD 60mg/L)を開始する.

12月16日 簡易的な生物処理を合計2系列で実施する.



写真 6.1.9 ポンプ車による排水 (長野県環境部生活排水課提供)



写真 6.1.10 放流ポンプ移設 (長野県環境部生活排水課提供)

## <u>c) 今後の復旧スケジュール</u>

2021(令和3)年3月までに5つある水処理系列すべてで生物処理を順次復旧し,令和3年4月より水処理の本稼働(目標水質 BOD 15mg/L)をおこなう予定になっている.そして2022(令和4)年4月から汚泥処理系統を含む処理施設全体の本稼働をおこなう計画である.さらに施設の復旧に併せ,「100年に一度」の洪水を想定した長野市洪水ハザードマップに対応する浸水に耐えられるよう防水扉の設置や屋外から地下につながる開口部の閉鎖,電気設備を建物二階に設置することなどが検討されている.

なお今回の被災による処理施設全体の復旧工事費はおよそ 170 億円が見込まれている.

#### 6.1.3 下水処理場の課題

11 月に実施した調査において、下水道終末処理場の大規模な浸水被害は、東日本大震災 で津波により被災した下水処理場や熊本地震の被災した処理場を除くと、今回の令和元年 東日本台風でクリーンピア千曲と同様、大きな被害を受けた福島県の下水処理場しか類例 がないと伺った.一方、今回の台風による下水処理場の浸水被害は長野県内だけでも本処理 場を含め5箇所に及んでいる<sup>4</sup>.

従来、下水道施設の災害対策は地震対策が中心であったが、国土交通省でも「下水道 BCP (Business continuity planning、事業継続計画)策定マニュアル」に関し、既存の「地震・津 波編」に加え、「水害編」を新たに追加し、公表に向け準備をしているさなかの浸水被害で あった.今回の浸水被害の経験を今後の下水道施設の災害対策において、生かすことが重要 である.たとえば被災直後に住民に対しておこなわれた下水道への流入量を減らすための 節水の呼びかけでは、報道機関も含め、下水道利用者への情報提供を通じた危機感の共有が 必要であり、また周辺自治体との連携が肝要と考えられる.

(松本明人)

## 6.2 電気・ガスなど供給系ライフライン

6.2.1 はじめに

2019(令和元)年台風 19号(東日本台風)の接近・襲来に伴って,多くの地域では電気, 水道,ガスなどの供給系ライフライン・システムが一時的に寸断される事態となった.全国 的には,停電が最大約 52 万戸,断水が最大約 17 万戸,ガスの供給停止が最大約 1,600 戸 (うち都市ガスは約 1,300 戸)であったのに対し,長野県内では千曲川周辺地域を中心に, それぞれ約 6.5 万戸,約 5 千戸,約 1,200 戸(うち都市ガスは約 900 戸)に影響が及んだ<sup>5),</sup> <sup>6)</sup>.ここでは,当地において特に被害の大きかった電気事業(中部電力株式会社)と,影響 戸数自体は多くないが全国有数の被災地となったガス事業(長野都市ガス株式会社,国際石 油開発帝石株式会社など)を中心に,台風 19 号による供給システムへの影響・復旧過程を 報告する.なお,本稿は,内閣府,経済産業省,国土交通省や各事業者からの web 報告記事 を参照,再編し,現地の状況を確認しながら分析・考察を試みたものである.調査の際には, 長野都市ガス株式会社,東邦ガス株式会社に便宜を図っていただいた.ここに記して関係各 位に謝意を表する.

## 6.2.2 電気供給システムの被害と復旧

電気供給システムは近年,風水害による被害をしばしば受けている.図6.2.1には,最近2ヵ年の風水害で生じた国内における大規模停電時の復旧戸数の推移を表す<sup>¬</sup>.これによると,強風が吹いた2018(平成30)年の台風21・24号,令和元年台風15号(房総半島台風)の方が,多くの雨を降らせた「西日本豪雨」(平成30年7月豪雨)や「東日本台風」(令和元年台風19号)より大きな被害をもたらした.なお,台風15号の停電は復旧に長時間を要しているが,記録的な暴風(最大風速約40m/s,最大瞬間風速約60m/s)により樹木や電柱が多数倒壊することにより,利用者に供給する過程でネットワーク状に張り巡らされた送配電施設の同時多発的損壊と,被災施設への交通支障が重なったことが原因と目されている<sup>®</sup>.図6.2.2には発電,送電,配電,および,電気を使用するための受電施設からなる電気工作物の一覧を示すが,梶谷ら<sup>®</sup>や田代<sup>10)</sup>が指摘した発電施設被災については,台風15号襲来時には比較的軽微であったと考えられる.



図 6.2.1 最近の風水害によって生じた停電戸数の推移(出典:経済産業省<sup>7)</sup>)



図 6.2.2 電気工作物の区分(出典:経済産業省<sup>11)</sup>)

台風 19 号による停電被害については、東京電力管内が最大約 44 万戸と最も多く<sup>8)</sup>、東北 電力管内が最大約 5.8 万戸であり<sup>12)</sup>、長野県を中心とした中部電力管内では、最大約 6.5 万 戸が影響を受けた<sup>13)</sup>、中部電力株式会社<sup>13)</sup>の整理を転用し、図 6.2.3 には台風 19 号の襲来 に伴って長野県内で生じた停電時の復旧戸数の推移を、図 6.2.4 には、浸水した豊野変電所 について、浸水前の Google Earth 画像、千曲川の氾濫による推定浸水図<sup>14)</sup>と併せて示す、千 曲川の堤防に設置された CCTV カメラの映像によると、長野市穂保地先(千曲川左岸 57.5km 地点)からの越水開始が 10 月 13 日 0:55 であることから、それから 1 時間程度で(CCTV カメラが流出し)堤防が決壊し氾濫したと推定されている<sup>15),16)</sup>.図 6.2.3 において最大停 電戸数を記録した時間もほぼ同じタイミングであることから、停電の主な原因は破堤氾濫 による地盤変状や浸水が原因であったと考えられる。内閣府<sup>17)</sup>、多田ら<sup>18)</sup>は、住宅の地上 からの床高さやコンセントの配置から、浸水深が 70 cm 以上になると戸建て住宅では電気 の使用ができなくなるとしており、図 6.2.4 に示す浸水域の広い範囲で停電が生じたもの と推察される.



図 6.2.3 令和元年台風 19 号により長野県で生じた停電戸数の推移 (出典:中部電力株式会社<sup>13)</sup>)



図 6.2.4 千曲川の洪水氾濫による豊野変電所の浸水状況 (中部電力株式会社<sup>13)</sup>を改変)

長野県内では、配電設備の延べ 297 回線が停止し、242 本の電柱が折損・傾斜し、変電設備 2 箇所が浸水により保安停止したほか、浸水や土砂の堆積により 11 箇所の水力発電所(合計出力 16,130 kW) が停止した<sup>13)</sup>. 既往研究では水深が 1 m 以上になると供給側設備(この場合は変電所)も損傷しうるとされ<sup>17),18)</sup>,豊野変電所周辺では浸水深がおよそ 2 m 以上に達したと推定されていることから(図 6.2.4),機能停止に至ったものと考えられる.中部電力株式会社<sup>13)</sup>は 10 月 12 日 12 時以降,被害状況を確認しながら順次復旧を進めていたが、豊野変電所に関しては 16 日 5:08 以降に移動式変電所を配備することで仮復旧している(この時点で停電世帯の 90%が復旧,図 6.2.4).ただし、著者が現地に赴いた 2 月 18 日現在もこの状況に変わりはなく、本復旧にはさらなる時間が必要と推察される.

台風 19 号による停電被害に際しては,台風 15 号での停電復旧作業の長期化やそれに関 する情報周知が不十分であったことを踏まえ,10月13日には経済産業大臣から電力会社に 対し,早期復旧に努めるとともに復旧の見通しを精度高く示すことなど指示が行われ<sup>7)</sup>,そ の後の電力会社<sup>12),13)</sup>などの対応を見るに,迅速かつ適切に復旧が進められたものと考えら れる.こうした災害対応の中でまとめられた知見は,建築物の電気設備などのハード対応を 含め<sup>19)</sup>,国家を挙げて検討してきた対応として取り纏められていることから<sup>20)</sup>,今後の電 気供給システムについては,風水害に被災しにくく,また,被災した場合にも速やかに復旧 ができるような体制を構築するような改善が期待される.

#### 6.2.3 ガス供給システムの被害と復旧

ガス供給は、都市ガス事業、旧簡易ガス事業とLPG(液化プロパンガス)事業により賄わ れている.都市ガス事業の供給区域は国土の6%強(約75%の世帯が居住)に過ぎず、区 域内でも全世帯が都市ガスを利用しているわけでないこともあって、可住区域を網羅する 電気事業に比べてその供給網は限定的である(図6.2.5)<sup>21)</sup>.しかも、ガス導管はそのほと んどが地中に埋設されていて気密構造であり、供給に際しては電気など他のライフライン を必要としないことから、一般に浸水の影響を受けにくいとされる<sup>17),18)</sup>.近年の風水害に 対しても、平成30年7月豪雨の際にLPガス容器約3,900本が流出したものの、都市ガスの 供給支障は290戸に限られたほか、大規模停電が生じた平成30年台風21・24号、令和元年 台風15号の際には影響を受けなかった<sup>6)</sup>.令和元年台風19号により最大1,600戸への供給 が停止されたとはいえ、他のライフラインに比べるとその被害は軽微であった<sup>6)</sup>.

都市ガスの供給は、製造所、貯蔵所(ホルダー)、各種圧力を呈する導管網とその過程で ガスの圧力を調整する整圧器(ガバナー)によって担われている(図 6.2.6).各種製造業 (工場など)に対しては需要(管内圧力)に応じて、中圧A(0.3~1.0 Mpa 未満)、中圧 B (0.1~0.3 MPa)、低圧(0.1 MPa 未満)状態で供給されるのに対し、一般家庭への供給は低 圧に限定され、各利用者には事業者によってガスメーター(マイコンメーター、計量器)が 配備されている.このうち、整圧器は電気事業での変圧器に相当し、これを格納する建屋(施 設)が整圧所であり、電気事業での変電所に相当する.このため、一般に都市ガス供給に関 わる地上施設・設備としては、貯蔵所、整圧所、建物ごとの計量器のほか、河川を跨ぐ橋梁 などに添架される導管に限定される.したがって、導管路が埋設された地盤が変状したり、 氾濫流などによって侵食されたりする場合を除き、風水害による影響はこれら地上施設・設 備に及ぶことになる.



図 6.2.5 日本のガス導管分布図(出典:経済産業省資源エネルギー庁<sup>22)</sup>)



図 6.2.6 都市ガスの供給システム(出典:一般社団法人日本ガス協会<sup>23)</sup>)

台風 19 号の接近・襲来に伴う被害(供給停止戸数,施設損傷)としては,都市ガス事業 全体で 1200 戸以上に上り,長野県・福島県では橋の崩落に伴って高・中圧添架管が損傷す る被害が生じた<sup>24)</sup>.経済産業省産業保安グループガス安全室のによると,都市ガス事業で は,東京ガスで最大 206 戸(整圧器水没),仙台市ガス局で 5 戸(擁壁崩壊に伴う供給管損 傷),長野都市ガスで最大 900 戸(整圧器水没),常盤共同ガスで最大 131 戸(浸水),石巻 ガスで最大 8 戸(浸水),旧簡易ガス事業では,ながの農業協同組合(312 戸,旧簡易ガス 事業の供給団地冠水),橋本産業(17 戸,製造所水没)などが挙げられ,橋梁添架管の損傷 としては,福島県いわき市(東部ガス),長野県東御市(国際石油開発帝石)の2箇所で報 告されている.ガス事業を通じて最大の被害は,千曲川の洪水・氾濫によるものであり,主 に長野都市ガス(長野市豊野),ながの農業協同組合(須坂市相之島),国際石油開発帝石(東 御市本海野)の被害に代表される.ここでは,長野都市ガスと国際石油開発帝石の被災事例 を対象とし,以下の a),b)でそれぞれ記述する.

# <u>a) 浸水による都市ガスの供給支障:長野市豊野地区整圧所の浸水</u>

長野都市ガス株式会社<sup>25</sup>は、前身の県営事業から引き継いで2005(平成17)年4月に事 業開始し、2020(令和2)年4月現在、長野県内北中部の8市3町に対して都市ガスを供給 している.長野市周辺では市街地を中心に供給地域が散在するが、千曲川の左岸堤防決壊 (長野市穂保地先)に伴う浸水により長野市豊野地区が被害を受けた.図6.2.7には、豊野 地区における都市ガス供給システムの被災状況について、長野都市ガス株式会社<sup>26)、27</sup>によ る供給停止区域と現地調査により得た整圧所の分布と痕跡浸水深などの状況をまとめ、国 土交通省国土地理院<sup>14)</sup>による推定浸水図と併せて示す.ここでは、豊野地区に位置する3カ 所の整圧所が示されているが、このうち整圧器が浸水により被災したのは豊野地区整圧所 に限定される(長野都市ガス株式会社への聞き取り調査から).11月4日に豊野地区周辺を 踏査したところ、同地区の豊野地区整圧所に関しては、痕跡浸水深は地上2.95mほどの高 さに達しており、1階建ての建屋が完全に水没し、整圧器が損傷した様子が窺われた.既往 研究では、浸水深が 2.0 m 程度に達すると、導管内のガス圧を制御するために大気圧把握の ための検圧孔が浸水してガス圧の制御が不能になるとされており<sup>17),18),28),29)</sup>,現状の施設 配置と浸水痕跡を見るに、今回の洪水氾濫に伴う浸水による当該整圧所の被災は避けられ なかったものを考えられる.また、1.0 m 以上の浸水域にあっては、屋外に設置された各戸 の計量器が損傷するほか<sup>17),18),28),29)</sup>,屋内のガスコンロが 10cm 以上浸水した場合には配 管内への浸水が生じて復旧作業を困難にする<sup>18)</sup>.今回の千曲川の洪水氾濫(10月13日未明 に破堤)では、都市ガス供給区域で浸水深の大きな地域が広がったことが直接的な要因であ ることは自明であるが、供給再開までの復旧時間にも触れておきたい.最大 900 戸あった供 給停止区域のうち、浸水しなかったしなの鉄道北しなの線以北の「北ブロック」(485 戸) については、翌14日から開栓され始めて15日には復旧した一方、同以南の「南ブロック」

(415 戸)では,被害の度合いに応じて順次作業が進められたものの<sup>26,27,30)</sup>,各戸単位の開栓作業には立会いを要することから,(浸水被害が大きくガス機器を使用できない住居を除き,)避難して一時不在となった住居に住人が戻るまでの時間も合わせ,開栓完了までに約9日間を要した<sup>6</sup>.

一般に,都市ガス事業は,可燃性ガスを商品として扱うことから保安意識が高く,地震動 や液状化による地盤変状などに備えた対策を進めてきたことに加え、近年は供給区域を遮 断弁などで区切ったブロック化を進め,遠隔操作を含めて部分的に導管を閉止可能な体制 を整えつつある<sup>23)</sup>.したがって,1カ所の整圧所が浸水しても,被災した整圧器に連なる導 管を直ちに遮断することができれば, 供給停止には繋がらない. 今回の約 900 戸からなる供 給停止区域については,北半分のエリアは浸水しなかったにも関わらず,上流側整圧器の損 傷によりそれに連なる導管内のガス圧が制御不能となり導管内の圧力が異常上昇したため、 二次被害を防ぐ目的で供給停止されるに至った(長野都市ガス株式会社からの聞き取り調 査). このような被害過程をより厳格に見れば、整圧所の浸水といった素因に加え、影響を 最小限に留める導管閉止などの初動対応がとれなかった誘因の存在が浮かび上がってくる. 浸水による被害を減らすには、可能な限り、 整圧所などの重要施設を浸水想定区域内に設置 しないのが望ましく,当該区域に重要施設を節せざるを得ない場合には,発災時の適切な初 動対応のため、施設周辺への水位計や監視カメラの設置などによる監視体制の構築などが 理想的に思われる.ただし,発災の頻度や被害を踏まえ,施設や導管網を配置し直したり, 監視体制を新たに構築したりする費用とその効果を考えると一筋縄にはいかない.実際に は, 浸水想定区域内に現存する整圧所など重要施設の嵩上げ, その区域への供給を遮断可能 なブロック化などの対策が効果的であるため(東邦ガス株式会社からの聞き取り調査),ま ずはハザードマップを含む防災地理情報を照合することにより、被災するリスクの高い区 域と施設を認識して対応することが求められる.

171



図 6.2.7 千曲川の洪水氾濫による都市ガス供給システムの被災状況 (供給停止区域は長野都市ガス株式会社<sup>26),27)</sup>の情報を元に Google Earth にて作成)

#### b) 橋梁被害によるガス導管損傷:東御市本海野地区の海野宿橋落橋に伴う導管の破断

東御市は、南北を小諸市と上田市に挟まれた千曲川の中流域に位置する.日本海側と太平 洋側を繋ぐガス導管は限られるが(図 6.2.5)、東御市には、新潟県内で生産された天然ガ スを首都圏に輸送する経路を含む複数のパイプラインが通っている(図 6.2.8)<sup>31)</sup>.こうし たパイプラインは、海外から輸入する液化天然ガス(LNG: liquefied natural gas)ととともに 国産天然ガスを、効率的、かつ、持続的に沿線の都市ガス事業者に供給すべく、国際石油開 発帝石株式会社により整備されてきた<sup>32)</sup>.

台風 19 号に伴う洪水によって、東御市では千曲川とその支川の周辺に架かる橋梁 7 箇所 が被災したが <sup>33</sup>, このうち東御市本海野地区周辺では、千曲川右河岸が 300m にわたって侵 食されて市道白鳥神社線が被災し、国道 18 号線に接続する海野宿橋が落橋した <sup>33), 34)</sup>. 図 6.2.9 には、11 月 4 日に現地で撮影した写真に加筆した図を示すが、添架されていた「東京 ライン」は落橋により破断させられ、河岸・堤防の侵食に伴ってその裏側にあった市道が被 災し道路に埋設されていた「松本ライン」が露出した様子が窺える. なお、この松本ライン は露出のみで破断にまでは至らなかったが、損傷の可能性を踏まえて閉止され <sup>35)</sup>, 撮影時 点では東京ラインとともに一部を残して撤去されていた. 海野宿橋の落橋は、蛇行部外岸の 侵食に伴う橋台の崩落によるものとされる <sup>34), 36)</sup>. 図 6.2.10 には、被災後の 11 月 4 日に
UAV (DJI Mavic Air) により撮影した写真から, AgiSoft Metashape Professional 1.6 を利用し て作成したオルソ写真を用いて, Google Earth により編集した被災前後の様子を示す. 2015 (平成 27) 年当時の状況と対比すると,被災後の河道に見られる中州は施工のための瀬替 えによるものと考えられるが,広範囲にわたって河岸が変状しており,特に,蛇行の曲率が 最大となる地点から洪水流が堤内地に侵入して地盤が侵食された様子が窺える. 落橋した 海野宿橋の橋台は,この洪水流の軌跡に位置していたために被災したものと考えられる.



図 6.2.8 主要な天然ガス輸送パイプライン(出典:国際石油開発帝石株式会社<sup>31)</sup>)



図 6.2.9 洪水流で侵食された市道と露出・破断したパイプライン(11 月 4 日撮影)



図 6.2.10 海野宿橋周辺の被災前後の状況(画像出典は Google Earth. ただし, 被災後の画像は著者が撮影・加工してオルソ化したもの)

被災当時の状況として,信濃毎日新聞(10月24日付記事)は現場付近の住民への取材から,10月13日午前2時半ころに「ドカーン」という大きな音がした後,「ヒュー」という ガスが漏れるような音が1時間近く続いた様子を取材して報じている<sup>16)</sup>.国際石油開発帝 石株式会社は,同日の記者発表により海野宿橋に添架されていた東京ラインを閉止したも のの<sup>35)</sup>,その時刻までは公表していない.そのため,大きな音がした午前2時半頃の落橋 により破断した導管から,高圧で輸送中の(臭気の無い)天然ガスが数時間にわたって相当 量漏れ出したものと推察され,周辺に人気が無い未明の事象で重大な事故を引き起こさな かったことが不幸中の幸いであったと考えられる.その後の復旧工事については,11月1 日に台風19号による災害を「大規模災害からの復興に関する法律」における「非常災害」 に指定する政令が公布・施行されたことを受け,国土交通省関東地方整備局長野国道事務所 の直轄権限代行により行われ11月14日には応急対策工事が完了している<sup>30)</sup>.なお,信濃 毎日新聞(11月15日付記事)は,本海野地区周辺の千曲川右岸について1959(昭和34) 年,1982(昭和 57)年にも侵食されていることを報じ,現地は千曲川が増水すると被害を 受ける可能性が高い場所であることを認識し,対策を講じる必要があるとしている<sup>16)</sup>.2020 年2月以降,本復旧に向けた検討は,国土交通省関東地方整備局長野国道事務所と同省北陸 地方整備局千曲川河川事務所が担う形で「東御市本海野地区権限代行災害復旧工事調整会 議」に引き継がれており<sup>34),37)</sup>,繰り返して被災しない強度の高い設計・施工が期待される.

#### 6.2.4 電気・ガスなど供給系ライフラインの課題

本稿では、令和元年台風 19 号(東日本台風)の接近・襲来に伴って千曲川沿川地域で生 じた洪水氾濫による被害を中心に、供給系ライフラインである電気・ガス事業への影響を整 理して考察した。令和元年は台風 15 号(房総半島台風)に伴う強風による被害も生じた中 にあって、ここでは浸水や洪水流による影響に着目した。これまで水工学分野においては、 ライフラインへの影響を系統的に論じた報告が少なかったため、各項においては、最初に電 気、ガス事業のそれぞれの特徴を説明したうえで、被災するリスクの高い施設を絞り込みな がら、千曲川の洪水氾濫による浸水に伴う施設の損傷による供給の停止から再開に至る過 程までを対象に要因分析を試みた。

千曲川沿川の電気,都市ガス事業については,長野市穂保地先における堤防決壊直後の10 月13日未明にいずれも最大供給停止戸数(電気:約6.5万戸,ガス:約900戸)を示し, その後, 電気は約3日間, ガスは約9日間を要してほぼ全世帯への供給を再開した. 供給停 止戸数の多寡は、それぞれの供給様式の違いによるところが大きく、 電線・電柱など地上設 備主体の電気事業に対し,埋設された導管など地下設備主体の都市ガス事業の特徴を反映 しているものと考えられる. ただし, いずれの被害についても影響を大きくした直接的要因 として, 電気は変電所 (豊野変電所), ガスは整圧所 (豊野地区整圧所) といった地上供給 施設の浸水による機能損傷が挙げられ、両施設自体の復旧は2020年2月時点でも完了して いない.現地は今も尚,復旧の途上にあるとも言えるが,重要施設の配置や浸水対策の重要 性が浮き彫りになった.図6.2.7には、電気供給施設の豊野変電所、ガス供給施設の豊野地 区整圧所,長野新幹線車両センター(JR 東日本)と豊野駅(しなの鉄道北しなの線・JR 東 日本飯山線)も併せて示されている.いずれも今回の洪水氾濫による浸水深の大きな地域に 位置し,長野市による洪水ハザードマップ <sup>38)</sup>でも大きな浸水深が想定される地域にも関わ らず, 現地でインフラ・ライフラインの重要施設が建設されてきたことは反省すべき点であ り、今後は他地域においても見直しながら対応を講じていく必要があると言えよう.なお、 ガス事業に関しては, 近年, パイプライン整備が天然ガスの生産・輸入拠点から消費地に向 けて延伸してきた中にあって, そのルート途上で河川や凹部・谷地形を跨ぐ際, 地上に露出 し橋梁に添架された導管が被災した事例も見受けられた。橋梁自体も重要な交通インフラ であるが, 導管が添架された場合には, ライフライン施設という側面も鑑みたリスク管理が 必要である.

最後に本稿で触れた被災状況を踏まえて総括するに、浸水が想定される地域にあってイ

ンフラ・ライフラインなどの都市機能を確保していくためには,供給施設やそれらを結ぶ供 給網については浸水に備えて設計するだけでなく,浸水や洪水流に晒される事態を想定し た体制を整備する必要性が強く示唆された.近年の災害状況にも鑑み,本稿が洪水氾濫によ るインフラ・ライフライン施設やその供給機能への影響を低減する対策が進展する一助に なれば幸いである.

(田代喬)

6.3 住宅

### 6.3.1 調査目的と範囲

本調査は、氾濫流が住宅に及ぼす被害の分析を行うための予備調査として位置付けられ、 被害地域の基本的な住宅の特徴と被害状況についての情報収集を行った.調査日は 2019 (令和元)年10月20日、調査対象地域は図6.3.1に示す堤防が決壊し広範な河川氾濫に よる被害が生じた長野県豊野町大字穂保および豊野駅を中心とする千曲川左岸である.



図 6.3.1 調査を行った大字穂保と豊野駅周辺(OpenStreetMap)

#### 6.3.2 建築物の被害

#### <u>a)構造部材の被害</u>

大字穂保の破堤点近傍では建築物の一部または全部が流出した事例が確認された.写 真 6.3.1 は破堤点から北西約 100m に位置する住宅被害を撮影したものである. 住宅が べた基礎だけを残して流出している. 写真 6.3.2 はこの住宅の上部構造と基礎の緊結部 を示しており,流体力によって破断したと思われる. 写真 6.3.3 は先の住宅(写真 6.3.1) に近接するピロティ構造になっている 2 階建住宅であり,流体力によって構造材 が変形しながらも,かろうじて倒壊を免れていた. 写真 6.3.4 は破堤地点のすぐ北側に 位置する木造住宅の写真である. 隅部が流出しつつも残存している. 大字穂保において, 構造部材に被害が出ている,あるいは一部または全部が流出している住宅は破堤地点か ら半径 100m 程度に限定されていた. また,この範囲内にあっても構造部材に被害が出 ていないように思われる建物も見られた. 簡易な基礎の上に設置された倉庫等の軽量な 建築物では,転倒している例も見られた. (写真 6.3.5)



写真 6.3.1 流出した上部構造

写真 6.3.2 破断した基礎緊結部



写真6.3.3 倒壊寸前の住宅



写真 6.3.4 隅部が流出したものの残存 している住宅



写真 6.3.5 転倒した構造物(倉庫と思われる)の例

# b)床上浸水による被害

国道 18 号線穂保交差点から破堤地点へと向かう道沿いでは、浸水深は住宅基礎上端から計測して 1m~2m 程度であった.この地域の多くの住宅は、盛り土やかさ上げされた

基礎によって,基礎部が道路面から 0.5m~1m 程度高くなっており(写真 6.3.6~ 6.3.8)床上浸水が低減されていた.参考までに,かさ上げされていないビニールハウ スの浸水痕を写真 6.3.9 に示す.



写真 6.3.6 石積みによりかさ上げ



写真 6.3.7 コンクリートによりかさ上げ





写真 6.3.8 石積みによりかさ上げ 写真 6.3.9 付近のビニールハウスの浸水痕 かさ上げ等で床面を十分に上げることができない場合は、床上浸水被害が見られたが、 住宅の基礎形式によってその被害の様相および復旧方法に違いが見られた.

大字穂保の住宅では**写真 6.3.10**の布基礎(床下には小石を敷き詰めている)が多く 採用されている印象を受けた.布基礎形式の住宅では床下が直接地面とつながっている ために断熱性では劣るが,床上浸水後,住宅外部の水が引くのと同時に自然に床上およ び床下の水が排水されていく点で床上浸水からの復旧という点では優れているとも考え られる.

豊野駅周辺の住宅では布基礎,べた基礎の両方が見られた(写真 6.3.10, 写真 6.3.11). べた基礎,特に外断熱工法の住宅ではその気密性故に,床上浸水発生後にべ

た基礎上部に水が滞留し,排水作業に困難が伴うことが聞き取り調査で確認された.写 真 6.3.11 の住宅では,べた基礎上に堆積した泥水の排水にポンプを使用したが,完全 に泥を取り除くことが困難なことから,写真 6.3.12,6.3.13 のようにべた基礎外周部に 孔をあけて住宅外に排水がされていた.なお,基礎に孔をあける際には建築業関係者が 設計図を参照することで,配筋を切断しないよう注意が払われていた.



写真 6.3.10 布基礎の住宅



写真 6.3.11 べた基礎の住宅



写真 6.3.12 基礎の一部にあけた開口 (外側)



写真 6.3.13 基礎の一部にあけた開口 (内側)

### <u>c) 外壁の被害</u>

外壁がサイディング材で仕上げられている場合,ほとんど浸水被害が確認できず,浸 水後に拭き取られていたりして,外壁面から浸水高さを識別できない住宅も多くみられ た.浸水によってサイディング材や壁内部の構成材料の含水率は上昇していると思われ るが,本調査の範囲では,サイディング材においては目視観察による色調変化がみられ た例はなかった.他方で,ラスモルタル塗外壁においては色調変化が明瞭で,浸水深さ が目視で識別できる住宅があった.大字穂保に多く見られた土壁の一種である小舞壁

(土塗り壁)において浸水被害がもっとも顕著であり,**写真 6.3.14**のように土が流出して小舞竹が残っている例が多くみられた.

また,特徴的な被害として,漂流物の衝突が原因と思われる外装材の被害(写真 6.3.15)や内水圧(動圧あるいは静水圧)の上昇が原因と思われる外装材の剥離(写真 6.3.16)が見られた.



写真 6.3.14 土壁の脱落 写真 6.3.15 漂流物の衝突 写真 6.3.16 外装材の剥離 と思われる被害

## <u>d) 開口部の被害</u>

破堤箇所の直近や氾濫流が建物内を通った箇所ではガラス窓が割れている一方で,浸 水深さが2階の床上に達していても,破堤箇所から遠ければ開口部のガラス面が割れて いない例が多かった. (写真 6.3.17,写真 6.3.18)



写真 6.3.17 破堤箇所の近くだがガラス が破損していない例



写真 6.3.18 写真 6.3.17 より破堤箇 所から遠いが、氾濫流が通過してガラ スが破損した例

# <u>e) 屋根の被害</u>

屋根葺材の多くは屋根面と緊結されていたため流失している例はほとんど見られなかった.例えば**写真 6.3.19**に,2階床上まで浸水したが,屋根葺材はほぼ流失していない 千曲川破堤地点から北に約 2.5km離れた豊野南団地内の住宅を示す(**写真 6.3.20**は同団 地内の別住宅の2階押し入れに残された浸水痕).また,破堤箇所の直近にあっても, 構造躯体ごと破損している部位を除けば,屋根葺き材は流失していなかった.



写真 6.3.19 玄関の屋根上に残った泥 写真 6.3.20 2 階の押し入れに残った浸水痕

(小山毅,西嶋一欽,藤本郷史,山田真史)

### 参考文献

- 長野県環境部生活排水課:クリーンピア千曲からのお知らせ、 https:// www.pref.nagano.lg.jp/seikatsuhaisui/infra/suido-denki/gesuido/20191021.html (2020年 1月23日付)
- 2) 長野県環境部生活排水課:台風第19号によるクリーンピア千曲の被災状況への対応について,

https://www.pref.nagano.lg.jp/seikatsuhaisui/kensei/soshiki/soshiki/kencho/haisui/ index.html (2020年3月19日付)

- 3) 信濃毎日新聞2019年10月14日,信濃毎日新聞2019年10月16日,信濃毎日新聞2019年10月 18日,信濃毎日新聞2019年10月19日,信濃毎日新聞2019年10月20日,信濃毎日新聞2019 年10月23日,信濃毎日新聞2019年11月12日,信濃毎日新聞2019年12月12日
- 4) 内閣府:令和元年台風第19号に係る被害状況等について,

http://www.bousai.go.jp/ updates/r1typhoon19/index.html (2019年10月24日8時30分現在)

- 5) 内閣府:令和元年台風第19号等に係る被害状況等について(令和2年4月10日9時00分現在), http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19\_45.pdf, 2020 (2020.04.16 確認)
- 6) 経済産業省産業保安グループガス安全室:近年の台風・豪雨災害における対応状況,経済産業省産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会ガス安全小委員会, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan\_shohi/gas\_anzen/pdf/021\_03\_01.pdf , 2020 (2020.04.16 確認)
- 7) 経済産業省:台風15号・19号に伴う停電復旧プロセス等に係る個別論点について、経済産業省総合 資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会/同省産業構造審議会保 安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会合同電力レジリエンスワーキンググループ、 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\_gas/denryoku\_gas/resilience\_wg/pdf/006\_04\_ 00.pdf, 2019 (2020.04.16 確認)
- 8) 経済産業省産業保安グループ電力安全課:令和元年に発生した災害の概要と対応,経済産業省産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan\_shohi/denryoku\_anzen/pdf/021\_01\_00.pdf, 2019 (2020.04.16 確認)
- 9) 梶谷義雄,山本広祐,豊田康嗣,中島正人:水力発電施設に関わる災害事例の収集と溢 水被害に伴う社会的影響評価法の検討,土木学会論文集 F4, Vol.67, No.1, pp.1-13, 2011.
- 10) 田代喬:水力発電施設への地震の影響,大震度直下型地震による河川への影響の総合的 調査研究報告書,平成28年度京都大学防災研究所特別緊急共同研究・土木学会水工学委 員会熊本地震災害調査団(研究代表者・団長:大本照憲(熊本大学)),pp.89-103,2017.
- 11) 経済産業省:電気工作物の保安, https://www.meti.go.jp/policy/safety\_security/industrial \_\_safety/sangyo/electric/detail/setsubi\_hoan.html (2020.04.16 確認)

- 12) 東北電力株式会社:台風 19 号に伴う停電復旧対応の振り返り,経済産業省総合資源エネル ギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会/同省産業構造審議会保安・ 消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会合同電力レジリエンスワーキンググループ, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\_gas/denryoku\_gas/resilience\_wg/pdf/008\_04\_00.p df, 2019 (2020.04.16 確認)
- 13) 中部電力株式会社:台風 19 号に伴う停電復旧対応の振り返り,経済産業省総合資源エネル ギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会/同省産業構造審議会保安・ 消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会合同電力レジリエンスワーキンググループ, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\_gas/denryoku\_gas/resilience\_wg/pdf/008\_03\_00.p df, 2019 (2020.04.16 確認)
- 14) 国土交通省国土地理院:令和元年(2019年)台風 19号に関する情報, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R1.taihuu19gou.html#11(2020.04.16確認)
- 15) 国 土 交 通 省 北 陸 地 方 整 備 局 河 川 部 河 川 工 事 課 : 千 曲 川 堤 防 調 整 員 会, http://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/index.htm, 2019 (2020.04.16 確認)
- 16) 信濃毎日新聞社編集局:信濃毎日新聞特別縮刷版:2019台風19号長野県の災害報道10-13
   ~12-13 2カ月の記録, 信濃毎日新聞社メディア局出版部, 224p, 2020.
- 17) 内閣府:大規模水害時に対する現状の方策(電力、通信、ガス),内閣府中央防災会議 大規模水害対策に関する専門調査会,http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/ daikibosuigai/3/pdf/shiryou\_7.pdf,2007(2020.04.16確認)
- 18)多田直人,池内幸司,廣瀬昌由,栗林孝典,猿渡広邦,伊藤弘之,久保田啓二朗,大浪 裕之,池田剛司:洪水氾濫によるライフライン停止被害の定量的な算出手法の開発,河川 技術論文集,第19巻, pp.265-270, 2013.
- 19) 建築物における電気設備の浸水対策のあり方に関する検討会:建築物における電気設備の浸水対策ガイドライン(原案),国土交通省住宅局建築指導課・経済産業省産業保安グループ電力安全課, https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001330090.pdf, 2020 (2020.04.16 確認)
- 20) 令和元年台風第 15 号・第 19 号をはじめとした一連の災害に係る検証チーム:令和元年台風
  第 15 号・第 19 号をはじめとした一連の災害に係る検証レポート(最終とりまとめ),内閣府
  中央防災会議, http://www.bousai.go.jp/kaigirep/r1typhoon/pdf/dai3kai\_torimatome.pdf, 2020 (2020.04.16 確認)
- 21) 経済産業省資源エネルギー庁:ガスシステム改革の現状と今後の課題について,経済産業省総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会ガス事業制度検討ワーキンググループ第1回会議資料,https://www.meti.go.jp/shingikai/

enecho/denryoku\_gas/denryoku\_gas/gas\_jigyo\_wg/pdf/001\_05\_00.pdf, 2018 (2020.04.16 確認)
22) 経済産業省資源エネルギー庁:実施から1年、何が変わった?ガス改革の要点と見えてきた

変化, https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/denryokugaskaikaku/gaskaikaku.html

(2020.04.16 確認)

- 23) 一般社団法人日本ガス協会:都市ガス事業の現況, https://www.gas.or.jp/gasfacts\_j/#target/, 2019 (2020.04.16 確認)
- 24) ガスエネルギー新聞:供給停止 1200 戸以上に ガバナ水没、添架管折損も/台風 19 号,
  2019 年 10 月 21 日号, p.1, https://www.gas-enenews.co.jp/news/?action=view&id=3492, 2019 (2020.04.16 確認)
- 25) 長野都市ガス株式会社:供給エリア, https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/company/kyoukyu/ (2020.04.16 確認)
- 26) 長野都市ガス株式会社:台風 19 号に関する災害について 第2報(2019年10月13日16時30分現在), https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/news/2019/10/19.html, 2019 (2020.04.16確認)
- 27) 長野都市ガス株式会社:台風 19 号に関する災害について 第3報(2019年10月14日13時00分現在), https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/news/2019/10/20191014-dai3pou.html, 2019(2020.04.16確認)
- 28) 田代喬,八木健太郎,戸田祐嗣:洪水氾濫流が都市ガス供給システムに及ぼす影響に関する一考察:供給地域の浸水過程と施設に作用する流体力に基づく被害推定,土木学会論 文集 B1 (水工学), Vol.74, No.5, pp.I\_1489-I\_1494, 2018.
- 29)田代喬,八木健太郎,菅沼淳,戸田祐嗣:浸水事象が都市ガス供給システムに及ぼす影響の統合的把握に向けた試算方法の設計,第10回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集,pp.42-46,2020.
- 30) 長野都市ガス株式会社: 台風 19 号に関する災害について 第 10 報 (2019 年 10 月 19 日 16 時 30 分現在), https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/news/2019/10/20191019-10pou.html, 2019 (2020.04.16 確認)
- 31) 国際石油開発帝石株式会社: 天然ガスが届くまで, https://www.inpex.co.jp/museum/03/ contents04.html (2020.04.16 確認)
- 32) 山本一雄:日本海側天然ガス田と太平洋側 LNG 基地とのパイプライン接続,石油技術 協会誌,第73巻,第2号, pp.143-151,2008.
- 33) 東御市:【特集】台風 19 号被災状況, 市報とうみ, No.188, pp.2-5, 2019.
- 34) 長野県:千曲川東御市本海野地区の災害について, https://www.pref.nagano.lg.jp/ ueken/ seibi/ documents/r1-1111-2-tikumagawa-motounno-saigai.pdf(2020.04.16 確認)
- 35) 国際石油開発帝石株式会社:台風 19 号の影響について(第二報)(お知らせ), 2019 年
   10月 29日, https://www.inpex.co.jp/news/assets/pdf/20191029.pdf, 2019 (2020.04.16 確認)
- 36) 国土交通省関東地方整備局長野国道事務所:記者発表資料:台風 19 号により被災した 「海野宿橋」の応急対策工事が11月14日(木)に完了見込み,https://www.ktr.mlit.go.jp/ ktr\_content/content/000761131.pdf, 2019 (2020.04.16 確認)
- 37) 国土交通省関東地方整備局長野国道事務所:直轄権限代行による東御市道(白鳥神社線)

災害復旧事業,https://www.ktr.mlit.go.jp/nagano/nagano00162.html (2020.04.16 確認)

38) 長野市:長野市洪水ハザードマップ, https://www.city.nagano.nagano.jp/soshiki/kikibousai/ 2570.html (2020.04.16 確認)

# 第7章 避難行動と情報

### 7.1 はじめに

2019(令和元)年台風 19 号(2020(令和 2)年 2 月 19 日に気象庁が「令和元年東日本台 風」と命名)は、死者 104 名,行方不明者 3 名,全壊 3,308 棟,半壊 30,024 棟,一部破損 37,320 棟,床上浸水 8,129 棟,床下浸水 22,892 棟(2020 年 4 月 6 日時点)という大規模な 被害をもたらした<sup>1)</sup>. 避難勧告等対象者数 797 万人,最大避難者 23.7 万人と報告されてお り<sup>2)</sup>,災害救助法は、甲信越、関東、東北を中心に東日本大震災を超える 390 市区町村に適 用された.水害としては稀に見る広域被害をもたらしたといえる.

災害時には、被災地の住民行動に関して様々な調査が行われる.しかしながら、多くの場 合、対象となる災害における行動についての知見が得られるだけであり、これまでの災害で の行動との比較などが行われることは少ない.土木計画学研究委員会減災システム研究小 委員会(2015(平成27)年6月~2018(平成30)年6月)では、このような現状を鑑み、 災害時の住民行動について、体系的な調査が必要と考え、これまで、標準的な災害調査の在 り方について議論を重ねてきた.今回、これまでの議論と過去の災害調査での調査分析から、 今後の災害時の行動調査のひな型となりうる調査項目を提案し、平成30年7月豪雨災害か ら調査を実施している.本稿では、令和元年台風19号(東日本台風)における調査から得 られた知見について報告する.

#### 7.2 調査票の設計と調査の実施

平成 30 年 7 月豪雨災害での調査の経験をもとに一部修正した調査票を活用した.調査項 目は、フェイス情報、当日の避難行動、居住地付近のハザード、防災意識など 34 項目とし、 Web 調査として実施した.調査対象エリアは、東日本台風における最大避難者数が多かった 東京都、千葉県、埼玉県、群馬県、茨城県、栃木県、神奈川、宮城県、岩手県、福島県、静 岡県、長野県、山梨県、新潟県、三重県、山形県、愛知県より選定した 117 市区町とその周 辺地域とした.平成 30 年 7 月豪雨災害の調査より、避難情報(避難準備・高齢者避難開始、 避難勧告、避難指示(緊急))を受けておらず、被害のなかった地域に住む避難しなかった 人の結果は分析対象としにくかったから、スクリーニング項目を設定し、避難した人、避難 情報を受け取った人、避難情報を受けていないが居住地が何らかの被害を受けた地区に住 んでいた人のみを調査対象とすることとした.調査は、2020 年 3 月下旬に行われ 4000 サン プルを回収した.本稿は、全国の傾向を分析するとともに中部・北陸地区で被害の最大の被 害であった長野県(83 サンプル)を比較して分析を行うものとする.

#### 7.3 調査協力者の特徴

回収した 4000 サンプルに関する単純集計結果について示す.スクリーニングにより,被 害や避難情報が出ておらず,避難しなかった人は対象外とした.そのうえで,グループ1(避 難した人のグループ,以下「避難」と記す)は711人(17.8%),グループ2(避難勧告以上の情報を受け取ったか,居住地に被害があった地区に住む人のグループ,以下「非避難」と記す)3289人(82.2%)であった.回答者は,男性60.9%,女性39.1%,年齢は,30歳未満6.7%,30歳代13.2%,40歳代25.85%,50歳代28.85%,60歳代18.6%,70歳以上6.8%であった.都県別では岩手県74人,宮城県303人,山形県26人,福島県194人,茨城県235人,栃木県231人,群馬県183人,埼玉県397人,千葉県357人,東京都1118人,神奈川県449人,新潟県51人,山梨県63人,長野県83人,静岡県194人,愛知県15人,三重県27人である(図7.1).



図 7.1 回答者の都県別分布

グループ1に属する避難者の避難先としては、33%が避難所、指定避難所であり、最も多いのは垂直避難の47%であった(図7.2).今回は都市部での水害であり、3階建て以上の建物に垂直避難には、「自宅の2階、マンションの高層階など」という注釈をつけており、避難時には避難の認識があったか否かはわからない.



図 7.2 避難先の内訳(全エリア N=711)

長野県は,避難者数の多かった4市を対象とし,長野市29人,須坂市15人,千曲市26人,中野市13人からの回答を得た.県全体でグループ1は18人(22%)(長野市7人,須坂市1人,千曲市7人,中野市3人),グループ2は65人(78%)であり,全エリアに比して避難した人が多い.グループ1に属する避難者の避難先としては,指定避難所2人(長野市,須坂市),近所の家2人(長野市,千曲市),高台2人(長野市,中野市)であり,最も多いのは垂直避難の12人(長野市4人,千曲市6人,中野市2人)であった(図7.3).



図 7.3 避難先の内訳(長野県 N=18)

# 7.4 「避難」と「非避難」を分ける要素に関する分析

## 7.4.1 避難行動と避難情報

「避難」もしくは「非避難」を決めた時に取得していた情報は、図7.4のようになった.

調査では、取得していた情報をすべて回答してもらっていたが、集計時には最も緊急性の高い避難情報(避難指示(緊急)>避難勧告>避難準備・高齢者避難開始の順)を代表値として 重複回答とならないように修正した.



図 7.4 避難先の内訳(全国 N=4000)

帰無仮説を「避難/非避難と避難指示(緊急)の取得は関連がない」「避難/非避難と避難 勧告の取得は関連がない」「避難/非避難と避難準備・高齢者避難開始の取得は関連がない」 とし、χ2 乗検定を行った.クロス集計表,期待度数の表とp値を表 7.1-7.3 に示す.また, 70 歳以上のサンプルのみに限定しての,避難/非避難と避難準備・高齢者避難開始の取得 に関するクロス集計表,期待度数の表とp値を表 7.4 に示す.

表 7.1 避難/非避難と避難準備·高齢者避難開始(p 値:1.82E-19)(全国 N=4000)

クロス集計	避難準備未取得	避難準備取得	期待度数	避難準備未取得	避難準備取得
避難	640	71	避難	548.35875	162.64125
非避難	2445	844	非避難	2536.64125	752.35875

表 7.2 避難/非避難と避難勧告(p値:1.84E-05)(全国 N=4000)

クロス集計	避難勧告未取得	避難勧告取得	期待度数	避難勧告未取得	避難勧告取得
避難	415	296	避難	363.2340585	347.7659415
非避難	1628	1660	非避難	1679.765941	1608.234059

表 7.3 避難/非避難と避難指示(緊急)(p値: 7.56E-17)(全国 N=4000)

クロス集計	避難指示未取得	避難指示取得	期待度数	避難指示未取得	避難指示取得
避難	462	249	避難	546.93675	164.06325
非避難	2615	674	非避難	2530.06325	758.93675

クロス集計	避難準備未取得	避難準備取得	期待度数	避難準備未取得	避難準備取得
避難	37	4	避難	27.63369963	13.36630037
非避難	147	85	非避難	156.3663004	75.63369963

表 7.4 避難/非避難と避難準備·高齢者避難開始(p值:0.00071)(全国 N=4000)

有意水準 5%とした場合, すべての項目に対して帰無仮説は棄却され, さらに避難準備・ 高齢者避難開始に関しては 70歳以上のサンプルに限定しても帰無仮説は棄却されることが わかった.避難準備・高齢者避難開始や避難勧告については, 情報を取得して避難したとい う場合の観測値が期待度数よりも小さいことから, これらの情報を受け取っても避難しな いと解釈できる.これに対して避難指示 (緊急)に関しては, 上記と逆のパターンになって いるので, 避難指示 (緊急)を受け取ると避難すると解釈できる. 避難指示 (緊急)のみが 避難に有効である傾向は, 平成 30 年 7 月豪雨災害時にも見られた傾向であり, 最も緊急性 が高い情報を受けないと避難しないということは, 近年の避難行動の特徴ととらえられる と考えられる.

長野県のみに限定してみた場合のクロス集計,期待度数の表と p 値を表 7.5-7.7 に示す (サンプル数が少ないため,避難準備・高齢者避難開始だけは χ2 乗検定ではなく,フィッ シャーの正確確率検定(片側)を行っている).

クロス集計	避難準備未取得	避難準備取得	期待度数	避難準備未取得	避難準備取得
避難	13	5	避難	14.70731707	3.292682927
非避難	55	10	非避難	52.29268293	11.70731707

表 7.5 避難/非避難と避難準備・高齢者避難開始(p 値:0.191)(長野県 N=83)

表 7.6 避難/非避難と避難勧告(p 値:0.003)(長野県 N=83)

クロス集計	避難勧告未取得	避難勧告取得	期待度数	避難勧告未取得	避難勧告取得
避難	17	1	避難	11.71084337	6.289156627
非避難	37	28	非避難	42.28915663	22.71084337

表 7.7 避難/非避難と避難指示(緊急)(p 値: 0.290)(長野県 N=83)

クロス集計	避難指示未取得	避難指示取得	期待度数	避難指示未取得	避難指示取得
避難	8	10	避難	9.975903614	8.024096386
非避難	38	27	非避難	36.02409639	28.97590361

有意水準 5%とした場合,避難勧告取得のみ帰無仮説は棄却された.情報を取得して避難 したという場合の観測値が期待度数よりも小さいことから,避難勧告を受け取っても避難 しないと解釈できる.サンプル数が少ないので,これだけで結論づけることはできないが, 長野県だけに限定してみると避難情報は避難に直結しているものはないという結果となった.

## 7.4.2 避難行動と情報源

避難情報を取得した媒体に関して, 表 7.8, 図 7.5 に示す. 避難情報を取得した媒体は, テレビや緊急速報メール (エリアメール) は比率が大きいものの, 避難者と非避難者の回答 比率には優位な差がない. 一方でラジオ, 行政以外の SNS・アプリ, 市町村の SNS や HP, 警察・消防・消防団の訪問が 0.01 未満となっており, これらの情報媒体を利用する避難者 の比率が高い. また, 近所や地域の方の訪問, 離れた場所に住む知人や家族からの電話・メ ールなど身近な人からの情報では避難する群で比率が高くなっている. 長野県も同様の傾 向は示しているが, サンプル数が少なく, 信頼性の高い検定とならないため, スコアのみ示 した.

		全	国(N=4000)		長野県(N=83)		
設問概要	選択肢	避難	非避難	。値	避難	非避難	
		(N=711)	(N=3289)	b.l⊫	(N=18)	(N=65)	
	テレビ	367	1639	0.74	11	29	
	ラジオ	80	202	>0.01	1	6	
	行政以外のホームベー ジやSNS、アブリ	110	366	>0.01	2	6	
	緊急速報メール(エリ アメール)	311	1418	0.84	13	33	
避難情報の	市町村のホームページ やSNS	121	427	>0.01	2	6	
取得媒体	市町村の登録制メール	113	428	0.07	1	8	
	都や県の登録制メール	17	65	0.53	0	1	
	防災行政無線	178	747	0.29	9	21	
	警察、消防、消防団の 訪問	19	36	>0.01	1	5	
	近所や地域の方の訪問	37	57	>0.01	3	1	
	離れた場所に住む知人 や家族からの連絡	59	68	>0.01	3	0	

表 7.8 避難情報の取得媒体





## 7.4.3 避難行動と備え

災害への備えについては「その他」の回答を除く全ての項目で避難者,非避難者の間で優位な差があった(表 7.9,図 7.6). 避難した人はそうでない人よりも,設定した災害への備えのいずれにおいても用意している比率が高い.一方で「特に何もしていなかった」と回答する非避難者の比率が高いことからも,避難者と災害への備えには強い関係があることが確認できる.

		全	国 (N=4000)		長野県 (N=83)		
設問概要	選択肢	避難	非避難	。信	避難	非避難	
		(N=711)	(N=3289)	b.lle	(N=18)	(N=65)	
	飲料水・食糧の備蓄	454	1879	>0.01	8	26	
	避難場所、経路の確認	305	935	>0.01	6	25	
	近隣の指定避難所まで の避難経路の検討	164	372	>0.01	3	10	
	市区町村の登録制メー ルの登録	130	427	>0.01	0	8	
<ul><li>災害への備</li><li>え状況</li></ul>	家族との連絡方法の確 認	197	680	>0.01	5	17	
	非常用持出品の準備	216	810	>0.01	5	8	
	地域の自主防災活動や 消防団への参加	41	88	>0.01	0	1	
	その他	5	36	0.35	0	0	
	特に何もしていなかっ た	120	1007	>0.01	5	22	

表 7.9 災害への備え



図 7.6 災害への備え(全国 N=4000)

防災訓練や防災講演会への参加状況では、「毎回参加していた」「時々参加していた」「1回 参加したことがある」の回答で避難者が有意に高い比率となっており、「参加したことはな い」の回答で非避難者が有意に高い比率となっている(表 7.10,図 7.7).例え1回であっ ても防災イベント等への参加は、避難行動の選択に正の影響を与えると考えられる.

		全	国 (N=4000)	長野県 (N=83)		
設問概要	選択肢	避難	非避難	n値	避難	非避難
		(N=711)	(N=3289)	pie	(N=18)	(N=65)
防災訓練ら	毎回参加していた	69	157	>0.01	2	4
防災謙富会	時々参加していた	131	483	>0.01	5	17
の の の が の の が の が の の が の が の が の か の か	1度参加したことがあ る	102	363	>0.01	3	8
<i>//</i> L	参加したことはない	409	2285	>0.01	8	35

表 7.10 防災イベントへの参加状況



図 7.7 防災イベントへの参加状況(全国 N=4000)

## 7.4.4 避難行動と近隣住民や地域コミュニティとの関係

災害前の近所づきあい状況に関する設問では、すべての項目で避難者と非避難者で優位 な差があった(表7.11,図7.8).非避難者は「挨拶をする程度」、「ほとんど付き合いがな い」というコミュニティとのつながりが弱いことを示す回答の比率が高い.一方で避難者は コミュニティとのつながりが強いことを示す回答(「積極的な地域活動への参加」「清掃への 参加や当番の役割を担う」「高齢者・障がい者や子育て支援への参加」「愚痴を言える人がい る」)の比率が高い.したがって、コミュニティとのつながりは避難行動の選択に強く関係 すると考えられる.



表 7.11 近隣住民や地域コミュニティとの関係

図 7.8 近隣住民や地域コミュニティとの関係(全国 N=4000)

コミュニティ内の防災活動状況に関する設問では,避難者が「自治会等の地域単位で防災 に関する取り決めがある」,「防災に関する取り決めのため,数回会合がある」,「自治会等の 地域単位で高齢者・障がい者などに関する取り決めがある」に回答した比率が高く,有意な 差がある(表7.12,図7.9).「自治会等の地域単位で防災に関する取り決めがあるかどうか 知らない」の回答で非避難者が有意に高い比率となっている.したがって,地域のコミュニ ティで防災活動がされていることは避難を促す可能性が示唆される.

		全	国 (N=4000)		長野県	(N=83)
設問概要	選択肢	避難	非避難	n値	避難	非避難
		(N=711)	(N=3289)		(N=18)	(N=65)
コミュニ ティ内の防	自治会等の地域で防災 に関する取り決めがあ る	145	512	>0.01	5	18
	自治会等の地域で防災 に関する取り決めのた め、数回会合がある	72	244	0.02	3	9
	自治会等の地域で、高 齢者・障がい者などに 関する取り決めがある	64	180	>0.01	2	9
火卢勒化加	自治会等の地域で取り 決めはない	108	499	0.99	2	4
	自治会等の地域で取り 決めがあるかどうか知 らない	374	1994	>0.01	8	31
	その他	2	18	0.361	0	0
	自治会等の地域で防災に関す	⊦る取り決めがある	0 500	1000	1500 200	00 2500

表 7.12 コミュニティ内の防災活動状況



図 7.9 コミュニティ内の防災活動状況(全国 N=4000)

## 7.4.5 避難行動と世帯構成

災害前の世帯構成について訪ねた設問では乳幼児,小学生,妊婦,介護の必要な方を家族 に含む世帯が避難の比率が高く,有意な差が確認できる(表7.13,図7.10).つまり,幼い 子供をもつことと避難者には正の関係があることが考えられる.一方で,ペットや避難行動 や避難生活が困難な方を家族に含む世帯は,避難の意思決定に負の影響を与えると考えた が,2 群の間に有意な差は見られなかった.また,「本設問にあてはまるものはない」と回 答した世帯は負の関係があり,避難に支障のない世帯ほど避難しない傾向にあると考えら れる.



表 7.13 災害前の同居家族 (ペットを含む)

図 7.10 災害前の世帯構成(ペットを含む)(全国 N=4000)

## 7.5 まとめ

令和元年東日本台風での被災者行動に関して, Web 調査を行い, 今回の災害における住民 の行動について分析を行った. 避難した人の特徴として, 以下の傾向が示唆された.

- 避難勧告までの情報より,避難指示(緊急)の発表により行動する
- 身近な人から寄せられた情報(地域の人の訪問や遠くにいる家族や知り合いからの メールや電話)により行動する
- テレビや緊急速報メールだけでなく,能動的に情報を取得する必要がある媒体(SNS, HP, ラジオ)からも情報を得ている
- 防災訓練や講演会等へ参加したり、災害への準備をしたりしている
- 家族に乳幼児,小学生,妊婦,要介護者がいる
- 平常時からコミュニティとのつながりが強い
- 防災や要支援者に関する取り組みがある自治会に参加している

これらの傾向は,平成30年7月豪雨災害でも同様にみられた傾向である(詳細は参考文献3を参照のこと).くしくも,連続した年に,西日本,東日本で大災害があったためこのような傾向を確認することができた.長野県の特徴をみると全国とは傾向が違うものもある(サンプルが少ないため十分な考察はできていない).これは地域性に依存した傾向の存在を示すものであると考えられるため,今後は都道府県別,地域別の分析を進めて,全国的な傾向と地域差のある傾向を把握することが求められる.

## 参考文献

- 1) 内閣府:令和元年台風第19号に係る被害状況等について,令和2年4月10日 http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19\_45.pdf
- 2) 中央防災会議 防災対策実行会議 令和元年台風第19号等による災害からの避難に関す るワーキンググループ:令和元年台風第19号等を踏まえた水害・土砂災害からの避難の あり方について(報告),令和2年3月

http://www.bousai.go.jp/fusuigai/typhoonworking/pdf/houkoku/honbun.pdf

3) 平成30年度科学研究費補助金 特別研究促進費「平成30年7月豪雨による災害の総合研究」 (課題番号:18K19951,研究代表:山本晴彦)報告書,2019.

(畑山満則)

## 第8章 課題と提言

今次洪水の調査結果およびそこから得られた課題に基づいて,提言を以下に示す.

提言1 (観測充実・活用)

降水量や水位などに関する高い確実性を持った空間的に密な観測網の充実および 取得されたデータの統合・活用が必要である.

近年の降水量や水位・流量観測に関する新技術の発展と実用化はめざましいが,さ らなる充実とリアルタイム活用のシステム作りが必要である.

千曲川の今次洪水は,主に上流の佐久市・佐久穂町の群馬県側斜面での豪雨がもた らした.リアルタイムで利用できるアメダス,気象レーダ,国土交通省設置雨量計, XRAIN での一雨観測値は最大 300mm 強であった.その後入手した長野県設置雨量観 測所の最大一雨雨量は南佐久郡上石堂地点での 579mm と判明した.レーダが雨量を 正確に観測できない地域は他にもあると考えられる.また,現状の地上雨量計観測網 で豪雨域の降雨量を正確に観測できる保証はなく,観測網の再評価が必要である.さ らに,県観測雨量を即座に利用できるようにし,国による観測情報と統合解析できる ようにすべきである.

千曲川破堤地点に設置されていた危機管理型水位計により高精度の最大越流水深が 計測された.これにより氾濫現象の正確な評価が可能になり、今後の被災分析の信頼 性向上が期待できる.このように貴重な情報が得られる危機管理型水位計は、低コス トが前提ではあるが工夫により流失・欠測を極力少なくする対策と、より多くの設置 が期待される.

今回,千曲川破堤は夜間に発生したためその時刻が不明であり,破堤情報伝達に混 乱が生じた.夜間の破堤把握など堤防監視に関する研究開発が必要である.

### <u>提言 2 (河道管理)</u>

河道内砂州を有する急流河川においては、大規模洪水時の砂州挙動と流路変動の 予測技術を高める必要がある。

今次洪水により千曲川では、大規模な河床変動・流路変動が生じた.特に上田市で は、出水前には長期間砂州の陸域であった箇所に流路が移動し水衝部が発生したこと で、堤防欠損と落橋被害がおきた.これは流量低減時に発生したと推定されるが、詳 細なメカニズムは不明であり、さらなる研究により予測技術を高める必要がある.

千曲川上流部では、1960年代から河道に植生が侵入・消滅を繰り返していたが、 1980年代から2010年代にかけて徐々に植生域が増え、砂州が一部固定化および樹林 化し、低水路に小さな砂州が形成される二極化状態にあった.このような河道でも、 ひとたび大規模出水が発生すれば、急流河川特有の激しい侵食力により川全体で砂州 や流路が大きく変動し、堤防侵食や落橋といった現象を引き起こすことが改めて示さ れた.

今回のような被災を防ぐためには,目に見える裸地砂州や流路位置のみに着目する だけでは不十分である.今回の状況を踏まえると,現況の流下能力規模のうち比較的 大規模な洪水の来襲を想定し,砂州の移動,水衝部の発生要因となる洪水流の偏心, 水衝部の最深河床高の変化など河道全体で時々刻々と変化する現象を考えることが求 められる.対象とする現象に対し,現況の低水護岸・堤防護岸の基礎高や水制工の配 置の評価が必要であり,流路変動が生じた場合でも,侵食被災に繋がらないための対 策,洪水流をできるだけ流心へ誘導する対策などを講じていく必要がある.また,こ れらの対策を支援するためには,砂州の移動開始条件や水衝部の挙動等河床変動を精 度よく予測できる数値解析技術や観測技術の研究が必要不可欠と言える.これらの研 究を通し,洪水流の偏心が顕著となる河道状態や区間を特定する判断指標の構築は急 務である.

なお,堤防侵食や落橋被害を引き起こした流路変動は,ピーク流量を過ぎた流量減 衰時に大きく進行したと推定され,ピーク時のみならず,流量低減時における河道状 況の迅速な把握が必要である.

200

## <u>提言3 (避難行動)</u>

大河川の沿川地域における避難行動には、未だ多くの課題がある. その解決に向けて、様々な取り組みが必要である. 水工学分野では、多点での河川水位情報の活用、水害リスクの認知と理解の深化を促す洪水ハザードマップ作成、リアルタイム浸水想定シミュレーション等、様々な研究開発が必要である.

破堤氾濫域の地区は、地区防災計画を策定し、日頃から洪水氾濫への備えを準備す る模範的地域である.また、長野市は想定最大浸水予測に基づく新洪水ハザードマッ プを2019年8月に全戸配布していた.それにもかかわらず、適切な避難行動をとって いない事例が多々みられた.

この解決に向けて、よりわかりやすい避難情報の出し方、受け手の理解能力向上等、 様々な取り組みが実施されている.水工学分野では、多点での河川水位情報の活用、 水害リスクの認知と理解の深化を促す洪水ハザードマップ作成、リアルタイム浸水想 定シミュレーション等の研究開発が必要である.

従来の水位観測所に加えて、2018年以降に新設された危機管理型水位計による観測 水位は、今まで未知だった多くの洪水水理の情報を提供する.このリアルタイム情報 はインターネット配信により活用されているが、現時点ではそれ以上の活用はなされ ていない.計測精度の確保に細心の注意を払いながら、縦断的な水位データを活用し た洪水予測精度向上や住民の避難行動への活用が必要である.

千曲川破堤氾濫による浸水範囲,全壊家屋範囲は,洪水ハザードマップでの浸水範 囲,家屋倒壊等氾濫想定(氾濫流)エリアと類似している.このことから,破堤が生 じた場合の浸水および危険性の事前情報として,洪水ハザードマップの重要性が改め て示された.しかし,避難行動に十分結びついていない現状を踏まえると,行政(水 防活動,避難活動の支援),地域(地域防災力の向上のための,地域間情報伝達と避 難対策の構築・事前検討),住民(各家庭における備えの議論,災害時の情報収集, 避難想定などの防災意識改革)が有機的に関連して,全体として減災力を向上させる ことが必要であり,その基礎資料として機能するハザードマップの活用の検討が必要 である.

また,適切な避難行動を促すために,リアルタイムの浸水深予測も必要である.こ のためには,高速計算技術の開発や,時間的な浸水変化情報の表示・活用法を検討す る必要がある.さらに,そのシステム開発が実施できた場合には,それらを住民が活 用できるよう,情報伝達システムも踏まえた社会実装策を十分に検討する必要がある.

201

#### <u>提言 4 (施設管理)</u>

# 浸水時に市民生活へ大きな影響を与える可能性がある重要な公共土木施設などに 対しては,最大規模の浸水想定に対する備えが必要である。

千曲川の破堤氾濫や側岸侵食によって,電気・水道・ガスなどのライフラインシス テムが被災し,一時的に供給が途絶されたほか(停電63,500戸,断水約5,000戸,都 市ガス停止900戸など.いずれも長野県内の最大値),長野新幹線車両センターや下 水処理場および沿川の多くの排水機場などが大きな被害を受け,長期に亘り市民生 活に多大な支障が生じている.この長期の甚大な被害は,設計や事業継続において, 浸水を想定していない,または,過小な浸水深想定のため発生した.想定を超える浸 水などにより,受給施設の電気設備だけでなく,変電所やガス整圧所などが被災し, 橋梁や道路の損壊に伴う供給経路が断絶され,被害が深刻化,長期化した.すべての 重要施設は最大規模の浸水想定に対する備えが必要である.

長野新幹線車両センターについては、2m 程度のかさ上げを行っていたが、今回の 破堤氾濫にともなう最大浸水深が約4mであったため、北陸新幹線の車両30編成のう ち1/3に当たる10編成120車両が浸水し、廃車となった.その損失額は100億円を超 え、2019年11月末まで一部区間運休、2020年3月中旬まで暫定ダイヤが続いた.

破堤点の約3km下流に位置するクリーンピア千曲(千曲川流域下水道)と佐久市下 水管理センターは浸水により被災し,現在も簡易処理が続いている.グリーンピア千 曲は,過去の氾濫実績に基づいて,敷地を周囲地盤高より1m程度高くしていたが, 今回の破堤氾濫にともない敷地内建物が最大で約2m浸水した.その結果,流域関連 市町村(処理面積:4,459ha,汚水処理人口:143,000人)に対し,下水道の使用制限 を呼びかける事態となり,現在も施設の復旧作業が続いている.今回の被災による応 急対策費と本格復旧費としてすでに9億400万円を専決処分しており,処理施設全体 の復旧工事費はおよそ246億円が見込まれている.

排水機場に関しては,長野市内だけでも7か所でポンプが故障し,長野市は緊急対 策として国土交通省と長野県の排水ポンプ車計28台を配備した.また,被災した排 水機場の一部では,次の梅雨期までに復旧工事が間に合わず,排水能力は被災前より 2割低いまま洪水期を迎える事態が発生している.

# 提言5(河川整備) 氾濫危険性の軽減に向けて、河道整備を着実に実施していくことが重要である。

今次洪水は計画高水位を超える規模であった.堤防整備率が約6割の現況の河道で は流下能力不足は明確で,複数箇所での堤防からの越水を伴いながら,ほぼ堤防満杯 で洪水が流れた.千曲川上流には洪水調節をする大ダムも遊水地もなく,既存施設の 高度利用などの施策は適用できない.大規模貯留施設の建設も当面望めない.限られ た平地である千曲川沿いの盆地を開発してきた歴史から,長野県の都市はほぼすべて が氾濫域である.そのため,千曲川では,上下流バランスを確保した上で,河道整備 を着実に実施していくことが重要である.

今次洪水では、幸いにも浸透による堤防被害は発生しなかったが、もう少し洪水継 続時間が長ければ被害が生じていたかもしれず、本当に安全であるとは言い切れない. 引き続き、浸透に対する堤防の弱点箇所を縦断的に把握することに努め、必要に応じ て浸透対策を講じていくことが重要である.また、流下能力不足区間では、堤防強化 対策が必要であるとともに、河道掘削や樹木群管理等により水位を低減し、氾濫被害 を軽減するための対策も積極的に進めていく必要がある.

今次洪水のように,計画高水位を超える洪水外力条件下での長時間の浸透や越水が 発生することがあるため,決壊までの時間を少しでも稼ぐことが可能な堤防強化技術 の検討・開発が急務である.

また,気候変動により予想される洪水規模の拡大への対応として,20世紀までの実 績降雨に基づき整備された築堤をはじめとする治水施設の強化に加え,気候変動によ る増分についての対策が必要である.

### <u>提言 6 (土地利用)</u>

市街化区域や立地適正化計画の居住誘導地域の指定にあたっては水害リスクの考 慮が徹底されるべきであり、より高い水害リスクが想定される地域に対しては市 街化調整区域や災害危険区域等の土地利用規制を積極的に検討すべきである.

今回の千曲川左岸の堤防決壊によって長野市長沼地区及び豊野地区を含む広域が浸水した.中でも豊野地区は豊野駅南側の低地部が浸水し,且つ,浸水した家屋の約4 割が2m以上の浸水であったと推定され,垂直避難も困難な状況であったと考えられる.この地域は長野市が指定する市街化区域に位置しており,さらには立地適正化計画における居住誘導地域にも指定されていた.この地域は治水地形区分上の氾濫平野や旧河道に位置しており,元来,水害ハザードの高い地域でもあった.市街化区域や居住誘導地域の指定にあたっては,水害リスクの考慮が徹底されるべきである.

一方で,長沼地区は決壊地点に近く地区の大部分が浸水したものの,2m以上の浸 水深に位置する被害建物数は全体の1割程度であった.長沼地区は長野市の市街化調 整区域に指定されており,建物の大半が自然堤防上に位置していた.市街化調整区域 の指定による水害の軽減効果が現れたと言え,水害リスクがある他地域においても積 極的な指定が望まれる.しかし,市街化調整区域内であっても,幹線道路沿いを中心 に事業所や工場等の開発が見られた,それらの開発・建築許可にあったっても水害リ スクへの配慮が望まれる.

今回の水害を受けて,河川と都市計画・土地利用計画の連携,それにもとづく具体 的な土地利用規制施策の検討を急がなくてはならない. また、本調査では情報不足のため提言にまで至らなかったが、今後課題となる可能 性のある項目として以下が議論された.

#### (1) 氾濫域の土砂堆積

今次災害の特徴として,破堤氾濫域での土砂堆積が挙げられる.破堤氾濫域はリン ゴ果樹園を中心とする農地が広がる.氾濫流に多く含まれたシルト・粘土質土砂が堆 積し収穫間近のリンゴが被災した.さらに,通気性の低い土砂堆積の放置は樹木を枯 死させる懸念から,ボランティアの支援による堆積土砂搬出は各住宅での搬出が一段 落した後,農地での搬出が開始された.本調査団は,土砂堆積の実態の一部は把握で きたが,道路や事業所からの搬出土砂も含めた堆積土砂処分までの実態までは調査で きなかった.

今後,堆積土砂に関する事前復旧・復興計画を作成する場合には,分野毎にさらに 部分的にしか行われていない土砂堆積の知見の集積が必要になる.本調査団が行った 氾濫域の土砂堆積調査は,原則,自らの判断で可能な範囲で行ったものを集めた結果 であり,堆積土砂の実態が把握できた訳ではない.今後,もっときめ細やかな調査の 体制構築が必要であろう.また,流木を含め堆積土砂堆積分布の解釈をするためのシ ミュレーション技術は本調査報告書で示したとおり利用可能なレベルにある.

#### (2) 中小河川の河川整備計画

県管理河川の河川整備計画は圏域毎に作成される.千曲川・犀川流域は,北信圏域, 長野圏域,高瀬川圏域,松本圏域,上小圏域,北佐久圏域,南佐久圏域に分割されて いる.その中で,高瀬川圏域,北佐久圏域の河川整備計画は,治水安全度が比較的高 く,河川事業計画がないため,未策定となっている.今回,北佐久圏域の多数の河川 で氾濫被害が発生した.この圏域の河川は治水安全度が比較的高いとは言え,治水安 全度は河川により相当異なるようである.また,今後の気候変動により安全度低下が 懸念される.これらを評価するために,例えば河川整備計画策定により実施できるの ではという議論があった.

### A. 信濃川水系河川整備方針および計画の概要

信濃川水系河川整備基本方針<sup>1)</sup>が2008(平成20)年6月に策定された.千曲川の計画規 模は、1/100であり、計画降雨については、1926(昭和元)年から1969(昭和44)年までの 年最大流域平均2日雨量を用いて確率処理し、立ヶ花地点では186mm/2日と決定した.貯 留関数法で流出計算を行い、立ヶ花地点での基本高水のピーク流量を11,500m<sup>3</sup>/sと定めた. このうち2,500m<sup>3</sup>/sを上流ダム群により調節して、計画高水流量を9,000m<sup>3</sup>/sとし、本川の 杭瀬下地点は5,500m<sup>3</sup>/s、犀川の小市地点は4,000m<sup>3</sup>/sとした(図付.1).その後、信濃川水 系河川整備計画<sup>2)</sup>が2014(平成26)年1月に策定され、1983(昭和58)年9月洪水と同規 模の洪水に耐えられる流量として、立ヶ花地点における目標流量7,300m<sup>3</sup>/sが定められた(図 付.2).



図付.1 計画高水流量図<sup>1)</sup>



図付.2 整備計画目標流量図<sup>2)</sup>


C. 浸水域の詳細図(信州大学大学院 ERNESTO ORLANDO RODRIGUEZ ALAS 作成)



2.2 で示した浸水域の詳細図を,図付.4~図付.29 に示す.

図付.4 飯山市①



図付.5 飯山市2



図付.6 飯山市3



図付.7 飯山市④



図付.8 飯山市⑤



図付.9 飯山市⑥



図付.10 飯山市⑦



図付.11 飯山市⑧



図付.13 中野市①



図付.14 中野市上今井12



図付.15 中野市栗林13



図付.16 長野市穂保(4)



図付.17 小布施町大島(15)



図付.18 須坂市相之島16



図付.19 須坂市福島①



図付.20 長野市牛島18



図付.21 長野市松代町(19)



図付.22 長野市小森20-1



図付.23 長野市小森20-2



図付.24 長野市東篠ノ井20-3



図付.25 長野市篠ノ井20-4



図付.26 長野市岩野20



図付.27 千曲市土口22



図付.28 千曲市尾米川ポンプ場~新田(3)(2)



図付. 29 千曲市国分25 221

## 参考文献

- 1) 国土交通省河川局:信濃川水系河川整備基本方針,2008.
- 2) 国土交通省北陸地方整備局:信濃川水系河川整備計画【大臣管理区間】, 2014.
- 3) 長野市ホームページ:長野市洪水ハザードマップ 4.古里・柳原・浅川・朝陽・若槻・長 沼・豊野地区周辺,

https://www.city.nagano.nagano.jp/uploaded/attachment/330477.pdf (2020.06.16 確認)

(吉谷純一,豊田政史)