令和元年台風 19 号(東日本台風) および 10 月末 豪雨災害に関する調査報告書



2020年6月

公益社団法人 地盤工学会 災害連絡会議 令和元年台風 19 号(東日本台風)および 10 月末豪雨災害調査団 東京都文京区千石四丁目 38 番 2 号

TEL: 03-3946-8677 FAX: 03-396-8678 jgs@jiban.or.jp

まえがき

2019 年西日本豪雨災害の記憶も冷めやらぬ 2020 年 10 月,令和元年台風第 19 号は 10 月 12 日夕方,大型で強い勢力のまま伊豆半島に上陸した後,関東地方を通過し,13 日末明に東北地方沖の太平洋上に抜けました。この台風は,その進路と台風北側の前線が直接かかった静岡,新潟,関東・甲信地方,東北地方に記録的な大雨を降らせました。地形の影響による持続的な上昇流の形成により,山地の南東側から東側斜面となる地域で特に多くなり,10 日からの総雨量は神奈川県箱根町で1,000mmを超えるなど,東日本を中心とした 17 地点で 500mmを超える猛烈な雨となりました。この台風がもたらした大雨による土砂災害は 952 件にのぼり,また 142 箇所の河川堤防が決壊し,約3万5千 ha が浸水するなど,東日本における豪雨災害として過去最大規模の被害となりました。気象庁はこの台風を「東日本台風」と命名しましたが,台風としては 1977 年沖永良部台風以来 42 年ぶりの名称付与となりました。

地盤工学会は、関東・東北・中部・北陸の各支部において地域の地盤に精通した地盤災害の専門家からなる支部調査団と、全国から斜面と堤防の専門家を集めた斜面災害及び堤防調査団からなる合同調査団を直ちに立ち上げ、調査にあたりました。本調査団では、これまでの豪雨災害に地盤工学会が派遣してきた調査団と同様に、自然斜面や住宅、道路、鉄道等の盛土構造物、ため池などの農林業施設の被害を対象とした調査を実施しました。斜面災害については崩壊および土砂洪水氾濫の発生条件や場所、発生の頻度、土砂供給量と影響範囲などについてまだまだ不明な点が多く、メカニズムの解明から有効な対策法まで、さらなる研究と技術開発を進めてゆくためにも、災害事例調査結果の蓄積を学会として継続していくこと重要だと考えています。また、外力である降雨について、気象レーダーによる観測雨量や解析雨量の精度が近年において格段に上がってきたことで、斜面安定の研究の推進が期待されているところでもあります。

また,本調査団では河川堤防の被害調査にも精力的に取り組みました。河川堤防は土構造物であり地盤工学の範疇にありながら,地盤工学会では必ずしも活発な研究が行われていた分野ではありませんでした。しかしながら,河川堤防の質的整備事業が始まり,また 2012 年に矢部川堤防がパイピングによる越水なき破堤をしたことを契機とし,それ以来地盤工学会でも精力的な研究が行われてきた分野です。各支部の調査団には施設の管理者である国交省の堤防調査委員会に委員として参加した会員を含んでおり,本報告書には国交省調査委員会による調査結果を引用している部分も多く含まれていますが,その解釈は委員会と必ずしも同じではありません。本報告書の記載内容に関する責任は地盤工学会にあることを述べておきます。

最後になりますが、本調査団の調査及び報告書の作成では多くの団員にたいへんなご尽力をいただきました。改めまして団員の皆様及びお世話になった関係各位に対し、心よりお礼申し上げます。本調査報告が、本学会の会員や研究者、行政の豪雨災害研究の資料となり、防災・減災のための一助となることを願うとともに、被災された地域におかれましては一日も早い復旧・復興がなされることを祈念しております。

2020 年 5 月 公益社団法人 地盤工学会 副会長 岡村 未対

公益社団法人地盤工学会 災害連絡会議 令和元年台風 19 号(東日本台風)および 10 月末豪雨災害調査団

調査団の構成

【本部】

役 職	氏 名	所 属	関連委員会・推薦
団長	岡村 未対	愛媛大学	副会長,災害連絡会議座長
団員・幹事	岸田 潔	京都大学	総務部長,災害連絡会議幹事長
団員・幹事	高橋 直樹	三井住友建設(株)	調查·研究部長,災害担当理事
団員	西村 強	鳥取大学	公益出版部長,災害担当理事
団員・幹事	石井 裕泰	大成建設	総務広報担当
団員	安田 進	東京電機大学	災害連絡会議専門委員
団員	鈴木 素之	山口大学	災害連絡会議専門委員
協力者	松本 豊和	中日本高速道路(株)技術・建設本部	
協力者	中村 克彦	東日本高速道路(株)技術本部	

【東北支部調査団】

役 職	氏 名	所 属	関連委員会・推薦	
団長	風間 基樹	東北大学	JGS 東北支部副支部長	
団員・幹事	森口 周二	東北大学	JGS 東北支部幹事長	
団員	京谷 孝史	東北大学	JGS 東北支部長	
団員	飛田 善雄	東北学院大		
団員	仙頭 紀明	日本大学		
団員	中村 晋	日本大学		
団員	山口晶	東北学院大		
団員	山川 優樹	東北大学		
団員	山田 正太郎	東北大学		
団員	加村 晃良	東北大学		
団員	千田 知弘	東北学院大学		
団員	日野 友則	東北緑化環境保全(株)		
団員	高橋 一雄	(株)テクノ長谷		
団員	大塚 隆人	東日本旅客鉄道 (株)		
団員	長尾 和之	東日本高速道路(株)		
団員	高松 和弘	東日本高速道路(株)		

【関東支部調査団】

【	44		
役 職	氏 名	所属	関連委員会・推薦
団長	東畑が生	関東学院大	JGS 元会長
顧問	安田 進	東京電機大学	JGS 関東支部支部長 (発災時)・災害連絡会議専門委員
団員・幹事	清田 隆	東京大学	JGS 災害連絡会議関東地方委員
団員・堤防 WG リーダー	高橋 章浩	東京工業大学	JGS 関東支部監事
団員・斜面 WG リーダー	後藤 聡	山梨大学	JGS 災害連絡会議地方連絡委員(山梨県)・関東支部リーダー幹事
団員・洗堀 WG リーダー	渡邉 健治	東京大学	
団員	石川 敬祐	東京電機大学	
団員	海野 寿康	宇都宮大学	JGS 関東支部副幹事長
団員	榎本 忠夫	茨城大学	JGS 災害連絡会議地方連絡委員(茨城県)・関東支部幹事
団員	小荒井 衛	茨城大学	
団員	森 啓年	山口大学	
団員	石原 雅規	土木研究所	
団員	堀越 一輝	東京工業大学	
団員	新清 晃	応用地質	
団員	平塚 智幸	基礎地盤コンサルタンツ㈱	
団員	小林 薫	茨城大学	
団員	清木 隆文	宇都宮大学	JGS 災害連絡会議地方連絡委員(栃木 県)・関東支部幹事
団員	若井 明彦	群馬大学	JGS 災害連絡会議地方連絡委員(群馬県)・関東支部リーダー幹事
団員	森 友宏	前橋工科大学	JGS 関東支部商議員・幹事
団員	塚本 良道	東京理科大学	JGS 災害連絡会議地方連絡委員 (千葉 県)
団員	内村 太郎	埼玉大学	JGS 関東支部幹事
団員	早野 公敏	横浜国立大学	JGS 関東支部リーダー幹事
団員	岡田 憲治	横浜地方気象台	
団員	稲垣 秀輝	㈱環境地質	
団員	上野将司	応用地質(株)	JGS 災害連絡会議専門委員
団員	福原 誠	中央開発	
団員	天野一男	東京大学空間情報科学研究センタ ー・茨城大学名誉教授	

【千曲川流域調査団】

役 職	氏 名	所属	関連委員会・推薦・調査団
団長	大塚 悟	長岡技術科学大学	
団員・幹事	前田 健一	名古屋工業大学	
団員	小高 猛司	名城大学	
団員	杉井 俊夫	中部大学	
団員	肥後 陽介	京都大学	
団員	吉川 高広	名古屋大学	
団員	土本 浩二	株式会社ダイヤコンサルタント	中部地質調査業協会
団員	福元 豊	長岡技術科学大学	
団員	高原 利幸	金沢工業大学	
団員	安田 浩保	新潟大学(災害・復興科学研究所兼 務)	河川工学、水工学 連携団員
団員	新保 泰輝	石川工業高専	
団員	佐藤豊	(株)キタック	
団員	梅崎 健夫	信州大学	
団員	河村 隆	信州大学	
団員	竜田 尚希	富山大学	
団員	村尾 英彦	(株)村尾地研	

【斜面災害調査団】

役 職	氏 名	所属	関連委員会・推薦・調査団
団長	鈴木 素之	山口大学	地盤工学会・未曽有の豪雨により複合化した土砂・水災害に遭遇する時代に突入した地盤技術の今後と社会的な方策に関する研究委員会土木学会地盤工学委員会
団員	稲垣 秀輝	(株)環境地質	同上
団員	上野将司	応用地質 (株)	同上
団員	落合 達也	アジア航測(株)	地盤工学会・未曽有の豪雨により複合化した土砂・水災害に遭遇する時代に突入した地盤技術の今後と社会的な方策に関する研究委員会
団員	松木 宏彰	復建調査設計 (株)	団長推薦
団員	吉川 修一	八千代エンジニヤリング(株)	地盤工学会・未曽有の豪雨により複合化した土砂・水災害に遭遇する時代に突入した地盤技術の今後と社会的な方策に関する研究委員会土木学会地盤工学委員会

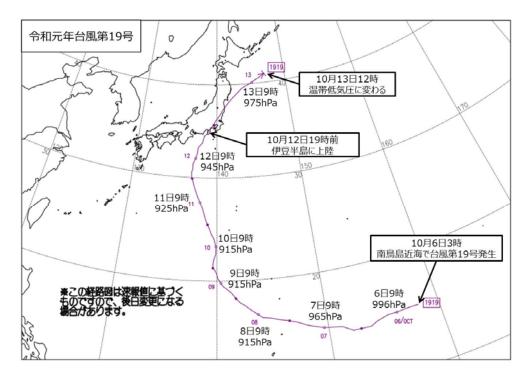
目 次

まえか	*き	i
令和元	5年台風 19 号および 10 月末豪雨災害調査団	ii
1. lä	はじめに	1
2. 東	重北支部調査団報告 	3
2.1	活動方針と東北地方の気象条件と被害概要	3
2.2	宮城県北の被害(鳴瀬川水系・吉田川筋の堤防被害)	6
2.3	宮城県県中の被害	16
2.4	宮城県南の被害	35
2.5	福島県内の被害	56
2.6	高速道路の被害	65
2.7	鉄道の被害	71
3. 関]東支部調査団報告	87
3.1	概要	87
3.2	堤防被害	90
3.3	洗掘被害	145
3.4	斜面災害	151
3.5	過去の水害通覧と近年の傾向	194
4. T	- 曲川流域調査団報告	201
4.1	調査目的,概要,調査団メンバーなど千曲川 58k 左岸(穂保地区)の堤防被害について	201
4.2	被災概要	203
4.3	千曲川 58k 左岸(穂保地区)の堤防被害について	212
4.4	千曲川 58k 右岸(相之島地区)の堤防被害について	224
4.5	千曲川左岸 104k 付近の堤防欠損被害について	229
4.6	今回の被災を踏まえた今後の対策,管理方法について	243
4 7	壬曲川上流域の佐久市における地盤災害について	248

5. 斜	面災害について	275
5.1	はじめに	275
5.2	宮城県伊具郡丸森町の被害概況	276
5.3	宮城県伊具郡丸森町の河川侵食による災害	286
5.4	2019 年 10 月台風 19 号による宮城県伊具郡丸森町の土砂洪水氾濫被害	290
5.5	令和元年東日本台風等による土砂災害と住民避難	294
5.6	斜面災害に関するまとめ	299
6. 堤	防被害について	301
6.1	令和元年出水による堤防災害の分析について	301
6.2	河川堤防に関わる研究,技術開発の方向性について	303

1. はじめに

令和元年(2019年)10月6日午前3時に南鳥島近海で発生した台風第19号は,マリアナ諸島の東海上で発生した台風19号は,マリアナ諸島の西氏進み,次第に進路を北に変え,日本に向かった。10月12日19時前に大型で強い勢力を保ったまま伊豆半島に上陸し,その後,関東地方を通過し,13日12時に日本の東で温帯低気圧となった1)。



経路上の○印は傍に記した日の9時、●印は21時の位置を示している

図-1.1 令和元年台風 19 行経路図 (速報値によるもの)1)

この台風は,発生後,猛烈な勢力に発達し,その勢力を維持したような形で北上して日本列島に接近した。結果として,日本列島上陸前から活発な雨雲が断続的に活動し,関東甲信地方,静岡県,新潟県,東北地方に記録的な大雨をもたらした。特に,神奈川県箱根町では,降り始めからの降雨量が1000ミリを超える記録的な大雨となった。令和元年10月12日15時30分からは,順次静岡県,神奈川県,東京都,埼玉県,群馬県,山梨県,長野県,茨城県,栃木県,新潟県,福島県,宮城県,岩手県の1都12県に大雨特別警報が発令された1。

この台風は,人的・物的に多大な被害をもたらした。令和 2 年 4 月 10 日現在,死者 104,行方不明者 3 名,住宅被害は 101,673 棟である 2)。高速道路や直轄国道の大きな被災は報告されていないが,補助国道では 6 路線 7 区間,都道府県・政令市道では 80 区間で被災が発生している 2)。河川堤防の決壊等は,国管理河川で 6 水系 7 河川 14 か所,都道府県管理河川で 4 水系 18 河川 128 か所で破堤が発生している 2)。土砂災害は,952 件発生している。

一方,令和元年 10月 24日から 26日にかけての千葉県と福島県での 200 ミリを超える記録的な大雨が発生した。これは,西日本から北日本の太平洋側沿岸に沿って低気圧が進み,この低気圧に向けて南から暖かく湿った空気が流れ込むとともに,日本の東海上にあった台風 21号からも湿った空気が流れ込んで大気の状態が非常に不安定となったためである。死者 13名,住宅被害は 5101棟,都道府県・市道が 2区間の被災が発生した。国管理河川では,1水系 2河川 2箇所で堤防裏法崩れ,1箇所で堤防洗掘,都道府県管理河川で一般被害が 20水系 34河川河川管理施設等被害が 22水系 43河川で被害が発生している。地すべり,土石流は,197件である。

地盤工学会では,これらの災害に対し,災害連絡会議を通じて初動対応を行い,東北,関東,千曲川 (中部・北陸合同)に対する調査団を結成し,被災の調査活動を行ってきた。なお,調査は土木学会の 調査団と連携して実施した。

参考文献

- 1) 気象庁:令和元年元年東日本台風(台風第 19号)による大雨,暴風雨等.(https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf),2020年7月1日閲覧
- 2) 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 (http://www.bousai.go.jp/updates/rltyphoon19/pdf/rltyphoon19 45.pdf), 2020 年 7 月 2 日閲覧

2. 東北支部調査団報告

2.1 活動方針と東北地方の気象条件と被害概要

2.1.1 活動方針

東北支部調査団では,台風第 19 号による被害が広域に発生し,様々な形態の被害が発生したことを 鑑みて,下記の 4 つの組織からなる合同調査団を結成した。

調査団名: 2019 年台風第 19 号災害に関する東北学術合同調査団

参画組織: 地盤工学会東北支部

土木学会東北支部(団長は土木学会東北支部より選出)

日本地すべり学会東北支部

東北大学災害科学国際研究所

上記の合同調査団は、「被害メカニズムの解明」および「2次被害拡大の抑制」を主な目的とし、さらに下記の効果を期待して設立されたものである。

- ・調査箇所の重複の抑制
- ・調査に関わる被災自治体や被災者において不快感を感じさせる行為の抑制
- ・調査に対応する被災地の自治体等の負担軽減
- ・被災復旧に伴う工事担当者の負担軽減
- ・メディア対応の効率化および適正化

対象地域は 2019 年台風第 19 号により東北地方で被害が発生した地域を対象と定義し,各組織は,下記の役割に重きを置いて合同調査団の活動を行った。

< 地盤工学会東北支部 >

道路や鉄道に関わる地盤災害,造成地被害,堤防決壊メカニズム,ため池 など

< 土木学会東北支部 >

河川氾濫,内水氾濫,堤防,橋梁,ダム,避難状況分析,経済関連 など

<地すべり学会東北支部>

土砂災害 など

< 東北大学災害科学国際研究所 >

避難所・行政対応分析,メディア分析,ボランティア動向,災害医学,メディア対応支援 など なお,上記の担当項目は効率的な調査を行うことを目的とした目安であり,学会間で連携(複数組織 に重複して所属しているケースもある)や調査実施者の専門の関係で,担当項目の範囲外までを含める,または担当範囲を絞って調査を実施した経緯がある。具体的には,土砂災害については,地盤工学会でも専門とする研究者や実務者が多く,その結果,地盤工学会東北支部では,宮城県と福島県の地盤 災害と土砂災害を中心に調査を実施している。そのため,本報告書では,対象地域を宮城県と福島県に限定して記載し,主に地盤災害と土砂災害に関して記載することとする。東北地方においては,岩手県でも多くの被害が発生したが,その被害の詳細に関しては合同調査団の報告書を参照されたい。ただし,次項の被害概要の部分については,東北地方の被害傾向を網羅的に示すため,岩手,宮城,福島の3県についての情報を整理している。

2.1.2 東北地方の気象条件と被害概要

台風 19 号は 2019 年 10 月 12 日に関東地方に上陸し,東北地方については 10 月 12 日の午後から 10 月 13 日の明け方にかけて豪雨をもたらした。図 2.1 は,台風 19 号が日本列島を通過した期間の累積雨量分布である。東北地方においては,福島県,宮城県,岩手県の沿岸部で特に高い値を示しており,宮城県丸森町では 600mm を超える累積雨量が観測されている。

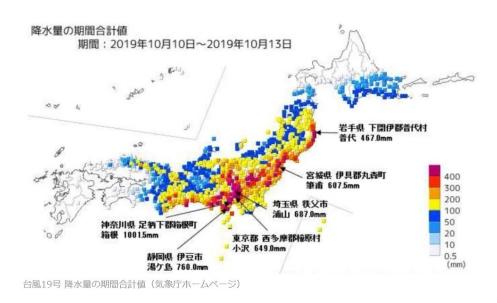


図 2.1 累積雨量分布図 (2019年10月10~13日)1)

図 2.2 は時間雨量分布と土砂災害警戒判定メッシュ情報の時間変化を示したものである。また , 図 2.3 は 10 月 12 日午前 13 時現在の河川氾濫の危険度分布 ¹⁾を示している。河川氾濫については , 一級河川では阿武隈川や鳴瀬川(吉田川 , 善川 , 竹林川) で氾濫が発生し , 県管理の二級河川では宮城県と福島県で合計 85 箇所の堤防決壊が発生した ²⁾。また , 土砂災害や増水した河川による洗掘で道路の通行止めも多発した。人的被害と建物被害については , 岩手 , 宮城 , 福島の 3 県で表 2.1 の被害が発生した。東北地方で最も被害が大きかった市町村は宮城県丸森町であり , 10 名の死者が発生している。

表 2.1 岩手,宮城,福島の3県の被害概要3)

	岩手	宮城	福島
死者(人)	3	19	37
行方不明	0	2	0
全壊(棟)	41	302	1489
半壊	790	2997	12560
床上浸水	144	1614	1161
床下浸水	953	12151	443

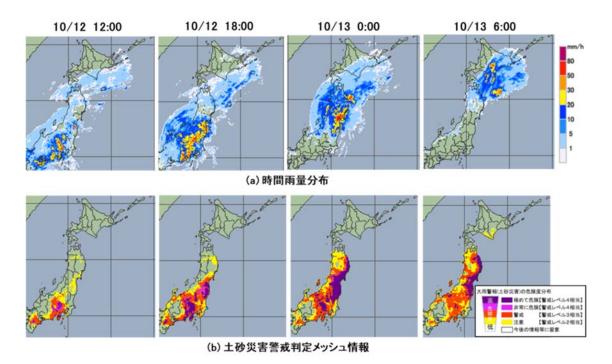


図 2.2 時間分布図と土砂災害警戒判定メッシュ (2019年10月12~13日)1)

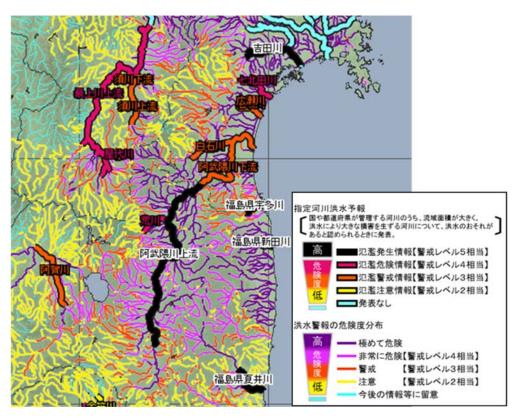


図 2.3 洪水警報の危険度分布 (2019年10月13日午前1時現在)1)

2.2 宮城県北の被害(鳴瀬川水系・吉田川筋の堤防被害)

2019 年 10 月 12 日から 14 日にかけて東北地方に来襲した台風 19 号の影響により,東北地方太平洋側で厳しい豪雨となり,鳴瀬川(なるせがわ)水系流域 6 箇所において,既往一位(24 時間累積雨量)を観測した。本節では,吉田川の左岸 20.9k 付近の堤防決壊被害を中心に,河川堤防の被害を報告する。

2.2.1 鳴瀬川水系の概要と既往災害履歴

(1)概要⁴⁾

鳴瀬川は,宮城県中央部の太平洋側に位置し,その源を宮城・山形県境の船形山(標高 1,500m)に発し,田川,花川等を合わせ大崎市古川付近で多田川及び人工河川である新江合川を合わせて大崎平野を貫流し,東松島市野蒜において,右支川吉田川と合流し太平洋へ注ぐ幹川流路延長 89km(全国第 56 位,吉田川 53 km),流域面積 1,130km²(全国第 61 位)の一級河川である。

右支川吉田川は,黒川郡大和町の北泉ヶ岳に源を発し,途中南川を合わせ大和町落合地先で左支川善川,右支川竹林川を同時に合わせ流下し,松島町竹谷たけや二子屋付近から鳴瀬川と背割堤をはさみ並行して流れ,東松島市野蒜において鳴瀬川に合流する幹川流路延長 53km の一級河川である(図 2.4 参照)。その流域は大崎市をはじめとする 4 市 7 町 1 村からなり,流域の土地利用は山地等が約 72%,水田や畑地等の農地が約 22%,宅地等の市街地が約 6%となっている。流域の約 20%を占める水田は我が国有数の穀倉地帯となっているとともに豊かな自然環境に恵まれている。

国土交通省河川現況調査結果(平成 26 年度基準)によれば,流域内人口約 18 万人,想定氾濫区域面積約 300km²,想定氾濫域内人口約 15 万人,想定氾濫区域内総資産額約 2.84 兆円となっている。

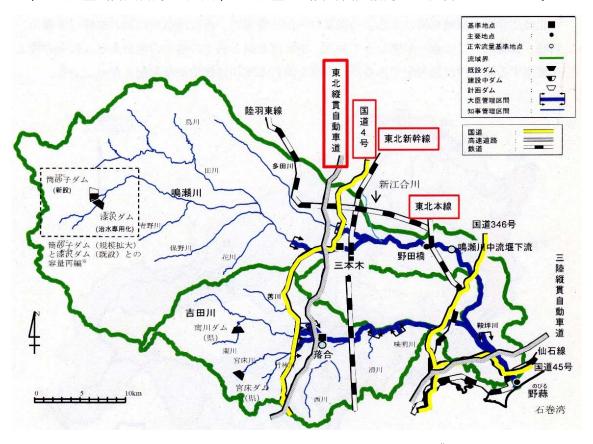


図 2.4 鳴瀬川水系流域図(国土交通省河川整備計画 4)より)

(2) 鳴瀬川水系の治水の歴史と主な災害履歴 4)

鳴瀬川の治水事業は,明治 43 年 8 月洪水及び大正 2 年 8 月洪水を契機に,大正 6 年から宮城県において一部実施したのが始まりであり,国の直轄事業としては,大正 10 年に鳴瀬川の三本木における計画高水流量を 1,200m³/s,吉田川の鹿島台における計画高水流量を 560 m³/s として,改修工事に着手し堤防の新設及び拡築並びに護岸,水制等を施工したのが始まりである。その後,昭和 22 年 9 月洪水(カスリン台風),昭和 23 年 9 月洪水(アイオン台風)により計画高水流量を大幅に上回ったので,昭和 28 年には計画高水流量を鳴瀬川の三本木においては 3,000 m³/s,支川吉田川の落合においては 1,200 m³/s と改定された。更に,上流ダム群の整備や平成 9 年の河川法改正を経て,吉田川の基準地点落合における計画高水流量を 1,600 m³/s とする計画となった。

昭和 61 年 8 月洪水では,吉田川上流域を中心に豪雨となり,支川吉田川落合地点において計画高水位を超えるとともに,左岸堤防が4箇所で破堤し,大崎市鹿島台が甚大な浸水被害を受けたため,激甚災害対策特別緊急事業の採択により,堤防の整備や河道掘削等の再度災害防止対策を実施した。さらに,水害に強いまちづくりの実現に向け,二線堤等の事業を実施してきている。その後も,平成元年,平成2年,平成5年,平成6年,平成10年,平成14年5と,ほとんどの観測所で警戒水位を上回る洪水にたびたび見舞われており,鳴瀬川の流下能力の向上及び新江合川の合流に対応するため,河道掘削等を実施してきている。また,昭和53年6月の宮城県沖地震6や平成15年7月の宮城県北部地震7により,堤防の法面崩壊,陥没等甚大な被害が発生したため,堤防の拡幅等を集中的に実施してきた。

平成 23 年 3 月の東北地方太平洋沖地震 ⁸⁾では津波等により甚大な被害が発生した。また,地震に伴う地殻変動により,広域的な地盤沈下が発生するとともに,地震の揺れ,基礎地盤や堤体の液状化による河川堤防の法すべり,沈下等も多数発生した。

上記に述べたこれまでの洪水や地震による災害履歴を表 2.2 にまとめて示した ⁹⁾。また , 図 2.5 は平成 14 年 6 月に発生した台風の際の出水状況 ⁵⁾を示した。左側の写真では , 今次 2019 年 10 月の災害で決壊した粕川橋上流左岸 20.9k 付近の河川の屈曲部と集落が確認できる。なお , 吉田川堤防は過去に何度も複数個所で決壊が生じているが , 今次の決壊箇所 (左岸 20.9k) は過去に越流などの履歴はない。





図 2.5 平成 14 年 7 月台風 6 号の際の出水状況 5) (左:吉田川粕川橋付近,右:鹿島台町付近)

表 2.2 鳴瀬川水系の主な災害履歴 (水害・地震): 参考文献 9) に地震被害・今次災害分を追記

発生年月	発生原因	被害状況
1910. 8 (明治 43)		死者:26名,行方不明者:17名,負傷者:39名, 家屋全半壊 131戸,床上
1910. 8 (РД/Д 43)		浸水:442 戸,床下浸水 171 戸,氾濫面積:925ha
1913.8 (大正 2)		床上浸水:約 400 戸,床下浸水:約 470 戸
1947.9 (昭和 22)	 カスリン台風	床上浸水:鳴瀬川 1,150 戸 , 吉田川 850 戸 , 床下浸水:鳴瀬川 1,450 戸 , 吉田
1947.9 (HD/H 22)	カスリンロ風	川 650戸,氾濫面積:鳴瀬川 6,340ha,吉田川 3,134ha
1948.9 (昭和 23)	 アイオン台風	床上浸水:鳴瀬川 251 戸 , 吉田川 1,001 戸 ,」床下浸水:鳴瀬川 1,006 戸 , 吉
1740.7 (時日年日 23)	ノークンロ風	田川 925 戸 , 氾濫面積:鳴瀬川 3,778ha , 吉田川 6,491ha
		家屋流出:鳴瀬川 6戸,吉田川 46戸,床上浸水:鳴瀬川 207戸,吉田川 614
1950.8 (昭和 25)	熱帯性低気圧	戸,床下浸水:鳴瀬川 509戸,吉田川 344戸,氾濫面積:鳴瀬川 2,410ha,吉
		田川 4,185ha
1978.6 (昭和 53)	宮城県沖地震	1978 年宮城県沖地震被害報告書 ⁶⁾ を参照
		床上浸水(外水):鳴瀬川 - 戸,吉田川 1,056戸,床上浸水(内水):鳴瀬川
1986.8 (昭和 61)	台風 10 号を参照	13 戸,吉田川 67戸,床下浸水(外水):鳴瀬川 136戸,吉田川 503戸
1700.0 (нд/ц 01)		床下浸水 (内水): 鳴瀬川 55 戸 , 吉田川 105 戸 , 氾濫面積:鳴瀬川 2,662ha ,
		吉田川 6,050ha
		床上浸水(外水):鳴瀬川 - 戸,吉田川1戸,床上浸水(内水):鳴瀬川2戸,
2002.7 (平成 14)	台風6号	吉田川 2戸,床下浸水(外水):鳴瀬川 2戸,吉田川 17戸,床下浸水(内水):
2002.7 (17.201.)		鳴瀬川 424 戸 ,吉田川 58 戸 ,外水氾濫面積:鳴瀬川 - ha ,吉田川 13ha ,内
		水氾濫面積:鳴瀬川 1,288ha , 吉田川 824ha
2003.7 (平成 15)	内陸直下地震	2003 年宮城県北部連続地震被害報告書 ⁷⁾ を参照
2011.3 (平成 23)	海洋性巨大地震	2011 年東北地方太平洋沖地震被害報告書 ⁸⁾ を参照
		床上浸水(外水):鳴瀬川 5 戸 , 吉田川 4 戸 , 床上浸水(内水):鳴瀬川 107
2011.9 (平成 23)	台風 15 号	戸,吉田川-戸,床下浸水(外水):鳴瀬川5戸,吉田川5戸,床下浸水(内
201119 (177220)		水):鳴瀬川 96 戸,吉田川 - 戸,外水氾濫面積:鳴瀬川 24ha,吉田川 334ha,
		内水氾濫面積:鳴瀬川 16ha , 吉田川 400ha
温帯低気圧 床上浸水:鳴		床上浸水:鳴瀬川 442 戸,吉田川 164 戸,床下浸水:鳴瀬川 223 戸,吉田
(17-27)	関東・東北豪雨	川 171 戸 , 浸水面積:鳴瀬川 3,808 ha , 吉田川 1,702 ha
2019.10 (令和 1)	台風 19号	浸水面積 ¹⁰⁾ :吉田川 約 5,700 ha(2019/10/13 調査) 約 1800ha(2019/10/16 調
2019.10 (4 18 1)		査) 約 1200ha(2019/10/17 調査)

2.2.2 鳴瀬川水系吉田川筋の堤防の被害概況と観測された河川水位

(1)堤防の被害概況 10~12)

台風第 19 号による鳴瀬川水系吉田川筋の堤防の被害としては,吉田川本川で 17 箇所,善川で 8 箇所,竹林川で 8 箇所の合計 33 箇所において,決壊・越水・溢水が生じた(図 2.6 参照)。

図 2.7 には,最も大規模な決壊箇所となった吉田川左岸 20.9k 付近の堤防決壊箇所の位置を示した。この個所では,10 月 13 日 6 時 10 分に CCTV カメラ映像 11 (図 2.8 参照)により,越水による川裏部の侵食崩壊が確認され,7 時 53 分頃に決壊を確認した。決壊幅は初期に約 20m ほどであったが,時間が経過するにつれ広がり最終的に約 100m に及んだ。堤防決壊場所の被害状況を図 $2.9 \sim 2.11$ に示す。

宮城県管理の鳴瀬川水系河川の4箇所 ¹³⁾ (渋井川: 大崎市古川西荒井地先, 身洗川: 大和町落合桧和田地先【図 2.12, 図 2.13 参照】, 小西川: 大和町鶴巣幕柳地先,名蓋川: 大崎市古川矢目地先・加美町菜切谷地先)でも決壊が生じた。ちなみに,宮城県管理の河川では,決壊:18河川 36箇所,法崩等:179河川 1171箇所,観測施設被災3箇所と報告されている ¹⁴⁾。

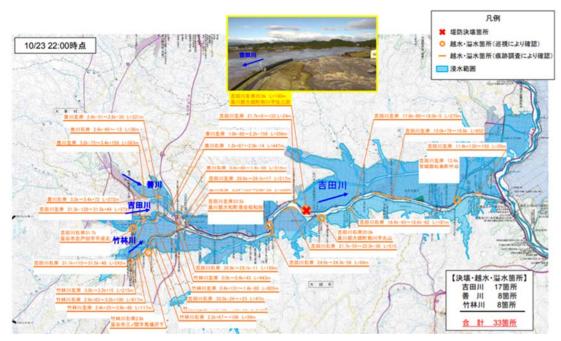


図 2.6 吉田川筋の越水・溢水と決壊箇所位置図 12)

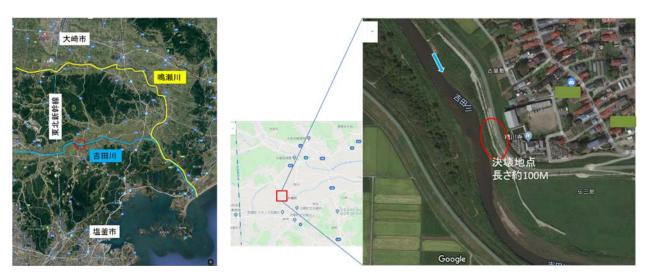


図 2.7 吉田川決壊箇所 (左岸 20.9km 地点)の位置図



図 2.8 吉田川の破堤箇所(破堤前 CCTV 映像) $^{12)}$



図 2.9 吉田川の破堤箇所



図 2.10 吉田川の破堤箇所の 10/14 応急復旧状況 15)



図 2.11 吉田川の破堤箇所



図 2.12 宮城県管理の鳴瀬川水系の決壊箇所位置図 13)



図 2.13 鳴瀬川水系身洗川の決壊状況 13)

以上は,主に破堤箇所についての情報であるが,破堤に至らないまでも,越水・溢水・漏水箇所は多く確認されており,破堤に至らなかった箇所と至った箇所の違い,何が明暗を分けたのか分析する必要がある。(図 $2.14\sim2.15$ 参照)



図 2.14 越水箇所の痕跡(吉田川右岸 21km)



図 2.15 侵食された堤防越水箇所(同右岸 24km 付近)

(2)観測された河川水位 16)

鳴瀬川流域の 16 箇所ある水位観測所(図 2.16 参照)のうち 11 箇所(高倉橋,下中ノ目,野田橋,竹谷,鹿島台,高田橋,粕川,幡谷,鹿島台,塩浪,新田橋)において,観測史上第 1 位の水位を観測し。そのうち吉田川筋の 6 箇所(落合,粕川,幡谷,鹿島台,塩浪,新田橋)の観測所において,計画高水位を超過した。図 2.16 には,このうち落合,粕川,鹿島台のハイドログラフを示した。図から,粕川で計画高水位 8.32m を 6 時間超過(最高水位 9.92m: H.W.L.との差 1.6m),落合で計画高水位 7.41m を 5 時間超過(最高水位 8.41m: H.W.L.との差 1.0m),鹿島台で計画高水位 8.44m を 4 時間超過(最高水位 8.67m: H.W.L.との差 23 cm)となっていることがわかる。この 3 か所の観測所のうち,粕川観測所において,越流深さ,越流時間とも最も大きかったことがわかる。また,粕川付近では,10月13日未明から,計画高水位を超過し始め,早朝6時~7時頃にかけてまで継続していることもわかる。

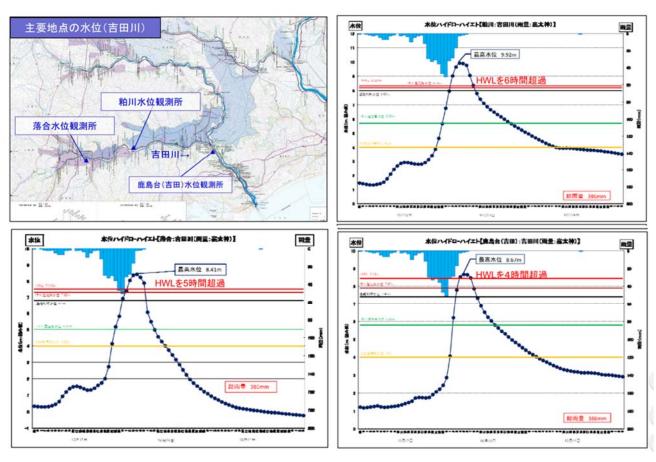


図 2.16 水位観測所位置図及び観測された河川水位 16)

2.2.3 堤防決壊と被災メカニズムの分析

(1)既設堤防の築堤履歴と土質材料

堤防決壊箇所を含む上下流区間は,昭和63年度の同時期に拡幅嵩上げ工事を実施している。図2.17に今次の災害で決壊した左岸20.9k地点の断面と上下流区間の断面を示す。決壊した地点は,その上流と下流の区間に比して,拡幅部がやや狭く,かつ堤防の最上部はパラペットが設置されていることがわかる。これは,堤内地側に拡幅のための用地が他の区間に比して,確保できなかったためと推察される。

決壊した部分を含む上下流区間の堤防の築堤履歴は概ね同じであるため,築堤材料も同じ材料を使用していると推察される。決壊箇所の上流左岸 21.0k の断面で実施されていた既往の堤防詳細点検結果より,堤体は古い順に B1c, B2s, B3s の 3 層より構成されている(図 2.18 参照)。それら材料の粒径加積曲線は,図 2.19 に示す通りである。B1c 層は細粒分が 40%ほどと多く,B2s 層は砂分主体,B3s 層は他の層より礫分が若干多く 10%を占める。越流による堤防の侵食は,B1c 層を残すような形で侵食されており,浸食されやすさは築堤材料の粘着力の差を反映したものとも考えられる。

因みに,この土層構成と土質材料で,浸透流解析を実施したところ,パイピングを起こしやすい条件とはなっていなかったこともわかっている ¹⁶。

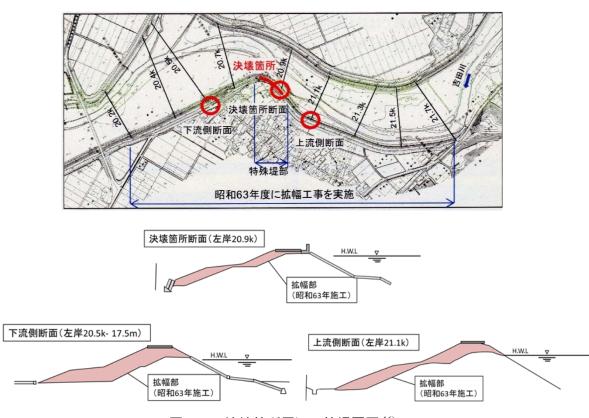


図 2.17 決壊箇所周辺の築堤履歴 16)

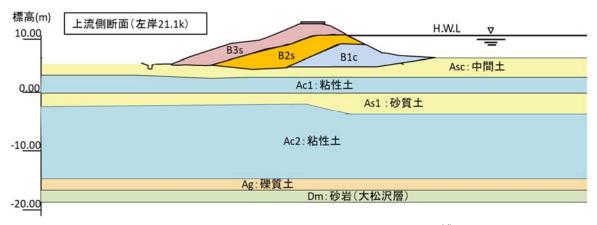


図 2.18 決壊箇所上流側左岸 21.0k の堤防断面 ¹⁶⁾

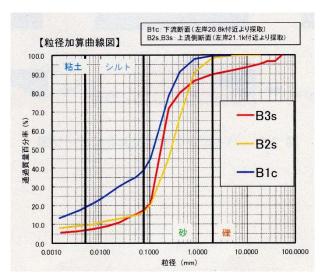


図 2.19 堤防を構成する土質材料の粒径加積曲線 16)

(2) 堤防の決壊原因について 16)

一般に,河川堤防が決壊するメカニズムには,以下の三つが考えられる。

- ァ)越水による川裏法尻部の侵食,その進行による破堤
- イ)浸透(パイピング,パイピングや浸透流に伴う川裏側のすべり破壊)
- ウ)河川の流れによる川表側の侵食・洗堀

これらのうち,決壊部の下流側直近に設置されていた CCTV カメラが捉えた映像から,ア)越水が直接的な決壊原因であることは明らかであった。このことを確認するため,国土交通省東北地方整備局は,イ)またはウ)の可能性を浸透流解析,堤体の安定解析,河川流の数値解析等を実施し,これらが直接的原因である可能性が少ないことを確認している 160。本報告ではこの点については詳しく触れない。

(3) 越流から破堤へつながった要因

先に述べたように,今次の災害では,吉田川本川の堤防ではこの決壊箇所の他に 16 箇所の越水・溢水が確認されている(図 2.6 参照)。越水・溢水した箇所がすべて破堤につながったわけではないので,越水から破堤までの進行的な破壊メカニズムを考察する必要がある。

図 2.20 は ,決壊した左岸 20.9k 地点における越流経過 ,構造断面図を示している。決壊地点の水位は , 直近下流の粕川観測所地点水位 (観測水位 9.92m , T.P.+11.44m) から水面勾配を考慮して換算されたもの である。決壊地点の水位は , T.P.+11.58m まで上昇しており , 堤防決壊地点では堤防高さ T.P. +11.18m に 対して概ね 40cm 程度水位が高くなったものと推定される。計画高水位を超過した時間は約 6 時間 ,計画 堤防高を超過した時間は約 4 時間と推定された。

CCTV カメラ映像を確認し,水位ハイドログラフに越水時間,決壊時間等を整理した結果,下流の粕川 観測所の水位から推測して,越水開始は 10 月 13 日 2:50 分頃であり,CCTV カメラが越水を確認した時点 6:10 分は,越水開始から 3 時間以上を経過していたと推定された。また,決壊は CCTV カメラ映像から 7:53 分頃と判断された。また,11:53 分の時点で決壊幅は約 100m に進行していたことも確認された。

また 水が引いた後の調査により 決壊箇所の堤防法尻付近で最大深さ 2.2m の落堀も確認されている。 先に述べたように,侵食された部分は主に砂質系の土質であったものと推定される。

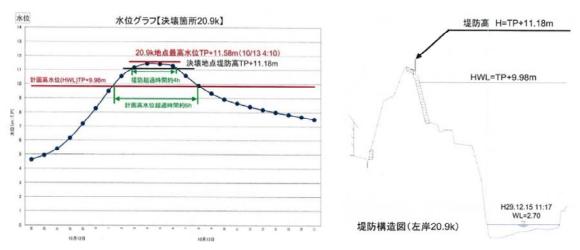


図 2.20 左岸 20.9k 地点における越流経過,構造断面図 16)

一方,決壊に至らなかった越水・溢水箇所のうち,越水深が最大であったと推定される左岸 16.2k 付近でも調査が行われた。この地点の,越流経過および構造断面図を図 2.21 に示す。この地点では,越水深さ約 36cm,越水時間約 3 時間と推定されているが,被災状況は図 2.22 に示すように,幅約 2m 長さ約 6m の侵食跡が確認された。

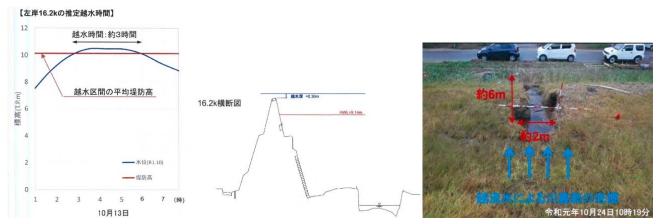


図 2.21 左岸 16.2k 地点における越流経過,構造断面図 $^{16)}$ 図 2.22 左岸 16.2k 地点の川裏側侵食状況 $^{16)}$

以上を鑑みると、越水が決壊・破堤につながったかどうかの明暗を分けたものは、

- ・堤防天端幅,構造断面幅や傾斜,法尻部の構造
- ・越流水深
- ・越流時間
- ・堤防土質

などが考えられる。今後は,上記の要因の観点から,越流・溢水した箇所の詳細な分析が望まれる。

2.2.4 堤防復旧および堤防に粘り強さを持たせる対策

今次の決壊箇所の本復旧に当たっては,当然ながら背後地の復興計画との整合を図る形で,事業が進められるべきものであり,治水対策は堤防の構造的対応のみで決まるものでもない。長い延長を有する水防施設であるがゆえに,財政の制約や社会の求める安全のレベルを考慮した上で,様々な方策を動員して逐次治水レベルは強化されてゆくものである。

河川堤防が水防機能という性能を持つ土構造物であるという技術的観点からは,現在,越水に対してより粘り強さを持たせる方向性(危機管理型ハード対策)¹⁷⁾等が議論され,

- 1)堤防天端の保護:アスファルト舗装で,雨水の浸透や越水時に天端の侵食を抑制
- 2) 裏法尻部の保護:越水時に大きな侵食力を受ける裏法尻部をかごマットやブロック材などで強化
- 3) 裏法の保護: 越水時の侵食を抑制

することなどが提案されている。この方策を,復旧計画の中でどのように取り込むのか,既存の堤防の維持管理・改修事業との整合性なども考慮しながら,対応する必要がある。

謝辞

本報告を執筆するにあたり,国土交通省東北地方整備局・鳴瀬川堤防調査委員会調査報告書¹⁶⁾の内容を多く引用させていただきました。関係各位に,深潭なる謝意を表します。

2.3 宮城県県中の被害

2.3.1 全体概要

仙台市北部から富谷市にかけて,10/22,10/23,10/26 の 3 日間で地盤災害を主として調査した。ほとんどの斜面が人工的に改変した斜面地盤の崩壊であったが,洪水による水の流れが水田や農道,あぜ道を壊したものや,河川により護岸背後地盤が洗堀された部分などがあった。計 17 地点である。調査地点全体図を図 $2.23^{19)$ に加筆に,一覧を表 2.3 に示す。

斜面崩壊は,岩盤と植物が繁茂する表層をすべり面とする表層崩壊と,人工改変地盤に排水路(U字溝)が存在し,その排水路を流れる大量の雨水が処理できない量に達し,越流することによって発生した地盤災害の 2 種類に分けられる。また,河川による護岸の被害が 2 地点見られたが,これらの地点は両方とも水の流れが狭まるとともに大きくカーブする直前部分であることが共通している。流水の影響が大きかったと思われる。 各地点の概要を説明する。



図 2.23 宮城県県中の調査地点全体図 19)に加筆

表 2.3 調査地点一覧表

No.	調査地	分類
1	仙台市泉区将監1丁目	斜面崩壊
2-1	仙台市泉区野村	洪水の影響
2-2	(七北田川氾濫)	洪水の影響
2-3		河川の流水の影響
3	仙台市泉区野村	河川の流水の影響
	(七北田川・長命橋)	
4	仙台市青葉区荒巻本沢 3 丁目	斜面崩壊
5	仙台市青葉区中山1丁目	斜面崩壊
6	富谷市石積刈又前 (その1)	洪水の影響
7	富谷市石積刈又前 (その2)	洪水の影響
8	宮城郡利府町菅谷鐘撞堂	斜面崩壊
	(塩釜吉岡線)	
9	宮城郡利府町菅谷鐘撞堂	斜面崩壊
	(塩釜吉岡線)	
10	宮城郡利府町沢乙欠下北	斜面崩壊
11	宮城郡利府町沢乙欠下南	斜面崩壊
	(グランディ 21)	
12	仙台市青葉区郷六葛岡下	斜面崩壊
13	仙台市青葉区八幡 7 丁目	斜面崩壊
14	仙台市泉区松陵 4 丁目	斜面崩壊
15	仙台市泉区北根 3 丁目交差点付近	斜面崩壊
	双葉が丘1丁目	

2.3.2 No.1 仙台市泉区将監1丁目

図 2.24 に位置図 ^{20)に加筆}を示す。図 2.25 に被災直後の記事および写真 ²¹⁾を示す。崩壊斜面の幅約 80 m ,高さ約 7mのブロック擁壁の斜面が大きく崩壊し ,土砂が下流側にある集合住宅を直撃した。図 2.26 に被災前の当該斜面の写真 ¹⁹⁾を示す。崩壊前のブロック擁壁の奥に白くなっているモルタル補修跡が見える。

図 2.27 に斜面上部の東側から西に向けて取った写真,図 2.28 に周辺の地形概要を示す。崩壊地点の上部は崩壊地点の斜面に向かって緩やかに傾斜しており,また,道路の脇の排水路が道路に沿って配置してあった。写真からみて右側が上り傾斜になっており,傾斜が下った端部が崩壊斜面という配置になっている。図の道路から上側になっている部分は住宅地である。道路等の表層などを流れた水が U 字溝に集まり,大きく U 字溝がカーブしている先で崩壊が発生している。また,当該ブロック擁壁は,その上部と下部が植生となっている。U 字溝からあふれた水が植生部分を流れてブロック擁壁背後に浸透していった可能性がある。ただし,溢水した痕跡等は確認できなかった。



図 2.24 仙台市泉区将監 1 丁目位置図 20)に加筆



図 2.25 被災直後の写真 21)



図 2.26 被災前 Google Earth トリートビューの写真 19



図 2.27 被災斜面上部西からの写真

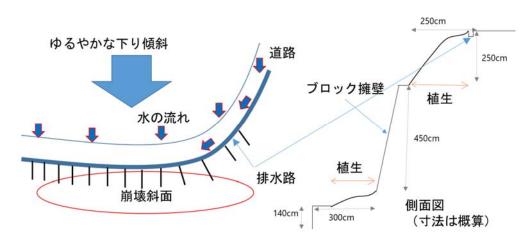


図 2.28 周辺の地形概要と斜面の縦断模式図

2.3.3 No.2 仙台市泉区野村(七北田川氾濫)

図 2.29 に位置図 ^{20)に加筆}を示す。北から南下した七北田川が大きく東に回り更に北上するという大きく流れが変化する位置となっている。また,流れが南下して東に曲がると同時に川幅が若干狭くなっている様子が目視で観察できた。河川流路が曲がる直前でコンクリート護岸の損傷・倒壊および護岸背面土の浸食・流出が発生していた。大きな被害としては,農道の洗堀が2か所,コンクリート護岸の損傷・倒壊とその護岸背面土の浸食・流出が1か所である。

図 2.30 に No.2-1 の写真を示す。農道を北から南に向かって撮影した写真であり,深さ約 1m,幅約 7 m程度農道の東側が洗堀されていた。植物の倒壊状況から,河川の越流は,No.2-3 の堤防倒壊地点から

少なくとも北へ 100m程度のところまでは発生し,洪水が水田を西から東へ(地図では左から右へ)かなりの幅を持って流れたと思われる。

図 2.31 に No.2-2 の写真を示す。南側に向けて取った写真である。No.2-1 地点から南に 50m程度移動した地点で,No.2-1 と同様東側部分が洗堀されている。深さ約 2m 道路の横断方向に約 15m 道路の縦断方向に約 40mが洗堀されていた。道路部分を含めて崩壊していることから,洗堀が進むに従って,アスファルトの下側を洗堀し,最終的に道路を崩壊させたと考えられる。周辺は植物が西から東へ水の流れにそって倒れたと推察される様子が観察できた。

図 2.32 に No.2-3 コンクリート護岸の損傷・倒壊地点を下流側に取った写真,図 2.33 に上流側に向けて撮影した写真を示す。倒壊地点のコンクリート護岸は,河川側に倒壊している様子が見えた。護岸背面は,倒壊地点から上流側へ約 80m程度ほどまで洗堀されて土砂が洗い流されていた。図 2.34 が削られた部分の内部の写真である。コンクリート護岸が倒壊したために,堤防裏側へ河川水がまわり込み背面地盤を浸食していったと考えられる。なお,堤内地の植物などの状況から,堤防付近では,堤防より 70 cm ほど上まで河川水が来ていたようである。



図 2.29 仙台市泉区野村(七北田川氾濫)位置図 20)に加筆



図 2.30 No.2-1 の写真



図 2.31 No.2-2 の写真



図 2.32 No.2-3 堤防倒壊地点下流側



図 2.33 No.2-3 堤防倒壊地点上流側



図 2.34 No.2-3 堤防倒壊の内部の様子

2.3.4 No.3 仙台市泉区野村(七北田川・長命橋)

図 2.29 の位置図 20) に加筆に No.3 の位置を併せて示した。長命橋から 70 m程度離れた歩行者用道路が,図 2.35 に示すようにアスファルトだけ横方向にずれるように移動していたので,周辺も浸水していたと思われる。

図 2.36 に長命橋東側の下流側の写真を示す。橋脚保護のためのセメントブロックがめくれており,洗堀されている様子が観察できた。図 2.37 にこの部分上流側の写真を示す。上流側は布団かごで保護されており,こちら側は被害を受けている様子は見られなかった。

この付近の川の流れが , 橋を越えると同時に川幅が若干狭くなり , 緩やかに左にカーブしている。地形的に 2.3.3 で記述したコンクリート護岸倒壊個所と類似しているといえる。

なお,この付近は 2015 年 9 月の関東・東北豪雨で氾濫を起こしており,9/12 に宮城県が改修を決定し,20 年度に設計,21 年度に工事開始を行う予定であった 22。



図 2.35 長命橋付近の歩道



図 2.36 長命橋の東部分下流側



図 2.37 長命橋の東部分上流側

2.3.5 No.4 仙台市青葉区荒巻本沢 3 丁目

図 2.38 に位置図 ^{20)に加筆}を示す。緩やかな斜面の中ほどに位置し,谷部分を通る道路と山側の住宅地の境界斜面西側が崩壊していた。図 2.39 に被害地点の写真を示す。ビニールシートにより排水状況などは確認できなかった。



図 2.38 No.4 地点の位置図 20) に加筆



図 2.39 No.4 地点の被害

2.3.6 No.5 仙台市青葉区中山 1 丁目

図 2.40 に位置図 $^{20)$ に加筆を示す。比較的急な南東側に下る斜面のひな壇状の住宅地の中ほどに位置し,住宅地の南東側のブロック擁壁部分が崩壊していた。シート等により排水状況等は確認できなかった。図 2.41 に写真を示す。道路を完全にふさいだ状態で崩壊している。幅約 $9\,\mathrm{m}$,高さ約 $5\,\mathrm{m}$ である。なお,この斜面下部は道路を挟んで駐車場に利用されている空き地状の土地であり,斜面崩壊に付随する建物等の被害は発生していなかった。

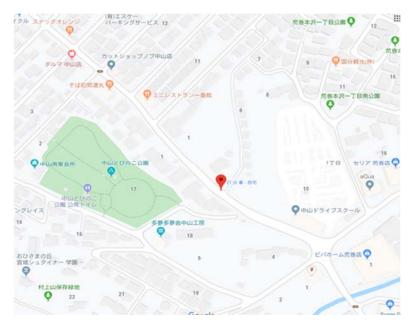


図2.40 仙台市青葉区荒巻本沢3丁目20)に加筆



図2.41 No.5地点の被災写真

2.3.7 No.6 および No.7(富谷市石積刈又前), No.8(宮城郡利府町菅谷鐘撞堂), No.9(宮城郡利府町菅谷鐘撞堂), No.10 および No.11(宮城郡利府町沢乙欠下)

図 2.42 に位置図 20)に加筆を示す。No.6 と No.7 は,両地点とも水田のあぜ道部分の斜面が崩壊したものである。No.6 はひな壇状になっている水田の斜面部分が崩壊していた。図 2.43 に No.6 の被害状況の写真を示す。崩壊部分は,幅約 5 m,高さ約 5 m である。No.7 の被害状況を図 2.44 に示す。ここは,段差のある水田の高い方から低い方に大量の水が流れた様子であり,水田と水田の段差部分で流水により徐々に斜面が削れていき,崩壊したと思われる。写真奥にある大きな崩壊部分は,あぜ道の縦断方向に約 8 m,横断方向に約 3 m 程度の大きさである。なお,このような被害が水田には散見しており,調査しきれていない。これ以外にも複数の箇所でこのような被害が発生している。

No.8 の写真を図 2.45 に示す。急な斜面の植物が生えている表層数十 cm がすべり破壊を起こした。土砂が道路上に出た様子であるが , 調査当時は路肩部分に撤去されていた。下層は岩盤と思われる。幅約 6 m , 高さ約 8 m の大きさで崩壊していた。

No.9 の写真を図 2.46 に示す。写真に見える斜面奥からの小規模な土砂崩れにより ,道路脇の斜面の表層部分が削れた様子である。目視できる範囲は ,幅約 7m ,高さ約 3m であるが ,さらに上部から崩れた可能性がある。土砂はすでに撤去されていた。

No.10 の写真を図 2.47 に示す。ここは,斜面上にある住宅地と斜面下にある道路をつなぐ私道の斜面である。中央にみられるのは崩壊によって露出した埋設配水管である。排水管の存在が斜面崩壊に影響を与えた可能性がある。幅約 7m,高さ約 4m であった。なお,このような小規模な斜面崩壊は周辺にもみられており,これ以外にも複数発生していた。

No.11 は斜面上部にあるグランディ 21 横の斜面である。図 2.48 に写真を示す。崩壊斜面が中段で二つに分かれているように見えるが,ここには排水溝が斜面横断方向に設置されている。また,崩壊斜面の左側には上下方向に排水溝が設置されている。横方向と上下方向の排水溝の合流部分のすぐ横で崩壊している。排水溝の処理能力を越えた水が溢れだし,斜面崩壊に影響を与えた可能性がある。崩壊斜面の大きさは,幅約 $6\,\mathrm{m}$,奥行き約 $30\,\mathrm{m}$ であった。

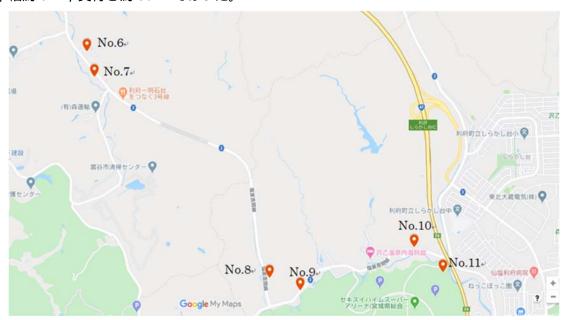


図 2.42 No.6~No.11 の位置図 20)に加筆



図 2.43 No.6 地点の被害状況写真



図2.44 No.7地点の被害状況写真



図2.45 No.8地点の被害状況写真



図 2.46 No.9 地点の被害状況写真



図 2.47 No.10 地点の被害状況写真



図 2.48 No.11 地点の被害状況写真

2.3.8 No.12 (仙台市青葉区郷六葛岡下)

図 2.49 に No. 12 地点の位置図 20)を示す。図 2.50 に被害状況の写真を示す。建築中の住宅敷地裏手の南に面した斜面が十数 m 規模で崩壊していた。崩壊箇所は権現森丘陵の南麓に位置し,道路を挟んでさらに南側には広瀬川が流れている。北側には高さ約 $80 \sim 100~m$ の斜面が控えており,崩壊箇所から約 20~m 上方には JR 仙山線(葛岡駅 \sim 陸前落合駅間)が走っている。調査時点では崩壊土砂が重機により一部撤去されており,崩壊時の原状は確認できなかったが,崩壊土砂が雨水とともに泥流状となって宅地に達して堆積したことが確認された。崩壊箇所は尾根地形の突端に位置するが,やや西側には沢地形があり,周辺には水分を多く含んだ粘性土がみられた。

また,図 2.51 に示すように,この崩壊箇所の近傍では道路脇斜面などでいくつかの小規模なすべり崩壊がみられた。なお,この周辺の斜面では,大雨の際に雨水が斜面下の宅地や道路へ流れ出す状況がこれまでにもたびたびみられている。

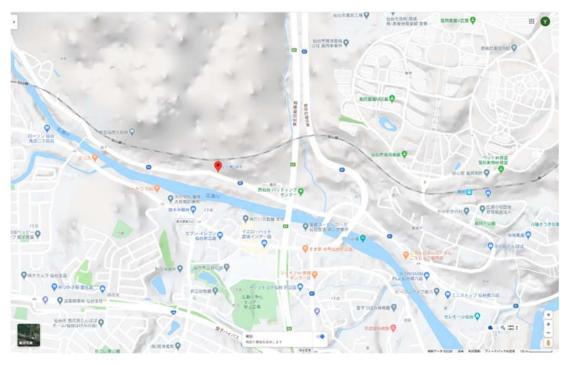


図 2.49 No. 12 地点 (38°16'10.7"N 140°48'21.6"E) の位置図 20)



図 2.50 No.12 地点の被害状況写真



図 2.51 No.12 地点近くの小規模なすべり崩壊

2.3.9 No.13(仙台市青葉区八幡7丁目)

図 2.52 に No. 13 地点の位置図 20)を示す。図 2.53 に被害状況の写真を示す。JR 仙山線葛岡駅の南東に位置する住宅地(八幡さつき台)における斜面崩壊である。この住宅地は南西側へ下る斜面にひな壇状に造成されたもので,崩壊箇所はその山側上端(北東側)に位置する。崩壊箇所から北~北東側上方には高さ約 40 m の斜面が控えている。崩壊幅は 20 m 前後,崩壊距離は目測で数十 m 程度とみられる。土砂が樹木等とともに崩壊しており,斜面下の住宅地まで達して道路をふさいでいたが,調査時点では応急的に土砂を排除して仮設道路が設けられていた。

崩壊箇所は小さな沢地形となっており,崩壊土砂の中には破壊した U 字溝がみられたことから,排水工が設置されていたことが考えられる。付近住民からの聞き取りによると,崩壊前は崩壊箇所から雨水がたくさん流れ出ており,その後に崩れたとのことから,崩壊時は排水工の処理能力を超える流水があったと推察される。図 2.53 で確認できるように斜面下には高さ 1~3 m ほどのコンクリート擁壁があるが,崩壊土砂があるため崩壊箇所での擁壁の原状高さや崩壊後の損傷状態は確認できなかった。

図 2.54 に崩壊土砂の写真を示す。崩壊土砂には大きいもので数十 cm の土塊が含まれていたが,手で握ると容易に崩れる程度の弱い固結であり,秋保層群三滝層に分布する安山岩が強風化したものとみられる。

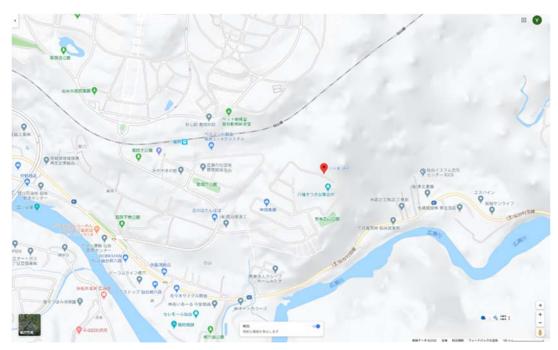


図 2.52 No. 13 地点 (38°16'04.5"N 140°49'25.3"E) の位置図 20)



図 2.53 No. 13 地点の被害状況写真



図 2.54 No. 13 地点の崩壊土砂

2.3.10 No.14 (仙台市泉区松陵4丁目)

図 2.55 に位置図 $^{20)$ に加筆を示す。住宅地と道路を挟んだ山の切土斜面が,尾根を挟んで右側と左側で表層が崩壊した。尾根に対して向かって左側が幅約 $15~\mathrm{m}$,高さ約 $10~\mathrm{m}$,右側が幅約 $11~\mathrm{m}$,高さ約 $10~\mathrm{m}$ の部分が崩壊した。図 2.56 に斜面の遠景写真,図 2.57 と図 2.58 に右側斜面と左側斜面の写真を示す。

図 2.59 に斜面の表面付近の写真を示す。写真から,斜面は植生ネットに植生土嚢等により保護されていた様子がわかる。表層 $20~{\rm cm}$ 下は,凝灰岩質と思われる岩盤と思われる。斜面崩壊部分では岩盤が露出していた。大量の降雨により,表層 $20~{\rm cm}$ 程度の部分が崩壊し,植生ネット・土嚢を巻き込みながら崩壊したと考えられる。

図 2.56 の左側に影として映っている住宅の斜面側が図 2.60 である。この住宅の壁面には ,調査時にも若干土砂の跡が残っており , 崩壊した土砂が道路を越えて住宅に衝突したことが容易に想像できる。斜面正面の塀が土砂により後ろに押し倒され , それと同時に正面の塀に直角に建設された横の塀が横に押し出され , 更にガレージを押すことにより , ガレージが傾いたと思われる。10/26 調査時にはすでに土砂が撤去されていた。



図 2.55 No.14 の位置図 20)に加筆



図 2.56 No.14 の遠景写真



図 2.57 No.14 向かって右側の斜面



図 2.59 斜面の様子



図 2.58 No.14 向かって左側の斜面



図 2.60 斜面下道路を挟んで向かいの住宅

2.3.11 No.15 (仙台市泉区北根 3 丁目交差点付近 双葉が丘 1 丁目)

図 2.61 に位置図 $20^{1610000}$ を示す。県道仙台泉線の北根三丁目交差点より北に約 80~m,双葉が丘 1~T目の住宅下の斜面が崩壊し,谷にある川の流路をふさぐ形になり,付近を冠水させた。ここは,西側から流れてきた河川が緩やかに左側に曲がり北上する部分のすぐ下流側である。被害直後の擁壁等の解体前の写真を図 2.62^{23} に示す。下部に護岸のブロックがあり,自然斜面が数 m あって,その上にコンクリート擁壁があり,No.1 の泉区将監 1~T目の斜面崩壊と類似した地形での崩壊である。この部分は東日本大震災においても斜面被害が発生している。谷筋の腹付け部分の崩壊である。コンクリート擁壁が形を保ったまま河川に滑り落ちた様子である。図 2.63 に調査時(10/26)の全景の写真を示す。斜面上部にある住宅の 1/5 程度の部分が宙に浮いている状態となっている。付近の住民によると新築半年程度とのことである。図 2.63 の赤丸部分の写真が,図 2.64 である。崩壊斜面を観察すると砂岩質らしき岩盤が露出していたことから,岩盤面に沿う形で,斜面が崩壊したと考えられる。

調査時(10/26)は,応急処置としてブルーシートと大型土嚢で土留めし,落下した擁壁を解体しているところであった。図 2.65 に調査時の写真を示す。図 2.65 の撮影位置周辺の様子が図 2.66 である。付近の住宅の川側の金網部分であるが,河川水がこの高さまで上昇したために,金網に洪水で流された植物がからみつくとともに,もともと金網に絡まっていたらしい植物が枯れていた。付近住民の聞き取りによると,この付近は台風当時に交差点付近まで冠水したとのことであった。図 2.67 は,図 2.65 からさらに 10 m 程度下流側に移動し,河川下流側を撮影した写真である。写真の陰影により見にくいが,崩壊

地点から 30 m 程度下流側の住宅・道路側擁壁が洗屈され崩壊していた。コンクリート擁壁が落下することによって河川をせき止めて付近を冠水させるとともに , 大量の流水により下流側の護岸を洗堀し崩壊させたと考えられる。



図 2.61 No.15 地点の位置図 ^{20)に加筆}



図 2.62 No.15 の擁壁解体前の写真 ²³⁾



図 2.63 No.15 の被害の全景



図 2.64 No.15 斜面の拡大写真



図 2.65 No.15 の 10/26 時点での解体状況



図 2.66 No.15 周辺状況



図 2.67 崩壊地点から下流側の写真

2.4 宮城県南の被害

2.4.1 各市町村の被害概要と降雨状況

表 2.4 は宮城県南部の市町村の被害の概要を示したものである。丸森町の他にも,その近隣の市町村でも大きな被害が発生しているが,丸森町の被害は他の市町村に比べて大きく,死者も多数発生している。丸森町の被害が相対的に大きくなった主な原因の 1 つとして降雨状況が挙げられる。図 2.68 は,期間中の累積降水量の分布図であり,丸森町とその周辺で高い値を示していることがわかる。図 2.69 は丸森町の筆甫(ひっぽ)地区に設置されている雨量計の観測データであり,筆甫地区では時間雨量70mm 以上,累積雨量にしてほぼ 1 日で 600mm を超える豪雨が発生していたことが確認できる。先述のように,丸森町以外でも大きな被害が発生しているが,丸森町の被害は相対的に大きく,死者も多数発生しているため,ここでは丸森町の被害に限定して報告するものとする。

	丸森町	角田市	白石市	大河原町	柴田市	村田市	蔵王町	川崎町	七ヶ宿町
死者	10	1	0	0	0	0	1	0	0
行方不明	1	0	0	0	0	0	0	0	0
全壊	113	13	8	2	1	1	0	0	0
半壊	870	735	184	15	284	97	6	1	0

表 2.4 宮城県県南の各市町村の被害状況 (2020年3月30日現在)24)

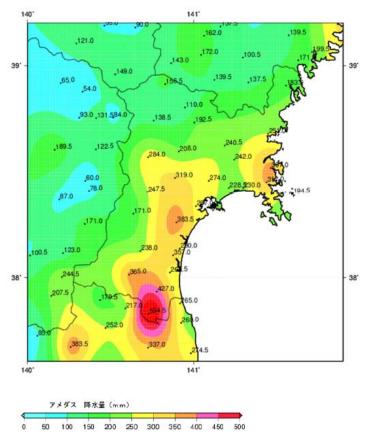


図 2.68 累積降水量分布 (2019年10月11日15時~10月13日9時)25

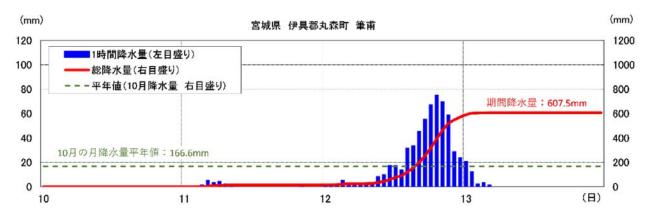


図 2.69 宮城県筆甫(ひっぽ)の降水量時系列図(期間:10 月 10 日から 10 月 13 日)25)

2.4.2 丸森町の地理条件と被害の分布特性

丸森町は、北東部に町役場等を含む主要市街地が存在し、一級河川の阿武隈川をはじめとして、町の 領域内には多くの河川が流れる。各河川の上流にあたる北東部および南部は多く阿武隈高地の端部に位 置する山地形となっている。なお、先述の累積降水量が 600mm を超えた筆甫地区は南部に位置する。

図 2.70 は丸森町の航空写真に河川の位置と台風 19 号の豪雨に伴う死者・行方不明者数の発生箇所を加筆したものである。図よりわかるように,水害による死者は主に主要市街地周辺の新川,五福谷川,内川の流域で,土砂災害による死者・行方不明者は耕野地区と筆甫地区で発生している。河川氾濫については,この死者発生箇所が集中する主要市街地周辺で大規模な浸水(洪水被害)が発生しており,特に阿武隈川と新川の合流部にある地域では多くの建物が浸水・倒壊し,町役場も 2m 程度の盛土にも関わらず,1 階が浸水する結果となった。

図 2.71 は斜面崩壊の発生分布図であり,国土地理院から公開されている図に加筆したものである。この図は衛星写真の目視判読によって作成されたものであり,小規模な崩壊までを抽出出来てはいないと思われるが,広域の斜面災害発生状況の把握という意味(視点)では,ある程度の精度を有していると考えられる。図中の赤色のドットが斜面崩壊の発生位置を示しており,主に町の中央部にあたる新川,五福谷川,内川の上流部の周辺,および北西部の阿武隈川の流域に沿って,斜面崩壊が多く発生していることが確認できる。

図 2.72 は丸森町における累積雨量の分布図であり,気象庁のレーダアメダス解析雨量 27)を用いて計算した結果である。図 2.73 は地形情報から作成した 3 D モデルに赤色立体図と先述の斜面崩壊の分布図(赤色のドット)を張り付けたものである。また,図 2.74 は図 2.73 に地質分布図を重ねたものであり,地質図の凡例は表 2 に示すとおりである。なお,これらの 3 D モデルは国土地理院が提供する立体地図の WEB ページ 28)にて作成したものである。この斜面崩壊の発生分布は,降雨分布や地形・地質の影響を強く受けた結果と考えられる。すなわち,全体の斜面崩壊の分布と累積雨量分布には強い相関があり,さらに,斜面崩壊が多発した領域は他と比べて地形が急峻で花崗岩が分布する傾向があることがわかる。累積雨量 600mm 以上を記録した筆甫地区においては,発災直後はその降雨量の多さから,斜面災害の多発が予想されたが,筆甫地区における斜面崩壊の数は他地域と比べて相対的に少なくなっており,同様の傾向が現地調査でも確認されている。この理由としては地形特性が大きく関係していると考えられる。つまり,筆甫地区の地形は他地域と比べて相対的に緩やかであり,そのために斜面崩壊の

発生頻度が低くなったものと考えられる。ただし,筆甫地区でも河川沿いの道路における大規模な洗掘や斜面災害が発生している箇所などは存在した。

ここでは,丸森町全体を俯瞰した被害特性について説明したが,次項以降では,特徴的な被害について個別の被害状況を説明する。



図 2.70 丸森町の地理条件 (Google earth に加筆)

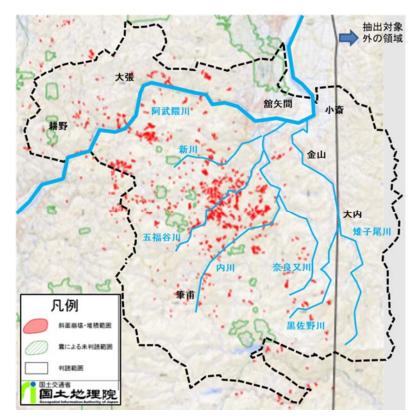


図 2.71 崩壊斜面・堆積分布図 (国土地理院の令和元年(2019年)台風 19号に関する情報に加筆) 26)

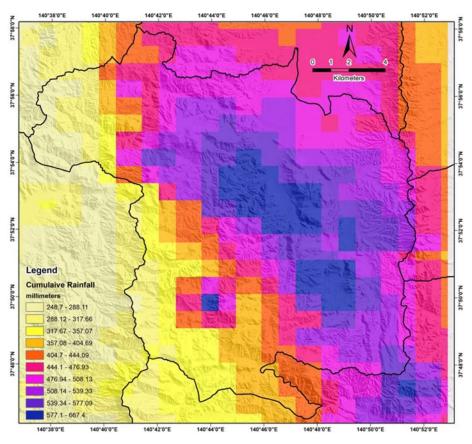


図 2.72 丸森町における累積雨量分布

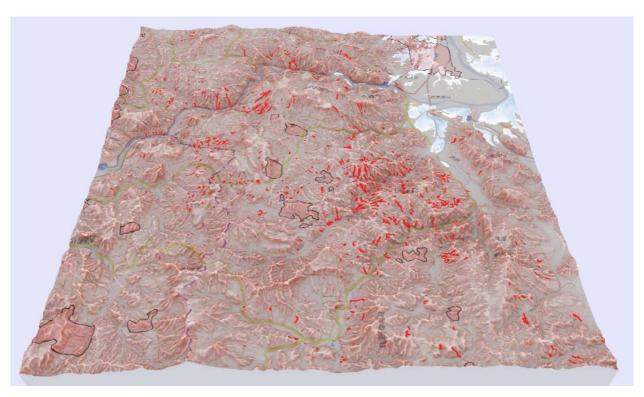


図 2.73 丸森町の一部の 3D モデル (地形 + 赤色立体図 + 斜面崩壊分布) 28)

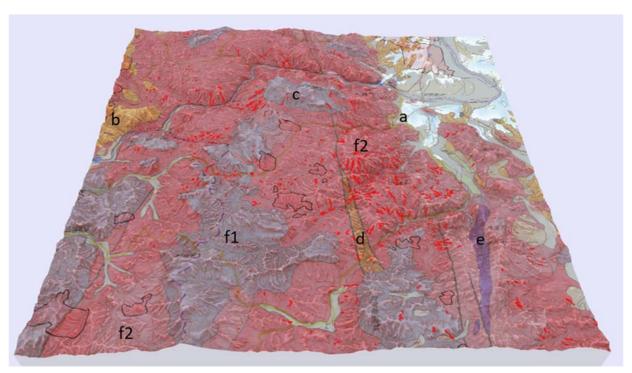


図 2.74 丸森町の一部の 3D モデル(地形+赤色立体図+斜面崩壊分布) 28)

表 2.5 地質図の凡例 (色は図 2.74 と対応)

代	紀	世	期	図中記号	岩質	性状	
新生代 新第三紀				а	砂岩泥岩互層ないし砂岩・泥岩	非海成層砂岩	
	中新世	バーディガリアン期 ~前期ランギアン期前期	b	安山岩·玄武岩質安山岩	熔岩·火成岩		
			С	玄武岩	熔岩·火砕岩		
		≥6. ₩□	アプチアン期 〜アルビアンキ期	d	泥質片岩	低P/T型広域変成岩 黒雲母帯	
中生代 白亜紀	占無知			е	蛇紋岩	低P/T型広域変成岩 黒雲母帯	
	日里和	前期		f1	花崗岩	塊状 島弧·大陸	
				f2	花崗閃緑岩・トーナル岩	塊状 島弧·大陸	

2.4.3 主要市街地周辺の浸水と河川堤防の破堤

ここでは、町の北西部にあたる主要市街地周辺における被害について説明する。この地域には建物が多く存在し、大規模な河川氾濫が発生したため、建物の浸水や倒壊の被害が多く発生した。丸森町役場が存在する阿武隈川と新川の合流部については、現地調査において阿武隈川右岸と新川右岸の堤防(堤内地に接する堤防)で破堤はしていないことが確認されている。また、大規模な越水が生じた痕跡もない。そのため、この領域の浸水は内水氾濫によるものと推察される。これに対して、新川右岸、五福谷川、内川の堤防では多くの破堤が生じており、図2.75に示されている領域だけで18箇所にもなる。

図 2.76 は ,主要市街地に接する新川の流域の発災前後の衛生写真であり ,図 2.77 はそのエリアで地上から撮影された堤防の写真である。図 2.75 の中では や の破堤部の周辺である。また ,図 2.78 は新川と内川の合流部の発災前後の航空写真であり ,図 2.75 の中では や の破堤部の周辺である。これらの写真から ,主要市街地周辺の新川では ,右岸のみで被害が発生しており ,破堤部については堤内側から堤外側へ傾斜するように堤防が決壊していることが確認できる。また ,破堤部以外には ,右岸天端付近の堤防のり面において洗掘の跡が確認できる。これらのことから ,新川右岸での破堤は堤内側から堤外側への越流に伴って堤外側の堤防のり面が洗掘されたことが原因であると推察される。つまり ,内川や五福谷川の破堤に伴い水田地帯が浸水し ,最終的に河川堤防を越えて新川に流れ込んだものと思われる。

以上が主要な破堤プロセスであると考えられる。しかし,新川右岸で破堤に至らなかった箇所で,堤外側の堤防のり面で浅いすべりの発生が数か所で見られ,新川自身の流れによる堤防の洗堀やのり面すべりも,右岸の破堤に何らかの影響を与えた可能性も考えられる。



図 2.75 堤防決壊の様子(国土交通省東北地方整備局資料)



図 2.76 発災前後の新川の状況





(a) 破堤部の様子

(b) 破堤部以外の天端付近の洗掘

図 2.77 新川右岸の堤防の被害状況



図 2.78 発災前後の新川と内川の合流部 (Google Earth より)

図 2.79 と図 2.80 は内川と五福谷川の合流部付近の発災前後の衛生写真であり,図 2.75 の ~ の破堤部があるエリアである。また,図 2.81 は図 2.79 の発災後の衛星写真で確認できる破堤部(図 2.75 の)の写真である。この箇所では,堤内側に大きな落堀が形成されており,堤外側から堤内側へ破堤したことがわかる。現地調査では破堤していない部分も含めて堤内側でボイリングなどの形跡は確認されなかった。この箇所周辺では大規模な浸水および土砂堆積が発生しており,堤内側の状況が発災直後と比べて変化している可能性もあるが,破堤部以外の部分で天端部に流木などが残っている部分もあるため,越流に伴って堤内側で洗掘が生じて破堤が生じた可能性が高い。先述のように,ここに示したような破堤部から下流の水田地帯へと水が流れ込み,そのエリアでの水位が上昇し,新川右岸の堤内側から堤外側へと越流することにより,新川右岸で特殊な被害が発生したものと考えられる。



図 2.79 五福谷川と内川との合流部の発災前後の状況



図 2.80 五福谷川と内川との合流部の上流側の発災前後の状況



図 2.81 五福谷川左岸の堤防破堤(内川との合流部付近)

2.4.4 阿武隈川流域の山間部の被害

ここでは ,町内北部を東西に流れる 1 級河川である阿武隈川流域の被害について説明する。阿武隈川の 下流には先述の主要市街地が位置しており , 福島県側から流れ込む上流は山間部となっている。

(1) 阿武隈川に沿った国道 349 号線と阿武隈急行の被害

まず,国道 349 号線と阿武隈急行の被害に関して説明する。阿武隈川に沿うように国道 349 号線と阿武隈急行が走っており,これらは地域住民にとって重要な交通インフラである。図 2.82 は国道 349 号線と阿武隈急行路線における被害の例である。

国道 349 号線では、阿武隈川の増水によって道路の陥没が多数発生した。この陥没は、河川水位と流速の増加に伴って、河川護岸で洗掘が発生し、路面下部の土が流出したために発生したと考えられる。このような道路の陥没は、国道 349 号線だけでなく、町内の河川沿いの道路で数多く確認された。道路の一部が陥没し片側通行が可能な状況の箇所が大部分であったが、そのようなレベルでも、発災直後には目印もなく 2 次災害の大きなリスクとなるため、特に被災地の住民や支援のために発災直後に被災地へ向かう者は、舗装版下の土砂流出等の被害形態の可能性を頭に入れておくべきである。

阿武隈急行の路線は阿武隈川や国道 349 号線に沿って走っており、比較的急こう配の斜面が隣接する部分も多く、山側での土石流や斜面崩壊によって流出した土砂による被害が発生した箇所もあった。図 2.83 と図 2.84 は、阿武隈急行の「あぶくま駅」周辺の被害である。この周辺でも、土砂災害と水害の二重苦の状況が発生した。ホームの一部には土石流が直撃し、巨石を含む土砂がホーム付近に堆積していた。また、ホームから少し離れた位置では、下部の土が流出してレールが宙に浮いた状況になっており、これは路線方向と垂直に交わる小河川から溢れた流水による洗掘が原因と考えられる。

国道 349 号線については,水害と土砂災害の二重苦の被害となったこともあり,県管理道であるが大規模災害復興法に基づく権限代行により国が災害復旧事業を実施しており,耕野~ 大張川張間の約 8 k m については,山側への別ルートが計画され本復旧が進められている。図 2.85 は,2020 年 2 月時点での別ルートの案を示したイメージ図である。





(a) 国道 349 号線の道路の陥没

(b) 阿武隈急行路線上の土石流

図 2.82 国道 349 号線と阿武隈急行路線の被害





図 2.83 あぶくま駅ホーム周辺の土石流による被害





図 2.84 洗掘によって浮いた状態のレール



図 2.85 国道 349 号線の「山側への別ルート」の詳細 $^{29)}$

(2) 廻倉及び子安地区の土石流災害

次郎太郎山の西麓の廻倉及び子安地区一帯では,多くの土石流が発生し,子安地区では土石流が下流の人家を直撃して,3名の死者と1名の行方不明者が発生した。図2.86に,廻倉・子安地区の土石流の発生状況を示す。図2.87は,この地域一帯の地質図であり,産総研地質調査総合センターが提供する日本シームレス地質図 V230に加筆した図である。この地域の基盤は,古生代前期白亜紀の花崗閃緑岩や花崗岩からなり,次郎太郎山の上部は新生代新第三紀の玄武岩・熔岩からなる。花崗閃緑岩や花崗岩の地表部に近い部分は,強風化を受けており,まさ土状を呈する部分も多い。図2.88は,防災科学技術研究所が提供する GIS データ 31)から作成した廻倉・子安地区の変動地形(地すべり地形)を示す図である。地すべり地形は,廻倉付近で,大きな地すべりブロックが記載されている。この地すべり地形は,滑落崖が,冠頂が著しく開析された滑落崖で,一部は冠頂が丸みを帯びて不明瞭になった滑落崖に区分されている。移動体の輪郭・境界は,後方に滑落崖があり,移動体の輪郭が明瞭ないし判定可能に区分されている。



発災前 (Google Earth より)



発災後(国土地理院正射画像(速報)26)に加筆)

図 2.86 廻倉・子安地区の土石流の発生状況



図 2.87 廻倉・子安地区の地質状況 30)

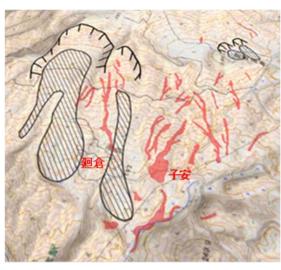
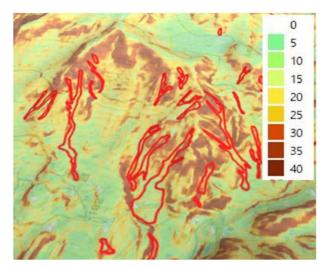


図 2.88 廻倉・子安地区の地すべり地形 31)

図 2.89 と図 2.90 は斜面の傾斜分布図と平面曲率分布図である。傾斜量と平面曲率分布図は ,国土交通省基盤地図情報の数値標高モデル(5mメッシュ)を用いて算出した。山頂側では傾斜量が 30 度以上の斜面が多く見られ , 土石流の発生源は 30 度以上の斜面部に分布している。なお , 山麓部では傾斜量は 15 度以下となっている。子安地区では ,尾根状の両側の斜面で土石流が発生した。図 2.90 の平面曲率では , 曲率係数がマイナスであれば凹状地形であることを意味するが , それを考慮すると , 斜面では凹状地形が主体であり ,浸食が進んだ地形であることがわかる。また ,土石流の流路がこの凹状部分に一致している。



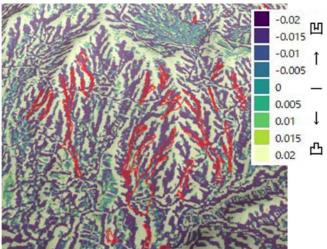


図 2.89 廻倉・子安地区の斜面の傾斜分布

図 2.90 廻倉・子安地区の斜面の平均曲率分布

図 2.92 に子安地区の土石流の発生前後の様子を示す。発生した土石流は,比高差約 120m,水平距離 で約 350m 流下し,道路脇の民家を直撃して民家や車両を押し流しており,大きく変形した車両がもと の位置から大きく離れて道路から下流側の沢付近で確認されている。土石流の流下経路には,白灰色の 岩屑が散在しているのが確認できる。図 2.93 に示すように , これらの巨石は花崗岩のコアストーンで ある。流下経路には多くの巨石が散在しており、流下エネルギーは非常に大きなものであったと推察さ れる。コアストーンは、節理に沿って風化が進んだ状態の中で、部分的に未風化の状態で残る巨石(風化 残留礫)である。花崗岩では,風化が進んだまさ土(土砂状)とコアストーンが斜面内部で混在する状態 で、まさ土は降雨によって流出しやすいため、コアストーンが不安定化しやすく、大規模な土石流や崩 壊につながる。このコアストーンの問題は,平成 30 年 7 月西日本豪雨やそれ以前からも課題として指 摘されてきた32。なお,流下経路には杉が生育していたが,発災後の流下経路上にはほとんど杉が認め られないことから,流木も多く含んだ土石流が斜面下に流れ下ったものと推察される。図 2.94~2.97 に、廻倉地区の土石流と子安地区の土石流の流下経路、縦断形状図、斜面の区間平均勾配図を示す。縦 断形状は国土地理院の地理院地図 33)より引用している。廻倉地区の土石流は,比高差約 160m(374~ 218m), 水平距離約 530mである。斜面の平均区間勾配は,上流部 124mが 32~27 度, 124~274m で 21~15 度, 274~366m で 20~14 度, 366~末端で 5~9 度が主体である。子安地区の縦断形状は,比 高差約 120m(306~189m), 水平距離は約 120m である。斜面の平均区間勾配は,上流部の 35m まで 33 度,35 ~ 100m が 23 ~ 17 度,100 ~ 244m が 25 ~ 22 度,244 ~ 352m が 8 ~ 13 度である。





発災前 (Google Earth ストリートビューより)

発災後(現地で撮影)

図 2.91 人的被害が発生した次郎太郎山西麓の子安地区発災前後の様子



発災前 (Google Earth より)



発災後(国土地理院正射画像(速報)²⁶⁾に加筆) 図 2.92 人的被害が発生した次郎太郎山西麓の子安地区発災前後の様子



図 2.93 子安地区の土石流の流下状況



図 2.94 子安地区の土石流の流下経路



図 2.95 廻倉地区の土石流の流下経路

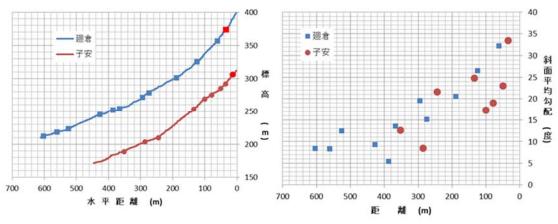


図 2.96 土石流の縦断形状

図 2.97 斜面区間平均勾配

(3) 羽出庭農村集落多目的センター付近(丸森町出羽庭字森)で発生した農地被害

この箇所の周辺は緩やかな傾斜地になっており,水田が広がっている。複数箇所で洗掘などの被害が確認されたが,羽出庭農村集落多目的センターに隣接する道路において図 2.98 に示すような大規模な変状が発生した。図 2.99 は発災前の様子である。変状が発生した部分の内部には,農業用水のための側溝や地中埋設管の一部が散乱しており,特にこの大規模な変状が発生した部分では水が集まる地点となっており,豪雨によって流水量の許容値を超えて雨水が集中し,その後に溢れた水が周辺を洗掘する形で周辺へ拡大したものと推察される。なお,羽出庭農村集落多目的センターは指定避難所となっている。





図 2.98 農地被害(羽出庭農村集落多目的センター付近)



図 2.99 発災前の様子(羽出庭農村集落多目的センター付近)

2.4.5 内川・五福谷川流域の山間部の被害

ここでは,内川と五福谷川の上流にあたる山間部の被害について説明する。丸森町主要市街地と筆甫地区の中間位置にあたる地域であり,大小様々な河川氾濫と土砂災害が多発した。特に大きな被害として,内川沿いの県道45号線における道路の流出と,五福谷川沿いの薄平(うすだいら)地区の土砂災害と河川氾濫の被害があり,それらについて説明する。また,内川の上流にあたる筆甫地区の被害についても説明する。

(1)県道 45 号線の被害

図 2.100 は県道 45 号線沿いで発生した河川氾濫の発災前後の様子を示している。また,図 2.101 と図 2.102 は発災後の被害状況と流出範囲を示した図である。これらの図から確認できるように,河川氾濫によって広範囲にわたり道路が流出あるいは埋没(土砂が堆積)した。この箇所は河川の流れが急激に変化する湾曲部になっており,河川水位の増水に伴って湾曲部の外側へと氾濫し,微地形の影響により洗掘あるいは土砂の堆積が発生したと考えられる。河川に隣接していた建物は流出・移動し,県道 45 号線を挟んで位置していた民家では 1 階部分が土砂で埋まる被害が発生した。なお,この民家の住民は発災時に 2 階に避難しており,その後救出されている(近隣住民の証言による)。



図 2.100 県道 45 号線の河川氾濫の発生前後の様子 (Google Eearth に加筆)





図 2.101 県道 45 号線の被害状況





図 2.102 流出範囲

(2)五福谷川上流の薄平地区の被害

図 2.103 は五福谷川の上流に位置する薄平地区の発災前後の様子を示したものである。また,図 2.104 と図 2.105 は現地の被害状況を示す図である。これらの図から確認できるように,被災前と被災後では景色が一変する甚大な被害が発生した。この地域では,土砂災害と河川氾濫が同時に発生して民家や居住区域に直接的な被害をもたらしている。河川の湾曲部であり,その周辺に民家が存在するため,河川氾濫による民家の流出が発生するとともに,図 2.106 に示すように周辺の斜面では崩壊や土石流が数多く発生し,その土砂が民家に衝突したり居住区域へ土砂が流出したりするなどの被害が発生した。五福谷川流域は丸森町の他の地域に比べて相対的に被害が大きいが,この薄平地区はその中でも特に被害が大きかった。ただし,この地域では死者は発生していない。このような結果となった背景には,住民同土の声掛けや,避難の徹底など地域住民の強力な共助の取り組みがあったことが報告されている。この地域の被害レベルから考えて死者ゼロは驚異的であり,今後の防災を考える上でこの事例は重要な意味を持つと考えられる。



図 2.103 薄平地区の発災前後の様子 (Google Earth より)



図 2.104 薄平地区の被害の様子



図 2.105 河川氾濫による民家の流出

民家を襲った土石流 周辺の土砂災害 (地理院地図より)

図 2.106 土砂災害の発生状況

(3)筆甫地区の被害

先述のように,筆甫地区では 600mm を超える累積雨量を観測しているが,被害は他地域に比べて相対的に小さい。ただし,あくまで相対的に小さいということであり,局所的には住民の生活に大きな影響を与えるレベルの被害も発生している。図 2.107 は筆甫地区で発生した洗掘による河川護岸の被害の写真である。河川水位の増加によってコンクリート護岸の裏込め土が洗掘され,民家へのアクセス道路の橋が流出したものと考えられる。図 2.108 は発災前後の様子であり,河川護岸が大きく洗掘されているのに対してコンクリート部はそのまま残っていることが確認できる。このような河川護岸の洗掘は丸森町で数多く発生しており,洪水時の護岸保護に対して課題を投げかける結果となった。





図 2.107 筆甫地区で発生した護岸の洗堀





図 2.108 筆甫地区で発生した護岸の洗堀

2.4.5 まとめ

ここまでに示したように,丸森町では東北地方の中でも特に甚大な被害が発生した。主要市街地における河川氾濫に伴う大規模な浸水被害や山間部での河川氾濫と土砂災害の二重苦の被害などの大規模な被害の他にも,局所的には様々な事象が複雑に絡む複合的な被害が発生している。今後の復興を考える上で,単独の災害形態や局所的な被害形態のみを考慮するだけでは将来の豪雨災害による被害を効果的に軽減することは難しい。そのため,町内の各地区の災害リスク特性を考慮した上で,町内全体としての被害を軽減するために,長期的かつ広域的な視点での対策が求められる。

2.5 福島県内の被害

2.5.1 被害の概要

福島県内は,台風の接近・通過に伴い、10 月 12 日夕方から 13 日未明にかけて非常に激しい雨となり,局地的には猛烈な雨となった。降り始めからの総雨量は県内の広い範囲で 200mm を超えて,川内 445.5mm,福島市鷲倉 382.5mm,白河 373.0mm と 10 月 1 か月の平年値の $2 \sim 3$ 倍の雨量となった。図 2.109 に降雨量分布図 340を示す。県北部,県西部太平洋側,県南部において 300mm を超える箇所がみられる。また,最大 1 時間降水量は川内 60.5mm,広野 48.5mm,白河 47.0mm と 40mm を超える激しい雨が降った。この台風による大雨で,人的被害,河川堤防の決壊による浸水被害,土砂災害,道路の寸断による交通障害が発生した。

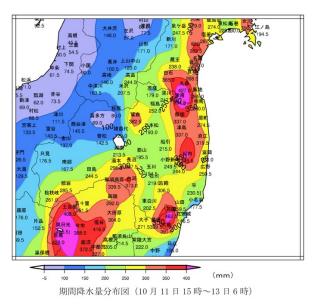


図 2.109 降水量分布図 (福島地方気象台 (2019))

災害査定結果 35)をもとに県内の土木施設被害の箇所数を表 2.6 に示す。被害箇所数は、河川が突出し、次いで、道路、下水道、橋梁、砂防施設の順となっている。また、道路や橋梁については、市町村管理の構造物の被害が多いことも特徴である。これは国道や県道と比較して、市町村道は交通量が少なく、構造物のグレードが相対的低かったことが要因のひとつであると考えられる。また、県と市町村を併せた被害総数は 2794 箇所と、県内の台風・豪雨の災害では過去最大の被害となっている。地区別の被害状況を図 2.110 に示す。ここでは港湾、漁港、公園および住宅は除いている。県内の 3 地区の割合は、中通り 58.4%、浜通り 36.3%、会津 5.3%であり、図 2.109 に示した降雨量の多かった中通りと浜通り地区に被害が集中している。

被害調査は 2019 年 10 月 31 日 , 11 月 8 日 , 11 月 12 日 , 11 月 30 日に実施した。調査箇所を図 2.111 に示す。ここでは被害の分類として斜面 , 河川 , 道路 , 橋梁洗堀に分けて示した。

表 2.6 土木施設の被害箇所数(災害査定結果)³⁵⁾

種別		県	市町村	合計	
河	Ш	1411	473	1884	
海	岸	1		1	
砂防訓	设備	28		28	
道	路	277	495	772	
橋	梁	1	24	25	
下 水	道	1	30	31	
漁	港	13		13	
港	湾	4		4	
公 園	等		23	23	
住	宅	7	6	13	
計		1743	1051	2794	



図 2.110 地区別の土木施設の被害箇所数(災害査定結果 35)

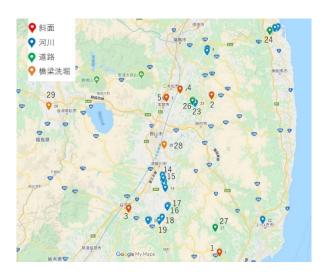


図 2.111 被害調査地点

2.5.2 斜面被害

斜面被害については,土砂崩れ等発生箇所数は 152 箇所(2019 年 11 月 26 日現在)とされており,その中で対策が必要な箇所は,土石流が 4 箇所,がけ崩れが 33 箇所となっている 35 35

土石流の被害例を示す。いわき市田人(たびと)町旅人(たびと)江尻の国道 289 号線沿いの斜面において 5 箇所の土石流が発生した。近傍のいわき市田人町前山観測所において,最大 1 時間降水量は

61mm,降り始めから総雨量 506mm が記録されている。なお,表層地質は閃緑岩,石英閃緑岩である。発生状況写真を図 2.112 に示す。なお図のキャプションの地点番号は図 2.111 中の地点番号に対応している。流出した土砂は国道に堆積し,さらに国道を越えて隣接する沢に流れ込んでいた。なお,土石流が発生した箇所は,樹木が伐採されており,周辺の山地と植生が異なっている。植生の違いにより,保水力に差があった可能性はあるが,土石流発生との因果関係は不明である。



図 2.112 いわき市田人町旅人江尻の土石流被害 (地点番号 1)(いわき建設事務所 提供)

福島県の阿武隈山地には花崗岩類が広く分布しており,その表層が風化しまさ化し,これまでも豪雨により斜面崩壊が多数発生している。この風化花崗岩地域における表層崩壊の事例を示す。二本松市百目木(どうめき)では,高さ 15m,幅 40m の規模で表層崩壊が発生し(図 2.113),土砂が住宅に流入し 2 名が亡くなった。本地点の表層地質は花崗閃緑岩・トーナル岩である。近傍の国土交通省の百目木観測所では,最大 1 時間降水量 42mm,降り始めから総雨量 204mm が記録された。この地点では,表層の風化したまさ土が湿潤状態となり,重量増加と強度低下により崩壊したものと考えられる。まさ土は白色を呈し,細粒分が少ない砂質土であった。阿武隈山地の風化花崗岩分布地域では、この例のように比較的小規模の表層崩壊が多数発生していたようである。





図 2.113 二本松市百目木の表層崩壊 (地点番号 2)(左写真:県北建設事務所 提供)

県南部の白河市周辺に分布する火砕流堆積物の斜面崩壊の事例を示す。白河市土武塚(どぶづか)では、長さ約28m,幅約44mの規模で斜面崩壊が発生した(図2.114)。本地点の表層地質はデイサイト・流紋岩であり、大規模火砕流(白河火砕流堆積物)である。この堆積物も、過去の豪雨でも度々、土砂災害を引き起こしている。近傍の白河特別地域気象観測所では、最大1時間降水量44.5mm、降り始めから総雨量368.5mmが記録された。崩壊原因は、表層の風化部が湿潤状態となり、重量増加と強度低下によると考えられる。なお、崩壊した土砂は軽石を含む砂質土が主体である。なお、同様の崩壊は、白河市内の同じ地質の斜面で多数発生した。





図 2.114 白河市土武塚の斜面崩壊(地点番号3)(左写真:白河市建設部 提供)

安達郡大玉村大山字向山蔭では,長さ約 130m,幅約 80m と,今回の台風での県内最大規模の斜面崩壊が発生した(図 2.115)。表層地質によれば阿武隈山地を形成する阿武隈変成岩(泥質片岩)が分布している。近傍の大玉村役場では,最大 1 時間降水量 32.5mm,日降雨量 203.5mm が記録された。崩壊末端の幅 40~50m区間において,倒木と土砂が村道を覆い通行不能となった。土砂は,さらに耕作田にまで達し,耕作が不可能な状況となっている。加えて,村道両側の側溝には土砂が埋積され,流下水があふれ出して耕作田に流れ込んだ。その後の調査によって,船底状の地形に崩積土が堆積した箇所で斜面崩壊が発生したことがわかっている。なお,崩積土の厚さは厚いところで 5~9m であった。また,崩積土は地下水が溜まりやすい状況にあり,200mm 超の降雨により地下水位が急上昇し,土塊重量の増加とせん断強度の低下により崩壊が生じたものと考えられる。



図 2.115 大玉村大山字向山蔭の斜面崩壊 (地点番号 5)(大玉村役場 提供)

二本松市岡ノ内では,長さ 40m,幅約 36m,崩壊土量約 4300m³の規模で斜面崩壊が発生し,崩壊末端部において隣接する土砂が市道を覆い通行止めとなった(図 2.116)。表層地質によれば花崗岩(中 - 粗粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩)の分布地域である。近傍の気象庁二本松観測点では,最大 1 時間降水量 29mm,降り始めから総雨量 206mm が記録された。当該斜面は集水地形であり,降雨により斜面内の地下水位が上昇し,土塊の重量増加,せん断強度の低下により崩壊したものと推察される。





図 2.116 二本松市岡ノ内の斜面崩壊(地点番号 4)(二本松市建設部 提供)

2.5.3 河川被害

河川関連の被害は表 2.6 に示したように,県と市町村を合わせると約 1900 箇所であった。被害としては堤防の決壊,護岸の洗堀等があるが,ここでは被害調査で見られた特徴的な被害を示す。

棚倉町一色の社川右岸が長さ約 200 m の区間で越流により堤防が決壊した(図 2.117)。決壊を免れた上流の隣接した堤防では川裏側ののり面が越流により侵食を受けている状況が見られた。侵食面を観察すると,侵食を受けやすい砂礫が築堤材料に用いられていた。また,上流約 2 km の棚倉町堤の社川左岸が約 35 m にわたり決壊し、そこには樋管が残っていた(図 2.118)。なお,この地点は決壊が多発した水衝部でないことこと,周辺の堤防に堤体が侵食された様子が見られないことから,樋管周りからの侵食が決壊の起点となった可能性が示唆された。





図 2.117 棚倉町一色 社川右岸の堤防決壊(地点番号 18)(左写真:棚倉土木事務所 提供)





図 2.118 棚倉町堤 社川左岸の堤防決壊(地点番号 19)(左写真:棚倉土木事務所 提供)

また川が蛇行して流れる箇所で,上流の水衝部付近で決壊し,溢水がショートカットして下流の堤防に流れて,川裏から川表向かって越流することで決壊に至った事例があった。須賀川市の阿武隈川の浜尾遊水地における決壊は,詳細な調査報告書 36)がまとめられているので参照されたい。鏡石町河原地内では,阿武隈川左岸と支流の鈴川の堤防が決壊した(図 2.119)。浅川町大字福貴作地内の社川右岸においても同様の被害があった。



被害の概要



鈴川合流部



諏訪町地内

図 2.119 鏡石町の阿武隈川の堤防決壊(地点番号 14,15)(須賀川土木事務所 提供)

一方,河川護岸の著しい侵食が多数見られた。その中でも特徴的なものとして,二本松市杉沢字川前では,移川左岸の積みブロック式護岸の背後の土が侵食され,護岸本体のみが残った状態が見られた(図 2.120)。この地域は風化花崗岩が分布する地域であり,侵食を特に受けやすいまさ土が護岸裏込めに用いられたことが著しい侵食が発生した原因の一つであると考えられる。また約 200m 下流の水衝部の護岸でも著しい侵食が見られ,花崗岩の岩塊が川に向かって移動した状況が確認できた。





図 2.120 二本松市杉沢字川前の河川護岸の洗堀被害(地点番号 23)

2.5.4 道路盛土の洗堀・侵食による被害

県道いわき石川線の鮫川に隣接する道路では,河川増水により護岸が侵食され,道路盛土が洗堀・侵食を受けた(図 2.121)。加えて,鮫川に流れ込む沢水が溢水し,橋台を洗堀した状況も見られた。同様の被害は,相馬市西山の国道 118 号線においても見られた。





図 2.121 県道いわき石川線の道路洗堀被害(地点番号 27)(いわき建設事務所 提供)





図 2.122 二本松市西神殿太郎田の道路侵食被害(地点番号 26)

一方,比較的交通量が少ない中山間地の市道では,集水地形の末端部や側溝があふれた箇所において,侵食による小規模な路肩の洗堀被害が多数見られた。これらの道路は,排水側溝がない,あるいは,法肩からのり面への流水を防ぐためのアスカーブが設置されていない場合が多く,国道や県道と比べて舗装構造が簡易なものが多いため被害が発生しやすい。二本松市西新殿太郎田では,集水地形の末

端部において,法肩の洗堀被害が見られた(図 2.122)。二本松市西部の道路は,まさ土が分布する阿武 隈山地にあり,盛土材料がまさ土であることが多いことも被害箇所数が増えた要因となっている。

2.5.5 河床洗堀による橋脚の沈下

河川増水に伴う河床洗掘によって道路橋の橋脚基礎が沈下する被害が 2 件発生した。郡山市田村町大善寺蛭田の大善寺橋(図 2.123)は阿武隈川支流の谷田川を横断する国道 49 号線に位置し,基礎は木杭を有しているものの支持機構として直接基礎形式であり,支持地盤は砂礫である。被災状況は,右岸から 2 つめの橋脚が洗掘により上流側に傾き,上流側の桁は 41cm 沈下した。中村は,被災橋梁の振動計測を実施して,支持地盤が洗堀された上流側と洗堀の影響が小さい下流側では振動性状が異なることを示した 37 。北会津町十二所の銀山橋(図 2.124)は阿賀川支流である宮川を横断する県道 59 号線に位置し,基礎は直接基礎形式であり,支持地盤は砂礫である。この近傍では,最大 1 時間降水量は17mm,降り始めから総雨量 149mm が記録されている。最高水位は 3.34m であり,氾濫危険水位3.51mm を下回っていた。被災状況は,右岸から 1 つめの橋脚が洗掘により上流側に傾き,桁が沈下した。



図 2.123 大善寺橋の洗堀による沈下被(地点番号 28)



図 2.124 銀山橋の洗堀による沈下被(地点番号 29)

謝辞

調査に関しては国土交通省 郡山国道事務所,福島県土木部,会津若松建設事務所,いわき建設事務所,県北建設事務所,相双建設事務所,県南建設事務所,棚倉土木事務所,須賀川土木事務所,石川土木事務所,白河市建設部,二本松市建設部,大玉村産業建設部に調査協力および資料提供をいただいた。記して謝意を示します。

2.6 高速道路の被害

2.6.1 高速道路の通行止め状況

NEXCO 東日本東北支社管内では,令和元年 10 月 12 日の夕方から台風の接近に伴う降雨の影響が出始め,12 日 17 時から常磐道,仙台東部道路で気象予測による事前通行止めを実施した。

その後,最大で合計 707.3 k mの通行止め(管内の高速道路の約半数)が発生した。

台風通過後の 13 日朝方より点検巡回を行い,安全の確認できた区間から解除を行い,最終的にすべての解除が完了したのは 13 日 19 時 40 分であった。

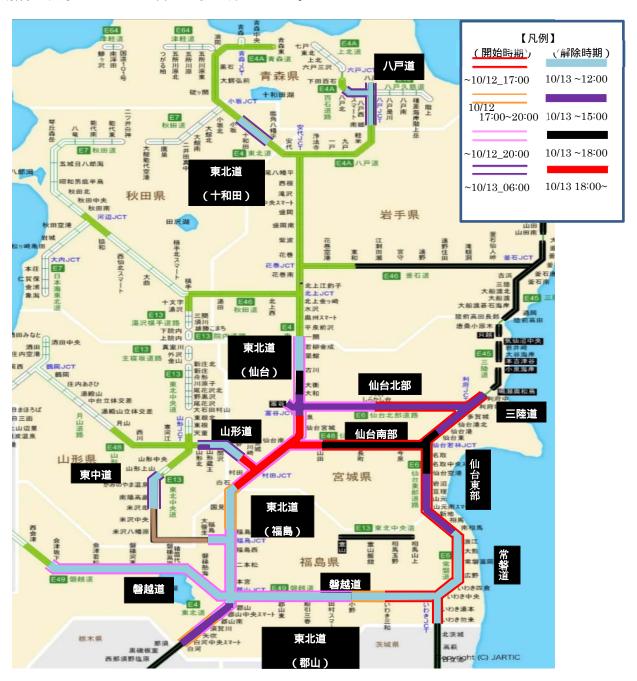


図 2.125 通行止め開始・解除状況

2.6.2 高速道路の主な災害発生状況

NEXCO 東日本東北支社管内の高速道路では,台風 19 号の影響により,のり面崩壊 44 か所,冠水 9 か所,倒木 12 か所,松葉の散乱等の災害が発生した。なお,事前通行止めを実施したことから,強風に伴う車両横転や倒木への通行車両の衝突等の被害は発生しなかった。



東北道 須賀川 IC~郡山南 IC 間 のり面崩壊



東北道 白河中央 SIC (上) のり面崩壊



常磐道 いわき四倉 IC~広野 IC 間 のり面崩壊



山形道 山形蔵王 IC~山形北 IC 土砂流入



東北道 大衡 IC~古川 IC 間 周辺の冠水



三陸道 多賀城 IC 取付道路の堆積物(稲わら)

図 2.126 主な災害発生状況写真

2.6.3 高速道路のり面の崩壊個所数と降雨状況

台風 19 号の大雨による高速道路のり面の崩壊等被災箇所は,図 2.127 に示すとおり,降雨量の多かった福島県,宮城県を中心に切土のり面 36 箇所,盛土のり面 8 箇所であった。路線別では東北道,常磐道,磐越道の切土のり面の被災が目立った。

また,代表的な NEXCO 東日本の気象観測所の降雨量データを図 2.128 に示しているが,今回の台風による大雨は,時間降水量の多い短期集中型の降雨であった。

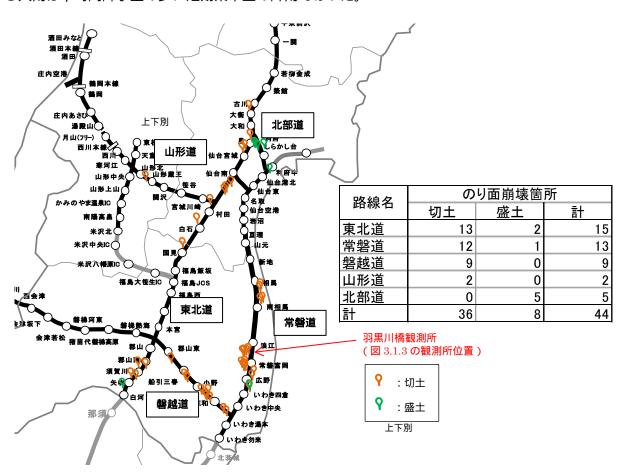


図 2.127 台風 19号におけるのり面崩壊箇所

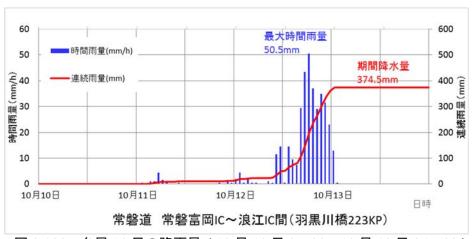


図 2.128 台風 19号の降雨量 (10月 10日 0:00~10月 13日 24:00)

2.6.4 高速道路のり面の被災事例

- (1)常磐自動車道(いわき四倉 IC~広野 IC)の切土のり面被災
 -)被災場所 常磐自動車道(いわき四倉 IC~広野 IC間)の下り線の 200.3KP 付近
 -)被災状況

被災箇所の切土のり面の状況は,図2.129に示す通りであり,降雨状況については,図2.130に示すとおりである。

当該のり面は,建設時(平成 12 年)に地すべり対策として頭部排土工とグランドアンカー工が施工されたが,平成 13 年の大雨により,のり面崩壊が一部に発生し,追加対策工として水抜きボーリング工と鉄筋挿入口併用のり枠工及び追加のグランドアンカー工が行なわれ,平成 14 年 3 月に供用を開始している。地質は,古第三紀前期漸新世白水層群の石城層に属する礫岩・砂岩・泥岩(亜炭層を挟む)からなる。すべり方向は本線に対し約 25°の角度で斜入する流れ盤構造であり,傾斜角は 9~12°,すべり面は泥岩層と亜炭層の境界と想定されている。



図 2.129 被災状況写真



図 2.130 崩壊発見前の降雨状況

)被災原因

崩壊は,台風19号による大雨の影響で地下水位が上昇し,地山内の水みちに過剰な間隙水圧が加わることによって,水みちの出口の表層のり面が崩壊したものと考えられる。

素因	・後背地は凹状地形が発達し涵養源となり,地下水が集まりやすい地形であった。
	・建設時の崩壊のり面復旧に透水性の低いソイルセメントを使用していた。
誘因	・これまでに経験したことのない短時間に集中した降水量であった。
	・涵養源に降った雨が土中に浸透し,地下水が上昇することで,地盤内の水圧が上昇
	した。

なお,現地踏査の結果は以下の通りである。

今回の崩壊箇所を除いて,当初から想定されている地滑りブロックエリア内に,新たな変状(クラック・洗掘・はらみ出し等)は確認できなかった。

全体的にパイプからの排水や湧水が多く、地山内には地下水が豊富な状況であると推測される。

崩壊箇所の滑落部にはパイピング跡が見られるなど,崩壊箇所に地下水の流れが集中する水みちが存在していた可能性が高い。また,建設時においても降雨により同一箇所が崩壊していることからも,降雨の影響を受けやすい箇所であったと推測できる。

崩壊箇所では,のり枠の変形(はらみ出し)や移動土塊との境界部でクラックが発生しており,押出された形状を呈する。

) 災害復旧

復旧対策工については、地下水の排出処理が求められることから、透水性の良いかご枠工によるのり 面補強及び地表からの水抜きボーリング工を実施する。

- (2) 東北自動車道(村田 JCT~仙台南 IC 間)の切土のり面被災
 -)被災場所 東北自動車道 (村田 JCT~仙台南 IC 間)の上り線の 321.0KP
 -)被災状況

被災箇所の切土のり面の状況は,図 2.131 のとおりである。当該のり面は,1 段の切土のり面であり,のり面勾配は 1:1.2 である。崩壊規模は,崩壊のり長 $9.5\mathrm{m}$,崩壊延長 $15.0\mathrm{m}$,崩壊深さ $1.5\mathrm{m}$,崩壊土量は約 $203\mathrm{m}^3$ であった。被災個所の降雨は,近傍の NEXCO 東日本の降雨観測所において,時間最大雨量 $56.0\mathrm{mm}$,連続雨量 $359.0\mathrm{mm}$ であった。

地形は,上部の3方向を丘陵地に囲まれた比較的規模の大きい集水型地形であり,地質は凝灰質粘性土である。





図 2.131 被災状況写真

)被災原因

崩壊は,台風19号により上部の集水域に降った大雨が,切土のり面部への表面水の流入および浸透水が湧出することにより,切土のり面部の土砂が流出したものと考えられる。

素因	・切土のり面の上方に集水型傾斜地が広がり水を集めやすい地形であった。 ・のり面上部の平地は畑等に開発が進んでおり ,表面水が流れ出やすい状況であった。
	・切土部の背面地山が風化の進んだ凝灰質粘土であった。
誘因	・これまでに経験したことのない短時間に集中した降水量であった。

) 災害復旧

復旧対策工については,現在,養生シートと大型土のうによる応急復旧をしているところであるが,本 復旧として,切土のり面上部に表面水がのり面に直接入り込まないように排水工を設置するとともに, のり面崩壊部を切込砕石で復旧するとともにかご枠工でのり面保護工を施工する予定である。また,の り面の湧水状況を確認し,必要に応じて水抜きボーリングを実施する。

2.7 鉄道の被害

2.7.1 被害の概要

台風 19 号では,宮古の JR 雨量計で最大時雨量が 74mm に達したほか,JR 東日本管内の広域に記録的な大雨をもたらした。この豪雨により,急激な河川増水や堤防決壊等による橋りょう流出,橋脚傾斜といった大規模な被害や用地外からの土砂流入等が多数発生,一部線区では運転再開まで多くの期間を要した。また,千曲川の氾濫に伴い,留置中の北陸新幹線車両が浸水するといった被害も生じた。本台風に備え,JR 東日本では 12 日夕方より新幹線及び首都圏エリアの全在来線で計画運休を実施,台風通過後に安全の確認ができた線区から順次運転を再開している。

東北地方の主な鉄道被害(JR 東日本)を図 2.132 に示す。本節では,特に被害の大きかった磐越東線の橋台背面盛土の崩壊と,八戸線の盛土・切土崩壊の被害について報告する。

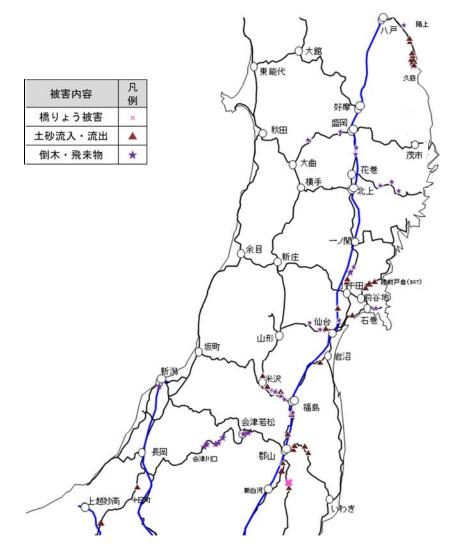


図 2.132 東北地方の主な鉄道被害 (JR 東日本) 38)

2.7.2 磐越東線の橋台背面盛土の崩壊 39)

福島県中通り地方を流れる阿武隈川では,記録的大雨に併せ,河川の流路方向と台風進路方向が重なったことから,県内各所で河川の氾濫や堤防決壊が発生した。この豪雨の影響を受け,磐越東線舞木~郡山間では河川堤防と鉄道とが交差する接合部付近で鉄道盛土が崩壊した。付近の地形を図2.133 図2.134,被災状況を図2.135~137 に示す。崩壊した鉄道盛土は堤防決壊側に位置し,橋台背面付近から線路延長約20m,約1.700m3の土砂が流出した。

被災箇所付近の河川は,上流部で緩やかに蛇行し,当該橋りょう付近へと流れる線形となり,河川の流速は左岸と比較すると右岸側が速くなる傾向がある。河川堤防の決壊箇所は,阿武隈川橋りょうのいわき方橋台との接合部であり,橋台が河川高水敷の河川堤防の堤外側に位置するため,河川増水時には橋台が流水の影響を受けやすくなっている。今回の河川堤防の越水は,上記条件に加え,橋台付近で阿武隈川水系桜川(支流)が合流し,本流と支流の流水が重なって本流側の流れが鈍化しやすい場所であったため生じたものと推測される。また,河川堤防の決壊や鉄道盛土の崩壊は,越水した流水が堤体内および鉄道盛土内へ浸透して間隙水圧を上昇させあるいは躯体を浸食して発生したものと推定される。

JR 東日本では早期運転再開に向け,盛土を主体に復旧工事を実施した。復旧工事の状況を図 2.138~140に示す。盛土は,崩壊土砂を撤去し,盛土基底部の処理と整地を行い,盛り立てることで復旧し,11月6日に運転再開を果たすことができた。



図 2.133 被災箇所周辺の航空写真

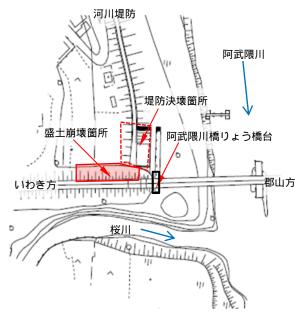


図 2.134 位置平面図

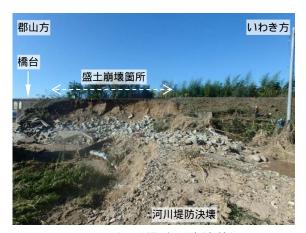


図 2.135 河川堤防の決壊状況



図 2.136 橋台背面盛土の崩壊



図 2.137 盛土の崩壊状況



図 2.138 盛土の転圧



図 2.139 路盤の仕上げ



図 2.140 盛土復旧完了

2.7.3 八戸線の盛土・切土の崩壊 40)

台風 19 号は,内陸部より沿岸部で多くの雨をもたらし,12~13 日の 1 時間降水量のデータ 41)を見れば,内陸の盛岡が最大でも 11.0mm であるのに対し,沿岸の下閉伊郡譜代村譜代で最大 95.0mm を記録するなど,沿岸部の雨が非常に激しいものであったことがわかる。この豪雨により,沿岸を走行する八戸線,大船渡線 BRT 区間などに多くの被害が発生した。

特に被害の大きかった八戸線は,図2.141,表2.7に示すように,階上~久慈間で盛土崩壊,切土崩壊, 道床沈下など,58箇所で被害が確認された。

八戸線は起伏の大きい地形を走行し,沿線の主な地質は,火成岩と堆積岩が分布している。特に被災箇所の多かった侍浜~陸中夏井間においては,地形の起伏が大きいため,のり高の高い切土斜面が多く,かつ花崗岩のマサ土化が進んでいるため切土崩壊も多くなったと推定される。また,本台風では,過去の被災・復旧箇所に隣接して被害が発生しているケースが散見された。

被害が少なかった八戸~階上間は 10 月 14 日より運転を再開,長期間の運転休止となった階上~久慈間では,応急復旧工事を実施して災害発生から 49 日後の 12 月 1 日に運転を再開した。なお,運転再開時点では本復旧施工中の箇所が残っており,本復旧完了まで一部徐行や運転規制基準値の段落としを行って運行している。

ここでは,前述した被災箇所のうち,特に被害の大きかった3箇所について,被災状況,12月1日の 運転再開に向けた応急復旧工事,本復旧の状況を報告する。

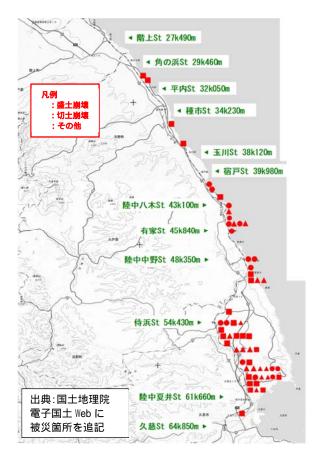


図 2.141 被災箇所一覧平面図 (八戸線)

表 2.7 被災箇所数 (八戸線)

被災種別	階上~ 陸中中野 (沿岸)	陸中中野~ 陸中夏井 (山間部)	陸中夏井~ 久慈 (市街地)	計
盛土崩壊	7	13	0	20
切土崩壊	3	16	0	19
道床沈下, 路盤陥没等	0	4	1	5
倒木 , 傾斜木	4	1	0	5
溜め桝,伏 び土砂堆積	0	5	0	5
その他	1	3	0	4
計	15	42	1	58

(1)宿戸~陸中八木間 大浜川橋りょう付近の盛土崩壊

大浜川橋りょうは,図 2.142 のように大浜川の河口に位置しており,東日本大震災による津波によって桁が流出した経緯がある。津波後,橋脚に根固めブロックを設置しており,今回の台風では橋脚自体の

洗堀は発生していない。変状は久慈方の橋台翼壁で発生しており,水衝部に位置する橋台翼壁が増水した河川の攻撃を受け,翼壁天端を越流した水が盛土を浚い,バランスが崩れて崩壊したと推定される。図 2.143 は 13 日昼の状況で,翼壁天端直近まで水位が上昇している。

応急復旧工事は,陸地からの盛土作業を実施した。作業状況を図2.144に示す。翼壁にはひび割れが見られ,翼壁と橋台間の変位計測等で変状の進行性の確認を続けた。

応急復旧ののち,河川の瀬替え,橋台部の河川仮締切りを行い,本復旧に向けた詳細な調査を開始した。河川締切りの結果,図2.145のように翼壁下面で開口の広いひび割れ,翼壁背面と下部の吸出しが確認された。また,橋脚の根固めブロックの隆起によるずれが確認され,図2.146にあるように東日本大震災後1段で敷設したものが,図2.147のように上流側のブロックが隆起して2段に重なっていた。

本復旧は,翼壁背面と下部の吸出しに対するモルタルの充填,翼壁(石積擁壁)へのひび割れ注入,張コンクリートによる補修を実施する。



図 2.142 盛土崩壊位置図 (大浜川橋りょう付近)

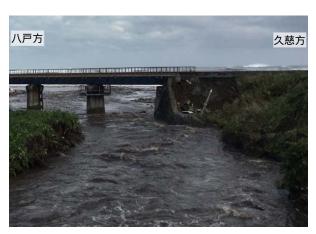


図 2.143 橋台翼壁付近の状況(10月13日)



図 2.144 応急復旧(盛土)



図 2.145 翼壁のひび割れ



図 2.146 東日本大震災の復旧工事 (2011年 12月撮影)



図 2.147 ブロックの隆起によるずれ

(2)陸中八木~有家間 盛土崩壊,切土崩壊

当該箇所は,海岸と並走する片側盛土の区間で,盛土は波返し上に構築されている。位置図を図 2.148 に示す。東日本大震災における津波により,盛土が一部流出した箇所に該当し,復旧時にのり尻に布団かごが設置されていた。今回の台風 19 号では,上記の布団かごが未施工の区間で図 2.149 のような盛土の崩壊が発生していた。また,被災箇所の山側全体は,山の頂部を整形して砕石や資材の置き場に供しており,土砂の採取も行われていた。図 2.150 に示した切土崩壊箇所の直上は,図 2.151 のように地山掘削により窪地になっており,雨が溜まりやすく,窪地から浸透した雨水が切土崩壊の一因になったと推定される。

応急復旧工事は,海側は砂浜に工事用道路と作業のステージ,山側は工事用道路を仮設し,両側からの同時施工で盛土作業と切土崩壊土砂撤去を行い,盛土と切土それぞれに耐候性土のうによる土留めを行った。図2.152 は盛土の応急復旧状況である。

本復旧は,盛土崩壊箇所については耐候性土のうの撤去と現場打吹付枠工を計画している。図 2.153 は 切土の施工状況であり,切土崩壊箇所は耐候性土のうの撤去と地山整形,植生マットを施工している。

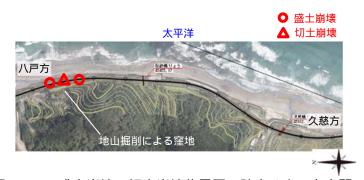


図 2.148 盛土崩壊,切土崩壊位置図(陸中八木~有家間)



図 2.149 盛土の崩壊状況



図 2.150 切土の崩壊状況



図 2.151 切土崩壊斜面上部の窪地



図 2.152 応急復旧(盛土)



図 2.153 本復旧(植生マットの施工)

(3)陸中中野駅構内 盛土崩壊

陸中中野駅構内での盛土崩壊位置を図 2.154 に示す。陸中中野駅の駅前広場西側は急斜面・住宅地であり,図 2.155 のように雨水が住宅地側から駅前広場に向かい流入しやすい条件であった。盛土崩壊箇所は 2 箇所あり,八戸方では岩手県道や民地から水が流入,久慈方では自然斜面から水が流入した痕跡を被災直後の現地で確認している。陸中中野駅構内には,2度の土砂流入,2001年台風 15 号災害による盛土崩壊の記録が残っており,過去から繰返し災害を受けている箇所であった。

八戸方の被災箇所では,図 2.156,図 2.157 に示した大規模な崩壊(延長 40~m,最大幅 15~m,最大高 12~m,崩壊土量約 $1,600~m^{40}$)が発生した。すべり面を観察すると,透水性の低い粘土層が露出しているとともに,表面は流水の浸食作用による浸食跡が確認された。水の作用により地中に水みちが形成されており,大雨によって崩壊が発生したと推定される。

応急復旧は,崩壊土砂を撤去し,盛土をしたのち耐候性土のうによる土留めを行った。盛土の作業状況を図 2.158 に示す。

本復旧は,耐候性土のうを撤去し,盛土法面に現場打吹付枠工を施工する。図 2.159 は現場打吹付枠工の作業状況である。また,外部流入水対策として,駅前広場の排水工改良を行う計画をしている。



図 2.154 盛土崩壊位置図 (陸中中野駅構内)



図 2.155 西側駅前広場の現況



図 2.156 盛土の崩壊状況



図 2.157 すべり面の近景



図 2.158 応急復旧(盛土)



図 2.159 本復旧の作業状況

第2章:参考文献・参考資料

1) 気象庁:令和元年度台風第19号による大雨,暴風等,

 $\frac{\text{https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html}}{2020/6/29} (アクセス日: 2020/6/29)$

- 2) 東北地方整備局河川部:令和元年 10 月 12 日出水(台風第 19 号)の概要(第 3 報 12 月 26 日 15 時時点) http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/saigai-info/2019_taihuu19gou/top_taihuu19.html (アクセス日: 2020/7/1)
- 3) 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 http://www.bousai.go.jp/updates/rltyphoon19/pdf/rltyphoon19 45.pdf (アクセス日:2020/7/1)
- 4) 国土交通省 水管理・国土保全局,鳴瀬川水系河川整備基本方針,平成24年11月,他 https://www.youtube.com/channel/UCdWdhy852Ir0nloMDhe9bkw (アクセス日:2020/7/1) https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/pdf/naruse-1.pdf (アクセス日:2020/7/1)

https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouiinkai/r-jigyouhyouka/dai08kai/pdf/02_shiryou.pdf (アクセス日: 2020/7/1)

- 5) 国土交通省東北地方整備局北上川下流工事事務所,平成14年7月台風6号洪水,北上川下流・鳴瀬川出水状況,平成17年3月25日版.
- 6) 土木学会東北支部:1978年宮城県沖地震災害調査報告書,昭和55年4月.
- 7) (社)土木学会・地盤工学会合同宮城県北部地震調査団:2003 年 7 月 26 日に発生した宮城県北部 地震,2004年4月.
- 8) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会:東日本大震災合同調査報告共通編3地盤災害,2014年4月.
- 9) 国土交通省 水管理・国土保全局,鳴瀬川の主な災害, https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/0205_naruse_02.html (ア クセス日: 2020/7/1)

https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/pdf/naruse-5-03.pdf (アクセス日: 2020/7/1)

- 10) 国土交通省東北地方整備局,台風 19 号による河川(鳴瀬川水系吉田川)の被災状況, http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00037/k00290/river-
 - hp/kasen/syussuisokuhou/R1.10/shussuihani191017(naruse).pdf (アクセス日:2020/7/1)
- 11) 国土交通省東北地方整備局,令和元年 10月 12日の台風 19号に伴う降雨による出水概要【速報版】 http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisya/saigai/images/77625 1.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 12) 国土交通省東北地方整備局,第2回鳴瀬川堤防調査委員会資料
 http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/saigai-info/2019_taihuu19gou/191107teiboutyousa_naruse.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 13) 宮城県土木部河川課:台風 19 号による被災状況箇所図(令和元年 10 月 23 日 15 時現在) https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/760909.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 14) 宮城県土木部河川課:台風 19 号による河川施設等の状況 (12 月 13 日 11 時現在) https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/767864.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 15) 国土交通省東北地方整備局 令和元年 10月 11日 台風第 19号に係る対応状況 固定カメラ映像, UAV (ドローン)撮影映像 10/14

https://www.youtube.com/watch?v=O5JY32EZ5NQ (アクセス日:2020/7/1)

- 16) 鳴瀬川堤防調査委員会報告書
- 17) 地盤工学会監修:河川堤防の点検指針,2020発刊予定.
- 18) 日経コンストラクション, No.730, 消された堤防, 2020.2.24.
- 19) Google Earth
- 20) Google Map
- 21) 河北新報オンラインニュース 2019年10月16日(金): https://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201910/20191014 13008.html. (アクセス日: 2020/7/1)
- 22) 河北新報オンラインニュース 2019年9月13日(金): https://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201909/20190913_13025.html (アクセス日: 2020/7/1)
- 23) 仙台つーしん: https://sendai-tushin.jp/ (アクセス日: 2019/11/2)
- 24) 宮城県: 令和元年東日本台風および 10 月 25 日低気圧による災害に係る被害状況について https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kikitaisaku/2019typhoon19.html (アクセス日: 2020/7/1)
- 25) 仙台管区気象台: 令和元年台風第 19 号による大雨と暴風・高波(令和元年 10 月 11 日~13 日), 宮城県災害時気象資料, 2019 年 10 月 17 日.
- 26) 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 (アクセス日: 2020/7/1)
- 27) https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kurashi/kaiseki.html (アクセス日:2020/7/1)
- 28) 国土地理院:立体地図

https://maps.gsi.go.jp/3d/ (アクセス日:2020/7/1)

- 29) 国土交通省東北地方整備局: 令和元年10月11日 台風第19号に係る対応状況 http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/saigai-info/2019_taihuu19gou/top_taihuu19.html (アクセス日: 2020/7/1)
- 30) 産総研地質調査総合センター:日本シームレス地質図 V2 https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/ (アクセス日:2020/7/1)
- 31) 防災科学技術研究所: 地すべり地形分布デジタルアーカイブ https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied-tech-note/landslidemap/gis.html (アクセス日: 2020/7/1)
- 32) 平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題 地盤工学からの提言 https://www.jiban.or.jp/file/saigai/houkoku/H30_TeigenSaishu.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 33) 国土地理院: 地理院地図
 https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1
 (アクセス日: 2020/7/1)
- 34) 福島地方気象台:福島県災害時気象資料 令和元年台風第 19 号による大雨と暴風,波浪(令和元年 10 月 11 日~13 日), 2019.10.16

https://www.jma-net.go.jp/fukushima/saigai/saigai_topics/saigaiji20191011-13.pdf (アクセス日: 2020/7/1)

- 35) 福島県土木部: 台風第 1 9 号等による土木施設の被害状況及び対応状況、福島県災害対策本部会議 (第 41 回)令和 2 年 3 月 12 日現在 https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/375211.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 36) 阿武隈川上流堤防調査委員会:阿武隈川上流堤防調査委員会 報告書,2020.
- 37) 中村晋:台風19号により洗掘を受けた橋脚の振動特性,土木学会東北支部技術研究発表会(令和元年度), -15,2020.
- 38) 関田,長澤:台風 15 号・19 号に伴う被害の概要, SED No.55, 2020.5, pp.122-123, 東日本旅客鉄道株式会社
- 39) 大沼,大野,長澤:台風 19 号に伴う河川氾濫により被災した磐越東線阿武隈川橋りょう橋台背面盛 土の復旧工事, SED No.55, 2020.5, pp.152-157, 東日本旅客鉄道株式会社
- 40) 阿部,浅野,滝田:2019 年台風 19 号災害による被害概況・復旧(八戸線), SED No.55, 2020.5, pp.158-165,東日本旅客鉄道株式会社
- 41) 気象庁: 令和元年台風 19 号に伴う大雨の要因について, 2019.12.23

3. 関東支部調査団報告

3.1 概要

令和元年 10 月 12 日に非常に強い勢力を保ったまま伊豆半島に上陸した台風 19 号は,関東地方に大量の降雨をもたらし,河川堤防の決壊や土砂災害などの被害を生じさせた。図 3.1 に関東地方周辺における台風 19 号の進路と解析雨量(10 月 10 日~13 日の積算)を示す。

関東地方では,神奈川県箱根において総雨量が1000ミリを超え,その他の地域(例えば,埼玉県秩父市,東京都檜原村,山梨県南部町,栃木県日光市,群馬県下仁田町,茨城県北茨城市)でも10月12日の日降雨量が500~600ミリ程度に達した。

一方,台風19号の通過から約2週間後の10月25日には,台風21号の通過に伴う低気圧の発達により,関東地方では再度の豪雨に見舞われた。特に千葉県市原市では,日降雨285ミリを観測し,同地域では台風19号よりも多くの降雨が生じた。

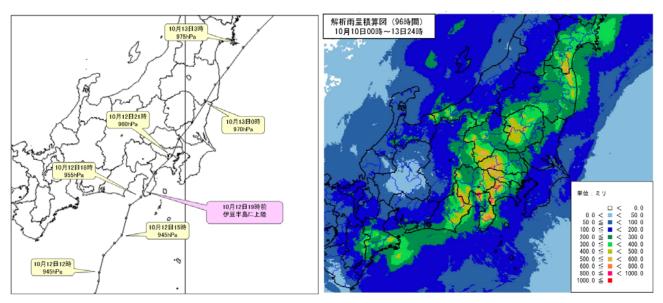


図 3.1 台風 19 号の経路図と解析雨量積算図(東京管区気象台, 2019)1)

台風 19 号が関東地方に与えた地盤災害として,埼玉県内の荒川水系,茨城県内の那珂川・久慈川等での堤防被害が顕著であった。被害の多くは越流+浸食が原因であり,堤内地に入った水が川に戻る際に越流して堤防が被災した箇所も確認されている。また,河川に架かる橋梁の橋脚や橋台背面地盤で発生した浸食・洗堀被害も発生した。一方,既存の治水施設として,埼玉県内の荒川第一調調節池である彩湖や,北関東4県に跨る渡良瀬遊水地等が洪水調整の役割を果たしていたことも確認されている(図 3.2)。 記録的な豪雨が発生したことから,斜面崩壊も関東地方の広範囲にわたって発生した。小規模な崩壊ケースが大半であったが,3名の犠牲者が生じた群馬県富岡市の斜面崩壊は比較的規模が大きく(図 3.3),当該地域に分布する火山性堆積土の特性に起因する可能性が考えられる。



図 3.2 台風通過後の渡良瀬遊水地の様子(朝日新聞へリコプターより撮影:安田進 東京電機大学名誉教授)



図 3.3 富岡市の斜面崩壊の被害を受けた家屋 (撮影:若井明彦 群馬大学大学院教授)

上述のように,台風 19 号により関東地方では深刻な地盤災害が発生したことから,その直後に関東支部では東畑郁生団長(関東学院大学)以下 27 名のメンバーで構成される被害調査団を結成した。また,安田進・令和元年度関東支部長(東京電機大学)を調査団の顧問に迎えた。今回の地盤災害は主に河川堤防被害,斜面災害,および洗堀被害が顕著であったため,調査団内においてそれぞれの事象に対するワーキンググループを配置して,各 WG リーダー(堤防 WG:高橋章浩(東京工業大学),斜面 WG:後藤聡(山梨大学),洗堀 WG:渡邉健治(東京大学))の主導のもと,発災直後から効率的な調査を実施してきた。また,本調査団には地盤工学会災害連絡会議の地方連絡委員が多く含まれており,各人が担当する県内の被害を調査した。このため,本報告書で示す関東地方の被害調査結果は基本的に県毎に取りまとめられている。表 3.2 に本章の構成と担当執筆者を示す。

表 3.2 関東支部調査団報告の構成と執筆担当者

で 3.2 対外文中間直口取口の1時がでかままして					
執筆者					
清田隆 (東京大学)					
高橋章浩(東京工業大学)					
石川圭祐 (東京電機大学)					
榎本忠夫 (茨城大学)・森啓年 (山口大学)					
海野寿康(宇都宮大学)					
堀越一輝(東京工業大学)					
渡邉健治(東京大学)					
後藤聡 (山梨大学)					
岡田憲治(横浜地方気象台)					
後藤聡(山梨大学)					
小林薫 (茨城大学), 天野一男 (東京大学空間情報科学研究センター・茨城大学名誉教授)					
清木隆文(宇都宮大学)					
若井明彦(群馬大学),森友宏(前橋工科大学)					
内村太郎 (埼玉大学)					
後藤聡(山梨大学)					
早野公敏(横浜国立大学)					
後藤聡(山梨大学)					
塚本良道(東京理科大学),野田翔兵(東京理科大学)					
稲垣秀輝(㈱環境地質),上野将司(応用地質㈱),後藤聡(山 梨大学)					
後藤聡 (山梨大学)					
東畑郁生(関東学院大学)					

参考文献・参考資料

1) 東京管区気象台: 令和元年台風第 19 号に関する気象速報, 2019 年 10 月.

https://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/bosai/disaster/ty1919/ty1919.html (2020/6/1 確認)

3.2 堤防被害

3.2.1 はじめに

2019年10月12日に日本に上陸した台風19号(Hagibis)は、関東地方や甲信地方、東北地方などに記録的な大雨とそれに伴う甚大な被害をもたらした(台風は後に2020年2月19日に気象庁によって「令和元年東日本台風」と命名された)。表3.2に関東地方の代表地点での今回の台風時の最大水位を示す「)。表には併せて当該水位観測所で設定されている氾濫危険水位と既往最大水位も示す。この表に示された水位は標高で表されており、水位標のゼロ点高(川底の標高とは必ずしも一致しない基準高)にその地点での水位を足した値となっている。なお、氾濫危険水位等の情報は、国土交通省の川の防災情報がから入手した。また、各水位観測所の位置は図3.4に示してある。ここで示した水位は堤防の決壊が発生した箇所に比較的近い観測所での計測結果であるが、氾濫危険水位が示されているすべての地点で今回の水位は氾濫危険水位を超えており、また、約半数は既往最大をも上回っていることから、これらより、今回の台風が記録的な大雨をもたらしたことが確認できる。

水位観測所		水位標のゼロ点高	氾濫危険水位	今回	既往最	大	
1	利根川 (栗橋)	10.2	19.1	20.7	21.0	昭和22年台風9号	
2	都幾川(野本)	16.6	20.3	24.1	23.5	平成 11 年熱帯低気圧	
3	越辺川 (入西)	23.7	26.7	27.9	28.2	昭和 52 年熱帯低気圧	
4	浅川 (浅川橋)	111.4	114.0	116.1	115.2	平成 20 年集中豪雨	
5	多摩川(石原)	26.3	31.2	33.6	33.9	昭和 34 年台風 7 号	
6	荒川 (治水橋)	-1.4	11.2	12.9	11.3	平成 11 年熱帯低気圧	
7	思川 (乙女)	12.8	21.5	23.4	23.6	平成 27 年関東・東北豪雨	
8	那珂川(野口)	21.8	25.9	28.2	27.3	昭和 33 年台風 11 号	
9	久慈川(山方)	37.7		42.7	44.3	昭和 16 年台風 8 号	

表 3.2 関東地方の代表地点での最大水位 1)

単位は全て m (標高). 各水位観測所の位置は図 3.2.1.1 参照.

このような大雨が各所で堤防の決壊等を引き起こした。図 3.4 に関東地方で発生した堤防の決壊箇所を示す $^{1-3)}$ 。関東地方においては,国管理河川の 3 水系 4 河川 1 箇所,県管理河川の 4 水系 1 7 河川 1 35 箇所で決壊が生じた。発生は北関東(茨城県,栃木県,埼玉県)に集中していた。

都県毎,水系毎の被災箇所数をまとめたものを表 3.3~3.4 に示す。表には図 3.4 に示した決壊以外に も,越水(堤防が整備された区間で河川水が堤内地に流れ込む事象),溢水(堤防が整備されていない区間で河川水が堤内地に流れ込む事象),内水(河川水が堤内地に流れ込むことなく氾濫する事象。内水氾濫)による被災箇所数についてもまとめてある。これからも北関東を中心とした久慈川,那珂川,利根川,荒川の4水系において被災が集中していることが確認できる。

各河川・被災箇所の詳細については以降の都県別の報告を参照頂きたいが,比較的情報がある国管理河川堤防の決壊箇所の特徴だけここで簡単に説明する。今回の台風では,内水が川に戻る際に決壊したと推定される久慈川右岸25.5kを除けば,ほとんどの堤防は河川からの越水により川裏法面や法肩から侵食が発生し,決壊に至ったと推定される。なお決壊箇所近傍では,明確な噴砂・漏水/河岸侵食は認められ

ず,これらの影響は小さい/ほぼなかったと推定される5。ただし,那珂川・久慈川の堤防や基礎地盤は 砂礫で主に構成されており、浸透や内部侵食の影響も少なからずあったものと推察される。

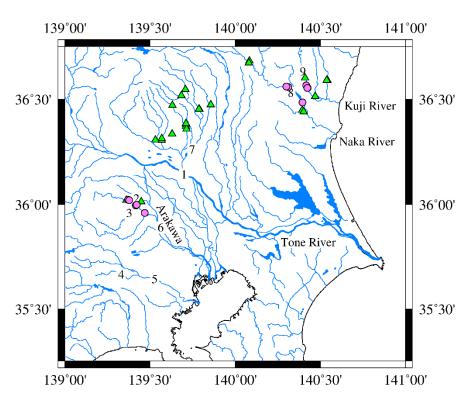


図 3.4 関東地方での堤防決壊箇所 (参考資料 1~3 を参考に作図。 は国管理河川, は県管理河川での決 壊。図中の数字は表 3.2 に示した水位観測所の位置を表す)

表 3.3 関東地方での被災箇所数 (管理者別)2) 表 3.4 関東地方での被災箇所数 (水系別)2)

		決壊	越水	溢水	内水
国管理		11	3	30	26
	茨城県	6	17	8	0
	栃木県	27	7	33	0
	群馬県	0	4	18	0
管理	埼玉県	2	7	48	1
都県管理	東京都	0	0	7	0
	神奈川県	0	0	7	0
	山梨県	0	0	4	1
	小計	35	35	125	2
合計		46	38	155	28

	水系	決壊	越水	溢水	内水
	久慈川	3	0	2	0
mu	那珂川	3	3	11	5
管理	利根川	0	0	9	20
H	荒川	5	0	7	0
	多摩川	0	0	1	1
	小計	11	3	30	26
	大北川	0	0	1	0
	久慈川	4	2	0	0
	那珂川	11	11	10	0
	利根川	18	17	57	0
型	荒川	2	5	42	1
剛	多摩川	0	0	5	0
都県	境川	0	0	1	0
華	引地川	0	0	1	0
	相模川	0	0	2	0
	早川	0	0	2	0
	富士川	0	0	4	1
	小計	35	35	125	2
合計		46	38	155	28

参考文献・参考資料

- 2) 国土交通省 関東地方整備局: 令和元年東日本台風 (台風第19号) 出水速報 (第4報), 2020年4月10日 (https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/content/000773445.pdf)
- 3) 国土交通省: 令和元年台風第19号等による被害状況等について (第54報), 2020年4月10日9:00現在 (http://www.mlit.go.jp/common/001340439.pdf)
- 4) 国土交通省: 令和元年台風第19号による被害状況等について, 堤防決壊箇所一覧, 2020年4月10日9:00 現在 (https://www.mlit.go.jp/common/001313204.pdf)
- 5) 国土交通省: 川の防災情報, 河川・観測所検索 (http://www.river.go.jp/kawabou/schObsrv.do?init=init&gamenId=01-1201&fldCtlParty=no)
- 6) 荒川水系越辺川・都幾川 / 那珂川・久慈川堤防調査委員会: 第1~3回委員会資料 (https://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000216.html)

3.2.2 埼玉県内の被害

(1)被害の概要

台風 19 号の大雨により,県内では人的被害や住家被害,ライフラインへの被害が多数発生している。 埼玉県内の被害の概要を表 3.5 に示す。

■人的被害						
	死亡	重症	中等症	軽症	総計	
(名)	4	1	7	25	37	
■住家被害						
	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	総計
(棟)	134	541	699	2,370	3,388	7,132

表 3.5 埼玉県内の被害概要 1)

台風 19 号による埼玉県内の直轄(国交省管理)および県管理河川の溢水や越水,決壊は 69 箇所で確認され,浸水面積は約3,500haに及んだ。県内の浸水被害要因の内訳を図3.5 に示す。これより,県内の浸水被害は溢水による被害が約8割を占め,越水や決壊による被害は約2割であることがわかる。

河川管理施設等の被害について,直轄および県管理河川で確認された被害状況毎に区別した割合を図3.6に示す。県内の河川管理施設等の被害数は2020年4月10日時点で240箇所であった。被害状況の内訳より,河岸侵食と護岸損壊が全被害数の約7割を占めており,次いで堤体の法面洗堀や損傷被害が1.5割ほどであった。また,決壊した地点を図3.7に示す。これらの地点は,埼玉県の中央部に位置する荒川低地であり,越辺(おっぺ)川で2箇所,都幾(とき)川で4箇所,新江川で1箇所の計7箇所であった。これらの被害がこの地域に集中した要因として,被害が生じた河川流域の記録的な大雨による出水により各河川の流量や流速が増大していたことが推察される。

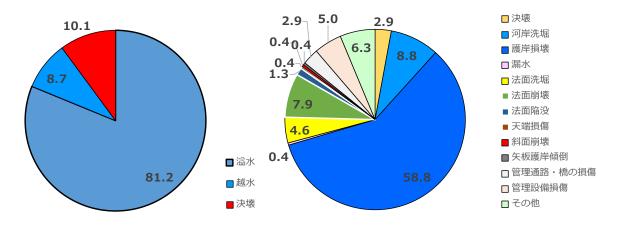


図 3.5 埼玉県内の浸水被害の要因 2) 図 3.6 埼玉県内の河川管理施設等の被害状況 2)

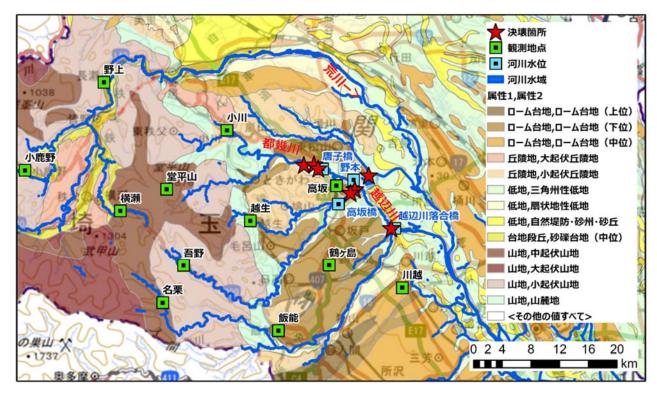


図 3.7 埼玉県内の河川堤防の決壊箇所と流域の地形分類 3),4),5)に加筆

(2)流域内の降雨の概要

台風 19 号の通過により,埼玉県内では 10 月 12 日から 13 日にかけて大雨となった。気象庁観測所の台風 19 号の通過期間中の総降水量(10 月 10 日 0 時~13 日 24 時)は,浦山(秩父市)で687mm,ときがわ(比企郡ときがわ町)で604.5mm,三峰(秩父市)で593.5mmと荒川流域内において3日間雨量が500mmを超える観測地点が多く観測されている。また,図3.7中の各観測所の降水量の経時変化を図3.8に示す。これより山間部にある"堂平山","名栗"の各観測所では3日間雨量が500mmを超え,平野部にあたる観測所においては300mmを超える雨量が観測された。また,24時間雨量については,"名栗","堂平山","高坂","飯能","鶴ヶ島"の各観測所で既往最多雨量が観測された。

図 3.9 は,決壊箇所周辺の河川水位記録である。都幾川の"野本",越辺川の"高坂橋","落合橋"では計画高水位を超過し,観測史上第一位の河川水位が記録された。越辺川落合橋では,12 日 21 時時点で測定限界を超過しており,13 日 5 時まで8 時間にわたって計画高水位を超える状態であった。また,都幾川の"唐子橋"の河川水位は,同観測所の上流で3箇所,下流で1箇所の決壊が確認されており,12日 18 時から13 日 0 時にかけて河川水位の上昇・下降を繰り返していることがわかる。

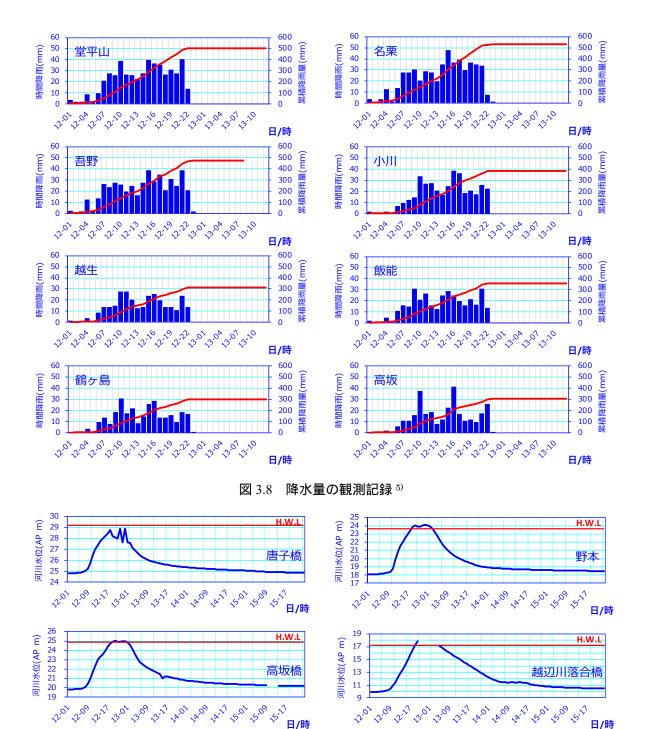


図 3.9 河川水位の観測記録 5)

(3)被害箇所の特徴

ここでは、埼玉県内で確認された決壊箇所などの特徴的な堤防被害箇所について、報告する、

● 越辺川右岸 0.0k / 被害状況:決壊

越辺川右岸 0.0k は,図 3.10 の治水地形分類図に示すように越辺川と小畔(こあぜ)川,入間(いるま)川が合流する付近に位置する.決壊箇所は,緩い湾曲部外岸にあたり,水衝部であることがわかる.決壊箇所は,右岸 0.0k 地点であり,約 70m にわたって決壊した.この決壊により,越辺川と小畔川,飯盛(いいもり)川に囲まれた約 1,900ha の地域が浸水した.また,この浸水地域には,越辺川支川の大谷(おおや)川と飯盛川が流下しており,ポンプ場にて水門を閉鎖後,支川の水を排水ポンプにて排出していたことが確認されている 60.

図 3.11 は , 13 日夕方時の決壊地点周辺の状況であり , 図 3.10 の氾濫平野の広い範囲で浸水被害が生じていることがわかる . また , 越辺川の河川区域内には樹木が密集している様子も伺える . 図 3.12 は , 小畔川と越辺川堤防の接続付近からの決壊箇所の状況である . これより , 決壊箇所の上流および下流部では , 越水によると推定される川裏法面の侵食が確認できる . また , 決壊箇所に隣接するフェンスの倒壊も確認される . 図 3.13 は , 県道 269 号線の道場橋西詰からの浸水域の状況である . 写真は 13 日 17 時時においても交通標識の直下まで浸水していることがわかり , 歩道部から 1.8m 以上の浸水深であることが推測される . 図 3.14 は , 越辺川左岸 1.20k 付近の川表坂路部の漂着物の状況であり , この付近の左岸堤防



図 3.10 越辺川右岸 0.0k の決壊箇所周辺の治水地形分類図 3)に加筆



図 3.11 決壊地点周辺の状況



図 3.12 小畔川堤防からの決壊箇所の状況 (写真①)



図 3.13 道場橋西詰からの浸水域の状況 (写真②)



図 3.14 越辺川左岸 1.2k 付近の天端付近の漂着物 (写真③)



図 3.15 小畔川左岸 1.4k 付近の堤内地の浸水状況 (写真④)

の天端付近まで河川水位が上昇していたことが伺える。図 3.15 は , 小畔川左岸 1.4km 付近の堤内地の浸水状況であり , 13 日夕方時点で木造家屋 1 階部の半分程度まで浸水していた。

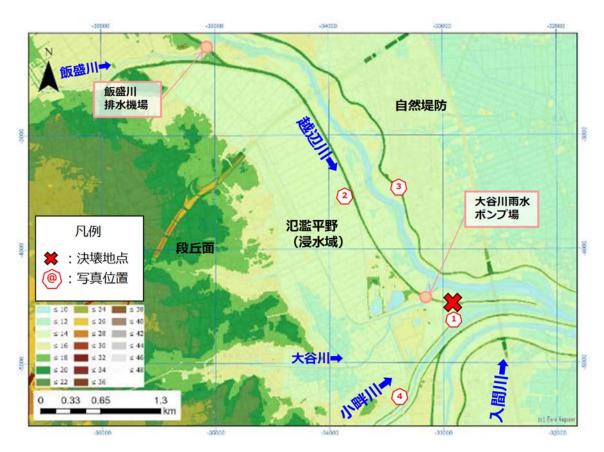


図 3.16 越辺川右岸 0.0k の決壊箇所周辺のデジタル標高地図 3)に加筆

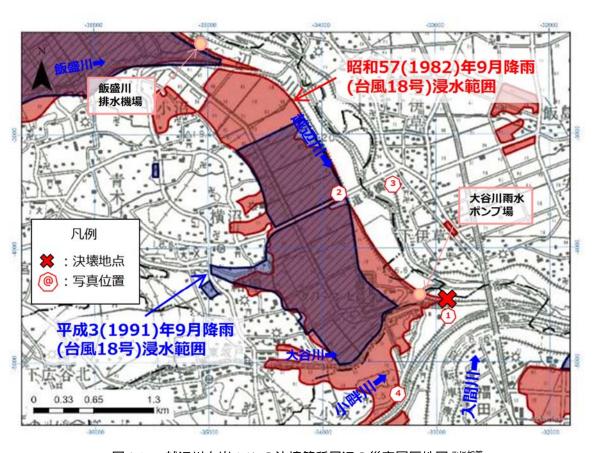


図 3.17 越辺川右岸 0.0k の決壊箇所周辺の災害履歴地図 7)に加筆

図 3.16 は,図 3.10 と同じ範囲の 5mDEM である。これより,現地踏査により確認した浸水位や図 3.9 の越辺川落合橋の河川水位と同図を比較すると,浸水域は標高 18m 未満の氾濫平野の広い範囲であることがわかる。なお,この地域は,図 3.17 の災害履歴地図に示すように過去にも浸水被害を受けていることが記録されている 70 。

越辺川右岸 0.0km の決壊被害のメカニズムは,国土交通省関東地方整備局の堤防調査委員会 ⁸⁾にて詳細に分析されており,ここではその概要を抜粋して示す。図 3.17 は,決壊箇所の近傍で実施された地盤調査結果である。堤体は,旧堤を拡幅・嵩上げし,現在の完成堤防となっている。堤体土質はシルト主体の粘性土であり,基礎地盤部も沖積粘性土である。これらの地盤条件を用いて浸透に対する安全性の評価が実施され,川表・川裏法面のすべりや川裏法尻部のパイピングに対する照査基準を満足することや

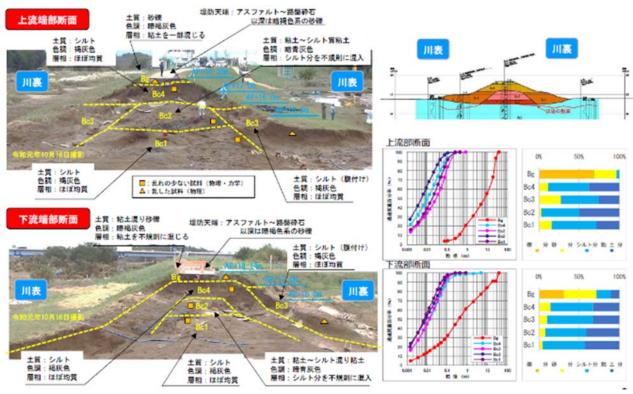


図 3.17 決壊箇所近傍での地盤調査結果 8)

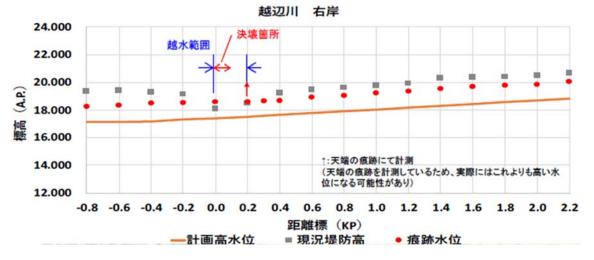


図 3.18 決壊箇所の上・下流の痕跡水位 8)

決壊箇所の上・下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されていないことが報告されている。侵食に対しては,決壊箇所の上・下流とも川表法面や高水敷での侵食痕跡は確認されていないことも報告されている。越水に対しては,図 3.18 に示すように越辺川右岸堤防の天端高と痕跡水位の調査が行われ,0.0k と 0.2k の痕跡水位は現況堤防高を上回ることが確認されており,決壊箇所の痕跡水位と現況堤防高の差より,推定された越水深は約 40cm であることが示唆された。

以上のことより,当該箇所の決壊は,川裏部の堤防侵食,堤内地のフェンスの倒壊,また,痕跡水位の 状況より越水による決壊と結論付けられた。

● 越辺川左岸 7.6k, 都幾川右岸 0.4k/被害状況:決壊

越辺川左岸 7.6k および都幾川右岸 0.4k の各決壊箇所は ,図 3.19 の治水地形分類図に示すように越辺川に都幾川が流入する付近に位置する。越辺川左岸 7.6k の決壊箇所は , 越辺川の支川である九十九川が流入する九十九川水門の直上流の隅角部にあたり ,九十九川左岸堤防の約 40m にわたって決壊した。また ,都幾川右岸 0.4k の決壊箇所は ,都幾川が越辺川に合流する付近であり都幾川の緩い湾曲部外岸にあたり約 90m にわたって決壊している。この地域は ,図 3.19 からも都幾川と越辺川の各堤防と段丘面で囲まれていることがわかり ,堤防決壊により約 160ha の地域が浸水した。

図 3.20 は,13 日に撮影された航空写真であり,図 3.19 の氾濫平野部や都幾川右岸(0.8k~2.0k)の自然 堤防部上の早俣地区でも浸水被害が生じていることがわかる.図 3.21 は,越辺川左岸 7.6k 付近のドローンによる撮影画像である.これより,九十九川の痕跡水位を確認することができ,決壊箇所で

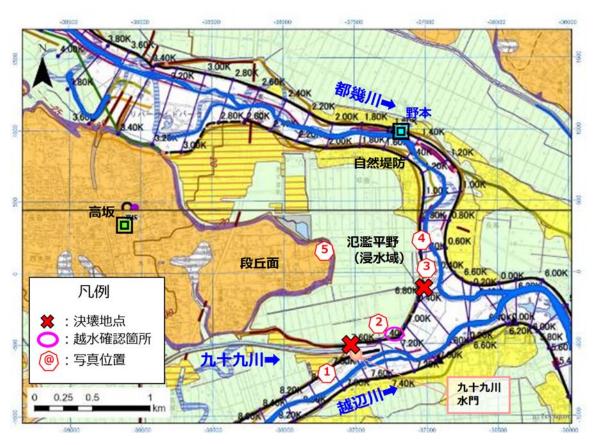


図 3.19 越辺川左岸 7.6k, 都幾川右岸 0.4k の決壊箇所周辺の治水地形分類図 3)に加筆



図 3.20 決壊地点周辺の状況 9)



図 3.21 越辺川左岸 7.6k の決壊箇所の状況 (写真 ①) 10 に加筆)



図 3.22 越辺川左岸 7.4k の川裏法面の変状 (写真②)



図 3.23 都幾川右岸 0.4k 付近の決壊箇所の状況 (写 真③) ^{10 に加筆)}



図 3.24 都幾川右岸 0.6k 付近の堤内地状況 (写真④)



図 3.25 段丘面の明瞭な浸水跡 (写真)

は現況堤防高を上回る水位であったことが推定される。また,氾濫流によってグランウンドのフェンスが堤内地側への倒壊が確認されている。図 3.22 は,越辺川左岸 7.4k 付近の川裏法面の侵食状況であり,越辺川左岸堤防の変曲点にあたる。図 3.23 は,都幾川右岸 0.4k 付近のドローンによる撮影画像である。この決壊区間は,暫定堤防区間にあたり,また,河川区域内に多くの樹木が密集していることが

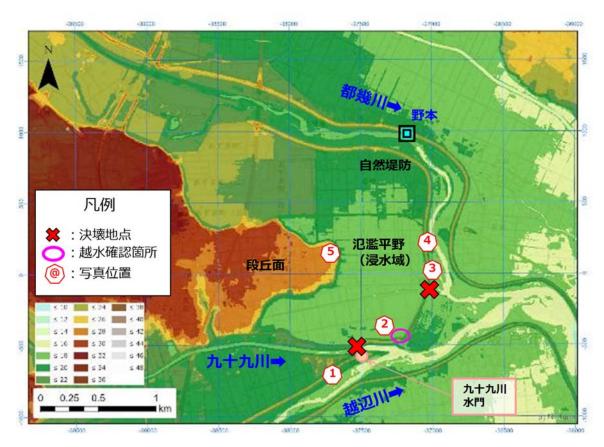


図 3.26 越辺川左岸 $7.6\mathrm{k}$, 都幾川右岸 $0.4\mathrm{k}$ の決壊箇所周辺のデジタル標高地図 $^{3)$ に加筆

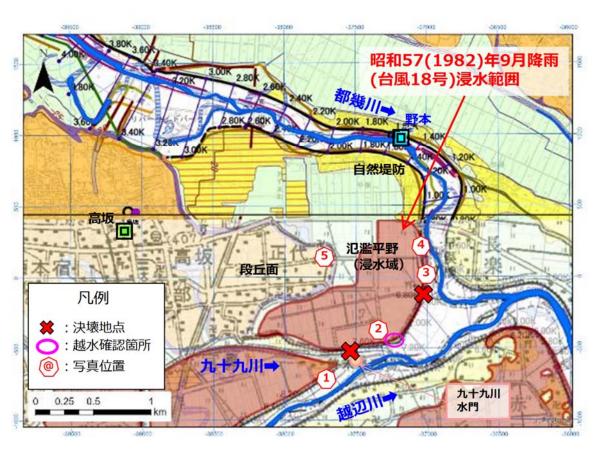


図 3.27 越辺川左岸 $7.6\mathrm{k}$,都幾川右岸 $0.4\mathrm{k}$ の決壊箇所周辺の災害履歴地図 7^{lc 加筆

わかる。なお,小剣樋管に近接していたが樋管周りには堤体が残存しており,樋管周りに水ミチは確認されていない。図3.24 は,都幾川右岸0.6k付近から早俣橋までの堤内地の状況である。決壊による氾濫水により,木造家屋の屋根瓦が変状していることや氾濫域内の家電量販店からの冷蔵庫が天端面に漂着している状況である。また,図3.25 は,段丘面に残された明瞭な浸水跡である。

図 3.26 は,図 3.19 と同じ範囲の 5mDEM である。これより,現地踏査により確認した浸水位や図 3.9 の野本の河川水位と同図を比較すると,浸水域は標高 23m 未満の氾濫平野の広い範囲であることがわかる。なお,この地域は,図 3.27 の災害履歴地図に示すように過去にも浸水被害を受けていることが記録されている 7 。

越辺川左岸 7.6km や都幾川右岸 0.4k の決壊被害のメカニズムは,国土交通省関東地方整備局の堤防調査委員会 8にて詳細に分析されており,ここではその概要を抜粋して示す。図 3.28 は,越辺川左岸 7.6k

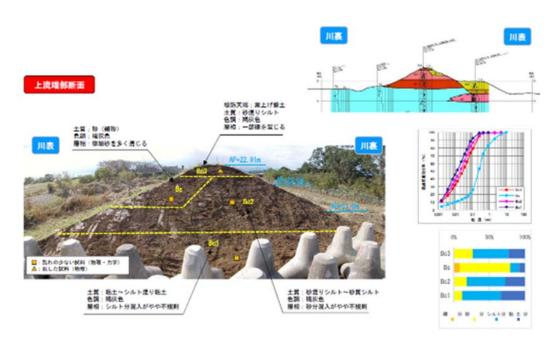


図 3.28 越辺川左岸 7.6k 決壊箇所近傍での地盤調査結果 8)

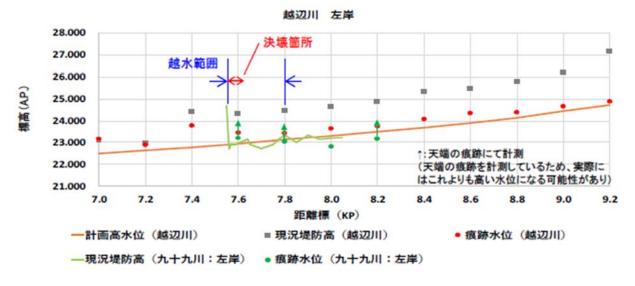


図 3.29 越辺川左岸 7.6k 決壊箇所の上・下流の痕跡水位 8)

の決壊箇所の近傍で実施された地盤調査結果である。堤体は、旧堤(Bc2)を拡幅・嵩上げ(Bc3,Bs) し、現在の完成堤防となっている。堤体土質はシルト主体の粘性土(Bc1~Bc3)であり、基礎地盤部も沖積粘性土である。ただし、一部の拡幅部に砂質土が用いられている。これらの地盤条件を用いて浸透に対する安全性の評価が実施され、川表・川裏法面のすべりや川裏法尻部のパイピングに対する照査基準を満足することや決壊箇所の上・下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されていないことが報告されている。侵食に対しては、九十九川水門の直上流で水門は閉鎖されていたこと水流はほとんどなかったと推定されている。また、決壊区間の上流で川表法面や河岸侵食の痕跡は確認されていない。越水に対しては、図3.29に示すように越辺川左岸堤防や九十九川堤防の天端高と痕跡水位の調査が行われ、九十九川の痕跡水位より、決壊箇所は現況堤防高を上回る水位であったことが確認されている。

図 3.30 は ,都幾川右岸 0.4k の決壊箇所の近傍で実施された地盤調査結果である。堤体は ,旧堤(Bc1~2)を拡幅・嵩上げ (Bc3~Bc5 , Bs , Bg) し ,現在の暫定堤防となっている。堤体土質はシルト主体の粘性土

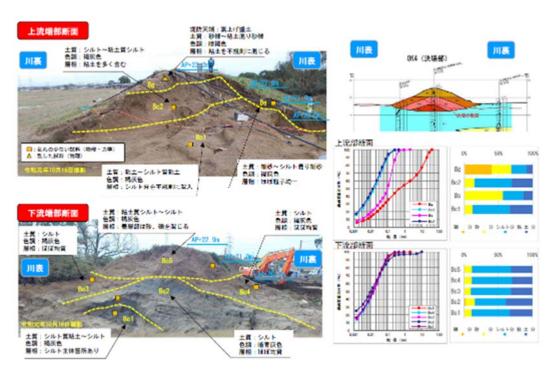


図 3.30 都幾川右岸 0.4k 決壊箇所近傍での地盤調査結果 8)

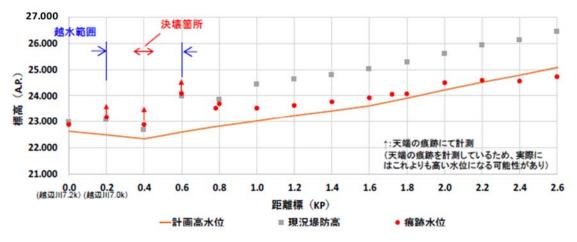


図 3.31 都幾川右岸 0.4k 決壊箇所の上・下流の痕跡水位 8)

(Bc1~Bc5)であり,基礎地盤部も沖積粘性土である。ただし,一部の拡幅・嵩上げ部に砂質土や礫質土が用いられている。これらの地盤条件を用いて浸透に対する安全性の評価が実施され,川表・川裏法面のすべりや川裏法尻部のパイピングに対する照査基準を満足することや決壊箇所付近や 100m 程度下流側でも噴砂や漏水が確認されていないことが報告されている。侵食に対しては,決壊区間の上下流で川表法面の侵食や高水敷上の侵食の痕跡は確認されていない。越水に対しては,図 3.31 に示すように都幾川右岸場の天端高と痕跡水位の調査が行われ,痕跡水位より都幾川右岸の 0.2k~0.6k の区間で現況堤防を上回る水位であったことが確認されている。

以上のことより,両箇所の決壊は,川裏部の堤防侵食,堤内地のフェンスの倒壊,また,痕跡水位の状況より越水による決壊と結論付けられている。

● 都幾川右岸 5.9k, 左岸 6.5k, 右岸 1.4k(県管理:神戸大橋より 200m 上流)/被害状況:決壊越辺川右岸 5.9k, 左岸 6.5k および右岸 1.4k(県管理)の各決壊箇所は,図 3.32 の治水地形分類図に示すように都幾川が台地を蛇行しながら開析して形成された氾濫平野部に点在する。これらの決壊箇所の堤防は,治水地形分類図上では暫定堤防であり,右岸 1.4k の現況堤防高は計画堤防高以下であり整備は完了していない状況であったことが報告されている ¹¹⁾。これらの地域は,図 3.32 からも都幾川の堤防と段丘面で囲まれていることがわかり,堤防決壊によりこの地域一帯で約 140ha の地域が浸水した。

図 3.33 は , 13 日に撮影された航空写真であり , 図 3.32 の氾濫平野部において決壊や溢水による浸水 被害が生じていることがわかる。また , 河川区域内には樹木が密集していることも確認でき , 河積

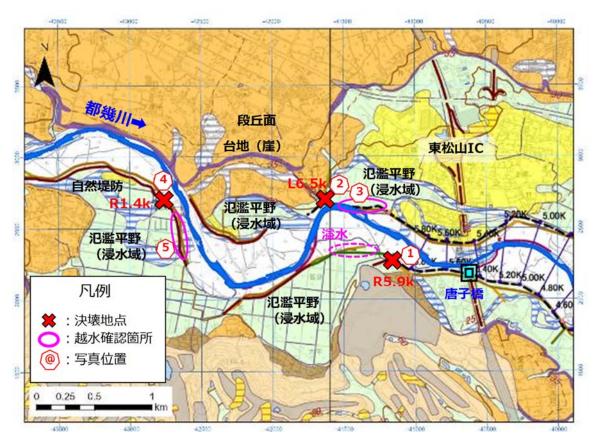


図 3.32 都幾川右岸 5.9k, 左岸 6.5k, 右岸 1.4k の決壊箇所周辺の治水地形分類図 3)に加筆



図 3.33 決壊地点周辺の状況 3)に加筆



図 3.34 都幾川右岸 5.9k の決壊の状況 (写真①)¹²⁾



図 3.35 都幾川左岸 6.5k の決壊の状況 (写真②)



図 3.36 都幾川左岸 6.2k 付近の越水に伴う川裏法面の侵食状況 (写真③)



図 3.37 都幾川右岸 1.4k 付近の決壊の状況 (写真④) ^{11)に加筆}

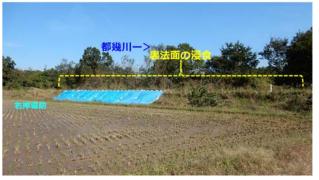


図 3.38 都幾川右岸 1.0k 付近の越水による川裏法面の侵食状況 (写真)

を阻害していたことが伺える。図 3.34 は , 都幾川右岸 5.9k 付近の決壊の状況であり ,約 20m にわたって決壊したことが確認されている。図 3.35 は ,都幾川左岸 6.5k の決壊の状況であり ,約 30m にわたって決壊したことが確認された。この箇所は ,都幾川に流入する小さな支川の取付部であった。図 3.36 は ,都幾川左岸 6.5k の決壊箇所から連続する左岸堤防であり ,越流による裏法面の侵食被害が確認されたが ,決壊は免れた。この区間は ,"危機管理型ハード対策"として川裏法尻部をコンクリートブロックによる対策 ¹³⁾が施されており ,施設能力を上回る今次出水による越水からの決壊に至らない好事例となった。図 3.37 は ,都幾川右岸 1.4k (神戸大橋より 200m 上流)の決壊の状況であり ,約 28m にわたって決壊し

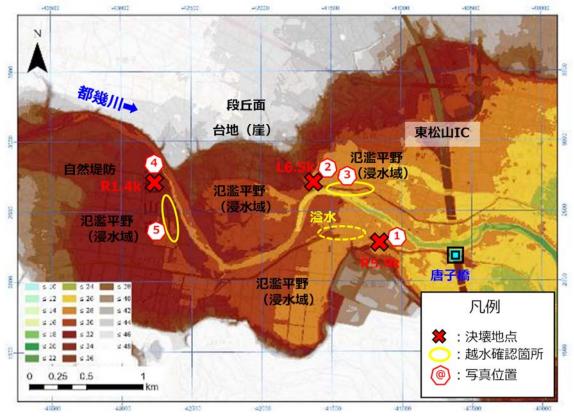
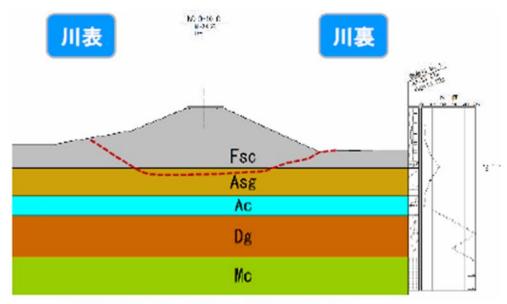


図 3.39 都幾川右岸 5.9k , 左岸 6.5k , 右岸 1.4k の決壊箇所周辺のデジタル標高地図 ^{3)に加筆}

たことが確認された。また,この決壊箇所の直上流では,越流による裏法面の侵食状況が確認できる。図 3.38 は,都幾川右岸 1.0 k 付近の越水による川裏法面の侵食被害の状況である。

図 3.39 は,図 3.32 と同じ範囲の 5mDEM である。これより,現地踏査により確認した浸水位や図 3.9 の唐子橋の河川水位と同図を比較すると,浸水域は右岸 1.4k の周辺では標高 33m 未満の氾濫平野の広い範囲となり,左岸 6.5k 付近では台地と関越自動車道の道路盛土に囲まれた標高 28m 未満の氾濫平野の広い範囲であることがわかる。

都幾川右岸 1.4k の決壊被害のメカニズムは,埼玉県河川砂防課 11)にて詳細に分析されている。ここではその概要を抜粋して示す。図 3.40 は,都幾川右岸 1.4k の決壊箇所の下流側の近傍で実施された地盤調査結果である。堤体は,細粒分を多く含み浸透性の低い砂質シルトで構成されており,基礎地盤の表層には沖積砂質土層 (Asg 層)が堆積している状況である。Asg 層は,細~中砂主体で 5~40mm 程度の円礫を混入する。これらの地盤条件を用いて浸透に対する安全性の評価が実施され,川表・川裏法面のすべりや川裏法尻部の浸透破壊に対する照査基準を満足することが確認されている。ただし,現地調査時に堤防基部からの湧水が確認されており,堤防決壊のひとつの要因として浸透破壊の可能性が示唆されている。侵食に対しては,決壊箇所の上下流とも植生により法面が保護されていたことによって,法面侵食は生じなかったものと推測されている。高水敷上は,上述したとおり樹木帯となっており,侵食は確認できない。また,高水敷上の植生は倒伏しているが流失していないことが確認されている。越水に対しては,図 3.41 に示すように決壊箇所の上下流の天端高と痕跡水位の調査が行われ,結果箇所の右岸 1.4k で現況堤防高を約 0.5m 超過していた痕跡水位が報告されている。堤防法線は都幾川の流向に対して水衝部とな



掘削後地盤高は、被災後断面写真より想定

図 3.40 都幾川右岸 1.4k の決壊箇所下流側での地盤調査結果 11)

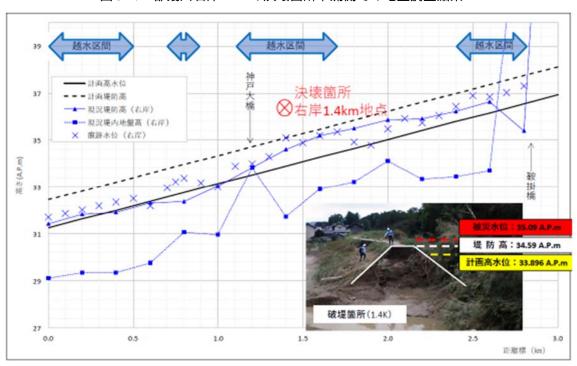


図 3.41 都幾川右岸 1.4k 決壊箇所の上・下流の痕跡水位 11)

り,越水しやすい形状であった可能性が考えられている。また,決壊箇所の上下流有堤区間では,多くの 箇所で越水していたことが報告されており,川裏法面や法尻部の洗堀被害も確認されている。

以上のことより,都幾川右岸 1.4k の決壊の主要因は,越水によるものと推定されているが,基礎地盤 部の浸透も副要因として結論付けられた。

● 新江川右岸 0.15k (県管理:山王樋門より 150m 上流) / 被害状況:決壊

新江川右岸 0.15k の決壊箇所は,図 3.42 の治水地形分類図に示すように台地沿いに新江川が流下し山王樋門で市野川に接続され,樋門より 150m 上流に位置する。新江川では,昭和 57 (1982)年9月の洪水の際に,浸水被害が生じ,その後に河道改修が進められてきた。これらの決壊箇所の堤防は,計画堤防高が確保された暫定堤防であった ¹⁴⁾。この決壊により,約 220ha の地域が浸水した。浸水した地域は,図 3.42 の氾濫平野部であり,段丘と市野川右岸堤防と梅ノ木古凍貯水池付近から続く盛土で囲まれているといった調整池のような地形的な特徴を有していた。

図 3.43 は , 13 日に撮影された航空写真であり , 図 3.42 の氾濫平野部において決壊や越水により , 段丘と市野川右岸堤防と梅ノ木古凍貯水池付近から続く盛土で囲まれている広い範囲での浸水被害が生じていることがわかる。図 3.44 は , 新江川右岸 0.15k の決壊箇所の状況である。これより決壊箇所の上下流では現況堤防高を上回る水位であったことが推定され , 越水による川裏法面の侵食被害が確認される。また , 決壊箇所の川裏法尻部には落堀れがあり , 法尻部の洗堀も確認されている。図 3.45 は , 山王樋門のフェンスに藁くずの付着状況であり , 山王樋門内において最高水位として標高 17.84m が確認されている。また , 山王樋門内の水位計より , 越水直後の越流水深は一時的に 37cm となっており , その後の約 6時間は現況堤防高に対して 15cm 程度の水位超過が継続していたものと推測されている ¹⁴⁾。図 3.46 は , 新江川右岸の決壊箇所から少し上流より下流側の堤内側の状況である。これより , 山王樋門から続く有堤区間の川裏法面の多くでブルーシートにより養生されていることが分かり , この区間を含む延長約 1.4km の区間において越水が確認されている。



図 3.42 新江川右岸 0.15k の決壊箇所周辺の治水地形分類図



図 3.43 決壊地点周辺の状況 9)に加筆



図 3.44 新江川右岸 0.15k の決壊の状況 (写真①) ^{14)に加筆}



図 3.45 山王樋門付近で確認された痕跡水位 (写真②)



図 3.46 新江川右岸 0.35k 付近の川裏法面の変状 (写真③)

新江川右岸 0.15k の決壊被害のメカニズムは ,埼玉県河川砂防課 ¹⁴⁾にて詳細に分析されている。ここではその概要を抜粋して示す。図 3.47 は ,新江川右岸 0.15k の決壊箇所の下流側の近傍で実施された地盤調査結果である。堤体は ,細粒土 (粘性土~シルト)で構成されており浸透性は低く ,基礎地盤の表層も沖積粘性土層 (AOc 層 ,Ac 層)が堆積している状況である。これらの地盤条件を用いて浸透に対する安全性の評価が実施され ,川表・川裏法面のすべりや川裏法尻部の浸透破壊に対する照査基準を満足することが確認されている。侵食に対しては ,決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食は確認されていない。また ,決壊箇所の低水路部はかごマットによる護岸であり破損等は確認されていない。越水に対しては ,図 3.48 に示すように決壊箇所の上下流の天端高と痕跡水位の調査が行われ , 0.15k 下流の山王樋門内の水位記録に対して ,決壊箇所でレベル湛水と仮定すると最大 0.37m 超過していたことが推定されている。また ,決壊地点で越水が継続した時間は 12 日 19:50~13 日 5:20 の 9 時間半と考えられ ,長時間にわたって河川水が氾濫していたことが推察される。なお ,新江川の水位より ,合流先の市野川の水位が高く ,逆流防止用の山王樋門のゲートが閉鎖したことによって ,新江川の排水先がなくなり ,新江川の水位が上昇したと考えられている。

以上のことより,新江川右岸 0.15k の決壊の主要因は,越水によるものと結論付けられた。

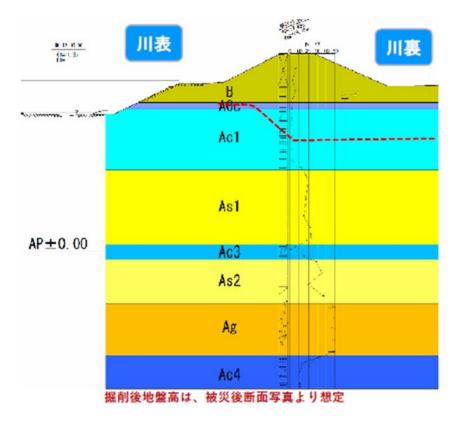


図 3.47 新江川右岸 0.15k の決壊箇所近傍での地盤調査結果 14)

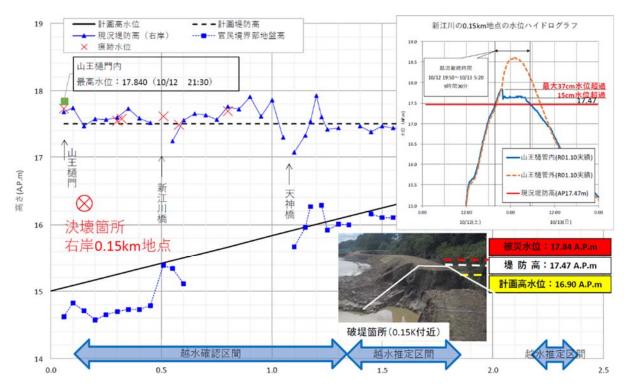


図 3.48 新江川右岸 0.15k 決壊箇所の上・下流の痕跡水位 14)

● 利根川水系福川左岸(福川水門から 400m 上流)/被害状況:裏法面の陥没,漏水



図 3.49 福川左岸堤防の陥没・漏水箇所周辺の治水地形分類図 3)に加筆

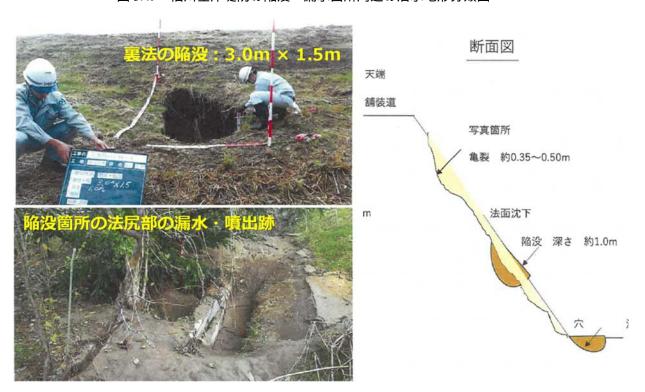


図 3.50 川裏法面の陥没および法尻部の漏水状況 15)



図 3.51 川裏法面の陥没および法尻部の漏水箇所の全景

福川左岸で確認された漏水箇所は,図 3.2.2.45 の治水地形分類図に示すように福川水門から 400m 上流に位置する。漏水および陥没箇所は,緩い湾曲部内岸にあたる。地元農家の方の話によると,この俵瀬地区は利根川右岸堤防と福川左岸堤防の末端であり,俵瀬排水機場が整備される以前は大雨の度に度々浸水被害が発生してきた場所である。図 3.50 は,川裏法面の陥没および法尻部の漏水状況である。川裏法面の陥没は,法面の中段付近で 3.0m×1.5m,深さ 1.0m であった。また,陥没法面の法尻付近で漏水および噴砂跡が確認されており,堤体もしくは堤体基底部が浸透によるパイピングにより土砂が流出することで陥没が生じたものと推察される。図 3.51 は,陥没箇所の全景であるが,法面陥没が確認された周辺では法尻部に小規模な漏水や噴出跡が確認された。また,地元の農家の方の話では,堤防内にモグラやネズミといった小動物の巣穴が多数あるとのことで,小動物の巣穴が水ミチとなり被害を進展させた可能性も考えられる。

参考文献・参考資料

- 1) 埼玉県:台風19号等による被害状況及び県の対応状況について(第37報), https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2019/1223-08.html, (2020年5月4日閲覧)
- 2) 国土交通省: 令和元年台風第 19 号等による被害状況等について(第 54 報), https://www.mlit.go.jp/s aigai/saigai 191211.html, (2020 年 5 月 4 日閲覧)
- 3) 地理院タイル: https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html , (2020年5月4日閲覧)
- 4) 国土交通省国土調査:土地分類基本調査及び水系調査, http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclas sification/download/index.html, (2020年5月4日閲覧)
- 5) 国土交通省水門水質データベース: http://www1.river.go.jp/,(2020年5月4日閲覧)
- 6) 毎日新聞: https://mainichi.jp/articles/20191026/ddm/041/040/036000c , (2020年5月4日閲覧)
- 7) 国土交通省国土調査:災害履歴地図(埼玉・千葉・茨城地区 5.川越), http://nrb-www.mlit.go.jp/kokj o/inspect/landclassification/land/land history 2011/pdf flood.php, (2020年5月4日閲覧)
- 8) 国土交通省関東地方整備局:堤防調査委員会第3回荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会説明資料, https://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000216.html,(2020年5月4日閲覧)

- 9) 撮影・写真提供:株式会社パスコ/国際航業株式会社,https://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai0000021 6.html
- 10) 国土交通省関東地方整備局:堤防決壊箇所のドローン映像, https://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai000 00214.html, (2020 年 5 月 4 日)
- 11) 埼玉県河川砂防課: 令和元年台風 19 号洪水による堤防決壊調査報告書 一級河川荒川水系都幾川, http://www.pref.saitama.lg.jp/a1007/documents/teiboutokigawa.pdf, (2020 年 5 月 4 日閲覧)
- 12) 国土交通省関東地方整備局:記者発表資料(令和2年4月10日), https://www.ktr.mlit.go.jp/kisha/river_00000533.html,(2020年5月4日閲覧)
- 13) 国土交通省:荒川水系(埼玉県域)の減災に係る取組の実施状況, https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_c ontent/content/000754894.pdf, (2020年5月4日閲覧)
- 14) 埼玉県河川砂防課: 令和元年台風 19 号洪水による堤防決壊調査報告書 一級河川荒川水系新江川, http://www.pref.saitama.lg.jp/a1007/documents/teibousinegawa.pdf, (2020 年 5 月 4 日閲覧)
- 15) 埼玉県熊谷県土整備事務所: 災害第 1 報 , 一級河川福川/熊谷市俵瀬地内 (2019 年 10 月 14 日 17 時現在)より

3.2.3 茨城県内の被害

(1)那珂川とその支川

1)概要 1)

那珂川は福島県と栃木県の県境に位置する那須岳(標高 1,917m)に発し,栃木県,茨城県を流下し,県庁所在地の水戸市を流れ,ひたちなか市と東茨城郡大洗町の市町境を通り,太平洋に至る河川である(図 3.52)。流域面積は栃木県,茨城県,福島県の約 3,270km²,幹川流路延長は約 150km,流域内人口は約 92 万人となっている一級河川である。流域は約 74%が山林等,約 22%が農地,約 5%が宅地等となっている。

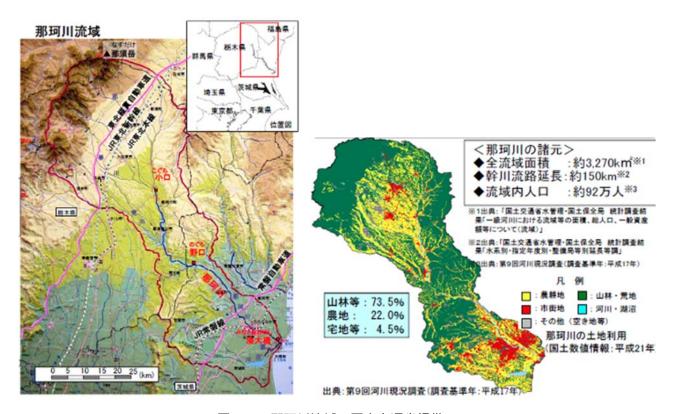


図 3.52 那珂川流域(国土交通省提供)

2)被災箇所と出水状況

久慈川とその支川における堤防決壊箇所を図 3.53 に示す。茨城県内の国管理区間では,常陸大宮市野口地先,常陸大宮市下 伊勢畑地先,那珂市下江戸地先において決壊が発生した。県管理河川では,水戸市藤井町地先(那珂川水系藤井川)、水戸市成沢町地先(那珂川水系藤井川)にて決壊が発生した。



図 3.53 那珂川とその支川の堤防決壊箇所

表 3.6 に示すように,那珂川の大田原で観測された台風 19 号による 2 日雨量は 340 mm であり,平成 14 年台風 6 号による既往最大の 2 日雨量 282 mm を大きく上回る記録的な大雨となった 2° 。また,表 3.7 に,那珂川の野口観測所における台風 19 号による最大水位と既往最大水位(昭和 33 年台風 11 号時) 2° を示す。図 3.53 に示すように,野口観測所は堤防決壊箇所の近傍に位置する。同表から分かるように,今回の台風による最大水位は既往最大水位や氾濫危険水位を超えている。

表 3.6 那珂川の代表的な観測地点での 2 日雨量 2)

観測所	台風 19 号に よる 2 日雨量	既往最大 2 日雨量
大田原	340 mm	282 mm

表 3.7 那珂川の代表的な観測地点での最大水位 2)

観測所	台風 19号に よる最大水 位	氾濫危険 水位	既往最大 水位	
野口	28.2 m	25.9 m	27.3 m	

3)被災状況調査

那珂川左岸 40.0k 付近(常陸大宮市野口)

当該箇所は上流側が約 200m にわたり決壊した。その下流側も 500m 程度にわたり越流の痕跡がみられた。

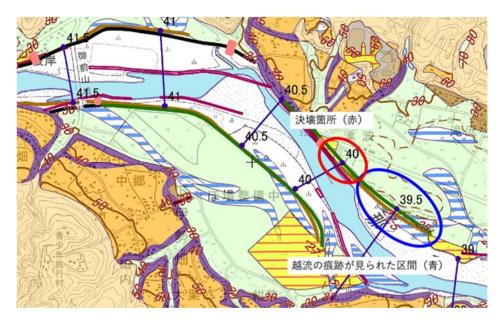


図 3.54 調査箇所(治水地形分類図(国土地理院))

調査時点(2019年11月9日)では,決壊した上流側の応急復旧はブロックマットの三面張で実施済であった。決壊箇所の堤内地側には,決壊後の氾濫流により被害を受けたビニールハウスが存在し,流れの激しさをうかがい知ることができた。



図 3.55 応急復旧



図 3.56 堤内地状況

決壊箇所の下流側には,決壊には至らなかったものの,越流が発生したと思われる天端道路の砂の痕跡や,裏法肩付近の侵食がみられた。特に,裏法肩付近の侵食は,以下の様に越流による堤体の損傷の過程を類推できるものが観察された。なお,法肩部はこのような損傷がみられたものの,法尻部には噴砂やすべりなどの変状は特に見られなかったことから,浸透による堤体の損傷の可能性は低いと類推される。

段階1:植生が損傷し,堤体の侵食が始まる

段階2:堤体の侵食が進行し,比較的小粒径の土砂が流失

段階3:さらに侵食が進行し,比較的大きな礫等も流出が始まる

段階 4: 法肩部が天端アスファルト端部から堤体法面が垂直になり始める



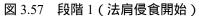




図 3.58 段階 2 (小粒径流出)



図 3.59 段階 3 (礫等侵食)



図 3.60 段階 4 (法肩部まで崩壊)

那珂川右岸 41.2k 付近(常陸大宮市下伊勢畑)

当該箇所では,長さ約 265 m にわたって決壊が生じた。図 3.61 に復旧作業状況(2019 年 10 月 17 日)を示す。図 3.62 のように堤外地側法面には目立った異常は認められなかったが,堤内地側法面においては大きな侵食痕があった。また、決壊箇所周辺では浸透やパイピングの痕跡を確認できなかった。したがって,本箇所は越流により裏法面が侵食されて破堤に至ったものと推察される。



図 3.61 那珂川右岸 41.2 k の復旧状況 (2019.10.17)





図 3.62 那珂川右岸 41.2 k における堤外地側(左)と堤内地側(右)の法面(2019.10.17)

藤井川左岸(水戸市成沢町)

当該箇所では,約 16~m の距離を隔てて 2~ 箇所の決壊が生じた。図 3.63~ に復旧状況(2019~ 年 10~ 月 28~ 日)を示す。応急復旧として,決壊区間に大型土のうを積み上げた後,堤外地側法面をブルーシートで覆っている状況にあった。上流側の決壊箇所は長さ約 29~m,下流側の決壊箇所は長さ約 11~m にわたっていた。また,決壊箇所周辺では噴砂や漏水等の痕跡を確認できなかった。本箇所の少し下流側では前沢川との合流部があるため,これにより一時的に増水し越水が発生した結果,裏法面が侵食され破堤に至った可能性が考えられる。



図 3.63 藤井川左岸の堤外地側法面の復旧状況 (2019.10.28)

(2)久慈川とその支川

1)概要 3)

久慈川は福島県,茨城県と栃木県の県境に位置する八溝山(標高 1,022m)に発し,福島県,茨城県を流下し,日立市と東海村の市村境を通り,太平洋に至る河川である。流域面積は栃木県,茨城県,福島県の約 1,490km²,幹川流路延長は約 124km,流域内人口は約 19 万人となっている一級河川である。流域は約 88%が山林等,約 11%が農地,約 1%が宅地等となっている。

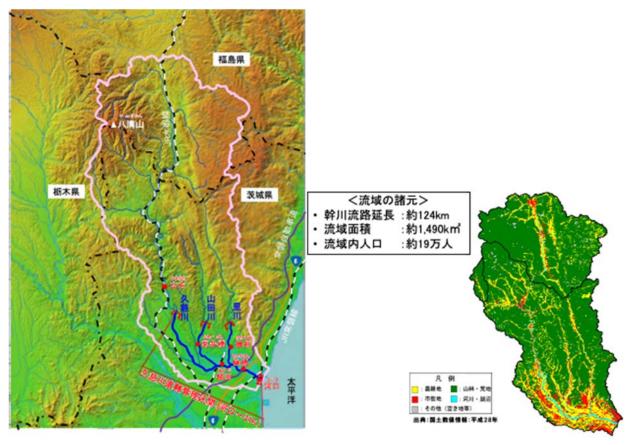


図 3.64 那珂川流域(国土交通省提供)

2)被災箇所と出水状況

那珂川とその支川における堤防決壊箇所を図 3.65 に示す。茨城県内の国管理区間では,常陸大宮市富岡 地先,常陸大宮市塩原地先,常陸大宮市下町地先にて決壊が発生した。県管理区間では,常陸大宮市小貫地先(久慈川),常陸太田市茅根町地先(久慈川水系里川),常陸太田市常福地町地先(久慈川水系里川),常陸太田市松栄町地先(久慈川水系浅川)において決壊が発生した。

久慈川の山方,天下野で観測された台風 19号による 2日雨量と昭和 61年台風 10号による既往最大の 2日雨量 2)を表 3.8に示す。今回の雨量は既往最大を上回るかそれに匹敵するものであり,記録的な大雨であったことが分かる。表 3.9に,久慈川の山方観測所における台風 19号による最大水位と既往最大水位(昭和 16年台風 8号時) 2)を示す。当該観測所は堤防決壊が発生した小貫地先に比較的近い(図 3.65)。同表から分かるように,今回の台風による最大水位は既往最大水位に匹敵するものとなっている。



図 3.65 久慈川とその支川の堤防決壊箇所

表 3.8 久慈川の代表的な観測地点での 2 日雨量 2)

観測所	台風 19 号に よる 2 日雨量	既往最大 2 日雨量	
山方	$255 \mathrm{mm}$	214 mm	
天下野	212 mm	222 mm	

表 3.9 久慈川の代表的な観測地点での最大水位 2)

観測所	台風 19 号に よる最大水位	既往最大 水位	
山方	42.7 m	44.3 m	

3)被災状況調査

久慈川左岸 25.5k (常陸大宮市富岡)

当該箇所では,長さ約 100~m にわたって決壊が生じた。図 3.66 に復旧作業状況(2019 年 10~月 17~日)を,図 <math>3.67 に決壊箇所背後の堆積土砂の状況を示す。また,本決壊区間と連続したすぐ隣の下流側では,堤内地側の法面(裏法面)が 200~300~m にわたって侵食を受けた。周辺箇所では浸透やパイピングの痕跡を確認できなかったことから,本箇所は,堤防上部の越流により裏法面が侵食されて破堤に至ったものと推察される。



図 3.66 久慈川左岸 25.5 k の復旧状況 (2019.10.17)



図 3.67 久慈川左岸 25.5 k の決壊に伴う堆積土砂 (2019.10.17)

久慈川左岸 34.0 k (常陸大宮市小貫)

当該箇所では,長さ約70mにわたって決壊が生じた。図3.68に復旧状況と決壊区間背後の堆積土砂の状況(2019年10月30日)を示す。堤内地,堤外地側ともに法尻部には安定化を図るために大型土のうが置かれていた。決壊箇所周辺では浸透やパイピング等の痕跡を確認できなかったことや大規模な堆積土砂が堤内地側に存在したことから,本箇所は越流により裏法面が侵食されて破堤に至った可能性が高いと推察される。本決壊箇所とその付近は,図3.69のように応急復旧された。



図 3.68 久慈川左岸 34.0 k の復旧状況 (2019.10.30)



図 3.69 久慈川左岸 34.0 k における護岸ブロックの施工状況 (2019.10.30)

里川右岸(常福地町)

里川右岸では,赤須橋を境に長さ約80m,120mにわたって決壊が生じた(一部区間は堤防欠損)。図

3.70 に復旧状況(2019 年 10 月 30 日)を示す。図 3.71 に示すように,赤須橋は短い橋ではあるが 6 径間である。付近の住民によるブログでは,今回の台風による増水時に橋脚や橋桁に流木等が引っかかっている写真が掲載されており,これにより増水が加速され決壊に至った可能性がある。



図 3.70 里川右岸の復旧状況 (2019.10.30)



図 3.71 赤須橋と周辺状況 (2019.10.30)

里川左岸(茅根町)

里川左岸では長さ約 55 m にわたる決壊が生じた。図 3.72 に示すように ,決壊箇所に大型土のうを積むことで応急復旧を図っているような状況にあった (2019 年 10 月 30 日時点)。



図 3.72 里川左岸の復旧状況 (2019.10.30)

浅川右岸 1.5 k (常陸太田市松栄町)

当該箇所では,長さ約40 mにわたる決壊が生じた。図3.73に復旧状況(2019年10月30日)を示す。 決壊箇所背後の住宅では,2.3 m程度の浸水が発生したと推察される痕跡が残っていた。那珂川・久慈川 堤防調査委員会の報告書⁴⁾によると,本決壊箇所については,写真により堤内地側から本川に越水してい る状況が確認されており,上下流の堤防残存部では堤外地側の法肩の侵食が確認されたことから,堤内 地側からの越水が決壊の要因になったと推定されている。応急復旧にあたっては,常陸大宮市小貫の決 壊箇所と同様に,法尻部には安定化を図るための大型土のうが設置されていた。



図 3.73 浅川右岸 1.5 k の復旧状況 (2019.10.30)

参考文献・参考資料

- 1) 国土交通省関東地方整備局:那珂川水系河川整備計画【大臣管理区間】の概要,2016.
- 2) 国土交通省 関東地方整備局: 令和元年東日本台風 (台風第19号) 出水速報 (第4報), 2020. (https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000773445.pdf)
- 3) 国土交通省関東地方整備局:久慈川水系河川整備計画【大臣管理区間】の概要,2018.
- 4) 那珂川・久慈川堤防調査委員会: 第 1~3 回委員会資料, 2019 (https://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai000000216.html)

3.2.4 栃木県内の被害

(1) はじめに^{1),2)}

栃木県では,台風 19号の接近,通過に伴い,県内広い範囲において,大雨や暴風の被害が発生した。県管理の一級河川は栃木県県土整備部が管理していることから,河川の出水対応も当該部で行っている。ここでは栃木県県土整備部河川課がとりまとめた資料を基に,栃木県内河川の堤防の被災状況及び復旧状況を報告する。

図 3.74 に台風 19 号の経路と栃木県の位置相関図 , 図 3.75 に栃木県内各地のアメダス積算降雨分布図を示す。降雨の状況は , 10 月 11 日から 13 日朝にかけて降雨があり , ピークは 12 日夜 , 気象庁の栃木県への大雨特別警報は 10 月 12 日 19:50 に県内 14 市町に発表し , 13 日 2:20 解除となっている。11 日 0:00 から 13 日 9:00 までの総降雨量は多い順に 奥日光:512.5 mm , 足尾:438.5 mm , 土呂部:424.5 mm , 塩谷:423.0 mmの順であり山間部中心に大雨となっている。図 3.76 は奥日光地区における降雨時刻歴であるが , ほぼ 10 月 12 日に集中して降雨があったことが観察できる。なお , 栃木県内各地の降雨量の計測値は , 月平均降雨量の 2 倍以上を観測している。

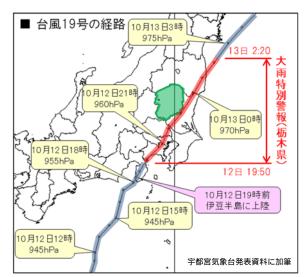


図3.74 台風19号の経路と栃木県の位置相関図1)

図3.75 栃木県における台風19号のアメダス積算降雨量分布1)

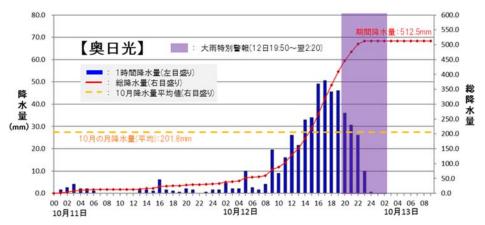


図3.76 奥日光地区における降雨時刻歴10※宇都宮気象台発表資料に加筆

図 3.2.4.4 に台風 19 号時に観測された 24 時間最大降雨と平成 27 年 9 月関東・東北豪雨時の 24 時間最大豪雨の値を併記した地図を示す。平成 27 年 9 月関東・東北豪雨と比較した場合, H27 年時の豪雨では多量の降雨が栃木県内では局所的に起こったのに対し,今回の豪雨では,300 mm超の降雨が広い範囲で観測されている。



図3.77 24時間最大雨量におけるH27年豪雨災害時と 今回の台風19号との比較 栃木県県土整備部より提供



図3.78 台風19号における栃木県内の氾濫注意 水位超過河川 栃木県県土整備部より提供

(2)河川水位の状況

県内30河川,47水位観測所において氾濫注意水位を超過し,内5河川(田川,秋山川,荒川,永野川,蛇尾川)において,12日深夜から13日早朝まで氾濫発生情報が発表されている。図378に栃木県内の氾濫注意水位を超過した河川の位置を示す。これによると,ほぼ県内全域にわたり氾濫注意水位を超えている河川が分布していることがわかる。さらに,例として一級河川田川 明治橋水位観測所のデータを図3.79に示す。これによると12日15:00頃から,降雨が10時間以上降り続いたことにより約9時間にわたり当該河川では氾濫危険水位を超過していたことがわかる。これらの降雨による河川水位の状況により,図3.80に示す5つの一級河川で氾濫発生情報が10月12日深夜あるいは10月13日早朝に発表されている。

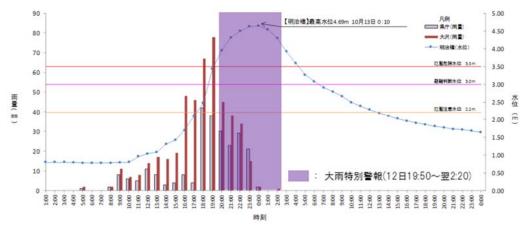


図3.79 一級河川田川 明治橋水位観測所の水位データ 栃木県県土整備部より提供



図3.80 栃木県内の氾濫発生情報発表河川 栃木県県土整備部より提供

(3) 栃木県管理河川の決壊,越水・溢水について

栃木県管理河川の決壊,越水・溢水箇所は非常に件数が多く,決壊:13河川,27箇所。越水・溢水:32河川,40箇所となる。以下,図3.81中にある一級河川について決壊,越水・溢水箇所の被災事例を河川毎に示す。



図3.81 栃木県管理河川の決壊,越水・溢水箇所の分布 栃木県県土整備部より提供

一級河川 蛇尾川(被災地:大田原市北大和久地区 千丈橋下流)

当該地区では,上流側の出水により左岸堤防1箇所において決壊が発生した。上流側の決壊延長は150mであり(図3.82),あふれ出た水が堤内地に流れ込み,田畑等66haで浸水被害が発生した(図3.83)。この堤防の応急復旧は、大型土嚢積により10月21日までに完了している(図3.84)。

決壊箇所は,河川が下流側に向け右側へ急角度で湾曲した箇所であり,堤体も周辺土砂を使用した古い盛土構造であり,拳大の玉石が多量に含む砂質土で築堤されていた(図 3.85)。 破堤した状況や堤体の土質状況に加え,周囲の地形,河川の状況からすると,豪雨により河川が増水し,破堤しやすい状況下におかれた箇所が外力に耐えられず崩壊したと推測される。





図3.82 蛇尾川の決壊個所の様子と被災状況 (左:上流側から,右:左岸側から) 栃木県県土整備部より提供



図3.83 決壊個所の位置と湛水箇所 栃木県県土整備部より提供



図3.84 破堤箇所の復旧の様子(土嚢積による応急復旧) 栃木県県土整備部より提供









図3.85 決壊個所の堤防被災状況と堤防断面の様子 (堤体中には多くの玉石が含まれ,周辺土砂を利用し築堤したことが推測される)

●一級河川 思川 (被災地:鹿沼市口粟野地区,久野地区(天満橋下流))³⁾

思川(鹿沼市口粟野,久野地区)では,4箇所が破堤した。この結果により浸水面積約152ha浸水家屋237戸の被害が発生している。該当河川流域に位置する粟野観測所では、時間雨量最大53mm、24時間雨量398mmを記録している。図3.86は,思川の決壊箇所(鹿沼市)の平面図である。また,図3.87は,図3.86中の箇所の被災状況と復旧状況である。



図3.86 思川決壊個所(鹿沼市 天満橋下流)の状況3)

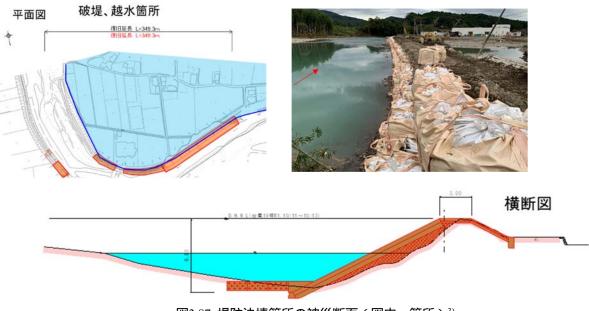


図3.87 堤防決壊箇所の被災断面(図中 箇所)3)

破堤箇所は,図3.86 や図3.87 に示す通り,河川が蛇行している湾曲部で破堤が生じており,地形的に破堤した箇所の堤防は,水圧等の外力がかかりやすい状況に置かれている。

そのほか,堆積土砂などにより河川部において河積が不足していることも破堤の原因と推測されており,このため,河川の施設被害について,原形復旧のみでは,再度災害の防止が図られないとの判断から未災箇所を含めた一連区間 3.2km において,堤防法線の是正や河道掘削による河積の拡大等の改良復旧が行われる予定である(図 3.88 は復旧事業の概要)。

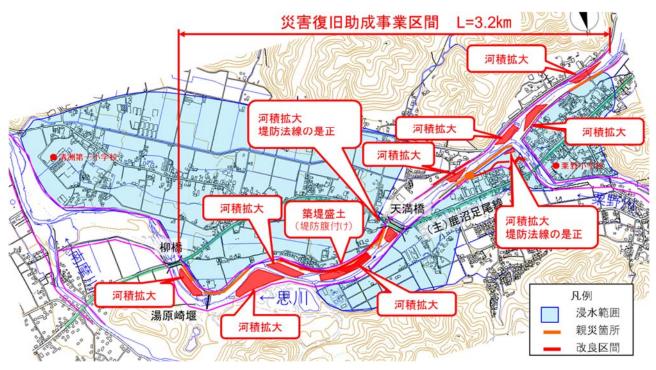


図3.88 思川 被災箇所の改良復旧事業について3)

一級河川 秋山川 (被災地:佐野市赤坂町地区 海陸橋上流)4)

台風第 19 号に伴う豪雨により秋山川の秋山台観測所では,時間雨量最大 57mm、24 時間雨量 471mmを記録している。このため,2 箇所の破堤により浸水面積約 899ha し,床上浸水 1,411 戸・床下浸水 636 戸(合計 2,047 戸)の甚大な被害が発生している。図 3.89 は,佐野市内の秋山川破堤箇所の周辺状況を示したものであり,被災地区付近を流下する河川は,東部を南に流下する三杉川,佐野市街地の中心付近を南に流下する秋山川及び才川,西部を南に流下する旗川とその支流である出流川が確認される。各河川とも渡良瀬川に合流し渡良瀬遊水地に入る。同図にある通り,被災箇所周辺は,低地が各河川の両岸に広く分布する氾濫平野の部分である。被災箇所付近に対して行った地質調査結果における堤防の土質試験結果 5) では,堤体は,暗茶灰~暗茶褐~暗灰色を呈す盛土で,粘土質細砂及び砂混り粘土土を主体とし草根及び礫・コンクリートガラ等を混入していると記載されてる。またボーリング調査における N 値は 2.6~3.8 の範囲であり「非常に緩い・軟らかい」状態であったようであるが,実際の破堤箇所の堤防の N 値が上記の値程度であったかは不明である。



図3.89 秋山川決壊個所(佐野市)の周辺状況4)





図3.90 秋山川決壊個所の状況49

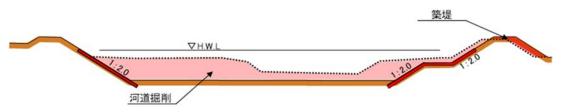


図3.91 秋山川決壊個所(佐野市)の河川断面状況4)

図 3.90 は破堤した箇所の状況を示したもの,図 3.91 は,破堤箇所の横断図である。応急復旧は,13 日に復旧工事に着手後に大型土嚢積にて14 日に仮堤防を築堤し対応している。今回被災した箇所のうち,流下能力不足箇所が指摘されている箇所については,堤防の修復と合わせ河道掘削による河積の拡大の他,堤防嵩上げにて整備を行う予定である。図 3.91 中のピンク色の部分について掘削し,被災箇所の河積の拡大を行う予定である。なお,秋山川については,多田町地内の安蘇川橋 橋脚が河床洗堀により沈下する被害も生じている(図 3.92)。



図3.92 安蘇川橋の橋脚が河床洗堀により沈下4)

●一級河川 永野川 (栃木市大平町下皆川)⁶⁾

永野川流域内の栃木雨量観測所では 305mm, 流域近傍の葛生雨量観測所で 416.5mm を観測し, 永野川の大平橋上観測所(洪水予報基準点)では氾濫危険水位(4.70m)を超過する 4.96m の最高水位を観測,下流の山下橋観測所では水位上昇途中で欠測するなど多量の雨とそれに伴う永野川の増水が生じた。このような状況から栃木市内で越水や破堤(5箇所)を起こし,市街地部浸水面積約 934ha,家屋5,164 戸以上の浸水被害が発生した。なお,市街地の越水によりJR線も被災している。永野川の護岸等施設被害は全 45 箇所,このうち市街地部で連続する被災箇所は 17 箇所である。図 2.93 は,栃木市内市街地中の永野川被災箇所の平面図である。

破堤周辺箇所に実施された既往の地盤調査 ⁷⁾から,堤体は,細砂主体の盛土材で築造されていることが分かっている。越流や破堤箇所は,他の河川同様に河道が蛇行しカーブを描いた箇所に多く見られており,洪水時に堤体に外力がかかり易い箇所であったことが推測される。

今回被災した箇所のうち,流下能力不足箇所が指摘されている箇所については,堤防の修復と合わせ 河道掘削による河積の拡大の他,堤防嵩上げにて整備を行う予定である。



図3.93 栃木市市街地内の永野川被災箇所の概要 浸水域は被災直後の概略調査結果による

(4) おわりに

栃木県内では,これまでも,昭和61年茂木水害,平成10年那須水害,平成27年関東・東北豪雨などの災害を経験し,行政機関等が水害への対策を行ってきた。今回の台風19号による被害事例についても,過去の事例同様に,今後の水害対策に活かしていただければ良いと考える。

本節で記載されている栃木県内の各河川の被災情報は,栃木県県土整備部河川課より提供いただきました情報を基に取りまとめを行いました。栃木県県土整備部河川課の職員の皆様にはここに記して御礼申し上げます。

参考文献・参考資料

- 1) 宇都宮地方気象台: 令和元年 台風第 19 号に関する栃木県気象速報 (10 月 17 日修正版), 2019. https://www.jma-net.go.jp/utsunomiya/img/20191012sokuhout201919.pdf (参照 2020-5-20)
- 2) 気象庁: 令和元年東日本台風(台風第 19 号)による大雨、暴風等 令和元年(2019 年)10 月 10 日 ~ 10 月 13 日(速報), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html (参照 2020-5-20)
- 3) 栃木県:思川,災害関連査定設計業務委託その25(災害調査)報告書,2019.
- 4) 栃木県:永野川,一級河川永野川浸水対策検討業務委託報告書,2019.
- 5) 栃木県:国庫補助事業 地質・土質調査業務委託(基幹河川改修費)報告書,2006.
- 6) 栃木県:浸水対策検討業務委託 秋山川その41(災害調査)報告書,2019.
- 7) 栃木県:地質土質調査業務委託 秋山川その 42(安全川補)報告書,2018.

3.2.5 東京都内の被害

(1)被害概要

東京都内では台風 19 号により死者 1 名 , 軽傷者 11 名の人的被害があった。東京都内の建物被害については表 3.10 に示すにように浸水被害を中心に数多くの被害が生じた 1)。この東京都内の建物被害のうち , その棟数が 30 以上あった被害の多い区市町村を表 3.11 に抜粋する。これをみると , 江戸川区以外の建物被害が多い 2 区 5 都市は , 図 3.94 に示す 2,3) 多摩川とその支川に接する地域に集中していることがわかる。そのため , この報告では多摩川とその支川の堤防に着目し , その被害について記載する。

台風 19 号における多摩川周辺の洪水被害は,下流域において無堤防区間の溢水(二子玉川駅周辺), 玉堤,野毛(世田谷区),武蔵小杉(神奈川県川崎市)における内水氾濫,バックウォーター現象による多摩川の支川である平瀬川での溢水があった。上流域においは,多摩川の支川である秋川(あきる野市),南浅川(八王子市)で氾濫が起こった。堤防自体に着目すると東京都においては堤防の決壊は起こらず 4),堤防自体の被災は部分的なものにとどまっているようである。

	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	非住宅	非住居
	王坛					(公共建物)	(その他)
	27	174	460	816	706	28	25

表 3.10 台風 19 号における東京都内の建物被害 1)

表 3.11 台風 19 号における建物被害が多数生じた区市町村の被害(被害棟数 30 以上を抜粋) 1)

区市町村名	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	非住宅 (公共建物)	非住居 (その他)
大田区	2	61	129	203	267		
世田谷区			90	372	42		
八王子市		2	15	24	45		
青梅市	2	6	13	6	17		
調布市				50	64		
狛江市			3	97	183		
あきる野市	17			38	43		
江戸川区		1	41			15	5



図3.94 多摩川流域と直轄(国交省管理)の水位観測所の位置2,3)

(2) 多摩川流域における降雨状況と河川水位 5,6)

台風 19 号による降雨は多摩川流域においては,10 月 11 日の 13 時頃から開始し,台風 19 号が通過するまで,それぞれの雨量観測所おいて図 3.95 に示す累加雨量を記録した。この流域で最大の累加雨量を示したのが,檜原雨量観測所(檜原村)で654 mmを記録した。これは同観測所において観測史上最大の累加雨量である。一方で最下流に位置する観測所である田園調布(下)(大田区)ではこの流域の雨量観測所で一番少ない241 mmの累加雨量を記録した。短期的な1時間降雨については,上流域に位置する御岳(青梅市),檜原雨量観測所において,56mmの降雨を観測している。代表的なものとして上流域および下流域に位置する2つの雨量観測所で記録した時刻歴の降雨量と累加雨量を図3.96 に示す。上流域の小河内においては,連続した降雨が約1.5 日程度続いたのに対して,下流域の田園調布(下)においては,連続的な降雨の期間は約1日であった。(雨量観測所の位置は図3.95を参照)

図 3.94 に示す多摩川河口以外で観測された各水位観測点の時刻歴の水位を図 3.97 に示す。それぞれの水位は既往最高水位を超えたものであった。台風 19 号の通過によって下流域の田園調布(下)(最高水位:10.81m),中流域の石原(最高水位:6.33m),支流の浅川橋(最高水位:3.65m)の水位は,計画高水位を超えた超過洪水の状態であった。(それぞれの計画高水位は,10.35,5.94,3.58mである)上流の調布橋,支川にある報恩橋では,水位が氾濫危険水位を超え,上流部の日野橋の水位は,氾濫注意水位を超過していた。それぞれの水位観測所で記録した水位のピークは,東京湾の影響を受ける河口部を除くと 10 月 12 日 20 時 50 分~10 月 12 日 22 時 50 分の 2 時間の間に存在した。

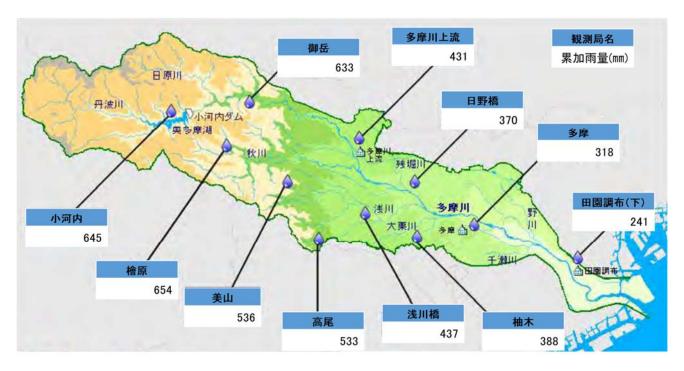


図3.95 台風19号による多摩川流域雨量観測所における累加雨量6)

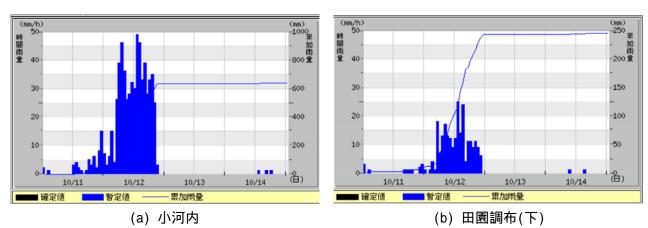
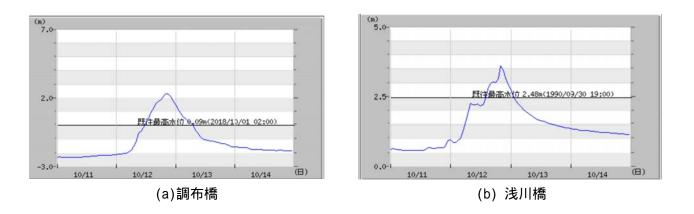


図3.96 台風19号による多摩川上流域(a)と下流域(b)の時間雨量図雨 水文水質データベース⁷⁾より作成(期間2019年10月11日~14日)



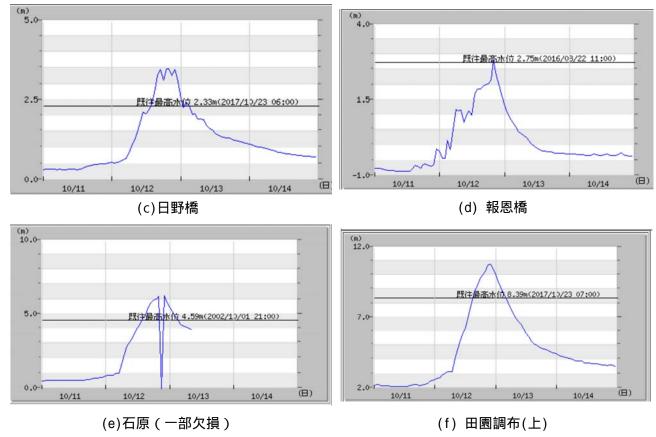


図3.97 台風19号による多摩川水位観測所での水位の時刻歴 水文水質データベース⁷⁾より作成(期間2019年10月11日~14日)

(3) 東京都内の多摩川堤防の被害箇所

ここでは,東京都内の多摩川水系で確認された特徴的な堤防の損傷事例などを報告する。なお,東京都においては,決壊にいたる堤防の被害はなかった。国土交通省が管理する多摩川水系の区間においては,堤防自体の被災は11か所(漏水,護岸陥没および崩壊,洗掘等),関連構造物の流出や損傷が6か所報告されている(水制や桟橋流出,設備損傷等)8)。都道府県管理の河川については,河岸侵食が7件(秋川,浅川,南秋川),護岸崩壊が2件報告されている8)。また,多摩川との接続部周辺の平瀬川については,バックウォーター現象による溢水被害も生じている(神奈川県川崎市)。

● 多摩川左岸 12.8k (大田区) / 被害状況:漏水

国土交通省の「令和元年台風第 19 号等による被害状況等について(第 54 報 8)」で報告されている多摩川水系の唯一の漏水被害である。この漏水箇所は,図 3.94 における田園調布(上)水位観測所付近に位置しており,この時記録された水位が図 3.97 (f)である。漏水被害は高水位の継続時間にも関係することから,高水位の継続時間を確認すると,計画高水位(10.35m)を超えた超過洪水の時間が約 3 時間,氾濫危険水位を超過していた時間が約 14 時間であった。筆者らが該当箇所を調査した 10 月 14 日においては,すでにこの時,該当箇所は月の輪工法によって応急処置がされていた。(図 3.98)また,治水地形分類図 9)を見ると(図 3.99),この箇所は氾濫平野に分類され,漏水が多いとされている旧河道や地

形区分の境界部分という場所ではなかった。なお,この漏水の応急処置の様子は,国土交通省関東整備局,京浜河川事務所による「台風第 19 号出水概要」⁶⁾から引用し,図 3.100 に記載する。



図3.98 漏水箇所の様子 (2019年10月14日撮影)



図3.99 治水地形分類図と漏水箇所9)



図3.100 漏水箇所の応急処理の様子6)

● 多摩川左岸 17.8k (世田谷区) / 被害状況:溢水

無堤防区間における溢水である。溢水箇所を図3.101に記す。この箇所は,東急電鉄二子玉川駅付近の二子橋上流側に位置する。無堤防区間であるが土嚢を積んで対策を行っていた。しかし,台風により河川水位がこれを超え,溢水した。この溢水により河川水は下流側の暫定堤防と旧堤防の間に流れ,面積で約0.7ha,約40の家屋が浸水被害を生じた50。



図3.101 多摩川左岸17.8k 溢水箇所 10) に加筆

● 多摩川左岸 23.4k (狛江市) / 被害状況:高水敷の洗掘,崩壊

高水敷の洗掘,崩壊箇所である。洗掘,崩壊箇所は,340mにおよぶ⁸⁾。Google Earth で確認できる当該区間の被害前の様子を図3.102に示す。この区間は,低水護岸工事により低水護岸がコンクリートプロックやかごマットで補強されている。台風19号後に調査したこの高水敷の様子を写真3.103に示す。台風による洪水で低水護岸工事の際におそらく高水敷に埋め戻した土が洗掘し,その洗掘深さは深いところで1mを超えていた。なお,低水護岸のかごネットやコンクリートブロックには目立った損傷はなかった。

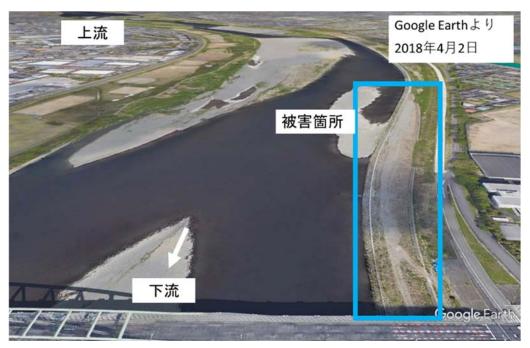


図3.102 多摩川23.4k,護岸損壊箇所の被害前の様子 (Google Earthより)





図3.103 護岸洗掘部分の様子 (2019年10月20日撮影)

● 多摩川左岸 30.6k(府中市)/被害状況:河岸洗掘

コンクリートブロックで覆われた低水護岸の損傷と洗掘が生じた箇所である。この区間を調査した台風通過から 1 週間を過ぎた 2019 年 10 月 20 日の段階では,高水護岸に目立った損傷や水たまり等はなかった。Google map で確認できたこの区間における台風 19 号襲来以前の様子(2019 年 10 月 20 日に表示,正確な撮影時期は不明)と地理院の空中写真(垂直写真速報版) 10)による台風通過直後の様子を図

3.104 に示す。台風通過直後の様子を見ると,護岸のコンクリートブロックの損傷部分に河川水がたまっているのがわかる。この周辺の台風前の様子を確認すると護岸周辺には水制が存在し,形成されている砂州の分布状況から,当初よりこの区間で強い水流が生じることが想定されているように考えられる。損傷を受けた護岸の様子は図 3.105 に記載する。



(a) 台風前の状況 (Google map より)



(b) 台風直後 10) に加筆 図3.104 多摩川30.6k 台風前後の護岸の様子





図3.105 河岸洗掘の様子 (2019年10月20日撮影)

参考文献・参考資料

- 16) 東京都: 令和元年台風第 19 号に関わる被害状況について(第 142 報), https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/saigai/1006952/1007129.html, (2020 年 5 月 23 日閲覧)
- 17) 国土交通省関東整備局:京浜河川事務所,多摩川の管理区間マップ, https://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin00058.html, (2020年5月23日閲覧)
- 18) 国土交通省関東整備局:京浜河川事務所,水位・雨量・海岸, https://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin_index033.html,(2020年5月23日閲覧)
- 19) 国土交通省: 令和元年台風第 19 号による被害状況等について,堤防決壊箇所一覧, https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai 191012.html,(2020 年 5 月 23 日閲覧)
- 20) 川崎市: 令和元年 10 月多摩川流域の水害を踏まえた「多摩川緊急治水対策プロジェクト」について, http://www.city.kawasaki.jp/templates/press/170/0000114479.html, (2020 年 6 月 10 日閲覧)
- 21) 国土交通省関東整備局:台風第 19 号出水概要(第 4 報), https://www.ktr.mlit.go.jp/saigai/keihin_dis00082.html (2020年5月23日閲覧)
- 22) 国土交通省:水文水質データベース http://www1.river.go.jp/, (2020年6月10日閲覧)
- 23) 国土交通省: 令和元年台風第 19 号による被害状況等について(第 54 報), https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_191211.html, , (2020 年 5 月 23 日閲覧)
- 24) 国土地理院:治水地形分類図, https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html, (2020年5月23日閲覧)
- 25) 国土地理院: 令和元年(2019年)台風 19号に関する情報,空中写真, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R1.taihuu19gou.html, (2020年5月23日閲覧)

3.3 洗掘被害

(1)被害の概況

近年の水害の増加に伴い,特に建設年次が古い旧式河川橋りょうが被災する事例が多く発生している。 今回の台風 19 号により道路河川橋梁に発生した代表的な洗掘被害事例としては,都道 256 号八王子国立線の日野橋(東京都日野市)¹⁾,国道 20 号の法雲寺橋(山梨県大月市)²⁾が挙げられ,鉄道河川橋梁とし

ては,JR 水郡線(袋田-常陸大子)における橋りょう流出,JR 両毛線(大平下-栃木)における橋台背面盛土流出,JR 八高線(群馬藤岡 - 丹荘)における神流川橋りょう変位³⁾,東武鉄道日光線(北鹿沼 板荷)における黒川橋りょう築堤流出等が挙げられる。

図 3.106 に日野橋,図 3.107 に法雲寺橋の被災 状況を示す。日野橋は 1926 年に多摩川を渡る橋 りょうとして建設され,基礎形式は幅約 3.3m,深 さ約 5.4m の井筒基礎 4)であり(図 3.108),2007 年 3 月までは国道 20 号線として用いられていた 重要道路である。図 3.106 に示すように,洗掘被 害により橋脚が上流側に傾斜・沈下し,復旧に約 7 ヶ月を要した(令和 2 年 5 月 12 日に通行止め 解除)⁵⁾。

当該橋脚の復旧工事の実施のためには,被災橋脚周辺への工事用進入路・施工ヤードの確保が必要となり,河川協議の後に河道の瀬替えが実施された。図3.109 は上流側の道路・モノレール橋りょう(立日橋)から日野橋を撮影したものであるが,瀬替えが完了(河道が右岸側に変更)し,被災橋脚周辺での施工が開始していることが分かる。その後,被災橋脚・橋桁の撤去,被災橋脚の左右の無被災橋脚をつなぐ2径間の長スパンの橋桁を新設・設置する方法で復旧工事が実施された。

また,法雲寺橋は昭和34年に建設された壁式橋脚(橋長:63m,基礎形式:不明)であり,上部構造は単純PCプレテン床版橋(8連),下部構造は重力式RC橋台(2基),壁式RC橋脚(7基)で構成されている。図3.107に示したように,洗掘により橋脚が大きく沈下・傾斜し,道路面に



図 3.106 日野橋の洗掘被害 (2019/10/14,著者撮影)



図 3.107 法雲寺橋の洗掘被害 (2019/10/26,東京大学 仁ノ平直樹氏撮影)

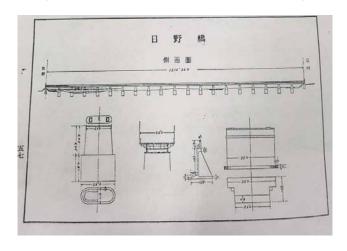


図 3.108 日野橋の設計図面 4)

1.5 m 程度の沈下が発生している。法雲寺橋についても瀬替えが必要となり,被災橋脚・橋桁を撤去した後に保護盛土により被災橋脚左右の橋脚を保護し,左右の無被災橋脚をつなぐ 3 径間の長スパンの橋桁を新設・設置する方法で応急復旧が実施され,11 月 29 日に通行止めが解除された。なお,現段階では仮復旧橋りょうとして供用されているが,2021 年には本設橋りょうとして現行橋りょうの下流側に法雲寺橋を新規建設する予定である 6 。

表 3.12 に最近の河川橋りょう (鉄道・道路)の被災事例のうち,復旧に数カ月以上の時間を要した事例を示す。このような被害の急増を踏まえ,国土交通省では「防災・減災,国土強靭化のための3か年緊急対策」の1つとして,「河川橋梁の橋脚基礎部分の補強」を挙げている⁷⁾。

近年、「高水敷等、洗掘被害リスクが低いと想定されていた橋脚が洗掘被害を受ける」という被害パターンが多いが、前述の日野橋がまさにこのパターンの被災であったため、次節において詳細を述べる。

年月	災害名等	災害場所	被災の程度
平成 19 年 9 月	台風 9 号	十文字橋(酒匂川,松田町6号線)	橋脚が約 2.69m 沈下 下流に 1.22m 変位
平成 24 年 7 月	九州北部豪雨	隈上川橋梁(JR 久大本線)	軌道面が 300mm 沈下
平成 27 年 9 月	関東・東北豪雨	大川橋橋梁(JR 只見線)	軌道面が 30mm 沈下 140mm 水平変位
平成 28 年 8 月	北海道豪雨	第2ペンケ橋梁(JR 根室線)	河床材料流出 基礎フーチング露出
平成 29 年 10 月	平成 29 年台風 21 号	男里川橋梁 (南海本線)	橋脚傾斜,列車脱線,4人負傷
平成 30 年 7 月	平成 30 年 7 月豪雨	財田川橋梁 (JR 予讃本線)	橋脚の傾斜・沈下
平成 30 年 7 月	平成 30 年 7 月豪雨	いわね大橋 (北海道道 244 号)	橋脚の傾斜・沈下
令和元年 10 月	令和元年台風 19 号	法雲寺橋りょう(国道 20 号)	橋脚の傾斜・沈下
令和元年 10 月	令和元年台風 19 号	日野橋橋りょう(旧国道 20 号)	橋脚の傾斜・沈下

表 3.12 近年の豪雨災害に伴う河川橋りょうの洗掘被害

橋梁・橋脚の架け替えや基礎の補強等が必要となり、復旧に数ヶ月以上を要したケースのみ抽出



図 3.109 日野橋の復旧工事のための河道の瀬替えの様子(上流側より,2020/1/16,立日橋より著者撮影)

(2) 日野橋の詳細な被災状況

・河川のみお筋と被災橋脚の位置関係

日野橋は,1990年代は被災した橋脚とは反対側(右岸側)にみお筋(河道内において低水時に形成される流路)があり(図3.110),右岸側を中心に護岸ブロック等の対策がなされていた。当然ながら対策工はリスクの高い橋脚から優先的に実施されるが,その後は砂州の移動等に伴い,みお筋が変化し,被災橋脚が存在する左岸側に流れが卓越した可能性が高い。

類似の事例としては,南海電鉄男里川橋りょうが挙げられる(表 3.12)。当時の河川の水位は数年に 1 度程度生じる程度であり,降雨量および河川の水位量から定まる列車の運転規制は行われていなかった。その後の詳細の調査 8 によると,平成 20 年以降に流水が被災橋脚へ集中するようになり,河床が恒常的に低下していたことが判明した。また,別の事例では豪雨時に無被害だったものの,その際に生じた河川の流況の変化により,その後の通常レベルの降雨や水位増加により,無対策橋脚が被災した事例もある。

道路・鉄道構造物の維持管理業務(全般検査)は基準に従って実施され,必要に応じて措置・補強が実施されるが,ここで見られたような河川の流況の変化に伴う洗掘リスク増加を現場技術者が予見するこ

とは難しい。

・最大洗掘深さについて

文献4によると,日野橋の橋脚基礎は 幅約 3.3m, 深さ約 5.4m の井筒基礎であ る。一度の出水により 5m 以上の局所洗 掘が本当に起き得るのか,あるいは常時 に河床低下が生じていたのか ,原因を推 定する必要がある。図 3.111 は過去の実 測値・実験値を基に「局所洗掘深さ/橋脚 幅」と「平均水深/橋脚幅」の関係を整理 した図であるが 9),この図を見ると水深 が橋脚幅の1倍程度(今回のケースでは 約3.3m)を超えると,局所洗掘深さは橋 脚幅の 1.6 倍程度まで達し得ることが経 験的に分かっている。例えば鉄道構造物 維持管理標準では河川橋脚基礎の根入 れ深さが橋脚幅の 1.45 倍以上あること を維持管理上の目安としている 10)。日野 橋の場合,橋脚幅(3.3m)に対して基礎 の根入れ深さ (5.4m) は約 1.63 倍であ り,過去の経験に照らし合わせれば,局 所洗掘が橋脚基礎底面深さまで達し得 ることと言える。常時から河床低下が発 生していた可能性もあり ,その影響も合



図 3.110 1988~90 年頃の日野橋橋りょう周辺の流況 (国土地理院,電子国土 Web に加筆)

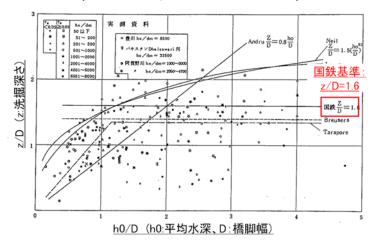


図 3.111 「局所洗掘深さ/橋脚幅」と「平均水深/橋脚幅」の 関係 ⁹⁾

わせて橋脚に傾斜・沈下が生じるほどの洗掘が発生したと考えられる。

図 3.112 は復旧工事途中に被災橋脚下流側(左岸の遊歩道)から撮影した写真であるが,被災橋脚基礎部分には耐震補強の痕跡が見られるが,手前の橋脚には見られない。おそらく,日野橋建設後に基礎の耐震補強のために現場打ちされた増しフーチングだと考えられるが,これにより橋脚幅が増加し,局所洗掘深さを増加させた可能性が高い。

類似の現象としては河川の流木によって起こり得る。今回の日野橋で発生した可能性は低いが,出水時に河川に大量の流木が流れ,河川橋脚によってせき止められる場合がある。その場合,流木により「見かけの橋脚幅」が増加し,それによって局所洗掘深さが増加する場合があり,この現象は洗掘を模擬した模型水理実験でも確認されている 111。日野橋の場合,おそらく耐震補強のために過去に実施したと思われる橋脚基礎部の部分的な増しフーチングが結果として局所洗掘深さを増加させた可能性があるが,詳細については今後検討する必要がある。



図 3.112 日野橋の被災橋脚の様子 (下流側,左岸側より,2020/1/16,著者撮影)

(3)河川橋りょうに求められる「性能」について

言うまでもなく,道路・鉄道としての最も重要な性能は「安全性」であり,洗掘が突然生じると通行車両の転落・衝突等が生じ,人命を失う可能性がある。例えば前述の南海電鉄男里川橋りょうの洗掘被害では,鉄道の脱線により乗客5名が負傷する等,利用者の安全を阻害する事例が発生している8。

次に,重要な性能は「復旧性」である。すなわち,道路・鉄道は常時における交通ネットワークだけでなく,自然災害直後の緊急輸送ネットワークとしての性能の確保が人命救助や都市の復興という観点で重要である。

例えば,過去の豪雨・大地震において,道路に隣接する斜面崩壊や盛土の沈下が多く発生したが,斜面や盛土の被害の場合,片面通行等の暫定運用により,比較的早く緊急輸送ネットワークとしての機能を回復できる場合がある(例:2003年新潟中越地震における関越自動車道,19時間後に緊急車両の通行確保等)。しかしながら,河川を渡る橋脚基礎に洗掘が生じると,基礎の支持力自体を喪失することになり,河川橋りょう全体が使用できなくなる。基礎の修復は,桁の仮受けあるいは橋脚の再構築等,河川の中から施工を行う必要がある。その場合,日野橋の復旧工事でも見られたように,河川協議を行い,渇水期において河川の瀬替えを行った上で施工ヤードを確保する必要があり,復旧が数ヶ月以上の長期に及ぶことが多い。

洗掘災害は一度生じると復旧が長期に及ぶことが多いため,できるだけそれを未然に防ぐ対策を行うことが肝要であり,そのためには洗掘リスクの高い橋脚(弱点橋脚)の抽出が重要となる。

(4)洗掘に対するリスク評価手法確立のための必要事項,今後の課題

洗掘発生から構造物の不安定化に 至るまでの現象解明

図 3.113 に橋脚基礎周辺の洗掘の概念図,図 3.114 に洗掘問題の素因と関連する学問分野を示す。橋脚の不安定化を評価するために最も重要な指標は「橋脚周りの局所洗掘深さ」であるが、外力(水位、流速)と抵抗力と抵抗力は「物重要である。前述のように外力は橋りょう周辺の流況(みお筋、砂洲)の変化に大きく影響を対るため「河川工学」に関連し、抵抗力は「地盤工学」に深く関連する。さらに、洗掘を受けた橋脚の不安定化、

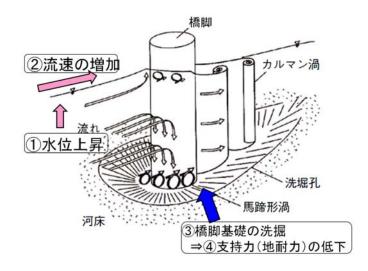


図 3.113 橋脚基礎周辺の洗掘の概念図(文献 12 に加筆)

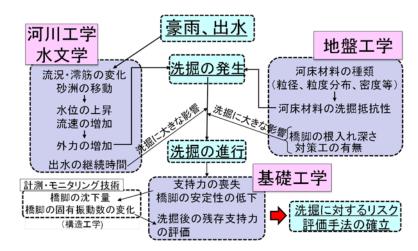


図 3.114 洗掘問題の素因と関連する学問分野 149

再供用判断のためには河床の支持力評価が重要となり,これは「基礎工学」に深く関連している。このように,異なる学問分野の連携・コラボレーションが必要となる。

既設構造物の維持管理と新設構造物の設計の融合

洗掘問題は、構造物の「維持管理業務」の範疇で取り扱われることが多く、主に洗掘深さ等の目視確認や、橋脚の固有振動数から判断することが多い。しかしながら、構造物の維持管理(メンテナンス)はあくまでも「構造物が建設同時と同等の性能を有し続けていること」を確認する業務であり、その判定手法は過去の経験に基づくものが多い。当然ながら、将来想定される豪雨災害の激甚化や、河川の増水に対して河川橋りょうが保有すべき耐水害性能を明確に定め、必要に応じて措置・対策を講じる業務とは異なる。

数多く存在する旧式構造物の中から弱点箇所を抽出し,必要となる措置・対策工を検討するためには,維持管理だけではなく,新設構造物を設計する際の知見(応答値算定法,性能照査法)が必要となる。すなわち,既設構造物の「保守・維持管理」と新設構造物の「設計・建設」という異業種間の連携・コラボレーションが必要となる。

参考文献・参考資料

- 1) 日野市: 令和元年 10 月 17 日プレスリリース, http://www.city.hino.lg.jp/press/1012671/1012864.html
- 2) 国土交通省関東地方整備局,記者発表資料,令和元年 10 月 25 日, https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/000759818.pdf
- 3) JR 東日本:台風 19 号による JR 東日本管内の設備等の主な被害状況について, https://www.jreast.co.jp/press/2019/20191013 ho01.pdf
- 4) 内務省土木試験所編 『本邦道路橋輯覧』 内務省土木試験所編 大正 14,昭和 3,10,14 年発行, http://library.jsce.or.jp/Image DB/s book/jsce100/htm/032.htm
- 5) 日野市:日野橋の開放について, http://www.city.hino.lg.jp/shisei/machidukuri/kotsu/1013106.html
- 6) 読売新聞: 法雲寺橋 2 9日に仮復旧 台風 1 9号で被害,来年度以降に全面架け替え,2019年 11月 27日, https://www.yomiuri.co.jp/local/yamanashi/news/20191126-OYTNT50176/
- 7) 国土交通省:「防災・減災,国土強靭化のための3か年緊急対策」を閣議決定,2018.12
- 8) 運輸安全委員会:鉄道事故調査報告書,RA2019-1
- 9) 建設省土木研究所:治水上から見た橋脚問題に関する検討,土木研究所資料;第3225号
- 10) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等維持管理標準・同解説 [構造物編] 基礎構造物・抗土圧構造物 , 2007.1
- 11) I. Schalko, C. Lageder, L. Schmocker, V. Weitbrecht, and R. M. Boes: Laboratory Flume Experiments on the Formation of Spanwise Large Wood Accumulations:Part II—Effect on local scour, Water Resources Research, pp.4871-4885, 2019
- 12) Melville, B.W., Coleman, S.E.:Bridge Scour. Water Resources Publications, Highlands Ranch, 2000

3.4 斜面災害

3.4.1 はじめに

台風 19 号は,典型的な雨台風で,主に中部,関東,東北において広域的かつ同時多発的な水害,土砂災害をもたらした。本報告は,関東地域における降雨特性と土砂災害(ここでは,「斜面災害」の言葉を用いる)に注目して,関東地域における広域的な降雨がどのような斜面災害をもたらしたのか,斜面災害の発生状況について報告する。さらに,関東地域の地形・地質と斜面災害との関係,過去の地震や降雨により発生した斜面災害との関係(災害の免疫性,繰り返し性)についても若干の考察を加える。また,令和元年10月末に主に千葉県において豪雨災害が発生したので,斜面災害について報告する。

3.4.2 関東地域における降雨特性

台風 19 号による降雨状況や各地の気象台が発表した防災気象情報は,気象庁 HP に「災害をもたらした気象現象」¹⁾ 及び「災害時自然現象報告書」²⁾として詳細に記述されている。例えば,茨城県,栃木県,福島県,宮城県に大雨特別警報(土砂災害)を発表した直後(10月12日20時)の土砂災害危険度分布(例えば,図3.115)等,雨から導いた各種災害危険度の1時間ごとの出現状況が分布図として掲載されているので参考にしていただきたい。

ここでは台風 19 号が大雨をもたらした理由を述べる。秋に日本列島へ来襲する台風の特徴として, 秋雨前線による雨が降り続けていたところに台風本体の雨が繰り返し加わって雨量がさらに増えること がある。地盤工学的には,秋雨前線という先行降雨により土壌中の水分含有量が増えていた(飽和して いた)ところに大量の雨が加わって土砂災害を誘発するパターンである。

しかし,台風19号で雨が増えた原因は秋雨前線ではない。多くの台風は列島付近で地形的な雨を降らせ乾いた状態となり、東北~北海道付近まで北上してから寒気を吸い込んで温帯低気圧化する。台風19号の場合は,日本列島に接近した時点で北からの低温の乾いた空気を吸い込んだため台風直近で前線が形成され,台風本体の雨も加わって連続した大雨となった(図3.116)のが特徴である。

これを大雨の発生メカニズムから見ると、

台風が運び込んだ多量の水蒸気, 台風北側の前線が持続的な上昇流を形成 台風中心付近で雨雲が発達,という3つの要素に分類される。

エリアごとに見ると,長野県千曲川流域では主に前線の影響,福島県から宮城県にかけての阿武隈川 流域や岩手県沿岸部及び関東地方南部では前線や地形の両方の影響,新潟県上越付近では主に地形の影響による大雨であった。

図 3.117 に過去 28 年間と比較した土壌雨量指数の履歴順位(関東エリア,比較期間は 1991 年~2018 年の 28 年間),図 3.118 に過去 28 年間と比較した土壌雨量指数の履歴順位(関東~東北エリア 比較期間は 1991 年~2018 年の 28 年間)を示す。台風の北上に沿って雨域も北上したため各地で強雨が長時間継続し,これらの図に示すように土壌中に含まれる水分量はデータの存在する 1991 年からの最大値を更新した。

台風 19 号による雨を土壌雨量指数 (5 km メッシュ)で見てみると,土砂災害警戒区域に指定されていなかったが土砂災害による死者が発生した神奈川県相模原市緑区で30 年に一度,群馬県富岡市で50 年に一度と推定される。一方,宮城県丸森町では1000 年に一度と推定される大雨であった。また,台風 19 号の二週間後の大雨(図3.119)で崖崩れが発生し2名の方が亡くなった千葉市緑区では50年に一度と推定される。土壌雨量指数を算出するための解析雨量の蓄積は30年に満たないが,関東から東北にかけての広範囲で土砂災害の危険度は高かったことが分かった。

大雨警報(土砂災害)の危険度分布)

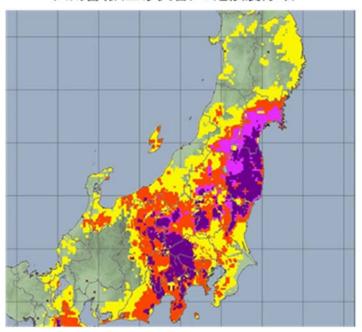


図 3.115 茨城県,栃木県,福島県,宮城県に大雨特別警報を発表した直後(10 月 12 日 20 時)の土砂災害危険度分布(気象庁 1^{3})

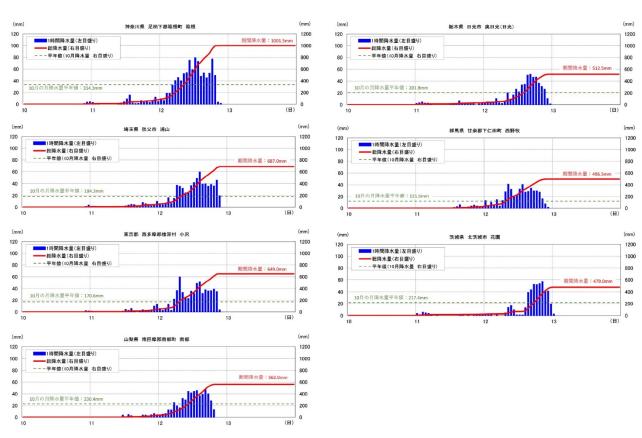


図 3.116 各地における降水量時系列 (10月 10日 0時~10月 13日 24時)(気象庁 1))

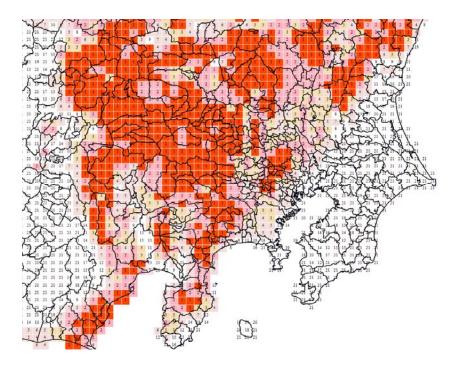


図 3.117 過去 28 年間と比較した土壌雨量指数の履歴順位(関東エリア 比較期間は 1991 年 ~ 2018 年の 28 年間) 赤色 1 位 , ピンク色 2 位 , クリーム色 3 位 ~ 5 位 (横浜地方気象台 岡田憲治 作成)

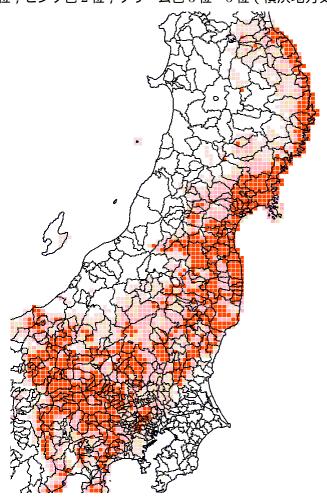


図 3.118 過去 28 年間と比較した土壌雨量指数の履歴順位(関東~東北エリア 比較期間は 1991 年~ 2018 年の 28 年間) 赤色 1 位,ピンク色 2 位,クリーム色 3 位~5 位(横浜地方気象台 岡田憲治

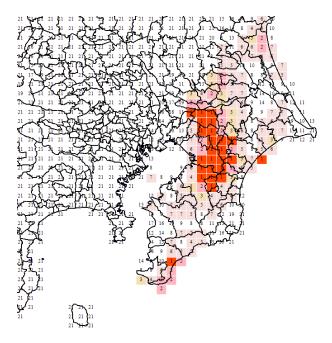


図 3.119 過去 28 年間と比較した土壌雨量指数の履歴順位(千葉県の大雨 比較期間は 1991 年 ~ 2018 年の 28 年間) 赤色 1 位 , ピンク色 2 位 , クリーム色 3 位 ~ 5 位 (横浜地方気象台 岡田憲治 作成)

参考文献・参考資料

- 1) 気象庁:令和元年東日本台風(台風第19号)による大雨,暴風等 令和元年(2019年)10月10日~10月 13日(速報),災害をもたらした気象現象,2019年.
 - http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html
- 2) 気象庁: 令和元年東日本台風等による10月10日から10月26日にかけての大雨・暴風等,災害時気象報告,第3号,2020年. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2019/saigaiji_202003.html

3.4.3 関東地域における斜面災害

関東地域における地質図(地質図 NAVI)を,図 3.120 に示す。関東地域における赤色立体地図(国土地理院)を,図 3.121 に示す。

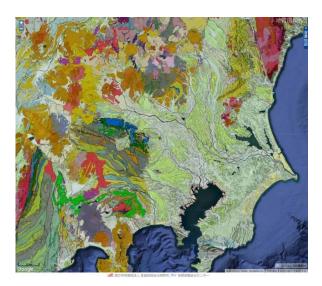


図 3.120 関東地域における地質図 (地質図 NAVI)

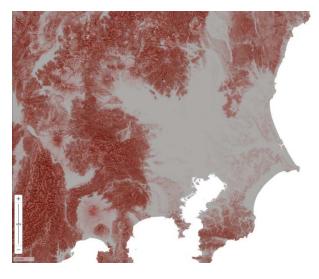


図 3.121 関東地域における赤色立体地図 (国土地理院)

台風 19 号により発生した主な土砂災害を , 図 3.122 に示す。この図は , 調査団団員が収集した斜面災害等の情報 (団員自らによる現地調査 , 各都県の情報) および国土交通省・統合災害情報システム (DiMAPS) で示す土砂災害について , Google Earth 上でプロットした。

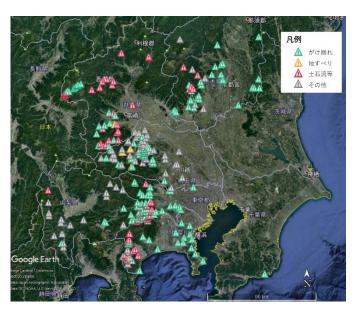


図 3.122 台風 19 号により発生した土砂災害(各都県の災害情報,団員による調査および統合災害情報システム (DiMAPS) などより作成)

台風 19 号により発生した土砂災害(各都県の災害情報および統合災害情報システム(DiMAPS)より作成)と土壌雨量指数の履歴 1 位を更新した 5km メッシュの重ね合わせを,図 3.123 に示す。

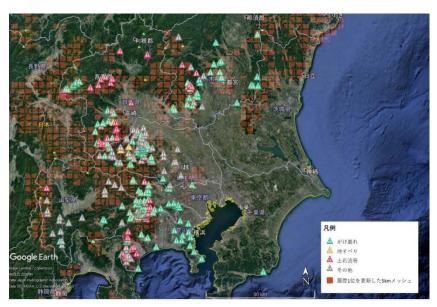


図 3.123 台風 19 号により発生した土砂災害 ((各都県の災害情報 , 団員による調査 および統合災害情報システム (DiMAPS) などより作成) と土壌雨量指数の履歴 1 位を更新した 5km メッシュの重ね合わせ

台風 19 号により発生した関東地域における主な斜面崩壊の全体図(関東地方整備局提供)を,図3.124 (a)に示す。それぞれ,箱根町,相模原市緑区,八王子市周辺,富岡市,下仁田町,嬬恋村ながわ町,青梅市,嬬恋村なが空写真を示す。

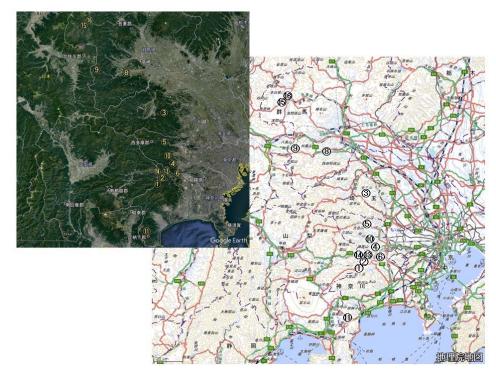


図 3.124(a) 台風 19 号により発生した関東地域における主な斜面崩壊の全体図 (関東地方整備局提供)



図 3.124 (b)台風 19 号により発生した箱根町 における斜面崩壊 (関東地方整備局提供)



図 3.124 (c) 台風 19 号により発生した相模原市 緑区における斜面崩壊 (関東地方整備局提供)



図 3.124(d) 台風 19 号により発生した八王子市周辺における斜面崩壊(関東地方整備局提供)



図 3.124(e) 台風 19 号により発生したときがわ町および青梅市における斜面崩壊(関東地方整備局提供)



図 3.124 (f) 台風 19 号により発生した富岡 市および下仁田町における斜面崩壊 (関東地 方整備局提供)



図 3.124(g) 台風 19 号により発生した嬬恋村に おける斜面崩壊 (関東地方整備局提供)

3.4.4 各都県における斜面災害

(1) 茨城県

茨城県の地形と地質の概要を述べる。県央から県北地域は,ほぼ南北に延びる3つの山地よりなる。東部の隆起準平原阿武隈山地,中央部の久慈山地,西部の八溝山地である。茨城県最高峰八溝山を有する西部の八溝山地は県南西部の筑波山にまで連続している。県央から県南は,台地と低地からなる。茨城県内での斜面災害は,これらの山地で発生することが予想される。今回も顕著な斜面災害は八溝山地の北部と久慈山地北部で発生した。

地形は地質を反映したものである。 図 3.125 に茨城県周辺の地質の概要を 示す。阿武隈山地は古生界から中世界 の,変成岩とそれらを貫く深成岩類からなっている。茨城県内に分布する地 層の中では最古のものを含み,硬質の ものが多い。八溝山地は主として新生のの 地同様に硬質である。久慈山地を構成 する岩石は,主として新生代中新統の 堆積岩,火山砕屑岩類からなっている。 阿武隈山地と八溝山地に分布する 岩石の中間的な硬度である。今回の斜 面災害は,久慈山地の中新統砂岩の崖

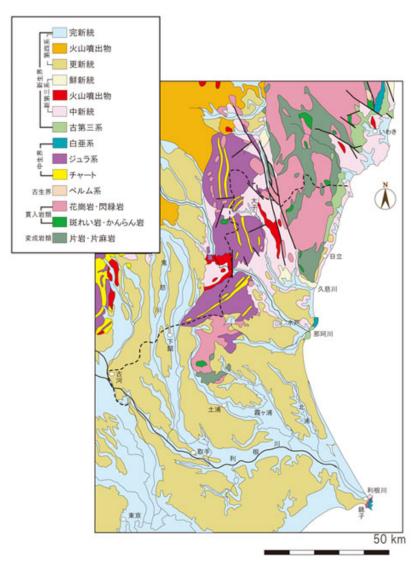


図 3.125 茨城県周辺の地質概要.天野編(1994)をもとに作成

錐と八溝山地の硬質な砂岩の崖錐で発生した。

新第三系の地すべり(高見山標高 400m 付近: N36°49'3" E140°24'14")

位置を図 3.126 に , 地質図を図 3.127 に示す。地質は中新統海成粗粒砂岩層からなる内大野層である。地すべりの規模は幅約 20m , 高さ約 10m , 流れの延長約 60m で , 内大野層起源の崖錐が流動化した。基盤と崖錐堆積物の境界からは 調査時においても水の流出があり直下の道路上に流下していた(図 3.128)。地形的には沢の上流部の斜面に相当する。崖錐堆積物は大量に水を含んでおり粘土化していた(図 3.129)。大雨による大量の降雨が崖錐堆積物中に流入し液状化を促進し , 流動化したものと考えられる。末端部は , 道路を覆い交通を遮断した(図 3.130)。新第三系中の地すべりは , 他の地域でも小規模なものが発生していたが , 社会活動に大きな影響を与えるものはなかった。



図 3.126 高見山周辺の地形

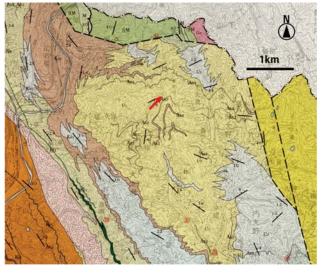


図 3.127 高見山周辺の地質図 (斎藤, 1995)



図 3.128 滑落崖 . 人物の頭付近が基盤と崖錐 との境界部



図 3.129 滑った崖錐の部分



図 3.130 道路を覆う末端部

ジュラ紀付加体の地すべり (八溝山標高 700m 付近: N36°55'15" E140°16'5)

位置を図 3.131 に地質図を図 3.132 に示す。場所は,八溝山山頂に向かう登山道が沢を横切っている箇所である(図 3.133)。周囲の地質はジュラ紀付加体中の硬質の砂岩である。砂岩層の上位には泥岩層(水色)とチャート層(オレンジ)が重なっている。いずれも新鮮な部分は硬質で,安定である。

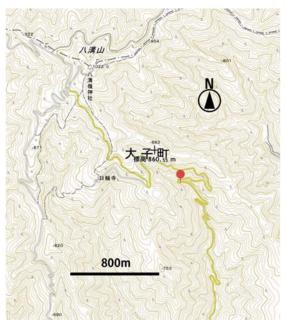


図 3.131 八溝山登山道周辺の地形

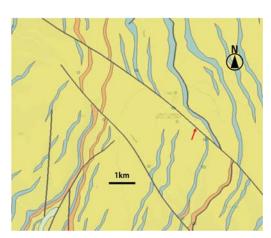


図 3.132 八溝山登山道周辺の地質図 (地質図 NAVI) 黄色は砂岩,水色は 泥岩,オレンジはチャート



図 3.133 八溝山登山道 と沢の出合付近

台風当時は,排水の U 字溝からこの地帯一帯に水があふれ出たものと思われる。川と道の接合部から下流側の道を見ると,右側ではアスファルトの下方の盛り土相当層が大きく削られて,ガードレールも含めて路肩が大きく変形しているのが認められた(図 3.134)。左側は道路の盛り土として使われた角礫が流出して,隙間ができてる(図 3.135)。一つ一つの角礫は硬質であるが,それらの集合体としては流水にたいして脆弱だったものと考えられる。

今回,茨城県北部で認められた斜面災害は中新統では風化した崖錐,中生代硬質砂岩ではそれらの角礫からなる盛り土で発生していた。新鮮な地層そのものが大規模に滑った例はなかった。



図 3.134 出会いから下流を見た時,道 路の右端



図 3.135 出会いから下流の左側 道路が 大きく沈下している .道路を構成してい る材料は八溝層群の硬質砂岩の角礫

前述の様な斜面災害は複数発生したものの,茨城県内では台風19号および大雨(令和元年10月25日)による大規模な斜面災害は報告されていない³⁾。

以下には,茨城県内の斜面災害以外の特徴的な構造物の被災状況などについて簡単に示す。図3.136, 図3.137には,久慈川に架かる道路橋橋台横の河川堤防に用いられた蛇籠の施工場所と被災状況を示す。



図 3.136 久慈川に架かる道路橋橋台横に施工 された蛇籠(じゃかご)の設置場所



図 3.137 久慈川に架かる道路橋橋台横に施工された蛇籠(じゃかご)は大きな変状は無いが,その下流の河川堤防表層部はすべり破壊が発生していた

蛇籠区間については ,蛇籠の崩壊や大きな変状は見受けられなかったが ,その下流部近傍に位置する河川堤防 (左岸)の表層部はすべり破壊が生じていた。

図3.138には,久慈川に架かるJR水郡線第6久慈川橋りょう(袋田駅~常陸大子駅間)の増水時におけるピア部周辺の状況について示す。橋梁のピアにより増水時の河川の水流が大きく乱れていることが分かる。なお,第6久慈川橋りょうの場所は,図3.A-12に示す通りである。また,図3.139には,第6久慈川橋りょうの上部工落橋の様子を示すと共に,ピア周辺に設置されていた洗堀防止用ブロックが,増水の影響により流されなくなっているのが分かる。なお,同ピアの下流部周辺に設置されていた洗堀防止用ブロックについては,上流部周辺に設置されていた洗堀防止用ブロックにしてピア周辺に残っているの多い様である。さらに,図3.139より,河川の中央部に設置されていたピアの一部は完全に流出している様子が分かる。



図 3.138 久慈川に架かる JR 水郡線 第 6 久慈川橋 りょう(袋田駅~常陸大子 駅間)のピア部の増水時の状況



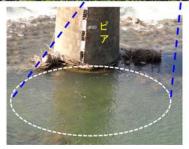


図 3.139 久慈川に架かる JR 水郡線 第6久慈川橋 りょう(袋田駅~常陸大子駅間)のピア上流部周辺の洗堀防止プロックが流されなくなっている(下図は拡大図)

参考文献

- 1) 天野一男 編:茨城の自然をたずねて,築地書館,249頁,1994.
- 2) 斎藤登志雄,笠井勝美,大森信義:表層地質図大子・喜連川,5万分の1,国土庁,1995.
- 3) 茨城県 災害対策本部: 令和元年台風第 19 号に係る災害対応について,https://www.pref.ibaraki.jp/1saigai/201910/documents/201911121500_taiou.pdf(令和2年6月21日閲覧)

(2) 栃木県

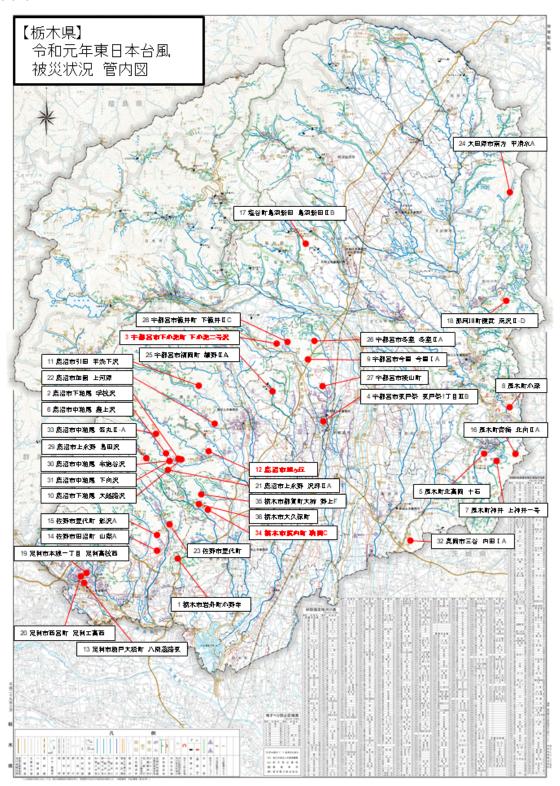


図 3.140 栃木県における土砂災害発生状況(栃木県作成及び提供,赤字:本報告で紹介) 1)に追記

令和元年に発生した台風 19号(以下,令和元年東日本台風)に伴う豪雨による栃木県内の被害は,平成 27年に発生した関東・東北豪雨以来で多く発生した。栃木県県土整備部の方で収集された情報をもとに 整理された災害発生件数は,総数で36件,その内訳は,土石流8件,地すべり0件で,がけ崩れ(以

下,斜面崩壊)28 件であった。これに伴う人的被害は,負傷者1名,人家の被害は,半壊2戸,一部損壊13戸であった。ここで紹介した被害箇所の位置を図3.140に示す。

a) 栃木県の令和元年東日本台風に伴う降雨量

令和元年東日本台風に伴う降雨量(令和元年 10 月 11 日 ~ 13 日)(気象庁観測所)において, 奥日光 512.5mm, 宇都宮 330.0mm, 栃木県の平均年間降水量は, 宇都宮市で1493.1mm, 奥日光 2176.3 mm なので, 10 月 11 日~13 日に降った降水量と比較すると令和元年東日本台風がこの地域に大量の雨をもたらし,特に県の西側,日光地域の積算降雨量が特に多いことがわかる(図 3.141)。土砂災害としては,その地域の南側,鹿沼市が11 件と最も土砂災害の被害が多い。この土砂災害は,斜面崩壊,土石流などの土砂災害である。これらの内,主な被災地について紹介し,その災害の特徴について地形及び地質の資料をもとに説明する。なお,土砂災害が発生した地点は栃木県県土整備部で整理された名称をそのまま利用させて頂いた。

b) 斜面崩壊

i) 鹿沼市旭が丘

これは鹿沼市運動公園陸上競技場東側と住宅地との間の斜面の一部が崩れたものである(図 3.142)。この地域について,旧地形との関連について資料 3).4)を参考に確認した。その結果少なくともこの地域が 1945 年までの地形図では,尾根が並ぶなだらかな山であった様子を示している(図 3.143)ので,住宅街と運動公園は山を切り崩して建設されたものである。この地域の地質は,この斜面を境

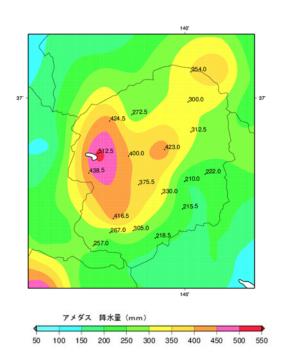


図 3.141 アメダス積算降水量分布図 (10月11日00時~10月13日09時)



図 3.142 鹿沼市旭が丘の斜面崩壊状況



図 3.143 鹿沼市旭が丘の旧地形との比較(左側:旧地形,図中のポイントが被災箇所を示す)³⁾



図 3.144 鹿沼市旭が丘における地質(崩壊部を 赤色の線で示す)⁴⁾

にして,東側(右側)が中期中新世-後期中新世の非苦鉄質火山岩類で,西側(左側)が中-後期ジュラ紀の付加コンプレックスの基質と基盤の地質の境界となっていることが特徴として挙げられる(図 3.144)。この崩壊地は切土部であるので,ここで説明する旧地形や地質境界は,この崩落の素因として直接の関係はないと考えられる。鹿沼でも 375.5mm の降雨があった事が記録から明らかになっているため,この地域の年平均降雨が 1618.8mm であることを考えると降雨がこの崩落の誘因と考えることが自然である。

ii) 栃木市尻内町 駒岡 C

この斜面の崩壊は,住宅裏の斜面が単に崩れただけの様に見えるが,そのさらに上位の樹木が移動している様子から,この山の表層が降雨により滑ったことが推定される(図 3.145)。地質図 4)と崩落した範囲を比較すると,基盤の地質の境界がすべり領域の境界となっている可能性を示している(図 3.146)。この地質図の凡例によると黄緑色の部分がジュラ紀中~後期の付加コンプレックスの基質,薄い茶色の部分が,三畳紀 ジュラ紀中期の付加コンプレックスのチャートブロックである。特にチャートブロックを基盤とする箇所がこの崩壊部分となっている。この度の斜面崩壊に関して基盤岩の風化等の差がもともと現れて居た可能性があり,この地質境界が崩落部の範囲に影響を与えている可能性があると考えられる。



図 3.145 栃木市尻内町 駒岡 C の斜面崩壊状況

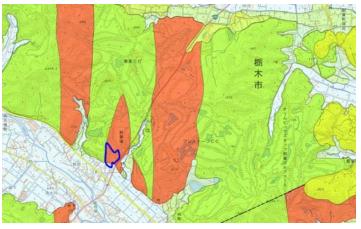


図 3.146 栃木市尻内町 駒岡 C における地質(崩壊部を青色の線で示す)⁴⁾

c) 土石流

令和元年東日本台風に伴う豪雨では,土砂災害として土石流が多く発生しているのが特徴である。その代表的な地点は,鹿沼市下粕尾 学校沢,宇都宮市 下小池町 下小池二号沢,鹿沼市下粕尾 大越路沢,鹿沼市中粕尾 布施谷沢である。この中で,一例として,宇都宮市下小池町 下小池二号沢の崩壊事例(図 3.147)を栃木県から提供していただいた資料をもとに示す。この土石流の崩壊面積は,0.03 km² であり,等高線の形状(図 3.148)から,源頭部が窪み,沢地形特有の集水地形となっている。山体そのものは,地質図 4)によると中期中新世-後期中新世の非アルカリ珪長質火山岩類のデイサイト及び流紋岩類と考えられる。これまでの大雨でも流下しなかった山体に貯まった土砂や岩石が令和元年東日本台風に伴う豪雨で一挙に土石流となって流れたと推測される(図 3.149,図 3.150)。



図 3.147 宇都宮市下小池二号沢被害状況

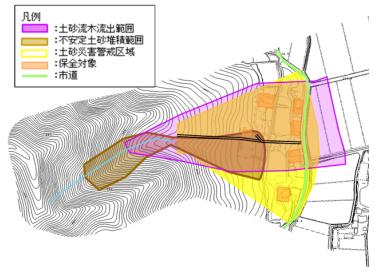


図 3.148 宇都宮市下小池二号沢の崩壊範囲平面図



図 3.149 宇都宮市下小池二号沢の土石源流源頭部の 状況(流下方向を青色の矢印で示す)



図 3.150 宇都宮市下小池二号沢の土石流下流の状況 (流下方向を青色の矢印で示す)

d) おわりに

令和元年東日本台風による土砂災害は,36箇所であったがその中で,土砂災害警戒区域における災害は31箇所であった。この観点からすると,この度の土砂災害はこの豪雨により起こるべくして起きたことになる。言い換えると,この様な降雨量となる豪雨の場合は,土砂災害警戒区域では斜面崩壊や土石流等の土砂災害が発生する可能性がかなり高いという事で,十分な防災への備えが必要である事を示している。

謝辞

この度の報告をするに至り,令和元年東日本台風による県内の土砂災害に関する資料を快く提供してくださいました栃木県県土整備部河川課,砂防水資源課の諸氏及び貴重なご意見をいただきました(国研)産業技術総合研究所の吉川敏之様にこの場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 栃木県県土整備部,栃木県砂防図,栃木県,2015.
- 2) 宇都宮地方気象台, https://www.jma-net.go.jp/utsunomiya, (2020年6月参照).
- 3) 今昔マップ on the web:時系列地形図閲覧サイト, http://ktgis.net/kjmapw/, (2020年6月参照).
- 4) 栃木県の地質図(産総研「栃木県シームレス地質図」), https://finding-geo.info/geomap/Tochigi.html, (2020年6月参照).

(3) 群馬県

(3.1) 群馬県富岡市内匠地区

内匠地区で 10 月 12 日の 16 時半頃に発生した 2 か所の隣接した斜面崩壊(図 3.151)では 3 人が犠牲となった。現場から約 3km 西方に離れた群馬県富岡土木事務所の観測雨量によると,当該地域では 10 月 12 日の朝から断続的に 30mm/hr を超える雨量が続き,発災時の累積雨量は 400mm ほどに達していた(図 3.152)。

富岡市内には鏑川右岸をはじめ,段丘の発達した地区が分布している。現場は,上信越自動車道の富岡 IC に近い,段丘外縁部の西向き斜面である。約20度の緩傾斜であったため,土砂災害警戒区域に指定されていないが,現場付近には災害前より浅い凹状地形があり,段丘から零れ落ちる表流水がここに集中したと考えられる。周辺のローム層はしばしば浅間山起源の褐色軽石層(As-BP)を挟在する。露頭観察およびボーリング調査の結果に基づくと,同軽石の風化物で構成される軟弱層が斜面内に薄く流れ盤様に連続しており(図3.153),崩落状況を踏まえると,同層がすべり面と推定される。

軽石層の下半分の特に強く風化して白色を呈 した部分から試料を採取して, 粒度分析(図 3.154) および各種の物理試験を行った。試験結 果より特筆すべき点は,原位置での自然含水比 が 55.3% (平均値)であったのに対して,同試 料の液性限界が50.2%(平均値)であった点で ある(同塑性限界は34.7%)。同層がひとたび攪 乱されると急激に強度低下する鋭敏な性質を有 していることが推定される。降雨中,未風化で 透水性の高い軽石層内への地下水浸透が斜面内 の過剰間隙水圧の持続的な上昇をもたらし,軽 石層付近のせん断変形を助長するとともに,下 位の風化軽石層との間の大きな剛性差と風化軽 石層のひずみ軟化特性が次第にこの部分へのひ ずみの局所化を進行させ,最終的なすべり面の 形成に至ったのではないかと考えられる。



図 3.151 崩壊斜面の状況(群馬県,日本サーベイ)

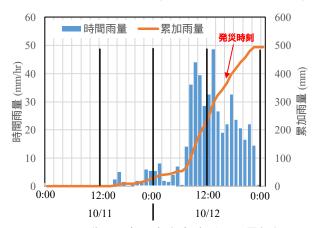


図 3.152 群馬県富岡土木事務所の雨量記録

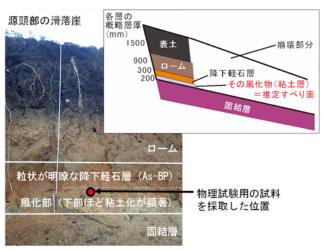


図 3.153 崩壊した斜面内部の地層構造

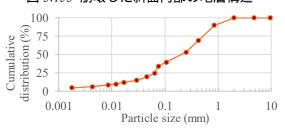


図 3.154 採取した試料の粒度分布

(3.2) 群馬県吾妻郡嬬恋村

群馬県吾妻郡嬬恋村周辺の当時の降雨状況を示す「気象庁 アメダス 田代」の雨量データを図 3.155 に示す。降り始めからの総雨量は442.5mm,そのうち10月12日の24時間降雨量は408.0mmであった。

気象庁の公開しているデータによると,アメダス田代の 24 時間降雨量は,30 年確率降雨量で 233mm,50 年確率降雨量で 254mm であることから,10 月 12 日の 24 時間降雨量 408.0mmは,当該地域にとって極めて大きな降雨量であったことがわかる。

(3.2.1) 鳴岩橋東詰の大規模流失

吾妻川を横断する国道 144 号線に架かる鳴岩橋の東詰では、増水した吾妻川の水流により鳴岩橋の橋台が流失しただけではなく、吾妻川の流路が変化するほどの大規模な地盤の浸食が生じた。被害の概略を図 3.156,図 3.158 に示す。図中の番号は、写真の撮影位置および撮影方向に対応する。

被災前は,南西方向から流れてきた吾妻川が,鳴岩橋の直前で北方向に流路を変えていた。しかし,増水した吾妻川の水流により,水衝部にあたる鳴岩橋東詰の橋台が洗掘,流失したと考えられる。また,増水した吾妻川の水流があまりにも強かったため,水流は鳴岩橋東詰を北東方向に直進し,地盤を約300mにわたって浸食していったと考えられる。被災後は,吾妻川の流路が変化し,旧河道は流れ下ってきた転石により閉塞してしまっていた。

なぜ,吾妻川の鳴岩橋部分で,河川の流路変化が生じるほどの水量となったのかを考える材料として,鳴岩橋より上流部の河川の分布と集水域を図3.157に示す。集水域は図中の赤色部分で示され,集水面積は87.1km²と広大である。鳴岩橋は扇状に広がる集水域の扇の要部分に位置しており,また,鳴岩橋の直前で大沢川と大

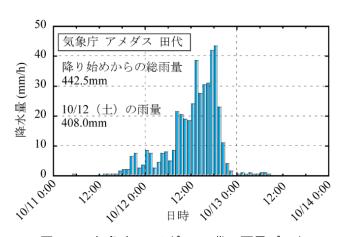


図 3.155 気象庁 アメダス 田代の雨量データ



図 3.156 鳴岩橋の被害概略図



図 3.157 鳴岩橋より上流部の河川と集水域

横川の2河川が吾妻川に合流している。加えて,鳴岩橋より上流側の河川の長さについてみてみると,吾妻川,大沢川,大横川とも河川の長さが同程度であることが見て取れる。これらの河川の水の流下速度がどの程度であるのかは追加の調査を行う必要があるが,河川の形状や集水域の形状を鑑みるに,鳴岩橋部分では,集水域に降った多量の降雨の水がほぼ同時に流下してきた可能性が考えられよう。

余談になるが,当該地区の地名の小字(今は使われていないようだが)が「長井川原」で,被災した橋の名前が「鳴岩橋」であることは,はたして偶然であろうか?大雨による出水のたびに河川が氾濫して河川敷が濁流に飲まれ,上流から流れ来る転石がぶつかり合ってガラガラと大きな音を立てていた様子が,先人たちが残してくれた地名からも想起される。我々が防災を考える時,昨今はつい技術に偏重しがちであるが,先人たちが残してくれた「地名」による警鐘にも,もっと耳を傾ける必要があるように思えてならない。



図 3.158 鳴岩橋の被害状況写真

(3.2.2) JR 吾妻線の被災現場および嬬恋村田代地区の土の物理特性・力学特性

ここでは,群馬県吾妻郡嬬恋村における JR 吾妻線の斜面崩壊(群馬県吾妻郡嬬恋村大字鎌原)と,田 代地区の土砂流出(群馬県吾妻郡嬬恋村大字田代)に関する,土の物理特性・力学特性について論じる。

JR 吾妻線の被災現場では,線路脇の斜面が崩壊して土砂が線路内に流れ込み,JR 吾妻線が不通となった。被害状況を図 3.159 に示す。崩壊箇所は複数個所あるが,最も大きなもので,高さ約 15m,幅 5m,すべり深さ 1m ほどである。未崩壊部分の地山は,表層部に風化が認められ,風化部は携行用の小さなスコップでも容易に掘削が可能であった。一方,未風化部では土粒子同士の固着があり,携行用の小さなスコップでは容易に掘ることはできなかった。崩壊は,表層の風化部とその下の未風化部の境界で生じているように見受けられた。崩壊土砂の土質は細粒分礫混じり砂であったが,典型的な火山灰質性土砂の性格を示しており,崩壊土砂の上を歩くなどして外乱を加えると,水分が滲出してきてドロドロになった。一方で,ドロドロになった土砂を静置して水を引かせてしまえば,スコップ等で開削して断面を露出させても,容易に数十 cm は自立した。



図 3.159 JR 吾妻線脇の斜面崩壊の被害状況写真

嬬恋村田代地区では,地区内を流れる湯尻川などが氾濫し,河岸の土砂を洗掘するとともに土砂を含んだ泥水を住宅地に流入させ,住宅の基礎地盤を浸食するなどの被害が生じた。一つ一つの被害規模は大きくはないが,地区内の多数の地点で被害が生じており,氾濫した水の水流による表層地盤の浸食,洗掘に起因した被害が多かった(図 3.160 参照)。また,流出した土砂が堆積している地区内道路や,緊急復旧工事現場周辺が泥だらけになっていないことや,風が吹いても埃が大きく舞わないことから,細粒分はそれほど多くなく,土の粘性も小さいことが想像された。田代地区の表層に広がる土砂を観察してみると,火山灰質系の細砂~中砂であったが比較的粒度が揃っており,細粒分感は少なく,粘性は感じられなかった。また,外乱を加えても水分が滲出してきて膿むことも無いことから,同じ火山灰質系の土といっても前述のJR 吾妻線の土とは異なった土粒子の微視的構造を持つことが想像された。一方,田代地区に隣接する耕作地では目立った被害がないことが対照的であった。耕作土を観察したところ,隣接する田代地区の土と比較して細粒分が多く,有機物を含み,粘性が大きい,いわゆる「黒ボク土」のような土であった。田代地区の耕作地にも氾濫した水流が流れ込んでいたが,洗掘などの被害が少なかった要因として,土の粘性が考えられた。



図 3.160 嬬恋村田代地区における被害状況写真

次に JR 吾妻線および田代地区から採取した試料の物理特性,力学特性について述べる。試料の写真を図 3.161,図 3.162 に示す。写真の上段は乾燥させた試料,下段は原位置の含水比そのままの試料である。また,試料の粒径加積曲線を図 3.163に示す。氾濫した水流による土砂の洗掘・流失の被害が大きかった田代地区の粒径分布を見ると,他の 2 試料とは異なり 0.106~0.425mm の粒径成分が全体の 75%を占めており,粒度分布の悪い土であることがわかる。

これら試料の締固め曲線を図 3.164 に示す。図中には,試料採取時の原位置における状態も併せて示してある。また,試料の物理特性・力学特性を表 3.13 に示す。定圧一面せん断試験では再構成試料を用い,試料を採取した原位置における乾燥密度を再現した。なお,被災当時は多量の浸透水があったと考えられたため,せん断時はせん断箱内を水で満たし,擬似的な飽和状態とした。

JR 吾妻線の試料の締固め曲線を見ると、一般的 な砂質土と同様の特徴を示しており,原位置にお ける飽和度は約73%と水八ケも良好で,原位置の 締固め度も89.3%と大きい。ただし,外乱を加え ると度粒子から水分が滲出してきてすぐに膿ん でしまう特徴がある。また、見かけの粘着力が 12.1kN/m² と大きい一方で,内部摩擦角は 17.5 度 と,砂質土にしてはかなり小さめの値となってい る。本試料の見かけの粘着力は大きな値が出てい るが, 試料の手触りからはそれほどの粘着性は感 じられないことから,この見かけの粘着力は,試 料の粒子形状と大きな締固め度に起因する土粒 子同士のかみ合わせによるものと考えられる。な お,この一面せん断試験結果は再構成試料を用い ていることから JR 吾妻線の被災現場における表 層の「風化部分」を模擬していることに留意され たい。

次に,田代地区の締固め曲線を見ると,最大乾燥密度が1.400g/cm 3 と小さい。土粒子密度は2.641g/cm 3 で一般的な砂と同等であることから,この



図 3.161 JR 吾妻線の被災現場の土砂



図 3.162 嬬恋村田代地区の土砂(左:田代地区表層 土(被災),右:田代地区耕作土(未被災))

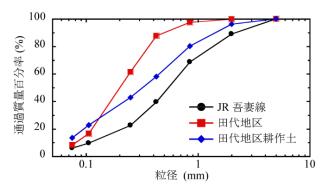


図 3.163 試料の粒径加積曲線

田代地区の試料は締め固まりにくい土であることがわかる。原位置における飽和度は約78%と水八ケは一般的な土と同等であるが,原位置の締固め度は85.1%で自然地盤の締固め度としてはやや小さく感じられる。また,液性限界が39.20%であるのに対して降雨後3日目の自然含水比が36.14%であり,少量の水分が加わることでドロドロになってしまう特徴が示された。一方,一面せん断試験からは,見かけの粘着力がほぼ無いことが示されている。

最後に、田代地区に隣接しながらも被害の少なかった田代地区の耕作土について見てみる。田代地区 (耕作土)の土粒子密度は 2.385g/cm³ と小さく、最大乾燥密度は 1.075 g/cm³ 、最適含水比は 43.5%と,有機物まじりの耕作土らしい特徴を示した。原位置における飽和度は約 90%,自然含水比は 55.10%と大きいものの,塑性限界は 59.71%であるので,含水量の数値のイメージとは異なり,土の手触りにベタつき感は少ない。再び締固め曲線に視点を転じると,原位置の乾燥密度 0.976g/cm³ の状態で飽和させても,含水比は約 61%までしか上昇できないため,本試料の液性限界値である 79.60%に到達しない。これはすなわち,田代地区(耕作土)の状態の土は,多くの降雨が浸透しようともドロドロになることは無く,塑性状態を維持するということである。一面せん断試験結果は,見かけの粘着力が 5.6kN/m²,内部摩擦角は7.4 度であった。これらの結果より,田代地区(耕作土)の試料は,隣接する田代地区の試料に比べて,液性限界が大きくて現位置の土の状態ではドロドロになり得ないこと,かつ粘着力が大きいことにより,水流による洗掘・流失に抵抗できたものと考えられる。

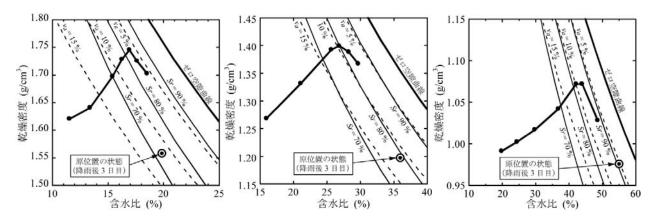


図 3.164 試料の締固め曲線 (左: JR 吾妻線,中央:田代地区,右:田代地区耕作土)

表 3.13 試料の物理特性・力学特性

	出作	土の採取箇所						
項目 	単位	JR吾妻線	田代地区	田代地区(耕作土)				
土質分類	-	細粒分礫まじり砂 (S-FG)	細粒分まじり砂 (S-F)	細粒分まじり砂 (S-F)				
手ざわり	-	粗粒の砂の中に微細な 砂分も多く感じる。 水分ですぐ膿む。	粒度の揃った火山性の 砂,粘性無し	有機物まじり 粘性あり				
土粒子密度	g/cm ³	2.707	2.641	2.385				
最大乾燥密度 (JIS A 1210, A-a法)	g/cm ³	1.745	1.400	1.075				
原位置乾燥密度	g/cm ³	1.558	1.192	0.976				
原位置締固め度	%	89.3	85.1	90.8				
最適含水比	%	17.0	26.5	43.5				
自然含水比 (降雨後 ³ 日目)	%	19.94	36.14	55.10				
塑性限界	%	NP	NP	59.71				
液性限界	%	NP	39.20	79.60				
(以下,再構成試料を用いて原位置の乾燥密度を再現した定圧一面せん断試験 (JGS 0561)による)								
見かけの粘着力	kN/m^2	12.1	0.9	5.6				
内部摩擦角	度	17.5	11.6	7.4				

(4) 埼玉県

埼玉県から提供して頂いた土砂災害・道路被害の報告リスト (2019/11/22 時点)に基づき,2020/12/20 に主な箇所を踏査した。リストでは県内 68 箇所があげられていたが,被害の大きさにかかわらず報告のあった箇所をあげているため,この他にも斜面崩壊が起きている可能性がある一方で,道路の路肩や法面が少し崩れるなどの小規模なものも含まれている。人的被害は 0 件,家屋の被害は 3 箇所で合計 5 軒と報告されている。被害箇所のほとんどが,埼玉県西部の山岳・丘陵地帯に分布しており,都市部は道路沿いの擁壁の変状などだった。これは,埼玉県の中部・東部は関東平野の一部であり急斜面が少なく,また降雨量も県西部で多かったためと考えられる。図 3.165 は,台風 19 号通過時の総雨量分布に,リストに挙げられた災害箇所を重ねたものだが,やはり降雨が多かった地域で災害も多かったように思える。本調査では踏査しなかったが,この図で最大雨量とされている南西部の浦山ダム付近も,当時のリストに挙がっていない地滑りが起きていたとのことである。

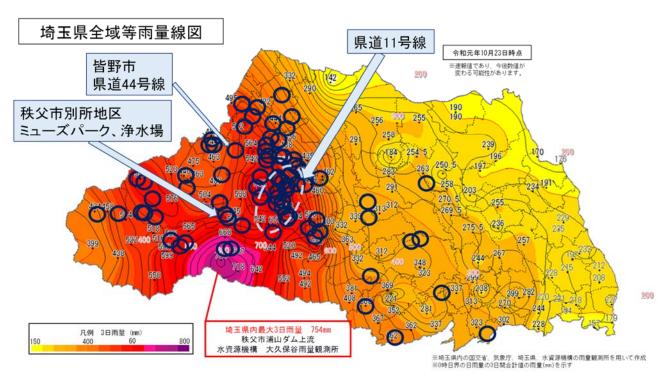


図 3.165 等雨量線図(10月10~12日の3日間雨量)に土砂災害箇所(印)を重ねて表示

以下,踏査した範囲での主な崩壊箇所を列挙する。

i) 県道 11 号線(熊谷小川秩父線)

リストのうち約 1/3 にあたる 22 箇所は,東秩父村から定峰峠を抜けて秩父大野原へ抜ける県道 11 号線の道路沿い,およびその周辺の斜面に分布し,多数の斜面崩壊,路肩の崩落,土砂流出の跡が見られた。特に峠の区間は,発災から 2 ヶ月以上後の調査時点でも通行止めの状態だった。







図 3.166 県道 11 号線沿いの被害

左上: 民地裏山から道路への土砂流出右上: 河川洪水による道路路肩の浸食左下: 河川洪水による橋桁の流出

ii) 秩父市別所地区

秩父ミューズパークの秩父側の遊歩道部分の南東向き斜面で,大規模な崩壊があった。また,そこから沢を超えて500m程度離れた別所浄水場の裏山の斜面でも崩壊があり,送水管の破断による断水などの被害も生じた。



図 3.167 別所浄水場の裏山の崩壊

iii)皆野町宅地裏の斜面崩壊

皆野町県道 44 号線沿いで,幅 60m,比高 15m 程度の斜面崩壊があり,建物 3 軒が全壊・半壊と記録されている。崩壊部分が盛土かどうかなど詳細は分からなかったが,深い円弧滑りのようだった。



図 3.168 県道 44 号線沿いの斜面崩壊

(5) 東京都

図 3.169 に , 国土交通省・統合災害情報システム (DiMAPS) より作成した斜面災害の発生箇所を示す。以下の東京都防災ホームページにおいて ,「令和元年東日本台風に係る対応について」が公開されている。

https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/saigai/1006952/index.html

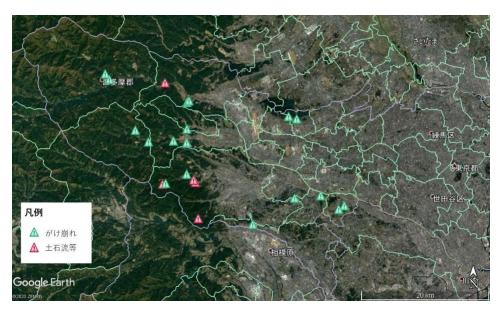


図 3.169 国土交通省・統合災害情報システム (DiMAPS) より作成した斜面 災害の発生箇所(東京都)

(6) 神奈川県

神奈川県内においても,台風 19 号の影響で多くの斜面災害が発生した。被害が多く報告されている地域は,箱根町と相模原市である。本報告書においては,両地域の中でも特に被害が顕著であった箇所についての報告を行う。

箱根町

箱根町は台風 19 号上陸当時,全国で 1 位の 降雨量を記録した。この影響で大規模な斜面 災害が複数箇所で発生し,甚大な被害をもた らした。特に大規模な斜面災害が発生した箇 所は,国道 138 号線(箱根町宮城野~仙石原) と箱根登山鉄道(箱根湯本~強羅)である。 Google Maps 上の位置を図 3.170 に示す。箱根 登山鉄道の上記区間では複数箇所で災害が発 生しているが,特に大規模な斜面災害が発生 したのは地図上の 2 地点である。

国道 138 号線では崩落した土砂が道路を塞ぎ,上記区間通行止めとなった。当時の写真を図 3.171 に示す。また,被災箇所全景を図 3.172 に示す。現在は仮設橋梁が設置され迂回路通行できるようになっており,通行止めは 2019/12/27 に解除となっている。通行止め解除後の同箇所の写真(2020/1/23 撮影)を図 3.173 に示す。写真右手が従来の国道 138 号線,左手が迂回路となっている。

箱根登山鉄道上の土砂災害発生箇所を図 3.174 に示す。大規模な斜面災害が発生したのは,大沢橋梁付近と蛇骨陸橋付近である。また,蛇骨陸橋付近の斜面災害全景を図 3.175 に示す。両地域とも復旧工事が進められており,箱根登山鉄道は 2020 年 7 月下旬の運転再開を予定している。



図 3.170 斜面災害発生箇所 (箱根町 , Google マップより)



図 3.171 斜面災害発生当時の国道 138 号線(箱根町宮城野~仙石原)より)

【被災箇所全景】



図 3.173 通行止め解除後の国道 138 号線(箱根町宮 城野〜仙石原)

図 3.172 被災箇所全景 (国道 138号,神奈川県 HPより)

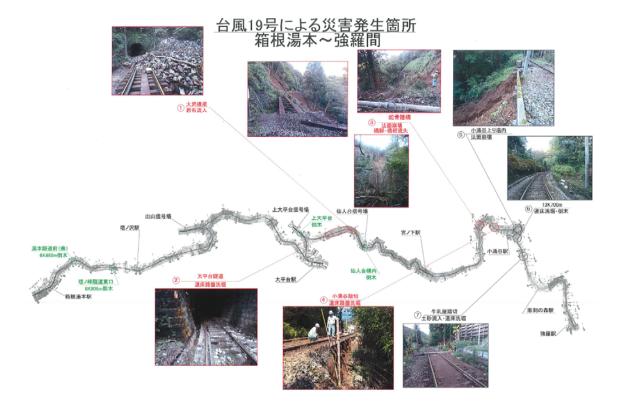


図 3.174 斜面災害発生箇所(箱根登山鉄道提供)

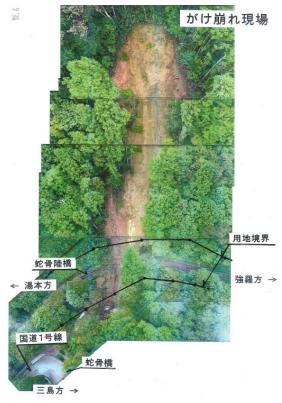


図 3.175 被災箇所全景(蛇骨陸橋,箱根登山鉄道提供)

相模原市

相模原市においても箱根町と同様,台風19号発生当時は全国の中で上位の降雨量に見舞われた。相模原市の中でも特に緑区での災害発生件数が多い。大規模な斜面災害が発生した箇所を図3.176に示す。上図の , においては人家が土砂崩壊に巻き込まれており,住民が亡くなられた。2020/3/11に現地を訪れた際に撮影した写真を図3.177,図3.178に示す。斜面崩壊が発生した当時は道路の通行が不可能であったが,現在は土留め工事が行われており通行が可能となっている。



図 3.176 斜面災害発生箇所(相模原市)



図 3.177 斜面災害発生(図 3.176)箇所の様子(2020/3 時点)



図 3.178 斜面災害発生(図 3.176)箇所の様子(2020/3 時点)

(7) 山梨県

図 3.179 は , 統合災害情報システム (DiMAPS) より作成した斜面災害の発生箇所に山梨県提供データを追加して作成した。この図における「その他」は , 道路等への土砂流出箇所がほとんどである。

図 3.180 に , 国道 52 号 (身延町古屋敷)で発生した法枠上部の斜面崩壊を示す。この崩壊により , 国道 52 号が , 10 月 12 日より 17 日まで , 5 日間通行止めとなった。関東地方整備局の以下のホームページに報告されている。

https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000758869.pdf

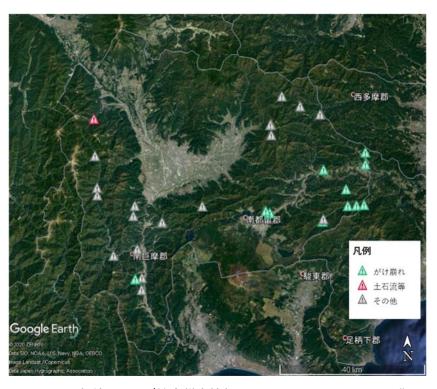


図 3.179 山梨県および統合災害情報システム (DiMAPS)より作成した山梨県における斜面災害の発生箇所 (山梨県データ提供)





図 3.180 国道 52 号(身延町古屋敷)で発生した法枠上部の崩壊

3.4.5 令和元年 10 月末に発生した豪雨災害

千葉県内では,台風19号(10月12~13日)による土砂災害の発生は少なかったが,それに続く低気圧の接近に伴う大雨(10月24~26日)により,土砂災害が多数発生したのが特徴となる。千葉県内の降雨履歴と土砂災害発生状況の関連について精査する必要がある。ここでは,10月24~26日の大雨により千葉県内で生じた土砂災害の状況とその特徴を見てみる。調査地点を,図3.181に示す。調査は,調査団員の塚本と野田翔兵氏(東京理科大学助教)で,11月25日に実施した。国土交通省HPに公開されている被災地の情報を活用していることを付記しておく。



図 3.181 調査地点

土砂災害の主な形態は,斜面災害であり,以下のように分類できる。

- (1)地すべり土砂による住家への被害
- (2)水分を多く含む地すべり土砂が泥流化し田畑へ流出
- (3)道路への地すべり土砂の流出

上記のいずれも、千葉県北部と中部に点在する台地と谷地の間の斜面で発生しているのが特徴である。

以下に、各調査地点における被災状況を見ていく。

図 3.182 に , 千葉市緑区誉田で生じた住家への被害を示す。台地と谷地の間に位置する道路の脇の崖に隣接する住家である。崖上は , 緩斜面の住宅地であり , 降雨は少なからず崖上の道路等を伝い , 本住家直上の崖に流れ落ちて来ていたものと思われる。図 3.183 に , 大網白里市南玉で生じた住家への被害を示す。崖下の谷地に位置する住家であり , 竹が繁茂する崖の 2 か所で崩落が発生していた。崖上には , JR 外房線が通っている。現在も , 竹が繁茂する斜面からは多くの流水が生じている状況である。図 3.184 に , 長生郡長南町坂本の八坂神社の被害状況を示す。裏の崖からの崩壊土砂による倒壊を生じている。

図3.185 に,長生郡長柄町刑部で生じた耕作田への被害の状況を示す。耕作田に隣接する崖において,斜面崩壊が生じ,崖下の耕作田に崩壊土砂が流れ込む。流れ込んだ土砂は,降雨により水の溜まった耕作田の上において泥流化する。いったん泥流化した土砂は,下流の田畑へと流出していく。このような一連の過程を経て,耕作田に被害をもたらしていることが見てとれる。

図 3.186 に,長生郡長柄町刑部で生じた道路脇の斜面からの崩壊土砂の道路面への流出による被害の 状況を示す。崩壊土砂は砂分を多く含み,台地を形成する洪積砂層(第四紀堆積層)であると考えられ る。図 3.187 に,やはり長生郡長柄町刑部で生じた,道路脇の剥き出しの斜面からの崩壊土砂の道路面 への流出による被害の状況を示す。斜面の崩壊域は奥深くえぐれており,道路下の谷地まで勢いよく崩 壊土砂が流出したことがうかがえる。

以上の被害状況をとりまとめて,今後の知見にしていく必要がある。千葉県北部と中部に多く存在する,台地と谷地の間の斜面,台地の低地との縁辺部の斜面では,大雨や地震により,風化,浸食,崩

落,崩壊が,今後も継続して発生することが予想される。とくに,予報がなされる大雨については,今後の避難行動計画に活かされるべきである。追記となるが,今回の台風や大雨では斜面災害が生じなかったが,千葉県西部の内房総には,堆積岩からなる切り立った崖が多く点在する。これについても,注視していく必要がある。



(a) 11月25日現在



(b) Google Street View



(c) 崖上の緩斜面住宅地



(d) 崖上からの眺望

図 3.182 住家への被害 (千葉市緑区誉田)



(a) 11月25日現在



(b) Google Street View



(c) 崖上には JR 外房線



(d) 斜面の近景

図 3.183 住家への被害 (大網白里市南玉)



(a) 11月25日現在



(b) Google Street View



(c) 裏の崖からの崩壊土砂

図 3.184 神社への被害(長生郡長南町坂本・八坂神社)



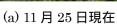
(a)崩壊斜面と耕作田の崩壊



(b)崩壊土砂の泥流化

図 3.185 地すべり土砂の泥流化と田畑への流出(長生郡長柄町刑部)







(b) Google Street View



(c) 斜面からの崩壊土砂の流出

図 3.186 道路への被害(長生郡長柄町刑部・地点1)



(a) 11月25日現在



(b) Google Street View



(c)崖上の崩壊域



(d)崩壊土砂の道路下への流出

図 3.187 道路への被害(長生郡長柄町刑部・地点 2)

3.4.6 斜面災害の免疫性

2019 年 10 月に発生した東日本台風等(台風 19 号, 21 号)による豪雨災害は,関東地方の広範囲に 斜面崩壊,土石流,土砂流出被害をもたらした。関東地方の6県で発生した斜面災害を調査した結果, 調査地域にはいろいろな地質が分布しており,地質ごとにやや違った土砂災害が発生していた場合と地 形と表土や盛土などの基盤地質に係わらない災害も多くあった。

特に,今回の降雨は,時間雨量 100mm を超えるような極端な雨量強度はなく,降水期間も約1日程度で数日続くような長雨でもなかった。このため,地域全体に斜面災害が多発することは少なく,深層崩壊も認められなかった。斜面崩壊では,表層崩壊が多かったのであるが,地質的な観点からは火山灰層・断層破砕帯・新第三紀層などでやや規模が大きく,発生する数も多く認められた。

斜面災害の免疫性と繰り返し性については,いろいろな論文や報告があるたとえば1-7。難しい問題ではあるが,今回の豪雨では東北地方・関東地方で同じような降雨ではあったが,東北地方で斜面災害がやや多く,関東地方ではやや少なかったように感じられたので,ここではこの観点から少し考察したい。

まず、斜面崩壊や土石流が発生する繰り返し性の期間(免疫性)はどのくらいなのか気にかかることである。一般に、一度崩壊した斜面には不安定な崩土はなくなる。さらに、土石流が出た渓流では渓床に不安定な土砂がなくなることが多い。このため、少なくとも再度土砂災害が発生するまでには、長い期間がかかると予想される。

これに関して,土砂災害防止法の制定のきっかけにになった土砂災害の多いとされている広島(特に花崗岩分布地域)での興味深い報告を3例挙げて説明する。日本応用地質学会が編集した西日本豪雨災害報告書では,西日本豪雨とその62年前の1945年枕崎台風の降雨量は類似しており,共に多くの土砂災害を発生している。そこで,斜面崩壊がどこで発生したかを2つの豪雨直後の空中写真で比較した例が,図3.188である。図3.188によると,両時期で一致する斜面崩壊箇所はほとんどなく,斜面での不安定土砂の堆積は62年程度では起こらないことを示している。

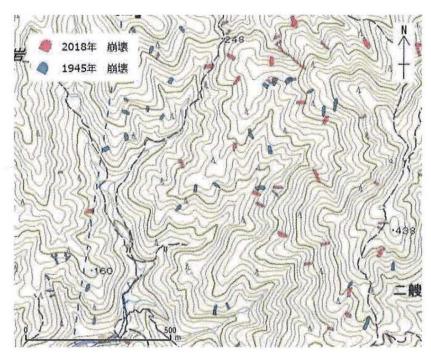


図 3.188 1945 年枕崎台風と 2018 年西日本豪雨の際の崩壊地の比較 8)

次に両災害の土石流の発生箇所を比較したものが、図 3.189 である。図 3.189 によると、62 年間で繰り返し土石流が発生した渓流の数は少ないが認められる。これは、渓流長の長い渓流で不安定な土砂を残している斜面が流域に残っており、そこで発生した斜面崩壊が土石流となって流下したと考えられる。したがって、流域面積の大きな渓流では 62 年程度でも繰り返し土石流が発生することは考えられる。ただし、一般的な小中規模の渓流では 60 年程度では繰り返し土石流が発生することは無いようにみえる。



図 3.189 1945 年枕崎台風と 2018 年西日本豪雨の際の土石流の比較 9)

広島ではどのくらいの間隔で土石流が発生しているかについては,日本地質学会が発行しているジオルージュ 2020 年前期号が参考になる。図 3.190 によると,松木・小笠原は C14 法で土石流堆積物の年代測定を行っており,広島ではだいたい $150 \sim 400$ 年の間隔で土石流が発生しているという結果を得ていて,このデータは先の日本応用地質学会が編集した西日本豪雨災害報告書の 2 つのデータとも整合的である。



図 3.190 2014 年広島豪雨災害地での土石流の被災間隔 10)

さて,今回の東日本豪雨で被災した関東地方に目を向けると,雨ではないが約100年前の直下型関東大震災(1923年)や約70年前の1947年カスリーン台風・1949年キティ台風等において関東地方で多くの土砂災害が発生している。それに対して,東北地方への台風の上陸は過去には少なく,東日本大震災も土砂災害が多いとされる直下型地震ではない。このことが,土砂災害の免疫性の上から東北地方で斜面災害がやや多く,関東地方ではやや少なかった理由の1つではないかと考えている。

たとえば,箱根地区で発生した約 100 年前の関東大震災での土砂災害(井上・笠原 11))と今回の東日本豪雨により発生した土砂災害を比較したものを,図 3.191 に示す。図 3.191 によると 両者の土砂災害位置が重ならないことが多いようにみえる。ただし,両者を比較する目的で現地調査を実施した結果ではないので,今後は現地調査等を実施して確認する必要がある。また,2010 年 9 月に発生した神奈川県北部豪雨の際の土砂災害箇所 12)では,概略調査ではあるが今回の東日本豪雨による土砂災害は少なかった。さらに,約 70 年前のカスリーン台風 13)・キティ台風 14)での被災箇所が再度被災したということは少なかったようである。

今後,これらの土砂災害の免疫性・繰り返し性について地域性や地質・地形の違いなどを踏まえてさらにデータを収集し現地調査を重ねることにより,研究を進める必要がある。



図 3.191 関東地震 (1923 年) において箱根地区で発生した土砂災害 (井上・笠原 11) と台風 19 号により発生した土砂災害の参考図 (注:現地調査等により、より精度の高い調査が必要である)

参考文献

- 1) 吉永秀一郎・西城潔:北上山地北部の完新世における百年・千年オーダーの斜面変化,地形,第 10 巻, 第 4 号,285-301 頁,1989 年.
- 2) 飯田智之:表層崩壊の免疫性と崩壊確率モデル,地形,第14巻,第1号,17-31頁,1993年.
- 3) 清水収・長山孝彦・斎藤正美:北海道日高地方の山地小流域における過去 8000 年間の崩壊発生域と崩壊発生頻度,地形,第16巻,第2号,115-136頁,1995年.
- 4) 下川悦郎:農業土木技術者のための森林保全学(その3) 森林の土保全機能と森林の管理 ,農土 誌,64(3),275-281頁,1996年.

- 5) 今村遼平:山地災害の『免疫性』について,応用地質,第48巻,第3号,132-140頁,2007年.
- 6) 西山賢一・若月強:日本の山地斜面における豪雨に起因した斜面崩壊・土石流の発生頻度,応用地質, 第55巻,第6号,325-333頁,2015年.
- 7) 鈴木素之・阪口和之・楮原京子・松木宏彰:地形・地質条件による土石流発生頻度のちがい,地盤工学会誌, Vol.64, No.4, pp.8-11, 2016年.
- 8) 児玉真一・木村哲雄・山地修二: 広島県南西部における崩壊特性, 平成30年7月豪雨災害 (西日本豪雨災害)調査団報告書,日本応用地質学会,pp.63-72,2019.
- 9) 高見智之・西村智博:2018年7月豪雨時の広島県土石流事例と1945年枕崎台風時災害の比較,平成30 年7月豪雨災害(西日本豪雨災害)調査団報告書,日本応用地質学会,pp.24-28,2019.
- 10) 坂口有人: 土石流と蛇王伝説, ジオルジュ, 2020前期号, 日本地質学会, pp.4-6,2020.
- 11) 井上公夫・笠原亮一:関東地震(1923)時の震災地応急測図原図と土砂災害,歴史地震,第24号, 53-64頁,2009年.
- 12) 下河敏彦・稲垣秀輝・小坂英輝・鵜沢貴文:斜面表層の簡易な土層強度調査と対策工の提案-平成22 年9月神奈川県北部豪雨災害の調査事例-,砂防学会誌,Vol.65,No.5,pp.41-44,2013.
- 13) 災害をもたらした気象事例(カスリーン台風) (https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/1947/19470914/19470914.html)
- 14) 災害をもたらした気象事例(キティ台風) (https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/1949/19490831/19490831.html)

3.4.7 まとめ

本報告は,記録的な豪雨となった台風 19 号が関東地域においてどのような斜面災害をもたらしたのか,降雨特性,地形・地質特性,土質力学特性などと併せて報告した。斜面災害は,関東地方の広範囲にわたって発生したが,小規模な崩壊,土砂流出等が大半であった。しかし,群馬県富岡市で発生した斜面崩壊や,相模原市緑区の斜面崩壊は規模が大きく,尊い命が奪われた。過去の地震や降雨により発生した斜面災害との関係(災害の免疫性,繰り返し性)についても若干の考察を加えた。

国土交通省水管理・国土保全局砂防部のホームページにおいて ,「令和元年台風 19 号による土砂災害発生状況」に関する情報が公開されている。

https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/rldosha/rl typhoon19.html

なお、高速道路の被災および復旧については、以下に報告がある。

- 1) 令和元年台風第 15 号・19 号における NEXCO 東日本管内の高速道路の被害状況と対応: 東日本高速道路(株), 高速道路と自動車, 第 63 巻, 第 3 号, 2020 年 3 月, pp.46-49.
- 2) 令和元年台風第 19 号による被災および復旧の概要:中日本高速道路㈱保全企画本部,高速道路と自動車,第 63 巻,第 3 号,2020 年 3 月,pp.50-52.

謝辞

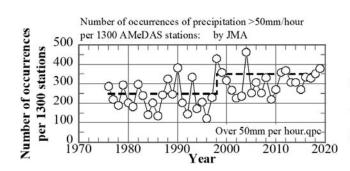
本報告を作成するにあたり,国土交通省関東地方整備局,関東地方各都県の関係部署,ならびに関係する市町村には,情報をご提供いただいた。末筆ながら関係各位に謝意を表します。なお,本報告で示した GoogleEarth 図における斜面災害発生地点の一部は,国土交通省・統合災害情報システム

(DiMAPS) https://www.mlit.go.jp/saigai/dimaps/ を参照して作成した。

3.5 過去の水害通覧と近年の傾向

(1) 水害の危険は増えているのか

「21世紀に入ってから激しい水害が増えている」、そのような感想を持つ人が多いのではないだろうか。記憶をたどってみても、2011年の紀伊半島の豪雨、2013年の伊豆大島の豪雨と斜面崩壊、2017年の北九州、2018年の西日本、そして 2019年の豪雨災害と、立て続けに忘れがたい大災害が起きている。このことは、全地球の気候変動によって集中豪雨の危険が増している、という識者の指摘と相まって、「安全な時代はすでに終わり、我々は未曽有の危険な時代に突入しつつある」といった雰囲気を醸している。しかしよく考えてみると、上のような記述は、突発的な豪雨の頻度増加というデータ(図 3.192、3.193に後述)を除くと、いずれも印象に過ぎない。実際には、1945年枕崎台風、1947年カスリン台風、1957年諫早豪雨、1959年伊勢湾台風、1961年三六災害、1967年羽越災害、1974年七夕災害、1982年長崎大水害など、「未曾有」という形容があてはまる水害は、過去にも珍しくなかった。その経験が現代人の記憶には残っておらず、最近の事柄だけを見てうるたえているのが我々の実態かもしれない。そこでこの節では、過去の水害データを収集し、実際に基づいて現代人が直面している「危険」の中身を考究してみたい。



Number of occurrences of precipitation >400mm/day per 1300 AMeDAS stations; by JMA

10 1970 1980 1990 2000 2010 2020

Year

図 3.192 時間あたり 50mm を超える集中豪雨の発生 回数 (気象庁 AMeDAS 等の資料による)

図 3.193 一日あたり 400mm を超える集中豪雨の 発生回数 (気象庁 AMeDAS 等の資料による)

集中豪雨の危険についてよく挙げられるのが,図3.192のデータである。気象庁が1974年にAMeDAS 気象観測ネットワークを導入し始めて以来,国土全体にわたって詳細なリアルタイム降雨観測が可能になってきた。したがって局所的かつ短期的な集中豪雨も,かなりの信頼性をもって検知されるようになった。その成果がこの図であり,時間雨量が50ミリを超えるイベントの年間発生回数(観測点1300か所あたりの数値に正規化)が20世紀末から増えているように見える。日雨量400ミリを超える豪雨の発生回数についても,図3.193のように危険が増えていると言えるであろう。しかし我々の社会はさまざまなインフラによって洪水から守られており,雨量の情報だけから水害の危険が今現在増加しているとは言えないはずである。そこで水害による被災家屋の棟数を一年ごとに合算すると(水害統計から収集),2010年から16年にかけては減少している(図3.194の被災合計数;■印)。そして,この被災総棟数は全棟流失数(●印)とともに,2016年以降は増加に転じていることが,注目に値する。

水害の発生過程は,降雨→河川への流出→流下→洪水防御施設→人間居住地という段階をたどって伝搬する。集中的な降雨が増えていることは,図3.192の通りであろう。しかし水害の発生は降雨だけで決

まるものではない。水の流出(山地から川へ),水の河道流下,ダム・遊水池・堤防など防御施設とのせめぎあいを経て,(最悪の場合には)人間居住地へ水が侵入する。水害の危険を議論するには,この複雑な過程全体を考慮に入れることが必要であろう。戦後営々と行われてきた治水事業(防御施設の設置)の効能は,水害危険度の実態考究に当然繰り込むべき事柄である。また人間の居住のあり方は,水害という脅威に対して強まってきたのかどうか,これも重要なポイントである。これらすべてを考慮して議論することが,本節の目的である。なお一言すると,この考究では人間居住地への水の侵入をもって水害の完結とみなし,避難という重要な行動を考慮から外している。これは,筆者がインフラや家屋というハードの損傷をもって水害と見なしており,人命救助という重要ではあるが複雑なソフトの議論を,他者にゆだねたいと思っているからである。ハードの問題を重視するのは,水害を生き延びた人々が帰還できたとしても,自宅や職場が失われてしまえば,地域の復興は極めて困難になってしまうので,ハードの壊滅を防がなければならない,と考えているからである。

(2)水害記録の通覧

本稿では、戦後たびたび発生した水害を通覧する。それには、水害の規模を表わす示数をまず決めたい。それには被害金額、浸水面積などいくつかの候補があるが、示数としての合理性に加え、長い年月にたびたび発生した水害すべてについて、データが容易に入手できるかどうか、という実用性も重要である。検討を経て本稿が選んだのは、被災家屋棟数である。インターネットで調べるとすぐわかるが、多くの水害とりまとめが必ず触れているのが、降水量と被災家屋の数である。人的損傷数も重要な事項ではあるが、人は助かっても被害は甚大であったという場合もあり、水害規模のデータとしては使いづらい。国交省の水害統計にも詳細な情報があるが、詳細すぎて戦後の災害をすべてまとめる作業には、使いづらかった。そこで本稿では、長年にわたり災害後に気象庁から発表されてきた資料(たとえば「災害をもたらした気象事例」)を収集し、災害ごとに示されている被災家屋棟数のデータ(消防白書に基づくと記載がある)を利用した。雨量も同じ資料に記載があるほか、AMeDAS 導入以降はディジタル台風というサイトにまとまった情報がある。またごく一部、家屋の被災に関する資料が掲載されていない水害事例もあり、その場合は地方自治体などが公開した資料をも利用した。

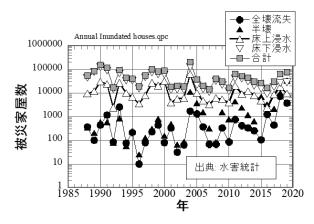


図 3.194 一年ごとの水害被災家屋の棟数集計 (出典:水害統計)

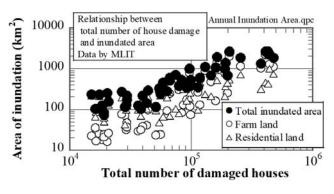


図 3.195 被災家屋総棟数と水浸面積との関係 (出典:水害統計)

家屋の被災には全壊や半壊(水流という外力による破壊のほかに,斜面崩壊や土石流に起因するものも含まれる),床上・床下浸水という種類があるが,ここではすべての被災棟数を単純に合算した。本稿の目的が豪雨災害の規模の定量的な把握にあり,本来なら最も望ましいデータであるはずの浸水面積が収集しづらく,その代用として,そして斜面災害も考慮の一端に入れるため,被災家屋棟数を使うことを決断したのである。浸水面積と被災棟数とは決して一対一に対応するものではないが,おおよその相関はあるものと期待してよいであろう。結果的には,全壊や半壊棟数より浸水棟数の方が2桁以上多いことがわかり(全国対象の水害統計のデータをプロットした図3.194参照),被災棟数が浸水の規模に関連していることが分かった(水害統計のデータを図3.195に示す)。

考究に採用した水害の発生件数は,1945 年の枕崎台風から2019年10月下旬の千葉県の災害まで,合計して197件である。その年代分布を図3.196に示す。21世紀のデータが多数を占めるが,それには古い時代のデータが公開しきれていないという理由があり,必ずしも近年に災害が増えていることを意味はしない。

水害発生時に各地の気象庁の施設で観測された 一日雨量(近年は開始を午前0時に限定しない24 時間雨量が発表されている)のうち,災害イベント

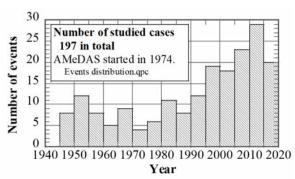


図 3.196 考究の対象とした水害の年代分布

ごとの最大値を図 3.197 にプロットした。この雨量データは災害時の雨量に限定されており,水害を発生させるパワーを備えた降雨はどのようなものであったか,という情報になる。1974 年の AMeDAS 導入前と後とでは差があってしかるべきであるが,それよりも興味深いのは,1980 年代に一度最大値が下がり,その後じわじわと増加していることである。この増加は,データを災害発生に限定しない図 3.192 の時間雨量の増加と関係があるのかもしれない。

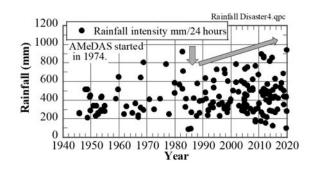


図 3.197 水害時の降雨の強さ最大値 (気象庁 AMeDAS 等の資料による)

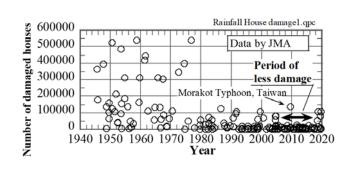


図 3.198 水害にともなう被災家屋棟数 (気象庁の災害資料による)

図 3.198 は,災害ごとの被災家屋棟数の変遷である。一年ごとの合計ではない。伊勢湾台風をはじめとして 1970 年代まで被災棟数が多かったことは,人々の記憶に残っている。それが 80 年代以降めっきり減少したのは,社会における防災体制の進化の成果と言えよう。この傾向は,対数プロットの図 3.194 にも見出される。それに加えて2006年から2016年にかけ,(台湾の Morakot 台風という

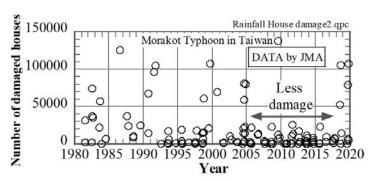


図 3.199 水害にともなう被災家屋棟数,近年の詳細 (気象庁の災害資料による)

稀現象を除外して)国内では前後の時代より被災棟数の小さいことが,関心を引く(詳細を図 3.199 にも示しておく)。この年代は,決して降雨が少なかったわけではなく,図 3.197 の降雨最大値は,むしろ前代より増えている。この年代の被災の少なさに,長年積み重ねられた防災への社会的努力の到達点があったのかもしれない。すると 2016 年以後の被災増加は,図 3.192 や 3.197 の降雨の増加によるものなのか,それとも他の原因があるのか,この問題は後で検討する。

前述したように,水害の規模は降雨だけで決まるものではない。降雨→流出→河道流下→防御施設とのせめぎあい→浸水,という一連のプロセスの結果が災害である。そして社会の水害脆弱性は,降雨と浸水との関係で決まるものである。そこで,水害脆弱性指数(Vulnerability index)を

Vulnerability index, VI24 ≡被災家屋棟数 / 24 時間最大降水量

で定義する。本稿では我が国全体の水害脆弱性の時代変化に着目しているので、右辺の分母と分子は水系ごとの局所的な数値ではなく、どちらも災害ごとに全国をまとめ通観した値である。この指数の年代変化を図3.200 にプロットした。1980 年代から脆弱性が小さくなったことは社会の防災力向上を意味しており、様々な努力の成果と言える。そして2000 年代中期に最小値を達成したあと、2016 年ころに傾向が逆転し、脆弱性が増えつつある。つまり、図3.198 で最近の被災家

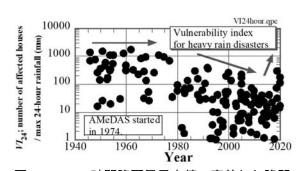


図 3.200 24 時間降雨量最大値で定義した脆弱 係数 (気象庁 AMeDAS 等の資料による)

屋棟数が増えているのは雨量の増加だけによるものとは言えず、他にも原因がありそうである。

これまでの議論では,気象庁観測(気象官署や 1974 年以降の AMeDAS)の全国最大降雨量を使用した。このような最大値は,どんな激しい降雨が起きたかを表現するには向いているが,他方では極端にすぎる値になっている恐れがある。そこで AMeDAS で上位から 10 位目にあたる 24 時間降雨量を用い,脆弱性の検証を繰り返してみた。台湾の Morakot 台風は AMeDAS 観測の範囲外なので,検討には含まれていない。

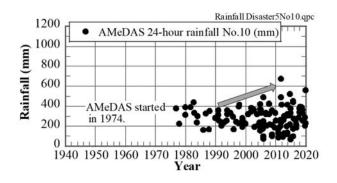


図 3.201 水害時の気象庁 AMeDAS 観測 24 時間降雨量上位 10 番目の値

図 3.201 は,災害ごとの全国第 10 位の 24 時間降水量の年代変化である。 図 3.197 と同様に,1980 年代以来,増加が続いている。次に図 3.202 では,全国 1 位の 24 時間降水量と 10 位の値を比べてみた。 24 時間最大降水量(横軸)が 600mm/24hours までの範囲では,10 位の値(縦軸)は 1 位の値の 2 / 3程度である。しかしこれより強い 24 時間降雨の場合は,10 位は 1 位の 2 分の 1 程度になってしまう。これは,600mm/24hours を超える豪雨というものが局所的かつ例外的な現象であるから,と考えられる。このよう

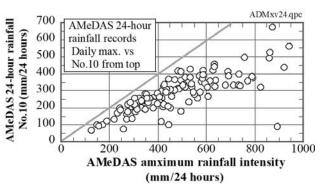


図 3.202 水害発生時の AMeDAS 全国最大 24 時間雨量と第 10 位の雨量の関係 (気象庁による)

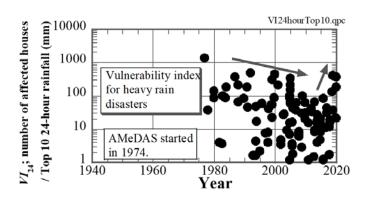


図 3.203 AMeDAS 全国 10 位の 24 時間降雨量を用いて計算した脆弱係数

に,本稿の考究が例外的データに影響されすぎることを避けるためには,全国 10 位の値で議論を繰り返すことに意味がある。新たに計算した脆弱指数をプロットしたのが図 3.203 である。図 3.200 と同様に,21 世紀初めまで脆弱性は徐々に下がり(安全性の向上),2010 年代にさらに急速に低下したのち,2016年ころから増加に転じた。 このように,過去4年ほどの我が国の社会は,水害に対する抵抗を失いつつある,と言える。

(3)近年の社会の脆弱性

図 3.199 で,2016 年以降の被災家屋棟数が増えていることを指摘した。 その原因として筆者の頭に思い浮かぶのは,次の事項である。

1)河川への流出の増加

山地に降った雨水のうちどのくらいが河川に流出するのか,都市域に降った降水のうち直接河川に流出するのはどの程度か,これは地表の状況に支配される現象である。この点に関し,利根川水系河川整備基本方針など国交省関係の鬼怒川のデータを収集した。

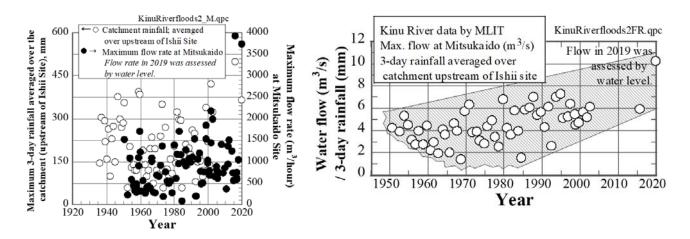


図 3.204 鬼怒川石井地点における上流域平均 図 3.205 鬼怒川における流量最大値と石井地点上流域平均 3 日雨量(左縦軸)と中流の水海道における流 3 日雨量の比(水害発生ごとのデータ) 量最大値(右縦軸)(水害発生ごとのデータ)

図3.204は,災害ごとの鬼怒川の石井地点より上流の流域平均3日雨量と水海道地点の流量最大値との関係である。二つのデータの地点が異なるのは,同一地点では長年のデータが存在しないからである。また,流域平均24時間雨量など,探索にもかかわらず一部の年代では公表データが発見できない,という制約の下での作業成果でもある。上流の雨量が増えると中流の流量も増える(流出量)が,1980年代以降,両者ともに漸増しているように見える。そして両者の比をプロットしたのが図3.205である。1990年以降,比率の上下限値がともに上昇しているように見える。これは流出過程の変化,すなわち降水量に対して流出が多くなっていることを示しているのかもしれない。ただし21世紀の流域平均雨量データがわずかしか入手できておらず,それが今後の課題として残っている。

2)防御施設の品質劣化

インフラの経年劣化が多くの分野で懸念されている。それでは堤防はいかがであろうか。治水予算の 削減は、特に地方自治体において深刻であり、役所の中に治水や土木のエンジニアがいない場合もある と聞く。 その結果、インフラの維持管理に手が行き届かず、堤防に孔が生ずるなど、構造体として劣化 していく恐れがある。

洪水耐久性の劣化は,堤体の浸透破壊によって明瞭に表れるものと,筆者は考えている。2019年の関東地方の事例によると,浸透破壊の報告は埼玉県福川左岸の軽微な事例に限られており,その限りでは堤防劣化は深刻化していない。他方,堤体の基礎を浸透した水によるパイピング破壊は,現象としては重大であるものの,既設堤防の劣化とは結び付かない。また越水による裏法面洗堀は2019年にも各所で報告されているが,土堤はもともと洗堀に弱いため,これらの事例を劣化に結びつけることは難しい。

3)人々の防災責任感の低下

図3.5.7のように,一度に数十万棟の家屋が水害によって被災する時代は,遠い過去のものとなった。それは幸福なことではあったが,反面,一部の専門家を除いて水害を我が事として対応する人々が,公的機関や民間を問わず,減ってしまっているのではないか?専門家に「任せる」ことは間違っていないが,

「任せきって」安心していて良いのであろうか。



例(2019年10月,災害直後に撮影)



図3.206 多摩川左岸の堤内地に居住していた浸水事 図3.207 私有地の自然堤防を事業のために切り崩し て2015年の溢水を招いた地点(2018年7月,常総市の 鬼怒川左岸で撮影)

疑問を感じざるを得ない例を挙げよう。図3.206は,多摩川の左岸堤内地に居住していて浸水を被った 例である。同様の例が右岸側でも報告されているが、そもそも堤内地でなぜこのような永久建築が許可 されたのかが不審である。防災の意識が、施主にも居住者にも建築関係部署に不足しているのではない か?

図3.207は,常総市の鬼怒川で,自ら所有する土地に存在していた自然堤防を切り崩し,ソーラーパネ ルを設置した事例である。地域住民や官庁からは取りやめを勧告・説得されたにもかかわらず、切り崩し の土地が法的規制の外であったため,結果として自然堤防は除去され,現地は無堤状態に陥った。この行 為は法令に違反しないという意味では適法であったが、所有者に水防意識があれば、自粛したのではな いだろうか。結果として2015年の洪水で,鬼怒川はこの地点からも溢水した。治水が公の責任であること は言うまでもないが、居住者自身が無関心であってよいものではない。また違法でなければ何をしても 良いのであろうか?法に不備のある場合もあるであろう。いかなる状況であれ、居住者は自分の安全を 最後は自ら守るべきではないだろうか。 たとえば交通安全施設の整備は警察と公安委員会の責務である。 だからと言って,歩行者が左右の安全確認をせずに道路をむやみと横断することは,自分の命を粗末に することである。安全は公の責務であるが、我が身を守ることは自分自身に対する責任でもある。それく らいのことはイヌでも理解しており、いざとなれば自己防衛本能を発揮する。

以上,1945年から2019年までの水害史を振り返り,教訓らしきことを述べた。2016年頃を境に,我が国 は危険の高まる時代に入ったように見える。治水担当の公的機関に安全確保を任せきり、自らは安逸を むさぼることは, 自らの命を粗末にすることである。 公助と同時に自助共助の意識を保つことが必須で ある。

4. 千曲川流域調査団報告(北陸・中部支部調査団報告)

4.1 調査目的,概要,調査団メンバーなど千曲川58k左岸(穂保地区)の堤防被害について

調査目的および方針

令和元年(2019年)の台風 19号の影響で 10月 12日より関東甲信地方を中心に記録的な大雨となり,15時 30分に大雨の特別警報が長野県を含む7都県に発表された。台風 19号本体が上陸する前から雨雲が断続的に生じて,広範囲で強い雨が降り続け,各地で観測記録を塗り替える大雨となった。上田市,佐久市など千曲川上流域で3日間だけで300mmを超える雨量を記録した。

この大雨によって,千曲川左岸 58k 付近での約 70m にわたる堤防の決壊,千曲川左岸 104k 付近の延 長約 300m にわたる堤防の欠損に起因する千曲川橋梁(上田電鉄)左岸側橋台の被災を始めとし,県管 理河川でも堤防決壊が発生し,甚大な浸水被害を発生した。また,流域では河川堤防だけでなく,路肩 崩落,法面崩落,道路崩落などの地盤災害も生じている。

本章では,千曲川の河川堤防被災と佐久間市を中心とする地盤構造物の被害を中心に取りまとめることとした。

調査では,一般的な災害に関するデータを残すだけでなく,今後も起こりうる降雨による地盤災害に「備える」ために,どのような情報を残しておくかに主眼をおき,次に備える一助としたいと考えた。 そこで,本報告においては以下のことに留意してまとめることとした。

- 外力の大きさと被害の規模の関係は従来の予測の範疇にあるのかどうか。
- ・ 堤防の被災においては越水が主要因とされているが浸透による裏法尻の弱体化などの影響はある のか。越流と浸透の複合作用であった可能性はあるのか。
- ・ 堤防の破堤に対する粘り強さは発揮されたのか。甚大な被災箇所以外に残された,被災プロセス の重要な情報は残されているのか。被災箇所・非被災箇所を分かつ理由は何か。
- ・・対策効果は発揮されたのか。また,越流以外を目的とした対策は越流に効果を発揮したのか。
- 今後の豪雨災害対策に資するために、どのような情報をどのように残すべきか。

調査体制

本調査の中心となる長野県は学会の中部支部エリアである一方で,千曲川の管理が国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所であることから,北陸と中部支部の合同調査団とした。また,「災害時における調査及び技術支援等の相互協力に関する協定」に基づき国土交通省北陸地方整備局,中部地方整備局,長野県などの関係官庁,自治体の協力を得るとともに,北陸および中部の地質調査業協会と協働した。水災害の調査には地形・地質の影響の把握は不可欠である。さらに,洗堀・侵食には河道と護岸・堤防の関係,速い水の流れと土の相互作用といった視点での分析も必要なため,水工学・河川工学との連携団員,北陸・中部以外からの団員も加えた。表 4.1.1 に示すメンバー千曲川流域調査団を構成し,上記方針に基づき多角的な調査・分析を行った。

調査団としての現地踏査は千曲川河川事務所職員の案内の下,以下のように二度行った。報告書では 各団員から提供された調査結果も用いている。

- · 令和元年 11 月 6 日 (水) 千曲川 58k 付近左岸(穂保地区)および右岸(相之島地区), 104k 付近 上田市内の堤防欠損現場
- · 令和2年2月23日(日) 千曲川 穂保堤防決壊現場・開削箇所

表 4.1.1 千曲川流域合同調査団

役 職	氏 名	所属	関連委員会・推薦・調査団
団長	大塚 悟	長岡技術科学大学	
団員・幹事	前田 健一	名古屋工業大学	
団員	小高 猛司	名城大学	
団員	杉井 俊夫	中部大学	
団員	肥後 陽介	京都大学	
団員	吉川 高広	名古屋大学	
団員	土本 浩二	(株)ダイヤコンサルタント	中部地質調査業協会
団員	福元 豊	長岡技術科学大学	
団員	高原 利幸	金沢工業大学	
団員	新保 泰輝	石川工業高専	
団員	佐藤 豊	(株)キタック	
団員	梅崎 健夫	信州大学	
団員	河村 隆	信州大学	
団員	竜田 尚希	富山大学	
団員	村尾 英彦	(株)村尾地研	
団員	安田 浩保	新潟大学	河川工学,水工学 連携団員

4.2 被災概要

本節では,国土交通省北陸地方整備局「千曲川堤防調査委員会」の資料 ¹⁾および国土交通省「河川整備基本方針」の資料 ²⁾を参考にして,千曲川堤防の被災概要および被災地域の特徴を示す。

1) 流域特性

図 4.2.1 は千曲川・信濃川(一般に長野県内では千曲川,新潟県内に入ると信濃川と呼ばれる)の流域 図を示す。千曲川・信濃川は,その源を甲武信ヶ岳に発し,佐久盆地・上田盆地を貫流した後,坂城広谷 を経て長野盆地に入り,支川の犀川と合流する。その後,立ヶ花狭窄部,飯山盆地,戸狩狭窄部を経て,新潟県の越後平野を貫流して日本海に注ぐ幹線流路延長が日本一(367km)の大河川である。

長野県の面積 13,562 km² のうち,千曲川の流域面積は 7,163 km² であり,長野県の半分以上を占める。また長野県の人口は約 206 万人であり,そのうち 7 割以上の約 150 万人が千曲川流域で生活している。

北陸新幹線,長野・上信越自動車道などの高速交通機関をはじめとした基盤整備により,流域内と関東,北陸,中部等の各地域を結ぶ広域交通体系の結節点としての拠点性,地域優位性を有する。



図 4.2.1 千曲川・信濃川の流域図 1),2)

2) 地形,地質

千曲川流域には佐久,上田,長野,飯山盆地が連なっており,これらの盆地は周辺の山岳地帯からもたらされる大量の土砂と水により形成されたものである。図 4.2.2 は千曲川周辺の地形と地質 1),3)を示す。周囲には標高 2,000~3,000m の山脈・山地があり,東側を関東山地,西側を飛騨山脈などに挟まれている。また,千曲川本川流域は,糸魚川-静岡構造線と柏崎-千葉構造線の間のフォッサマグナ地帯であり,中・古生代の地層が陥没した大きな溝に,火山噴出物が堆積した新生代の新しい地層に覆われている。千曲川上流部の川沿いは火山岩から成り,犀川の西側は中・古生代の堆積岩類や花崗岩が主に分布する。長野,松本等の盆地部は洪積層及び沖積層から成っている。

図 4.2.3 は千曲川の河床高・川幅の縦断図を示す。千曲川の源流から佐久盆地に至るまでの河床勾配は約 1/30~1/50,佐久盆地から下流は約 1/200~1/400 である。長野盆地から飯山盆地までの河床勾配は約 1/1,000~1/1,500 と緩くなる。この間,川は蛇行し始めて長野盆地に入り,犀川と合流した後徐々に川幅を広げながら流下するが,立ヶ花狭窄部と戸狩狭窄部では川幅が約 1,000m から約 200m と急激に狭くなる。その後,戸狩狭窄部から新潟県境までは河床勾配約 1/300,川幅 200m の山間狭窄部を流下する。このように,千曲川は佐久,上田,長野,飯山の盆地と山あいの狭窄区間を交互に流れ下るため川幅が大きく変化し,特に立ヶ花狭窄部と飯山盆地の戸狩狭窄部は,両岸に急斜面が迫る渓谷となっている。左岸堤防が約 70m にわたり決壊した千曲川 58k 地点は,立ヶ花狭窄部から約 6km 上流に当たる。

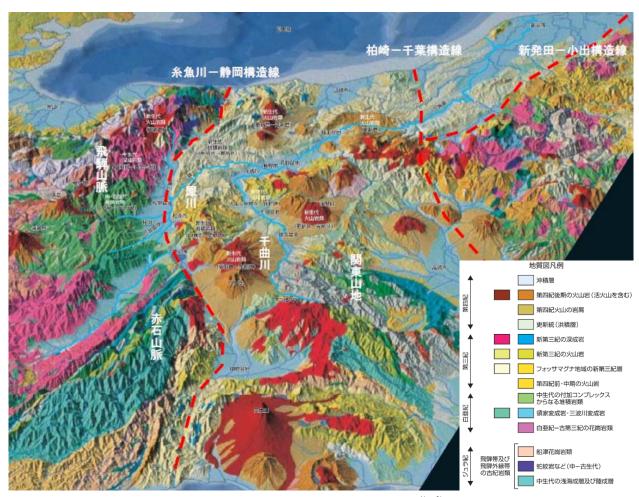


図 4.2.2 千曲川周辺の地形と地質 1),3)

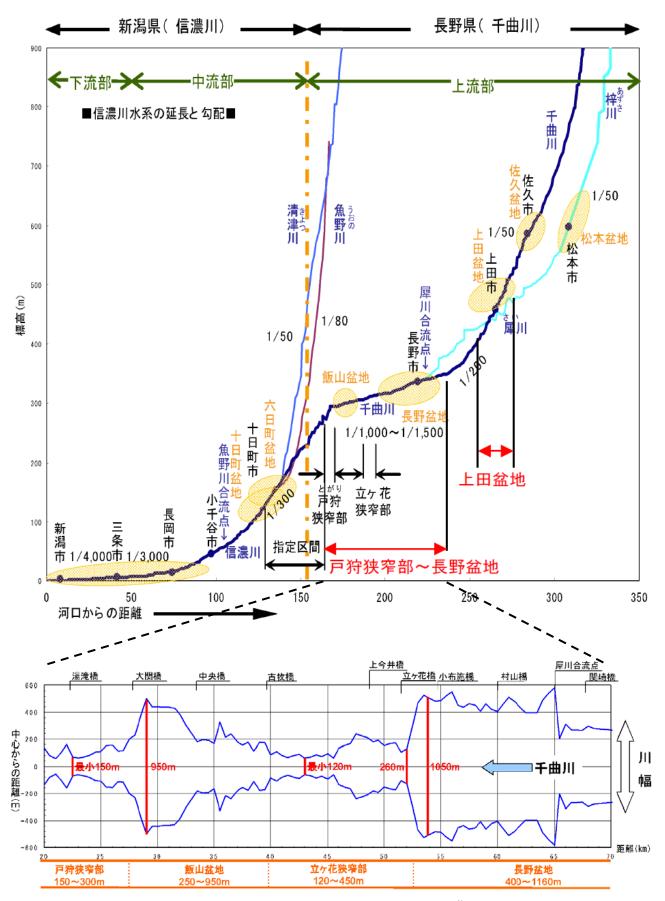


図 4.2.3 千曲川の河床高・川幅の縦断図 1)

3) 外力特性

まず,千曲川・信濃川流域の気候・気象の特徴について述べる。本流域の気候は内陸性気候と日本海性気候に大別される。上流部は,顕著な内陸性気候であり,長野・上田・佐久等の盆地では気温の年較差・日較差が大きく寡雨地域となっている一方で,北アルプス等では山岳気候を呈し多雨地域も見られる。また,中下流部は多雨多湿の日本海性気候であり,冬期間の降雪が多く,特に山間部は世界有数の豪雪地帯である。図 4.2.4 は千曲川・信濃川流域の年間降水量の等雨量線図を示す。年間降水量は,上流部の長野市で約 900mm,中流部の長岡市で約 2,300mm,下流部の新潟市で約 1,800mm である。図 4.2.5 は長野市・長岡市・新潟市の月別降水量の平均値を示す。

次に,今次出水時の気象概要について述べる。台風 19 号の影響で 10 月 12 日より関東甲信地方を中心に記録的な大雨となり,15 時 30 分に大雨の特別警報が長野県を含む 7 都県に発表された。さらに 13 日 0 時 40 分までの半日で 13 都県での発表となり,特別警報の運用開始以来,最多の発表数となった。台風 19 号本体が上陸する前から雨雲が断続的に生じて,広範囲で強い雨が降り続け,各地で観測記録を塗り替える大雨となった。表 4.2.1 は千曲川・犀川流域の 10 月 12 日 1:00~10 月 14 日 24:00 の降水量を示す。図 4.2.6 は観測所位置図を示す。図 4.2.7 は関東甲信越地方の 10 月 10 日~13 日の降水量分布図を示す。今回の豪雨では,上田市,佐久市など千曲川上流域で3日間だけで300mmを超える雨量を記録した。

図 4.2.8 は各観測所における水位の状況を示す。特に立ヶ花(中野市), 杭瀬下(千曲市), 生田(上田市)水位観測所では観測史上第 1 位の水位を観測し, 千曲川本川の 3 観測所において計画高水位を超過する事態となった。

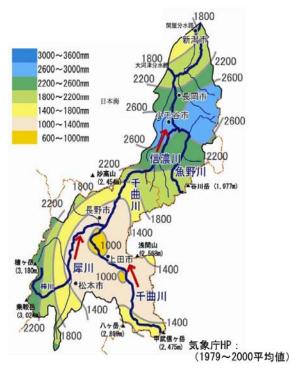


図 4.2.4 千曲川・信濃川流域の年間降水量 等雨量線図 (1979~2000 年の平均値)¹⁾

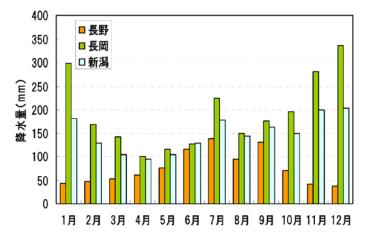


図 4.2.5 長野市・長岡市・新潟市の月別降水量の 比較(1976~2018年の平均値)¹⁾

表 4.2.1 千曲川・犀川流域の降水量(2019年10月12日1:00~10月14日24:00)1)

	千曲川流域												
のぎわおんせん 野沢温泉 野沢温泉村大字豊田	いいやま 飯山 飯山市大字飯山	しなのまち 信濃町 信濃町柏原	かさだけ 笠岳 高山村奥山田	ながの 長野 長野市箱清水	ひじりこうげん 聖高原 ####8ヶ長年二時山	すがだいら 菅平 上田市菅平高原	ラスだ 上田 上田市古里	かけゆ 鹿教湯 上回市直数湯温泉	たてしな 立科 立科町戸田	かるいざわ 軽井沢 軽井沢町大字長金	e く 佐久 佐久市中込	きたあいき 北相木 北相木 ^{北相木村字板置場}	のベヤま 野辺山 南牧村野辺山
208mm	136mm	190mm	335mm	142mm	250mm	296mm	154mm	333mm	271mm	324mm	311mm	395mm	172mm

犀川流域									
きなさ 鬼無里 長野市鬼無里	しんしゅうしんまち 信州新町 長野市信州新町町中	おおまち 大町 大町市大町	ほたか 穂高 安曇野市穂高	まつもと 松本 松本市沢村	まつもといまい 松本今井 松本市大学空港東	ながわ 奈川 松本市奈川	かみこうち 上高地 松本市安昌上高地		
157mm	157mm	98mm	102mm	149mm	130mm	150mm	95mm		



図 4.2.6 観測所位置図 1)

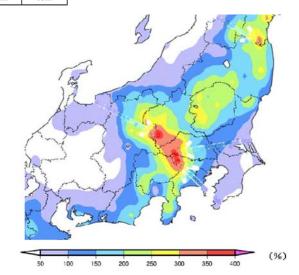
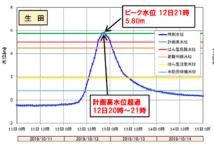
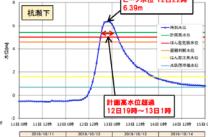


図 4.2.7 関東甲信地方の降水量分布図 (2019年10月10日~13日)¹⁾



観測所名 (地先名) 区分	いくた 生田 (上田市 生田)	くいせけ 杭瀬下 (千曲市 杭瀬下)	たてがはな 立 ケ花 (中野市 立ヶ花)	いねこき 稲刻 ダム ^{(松本市} 安曇島々)	くまくら 熊 倉 (安曇野市 豊科熊倉)	りくごう 陸郷 (安曇野市 明科南陸郷)	こいち 小市 (長野市 川中島)
最高水位 毎正時 (10分)	5. 80m (5. 87m)	6. 39m (6. 40m)	12. 44m (12. 46m)	111m3/s (111m3/s)	3.99m (4.07m)	4.09m (4.19m)	0. 03m (0. 03m)
計画高水位	5. 75m	5. 42m	10. 75m	1,800m³/s	7. 15m	7. 47m	5. 03m
氾濫危険 水位	5. 00m	5. 00m	9. 60m	780m³/s	6. 00m	4. 80m	1.80m
避難判断 水位	4. 50m	4. 60m	9. 10m	690m³/s	5.80m	4. 50m	1.50m
氾濫注意 水位	1. 90m	1.60m	5. 00m	300m ³ /s	4. 00m	3. 30m	0. 00m
水防団待機 水位	0.80m	0. 70m	3. 00m	220m³/s	3. 50m	2. 50m	-0. 50m





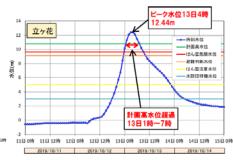


図 4.2.8 各観測所における水位状況 1)

4) 災害の特徴

千曲川左岸 58 k 付近 (穂保地区)では,堤防が約 70mにわたり決壊した(図 4.2.9,図 4.2.10 。決壊の主たる原因は「越水」と考えられ,堤防決壊地点を含む約 1.5 kmで越水し,各所で川裏法崩れが発生している(図 4.2.11 。4.3 節では決壊箇所に関する報告を行う。一方で,決壊地点の対岸である千曲川右岸 58 k 付近(相之島地区)の堤防は,越水が発生したものの,決壊までは至らなかった。4.4 節ではこの右岸に関する報告を行う。その他,長野県内における県管理河川では,皿川及び三念沢,志賀川,滑津川,麻績川にて堤防決壊が発生し,浸水被害をもたらした。



図 4.2.9 千曲川左岸 58k 付近の UAV 写真 (2019 年 10 月 13 日 13 時 10 分頃)¹⁾



図 4.2.10 決壊箇所の様子(2019年10月15日の現地調査時)1)

図 4.2.11 堤防決壊地点(左岸58k)周辺の主な被災状況り

千曲川左岸 104k 付近では,堤防が延長約 300mにわたり欠損し,千曲川橋梁(上田電鉄)左岸側橋台が被災を受け,落橋した(図 4.2.12)。台風 19 号出水前の状況と比較すると,左岸側に発達していた砂州が出水中に大きく侵食し,澪筋が変化して水衝部が形成され,河床の著しい洗掘が見られた。これらから,堤防欠損の主要因は「侵食」と推定されている。4.5 節ではこの堤防欠損箇所に関する報告を行う。また,千曲川上流部では,104k 左岸の堤防欠損の他に,護岸欠損等の施設被害が発生し,左岸78.25k 付近と 82.0k 付近では漏水が発生している(図 4.2.13)。

また,4.6 節では,今回の被災を踏まえた今後の対策・管理方法について検討していくために,穂保地区と相之島地区で,堤防の越流による侵食の差異を生じた要因の分析を試みる。4.7 節では,千曲川上流域に位置する長野県佐久市について,河川堤防だけでなく,道路,林業施設(林道施設),農業施設(田畑,農道,水路,ため池などの被災状況を報告する。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局:千曲川堤防調査委員会資料 (アクセス日:2020/5/22)
- 2) 国土交通省:河川整備基本方針(信濃川水系)
 (アクセス日: 2020/5/22)
- 3) 国土交通省北陸地方整備局 千曲川河川事務所:千曲川・犀川の地形と地質 https://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/shiru/public/chishitu.pdf (アクセス日: 2020/5/22)



台風第19号出水前の状況



2019.10.14撮影







2019.10.14撮影

図 4.2.12 千曲川左岸 104 k 付近の堤防欠損 1)

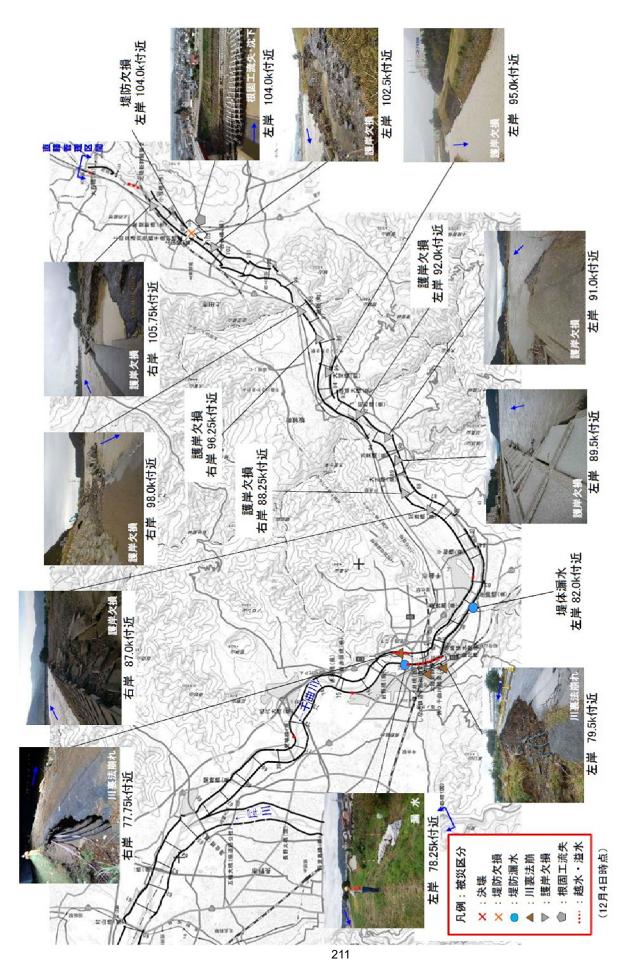


図 4.2.13 堤防欠損地点(左岸 104k)周辺の主な被災状況 ¹⁾

4.3 千曲川 58k 左岸 (穂保地区)の堤防被害について

4.3.1 堤防,河道の特徴

1) 堤防特性

千曲川 58k 左岸(穂保地区)の堤防は,大正~昭和初期の第 期改修時に堤防が直線化されている。また,昭和 58 年災害以降の堤防強対策でかさ上げ等が行われている。図 4.3.1 は大正元年測量図で,この時期の堤防は不連続であり,集落付近に曲がりくねった形状で築かれていることがわかる。図 4.3.2 の昭和 12 年測量図をみると,第 期の堤防改修が行われており,直線化されている。両図より,決壊箇所付近の堤防(津野~穂保集落)は,大正元年測量図と昭和 12 年測量図の堤防位置に変化がないことから,明治以前の古堤防の上に築かれているものと考えられる。

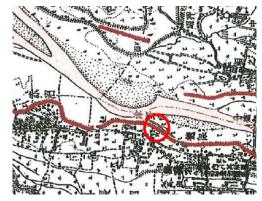


図 4.3.1 大正元年測量図(国土地理院)

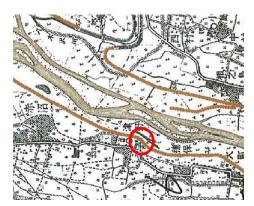


図 4.3.2 昭和 12 年測量図 (国土地理院)

その後 ,第二種側帯の位置づけで桜堤が築かれている。その本堤防部分と桜堤との境界には吸出し防止 材が敷設されている。

破堤下流部分は図 4.3.3 に示すとおり,集落の建物位置の関係から桜堤盛土部分(側帯)が小さく,側帯を含めた堤防断面が小さくなっている。また,破堤部分およびその上下流の断面図(図 4.3.4 および図 4.3.5)より堤防敷幅を確認すると,決壊箇所が最も小さい断面となっていることがわかる。

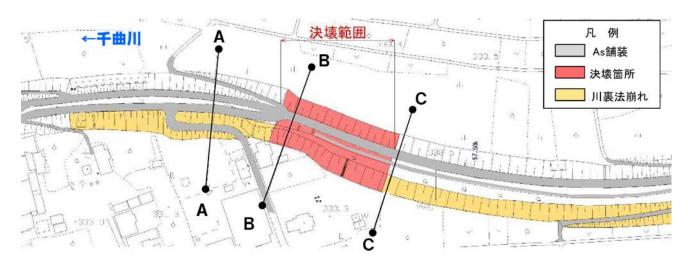


図 4.3.3 決壊箇所の平面図 1)

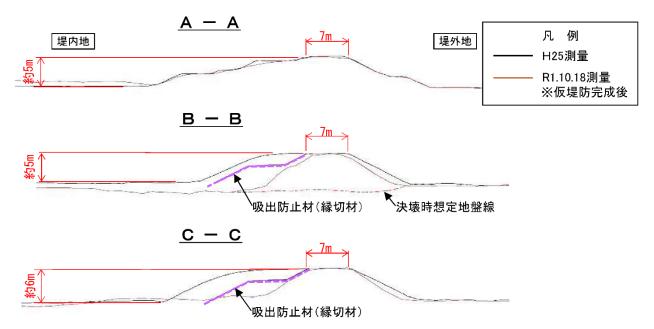


図 4.3.4 堤防横断図(下流側,決壊箇所,上流側)1)

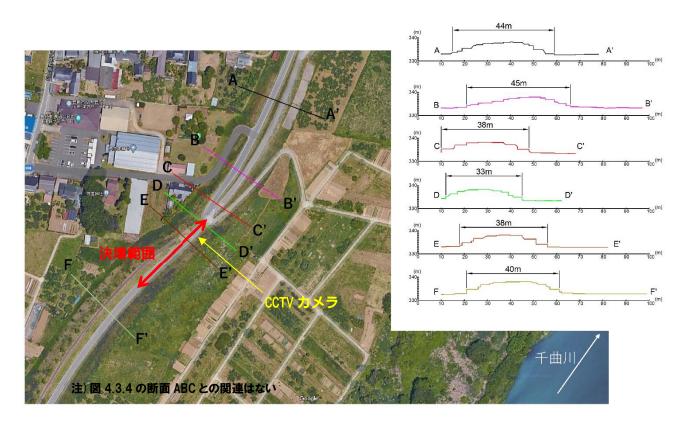


図 4.3.5 堤防横断位置と横断図 (Google map より作成)

2) 河道特性

破堤箇所の約 6km 下流には 1,050m の川幅が 260m へと急激に変化する立ヶ花狭窄部がある(図 4.3.6,図 4.3.7)。その上流部では狭窄部の影響を受けて堰上げ状態となるため,狭窄部は H.W.L.の縦断勾配が 急に緩くなる変化点となる(図 4.3.8)。



図 4.3.6 治水地形分類図 2)

(地盤工学会千曲川調査団現地視察資料,千曲川河川事務所提供資料に加筆)

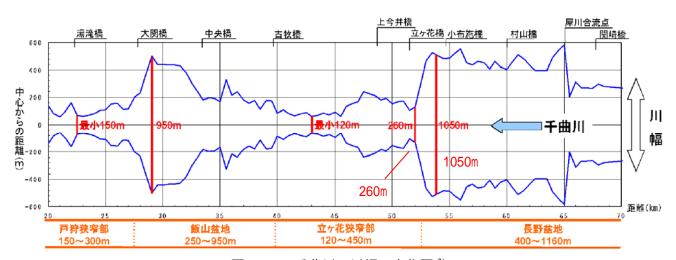
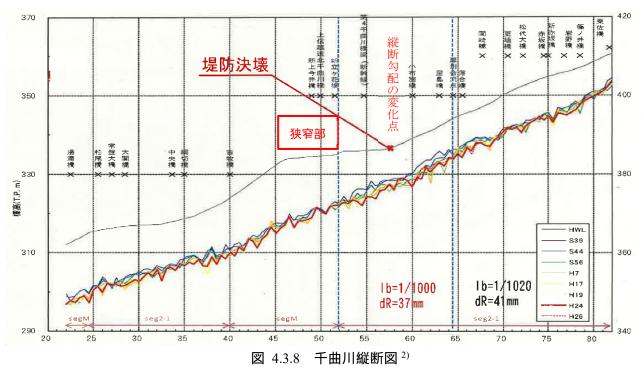


図 4.3.7 千曲川の川幅の変化図 3)

(第2回千曲川堤防調査委員会資料に加筆)



(地盤工学会千曲川調査団現地視察資料,千曲川河川事務所提供資料に加筆)

4.3.2 外力特性

今次の洪水による河川水位は,立ヶ花観測所で観測史上最高水位を記録した。

✓ 計画高水位:水位 10.75m (=標高 335.00m)

✓ ピーク水位:10月13日4時,水位12.44m(=標高336.70m)

✓ 計画水位を超過した時間:約6時間

✓ 最大超過水位:計画高水位より約 1.70m

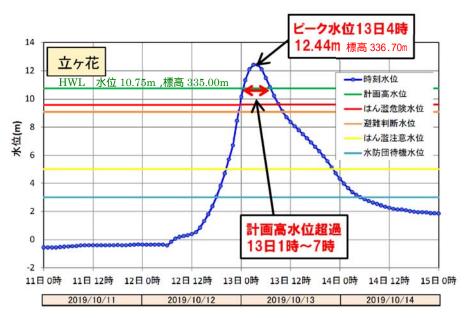


図 4.3.9 立ヶ花観測所洪水波形³⁾ (第2回千曲川堤防調査委員会資料に加筆)

4.3.3 地質(治水地形分類), 土質構造特性

図 4.3.10 治水地形分類図から,当該地は自然堤防に位置することがわかる(津野集落)。同図面には古い堤防位置が示されており,第 期改修以前の堤防は,現在の堤防断面内の川側に位置していたものと考えられる。

長野盆地は,図 4.3.11 に示すとおり,西側に西縁断層があり,断層の活動にともなう傾動運動によって,東側が隆起,西側が沈降する。千曲川右岸では,砂礫が地表面付近に分布し,過去の出水で多くの漏水が発生した。一方,左岸側には地表面に粘性土が厚く分布しており,基盤漏水の発生しにくい土質構成である。

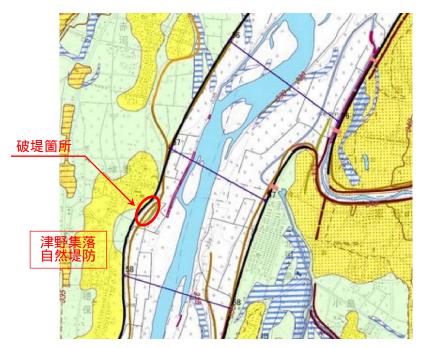


図 4.3.10 治水地形分類図 (国土地理院に加筆)

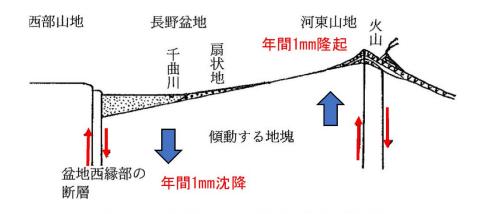


図 4.3.11 長野盆地を横断する模式断面図 ⁴⁾ (大地が語る信州の 4 億年(信州大学「信州の 4 億年」編集委員会, 1994)に加筆)

前出,治水地形分類図で見ると破堤箇所は,微高地に囲まれた氾濫原に属しており,他の地区に比べると旧河道も周囲には多くない。ただし,図 4.3.12 に示す詳細点検データを見ると,左岸 56.5k \sim 60.5k の基礎地盤はこの左岸部分だけに粘土層が厚く堆積していることがわかる。

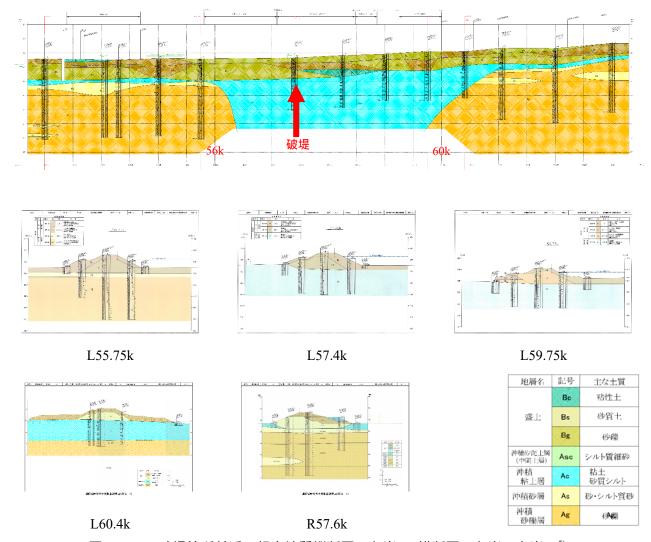


図 4.3.12 破堤箇所付近の想定地質縦断図(左岸)・横断図(左岸・右岸)⁵⁾ (1984 年堤防詳細点検データ(北陸地方整備局))

上図に示すように,L55.75kの基礎地盤は砂礫であるが,L57.4k,L59.75kでは粘土層が厚く堆積し,L60.4kから粘土層が薄くなっていく様子がわかる。ただし,右岸のR57.6kでも基礎地盤は砂礫層であることから,左岸の破堤した箇所は周辺とは異なり,粘土層が厚く堆積していた箇所であることが分かる。粘性土のN値は3~4程度であるので,軟弱とはいえないが,周囲と違うということで,水を通さずに堤体に溜めるなどの効果があった可能性もある。また,周囲と比較してわずかでも沈下量が大きければ,越流が集中し破堤につながったとも考えられるため,堤防縦断の平素からの測量の積み重ねが原因究明に寄与し,今後の被害の低減につながるだろう。

4.3.4 被災メカニズムに関する考察

【堤防構造からの考察】

- · 河川特性から , 狭窄部上流の堰上げの影響を受けやすく , 水位縦断勾配の変化点であり , 越流の可能 性のある箇所。
- ・ 地形,地質から,問題となるような旧河道の分布はなく,地表面から厚く粘性土が分布する。基盤漏水の発生無し。
- ・ 堤防開削断面から,上流側では礫分が多く含まれている。堤内地側の氾濫堆積物に礫が多く分布している。下流断面は砂が主体であり,上下流断面で築堤構造,土質が異なる。
- ・ 破堤箇所の下流に坂路があり,この坂路を境に工区境があったと考えられ,上流側は桜つづみの下部 に吸出し材によって保護されている良質粘性土(厚さ約 2m)が基礎地盤の粘性土と接しているのに対し,下流側は砂質土主体の堤体が粘性土の地盤上に築堤されている。
- ・ 破堤箇所は上流と下流の土質の違う部分で,堤防断面が小さく,桜堤の施工境界となる部分である。 【弱点になりやすい部分】

越流は全体に起こっていたが,堤防断面が最も小さく,堤体が砂質土で構成される弱い部分から決壊が発生したものと考えられる(図 4.3.13 ~ 図 4.3.16 参照)。



図 4.3.13 決壊箇所の上流側堤防開削断面 6

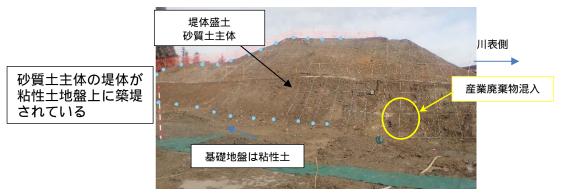


図 4.3.14 決壊箇所の下流側堤防開削断面 ⁶ (千曲川堤防調査委員会 千曲川穂保地区現地視察資料に加筆)

図 4.3.15 に, 決壊箇所の堤防開削断面スケッチ図を示す。また,図 4.3.16 に落堀調査結果から見た越流発生箇所の推察を示す。



上流側は川裏側堤体が粘性土(Bc);下流側は粘性土がなく,越流に対し弱点になりやすい

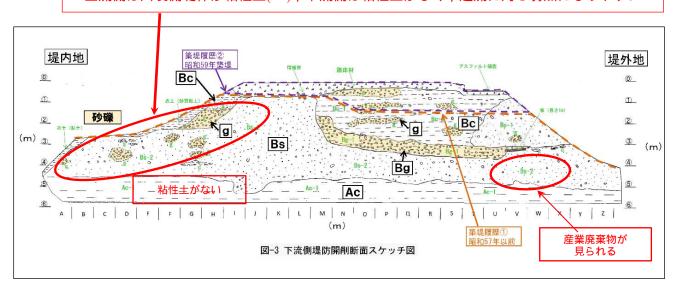


図 4.3.15 上流側(上図),下流側(下図)堤防の開削断面スケッチ図の比較⁶⁾ (千曲川堤防調査委員会 千曲川穂保地区現地視察資料に加筆)



決象時の落塊 堆積した砂利

図 4.3.16 破堤箇所の空中写真から見る落堀⁶ (千曲川堤防調査委員会 千曲川穂保地区現地視察資料に加筆)

【破堤氾濫堆積物からの考察】

- ・ 破堤箇所より下流側の氾濫堆積物は砂質土主体で,堆積土量が少ないことから,粒径の小さい土質が 破堤当初の強いエネルギーを持つ氾濫水流によって,広範囲に流されたとみられる。
- ・ 破堤箇所より上流側は,氾濫堆積物が砂礫,玉石,粘性土塊等が堤防の比較的近いところに堆積していることから,(1) 破堤口が下流から広がり始め,氾濫水のエネルギーがやや衰える遅い時間に破堤した(下流より粘り強い),(2) 粘性土塊が多数散乱していることから粘り強く,良質な堤体粘性土であると考えられる,(3) 下流側で先に破堤して,建物等障害物に跳ね返った氾濫水が上流側に流れ,上流側に氾濫堆積物が堆積しているが,氾濫水のエネルギーがやや衰え始めたため,破堤箇所の近くに堆積したものと考えられる。



図 4.3.17 破堤箇所より下流側の氾濫堆積物



図 4.3.18 破堤箇所下流側近くの建物基礎地盤 (2m 近く洗堀されている)



堆積量が多く, 粒径が大きい (黄褐色の粘性土塊 が多数みられる)

図 4.3.19 破堤箇所より上流側の氾濫堆積物



砂主体の堆積物であり、粒度選別状況から、氾濫水のエネルギーがやや小さい

図 4.3.20 図 4.3.19 より上流側の氾濫堆積物

4.3.5 今後の課題

今回の調査結果より,決壊に至るキーワードとして「水位縦断勾配の変化点」,「越流」,「築堤工区境」,「側帯の有無(側帯を含む堤防幅)」,「良質な堤体粘性土の有無」等が挙げられる。

河川堤防の決壊調査では,基盤漏水に着目しがちであるが,築堤施工が異なる境界部分も弱点箇所となりやすいので,縦断的な築堤履歴,土質構成のデータベースが必要と考える。

破堤個所周辺のみが基礎地盤が良質ではあるが粘性土であったことから,堤防の沈下がわずかに生じ周囲よりも低くなっていたために越流集中するなどの事象がなかったかを検証する必要もあるかもしれない。また,粘性土地盤であったために基盤漏水などはなくとも,砂質堤体の飽和度を早く上げてしまうような効果はなかったのかなどの検討が必要であろう。

参 考 文 献

- 1) 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,p.6,2019.
- 2) 国土交通省北陸地方整備局 千曲川河川事務所:地盤工学会千曲川調査団現地視察資料,p.14,2019.
- 3) 国土交通省北陸地方整備局:第2回千曲川堤防調査委員会資料,p.5,2019.

- 4) 信州大学「信州の4億年」編集委員会:大地が語る信州の4億年,1994.
- 5) 国土交通省北陸地方整備局:堤防詳細点検報告書データ,1984.
- 6) 国土交通省北陸地方整備局:千曲川堤防調査委員会 千曲川穂保地区現地視察資料,pp.1-7,2020.

4.4 千曲川 58k 右岸(相之島地区)の堤防被害について

4.4.1 堤防,河道の特徴

距離標 58k 付近の右岸側に位置する須坂市北相之島地区は,平成 18 年 7 月の洪水時に堤防基板部からの漏水が多数確認された区域である。その当時の被災を受けて地盤調査が行われ,再び洪水が発生した場合には,基板部の漏水により堤防部が破壊される危険性が指摘されていた区域である。その後,平成 22 年までに漏水対策が実施され,堤防の強化が完了していた。

堤防強化の概要を図 4.4.1 に示す。堤防の強化は,堤防の表のり尻部に鋼矢板,表のり面部に遮水シートと連接ブロックによる遮水が施され,裏のり尻部には,砂質土層の水圧を開放することでパイピングを防止するリリーフウェルが設置された。



図 4.4.1 相之島地区堤防強化の概要(国土交通省ホームページ資料¹⁾より抜粋)



図 4.4.2 相之島地区設置のリリーフウェル・連結ブロック (国土交通省ホームページ資料²⁾より抜粋)

4.4.2 外力特性

今回の洪水による河川水位は,立ヶ花観測所で観測史上最高水位を記録した。

✓ 計画高水位:水位 10.75m (=標高 335.00m)

✓ ピーク水位:10月13日4時,水位12.44m(=標高336.70m)

✓ 計画水位を超過した時間:約6時間

✓ 最大超過水位:計画高水位より約 1.70m

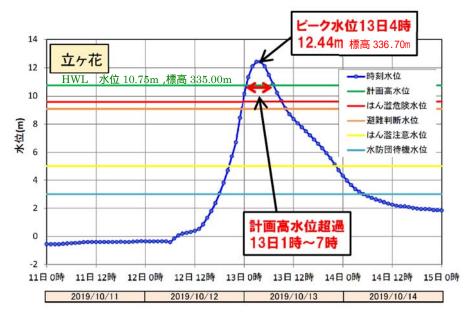


図 4.4.3 立ヶ花観測所洪水波形(図 4.3.9 再掲)

調査委員会による聞き取りでは,左岸側が先に越流したという情報もあり,左岸と右岸では外力特性が異なっていた可能性がある。破堤した左岸側の堤防が堤内地側に膨らんだ形状であることや,河道内に存在する旧堤防(図 4.4.4 を参照)の影響から,左岸側に水流が流されやすい状態にあったことが想定されることから,右岸側の外力特性が左岸側に比較して小さかったために被害が軽減された可能性も考えられる。

4.4.3 地質(治水地形分類), 土質構造特性

図 4.4.4 に距離標 58k 付近の治水地形分類図を示す。距離標 58k 右岸付近には扇状地が広がっており, 越流浸食地点は氾濫平野に分類される。図 4.4.5 に距離標 58k 付近の相之島地区,村山地区の旧河道の分 布状況を示す。堤防の裏のり尻付近に平行して旧河道が分布しており,その形状は緩やかな蛇行~直線 状である。土質質特性は,図 4.4.6 の地質断面図を代表として表層全体に粘性土,砂質土が分布する.地 下水位は堤内地盤下 3m 程度の砂質土層中に分布し,図 4.4.5 に示す平成 18 年洪水時に発生した漏水箇 所は,地表面に分布する粘性土層の薄い箇所であった。

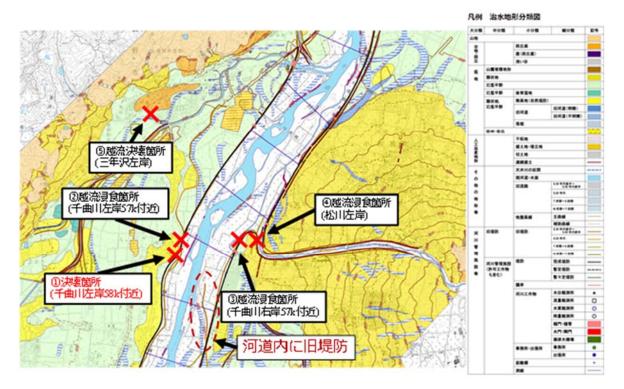


図 4.4.4 調査地点の治水地形分類図 (千曲川 58k 付近)

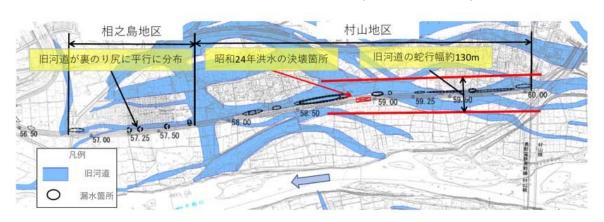


図 4.4.5 相之島,村山地区の旧河道分布 3)

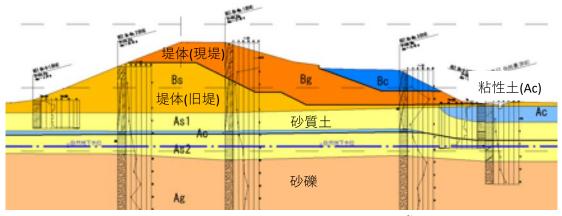


図 4.4.6 相之島 (57.6k) の地質断面図 ³⁾

4.4.4 被災メカニズムに関する考察

図 4.4.7 に距離標 58k 右岸付近の空中写真を示す。同地点は左岸決壊箇所の対岸にあたる。千曲川に隣接する支川の松川においても、堤体表面の植生がはがされていたことから越流によって削られたと考えられる。同地点は千曲川と松川の合流部であり、バックウォーターによって松川からの越流が生じた可能性も考えられる。

図 4.4.8 に千曲川右岸側堤体の越流浸食箇所の写真を示す。堤内地側のり面の小段の植生がのり尻に向かって倒れており、越流があったことが確認できる。それに対して、のり尻に設置されたフェンスが堤防側に倒れている箇所があり、隣接する松川(支川)側から越流した流れが先に届いたのではないかと予測する。のり面の上部は植生が剥がされており、越流による侵食の痕跡が確認できる。坂路付近の堤体の表面に大きな侵食と天端に若干の凹みが確認できることから、坂路付近から先行的に越流した可能性が考えられる。



図 4.4.7 58k 右岸付近の空中写真



□ フェンスが堤体側に倒れている→先に支川側から越流した? 前田委員(名工大)の報告
 図 4.4.8 越流浸食箇所⁴⁾

4.4.5 今後の課題

当該地区の堤防強化が行われたことにより,平成 18 年の洪水時に見られた漏水は確認されておらず,被災の形態は越流による若干の侵食に抑えられている。決壊した左岸側とほぼ同時刻に越流が発生しており,堤防強化(浸透対策)による効果が現れているのではないかと考える。

多くの破堤箇所では主な破堤原因が越流だとされているが,浸透による裏法尻の弱体化と越流の複合作用であった可能性についても否定できない。しかし,少なくとも浸透に対する対策を行うことで堤防の粘り強さが格段に向上した事例ではないかと考える。堤防の粘り強さが向上したことによって被害が少なかったと見ることができる一方で,対岸(58k 左岸)が破堤したことで水流が変化し,破堤に至らなかったとも考えられるため,今回と同様な豪雨による河川水位の上昇に耐えるためには,対岸の補強に合わせて右岸側のさらなる補強が必要である可能性もある。

参 考 文 献

1) 国土交通省ホームページ資料

(アクセス日: 2020/5/22)

- 2) 国土交通省ホームページ資料
 - http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/news/kisha/pdf/101001rousui.pdf (アクセス日:2020/5/22)
- 3) 佐藤豊,河原武志,大渕貴,福岡捷二:千曲川堤防における裏法尻付近の基盤漏水・噴砂発生箇所の 土質・地下水位と旧河道特性の関係,河川技術論文集第24巻,pp.571-576,2018.
- 4) 地盤工学会千曲川流域調査団:令和元年台風 19 号および 10 月末豪雨災害に関する中間報告会~地盤・土砂災害を中心とした調査報告・被災分析~,調査報告,2019.

4.5 千曲川左岸 104k 付近の堤防欠損被害について

4.5.1 堤防,河道の特徴

堤防欠損の被害を受けた距離標 104k 付近の左岸側は ,長野県上田市諏訪形地区に位置する。延長約 300 mの堤防欠損箇所では ,第一期改修時 (大正 7 年~昭和 17 年)に樋門や橋梁の一部区間を除いて空石張護岸と木工沈床が施工されていた (図 4.5.1 ,図 4.5.2)。欠損箇所に近接する図 4.5.1 の の地点では ,図 4.5.2 の写真のように木工沈床が流出した。欠損箇所に含まれない上流側 (図 4.5.1 の , の地点)において第一期改修時に施工された空石張護岸と木工沈床は ,出水後も損傷がみられなかったと報告されている 2),3)。また ,欠損箇所には二ヶ村堰樋門が設置されていたが ,施設が流出する被害を受けた。欠損箇所の上流には諏訪形浄水場樋門が設置されており ,こちらには被災が認められなかった。

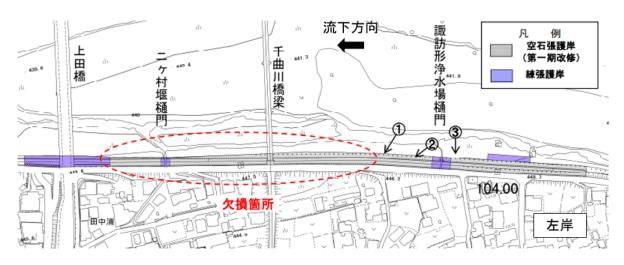


図 4.5.1 千曲川左岸 104k 付近の周辺護岸の状況 (参考文献¹⁾に加筆)

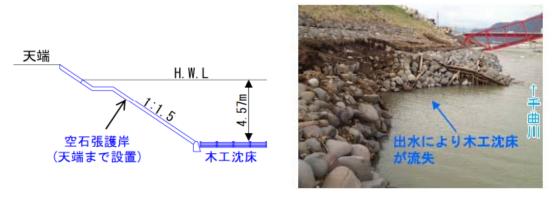


図 4.5.2 千曲川左岸 104k 付近の空石張護岸と木工沈床(参考文献¹⁾に加筆)

今回の欠損箇所に上田電鉄別所線千曲川橋梁(1924年完成)が含まれていたことも特徴の一つであり,一部崩落の被害を受けた(図 4.5.3)。千曲川橋梁は別所線の上田駅と城下駅を結ぶ区間に位置しており,崩落したのは城下駅側である。千曲川橋梁の橋脚形状は,長軸が流向と平行な細長い楕円形である。被災前の平成29年5月と平成30年5月に施設管理者が行った点検では,橋梁施設や取付護岸の維持状況,周辺堤防の異常などは認められていなかったと報告されている^{2),3)}。



図 4.5.3 被災した上田電鉄別所線千曲川橋梁(2019年11月6日 調査団撮影写真に加筆)

千曲川左岸 104k 付近の堤防欠損地点は,決壊した千曲川 58k 左岸(穂保地区)よりも上流に位置しており,河床勾配は約1/200である(58k 付近の河床勾配は約1/1000~1/1500)。図 4.5.4 は千曲川左岸 104k 付近の河道と砂州の状況で,出水前が 2018 年,出水後が 2019 年の様子である。出水前の写真からは,左岸の欠損箇所周辺に砂州が形成されており,植生の繁茂も確認できる。出水後の写真からは,欠損箇所周辺の砂州が流亡し,澪筋の位相が左右岸で逆転するような大きな変化が生じたことがわかる。このような出水前後の砂州形状の変化は,58k 付近ではみられなかった特徴である。104k 付近では,過去の出水(平成11年8月)でも澪筋の変化がみられていた 2,3)が,欠損箇所周辺では平成11年8月出水以前から背の高い砂州が左岸側に固定されていた。

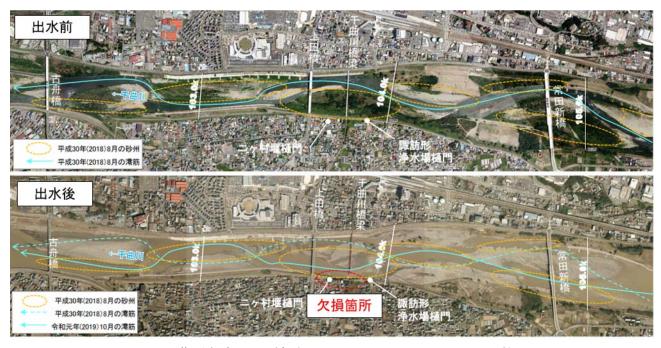


図 4.5.4 千曲川左岸 104k 付近の河道と砂州の状況 (参考文献 1) に加筆)

4.5.2 外力特性

今次の洪水による河川水位は,生田観測所(上田市生田地区)で観測史上最高水位を記録した。観測所のある生田地区は,堤防欠損被害を受けた諏訪形地区からおよそ 4km 上流に位置する。主な観測結果は以下である(図 4.5.5)。

· 計画高水位:水位 5.75m

・ ピーク水位:10月12日21時,水位5.80m

計画水位を超過した時間:約1時間(10月12日20時~21時の間)

・ 最大超過水位:計画高水位より 0.05m

堤防の欠損が確認されたのは 13 日 6 時 30 分ごろで,その後 30 分程度で急速に欠損が進んだ。この時間は洪水の減衰期である。それ以前から目視できない水面下で欠損が進んでいた可能性も考えられる。

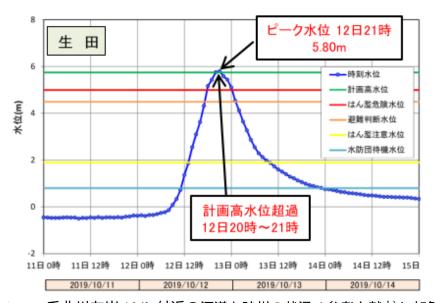


図 4.5.5 千曲川左岸 104k 付近の河道と砂州の状況 (参考文献¹⁾に加筆)

4.5.3 地質(治水地形分類), 土質構造特性

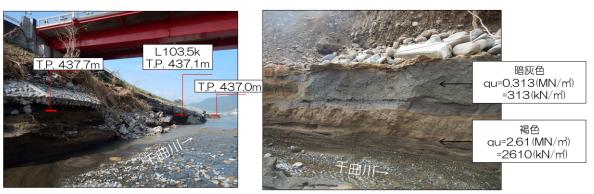
図 4.5.6 に距離標 104k 付近の治水地形分類図 4)を示す。距離標 104k 付近の両岸には氾濫平野に区分される地形が広がっている。また ,左岸の欠損箇所の上流側には ,自然堤防に区分される地形も存在する。 図 4.5.1 に示した延長約 300mの欠損箇所の範囲は ,大部分が氾濫平野に区分される地形で占められるが ,自然堤防に区分される地形が少し含まれると考えられる。

図 4.5.7 は,欠損箇所の基礎地盤の状況である。写真の通り,基礎地盤は暗灰色の粘性土地盤と褐色の岩盤の二層の構造がみられた。暗灰色の粘性土地盤の一軸圧縮強度は $313(kN/m^2)$ で,これは河川砂防技術基準(案)設計編にもとづく分類によると N 値 $15\sim30$ に相当する非常に堅い地盤である。一方,粘性土地盤の下層に存在する褐色の岩盤の一軸圧縮強度は $2610(kN/m^2)$ で,粘性土地盤と同じ基準にもとづくと軟岩に分類される 2λ 3)。

図 4.5.8 は,欠損箇所の堤体部の状況である。堤体表面上部の植生の下には,図 4.5.2 でも示した空石 張護岸が天端まで施工されている様子を断面で確認することができる。また,堤体部のおおまかな土質 構成は下層に礫質土,上層に砂質土の二層構成である。



図 4.5.6 千曲川左岸 104k 付近の治水地形分類図 (参考文献 4) に加筆)



上田橋下流(10月31日撮影)

上田橋上流(10月31日撮影)

図 4.5.7 露出した基礎地盤の状況(参考文献1)に加筆)



図 4.5.8 露出した堤体部の状況(2019年10月26日 調査団撮影写真に加筆)

4.5.4 被災メカニズムに関する考察:千曲川の河道特性についての水理学的な分析

本節では,水理学的な手法により,過去最大の洪水が流下した千曲川における河道内の危険箇所の推定と被災要因について考察する。

被災概況

長野県内の千曲川において深刻な被害が発生した一方で,新潟県側の信濃川でも氾濫危険水位を長時間にわたり超えたものの,大規模な洪水時にしばしば発生する,河道内の大規模な変形や,堤防の浸透破壊などは免れた。千曲川と信濃川は名称が県境において変化するだけで物理的には同一の河川であり,長野県内における過去最大の洪水がそのまま新潟県内の信濃川に到達することは至極当然である。長野県から新潟県に洪水が到達するまでに要する時間は半日程度である。長野県内の千曲川で最高水位を記録したのは10月13日の早朝,新潟県内の信濃川で最高水位を記録したのは同日の午後だった。新潟県内における信濃川が10月13日の午前から増水を開始し,その後,極めて危険な状態が10時間程度も継続した。しかし,これらのことは新潟県内ではリアルタイムではほとんど認識されていなかった。10月13日の信濃川の増水の最中,信濃川沿いの市民たちは,澄み渡る秋晴れの中で,高水位により浸透破壊の危険性が高まっている堤防上から信濃川の様子を傍観していたことが確認されている。

川幅水深比を用いた千曲川の河道特性の分析

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

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{gnQ^2}{R^{\frac{4}{3}}A}$$
 (4.5.1)

と記述される方程式 $^{5)}$ 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 $500~\mathrm{m}$ 間隔とし,河床材料は $51.5\mathrm{km}$ から $80.0~\mathrm{km}$ までは $20~\mathrm{mm}$, $80.0~\mathrm{km}$ から $109.5~\mathrm{km}$ の区間は $20~\mathrm{mm}$ から $70~\mathrm{mm}$ へ $1~\mathrm{x}$ 関数で変化させた。これらの条件の下で, $2000~\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$, $4000~\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$, $8000~\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$ のそれぞれにおける水理量の推定を行なった。

図 4.5.9 図 4.5.10 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 F_r , 水面勾配 i_w , 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 65 km 地点までは 800 m 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 500 m の水面幅 となることがわかる。 104 km 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 , 8000 m 3 /s においては 6 から 7 m ほども水深が増加することが分かった。また , 104 km 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。 F_r 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 65 km 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 i_w については , 65 km よりも上流区間となるほど増加する傾向になることが分かった。無次元掃流力 τ_* についても水面勾配 i_w と類似した傾向となることが分かった。

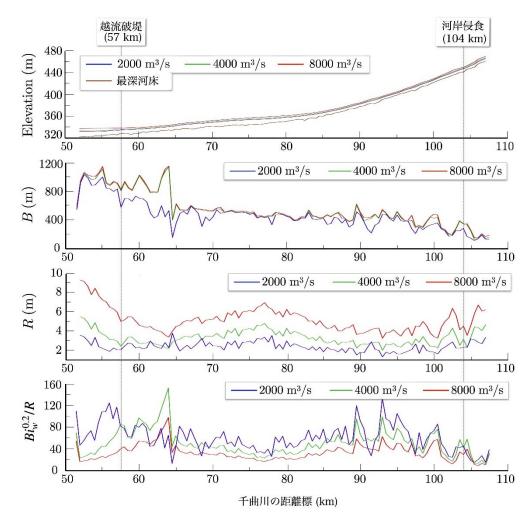


図 4.5.9 流量ごとの河道の幾何学的形状などの縦断分布(上段:不等流計算による水位,中段1:水面幅 B,中段2:径深 R,下段:黒木・岸の川幅水深比)

図 4.5.9 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 6 が提案している $BI_b^{0.2}/h_0$ を用い,河床勾配 I_b については水面勾配 i_w ,水深 h_0 については一般断面の平均水深を表す径深 R を代用した $Bi_w^{0.2}/R$ を用いた。まず,流量が $2000~{\rm m}^3/{\rm s}$ の時の $Bi_w^{0.2}/R$ については,解析した全区間を通して $40~{\rm Hg}$ となり,流量が $8000~{\rm m}^3/{\rm s}$ の時の $Bi_w^{0.2}/R$ は $20~{\rm ho}$ 5 $30~{\rm Hg}$ 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 $57~{\rm km}$ 地点の $Bi_w^{0.2}/R$ は, $2000~{\rm m}^3/{\rm s}$ の時に $70~{\rm im}$ 4、 $8000~{\rm im}^3/{\rm s}$ の時には $30~{\rm Hg}$ 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 $104{\rm km}$ 地点は,流量の規模に依る $Bi_w^{0.2}/R$ の変化の規模は小さく, $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $8000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $30~{\rm ho}$ 5 $40~{\rm Hg}$ と $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm ho}$ 5 $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm ho}$ 5 $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm ho}$ 5 $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm ho}$ 5 $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm ho}$ 5 $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm ho}$ 5 $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ と $20000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm ho}$ 5 $2000~{\rm im}^3/{\rm s}$ のいずれにおいても $20~{\rm im}^3/{\rm s}$ のことが分かった。

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 $57~\rm km$ の前後の区間と $104\rm km$ の前後の区間における算定された $Bi_w^{0.2}/R$ は ,どちらも $8000~\rm m^3/s$ の時は $40~\rm tec$ と同規模である。しかし , $2019~\rm tec$ 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。 $BI_0^{0.2}/h_0$ 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 $BI_0^{0.2}/h_0$ は適さないことが示唆される。

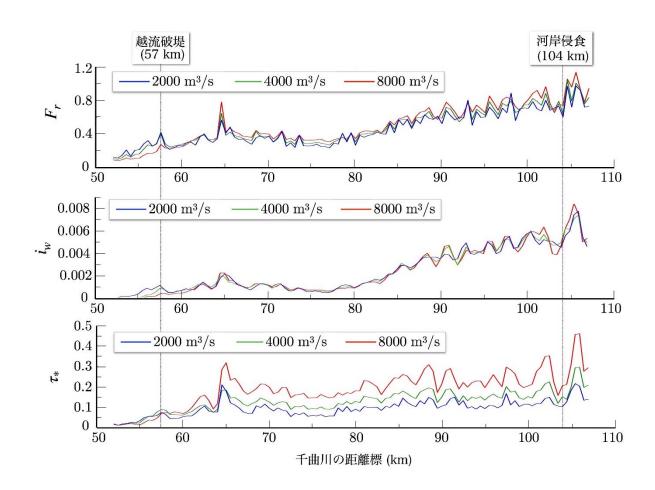


図 4.5.10 流量ごとの各種水理量の縦断分布(上段: F_r 数,中段:水面勾配 i_w ,下段:無次元掃流力 τ_*)

水深波長比を用いた千曲川の河道特性の分析

川幅水深比を用いることで砂州の発生の有無について判定できることは,1980年代における河床面の安定性解析を用いて理論的に解明された研究成果である。国内では,前述した黒木・岸が提案した川幅水深比 $BI_b^{0.2}/h_0$ と無次元掃流力 τ_* を二軸に持つ領域区分図が頻用される。しかし,現時点では川幅水深比と砂州の発生の有無の関係性について流体力学的な観点から明瞭な説明はなされていない。

小関・安田 7 は,最近,微小振幅波理論を用いることで,三つに大別される砂州,砂堆,砂漣の発生や存在の水理条件について統一的に区別できることを明らかにした。図 4.5.11 中の白抜きの青色のシンボルが既往の研究から得た砂州,赤色シンボルが砂堆,緑色のシンボルが砂漣を示す。

小関・安田の区分法は,微小振幅波理論との適合性の都合により,川幅水深比と逆数の関係となる水深波長比h/Lと河床勾配 I_b を二軸とした平面を用い,河川において自発的に発生・発達する三つに大別される河床波を区分する。既往の研究から得た水理量を用い,河床波のうち最も規模が大きな砂州は,水深波長比が 10^{-3} から 10^{-2} の領域に,砂堆は 10^{-1} ,砂連は 10^0 に存在することを明らかにした。同区分法の端緒は微小振幅波理論であり,同理論において図中の横軸の水深波長比は水面波の鉛直方向の運動の波及規模を示すパラメータとなる。まず,横軸に着目すると, 10^{-3} から 10^{-2} の水深波長比に存在する砂州が存在する領域の水理状態は水面から底面にかけて一様な流速となる極浅海波, 10^0 の水深波長比に存在する砂漣が存在する領域の水理状態は水面から底面にかけて明瞭な流速分布を有する深海波であることが推

測できる。その上,水深波長比を用いることで,底面の河床波による起伏が水面に表出するかどうかについても推定可能であることが示唆される。次に,縦軸の河床勾配に着目すると,砂州スケールの河床波は河床勾配が 10^{-2} 付近に多く,砂漣スケールの河床波は河床勾配が 10^{-3} よりも小さい領域に位置する。小関・安田の区分図の横軸と縦軸が示すことを総合すると,砂州スケールの河床波は相対的に水深が浅く,河道の変形に寄与するほどの相対的に大きなエネルギーを有する河床勾配が急な河道,つまり上流から中流域の河道において存在し,砂漣スケールの河床波は相対的に水深が深く,河床勾配が緩やかな河道,つまり下流域の河口付近の河道において存在することが推察される。

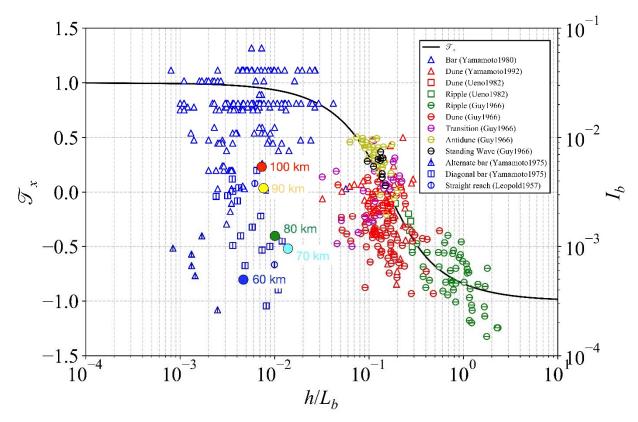


図 4.5.11 水深波長比h/Lと河床勾配I_bを河床波の統一区分

小関・安田の河床波の区分図に,前述した水理解析から得た千曲川の $60~\rm km$, $70~\rm km$, $80~\rm km$, $90~\rm km$, $100~\rm km$ の各値を図示した。既往の研究における水理量との対比により,千曲川の各区間における水理量がどのような河床波の形成に寄与する可能性が高いかを推測できる。図示した $5~\rm bm$ 箇所の水理量のいずれとも同区分図の横軸の水深波長比は 10^{-2} 程度,縦軸の河床勾配は 10^{-3} から 10^{-2} の間に幅広い範囲に位置する。まず, $60~\rm km$ から $80~\rm km$ の水理状態は,既往の研究の水理量との対比から,砂州スケールに位置するものの,河床勾配は小さく,砂州の発生や発達のためのエネルギーは小さいことが推測される。同区分図が教えることは,今回の洪水における同区間の河道内に変形量は小さかったことと一致する。一方で, $90~\rm km$ から $100~\rm km$ にかけての水理状態は,砂州スケールに位置し,砂州の発生や発達のための十分なエネルギーを有していたことが推測される。同図から推測されたことは, $104~\rm km$ において顕著な河道の変形が生じていたことと合致する。

河床形状の移動速度に基づく河道変形の発生要因の推定

上田市諏訪形における大規模な河道変形の発生要因などの把握を目的とし,以下を実施した。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 ⁸⁾を用い, 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,

$$\frac{\partial z}{\partial t} + M \frac{\partial z}{\partial x} = -i_e M \tag{4.5.2}$$

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,

$$M = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{1}{2}} \sqrt{sgd^3}}{sd(1 - \lambda)\left(1 - \frac{4}{9}F_r^2\right)} i_e$$
 (4.5.3)

と記述され,無次元掃流力 τ_* ,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 8 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 4.5.12 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 m³/s,4000 m³/s, 8000 m³/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 $,51.5~\mathrm{km}$ から $60~\mathrm{km}$ 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, $80~\mathrm{km}$ よりも上流の区間での移動速度 \emph{M} は $0.02~\mathrm{m/s}$ 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 au_* 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, $104 \, \mathrm{km}$ 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 $0.01~\mathrm{m/s}$ 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,が前後の区間より小さくな るためと推測される。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。

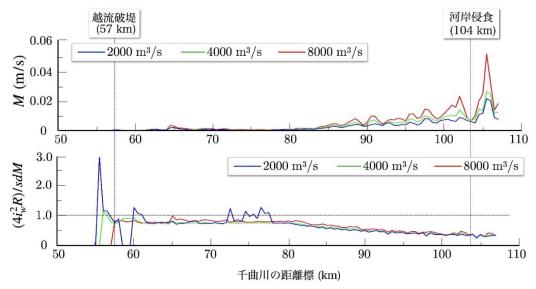


図 4.5.12 流量ごとの河床形状の移動速度 M (上段)と 水面勾配 i_w と径深Rの積と移動速度 M との関係 (下段)

図 4.5.13 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 (4.5.3)で推定した河床形状の移動速度の比較を図 4.5.14 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 (4.5.3)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 9 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 4.5.12 の下段に 3 つの流量における水面勾配 i_w と径深Rの積を式 (4.5.2) の河床形状の移動速度 M で除した $(4i_w^2R)/sdM$ 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 $(4i_w^2R)/sdM$ 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, $(4i_w^2R)/sd$ から得られるものと考えて良いようである。

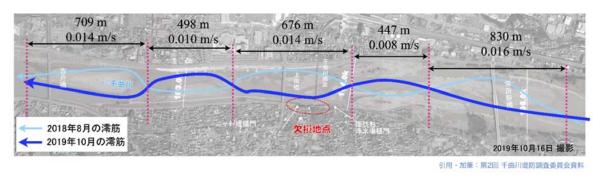


図 4.5.13 台風 19 号の前後での澪筋位置,台風 19 号による澪筋の移動距離,移動速度

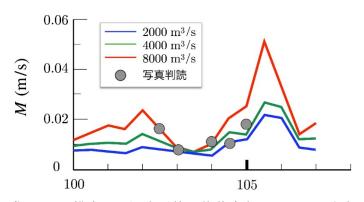


図 4.5.14 式(4.5.3)で推定した河床形状の移動速度(図 4.5.12 上段の拡大図)

まとめ

本節では,比較的簡便な水理解析を用い,千曲川の河道特性の分析と,河道変形の発生要因についての推定を試みた。

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 $57~\rm km$ の前後の区間と $104~\rm km$ の付近はその前後の区間では,どちらの区間も $8000~\rm m^3/s$ の時は $40~\rm n$ 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。 $BI_0^{0.2}/h_0$ 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 $BI_0^{0.2}/h_0$ は適さないことが示唆される。

小関・安田 7 が構築した水深波長比と河床勾配を二軸とする河床波の統一的な区分図において,千曲川の $60\,\mathrm{km}$ から $100\,\mathrm{km}$ までの水理量を図示し,既往の研究において示された種々の河床波の推理量との対比をした。その結果, $60\,\mathrm{km}$ から $90\,\mathrm{km}$ までの区間は砂州スケールの河床波であるものの河道の変形に寄与するエネルギーは小さいこと, $90\,\mathrm{km}$ から $100\,\mathrm{km}$ までの区間は砂州スケールの河床波である上,河道の変形に寄与するエネルギーを有することが示された。これらのことは,洪水後の千曲川の各区間で見られた河道内の変動の規模と一致する結果である。

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 $57~\rm km$ 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、 $104~\rm km$ 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 $10~\rm GH$ に以上大きな値となることがわかった。このうち、 $104~\rm km$ 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、 $20~\rm ft$ 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_w 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。

4.5.5 今後の課題:表面侵食の予測

越流水による裏法の侵食・洗堀,河川内の流水による表法の洗堀・侵食は,堤防断面を減少させ決壊のリスクを高める。これらのいわゆる表面侵食現象は,ほとんどの洪水時に発生しており,今回の台風および豪雨による洪水でも多数見られた。

したがって,この洗堀・侵食を精緻に予測し堤防の粘り強さを評価することが重要である。洗堀・侵食の予測には表面侵食の予測解析法が必要である。表面侵食の解析法は,主に水工学の分野で発達してきており,解析では流砂量式が用いられることが多い^{例えば10)}。流砂量式では,水流によって底面に働く掃流力および摩擦速度を用いた関数として掃流砂量を表現する。この式は,実験で測定した流砂量と表面流速から推定した掃流力および摩擦速度でキャリブレーションされているため,一定の信頼性を有しているものの,表面流や浸透流の複合的要因による土の破壊現象を直接モデル化したものではなく,破壊の結果としての流砂量を推定するものであるため,浸透による有効応力変化との連成問題など,より複雑で多様な実現象への適用には更なる研究が必要と考えられる。

一方,地盤工学の分野では,浸透に伴う堤防内の有効応力変化とそれによる堤体の変形を解析する手法の開発が進んでおり,近年では広く事後解析などに適用されるようになった。しかしながら,表面侵食を解析可能な手法はほとんど存在しない。これは,表面侵食の現象理解自体が進んでいないこと,表面流および浸透流と土の変形を同時に解析可能な手法が確立されていないことが,主たる原因として挙げられ,これらの課題の解決が必要である。

以上より,表面侵食の予測には,水工学的アプローチと地盤工学的アプローチの融合が必要である。浸透破壊への対策によって堤体内の有効応力の減少が抑制され,越流時の侵食に対して堤体土が粘り強くなることが本報でも報告されており,特に両手法の利点の融合が重要である。つまり,表面流および浸透流の解析法と浸透流による土の変形および性状変化の解析法の融合が必要であるが,計算工学のスキルを持ち込み上手く連成すれば解析が可能と考えられ,既にいくつかの解析法が発表されている。問題は表面侵食のモデル化であり,土の性状変化の影響の考慮した流砂量式の改良も重要であるが,より明示的に力学挙動を記述するには表面土の破壊現象を直接的にモデル化する必要がある。

表面侵食は,非粘着性土と粘着性土でその挙動が異なることが知られている。非粘着性土では表面の個々の土粒子が表面流によって輸送されるように侵食が進むのに対して,粘着性土では表面土が塊となって剥離するように侵食が進行する。粘着性土でも,細粒分が表面流によって輸送される現象が観察されるが,侵食土量は塊となって剥離する侵食に支配される。これを表現するため,粘着性土に対する流砂量式は摩擦速度のべき乗則で記述されており,土塊剥離による侵食土量の急増を表現している^{例えば11)}。

この粘着性土において土塊となって剥離する侵食現象は,表面流による土のせん断破壊と考えることができる。図 4.5.15 は珪砂と非塑性シルトを混合した非粘着性土および珪砂と塑性シルトを混合した粘着性土の表面侵食挙動である。非粘着性土では,侵食面がなめらかであるのに対して,粘着性土では土が塊となって剥離しながら侵食が進行するため侵食面に凹凸が見られる。図 4.5.16 は粘着性土における1

つの土塊の剥離に注目し,変位場とせん断ひずみ場を定量化したものである。明らかにせん断ひずみが 局所化している様子が見られ,侵食現象は表面土のせん断破壊現象と解釈できる。

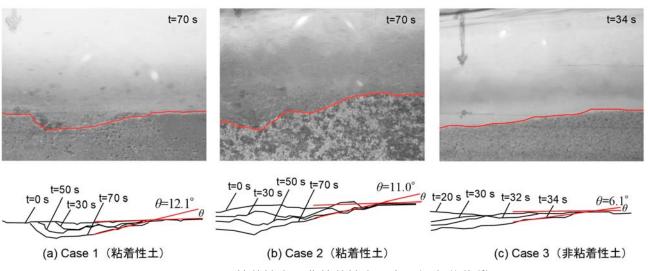


図 4.5.15 粘着性土と非粘着性土の表面侵食挙動 12)

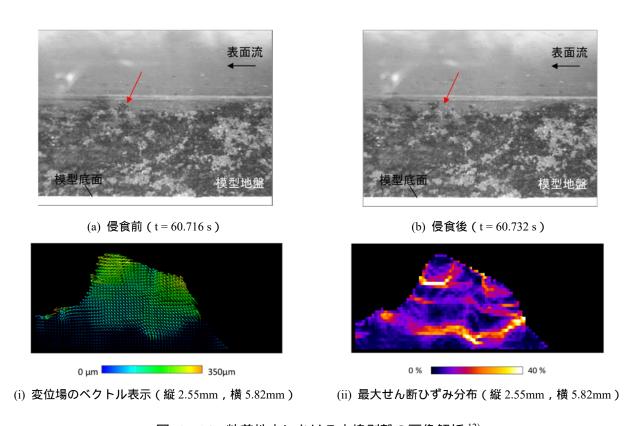


図 4.5.16 粘着性土における土塊剥離の画像解析 12)

粘着性土については,表面流によるせん断力(掃流力)を正しく評価し,それによる土のせん断破壊を評価することで,表面侵食を再現することが可能といえる。前者は水工学で培われた表面流・浸透流の同時解析技術,後者は浸透流による応力変化と土の構成式によって解析可能であり,これらを融合した予測解析法の整備が,冒頭に述べた侵食・洗堀の予測を可能とするであろう。

一方,非粘着性土は表面の個々の土粒子が表面流によって輸送されるような現象であり,マスとしての土を対象に開発されてきた土の構成式の適用は適当でないであろう。現象解明とそのモデル化が必要であるが,当面は流砂量式の適用がとり得る最善のアプローチといえるであろう。

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会千曲川流域調査団: 令和元年台風 19 号および 10 月末豪雨災害に関する中間報告会資料, 2019.
- 2) 国土交通省北陸地方整備局:第2回千曲川堤防調査委員会資料,2019
- 3) 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,2019
- 4) 国土交通省国土地理院治水地形分類図(更新版), <https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/bousaichiri41053.html>(アクセス日:2020/5/22)
- 5) Yasuda, H. A One-Dimensional Study on Propagation of Tsunami Wave in River Channels, Journal of Hydraulic Engineering, 136 (2), pp.93-105, 2010.
- 6) 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,第 342 号,pp.87-96,1984.
- 7) 小関博司,安田浩保,水深波長比を用いた河床波の統一的な区分法について,第 23 回応用力学シンポジウム概要集,2020.
- 8) 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.
- 9) Seminara, G., Fluvial Sedimentary Patterns, Annu. Rev. Fluid Mech. 42:43-66, 2010.
- 10) 芦田和男, 道上正規:移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告書, 第 206号, pp59-69, 1972.
- 11) 西森研一郎, 関根正人: 粘着性土の浸食過程と浸食速度式に関する研究, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.2, pp.127-140, 2009.
- 12) 肥後陽介,音田慎一郎,高野大樹,山内敏貴:表面流による土のせん断破壊挙動としての表面侵食の解釈,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.5, pp. I_901- I_906, 2018.

4.6 今回の被災を踏まえた今後の対策,管理方法について

台風 19 号の堤防被害では千曲川の多くの地点で越水を生じている。例えば,破堤した穂保地区(千曲川左岸)の対岸の相之島地区(右岸)は,立ヶ花の狭窄部の上流に位置しており,堤防の越水被害を生じている。図 4.6.1 に同地区の被災状況を示すが,堤防天端には越水の痕跡を示す土砂の痕跡があり,堤防法面を侵食した箇所はビニール・シートで被覆されている。シートで覆われたのり面の被災状況を確認できないが,天端やのり面の植生の状況から被害は比較的軽微と推測された。





(A) 堤防天端

(B) 堤防のり面

図 4.6.1 相之島地区の堤防被災 (2019年11月6日撮影)

当該地点では越流水深が記録されており,大凡40cmの越流水深(新百々川樋門)が報告(千曲川河川事務所)されている。越流水深と越水時間による堤防の被害は図 4.6.2 のような経験則がある。国土交通省による堤防被害の実例を取りまとめたものであるが,越流水深が40cmほどあると堤防が破堤する事例も存在することを勘案すると,相之島地区の堤防被害は比較的軽微であると言える。穂保地区の破堤地点は越流水深が80cmのために,両者を比較することはできないが,越流にもかかわらず,相之島地区の被害が軽微であった理由について考察することは,今後の対策工を考える上で重要な意味がある。

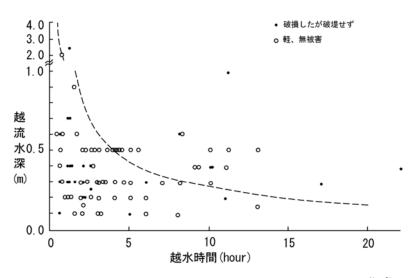


図 4.6.2 最大越流水深・越水時間と堤防破堤との関係 1),2)

そこで,以下に穂保地区と相之島地区における地形,堤防断面,対策工の有無について,両者を比較して越流に対する安定効果について,考えられる要因を取り上げて考察する。

地形

千曲川の穂保地域,相之島地域はともに立ヶ花の狭窄部の約 6km 上流に位置する。狭窄部の上流は河川水位が上昇しやすいことから,同地点は過去から繰り返し洪水を生じていると考えられる。図 4.6.3 に治水地形分類図 ³⁾を示すが,穂保地域のある左岸は低湿地が広がり,粘性土地盤が堆積するのに対して,右岸は丘陵地からの緩傾斜面を形成し,松川や矢木沢川が扇状地を形成している。実際に,穂保地域は堤防破堤箇所における地質調査で基礎地盤は粘性土が厚く堆積することが確認 ³⁾される一方で,相之島地域は堤防の基礎地盤に礫質土が厚く堆積することが既存工事の資料で確認できる。

堤防基礎地盤の礫層は丘陵地からの雨水の流出のほかに,千曲川の河川水位の上昇による河川水の浸出(基礎地盤からの漏水)のために内水被害を起こす特徴があり,これまでにも度々被害を生じている。 台風 19 号の折にも,相之島地区は内水被害が発生し,千曲川の堤防周辺において冠水している。堤防の越流はのり面や堤内地の基礎地盤の侵食を引き起こすが,堤内地が冠水すると越流水のクッションの役割を果たすため,地盤の侵食作用が軽減された可能性がある。しかし,どの程度の効果があるかの定量的評価は難しい。

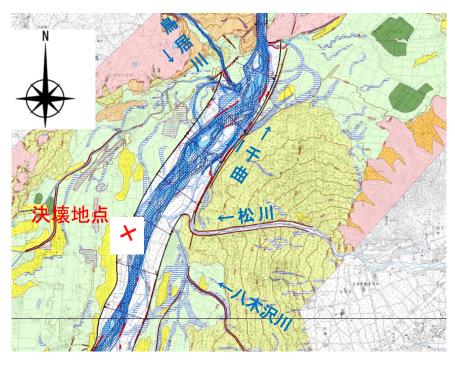


図 4.6.3 千曲川 58k 付近の治水地形分類図 3)

堤防断面

穂保地域と相之島地域の堤防はほぼ同様の諸元であるが,堤防と堤内地地盤の比高差に差異がある。これは,穂保地域は堤内地が低湿地であるのに対して,相之島地区は扇状地である地形的要因により,堤体 天端と堤内地の地盤高さの比高差は相之島地区の方が小さい構造をしている。

堤防天端から基礎地盤までの比高差が小さいと,越水に因る浸食作用は軽減されるため,相之島地区の

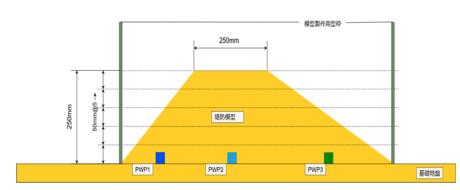
堤防の浸食作用は穂保地区に比較して小さいと考えられる。更には,相之島地区の堤防裏のり面には一部区間に小段があるため,越流水の浸食作用に影響を与えた可能性がある。しかし,小段は越流水の落下高さを小さくする効果があるが,越流水の流向を変えるために浸食作用を大きく受ける負の効果もあると言われており,浸食作用の抑制効果についてはプラスとマイナスの効果があるために評価が難しい。

相之島地区の堤防漏水対策事業

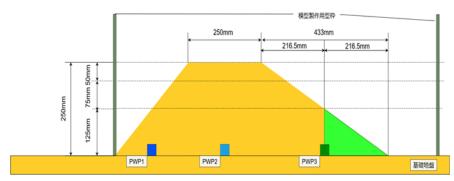
相之島地区は扇状地のために,千曲川の堤防基礎地盤には厚い礫層が存在し,千曲川の河川水位が上昇すると河川からの浸透水によって堤内地は内水被害を生じる可能性がある。千曲川河川事務所では堤防および基礎地盤の漏水対策工事を実施しており,相之島地区の堤防は表のり面の遮水シートおよび大型連接ブロックの施工のほか,余盛部の粘性土への置換施工の実施,また基礎地盤には遮水矢板(長さ13.5m)の施工が行われていた。これらの漏水対策は台風19号の発災時にも機能したと推測されるが,越流による堤防侵食にどのような安定効果を発揮したのか不明である。基本的に,漏水対策は越流水の侵食作用の防止に効果を発揮しないと考えられる。

堤防の排水効果

相之島地区の堤防の越流に対する耐侵食性を検討するために,越流に関する模型試験を紹介する。図 4.6.4 に模型試験の概要を示す。堤防模型および基礎地盤には東北硅砂 6 号と青粘土を質量比で 3:1 に混合した土質材料を用いた。細粒分含有率は 22.8%である。締固め度が 80%になるように調整した。堤防模型は高さが 250mm, 天端幅は 250mm である。実験の簡略化より,表のり面の勾配は 45°,裏のり面の勾配を 30°とした。図の左側(表のり面)から注水を行い,河川水位の上昇を模擬し,堤体内の水分状態を管理した上で,堤体模型の越流試験を実施した。越流時には越流水深を 10mm (目標値)に設定した。

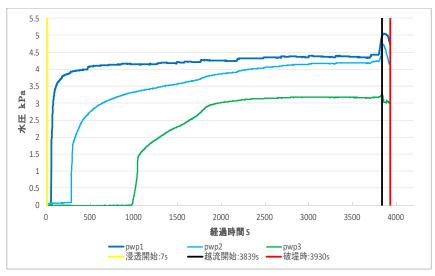


(A) 無対策堤防 (Case A,B)

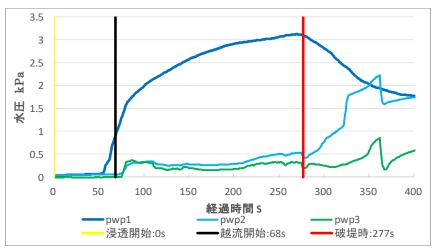


(B) ドレーンを模擬した排水対策堤防 (Case C)

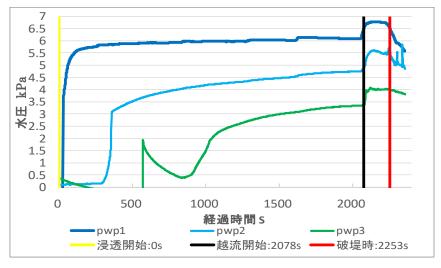
図 4.6.4 堤防模型の越流試験



(A) Case A (無対策, 水位を 200mm に保った後に越水試験)



(B) Case B (無対策,無水位から越水試験)



(C) Case C (排水対策, 水位を 200mm に保った後に越水)

図 4.6.5 堤防模型試験の間隙水圧試験の時間変化

246

3 つの試験結果を示すが, Case A, B は無対策堤防に, Case C は堤防の裏のり面のり先に砕石によるドレーンを配置した対策堤防に設定した。実験は表のり面側から注水して水位を 200mm に管理する条件を基本試験とした。間隙水圧をモニタリングして,定常状態に達したことを確認後に越流試験を実施した。この条件は河川水によって堤体が十分に浸潤した状態を模擬している。一方, Case B は比較試験として,堤体に河川水が浸潤せずに,堤体は不飽和状態を維持した条件において,越流試験を実施する。図 4.6.5 に堤防の下部に設置した間隙水圧計の経時変化を示す。Case C は計測初期に間隙水圧に乱れがあるために,全体的な挙動に着目して考察する。

Case A, B, C の破堤(堤防天端高さが維持できない状態)までの時間は,それぞれ,91 秒,209 秒,175 秒である。Case A, B の試験結果を比較すると,堤体内の浸透水が少なく,堤体が不飽和状態に維持される場合に,越流による破堤時間は長期化し,堤体の越流に対する耐侵食性の高いことがわかる。一般に,堤体が不飽和状態を維持するとせん断強度が大きいことが知られているが,耐侵食性についても向上する結果を示している。一方,Case A, C を比較すると,のり先のドレーンによって堤体内の水位上昇を抑制すると,破堤までの時間が長期化する。模型のドレーン工は堤体内の地下水位を下げるように改良範囲をやや大きく設定した。

上記の試験結果を基に相之島地区の堤防の越流に対する耐食性を再検討する。前述のように相之島地区の堤防基礎地盤には礫質土層が分布している。礫質土層は堤体に排水ドレーンが基礎地盤全体に配置されているのと同様の効果を発揮するために、堤体の地下水位は極めて低い状態に維持されると考えられる。更には、堤防の表のり面は漏水対策によって河川水の浸透が抑制されていることから、堤体への水分供給は極めて限定的である。以上から、実験結果に示すように、相之島地区の堤体の耐食性は比較的高い状態が維持されたものと推測される。

堤防の越流による侵食について,穂保地区と相之島地区を比較して,被災の差異を生じた要因を分析した。定性的な検討にとどまり,考察に思わぬ誤りのあることも懸念するが,今後の堤防の対策や管理に何らか参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所河川研究室:越水堤防調查最終報告書-解説編-,土研資料第2074号,1984.
- 2) 與田敏昭:河川堤防の越流侵食のメカニズムに関する研究,京都大学博士論文,2014.
- 3) 国土交通省北陸地方整備局:第2回千曲川堤防調査委員会資料 https://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-02.pdf (アクセス日:2020/6/14)
- 4) 下村魁晟:模型実験による越流水に対して粘り強い堤防補強工法の検討,長岡技術科学大学卒業論 文,2019.

4.7 千曲川上流域の佐久市における地盤災害について

4.7.1 佐久市の概要

佐久市は,長野県東信(とうしん)地方の市であり,群馬県との県境に位置している(図 4.7.1)。北に浅間山を中心とした上信越高原国立公園,南に八ヶ岳中信高原国定公園,東に妙義荒船佐久高原国定公園が広がっている。主な市街地は標高約 700m で夏は湿気が少なく冷涼で過ごしやすいのが特徴である。市域は東西 32km,南北 23km,面積 423.5km²,人口は約 9.9 万人(2020 年 3 月現在)である。平成 17年(2005 年)の合併前の旧市町村の範囲を踏まえて,各種の行政に関する地区の活動単位として,浅間(あさま),野沢(のざわ),中込(なかごみ),東(ひがし),臼田(うすだ),浅科(あさしな),望月(もちづき)の7地区に区分されている(図 4.7.2)。北部の浅間地区に北陸新幹線佐久平駅,上信越自動車道佐久 IC があり,南北に中部横断自動車道が通っている。佐久市から約 35km 上流にある南佐久郡川上村(図 4.7.1)を源流とする千曲川が市の中央を南北に貫流している。佐久市内を流れる千曲川の支流には,右岸側に滑津川(なめづがわ),湯川(ゆかわ),左岸側に鹿曲川(かくまがわ),片貝川(かたかいがわ)などがある(後述の図 4.7.7)。

気象庁のアメダス佐久観測所(図 4.7.2)において記録された月毎の降水量の推移(統計期間 1981-2010年)は図 4.7.3に示すとおりである.年間降水量の平年値(1981-2010年の観測値の平均)は960.9mmであり,台風19号災害の発生した10月の平年値は99.5mmである。

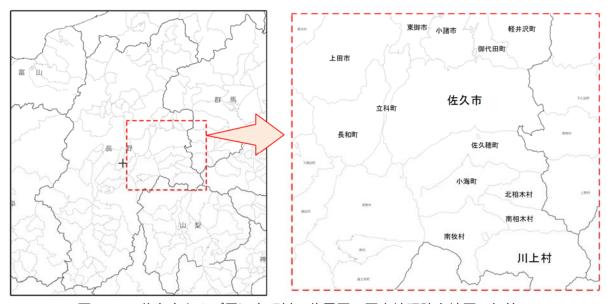


図 4.7.1 佐久市および周辺市町村の位置図(国土地理院白地図に加筆)

4.7.2 佐久市の降雨状況と被害状況の概要

佐久市内には,アメダス佐久観測所の他に,長野県,佐久市,NEXCO 東日本によっても雨量計が設置されており,佐久市および長野県のデータはウェブ上で公表されている $^{1),2}$ 。図 4.7.4 および 4.7.5 に,台風 19 号の接近した 2019/10/11 から 10/13 までの主な観測地における累積降水量および時間降水量の推移を示す(雨量計の位置は図 4.7.2 を参照)。台風 19 号の接近による雨は,10/11 の午後に降り始め,10/12 0:00 までの累積降水量は,滑津川上流の 初谷における 21mm が最大である。深夜に時間 $10 \sim 20$ mm を

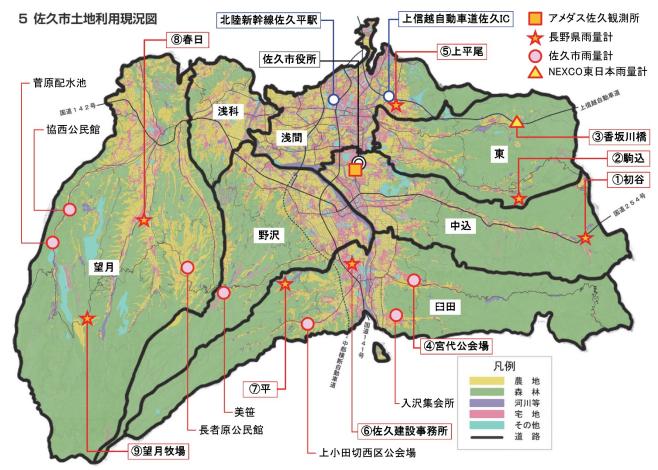


図 4.7.2 佐久市の7地区および雨量計の位置(佐久市土地利用現況図3)に加筆)

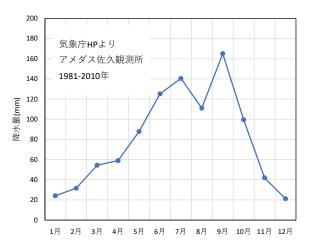


図 4.7.3 佐久市の月降水量(アメダス佐久観測所,1981~2010年)

観測した後,10/12.6 時~20 時の間に連続して時間 10~40mm を越える降雨が観測されている。特に,初谷では,時間 20~50mm の雨が 14~15 時間の長時間連続して降っている。10/12.22 時を過ぎると,どの地点においても降雨は収まっている。

佐久市 7 カ所,長野県 7 カ所,気象庁 1 カ所および NEXCO 東日本 1 カ所の雨量計の 24 時間降水量 (2019/10/12 0:00~24:00) および累積降水量 (2019/10/11 15:00~10/13 1:00) を表 4.7.1 にまとめる。図 4.7.6 は,表 4.7.1 および佐久市周辺のアメダス観測所における累積降水量(2019/10/11 15:00~10/13 1:00)

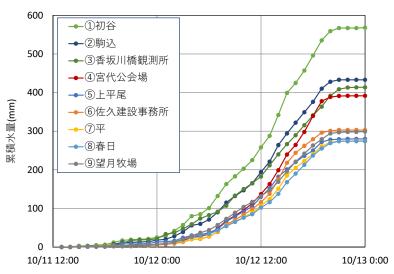


図 4.7.4 被災前後の累積水量(長野県,佐久市および NEXCO 東日本の雨量計データより)

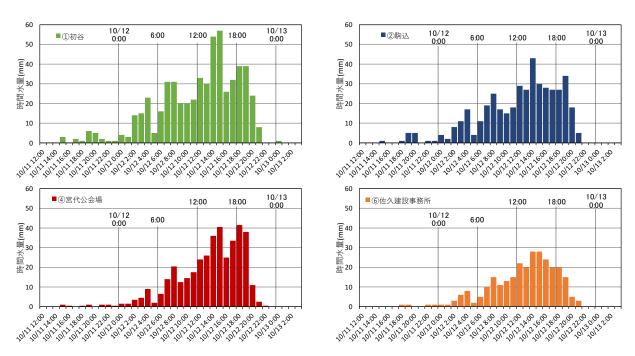


図 4.7.5 時間降水量の推移(長野県および佐久市の雨量計データより)

のデータをコンター図で示したものである。佐久市内では ,千曲川の右岸の 初谷 , 駒込 , 香坂川橋 , 宮代公会場累積降水量が顕著に多く ,400mm 程度以上に達している。千曲川周辺の市街地においても 佐久建設事務所 ,アメダス佐久観測所において 300mm 程度である。図 4.7.6 の累積降水量コンター図に示すように ,中込地区 ,臼田地区の東部 ,群馬県との県境山地において 500mm を越えており ,東地区 , 中込地区ではほぼ全域で 300mm を越えている。千曲川左岸側の累積降水量は右岸側よりもの少なくなる ものの ,ほとんどの地域において 200mm を越えている。アメダス佐久観測所(図 4.7.3)の降水量の平年 値 (統計期間 1981-2010 年)は ,年間 960.9mm ,10 月の 1 ヶ月間 99.5mm であり ,1 年分の 1/4~1/2 程度 以上 ,1 ヶ月分の降水量の 2~4 倍程度以上が ,10/12 の十数時間の間に降ったことになる。

表 4.7.1 佐久市内に設置されている雨量計の観測データ(長野県:(県),佐久市:(市),アメダス:(気) および NEXCO 東日本(N)の雨量計データより)

千曲川の	+₩Г▽	24 時間降水量	累積降水量
右岸 / 左岸	1612	$(10/12\ 0.00 \sim 24.00)$	(10/11 15:00 ~ 10/13 1:00)
右	中込	546 mm	568 mm
右	中込	303.5 mm	311.5 mm
右	東	419 mm	433 mm
右	東	413.5 mm	414 mm
右	浅間	271 mm	280 mm
右	臼田	386 mm	391.5 mm
右	臼田	225.5 mm	225.5 mm
左	臼田	299 mm	303 mm
左	臼田	270 mm	275 mm
左	臼田	151.0 mm	151.0 mm
左	野沢	140.0 mm	140.0 mm
左	望月	268 mm	274 mm
左	望月	293 mm	299 mm
左	望月	163.0 mm	163.0 mm
左	望月	109.5 mm	116.0 mm
左	望月	167.5 mm	167.5 mm
	右	右岸/左中域右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右右	右岸 / 左岸 地区 (10/12 0:00 ~ 24:00) 右 中込 546 mm 右 中込 303.5 mm 右 東 419 mm 右 東 413.5 mm 右 浅間 271 mm 右 臼田 386 mm 右 臼田 225.5 mm 左 臼田 299 mm 左 臼田 270 mm 左 臼田 151.0 mm 左 野沢 140.0 mm 左 望月 293 mm 左 望月 163.0 mm 左 望月 109.5 mm

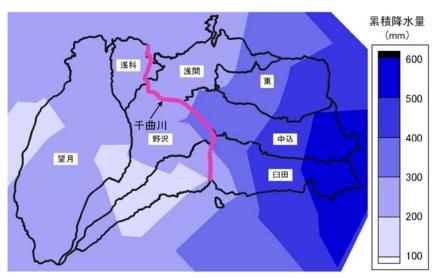


図 4.7.6 累積雨量(2019/10/11-13)のコンター図(長野県,佐久市,アメダスおよび NEXCO 東日本の雨量計データより)

表 4.7.2 は,アメダス佐久観測所と佐久市周辺の軽井沢,東御(とうみ)および立科(たてしな)の各観測所における日降水量の観測史上 $1\sim4$ 位である。すべての観測所において,台風 19 号による降水量は 1976 年 4 月以降の観測期間の 1 位を更新しており,以前の 1 位の $1.1\sim2$ 倍である。佐久市内に設置さ

表 4.7.2 日降水量の観測史上上位およびその観測日(アメダスの雨量計のデータより)

観測所 (対象の観測期間)	1 位	2 位	3 位	4 位
佐久	305.5 mm	205 mm	160 mm	158 mm
(1976/4~現在)	(2019/10/12)	(1999/8/4)	(1982/9/12)	(2007/9/6)
軽井沢*	314.5 mm	286 mm	174.5 mm	160.5 mm
(1976/4~現在)	(2019/10/12)	(2007/9/6)	(1999/8/14)	(1982/9/12)
立科	264 mm	137 mm	137 mm	125 mm
(1978/11~現在)	(2019/10/12)	(1999/8/14)	(1983/9/28)	(1982/9/12)
東御	14.7.5 mm	135 mm	124 mm	120 mm
(1976/3~現在)	(2019/10/12)	(1983/9/26)	(2007/9/6)	(1999/8/14)

[※]軽井沢観測所の観測期間は 1925/1 ~ 現在であり, その間の観測史上 1 位: 318.8mm (1949/8/31), 2 位: 314.5 mm (2019/10/12), 3 位: 271.7 mm (1959/8/13), 4 位: 199.1 mm (1950/8/5)。

表 4.7.3 人的被害の状況(2019.11.15 現在, 佐久広域連合消防本部調べ)

死者	行方不明者	重傷	軽傷	合計
2 名	0 名	0 名	18 名	20 名

表 4.7.4 住家等の床上床下浸水被害状況 (2019.11.15 現在, 佐久市環境政策課調べ)

地区	床上浸水(A)	床下浸水(B)	世帯数 [※] (C)	{(A+B)/C}×100
浅間	4 軒	19 軒	12,601 世帯	0.2%
野沢	21 軒	180 軒	6,568 世帯	3.1%
中込	52 軒	167 軒	6,223 世帯	3.5%
東	18 軒	122 軒	2,625 世帯	5.3%
臼田	30 軒	343 軒	5,131 世帯	7.3%
浅科	5 軒	35 軒	2,199 世帯	1.8%
望月	4 軒	69 軒	3,140 世帯	2.3%
計	134 軒	935 軒	38,384 世帯	2.8%

[※]平成27年度国勢調査人口等基本集計結果4)より

れた長野県の観測所の日降水量 (2007/9/6) は , 初谷:476mm , 佐久建設事務所:118mm , 春日:91mm であり , こちらも今回の台風 19 号による日降水量は 1.1~3 倍である。

被害状況の概略として,表 4.7.3 に人的被害の状況,表 4.7.4 に住家等の床上床下浸水被害の状況,表 4.7.5 に市道の主な被害状況,表 4.7.6 に主な河川の被害,表 4.7.7 に林業施設の被害,表 4.7.8 に農地・農業施設の被害,をそれぞれまとめる。佐久市の記者発表資料からの引用である。

表 4.7.3 に示す死者 2 名は , 滑津川付近と臼田地区入沢 (いりさわ)において発生した。

表 4.7.4 の住家等の床上床下浸水被害状況には,平成 27 年度国勢調査結果 4)の世帯数を併記した。試みに被災住家数と世帯数から,被災した割合を{(A+B)/C} × 100(%)として算定したところ,臼田,東,

表 4.7.5 市道の主な被害状況 (2019.10.30 現在, 佐久市土木課調べ)

地区	路線数	主な被害状況
浅間	-	-
野沢	15	路肩崩落,法面崩落,道路崩落
中込	15	道路洗掘,護岸流出,道路路肩崩落
東	8	法面崩落,護岸崩落,法面崩落
臼田	34	護岸流出,道路破損,舗装洗掘
浅科	5	法面洗掘,舗装洗掘
望月	15	路肩崩落,舗装洗掘
計	92	

表 4.7.6 主な河川の被害状況 (2019.10.23 現在,長野県佐久建設事務所調べ)

(a)千曲川

河川名	流域地区	箇所数
千曲川	臼田,野沢,中込,浅間,浅科	25

(b)千曲川右岸の河川

河川名	流域地区	箇所数	河川名	流域地区	箇所数
志賀川	東 , 中込	28	谷川	臼田	15
滑津川	中込	24	雨川	臼田	12
田子川	中込	18	霞川	東 , 浅間	10

(c)千曲川左岸の河川

河川名	流域地区	箇所数	河川名	流域地区	箇所数
鹿曲川	望月	15	宮川	野沢	10
片貝川	臼田,野沢	12	八丁地川	望月	10

(d)各河川の被害状況(長野県災害対策本部員会議資料 5)より)

河川名	被害状況
千曲川,谷川,田子川,雨川,霞川,小宮山川	護岸崩落
志賀川	護岸崩落,堤防決壊
滑津川	越水,護岸崩落,堤防決壊
片貝川	越水,護岸浸食
大沢川	越水,土砂流出
吉沢川	越水
中沢川	越水

中込の3地区において被災の割合が高い。いずれの地区も,降水量が多かったことに加えて,表 4.7.6(b)に示した千曲川右岸の支流が流れており,支流の越水や氾濫が大きく影響していると考えられる。

表 4.7.6 に示すように,千曲川に流入する支流では,降水量が多かった右岸川から流入する支流におい

表 4.7.7 林業施設の被害状況(2019.10.31 現在, 佐久市耕地林務課調べ)

区分	路線数	箇所数	延長 (m)
林道施設	69	565	32,353

< 参考 > 佐久市内の林道(佐久市森林整備計画(平成 31 年 4 月から平成 42 年 3 月)⁶, 長野県林務部第 10 次県営林管理経営計画書(平成 29 年 4 月から平成 34 年 3 月)⁷より)

区分	路線数	延長
林道	84	252,724 m

表 4.7.8 農地・農業用施設の被害状況 (2019.11.12 現在,単位:件,佐久市耕地林務課調べ)

地区	田畑	農道	水路	ため池	その他※	計
浅間	70	28	35	0	26	159
野沢	295	32	54	0	22	403
中込	145	21	44	2	40	252
東	146	19	35	0	64	263
臼田	189	55	30	2	61	337
浅科	80	8	21	2	25	136
望月	393	93	145	5	49	685
計	1,318	256	364	11	287	2,235

※その他:頭首工,橋梁等

て被害が多い。主な支流の流路は、後述する図 4.7.6 に示すとおりである。

4.7.3 各施設の被害状況

土木施設の被害状況

佐久市内の市道では,表 4.7.5 に示すように,路肩や法面の崩落,路面および舗装の洗掘のような被害が,市内のほぼ全域において多数発生している。図 4.7.7 に土木施設の主な被災箇所の位置を示す。図中には雨量計の位置も示した。図 4.7.8 ~ 4.7.22 にそれぞれの被災箇所の被害状況を示す。

林業施設の被害状況

表 4.7.7 に示すように ,佐久市が管理している林道は全 84 路線であり ,多くの路線で被害が発生した。 市道と同様に ,路肩や法面の崩落 ,路面および舗装の洗掘のような被害が多数発生している。図 4.7.23 に 主な被災路線の位置を示す。図 4.7.24~4.7.29 にそれぞれの被災箇所の被害状況を示す。

農地・農業施設の被害状況

農地・農業施設の被害箇所は,表 4.7.8 に示すように,佐久市全域で 2,000 件を越えている。図 4.7.30 に被災状況の一例を示す。千曲川の支流に近い地域では,支流の決壊や越水による濁流によって運ばれた礫や土砂によって田畑が覆われる被害などが出ている。一方,中山間地域では,田畑や隣接斜面に降った多量の雨水があぜを越えて流入・流出する際に,あぜや周辺の農道,農業施設に被害を及ぼしたとみられる。

4.7.4 佐久市における被害状況のまとめ

佐久市では、台風 19 号による累積降水量は、東部の群馬県県境において 500mm を越えており、市内のほとんどの地域で 200mm を越えている。10 月 1 ヶ月の降水量は、99.5mm(平年値)であることから、ほぼ全域で 10 月の 1 ヶ月分の 2 倍以上の雨が降ったことになる。雨水は千曲川の支流に集まり、さらに千曲川に流れ込み、河川において堤防決壊や護岸崩落などの被害(千曲川: 25 カ所、志賀川: 28 カ所、滑津川: 25 カ所など)を引き起こした。河川以外においても、市道: 92 路線、林業施設(林道施設): 約570 カ所、農業施設(田畑、農道、水路、ため池など): 約2,200 件と、甚大な被害が発生している。特徴的な被災事例として、アスファルト舗装された道路において、道路洗掘、舗装洗掘が多数発生している。短時間で多量の水と土砂が路面を流下したことがうかがえる。

台風 19 号豪雨における長野県内の被災状況に関するテレビや新聞の報道では,人的被害や住家被害の発生した地域,千曲川の破堤や欠損が生じた場所が主に対象とされていた。長野県の HP には,県内で発生した主な土砂災害として,土石流 23 カ所(長野市,上田市,佐久市,佐久穂町,長和町など),地すべり 5 カ所(長野市,松本市,飯山市,安曇野市),がけ崩れ 15 カ所(長野市,上田市,佐久市,御代田町,佐久穂町,南牧村など),計 43 カ所が公表されている 12)。しかしながら,これらの土砂災害については,長野県内では部分的に報道されていたものの,全国的にはほとんど報道されていなかったようである。また,本節においてまとめたとおり,佐久市の市道や林道においては,路肩や法面の崩落,道路および舗装の洗掘のような土砂災害や地盤災害が多数発生したものの,こちらもほとんど報道されていなかったようである。佐久市と同様に降水量の多かった周辺の東御市,小諸市,佐久穂町,小海町,北相木村,南相木村,南牧村,川上村(位置は図 4.7.1 参照)においても,相当数の災害が発生したと考えられる。佐久市だけではあるが,全国的にほとんど報道されていない被災状況について,本報告書を通じて情報発信できれば幸いである。

2020 年 5 月においても,県道や市道などの生活道路,橋梁,林道など,通行止めの続いている場所が未だに多数残されています $^{8),9),10),11)$ 。被災地では懸命な努力が続けられており,1 日も早い復旧復興を祈念いたします。

参 考 文 献

- 1) 長野県 HP:砂防防災情報ステーション雨量データ http://www.sabo-nagano.jp/dps/disp=100110 (アクセス日:2020/5/10)
- 2) 佐久市 HP: 市内雨量計の設置について

https://www.city.saku.nagano.jp/kurashi/iza/bosai bohan/kisyou/20160126.html (アクセス日:2020/5/10)

- 3) 佐久市 HP: 第二次国土利用計画(佐久市計画), 2017. https://www.city.saku.nagano.jp/shisei/seisaku_shisaku/hoshin_keikaku/machizukuri/kokudoriyoukeikaku2.html (アクセス日: 2020/5/10)
- 4) 佐久市 HP: 平成 27 年度国勢調査人口等基本集計結果, 2016.
 < https://www.city.saku.nagano.jp/shisei/profile/tokei/tyousakekka/kokuseichousa.html > (アクセス日: 2020/5/10)
- 5) 長野県 HP:台風 19 号災害対策本部員会議資料 https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/2019typhoon19.html (アクセス日:2020/5/10)

- 6) 佐久市: 佐久市森林整備計画,平成 31 年 4 月 1 日~平成 42 年 3 月 31 日,2017. https://www.city.saku.nagano.jp/machizukuri/ringyo/shinrinseibi.html (アクセス日:2020/5/10)
- 7) 長野県 HP: 長野県林務部:第10次県営林管理経営計画書,2019. https://www.pref.nagano.lg.jp/shinrin/sangyo/ringyo/shisaku/erin.html (アクセス日:2020/5/10)
- 8) 長野県 HP: 令和元年東日本台風(台風第 19 号)による道路の通行制限および復旧について,2020. (アクセス日: 2020/5/10)
- 9) 長野県 HP: 道路情報広場 Nagano, 台風 19 号災害に伴う道路交通情報のご案内 https://www.pref.nagano.lg.jp/michikanri/taihu19gokiseizyoho.html (アクセス日: 2020/5/10)
- 10) 長野県佐久建設事務所佐久北部事務所 HP: 道路通行規制箇所の状況(通行規制別一覧) (アクセス日: 2020/5/10)
- 11) 長野県 HP: 佐久建設事務所,台風 19号被害に伴う佐久南部の通行規制の状況(12月 16日 17時現在),https://www.pref.nagano.lg.jp/sakuken/doro/doroinfo/minamitsukokisei.html(アクセス日:2020/5/10)
- 12) 長野県 HP: 令和元年東日本台風に係る長野県の土砂災害対応(更新日: 2020/4/15) https://www.pref.nagano.lg.jp/sabo/siryou/taihu19.html#hasseikasyo (アクセス日: 2020/5/10)

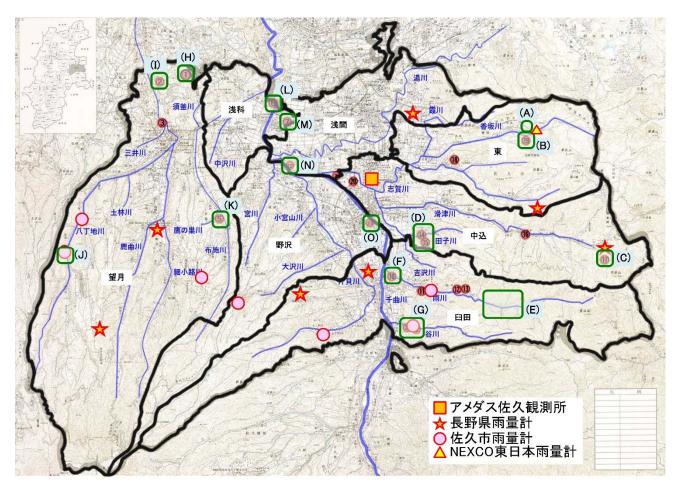


図 4.7.7 土木施設の主な被災箇所の位置図(佐久市役所土木課提供資料に加筆)。被災箇所(A)~(O)について以下に示す.



図 4.7.8(a) (A) 東地区 上信越自動車道(碓井軽井沢 IC~佐久 IC 間)の香坂川橋西側橋台付近の盛土における地すべりにより,高速道路下り線の路面にクラックが 25m 程度の範囲で発生した。クラックの幅は 175mm 以上,段差は 250mm 以上に達した。高速道路脇の市道路面にもクラックが発生した。懸命な復旧工事により,2019 年 10 月 23 日に上り線を活用した対面通行によって通行止めが解除され,2020 年 4 月 3 日に 4 車線への復旧が完了している。







図 4.7.8(b) (A)東地区 上信越自動車道(碓井軽井沢 IC~佐久 IC 間)の香坂川橋西側橋台付近の盛 土における地すべり。当該箇所から香坂川を挟んだ対岸に設置されている雨量計(香坂川橋)の累 積降水量は414mmであった。





図 4.7.9 (B) 東地区 香坂東地,道路の法面崩落,数百メートル程度離れた雨量計(香坂川橋)において 414mm の累積降水量が観測されており,当該地においても相当量の降雨があったことが想定される。





図 4.7.10 (C) 中込地区 黒田,路面洗掘,付近の雨量計(初谷)では 568mm の累積降水量が観測されており,多量の雨水が路面状を流下し,その流水によってアスファルト舗装がめくれ洗掘が生じたとみられる。



図 4.7.11(a) (D)中込地区 常和,路面洗掘,付近の雨量計(宮代公会場)では391.5mmの累積降水量が観測されており,多量の雨水が路面状を流下し,その流水によってアスファルト舗装がめくれ洗掘が生じたとみられる。





図 4.7.11(b) (D)中込地区 常和,田子川(川幅数 m 程度)の護岸崩落および併走する道路の舗装洗掘。写真(左)に見られるように,普段の田子川は流量が少ないが,被災後は多量の水が流れており,写真(右)の奥では路面が冠水している状態である。



図 4.7.12(a) (E)臼田地区 田口~雨川砂防ダムにおける県道 93 号沿いの被災箇所の位置図(地理院地図に加筆)。雨川の上流域は,累積降水量 568mm が観測された雨量計(初谷)に隣接しており(図4.7.7 参照),雨川の流量はかなり多かったものと想像される。以下に,E-1~3 の 3 カ所の被害状況をまとめる。



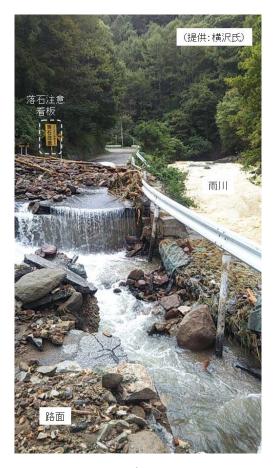


図 4.7.12(b) (E-1)臼田地区 田口,県道93号,併走する雨川の護岸崩落および路面の洗掘。写真(左下)に見られるように,普段の雨川は流量が多くない。写真(右)は10月13日午前9時頃撮影されたもので,雨川は流量も多く,川幅一杯に濁流が流れている。路面には流木・土砂が残っている。路面を流れる水は雨川右岸側の山地より供給されているとみられる。





図 4.7.12(c) (E-2) 臼田地区 田口, 県道 93 号。E-1 よりも 700m 程度上流の地点における路面洗掘。 拡幅工事が過去に行われている。舗装の継ぎ目から路面洗掘が生じているように見られる。





図 4.7.12(d) (E-3) 臼田地区 田口,県道 93 号,雨川砂防ダムの直ぐ手前における路面洗掘。併走する雨川は路面よりも 20m 以上も低い場所を流れており,雨川から溢れた水が路面洗掘に影響しているとは考えられない。図 4.7.12(a)に示すように,写真の奥のカーブを左に曲がった先には川があり,そこまでに至る県道の路面にも路面洗掘が発生している。この川から溢れた水が路面を流下して路面洗掘を起こしたものと考えられる。







図 4.7.13 (F)臼田地区 竜岡,雨川に架かる JR 東日本小海線の鉄橋付近における護岸崩落。ここより約 650m 下流において,雨川は千曲川に合流する。









図 4.7.14(a) (G) 臼田地区,入沢,谷川の護岸崩落,路面洗掘。被災前の写真(左の2枚)には生活橋が谷川に架かっているが,被災後は,写真(右の2枚)のように生活橋が流されている。











図 4.7.14(b) (G)臼田地区,入沢,谷川の護岸崩落,路面洗掘。谷川に併走する道路が完全に無くなっている箇所も見られる。こちらでも生活橋が消失している。







図 4.7.14(c) (G) 臼田地区,入沢。谷川を渡る生活橋が20カ所ほど設置されており,その多くが被災した。



図 4.7.15 (H)望月地区,印内原,道路盛土のブロック積み擁壁の崩落。ハザードマップ(佐久市防 災マップ平成30年3月)では,土砂災害の恐れのある地域には指定されていない地点における災害 である。





図 4.7.16 (I)望月地区 印内,日沢川の護岸崩落。写真(左)に見られるように,併走する日沢川の 普段の流量は非常に少ない。写真(右)に示すように,被災直後においては多量の水が流れている。 路面に落ち葉が残っており,土砂の堆積が見られないところから,路面までの越水は生じなかった ものと考えられる。



図 4.7.17 (J)望月地区 協西,路面洗掘。多量の水が写真右手前から左奥に流下する様子が見て取れる。





図 4.7.18(a) (K)望月地区 抜井 本沢川(被災前)





図 4.7.18(b) (K)望月地区 抜井 本沢川(被災後)



図 4.7.19 (L)浅科地区 御馬寄,千曲川左岸の堤 防道路における道路洗掘。写真右手に千曲川が, 写真の手前から奥に向かって流れている。写真右 手の白い構造物は,Google Map の航空写真から は確認できないため,千曲川の上流から流されて きたものと考えられる。



図 4.7.20 (M)浅科地区 塩名田,道路盛土のブロック積み擁壁における擁壁の転倒と盛土法面の崩落。



図 4.7.21 (N)浅間地区,河川敷の千曲川スポーツ交流広場におけるグラウンド洗掘および土砂の流入。



図 4.7.22 (O)野沢地区 原,中島公園付近における 千曲川左岸の護岸崩落。堤防道路も流失している。

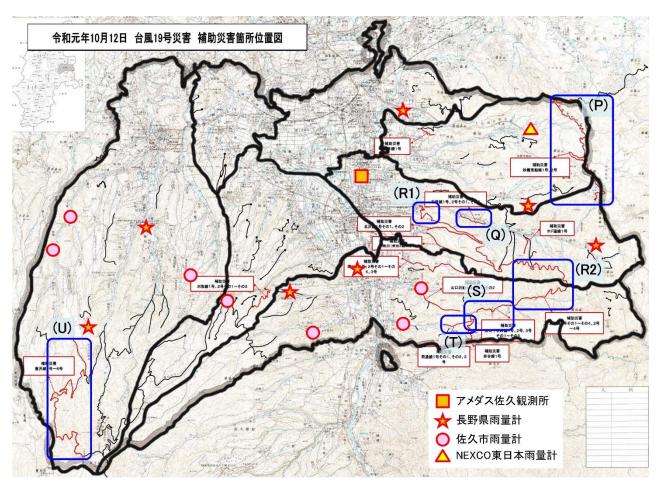


図 4.7.23 林道の主な被災箇所の位置図(佐久市役所耕地林務課提供資料に加筆)。被災箇所(P)~(U) の路線について以下に示す。



図 4.7.24(a) (P)東地区,妙義荒船線。本路線に近い雨量計の観測結果では, 駒込および 香坂川橋 のいずれにおいても,約 400mm を越える累積降水量が観測されており,当該地においても相当量の 降雨があったことが想定される。





図 4.7.24(b) (P)東地区,妙義荒船線。林道路肩における崩落幅約 17m。









図 4.7.25 (Q)中込地区,本祭線。アスファルト舗装区間において最大深さ 60cm 程度の路面洗掘が発生している。本路線に近い雨量計 駒込において,400mm を越える累積降水量が観測されており, 当該地の周辺においても相当量の降雨があったことが想定される。





図 4.7.26(a) (R1)中込地区,東山線,アスファルト舗装区間における路面洗掘。





図 4.7.26(b) (R2)中込地区,東山線。未舗装(砂利道)区間における幅約 20m 以上,長さ約 25m 以上の大規模な崩壊。本路線に近い雨量計 初谷において,500mm を越える累積降水量が観測されており,当該地の周辺においても相当量の香水があったことが想定される。





図 4.7.26(c) (R2)中込地区,東山線。未舗装(砂利道)区間における崩落。





図 4.7.26(d) (R2)中込地区,東山線。未舗装(砂利道)区間における幅約 20m 以上,長さ約 25m 以上の大規模な崩壊。暗渠パイプおよび排水桝が設置されており集水地形であると考えられる。暗渠パイプが閉塞したために雨水が溢れて林道を越流し,法面,路面の洗掘が生じたと考えられる。



図 4.7.27(a) (S,T)臼田地区,田口十石 峠通線,荷通線における被災箇所の位 置図(地理院地図に加筆,田口十石峠 通線(赤線)は,Google Map の航空写 真をトレース)。以下に,S-1,S-2,T-1の3箇所の被害状況をまとめる。



図 4.7.27(b) (S-1)臼田地区,田口十石峠通線.未舗装(砂利道)区間における幅約 15m 以上の大規模な崩壊。写真(左)において,写真上部の斜面から流下した雨水は,暗渠パイプを通して斜面下の排水桝に流れる構造であったが,暗渠パイプが閉塞したために雨水が溢れて林道を越流し,法面,路面の洗掘が生じたと考えられる。図 4.7.27(a)に示すように,稜線を結んで描いた集水面積は約 60,000m²と算定される。降水量 400mm として,雨水の地盤への浸透などを無視して試算すると,24,000m³の雨水が十数時間という非常に短い時間に被災箇所に集中して流下したと考えられる。





図 4.7.27(c) (S-2)臼田地区,田口十石峠通線。未舗装(砂利道)区間における崩壊。谷筋に沿った曲線の林道部分である。前述の(S-2)と異なり林道の下に暗渠パイプ,排水桝は設置されていない。集水面積は小さいものの,短時間に集中して斜面側から多量の水が流れたためと考えられる。





図 4.7.27(d) (T-1)臼田地区,荷通線。図 4.7.27(a)に示すように,(S-1),(S-2)から流出した雨水が流れ 込む場所にあり,かなりの流量があったことが容易に想像される。未舗装林道(砂利道)の路面はほ とんど残っておらず,暗渠パイプがむき出しになっている。





図 4.7.28 (T)臼田地区,荷通線,路面洗掘および路肩崩落



図 4.7.29(a) (U)望月地区, 唐沢線。路面上部の斜面が崩落して, 土砂・倒木が幅員 5m の林道を約 30m に渡って覆う。



図 4.7.29(b) (U)望月地区, 唐沢線。斜面の高さ 15~20m の部分が崩落して土砂が路面を覆う。



沢)。農道の路肩から斜面の崩落。



図 4.7.30(a) 農業施設の被害事例(野沢地区 大 図 4.7.30(b) 農業施設の被害事例(野沢地区 大 沢)。階段状に作られた水田において,上段の水 田のあぜを越水して下段の水田に水が流れる ことにより,あぜおよび法面が洗掘されたと考 えられる。

謝辞

4章の執筆にあたり,千曲川河川事務所,佐久市,長野県,東日本高速道路株式会社の関係各所より資料を提供いただいた。

千曲川河川事務所には被災後の復旧など,ご多忙の中にもかかわらず,本調査団としての現地踏査および説明会の機会を設けていただいたことに深く感謝致します。また,佐久市在住の横沢昌弘氏より被災直後の写真を提供いただいた。ここに付記して,関係各位に御礼申し上げます。

5. 斜面災害について

5.1 はじめに

令和元年台風第 19 号は,2019 年(令和元年)10 月 12 日夕方,大型で強い勢力のまま伊豆半島に上陸した後,関東地方を通過し,13 日未明に東北地方沖の太平洋上に抜けた.この台風は,静岡,新潟,関東・甲信地方,東北地方の各県に記録的な大雨をもたらした.10 日からの総雨量は神奈川県箱根町で1,000mmを超え,東日本を中心とした17 地点で500mmを超えた.この記録的な大雨により静岡,神奈川,東京,埼玉,群馬,山梨,長野,茨城,栃木,新潟,福島,宮城,岩手の13 都県に特別警報が発表された.

この台風がもたらした大雨によって土砂災害が各地で多発し,その総数は952件に及んだ¹⁾.特に,宮城県伊具郡丸森町においては,土砂と洪水が一体となった土砂洪水氾濫が発生し,尊い人命が失われるとともに,住家,公共土木施設,農林業施設等に大きな被害が発生した(丸森町全体では死者10名,行方不明者1名).この他に,群馬県富岡市内匠,福島県二本松市百目木,神奈川県相模原市緑区牧野などで土砂災害が発生し,犠牲者が出ている.土砂災害の都道府県別発生件数¹⁾をみると,宮城県が254件,福島県が144件,岩手県が98件など,全体の約半数が東北地方で集中的に発生した.降雨量が九州や中国・四国地方と比較して少ない東北地方において,これほどの土砂災害が発生したのは近年では初めてのことであったといえる.

表 5.1 に台風 19 号による被害状況と最近の主な豪雨被害状況との比較をまとめている .台風 19 号とその後の低気圧による被災の状況は ,令和 2 年 4 月 10 日時点で ,東北 ,関東地方を中心に ,死者 104 名(うち災害関連死 7 名),行方不明 3 名 ,家屋の全半壊 33,332 棟 ,家屋浸水 31,021 棟であり ,河川堤防の決壊は 142 箇所 ,土砂災害は 952 件に及んだ ²⁾ .台風に伴う災害としては ,和歌山県 ,奈良県 ,三重県などに甚大な被害を出した平成 23 年台風第 12 号を超えて ,過去最大級の被害規模であるといってよい .

上述した土砂洪水氾濫は,最近では平成29年九州北部豪雨,平成30年7月豪雨(西日本豪雨)において風化した土砂が水とともに大量に流出して下流域で氾濫して,大きな被害を生じさせている.水の侵食に対して脆弱な風化土砂は国内各地に分布しており,大雨がどこで降ってもおかしくない現在の気象状況を鑑みれば,その脅威は国内どこでも同じである.今回の調査事例においても,本川と支川の合流部の狭隘な箇所に上流から大量の水と土砂が集中的かつ持続的に流下したことによって,その場所で水と土砂が一体となって溢れ出していた.しかしながら,土砂洪水氾濫の発生しやすい条件や場所,発生の頻度,土砂供給量と影響範囲については,まだまだ不明な点が多いことから,現象・発生メカニズムの解明や有効な対策の立案までの研究,技術開発を進めることが重要である.

本章では,丸森町で発生した土砂洪水氾濫など斜面災害の発生状況について調査した結果を報告する.

表 5.1 台風第 19 号による被害状況と最近の主な豪雨被害の状況との比較

災害名	令和元年台風第 19号 ²⁾	平成 30 年 7 月豪 雨 ³⁾	平成 29 年 7 月九 州北部豪雨 ⁴⁾	平成 23 年台風第 12 号 ⁵⁾
土石流等	407	769	190	94
地すべり	44	55	28	32
がけ崩れ	501	1,688	235	82
合計	952	2,512	453	208
死者	104	237	42	82
行方不明者	3	8	2	16
負傷者	384	433	34	113
全壊	3,308	6,767	325	379
半壊	30,024	11,243	1,109	3,159
一部損壊	37,320	3,991	88	470

5.2 宮城県伊具郡丸森町の被害概況

5.2.1 丸森町における被害概況

宮城県伊具郡丸森町における 2019 年 10 月 12 日 ~ 13 日に発生した令和元年度台風 19 号による斜面災害の被害状況について報告する.丸森町がまとめた被害状況(令和 2 年 1 月 15 日時点)を表 5.2 にまとめている.死者 10 名,行方不明 1 名であり,道路,河川,農林施設,家屋の被害が顕著である.

表 5.2 丸森町の被害状況(令和2年1月15日時点)⁶⁾

人的被害	死者	10 名		内川	10 箇所
	行方不明者	1名	決壊河川 (県管理)	新川	4 箇所
公共土木施設	道路	341 箇所		五福谷川	4 箇所
	河川	338 箇所		全壊	114 件
	橋梁	3 箇所	住家被害	大規模半壊	247 件
	都市施設	1 箇所		半壊	624 件
農林業施設		1,745 箇所		準半壊	9件
公共下水施設		3 箇所		一部損壊	312 件
農業集落排水施設		2 箇所			

5.2.2 地形・地質・斜面崩壊の状況

丸森町の地形と崩壊箇所,地質状況をそれぞれ図 5.1,図 5.2 に示す.丸森町の地質は中生代前期白亜 紀の花崗閃緑岩と花崗岩,新第三期の玄武岩溶岩からなる.同町の東縁には双葉断層(活断層),中央に は畑川破砕帯がある.畑川破砕帯の西側の小起伏面は花崗岩が風化してマサ土化したものが目立つ.東 側は著しい侵食を受けて急斜面を形成している.

斜面崩壊の特徴としては , 畑川破砕帯の東側は急斜面で , 西側は標高 200~350m の小起伏面を経て標高 500m 級の次郎太郎山などの分水界になっている . 破砕帯の東側で崩壊箇所の密度は総じて高く , 西側では崩壊は花崗岩と玄武岩の境界付近に集中するなど散発的である . 破砕帯の東西に関わらず急斜面で崩壊が発生している . 破砕帯の東側では表層崩壊 , 渓岸侵食が主体で , 分水界の西側では土石流が主体である .

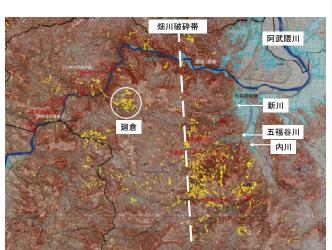




図 5.1 丸森町の地形と崩壊箇所(赤色立体地図 に国土地理院の斜面崩壊箇所⁷⁾を重合せた)

図 5.2 丸森町の地質状況(基図は 20 万分の 1 地質 図幅「福島」⁸⁾を使用)

5.2.3 降雨の状況

令和元年台風 19 号の丸森町と平成 30 年 7 月豪雨の広島の降水量を比較すると,最大時間雨量(丸森 60mm,広島 44mm),連続雨量(丸森約 430mm,広島約 320mm)であり,丸森町の方が集中的な降雨があった.

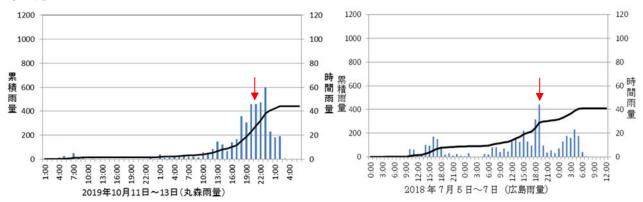


図 5.3 降水量の状況 (データ:気象庁 9))

5.2.4 土砂災害警戒区域の状況

被害の大きかった五福谷川の中下流域では,土砂災害警戒区域(土石流,急傾斜地の崩壊)の指定範囲は狭いようである.図 5.4 に示す急傾斜地の崩壊の指定区域では,急傾斜地の背後の渓流から流出した土石流により家屋が被害を受け,土砂災害警戒区域よりも広い範囲で被害が生じている.

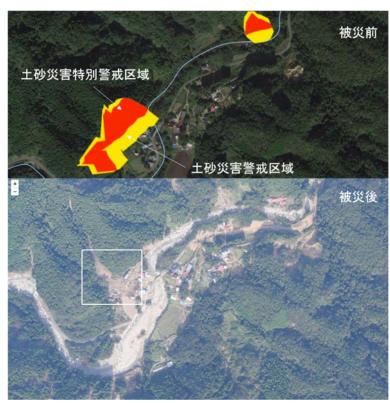




図 5.4 土砂災害警戒区域(急傾斜)の被災状況(上:産総研地質図 Navi,左:国土地理院空中写真)

5.2.5 被害の概況

(1) 斜面崩壊・土石流

土石流と斜面崩壊の代表的な事例を図 5.5(a)~(d)に示している.(a)の斜面崩壊は厚さ 1m 前後の表層崩壊がほとんどで,航空写真で判読できない小崩壊や渓岸浸食が多数発生している.(b)の西側の廻倉地区では玄武岩溶岩の基底部付近を発生源とする崩壊土砂が土石流化して被害を拡大している.(c),(d)は表層崩壊(崩壊厚さ 30 cm)とパイピング痕である.



(a) 内川沿いの表層崩壊



(b) 廻倉地区における土石流



(c) 表層崩壊



(d) 表層崩壊(c)のパイピング痕

図 5.5 代表的な斜面崩壊の状況

(2) 土砂流出による家屋等の被害

最も被害が大きかった五福谷川の岩下橋付近の状況を図 5.6 に示す.(a)の下流域では粒径の細かい砂,シルトが堆積しており,家屋への土砂流入が目立っていた.土砂洪水氾濫の様相を呈していた.(b)の中流域では土石流の巨礫により家屋が破壊されていた.



(a) 五福谷川下流:砂質土主体



(b)五福谷川中流:巨礫が多い

図 5.6 土砂洪水氾濫の状況

(3) 構造物の被害

五福谷川の上流域では,過去に流出した巨礫の上に道路が構築されていたが,洪水時に擁壁背面や路面下に流水が入り,土砂が抜け出し,道路盛土全体が流出していた.詳細は後述する.



(c) プレキャスト擁壁の損傷



(d) 道路盛土が流出して露出した基岩

図 5.7 代表的な構造物の被害状況

(4)鉄道施設の被害

阿武隈急行あぶくま駅周辺部で土石流と洪水流が発生し,鉄道盛土が流出した.また,斜面から土砂が流出して,線路上および駅舎に流入・堆積した.図 5.8 に駅舎周辺の空中写真と駅舎付近を拡大した赤色立体地図を示している.洪水流はトンネル坑口を横過する排水トンネルに流入せずに,旧流路に沿って流下し,駅舎入口付近を通過して,阿武隈川本川に流れ込んだ.土石流は駅ホーム付近の谷部で発生し,土砂が線路およびホームに流入・堆積した.なお,当該箇所の地質は中生代前期白亜紀の花崗閃緑岩である.



図 5.8 あぶくま駅周辺の空中写真と赤色立体地図 (上: Google Map,下:産総研地質図 Navi)

次の図 5.9(a)~(i)に各部の被害状況を示す .(a)は洪水流によって流出した盛土部の状況である .(b)は駅 に進入する道路に沿った河川であり,道路下の暗渠を通過し,(c)に見える排水トンネルにつながって, 阿武隈川本川に流れ込むようになっていた.実際は,(d)に示すように排水トンネルには水が流れ込まず に,盛土を侵食破壊して,(b)に見える駅舎入口前の広場を通り,阿武隈川本川に流れ込んだ.(e)および (f)は線路および駅舎に堆積した土砂痕跡である.調査時は土砂の大部分は撤去されていた.(g)は土石流 発生部を見上げた写真である、線路から崩壊源頭部までの距離は短いにもかかわらず、崩壊した土砂は 流動化して土石流となって流下した . (h)は線路側から見た阿武隈川本川の状況であり , (i)は阿武隈川対 岸から見たあぶくま駅およびその下方斜面の状況である、洪水流が斜面を侵食した形跡が認められる、



図 5.9 阿武隈急行あぶくま駅周辺部の被災状況



(g)





図 5.9 阿武隈急行あぶくま駅周辺部の被災状況

5.2.6 まとめ

令和元年台風 19 号により,多くの地点で過去最大雨量を観測した.丸森観測所でも日雨量,時間雨量 ともこれまでの最高雨量の約2倍の降雨があった、これによる斜面被害の特徴は以下のようにまとめら れる.

花崗岩,花崗閃緑岩が分布する地域での表層崩壊,渓岸浸食が主体であった。

航空写真では判読できない小規模な土砂流出が多数みられた.

土石流というよりも濁水流のような現象であり(土砂洪水氾濫と言ってよい),大量の土砂が下流 にもたらされた.

あぶくま駅や廻倉では土石流が発生し,被害が生じた.

鉄道被害の特徴としては,線路上への土砂流入,河川増水による橋桁の流出,洪水流による盛土破 壊があげられ,これらは豪雨による鉄道関連の被害パタンの範疇に入るものであった.

近年の前線性豪雨の増加,台風の大型化や通過経路の北上を鑑みると,東北地方における斜面崩壊に 対して注意を払う必要があり、今後の課題としては以下のようにまとめられる。

畑川破砕帯の東側には急斜面が多く,不安定斜面や渓流の不安定土砂が潜在している可能性があり, 今後の豪雨に対して注意が必要.

畑川破砕帯の西側では標高 500m 級の次郎太郎山等の分水界に分布する玄武岩溶岩の基底部からの 湧水があり土石流が発生しやすいと考えられる.

土砂災害警戒区域の指定範囲の見直し,八ザードマップ等の周知により,危険な場所を住民に周知する.

道路復旧においては川沿いに段丘等の平坦地が無いため,被災しても復旧の容易な構造等の工夫が望まれる.

5.3 宮城県伊具郡丸森町の河川侵食による災害

5.3.1 はじめに

前述したように,2019 年台風 19 号の豪雨により,丸森町一帯の山地部では崩壊や土石流が多発した.崩壊は五福谷川流域に集中し,比較的規模の大きな土石流は丸森町西部の廻倉地区に発生した.ここでは大量の土砂流出により下流域が甚大な被害を受けた五福谷川の中・上流域の被災状況について述べる.

5.3.2 調査地の地形地質概要

五福谷川は内川の支流で,内川とともに崩壊や土石流が多発した山地部を東側から侵食している.源流域は標高200~350mの高原状の小起伏面であり,いくつかの小集落が分布する.図5.10に内川合流点からの河床縦断図を示す.なお,図中の橋梁から上流は踏査を行った五福谷川支流の四重麦川の河床縦断図である.この図の右側(西側)は標高500m級の太郎次郎山などの分水界に続いている.

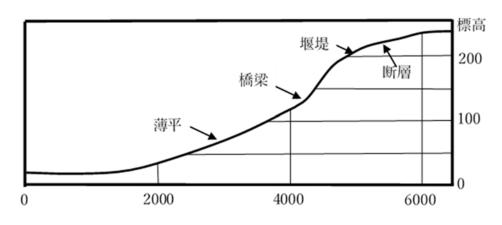


図 5.10 五福谷川の河床縦断図

山地を形成する地質の大半は部分的に片状や片麻状を示す花崗岩類で,これらを覆って分水界の高標高部には玄武岩などの火山岩が分布する.また,小起伏面には南北に延びる破砕帯を伴う畑川断層があって,地形的にも明瞭なリニアメントが認められる.

五福谷川の河床や谷底平野には土石流で運ばれた巨礫や大礫が堆積し,薄平集落付近では右岸側に河床からの比高 5~7m に堆積面を持つ局所的な段丘が存在する.この段丘は巨礫や大礫からなる過去の土石流の堆積物で構成され,上流側には腐食物を含む均質なシルト層が堆積していることから,過去に発生した土石流が一時的に河道を閉塞し小規模なせき止め湖ができたものと考えられる.

5.3.3 被災状況

五福谷川は薄平集落から標高 200m の小起伏面に至る区間は急流をなす峡谷部を形成し,河川沿いには 比較的整備された道路がある.今回の災害で道路は壊滅的な被害を受けた.図 5.11 に五福谷川沿いの崩 壊状況を示す.崩壊は全体に小規模であり,やや大きな崩壊と思われた断層東側の 2 か所は採石場から の小規模土砂流出であった.崩壊が土石流化したものがあるが,谷壁斜面上部から河道への流出土砂は 少なかった.

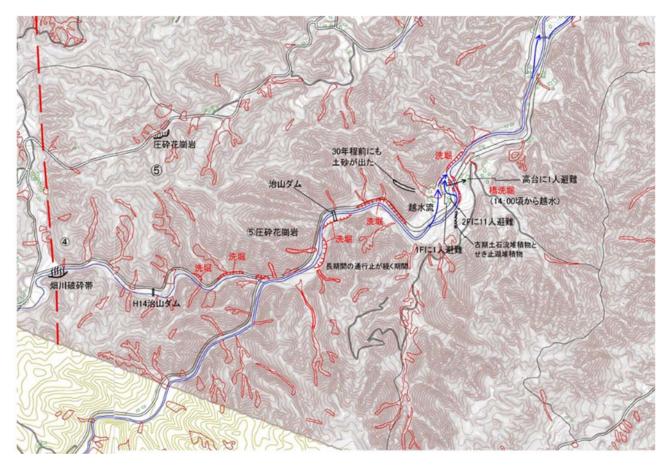


図 5.11 五福谷川沿いの崩壊状況

河川沿いの現地踏査では,渓床堆積物や渓岸の侵食がみられた.渓岸侵食は薄平から上流の急流部において,水衝部に顕著に認められ,道路の位置する左岸側では道路盛土がプレキャスト護岸とともに流失し(図 5.12,図 5.13),反対の右岸側では斜面裾部の洗堀で小規模な斜面崩壊が発生していた.道路の流失した部分は水衝部のため河道となっており復旧の困難さがうかがえた.

また , 図 5.10 に示すように , 橋梁 (標高 120m) から上流部の四重麦川では渓床勾配が 12% と急になるため ,数か所で渓床堆積物が一掃され ,基盤の花崗岩類が全面的に露出し ,道路は跡形もなく消え去っていた (図-5.14). この区間の渓床堆積物は 2014 年 5 月撮影画像 10 によると ,渓岸堆積物は植生に覆われ安定した状態にあったものと考えられる .

これらのことから,平野部に流出した多量の土砂の多くは渓床堆積物や渓岸の侵食によって供給されたものと考えられる.



図 5.12 道路流失で河道になった左岸水衝部



図 5.13 渓床堆積物と道路が流出した上流部



図 5.14 五福谷川の渓床の状況

5.3.4 復旧の課題

下流側の道路は改良が進んでいたが壊滅的な被害を受けていた.特に目立つのは護岸を兼ねたプレキャスト擁壁で,背面に水が回って盛土とともに流失した箇所や傾動するなどの被害があった(図 5.15). 渓床に巨礫や大礫の堆積物があるため,道路建設時の設計施工には多大な苦労がうかがわれるが,復旧に向けては被災しても復旧の容易な構造等の工夫が望まれる.例えば,渓流の横断部で適用される洗越

しのように,道路レベルを下げて堅固な構造として,豪雨時には土石流が道路上を通過しても破壊され にくくすることが考えられる.

橋梁被災箇所(図 5.16)は橋梁本体が残ったものの,橋台取付け部の盛土が流失して通行不能となった.近年の豪雨災害では橋台取付け部の盛土の流失が各地で認められ,橋台背後の盛土の強化や橋台との一体化が提案されている.また,土石流は桁下高さ 10m 程度あれば,橋梁下を無害で通過することが経験的に知られているため,これらの知見を参考にした復旧が望まれる.



図 5.15 道路の護岸擁壁の傾動



図 5.16 橋台背後の盛土が流失した橋梁

5.3.5 おわりに

丸森町の五福谷川沿いでは多数の崩壊が発生するとともに,下流の平野部には大量の流出土砂が堆積した.この堆積土砂の発生源は多数の崩壊が土石流化したものと思われたが,渓床堆積物や渓岸の浸食が主体と考えられる.なお,過去のせき止め湖堆積物中の有機物・木片を採取し,年代測定を行ったところ,その放射性炭素年代は BC 3.87 万年~3.65 万年と判明した.東北地方は台風等による豪雨が少なく土石流等による土砂移動がわずかなことを考えると,豪雨をまぬがれた東北地方他地域の山地部では土石流の予備軍となる渓床堆積物や斜面の風化による土砂が多く残っているものと考えられるので,注意を要する点である.

5.4 2019年10月台風19号による宮城県伊具郡丸森町の土砂洪水氾濫被害

5.4.1 序説

2019 年 10 月に東日本一帯で台風 19 号がもたらした豪雨による土砂災害や洪水氾濫による被害が発生した.宮城県南部においても複数の箇所で土砂崩壊や河川の氾濫が発生し,人的被害が発生した.阿武隈川は福島県から宮城県南部を流れる流路延長約 240km の一級河川で,県境部付近の渓谷部を抜け,宮城県丸森町付近から角田盆地を北上しながら平野部を経て仙台湾に流れ込んでいる.阿武隈川は増水時には洪水氾濫を繰り返しており,近年では 1986 年 8 月,1998 年 7 月,2002 年 7 月に洪水被害が発生している.また,調査地域の阿武隈川周辺には風化花崗岩が分布し,それらは降雨などによって崩壊しやすい特性があり,豪雨などにより過去にも同様の土砂災害が繰り返し起こってきたと考えられる.そこで,本研究では阿武隈川下流の支流域である丸森町の五福谷川と内川周辺で現地調査を行い,河川洪水氾濫の状況と洪水氾濫堆積物の特徴について報告する.

5.4.2 調査地区の地形概況と調査箇所の特徴

(1) 調査箇所の概況

調査地域は丸森町の阿武隈川南側に位置する地区である。阿武隈川は,渓谷部を抜けた後,北向きに屈曲する手前で支川の内川と合流しており,その上流では新川,五福谷川が合流する。2019年の豪雨では,阿武隈川の周辺各地で洪水氾濫(土砂洪水氾濫)が発生し,丸森町においても役場南方の支川周辺で内水氾濫を生じた。図 5.17 に国土地理院が 2019年 10月 13日に撮影した写真等により作成した浸水範囲の水深図 111に調査位置を重ねたものを示す。

調査は洪水堆積物の地層構成を解明することを目的として,長さ 1m,幅 0.1m の鉄製のハンディジオスライサーを人力で押し込み地表部の堆積物を採取した.調査箇所は TY-01,02,03 の 3 地点で,豪雨災害の発生約 3 か月後の 2020 年 1 月 12 日に実施した.



図 5.17 浸水範囲(青色) 11)と調査位置図(基図は国土地理院が作成)

(2) 調査箇所の地形と被災状況

TY-01 地点は,支川にはさまれた標高 20m 前後の水田を主とする低地部である.このうち,五福谷川では上流での豪雨により河川の浸食や護岸沿いの道路が一部流出した.下流部では,増水により内川との合流部の上流側の左岸側の一部が破堤し,河川水が堤内部に流入した.これらの流水は下流側が堤防に囲まれた地形のため,排水不良を生じ被災後 2 ヶ月後も湿潤状態が続いた.そのため,水位低下後も農道や水田表層には細粒土が 0.3 ~ 0.5m 程度堆積した状況であった.

TY-02 地点は,図 5.18 に示すように破堤部の 30m 程度下流側であり,破堤部のすぐ内側には流水の影響で直径約 20m,深さ 5m 程度の洗堀部(落堀)が形成されていた.破堤部に近い場所には直径 2~5cm の河床礫が点在し,地表部には,破堤部から供給された砂礫や砂質土が 0.5m 程度堆積しており,調査 箇所に礫や粗粒分のやや少ない場所を選定して,堆積物を採取した. TY-03 地点は,五福谷川の右岸側の堤内地で,被災前は畑であったが,波長約 0.1m の連痕(リップルマーク)の顕著な細粒砂が 0.5m 程度の層厚で堆積していた(図 5.19). これは堆積層の表面を水が流れることで,周期的な波状の模様のリップルマークが形成されたものである.



図 5.18 破堤部上流側からの状況



図 5.19 氾濫堆積物のリップルマーク

5.4.3 地層の特徴

図 5.20 に採取した堆積物の写真と観察結果を示す.表 5.3 に採取試料の土質試験結果と堆積環境を示す.TY-01 地点の試料は GL-0.43m までは微細砂混じりのシルトで,その下位は稲ワラ株を含み,被災前の旧表土であることがわかる.TY-02 地点は,GL-0.15m までは細砂~微細砂で,0.36m までは中粒砂~粗粒砂で,上方細粒化を示す.TY-03 地点は,GL-0.40m までが,弱く平行層理の発達した細砂で,下位から上位にかけて上方粗粒化傾向を示す. $0.40 \sim 0.47m$ 間はやや含水比の多いシルト質の細砂である.

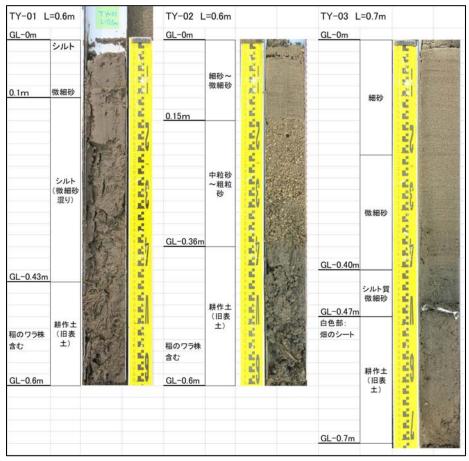


図 5.20 採取試料の柱状図と状況

表 5.3 採取試料の土質試験結果と堆積環境

採取地点		TY-01		TY-02		TY-03		
試料深度(GL-m)		0.0 ~0.09	0.10 ~0.40	0.0 ~0.15	0.2 ~0.3	0.0 ~0.20	0.33 ~0.42	0.42 ~0.47
土粒子の密度 ρ _s (g/cm³)		2.547	2.691	2.705	2.676	2.721	2.681	2.637
自然含水比 W _n (%)		109.5	48.9	32.3	14.2	17	45	59.8
	礫分(%)	0	0	1	36	0	0	0
	砂分 (%)	6	4	83	58	91	73	41
粒度	シルト分 (%)	74	81	10	6	4	19	44
	粘土分(%)	20	15	6	0	5	8	15
	最大粒径 (mm)	2	0.85	4.75	9.5	0.85	2	2
	均等係数 U。	9.2	7.8	11.7	13.2	2.1	19.7	55
分類名		砂混り 粘性土	粘土	粘性土質 砂	粘性土混 り礫質砂	粘性土 混り砂	粘性土質 砂	砂質 粘性土
分類記号		(Cs-S)	(CH)	(SCs)	(SG-Cs)	(S-Cs)	(S-Cs)	(CsS)
堆積環境		細粒分の 堆積区間		破堤による 流下区間		土砂流の流下区間		

5.4.4 考察とまとめ

上流側の TY-03 地点には,水流によって形成されたリップルマークが地表面に残されており,細粒分が堆積していないことから,上流から流入した砂分を多く含む河川水が一定の流速を保ちながら流下したことを示唆している.破堤部の TY-02 地点では,破堤部から下流側にかけて砂礫や砂を多く含む河川水が堤内地に流入し,北側の水田地帯に流下し,500m以上下流の TY-01 地点では,流入水が2ヶ月程度滞留しシルト分を多く含む粘性土が堆積したと考えられる.以上の結果から,河川から供給された堆積物を調査することで,土砂洪水氾濫の状況と堆積環境について概略把握することができた.

今回の調査では,簡便性を優先した人力タイプのジオスライサーのため 1m までの深度しか採取できなかったが,電動タイプのジオスライサーを用いれば, $2m \sim 3m$ 程度の堆積物が採取でき,より古い時代の洪水氾濫堆積物を採取できる可能性がある.それらの堆積物を解析することで,古流速の算定 12 や過去の発生した洪水氾濫の状況を解明する手掛かりが得られる.今後更なるデータの取得と過去の災害記録との対比を進め,土砂洪水氾濫の履歴を検討していきたい.

5.5 令和元年東日本台風等による土砂災害と住民避難

5.5.1 はじめに

台風第 19 号等による豪雨災害は広範囲に斜面崩壊,土石流,洪水被害をもたらした.これらの豪雨災害の特徴をまとめるとともに,現地で聞き取った住民避難の例を報告する.さらに,土砂災害に係わる法令を含めた豪雨時の減災のあり方をまとめる.

5.5.2 現地調査した豪雨災害地域

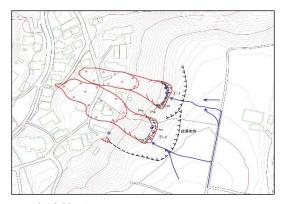
今回発生した令和元年東日本台風豪雨は,その広域的な被災状況が注目を浴びた.この豪雨災害を概観し,減災に大きく影響する住民の避難行動やその法的対応の仕方についてまとめた.著者が調査した範囲は1)神奈川県相模原地区,2)神奈川県箱根地区,3)千葉県千葉市地区,4)千葉県佐倉地区,5)群馬県富岡地区,6)埼玉県荒川流域(越辺川・都幾川),7)栃木県山岳地,8)茨城県丘陵地,9)宮城県丸森町,10)宮城県福島県阿武隈川流域の10地域である.

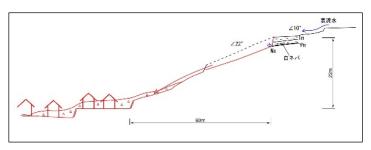
5.5.3 富岡地区での土砂災害

東日本台風は,富岡地区では総降水量は923mm(最大時間降水量79mm)に達し,山地や丘陵地・台地 斜面で土砂災害が発生し,内匠地区で3名の方が犠牲になった(図5.21).

内匠地区は台地と台地を開析した沖積低地からなり,台地の周辺部は斜面となっている.急な斜面は法的規制がかけられ擁壁工などの急傾斜対策工が施工済であったが,傾斜30°未満の緩傾斜地は未対策として残されていた.これらの緩斜面には浅間山の降下軽石層が認められ,この軽石層をすべり面として高速に崩壊が発生した.素因は明らかにこの風化した軽石層であり,誘因は降雨による上方畑からの表流水の集中とすべり面付近での湧水によるものであった.降下軽石層が残る斜面は豪雨や地震時に不安定になることはわかっているが,どこに降下軽石層が分布しているかを事前に知ることは難しい.また,法的規制の無かった緩斜面が危ないと感じることは少なく,避難が遅れた可能性が高い.

それに対して、中小坂地区は山地部の急斜面であり、急傾斜地対策事業として擁壁工が施工されていた。しかし、崖を登る小道を確保するために擁壁裏が開口部になっていて、崖頭部の崩壊によって流出した土砂が擁壁を倒壊させ擁壁下の民家や作業小屋を破壊した(図 5.22)。ここでは、崖下の宅地に 2 名の高齢者が住んでいたのであるが、12 時ごろに娘さんが、近くの自分の家に避難させた。さらに、隣接する作業所で作業をしていた 2 名の方は 15 時に避難を考え、母屋に入っていた。16 時ごろ崩壊が発生し民家や作業小屋は倒壊したが、母屋は被災せず 4 名の方は事前避難で助かった。ハードの対策工があるとはいえ、急傾斜地の背後に住む方々の早めの避難が功を奏したことになる。





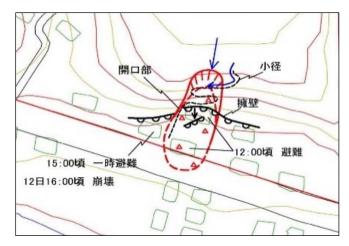
(a) 崩壊箇所の平面図

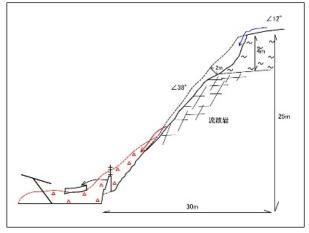
(b) 崩壊箇所の断面図



(c) 崩壊箇所の遠景

図 5.21 内匠地区の斜面崩壊





(a) 崩壊箇所の平面図

(b) 崩壊箇所の断面図



(c) 崩壊箇所の遠景

図 5.22 中小坂地区の斜面崩壊

5.5.4 丸森町での土砂災害

宮城県丸森町では、総降水量は 426mm (最大時間降水量 60mm)に達し、山地や丘陵地で土砂災害が発生し、多くの方が亡くなった、特に、花崗岩等の分布地域で斜面災害が多発したが、その頻度・規模や崩壊様式は地質や地質構造の違いによることがわかった。ここでは、その中でも山地高標高部の地層境界での斜面崩壊が土石流化して民家を襲った廻倉集落の事例と河川沿いの土砂流出の激しかった五福谷川流域の薄平集落の事例をまとめた、廻倉集落では、花崗岩が風化し、マサ化していることから、土石流が発生しやすい地域といえる。そして、今回崩壊が発生したのは集落からは見えないくらいの高標高部での崩壊を引き金として土石流が発生している。ただし、被災箇所は沖積錐と呼ばれる土石流が形成した地形種であって、地学の知識や防災教育の充実が必要であろう。

一方,五福谷川沿いの薄平集落では,川沿いの民家に土砂が流入したがそこに集まっていた 11 人が 2階に垂直避難して助かった.また,隣接する民家の住人は事前に集会所に水平避難して助かっている(図5.23,図5.24).早めの避難や状況に応じた避難の大切さが伺える.

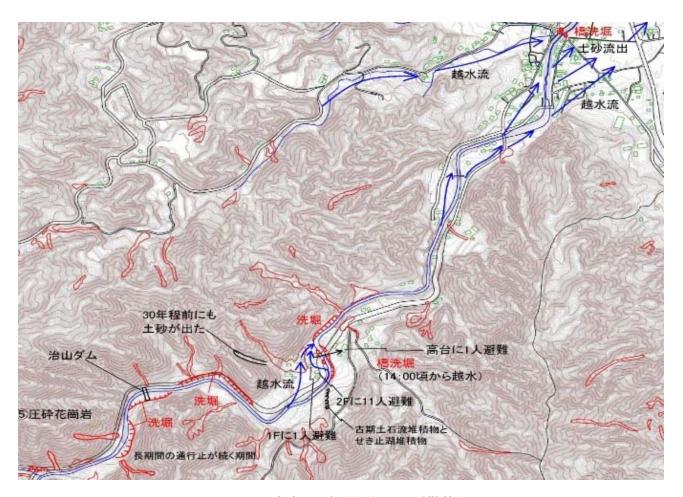


図 5.23 丸森町五福谷川沿いの避難状況



図 5.24 薄平での 11 人が 2 階に垂直避難した民家

5.5.5 土砂災害に係わる法令とその課題

土砂災害に係わる法令は表 5.4 のとおりである.この中でいわゆる土砂三法は砂防法・地すべり等防止法・急傾斜地災害防止法で 1897 年から 1969 年にかけて制定された.これらの法令では,それぞれの危険個所を指定して,ハード対策を実施することを目的としていた.しかし,近年予算などの影響から土砂災害の防災・減災対応としてハード対策からソフト対策に移行する考え方から,2000 年に制定されたのが土砂災害防止法である.この土砂災害防止法では,渓流・急傾斜地・地すべり地の危険な箇所をある一

定の地形・地質・対策施設条件で抽出し,土砂災害警戒区域(イエローゾーン)と土砂災害特別警戒区域 (レッドゾーン)を設けるものであり,現時点では土砂災害のハザードマップとして活用されている.

現状で著者が感じている土砂災害防止法の課題等として以下のことがあげられる.

レッドゾーン,イエローゾーンは本当にハザードマップに使えるか.

適用できない例外の地形や地盤がある.

30度に満たない崖は地すべりとして対応してはどうか.

レッドゾーンは対策をすれば消える. 県によっては, 運用を変えているところがあるが, イエローゾーンはどんなにハード対策を行っても, 崖を無くさないと消えない.

イエローゾーンの中には危険の少ないところが含まれている。

行政境界で整合性の取れていないものがある.

レッドゾーン、イエローゾーンには発生頻度や正確な規模のリスクの考え方がない、

レッドゾーン,イエローゾーンは法令による色塗りであり,7-8割は使えるが,適用外もある.たとえば, の適用できない例外の地形や地盤としては,大島豪雨災害時や熊本地震や胆振東部地震の際の火山灰や軽石層が分布する地盤などがある.ここでは,傾斜が30度以下の斜面で崩壊が発生している.東日本台風の例では,富岡市内匠地区や相模原市牧野地区の例がある.これらの箇所は傾斜が30度以下の斜面であり,土砂災害防止法の急傾斜地にならないにもかかわらず,死者が出たところである.いずれの箇所も現地やLP図をよく見ると,地すべり地形や重力変形地形が判読される.したがって,土砂災害防止法で抽出漏れした傾斜が30度に満たない危険な斜面を,LP図などを利用して地すべりとしてハザードマップに追加できるのではないかと考えている.

表 5.4 土砂災害に係わる法令 13)

		The same				
法令 (制定年)	類型	目的	地域指定	許可等と 制限行為	許可等基準	技術基準
砂防法 (1897)	① 災	<規定無し>	砂防指定地(2条)	知事が指定する 行為(4条)	<規定無し>	<規定無し>
地すべり等 防止法 (1958)	害形態	止(1条)	域(3条)	地下水排除阻 害等の行為(18 条)		地すべり防止施 設(12 条)
宅地造成等 規制法 (1961)		宅地造成災害の 防止(1条)	宅地造成工事規制区域(3条)	宅地造成工事 (8条)	<規定無し>	工事の技術基準 (9 条、 令 4 ~ 15 条)
急傾斜地災害 防止法 (1969)		急傾斜地の崩壊 防止 (1 条)		地下水浸透助長 等の行為 (7条)	<規定無し>	防止工事の施工 基準(令3条)
土砂災害 防止法 (2000)		土砂災害の防止 (1条)	土砂災害特別警戒区域(6条)	特定開発行為 (9条)	<規定有り> (11条)	対策工事等の計 画の技術的基準 (令7条)
公有水面 埋立法 (1921)	②土地	<規定無し>	<規定無し>	知事免許く公有 水面の埋立〉(2 条)	<規定有り> (4条、則5、6条)	<規定無し>
森林法 (1951)	利用	森林の保続培養 と森林生産力の 増進(1条)		開発行為 (10条 の 2)	<規定有り> (10条の2第2 項、34条3~5 項)	<規定無し>
都 市 計 画 法 (1968)		都市の健全な発 展等 (1条)	都市計画区域 (5条)	開発行為(29 条)	<規定有り> (33条、34条、 令28条)	<規定無し>
海岸法 (1956)		津波、地盤変動 等からの海岸防 護 (1 条)	海岸保全区(3 条)	土砂採取等(8 条)	<規定無し>	海岸保全施設の 技術上の基準 (14条)
河川法 (1964)		洪水、高潮等に よる災害発生の 防止(1条)	河川区域(6条)	工作物の新築等 (24 条~ 29 条)	<規定無し>	河川管理施設等 の構造基準(13 条)

5.5.6 まとめ

都市部が拡大し、その周辺の山地や崖にまで近接してきた結果、近年の豪雨の多発と相まって、被災する宅地が増えてきている。つまり、防災・減災上の観点から、法的規制による土地利用を考えるだけでなく、地形・地質の成り立ちを知った地学防災教育の重要性を認識し、被害を受けやすい土地・崖や避難のあり方そして避難所の位置などの検討が重要となる。今後、これらのアウトリーチ活動を継続・蓄積・継承することが大事と考える 14)。その際には、関連する分野の研究者や関係機関との相互協力や地形・地質のよくわかる地盤技術者によるハザードリスクマップつくりが待たれる。

5.6 斜面災害に関するまとめ

丸森町周辺の崩壊,土石流は畑川破砕帯を境に様相が異なっていた.畑川破砕帯の東側の地質は花崗岩,花崗閃緑岩であり,崩壊の密度は高かった.西日本の花崗岩地帯とは異なり,山腹あるいは尾根付近を渓流の源頭部の崩壊に起因した土石流は少なく,空中写真から判読できないような小規模な崩壊(侵食)による土砂流出が多数あったとみられる.丸森町を流れる阿武隈川支川沿いの渓床に堆積していた土砂の流出と渓岸侵食によって発生した土砂が下流に大量に流下したといえる.

一方,破砕帯の西側の地質は花崗閃緑岩と玄武岩であり,崩壊の密度は小さく,散発的であった.花崗岩と玄武岩の境界付近で土石流が発生していたのが特徴であった.

風化した土砂は全国各地にあり、大雨がどこで降ってもおかしくない現在の気象状況を鑑みれば、土砂洪水氾濫の脅威は国内どこでも同じである.土砂洪水氾濫の実態解明の研究を進めるとともに、流域となる山地側にどの程度の移動可能な土砂量があるのかを把握・評価することが重要である.さらに、土砂が到達した範囲は従来の土砂災害警戒区域を越えたケースもあったことから、現行の土砂災害対策に土砂洪水氾濫の要素を加えて見直しながら、当面運用していく必要があると考える.

謝辞:本研究は土木学会地盤工学委員会の災害調査,科研費・基盤研究(A)(鈴木素之,19H00785),同特別研究促進費(二瓶泰雄,19K24678)および中国建設弘済会技術開発支援事業助成(鈴木素之)の一環として実施したものである.ここに記して謝意を表する.

参考文献・参考資料

- 4) 国土交通省砂防部:令和元年台風第 19 号に伴う土砂災害の概要 Ver.2.1, https://www.mlit.go.jp/river/sabo//jirei/rldosha/rltyphoon19_gaiyou191224r.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 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9:00時点), www.bousai.go.jp/updates/rltyphoon19/pdf/rltyphoon19_45.pdf (アクセス日:2020/7/1)
- 6) 内閣府:平成30年7月豪雨による被害状況等について(平成31年1月9日17:00時点), h30typhoon7_01.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 7) 内閣府:6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び平成29年台風第3号による被害状況等について(平成30年1月17日12:00時点), http://www.bousai.go.jp/updates/h29typhoon3/pdf/h300117_29taifu03_38.pdf (アクセス日:2020/7/1)

- 8) 内閣府:平成23年台風第12号による被害状況等について(平成24年9月28日22:00時点), www.bousai.go.jp/updates/pdf/110903taihu29.pdf (アクセス日:2020/7/1)
- 9) 丸森町:丸森町復興推進委員会,台風第19号による被害状況等について(令和2年1月15日時点), http://www.town.marumori.miyagi.jp/data/open/cnt/3/5793/1/sankou3higaijoukyou.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 10) 国土地理院: 令和元年台風19号に伴う斜面崩壊・堆積分布図, 丸森地区(宮城県白石市, 角田市, 丸森町, 福島県相馬市, 伊達市), 令和元年10月24日作成, https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/houkai/houkai l.pdf (アクセス日: 2020/7/1)
- 11) 国土地理院: 20万分の1地質図幅「福島」, 2003.
- 12) 気象庁:過去の気象データ検索, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php (令和2年5月31日 閲覧) .
- 13) https://www.google.co.jp/maps/@37.8790301,140.7399009,489m/data=!3m1!1e3 (2020年3月11日確認)
- 14) 国土地理院:【暫定】 < 速報 > 令和元年台風19号に伴う大雨による浸水推定段彩図(阿武隈川)宮城県角田市及び丸森町周辺,
 - https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/shinsui/13_shinsui_abukuma_kakuda-marumori.pdf (アクセス 日:2020/7/1)
- 15) 増田富士雄,中山尚美:古潮流速の算定,堆積学研究会報,29,pp.1-8,1988.
- 16) 地盤工学会役立つ地盤リスクの知識編集委員会:役立つ地盤リスクの知識,丸善,p.141,2013.
- 17) 稲垣秀輝:暮らしとその安全のための応用地質,応用地質,Vol.42,No.5,pp.314-318,2001.

6. 堤防被害について

6.1 令和元年出水による堤防災害の分析について

6.1.1 地盤工学的被災分析のポイント

令和元年台風 19 号および 10 月末豪雨災害では,本報告書の東北,関東,千曲川(中部・北陸合同)の調査団の報告(第2章から第4章)に記載されているように,河川堤防においても広域かつ甚大な被災が生じている。報告では,災害に関する詳細なデータを残すとともに,今後も起こりうる降雨による堤防災害に備え,今後の堤防の整備,強化や維持管理のパラダイムシフトの一助となるべく被災分析がなされている。毎年のように発生する豪雨災害は自然公物である堤防におけるストレステストとなっており,今後の豪雨災害における防災・減災に資する有益な被災情報を残すために,以下のような視点での議論が進められた。

外力の大きさと被害の規模の関係は従来の予測の範疇にあるのかどうか。

堤防の被災においては越水が主要因とされているが浸透による裏法尻の弱体化などの影響はあるのか。 越流と浸透の複合作用であった可能性はあるのか。

堤防の破堤に対する粘り強さは発揮されたのか。甚大な被災箇所以外に残された,被災プロセスの 重要な情報は残されているのか。被災箇所・非被災箇所を分かつ理由は何か。

対策効果は発揮されたのか。また,越流以外を目的とした対策は越流に効果を発揮したのか。

今後の豪雨災害対策に資するために、どのような情報をどのような形で残すべきか。

本報告書においても,上記の視点による分析がなされている。また,侵食現象が多いことから河床変動などの河川工学の視点からも被災分析がなされている。

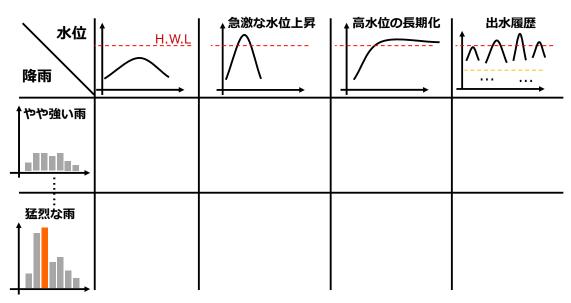


図-6.1 堤防への作用のシナリオ:降雨と河川水位

また、堤防の被災は、土構造物である堤防の構造的特性と外的作用である降雨と河川水位波形・内水位の組み合わせが重要である。長い歴史の中で順次拡築され幾度にわたって築造・補修された「堤体」と古い時代の地学・地質学的作用によって複雑な地質構造を持つ氾濫原である自然の「基礎地盤」から成る長大なインフラで、この組み合わせで被災しやすい破壊モードが異なる。さらに、降雨と河川水位波形や履歴の組み合わせによる外的作用のシナリオ(図-6.1)によって土構造である堤防の応答は大きく異なる。堤防災害の分析においては、一つとして同じ構造ではなく、不可視部分が多いことに加えて、洪水時に一箇所でも決壊すると一連区間の治水機能を喪失するインフラである、という特徴の考慮も重要である。

6.1.2 被災分析からの課題

前述の分析ポイントを考慮した被災分析結果の一部を抽出してみる。また,国土交通省「令和元年台風 第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会」での検討についても参照頂きたい。

(変状・決壊要因: 越水)

今次出水においては,東日本を中心に 17 地点で 500mm を超え,静岡県や新潟県,関東甲信地方,東北地方の多くの地点で 3、6、12、24 時間降水量の観測史上 1 位の値を更新するなど記録的な大雨となっており,急激な水位上昇がみられている。降水量と比較して,また,透水性などの堤防の浸透特性に比較して高水位の継続時間が短かったため(一部には長い地点もあるが),浸透による被災は少なかったと考えられる。決壊箇所の主要因も「越水」と推定されている。

(変状および越水時への浸透の影響)

基盤漏水・噴砂が発生した箇所も少なくない。噴砂を伴った堤体裏法面の陥没などの変状が数百メールにわたって発生している箇所,支川との合流部付近で多数かつ激しい噴砂が発生し堤体下にもゆるみが進展した箇所(矢板が施工されておりゆるみの進展が抑制されたと考えられる)や堤体下部のゆるみの進展によって小段に10cm程度の沈下が見られた箇所など,浸透に起因する変状もみられた。これらは,もし高水位の継続時間がさらに長ければ,変状の進展や決壊の危険度の増加につながったと考えられる。

一方,支川において越水箇所において天端・法肩が陥没したり法尻に顕著なゆるみが発生したりしている箇所がみられた。越水前に降雨や河川水の浸透によって裏法尻およびその付近が弱体化することは,越水時の侵食耐力を低下させると考えられる(報告書には無対策と対策の両方の模型実験結果が紹介されている)。また,越水時の堤体への浸透状況,流水によるせん断力への土の応答、侵食に対する耐力の変化などについても検討が必要である。

(越水による決壊条件および対策効果)

越流水の裏法部の等流流速が 3m/s 未満,または越流時間が 3 時間未満の箇所では決壊に至っていないとの報告もあり、被災・非被災を分かつ条件についての知見も得られつつある。今回の被災分析を切欠に、堤防の規模、形状などの幾何学的条件、堤防土の土質、締固め度、透水係数、粘着力等の地盤工学的特性が決壊条件にどのように影響するのかを明らかにし、主要パラメータ・指標の提案が強く求められている。一方、越水時の侵食形態も、裏法尻から掘れている場合と裏法面の中ほどから掘れ込んでいる場合もあり、堤防形状、土質、法面の流下作用などによって、初期の損傷個所(弱点部)や破壊形態が異なる理由についても解明し、強化の効率化を考える必要がある。

また,天端舗装と法尻補強がなされていた箇所で越流水深が約10cmで8時間程度も越流に耐え,決壊に至らなかった事例もある。ただし,裏法尻のブロックから法肩にかけての裏法面に侵食が発生している。今後も,ブロックやシートなどの耐越水効果については,越流発生箇所の調査・分析,定期的な堤防の変状や対策工材料の劣化に関するモニタリングを行い実堤防における知見を蓄積する必要がある。さらに,基盤漏水対策が行われた箇所(表側の矢板打設,裏法のドレーン施工)において越水が生じたが,踏査による調査では変状が見られなかった。漏水のための堤防強化が越水にも効果があった可能性がある。さらなる分析が期待される。

一方で,越流対策工において,一部のブロック等が損失することで浸食が加速化するような不安定な構造形式を避ける必要がある。また,降雨,河川水の浸透によって弱体化しやすい裏法尻部分の対策工の安定が前提となっている工法においては,改善や発想の転換を要すると考えられる。

(侵食被害:地盤工学と河川工学の視点)

本報告書では、川表側の侵食による橋梁施設などの河川構造物への被害について、地盤工学の視点と河川工学の視点の両面からの分析が行われている地区もある。両分野の従来からの手法にとらわれることなく両視点の融合によって新たな切り口による被災予測と対策方法の提案への切欠になることが期待される。

- 6.2 河川堤防に関わる研究,技術開発の方向性について
- 6.2.1 学会提言およびインフラ健康診断からの課題

(地盤工学会の提言)

2019 年 5 月に地盤工学会の提言書「平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題 地盤工学からの提言 」を HP に公開している。地盤工学会の 2009 年版提言書のレビューに加え,河川堤防においては平成 30 年 7 月豪雨のみならず過去 10 年間の被害を考慮して策定している。

斜面,河川堤防,ため池の共通の提言としては,従来の提言に2つ追加している。

- 提言 1.1 地盤災害の重要性の認識
- ・ 提言 1.2 既存の社会基盤施設,住宅・建物および自然斜面・地盤の地盤災害に対する耐災診断 と耐災補強
- 提言 1.3 地盤災害を受けた土構造物の本格復旧における強化復旧
- ・ 提言 1.4 地震と豪雨・洪水による地盤災害の総合的対策
- 提言 1.5 異なった管理機関の間の地盤災害対策の調整と整合
- 提言 1.6 地盤災害対策のための地盤工学の発展
- ・ 提言 1.7 防災的な措置とともに減災的な地盤災害対策の実施
- ・ 提言 1.8 地盤防災・減災のための異なる学問・技術分野の協働
- 提言 1.9 地盤災害を防ぐための社会的な広報・教育活動
- 提言 1.10 専門的知識の提供,支援【追加提言】
- ・ 提言 1.11 地球温暖化の影響予測と様々な対策手法の検討【追加提言】

広域に同時に発生した今次出水被害において,2019 年度提言内容はまさに実現すべき内容となっている。特に,追加提言内容のリスクベースの考え方,土地利用,住み方・くらし方の改革への支援である,「地盤工学の専門家ならびに地盤工学会は社会全体に対して専門的知識を提供し,災害の発生リスクや防災対策に関する判断を支援していく必要がある。」「地球温暖化による気候変動の顕在化が指摘されており,降雨外力の増大が土砂災害の発生状況に与える影響を予測し,降雨の激甚化に対応したハード対策・ソフト対策の強靭化対応を進める必要がある。また,過疎化に伴う集落消滅など,中山間地の居住地が急速に変化すると予想される中,危険箇所からの移転も含めた抜本的な防災策の検討も開始する時期に来ている。」を進めていく必要があることを再認識した災害であったとおもわれる。

河川堤防においても以下の9つの提言を策定しており,今回の災害分析の結果,研究・技術開発・人 材育成において実現に向けた活動を加速させるべきと考えられる。

- 提言 3.1 堤防の設計法の高度化と実装
- ・ 提言 3.2 高水時の破堤を引き起こす弱部が内在する堤防および基礎地盤の点検・診断法の高度化
- 提言3.3 地震と豪雨の総合評価と対策工法の開発
- ・ 提言 3.4 気候変動と流域特性を考慮した災害リスク評価と避難計画に基づく堤防管理体制の構築
- ・ 提言 3.5 堤防の侵食破壊の理解および対策の地盤工学的研究・技術開発の推進
- ・ 提言 3.6 効果的な水防工法による堤防の破壊抑制技術の評価と効率的な運用への貢献
- ・ 提言 3.7 河川堤防の浸透破壊の状態をリアルタイムに可視化する技術の開発と避難支援
- ・ 提言 3.8 センシング技術,情報技術の利活用による維持管理の高度化
- ・ 提言 3.9 インフラの管理者である行政との協働と新たな工学の役割の発見

(土木学会 2019 年提言およびインフラ診断と維持管理)

土木学会では台風第 19 号災害を受けて「台風第 19 号災害を踏まえた今後の防災・減災に関する提言 ~ 河川、水防、地域・都市が一体となった流域治水への転換 ~ 」(2020 年 1 月 23 日 , 土木学会台風第 19 号災害総合調査団)が策定され , 土地利用 , 住まい方にも言及した「流域治水」という新たな考え方が記述されている。

また,土木学会が公表した「2020 インフラ健康診断書(決定版)」(点検,診断,措置など)において,全国約6万2千km(国管理約20%,都道府県等管理約80%)の河川堤防の健康度はC(要注意)「少なくない数の施設で変状が進行し,早めの補修が必要な状況」,河川構造物D(要警戒)「多くの施設で変状が顕在化し,補修などの対策が必要な状況」と楽観視できる状況ではないことが報告されている。特に都道府県等管理では点検の実施が十分でない,情報があがっていないことが問題視されている。堤防の場合には,激甚な洪水への対応だけでなく常時の維持管理の対応との接続が重要なポイントとなる。以下の視点が今後の維持管理で議論されており,これらの内容は先の地盤工学会の提言と共通部分が多い。

事後保全でなく予防保全の観点から対策の実施が望ましい。予防保全の健康状態を下回っている ものを予防保全可能なレベルに引き上げること。予防保全を基本としたメンテナンスサイクルの 構築とアセットマネジメントの方法・体制の確立する(危機意識と必要を組織内の共有, リ ーダーがそれを強く言う,旗をふる, 事務組織ができて役割分担, 役割を果たす, 制度・ しくみとして継続体制, 組織の外に応援と批判してくれる人をつくる)。 不可視部分が多いので目視点検により詳細に機能評価することは容易でなく,堤防の点検の実態 に沿った評価技術・方法の開発を急務とする。

河川の特徴と構造物の重要度に応じて管理区間を分類し,点検・評価の仕方を区分ごとに定めるなど,現場の実態に沿った手法を構築する必要あり。予算,人員不足,知識・経験の継承が難しくなりつつあるあることを考慮する。

効率化・低コスト化に資する新技術の導入・参入,民間事業者のノウハウや技術力の活用がしや すいように,設計論を明確化する。

国民からみれば,国土管理,自治体管理という区別はなく河川は河川であるという認識である。 地方公共団体への支援および自治体同士の連携の推進。持続的な維持管理が実施できるように, 国・都道府県等・学会の連携を強化する。

計測,評価技術については,現在ある技術を最大限活かしデジタル化,ビックデータ化するやり 方と最先端技術・科学を積極的に活用するやり方を適宜適用するようにする。

河川のメンテナンスは, Expert としての高い技術力と河川の様々な事象に精通した Generalist でなければならない。技術者として尊敬されるやりがいのある仕事である。

6.2.2 今後の河川堤防に関わる研究,技術開発の動き

最近の水害を受けて,経験論が主体であった河川堤防の議論において,性能規定型の設計論やねばり強さの議論が高まるとともに,従来の手法に捉われることなく幅広いコンセプトの補強,強化方法の検討が進む機運がある。地盤工学の知見を活かすとともに,河川工学,地質学・地学との連携によって土-水の相互作用に関する学術研究のパラダイムシフトの好機とする必要がある。

また,堤防の実力評価において,どの立場で議論するのかを再確認することが大事である。

河川整備計画の計画高水に対して: 現行で国管理の堤防の整備率が約70%,自治体で約50%であり,計画高水に相当する河川水を流下させることが可能かどうか,そのために堤防が機能し安全性が保たれているのか

河川整備計画以上の基本高水に対して: 地球温暖化などの気象変動による河川整備計画以上の 降雨量に対して堤防の耐力を議論し,設定以上の外力による越水に対しての耐えうる実力がある のかどうか。

さらに,地盤工学会の特徴である国際性において,海外の堤防設計や維持管理の取り組みの情報共有と技術の海外展開を検討する必要がある。