

荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会

報告書

令和2年3月

荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会

はじめに

令和元年10月6日に南鳥島近海で発生した台風第19号は、一時大型で猛烈な台風に発達した後、次第に進路を北に変え、日本の南を北上し、12日に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した。その後、関東地方を通過し、13日に日本の東で温帯低気圧に変わった。

荒川水系では、山間部にある名栗（なぐり）雨量観測所、堂平山（どうだいらやま）雨量観測所において、3日雨量が500mmを超える記録をしたほか、24時間雨量については、名栗、堂平山、高坂（たかさか）、飯能（はんのう）、鶴ヶ島（つるがしま）の各観測所で既往最多雨量を記録し、全川にわたり水位が上昇した。越辺川では高坂橋（たかさかばし）水位観測所、天神橋（てんじんばし）水位観測所、落合橋（おちあいばし）水位観測所の3地点で計画高水位を超過、観測史上第一位の水位を記録し、都幾川では野本（のもと）水位観測所で計画高水位を超過した。この出水により、越辺川右岸0.0k付近（埼玉県川越市平塚新田地先）、左岸7.6k付近（埼玉県東松山市正代地先）と都幾川右岸0.4k付近（埼玉県東松山市早俣地先）で堤防決壊が発生したほか、越水等により大規模な浸水被害が各地で発生した。

「荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会」は、この「令和元年東日本台風」により荒川水系越辺川・都幾川で発生した堤防の決壊に対し、被災原因を特定し、被災状況に対応した堤防復旧工法を検討することを目的として、国土交通省関東地方整備局により設置された。

荒川水系越辺川右岸0.0k付近、左岸7.6k付近と都幾川右岸0.4k付近の堤防決壊に対し、関東地方整備局では速やかに、堤防調査委員会の設置が検討され、決壊の翌々日の10月15日には地盤工学および河川工学を専門とする5名の委員を決定し、委員会を設置した。決壊から4日後の10月17日には、委員による現地視察を行った。その後、10月17日の第1回から12月2日の第3回まで、延べ3回の委員会を開催し、この報告書を取りまとめた。

本報告書は、1章に委員会の概要、2章に洪水と決壊の概要として事実関係を整理し、3章では決壊原因の特定として、越水、浸透、侵食のそれぞれについて、調査から把握した事項を整理して、推定される堤防決壊の可能性を検討し、最後に決壊原因を取りまとめている。また、4章では本復旧工法の検討として堤防決壊の原因に対応した本復旧の基本方針について取りまとめを行い、5章には現地調査状況を取りまとめる構成とした。本報告書が荒川水系越辺川・都幾川のみならず、全国における、今後の河川行政並びに技術の発展に役立つ資料となれば幸いである。

令和2年3月

荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会委員長
安田 進

目次

1. 越辺川・都幾川堤防調査委員会の概要	1-1
1.1. 目的	1-1
1.2. 委員の構成	1-2
1.3. 検討の経過	1-3
2. 洪水と決壊の概要	2-1
2.1. 荒川流域の概要	2-1
2.1.1. 流域の概要・諸元、土地利用	2-1
2.1.2. 地形・地質特性	2-5
2.1.3. 降雨特性	2-6
2.1.4. 河道特性（縦断特性、治水地形分類）	2-7
2.2. 令和元年台風19号による降雨の概要	2-10
2.2.1. 気象概況	2-10
2.2.2. 降雨の状況	2-12
2.2.3. 決壊箇所の概要と河川水位の状況	2-15
3. 決壊箇所の状況と決壊原因の特定	3-1
3.1. 越辺川右岸 0.0k	3-1
3.1.1. 越辺川右岸 0.0k の状況と堤防決壊の概要	3-1
3.1.2. 越水による堤防決壊の可能性の検討	3-10
3.1.3. 浸透による堤防決壊の可能性の検討	3-13
3.1.4. 侵食による堤防決壊の可能性の検討	3-20
3.1.5. まとめ	3-20
3.2. 越辺川左岸 7.6k	3-21
3.2.1. 越辺川左岸 7.6k の状況と堤防決壊の概要	3-21
3.2.2. 越水による堤防決壊の可能性の検討	3-27
3.2.3. 浸透による堤防決壊の可能性の検討	3-29
3.2.4. 侵食による堤防決壊の可能性の検討	3-35
3.2.5. その他の堤防決壊の可能性の検討	3-36
3.2.6. まとめ	3-37
3.3. 都幾川右岸 0.4k	3-38
3.3.1. 都幾川右岸 0.4k の状況と堤防決壊の概要	3-38
3.3.2. 越水による堤防決壊の可能性の検討	3-44
3.3.3. 浸透による堤防決壊の可能性の検討	3-46
3.3.4. 侵食による堤防決壊の可能性の検討	3-53

3.3.5.	その他の堤防決壊の可能性の検討.....	3-54
3.3.6.	まとめ	3-55
3.4.	決壊原因の特定.....	3-56
4.	本復旧工法の検討	4-1
4.1.	推定される堤防決壊の原因.....	4-1
4.2.	決壊区間における本復旧の基本方針(案)	4-1
5.	委員による現地調査.....	5-1
5.1.	現地調査概要	5-1
5.2.	現地調査参加委員	5-1
5.3.	現地調査行程	5-1

1. 越辺川・都幾川堤防調査委員会の概要

1.1. 目的

「荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会」（以下、本委員会という）は、令和元年10月台風第19号に伴う出水により生じた荒川水系越辺川・都幾川の堤防決壊について、被災原因を特定し、被災状況に対応した堤防復旧工法を検討することを目的として、国土交通省関東地方整備局が設置したものである。

1.2. 委員の構成

関東地方整備局では、「堤防の信頼性確保のため、堤防の整備および維持管理など技術の研究開発と堤防の状況を的確に評価できる技術職員の人材育成を行うこと」を目的に、平成 25 年度から「関東堤防技術研究会」を設置し、管内の河川堤防の整備状況の視察や緊急時の対応の検討等を行うとともに、堤防等に重大な災害が発生した際には、速やかに「堤防決壊等に係る調査委員会」を設置することとしていた。

これに基づき、越辺川・都幾川における決壊後、本委員会を速やかに設置した。本委員会は関東堤防技術研究会の顧問 2 名（下記※印参照）に加え、荒川上流河川事務所のリバーカウンセラ及び国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人土木研究所の専門家で構成されている。委員長は委員の互選により選任した。

委員	ささき てつや 佐々木 哲也	国立研究開発法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム 上席研究員
委員	すわ よしお 諏訪 義雄	国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川構造物管理研究官
委員	たかはし あきひろ 高橋 章浩※	東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系教授
委員	たなか のりお 田中 規夫	埼玉大学 大学院 理工学研究科 教授
委員 (委員長)	やすだ すずむ 安田 進※	東京電機大学 名誉教授 東京電機大学総合研究所 客員教授

(敬称略、五十音順)

1.3. 検討の経過

本委員会は、令和元年10月17日の第1回から令和元年12月2日の第3回まで、計3回開催した。

検討フローを図1.3.1に、本委員会の開催状況を表1.3.1に示す。

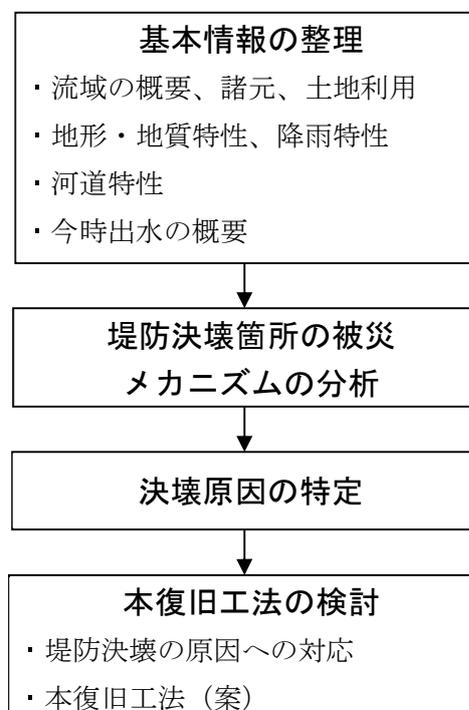


図 1.3.1 検討フロー

表 1.3.1 本委員会の開催状況

回数	開催日	議事内容
1	令和元年10月17日	・被災状況の確認（現地調査）
2	令和元年11月17日	・出水及び被災概要 ・堤防決壊箇所の被災メカニズムの分析
3	令和元年12月2日	・決壊原因の特定 ・本復旧工法の検討

本報告書は、計3回の委員会の内容を取りまとめたものであるが、作成に当たっては委員の意見を集約し報告書に反映した。

2. 洪水と決壊の概要

2.1. 荒川流域の概要

2.1.1. 流域の概要・諸元、土地利用

荒川は、甲武信ヶ岳（標高 2,475m）に源を発し、埼玉県中央部、東京都都市部を流下し、東京湾に注ぐ幹川流路延長 173km、流域面積 2,940km² の一級河川である。このうち、越辺川は流路延長 34km、流域面積 420km²、都幾川は流路延長 34km、流域面積 154km² となっている。

中流部から下流部にかけて市街地が広がり、特に下流部は人口・資産が集中した低平地であり、流域内には新幹線をはじめとする JR や私鉄各線、高速道路や国道など基幹交通網が整備されており、我が国の政治・経済の中核となっている区域を流下している。

表 2.1.1 荒川流域諸元

項目	諸元
幹川流路延長	173km ^{※1}
流域面積	2,940km ² ^{※1}
流域市区町村	20 区 39 市 17 町 1 村 ^{※2}
流域内人口	約 1,020 万人 ^{※3}

※1 出典：一級河川の河川延長等調（国土交通省水管理・国土保全局）
 ※2 出典：第 9 回河川現況調査結果をもとに、平成 26 年 3 月までの市町村合併を反映し作成
 ※3 出典：一級河川における流域等の面積、総人口、一般資産額等について（調査基準年：平成 22 年）（国土交通省水管理・国土保全局）

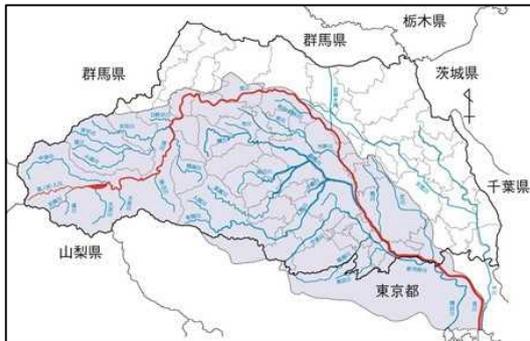


図 2.1.1 荒川流域位置図



図 2.1.2 荒川流域概要図

越辺川は、荒川の支川入間川の支川で、流域面積 419.95km²、流路延長 34.28km（県管理区間延長は 14.5km）、河床勾配が 1/250～1/300 の一級河川である。越辺川は、越生町の黒山三滝付近に源とし、山間部を流れ下流の国管理区間で高麗川が合流する。越辺川は蛇行した自然河川の姿を今も残しており、瀬・淵や河畔林が連続する自然豊かな河川で、中流には東武線や JR 八高線が乗り入れる越生町の市街地が位置している。



出典：埼玉県川のまるごと再生プロジェクト HP 資料に追記

図 2.1.1 越辺川流域概要図

都幾川は、ときがわ町の山地を源とし、山間部を流れ、都幾川とほぼ同規模の流域をもつ支川の槻川と合流している、流域面積 153.5km²、流路延長 34.20km(県管理区間延長は 16.7km)、河床勾配が 1/140～1/530 の一級河川である。下流は東松山市や嵐山町などの市街地となっており、東松山市の低平地を流れ、坂戸市との境界で越辺川に合流する。都幾川は蛇行した河川の姿を今も残し、瀬と淵や河畔林が連続した自然豊かな河川である。



出典：埼玉県川のまるごと再生プロジェクト HP 資料に追記

図 2.1.2 都幾川流域概要図

荒川の流域内人口は約 980 万人、流域内資産は約 150 兆円に上る。土地利用は 44%が森林であり、市街地が 33%を占めている。

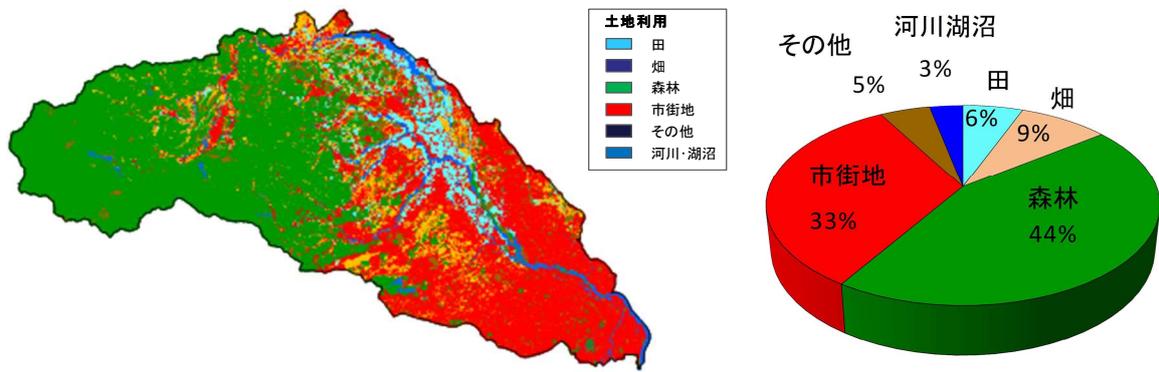


図 2.1.3 土地利用の状況 (H21)

2.1.2. 地形・地質特性

荒川流域の地形は、北西側に秩父山地が存在し、南東側は関東平野に連なる低平地となっており、流域の43%は山地、36%は台地・丘陵、21%は低地となっている。秩父山地は、水源である甲武信ヶ岳や石灰岩を多く産出する武甲山等からなり、これらに囲まれ、秩父盆地が位置している。また、寄居町付近を扇頂部とする扇状地が熊谷市付近まで広がり、そこから下流では沖積低地が大宮台地と武蔵野台地の間を縫うように広がっている。下流の沖積低地は、深いところで50m以上に及ぶ沖積層が厚く分布しており、その大部分が標高3m以下の低平な土地である。

荒川流域の地質は、上流の山地地域において主に古生代や中生代の化石を含む秩父中古生層等からなる。秩父盆地は新第三紀の砂岩、泥岩、礫岩などから構成されている。山地地域以外では、台地、沖積低地、丘陵からなっており、台地は厚い関東ローム層で覆われている。沖積低地は、利根川、江戸川、荒川によって形成されたデルタ地帯であり、砂層や粘土層が厚く堆積し軟弱地盤を形成している。

荒川本川の源流は奥秩父であり、甲武信ヶ岳など標高2500mクラスの高い山々から流れ出している。一方、越辺川と都幾川の源流は外秩父であり、そこには標高876mの堂平山など1000m以下の低い山である。このように低い地形でも台風19号における降雨は500mmを超えるものであったことから、氾濫を生じたことが推定される。

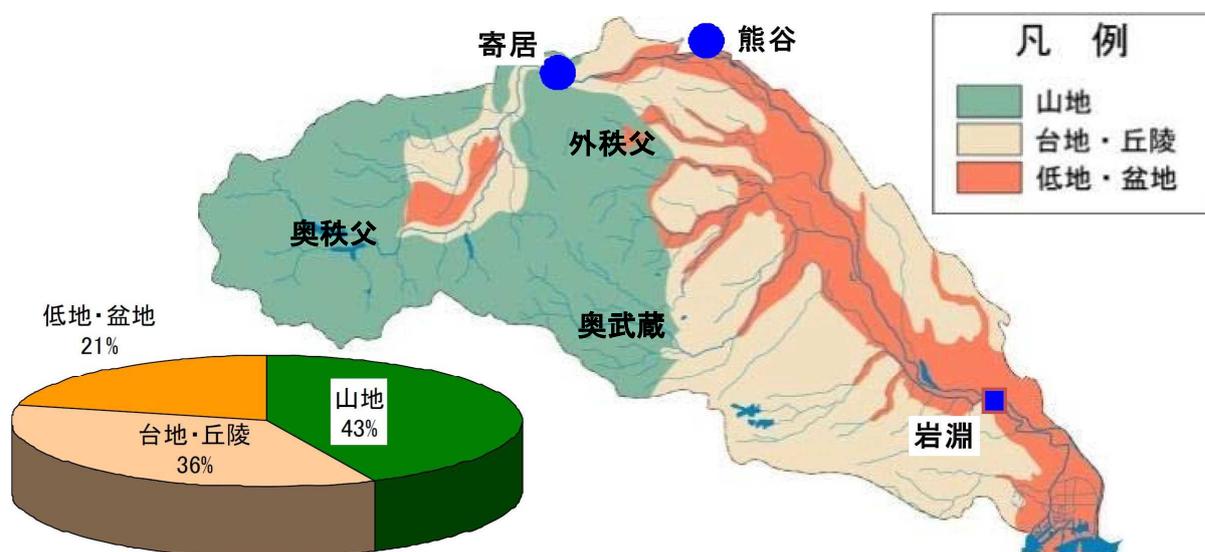


図 2.1.4 荒川流域の地形特性

2.1.3. 降雨特性

荒川流域の気候は、夏は高温多湿、冬は低温乾燥の太平洋型気候であり、年間降水量は1,200mm～1,800mm程度、年間降水量は1,400mm程度であり、全国平均の約1,700mmと比べ少ない。月別にみると上流では8～9月に降水が多く、下流では9～10月に降水が多い。地域別では奥秩父山地、外秩父山地が多く、中下流部の低平地や北西部の上武山地周辺が少ないのが特徴である。

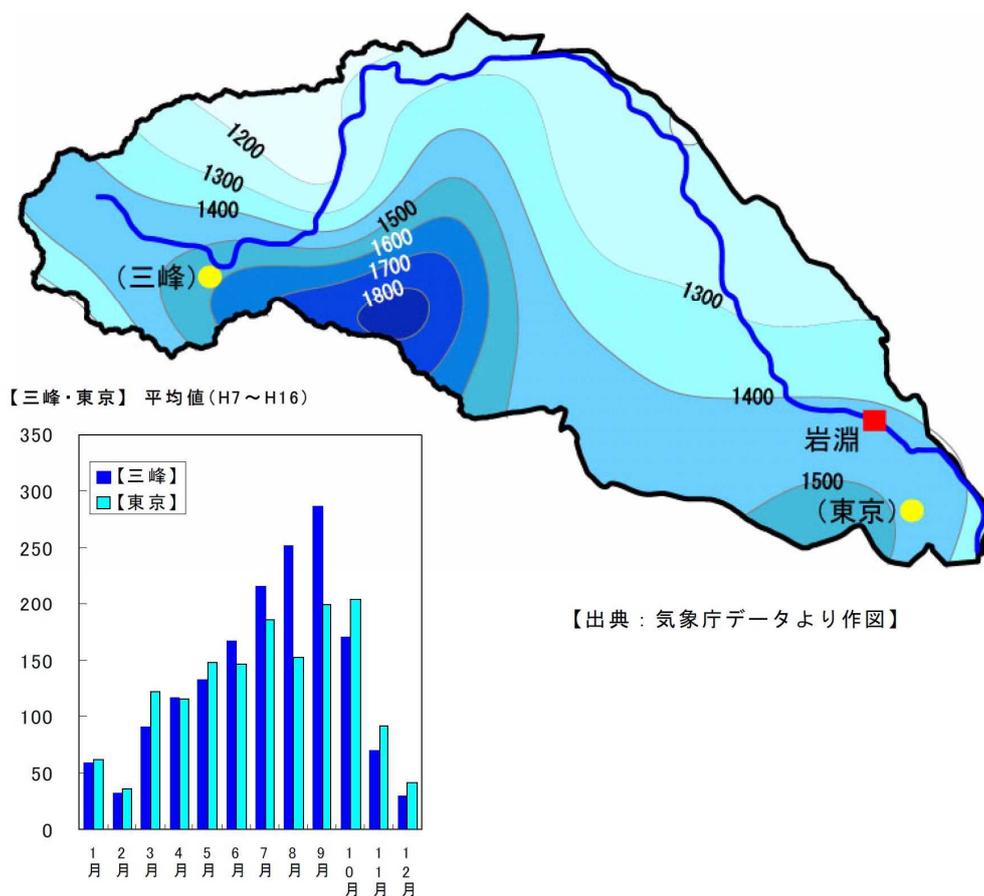


図 2.1.5 荒川流域の降雨特性

2.1.4. 河道特性（縦断特性、治水地形分類）

荒川の河道は、寄居町から秋ヶ瀬取水堰に至る中流部に、遊水機能を持つ日本有数の広大な高水敷を有し、最大で約2.5kmの川幅となっているほか、高水敷の遊水機能を高める横堤が築造されていることが特徴である。一方、東京都区部を流れる下流部は放水路として整備され、約0.5kmの川幅となっている。

河床勾配は、上流部において1/10~1/400、中流部において1/5,000~1/10,000となっている。また大きな流域を抱える支川の入間川が中流部で合流している。

荒川中流部の治水地形分類図を図2.1.8に示す。荒川は74.0k~84.0kでは扇状地が形成され、74.0kより下流では、左岸側の大宮台地と、右岸側の入間台地等に挟まれた氾濫平野を流下している。また、入間川、越辺川、都幾川等の支川については、山地や台地・段丘間を流下し、荒川右岸域において扇状地、氾濫平野を形成している。

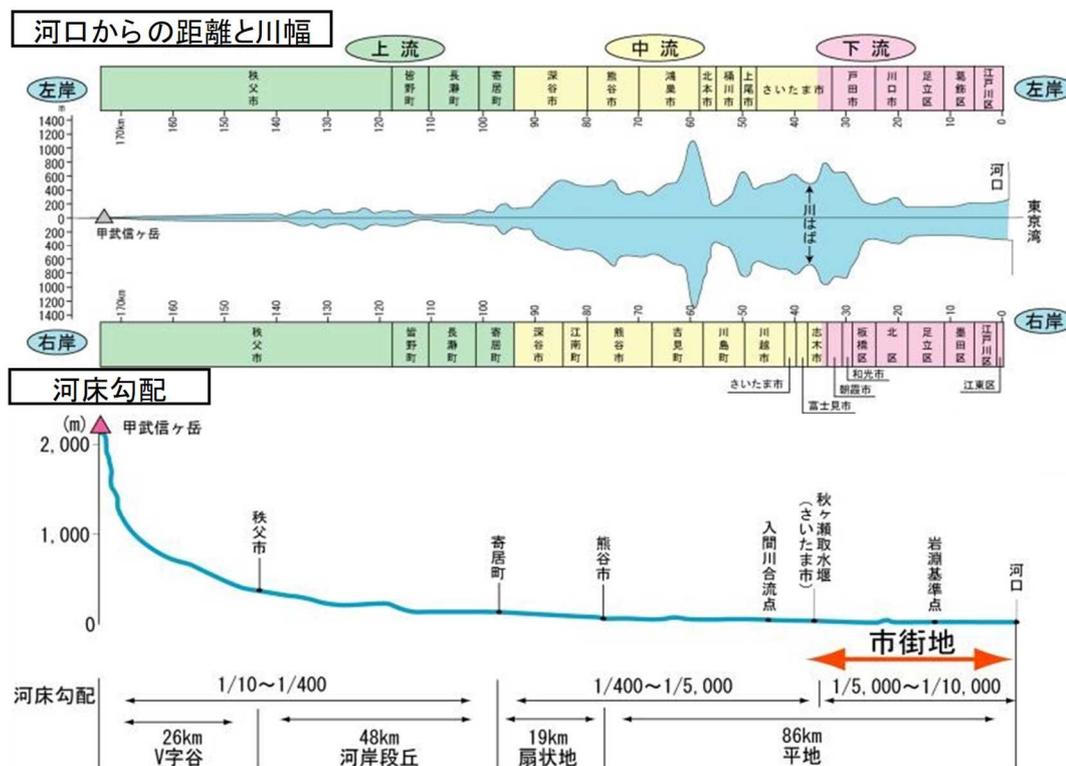
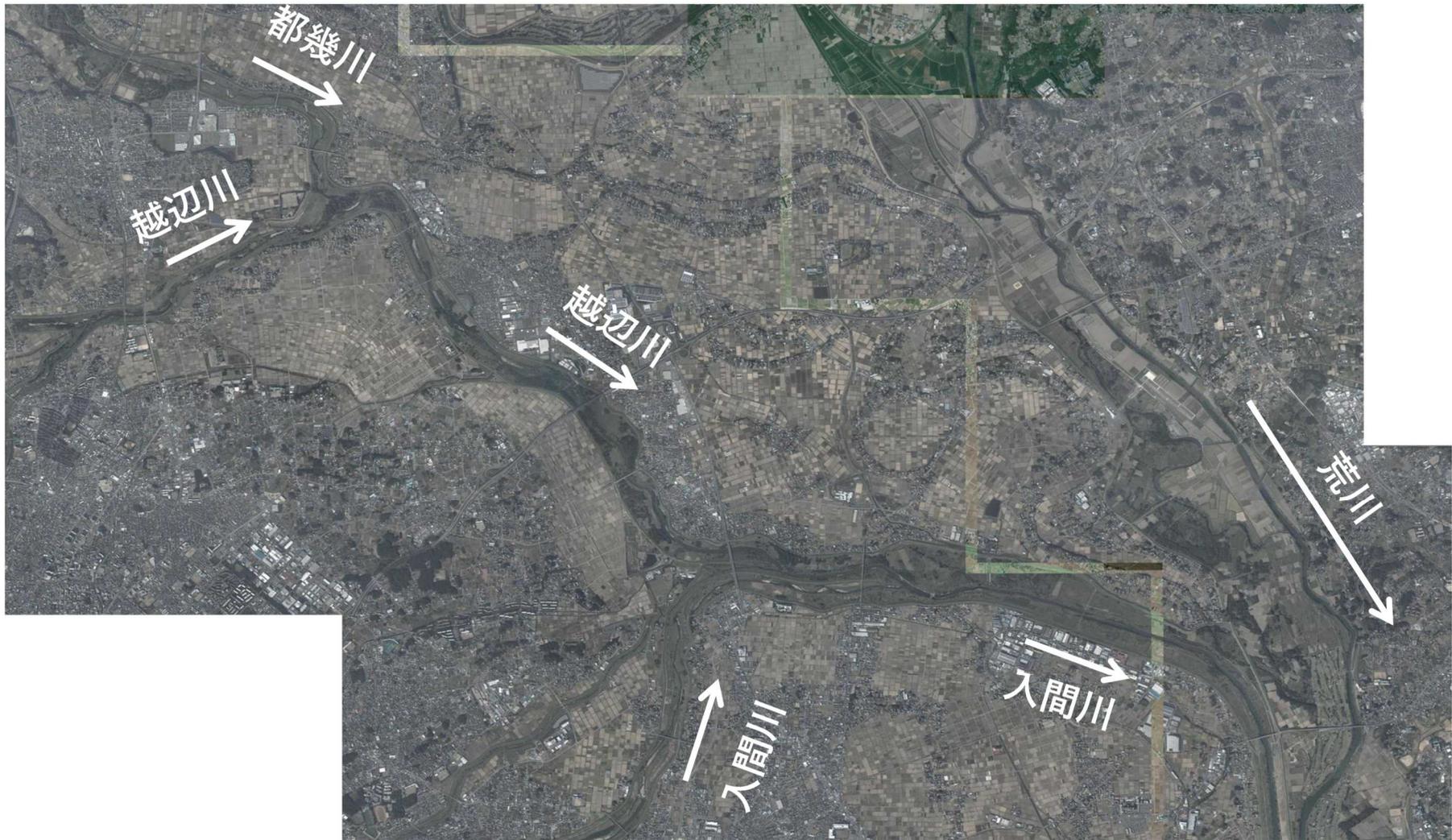
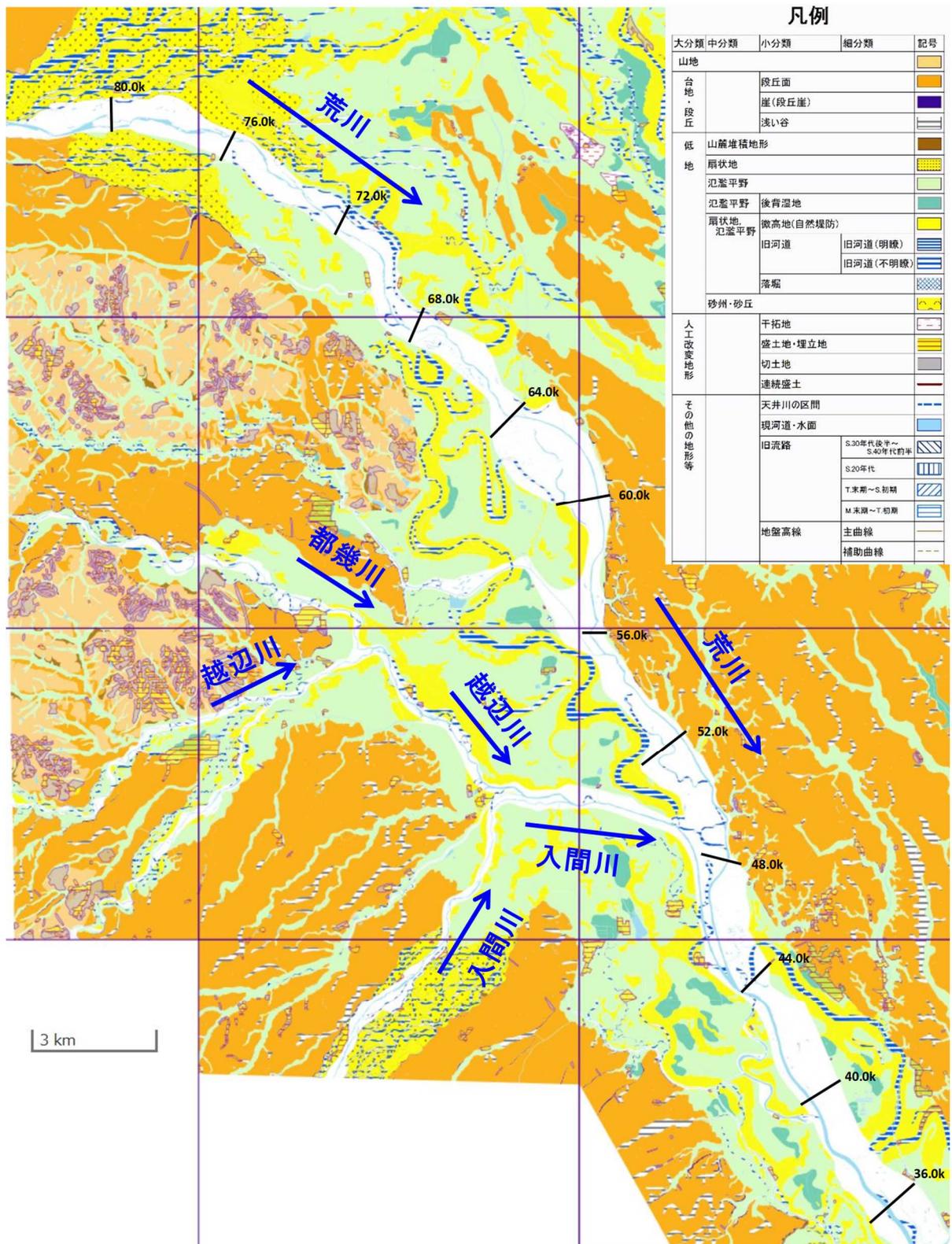


図 2.1.6 川幅及び河床勾配



出典：国土地理院地図（2015年4月撮影）

图 2.1.7 荒川中流部 河道状况



出典：国土地理院治水地形分類図（平成 27 年 3 月更新版）

図 2.1.8 荒川中流部 治水地形分類図

2.2. 令和元年台風19号による降雨の概要

2.2.1. 気象概況

<台風>

台風第19号は、10月12日19時前に、大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した後、関東地方を通過し、10月13日未明に東北地方の東海上に抜けた。

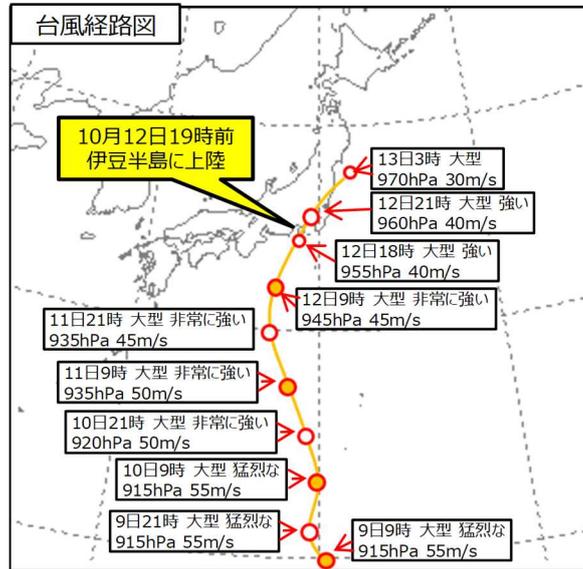


図 2.2.1 台風第19号経路図

<大雨>

台風本体の発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響で、静岡県や関東甲信地方、東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。10月10日からの総雨量は神奈川県箱根町で1,000mmに達し、関東甲信地方と静岡県の17地点で500mmを超えた。この記録的な大雨により、10月12日15時30分に静岡県、神奈川県、東京都、埼玉県、群馬県、山梨県、長野県の7都県に、10月12日19時50分に茨城県、栃木県、新潟県、福島県、宮城県の5県、10月13日0時40分に岩手県に特別警報を発表した。

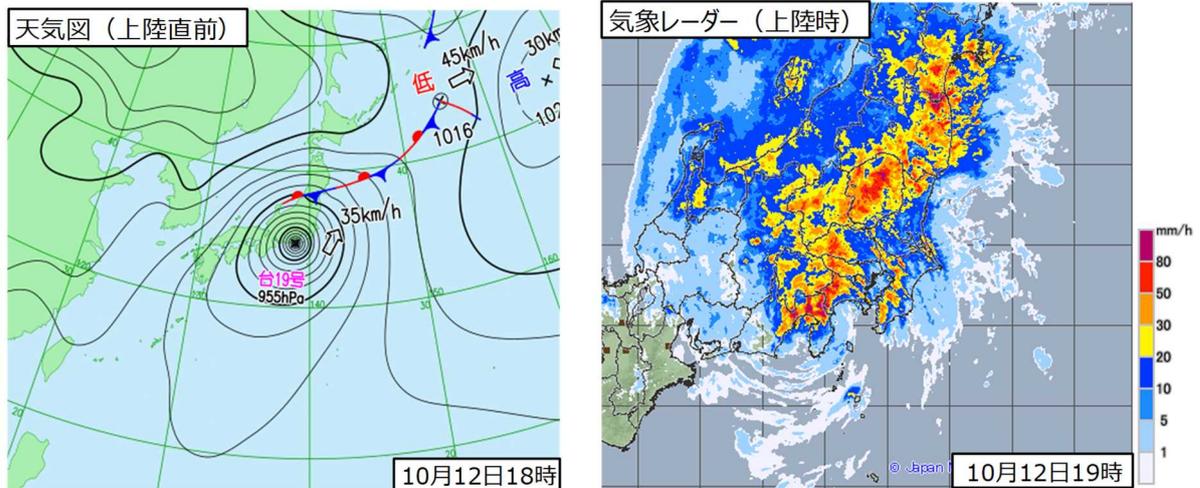
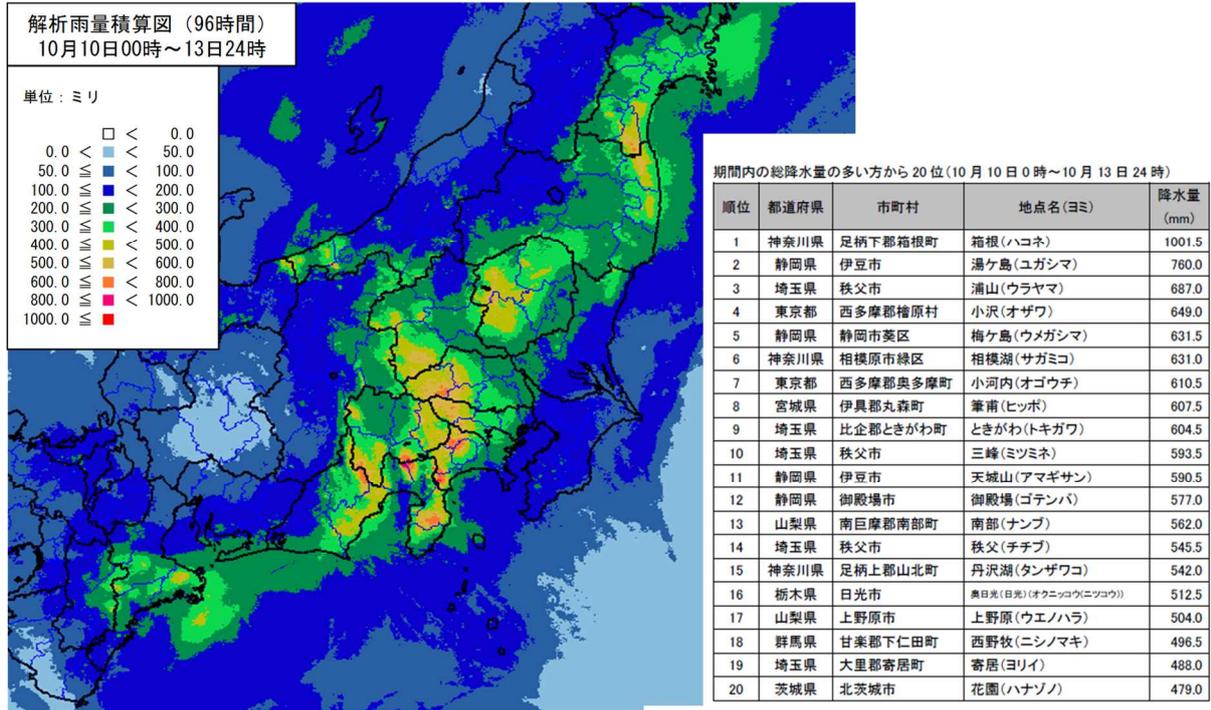


図 2.2.2 天気図及び気象レーダー



出典：気象庁「台風第 19 号による大雨、暴風等」、東京管区气象台「令和元年台風第 19 号に関する気象速報」

図 2.2.3 解析雨量 (令和元年 10 月 10 日 0 時～13 日 24 時の 96 時間積算)

表 2.2.1 大雨特別警報の発表時刻・解除時刻

都道府県	特別警報発表時刻	特別警報解除時刻
静岡県	12日 15時30分	12日 22時20分
神奈川県	12日 15時30分	13日 00時20分
東京都	12日 15時30分	12日 23時55分
埼玉県	12日 15時30分	13日 00時40分
群馬県	12日 15時30分	13日 00時10分
山梨県	12日 15時30分	12日 23時01分
長野県	12日 15時30分	13日 03時20分
茨城県	12日 19時50分	13日 02時20分
栃木県	12日 19時50分	13日 02時20分
新潟県	12日 19時50分	13日 03時20分
福島県	12日 19時50分	13日 04時00分
宮城県	12日 19時50分	13日 05時45分
岩手県	13日 00時40分	13日 08時40分

< 暴風・高波 >

東京都羽田空港では、観測史上 1 位の値を超える最大風速 34.8m を観測するなど、伊豆諸島を含む東京都の 4 カ所で最大風速 30m を超える猛烈な風を観測したほか、東日本から北日本にかけての広い範囲で非常に強い風を観測した。また、石廊崎で 13m を超える波高を観測するなど、猛烈なしけとなった。

< 高潮 >

静岡県や神奈川県、伊豆諸島では、過去最高潮位を超える記録的な高潮を観測した。

2.2.2. 降雨の状況

台風本体の発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響により、荒川流域においても多くの雨量観測地点で既往最高に迫る雨量となり、横瀬雨量観測所、三峰雨量観測所では観測史上最高雨量を観測した。

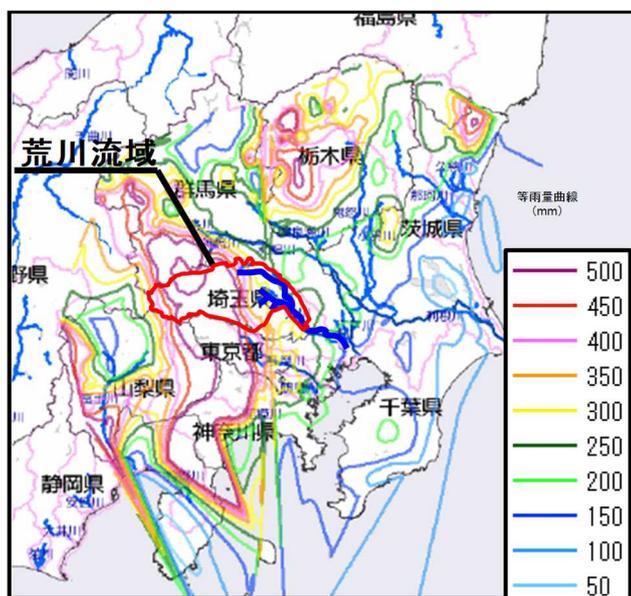


図 2.2.4 等雨量線図（10月10日20:00～12日24:00）

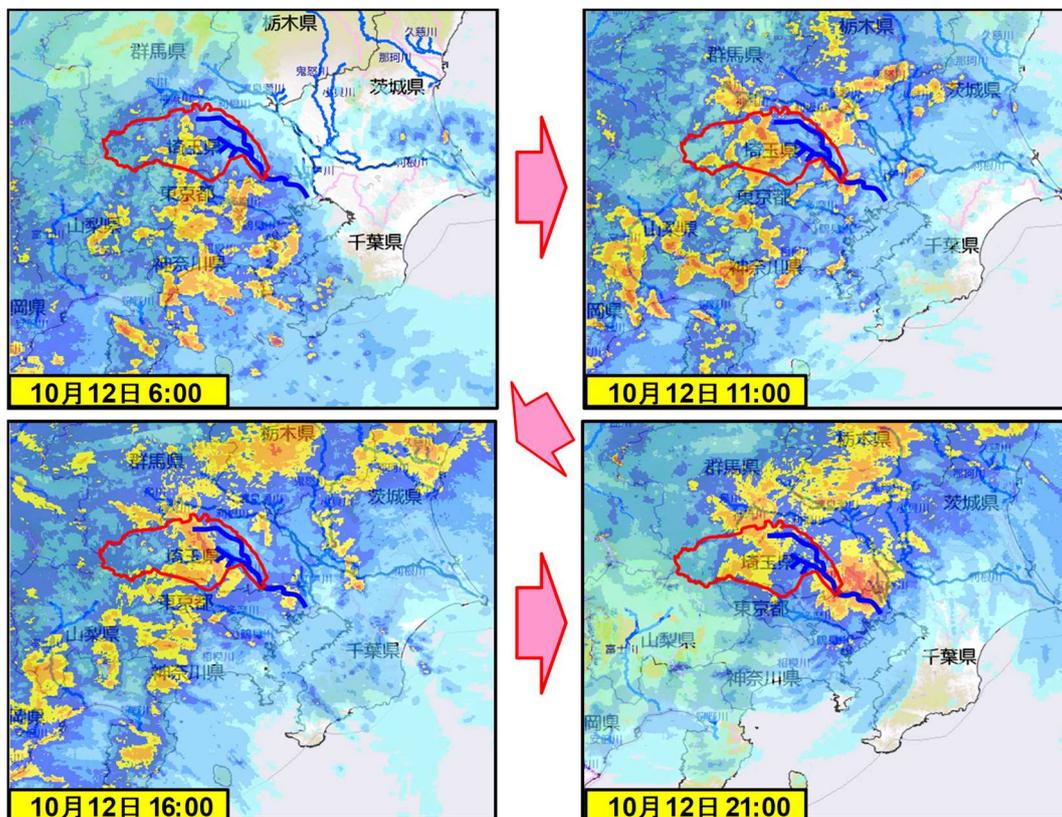
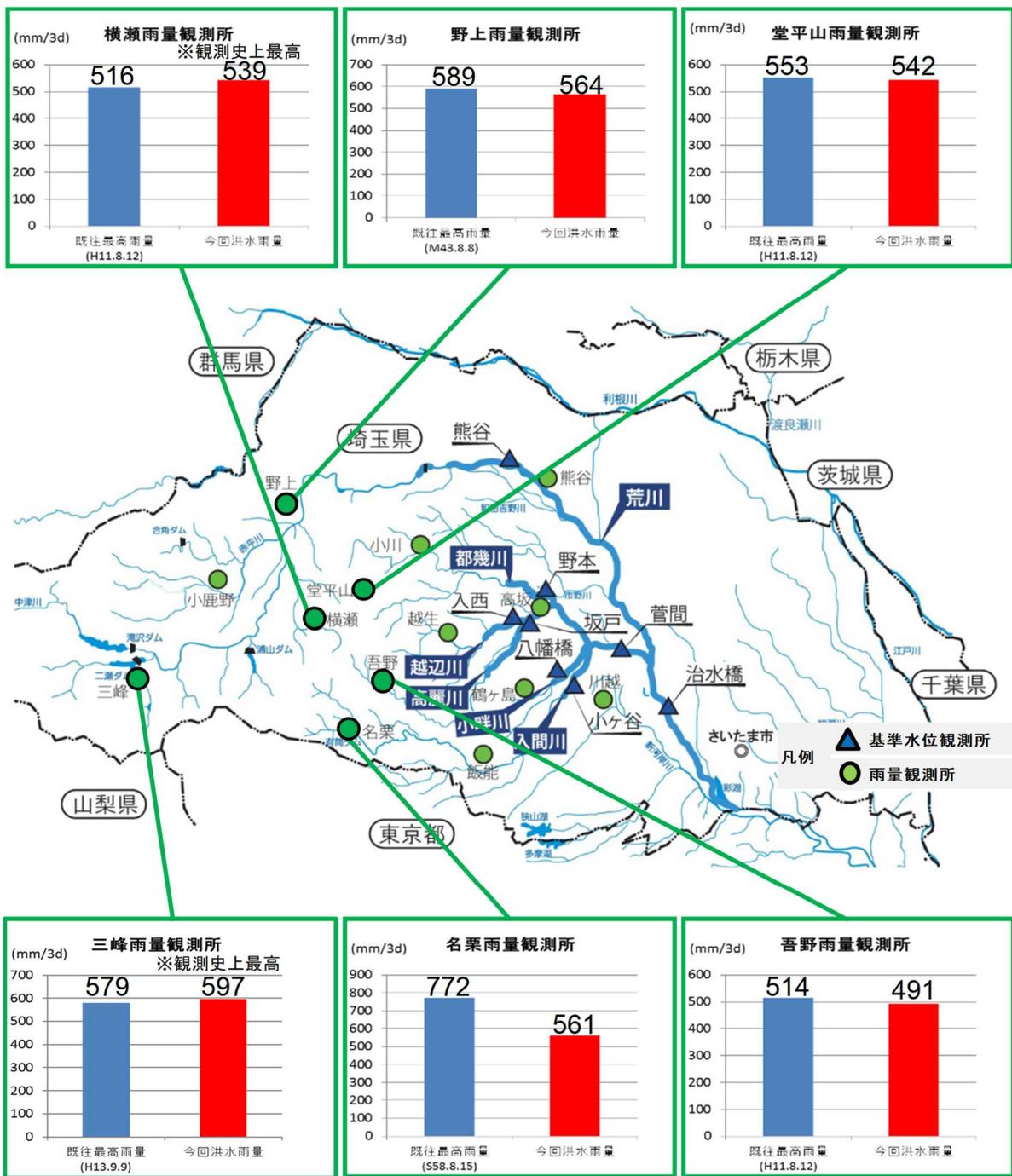
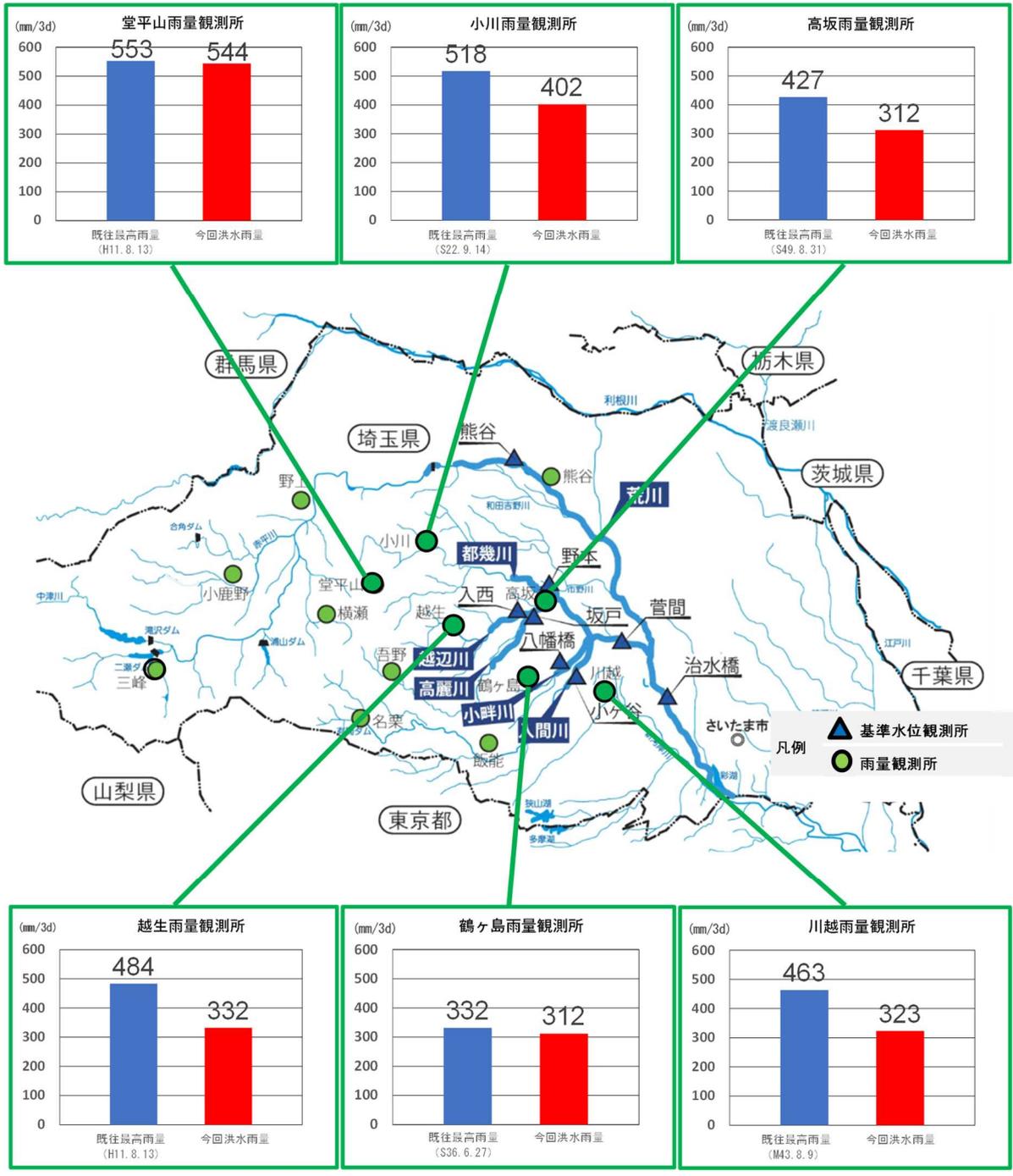


図 2.2.5 レーダー雨量分布の時系列



※令和元年 10 月時点の水文水質データベースより

図 2.2.6 (1) 代表観測所の今次出水と既往最高の 3 日雨量の比較



※令和元年 10 月時点の水文水質データベースより

図 2.2.7 (2) 越辺川・都幾川流域の代表観測所の今次出水と既往最高の 3 日雨量の比較

2.2.3. 決壊箇所の概要と河川水位の状況

越辺川においては2箇所の堤防決壊、都幾川においては1箇所の堤防決壊が発生した。堤防決壊箇所近傍の水位観測所における水位の状況についても併せて図 2.2.8 に示す。

決壊箇所は越辺川は右岸 0.0k、左岸 7.6k、都幾川は右岸 0.4k であり、越辺川では高坂橋、天神橋、落合橋の3地点で、都幾川では野本地点で計画高水位を超過し、観測史上第一位の水位を記録した。

今回堤防調査委員会で議論を行った3箇所については、当時堤防決壊とし明確に取扱がわかっている箇所を対象に議論を行った。その後、被災の規模が大きいことから令和2年4月10日新たに都幾川左岸 6.5k と左岸 5.9k を堤防決壊箇所として位置づけを事務局において行った。追加した2箇所については、事務局において、本委員会の委員にアドバイスを頂きながら別途同様の方法で検討を行い、本復旧工法の方針を決定した。

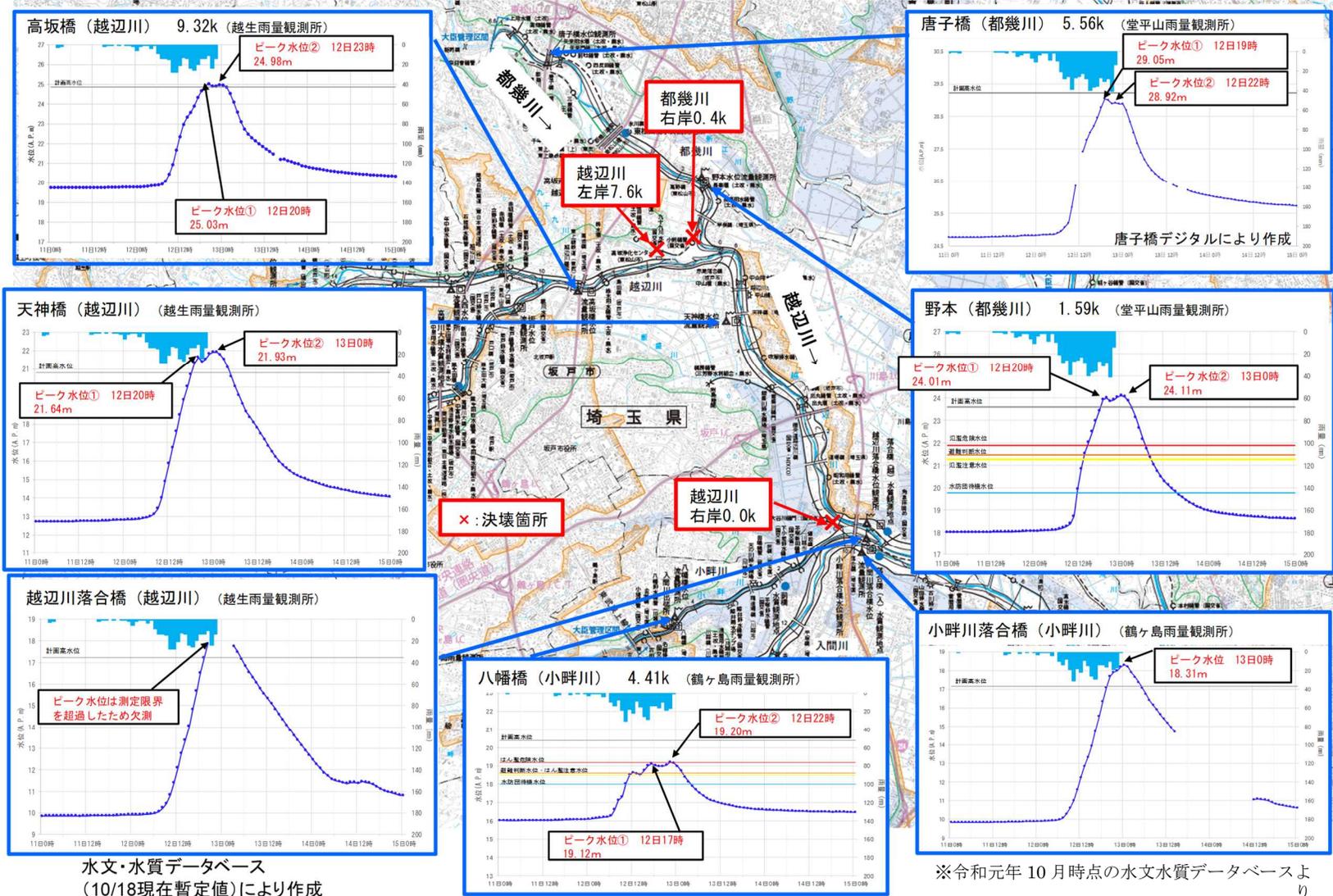


図 2.2.8 河川水位の状況 (越辺川・都幾川)

3. 決壊箇所との状況と決壊原因の特定

3.1. 越辺川右岸 0.0k

3.1.1. 越辺川右岸 0.0k の状況と堤防決壊の概要

(1) 堤防決壊の概要

越辺川右岸 0.0k 付近の決壊は、越辺川と小畔川の合流付近において発生しており、越辺川の緩い湾曲部外岸側にあたっている。越水や決壊の時刻については深夜であったため確認されていない。決壊幅は最終的には約 70m に達している。

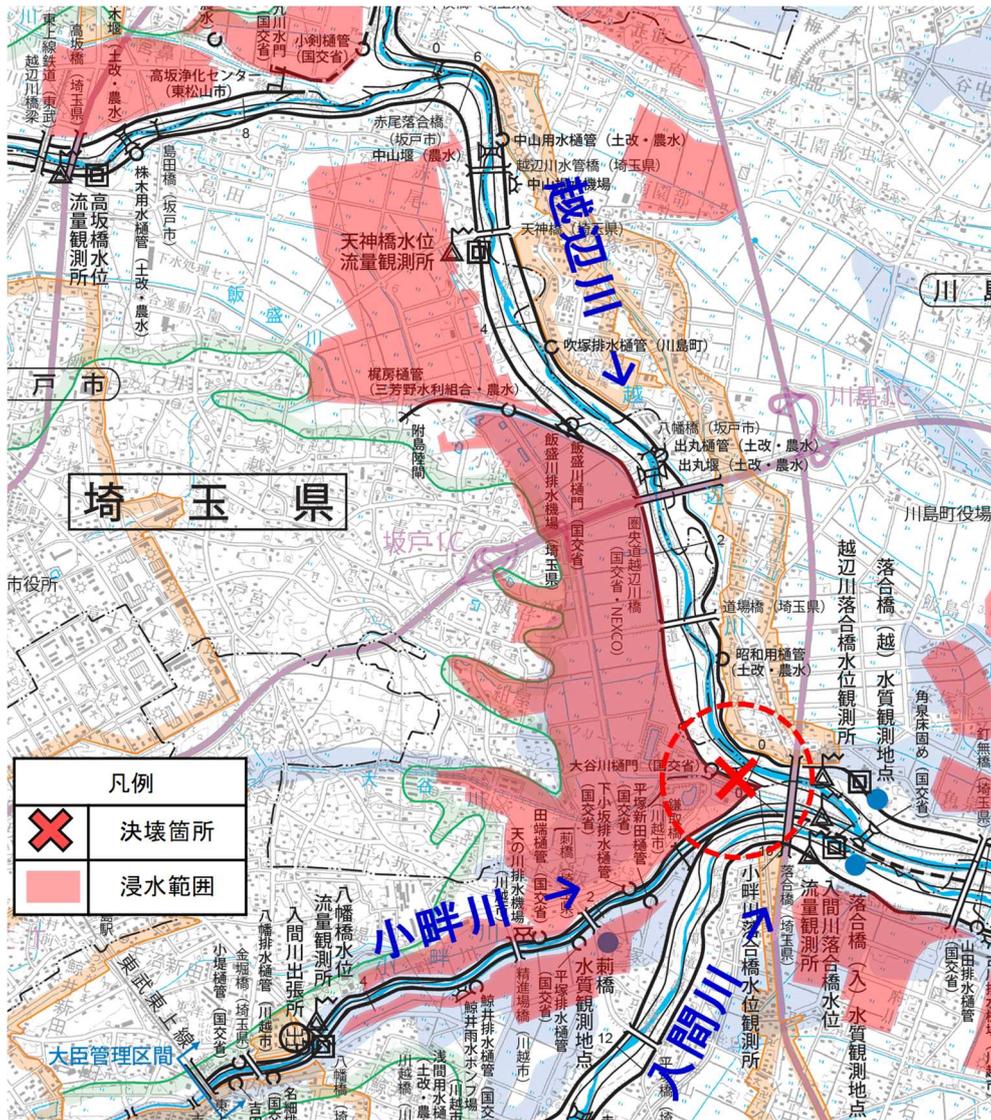


図 3.1.1 越辺川右岸 0.0k 決壊箇所の位置図



川側からの写真



上流側からの写真



下流側からの写真

図 3.1.2 越辺川右岸 0.0k 決壊後のドローンによる空撮 (2019/10/14 撮影)

(2) 決壊箇所の落堀の状況

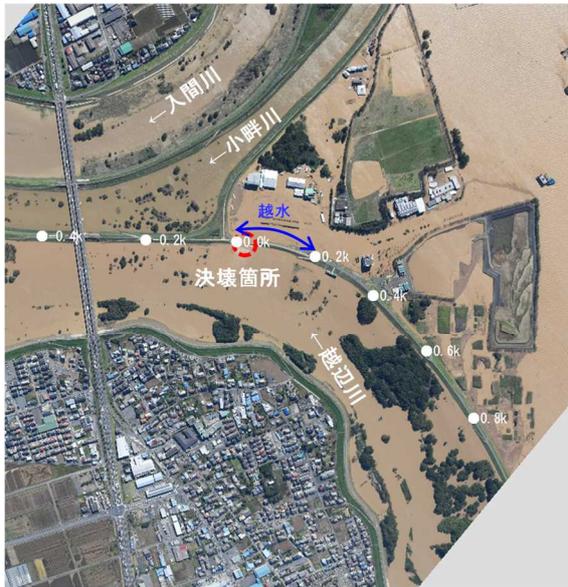
越辺川右岸 0.0k の決壊箇所付近は、堤内地側に落堀が形成されており、その深さは約 2m である。堤内地側の落堀は越流水によるもの、堤外地側の落堀については、堤内地から氾濫水が戻ってきた際に発生したものだと推測される。



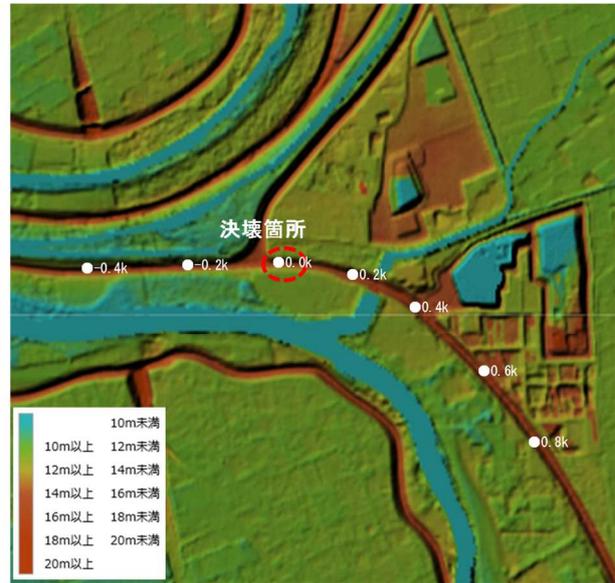
図 3.1.3 越辺川右岸 0.0k の落堀

(3) 越流水の拡散状況

氾濫の様子を撮影した空撮写真や、氾濫原の地形に加え、3.1.2 越水による堤防決壊の可能性の検討において記述したが、堤内地ヘリポート付近のフェンスの堤内地側への倒壊や引っかけたゴミ等が見られることから、越流水は堤内地へ拡散したと考えられる。



氾濫流の様子 (10/13撮影)
出典：国土地理院地図



氾濫原の地形 (標高)
出典：国土地理院地図



越流水の推定
出典：国土地理院地図

図 3.1.4 越辺川右岸 0.0k 決壊箇所の越流水の推定図

(4) 決壊箇所の堤防の変遷

決壊箇所付近の河道の変遷を見ると、昭和36年には既に決壊箇所の堤防が築堤されていることがわかる。また、荒川上流改修六十年史によると、堤防は昭和32年に築堤されたとある。

出典：荒川上流改修六十年史

越辺川0.0km付近河道の変遷整理

●：堤防決壊箇所

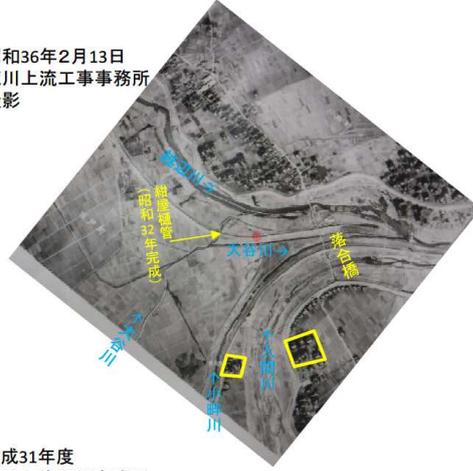
昭和22年2月8日から昭和22年11月7日 米軍撮影



昭和43年3月24日・25日
荒川上流工事事務所
撮影



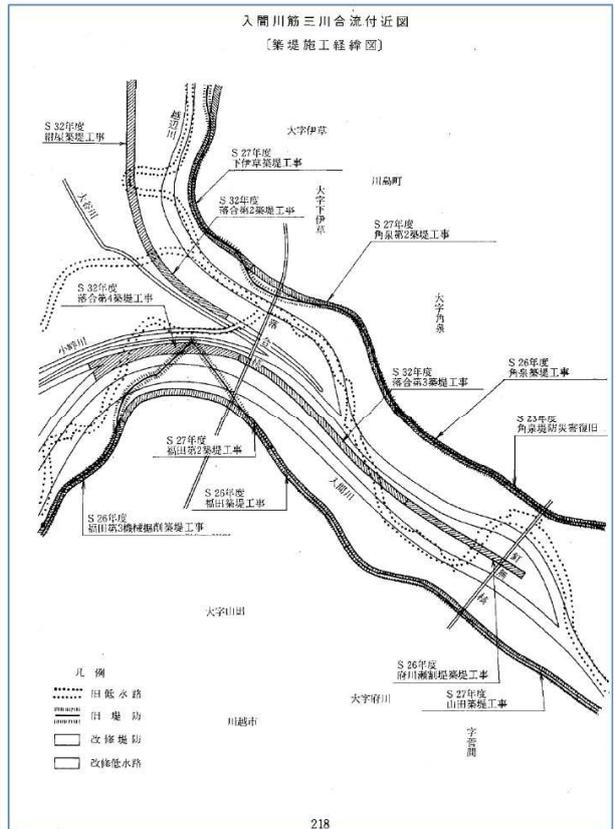
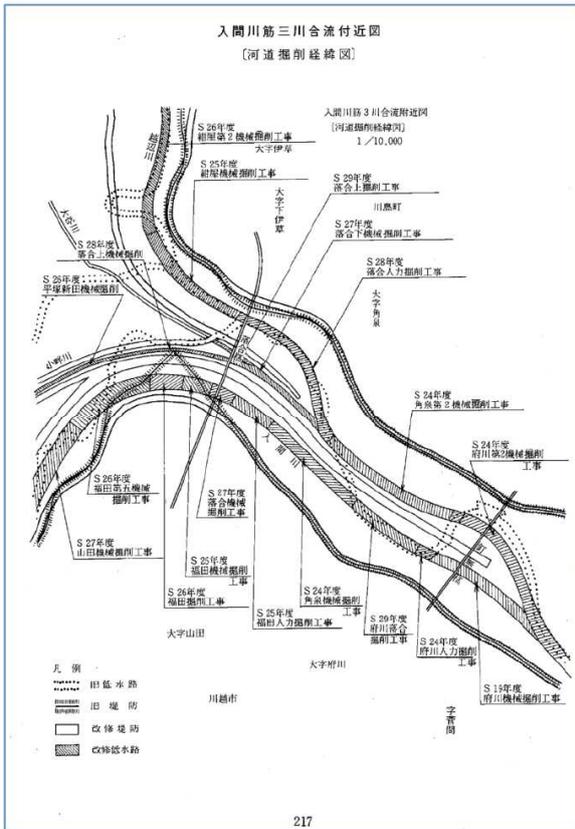
昭和36年2月13日
荒川上流工事事務所
撮影



平成31年度
荒川上流河川事務所
撮影



図 3.1.5 越辺川右岸 0.0k 付近の河道の変遷



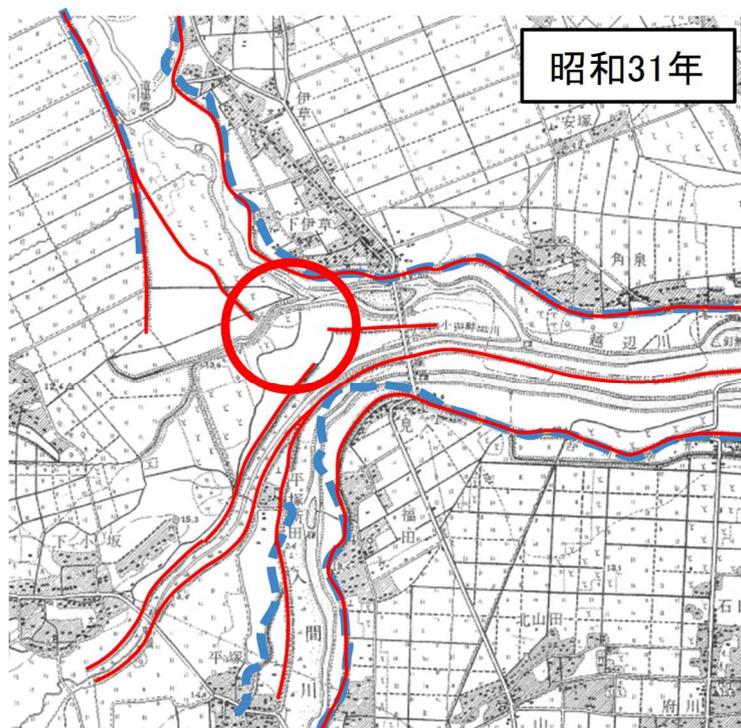
出典：荒川上流改修六十年史

図 3.1.6 越辺川右岸 0.0k 付近の築堤記録

また、迅速図や国土地理院の地形図をみても、昭和 31 年には決壊箇所付近に堤防は確認できないが、昭和 39 年には堤防が確認されていることから、これを裏付けているものと言える。

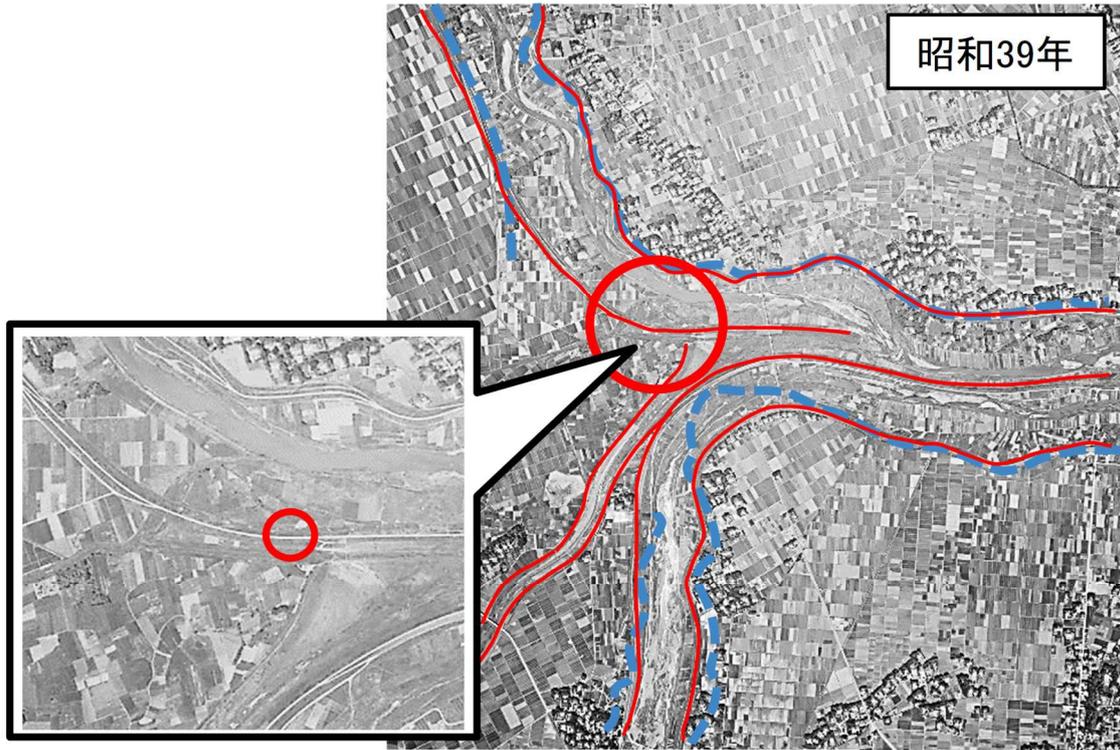


出典：農研機構農業環境変動研究センター



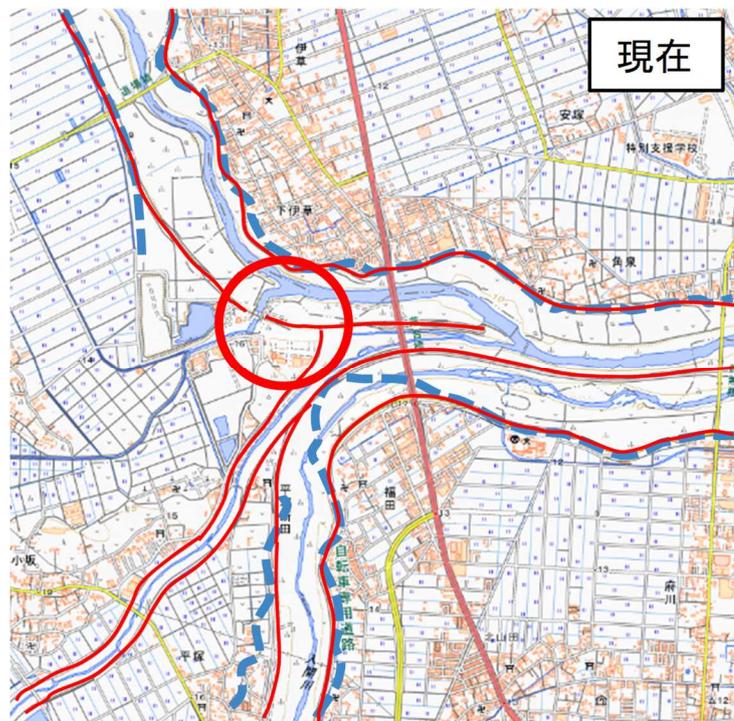
出典：国土地理院 1/25,000 地形図（川越北部）

図 3.1.7 越辺川右岸 0.0k 付近の地形の変遷（明治初期、昭和 31 年）



昭和31年の地形図では堤防が確認できないが、
昭和39年の空中写真では堤防が確認できる

出典：国土地理院撮影空中写真（1964年撮影）

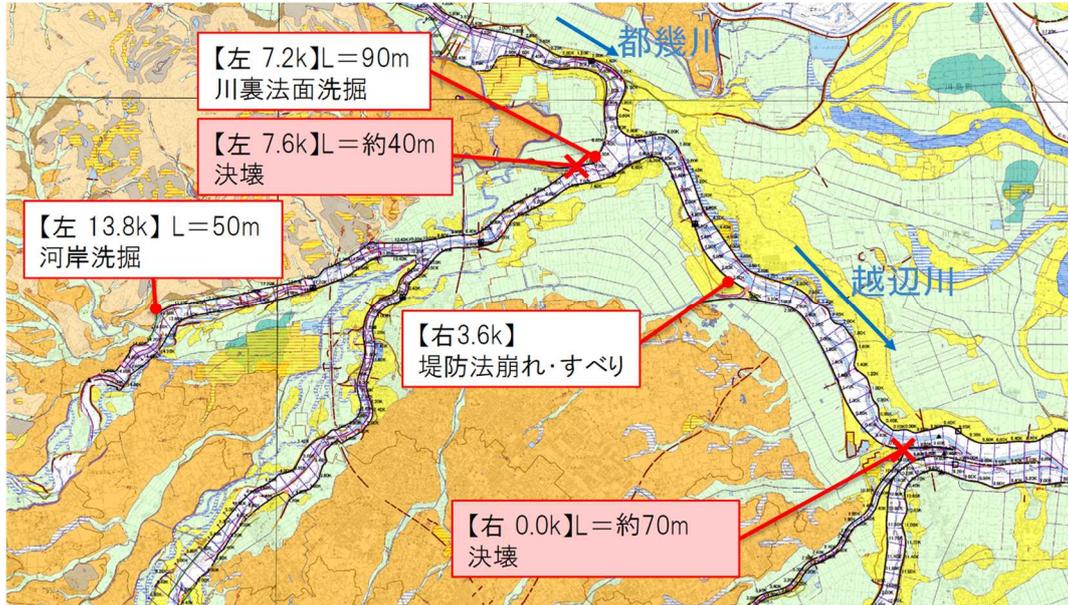


出典：国土地理院電子地形図（タイル）（2019/11/7時点）

図 3.1.8 越辺川右岸 0.0k 付近の地形の変遷（昭和 39 年、現在）

(5) 決壊箇所の治水地形

越辺川右岸 0.0k は、治水地形分類図上によると微高地に分類されており、治水地形上の要注意地形には当たらない。



凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号	
山地					
台地・段丘		段丘面			
		崖(段丘崖)			
		浅い谷			
低地	山麓堆積地形				
	扇状地				
	氾濫平野				
	氾濫平野	後背湿地			
	扇状地, 氾濫平野	微高地(自然堤防)			
			旧河道	旧河道(明瞭)	
			旧河道(不明瞭)		
		落堀			
砂州・砂丘					

図 3.1.9 越辺川右岸 0.0k 付近の治水地形分類図

3.1.2. 越水による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の堤体の特徴

決壊箇所上流には約 40m にわたり越水によると推定される川裏部の侵食が見られる (①) とともに、堤防川裏部の植生は川裏側に倒伏している (②、③) 状況がわかる。また、越水した状況を裏付けるように、堤内地へリポート付近のフェンスの堤内地側への倒壊や引っかかったゴミ等が見られる (④)。

また、3.1.1(2)決壊箇所の落堀の状況で示したとおり、決壊箇所には越水の痕跡である落堀が形成されている。



①越水によると推定される川裏部の侵食

③川裏部の川裏側への植生の倒伏



②川裏部の川裏側への植生の倒伏



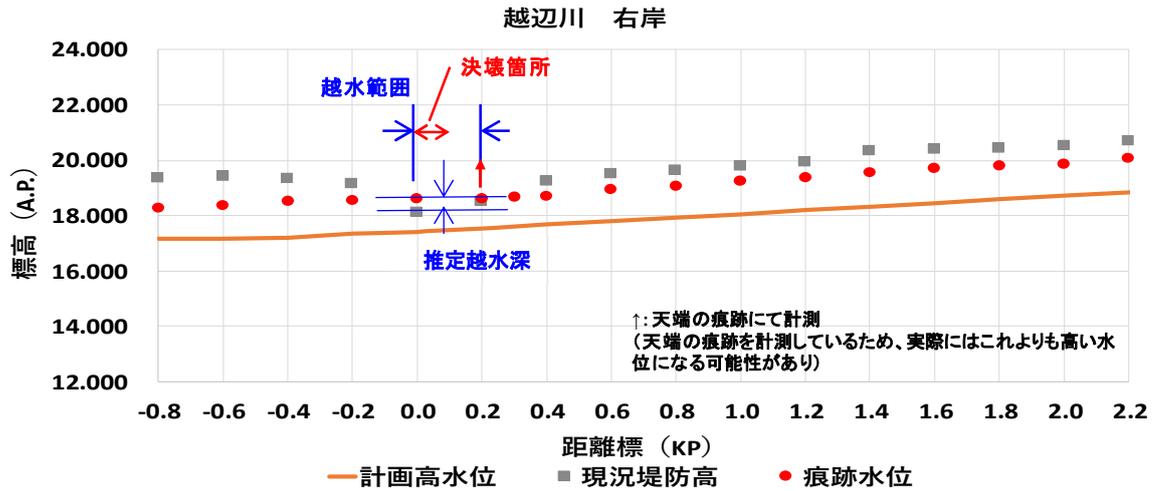
④フェンスの堤内地側への倒壊

図 3.1.10 越辺川右岸 0.0k 決壊箇所付近の状況 (2019/10/16 撮影)

(2) 痕跡水位の状況

越辺川右岸 0.0k の痕跡水位と現況堤防高の比較図を示す。これによると、決壊箇所付近の越辺川右岸 0.0k と 0.2k の痕跡水位は現況堤防高を上回ること、また 0.2k 痕跡水位は天端の漂流物を計測しており天端高よりも高い水位であったことが疑われることより、越水範囲は 0.0k～0.2k と推定される。

推定される越水深は、右岸 0.0k の痕跡水位、上流側右岸 0.2k の天端の痕跡水位と 0.0k の定期縦横断測量結果の現況堤防高との差より、最小でも約 40cm 以上と推定される。



※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.1.11 越辺川右岸 0.0k 付近の痕跡水位と現況堤防高

右岸0.0k



右岸0.2k



図 3.1.12 越辺川右岸 0.0k と 0.2k の洪水痕跡

3.1.3. 浸透による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の噴砂の状況

越辺川右岸 0.0k 付近の目視による調査によると、噴砂等は確認されていない。

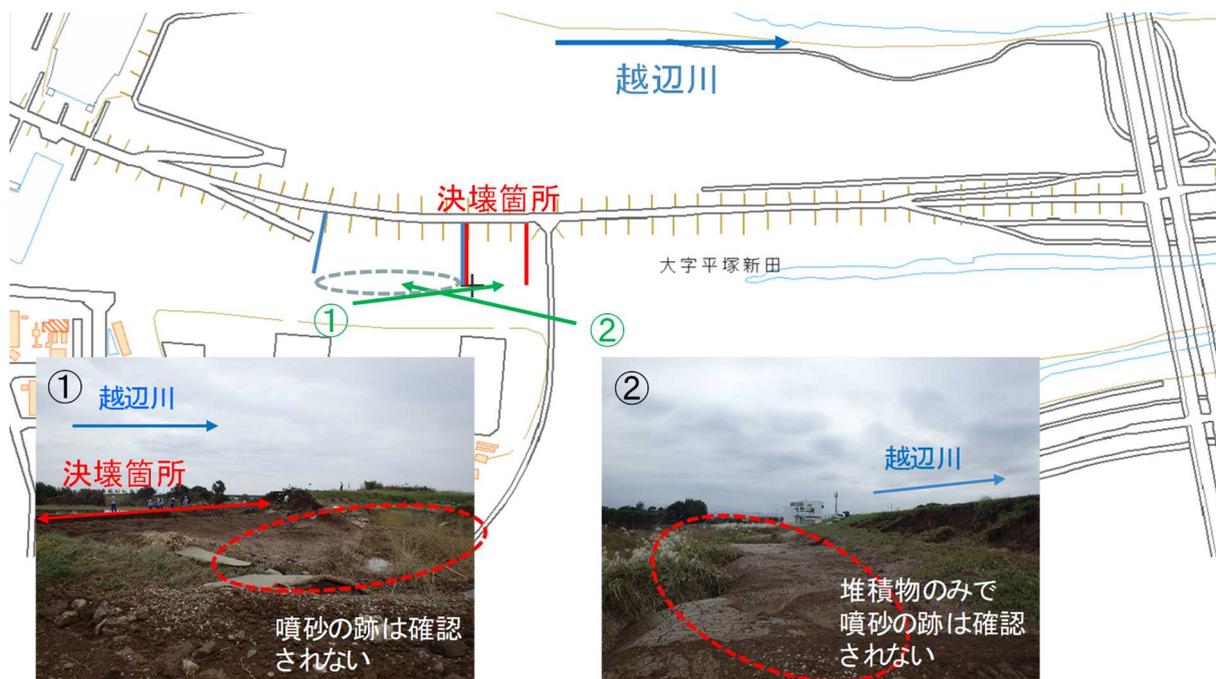


図 3.1.13 越辺川右岸 0.0k の決壊箇所付近の状況 (2019/10/16 撮影)

(2) 決壊箇所の土質調査結果

1) 土質調査箇所

越辺川右岸 0.0k における土質調査は、ボーリング 3 箇所とスウェーデン式サウンディング 6 箇所実施しており、決壊箇所上流近傍と下流近傍で天端からボーリング各 1 箇所、決壊箇所の落堀部分を外して堤外側のり尻付近に 1 箇所、ボーリング箇所を補完するようにボーリング箇所の表のり尻と裏のり尻にスウェーデン式サウンディング各 2 箇所の土質調査を行っている。

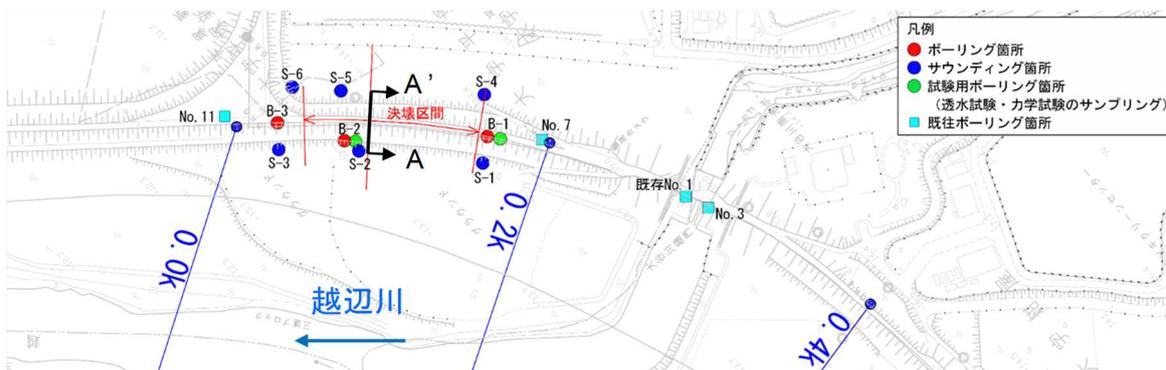


図 3.1.14 越辺川右岸 0.0k の土質調査箇所

2) 堤体の土質

堤体部分の Bc1~Bc4 の部分は粒度分布からも粘土分やシルト分の割合が多く、堤体の土質は粘性土で構成されていることが確認された。

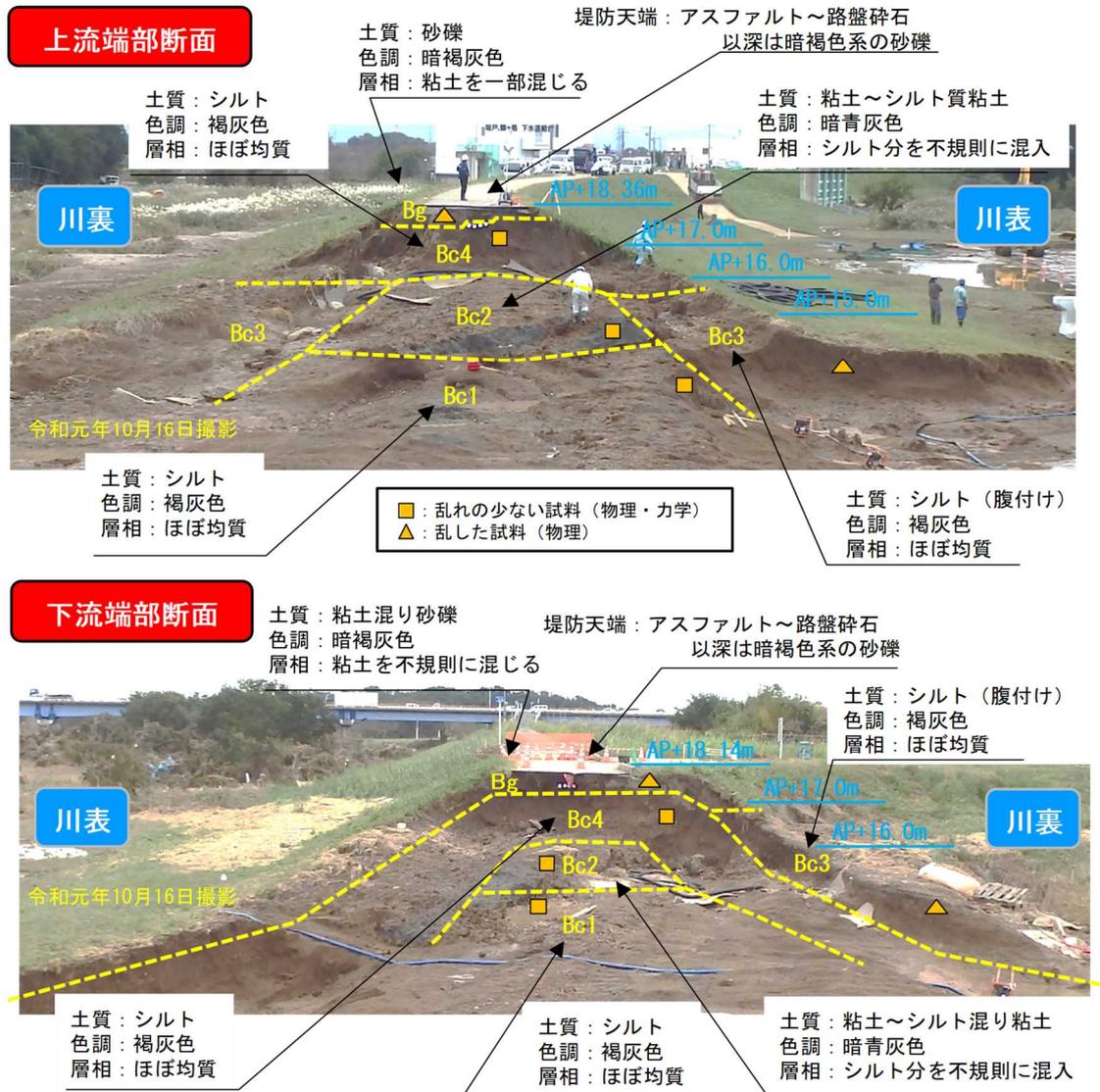
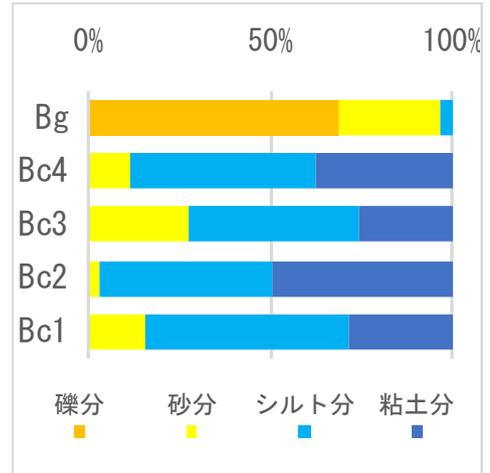
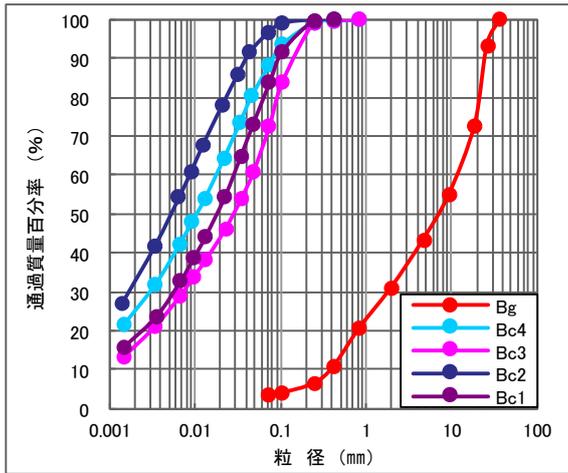
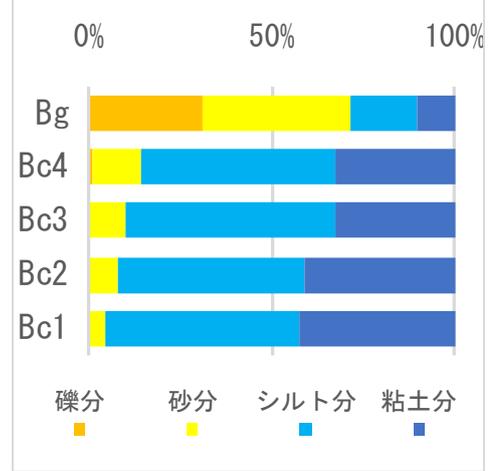
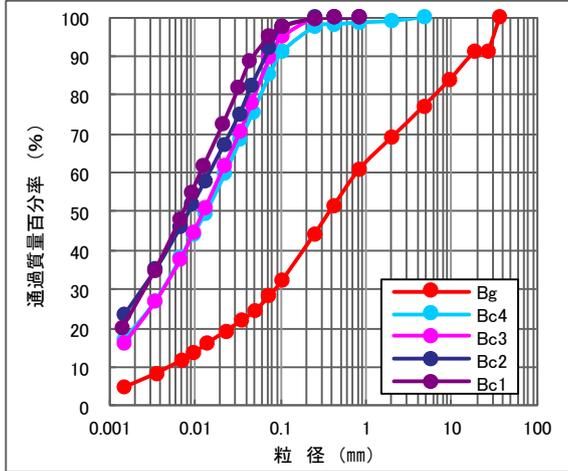


図 3.1.15 越辺川右岸 0.0k の堤体土質調査結果

上流部断面



下流部断面



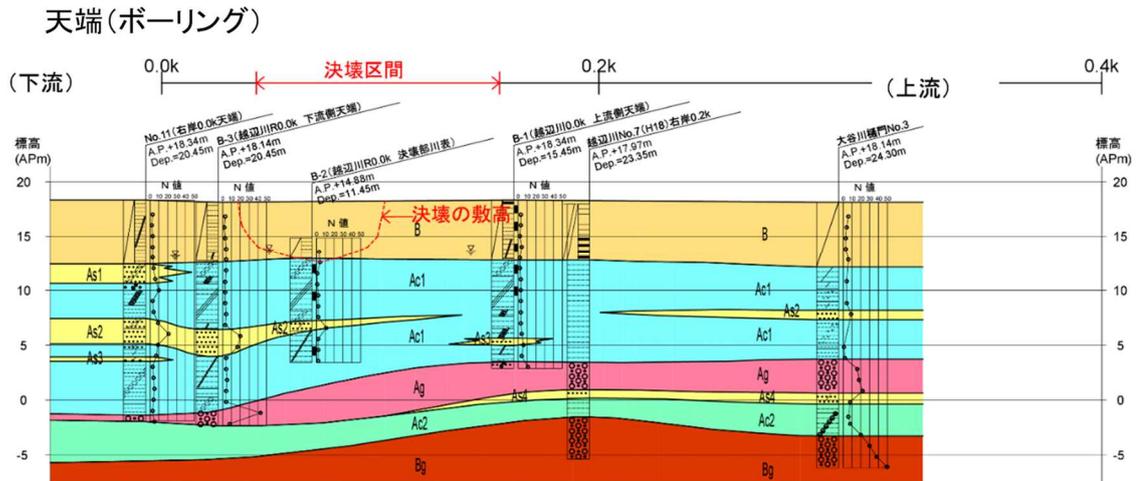
※令和元年10月時点の調査結果による

図 3.1.16 越辺川右岸 0.0k の堤体土の粒度分布

3) 基礎地盤の土質

基礎地盤についてもボーリング調査とスウェーデン式サウンディング調査の結果、主として粘性土層であることが確認された。

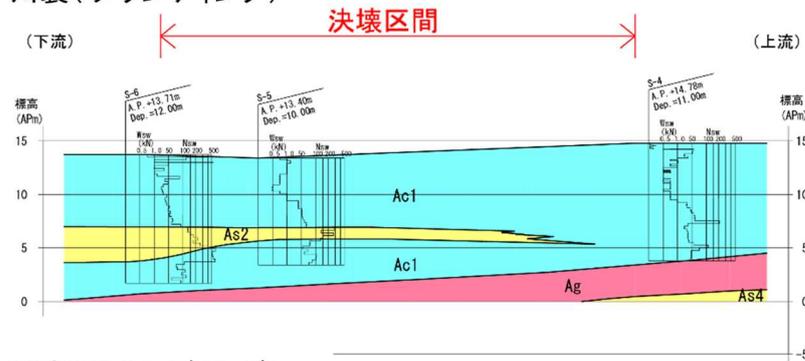
築堤が昭和 30～39 年の間と推定される決壊区間については、堤防が前後区間に比較してやや低いことが確認されたが、過去の横断測量図（昭和 50 年）と現在の横断測量図（平成 30 年）の重ね合わせ図では、それぞれ表のり肩の標高が、昭和 50 年は A.P.18.346m、平成 30 年は A.P.18.151m であり、昭和 50 年から平成 30 年の間において大きな圧密沈下については確認されなかった。



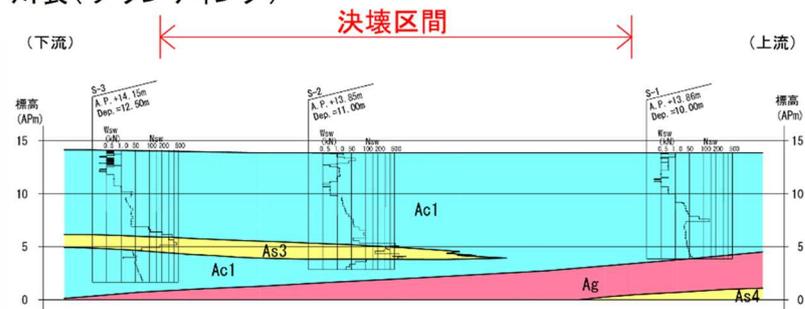
※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.1.17 ボーリング調査結果から推定される基礎地盤土質構造

川裏(サウンディング)



川表(サウンディング)



※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.1.18 サウンディング調査結果から推定される基礎地盤土質構造

(3) 浸透に対する安全性照査結果

堤体と基礎地盤の土質調査の結果に基づき、越辺川右岸 0.0k の決壊箇所の土質構造についてモデル化を行った。モデル化を行った断面は平面図上の A-A' 断面である。堤体土質は、決壊箇所の下流側の土層構成（平面図上の B-3）を投影してモデル化した。

※令和元年 10 月時点

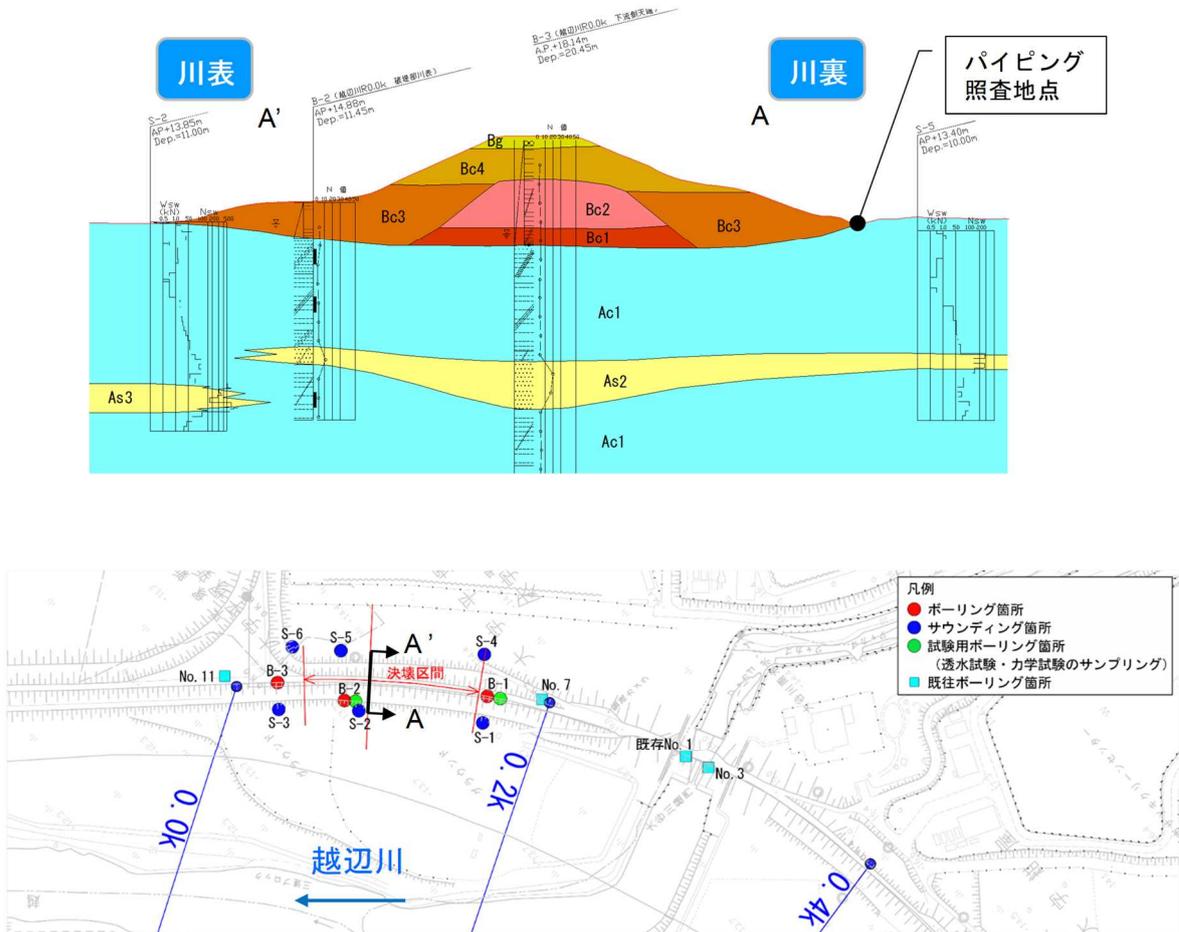


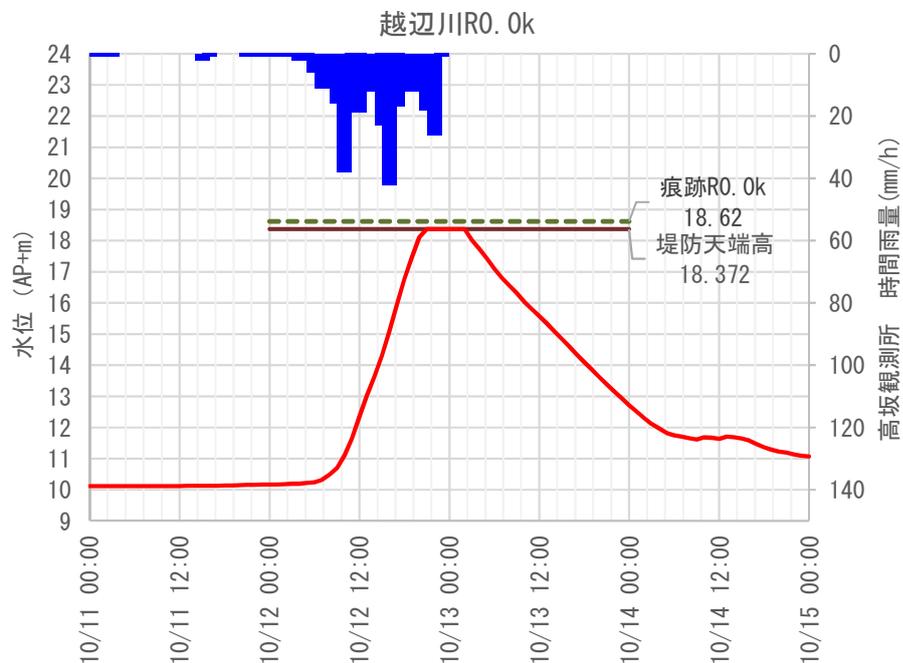
図 3.1.19 越辺川右岸 0.0k の堤体土質モデル

土質定数（粘着力と内部摩擦角）については、乱れの少ない（不攪乱）試料を採取して三軸圧縮試験等により設定し、透水係数については室内透水試験や粒度試験から設定を行った。検討外力については、今次出水の降雨、水位ハイドロにより設定（水位は観測地点から HWL 勾配で高さをスライドし、堤防天端高をピーク水位と仮定）して適用した。

表 3.1.1 越辺川右岸 0.0k において設定した土質定数

土質	湿潤単位 体積重量 (kN/m ³)	透水係数 (m/s)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	備考
Bg	18.00	2.28E-03	0.0	35	
Bc4	18.50	5.93E-07	45.0	0	
Bc3	18.50	3.00E-08	45.0	0	
Bc2	18.50	3.17E-08	45.0	0	
Bc1	18.50	1.65E-07	35.0	0	
Ac1	18.00	3.00E-08	35.0	0	
As2	18.00	2.60E-05	0.0	33	
As3	17.00	9.50E-06	0.0	28	
Ag	19.00	1.10E-05	0.0	28	

	乱れの少ない試料及び室内試験より設定
	現場透水試験より設定
	粒度試験より設定
	N値との相関関係より設定
	一般値（基準、指針等における図表より）
	類似地点や既往資料の値を代用

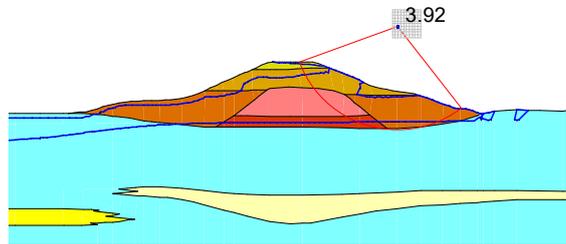


※洪水痕跡水位については図 3.1.12 を参照

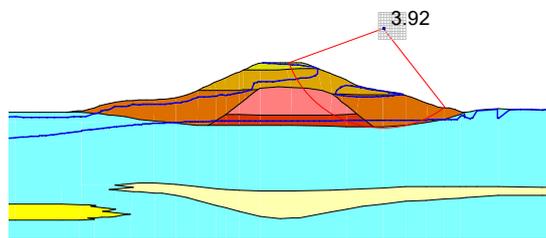
※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.1.20 越辺川右岸 0.0k の安全照査において設定した水位・降雨波形

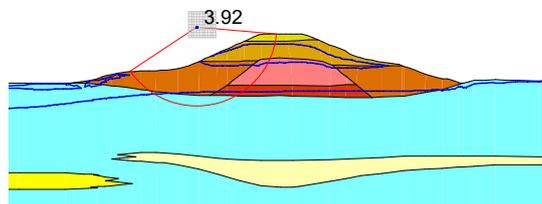
安全性照査については「河川堤防構造検討の手引き」（平成 24 年 7 月 JICE）に基づき実施し、その結果、裏のり安全率は $F_s=3.92$ 、表のりは $=3.92$ 、パイピングについては裏のり尻で実施しており、局所導水勾配が水平、鉛直ともに 0.00 となり、浸透に対する安全性を確保していることが明らかになった。



裏法 10/12 21 : 00



裏法 10/13 2 : 00



表法 10/14 4 : 00

【越辺川R0.0k】

モデル	時刻	表のり		裏のり		パイピング破壊	
		基準値	解析結果	基準値	解析結果	基準値	解析結果
・今回試験値を反映	天端到達時 10/12 21:00			$F_s \geq 1.32$	$F_s = 3.92$ (OK)	$i < 0.5$	ih(水平) = 0.00 (OK)
	越水終了時 10/13 2:00			$F_s \geq 1.32$	$F_s = 3.92$ (OK)		iv(鉛直) = 0.00 (OK)
	水位低下終了時 10/14 4:00	$F_s \geq 1.00$	$F_s = 3.92$ (OK)				

図 3. 1. 21 越辺川右岸 0. 0k の安全性照査結果

3.1.4. 侵食による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の侵食の状況

決壊箇所は、越辺川と小畔川の合流点付近で、越辺川の緩い湾曲部の外岸にあたるが、決壊区間の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できなかった。また、高水敷の侵食の痕跡も確認できなかった。



①ドローンによる撮影（10/14撮影）



②堤防川表法面状況（決壊区間上流より）（10/16撮影）

図 3.1.22 越辺川右岸 0.0k の堤防川表法面と高水敷の侵食状況

3.1.5. まとめ

越辺川右岸 0.0k の堤防決壊状況について要因別に以下にまとめる。

(1) 越水

決壊箇所の堤体や周辺の特徴から、川裏堤防洗掘、川裏側への植生、フェンスの倒壊が確認された。また、決壊箇所周辺の痕跡水位及び現地の状況より、越水範囲を推定し、痕跡水位は現況堤防高よりも高いことが確認された。これらより越水が決壊の要因になったと推定される。

(2) 浸透

決壊箇所の状況より、上下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されておらず、土質調査の結果、堤体は粘性土やシルト、基礎地盤は厚い粘性土が分布している。

土質調査に基づく解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満足していることから、浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

(3) 侵食

決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できず、高水敷の侵食の痕跡は確認できないことより、侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

3.2. 越辺川左岸 7.6k

3.2.1. 越辺川左岸 7.6k の状況と堤防決壊の概要

(1) 堤防決壊の概要

越辺川左岸 7.6k 付近の決壊は、九十九川水門の直上流において発生しており、越辺川（九十九川）の直線部にあたる。越水や決壊の時刻については深夜であったため確認されていない。決壊幅は最終的には約 40m に達している。

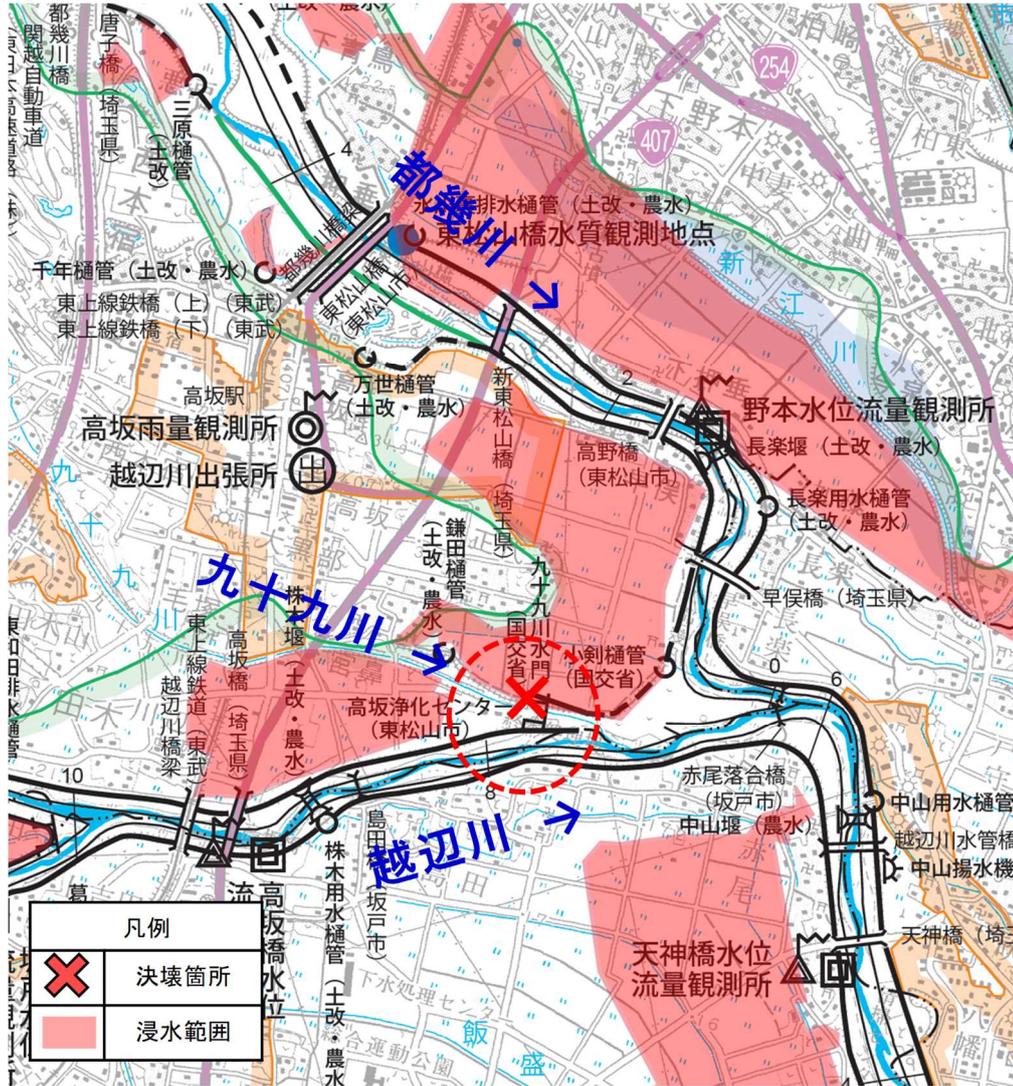


図 3.2.1 越辺川（九十九川）左岸 7.6k 決壊箇所の位置図



川側からの写真



上流側からの写真



下流側からの写真

図 3.2.2 越辺川（九十九川）左岸 7.6k 決壊後のドローンによる空撮（2019/10/14 撮影）

(2) 決壊箇所の落堀の状況

落堀については確認されなかった。



図 3.2.3 越辺川（九十九川）左岸 7.6k 決壊後のドローンによる空撮（2019/10/14 撮影）

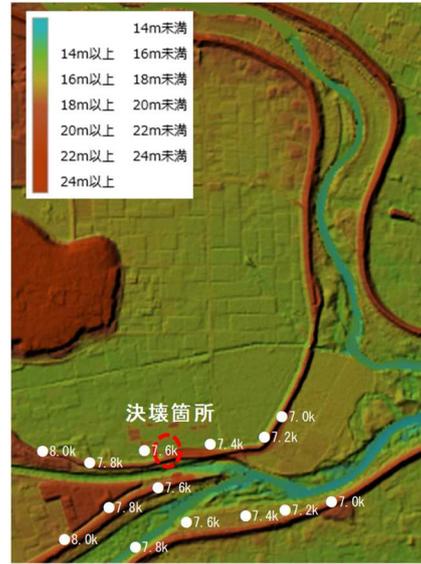
(3) 越流水の拡散状況

氾濫の様子を撮影した空撮写真や、氾濫原の地形から、3.2.2 越水による堤防決壊の可能性の検討において記述したが、堤内地のフェンスの堤内地側への倒壊が見られることから、越流水は九十九川（越辺川）左岸、都幾川右岸の堤内地へ拡散したと考えられる。



氾濫流の様子（10/13撮影）

出典：国土地理院地図



氾濫原の地形（標高）

出典：国土地理院地図



越流水の推定

出典：国土地理院地図

図 3.2.4 越辺川（九十九川）左岸 7.6k 決壊箇所の越流水の推定図

(4) 決壊箇所の堤防の変遷

決壊箇所付近の河道の変遷を見ると、堤防の位置は明治初期（迅速測図）から現在に至るまで大きな変化はない。なお、H23に九十九川水門が完成し運用を開始している。

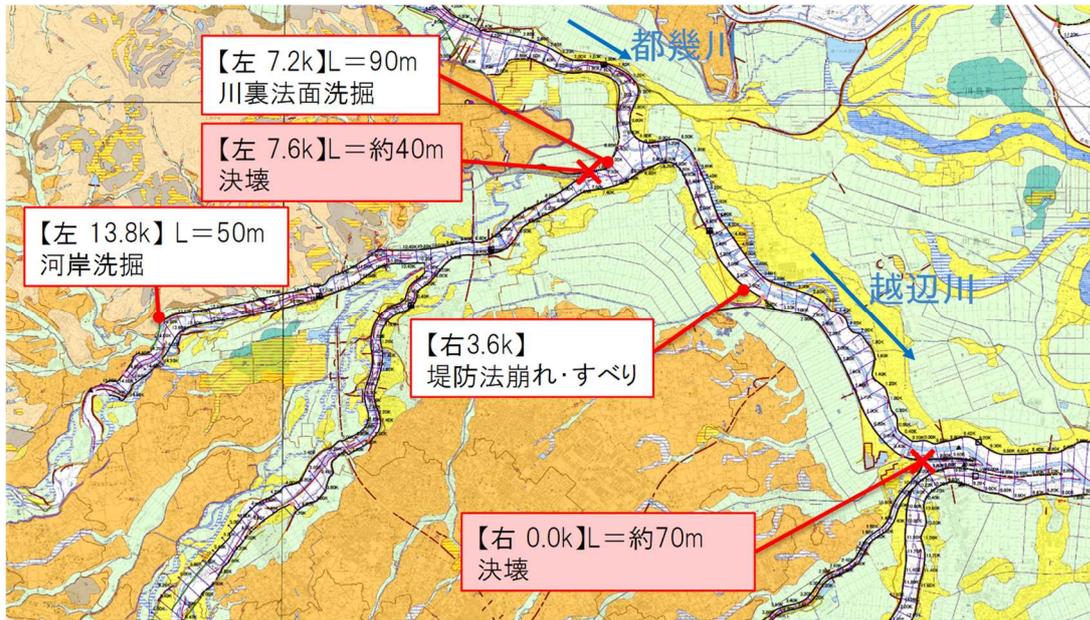
出典：農研機構農業環境研究センターHP 比較地図より加筆作製



図 3. 2. 5 越辺川（九十九川）左岸 7. 6k 付近の堤防の変遷

(5) 決壊箇所の治水地形

越辺川（九十九川）左岸 7.6k は、治水地形分類図上によると氾濫平野に分類されており、治水地形上の要注意地形には当たらない。



凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地				
台地・段丘		段丘面		
		崖(段丘崖)		
		浅い谷		
低地	山麓堆積地形			
	扇状地			
	氾濫平野			
	氾濫平野		後背湿地	
	扇状地, 氾濫平野	微高地(自然堤防)		
		旧河道	旧河道(明瞭)	
	旧河道(不明瞭)			
	落堀			
	砂州・砂丘			

図 3.2.6 越辺川（九十九川）左岸 7.6k 付近の治水地形分類図

3.2.2. 越水による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の堤体の特徴

決壊箇所上流の堤防川裏部の越水によると推定される川裏側への植生の倒が確認される。また、越水した状況を裏付けるように、堤内地のフェンスの堤内地側への倒壊が見られた。一方、3.2.1(2)決壊箇所の落堀の状況で示したとおり、越水の痕跡である落堀は確認されていない。



①川裏部の川裏側への植生の倒伏



②フェンスの倒壊



図 3.2.7 越辺川（九十九川）左岸 7.6k 決壊箇所付近の状況（2019/10/16 撮影）

(2) 痕跡水位の状況

越辺川左岸 7.6k 付近の痕跡水位と現況堤防高の比較図を示す。これによると、決壊箇所付近の、越辺川左岸 7.6k と 7.8k (九十九川) の痕跡水位 (緑点) は現況堤防高 (緑線) を上回ることで、また痕跡水位は天端の漂流物を計測しており天端高よりも高い水位であったことが疑われることより、越水範囲は 7.6k ~7.8k と推定される。

また、越辺川左岸 7.6k (九十九川) の痕跡水位は、天端の痕跡水位であり、それよりも高い水位の可能性があったことも考えられるため、現況堤防高 (九十九川) の定期縦横断測量結果の現況堤防高との差より、越水深は少なくとも 40cm 以上であったと推定される。

※令和元年 10 月時点の調査結果による

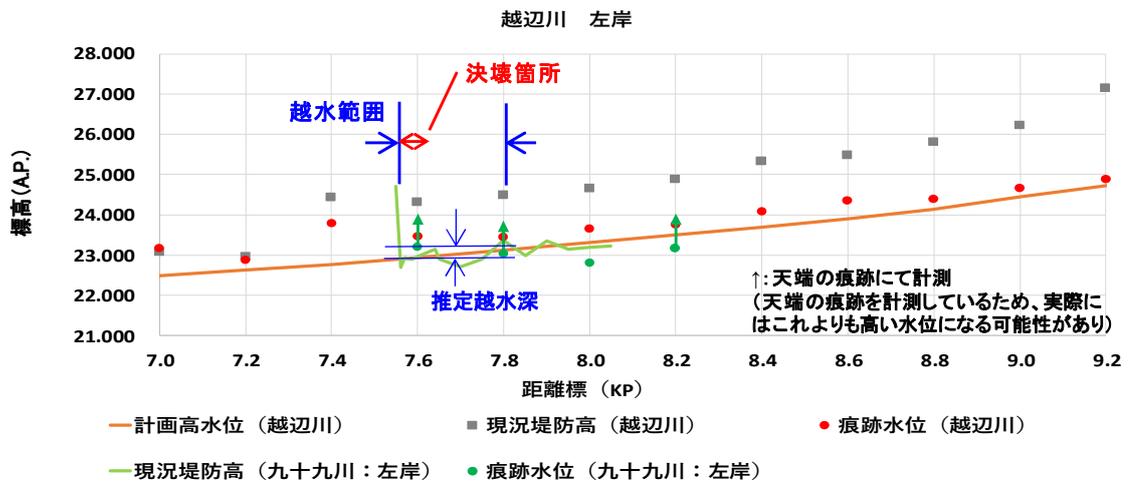


図 3.2.8 越辺川 (九十九川) 左岸 7.6k 付近の痕跡水位と現況堤防高

左岸 7.6k



左岸 7.8k



図 3.2.9 越辺川 (九十九川) 左岸 7.6k と 7.8k の洪水痕跡

3.2.3. 浸透による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の噴砂の状況

越辺川（九十九川）左岸 7.6k 付近の目視による調査によると、噴砂等は確認されていない。



図 3.2.10 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の決壊箇所付近の堤内地の状況（2019/10/16 撮影）

(2) 決壊箇所の土質調査結果

1) 土質調査箇所

越辺川（九十九川）左岸 7.6k における土質調査は、ボーリング 2 箇所とスウェーデン式サウンディング 3 箇所実施しており、決壊箇所上流近傍に天端からボーリング 1 箇所、表と裏のり尻にスウェーデン式サウンディング各々 1 箇所、決壊箇所の表のり尻付近の基礎地盤にボーリング 1 箇所、裏のり尻付近のスウェーデン式サウンディング 1 箇所の土質調査を行っている。

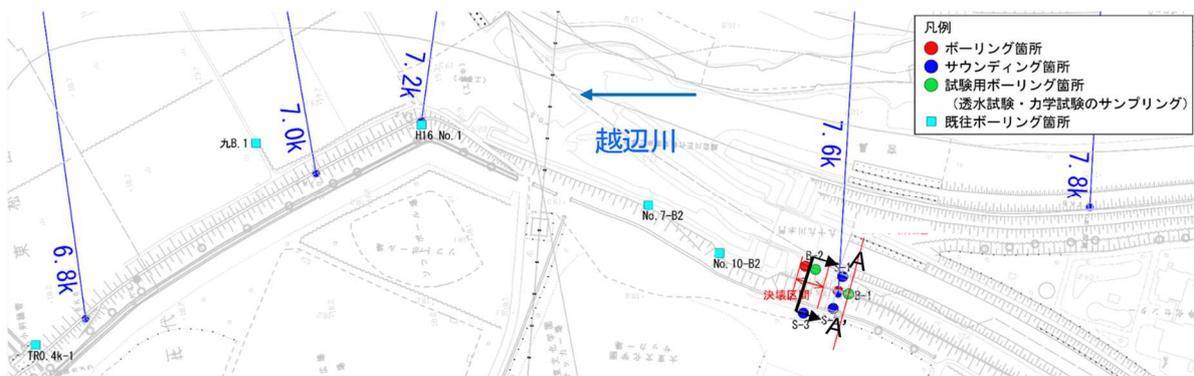


図 3.2.11 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の土質調査箇所

2) 堤体の土質

堤体部分は表のりの一部に Bs (砂質土) で構成される部分があるが、粒度分布からも大半が粘性土で構成されていることが確認された。

上流端部断面

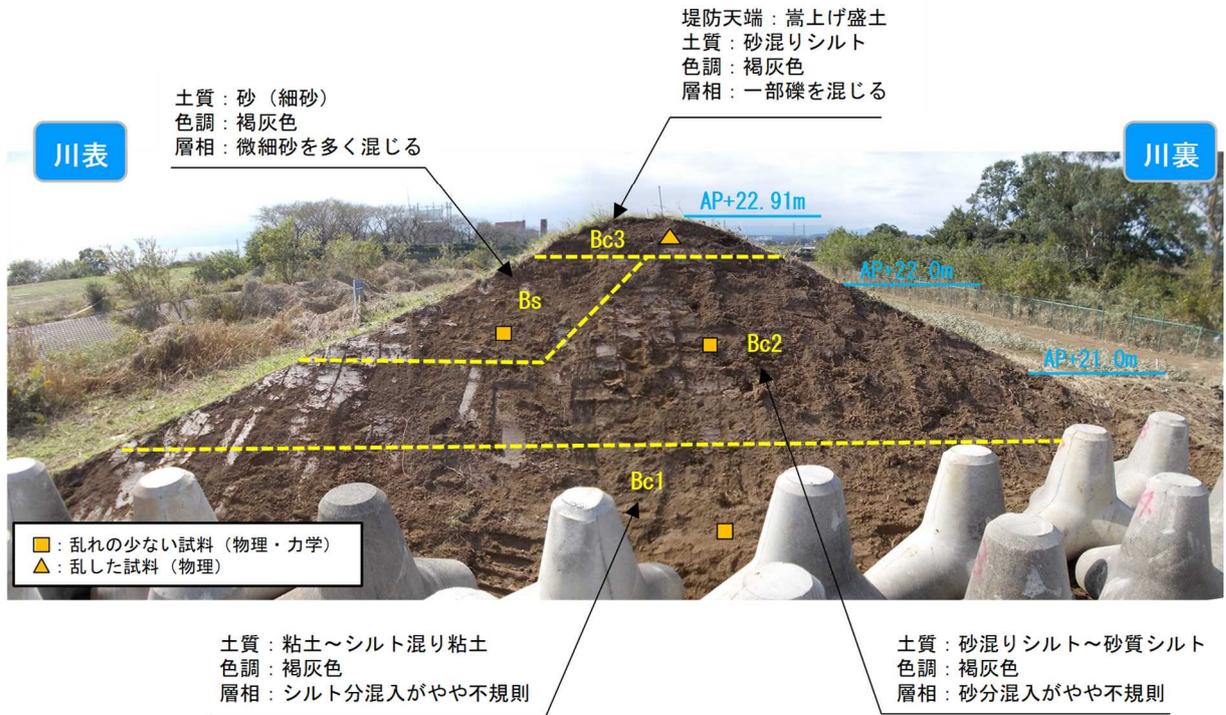


図 3.2.12 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の堤体土質調査結果

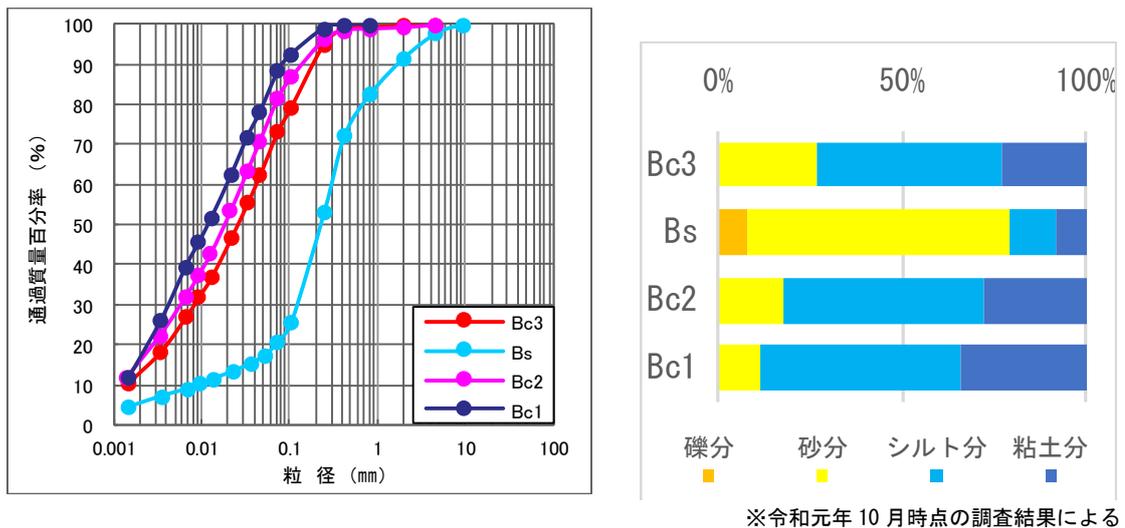
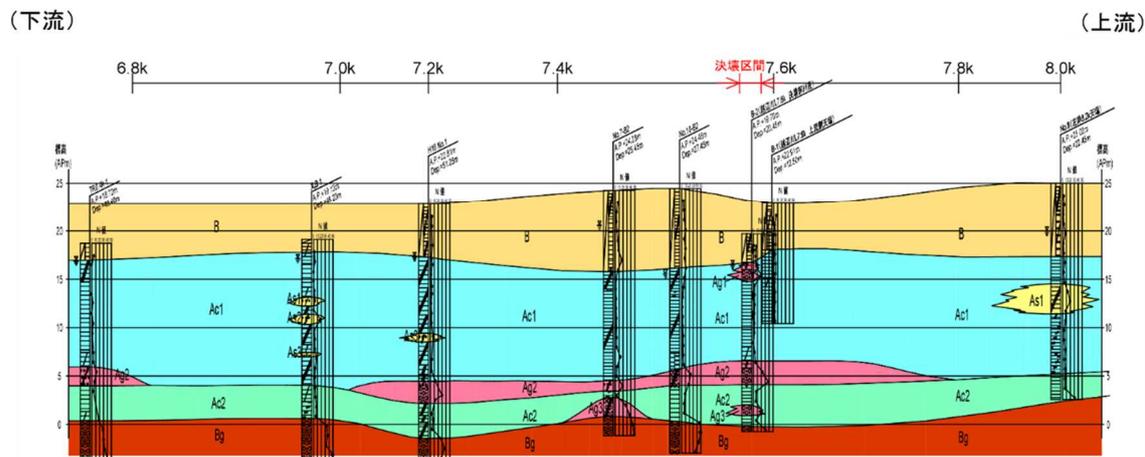


図 3.2.13 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の堤体土の粒度分布

3) 基礎地盤の土質

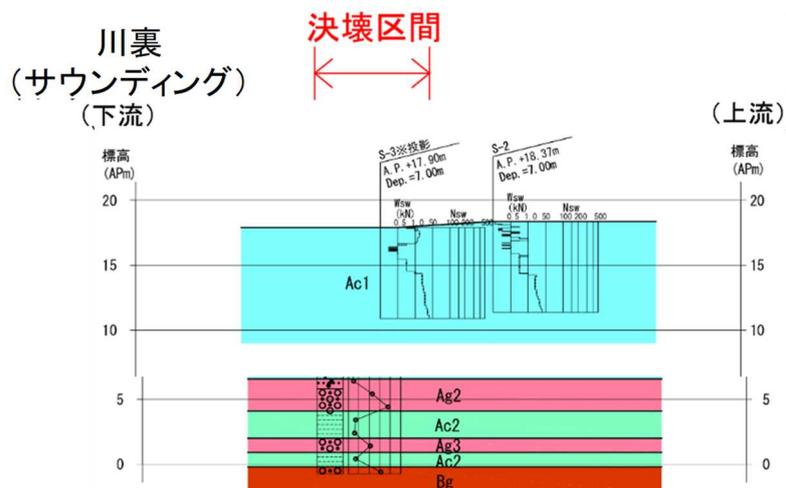
基礎地盤についてもボーリング調査とスウェーデン式サウンディング調査の結果、主として粘性土層であることが確認された。

天端(ボーリング)



※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.2.14 ボーリング調査結果から推定される基礎地盤土質構造

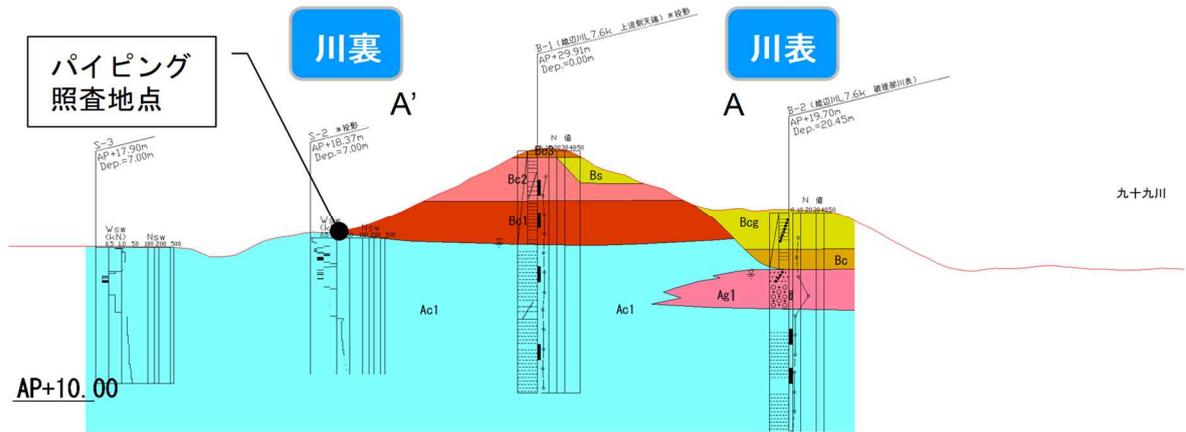


※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.2.15 サウンディング調査結果から推定される基礎地盤土質構造

(3) 浸透に対する安全性照査結果

堤体と基礎地盤の土質調査の結果に基づき、越辺川（九十九川）左岸 7.6k の決壊箇所の土質構造についてモデル化を行った。モデル化を行った断面は平面図上の A-A' 断面である。堤体土質は、決壊箇所の上流側の土層構成（平面図上の B-1）を投影してモデル化した。



※令和元年 10 月時点の調査結果による

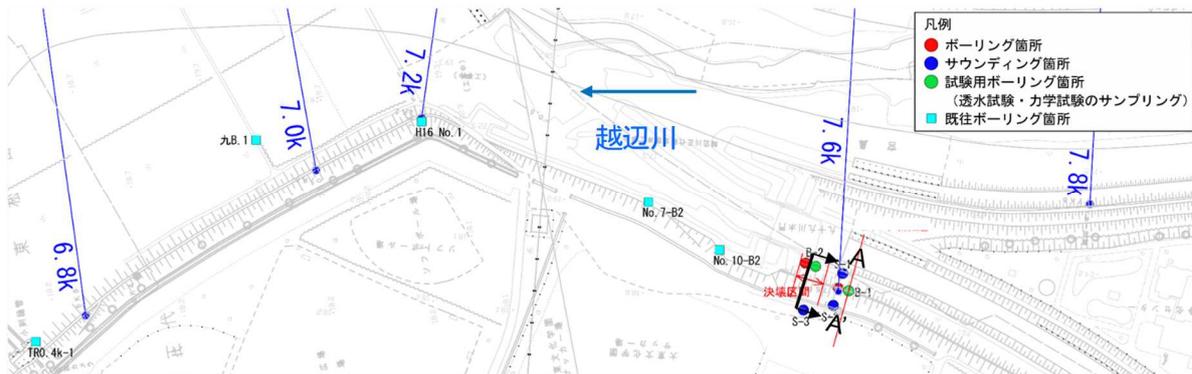


図 3.2.16 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の堤体土質モデル

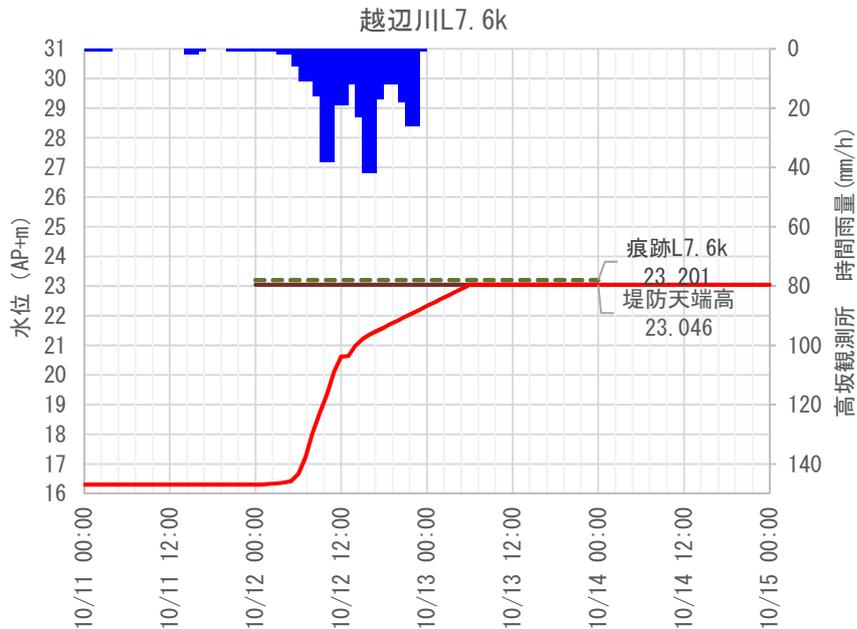
土質定数（粘着力と内部摩擦角）については、乱れの少ない（不攪乱）試料を採取して三軸圧縮試験等により設定し、透水係数については室内透水試験や粒度試験から設定を行った。検討外力については、今次出水の降雨、水位ハイドロにより設定（水位は観測地点から HWL 勾配で高さをスライドし、堤防天端高をピーク水位と仮定）して適用した。

表 3.2.1 越辺川（九十九川）左岸 7.6k において設定した土質定数

土質	湿潤単位体積重量 (kN/m ³)	透水係数 (m/s)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	備考
Bc3	16.00	3.00E-08	35.0	0	
Bs	16.00	2.78E-06	4.0	30	
Bc2	18.00	5.05E-07	35.0	0	
Bc1	18.00	4.57E-08	40.0	0	
Bcg	18.00	1.39E-06	40.0	0	
Bc	18.00	3.00E-08	30.0	0	
Ac1	17.00	3.00E-08	50.0	0	
Ag1	19.00	1.48E-04	0.0	34	
Ag2	20.00	1.48E-04	0.0	33	Ag1試験値を準用
Ac2	18.50	3.00E-08	40.0	0	Ac1試験値を準用
Ag3	20.00	1.48E-04	0.0	33	Ag1試験値を準用

	乱れの少ない試料及び室内試験より設定
	現場透水試験より設定
	粒度試験より設定
	N値との相関関係より設定
	一般値（基準、指針等における図表より）
	類似地点や既往資料の値を代用

※青字は詳細点検の類似層を準用（備考欄参照）

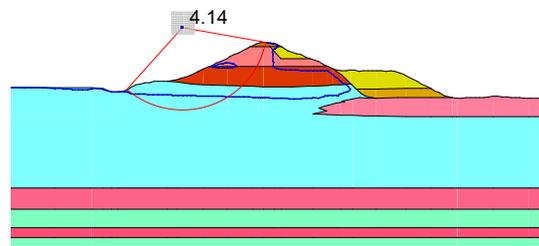


※洪水痕跡水位については、図 3.2.9 を参照

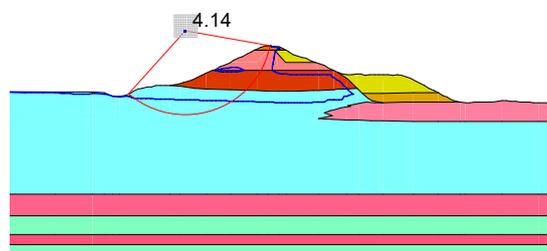
※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.2.17 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の安全性照査において設定した水位・降雨波形

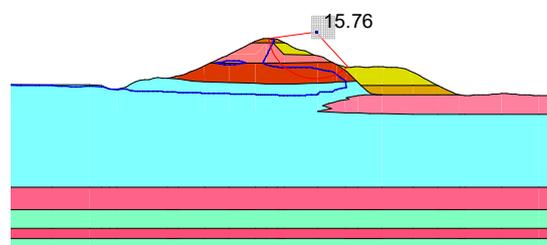
安全性照査については「河川堤防構造検討の手引き」（平成 24 年 7 月 JICE）に基づき実施し、その結果、裏のり安全率は $F_s=4.14$ 、表のりは $=15.76$ 、パイピングについては裏のり尻で実施しており、局所導水勾配が水平、鉛直ともに 0.00 となり、浸透に対する安全性を確保していることが明らかになった。



裏法 10/13 6 : 00



裏法 10/13 13 : 00



表法 10/14 0 : 00
(※都幾川終了時と同時刻を出力)

【越辺川L7.6k】

モデル	時刻	表のり		裏のり		パイピング破壊	
		基準値	解析結果	基準値	解析結果	基準値	解析結果
・今回試験値を反映	天端到達時 10/13 6:00			$F_s \geq 1.32$	$F_s=4.14$ (OK)	$i < 0.5$	ih(水平) = 0.00 (OK)
	越水終了時 10/13 13:00			$F_s \geq 1.32$	$F_s=4.14$ (OK)		iv(鉛直) = 0.00 (OK)
	水位低下終了時 10/14 0:00	$F_s \geq 1.00$	$F_s=15.76$ (OK)				

図 3.2.18 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の安全性照査結果

3.2.4. 侵食による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の侵食の状況

決壊箇所は、九十九川水門の直上流で九十九川の直線部にあたるが、水門は閉まっていたことから流速はほとんどなかったと推定される。

決壊区間の上流では川表法面の侵食の痕跡は確認できなかった。また高水敷の河岸侵食の痕跡も確認できなかった。



① ドローンによる撮影（10/14撮影）



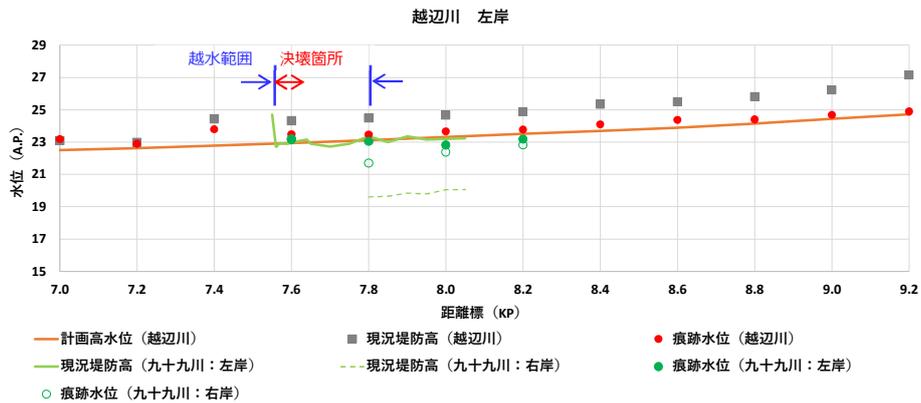
② 堤防川表法面状況（決壊区間上流より）（10/16撮影）

図 3.2.19 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の堤防川表法面と高水敷の侵食状況

3.2.5. その他の堤防決壊の可能性の検討

(1) 水門の影響

越辺川左岸 7.6k の決壊における水門の影響であるが、今回の出水時は、越辺川の水位が上昇した時点で逆流防止のために水門を閉鎖したため、九十九川の水位が上昇し、その後九十九川右岸の 7.8k、8.0k 付近から越水が発生、その後さらに水位が上昇して、今度は越辺川（九十九川）左岸 7.6k の付近から越水が発生、九十九川水門との堤防隅角部に越流水が集中し、洗掘が発生、さらに越水することで洗掘が助長された後、決壊したと推定される。



※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.2.20 越辺川（九十九川）左岸 7.6k の九十九川痕跡水位と現況堤防高

【①越水前】



【②上流部での越水の開始】



【③堤防隅角部の洗掘】



【④決壊】



図 3.2.21 越辺川（九十九川）左岸 7.6k 付近の推定される越水状況

3.2.6. まとめ

越辺川（九十九川）左岸 7.6k の堤防決壊状況について要因別に以下にまとめる。

(1) 越水

川裏部の植生の堤内側への倒伏、フェンスの倒壊が確認された。また、痕跡水位及び現地状況より、越水範囲を推定し、痕跡水位は現況堤防高よりも高いことが確認された。これらより、越水が決壊の要因になったと推定される。

(2) 浸透

決壊箇所の状況より、上下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されておらず、堤体は粘性土やシルト、基礎地盤は厚い粘性土が分布している。

土質調査に基づく解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満足していることから、浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

(3) 侵食

決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できず、高水敷の侵食の痕跡は確認できないことより、侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できず、高水敷の侵食の痕跡は確認できないことにより、侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

(4) その他

越辺川の逆流防止のために水門を閉鎖し、九十九川の水位が上昇、九十九川水門との堤防隅角部に越流水が集中し、洗掘が発生、決壊したと推定される。

3.3. 都幾川右岸 0.4k

3.3.1. 都幾川右岸 0.4k の状況と堤防決壊の概要

(1) 堤防決壊の概要

都幾川右岸 0.4k 付近の決壊は、都幾川と越辺川の合流点付近で都幾川の緩い湾曲部外岸にあたる。被災区間の堤防幅は、直下流の堤防幅に比較して狭くなっている。越水や決壊の時刻については深夜であったため確認されていない。決壊幅は最終的には約 90m に達している。

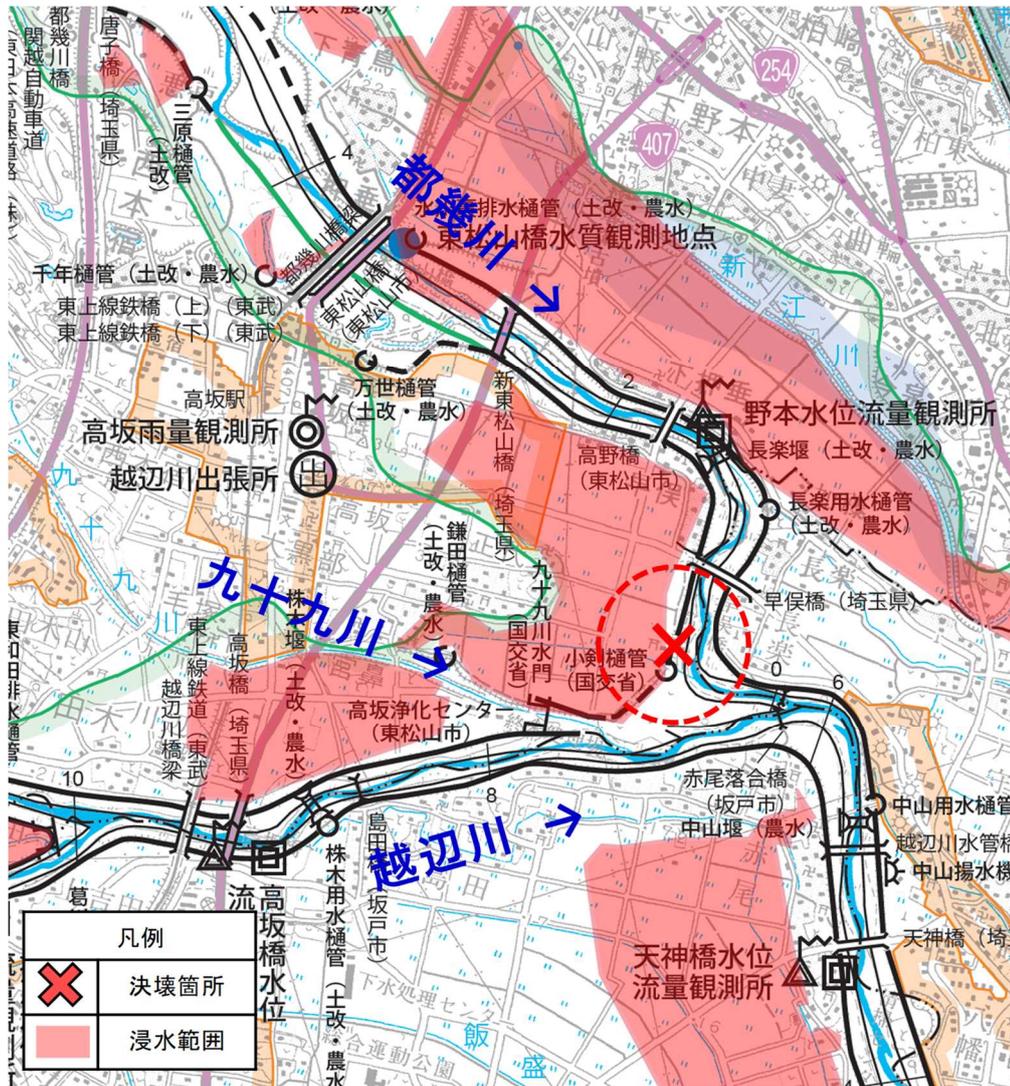
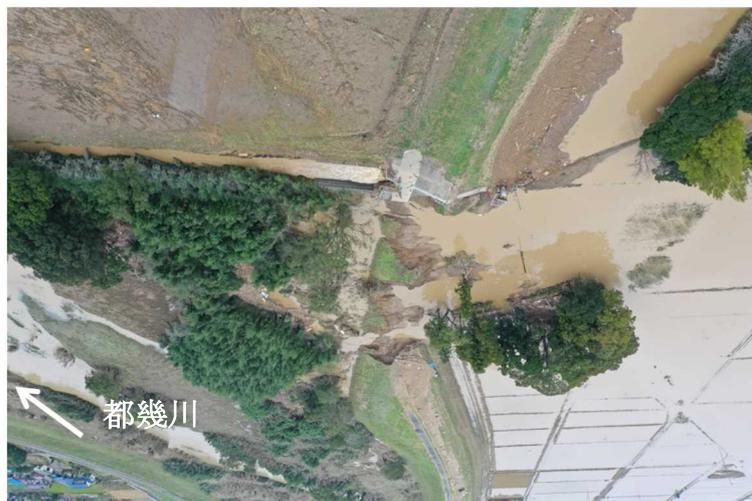


図 3.3.1 都幾川右岸 0.4k 決壊箇所の位置図



上流側からの写真



下流側からの写真（写真は反転している）



上流側からの写真（樋管部）

図 3.3.2 都幾川右岸 0.4k 決壊後のドローンによる空撮（2019/10/14 撮影）

(2) 決壊箇所の落堀の状況

都幾川右岸 0.4k の決壊箇所付近には、越流水によって形成されたと推定される落堀複数が確認される。写真の状況から見て、洪水流が 3 本発生していたと推測できる。落堀は堤防残存部を挟んで堤防縦断方向に 2 箇所確認できるが、最下流樋門直近のものは明確な落堀として確認できなかった。

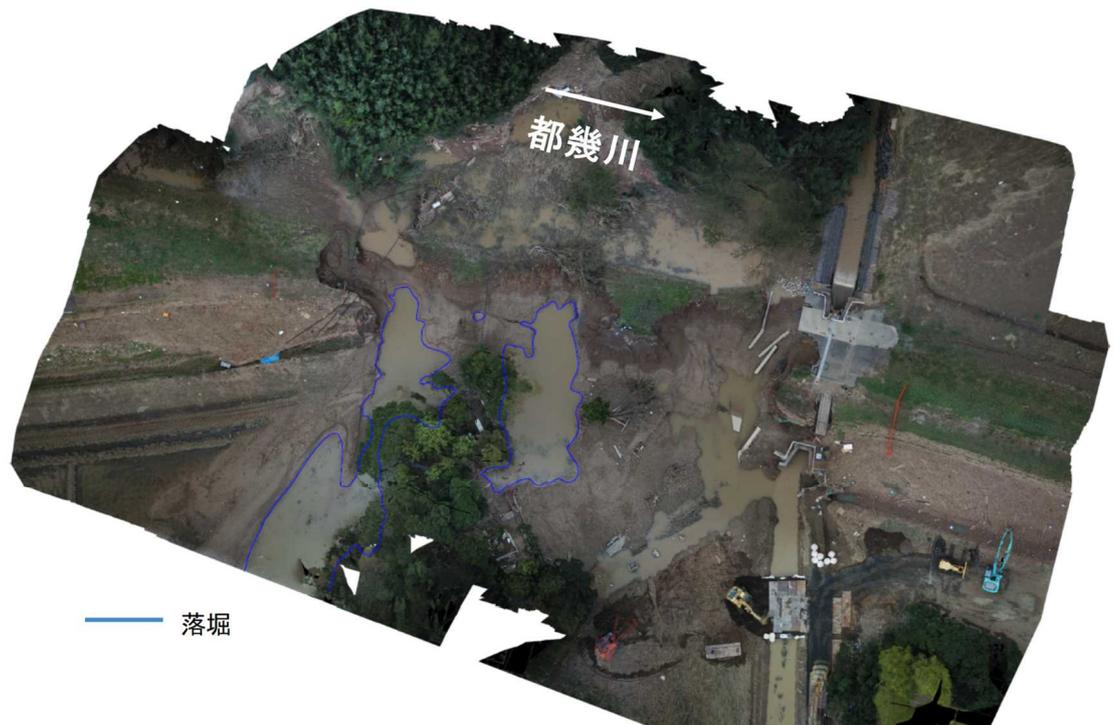


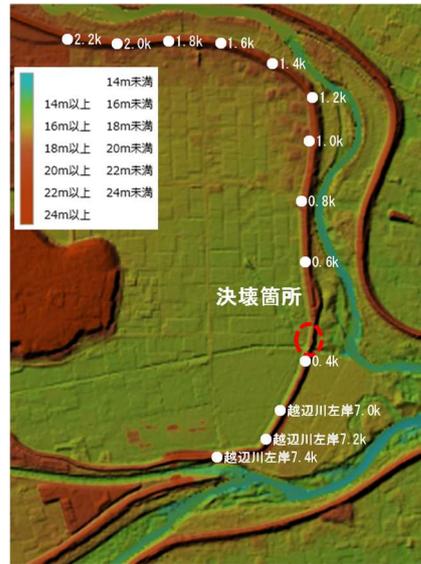
図 3.3.3 都幾川右岸 0.4k の落堀

(3) 越流水の拡散状況

氾濫の様子を撮影した空撮写真や、氾濫原の地形から、3.1.3 越水による堤防決壊の可能性の検討において記述したが、堤内地の樹木が堤内地側に倒れていることから、越流水は都幾川右岸、越辺川左岸の堤内地へ拡散したと考えられる。



氾濫流の様子 (10/13撮影)
出典：国土地理院地図



氾濫原の地形 (標高)
出典：国土地理院地図



氾濫流の推定
出典：国土地理院地図

図 3.3.4 都幾川右岸 0.4k 決壊箇所の越流水の推定図

(4) 決壊箇所の堤防の変遷

決壊箇所付近の河道の変遷を見ると、堤防の位置は明治初期（迅速測図）から現在に至るまで大きな変化はない。



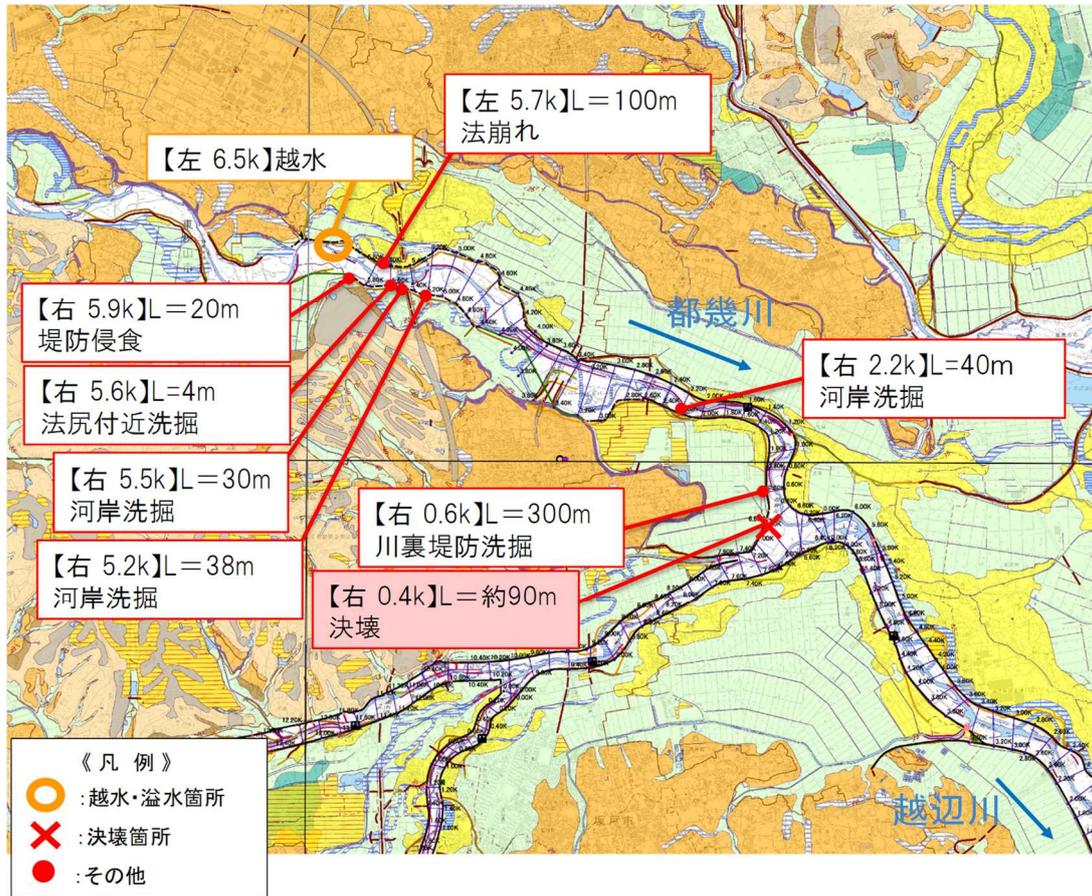
出典：農研機構農業環境研究センターHP 比較地図より加筆作製



図 3.3.5 都幾川右岸 0.4k 付近の堤防の変遷

(5) 決壊箇所の治水地形

都幾川右岸 0.4k は、治水地形分類図上によると氾濫平野に分類されており、治水地形上の要注意地形には当たらない。



凡例

大分類	中分類	小分類	細分類	記号	
山地					
台地・段丘		段丘面			
		崖(段丘崖)			
		浅い谷			
低地	山麓堆積地形				
	扇状地				
	氾濫平野				
	氾濫平野	後背湿地			
	扇状地, 氾濫平野	微高地(自然堤防)			
		旧河道	旧河道(明瞭)		
	旧河道(不明瞭)				
	落堀				
砂州・砂丘					

図 3.3.6 都幾川右岸 0.4k 付近の治水地形分類図

なお、都幾川左岸 6.5k と左岸 5.9k については第 3 回委員会時点では、事務局はそれぞれ越水と侵食と考えていたが、被災の規模が大きいことから令和 2 年 4 月 10 日新たにこの 2 箇所を堤防決壊箇所として位置づけている。

3.3.2. 越水による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の堤体の特徴

決壊箇所は約 90m であり、決壊箇所上流側に川裏堤防洗掘 (①) と下流側に川裏部の侵食が見られる (②)。また、決壊箇所上流の天端に漂流物 (流木等) が見られる (③)。

決壊箇所直近の堤内地の樹木は、堤内地側に倒れている (④⑤)。

また、3.3.1(2)決壊箇所の落堀の状況に示したとおり、決壊箇所には越水の痕跡である落堀が形成されている。

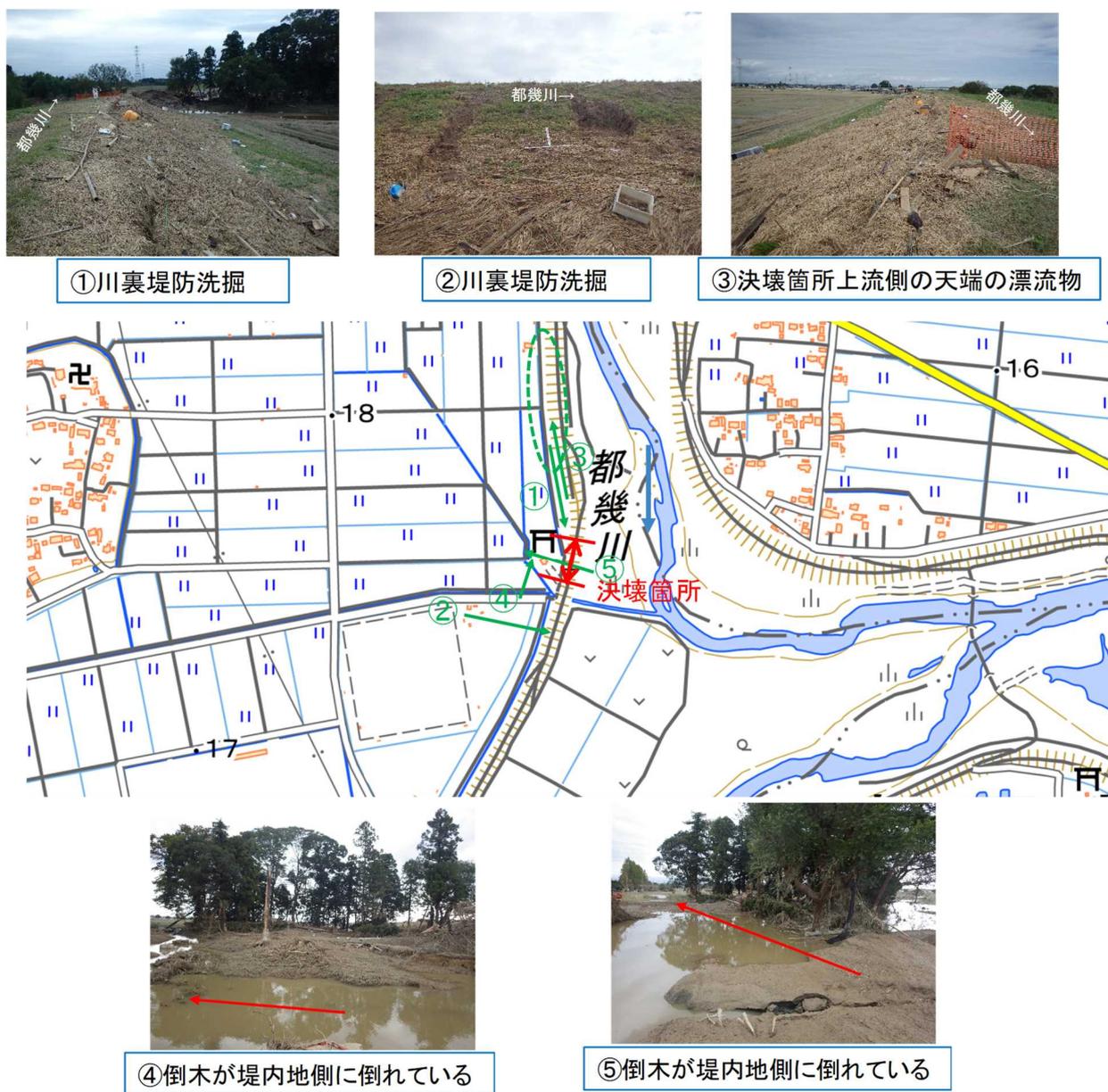
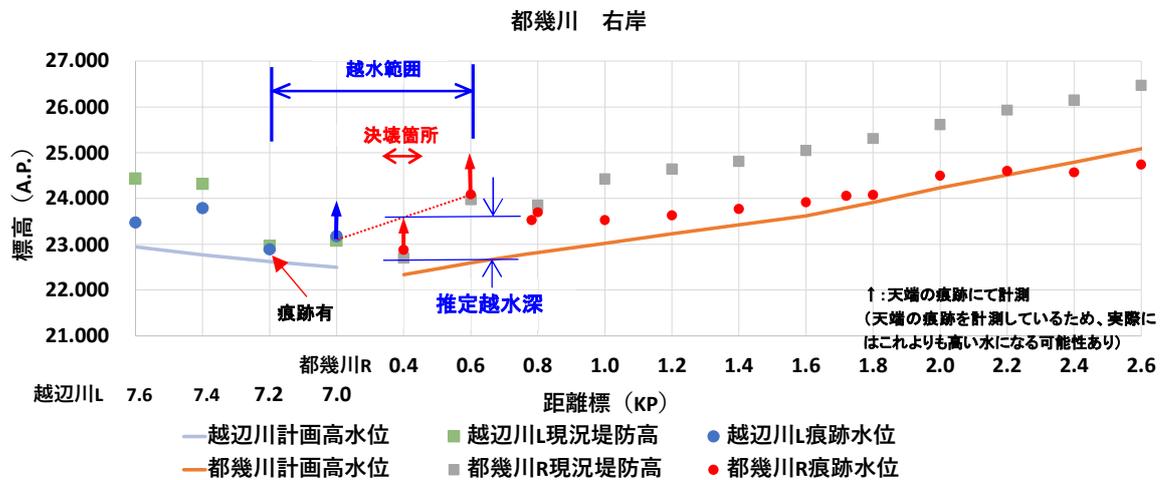


図 3.3.7 都幾川右岸 0.4k の決壊箇所付近の状況

(2) 痕跡水位の状況

都幾川右岸 0.4k の痕跡水位と現況堤防高の比較図を示す(距離標の位置については図 3.3.4 参照)。これによると、越辺川左岸 7.2k で堤防の天端に痕跡があること、越辺川左岸 7.0k～都幾川右岸 0.6k の痕跡水位は現況堤防高を上回ること、また痕跡水位は天端の漂流物を計測しており天端高よりも高い水位であったことが疑われることより、越水範囲は越辺川左岸 7.2k～都幾川右岸 0.6k と推定される。

また、都幾川右岸 0.4k は天端の痕跡水位であり、それよりも高い水位の可能性があったことも考えられるため、越辺川左岸 7.0k と都幾川右岸 0.6k の痕跡水位から都幾川右岸 0.4k の痕跡水位を推定した結果と都幾川右岸 0.4k の定期縦横断測量結果の現況堤防高との差より、推定される越水深は最小でも約 90cm 以上と推定される。



※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.3.8 都幾川右岸 0.4k 付近の痕跡水位と現況堤防高

越辺川左岸7.0k



右岸0.4k



右岸0.6k



図 3.3.9 越辺川左岸 7.0k、都幾川右岸 0.4k、0.6k の洪水痕跡

3.3.3. 浸透による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の噴砂の状況

都幾川右岸 0.4k 付近の目視による調査によると、噴砂等は確認されていない (①、③)。100m 程度下流側でも噴砂等は確認されない (②)。



図 3.3.10 都幾川右岸 0.4k 付近の堤内地の状況 (2019/10/16 撮影)

(2) 決壊箇所の土質調査結果

1) 土質調査箇所

都幾川右岸 0.4k における土質調査は、ボーリング 3 箇所とスウェーデン式サウンディング 5 箇所実施しており、決壊箇所上流近傍に天端から 1 箇所、決壊箇所下流近傍に天端から 1 箇所、決壊箇所表のりに落堀を避けて 1 箇所の計 3 箇所のボーリングと、決壊箇所上流近傍のボーリング箇所の表と裏のり尻にスウェーデン式サウンディング各々 1 箇所、決壊箇所の堤内地にスウェーデン式サウンディング 1 箇所の計 5 箇所のスウェーデン式サウンディングによる土質調査を行っている。



図 3.3.11 都幾川右岸 0.4k の土質調査箇所

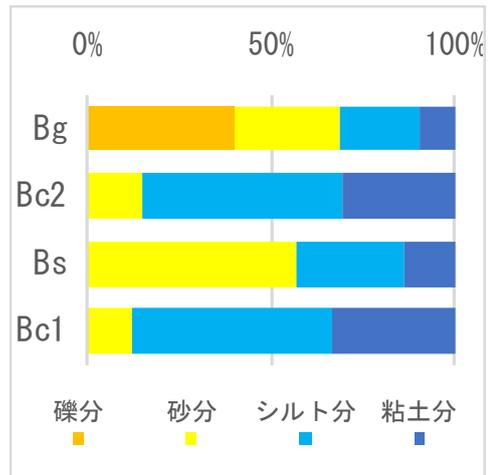
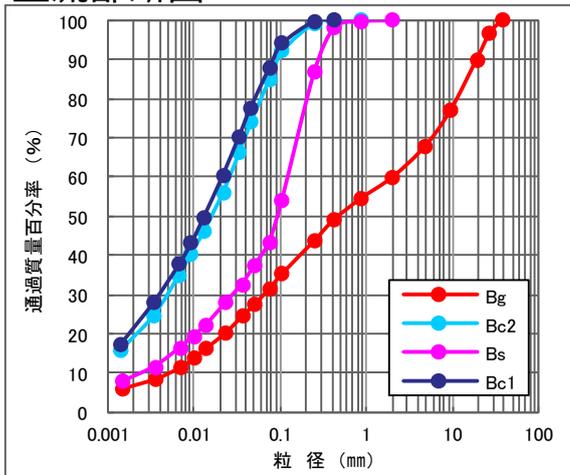
2) 堤体の土質

堤体部分の Bc1~Bc5 の部分は粒度分布からも粘土分やシルト分の割合が多く、堤体の土質は粘性土で構成されていることが確認された。

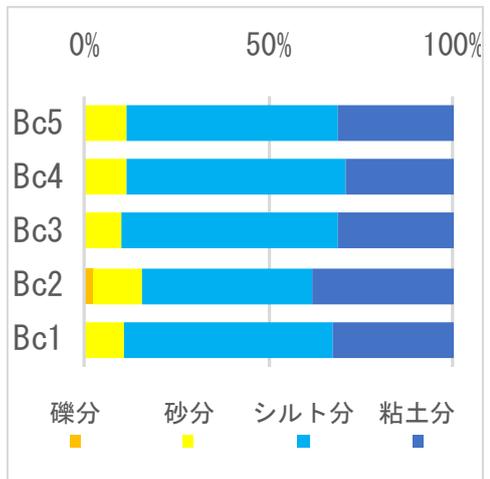
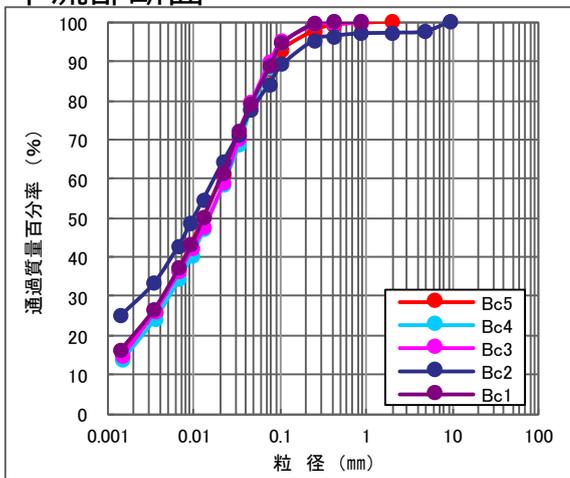


図 3.3.12 都幾川右岸 0.4k の堤体土質調査結果

上流部断面



下流部断面

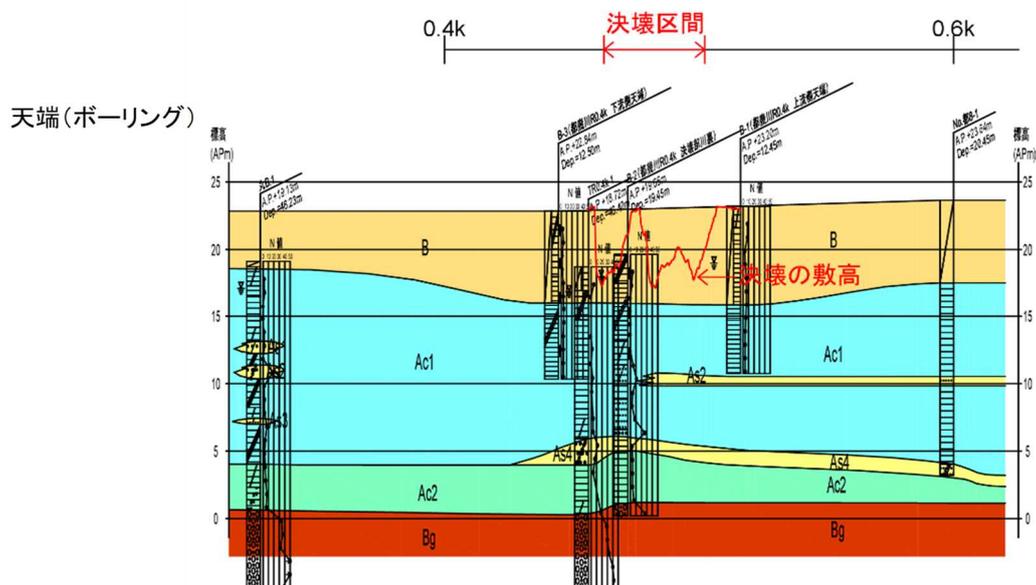


※令和元年10月時点の調査結果による

図 3.3.13 都幾川右岸 0.4k の堤体土の粒度分布

3) 基礎地盤の土質

基礎地盤についてもボーリング調査とスウェーデン式サウンディング調査の結果、主として粘性土層であることが確認された。

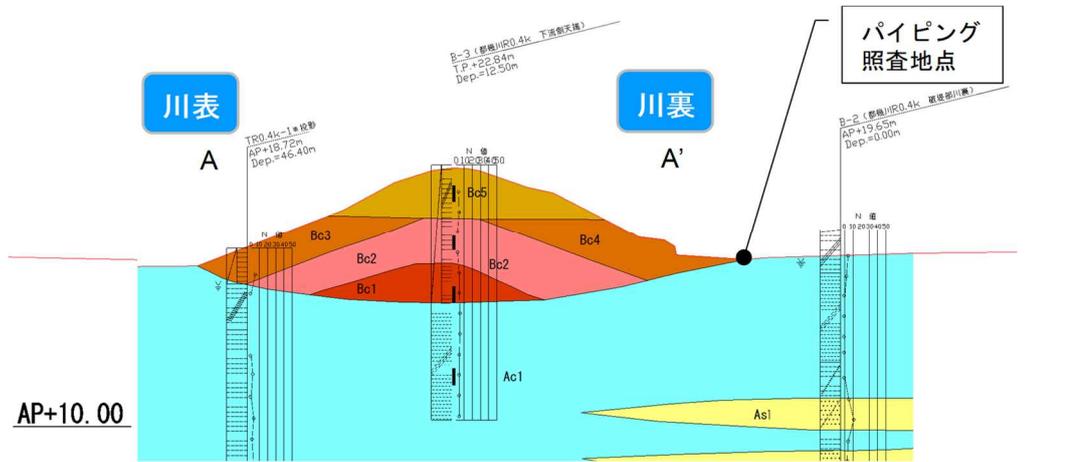


※令和元年10月時点の調査結果による

図 3.3.14 都幾川右岸 0.4k のボーリング調査結果から推定される基礎地盤土質構造

(3) 浸透に対する安全性照査結果

堤体と基礎地盤の土質調査の結果に基づき、都幾川右岸 0.4k の決壊箇所の土質構造についてモデル化を行った。モデル化を行った断面は平面図上の A-A' 断面である。堤体土質は、決壊箇所の下流側の土層構成（平面図上の B-3）を投影してモデル化した。



※令和元年 10 月時点の調査結果による



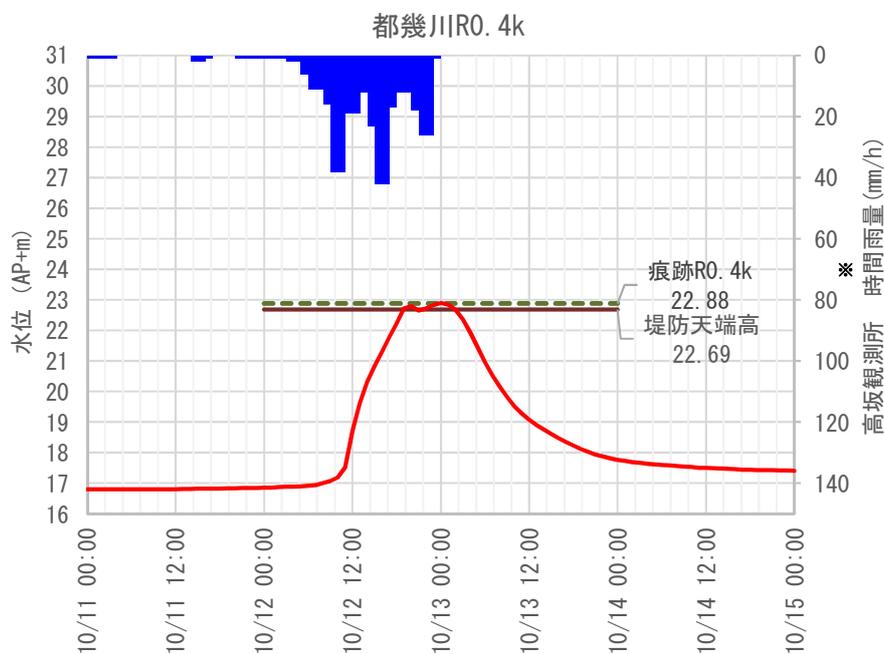
図 3.3.15 都幾川右岸 0.4k の堤体土質モデル

土質定数（粘着力と内部摩擦角）については、乱れの少ない（不攪乱）試料を採取して三軸圧縮試験等により設定し、透水係数については室内透水試験や粒度試験から設定を行った。検討外力については、今次出水の降雨、水位ハイドロにより設定（水位は観測地点から HWL 勾配で高さをスライドし、堤防天端高をピーク水位と仮定）して適用した。

表 3.3.1 都幾川右岸 0.4k において設定した土質定数

土質	湿潤単位 体積重量 (kN/m ³)	透水係数 (m/s)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	備考
Bc5	19.00	3.82E-07	35.0	0	
Bc4	17.50	5.69E-07	45.0	0	
Bc3	18.00	1.73E-07	55.0	0	
Bc2	18.50	1.91E-08	40.0	0	
Bc1	18.50	5.50E-07	50.0	0	
Ac1	17.50	3.00E-08	25.0	0	
As2	18.00	4.79E-06	0.0	32	
As3	18.00	1.75E-06	0.0	30	
As4	18.00	4.45E-05	0.0	32	
Ac2	17.00	3.00E-08	35.0	0	

	乱れの少ない試料及び室内試験より設定
	現場透水試験より設定
	粒度試験より設定
	N値との相関関係より設定
	一般値（基準、指針等における図表より）
	類似地点や既往資料の値を代用

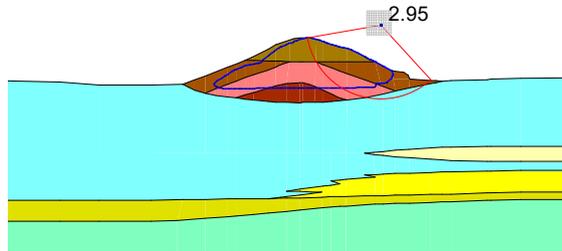


※洪水痕跡水位については、図 3.3.9 を参照

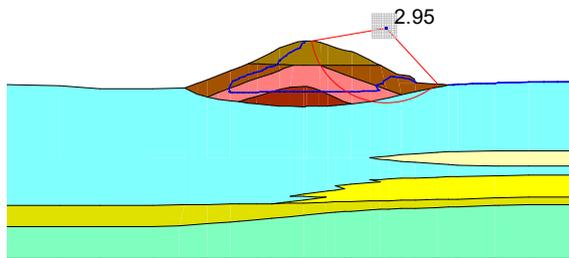
※令和元年 10 月時点の調査結果による

図 3.3.16 都幾川右岸 0.4k の安全性照査において設定した水位・降雨波形

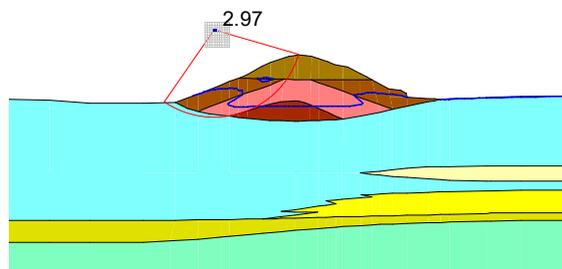
安全性照査については「河川堤防構造検討の手引き」（平成 24 年 7 月 JICE）に基づき実施し、その結果、裏のり安全率は $F_s=2.95$ 、表のりは $=2.97$ 、パイピングについては裏のり尻で実施しており、局所導水勾配が水平 $i=0.07$ 、鉛直 $i=0.00$ となり、浸透に対する安全性を確保していることが明らかになった。



裏法 10/12 19 : 00



裏法 10/13 2 : 00



表法 10/14 0 : 00

【都幾川R0.4k】

モデル	時刻	表のり		裏のり		パイピング破壊	
		基準値	解析結果	基準値	解析結果	基準値	解析結果
・今回試験値を反映	天端到達時 10/12 19:00			$F_s \geq 1.32$	$F_s = 2.95$ (OK)	$i < 0.5$	i_h (水平) = 0.07 (OK)
	越水終了時 10/13 2:00			$F_s \geq 1.32$	$F_s = 2.95$ (OK)		
	水位低下終了時 10/14 0:00	$F_s \geq 1.00$	$F_s = 2.97$ (OK)				i_v (鉛直) = 0.00 (OK)

図 3.3.17 都幾川右岸 0.4k の安全性照査結果

3.3.4. 侵食による堤防決壊の可能性の検討

(1) 決壊箇所の侵食の状況

決壊箇所は、都幾川と越辺川の合流点付近で、都幾川の緩い湾曲部外岸にあたる。決壊箇所の上流、右岸 2.2k では河岸洗掘が見られたが、決壊区間の近くでは河川の流水による川表法面の侵食の痕跡は確認できなかった。また、高水敷の侵食の痕跡も確認できなかった。



① ドローンによる撮影 (2019/10/14 撮影)



② 堤防川表のり面状況 (決壊区間上流より) (2019/10/16 撮影)



③ 堤防表のり面状況 (決壊区間下流より) (2019/10/17)

図 3.3.18 都幾川右岸 0.4k の堤防川表法面と高水敷の侵食状況

3.3.5. その他の堤防決壊の可能性の検討

(1) 樋管の影響

樋管周りには堤体が残存しており、抜け上がり等は確認されなかった。また、決壊断面において、樋管周りにゆるみや空洞等は確認されなかった。

これらのことから、樋管周辺堤防を原因とした決壊でないと考えられる。



図 3.3.19 樋管周辺の決壊状況 (2019/10/14 撮影)



図 3.3.20 ①樋管周りの残存部 (2019/10/16 撮影)



図 3.3.21 ②樋管周りの残存部 (2019/10/15 撮影)

3.3.6. まとめ

都幾川右岸 0.4k の堤防決壊状況について要因別に以下にまとめる。

(1) 越水

川裏堤防洗掘が確認された他、決壊箇所上流の天端に漂流物が確認された。また倒木が堤内地側に倒れており堤外地側から堤内地側に氾濫に伴う強い流体力が働いたことが推定される。

また、痕跡水位及び現地の状況より、越水範囲を推定し、痕跡水位は現況堤防高よりも高いことが確認された。これらより、越水が決壊の要因になったと推定される。

(2) 浸透

決壊箇所の状況より、上下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されておらず、堤体は粘性土やシルト、基礎地盤は厚い粘性土が分布している。

また、土質調査に基づく解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満足していることから、浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

さらに、上下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されておらず、堤体は粘性土やシルト、基礎地盤は厚い粘性土が分布している。

土質調査に基づく解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満足していることから、浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

(3) 侵食

決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できず、高水敷の侵食の痕跡も確認できないことから、侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

(4) その他

樋管周りの堤体は決壊後も残存しており、樋管本体の周辺に水ミチは確認できない。したがって、樋管が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。

3.4. 決壊原因の特定

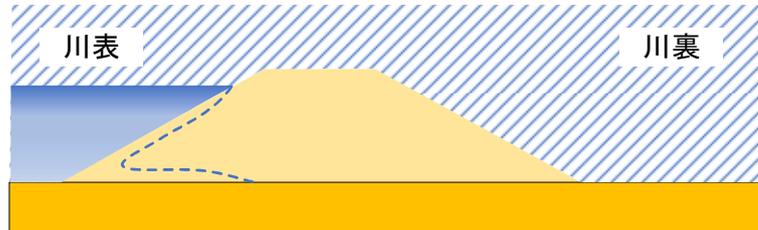
越辺川右岸 0.0k、左岸 7.6k、都幾川右岸 0.4k それぞれの決壊原因について、越水、浸透、侵食、構造物周辺の4つの要因別に、影響度合いについて示す。○は影響度合いが大きく、×は影響度合いが小さいことを示している。

	越辺川右岸0.0k	越辺川左岸7.6k	都幾川右岸0.4k
越水	<ul style="list-style-type: none"> 川裏堤防洗掘、川裏側への植生、フェンスの倒壊が確認された。 痕跡水位及び現地の状況より、越水範囲を推定し、痕跡水位は現況堤防高よりも高いことが確認された。 これらより越水が決壊の要因になったと推定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 川裏部の植生の堤内側への倒伏、フェンスの倒壊が確認された。 痕跡水位及び現地の状況より、越水範囲を推定し、痕跡水位は現況堤防高よりも高いことが確認された。 これらより越水が決壊の要因になったと推定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 川裏堤防洗掘が確認された。 決壊箇所上流の天端に漂流物が確認された。 倒木が堤内地側に倒れている。 痕跡水位及び現地の状況より、越水範囲を推定し、痕跡水位は現況堤防高よりも高いことが確認された。 これらより越水が決壊の要因になったと推定される。
影響程度	○	○	○
浸透	<ul style="list-style-type: none"> 上下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されていない。 堤体は粘性土やシルト、基礎地盤は厚い粘性土が分布している。 土質調査に基づく解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満足している。 これらより、浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 上下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されていない。 堤体は粘性土やシルト、基礎地盤は厚い粘性土が分布している。 土質調査に基づく解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満足している。 これらより、浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 上下流の近傍も含めて噴砂や漏水が確認されていない。 堤体は粘性土やシルト、基礎地盤は厚い粘性土が分布している。 土質調査に基づく解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満足している。 これらより、浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。
影響程度	×	×	×
侵食	<ul style="list-style-type: none"> 決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できない。 高水敷の侵食の痕跡は確認できない。 これらより、侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できない。 高水敷の侵食の痕跡は確認できない。 これらより、侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡は確認できない。 高水敷の侵食の痕跡は確認できない。 これらより、侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。
影響程度	×	×	×
構造物周辺	—	<ul style="list-style-type: none"> 越辺川の逆流防止のために水門を閉鎖し、九十九川の水位が上昇、九十九川水門との堤防隅角部に洪水が集中し、洗掘が発生、決壊したと推定される。 	<ul style="list-style-type: none"> 樋管周りの堤体は決壊後も残存しており、樋管本体の周辺に水ミチは確認できない。 これより、樋管が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。
影響程度	—	×	×

また、堤防決壊までのプロセスについては、越辺川右 0.0k、左 7.6k、都幾川右 0.4k の決壊箇所毎に、堤防の規模や土質構成が異なるものの、ほぼ同様であると考えられるため、以下に推定し、まとめる。

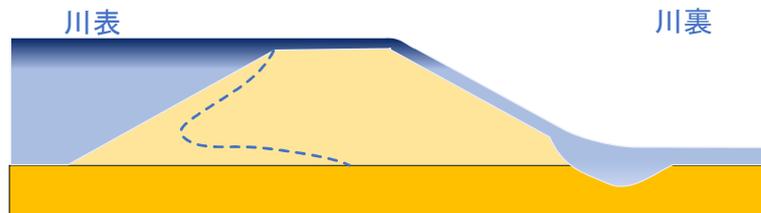
1) Step1 激しい降雨と河川水の上昇

激しい降雨により、河川水が上昇する。



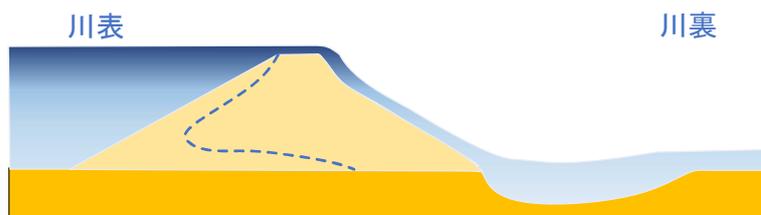
2) Step2 越水の開始

さらに河川水が上昇するとともに、越水が発生したと推定される。



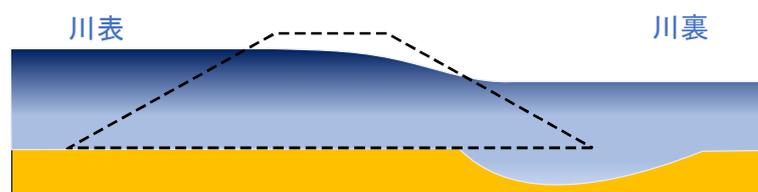
3) Step3 堤防断面の減少

時間の経過とともに、越流水の作用により川裏法尻の洗掘や天端の侵食が進行し、堤防断面が徐々に減少する。



4) Step4 決壊

さらに川裏法尻部の洗掘が進み、又はその途中で川表側からの水圧に耐えきれず堤防が決壊したと推定される。



4. 本復旧工法の検討

4.1. 推定される堤防決壊の原因

越辺川右岸 0.0k、左岸 7.6k、都幾川右岸 0.4k の推定される堤防の決壊原因についてまとめると以下の通りである。

(1) 越水

堤防川裏部の洗掘や植生の堤内側への倒壊、フェンスの堤内地側への倒壊等の被災後の堤防の状況や、痕跡水位及び現地の状況による越水範囲と越水深が推定を行った結果、全ての決壊箇所では越水が決壊の要因になったと推定された。

(2) 浸透

全ての決壊箇所では、上下流の近傍箇所では噴砂や漏水が確認されなかった。解析の結果、裏法すべりやパイピングに対する基準値を満たしていることが確認された。

これらより浸透が決壊の要因になった可能性は低いと推定された。

(3) 侵食

全ての決壊箇所では、決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食の痕跡や高水敷の侵食が確認できなかった。

これにより侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定された。

(4) 構造物

越辺川左岸 7.6k は、越辺川の逆流防止のために水門を閉鎖し、九十九川の水位が上昇、九十九川水門との堤防隅角部に越流水が集中し、洗掘が発生、決壊したと推定されるが主要因は越水であると推定した。都幾川右岸 0.4k の樋門周りの堤体は決壊後も残存しており、水ミチは確認できなかった。

これにより樋門が決壊の要因になった可能性は低いと推定された。

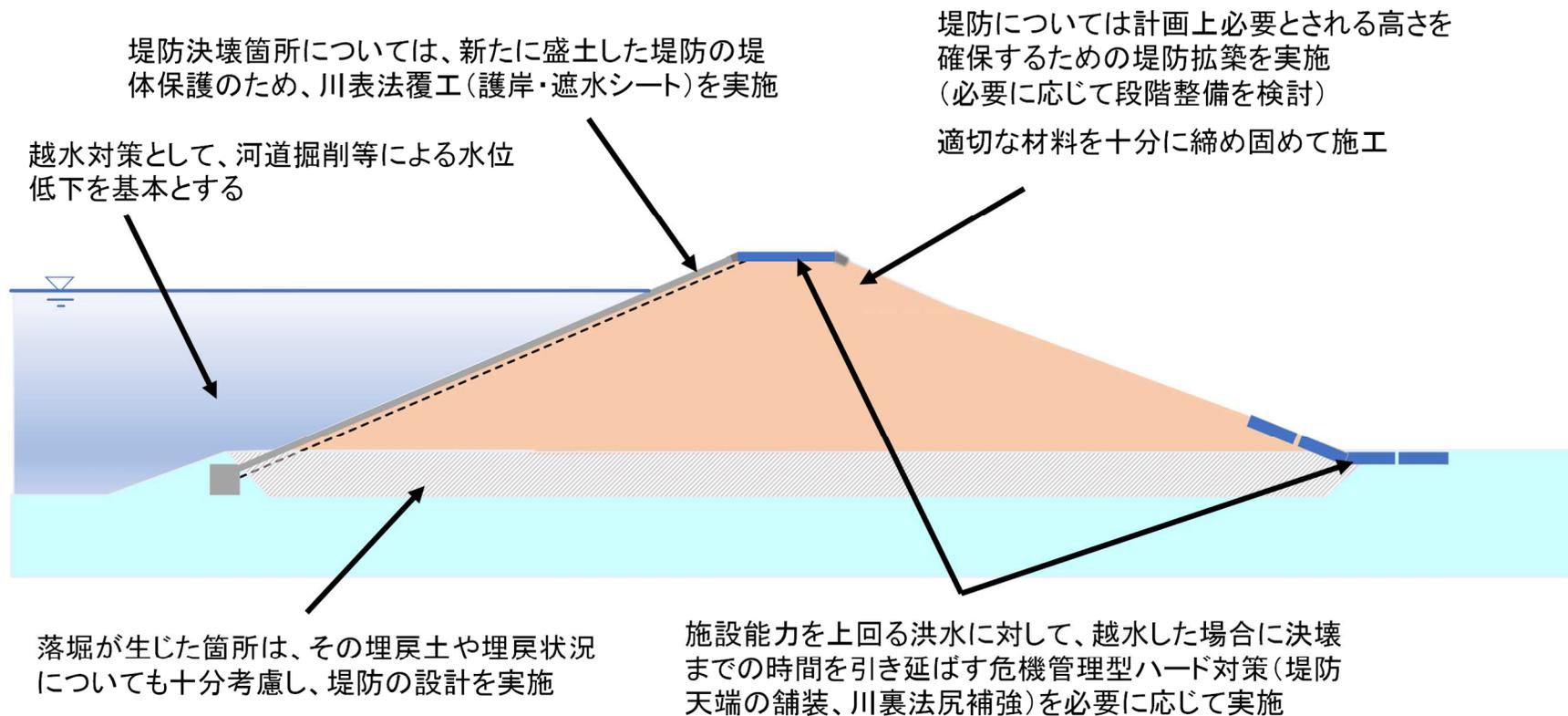
4.2. 決壊区間における本復旧の基本方針(案)

越辺川右岸 0.0k、左岸 7.6k、都幾川右岸 0.4k の本復旧の基本方針(案)について以下に示す。

- 越水対策として、河道掘削等による水位低下を基本とする。
- 堤防については計画上必要とされる高さを確保するための堤防拡築を実施※1（必要に応じて段階整備を検討）。また、築堤材料は適切な材料を用い十分に締め固めて施工する。
- 堤防決壊箇所については、新たに盛土した堤防の堤体保護のため、川表法覆工（護岸・遮水シート）を実施する。
- 施設能力を上回る洪水に対して、越水した場合に決壊までの時間を引き延ばす危機管理型ハード対策（堤防天端の舗装、川裏法尻補強）を必要に応じて実施する。

なお、堤防の高さについて、越辺川左岸 7.6k は基本的に計画上必要とされる高さを確保していたため原形復旧を基本とし、危機管理型ハード対策（堤防天端の舗装、川裏法尻補強）を実施するものとする。

また、復旧に当たっては、現地調査を行い、落堀が生じた箇所は、落堀の状況や埋戻し方法についても十分考慮し、詳細設計を実施し精査する必要がある。



※越辺川左岸7.6kについては基本的に計画上必要とされる高さを確保していたため、堤防の形状は原形復旧を基本とする。
 ※詳細設計にあたっては現地調査を行い、実施内容を精査する必要がある。

図 4.1.1 荒川水系越辺川・都幾川の決壊箇所における本復旧工法案

5. 委員による現地調査

5.1. 現地調査概要

荒川水系越辺川・都幾川の堤防決壊箇所の決壊状況の把握を目的として、荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会委員による現地調査を、令和元年10月17日に実施した。

また、現地調査終了後、16:00より越辺川右岸0km付近においてぶら下がり会見を実施した。

- ・日時：令和元年10月17日 14:00～17:00
- ・集合場所：東武東上線 高坂駅 東口

5.2. 現地調査参加委員

佐々木 哲也 国立研究開発法人 土木研究所地質・地盤研究グループ

土質・振動チーム上席研究員

諏訪 義雄 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川構造物管理研究官

高橋 章浩 東京工業大学 環境・社会理工学院土木・環境工学系教授

田中 規夫 埼玉大学 大学院 理工学研究科 教授

安田 進 東京電機大学 名誉教授 東京電機大学総合研究所 客員教授

※高橋委員については当日欠席

5.3. 現地調査行程

- 越辺川左岸 7.6km (20分現地調査)
- 都幾川右岸 0.4km (20分現地調査)
- 越辺川右岸 0km (20分現地調査)
- 現地調査後ぶら下がり会見

調査位置図



図 5.1.1 現地調査位置図



図 5.1.2 越辺川左岸 7.6k における調査状況



図 5.1.3 都幾川右岸 0.4k における調査状況