

鬼怒川堤防調査委員会  
報 告 書

平成 2 8 年 3 月

鬼怒川堤防調査委員会



## はじめに

関東地方では、台風第 18 号によって刺激された秋雨前線により降り始めた降雨に加え、その後に台風から変わった温帯低気圧と台風第 17 号の双方から暖かく湿った風が吹き込み、「線状降水帯」と呼ばれる積乱雲が带状に次々と発生する状況を招き、長時間にわたって強い雨が降り続いた。鬼怒川では、五十里（いかり）雨量観測所（栃木県日光市）において、3 日雨量 617mm を記録したほか、各観測所で既往最多雨量を記録し、全川にわたり急激に水位が上昇、水海道水位観測所（茨城県常総市）では、10 日 11 時から 16 時の 5 時間にわたり計画高水位を超過し、観測記録史上第一位の水位を記録した。この出水により、鬼怒川左岸 21.0k 付近（茨城県常総市三坂町地先）の堤防決壊のほか、溢水や漏水等が発生、氾濫により多くの家屋浸水被害等が発生するとともに、避難の遅れによる多数の孤立者が発生するなど、甚大な被害となった。

「鬼怒川堤防調査委員会」は、この「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」により利根川水系鬼怒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ため、国土交通省関東地方整備局により設置された。

鬼怒川左岸 21.0k 付近（茨城県常総市三坂町地先）の堤防決壊は、平成 27 年 9 月 10 日 12 時 50 分頃である。これに対し、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 9 月 12 日には地盤工学および河川工学を専門とする 8 名の委員を決定し、委員会を設置した。決壊から 3 日後の 9 月 13 日には、委員による現地視察を行った。その後、平成 27 年 9 月 28 日の第 1 回から平成 28 年 3 月 7 日の第 4 回まで、延べ 4 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 章に委員会の概要を、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、最後に決壊原因の特定としてまとめている。また、4 章では決壊の原因に対応した本復旧工法（案）を、5 章には現地調査の状況を取りまとめる構成とした。本報告書が鬼怒川のみならず、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。

平成 28 年 3 月  
鬼怒川堤防調査委員会委員長  
安田 進





# 鬼怒川堤防調査委員会報告書

## 目 次

はじめに

1. 鬼怒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 鬼怒川流域の概要 .....	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、降雨特性 .....	2-3
2.1.3 河道特性（河床勾配、川幅縦断、河道状況、治水地形分類図） .....	2-5
2.2 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の概要 .....	2-9
2.2.1 降雨の状況 .....	2-9
2.2.2 河川水位の状況 .....	2-11
2.3 左岸 21.0k 付近の堤防決壊の概要 .....	2-12
2.3.1 左岸 21.0k 付近の堤防決壊の概要 .....	2-12
2.3.2 決壊した左岸 21.0k 付近の堤防の状況 .....	2-14
3. 左岸 21.0k 付近の決壊原因の特定 .....	3-1
3.1 一般的な堤防決壊のメカニズム .....	3-1
3.1.1 河川水の越水による堤防決壊 .....	3-1
3.1.2 河川水の浸透による堤防決壊 .....	3-1
3.1.3 河川水の侵食・洗掘による堤防決壊 .....	3-2
3.2 越水による決壊の可能性の検討 .....	3-3
3.2.1 堤防決壊の時系列の整理 .....	3-3
3.2.2 まとめ .....	3-15
3.3 浸透による決壊の可能性の検討 .....	3-16
3.3.1 決壊区間近傍の噴砂の状況 .....	3-16
3.3.2 決壊区間の地質構成の推定 .....	3-19
3.3.3 決壊した堤防の地質構成の推定 .....	3-26
3.3.4 浸透流解析の結果 .....	3-28
3.3.5 まとめ .....	3-32
3.4 侵食による決壊の可能性の検討 .....	3-33
3.4.1 決壊区間及びその近傍の侵食状況 .....	3-33
3.4.2 まとめ .....	3-35
3.5 決壊原因の特定 .....	3-36

4. 左岸 21.0k 付近の本復旧工法の検討.....	4-1
4.1 堤防決壊の原因への対応 .....	4-1
4.2 本復旧工法（案） .....	4-2
5. 委員による決壊区間の現地調査.....	5-1
5.1 平成 27 年 9 月 13 日応急復旧時の現地調査 .....	5-1
5.2 平成 28 年 2 月 24 日本復旧時の現地調査.....	5-2

参考文献

おわりに

# 1. 鬼怒川堤防調査委員会の概要

## 1.1 目的

「鬼怒川堤防調査委員会」（以下、本委員会という。）は、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨により、利根川水系鬼怒川の左岸 21.0k 付近（茨城県常総市三坂町地先）で発生した堤防の決壊について、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、堤防の整備及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、鬼怒川における決壊後、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 4 名（下記＊印参照）に加え、鬼怒川のリバーカウンセラー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、委員長代理は委員長の指名により定めた。

委 員	<small>いけだ ひろかず</small> 池田 裕一	宇都宮大学 大学院 工学研究科 地球環境デザイン学専攻 教授
委 員	<small>ささき てつや</small> 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 (委員長代理)	<small>しみず よしひこ</small> 清水 義彦＊	群馬大学 大学院 理工学府 教授
委 員	<small>せきね まさと</small> 関根 正人	早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 社会環境工学科 教授
委 員	<small>たかはし あきひろ</small> 高橋 章浩＊	東京工業大学 大学院 理工学研究科 土木工学専攻 教授
委 員	<small>とうはた いくお</small> 東畑 郁生＊	公益社団法人 地盤工学会 会長
委 員	<small>はっとり あつし</small> 服部 敦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部河川研究室 室長
委 員 (委員長)	<small>やすだ すすむ</small> 安田 進＊	東京電機大学 理工学部 建築・都市環境学系 研究推進社会連携センター長 教授

(敬称略 五十音順)

### 1.3 検討の経過

本委員会は、平成 27 年 9 月 28 日の第 1 回から平成 28 年 3 月 7 日の第 4 回委員会まで延べ 4 回開催した。また、決壊箇所の現地調査を 2 回行った。

検討フローを図 1.1 に、本委員会の開催状況を表 1.1 に示す。

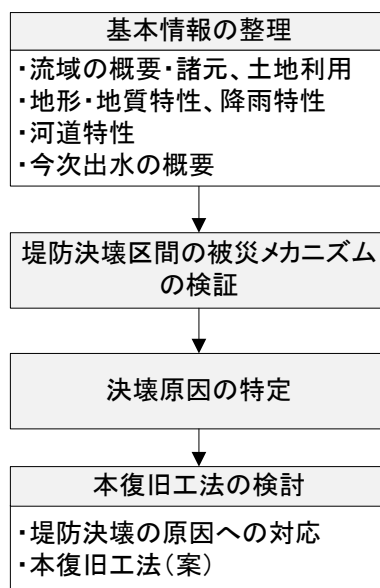


図 1.1 検討フロー図

表 1.1 委員会の開催状況

回数	開催日	議事内容
現地	平成 27 年 9 月 13 日	被災状況の確認
1	平成 27 年 9 月 28 日	出水及び被災概要 被災メカニズムの検証
2	平成 27 年 10 月 5 日	被災メカニズムの検証
3	平成 27 年 10 月 19 日	堤防決壊と被災メカニズム（これまでの委員会のまとめ） 決壊区間（左岸 21.0k 付近）の本復旧工法（案）について 今後の取り組み(案)
現地	平成 28 年 2 月 24 日	決壊区間の荒締切工撤去後の状況確認 基礎地盤等に関するデータ収集、蓄積
4	平成 28 年 3 月 7 日	委員会報告書（案）について

## 2. 洪水と決壊の概要

### 2.1 鬼怒川流域の概要

#### 2.1.1 流域の概要・諸元、土地利用

鬼怒川は、栃木県と群馬県との県境近くの栃木県日光市（旧塩谷郡栗山村）山中の鬼怒沼（標高約 2,040m）を水源とし、帝釈山脈や日光連山からの流れを集めて山間溪谷を流下し、男鹿川、日光中禅寺湖より流れ出る大谷川を合わせ、宇都宮丘陵東側の平野部を南に流下し、江川や田川を合流した後、茨城県守谷市野木崎にて利根川に注ぐ幹川流路延長 177km、流域面積 1,761km<sup>2</sup> の一級河川である。

その流域は栃木県、茨城県の 2 県にまたがり、流域内人口は約 55 万人、流域の土地利用は、山地等が約 79%、水田、畑等の農地が約 18%、宅地等の市街地が約 3%となっている。

鬼怒川流域は、JR 東北新幹線、JR 東北本線、JR 水戸線等が交差し、平成 17 年にはつくばエクスプレスが開業し、茨城県守谷市周辺は首都圏都心部のベッドタウンとして人口が増加している。また東北縦貫自動車道、常磐自動車道、北関東自動車道に加え、一般国道 468 号首都圏中央連絡自動車道の事業が進められている。

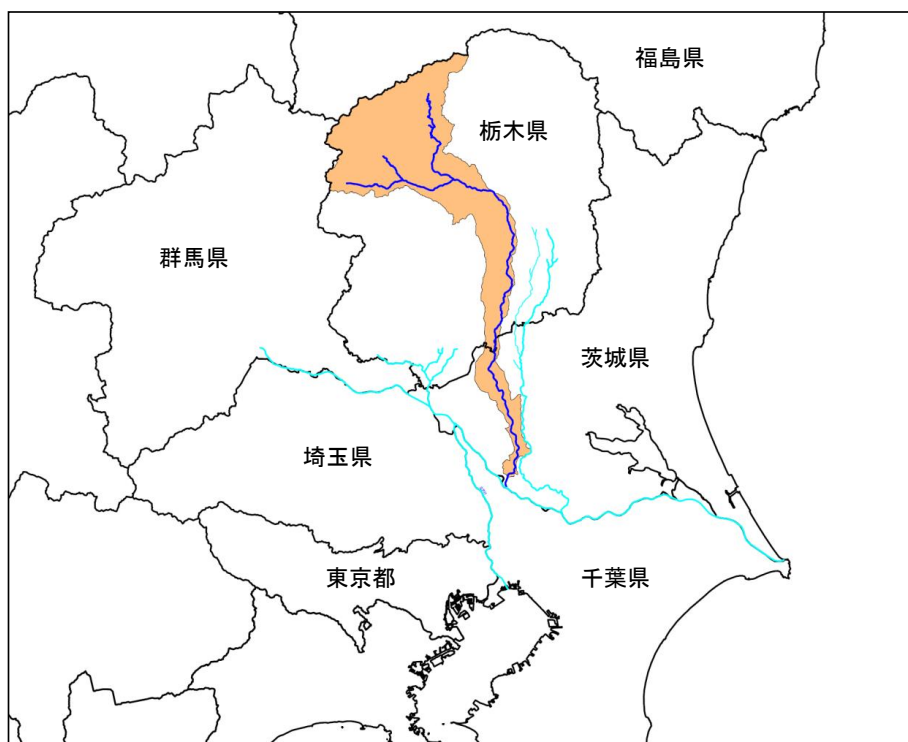


図 2.1 位置図

表 2.1 鬼怒川の流域諸元

水源	鬼怒沼
幹川流路延長	177km
流域面積	1,761km <sup>2</sup>
流域内人口	約 55 万人

出典：第 9 回河川現況調査（調査基準年：平成 17 年）

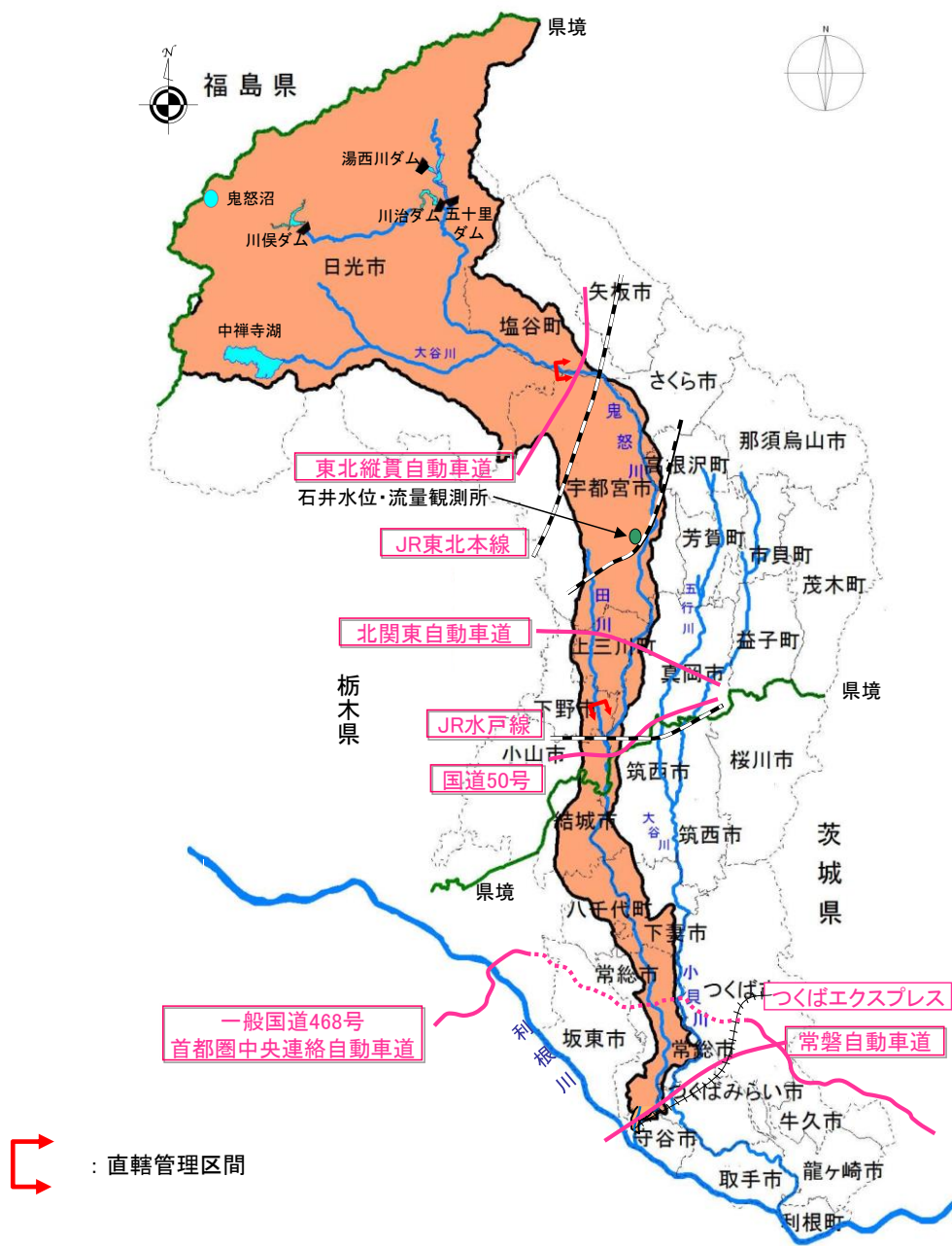


図 2.2 鬼怒川流域図

## 2.1.2 地形・地質特性、降雨特性

### (1) 地形・地質特性

鬼怒川流域の地形は、大谷川合流地点上流において、栃木県北西部の帝釈山地・日光火山の山地、その下流域は丘陵、台地、沖積地となっており、流域の約 62%が山地・丘陵地で、扇状地・台地・沖積地の平野部は約 38%となっている。上流部には、瀬戸合峡・龍王峡など、鬼怒川の下流侵食により形成された深い峡谷が見られ、その下流では、丘陵地や台地を削ってできた河岸段丘が見られる。大谷川との合流部から下流で川幅が広がり、砂礫堆の砂州の間を網状の滯筋が流れる様子が茨城県筑西市川島付近まで続く。茨城県筑西市川島付近から利根川に合流するまでの下流区間は、沖積平野を流れ、川の両側に自然堤防の発達が見られ、川幅は狭くなる。茨城県筑西市川島付近より下流の自然堤防の背後は、排水が悪い低湿地が形成され、その多くは水田として開発されてきた。

鬼怒川流域の地質は、多彩な地質で構成されている。大谷川合流点より上流域には、帝釈山地の南側に中・古生代の層を基盤として、新第三紀系に覆われて分布している。中・古生代の層は足尾層群とよばれ、大部分が黒色粘板岩からなり、砂岩、チャート、石灰石、火山岩類を挟んでいる。

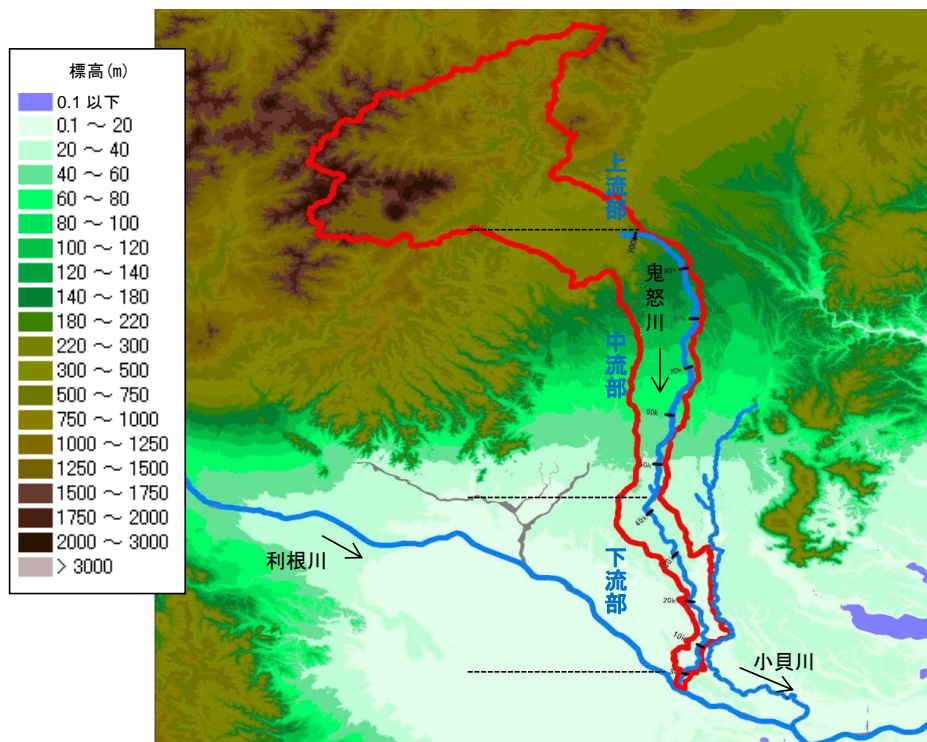
鬼怒川中流域の台地や低地の基盤を構成しているのは新第三紀系で、表層は段丘礫層と関東ローム層の洪積世、沖積世の層で覆われている。台地面のほとんどは関東ローム層であり、低地部は砂礫層が表層に現れている。

### (2) 降雨特性

鬼怒川流域の気候は、山地において日本海側と太平洋側の気候区分の境界に接している。降水量は、山岳部では年 1,600mm～2,100mm と利根川水系で最も多い地域となっているのに対し、平野部では 1,300mm～1,500mm と、その差が大きくなっている。月別では、山岳部が夏季と冬季の差が大きいのに対し、平野部は山間部ほど大きくない。山岳部は地形が複雑で、夏季には局地性が強い内陸特有の熱雷が多く発生し、降水をもたらしている。重要な水源となる降雪は、奥日光（日光）観測所で累加降雪量が約 200cm であり、奥利根流域の約 1,000cm に比較すると少ない。

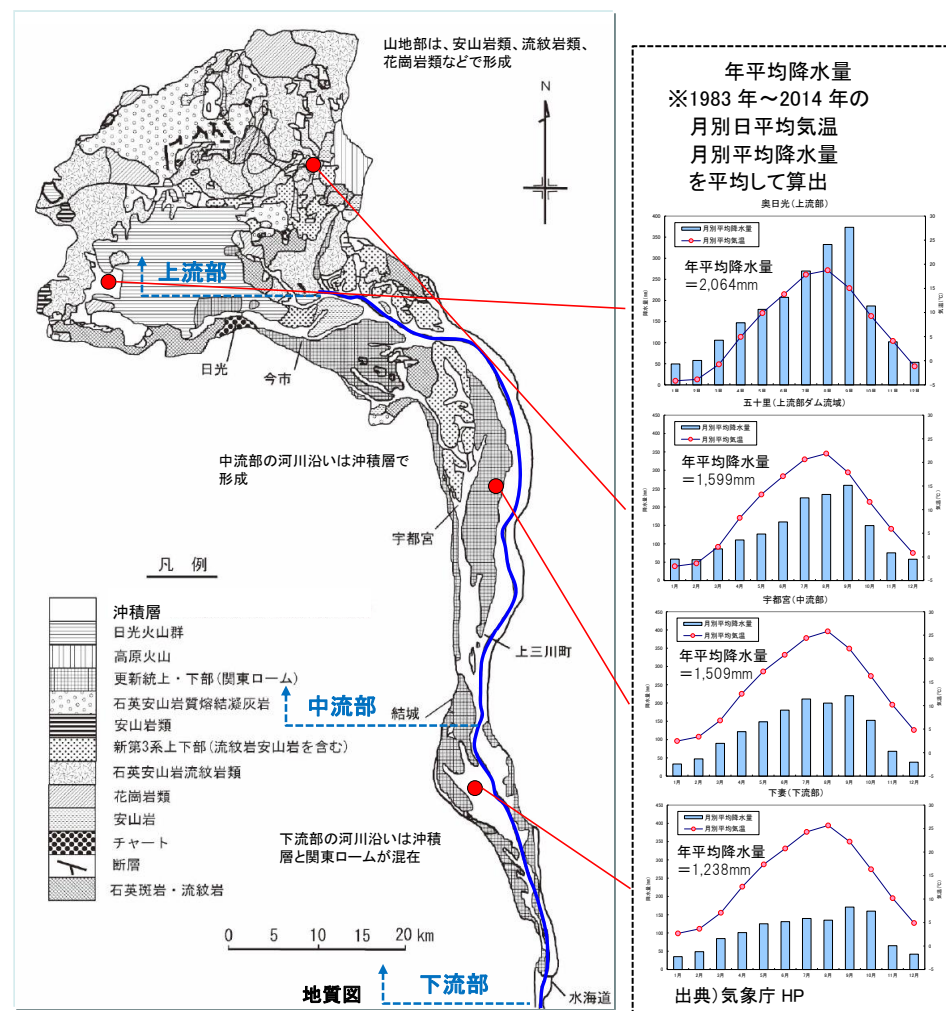


- 上流部: 溪谷や河岸段丘が形成されている山地を流下する。
- 中流部: 側方侵食による段丘がみられ、広い礫河原の中を網状に蛇行して流れる。
- 下流部: 川幅が狭く、単列化したみお筋となり、沖積平野を緩やかに流れる。



名称	区間
上流部	101.5k上流(指定区間)
中流部	44～101.5k
下流部	0～44k

図 2.3 地盤高平面図



地質図出典: 河川環境総合研究所資料 第 25 号 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題  
— 沖積層のそこが見える河川—河川環境管理財団、河川環境総合研究所 2009 年 5 月 P2

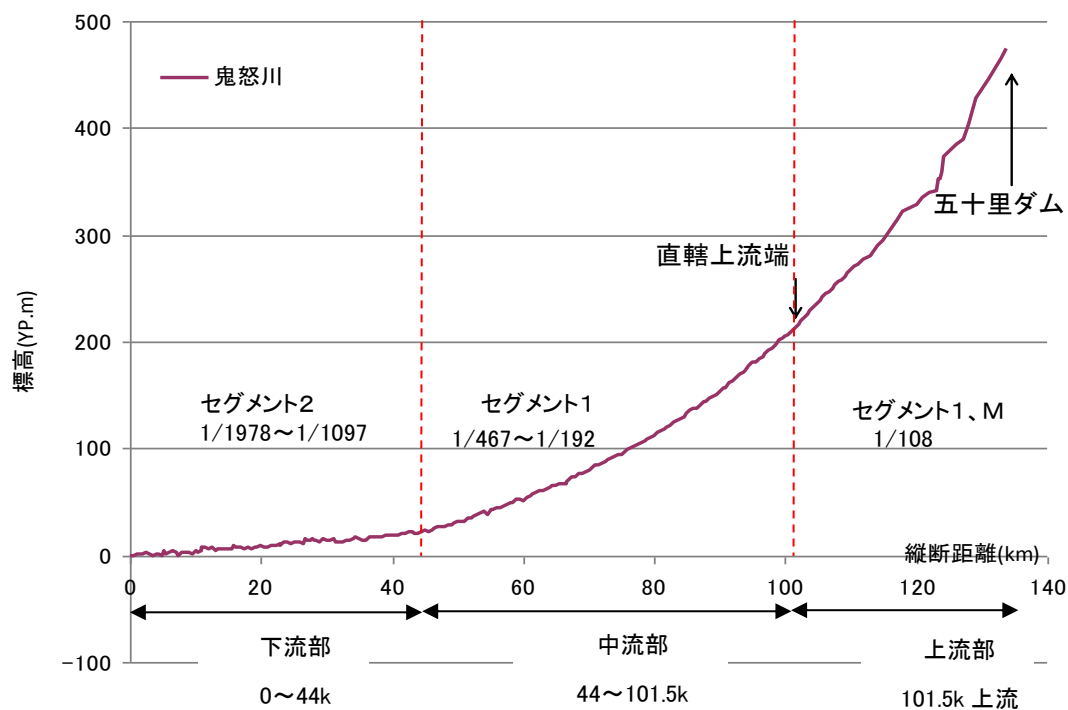
図 2.4 地質図及び年平均降水量

### 2.1.3 河道特性（河床勾配、川幅縦断、河道状況、治水地形分類図）

鬼怒川のセグメント区分は、44 km付近に河床勾配の変化点があり下流側がセグメント2、上流側がセグメント1である。

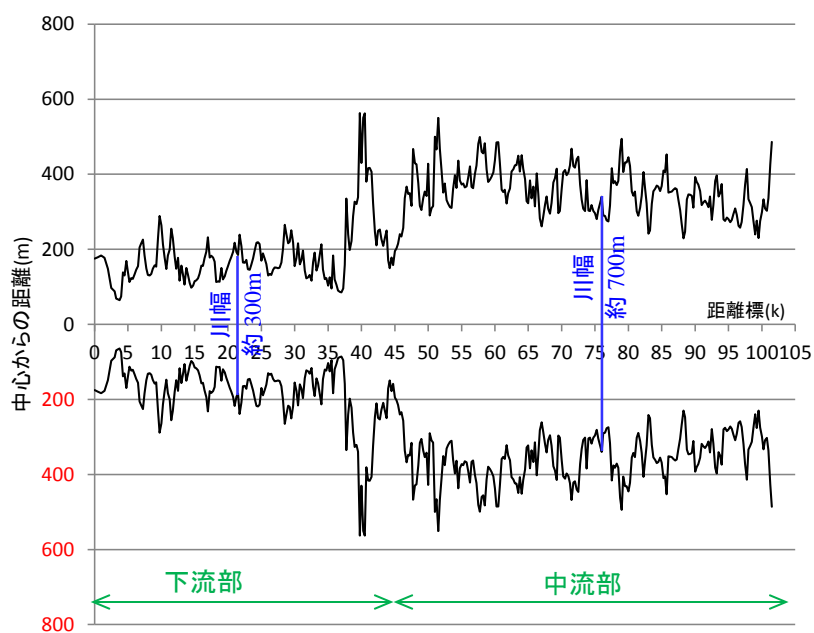
川幅は、利根川合流点から 37km まで約 300m、37km より上流は約 700m である。

また砂州形態は、下流部は単列砂州、中流部は複列砂州となっている。



※直轄区間河床勾配：平成 23 年度測量河道より、指定区間河床勾配：平成 10 年度測量河道より

図 2.5 河床勾配



※平成 23 年度測量河道より

図 2.6 川幅縦断図



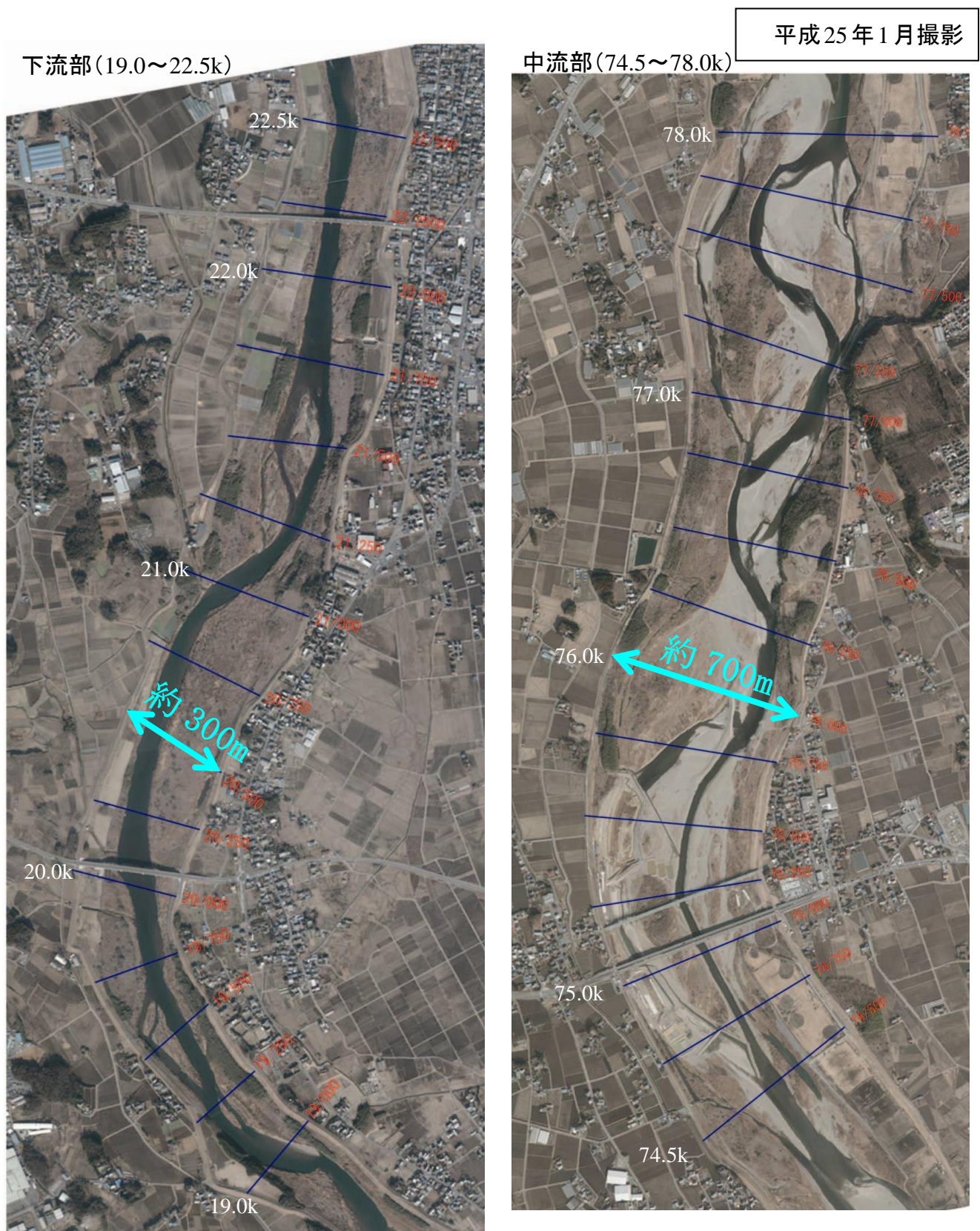


図 2.7 河道状況

また、鬼怒川下流部及び中流部の治水地形分類図（国土地理院：平成 23 年、24 年更新版）を図 2.8、図 2.9 に示す。治水地形分類図より、鬼怒川下流部においては、30k より下流で、左岸側に扇状地氾濫平野が小貝川との間に広がり、右岸側が段丘となっている。また、30k～44k においては左岸側が段丘で、右岸側に扇状地氾濫平野が広がっている。

鬼怒川中流部では、44k～84k まで段丘に挟まれた氾濫平野を複列砂州の河道が蛇行している。また、84k よりも上流では、扇状地が形成されている。

このように、鬼怒川中流部及び下流部の地形は、河川の氾濫によって形成されたものであることがわかる。



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	山麓堆積地形		
	扇状地			
	氾濫平野			
	(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		
	氾濫平野	後背湿地		
	砂州・砂丘	砂州・砂丘		
	人工改変地形	干拓地		
人工改変地形		盛土地・埋立地		
		切土地		
		連続盛土		
	その他の地形等	天井川の区間		
		現河道・水面		
		旧流路	S.30年代後半～S.40年代前半	
			S.20年代	
			T.末期～S.初期	
			M.末期～T.初期	
			M中期	
		地盤高線	主曲線	
			補助曲線	

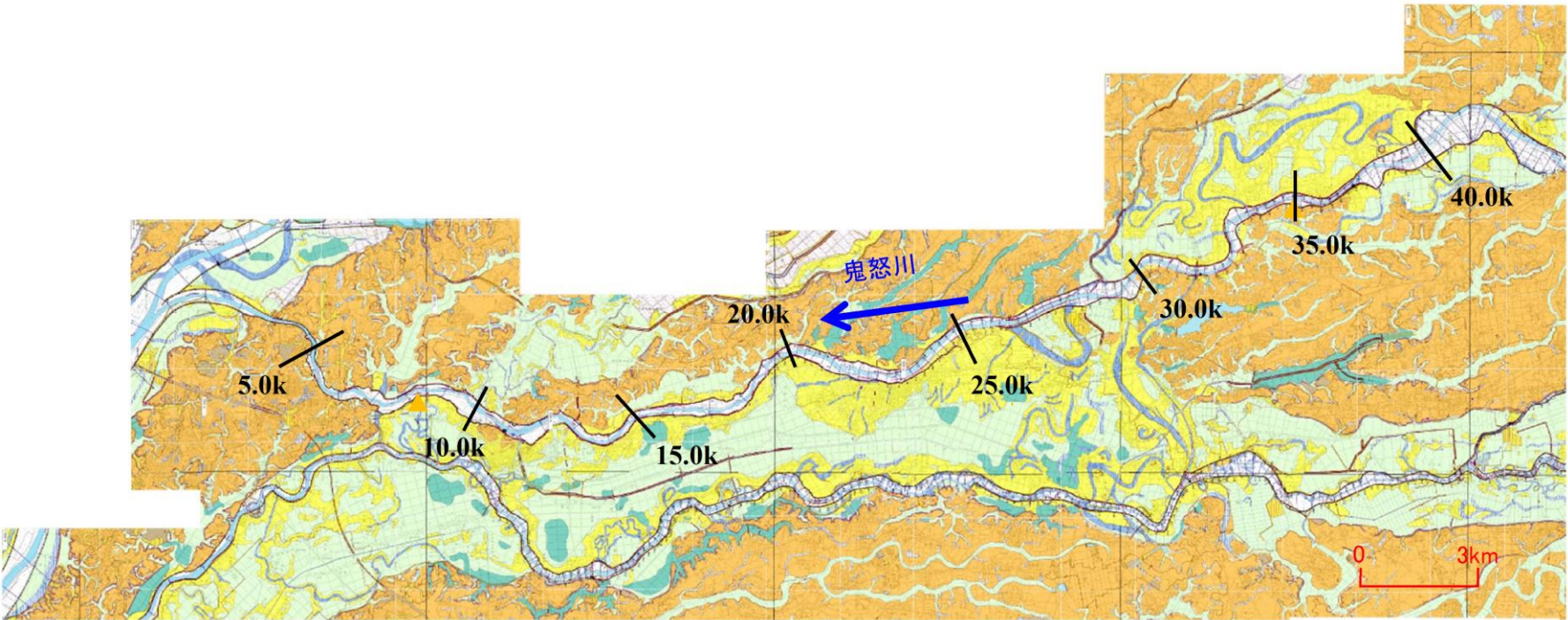


図 2.8 鬼怒川下流部 治水地形分類図（2 万 5000 分の 1）（国土地理院）より作成

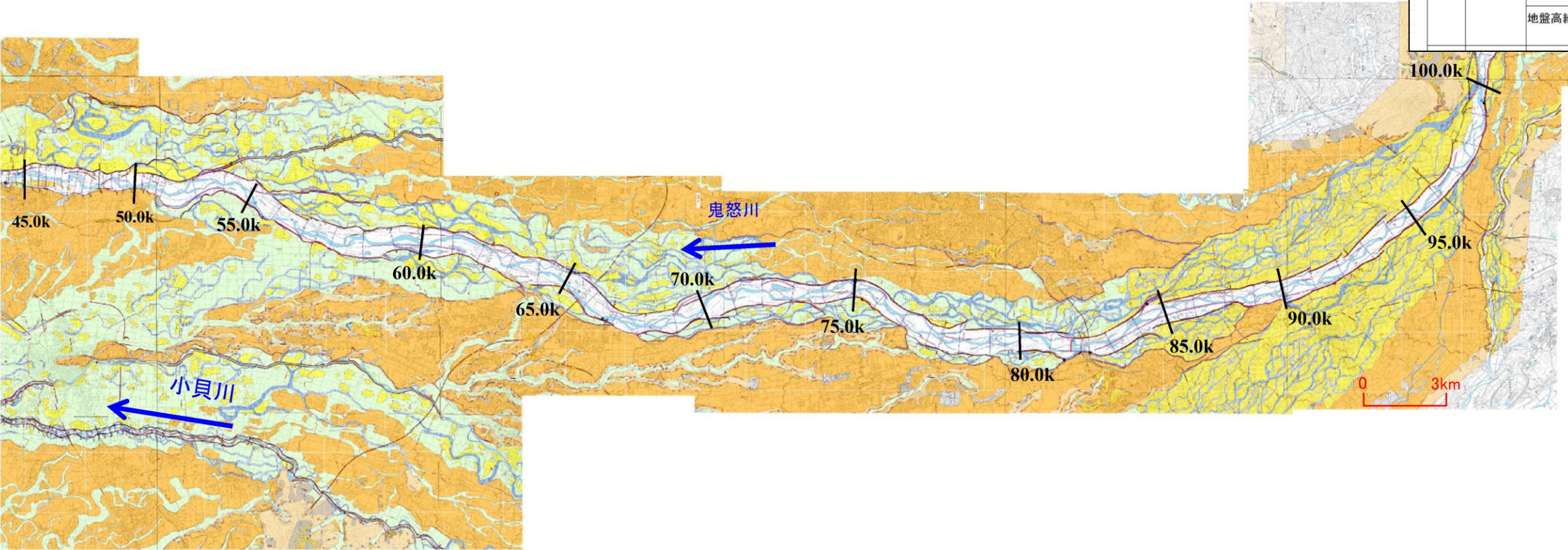


図 2.9 鬼怒川中流部 治水地形分類図（2 万 5000 分の 1）（国土地理院）より作成

出典：国土地理院（平成 23 年、平成 24 年更新）



## 2.2 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨の概要

### 2.2.1 降雨の状況

関東地方では、台風第 18 号によって刺激された秋雨前線により降り始めた降雨に加え、その後台風から変わった温帯低気圧と台風第 17 号の双方から暖かく湿った風が吹き込み「線状降水帯」と呼ばれる積乱雲が带状に次々と発生する状況となり、長時間にわたって強い雨が降り続いた。

五十里（いかり）雨量観測所（栃木県日光市）において、3 日雨量 617mm を記録したほか、各観測所で既往最多雨量を記録した。

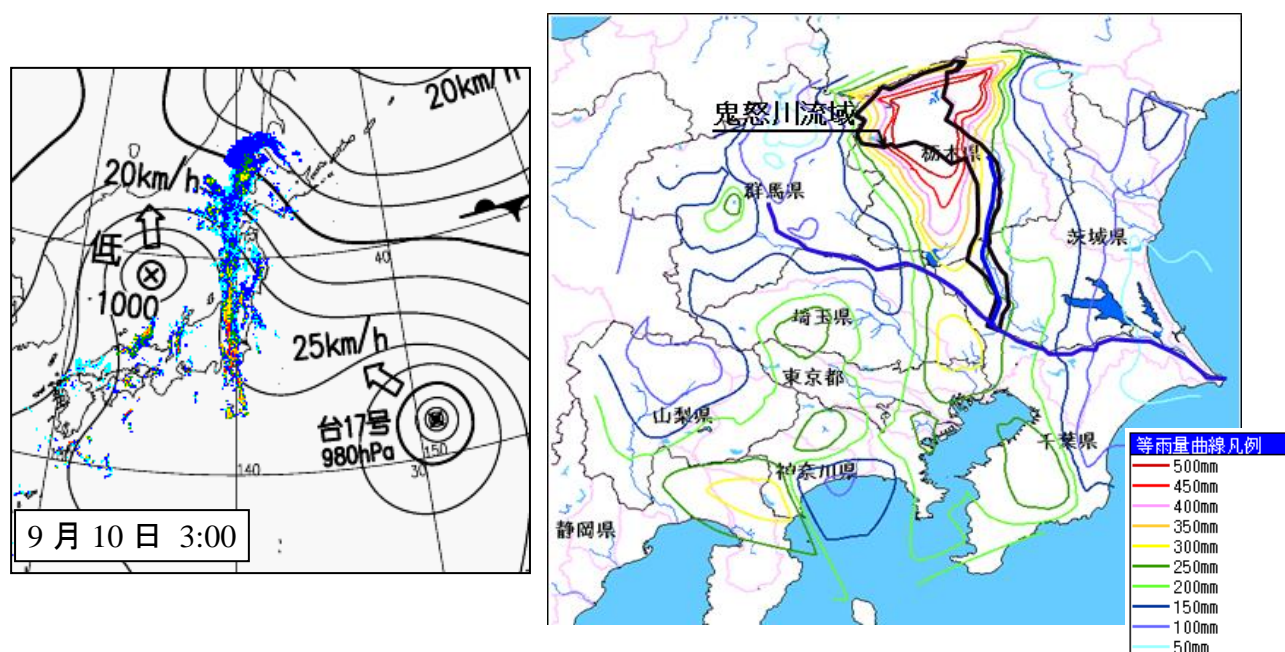


図 2.10 天気図（平成 27 年 9 月 10 日 3 時 00 分 左図）及び  
等雨量線図（平成 27 年 9 月 8 日～9 月 10 日累加雨量 右図）

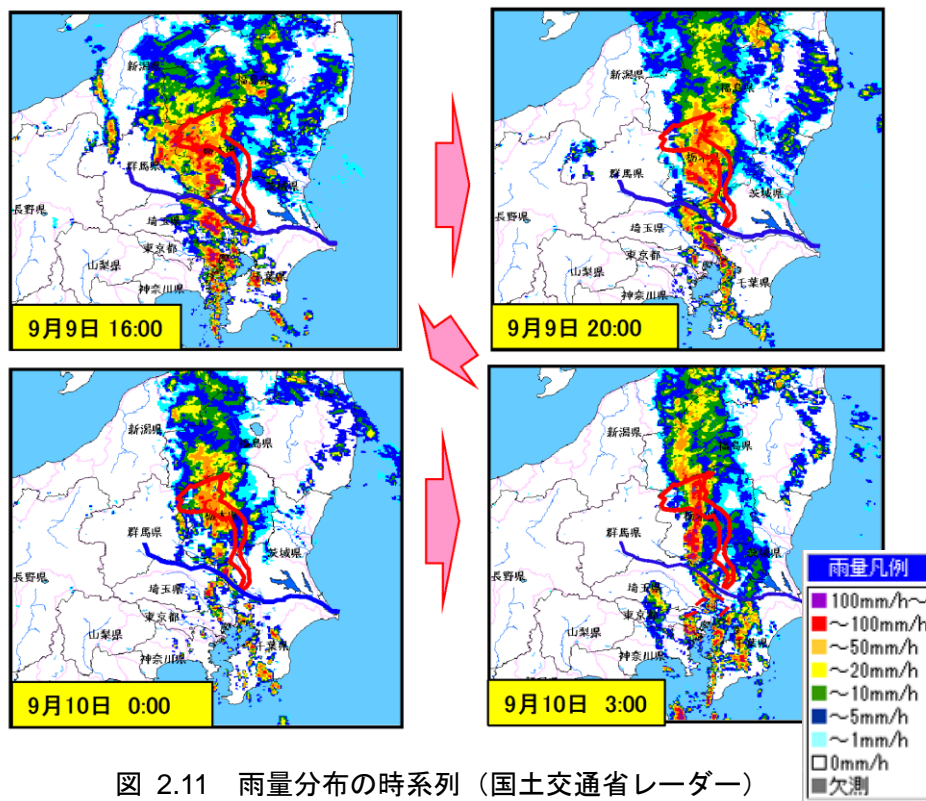


図 2.11 雨量分布の時系列（国土交通省レーダー）

表 2.2 代表観測所の今次出水と既往最多の降雨量一覧

観測所名	河川名	今回洪水(mm)		既往最多(mm)		備考
		24時間	3日	3日	年月	
湯西川	湯西川	438	538	519	昭和34年8月	昭和32年から観測
中三依	男鹿川	502	589	333	平成13年9月	昭和26年から観測
高百	鬼怒川	550	650	494	平成10年8月	昭和59年から観測
五十里	男鹿川	551	617	414	昭和34年8月	昭和50年から観測
宇都宮	鬼怒川	251	310	279	昭和61年8月	昭和24年から観測
水海道	鬼怒川	144	201	237	平成26年10月	昭和13年から観測

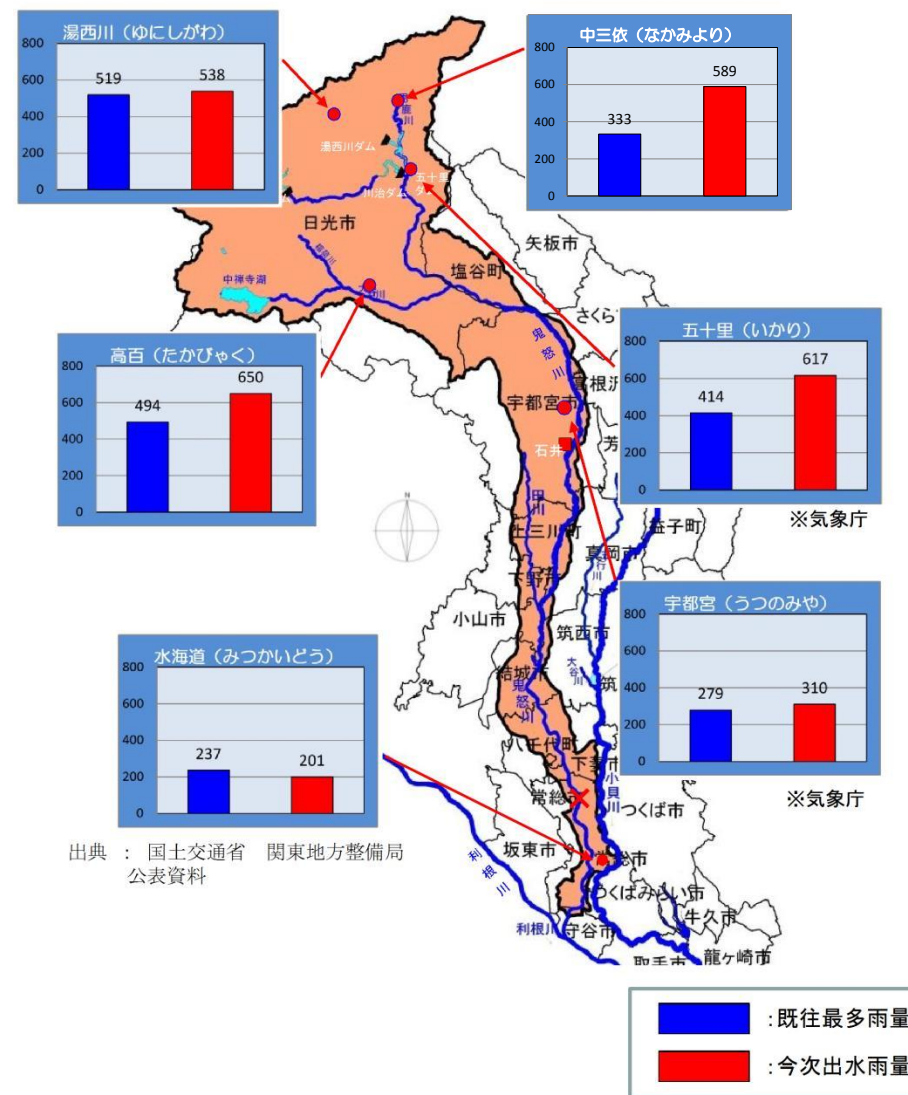
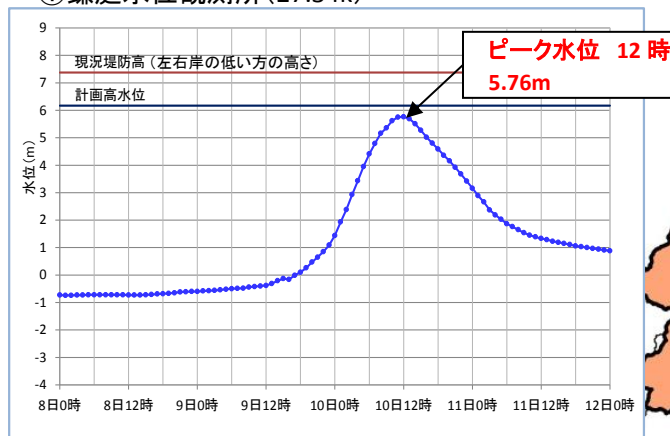


図 2.12 代表観測所の今次出水と既往最多の3日雨量の比較

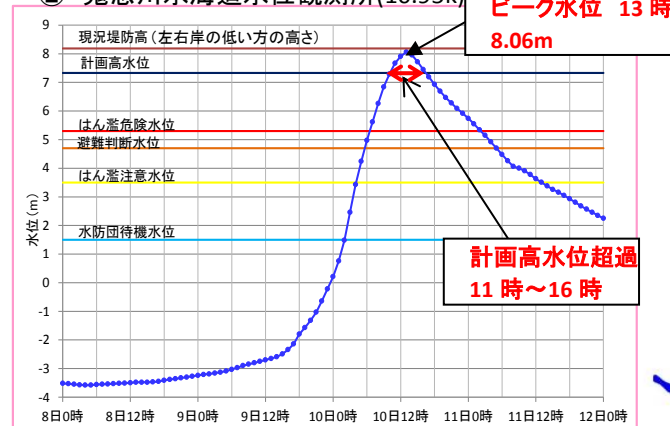
## 2.2.2 河川水位の状況

鬼怒川水海道水位観測所（茨城県常総市）では、9月10日11時から16時の5時間にわたり計画高水位を超過し（ピーク水位 8.06m）、観測記録史上第一位の水位を記録した。

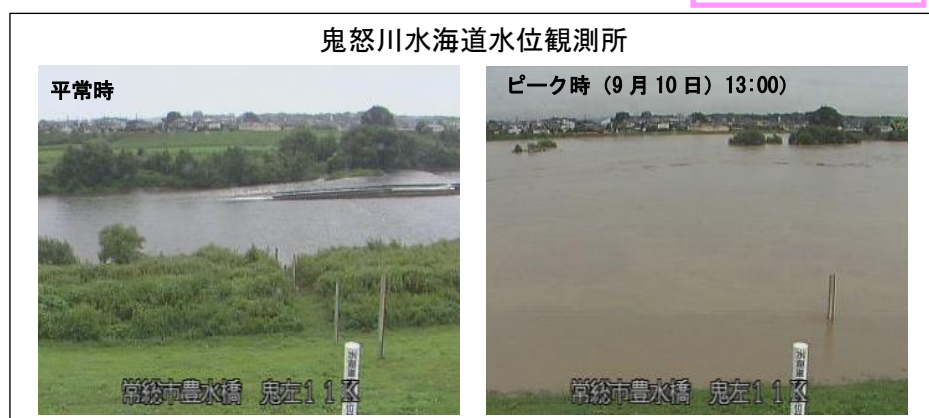
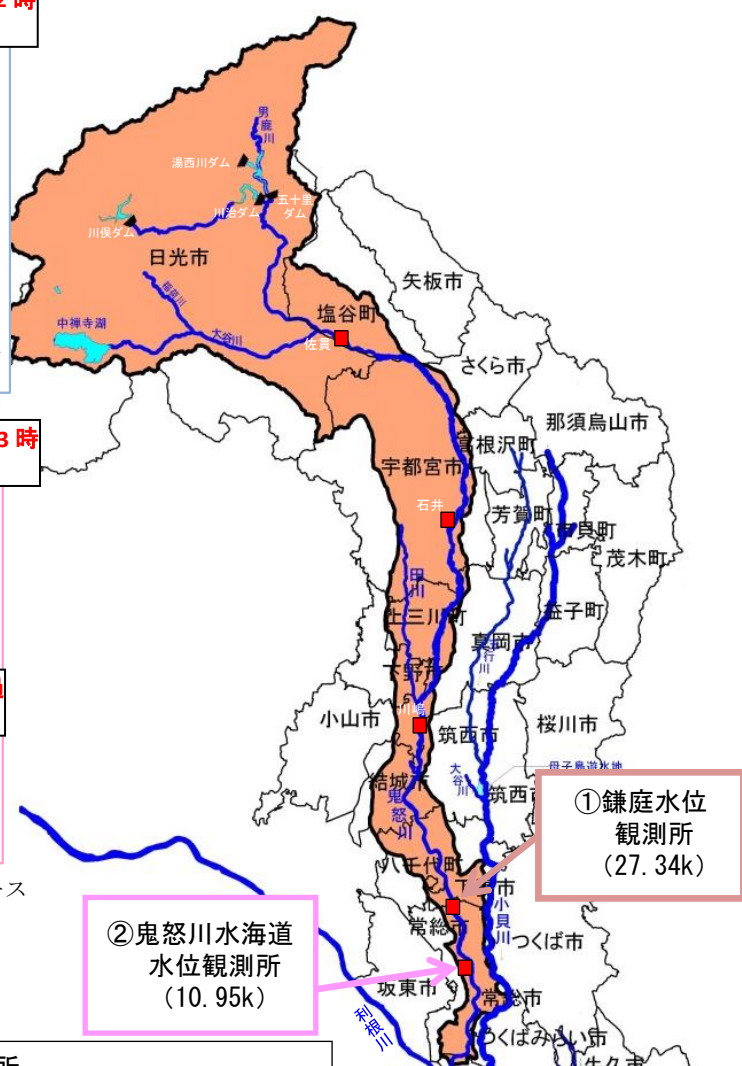
### ① 鎌庭水位観測所(27.34k)



### ② 鬼怒川水海道水位観測所(10.95k)



出典：水文水質データベース



出典：国土交通省 下館河川事務所CCTVより

図 2.13 河川水位の状況



## 2.3 左岸 21.0k 付近の堤防決壊の概要

### 2.3.1 左岸 21.0k 付近の堤防決壊の概要

鬼怒川左岸 21.0k 付近（茨城県常総市三坂町地先）の決壊の概要は次のとおりである。

記録的な大雨により鬼怒川では施設の能力を上回る洪水となり、9月10日の11時11分に越水を確認し、12時50分頃に堤防決壊した。決壊幅は12時52分には約20mであったが、時刻が経過するごとに広がり、最終的には約200mに達した。

本報告書では、12時50分頃に生じた堤防決壊のプロセスについて検証の対象としており、その後の断面侵食によって決壊幅が広がるプロセスについては対象としていない。

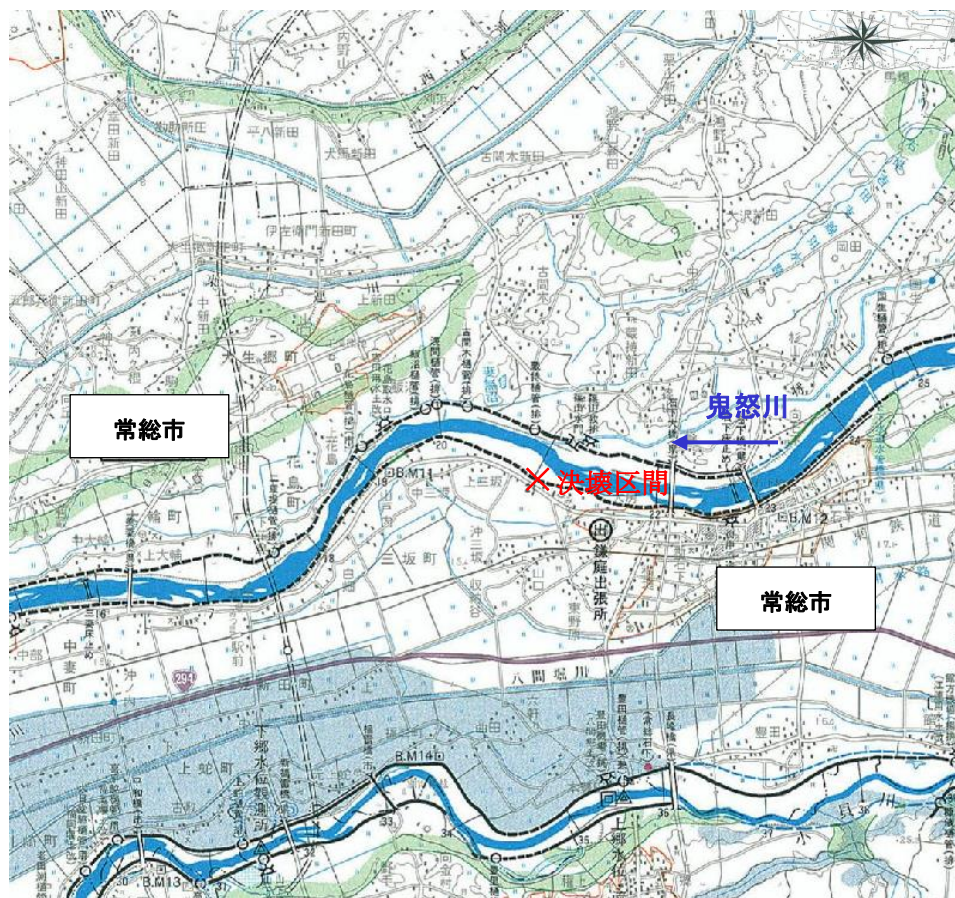


図 2.14 位置図

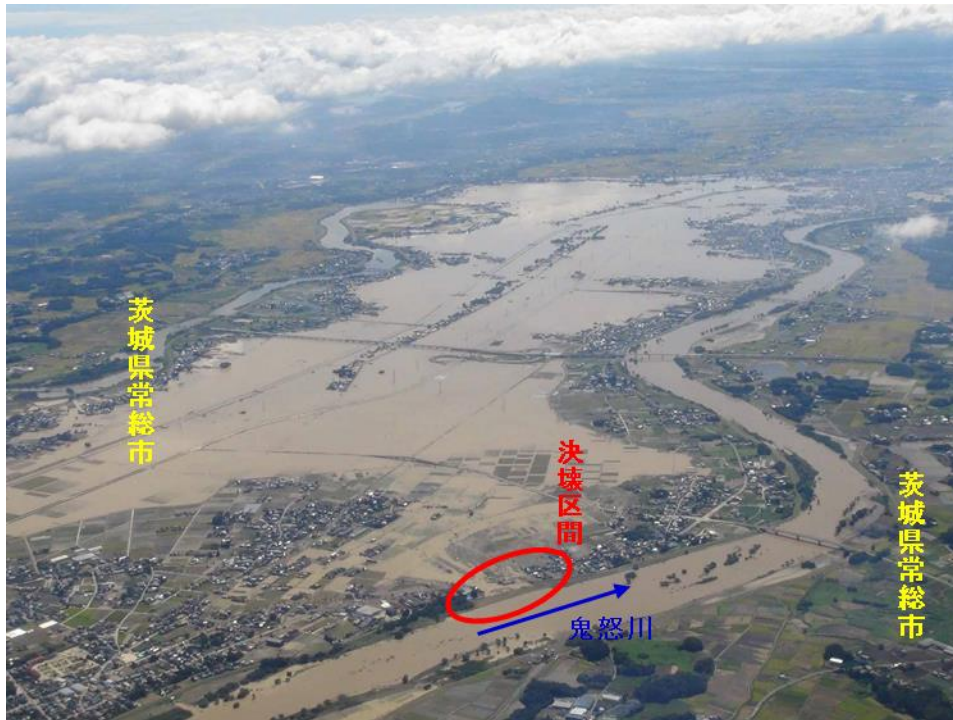


図 2.15 決壊区間航空写真（平成 27 年 9 月 11 日撮影）  
（決壊区間の上流側から下流側を撮影）



図 2.16 決壊区間上流側からの写真（平成 27 年 9 月 10 日撮影）

出典：国土交通省撮影

## 2.3.2 決壊した左岸 21.0k 付近の堤防の状況

### (1) 左岸 21.0k 付近の決壊前の堤防状況

決壊前の左岸 21.0k 周辺の堤防は、昭和前期に築堤された記録がある。決壊前の堤防形状は堤防天端幅が約 6m、堤防高と堤内地盤高の比高差は約 2m 程度であった。また、決壊区間を含む約 500m の区間における堤防の高さは計画堤防高（施設計画上の堤防高さ）と比較しておしなべて低く、局所的に堤防が低い状況ではなかった。なお、出水時の越流水深は痕跡水位と堤防高から推定すると約 20cm となる。

また、決壊前の決壊区間の堤防天端は管理用通路としてアスファルトが施されていた。

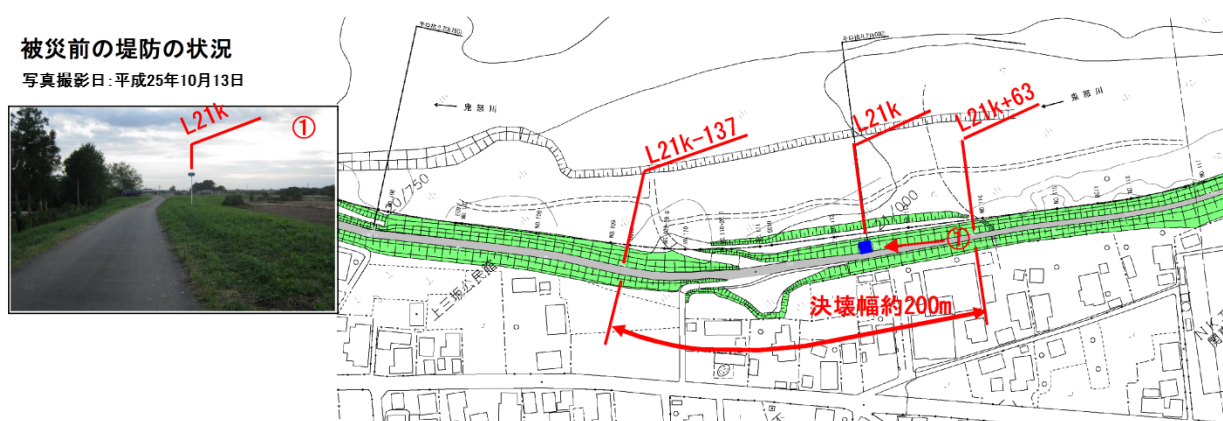


図 2.17 決壊前平面図

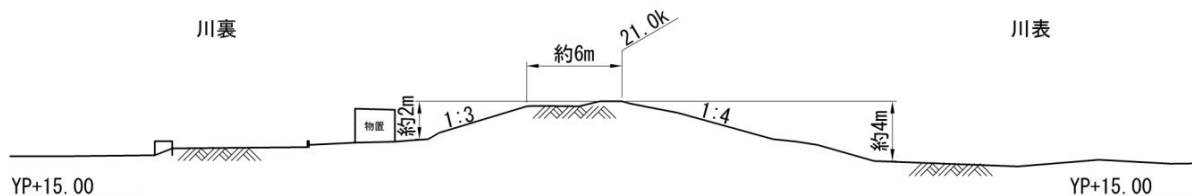


図 2.18 決壊前横断面図（左岸 21.0k）平成 23 年度定期横断面図より作成

出典：国土交通省

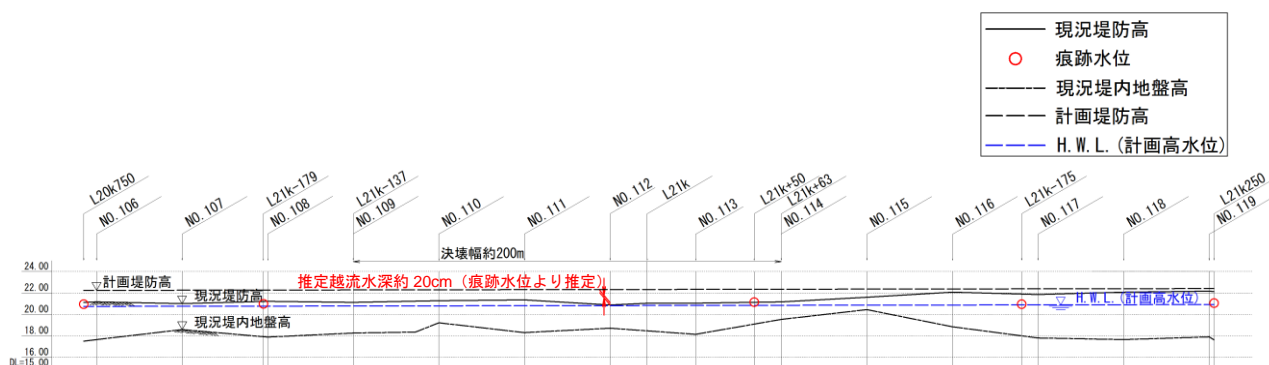


図 2.19 決壊前縦断面図平成 17 年度測量成果より作成

（L20k750,L21k,L21k250 のキロ杭は平成 23 年度測量定期横断面図より作成）

出典：国土交通省



左岸 21.0k 付近の決壊区間は、治水地形分類図によると氾濫平野の微高地に分類される。また、明治初期の迅速図や明治末期、昭和前期の地図によると、明治初期から盛土形状が確認され、その位置は現在の堤防の位置とほぼ一致している。

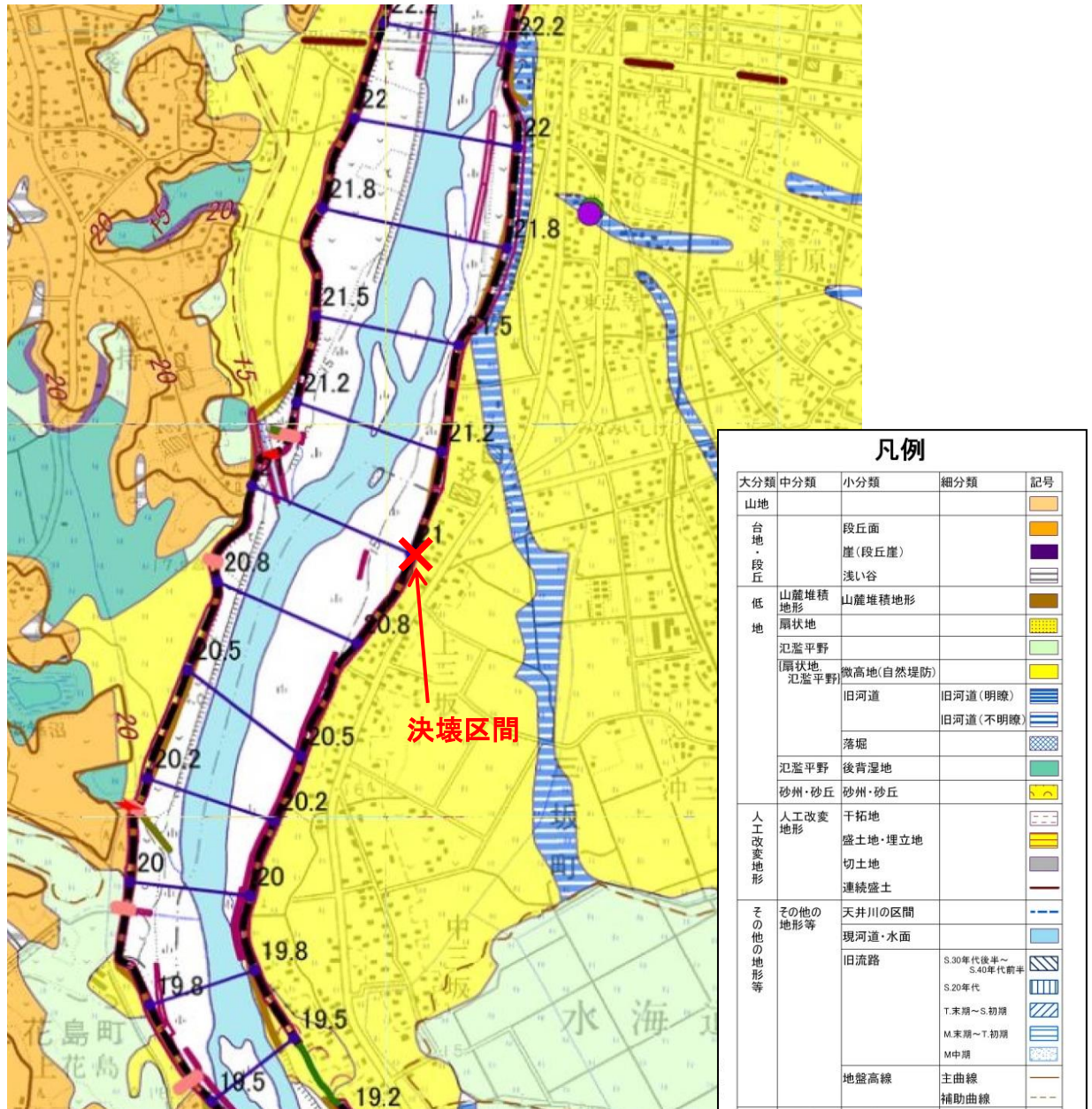
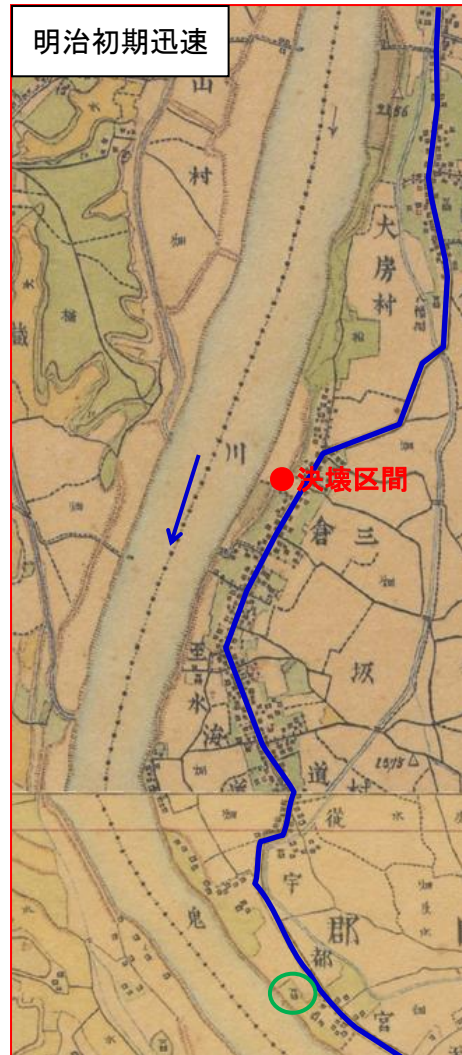


図 2.20 決壊区間周辺の治水地形分類図 (2 万 5000 分の 1 より作成)

出典：国土地理院 (平成 23 年、平成 24 年更新)



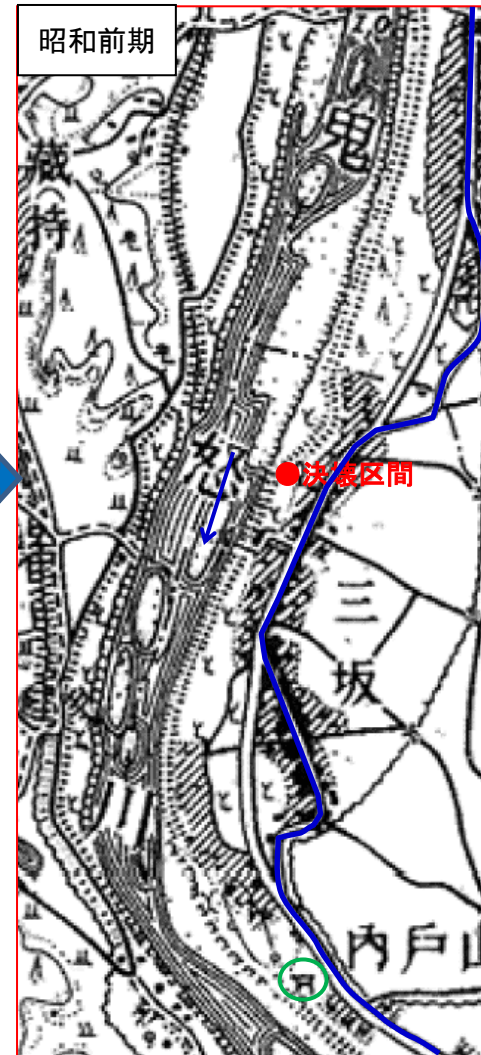
県道 357 号線(旧谷和原下館線)



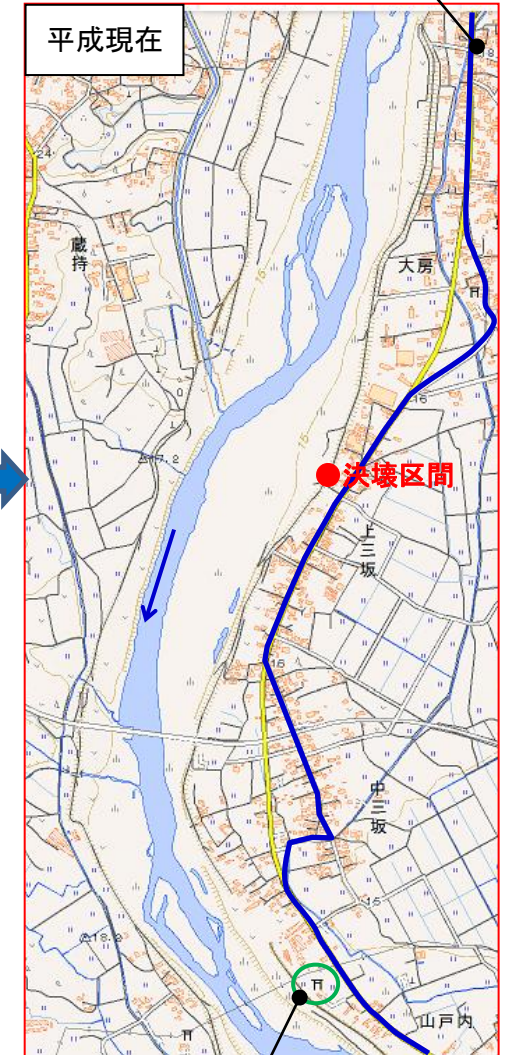
出典：歴史的農業環境 WMS 配信サービス



出典：国土地理院



出典：国土地理院



出典：国土地理院

三坂神社

図 2.21 決壊区間周辺における迅速図・地図の比較



## (2) 左岸 21.0k 付近の決壊後の堤防状況

堤防の決壊幅は、左岸 21.0k 付近の上下流約 200m に達した。また、決壊後の調査により、図 2.24 に示す決壊区間上流端部の堤防断面は、沖積層の砂質土(As1)を被覆するように粘性土(Bc)が分布していることが確認された。一方、図 2.25 に示す下流端部の堤防断面は、粘性土(Bc)を主体とする土で構成されており、上流端部と下流端部で地質構成は異なっていた。決壊後の 9 月 12 日に撮影された決壊区間の航空写真や 9 月 11 日及び 19 日に実施された測量からは、大きな落掘が形成されたことが確認された。

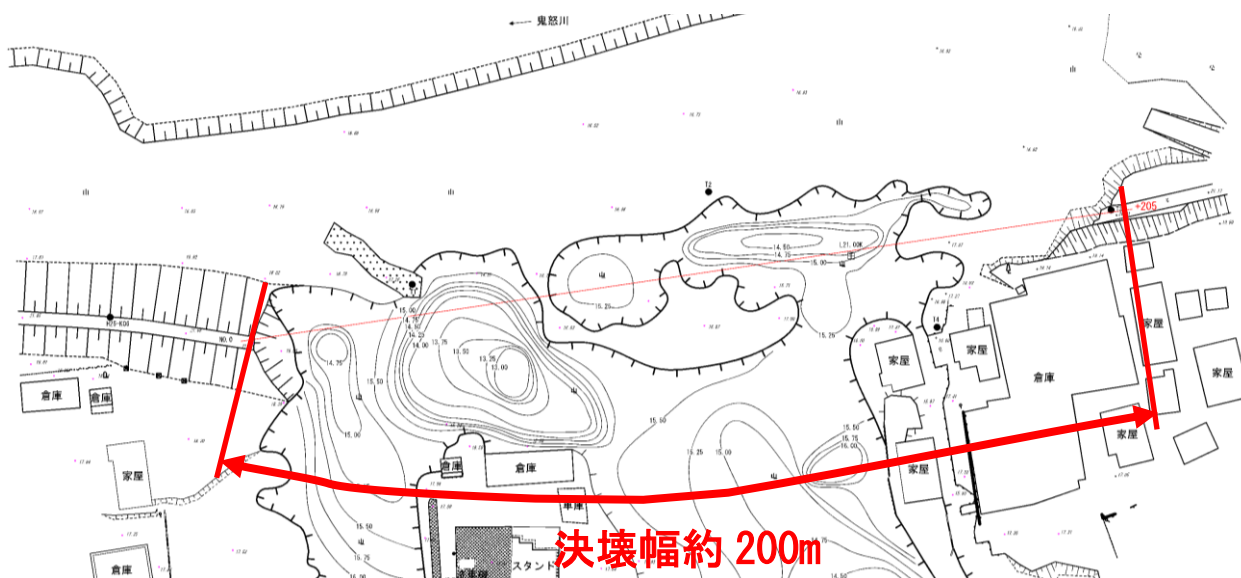
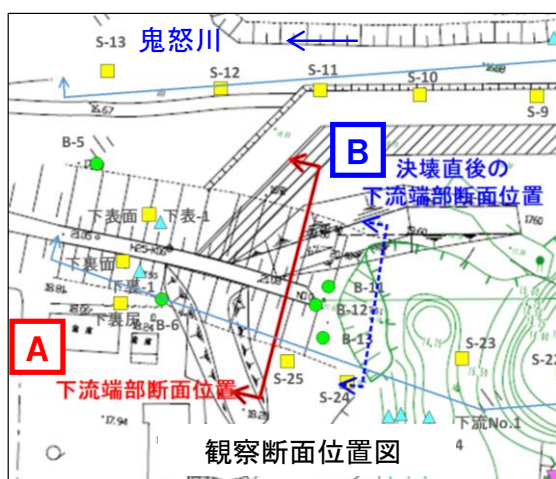
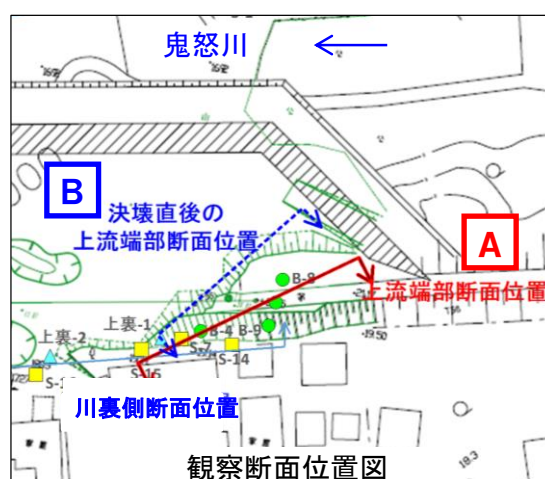


図 2.22 決壊後平面図



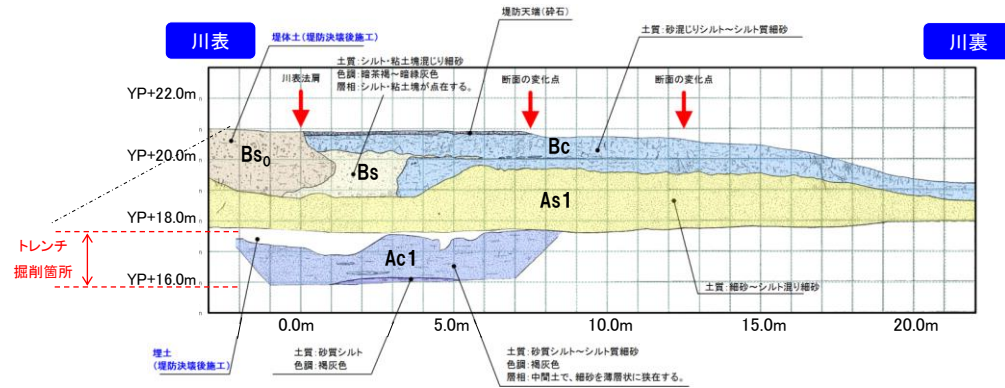
下流端部断面調査



上流端部断面調査

図 2.23 堤防断面調査位置図

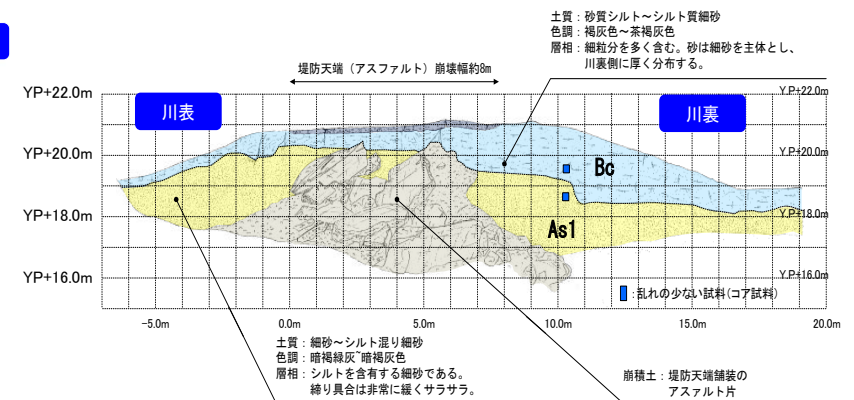
**A** 平成 28 年 2 月 17 日（本復旧時）の上流端部断面調査



トレンチ掘削箇所

撮影日：平成28年2月17日

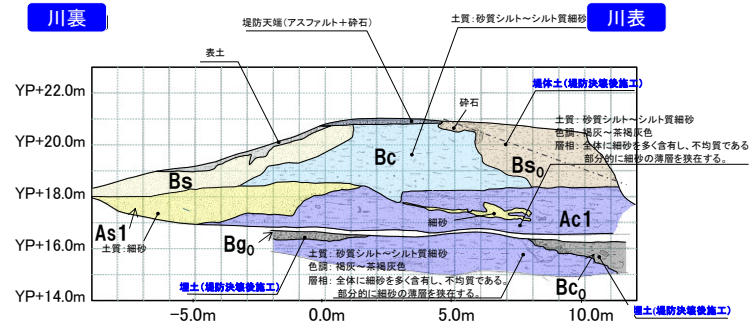
**B** 平成 27 年 9 月 11 日（決壊直後）の上流端部断面調査



撮影日：平成27年9月11日

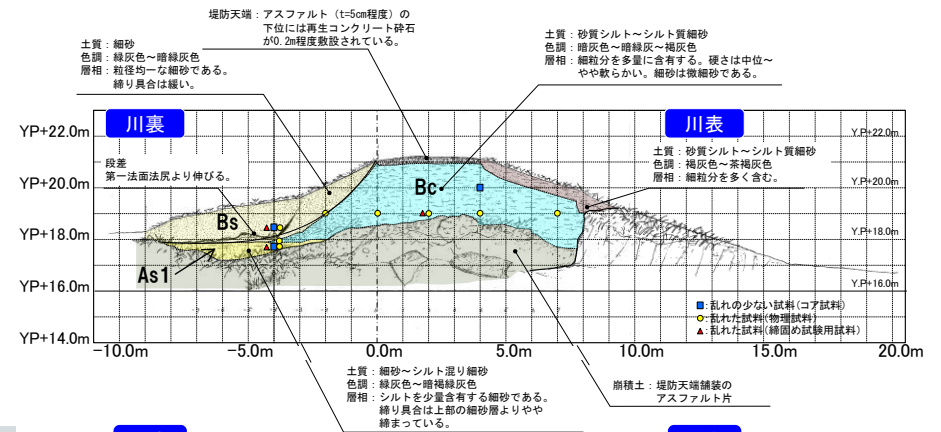
図 2.24 決壊区間上流端部断面調査結果

**A** 平成 28 年 2 月 25 日（本復旧時）の下流端部断面調査



撮影日：平成28年2月25日

**B** 平成 27 年 9 月 12 日（決壊直後）の下流端部断面調査



撮影日：平成27年9月12日

図 2.25 決壊区間下流端部断面調査結果



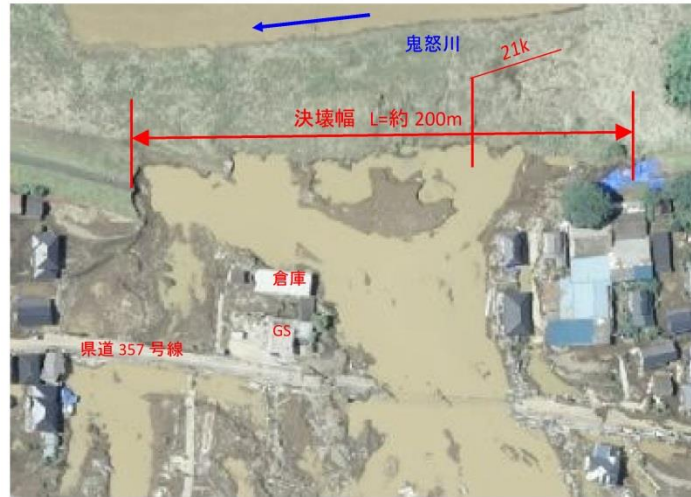


図 2.26 決壊区間航空写真（平成 27 年 9 月 12 日撮影）

出典：国土交通省撮影

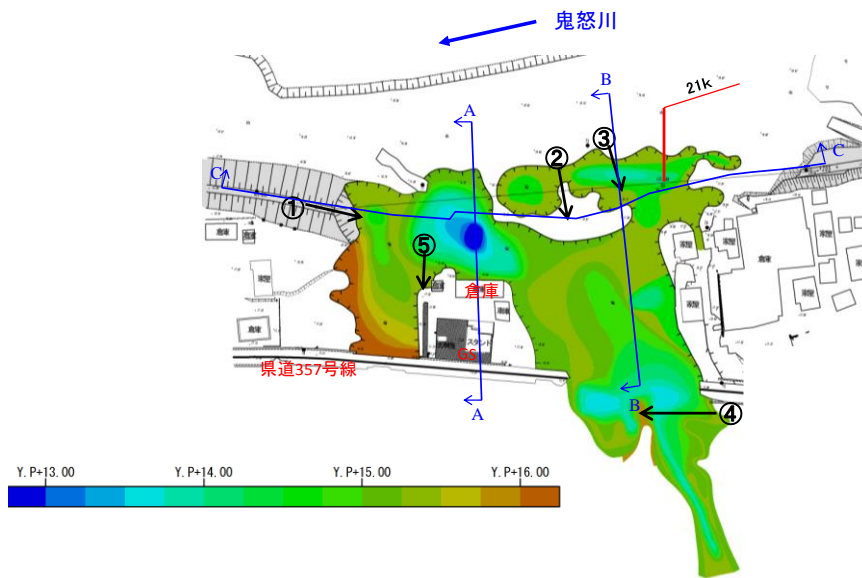


図 2.27 地盤高コンター図（平成 27 年 9 月 11 日、19 日測量成果）

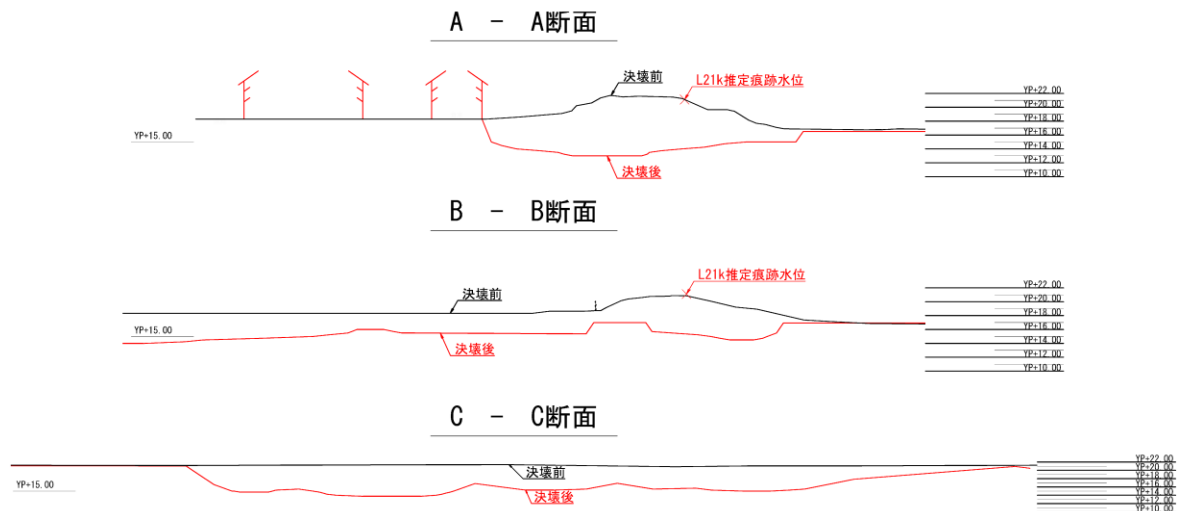


図 2.28 決壊後断面図（平成 27 年 9 月 11 日、19 日測量成果）/決壊前断面図（平成 17 年度測量成果）  
（A-A 断面、B-B 断面、C-C 断面の位置は図 2.27 上に示す）



①倉庫前面の落掘状況（平成 27 年 9 月 12 日撮影）



②堤防背後の落掘の様子  
（平成 27 年 9 月 22 日撮影）



③堤防付近の落掘の様子  
（平成 27 年 9 月 12 日撮影）



④道路付近の落掘状況  
（平成 27 年 9 月 19 日撮影）



⑤堤内地の土層（GS 付近）  
（平成 27 年 9 月 11 日撮影）

図 2.29 落掘の状況

出典：国土交通省撮影

### 3. 左岸 21.0k 付近の決壊原因の特定

#### 3.1 一般的な堤防決壊のメカニズム

堤防決壊のメカニズムは、以下に示すとおり、大きく分けて「河川水の越水による堤防決壊」、「河川水の浸透による堤防決壊」、「河川水の侵食・洗掘による堤防決壊」の3形態がある。また、これらのメカニズムが複合的な要因となって堤防決壊することもある。

##### 3.1.1 河川水の越水による堤防決壊

- ・河川水が堤防を越流する。
- ・越流水により土でできた川裏（河道と反対側）の法尻が洗掘される。
- ・堤防の裏法尻や裏法が洗掘され、最終的に堤防決壊に至る。

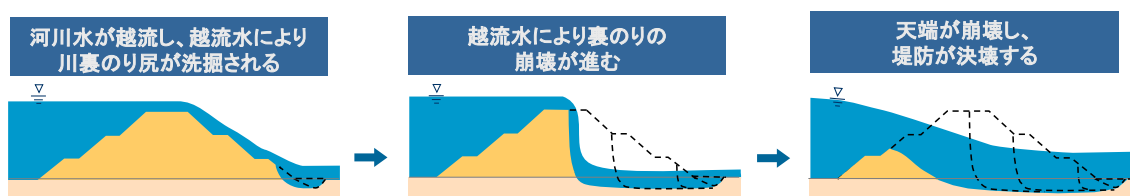


図 3.1 越水による堤防決壊のイメージ図

##### 3.1.2 河川水の浸透による堤防決壊

###### (1) パイピング破壊

- ・高い河川水位により地盤内に水がしみ込み、川裏側まで水の圧力がかかることにより、川裏側の地盤から土砂が流失し、水みちができる。
- ・土砂の流失が続き、水みちが拡大して、堤防が落ち込み、最終的に堤防決壊に至る。

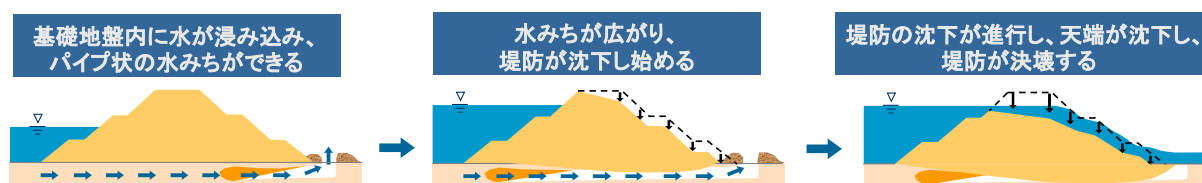


図 3.2 パイピング破壊によるイメージ図

## (2) 浸透破壊

- ・ 降雨や高い河川水位により水が浸透し、堤防内の水位が上昇する。
- ・ 堤防内の高い水位により、土の強さ（せん断強度）が低下し、川裏側の法面がすべり、最終的に堤防決壊に至る。



図 3.3 浸透破壊によるイメージ図

### 3.1.3 河川水の侵食・洗掘による堤防決壊

- ・ 河川水により堤防の河川側が侵食・洗掘される。
- ・ 河川水による侵食・洗掘が続き、最終的に堤防決壊に至る。

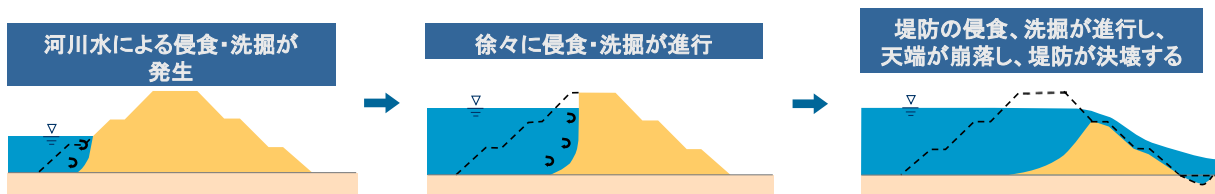


図 3.4 侵食・洗掘による堤防決壊のイメージ図



## 3.2 越水による決壊の可能性の検討

### 3.2.1 堤防決壊の時系列の整理

#### (1) 国土交通省 CCTV による調査結果

左岸 21.0k 付近の堤防決壊は、決壊区間対岸に設置されていた篠山水門の CCTV 映像により、12 時 50 分頃確認された。決壊直後からの映像を時系列で整理したものを図 3.6 に、決壊前と決壊後の航空写真を図 3.7 に示す。

決壊幅は、12 時 52 分に約 20m であったが、その後 13 時 36 分に約 80m に達し、時刻が経過するごとに広がり、最終的に約 200m となった。

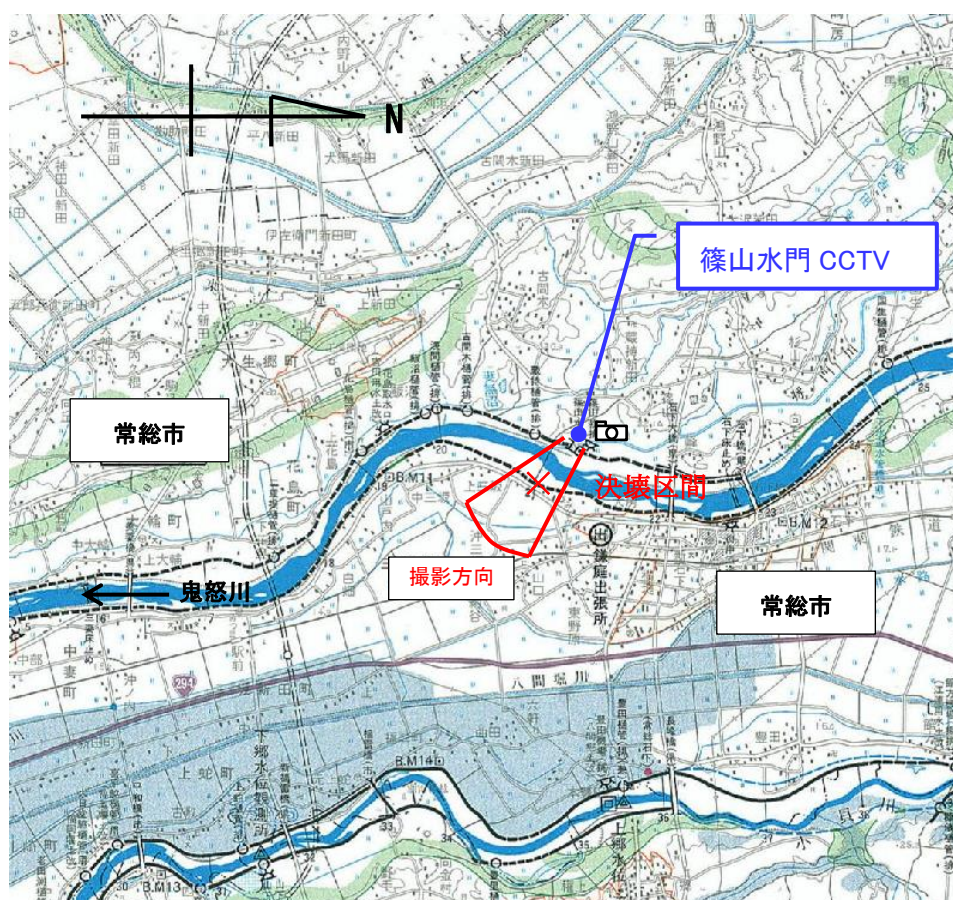


図 3.5 CCTV 位置図



図 3.6 決壊区間の時系列変化 篠山水門 CCTV 画像



平成 18 年撮影



平成 27 年 9 月 12 日撮影

図 3.7 決壊区間の決壊前後の状況

出典：国土交通省撮影



(2) 河川巡視員等からの聞き取り調査結果

決壊前後に決壊区間周辺の河川巡視を行っていた国土交通省職員、河川巡視員、状況把握員から、当時の様子について聞き取り調査を行った。

表 3.1 聞き取り調査結果（国土交通省職員）

対象者	聞き取り内容	状況写真
国土交通省 職員	<ul style="list-style-type: none"><li>・11時10分頃、排水ポンプ車で決壊区間の上流側から下流側へ堤防天端を走行。（通り抜け）</li><li>・越水を確認したため、鎌庭出張所へ立ち寄り報告。</li></ul>	① 
		② 
		③ 
		④ 

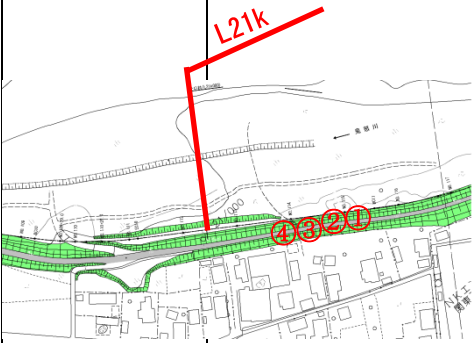




表 3.2 聞き取り調査結果（状況把握員）

対象者	聞き取り内容	状況写真
<p>状況把握員</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・12：00 頃、決壊区間の上流側から下流側へ堤防天端を走行、越水開始直後と思っていたが、徐々に深くなり不安になった。（通り抜け）</li> <li>・越水深は深いところで地上から車体底部までの高さとはほぼ同じくらいと感じた。（後日、ライトバンの地上から車体底部までの高さを計測：約 20cm）</li> <li>・堤防裏法面は洗堀が始まった直後と感じた。</li> </ul>	<p>⑤</p>  <p>9月10日 12時00分撮影</p>
		<p>⑥</p>  <p>9月10日 12時00分撮影</p>
		<p>⑦</p>  <p>9月10日 12時04分撮影</p>
		<p>⑧</p>  <p>9月10日 12時04分撮影</p>

表 3.3 聞き取り調査結果（河川巡視員）

対象者	聞き取り内容	状況写真
河川 巡視員	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 11 : 50 頃 河川巡視中、県道 谷和原筑西線を 通過時に道路冠 水を発見。</li> <li>・ 12 : 05 頃 決壊区間上流の 坂路から堤防天 端に上がり、越水 を確認。</li> </ul>	<p>⑨</p>  <p>9月10日 撮影</p>
		<p>⑩</p>  <p>9月10日 撮影</p>
		<p>⑪</p>  <p>9月10日 撮影</p>

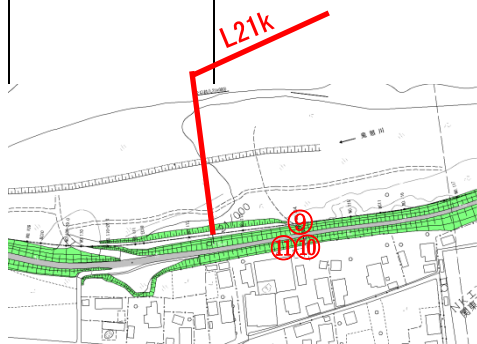


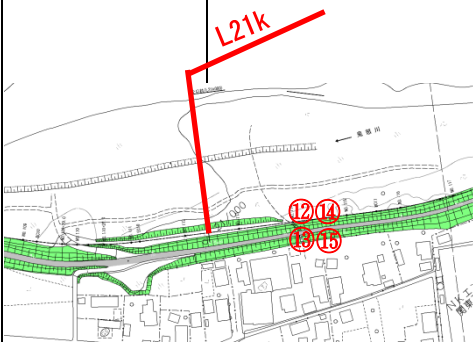


表 3.4 聞き取り調査結果（国土交通省職員）

対象者	聞き取り内容	状況写真
国土交通省 職員	<ul style="list-style-type: none"> <li>・川裏から川表に削れて、この現象が上流へ広がって来た。</li> <li>・微震動が有り、先端には近づけなかった。</li> </ul>	<p>⑫</p>  <p>9月10日 13時27分撮影</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・法面の草が堤防天端に向かって倒れており、上流も越水したと感じた。</li> </ul>	<p>⑬</p>  <p>9月10日 13時45分撮影</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水は、けやきの木を巻いて下流側へ流れていた。</li> </ul>	<p>⑭</p>  <p>9月10日 14時16分撮影</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場からは木があって宅地側の状況は見えなかった。</li> </ul>	<p>⑮</p>  <p>9月10日 15時40分撮影</p>





### (3) 近隣住民の方からの情報

決壊区間の近隣住民の方から、決壊した頃に撮影されたビデオ映像を提供いただくとともに当時の様子を聞くことができた。

ビデオ映像の撮影場所と撮影方向を図 3.8 に示す。

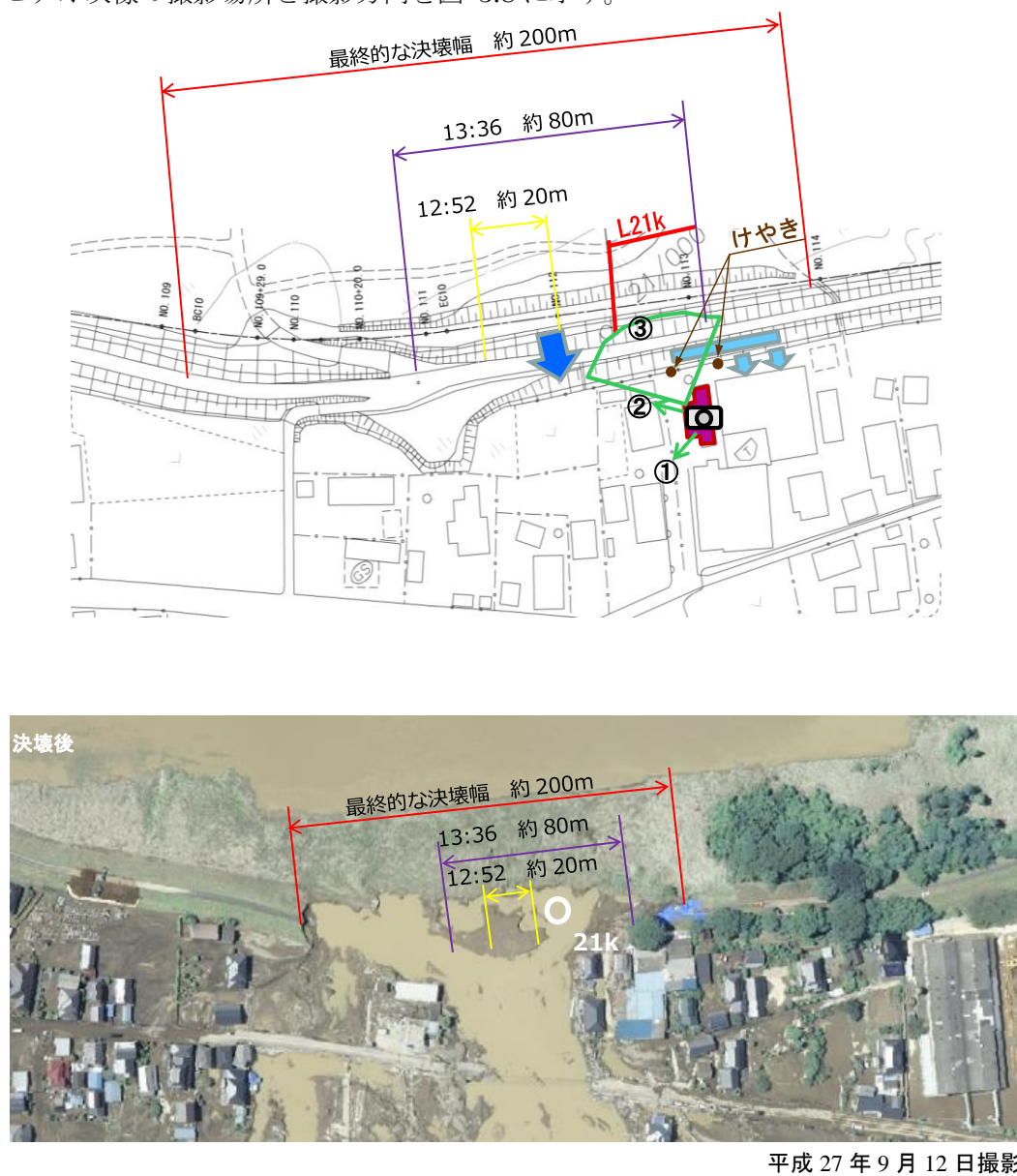


図 3.8 映像撮影位置図

提供していただいた映像では、1 階での撮影開始時から 2 階へ上がり撮影を終了するまでの約 20 分間程度の間に決壊による氾濫水の急激な変化が確認できる。



図 3.9 ①居住地側の氾濫水の状況



図 3.10 ②車庫周辺の水位上昇状況

図 3.11 に近隣住民の方が 2 階より撮影した映像から整理した左岸 21.0k 付近の堤防の状況を示す。

この映像から、左岸 21.0k 付近で堤防が決壊した頃、その上流では堤防天端からの越水により、川裏の堤体が流失し、越流水が滝状の流れとなっていることが確認された。



図 3.11 ③左岸 21.0k 付近の堤防状況

その他、近隣住民の方からの聞き取りにより得た情報は以下のとおりである。

- ・家屋の 1 階で撮影していたが、危なくなったので 2 階で撮影した。
- ・撮影を開始した時間は良く覚えていない。11 時半頃から 12 時頃だと思う。大変だと思って息子に聞いたらビデオがあるというので撮影した。
- ・水が入ってきて危なくなったので 2 階に避難した。2 階への移動は 10 分から 20 分程度だと思うが、その間に下流側で決壊したようだ。特に地鳴りなどは感じなかった。
- ・そのため決壊の瞬間は撮影されていない。
- ・堤防の崩れ方などに、印象に残っていることはないが、最初、越流水は堤防からまっすぐ流れていて、1 本のけやきの木 (p3-10 図 3.8 参照。下流側のけやき) は残っていた (その後流失)。
- ・その後上流側 (家の裏のけやきの木 (出水後も残っている)) の方から水が流れてきた (p3-10 図 3.8 の水色のイメージ)。その時に下流を見たら、広い幅で少し強く水が流れていた。
- ・越水は自分の家の前から始まったと思っていたが、下流側の方が少し強いように思われた。家の前の道路の水流がすごくて、あまり他のことは見ていない。
- ・水の流れは、家の前の道路に集まって、強い勢いで流れていた。
- ・車庫にも水が流れて車もダメだと思った。
- ・家の中には 50cm くらい土砂がたまり、1.5m 位まで水に浸かったようだ。
- ・堤防決壊後、自衛隊のヘリに親子 3 人救助された。
- ・出水後に早くボランティアを呼んで片付けをしたかったが、道路が無く一番最後になった。

※ビデオカメラの時刻は未設定となっていた。

#### (4) 堤防決壊状況の時系列整理

「3.2.1 (1)」、「3.2.1 (2)」、「3.2.1 (3)」に整理した国土交通省 CCTV 映像、聞き取り調査結果の情報等を踏まえ、堤防決壊前後の時系列変化を整理した。

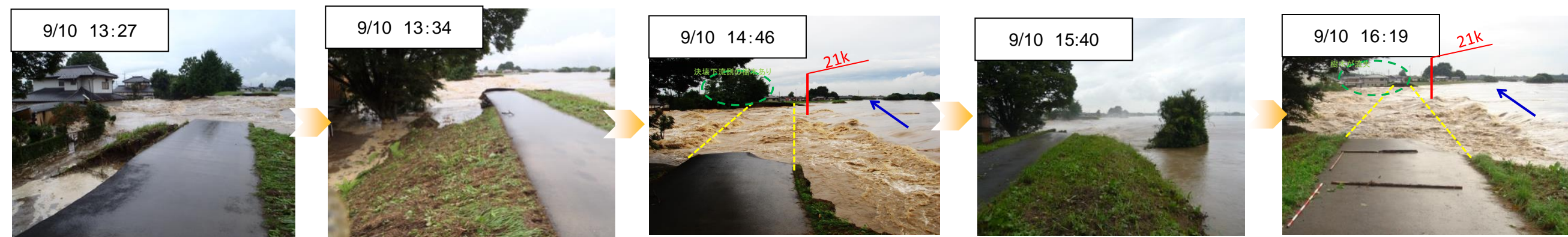
結果を図 3.12 に示す。

- ・ 11 時 11 分 : 左岸 21.0k 付近の 2 地点において、堤防天端から越水している状況が確認された。
  - ・ 12 時 04 分 : 決壊区間の川裏側で洗掘が確認された。
  - ・ 12 時 50 分頃 : 堤防決壊
  - ・ 12 時 52 分 : 決壊幅は CCTV からの判読によると約 20m となる。背後の家屋に傾きは見られない。
  - ・ 13 時 27 分 : 決壊区間の上流側において川裏の堤体の流失が確認できる。
  - ・ 13 時 34 分 : 決壊区間は上流側へ拡大していることが確認できる。
  - ・ 13 時 36 分 : 決壊幅は CCTV からの判読によると約 80m に広がった。
  - ・ 14 時 46 分 : 堤防敷付近において、河川水の流れの落ち込みが見られる。
  - ・ 16 時 19 分 : 決壊口は下流側へと広がり下流側の樹木が流失した。
- 
- ・ 11 時 11 分に堤防天端から越水している状況が確認され、堤防決壊までの間に、越水が 2 時間程度継続したものと考えられる。
  - ・ 決壊口は時刻が経過するごとに広がり、最終的な決壊幅は約 200m となった。

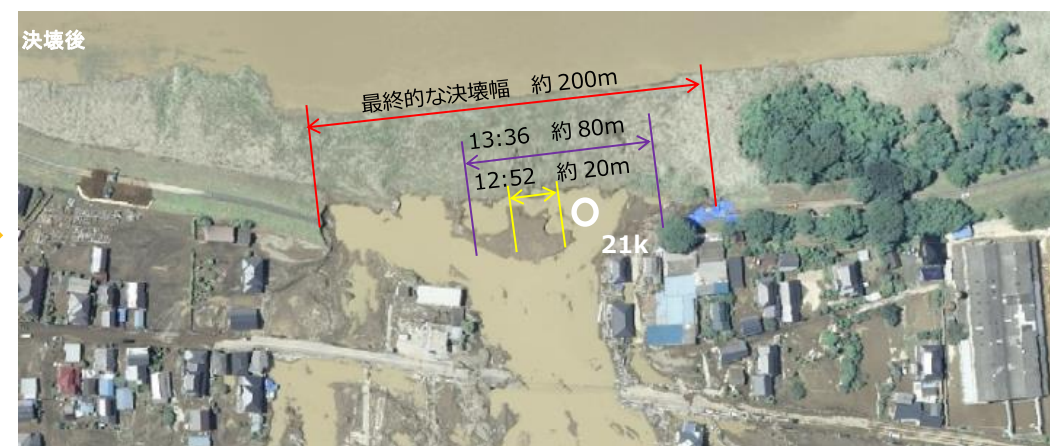




平成 25 年 10 月 17 日撮影



平成 18 年撮影



平成 27 年 9 月 12 日撮影

図 3.12 堤防決壊前後の時系列変化



### 3.2.2 まとめ

#### (1) 調査から把握した事項

調査から把握した事項を以下に示す。

- ・河川巡視等により、決壊区間で越水が確認された。状況把握員からの聞き取り調査結果、痕跡水位等により越流水深は約 20cm と推定された。
- ・状況把握員の写真等により決壊区間の川裏側で洗掘が確認された。
- ・近隣住民の方のビデオ映像から、左岸 21.0k 上流付近において、堤防天端面からの越水により、堤防天端のアスファルトが残る形で川裏の堤体が流失し、越流水が堤防天端から滝状の流れとなっていることが確認された。
- ・決壊後に実施した測量結果等により、決壊区間の法尻から堤体直下にかけて落掘が確認された。
- ・決壊後に実施した堤防の断面の調査により、堤体については、決壊区間上流端部では、緩い砂質土(As1)が粘性土(Bc)で被覆された構造、下流端部では、粘性土(Bc)が主体となった構造であることが確認された。

#### (2) 越水による堤防決壊の可能性の考察

これらのことから、越水による堤防決壊の可能性について以下のことが推定される。

- ・越水により川裏側で洗掘が生じ、川裏法尻の洗掘が進行・拡大し、堤体の一部を構成する緩い砂質土(As1)が流水によって崩れ、小規模な崩壊が継続して発生し、決壊に至ったと推定される。

### 3.3 浸透による決壊の可能性の検討

#### 3.3.1 決壊区間近傍の噴砂の状況

決壊区間では漏水に関する証言は得られていないものの、被災後の調査により、決壊区間の上流約 500m（左岸 21.50k）、下流約 800m（左岸 20.15k、左岸 20.27k）離れた地点の堤防法尻部で噴砂が複数箇所確認された。決壊区間近傍（左岸 20.15k、左岸 20.27k、左岸 21.50k）の噴砂の状況を図 3.13 に示した。

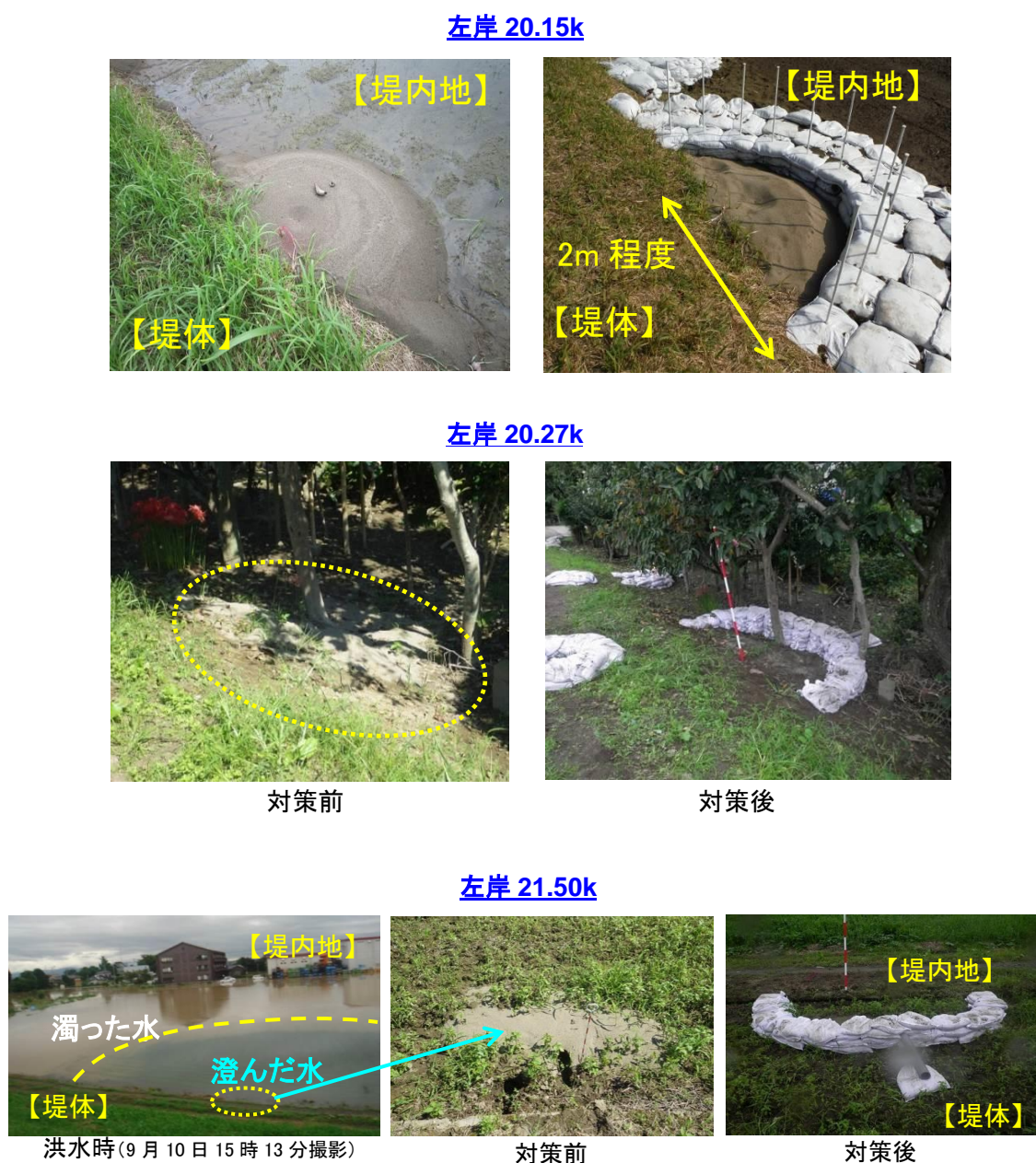


図 3.13 決壊区間近傍の噴砂の状況



図 3.14、図 3.15 は各々の噴砂箇所の試掘調査状況を示したものである。

噴砂箇所で試掘調査を行った結果、噴砂跡（サンドパイプ）が左岸 20.15k では 0.40m 程度、左岸 20.27k では 0.20m 程度斜め下方に伸びており、サンドパイプの先端は空洞化していることが確認された。一方、左岸 21.50k では噴砂跡（サンドパイプ）が鉛直方向に伸び基礎地盤とつながっていたものの、サンドパイプの先端に空洞は確認されなかった。



図 3.14 試掘調査状況

### 試掘調査状況(左岸21.50k)



図 3.15 試掘調査状況

### 3.3.2 決壊区間の地質構成の推定

決壊区間は、越水した洪水流により堤体及び基礎地盤の一部は流失し、落掘も形成された。このため、決壊した堤防及び表層付近の基礎地盤の地質構成は不明である。

決壊区間では漏水に関する証言は得られていないものの、決壊区間近傍では噴砂が複数箇所確認されていることから、決壊した堤防及び基礎地盤の地質構成を推定し、浸透に対する堤防の安全性を評価する必要がある、図 3.16 に示す位置で地質調査等を実施した。



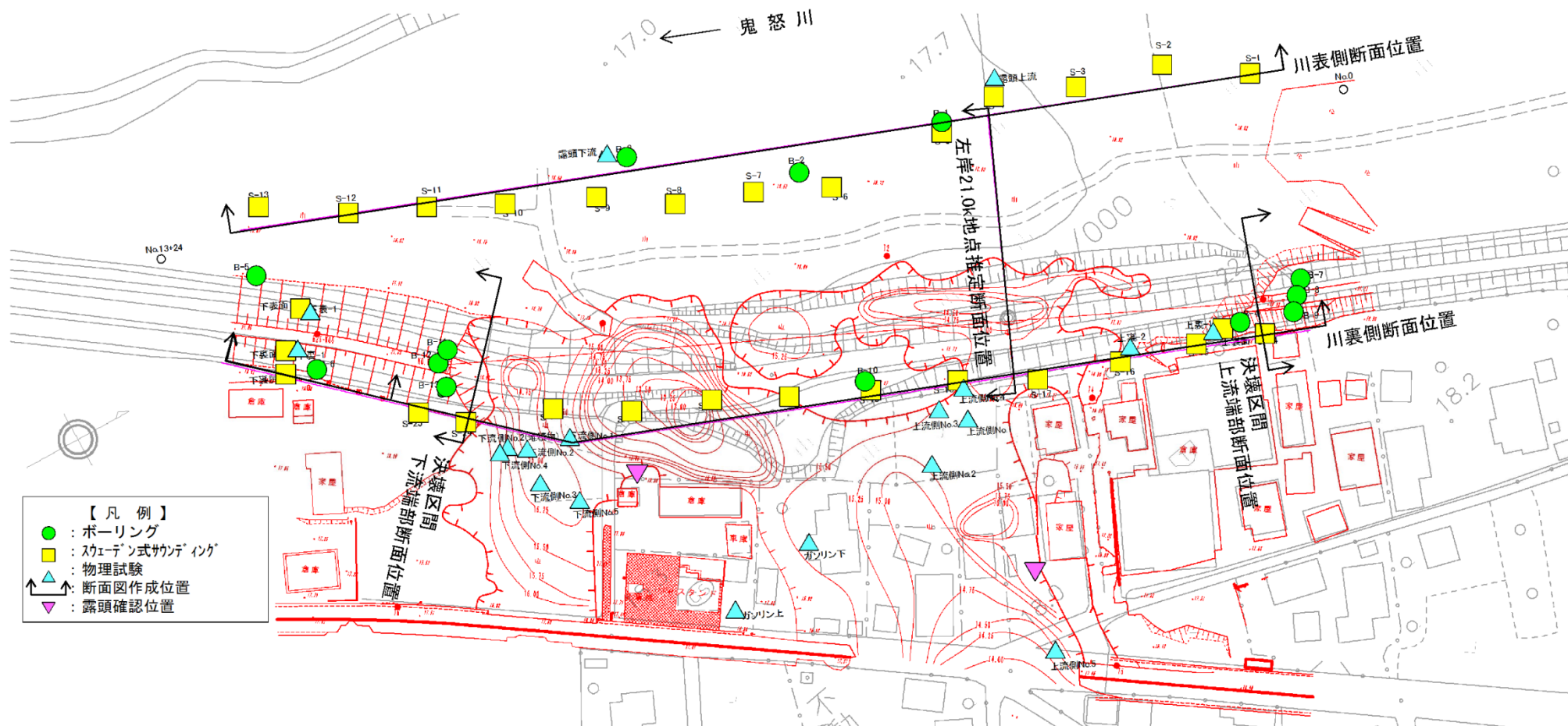


図 3.16 決壊区間における地質調査位置

地質調査結果から川表側及び川裏側の堤防縦断方向の地質構成を図 3.17 に示す。また、図 3.18 に決壊区間の上下流端部の堤防横断方向の地質構成を示す。

以下に堤防縦断方向及び堤防横断方向の地質構成を述べる。

#### (1) 川表側の地質構成

決壊区間の川表側高水敷の地質構成は、地表からやや硬質な粘性土 (T) が 0.5m 程度、3m 程度の粘性土層 (Ac1)、その下位には 4m 程度の砂質土層 (As2) 及び粘性土層 (Acs) が確認された。

#### (2) 川裏側の地質構成

決壊区間の川裏側堤体法尻付近の地質構成は、上流側では地表より 0.6m 程度の粘性土 (T)、その下位に 1m 程度の砂質土層 (As1)、5m 程度の粘性土層 (Ac1) が確認された。一方、下流部では地表より 0.6m 程度の粘性土 (T)、その下位に 0.2m 程度の砂質土層 (As1)、8m 程度の粘性土層 (Ac1) が確認された。さらに、その下位には、砂質土層 (As2) が堆積している。

#### (3) 決壊区間の上流端部の堤防横断方向の地質構成

堤体は、緩い砂質土 (As1) が粘性土 (Bc) で被覆された地質構成であることが確認された。また、緩い砂質土 (As1) は川表側から川裏側に連続していることが確認された。

基礎地盤については、川表側から川裏側にかけて粘性土 (Ac1) が 5m 程度の層厚で堆積し、その下位に砂質土が分布していることが確認された。

#### (4) 決壊区間の下流端部の堤防横断方向の地質構成

堤体は、粘性土 (Bc) が主体となった地質構成であることが確認された。その下位には、堤体中央部に緩い砂質土 (As1) が分布することが確認された。

基礎地盤は、粘性土 (Ac1) が川表側では 1m 程度、川裏側では 6m 程度の層厚で川表側から川裏側に連続して堆積していることが確認された。

また、基礎地盤の緩い砂質土（As1）を被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚を確認するため、決壊区間周辺において露頭調査を実施した。

緩い砂質土（As1）を被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚は、0.2m～0.6m 程度で変化していることが確認された（図 3.19 参照）。

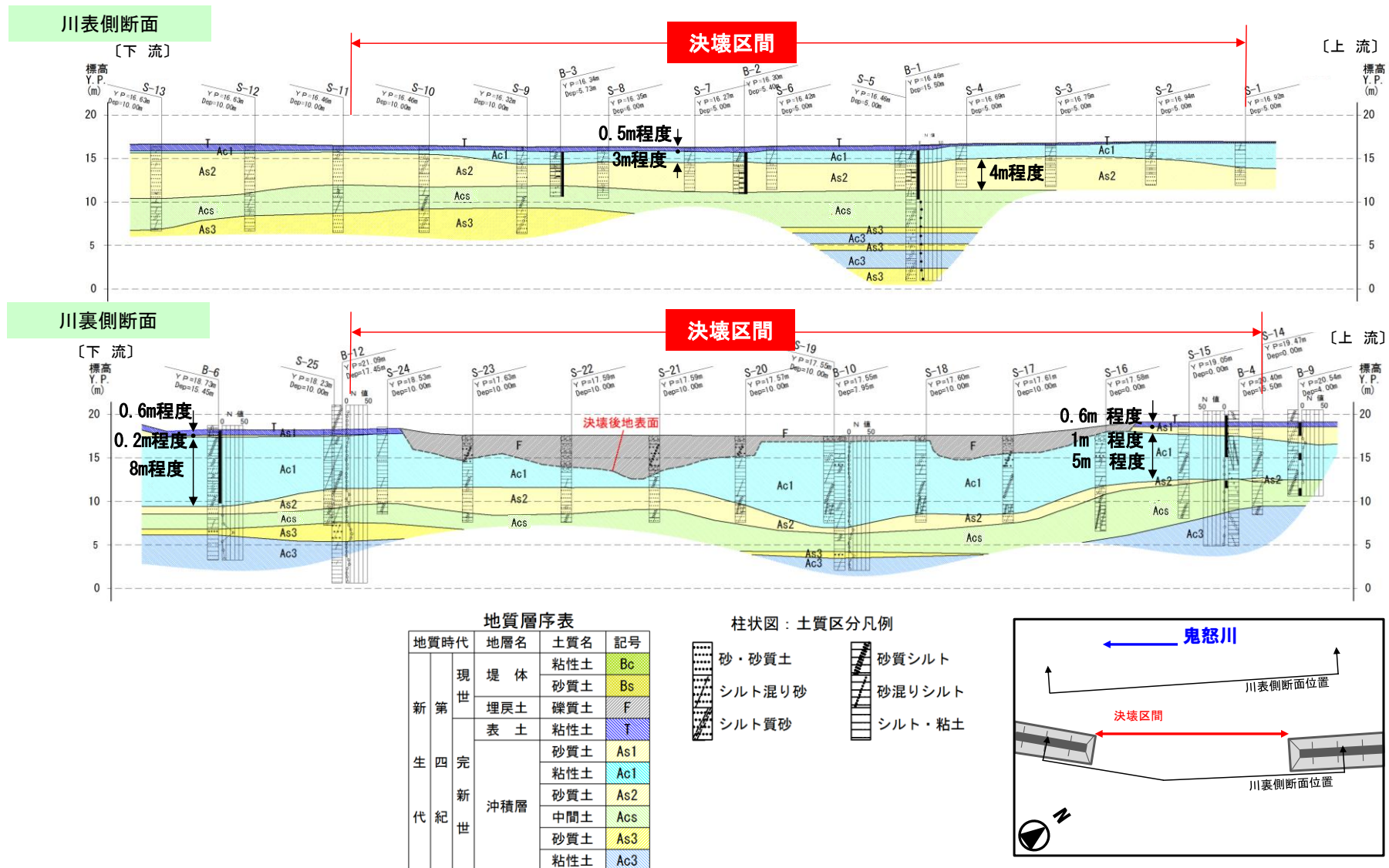


図 3.17 堤防縦断方向の地質構成



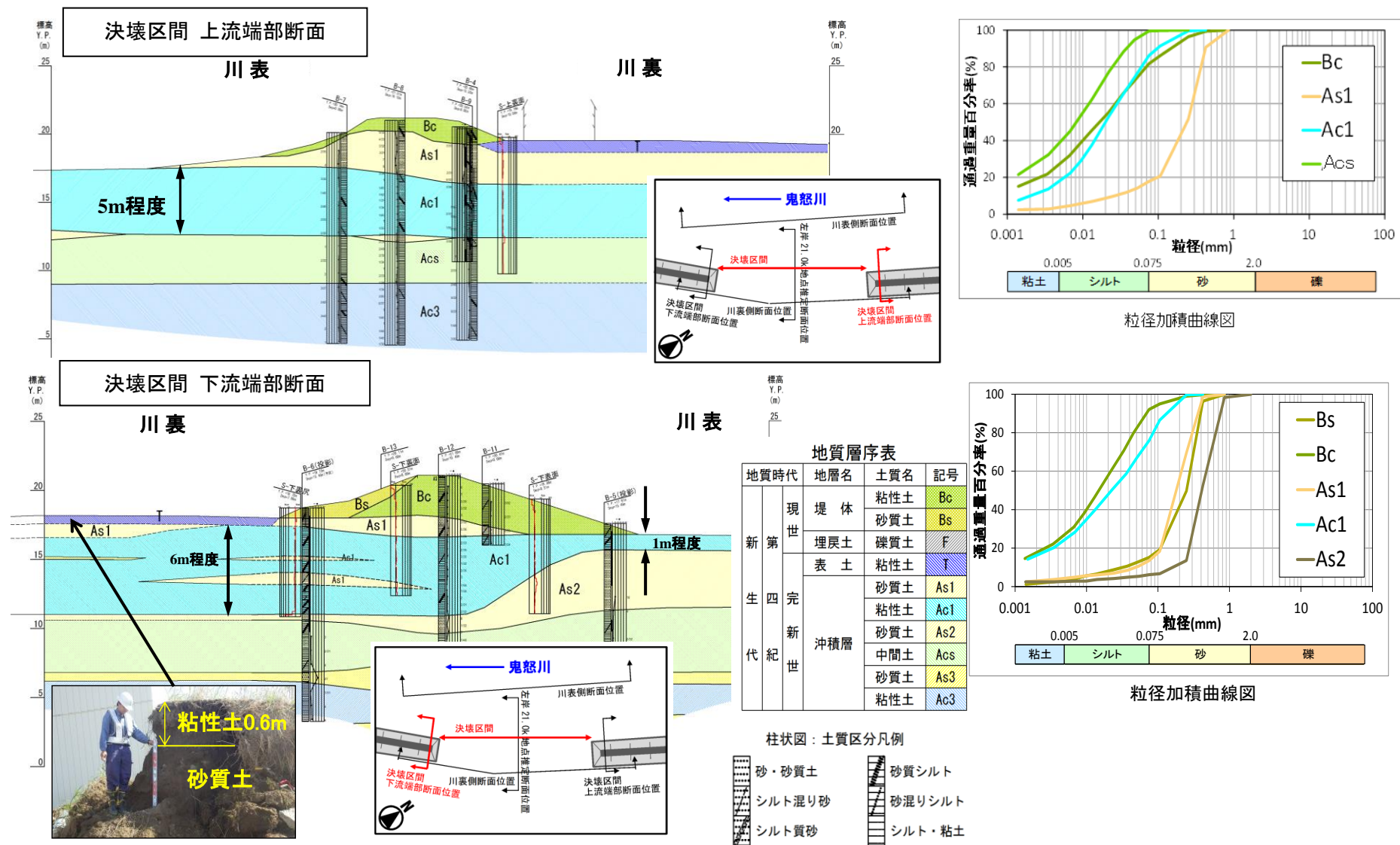


図 3.18 堤防横断方向の地質構成



図 3.19 決壊区間周辺の露頭調査

### 3.3.3 決壊した堤防の地質構成の推定

実施した地質調査の結果や堤防縦断方向の堤内地盤高と露頭調査から、図 3.20 に示すとおり、流失した決壊区間の堤防断面の地質構成を推定した。

決壊区間の堤体土の土質は、緩い砂質土（As1）が粘性土（Bc 及び T）で被覆された地質構成であり、緩い砂質土（As1）は川表側から川裏側に連続しているものと推定した。基礎地盤については、川表側から川裏側にかけて粘性土（Ac1）が連続し、川表側から川裏にかけ粘性土（Ac1）の上に砂質土（As1）が分布すると推定した。また、川裏側の宅地周辺には砂質土（As1）を被覆する粘性土（T）があったものと推定した。

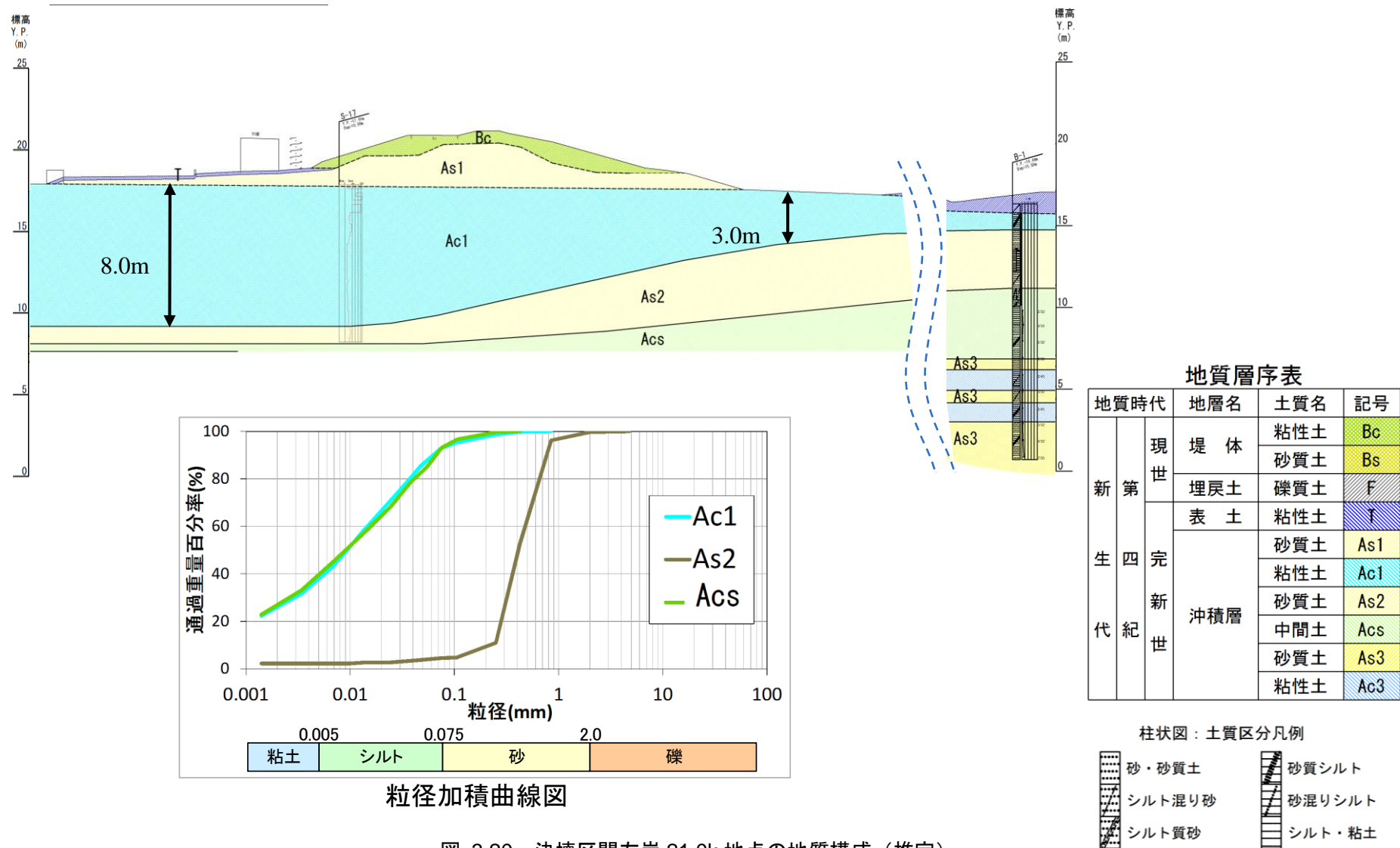


図 3.20 決壊区間左岸 21.0k 地点の地質構成（推定）



### 3.3.4 浸透流解析の結果

#### (1) 検討断面

浸透流解析や安定解析の検討断面は、図 3.21 に示すように決壊区間上流端部断面、決壊区間下流端部断面、左岸 21.0k 地点推定断面の 3 断面とした。

決壊区間上流端部断面、決壊区間下流端部断面は地質調査結果から設定し、左岸 21.0k 地点については 3.3.3 の結果から推定したものをモデル化したものである。

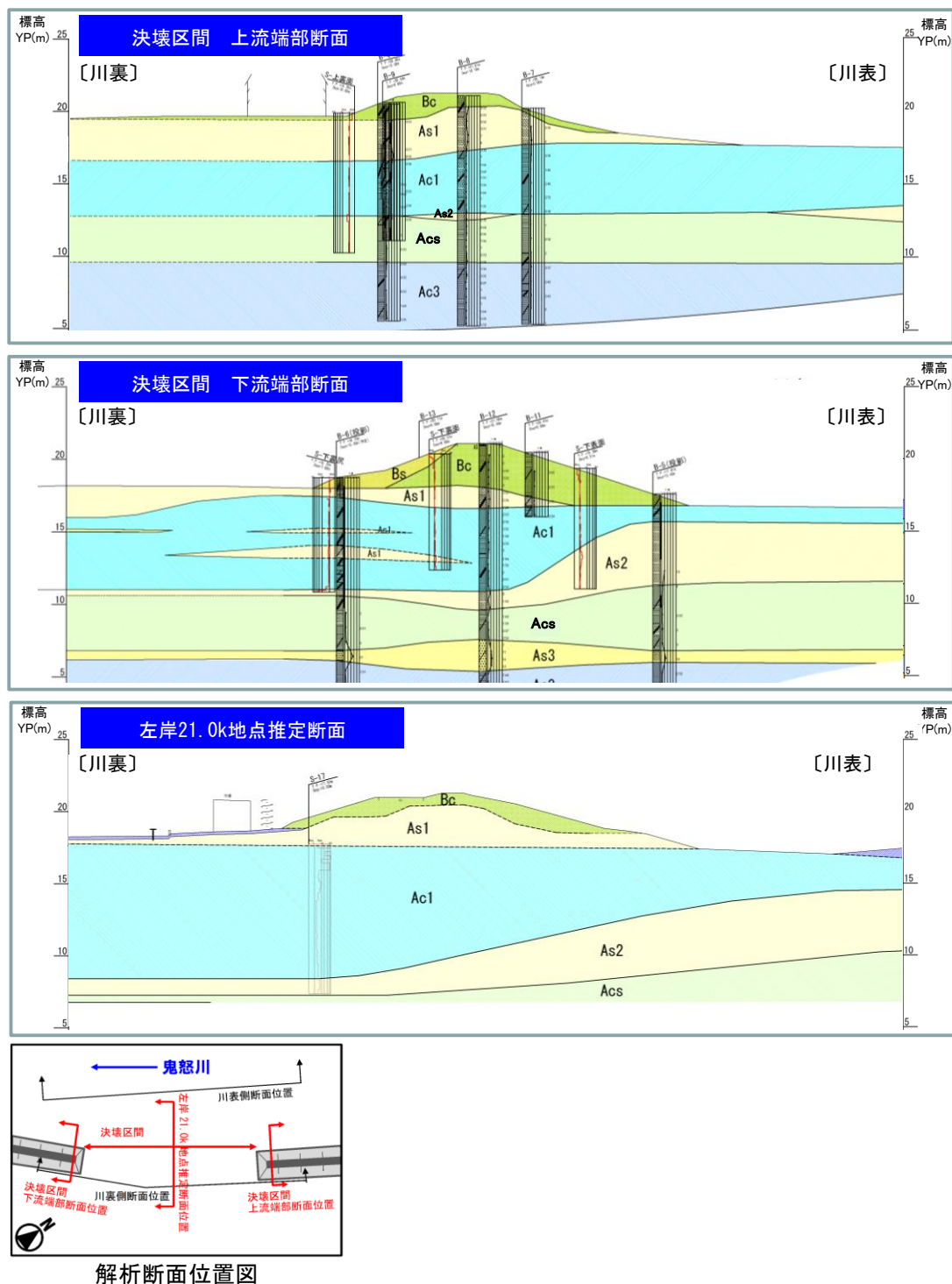


図 3.21 検討断面

### (2) 土質定数

土質定数は、原則、室内土質試験や原位置試験により得られた結果を用い設定した。粘性土(Ac1)については、単位体積重量は粘性土(Bc)の値、透水係数は「一般値」を用いた。また、粘性土(T)、砂質土(As2)及び粘性土(Acs)の土質定数は、土質状況の類似する層の値を用いることとした。

解析に用いた土質・水理定数の一覧を、表 3.5 に示す。

表 3.5 解析に用いた土質・水理定数の一覧

地層名	土質	土質記号	単位体積重量 <sup>※1</sup> $\gamma_{\text{sat}}(\text{kN/m}^3)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	透水係数 $k(\text{cm/sec})$	不飽和 浸透特性
堤体土	粘性土	Bc	18	0	20 <sup>※2</sup>	$2 \times 10^{-4}$	[M]、[C]
	砂質土	Bs	18	33	1 <sup>※3</sup>	$9 \times 10^{-3}$	[S-F]
基礎地盤	粘性土 <sup>※4</sup>	T	18	0	20	$2 \times 10^{-4}$	[M]、[C]
	砂質土	As1	17	30	0	$4 \times 10^{-3}$	[S-F]
	粘性土	Ac1	18 <sup>※5</sup>	0	25 <sup>※2</sup>	$1 \times 10^{-5\text{※6}}$	[M]、[C]
	砂質土 <sup>※4</sup>	As2	17	30	0	$4 \times 10^{-3}$	[S-F]
	粘性土 <sup>※4</sup>	Acs	18	0	25	$1 \times 10^{-5}$	[M]、[C]

※1: 単位体積重量は、飽和重量である。

※2: 堤体土(粘性土 Bc)の粘着力は、スウェーデン式サウンディング結果より換算して設定した。

※3: 堤体土(砂質土 Bs)の粘着力は、安定計算において表面の薄いすべりを防止するため、 $1(\text{kN/m}^2)$ とした。

※4: 基礎地盤(粘性土 T)の土質定数は、堤体土(粘性土 Bc)の値を用いた。

基礎地盤(砂質土 As2)の土質定数は、基礎地盤(砂質土 As1)の値を用いた。

基礎地盤(粘性土 Acs)の土質定数は、基礎地盤(粘性土 Ac1)の値を用いた。

※5: 基礎地盤(粘性土 Ac1)の単位体積重量は、堤体土(粘性土 Bc)の値を用いた。

※6: 「河川堤防構造検討の手引き 平成24年2月 財団法人 国土技術研究センター」に示されている「シルト」の一般値を使用した。

### (3) 外力条件

河川水位は実績洪水を用いて外力設定をした。降雨は水海道雨量観測所の実績降雨とした。

解析に用いた外力条件を図 3.22 に示す。

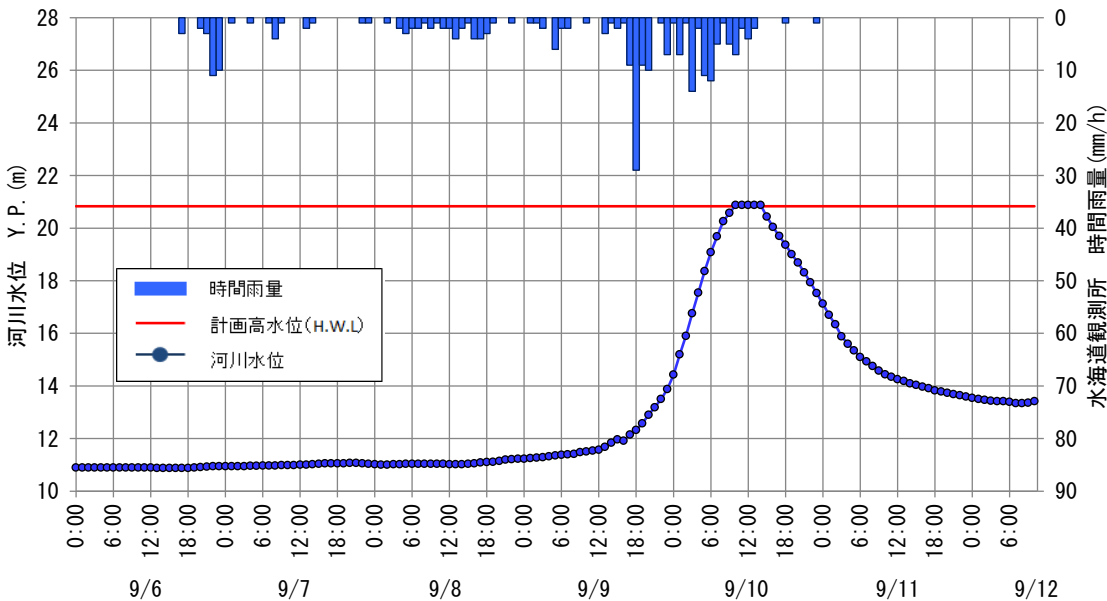


図 3.22 外力条件図

#### (4) 解析結果

解析結果の一覧を表 3.6 にとりまとめ、解析結果を図 3.23～図 3.25 に示す。

浸透流解析等の結果、決壊区間上流端部、決壊区間下流端部、左岸 21.0k 地点（推定断面）の 3 断面ともに、パイピング、法すべりの安全性が確保されている結果となった。

ただし、パイピングについては、被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚により安全性が変化するものと推測される。

表 3.6 解析結果一覧

検討断面	すべり破壊		パイピング破壊					
	裏すべり		iv		ih		G/W	
	$\geq 1.320$	判定	$< 0.5$	判定	$< 0.5$	判定	$> 1.0$	判定
上流端部断面	2.320	OK	-	-	-	-	1.118	OK
下流端部断面	2.120	OK	0.333	OK	0.455	OK	-	-
21.0k地点推定断面	2.389	OK	-	-	-	-	1.836	OK

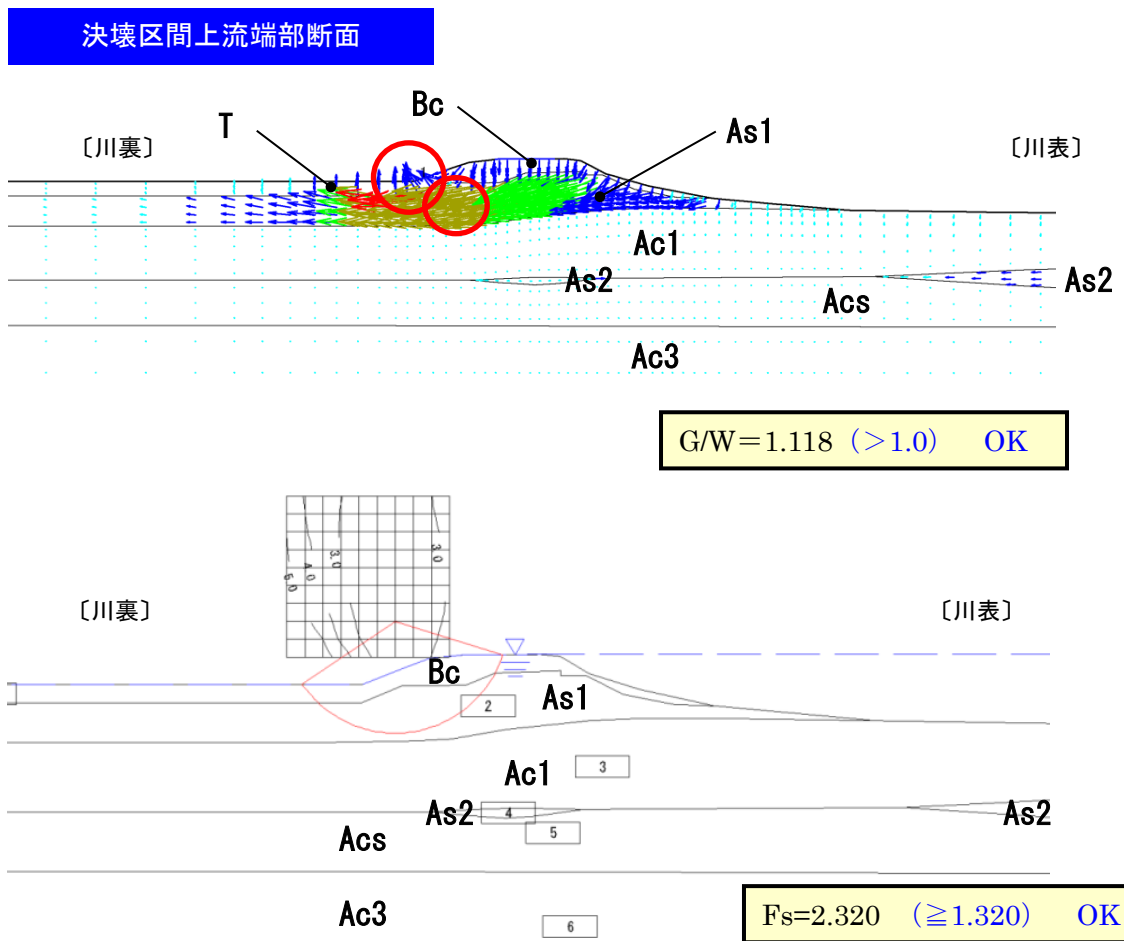


図 3.23 解析結果図（決壊区間上流端部断面）

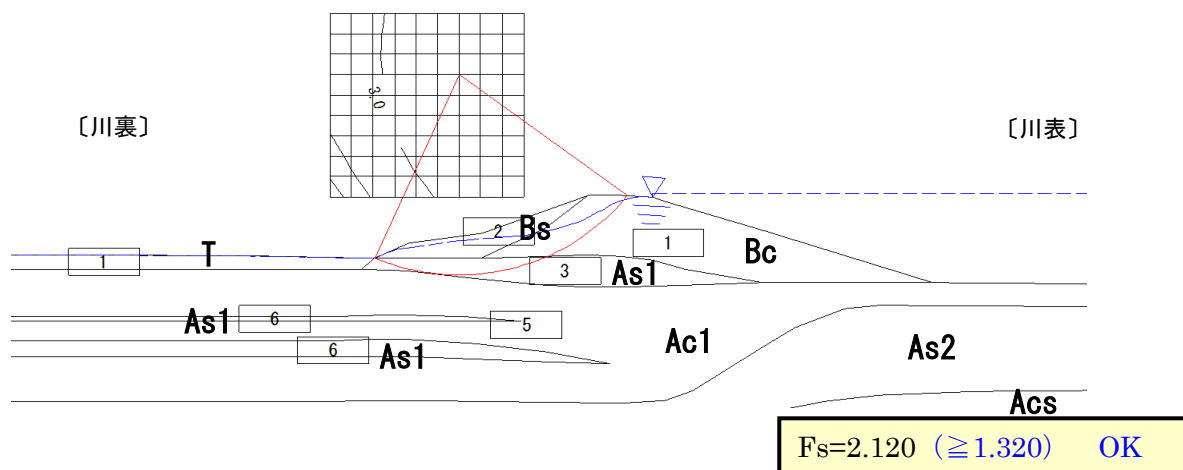
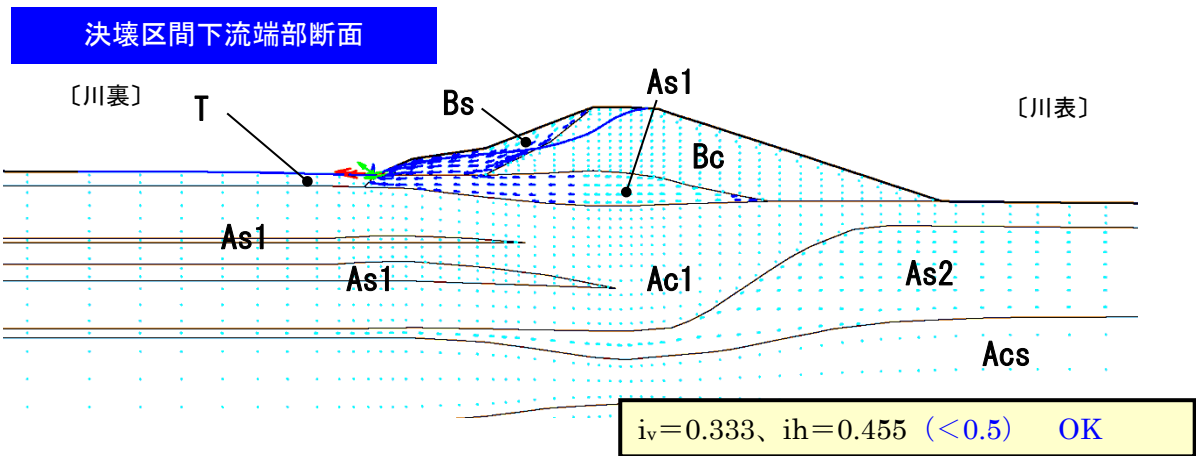


図 3.24 解析結果図（決壊区間下流端部断面）

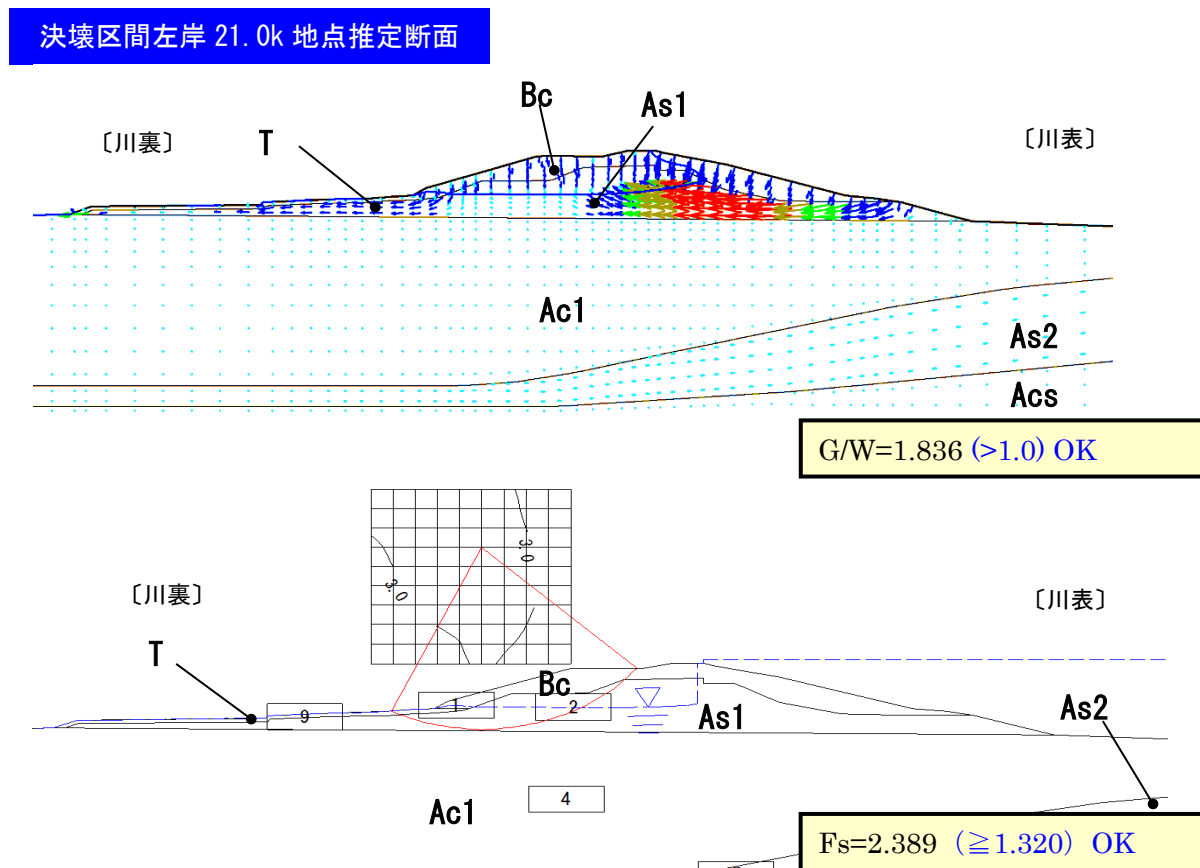


図 3.25 解析結果図（決壊区間左岸 21.0k 地点推定断面）



### 3.3.5 まとめ

#### (1) 調査から把握した事項

調査から把握した事項を以下に示す。

- ・決壊区間では越水前に漏水に関する証言は得られていないものの、決壊後の調査により、決壊区間の上流約 500m、下流約 800m 離れた地点で、噴砂が複数箇所確認された。
- ・堤体については、決壊直後の堤防断面調査等により、決壊区間上流端部断面では、緩い砂質土（As1）が粘性土（Bc）で被覆された構造、下流端部では、粘性土（Bc）が主体となった構造であることが確認された。また、緩い砂質土（As1）は堤内地側に連続することが確認された。
- ・緩い砂質土（As1）を被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚は、露頭調査結果から、決壊区間の周辺では 0.2～0.6m 程度で変化していることが確認された。（図 3.19）
- ・基礎地盤については、決壊区間における地質調査により、川裏側に粘性土（Ac1）が 5m～6m 程度の層厚で堆積し、その下層に砂質土（As2）が存在していることが確認された。（図 3.18）
- ・浸透流解析等により、決壊区間上流端部断面、決壊区間下流端部断面、左岸 21.0k 地点推定断面（上下流の地質調査等から推定）の浸透に対する安全性の評価を行い、パイピング、法すべりともに安全性が確保されている結果が得られた。ただし、パイピングについては、被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚により、安全性が変化するものと推測された。

#### (2) 浸透による堤防決壊の可能性の考察

これらのことから、浸透による堤防決壊の可能性について以下のことが推定される。

- ・越水前の浸透によるパイピングについては、堤体の一部を構成し堤内地側に連続する緩い砂質土（As1）を被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚によっては発生した恐れがあるため、決壊の主要因ではないものの、決壊を助長した可能性は否定できない。
- ・浸透により法面がすべることが決壊原因の一つである可能性は小さいと推定される。

### 3.4 侵食による決壊の可能性の検討

#### 3.4.1 決壊区間及びその近傍の侵食状況

決壊区間の航空写真を図 3.26 に、決壊前後における地盤高の差分図を図 3.27 に示す。地盤高の差分図は、決壊前の平成 18 年度航空レーザ測量データと決壊後の平成 27 年度航空レーザ測量データを用いて作成した。航空写真図内の①～④は、図 3.28、図 3.29 に撮影した写真の位置を示す。

図 3.27 の航空レーザ測量データの差分図、図 3.28 の川表法面の写真より、決壊区間から堤内地にかけて地盤が侵食しているが、決壊区間の上下流における川表法面と、高水敷での侵食の痕跡は確認できない。また、図 3.29 の高水敷の写真より、高水敷の植生は倒伏しているが、流失していないことがわかる。

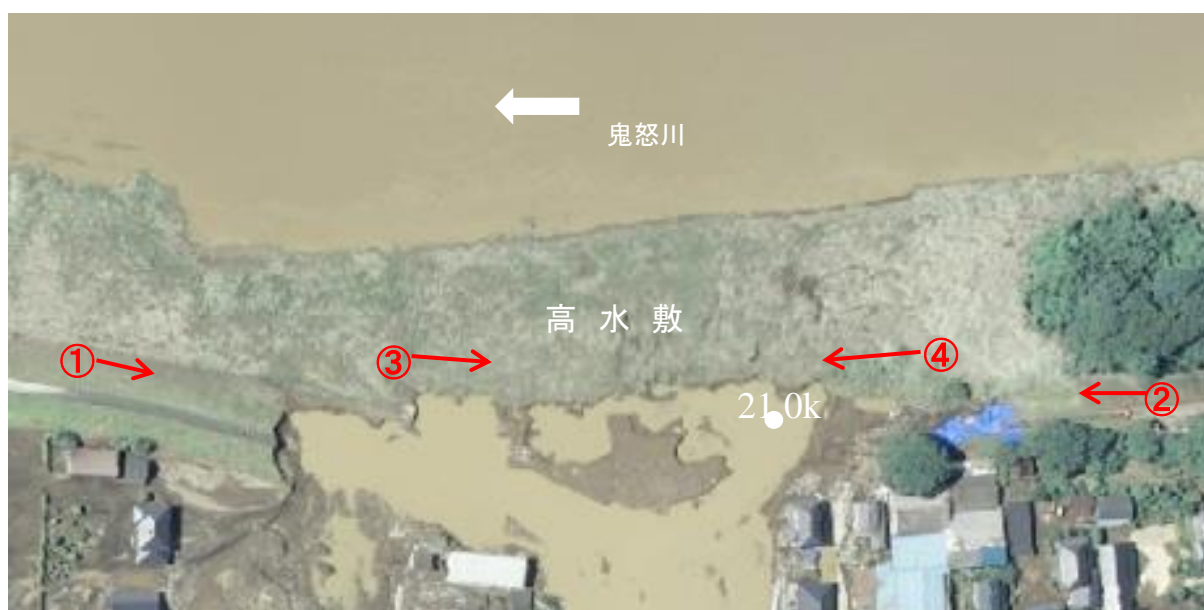


図 3.26 決壊区間航空写真（平成 27 年 9 月 12 日撮影）

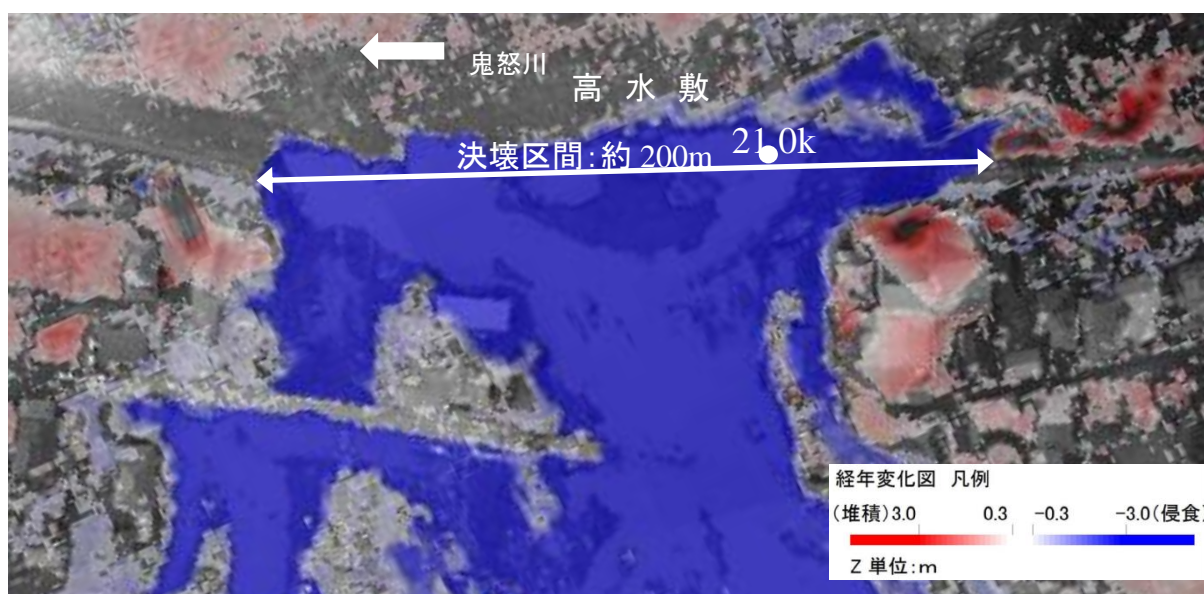


図 3.27 平成 18 年度と平成 27 年度（決壊後）航空レーザ測量データ差分図

出典：国土交通省

平成 27 年 9 月 12 日撮影



平成 27 年 9 月 12 日撮影



図 3.28 堤防川表法面状況（左：決壊区間下流より 右：決壊区間上流より）

平成 27 年 9 月 12 日撮影



平成 27 年 9 月 12 日撮影



図 3.29 決壊区間の高水敷の状況

### 3.4.2 まとめ

#### (1) 調査から把握した事項

調査から把握した事項を以下に示す。

- ・決壊直後の現地調査や航空レーザ測量データから把握した高水敷付近の標高の変化から、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い。
- ・決壊直後の現地調査により、決壊区間の高水敷の侵食の痕跡は確認できない。
- ・決壊直後の現地調査により、決壊区間の高水敷の植生は倒伏しているが、流失していない。

#### (2) 侵食による堤防決壊の可能性の考察

これらのことから、侵食による堤防決壊の可能性について以下のことが推定される。

- ・決壊区間の上下流の川表法面及び決壊区間の高水敷の侵食が確認されておらず、決壊原因の一つである可能性は小さいと推定される。



### 3.5 決壊原因の特定

本委員会において、越水、浸透、侵食に関する検討の結果を踏まえ、左岸 21.0k 付近の堤防の決壊原因を以下のとおり特定した。

- ・鬼怒川流域における記録的な大雨により、鬼怒川の水位が大きく上昇し、決壊区間において水位が計画高水位を超過し堤防高をも上回り、越水が発生した。
- ・越水により川裏側で洗掘が生じ、川裏法尻の洗掘が進行・拡大し、堤体の一部を構成する緩い砂質土（As1）が流水によって崩れ、小規模な崩壊が継続して発生し、決壊に至ったと考えられる。
- ・越水前の浸透によるパイピングについては、堤体の一部を構成し堤内地側に連続する緩い砂質土（As1）を被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚によっては発生した恐れがあるため、決壊の主要因ではないものの、決壊を助長した可能性は否定できない。
- ・浸透による法すべりや川表の侵食が決壊原因となった可能性は小さいと考えられる。

堤防決壊に至ったプロセスを表 3.7 に示す。

表 3.7 堤防決壊のプロセス

STEP0 [越水開始前段階]		<ul style="list-style-type: none"><li>・河川水位が上昇し、透水性の高い堤体の一部を構成する緩い砂質土（As1）に河川水が浸透する</li><li>・浸透した水により、川裏法面の間隙水圧が上がり、法尻に漏水が生じる可能性がある</li><li>・また、決壊区間周辺では地表面を被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚が変化しており、層厚が薄いところでは水や砂が吹き出す可能性がある</li></ul>	
STEP1 [(漏水+) 越水開始段階]		<ul style="list-style-type: none"><li>・河川水位が上昇し、越水が生じる</li><li>・川裏側で洗掘が生じる</li><li>・川表より河川水が浸透する（浸透により、決壊を助長する可能性あり）</li></ul>	
STEP2 [川裏法尻洗掘段階]		<ul style="list-style-type: none"><li>・川裏法尻の洗掘が進行し、落ち込む流れが生じる</li><li>・この落ち込む流れにより、川裏法尻の洗掘が拡大する</li></ul>	
STEP3 [川裏法面洗掘段階]		<ul style="list-style-type: none"><li>・洗掘が進行し、堤体の一部を構成する緩い砂質土（As1）が流水によって崩れ、小規模な崩壊が継続して発生していると考えられる</li><li>・堤防天端（アスファルト被覆）が残り、越流水が滝状の流れとなっている</li><li>・堤防天端（アスファルト被覆）は、堤体土の崩壊後、崩落する</li></ul>	
STEP4 [堤防決壊・堤体流失・基礎地盤洗掘段階]		<ul style="list-style-type: none"><li>・越流水により堤防天端が崩壊し、決壊に至る</li><li>・氾濫流により基礎地盤が洗掘され、落掘が形成される</li></ul>	

## 4. 左岸 21.0k 付近の本復旧工法の検討

### 4.1 堤防決壊の原因への対応

堤防決壊の原因（越水及び浸透）と本復旧での対応を表 4.1 に、また、堤防決壊による現地状況の変化と本復旧での対応を表 4.2 に示す。なお、表 4.1 及び表 4.2 に示す本復旧での対応はいずれも一般的な工法である。

表 4.1 堤防決壊の原因への対応

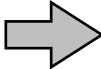
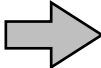
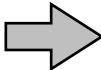
	堤防決壊の原因		本復旧での対応
越水	<ul style="list-style-type: none"><li>・越水により川裏側で洗掘が生じ、川裏法尻の洗掘が進行・拡大し、堤体の一部を構成する緩い砂質土（As1）が流水によって崩れ、小規模な崩壊が継続して発生し、決壊に至ったと考えられる。</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>・計画堤防までの築堤（高さの確保）を実施</li></ul>
浸透	<ul style="list-style-type: none"><li>・越水前の浸透によるパイピングについては、堤体の一部を構成し堤内地側に連続する緩い砂質土（As1）を被覆する粘性土（Bc 及び T）の層厚によっては発生した恐れがあるため、決壊の主要因ではないものの、決壊を助長した可能性は否定できない。</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>・計画堤防までの築堤（幅の確保）を実施</li><li>・透水層（砂質土）への河川水の浸透を抑制するために、鋼矢板による川表遮水工を実施</li><li>・河川水及び降雨の堤体への浸透を抑制するために、遮水シートとコンクリートブロックによる川表法面被覆工を実施</li><li>・堤体内に浸透した降雨等を堤防外に速やかに排水するため川裏法尻部にドレーン工を実施</li></ul>

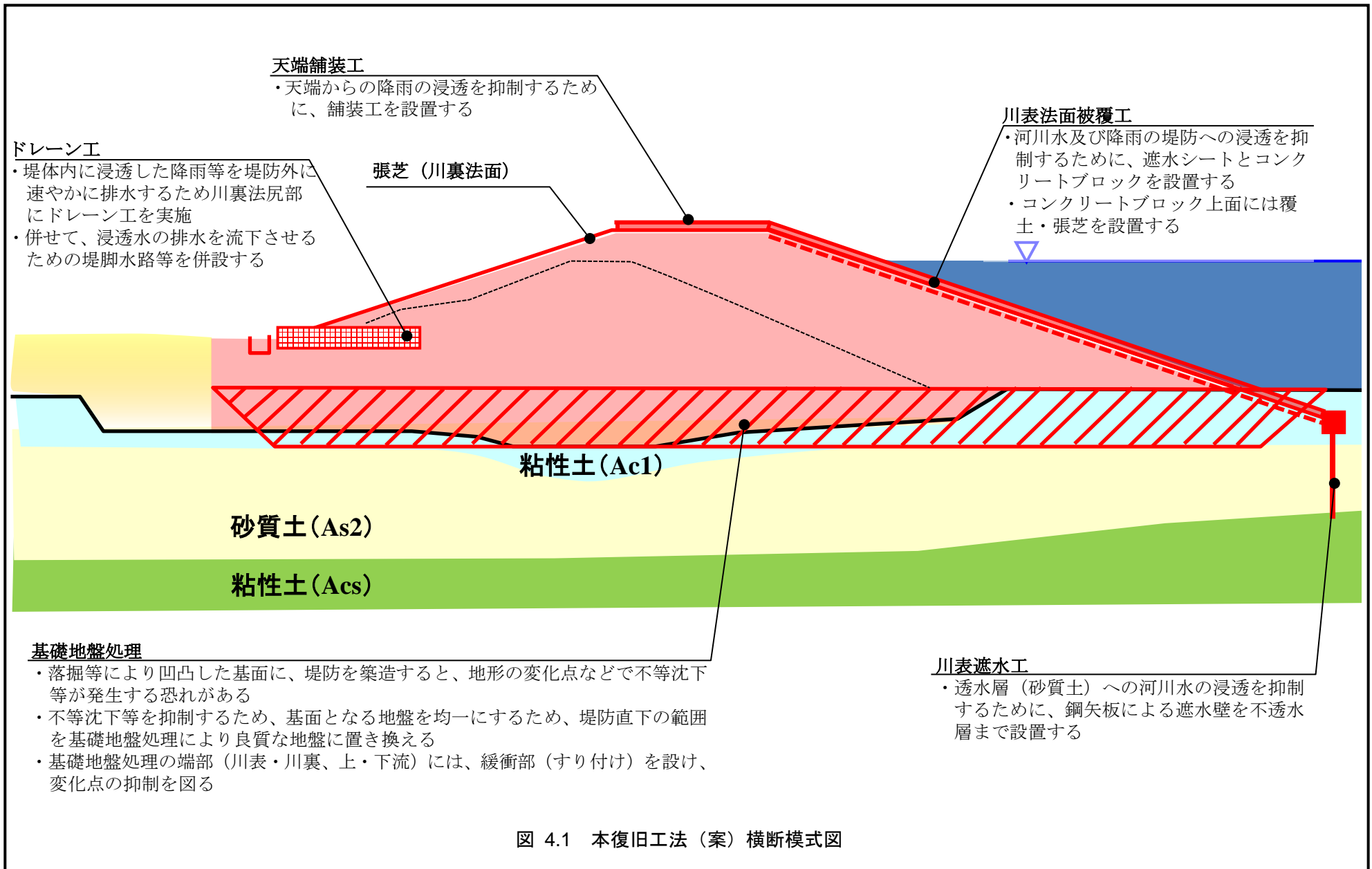
表 4.2 現地状況の変化への対応

	堤防決壊による現地状況の変化		本復旧での対応
現地 状況 の 変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・決壊区間は堤体が全て流失し、基礎地盤には落掘が形成されている。</li> <li>・基礎地盤の落掘は川表高水敷から、川裏の民地部まで広範囲に及んでいる。</li> <li>・落掘の形成により凹凸となった基面では、河川側から連続する砂質土 (As2) を被覆する粘性土 (Ac1) がほとんど残っていない区間が見られる。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・落掘による凹凸地盤や地形等変化点での不等沈下等を抑制するため、堤防直下の基礎地盤処理を実施</li> </ul>

#### 4.2 本復旧工法（案）

堤防決壊の原因への対応をもとに検討した本復旧工法（案）の横断模式図を図 4.1 に示す。





## 5. 委員による決壊区間の現地調査

### 5.1 平成 27 年 9 月 13 日応急復旧時の現地調査

#### (1) 現地調査概要

調査日時：平成 27 年 9 月 13 日（日）11:00～12:00

#### (2) 現地調査参加委員

宇都宮大学大学院工学研究科 教授 池田 裕一

群馬大学大学院理工学府 教授 清水 義彦

東京工業大学大学院理工学研究科 教授 高橋 章浩

東京電機大学理工学部 教授 安田 進

### 現地調査の状況



落堀の調査状況



決壊概要と応急復旧工事の説明状況



調査実施後の取材対応

## 5.2 平成 28 年 2 月 24 日 日本復旧時の現地調査

### (1) 現地調査概要

調査日時：平成 28 年 2 月 24 日（水）14:00～14:50

### (2) 現地調査参加委員

国立研究開発法人土木研究所 上席研究員 佐々木 哲也

群馬大学大学院理工学府 教授 清水 義彦

国土交通省国土技術政策総合研究所 室長 服部 敦

東京電機大学理工学部 教授 安田 進

### 現地調査の状況



落掘の調査状況



落掘の調査状況

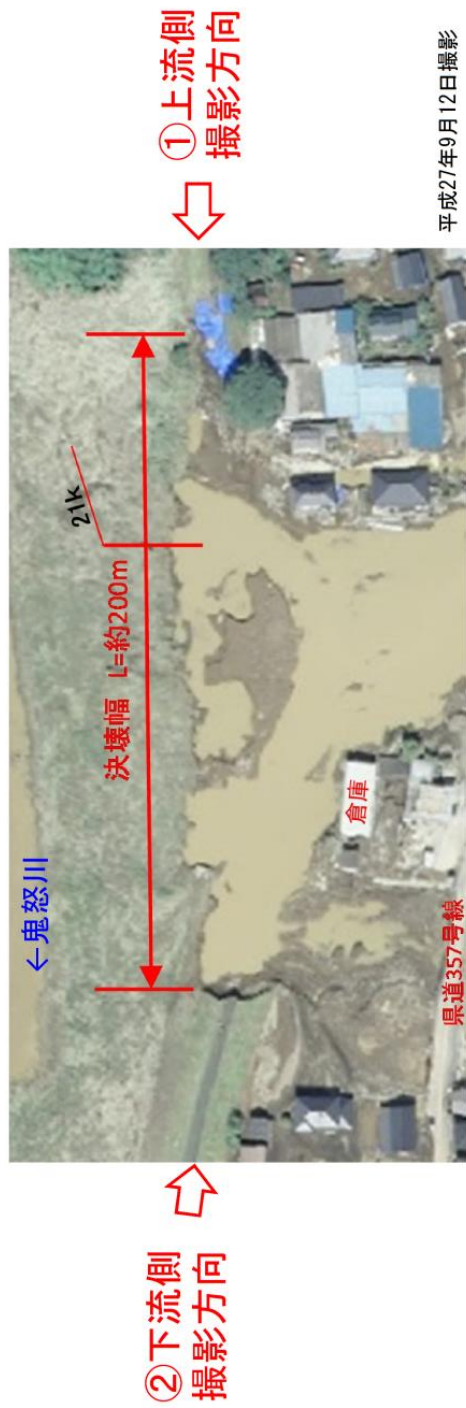


決壊区間下流端部堤防断面の  
調査状況



決壊区間下流端部堤防断面の  
調査状況





平成27年9月12日撮影



【①上流側より】

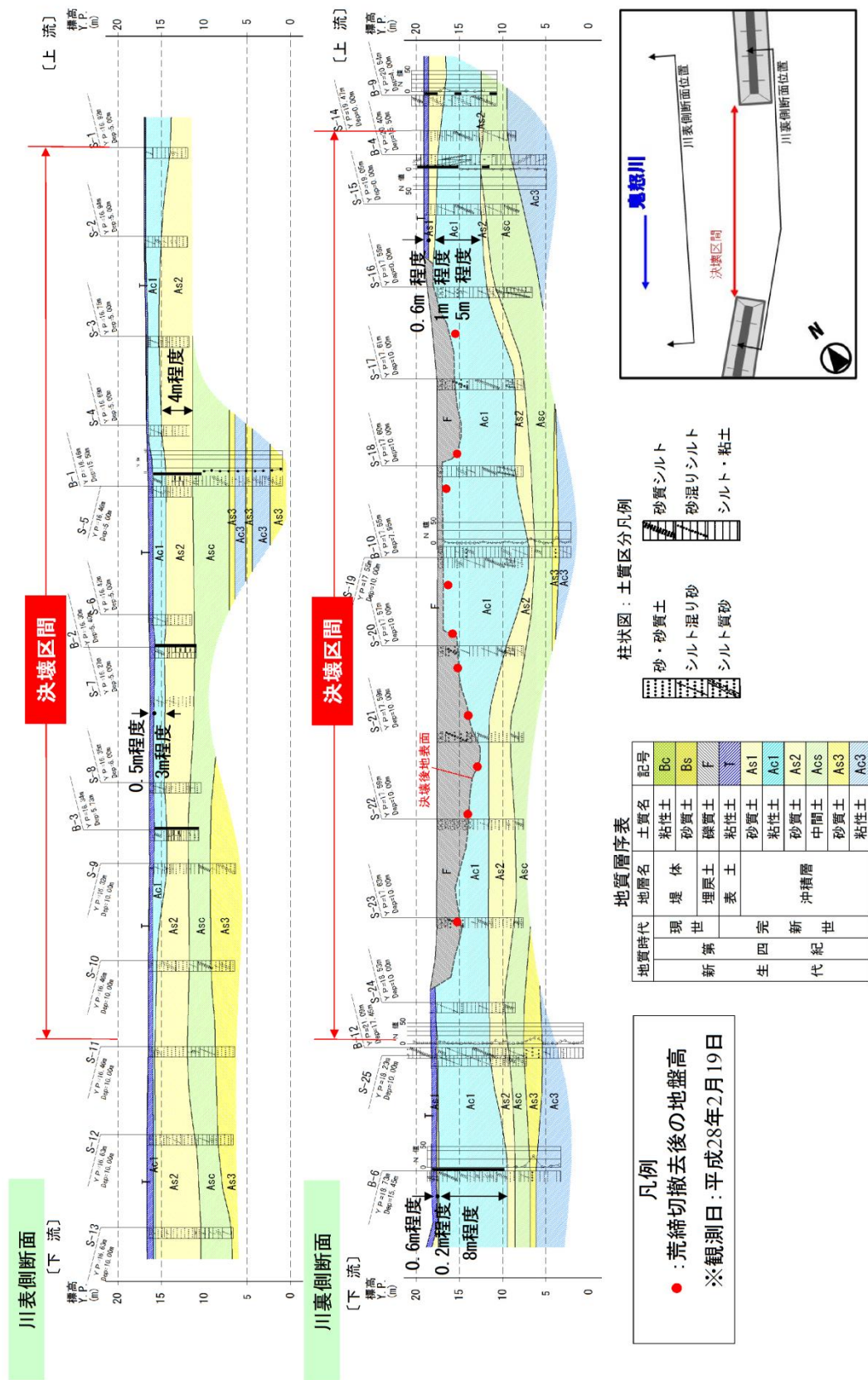


【②下流側より】



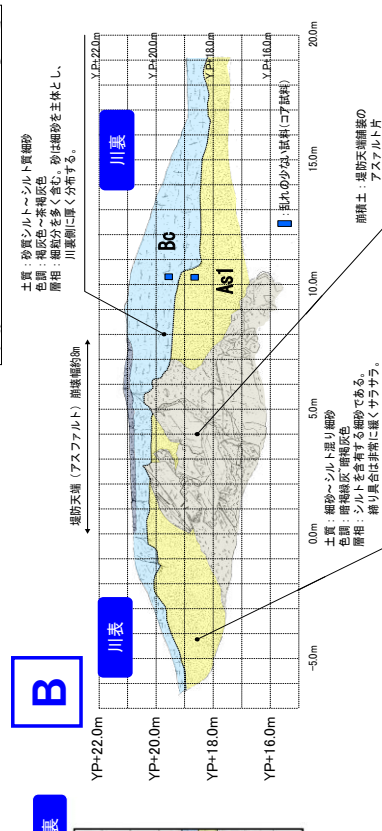
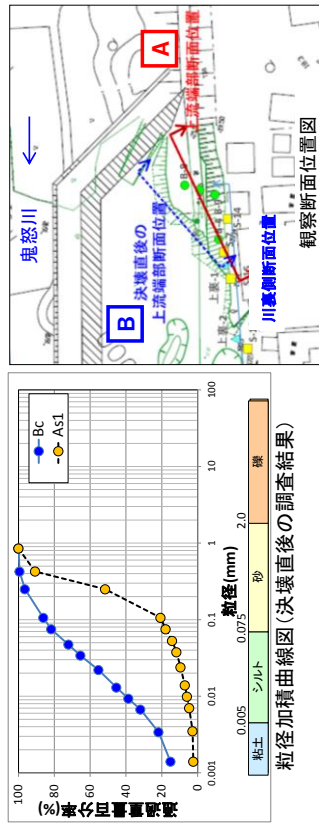
写真1 決壊区間の状況





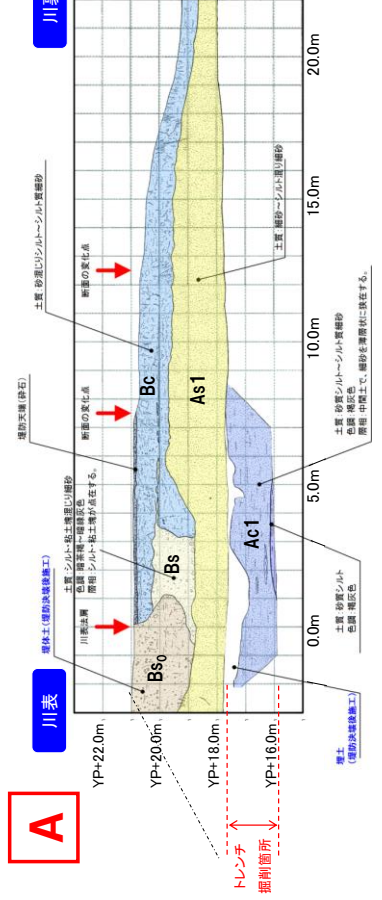






撮影日: 平成27年9月11日

## 決壊直後の堤防断面調査



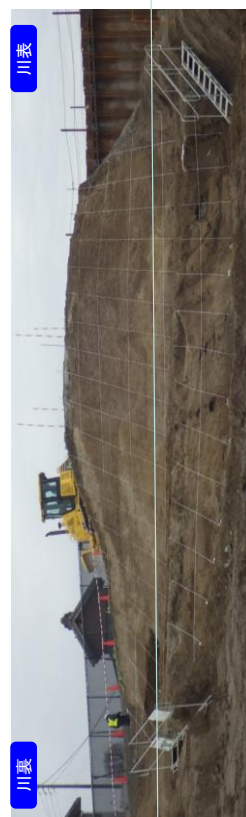
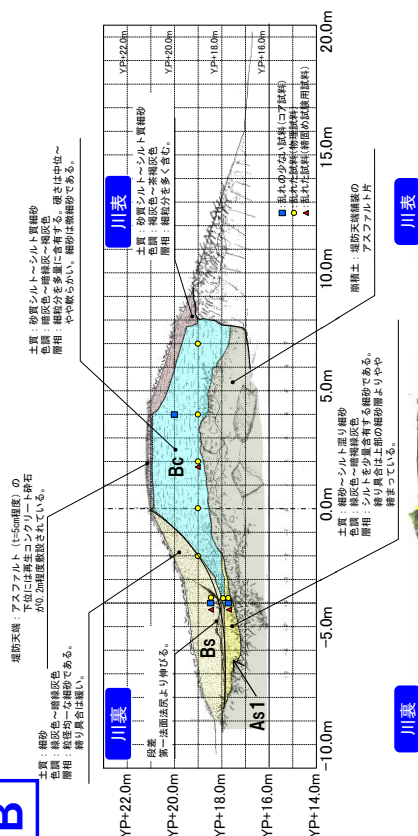
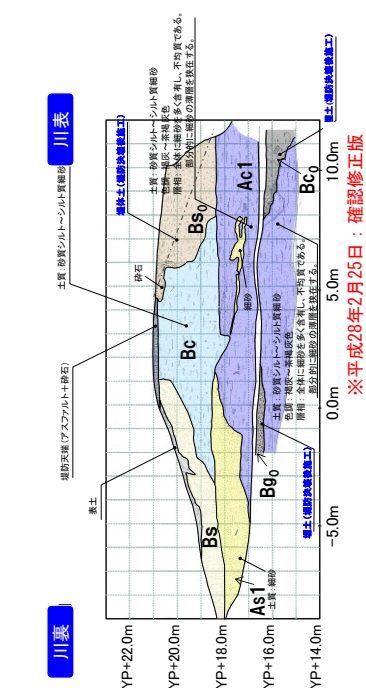
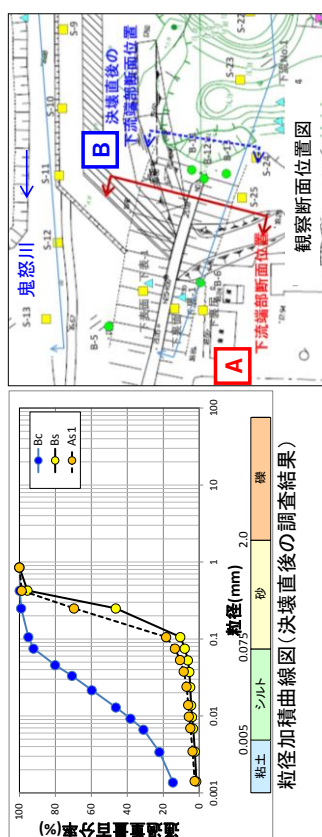
撮影日: 平成28年2月17日

## 今回の堤防断面調査

図 5.3 決壊区間上流端部堤防断面

## トレンチ掘削箇所





## 今回の堤断面調査

撮影日：平成28年2月25日

## 決壊直後の堤防断面調査

撮影日：平成27年9月12日

図 5.4 決壊区間下流端部堤防断面



## 参考文献

- 1) 国土交通省：河川現況調査、平成 21 年度
- 2) 国土地理院：国土数値情報、平成 18 年
- 3) 河川環境管理財団、河川環境総合研究所：河川環境総合研究所資料 第 25 号 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題、2009 年 5 月
- 4) 国土地理院：治水地形分類図(平成 23 年、平成 24 年更新版)
- 5) 国土地理院：地形図（明治末期、昭和前期）
- 6) 歴史的農業環境 WMS 配信サービス
- 7) 国土交通省：航空写真（平成 18 年、平成 27 年 9 月 12 日）
- 8) 国土交通省河川局治水課：河川堤防設計指針、平成 14 年 7 月、平成 19 年 3 月改正
- 9) 財団法人 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）、平成 24 年 2 月

## おわりに

国土交通省関東地方整備局では、「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」による利根川水系鬼怒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「鬼怒川堤防調査委員会」を設置しました。

この鬼怒川堤防調査委員会では、昨年 9 月の堤防決壊直後から現地調査を実施して頂き、その後、計 4 回の委員会において集中的かつ精力的に、堤防決壊の被災メカニズムの検証、決壊原因の特定、そして本復旧工法についてご議論いただき、委員の皆様には各専門家の立場から技術的な指導助言を頂戴し、短期間で報告書を取りまとめていただきました。

常総市三坂町地先の決壊区間では、1 月中旬より本復旧に着手し、現在、本年 6 月末の完成を目指し工事を進めているところです。また、決壊区間以外の箇所についても、再度災害防止を図る「鬼怒川緊急対策プロジェクト」のハード対策として、鬼怒川下流域で平成 32 年度完成を目指して堤防整備等を進めて参ります。さらに、ハード対策と平行し、「避難勧告に着目したタイムライン」の整備とこれに基づく訓練の実施、関係機関の参加による広域避難に関する仕組みづくりなど、住民避難を促すためのソフト対策にも取り組んでいます。ハード・ソフトが一体となり「水防災意識社会」の再構築に向けて、茨城県及び沿川自治体とともに鬼怒川下流域全体の安全度向上に努めて参ります。

最後に、関東・東北豪雨災害への対応にあたり、甚大な被害が発生した鬼怒川の応急復旧工事などで多大な貢献をいただいた企業の方々や全国の地方整備局の緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）の方々、そして堤防決壊原因の特定や本復旧工法の検討をいただいた鬼怒川堤防調査委員会委員の方々に深甚の謝意を表します。

平成 28 年 3 月  
国土交通省関東地方整備局  
河川部長 光成 政和

