

空知川堤防調査委員会
報 告 書

平成 29 年 4 月

空知川堤防調査委員会

はじめに

北海道では、平成28年8月17日～23日の1週間に台風第7号、11号、9号の3個の台風が北海道に上陸し、道東を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。また、8月29日から前線に伴う降雨があり、その後、台風第10号が北海道に接近し、石狩川流域では串内観測所（南富良野町字落合）で8月29日から8月31日までの累加雨量が515mmに達するなど、各地で大雨となった。

この出水により、石狩川水系空知川では、8月31日未明から明け方にかけて、幾寅築堤 KP117.0付近（大勝橋下流左岸）、KP116.1付近（太平橋上流左岸）の2箇所での堤防決壊が発生、はん濫により多くの家屋浸水、農地冠水被害等が発生するなど、甚大な被害となった。

「空知川堤防調査委員会」は、この「平成28年台風第10号による大雨」により石狩川水系空知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、国土交通省北海道開発局により設置された。

夜間に大雨が発生したため、堤防決壊に至るまでの詳細な時系列は不明であったものの、平成28年8月31日4時40分頃に、KP117.0付近（大勝橋下流左岸）及びKP116.1付近（太平橋上流左岸）の堤防決壊を確認した。これに対し、北海道開発局では速やかに堤防調査委員会開催に向けて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。その後、平成28年9月30日（第1回）、平成28年12月19日（第2回）の委員会、堤防開削調査（平成29年3月13日）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章では一般的な堤防決壊のメカニズムを示すとともに、4、5章では2箇所の堤防決壊の原因の特定として、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、6章では本復旧工法、7章には堤防開削調査の状況を取りまとめる構成とした。

平成29年4月
空知川堤防調査委員会委員長
清水 康行

空知川堤防調査委員会報告書

目 次

1. 空知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	1-1
1-3 検討の経過	1-2
2. 洪水と決壊の概要	2-1
2-1 空知川流域・幾寅地区の概要	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	2-2
2-1-3 空知川幾寅地区の河道特性（河床高・川幅縦断形、河道・地形状況）	2-4
2-1-4 被災前までの河道整備状況（河道平面変遷、護岸・堤防整備状況）	2-6
2-2 平成 28 年 8 月北海道豪雨の概要	2-10
2-2-1 北海道全体の豪雨概要	2-10
2-2-2 幾寅地区の豪雨概要	2-11
2-2-3 洪水流量・河川水位の状況	2-13
2-3 幾寅地区の被災の概要	2-14
2-3-1 幾寅地区の被災状況	2-14
2-3-2 被災概要①大勝橋付近	2-16
2-3-3 被災概要②上流決壊箇所	2-17
2-3-4 被災概要③下流決壊箇所	2-18
2-3-5 被災概要④北海道管理区間【参考】	2-19
3. 一般的な堤防決壊のメカニズム	3-1
3-1 河川水の越水による堤防決壊	3-1
3-2 河川水の侵食・洗掘による堤防決壊	3-1
3-3 河川水の浸透による堤防決壊	3-2
4. 上流決壊原因の特定	4-1
4-1 越水による決壊の可能性の検討	4-1
4-1-1 越水の状況	4-1
4-1-2 まとめ	4-4
4-2 侵食による決壊の可能性の検討	4-5
4-2-1 決壊区間及びその近傍の侵食状況	4-5
4-2-2 まとめ	4-6
4-3 浸透による決壊の可能性の検討	4-7
4-3-1 決壊区間近傍の土質状況	4-7
4-3-2 噴砂・法崩れに着目した周辺の状況	4-12
4-3-3 浸透流解析	4-15
4-3-4 まとめ	4-22

4-4 上流決壊原因の特定	4-23
5. 下流決壊原因の特定	5-1
5-1 越水による決壊の可能性の検討	5-1
5-1-1 越水の状況	5-1
5-1-2 まとめ	5-2
5-2 侵食による決壊の可能性の検討	5-3
5-2-1 決壊区間及びその近傍の侵食状況	5-3
5-2-2 まとめ	5-4
5-3 浸透による決壊の可能性の検討	5-5
5-3-1 決壊区間近傍の土質・噴砂状況	5-5
5-3-2 まとめ	5-8
5-4 下流決壊原因の特定	5-9
6. 決壊箇所の本復旧工法	6-1
6-1 本復旧工法	6-1
6-2 今後の河道整備の方向性について	6-1
7. 空知川幾寅築堤堤防開削調査の概要	7-1
7-1 堤防開削調査の状況	7-1
7-2 堤防開削調査結果	7-2
7-2-1 下流決壊箇所	7-2
7-2-2 上流決壊箇所	7-3

1. 空知川堤防調査委員会の概要

1-1 目的

「空知川堤防調査委員会」（以下、委員会という）は、台風10号（平成28年8月）に伴う出水により生じた石狩川水系空知川の堤防決壊等について、被災原因の究明を行い、再度の災害を防止するため復旧及び対策を検討し、堤防の安全確保を目的として、専門的知見から助言を得ることを目的として開催するものである。

1-2 委員の構成

空知川堤防調査委員会における委員の構成を以下に示す。

委員長 清水 康行（北海道大学大学院 工学研究院 教授）

委員 佐々木 康（広島大学 名誉教授）

委員 西村 聡（北海道大学大学院 工学研究院 准教授）

委員 林 憲裕（寒地土木研究所 寒地地盤チーム 上席研究員）

委員 矢部 浩規（寒地土木研究所 寒地河川チーム 上席研究員）

（敬称略）

1-3 検討の経過

本委員会は、平成 28 年 9 月 30 日、平成 28 年 12 月 19 日の延べ 2 回開催した。また、決壊箇所 の 堤防開削調査を 1 回（平成 29 年 3 月 13 日）行った。

検討フローを図 1-1 に本検討会、堤防開削調査の開催状況をそれぞれ表 1-1、表 1-2 に示す。

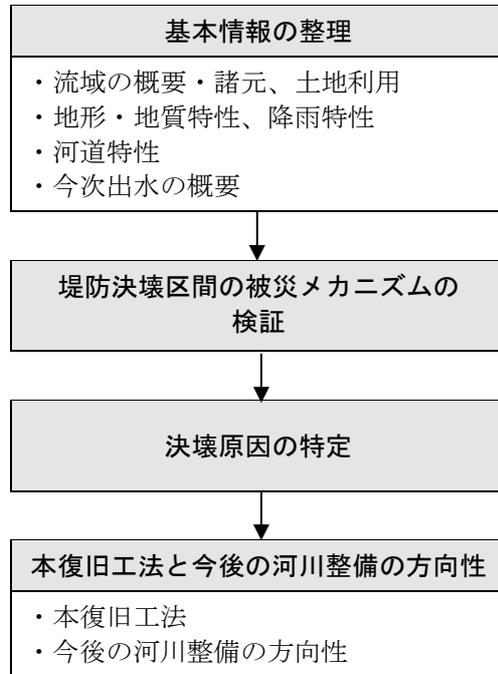


図 1-1 検討フロー図

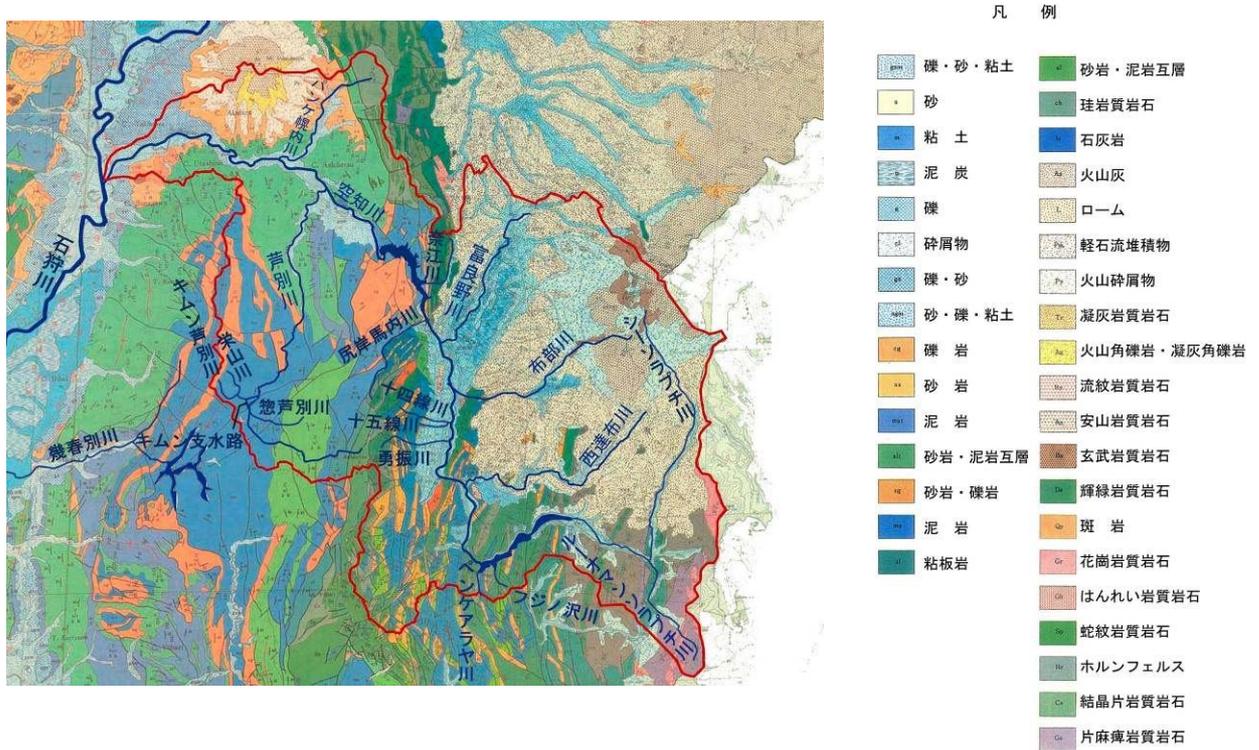
表 1-1 委員会の開催状況

回数	開催日	議事内容
1	平成 28 年 9 月 30 日	<ul style="list-style-type: none"> ・出水及び被災概要 ・被災メカニズムの検証 ・本復旧工法の考え方
2	平成 28 年 12 月 19 日	<ul style="list-style-type: none"> ・被災メカニズムの検証 ・堤防調査委員会報告書（案）目次構成案について

表 1-2 堤防開削調査の開催状況

回数	開催日	内容
1	平成 29 年 3 月 13 日	・堤防開削調査

空知川流域の地質は、富良野市街より上流の空知川右岸で十勝火砕流堆積物の溶結凝灰岩等が広く覆っており、左岸は基盤となる中生代白亜紀以前の堆積物や変成岩類が分布している。富良野盆地は、大部分が扇状地性の堆積物となっており、一部に泥炭地も見られる。これより下流は主に中生代白亜系から新生代古第三系の堆積物が分布し、また右岸側にはこれを覆って火山岩等が分布し、石狩川低地部では、扇状地性の堆積物が広く分布する。



出典：「土地分類図」国土庁土地局(昭和52年)

図 2-3 表層地質図

2-1-3 空知川幾寅地区の河道特性（河床高・川幅縦断形、河道・地形状況）

空知川幾寅地区の河床勾配は 1/180 程度でセグメント 1 に区分され、川幅は、概ね 100m～150m で、低水路幅は 50m～80m 程度である（図 2-4、図 2-5）。

また、空知川幾寅地区の治水地形分類図（国土地理院）を図 2-6 に示す。治水地形分類図によると、下流決壊箇所がはん濫平野、上流決壊箇所が旧河道に分類される。

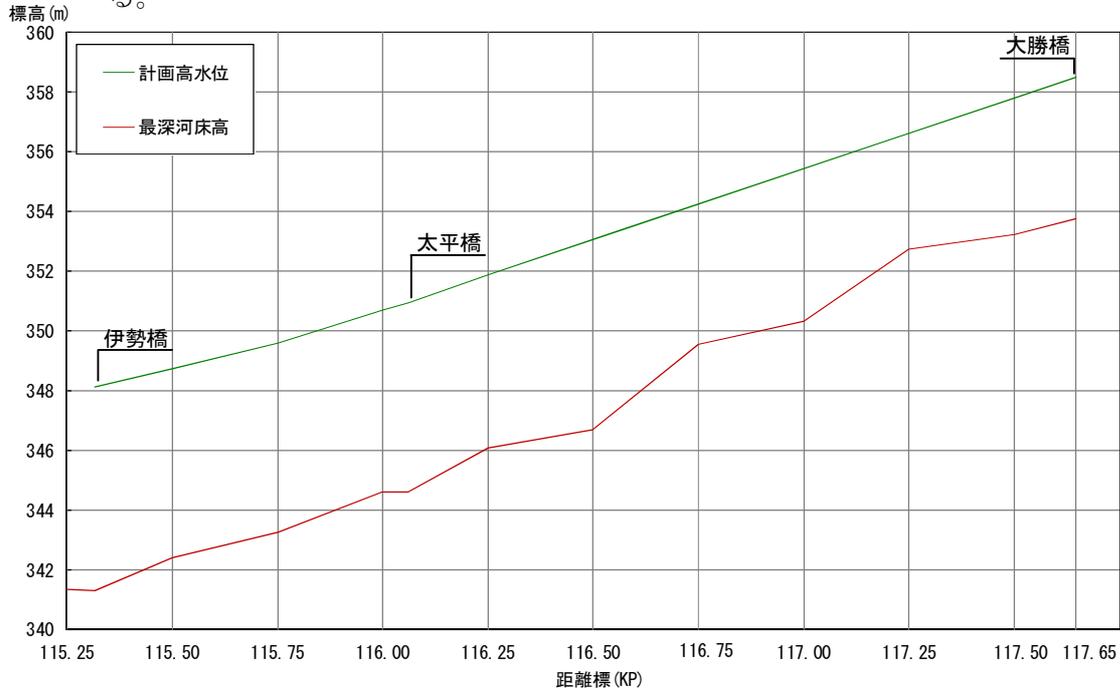


図 2-4 最深河床高縦断図
（平成 27 年度 定期横断測量を基に作成）

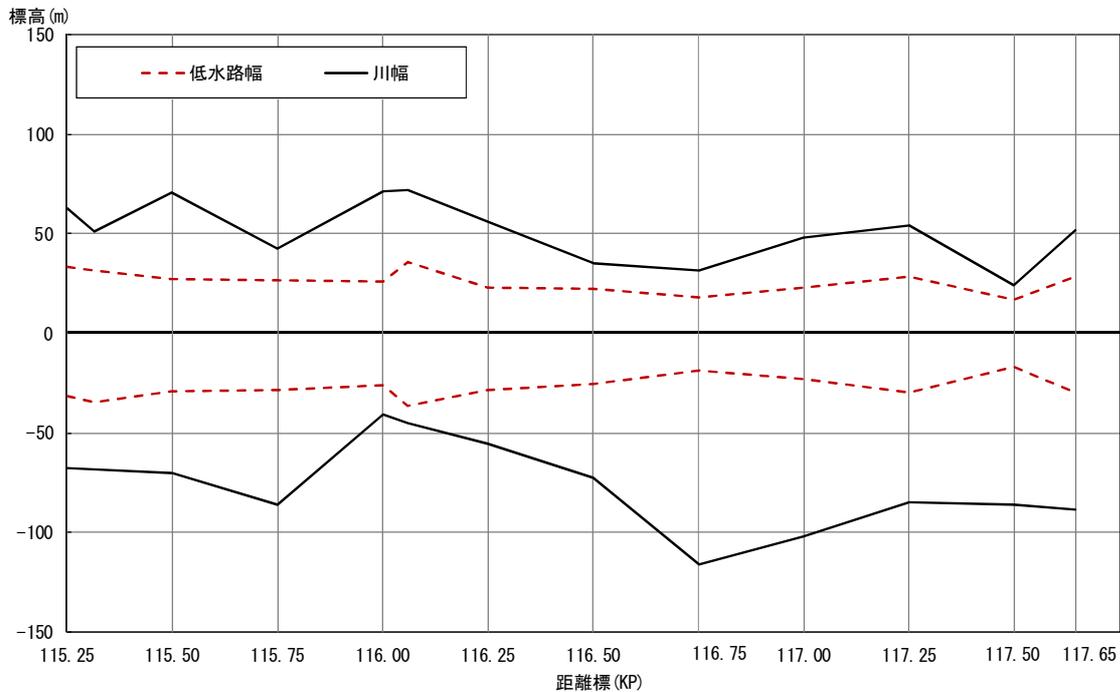


図 2-5 川幅縦断図
（平成 27 年度 定期横断測量を基に作成）

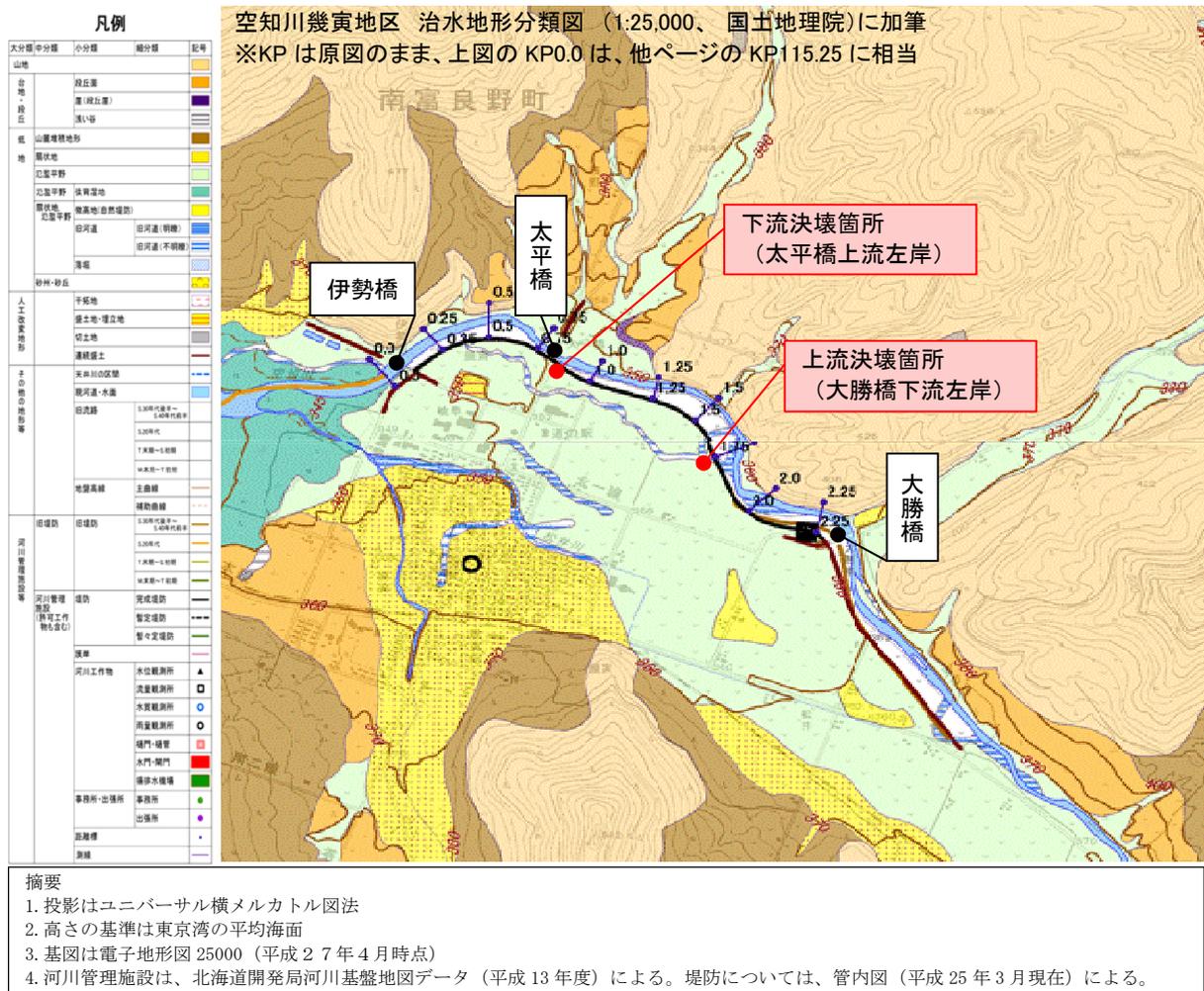
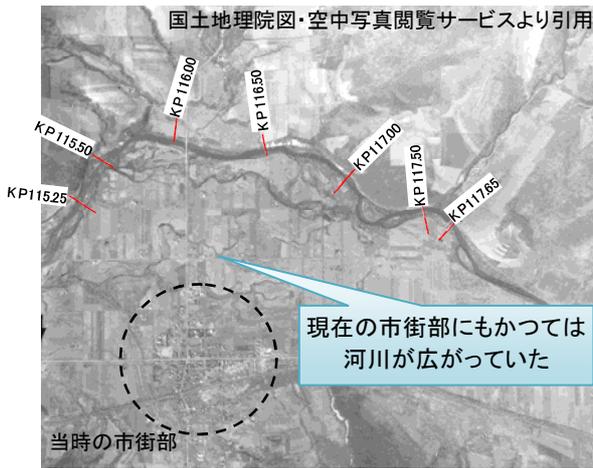


図 2-6 国管理区間の河道状況と治水地形分類図
 (航空写真 : H23 年撮影、治水地形分類図 : 1:25,000、国土地理院に加筆)

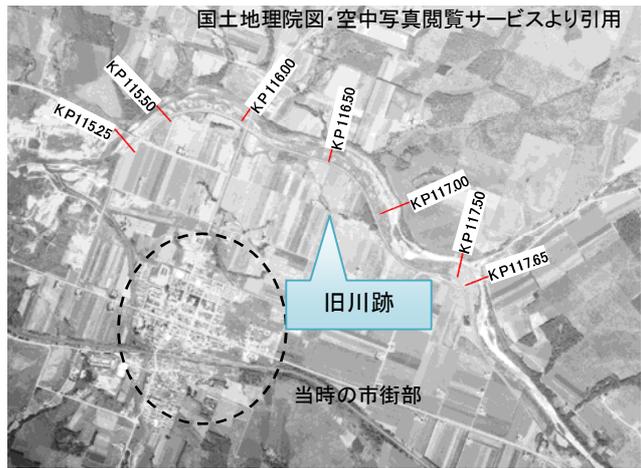
2-1-4 被災前までの河道整備状況（河道平面変遷、護岸・堤防整備状況）

S20年代からの航空写真により、河道の平面変遷を示す（図 2-7）。

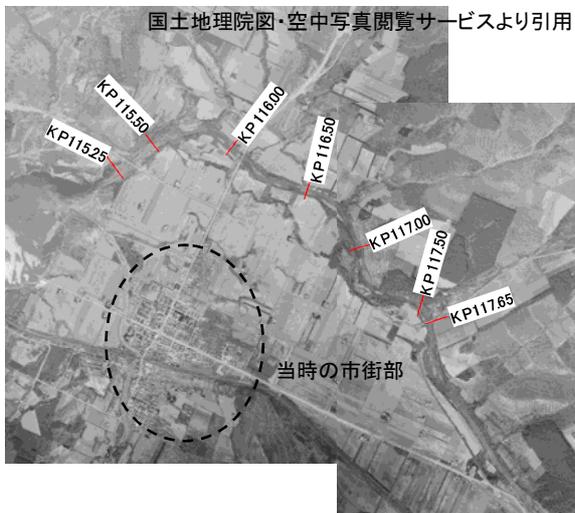
かつては幾寅地区の市街部周辺にも河川が広がっており、S43には幾寅市街地築堤工事が実施されており、現在の堤防が完成していた。



昭和 23 年：築堤前



昭和 47 年：築堤後



昭和 42 年：築堤前



平成 23 年：被災前

図 2-7 河道平面変遷

決壊箇所周辺の護岸の整備状況としては、上流決壊箇所周辺では、決壊箇所の上流寄りに高水護岸、低水護岸が設置され、下流決壊箇所周辺では、太平橋の上下流部に高水護岸及び低水護岸がそれぞれ設置されていた。

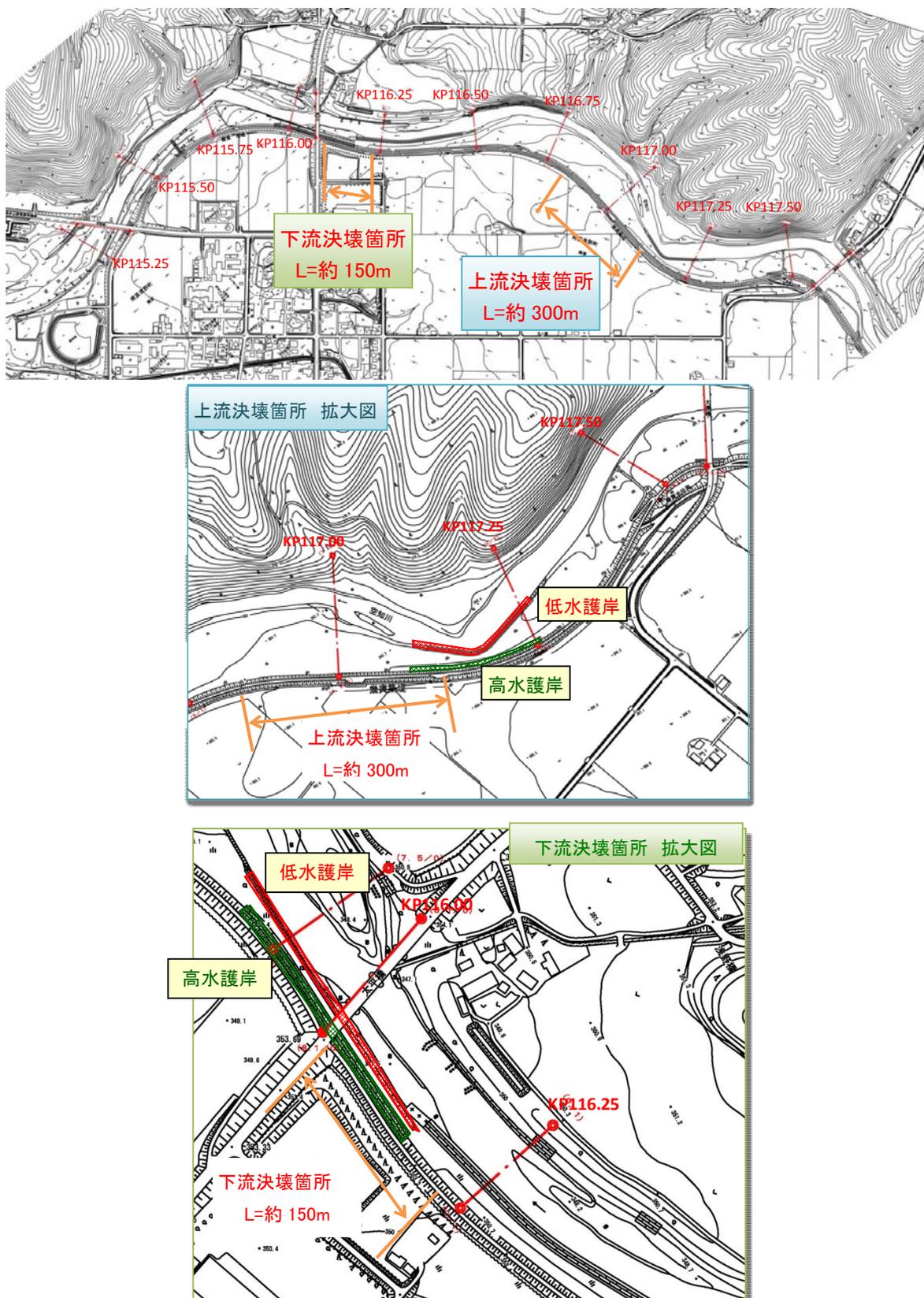


図 2-8 決壊箇所周辺の護岸整備状況

被災前の築堤状況として、計画高水位、堤防高、堤内地盤高の縦断面図、横断面図の経年変化を図 2-9に示す。

これらから、堤防に関しては、全区間において計画堤防高が確保されており、経年的な沈下も見受けられないことが確認できる。

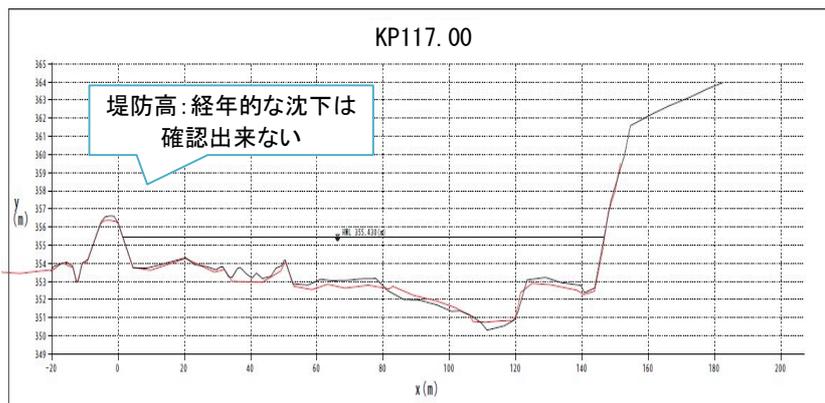
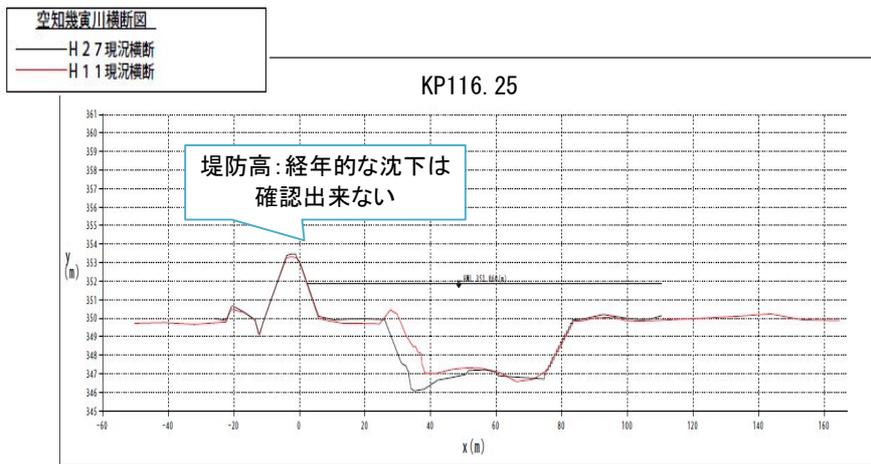
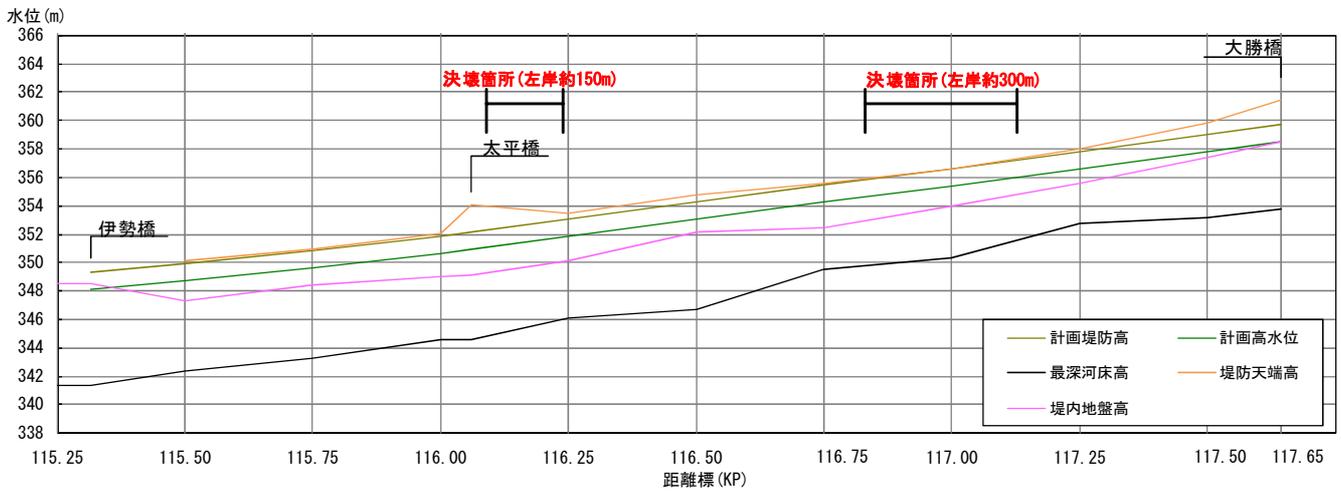


図 2-9 被災前の築堤状況

2-2 平成 28 年 8 月北海道豪雨の概要

2-2-1 北海道全体の豪雨概要

北海道地方では、平成 28 年 8 月 17 日～23 日の 1 週間に 3 個の台風が北海道に上陸し、道東を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。

また、8 月 29 日から前線に伴う降雨があり、その後、台風第 10 号が北海道に接近し、串内観測所では 8 月 29 日から 8 月 31 日までの累加雨量が 515mm に達するなど、各地で大雨となった。

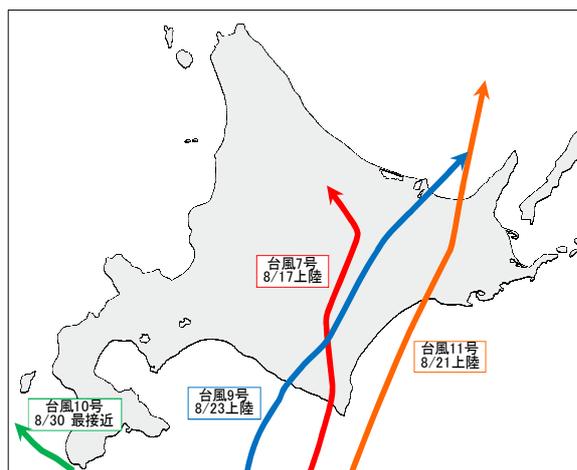
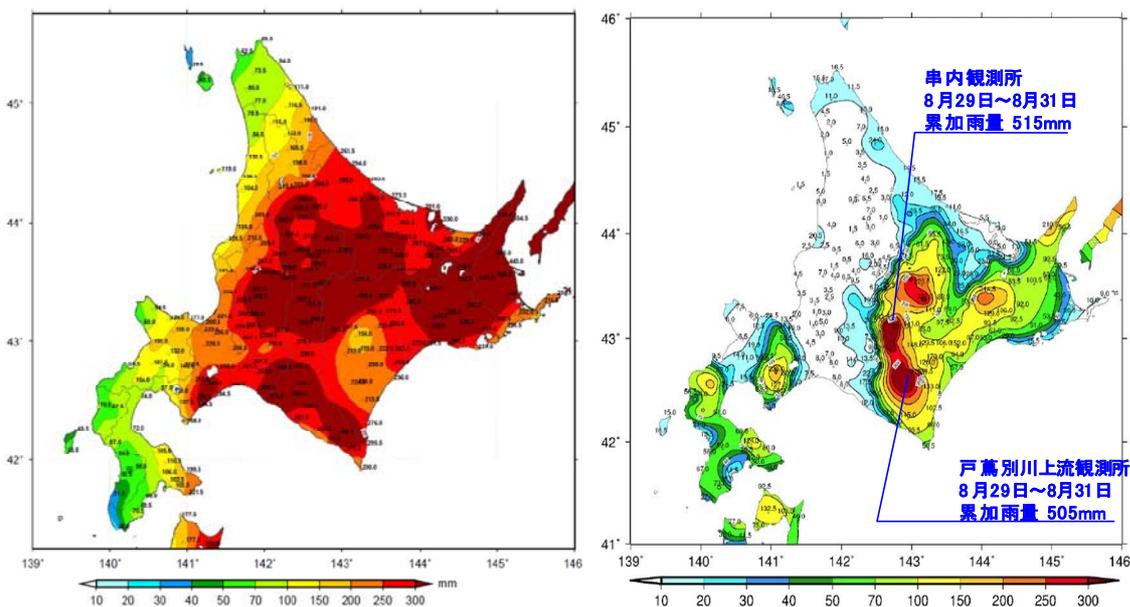


図 2-10 台風経路図（第 7 号・第 11 号・第 9 号・第 10 号）



(平成 28 年 8 月 15 日 1 時～24 日 24 時)

(平成 28 年 8 月 29 日 1 時～31 日 9 時)

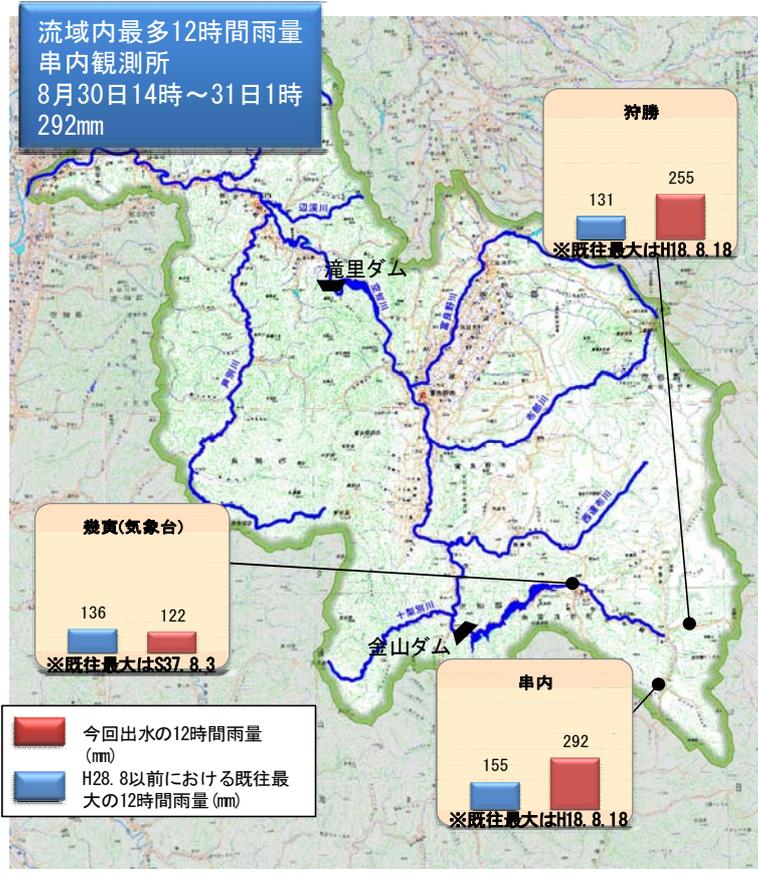
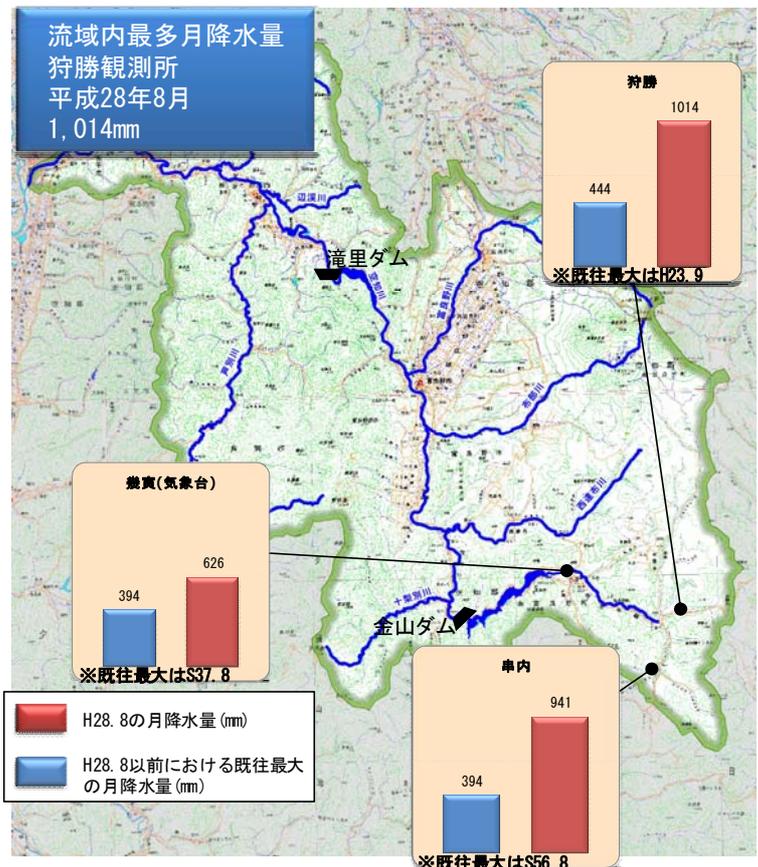
図 2-11 アメダス降雨量分布（日本気象協会 配布資料から転載）

表 2-1 道内の主要な地点における年平均降水量(mm)

地点名	年平均降水量(mm)	統計期間	地点名	年平均降水量(mm)	統計期間
札幌	1,097	1876～2015	釧路	1,077	1890～2015
函館	1,170	1873～2015	帯広	934	1892～2015
小樽	1,241	1943～2015	網走	829	1889～2015
旭川	1,097	1888～2015	北見	766	1976～2015
室蘭	1,183	1923～2015	留萌	1,244	1943～2015

2-2-2 幾寅地区の豪雨概要

台風第10号の接近に伴う8月29日～31日にかけての大雨により、空知川の上流域では串内観測所で12時間雨量292mm、狩勝観測所で12時間雨量255mmを記録し、既往最大雨量の2倍近くに達する、観測史上第1位を記録し、月降水量でも既往最大値を大幅に更新し、観測史上第1位を記録した（図 2-12）。



※本資料の数値は速報値であるため、今後の調査で変わる場合がある。

図 2-12 流域内の降雨の分布状況

2-2-3 洪水流量・河川水位の状況

金山ダムでは、計画流入量（1,000m³/s）を超え、約1,600m³/sを記録した。

また、幾寅水位観測所では、1時間で80cmを超える水位上昇量を記録（8/30 16:00～17:00）したものの、高水敷高程度の水位に達した後は、停電による欠損や出水による水位計の故障が原因で欠測となった。



図 2-13 金山ダム・幾寅水位観測所位置図

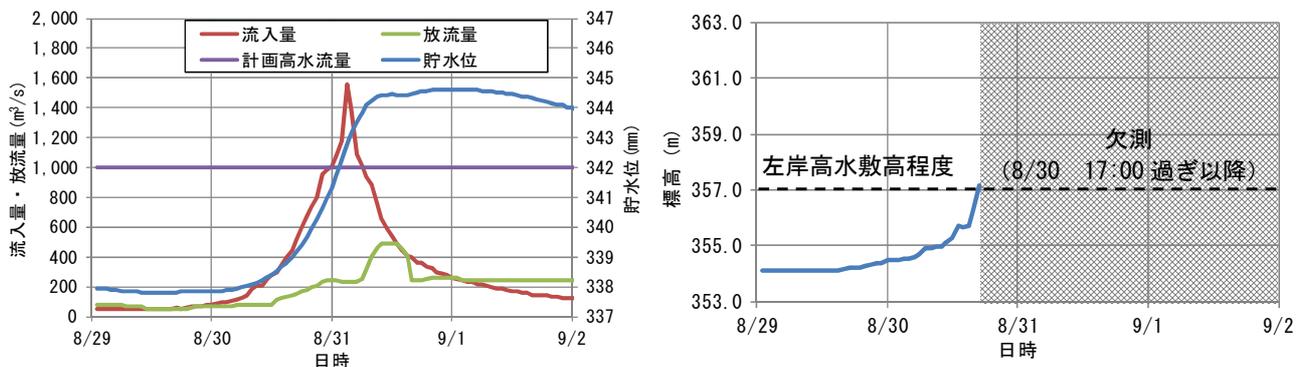


図 2-14 金山ダムの流入・放流量および幾寅水位観測所の水位変動

本資料の数値は、速報値及び暫定値であるため、今後の調査で変わる可能性がある。

2-3 幾寅地区の被災の概要

2-3-1 幾寅地区の被災状況

空知川のはん濫により、南富良野町市街地を含む地域で浸水被害が発生した。

浸水面積は、南富良野町幾寅地区で約 130ha、住家約 107 戸や食品加工工場等が浸水したものの、人的被害は発生しなかった。

避難所に指定されている町の福祉施設や道の駅も被災した。



図 2-15 幾寅市街部の被災状況
(2016/8/31 6:00頃撮影)



図 2-16 幾寅地区の被災状況
(国土地理院 2016/09/01 撮影、複数写真を合成)

2-3-2 被災概要①大勝橋付近

大勝橋では、橋脚に大量の流木の堆積や、越水により欄干が破損するなどの被害を受けた。また、洪水後は、高水敷が大きく侵食され主流部が左岸側に移動した。これは、元の低水路である右岸側の橋脚に流木が堆積して河積阻害が生じて流路が移動したものと考えられる。



(a) 被災前の状況
(流路が右岸寄り、H23 撮影)

(b) 被災後の状況
(流木による河積阻害の影響で流路が左岸に移動したと推察)



(c) 大勝橋の下流側の状況
(橋梁天端を越水)



(d) 大勝橋の状況
(欄干が破損)



(e) 大勝橋の上流側の状況
(流木が堆積)

※中津川教授、寒地土研らによる撮影

図 2-17 大勝橋付近の被災状況

2-3-3 被災概要②上流決壊箇所

大勝橋下流左岸で約 300m にわたり決壊した。氾濫流は農地部に広く拡散し、南富良野町市街地に向かい流下した。

出水後の氾濫原には、流路の跡とともに、大量の流木が散乱していた。



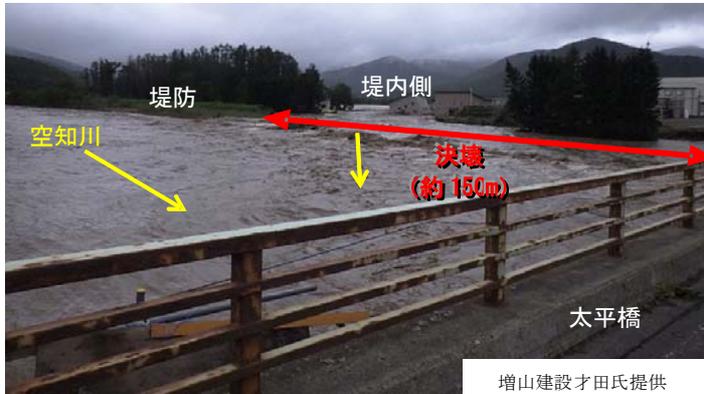
決壊口の状況 (8/31 15時頃*西村准教授・寒地土研ら)



図 2-18 上流決壊箇所の被災状況

2-3-4 被災概要③下流決壊箇所

太平橋直上流の左岸側では、約 150m にわたり決壊し、太平橋の取り付け部でも被災を受け、国道の一部が流出した。



増山建設才田氏提供



増山建設才田氏提供

決壊箇所の状況（決壊約4時間後、8/31 8:00頃撮影）

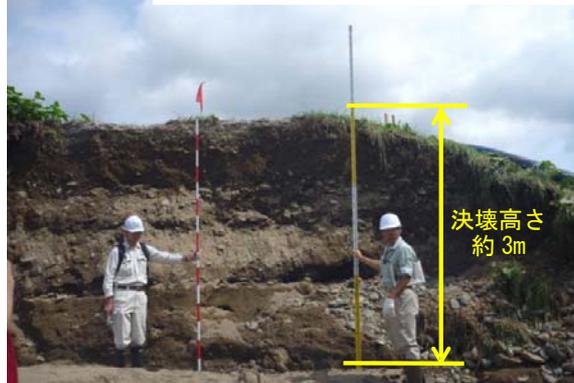
決壊箇所の状況（国道の被災）

9/1 10時半頃撮影



決壊箇所の状況（決壊約1日後、9/1撮影）

9/3 12時頃（中津川教授、寒地土研ら）



決壊口上流部の状況

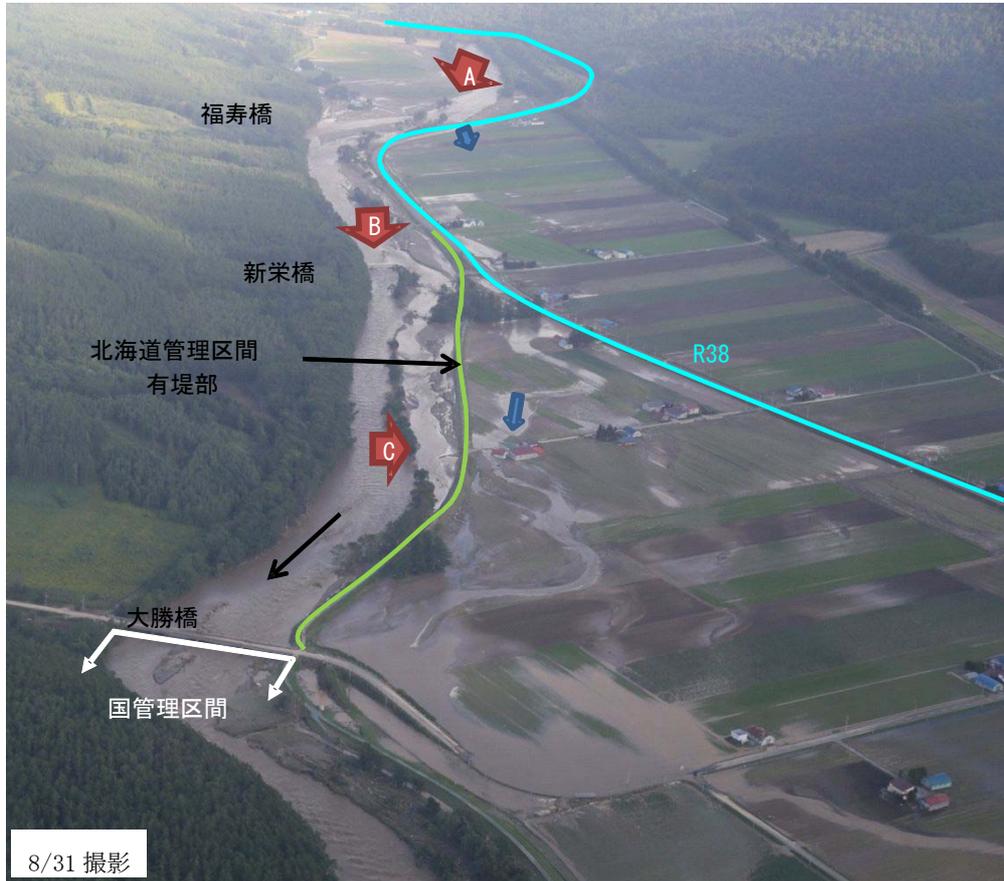
図 2-19 下流決壊箇所の被災状況

2-3-5 被災概要④北海道管理区間【参考】

北海道管理区間でも広範囲にわたり、河岸侵食・堤防の被災が発生した。

河岸侵食により福寿橋、新栄橋の取付道路が流出、氾濫により道路や家屋が被災を受けた（下図 A、B）。

氾濫流は農地を蛇行して流れ、家屋を倒壊させた（下図 C）。



北海道管理区間の氾濫の状況



図 2-20 北海道管理区間の被災状況

3. 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 河川水の越水による堤防決壊

- ・河川水が堤防を越水する。
- ・越流水により川裏（河川と反対側）の法尻が洗掘される。
- ・堤防の裏法尻や裏法が洗掘され、最終的に崩壊に至る。

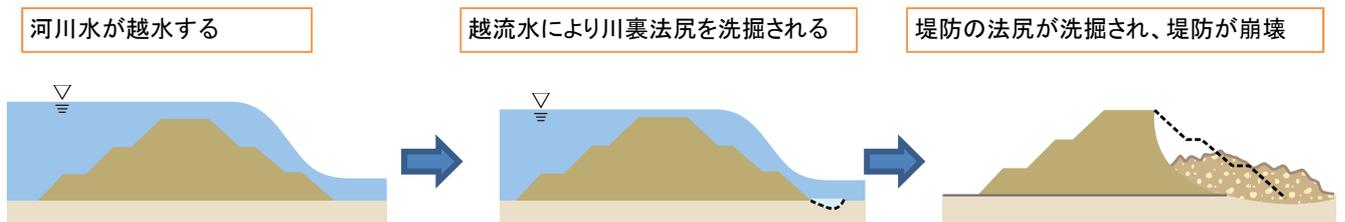


図 3-1 越水による決壊イメージ

3-2 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、最終的に崩壊に至る。

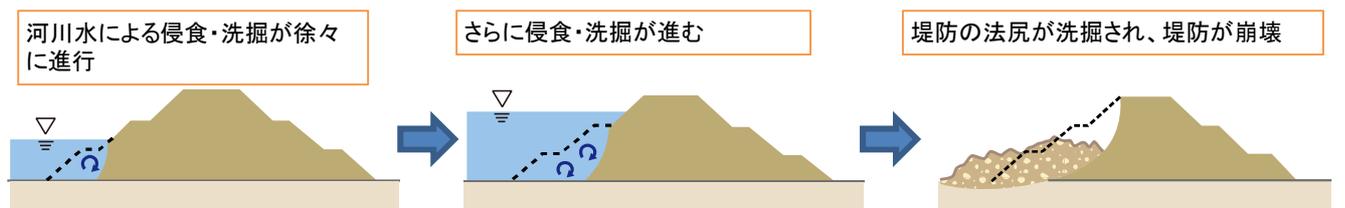


図 3-2 侵食・洗掘による決壊イメージ

3-3 河川水の浸透による堤防決壊

【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出し、水みちができる。
- ・ 土砂の流出が続き、水みちが拡大して、堤防が落ち込み、最終的に崩壊に至る。

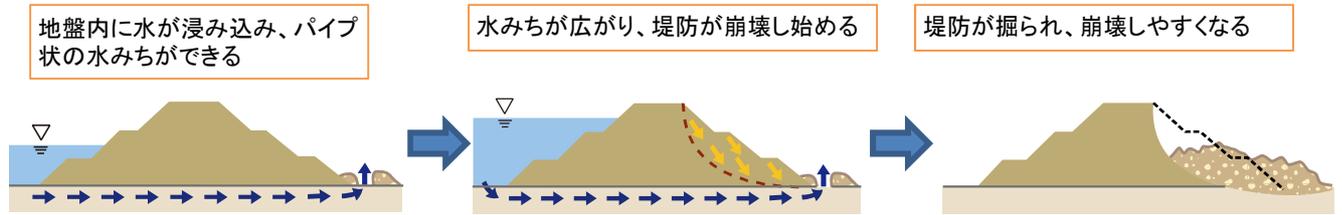


図 3-3 パイピング破壊による決壊イメージ

【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、最終的に崩壊に至る。

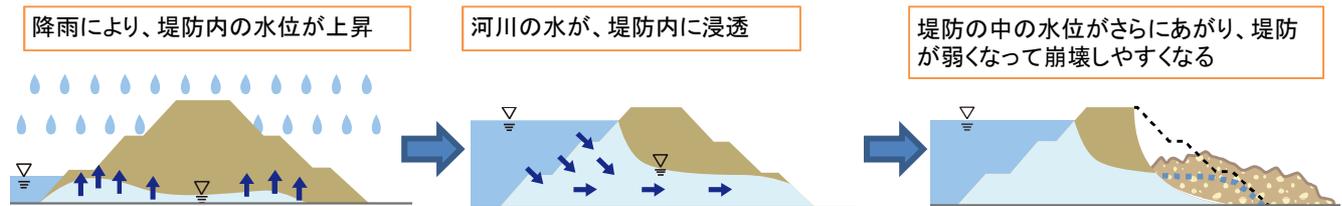


図 3-4 浸透破壊による決壊イメージ

4. 上流決壊原因の特定

4-1 越水による決壊の可能性の検討

深夜に洪水が発生し、道区間からの氾濫により河川巡視に危険が及んだため、直接的な目視ができず、上流決壊箇所で決壊に至るまでの経過は不明である。堤防決壊口の上下流の堤防に残された痕跡から、越水時の状況を考察する。

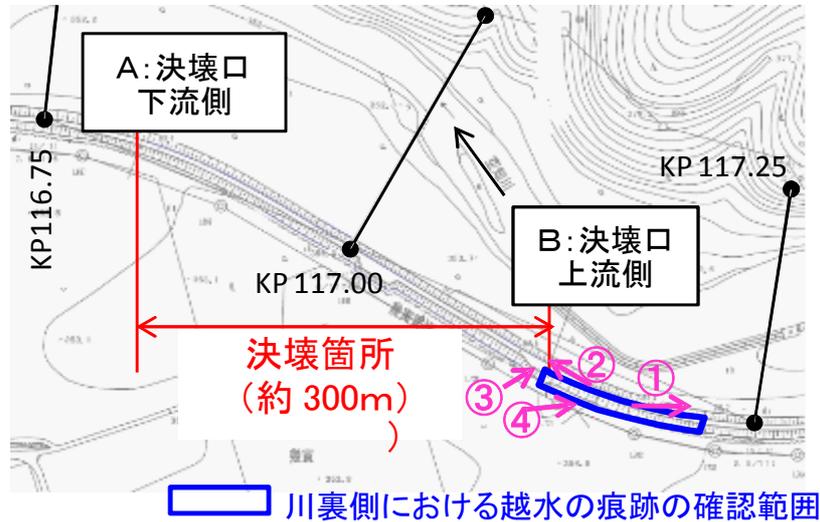


図 4-1 上流決壊箇所周辺の平面図

4-1-1 越水の状況

(1) A : 決壊口下流側

川裏の越水の痕跡は明瞭ではなく、川裏側の洗掘もないことから、決壊口下流側で越水した可能性は考えにくい。



図 4-2 決壊口下流側の状況

(2) B : 決壊口上流側

決壊箇所より上流約 100m の範囲で、天端部及び川裏法面に越水の痕跡を確認した。特に、決壊箇所の上流の天端には流木が流されて漂着していた。また、上流側決壊口は、川裏法面が洗掘され、流失している部分があった。



図 4-3 決壊口上流側の状況
(①～④は図 4-1内に示す撮影方向)

(3) 痕跡水位縦断

決壊口上流側の痕跡水位は、下流に向かって徐々に堤防高との差が小さくなっており、決壊箇所の直上流部では堤防天端高とほぼ同等の高さであった。一方で、決壊口下流側の痕跡水位は、堤防高付近にあった。

このことから、越流水深は下流に向かって大きくなっていったと考えられる。

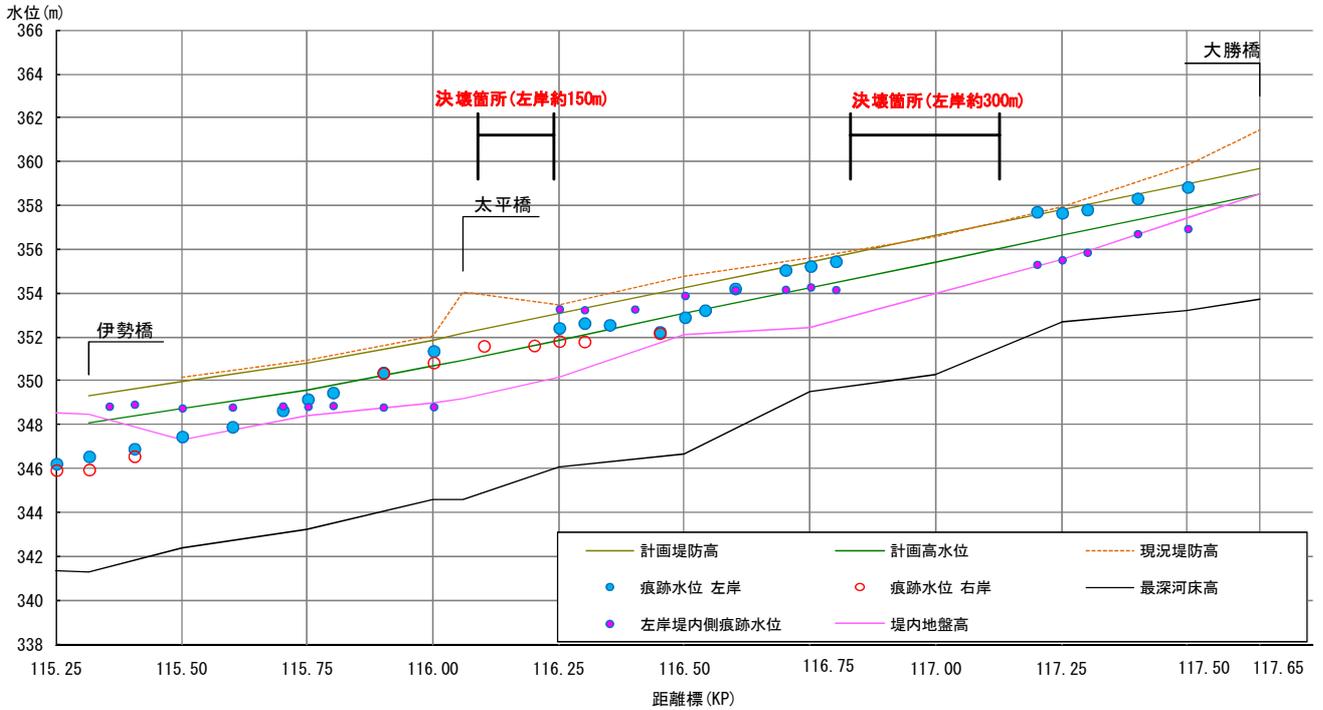


図 4-4 痕跡水位縦断図

4-1-2 まとめ

(1) 調査から把握した事項

- ・空知川流域で記録的な大雨があり、空知川の水位が大きく上昇した。
- ・決壊口の上流側で越水が確認された。また、川裏側の洗掘・流失が確認された。
- ・決壊口の下流側では川裏側での越水は明瞭ではなく、洗掘も確認できなかった。

(2) 越水による決壊の可能性の考察

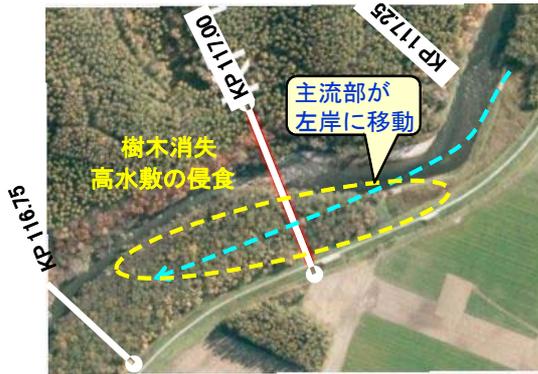
- ・決壊口上流部付近において、堤外側から堤内側への越水が発生し、その川裏法面が洗掘したことが決壊原因の一つであると推定される。

4-2 侵食による決壊の可能性の検討

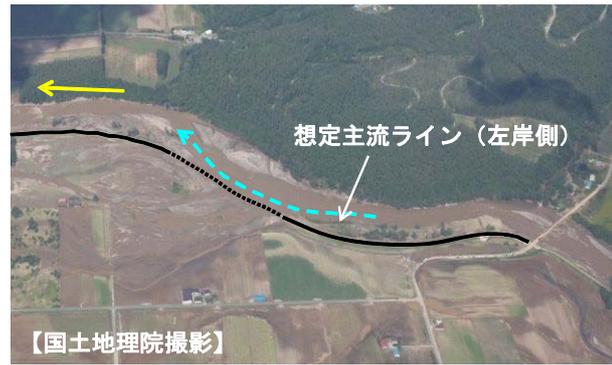
4-2-1 決壊区間及びその近傍の侵食状況

決壊箇所付近はわん曲外岸部となっており、洪水時には水衝部となっていた可能性がある。

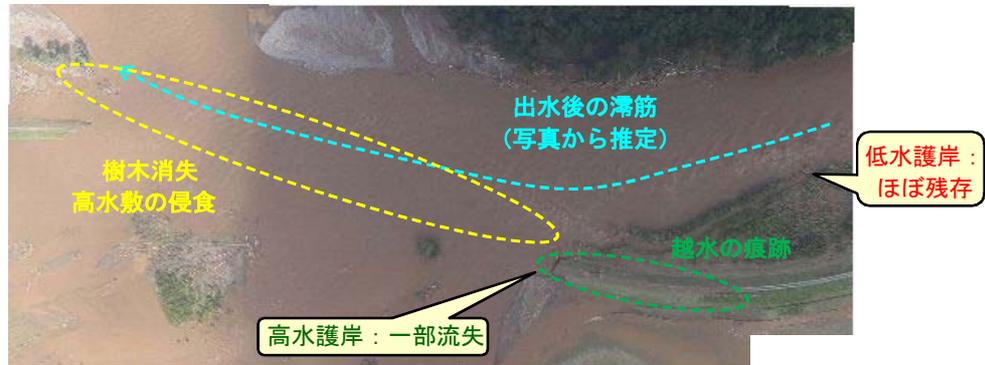
写真から推定される出水後の滞筋は決壊前より左岸側に寄っているが、低水護岸は残っている。決壊区間では高水敷が侵食され、高水敷上の樹木も消失しており、河岸侵食が堤防にも及んだ可能性は否定できない。



(a) 被災前
(H23 撮影航空写真)



(b) 被災後
(9/1 撮影航空写真)



(c) 被災後
(8/31 13時頃ほっかい撮影)

図 4-5 決壊箇所の状況

4-2-2 まとめ

(1) 調査から把握した事項

- ・決壊箇所付近はわん曲外岸部となっており、洪水時には水衝部となっていた可能性がある。
- ・写真から推定される出水後の滯筋は決壊前より左岸側に寄っているが、低水護岸は残っている。
- ・決壊区間では高水敷が侵食され、高水敷上の樹木も消失していた。

(2) 侵食による決壊の可能性の考察

- ・侵食が堤防に及んだ可能性は否定できない。

4-3 浸透による決壊の可能性の検討

4-3-1 決壊区間近傍の土質状況

上流決壊箇所は、河川からの越水により堤体が約 300mにわたり決壊し流出した。このため、決壊箇所約 300m の堤体の地質構成は不明であるが、現地調査結果から堤体及び基礎地盤の地質構成を推定した。堤防縦断方向の地質構成を図 4-6、横断方向の地質構成を図 4-7、図 4-8、図 4-9に示す。

上流決壊箇所の地質構成は、堤体は砂及び砂礫で構成され、基礎地盤は表層に砂礫が堆積し、その下位に溶結凝灰岩が分布している。また、築堤は、S43 に単年度盛土で実施されている。

(1) 決壊口下流側

層厚 3.5m の堤防盛土で、深度 0.8~1.8m 区間は細粒砂主体で、それ以浅と以深は砂礫で構成される。基礎地盤は、砂礫が 3.2m の層厚で堆積し、その下位に溶結凝灰岩が分布している。

(2) 決壊口中心部

堤防盛土は流出したため不明であるが、基礎地盤は玉石を多く含んだ砂礫が 4.35m の層厚で堆積し、その下位に溶結凝灰岩が分布している。

(3) 決壊口上流側

層厚 3.55m の堤防盛土で、深度 2.0m 以浅は砂礫、深度 2.0m 以深は細粒砂で構成される。基礎地盤は、砂礫が 3.0m の層厚で堆積し、その下位に溶結凝灰岩が分布している。



(a) 決壊口下流側

(9/3 撮影※中津川教授、寒地土研ら)



(b) 決壊口上流側 (川裏)

(9/3 撮影※中津川教授、寒地土研ら)

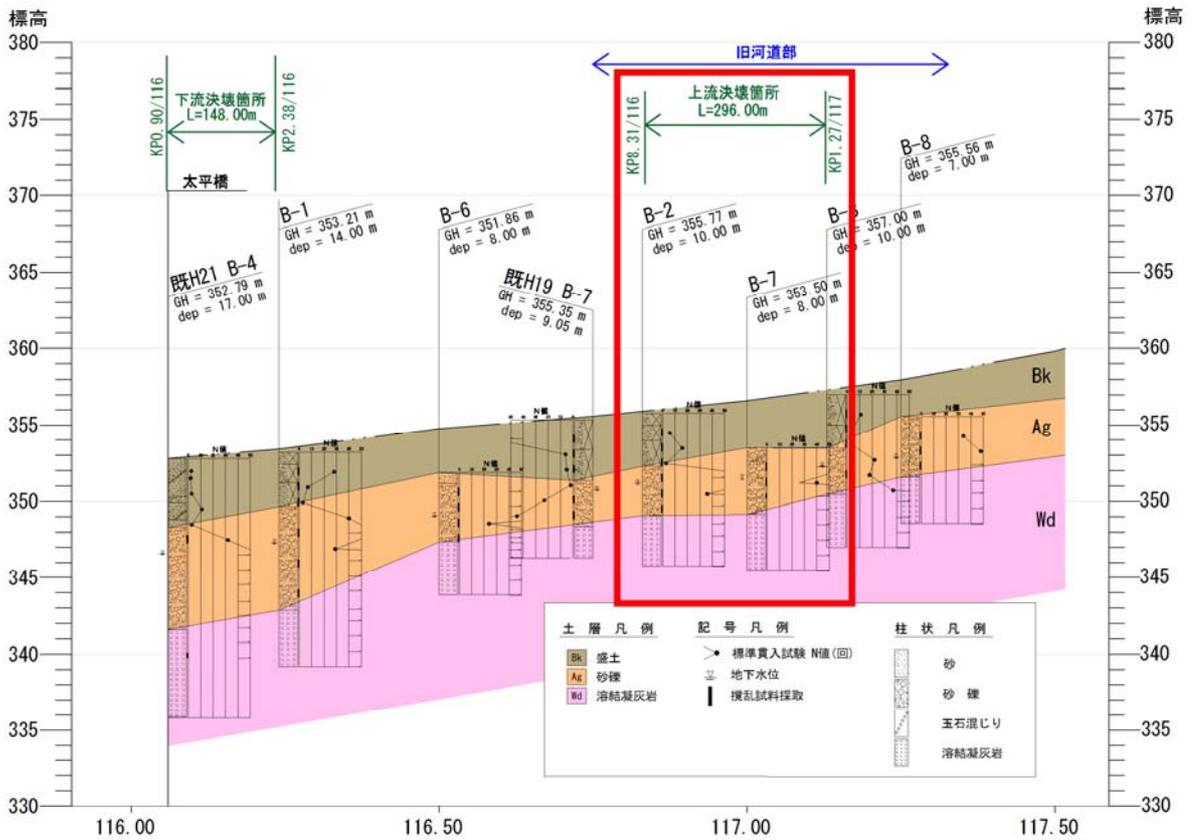
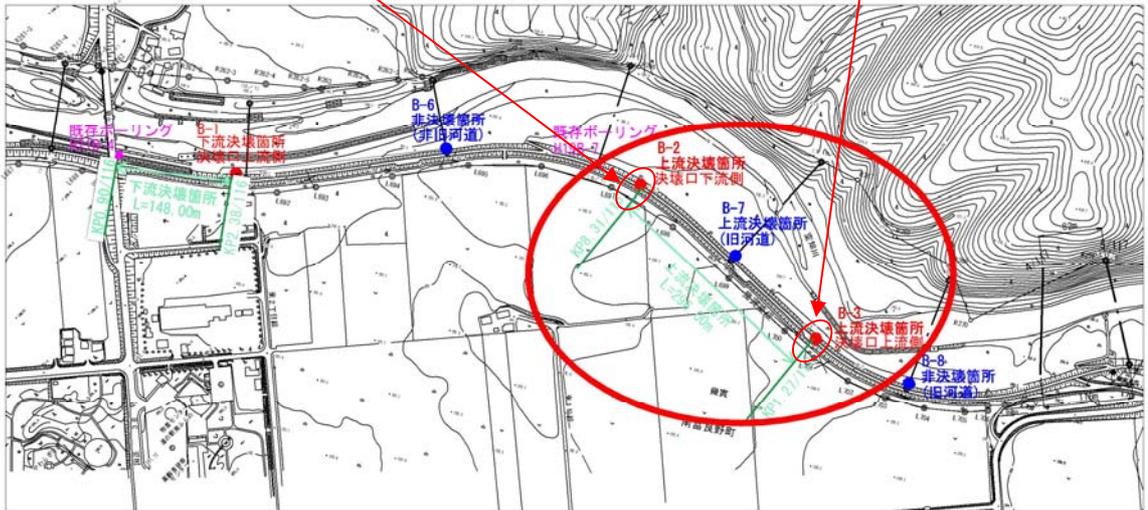
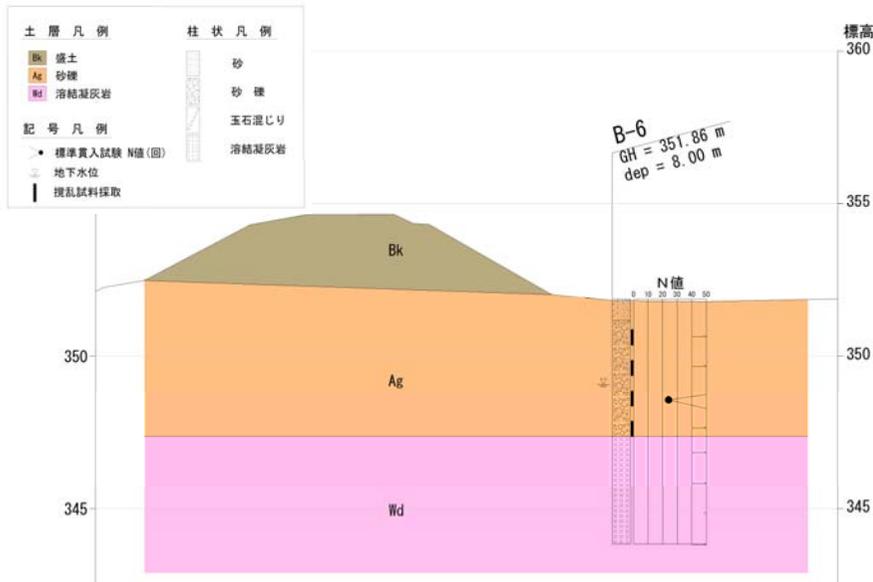
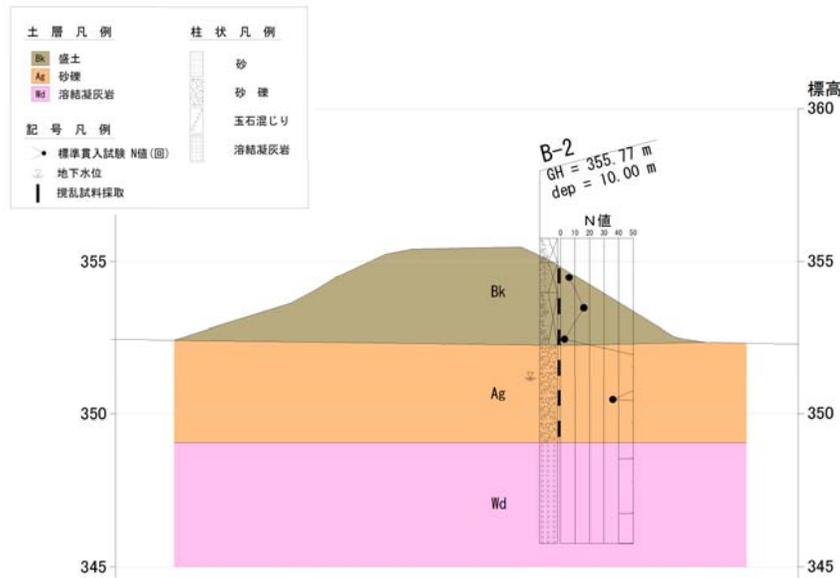


図 4-6 堤防縦断方向の地質構成



標高 (m)	層厚 (m)	柱状 (m)	土質区分	色相	相対密度	相対密実度	記号	備考	標準貫入試験		原位置試験	試験名	試験結果	採取方法	室内試験
									深 (m)	打撃回数 / 貫入量 (cm)					
353.14	0.76	0.76	砂礫	暗黒	結核			0-0.05m 粘土で厚積している。細粒砂が主体。	10	10					
347.38	3.05	4.05	砂礫	暗黒	結核			砂分は細粒～粗粒砂が主体で平均粒径はφ5.6～20mm程度の円～角内輪で最大粒径は20mm程度。	10	20					
343.68	3.56	6.94	溶結凝灰岩	暗黒	結核			塊状コア。砂質は軟弱でハンマーの打撃で容易に砕ける程度。	10	20					

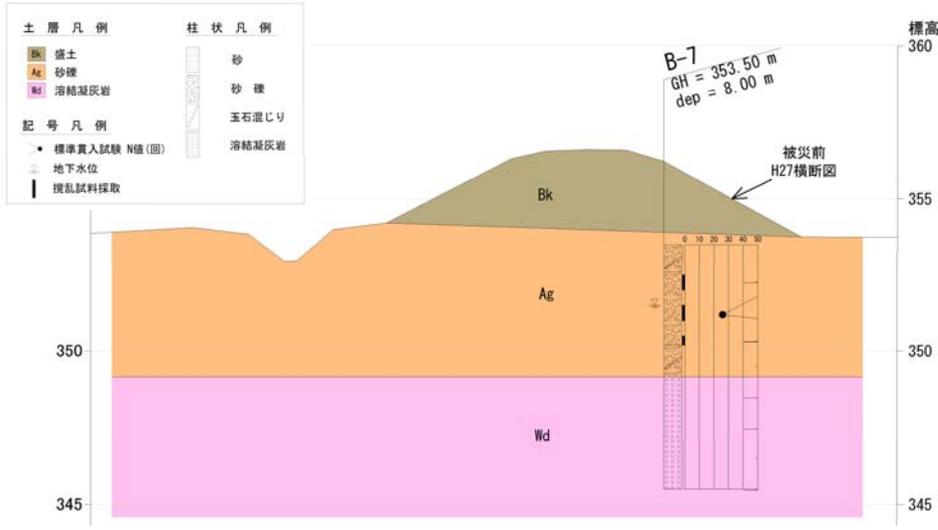
(a) 非決壊箇所下流側



標高 (m)	層厚 (m)	柱状 (m)	土質区分	色相	相対密度	相対密実度	記号	備考	標準貫入試験		原位置試験	試験名	試験結果	採取方法	室内試験
									深 (m)	打撃回数 / 貫入量 (cm)					
354.97	0.88	0.88	砂礫 (盛土)	暗黒	結核			砂分は細粒～粗粒砂が主体で平均粒径はφ5.6～20mm程度の円～角内輪で最大粒径は20mm程度。	10	20					
353.27	1.84	1.84	砂礫 (盛土)	暗黒	結核			砂分は細粒～粗粒砂が主体で平均粒径はφ5.6～20mm程度の円～角内輪で最大粒径は20mm程度。	10	20					
350.27	1.74	3.58	砂礫 (盛土)	暗黒	結核			砂分は細粒～粗粒砂が主体で平均粒径はφ5.6～20mm程度の円～角内輪で最大粒径は20mm程度。	10	20					
346.07	3.20	6.78	砂礫	暗黒	結核			砂分は細粒～粗粒砂が主体で平均粒径はφ5.6～20mm程度の円～角内輪で最大粒径は20mm程度。	10	20					
343.27	3.20	10.00	溶結凝灰岩	暗黒	結核			塊状コア。砂質は軟弱でハンマーの打撃で容易に砕ける程度。	10	20					

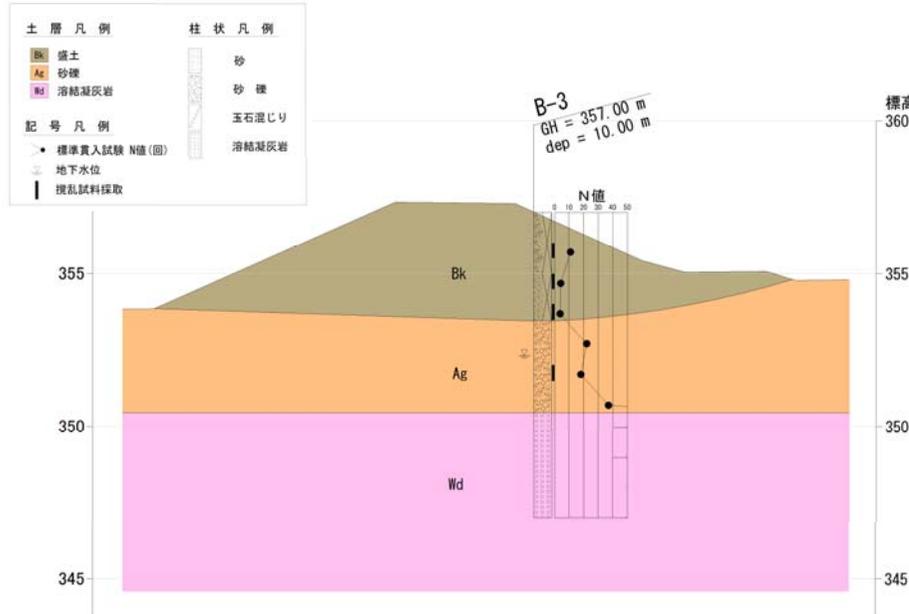
(b) 決壊口下流側

図 4-7 堤防横断方向の地質構成 (1)



標高 (m)	層厚 (m)	柱状 (m)	土質区分	色調	相対密度	相対含水量	記号	備考	標準貫入試験		原位置試験	試験名および結果	試験採取番号	室内試験 (月)	進捗 (日)
									打撃回数	貫入量 (cm)					
352.45	0.99	5.0	砂	褐色	均質			砂分は細砂～粗砂が主体で不均質。細砂は約50%程度。最大粒径は10mm程度。	0	10	20				
350.20	2.48	3.2	砂	褐色	均質			砂分は細砂～粗砂が主体で不均質。細砂は約50%程度。最大粒径は10mm程度。	0	10	20				
348.13	1.01	4.3	砂	褐色	均質			砂分は細砂～粗砂が主体で不均質。細砂は約50%程度。最大粒径は10mm程度。	0	10	20				
345.52	3.61	8.0	凝結凝灰岩	灰色	均質			凝結凝灰岩。試験は概ねハンマーの打撃で容易に砕ける程度。	0	10	20				

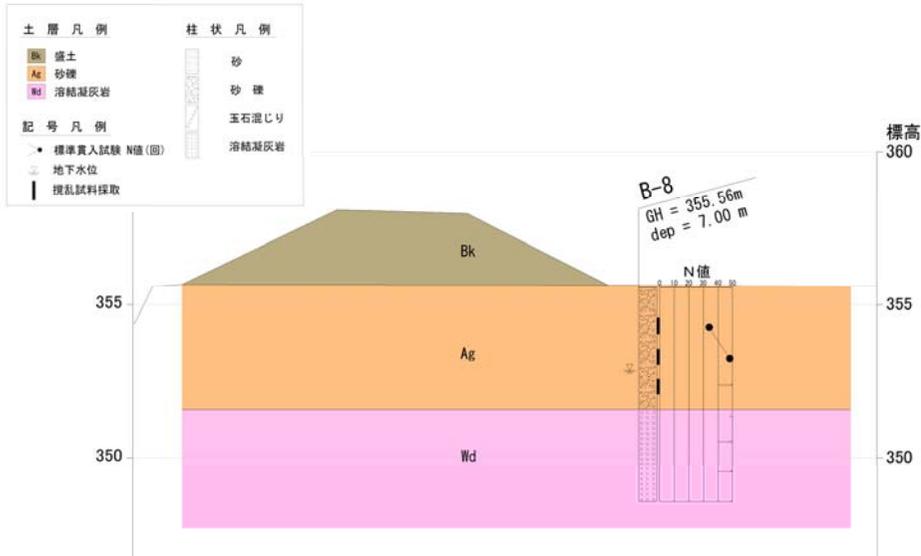
(c) 決壊口中央付近



標高 (m)	層厚 (m)	柱状 (m)	土質区分	色調	相対密度	相対含水量	記号	備考	標準貫入試験		原位置試験	試験名および結果	試験採取番号	室内試験 (月)	進捗 (日)
									打撃回数	貫入量 (cm)					
355.00	2.00	7.0	砂	褐色	不均質			0~0.1m2表土で厚層状。砂分は細砂～粗砂が主体で不均質。最大粒径は10mm程度。	0	10	20				
353.43	1.50	3.0	砂	褐色	均質			凝結凝灰岩が主体。最大粒径は20mm程度の円～楕円礫が存在する。	0	10	20				
350.43	3.00	6.0	砂	褐色	不均質			砂分は細砂～粗砂が主体で不均質。細砂は約50%程度。最大粒径は10mm程度。	0	10	20				
347.00	3.60	10.0	凝結凝灰岩	灰色	均質			凝結凝灰岩。試験は概ねハンマーの打撃で容易に砕ける程度。	0	10	20				

(d) 決壊口上流側

図 4-8 堤防横断方向の地質構成 (2)



標尺	層高	深	柱状	土質	色	相対	相対	相対	記	標準貫入試験				原位置試験	試験名	試験採取	管内試験							
										深	打撃回数	貫入量	N値											
1	0.5	0.5	砂礫	砂礫	灰褐色	不均	不均	不均	3~6 (m)は堤外工事道路盛土で玉石多く混じり、砂分は細粒～粗粒砂が主体で不均一。層厚は約1.5～2.0mの厚～薄が連続で概ね100mm大の玉石点存在。 7～7.5 (m)は溶結凝灰岩。層厚は約0.5～1.0mの厚～薄が連続で概ね100mm大の玉石点存在。	0	10	20	30	深さ (m) 試験番号 (m) 試験方法 (m)	採取方法 (m)	管内試験 (月)								
2	0.5	1.0	砂礫	砂礫	灰褐色	不均	不均	標準貫入試験 N値 (回)		10	20	30	管内試験 (月)											
3	0.5	1.5	砂礫	砂礫	灰褐色	不均	不均			標準貫入試験 N値 (回)	10	20					30	管内試験 (月)						
4	0.5	2.0	砂礫	砂礫	灰褐色	不均	不均				標準貫入試験 N値 (回)	10					20		30	管内試験 (月)				
5	0.5	2.5	砂礫	砂礫	灰褐色	不均	不均					標準貫入試験 N値 (回)					10		20		30	管内試験 (月)		
6	0.5	3.0	砂礫	砂礫	灰褐色	不均	不均										標準貫入試験 N値 (回)		10		20		30	管内試験 (月)
7	0.5	3.5	砂礫	砂礫	灰褐色	不均	不均												標準貫入試験 N値 (回)		10		20	

(e) 非決壊箇所上流側

図 4-9 堤防横断方向の地質構成 (3)

4-3-2 噴砂・法崩れに着目した周辺の状況

痕跡水位をみると、決壊箇所以外においても、外水位は縦断的に HWL を超過していたことが確認できる（図 4-10）が、裏法が崩れる等の被災は確認できていない（図 4-11）。

また、決壊箇所以外においても、堤防の法崩れが発生した状況は確認できていない（図 4-12）。

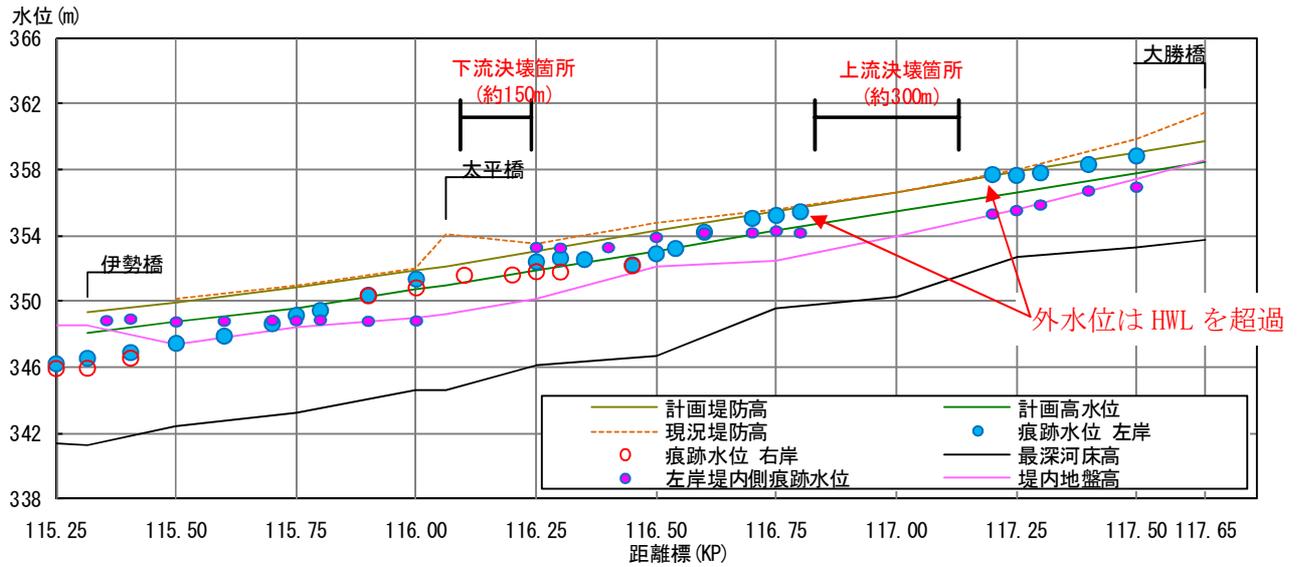


図 4-10 痕跡水位縦断図

A: 下流決壊区間付近（決壊口上流）の堤内状況
 9/3 撮影※中津川教授、寒地土研ら



一部、植生が薄い場所は確認



堤内から堤外へ氾濫水が戻る際の流水で浸食したものと思われる。植生が薄くなった堤防は礫が露出。



(9/3 撮影※中津川教授、寒地土研ら)



B: 決壊口上流側付近の堤内状況（噴砂の痕跡無し）
 9/3 撮影※中津川教授、寒地土研ら

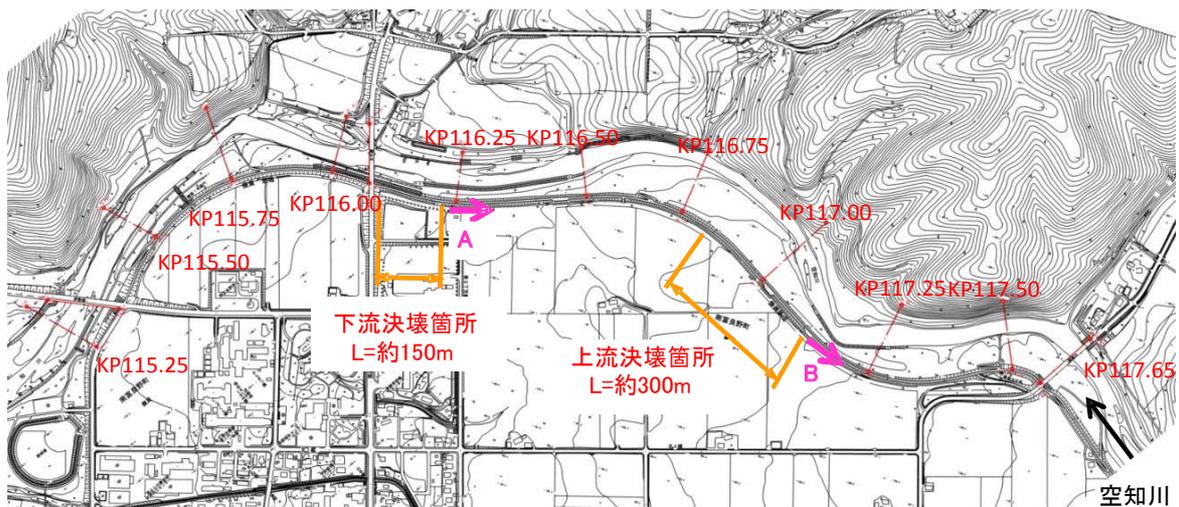


図 4-11 下流決壊箇所～上流決壊箇所の堤内状況

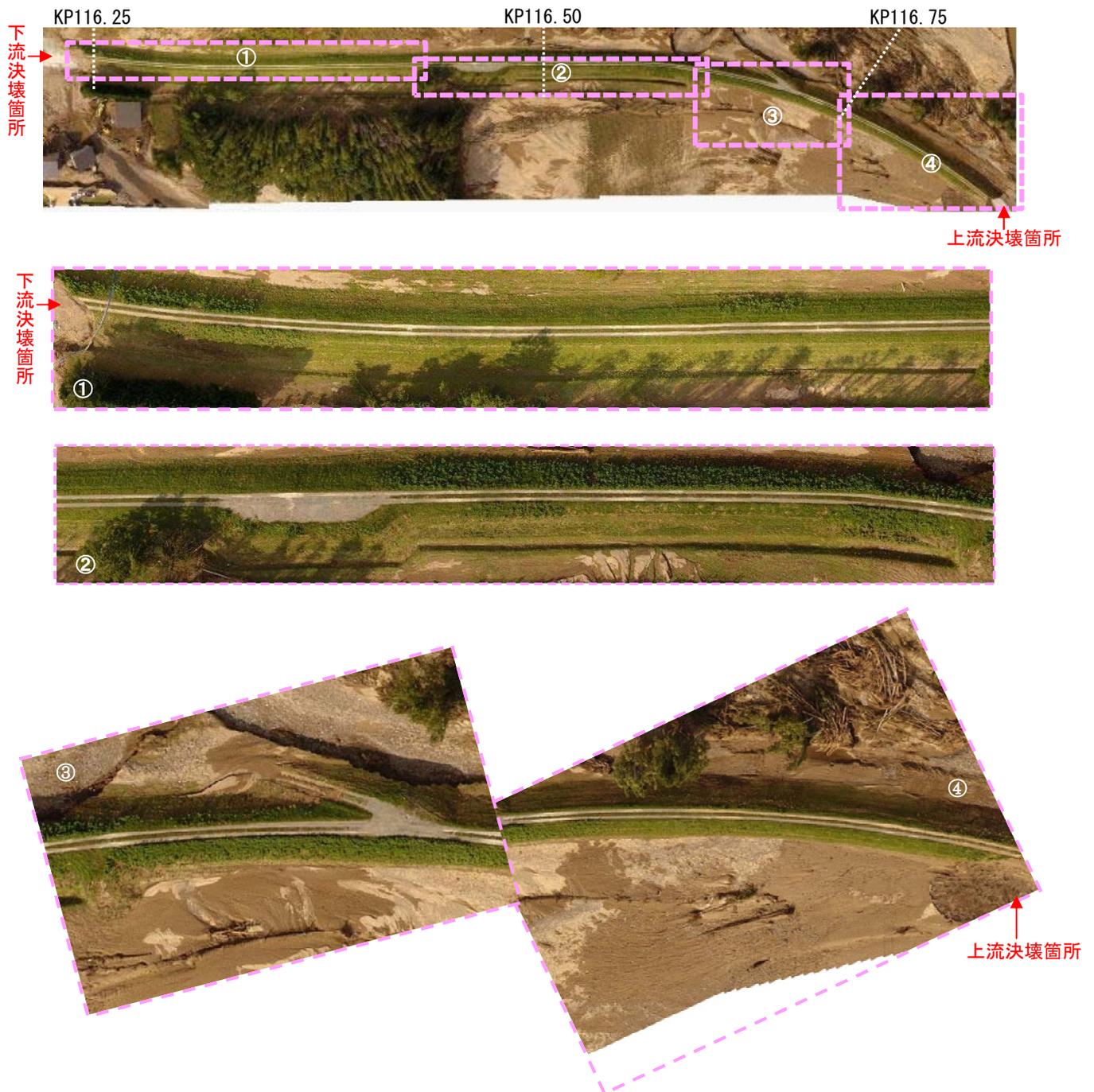


図 4-12 下流決壊箇所～上流決壊箇所までの堤防の状況
 (9/3 撮影 中津川教授、寒地土研らでドローンから撮影)

4-3-3 浸透流解析

上流決壊箇所において、8/29～8/31 の実測降雨及び外水位を与えた場合の越流直前の浸透に対する安全性の照査を行い、H19 既往堤防点検結果とあわせて、浸透に対する堤防決壊の可能性について考察した。

(1) 解析断面

決壊要因の特定にあたり、H19 既往堤防点検により地質構成が把握されていた決壊箇所直下流に位置する KP116.75 を対象に浸透流解析を行い、その結果を第 2 回堤防調査委員会に提示した。

さらに、決壊後に決壊箇所周辺で行われた地質調査結果を基に、決壊箇所中央に位置する KP117.00 においても浸透流解析を実施している。

以上の経緯を踏まえ、本報告書においては、KP116.75 と KP117.00（委員会では未提示）の 2 断面（図 4-13、図 4-14、図 4-15）を対象とした浸透流解析結果を整理する。

なお、KP117.00 の堤防は、本洪水による決壊で流出したため、上下流端の地質調査結果から地質構成等を推定した。

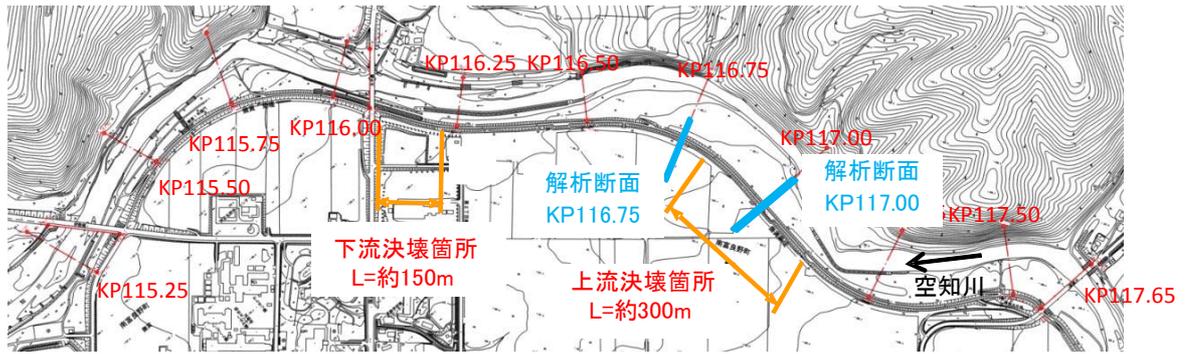


图 4-13 解析断面平面图

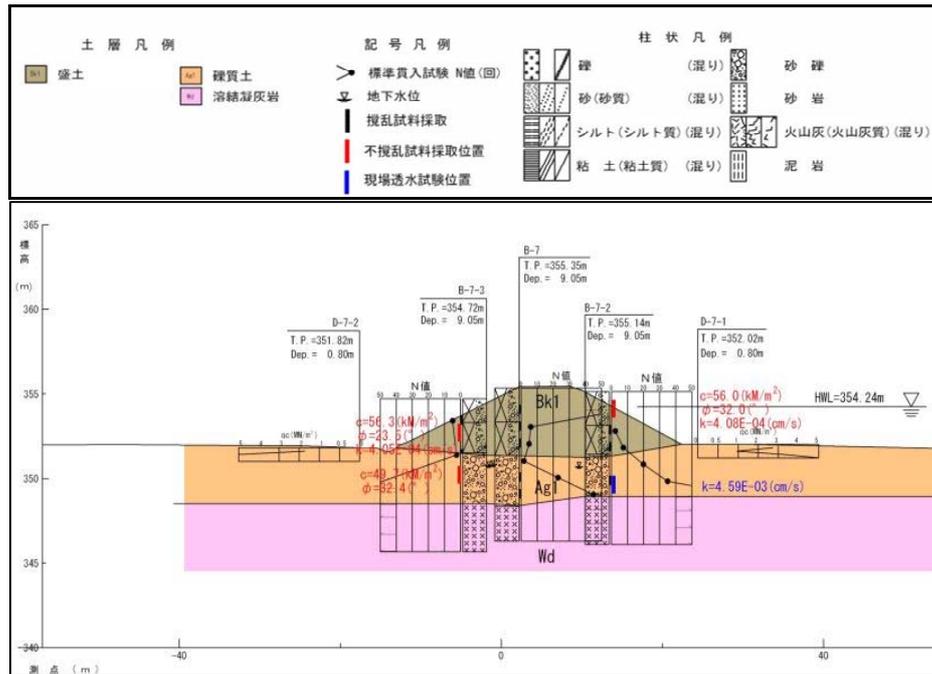


图 4-14 解析断面图 (KP116.75、H19 既往堤防点検結果)

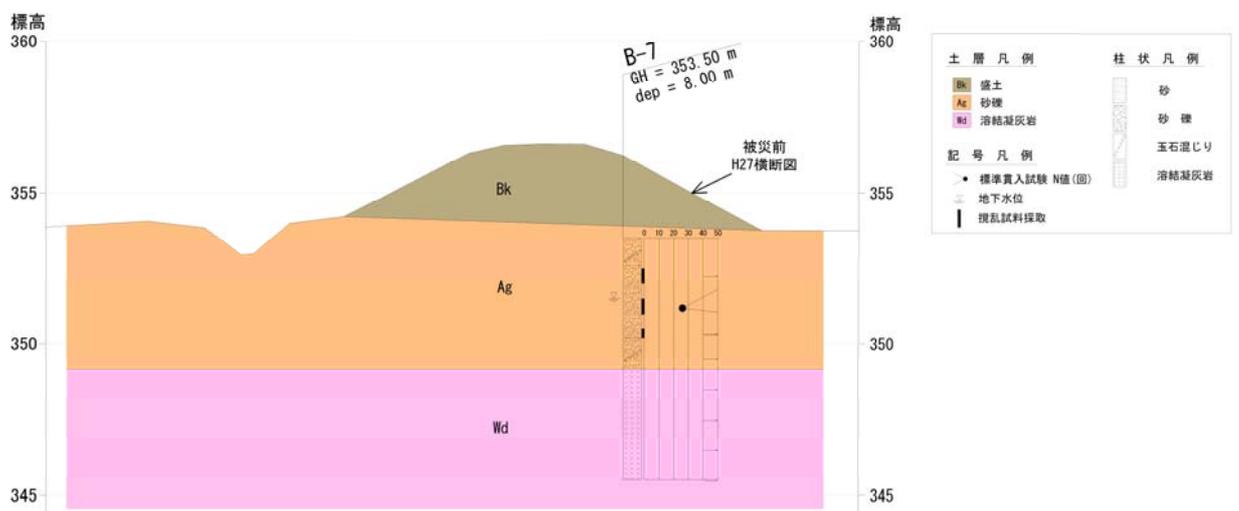


图 4-15 解析断面图 (KP117.00)

(2) 土質定数

土質定数は、KP116.75 は H19 既往堤防点検で設定されている値を用い、KP117.00 は被災後の調査結果から室内土質試験や原位置試験により得られた結果を用いて設定している。なお、堤体の内部摩擦角 ϕ 及び粘着力 c は、KP116.75 は三軸圧縮試験の圧密非排水 (CU) 条件、KP117.00 は圧密排水 (CD) 条件の結果から設定したものである。

表 4-1 土質定数一覧表

評価対象 断面 KP	土層	番号	土質	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)	透水係数 k (cm/sec)	不飽和 浸透特性
116.75	堤体	Bk1	礫質土	17.8	28 ^{*1}	56 ^{*1}	4.0×10 ⁻⁴ ^{*3}	[G-F]
	基礎地盤	Ag1	礫質土	21.4	32	0	5.0×10 ⁻³ ^{*4}	[G-F]
117.00	堤体	Bk	礫質土	18.1	32 ^{*2}	19 ^{*2}	2.0×10 ⁻⁴ ^{*5}	[G-F]
	基礎地盤	Ag	礫質土	20.0	39	0	7.0×10 ⁻² ^{*5}	[G-F]

*1 三軸圧縮試験の圧密非排水 (CU) 条件の結果から設定

*2 三軸圧縮試験の圧密排水 (CD) 条件の結果から設定

*3 室内透水試験結果から設定

*4 現場透水試験結果から設定

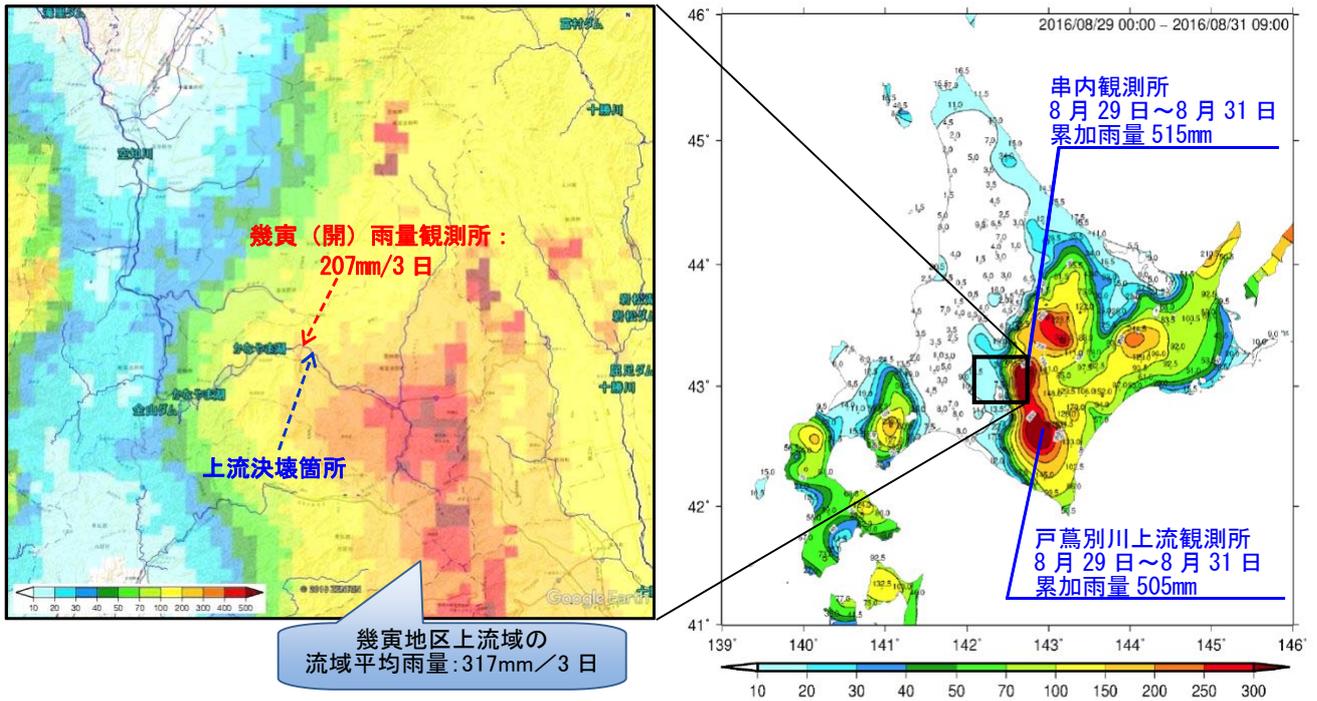
*5 室内及び現場透水試験結果から設定

(3) 降雨条件

堤防決壊箇所の上流域（串内雨量観測所）では、500mm/3日を超す累加雨量があり、空知川の水位が上昇したが、堤防決壊箇所周辺では、200mm/3日程度（幾寅雨量観測所：207mm/3日）であった。

周辺の雨量観測所データから流域平均雨量を求めたところ約320mm/3日であった。

本解析では、この流域平均雨量（317mm/3日）を堤防に与える降雨量とした。



幾寅地区のアメダス降雨量分布
(平成28年8月29日1時～31日9時)
(日本気象協会)

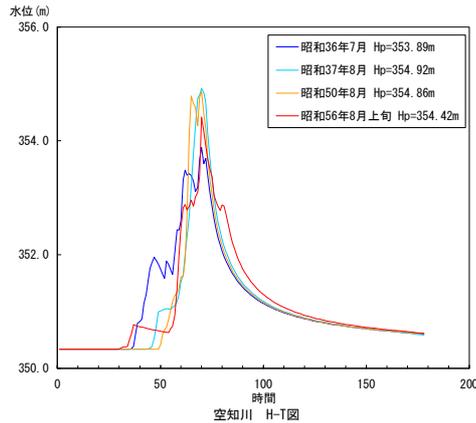
アメダス降雨量分布
(平成28年8月29日1時～31日9時)
(日本気象協会、第1回資料から転載)

図 4-16 降雨量の分布状況

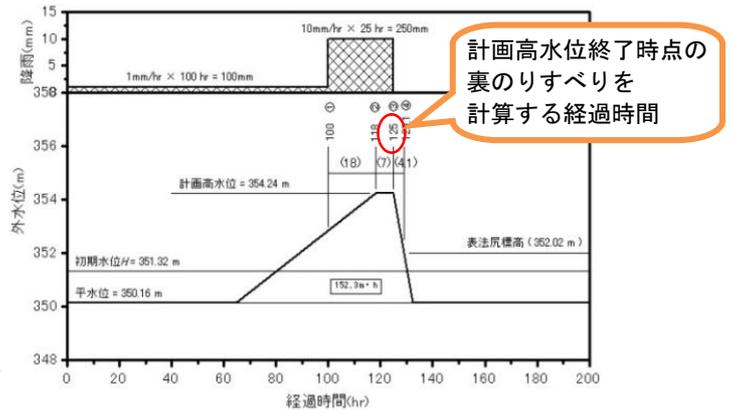
(4) 外力条件

図 4-17、図 4-18に、KP116.75 における H19 既往堤防点検時及び台風 10 号による本洪水を想定した外力条件を示す。

なお、本洪水を想定した計算においては、KP116.75、KP117.00 を対象として、上流決壊箇所に近い幾寅雨量観測所の実績雨量 207mm/3 日よりも多い雨量を堤体に与えた。また、外水位としては金山ダムの実績流入量を同断面の洪水前の HQ 式を用いて換算し、さらに越水を考慮して堤防高を上限とした水位を想定した (図 4-20)。



既往代表 4 洪水の H-T 図



降雨と河川水位波形の組合せ

【外水位】

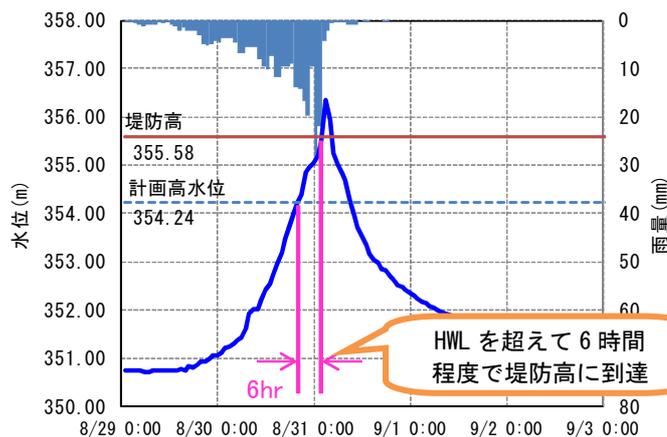
既往代表 4 洪水の水位波形から台形の波形 (モデル波形) を作成

【降雨量】

事前降雨量 100mm(1mm/hr)

設定降雨量 250mm/3 日(10mm/hr)

図 4-17 H19 既往堤防点検時の外力条件 (KP116.75)



【外水位】

金山ダム地点実績流入量を KP116.75 の HQ 式で換算した水位

【降雨量】

幾寅地区の流域平均雨量 (317mm/3日)

上流決壊箇所に近い幾寅雨量観測所の実績雨量 207mm/3 日よりも多い雨量を与えて検討

図 4-18 本洪水を想定した外力条件 (KP116.75)

(5) 解析結果

H19 既往堤防点検外力では、KP116.75 の浸透に対する安全性はパイピング破壊(局所動水勾配)、裏のりすべり破壊ともに基準値は満足しており、台風 10 号を再現した本洪水外力でも、KP116.75, KP117.00 の浸透に対する安全性はパイピング破壊(局所動水勾配)、裏のりすべり破壊ともに基準値は満足する結果となった。

航空写真から被災箇所近傍の法面やのり尻付近を確認したところ、法すべり破壊やパイピング破壊は確認できなかった。また、本洪水では計画高水位から堤防天端まで急激に水位上昇したことから洪水継続時間は短かった。

以上のことから、決壊箇所でも法すべり破壊やパイピング破壊が発生した可能性は考えにくい。

表 4-2 浸透に対する安全性の照査結果

評価対象 断面 KP	外力条件	局所動水勾配の最大値 i				裏法すべり破壊に対する最小安全率 F_s		
		照査基準	解析値		判定	必要安全率	解析値	判定
			鉛直 i_v	水平 i_h				
116.75	H19既往堤防点検	$i < 0.5$	-0.060	0.250	○	$F_s \geq 1.452$	8.361	○
	本洪水		0.271	0.146	○		5.338	○
117.00	本洪水		0.065	0.223	○		2.909	○

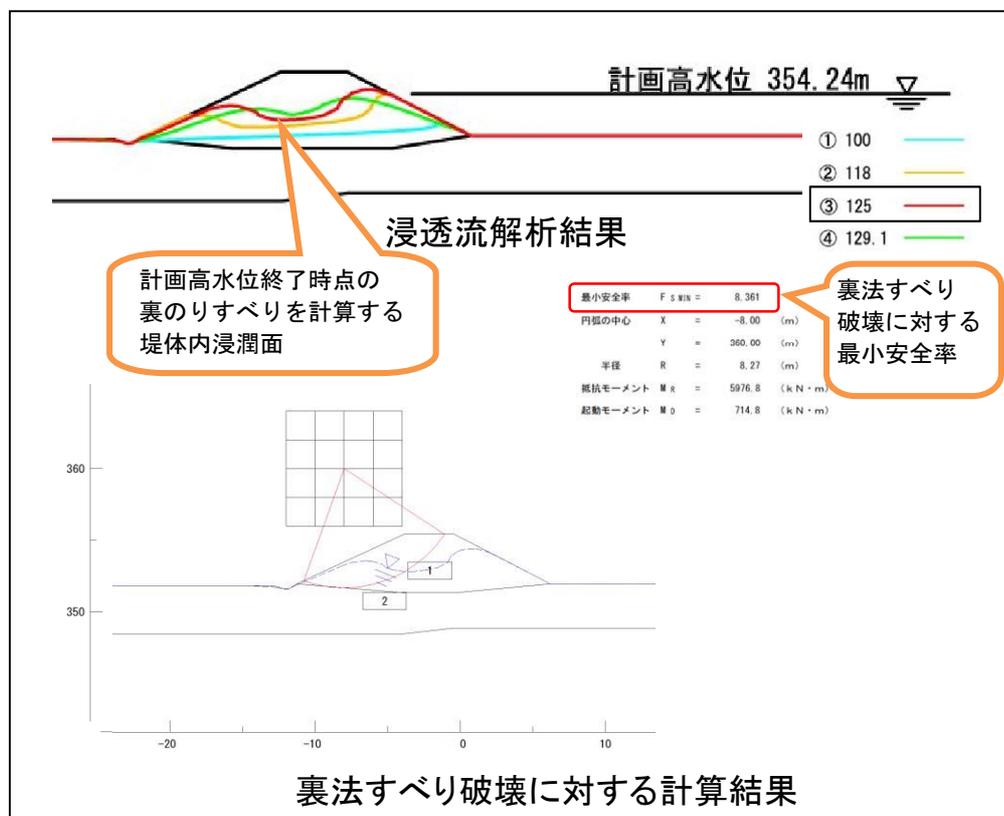
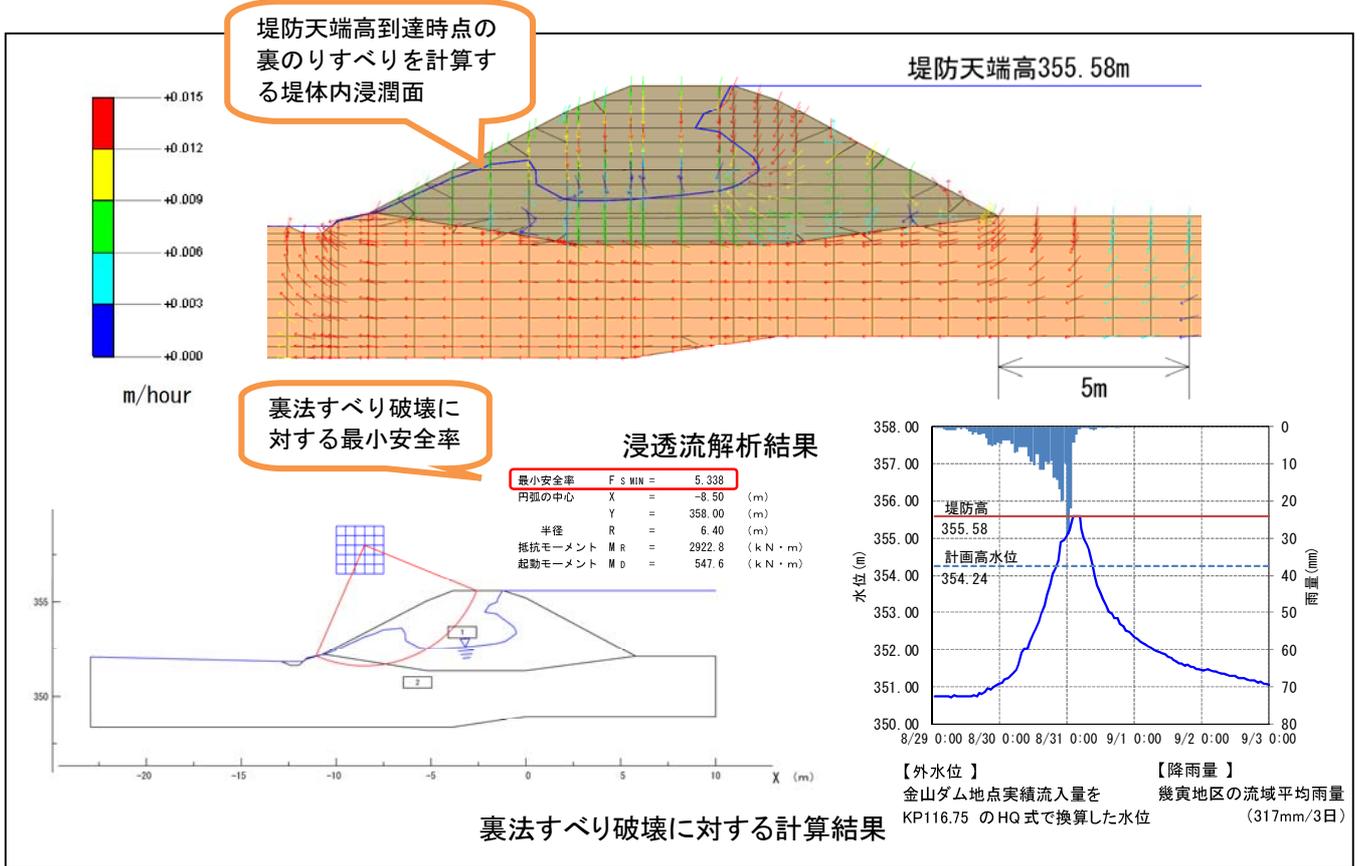
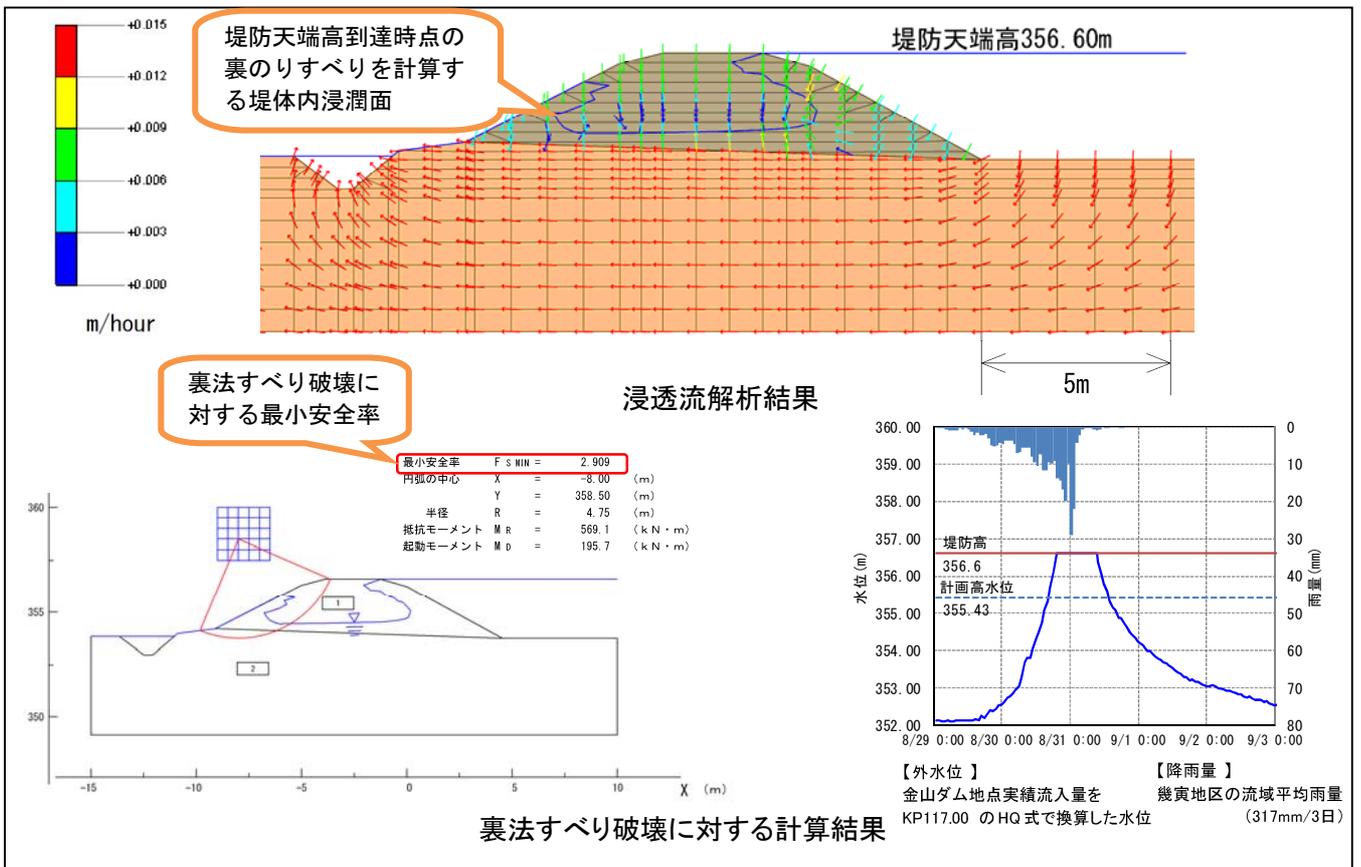


図 4-19 浸透に対する安全性照査結果図 (KP116.75、H19 既往堤防点検外力)



(a) KP116.75



(b) KP117.00

図 4-20 浸透に対する安全性照査結果図 (本洪水外力)

4-3-4 まとめ

(1) 調査から把握した事項

- ・堤防決壊箇所の上流域（串内雨量観測所）では500mm/3日を超過する累加雨量があったものの、堤防決壊箇所周辺では200mm/3日（幾寅雨量観測所）であった。
- ・決壊区間及びその周辺では、噴砂は確認されなかった。
- ・すべり破壊及びパイピング破壊に対する安全性を照査した結果、基準値を満足する結果となった。
- ・決壊箇所以外で、堤防の法崩れは確認されなかった。

(2) 浸透による決壊の可能性の考察

- ・浸透が決壊の主要因であることは考えにくい。

4-4 上流決壊原因の特定

それぞれの想定される決壊原因について、調査結果から把握したこと、推定される堤防決壊の原因について整理した。

表 4-3 上流決壊の原因

想定される決壊原因	調査結果から分かったこと	推定される堤防決壊の原因
■越水による堤防決壊の可能性について	<ul style="list-style-type: none"> ・空知川流域で記録的な大雨があり、空知川の水位が大きく上昇した。 ・決壊口の上流側で越水が確認された。また、川裏側の洗掘・流失が確認された。 ・決壊口の下流側では川裏側での越水は明瞭ではなく、洗掘も確認できなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・決壊口上流部付近において、<u>堤外側から堤内側への越水が発生し、その川裏法面が洗掘したことが決壊原因の一つであると推定される。</u>
■侵食による堤防決壊の可能性について	<ul style="list-style-type: none"> ・決壊箇所付近はわん曲外岸部となっており、洪水時には水衝部となっていた可能性がある。 ・写真から推定される出水後の滯筋は決壊前より左岸側に寄っているが、低水護岸は残っている。 ・決壊区間では高水敷が侵食され、高水敷上の樹木も消失していた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・侵食が堤防に及んだ可能性は否定できない。
■浸透による堤防決壊の可能性について	<ul style="list-style-type: none"> ・決壊区間及びその周辺では、噴砂は確認されなかった。 ・すべり破壊及びパイピング破壊に対する安全性を照査した結果、基準値を満足する結果となった。 ・決壊箇所以外で、堤防の法崩れは確認されなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透が堤防決壊の主要因であるとは考えにくい。

5. 下流決壊原因の特定

5-1 越水による決壊の可能性の検討

5-1-1 越水の状況

洪水は深夜に及んだものの、太平橋において越水に至るまでの経過を捉えており、その状況を整理した。

- ・ AM2 時頃：国道 38 号と堤防で囲まれた低地に氾濫水が集中して湛水
- ・ AM3 時頃：堤内側から堤外側へ越水を確認
- ・ AM4 時～5 時頃：堤防決壊



図 5-1 下流決壊箇所の越水状況

5-1-2 まとめ

(1) 調査から把握した事項

- ・ 太平橋の直上流部左岸側における氾濫水の湛水を経て、堤内側から堤外側への越水が確認された。

(2) 越水による決壊の可能性の考察

- ・ 堤内側から堤外側への越水による川表天端の崩落が決壊原因の一つであると推定される。

5-2 侵食による決壊の可能性の検討

5-2-1 決壊区間及びその近傍の侵食状況

低水護岸①や高水敷はほぼ原形のまま残っている一方で、堤防決壊後の太平橋直上流部の低水護岸②は、被災して変形していた。

これらのことから、川表側からの河岸侵食や河床洗掘により決壊したとは考えにくい。ただし、上流側で堤防決壊しなかった場合を想定すると、川表側からの侵食が堤防に及ぶ可能性も否定できない。



図 5-2 下流決壊箇所の被災状況

5-2-2 まとめ

(1) 調査から把握した事項

- ・堤防決壊後、太平橋直上流部の低水護岸は被災して変形していた。

(2) 侵食による決壊の可能性の考察

- ・川表側からの河岸侵食や河床洗掘により決壊したとは考えにくい。
- ・ただし、上流側で堤防決壊しなかった場合を想定すると、川表側からの侵食が堤防に及ぶ可能性も否定できない。

5-3 浸透による決壊の可能性の検討

5-3-1 決壊区間近傍の土質・噴砂状況

下流決壊箇所は、堤内側から堤外側への越水により堤体が約 150mにわたり決壊し流出した。このため、決壊箇所約 150m の堤体の地質構成は不明であるが、現地調査結果から堤体及び基礎地盤の地質構成を推定した。堤防縦断方向の地質構成を図 5-4に、横断方向の地質構成を図 5-5に示す。

下流決壊箇所の地質構成は、堤体は砂及び砂礫で構成され、基礎地盤は表層に砂礫が堆積し、その下位に溶結凝灰岩が分布している。また、築堤は、S43 に単年度盛土で実施されている。

また、周辺の堤内側では噴砂は見受けられない。

(1) 決壊口下流側

層厚 4.5m の堤防盛土で、深度 2.5～2.9m 区間は砂礫主体で、それ以浅と以深は礫混じりシルト質砂で構成される。基礎地盤は、砂礫が 6.7m の層厚で堆積し、その下位に溶結凝灰岩が分布している。

(2) 決壊口上流側

層厚 3.55m の堤防盛土で、深度 0.8～2.0m 区間は砂礫、それ以浅と以深は砂で構成される。基礎地盤は、砂礫が 6.8m の層厚で堆積し、その下位に溶結凝灰岩が分布している。



図 5-3 下流決壊箇所の現地状況

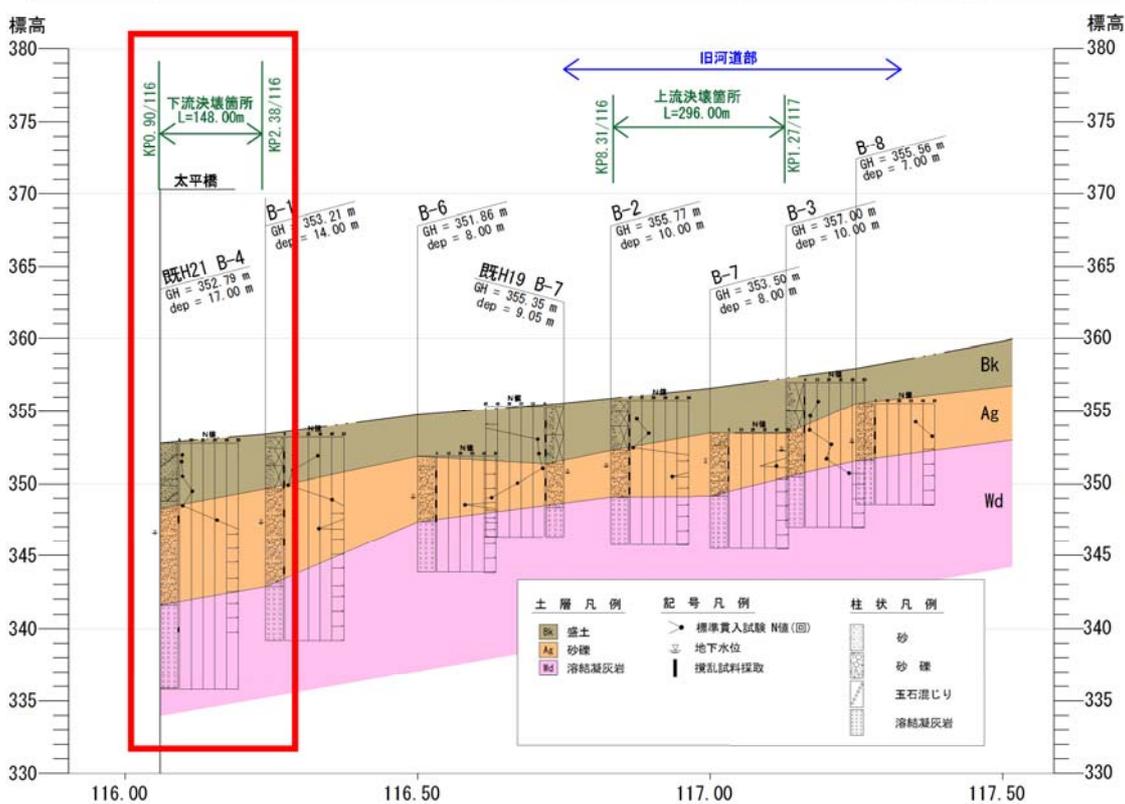
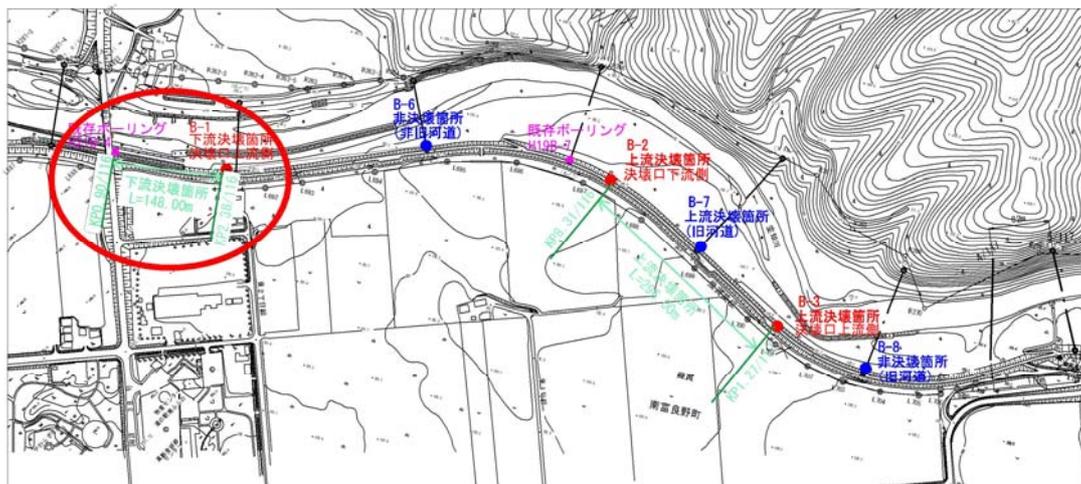


図 5-4 堤防縦断方向の地質構成

5-3-2 まとめ

(1) 調査から把握した事項

- ・決壊区間及びその周辺では、噴砂は確認されなかった。
- ・決壊に至るまでの状況写真から、堤防決壊時には、堤内側は氾濫水で湛水していた。

(2) 浸透による決壊の可能性の考察

- ・浸透が堤防決壊の主要因であることは考えにくい。

5-4 下流決壊原因の特定

それぞれの想定される決壊原因について、調査結果から把握したこと、推定される堤防決壊の原因について整理した。

表 5-1 下流決壊の原因

想定される決壊原因	調査結果から分かったこと	推定される堤防決壊の原因
■越水による堤防決壊の可能性について	<ul style="list-style-type: none"> • 太平橋の直上流部左岸側における氾濫水の湛水を経て、堤内側から堤外側への越水が確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>堤内側から堤外側への越水による川表天端の崩落が決壊原因の一つであると推定される。</u>
■侵食による堤防決壊の可能性について	<ul style="list-style-type: none"> • 堤防決壊後、太平橋直上流部の低水護岸は被災して変形していた。 	<ul style="list-style-type: none"> • 川表側からの河岸侵食や河床洗掘により決壊したとは考えにくい。 • ただし、上流側で堤防決壊しなかった場合を想定すると、川表側からの侵食が堤防に及ぶ可能性も否定できない。
■浸透による堤防決壊の可能性について	<ul style="list-style-type: none"> • 決壊区間及びその周辺では、噴砂は確認されなかった。 • 決壊に至るまでの状況写真から、堤防決壊時には、堤内側は氾濫水で湛水していた。 	<ul style="list-style-type: none"> • 浸透が堤防決壊の主要因であるとは考えにくい。

6. 決壊箇所の本復旧工法

6-1 本復旧工法

本復旧工法としては、現況築堤を復旧し、川表法面被覆工、河岸保護工を行う（図6-1）。

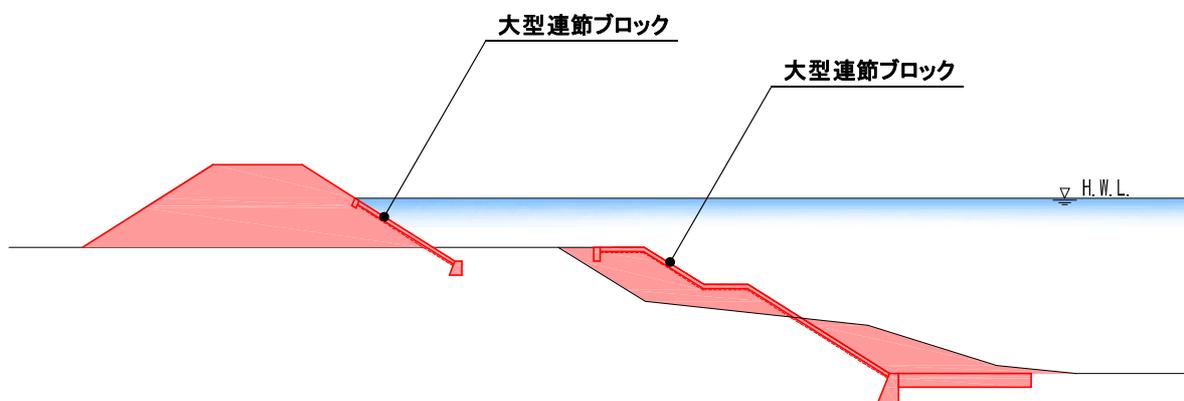


図 6-1 本復旧工法のイメージ図

6-2 今後の河道整備の方向性について

上述した本復旧工法に加え、再度災害防止に向けて、河道断面形状も含めた河道改修のあり方等を検討するとともに、河岸や高水敷を防護する方法等について、今回の洪水に伴う被災状況等を基に検討を進める。

7. 空知川幾寅築堤堤防開削調査の概要

7-1 堤防開削調査の状況

平成 29 年 3 月 13 日に実施した堤防開削調査の概要について示す。

(1) 調査概要

調査日時：平成 29 年 3 月 13 日（月）13:00～15:00

(2) 参加委員

北海道大学大学院 工学研究院 教授	清水 康行
広島大学 名誉教授	佐々木 康
北海道大学大学院 工学研究院 准教授	西村 聡
寒地土木研究所 寒地地盤チーム 上席研究員	林 憲裕
寒地土木研究所 寒地河川チーム 主任研究員	岡部 博一（代理）

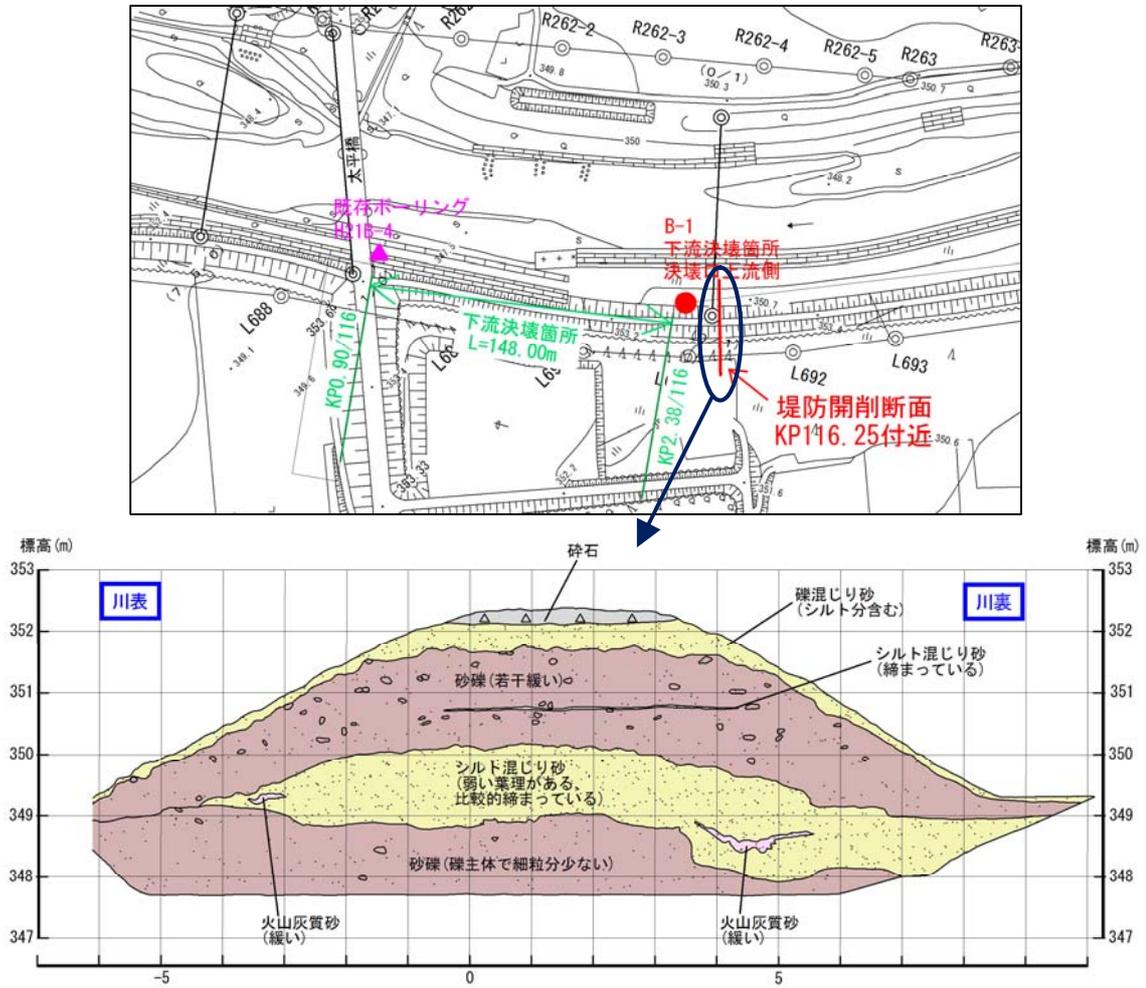


図 7-1 開削調査の状況

7-2 堤防開削調査結果

7-2-1 下流決壊箇所

下流決壊箇所の決壊口上流側での堤防開削調査結果を図 7-2に示す。堤体の地質構成は、主に砂礫で構成され、上部は砂分が多く、下部はシルト混じりとなる。基礎地盤は砂礫で構成され、細粒分が少ない。



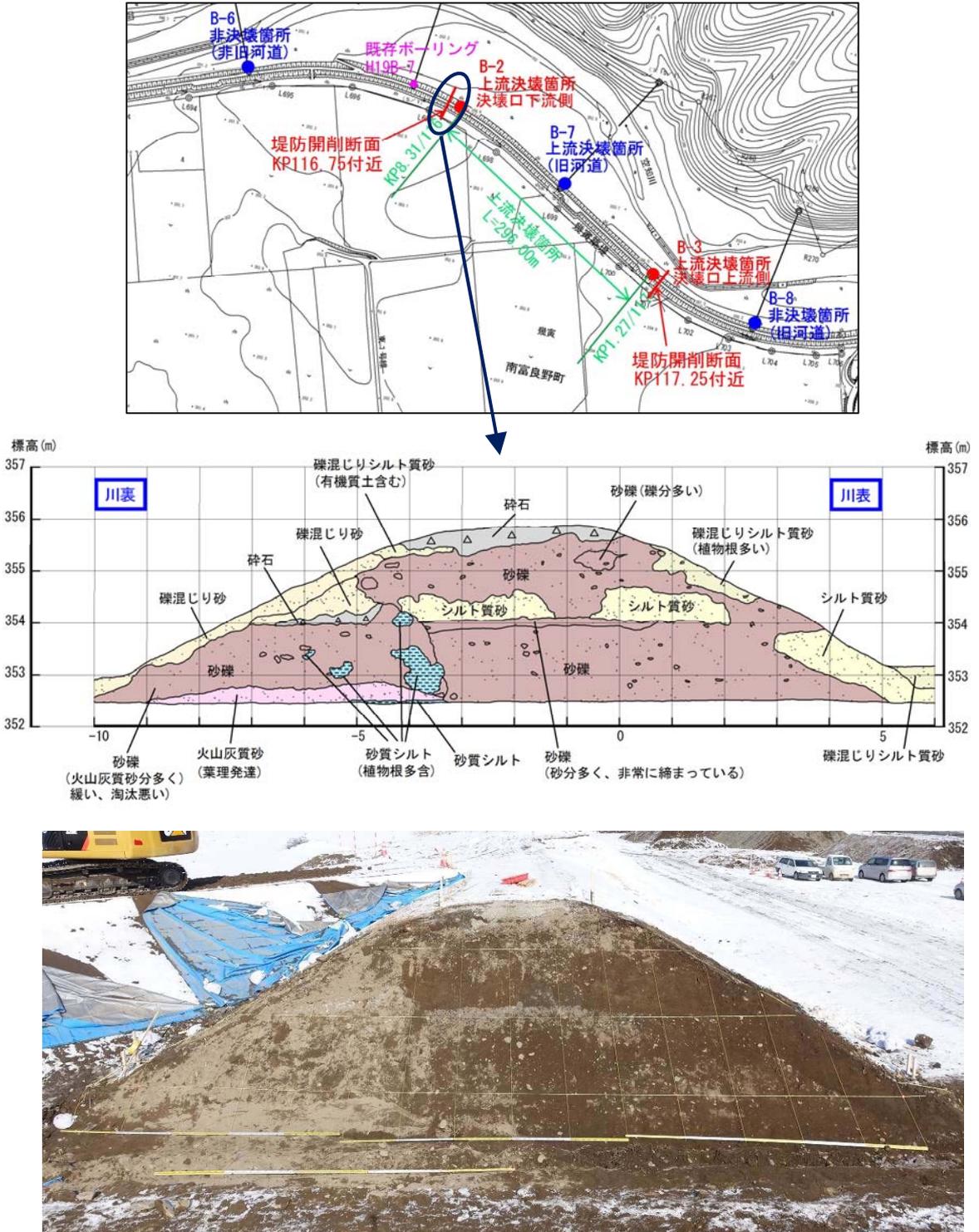
撮影日：平成 29 年 3 月 7 日

図 7-2 下流決壊箇所決壊口上流側堤防断面

7-2-2 上流決壊箇所

(1) 下流側

上流決壊箇所の決壊口下流側での堤防開削調査結果を図 7-3に示す。堤体の地質構成は、主に砂礫で構成され、所々シルト分を含み、部分的にシルト分が多くなることもある。基礎地盤は砂礫で構成され、川裏側に火山灰質砂が堆積している。

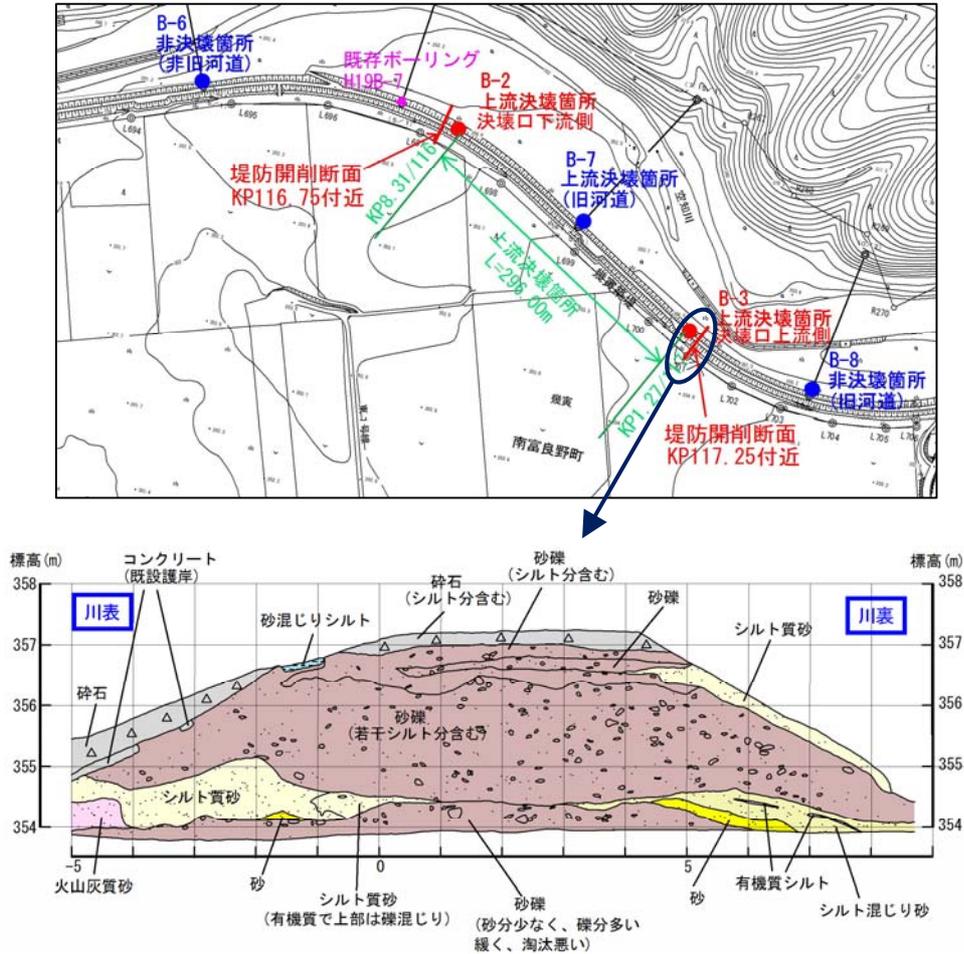


撮影日：平成 29 年 3 月 8 日

図 7-3 上流決壊箇所決壊口下流側堤防断面

(2) 上流側

上流決壊箇所が決壊口上流側での堤防開削調査結果を図 7-4に示す。堤体の地質構成は、主に砂礫で構成され、全体的に若干シルト分を含む。川表のり面に被災後に盛られた碎石が確認される。基礎地盤は砂礫で構成され、シルト混じり砂、シルト質砂、火山灰質砂を挟んでいる。



撮影日：平成 29 年 3 月 8 日

図 7-4 上流決壊箇所決壊口下流側堤防断面