神通川堤防調査委員会報 告書

平成 30 年 9 月

神通川堤防調査委員会

はじめに

日本の南で発生した台風第7号は東シナ海を北上し、対馬海峡付近で進路を北東に変えた後、7月4日15時に日本海中部で温帯低気圧に変わった。その後、8日にかけて前線が本州付近に停滞し、南から暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で、全国的に広い範囲で記録的な大雨となった。神通川流域では、小鳥峠(おどりとうげ)雨量観測所(岐阜県高山市)において、2日雨量412mmを記録したほか、各観測所で既往最多雨量を記録し、神通川本川において河川水位が高い状態が長時間継続した。大沢野大橋水位観測所(富山県富山市)では、6日1時に避難準備・高齢者等避難開始の目安となる「避難判断水位」を超過した。この出水により、7月6日11時過ぎに神通川左岸22.4k付近(富山県富山市葛原地先)の堤防の欠損が確認された。

「神通川堤防調査委員会」は、神通川において堤防決壊等の甚大な被害が発生した際、迅速な委員会開催による堤防決壊の原因究明等に適切に取り組むため、平常時から委員会を設立し、神通川における堤防決壊が発生した場合の原因究明と再度被害を回避する復旧対策等に対する指導・助言を頂くことを目的として、平成27年12月に設置したものである。

今回の出水によって発生した堤防の欠損に対し、北陸地方整備局では速やかに、堤防調査委員会の開催が検討され、8月9日には地盤工学および河川工学を専門とする7名の委員による委員会を開催した。委員会では、委員による被災箇所の現地視察を行ったのち、被災原因および被災状況に対応した堤防復旧工法について検討した。

本報告書は、1章に委員会の概要、2章に洪水と堤防欠損の概要として事実関係を整理し、3章では堤防欠損原因の特定として、越水、侵食・洗掘、浸透のそれぞれについて、調査から把握した事項を整理して、推定される堤防欠損の可能性を検討し、最後に欠損原因の特定としてまとめている。また、4章では欠損の原因に対応した本復旧工法(案)、5章には現地調査の状況をとりまとめる構成とした。本報告書が神通川のみならず、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30年9月 神通川堤防調査委員会委員長 大塚 悟

神通川堤防調査委員会報告書

目 次

はじめに

1. 神通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. 洪水と堤防欠損の概要	. 2.1
2.1. 神通川流域の概要	
2.1.1. 流域の概要・諸元	. 2.1
2.1.2. 土地利用、気候特性	
2.1.3. 地形·地質特性	
2.1.4. 河道特性(河道状況、河床勾配、川幅縦断、治水地形分類図)	. 2.6
2.2. 平成30年7月豪雨の概要	
2. 2. 1. 気象概況	
2.2.2. 降雨の分布状況	
2.2.3. 河川水位の状況	
2.3. 神通川左岸22.4k付近の堤防欠損の概要	
2.3.1. 被災概要	
2.3.2. 堤防欠損の時系列の整理	
 神通川左岸22.4k付近の堤防欠損原因の特定 	. 3.1
3.1. 一般的な堤防欠損のメカニズム	. 3.1
3.1.1. 河川水の越水による堤防欠損	. 3.1
3.1.2. 河川水の侵食・洗掘による堤防欠損	. 3.1
3.1.3. 河川水の浸透による堤防欠損	
3.2. 越水による堤防欠損の可能性の検討	
3.2.1. 堤防欠損箇所近傍の洪水痕跡	
3. 2. 2. まとめ	
3.3. 侵食・洗掘による堤防欠損の可能性の検討	
3.3.1. 高い掃流力(堤防への水あたり)による側方侵食	
3.3.2. 河床洗掘に起因した根固めの流出・護岸の崩落による側方侵食	3.10
3.3.3. 堤体材料の吸い出しに起因した護岸の崩落による側方侵食	3.18
3.3.4. まとめ	
3.4. 浸透による堤防欠損の可能性の検討	
3.4.1. 堤防欠損箇所近傍の噴砂の状況	
3.4.2. 地質構成の推定	
3.4.3. (参考) 計画規模を外力とした堤防の安定性評価(浸透流解析)	
3.4.4. まとめ	
3.5. 堤防欠損原因の特定	

4. 神通川左岸22.4k付近の本復旧工法の検討	
4.1. 緊急復旧	4. 1
4.2. 本復旧工法(案)	4. 3
4.3. 今後の河道管理の方向性について	4. 6
5. 委員による堤防の欠損箇所における現地調査	5. 1
参考文献	

1. 神通川堤防調査委員会の概要

1.1.目的

近年、時間雨量 50mm を超える短時間強雨や総雨量が数百ミリから千ミリを超えるような大雨の発生により全国各地で水害が発生しており、平成 27 年 9 月の鬼怒川、平成 24 年 7 月の矢部川などでは堤防の決壊による重大な災害が発生している。

また、北陸管内においても、平成23年7月の新潟・福島豪雨により信濃川下流域の支川 五十嵐川で堤防決壊が発生したほか、直轄河川では決壊には至らないものの信濃川下流域では計画高水位を超過する洪水が発生している。

さらに過去には、北陸特有の堤防決壊として黒部川や常願寺川、姫川のように、急流河川における洪水時の侵食によっても堤防決壊が発生している。

「神通川堤防調査委員会」(以下、本委員会という。)は、このような状況を踏まえ、迅速な委員会開催による堤防決壊の原因究明等に適切に取り組むため、平常時から委員会を設立し、神通川における堤防決壊が発生した場合の原因究明と再度被害を回避する復旧対策等に対する指導・助言を頂くことを目的として、平成27年12月に設置したものである。

1.2. 委員の構成

本委員会は、神通川において、堤防決壊等の甚大な被害が発生した場合、原因究明と再度 被害を回避する復旧対策等に対する指導・助言を行うため、平成 27 年 12 月に設置された。 本委員会における委員の構成を以下に示す。

委員長	大塚悟	長岡技術科学大学大学院 教授
委 員	みやじま まさかつ 宮島 昌克	金沢大学理工研究域 教授
委 員	やすだ ひろやす 安田 浩保	新潟大学災害·復興科学研究所 准教授
委 員	たきもと ひろし 灌本 裕士	石川県立大学環境科学科 教授
委 員	サザき ひろゆき 鈴木 洋之	石川工業高等専門学校環境都市工学科 准教授
委 員	ast list sees a	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	きょき てっゃ 佐々木 哲也	独立行政法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム 上席研究員
		(敬称略)

1.3. 検討の経過

本委員会は、平成30年8月9日に開催した。また、同日に堤防欠損箇所の現地調査を行った。

検討フローを図 1.1に、本委員会及び現地調査の開催状況をそれぞれ表 1.1、表 1.2に示す。

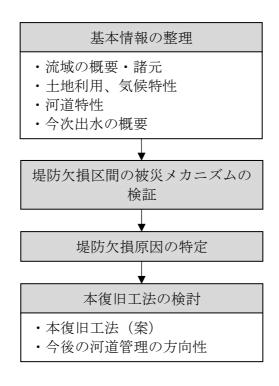


図 1.1 検討フロー図

表 1.1 委員会の開催状況

回数	開催日	内容
1	平成 30 年 8 月 9 日	・出水及び被災概要・被災メカニズムの検証・堤防欠損区間の本復旧工法について

表 1.2 現地調査の開催状況

回数	開催日	内容
1	平成 30 年 8 月 9 日	・被災箇所周辺の現地調査

2. 洪水と堤防欠損の概要

2.1. 神通川流域の概要

2.1.1. 流域の概要・諸元

神通川は、その源を岐阜県 高山市の 川上岳 (標高 1,626m) に発し、岐阜県内では 宮川と 呼ばれ、川上川、大八賀川、小鳥川等を合わせて北流し、岐阜、富山県境で 高原川を合わせて、富山県に入り神通川と名称を改め、平野部に出て、井田川、熊野川を合わせて日本海に注ぐ、幹川流路延長 120km、流域面積 2,720km²の一級河川である。

神通川流域は、富山、岐阜両県にまたがり、富山県の県都である富山市、南砺市、岐阜県の高山市、飛騨市の4市からなり、流域内人口は約38万人、流域関係市の人口は約60万人である。

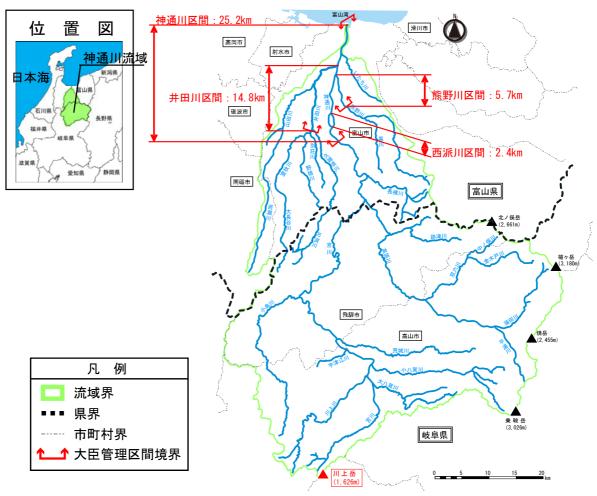


図 2.1 神通川の流域図

表 2.1 神通川の流域諸元

流域面積(集水面積)	$2,720 \text{km}^2$		
幹川流路延長	120km		
支川数	105 支川		
流域内人口	約 38 万人		
流域内市町村	4市 [富山県]富山市、南砺市 [岐阜県]高山市、飛騨市		

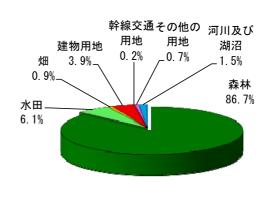
出典: 国勢調査(平成27年) 河川現況調査(基準年: 平成22年) 国土数値情報(平成26年)

2.1.2. 土地利用、気候特性

神通川流域の土地利用は、森林の割合が多く約87%となっている。流域上流部では、宮川、高原川沿川で水田や住宅地が集積し、宮川上流では高山市を中心とした市街地が広がっている。扇状地となっている流域下流部では水田が広がり、平野部では住宅や商業施設が密集している。

流域の気候は、夏季の気温が高く冬季の降水量が多い下流部の日本海側気候区、高い山々に囲まれた盆地地域で夏季に雨が多く気温が比較的低い上流部の内陸性気候区に分類される。

土地利用	面積(km²)
森林	2, 355. 8
水田	167. 2
畑	25. 4
建物用地	105.0
幹線交通用地	6.4
その他の用地	19.3
河川及び湖沼	40.9
合 計	2, 720. 0



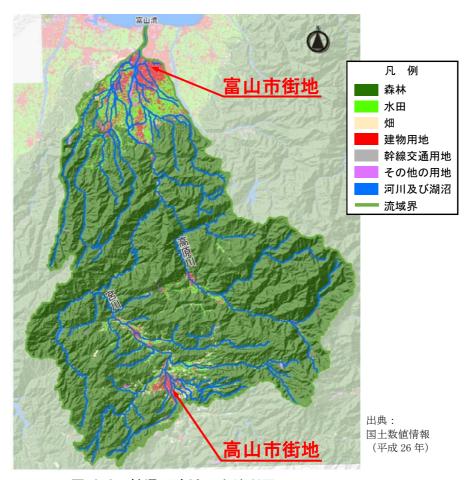
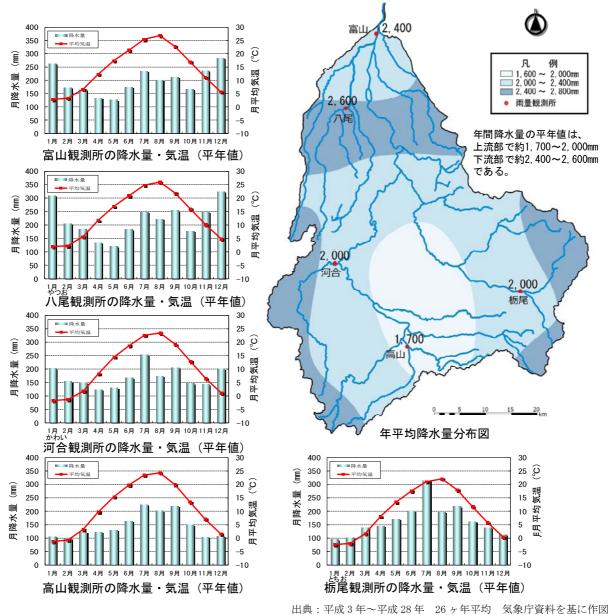


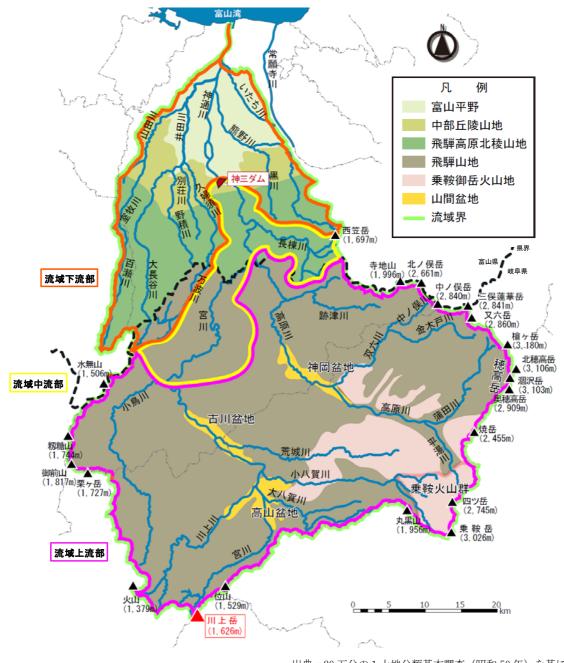
図 2.2 神通川流域の土地利用



神通川流域の月平均気温・月降水量の平年値

2.1.3. 地形•地質特性

神通川流域の地形は、流域上流部は、飛騨高原、盆地群、火山性荒廃地帯、河岸段丘台地となっており、流域中流部は低山地が迫る渓谷が続き、流域下流部は神通川と常願寺川による複合扇状地を形成した富山平野が広がっている。神通川河口部は緩やかになっているものの、我が国屈指の急流河川である。



出典:20万分の1土地分類基本調査(昭和50年)を基に作図

図 2.4 神通川流域の地形と流域区分

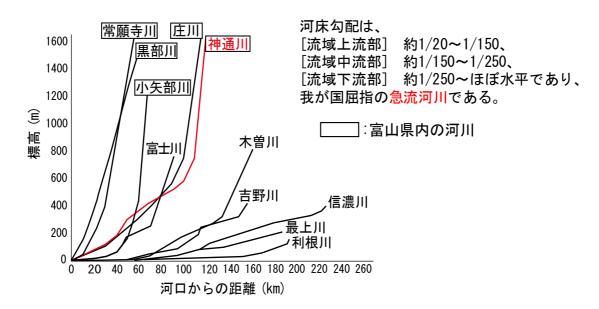


図 2.5 神通川と他河川との勾配比較

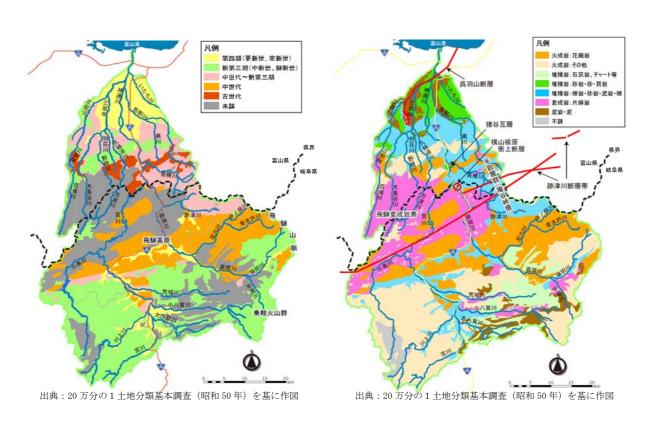


図 2.6 地質時代区分図

図 2.7 地質区分図

2.1.4. 河道特性(河道状況、河床勾配、川幅縱断、治水地形分類図)

神通川の河道状況 (航空写真)を図 2.8に示す。また、河床高縦断図を図 2.9に、川幅縦断図を図 2.10に示す。神通川下流部の河床勾配は約 1/2,300 で緩やかであるが、神通川上流部の河床勾配は約 1/210 であり、セグメント 1 に区分される。神通川上流部は概ね単断面河道であり、神通川下流部は複断面河道である。川幅は約 180m~400m、低水路幅は約 180m~300m である。

また、神通川の治水地形分類図を図 2.11に示す。堤防欠損箇所(神通川左岸 22.4k 付近)は S30 年代後半~S40 年代前半に整備された堤防で、堤防位置は現在に至るまで大きな変化はない。堤防欠損箇所周辺は氾濫平野に分類され、旧河道などには該当しない。



神通川中流部~上流部 (10.2k~23.8k)



図 2.8 河道状況

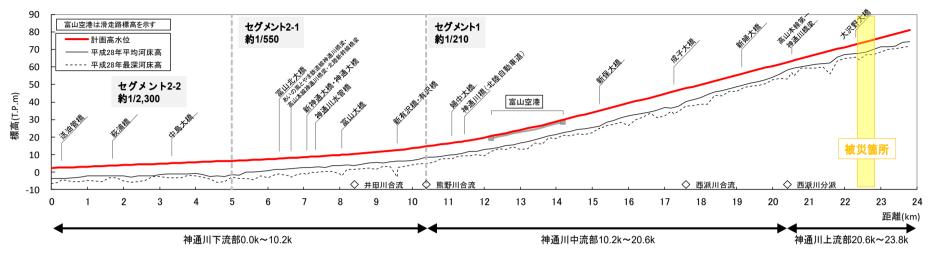


図 2.9 河床高縦断図

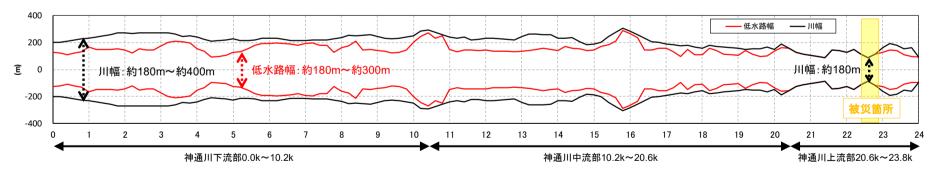
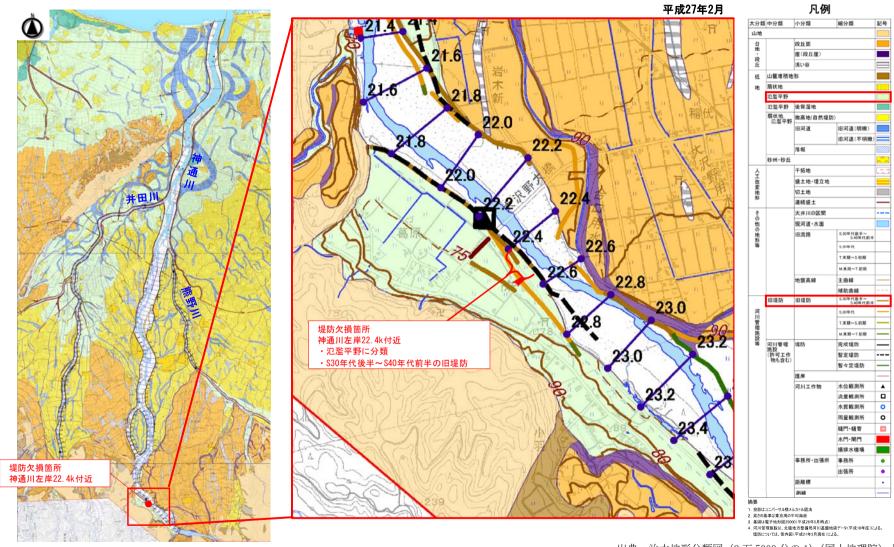


図 2.10 川幅縦断図



出典:治水地形分類図(2万5000分の1)(国土地理院)より作成

図 2.11 神通川 22.4k 付近の治水地形分類図

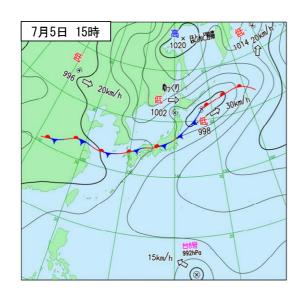
2.2. 平成30年7月豪雨の概要

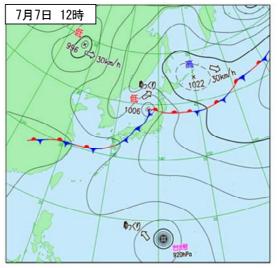
2.2.1. 気象概況

6月29日に日本の南で発生した台風第7号は東シナ海を北上し、対馬海峡付近で進路を 北東に変えた後、7月4日15時に日本海中部で温帯低気圧に変わった。

その後、8日にかけて前線が本州付近に停滞し、南から暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で、全国的に広い範囲で記録的な大雨となった。

富山県内では、7月4日の降り始めから8日24時まで断続的に降雨が続き、総降水量は多いところで400mmを超える大雨となった。





出典: 気象庁 HP 地上天気図

図 2.12 天気図

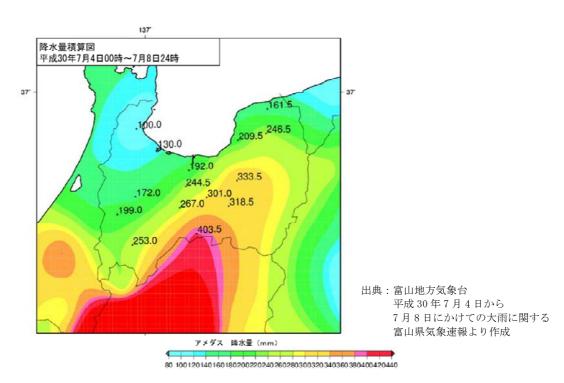


図 2.13 富山県内の総降水量分布

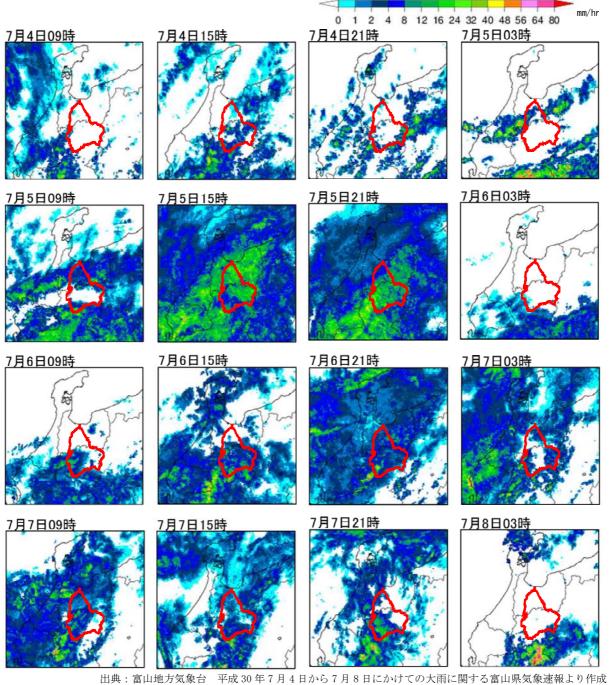
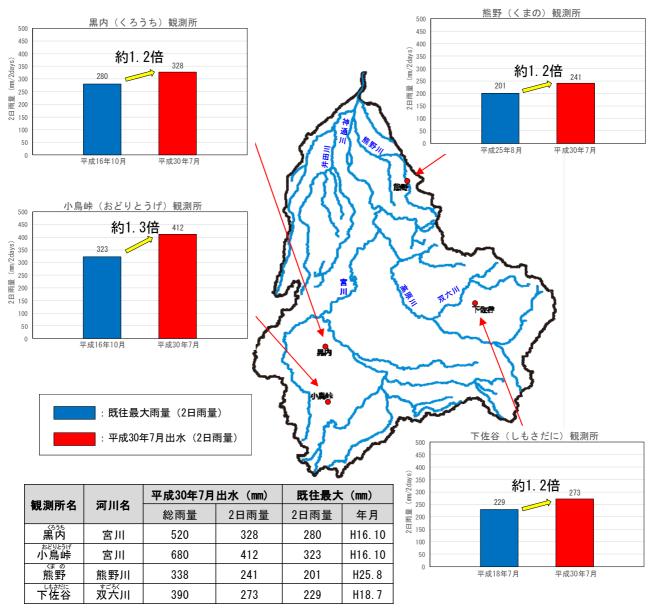


図 2.14 雨量分布の時系列変化

2.2.2. 降雨の分布状況

神通川流域では、台風第7号と停滞した前線の影響により、長時間にわたって強い雨が降り続いた。

小鳥 峠 観測所 (岐阜県高山市) にて、7月4日0時から8日24時までの総雨量680mm、2日雨量412mmを記録したほか、流域内の複数観測所で、既往最大より約1.2倍~1.3倍の2日雨量を記録し、観測史上第1位を更新した。



※2 日雨量とは日界を 9 時とした日雨量 2 日分の雨量を示す。 ※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となることがある。

図 2.15 代表観測所の今次出水と既往最大 2 日雨量の比較

2.2.3. 河川水位の状況

神通大橋(基準地点)において、平成16年10月の台風第23号出水(ピーク水位:8.33m) に次ぐ、観測史上第2位の水位(ピーク水位:7.22m)を記録した。

大沢野大橋水位観測所では、7月6日 1:00 に避難準備・高齢者等避難開始の目安となる 「避難判断水位 (レベル3)」を超過した。



平成30年7月6日 1:00

図 2.16 今次出水と既往洪水におけるピーク水位・流量の比較

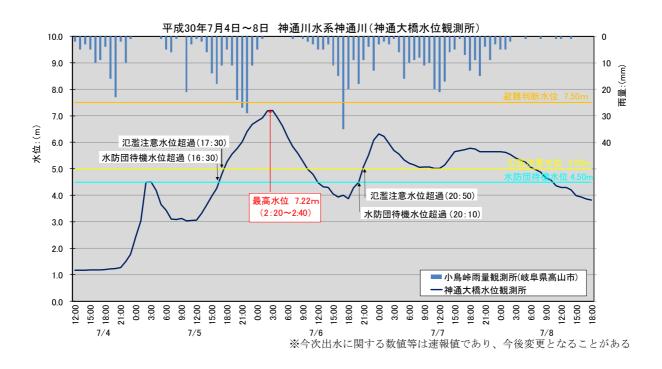


図 2.17 神通大橋水位観測所における今次出水の観測水位

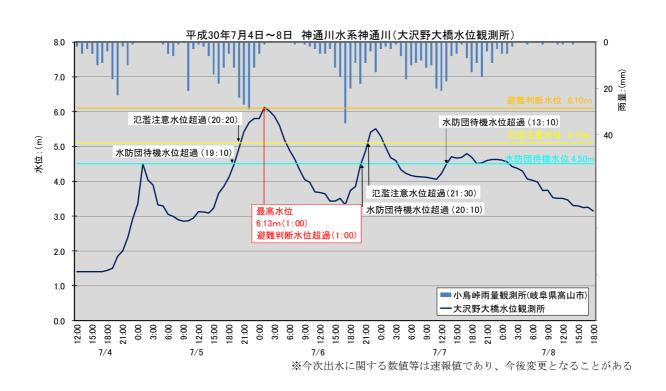


図 2.18 大沢野大橋水位観測所における今次出水の観測水位

2.3. 神通川左岸 22.4k 付近の堤防欠損の概要

2.3.1. 被災概要

今回出水において、7月6日11時過ぎに河川巡視にて神通川の 葛原地先(左岸22.4k付近)で、堤防断面の欠損(L=約100m)が確認された。また、堤防欠損箇所の上下流約160mにかけて護岸・根固めブロックが流出しており、被災延長は約260mである。

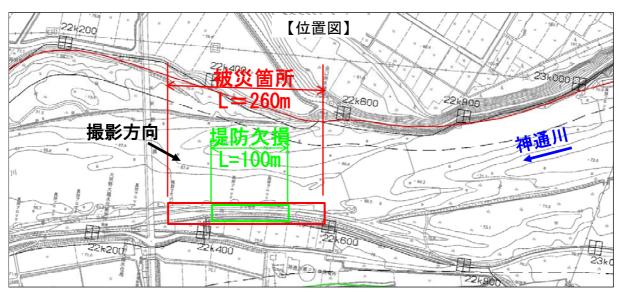


図 2.19 被災箇所位置図

2018年4月時点



被災前の状況



被災後の状況

図 2.20 被災前と被災後の状況比較

被災箇所起点側(下流側)では、河岸防護の目的として設置されていた低水護岸(空石 張、蛇籠、異形ブロック)が流出・欠損していた。

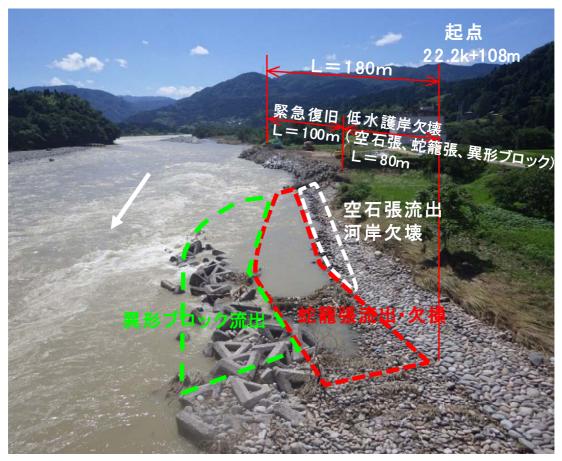


図 2.21 被災状況(起点側)

被災箇所終点側(上流側)では、堤防堤脚部保護の目的として設置されていた木工沈床、 蛇籠が流出していた。





図 2.22 被災状況 (終点側)

被災箇所の河道状況と被災概要のとりまとめ結果を図 2.23に示す。澪筋・流路・砂州の位置等については、洪水前後で大きく変化していないことが確認された。また、堤防欠損箇所の上流側は堤防前面の洗掘が進行していたが、堤防欠損箇所の下流側は出水後も堤防前面の洗掘は確認されなかった。





図 2.23 被災箇所の河道状況と被災概要のとりまとめ図

2.3.2. 堤防欠損の時系列の整理

被災状況の時系列変化を図 2.24に示す。今回出水において、大沢野大橋水位観測所における洪水のピークは避難判断水位を超過した7月6日1時頃であり、同日11時過ぎに堤防断面の欠損が確認された後、同日21時30分頃に再び氾濫注意水位を超過した。その後、7日16時頃から24時間体制で緊急復旧作業を行い、11日18時頃に復旧が完了した。



図 2.24 被災状況の時系列変化

緊急復旧作業再開時の状況

緊急復旧作業完了時の状況

3. 神通川左岸 22.4k 付近の堤防欠損原因の特定

3.1. 一般的な堤防欠損のメカニズム

堤防欠損のメカニズムは、以下に示す通り、大きく分けて「河川水の越水による堤防欠損」、「河川水の侵食・洗掘による堤防欠損」、「河川水の浸透による堤防欠損」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が欠損することもある。

3.1.1. 河川水の越水による堤防欠損

- ・河川水が堤防を越水する。
- ・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、堤防欠損に至る。

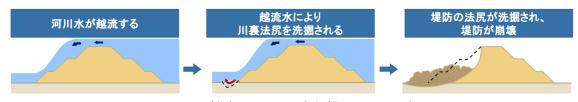


図 3.1 越水による堤防欠損のイメージ図

3.1.2. 河川水の侵食・洗掘による堤防欠損

- ・河川水により堤防の河川側が徐々に侵食・洗掘される。
- ・河川水による侵食・洗掘が続き、最終的に堤防欠損に至る。

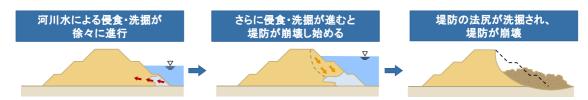


図 3.2 侵食・洗掘による堤防欠損のイメージ図

また、侵食・洗掘による堤防欠損の詳細な要因として、以下の3つのメカニズムが考えられる。

(1) 高い掃流力(堤防への水あたり)による側方侵食

流体力によって護岸の掃流(めくれ)破壊が発生し、堤防が侵食され欠損に至る。

(2) 河床洗掘に起因した根固めの流出・護岸の崩落による側方侵食

堤防前面の河道が局所洗掘されることによって、根固工が破損・流出したのち、護岸が崩落し、堤防が侵食され欠損に至る。

(3) 堤体材料の吸い出しに起因した護岸の崩落による側方侵食

洪水時に河川水が高くなり、堤体材料の吸い出しによって裏込めの土質強度が低下し、 護岸が崩落し、堤防が侵食され欠損に至る。

3.1.3. 河川水の浸透による堤防欠損

(1) パイピング破壊

- ・高い河川水位により地盤内に水が浸み込み、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、最終的に堤防欠損に至る。

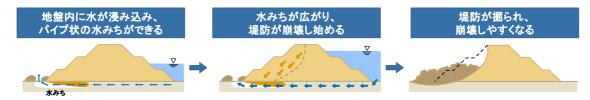


図 3.3 パイピング破壊による堤防欠損のイメージ図

(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、 最終的に堤防欠損に至る。



図 3.4 浸透破壊による堤防欠損のイメージ図

3.2. 越水による堤防欠損の可能性の検討

3.2.1. 堤防欠損箇所近傍の洪水痕跡

堤防欠損箇所周辺において、出水後に洪水の痕跡水位を調査した。図 3.5に洪水痕跡縦断 図、図 3.6に横断面図、図 3.7に堤防欠損箇所周辺における洪水痕跡水位写真を示す。

調査の結果、洪水痕跡水位は現況堤防高を下回っており、堤内地盤高相当であった。なお、 堤防欠損区間における洪水痕跡水位は、左岸側が右岸側より約 0.4m~1.3m 高く、被災した 左岸側は偏流により大きな洪水エネルギーを受けたと考えられる。

また、出水中の河川巡視においても、洪水ピーク時を含め越水は確認されていない。

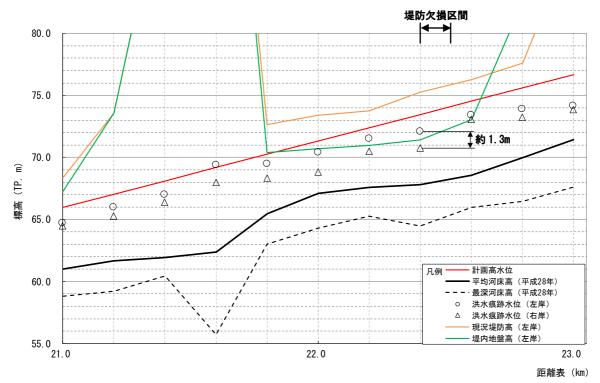


図 3.5 堤防欠損箇所周辺の洪水痕跡縦断図

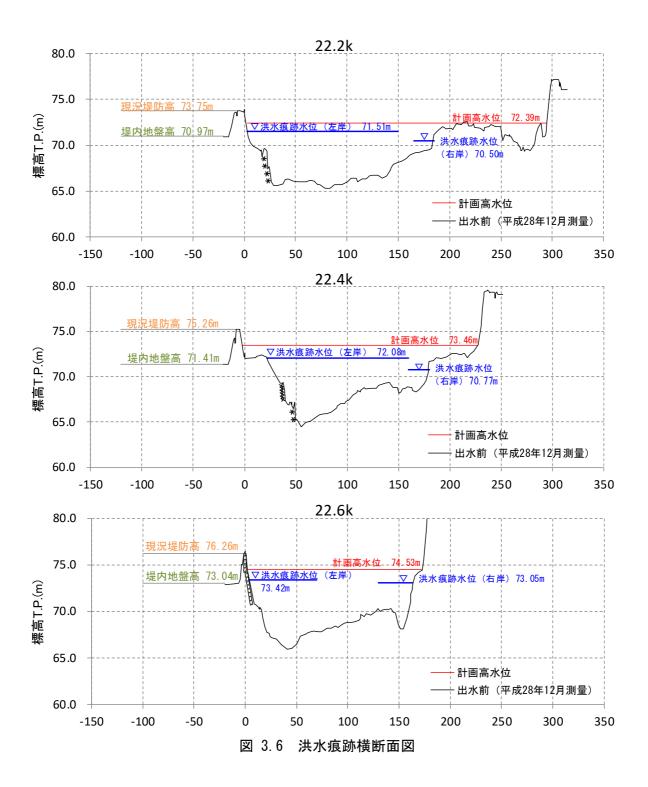




図 3.7 堤防欠損箇所周辺における洪水痕跡水位

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。

- ・洪水痕跡水位は現況堤防高を下回っており、堤内地盤高相当であった。
- ・河川巡視において、洪水ピーク時を含め越水は確認されていない。

(2) 越水による堤防欠損の可能性の考察

越水による堤防欠損の可能性はないと考えられる。

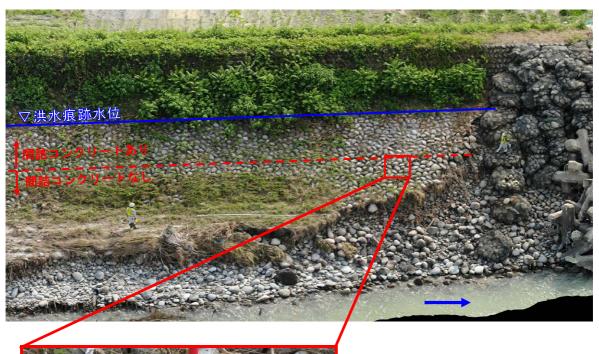
3.3. 侵食・洗掘による堤防欠損の可能性の検討

3.3.1. 高い掃流力(堤防への水あたり)による側方侵食

(1) 空石張り護岸の状況

堤防欠損箇所の空石張り護岸の状況および護岸の玉石径を調査した。図 3.8上図および図 3.9に示す通り、空石張り護岸の上部はコンクリートで間詰されている。また、被災箇所の直上流では、冠水した箇所も空石張り護岸は比較的健全に保たれていた。

なお、護岸玉石の平均径は約0.38mであった。





空石張の玉石の径	(m)
長径	0.50
中径	0.40
短径	0.25
平均礫径	0.38

_ 空石控え 0.40 m

図 3.8 堤防欠損箇所直上流における空石張り護岸の状況と護岸玉石径



図 3.9 空石張り護岸のコンクリート間詰の状況

(2) 護岸の力学設計法に基づく安定性照査

被災箇所は水衝部に位置していたことも踏まえ、堤防への水あたりに対する護岸の安定性を護岸の力学設計法に基づき照査した。

1) 検討条件

【構造モデル】

• 破壊要因:流体力

·破壞形態:掃流力

・設置状態:一体性強い

以上より、構造モデルは「掃流 - 一体性が強い」を採用した。

【外力条件】

・代表流速:大沢野大橋地点における高水流量観測時の平均流速 5.06 m/s (7月6日2:20 に観測した平均流速を用いる)

2) 照査結果

護岸の力学設計法に基づく照査の結果、表 3.1に示す通り、30%の割り増し安全率を考慮した場合でも、今回出水時の掃流力に対する安定性は確保されていた。また、図 3.8 で示した護岸の礫径に対して掃流(めくれ)破壊が生じない代表流速の上限値は、表 3.2 に示す通り 5.18 m/s であった。

表 3.1 護岸の力学設計法に基づく安定性照査結果

モデル「掃流 - 一体性が強い」

代表流速	$V_0 (m/s)$	5.06 大沢野大橋平均流速
限界掃流力	T *S	0. 05
斜面角度	θ (°)	30.48 斜面勾配 1:1.7
水中安息角	Ф (°)	38 自然石
設計水深	H_d (m)	7. 5
玉石の水中比重	s	1. 65
重力加速度	$g (m/s^2)$	9. 81
限界掃流力(斜面補正)	₹ *sd	0. 03
玉石の粒径	長径 (m)	0.5

玉石の粒径	長径(m)	0. 5	
	中径(m)	0.4	
	短径(m)	0. 25	
	平均礫径 (m)	0. 38	
	D_{m} (m)	0. 38	

玉石の粒径Dm		安定条件	D _m (安全率30%考慮)	$D_m \times 1.5$
0. 190	<	0. 242	0. 247	0. 285
0. 200	<	0. 246	0. 260	0.300
0. 210	<	0. 250	0. 273	0. 315
0. 220	<	0. 254	0. 286	0. 330
0. 230	<	0. 258	0. 299	0. 345
0. 240	<	0. 262	0. 312	0. 360
0. 250	<	0. 266	0. 325	0. 375
0. 260	<	0. 269	0. 338	0.390
0. 270	<	0. 273	0. 351	0. 405
0. 280	\geq	0. 276	0. 364	0. 420
0. 290	\geq	0. 280	0. 377	0. 435
0. 300	≧	0. 283	0. 390	0. 450

 $D_m \ge V_0^2/[\{6.0+5.75\log_{10}(H_d/k_s)\}^2 * \tau_{*sd} * s * g]$

平均礫径: 0.38 ≥ 0.364 (30%の割り増し安全率考慮) ⇒掃流力による破壊は生じない

表 3.2 掃流力による護岸の破壊が生じない流速の上限値 掃流 - 一体性が強い 安全率30%

<u> </u>	70		
玉石の粒径 長径	(m)	0. 5	
中径	(m)	0. 4	
短径	(m)	0. 25	
平均礫径	(m)	0. 38	
安全率	(%)	30%	
Dm	(m)	0. 29	

限界掃流力	τ _{*s}	0. 05
斜面角度	θ (°)	30.48 斜面勾配 1:1.7
水中安息角	Ф (°)	38 自然石
設計水深	H_d (m)	7. 5
相当粗度	ks (m)	0. 29
水中比重	S	1. 65
重力加速度	$g (m/s^2)$	9. 81
限界掃流力(斜面補正)	₹ *sd	0. 03

	V ₀ ²	26. 82	
代表流速	$V_0 (m/s)$	5. 18	

3.3.2. 河床洗掘に起因した根固めの流出・護岸の崩落による側方侵食

- (1) 被災前までの河道の変遷と護岸の整備履歴の推定
 - 1) 河道の平面、横断形状の変遷

航空写真による河道の平面変遷を図 3.10に示す。被災箇所周辺の川幅や澪筋は昭和初期から現在に至るまで大きな変化はなく安定している。22.4k 付近は右岸側に砂州が発達しており、被災箇所は経年的に水衝部に位置している。右岸側の砂州は、年代によってわずかに位置が前後するものの、砂州の動きは緩慢であるといえる。

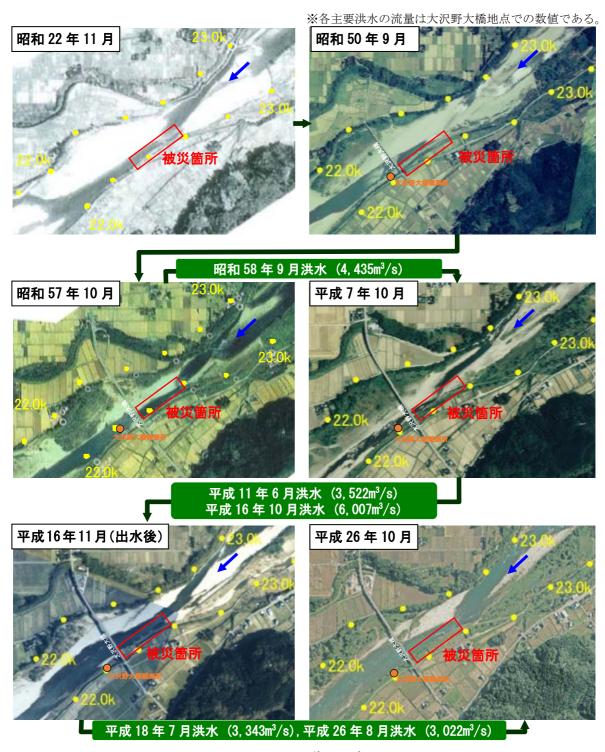
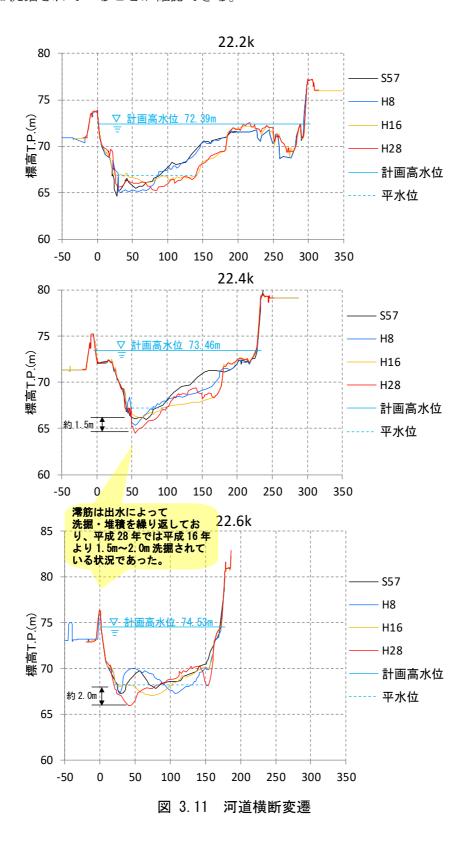


図 3.10 河道平面変遷

次に、河道横断形状の変遷を図 3.11に示す。被災箇所周辺の澪筋は出水によって洗掘・堆積を繰り返している。観測史上最大となった平成 16 年 10 月出水後に河床が一度平らになり、その後は中規模程度の洪水によって、22.4k および 22.6k では澪筋が約 1.5m~2.0m 洗掘されていることが確認できる。



2) 護岸・根固工の整備状況

被災箇所周辺の堤防は、昭和30年代後半~昭和40年代前半に整備されているため、 護岸の根入れ高や木工沈床(根固工)の整備状況等は不明であったが、今回出水前の巡 視・点検結果や出水後の現地調査から当初の整備状況を推定した。

① 出水前の状況(巡視・点検結果)

被災箇所周辺の護岸は、平成16年出水後に蛇籠・木工沈床の一部破損を確認しており、 平成18年出水後に蛇籠中詰石の一部流出が確認されたが、全体としての施設機能は維持 されていた。その後も河川巡視・堤防点検等によって継続的に経過観察しており、平成 30年出水期前点検においても状況の変化はなかった。今回出水前の河道横断面図(近傍 の左岸22.6k)を図3.12に示す。

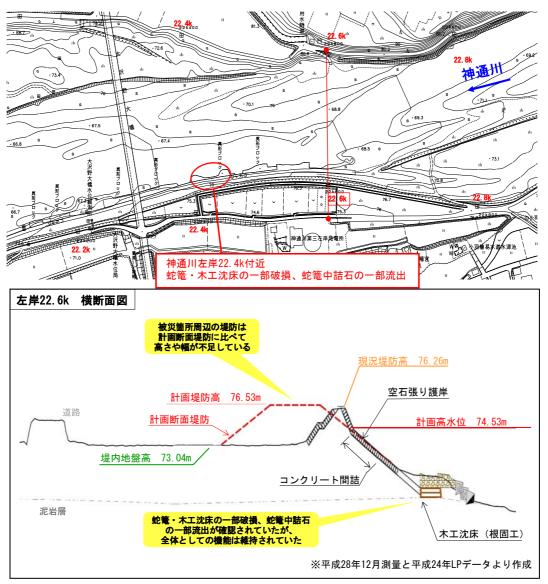
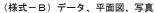


図 3.12 巡視・点検結果に基づく出水前の平面図および河道横断面図 (近傍の左岸 22.6k)

河川巡視日誌(巡視結果記録票)



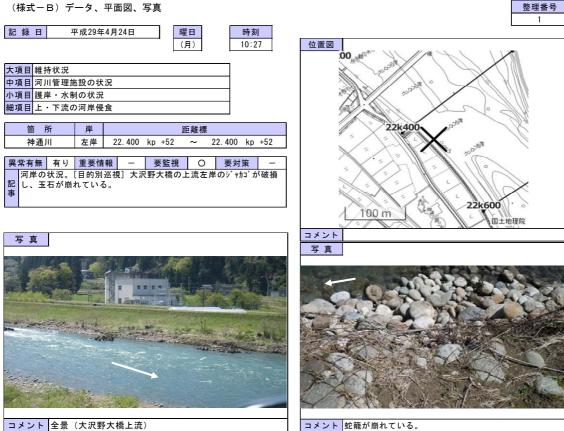


図 3.13 河川巡視記録 (平成 29 年 4 月)



図 3.14 出水期前堤防点検記録 (平成 30 年 4 月)

② 出水後の河道状況 (現地調査結果)

5章で示す堤防欠損区間の現地調査において、図 3.15に示す通り、出水後に河床の岩盤が露出していることが確認された。

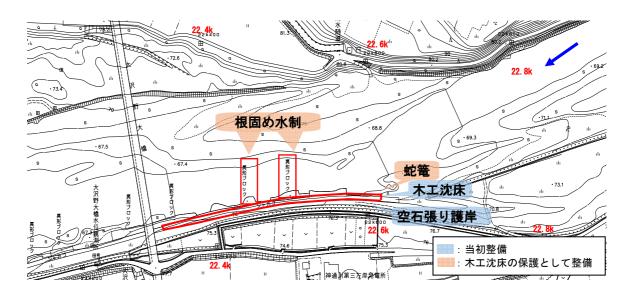


図 3.15 出水後における堤防欠損箇所付近の河床状況

③ 当初の整備状況の推定

今回出水前の巡視・点検結果と出水後の現地調査の結果から、当初の整備状況を図3.16に示す通り推定した。

整備当時、護岸の根入れは可能な範囲で岩着面まで入れており、根固工として木工沈 床が整備されていたと考えられる。その後、岩着面に設置された不安定な木工沈床の保 護として蛇篭を設置するとともに、河岸沿いを高速流が流れないように約 50m 間隔で根 固め水制が設置されていたと推定される。



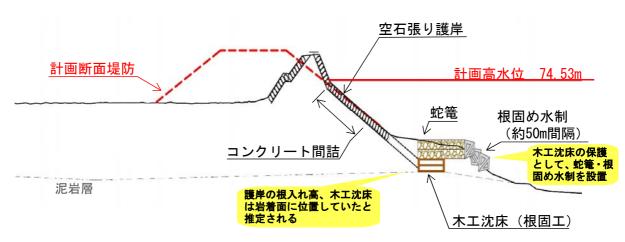
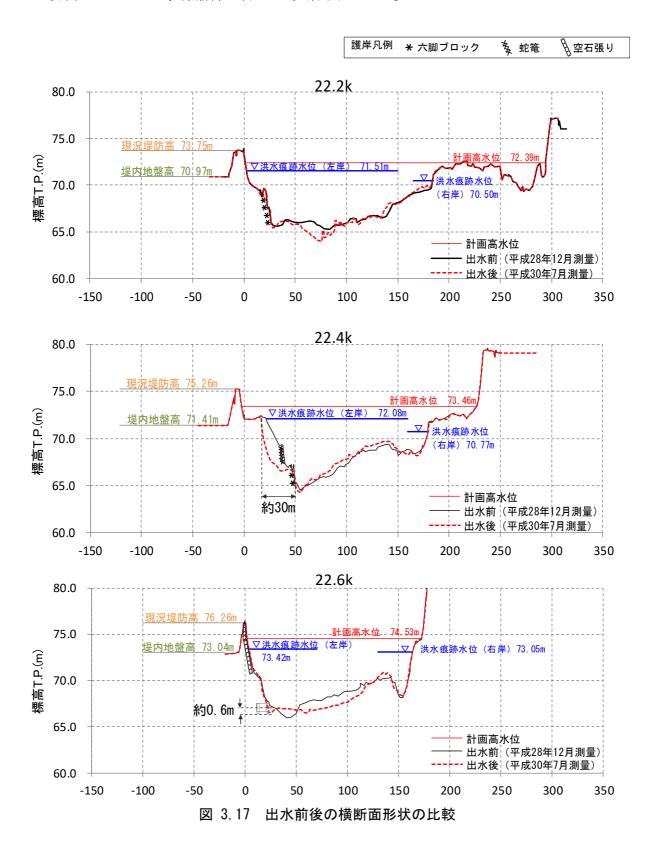


図 3.16 当初整備状況の推定イメージ

(2) 出水前後の河道状況の比較

被災箇所周辺における出水前後の河道横断形状を図 3.17に示す。22.4k では今回洪水によって約 30m 侵食されているが、澪筋の深さは出水前から変化していない。一方、被災箇所上流側の22.6k では、澪筋部が約 0.6m 洗掘されていた。



次に出水前後の河床材料調査の結果を図 3.18に示す。被災箇所周辺の河床材料は、砂利 および玉石・巨礫で構成されており、出水前後で大きな変化は確認されていない。

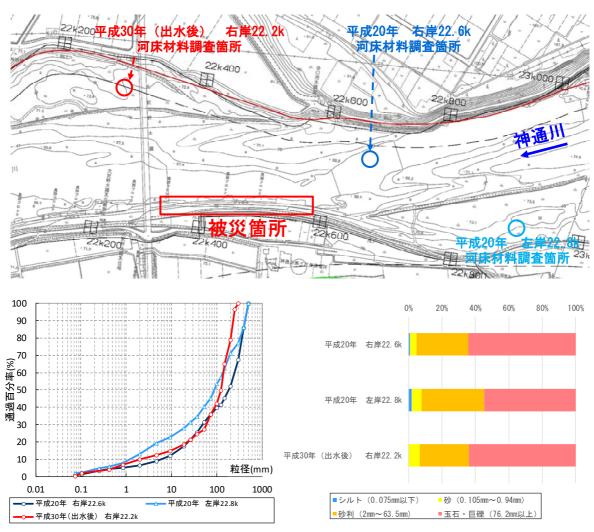
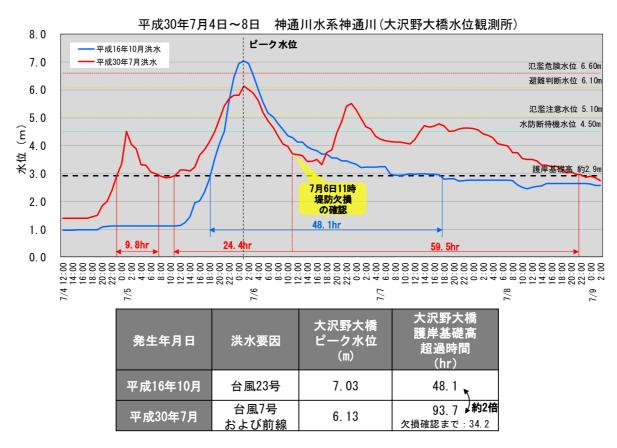


図 3.18 出水前後における河床材料の粒径加積曲線と粒度構成の比較

3.3.3. 堤体材料の吸い出しに起因した護岸の崩落による側方侵食

(1) 護岸の冠水時間の整理

今回の出水では、台風第7号と停滞した前線の影響により、長時間にわたって強い雨が降り続いた。そのため、図3.19に示す通り、観測史上最大の洪水である平成16年10月洪水と比較し、護岸が冠水した時間が合計で約2倍と長かった。また、堤防の欠損が確認された7月6日11時以降も2日以上に渡って高い水位が継続した。



※護岸基礎高は大沢野大橋地点の基礎ブロックが冠水する水位(約2.9m)とした。

図 3.19 今回出水と平成16年10月洪水における 大沢野大橋地点水位ハイドロと護岸基礎高を超過した時間

(2) 堤防欠損箇所の堤体材料

堤防欠損箇所の堤体材料を調査した結果を図 3.20に示す。堤防欠損箇所の堤体材料はΦ 10cm 程度以上の礫が主体となっていた。

河床材料(=堤体材料) [小さめ]	(m)
長径	0.17
中径	0.10
短径	0.07
平均礫径	0.11

半均傑侄	0.11

河床材料(=堤体材料) [大きめ]	(m)
長径	0.38
中径	0.25
短径	0.09
平均礫径	0.24



図 3.20 堤防欠損箇所の堤体材料

(3) 出水後の空石張り護岸の状況

出水後に堤防欠損箇所上流の護岸の状況を調査した結果、図 3.21に示す通り、空石張り 護岸の玉石間の一部には空隙(深さ約 40cm)が見られたが、玉石の噛み合わせはしっかり としており、比較的健全に保たれていた。また、既設空石張り護岸の堤体材料が吸い出しを 受けて、堤体及び護岸が陥没等している箇所は見当たらなかった。





図 3.21 堤防欠損箇所上流の空石張り護岸と玉石間の空隙の状況

3.3.4. 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。

- <高い掃流力(堤防への水あたり)による側方侵食>
- ・被災箇所の直上流では、冠水した箇所も空石張り護岸は比較的健全に保たれていた。
- ・護岸の力学設計法に基づく安定性照査の結果、今回出水時の掃流力に対する安定性は確 保されていた。

<河床洗掘に起因した根固めの流出・護岸の崩落による側方侵食>

- ・被災箇所周辺の川幅や澪筋は、昭和初期から現在に至るまで大きな変化はなく安定している。また、22.4k 付近は右岸側に砂州が発達しているが、砂州の動きは緩慢であり、被災箇所は経年的に水衝部に位置していた。
- ・被災箇所周辺の澪筋は出水によって洗掘・堆積を繰り返している。また、平成 16 年 10 月出水後に河床が一度平らになり、その後は中規模程度の洪水によって、22.4k および 22.6k では澪筋が約 $1.5m\sim2.0m$ 洗掘されていた。
- ・平成16年出水以降に蛇籠・木工沈床の一部破損等が確認されたが、全体としての施設機能は維持されていたため、その後も河川巡視・堤防点検等によって継続的に経過観察しており、状況の変化はなかった。
- ・出水後の現地調査にて、河床の岩盤が露出していることが確認された。
- ・堤防欠損箇所の護岸の根入れ高や木工沈床の整備状況は不明であったが、出水前後の状況から、護岸および木工沈床の整備後に木工沈床の保護として蛇篭を設置するとともに、河岸沿いを高速流が流れないように約 50m 間隔で根固め水制が設置されていたと考えられる。
- ・出水前後の河道横断形状を比較すると、堤防欠損箇所上流側の22.6kでは、澪筋部が約0.6m洗掘されていた。河床材料は、砂利および玉石・巨礫で構成されており、出水前後で大きな変化は確認されていない。

<堤体材料の吸い出しに起因した護岸の崩落による側方侵食>

- ・今回の出水では観測史上最大の洪水である平成 16 年 10 月洪水と比較し、護岸が冠水した時間が合計で約 2 倍と長かった。
- ・堤防欠損箇所の堤体材料はΦ10cm程度以上の礫が主体となっていた。
- ・被災箇所上流の空石張り護岸の玉石の噛み合わせは出水後もしっかりとしており、健全 に保たれていた。また、既設空石張り護岸の堤体材料が吸い出しを受けて、堤体及び護 岸が陥没等している箇所は見当たらなかった。

(2) 侵食・洗掘による堤防欠損の可能性の考察

これらのことから、侵食・洗掘が堤防欠損の原因となった可能性について以下の通り推定した。

- ・今回出水時の掃流力に対する護岸の安定性は確保されていたことから、堤防への水あたりによる護岸の掃流(めくれ)破壊によって堤防が欠損した可能性は低いと推察される。
- ・当時の護岸等の整備状況の推定結果や出水前に蛇籠・木工沈床の一部破損等が確認されていたこと、堤防欠損箇所の上流側では出水前後で澪筋部が約 0.6m 洗掘されていたことなどから、河床洗掘に起因した根固めの流出・護岸の崩落による側方侵食の可能性が最も高いと推察される。
- ・推定した詳細な被災メカニズムを図 3.22に示す。護岸および木工沈床の整備後、岩盤の上に位置する不安定な木工沈床を保護するために蛇篭や根固め水制が設置されており、出水前には蛇篭・木工沈床の一部破損等が確認されていたものの、全体としての機能は維持されていた。今回の出水を受けて、堤防欠損箇所の上流側で河床洗掘によって蛇篭が流出したのち、木工沈床も連鎖的に破損し、さらに空石張り護岸が崩落して堤体が侵食された。堤防欠損箇所の下流側では洗掘が確認されなかったため、その後上流側の堤体の侵食が下流側へ拡大・進行していく複合的・連鎖的な要因によるものと推察される。
- ・堤体及び護岸の陥没等は確認されなかったため、堤体材料の吸い出しに起因した護岸の 崩落によって堤防が欠損した可能性は低いと推察される。

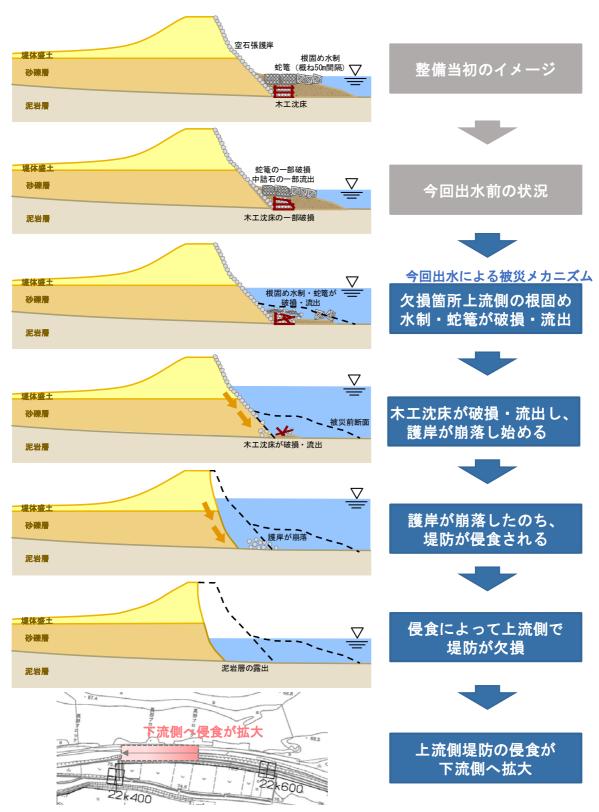


図 3.22 被災メカニズムのイメージ図

3.4. 浸透による堤防欠損の可能性の検討

3.4.1. 堤防欠損箇所近傍の噴砂の状況

被災後の現地調査結果から、堤防欠損箇所周辺およびその上下流区間において、堤防法尻付近のパイピング(噴砂等)や法すべりは確認されなかった。

3.4.2. 地質構成の推定

堤防欠損区間は、堤体および基礎地盤の一部が流出したため、地質構成は不明である。そのため、周辺で実施した既往の地質調査結果と出水後の現地調査結果から地質構成を推定した。既往の地質調査は図 3.23で示した 2 箇所で実施しており、堤防横断方向の地質構成を図 3.24および図 3.25に示す。また、出水後の現地調査結果を図 3.26に示す。

(1) 堤体の地質構成

堤体の地質は、被災箇所下流側の左岸 22.2k 地点では、表層から 3m 程度が ϕ 80~150mm の玉石を含む ϕ 30~40mm の円礫を主体とした N 値 5~30 の堤体盛土である。

一方、被災箇所直上流の左岸 22.6k 地点では、表層から 4m 程度が φ 30mm 前後の亜角礫を含む細砂を主体とした N 値 10 以下の堤体盛土である。堤防欠損箇所については、出水後の現地調査から左岸 22.6k 地点の地質構成と概ね一致することが確認されており、堤体盛土と基礎地盤の境界位置(高さ)は、堤内地盤高相当である。

(2) 基礎地盤の地質構成

基礎地盤は、被災箇所下流側の左岸 22.2k 地点では、盛土直下はφ100mmの玉石を主体とした N 値 50 以上の玉石混じりの砂礫層、以深は泥岩層が分布している。

左岸 22.6k 地点でも、盛土直下は ϕ 80mm~100mm の玉石を主体とした N 値 50 以上の玉石混じりの砂礫層、以深は泥岩層が分布しており、左岸 22.2k 地点と概ね同様の地質構成である。

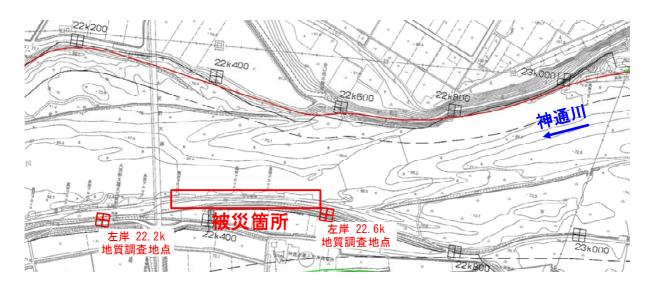
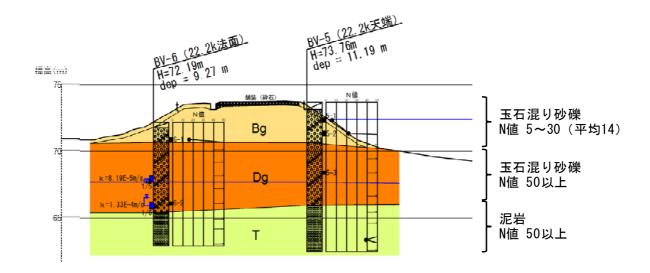


図 3.23 既往の地質調査地点

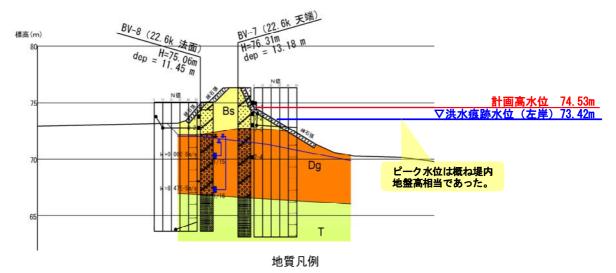


地質凡例

	地質時代 地質記号		地層区分	層相·性状	
		完新世	t	衣土	草根・腐植物が混じり、主として砂質シルトよりなる。径5~10mmの小礫を混入する。
新	第四紀 Bg 堤体盛土		堤体盛土	大局的には玉石混じり砂礫である。含まれる礫は径30~40mmの円礫を主体とし、コア長80~150mmの玉石を含む。礫率は50~70%の範囲で増減する。マトリックスは褐~暗褐色の粘土混じり砂~粗砂を基調とする。含水比は低い。N値は6~22(平均14)で繰り具合は、緩い~中程度。	
生代		更新世 Dg 砂礫層			大局的には玉石混じり砂礫である。含まれる礫はコア長100mmの玉石を主体とする。確認された最大径はコア長330mmであり、所々に巨礫を含む。礫率は、40~80%の範囲で増減する。マトリックスは中砂~粗砂を主体とし、N値は50以上で締り具合は非常に密である。
	新第三紀	中新世	Т	泥岩層	磔岩・砂岩・泥岩互層を呈する黒瀬谷層の内、泥岩優勢部分である。コア長は、概ねL=20~50cmの棒状コアとして採取される。固結度はハンマーの軽打で割れる程度である。泥岩と砂質泥岩の互層をなし、相対的に砂質部分での固結は弱い。 層理面に沿う亀裂(慎斜10~45°)が見られる。N値は概ねN値50以上である。

注)河川水位は河川横断測量実施時のものを表示した。

図 3.24 神通川左岸 22.2k 地質横断図



	地質	時代	地質記号	地層区分	層相·性状
新生代		完新世	Bs	堤体盛土	機混り砂を主体とする。構成粒子は、細砂を主体とし、径30mm前後の泥岩の亜角礫を混入する。 締まり具合は非常に緩い〜緩い。N値は2〜10(平均4)。
	第四紀	更新世	Dg	砂礫層	大局的には玉石混じり砂礫である。含まれる礫はコア長80~100mmの玉石を主体とし、最大コア長600mmの巨傑を確認した。 礫率は、60~80%の範囲で増減する。マトリックスは中砂~粗砂を主体とする。N値は50以上で締り具合は非常に密である。
	新第三紀	中新世	Т	泥岩層	機岩・砂岩・泥岩互層を呈する黒瀬谷層の内、泥岩優勢部分である。概ね20~70cm(最大80cm)の棒状コアとして採取される。 固結度はハンマーの軽打で割れる程度である。所により砂分の含有が多くなり、泥岩と砂質泥岩の互層をなすが、層理は不明 瞭である。N値は概ねN値50以上である。

注)河川水位は河川横断測量実施時のものを表示した。

図 3.25 神通川左岸 22.6k 地質横断図



堤体盛土と基礎地盤の境界位置(高さ)は、 堤内地盤高相当である。

図 3.26 堤防欠損箇所の地質構成(出水後の現地調査結果)

3.4.3. (参考) 計画規模を外力とした堤防の安定性評価(浸透流解析)

図 3.25で示した通り、今回の出水における洪水痕跡水位は堤内地盤高相当であったが、 参考として既往の浸透流解析(計画規模を外力とする)の結果を示す。計画規模を外力とし た場合は、パイピングは問題ないものの法すべり(川表・川裏)の安定性は照査基準未満で あった。

(1) 検討断面

堤防の浸透に対する安定性を評価する断面は、図 3.27に示す通り、堤防欠損区間直上流の左岸 22.6k とした。

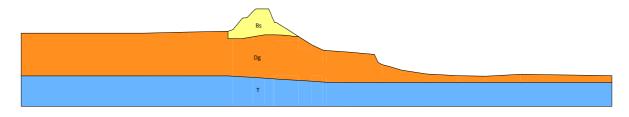


図 3.27 検討断面 (左岸 22.6k)

(2) 土質定数

解析に用いた土質定数を表 3.3に示す。なお、定数は既往の堤防点検で設定している値である。

N		No.	土質	湿潤单	位体積	飽和単	並位体積	飽和透	水係数		着力	内部	擎擦角
		NO.	上只	重量	(KN/m^3)	重量	(KN/m^3)	(cm/s)	sec)	(KN	N/m^2	(°)
		Bs	砂質土	19.	00	20.	. 00	1.0E	-03	1.	. 0	30.	00
堤	体												
		Dg	礫質土	21.	00	21.	. 00	1.0E	-02	0.	. 0	39.	00
		T	泥岩	21.	00	21.	. 00	1.0E	-05	25	0.0	20.	00
基	礎												
地	盤												

表 3.3 解析に用いた土質定数の一覧

(3) 外力条件

外力条件を図 3.28に示す。なお、条件は既往の堤防点検で設定している値である。

事前降雨	総	降	雨	量	217	mm
尹則降的	降	雨	強	度	1	mm/hr
洪水時	総	降	雨	量	265	mm
降雨	降	雨	強	度	10	mm/hr
	基	準 坩	也点	名	大沢野ス	卜橋
	集	水	面	積	2065. 0	km2
河川水位	対	象涉	+ 水	数	6	
(外水)	波	形	面	積	205. 38	m hr
波形	計「	画信	系水	位		
	継	続	時	間	10. 5	hr
	水化	立低	下速	度	0.47	m/hr

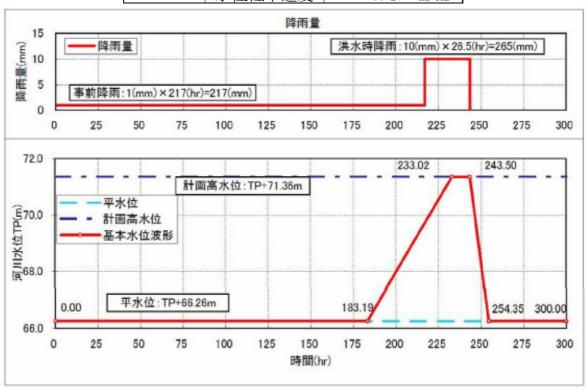


図 3.28 基準地点 (大沢野大橋) での外力条件図

(4) 解析結果

計画規模を外力条件とした解析結果一覧を表 3.4に示す。また、浸透流解析による安定性評価の結果を図 3.29~図 3.31に示す。パイピング破壊に対する安定性は確保されているが、法すべり (川表・川裏) 破壊に対する安定性は照査基準未満であった。

表 3.4 解析結果一覧

	パイピング	グ破壊に	対する安	定性	表法すべり破壊に対する安定性			裏法すべり破壊に対する安定性		
評価対象断面	照査基準	解析値 鉛直 水平 判 iv ih		判定	必要安全率	解析值	判定	必要安全率	解析值	判定
左岸 22.6k	I < 0.5	0. 156	0. 338	0	Fa ≧ 1.00	0. 930	×	Fa ≧ 1.32	0. 928	×

① STEP-1 高水位開始時② STEP-2 計画高水位開始時

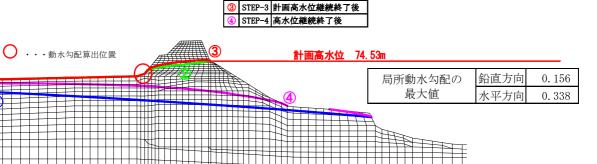


図 3.29 浸透流解析による湿潤面図

層番号	地層記号	飽和重量 (kN/m³)	湿潤重量 (kN/m³)	内部 摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m²)	最小安全率 円弧の中心	FsMIN X Y	0.930 42.50 (m) 77.50 (m)
1	Bs	20	19	30	1	半径	R	5.25 (m)
2	Dg	21	21	39	0	抵抗モーメント	MR	254.6 (kN•m)
3	Т	21	21	20	250	起動モーメント	MD	273.7 (kN•m)

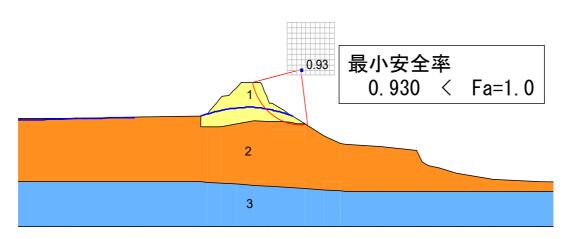


図 3.30 表法すべり破壊に対する計算結果

層番号	地層記号	飽和重量 (kN/m³)	湿潤重量 (kN/m³)	内部 摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m²)	最小安全率 円弧の中心	FsMIN X Y	0.928 32.50 (m) 77.00 (m)
1	Bs	20	19	30	1	半径	R	4.00 (m)
2	Dg	21	21	39	0	抵抗モーメント	MR	157.2 (kN•m)
3	Т	21	21	20	250	起動モーメント	MD	169.4 (kN·m)

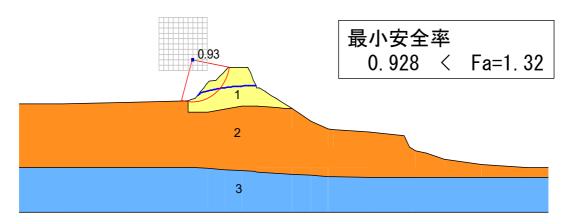


図 3.31 裏法すべり破壊に対する計算結果

3.4.4. 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。

- ・堤防欠損箇所周辺およびその上下流区間において、堤防法尻付近のパイピング(噴砂等) や法すべりは確認されなかった。
- ・堤防欠損箇所の地質構成は、既往調査結果(左岸22.6k)および出水後の現地調査から 以下の通りであった。
 - 表層から 4m 程度が φ 30mm 前後の亜角礫を含む細砂を主体とした N 値 10 以下の堤体 盛土であり、基礎地盤との境界位置(高さ)は、堤内地盤高相当である。
 - 基礎地盤は、φ80mm~100mmの玉石を主体とした玉石混じりの砂礫層、以深は泥岩層が分布している。
- ・今回の出水におけるピーク時水位は堤内地盤高相当であった。
- ・計画洪水を外力とした堤防の安全性評価の結果、パイピング破壊に対する安定性は確保 されているが、法すべり(川表・川裏)破壊に対する安定性は照査基準未満であった。

(2) 浸透による堤防欠損の可能性の考察

以下のことから、浸透によるパイピング破壊や法すべり破壊が堤防欠損の原因になった可能性は低いと推定した。

- ・噴砂等が確認されていないことから、パイピング破壊の可能性は低いと推察される。
- ・計画規模を対象とした堤防の安全性は照査基準未満であり、浸透破壊の可能性は否定できないものの、ピーク水位が堤内地盤高相当であったことも踏まえると、浸透が直接的な要因になった可能性は低いと推察される。

3.5. 堤防欠損原因の特定

本委員会において、越水、侵食・洗掘、浸透に関する検討の結果を踏まえ、堤防の欠損原因を以下の通り特定した。

<特定した堤防欠損原因>

- ・出水前後の河道状況や当時の護岸等の整備状況の推定結果より、<u>河床洗掘に起因した蛇篭・木工沈床の流出、護岸の崩落による側方侵食</u>が直接的な原因であり、以下に示す複合的・連鎖的な被災メカニズムで堤防欠損に至ったものと考える。
- (1) 護岸および木工沈床の整備後、岩盤の上に設置された木工沈床を保護するための蛇篭・根固め水制(約50m間隔)が設置されており、出水前には一部破損が確認されていたものの、全体としての機能は維持されていた。
- (2) 今回の出水を受けて、堤防欠損箇所の上流側で河床洗掘によって蛇篭が流出したのち、木工沈床も連鎖的に破損・流出した。
- (3) (2) を受けて、空石張り護岸が崩落し、堤体が侵食された。
- (4) その後、堤防欠損箇所の下流側へ侵食が拡大した。

<観測史上最大の洪水(平成16年10月洪水)との相違点>

- ・被災箇所周辺澪筋の洗掘状況について、平成 28 年では平成 16 年より 1.5m~2.0m 洗掘 されていた。
- ・平成 16 年洪水後に蛇篭の一部破損・中詰石の一部流失や木工沈床の一部破損が確認されていた。
- ⇒被災箇所周辺は平成 16 年 10 月洪水時より被災しやすい状態であったことから、今回出水にて堤防の欠損に至ったものと考える。

4. 神通川左岸 22. 4k 付近の本復旧工法の検討

4.1. 緊急復旧

堤防の欠損を確認した7月6日の夕方から堤防復旧を24時間体制で実施し、6日後の11日 18:30 に堤防の復旧が完了した。緊急復旧の横断模式図を図4.1に、復旧状況を図4.2に示す。

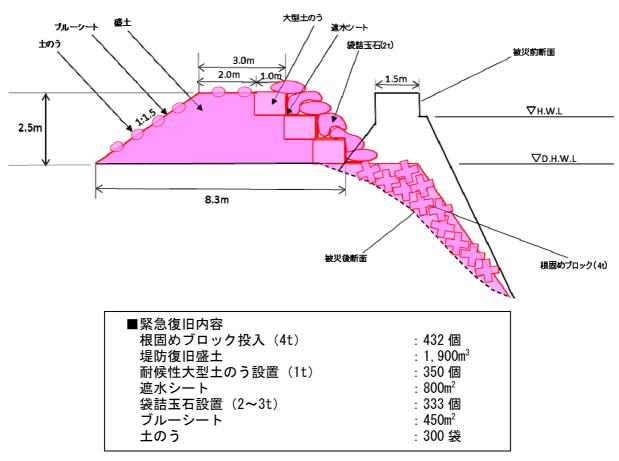


図 4.1 緊急復旧における横断模式図





図 4.2 緊急復旧状況の時系列変化

4.2. 本復旧工法(案)

堤防欠損の原因への対応をもとに検討した本復旧工法(案)を示す。築堤、練石張り護岸、 根固工(根固め減勢含む)の施工を本復旧で行う予定である。本復旧の平面図、標準横断図 を図 4.3に示す。

なお、出水後は岩盤が露出している状況も確認されたため、護岸の根入れや基礎ブロックについては、図 4.4に示す通り、出水後の最深河床と岩の位置を確認しながら本復旧を進める方針である。

また、盛土材料は侵食や吸出しの影響を考慮して選定するほか、堤体盛土については均一性のとれた土砂を用いる予定である。

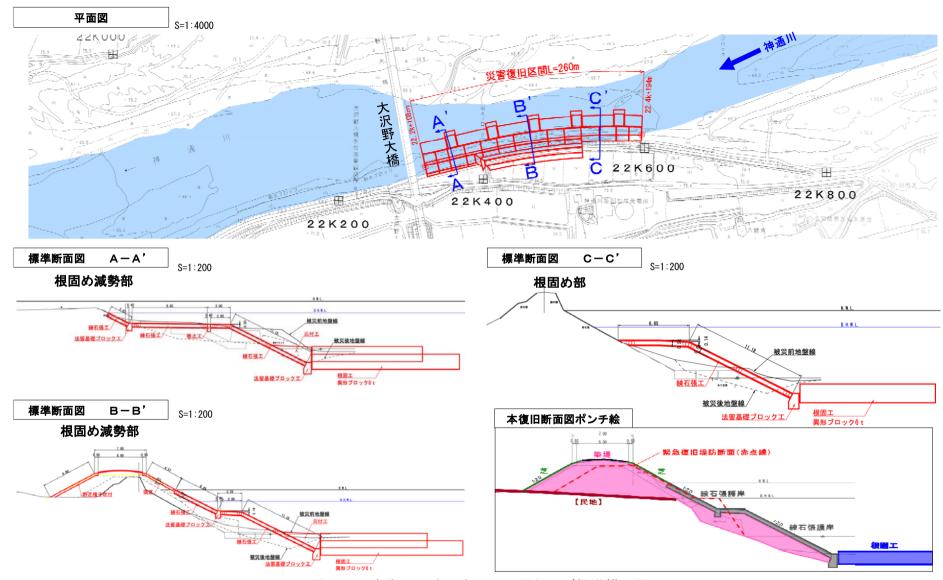


図 4.3 本復旧工法 (案) 平面図および標準横断図

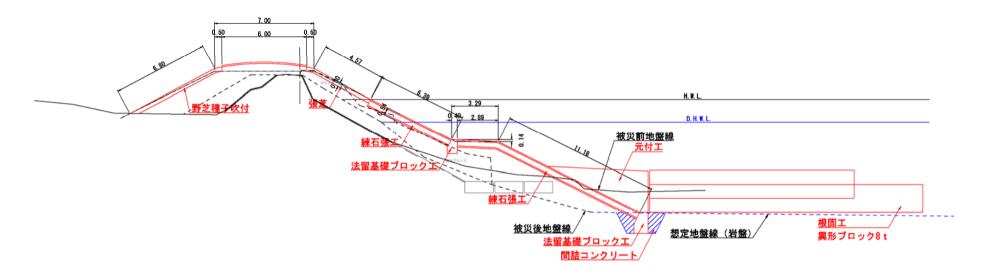


図 4.4 被災後地盤線が岩盤である場合の本復旧工法 (案)

4.3. 今後の河道管理の方向性について

今回出水の被災箇所については、川幅が狭く水衝部となっており、本復旧後に土砂が堆積、 定着しない可能性も考えられるため、本復旧後も護岸や根固工の施設状況および河道状況を 継続的に監視していく。また、本復旧工事の際には、仮締切により澪筋を右岸側へ移すこと になるため、長期的な維持管理の観点から、右岸側の砂州や水衝部の対策も視野に入れた河 道管理の方法を検討していく。

委員の指摘事項を踏まえた今後の河道管理の方向性については、同様な災害発生の防止に向けて、河道の平面形状・横断面形状も含めた河道管理のあり方等を数値解析等も活用しながら検討するとともに、河岸を防護する方法等について今回の出水に伴う被災状況等を基に検討を進める。

また、整備履歴や維持・修繕内容を正確に記録し、随時これらの検討に反映させる。

5. 委員による堤防の欠損箇所における現地調査

(1) 現地調査概要

調査日時: 平成30年8月9日(木)13:00~14:50

(2) 現地調査参加委員

長岡技術科学大学大学院 教 新潟大学災害・復興科学研究所 准 石川県立大学環境科学科 教 石川工業高等専門学校環境都市工学科 准

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

独立行政法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム 教授 大塚 悟

准教授 安田 浩保

教授 瀧本 裕士

准教授 鈴木 洋之

室長 福島 雅紀

上席研究員 佐々木 哲也

現地調査の状況



堤防欠損の調査状況①



堤防欠損の調査状況②



堤防欠損の調査状況③



調査実施後の取材対応

参考文献

- 1) 総務省統計局:国勢調査、平成22、27年度
- 2) 国土交通省:河川現況調査、平成22年度
- 3) 国土交通省: 国土数值情報、平成26年度
- 4) 国土交通省:20万分の1土地分類基本調査、昭和50年
- 5) 気象庁:過去の気象データ、平成3年~平成28年
- 6) 国土地理院:治水地形分類図(2万5000分の1)、平成27年
- 7) 気象庁:地上天気図(平成30年7月5日、7月7日)
- 8) 富山地方気象台:平成30年7月4日から7月8日にかけての大雨に関する富山県気象速報
- 9) 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
- 10) 財団法人 国土技術研究センター:護岸の力学設計法(改訂)、平成10年12月
- 11) 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