

足羽川洪水災害調査対策検討報告書

平成 17 年 3 月

平成 16 年 7 月福井豪雨
足羽川洪水災害調査対策検討会

まえがき

足羽川は県庁所在地の中心市街地を貫流しているが、河川の治水安全度としては必ずしも十分とは言えない状況である。これまで、中小河川改良工事全体計画に基づき、日野川合流点から順次、河積の拡大および橋梁の架け替え工事を進め、流下能力の向上に努めているところであった。

平成 16 年 7 月 18 日に発生した福井豪雨は未曾有の局地的短時間豪雨となり、県内各所において越水や破堤による甚大な被害が発生した。特に足羽川では、現況の流下能力を大きく上回る洪水が発生し、破堤により福井市街地が甚大な被害を受けた。

福井県では、洪水被害の再発を防止するため、今回の洪水に関して、洪水発生から氾濫被害までの実態を把握するとともに、今後の治水対策等の方向性を検討することを目的として、平成 16 年 8 月 4 日、「平成 16 年 7 月福井豪雨 足羽川洪水災害調査対策検討会」を設置した。

これまで 4 回にわたって検討会を開催し、被災住民や行政から越水・破堤の状況についてアンケート調査を実施して実態把握に努力するとともに、福井県が提出する出水時の関係資料などをもとに、福井豪雨の特徴や地形との関連性などの気象特性、越流量や河川水位などの洪水特性、堤防および地盤の状況や破堤要因などの堤体特性、行政機関・消防団等の活動状況や避難勧告・避難指示の発令状況などの危機管理状況について解析・検討を行なった。そしてこれらの妥当性を論議した上で、慎重に審議を進め、今後の治水対策、情報提供のあり方等についてとりまとめた。

足羽川は福井市中心部を流下する河川であり、「福井市のシンボル」となる河川である。福井県におかれては、本検討会の調査結果・提言をもとに、安全ですこやかな川づくりが一日も早く進められることを要請する。

平成 17 年 3 月

平成 16 年 7 月福井豪雨

足羽川洪水災害調査対策検討会

委員長 中川 一

足羽川洪水災害調査対策検討報告書

目 次

1 . 検討会の概要-----	1- 1
1.1 目 的-----	1- 1
1.2 位置づけ-----	1- 1
1.3 構 成-----	1- 2
1.4 検討の概要-----	1- 3
2 . 足羽川洪水災害の概要	
2.1 足羽川の概要-----	2- 1
2.2 平成 16 年 7 月福井豪雨の概要-----	2- 5
2.3 平成 16 年 7 月福井豪雨の被害概要-----	2- 7
3 . 平成 16 年 7 月福井豪雨の実態把握-----	3 -1
3.1 気象特性-----	3- 1
3.1.1 福井豪雨の特徴-----	3- 1
3.1.2 過去の主要降雨との比較-----	3- 4
3.1.3 福井豪雨と地形との関連性-----	3-11
3.1.4 気象予報の実態-----	3-13
3.2 洪水特性-----	3-15
3.2.1 河道の水理特性-----	3-15
3.2.2 越流量の推定-----	3-16
3.2.3 河川水位の推定-----	3-18
3.2.4 平面流況の推定-----	3-21
3.3 破堤要因-----	3-24
3.3.1 堤防および地盤の状況-----	3-25
3.3.2 被災状況-----	3-29
3.3.3 破堤要因の推定-----	3-33
3.4 危機管理-----	3-46
3.4.1 行政機関、消防団等の活動状況-----	3-46
3.4.2 避難勧告、避難指示の発令状況-----	3-48
3.4.3 住民調査結果-----	3-51
3.5 課題の整理-----	3-58

4 . 再度災害防止に向けて-----	4- 1
4.1 基本方針-----	4- 1
4.2 気象予報・洪水予報-----	4- 2
4.3 河道改修-----	4- 2
4.4 堤防強化-----	4- 6
4.5 情報の収集、伝達-----	4- 7
4.6 河川管理 -----	4-11
4.7 桜堤の取り扱い -----	4-12

参考資料

検討会開催経緯

1.3 構成

検討会は次の委員により構成された。

氏名	所属	専門分野	備考
中川 一	京都大学防災研究所 教授	防災水理	委員長
荒井 克彦	福井大学工学部 教授	土質	副委員長
福原 輝幸	福井大学工学部 教授	河川	
田中 淳	東洋大学社会学部 教授	災害心理学	
中北 英一	京都大学防災研究所 教授	水文	
饒村 曜	気象庁 福井地方気象台長	気象	
末次 忠司	国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究室長	河川	
宮本 博司	国土交通省 近畿地方整備局 河川部長	行政	
金澤 文彦	国土交通省 福井河川国道事務所長	行政	
奈良 一機	福井市 副市長	行政	
福田 正晴	福井県 土木部長	行政	

1.4 検討の概要

本検討会では、図-1.4.1 に示すように、今回の福井豪雨に関して実態を把握すべき事項を大きく「気象」、「洪水」、「破堤要因」および「危機管理」に分類し、これらの事項について「資料収集・現地調査」、ならびに現時点での解析技術をもとに「検討・解析」を行い、できるだけ忠実に実態再現をすることに努めている。

これらの実態把握を踏まえ、今後の治水対策等に向けた提言をとりまとめた。



第1回 検討会（平成16年8月4日 福井県庁にて）

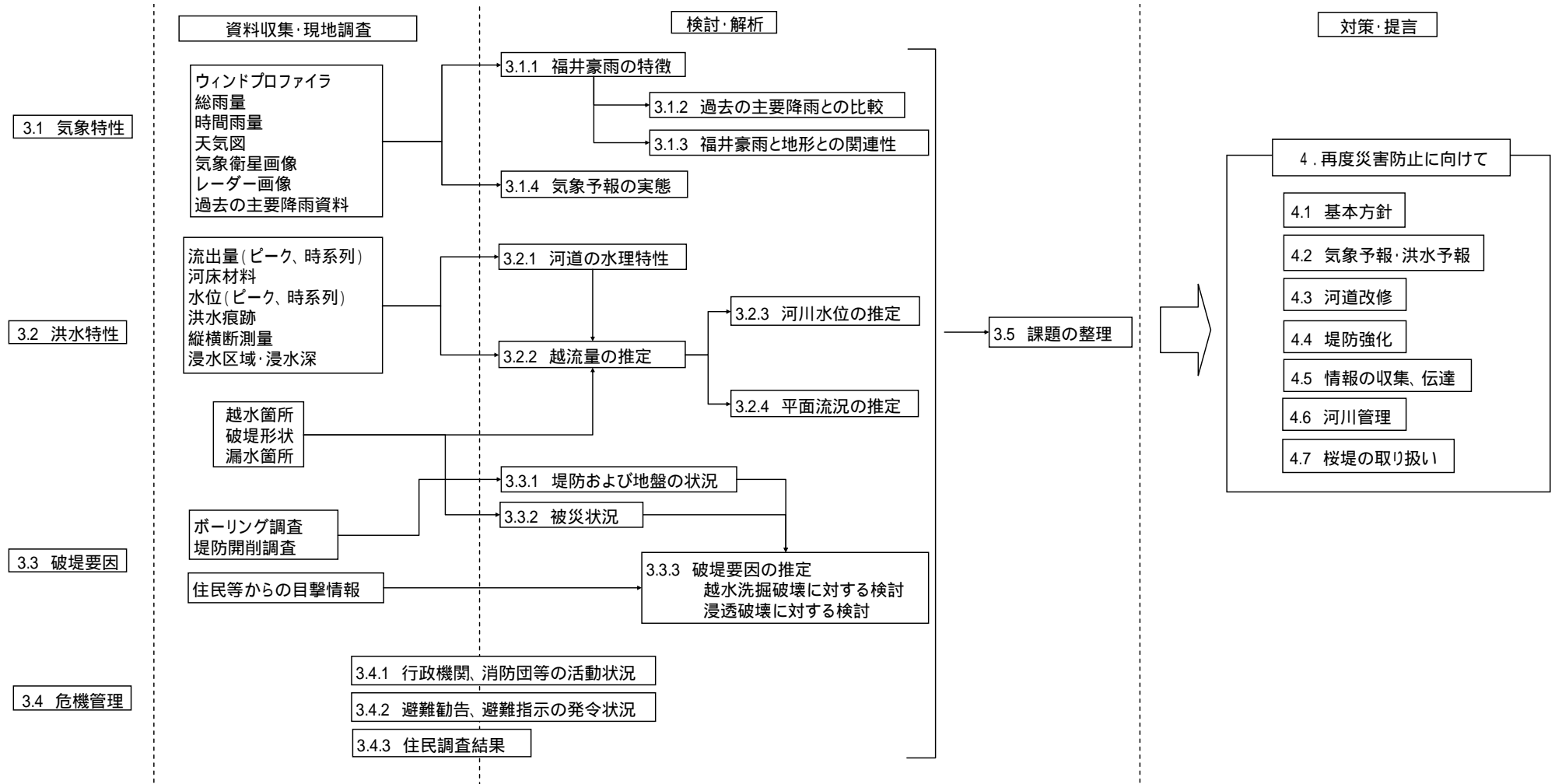


図-1.4.1 検討の概要

2. 足羽川洪水災害の概要

2.1 足羽川の概要

(1) 流域の概要

足羽川流域は福井平野南東端に位置し、行政区分は福井市、松岡町、美山町、池田町に属する。その源は池田町南端の冠山(標高1,257m)に発し、山間部を北流しながら、魚見川、水海川、部子川、上味見川などの支川を集め、美山町で羽生川と合流したのち、流れを北西に転じ芦見川、一乗谷川、荒川などを合流し、福井市水越町地先で一級河川日野川に合流する。流域面積は416km²、法河川延長は61.7kmの一級河川である。

下流部は、福井県の県庁所在地である福井市の中心市街地を貫流しており、氾濫区域は最も資産が集中する区域であり、県下で重要度が最も高い河川である。



図-2.1.1 足羽川流域図

(2) 過去の洪水

足羽川は過去にも大きな洪水被害をもたらしており、戦後の代表的なものとして、昭和28年9月の台風13号、同34年8月の台風7号、同36年9月の第二室戸台風、同39年7月の梅雨前線、同40年9月の奥越豪雨、同47年7月の梅雨前線による洪水が挙げられる。



足羽川流域(福井駅前付近)
昭和34年8月12日 出水



足羽川流域(福井市成願寺町 毘沙門橋)
昭和39年7月7日 出水

(3) 河川改修の経緯

足羽川の本格的な改修は、明治33年内務省直轄工事として開始されてからである。この直轄工事の一部として足羽川の下流端付近に放水路が開削された。しばらくの間は旧河道を舟運路のために存置していたが、昭和26年に河道掘削が行われ、同38年に旧河道の閉塞を行い、放水路工事が完了した。

また、昭和28年台風13号、同年15号などの出水を契機として、昭和43年に策定された九頭竜川工事実施基本計画で、超過確率1/80、計画高水流量700m³/sとする計画が策定された。しかし、昭和47年の台風20号、同50年台風8号と相次いで計画を上回る洪水が発生した。これにより、昭和54年4月に九頭竜川工事実施基本計画を改訂し、計画規模1/150、計画高水流量1,800 m³/sとする計画が策定され、平成8年6月に中小河川改良工事全体計画書も改訂された。現在、河川改修は、日野川合流点～荒川合流点までの区間で実施している。

なお、平成9年の河川法改正に伴い河川管理者は河川整備計画を策定することになったため、足羽川においても九頭竜川流域委員会の場で「足羽川河川整備計画」*について議論されている。

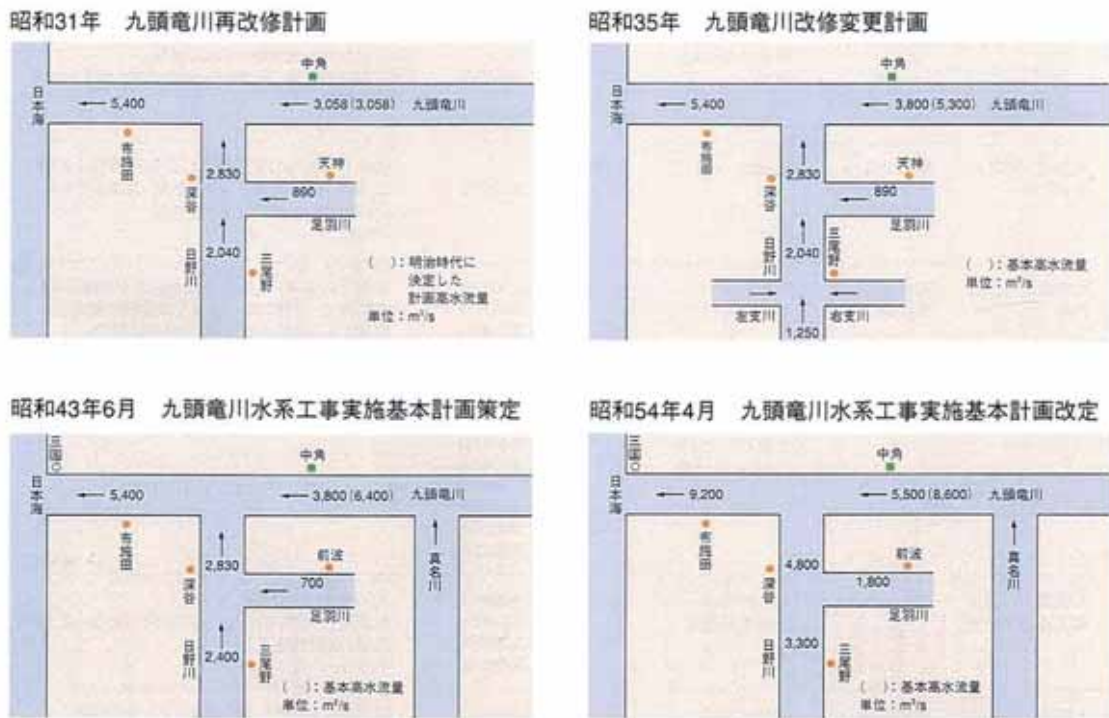


図-2.1.2 足羽川計画高水流量の変遷

出典：九頭竜川流域誌

*) 足羽川ダムおよび河道負担流量について議論されている。詳しくは、九頭竜川流域委員会ホームページ <http://www.kkr.mlit.go.jp/fukui/> 参照。

表-2.1.1 足羽川の改修経緯

期 間	改修区間	工事内容
明治 33 年～明治 42 年	福井市明里～大瀬	放水路開削
昭和 4 年～昭和 6 年	福井市明里	屈曲部の是正
昭和 26 年～昭和 38 年	福井市豊島中～大瀬	河道開削
昭和 49 年～ 平成 16 年現在	福井市春日～日野川合流点	河床掘削 低水護岸 橋梁架け替え

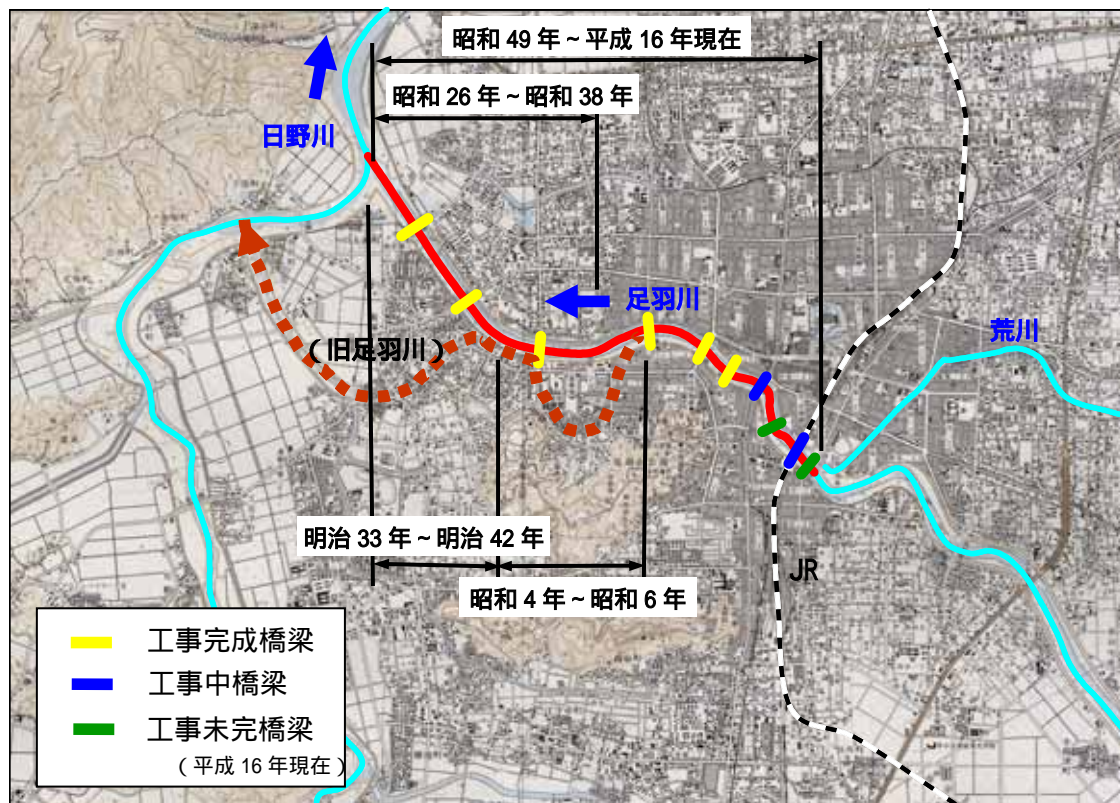


図-2.1.3 足羽川下流部の改修経緯

この地図は、測量法第 29 条に基づき、国土地理院長の承認「平 16 北複、第 290 号」を得て作成したものを転載しました。



図-2.1.4(1) 足羽川下流部の状況（昭和 21 年頃）

この地図は、測量法第 29 条に基づき、国土地理院長の承認
「平 16 北複、第 290 号」を得て作成したものを転載しました。

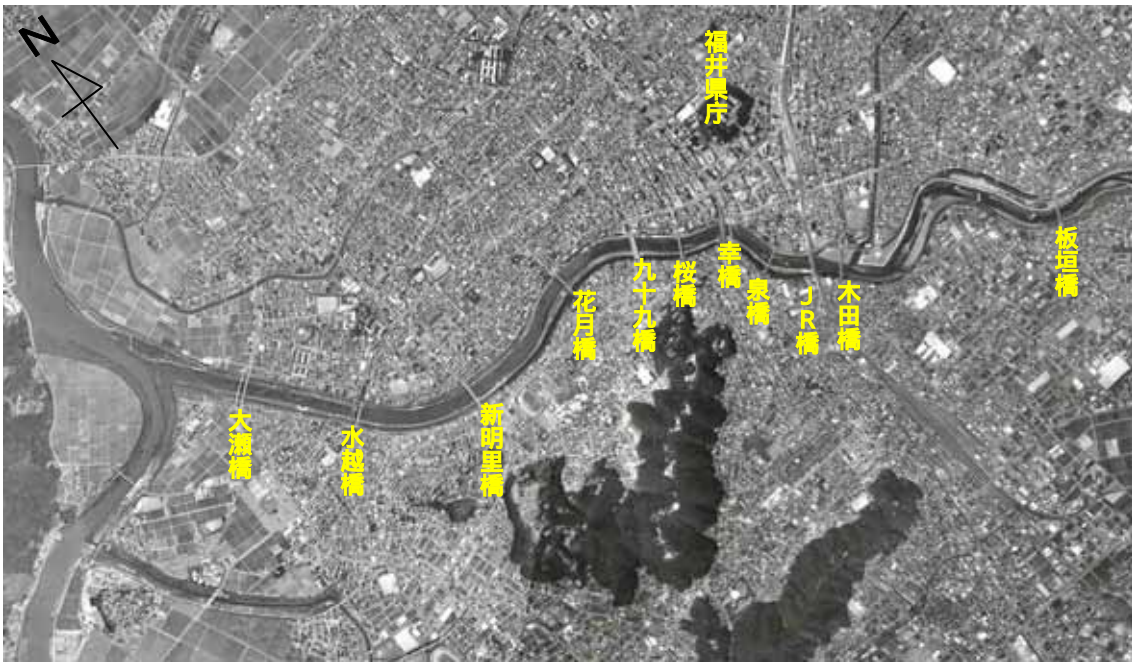


図-2.1.4(2) 足羽川下流部の状況（平成 14 年頃）

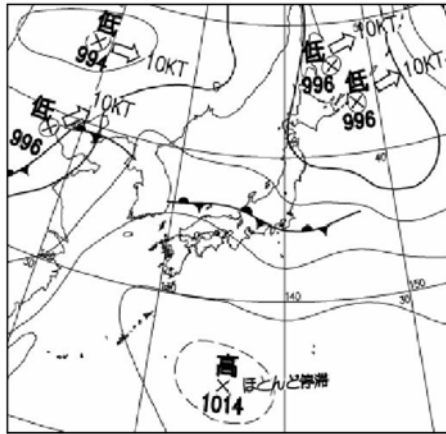
この地図は、測量法第 29 条に基づき、国土地理院長の承認
「平 16 北複、第 290 号」を得て作成したものを転載しました。

2.2 平成 16 年 7 月福井豪雨の概要

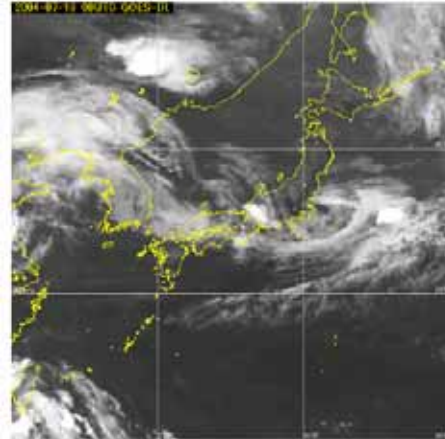
日本海から北陸地方（福井県）に延びる梅雨前線の活動が活発化し、強い雨雲が福井県嶺北地方に流れ込んだ。

福井県嶺北地方では、18日の0時過ぎから所々で激しい雨を観測し始め、特に18日の明け方から昼前にかけては嶺北北部を中心に1時間に80mm以上の猛烈な雨を観測した。18日昼頃からは、雨は小康状態となった。

また、降り始め（17日15時）からの総降水量は、嶺北北部の美山町では285mm、福井市では198mmとなった。



7月18日09時



7月18日09時

図-2.2.1 地上天気図および気象衛星画像「気象台提供資料」

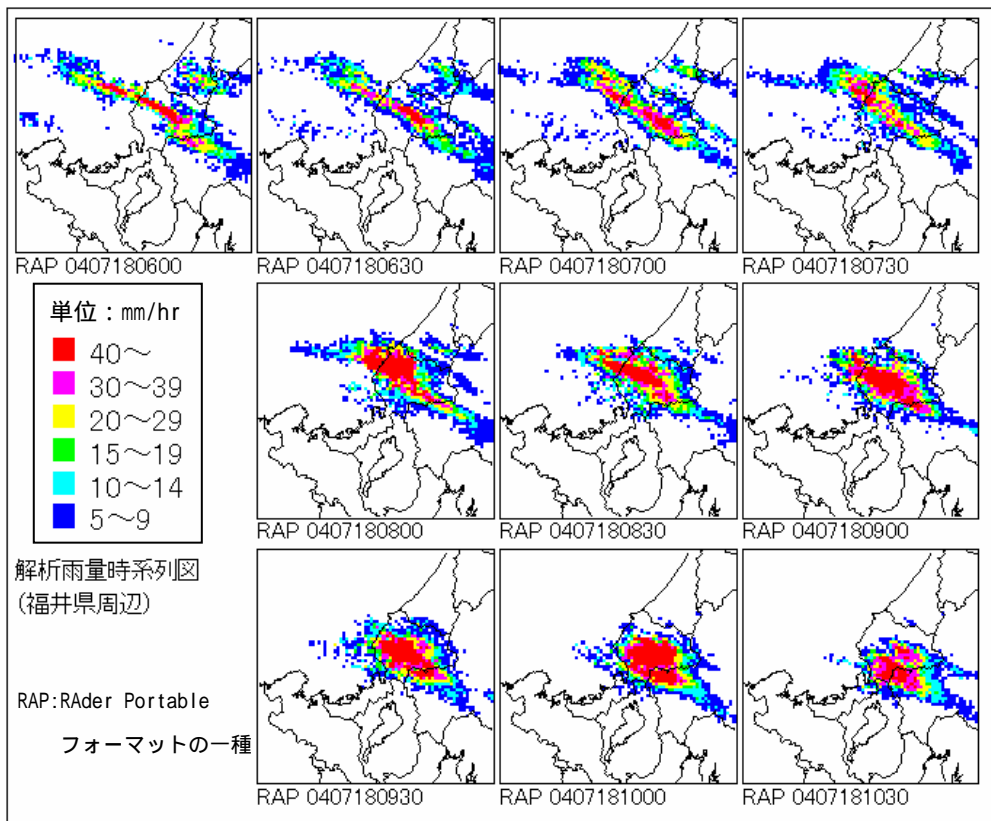


図-2.2.2 解析雨量（広域）18日06時00分から10時30分まで（30分間隔、1時間雨量）
「気象台提供資料」

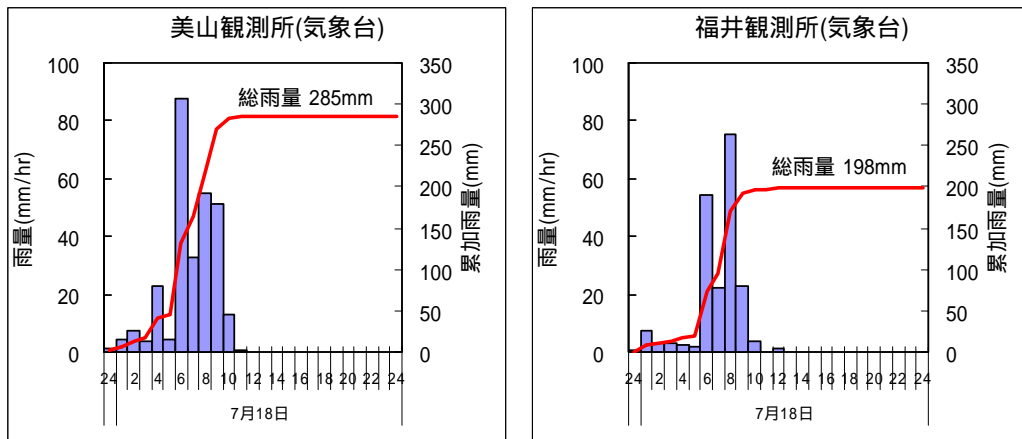


図-2.2.3 气象台雨量観測所の時間雨量と累加雨量

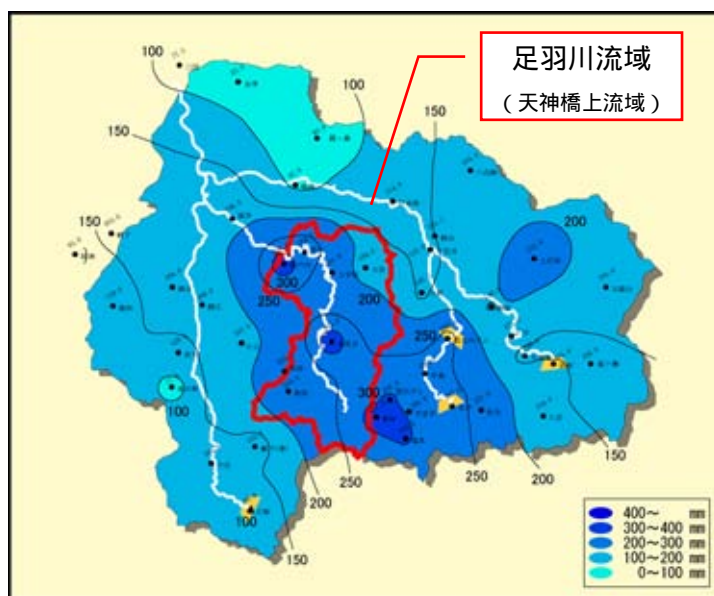


図-2.2.4 等雨量線図

出典：第23回九頭竜川流域委員会資料(平成16年8月31日)

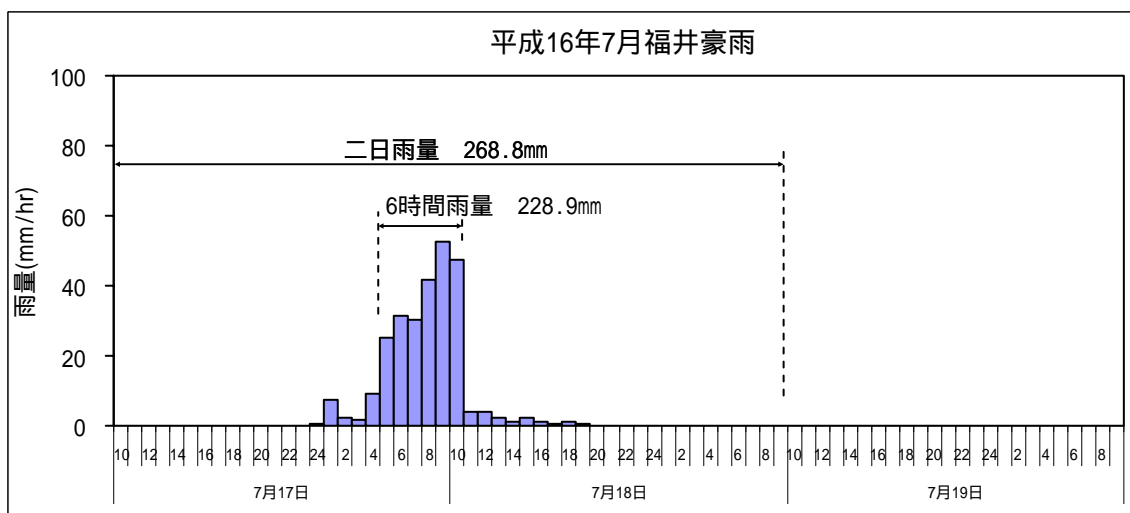


図-2.2.5 足羽川天神橋地点上流流域平均雨量

出典：第23回九頭竜川流域委員会資料(平成16年8月31日)

2.3 平成 16 年 7 月福井豪雨の被害概要

(1) 福井豪雨の最大被害状況

福井豪雨による福井県内での被害状況を表-2.3.1 に示す。

足羽川流域内の福井市、美山町、池田町のほか、足羽川流域に隣接する鯖江市や今立町での被害が大きい。この被害状況からも、今回の福井豪雨が比較的狭い範囲で集中的に発生したことがわかる。

表-2.3.1 福井豪雨による被害状況 (H.17.1.17 最終確定値)

市町村	人的被害				住家被害					非住家 (全壊・半壊)		避難勧告・避難指示		
	死者	行方 不明	負傷者		全壊 世帯	半壊 世帯	一部破損 世帯	床上浸水 世帯	床下浸水 世帯	公共建物 棟	その他 棟	対象世帯	対象人数	避難人数
			重傷	軽傷										
福井市			1		11	39	82	2,514	8,673			34,705	96,000	4,789
敦賀市														
武生市							1	3	50					
小浜市														
大野市								11	43			1,469	5,006	204
勝山市														
鯖江市	1		2	11	4	44	80	352	629	1	12	4,044	14,453	492
あわら市														
美山町	1	1		3	36	38	24	139	174		154	1,100	3,974	1,224
松岡町								2	9			5	18	3
永平寺町									8					
上志比村														
和泉村														
三国町														
丸岡町														
春江町														
坂井町														
今立町	1		2		2	5	23	271	592			379	1,441	2,255
池田町					4	12	1	21	96		16	242	789	174
南条町														
今庄町														
河野村														
朝日町									10					
宮崎村									1					
越前町														
越廼村														
織田町														
清水町	1							1	36					
三方町														
美浜町														
上中町														
名田庄村														
高浜町														
大飯町														
計	4	1	4	15	57	138	211	3,314	10,321	1	182	41,944	121,681	9,141

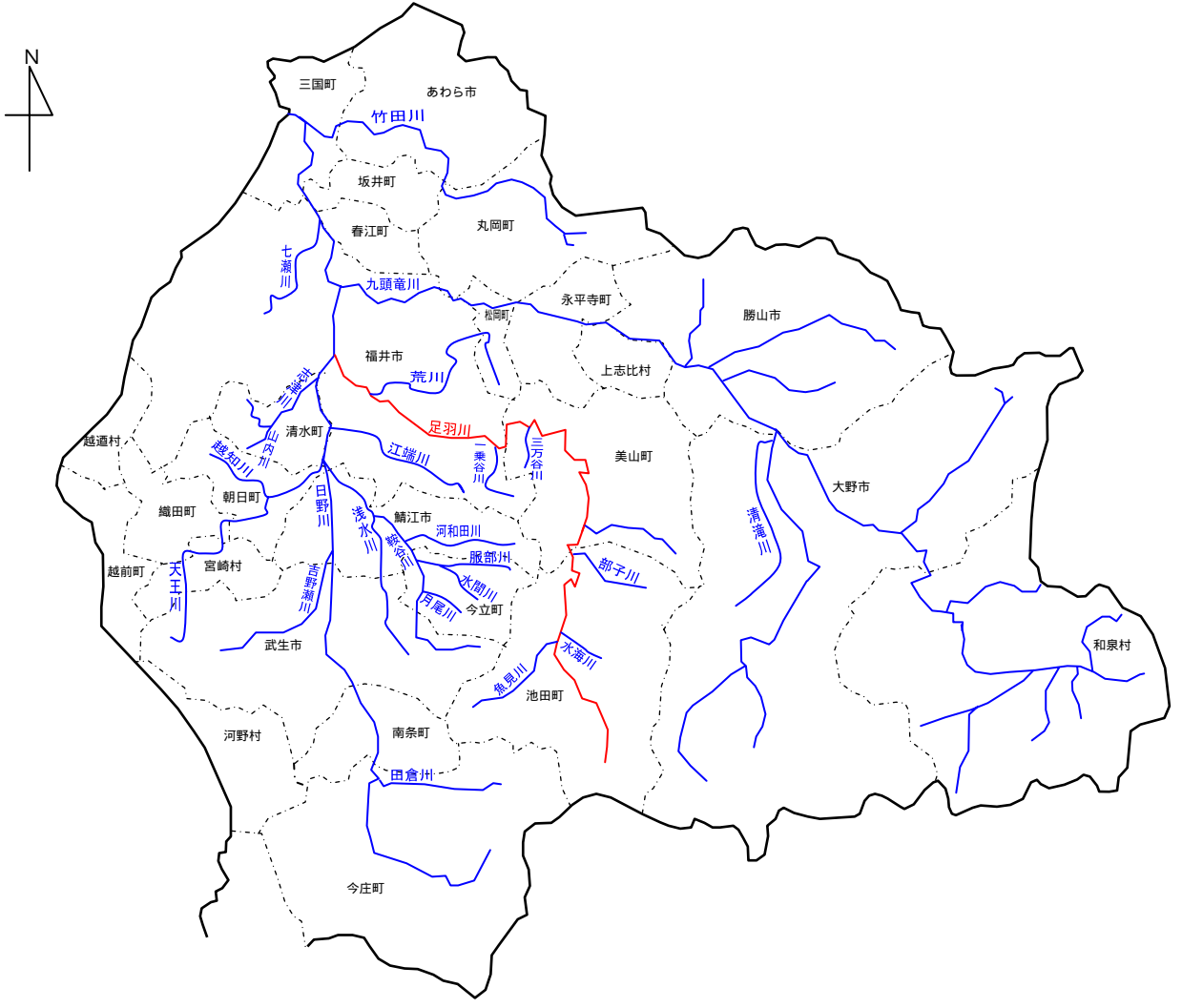


図-2.3.1 河川位置図

(2) 河川関係の被害総括

福井豪雨による河川関係の被害状況を表-2.3.2 に示す。

足羽川流域内河川以外では、河和田川や服部川の被害が大きいことがわかる。

表-2.3.2 河川関係の被害状況

(箇所)

市町村名	河川名	決壊(破堤)	護岸破損	越水	漏水	閉塞(埋塞)
福井市	足羽川	1		7		
	荒川				1	
	江端川			1		1
	七瀬川		1	1		
	一乗谷川		7	6		6
大野市	清滝川	1			1	
鯖江市	鞍谷川			1		
	河和田川		10	1		1
美山町	足羽川		5			
	三万谷川		1			1
三国町	竹田川				1	
今立町	水間川		2	1		1
	月尾川					2
	服部川		4	3		3
池田町	足羽川		1			
	水海川		1			
	部子川		2			
清水町	志津川		1	1		
	越知川		1			
	山内川			1		
計18河川		2	36	23	3	15

網掛けは足羽川流域内河川を示す。

小規模な護岸破損・漏水などの被災は除く。

越水しても河川管理施設に被害のないものを越水箇所として計上している。

(3) 足羽川の被害概要

足羽川の被害状況を以下に示す。



写真 - 破堤部から堤内側へ流入する濁流



この地図は、測量法第 29 条に基づき、国土地理院長の承認「平 16 北復、第 290 号」を得て作成したものを転載しました。



写真 - 破堤部の状況



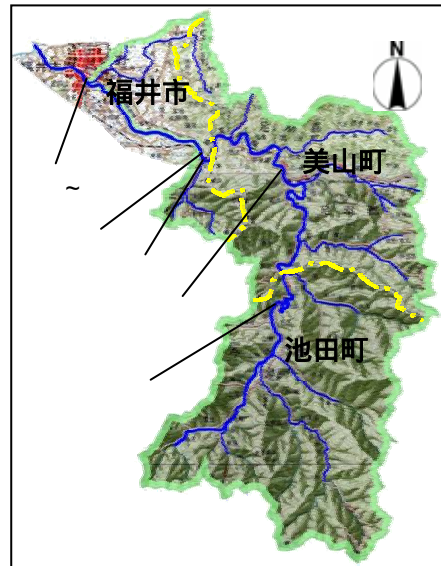
写真 - 破堤箇所付近での救助活動状況
(映像提供：福井ケーブルテレビ)



写真 - 破堤箇所付近の浸水状況
映像提供：福井ケーブルテレビ



写真 - 足羽堰堤付近左岸堤内地の被災状況



この地図は、測量法第 29 条に基づき、国土地理院長の承認
「平 16 北複、第 290 号」を得て作成したものを転載しました。



写真 - 落橋した越美北線橋梁と被災した堤防の状況



写真 - 美山役場付近の浸水状況



写真 - 池田町持越付近の河岸侵食状況

足羽川下流部左岸側では、破堤箇所の上流から泉橋までの約 900m の範囲で越水が発生した。また、右岸側では、幸橋上流で 1 箇所、JR 上下流で 1 箇所ずつ、荒川合流点上流で 1 箇所の合計 4 箇所で越水が発生した。

破堤は、木田橋上流約 350m (足羽川 4.6km^{*}) 付近) の左岸側で発生し、破堤幅は約 54m であった。

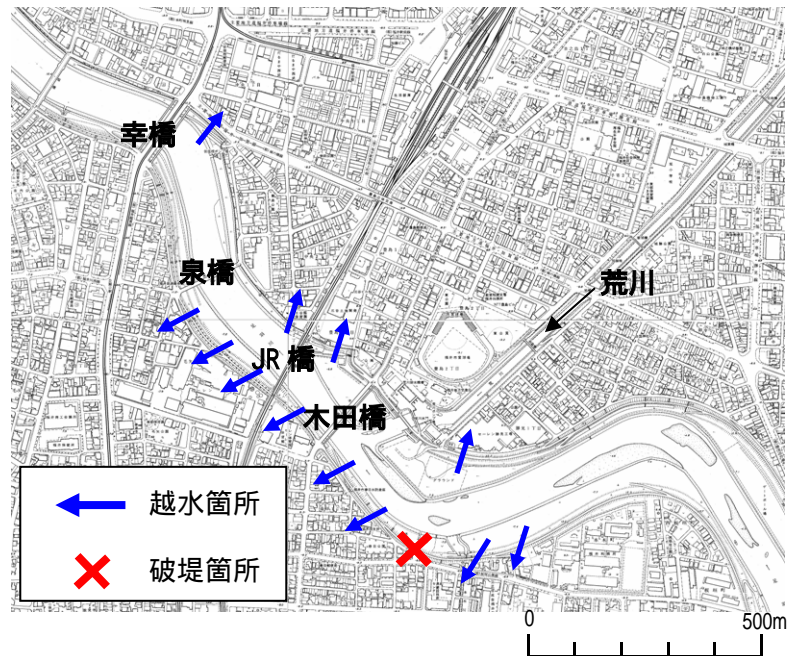


図-2.3.2 足羽川下流部の越水・破堤箇所

この越水・破堤による点線内の浸水区域は、概ね 260ha であった。

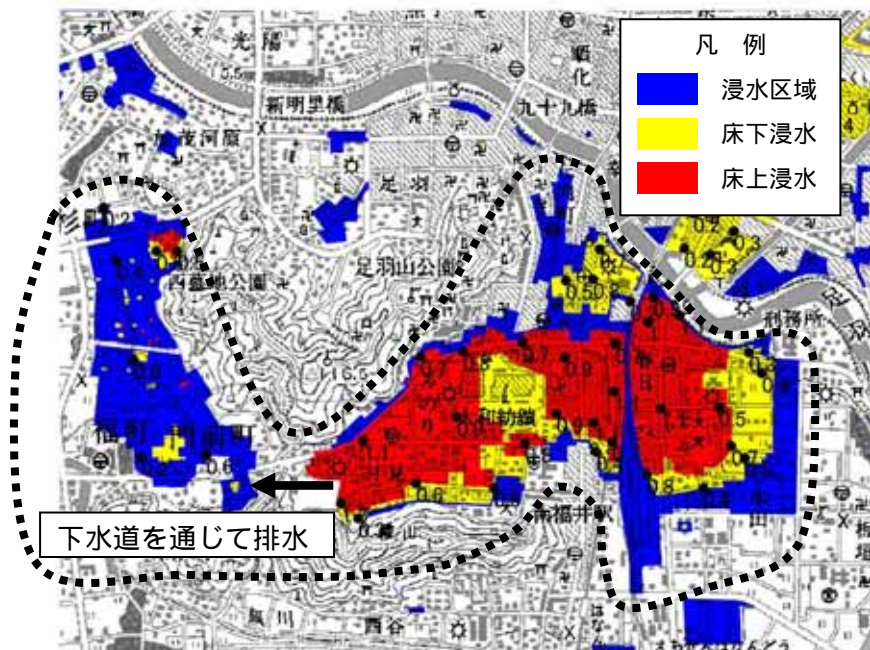


図-2.3.3 足羽川下流部の浸水区域

この地図は、測量法第 29 条に基づき、国土地理院長の承認「平 16 北複、第 290 号」を得て作成したものを転載しました。

*)日野川合流点からの距離を表す。以下、km で表示する。

3. 平成 16 年 7 月福井豪雨の実態把握

3.1 気象特性

3.1.1 福井豪雨の特徴^{*)}

(1) 豪雨の要因

平成 16 年 7 月福井豪雨(以下 H16.7 福井豪雨と記述)の要因として、以下の事が考えられる。

梅雨前線の停滞

7月10日頃北陸から東北南部に移動した梅雨前線は7月12日から13日にかけて新潟・北陸地方において豪雨をもたらしたが、その後数日間日本海から北陸地方(福井県)にかけて停滞し、7月17日から18日にかけて福井県北部を中心に再び大雨をもたらした。

一方その当時、太平洋高気圧が西日本を覆い、高気圧の縁を周りこむように、前線の南側にあたる北陸沿岸に暖かく湿った空気が流れ込んでいた。

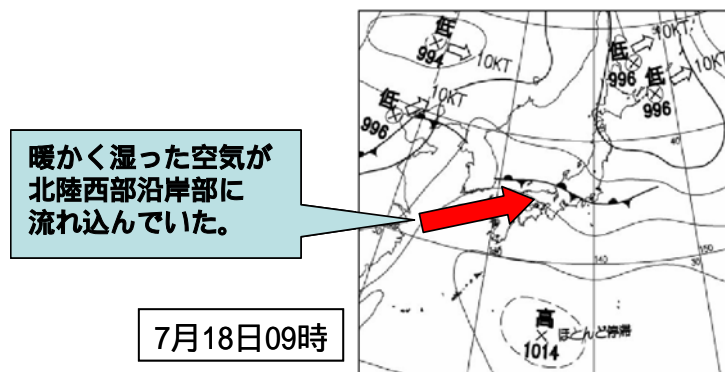


図-3.1.1 北陸沿岸への暖湿流の流入 「福井地方気象台提供」

雨雲の線状化

北陸沿岸で発生した強い雨雲は、線状の形を呈して、福井県嶺北を中心とした地域に次々と流れ込んだために、大雨となった。

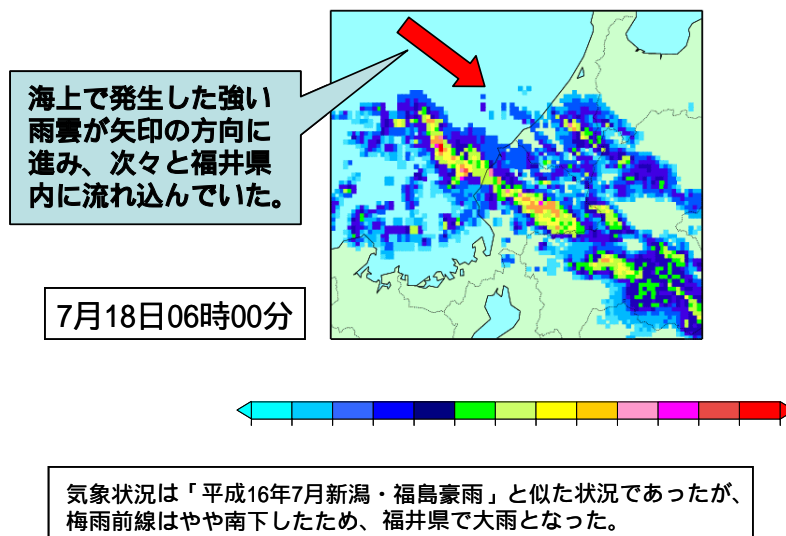


図-3.1.2 7月18日6時00分でのレーダーエコー 「福井地方気象台提供」

*) 参考文献 福井地方気象台：「平成 16 年 7 月福井豪雨」に関する気象速報，pp.8

(2) 雨量

美山観測所（気象台）の時間雨量

美山観測所の昭和44年以降、35年間分の時間雨量データ、年最大1時間雨量と今回の降雨の1時間雨量を比較したものを図-3.1.3に示す。

今回の降雨は、過去35年の平均の3倍近い値であることがわかる。

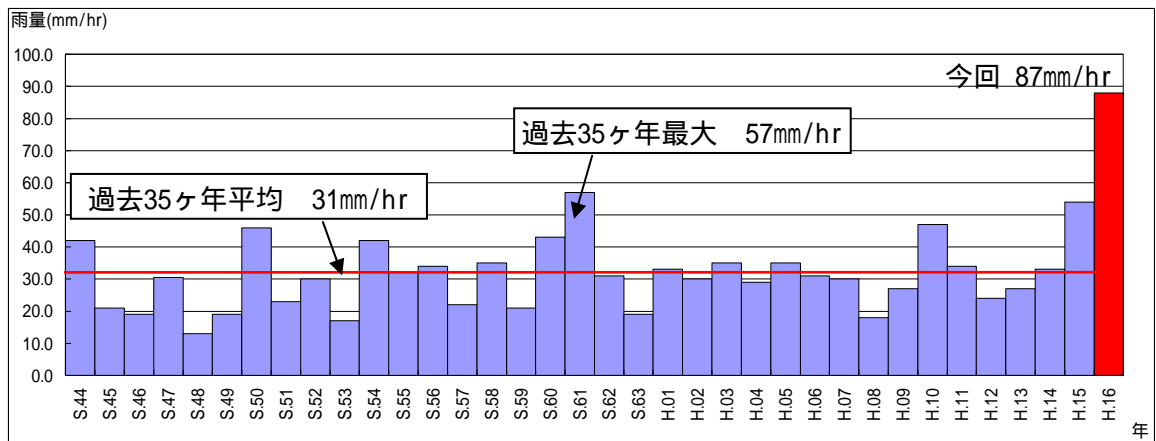


図-3.1.3 美山観測所（気象台）の1時間雨量の経年比較

天神橋地点上流域の流域平均2日雨量

現在の足羽川の計画対象降雨である、天神橋上流域の流域平均2日雨量を昭和28年から平成15年までの主要126降雨と福井豪雨を比較したものを図-3.1.4に示す。

過去の雨量と比較すると、福井豪雨は昭和28年9月とほぼ同程度で、戦後第3位となる。雨量確率では約1/25となる。

今回の福井豪雨は、天神橋地点上流域の流域平均流域時間雨量の分布で見た場合、図-2.2.5で示したように、6時間雨量が非常に卓越することから、過去の流域平均6時間雨量との比較を行った。この結果は、図-3.1.5に示すように、福井豪雨6時間雨量は戦後最大となり、かつ、雨量確率では約1/1,000を示す大規模な降雨であったことがわかる。

なお、参考のために、図-3.1.6に天神橋地点上流域および近辺のアメダス観測所分布図を示す。

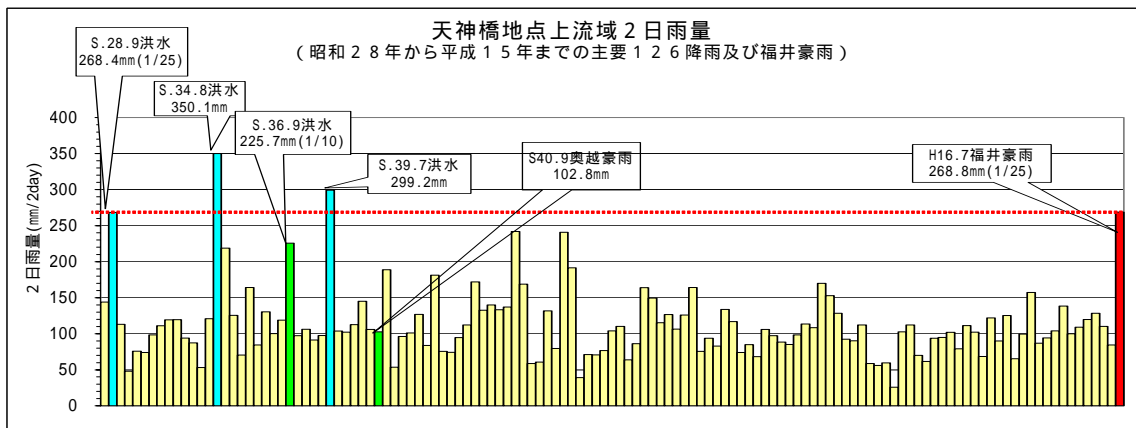


図-3.1.4 天神橋地点上流 2日雨量の経年比較

出典：第23回九頭竜川流域委員会資料（平成16年8月31日）

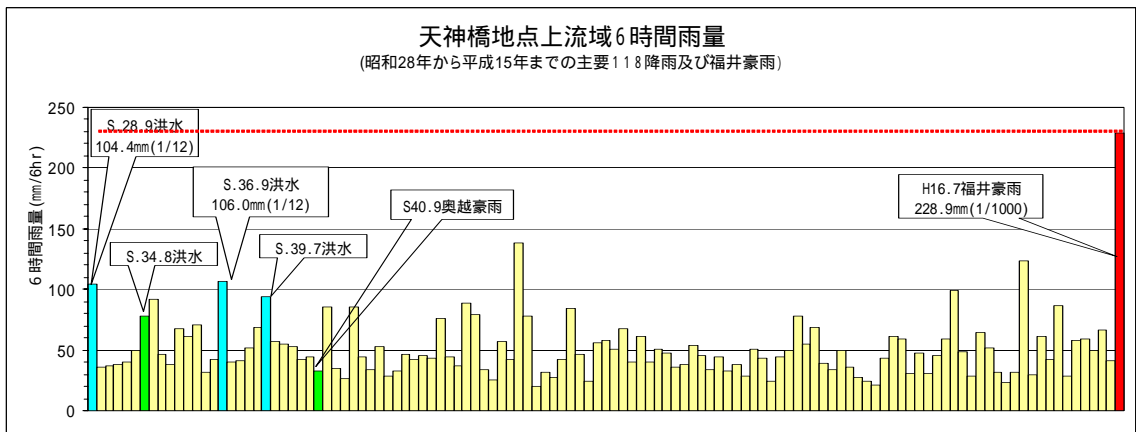


図-3.1.5 天神橋地点上流 6時間雨量の経年比較

出典：第23回九頭竜川流域委員会資料（平成16年8月31日）

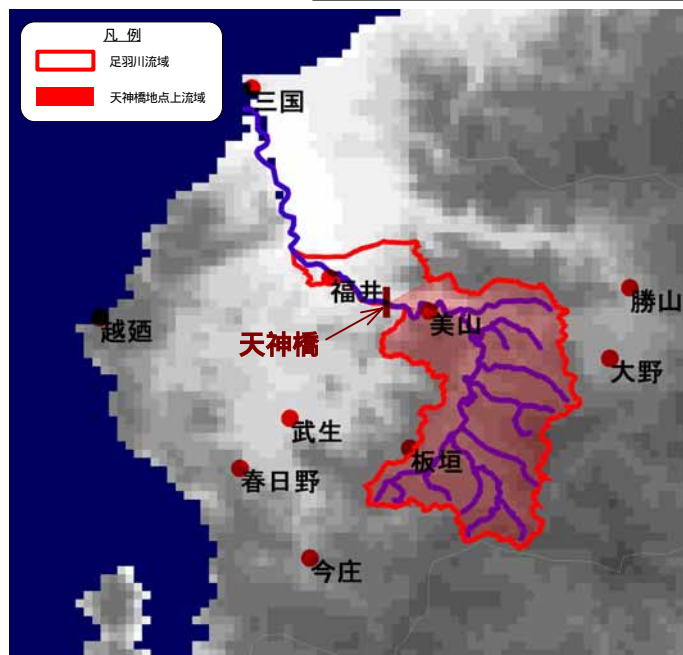


図-3.1.6 天神橋地点上流域の位置図

3.1.2 過去の主要降雨との比較

平成 16 年 7 月 18 日に足羽川流域において発生した豪雨（以下、H16.7 福井豪雨）のメカニズムを明らかにするため、明治以降の主要降雨との比較においてその特徴を整理した。

なお、収集期間は明治以降とし、主として「福井県の気象百年^{*}」の気象災害年表を参考に抽出した。

(1) 降雨タイプの比較

抽出した主要出水を以下の 5 パターンに分類した。

表-3.1.1 降雨の分類

タイプ	タイプ名	代表出水	備考
	台風性降雨	S340926洪水（伊勢湾台風）	台風による降雨
	低気圧性降雨	S620904洪水	低気圧にともなう降雨
	前線性降雨	H160718洪水（H16.7福井豪雨）	東西に走る前線による降雨
	前線性降雨	S400914洪水（奥越豪雨）	南北に走る前線による降雨
	台風 + 前線	S510908洪水	台風と前線活動による降雨

分類タイプのうち、の「前線性降雨」は、H16.7 福井豪雨時のように日本海を東西に走る前線であり、の「前線性降雨」は、昭和 40 年 9 月奥越豪雨時のように南北に走る前線である。

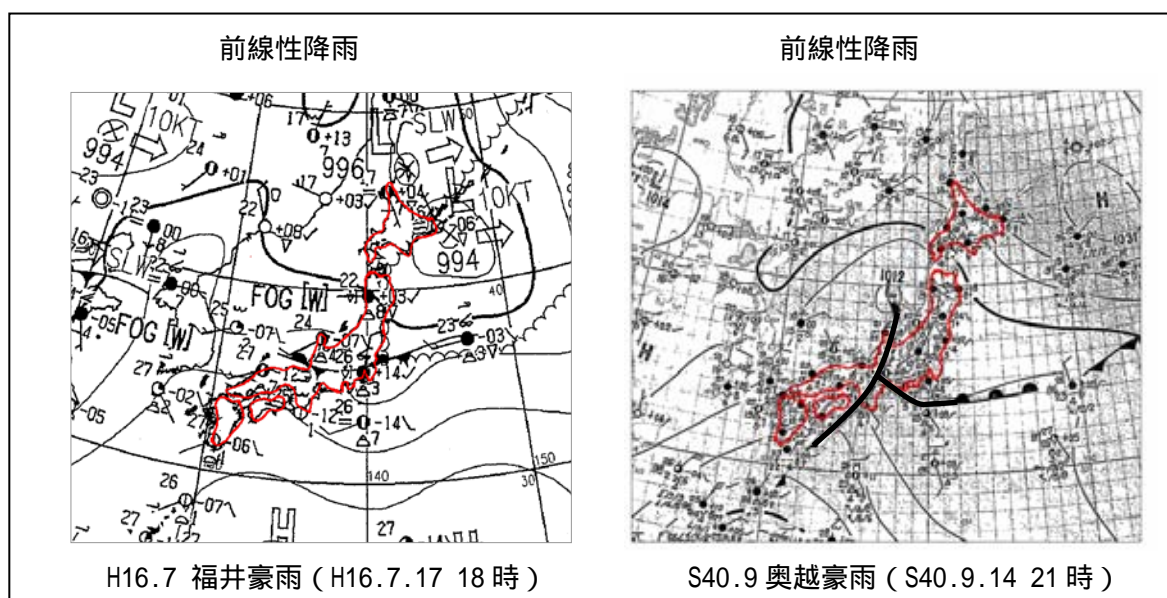


図-3.1.7 前線性降雨の分類「気象台提供資料」

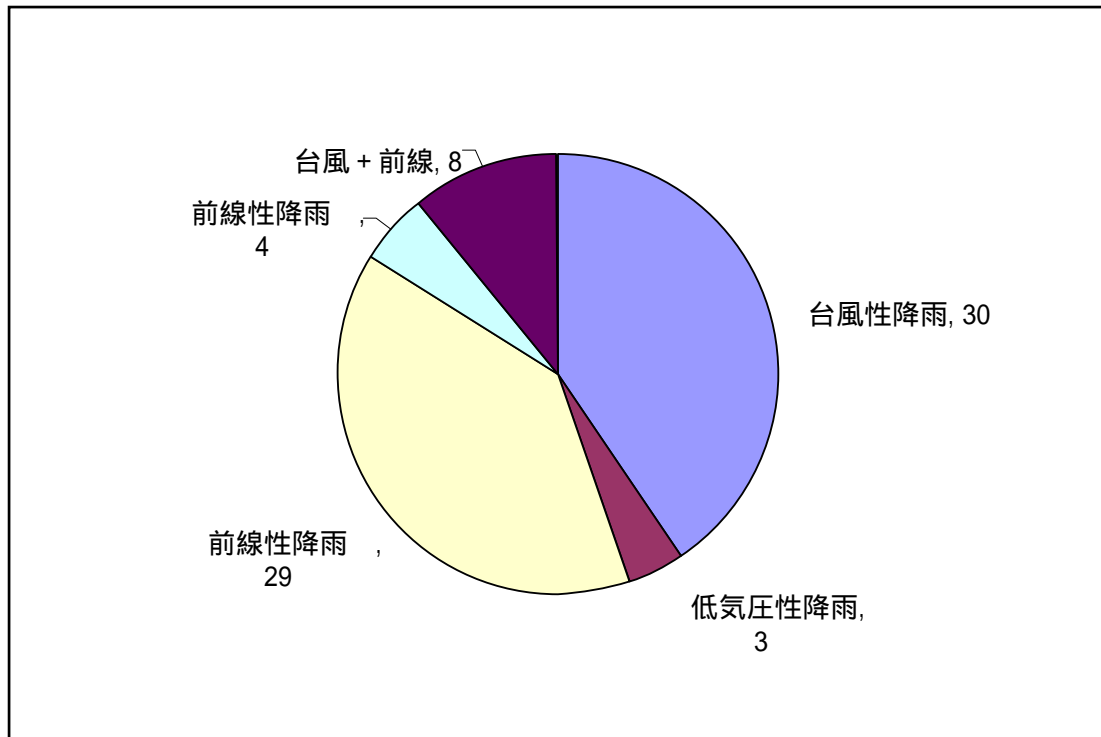
^{*} 本災害年表は、福井県内で未曾有の大災害が発生し、測候所設置へのきっかけとなった 1895 年(明治 28 年)から 1995 年(平成 7 年)までの 100 年にわたる気象災害を種目分類を加えて作成したものである。(「福井県の気象百年」pp.65 より抜粋)

抽出した出水のうち、それぞれのタイプの洪水が全体に占める割合を図-3.1.8に示す。

福井県内で未曾有の大災害が発生したという条件のもとでは、「台風性降雨」と「前線性降雨」の発生頻度はほぼ同程度になる傾向がある。

H16.7 福井豪雨の降雨タイプは「前線性降雨」であり、過去に生じた前線性降雨のほとんどがこのタイプであることから、過去の降雨との比較においては特異性はないと言える。

つまり、今後においてもH16.7福井豪雨のような気象状況は生じうると言える。



(注1) 降雨タイプの種別不可能である以下の洪水についてはカウント除外した
(除外対象洪水名) M290907、M350714、S050708

(注2) 降雨タイプが複数である以下の洪水についてはダブルカウントした
(ダブルカウント対象洪水名) H010902

図-3.1.8 各降雨タイプの全体に占める割合

(2) 降雨分布特性の比較

H16.7 福井豪雨では18日の5時10分～6時10分までの1時間に美山町で1時間96mm(18日の日降雨量283mm)、8時～9時までの1時間に福井で75mm(18日の日降雨量197mm)と、短時間で狭い地域で大雨が発生したことが特徴であった。

このような降雨分布特性について過去の降雨と比較した。

ここで、福井県および近辺のアメダス分布図を図-3.1.9に示し、福井豪雨と同じ降雨タイプの主要降雨について各観測地点のN時間最大雨量(N=1,2,3,4)を整理したものを図-3.1.10に示す。

なお、過去の時間雨量データ(福井県)は、福井県地方気象台のホームページ内の電子閲覧室で公開されていたアメダスデータ(S510908洪水以降)を対象とした。

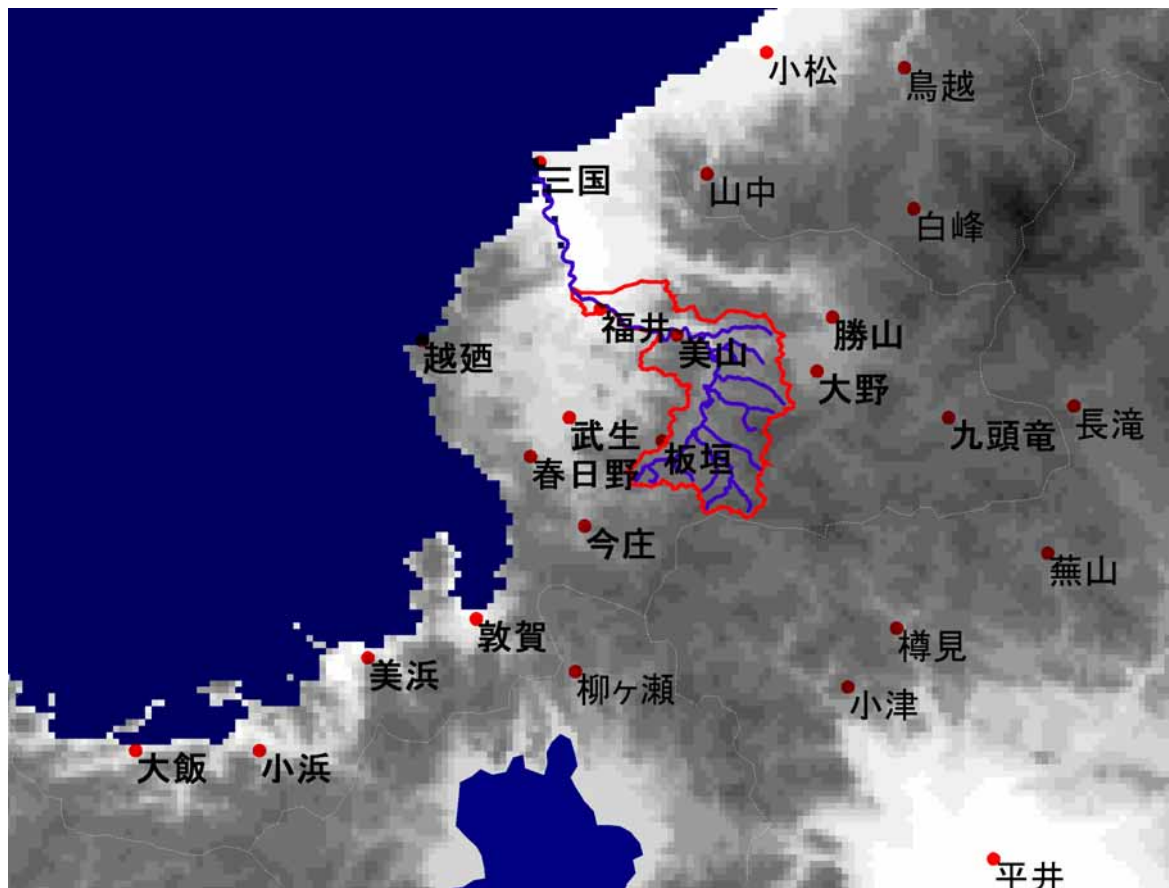


図-3.1.9 福井県および近辺のアメダス分布図

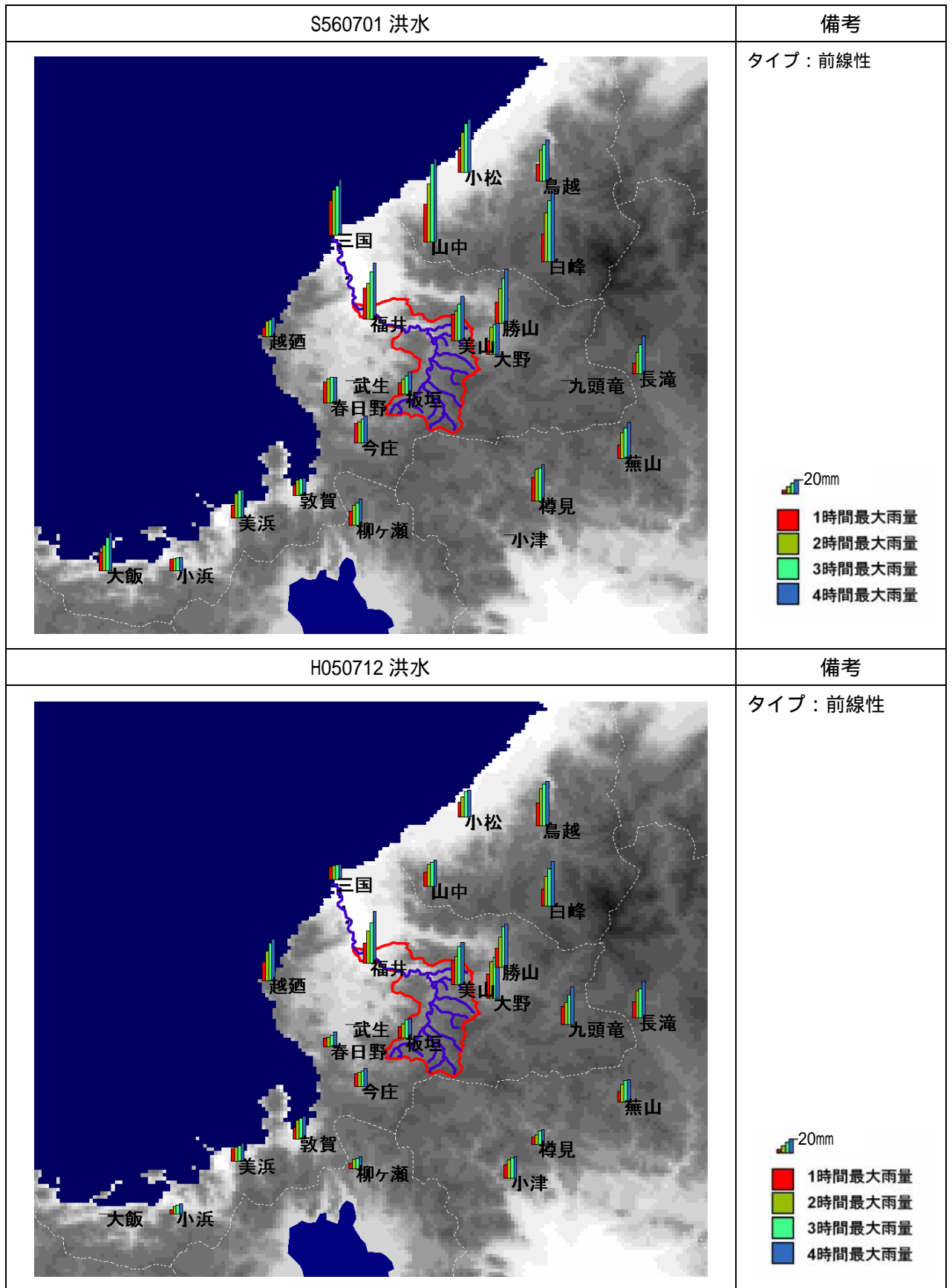


図-3.1.10(1) 短時間降雨の空間分布状況

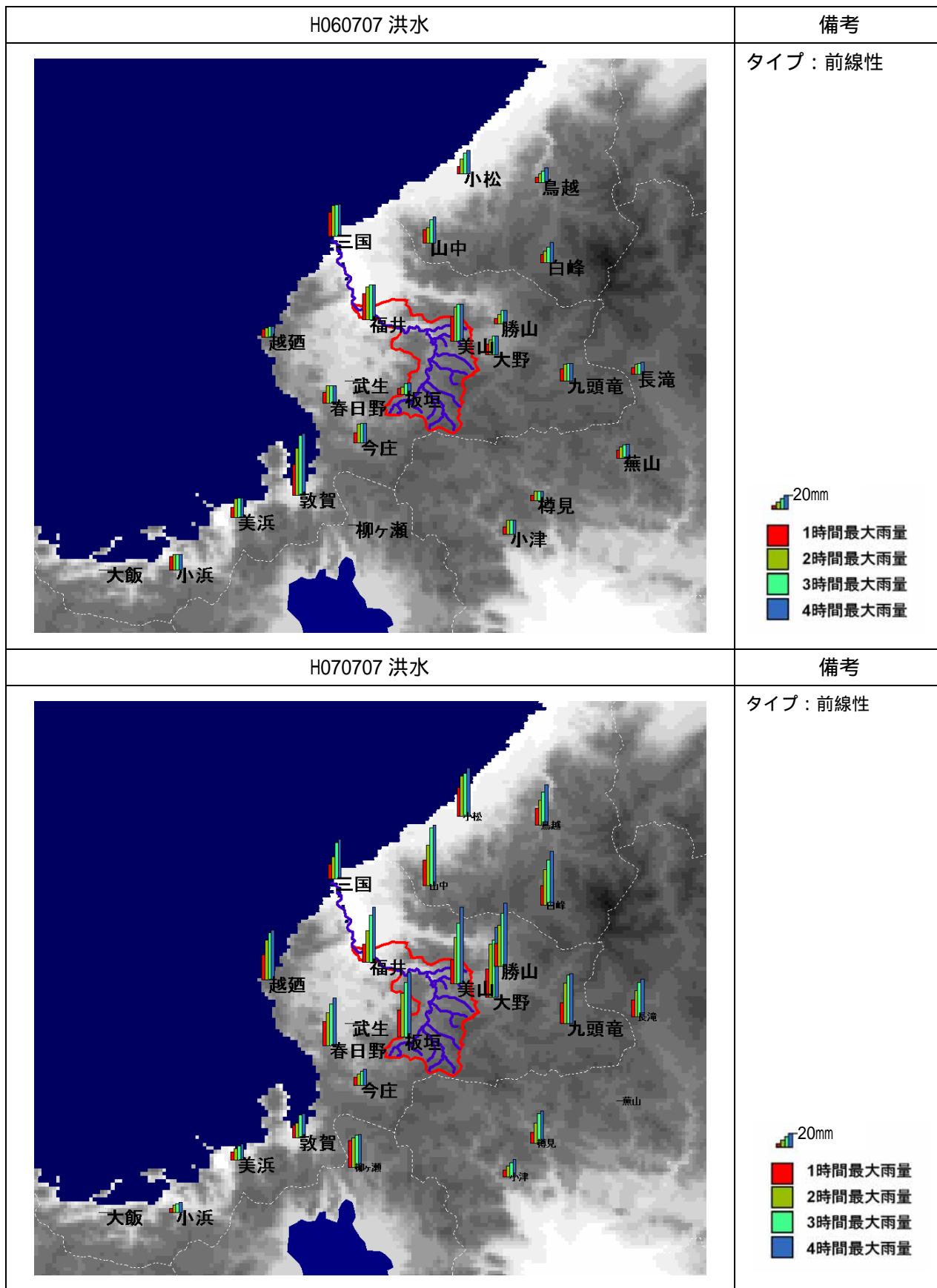


図-3.1.10(2) 短時間降雨の空間分布状況

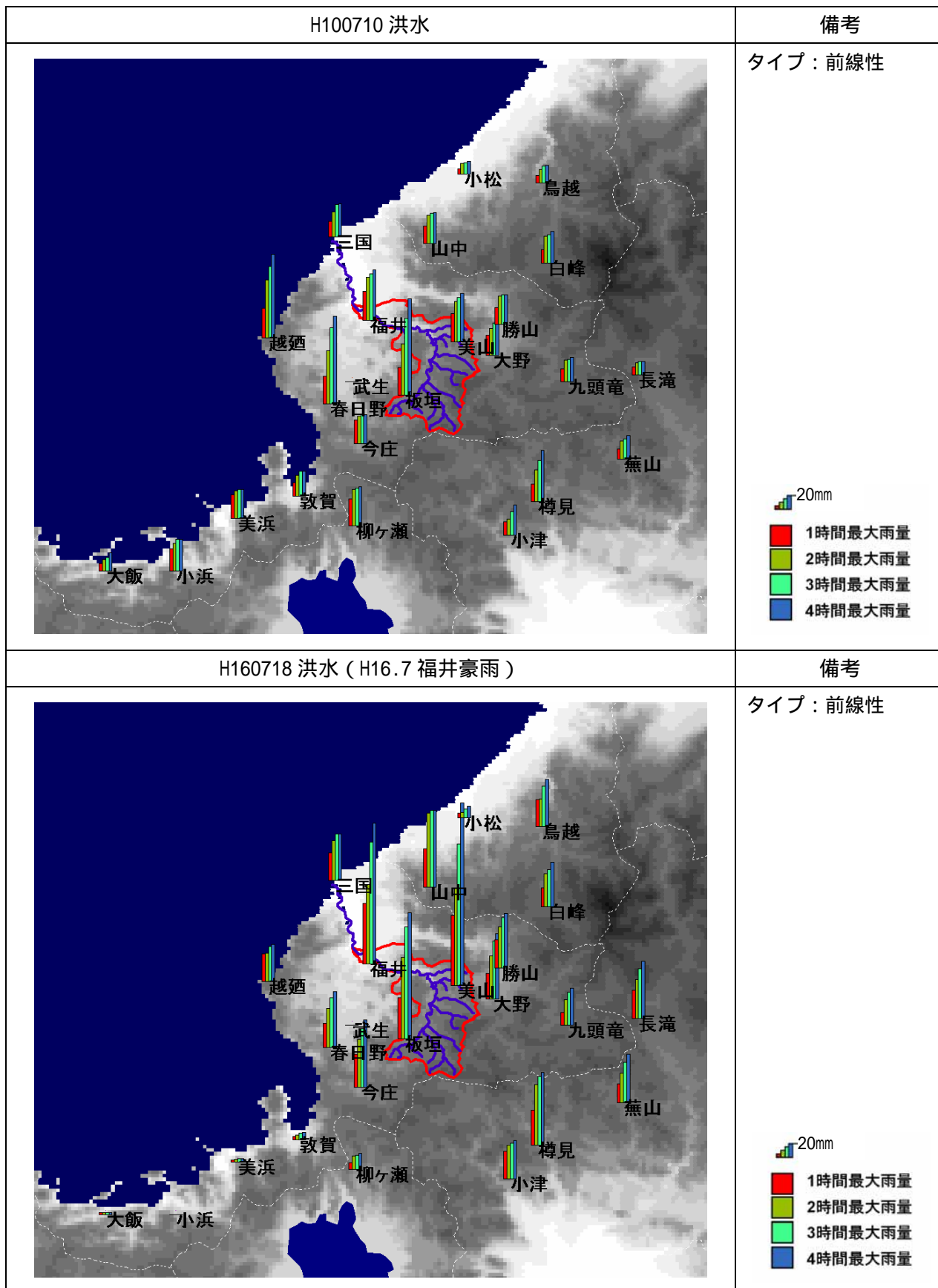


図-3.1.10(3) 短時間降雨の空間分布状況

次に、雨の降り方の種類として以下の2種類に分類する。(図-3.1.11 参照)

- ・ 1,2 時間最大雨量が総雨量に対し特に支配的であるもの(以下、台形型)
- ・ 4 時間最大雨量が総雨量に対し特に支配的であるもの(以下、直角三角形型)

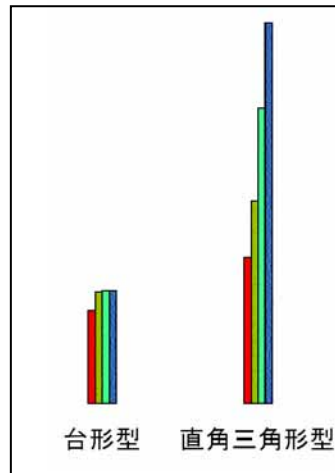


図-3.1.11 雨の降り方の種類

図-3.1.10の「N時間最大雨量(N=1,2,3,4)の空間分布図」から、H16.7福井豪雨の特徴として以下の点が挙げられる。

- ・ H16.7福井豪雨は4時間最大雨量が特に支配的であり、福井174.5mm、美山226mm、板垣156mm(4時間最大雨量)と、その降雨量も大きい。
- ・ 足羽川流域内でのみ生起している。

以上から、H16.7福井豪雨は未曾有の局地的短時間豪雨(空間スケール:足羽川流域、時間スケール:4時間)で4時間雨量が支配的であり、かつ、雨の降り方は、過去の主要洪水との比較において極めて特異であったといえる。

今後の長期的予測である気候変動に関する政府間パネル第三次評価報告書では、気象や気候の極端な現象について、20世紀後半に観測された変化と21世紀に予測される変化の信頼度を評価している。その評価によると、「強い降水現象が増加する」現象の21世紀に予測される変化に対しては、多くの地域で可能性がかなり高い(実現性:90~99%)ことや、平均降水量の増加する地域の多くでは、降水量の年々の変動も大きくなる可能性がかなり高いことも同時に指摘されている。

このように、全球的に多くの地域で強い降水現象が増加する可能性がかなり高く、さらには降水量の年々の変動も大きくなることが指摘されており、今後も十分な注意と対策が必要である。

3.1.3 福井豪雨と地形との関連性

図-3.1.12 は、上空の風を測定する最新の観測機器であるウインドプロファイラによる福井県の大気下層（福井上空 1,576m）の風向と、解析雨量を用い、風向別に 1 時間雨量 20mm 以上の降水（豪雨）があった場合の回数を 2.5km メッシュごとに集計したものである。

調査期間は、2001 年 6 月 12 日から 2004 年 11 月 15 日までであるが、福井豪雨との比較のため、福井豪雨のあった 2004 年 7 月 18 日については除いてある。

これによると、大気下層の風向が北西の場合は、福井市南東部から大野市にかけて北西から北東に大雨回数が多い場所がある。福井豪雨のときは、大気下層の風がほとんど北西であり、大雨が降った場所は図-3.1.12 で大雨回数が多い場所に似ている。

ただし、福井豪雨時に大気下層の風向が少し異なっていれば、違った場所で大雨となった可能性があり、風向が変化していれば、足羽川流域の豪雨が続かなかった可能性がある。

例えば、大気下層の風向が西の場合には、福井平野と山間地が接する場所に、ほぼ南北にのびる大雨回数の多い場所があるが、北西の場合ほど顕著な傾向は見られない。

今回の福井豪雨のレーダー観測から、形成された雲バンドの向きや、個々の雨雲の動きが西北西から東南東、もしくは、北西から南東であること、雲が強化されている場所が平地から山岳に移行する場所だけではないなど、地形との対応は良くない。

福井豪雨のような豪雨は、地形との関係でいつも特定の場所だけで降っているのではなく、条件がそろえば、福井県内のどこでも起こりうるといえる。

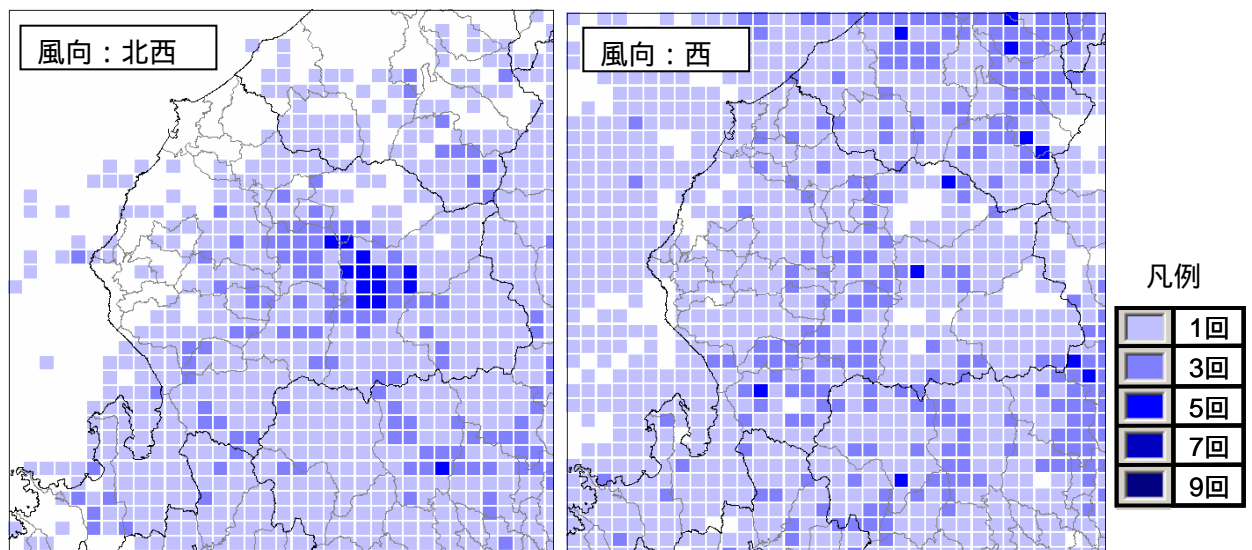


図-3.1.12 風向別に整理した 20mm/hr 以上の降雨発生頻度「气象台提供資料」

図-3.1.13 は、7月17日21時～18日21時までの1日間に、5分毎に得られたレーダー観測降雨分布情報を積算して作成した総降雨量の空間分布である。図にはおおよその地形図も示してある。紺色から水色、黄色、赤色になるにつれて総降雨量が大きいことを表している。ただし、実際の雨量を表示しないで空間的に相対的な強弱の分布を表現している。また、白丸は5分ごとに得られるレーダー画像を詳細に解析した結果得られた雨域の発生場所であり、発生時刻とともに示してある。

高空間分解能のレーダー観測情報のため、総降雨量の地域的な差異が如実に現れている。すなわち、日本海から福井県に向かって、西北西から東南東に向かって「にんじん状」の降雨パターンが見られる。これは、にんじん状パターンの西端で繰り返し雨域が発生し、移動しながら発達して福井県に集中的に豪雨をもたらしたことを示している。これは、一般的に集中豪雨時に典型的に見られるレーダーによる総降雨量分布のパターンと同様である。

以上より、図-3.1.13 から以下のことが言える。

- ・ 主に海上で多数の雨域が繰り返し発生している。これは、今回の集中豪雨全般の生起には必ずしも福井県の山岳地形が直接影響を与えているものではないことを示している。
- ・ しかし、一旦繰り返し発生した雨域は東南東方向に移動しながら上陸し、山間部に至って急激に発達、すなわち今回の例では足羽川流域で地形の影響もあって豪雨をもたらしたことを示している。

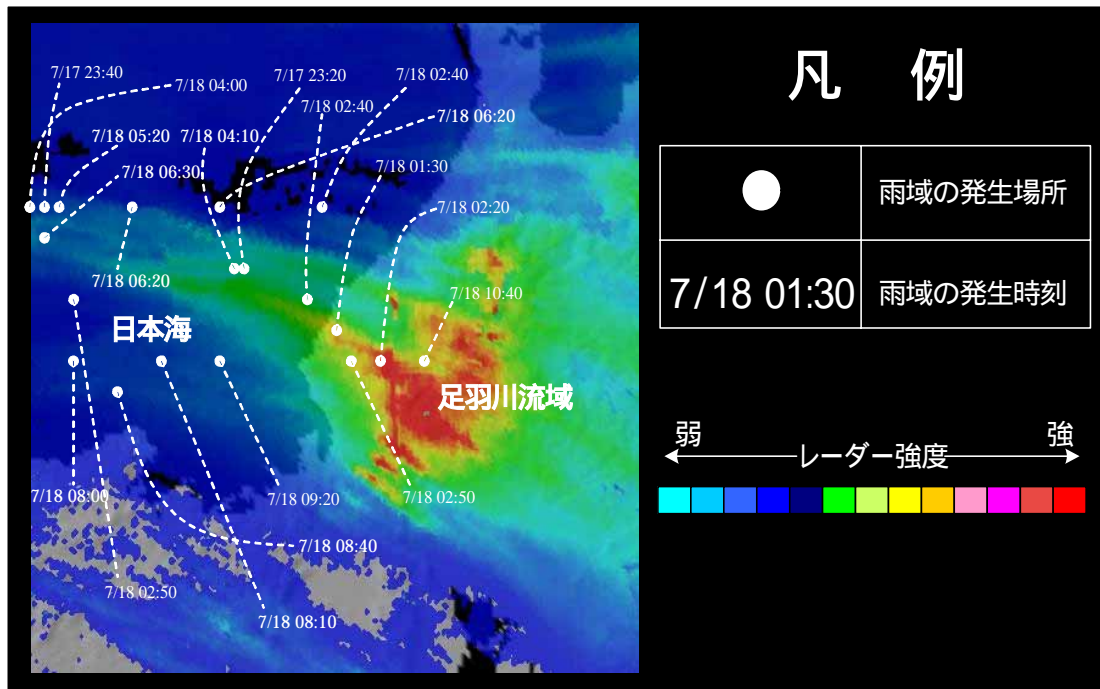


図-3.1.13 レーダー情報による17日21時から18日21時までの総降雨量分布と
雨域の発生位置と時刻
(資料作成：京都大学防災研究所中北研究室)

3.1.4 気象予報の実態

数値予報とは、大気の力学や熱力学などの物理法則に基づいて、風や気温などの時間変化を数値計算して、将来の大気の状態を予測するものである。数値予報を行う手順は、水平方向や鉛直方向に規則正しく並んだ格子を大気中に仮想的に配置し、その一つ一つの格子点での風や気温などの値を、世界中から集められた観測データを処理して求め、これをもとに大気状態の推移をスーパーコンピュータで予測計算する。

福井地方気象台は、福井豪雨の前前日の7月16日17時に、数値予報では北陸3県のどこかに大雨、強風などの局地的なシビア現象が起きても不思議ではないと判断し、「大雨に関する福井県気象情報」を公表し、18日まで大雨に対する注意を呼びかけていた。

また、17日09時初期値の数値予報資料は18日09時地上で福井県付近に梅雨前線を予想していた(図-3.1.14)。しかしながら、顕著現象が重大な気象災害に至るのか、広域に広がるか、それとも局地的な現象で終わるかは、この時点ではわからなかったのが実情であった。

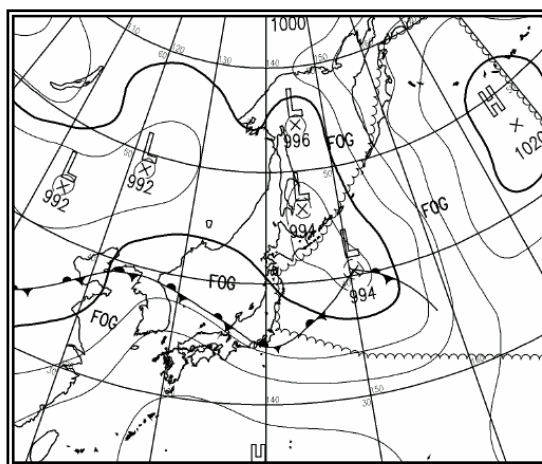


図-3.1.14 地上予想18日09時 17日09時の初期値「気象台提供資料」

図-3.1.15(下)は、気象研究所で行った福井豪雨に対する各種の数値予報モデルでの予想結果である。MSM(10km)というのが、当時計算された数値予報モデル^{*}で、NHM(5km)、NHM(1.5km)というのは、大雨特に短時間に強い雨を降らせる積乱雲の発達過程を表現できるモデルであり、MSMと比較して大雨等の予測精度が良いモデルである。括弧内の数値は格子間隔を表しており、値が小さいほど精度良く予想できる。どのモデルでも、6~9時間後の豪雨はなんとか表現しても、美山を中心に豪雨となった9~12時間後の豪雨はほとんど表現できていない。また、同時に行った、新潟・福島豪雨に対する予想結果(図-3.1.15(上))では、佐渡島北方に実況にはない降水域を予想しているものの、これはすぐに弱くなり、雨量としては弱めであるが、栃尾付近の豪雨を表現している。このことは、格子間隔が小さなモデルを用いれば、新潟・福島豪雨のように福井豪雨より大きなスケールの集中豪雨は予想できることを示している。また、新潟・福島豪雨よりスケールの小さな福井豪雨では、単に格子間隔が小さなモデルを用いただけでは予想できないものの、別の調査から、細かい立体的な観測値を初期値として取り入れれば改善する可能性があることが示されている。

^{*}) MSM(Mesoscale Model) : メソ数値予報モデル(静力学近似)

NHM(Non-Hydrostatic Numerical Model) : 個々の積乱雲まで表現できる非静力学数値モデル
なお括弧内の数字は格子間隔を表しており、値が小さいほど精度良く予想できる。

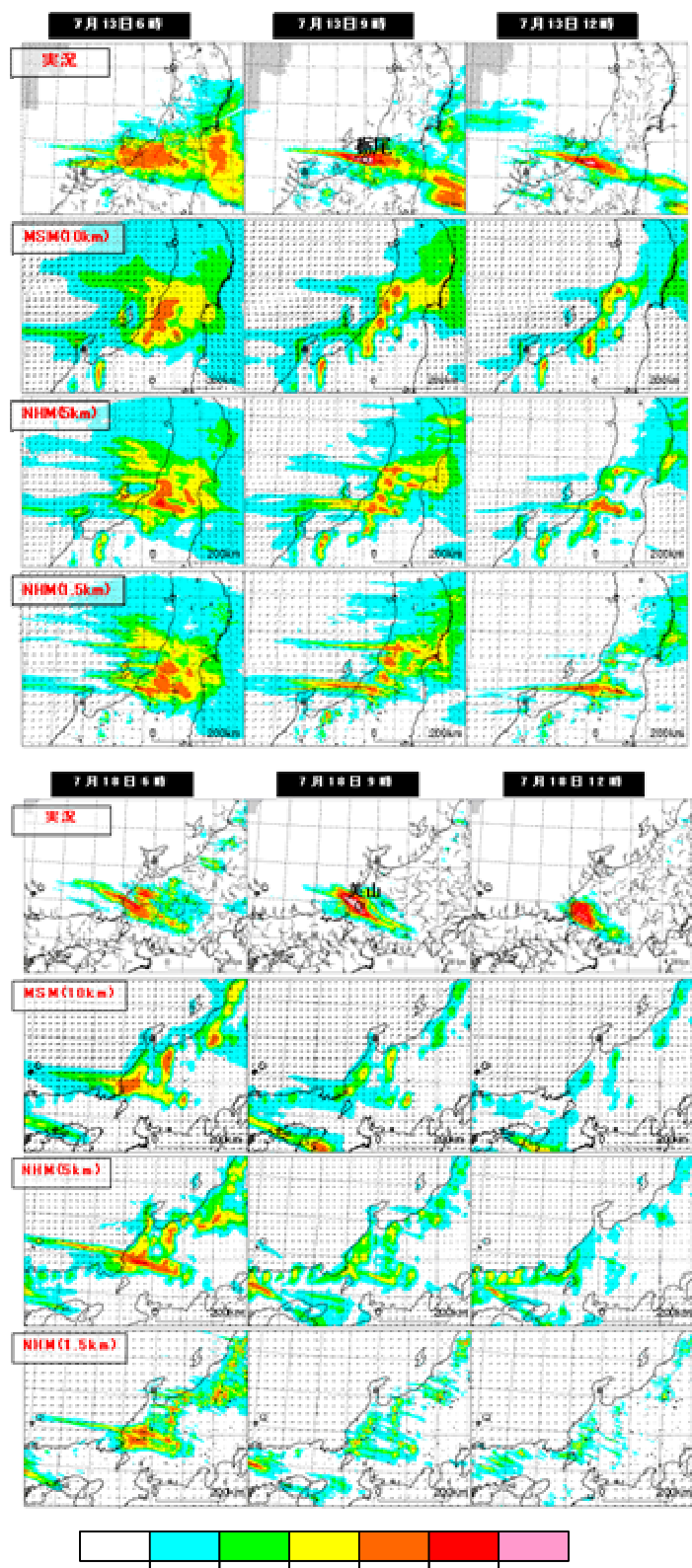


図-3.1.15 数値モデルによる予想結果（上：新潟・福島豪雨、下：福井豪雨）

「気象台提供資料」

3.2 洪水特性

3.2.1 河道の水理特性

(1) 流量

足羽川では福井豪雨により、福井市街地区間で洪水氾濫により家屋の浸水や破堤等が生じた。洪水流の堤内への流出は、目撃証言などから堤防越水や破堤が明らかにされている。

今回の検討区間の上流に位置する足羽川基準地点である天神橋の雨量・流量の状況を図-3.2.1 に示す。図-3.2.2(1)、(2)に示すように過去に発生した洪水が流量 1,000m³/s、水位 T.P.23.0m 前後であるのに比べ、推定ピーク流量^{*}約 2,400m³/s、水位 T.P.24.0m 超と非常に大きかったことがわかる。

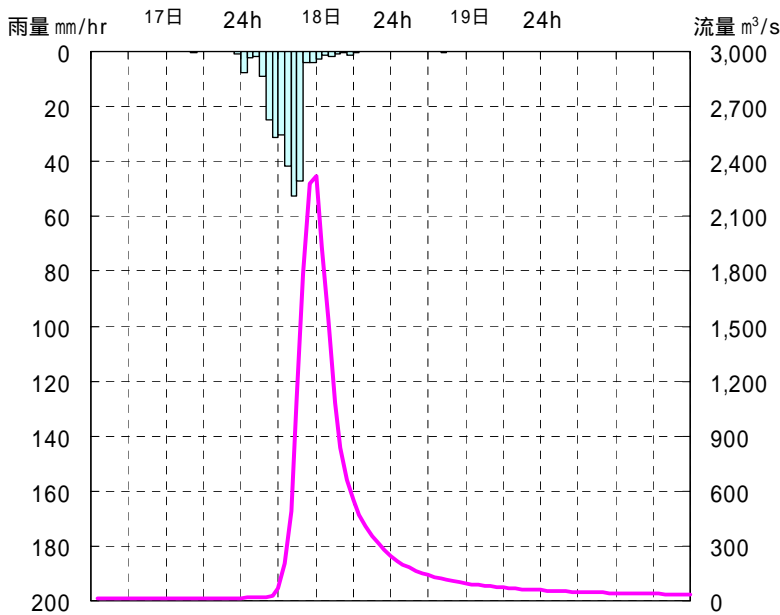


図-3.2.1 天神橋地点の流量

出典：第 23 回九頭竜川流域委員会資料（平成 16 年 8 月 31 日）

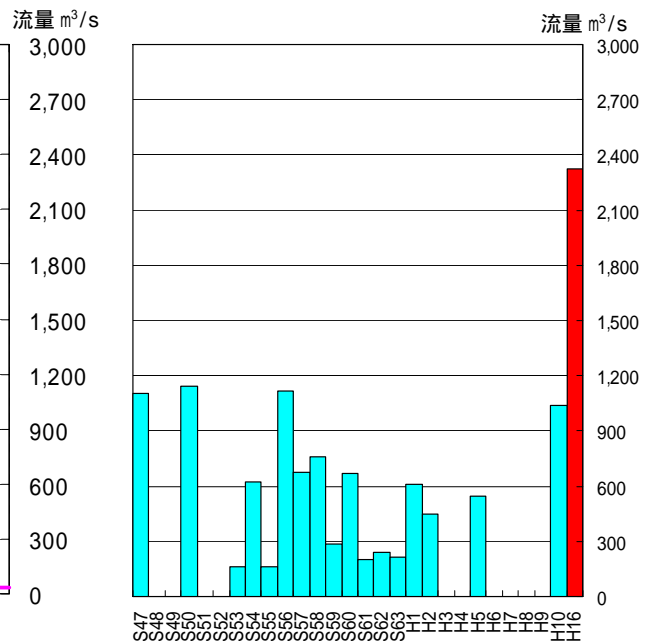


図-3.2.2(1) 天神橋地点の過去最大流量

出典：第 5 回九頭竜川流域委員会資料（平成 14 年 9 月 5 日）
に H16.7 福井豪雨を加筆

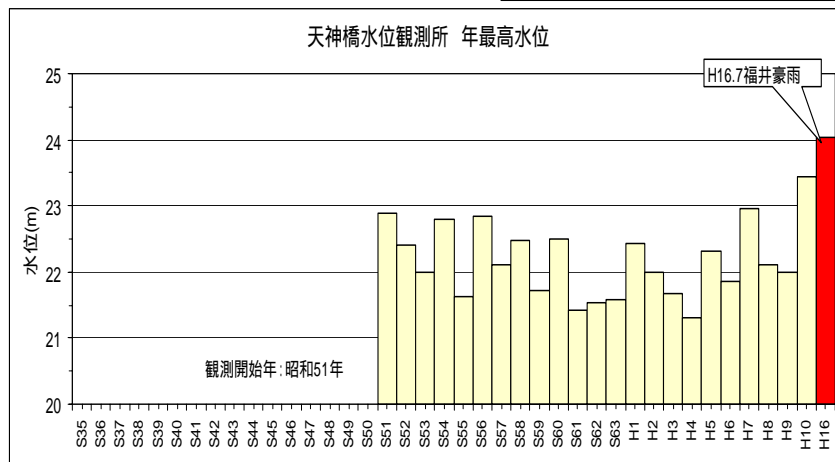


図-3.2.2(2) 過去の年最大水位（天神橋）

出典：第 23 回九頭竜川流域委員会資料（平成 16 年 8 月 31 日）

*) 流量観測結果と流出計算結果等を総合的に判断して推定

(2) 検討フロー

この豪雨で生じた河道内の水理現象をできるだけ忠実に再現するため、図-3.2.3 の検討フローに示すように、まず一次元非定常解析により、堤防からの破堤を含む越流現象の再現を行い、それをもとに河道の流量変化を把握する。その後、一次元定常解析により河道の痕跡水位の再現（橋梁・ポンプ排水量等の影響）を行った。

さらに最高水位から破堤、破堤後の河道の平面流況（水位・流向・流速）の時間変化は、平面2次元非定常解析により、一次元非定常解析結果の各地点での越流量、破堤後の越流量を境界条件として与え、河道内の水面分布の変化、流速分布や流向変化の再現を行った。

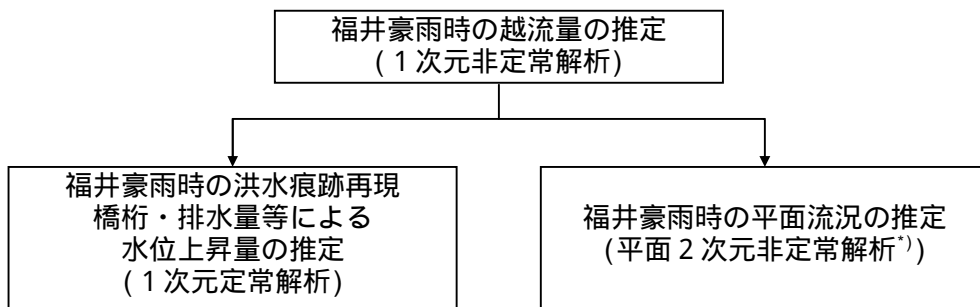


図-3.2.3 福井豪雨時の河道水理特性検討フロー

3.2.2 越流量の推定

(1) 概要

足羽川では泉橋～春日の左岸堤内側へ越水が発生し、春日1丁目付近では破堤により、外水が堤内側に流入した。この状況を、足羽川部分と左岸側の越水や破堤を表現する部分とから構成される1次元非定常解析モデルにより再現し、越流量の推定を行った。

(2) 越流量の推定

越水区間の越流幅は3.8km～4.8km区間（実延長約870m）の堤防延長、破堤後の越流幅は54mとした。越流量の算出は本間公式の補正式**）を用いた。

図-3.2.1の越流のピーク前後を対象として7月18日10時～19時における1次元非定常計算の結果、越流量の時間変化は図-3.2.4のようになった。ただし、災害復旧活動の結果17時以降の越流が無くなったことを考慮している。この結果から、以下が推定される。

- ・ 破堤前の越流量は約32万 m^3 、破堤後の越流量は約212万 m^3 となり、総越流量は約244万 m^3 と考えられる。
- ・ 図-3.2.5に示す実績最大浸水区域図による総湛水量は約156万 m^3 と推定され、破堤後の越流量との差約56万 m^3 は、河川からの総越流量のうち一部は湛水せずに下水道を通じてポンプ排水されたものが約22万 m^3 （破堤時間内3時間15分に、狐川排水機場 $5 m^3/s \times 3台 = 15 m^3/s$ で約18万 m^3 、足羽ポンプ場 $1.4 m^3/s \times 2台 = 2.8 m^3/s$ で約3万 m^3 、国交省排水ポンプ車 $1 m^3/s$ で約1万 m^3 ）、残りの約34万 m^3 は、計算誤差、総湛水量の測量誤差、その他湛水域の水路内での貯留、その他系外への排水量と考えられる。

*） 平面2次元非定常解析：時刻とともに変化する河川の洪水の平面的な流れを2次的に解析する手法

**） 出典：末次忠司、洪水氾濫の解析、水理公式集（平成11年版）、土木学会、平成11年11月、pp.132-133

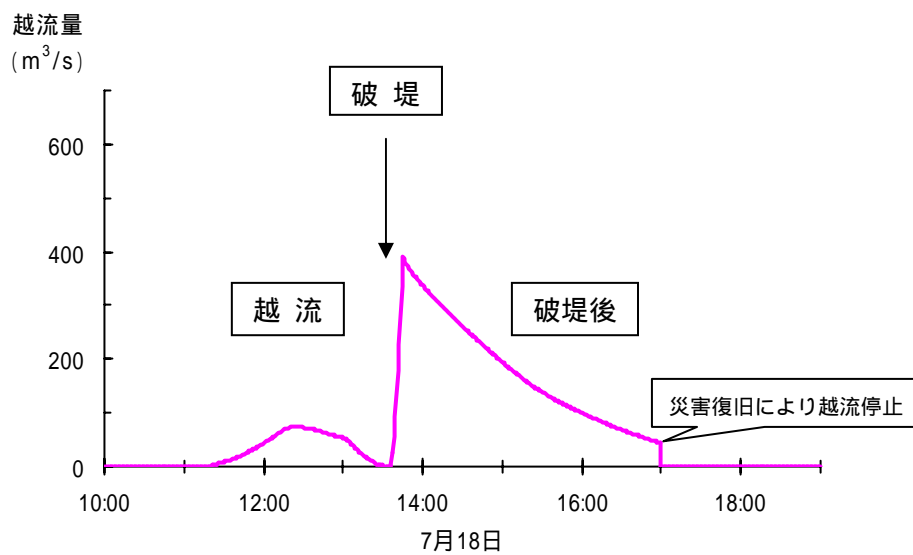


図-3.2.4 越流量の時間変化(総越流量)

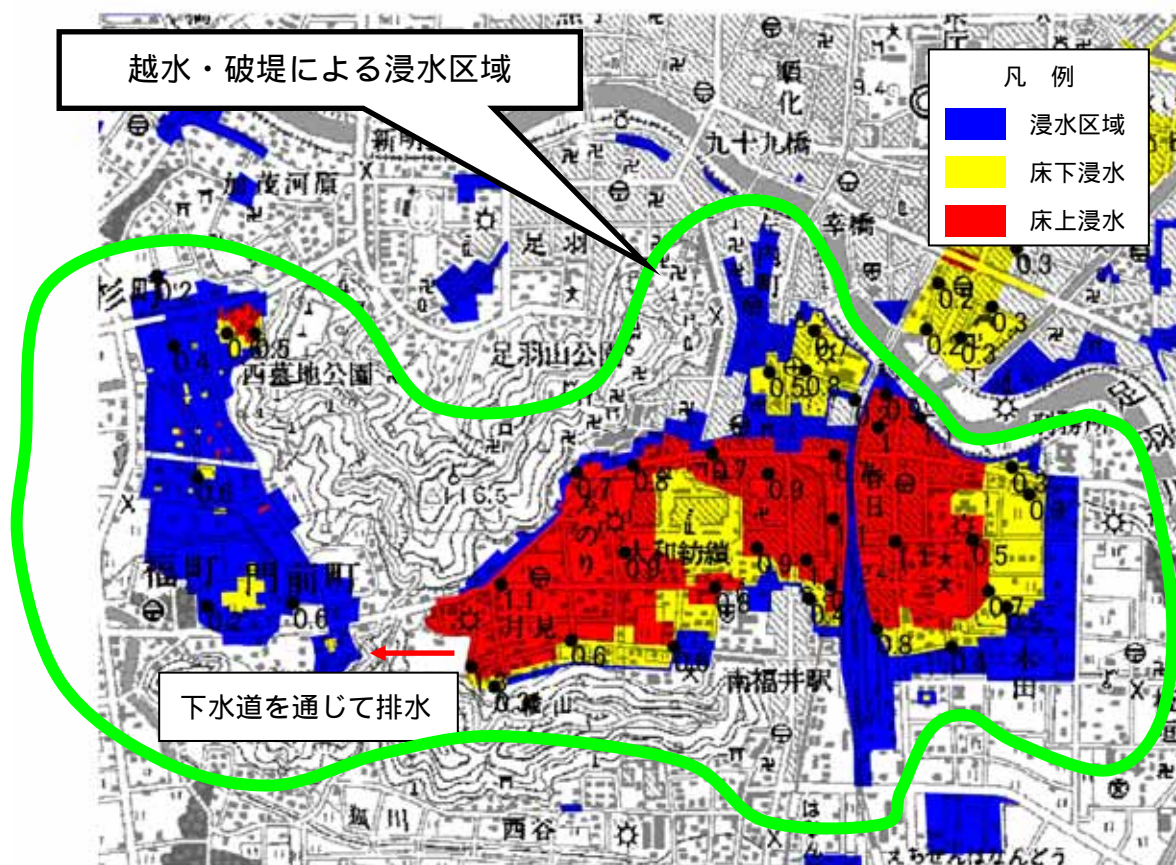


図-3.2.5 最大浸水区域図

この地図は、測量法第29条に基づき、国土地理院長の承認「平16北復、第290号」を得て作成したものを転載しました。

3.2.3 河川水位の推定

(1) 概要

1次元定常解析により、今回の洪水後に測量された洪水痕跡水位から最高水位を再現することを目的に水位計算を行った。計算方法は、3.2.2の越流計算結果をもとに、流量ピーク時の堤防からの越流量を考慮し、洪水痕跡を再現した。また、水位上昇が発生した箇所や要因なども考慮するために、水位上昇の要因となる河道内工作物および流入ポンプ流量等の影響についても推定した。

(2) 福井豪雨の水位の再現計算

福井豪雨による痕跡水位は、河川の左右岸で測量されているが、同一測線において見た場合、わん曲の影響などもあり、当然のことながら左右岸で痕跡の値に差が見られる。このため、再現目標水位は、左右岸の洪水痕跡水位をもとに推定を行なった。

再現結果を図-3.2.6に示す。

- ・ 概ね左右岸平均痕跡水位を再現できているが、痕跡水位と再現水位の差が見られる地点のうち、木田橋～4.4km 区間については、低水路粗度や橋脚及び橋桁による水位上昇を考慮したにも係わらず、再現水位は痕跡水位を4～5cm 下回った。
- ・ 水位差の発生要因の1つとして、写真-2のように橋梁に多くの流木やごみが付着したことによる水位上昇が考えられる。
- ・ 流木などによる水位上昇は、他の要因による水位上昇との区別が困難であり、さらに付着状況などの再現も難しい。水害直後の橋梁部分での流木・ゴミ等の付着状況から、これらによる流れの阻害を仮に橋脚(ピア)幅の増加と見なして計算を行なうと、(4)流木・ゴミ等の影響で後述するように、その水位上昇は微少との結果が得られている。したがって、今回の検討では、この流木・ゴミ等による水位上昇量を見込んでいない。



出典：7・18 福井豪雨報道記録集,福井新聞
写真-1 福井豪雨時の木田橋付近の状況



写真-2 福井豪雨後の JR 橋梁のゴミ付着状況

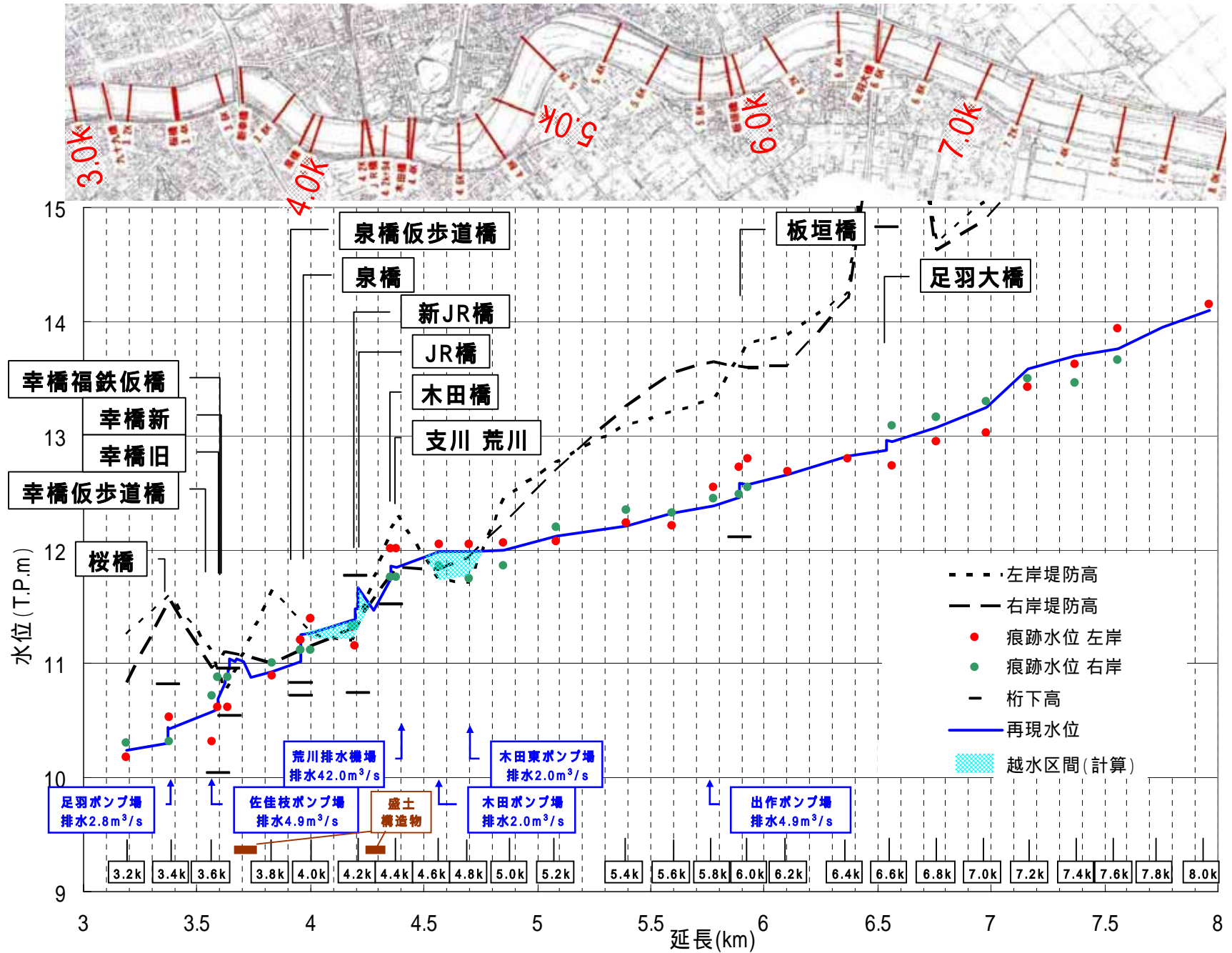


図-3.2.6 福井豪雨の水位再現結果

(3) 主要な構造物等による水位への影響

次に挙げる3項目による水位への影響量を今回の福井豪雨水位再現計算結果との比較により推定した。

橋桁による影響

足羽川に設置されている橋梁は、河床掘削などのために工事中であったが、現在の橋桁に洪水が当たった影響は、破堤地点付近で約14cmであったと推定される。

排水による影響

荒川排水機場や下水排水機場は、荒川等の内水地域の浸水被害軽減のため運転されていたが、この排出量の影響は、破堤地点付近で約9cmであったと推定される。

盛土構造物による影響

福井駅周辺の整備工事に伴う交通渋滞解消のために、一時的に足羽川右岸高水敷に許可工作物として迂回道路が仮設置された。この盛土構造物の影響量は、破堤地点付近で約4cmであったと推定される。

福井豪雨時と同じ流量で、架替を計画している4橋梁整備の進捗による破堤地点付近4.6kmの水位を推定した。水位の推定は()幸橋とJR橋の着工前、()福井豪雨発生時(幸橋・JR橋架替中)、()幸橋・JR橋・泉橋・木田橋架替完了時の3ケースにおいて行った。

表-3.2.1 に示すように、幸橋とJR橋の着工前においても水位は堤防高を上回ると推定される。また、施工中の幸橋とJR橋の2橋の架け替えが完了し、泉橋及び木田橋の架け替えが完了した場合、福井豪雨発生時点から約52cmの水位の低下が推定される。

表-3.2.1 橋梁架替による破堤地点付近4.6kmの水位について

橋梁架替状況	破堤地点4.6km付近の水位
() 幸橋・JR 橋梁架替着工前	T.P.+11.84m
() 福井豪雨発生時 (幸橋・JR 橋架替中)	T.P.+11.98m
() 幸橋・JR 橋・泉橋・木田橋 架替完了時	T.P.+11.46m

[破堤地点付近4.6km 左岸堤防高 T.P.+11.73m]

(4) 流木・ゴミ等の影響

流木・ゴミ等の影響を把握する有効な解析手法は現時点では提案されていないのが実情である。水理模型実験による再現が考えられるが、上流部からの流木・ゴミ等の量を的確に時系列的に把握できてはじめて推定可能であるため、有効な手段ではない。

今回、水害直後の橋梁部分での流木・ゴミ等の付着状況から、これらによる流れの阻害を橋脚(ピア)幅の増加と見なし試算を行った結果、水位上昇への影響は微少であった。

3.2.4 平面流況の推定

(1) 概要

福井豪雨における足羽川 4.6km 付近の破堤箇所は河道のわん曲が連続する区間であり、洪水時には平面的に複雑な流況となるものと考えられる。

そこで、福井豪雨時の足羽川における平面的な水理現象を把握するとともに、今後の河道計画に活かすことを目的として、平面 2 次元計算により洪水時の平面流況解析を行った。

(2) 洪水時平面流況の再現計算結果

図-3.2.7 にピーク流量時の水位分布と流速分布・流向図を示す。また、図-3.2.8 にピーク流量時と破堤直前および破堤直後の流況比較図を示す。なお、ここで示すピーク時の水理量とは、破堤地点付近(4.6km)で計算水位が最も高くなる 13 時頃の水理量を示す。

この結果、以下の現象が推定される。

図-3.2.8 上段左図のピーク時の水位分布図より、

- ・ 木田橋付近で急激に水位が堰上げられており、橋梁箇所の上下流で 0.3m 程度の水位上昇量と推定される。
- ・ 破堤地点付近では破堤した左岸側の水位が右岸側より 0.3m 程度高くなっている。

図-3.2.8 上段右図のピーク時の流速分布・流向図より、

- ・ 5.0km 地点では、主流部が右岸側に寄っており、さらにわん曲の影響により流速が大きく、3.0m/s 程度の流速が生じている。
- ・ 破堤地点である 4.6km 左岸直上流地点は、洪水ピーク時には水衝部にはなっておらず、逆に水流が停滞している。これは、4.4km~5.4km 付近の堤防及び低水路の法線形の影響により、右岸側に主流が到達しているためである。
- ・ このため、4.8km 付近右岸では、高水敷でも 3.0m/s 程度の流速が生じている。

図-3.2.8 下段の破堤直後の流速分布・流向図より、

- ・ 4.6km 左岸直上流地点が破堤することにより左岸堤内地方向への流れが生じるため、河道内の全体の流況もその影響により左岸側へ流向が変化している。

さらに、

図-3.2.8 のピーク水位時と破堤直前および破堤直後の流況比較より、

- ・ 一連のわん曲断面で最もわん曲が大きい区間は 5.0~5.4km 区間であるが、流速は右岸側で 1.5~2.5m/s 程度と小さく、水衝部となっていない。
- ・ 4.8~5.0km 付近の右岸側高水敷上の流速が大きい、流量規模が小さい場合でもその傾向はほとんど変わらない。

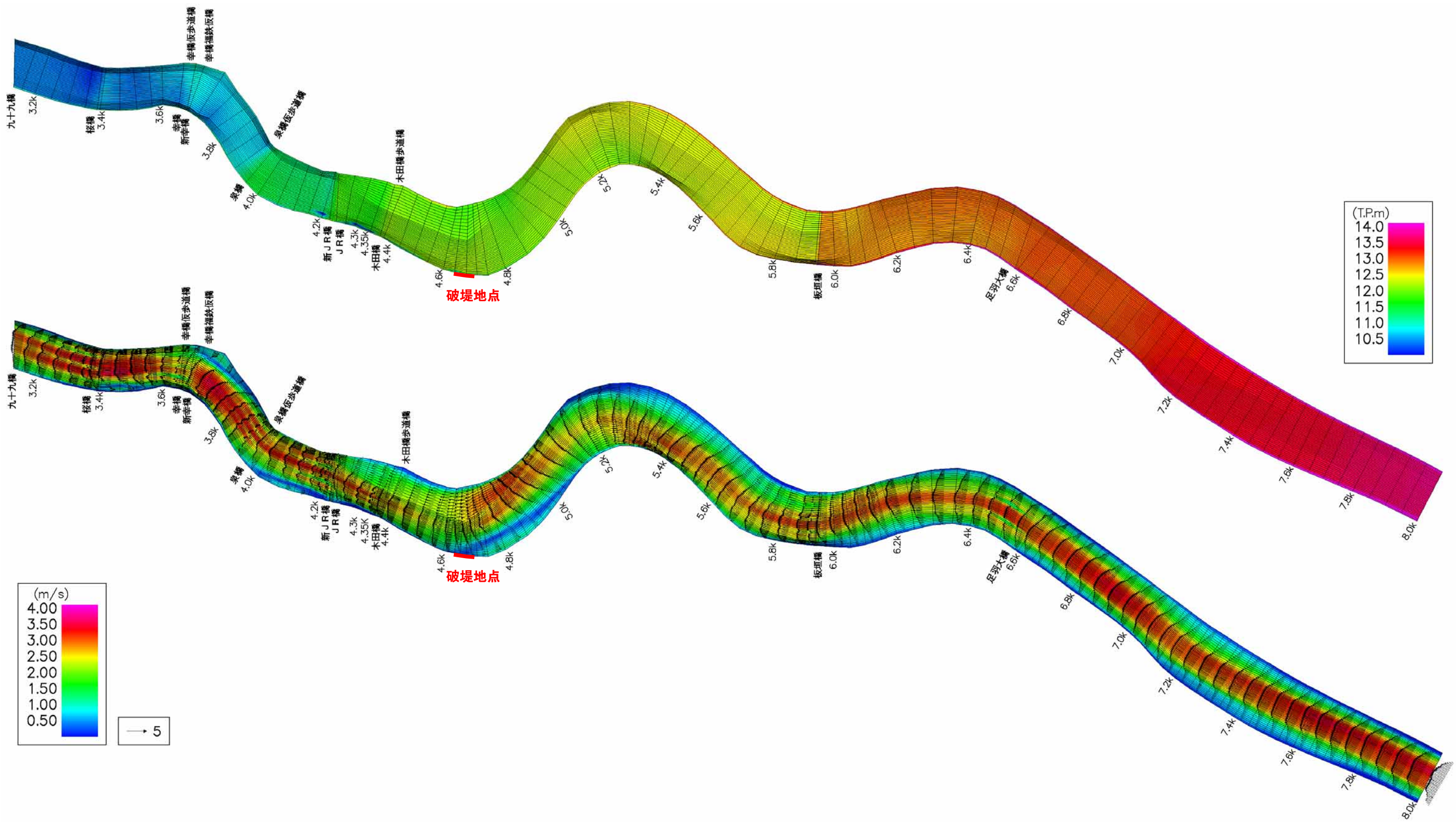


図-3.2.7 水位分布および流速分布・流向図【4.6km地点水位ピーク時】

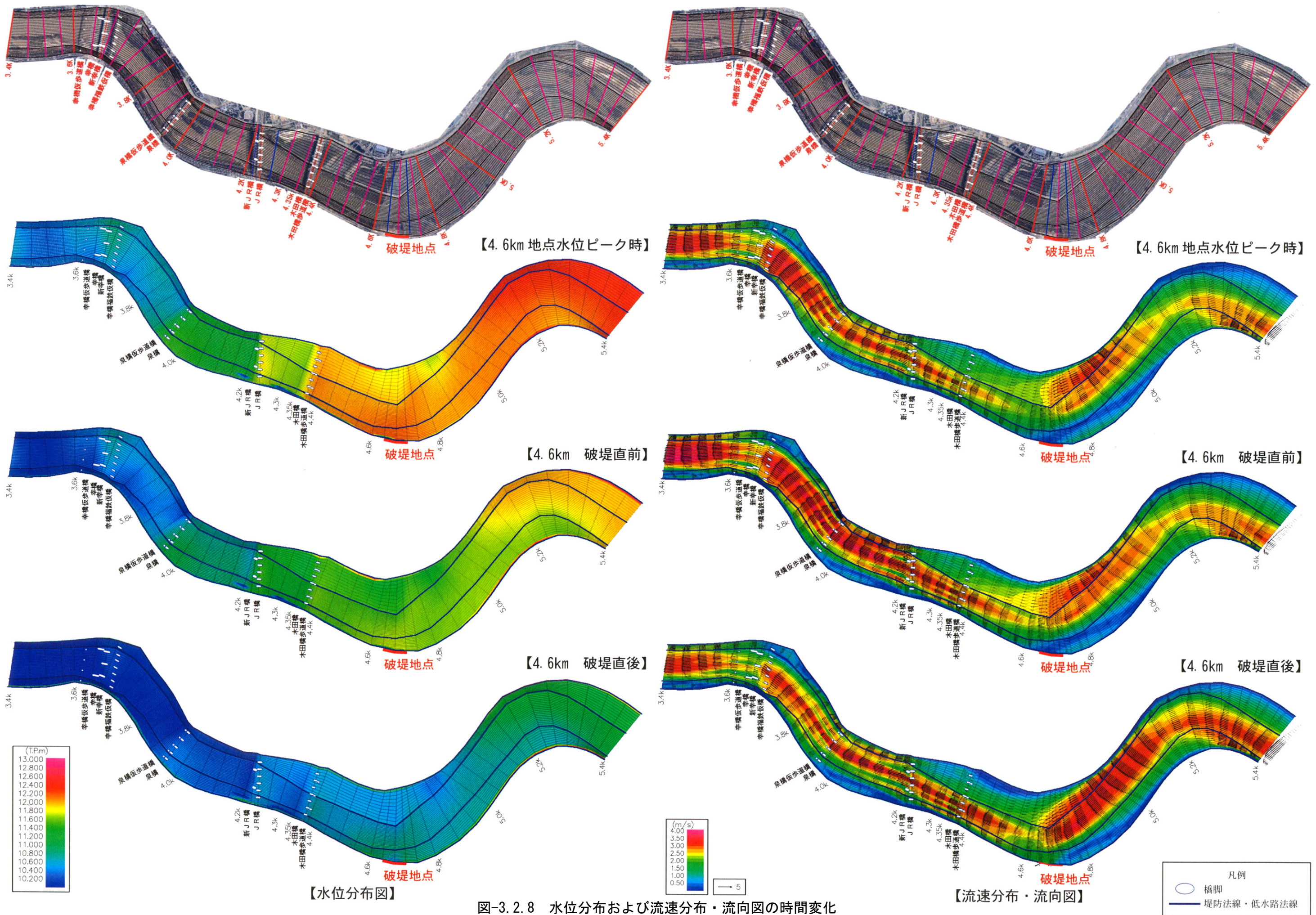


図-3.2.8 水位分布および流速分布・流向図の時間変化

3.3 破堤要因

平成16年7月福井豪雨において発生した木田地区春日1丁目地先における破堤に着目し、洪水後の現地調査（情報に基づく破堤状況の整理）と各種解析を実施した。

破堤箇所は、足羽川4.6kmと4.8kmの間であったことと、堤防そのものが流出したことで、破堤直前の堤防高さ、堤体土質などの特性を明確にすることはできない。したがって、調査検討対象区間の設定にあたっては破堤部を含む左岸越水区間（4.0km付近～5.0km付近）を対象とした。

破堤要因に対する検討は、この越水区間における地盤調査結果を用い、河川堤防の破壊要因として考えられる越水による侵食（流水、雨水などの作用で地盤の表面が削り取られること）・洗掘（土砂が水流により洗い流され掘られること）、降雨・洪水（河道内水位）・越水による堤体内浸透に着目し、調査・検討を実施した。図-3.3.1に破堤要因に対する検討フロー図を示す。

なお、検討フロー図に示していない河道内流水による侵食は、本豪雨において被災が生じていないことと、水理検討（平面二次元非定常解析）における川表近傍の流速は2.0m/sec以下となる結果を得ていることから、この侵食破壊の可能性は低いと判断した。

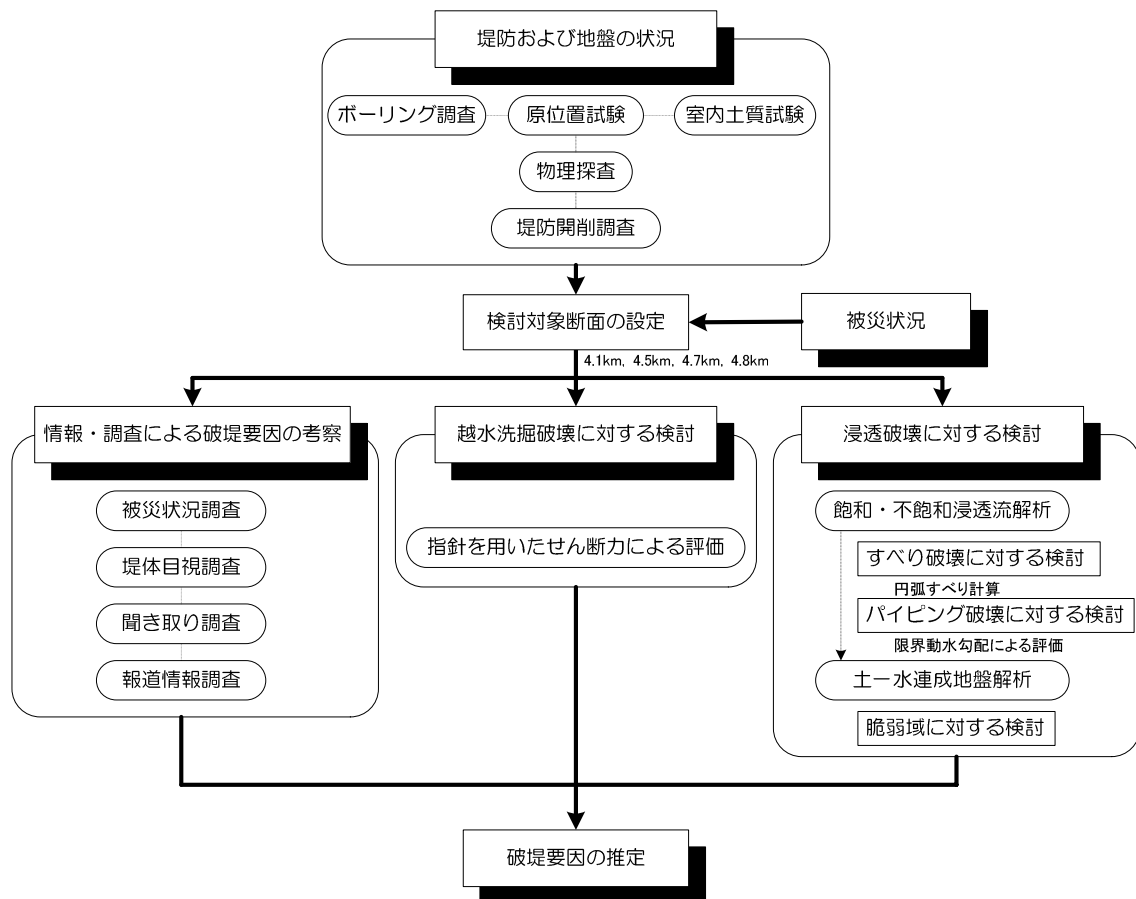


図-3.3.1 破堤要因に対する検討フロー図

3.3.1 堤防および地盤の状況

堤防構造、豪雨後の堤防状況を現地調査した結果を図-3.3.2に整理した。この図中の被度は、「平成9年版河川水辺の国勢調査マニュアル河川版」(財)リバーフロント整備センター発行 pp.199の構成種および被度・群度の調査方法に基づいている。また、図中に示したゾーニングは地盤調査結果から堤体地盤特性に着目して大別したものである。ボーリング調査は、堤外、堤体、堤内で実施した。

なお、地盤調査結果の概要として図-3.3.4に想定地層縦断図、浸透破壊に対する検討を実施した想定地層横断図、本復旧前堤防開削調査図を示す。

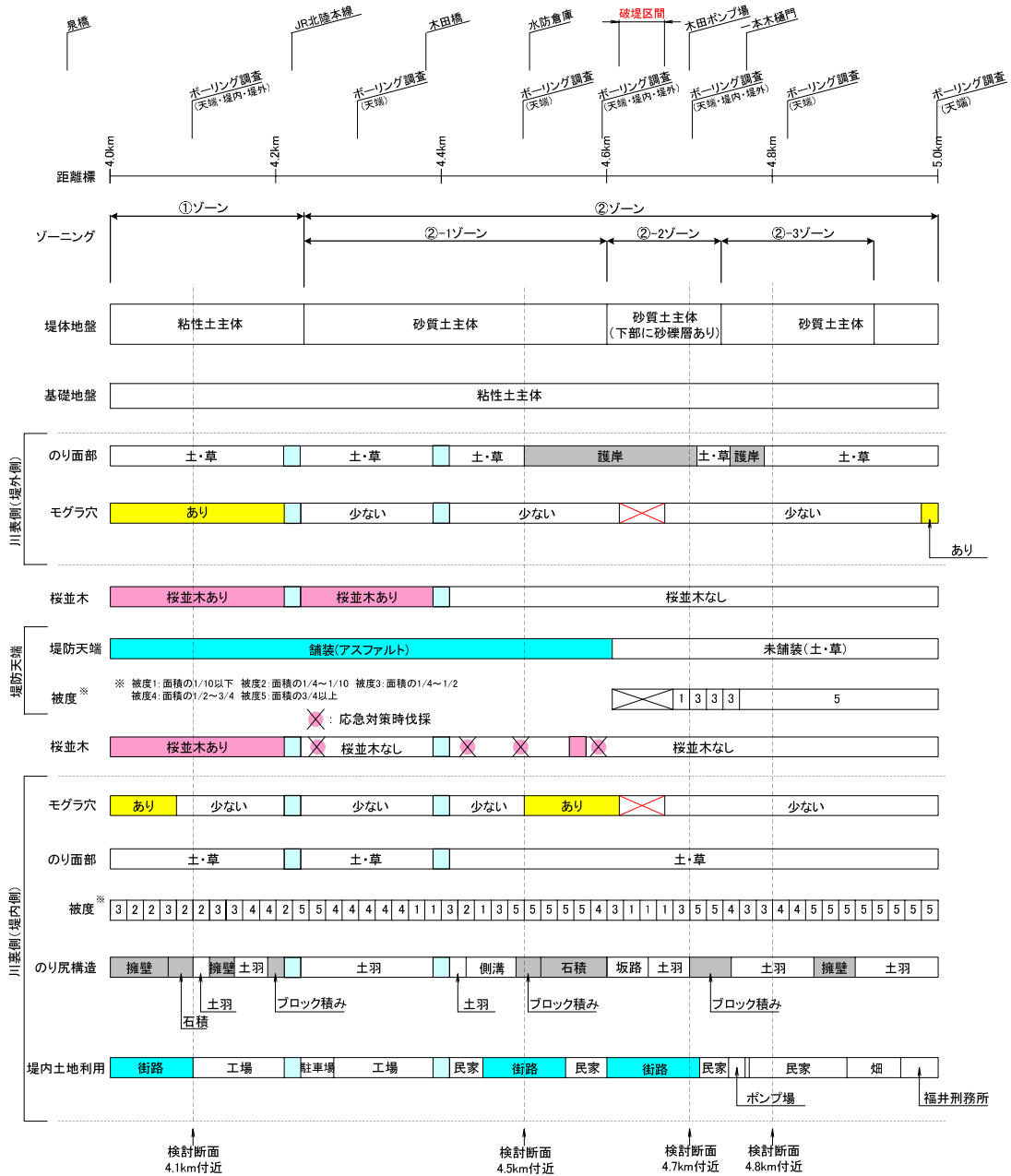


図-3.3.2 堤防特性 (足羽川左岸：4.0km 付近～5.0km 付近)

この調査結果の特徴を次に示す。

堤防構造

- ・ 堤防天端は、破堤箇所の下流 4.6km 付近までアスファルト舗装が施されているが、この上流は未舗装で土・草となっている。
- ・ 川表側護岸は、4.6km の上下流付近でコンクリート張り法枠工がある。
- ・ 川裏側のり尻は、擁壁、石積み、土羽などがあり各所で異なる。
- ・ 破堤箇所付近の堤内地側には坂路が設置されている。

堤防状況

- ・ 豪雨後の目視調査で川表裏ともにのり面にモグラ穴の点在を確認した。
- ・ 4.4km 付近から下流には堤防天端付近に桜の木がある。なお、図中に本豪雨における応急対策のため伐採した桜の木も記載している。
- ・ 破堤箇所付近での河川距離標における豪雨後に調査した堤防高を図-3.3.3 に示す。破堤箇所における左右岸の差は天端舗装の有無、下流部との差は橋梁構造物によるもので若干高低差はあるものの計画堤防高を満足している。

堤防管理状況

- ・ 各河川において、流下能力が不足している区間や堤防断面が不足している区間、過去に漏水している箇所などを重要水防区域として設定し、必要に応じ見直しを行っている。
- ・ 重要水防区域については、月 1 回程度巡視を行っており、その他の区域についても、年 2 回程度巡視を実施している。

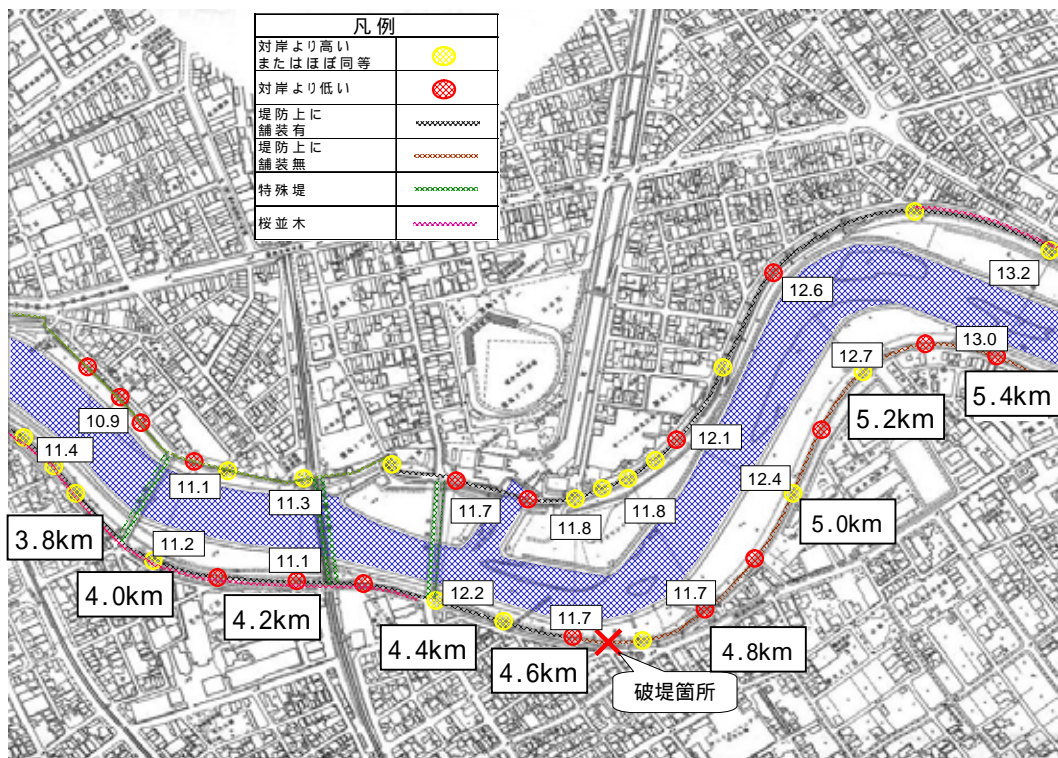


図-3.3.3 破堤箇所付近の堤防高さ(福井豪雨後調査)

河川堤防の浸透に対する安全性の概略評価で指標となる要注意地形は、「旧河道」、「落堀・旧落堀」である。越水区間（足羽川左岸 4.0km 付近～5.0km 付近）における地形・地質は治水地形分類図より、主に三角州となっていることから、この概略評価の要注意地形ではない。

本調査検討委員会では、この区間における地盤の堆積状況の把握を目的として、この区間の下流部 4.1km 地点、上流部破堤箇所近傍の 4.7km 地点において堤防横断方向に複数のボーリング調査を実施した。さらに、堤防天端付近、破堤箇所において数カ所ボーリング調査を行った。

あわせて、これらボーリング調査結果から得られた地盤情報を基礎資料として、物理探査（高密度電気探査、弾性波探査）を実施し、区間全体の地盤を想定した。

想定地層図を図-3.3.4 に示す。この越水区間の地層特性を次に示す。

堤体土質

- ・ 堤体土質は 4.0km～4.2km 付近間は粘性土主体、4.4km～5.0km 付近間は砂質土主体である。
- ・ 堤体直下の基礎地盤は概ね沖積粘性土層（Ac1）であるが、5.0km 付近は沖積砂礫層（Ag1）が分布する。破堤箇所付近の川表には旧河床礫と思われる礫層が分布する。

浸透破壊に対する検討対象断面

これら堤防構造、堤防状況、堤体土質の特性から次に示す 4 断面を対象として、後述する破堤要因の推定における浸透破壊に対する検討を実施した。ゾーンは堤体地盤が粘性土主体であり、ゾーンは堤体地盤が砂質土主体となる。ゾーンのうち、盛土下部に砂礫層が卓越している範囲を -2 ゾーンとし、その上、下流部を -1、-3 ゾーンとして区別した。以下に示す検討断面は、それぞれのゾーンから、天端舗装、護岸の有無、裏のり先舗装の有無を考慮し、代表的な断面を選定した。なお、4.1km、4.7km 付近における検討対象モデルの設定は、ボーリング調査、開削調査結果を主体とした。4.5km、4.8km 付近での検討対象モデルは、ボーリング調査は天端付近のみであることから、物理探査結果を併用して設定した。

- 4.1km 付近：（堤体地盤：粘性土主体、天端舗装：有、護岸：無、裏のり先舗装：有）
- 4.5km 付近：（堤体地盤：砂質土主体、天端舗装：有、護岸：無、裏のり先舗装：有）
- 4.7km 付近：（堤体地盤：砂質土主体、天端舗装：無、護岸：有、裏のり先舗装：有）
- 4.8km 付近：（堤体地盤：砂質土主体、天端舗装：無、護岸：無、裏のり先舗装：無）

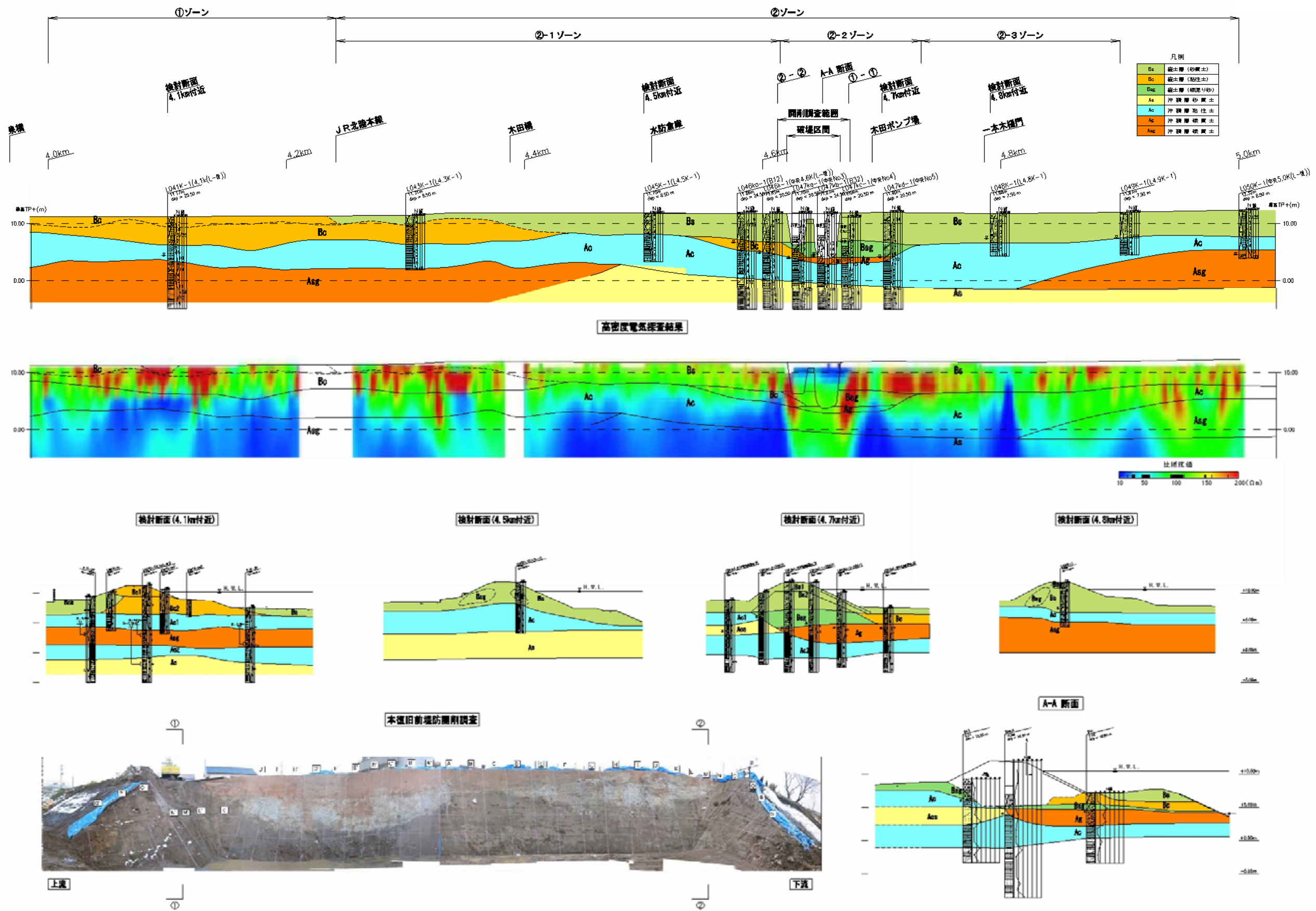


図-3.3.4 想定地層図 (足羽川左岸：4.0km 付近～5.0km 付近)

3.3.2 被災状況

写真記録、周辺住民からの聞き取り調査、報道機関の情報による破堤部における破堤状況の経時変化を整理したものを図-3.3.5 に示す。

越水区間における代表的な被災状況を図-3.3.6、図-3.3.7 に示す。これら被災状況を堤体構造、堤体土質により大別し次に整理する。

- (1) 全区間における川表のり肩、川表のり面（状況写真無）
 - ⇒ 川表のり肩、川表のり面とも現地調査から被災は確認されなかった。

- (2) JR 北陸本線（4.2km 付近）より下流 【天端舗装：有、堤体地盤：粘性土、護岸：無】
 - ・ 裏のり面侵食（図-3.3.6 参照）
 - ⇒ 比較的軽微な裏のり表面のガリー状の侵食や表面植生の侵食が確認された。
 - ・ 裏のり勾配変化点における応急対策（図-3.3.6 参照）
 - ⇒ 裏のり尻に土留工（擁壁、石積み、ブロック）があり、のり面とこの土留工変化点において軽微な侵食が発生しており応急対策として土嚢が施された。

- (3) JR 北陸本線～木田橋（4.4km 付近） 【天端舗装：有、堤体地盤：砂質土、護岸：無】
 - ・ 裏のり肩侵食、崩壊（図-3.3.6 参照）
 - ⇒ 裏のり肩付近に侵食、崩壊が確認された。裏のり先に土嚢による応急対策を施しているがのり尻における被災は確認されていない。

- (4) 木田橋～破堤箇所（4.6km+50m 付近） 【天端舗装：有、堤体地盤：砂質土、護岸：無一部有】
 - ・ 裏のり面崩壊（図-3.3.6 参照）
 - ⇒ 一部裏のり肩からのり面にかけて土嚢による応急対策が施されており、裏のり肩からのり面中間部にわたり崩壊が生じたと思われる。のり先に応急対策の土嚢が施されているが、のり先での被災は確認されていない。

- (5) 破堤箇所付近 【天端舗装：無、堤体地盤：砂質土、護岸：有】
 - ・ 破堤（図-3.3.7 、 、 参照）
 - ⇒ 周辺住民からの聞き取り調査によると、破堤部より下流（坂路天端付近）で天端から 50cm 程度下方で漏水が生じ、坂路天端から越水が始まった。越水発生後しばらくして避難したため破堤過程を目撃していない。しかしながら、越水までは堤体に変状は起きていないことを、この聞き取り調査から確認した。報道写真より、破堤部上・下流端の裏のり肩から破堤が進行したことが確認できる。

- (6) 破堤箇所より上流 【天端舗装：無、堤体地盤：砂質土、護岸：無】
 - ・ 裏のり面崩壊（図-3.3.7 、 、 参照）
 - ⇒ 破堤箇所下流と比較してやや多く、裏のり面の崩壊箇所が確認された。この崩壊は裏のり全体を含むような大きなものとなっている。

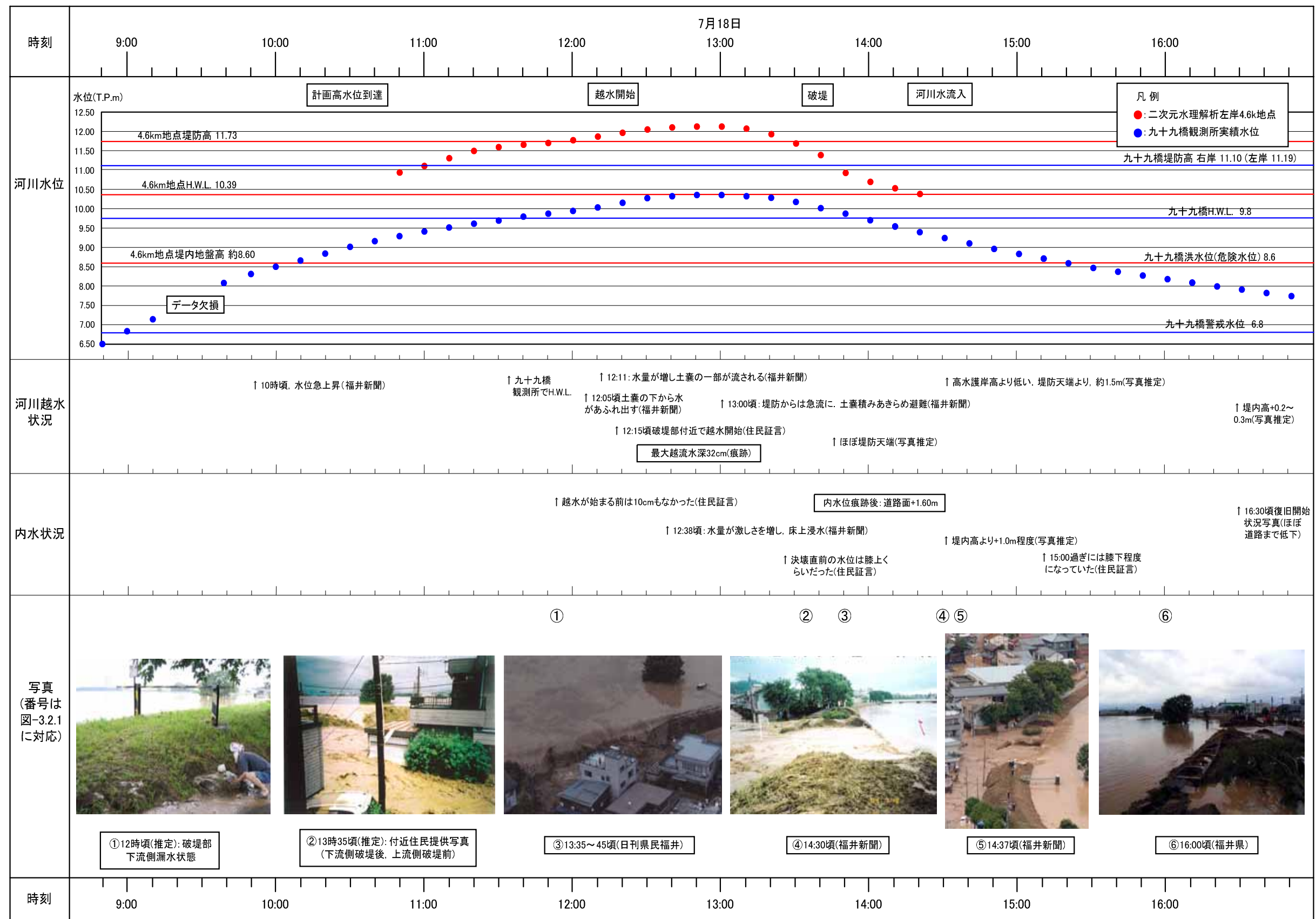
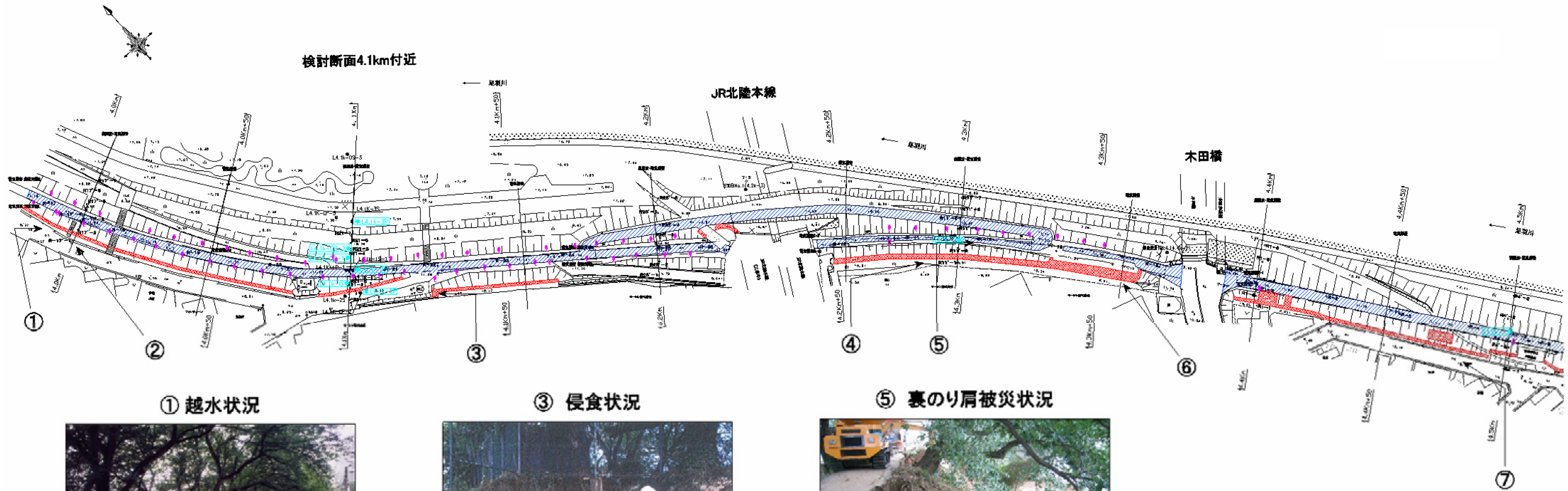


図-3.3.5 破堤部付近の状況経時変化図



① 越水状況



③ 侵食状況



⑤ 裏のり肩被災状況



⑦ 裏のり面崩壊に対する応急対策



② 勾配変化点での浸食に対する応急対策



④ 応急対策状況



⑥ 裏のり応急対策状況



図-3.3.6 被災状況平面図(足羽川左岸 4.0km 付近 ~ 4.5km 付近)

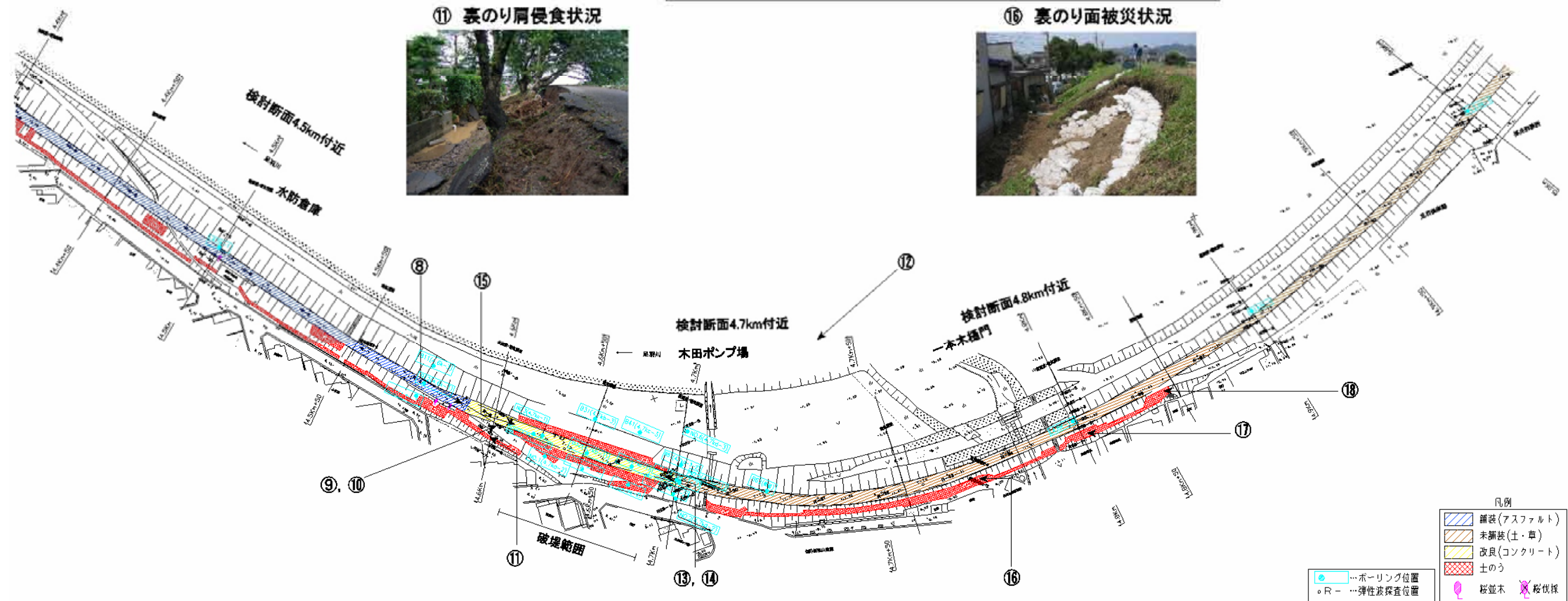


図-3.3.7 被災状況平面図（足羽川左岸 4.5km 付近～5.0km 付近）

3.3.3 破堤要因の推定

河川堤防の致命的な被害は破堤であり、過去の事例から破堤の多くは水位が堤防を上回り生じる越水に起因するものとされている。一方、昭和 51 年 9 月の長良川安八地区における破堤は、多量の降雨と長時間にわたる高水位のもとでの浸透に起因するものとされている。また、昭和 49 年 9 月の多摩川狛江地区における破堤は、堰周辺の迂回流による侵食に起因する。小貝川の高須地区（昭和 56 年 8 月）および本豊田地区（昭和 61 年 8 月）における破堤は、樋門周辺の堤体が弱体化していたことに起因するとされている。

この越水破堤のプロセスは、既往文献（「河川の減災マニュアル」末次忠司著 山海堂）において水理模型実験により、ある程度明らかになっていると記されている。堤防を越水した流れは堤防の裏のり尻付近でもっとも大きなせん断力を発生させ、侵食を引き起こす。洪水時は堤体が水を含んで大きな重量となっているので、侵食後に不安定となった堤体は崩落し始める。すなわち、越水流により表面侵食を受けるといふより、土塊状に崩落を繰り返して、破堤に至ると示されている。

本豪雨における破堤は、越水区間において発生していることから、破堤区間約 60m を含む越水区間約 90m を対象にして破堤要因を推定することとし、情報・調査による破堤要因の考察、越水洗掘破壊に対する検討、浸透破壊に対する検討を行った。

以下にこれら検討結果の概要を示す。

（１）情報・調査による破堤要因の考察

前述の堤防、地盤、被災状況から破堤要因に関する考察結果を次に示す。

- ・ 河道内流水による侵食現象は、表のりや高水敷などには変状が見られないことから、この侵食現象が堤体の変状や破堤の要因であった可能性は低いと判断できる。
- ・ 越水区間において部分的に生じている川裏のり面の表面侵食から、越流水の掃流力により堤体を構成する土粒子が移動したことが推察され、この越水侵食が破堤要因と考えられる。（図-3.3.6 参照）
 - ⇒ 豪雨後の痕跡水位調査から、破堤部付近における越流水深が 32cm と一番大きい。なお、越水継続時間は水理解析から破堤地点で約 90 分と推定している。
- ・ 堤防の被災誘因に挙げられるモグラ穴は存在するものの、この穴からの漏水、周辺部の侵食は聞き取り、現地調査で確認されなかったことから、破堤要因の可能性は低い。
- ・ JR 北陸本線から上流では局所的に裏のり肩から鉛直にえぐられた崩壊が生じており、この被災形状から越水侵食とこれに伴うすべり破壊、崩壊が発生したと思われ、破堤要因の可能性がある。（図-3.3.7 、 、 参照）
 - ⇒ この JR 北陸本線から上流は、堤体地盤が砂質土主体であることが特徴であり、この堤体地盤が砂質土の場合、粘性土と比較してこの被災の可能性が高いと考えられる。
 - ⇒ この区間で破堤部より下流は堤防天端にアスファルト舗装が施されており、未舗装部と比較すると、未舗装部における被災の方が大きい。この被災調査結果より、堤防天端の舗装が無い場合は堤防天端からの降雨、越水による堤体浸透を助長することから被災誘因と思われる。

(2) 越水洗掘破壊に対する検討

「河川堤防設計指針(第3稿)、平成12年6月」および「越水に対する堤防強化設計に手引き(案)、平成10年10月」に準じて、越水洗掘による変状の可能性について検討を行った。本検討は、痕跡水位が確認された4.0km、4.2km、4.4km、4.6km、4.8km地点における越水深を外力条件として、越流区間における堤防状況(表面材料:アスファルト、張り芝、裸地)堤防構造(のり面の傾斜角)を踏まえ、生じるせん断力とその部位のせん断耐力 τ_a とを比較することで照査した。照査にあたっては、天端、裏のり面、裏のり先の各部位で行った。なお、裏のり先における照査は、越流水による衝撃力は考慮していない。

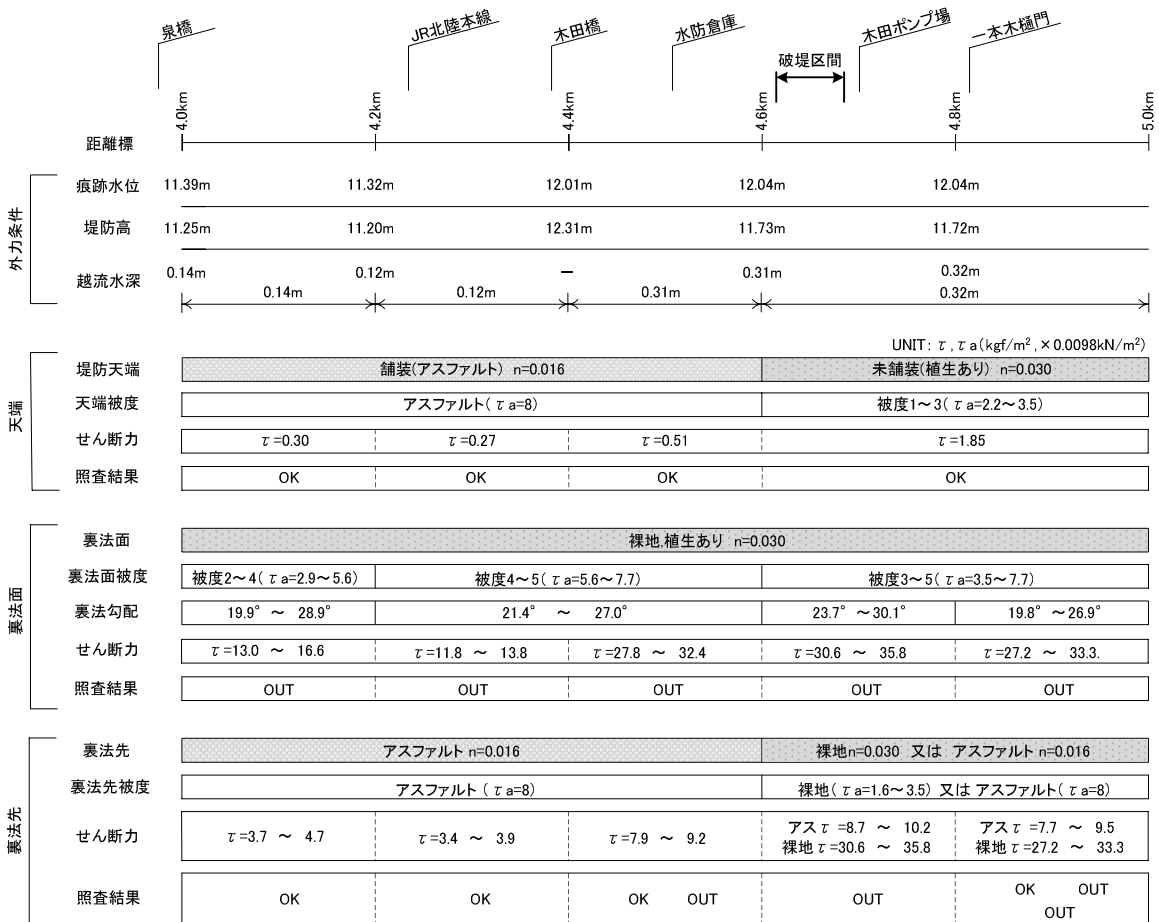
照査結果を図-3.3.8に示す。

この結果図に示すように、天端部ではアスファルト舗装の有無に関わらず許容せん断力を満足することから、越流洗掘は発生しないと判断できる。しかしながら、上流部では被度が低い箇所もあることから、許容値に近いせん断力となっている。

一方、裏のり面部は、一部被度が大きい箇所では許容値を満足するが、せん断力は許容値を大きく上回り越水深に関わらず越水洗掘が生じた可能性が高いと考えられる。

裏のり先は、越水深が30cmを超える区間において未舗装部分は大きく許容せん断力を超え、アスファルト舗装部は若干ではあるが許容値を上回る結果となった。

これら照査結果から、裏のり面、裏のり尻部においては越水洗掘の可能性があるとと思われる。



裏のり先における照査には、越流水による衝撃力は考慮していない。

図-3.3.8 越水洗掘破壊に対する照査結果図

(3) 浸透破壊に対する検討

河川堤防の浸透破壊は、大別すると次の二つが挙げられる。

降雨と河川水の複合要因による堤防の浸透破壊 すべり破壊、崩壊

⇒ 降雨、河川水の浸透により、堤体内の浸潤面が上昇し、それに伴う飽和度の上昇により土の強度が低下することによって発生する。

堤体、基礎地盤の局所浸透破壊 パイピング

⇒ 局所の動水勾配あるいは浸透流速が限界値を超えて土の組織破壊(浸透破壊)が起これ、それが進行して基礎地盤の陥没や堤体裏のり尻付近で湧水に伴う土の洗い出しを起こして堤体を破壊する。

本検討では、のすべり破壊とのパイピング破壊に対して、飽和・不飽和浸透流解析を用いて堤体内の浸潤面の挙動をシミュレートし、その解析結果を用いて各破壊に対する照査を実施した。

の崩壊に対しては、土-水連成地盤解析(土-水連成弾性FEM解析)を用いて、堤体内浸潤面の挙動に伴う、各要素におけるせん断破壊に対する安全率(せん断強度/せん断力)による評価を行った。

各検討に用いた地盤定数を表-3.3.1に示す。

表-3.3.1 浸透破壊に対する検討に用いた土質定数

検討断面	土層	湿潤密度 $t(\text{tf}/\text{m}^3)$ ($\times 9.81\text{kN}/\text{m}^3$)	飽和密度 $sat(\text{tf}/\text{m}^3)$ ($\times 9.81\text{kN}/\text{m}^3$)	粘着力 $C(\text{tf}/\text{m}^2)$ ($\times 9.81\text{kN}/\text{m}^2$)	内部摩擦角 (deg)	透水係数 (水平方向) $kh(\text{cm}/\text{s})$	透水係数 (鉛直方向) $kv(\text{cm}/\text{s})$	変形係数 $E(\text{tf}/\text{m}^2)$ ($\times 9.81\text{kN}/\text{m}^2$)	ポアソン比
4.1km	Bc1	1.73	1.76	0.15	21.8	6.58E-04	6.58E-04	1,690	0.45
	Bcs	1.91	1.91	4.64	0.0	6.58E-04	6.58E-05	855	0.45
	Bc2	1.87	1.91	1.40	26.9	2.02E-04	2.02E-04	1,288	0.45
	Bs	1.72	1.88	1.07	38.9	2.17E-03	2.17E-04	2,800	0.3
	Ac1	-	1.81	4.59	0.0	1.00E-05	1.00E-05	924	0.45
	Asg	-	2.15	1.88	41.4	2.25E-03	2.25E-04	2,701	0.3
4.5km	Bs	1.79	1.90	0.04	35.9	5.00E-03	5.00E-04	1,036	0.3
	Bsg	1.84	1.99	0.69	33.6	1.00E-02	1.00E-03	1,960	0.3
	Ac	-	1.78	6.60	0.0	1.00E-05	1.00E-05	1,540	0.45
	As	-	1.86	0.97	34.5	3.30E-03	3.30E-04	3,358	0.3
4.7km	Bs1	1.79	1.90	0.04	35.9	5.00E-03	5.00E-04	1,960	0.3
	Bs2	1.73	1.91	0.40	30.3	5.00E-03	5.00E-04	1,552	0.3
	Bsg	1.84	1.99	0.69	33.6	1.00E-02	1.00E-03	1,960	0.3
	Bs3	1.79	1.90	0.04	35.9	5.00E-03	5.00E-04	1,680	0.3
	Bc	1.87	1.90	1.29	30.9	1.00E-05	1.00E-05	1,820	0.45
	Ag	-	2.15	1.88	41.4	3.30E-03	3.30E-04	4,052	0.3
	Ac1	-	1.76	7.73	0.0	1.00E-05	1.00E-05	1,120	0.45
	Acs	-	1.79	6.00	0.0	1.00E-03	1.00E-04	1,679	0.45
4.8km	Ac2	-	1.72	6.00	0.0	1.00E-05	1.00E-05	1,191	0.45
	Bs	1.79	1.90	0.04	35.9	5.00E-03	5.00E-04	1,680	0.3
	Bsg	1.84	1.99	0.69	33.6	1.00E-02	1.00E-03	1,960	0.3
	Ac	-	1.78	6.60	0.0	1.00E-05	1.00E-05	1,120	0.45
	Asg	-	2.15	1.88	41.4	3.30E-03	3.30E-04	2,800	0.3

飽和・不飽和浸透流解析による堤体内浸潤面の把握

浸透破壊に対する検討は、図-3.3.9 に示す福井豪雨における降雨・洪水（河川水）を外力条件とした。図-3.3.9 は 4.7km 地点における外力条件を示しており、河川距離標以外の検討箇所（4.5km、4.7km）は上下流の河川距離標におけるデータを内挿して設定した。検討にあたっては、堤体内浸透水を飽和・不飽和浸透流解析を用い想定し、この浸透水によるすべり破壊、浸食（パイピング）破壊に対する安定性を検討した。この飽和・不飽和浸透流解析は、検討対象断面を鉛直 2 次元にモデル化し降雨・洪水の経時変化毎に非定常解析を実施した。

代表的な外力条件時での解析結果を図-3.3.10 に示す。

なお、越水時における解析は、越水による浸透のみを外力として作用させたもので、越水による洗掘は考慮していない。

堤体土質の違いに着目すると、4.1km は粘性土が主体となっていることから、初期の飽和度は高いものの、越水により浸潤面は裏のり面にごくわずかに現れているだけである。一方、他の断面では堤防構造による違いはあるものの、裏のり面に浸潤面が形成されている。この浸潤面の形成による裏のり部の飽和域の増大により堤体が強度低下すると考えられる。

砂質土主体の断面（4.5km、4.7km、4.8km）において堤防天端条件の違いに着目すると、4.7km、4.8km はアスファルト舗装が施されていないことから、降雨・越水による天端付近の飽和域は広がり、河道内水位からの浸透域を助長し、裏のり表層部に浸潤域が及んでいる。この裏のりの浸潤域は、のり尻から上昇するものでなく、表層部から形成されており堤体裏のり尻から堤体中央に不飽和域が残るような状態となっていることが特徴的である。裏のり部の浸潤域では、局所的な崩壊が各所にあったように、この浸潤域の強度低下による堤防破壊が推察できる。

4.7km は川表のり面にのり枠護岸が設置されているが、本検討では盛土層の 1 オーダー小さい透水係数としてこの護岸を取り扱っていることもあり、さほど浸潤面の挙動に大きくは寄与していない結果となっている。

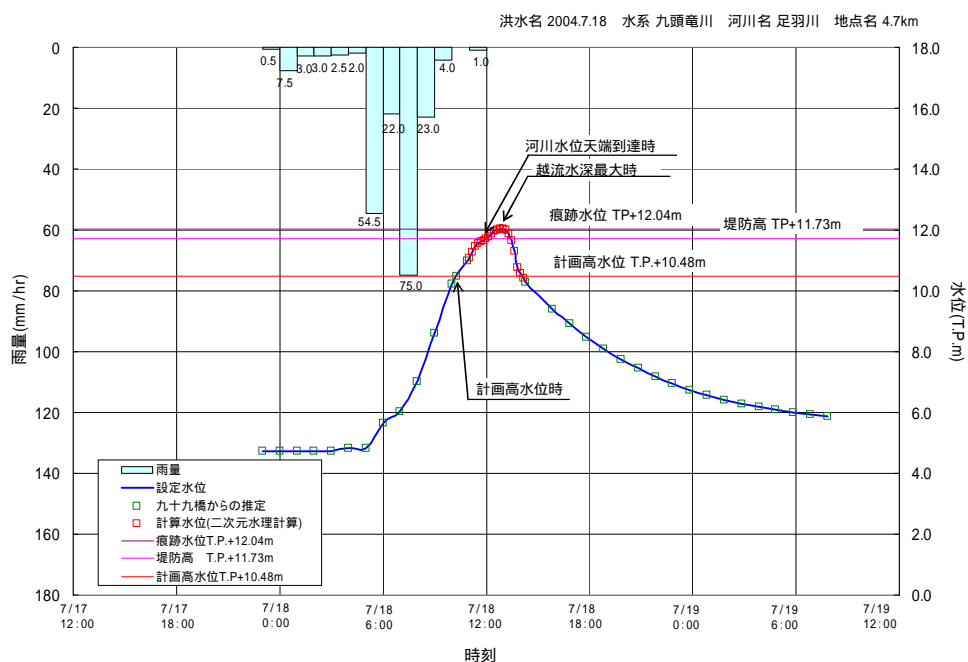
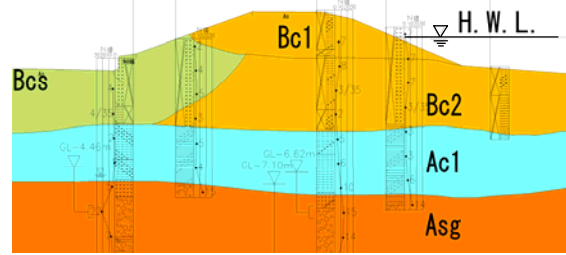


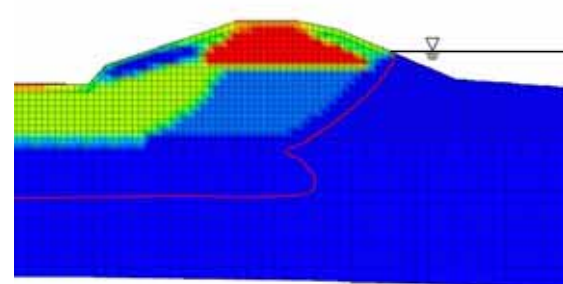
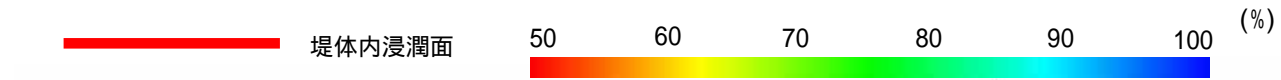
図-3.3.9 浸透破壊に対する検討に用いた外力条件（4.7km 検討対象断面）

4.1km

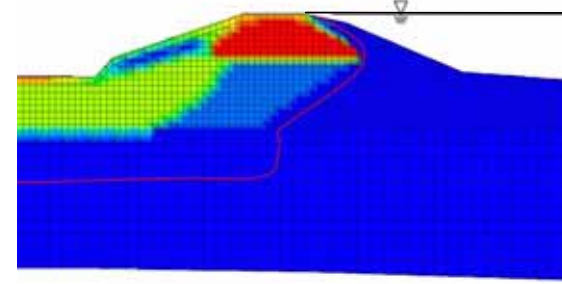
- ・堤体地盤:粘性土主体
- ・天端舗装:有
- ・護岸無:無
- ・裏のり先舗装:有



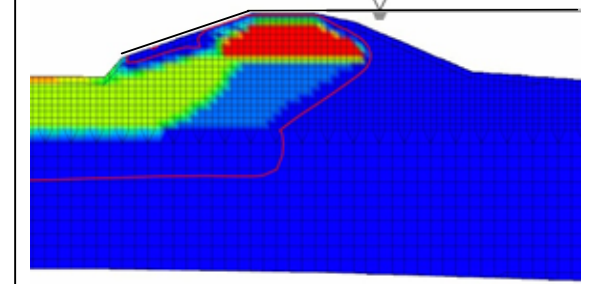
解析モデル



計画高水位時



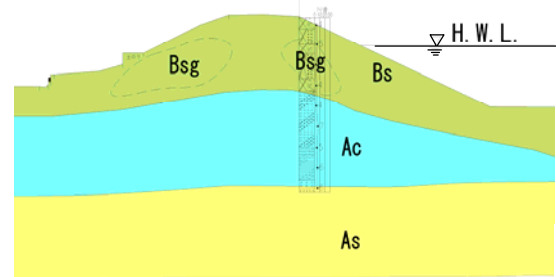
河川水位天端到達時



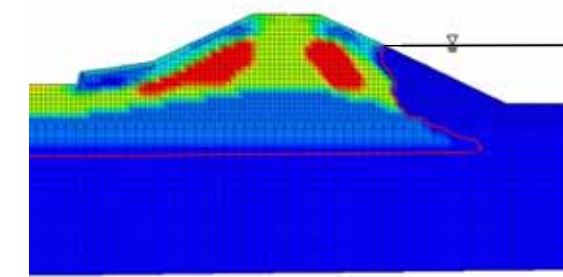
越流水深最大時(越流水深:14cm)

4.5km

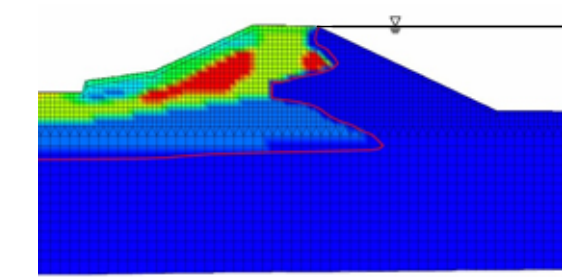
- ・堤体地盤:砂質土主体
- ・天端舗装:有
- ・護岸:無
- ・裏のり先舗装:有



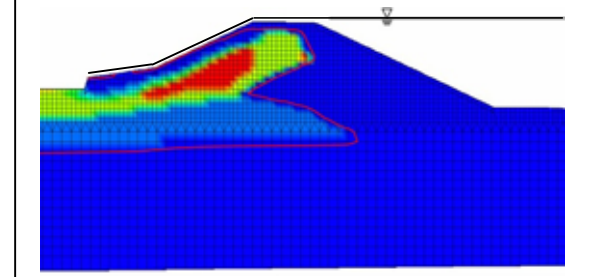
解析モデル



計画高水位時



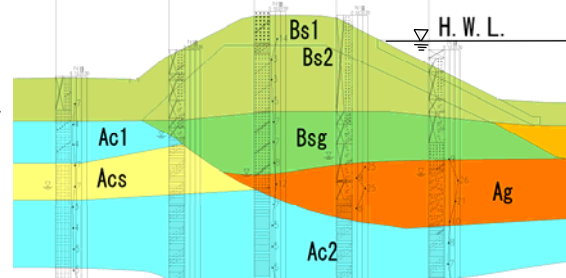
河川水位天端到達時



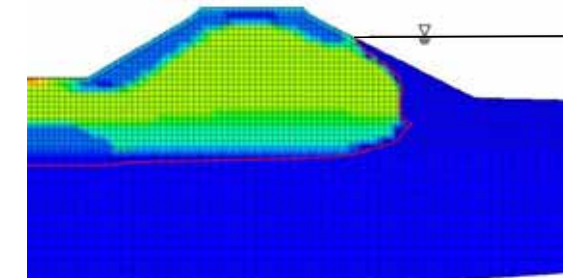
越流水深最大時(越流水深:31cm)

4.7km

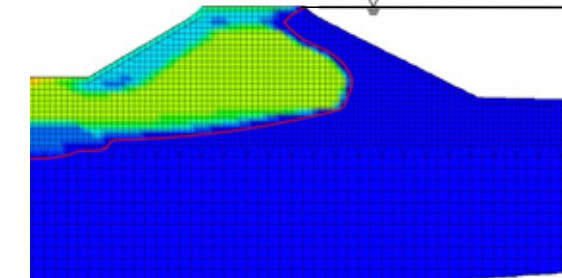
- ・堤体地盤:砂質土主体
- ・天端舗装:無
- ・護岸:有
- ・裏のり先舗装:有



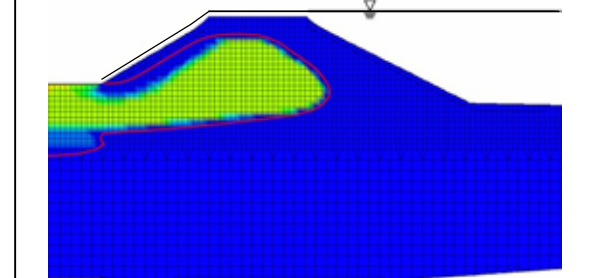
解析モデル



計画高水位時



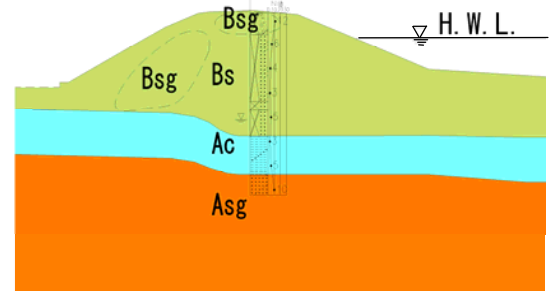
河川水位天端到達時



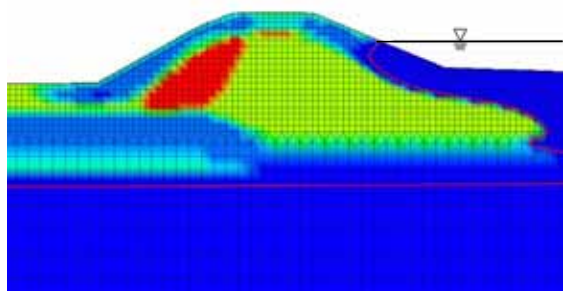
越流水深最大時(越流水深:32cm)

4.8km

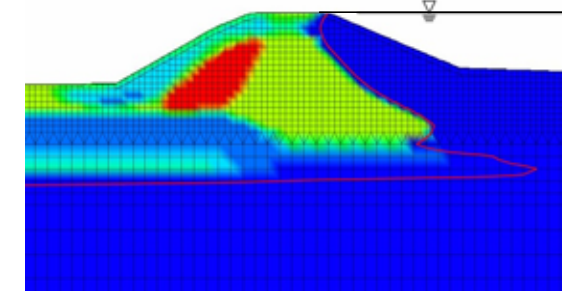
- ・堤体地盤:砂質土主体
- ・天端舗装:無
- ・護岸:無
- ・裏のり先舗装:無



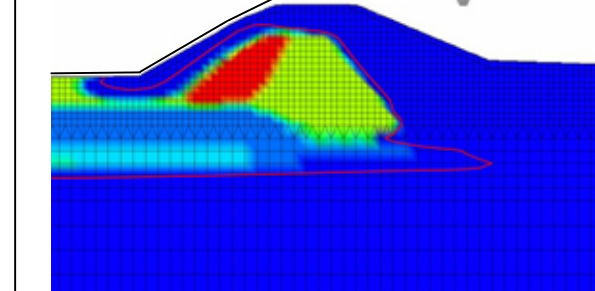
解析モデル



計画高水位時



河川水位天端到達時



越流水深最大時(越流水深:32cm)

図-3.3.10 飽和・不飽和浸透流解析結果

越流後の検討には、越水侵食(洗掘)作用は考慮していないため参考値として扱う。

円弧すべり計算によるすべり破壊に対する検討

現地被災調査において、越水による侵食と局所的なすべり破壊と考えられる堤防崩壊が木田橋（4.4km 付近）から上流で数カ所確認された。この堤防崩壊に対するすべり破壊の要因を考察する目的から、飽和・不飽和浸透流解析で得られた堤体内浸潤面を簡便分割法による円弧すべり計算に適用し、堤内側での最小すべり安全率を算出した。堤内のり面に着目し、もっとも最小すべり安全率が低い時の結果図を図-3.3.11 に示す。

河川水位が堤防天端到達時（越水前）では、堤体内浸透水が堤内側に達していないことから、現状における堤防の最小すべり安全率となる。各検討断面で堤防形状、地盤特性は異なるものの最小すべり安全率は 1.0 以上となり、堤内側のり面においてすべり破壊が発生した可能性は低いと考えられる。

一方、越水深最大時頃では、堤体土質が砂質土主体で天端にアスファルト舗装が施されていない 4.7km、4.8km 断面は、前述したように浸潤域が堤防裏のり表層部に浸透していることから、最小すべり安全率は 1.0 を下回る結果となっており、本豪雨で堤防裏のりにおいてすべり破壊の発生した可能性は高いと推察できる。現地調査において図-3.3.7 、 、 に示すようにのり尻付近の崩壊が生じたことが確認されている。これより、被災状況とこのすべり破壊に対する検討とが概ね一致する。

ただし、4.5km 断面では、浸透流解析において裏のり表面のみに浸透水が到達していることから、最小すべり安全率は 1.0 を上回る結果となっているものの、現地調査においては図-3.3.6

に示すように局所的な崩壊が確認されていることから、若干の地盤条件の違いによってはこのすべり破壊の発生する可能性はあると考えられる。

堤体土質が粘性土主体である 4.1km 断面では、透水性が低いこと、せん断強度は粘着力が主体であることから、有効応力（水位の変化）の変動によるせん断強度は一定である。このため、すべり破壊の可能性は低いと判断できる。

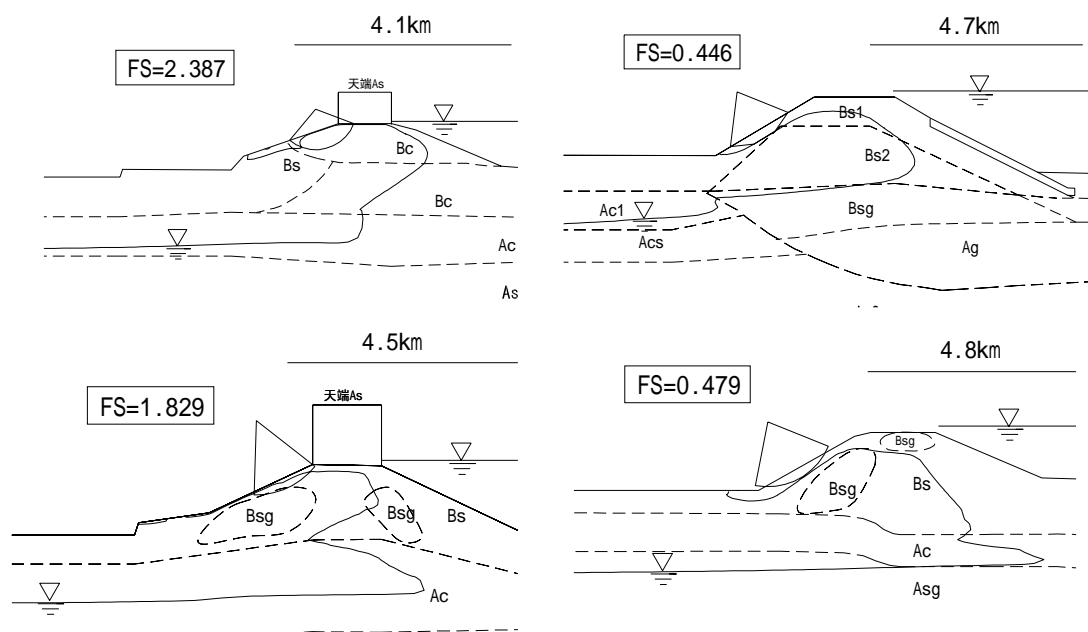


図-3.3.11 円弧すべり計算結果図（越流水深最大時：裏のり安全率最小時）

本豪雨では、川表側に被災は見られなかったものの、浸透に対するすべり安定性を把握する目的から、各検討対象地点における川表側を対象とした円弧すべり計算を実施した。

水位低下過程における最小すべり安全率がもっとも低い時の計算結果を図-3.3.12 に示す。これら結果図から、水位低下時において浸透に対する川表側すべり安定性は確保されていたと判断できる。

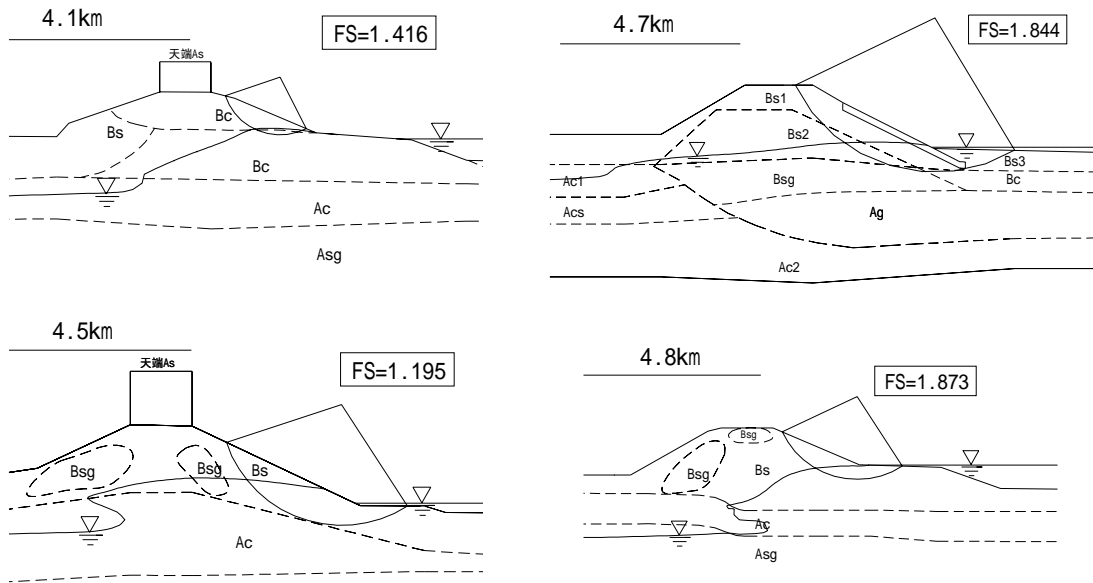


図-3.3.12 円弧すべり計算結果図（水位低下時：表のり安全率最小時）

限界動水勾配によるパイピング破壊に対する検討

パイピングは浸透水（浸透力）により土粒子が流失し、地盤内にパイプ状の孔や水みちができる現象をいい、一部でパイピングが発生すると、その部分での動水勾配が大きくなり、それによって浸透力が増大し、さらにパイピングが助長、進行するような進行性破壊の形態となる。

本検討では、飽和・不飽和浸透流解析から得られる浸透水の動水勾配と各地盤における限界動水勾配との比により照査した。各検討対象地点において堤内側のり面の浸潤域が最大となる時の水平方向、鉛直方向の照査結果図を図-3.3.13に示す。

この結果図より、各断面ともこの照査値（限界動水勾配 / 動水勾配）は1.0以上となり、発生する動水勾配は地盤の限界動水勾配を下回ることから、パイピングの発生の可能性は低いと考えられる。

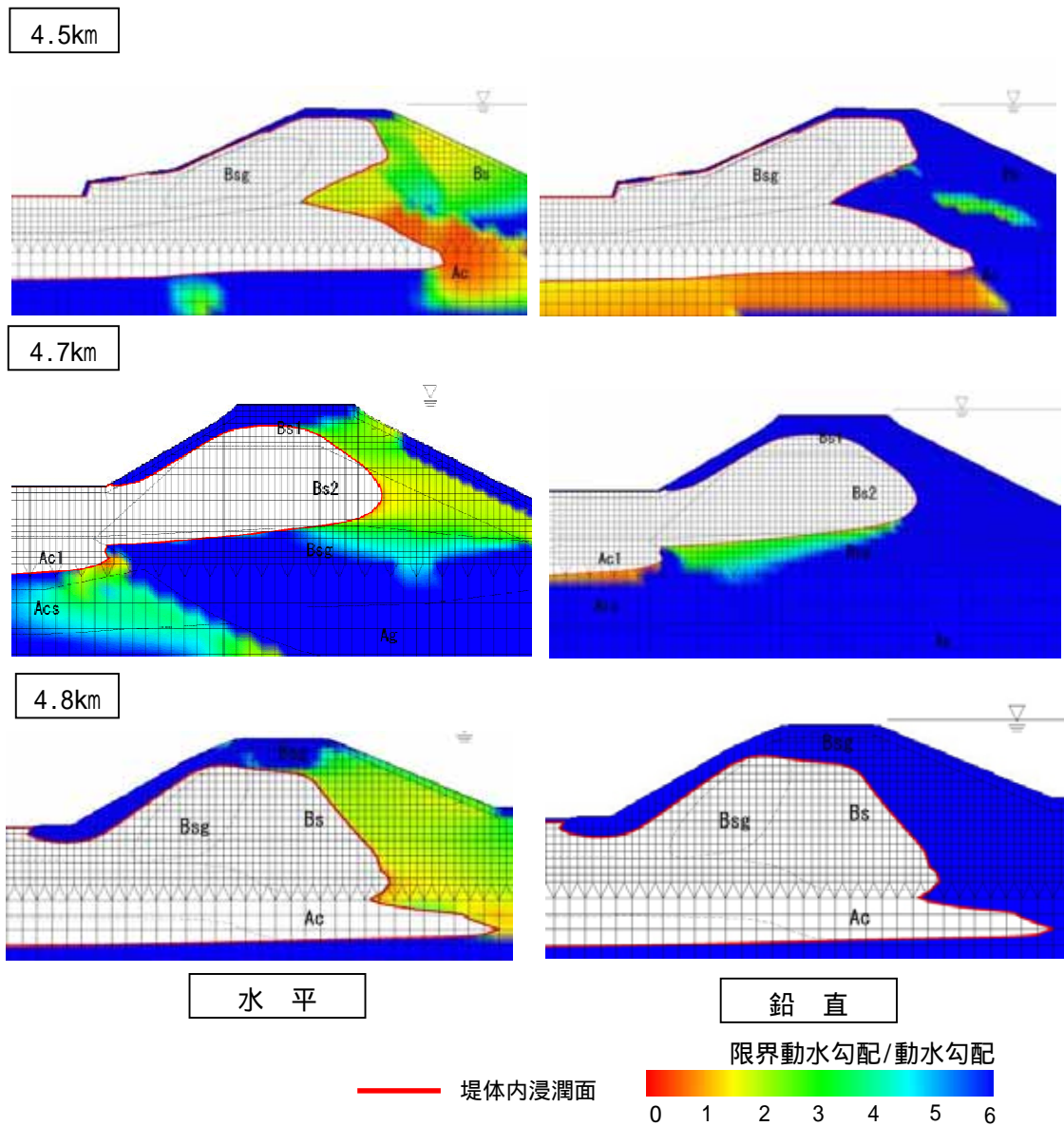


図-3.3.13 パイピングに対する照査結果図（左 水平方向、右 鉛直方向）

土 - 水連成地盤解析による堤体崩壊に対する検討

前述のすべり破壊はせん断破壊ではあるが、破壊モードを円弧と仮定した検討手法である。そこで、実際の土の挙動をより詳細に把握する目的から、前述の飽和・不飽和浸透流解析における水圧と地盤の応力解析における間隙水圧とを連成させる土 - 水連成地盤解析を行った。

この解析は、降雨・洪水による堤体内の間隙水圧の変動に対する地盤の有効応力の挙動を詳細に把握するものである。解析結果の評価にあたっては、得られたせん断応力と破壊基準 (Mohr-Coulomb) により各要素における安全率 (せん断強度 / せん断応力) を算出し用いた。

この検討に対する考察にあたっては、この安全率が 1.0 を下回る値の部位を脆弱域とする。

なお、本解析における地盤部材は、堤体内の浸潤面の挙動による地盤の変位 (ひずみ) が破堤箇所を除く部位において変状が顕著でないことから微少ひずみ領域と判断し、弾性部材とした。代表的な外力条件時の解析結果を図-3.3.14 に示す。

なお、越水時における解析は、越水による浸透のみを外力として作用させたもので、越水による洗掘は考慮していない。

この結果より、粘性土主体である 4.1km では、天端付近の表層部で安全率が 1.0 をやや下回る脆弱な部位があるものの、木田橋上流で確認された崩壊に至るような脆弱域は現れなかった。

砂質土主体である 4.5km、4.7km、4.8km では、粘性土主体の 4.1km に比べ裏のり面で浸潤域が広がっており、安全率が 1.0 を下回るせん断破壊の発生の可能性が高い脆弱域がある。

4.5km は天端のアスファルト舗装による遮水作用から、裏のり肩付近にのみ 1.0 以下の脆弱な部位がみられることが特徴となっている。この解析結果は、図-3.3.6 に示す被災状況と概ね一致すると考えられる。

4.7km は越水による天端付近と裏のり面に 1.0 以下の脆弱な部位が広く現れており、この脆弱域が広がっている。

4.8km は 4.7km と比較して堤防形状の違いから天端、裏のり面付近の浸潤域は狭くなっている。4.8km は堤内地盤が民家となっており表層部が透水性となることから、裏のり尻付近の堤内地盤に脆弱域となる 1.0 以下の部位が現れている。現地調査においても図-3.3.7 、 、 に示すようにのり尻付近の崩壊が生じたことが確認されている。これより、被災状況と解析結果とが概ね一致する。

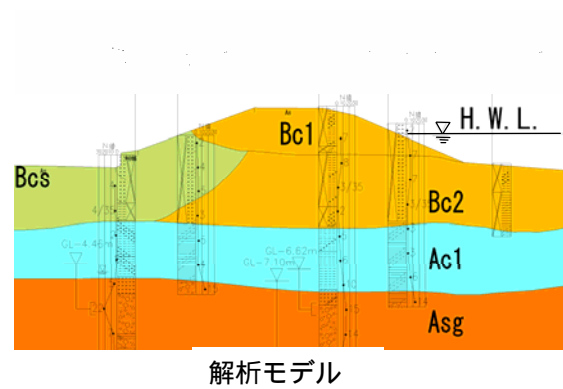
浸透破壊に対する考察

本検討結果から天端アスファルト舗装の有無は、浸透破壊に対し大きく作用する要因であることが分かった。また、堤体土質が砂層主体である場合、降雨・洪水の継続時間によっては堤体内浸潤域が増大し、破堤にいたる可能性も考えられる。

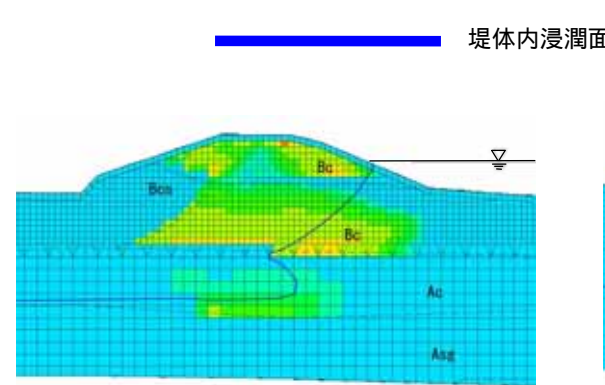
しかしながら、本検討結果から浸透による脆弱域は想定されたものの、この脆弱域の範囲を考えた場合、天端が崩壊するほどでは無いことから、本豪雨において浸透破壊だけで破堤に至ったとは考えにくい。

4.1km

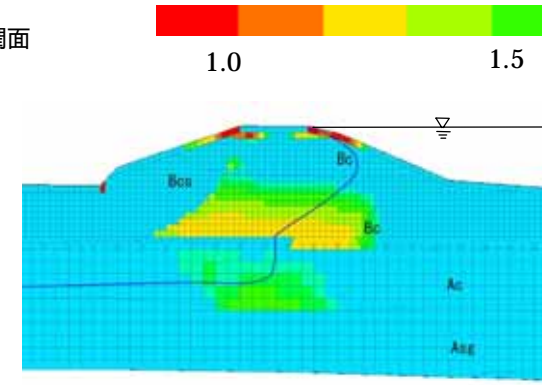
- ・堤体地盤: 念制度主体
- ・天端舗装: 有
- ・護岸無: 無
- ・裏のり先舗装: 有



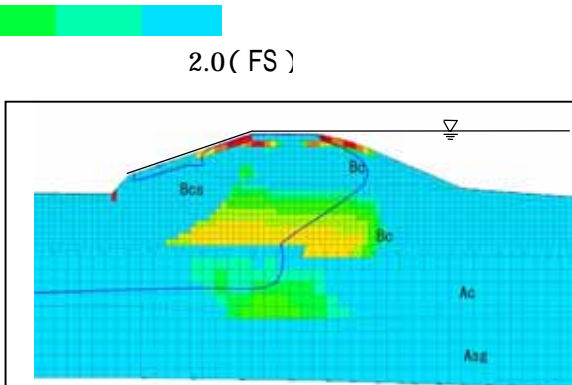
解析モデル



計画高水位時



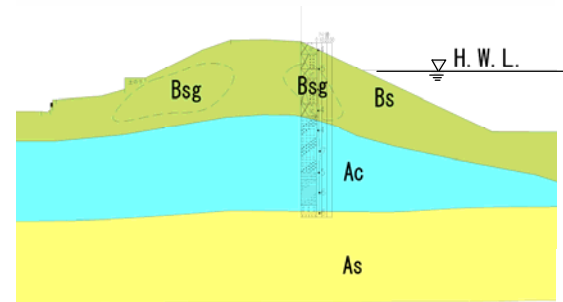
河川水位天端到達時



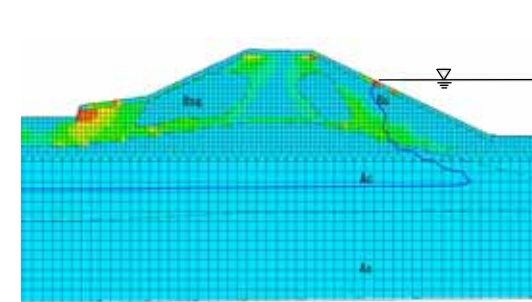
越流水深最大時(越流水深:14cm)

4.5km

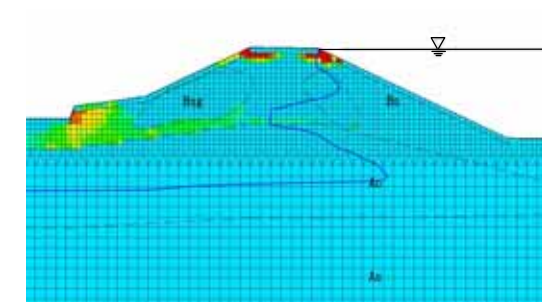
- ・堤体地盤: 砂質土主体
- ・天端舗装: 有
- ・護岸: 無
- ・裏のり先舗装: 有



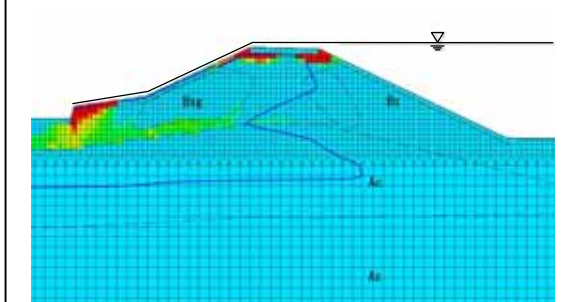
解析モデル



計画高水位時



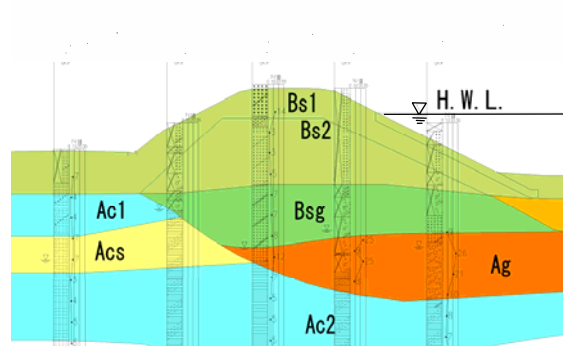
河川水位天端到達時



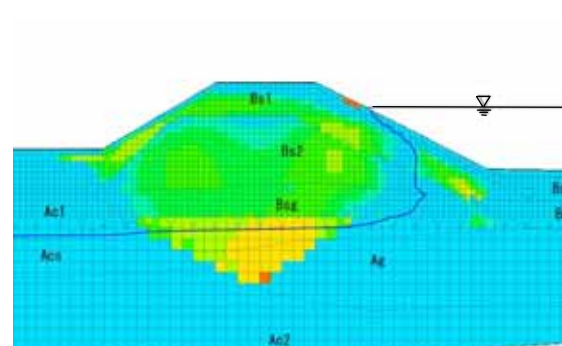
越流水深最大時(越流水深:31cm)

4.7km

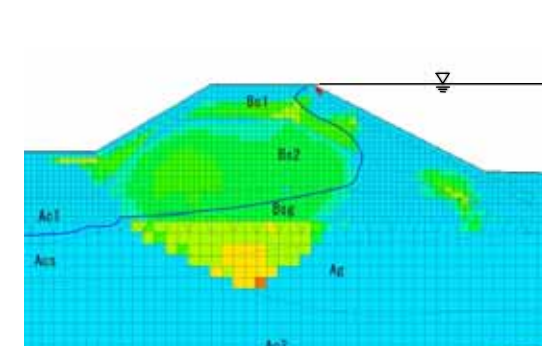
- ・堤体地盤: 砂質土主体
- ・天端舗装: 無
- ・護岸: 有
- ・裏のり先舗装: 有



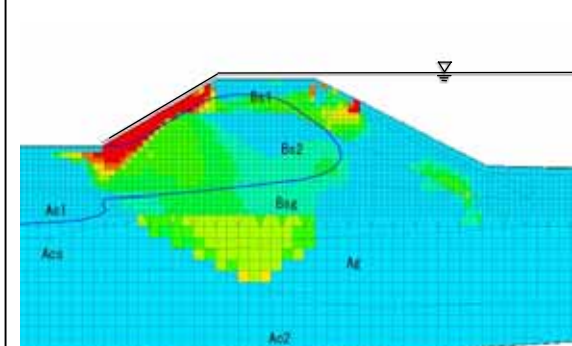
解析モデル



計画高水位時



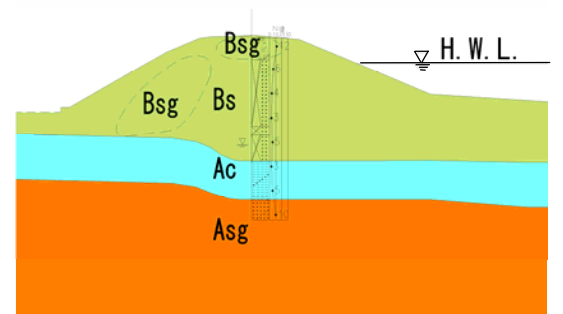
河川水位天端到達時



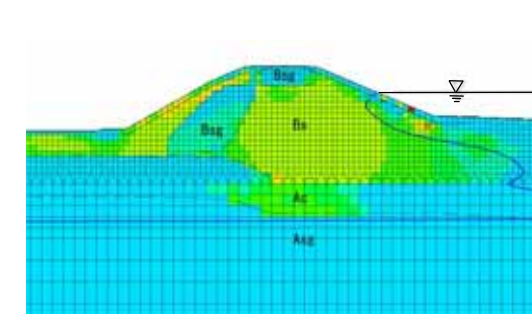
越流水深最大時(越流水深:32cm)

4.8km

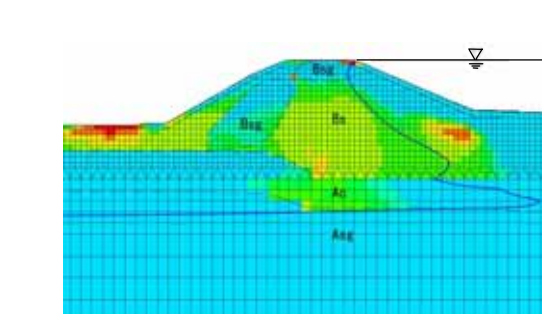
- ・堤体地盤: 砂質土主体
- ・天端舗装: 無
- ・護岸: 無
- ・裏のり先舗装: 無



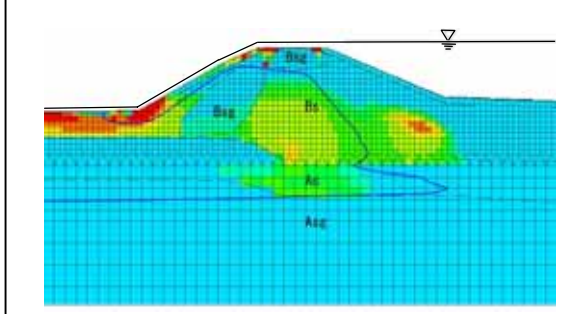
解析モデル



計画高水位時



河川水位天端到達



越流水深最大時(越流水深:32cm)

図-3.3.14 土 - 水連成地盤解析結果

越流後の検討には、越水侵食(洗掘)作用は考慮していないため参考値として扱う。

(4) 破堤要因の推定

平成16年7月福井豪雨での木田地区春日1丁目地先(足羽川左岸4.6km+50m付近)における破堤は、越水による侵食(洗掘)破壊と浸透による脆弱域の発生が複合的に作用し、局所的な破壊が進行して破堤に至ったと考えられる。

本検討委員会では、この破堤要因の推定にあたり、被災状況検討(情報に基づく破堤状況の整理)と解析(越水洗掘破壊、浸透破壊)を行った。これら検討結果より、図-3.3.15(各破堤過程における状況想定図、対応する記録写真、解析結果概要図)に示す破堤過程を推定した。

次に各破堤過程における推定概要を示す。

計画高水位到達(10:30頃)

- ・ 増水時の状況写真と撮影者からの聞き取りから、天端付近まで河川水位が上昇しているが、堤防は漏水、変状など被災は生じていないことが確認された。
- ・ 解析結果から、堤体内浸潤面は川表のり面付近には浸透しているが、堤体中央部にまでは至っていない。舗装が施されていない天端、裏のり面は、降雨の影響から飽和度が上昇する。
 - ⇒ 河川内水位が計画高水位の時点では、堤防は安定性を保持していたと判断できる。

越水開始(12:15頃)

- ・ 河川内水位が堤防天端に達した頃、破堤箇所よりやや下流で越水が発生したことが目撃され写真に記録されている。この一部での越水開始前に、その越水箇所近傍(堤防天端よりやや下方)で漏水が生じ、周辺住民が対策を行ったことが記録されている。
- ・ 解析結果からは、計画高水位到達時より川表側のり面における浸潤域は進行しているが、他の堤防状況は計画高水位到達時と同様である。
 - ⇒ 聞き取り調査では局所的な漏水が確認されており、この漏水は破堤箇所とは異なることと、解析結果から浸潤域、脆弱域とも裏のり面に至っていないことから、破堤要因とは考えにくい。この漏水は築堤履歴に伴う層境などの要因により漏水が発生した局所的な水みちによるものと思われる。

破堤(13:35~13:45頃)

- ・ 周辺住民の聞き取り調査では、12時頃から土嚢積みをあきらめ避難し、破堤の詳細な時刻は確認できなかった。この聞き取り調査では、越水の初期の段階では破堤部において堤体表層侵食(洗掘、剥ぎ取り)は発生していないことが分かった。破堤は報道写真から、破堤域の上・下流端で発生し、堤防裏のり面付近から進行したと推定できる。破堤部付近より上流の越水区間では、豪雨後の現地調査から堤防天端付近で大きな裏のり変状の発生が確認された。
- ・ 裏のり面では越水によるせん断力が許容値を大きく上回る解析結果となることから、洗掘破壊が生じていたと判断できる。堤体浸透に着目すると、地下水初期状態は被圧状態と考えられることから、河川水による浸透で堤体内水位が川裏側のり尻から上昇せず、降雨、越水による浸透が河川水による堤体内水位の進行を助長し、川裏側のり面表層付近にオー

バーハングするような浸潤状態となったことが特徴的である。とくにこの破堤部は、天端にアスファルト舗装が施されていないことから、降雨、越水による天端からの浸透は川表のり面からの浸透水を助長し、浸潤域を広げ脆弱な部位が拡大されたと推察できる。この浸潤状態におけるすべり破壊を考えると、表層で薄層となるもののすべり破壊を生じる可能性がある。また、脆弱域も裏のり付近に生じることから、局所的な崩壊の可能性もある。

⇒ これら検討結果から、破堤要因は越水による洗掘と浸透による堤体の脆弱性等が堤体表層部を脆弱化させ洗掘と同時にすべり破壊、崩落が発生し、これらが複合的に進行することにより破堤に至った可能性がある。

河川水流入(14:30 頃)

- ・ 応急復旧前の現場スケッチから、破堤は坂路を含むのり尻付近まで発生し、越水洗掘による落堀は堤脚から深度約 3m であったと推察できる。

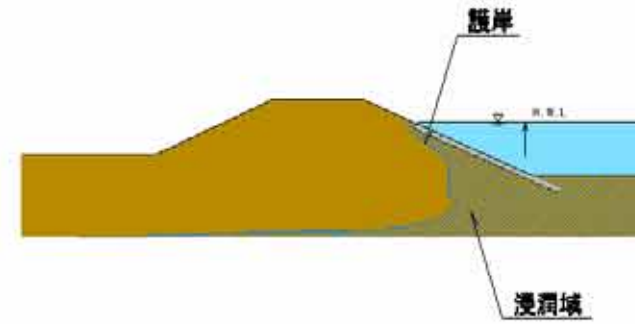
(5) 破堤部以外の越水区間の状況

左岸の越水区間においては、破堤箇所の特化した条件、状況は無いと考えられるが、破堤要因に関連する事項として越水区間を他の箇所と比較した場合、堤体が砂質土主体、堤防天端が未舗装であったことが挙げられる。地盤調査結果から、JR 北陸本線より上流は、堤体土質を砂質土主体として大別しているものの、過去の河道の変遷、築堤履歴、本調査における非破壊試験結果からも河川堤防盛土の不均質性が解る。この不均質性を考慮すると、破堤には至っていないものの堤体盛土が砂質土主体で天端にアスファルト舗装が施されていない区間は、越流により裏のり面に生じるせん断力が許容せん断力を大きく上回ることから洗掘が生じ、堤体地盤が砂質土主体であることから浸潤域が進行拡大し、さらに堤防天端が透水性を有するため、この越流により浸潤域が進行して裏のり面に脆弱域が広がることから、かなり危険な状態にあったと推察できる。

計画高水位到達 (10:30頃)



河川内水位が急上昇しH.W.L.に達する。

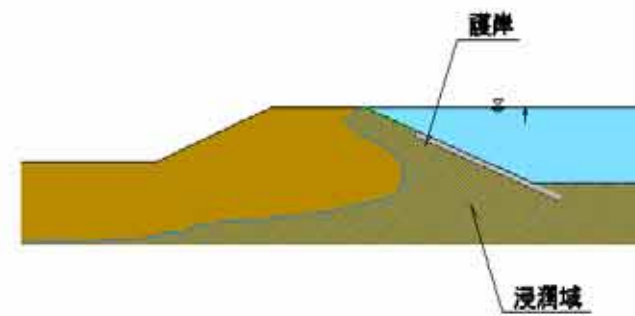


- 河道内侵食 : 流速2.0m/s以下 ... OK
 - 越水洗掘破壊 : -
 - 川表すべり破壊 : すべり安全率Fs \geq 1.0 ... OK
 - 川裏すべり破壊 : すべり安全率Fs \geq 1.0 ... OK
 - 脆弱域 : 脆弱域は出現しない。
- ⇒ 堤体は安全性を保持している。

越水開始 (12:15頃)



越水が開始。



- 河道内侵食 : 計画高水位到達時と同じ
 - 越水洗掘破壊 : //
 - 川表すべり破壊 : //
 - 川裏すべり破壊 : //
 - 脆弱域 : //
- ⇒ 堤体は安全性を確保しているものの、浸潤域は拡大している。

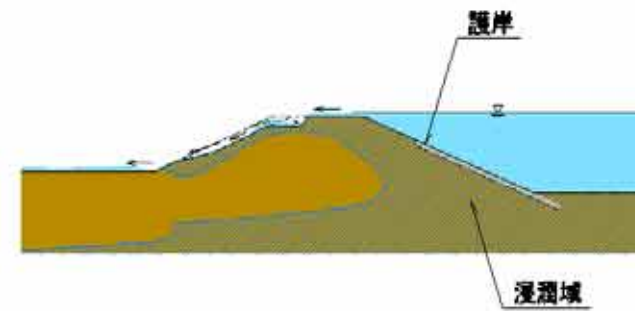
破堤時 (13:35~13:45頃)



(日刊県民福井 提供)



破堤区間上・下流端で天端裏のり肩から侵食が進む。



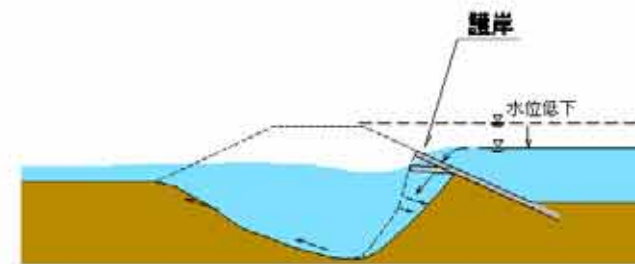
堤体が維持されていると仮定した場合の想定浸潤線等である。

- 河道内侵食 : 計画高水位到達時と同じ
 - 越水洗掘破壊 : 裏のり面、裏のり先で洗掘破壊が発生
 - 川表すべり破壊 : 計画高水位到達時と同じ
 - 川裏すべり破壊 : すべり安全率Fs \leq 1.0となる ... NG
 - 脆弱域 : 裏のり付近に発生
- ⇒ 越水により裏のり面に洗掘破壊が発生、同時に裏のり面表層付近に浸潤域が広がり、脆弱域が生じた可能性がある。

河川水流入 (14:30頃)



高水腹岸の裏まで洗掘が進み倒壊する。



上記の越水による洗掘破壊、浸透にともなう堤体の脆弱性が複合的に発生し、これらの破壊が進行して破堤に至った可能性がある。

図-3.3.15 足羽川における破堤進行状況想定図

3.4 危機管理

3.4.1 行政機関、消防団等の活動状況

平成 16 年 7 月福井豪雨における主な行政機関や消防団等の活動状況を次ページの図-3.4.1 に示す。これをもとに、各機関の初動体制を中心に活動状況を整理し以下に示す。

【福井地方気象台】

福井地方気象台では、2 時 34 分に嶺北北部、5 時には嶺北全域に「大雨・洪水警報」を発表した。

また、「大雨に関する福井県気象情報」、「福井県記録的短時間大雨情報」を適宜発表した。

【近畿地方整備局】

近畿地方整備局では、災害対策基本法に基づく近畿地方整備局防災業務計画及び近畿地方整備局災害対策本部運営計画に従い 8 時 30 分に風水害対策本部を設置し、12 時 30 分に警戒体制、14 時 30 分に非常体制に切り替えて対策にあたり、大雨の状況や対応状況等について情報収集し、「平成 16 年 7 月福井豪雨について」として適宜発表した。

また、福井河川国道事務所においても、災害対策基本法に基づく風水害対策部運営計画に従い、4 時 30 分に注意体制、5 時 47 分に第 1 警戒体制、14 時 10 分に第 2 警戒体制を敷き、災害現場に排水ポンプ車や対策本部車、衛星通信車等を配備し対策にあたった。また、足羽川ダム工事事務所においても、同様に風水害対策部運営計画に従い、7 時に第 1 警戒体制、9 時 55 分に第 2 警戒体制を敷いて対策にあたった。

【福井県】

福井県では、災害対策基本法に基づく福井県地域防災計画に従い、2 時 34 分に警戒配備体制を整え、3 時 10 分には各市町村、消防本部へ災害発生に備えるよう注意喚起、災害発生時の報告を依頼した。

また、5 時 25 分よりパトロールを開始すると共に、気象台等からの情報の収集、市町村等への連絡を行うと共に、8 時 15 分に福井地方気象台、福井地区消防本部と共同で「7 月 18 日の大雨洪水警報に関する連絡会議」を開いた。さらに、水防法に基づく福井県水防計画に従い、8 時 30 分には水防本部が警戒体制に入り、福井地区消防へ水防指令の発令等を行った。その後、福井県地域防災計画に従い、自衛隊、緊急消防援助隊の派遣要請を行い、11 時 20 分に水防本部を廃止し、災害対策本部を設置した。また、破堤の 1 時間前にあたる 12 時 15 分には福井市に対して、JR 鉄橋上流左岸側の避難勧告発令を要請した。

【福井市】

福井市では、3 時 24 分に総合防災室が情報収集を開始し、災害対策基本法に基づく福井市地域防災計画に従い、9 時に災害対策本部を設置した。また、市内各所に避難勧告、避難指示等を発令し、防災行政無線や広報車等により、住民に連絡していた。避難勧告は、10 時 20 分以降に右岸側の各地区に発令し、破堤した左岸側に対しては、破堤の 1 時間前にあたる 12 時 22 分に木田、豊地区に避難勧告を発令した。また、破堤直前には、左岸側一帯に避難指示を発令した。避難勧告、指示の発令状況の詳細については、3.4.2 を参照のこと。

【福井地区消防本部】

福井地区消防本部では、6 時に水防警戒第 1 体制、6 時 50 分に第 2 体制、7 時に第 4 体制を敷き、各地で水防、救助活動を行った。

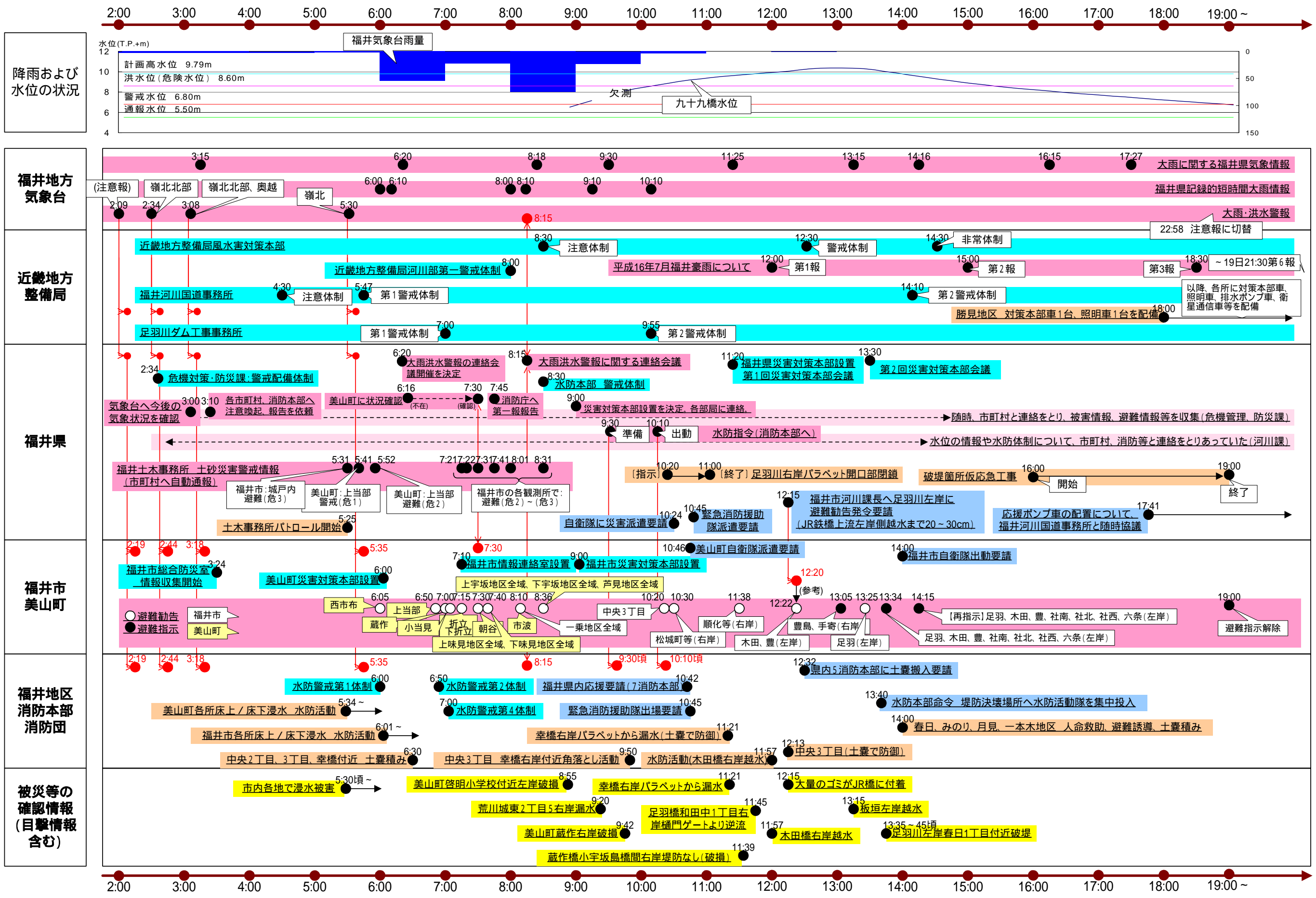


図-3.4.1 行政機関、消防団等の活動状況

3.4.2 避難勧告、避難指示の発令状況

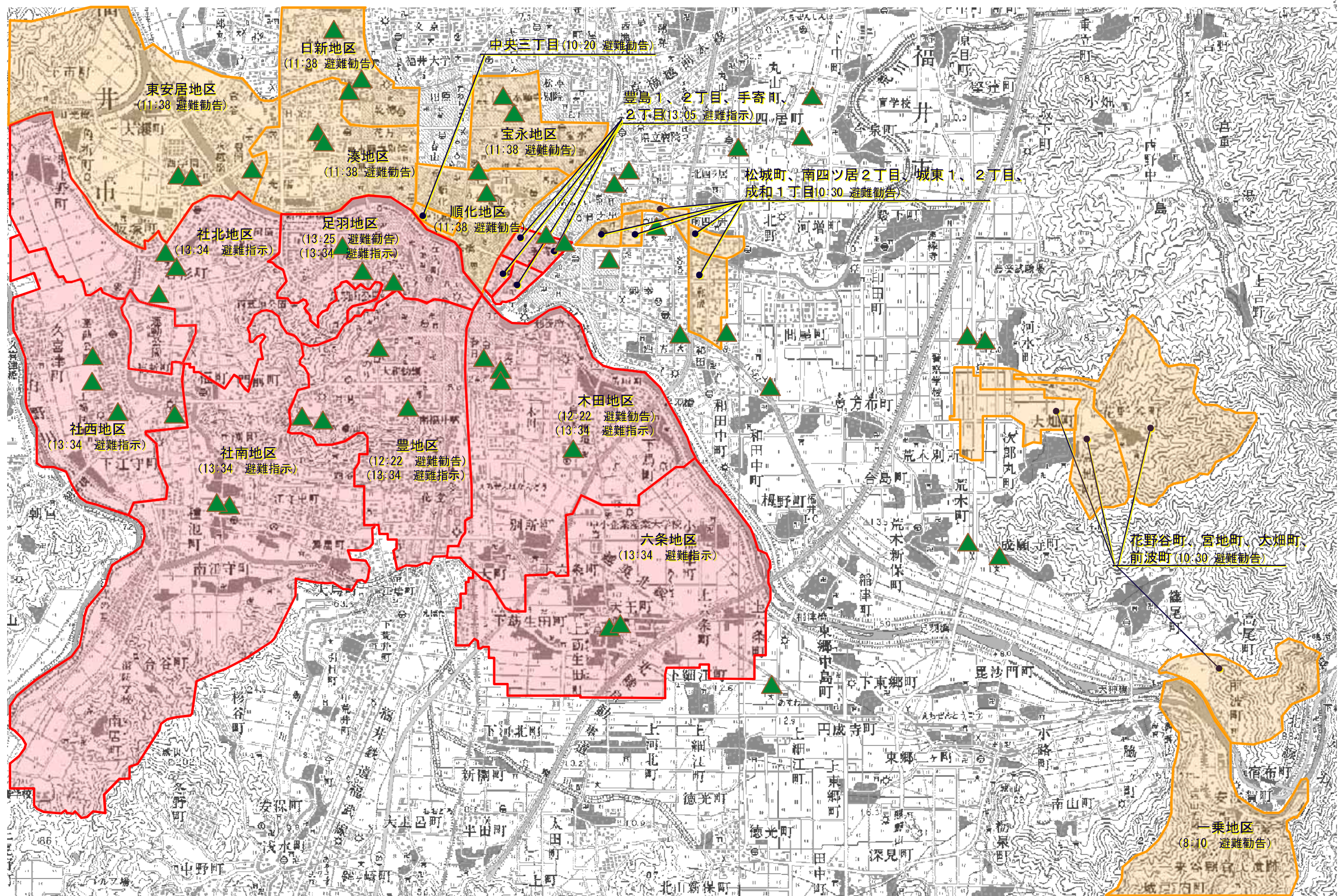
平成 16 年 7 月福井豪雨において、福井市では次ページの表-3.4.1 に示すような避難勧告、指示を発令した。

このように、福井市の市街地域においては、避難勧告の発令は足羽川右岸地域の方が早く、相対的に破堤した左岸地域は遅かった。これは、左岸側の越水に先立ち、右岸側で内水被害や特殊堤からの漏水が発生したためである。

- ・ 具体的には、右岸側では、午前中から足羽川右岸の特殊堤においても漏水が激しく、破堤する危険性があると考えられ、最初の避難勧告は、10 時 20 分に中央 3 丁目に対して発令された。その 10 分後には荒川の越水等による浸水被害が発生していたことから荒川流域の松城町、南四ツ居 2 丁目、城東 1、2 丁目、成和 1 丁目に発令された。そして、11 時 38 分には、順化、宝永、日新、東安居、湊地区の広範囲にわたって避難勧告を発令した。また、13 時 5 分に JR 鉄橋右岸上流において特殊堤の継ぎ手付近から漏水が激しく破堤する危険性が高いとの報告を受けたため、豊島 1、2 丁目、手寄 1、2 丁目に対して避難指示を行った。
- ・ 一方、左岸側では、春日 1 丁目（左岸 4.6km 付近）において 12 時 15 分頃より越水が始まり、13 時 35 分～45 分の間に破堤した。実際には、破堤の 1 時間前にあたる 12 時 15 分頃に、県河川課より JR 鉄橋付近が天端まで約 20cm から 30cm となり、危険な状態であるとの報告を受けたため、12 時 22 分に木田地区、豊地区に対して避難勧告を発令した。その後、13 時 25 分に足羽地区に避難勧告を発令し、春日 1 丁目付近で破堤する危険性が高まったため、13 時 34 分に足羽、木田、豊、社南、社北、社西、六条地区の左岸一帯に避難指示を発令した。

表-3.4.1 避難勧告、指示の発令状況（福井市）

時間	区分	地区	発令経緯
8:10	避難勧告	一乗地区全域	一乗地区で一部土石流が発生し、浄教寺町小次郎の里で67名が孤立し、救助を求めているという報告を消防本部から受けたこと。福井市防災情報システムによる気象情報や福井地方気象台のHPによる各地域の気象情報を総合的に判断し勧告を行った。また、安波賀町については県の河川水位電話応答システムによる河川の水位なども総合的に判断して、避難勧告を行った。
10:20	避難勧告	中央3丁目 (足羽川右岸)	幸橋右岸下流の特殊堤の角落とし部分(大岩河戸)で漏水防止工法を行うが、特殊堤(コンクリート製)の隙間から水が噴出し危険な状態であると消防本部から報告を受け避難勧告を行った。
10:30	避難勧告	松城町、南四ツ居2丁目、城東1,2丁目、成和1丁目(荒川流域)、前波町(足羽川上流)、花野谷町、大畑町、宮地町(土石流)	荒川水系が一部越水状態となったことを、市河川課や消防本部から報告を受けて荒川下流域に避難勧告を行い、前波町付近で足羽川(右岸)が越水状態となったことを消防本部から報告を受け避難勧告を行った。また、花野谷町、大畑町、宮地町においては土石流が発生したため、普通河川や農業用水路等が溢れ、危険な状態であると消防本部から報告を受け避難勧告を行った。
11:38	避難勧告	順化、宝永、日新、東安居、湊地区 (足羽川右岸)	市河川課や中消防署長からの幸橋付近、佐佳枝ポンプ場付近、三谷館付近で特殊堤の亀裂箇所からの漏水が著しく危険であるとの報告があり、県の河川水位電話応答システムによる足羽川の水位や、福井市防災情報システムによる気象情報、福井地方気象台のHPによる各地域の気象情報から総合的に判断し、足羽川右岸沿線で危険がおよぶことが想定される地域に対し避難勧告を行った。
12:22	避難勧告	木田地区、豊地区 (足羽川左岸)	県河川課より12時20分に市河川課を通じてJR鉄橋付近が天端まで約20~30cmとなり、危険な状態と報告を受けたため避難勧告を行った。
13:05	避難指示	豊島1,2丁目、手寄1,2丁目 (足羽川右岸)	13時5分にJR鉄橋右岸上流において特殊堤の継ぎ手付近から漏水が激しく特殊堤が転倒する等、破堤する危険性が高いと消防本部から報告を受けたため避難指示を行った。
13:25	避難勧告	足羽地区 (足羽川左岸)	消防本部から、木田橋南詰め付近で越水状態となったとの報告を受け、下流地域についても避難勧告が必要であると判断したため避難勧告を行った。
13:34	避難指示	足羽、木田、豊、社南、社北、社西、六条地区(足羽川左岸)	13時31分に消防本部より春日1丁目付近で越水し、破堤する危険性が高いと報告を受けたため避難指示を行った。
14:15	避難指示 (再指示)	足羽、木田、豊、社南、社北、社西、六条地区(足羽川左岸)	破堤により泥水が市街地に流出し危険な状況となっていたが、避難が遅れていると消防本部から報告を受けたため、足羽、木田、豊地区に再度避難指示を行った。また、社南、社北、社西、六条地区については、消防本部、社南地区連合自治会長から江端川の河川水位が上昇し、堤防から数箇所に漏水が発生しており、破堤する危険性が高いと報告を受けたため再度避難指示を行った。



この地図は、測量法第29条に基づき、国土地理院長の承認「平16北規、第290号」を得て作成したものを転載しました。

避難勧告

避難指示

▲ 福井市地域防災計画に基づく避難勧告地区内の避難所

図-3.4.2 避難勧告・避難指示の発令地域

3.4.3 住民調査結果

平成 16 年 7 月福井豪雨において、福井市街地で避難勧告・指示が発令された地域の住民に対して、

平常時における災害に関する意識

7 月 18 日当日の行動

今後の行政に対する要望など

を調査した。調査結果を以下に示す。

表-3.4.2 調査概要

調査名	平成 16 年 7 月福井豪雨についての住民調査
調査対象地域	・足羽川右岸 避難指示・避難勧告が発令された地域 ・足羽川左岸 避難指示・避難勧告が発令され、 かつ床上及び床下浸水の被害を受けた地域
調査対象者	上記の調査対象地域に居住する 20 歳以上の男女 500 人 (左岸/東 200 人、左岸/西 200 人、右岸 100 人)
調査方法	個別面接聴取法
調査期間	平成 16 年 10 月 8 日(金)～10 月 18 日(月)
回収数(回収率)	402 件(80%) (内訳:左岸 316 件(79%)、右岸 86 件(86%))

(1) 防災意識

水害前に付近の川(足羽川、荒川)が氾濫するかもしれないと思っていた人は 3～4 割程度で、多くの方が「まさか川が氾濫するとは思っていなかった」と考えていた。

なお、氾濫しないと思った理由としては、「最近川が氾濫したことがないから」「なんとなく川が氾濫することなどないと考えていた」という回答が多くを占めた。

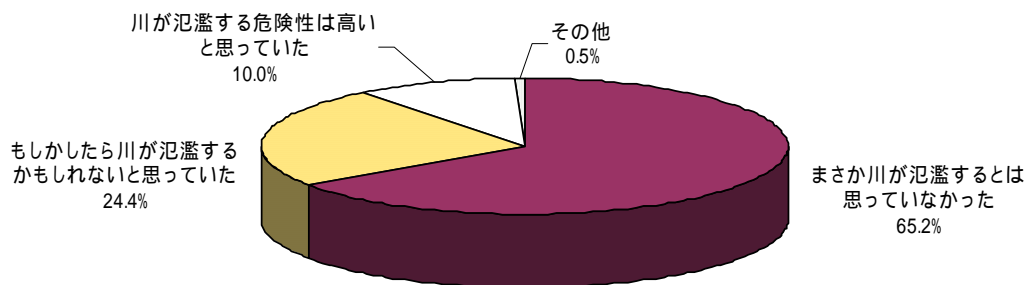


図-3.4.3 付近の川(足羽川、荒川)が氾濫するかもしれないと思っていたか

[母数=402(全回答者)]

また、大雨が降っていた 7 月 18 日の午前中において、不安を感じていた人と感じていなかった人はほぼ同数であった。なお、不安を感じていなかった理由としては、多くの方が「まさか川が決壊するとは思わなかったから」「まさか川の水が溢れるとは思わなかったから」と考えていた。

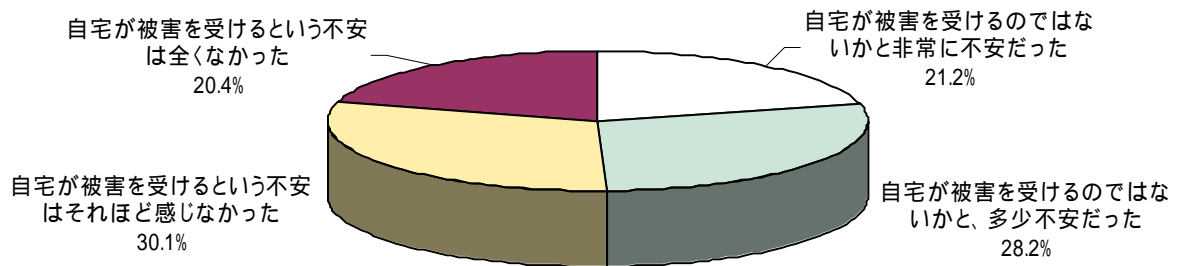


図-3.4.4 大雨が降っていた7月18日の午前中に不安を感じていたか

〔母数=372(7月18日の朝から午後にかけて福井市にいた回答者)〕

(2) 住民への情報伝達

7月18日の朝に大雨警報・洪水警報が発令されたことについては、川が決壊して水が広がる前に知っていた人は4割弱であり、特に被害が大きかった左岸側の方が知らなかった人の割合が大きいという結果になった。

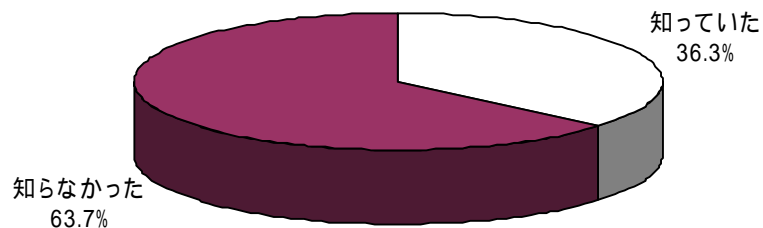


図-3.4.5 浸水する前に大雨・洪水警報が発令されていることを知っていたか

〔母数=372(7月18日の朝から午後にかけて福井市にいた回答者)〕

また、避難勧告や避難指示についても、水害が起こる前に聞いた人は3割強であり、特に、左岸側では「まったく聞かなかった」という回答も多かった。

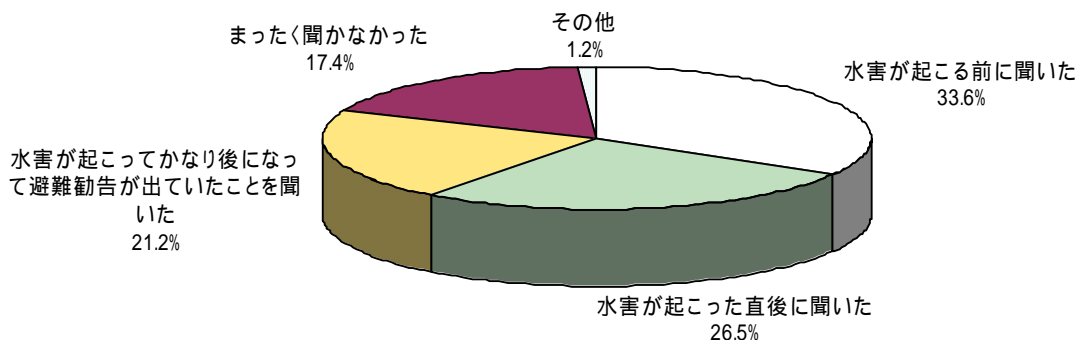


図-3.4.6 避難勧告、避難指示をいつ知ったか

〔母数=339(7月18日の昼頃に避難勧告が発令された地域にいた回答者)〕

(3) 避難行動

大雨が降った7月18日の午前中から午後にかけて、水害に備えて何かをしたかという質問に対しては、半数弱の人が「テレビなどで気象情報を集めるようにした」と回答した。また、4割弱の人が「家財を2階など高いところにあげた」としている。

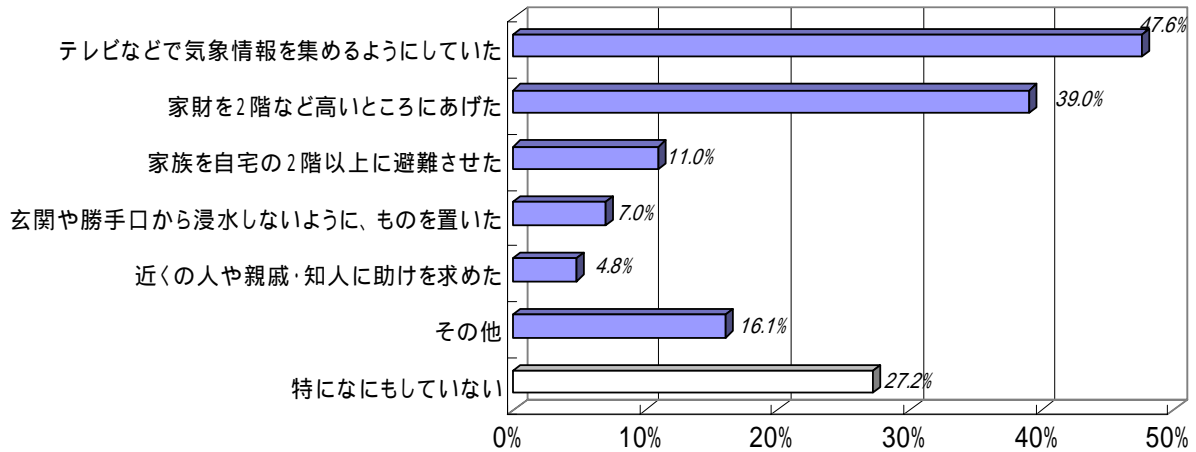


図-3.4.7 7月18日の午前中から午後にかけて、水害に備えて何かしたか〔複数回答〕
〔母数=372(7月18日に福井市にいた回答者)〕

また、4割弱の人がなんらかの避難行動を起こしている。

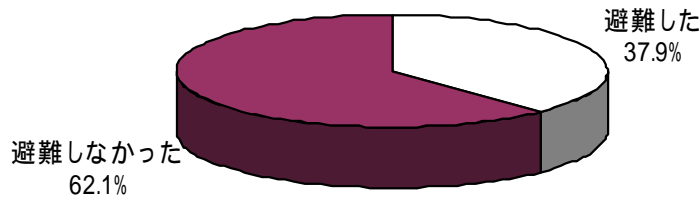


図-3.4.8 7月18日に避難したか
〔母数=372(7月18日に福井市にいた回答者)〕

さらに、水が迫ってきたとき、どうしましたかという質問に対しては、「そのときに居た建物の2階以上に避難した」「市が指定した避難所まで避難した」とした人がそれぞれ2割程度いた。

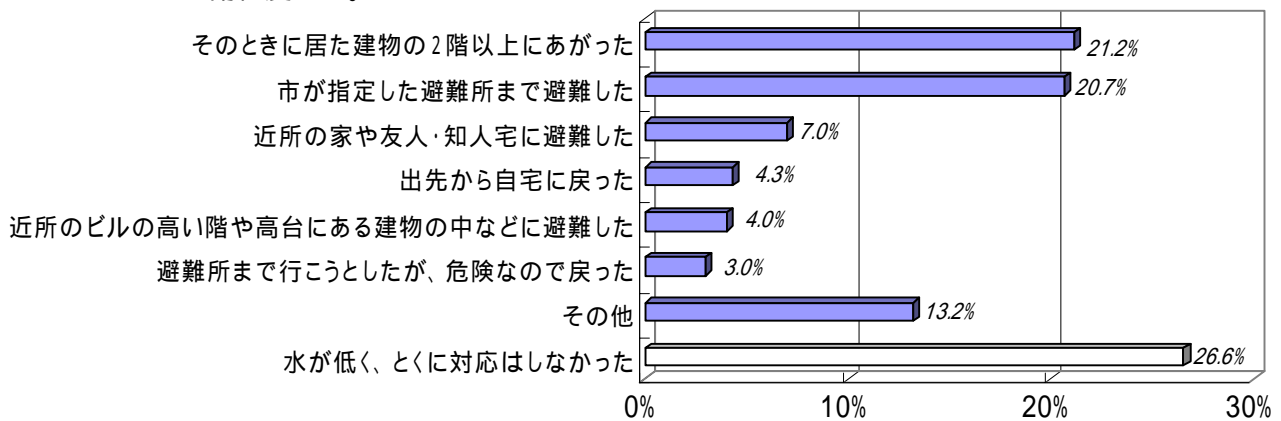


図-3.4.9 水が迫ってきたときにどうしたか
〔母数=372(7月18日に福井市にいた回答者)〕

また、避難行動においては、8割弱の人が、ひざよりも上まで浸水した状態で避難しており、多くの人が避難行動において危険を感じていた。

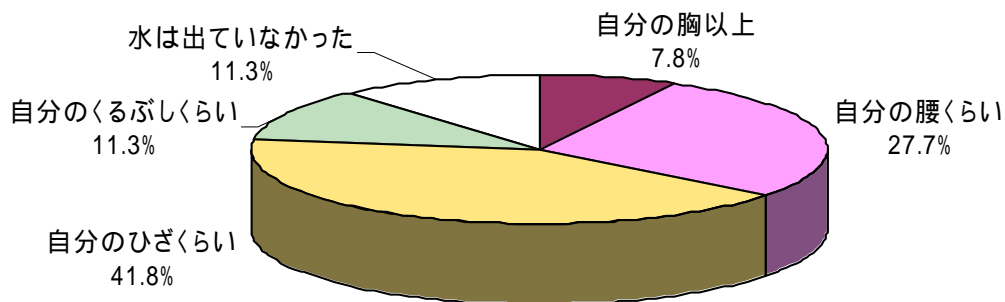


図-3.4.10 避難したときにどこくらい水位があったか

〔母数=141(避難行動を起こした回答者)〕

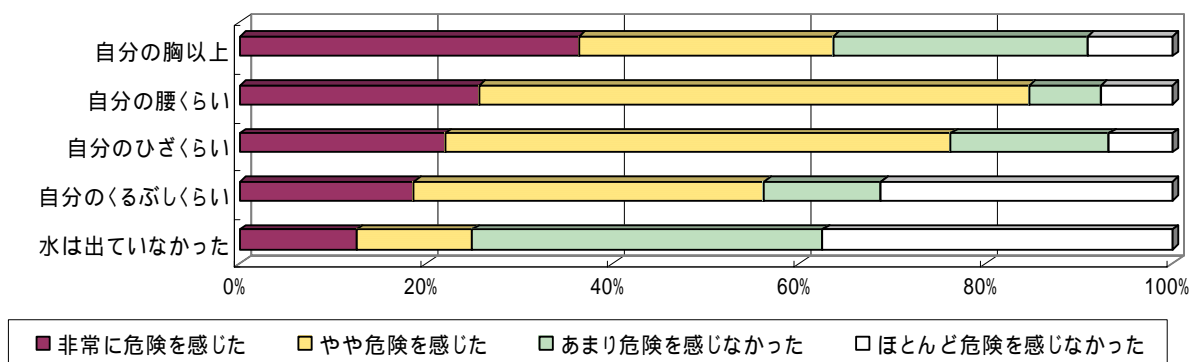


図-3.4.11 避難したときに危険を感じたか

〔母数=141(避難行動を起こした回答者)〕

(4) 行政への評価、要望

「川の決壊情報が伝達されなかった」、「避難勧告が遅かった」といったことが不十分であったと考えている人が多く、特に左岸側でその割合は高くなっている。また、左岸側では、川の決壊情報が伝達されなかったことに不満を持っており、避難勧告以外にも状況把握や判断に役立つ情報に対するニーズが高いことが見てとれる。

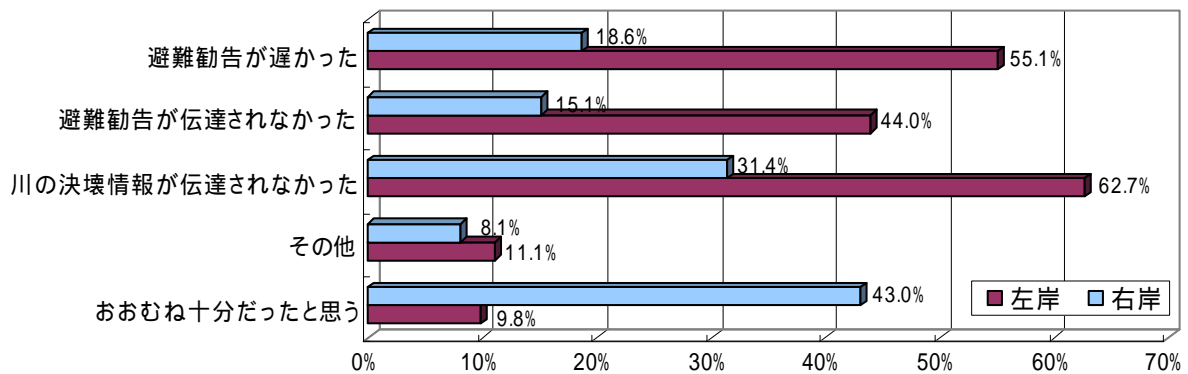


図-3.4.12 行政の対応について不十分だったと思うこと〔複数回答〕

〔母数=402(全回答者)〕

また、「たとえ空振りになる可能性があっても、避難勧告や避難指示は早めに出してほしい」を考えている人が9割を超え、「水害のとき、遠くに避難するよりも、近くのビルの高い所が安全であればそこに逃げた方が良い」と考えている人も8割弱いるという結果になった。

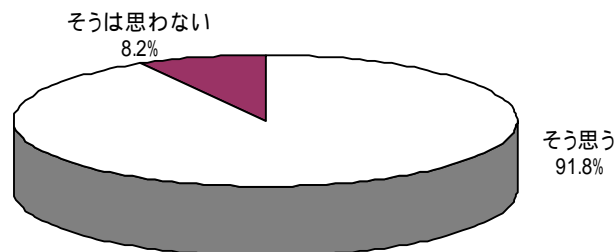


図-3.4.13 たとえ空振りになる可能性があっても避難勧告は早めに出してほしいか

〔母数=402(全回答者)〕

なお、今後、充実して欲しい行政の防災対策や、水害時に欲しかった情報については、図-3.4.14、図-3.4.15の通りとなっており、「河川の堤防の改修や整備」以外では、情報の提供に対するニーズが高いことが伺える。

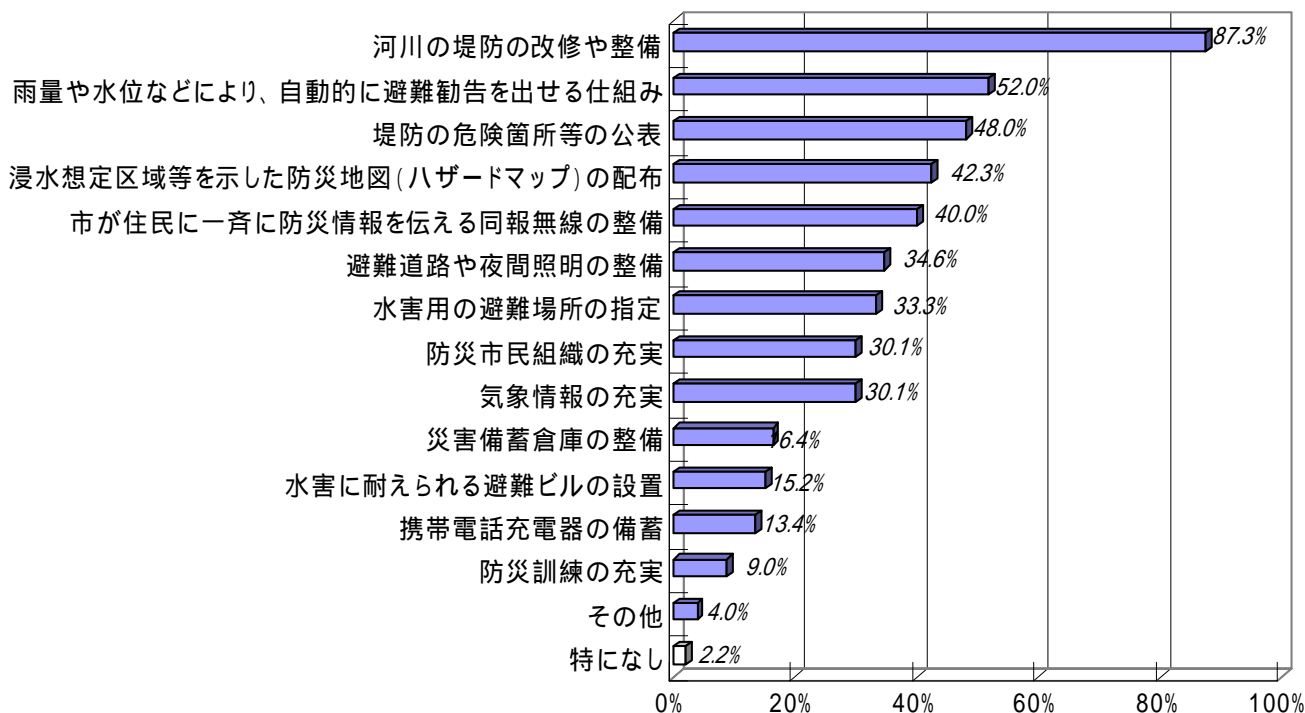


図-3.4.14 今後、より充実してほしい行政の防災対策は何か〔複数回答〕

〔母数=402(全回答者)〕

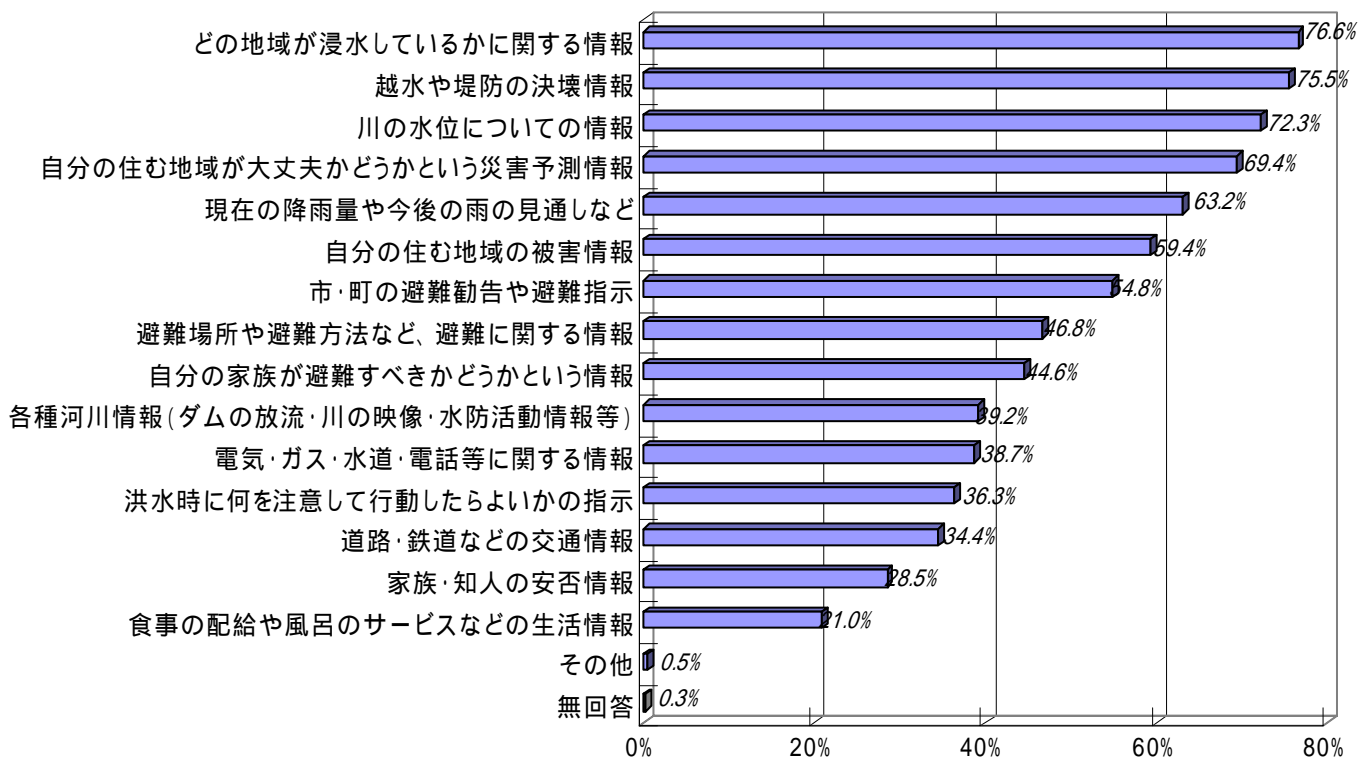


図-3.4.15 水害時にほしかった情報は何か〔複数回答〕

〔母数=372(7月18日に福井市にいた回答者)〕

(5) 災害弱者対応

約4割の回答者が自宅に「災害時に避難するときなど、援助あるいは支援が必要な人」がいるとしており、その中の1割強の人は「援助あるいは支援ができる人が同居していない」として。また、「すぐに助けに来てくれる人がいないので、不安だ」という回答も2割強あった。

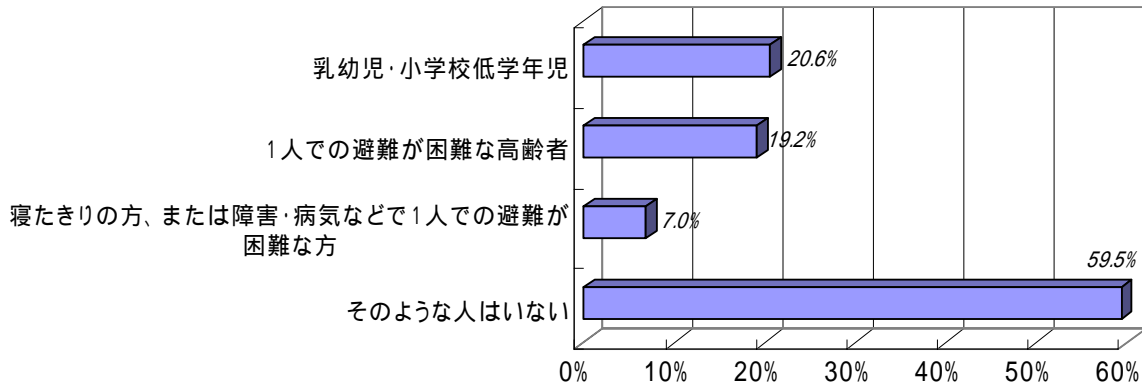


図-3.4.16 災害時に援助あるいは支援が必要な人はいるか〔複数回答〕

〔母数=402(全回答者)〕

また、高齢者や障害を持つ人など災害時に援助や支援を必要とする人をあらかじめ登録しておき、いざという時にこのような人たちの避難を支援する人を近所の人の中からあらかじめ決めておく仕組みを作ることについては、9割強が賛成している。

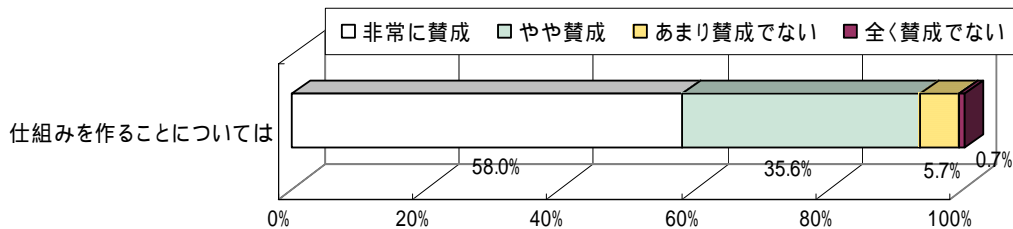


図-3.4.17 要支援者を登録し、支援者を予め決めておく仕組みについてどう思うか

〔母数=402(全回答者)〕

3.5 課題の整理

平成 16 年 7 月福井豪雨の実態を把握した結果、以下のような課題があげられた。

(1) 気象予報・洪水予報に関する課題

気象予報の精度向上

現在の数値予報では、局地的な豪雨を、いつ、どこに、どのくらいかを前もって予報する精度を持っていない。数値予報モデルの改善には、飛躍的に計算量が増えてくるなどの課題があるものの、今後とも改善が必要である。

洪水予報の実施

平成 13 年 7 月に水防法と気象業務法の一部改正の改正が施行され、従来の国土交通大臣が気象庁長官と共同で行う洪水予報に加えて、都道府県知事が指定した河川について気象庁長官と共同で洪水予報を実施することができるようになってきている。このため、洪水による被害を防止・軽減するため、气象台との連携を強め、今後、早急に洪水予報を実施する必要がある。

水位・流量観測の充実

洪水予報とも関連するが、日野川合流点から管理区間上流端にいたる区間での水位・流量観測の強化を図り、河川情報を的確に把握する必要がある。

(2) 河道に関する課題

水位低下・流下能力の向上

福井豪雨による越水、および破堤により災害を受けたことから、早急な河道の整備、橋梁の架け替え、ポンプ排水操作の調整、河道内許可工作物の設置への指導等が必要である。

・ 河道の整備

再度災害防止の観点からのハード整備として、河床掘削、堤防補強等により河道の整備を行う必要がある。

・ 橋梁の架け替え

今回の検討区間には、破堤地点 4.6km 下流の 3.0km までに合計 10 の橋が架かっており、そのうち、6 橋は架け替え済みであるが、現時点では幸橋、新 JR 橋の架け替えが行われており、2 橋が今後架け替え予定である。これらの 4 橋完成により、仮設橋設置を含む河積阻害が改善され水位低下が期待できるため早期の架け替えが必要である。

・ ポンプ排水操作の調整

荒川排水機場等からの内水排除に関しては、地域住民や関係機関との十分な協議をもとに、超過洪水時を含めたポンプ排水操作の調整の検討を行なう必要がある。

低水路の線形計画

本検討会では、破堤地点を中心とした上下流区間を対象として、洪水の水位・流況（流向・流速）を検証した結果、河道の湾曲部外側が必ずしも水衝部ではな

いことなど、河道の縦横断形状のみならず、低水路法線を含む平面形状が非常に重要となることが判明した。このため、河道計画においては流況改善を目的として、水衝部の堤防補強等を含む低水路の拡幅と同時に、堤防近くの高水敷の流速を低減させるための低水路法線形の見直し等が必要である。

(3) 堤防に関する課題

破堤箇所の復旧

本調査検討委員会における破堤の要因は、越水洗掘による侵食と浸透による脆弱化が複合的に生じた結果と考えている。今回の破堤のメカニズムの解明結果をもとに、左岸の破堤箇所の堤防の復旧対策・工法・諸元について、安心と安全性を確保する適切な工法による復旧が必要である。

特殊堤を含むその他の堤防の強化

今回漏水などが発生した右岸側の特殊堤について、対策方針・工法の検討を早急に行う必要がある。

その他の堤防の強化対策として、計画高水位に対して安全性を有するよう復旧、補強等の強化が必要である。

(4) 情報提供、情報交換に関する課題

行政機関や消防団等の関係機関における情報交換に関するヒアリング調査、「平成16年7月福井豪雨についての住民調査」の結果、以下の項目の再整理、実施計画の策定が求められる。

関係機関の情報交換

災害時の情報収集、提供や、水防活動、救助活動、避難誘導などに従事する関係機関において、的確に状況を把握し、適切な判断、行動等を行うため、迅速かつ確実に情報を収集、交換する必要がある。

災害時、平常時における住民への情報提供

災害時における住民の的確な状況把握や対応行動を促すとともに、平常においても日頃からの住民の防災意識を高めるために、住民に対して、的確に情報を提供していくことが必要である。

福井県では、風水害対策の強化を図ることを目的に、平成15年2月に福井県地域防災計画を改訂し、水防計画も毎年見直しているところであるが、今回の平成16年7月福井豪雨の情報提供、情報交換に関する課題を踏まえ、県および市町村において計画の再度の見直しが必要である。

4. 再度災害防止に向けて

4.1 基本方針

3.5 の課題の整理をもとに、再度災害防止の観点から、ハード整備・ソフト整備にわけて基本方針を整理すると図-4.1.1 となる。

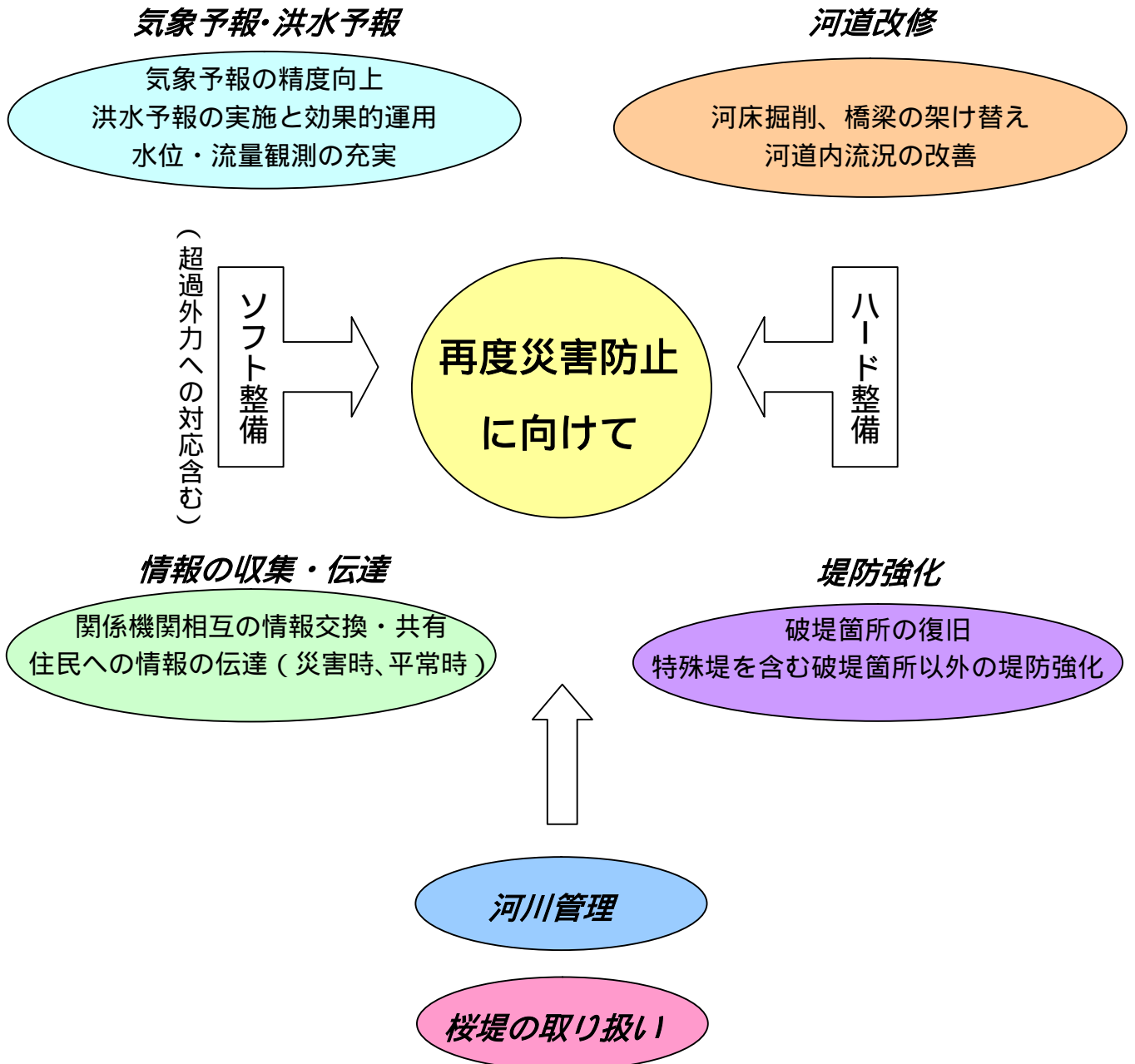


図-4.1.1 再度災害防止に向けた基本方針

4.2 気象予報・洪水予報

(1) 気象予報の精度向上

気象庁では、数値予報モデルの精度向上に早急に対応するため、平成18年3月を目標に、現在使用されているメソ数値予報モデルの改善を行っている。

また、その1年半後の平成19年の台風到来期までに、次のさらなる改善を行い、より精度の高い降雨予報の提供が望まれる。

(2) 洪水予測システムの構築と効果的運用

福井県では、洪水による被害を防止・軽減するため、足羽川を含む5河川について洪水予報の準備を進めているが、出水期までには、一部試験的に予報を開始し、できるだけ早い洪水予報の実施と効果的運用を図ることが望まれる。

(3) 水位・流量観測の充実

日野川合流点から管理区間上流端に至る区間での水位・流量観測の強化を図り、河川情報を的確に把握することが望まれる。さらに、他の県の管理区間においても、今後とも水位・流量観測の充実が望まれる。

4.3 河道改修

(1) 流下能力の向上

図-4.3.1 に示すような河床掘削や橋梁の架け替え等を実施すると、図-4.3.2 の水位が、図-4.3.3 に示すように、3.8km から 4.9km 付近の区間で一部計画高水位を越える箇所があるが、ほぼ計画高水位で流下可能である。

河床掘削等により、破堤地点 4.6km で水位が約 1.5m 低下するため、再度災害防止にあたっては、河床掘削とともに、速やかに幸橋とJR橋などの架け替えを行い、洪水位を低下させることが望まれる。

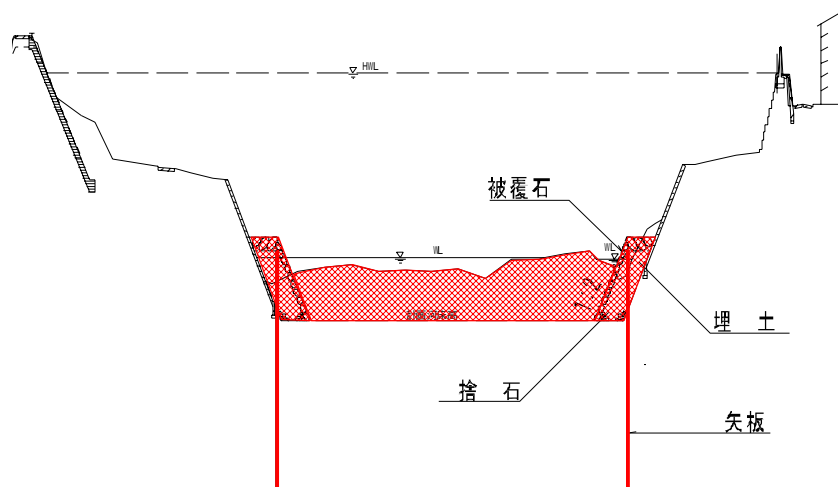
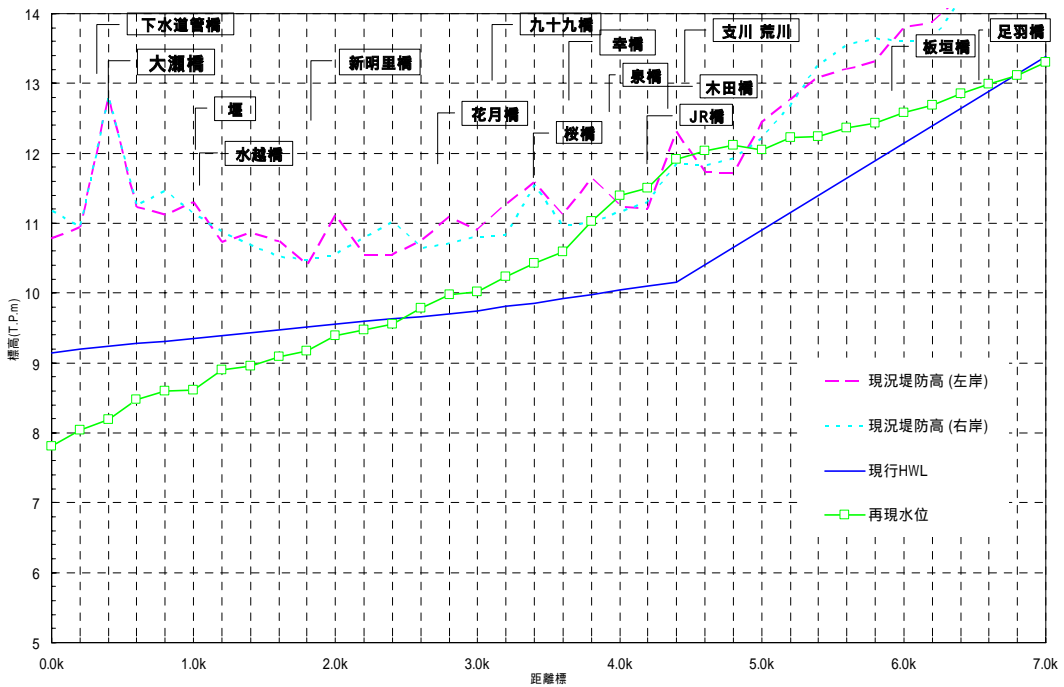
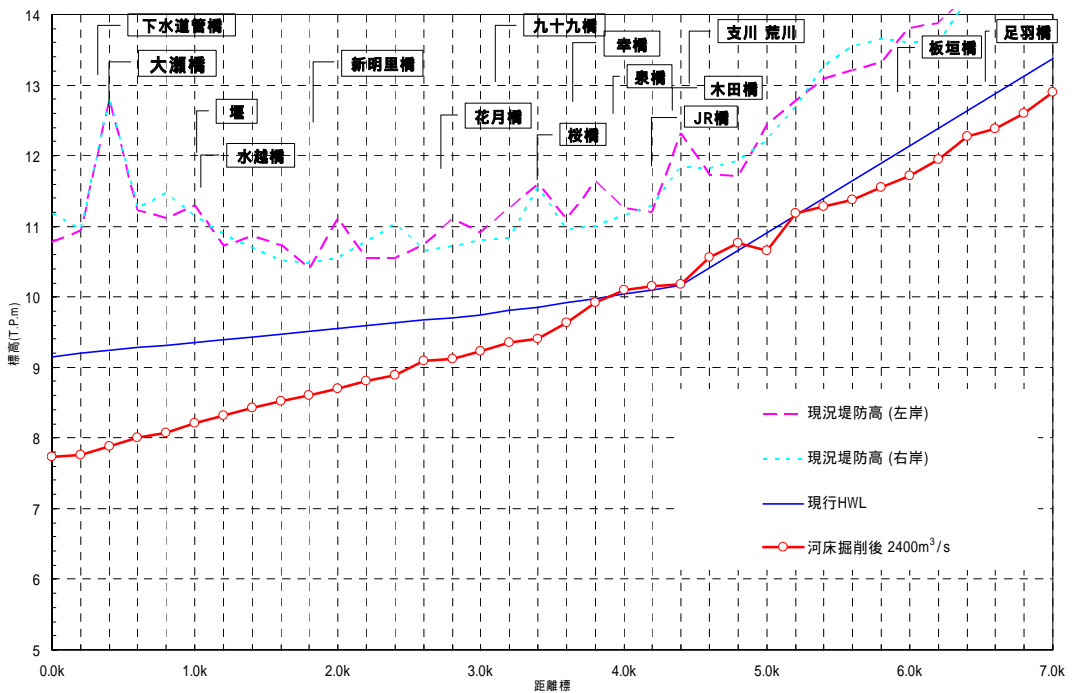


図-4.3.1 足羽川河床掘削イメージ図



出典：第25回九頭竜川流域委員会資料(平成16年11月18日)

図-4.3.2 福井豪雨の発生時の水位縦断面図



出典：第25回九頭竜川流域委員会資料(平成16年11月18日)

図-4.3.3 河床掘削後の水位縦断面図(福井豪雨規模の洪水発生時)

(2) 河道内流況の改善

河道内流況解析の結果、木田橋上流の洪水主流は、5.4km 付近の左岸高水敷に乗り上げた流れが 5.2km 付近から右岸側に向い、5.0km 付近から低水路河岸に沿って流下する。

さらに、右岸高水敷に乗り上げ低水路河岸に沿った流れは、再び左岸に向かうことから、4.3km から 4.4km にかけての河岸が水衝部になる。

この付近の流れをスムーズにし、水衝部への影響を緩和するためには、5.0km 付近から下流にかけての右岸側の高水敷を掘削し、低水路を拡幅するのが効果的であると考えられる。

低水路拡幅の一つのケースとして、JR 橋から 4.8km 区間の右岸高水敷を掘削して、滑らかな低水路法線となるように計画した場合の流況改善効果を検討した。

現況低水路幅のまま河床掘削した場合の河道と低水路を拡幅して河床掘削した場合の 2 ケースの河道における福井豪雨の流量時の計算結果を図-4.3.4 に示す。

この結果から、以下の効果が推定された。

- ・ 水位分布図より、水位の低下が見られる。
- ・ 流速分布・流向図より、現況低水路法線とした場合の流況では、福井豪雨時と同様に 4.6km 右岸高水敷上の流速は 3.5(m/s)程度となるが、低水路を拡幅することにより主流がほぼ低水路内で流下するため、高水敷上の流速は 1.5(m/s)程度と軽減される。
- ・ JR 橋～4.6km 区間の低水路が拡幅されることにより、拡幅前は 3.5(m/s)程度であった低水路内流速が 3.0(m/s)程度へと軽減される。また、左岸において堤防に近接している箇所の高水敷流速についても、拡幅前は 2.5(m/s)程度であった高水敷流速が 2.0(m/s)程度へと軽減される。

これらの試算より流況改善策としては、低水路法線の変更が有効であると考えられる。

なお、低水路法線が滑らかになったことで、堤防付近での流速分布が早くなった場所も存在せず流況の改善効果があるが、今後、実際の工事に当たっては、高水敷利用形態や橋梁架け替え計画（橋脚の構造諸元・設置位置を含む）、荒川排水機場などの構造物との取り合いにも配慮した上での施工が望ましい。

(3) その他の配慮事項

工事期間中の治水安全度維持への配慮

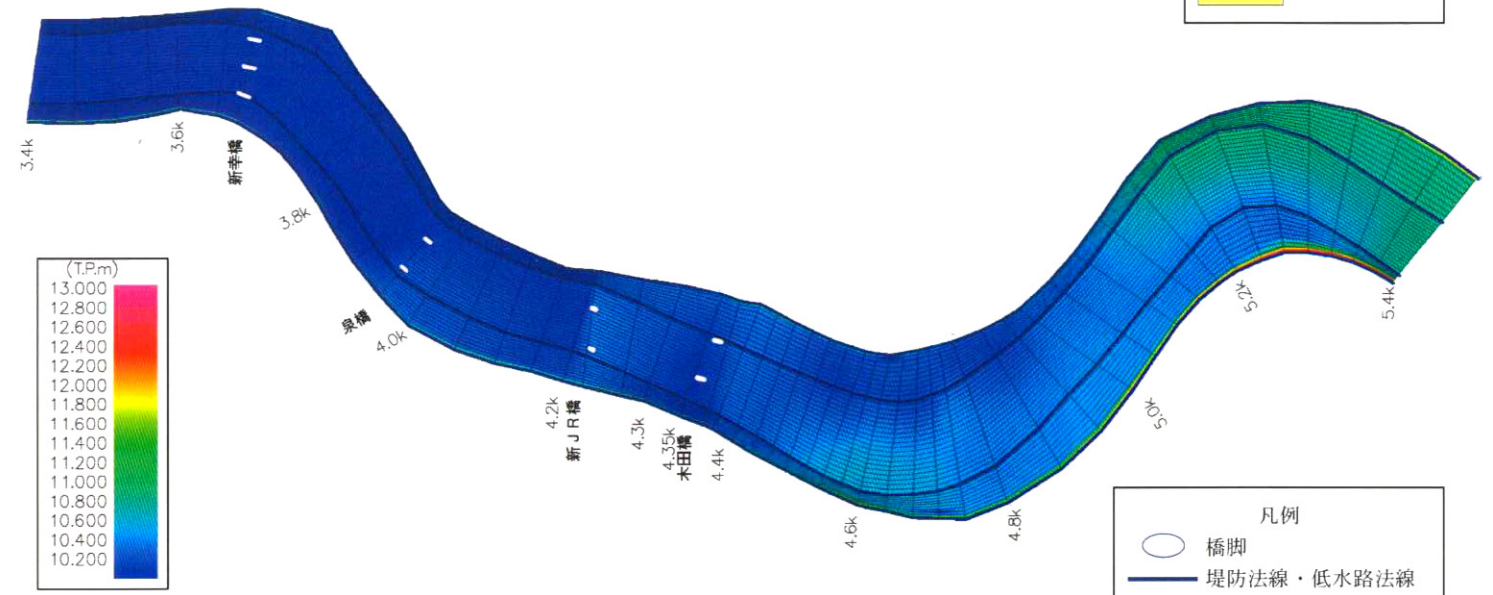
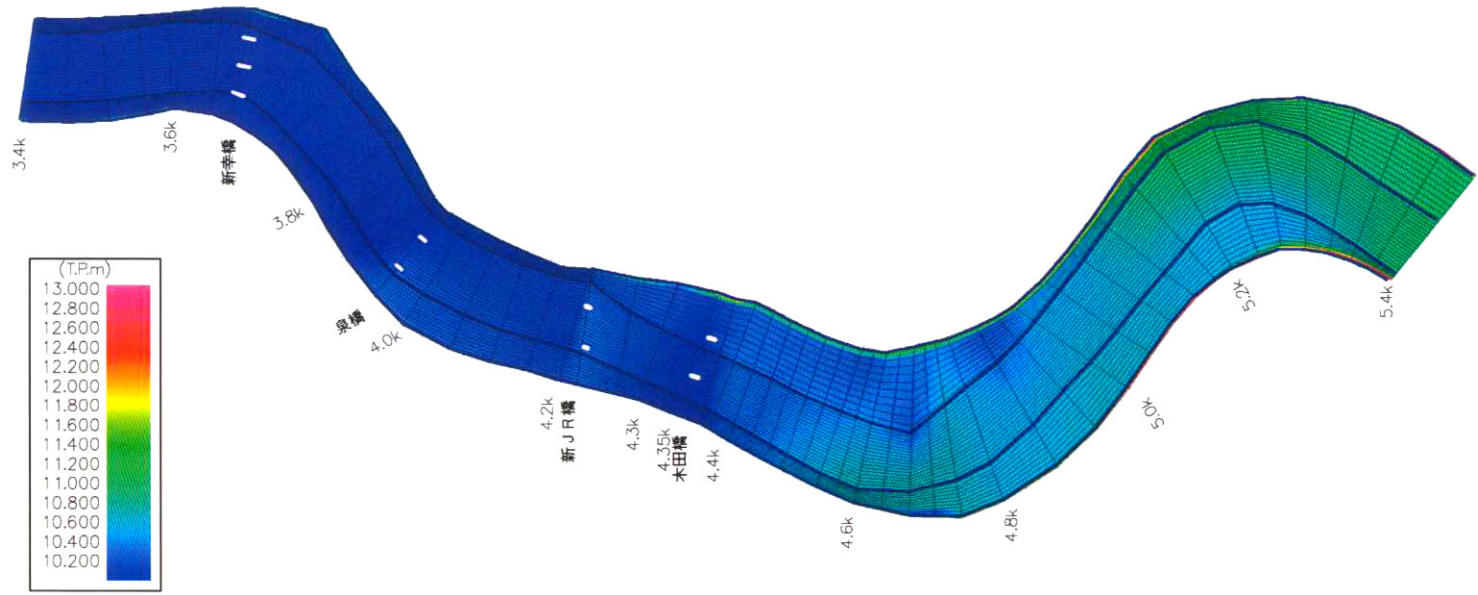
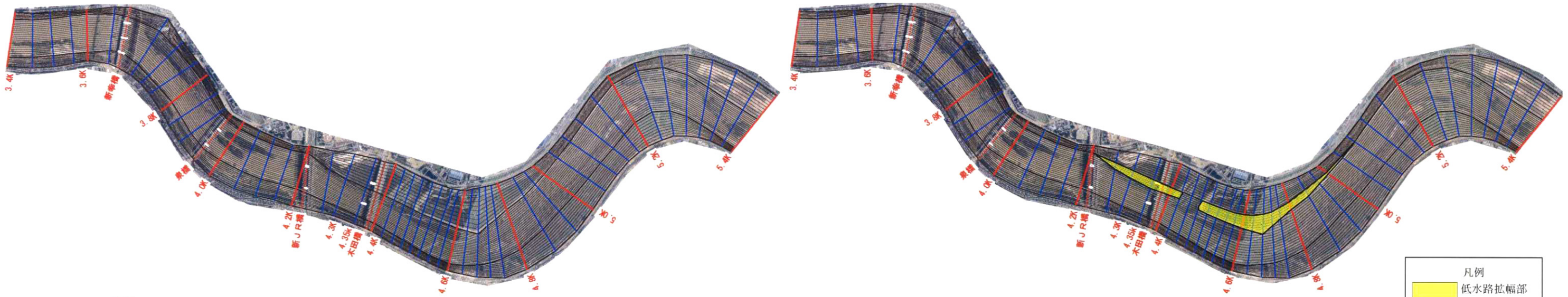
河川改修後のみならず、河川改修の工事期間中においても、現況流下能力以上の洪水の発生が十分に想定される。このため、再度災害の防止の観点から、工事区間上流域における雨量・水位観測所の情報を活用した安全対策、さらに橋梁等の架け替え工事においても治水上の安全確保への十分な配慮が望まれる。

景観および自然環境への配慮

- ・ 足羽川下流部の河道内には、アジメドジョウ、アカザ、ウツセミカジカ等の重要な種の魚類が確認されている。今後の河川改修に当たってはこれらの魚類の生息や植生の回復に十分な配慮が望まれる。
- ・ 足羽川は都市域における貴重な水辺空間を提供していることから、親水性や景観に配慮しながら、良好な河川環境の創出に努めることが望まれる。
- ・ 都市域での改修工事のため、工事中の騒音・振動の低減に努める必要がある。
- ・ 治水上の観点のみならず景観面からも河道内樹木管理方法への十分な配慮が望まれる。

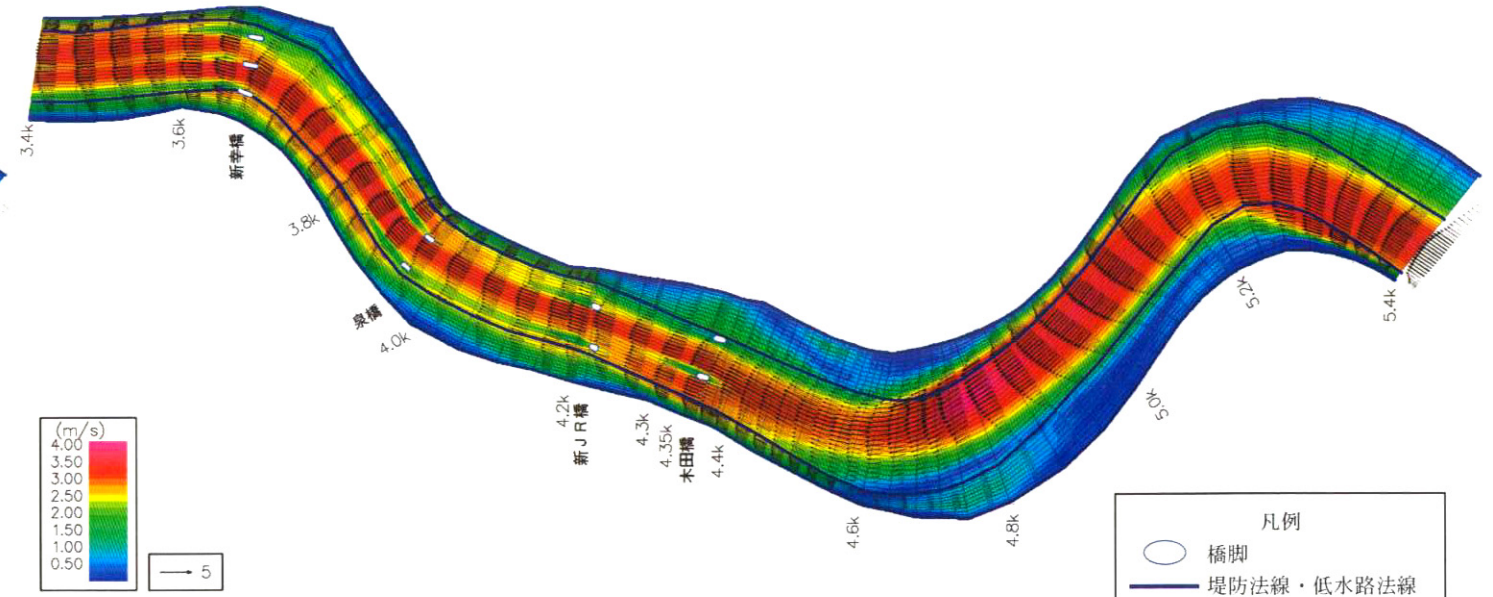
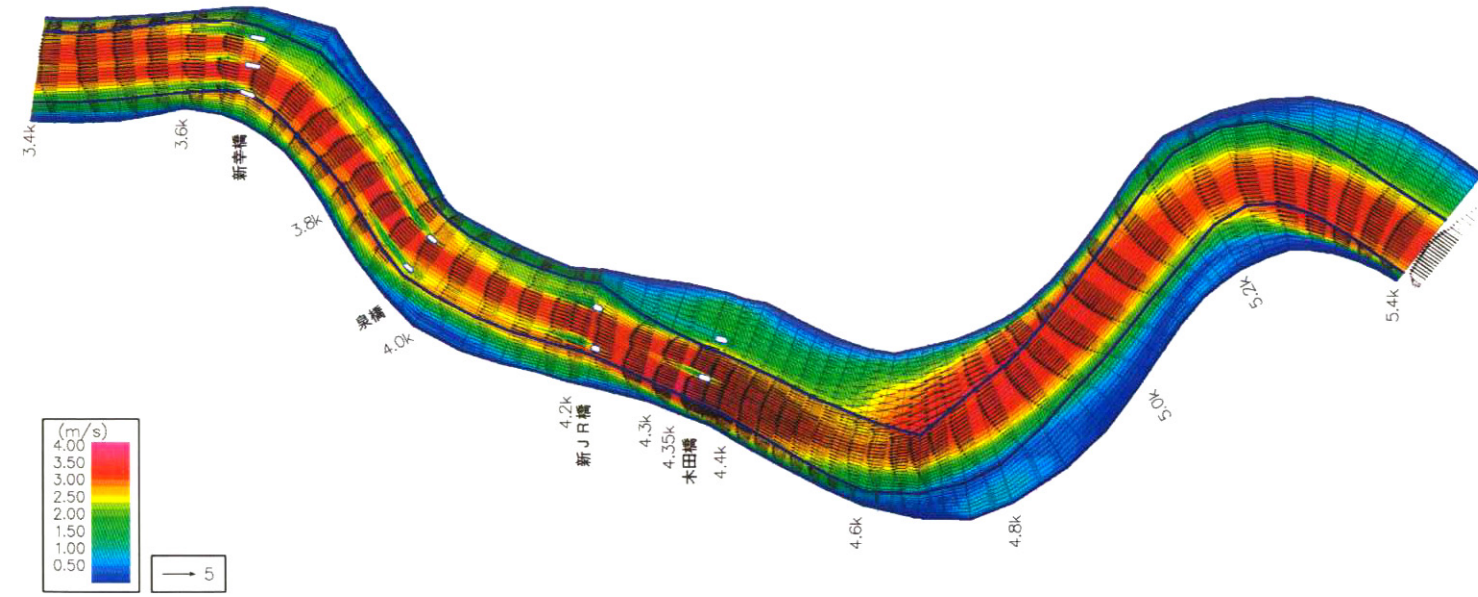
【河床掘削後】

【河床掘削+低水路拡幅後】



【水位分布図】

【水位分布図】



【流速分布・流向図】

【流速分布・流向図】

図-4.3.4 水位分布および流速分布・流向図(低水路法線の違いによる比較)【福井豪雨ハイドロ(4.6km 地点水位ピーク時)】

4.4 堤防強化

堤防強化にあたっては、本調査検討を踏まえ破堤箇所を含む検討対象区間において、次に示す方針のもとに実施することが望ましい。

なお、河川堤防の質的強化にあたっては、「河川堤防設計指針（平成14年7月12日付け国河治課長通達）」に基づき、「河川堤防の構造検討の手引き（平成14年7月（財）国土技術研究センター）」に準拠することが望ましい。

① 河道内侵食に対する河川堤防の安定性

- ・河道内侵食そのものを抑制する。

② 浸透に対する河川堤防の安定性

- ・降雨・河川水の浸透を抑制する。
- ・堤体浸透水を速やかに排水する。

（1）破堤箇所の復旧

破堤区間の堤防復旧にあたっては、図-4.4.1に示すように堤防断面欠損部は良質な購入土を用いて築堤し、川表のり面被覆工（護岸など）と天端アスファルトを敷設することで堤体内への河川水・降雨の浸透を抑制する。施工にあたっては、使用材料の力学試験、透水試験、締め固め試験などを行い、土質・浸透特性を把握し、現場状況を踏まえ適切に施工管理を行うものとする。

（2）破堤箇所以外の堤防の取り扱い

一般堤防部は、次に示す手順にもとづき調査・検討を行い、必要な箇所は堤防強化対策を実施する必要がある。なお、堤防天端については、調査・検討結果より天端アスファルトが耐浸透対策に有効であることから、全区間における実施が望ましい。

- ①浸透に対する概略評価に用いる基礎調査を行う。
- ②浸透に対する概略評価を実施し、Cランク、Dランク^{*})を抽出する。
- ③Cランク、Dランクを対象として、対策を実施する一連区間を設定し、この区間における代表断面において一連の安全性の照査を行う。
- ④安全性の照査の結果、安全性を満足しない区間は対策工の検討・設計を行う。なお、対策工の実施にあたっては、構造の連続性・整合性に配慮する。

特殊堤部は、コンクリート躯体の健全度、背面の空洞化・緩み状況を把握し構造物の健全性評価を行う。あわせて、堤体基礎地盤の把握を目的とした地盤調査を行い、構造物としての安定性照査を行う。これら調査・検討結果より対策方針を策定することが望ましい。

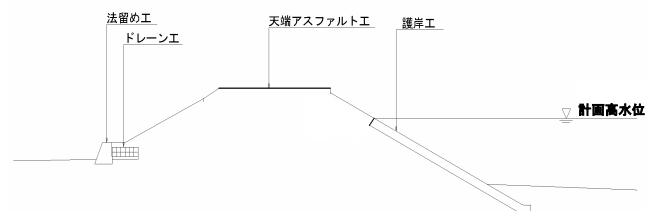


図-4.4.1 一般部堤防強化の例

^{*}) 「河川堤防の構造検討の手引き（平成14年7月（財）国土技術研究センター）」に示されており、
Cランクは「相対的に安全性がやや低い」
Dランクは「相対的に安全性が低い」
ことを意味する。

4.5 情報の収集、伝達

洪水被害を防止、低減させるためには、図-4.5.1 に示すように、災害時において、関係機関相互の情報の収集、交換を行うと共に、住民への情報提供を迅速かつ確実にやっていく必要がある。また、あわせて、平常時より、災害に対する意識を向上させ、災害時に的確な判断、行動を行うための情報を提供していく必要がある。

なお、市町村が実施すべき項目については、その円滑な実施を確保するため、国や福井県の積極的な支援が望まれる。

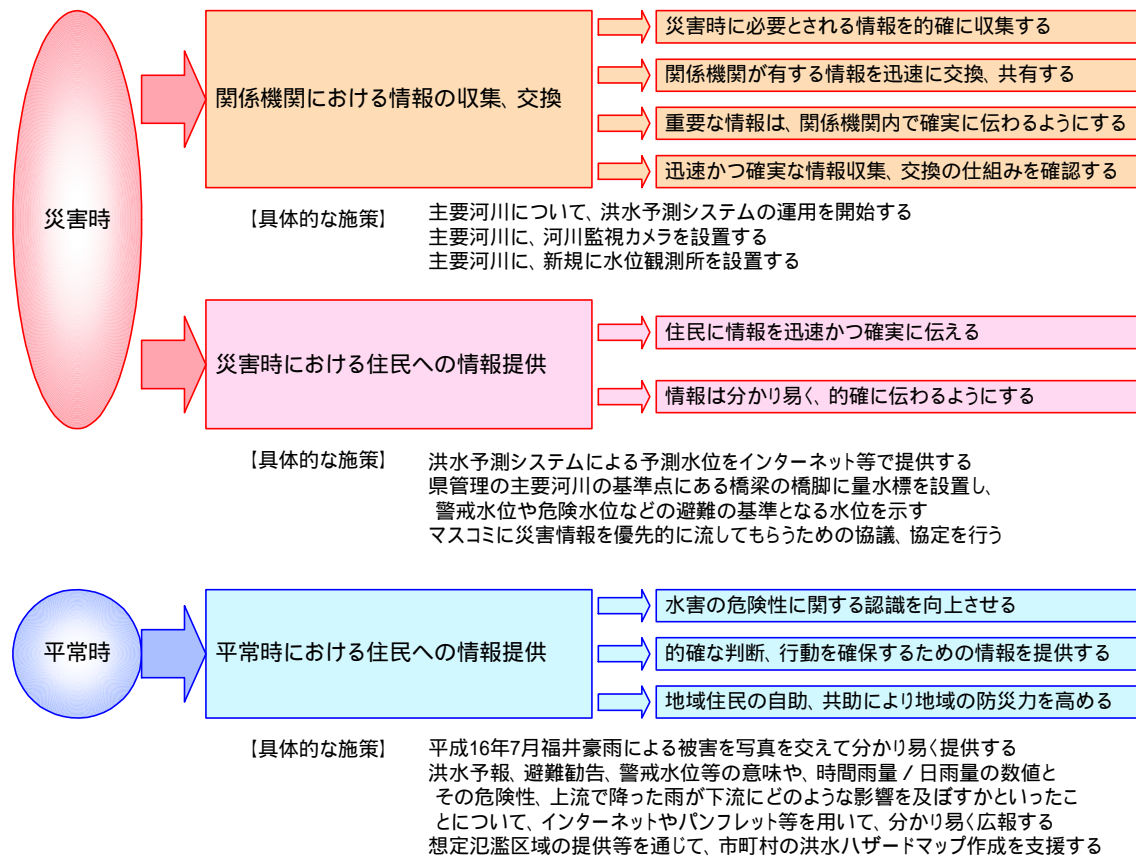


図-4.5.1 情報の収集、伝達のあり方

表-4.5.1 災害時に必要とされる情報

必要な情報	具体例
気象や川の状況、予測に関する情報	雨量、降雨予測、河川の水位、水位の予測、気象予報（注意報 / 警報）、河川の映像（カメラ画像）、水防警報・指令、など
異常現象や被害の状況に関する情報	堤防等の異変、溢水・破堤の状況、浸水の状況、など
防災関係機関の活動状況に関する情報	水防活動、救助活動、復旧活動などの状況、など
円滑に住民の避難を補助、誘導するための情報	避難勧告・指示、道路の冠水状況や通行規制、通行可否、復旧状況、避難場所の被災の有無、収容人数、避難人数、など

(1) 関係機関における情報の収集、交換のあり方

災害情報の収集、提供や水防活動、救助活動、避難誘導などに従事する関係機関において、的確に状況を把握し、適切な判断、行動等を確保するには、表-4.5.1 に示すような情報が必要である。

これらの情報を災害時に的確に収集し、関係機関で交換するためには、次に示すような対策が求められる。

災害時に必要とされる情報を的確に収集する

観測機器の設置や現場からの情報の収集、各種シミュレーションの実施、運用、体制面の整備などにより、災害時に必要とされる情報を的確に収集する。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ 主要な河川を対象に、河川監視カメラを設置する。
- ・ 主要な河川を対象に、新規に水位観測所を設置する。
- ・ 国、県、市町村が協力して、防災モニター制度等の活用を検討する。

関係機関が有する情報を迅速に交換、共有する

気象官署、国土交通省、都道府県、市町村や消防、警察等の関係機関が有する予測情報を含む様々な情報を迅速に交換し、災害状況を統合的に把握できるようにする。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ 関係機関が協力して、階層化された連絡システムを見直し、迅速に連絡すべき情報については、関係機関に一斉通報することを検討する。
- ・ 関係機関が協力して、情報を共有するための情報システムについて検討する。

重要な情報は、関係機関内で確実に伝わるようにする

洪水予報や水防警報、河川水位の状況、洪水予測結果など、重要な情報については、確実な情報連絡を担保するための仕組みを整える。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ 主要な河川において、基準水位等を超えたなどの重要な情報は、防災担当者の携帯電話にメールを送る。
- ・ 関係機関で協力して、情報の内容や重要性が伝わるように、その表現方法について検討する。
- ・ 国、県、関係市町村等で流域水防協議会(仮称)を設置し、関係機関で協力して、流域全体での防災計画について検討する。

迅速かつ確実な情報収集、交換の仕組みを確認する

社会、経済環境の変化や技術革新等も考慮し、関係機関における情報収集、交換の仕組みが有効に機能しているかどうかを確認し、必要に応じて是正を図っていく。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ 関係機関で協力して防災訓練を行い情報収集、交換における課題の解決を図る。
- ・ 関係機関において情報収集、交換に携わる担当者は、情報通信機器を日常業務でも利用し、その操作に慣れておくと同時に、必要に応じて改善を図る。

(2) 災害時における住民への情報提供のあり方

災害時において、住民が的確に状況を把握し、適切な避災行動、避難行動を確保するためには、次に示すような対策が求められる。

住民に情報を迅速かつ確実に伝える

まずは危険性を認識させるため、住民の注意喚起を促すと共に、表-4.5.1 に示すような情報をできる限り一元的、継続的に提供していく。なお、情報の提供手段（媒体）については、情報弱者の存在も考慮し、様々な手段（媒体）で提供することが望ましい。

また、大雨・洪水警報や避難勧告・指示、破堤などの重要な情報については、確実に住民に伝わるようにする。特に、避難勧告・指示については、雨量・河川の状況等から危険性を察知した場合は躊躇することなく発令することが求められる。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ インターネットで提供している河川砂防総合情報システムの認知度を上げると共に、大雨が降ったときの処理集中時における性能を向上させる。
- ・ 洪水予測にもとづく予測水位をインターネット等で提供する。
- ・ 県と市町村が協力し、河川水位が警戒水位や危険水位などを超えた場合に、サイレンやダム放流警報スピーカ等により注意喚起を促すことについて検討する。
- ・ 県と市町村が協力して、破堤、越水や、各地の浸水などの被害状況等の情報を、防災行政無線などを活用して提供することについて検討する。
- ・ NHK、民放各社やCATVと協力、連携して、災害情報を優先的に流してもらうための協議、協定を行う。

情報は分かり易く、的確に伝わるようにする

住民にとって分かり易い表現で情報を提供すると共に、危機感、切迫感が伝わるように提供する情報の内容や表現方法を工夫する。また、洪水・氾濫の危険性を具体的に示すと共に、特に危機的な状況が予想された場合は、今回の豪雨・洪水が特別なものであることを認識させるための施策が必要である。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ 県管理の主要5河川の基準点にある橋梁の橋脚に量水標を設置し、警戒水位や危険水位などの避難の基準となる水位を示す。
- ・ 洪水予測結果などを活用して、避難勧告・指示の発令基準を具体化する。
- ・ 避難勧告前に、住民に避難準備などの情報を提供することについて検討する。
- ・ 避難勧告などの意味が分かりやすく、住民に対して正しく伝わるように、その表現方法について検討する。

(3) 平常時における住民への情報提供のあり方

日頃から住民の防災意識を高め、洪水被害を低減させるためには、平常時において、次に示すような対策が求められる。

水害の危険性に関する認識を向上させる

住民に対して、河川は氾濫する可能性があることや、過去の災害、今後想定される災害、被害などについて周知させ、水害の危険性に関する認識を向上させる必要がある。具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ インターネットを利用して、平成16年7月福井豪雨による被害を写真を交えて分かり易く提供する。
- ・ 洪水予報、避難勧告、警戒水位等の意味や、時間雨量/日雨量の数値とその危険性、上流で降った雨が下流にどのような影響を及ぼすかといったことについて、インターネットやパンフレット等を用いて分かり易く広報する。
- ・ 防災教育等のために地元小中学校の総合学習や、生涯学習センターなどを活用して、出前講座等を開催し、水害の危険性や避難の心得、情報の意味等を教育すると共に、災害経験の継承を図る。
- ・ 電柱等に標高や過去の浸水深、洪水ハザードマップにおける想定浸水深、近隣の避難場所の名前、方向、距離などを示すことを検討する。

緊急時における的確な判断、行動を確保するための情報を提供する

具体的に、自分が住んでいる地域がどれだけ危険なのかや、避難場所、避難経路等を住民に周知させる。また、災害時に避難するべきかどうかの判断基準についても示すことが望ましい。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ 想定氾濫区域等の市町村において洪水ハザードマップを作成するための情報を提供する。
- ・ 避難場所、避難経路にあわせて、氾濫水の到達時間分布なども掲載した洪水ハザードマップを作成、配布する。
- ・ 災害の状況により、自宅から避難すべきかどうかの判断基準等について検討する。

地域住民の自助、共助により地域の防災力を高める

避難誘導、支援、救助活動等を行うには、行政機関だけでは限界があるため、地域のコミュニティを有効に活用し、地域住民の自助、共助により地域の防災力を高めるための情報収集、提供を行っていくことが求められる。

具体的な施策、検討項目としては、以下のようなものがあげられる。

- ・ 災害時に救助、支援を希望する人を公募し、災害弱者マップを作成し、消防団や自主防災組織等に配布する。
- ・ 災害弱者に対する支援者（ボランティア）を登録する仕組みについて検討する。

4.6 河川管理

(1) 堤防の管理等

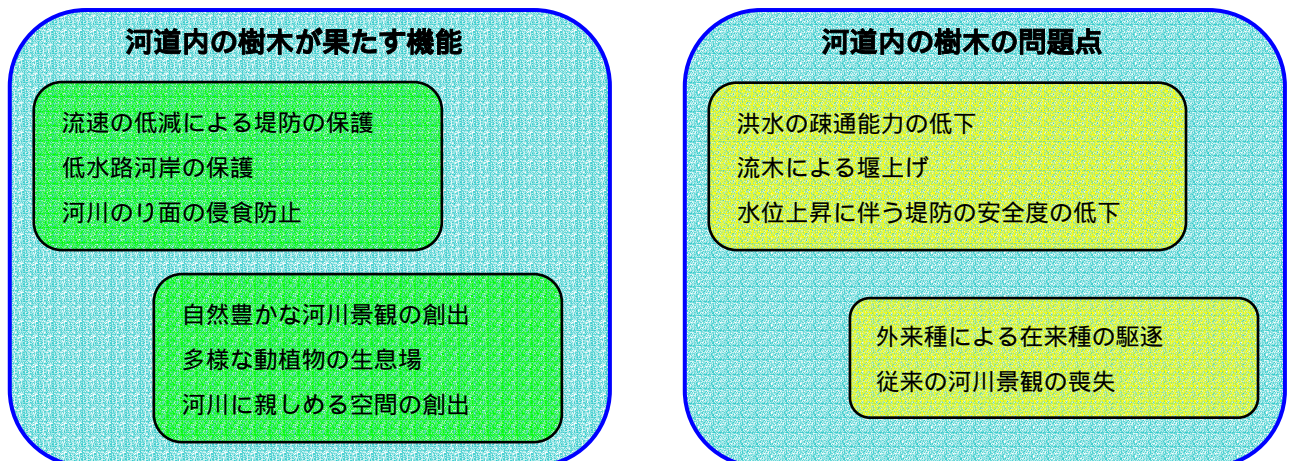
今後とも、堤防の管理については定期的に巡視を行う必要がある。また、堤防の高さや断面を調査するなどの概略点検を行い、必要に応じ詳細点検を行うことが望ましい。

(2) 河床の維持管理

福井豪雨により、上流部での山腹土砂崩壊が発生し、今後、長期間にわたる下流河道への土砂供給の伝搬・到達が想定される。このため、足羽川の上流部では不安定土砂の除去対策が進められているが、今後とも、足羽川の河道の変遷等、河道特性をもとに、安定的河床の維持が求められる。今後の工事区間での河道の維持、さらに上流部の河道の安定化をモニタリングするためにも定期的な測量の実施が望まれる。

(3) 河道内樹木の管理

一般的に、土砂供給量の減少、河床の洗掘、高水敷への土砂堆積等が原因となり、高水敷の樹林化が進行すると、流下能力が低下するなどの問題を生ずる。このため、足羽川の河川特性に応じた河道内樹木を適正に管理し、治水と河川環境の保全との調和を図った河道内の樹木の管理が望まれる。



(4) 許可工作物の点検

橋梁・樋門、河川区域内の許可工作物等については、施設管理者による適正管理の徹底を行うとともに、河川管理者による遊休施設などの撤去指導を行うことが必要である。

(5) ポンプ排水操作の調整

荒川の排水機場および5カ所の下水の雨水排水ポンプが存在する。これらのポンプ場からの排水を調整(排水ポンプを停止)することにより、足羽川本川の水位を低下させ、外水氾濫の危険性を解消、あるいは軽減する効果はある。このため、荒川等の治水安全度を考慮した最適なポンプ排水操作の調整について検討することが望ましい。

4.7 桜堤の取り扱い

足羽川の桜並木は昭和 27 年に植栽され、植栽後 50 年以上が経過し高齢化している。現時点では比較的良好な状態を維持しているが、枝が計画高水位以下にあること、強風による倒木や万一枯死した場合の堤体への影響が危惧される。

しかし、現在の河川法では新たに植樹することはできないことや県民に広く親しまれていることなどを考えると、今後、この桜堤のあり方について検討する必要がある。

参考資料

検討会の開催状況

(1) 第 1 回検討会について

日 時：平成 16 年 8 月 4 日 (水) 13 : 30 ~ 16 : 30

場 所：福井県庁 3 F 第 4 委員会室

内 容：1) 足羽川の現況について

2) 平成 16 年 7 月福井豪雨による洪水災害の実態把握について

3) 今後必要な調査検討内容等について

(2) 第 2 回検討会について

日 時：平成 16 年 10 月 9 日 (土) 13 : 30 ~ 16 : 30

場 所：福井県庁 6 F 大会議室

内 容：1) 調査・検討・解析項目の概要について

2) 気象特性について

3) 洪水特性について

4) 河道特性について

5) 堤体特性について

6) 河川管理・危機管理状況について

7) 足羽川激特事業について

(3) 第 3 回検討会について

日 時：平成 16 年 12 月 27 日 (月) 13 : 30 ~ 16 : 30

場 所：福井県庁 3 F 第 4 委員会室

内 容：1) 調査・検討・解析項目の概要について

2) 気象特性について

3) 洪水特性について

4) 河道特性について

5) 堤体特性について

6) 河川管理・危機管理状況について

7) 足羽川激特事業について

8) 今後の治水対策のあり方について

(4) 第 4 回検討会について

日 時：平成 17 年 2 月 23 日 (水) 10 : 00 ~ 14 : 30

場 所：福井県庁 B 1 F 正庁

内 容：1) 堤体特性について

2) 報告書について