平成16年7月福井豪雨による地盤災害調査報告書

平成 17 年 5 月



(社) 地盤工学会

平成16年7月福井豪雨による地盤災害の緊急調査団

目 次

序	·····	1
第 1	章 福井豪雨災害の概要	4
1.	被害の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
2.	河川水位の推定	4
第 2	章 足羽川堤防の破壊	15
1.	はじめに	15
2.	調查対象区間	15
3.	堤防および地盤の状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15
4.	被災状況	16
5.	破堤要因の推定	17
6.	基礎資料	22
7.	おわりに	23
第3	□章 河川上流部の被害 ······	38
1.	はじめに	38
2.	上流部の河川構造物被害の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	38
3.	降雨と被害範囲との関連	41
4.	表層地質と被害範囲との関連 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	41
5.	護岸損壊について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	45
6.	河川被害データマップ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	49
7.	被害事例の紹介	49
8.	おわりに	57
参考	文献	57
第4	- 章 道路での斜面崩壊 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	58
1.	はじめに	58
2.	降雨特性	58
3.	地形・地質特性の概要	58
4.	<u>公共</u> 土木施設の被害状況 ····································	60
5.	調査ルート及び調査方法	65
6.	斜面崩壞調查結果	65
7.	崩壊時間の調査	71
8.	おわりに	72
参考	文献 ·····	72

第5	章	土石	流被	害	•			•••	•••		•••		• •	•••	• •		• •	•••	• •	• •	• •	• •		•••	78
1.	はじ	めに	•		•••	•••		••	•••		•••		• •	•••	••	••		•••	•••	•••	•••		• •	• • •	78
2.	雨量	分布	との	関係	Ā	••		•••	•••	•••	•••		•••		••		• •		•••	• • •	• •	• •		•••	80
З.	土石	流発	生地	」点の)地	形、	屴	恆		植	生		• •		••		•••					•••		• • •	80
4.	土石	流発	生地	」域伯	È民	に≯	計す	トる	7	ン	ケー	- }	分	析			••		• • •		••			•••	83
5.	間谷	• 金	谷川	渓涼	乾の	土	百岁	統被	害	: ح	福夫	丰归	の	対	芯		•••	•••	•••	•••	•••	• •	• •	•••	87
6.	おわ	りに	•		••	• • •	•••	••	•••	•••	••		•••			• •					•••		• •	•••	89
参考	令文献	•••	• • •		••	• • •	•••	•••	•••		• •		••		•••	• •	•••	•••		•••	•••	• •	• •	•••	89
第6	章	道路	・鉄	道の	D基	礎	の衫	女害	1	• •														•••	92
第6 1.	;章 はじ	道路 めに	• 鉄	;道 <i>0</i>	D基	礎(の初 	支害	<u>.</u>	•••	· ·	 	 	•••		 	 	•••		•••		 	•••	•••	92 92
第6 1. 2.	;章 はじ 被災	道路 めに 地域	・ 鉄 ・ の地	道の 」形と) 基 :地	礎(質	の 初	女害	• •	••••	••• ••	 	 	• • •		•••	•••	• • •		••••	•••	 	 		92 92 92
第6 1. 2. 3.	章 はじ 被災 機能	道め地被	・ <i>3</i> ・ が 地 の 御	道の ・・・・・ 小形 凄	D基 :地	礎(の 初	故害	•••	 	••• ••	- , . 	 	 <i>.</i>	 	•••	••• •••	•••	• • •	• • •	· · ·	 	 	•••	92 92 92 92 94
第6 1. 2. 3. 4.	章 は 被 機 道 路	道め地被被	● のののののののののののののののののののののののののののののののののののの	道 ・ 形 要 要)基 :地	礎(の 初	支害	•••	 	· · · · ·	 	· · ·	 	 	· · · · · ·	· · · · · ·	· · · ·	• • •	• • • •	· · · ·	 	· · · · ·	• • •	92 92 92 92 94 95
第6 1. 2. 3. 4. 5.	章 は 被 機 道 鉄 道 鉄	道め地被被被路。	 ・ ののののの 	道 ・	D基 地 ・ ・ ・	礎(一質	の 初	支害	•••	· · ·	· · · · · · ·	· · · ·	 	· · · ·	 	· · · · · ·	· · · · · ·	· · · ·	· · · ·	· · · ·	· · · ·	· · · · ·	· · ·	• • •	92 92 92 94 94 95 103
第6 1. 2. 3. 4. 5.	章は被機道鉄鉄	道め地被被橋路に域害害害梁	 ・ のののののの ・ 地 榔 榔 榔 褐 	道 ・ が 要 要 要 要	D 基 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	礎. 質 の	の 初 	女害 	•••	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·	· · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · · ·	· · · · · · · ·	• • • •	· · · ·	· · · ·	· · · ·	· · · · · · · ·	· · · · · ·		92 92 92 94 95 103 107

参考文献 117

表紙写真: 足羽川堤防の破堤(福井県福井土木事務所提供)

.

平成16年7月18日、福井県嶺北部を中心に明け方から昼にかけて集中豪雨があり、 九頭竜川の支川である足羽川流域に大きな被害をもたらした。死者4名,行方不明1名、 負傷者19名、住家全壊57棟・半壊138棟・一部破損211棟、床上・床下浸水13,635 棟、非住家(全壊・半壊)183棟(福井県、平成17年1月17日)である。この災害に ついて地盤工学会は「平成16年7月福井豪雨による地盤災害の緊急調査団」を設置し て調査を行った。

地盤工学に関連する被害の概要は次のとおりである。

①足羽川堤防の破壊

福井市春日地区(木田橋上流)左岸で堤防が破壊した。越水が始まってから約 90 分後に破壊が生じている。破壊しなかった堤防でも越流の痕跡が多数認められている。この箇所で破壊した理由ついて詳細な調査を行った。右岸側の特殊提(コンクリート堤防)部分では越水や亀裂部分からの漏水があり、ボイリングと思われる現象も見られた。 ②河川上流部の被害

足羽川上流部や足羽川支流では、極めて多数の護岸の破壊が見られ、流木や土砂堆積 などによる氾濫が被害を大きくした。土砂が堆積して、本来の河道が埋まった箇所もあ る。洗掘によると見られる護岸上部での斜面崩壊も多数発生している。

③道路での斜面崩壊

河川から離れた場所での斜面崩壊も多数発生している。比較的浅い崩壊が多い。 ④土石流被害

小河川や渓谷などで多数の土砂流・土石流が発生し、多量の土砂や流木を供給した。 ⑤鉄道・道路の基礎の破壊

JR 越美北線の 5 鋼橋で、橋桁の流失、橋脚の転倒・破壊が生じた。道路橋や鉄道・ 道路の盛土部分でも多数の被害が生じている。

地盤工学会調査団は、主に上記の5つの項目について、実態の把握と今後の課題に関する調査を行った。本報告書は、この調査結果をまとめたものである。

上記①の破提要因を明らかにするためには、堤防の強度や透水性などの大規模な調査 が必要である。これらの調査は多大の労力と費用を必要とするため、個人的なレベルで は実施が困難である。福井県は「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 京都大学教授)」を設置し、気象特性、洪水特性、破提要因、危機 管理などの検討を行った。当調査団メンバーも、この検討会の委員や事務局として参加 した。本報告書では、①については、この検討会で明らかにされた結果を引用して示す。 調査団の活動にあたり、地盤工学会本部、地盤工学会関西支部、同福井地域地盤研究 会の支援を得た。また、現地調査や資料提供などで多大の御支援と御助力をいただいた 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所、同足羽川ダム工事事務所、福井県土木 部、福井地方気象台、西日本旅客鉄道㈱金沢支社、福井県建設技術公社、福井県平成 16年7月福井豪雨足羽川洪水災害調査対策検討会、九頭竜川流域委員会の方々に感謝 の意を表する。調査団の活動を行うにあたり、(財)河川環境管理財団の河川整備基金 の助成をいただいたことを記し、感謝の意を表する。

以下に調査団の構成を示す(委員は50音順)。

団長	荒井	克彦	福井大学工学部建築建設工学科 教授
委員	東	順一	㈱田中地質コンサルタント 事業部長
委員	池田	善考	応用地質㈱関西支社 技術管理室長
委員	魚住	誠司	㈱ダイヤコンサルタント関西支社 技術グループ
委員	岡 二	三生	京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授
委員	岡島	尚司	㈱サンワコン 経営本部情報技術部研究開発チーム
幹事	小嶋	啓介	福井大学工学部建築建設工学科 助教授
委員	小高	猛司	京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻助教授
委員	古根川	竜夫	㈱SC 土質工学研究所
委員	澤崎	雅之	福井工業大学建設工学科 助教授
委員	杉本	賢一	㈱帝国コンサルタント 地質部長代理
委員	角南	進	㈱日建設計 中瀬土質研究所
委員	竹島	康人	応用地質㈱関西支社 技術部
委員	竜田	尚希	前田工繊㈱技術部
委員	寺崎	勉	㈱ナチュラルコンサルタント 専務取締役
委員	中島	勲雄	応用地質㈱関西支社 技術部
委員	西垣	誠	岡山大学環境理工学部 教授
委員	細田	尚	京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻教授
委員	松井	保	福井工業大学建設工学科教授
委員	松下	卓	㈱ナチュラルコンサルタント 取締役部長
委員	森川	和典	(㈱サンワコン 地質部長
委員	横田	善弘	前田工繊㈱開発技術部長
委員	吉田	雅穂	福井工業高等専門学校環境都市工学科 助教授
委員	與田	敏昭	㈱ニュージェック 河川グループ河川計画第二チーム
委員	李	圭太	㈱建設技術研究所大阪支社 技術課長

検討項目ごとの担当者を以下に示す(下線は各項目の代表者である)。

足羽川堤防の破壊

<u>西垣誠</u>、池田善考、中嶋勲雄、李圭太、岡島尚司、荒井克彦 ②河川上流部の被害

<u>岡二三生、小高猛司</u>、角南進、横田善弘、竜田尚希 ③道路での斜面崩壊

<u>澤崎雅之</u>、森川和典、岡島尚司、荒井克彦

④土石流被害

<u>小嶋啓介</u>、與田敏昭、魚住誠司、東順一、松下卓、寺崎勉 ⑤鉄道・道路の基礎の被害

吉田雅穂、杉本賢一、古根川竜夫

⑥その他(全体)

細田尚、松井保、竹島康人、荒井克彦

第1章 福井豪雨災害の概要

1. 被害の概要

足羽川流域を図-1.1 に示す。詳細な支川名称と位置を図-1.2 に示す。下流部(市街地) の越水と破堤箇所を図-1.3 に示す。足羽川は流域面積:416km²、法河川延長:61.7kmの一 級河川である。

気象台観測所における時間雨量と累加雨量を図-1.4に示す。等総雨量線図を図-1.5に示 す。解析雨量を図-1.6に示す。これらの資料から、図-1.1の足羽川流域に集中豪雨が起き たことが分かる。 福井豪雨による福井県の被害状況を表-1.1に示す。河川関係の被害状 況を表-1.2に示す。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。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 羽川と日野川の合流点から上流へ4.6km付近)の左岸側で発生し、破堤幅は約 54mであっ た。この越水・破堤による点線内の浸水区域は、約 260ha である。足羽川基準地点である天 神橋(図-1.3参照)の雨量・流量の状況を図-1.7に示す。

2. 河川水位の推定

足羽川下流部における破堤要因の検討に関係するので、福井県「平成16年7月福井豪雨 足羽川洪水災害調査対策検討会」による検討結果のみを以下に引用しておく。

上記検討会では、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)を行っている。さらに、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、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)の時間変化を平面2次元非定常解析により求めている。

越流量の推定については省略する。

洪水痕跡水位、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考慮した一次元定常解析による河川水位の再現結果を図-1.8 に示す。距離は、足羽川と日野川の合流点から上流側への距離を表す。平面2次元非定常解析によるピーク流量時の水位分布と流速分布・流向図を図-1.9 に示す。また、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図-1.10 に示す。これらの結果から、以下のことが推定される。

1)図-1.10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。

2) 図-1.10 上段右図のピーク時の流速分布・流向図より、日野川合流点上流 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。

3) 図-1.10 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。

4) 図-1.10 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、流速は外岸側で 1.5~2.5m/s 程度 と大きくなく、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 が、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-1.1 足羽川流域図



図-1.2 河川位置図





図-1.4 気象台雨量観測所の時間雨量と累加雨量



図-1.5 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-1.6 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」

	人的被害				住家被害						非住家 (全壊•半壊)		避難勧告·避難指示		
市町村	死者	者行方		全壞 半壞 一部破損 床」			床上浸水	床下浸水	公共建物	その他	対象世帯	対象人数	避難人数		
		不明	重傷	軽傷	世帯	世帯	世帯	世帯	世帯	棟	棟				
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	

表-1.1 福井豪雨による被害状況

(H. 17. 1. 17 最終確定値)

市町村名	河川名	決壊(破堤)	護岸破損	越水	漏水	閉塞(埋塞)
	足羽川	1		7		
	荒川				1	
福井市	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	
庭江古	鞍谷川			1		
四月 (上 1)1	河和田川		10	1		1
关门时	足羽川		5			
天山町	三万谷川		1			1
三国町	竹田川				1	
	水間川		2	1		1
今立町	月尾川					2
	服部川		4	3		3
	足羽川		1			
池田町	水海川		1			
	部子川		2			
	志津川		1	1		
清水町	越知川		1			
	山内川			1		
計18	3河川	2	36	23	3	15

表-1.2 河川関係の被害状況

(箇所)

※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。



図-1.7 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-1.8福井豪雨の水位再現結果





第2章 足羽川堤防の破壊

岡山大学西垣誠応用地質㈱池田善考・中島勲雄㈱建設技術研究所李▲井大学一西島尚司福井大学売井克彦

1. **は**じめに

福井市木田地区春日 2 丁目地先で足羽川堤防が破壊し、市街地に甚大な被害をもたらした。破堤の 要因を明らかにするためには、堤防の強度や透水性などの大規模な調査が必要である。これらの調査は 多大の労力と費用を必要とするため、個人的なレベルでは実施が困難である。福井県は「平成17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 京都大学教授)」を設置し、気象特性、洪 水特性、破堤要因、危機管理などの検討を行った。上記の「市街地での堤防破壊」グループの多くも、 この検討会委員や事務局として参加した。ここでは、この検討会による調査結果と破堤要因の検討結 果をそのまま引用して示す。

2.調查対象区間

破堤箇所は、足羽川 4.6km と 4.8km の間であった(距離は足羽川と日野川の合流点から上流への距離を表す)。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-2.1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。

3.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-2.2 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-2.4 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。この調査結果の特徴を次に示す。

1)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。

2)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-2.3 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。

3)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。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-2.4に示す。この越水区間の 地層特性を次に示す。

4)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。

5)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)

4. 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-2.5 に示す。越水区間における代表的な被災状況を図-2.6、図-2.7 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-2.6 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-2.6 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-2.6 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-2.6 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-2.7 、 、 、 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-2.7 、 、 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。

5.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うより、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 900m 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-2.6
 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-2.7 、 、 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、4.6km、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 。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-2.8 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思われる。

(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)が起こり、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-2.1 に示す。

1) 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-2.9 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-2.9 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-2.10 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。

2)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-2.11 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-2.7 、 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-2.6 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。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-2.12 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。

3)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-2.13 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。

4) 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的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-2.14 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くなっており、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-2.6

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、この脆弱域が拡がっている。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-2.7 、 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。

5)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)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-2.15(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、堤防裏のり肩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。

6.基礎資料

以上が、福井県「足羽川洪水災害調査対策検討会」報告書からの引用である。以上の検討を行うに当 り、検討会では以下の基礎資料を準備した。基礎資料が膨大なので項目のみを示す。

1)過去の経緯

地形の変遷:明治 42 年から平成 8 年までの地形図を調べている。堤防と河道は昭和 44 年にほぼ現 在の形状となっている。

治水工事:江戸時代以降の治水工事記録をまとめている。

堤防および地盤の被災:昭和 23 年福井地震による被害をまとめている。液状化により、破堤付近で 0.8~1.1mの沈下が生じた。1643年以降の足羽川洪水履歴を整理した。

2) 地盤調査

ボーリング調査、高密度電気探査、表面波(レイリー波)探査の結果に基づいて、縦断図と代表断面の横断図を作成した。

3)堤防現況と被災状況

舗装状況や被災状況を詳細に調査している。被災写真などの収集も徹底的に行った。

4)破堤状況

ヒアリング:破堤箇所周辺住民 6 名へのヒアリング調査を行っている。 時刻暦:報道や行政の記録、ヒ アリング・記録写真などに基づいて破堤の時刻歴を整理した。

5)破堤メカニズム

土質調査:透水係数は現場透水試験(単孔を利用した透水試験:砂質盛土層で 1.3×10⁻³~7.7× 10⁻²cm/s:、締め固めた地盤の透水試験:破堤箇所付近の砂質盛土層で 2.13×10⁻⁵~5.9×10⁻³cm/s)、 室内透水試験(砂質盛土層で 8.57×10⁻⁴~7.66×10⁻³ cm/s)で推定している。不飽和特性を把握する 保水性試験、不飽和状態の透水試験を実施した。この他、物理試験・圧密試験・三軸圧縮試験を実施した。

越水侵食∶本文中に示したので省略する。

飽和,不飽和浸透流解析:一般に使用されている UNSAF を用いた。不飽和特性では Van-Genuchten の近似式を用いた。河川水位は、第1章の平面2次元計算結果を基本とし、九十九橋 の観測データと痕跡水位で補正した。降雨は福井気象台観測記録を用いた。

円弧すべり計算: による飽和領域に基づいて Fellenius 法による円弧すべり安全率を計算した。

パイピング破壊:の結果に基づき、限界動水勾配と局所動水勾配の比を求めた。

土 - 水連成地盤解析: の飽和·不飽和浸透流解析における圧力水頭と、地盤の有効応力解析における間隙水圧を連成させて地盤の有効応力挙動を詳細に把握した。破堤箇所を除いて変形が小さいので、地盤を弾性体とし、Mohr-Coulombの破壊基準を用いた。飽和·不飽和浸透の物性定数は と同一である。地盤の弾性係数は孔内水平載荷試験、圧密試験、標準貫入試験結果から推定した。強度定数 は三軸圧縮試験結果を用いた。

7.おわりに

地盤調査の結果、越水しても破堤しなかったゾーンの堤体は粘性土主体で、破堤したゾーンの堤体は 砂質土主体である。堤防天端は4.6kmまでアスファルト舗装がなされており、これより上流(破堤部分)は 未舗装である。越水侵食の検討、飽和・不飽和浸透流解析、堤防法面の安定解析、土 - 水連成地盤解 析の結果、破堤部分では堤体が砂質土であることと、天端が未舗装であることから、河川水が堤体に浸 透しやすく、局所的に脆弱化していたことが推定された。その他の越水区間では、堤体が粘性土主体で あること、天端の舗装により、河川水の浸透が破堤部分ほどは大きくない。「河川堤防設計指針(第3稿)」、 「越水に対する堤防強化設計の手引き(案)」に基づく越水侵食の検討結果から、裏法面で侵食の可能 性が高いことが示された。これらの結果から、河川水の浸透により脆弱化して越水侵食を受けやすい状態 になっていた部分が越水侵食により破堤したと推定される。上述の破堤要因は、聞き取り調査や写真・ビ デオなどの記録とも一致する。浸透流解析の結果によると、パイピングによる破堤の可能性は低い。モグ ラ穴の存在や破堤部分に坂路があったことは、破堤の状況からみて大きな影響を与えたとは考えにくい。 福井県:足羽川洪水災害調査対策検討会では河川水位について1次元定常解析、平面2次元非定常 解析を実施しているが、橋桁、支川からの流入、迂回道路の影響などによる水位上昇を20数 cm 程度と 推定している。これらの影響がなかったとしても、河川水位は堤防高を上回っていたと推定される。

最後に、今回の破堤を教訓として、今後の破堤を防ぐための対処として、例えば以下の案が考えられる。 (1) 堤体内部の構成材料や構造を明確にし、その浸透特性、力学特性を明確にしておく。(2) 堤体内 部の材料の平素の状況をモニタリングしておき、破堤に至らない豪雨等の記録から堤体の安全性を検討 し、将来の破堤に至るような豪雨に対して、堤体の補強方法を検討しておく。(3) 堤防や斜面より、乱さな いで採取した試料の不飽和浸透特性を簡易に計測する手法を早急に確立する。(4) 浸透特性と同様に、 不飽和土の力学特性の飽和度による変化を計測する簡易な手法を確立する。(5) 我が国の一般的な堤 体内部を非破壊で診断する手法がまだ確立されていないため、これに関しても実際に利用できる物理探 査システムなどを早急に開発する。(6)越水しても破堤しにくい堤体構造を検討する。



図-2.1 破堤要因に対する検討フロー図



図-2.2 堤防特性(足羽川左岸:4.0km 付近~5.0km 付近)



図-2.3 破堤箇所付近の堤防高さ(福井豪雨後調査)



図-2.4 想定地層図(足羽川左岸:4.0km 付近~5.0km 付近)



図-2.5 破堤部付近の状況経時変化図

28





















図-2.6 被災状況平面図(足羽川左岸 4.0km 付近~4.5km 付近)

⑦ 裏のり面崩壊に対する応急対策







図-2.7 被災状況平面図(足羽川左岸 4.5km 付近~5.0km 付近)



※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-2.8 越水洗掘破壊に対する照査結果図



31

検討断面	土層	湿潤密度 <i>t</i> (tf/m ³) (×9.81kN/m ³)	飽和密度 <i>sat</i> (tf/m ³) (×9.81kN/m ³)	粘着力 <i>C</i> (tf/m ²) (×9.81kN/m ²)	内部摩擦 角 (deg)	透水係数 _(水平方向) <i>kh</i> (cm/s)	透水係数 ^(鉛直方向) <i>kv</i> (cm/s)	変形係数 <i>E</i> (tf/m ²) (×9.81kN/m ²)	ポアソン比
	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
/ 1km	Bc2	1.87	1.91	1.40	26.9	2.02E-04	2.02E-04	1,288	0.45
4 . IKIII	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
	Bs	1.79	1.90	0.04	35.9	5.00E-03	5.00E-04	1,036	0.3
4.5km	Bsg	1.84	1.99	0.69	33.6	1.00E-02	1.00E-03	1,960	0.3
nonan	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
	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
4.7km	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
	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
4.8km	Bsg	1.84	1.99	0.69	33.6	1.00E-02	1.00E-03	1,960	0.3
1.0111	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

表-2.1 浸透破壊に対する検討に用いた土質定数




図-2.11 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)



図-2.12 円弧すべり計算結果図(水位低下時:表のり安全率最小時)







計面高水位到達(10:30頃)





河川内水位が急上昇し出まし.に達する.



越水開始 (12:15頃)







破堤時 (13:35~13:45頃)







破壊区間上・下流端で天端裏のり肩から侵食が進む。



河川水流入 (14:30頃)









同道内侵食	÷.	流道2.0m/s以下 … 0K
錢水洗濯破裝	1	-
川麦すべり敬雄	+	すべり安全率Fs≥1.0 0K
川裏すべり破壊	1	すべり安全単Fs≧1.0 (K
航空域	Ţ	業務域は出現しない
	*1	「安全性を最後している」

河道內侵食	÷	計画高水位調道時と同じ
越水洗覆破墙	t	
川表すべり破壊	:	
川裏すべり破壊	1	
助務 域	ł	
	林朝	t安全性を確保しているものの。 #は拡大している.

たい	91	他がある。
Ø	93	書表層付近に浸潤域が広がり、読録域が生じ
	ŧ.	こより裏のり面に洗着玻璃が発生。同時に裏
防衛域	-	裏のり付近に発生
川裏すべり破壊	1	すべり安全率Fs≦1.0となる… NG
川表すべり破壊	-	計画真水位到速時と同じ
越水洗道破壞	1	裏のり面、裏のり先で洗掘破壊が発生
河道内侵食	1	計算高水位則連時と同じ

上記の越水による洗掘除壊、浸透にともなう場体の数 器性が被合的に発生し、これらの破壊が進行して破壊 に至った可能性がある。

(社) 地盤工学会

平成16年7月福井豪雨による地盤災害の緊急調査団報告書

- 福井豪雨による河川上流部の被害について -

小高猛司,岡二三生(京都大学) 横田善弘,竜田尚希(前田工繊(株)) 角南 進((株)日建設計)

1. はじめに

2004 年 7 月の福井豪雨による災害の中で最も注目される被害を生じさせたのは、いうまでもなく足 羽川の木田橋上流地点での破堤である。福井市中心部の市街地で破堤したため、甚大な被害をもたら す結果となった。しかしながら、足羽川流域ならびに日野川流域の河川を中心として、上流域におい ても堤防、護岸をはじめとして夥しい数の河川構造物に被害が発生している。本章では、福井県土木 部河川課より提供を受けた豪雨発生直後に調査作成された応急復旧工事の事前資料を用いて、上流部 の河川構造物の被害状況をまとめた結果を示す。しかしながら、事前資料自体が緊急に作成されたも のであり、実際の被災地点が完全に網羅されているわけではない。また、今回まとめた資料は、河川 の被害に限定した記録であり、例えば道路が築造されている護岸が被災している場合には、道路の被 害に分類されていることが多く、ここで取り上げられていない事例も多い。また、土石流が主たる被 害要因となっている事例においても道路と同様の扱いとなっており、取り上げられていない事例も多 い。道路ならびに土石流による被害状況については別章を参照されたい。

2. 上流部の河川構造物被害の概要

図-1 は福井県内の九頭竜川水系の河川の位置図¹⁾である。福井県がホームページ上で公表してい る資料によれば,表-1に示すような河川の被害概況¹⁾になっており,網掛けで示した足羽川流域の 河川以外でも、河和田川や服部川といった日野川流域の河川においても多くの被害が発生している。 表-1の被災数は、小規模な護岸損壊等の被害件数が省略された数字であり、護岸損壊箇所は36箇所、 河道埋塞 15 箇所とされている。しかしながら、福井県の事前資料から、10m 以下の護岸損壊等の小 規模の被害箇所まで含めて集計すると,護岸損壊85地点,河道埋塞57地点にのぼる。また,同じ地 点でもそれぞれ数カ所にわたり被害が発生している事例も多くあるために、さらに詳細にカウントす ると、実に護岸損壊は197箇所、堤防損壊箇所は32箇所となる。ただし、ここで堤防と呼んでいるの は、河岸の盛土天端部が堤内地よりも高くなっているものすべてであり、堀込み河道の河川であって も、河岸部の盛土が破壊されている事例については、堤防の被害として分類した。この集計により、 護岸・堤防の被害箇所の総延長は約 18.5km, 河道埋塞の被害箇所の総延長は約 11.5km, 埋塞土砂量 は約8万7千m³になる。以上の全被害地点をプロットしたものが図-2である。河道埋塞の被害地点 は紺色のプロットで示すが、各河川上流の渓流で発生した土石流が埋塞土砂の供給源となっていると 見られる。以上の集計の地区毎,河川毎の被害箇所数を表-2 に示す。ただし,細かい被害箇所の中 には、まとめて1箇所とカウントされている事例もあり、あくまで概数であることに注意されたい。 表-2、図-2より、美山町、池田町、今立町、鯖江市東部、福井市東部に被害が集中していることが わかる。これらの被害状況と降雨との関連を次節で述べる。



図-1 河川位置図¹⁾

市町村名	河川名	決壊 (破堤)	護岸 破損	越水	漏水	閉塞 (埋塞)
	足羽川	1		7		
	河川名 決壊 (破堤) 護岸 破損 足羽川 1 荒川 1 江端川 1 七瀬川 1 七瀬川 7 清滝川 1 一乗谷川 7 清滝川 1 一乗谷川 7 清滝川 1 「初和田川 10 足羽川 5 三万谷川 1 竹田川 2 月尾川 1 服部川 4 足羽川 1 水間川 2 高泽川 1 山内川 1 山内川 2 36 は足羽川流域河川		1			
福井市	江端川			1		1
市町村名 河川 福井市 足羽 流川 江端 七瀬 七瀬 七丁 三本 大野市 清滝 靖江市 鞍谷 東山町 三万7 三国町 竹田 今立町 月尾 池田町 水間 第子 清水町 清水町 越知 計 三万7	七瀬川		1	1		
	一乗谷川	決壊 (破堤) 護岸 破損 越水 漏水 閉塞 (埋塞) 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 11 7 6 6 1 1 1 1 11 10 1 1 11 10 1 1 11 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 <	6			
大野市	清滝川	1			1	
 樹汀古	鞍谷川			1		
照月1上113	河和田川		10	1		閉塞 (埋塞) 1 1 6 1 1 1 1 2 3 3
羊山町	足羽川		5			
天田町	三万谷川		1			1
三国町	竹田川				1	
	水間川		2	1		1
今立町	月尾川					2
	服部川		4	3		3
	足羽川		1			
池田町	水海川		1			
	部子川		2			
	志津川		1	1		
市町村名 河川名 決壊 (破堤) 護岸 破損 越水 漏水 福井市 足羽川 1 7 1 福井市 江端川 1 1 七瀬川 1 1 1 七瀬川 1 1 1 七瀬川 1 1 1 一乗谷川 7 6 大野市 清滝川 1 崎江市 「蒲和田川 10 第山町 足羽川 5 三国町 竹田川 1 三国町 竹田川 1 今立町 月尾川 1 小間川 2 1 小間川 4 3 漫山町 上 1 市部川 1 1 小間川 1 1 市部川 1 1 市部 1 1 市部 1 1 清水町 1 1 清水町 1 1 計 2 36 山内川 1 1 計 2 36 山内川 1 1						
	山内川			1		
計		2	36	23	3	15
	1	は足羽川流:	域河川			

表-1 福井県公式発表の河川の被害状況 2)



図-2 河川被害分布図

市町村名	河川名	堤防	護岸	河道埋塞
	足羽川	2	6	
	三本木川		5	1
	七瀬川	9	8	1
福井市	一乗谷川		21	5
	滝波川		1	1
	江端川		2	
	その他の河川		1	2
	清滝川	1	3	
大野市	赤根川		3	
	その他の河川			1
	河和田川	9	11	2
儲江市	尾花川		2	2
WH 1 1 1 1	天神川		2	
	鞍谷川	1	1	
	足羽川	8	9	
	上羽川 2 6 三本木川 5 1 七瀬川 9 8 1 一乗谷川 21 5 滝波川 1 1 1 江端川 2 2 その他の河川 1 2 その他の河川 1 3 その他の河川 1 2 東福川 3 2 その他の河川 1 1 河和田川 9 11 2 上味見川 2 2 天神川 2 2 東福川 1 1 夏羽川 5 1 赤谷川 2 10 2 小当見谷山川 5 1 赤谷川 2 1 1 蘆作川 2 1 1 「「一」 2 1 1 「「」 1 1 1 「「 2 1 1 「「 3 1 1 「」 1 3 5 「	2		
	小当見谷山川		5	1
	赤谷川	2	2	1
美山町	蔵作川		8	1
人口的	三万谷川		2	
	奈良瀬川		2	
	羽生川		3	
	間戸川		2	4
	その他の河川		3	5
	足羽川		5	
池田町	水海川	1	3	
10 14 1	金見谷川			2
	その他の河川	1	5	5
	月尾川		24	
	小当兄谷山川 3 赤谷川 2 蔵作川 8 三万谷川 2 奈良瀬川 2 京良瀬川 2 羽生川 3 間戸川 2 その他の河川 3 上田町 上羽川 全見谷川 5 水海川 1 全見谷川 2 その他の河川 1 方町 月尾川 空石 16 岩窗公川 3			4
今立町	服部川	7	16	1
/ *	岩窟谷川		3	2
	横住川		8	_
	その他の河川		1	7
その他の地区			16	5
計				

表-2 事前資料から求めた小被害も含めた河川の被災状況

_____ は足羽川流域河川

3. 降雨と被害範囲との関連

福井豪雨の最大の特徴は、すでに様々なところで指摘されているように、極めて短時間に局地的な 雨の降り方をしたことである。特に、降雨は18日の午前中に集中しており、九頭竜川流域委員会の報 告²⁾によれば、足羽川流域における天神橋地点上流域での6時間最大雨量は228.3mm が記録され、そ の降雨確率は数百分の1とも言われる。実に、2日間最大雨量268.8 mm (降雨確率1/25)の大部分 が、午前4時頃からの6時間あまりで降ったことになる。ここでは、気象レーダーにより観測された 降雨強度と、河川構造物の被害分布との関連を示す。

図-3は、18日0時から18時までの降雨強度分布を被害分布図に重ねたものである。正方形で着色 された領域で降雨強度のコンター図(最大 60mm/hr.)を示している。4 時に美山町を中心に降雨が激 しくなり,6時には福井市から美山町全域にかけて60mm/hr.以上の降雨強度が観測されている。7時 頃に一旦収まるかに見えた雨は、8時から10時にかけて、被害地点全域にかけて再び強い降雨となっ ている。特に8時から9時にかけては福井市内を集中豪雨が直撃しており、その後さらに悪いことに 集中豪雨は南東方向の足羽川上流域に移動した。その結果, 10 時半には足羽川の木田橋破堤地点では 計画高水位に到達する結果を招いた。図-4 は, 8 時から 10 時の被害分布図を, 最大降雨強度を 120mm/hr.として再表示したものである。8 時頃には福井市内に 100mm/hr.以上の降雨強度が観測され ており,10 時には足羽川上流部の池田町,美山町一帯で 100mm/hr.近い降雨強度が観測されている。 今回の豪雨においては、九頭竜川の方面では、河川の被害は美山町に隣接する大野市での清滝川で発 生しているのみである。図-3の降雨強度分布を見ても、足羽川流域以北では、強い雨がほとんど降 っていないことがわかる。その一方,被害が発生している地点のほとんどは,60mm/hr.以上の降雨強 度を記録した領域に含まれている。図-5は17日21時から18日24時までの各時刻で観測された降 雨強度の累積値の分布である。降雨強度は連続した降水量記録ではないので、その累積値は全体の降 水量の分布を推し量るための目安でしかないが、分布形状に大きな隔たりはないと考えられる。この 累積値の分布図より,18 日一日で足羽川に沿って降雨が集中したことがよくわかり,河川の被害と累 積降雨強度の分布はほぼ一致している。

4. 表層地質と被害範囲との関連

図-6 に福井県の表層地質図³と河川構造物の被害を重ね合わせたものを示す。山間部は新第三紀 の安山岩が広く分布しており,洪水の濁流の茶褐色は,主に風化安山岩に由来するものである。この 地帯の地質表層にはこれら風化土が堆積しており,各渓流部で土石流を引き起こす原因ともなってい る。そのため,図-6 にも示すように山間部で河道埋塞の被害が多く見られる。また,同時に埋塞被 害のあった河川の下流域では,護岸損壊の被害も多く発生している。足羽川上流域は山間部の谷底平 野を流れる河川の典型例であるが,その様子がこの表層地質図からもわかる。



18日 0:00

18日 1:00



18日 3:00





18日 2:00

18日 5:00



18日 7:00



18日 6:00



18日 11:00



18日 10:00



18日 9:00



図-3 降雨強度の分布と河川の被害状況 (その1)





図-3 降雨強度の分布と河川の被害状況 (その2)







図-5 降雨強度の累積値分布と河川の被害状況



図-6 表層地質と河川の被害状況(文献³⁾に加筆)

5. 護岸損壊について

河川上流部の被害は主に護岸である。ここでは,護岸の損壊位置,形態ならびに原因について整理 する。

上流部においては、ほとんどの河川の河道が蛇行しており、そこを水が流下している。一般に、護 岸の損壊箇所は河川の湾曲部で多く見られる。図-7 は、今回の豪雨による護岸・堤防の損壊場所、 損壊の位置、外岸あるいは内岸の損壊位置における損壊原因について、それぞれの割合をまとめたも のである。元データは、先述の福井県の応急復旧工事の事前資料である。その資料には、被災した河 川においての損壊箇所、損壊断面、被害延長等のデータが平面図ならびに断面図を用いて記載されて いる。それらのデータはできる限り、次節にて説明する河川被災データマップに収録したので、詳細 はそれを参照していただきたい。

今回の調査で分類した護岸,堤防の被災原因については、被災河川の断面図からの推測であり、実際とは異なる場合もあることをあらかじめ注意されたい。事前資料の河川断面図により、洪水時の水位が護岸の天端高さを上回っていたと記録されている箇所については、天端破壊が主因になると判断している。しかし、天端破壊をきっかけにして側岸侵食を受けて被災したと思われる事例も数多くあり、その一方で、河床洗堀をきっかけとして側岸侵食を受けたと考えられる被災事例も多い。このように複合的な被災要因が考えられる事例については、2 つ以上の要因を重複してカウントしているため、述べ被災要因数は、被災事例数よりもかなり多く、側岸侵食が占める割合は特に多くなっていることに注意する。平面図上の河川の損壊箇所については、図-8 のように区分しているが、入口部 A から湾曲部 B,湾曲部 B から出口部 C というように、損壊位置が広く跨っている場合には、やはり重複してカウントしている。

以上に注意して、図-7に示す集計結果についてまとめると、以下の事項がわかる。

- ・被災した護岸・堤防の 50%は湾曲部の外岸であり、内岸の被害は 33%, 直線部は 17%となっており、 外岸、内岸をあわせた湾曲部の被害が 8 割以上となっている。
- ・湾曲部の外岸の被害の 62%が、出口部 C の被害であり、入口部 A の被害は 15%に留まる。
- ・湾曲部の内岸の被害においては、入口部 A が 44%、湾曲部 B が 40% であり、出口部 C の被害は 16% に留まる。
- 外岸・内岸の被害原因を位置別にまとめた6つの図を見ると,
- ・全般的に見て、側岸侵食による破壊が5割~7割を占める。
- ・ 側岸侵食以外の被害原因を見ると,外岸では河床洗堀の割合が高く,内岸では天端破壊の割合が大 きい。
- ・入口部 A の被害原因において,外岸・内岸に共通して天端破壊の割合が大きくなる。
- ・湾曲部 B の被害原因は、外岸・内岸に共通して側岸侵食が7割を占め、入口部、出口部と比べて最も大きい。さらに詳しく見ると、外岸では河床洗堀→側岸侵食、内岸では天端破壊→側岸侵食、となってケースが多いと考えられる。
- ・直線部の被害原因は、天端破壊が占める割合が比較的多い。

福井豪雨で被害を受けた上流域の河川は、谷底平野を流れる河川であり、ほとんどの河道が掘り込みとなっている。そのため今回の集中豪雨により急激に河川水位が上昇し、流下しきれなくなった洪水が広い範囲であふれ出した⁴⁾。図-9 は美山地区ならびに鯖江地区の福井豪雨時の河川の氾濫に伴い冠水した範囲を示すものである⁵⁾。谷筋と谷底平野のほとんどの箇所で溢水し、冠水していること

がわかる。護岸の破壊原因の分類において,天端破壊としているものは,事前資料の断面図から判断 し,溢水により天端が破壊され,背面土砂が抜け出した形式で護岸が損壊を受けているものである。 天端破壊と判断したほとんどの事例において,側岸侵食との複合作用により破壊したと判断している。 今回のように,河川流域のほとんどの箇所で溢水している場合には,このように天端破壊の割合が高 くなると考えられる。特に,美山地区のように河川が大きく蛇行しているところにおいては,河道外 にも濁流が流れているために,特に湾曲部の内岸においては,護岸が天端から引きはがされるような 破壊形態となり,天端破壊の割合が高くなったと考えられる。

一般に,湾曲部の外岸では,2次流の効果により深堀れが生じ河床洗堀が発生することが多い⁶。 今回の被災原因を見ても,外岸部のどの位置においても河床洗堀による被災の割合が2割ほどあり, 内岸に比べるとその割合は大きい。一方,湾曲部の流速分布は,蛇行の程度によって2次流効果のた め外岸側の流速が大きくなる場合や,湾曲部の出口の外岸側で不連続に流速が増大する場合がある。 逆に内岸側では,湾曲の入口から中央までの流速が外岸より大きく,また湾曲に沿った流速勾配も大 きくなる場合が多い⁶。今回の被災事例では,外岸では出口付近の被災数が6割を占め,内岸では逆 に入口から中央までの被災が8割を占めている結果となっており,この事例を鑑みれば,河川の氾濫 流の大きな流速または流速勾配が護岸損壊に強い影響を及ぼしていたと考えられる。

図-10に個々の湾曲部の角度と被災の割合を示す。湾曲角度の測定は、図に示すように流線方向に 沿って、湾曲部を挟んで流線がほぼ直線になる部分を延長した2本の直線の角度とした。10度以下に は直線部での被災箇所も入れてある。湾曲角度50度までは、角度が大きくなるほど被災事例の割合が 大きくなってくる。それ以上になると、被災の有無に関係なく、それほど大きく湾曲している箇所自 体が減少するために、割合も減少してくると考えられる。本来、湾曲角度毎の被災した部分と被災し ていない部分の割合を調査すべきであるが、今回対象としている中小河川数は非常に多く、被災して いない部分の湾曲角度まで把握することは不可能に近いため実施していない。しかし、1974年7月の 台風8号および梅雨前線による東瀬戸地区の豪雨災害の際に、京都大学の調査グループが淡路島の新 川ならびに宝珠川の全河道を対象に湾曲角度と被災率について詳細に調査している⁷⁰。それによると、 平均の湾曲角度がそれほど大きくない新川においては、湾曲角度が大きくなるほど被災率が高く、特 に外岸部で被災率が高かったことが確かめられている。一方、平均湾曲角度が新川より大きな宝珠川 においては、湾曲角度と被災率との明確な相関は見ることはできなかったものの、被災率自体は新川 に比べて明らかに高く、急な湾曲が多い河川ほど被災率が高まることが示されている。今回の福井豪 雨で被災した上流部の河川は湾曲部も多く、そのことが被災数の増加につながっているとも考えられ



図-8 湾曲部の分類



美山地区



(b) 鯖江地区 図-9 浸水地域図 5)



図-10 湾曲角度別被災割合

6. 河川被災データマップ

河川上流部での護岸損壊,堤防破壊,河道埋塞の各被災データを用いて,デジタルデータマップを 作成したので,それについての簡単な説明を記す。データマップは,下記ホームページからダウンロ ードできるようにしてあるので利用していただきたい。

http://nakisuna2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/fukui_map.htm

以下,図-11を用いて説明する。メインフォルダ内の「all.htm」を開くと図-11(a)のように、福井 県全域の被災位置がプロットされた地図が現れる。すべての被災位置を網羅するように、地図はさら に15 ブロックに分割されている。詳細を見るためには、目的の区画にマウスカーソルを持ってゆきク リックする。例えば、9 の河和田地区をクリックすると、図-11(b)のように拡大された河和田地区の 地図が現れる。さらに、4 ブロックに分割された中の目的のブロックをクリックすると、図-11(c)に 示す詳細図が現れる。この詳細図中の目的地点の●印のプロット(赤:護岸損壊、緑:堤防破壊、紺: 河道埋塞)にマウスカーソルを当ててクリックすると、図-11(d)に示すように、被害地点、被害の状 況などの詳細を見ることができる。一方、被災地図上に記載された番号は、メインフォルダ上にある 「table.htm」に記載されている一覧表の冒頭の番号である。それぞれの被災地点の河川名、被災地の 住所、被災構造物、被災延長、河道埋塞の場合は埋塞土砂量、被災地点の外岸・内岸の別、被災箇所、 湾曲角度、被災原因についてのデータが入力されている。さらに、このファイルから被災データマッ プへリンクが貼られており、どの地点の情報かがわかるようになっている。また、主要な被害写真へ のリンクも貼ってあるため、どのような被害状況であったのか、写真でも容易に理解できるようにな っている。

7. 被害事例の紹介

本節では、上流域での河川の被災事例のうち、特徴的なものを数例あげて説明し、その個々の被災 原因について考察する。

7.1 福井市安波賀町の堤防破壊

現場は図-12に示すように、谷底平野を流れてきた足羽川が福井市街の平野部に出る直前の最後の 大きな湾曲の出口部にあたる。その湾曲部は、上流域で大被害を引き起こした一乗谷川との合流地点 でもあり、また越美北線の鉄橋のひとつが流された地点でもある。図-13にデータマップにおける現 地図を示す。図中の No.49 の被害箇所に注目する。写真-1 は被害直後の航空写真であり、上流側か ら下流側左岸を見たものである。左上部より一乗谷川が合流していることがわかる。写真-2 は濁流 によって鉄道橋梁の橋桁が流された跡である。写真-3 は下流部に残された破壊した堤防の断面であ る。堤防盛土に練積みの護岸が張られていたが、護岸ごとすべて流されている。破壊の直接の原因は 越流水により、裏法が侵食されたことによると考えられるが、写真-4 のように鉄道橋梁の橋桁が、 破壊した堤防の裏側まで流されてきていることから、流された橋桁が堤防を直撃したことも破壊の要 因のひとつに挙げられている。いずれにせよ、橋桁流失前から堤防天端が見えなくなるほど河川水位 は上昇し堤内地に越水しており、堤防は壊れやすくなっていたものと考えられる。



(a) 福井全域





図-11 河川被災データマップの説明



図-12 福井市阿波賀町の地点



図-13 データマップでの詳細図





写真-1 被災堤防の航空写真(福井県提供)

写真-2 流された鉄道橋梁



写真-3 被災堤防の断面



写真-4 堤内地側まで流されていた橋桁



写真-5 足羽川合流地点から一乗谷川を望む(福井県提供)

7.2 福井市の一乗谷川の氾濫

一乗谷川は、佐々木小次郎がツバメ返しの鍛錬を積んだとの伝説がある一乗滝を上流にもつ川であ り、上記の阿波賀町にて足羽川に合流する。写真-5 は、足羽川との合流地点の方角から一乗谷川の 上流を見たものである。写真-6 は図-14 の No.58 の地点における護岸損壊の様子である。堀込みの 河道から水が溢れた痕跡が植物に残されているが、その溢れた洪水流により、天端から護岸背面の土 砂が流されてしまっている。写真-7 は、さらに上流に進んだ図-15 の No.82~85 で示される湾曲部 の上流方向を見たものである。写真中央付近に元の河道の護岸が見えるが、河道が土砂に埋塞される とともに、洪水時の侵食により流れが変わってしまっている。さらに上流の浄教寺町は甚大な土石流 被害の被災地であるが、写真-8、写真-9 のようにいたるところの護岸がはがれて流されているとと もに、溢水の流れにより両岸ともに侵食をうけている。このように土石流の被害が著しい場所では、 埋塞した河道から水が溢れ、より大きな被害を生み出すことになる。

7.3 美山町蔵作から朝谷島までの湾曲部での氾濫

冠山を源流として北上してくる足羽川は、蔵作から朝谷島にかけて何度も蛇行しながら進路を西へ と変えてゆく地点である。この地点は比較的広い谷底平野になっており、図-9(a)の浸水図を見ても わかるように、その平野部のほとんどが浸水する事態に至った。図-16に当該地区の被害状況を示す。 美山町役場を中心に朝谷島は完全に水没したが (写真-10), すでに流下能力を超えた洪水が河道から あふれ出していたが、図-16の No.102の位置の堤防が破堤したことが、朝谷島の水没を決定的なも のにした。大きな蛇行の中で、外岸の出口部でもあり、次の湾曲にとっては内岸の入口部にあたり、 今回の豪雨の損壊事例においては、最も損壊件数が多い部分にあたる。写真-11は損傷を受けた堤防 を対岸からより見たところである。元々の河道が低いのに加え,平時には高水敷が広いために,堤防 天端と堤内地との高低差はあまり大きくなく,堤防の破堤というよりは護岸が損壊したとのイメージ に近い。写真-12 は図-16 の破線の楕円部における護岸損壊の様子である。ただし、ここでは護岸上 の道路が流失した(写真-13参照)ために,道路の被災として記録されており,データマップには掲 載されていない。このように護岸上にある道路が被災する事例は、豪雨時の典型例の一つであり、美 山町折立の称名寺前の道路流失(写真-14参照)も全く同じ被災パターンと言える。すなわち、いず れもすぐ背面に山を持つ谷底にあり、道路の幅をとるために護岸は盛土となっている。そのため、豪 雨時には降雨による浸潤のみならず、隣接する山地に浸潤した雨水が地下水流となって、このような 谷地の盛土に水が集まることになる。結果として盛土自身のせん断強度も地盤材料の飽和化により急 激に低下することなり、護岸としての安定性も当然のことながら低下するものと考えられる。護岸損 壊の直接の原因は、側岸侵食によるものであるが、以上のような状況で背面地盤のせん断強度が低下 していたことが、被災規模を拡大したと言うこともできる。

7.4 鯖江市落井町の護岸損壊

図-17の護岸損壊に着目する。データマップではNo.76の地点にあたる。この場所の鯖江市落井町 は河和田川の最下流域であり、損壊地点は鞍谷川との合流部から420m 余りの場所である。図-9(b) の浸水図で見るように、上流を含めて非常に広い範囲で浸水をしている。間近の河和田川は両岸とも 至る所で溢水していたが、それのみならず図-17中に示した鞍谷川右岸堤防からも越水しているため (写真-15 参照)、合流部に近いこの辺りは氾濫した水が最も集まりやすく遊水池化していたと考え

られる。損壊地点の河和田川左岸側に民家が集まるエリアがあるが,その辺りの浸水状況は護岸部付 近の若干高い位置にある民家で床上 1m 以上,少し南側の奥に入った位置では,民家の2階にせまる ほど水につかる被害となった。写真-16は被災した護岸である。擁壁護岸であるが、コンクリートの 打ち継ぎからの破損が目立つ。写真の民家の住人の証言によると、床上 1m ほどまで水位が上昇した のちに、18日の夕方になって河和田川の水位が下がり始めた後も、堤内地の水位は下がらないままの 状態が継続した。その結果、ついには「ボン」という大きな破裂音とともに護岸が損壊し、排水され ずに堤内地に溜まっていた水が、破裂した護岸の隙間から一気に河和田川に流れ出したとのことであ る。すなわち,堤内地の水が速やかに排水される術がなかったために,堤内地と河川との水位差が開 き、それによる残留水圧に耐えきれなくなった護岸が内側から損壊したという事例である。浸水域の 広さや形からも、この辺りでは一旦浸水した堤内地の水位がなかなか下がらない悪条件が重なったと 思われる。護岸の構造的な面から見ると、この種の擁壁護岸の場合はブロック積み護岸と同様に、大 きな残留水圧が作用しつづけないように、水抜き工の設置や、砕石のような裏込め材を背面に敷設す ることが望ましいが,橋を挟んですぐ下流側の破壊しなかった同形式の擁壁護岸(写真-17)を見る 限り,写真に撮影されている古橋からブロック式護岸とのすりつけ部までの約 60m の範囲内には矢印 で示す位置に排水口が一つあるだけであり、今回のような想定外の浸水時には、数および排水性能の 面から見ても、とても間に合うものではない。また、写真-17は、損壊した護岸の擁壁背面の状況で ある。擁壁の損壊によるはらみだしにより背面の土砂が沈下しているが、その背面の土砂は宅地と同 じものであり裏込め材が入っていた形跡はない。この種の擁壁護岸は、水抜きや裏込め材の有無に拘 わらず、水圧が作用しても壊れない条件で設計されているはずであるが、今回の事例のように地表面 よりも高い水位の想定外の残留水圧が、それも長時間作用し続けたことにより、ついには損壊に至っ たものと考えられる。

擁壁護岸が多く被災した過去の事例としては,1988年7月豪雨による島根県の下府川,青川川およ び三隅川支川においての水害⁸⁰や1990年19号台風による兵庫県下の水害⁹⁰などが挙げられる。前者 の災害に対して,藤田・木下(1989)⁸⁰は模型実験を行い,法勾配の大きな護岸では比較的低流速であっ ても,溢水により堤体が水を含むだけでも護岸が前方に傾くこと示し,急傾斜の護岸は上流からの水 流の供給状態次第で大きな被害が発生する危険性を指摘している。また,後者の災害では,空石積み 護岸の被害が比較的軽微であったのと対照的に,擁壁護岸の被害が大きかった⁹⁰。このように,溢水 に起因する擁壁護岸の被災は過去においても多く発生している。今回被災していない地点においても, 同種の構造物はより厳しい条件で安定性を再検討することが望まれる。

先述の 1988 年7月豪雨において大きな被害を受けた三隅川支川では,実は 1983 年と 1985 年にも大 きな被害を受けている。擁壁護岸に限らず,被災の度に改良復旧がなされながらも,同一箇所の護岸 が災害の度に酷似した被害を受けたと報告されている。この川の被災箇所のほとんどは河道屈曲部で あり,そのような河川の脆弱部では改良復旧の効果が十分に現れない場合が多いと指摘されている⁸⁾。 福井豪雨で被災した護岸のほとんども,中小河川の河道屈曲部の脆弱部に位置していることを鑑みれ ば,今後の復旧後も,同規模の豪雨の際には細心の注意を払う必要がある。





写真-6 天端から背面土砂が流出した護岸

図-14 データマップでの詳細図



写真-7 土砂埋塞した河道



図-15 データマップでの詳細図



写真-8 浄教寺町での被害1



写真-9 浄教寺町での被害2



図-16 データマップでの詳細図



写真-10 美山町役場付近の被害¹⁾



写真-11 美山町朝谷島の堤防被害



写真-12 美山町朝谷の護岸損壊



写真-13 護岸損壊による道路流失



写真-14 美山町折立での護岸損壊



写真-15 鯖江市川島町での鞍谷川右岸堤防での越水(福井県提供)



図-17 鯖江市落井町の被災地点



写真-16 鯖江市落井町での擁壁護岸の損壊



写真-17 被災しなかった擁壁護岸の状況



写真-18 擁壁護岸の背面の状況

8. おわりに

福井豪雨による上流域の河川の被害を中心に調査を行った。渓流ならびに谷底平野を流れる堀込み 河道の中小河川がほとんどであるため,被災した河川構造物の中心は護岸であり,被災の主要因も氾 濫流によるものであった。しかし,護岸を兼ねた道路盛土の流失や,残留水圧による擁壁護岸の損壊 など,地盤工学的に今後検討すべき問題も明らかになった。

福井に限らず日本各地の山間部の中小河川沿いには道路が建設されていることが多く、その道路が 護岸を兼ねている事例が多い。河川沿いの谷地には盛土部を作らざるを得ない箇所も多く、同種の被 害は、同年10月に発生した平成16年台風23号による豪雨においても兵庫県各地で頻発した。地形的 にもこのような谷地の盛土は豪雨時に間隙水圧が上昇しやすく、結果として構成する地盤材料のせん 断強度の低下をまねき、なんらかの被害につながると考えられる。山間地の河川沿いの道路が流失し て寸断された場合には、そこにつながる集落は即、陸の孤島化するおそれもあり、緊急避難経路とな る道路においては、その護岸をより災害に強いものに整備するなどの検討も必要である。

護岸や堤防の被災は河川の線形や河道条件に密接に関連しており,河川工学の見地から被災の原因 を十分に検討する必要があることは言うまでもないが,護岸の被災事例には道路盛土や擁壁などの人 工の土構造物が密接に絡んでいる場合も多く,それらの品質評価も含めて河川上流部における豪雨災 害の減災対策に,地盤工学が今後さらに積極的にかかわってゆくべきであることを,本調査を通じて あらためて痛感した次第である。

最後になりましたが,福井県土木部河川課をはじめとして,本調査に惜しみないご協力をいただき ました関係各位に記して感謝の意を表します。また,本調査を進めるあたり,河川工学の専門家の立 場から多くの貴重なご助言を頂きました細田尚京都大学教授(本調査団委員),ならびに,本稿をご精 読の上,大変貴重なご意見を頂きました村本嘉雄京都大学名誉教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 平成 16 年 7 月福井豪雨足羽川洪水災害調查対策検討会: 足羽川洪水災害調查対策検討報告書, 2005.3.
- 2) 国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所:第23回九頭竜川流域委員会資料,2004.8.
- 3) 福井県:福井県地震被害想定調査総合報告書, 付図, 1989.
- 4) 細田尚:都市社会工学専攻ニューズレター, No.1, 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻, 2005.
- 5) 国土地理院:平成16年7月福井豪雨関連のページ,2004.
- 6) 土木学会関西支部編:川のなんでも小辞典,第2章,1998.
- 7) 京都大学・東瀬戸内地区洪水災害研究グループ:東瀬戸内地区の洪水災害,昭和49年7月集中豪 雨災害の調査研究総合報告書, pp.72-92, 1975.
- 8)藤田裕一郎・木下晴由:超過洪水による中小河川の河道災害,京都大学防災研究所年報,第32号, B-2,571-593,1989.
- 9) 村本嘉雄: 擁壁護岸の災害に関する私信, 2005.

- 福井工業大学 澤崎 雅之
- (株)サンワコン 森川 和典
- (株)サンワコン 岡島 尚司
- 福井大学 荒井 克彦

1.はじめに

福井県嶺北地方北部は 2004 年 7 月 18 日未明から、記録的な集中豪雨に見舞われた。福井市城戸内町 における県の雨量データによると午前 6 時頃には、72mm/hr の降雨が記録されており、当地域では約 4 時間に亘って猛烈な雨が降り続いた。福井県の調査¹⁾によると、この豪雨により、死者 4 名、行方不明 1 名、家屋の全半壊 201 世帯、床上浸水 4052 棟、床下浸水 9675 棟という大きな被害をもたらした。

特に、足羽川左岸の堤防が春日一丁目で決壊して、福井市橋南地区一帯に濁流が流れ込み、多数の家 屋が床上、床下浸水に見舞われた。さらに、足羽川水系、鞍谷川水系等の河川洪水により、多くの護岸 が被災するとともに、美山町、池田町を中心に、土石流災害も多数発生した。また、足羽川に架かる JR 越美北線の鉄橋が5箇所で流失し、現在のところ、一部区間が運休のままである。

今回の豪雨災害は本質的には河川災害と考えられるが、各地で法面が崩壊する事例も多数発生している。ここでは、豪雨発生後、現地踏査を実施して取りまとめた斜面崩壊調査結果について報告する。

2. 降雨特性2)

今回の集中豪雨に関する降雨の特徴としては、概ね以下のように要約できる。

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。福井県の嶺北地方では、7月18日(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日の 昼頃からは雨は小康状態となった。また降り始めからの総降水量は、嶺北北部の美山町で283mmとなっ ている。図2.1 に今回の豪雨による総降水量の分布図を示す。なお、福井地方気象台のアメダスデータ (図2.2)によれば、7月に入ってからの先行雨量としては、福井、美山、板垣の各観測地点において、 9日、10日、11日の3日間に毎日約10mmから30mmの雨量が記録されているだけである。今回の豪雨を 過去の雨量記録や極値と比較するために上記3地点について作成した一覧表が表2.1.1~2.1.3である。 各地点で必ずしも統計期間は一致していないが、例えば美山町においては、過去の最大日降水量の約2 倍の雨量が、また、時間降水量としても既往の最大時間降水量の約1.7倍の雨量があったことがわかる。 その結果として、例年の7月1ヶ月分の雨量に対して、約8割強の雨量が短時間に降ったことがわかる。

3. 地形・地質特性の概要³⁾⁴⁾

福井豪雨災害で被災した福井市や鯖江市は、西側を丹生山地、東側を越前中央山地に囲まれた福武平 野に、また、美山町や池田町は越前中央山地内の谷底平野に位置している。斜面崩壊は丹生山地や福武 平野内の孤立丘陵でも発生しているが、ここでは、越前中央山地周辺で発生した崩壊を対象とした。

図 3.1 に越前中央山地を中心とした地域の地質図を示す。越前中央山地には、先第三系として、船津



図 2.1 総降水量の分布図



図2.2 福井·美山·板垣における2004年7月の日降雨量(アメダスデータ)

花崗岩(古期花崗岩)、手取層群、足羽層群の礫・砂・泥岩が分布し、その上部を新第三紀の糸生累層 の安山岩類が広く覆っている。平野と山地の境界には洪積世の段丘堆積物、洪積世および沖積世の崖錐 堆積物も分布している。

今回の崩壊の大部分は糸生累層の分布地域で発生している。糸生累層はいわゆるグリーンタフであり、 熱水変質の影響で、脆弱化しやすくなっている場合がある。厚い風化帯を形成することが多く、風化帯 の厚みが 10m を超える場合も稀ではない。また、越前中央山地にはリニアメントが多数認められる。リ ニアメント周辺の緩傾斜面を急勾配で切土した場所では、一般的な豪雨でも、崩壊が発生している。

4.公共土木施設の被害状況5)

この集中豪雨によって発生した福井県内(含む嶺南地域)の公共土木施設の被害状況を表4.1 に示す。 また、図4.1~図4.3 には、表4.1 の道路、河川、砂防の各工種について、各々の被災延長を集計して算 出した頻度分布割合を表示している。さらに、図4.4 は、2万5千分の1の地形図上に各々の発生地点を プロットして作成した発生箇所図である。青 印は河川、赤 印は道路、緑 印は砂防の各工種を表し ている。

表 4.1 及び図 4.1 から、今回の豪雨災害によって、多数の比較的小規模な事例を含めて 900 ヶ所以上 の地点で公共土木施設が被災したことがわかる。また、図 4.4 から、被災地域としては、大野市、勝山 市周辺における河川関係の被災事例や、丹生山地北部の小河川沿いの被災事例が確認できるものの、被 災箇所の多くは、福井市南東部、美山町、池田町、今立町、鯖江市河和田地区などに集中していること がわかる。特に、足羽川支流に当たる福井市の一乗谷川、池田町の部子川、稗田川、篭掛川をはじめ、 鯖江市の鞍谷川、河和田川、服部川、さらに、今立町の水間川、月尾川などの各流域近傍では多くの被 災箇所が集中している。

<u>表2.1.1 7月の平均降水量 (mm)</u>

福井	美山	板垣
(1971年~)	(1979年~)	(1979年~)
213.8	236.7	240.6

<u>表2.1.2 日降水量の極値 (mm)</u>

\searrow		福井		美山	板垣				
	(1007		(4070	統計期间 2年 2004年)	(1070年 0001年) (1070年 0001年)				
	(1897	<u>'年~2004年)</u>	(1979	9年~2004年)	(197)	9年~2004年)			
1 <u>1V</u>	201.4	(1933/07/26)	283	(2004/07/18)	216	(2004/07/18)			
2位	197.5	(2004/07/18)	143	(2004/10/20)	163	(1998/07/10)			
3位	193.6	(1902/07/14)	129	(1995/07/03)	139	(2004/10/20)			
4位	183.5	(1908/08/07)	126	(1983/09/28)	112	(1983/09/28)			
5位	161.3	(1899/09/08)	115	(1995/07/14)	103	(1998/09/22)			
6位	160.5	(1897/07/07)	114	(1998/07/10)	99	(1999/09/21)			
7位	150.5	(1965/09/17)	110	(1982/08/16)	98	(1995/07/14)			
8位	143.5	(1995/07/03)	109	(1993/07/13)	98	(1987/05/23)			
9位	140.5	(2004/10/20)	105	(1996/06/25)	98	(1985/07/07)			
10位	134.4	(1901/08/22)	103	(2002/07/16)	97	(1989/09/06)			
図	福井 300 250 200 150 100 1 20 1 2 1 2	# 統計期間 (1897年~2004年) 2004年福井豪雨	福井 300 250 200 150 100 1 2 1 2	統計期間 (1897年~2004年) 0004年福井豪雨 3 4 5 6 7 8 9 10 順位	福井 300 250 200 150 100 50 0 1 2	統計期間 (1897年~2004年)			

表2.1.3 最大1時間降水量の極値 (mm)

\sim		<u></u> 福井		美山	板垣				
	4	統計期間	4	統計期間	統計期間				
	(1940)年~2004年)	(1979	9年~2004年)	(1979年~2004年)				
1位	75	(2004/07/18)	96	(2004/07/18)	66	(1985/09/07)			
2位	56.2	(1953/09/14)	57	(1986/09/03)	65	(2004/07/18)			
3位	55.4	(1956/08/04)	54	(2003/07/21)	44	(1982/08/24)			
4位	49.4	(1958/09/16)	52	(2004/09/14)	40	(1989/07/21)			
5位	49.2	(1942/08/16)	47	(1998/09/22)	38	(2004/09/14)			
6位	49	(1972/09/22)	43	(1985/09/12)	38	(2000/07/25)			
7位	46.5	(2004/09/14)	42	(1979/10/01)	38	(1990/08/17)			
8位	46.5	(1981/07/03)	39	(1986/07/10)	34	(2004/05/17)			
9位	46.5	46.5 (1968/08/28)		(1998/07/10)	34	(1998/07/10)			
10位	46	(1975/08/07)	35	(1993/09/14)	33	(1995/07/14)			
	100 ⁷	畐井 統計期間(1940年~2004年)	福	井 統計期間(1940年~2004年)	福井 統計期間(1940年~2004年)				
図		004年福井豪雨 004年福井豪雨 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2004年福井豪雨		2004年福井豪雨 			





図3.1 調査箇所と周辺の地質図 福井県(1969):福井県地質図(15万分の1)に加筆

表4.1 工種別被害件数

工種	件数
河川	387
道路	341
砂防	195
橋梁	11
その他	5
計	939







図4.2 道路の被災延長頻度分布図







図4.4 福井豪雨によるインフラの被災箇所(福井県の資料より)

5.調査ルート及び調査方法

調査箇所は、図 5.1 に示すように、国道8号線から東側に位置する、福井市、鯖江市、美山町、池田町、今立町の各地域を通る国道158号線、417号線、476号線及び主要地方道、一般県道(一部市町村道を含む)に面した斜面崩壊箇所である。さらに、一部、宅地近傍における斜面崩壊箇所も調査対象とした。ただし、河川による脚部侵食が誘因となった斜面崩壊や、土石流は除外してある。

調査は、先ず、斜面区分として、切土斜面、自然斜面の区別をしたうえで、地質、岩質の状況や段丘、 丘陵などの地形特性、植生の種類と状況、湧水の有無などを把握した。さらに、双眼鏡型レーザー距離 測定器や目視で崩壊斜面の幅、崩壊長さを計測するとともに、崩壊前の層厚、斜面勾配などの概略値を 求めた。

6.斜面崩壊調查結果

調査結果を取り纏めて、表 6.1 に示す。なお、表中の斜面区分の人工は切土、盛土、構造物などを意味しており、植生状況の密/疎は滑落崖周辺の状況である。また、斜面勾配や崩壊規模は概略の値であり、 湧水状況は斜面調査時のものである。さらに、斜面形状は、調査時の目視観測から判断している。各調 査箇所の写真を図版1に示す。

地形区分の丘陵のうち、崖錐性堆積物が厚く分布している場合は「丘陵(崖錐)」とし、それ以外の丘 陵地では「丘陵(風化土)」とした。

崩壊パターンとしては、図 6.1 のように

(1)パターン1(風化土の崩壊)

(2)パターン2(崖錐の崩壊)

(3)パターン3(段丘堆積物の崩壊)

(4)パターン4(吹付け工の剥落)

の4種類の形式が考えられる。

次に表 6.1 の結果に基づき、斜面、地層、地形の各区分、斜面形状、崩壊前の勾配、植生の種類、崩 壊深さ、崩壊幅の合計 8 項目について、図 6.2 のような頻度分布図を作成した。各パターン毎の分布図 とともに、左端には、全体の分布図を示す。表 6.1 から図 6.2 を作成する際、勾配については勾配範囲 の中央値を各箇所の代表値とした。植生の種類については、杉、松、桧などを針葉樹として統一した。 さらに、竹と杉が分布する箇所は「竹・針」、竹のみが分布するところは「竹」として整理した。

調査結果の要約と若干の考察は以下の通りである。

(1)斜面の区分について

(a) 今回調査対象とした斜面崩壊は、ほとんどが自然斜面で発生していた。

(考察)人工斜面では構造物や地質に応じた安定勾配が確保されており、なおか

つ不安定な表層土塊の除去や地表水についての対策が既に実施されてい

るため被災事例が少なかったものと考えられる。

(2) 地層・地形の区分について

(a)風化土の崩壊と、崖錐の崩壊がほとんどであった。

- (b)風化土の崩壊の中では、安山岩質の地域が殆んどであった。
- (c)当該地域には、花崗岩分布地域もあるが、所謂、真砂土の表層崩壊と考えられる事例は認 められなかった。



図 5.1 調査ルート図

表 6.1 崩壊斜面調査結果

斜	斜面	地質				斜面の形状 (崩壊前)		崩壊規模				植生 (崩壊地とそ	素因				崩壊パターン				
面	区分	- B ()内は表層地質図より	岩質	地	1 形	形状	勾配。	幅 m	長さ m	層厚 m	湧 水	種類	疎密度	強風化によ り土砂化	崖錐が厚い	集水地形	岩盤上部に段 丘が分布	バターン 1 (風化土)	バターン 2 (崖錐)	バターン 3 (段丘)	パターン 4 (モルタル)
1	自然/人工	安山岩	軟岩(礫状)	丘陵	(風化土)	谷型	30 ~ 45	15 ~ 20	90 ~ 100	1~2	無	杉、松	密								
2	自然/人工	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	直線型	30 ~ 45	15 ~ 17	15~20	1~2	無	杉、松、広葉樹	阏								
3	自然/人工	粘土・砂礫/安山岩	軟岩(土砂状)	段丘		谷型	45	35	5	1~2	無	杉、竹	密								
4	自然	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	谷型	45	10~15	30 ~ 40	1~2	無	松、広葉樹	密								
5	自然	凝灰岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	谷型	30 ~ 45	15 ~ 20	10~15	3~4	無	杉、広葉樹	密								
6	自然	安山岩	軟岩(土砂~磯状)	丘陵	(崖錐)	谷型	30 ~ 45	3~5	7~10	0.5~1	無	杉	廢								
7	自然	玉石・砂礫		段丘		尾根型	45 ~ 60	2~3	3~4	0.5	無	松、広葉樹	疎								
8	自然	粘土・砂礫/安山岩	軟岩(土砂状)	段丘		直線型	45 ~ 60	10	6~7	0.5~1	有	杉、広葉樹	疎								
9	自然	砂岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	谷型	30 ~ 45	20 ~ 30	20~30	4~5	有	杉、松	密								
10	自然	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(風化土)	直線型	30	15	20	1~1.5	有	杉	密								
11	自然	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(崖錐)	谷型	10~30	40	130	0.5~1	無	杉	密								
12	自然	(安山岩)	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(崖錐)	谷型	30 ~ 45	60	40	1.5~2	無	杉、松	密								
13	自然/人工	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	直線型	45	20	15~20	1~2	無	杉	疎								
14	人工	粘土・砂礫/花崗岩	中硬岩	段丘		谷型	30 ~ 45	20	4~5	1~2	無	杉、広葉樹	密								
15	自然	(花崗岩)	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	谷型	20 ~ 30	40	30	5	有	杉	密								
16	自然	砂泥互層	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	谷型	10 ~ 30	25 ~ 30	20	1~1.5	無	杉、広葉樹	密								
17	自然	(頁岩・砂岩・緑色岩)	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	谷型	30	5	10	0.5~1	無	広葉樹	密								
18	人工	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(風化土)	直線	45 ~ 60	20	15	0.5	無	杉	密								
19	人工	流紋岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	直線型	30 ~ 45	20	7~8	1~1.5	無	杉、広葉樹	密								
20	自然	流紋岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(崖錐)	直線型	30	5	60	0.5~1	無	杉	密								
21	自然	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	谷型	30 ~ 45	10	25	1~1.5	無	杉	密								
22	自然	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	尾根型	30 ~ 45	35 ~ 40	40	1~3	無	竹	密								
23	自然	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	谷型	45	10 ~ 15	40	1~2	無	広葉樹	密								
24	人工	安山岩	軟岩(土砂 - 礫状)	丘陵	(風化土)	尾根型	45	15	12	0.5~1	無	杉、広葉樹	密								
25	自然	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(崖錐)	谷型	30 ~ 45	5~10	80~100	1~2	無	杉	密								
26	人工	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	直線型	45 ~ 60	20 ~ 25	30	1~3	無	杉、竹	密								
27	自然	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(風化土)	尾根型	30 ~ 45	15	27	1~2	無	杉、竹	密								
28	自然	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	尾根型	45	35	27	1~2	無	杉、広葉樹	密								
29	人工	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(風化土)	谷型	45	15	7	0.5~1	無	杉、広葉樹	密								
30	自然	安山岩	軟岩(土砂状)	丘陵	(崖錐)	谷型	30 ~ 45	5~7	3	1~3	無	杉、広葉樹	密								
31	自然	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(風化土)	直線型	45	30 ~ 40	15	1~3	有	杉、竹	密								
32	自然/人工	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(風化土)	直線型	30 ~ 45	10	5~10	1~2	無	杉、広葉樹	密								
33	自然	安山岩	軟岩(土砂~碟状)	丘陵	(風化土)	谷型	25	15 ~ 20	3~5	2~3	有	竹	密								
34	自然	(安山岩)	軟岩(碟状)	丘陵	(風化土)	直線型	60	20	15	2	無	広葉樹	密								
35	自然	(安山岩)	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	直線型	30	30	25~30	2.5	無	広葉樹	密								
36	自然	(安山岩)	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	直線型	50 ~ 55	25	10~15	2	無	広葉樹・竹	密								
37	自然	(安山岩)	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	谷型	25 ~ 30	15	40	1.5	無	広葉樹	密								
38	自然	(安山岩)	軟岩(土砂状)	丘陵	(風化土)	直線型	50	15	15~20	3	無	杉・広葉樹	疎								

注1) 植生の密/疎は滑落崖周辺のものである

注 4) 湧水状況は斜面調査時のものである

注2) 斜面勾配や崩壊規模は目視である

き5) 斜面形状の谷型は等高線が凹状、直線型は等高線が直線状、尾根型は等高線が凸状を示すもの。

注3) 斜面区分の人工は切土、盛土、構造物などである

注 6) 地形区分の丘陵地に関して、崖錐性堆積物が厚く分布斜面に関して「丘陵(崖錐)」とし、それ以外では「丘陵(風化土)」と表現した

注7)34~38 は福井県より提供されたデータ





パターン1 斜面 No.2





パターン1 斜面 No.17





パターン1 斜面 No.22

パターン1 斜面 No.23

パターン1 斜面 No.26

パターン1 斜面 No.27

パターン1 斜面 No.29



パターン1 斜面 No.31





パターン2 斜面 No.13







パターン2 斜面 No.20

版

1

议

パターン2 斜面 No.21

(各崩壊斜面の全景)

パターン 2 斜面 No.25

パターン 2 斜面 No.28



<u>崩壊パターン</u>



風化しやすい火山砕屑岩や安山岩質岩石を主体とする地山で, 表層が極めて悪い材料で構成される。



崖錐性堆積物の崩壊である。比較的緩斜面でも認められ,規模 も大きい場合がある。植林された杉の大木が根こそぎ倒壊して いる例もある。集水地形で普段から湧水がある箇所がある。地 下水の上昇による飽和や,上から下への飽和帯の形成により, 地層全体が飽和に近い状態になって,泥流状に崩壊したと考え られる。土砂の移動距離が長い。



岩盤上の段丘堆積層や段丘堆積物内の地層境界付近で見受けられる。透水性の境界が弱面となって崩壊したものもある。



吹付背面の水圧により崩壊したと考えられる。水抜きは設けれ れていた。背面の岩盤は亀裂の多い軟岩で,上部は土砂状であ る。以前から空洞化していたと考えられる例もある。

図6.1 崩壊パターン


図6.2 調査結果の頻度分布図

- (考察)美山地域の花崗岩は足羽川の両岸の限られた地区に分布している。簡単に言えば、足羽川両岸で標高は低いが、傾斜はきつい所に分布し、一方安山岩は標高が高いが、傾斜は緩いところに分布している。そのため、風化した花崗岩等は常日頃浸食運搬されており、今回の水害で吐き出す物がなかったことが原因かも知れない。安山岩は、溜まりに溜まったものが今回一気に排出されたと考えることもできる。⁶⁾
- (3) 斜面形状について
 - (a)崩壊斜面の形状としては谷型斜面での崩壊が最も多く、直線型、尾根型の順になっている。 (考察)一般に、豪雨が誘因の斜面災害は、集水地形で発生しやすいと考えられ

ているため、その傾向を反映した結果だと考えられる。

- (b)崩壊パターン別で比較すると、風化土の崩壊は斜面形状が谷型、直線型に拘らず発生して いるが、崖錐の崩壊は谷型地形に多く生じている。
- (4) 斜面勾配について
 - (a)風化土の崩壊は,斜面勾配に関係なく発生しているのに対して、崖錐の崩壊は、相対的に やや緩勾配でも発生している傾向がある。
 - (考察) 崖錐は風化土と比較して、堆積勾配が緩い場合が多いためと考えられ

る。

- (5)崩壊幅・崩壊深さについて
 - (a)風化土の崩壊は崩壊幅が10~20m、崩壊深さが2m以下に集中しているのに対して、崖錐の崩壊は,崩壊幅・崩壊深さにバラツキがあるとともに、崩壊深さ3m以上の比較的深い 崩壊も発生している。
 - (考察)本来、岩盤の透水性は低いが、地表面下2m付近までは根系などにより 空隙が多く、比較的透水性が良い状況であることから、地表水が浸透しやすく豪雨に より飽和帯が形成された結果として崩壊深さは2m以下に集中しているのに対して、 崖錐が分布する箇所では透水性が良いために、崖錐の層厚に対応して崩壊層厚も大き くなったと考えられる。
- (6) 植生について
 - (a)風化土の崩壊は樹種とは関係なく発生しているのに対して、崖錐の崩壊は針葉樹,あるい は、針葉樹と広葉樹の混交林で発生している。

(考察)植生との明確な因果関係は認められなかった。

7.崩壊時間の調査

前節で実施した、38 箇所の斜面崩壊調査箇所の中で崩壊時間の特定を行った。その際、調査箇所の大部分が、近隣に人家が存在しない場所であるため、発生時刻の特定について具体的に話が聞ける地点6 箇所を選定して、聞き取り調査を行った結果を以下に示す。

各々の地点における、原位置写真(写真7.1~7.17) 概略の地形図(図7.1~7.6)および聞き取り内容 についてまとめてある。

図 7.7 は 6 箇所の調査地点の比較的近傍に位置している、福井市城戸内町の雨量データに各々の崩壊 時間をプロットしたものである。 今回の豪雨による斜面崩壊では、図 2.2 にも示したように 7 月 1 日から 17 日までの先行雨量による影響は殆んど考えられず、短時間の集中豪雨による地表面からの浸透水に起因した崩壊と考えられる。また、崩壊時間の調査から、6 箇所中 1 箇所を除き、総降雨量が 250mmを越えた頃以降に崩壊が発生したと推察される。

8.おわりに

今回の災害で最も特徴的な点は、パターン2で示される崖錐の崩壊であると考えられる。緩勾配の崖 錐が、豪雨による表面からの浸透水により飽和状態に近くなり崩壊したと考えられる。勾配 30°以下の 斜面でも発生しており、崩壊の深さが5mに達する例もあり、さらに飽和状態なので土砂の移動距離も長 くなる。このように、緩勾配ながら比較的規模の大きい崩壊の危険性を把握するためには、地形だけで なく地盤の内部に踏み込んだ検討が必要である。今回の調査事例の中には、崖錐が厚く、常に湧水が浸 出していた箇所も見受けられた。従って、今後、土砂災害防止対策を検討する際には、崖錐の分布状況 並びに地下水位の状況を簡単にモニタリングする方法や、日頃から地域の状況に精通している地元住民 を通じて、斜面や湧水の異常を簡単に聴取できるシステムの確立などが重要と考えられる。

謝辞

本調査にあたり、福井県土木部河川課ならびに福井土木事務所から貴重な資料の提供を受け、多大な ご協力を賜った。福井大学の服部勇教授には,調査結果の考察において,ご助言をいただいた。これら の方々に,深甚なる感謝の意を表する。

参考文献

1) 福井県 HP(<u>http://www.pref.fukui.jp/</u>): 平成 16 年 7 月福井豪雨による災害に関する情報.

2)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,平成16年7月30日.

3)福井県県民生活部地域振興課:土地分類基本調查「大野」,pp.13~32,1996年3月.

4) 福井県:福井県地質図幅説明書,昭和44年3月.

5) 福井県: 平成 16 年福井豪雨災害資料, 2004.

6)服部勇:私信,福井大学教授

斜面崩壊に関する聞き取り調査

(1) No.22 地点 福井市浄教寺町 集落センター前(一乗滝へ向かう道路右手斜面)

付近住民の話

7月18日午前9時頃一機に崩壊



写真 7.1 No.22 斜面全景

図 7.1 No.22 斜面の位置図

(2) No.33 地点 福井市深見町 浄真寺裏手斜面

住職(平本智秀氏)の話

7月18日午前8時15分ころ少し崩れていることを確認、午前8時30分ころ崩壊(数秒で崩壊) 日頃から斜面左下部に湧水有り、午前10時過ぎ当該斜面の左側斜面が崩壊



写真 7.2 No.33 斜面遠景(中)





写真 7.3 No.33 斜面遠景(左)

図 7.2 No.33 斜面の位置図



写真 7.4 No.33 斜面遠景(右)

(3) No.4 地点 福井市宿布町 宿布トンネル入り口(福井側)
 道路を挟んですぐ前の住民(区長 芦田尚義氏)
 7月 18 日午前 10 時上部の木が揺れるとともに崩壊



写真 7.5 No.4 斜面全景



図 7.3 No.4 斜面の位置図

(4) No.1 地点 は近住日の話 福井市篠尾町(三谷オプチカル㈱裏手の斜面)

付近住民の話

7月18日午前10時には崩壊していた。雨が激しく視界不良かつ破壊音などは聞こえなかった。 当時斜面左側の谷筋から多量の水が流出していた。



写真 7.6 No.1 斜面全景



図 7.4 No.1 斜面の位置図



写真 7.7 No.1 斜面の崩壊物質

(5) No.31 地点 福井市大村町 一般県道徳光・鯖江線の道路斜面

付近住民の話(前面水田の持ち主、稲刈り中)

7月18日午前6時頃確認、其の時には崩壊していた。たぶん、明け方午前3時~4時に崩壊した と想像される。



写真 7.8 No.31 斜面全景



図 7.5 No.31 斜面の位置図



写真 7.9 No.31 斜面近景



写真 7.10 No.31 斜面近景

(6) No.9 地点 美山町蔵作 集落入り口の人口斜面

付近住民の話(区長 竹島豊文氏)

崩れた瞬間は見ていないが、18日午前8時か9時まで斜面下の道路を行き来していたがなんとも 無かった。それ以後の時間帯に崩れたと思う。

崩れた斜面は2箇所とも谷地形だった。道路を作るために掘削し、擁壁構造物と切土工事を行った。植林杉は約50年以上経っていると思う。過去に目立った崩れはない。

向かって左側の崩壊斜面と比較して右側の崩壊斜面は湧水量が多い。少量の降雨でも右側斜面下 方はジュクジュクしている。降雨時には擁壁天端付近(切土下方)に湧水が多い。

右側の半壊した家の住人が、豪雨が発生する何日か前に家のうしろの斜面が崩れているのを確認 しているみたいである。それほど大きなものではなかったようである。2 月末に雨の多かった時 期がある、おそらくその時雪解けと重なって崩れたのではないだろうか?

以前から気持ちの悪い山と思っていた。山の上に常時谷水があるし、硬いしっかりした岩が出て こない。山中には転石がごろごろしている。



写真 7.11 No.9 斜面右側の状況と崩壊物質



写真 7.12 No.9 斜面の湧水(沢水)



写真 7.13 No.9 斜面左側の状況



写真 7.14 No.9 斜面左側の状況



図 7.6 No.9 斜面の位置図



写真 7.15 No.9 斜面左側の状況



写真 7.16 No.9 斜面左側の状況



写真 7.17 No.9 斜面に設置した伸縮計と連動 した警報装置



図7.7 福井市城戸内の時間雨量と総雨量および推定崩壊時間

福井豪雨による土石流被害について

地盤工学会:平成16年7月福井豪雨による地盤災害の緊急調査団

「小河川・渓谷などでの土砂流・土石流」調査グループ

小嶋啓介(福井大学) 松下 卓,寺崎 勉 (㈱ナチュラルコンサルタント) 與田 敏昭 (㈱ニュージェック) 東 順一(㈱田中地質コンサルタント) 魚住 誠司 (㈱ダイヤコンサルタント)

1. まえがき



表-1.1 土砂災害一覧

(福井県 Η Ρ に一部修正)

市町村名	がけ 崩れ	土石 流	合計
福井市	4	10	14
美山町	8	20	28
大野市	0	2	2
勝山市	0	1	1
鯖江市	9	12	21
武生市	2	3	5
朝日町	2	0	2
清水町	1	0	1
今立町	3	34	37
池田町	0	9	9
合計	29	91	120

図-1.1 土石流発生地点分布

平成 16 年福井豪雨による土石流を含む土砂災害の主な資料は,福井県砂防海岸課から提供いただい た緊急調査報告であり,斜面崩壊を含めて約 100 箇所の報告が掲載されている.この報告書は,土砂災 害発生地点ごとに,発生箇所の住所,渓流などの位置情報,最近観測点の雨量,人的及び家屋損壊なら びに流出土砂量や氾濫面積などの被害状況,保全対象および既存砂防施設と関連法令などを簡潔に記述 したシートと,氾濫範囲を示した大縮尺の地図および被害状況を撮影した写真の組み合わせからなって いる.図-1.1ならびに表-1.1は土石流発生地点を示しているが,福井市街から美山を経て池田に到る 足羽川流域ならびに,鯖江及び今立の東側に分布する中小河川沿いに集中していることがわかる.

福井県は、土石流危険渓カルテを作成している.カルテの対象となる土石流危険渓流は、保全対象の 種類と数により、1)土石流危険渓流I:保全人家5戸以上、または官公署、学校、病院、駅、発電所 などのある場所に流入する渓流、2)土石流危険渓流II:保全人家が1戸以上5戸未満の場所に流入す る渓流、3)土石流危険渓流II:現在のところ保全人家はないが、今後住宅などの新築の可能性のある 渓流(原則として都市計画区域内)に分類されている.福井県の場合、土石流危険渓流Iが2002箇所、 IIが 629箇所、IIIが404箇所で、全体で約3000箇所が指定されている.これらの渓流に関するカルテ には、1)流域面積及び河床勾配などの渓流概要、2)氾濫区域の面積、勾配、保全対象などの危険区 域の情報、3)渓床や周辺山腹の性状、4)砂防施設、5)避難などに関するデータが掲載されている.





2. 雨量分布との関係

福井気象台から,7月18日の前後1日を含む3日間の雨量分布データを提供いただいた.この雨量 分布データは、レーダー雨量をアメダスデータなどで補正したものであり、2.5km メッシュごとの10 分間隔の雨量強度データである.

図-2.1 は、図-1.1 の範囲の午前7時および10時の雨量強度分布である.7時では梅雨前線の方向 に沿った北西から南東にかけての単調な分布であるのに対し、10時では70mm/hr以上の大きな雨量強 度が、北西から南東にかけての地域に加え、やや南西よりの鯖江および今立方面にまで広がっているこ とがわかる.図-2.2 は 17日午前3時からの累積雨量分布であり、左は7時まで、右は10時までの累 積雨量である.美山および池田などの足羽川上流域には、7時では150mm以上、10時では250mm以 上の雨量があったことがわかる.なお、11時以降の降雨は僅かであり、10時の段階の総雨量がほぼ18 日の降雨量に対応している.いずれの図からも、強い雨量が認められる範囲は、福井市街から池田町方 向である南東方向にあり、この範囲はちょうど足羽川の流域に一致していることが確認できる.図-1.1 の土石流発生地点は、池田から美山をへて福井市に流下する足羽川とその支流の一乗谷川、鯖江および 今立の東に散在し、浅水川をへて日野川に合流する河和田川、服部川、水間川、月尾川、鞍谷川などの 周辺に分布していることがわかる.また、これらの河川周辺では、10時の雨量強度で70mm/hr以上、 累積雨量で250mm以上の雨量が観察されている範囲とオーバーラップしていることが確認できる.

土石流発生地点の雨量推定

N

図-2.1, 2.2 に示した雨量は、南北 1.5 分、東西 1.875 分ごとの約 2.5km メッシュの雨量であり、土 石流発生地点で観察された雨量ではない. そこで、次式を用いて発生地点の雨量を推定した.

$$P_{L} = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_{Li} p_{i}}{\sum_{i=1}^{N} w_{Li}} \qquad w_{Li} = 1 - \frac{R_{Li}^{2}}{R_{\max}^{2}} , \quad R < R_{\max}$$
(1)
$$w_{Li} = 0 , \quad R \ge R_{\max}$$

ここに、 P_L : 被災位置Lでの推定雨量、 P_i : 推定点Lの周囲のレーダー雨量点 i の雨量、w:重み、 R_{Li} : 被推定点からレーダー雨量点までの距離、 R_{max} , 重みを考慮する最大距離で、ここでは 5km に設定した.上式は、推定点からメッシュ点までの距離の二乗に反比例する重みによって、メッシュ点 の雨量の重み付け平均値として、土石流発生地点の雨量を推定していることになる.

図-2.3 は,市町村ごとの土石流発生地点の代表として選択した福井(一乗滝),美山(蔵作),鯖江(金山), 今立(柳)のハイエトグラフである. どの地点でも,18日4時前後から雨量が増加し,60mm/hr 前後の 強い雨が10時過ぎまで継続し,累積雨量はどの地点でも200mm を大きく越え,特に美山町蔵作では 累積雨量が320mm に達していることがわかる.

3. 土石流発生地点の地形,地質,植生

福井県の土石流カルテと土石流被害報告書のデータを基に、土石流発生地点に地形、地質や植生から 特定の条件で土石流が発生したかどうかの検討を行った. 図-3.1 から 3.5 の棒グラフは福井県嶺北地











図-3.5 渓床周辺の植生











図-3.6 流域の植生と流出土砂量



図-3.9 流域面積と計画流出土砂量の相関

図-3.10 流域面積と計画・流出土砂量の相関

域の土石流危険渓流のデータに対応しており,折れ線グラフは土石流発生地点の対応するデータである. 図-3.1 の土石流危険渓流の河床平均勾配を見ると,10~25 度の範囲に存在し,15 度付近にピークを 持つ正規分布的な分布を持つが,土石流発生渓流ではピーク勾配が20 度付近にあり,やや大きいが, 両者に大きな隔たりは認められない.図-3.2 は,氾濫域の氾濫開始勾配と,終息域の勾配を示してい る.危険渓流の氾濫開始点の勾配は,4~16 度と比較的広い範囲にあり,16 度付近と10 度付近に2つ のピークがある一方,収束点の勾配は,0~4 度の狭い範囲で,特に4 度付近に集中した分布であるこ とが読み取れる.氾濫域の開始-収束点の勾配についても,土石流発生店と危険渓流で大きな相違は認 められない.図-3.3 は渓床の形状と堆積土の種類を,図-3.4 は流域の主な地質を示している.両者と もに,土石流発生地点と危険渓流の分布傾向は同様であり,特定の地形や土質での土石流の発生の多少 は見出せない.

次に、土石流と周辺の植生に関して検討を行う. 図-3.5 は、渓床周辺の植生である. 棒グラフの土 石流危険渓流全体の分布を見ると、高木、草本、植生なしの順であるが、土石流発生地点では、植生な しが有意に多いことがわかる. 渓床周辺の植生がないところで、土石流発生数が多いということは、そ の渓流堆積物の不安定性を示すものであり、過去にも渓床の移動があったところで、今回の土石流が多



図-4.1 アンケート配布対象地区とその住宅被害分布

く発生していると推論できる. 図-3.6 は,横軸を土石流発生地点の計画流出土砂量,縦軸を実際の流 出土砂量としたものであり,渓流周辺の植生ごとにプロットしている. この植生区分は,福井県の植生 分布図から,土石流発生地点の渓流周辺に対応する植生を読み取ったものであり,その大半は人工林で ある杉であることがわかる. 同図より,松・杉と杉・コナラについては,計画土砂に対する流出土砂の 割合は少なめであり,データ数が少ないもののコナラやブナの流出割合は大きめである. しかしながら, これらのデータから,特定の植生で土砂流出量の大小を結論付けることは困難である. 以上,嶺北地域 の土石流危険渓流の地形,地質および植生などの分布と,土石流発生地点の分布の比較からは,渓床周 辺の植生を除いて特定の傾向は認められなかった.

図-3.7~3.10 は、河床勾配、氾濫区域の面積、計画および流出土砂量を、流域面積との関係として 示した図である. 図-3.7~3.9 の●は嶺北地域の土石流危険渓流を示しており、□は土石流発生地点を 示している. 図-3.7 の河床勾配は流域面積が大きくなるほど小さくなり、15 度付近に収束する傾向が 見られ、この傾向は土石流発生地点についても同様である. 図-3.9 の計画流出土砂量と流域面積の関 係は、比較的ばらつきが少なく、両対数上で明瞭な線形関係が認められる. 土石流発生地点の計画流出 土砂量の流域面積に対する傾きは若干小さいが、明確な傾向として指摘できるほどではない. 図-3.10 は、土石流発生地点について、その計画流出土砂量および実際の流出土砂量を流域面積に対してプロッ トしたものである. 実際の流出土砂量はややばらつきが大きいが、土石流発生地点の計画および流出土 砂量は、流域面積の平方根に近い 0.55 乗程度に比例し、両者はほぼ平行な傾向であり、計画土砂量の 名割程度が実際に流出したことが読み取れる. 同図中に示した回帰式によれば、流域面積 1km²当たり の流出土砂量は、約 4,000m³であり、流域面積が 4 倍になると流出土砂量は約 2 倍強になることが予測 できる.

4. 土石流発生地域住民に対するアンケート分析

土石流が発生した地点のうち、福井市、美山町、鯖江市および今立町から図-4.1に示す16の被災地

7日19日の高雨で発生した十万法の状況についてお見わします
7月18日の家内で元王した王石派の仏派についての寺ねしより.
<u>当てはまる項目の□にチェックし、()には数字や具体的な記述をご記入下さい.</u>
0. あなたの自宅の住所と番地をご記入下さい. (町番号).
 あなたの自宅周辺に土石流の影響はありましたか、 大きな岩を含む濁流が流れ、家の周囲に岩を含む土砂が堆積した. 濁流が流れ、家の周囲に土砂が堆積した. 川の増水で浸水はあったが、土砂は堆積しなかった. 特に被害はなかった.
 2. 土石流により家が損害を受けましたか. □ 全線 □ 半線 □ 一部損壊 □ 被害なし
3. 土石流による堆積土砂と浸水についてお尋ねします。 a:土砂の中の最大の石の直径は () cm程度であった。 b:堆積した土砂の厚さは () cm程度であった。 c:浸水した深さは地面から () cm程度であった。
 4. 土石流に流木は含まれていましたか. 根こそぎの木が大量に含まれていた, 流木が少量含まれていた, 流木が少量含まれていた, 流木はなかった
 5. 土石流の発生時間についてお尋ねします. a:はじめての土石流の発生時刻は7月18日 AM PM ()時 ()分頃. b:土石流が収まったのは ()時頃.
 6. 土石流の発生以前に、その前兆はありましたか. □ あった → 具体的な前兆を記入してください () □ なかった
 7. 避難されましたか. 避難した → 避難された理由は何ですか. 自治体などからの避難指示を開いて 自分で判断して(判断されたきっかけを具体的に記述してください.) ()
 □ 避難しなかった 8. 今回の災害で特にお気づきの点ならびにご意見などがございましたらご記入下さい. ()

	地区	対象戸数	回収戸数	回収率
	城戸ノ内町	50	34	68%
ヶ	西新町	23	17	74%
日本	鹿俣町	45	31	69%
111	東新町	27	19	70%
	浄教寺町	22	14	64%
	蔵作	46	31	67%
¥	西天田	7	6	86%
天山町	西河原	8	6	75%
шј	東河原	23	17	74%
	折立	28	17	61%
	金谷町	17	13	76%
鯖	尾花町	16	8	50%
市	沢町	2	2	100%
	上河内	33	20	61%
今立	柳	22	15	68%
町	市野々	26	17	65%
		395	267	68%

表-4.1 アンケート配布対象および回収率

図-4.2 アンケート項目

域を選択し、土石流の直接および間接的な影響があったと考えられる家屋を住宅地図から選択し、図-4.2 に示すような内容のアンケートを実施した.なおこのアンケートは、地盤工学会関西支部による「平 成 16 年 7 月福井豪雨による地盤災害調査団」の活動として実施したものである.アンケートは、回答 の容易さを第一とし、A 4 で 1 ページと少量にとどめ、質問項目についても、一般住民の方にとって解 り安さを重視した内容となっている.アンケートの依頼書と調査票を事前に郵送し、1 週間程度時間を あけて調査員が直接回収するか、各戸で直接質問して回答していただくという方法で実施した.表-4.1 に示すように、配布個数は 395 戸、回収戸数は 267 で、平均回収率は 68%であった.

図-4.1の円グラフは豪雨による家屋の被害の程度を回答割合で示したものである.家屋の全壊は, 福井市一乗谷川周辺と美山町で見られ,一部損壊までを含めた家屋の被害の割合は,美山および今立に 多いことがわかる.図-4.3~4.5は土石流被害の概要を,土石流に含まれる土砂の最大粒径,土砂の堆 積深さおよび浸水深さの面から捉え,それぞれの回答割合をヒストグラムとして,市町村ごと示したも のである.図-4.3より,土砂の最大粒径については,どの地域においても10cm以下であったとする 回答が最も多く,ついで40~80cmとする回答が多い.また,今立および美山町では,150cmを越える 巨岩の流出も発生していたことが確認できる.図-4.4より,土砂の堆積深さについては,福井市では 相対的に小さく,美山,鯖江および今立では,80cm以上の堆積があったとする回答割合が,40%程度 ある.この傾向は,図-4.5の洪水の浸水深さについても同様に認められる.土砂堆積深さが80cm以 上あり,浸水深も80cm以上あったと答えた割合は、美山町および今立町で顕著に多く,それに対応す るように、図-4.1で示した家屋の半壊および一部損壊があったと答えた割合が多くなっている.





図-4.9 避難の有無

図-4.10 避難理由

次に、土石流の発生時刻について検討する. 図-4.6 と 4.7 は土石流の発生・終了時刻の回答割合である. 福井市と美山町の回答には比較的幅があり、明確なピークは認められないが、それぞれの最大回答時刻は7時と8時であった.一方、鯖江市は8時、今立町では9時と回答した割合が顕著に多い. 以上から、地域ごとに土石流発生時刻は異なり、南部ほど発生時刻が遅い傾向があることが推察される. 図-4.7 の土石流収束時刻については、発生時刻よりも回答にばらつきが多く、不明とする回答も多い.

これは、次に述べるように、避難したことにより、自宅周辺の様子がわからなくなったことも影響していると思われる.最大頻度となっている時刻は、福井市で10時、美山町で12時、鯖江市で11時、今立町で11時であり、発生から3時間~4時間後には収束していたことがわかる.

次に土石流の前兆と避難に関して検討する. 図-4.8 は土石流の前兆と思われるものの有無の回答割 合である. 何らかの前兆があっとする回答は,全体の 30%程度と,やや少ないが,今立町では 40%を



図-4.13 累積雨量-強度関係(鯖江)

図-4.14 避難·警戒雨量基準

越えてやや多くなっている.前兆現象として住民の方があげた具体的な項目としては、回答数の多い順 に、1) 渓流を石が流れる音、2)経験したことのない豪雨、3)水位上昇、4)流木などによる橋のダム化、 5)水の濁り、6)悪臭、7)水位低下、などがあげられていた.図-4.9 は避難の有無の割合、図-4.10 は 避難した場合の直接の理由の回答割合を示している.避難した割合は、4つの市町村で概ね40~60% であり、今立町ではやや少ない.また、自治体などからの避難指示によって避難したとの回答は、今立 町を除いて約70%となっており、外部からの指示が避難のきっかけとなっていたことが伺える.今立町 では、自分の判断によって避難したとする割合が50%と明らかに多く、これは図-4.8 で前兆があった とする回答が多いことと調和的である.

最後に土石流の発生時刻と雨量の関係を検討する. 図-4.11 から 4.13 は,福井市,美山町および鯖 江市の土石流発生地点の累積雨量と雨量強度の関係,いわゆるスネーク曲線である.なお,土石流発生 地点の推定雨量は第2節の式(1)を用いて算出した値である.アンケートにおいて,土石流発生時刻の 回答を地域ごとの平均を,各渓流の土石流発生時刻とし,その時刻の雨量を図中の矢印で示す.図より, 福井市と美山町では,60mm/hr前後の強い降雨の後で,40mm/hr前後の雨が継続し,累積雨量が100mm 前後を越えたところで土石流が発生している.一方,鯖江市においては,やや雨量強度が小さく,単調 に累積雨量が増加し,やはり100mmを超えたときに土石流の発生をみていることがわかる.図-4.14 のプロットは、図−4.11~13の矢印、すなわち土石流発生時刻の累積雨量と雨量強度をまとめて示した ものである.なお、図中の○は、アンケートの平均として算出した土石流発生時刻に最も近い、正時雨 量を、●は発生時刻に相当する雨量を、前後の正時雨量の線形近似で推定した雨量に対応している.こ の図から、今回の豪雨による土石流は、累積雨量が 100mm を超え、かつ 30mm/hr 以上の降雨強度が あった時に発生していたことが明らかである.図中の縦横の直線は、消防庁による土石流警戒および避 難基準値を示している.この基準によれば、前日までに降雨がなかった場合には、日雨量が 100mm を 越えた時が第一警戒態勢(警戒巡視および住民への広報実施)、日雨量が 100mm を越え、かつ時間雨 量 30mm 程度の強雨が降り始めた時が第2警戒態勢(避難準備の広報および避難指示の実施)をとる事 となっている.また、図中のr(t)と示した直線は、建設省指針の土石流発生危険基準線(CL)を、 累積雨量 100mm、降雨強度 30mm/hr を通るように設定したものである.今回の土石流は、以上二つ のいずれの基準によっても警戒が必要とされる範囲に収まっており、少なくとも降雨条件から見て、最 初の土石流の発生は例外的なものでなかったといえる.ただし、図−4.11~13に示したように、最初の 土石流が発生した後も、それ以前より強い豪雨が継続し、基準の2倍程度の雨量強度が数時間続き、累 積雨量についても基準の3倍程度の 300mm 前後に達しており、土石流が継続的、波状的に発生し、多 量の土砂と洪水を供給し、大きな被害を招いた可能性がある.

5. 間谷・金谷川渓流の土石流被害と福井県の対応

ここでは、今回の豪雨に伴う土石流発生地点のうち、間谷・金谷川渓流の土石流被害の詳細を報告する.対象渓流は、図-5.1 右上の図の土石流カルテ番号 1-1-43 の間谷川・金谷川渓流であり、その空中 写真を付録写真0に示す.対象渓流は須別当、間谷、金谷の3支流よりなり、保全対象の金谷町上流で 合流して金谷川となる。流域の地質は第三紀の火山岩層であり、平均河床勾配 18 度、流域面積 0.77km² である.土石流カルテによると想定氾濫区域の面積は約 45,000m²で、保全対象人口が 112 人、保全住 家数は 28 戸である.事前の渓床状況調査によれば、渓床は草本で覆われるが、巨礫が凸形状に集積し ており、計画流出土砂量は約 38,500m³ と見積もられていた.さらに、同渓流では過去に比較的規模の 大きな崩壊履歴はなく、土石流災害も記録されていない.同渓床の警戒および避難雨量は、それぞれ 184mm と 205mm である.

福井県による土石流被害緊急報告によると、土石流発生直後に想定された流出土砂量は 19,000m³に 及び、氾濫域の最大幅は 100m で、最大延長は 550m に達している.この土石流により、一部損壊家屋 10棟、床上浸水 2棟、床下浸水 10棟と、砂防流路工の損壊と、道路の埋設及び破損、ならびに下流域 の農地に土砂が堆積する被害が発生したことが記録されている.また、同地点の最寄の雨量観測点であ る北中雨量観測点の観測値として、連続雨量 262mm、最大時間雨量 62mm が記録されている.

土石流発生後に、福井県によって渓床の状況が調査され、不安定土砂の堆積量も計測されている.図 -5.2 は図-5.1 に示した須別当川下流部における計測状況である.写真にも見られるように、河道内に は巨礫が点在し、流出土砂と流木によって埋設されており、渓流周辺の樹木の根元まで、土石流堆積物 が及んでいる状況が認められる.上流では0次谷源頭部および渓岸で崩壊が多発しており、降雨による 崩壊発生が引き金となって土石流が発生した状況を示している。各渓流とも谷口を横断する主要地方道 鯖江美山線付近まで土砂を流出したが、とくに須別当川からの流出土砂は道路に沿って流下、氾濫し、 保全対象に被害を与えた.



図-5.1 間谷川・金谷川渓流の流域図(土石流危険渓流1-1-43)



図-5.2 須別当川での堆積土砂断面の計測状況

各渓流の河道内に現存する不安定土砂量は,須別当川で3,600m³,関谷川で4,500m³,金谷川で400m³ で,指定渓流全体で8,500m³に達している.これらの不安定土砂は今後の降雨によって再流出する危険 性が高く,福井県は当面各渓流に1基ずつ計3基の砂防堰堤を計画し,施工するものとしている。

6. あとがき

平成16年福井豪雨で発生した土石流被害について,福井県砂防海岸課の災害報告書および土石流カ ルテ,福井気象台による雨量強度レーダーデータ,および地盤工学会の福井豪雨土砂災害調査団のアン ケートを主な資料として検討を行った.その結果から得られた知見を,以下に示す.

- (1)福井県嶺北地方の土石流危険渓流と土石流発生地点の地形,地質,植生などを比較した結果,渓床 に植生がない渓流で土石流が多いことが判明したが,それ以外の項目については,土石流の発生に 繋がると思われる特定の条件を限定することができなかった.このことは単に,雨量強度の大きい 所で土石流が発生したことを示すものと理解できる.
- (2)土石流発生の雨量条件としては,累積雨量で100mm以上かつ雨量強度で30mm/hr以上であること が確認できた.この条件は,既存の消防庁基準などと調和的である.ただし,今回の豪雨では最初 の土石流が発生した後も,豪雨状態が数時間継続したため,被害を増大させた可能性がある.
- (3)土石流被害を受けた地域住民に対するアンケートから、自己判断で避難を行うことは困難であり、 危険渓流周辺の住民に対しては、地域ごとの避難基準や雨量情報などを広報し、避難を促すシステ ムを形成しておく必要が認められた.

参項文献・資料

- 1) 福井気象台:レーダー降雨デジタルデータ, 2004.
- 2) 福井県砂防海岸課:平成16年福井豪雨災害報告書,2004.
- 3) 福井県砂防海岸課:福井県土石流カルテ, 2004.
- 4) 水山高久他:講座(土石流),土と基礎,48-5~49-2,2001.
- 5) 高橋 保:土石流の機構と対策,近未来社,2004.



付録 土石流被害に関する写真

写真 AO 鯖江市金谷町(国際航業撮影)



写真 A 1 蔵作川 AM8:32

(2枚とも福井工業大学澤崎研究室川崎学氏(蔵作在住)撮影)



写真 A3 蔵作土石流被害住宅

写真 A4 蔵作川上流側と並行する林道の閉塞状況



写真 A5 A3住宅裏側の状況



写真 A7 一乗谷川の閉塞状況

写真 A8 一乗谷川の護岸流出状況 安波賀町(2枚とも福井県河川課提供)



写真 A9 一乗谷川上流護岸流出状況

写真 A10 一乗谷川上流の砂防ダムの埋設状況



写真 A11 土石流が直撃した住宅 池田町松ヶ谷(部子川)

写真 A12 A11 住宅の上流側

(社) 地盤工学会関西支部

平成16年7月福井豪雨による地盤災害の緊急調査団報告書

- 道路および鉄道の被害 -

福井工業高等専門学校 吉田雅穂

(株)帝国コンサルタント 杉本賢一

(株) SC 土質工学研究所 古根川竜夫

1.はじめに

平成16年7月18日に発生した福井豪雨では,都市域での河川堤防の決壊や山間地域における土石流等によ り,家屋の床下・床上浸水被害が多発し住民の住環境に多大な損害をもたらした.一方,冠水した道路では 一時的に交通障害が発生し,さらに,激しい水流の生じた箇所では道路の基礎地盤や橋梁が流出する被害も 発生し,未だ通行止めとなっている区間も残っている.さらに,越美北線では橋脚の流失により現在もなお 一部区間が運休となっている.これらの道路および鉄道の被害は,長期間にわたり地域住民の生活に重大な 影響を与えるものであり,今後の豪雨災害に対する防災体制を検討するうえでも,その被災形態ならびに被 災メカニズムを明らかにすることは大変重要なことと考えられる.

本報告では,福井豪雨における道路および鉄道の交通障害等に関する機能被害の状況と,道路・鉄道の基礎の破壊等に関する構造被害の状況について,その概要を報告するものである.図1-1に本報告で対象とした地域における道路網と鉄道網および河川の分布を示す¹⁾.道路に関しては豪雨や洪水により基礎地盤が破壊した事例を対象とし,道路に面した斜面崩壊による被害は対象外とした.また,洪水による橋梁の被害や水流による舗装の被害についても取り上げた.一方,鉄道に関しては,越美北線の一乗谷駅から美山駅の区間を対象とし,同区間にある7つの橋梁と軌道およびその基礎地盤の被害に着目した.

検討方法としては,まず,被害の地点,形態,程度に関する情報を,関係機関からの収集資料や現地調査 により明らかにした.そして,地形・地質等の地盤条件や降水量・浸水域等の外的要因との因果関係につい てマクロに分析し,今回の被害の実態を整理した.つぎに,代表的な被害事例を数例抽出し,その被害要因 を詳細に分析して今後の課題について検討した.さらに,鉄道の橋梁に関しては福井豪雨を模擬した理論検 証計算を実施し,その被災メカニズムについて検討を行った.

2. 被災地域の地形と地質

(1)地形の概要

福井豪雨による被災地域は福井県の地形区分における越前中央山地に集中している.越前中央山地は小~ 中起伏山地であり,足羽川が始め南北,後に東西に流路を変えつつ侵食谷を形成している.また,東西性の 谷の発達が比較的顕著で,河川の流れに対しては横谷となり,著しい貫入蛇行の形成に寄与している.その 他,谷の狭隘部がいくつか認められ,その背後には埋積盆地や埋積低地を形成している場合が多い.図2-1に 図1-1の波線で囲んだ美山町の足羽川流域周辺の地形図を示す²⁾.同図の濃茶色が急傾斜30°以上,薄茶色 が一般傾斜15°から30°の領域である.

(2)地質の概要

山地の表層地質は,足羽川沿いの美山町と池田町との境界付近で中生代の古期花崗岩,下流に下がって美 山町境寺付近を中心として中生代・ジュラ紀~白亜紀の手取層群(礫岩・砂岩)が足羽川に沿って分布して いる.また,これらに張り付くように新生代・新第三紀・中新世の西谷流紋岩が認められ,山地のほとんど は同じく新生代・新第三紀・中新世の糸生累層・甲楽城火山岩層からなっている.これらの基盤岩の耐圧強 度は100~400Kg/m²以上と言われており,かなり硬質である.未固結堆積物は,低地では河床堆積物,沢部 では崖錐性堆積物が基盤岩上を被覆している.これらはいずれも玉石や転石などが混じった砂礫層からなる もので,粘性土等の軟弱地盤の分布はほとんど見られない.したがって,橋梁等構造物の支持層としては,基 盤岩ならびに密な砂礫層からなるもので,問題となることは少ないと考えられる.図2-2に図1-1の波線で 囲んだ箇所の地質図を示す³⁾.同図の青色が安山岩質岩石,紫色が流紋岩質岩石の領域である.



図 1-1 対象地域



図 2-1 地形図

3.機能被害の概要

(1)道路

直轄国道である国道8号においては路面冠水による通行規制2箇所,また,補助国道全5路線においては土 砂流出による通行規制13箇所,事前通行規制5箇所,路面冠水による通行規制4箇所,そして,県道等にお いては土砂流出による通行規制29箇所,事前通行規制6箇所,路面冠水による通行規制4箇所,町道落橋2 箇所の被害が発生した³⁾.このうち,福井県による管理道路の通行規制状況は,豪雨直後に計29路線61箇所 で全面通行止めとなったが,その後の仮復旧等により,現在の規制未解除路線は国道157号,県道松ヶ谷宝 慶寺大野線,県道熊河池田線の計3路線3箇所となっている.平成16年9月1日午前9時現在の福井県管理 道路の通行規制の状況と未解除路線の詳細を表3-1と表3-2に示す⁴⁾.

(2)鉄道

西日本旅客鉄道の越美北線では,越前東郷駅から越前大宮駅の間で橋梁流出5箇所,道床および路盤流出 19箇所,法面および盛土の崩壊・流出5箇所の被害が発生し,18日5時33分より全線運転中止となった.現 在では福井駅から越前大野駅の間で列車時刻による代行バスを運行し,越前大野駅から九頭竜湖駅間では所 定の時刻で列車を運転している.

西日本旅客鉄道の北陸線は18日7時40分より鯖江~福井間と福井~芦原温泉間が運休となり,同日21時 22分に全線運転再開となった.福井鉄道の福武線は18日7時30分に田原町~福井新間と福井新~浅水間が 運休となり,同日18時15分に全線運転再開となった.えちぜん鉄道勝山永平寺線は18日8時9分に福井~ 福井口間が運休となり,同日21時30分に全線運転再開となった.表3-3に平成16年7月18日の豪雨当日の 運転中止状況について示す⁵⁾.

表 3-1 道路の通行規制状況

	事前	胇	冠	冰	崩	i±	冠水	・崩土	道路	流出	洒	崩壊	そ(D他	台	計	
		路線	箇所	路線	箇所	路線	箇所	路線	箇所	路線	箇所	路線	箇所	路線	箇所	路線	箇所
全面衝让	А	7	9	5	7	11	15	4	4	3	5	3	5	12	16	29	61
Aのうち仮復日 (片側通行を含む)	В	1	1	0	0	6	8	1	1	1	2	1	1	6	6	-	19
Aのうち通う止解除	С	6	8	5	7	5	7	3	3	0	1	2	4	5	9	26	39
現時にでの全面通社	A-B-C	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	1	3	3

表 3-2 道路の通行規制未解除路線

-				
	路給	区間名	現在の状況	
国道157号		大野市中島~雲川ダム	台風16号の影響により仮設道路の一部流出,復日 工法を検討中	当面通行止め
		雲川ダム~岐阜県境	雲川ダムまでの作業完了後,順次,土砂除去作業 等に着手	当面通う止め
県道松ヶ	谷宝慶寺大野線	池田町大本~稗田峠	大本集落から龍双ヶ滝までの/庭设道路書記完了, 稗田峠までの/庭设道路書記中	当面・断止め
		稗田峠~大野市宝慶寺	本復日に向けての土砂除去作業完了	当面通行上め
県道熊可	池田線	池田町水海~美濃俣	広田橋までの土砂除去作業完了,広田橋の橋脚復 旧のため調査中,美濃実までの土砂除去作業中	当面通う止め

表3-3 鉄道の運転中止状況

古兴业力	4百六7			運动		に可用	中山明間		
争亲右右	家百	理控于山区间	日	瞤	Ξ	瞷	瞷	土/4版 吉 化 兀	
		鯖工~福井	18	7:40	18	19:34	11:54		
西日本旅客鉄道(株)		福井~芦原温泉	18	7:40	18	21:22	13:42		
	\$***	越旅堂~越休野	10	E-22				橋梁5箇所流出	
	他天儿泳	越前大野~九頭竜湖	10	5.55	20	始発			
		田原町~福井新	10	7.20	19	18:15	10:45		
油升秋但(杯)	↑田山い泳水	福井新~浅水	10	7:30	19	11:00	3:30		
えちぜん鉄道(株)	勝山永平寺線	福井~福井口	18	8:09	18	21:30	13:21		

4.道路被害の概要

(1)被害分布

図 4-1 は福井豪雨で発生した道路の被害箇所の分布を示したものである.道路被害に関しては,福井県土 木部河川課によってまとめられた県管理道路応急工事に関する国土交通省との事前協議資料⁶⁾に記載された 被災事例計71件を基礎データとしている.本報告では,同資料の判読により,道路に面した山地からの斜面 崩壊による被害計33件(同図の黄色丸印)を除外した,流水による河川兼用護岸の崩壊や道路基礎地盤の流 失等の道路被害計38件(同図の赤色三角印)を主な検討対象とした.

東西方向の被災範囲は福井市の中心部を除く福井市西部から大野市東部までであり,南北方向は東北東から西北西に沿った狭い範囲に分布している.この分布は福井豪雨における降水分布と非常に調和的であり,特に降水量の多かった東側の足羽川流域山間部に多くの点が分布していることがわかる.福井市の平野部に被災箇所が全く分布していないことから,山間地域の地形的要因が道路被害を誘発したことが推測できる.

(2)被害統計

表 4-1 は流水による河川兼用護岸の崩壊や道路基礎地盤の流失等の道路被害計 38 件の被災の箇所,形態, 程度をまとめたものである.参考として,斜面崩壊による被害のまとめを表 4-2 に示す.表 4-1 より,被災 要因となった河川としては足羽川,部子川,上味見川が比較的多い.路線としては松ヶ谷宝慶寺大野線が 14 箇所と最も多く,次いで国道 476 号の6箇所であった.道路の設置年度としては昭和40年から50年がほとん どである.被災形態の欄にある被災岸方向と流下方向が左右異なる場合は,すなわち河川曲線部の外岸側で 被災したことを意味しており,相対的にこの傾向が高いと言える.被災形態としては道路基礎の河川に面し た護岸が崩壊する場合がほとんどで,それに伴い路面の舗装部分も流失しているようである.

道路被害の被災程度を知る指標として,福井県の応急復旧資料における復旧延長と被害額を取り上げ,その分布を図4-2と図4-3にまとめた.1箇所の復旧延長としては足羽川沿いの武生美山線646mが最長であり,被害額も同地点の約2億5千万円が最大であった.河川別では足羽川が極めて多かった.両図の分布の特徴としては,被害延長に関しては東側の地域で大きい傾向にあるが,被害額に関してはその分布が均一もしくは若干西側に移動しているようである.



図 4-1 道路被害の分布

			被災箇所				被災形態	100					
番号	河川名	市町村名	路線名	設置年	被災岸 方向	流下 方向	路面・ 舗装	法面・ 護岸	斜面 崩壊	復旧延長 (m)	被害額 (千円)	復旧延長 (m)	被害額 (千円)
1	足羽川	美山町	国道158号	昭和 46	左	直				18	15,000		
2	足羽川	美山町	国道158号	昭和 58	左	直				185	47,400		
3	足羽川	美山町	国道476号	昭和 44	左	直				79	217,700		
4	足羽川	美山町	国道476号	昭和 44	左	右				323	157,900	1,310	744,800
5	足羽川	池田町	今立池田線		左	直				42	50,000		
6	足羽川	美山町	国道364号	昭和 44	右	直				19	6,200		
7	足羽川	美山町	武生美山線	昭和 47	左	左				646	250,600		
8	一乗谷川	福井市	鯖江美山線	昭和 48						27	21,000	04	F1 000
9	一乗谷川	福井市	鯖江美山線		左	右				57	30,000	04	51,000
10	上味見川	美山町	国道476号	昭和 56	右	右				75	72,000		
11	上味見川	美山町	国道476号	昭和 46	右	左				22	8,300	244	407 000
12	上味見川	美山町	国道476号	昭和 46						91	60,700	244	197,200
13	上味見川	美山町	国道476号	昭和 46	右	左				56	56,200		
14	江端川*	福井市	福井今立線	昭和 48						11	6,500	11	6,500
15	河和田川	鯖江市	上河内北中線	昭和	左	右				40	6,000	00	7 000
16	河和田川	鯖江市	鯖江美山線	昭和						59	1,800	99	7,800
17	清滝川	大野市	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 62	右	左				115	50,000		
18	清滝川	大野市	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 62	右	左				28	15,000	2000	400,000
19	清滝川*	大野市	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 40						65	43,300	323	139,300
20	清滝川*	大野市	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 40						115	31,000		
21	熊川	大野市	国道157号	昭和 40						67	12,900	67	12,900
22	服部川	今立町	武生美山線	昭和 39	右					10	5,000	10	5,000
23	光川	福井市	上一光大丹生線	昭和 50						16	27,300	16	27,300
24	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58	左	直				120	15,000		
25	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58	左	右				10	4,000		
26	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	平成 9	右	直				27	12,000		
27	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58						66	75,000	316	153,000
28	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 50	右	左				40	12,000		
29	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	平成 9	右	左				22	26,000		
30	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	平成 9						32	9,000		
31	水海川	池田町	熊河池田線		右	左				103	45,000		
32	水海川	池田町	熊河池田線		右	直				26	10,000	150	190,000
33	水海川	池田町	熊河池田線							21	135,000		
34	水間川	今立町	今立池田線	昭和 41	右	左				50	5,000		7 000
35	水間川	今立町	今立池田線	昭和 41	右	左				30	2,000	80	7,000
36	稗田川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58						83			
37	稗田川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58						176		302	0
38	稗田川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58	右					43			
合計							27	35	2	3 012	1 541 800	3 012	1 541 800

表 4-1 道路被害の一覧(斜面崩壊以外)

河川名の*は被災道路に最も近いもの、被災形態の不明の箇所は未記載、被災程度は県の見積もり値、

表4-2 道路被害の一覧(斜面崩壊)

			被災形態					被災程度					
番号	河川夕	市町村夕	路娘夕	設置年	被災岸	流下	路面・	法面・	斜面	復旧延長	被害額	復旧延長	被害額
		TLE FLMCII		WE-	方向	方向	舗装	護岸	崩壊	(m)	(千円)	(m)	(千円)
1	足羽川	福井市	国道158号	昭和 48	右					20	4,500		
2	足羽川	福井市	国道158号	昭和 48	右					63	5,500		
3	足羽川	美山町	国道364号	昭和 44	右					24	9,300		
4	足羽川	池田町	国道476号	昭和 58						23	37,000		
5	足羽川	美山町	国道476号	昭和 56						72	28,500	4,640	187,700
6	足羽川	池田町	国道417号							25	10,000		
7	足羽川	池田町	国道476号		右	左				65	3,000		
8	足羽川	美山町	国道158号	昭和 46	左					98	57,000		
9	足羽川*	福井市	東郷福井線 他	平成 5						4,250	32,900		
10	一乗谷川	福井市	鯖江美山線	昭和 48						30	11,000	56	14,000
11	一乗谷川	福井市	鯖江美山線	昭和 48						26	3,000	50	14,000
12	江端川	福井市	徳光鯖江線	昭和 62						43	18,000	43	18,000
13	河和田川*	鯖江市	鯖江美山線	昭和						143	53,000	143	53,000
14	雲川	大野市	国道157号	昭和 54	左	右				130	280,000		
15	雲川	大野市	国道157号	昭和 57	左	右				418	18,000	711	308 200
16	雲川	大野市	国道157号	昭和 62	左	右				49	3,400	,	500,200
17	雲川	大野市	国道157号	昭和 62	左	右				114	6,800		
18	鞍谷川*	鯖江市	徳光鯖江線	昭和						57	52,000	57	52,000
19	千代谷	武生市	菅生武生線							26	5,000	26	5,000
20	月尾川*	今立町	国道417号	昭和 50						31	45,000	70	60,000
21	月尾川*	今立町	国道417号	昭和 50						48	15,000	15	00,000
22	七瀬川	福井市	福井大森河野線	昭和 59						45	32,300	45	32,300
23	服部川	今立町	武生美山線	昭和 39						12	5,000	68	25 000
24	服部川	今立町	武生美山線	昭和 39						56	20,000	00	20,000
25	光川	福井市	上一光大丹生線	昭和 50	左	右				25	15,400		
26	光川*	福井市	福井大森河野線	昭和 54						10	2,800		
27	光川*	福井市	福井大森河野線	昭和 32						9	1,400	83	36,100
28	光川*	福井市	福井大森河野線	昭和 32						11	5,800		
29	光川*	福井市	福井大森河野線	昭和 32						29	10,700		
30	日野川*	清水町	福井健康の森線	平成 8						30		30	0
31	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58	右					25	6,000	40	13 000
32	部子川	池田町	松ヶ谷宝慶寺大野線	昭和 58	右					15	7,000	40	13,000
33	水海川	池田町	熊河池田線							443		443	0
合計										6,463	804,300	6,463	804,300

河川名の*は被災道路に最も近いもの.被災形態の不明の箇所は未記載.被災程度は県の見積もり値.



図 4-2 道路の被害分布と被害延長距離の関係



図 4-3 道路の被害分布と被害額の関係

(3)道路被害の特徴

写真4-1と写真4-2は現在も通行止め区間となっている松ヶ谷宝慶寺大野線と国道157号における被害写真 である.写真4-1は山間部の河川近傍ではない箇所に位置しており,谷筋の斜面に形成された盛土部である. 同写真左側には斜面上方からの雨水のための流下溝が設置されており,道路下部にはその水を斜面下方(同 写真右側)に送水する配水管が埋設されていた.豪雨による激しい水流がこの排水路に集中し,道路基礎地 盤を崩壊させたものと推測される.写真4-2は雲川に面した国道157号であり,河川曲線部の外岸側に位置 する箇所で河川兼用護岸の崩壊が発生し,道路が完全に流失した.

写真4-3と写真4-4は松ヶ谷宝慶寺大野線における被害写真であり,部子川に面した道路が護岸と共に流 失している様子である.写真4-3では崩壊を免れた護岸の背後地盤においても,洗掘により基礎地盤が流失 していることが確認できる.また,写真4-4ではアスファルト舗装の継ぎ目となるセンターラインを起点と して道路の崩壊が発生していることが確認できる.

写真 4-5 は同じく部子川に面した松ヶ谷宝慶寺大野線の被害写真である.この道路は河床からかなり高い 位置に建設された道路であり,水流が道路面まで到達したとは考えにくいため,下部の基礎地盤の流失に伴 い上部の道路も崩壊したものと推測できる.一方,写真 4-6 は足羽川に面した国道 476 号の被害写真である. 河川が約 90 度,急激に流下方向を変える地点の外岸側に位置する道路であり,片側一車線部分が完全に流失 していた.流失を免れた道路の河川に面した部分には,過去の護岸と思われる構造体が確認でき,新たに道 路拡幅した箇所が崩壊したものと推測できる.

写真 4-7 は写真 4-1 と同様に山間部に位置する谷筋の道路であり,コンクリート擁壁の裏込土が斜面下方 に流出したことにより,道路一車線分が消失していた.一方,写真 4-8 は山間部の小河川に面した道路であ り,河川上流より流下してきた粒径の大きな岩や礫が河川または道路に多数散在していた.道路の破壊形状 は,写真 4-2 から写真 4-4 に見られる基礎地盤の一部崩壊という状態ではなく,流下物が衝突する衝撃力に より道路構造が損傷している様子が多数確認できた.

写真4-9は写真4-8の付近にあるアスファルト舗装の被害写真であり,土石が流下した衝撃により舗装面に数多くの凹凸が生じている様子が確認できる.一方,写真4-10はアスファルト舗装が道路から剥離して道路外に流出した様子であり,道路が長時間にわたり水没していたことが原因と考えられる.

写真4-11は道路の付属施設である据置式の中央分離帯が洪水流により転倒している様子である.転倒方向 は全て写真右側を流れる足羽川に向かう方向であった.一方,写真4-12は洪水により道路に堆積した泥の様 子である.これは,道路構造への直接被害ではないが,復旧作業時の障害,下水管路への流入,乾燥後の粉 塵など様々な問題を引き起こした.

以上より,道路被害の発生要因についてまとめると次のとおりである.河川近傍では河川曲線部の外岸側 に被害が集中しており,流水により道路護岸の崩壊や護岸背後地盤の洗掘等が発生し,それに伴い路肩や舗 装面が流失していたと考えられる.一方,山間部では谷地形に位置する盛土した道路に被害が集中しており, 谷沿いに発生した流水により道路基礎地盤が崩壊したものと考えられる.



写真 4-1 松ヶ谷宝慶寺大野線(池田町稗田)



写真 4-2 国道 157 号 (大野市中島)



写真 4-3 松ヶ谷宝慶寺大野線(池田町上小畑)



写真 4-4 松ヶ谷宝慶寺大野線(池田町千代谷)



写真 4-5 松ヶ谷宝慶寺大野線(池田町大本)



写真4-6 国道476号(美山町折立)



写真 4-7 山間部の道路被害 (武生美山線,今立町西河内)



写真 4-8 山間部の道路被害 (松ヶ谷宝慶寺大野線,池田町稗田)



写真 4-9 アスファルト舗装の損傷 (松ヶ谷宝慶寺大野線,池田町稗田)



写真 4-10 アスファルト舗装の流出 (鯖江市落井町)



写真 4-11 中央分離帯の転倒 (国道 158 号,福井市前波町)



写真 4-12 道路に堆積した泥 (鯖江市河和田町)

(4) 道路橋の被害の特徴

福井豪雨では5つの鉄道橋が落橋する甚大な被害が発生したが,道路橋および人道橋に関しても落橋に至 る橋梁被害が多数発生した.しかしながら,主要幹線道路における落橋は発生しなかったため道路交通に与 える影響は重大ではなかった.ここでは,橋梁の被害形態を被災後に有する橋の性能を基に4つに分類した. 分類内容は被災程度の低い順に,上部構造への流出物の衝突および付着,下部構造の基礎地盤の洗掘, 下部構造の崩壊による上部構造の落下,上部構造の流失の4つであり,それぞれの特徴的な被災事例を写 真4-13 ~ 写真4-16 に示す.

写真4-13は 上部構造への流出物の衝突および付着に関する被害事例である. 左側の足羽川に架かる橋梁の場合は,橋梁本体の損傷はなかったが流れてきた草木が欄干,橋桁,橋脚等に衝突かつ付着し,鋼製のガードレールが変形していた. 一方,右側は山間部に位置する稗田川に架かる橋である. 河川の上流側に位置するため,粒径の大きな岩や礫が多数橋梁周辺に堆積していた.

写真4-14は 下部構造の基礎地盤の洗掘に関する被害事例である.左側の河和田川に架かる橋梁の場合は, 橋台周辺の土砂が洗掘され,橋台とその杭基礎が剥き出しの状態になっている.右側の部子川に架かる橋梁 の場合も,同様に橋台背後の地盤が流失していた.ここは,部子川の支川が流入する箇所であり,本川の流 れが不連続となる箇所でもある.

写真4-15は 下部構造の崩壊による上部構造の落下に関する被害事例である. 左側の水海川に架かる橋梁の場合は, 左岸側の橋台と1つの橋脚が崩壊し2つのコンクリート製桁が落下, 流失した. 破壊箇所は河川曲線部の外岸側に位置する. また, 右側の稗田川に架かる橋梁の場合は, 橋台および周囲の石積護岸が崩壊し, 鋼製桁が落下した.

写真4-16は 上部構造の流失に関する被害事例である.左側の足羽川に架かる河原橋(美山町東河原)の 場合は,4径間のコンクリート製桁の全てが下流側に流失した.また,左岸側の1つの橋脚も流失し,橋台も 周辺の道路と共に崩壊した.また,右側の同じく足羽川に架かる田尻新橋(美山町田尻)の場合は,コンク リート製桁が下流側に流失した.付近の住民によれば,この橋桁は過去に発生した洪水でも流失したことが あるそうで,同写真左側に見える今回流失した橋桁の近くに,過去に流失した床版が放置されたままであっ た.

以上でまとめた被害形態の差は,特に洪水流の水深や流速によるところが大きいものと思われるが,橋台 取付位置や支川合流位置などの流れの不連続箇所,また,河川形状に起因する水衝部において特に被災程度 が顕著になることが明らかとなった.



写真 4-13 上部構造への流出物の衝突および付着





写真 4-14 下部構造の基礎地盤の洗掘





写真 4-15 下部構造の崩壊による上部構造の落下





写真4-16 上部構造の流失

5.鉄道被害の概要

(1)被害分布

図5-1は越美北線の一乗谷駅から美山駅までの9.2kmの区間で発生した,橋梁被害5件と軌道およびその基礎地盤の被害,計20件の被災箇所を示したものである.なお,この鉄道被害の資料は豪雨から約2ヶ月の間に独自に現地調査した結果に基づくものである.鉄道被害の分布は山間地域で越美北線と足羽川が併走する 区間に限定されており,レールや地盤の被害に関しては河川からの距離が大きく影響しているものと思われ, 比較的河川から離れた地点での被害は確認できない.また,小和清水から品ヶ瀬間のように比較的標高の高 い所でも被害は発生していない.一方,被害の発生している地点は河川曲線部の下流外岸側に分布する傾向 があり,その地点で激しい水流が発生していたものと推測される.

(2)鉄道基礎の被害

表5-1 は軌道およびその基礎地盤の被災形態と被災箇所をまとめたものである.なお,表中の番号は図5-1の色丸印で示す被害箇所の地点番号であり,左側の一乗谷駅近くの地点からの通し番号となっている.また, 同地点で複数の被災形態がある場合にはダッシュを付記した.被害形態としては,レールの移動(写真5-1) やバラストの流失(写真5-2)等の軌道の被害と,それを支持する盛土(写真5-3)および擁壁(写真5-4)の 崩壊に分類される.特徴的な点としては,踏切の設置箇所においてレール周辺への土砂の堆積や,周囲にあ るバラストの流失および盛土擁壁の崩壊等が多数発生していたことである.同様の被害は盛土下部に設置さ れたトンネルや排水路等のカルバート構造物の周囲でも発生していた.これは,洪水時に踏切やカルバート が水の通り道となり激しい水流を引き起こしたことによるものと推測される.また,山地斜面に沿った箇所 では斜面からの土砂流入(写真5-5),また,橋台背後においては盛土地盤の流失(写真5-6)の被害が発生 していた.その他として,過大なレールの移動が数カ所の平地で発生しており(写真5-7,写真5-8),激し い水流と共に木製の枕木による浮力の影響もあったものと推測される.



図 5-1 鉄道被害の分布

表 5-1 軌道被害の分類

#基:生作勿)中くくく 口く 合作	被災箇所								
伸迫物	放火方路	橋台	踏切	カルバート	平地	山際				
1	土砂堆積									
<i>V</i> - <i>N</i>	移動									
バラスト	流失									
盛土	流失									
盛土擁壁	崩壊		-							



写真5-1 レールの移動(品ヶ瀬)



写真5-2 バラストの流失(越前高田踏切)



写真 5-3 盛土の流失(越前高田駅~第4足羽川橋梁)



写真5-4 盛土擁壁の崩壊(宿布)



写真 5-5 斜面からの土砂堆積(大久保)



写真 5-6 橋台背後の盛土流失(第6足羽川橋梁)



写真 5-7 レールの移動(一乗谷駅付近)



写真 5-8 レールの移動(市波駅付近)
(5)鉄道橋梁の被害

橋梁被害の詳細については後の第6章で述べることとし、ここでは橋梁の概要と被害の全容について示す. 対象地域にある越美北線の橋梁は第1~第7足羽川橋梁であり、表5-2に各橋梁の構造特性⁷⁾と被害概要を 示す.第2および第6橋梁は一応健全性を保っていたが、その他の5橋は落橋した.橋脚は第4橋梁が小判型 であるが、その他は円形であり、橋桁は全て鋼桁となっている.径間長は19.2mが多く、最も長いのが第7橋 梁の25.4mと相対的に径間長の短い橋梁であり、橋脚高さも基礎も含めて10m内外と低い.橋脚における配 筋状況は、無筋(第4橋梁P3、P4)もしくは非常に少なく(第5および第7橋梁、後掲の写真6-23参照)、鉄 筋の直径は10mm程度と細いこと(後掲の写真6-15参照)が現地調査で確認された.また、第4橋梁のP2~ P4橋脚のように基礎のない橋脚が一部存在し、第7橋梁のP2橋脚の場合は基盤岩に直接設置されていた.こ こで、現地調査や既存の地質資料等により想定される各橋梁の支持層を表5-3に示す.

落橋状況は基礎ごとの転倒と橋脚の破断とからなり,第4~第5橋梁間を境にして下流側は基礎ごとの転 倒,上流側は橋脚の破断が多い傾向を示している.なお,想定される支持地盤の相違による破壊形状の違い は確認されず,土被りの違いや過去の補強の有無などに要因があるように推測される.また,橋長や径間数 による被災程度の違いも認められなかった.一方,落橋しなかった橋梁は,谷の狭隘部の下流側にあり,狭 隘部に比べて河川や谷幅が広がりを見せる所に位置していた.

報道機関によって撮影された航空写真や現地調査における橋桁の観察からの判断により,河川の増水は落橋した橋梁は桁および桁上部まで,もしくはオーバーフローしたものと想定されるが,落橋しなかった橋梁は最大でも桁下面までと推測される.また,橋脚基部の洗屈状況については,主に未固結堆積物が分布する箇所,特に水衝部に多いと思われる.

表5-2 橋梁被害の分類

포므	#/===+/…)				橋脚			橋	桁	河道方向との関係				
留亏	们坛司(三)	本数	転倒数	転倒箇所	折損箇所	水域	本数	落下数	落下箇所	下流方向	橋軸方向			
1	126.5	6	1	P3		P2, P3 ,P4,P5	7	3	G2,G3,G4	右	斜め			
2	157.3	7	0			P1,P2,P3,P4,P5,P6	8	0		左	斜め			
3	99.1	5	3	P2,P3,P4	P4	P2,P3,P4	6	4	G2,G3,G4,G5	左	斜め			
4	85.7	4	2	P1,P2		P1,P2	5	3	G1,G2,G3	右	直線			
5	85.7	4	3	P1, P2, P3	P1	P2,P3	5	4	G1,G2,G3,G4	左	斜め			
6	143.6	6	0			P4,P5,P6	7	0		左	斜め			
7	116.8	4	3	P2, P3,P4	P3	P3,P4	5	4	G2,G3,G4,G5	左	斜め			

表 5-3 橋梁建設地点の想定地層

橋梁名	第 1 足羽川 橋 梁	第 2 足羽川 橋 梁	第 3 足羽川 橋 梁	第 4 足羽川 橋 梁	第 5 足羽川 橋 梁	第 6 足羽川 橋 梁	第 7 足羽川 橋 梁
想 される 地國名	I	甲楽城火山岩閣		足羽川河 (沖・泳	「床堆積物 共積層)	甲楽城 火山岩層	手取層群
地習石		中硬岩		密な	砂礫	中硬岩	硬岩

6.鉄道橋梁の被災要因の検討

(1)検討方法

福井豪雨における越美北線の足羽川橋梁の被災要因を検討するため、破壊パターンの異なる以下の2つの 橋脚の被災事例を対象に理論検証計算を行った.

事例1:比較的土被り(根入れ)が薄いと思われ,基礎ごと転倒した第1橋梁のP3橋脚(図6-1⁷⁾参照)

事例2:比較的土被り(根入れ)が厚いと思われ,橋脚が破断した第5橋梁のP1橋脚(図6-2⁷⁾参照)

事例1については転倒に関する安定照査を行い,事例2については許容応力に基づく部材断面照査を道路 橋示方書に基づいた方法⁸⁾により実施した.

検討ケースとしては,図6-1と図6-2に示すように計画段階で設定された梁部下面位置まで水位が達した 高水位時のケースと、今回の水害で推定される桁上面位置まで水位が達した洪水時の2ケースを行った、な お,洪水時の桁部に作用する流水圧は,対象とする構造物が分担する支間長分を考慮するものとする.

荷重モデルに関しては,図6-3に示すように橋脚に流水圧が作用するものとして,躯体の安定および柱断 面の耐力照査を行った、なお、安定および部材の許容値は鉄道基準と同様であり、設計流速は災害時に推定 された 6m/s(土木学会の検討結果)を採用した.また,橋脚の構造は無筋とし,コンクリートの劣化は考慮 していない.





図 6-1 第1橋梁 P3 橋脚の検討モデル



(a) 高水位時

(b) 洪水時

図 6-2 第5橋梁 P1橋脚の検討モデル

(2) 検討結果

事例1の転倒照査の場合,表6-1に示すように高水位時では安全であるが,洪水時では転倒するという結 果となった.一方,安定照査の場合では,表6-2に示すように高水位時でも偏心距離が常時の安全率が満足 せず転倒する結果となった.ただし,短期の場合では満足となる.

事例2の部材断面照査の結果を表6-3に示す.柱基部については,常時では高水位時・洪水時いずれも危 険側となり,破壊時では高水位時は安全であり洪水時は危険側となった.破断位置については,高水位時は 常時・破壊時ともに安全であるが,洪水時ではいずれも危険側となった.

以上より,常時ではほぼ安定しているが,今回の豪雨のように桁上部まで増水した場合は,土被り(根入れ) が薄い場合は転倒し,土被りが厚い場合は破断するという結果が照査できた.



(a) 高水位時



(b) 洪水時

__ 流心方向

NO

ヨー 作正 析流した

2 用す

に水倒圧

生流

図 6-3 荷重モデル

荷重ケース	抵 抗 モーメント (kNm)	転 倒 モーメント (kN/m)	安全 率 抵抗/転到	判 定
高水位時	2095.68	929.9	2.253	OK
洪水時	1920.15	9205.70	0.209	NG

表 6-1 第1橋梁 P3橋脚の転倒照査結果

表 6-2 第1橋梁 P3橋脚の安定照査結果

荷重ケース	偏心距離	滑 動	地盤反力	地盤反力	度(kN/m²)	当 定			
	(m)	安全率	作用幅(m)	左	右	,, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , , ,</u>			
高水位時	<u>0.777</u>	4.597	2.92	0.00	234.31	NG			
許容値	0.438 (0.875)	1.500		700).00				

括弧書きは安全率を短期としたもの.

表 6-3 第5橋梁 P1橋脚の部材断面照査結果

		部材作	乍用力	引張応力度(kN/m ²)											
位置	荷重ケース	モーメント	鉛直力	發生店	常	時	破								
		(kN/m)	(N)	光土恒	許容値	判定	極限値	判定							
	高水位時	536.76	857.1	0.24	0.20	NG	1.46	OK							
化型印	洪水時	4312.16	857.1	3.40	0.20	NG	1.46	NG							
破 断	高水位時	223.32	591.87	0.01	0.20	OK	1.46	OK							
位置	洪水時	2622.72	591.87	3.20	0.20	NG	1.46	NG							

(3) 被災要因の推定

被災状況に関する現地調査の結果および前述の検討結果から推測される,各橋梁の被災要因について考察した結果を以下に述べる.なお,各橋梁の被災状況を写真6-1から写真6-29に示す.また,各橋梁の架設状況と橋梁の被災要因に関する本章での検討結果のまとめを表6-4に示す.

a)第1橋梁

基礎地盤は甲楽城火山岩層の中硬岩である.増水状況はほぼ桁をオーバーフローしたものと考えられる(写 真6-1やマスコミの状況写真等より判断.).被災状況はP3橋脚の転倒,P4橋脚の傾斜,P1~P4橋脚間の桁 の流出である.転倒はP3橋脚のみであり,比較的土被りが薄かったと想定され,照査結果でも転倒する結果 となっている.それに対して同じ条件であるP1・P2橋脚は転倒せず,橋脚としての健全性は失われていない. 条件の違いとしては,P3橋脚は主要な水衝部に位置するが,P1・P2の両橋脚は足羽川の左岸堤体部に位置し ており,これらが被災状況に影響したものと考えられる.

以上より,被災の経時変化として次のように推測する.まず,異常な洪水により桁上部以上に増水,主要 な水衝部に位置するP3橋脚が転倒,同時にP1~P4間の桁が流出,これらの衝撃によるP4橋脚の傾斜,桁の 流出により外力の低減,そして,残りの構造物の残存である.したがって,主な被災要因は,想定外の異常 な増水(大きな水圧が桁に作用)と,この異常状態に対する根入れ不足と考えられる.一方で,この異常状態 で発生する部材応力が強度を超えた可能性も考えられるが,本橋梁の場合は,破断前に転倒したものと思わ れる.

b)第2橋梁

基礎地盤は甲楽城火山岩層の中硬岩である.本橋梁は被災しておらず,これは地形的要因によるものと考えられる.すなわち,上流の第3橋梁付近は地形的に狭隘部に位置するが,本橋梁付近では河川および谷幅が広がり,洪水時の水位が桁まで達しなかった(写真6-3と写真6-4参照)ためと推定される.

c)第3橋梁

基礎地盤は甲楽城火山岩層の中硬岩である.本橋梁の架橋地点は,埋積盆地の最下流部に位置するもので, 一種のダムアップが想定され,桁上部まで増水したものと想定される.被災状況は,P2~P4橋脚の転倒,P5 橋脚の傾斜,P1~P4橋脚間の桁の流出である.転倒したP2~P4橋脚は,ほぼ主要な水衝部に当たり,土被 りもかなり薄い状況にあったことが現地調査でも明らかである.それに対してP1・P5橋脚はかなり土被りを 有している.

以上より,被災の経時変化として次のように推測する.まず,異常な洪水により桁上部まで増水,水衝部 で土被りの薄いP2 ~ P4橋脚の転倒,同時にP1 ~ P5間の桁の流出,これらの衝撃にてP5橋脚の傾斜,桁流 出による外力の低減,そして,残りの構造物の残存である.したがって,主な被災要因は,第1橋梁の場合 と同様と考えられる.

d)第4橋梁

基礎地盤は足羽川による河床堆積物(砂礫層)と想定される.本橋梁のみが小判型の橋脚構造であり,基礎 はない.写真6-7に見られるように足羽川が若干流路を変化させ,架橋付近の左岸側は攻撃を受ける状況に あり,右岸堤体が破堤し冠水していることから,桁上部まで増水(写真6-7参照)したものと想定される.被 災状況はP3・P4橋脚の転倒,P2橋脚の傾斜,P2~A2橋台間の桁の流出である.P3・P4橋脚は主要な水衝部 に当たり,過去の洗屈によって土被りもかなり薄い.それに対して,P1・P2橋脚は比較的土被りを有してい たことが,現地調査でも明らかであり,流木が桁に貫入した状況でも傾斜は見られるが残存している.

以上より,被災の経時変化として次のように推測する.まず,異常な洪水により桁上部まで増水,水衝部 で土被りの薄いP3 ~ P4橋脚の転倒,同時にP2 ~ A2間の桁の流出,これらの衝撃にてP2橋脚の傾斜,桁流 出による外力の低減,残りの構造物の残存である.したがって,主な被災要因は,第1橋梁の場合と同様と 考えられる.なお,本橋梁の場合は,転倒時に破断している. e)第5橋梁

基礎地盤は足羽川による河床堆積物(砂礫層)である.写真6-12に見られるように,緩く曲流しており,左 岸側が著しく破堤し冠水している.このことから桁上部まで増水したものと想定される.被災状況はP1橋脚 の破断,P2橋脚の基礎ごとの転倒,P3橋脚の柱基部での破断,A1橋台~P4橋脚間の桁の流出である.P1~ P3橋脚は主要な水衝部に当たると想定されるとともに,A1・P1では著しい洗屈が認められている.また,部 材断面の照査結果では,柱基部および今回の破断位置でいずれも洪水時には危険側となっている. 以上より,被災の経時変化として次のように推測する.まず,異常な洪水により桁上部まで増水,水衝部 および左岸部での著しい洗屈,P2橋脚の基礎ごとの転倒,P1橋脚の破断,P3橋脚の柱基部での破断が同時に 発生,A1 ~ P4間の桁の流出,桁流出による外力の低減,残りの構造物の残存である.したがって,主な被災 要因は,想定外の異常な増水と洗掘など,第1橋梁と同様と考えられる.

f)第6橋梁

基礎地盤は甲楽城火山岩層の基盤岩と想定される.本橋梁は落橋しておらず,このことは地形的要因によるものと考えられる.すなわち,上流の第7橋梁付近は地形的に狭隘部に位置するが,本橋梁付近では河川および谷幅がかなり広がり,洪水時の水位が桁まで達しなかったためと推定される. (9)第7橋梁

基礎地盤は手取層群の砂岩であり非常に新鮮な硬岩からなっている.本橋梁の架橋地点は,山地部の狭隘 部に位置し,上新橋~小和清水にかけて約1kmほどで,ほぼ直線上に流下し,河床勾配も他の架橋地点と比 べてかなり急勾配である.被災状況は,P2~P4橋脚の破断であり,P2・P4橋脚は柱基部での破断,P3橋脚 は過去の補強部と無補強部との境界付近で破断している.そして,これらの橋脚はほぼ水衝部に位置してい る.増水状況としては,写真6-20に見られるように足羽川左岸の低地部で冠水が認められることから,桁上 部まで増水したものと想定される.なお,本橋梁の橋脚構造は,非常に新鮮で硬質な砂岩上に直接設置され ているもので,基礎はない.その他,河床勾配が比較的急な状況にあることから,被災時の流速もかなり早 かったものと想定される.

以上より,被災の経時変化として次のように推測する.まず,異常な洪水により桁上部まで増水しかなりの流速が発生,水衝部のP2・P4橋脚の基盤岩との境界における柱基部の破断,P3橋脚の補修部と無補修部との境界付近の破断がほぼ同時に発生,P1 ~ A2間の桁の流出,桁流出による外力の低減,残りの構造物の残存である.したがって,主な被災要因は,想定外の増水や早い流速により異常な水圧が桁に作用したことと,この異常状態で発生する部材応力が強度を超えたことが考えられる.



写真 6-1 第1 足羽川橋梁被災状況全景



写真 6-2 第1 足羽川橋梁 P3 橋脚転倒状況 (基礎底面には岩片が付着)



写真 6-3 第2 足羽川橋梁 A1 橋台付近の増水状況



写真 6-4 第2足羽川橋梁の全景 (構造物は健全性を保ち ゴミの付着などは確認できず)



写真 6-5 第3 足羽川橋梁 P2 橋脚転倒状況 (基礎底面に基盤岩の岩片が付着)



写真 6-6 第3足羽川橋梁 P1 橋脚付近の洗屈状況



写真6-7 第4足羽川橋梁被災状況全景



写真 6-8 第4 足羽川橋梁 P3, P4 橋脚転倒状況 (破断は転倒時と推定され鉄筋は確認できず)



写真 6-9 第 4 足羽川橋梁 P3 橋脚転倒状況 (基礎底面状況)



写真 6-11 第4足羽川橋梁架橋地点より 右岸側下流約 70m に流失した桁

写真 6-10 第4 足羽川橋梁 A1 ~ P1 間の桁の傾斜状況



写真 6-12 第5 足羽川橋梁被災状況全景



写真 6-13 第5 足羽川橋梁 A1 橋台の被災状況



写真 6-14 第5 足羽川橋梁 P1 橋脚の破断状況全景



写真 6-15 第5足羽川橋梁 P1橋脚破断状況拡大 (鉄筋は 10mm 程度)



写真 6-16 第5 足羽川橋梁 P2 橋脚の転倒状況 (基礎底面に河床堆積物の礫が付着)



写真 6-17 第5 足羽川橋梁 P3 橋脚破断状況 (基礎との境界部で破断したと推定)



写真 6-18 第6 足羽川橋梁における増水状況



Para la bl
 La fara
 Read a bl
 La fara
 La fara
 Read a bl
 La fara
 Read a bl
 La fara
 Read a bl
 Read a bl
 La fara
 Read a bl
 Read a

写真 6-19 第6足羽川橋梁 A1 橋台背面の洗掘状況 (レールが宙づり状態)

写真 6-20 第7 足羽川橋梁被災状況全景





写真 6-21 第7 足羽川橋梁およびその上流の被災状況全景

写真 6-22 第7 足羽川橋梁被災状況 (A2橋台より望む)



写真 6-23 第7 足羽川橋梁 P2 橋脚の破断状況 (基礎は存在せず直接基盤岩に設置)



写真 6-24 第7 足羽川橋梁 P2 橋脚の破断状況 (写真 6-23 の拡大写真で鉄筋は 10mm 程度)



写真 6-25 第7 足羽川橋梁 P2 橋脚基礎岩着 部分の破断状況



写真 6-26 第7 足羽川橋梁 P2 橋脚基礎岩着部分の 破断状況 (写真 6-25 の拡大写真)



写真 6-27 第7足羽川橋梁 P3橋脚の破断状況 (補強部の境界付近で破断)



写真 6-28 第 7 足羽川橋梁 P3 橋脚の破断状況 (写真 6-27 の拡大写真)



写真 6-29 第7 足羽川橋梁 P4 橋脚の破断状況 (基礎との境界付近で破断したと推定)

表 6-4 鉄道橋梁の架設状況と被災要因検討結果

橋	酩		第1足		第2足羽川橋梁							第3足羽川橋梁					ş	第5足羽川橋梁					第6足羽川橋梁						Τ	第7足羽川橋梁								
構造	物名	A1 P1	P2 F	3 P4	P5	P6 A2	A1 F	P1 P2	P3	P4 F	P5 P6	6 P7 A2	2 A1	P1	P2 I	P3 ₽4	4 P5	A2	A1	P1 P.	2 P3	P4 A2	A1 F	21 P.	2 P	3 P4	A2	A1 I	P1 P.	2 P3	3 P4	4 P5	P6 A	42 A	41 P [.]	1 P2	P3	P4 A2
橋 お。 径間	長び数	橋	長124 河川	.82m 幅約	, 7径 80m	間	橋長157.13m , 8径間 河川幅約70m							橋長98.70m , 6径間 河川幅約40m				橋長85.15m , 5径間 河川幅約85m			橋長85.15m , 5径間 河川幅約70m			間	橋長143.37m , 7径間 河川幅約70m					1	橋長116.20m , 5径間 河川幅約40m							
地形	足羽川は南北方向に口の字に或 行し、比較的狭い理構谷地形を 呈する。 いの字の底辺部で支流 の一乗谷川と合流する。 形状況						第2足到川橋梁空橋位置の残留部の) 下流部に位置する、足到川は西流よ り両流に急激に変化するも底に位置 し、谷幡も河道幡も上流側に比べて かなり広がりを見せる。							高田,田尻,市波等の味落 が点在する埋積盆地(編 14m,長之2.56m)の最下流 に位置し,谷暢約50mの残隘 部を呈している.					14年間4000はは十兴 部、市波建築の下流間 に位置する、足羽川は ほぼ直線上に南流する が、若干活路変化さ せ、架橋付近の左岸間 は攻撃倒となってい る。					理権通知のはは十央 部、市波集客の上流側 に位置する.足羽川は ほぼ奈良瀬付近で北西 流に変化し、架橋付近 では極緩く曲流してい る.左岸側は周辺に比 べて若干低い状況にあ り、河岸段丘面を形成 している.					足羽11分型10字に変化する下 流側に位置するもので,谷幅約 200m程度の埋積谷に架橋されて いる。					F勺こ	足羽川は,上新橋竹近 で著しく流路を変化さ せ,小和清水・狒ヶ口 に向けてほぼ直線状に 北流する.小和清水集 落からは左岸側に狭い 埋積谷低地を形成して いる.			
架橋	状況	一乗谷 に位置 て約70	IIとの し , 足 ° で架	合流地 羽川の 喬され	点のI)流心 いている	直下流 こ対し る.	流路(流心) されて	架 ね [流 さ オ	架橋地点では,足羽川は概 4 ね直線上に西流しており, う 流心に対して約60°で架橋 されている.					架橋地点は,足羽川の 維 流心に対してほぼ直角 椎 に架橋されている. (緩く曲流した地点に架橋されており,足羽川の流心に対して約65° で架橋されている.				架橋 流し 35。 利	地点の ており 程度で)足羽), 沃 ?架橋	3川に 紀心に 寄され	ま,概 こ対し れてい	ね西南 て約 る .	海 信 ! 4	架橋地点の足羽川は, ほぼ直線状を呈してお り,流心に対して約 45。程度で緩い曲線状 に架橋されている.								
推 され 地質	架橋地点の左岸上流部に一部基 盤岩が露音するが、架橋地点で は露出していない、転列した橋 脚底面には岩片が付着してお り、非常に浅い位置で整結が される分布するものと推定される。周 辺露環状況から甲架域火山岩層 からなるものと思われ、比較的 新鮮で硬質な状況が強定され る.						周辺山地部や架橋地点周辺の河床部 に露告しており、非常に浅い位置で 基盤告が分布するものと推定され る、基盤若としては新第三紀・中新 世の甲楽城火山岩層からなるものと 思われ、比較的新鮮で硬質な状況が 推定される.							周辺山地部や梁都地点周辺 の河床部に露着しており、 なた、転到した基礎の底面 に岩片が付着していること などから、非常に急い位置 で基盤岩が分布するものと 推定される。基盤着として は新第三記・中新世の甲楽 城火山岩置からなるものと 思われ、比較が新鮮で硬質 な状況が確定される。					地形状況からは、足羽 川の河床は構物(玉石 等混じりの砂礫層)が 推定される.				転倒した?3橋脚の基礎 底面には砂礫が付着し ている.地形状況から も足到川の河床堆積物 の分布が推定されるこ となどから,河床堆積 物の玉石混じり砂礫層 が分布するものと推定 される.					周辺河床の一部に露着すること や地部状況から基盤岩の分布が 推定され、その上位に薄く河床 堆積物が破覆するものと推定さ れる 基盤語としては新第三紀 の西谷流紋岩類が考えられる が、場合によっては中生代白亜 紀の手取層群の砂岩・礫岩の可 能性もある。						「日田」 「日本」 「日本」 「日本」 「日本」 「日本」 「日本」 「日本」 「日本	架橋地点の河床や,右 岸側は多く露岩してお り、左岸の低地部では 河床堆積物が破覆して しる。基礎者として は、中生代・ジュラ紀 - 白亜鉛の手取層群の 砂岩からなっており, 河床部では非常に新鮮 で破膜な岩盤状況を呈 している.			
		2015040	:	×	- (5)	415010		-	- 1 <i>2</i>		78.0.1				×	××					×	×		>	K				-				11.4	1				<u>–</u> 25
被災	構造物	13橋脚には下流(い基礎 則に傾 く健全	こと戦 科 . そ ·	一の他に	41問則 よ破断	全ている	の構造	ッか, と思れ	一心	避主	王を採つ	P2· 倒斜	~ P4橋 . P5橋	脚か脚は	基礎に	して聞		橋脚	は下汾	抑かれ	倒,P2 〔傾斜.	21時間転在左屈流	王中9 12橋1 12橋1 12橋1 12橋1 12橋1 12 12 12 19 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11	は、「「「「「「「」」」。	可部基ま面こと	, と存び洗て	全保定に	の構成 ている より決 づりの	imp 5.た 記失し の状況	い―M こだ, してま	心健全 , A1背 らり , なって	性を 面は汾 レール いる	A 当 P ひ つ	11,P1 全性を 73,P4 の境界 で破断	,A21 保つ に 保御 御 や 相 して に	t, - P. が, P. は基本 いる	- 心健 2 , 2 岩と 中央部
**			××	×	×									×	×	×	×		Τ		×	××	×	×	×	×								П		×	××	×
况	状 P1-24間の桁が強出し、その方 向は流い方向 - P4-P5間の桁が 況 下流側に傾斜 - 桁				その方の桁が	全ての桁が,一応健全性を保ってい るものと思われる。						P1・ の7 間0	P1 - P6間の桁が充失し,そ の方向は流心方向. P5 - A2 間の桁が下流側に傾斜.					P2-A2間の桁が流失. この内P2-P3間の桁は 約700ほど右岸下流に流 失.残りは架橋地点付 近で,流い方向に流失 している.P1-P2間の 桁は下流側に傾斜.桁 に流木が貫入してい ろ			A1-P4間の桁は全て流 失.P4-A2間の桁は下 流則に傾斜.				流下	桁の全てが一応健全性を保って いる.						Aをのお肥工で	A1-PH間の桁のみ流失 を免れている.その他 の桁は,全て流失して おり,特にP1-P2間と 思われる桁は約80~70m 下流側に流失してい る.					
理論	検証	検証 安定 部材	喬梁: 照査結 所面照	安定照 果 (' 査結果	查「爹 1)転倒 【 (1)	第1足羽 照査: 柱基部	川橋梁 洪水時 : 常時	砂3橋脚 射は0K , 持では調	『」, 洪水 詠位	部材時は	断面照 NG (2 洪水時	1査「第5 2)安定照 乳 ぼれき	に 定羽 査: ENG7	川橋翔 洪水明 であり	PP1梢 寺でも ,破	謝 」 5 安 全 壊 時 7	林 率が では洪	剣正 満足せ (水時	・ 基準 : せず , 訪NG	安定 NGと となる	およて なる 5 . (2	び部材の . ただし !)破断位	₩容値 ,短期 置:高	が同 の場 水位	じ道合は時で	路橋 満足す は常暇	⇒方書 ける . 持・破	读時	設計) ともに	統速: このKで	: ±7 である	木学会 るが,	と同し 洪水明	じ6m, 時で	/s はいす	「れも	NGと	なる .
被災の対	部材断面照査結果 (1)柱基部 想定外の異常な増水による大き な水圧の構計への作用と,この 異常状態に対する根入れ不足. の推定					: 帰時では満次仏地寺・決次時も1971年							想定外の異常な増水による 大きな水圧の橋桁への作用 と、この異常状態に対する 根入れ不足.					想よへ状足生をら	外の野などの外の野などの一般です。 かられていた。 かられていた。 かられていた。	想定外の異常な増水に よる大きな水圧の橋桁 への作用と,この異常 状態に対する根入れ不 足,この異常状態で発 生する部状形で発度 を超えた可能性も考え られる.										たよく北京生でも	想定外の異常な増水に よる大きな水圧の橋桁 への作用と,この異常 状態に対する根入れ不 足,この異常状態で発 生する部材応力が強度 を超えた可能性も考え られる.							

「構造物」 : 一応健全性を保っていると思われるもの : 下流側に傾斜したもの : 背面等で土構造物が法屈等で変状したもの ×:基礎とともに転倒したもの : 基礎との境界である柱基部で破断したもの : 柱中央部付近もしくは補強部との境界付近で破断したもの 「桁」 : 一応健全性を保っていると思われるもの : 下流側に傾斜したもの ×: 流失したもの

7.おわりに

本報告では平成16年7月福井豪雨における道路および鉄道の被害に着目し,現地調査,統計分析,理論検証により,その被害の概要と要因について検討を行った.その結果,以下の点が明らかとなった.

道路被害と鉄道被害ともに豪雨時における被災外力は水流であり、その水流が多くなったり速くなる箇所、 または流れの変化点で被害が発生する可能性が高いことが明らかとなった.例えば、河川に沿った道路の場 合では、曲線部の外岸側、支流合流部、橋梁の取付部等である.また、山間部では水流の発生する谷筋や排 水溝設置箇所に面した所で被害が発生する可能性が高いことが明らかとなった.一方、鉄道の場合では、軌 道およびその基礎地盤に関しては、線状構造の不連続箇所となる踏切やカルバート等が激しい水流の通り道 となり、その周辺で比較的被害が多く発生する傾向が確認できた.橋梁に関しては、河川曲線部の外岸側、す なわち水衝部で橋脚の被害が多い傾向が見られた.

謝辞

福井県土木部河川課の砂村氏には道路被害の資料提供ならびに被害内容についてご教示頂いた.西日本旅 客鉄道金沢支社施設課には足羽川橋梁の設計資料を提供して頂いた.(株)帝国コンサルタント技術部の飯田 明治氏には第6章の理論検証計算においてご協力頂いた.福井高専専攻科の塔尾勝君には被害資料のデジタ ル化作業においてご協力頂いた.ここに記して心より謝意を表する.

参考文献

- 1) 国土地理院:数値地図 25000 (空間データ基盤),福井.
- 2)福井県県民生活部地域振興課編:土地分類基本調查[8大野], 縮尺(1:50,000), 1996.
- 3) 国土交通省近畿地方整備局・福井県土木部:平成16年7月福井豪雨による災害について(速報), http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/h1607fukui/sokuhou0728.pdf, 2004.
- 4) 福井県土木部:平成16年7月福井豪雨による災害に関する情報,http://www.pref.fukui.jp/ 040718flood.html, 2004.
- 5)国土交通省:平成16年7月福井豪雨について(第8報:最終報),http://www.mlit.go.jp/bosai/disaster/ saigaijyouhou/h16/fukuigouu08.pdf, 2004.
- 6)福井県土木部河川課:県管理道路応急工事の事前協議資料(71件),2004.
- 7) 西日本旅客鉄道金沢支社施設課:第1~第7足羽川橋梁の設計図面(31枚),河床調査結果(7枚),鉄桁種 別一覧(1枚).
- 8)日本道路協会:道路橋示方書·同解説, 下部構造編,2002.