

□千曲川・信濃川の全域の被害

長岡技術科学大学工学部

教授 大塚 悟

1. はじめに

令和元年（2019年）の台風19号では、10月12日より関東甲信地方を中心に記録的な豪雨となり、15時30分には大雨特別警報が長野県を含む7都県に発表された。同警報はその後に福島県、宮城県を含む13都県にまで拡大されている。広範囲に強い雨が長時間降り続け、各地で観測記録を塗り替える大雨となった。人的被害が大きかったのは、福島県および宮城県であり、阿武隈川流域の河川で氾濫や破堤を生じるほか、多くの土砂災害が発生した。

千曲川流域においても、上田市、佐久市など上

表1 台風19号による長野県の被害状況：長野県災害対策本部（11月11日）

人的被害 (人)	死者		5
	行方不明者		0
	負傷者	重傷	7
		軽傷	130
	計		142
住家被害 (世帯)	全壊		863
	半壊		2,002
	一部損壊		2,522
	上記以外	床上浸水	565
		床下浸水	2,220
	計		8,172

流域において、3日間で300mmを超える雨量を記録した。この豪雨により千曲川左岸58k付近（長野市穂保地区）で約70mにわたる堤防の決壊、千曲川左岸104k付近（上田市諏訪形地区）の延長約300mにわたる堤防の欠損および欠損に伴う千曲川橋梁（上田電鉄）左岸橋台の被災をはじめ、県管理河川でも堤防決壊が発生して甚大な浸水被害を生じた。とりわけ、千曲川穂保地区における堤防決壊では下流域に広範囲の浸水被害が発生し、住宅や農地に多大なる被害を生じるとともに、鉄道では北陸新幹線の車両基地が浸水する被害を生じた。長野県の被災状況を表1に示すが、河川の氾濫による住宅被害が大きい。また流域では河川堤防だけでなく、地すべりや斜面の崩壊が生じた。ここでは、被害の大きい千曲川の穂保地区および諏訪形地区における河川堤防の被災を中心に報告する。

2. 千曲川の地形と流況

千曲川・信濃川の流域水系図を図1に示す。千曲川は山梨県・埼玉県・長野県の県境に位置する甲武信ヶ岳に発し、佐久盆地・上田盆地を貫流した後に長野盆地に入り、支川の犀川と合流する。その後、立ヶ花狭窄部、飯山盆地、戸狩狭窄部を経て、新潟県の越後平野を貫流して日本海に注ぐ幹線流路延長が日本一（367 km）の大河川である。千曲川は長野県内の名称であり、新潟県に入ると信濃川に変わる。千曲川は100万年前には高田平野に流れていたが、東頸城丘陵の隆起に伴って流

路を変えて越後平野に流れるようになった。長野県と新潟県の県境付近では丘陵に沿って北東へ流下するため川幅は狭隘である。図2に千曲川・信濃川の河床勾配を示す。千曲川上流域では河床勾配が1/50と急勾配であるが、犀川との合流を経て長野盆地に至ると1/1,000から1/1,500と緩勾配になる。しかし、新潟県との県境に近づくと飯山盆地を経て河床勾配は1/300と急勾配になる。図3に長野盆地における川幅縦断面図を示すが、犀川との合流により川幅は約1,000mにもなる。しかし、立ヶ花の狭窄部では川幅が260mまで減少し、下流では最小で120mになる地点もある。このよう

な地形的特徴は飯山盆地も同様であり、盆地の下流には戸狩狭窄部があり、川幅は150mまで減少する。

地形の及ぼす千曲川の流況への影響は、佐久盆地や上田盆地の上流域では河床勾配が急で、急流河川としての特徴を有するのに対して、長野盆地は河床勾配が緩やかで氾濫原の特徴を有する。特徴的なのは盆地の下流に狭窄部が存在し、河川流量のコントロール・ポイントとなることである。近年はバック・ウォーターとして認知されているが、狭窄部の直上流は出水時に河川水位が上昇しやすい特性がある。



図1 千曲川・信濃川の水系流域図：国土交通省北陸地方整備局

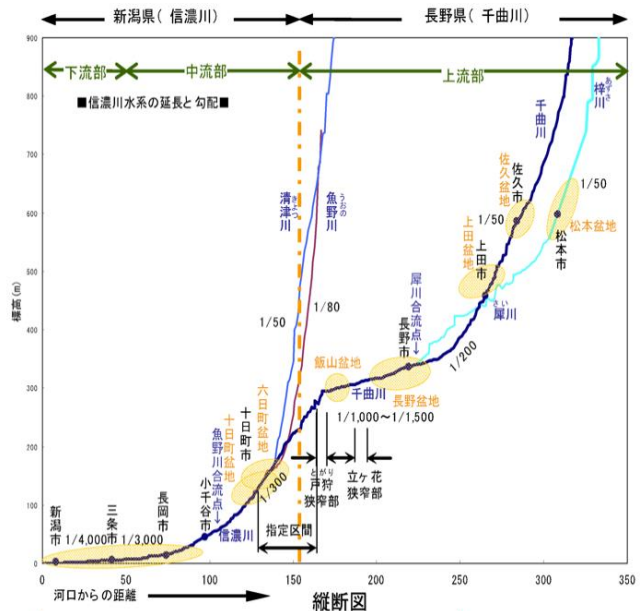


図2 千曲川・信濃川の縦断勾配：国土交通省北陸地方整備局

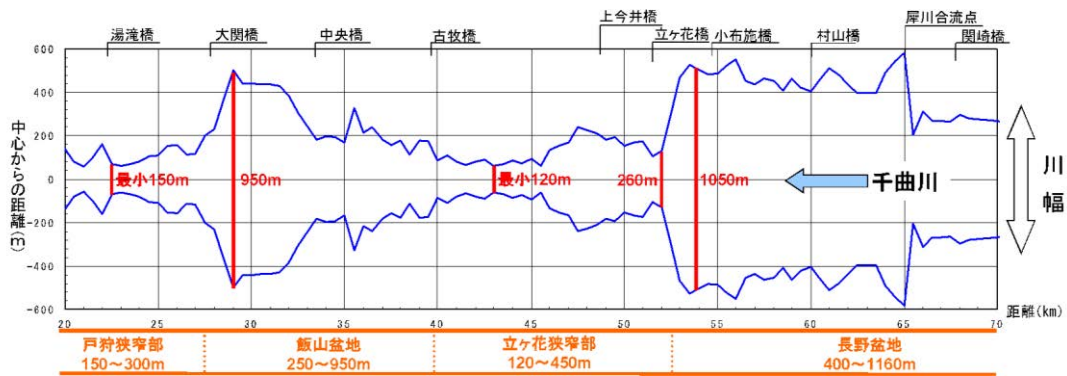


図3 長野盆地から戸狩狭窄部までの川幅変化：国土交通省北陸地方整備局

3. 台風19号の降雨と河川水位

千曲川の上流域は内陸性気候で寡雨地域である。年間降水量は1,000mm から1,400mm である。台風19号では上流の立科町戸田で271mm、軽井沢町長倉で324mm、佐久市中込で311mm と広い地域で300mm（3日間）を超える雨量を記録した。河川水位は観測所のある、生田（上田市）、杭瀬下（千曲市）、立ヶ花（中野市）の水位観測所で観測史上第1位の水位を記録し、千曲川本川の3観測所において計画高水位を超過した。立ヶ花の観測所における河川水位を図4に示すが、13日4時にはピーク水位12.44mを記録している。同地点の計画高水位は10.75mである。下流の信濃川の水位を図5に示す。図は新潟県小千谷市元町の水位観測所の記録であるが、信濃川の水位は上流域の降水が流下するとともに時間が遅れて上昇し、13日10時にピーク水位を記録した。同地点の計画高水

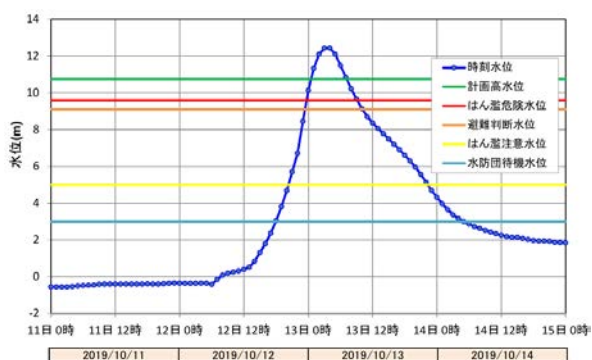


図4 立ヶ花（中野市）の水位観測記録：国土交通省北陸地方整備局

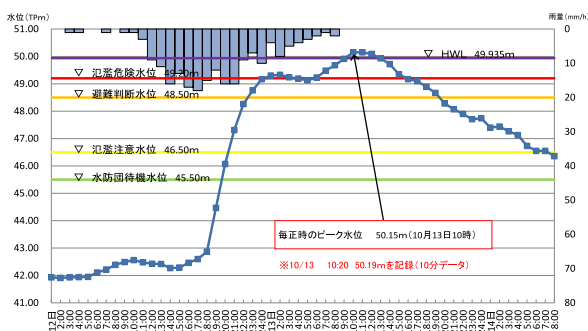


図5 元町（小千谷市）の水位観測記録：国土交通省北陸地方整備局

位を超過しており、氾濫の危険性が高まっていた。写真1に信濃川下流の大河津分水路の写真を示す。分水路は丘陵地をショートカットするため狭隘で、河川水は高速度で流下して日本海に注いでいる。



写真1 大河津分水路の流況：国土交通省北陸地方整備局

4. 穂保地区の堤防決壊

千曲川では立ヶ花の狭窄部から約6km上流左岸における穂保地区にて、堤防が70mにわたって決壊した。同地区ではビデオカメラによる映像（写真2）が残されており、広範囲に及ぶ河川水の越流と堤体の侵食過程が撮影されている。破堤箇所には図6に示す危機管理型水位計が設置されており、13日の0:30頃に越流の生じたことが記録されている。越流水深は次第に増加し、ピークでは80cmに至っている。観測記録は越流から4時

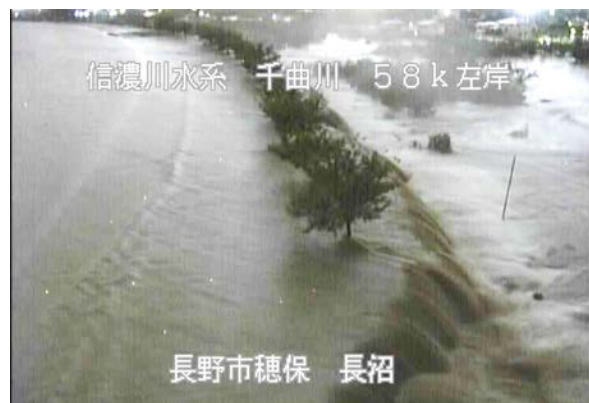


写真2 穂保地区の越流と堤防の侵食：国土交通省北陸地方整備局

間ほどで中断しており、その後まもなく堤防は決壊したと推測される。図7に堤防の破堤断面を示すが、堤防には断面を拡幅するように桜堤が設置されていた。堤防決壊箇所の周辺は越流に伴う堤防の侵食跡が散見されるが、侵食は桜堤に集中する事例が多かった。この原因には、桜堤は水防活動に用いる土のう作成時の土取り場として設置されており、本堤と区別した施工管理が行われてお

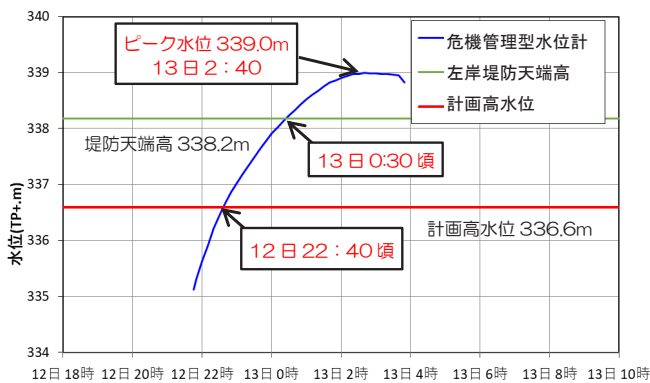


図6 穂保地区の水位観測記録：国土交通省北陸地方整備局

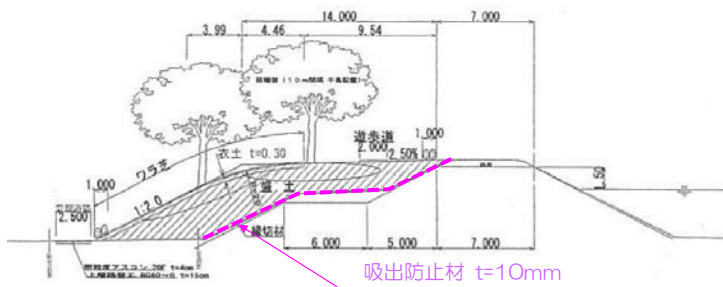


図7 穂保地区の堤防断面図：国土交通省北陸地方整備局



写真3 堤防の侵食と桜堤の喪失：国土交通省北陸地方整備局

り、堤体に対して桜堤の強度の低いことが侵食の原因と考えられる。写真3に堤体の侵食例を示すが、桜堤が喪失して堤体と桜堤を分離する吸い出し防止材が露出する様子が確認される。

図8に堤防の決壊に伴う周辺地域の浸水状況を示す。決壊地点から左岸下流に浸水地域が広範に分布し、浸水面積は13日10時で約9.5km²に及ぶと推測されている。浸水地域の分布は行政が作成したハザードマップとよく一致することが報道でも注目された。防災や減災を図る上でハザードマップを見直して、避難救助活動への活用の実質化や高度化が期待される。また、人口減少下においては社会への活用のコンパクト化も視野に入れる必要があり、災害危険地域の認識を地域社会で共有して、長期的な視野で住居や経済活動の場の選択や計画にハザードマップを積極的に活用することが求められる。

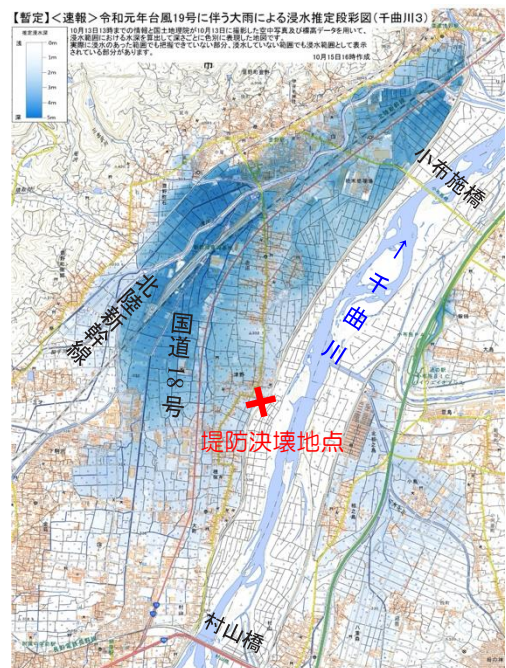


図8 穂保地区の堤防結果による浸水図：国土交通省北陸地方整備局

5. 堤防の決壊と地形・地質との相関

図9に千曲川下流域の治水地形分類図を示す。図中に穂保地区の堤防決壊箇所を示すが、千曲川左岸の当該地区は氾濫平野が分布する。千曲川の繰り返す氾濫により形成された土地であり、台風19号の浸水地域によく一致する。地質的には長野盆地は西に西縁断層があり、傾動活動により東側が隆起し、西側が沈降する特徴がある。そのため氾濫平野は千曲川の左岸に分布し、粘性土が厚く堆積している。一方、右岸は丘陵地に発する、松川、矢木沢川、百々川の扇状地が分布しており、礫質土が堆積している。また、千曲川の河道内には支川の合流に伴う自然堤防や旧堤防の痕跡が残っており、河道内の微地形は河川の流況に影響を与えている。

穂保地区の堤防決壊箇所の地盤調査では基礎地盤に粘性土が分布することが確認されている。そのため基盤漏水（浸透破壊の原因）は生じ難いが、同地点は長沼城址と一致するため、堀の埋め立て地盤や土塁が浸透層として分布することが懸念された。決壊箇所の堤防開削調査では埋め土にシルトなどの細粒土が用いられており、浸透破壊を生じる連続した地質の存在しないことが確認された。土塁跡は明確な痕跡を確認できないが、基礎地盤は粘性土やシルトで構成されていた。堤防のすべり破壊についても検討したが、堤体は洪水時にも



図9 穂保地区の治水地形分類図：国土交通省北陸地方整備局

安定であり、堤防調査委員会（北陸地方整備局）は破堤原因を越流による侵食と結論している。

相ノ島地区は穂保地区の対岸に当たる右岸に位置する。立ヶ花の狭窄部の上流に当たるため、越流を生じたが堤体の侵食は軽微であった。樋門にて越流水深が計測されており、40cmを記録した。越流水深の大きさに対して堤体の侵食が軽微な理由には、①基礎地盤が扇状地のために堤体と堤内地の比高差が小さいこと、②千曲川の水位が上昇したために支川の氾濫が生じて堤内地は冠水しており、越流水のクッションの役割を果たしたこと、が考えられる。更には、基礎地盤が砂礫層のために浸透破壊の危険性の高いことから、③遮水矢板や防止シートなどの漏水対策が実施されていたことも結果的に堤体の耐侵食性を高くした可能性がある。漏水対策は堤体への河川水の浸入を防ぐとともに、基礎地盤の砂礫層が排水層の機能を果たしたと考えられ、河川水の侵入による堤体強度の低下を防止したことが指摘される。

6. 堤防の強化復旧の必要性

堤防の復旧は様々な方法が用いられるが、河川流量の管理が基本であり、ダム建設や遊水地の設置などがある。これは河川水が一気に流下するのを防ぎ、時間差を稼ぐものと言える。その他の方法に河道断面の拡幅がある。しかし、河川流量の管理は上下流のバランスが必要である。したがって河川の改修は下流側から実施するのが基本である。河道断面の拡幅には堤防の引き堤や嵩上げがあるが現実性に障壁も多く、河床掘削や河道内の樹木の伐採等の実施されることが多い。しかし、堤防で水害を防止するのは簡単でない。近年のような集中豪雨が起きると堤防整備で対応するには限界がある。河川には地形の影響により越水のリスクの高い地域が存在し、洪水のリスクを考えざるを得ない。

減災・防災の視点で考えると、河川の越水が生

しても堤防の決壊しないことが重要である。堤防の決壊を軽減することができれば人命や経済の損失を格段に軽減することができる。日本の河川は一般に急流河川であり、越流時間はそれほど長時間ではないことも決壊しにくい堤防の価値を高くしている。今回豪雨で被災した、穂保地区の堤防は危機管理型ハード対策が施され、堤防裏のりに越流に対する耐侵食性の高い護岸施設が敷設された。環境への配慮から覆土するために従来の堤防との差異がわかりにくい、大きな強化復旧が行われている。被災された住民も少し安心して頂けるように思われる。しかし、ハード対策に限界のあることも忘れてはいけない。ハザードマップの活用や、河川水位の情報伝達、避難誘導體制などソフト対策の充実が必要であることを肝に銘じた。

7. 諏訪形地区の堤防欠損

上田市諏訪形地区では千曲川左岸で諏訪形浄水場樋門付近から上田橋付近までの約300mの区間で大規模な堤防欠損が生じた。図10に周辺の河川堤防の概況を示す。堤防欠損区間には上田電鉄別所線千曲川橋梁（1924年完成）が含まれ、堤防に隣接する橋梁が落橋する被害を生じた（写真4）。当該区域の堤防は空石張護岸と木工沈床が施工されていたが、河床侵食により木工沈床が流出した。被災箇所は洪水前には砂州が存在し、長期間に亘り安定していた。河川の滞筋は右岸を流れ、左岸は水衝たりのない堤防であった。しかし、洪水時に砂州が大きく侵食されて滞筋が変わり、堤防欠損箇所が水衝部となって損傷した。同地区にはビデオカメラが設置されており、堤防の



写真4 諏訪形（上田市）の堤防欠損：国土交通省北陸地方整備局



図10 諏訪形地区の流況と補修履歴：国土交通省北陸地方整備局

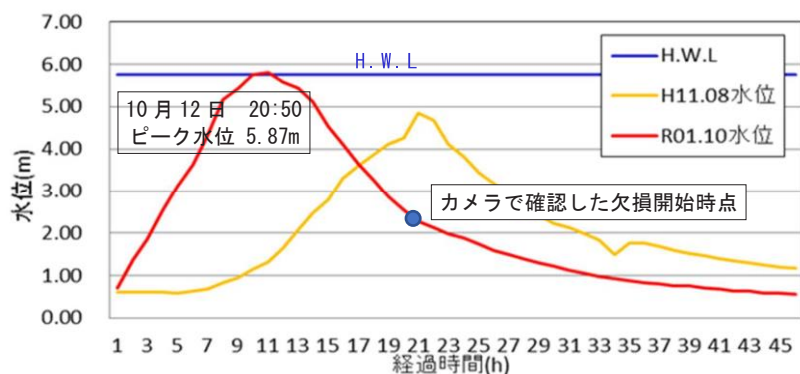


図11 生田（上田市）の水位観測記録：国土交通省北陸地方整備局

欠損過程が撮影されている。図11に最寄りの観測地点の水位観測記録を示すが、堤防の欠損は河川水位の低下した後に始まったことが明らかになった。ピーク水位の時には全断面で河川水が流れていたが、水位の低下に伴って滞筋が形成されたと推測される。しかし、何故左岸の安定した砂州が侵食されて滞筋が変化したのか、よく分かっていない。検証解析が期待されるが、著者は河川改修の影響を推測している。図10に欠損地点の周辺における河川改修の記録を示している。洪水前の滞筋に沿う堤防は護岸改修と河川水の流速を抑制する減勢工が施工される一方で、砂州のあった欠損箇所は対策工が実施されていない。対策工の有無は出水後の河川水の滞筋の形成に大きな影響を与えた可能性がある。

堤防の欠損箇所では著しい河床の洗掘が生じた。千曲川橋梁では橋台基礎が堤防の欠損により流出したが、橋脚基礎も河床の洗掘により露出していた。被災後の簡易測量では河床が5～6m低下したことが報告されている。河川水は流速が早いと河床を侵食するが、流速が遅くなると土砂を堆積することから、実際の河床洗掘深さは更に大きい可能性がある。河川では一般に、砂防施設などの設置により上流からの土砂供給が管理されているために、河床が年々低下する傾向にある。したがって、急流河川において建設後長い時間が経過した

橋梁では出水時に基礎が洗掘される危険性が懸念される。橋台や橋脚の基礎の定期的なメンテナンスが必要であるが、護岸も洗掘によって基礎が露出する事例も散見されるため、同様に点検やメンテナンスが必要である。

8. おわりに

近年、豪雨災害が頻発している。想定以上の降雨による災害であるのは事実であるが、もはや常態になりつつあるように思われる。災害は痛ましいが、災害を契機に現実に即した対策を実施してきたことも事実である。災害を直視して、一歩ずつでも防災や減災の対策が確実に進められることを期待します。

参考文献：

- 1) 国土交通省北陸地方整備局：第2回千曲川堤防調査委員会資料，<https://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-02.pdf>
2020年7月15日確認。
- 2) 国土交通省北陸地方整備局：第3回千曲川堤防調査委員会資料，<https://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-03.pdf>
2020年7月15日確認。
- 3) 地盤工学会：令和元年台風19号および10月末豪雨災害に関する調査報告書，2020。