

□ 令和元年台風第19号災害における河川堤防の破堤

愛媛大学大学院理工学研究科

教授 岡村 未対

1. はじめに

台風第19号とその後の低気圧による豪雨は、東北、関東地方を中心に河川堤防を142箇所で決壊させ、約3万5千haの地域と3万1千棟あまりの家屋が浸水するなど甚大な浸水被害を生じさせた。近年の豪雨により河川堤防の決壊を伴う大規模な洪水被害で記憶に新しいのは、平成30年7月の西日本豪雨（国管理2カ所、県管理35カ所の堤防が決壊）、平成29年の九州北部豪雨（同じく県管理3カ所）、平成27年関東・東北豪雨（国管理1箇所、県管理18河川）、平成24年九州北部豪雨（国管理1箇所、県管理4カ所）などがある。令和元年の台風第19号による破堤数は近年では特に多かったが、それでも堤防の破堤は毎年多数の箇所で発生している。

河川の河道内に流せる量を超える出水があれば、河川水は堤防を越え堤内地へ流入する。このとき、ほとんどの場合には越流水深（堤防天端を超える水深）は数十センチ以下である。しかし河川堤防が破れて完全に流出すると、その破堤口は数10mから100m以上にも広がり、数mの水深で大量の水が堤内地を一気に浸水させる。堤防が破堤するか否かは堤内地の被害を大きく左右するため、何としてでも決壊を防止しなければならない。本稿では、治水上の最重要構造物の1つである河川堤防の破堤について述べる。

2. 日本の河川堤防の現状

古来わが国は稲作を基本に耕作地および居住地が河川沿いの低平湿地に広がり、集落や後に都市へと発展してきた。稲作には大量の水が必要であるため、耕作地の地盤高さは河川水位とさほど変わらず、したがって高水時に河川水位が上昇すると容易に氾濫する。この氾濫の頻度を抑えるために、河川沿いに河川堤防を築き河川水を常時利用しながらもその脅威を遠ざけることを近代では実現してきた。

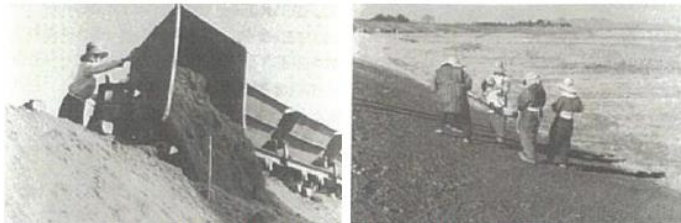
2.1 堤防の量的整備

我が国の治水戦略の基本は、降った雨を河道内に集め、溢れないように海まで流すことである。明治時代に定めたこの基本方針に従って、現在まで一貫して治水事業を進めてきた。具体的には、それまで蛇行していた自然の河川を直線化し、河道の掘削や拡幅などの河道整備、ダムや堤防の整備とともに、これら施設的能力以上の出水時には、適度に水をあふれさせるための遊水地などを整備してきた。以来120年余りが経過した現在、河川堤防の整備率をみると、国が管理する直轄河川はおおよそ1/100の計画規模に対して未だ7割に達しておらず（100年に1度発生する規模の高水を防御するための堤防が整備されている割合が7割以下）、完成までさらに数十年を要することが想定される。県管理河川は1/30程度の計画に対して整備率はさらに低い。我が国を流れる無数の河川と

その膨大な延長に堤防を築くのは、まさに国家100年の計どころではなく200年を要するのである。

2.2 堤防の質と詳細点検

ここで述べたのは、堤防の形状（高さと幅）に関する整備の現状についてである。土というものは良く締め固めれば大いに強くなるが、締め固めなければ水を含むと容易に流れ出すほど弱い。従って、堤防が外見上完成していても、堤体内部の質、すなわち土の種類や締め具合が悪ければ、洪水中に河川水に抵抗し続けることはできない。この堤体の質の点においても多くの河川堤防は弱部を内在している。図1は大正、昭和時代の河川堤防の築堤作業の写真である¹⁾。堤防上をトロッコで運搬してきた土砂を盛りこぼし、人力で整形して



大正～昭和30年代に行われた撒き出しと人力による締め固め



天端からの撒き出しによって形成されたと考えられる斜めの構造

図1 大正・昭和期における築堤作業¹⁾

堤体としている。このような全くといっていい程締め固められていない部分が大半の堤防に内在している。

堤防整備率がようやく50%を超えた1990年代後半から、堤防の質、すなわち内部状態に関する調査（堤防の詳細点検）が始められた。この調査は、およそ数100m～1km毎に堤体や堤防直下の地盤調査を行い、土質や強さ、透水性を調べ、高水時の破堤に対する抵抗力を明らかにするものである。ここで、高水による堤防の破壊メカニズムを図2に示す。(a)は越流した河川水が堤防の裏法尻や裏法面を侵食、(b)は河川水が表法尻や法面を侵食し、やがて破堤に至る。水は流速が大きくなるにしたがって堤体や地表面を侵食する力が急増するので、越流した水は法肩部よりも流速の大きな法尻部から堤防を侵食してゆく。一方、堤体や基礎地盤に河川水が浸透しゆくと、(c)弱体化した堤体が滑り破壊を生じ、あるいは(d)堤体や基礎地盤中から浸透した水が土とともに吹き出した穴が徐々に伸びて川表側に貫通し（パイピング）、これらによって破堤に至る。これには河川水だけでなく、堤体に浸透する雨水も寄与するため、堤体に水を入れないことが重要である。詳細点検は主に(c)と(d)の破壊形態に対する安全性を調べるものであった。その結果、形状の整備が終わった完成堤防を含む国管理河川の約4割の堤防に安全性に問題があることがわかった。この

一方、堤体や基礎地盤に河川水が浸透しゆくと、(c)弱体化した堤体が滑り破壊を生じ、あるいは(d)堤体や基礎地盤中から浸透した水が土とともに吹き出した穴が徐々に伸びて川表側に貫通し（パイピング）、これらによって破堤に至る。これには河川水だけでなく、堤体に浸透する雨水も寄与するため、堤体に水を入れないことが重要である。詳細点検は主に(c)と(d)の破壊形態に対する安全性を調べるものであった。その結果、形状の整備が終わった完成堤防を含む国管理河川の約4割の堤防に安全性に問題があることがわかった。この

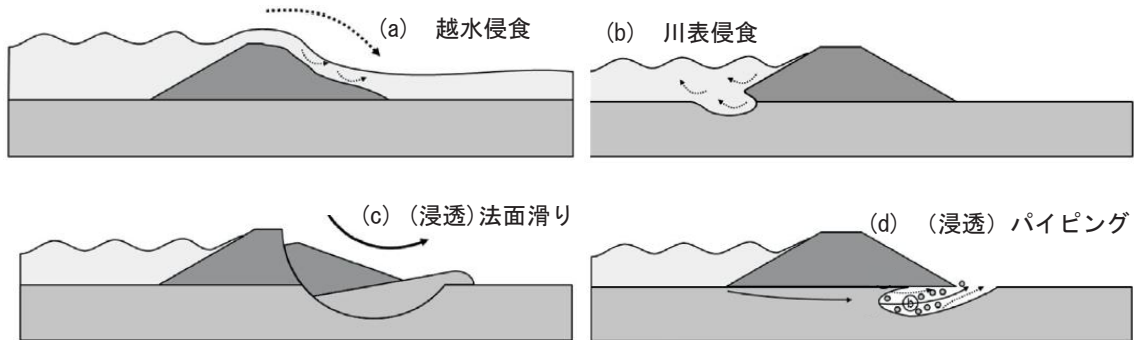


図2 河川堤防の被災メカニズム

結果を受けて、堤防の質についても改良する事業が進められているが、これも完了するまでの道は遠い。さらに、詳細点検では調査地点の間隔は約1 kmであったが、局所的な弱部は調査地点の間にも潜んでおり、この調査では特定されていないものも多数あるものと考えられる。近年では最新の物理探査技術等を駆使して堤防の弱部を発見する試みもなされているが、局所的な弱部を漏れなく効率的に検出するまでには至っていない。このような現状において、高水時に河川堤防を破堤させないためには、堤防整備の推進や日常の管理はもちろん、出水時の巡視や水防活動が適切に実施されることが重要であることが理解されよう。

3. 台風第19号豪雨による河川堤防の被害

3.1 破堤原因と堤防の特徴

台風第19号による洪水では国管理河川の14箇所と県管理河川の128箇所の合計142箇所 で堤防が決壊した。決壊の主要因は、不明の6カ所を除くと「越水」が122箇所と86%を占め、川表側の侵食が9%、浸透が1%である。土であるがゆえに堤防は越水に弱く、破堤原因のほとんどを越水が占めているのは過去の高水と同様である。

しかしながら、越流が生じると必ずしも破堤に

至るわけではない。越水が確認された箇所は国管理河川で70箇所、県管理河川で236箇所あり、破堤したのはこれら越水箇所のうち国管理河川14箇所と県管理河川108箇所、全体では40%であった。それでは越水した箇所で破堤した堤防としなかった堤防を分けた要因は何であったのか。まず、越流水深や河川水が裏法面を流下し等流状態となった時の流速は堤体や基礎地盤に作用する侵食力の指標となり、またその継続時間（越流時間）は重要な要因である。図3は国交省の調査によるこれら指標と破堤 / 非破堤の別を示したものである²⁾。越流水の裏法戻での等流流速が3 m/s以上かつ越流時間が3時間以上であった箇所で決壊が生じている。裏法戻での流速は堤高や法面勾配などにより変わるので、裏法戻勾配が緩いほど決壊した堤防の割合は低くなる傾向がみられた。さらに天端幅が広く、また天端が舗装してあり侵食されにくい堤防では決壊する割合が低くなる傾向があった。さらに前述したように、土は水で飽和すると極端に強度が低下し越流水による侵食に対しても弱くなる。図4は法面の透水係数と破堤 / 非破堤の関係を示したものであり、同じ等流流速でも河川水や雨水が浸透しやすい（透水係数の大きい）堤体では決壊しやすいことがわかる。

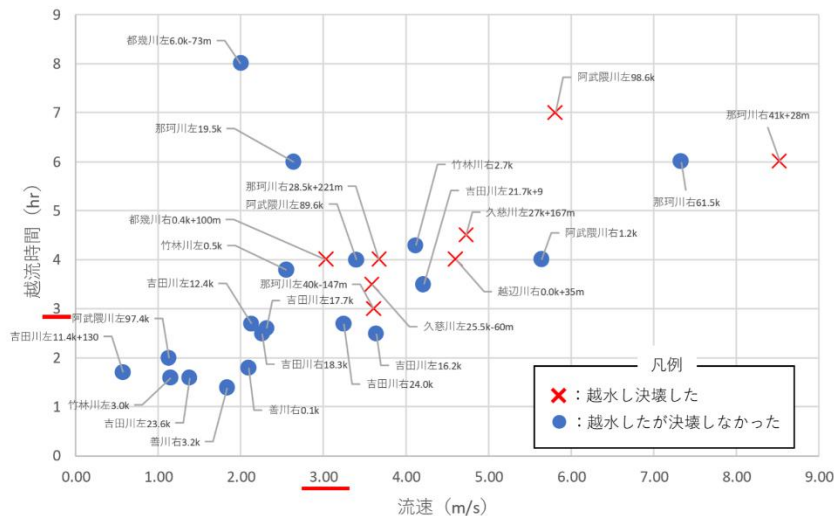


図3 越流時間、裏法戻での等流流速と破堤 / 非破堤の関係²⁾

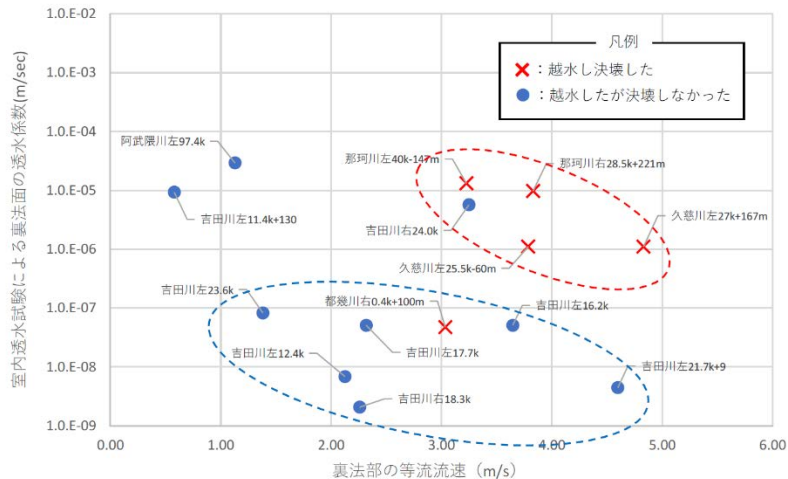


図4 堤体法面の透水係数と破堤 / 非破堤の関係²⁾

3.2 河川水位から見た破堤箇所の特徴

高水時の河川水位は局所的にも変化し、水位が上昇する箇所において越水が生じやすい。水位が上昇しやすいのは支川との合流点上流部、橋梁上流部、川幅が減少する狭窄部の上流部、湾曲部外岸側である。今回の洪水における破堤箇所では、合流点上流部が38箇所（27%）、橋梁上流部が57箇所（40%）、狭窄部上流部が12箇所（8%）、湾曲部外岸側が28箇所（20%）であった²⁾。これらを合計すると135箇所であり、全142箇所の破堤地点のほとんどはこのような箇所に該当する。

4. 破堤は越流だけが原因ではない

ここまで見てきたように、我が国の堤防の洪水による破堤は圧倒的に越水によるものであるが、高さが十分に整備された欧米の堤防では破堤原因の多くは越水ではなく浸透（パイピングや裏法滑り）、表法面の侵食である。我が国におけるパイピングによる破堤は2012年の矢部川などで発生しているほか、洪水が発生するたびに多くの地点で噴砂が発生しており、パイピング破堤の予備軍が多数存在している。パイピング破堤は、堤体が徐々に侵食されていく様子が目視観察できる越水破堤と異なり、パイピング部が堤体内や堤体直下地盤内をひそかに進展してゆくためパイピングが

貫通・破堤する切迫度がわからない。貫通すると突然あるいは短時間で破堤するため、避難のためのリードタイムの無い、極めて危険な破壊パターンである。そこで、パイピング破堤の兆候である漏水や噴砂について、今回の洪水による発生件数を吉田川堤防（宮城県を流れる鳴瀬川の支流で国管理河川）を例にとって述べる。

4.1 吉田川での河川水位と被害数

今回の出水で吉田川では全川32km中の約1割にあたる3.4km区間で越水・溢水が発生した。また、痕跡水位が天端-2mよりも高かった箇所が延長の2/3以上あったことが確認され、大半の区間で計画高水位を超える非常に高い水位となっていた³⁾。表1は吉田川の堤防被害箇所数を被害形態ごとにまとめて示したものである。被害形態の内、堤体土質や土層構成等の基礎地盤に関する要因が強く影響する裏法崩れと噴砂・漏水については、およその発生率（1kmあたりの発生箇所数）も表中に示してある。また、比較のために近年発生した矢部川、鬼怒川および重信川の被災事例も併せて記載した。矢部川は近年パイピング破堤が発生した河川であり、重信川堤防は砂や砂礫などの堤体材料で砂礫地盤上に築堤された透水性の高い堤体の事例である。

表 1 被害形態ごとの発生箇所数と発生率

| | 決壊 | 法崩れ | 噴砂・漏水 | 被害範囲 | 法崩れ率 (箇所/km) | 噴砂・漏水率 (箇所/km) |
|-------------------------|----|-----|-------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 吉田川 ¹⁾ | 1 | 14 | 1 | 29.7K (1.6~31.3K) | 0.17 | 0.03 |
| 鬼怒川(2015) ⁷⁾ | 1 | 7 | 23 | 34.0K (7.9~41.9K) | 0.10 | 0.34 |
| 重信川(2017) ⁶⁾ | 0 | 1 | 28 | 4.9K (1.1~6.0K) | 0.10 | 5.71 |
| 矢部川(2012) ⁸⁾ | 1 | 5 | 17 | 12.4K (5.0~17.4K) | 0.20 | 0.68 |

※発生率の算定にあたって、被害範囲は漏水あるいは法崩れが生じた最上流箇所から最下流箇所までの距離とした。吉田川では被害範囲に占める越流区間長および水位がHWLを上回った区間長が8割以上である。鬼怒川(2015)では約7割、重信川(2017)ではHWLを超えた区間はなく、矢部川(2012)ではほぼ全区間でHWLを超過した。

4.2 吉田川堤防の被災履歴、対策工の施工状況と今回の被害の関係

図5(a)は、吉田川における過去の出水による堤防被害を被害形態別に示したものである。昭和22年(カスリン台風)、23年(アイオン台風)、25年と相次ぐ大規模出水により多くの個所で破堤するとともに、噴砂・漏水が発生した。昭和33以降の出水における被害では、破堤は減少し噴砂・漏水の発生数が増加した。図中には昭和33年以後の主な出水における最高水位(鹿島台観測所)を●印で示してある。昭和33年には7.2mの水位を記録し1カ所で漏水が発生した。その後、昭和41

年には6.3mと33年よりもやや低い水位で3カ所、昭和43年から45年にはさらに低い水位で3~4カ所ずつの噴砂・漏水が発生した。昭和61年の大出水では再び33年とほぼ同じ7.2mの水位で噴砂・漏水箇所は12カ所と急増した。ここまでの水位と噴砂・漏水箇所数の関係から、同程度の外水位であっても噴砂・漏水箇所数は経年的に増加しており、堤防の耐浸透性は経年的に劣化してゆくことがわかる。

図5(b)は堤防の浸透対策工の施工距離数である。吉田川での浸透対策は、主に昭和61年の出水を受けて昭和62年に集中的に行われた。この浸

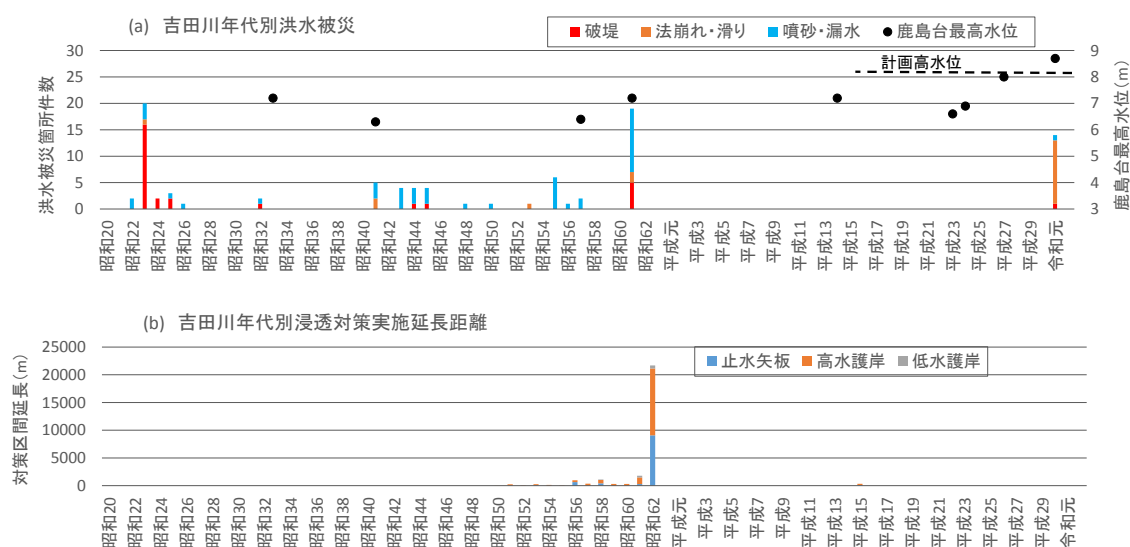


図5 吉田川堤防の被災履歴および浸透対策工事の施工延長

透対策の効果は顕著で、平成に入ると平成14年（鹿島台での最高水位7.2m）、23年（6.6m）、24年（6.9m）と水位の高い出水でも漏水が発生せず、さらに平成27年（8.0m）と令和元年（8.7m）の何れも既往最大の水位となった出水でも報告された噴砂・漏水箇所はわずか1箇所であった。これまでに行われた浸透対策区間は、背割堤区間を除く約38km中の約15.7kmであり、実に40%の区間で浸透対策工が施工されている。表1に示した他河川と比較すると、漏水対策の本格的実施以前の昭和33年から昭和61年までの出水での漏水発生率は例示した他河川とほぼ同等であった。このことは、延長の約4割の区間で漏水対策を行い噴砂・漏水の発生をほぼ完全に抑えることが出来た事例として今後の質的整備を行う上で参考になる。なお、堤体は経年劣化するため、対策を施工した区間においても今後の出水による漏水の再発を慎重に観察する必要がある。

5. おわりに

我が国の河川堤防は、整備が比較的進捗している国管理河川でも整備率はおよそ7割に留まっている。近年でも越水が頻繁に生じ、それによる破堤が多く発生している。整備率が100%に達するまでにはさらに数十年を要するため、計画規模の出水で越水被害が今後も発生するし、計画規模以上の出水頻度も地球温暖化の影響で増加する。そこで、越流した場合に破堤までの時間を稼ぎ避難のための時間を確保し、また浸水面積を減じて破

害をできるだけ軽減するための河川堤防強化の取り組み²⁾も行われている。

今後、堤防整備が進んで越水頻度が少なくなったとしても、堤防は浸透に対する抵抗力が経年劣化してゆくため、パイピングによる破堤が増加することが想定される。これからも堤防整備と維持管理、および出水時の水防活動により破堤を防いでいかなければならないのが我が国の宿命である。

参考文献

- 1) 土木研究所（2014）：河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント、https://www.pwri.go.jp/team/smd/pdf/syousasekkei_point1306.pdf
- 2) 国土交通省 令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会、第3回委員会資料、https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/gijutsu_kentoukai/dai03kai/pdf/
- 3) 国土交通省東北地方整備局：阿武隈川、吉田川の痕跡水位と対策工施工状況について、2020年5月、私信。
- 4) 国交省東北地方整備局：令和元年台風第19号による被害状況等について（第29報）、2019.10.27。
- 5) 国土交通省東北地方整備局河川部：令和元年10月12日出水〈台風第19号〉の概要《第3報 12月26日 15時時点》
- 6) 重信川堤防調査委員会：重信川堤防調査委員会報告書、国土交通省四国地方整備局、2019。
- 7) 2015年関東・東北豪雨災害 土木学会・地盤工学会合同調査団関東グループ：平成29年9月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書、土木学会、2016。
- 8) 矢部川堤防調査委員会：矢部川堤防調査委員会報告書、国土交通省九州地方整備局、2013。
- 9) 地盤工学会・令和元年台風19号災害調査団：令和元年 台風19号災害調査報告書、2020。