

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報告書

令和2年8月

1. はじめに

- 近年、降雨の激甚化・集中化により治水施設の能力を大きく超える洪水が多発しているが、令和元年台風第19号(令和元年東日本台風)による洪水では、国土交通省の調べによると、全国で142箇所の河川堤防が決壊(うち86%は越水が主要因)し、約3万5千haが浸水するなど甚大な被害が生じた。今後も、気候変動により洪水による被害がさらに頻発化・激甚化することが考えられ、それに対し、被害を防止・軽減することが求められている。
- 洪水の被害を防止・軽減するためには、従来から進めてきたように河道の掘削や拡幅、ダム・遊水地等洪水調節施設の整備等を実施することによって洪水時の河川水位を少しでも下げることが、今後とも大原則である中、治水施設の能力を超える洪水に対しても、浸水による被害をできるだけ減らすための効率的・効果的な対策を進めることの必要性が益々高まっており、越水に対して河川堤防を強化する方策の検討が必要であるとの方針を国土交通省が示している。
- この方針を受け本技術検討会においては、河川堤防を越水した場合であっても、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮する粘り強い構造の河川堤防(越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」)に必要となる性能について技術検討を行った。

2. 河川堤防の現状とこれまでに実施されてきた堤防強化

(1)河川堤防の現状

- 国が管理する河川の延長は約1万1千km(ダム区間含む)であり、自治体が管理する河川を加えると全国約15万3千kmにも及ぶ。また、国管理河川の堤防必要区間延長は両岸で約1万3千kmに及ぶ。
- 河川堤防は、歴史的な経緯の中で、工事の費用が比較的低廉であること、材料の取得が容易であり構造物としての劣化現象が起きにくいこと、不同沈下に対する修復が容易であること、基礎地盤と一体としてなじむこと、嵩上げ及び拡幅等が容易であること、洪水や地震等により堤防が損傷した場合の復旧の容易さなどから、多くが土で造られてきており、大洪水に遭遇して危

険な状態になることを経験すると、その後順次嵩上げ及び拡幅等を実施することにより強化を図ってきた構造物である。

- このように築造された河川堤防は上述のように長大構造物であり、また、基礎地盤自体が複雑かつ堤体の土質も様々であるなど、堤体の強度が不均一で不確実性を有していることから、既往の被災経験と実績をもとに満たすべき断面形状の基準を設定することによって、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造とすることとされてきた。
- 河川堤防はこのような経緯で築造されていることから、一連区間の河川堤防の安全性を向上させるためには、維持管理を通じた局所的な弱点の把握と適切な対策を引き続き行うことが重要である。
- なお、沿川の土地利用・河川の状況・地盤の状況等の事情によりやむを得ない場合においては、土堤以外の様々な材質と構造により河川堤防が築造される場合がある。

(2)これまでに実施されてきた堤防強化策

- 一方、工学的手法を用いて堤防に変状が生じる前に堤防の性能を向上させることは重要であることから、平成9年の河川砂防技術基準(案)設計編の改定以降、堤防の断面形状については高さや幅を確保するといった従来の考えを踏襲しつつ、堤防の耐浸透性能、耐侵食性能及び耐震性能に関して、その性能ごとに水理学的あるいは土質力学的な知見に基づく安全性の照査法を導入してきた。
- また、越水に対しては、個別の取組として昭和63年頃から平成15年頃にかけて「アーマー・レビー」或いは「フロンティア堤防」として、堤防強化対策を試験的に施工したが、維持管理上の課題があるとともに、コストが大きいこと等から、全国的には展開されなかった。
- その後、平成27年9月の鬼怒川の堤防決壊を契機に、目標とする規模の洪水を計画高水位以下で安全に流すための河川整備を基本としつつも、決壊を少しでも遅らせることによる被害の軽減、特に人的被害の軽減を主な目的として、全国の河川において堤防天端の舗装や裏法尻の補強といった比較的簡易な越水に対する対策を現在の河川堤防に行う「危機管理型ハード対策」を、氾濫発生の可能性が高いにも関わらず、当面の間上下流バランス等の観点から堤防整備に至らない区間等において実施している。
- なお、危機管理型ハード対策の施工箇所のうち1箇所(都幾川左岸6.2k付近)において、今次出水時に越水が発生した。当該箇所では天端舗装と法尻補強(ブロックによる被覆)が

行われていた。洪水痕跡調査等から越流水深は約 10cm、越流時間は約 8 時間と長時間の越水であったと推定されている。堤防の決壊は免れたことから対策の効果が現れたと考えられる一方で、植生による耐侵食性を活用するという考えからブロック等で被覆されていない裏法面では侵食が生じている。このため、このような簡易な対策では、効果に限界があり、より高い効果を追求する際には、さらに「粘り強い河川堤防」を目指す必要があることが改めて認識された。

3. 令和元年東日本台風による河川堤防の被災

(1)被災の概況

- 被災の分析に入る前に、令和元年東日本台風による災害の概要を、国土交通省水管理・国土保全局、気象庁、各地方整備局によるデータ等から整理すると以下の通りである。
- 令和元年東日本台風の接近・通過に伴い、広い範囲で大雨、暴風、高波、高潮が発生し、10 日から 13 日までの総降水量が神奈川県箱根で 1,000 ミリに達したほか、東日本を中心に 17 地点で 500 ミリを超えた。特に静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方の多くの地点で 3、6、12、24 時間降水量の観測史上 1 位の値を更新するなど記録的な大雨となった。
- これに伴い、国管理区間だけでも 13 水系 40 河川で氾濫危険水位を超過し、全国で 142 箇所(国管理河川 14 箇所、県管理河川 128 箇所)の河川堤防が決壊した。
- 一方、国管理河川において越水は 72 箇所で確認されているが、58 箇所(81%)は決壊しなかった。県管理河川においては、越水は 236 箇所で確認されているが、128 箇所(54%)は決壊しなかった。

(2)被災要因の分析

(決壊の要因)

- 各地方整備局が開催した堤防調査委員会の検討結果によると、国管理河川については、堤防が決壊した 14 箇所すべてにおいて、決壊の主な要因は「越水」と推定された(うち 2 箇所は、堤内地(住宅地)側から堤外地(河川)側への越水による。)。また、関係各県が調査した県管理河川も含めると 142 箇所の堤防決壊のうち 122 箇所の決壊の主な要因は「越水」と推定された。
- このように、今次出水における堤防決壊は越水が主要因であったと判断できる。

(越水の外力の状況)

- 令和元年東日本台風による洪水において越水が確認された箇所(国管理河川 72 箇所(うち決壊は 14 箇所)、県管理河川 236 箇所(うち決壊は 108 箇所、越水を主要因としない決壊は 20 箇所))を対象として、越水に伴う外力(越流水深、越流時間)に関する情報を収集・整理した。
- 越流水深と越流時間について決壊の有無との関係を整理した結果、越流水深や越流時間が増えると決壊に至る可能性が高まるという傾向が確認された。
- 比較的情報が揃っている裏法勾配に着目し、法尻付近で発生する流速を等流流速で近似することとし、等流流速(粗度係数を仮定しManningの等流公式から算定)と越流時間について決壊の有無との関係を整理したところ、等流流速が 3m/s 以上、かつ越流時間が 3 時間以上で決壊に至る傾向が確認された。

(越水による決壊に影響したと考えられる堤防の特徴)

- 決壊に影響したと考えられる堤防の特徴について、ここでは比較的容易に確認できた堤体の形状、堤体土の透水係数について、決壊・非決壊との関係を調べた。
- 堤体の形状については、天端幅が広いほど決壊した割合が低くなる傾向がみられ、また、堤防の裏法勾配が緩いほど決壊した割合は低くなる傾向がみられた。
- 堤防裏法面の透水係数については、決壊箇所に比べ非決壊箇所が小さいという傾向がみられた。
- しかし、堤防の決壊・非決壊には、堤体の形状や浸透の影響以外にも様々な要因が相互に関係していることが考えられるため、これらを総合的に分析する必要がある。

(3)越水箇所の分析

(決壊箇所の特徴)

- 決壊箇所の多くは合流点上流部、橋梁上流部、狭窄部上流部、湾曲部外岸側であった。具体的には、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(重複あり。括弧内は全決壊箇所数 142 箇所に対する割合)。
- これらの箇所は局所的に水位上昇が起こる可能性が高い箇所であるという水理学的な特性と

も整合しているが、現時点においては、地図や航空写真等によって被災箇所と合流点等との距離を単純に整理した段階である。今後は、単純な位置関係だけでなく、河道の平面形状や縦横断面形を踏まえて越水状況を水理的に検討する必要がある。

4. 越水に対する河川堤防の強化工法の現状

(1) 既往研究の整理

- 既往文献等から、越水に対する河川堤防の強化対策は、越水による天端や法面侵食等を防ぐ堤防被覆型、越水により侵食される裏法側を緩傾斜化する断面拡幅型、越水しても堤防全体の破壊に至りにくくする一部自立型に大きく分類される。
- 越水に対する河川堤防の強化対策に関する既往の研究は、主に堤防被覆型を対象として、国土交通省(旧建設省)の研究機関で行われてきており、大型堤防模型実験の結果、ある条件の下では一定の効果が発揮されることが確認されている一方、強化対策の効果の発揮に幅や不確実性があることも確認されている。
- 今回、過去の実験結果から、各種強化対策工法について、越水時の壊れ方を整理することで、粘り強い構造とするための留意点を抽出した。その結果、越流水に対する表面被覆材の安定性、表面被覆材下からの土砂の吸い出しの抑制、堤体内空気の排気の確保などに留意する必要があることが判明している。
- 一方、こうした留意点は整理されるものの、越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」に必要となる性能を評価し、設計できる段階には至っていない。また、堤防強化に用いる資材・工法の長期的な機能の継続性や維持管理の容易性についての知見は十分に蓄積されていない。

(2) 関係業界団体からの意見聴取

- 国土交通省の研究機関が実施している越水に対する河川堤防の強化対策に関する既往研究は上述の通りであるが、民間企業でも技術開発が進められていることから、民間企業の新技術等の動向を調査するため、国土交通省は河川工事に活用されている資材及び工法を扱う15の関係業界団体に対し書面での聞き取り調査を実施した。
- その結果、14団体から81件(重複を除く)の資材及び工法の提案がなされた。提案された資材・工法には、越水に対する河川堤防の強化に際してある条件の下では効果を有すると考えられるものもあるものの、既存堤防が有する機能が損なわれないという点や越水時の効果に幅や

不確実性を有しているなど、現段階で設計できる段階には至っていない。また、堤防強化に用いる資材・工法の長期的な機能の継続性や維持管理の容易性についての知見は十分であるとはいえない。

5. 緊急的・短期的な取組

(基本的考え方)

- 今次出水において多くの箇所に堤防決壊による被害が発生したことを踏まえると、洪水時の河川水位を下げる対策を今後とも治水対策の大原則としつつ、氾濫リスクが高いにも関わらず、その事象が当面解消困難な区間であって、河川堤防が決壊した場合に甚大な被害が発生するおそれがある区間において、計画的な治水対策に加え、避難のための時間を確保する、浸水面積を減少させるなどにより被害をできるだけ軽減することを目的に、河川堤防を越水した場合であっても、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮する粘り強い構造の河川堤防（越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」）の整備を、危機管理対応として実施すべきである。
- なお、整備に当たっては、「越水した場合であっても堤防が決壊するまでの時間を少しでも引き延ばす」とした危機管理型ハード対策の概念を発展的に踏襲し、越水に対し危機管理型ハード対策を上回る効果を有する「粘り強い河川堤防」を目指すべきである。
- なお、現状においては、「粘り強い河川堤防」の技術は、越水した場合の効果に幅や不確実性があることを十分に理解した上で整備することが重要である。
- また、治水対策は、目標とする規模の洪水を計画高水位以下で安全に流すため、左右岸・上下流バランスを考慮しつつ進められているが、同様に「粘り強い河川堤防」の整備は対岸や下流側に負荷をかけることとなることを考慮する必要がある。

(対策工法の選定)

- 対策工法の選定に当たっては、まず、河川砂防技術基準設計編等に定められている「堤防に求められる基本的な性能」、「設計に反映すべき事項」、「設計に当たって考慮すべき事項」を満足することが求められるため、河川堤防の強化に際し、これらの性能等を毀損しないことが前提となる。
- また、越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」に必要な性能についても満足すること

が求められる。現時点でその明確な定義は存在しないが、堤防被覆型を例に挙げると、越流水に対する天端舗装の効果、裏法尻保護工の効果や安定性に加え、裏法面保護工の効果や安定性について、構造検討に当たって留意する必要がある。

- 現場での適用に際しては、現場条件等も考慮しつつ、「堤防に求められる基本的な性能」、「越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」に必要となる性能」、「設計に反映すべき事項」、「設計に当たって考慮すべき事項」や過去の研究成果から得られる留意点等について、各種資材・工法の比較検討を行い、総合的に優位なものを選択すべきである。

(堤防強化の実施に際し留意すべき事項)

- 河川の景観は、地形、地質、気候、植生等様々な自然環境や人間の活動、それらの時間的・空間的な関係や相互作用、そしてその履歴等も含んだ環境の総体的な姿であるため、堤防強化の実施に際しては、それぞれの河川や地域にふさわしい景観・公衆の利用等への配慮が不可欠である。また、堤防法面の植生や堤防に沿って設置される樹林帯については、景観や公衆の利用の他に堤防を決壊しにくくするための効果も見込まれることから、その効果の評価や適切な保全・活用を図っていくことも重要である。
- 今回実施する堤防強化は、越水しても決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮するものであり、越水しても決壊しない堤防ではないこと、また、越水した場合の効果に幅や不確実性があることについて、関係機関や地域住民の理解を得ることが必要である。特に、越水に対しても決壊しない堤防であると誤解され、水防活動や避難等の防災行動に影響を与えることがないように理解を得ることが重要である。
- また、堤防強化の効果を持続的に維持するためには、変状の早期発見・修復等丁寧な維持管理が求められることから、ICT 等の活用、変状に関する情報が地域から届く仕組みの構築など、維持管理に際しての新技術の導入や地域との連携について留意すべきである。
- 堤防強化を実施した箇所(今回実施する堤防強化だけではなく、過去に試験的に施工されたフロンティア堤防やアーマー・レビーも含む)については、適宜フォローアップ調査を行い、得られる知見等を技術開発にフィードバックすることも必要である。

6. 今後の取組

(1) 引き続き検討が必要な課題

(対策工法に関する課題)

- 現時点では、越水に対する堤防強化技術にはその効果に幅や不確実性が存在するが、将来的には一定の越水外力を受けた際、それに耐える確率などにより目指すべき性能を設定し、それに対し一定の設計が可能な工法となるよう技術開発を進める必要がある。
- このためには、越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」に必要となる性能をより具体化するとともに、その評価方法についても検討していくことが、より質の高い技術開発につながるものと考えられる。
- また、堤防強化工法の構造物の安定性を長期的に維持するために、どのような維持管理が必要となるか検討することも重要である。

(調査・分析に関する課題)

- 一方、堤防強化技術を進展させるためには、決壊のメカニズムの一層の解明や越流した際に決壊・非決壊を分ける要因の分析などを行う必要がある。
- 越水時の決壊・非決壊を分ける要因としては、堤体の形状や浸潤状況の他にも、堤防の内部構造、堤体土の土質や締固め度、植生の種類や繁茂状況等の法面の不均質性、天端舗装や坂路等の有無、内水の湛水状況などが複雑に関係していると考えられるため、引き続き調査・分析を行っていく必要がある。
- そのためには、基本情報である堤防諸元(形状、土質、対策の有無、変状等の情報)の蓄積・更新が不可欠である。あわせて、近年の計測技術の高度化・低廉化を踏まえ、より詳細なデータを蓄積していく必要もある。
- また、越水が生じた場合には、決壊した箇所のみならず、決壊に至らなかった箇所についても土質の状況、水理現象、その他堤防の決壊に影響を与えられられる事項について、調査・分析を行う必要がある。
- これらについては、あらかじめ調査・分析の考え方や調査手法を整理し、関係河川管理者と共有する必要がある。

(計画に関する課題)

- 越水に対する堤防強化については、当面、特に緊急的な取組が求められる箇所における危機管理対応として実施するが、一定の設計が可能になる際には、治水の基本である洪水時の水位を下げる対策との関係など、計画上の位置付けを検討する必要がある。

(2)課題の解決に向けて

(調査・検討の継続)

- 本技術検討会で整理した課題の解決に向けて、技術的な検討を継続する必要がある。当面は本技術検討会における議論の継続、対策工法の新技術導入に向けた関係業界団体等との意見交換の継続、対策実施箇所のフォローアップの実施などが必要と考えられる。
- 技術的な検討の継続に際しては、現地の調査・分析や実験による検討ばかりでなく、越水に対する堤防の強化技術を支えるための理論に関する検討も合わせて進めることが必要である。
- 堤防被覆型を例に挙げると、遮水シートの強度と流水に対する安定性、被覆ブロックの越水に対する安定性と効果などの理論について検討するとともに、対策工法について既往の研究から抽出された留意点について、その評価方法を確立するため、水理模型実験を継続的に実施することが必要である。なお、表面被覆材下からの土砂の吸い出しなどの越水時に生じる予期せぬ変状の発生を確認するためには実物大の水理実験が有効である。

(業界団体、民間企業、学会、大学等との連携)

- 今回、実施した関係業界団体との意見交換を継続するとともに、大学の研究者や学会等とも意見交換等を行うなどの連携を図り、新技術導入に向けた検討を継続する必要がある。また、技術開発の内容に応じ、関係業界団体、民間企業、大学の研究者、学会、国土交通省の研究機関等が共同で研究・開発を行う体制の構築を行う必要がある。
- 民間企業や大学等が開発する新技術を導入する取り組みを積極的に行うにあたり、河川砂防技術研究開発公募、建設技術研究開発助成制度、建設技術審査証明制度、公共工事等における新技術活用システムなど、技術開発促進や新技術の活用促進の取り組みを活用できるよう関係方面に周知等を行う必要がある。

— 以上 —