

粘り強い堤防に向けた JICEの取り組みについて



河川政策グループ
首席研究員

佐古 俊介



河川政策グループ
主任研究員

味方 圭哉

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、令和元年東日本台風による洪水では、全国で142箇所の河川堤防が決壊（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・激甚化することが想定されており、それに対応し、被害を防止・軽減することが求められている。

また、流域治水対策では、氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策の一つとして、越流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「越水に対して粘り強い河川堤防」について検討されている。

一般財団法人国土技術研究センター（以下、JICE）では、越水に対して粘り強い堤防について、基準類（河川砂防技術基準や構造令）に加えるべき内容を施策提言することを目的とした自主研究を行っている。本稿では、越水に対して粘り強い堤防のうち自立型の構造を中心として、その取り組み概要を示すとともに、今後の展開について示すものである。

2 越水に対して粘り強い堤防とは

これまで河川堤防は、河川管理施設等構造令において定められた高さや幅を確保した断面形状を確保した上で、耐侵食性能、耐浸透性能及び耐震性能に対する、水理学的あるいは土質力学的な知見に基づく安全性能の照査を行い、整備を行ってきたところである。

越流対策としては、1988年頃から2003年頃にかけて「アーマーレビー」或いは「フロンティア堤防」と称して、試験的な施工をしてきているが、維持管理上の課題とともに、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。また、2015年9月の鬼怒川の堤防決壊を受け、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、堤防天端の舗装や裏法尻の補強といった比較的簡易な補強を現在の河川堤防に対して行う「危機管理型ハード対策」が実施された¹⁾。

一方、令和元年東日本台風による「越水」を主要因とした破堤被害を受けて、2020年～2021年に国土交通省において「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」が開催され、越水に対する河川堤防の強化に取り組むこととなった。現在、「越水に対して粘り強い河川堤防」は、越水した場合であっても、決壊しにくく（すぐには決壊せず）、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くすることで、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減災効果を発揮することを施設の目的として検討が進められている。

3 越水に対して粘り強い堤防の構造

河川管理施設等構造令第19条によると、堤防は盛土により築造するものとする（＝いわゆる「土堤原則」）。ただし、高規格堤防以外の堤防にあっては、土地利用の状況その他の特別の事情によりやむを得ないと認められる場合においては、その全部又は主要な部分がコンクリート、鋼矢板若しくはこれに準ずるものによる構造のものとし、又はコンクリート構造若しくはこれに準ずる構造の胸壁を有するものとする事ができるとしている。また、河川管理施設等構造令及び同令施行規則の運用について（昭和52年2月1日 治水課長通達）では、「その全部又は主要な部分がコンクリート、鋼矢板若しくはこれに準ずるものによる構造のもの」とは、盛土の部分がなくても自立する構造（押さえ盛土によって自立するものを含む。以下「自立型」という。）のものをいう、とある。

これに基づき、「越水に対して粘り強い河川堤防」の構造は現状3つのタイプが考えられており、その概要について以下に示す²⁾。

①表面被覆型

計画高水位以下の通常の流水の作用に対する堤防機能は土堤により確保し、越水に対しては土堤表面にシートやコンクリートブロックを設置することにより性能を発揮するもの。

②自立型（自立式特殊堤を含む）

盛土の部分がなくとも自立部が自立する構造で計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する堤防機能及び越水に対する性能を発揮するもの。堤防に求められる基本的な機能や設計に反映すべき事項、考慮すべき事項への対応は自立式特殊堤と同じと考えられるもの。

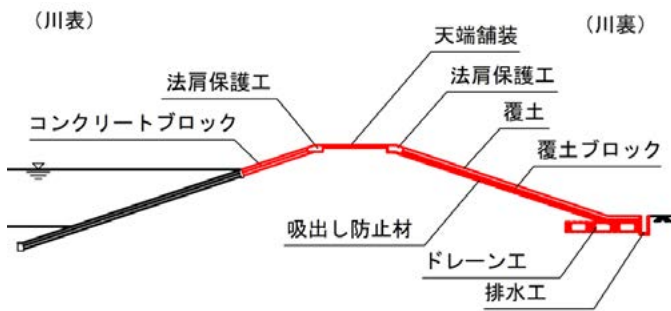


図1 表面被覆型のイメージ

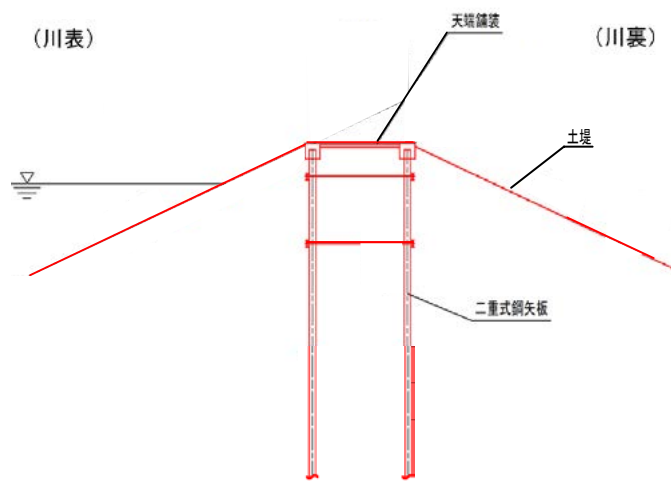


図2 自立型のイメージ

③その他構造

コア部分のみで自立はしないが、周辺の盛土（堤防）との複合体として計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する堤防機能を発揮するものなどが想定される。

現状では基本的な機能や設計に反映すべき事項、考慮すべき事項への照査方法の規定がない。

JICE では、特に②自立型に対する設計手法について、自主研究において議論を行ってきているところであり、以下にその概要について述べる。

4.1 「越水に対して粘り強い河川堤防」の性能の考え方

「越水に対して粘り強い河川堤防」の目的は、越水による洪水に対しても、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であり、その実現にあたっては、

- ①既存の堤防の性能（安定性等）を毀損しない（又は有している）こと
- ②河川堤防を越水した場合であっても、決壊しにくく（すぐには決壊せず）、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くする「越水に対して粘り強い」性能（越水性能）を付加すること

が求められる。この双方の性能を実現する観点から設計方法についての検討を進める必要がある。

4.2 自立型の設計の考え方

これまで都市部等で用地上の制約でやむを得ない場合、自立型は築堤されてきているが、統一された設計手法については存在していないのが実態である。

そこで、自立型を「越水に対して粘り強い河川堤防」に用いるにあたり、4.1にある①既存の堤防の性能を毀損しないことに対しては、河川砂防技術基準設計編 第2編「堤防」に基づき設計上で求める事項を

- ・堤防に求められる機能を耐浸透機能や耐侵食機能等の“堤防に求められる基本的な機能”
- ・不同沈下に対する修復の容易性や堤体や基礎地盤との一体性及びなじみ等の“設計に反映すべき事項”

に分けて照査項目を設定（表1）し、各照査項目に対して、設計の考え方と設計手法の整理を行うこととした（表2）。

表1 自立型に求められる設計上で求める事項

機能	求める事項
【堤防に求められる基本的な機能】	・ 常時の自重による沈下及びびすべり破壊等に対する安全性
	・ 計画高水位（計画高潮位）以下の水位の流水の通常的作用による侵食及び浸透並びに降雨による浸透に対する安全性
	・ 地震時に対する安全性 ・ 波浪等に対する安全性
【設計に反映すべき事項】	・ 不同沈下に対する修復の容易性
	・ 堤体及び基礎地盤との一体性及びなじみ
	・ 嵩上げ及び拡幅等の機能増強の容易性
	・ 損傷した場合の復旧の容易性
	・ 基礎地盤及び堤体の構造及び性状にかかる調査制度に起因する不確実性
	・ 基礎地盤及び堤体の不均質性に起因する不確実性
	・ 環境及び景観との調和
	・ 構造物の耐久性
	・ 維持管理の容易性
	・ 施工性
・ 事業実施による地域への影響	
・ 経済性	
・ 公衆の利用	

また、4.1にある②「越水に対して粘り強い」性能に対しては、越水開始後に裏のり面の土堤部がクッションとして機能するが、土質条件は様々であり、極めて脆弱であることが想定さ

4 自立型の設計方法の概要

上述した堤防の各構造とも、現段階で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が、特に、②自立型と③その他構造については統一された設計手法が現状では存在しない。

れることから、裏のり面の土堤部は直ちに流失するものとして扱うことと仮定した上で、越水してもすぐには決壊しないように、機能向上させる必要がある。具体的には、次の設計検討が必要と考えられる。

- ①越流水による裏のり面の土堤部の洗堀に対する安全性の確保
 - 水たたき等の保護工を設置
 - 洗堀を許容できるよう、基礎地盤の洗堀の影響を考慮した安定性の確保
- ②越流時の水位に対応したパイピング等の浸透に対する安全性の確保（上記対策を前提とする）

現在、直轄河川では表面被覆型による「越水に対して粘り強い河川堤防」のパイロット施工が始まっており、自立型やその他構造の堤防についても近い将来、パイロット施工が始まると考えられる。

JICE では、越水に対して粘り強い堤防を基準類に加えるべき内容を施策提言することを目的に、学識者、行政関係者をメンバーとする研究会を立ち上げ、議論を行っていくことを予定しており、越水に対して粘り強い堤防のパイロット事業の実績や、民間による技術開発の状況も踏まえながら、「越水してもすぐには決壊しない堤防」のさらなる高度化・合理化とその構造設計法の開発に向けた検討を進めていく所存である。

5 終わりに

流域治水対策では、氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策が求められており、その一つとして、越流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「越水に対して粘り強い河川堤防」の検討は重要な政策課題であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 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報告書,2021.8
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/gijutsu_kentoukai/dai03kai/index.html
- 2) 国土交通省：河川堤防の強化に関する技術検討会,2022.5
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/teibou_kentoukai/index.html

表2 自立型における設計の考え方と設計法

照査項目		設計の考え方と設計法
堤防に求められる基本的な性能に応じた設計【機能設計】	常時の自重による沈下及びすべり破壊等に対する安全性	a) 設計の考え方 平水位を対象に設計 b) 設計手法 ①堤体の安全性 1) 部材の安全性 ・水圧、土圧に対する壁体構造の安全性（鉄筋コンクリート等） 2) 堤体自体の安定性（直接基礎） ・水圧、土圧、（浸透）、上載荷重（交通荷重）に対する堤体の滑動、転倒、支持に対する安定性（杭基礎） ・水圧、土圧、（浸透）、上載荷重（交通荷重）に対する杭の安定性、部材照査。 3) 基礎地盤等を含む全体の安定性 ・基礎地盤等を含む全体の安定性照査
	高さの確保（洪水時に変形させないとする高さの確保は地震時の特例を除くと常時の照査のみ）	②沈下（高さの確保、堤体を構成する部材から要求される変位＝許容沈下量に対する照査） ・必要な堤防高の確保、及び堤体を構成する部材から要求される変位に留めるために、沈下等の変形を評価する。 ・沈下等の変形による堤体を構成する部材への影響等の評価が困難な場合には、沈下を抑制する構造形式や基礎形式を採用するものとする。 ・基礎地盤が良質な地盤であれば、沈下等の変形の評価は省略しても良い。
	計画高水位（高潮区間においては計画高潮位）以下の流水の通常的作用による侵食及び浸透並びに降雨による浸透に対する安全性、水圧作用時の安定性	a) 設計の考え方 計画高水位（に至る洪水）を対象に設計。 設計条件によって洪水時と常時で破壊モード（転倒あるいは滑動の方向）が異なることに留意。 b) 設計手法 ①堤体の安全性 1) 部材の安全性 ・計画高水位を上回るうねりや波浪の作用を考慮した水圧、土圧等に対する壁体構造の安全性（鉄筋コンクリート、杭等） 2) 堤体自体の安定性 ※侵食・浸透に関する安全性は設計条件に取り込まれる。 ・侵食に対する安定性＝最深河床高に対する堤体の基礎高（下端高の設定） →パイピングの危険が無いように十分な余裕をもって設計。前面に高水敷がある場合については、堤防防護ラインの考え方や模型実験、数値計算、護岸の力学設計法等を活用して侵食幅や洗掘深を評価した上で基礎高を設定 →前面矢板、根固め等で防護する場合にはそれらを考慮。 ・浸透に対する安定性＝堤内外の地下水位 （直接基礎） ・水圧、土圧、（浸透）、上載荷重（交通荷重）に対する堤体の滑動、転倒、支持に対する安定性（杭基礎） ・直接基礎の荷重に、擁壁を転倒・滑動させようとする外力を加えて、杭反力、及び変位に対する所定の安全率または許容値を確保。 3) 基礎地盤等を含む全体の安定性 ・堤体全体、基礎地盤を含むすべり等の照査
	②パイピングに対する安定性 ・レインの式に基づいて、計画高水位を上回るうねりや波浪の作用を考慮した水位に対するパイピングに対する安定性を照査する。	
	③堤体の摩耗に対する安全性 ・急流河川における考慮事項として記述（侵食に関する安全性そのもの）	

照査項目		設計の考え方と設計法
堤防に求められる基本的な性能に応じた設計【機能設計】	地震時	a) 設計の考え方 耐震性に関する河川堤防の考え方原則＝L1地震動に対しては、健全性を損なわない性能、L2地震動に対しては、照査外水位に対して特殊堤としての機能を保持する性能（機能保持）、及び特損傷が限定的なものにとどまり、殊堤としての機能の回復が速やかに行いうる（2週間以内に機能を確保する復旧を可能な状況までの損傷に留める）性能（機能回復）を有する。 b) 設計手法 （直接・杭基礎） ・健全性：L1地震動に対して各部材の弾性域を超えない範囲にあることを確認する。 ・機能保持：レベル2地震動による目地開きの高さが、照査外水位を下回らないことを確認する ・機能回復：レベル2地震動による慣性力が躯体の地震時保有水平耐力を下回らないことを確認する。 ※矢板の場合、全て弾性域内。
	波浪等に対する安全性	a) 設計の考え方 ・湖沼、高潮区間、又は2つ以上の河川の合流する箇所の堤防、その他の堤防で波浪の影響を著しく受けるものを対象とする。 ・計画高潮位と波浪、あるいは津波を考慮して外力を設定 b) 設計手法 ① 堤体の安全性 1) 部材の安全性 ・水圧、土圧、波力に対する壁体構造の安全性（鉄筋コンクリート、杭等） 2) 堤体自体の安定性 ※波浪や津波による侵食は設計条件に取り込む。 （直接基礎） ・水圧、土圧、波力、（浸透）、上載荷重（交通荷重）に対する堤体の滑動、転倒、支持に対する安定性 （杭基礎） ・直接基礎の荷重に、擁壁を転倒・滑動させようとする外力を加えて、杭反力、及び変位に対する所定の安全率または許容値を確保。
設計に反映すべき事項	不同沈下に対する修復の容易性	a) 設計の考え方 不同沈下が生じた場合に計画高水位の洪水に対して機能保持でき、また機能回復が可能で健全性を確保できるよう、目地を入れる。 b) 設計手法 目地を適切な間隔で入れることによって、不同沈下による堤体の健全性や安定性が損なわれず、速やかな修復も容易性となるような構造とする。
	堤体及び基礎地盤との一体性及びなじみ	a) 設計の考え方 自立式特殊堤では、パイピングを生じさせないことが基礎地盤と堤体との一体性及びなじみを確保することとなる。 b) 設計手法 パイピングの設計に含まれる
	嵩上げ及び拡幅等の機能増強の容易性 （設計変更で対応が容易となるよう設計に当たって配慮する）	a) 設計の考え方 沈下や将来の計画変更に対応するため、設計において機能増強に配慮する b) 設計上の配慮事項 ・高規格堤防の計画区間にあり将来の背面の盛土の整備による土圧の変化がある河川区間においては、その設計条件の変化に対応できる構造としておかなければならない。ただし、将来の追加の施工がより経済的となる場合にはこの限りではない。 ・広域地盤沈下の対応等については、土堤と異なり特殊堤では対応が難しい。そのため、将来のかさ上げ等が想定される場合には、当初の設計において配慮しておくことが望ましい。
	損傷した場合の復旧の容易性	a) 設計の考え方 ・常時は”不同沈下に対する修復の容易性”による。 ・超過洪水時の越流に対しては、設計上一般的に求めない。 ・地震時は「堤防に求められる基本的な性能に応じた設計 耐震性」による。 b) 設計手法 ・具体の対応については、耐震設計、及び不同沈下に対する目地の設計や屈とう性に含まれる。
	基礎地盤及び堤体の構造及び性状に係る調査精度に起因する不確実性	【堤体】 自立式特殊堤では、堤体の材料や施工に伴う不均質性については既に設計において十分に考慮されている。 【基礎地盤】 基礎地盤の調査精度や不均質性に起因するばらつきについては、過去の特殊堤の施工実績から見て、レインの式を満足することにより設計諸量の取扱いの中に包含されて十分に考慮できる判断される。
	基礎地盤及び堤体の不均質性に起因する不確実性	
	環境及び景観との調和	必要な対応を実施。
	構造物の耐久性	配筋・部材の耐用年数を確保。
	維持管理の容易性	必要な対応を実施。
	施工性	必要な対応を実施。
事業実施による地域への影響	必要な対応を実施。	
経済性	経済性は重要な課題。構造物の耐久性と合わせてライフサイクルコストを考慮する必要がある。	
公衆の利用	必要な対応を実施。	
の容易性・部材・施工性等を踏まえた対応の一つ	部材	
	コンクリートの許容応力度、鉄筋の許容応力度、鋼材の許容応力度	河川砂防技術基準設計編Ⅰ p81（コンクリート標準示方書を基本とし、道路橋示報書等との整合を考慮して設定）による
	鋼材及びコンクリートの線膨張係数	河川工事設計施工要領による
	鉄筋コンクリート構造物の不静定力あるいは弾性変形の算出及びプレストレストコンクリート部材の設計に用いる弾性係数	コンクリート標準示方書による
配筋	鉄筋の被り、最小鉄筋量	土木構造物設計マニュアル（案）樋門編 杭基礎は「道路橋示報書Ⅳ 下部構造物」による
	配筋規則、縦壁、床板の部材寸法	土木構造物設計マニュアル（案）樋門編による
保全区域に相当する措置	特殊堤においても、背後地の地盤の掘削や、あるいは波浪や越流による侵食が特に懸念されるような場合については、民地についても保全区域で保全することも考えられる。	