

特集

越水を伴う河川堤防の構造検討

李圭太¹・海野瀬綾乃¹

Structural Investigation of River Levees with Overtopping

Keita LEE¹ and Ayano KAINOSE¹

Abstract

The research and development of “Resilient River Levees” is currently in progress. This paper specifically examines the surface-covering type of these levees, where concrete blocks are installed on the levee. Initially, examples of existing river structures designed to withstand overtopping events were collected and analyzed. Subsequently, experiments were conducted to identify the phenomena that trigger the collapse of these structures during overflow events. Observations included pore water pressure within the levee when the surface cladding was installed, scouring at the bottom of the dike, and the interaction between the levee and the cladding. These observations indicated that internal erosion of the levee was the primary trigger phenomenon. Finally, five key considerations for the design of this structure were proposed.

キーワード：越水，粘り強い河川堤防，一部自立型，表面被覆型，設計照査手法

Key words: overtopping, resilient river dikes, partially self-supporting type, surface-coating type, structural design verification methods

1. はじめに

全国142箇所です堤防決壊が発生した令和元年台風第19号を契機として「粘り強い河川堤防」に関する検討が進んでいる。「粘り強い河川堤防」は越水しても決壊しにくく、決壊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構造の河川堤防を目指した堤防強化の取り組みである。

令和元年11月より国土交通省社会資本整備審議会河川分科会に「気候変動を踏まえた水災害対策

検討小委員会」が設置され、近年の気候変動による降雨量の増加等が懸念されることを踏まえた水災害対策に関する検討が行われ、令和2年7月に発表された答申において「粘り強い河川堤防」が示された¹⁾。令和2年2月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」が設置され、この堤防決壊等の要因を分析するとともに今後の危機管理として堤防強化の方向性の検討が行われ、令和2年8

¹ 日本工営株式会社
Nippon Koei Co., Ltd.

月に報告書がとりまとめられた²⁾。これらの検討を受け、令和4年5月より越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発に必要な技術的検討を行うことを目的に「河川堤防の強化に関する技術検討会」が設置された³⁾。この検討会においては、「粘り強い河川堤防」の技術はその効果に幅や不確実性があることから、現段階では「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」とし、「粘り強い河川堤防」工法の現地適用のための技術公募に関する審議を行っており、パイロット施工や大型の水理模型実験なども視野に入れた対策工法の検証を実施し、技術開発が進められている⁴⁾。これに関連して令和4年12月には、国土技術政策総合研究所から、この構造の設計指針となる「粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料(案)」(以降、技術資料案とする。)が公表され、主に表面被覆型構造(裏法面にコンクリートブロックを施した構造)の設計手法、特に越水に対する構造検討を対象としており、裏法面を流れる越流水の評価手法が詳細に掲載されている⁵⁾。越流に対する構造検討以外の項目については、「既存の堤防の機能を毀損しない」こととして、河川砂防技術基準⁶⁾より抜粋する形で、堤防に求められる基本的な機能、堤防の設計に反映すべき事項、考慮すべき事項となっている。

本研究グループではこの豪雨災害以前より、河川堤防の耐震対策工における鋼矢板二重壁の効果と施工の優位性に着目した研究を実施しており、この耐震対策工が技術資料案に示される「粘り強い河川堤防」一部自立型構造と同等の効果が期待できると判断し、令和4年9月より「粘り強い河川堤防」構造の設計照査手法(案)の提案を目指した取り組みを行っている。一部自立型構造は同様の河川構造物が既存河川構造物として無いことから性能の評価、設計照査手法の構築が必要と考え、今後の設計の基礎資料となることを目的とした解析的検討を行っている。これまでに、設計照査への解析コードの適用性の考察として、鉛直二次元平面ひずみによるFEM解析(解析コードALID/Win)を用いて鋼矢板二重壁を施した堤防構造の越水模型実験をシミュレートし変形モード、

変位量の整合性に着目し洗掘による基礎地盤の緩み領域をモデル化することで適用可能であることを示した^{7,8)}。さらに、既往の被災における洗掘深、洗掘幅を検討し洗掘モデルを提案する⁹⁾とともに鋼矢板の根入れ効果に着目し現行の設計において用いられる地盤の特性値 β を考慮した根入れ長の設定手法を示した^{10,11)}。一方、表面被覆型構造は、本稿において裏法面にコンクリートブロックを施した構造を対象として、越流を考慮した既往河川構造物として越流堤の設計概要を収集整理した¹²⁾。あわせて、裏法面被覆工を施した堤防の崩壊のトリガーとなる現象を把握することを目的として、持田らによる越水模型実験¹³⁾に参画し、表面被覆材設置時の堤体内の間隙水圧、法尻洗掘、堤体と被覆材間のルーフィングを観測することにより、このトリガーとなる現象は堤体の内部侵食であることを示した¹⁴⁾。これら検討結果より「粘り強い河川堤防」表面被覆型構造における設計方針(案)を提案する。

2. 越水を考慮した既往河川構造物とその設計概要

2.1 既存・計画中の越流堤の表面被覆構造

表面被覆を施した河川堤防の類似河川構造物として、日本全国に存在する遊水地、調節池における越流堤の構造概要を収集し、越流堤の表面被覆構造形式を次に示す4タイプに区分した。対象とした越流堤は既存と現在計画されている遊水地の21施設であり、表1に示すようにとりまとめた。

- ①コンクリートフェーシング(真人遊水地、塩殿遊水地、田中調節池など)
- ②アスファルトフェーシング(渡良瀬遊水地、荒川第一・第二・第三調節池、稲戸井調節池など)
- ③コンクリートブロック(砂川遊水地、南谷地遊水地、大久保遊水地など)
- ④かごマット(一関遊水地、母子島遊水地、朝霞調節池など)

大規模な越流堤はコンクリートフェーシング、アスファルトフェーシングが多い。このフェーシング構造は越流堤の沈下変形に追従できず、被覆

表1 越流堤の構造概要

No.	1	2			3	4	5		6	
遊水地名	砂川遊水地	一閃遊水地			南谷地遊水地	品井沼遊水地	蕪栗沼遊水地		大久保遊水地	
		第一遊水地	第二遊水地	第三遊水地			野谷地	四分区		
都道府県	北海道	岩手県			宮城県	宮城県	宮城県		山形県	
水系名	石狩川	北上川			北上川	高城川	北上川		最上川	
河川名	石狩川	北上川			迫川	鶴田川	迫川		最上川	
区分	直轄	直轄			補助	補助	補助		直轄	
越流堤	構造形式	コンクリートブロック	覆土型護岸ブロック+かごマット			コンクリートブロック	アスファルトフェーシング	かごマット	コンクリートフェーシング	コンクリートブロック
	ゲート	-	-			倒伏ゲート	-	倒伏ゲート	-	-
	越流水深 (m)	2.5	-			0.5	0.366	-	-	-
	越流幅 (m)	70	2030	1070	380	300	860	400	350	5040
	天端幅 (m)	-	7.0			4.6	4.0	5.0	4.0	5.0
	法勾配	表	1:10			1:2	1:2	1:2	1:2	1:2
		裏	1:10			1:3	1:3	1:3	1:3	1:3

No.	7	8	9	10			11	12	13		
遊水地名	浜尾遊水地	真人遊水地	塩殿遊水地	渡良瀬遊水地			母子島遊水地	大場遊水地	荒川第一調節池		
				第一遊水地	第二遊水地	第三遊水地					
都道府県	福島県	新潟県	新潟県	群馬県			茨城県	茨城県	埼玉県		
水系名	阿武隈川	信濃川	信濃川	利根川			利根川	那珂川	荒川		
河川名	阿武隈川	信濃川	信濃川	渡良瀬川			小貝川	那珂川	荒川		
区分	直轄	直轄	直轄	直轄			直轄	直轄	直轄		
越流堤	構造形式	かごマット	コンクリートフェーシング	コンクリートフェーシング	アスファルトフェーシング			かごマット	コンクリートフェーシング	アスファルトフェーシング	
	ゲート	-	-	-	-			-	-	-	
	越流水深 (m)	-	-	-	-			0.5	-	-	
	越流幅 (m)	-	115	80	-			500	413	320	
	天端幅 (m)	-	6.0	6.0	5.0			5.5	6.0	5.0	
	法勾配	表	-	1:8	1:3.5	1:8			1:4.5	1:3	1:10
		裏	-	1:12.5	1:5	1:8			1:4.5	1:9	1:10

No.	14	15	16	17	18	19	20	21		
遊水地名	荒川第二調節池	荒川第三調節池	朝霞調節池	田中調節池	稲戸井調節池	菅生調節池	鶴見川遊水地	牟田辺遊水地		
都道府県	埼玉県	埼玉県	埼玉県	千葉県	茨城県	千葉県	神奈川県	佐賀県		
水系名	荒川	荒川	荒川	利根川	利根川	利根川	鶴見川	六角川		
河川名	荒川	荒川	新河岸川	利根川	利根川	利根川	鶴見川	牛津川		
区分	直轄	直轄	直轄	直轄	直轄	直轄	直轄	直轄		
越流堤	構造形式	アスファルトフェーシング	アスファルトフェーシング	かごマット	コンクリートフェーシング	アスファルトフェーシング	コンクリートフェーシング	かごマット	コンクリートブロック	
	ゲート	-	-	-	-	-	-	-	-	
	越流水深 (m)	-	-	-	-	-	-	-	1.0	
	越流幅 (m)	190	100	25	450	215	280	450	70	
	天端幅 (m)	6.0	6.0	16.0	2.0	4.1	6.0	15.0	2.0	
	法勾配	表	1:8	1:8	1:2	1:2	1:8	1:2	1:3	約1:2
		裏	1:8	1:8	1:2	1:5	1:8	1:5	1:3.3	約1:2.5

工の下に空洞が発生する可能性があることなど維持管理で課題が考えられる。また、施工性、景観、経済性からも他と比較して優位ではない。コンクリートブロックはフェーシング構造と比較して施工性、維持管理で優位であるが、経済性では劣る場合がある。かごマットは堤体盛土と追従性を有

しており経済的な被覆工ではあるが、植生が繁茂しやすいため維持のため植生の管理が必要となる。越流幅は、対象とした遊水地の規模が大きいため300 m以上のものが多く、法勾配は1:2から1:10となっている。フェーシング構造は比較的緩勾配のものが多く、フェーシング構造は材料

がブロックと比較して滑らかであることから粗度係数が小さいため勾配を緩くすることで減勢させていると考えられる。コンクリートブロックは越流幅が70～300 mで法勾配は1:2や1:3となっており、かごマットは越流幅が25～500 mで法勾配は1:2から1:5程度が多く減勢効果が大きいことから勾配を緩くする必要はないと考えられる。減勢工は大半の施設において設けられており、フェーシング構造は5～15 m、コンクリートブロックとかごマットは3～10 m程度の流路長である。この流路長の違いは材料の流速低減効果によるものと考えられる。これらより、一般的な河川堤防（法勾配1:2～1:3程度）に適用される粘り強い河川堤防としての法面被覆構造は、施工性や維持管理で優位となるコンクリートブロック構造やかごマット構造が選定されることが多いと考えられる。

2.2 越流を外力条件とした河川構造物の設計手法

中山間地遊水地における基礎地盤は透水性が中位の砂礫土が主体となっており河道内水位の上昇に伴い堤内地盤への浸透が顕著となり堤体内水位も上昇すると想定され、この堤体内の間隙水圧分布を的確に把握し設計する必要がある。大川ら¹⁵⁾はこの中山間地遊水地の越流堤における被覆工の浮き上がりの安全性評価方法として、川側・遊水地側の水位から台形分布の水圧状態をもとに、被覆工裏面の高さの位置水頭差を控除して揚圧力を算出することで、浸透流解析を実施せず簡便な方法で浮き上がりに対する照査を実施することを示している。

国内における現行の床止め（落差工）の設計は「床止めの構造設計手引き」（平成10年11月（財）国土開発技術研究センター）¹⁶⁾を設計指針として用いている。この設計指針は過去の被災事例や研究成果をもとに、建設省河川砂防技術基準（案）同解説⁶⁾を補完する技術図書として、床止めを設置する河道の特性や床止め周辺の水理的特性を考慮した床止めの設計方法が示されている。この設計方法では下流側河床洗掘対策となる護床工の

区間長設定にあたっては越流落水水深により算出されている。「粘り強い河川堤防」の法尻部における越流水による洗掘対策工の設計においては、この護床工の区間長の算出方法を用いることも考えられる。

2.3 堤防強化手法

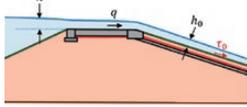
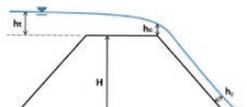
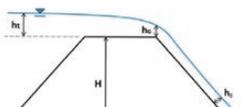
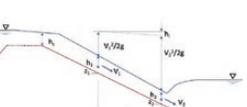
高規格堤防を除く河川堤防における越水を考慮した設計指針は、平成12年6月に建設省河川局治水課が暫定的な資料としてとりまとめた「河川堤防設計指針（第3稿）」¹⁷⁾がある。この指針の第6章では越水に対する堤防強化手法である「難破堤堤防」の設計方針、設計手順や安全性照査の項目等が解説されている。しかしながら、平成14年7月に現行の指針となる「河川堤防設計指針」¹⁸⁾が国土交通省河川局治水課より正式に通知されており、そこでは越水に対する堤防強化手法について解説する章は除かれている。この「難破堤堤防」は天端保護工、裏法保護工、法尻工からなる構造で構成されており、照査の手順は設定した越水深をもとに単位幅あたりの越水量を算出し裏法保護工、天端保護工、法尻工の順に個別に安全性を照査するものとなっている。裏法保護工は遮水シートとそれを保護する上下の保護マット、表層に被覆土の構成となっており、越流時のせん断力に対する遮水シートの安定性と降雨や地震等に対する被覆土の安定性が照査項目となっている。

令和元年10月の台風第19号で甚大な浸水被害が発生し国土交通省は、「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」で危機管理として河川堤防の強化を実施するために必要な技術的検討を実施した。この第3回検討会において越水による外力と決壊の関係をみるために越流時間と流速の関係が整理され等流流速を用いて評価されている²⁾。

2.4 裏法部における外力の評価方法

既存の設計指針または越流堤等の設計思想について調査し、特に裏法部における外力の評価方法についてとりまとめた。各設計指針・設計事例の相違として、表2に示すように裏法面における外

表2 裏法部における外力の評価方法

限界水深考慮		流速算出方法	
なし	あり	等流計算	不等流計算
<ul style="list-style-type: none"> 河川堤防設計指針(第3稿) 河川砂防技術基準 	<ul style="list-style-type: none"> 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 床止めの構造設計手引き S川堤防設計 	<ul style="list-style-type: none"> 河川堤防設計指針(第3稿) 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 河川砂防技術基準 S川堤防設計 	<ul style="list-style-type: none"> 床止めの構造設計手引き A川調節池越流堤 越流堤実施設計報告書 I調節池越流堤
$q = C_0 \cdot h^{3/2}$ <p> q: 単位幅越流量 (m³/s/m), C_0: 越水係数 (m^{1/2}/s) (解説によれば, 高規格堤防の設計で用いられる $C_0=1.6$ を採用), h: 越流水深 (m) </p> 	$h_c = \frac{1}{3(h_t + H)^2} h_c^3 + \frac{2}{3} h_t$ $q = \sqrt{g h_c^3}$ <p> H: 天端高と堤内地盤高の比高 (m), h_c: 天端で生じる限界水深 (m), g: 重力加速度 (m/s²) </p> 	$h_0 = \left(\frac{n^2 \cdot q^2}{\sin \theta} \right)^{3/10}$ <p> h_0: 等流水深 (m), n: 遮水シート上面の粗度係数, θ: 遮水シートの勾配 </p> 	$h_1 + z_1 + \frac{(q/h_1)^2}{2g}$ $= h_2 + z_2 + \frac{(q/h_2)^2}{2g} + h_t$ $h_1 = \frac{2gn^2L}{h^{1/3}} \frac{v^2}{2g} \quad h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$ <p> h: 水深 (m), h_c: 限界水深 (m), z: 標高 (m), q: 単位幅流量 (m³/s/m), n: 粗度係数 </p> 

力の評価方法が挙げられる。裏法面における越流量の算出については天端の限界水深を考慮する事例としない事例に分類された。得られた越流量から流速を算出する方法については等流計算を用いる事例と不等流計算を用いる事例に分類された。

3. 裏法被覆材を有する堤体模型による越流侵食実験

持田らは表面被覆型、一部自立型の両構造において越水模型実験を行い、越水時における決壊のトリガーとなる現象や堤防内の応力状態について調べている。表面被覆型のケースにおいては本研究グループと協同で実施し、表面被覆材設置時の堤体内の間隙水圧、法尻洗堀、堤体と被覆材間のルーフィングを観測している。

3.1 実験条件

模型実験は1/15スケールとし、堤防天端および法面の全面をアクリル板で被覆することで表面被覆型「粘り強い河川堤防」を表現した。本構造の現地適用における表面被覆材はコンクリートブロックが想定されており、堤防変状時の不陸等により発生したコンクリートブロックの隙間から空

気や水が抜けることも考えられ、法面全面が被覆された状態ではない可能性もある。しかし本実験では、現行の手法(「美しい山河を守る災害復旧基本方針¹⁹⁾」「護岸の力学設計法²⁰⁾」を用いた表面被覆材の選定・照査)において設計された河道内のコンクリートブロックにおいては出水時の大きな変状が確認されていないことから、変状時に発生する隙間は考慮せず、表面被覆材の裏側で発生する現象に着目することとした。

実験模型全景を図1に示す。材料は霞ヶ浦砂($\gamma=17.4 \text{ kN/m}^3$, $\phi=38.5^\circ$, $c=1.4 \text{ kPa}$, $k=2.2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, $d_{50}=0.45$)とし、最適含水比、締固め度90%で管理した。堤体内部の変状を確認できるように側面に白砂で格子を作成し、被覆工側面との境界部は止水粘土を用いて越流水が逆流することを防いだ。計測機器は表面被覆材設置時の堤体内の間隙水圧、法尻洗堀、堤体と被覆材間のルーフィングを観測できる機器(間隙水圧計, 水位計, 流量計, カメラ(動画・静止画), 定規等)を用いた。間隙水圧計は図2に示すように変状が想定される法尻保護工下部を中心に配置した。実験ケースは法面勾配1:3(C-1), 1:2(C-2)の2ケースとした。給水条件として実験開始前までに基盤



図1 実験模型全景

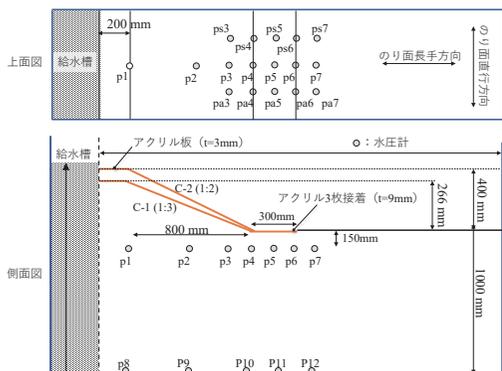


図2 表面被覆材と間隙水圧計の設置位置

部を飽和状態とし、実験開始から約15分かけて水位を上昇させ越流させた。「粘り強い河川堤防」における「越流水深30 cm・3時間」が継続することを想定し、越流水深を20 mm（幾何学的相似）、越流時間を45分（フルード相似）と設定した。また、C-1（法面勾配1：3）では、45分継続させた後、決壊させることを目的に越流水深40 mmまで上昇させた。

3.2 実験結果と考察

C-1（法面勾配1：3）は「粘り強い河川堤防」における目安である越水時間45分間において特段大きな変状が確認されなかった。越流水深20 mmを45分保持した後、決壊させることを目的に越流水深を20 mmから40 mmに増加させ、後にのり尻から堤体土の流出が確認され給水槽水位を保持できない状態（給水限界）が生じた。越流水深20 mmが継続している間は図3に示すように間隙水圧が定常状態であり越水中に地盤の応力状態

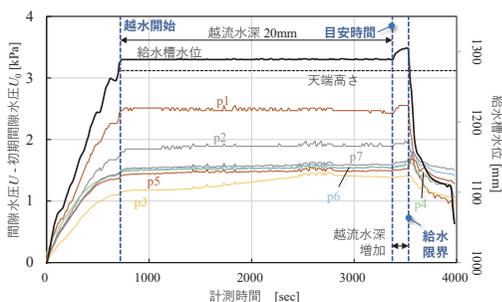


図3 間隙水圧の変化（C-1，法面勾配1：3）

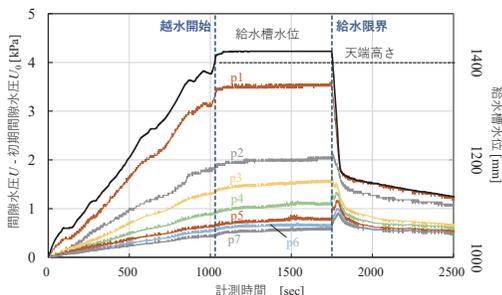


図4 間隙水圧の変化（C-2，法面勾配1：2）

に大きな変化は生じていないと考えられる。越流水深を40 mmとし給水限界に達した直後は、堤体内部においては間隙水圧が低下し、法尻付近で一時的に間隙水圧が上昇した。C-2（法面勾配1：2）は水開始約300秒後から被覆工下部の地盤がのり尻方向に徐々に移動するなどの変状が確認され、600秒程度でのり尻から堤体土の流出が発生し、給水限界に至った。図4に示すように間隙水圧は越水開始後より法尻付近で徐々に上昇している。また、給水限界に至ると同時に法尻付近で間隙水圧が急増していることが確認できた。

表面被覆型の決壊時には法尻から堤体土が流出することによる法面の変状と法尻付近における間隙水圧の急激な上昇が確認された。法尻から堤体土が吸い出されることによって法尻部の水みちが発達し、そこに流れが集中することで間隙水圧が上昇したと考えられる。越水時の決壊のトリガーは法尻部分における内部侵食であり、これら一連の現象を抑制することで本構造は「粘り強さ」を

表3 表面被覆型の設計における検討項目(案)

検討項目	内容	基準等
①法覆工の選定	裏法護岸の表面流速を算出し「護岸工法設計流速関係表」より法覆工を選定	美しい山河を守る災害復旧基本方針
②法覆工の照査	①で選定した法覆工の各構造モデルに応じた照査	護岸の力学設計法
③揚圧力・パイピングの照査	レインの式によるしゃ水工の根入れ長の計算	床止めの構造設計手引き 柔構造樋門設計の手引き
④法覆工の浮き上がりの照査	浸透流解析または上下流水位差から計算した揚圧力に対する照査	既往越流堤設計事例より
⑤ドレーンの設置の検討	本構造を採用する場合はドレーンの設置を標準とする	既往実験より

發揮すると考えられる。

4. 表面被覆型「粘り強い河川堤防」における設計方針(案)

現存する越流堤、床止めの設計法、既存の堤防強化手法などの事例と前段の実験結果を踏まえ、「粘り強い河川堤防」表面被覆型の設計における検討項目として表3に示す5項目を提案する。荒川第一調節池の流入堤において発生した揚圧力による法覆工の浮き上がり²¹⁾や、本実験で観測された変状とともに浸透や水みちの形成に伴って生じるものであり、これらを抑制する対策が必要である。

①法覆工の選定：裏法護岸における表面流速を算出し、「護岸工法設計流速関係表」より法覆工を選定する。越流水深と単位幅流量の関係は、表法尻上と堤防天端上の流れをエネルギー保存則を仮定して関係づけることにより表現される。

$$h_c = \frac{1}{3(h_t + H)^2} h_c^3 + \frac{2}{3} h_t$$

$$q = \sqrt{gh_c^3}$$

$$h_0 = \left(\frac{n^2 \cdot q^2}{\sin \theta} \right)^{3/10}$$

$$v_0 = \frac{q}{h_0}$$

ここに、 H ：天端高と堤内地盤高の比高 (m)、 h_c ：天端で生じる限界水深 (m)、 g ：重力加速度 (m/s²)、 h_0 ：等流水深 (m)、 n ：ブロックの粗度

係数、 θ ：法面勾配、 v_0 ：等流流速

今回の実験モデルを実大スケール ($\lambda=15$) に換算し裏法護岸における表面流速を算出すると、2.9~7.8 m/s となり、法覆工としてコンクリートブロック (設計流速~8 m 程度) を選定することが可能である。

②法覆工の照査：前項で選定した法覆工の構造モデルに応じた照査を行う。コンクリートブロックを選定した場合は「滑動-群体」モデルによる照査を実施する。なお、この照査の考え方は「粘り強い河川堤防の構造検討にかかる技術資料(案)²²⁾」においてもコンクリートブロックの安定性の照査方法として援用されているものである。

③揚圧力・パイピングの照査：床止めの構造設計手引き¹⁶⁾、柔構造樋門設計の手引き²³⁾等で用いられている「レインの加重クリープ比」による照査を実施する。本実験条件でレインの加重クリープ比を算出すると、C-1 (法面勾配 1 : 3) において越流水深 20 mm (決壊しない条件) の場合はクリープ比 1.75、越流水深 40 mm に増加 (決壊した条件) の場合はクリープ比 1.63 であり、C-2 (法面勾配 1 : 2、決壊した条件) の場合はクリープ比 1.39 である。よって本構造、本実験からはクリープ比 1.5 程度の確保が望ましいと考えられる。

④法覆工の浮き上がりの照査：揚圧力に対する照査を実施する。浸透流解析の他、上下流水位差から算出した揚圧力を考慮した安定性の照査¹⁵⁾などが考えられる。

⑤ドレーンの設置の検討：模型実験で明らかとなったとおり、ドレーン工を併用して水みちの形

成を抑制するとともに、被覆工下面に掛かる揚圧力を低減することが望ましい。

5. おわりに

本研究では、「粘り強い河川堤防」表面被覆型の設計における検討項目として5項目を提案した。実用化に向けて今後さらに検討すべき項目として、裏法面の圧力の上昇の考慮が挙げられる。模型実験では堤体と被覆材間でルーフィングが発生しており、ルーフィングにより被覆材裏の圧力が上昇していると考えられる。被覆材を設置することによる堤防裏法面の圧力の上昇を表現し、設計における検討項目に取り入れることが有効と考えられる。また、検討項目の5番目で示したドレーン工の規格の検討について、崩壊のトリガーとなる被覆工裏の水みちの形成の抑制にドレーン工が有効であることは実験より明らかであるが、「粘り強さ」を発揮するための構造におけるドレーンの規格の考え方については今後議論する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について 答申，2020.7.
- 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 報告書，2020.8.
- 3) 国土交通省：河川堤防の強化に関する技術検討会 資料，2022.5～.
- 4) 国土技術開発センター：越水に対して「粘り強い河川堤防に関する技術」(技術公募) 資料，2022.9～.
- 5) 国土技術政策総合研究所：粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料(案)，2022.12.
- 6) 国土交通省：河川砂防技術基準設計編第1章第2節 技術資料，2019.7.
- 7) 海野瀬綾乃・大瀧諭・李圭太・岡部貴之・松下朋哉・小高猛司・森安俊介・乙志和孝：粘り強い河川堤防における鋼矢板二重壁補強堤防に関する一考察，第58回地盤工学研究発表会，2023.7.
- 8) 海野瀬綾乃・大瀧諭・李圭太・岡部貴之・松下朋哉・小高猛司・森安俊介・乙志和孝：粘り強い河川堤防における鋼矢板二重壁補強堤防に関する一考察(その2)，第79回土木学会全国大会，2024.9.
- 9) 海野瀬綾乃・李圭太・大瀧諭・松下朋哉・岡部貴之・小高猛司：粘り強い河川堤防における設計照査手法の構築に関する考察，第13回河川堤防技術シンポジウム，2025.1.
- 10) 海野瀬綾乃・李圭太・大瀧諭・松下朋哉・岡部貴之・小高猛司：鋼矢板二重壁で補強された河川堤防における越水時を考慮した設計照査に関する考察，第60回地盤工学研究発表会，2025.7.
- 11) 海野瀬綾乃・李圭太・大瀧諭・松下朋哉・岡部貴之・小高猛司：鋼矢板二重壁で補強された河川堤防における越水時を考慮した設計照査に関する考察(その2)，第80回土木学会全国大会，2025.9.
- 12) 音田慎一郎・肥後陽介・大竹雄・高野大樹・岡本隆明・小高猛司・大瀧諭，松下朋哉，海野瀬綾乃，李圭太：越流侵食に対する河川堤防性能評価手法の高度化に関する技術研究開発(令和5年度 国土技術政策総合研究所 受託研究報告書)，2024.3.
- 13) 持田祐輔・森安俊介・石濱吉郎：「粘り強い河川堤防」の破壊モード・プロセスに関する実験的研究，第12回河川堤防技術シンポジウム，2025.
- 14) 音田慎一郎・肥後陽介・大竹雄・高野大樹・岡本隆明・小高猛司・大瀧諭・松下朋哉・海野瀬綾乃・李圭太：越流侵食に対する河川堤防性能評価手法の高度化に関する技術研究開発(令和6年度国土技術政策総合研究所受託研究報告書)，2025.3.
- 15) 大川果瑠菜・李圭太・岡部貴之・多田篤史・小高猛司：中山間河川の遊水地における浸透に対する安全性評価手法に関する考察，第80回土木学会全国大会，2025.9.
- 16) 国土技術研究センター：床止めの構造設計手引き，1998.12.
- 17) 建設省：河川堤防設計指針(第3稿)，2000.6.
- 18) 国土交通省：河川堤防設計指針，2002.7.
- 19) 国土交通省：美しい山河を守る災害復旧基本方針，2018.6.
- 20) 国土技術研究センター：護岸の力学設計法，1998.11.
- 21) 松岡明・島田裕司・木村優子・森田貴之・諏訪義雄・金目達弥・二瓶功：令和元年東日本台風による荒川調節池流入堤被覆工の被災メカニズム，河川技術論文集，第27巻，pp.153-158.

2021. き, 1998.10.
- 22) 国土技術政策総合研究所：粘り強い河川堤防の構造検討に係る技術資料（案），2022.12. (投稿受理：2025年7月8日)
- 23) 国土技術研究センター：柔構造樋門設計の手引

要 旨

越水しても決壊しにくい「粘り強い河川堤防」の取り組みが進められている。本報では堤防裏法面にコンクリートブロックを施した「粘り強い河川堤防」表面被覆型を対象としている。まず本構造の類似事例として、越流を考慮した既往河川構造物の設計概要を収集整理した。次に越水時における本構造の崩壊のトリガーとなる現象を把握することを目的とした越流侵食実験を実施し、表面被覆材設置時の堤体内の間隙水圧、法尻洗堀、堤体と被覆材間のルーフィングを観測することにより、このトリガーとなる現象は堤体の内部侵食であることを示した。これら検討結果より「粘り強い河川堤防」表面被覆型構造における設計方針（案）として、本構造の設計の際の検討項目として5項目を提案した。