

令和元年東日本台風による荒川調節池流入堤 災害復旧工事について

森田 貴之

元 関東地方整備局 荒川上流河川事務所 工務課 (〒350-1124埼玉県川越市新宿町3-12)

現 関東地方整備局 河川部 水災害対策センター (〒330-9724埼玉県さいたま市中央区新都心2-1)

2019年10月の東日本台風の影響に伴う降雨により、荒川本川の水位が上昇し、荒川調節池において洪水調節を実施した結果、流入堤のアスファルトフェーシング護岸が被災した。本施設は治水施設かつ利水施設でもあることから、洪水調節施設として流入施設の機能を早期に復旧すること及び工事に伴い生じる貯水池水位の低下(工事制限水位)期間を短くすることが必須条件となっている。本報告では、被災状況や水理解析により判明した被災原因から復旧工法の選定及び構造の決定について紹介を行い、採用した工法により維持管理を行う上で、新たに生じる留意点と対策案について提案を行うものである。

キーワード 過剰揚圧力、コンクリートブロック、水理模型実験、施工管理、維持管理

1. はじめに

荒川第一調節池は治水を目的にした直轄河川改修事業と、利水を目的にした荒川調節池総合開発事業の共同事業で建設され、本川からの流入部への越流堤の設置をもって2003年度に完成した施設である。流入堤を含む貯水池「彩湖」は、洪水調節施設であるとともに利水施設としても供用し、出水期においても一定の利水容量を確保している施設である。

2. 流入堤被覆工の被災概要

(1) 被覆工の構造

流入堤の構造を表-1、図-2及び図-3に示す。流入堤は法長145.7m、幅200m、8割勾配の形状で、被覆工は

アスファルトフェーシングであり、下面には堤体内浸潤面上昇により空気圧が上昇しないよう碎石層と排気管が設けられている。また、堤体は新設時に地盤及び材料の強度増加を目的とした石灰改良土で施工されている。

表-1 荒川第一調節池流入堤被災時の主要構造

項目	1999年災	2019年災
堤長・天端幅	200m・13.8m	
被覆材・法勾配	アスファルトフェーシング・8割	
堤体	石灰改良	
被覆材厚	30cm	50cm

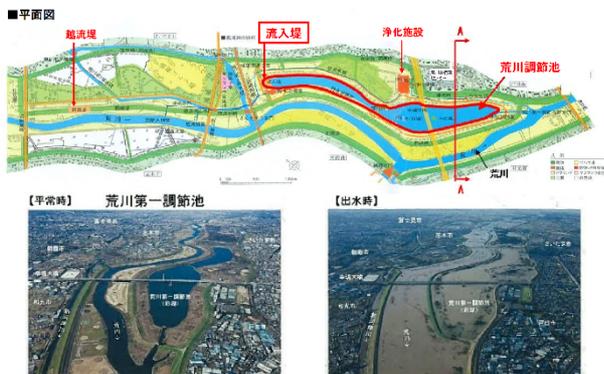


図-1 荒川第一調節池施設概要及び洪水調節状況

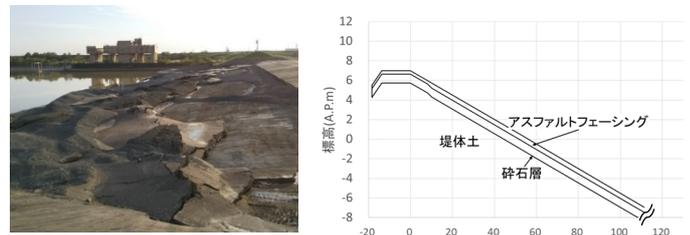


図-2 2019年災害と堤体断面

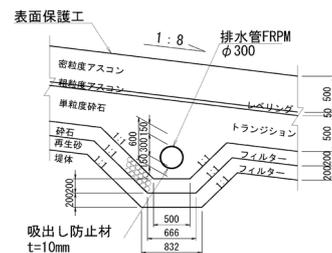


図-3 フェーシング背面の構造

(2) 被災概要

流入堤は1997年の完成後、洪水調節に伴い二度被災している。1999年8月、流入堤の法面のアスファルトフェーシングが法長約30m (A.P.2.0~5.0m)、延長175mにわたり浮上がりや陥没、下部の砕石の流出など大規模な破損が生じ、翌2000年度、50cmに増厚したアスファルトフェーシングとして復旧を行ったが、2019年の令和元年東日本台風による出水により、法長約50m (A.P.0.5~6.0m)、延長200mにわたり、1999年8月と同様な破損が生じた。図-2に令和元年東日本台風による被災直後の流入堤全景写真を示す。

3. 被災要因

上記被災概要のとおり、1999年災と2019年災の被災状況が酷似していることから、2019年災も、流入堤を流下する高流速の流れが調節池湛水面に突入する箇所で見られる跳水が発生し、局部的に水面が低下する跳水始端部で被覆工下面の過剰揚圧力が卓越し、曲げ応力により被覆工が破断し被災したと推定した。

なお、過剰揚圧力、曲げ応力の算定及び各時刻水位データから想定される被災水位(跳水発生位置)の算出による照査を実施したところ、照査により求めた被災位置と破砕単位が現地とほぼ一致することを確認した。

4. 復旧工法の選定

復旧工法は、①堤体全体を不透過構造(CSG工法)に再構築する方法、②被覆工を現状と同じ不透過構造として増厚しや鉄筋等で重量、強度を増加させ、想定される過剰揚圧力に対抗する方法、または、③発生する過剰揚



図-4 荒川第一調節池被災状況

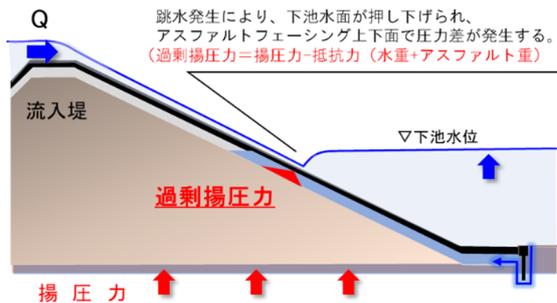


図-5 被災メカニズムの概要

圧力を緩和させる目的で、被覆工を透過性の高い構造に変更する方法について検討した結果、早期復旧が必要とされる制約条件、構造安定性(再度災害防止)、施工性、維持管理性の観点からコンクリートブロック構造を有力工法として選定した(表-2)。

ただし、当該構造の採用に当たっては、流入堤法面を高流速の流入水が流下するため一般的な河川護岸に関する設計基準が適用不可であること、また、復旧形状は、洪水調節開始水位の運用、流速増加への懸念、取付部への影響及び未被災部分との擦り付けから、既設断面形状(天端高・幅・勾配)に近い構造にする必要があった。

これらの解決策として流入堤の断面形状を再現した水理模型実験により、想定される外力に対しブロック安定性の確認を行い重量、護岸構成を決定することにした。

5. 水理模型実験による詳細構造の検討

(1) 実験概要

水理模型実験は図-6に示す3種類、縮尺はいずれも1/15とした。

ブロック被覆構造予備実験では、越流時の高速流及び跳水発生に伴う過剰揚圧力に対して安定するコンクリートブロック構造の適用性の確認を行った。

復旧構造詳細実験では、最終的な復旧工法・形状におけるブロック被覆工の流失安定性の確認を行った。

ブロック不陸影響実験では、施工管理上の閾値把握、復旧完了後の越流・地震で生じる可能性のある不陸がブロック安定性に及ぼす影響を把握し、点検・管理への反映を目的に実施した。

表-2 被覆工復旧工法の比較

	CSG	コンクリートフェーシング	コンクリートブロック
構造	不透過構造 堤体をCSGで再構築。表面コンクリート被覆	不透過構造 コンクリート厚:0.5m	透過構造 ブロック厚:0.5m(2t/個)
対策	流入堤本体を不透過構造に改築	鉄筋追加による曲げ強度増	ブロック表面の不陸防止、ブロックの空隙の維持(間隙の詰まり不可)
被災要因留意事項	大規模地震で発生した堤体クラックによる影響	跳水による過剰揚圧力間隙の揚圧力	掃流力
メリット	過剰揚圧力や堤体内空気の掃流がなくなる	採用実績多い掃流が利用しにくい	過剰揚圧力の緩和 法面の施工性向上
デメリット	大規模な改築となる 越流時へCSG工法を適用した実績なし	冬期施工時の品質確保 法面掘削・鉄筋の加工など、施工性劣る	実験より安定性の担保(重量)が必要 品質確保方法の設定
工期	△	△	○

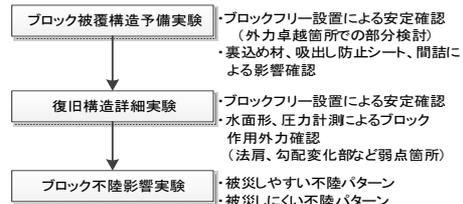


図-6 水理模型実験フロー

(2) ブロック被覆構造予備実験

ブロックによる透過型被覆構造を採用している他の事例によると、ブロック据付時の不陸防止等の観点から、ブロック下面に裏込め材を敷設し、ブロック間の目地はコンクリートにより間詰めされていることから、本構造の適用性を確認することとした。(図-7及び表-3)。

実験の結果、裏込め材と間詰コンありでは、想定外力(流速・跳水)に対し安定性が確認出来なかった。原因は、裏込材の間隙に水流が発生し、ブロック下面に水圧および過剰揚圧力が発生したため、また、間詰コンによりブロックの透過性が低減したためと推察された。

よって、被覆工は、裏込め材及び間詰コンなしの噛み合わせブロック(2/個)構造を採用し、また、堤体土とブロックの間には堤体土の細粒分の流出防止のため吸出し防止シートを設置するものとした。

(3) 復旧構造詳細実験

予備実験で決定した基本構造をベースとして流入堤の復旧断面形状を再現し、流量条件を2019年被災時の流入堤上下流の実績水位(ピーク流量約1400m³/s)及びピストレスチェックとして上流水位AP+11.925m(完全越流時約3,600m³/s)、下流水位をAP+1.65mから潜り越流になる水位まで変化させ、ブロックの安定性を確認したが、いずれのケースにおいても被災しなかった。

(4) ブロック不陸影響の検討実験

ブロック連結金具(シャックル)の遊びの範囲で生じるブロックの段差を8パターン設定し、不陸によるブロック安定性への影響を検討した。実験施設、実験方法等はブロック被覆構造予備実験と同じ条件とした。

実験結果を表-4に示す。被災原因と実験結果を踏まえ、被災が生じやすい不陸パターンと生じにくい不陸パ

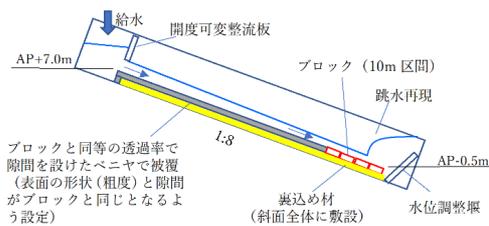


図-7 実験施設(ブロック被覆構造予備実験)

表-3 ブロック被覆構造予備実験結果

ケース	条件			実験結果	
	裏込め材	シート	間詰コン	被災発生条件	被災の状況
1-1	あり	なし	なし	300m³/s 高流速	300m³/sから吸出しが始まり、1,397m³/sでブロック下が完全に空洞化した。
1-2	あり	あり	なし	1397m³/s 跳水時	1,397m³/s 高流速では安定したが、1,397m³/s 跳水作用で跳水始端付近のブロックが浮上した。
1-4	なし	なし	なし	被災なし	2,300m³/s 高流速及び跳水作用に対して安定した。
1-5	なし	あり	なし	被災なし	同上
1-6	なし	あり	あり	2300m³/s 跳水時	1,397m³/s 高流速、跳水作用で安定し、さらに、2,300m³/s 高流速で安定したが、2,300m³/s 跳水作用で跳水始端付近のブロックが浮上した。

ターンに分類が出来た。

約1,400m³/s以下で被災したケース3-4・3-5は、破壊が開始したブロックに着目すると不陸面が上流に向かって突出する流体力が作用しやすい形状となっている(図-8-1、図8-2)。突出した不陸面に高速流がぶつかり、流体力が作用してブロックに下流方向の転動モーメントが働き、流出に至ったと考えられる。

約1,400m³/sで破壊しなかったケース3-3・3-6は、いずれも流れの上流方向に不陸面が突出しない形状である。また、約1,400m³/s高流速まで安定したケース3-7も同様に上流側に不陸面が突出しない形状であった。

6. 詳細構造における工夫

実験結果から、今回の復旧範囲において裏込め材は設置しないこととしたため、結果的に法面は4.6割と8割法面、平坦部が接続する縦断形状となった。天端範囲は被覆工裏への浸透を抑制するため、被覆工背面の排気・排水を促進する現行の設計思想を引き継ぐこ

表-4 ブロック不陸影響実験結果

ケース	不陸タイプ	不陸諸元	不陸特徴			被災発生条件	被災の状況
			上流側面突出	下流側面突出	複数不陸		
3-1	流水方向の開き	隙間91mm				1400m³/s 跳水時	上流で隙間が生じ、隙間下流ブロックが浮上
3-2	流水直角方向の最大段差	左側沈下122mm 右側突出119mm	✓	✓		1400m³/s 跳水時	500m³/sで変位が生じ、1400m³/s 跳水時に浮上
3-3	下流ブロックが全体的に沈下	下流側ブロックが213mm沈下		✓	✓	被災なし	2300m³/sでも安定
3-4	上流ブロックが全体的に沈下	上流側ブロックが81mm沈下	✓		✓	1400m³/s 高流速	上流側面突出ブロックがめくれ流出
3-5	複数のブロックがランダムに等沈下	1個目213mm沈下 2個目132mm沈下 3個目51mm沈下 4個目264mm沈下	✓	✓	✓	1400m³/s 高流速	上流側面突出ブロックがめくれ流出
3-6	ブロック単体の下面が沈下	上流端81mm沈下 下流端87mm突出		✓		被災なし	2300m³/sでも安定
3-7	複数のブロックがランダムに不等沈下	1個目及び3個目上流端81mm沈下 下流端87mm突出		✓	✓	2000m³/s 跳水	1600m³/s 跳水で変位が生じ、2000m³/s 跳水で浮上
3-8	流水直角方向の最大段差	山型で突出264mm			✓	1400m³/s 跳水時	突出ブロックが浮上

ブロック上流側面が突出⇒被災生じやすい

[3-4]

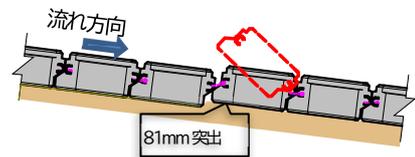


図-8-1 被災が生じやすい不陸パターン

[3-5]

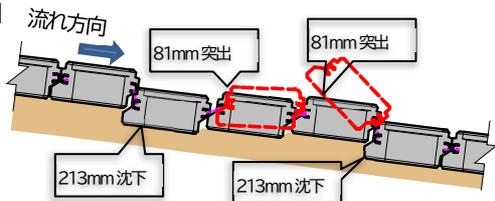


図-8-2 被災が生じやすい不陸パターン

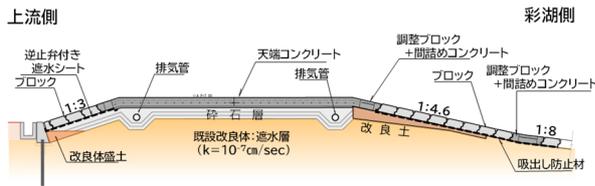


図-9 天端範囲の復旧構造

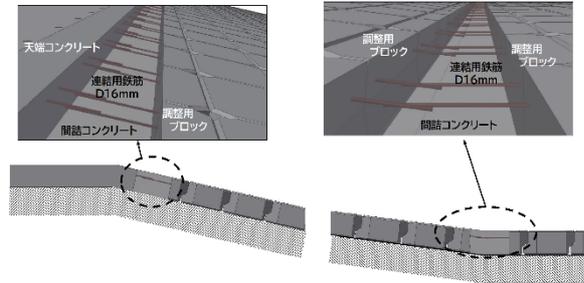


図-10 調整ブロックによる噛み合わせ効果の確保

とし、構造は堤高維持のためコンクリート被覆工を採用することとした。また、天端コンクリート下面は、池水位上昇時の空気残留による揚圧力作用の防止及び堤体内空気の速やかな排気を目的として碎石層及び排気管を存置することとし、彩湖側既設堤体と天端コンクリート間に生じる約 50 cm の段差は堤体土と同様に改良土盛土により調整することとした (図-9)。

上流側法面の被覆工は彩湖側と同様とし、水位上昇期の被覆工裏への越流水の侵入防止と、調節池排水のための水位低下期にブロック背面に残留する水圧の軽減が課題として考えられたため、逆止弁付き遮水シートを設置することとした (図-9)。

また、天端肩部や法面途中の勾配変化点では、ブロックの割り付け上、現場打ちコンクリートで調整する必要があり、ブロック構造の利点である噛み合わせ効果を失うことが懸念された。このため、あらかじめ噛み合わせ部分を標準ブロックと同一形状とした調整ブロックを準備し、現地で連結用鉄筋で一体化し調整コンクリートを打設する構造 (図-10) を考案した。

7. 施工管理と点検

コンクリートブロック被覆工は、ブロック間の隙間や段差が越流時の高速流に対する不安定化に直結することを十分理解し、施工管理及び点検において、図-8-1、図-8-2 のような上流側に突出面を有する不陸が生じていないことを確認することが重要である。

堤体は竣工後約 30 年程度が経過しており、沈下は収束しているものの、大規模な地震や洪水調節後に、今回施工するブロックの不陸等の点検を実施することが今後の課題となる。

対応としては、ICT 施工を行い、点群データを取得して不陸の発生・分布状況を可視化することを提案した。

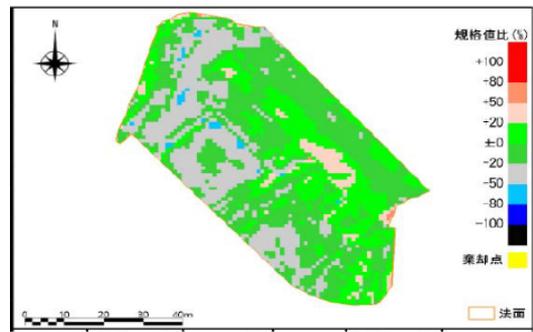


図-11 点群データによる管理イメージ

具体的には、施工中及び施工完了後に三次元測量及び MG・MC 技術を採用し、個々のブロック高さを点群データから可視化し、施工中に加え、地震後や洪水後における点検時等に活用することで、目視確認箇所を絞り込む等の維持管理の高度化、省力化が可能と考える。

8. まとめ

水理模型実験により、詳細な復旧構造の決定及び令和元年東日本台風以上の洪水に対して安全性が確保できることを確認するとともに、ブロック間に発生しうる不陸パターンのうち、流失に直結する不陸パターンを把握することが出来た。

また、流失に直結する不陸パターンから、施工時における現場品質管理及び地震後や洪水後における維持管理の重要性を把握することが出来た。

コンクリートブロックを採用したことにより、材料を工場製作 (大量生産かつ早期搬入) することが出来、更に、ICT 施工による施工効率の向上により、ブロックの据付を3月中、全体工期も6ヶ月で完了見込みとなり、工事制限水位を解除し、洪水調節及び利水への影響を回避することが出来た。ただし、本工法は、災害復旧工事で速やかな復旧を目的とした現場条件や被覆構造に対し、被覆工下面に過剰揚圧力が生じる恐れがある現場条件下でのみ、適用が有効であると考えられる。

今後、工事完成に向けて施工者と施工管理状況について密に情報共有するとともに、工事完成後、維持管理の必要性や手法について所内関係者へ浸透させることに努めたい。

参考文献

- 1) 諏訪義雄：河川構造物と堤内地の洪水応答特性と減災への反映 2.5 越流に対する堤防の応答特性 2.5.5 ウォータークッション減勢のアスファルトフェーシング被災, 中央大学博士論文, pp.121-140, 2021
- 2) 加藤訓史ら：津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.1, pp.31-49, 2014