

河川の超過洪水に対応する橋台背面盛土の保全対策技術の検討

Examination of technologies for conservation measures the back embankment of abutments corresponding to river flooding

(国研) 土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 青木卓也 (Takuya Aoki)
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 山梨高裕 (Takahiro Yamanashi)
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 橋本聖 (Hijiri Hashimoto)
 (国研) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 林宏親 (Hirochika Hayashi)

1. まえがき

平成 28 年 8 月 17 日から 3 個の台風が北海道に上陸し、その後、続いて前線と台風が接近するという事態になり、歴史的で記録的な豪雨に見まわれたことで、道東をはじめとして河川堤防からの越水や決壊による氾濫(図-1)、道路の崩壊や落橋など大惨事となった。そして直ちに被害調査が行われ、土木学会や地盤工学会・地すべり学会の調査団が報告書^{1) 2)}として、今回の気象変動の特徴や洪水および決壊した経緯、要因などが現地踏査や解析などにより報告された。そのようななかで、北海道開発局では、『平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会』が設置され、その提言³⁾において気象変動を考慮した今後の水防災対策のあり方が明記されており、特に許可工作物の対応として橋台背面の洗掘等による橋梁の被災要因を分析して有効な対策の検討が急務、とある。今回の被災でもとりわけ道路交通網の被災は、地域の社会的影響が大きく日常生活にも影響を与え孤立集落を生む重大な損害となる。よって、本研究では道路交通網における重要構造物である河川に架かる橋梁の橋台背面盛土の保全対策の構造に着目した。今回の洪水レベルに相当する河川整備基本方針における超過洪水、いわゆる自然現象の降雨に起因して発生する計画規模を超える洪水外力に対応可能な盛土構造の新技术について、平成 28 年 8 月豪雨で発生した橋梁の被災状況を分析してその被災要因から変状メカニズム、恒久復旧や予防保全に寄与できる対策工技術を考案するために検討した。

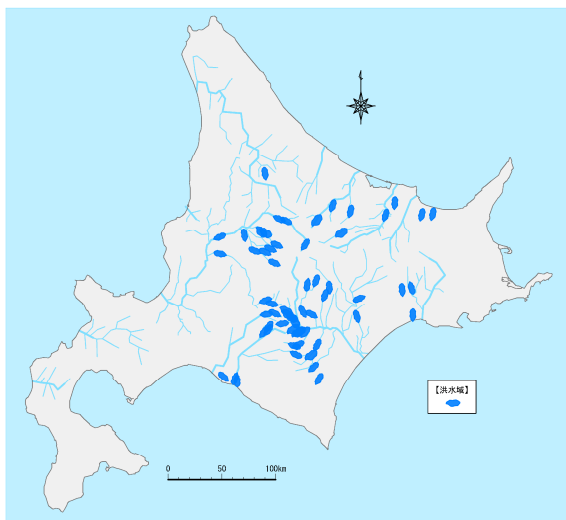


図-1 平成 28 年 8 月北海道豪雨による河川氾濫想定図

2. 平成 28 年 8 月北海道豪雨で発生した橋梁被災の分布と被災形態

2.1 橋梁被災の分布

管理者聞き取り調査で、被災により改めて工事を行わなければならない橋梁は、国・道・自治体の全体で 128 箇所にとどまっていた。小規模な維持的復旧工事を合わせるとそれ以上となる。ここでは被害が比較的大きかった四水系の石狩川水系、常呂川・湧別川水系、十勝川水系において被災橋梁の分布を図-2 に示す。ここでは河川の物理的な特徴を踏まえた区分方法として、河床勾配が同一で類似の特徴を持つ区間毎の河道を区分するセグメント区分を行い、流域として 3 区分とした(表-1)。

表-1 流域セグメント

区分	流域	河川勾配
セグメントⅠ	上流	1/60~1/400
セグメントⅡ	中流	1/400~1/5,000
セグメントⅢ	下流	1/5,000~概ね水平

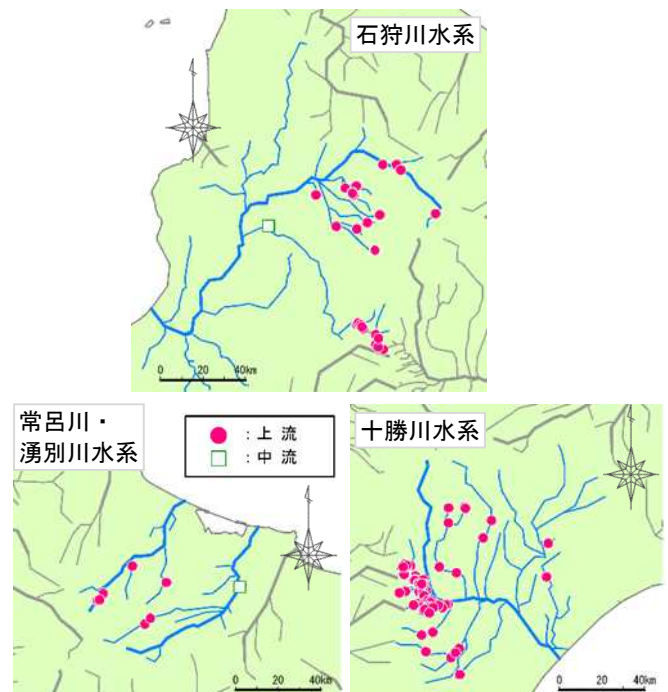


図-2 四水系における橋梁被災位置図

この図から、各水系とも被災した橋梁の多くは、上流部に集中していることが分かる。これは、中下流部の洪水流量と比較して上流部は少ないものの、上流部の河積の広さや自然堤防によるものと推察できる。

2.2 橋梁被災形態の分類

被災した 128 箇所の橋梁について被災形態毎に分類した（表-2）。この表から橋台背面盛土の消失が全体の 58%に及んでいた。現状分析では、洪水が直接あるいは河岸浸食から波及して橋台背面盛土が洗掘されて消失していることが多く、本体が被災した橋梁の内、橋台背面盛土の消失が影響を与えたものが 58%であった。つまり橋台背面盛土が洪水被害に遭わないように保全することが橋梁本体自体も保全し、被害を最小限に抑えることができる、と言える。

表-2 橋梁被災形態の分類

被災形態	基数	セグメント	基数	橋台背面盛土の消失	本体(転倒等)が変状した橋梁
橋梁護岸・根固工等の変状	38	I	35		
		II	3		
		III	0		
橋梁背面盛土の流失	52	I	50	○	
		II	2	○	
		III	0		
背面盛土+橋台の転倒等の変状	11	I	11	○	○
		II	0		
		III	0		
橋台の転倒等の変状	6	I	6		○
		II	0		
		III	0		
背面盛土+橋梁本体(上部工)の変状	11	I	11	○	○
		II	0		
		III	0		
橋梁本体(上部工)の変状	10	I	10		○
		II	0		
		III	0		
合計	128		128	74	38

3. 橋台背面盛土の被災要因に対応する対策工の考え方

今回の被災要因は、今後、明らかにしていくが、今回の調査団の報告書^{1) 2)}と過去に全国で発生した豪雨災害における各調査団の報告書^{4) 5) 6) 7) 8) 9)}や研究機関^{10) 11) 12)}の専門書から改めて図-3 のように分類できる。ちなみに、これらの報告書や専門書は、堤防に関するものではあるが、堤防も橋台背面盛土も、締め固め度等の施工管理も同等であり、その要因や発生メカニズムは時間や規模の違いはあっても根本は同様であると考えられる。対策工を考えるうえで重要なことは、その要因に全て対応できる工法でなければならない。

3.1 浸透破壊

河川水や降雨が土中に浸透し内部破壊する現象であり、従来は遮水シートなどで対応している。しかし、後述する間隙空気による破壊も近年指摘されているところである。

3.2 洗掘（浸食）・河床洗掘（河床低下）

河川水が盛土の表面を徐々に削り取る現象。通常は護岸等で対策しているが、これには遮水シートだけでは対応できず、盛土前面に河川の流耐力や土石・流木などの衝撃に対応する工法を講じなければならない。

3.3 間隙空気

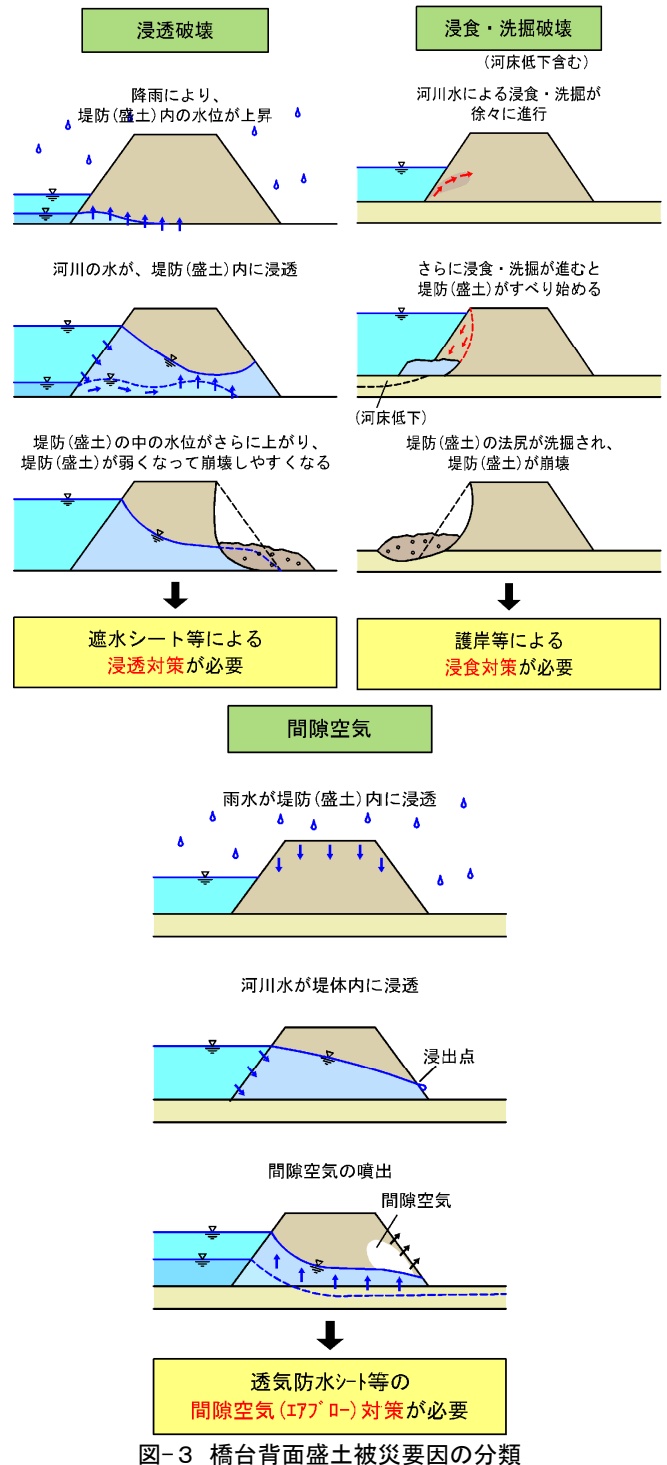
伊東ら¹²⁾は、盛土内への浸水で封入され圧力増大した間隙空気が地表面に噴発することで盛土の弱体化を指摘している。そこで開発されたのが透気防水シートで、その効果を長年研究し成果を出している。

3.4 有効な対策工法

以上を踏まえ、現在ある製品や工法および改良途中品から選定すると、

- ・耐浸透および間隙空気 ⇒ 透気防水シートおよびそれと同等品以上の製品
- ・耐洗掘および河床洗掘 ⇒ 連続箱型鋼製樁、落石ネットを利用した箱型根固め工（仮称）およびそれと同等品

以上の製品が個別要因に対する工法としては有効と考えられる。今後、本災害の被災要因について調査する。



4. 対策工の検討

恒久的な復旧を想定した対策工案を検討する。現在考えられる対策工法を表-3 に取りまとめた。コンクリート構造物や杭構造物の対策は、剛性自体は高いが、橋脚同様に河床低下には耐えられないため転倒や滑動が懸念され不安定構造物になり、簡易に補修しようがない。さらに用地の確保、予算、工期、早期の道路啓開とそれまでの応急対策、さらに全ての橋台について採用することは、ことさら困難を極める。とは言え、多くの橋梁にお

表-3 恒久的復旧工事あるいは予防保全工を想定した橋台背面盛土対策工（案）の比較（1次選定）

対策工種大別		コンクリート構造物	鋼構造物	土構造物Ⅰ	土構造物Ⅱ	土構造物Ⅲ
検討項目	検討細目	擁壁類（逆T・L型・もたれ）、ブロック工（積み）	鋼矢板杭構造物	土壁工（ふとん籠・耐候性大型土のう）＋透気防水シート工	土壁工（落石ネットの箱型根固め工応用）＋透気防水シート工	土壁工（連続箱型鋼製枠）＋透気防水シート工
即効性	設計	・調査と設計が必要で時間を要す	・調査と設計が必要で時間を要す	・設計が簡易	・設計が簡易	・設計が簡易
		×	×	○	○	○
	施工性	・複雑な施工管理や品質管理が必要 ・製作に時間を要す ・資材、材料が多い ・人工も多数必要 ・広大な施工ヤードが必要	・複雑な施工管理や品質管理が必要 ・大型機械（杭打ち機など）が多数必要 ・人工も多数必要 ・広大な施工ヤードが必要	・施工（袋詰め）が簡易で場所を選ばない ・特殊作業員を要さない ・機械は小型バックホウや小型クレーン	・施工（箱詰め）が簡易で場所を選ばない ・特殊作業員を要さない ・機械は小型バックホウや小型クレーン（現地製作ならクレーン不要）	・施工が簡易だが、別場所からのクレーン吊りは出来ない ・特殊作業員が必要 ・機械は小型バックホウや小型クレーン（現地製作ならクレーン不要）
		×	×	◎	◎	○
	市場性	・材料（プラント、鉄筋、型枠等）が近隣にあるか ・現着の時間	・材料（鋼矢板・鋼管）の入手や製作が困難 ・現着の時間	各主要都市にある	主に札幌近郊にある	主に札幌近郊にある
		×	×	○	○	○
	計画性	・機械配備、人的配備に時間を要す ・完成に時間を要す ・仮設を伴う	・機械配備、人的配備に時間を要す ・完成に時間を要す ・仮設を伴う	施工計画が立案し易い	施工計画が立案し易い	施工計画が立案し易い
		×	×	○	○	○
	景観	河川景観性 コンクリートがむき出しだが橋台と同様	鉄がむき出しになる場合がある	黒色の土のう袋が見える	箱内の石が見え自然界と同化	下部に鋼製枠が向きだし（橋台の色と同色）
		△	×	×	◎	○
コスト縮減	経済性	設計費、資材費、人件費等、時間も要し高価	設計費、資材費、人件費等、時間も要し高価	安価	ふとん籠や土のうと比較してやや高価	ふとん籠や土のうと比較してやや高価
		×	×	◎	○	○
機能性	耐衝撃	耐水圧に強靱で洗掘しない	耐水圧に強靱で洗掘しない	流木や土石の衝撃に概ね対応できる	流木や土石の衝撃に対応できる（落石衝突実験済み）	流木や土石の衝撃に対応できる
		◎	◎	△	○	○
	耐洗掘（浸食）	耐水圧に強靱で浸食しない	耐水圧に強靱で浸食しない	耐洗掘に優れている	耐洗掘に優れている	耐洗掘に優れている
		◎	◎	○	○	○
	耐河床変動	基礎が空洞になる可能性有り	根入れ不足になる可能性有り	基礎が空洞になる可能性有り。	フレキシブルに追従する	底盤がないのである程度は追従する
		×	×	×	◎	△
	耐浸透	本体からの浸透はないが端部や継ぎ目からの浸透はある	本体からの浸透はないが端部や継ぎ目からの浸透はある	本体からの浸透はないが端部や継ぎ目からの浸透はある	本体からの浸透はないが端部や継ぎ目からの浸透はある	本体からの浸透はないが端部や継ぎ目からの浸透はある
		○	○	○	○	○
	耐間隙空気	表面は拘束されていないので問題なし	表面は拘束されていないので問題なし	透気可能	透気可能	透気可能
		◎	◎	○	○	○
流体力	本体の洪水による耐流体力	高い	高い	単体で積み重ね。一体力としては低い（1袋1t）	単体（1箱2t）で積み重ね。横方向と積み重ね時の縦方向の剛性（繋ぎ・骨格・支柱）の工夫が必要。	横方向は連続していても一体性がある。積み重ね時の縦方向の剛性（繋ぎ・支柱）の工夫が必要。
		◎	◎	×	○	○
剛性	一体力	高い	高い	単体で積み重ね。一体力としては低い（1袋1t）	単体で積み重ね。横方向と積み重ね時の縦方向の剛性（繋ぎ・骨格・支柱）の工夫が必要⇒ジョイントコイルや強繊維紐で対応可	横方向は連続していても一体性がある。積み重ね時の縦方向の剛性（繋ぎ・支柱）の工夫が必要。
		◎	◎	△	◎	○
維持管理	部分補修	滑動・転倒等があった場合は、取り壊して再施工	引き抜き必要、部分的な打ち直しは当初施工時と同様でさらに施工が困難	損傷部だけの部分的補修が可能	損傷部だけの部分的補修が可能	損傷部だけの部分的補修が可能
		×	×	◎	◎	◎
長期耐久	恒久性	高い	高い	仮設の域を超えない	箱型は高い、シート耐久性は10年単位（カタログより、再検討）	鋼製枠、シート耐久性とも10年程度（カタログより、要検討）
		◎	◎	△	◎	◎
コスパ		×	×	△	◎	◎

いて現状復旧や護岸の新設や延伸程度で完了としてしまうのは、再度被災するのは明らかである。これらを考慮すると、土構造物Ⅱ（透気防水シート＋連続箱型鋼製枠）およびⅢ（透気防水シート＋落石ネットを利用した箱型根固め工（仮称））が適した工法である、と判断される。この工法は、維持業者が簡易に施工出来、複雑な施工管理が伴わないこと（熟練された作業員しか出来ない、人数に左右されるなど）、短時間に材料が現着する市場性があること、広い施工ヤードを必要としないこと、大型機械は使用しない、短時間に施工が完了でき施工計画の立案が容易なこと、通常時の河川景観にも影響を与えない、と利点も多い。その模式図を図-4に示す。

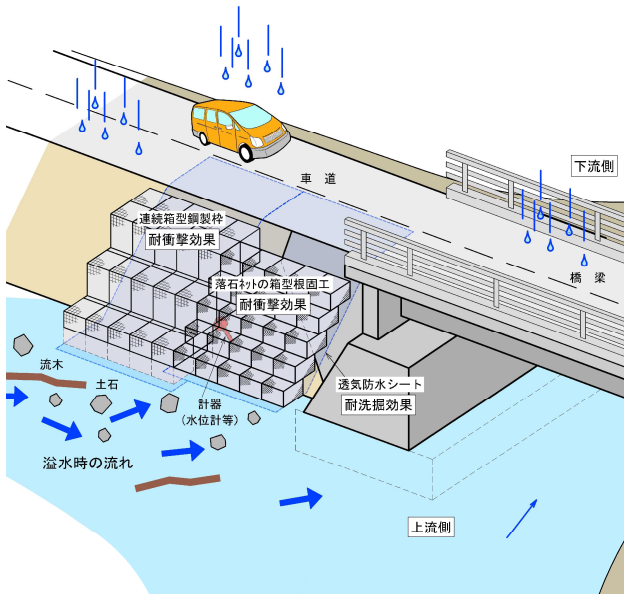


図-4 透気防水シート＋連続箱型鋼製枠（図左側）および落石ネットを利用した箱型根固め工（仮称 図右側）の模式図

本対策工案については、被災要因をフルスペックで対応できる方法として捉えた。各々の被災要因に応じた対策のみを選定することでも問題はない。

今後、明らかにすべき事項や改良すべき箇所がある。河床の洗掘を想定した構造物の工種分類や根入れ深度の確定、さらなる構造物自体の剛体力の向上（縦横方向）、詳細部分では土工部と基礎部の端部処理、背面盛土のり面の河川下流側対策の必要性、構造物の流耐力を念頭に本対策工の適応性などがある。また、基礎的調査では、対策工選定や要因推測のための現地地質調査の手法について提案したい。これらについて、水理模型実験や数値解析などで検証しつつ、同時に中小河川の上流部の自然堤防区間において実物大実験へと進めていく予定である。

5. まとめ

以上より、

- ・平成28年8月北海道豪雨災害による橋梁被災は道路交通網の遮断には致命的であり、それは支流の上流部で多く起こっていた。
- ・平成28年8月北海道豪雨の橋梁被災では橋台背面盛土の消失が起因となり橋梁上下部に影響するケースが多かった。
- ・つまり、橋台背面盛土が保全出来れば、橋梁本体への影響も少なく被害規模が小さくなる、と言える。
- ・そこで、橋台背面盛土へ洪水の影響に耐えられる対策工種を検討した結果、土構造物Ⅱ（透気防水シート＋連続箱型鋼製枠）およびⅢ（透気防水シート＋落石ネットを利用した箱型根固め工（仮称））が効果的な対策工と考え、今後、検討する。
- ・委員会の提言に即した流耐力に対応した工法の検討を行うため、1/50～1/70 水理模型実験や数値解析、中小河川の上流部の自然堤防区間において実物大実験を行う。

参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会 HP : <http://www.jsce.or.jp/>, 社会支援部門, 災害速報。
- 2) 公益社団法人地盤工学会 HP : <https://www.jiban.or.jp/>, 災害関連。
- 3) 北海道開発局 HP : <http://www.hkd.mlit.go.jp/>, 河川。
- 4) 土木学会平成23年台風12号土砂災害現地調査団 : 土木学会平成23年台風12号土砂災害調査報告書, pp.37-41, 2014。
- 5) 合同四国水害調査団 : 2014年台風12号及び11号緊急災害調査, pp.23-27, 2014。
- 6) 東北大学災害科学国際研究所 : 平成26年7月山形豪雨・土砂災害緊急調査報告。
- 7) 公益社団法人土木学会, 公益社団法人地盤工学会 : 平成26年広島豪雨災害合同緊急調査報告書, pp.33-51, 2014。
- 8) 鬼怒川堤防調査委員会 : 鬼怒川堤防調査報告書, pp.3-1-3-37, 2015。
- 9) 平成28年台風第10号水害土木学会・地盤工学会合同調査団 : 平成28年台風第10号による岩手県災害調査報告書, pp.30-35, 2016。
- 10) 財団法人北海道河川防災研究センター : 河川堤防の漏水対策技術, 2004。
- 11) 財団法人国土技術研究センター : 河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）, 2012。
- 12) 伊東ら, 河川堤防の浸透強化対策のための透気防水シートの有効性 : 第52回地盤工学研究発表会（名古屋）, pp.885-886, 2017。