

堤防決壊時における氾濫流がある中での緊急締切工事等の事例紹介

前田 俊一* 島田 友典**

1. はじめに

平成 27 年の鬼怒川の洪水¹⁾、平成 28 年の北海道・東北の洪水^{2), 3)}、そして平成 29 年も 7 月の九州北部の洪水⁴⁾ と、近年、非常に深刻な水害が毎年のように発生しており、気候変動の影響により水害が激甚化してきているように思われる。特に平成 28 年 8 月には、1 週間に 3 個の台風が北海道に上陸(1 年に 3 個の台風の北海道上陸は観測史上初めて)した後に、台風 10 号が観測史上初めて太平洋側から三陸地方に上陸したこともあり、多くの方が気候変動を実感したものと思われる。

平成 28 年 8 月の北海道における豪雨災害に対しては、国土交通省北海道開発局と北海道が共同で、「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」を設置し、平成 29 年 3 月には「今後の水防災対策のあり方」⁵⁾ がとりまとめられている。この「あり方」には、「今回の北海道大雨激甚災害により、気候変動の影響による水害の激甚化の予測と懸念が現実になったものと認識すべきである」、「新たな対策を講じなければ、治水の安全度が低下することとなり、これまで整備されてきた堤防等の治水施設が洪水に対して対応できる能力も低下し、激甚な災害の頻発が避けられないという、これまで経験したことのない困難な時代を迎えている」との文言が記載されており、気候変動による水害の激甚化に対する警鐘を鳴らしていると言えよう。

このように水害の激甚化が次第に現実のものとなりつつある中で、堤防決壊が今後増加することが懸念されるが、北海道開発局と寒地土木研究所寒地河川チームでは十勝川千代田実験水路⁶⁾ (以降「千代田実験水路」と称する)等を用いて越流による堤防決壊後の決壊口*¹の拡幅のメカニズム等に関する研究を実施している。平成 26 年度からは、堤防決壊後に河川水が氾

濫して堤内地に流入している状況で、決壊口を早期に締め切る技術の開発・研究を行っている^{7), 8), 9)}。これまで決壊口の締切については、洪水後に河川水位が十分に下がり氾濫が収まってから実施される場合がほとんどで、氾濫中に決壊口の締切工事を実施した事例は、昭和 56 年 8 月の台風 15 号出水による小貝川の堤防決壊事例¹⁰⁾ 等、数える程度しか存在しない。氾濫中の締切工事の実施事例が少ない理由は現場条件が厳しいからであり、作業の安全性等を考慮すると、洪水が収まってからの実施にならざるを得ないと判断した事例が多かったためと思われる。しかしながら、堤防決壊による氾濫が発生している状況においては、早い段階で締切工事に着手して総氾濫ボリュームを少しでも低減することができれば、それに応じて洪水被害も減少し得る。このため、仮に悪条件(例えば、悪天候、夜間、周辺の大半がアクセス道路を含めて浸水、河川水位が堤防天端付近にあり堤体がほぼ飽和、決壊口の流れが高速等)が幾つか重なった場合には氾濫中の締切が困難だとしても、条件が比較的厳しくない場合には、氾濫中に効率的に締切を行うことのできる技術の開発が求められている。また、平成 28 年のように 1 週間に 3 個の台風が北海道に上陸した実績を考慮すると、早期の締切は次の洪水に備えるという意味でも極めて重要である。このため、寒地河川チームでは、重機を用いた効率的な締切手法の検討を行いつつ、実際の現場での堤防決壊時のオペレーションに関する情報を収集している。

本技術資料は、寒地河川チームが収集した最近の堤防決壊時における氾濫流がある中での緊急締切工事の事例に加えて、施工内容がそのような緊急締切工事に類似している低水路内の主流路の切替に伴う締切工事の事例を紹介するものである。なお、事例収集に際しては、関係者に対して聞き取り調査を実施している。

本技術資料が、河川管理者や災害協定業者等の堤防決壊後の緊急復旧工事に携わる方に対して、参考になれば幸いである。

*¹ 堤防決壊により堤防が消失した箇所。氾濫流が発生している場合には、そこから氾濫流が堤内地に流れ込んでいることになる。

2. 堤防決壊時における氾濫流がある中での緊急締切工事の事例

第2章では、氾濫流がある中で堤防決壊箇所を締め切った近年の4河川での事例を紹介する。河川の規模、決壊口の幅、水理条件（流速、水深等）及び決壊口へのアクセスの容易さ等の現場条件並びに重機や資材の調達環境が様々であったことから、具体的な締切手法も結果として様々なものになっている。

2. 1 空知川

2. 1. 1 洪水及び堤防決壊の概要

前線と台風10号の接近に伴う平成28年8月29日からの大雨により、31日の深夜から未明にかけて北海道空知郡南富良野町の幾寅地区では、空知川の堤防が2箇所決壊し（写真-1 以降それぞれを「上流（決壊）箇所」と「下流（決壊）箇所」と称する）、小支川の氾濫と相まって約130ha²が浸水し、多くの家屋浸水や農地冠水等により甚大な被害が生じた。この洪水で幾寅地区の直下流に位置する金山ダムでは、計画高水流量（1,000m³/s）を超える既往最大の約1,600m³/sのダム流入量を記録している（図-1）。上流箇所の決壊原因については、越流の痕跡が見られたこと等から越流によるものと推定されているが、侵食が堤防に及んだ可能性も否定できないとされている¹¹⁾。また、下流箇所の決壊原因については、目撃者の証言や目撃者の撮影した写真から、主に上流決壊箇所から流下してきた大量の氾濫水による堤内から堤外への越流によるものと推定されており¹¹⁾、結果として、下流箇所の決壊後には、上流決壊箇所からの氾濫水の多くが下流決壊箇所から空知川に戻ったことになる。なお、これらの決壊箇所周辺の堤防は完成堤（天端幅4.0m、法勾

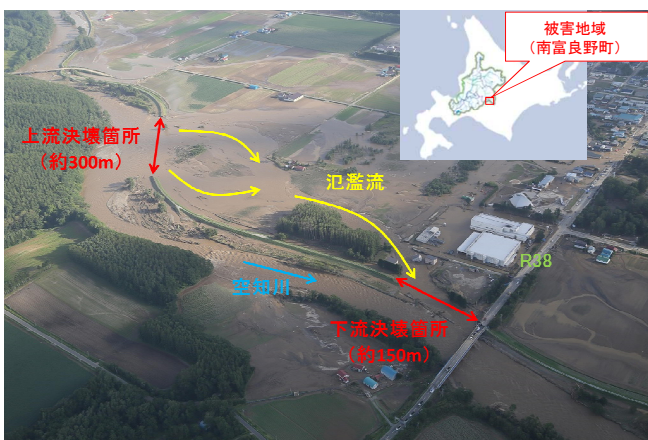


写真-1 空知川の氾濫状況

（8月31日16:10撮影 北海道開発局提供 一部加筆）

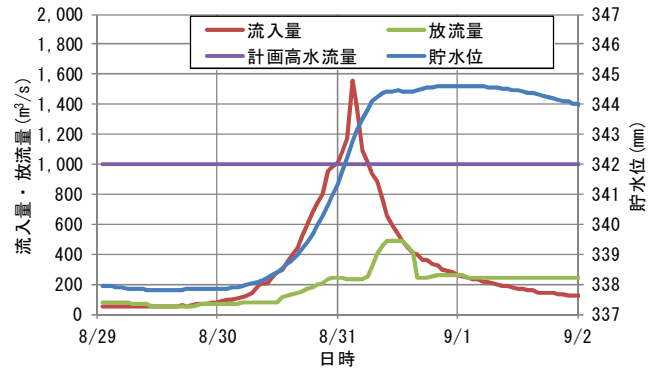


図-1 金山ダムの流入・放流量¹¹⁾

配2割）である。また、この付近の川幅（左岸堤防の表法肩～右岸無堤部の河岸の肩）は平均100m程度、河床勾配は1/180程度である。最終的な決壊幅は、上流箇所です約300m、下流箇所です約150mであった。

2. 1. 2 上流決壊箇所の締切工事の概要

空知川上流決壊箇所（施工延長約300m）での緊急復旧工事では、工事初日（9月1日）に仮堤防築造のための仮設道路造成と並行して、氾濫流がある中で小堤防築造による締切工事が実施されている。仮堤防、仮設道路及び小堤防の位置関係は写真-2のとおりである。緊急復旧工事に着手した9月1日の早朝時点で河川の流量はかなり減少しており（図-1）、氾濫流量もそれに応じて減少していた。また、上流決壊箇所からの氾濫水のお大半は下流決壊箇所から空知川に戻っていたので、早期に氾濫を止めても浸水被害の軽減は期待できない。しかしながら、①高水敷が侵食によって流出してしまっていたため、低水路からの氾濫がなかなか止まりそうにないこと、②上流側決壊箇所の氾濫を止めないことには下流側決壊箇所の工事に着手できないこと、③台風12号の接近による天候の悪化が懸念さ



写真-2 仮堤防築造、仮設道路及び小堤防築造の位置関係
（9月3日撮影 北海道開発局提供 一部加筆）

れており、空知川の流量が増える可能性があることから、仮堤防の築造に先立ち、小堤防の築造による決壊口の締切作業が行われた。

小堤防の築造が決定された時点で仮堤防築造のための決壊箇所への仮設道路（堤防天端を含む）は整備中で、決壊箇所周辺には氾濫によって土砂が堆積していたため、トラフィカビリティの問題からダンプ等による締切資材の搬入は不可能であった。このため、迅速に調達できた 0.7m³ 級のバックホウが水の引いた箇所を通過して決壊箇所に到達し、氾濫流のある中で地耐力を確認しつつ、洗掘による深掘箇所を避けながら周辺の土砂を寄せ集め、上流側からの片押し作業で在来堤防よりも少し堤内側に小堤防を造成し、9月2日0時には氾濫を止めることができた。写真-3を見ると、小堤防の法線が深掘箇所を避けるために不自然に曲がっていることがわかる。また、小堤防は仮堤防が完成するまでの短期間氾濫を防ぐものであるため、必要最低限の大きさとしつつ、ダンプや 1.2m³ 級のバックホウが乗る可能性も考えた天端幅としていた（写真-3）。



写真-3 小堤防の法線と標準断面図
（9月2日撮影 北海道開発局提供 一部加筆）

2. 1. 3 緊急締切工事に関する考察

ダンプ等による締切資材の搬入は不可能であったにもかかわらず、空知川での締切作業が無事終了した要因としては、以下のことが考えられる。

（1）河川の最上流部である現場特性を最大限に活用

締切作業が円滑に進んだ理由の一つとして、堤防決壊箇所が空知川の最上流部に位置するという現場特性を最大限に活用したことがあげられる。具体的には、①決壊口周辺には砂礫主体の土砂が堆積しており、一定の地耐力があり、バックホウで作業ができたこと、②堆積していた砂礫主体の土砂の水切れが良く、盛土材料としてそのまま活用できたこと、③氾濫流量がか

なり減少していたために氾濫流の流速が大きくなり、周辺に堆積した土砂の盛土でも氾濫流で流出せずすんだこと（割石やブロック等の重量のある資材を用いなくてもよかったこと）である。①及び②は河床材料が砂礫主体となっている河川の最上流部の河床材料の特性を活用しており、③は、河川の最上流部であるが故に、ピーク後の洪水流量の低減が早く、それに応じて氾濫流量の減少も早いという特性を結果として利用したことになる。ちなみに、堤防決壊の図上訓練では、トラック等でブロック等を運搬して決壊口に投入する方法を想定しているケースが多いと思われるが、この事例のように現場条件によっては、重量のある締切資材を調達せずとも、現地の材料だけで締め切ることができる場合もあることに留意すべきである。

（2）深掘箇所を回避した施工

施工ボリュームを減らすために、地盤の高いところで締切を行うことが締切作業の原則であり、一般的な適用例としては、落掘*²を避けるように荒締切*³の施工法線を決めることがあげられるが、空知川では、深掘箇所を避けながら現実的な小堤防の位置を決めることのできたことが非常に大きい。このような地盤高を考えた締切作業は多くの現場で考えるべきことである。

2. 2 柴山沢川

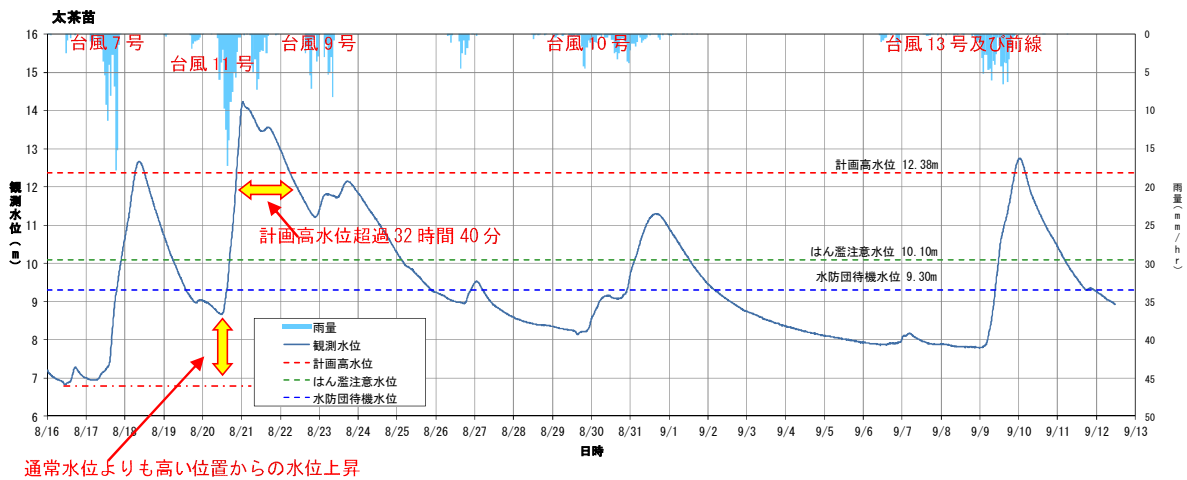
平成 28 年の洪水では、空知川以外にも常呂川水系の柴山沢川で氾濫水が引かないうちに締切工事が実施されているので紹介する。柴山沢川では空知川と異なり、締切資材として大型土のうや砕石等の資材を調達して工事を行っている。また、空知川の決壊箇所が直轄管理区間であったのに対し、柴山沢川の決壊箇所は 2 条 7 号区間（背水区間）であったため、川の規模は空知川よりもかなり小さい。なお、工事中の決壊口内の流速は小さかったものの、特に工事の初期の段階では水深が比較的大きい中で作業が行われている。

2. 2. 1 洪水及び堤防決壊の概要

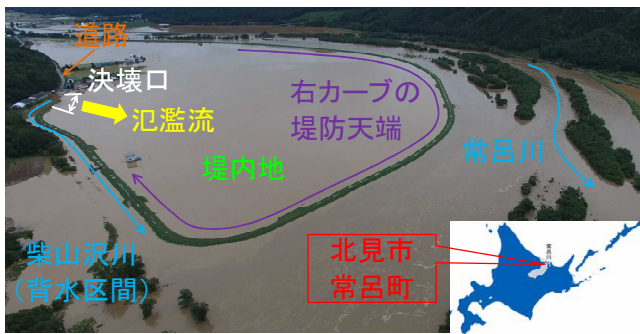
北海道北見市常呂町の日吉・福山地区では、台風 11 号に伴う豪雨によって平成 28 年 8 月 20 日から 8 月 21 日にかけて常呂川の水位が計画高水位を大きく超えた結果（図-2）、本川堤防からの越水による堤防法崩れや支川 2 箇所（柴山沢川、東亜川で各 1 箇所）における堤防決壊が発生し、外水及び内水の氾濫によって約

*² 決壊口からの氾濫流によって周辺の地盤よりも深く掘り込まれて窪地になった箇所

*³ 氾濫流量の低減や決壊口の閉塞を目的に実施される工事（荒締切工）によりつくられる仮設構造物



図一 太茶苗観測所観測水位変動時系列¹²⁾ (太茶苗観測所の位置は、柴山沢川の常呂川合流点から下流に約2kmの地点)



写真一 柴山沢川の氾濫状況 (北海道開発局提供 一部加筆)



写真一 柴山沢川の緊急締切完了 (北海道開発局提供)



写真一 柴山沢川の堤防決壊 (8月21日11:20撮影)

流に進んだ場所である (写真一)。堤防決壊の原因については、常呂川の背水が原因の越水によるものと推定されている¹³⁾。決壊箇所周辺の堤防は完成堤 (天端幅5.0m、法勾配2割) である。また、この付近の川幅 (左岸堤防の表法肩～右岸無堤部の河岸の肩) は約20m、河床勾配は約1/100である。写真一は決壊から数時間が経過した時点の決壊箇所の状況で、写真一は緊急締切の完了時点の状況である。締切工事に大型土のう、碎石、ブルーシート、敷鉄板等を使用したことがわかる。

2. 2. 2 締切工事の概要

柴山沢川の決壊箇所が常呂川の背水区間に位置していることから、理論上は、堤内地の湛水位が常呂川の水水位 (常呂川の柴山沢川合流点水水位) に至るまで氾濫水が流入し、堤内地の水水位が常呂川の水水位と等しくなった時点で氾濫水の流入が停止したことになる。おそらくは決壊後比較的短時間の内に氾濫水の流入は収ま

400ha¹³⁾ が浸水し、死者も1名発生した。

柴山沢川では、8月21日の未明から早朝にかけて2条7号区間上流端近傍の左岸堤防が約100m¹³⁾にわたって決壊し、常呂川本川右岸堤防との間の約71ha¹³⁾が浸水した (写真一)。決壊箇所 (決壊口の最上流端) は一般道の終点から柴山沢川の堤防天端を30mほど下

り、その後は徐々に常呂川の水位が低下していったため(常呂川の本川水位のピークは図-2に示すように8月21日の0時頃)、堤内地の氾濫水もそれに応じて徐々に自然排水されていったと推定される。したがって、堤内地の浸水面積や浸水深も自然排水量に応じて徐々に減少していったと考えられ、決壊口を早期に締めても浸水被害の軽減は期待できない。しかしながら、台風9号の北海道への接近が懸念されていたため、再度の浸水を防ぐために早急に締切工事が実施されることになった。締切工事の標準断面は図-3に示すとおりであり、大型土のうと碎石で仮堤防を築造し、最後にシートで仮堤防を覆うというものであった。

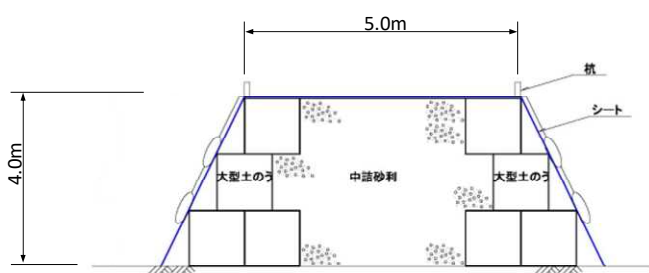


図-3 締切工事の標準断面図(北海道開発局提供 一部加筆)

以降、関係者への聞き取り調査結果をもとに、締切工事の概要を対話形式で記載する。聞き取り調査の対象は河川管理者である北海道開発局網走開発建設部北見河川事務所と、締切工事を担当した建設会社である。ここでは現場での具体的な締切工事の状況を紹介することが主目的のため、建設会社の現場代理人の方のお話を中心に記載する。

Q: 工事着手前後の状況を教えてください。

A: 堤防が決壊した8月21日の夜に北見河川事務所から仮堤防の標準断面図が示されたので、8月22日から工事に着手できるように必要な資材や人員の調達を大至急行った。18日にも台風7号による大雨で常呂川がHWLを超えており(図-2)、常呂川の水位がまだ十分下がらない内に台風11号が接近していたため、今回も常呂川の水位がかなり上昇するだろうとの予測のもとに、河川事務所から各災害協定業者に対して、小型土のうや大型土のうの製作が早めに指示されていた。したがって、各災害協定業者はある程度の数の大型土のうを準備しており、当然、我が社も柴山沢川の堤防決壊前に大型土のうを用意していたが、それだけでは数が足りなかったため、隣の網走川の水防拠点で別の災害協定業者が製作した大型土のうを譲り受けて柴山沢

川に運び込んだ。しかしながら、それでも数が足りず、大型土のうを追加で製作することになった。このため、現場近くで資材の仮置きヤード兼大型土のう製作ヤードとして使うための土地を借りた(写真-7)。この土地は以前に別の工事で借りたことがあり、所有者も把握していたのですぐに借りることができた。なお、決壊箇所周辺の道路は浸水で至る所が通行止めになっており、工事着手時点では資材の運搬路は山の中を通る大回りの1ルートしか無かった。



写真-7 資材の仮置きヤード兼大型土のう製作ヤード

Q: 当時は周辺で多くの災害が発生していたので、作業員の方や資材等を含めて協力業者の確保には苦労しませんでしたか?

A: 18日に常呂川でのHWL超えがあったことから、協力会社として頼りにしていた建設会社やリース会社には、夜間を含めていつでも対応できるように予めお願いしていた。ただし、同時多発的に災害が発生していたので、協力会社も作業員等を集めるのには苦労したようだが、予め依頼していなかったら、もっと苦労したかもしれない。なお、当時は、人の確保だけではなく、食事の確保も大変だった。付き合いのある仕出し屋の弁当だけでは十分な食事の量を確保できず、コンビニを何件もまわって弁当をかき集めたほどだった。

Q: 締切作業はどのように進めましたか?

A: 22日の朝から重機や資材を運び込んだ後に、大型土のうや碎石の決壊口への投入を開始した。投入を開始した時点で水位はHWL程度だった。決壊口の上流側から、基本的には最初に仮堤防の法面部分の大型土のうの積上を先行させて、後から大型土のうの間に碎石を投入するという流れである(図-3)。しかしながら、決壊口の最上流端付近は相当深掘れしていたため、土のうを投入しても深みに沈んで消えて無くなっていく

状況で、なかなか締切作業が前に進んでいかなかった。このため、22日17時頃に決壊口の深掘れ状況を確認するためにボートを使って概ねの水深を確認した（写真-8）。たまたま近くで災害の調査を行っていたコンサルタント会社の方がボートを持って来ていたため、コンサルタント会社をお願いして調査してもらうことができた。調査の結果、深掘れの発生している区間は最上流端の十数mだけで、その区間の水深は概ね1~2m、河床高は概ね堤内地盤高-0.5~-1.5m、平均で堤内地盤高-1m程度であった。また、それよりも下流側の河床高は、当初の想定通りの堤内地盤高程度であることがわかり、大変ほっとした。結果的に、深掘れのために、22日の夜から23日の朝までの一晩で締切が数mしか進まなかった。しかし、23日の朝には、水がかなり引いており、柴山沢川の中の土地（高水敷のようにになっている部分）の水深がかなり下流の方まで浅くな

っていることがわかったので、そこに碎石と敷鉄板で仮道をつくり、締切の進捗に伴って仮道を下流側に延ばしていった（写真-9、10）。これにより堤防天端以外の場所からも締切資材の運搬や設置が可能となり、作業がスピードアップした（写真-11）。後から考えると、この仮道が施工のキーポイントだったと思う。結果として、土のうと碎石による締切の完了が25日で（写真-12）、この時点で堤内の氾濫水はほとんど無くなっていた。その後、仮堤防の上に雨水浸透を防ぐためのブルーシートを張る等して、全ての作業が26日に



写真-8 ボートによる深掘れ部の調査
(北海道開発局提供 一部修正)



写真-10 仮道の建設（8月24日の概成時点）
(土木学会北海道豪雨災害調査団提供 一部加筆)



写真-9 仮道の建設（8月23日の着手時点）



写真-11 堤防天端と仮道の両方からの大型土のうの設置
(23日の夜撮影 北海道開発局提供)

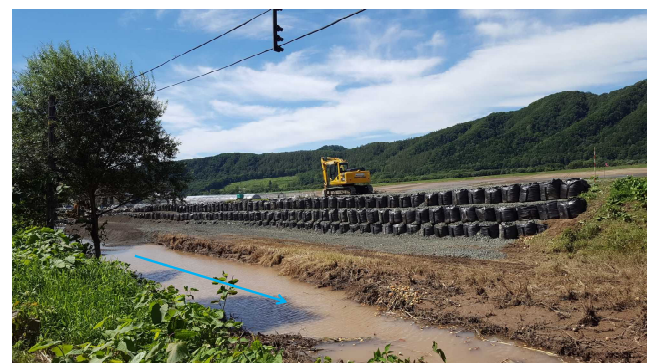


写真-12 大型土のうと碎石による締切の完了

完了した。

Q：決壊口の下流側にもバックホウを配置して、両側から締め切めることは検討しませんでしたか？

A：既存の道路から決壊口の下流側からアクセスするには、常呂川と柴山沢川の堤防天端を3～4kmも進む必要があり、その間にダンプが旋回できる車両交換場所は無かったので、資材運搬のダンプは決壊箇所までバックで進むことになる。実際にダンプの運転手の方にも確認したが、ほぼまっすぐなルートなら、3kmでも4kmでもダンプはバックで進むことはできるが、あいにく堤防天端は、R（カーブの曲率半径）のかなり小さな部分を含んだ右カーブが決壊箇所まで続いており（写真-4）、運転手の方はカーブの状況を直接の目視ではなく、左側のバックミラーで確認しながら進むことになるので、長い距離の堤防天端をバックで進むのは厳しいとのことだった。ダンプがバックで進まないようにするために、初めに砕石等を用いて決壊口近傍の堤防脇に旋回場所の造成を行うにしても、造成のために砕石等を運搬するダンプは、その完了までずっとバックで右カーブの長い距離を進む必要があるため、下流側からの締切作業は現実的ではなかった。その他に、決壊口の流れがかなりあれば、片側から締切作業を進めると、締切作業を行っていない側の堤防が欠けていって、決壊口の幅がなかなか狭くなっていかない（以降、このような現象を「決壊口が逃げる」等と称する）ようなことも起きると思うが、柴山沢川の場合は、決壊箇所が背水区間で貯留型の氾濫ということもあり、決壊口内の流れが緩やかだったので、そのようなことは発生せず、片側からのみの締切作業でも最後まで締切ることができると考えた。また、限られた台数の重機やダンプしか調達できなかったため、それを施工効率の悪い下流側からの締切作業に投入することは避けられたということもある。

Q：締切資材として、例えば、大割石とか中割石や、根固ブロック等の他の資材の使用は検討しませんでしたか？

A：割石はその当時十分な量を集められなかったため、割石の使用は無理だった。また、決壊口の流れが速ければ、大型土のうが流されてしまうかもしれないが、決壊口内の流速は小さく、大型土のうでも大丈夫であると考えた。

A：冬期間に本復旧工事が行われるであろうことから、仮堤防を撤去する際に、冬期間に凍結した土砂等の中から根固ブロックを壊さずに撤去することが難

しいということもある。大型土のうであれば、撤去の際に袋が破れても特に問題は無いと判断した（河川事務所）。

Q：当時、安全管理はどのように考えていましたか？

A：24時間体制の施工なので、夜間作業のために十分な数の照明を用意した。開発局の照明車も常駐してくれたので、夜間でも現場は相当明るかった（写真-11）。また、通常の工事では天気が悪ければ休工になるのだが、今回は緊急工事なので多少の降雨でも工事を行うことになる。とは言っても、川の中での作業であることや、中小河川である柴山沢川は降雨後に急激に水位が上昇する可能性もあることから、強い雨が降ってきた場合には、様子見のために工事を小休止するように河川事務所から指示があり、実際に時折そのような強い降雨があり、工事を小休止した。

Q：その他に、今回の作業を通じて気が付いたこと、感じたこと等がありますか？

A：河川事務所等の職員が24時間体制で現場に常駐し、現場監督や本部（網走開発建設部治水課）からの情報伝達、地元住民対応を担当してくれたため、建設会社は施工に集中できた。

A：他の開発建設部から大勢の応援部隊が来て現場監督や災害申請の作業を手伝ってくれる等、北海道開発局の組織をあげての支援があり、非常に助かった。加えて、OBの方も河川防災エキスパートとして駆けつけて巡視や情報の整理等を手伝ってくださり、大変助かった。また、堤防決壊の図上訓練を事務所でも毎年行っているが、道路の通行止めや仮置きヤードの確保等、締切工事そのもの以外の想定をもっとリアルなものに改善する必要があると感じた（河川事務所）。

2. 2. 3 緊急締切工事に関する考察

柴山沢川での締切作業が円滑に実施された特徴的な要因としては、以下のことが考えられる。

（1）事前の準備

河川事務所が各災害協定業者に対して、小型土のうや大型土のうの製作を早い段階で指示していたことや、災害協定業者も想定される協力業者に対して、いつでも対応できるように予めお願いしていたことが、円滑な初動に少なからず貢献したと思われる。

（2）アクセス路として活用した堤防天端区間の短さ

前述のように、既存の道路から堤防天端を約30m進めば、決壊箇所に着くことができる。このような決壊箇所へのアクセスの良さが効率的な施工に大きく貢献している。

(3) 仮道の造成

柴山沢川の中に仮道を造成したことで、堤防天端以外の場所からも締切資材の運搬や設置・投入が可能となり、施工効率が著しく向上した。

(4) 締切方法の合理的な選択

決壊箇所への下流側からのアクセスが極端に悪かったことに加え、決壊口内の流れが緩やかであるために、片側からのみの締切でも決壊口が逃げることに無しに締切作業を完了できると考えたことから、調達できた限られたリソース（重機、ダンプ）をあえて上流側の締切作業のみに投入して、片側からの締切を選択したことが合理的な判断であった。

(5) ボートを用いた深掘れ区間の調査

ボートを用いて決壊口内の水深を調査し、深掘れ区間が一部であることを確認して、施工ボリュームの見通しをつけることができた。決壊口内の流速が大きい場合は、このような調査は不可能であり、背水区間での堤防決壊で貯留型氾濫となっている現場条件を活かした調査方法である。

(6) 地元業者の強みを発揮

資材の仮置きヤード兼大型土のう製作ヤード用の土地を迅速に借りることができたのは地元業者だからであり、これが後の円滑な施工につながった。

(7) 適切な関係者の役割分担及び支援体制

建設会社が施工のみに集中できるような環境を河川事務所等が作り上げたことや、その河川事務所を支援するために応援部隊が駆けつけたことが大きい。

これらの中には、柴山沢川特有の現場条件に依るものも多く含まれているが、例えば、(1) や (7) は、他の河川の緊急締切工事の現場でも活用できるものであり、有益な情報である。また、(3) は、堤防天端以外にも作業用道路として使用できるスペースがないか、状況の変化に応じて確認することが重要であることを示している。さらに、この事例では、現場近くで仮置きヤード兼大型土のう製作ヤードの土地を確保していたが、堤防決壊の現場には大量の資材が集まってくることから、資材の製作・仮置き・積替等の土地が必要になってくる場合が多いので、このための作業ヤードの確保にも注意を払う必要がある。

2. 3 女満別川及びサラカオーマキキン川

2. 1 及び 2. 2 では平成 28 年の豪雨災害で決壊した堤防の締切事例を紹介したが、いずれも決壊口内の氾濫流の流速が大きくないものであった。2. 3 で

は、平成 27 年の堤防決壊の事例の中から、決壊口での流速が 2. 1 及び 2. 2 よりも大きな場合の締切工事として、女満別川とサラカオーマキキン川の 2 事例を紹介する。締切資材としては、前者では主に割石が、後者では主に大型土のうが用いられている。

2. 3. 1 洪水及び堤防決壊の概要

台風 23 号から変わった温帯低気圧の北海道接近に伴い、網走・北見・紋別地方では、平成 27 年 10 月 8 日昼前から夜遅くにかけて雨が強まった。この大雨による河川の増水で、女満別川とサラカオーマキキン川の北海道管理区間で堤防が決壊し、周辺の農地が冠水した(図-4)。両河川はいずれも網走湖に注いでいる 1 級水系網走川の一次支川である。



図-4 堤防決壊箇所位置図(国土地理院の地図に加筆)

(1) 女満別川の堤防決壊

女満別川の堤防決壊は10月8日16時頃に発生したと推定されており、決壊地点は国道39号線の女満別橋から上流に40mほど離れた場所(左岸)である(写真-13 堤防決壊から8日後の10月16日に撮影)。痕跡水位から洪水ピークでの水位はHWL程度(天端高-0.8m)であり、浸透による堤防決壊の可能性が高い。決壊箇所周辺の堤防は完成堤(天端幅3.0m、法勾配2割)である。また、この付近の堤々間は約60m、河床勾配は約1/700である。

写真-14、15は堤防決壊直後の10月8日16:39に撮影された堤防及び堤内地の状況で、写真-16は、割石等による締切が完了した(最終的な止水作業や仕上げ作業等は未了)10月9日の午後に撮影されたものである。上述のように割石等で堤防の決壊口が締め

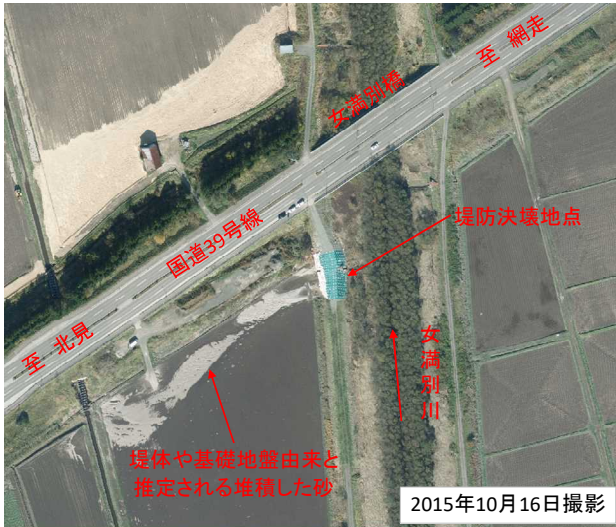


写真-13 女満別川の堤防決壊堤箇所
(北海道開発局提供 一部加筆)



写真-14 女満別川の堤防決壊直後の堤防の状況
(10月8日 16:39 撮影 北海道開発局提供 一部加筆)



写真-15 女満別川の堤防決壊直後の堤内地の状況
(10月8日 16:39 撮影 北海道開発局提供 一部加筆)

切られていること、決壊口が主に下流側に拡幅していき、その際に、樋門の函体上の堤体材料が流出したために、樋門の管理橋が函体の上に落ちて斜めになっていることがわかる。また、写真-13、15 から、決壊口から流出した堤体や基盤由来と推定される砂(現地



写真-16 女満別川の割石等による締切が完了した状況
(10月9日の午後撮影)



写真-17 サラカオーマキキン川の堤防決壊箇所¹⁴⁾ (一部加筆)

で実物を確認済み)が氾濫流の主流方向に堆積していることもわかる。最終的な堤防決壊の幅は約35mであった。

(2) サラカオーマキキン川の堤防決壊

サラカオーマキキン川の堤防決壊は10月9日未明から明け方にかけて発生したと推定されており、決壊箇所(決壊口の最上流端)は北海道道248号嘉多山美幌線に架かる住吉1号橋から堤防天端を25mほど下流に進んだ場所(右岸)である(写真-17)。痕跡水位が堤防決壊箇所近傍の堤防天端付近で確認されたことから越流による堤防決壊の可能性が高い。決壊箇所周辺の堤防は完成堤(天端幅4.0m、法勾配2割)である。また、橋の下流の堤々間(右岸堤防の表法肩~左岸の道路盛土の表法肩)は約40m、河床勾配は約1/800である。

写真-18は、締切工事開始前の10月9日6:39に撮影された堤防決壊箇所の状況で、写真-19は、大型土のう等による締切が概ね完了した(最終的な止水作業や仕上げ作業等は未了)10月10日昼頃に撮影さ



写真-18 サラカオーマキキン川の堤防決壊状況
(北海道提供 一部加筆)



写真-19 サラカオーマキキン川的大型土のう等による
締切が概ね完了した状況

れたものである。上述のように大型土のうで堤防の決壊口が締め切られている他、川表側に止水のために緑色の原反シート（いわゆる「グリーン原反」）が用いられていることがわかる。また、最終的な堤防決壊の幅は約30mであった。なお、締切工事開始前の堤防決壊箇所周辺の状況については、渡邊らによる報告¹⁴⁾があるので参照されたい。

2. 3. 2 締切工事の概要

既に紹介した空知川と柴山沢川の事例では、決壊口を早期に締めても浸水被害の軽減は期待できないものの、天候の悪化に伴う増水による再度浸水の防止や関連する復旧工事の進捗等を目的に緊急締切工事を実施された。一方、ここで紹介する女満別川とサラカオーマキキン川の場合は、締切工事の着手時点で大量の氾濫流が決壊口から農地に流れ込んでいる状況であり、早期の締切が農作物への浸水被害軽減につながり得るものであった。実際に、今回のサラカオーマキキン川の氾濫では収穫直前のビート（テンサイ）畑が浸水してしまったが、北海道オホーツク総合振興局網走建設

管理部（以降、「網走建設管理部」と称する）への聞き取り調査結果によると、通常ビートは3日間浸水すると出荷できなくなるが、結果的には浸水域のビートはある程度は出荷できたとのことであった。氾濫中に実施された締切工事と、別途実施された浸水域最下流部でのポンプ排水により農地の浸水時間が減少したことは間違いないため、今回の締切工事が農作物の洪水被害の減少に貢献したと考えられる。

以降、関係者への聞き取り調査をもとに、両河川の締切工事の概要を対話形式で記載する。聞き取り調査の対象は両河川の河川管理者である網走建設管理部、女満別川の締切工事を担当した建設会社及びサラカオーマキキン川の締切工事を担当した建設会社の3者であるが、ここでは現場での具体的な締切工事の状況を紹介することが主目的のため、両建設会社の現場代理人の方のお話を記載する。なお、聞き取り調査は北見工業大学教授の渡邊康玄氏と共同で実施した。

(1) 女満別川の締切工事

Q：工事着手前後の状況を教えてください。

A：10月8日18時前に、まず女満別川の堤防の決壊状況を自ら見に行き、その後、協力業者の支援も受けて重機やダンプを集めて19時前から作業を開始した。

Q：当時の河川の状況を教えてください。

A：18時前に初めて見た時の決壊口の幅は10m程度だったが、締切作業を開始するまでは決壊口が下流側に徐々に広がっていった。水位は初めて見た時から3時間くらいは非常に高い状態が続き、堤防の天端から1m下がりにくろいだった。その後徐々に水位が下がり、締切作業が3割程度進んだ24時過ぎには水位もかなり下がっていた（写真-20）。



写真-20 女満別川の堤防決壊状況
(10月8日22:42撮影 北海道提供 一部加筆)

Q：締切作業はどのように進めましたか？

A：自社のすぐ近くに砕石業者のヤードがあり、0～80mmの砕石にする前の無選別の割石（200～500kg）がいつも数百 m³ 置いてあることを知っていたので、砕石業者から割石を緊急調達して締切資材として使うことにした。女満別川の堤防の天端幅は約 3m で、0.7m³級のバックホウが1台やっと入っていただける程度の幅しかないで、最初の内は 0.7m³級のバックホウを決壊口の近くに配置した上で、ダンプが女満別橋のすぐ近くの堤防天端に運んできた割石を落として、バックホウが決壊口と女満別橋近傍の割石の山の間を行ったり来たりして割石を決壊口に投入した（写真-21、図-5①）。ダンプで割石をバックホウの近くまで運搬しなかったのは、作業開始前には決壊口が徐々に下流側に広がりつつあったため、バックホウが橋側（下流側）に逃げるスペースを確保することや、ダンプが狭い堤防の上をバックで走行することの危険性を考えてのことである。しかし、この方法だと割石の投入効率が良くなく、幸い割石を投入すると決壊口の拡幅が停止してバックホウが橋側に逃げるスペースを確保する必要がなくなったことから、ダンプがバックホウの近くまで安全に割石を運ぶことができるように 0～80mmの砕石を使って国道から決壊口までの天端を1mほど堤内側に拡幅して約4mまで広げた（写真-22、図-5②）。また、作業している内に、天端が段々うんできたので、元々の天端部分に0～80mmの砕石を補充し、特に川表側の天端の法肩部分には砕石が元々ほとんど無かったので、そこには砕石を大量に入れた。その後、ダンプが決壊口のそばまで近付いた際にバックホウが横に逃げられるように、決壊口付近の天端幅を部分的にさらに約2m広げて約6mまで拡幅した。この結果、ダンプが割石を決壊口のすぐ近くまで運ぶこと

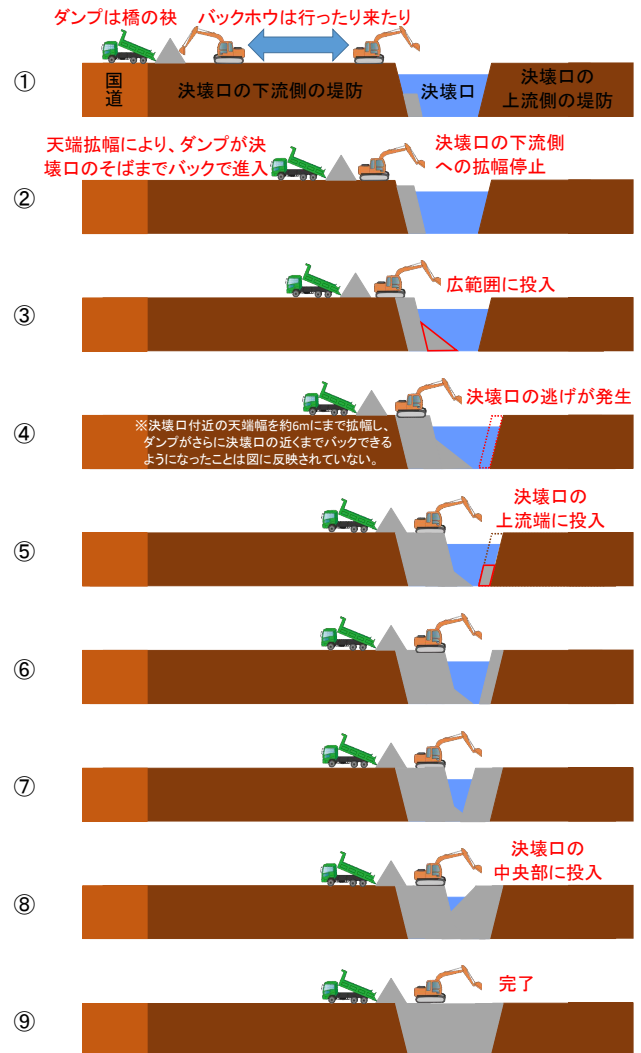


図-5 女満別川の荒締切工の進め方
(左岸堤内地から見たイメージ)

ができるようになり、決壊口への割石の投入効率がさらに上がった。割石と砕石による締切作業が完了したのは翌朝だった。割石で締め切っているのので、その後、



写真-21 締切工事着手直後の状況（北海道提供 一部加筆）



写真-22 天端拡幅後の状況（北海道提供 一部加筆）

大型土のうとグリーン原反等で締切部を覆うことで最終的な止水作業とした（写真-23）。グリーン原反はどこの資材業者にもストックがある一般的なもので、普段は止水のために素掘りの仮排水路の表面に敷いて使うことが多い。



写真-23 止水作業完了状況（北海道提供 一部加筆）

Q: 決壊口への割石の投入手順について詳しく教えてください。

A: 投入の手順としては、まず割石を決壊口の締切作業に着手した側（この場合は下流側）から中央部の広範囲に投入（前進していかなければならないので、当然中央部よりも下流側に多く投入）し、目の前の割石の山が十分に高くなった時点で割石の山にバックホウを載せて前進して行った（図-5③）。割石を早い段階で広範囲に投入したのは、締切の最終段階での決壊口中央付近の深掘れを防ぐねらいがあった。バックホウの8mのアームの先に取り付けてあるバケットが決壊口の上流側の堤防の先端部分に届くようになった段階で、決壊口の中央部付近に投入した割石の一部をすくい上げて上流側の堤防の先端部分に投入し、上流側に決壊口が広がらないようにした（図-5⑤, ⑥）。下流側から締め切っていくと決壊口が上流側に逃げていくことは作業開始時から予想していたが、案の定そのようになったので（図-5④）、一刻も早く決壊口の上流側を割石でカバーしたいこともあり、既に投入してあった割石の一部を再投入したわけである（図-5⑤, ⑥）。中央部付近にも割石はある程度残しておき、締切の最終段階での中央部の深掘れも防ぐようにした。結局、締切の手順としては、下流側及び中央部→上流側→中央部ということになる。なお、作業の途中でバックホウのアーム（バケット）を決壊口に入れて水深を測ったら約2mあった。

Q: 決壊口の上流側にもバックホウを配置して、両側から締め切めることは検討しませんでしたか？

A: 決壊口の上流側の堤防先端部へも物理的にはアクセス可能だったが、狭い堤防天端の上を長い距離移動することになるので、上流側からの締切作業は無理だった。夜間に水を大量に含んだ狭い堤防天端に重機やダンプが載って長い距離を進むのは、トラフィカビリティや安全面から厳しい。特にダンプはバックで決壊口まで進まなければならないので非常に厳しい。仮に上流側からも締切作業を行うとすれば、決壊口までの天端幅を延々と拡幅しつつ、天端にも砕石を補充しながら進んでいくことになるので、天端の拡幅だけで長時間かかってしまい、締切作業までたどりつかない。今回は堤防決壊箇所が国道から非常に近かったのが不幸中の幸いで、延々と堤防を進んでいくような場所で堤防決壊が発生していたら、氾濫中に締切が完了しなかったと思う。また、今回は夜間の作業だったが、国道側に照明を設置して決壊口まで光が届いたことも運が良かった。適当な照明の設置場所が無ければ、そのための天端拡幅も行わなければならないので、その作業も大変である。もし決壊口上流側の堤防先端部へのアクセス距離が短く、昼間の作業であったならば、両側から締切作業を行うことができたと思う。

Q: 割石以外の締切資材、例えば大型土のうや根固ブロック等の使用は検討しませんでしたか？

A: 先ほども述べたように、幸いなことに自社のすぐ近くに無選別の割石があったので、迅速な調達を第一に考えて割石が最善と考えた。また、割石であれば、バックホウのアーム（バケット）の届く範囲内で決壊口内の好きな場所に投入できる上に、割石は噛み合うので流出しにくく、重機がそのまま上に載っても大丈夫なので使用した。もし、2トンの根固ブロックを使うならば、どこにストックしてあるのかを調べて、場合によっては、かなり遠方まで取りに行き、そこから現場まで運ぶことになるので、現場にブロックが到着する時間は割石よりもかなり遅くなるはずである。また、バックホウではブロックを割石のように好きな場所に投入することができず、せいぜい、天端にいったん置いたブロックをバケットで押して決壊口に落とすくらいのことしかできない。また、3トン以上のブロックを使う場合は、クレーンを持って来ることになると思うが、クレーンはバックホウよりも幅広のスペースが必要なので、今回のように堤防天端が狭い場合のクレーンの使用は現実的ではない。ただし、割石

は、0～80mmの砕石と違って、いつでもどこでも希望の量を調達できるわけではないので、量が確保できなければ、ブロック等の他の資材の使用を考えるしかない。また、決壊口内の氾濫流の流速が大きく、割石が流出するようであれば、割石よりも重いブロックを使用することになると思う。今回は概ね必要な量の割石が確保できて、流速も割石が流出しない程度であったことから非常に幸運だった。なお、大型土のうは表面がつるつるして河床面に置いて滑りやすく、女満別川では氾濫流の流速がそれなりにあったので、投入場所にとどまらないで流出するのではないかと思う。また、グラブプル（写真-28）でつかむと破れる土のうがそれなりにあるのではないかと。

Q：当時、安全管理はどのように考えていましたか？

A：作業が長引きそうだったので、重機のオペレーターの交代要員を用意した。実際に深夜に交代させて、その後、朝方にも交代させた。

Q：その他に、今回の作業を通じて気が付いたこと、感じたこと等がありますか？

A：重機の燃料の補給も重要で、実際に今回の締切では、作業途中でバックホウに給油を行っている。また、0.45m³級のバックホウだと幅は2.5m必要で、今回使用した0.7m³級のものと3mの幅が必要となるが、堤防決壊時の締切作業の際にダンプが入って来ることも考えると、天端幅4mで中央の3mに砕石が敷いてあるような堤防が最低限の規格として必要かもしれない。

（2）サラカオーマキキン川の締切工事

Q：工事着手前後の状況を教えてください。

A：10月9日の朝に、現場代理人の私が先遣隊として川の様子を見に行き、その他の者は締め切のための大型土のうの製作を開始した。

Q：当時の河川の状況を教えてください。

A：8時頃に現場に到着して堤防決壊の状況を見ると、聞いていたよりも決壊口が広がっており、大型土のうが400～500袋くらい必要な感じだった。大量の大型土のうの製作には苦労したが何とか必要量を確保できた。

Q：どのように締切を行いましたか？

A：住吉1号橋の袂では橋の直近まで道路の防護柵が設置されている他、路面と堤防天端の段差も大きいことから（写真-24）、橋の袂からは重機やトラック等が堤防天端に進入することはできない。しかしながら、幸い、堤内側に浸水していない農作業用の耕作道路（写

真-17、25）があったので、これを堤防決壊箇所へのアクセス路として活用した。決壊箇所近くまでは比較的容易にアクセスできたが、堤防決壊近傍は相当ぬかるんでいたのも、割石を調達してぬかるみに投入してバックホウが通ることのできる足場を整備した。これだけで2時間くらいかかった。12時頃から決壊口の流



写真-24 橋の袂付近の状況（北海道提供）



写真-25 耕作道路を使用した大型土のうの運搬状況



写真-26 止水作業完了状況
（作業完了から約1週間後に撮影）

水中に土のう投入を開始して 18 時頃には概ねの締切作業(土のうのみによる概ねの止水作業)が完了した。しかしながら、土のうで締め切っても、それなりの漏水があったので、土砂や砕石で間詰めを行い、その後、締切部の川表側の部分(写真-26 中の楕円で囲んだ場所)にグリーン原反を設置して止水作業を翌朝 6 時頃に完了した。締め切った後も、網走建設管理部からの指示に基づき、土のうを元の堤防の高さまで積み上げ、最後に土のうで作った仮堤防全体をやはりグリーン原反で覆った(写真-26)。結果的に約 30m を締め切るのに約 800 袋の大型土のうを使用した。

Q : 大型土のうの投入方法を詳しく教えてください。

A : 土のうを積んだトラックが耕作道路を使って大型土のうを運び(写真-25)、そこから先はバックホウを 3 台使って、バケツリレーのような感じで決壊口に大型土のうを投入した(写真-27)。決壊口のところに配置したバックホウのアームにはアタッチメントとしてグラップル(写真-28)を付けて安全に土のうを水中に投入できるようにした。作業開始時点では、決壊口の締切作業を行っていない側(この場合は下流側)の堤防の先端部分までグラップルが届かなかったため、初めの内は、土のうはバックホウが前進するための足場作りということもあり、バックホウのすぐ近くの水面に投入したが、最初の 150 袋くらいまでは決



写真-27 大型土のうの投入状況

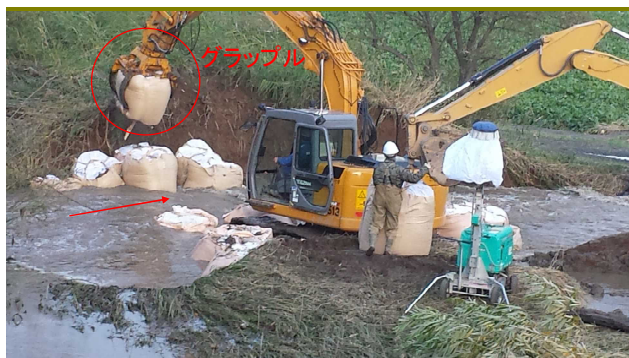


写真-28 決壊口の下流側への大型土のうの投入状況

壊口に投入しても土のうが完全に水没してしまい、どこに行ったのかわからず不安だった(図-6①)。作業の初めの方でバックホウのバケツを決壊口に入れておおよその水深を把握しようとしたが、決壊口が滝壺ようになっていたようで、バケツが底につかないほど深く、水深は少なくとも 3~4m くらいあったと思う。その後投入した土のうが水面に出て、バックホウが土のうの上に乗って前進できるようになったが、安全を確保するためにバックホウを少しだけ土のうの上に乗せて問題の無いことを確認してから前に進めた(図-6②)。問題があればバックホウを少し

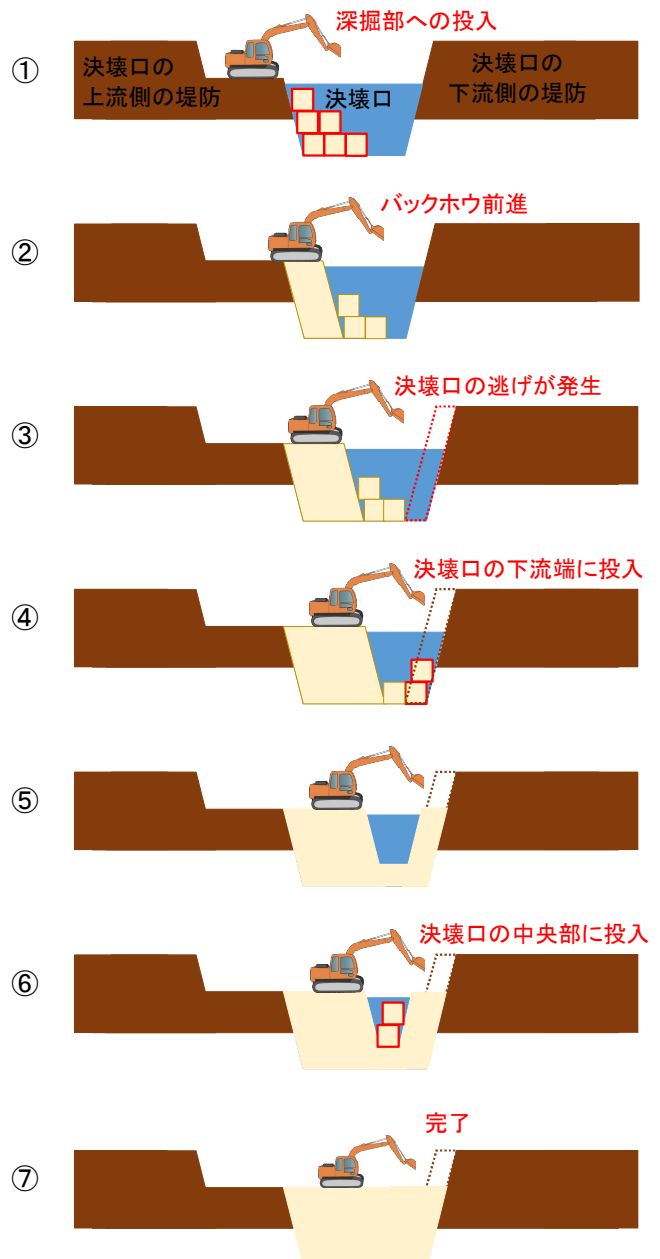


図-6 サラカオーマキン川の荒締切工の進め方 (右岸堤内地から見たイメージ)

載せただけで土のうが動いたり沈んだりするのでわかる。ある程度バックホウが前進して決壊口の下流側の堤防の先端部分にグラップルが届くようになってから、決壊口の下流側に土のうを投入した(写真-28、図-6④、⑤)。決壊口の片側のみから締め切っていけば、締切作業がある程度進捗すると、締切作業を行っていない側(この場合は下流側)に決壊口が逃げることが当初から予測していたが、実際に作業をしてみると本当にそのようになったので(図-6③)、決壊口が逃げることを止めるために下流側に土のうを投入したわけである(図-6④、⑤)。決壊口の中央部は最初に投入した行方不明の土のうで十分覆われているはずなので、決壊口中央部の締切作業が最後まで残っても中央部の深掘れは進まないと考えていた。結果的には上流側及び中央部(行方不明の土のう)→上流側→下流側→中央部という締切の手順で土のうを投入して完了したことになる(写真-29)。



写真-29 大型土のうによる締切が概ね完了した状況

Q：若干の土のうが投入地点から多少下流に流れたようですが、大型土のうを用いた理由は何ですか？

A：網走建設管理部から当初は割石で締め切る方法の指示があったが、近傍での必要量の確保が困難だったので、網走建設管理部との協議の結果、大型土のうで締め切ることになった。割石で締め切るよりは漏水量は少なくなるのではないかと思っていたが、結果的には土のう同士が十分には密着しなかったため、土砂や碎石で間詰めした。グラップルで土のうをつかむと土のうが破れそうなイメージもあると思うが、実際に破れたのは使用した約800袋の内1袋だけである。

Q：当時、安全管理はどのように考えましたか？

A：バックホウのオペレーターは皆熟練者だが、締切

を無理に急ぐとろくなことはないで、オペレーターには、あせらないように、また、足場には気を付けるように指示した。また、堤防決壊現場に隣接する道路(北海道道248号嘉多山美幌線)は通行止めになっていたものの、近隣住民の方が氾濫の状況や締切工事の様子を見るために周辺的生活道路を通過してだんだん集まってきて、道路が彼らの駐車車両で狭くなったことから、自社の作業員2~3名を誘導員として配置した。

Q：その他に、今回の作業を通じて気が付いたこと、感じたこと等がありますか？

A：短時間で重機や資材を集めなければならなかったこともあり、常日頃からの業者間の付き合いが重要だと感じた。

2. 3. 3 緊急締切工事に関する考察

女満別川とサラカオーマキキン川の締切工事では、使用した主要締切資材の種類は違うものの、幾つかの共通点が見られ、それらの多くは締切作業が円滑に実施された要因と考えられるため、まず、ここでは両河川に共通する事項を以下に記す。

(1) アクセス路として活用した作業用道路の短さ

両河川ともに浸水していない一般道から短い距離の作業用道路(堤防天端や耕作道路)を進めば決壊箇所に着くことが施工効率の向上に大きく貢献しており、氾濫中の締切作業の完了を可能にさせた主要因の一つである。

(2) 作業用道路の改良

一般道から先の決壊箇所までの作業用道路は、幅が狭かったり、ぬかるんでいたりする等、重機やダンプが通るには問題があったので、碎石や割石を使用して問題の解決を図った。

(3) 決壊口の逃げを予測

決壊口の片側のみから締切を行う場合、締切作業がある程度進むと、締切作業を行っていない側に決壊口が逃げていくことを当初から予測していたため、締切作業を行っていない側の堤防の先端部分に、バックホウのアームの先に取り付けてあるアタッチメントが届くようになった時点で、すぐにその部分に締切資材を投入して決壊口が逃げていくことを防いだ。

(4) せめ部*4の洗掘防止対策の実施

締切の最終段階のせめ部を締め切る際に、せめ部での洗掘の発生が懸念されたため、せめ部になりそうな決壊口の中央部周辺にも早い段階で締切資材を投入して洗掘を防止した。

*4せめ工(次のページの*5参照)を実施する箇所



写真-30 締切作業の進捗に伴う決壊口付近の水位変化

(5) 締切資材の投入手順

決壊口の逃げを予測しつつ、せめ部の洗掘発生を懸念していたために、締切資材の投入手順は、締切作業を開始した手前側及び中央部→締切作業を行っていない向こう側→中央部となった。

(6) 決壊口の水深の測定

締切作業の途中でバックホウのアームを決壊口に入れて、概ねの水深を推定しようとした。

これらは、他の現場で緊急締切工事を行う場合には、現場条件に合わせた微調整や柔軟な変更が必要な場合もあると思われるが、非常に参考となる情報である。

次に、サラカオーマキキン川のみで見られたことについて三点記載する。

(1) 堤内の耕作道路の活用

2. 2. 3で述べたことと重なるが、決壊箇所へのアクセス路として堤防天端以外にも使用できる場所が無いかを確認することが重要である。

(2) 非常にぬかるんだ場所での締切資材の運搬方法

決壊口近傍が非常にぬかるんでいたため、バックホウが通ることのできる足場を確保するのがやっとだったことから、その部分ではバックホウによるバケツリレーで大型土のうを運んでいた。このように、悪路のため普通のトラックが決壊口近傍まで近付くことがで

きず、トラフィックビリティの改善も現実的でなければ、バックホウで締切資材を吊って運ぶ方法が有効である。なお、この方法以外にもクレーンで吊って運ぶ方法や、キャリアダンプ(クローラダンプ)に積んで運搬する方法もあり得る。

(3) 締切の進捗に伴う決壊口周辺での河川水位上昇

一般的に締切作業が進むと、決壊口が次第に狭くなるために、せめ工^{*5}を実施する頃には、河川流量が増えていないにもかかわらず、堰上げによって決壊口周辺での河川水位が次第に上昇していくことがある。写真-30の一連の写真は、締切作業の進捗に伴う決壊口付近の水位変化を時系列的に追ったものであるが、荒締切工^{*6}の後半、特に③から④の間で決壊口付近の河川水位の上昇が顕著であることがわかる。このような決壊口周辺での河川水位の上昇は、河川流量がそれなりに減らない限りは、せめ工の完了、すなわち締切の完了まで継続することになるので、締切作業の際には、このような堰上げによる河川水位の上昇も考慮して荒締切の天端高を決めることが必要である。

^{*5} 荒締切工(^{*6}参照)の最終段階における狭くなった決壊口に締切資材を投入して決壊口を閉塞する工事。流速の大きな狭い決壊口に締切資材を短時間で投入することが求められる場合が多いため、工事の難易度が高くなる可能性が高い。

^{*6} 氾濫流量の低減や決壊口の閉塞を目的に実施される工事

3. 低水路内の主流路の切替に伴う締切工事の事例

第2章では、氾濫流がある中での堤防決壊時の緊急締切工事について4河川の事例を紹介したが、第3章では、施工内容がそのような緊急締切工事に類似している低水路内の主流路の切替に伴う締切工事の3事例を紹介する。3事例の内、2事例は災害発生後に流路を切り替える必要性から緊急的に締切工事を行ったものである。残りの1事例は工事の工程計画に従って予定どおりに流路を切り替えており、緊急実施の締切工事ではない。

3. 1 十勝川（千代田新水路）

3. 1. 1 洪水及び被災の概要

平成14年の台風21号は、10月2日に北海道に上陸し、十勝地方では10月1日夜から2日早朝にかけて雨が強まった。この雨による十勝川の増水で、十勝川の低水路と工事中の千代田新水路に挟まれた中島の低み（旧川跡）を流下した洪水が、永久構造物である既設の遮水矢板（写真-31）を超えて新水路に流入していることが10月2日早朝に確認された。千代田新水路付近の洪水のピーク（約3,700m³/s）は10月2日昼頃であり（図-7）、その後、十勝川本川の水位は徐々に下がっていったが、10月7日には越流部の遮水矢板の一部が流水の力で新水路側に折れが曲った（写真-32 当時は矢板が倒れたとされていたが、その後の災害

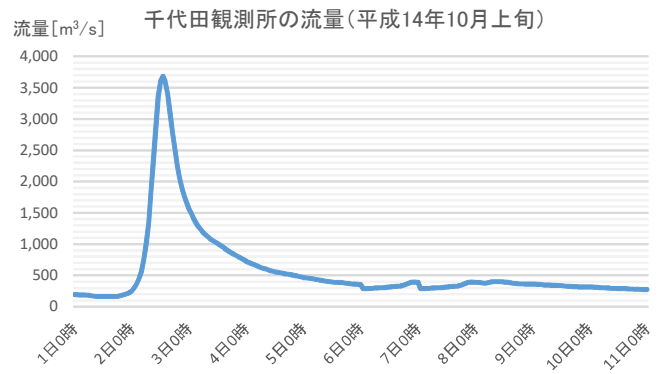


図-7 平成14年10月上旬の千代田観測所の流量
(国土交通省 水文水質データベース¹⁵⁾より)



写真-32 遮水矢板の一部折れ曲がりと締切部下流側の砂州
(10月8日11:30撮影 北海道開発局提供 一部加筆)

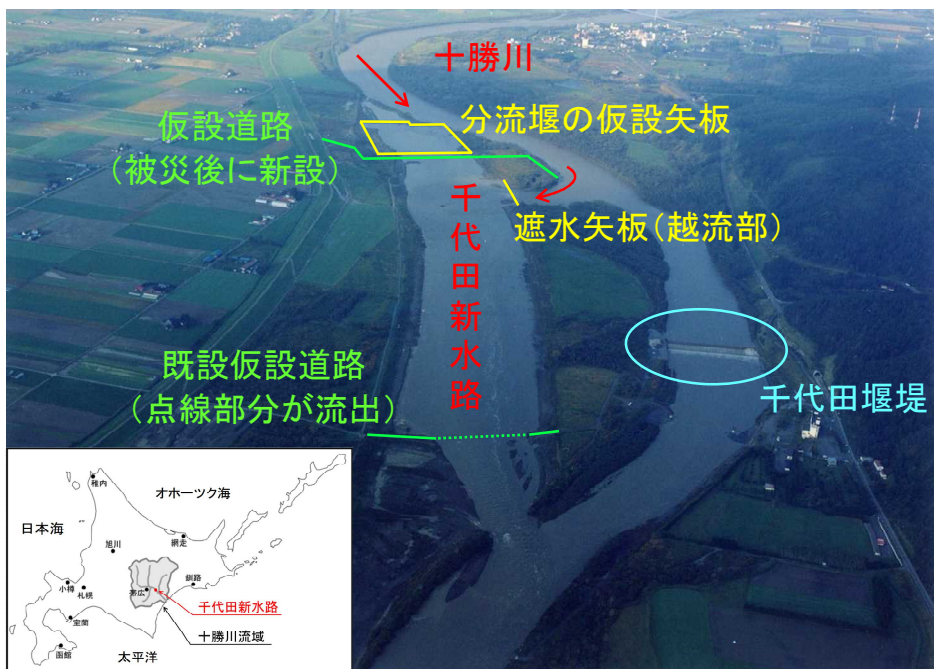


写真-31 工事中の千代田新水路への洪水流入状況 (10月3日7:45撮影 北海道開発局提供 一部加筆)

復旧工事の際に折れ曲がり確認された) ために、十勝川の低水路の河床高よりも低く掘削されていた新水路の河床に向かって十勝川本川の水が大量に流れ込み、採卵用のサケの捕獲場所である千代田堰堤(写真-31)付近の十勝川本川の低水路には流水がほとんど無くなった。10月にはちょうどサケの遡上時期でもあるため、漁業への影響も懸念されたことから、被災した遮水矢板の早期復旧に加えて漁業への影響軽減をはかるべく、切り替わった流路を早急に締め切って、主流路を十勝川本川の低水路に戻すことになった。なお、中島の低みに形成された流路は、幅約120m、延長約200mである。

3. 1. 2 締切工事(1次施工)の当初計画

締切工事(1次施工)を実施する前に立案された当初計画の要点を以下に記す。

(1) 締切場所

被災した遮水矢板の周辺では流速が大きいことから、本川との分流部付近で締切を実施して流れを本川に戻す。

(2) 締切材料

遮水矢板付近ほどではないものの、分流部付近も流速がかなりあるため、現地河床材料(80mm級程度)による締切は困難であると考え、施工性・経済性の観点から主に中割石及び根固ブロックを用いて締切を行う。締切部の標準断面は図-8のとおりで、1次施工は赤枠で囲った部分である。

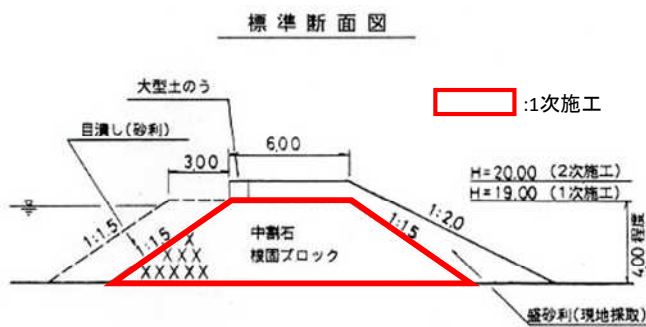


図-8 締切部標準断面図(北海道開発局提供 一部加筆)

(3) アクセス路

洪水により中島に渡る仮設道路(写真-31)が流出しており、被災した遮水矢板よりも下流側の新水路には、十勝川本川のほぼ全流量が流下しているために、流出した仮設道路の短期間での復旧は困難である。このため、流れが無く、新水路に流入した河川水の背水の影響しかない遮水矢板箇所よりも上流(分流堰の下流側仮設矢板の直下流)に、新水路を渡る仮設道路を

新たに整備して(写真-31、33)、中島の締切箇所への上流側からのアクセス路とする。また、切り替わった流路から千代田堰堤の間の十勝川本川には流量がほとんど無くなったことから、重機や作業員はその区間で本川左岸から中島に容易に渡河できるので、中島の締切箇所への下流側からのアクセス路については新たに整備を行わないこととする。



写真-33 被災後に新たに整備した仮設道路
(北海道開発局提供 一部加筆)

(4) 締切方法

締切資材の運搬の容易さを考え、締切工事は基本的に上流側から進めることとするが、締切作業が進んで締切部が狭くなってきた際に、締切部下流側の砂州(写真-2)の侵食(決壊口の逃げに相当)を防ぐために、下流側からは、堤防決壊時に実施する欠口止工*7に相当する最低限の侵食防止作業等を実施する。締切箇所の下流側で使用する締切資材については、締切がある程度進んだ段階で、締切箇所の上流側から大型クレーンで吊って締切箇所の下流側に運ぶ。

(5) その他

仮設道路を整備している間に、切り替わった流路の測量を行い、締切工事に入る前に流路の断面形状を確認しておく(写真-34)。

3. 1. 3 実際の締切工事(1次施工)

当初、締切工事(1次施工)は計画通り順調に進んだ(写真-35)。その後、締切がある程度進んだところで、締切作業を行っていない下流側の砂州が侵食され始めたものの、大型クレーンの作業可能な幅広のヤードを締切部の先端部に造成して(写真-36)、中割石や

*7 決壊口の拡大を抑えるために、ブロック等を決壊口の上下流端部に投入して堤防を防護する工事

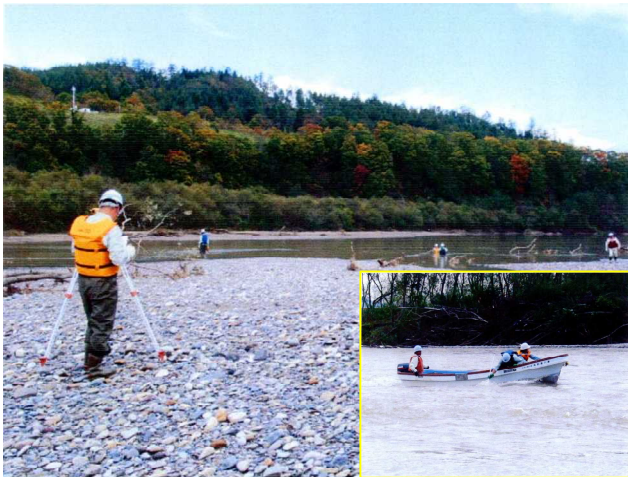


写真-34 締切部周辺での測量実施状況（北海道開発局提供）



写真-35 クレーンヤード造成前の締切工事の進捗状況
（北海道開発局提供 一部加筆）



写真-36 クレーンヤード造成後の締切工事の進捗状況
（北海道開発局提供 一部加筆）

根固ブロック等の資材を下流側に運んだ後に、上流側と下流側の両方から中割石や根固ブロック等を投入した。しかしながら、締切部が10m程度まで狭くなると、締切部内の流速がかなり大きくなり、中割石も根固ブロックも流出するようになった。また、締切部の深掘

れもかなり進んでいるようであった。

下流側の砂州が侵食されていくことや、狭くなった締切部内の流速が大きくなることは当初よりある程度予想されていたが、本川直下流にある千代田堰堤の影響により、締切がある程度進んでも、十勝川本川に流量がほとんど戻らず、想像以上に砂州の侵食が早く発生したり、締切部内の流速が大きくなったようであった。

中割石や根固ブロックの流出により、十勝川の工事で通常使用するブロック等だけでは狭くなった締切部を閉塞することが不可能と判断されたため、港湾工事で使用される10トンの石籠も使用して締切作業を進めることとした（写真-37）。この石籠は北海道開発局帯広開発建設部十勝港湾事業所（現 帯広開発建設部築港対策官）が当該年度に魚礁造成用に製作したものであるが、締切工事を実施している帯広開発建設部帯広河川事務所がこの石籠を十勝港湾事業所から譲り受けて使用した。基本的には石籠を投入した後に、浅くなって流速が低下した石籠の上に中割石等を投入して締切を進めていくこととした。



写真-37 狭まった締切部の激しい流れと締切部の底部に設置された10トンの石籠（一部が見える）

（北海道開発局提供 一部加筆）

特に狭くなった締切部では、『堤防決壊部緊急復旧工法マニュアル¹⁶⁾』にも記載されているように、流速が非常に大きくなるため、周到な計画のもとに迅速に締切資材を投入して短時間で締め切ることが求められるが、大型クレーンで1個ずつ石籠を吊って投入する通常の方法では迅速な締切作業が難しい。このため、締切部の上流側と下流側の両方に石籠を積み上げた上で（写真-38）、バックホウを用いて積み上げた石籠を一気に締切部に押し出すことで（写真-39）、極めて短



写真-38 石籠の積み重ね状況
(北海道開発局提供 一部加筆)



写真-40 石籠の押し出し作業終了
(北海道開発局提供 一部加筆)



写真-39 石籠の押し出し作業開始
(北海道開発局提供 一部加筆)

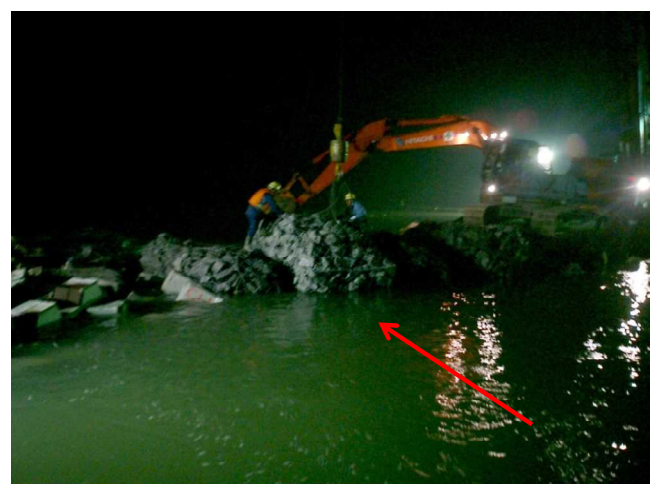


写真-41 石籠の追加投入による隙間の閉塞
(北海道開発局提供 一部加筆)

時間の内に石籠で締切部を概ね閉塞することに成功した(写真-40)。その後、石籠を追加投入して若干残っていた締切部の隙間を閉塞し(写真-41)、締切工事(1次施工)は無事完了した。なお、写真-38、39 から、石籠を上流側に3段、下流側に2段の合計5個を積み重ねたことがわかるが、このように積み重ねた理由は、最後に残った締切部の幅が約5mであったことから、高さ1mの石籠が5個あれば、締切部を概ね閉塞できると考えたからである。

3. 1. 4 締切工事に関する考察

十勝川(千代田新水路)での締切工事は、例えば、狭くなった締切部において河川工事で通常使用するブロック等の資材が流出してしまったことからわかるように、難易度が高いものであったが、以下に、このような難工事を成功に導いた特徴的な要因を記す。

(1) 締切箇所へのアクセス路の整備

湛水してはいるものの、切り替わった流路の流れが直接当たらない部分に仮設道路を新たに整備するとともに、ほとんど流水のない部分の十勝川河床をそのままアクセス路として活用することにより、アクセス路の整備に要する工事量を最小限にして、締切作業への早期着手に努めた。

(2) バックホウとクレーンの使い分け(併用)

締切作業の前半ではバックホウを最大限に活用して締切部を狭めていき、締切作業がある程度進んだ時点でクレーンも投入して作業を進めた。

(3) 下流側の砂州の侵食防止対策

ダンプ等による締切資材の運搬が不可能な締切部の下流側にクレーンを用いて資材を運び込むことで、締切資材の投入を可能にして、砂州の侵食を最小限にと

どめた。

(4) 港湾工事の資材の活用

河川工事では通常使用しないような重い締切資材が必要になったが、港湾事業所が魚礁造成用に製作した10トンの石籠を譲り受けることで、必要な資材を迅速に調達した。

(5) 狭くなった締切部における短時間での資材投入

石籠を積み重ねて一気に締切部に押し出すことにより、狭くなった締切部で求められる短時間での締切資材の投入を可能にした。

この締切工事の最大のポイントは10トンもある石籠の活用である。締切工事を実施した北海道開発局では北海道内の出先機関である10開発建設部(この場合は帯広開発建設部)が、河川、道路、港湾、農業等の基盤整備を所管していることから、出先でも各事業部門間の連携が取りやすく、帯広開発建設部内の調整によって河川部門が港湾工事でちょうど製作したばかりの石籠を容易に調達できたことも締切が無事完了した背景の一つであろう。

なお、今回使用した10トンの石籠以外にも港湾工事では10トンを超える大型のブロックを用いることが日常的にあることから、河川で用いるブロックが重量不足で流出するような場合には、港湾用のブロック等の使用も検討すべきである。ただし、重量のあるブロック等を吊り上げるためのクレーンが必要となることから、幅広のクレーンヤードの確保が必須である。

その他に着目すべきこととしては、クレーンの大活躍である。現場では25トンのラフテレーンクレーンから200トンのトラッククレーンまでを活用していたのであるが、重い締切資材を締切部に投入するだけでなく、砂州の侵食防止に必要な資材の締切部をまたいだ下流側への運搬にまで活用されていたことは既に説明したとおりである。このように河川の規模が大きくなるにつれて締切資材の必要重量が大きくなり、締切工事でのクレーンの使用が増えていくのではないかとと思われる。

なお、この締切工事の難易度を高めた大きな理由の一つとして、大きな固定堰である千代田堰堤が締切箇所直下流にあったことがあげられる。一般に下流に大きな固定堰のある場合は、その上流で水位が上昇しやすく、越水等による堤防決壊の発生する可能性が、固定堰の無い場合に比べて高くなり得るが、このような場所で堤防決壊が発生した場合には、氾濫流のある中での締切工事の実施は、この事例と同様にかかりの

難工事となることが予測されることに留意する必要がある。

3. 2 石狩川(北海道旭川市)

3. 2. 1 工事実施の背景

石狩川本川上流の旭川市街地区間の一部(KP157~166)では、過去に行われた砂利採取や高水敷造成により、河床低下が徐々に進行していたが、近年風化しやすい軟岩が低水路内に露出(写真-42)したために河床低下の進行が速まっており、さらに河床が低下すると護岸や橋脚等の根入れ不足による河川構造物等の安全性が低下する可能性がある。このため、河床低下を抑制し、砂礫床を復元することが喫緊の課題となっている。この課題への対策として、堤防防護ライン及び高水敷の利用状況等を考慮した上で可能な範囲で高水敷掘削を実施して低水路を拡幅するとともに、高水敷掘削で生じた土砂を低水路に敷均す河道再生工事が平成26年度より実施されている。なお、ここでの紹介事例は平成27年度工事である。



写真-42 石狩川の KP162 付近の軟岩の露出状況
(北海道開発局提供 一部加筆)

3. 2. 2 平成27年度工事の概要

工事は以下の(1)~(5)の手順で実施されており、(3)で主流路を低水路内で切り替える際に、主流路の締切が実施されている。図-9では仮締切は全て大型土のうで築造することになっているが、上流側の仮締切築造の最後の部分では、決壊口のせめ部と同様に流速が大きくなるため、実際には大型土のう以外に2.5トンのブロックも投入して締め切っている(後述)。また、クレーン以外にも、近傍に大型土のうを設置する場合等には、可能な範囲でバックホウを用いている。

(1) 左岸高水敷の掘削等

左岸高水敷の掘削を行い、掘削済み箇所に仮締切用の大型土のうを設置するとともに、既設護岸を撤去する。掘削土砂は後で低水路内に還元するために仮置き

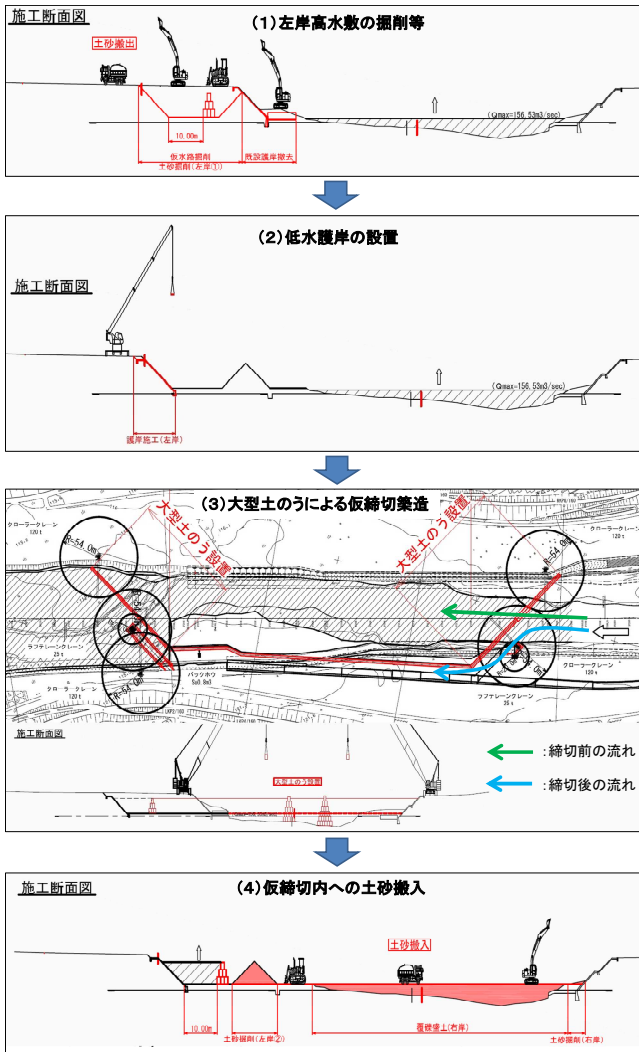


図-9 施工手順（公示図面の仮設の参考図 撤去の図は省略）
（北海道開発局提供 一部加筆）

ヤードに運搬する。

(2) 低水護岸の設置

掘削後の低水路河岸に低水護岸を設置する。

(3) 大型土のうによる仮締切築造

(1) で設置した大型土のうの上下流端から右岸側の低水路河岸までをつなぐ仮締切を築造するために、左右両岸からクレーンを用いて大型土のうを低水路内に設置し、左岸の新設した低水護岸の前面に低水路内の主流路を切り替える。

(4) 仮締切内への土砂搬入

仮置きしてあった高水敷掘削土砂を仮締切内に敷均し、露出した軟岩を被覆するとともに、低水路の深掘部を埋めて二極化した河床地形を改善する。

(5) 大型土のう撤去

仮締切として用いた大型土のうを撤去する。

3. 2. 3 締切方法の詳細

この石狩川の主流路の切替工事は、これまで紹介した事例とは異なり、時間をかけて練られた工程計画に従って実施されたもので、この点が災害時の緊急締切工事とは大きく異なる。工事着手前から、①掘削土砂で被覆する範囲（仮締切の内部）が工事着手前の低水路のほぼ全幅である一方で、高水敷の掘削幅があまり広くないために切替水路の幅が15mと非常に狭いこと、②掘削土砂を敷均す範囲の河床が深掘れ部を中心に低下している一方で、切替水路の河床が相対的に高いことから、主流路の切替の際には、切替水路に河川水が流入しにくく、締切の最後の部分では、せめ部のように流速がかなり大きくなることが予測されていた。このため、大型土のうだけで最後まで締め切るとは困難になると考えて、撤去した既設護岸の2.5トンの古い根固ブロック（昭和51年に設置された合掌ブロック 写真-43）をストックしておき、流速が大きくなり、大型土のうが流出するようになった時点でブロックを締切部に投入することとした。ただし、このような突起部のある根固ブロックだけで締め切ると締切部のブロック間の隙間が多くなり、かなりの流量が隙間を通過してしまうので、根固ブロックの前面（上流側）に大型土のうを可能な範囲で密着させて置くこととした。また、吊ったブロックや大型土のうの自動切り離しのためにオートフック（吊り荷が着地すると自動的にフックが外れるもの 写真-43）を用いることとした。なお、現在は石狩川の当該区間の根固ブロックの必要重量が3トンであるため、2.5トンの古い根固ブロックを新設護岸に流用することはできない。

堤防決壊時のせめ工に相当する締切の最後の部分の施工状況を写真-44~46に示す。前面に（一部は上部



写真-43 オートフックで吊り上げた合掌ブロック
（北海道開発局提供 一部加筆）



写真-44 ブロックと大型土のうの投入状況
(北海道開発局提供 一部加筆)



写真-45 土砂の投入状況 (北海道開発局提供 一部加筆)



写真-46 締切完了後の状況及び63トンのブルドーザ
(北海道開発局提供 一部加筆)

に) 大型土のうが置かれたブロックを二列設置した上で、二列の間に土砂を押し出して締め切っていることがわかる。なお、当初はブロックと土のうから構成される締切を二列設置する予定ではなかったが、激しい流れの中で大型土のうをブロックに密着させてきれい

に積み上げることがほとんど不可能であったために、締切完成後に締切を通過する流量が期待したほどには減らなかったことから、さらに下流側にブロックと土のうでもう一列締切を設置して、通過流量を減らすこととした。また、締切部への土砂の押し出しには、仮締切内に土砂を敷均すために用意した幅約5m、高さ約2mの排土板を持つ63トンの大型ブルドーザ(写真-46)を活用することとし、大量の土砂を短時間で締切部に押し出すことができたようにした。

ちなみに、冬期間の工事ということもあり、締切工事の実施期間中の石狩川の流量は大きくはなく25m³/s程度で、締切に着手する前の水面幅は50m程度だった。水面幅が約15mまで狭まると大型土のうが流出するようになったために、ブロックを投入し始めたが、投入したブロックの一部は転動する等して投入場所の近傍にとどまらないものも見受けられた。締切の最後の部分では当初の予定通りに進まなかったところもあったが、全般的には締切工事は順調に進んで無事完了した。

3. 2. 4 締切工事に関する考察

この工事は工程計画に従って予定どおりに流路を切り替えており、緊急実施の締切工事ではない点が、これまでに紹介した事例とは大きく異なるが、この工事の特徴とともに考察を以下に記す。

(1) よく練られた施工計画に基づく締切工事

古いブロックを締切資材として活用したり、別目的で調達した大型ブルドーザを締切工事にも活用する等、これまでに紹介した緊急締切工事とは異なり、時間をかけて締切工事の施工計画を練った様子が見える。

(2) ブロックの特性の把握

写真-43のような突起のあるブロックは、ブロックが相互に咬み合い流出しにくくなるメリットがあるが、ブロックがあまり入れられていない場所にブロックを投入すると、ブロック同士が咬み合うことなく転動して流出してしまう可能性が高くなると考えられる。一方でブロックが河床に相当数とどまっている状況になれば、河床にとどまっているブロックに引っかかる可能性が大きくなることから、新たにブロックを投入しても流出する可能性は小さくなる。したがって、このような突起のあるタイプのブロックの流出をできるだけ少なくするためには、ブロックが河床にほとんど無い状況下でブロックをいかに流出させないで投入場所近傍にとどめるかがポイントとなる。具体的な方策としては、例えば、平型ブロックのようなより転動しにくいタイプのものを初めに投入して締切

部にこれらによる小山をつくったり、鋼製の立体格子枠や鋼組工¹⁷⁾のような鋼材を組み合わせた構造物を最初に投入する等して、後から投入したブロック等がこれらに引っかかって停止しやすくなるための工夫（以降、「流出防止補助工法」と称する）を行うことが考えられる。また、もし、クレーンの吊り上げ能力に余裕があるならば、2つのブロックをワイヤーで連結することによりブロック重量を実質的に大きくした上で投入する方法も考えられる。なお、投入するブロックの流出が懸念される場合には、より重いブロックを調達して投入することが最も一般的な方法であることは言うまでもない。

緊急締切工事で使用するブロックには様々な種類があり、一般的には、突起が色々な方向に出ている立体型のブロックは重心が高いために転動して流出しやすい傾向がある。石狩川の本川の全流量を切り替えるとは言え、冬季間の流量が少ない状況下で、2.5トンもあるブロックの一部が転動する等して投入場所の近傍にとどまらなかった理由の一つとして、ブロックの形状が影響していた可能性は否定できないと思われる。一方で、平型のブロックは立体型よりも転動・流失しにくいというメリットがある反面、立体型よりも多くの個数を投入しないと、立体型と同様の積上り高さに達しないというデメリットがある。このように、同じ重量のブロックでも形状によって特性が異なるため、選択の余地があるならば、重量だけではなく形状も考慮した上で投入ブロックを選定する必要がある。また、備蓄しているブロックの特性を常日頃から把握しておく必要がある。

3. 3 空知川

ここで紹介する空知川の河道切替に伴う締切工事は、2. 1で紹介した空知川の締切工事に引き続いて実施されたものであるため、洪水及び被災の概要説明は省略し、以降、締切工事の概要等を紹介する。

3. 3. 1 流路切替に伴う締切工事の概要

2. 1で紹介した小堤防の完成後には、元の堤防法線の上に元の堤防と同じ大きさの仮堤防を築造することになっていたが、**写真-47**からもわかるように、主流路が堤防敷付近まで移動しており、そのままの状態では仮堤防の土砂を盛ることができない部分が相当あった。そこで、主流路を右岸側に切り替えた後に仮堤防の築造や高水敷の造成を行うこととなった。また、この締切により、砂州等の河道内の堆積土砂を仮堤防の盛土等に活用することが可能となり、盛土材料に関す

る供給能力不足の解消と運搬時間の大幅短縮も実現することができた（**写真-48**）。



写真-47 左岸堤防法線と切替水路の掘削状況（赤点線）
（北海道開発局提供 一部加筆）



写真-48 河道内の土砂の仮堤防への流用状況
（北海道開発局提供 一部加筆）

まず、主流路を右岸側に振るために、バックホウが右岸側から河道内の砂州に降りていき、砂州の山際の部分を掘削して（**写真-47**の赤点線）切替水路に洪水流を通水した。しかしながら、切替水路の通水だけでは、左岸側の主流路の流量は劇的には減少せず、砂州と左岸側の陸上の両方から締切作業を進めて、主流路を閉じることとした。

締切作業の具体的な方法としては、左岸陸上側からは当初は周辺に堆積していた砂礫主体の土砂のみを用いて締切作業を進めたが、締切が10mほど進むと締切の土砂が流出し始めたために、根固ブロックを投入してから、その背後（下流側）に土砂を入れるようにして締切作業を進めた（**写真-49**）。中州側にはブロック等の締切資材が無いため、中州の土砂のみで締切を進めることとした。その後締切作業は順調に進んだ（**写真-50**）ものの、締切部が10~15mくらいまで狭まると左岸側の根固ブロック背後の土砂や、中州から延ば



写真-49 根固ブロック使用後の主流路を切り替えるための締切工事（北海道開発局提供 一部加筆）



写真-50 流木使用前の主流路を切り替えるための締切工事（土木学会北海道豪雨災害調査団提供 一部加筆）

していった投入土砂が流されるようになり、締切作業が進まなくなった。このため、現場で関係者が集まり、対策を議論したところ、周辺に流れ着いた流木を活用して締切を行うアイデアが出て、それを実践したところブロック背後の土砂が流出しなくなり締切作業を完了することができた。具体的には、以下のような手順で実施された。

- ①周辺に流れ着いた根張の大きな流木を集める（写真-51、52）。
- ②根固ブロックを数個投入する。
- ③根を上流側に配置して、幹が流れの向きに概ね平行



写真-51 堤防決壊箇所周辺の流木



写真-52 流木の収集状況

（締切に対して概ね直角）になるように、また、根の部分ブロックに引っ掛けるようにして流木が流出しにくくなるように、ブロックの上に流木を何本か置く（図-10、写真-53、54）。

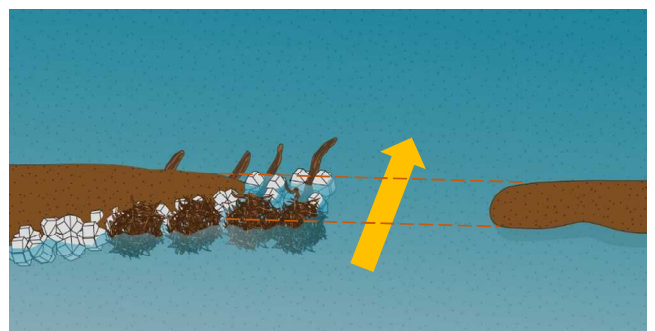


図-10 ブロック上への流木の投入のイメージ



写真-53 流木の投入状況（北海道開発局提供 一部加筆）



写真-54 投入した流木の状況（北海道開発局提供 一部加筆）

- ④締切の高さが不十分な場合には、さらにブロックや流木を積み上げる。
- ⑤適当な高さまでブロックと流木が積み上がったら、土砂をブロックと流木の上や下流側に投入する。土砂は、少しずつ投入すると流出しやすいので、トラフィカビリティがあまり良くなく、かつ狭い締切の土堤上でも問題無く進むことのできる車体上部が回転するキャリアダンプを用いて 10m³ 程度の量を一気に投入し（写真-55）、その後必要に応じてブルドーザで押し出す。
- ⑥①～⑤の左岸側からの作業によって締切部が狭まると、中州側では投入済みの土砂が再度流出することになるため、流出量以上の土砂を投入して中州側からの現状の締切延長を維持する。



写真-55 キャリアダンプによる土砂の投入状況
(北海道開発局提供 一部加筆)

3. 3. 2 締切工事に関する考察

空知川の流路切替に伴う締切工事では、流木の使用が非常に特徴的であるが、締切工事を成功に導いた要因を流木の使用を含めて以下に記す。

(1) 主流路の切替（中州の掘削）

この事例では、主流路を右岸側に切り替えた後に仮堤防の築造や高水敷の造成を行うという施工計画の大きな流れが決まっていた。したがって、主流路を切り替えるために中州の山際を掘削したことは極めて当然のことであるが、実際の堤防決壊の現場では、決壊口直上流への水制の設置や、決壊口とは対岸側の高水敷掘削が、流れを決壊口ではなく本川下流に向ける、すなわち決壊口内の流量を低減する方法として有効であり、『堤防決壊部緊急旧工法マニュアル¹⁶⁾』にもこれらの方法が紹介されている。実際にも、例えば、平成10年に阿武隈川水系の荒川の堤防が決壊した際には、決壊口に向かっていました主流路の切替を行って、決壊口

での流れが弱まった後に締切作業を行っている（図-11）。空知川の事例では、堤防決壊後の緊急締切工事のように、河川の流れが本川下流に向かうものと決壊口に向かうものとの2つに分岐していたわけではないが、締切工事という観点からすれば、締切作業の前段階での中州の掘削は、締切箇所への流量を減らす方法として理にかなっていたとすることができる。このような方法は実際の堤防決壊の現場でも十分活用できる方法なので頭に入れておく必要がある。

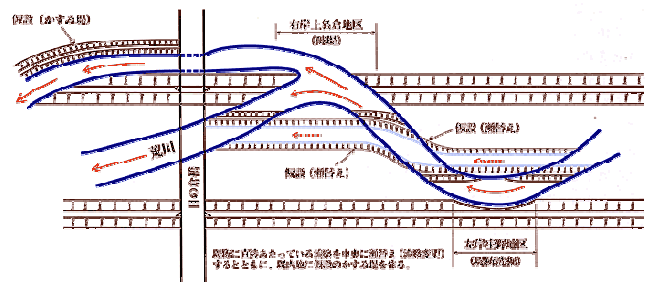


図-11 荒川における主流路の切替（瀬替え）¹⁸⁾

なお、この事例では、中州の山際の掘削幅は、左岸に寄っていた主流路の幅とほぼ同程度であった。切替水路の大きさが少なくとも主流路と同規模くらいはなければ、主流路の流量が大きくは減らないことは想像されたが、その一方で、中州の掘削に投入できるバックホウの台数には限りがあったため、これらのことを考慮して掘削幅は決められたとのことであった。

(2) 流木の活用

本章で紹介した最初の2事例では、締切がある程度進むと締切部内の流速が大きくなり、ブロック等のそれなりに重量のある資材が流出したという状況を説明したが、この事例では、ブロックは流出せず、ブロック背後に投入した土砂が流出したことに着目された。狭くなった締切部周辺の流速はブロックを流出させる程の大きさではなかったものの、投入したブロック群には隙間が相当あったことから、ブロックの隙間を通り抜けた流水によりブロック背後に投入した土砂が流出したものと考えられる。このため、シンプルに考えれば、投入したブロック群の隙間を相当程度減らすことができれば、投入した土砂は（ほとんど）流出しなくなったはずである。

ここでの流木の使用は、投入したブロックの隙間を流木の根系である程度塞ぐことで隙間を減らすとともに、投入した土砂や上流側から流れてきた土砂の内、主に玉石等の比較的粗い粒径のものが根系にトラップされることで、さらに隙間をふさぐことを期待した

ものと解釈できる。また、効果の大小は明確ではないが、根系の流水抵抗によってブロックの隙間を流れる流速を抑えるという効果もあったものと思われる。

なお、このような流木を用いる手法以外のやり方でも投入土砂の流出を抑制することは可能であったと思われる。例えば、以下のような方策が考えられる。

①大型土のうの活用

3. 2の石狩川の事例のように、ブロック投入後に大型土のうをブロックの前面（上流側）に設置することでブロックの隙間を上流側である程度塞ぐ。

②ブロック投入量の増大

ブロックの投入量を増やし、流れに対するブロック部分の厚みを増すことで流水抵抗を増やし、ブロックの隙間を流れる流量を減らす。3. 2の石狩川の事例でも、結果として1列の締切ではブロック投入量が不十分だったためにブロックを追加投入しており、ブロックの投入量を増やすという点では石狩川の事例と類似の方策である。

③ブロックの背後に投入する資材の変更

現地採取の材料よりも粒径の大きな割石等を投入して流出を防ぐ。

④切替流路の断面拡大のための追加掘削の実施

中州の右岸側をさらに掘削することで切替流路の断面を広げて、左岸側の主流路の流量を減らす。

①～④のそれぞれの方策については、コストや実現性等について一長一短があると思われる。どの方法がこの中で最良なのかは現場条件に大きく依存すると思われるので、簡単には結論を出せるものではない。例えば、この箇所よりも下流の富良野市内の空知川では、この事例の直前に発生した別の出水により河岸決壊が生じており、その対応で近傍に備蓄されていたブロックを既に使い切っていたために、この事例の現場には遠方からブロックを運び込まざるを得ない実態があった。このため、災害対応の鉄則である迅速性という観点からは、ブロックの投入量を増やすことは、現実的ではなかった可能性がある。

ここで事例紹介した締切方法は、そのままの状態ですぐに使用できる流木という締切資材を現場内で、かつ無料で調達できたことから、少なくともコスト面や調達の迅速性という観点からは非常に優れた方法である。その上、実際に締切に成功したのであるから、大変素晴らしい方法を選択したとすることができる。上記のようにその他の締切方法は色々と考えられるが、待ったなしの状態の現場で、このような独創的な締切

方法を考えた現場の技術者の方に対しては敬服の念を抱かざるを得ない。流木を使用する方法は非常に特殊ではあるが、緊急締切工事の実施に際しては、締切資材（既製品）の迅速な調達が難しいこともあり得ない話ではなく、技術者は多くの引き出しを持っていることに越したことはないので、現地にある材料の活用も頭の中に入れておく必要がある。

4. 総合考察

特に氾濫流がある中での堤防決壊箇所における緊急締切工事では、現場条件が厳しく、作業の安全の確保等の様々な問題の解決が求められる。したがって、これらの問題を解決できる見通しが立たなければ、氾濫流のあるうちの工事着手を断念せざるを得ず、そのようなケースが圧倒的に多いことは1. で述べたとおりである。これに対して、2. 及び3. で紹介した事例（表-1）は、いずれも氾濫流や低水路内の主流路の流れのある中で締切工事を無事完了させた事例であり、現場条件に違いはあるものの、いずれの現場も問題解決のために様々な工夫を行っていた。これらの工夫については、2. 及び3. で個別に説明してきたが、第4章では、総合考察として、全ての事例を俯瞰した上で、氾濫流がある中での緊急締切工事のポイントや関連する様々な事柄について、堤防決壊箇所までのアクセス路の状況、締切資材の投入重機や運搬車両の調達、締切資材の選定及び締切方法（荒締切工）等の観点で整理して、順に記載していくこととする。

表-1 事例紹介した締切工事が実施された河川

章	締切工事の特徴	河川
2	堤防決壊時における氾濫流がある中での緊急締切工事	空知川
		柴山沢川
		女満別川
		サラカオーマキン川
3	低水路内の主流路の切替に伴う締切工事	十勝川(千代田新水路)
		石狩川(北海道旭川市)
		空知川

4. 1 堤防決壊箇所までのアクセス路の状況

氾濫流がある中、堤防決壊箇所での緊急締切工事を行うには、その大前提として、バックホウやクレーン等の重機や締切資材を運搬するダンプ等が決壊箇所（近傍）まで到達する必要があるため、堤防天端等を含めた決壊箇所までのアクセス路の状況が非常に重要であり、その状況をまず把握する必要がある。通常の場合、重機やダンプ等は一般道を通行した後に、堤防天

端等の一般道よりも規格の低い作業用道路(場合によっては緊急締切工事のために新たに建設した仮設道路)を通して決壊箇所へアクセスすることになるので、決壊箇所周辺の一般道が浸水して通行不能であれば、一般道が通行可能になるまで工事着手はできない。周辺の一般道が通行可能であることが確認できれば、その次には、堤防天端等の作業用道路の状況、つまり堤防天端等のアクセス路としての良否を確認する必要がある。この良否の判断材料としては、堤防決壊箇所までの距離、道路幅(天端幅)、車両交換場所(旋回場所、待避場所)の有無、トラフィカビリティ、維持管理状況等の様々なものがあげられる。これらは、重機やダンプ等が通行するのに何らかの不都合が作業用道路にある場合に、それを改良(一時的な改良も含む)するために要する時間の長さに深く関係しており、結局のところ、この時間の長短がアクセス路としての良否の総合的な指標となる。つまり、改良に要する時間の短い作業用道路が良いアクセス路である。このようなアクセス路の改良に要する時間も考慮した上で、決壊口の締切に要するトータルの作業時間を見積り、予測される洪水の継続時間と比べた上で、氾濫中の締切作業への着手が効果的かどうかを検討して、締切作業に入るかどうかを判断するのが合理的なプロセスであろう。

なお、一般道から先の堤防決壊箇所までのアクセス路としては、堤防天端の使用が最も一般的であるが、それ以外のアクセス路もあり得ないかどうかを状況の変化に応じて確認することが望ましい。堤防天端以外のアクセス路も確保できれば、アクセス路が2つになり資材の運搬や投入のスピードが大いに増す他、何らかの理由で堤防天端がアクセス路として使用できない場合の代替ルートとして活用できたり、堤防天端と合わせて作業用道路をループ化できる可能性も出て来るからである。特に氾濫流がある状態でも決壊口内の水位があまり高くない場合には、堤内や堤外の土地の一部をアクセス路として使用できる可能性があり、柴山沢川やサラカオーマキン川の事例では、氾濫流がある中でも堤防天端以外の作業用道路を使用して資材運搬等を行っていた。また、十勝川の事例では、流れの無い背水区間に作業用道路を新たに整備して資材を運搬しており、理にかなった方法であった。

以降では、堤防天端等の作業用道路のアクセス路としての良否の判断材料となる、堤防決壊箇所までの距離、道路幅(天端幅)、車両交換場所(旋回場所、待避場所)の有無、トラフィカビリティ、維持管理状況

について述べる。

4. 1. 1 堤防決壊箇所までの距離

堤防決壊箇所に通じる堤防天端等の作業用道路の延長については、短い方が良いことは自明の理ではあるが、その理由をよく考えると、延長が短いことの最大のメリットは、作業用道路の通行時間が単に短くなることよりも、堤防天端幅が狭かったりぬかるんでいる等、何らかの不都合が作業用道路にあったとしても、それを改良するための施工延長が短くなり、結果として短時間で作業用道路の改良工事が終わることにある。決壊箇所までの作業用道路の延長が長いために改良に要する時間が長くなれば、改良工事を行っている間に洪水が収まってしまうことも考えられ、そもそも氾濫中の締切作業が現実的ではなくなってしまうこともあり得る。今回紹介した事例の中で工事着手から1日以内に締切(氾濫水を概ね止めるための一次施工)が完了した女満別川とサラカオーマキン川では、近傍の橋梁から堤防天端を20~25m進めば決壊箇所へ到着することができ(ただし、重機等は後者の堤防天端を通行できない)、一般道からの距離が非常に短かった。また、締切延長が長く、仮堤防の断面も上記の両河川よりも大きかったため、両河川よりも締切完了までの日数がかかったが、柴山沢川でも決壊箇所へ上流からアクセスするには堤防天端を30mほど進めばよかった。このように、氾濫流がある中で締切を速やかに完了できた工事は、一般道よりも規格の低い堤防天端等の作業用道路を進む距離が短い場合が多いのではないと思われる。以上のことから、堤防決壊箇所に通じる堤防天端等の作業用道路の延長は、氾濫流がある中での緊急締切工事を実施するかどうかの大きな判断材料になり得ると考えられ、アクセス路としての良否を左右する重要な要素となる。

4. 1. 2 道路幅(天端幅)

河川管理施設等構造令の第21条において、堤防の天端幅は計画高水流量に応じて決められており、計画高水流量が500m³/s未満までは3mとなっている(表-2)。この値は最低基準を定めたものであり、必要に応じて天端幅を拡げることは可能であるが、実態的に

表-2 計画高水流量と天端幅の関係

計画高水流量Q(m ³ /s)	天端幅(m)
Q < 500	3
500 ≤ Q < 2,000	4
2,000 ≤ Q < 5,000	5
5,000 ≤ Q < 10,000	6
Q ≥ 10,000	7

は、例えば、紹介した女満別川のように、計画高水流量が 500m³/s 未満の中小河川では天端幅が 3m となっている場合がかなりある。女満別川の事例(写真-22)からもわかるように、一般的なダンプトラックのような車両は、車両交換場所等のUターンする場所が無ければ、通常は堤防天端をバックで堤防決壊箇所まで進み、資材を降ろした後に前進して一般道まで戻ることになるので、天端幅が 3m では狭すぎて 10 トンダンプがバックで進むことは難しい。また、女満別川の事例で 3m の天端幅を 4m まで拡幅したことからもわかるように、10 トンダンプの堤防天端への進入には 4m 程度(最低でも 3.5m)の幅が必要である。したがって、ダンプによる締切資材等の運搬が必要な締切工事では、天端幅が 4m よりも狭ければ、決壊箇所までの天端を碎石等により拡幅していかなければならないので、拡幅の施工延長が長い場合は、拡幅に要する時間も相当長くなることが考えられる。また、後からも出て来るが、クレーンを使用する場合には天端幅 4m でも不十分であり、クレーンヤードとして使用する場所では、更に天端の拡幅が必要になる。以上のことから堤防天端が広げれば、施工効率も上がる上に、採り得る施工方法の自由度も増すため、道路幅(天端幅)は、堤防決壊箇所までの距離と同様に、緊急工事の際のアクセス路としての良否を左右する重要な要素である。

このため、堤防が完成していても可能であれば何らかの機会をとらえて堤内側への腹付け盛土による天端拡幅を積極的に進めるべきであろう。例えば、完成堤防周辺で河道掘削を行う場合に、堤内側の用地に余裕があれば、残土処理として、そのような腹付けを行う余地があると思われる。なお、腹付けは一連区間で連続して行うもの他に、車両交換場所としての機能を持つような部分的な腹付けも含む。

4. 1. 3 車両交換場所(旋回場所)

河川管理施設等構造令により、計画高水流量が 500m³/s 以上 2,000m³/s 未満までの河川の場合の天端幅の最低基準は 4m となっており(表-2)、堤防が完成していれば、この規模以上の河川ではダンプが堤防天端に進入するのに必要な幅は確保されていることになる。しかしながら、堤防決壊箇所までの距離が非常に長くなる場合は、天端幅が 4m あっても延々とバックで進むことは、安全管理や運搬効率の低下という観点から現実的ではないと考えられるため、車両交換場所等のダンプが旋回できる場所が必要となる。また、柴山沢川の事例は、バックで進む距離だけでなく、カーブ(特に右カーブ)の有無や曲率半径もバックで

進むことの制約条件になり得ることを示している。

ここで、これまでに紹介した事例においてダンプが堤防天端等の作業用道路をバックで進んだ距離を整理すると表-3 のようになる。ちなみに、氾濫流がある中での締切事例ではなかったため、本技術資料では事例紹介してはいないが、音更川の直轄区間における平成 28 年の堤防決壊(天端幅 4m)では、決壊箇所の下流側では、堤防天端を 100m ほどダンプがバックで進んで資材を運搬していた。一方で、上流側からは堤防天端を 400m ほど進む必要があったため、決壊箇所近傍の取付道路の部分で拡幅して旋回場所を造成していた(写真-56)。これらの事例から類推されることとしては、概ね 100m 程度まで、もしくは 100m + α 程度までであれば、車両交換場所等の旋回場所を造成しないでダンプをバックさせて締切資材を運搬することは特異なことではなく、この程度の距離までが少なくとも緊急締切工事においてはバックで進む常識的な距離であろうということである。

表-3 締切工事においてダンプがバックで進んだ距離

河川名	道路の種類	道路幅員	バックで進んだ距離
女満別川	堤防天端と締切資材による作業用道路	4m	20m~55m*
サラカオーマキギ川	耕作道路	3m~4m	90m
柴山沢川	堤防天端と締切資材による作業用道路	5m	30m~130m*
十勝川	締切資材による作業用道路	6m	100m未満

※女満別川と柴山沢川では、一般道から決壊箇所(決壊口の端)までの距離と決壊幅をもとに推定
 女満別川: 決壊地点までの距離20m、決壊幅35m
 柴山沢川: 決壊地点までの距離30m、決壊幅100m

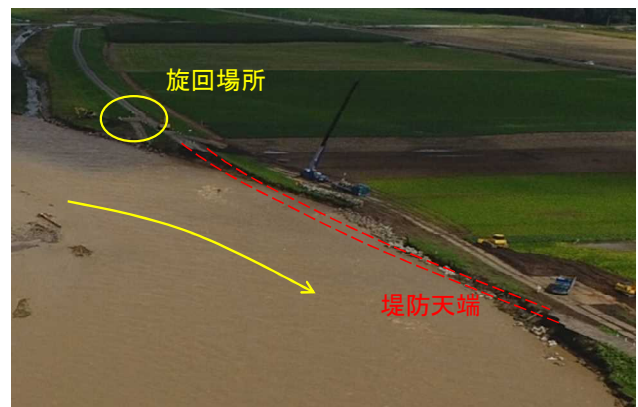


写真-56 音更川の堤防決壊箇所近傍の取付道路箇所に造成された車両旋回場所
 (北海道開発局提供 一部加筆)

さらに、実際に緊急締切工事を担当した複数の現場代理人の方から聞き取った話を総合すると、天端幅が 4m で、堤防法線があまりカーブしていなければ、バックで進むことのできる距離の限界は少なくとも 1~2km くらいはあり、天端幅が 6m 以上あれば、車両のすれ違えることができるほどの幅なので、もっと遠くまで無理なくバックできるとのことであった。ただし、

運搬効率を考えると、バックで進む距離が長くなり過ぎるのは好ましいことではなく、それなりの運搬ボリュームがあれば、バックで進む距離が100～200mくらいになると旋回場所の造成を考え始め、もし400～500mくらいであれば、検討するまでもなく旋回場所を造成するとのことであった。

以上のことから、緊急締切工事においてダンプが堤防天端をバックで進む距離としては、締切資材の運搬効率の観点から100～200m程度までが常識的な範囲であり、これ以上の距離になると、旋回場所の造成を検討することになるようである。したがって、堤防天端を100～200m程度以上進んで堤防決壊箇所に着する場合には、旋回場所の造成を検討し、造成が得策であると判断すれば、迅速に造成にとりかかることが必要である。なお、旋回場所はダンプ等がバックで進むことを避けるために整備されるため、基本的には堤防決壊箇所の近傍に造成されることになる。また、このような旋回場所は、ダンプが資材を荷下ろししている間に、次に進入してきたダンプが待機する場所にもなり得るため、待避場所としての機能も果たし得る。

なお、旋回場所の造成が完了するまでは旋回場所が無いので、現場条件によってはダンプが非常に長い距離をバックで進んで旋回場所造成のための土砂や砕石等を運搬しなければならないことがあり得る。このような場合には、ダンプの長距離のバックに対する安全管理に一層の注意を払う必要がある。ちなみに、柴山沢川の事例では、堤防法線があまりカーブしていなければ、3kmでも4kmでもバックで進むことは可能とダンプの運転手の方が話していたことは紹介済みであるが、今回聞き取りを行った範囲で実際にバックした距離の実績としては、決壊までには至らない堤防侵食箇所へのブロック投入が工事の主な内容であったために本技術資料で事例紹介してはいないが、天端幅3.5～4mでほぼまっすぐな堤防を2kmほどバックで進んで旋回場所造成の土砂を運んだ事例があった。その時には工事の説明を受けたダンプの運転手の方は一様にバックする距離が非常に長いことに驚いたものの、特に問題も発生せず、旋回場所の造成は完了したそうである。

この他に留意する点としては、ブロックや大型土のうの運搬でよく用いられる大型の平ボディトラックは、土砂等の運搬で用いられている10トンダンプよりも車体はかなり長いので、平ボディ用の旋回場所はダンプ用の旋回場所よりもかなり大きくなり、造成により多くの時間を要することである。このような場合

には、平ボディ用ではなく、ダンプ用の旋回場所を造成するとともに、平ボディで運んで来たブロックや大型土のう等の締切資材を、ダンプに載せ替えて堤防決壊箇所まで運搬することも比較検討すべきである。

また、3.3の空知川の事例で紹介した車体上部が回転するキャリアダンプを用いるのであれば、バックで進む必要は無いので、旋回場所の造成が不要という大きなメリットはあるが、キャリアダンプは普通のダンプに比べると迅速な調達は一般的に困難なので、キャリアダンプの使用を初めから当てにすることは、強固な調達ルートが確保されていない限りは難しいと思われる。また、一般道での資材運搬はダンプや平ボディとなるので、現場でキャリアダンプを使用する場合には、現場での資材の積替が必要となることや、キャリアダンプの走行速度は最大で10km/h程度と遅いことにも留意する必要がある。

4. 1. 4 車両交換場所（待避場所）

旋回場所（兼待避場所）が堤防決壊箇所の近傍に造成されれば、ダンプ等は締切資材を下ろす時以外は基本的にはバックで進む必要はなくなり、資材の運搬速度は著しく向上する。基本的には、ダンプ等による資材運搬のペースが、バックホウやクレーンによる決壊口への資材投入のペースと同等以上になっていれば、バックホウやクレーンは締切資材の到着を待つことなく、決壊口に資材を切れ目無く投入することができるので、基本的にはこのような状況を作り出すことができるように必要なダンプ等の台数を調達することになる。しかしながら、旋回場所の造成後においても、そのような望ましい状況にはならず、その原因としてダンプが長い区間の堤防天端を進む途中で他のダンプとのすれ違いができないことが想定されるならば、堤防脇の所々に車両交換場所（待避場所）の造成を考える必要がある。なお、締切資材の投入数量があまり多くない場合等、現場条件によっては、待避場所の造成に要する時間を考慮した上で、あえて待避場所を造成しないという選択もあり得る。

ところで、2.で事例紹介したものの中には待避場所としての車両交換場所を堤防脇に造成した事例は無かったが、これは、堤防天端を通過して締切資材を運搬した全事例において堤防天端の通行区間が短かったことから、旋回場所のみならず待避場所としての車両交換場所を造成する必要がそもそも無かったためと思われる。今回聞き取りを行った範囲では、氾濫流のある中での締切工事の事例ではないため本技術資料では事例紹介してはいないが、堤防天端を約2km

進んで堤防決壊箇所へ到達するという現場では、待避所としての車両交換場所を堤防脇に造成していた。なお、4. 1. 3で紹介した2kmほどダンプがバックで進んで旋回場所造成した事例では、ブロックの投入個数があまり多くなかったために、あえて待避所は造成していなかった。

一般に車両交換場所は第2種側帯として取り扱われているが、『解説・河川管理施設等構造令¹⁹⁾』には、「第2種側帯の長さに関する規則第14条2号の規定は、第2種側帯が概ね1kmごとに設けられるという前提で定めている」と記載されていることから、第2種側帯の整備が完了すれば、概ね1kmピッチで車両交換場所として使用できる可能性のある場所が堤防脇に造成されることになる。そこまで整備が進んでいない河川においては、例えば、4. 1. 2で述べたように河道掘削の残土処理として車両交換場所の造成を検討することも有用であろう。緊急締切工事の準備工として、旋回場所としての車両交換場所を堤防決壊箇所の近傍に造成するのはやむを得ないとしても、待避場所としての車両交換場所は、可能な限り平常時に整備しておくことが理想であり、待避場所を堤防決壊後に造成することは、締切工事の本工事への早期着手という観点から最小限にとどめたい。このようなことから、待避場所としての車両交換場所の整備水準は、緊急工事の際のアクセス路としての良否を左右する重要な要素である。

4. 1. 5 トラフィカビリティ

昔の大洪水の時には堤防が飽和してブヨブヨになっていたという話を個人的に聞いたことがあるが、そのような場合に車両が堤防天端を通ることはかなり厳しいので、緊急締切工事の実施は困難であると思われる。しかしながら、そのような極端な場合を除いては、必要なトラフィカビリティを確保することで、堤防天端等の作業用道路を堤防決壊箇所へのアクセス道路として機能させる必要がある。

一般に堤防天端は市街地以外では砂利道であることが多いため、堤防決壊の生じるような大雨が降った場合には、天端がぬかるみ、ダンプ等が繰り返し通行するのに十分なトラフィカビリティを確保できなくなることが考えられるため、緊急工事の施工中には適宜碎石を天端に補充する必要がある。また、車両交換場所のようなダンプが切り返しを繰り返すような場所では、敷鉄板の使用も考える必要がある。4. 1. 6で述べる維持管理とも関連するが、平常時から計画的に碎石を補充しておくことが緊急工事の際のアク

セス路としての質を左右し、緊急工事中の碎石の補充を減らすことにもなるため、日頃の維持管理が重要である。なお、最近、危機管理型ハード対策の一環として、堤防天端のアスファルト舗装が市街地以外でも進んできているが、天端舗装は堤防決壊までの時間を引き延ばす効果があるだけではなく、堤防決壊が生じた後に緊急締切工事を実施する際にもトラフィカビリティの確保という観点からアクセス路の質を大幅に向上させるはずである。

4. 1. 6 維持管理

4. 1. 2及び4. 1. 3でも言及しているが、完成堤防であれば、河川管理施設等構造令の第21条に示されている最低基準値以上の計画天端幅が確保されているはずである。また、暫定堤防についても昭和52年の課長通達「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」によれば、「一般には計画天端幅以上で施工するよう努めるものとする」となっているため、少なくともこの通達の発出以降に施工された暫定堤防では基本的には計画天端幅が確保されているはずである（詳細は、『解説・河川管理施設等構造令¹⁹⁾』を参照されたい）。

しかしながら、維持管理が適切に実施されていないと、例えば、天端の肩の小規模な侵食や崩壊が放置され、計画天端幅が確保されない状態になり得る。また、堤防除草が適切に実施されていないと、繁茂した草木で天端の見通しがきかなくなり、車両の通行自体が困難になりかねない。

一方で、築堤工事の際の余盛りに加えて、天端の維持補修等を適宜行ってきた結果、実際の堤防高が計画築堤高よりもそれなりに高くなっている部分が見受けられる。そのような場所の中には、堤防の規定の法勾配で計画築堤高よりも高くしていった結果、計画築堤高よりも現況堤防高が高くなっている分だけ、天端幅が計画よりも狭くなっている箇所もあるようである（図-12）。例えば、堤防の法勾配が堤内外ともに2割の場合、現況堤防高が10cm計画築堤高よりも高ければ、2割の法勾配でそのまま上方に延ばしていく

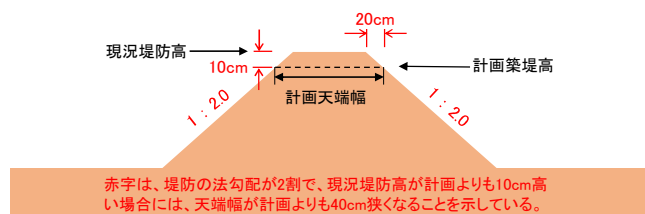


図-12 堤防高が計画よりも高い分だけ天端幅が計画値未満となっている完成堤防

と、天端幅は計画よりも40cmも狭くなってしまうことになり(図-12)、このような堤防天端の狭さは緊急締切工事のネックになり得ることは既に述べたとおりである。このような計画築堤高よりも高い堤防は、これまでは堤防の計画断面を包含していることからあまり問題視されていなかったが、近年の水害の激甚化傾向により、深刻な堤防決壊が頻発するようになってきたことから、万が一の緊急締切工事に備えて、計画天端幅の確保にも目を向ける必要がある。

このような計画天端幅の確保、除草、さらには、4.

1.5でも述べた碎石の補充等の維持管理行為が適切に実施できているかどうかにより、緊急工事の際のアクセス路の質が大きく左右されることに留意されたい。

4. 2 締切資材の投入重機や運搬車両の調達

一般的に、緊急締切工事の際には、締切資材(ブロック、割石、大型土のう等)を運搬する車両(ダンプ、平ボディ等)や、資材を決壊口に投入するための重機(バックホウ、クレーン等)を使用するため、これらの調達が必要となる。以下に、締切資材の投入重機や運搬車量に関する留意事項等を述べる。

4. 2. 1 締切資材の投入重機

2. 及び3. で紹介した7事例の内、緊急工事ではないために時間的に余裕を持った重機の調達が可能であった石狩川の事例を除くと、6事例の全てでバックホウが締切資材の投入等のために締切作業の着手時点から使用されていた。一方で、6事例の中でのクレーンの使用は十勝川の事例のみで、クレーンの使用開始時期は締切作業がある程度進捗した工事着手から6日目以降であった。したがって、紹介した6事例の中には、緊急締切工事の初期段階でクレーンを迅速に調達して直ちに使用した現場は無かったことになる。特に緊急締切工事では、早期の工事着手及び完了が求められることから、北海道内での保有台数がクレーンよりも圧倒的に多く、迅速な調達が容易で、短時間の内に現場で実際に使用することのできるバックホウが紹介事例において多用されることになったのではないかと考えられる。また、0.7m³級のバックホウが幅3mの堤防天端で使用された女満別川の事例からも明らかなように、バックホウは狭い堤防天端の上でも使用することができる上に、大型土のう等の締切資材を吊る(柴山沢川、サラカオーマキキン川等)以外にも、バケットを用いて決壊口に割石や碎石等を投入したり(柴山沢川、女満別川等)、アタッチメントをグラブプルに交換して大型土のうをつかんで投入

する(サラカオーマキキン川)等、使用する資材に応じて、様々な使い方ができることから、使い勝手の良さも施工業者に評価されているものと思われる。堤防決壊の図上訓練では決壊口に締切資材を投入する重機としてクレーンを想定するケースが多いが、このような重機の使用実態を踏まえた上で、バックホウの積極的な活用を考えるべきであろう。

一方で、クレーンは3トン以上の重い資材を吊ることができ、かなり離れた場所にも資材を投入できるという大きなメリットがあるので、このような機能が必要となる場合には、クレーンを使用することになる。実際に十勝川の事例(下流側の締切箇所への資材の移動や10トンの石籠の締切部への投入)や石狩川の事例(離れた場所への締切資材の投入)では、クレーン無しでの施工完了は不可能であった。なお、先にも述べたように北海道内でのクレーンの保有台数はバックホウに比べて圧倒的に少ないため、平成28年8月の北海道豪雨災害の時のように同時多発的な災害が発生した場合には迅速なクレーンの調達が難しい場合も多く、また、このような状況でクレーン作業が一段落したからと言ってクレーンをいったん手放してしまうと、そのクレーンが他の建設会社の現場にまわされてしまい次回の調達の見通しが立たなくなることから、クレーンを使用しない日があっても存置し続ける現場が多くなると考えられる。このような点には留意が必要である。また、もし、短期間でもかまわないのでクレーンを使用したいという現場が近傍にあれば、台数の少ない貴重なクレーンであるからこそ、使用しない期間だけでも他の現場にまわすような仕組みがあってもよいのではないかとと思われる。

次に、クレーンは大別すると、クローラークレーン(キャタピラで走行)とホイールクレーン(タイヤで走行、大半がラフテレーンクレーン)の2種類があるが、クレーンを使用する場合には、どちらのタイプのクレーンを使用すべきかメリット・デメリットを考慮して選定する必要がある。ちなみに、平成28年8月の北海道豪雨の際の緊急締切工事の現場で使用されたクレーンの大半はラフテレーンクレーンであった。ラフテレーンクレーンはアウトリガーの占有幅が大きいため、クローラークレーン以上に幅広の作業ヤードが必要となる等のデメリットはあるものの、現場までの自走が可能のため、クレーンの中では最も早く現場に到着し、現場での組立も不要であることが評価された結果と思われる。なお、クローラークレーンは公道での走行が不可であるため、トレーラーでの運搬が

必要になる他、現場での組立等の時間も必要になるため、ラフテレーンクレーンに比べると、迅速な作業着手は難しい。しかしながら、その一方で、クローラークレーンは、キャタピラ走行のため軟弱地盤での施工に強く、アウトリガーの張り出しを必要としないため、ラフテレーンクレーンほどの幅広の作業ヤードは不要である他、クレーンの移動が多い場合には、アウトリガーやブームの収納・張り出し作業が不要なため、効率的な施工が可能になるというメリットがある。

最後に、効率的な締切作業という観点から考えると、緊急締切工事の初期段階では欠口止工や漸縮工^{*8}等のバックホウで対応可能な締切作業を可能な限り進め、紹介した中小河川の事例のようにバックホウで最後まで施工できるようであれば、クレーンの使用無しに最後まで施工することが効率的であろう。一方で、せめ部の流速が非常に大きくなり重い締切資材が必要となる場合等には、クレーンの使用が予測されるので、十勝川の事例のようにバックホウでの締切作業に加えて、クレーンヤードの造成も行い、しかるべきタイミングでクレーンを使用できるように準備を進めることが必要であろう。ただし、クレーンは強風時には使用できないので、その点には注意が必要である。

4. 2. 2 締切資材の運搬車量

一般に、締切資材として使用されるブロックや大型土のうの運搬には大型の平ボディトラックが、割石や土砂等の運搬には10トンダンプが用いられることが多い。しかし、平成28年の北海道豪雨では、災害が同時多発的に発生したために、平ボディの調達が困難になり、ブロック等を10トンダンプで運搬している



写真-57 ダンプトラックによる根固ブロックの運搬状況
(土木学会北海道豪雨災害調査団提供)

^{*8}ブロックや石等を決壊口に投入して締切を徐々に延伸させていく工事

事例がかなり見られた(写真-57)。平ボディを用いた方が1回で運搬できるブロック等の個数が多いため、運搬効率は良いのだが、これについて現場代理人の方にうかがったところ、ダンプトラックでブロック等を運ぶと確かに運搬効率は落ちるが、ダンプはブロック以外にも土砂や碎石等も運ぶことができるので、運搬資材が替わっても継続的に使用できることから、意外と使い勝手が良かったという話があった。また、既に述べたように、決壊口近傍の堤防脇に巡回場所を造成する必要がある場合には、平ボディからダンプにブロック等を積み替えた上で決壊箇所へ運搬することが効率的な場合もあり得る。さらに、今回紹介した事例の中には、一般道から堤防天端に入る部分でほぼ直角に曲がる際に、車両の長い平ボディでは大きな回転半径が必要になるために堤防天端に進入できない場所もあり(写真-58)、その現場では、10トンダンプに資材を積み替えて決壊箇所の現場まで運搬していた。これらの事例から、ダンプの使い勝手や小回りの良さをあらためて評価すべきであろう。なお、柴山沢川の事例でも言及しているが、このような積替を行う場合には、現場近くで作業ヤード用の土地の確保が必要なので、この点にも注意を払う必要がある。



写真-58 大型の平ボディトラックの進入不可の場所及び隅切り設置の一例(イメージ)
(土木学会北海道豪雨災害調査団提供 一部加筆)

また、写真-58をよく見ると、路面の汚れ具合から、ダンプでも左岸側の一般道から堤防天端に入るために左折する際には、反対車線にまではみ出て大きく膨らむ必要があることがわかる。一定の幅員未滿の道路の交差部には、見通しの確保や車両や人の通行の安全を確保するために、一边を2mとする二等辺三角形の部分の空地としなければならないということが多くの自治体で定められており、「角敷地の建築制限」、いわゆる「隅切り」のルールがあるのだが、堤防天端が兼用道

路となっていない場合には、橋梁の袂には隅切りは設けられていない箇所がかなり見られる。堤内地から堤防に上がるために河川管理者自らが設置する取付道路では、河川管理者の車両が取付道路から堤防天端に入る部分で曲がるのが前提になっているために、一辺2m程度の隅切り²⁰⁾等が設けられている。その一方で、橋梁の袂においては、道路管理者が橋梁と橋梁への取付道路を建設することもあり、対象とする車両は一般車両であり、堤防天端が兼用道路となっていない限りは、一般車両が橋梁の袂で一般道から堤防天端に曲がって入っていくことを想定していないために、隅切り等が設けられないものと推察される。なお、堤防天端が兼用道路となっていない場合でも橋の袂に隅切り等が設けられている箇所も見られるが、このようなケースの大半は、橋梁設置後に橋梁の周辺で実施された河川工事の際に設けられ、河川工事完了後もそのまま存置されたものと思われる。

したがって、堤防天端が兼用道路になっていない場合でも隅切り等の設置を原則としておけば、緊急締切工事の際にもダンプ等が橋梁の袂から堤防天端に、より円滑に進入できるようになるので、今後の検討課題としてはどうかと考える（写真-58）。

また、4. 1. 3でも述べたように、車体上部が回転するキャリアダンプはバック不要という大きなメリットがある。また、車体上部が回転しないタイプのキャリアダンプでもトラフィカビリティのあまり良くないところを走行できるメリットがある。例えば、空知川の堤防決壊箇所（写真-48）において足場の悪い河道内で土砂運搬を行っている車両は全てキャリアダンプであるように、現場条件によっては、使用する価値が非常に高い。しかしながら、普通の10トンダンプと比べると北海道内での保有台数が圧倒的に少ないので、繰り返しになるが、確実かつ迅速な調達はずしも期待できないので、注意を要する。

4. 3 締切資材の選定

例えば、昭和49年の多摩川水害では、投入された10トン近くもある牛杵や5トンのテトラポットが流されたことが記録されており²¹⁾、一般に決壊口に投入した締切資材の流出割合が高まると締切作業がなかなか進捗しなくなってしまうため、使用する締切資材の選定は非常に重要である。出水時の施工ではない石狩川の事例を除くと、2. 及び3. で紹介した6事例の中では、締切実施箇所における河川規模の大きな十勝川の事例で、投入資材（ブロック、割石）のあ

る程度の流出が確認されているが、それ以外の5事例では、投入資材の流出はほとんど発生しなかった。中小河川では河川規模に応じて締切部内の流速・水深・流量やブロック等の投入資材に作用する流体力が比較的小さくなる傾向にあると考えられるため、締切工事が進んで締切部が狭くなっても、ある程度の重さのある資材は流出しにくかったのではないかと思われる。一方で、河川の規模が大きくなるにつれて、締切部内の流量や流体力等も増える傾向にあると考えられるため、規模の大きな河川では、締切部が狭くなってくると、ある程度の重さのある資材でも流出する可能性が高くなるのではないかと思われる。

次に、石狩川の事例の考察でも述べたが、ブロックの形状等の重さ以外の要因によっても締切資材の耐流速性（流出しやすさの程度）はかなり変わり得るので、このようなことまで考慮した適切な資材の選定及び備蓄ブロックの特性の把握が必要である。また、せめ部での締切資材の流出防止対策としては、十分な重さの資材を使用することが基本であるが、万が一、十分な重さの資材が災害協定業者や河川管理者の手近なところで迅速に調達できない場合には、十勝川の事例で紹介した港湾のブロック等の調達や、石狩川の事例の考察のところで説明した流出防止補助工法の実施、ワイヤーによる締切資材の連結、さらには、流速が遅くなり得る川裏側での締切作業（4. 4. 2参照）も検討すべきである。

なお、2. 及び3. の空知川の事例で見られたように、現地にある材料（河床材料、流木等）の使用も頭の中に入れておくことが望ましい。

ここで特に注目すべきことは、女満別川やサラカオーマキキン川では氾濫流が堤内に勢いよく流れ込んでいる状況下でも割石や大型土のうがほとんど流出することなく締切が無事完了したことである。このことから、女満別川やサラカオーマキキン川程度まで（堤々間が60m程度までで、河床勾配が1/700程度以下）の中小河川であれば、非常に重い資材を使用しなくても、氾濫流のある中で決壊口を締め切ることのできる可能性が高いと考えられる。非常に重い資材を使用する必要がなければ、大型土のう等の比較的調達が容易な締切資材を使用できる可能性が高まるほか、天端幅が余り広くない現場条件の中でクレーンを使わずにバックホウのみで締切資材の投入を完結できる可能性が高くなり、結果として緊急締切工事の効率的な施工の可能性が高まることになる。一般に中小河川は大河川に比べて整備水準が低く、それに応じて越水

等による堤防決壊の可能性も高くなるが、中小河川での氾濫流がある中での締切は、堤防天端幅が狭く、出水の継続時間が短いという不利な面もある一方で、比較的迅速に調達しやすい締切資材と重機だけで締切作業を完了できる可能性が高いという有利な面もあると考えられるので、中小河川においても女満別川やサラカオーマキキン川のように氾濫流がある中での締切工事の実施を積極的に検討すべきと考えられる。

一方で、大河川の堤防決壊の場合は、十勝川の事例（堤防決壊箇所の締切ではなく、切り替わった主流路の締切）で10トンもある石籠を使用したことからわかるように、大きなブロック等のより重い締切資材の使用が必要になる可能性が高く、クレーンの使用を考えなければならない場合が多いと思われる。その一方で、大河川の場合は堤防天端幅が広いという施工効率を向上させる要素もあることに留意する必要がある。例えば、計画高水流量が $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上 $5,000\text{m}^3/\text{s}$ 未満までの場合の天端幅の最低基準は5m、 $5,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上 $10,000\text{m}^3/\text{s}$ 未満では6m、 $10,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上では7mである（表-2）。5mの天端幅があれば、例えば、占有幅の比較的小さい50トン程度のクローラークレーンは天端からブロックを投入することができる（ただし、ブロックをある程度投入した後には、碎石投入のためにダンプ等に堤防の先端部分を譲る必要があるため、クレーンが使用可能な待避場所を用意する必要もあると考えられる）。また、天端幅が6mあれば、2.1.3で述べたように、ダンプのすれ違いが可能なので、ダンプの待避場所の造成も必要ない（ただし、旋回場所は必要）。このように、大河川での氾濫流がある中での締切は、重い締切資材やクレーンを使用する可能性が高くなるため、資機材の迅速な調達が困難な場合も考えられるので、それに応じて施工効率の低下する可能性がある。しかしながら、大河川には一般に上記のように堤防天端が広いという有利な点があるほか、水位観測が充実していること、数値計算による洪水予報が進んでいること及び水位上昇速度が中小河川よりも急激ではないことから、堤防決壊前のある程度の準備を進めることも可能である。また、洪水継続時間が長いという観点からは、氾濫中の締切工事の完了という可能性が高まる場合もあると思われる。したがって、大河川では、このようなメリットを最大限活用して、重い締切資材やクレーンの使用というデメリットをカバーするように努めるとともに、柴山沢川の事例の聞き取り調査における河川管理者の発言にもあるように、毎年実施している堤防決壊の図上訓練を、実

際の豪雨災害時の対応を踏まえたより実践的なものに改良していくことで、万が一の場合のより円滑な施工を追求していく必要があると考えられる。

4.4 締切方法（荒締切工）

ここでは、氾濫流がある中での締切方法（荒締切工）について、特に、欠口止工、施工位置（締切法線）、決壊口の逃げ及びせめ工に関する考察を述べる。

4.4.1 決壊初期における欠口止工

『堤防決壊部緊急復旧工法マニュアル¹⁶⁾』には、欠口止工について、決壊口の拡幅速度の大きい側に重点を置きつつ、両側から実施するという趣旨の記載があるが、ここでは、「決壊口の拡幅速度の大きい側」について考えることとする。

例えば、女満別川（河床勾配は約1/700）の事例では、2.3.2で記載したように、決壊口が下流側に徐々に広がっていったことを現場代理人の方が証言しており、写真-14、16の比較からも主に下流側に決壊口の広がっていったことがわかる。また、空知川上流決壊箇所（河床勾配は約1/180）では、決壊口拡幅の目撃者はいないものの、その後の現地調査結果や数値計算の結果から、決壊口の拡幅が主に下流方向に進んでいったことが推測されている²²⁾。また、千代田実験水路⁶⁾（河床勾配は1/500）での実物大スケールの堤防決壊実験では、氾濫流の主流部が決壊口内の下流側に位置し、この流れが下流側堤体にぶつかり堤体が侵食されるため、決壊口の拡幅は下流方向に卓越するとされている²³⁾（写真-59）。このように、河床勾配が比較的急な河川の堤防決壊では、決壊口の下流への拡幅速度が上流への拡幅速度に比べて大きくなる。さらに、島田らの数値解析の結果によると、河床勾配の急な河川の堤防決壊では、決壊口の拡幅は下流方向に卓越し、河床勾配の緩い河川では、決壊口の拡幅は河

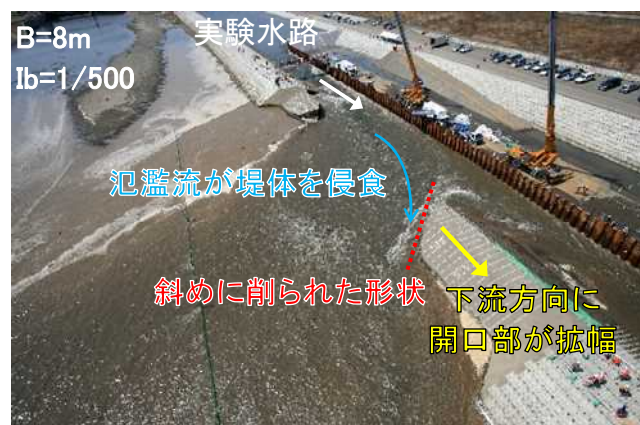


写真-59 千代田実験水路における決壊口の拡幅状況

床勾配の急な河川ほど顕著ではなく、その一方で決壊口の洗掘が顕著になり落掘が発達するとされている²⁴⁾。以上のことから、特に、河床勾配が比較的急な河川では、堤防決壊後の比較的早い段階で欠口止工の実施が可能な場合には、下流側の欠口止工を最優先で実施すべきで、上流側の欠口止工の実施は二の次ということになる。

なお、女満別川の事例の聞き取り調査でも現場代理人の方が述べていたが、決壊口が拡幅大していく中での欠口止工の実施に際しては、決壊口の拡幅速度や重機等の退避を考慮に入れることが安全管理上必須である。堤防の最先端部まで重機が進むことは避けるべきなので、例えば、最先端部から少し離れた場所でバックホウのアームを可能な範囲で最大限伸ばした上で資材をバケットから直接決壊口に投入する方法や、吊り上げたブロック等を最先端部から少し離れた場所に行ったん降ろした上で、バックホウのバケットを使ってブロック等を押し出して決壊口に投下する方法、さらには最先端部から少し離れた場所の堤防の天端や川裏の法面にブロック等を並べていき、決壊口の拡幅がある程度進むと天端等に並べたブロックが自然と決壊口に落ちて欠口止工として機能するというような方法を採用することが必要である。最後に述べた手法については、島田らによる千代田実験水路⁶⁾での決壊口の拡幅抑制実験等が実施されているので参照されたい^{25)、26)、27)}。

4. 4. 2 荒締切の施工位置（締切法線）

荒締切の施工位置には、①在来堤防法線、②川表側（堤外側）、③川裏側（堤内側）の3種類があり（図-13）、現場条件に基づき、この中から最適なものを選択する必要がある。①は、荒締切の施工延長が短いというメリットがある一方で、本堤防の復旧工事が非

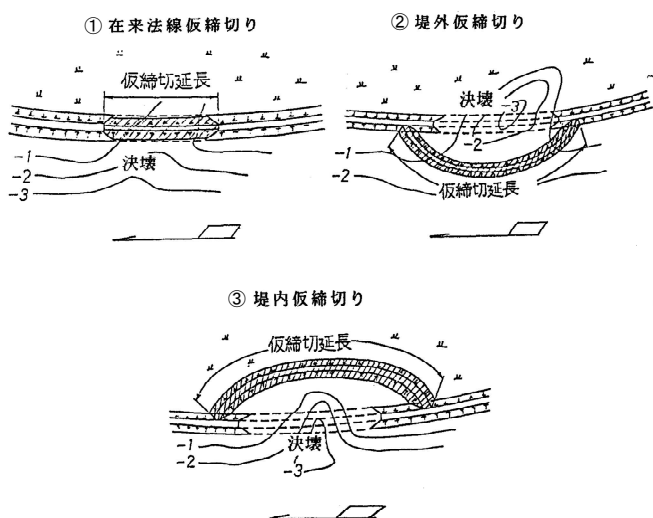


図-13 締切法線図（一部修正）¹⁶⁾

出水期に実施される場合を除き、当該復旧工事の際には、仮締切を設置した上で荒締切を撤去し、本堤防を築造しなければいけないというデメリットがある。これに対して、②は、荒締切が本堤防の復旧工事の仮締切として活用し得るメリットがあるが、荒締切の施工延長が①よりも長くなる他、河川の流下能力を阻害するデメリットがある。③は、堤内に決壊口の幅に比べてかなり長い延長の荒締切を設置すれば、氾濫流が堤内に拡散して氾濫流の流速が小さくなり施工性が良くなる場合がある他、荒締切からの越流を許容した形で締め切れれば（河川水位が下がった時点で越流が自然停止する）、せめ部が発生しないメリットがある（図-14）。一方で、荒締切の施工延長が長くなる、堤内地の用地借上が広範囲になる、本堤防の復旧工事の際に荒締切を仮締切として活用できないというデメリットがある。

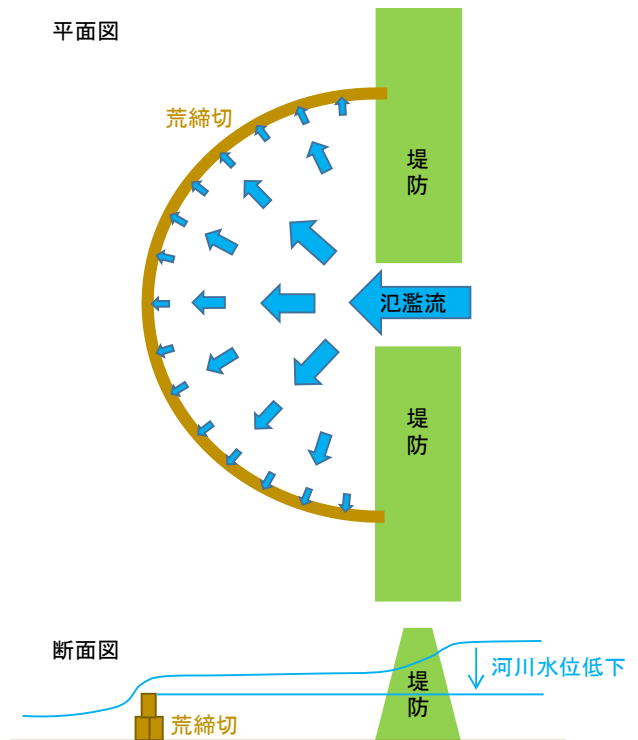


図-14 せめ部が発生しない川裏での荒締切の一例

また、荒締切の施工位置を決める上で特に留意すべき事項としては、施工ボリュームを減らすという観点から、落掘等の深掘箇所を避けて地盤の高い部分に荒締切を設置することがあげられる。

主として、以上のことを考慮して荒締切の施工位置を決めることになるが、特に氾濫流のある中で締切工事を行う場合に最優先で考えるべきことは、迅速に荒締切工を完了させることである。

ここで、2. で紹介した決壊口の緊急締切工事の4事例を見ると、荒締切の施工法線を定めるにあたり、川幅（流下能力阻害）、施工ボリューム及び地盤高（深掘箇所回避）に特に注意が払われていたと考えられる。具体的に説明すると、柴山沢川、女満別川及びサラカオーマキキン川の3河川は中小河川であるため川幅が狭く、流下能力を著しく阻害する川表側の荒締切は現実的ではない。また、氾濫流のある中での狭い場所での施工となり現場条件が厳しかったことに加え、天端拡幅やぬかるみへの碎石等の投入等の準備工にもそれなりの時間をかけざるを得なかったことから、施工延長を最小にするために、在来堤防法線で施工が行われたものと考えられる。また、空知川では、主流路が側方侵食により堤防法線付近まで移動していたために、侵食により地盤高が低くなった場所を避けるように小堤防を築造して決壊口を締め切ることが合理的であることから、川裏側に変則的な法線で小堤防が築造されることとなった（写真-3）。

なお、上述の地盤高の低い場所を避けて荒締切を設置するという観点から、荒締切工に着手する前に必要に応じて可能な範囲で測量を実施することが望ましい。『堤防決壊部緊急復旧工法マニュアル¹⁶⁾』にも決壊状況を把握するために測量を実施する旨の記載がある。実際には、測量に必要な人員や資機材が揃い、かつ決壊口周辺の流速が小さくないと測量はできないため、常に工事着手前に測量が実施できるとは限らないが、仮に施工前の実施が不可能であっても、施工の見通しを立てるという意味で施工中に測量を行う意義も大きい。堤防決壊箇所の締切ではないが、十勝川の事例では締切作業に着手する前に測量が実施されている他、柴山沢川の事例では、深掘箇所の延長を確認するために締切作業の実施中に測量が実施されている。また、測量ではないものの、女満別川やサラカオーマキキン川の事例では、バックホウのアームを決壊口に入れて概ねの水深を推定して、施工の見通しを立てようとしていた。

4. 4. 3 片側締切に伴う決壊口の逃げ

ここでは、2. 及び3. で説明した締切の事例を、決壊口の両側からの締切（以降、「両側締切」と称する）と、片側からのみの締切（以降、「片側締切」と称する）に分類した上で、「決壊口の逃げ」について考える。なお、3. で紹介した締切工事の事例は堤防決壊に伴うものではないので、厳密には、これらの事例の説明の中で、堤防決壊箇所の関連用語である「決壊口」、「決壊口の逃げ」、「欠口止工」、「漸縮工」「せ

め工」、「せめ部」等の用語を使用するのは適切ではない。しかしながら、文章表現を簡潔にするために、4.

4. 3及び4. 4. 4では、便宜的に3. の事例の説明の中でも、これらの用語を使用しているの、御容赦いただきたい。

（1）事例の分類等

まず、2. 及び3. で説明した事例の内、決壊口の両側に重機や資材等を配置して両側締切を実施した事例の有無を確認すると、2. では両側締切の事例は一つも無く、3. では、2. とは対照的に、紹介した3事例全てが両側締切であった。ここで、3. で紹介した3事例の内、緊急工事ではない石狩川の事例を検討対象から外した上で、残りの2事例を見ると、十勝川の事例では締切延長の大半は上流側からの施工によるものであり、下流側からの施工延長はわずかである。また、空知川の事例でも中州側からの締切延長はかなり大きくなってはいるものの、中州側では最後のせめ工の際には前進するのではなく現状維持（実質的には欠口止工の実施に等しい）を目標にひたすら土砂を投入していたことから、左岸の陸上側から実施したせめ工と比べると作業内容の質的な違いが見られる。以上のことから、緊急工事ではない石狩川の事例を除くと、2. 及び3. で紹介した6事例の内、片側締切で最後まで施工したのが4事例で、残りの2事例は両側締切ではあるものの、両側がほぼ等しく締切作業を行ったというよりも、一方が締切の中心的な役割を担い、片側は補助的な役割にとどまっていたことがわかる。すなわち、両側がほぼ同等に締切作業を行ったものは6事例の中には存在しない。

一方で、『堤防決壊部緊急復旧工法マニュアル¹⁶⁾』によると、欠口止工、漸縮工及びせめ工のいずれも両側から実施することになっている。ここで、両側締切に関するマニュアルと実態の乖離の原因について、4. 1で述べた堤防決壊箇所までのアクセス路の良否という観点から上記の6事例をもとに説明すると、決壊口へのアクセス条件の良い方の堤防天端等の作業用道路はアクセス路として十分に活用できるレベルであったものの、残りのアクセス条件の悪い側は以下の①～③のいずれかの理由により、アクセス路として十分に活用できるレベルに達していなかったため、結果として、片側締切が多く、両側締切が実施された場合でも両側がほぼ同等に締切作業を行った事例が無かったとすることができる。

①堤防天端等の作業用道路に物理的に、もしくは安全管理の観点から進入できない。

②堤防天端等の作業用道路を進む距離が長すぎて、天端拡幅等の改良が非現実的である。

③締切資材の投入箇所までバックホウは何とか進入できるが、ダンプ等の資材運搬車両は進入できない（短時間の内に資材運搬車両が進入できるようにすることは非現実的である）。

①及び②が片側締切を実施せざるを得なかった理由である。③については、必要十分な量の資材を決壊口の両側に供給できなかったことから、十分な締切資材の供給を受けた側が締切の中心的な役割を担い、もう一方の側はそこまでの役割を果たすことはできず、結果として欠口止工の実施程度の作業しかできなかったことの理由となる。

（２）決壊口の逃げ

片側締切を実施すると、「決壊口の逃げ」という問題の発生する場合がある。紹介した事例のような片側締切を実施すると、締切作業を行っていない側では欠口止工を実施していないために、締切がある程度進むと、それ以上締切を前進させても、締切を実施していない側の堤防等が決壊していき、決壊口がほとんど狭まっていかなくなることがあり、このような事態に陥ると、締切作業が進まないことから、氾濫流がある中での緊急締切工事の完了が不可能となってしまう。実際に、決壊口の逃げは、例えば、昭和 55 年の淀川大堰緊急締切工事に関する記録²⁸⁾にも記載されている他、最近実施された千代田実験水路の 1/20 の縮尺の模型実験でも同様な現象が確認されている⁸⁾。

また、3. で紹介した 2 事例（十勝川、空知川）では、締切部にかなり強い流れがあったが、両側締切を行ったため、決壊口の逃げを延々と追いかけるような事態を避けることができた。しかし、十勝川の事例では、下流側の欠口止工が実施される前の段階で、すなわち、片側締切を実施している最中に、決壊口の逃げが発生している。また、空知川の事例では、作業の後半において中州側からひたすら土砂を投入し、中州側から築造した締切が後退していかないようにしていたことから、仮に土砂を投入していなければ、中州側に決壊口が逃げたことは確実である。

次に、片側締切の 4 事例の内、2. で紹介した空知川と柴山沢川の事例では、決壊口を通過する流量もしくは流速がかなり小さくなっていったことから、これらの 2 事例では片側締切であっても決壊口の逃げが発生しなかったと考えられる。一方で、女満別川とサラカオーマキキン川の事例では、氾濫流が勢いよく堤内地に流入している状況下で片側締切を実施したため、あ

る程度締切作業が進むと決壊口の逃げが発生したものと考えられる。

以上の 6 事例から、決壊口の逃げについてまとめると、両側締切及び決壊口内の流速が小さい場合の片側締切では、決壊口の逃げはほとんど発生しないが、決壊口内の流速が大きい場合の片側締切では、洪水流量が急激に減少する等の限られた場合を除いては、ある程度締切が進んだ時点において、決壊口の逃げが程度の差こそあれ高い確率で発生すると考えられる。なお、決壊口の逃げが発生するタイミングについては、事例により様々であるため、明確にこの程度まで締切が進んだ時と言うことは難しい。堤防法線と平行な垂直面で切った決壊口の断面形状や洪水のハイドログラフの形状（特に決壊後の河川流量の低減ペース）等の様々な要因が逃げの発生するタイミングに影響しているものと思われる。

（３）決壊口の逃げへの対策

決壊口の逃げの発生を防ぐためには、両側締切を行うことが基本であるが、2. 及び 3. で紹介した事例の中では、そもそも両側締切を行うには堤防天端等の作業用道路の条件がアクセス路としては悪過ぎるために、やむを得ず片側締切を実施せざるを得なかった事例や、アクセス路に資材運搬車両が進入できないために両側締切を開始する時期が遅くなった事例において逃げが発生している。したがって、アクセス路の条件を無視した一般的な両側締切の実施は決壊口の逃げへの対策としては現実的ではなく、もし現場がそのような両側締切の指示を仮に堤防決壊直後に受けたとしても、例えば、アクセス条件の悪過ぎる側があれば、その実施は不可能である。

女満別川及びサラカオーマキキン川の事例からもわかるように、中小河川での締切であれば、元々決壊口の幅がそれほど大きくない可能性も高く、決壊口がそれなりに狭くなるまでは決壊口があまり逃げないことがある程度期待できるため、締切作業を行っていない側の堤防先端部までバックホウのアームの先に取り付けてあるアタッチメントが何とか届き、欠口止工を実施できることもあり得るので、これに期待してバックホウを用いて片側締切を進めるという選択肢がある。ただし、確実な方法とは言い難い。このため、アクセス条件の悪い側からの締切作業については、仮に締切可能延長がほんのわずかになりそうであっても、決壊口の逃げを防ぐための最低限の欠口止工という意味で実施すべき場合もあると考えられる。これは中小河川のみならず、大きな河川でも言えることである。実際

に、昭和 56 年の小貝川の堤防決壊では、アクセス条件が悪いために片側の締切工事の着手が遅れたため、先行した側の締切作業の進捗を調整して決壊口が逃げていくのを防いだ旨の文章が記録誌に記載されている¹⁰⁾。ただし、柴山沢川の事例に関する聞き取り調査の際に現場代理人の方が言及しているように、両側締切を行うためには、調達した重機やダンプ等を決壊口の両側に分配する必要があるため、重機等の調達量が不十分である場合には、アクセス条件が悪いために施工効率が極めて低い側にも重機等を配置すると、施工効率の良い側の締切作業にも影響を及ぼしかねない。したがって、このような場合には、施工当初は施工効率の良い側のみで締切作業を進め、重機等の追加調達ができた時点で、施工効率の悪い側からも最低限の欠口止工等に着手することがより現実的であろう。ただし、このような場合には、先ほど述べた小貝川の事例のように、先行して着手した側の締切作業を一時休止するようなこともあり得る点に留意する必要がある。

また、何らかの理由でアクセス条件の悪い側からの締切作業が物理的に全く不可能という場合も実際にはあり得る。例えば、堤防天端につながる一般道の浸水のために片側からしか決壊口に近付くことができないという場合が考えられる。また、2. 1. 1で概要を紹介した空知川の堤防決壊のように、一連区間で2箇所での堤防決壊が発生した場合も片側締切しかできない可能性が高い。実際に空知川の上流決壊箇所では氾濫流量がかなり減少していた時点で締切作業を実施したために決壊口の逃げが発生することはなかったが、決壊口へのアクセスが可能な側である上流側からの片押し作業、つまり片側締切を実施せざるを得なかった。ところで、一連区間で複数箇所の堤防決壊が発生することは滅多にないと思われる方がいるかもしれないが、例えば、北海道内の直轄区間では昭和 56 年 8 月洪水でも、石狩川本川下流部(写真-60)や幌向川で、そのようなタイプの堤防決壊が発生していることから、一連区間で複数箇所の堤防決壊は、決してほとんどあり得ないというものではない。

このように物理的に片側締切以外に選択の余地が無い場合には、締切作業を実施している側に大型クレーン用の広いヤードを造成して、クレーンにより欠口止工の実施に必要なボリューム以上の締切資材を、締切作業を実施していない側の堤防先端部に直接投入する方法が考えられる。もしくは、十勝川の事例のように重機のみが何とか締切作業を行っていない側に進入することができる場合には、クレーンからの直接投入で



写真-60 一連区間で2箇所の堤防決壊が発生した石狩川本川
(北海道開発局提供 一部加筆)

はなく、クレーンで吊った資材を重機のそばに仮置きした後に、重機で資材を希望の場所に投入することもあり得る。しかし、この場合は仮置きの手間が余分にかかる他、仮置きのスペースも必要になることから、適用可能な現場は限られると思われる。

その他の方法としては、締切作業ができない側への締切資材の投入にヘリコプターを使用する方法が考えられる。日本ではヘリコプターを用いた堤防決壊箇所での締切作業の実施例はまだ無いと思われるが、平成 16 年の新潟県中越地震では、地すべりによって天然ダムが形成された際の対応で、ヘリコプターによるブロックの運搬・据え付け作業が行われた実績がある²⁹⁾。また、国土交通省北陸地方整備局では、ヘリコプターを用いた堤防決壊時のブロック投入工法が検討されている³⁰⁾。なお、アメリカでは平成 17 年にハリケーン・カトリーナの被災地域において、堤防決壊箇所の締切作業でヘリコプターが実際に使用されている(写真-61)。ただし、ヘリコプターは夜間や悪天候時には使用できず、高圧線等の支障物件が近くにある場合には飛行が制限される³⁰⁾等の制約条件があるので注意が必要である。

4. 4. 4 せめ工

十勝川の事例からもわかるように、締切の最後に残ったせめ部では、流速が非常に大きくなっている。このため、せめ部で漸縮工と同じようなスピードで締切作業を進めていくと、決壊口が狭くなった分だけ大きな流速がさらに大きくなり、それに伴い、締切資材の流出やせめ部の洗掘が進みかねない。したがって、短時間の内に締切資材を一気に投入して締切を完了する必要がある。このため、必要な資材の量を見積もり、その量の資材を短時間で投入できるような施工計画を

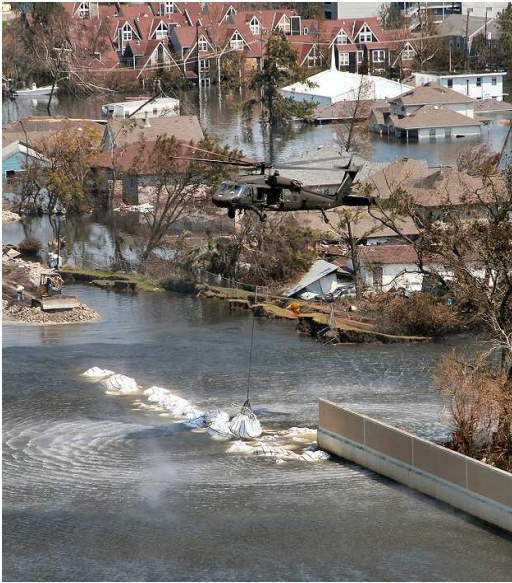


写真-61 ヘリコプターによる堤防決壊箇所への約3トンの大型土のうの投入と陸上からの締切作業の連携
(アメリカ ルイジアナ州)³¹⁾

立案する必要性が、『堤防決壊部緊急復旧工法マニュアル¹⁶⁾』に記載されている。また、せめ部の位置としては、決壊口に投入する資材のできるだけ少ない方がよいことから、洗掘の進みにくい地質の固い箇所や、水深の比較的浅い箇所等が望ましいということが同マニュアルには記載されている。つまり、せめ工の実施しやすさという観点から、せめ部となる場所を予め決めておくということである。さらに、同マニュアルには、あらかじめ捨石等をせめ部に投入しておき洗掘防止対策を行うことも記載されている。なお、当然のことながら、せめ部での高速流に対しても締切資材が流出しづらくなる対策（十分な重さのある資材の使用、軽めの締切資材をトラップする流出防止補助工法の採用、締切資材の連結等）の検討は必須である。

2. 及び3. で紹介した事例の中で、せめ工の実施の際に実施された具体の対策としては、女満別川及びサラカオーマキキン川での洗掘防止（割石、大型土のうの事前投入）、十勝川及び石狩川でのより重い締切資材（10トンの石籠、2.5トンのブロック）の使用、3. の空知川での流木の使用（投入した土砂の流出防止）、十勝川及び石狩川での迅速な締切資材の投入（石籠を積み上げた上での決壊口への押し出し作業、63トンの大型ブルドーザの使用）があげられ、氾濫流の流速が小さいために、特別な対策を実施する必要の無かった2. の空知川と柴山沢川の事例を除き、結果としてど

の事例もせめ工の際には何らかの工夫を行っていたことがわかる。

次に、先ほど述べたせめ部の位置選定についてであるが、紹介した事例の中には、せめ工の実施しやすさという観点から、位置選定を予め行った上でせめ工を実施したものは無かった。この理由としては、4. 4. 3で整理したように、緊急工事として紹介した6事例は、片側締切か、両側締切ではあるものの片側は補助的な役割を担っていたにすぎなかった事例ばかりであり、両側から選定した位置に向かって作業量を調整しながら締切作業を進めることのできる状況ではなかったのではないかと考えられる。なお、緊急工事ではない石狩川の事例では、軟岩が低水路に露出していることから、比較的浅いところに軟岩が露出している場所があれば、そのような箇所をせめ部として選定する方法もあり得ると思われる。ただし、聞き取り調査の結果では、冬期間の施工のため、締切工事の施工条件が洪水時の締切よりも厳しくないことから、せめ工の実施しやすさよりも、締切とは関係の無いその他の様々な要因も考慮して、せめ部の場所を決めたとのことであった。よく考えてみれば、洗掘の進みにくい地質の固い箇所や水深の比較的浅い箇所等の情報を事前に入手することが、せめ部の位置選定を行うことの大前提となるが、例えば、必ずしも堤防決壊後の締切工事着手前に決壊口周辺の測量を実施できるわけではない上に、先ほど述べたように本来の意味での両側締切を実施できる場合が必ずしも多くないことから、実際にせめ部の位置選定を事前に行った上での緊急締切工事の実施は、いつでもできるわけではなく、むしろレア・ケースではないかと思われる。

4. 5 その他

ここでは、純粋に技術的なことではないものの、緊急締切工事を実施するにあたり、重要と思われることを何点か述べたい。

4. 5. 1 人員や資機材の調達

平成28年の北海道豪雨の際には、多くの箇所で大災害が次々と発生したため、後で発生した災害の現場では、先に発生した災害の現場に人員や資機材を取られてしまい、これらの調達で非常に苦労したという話を多く聞いた。また、局所的な災害の場合でも、災害対応を開始した時間が朝の場合には、協力業者としてあてにしていた会社が既にその日の現場に出かけた後であるため、協力業者を集めるのに苦労する可能性もある。

平成28年の北海道豪雨災害の緊急工事を担当した

会社の多くは、発注者の了解を得た上で、稼働中の自社の他の現場を止めて、止めた現場の人員や資機材を災害現場に投入した他、建設業協会等の業界団体も人員や資機材の調達のための調整を行ったそうである。また、リース会社も災害現場に重機等を優先的に振り向けることができるように、先約がある他の現場との調整を行っていたようだとしている。その一方で、例えば、国発注の工場の現場を止めて、その現場の資機材や人員を自治体の災害現場に投入することには建設会社が躊躇したという話も聞いている。

人員や機材の調達は民民の契約なので、官が果たす役割には自ずと限界があるが、災害発生時のような緊急時には、発注機関に関係なく稼働中の現場作業を一時中断して、中断した現場の人員や資機材を災害現場に振り向ける調整に、災害現場の緊急工事を受注した建設会社等があまり苦労しないですむような仕組みを関係機関や業界団体との間で平常時に構築しておくことを検討する必要があると思われる。

また、緊急締切工事は通常 24 時間体制の施工になることから、建設会社は調達できた人員の範囲内で、交代要員も考慮した上での人員のやりくりを検討することになるが、これについて聞き取り調査を行った大半の現場では 2 交代制を採用していた。ある現場では当初は 8 時間労働という観点から 3 交代制で人員をまわっていたが、3 交代制を組むことができるだけの十分な人員を調達できなかったことから、現場への通勤回数（通勤時間）が増える分だけ、実質的な休憩時間が減るため、途中から超過勤務を前提とした 2 交代制に変更している。このようなことから、災害時の緊急締切工事の場合には、人員の調達の程度に応じて、3 交代制にするか 2 交代制にするかを判断することが必要となる。ただし、特に同時多発的な災害の場合には、現在の全般的な人手不足の状況等を考慮すると 2 交代制を念頭にシフトを組むことが現実的であろう。

4. 5. 2 ロジスティクス（後方支援業務）

聞き取り調査では技術的な面に焦点を当てて現場代理人の方から話をうかがったつもりだったが、それにもかかわらず、弁当の確保や遠方から呼び寄せた人員のための宿泊先の手配等が大変だったというロジの苦労話を多くの現場代理人の方が話していた。昼夜兼行で動いている現場の作業員の方に食事のことを心配させないように、方々まわって弁当をかき集めたとか、被災地のコンビニで弁当を大量に買うと地域住民の方の食料調達に支障が出る恐れがあることから、被災地外の遠方で弁当を調達した等、食事一つを取っても普

段考えないようなことまで色々考慮する必要があったようである。また、遠方から急遽大勢の人員を集めることは滅多にないことなので、多くの建設会社は宿の手配が大変であるとは当初は予想できていなかったようである。実際にロジを担当していたのは現場代理人の方ではなく、主に建設会社の総務部門と思われるが、このような情報は風化させることなく、関連する社内マニュアル等に記載するとともに、業界全体の貴重な情報として業界内での情報共有をはかることが重要である。

4. 5. 3 交通規制・誘導、駐車場スペースの確保

緊急工事の現場には、多くの人（発注者、受注者、協力業者、地元の役場職員、近隣住民等）が集まって来る。実際にサラカオーマキキン川の事例では、生活道路を通過して工事の様子を見に来た近隣住民の方の駐車車両で堤防決壊現場に隣接する通行止め区間の道々が狭くなったことから、交通誘導が行われていた。したがって、現場によっては、このようなことも想定した交通規制・誘導等の対応を考えておく必要がある。この事例では、建設会社の関係者の車両（工事車両ではなく、通勤用の車両）用の適当な駐車スペースが現場近くに無かったことから、やむを得ず、通行止区間の道路の路肩に駐車することになり、これが交通誘導の必要となった遠因となっている。したがって、工事関係者の駐車スペースの確保にも気を配る必要がある。

また、聞き取り調査を行った事例では確認されなかったが、堤防決壊箇所周辺において浸水による通行止めが発生すると、通行可能な道路に一般車両が集中して交通渋滞の発生することがある。最近では平成 27 年の関東・東北豪雨災害において、鬼怒川の氾濫に伴う交通渋滞により、住民の方が指定避難場所に向かうことが困難になったことが報告されている³²⁾。交通渋滞は、例えば、締切資材の運搬等の支障になり得ることから、このような観点からも警察等の関係機関の協力を得て交通規制実施の必要性を検討する必要がある。

5. まとめ

本技術資料では、近年の北海道で発生した堤防決壊時における氾濫流がある中での緊急締切工事や主流路の切替工事に伴う締切工事の事例を紹介するとともに、事例をもとに緊急締切工事に関する考察を進めた。最後に、氾濫流がある中での緊急締切工事に関する留意事項を表-4 にまとめたので、参考にしていただければ幸いである。

表-4 堤防決壊時における氾濫流がある中での緊急締切工事に関する留意事項

<p>(1) 堤防決壊箇所までの作業用道路</p>	<ul style="list-style-type: none"> 緊急締切工事の際には、堤防決壊箇所まで通じる堤防天端等の作業用道路の改良が必要となる場合が多くあり、作業用道路のアクセス路としての良否は、改良に要する時間の長短によって判断される。 作業用道路の改良に要する時間も考慮して締切工事の総作業時間を見積り、予測される洪水の継続時間と比べた上で、氾濫流がある中での締切作業への着手の是非を判断する。 10 トンダンプがバックで堤防天端に進入するには、4m 程度の天端幅が必要である。 ダンプが堤防天端をバックで進む距離が 100～200m 程度以上になる場合は、決壊箇所近傍に旋回場所の造成を検討する。 堤防天端等でダンプのすれ違いが困難なために、バックホウやクレーンが資材の到着待ちの状態になる場合には、堤防脇の所々に待避場所の造成を検討する。 天端への碎石の補充や、旋回場所への敷鉄板の敷設等により必要なトラフィカビリティを確保する。 堤防天端幅が緊急締切工事の施工性や工法選択の自由度に大きな影響を及ぼすことから、機会を捉えた堤防への腹付盛土による天端拡幅や、平常時の適切な維持管理による天端幅の維持に努める。 堤防天端以外にも作業用道路として使用できるところがないかを確認する。
<p>(2) 使用する資機材</p>	<ul style="list-style-type: none"> 決壊口に投入した締切資材の流出割合が高まると締切作業が進捗しなくなるため、締切資材の選定は非常に重要である。 同じ重量のブロックでも形状によって耐流速性はかなり変わり得るので、重量だけではなく形状も考慮した投入ブロックの選定及び備蓄ブロックの特性の把握が必要である。 決壊箇所での河川の規模が大きくなるにつれて、必要となる締切資材は重くなる傾向にあると考えられる（特に決壊口が狭くなってきた時）。 河道内の堆積土砂や流木等の決壊箇所の周辺にある現地材料の使用も必要に応じて考える。 せめ部での締切資材の流出防止対策としては、十分な重さの資材を使用することが基本であり、場合によっては、より重い港湾のブロックの使用も検討する。また、十分な重さの資材の入手が困難な場合には、軽めの資材をトラップする流出防止補助工法の採用、ワイヤーによる締切資材の連結等を検討する。 堤々間が 60m 程度までで、河床勾配が 1/700 程度以下の中小河川であれば、バックホウで投入できる資材だけで、氾濫流がある中で決壊口を締め切ることのできる可能性が高いと考えられるので、使用する資機材の観点から効率的な施工が期待できる。 大河川での緊急締切工事では、重い締切資材やクレーンを使用する可能性が高いというデメリットを、堤防天端の広さや洪水予報の充実等のメリットを活かしてカバーするように努める。 堤防決壊の図上訓練では決壊口に締切資材を投入する重機としてクレーンを想定するケースが多いが、バックホウは迅速な調達が可能であり、悪路や狭い天端でも使用可能、かつ様々な使い方が可能という使い勝手の良さもあるため、締切工事への早期着手には有効である。 まずはバックホウで欠口止工や漸縮工等の締切作業を進め、その後のクレーンの使用が想定される場合には、クレーンヤードの造成も行う等して、適切な時期にクレーンを使用できるように準備する。 同時多発的な災害が発生して、ブロック等の運搬で一般的に用いられる大型の平ボディトラックが不足する場合には 10 トンダンプで代用する。 10 トンダンプのブロック等の運搬効率は大型の平ボディと比べて劣るが、ダンプはブロック等以外に、土砂や碎石等の締切資材も運搬できるので使い勝手が良い。 締切資材を積んだ平ボディが堤防天端等の作業用道路に進入することが困難もしくは非効率になる場合には、平ボディからダンプに積み替えて決壊箇所まで運搬する。 決壊口の近傍が非常にぬかるんでいてトラフィカビリティの改善が現実的ではなく、普通のダンプ等による資材運搬が困難な場合には、ぬかるんだ部分では、資材をバックホウやクレーンで吊って運ぶか、キャリアダンプに積んで運搬する。 キャリアダンプは悪路に強い他、車体上部が回転するためにバックする必要の無いタイプがある等、現場条件によっては使用価値が非常に高い。

<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">(3) 締切方法 (荒締切工)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・河床勾配が比較的急な河川では、決壊口が主に下流側に広がっていくため、堤防決壊後の比較的早い段階で欠口止工の実施が可能な場合には、下流側の欠口止工を最優先で実施する。 ・荒締切の施工位置には、①在来堤防法線、②川表側、③川裏側の3種類があり、現場条件に基づき、この中から最適なものを選択する。 ・落掘等の深掘箇所を避けるように荒締切の施工法線を決めることが望ましい。 ・深掘箇所での施工を避けるために、工事着手前に必要に応じて決壊口周辺の測量を実施することが望ましいが、それが不可能であっても、施工の見通しを立てるために施工中に測量を行う意義も大きい。 ・荒締切工は決壊口の両側からほぼ同等に進めることとされているが、実際には決壊箇所へのアクセス条件の悪さから、片側締切を行ったり、両側締切であっても両側がほぼ等しく作業を行うというよりも、一方が締切の中心的な役割を担い、もう一方は補助的な役割にとどまる事例が多い。 ・工事着手前にせめ部の最適箇所を選定し、当該箇所に向かって両側締切を進めることが理想だが、工事着手前の決壊口周辺の十分な状況把握が難しいために、せめ部の最適位置の選定は困難な場合が多い。また、選定位置に向かって作業量を調整しながら両側締切を進めることも困難な場合が多い。 ・締切作業がある程度進んで決壊口が狭くなると、堰上げによって決壊口での水位が上昇することがあるので、これを考慮して荒締切の天端高を決める。 ・せめ工を円滑に進めるためには、適切な締切資材の選択に加えて、締切資材の短時間での投入、早い段階での洗掘防止対策の実施が重要である。 ・決壊口内の流速が大きい場合の片側締切では、洪水流量が急激に減少する等の限られた場合を除き、ある程度締切が進んだ時点で、決壊口の逃げが程度の差こそあれ、高い確率で発生すると考えられる。 ・決壊口の逃げを防ぐためには、十分な量の資機材が調達できるならば、仮にアクセス条件の悪い側からの締切可能延長がわずかであっても、欠口止工の実施という観点から、片側締切を避けて両側からの締切を実施することが望ましい。 ・中小河川でバックホウのみを使用して、やむを得ず片側締切を行う場合には、決壊口の逃げを考慮して以下の手順で進めることが望ましい。 <ol style="list-style-type: none"> ①締切作業を行っている側から行っていない側に向かって資材を投入しながら締切作業を前進 ②せめ部になりそうな場所にも資材を早めに投入 (洗掘対策) ③バックホウのバケット (もしくはグラップル等の他のアタッチメント) が締切作業を行っていない側の堤防先端部に届くようになった段階で締切作業の前進を止めて、締切作業を行っていない側に資材を投入して欠口止工を実施 ④せめ部も含めて残った部分の締切作業を実施 ・堤防決壊の図上訓練で想定している典型的な締切方法 (ブロックを運搬して決壊口に投入する等) 以外にも実際には様々な締切方法があることに留意する。
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">(4) その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・締切工事の現場近くに資材の仮置きヤードを確保することを検討する。 ・堤防決壊の図上訓練がよりリアルで実践的なものになるように、訓練の内容を継続的に改良する。 ・豪雨が予測される場合には、河川管理者から災害協定業者に事前準備を指示するとともに、災害協定業者も協力業者に、いつでも対応できるように予め依頼しておくことが円滑な初動につながる。 ・緊急締切工事の受注者が施工に専念できる環境を河川事務所 (河川管理者) が整えることや、その河川事務所を支援する体制を上部機関や周辺の事務所等が整えることが必要である。 ・人員の調達の程度に応じて、24時間体制の工事を3交代制にするか2交代制にするかを判断する。 ・緊急工事の際に生じたロジスティクスに関する問題点を情報共有する。 ・工事関係者の通勤車両や、工事を見に来る近隣の方等の車両で現場周辺の道路が渋滞しないように、必要に応じた交通規制・誘導の実施や工事関係者用の駐車スペースの確保をはかる。 ・浸水による通行止めが発生すると、通行可能な道路で渋滞の発生することがあり、これが締切資材の運搬等の支障になり得るため、警察等の関係機関の協力を得て交通規制の必要性を検討する。

謝辞：国土交通省北海道開発局の職員及びOBの方、北海道庁の職員の方並びに緊急締切工事等を担当された建設会社の現場代理人の方には、聞き取り調査や写真等の各種資料の提供に御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 2015 年関東・東北豪雨災害 土木学会・地盤工学会 合同調査団関東グループ：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書、2016.
- 2) 土木学会 2016 年 8 月北海道豪雨災害調査団：2016 年 8 月北海道豪雨災害調査団報告書、2017.
- 3) 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、2017.
- 4) 土木学会水工学委員会 2017 北部九州豪雨調査団：先見調査隊報告（第 1 報～第 6 報）、2017.
<http://committees.jsce.or.jp/report/taxonomy/term/6> (2018 年 2 月 19 日確認)
- 5) 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：平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方～気候変動への適応により、命を守り国土の保全と発展へ～、2017.
- 6) 国土交通省北海道開発局帯広開発建設部：十勝川千代田実験水路
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/tisui/kds/chiyodashinsuiro/ct111r0000002u19.html> (2018 年 2 月 19 日確認)
- 7) 島田友典、前田俊一、柏谷和久、中島康博：十勝川千代田実験水路における河川堤防荒縮切工に関する基礎実験、寒地土木研究所月報、No. 760、pp. 41-46、2016.
- 8) 島田友典、前田俊一、柏谷和久、横濱秀明：河川堤防の荒縮切工法に関する模型実験、土木学会河川技術論文集、第 22 巻、pp. 379-384、2016.
- 9) 島田友典、横山洋、米本光明：十勝川千代田実験水路における河川堤防決壊時の効率的な縮切工に関する現地実験、寒地土木研究所月報、No. 776、pp. 22-27、2018.
- 10) 石塚隆勇、倉持好一、齋藤裕、清水勇、高橋徹、千邑重徳、丸山泉編修：災害復旧記録 昭和 56 年台風 15 号出水による小貝川高須地先（Ⅰ） 昭和 61 年台風 10 号出水による小貝川赤浜・豊田地先（Ⅱ） 小貝川災害復旧記録 DVD（36min）、社団法人関東建設弘済会、2009.
- 11) 空知川堤防調査委員会：空知川堤防調査委員会報告書、2017.
- 12) 前田俊一：2016 年 8～9 月の北海道における豪雨災害に関する報告 5 河川の被害（河川堤防等）について、寒地土木研究所月報、No. 770、pp. 55-64、2017.
- 13) 常呂川堤防調査委員会：常呂川堤防調査委員会報告書、2017.
- 14) 渡邊康玄、早川博、川口貴之、西村弘之、相澤哲也：2015 年 10 月台風 23 号による網走周辺の被災状況報告、土木学会北海道支部平成 27 年度年次技術研究発表会論文報告集、第 72 号、B-11、2016.
- 15) 国土交通省水管理・国土保全局：国土交通省 水文水質データベース
<http://www1.river.go.jp/> (2018 年 2 月 19 日確認)
- 16) 財団法人 国土開発技術研究センター：堤防決壊部緊急復旧工法マニュアル、1989.
- 17) 山本太郎、東海林勉、飛田大輔、島田友典：破堤時の締切で投入するブロックの流出を防止するための鋼組工に関する試行模型実験、河川技術論文集、第 22 巻、pp. 357-360、2016.
- 18) 福島河川国道事務所：阿武隈川台風 5 号出水状況第 2 報（終報）、1998.
http://www.thr.mlit.go.jp/fukushima/heisei/98suigai/5t/5t_2/5t_2f_01.htm (2018 年 2 月 19 日確認)
- 19) 財団法人 国土開発技術センター編集：解説・河川管理施設等構造令、第 3 章 堤防、2000.
- 20) 国土交通省北陸地方整備局：設計要領（河川編）（平成 25 年 4 月一部改訂）第 1 章 河川編、pp. I-16、2013.
http://www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/kaitei/sek_riv/data/003_kasen.pdf (2018 年 2 月 19 日確認)
- 21) 東京消防庁狛江消防署、多摩川水防記録編集委員会編集：濁流に挑む 多摩川決壊と水防活動記録、東京法令出版、1975.
- 22) 前田俊一：2016 年 8～9 月の北海道における豪雨災害に関する報告 5 河川の被害（河川堤防等）について、寒地土木研究所月報、No. 770、pp. 55-64、2017.
- 23) 国土交通省北海道開発局、独立行政法人土木研究

- 所寒地土木研究所：河川堤防の越水破堤現象のうち破堤拡幅機構に関する実験報告書、2012.
- 24) 島田友典、渡邊康玄、岡部博一、岩崎理樹、中島康博：川幅と河床勾配が破堤現象に与える影響、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol. 73、No. 4、pp. 1345-1350、2017.
- 25) 飛田大輔、柿沼孝治、柏谷和久、武田淳史：千代田実験水路における根固めブロックによる破堤氾濫流の抑制効果、土木学会河川技術論文集、第 21 巻、pp. 377-382、2015.
- 26) 島田友典、飛田大輔、前田俊一、柏谷和久、横濱秀明：千代田実験水路における破堤拡幅進行時の氾濫流量抑制実験、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol. 72、No. 4、pp. 1159-1164、2016.
- 27) 島田友典、前田俊一、柏谷和久、飛田大輔、伊藤幸義、横濱秀明：根固ブロックを用いた破堤氾濫流量抑制の基礎実験、第 3 回 地盤工学から見た堤防技術シンポジウム講演概要集、I-4、2015.
- 28) 国土交通省近畿地方整備局河川部：語り継ぐ河川技術—技術体験集—、p. 177、2010.
- 29) 水山高久監修、森俊勇・坂口哲夫・井上公夫編著：日本の天然ダムと対応策、古今書院、pp. 163、2011.
- 30) 佐藤俊英、森田義一：ヘリコプターによる堤防決壊時水防手法の検討、平成 23 年度北陸地方整備局事業研究会、2011.
- 31) メタリー国勢調査指定地域 (Metairie Census Designated Place)：17th Street Canal Blackhawk deposits a 6,000 pound-plus bag of sand. jpg、<http://www.metairie.com/Hurricane%20Katrina%20Photos/New%20Orleans/> (2018 年 2 月 19 日確認)
- 32) 国土交通省水管理・国土保全局：第 1 回 大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会【資料 2】平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における洪水及び被害等の概要、p. 37、2015.
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/1/pdf/daikibo1_04_s2.pdf (2018 年 2 月 19 日確認)



前田 俊一*

MAEDA Shunichi

寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
上席研究員 (特命事項担当)
技術士 (建設・総合技術監理)



島田 友典**

SHIMADA Tomonori

寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ
寒地河川チーム
研究員