

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

平成 24 年 10 月

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

はじめに

近年、台風や集中豪雨などに起因する災害が多発しており、河川の氾濫による大規模な水害の発生が懸念されている。なかでも堤防決壊による被害は甚大であるが、破堤のプロセスは技術的によく分かっておらず、河川堤防の破堤機構の解明は、水害被害の軽減に向けて重要な課題である。

十勝川中流部に位置する十勝川千代田実験水路は、国内最大規模の実物大河川実験施設として、堤防破壊のプロセス、河床変動などの土砂移動、河道内樹木の密度と洪水時の抵抗、多自然工法や樹木・植生などによる堤防や河岸の保護機能等を解明し、安全で安心できる国土づくりや美しい国土づくりに資する成果を得ることを目的として、平成 19 年に完成した施設である。

本報告書は、平成 20 年度から平成 23 年度にかけて千代田実験水路で破堤実験を行い、河川堤防の越水破堤現象のうち、特に破堤拡幅機構に関する検討の成果を、国土交通省北海道開発局と独立行政法人土木研究所寒地土木研究所が共同でとりまとめたものである。報告書の構成は以下に示すとおり、越水破堤をとりまく状況、千代田実験水路における越水破堤実験、縮尺模型実験による再現性の検証という 3 部構成となっている。

第Ⅰ部 越水破堤をとりまく状況

- －破堤災害や既往研究の事例(第 1, 2 章)
- －実験の目的と意義(第 3 章)

第Ⅱ部 千代田実験水路における越水破堤実験

- －千代田実験水路の概要(第 4 章)
- －実験の計測手法や条件設定のために行った予備実験(第 5, 6, 7 章)
- －越水破堤実験の結果と考察(第 8 章)

第Ⅲ部 縮尺模型実験による再現性の検証

- －縮尺模型実験による千代田実験水路の越水破堤実験に関する再現性検証(第 9 章)

目 次

はじめに

第 I 部 越水破堤をとりまく状況	1
第 1 章 破堤災害事例	2
(1) 北海道の災害事例	3
(2) 北海道以外の災害事例	14
a) 信濃川水系五十嵐川・刈谷田川の破堤事例（2004 年 7 月）	15
b) 円山川水系円山川・出石川の破堤事例（2004 年 10 月）	19
c) 庄内川水系新川の破堤事例（2000 年 9 月）	21
第 2 章 越水破堤現象に関する既往の研究事例	23
第 3 章 十勝川千代田実験水路による実験の目的と意義	26
第 II 部 千代田実験水路における越水破堤実験	28
第 4 章 千代田実験水路の概要	29
第 5 章 破堤進行過程の計測手法	32
(1) センサーの選定	33
(2) 実験概要	34
(3) 実験結果	35
(4) 改良型加速度センサー	37
第 6 章 予備実験（正面越流）	39
(1) 実験概要	39
a) 水路形状・実験条件	40
b) 計測方法	40
c) 通水方法	42
(2) 実験結果	43
a) 実験状況	43
b) 水位・流量観測結果	45
c) 破堤拡幅幅	47
d) 破堤進行過程	48
e) 通水終了後の地形	51
f) 実験のまとめ	53

第7章 予備実験（横越流）	54
(1) 実験概要	54
a) 水路形状・実験条件	55
b) 計測方法	57
c) 通水方法	61
(2) 実験結果	62
a) 実験状況	62
b) 水位観測結果	65
c) 流量観測結果	66
d) 破堤拡幅幅	67
e) 破堤進行過程	68
f) 通水終了後の地形	68
g) 実験のまとめ	75
第8章 本実験	76
(1) 実験概要	76
a) 水路形状・実験条件	77
b) 堤体材料・堤体基盤	80
c) 計測方法	83
d) 通水方法	83
(2) 実験結果	84
a) 実験状況	84
b) 水位観測結果	90
c) 流量観測結果	92
d) 流況観測結果	94
e) 氾濫流量	99
f) 破堤進行過程	102
g) 通水終了後の地形	112
h) 氾濫域への土砂流出状況	121
i) 破堤進行過程のまとめ	128
j) 堤体の浸透状況	149
(3) 破堤進行過程と水理量の関係	154
a) 破堤拡幅開始以前	154
b) 破堤拡幅開始以降	155

(4) 本実験のまとめ.....	162
第Ⅲ部 縮尺模型実験による再現性の検証.....	164
第9章 縮尺模型実験.....	165
(1) 縮尺模型実験概要.....	166
a) 水路形状・実験条件.....	166
b) 計測方法.....	166
(2) 再現性の検証.....	170
a) 破堤進行過程の再現性.....	170
b) 水位と河床高の再現性.....	178
c) 流況の再現性.....	179
d) 氾濫流量の再現性.....	182
e) 堤体崩壊量の再現性.....	185
(3) 縮尺模型実験のまとめ.....	189
まとめ.....	190
おわりに	
参考文献	

第 I 部 越水破堤をとりまく状況

第 I 部では、これまでの越水破堤による災害や越水破堤に関する研究事例について触れるとともに、千代田実験水路における実験の目的について述べる。

第1章では、近年の破堤事例について触れる。

第2章では、越水破堤現象に関する既往の研究事例について触れる。

第3章では、以上を踏まえ、本実験の目的について述べる。

第1章 破堤災害事例

近年、台風や集中豪雨などによる災害が多発しており、河川の氾濫による大規模な水害の発生が懸念されているところであり、河川の整備が進んだ今日でもなお、堤防決壊等の事例が見られる。

破堤の要因は、越流水による裏法侵食、浸透による堤体の弱体化、流水による侵食などであるが、過去の事例では、その8割以上が越水に起因する¹⁾ものであると言われていることから、越水破堤現象に関する知見を得ることは、防災対策上極めて重要だと考えられる。

(1) 北海道の災害事例

表-1 に昭和 56 年 8 月洪水における石狩川下流の破堤事例を示す。昭和 56 年 8 月上旬に戦後最大の記録的な豪雨により石狩平野の軟弱な地盤上に築かれた本川及び支川の堤防が多数破堤し、甚大な被害が発生した。破堤は 11 箇所が発生し、そのうち 9 箇所が越水によるものだった(図- 1～図- 19, 写真- 1～写真- 9)。

表- 1 昭和 56 年 8 月洪水における石狩川下流の破堤災害事例

No	河川名	築堤名	場所	破堤原因
①	真勲別川	マクンベツ	3 号樋門上流	越水
②	石狩川	下新篠津	美原 36 線地先	越水
③	石狩川	下新篠津	美原 37 線地先	越水
④	幌向川	幌向川右岸	西 2 号線地先	越水
⑤	幌向川	幌向川右岸	西 1 号橋下流	越水
⑥	嶮淵川	嶮淵川左岸	国境樋門上流	越水
⑦	島松川	島松川左岸	南の里樋門地先	漏水
⑧	産化美唄川	産化美唄川左岸	7 号橋上流	越水
⑨	奈井江川	奈井江川右岸	逆水堤樋門下流	越水
⑩	大鳳川	大鳳川左岸	下 4 号樋門下流	越水
⑪	漁川	漁川左岸	漁川左岸 14 号地先	漏水

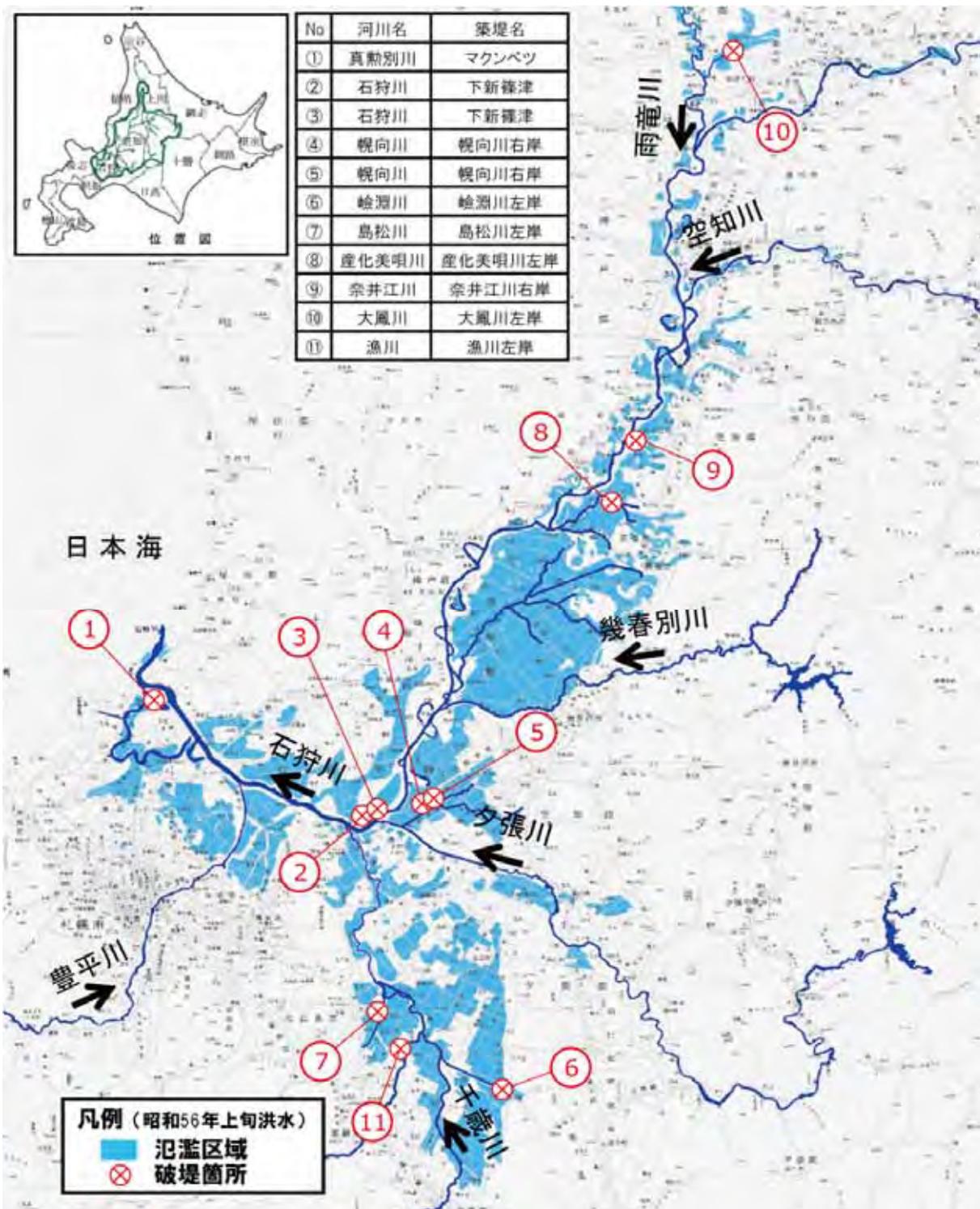


図- 1 昭和 56 年 8 月洪水時の破堤箇所（石狩川下流）



写真- 1 破堤状況 (①真熟別川)

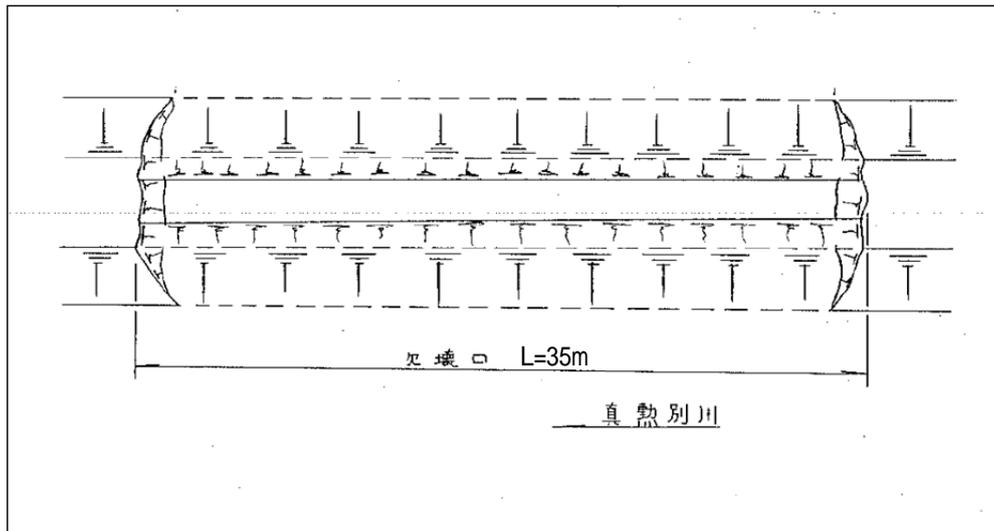


図- 2 平面図 (①真熟別川)

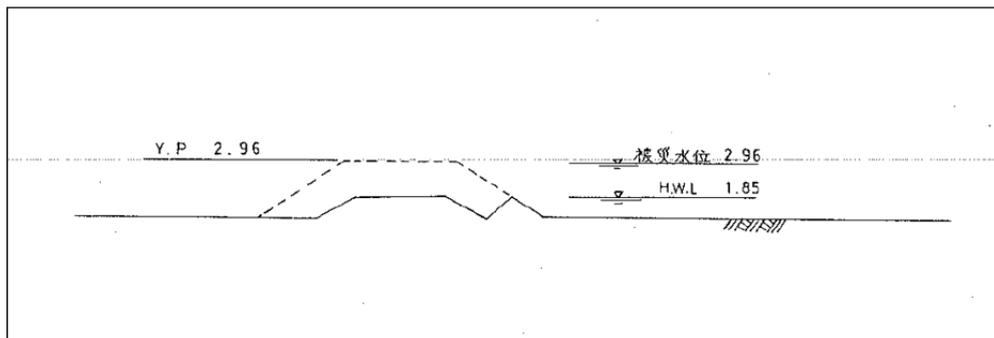


図- 3 断面図 (①真熟別川)



写真- 2 破堤状況 (②石狩川：美原 36 線地先)

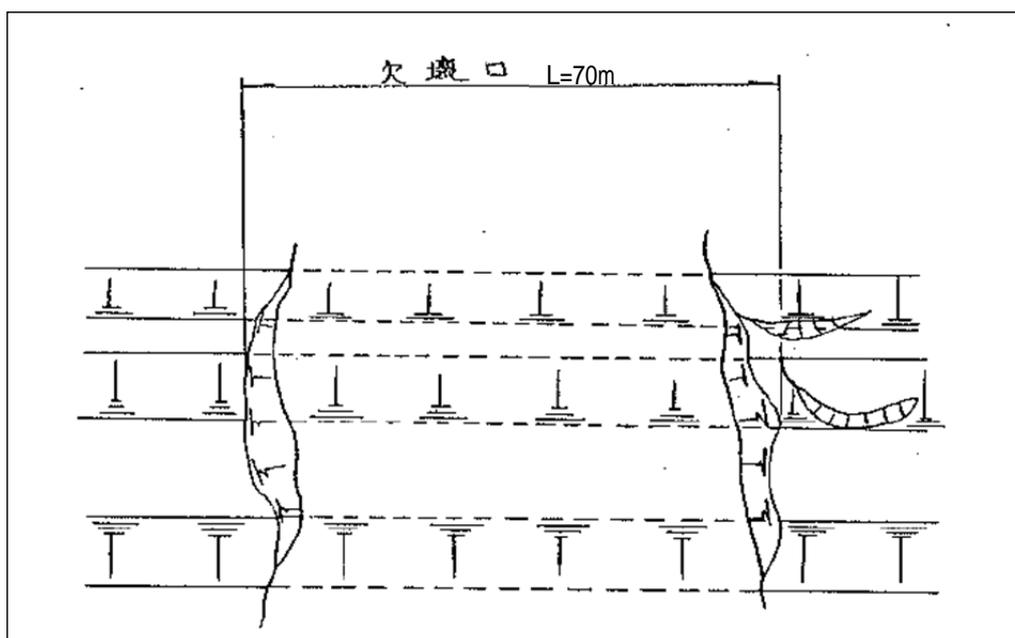


図- 4 平面図 (②石狩川：美原 36 線地先)

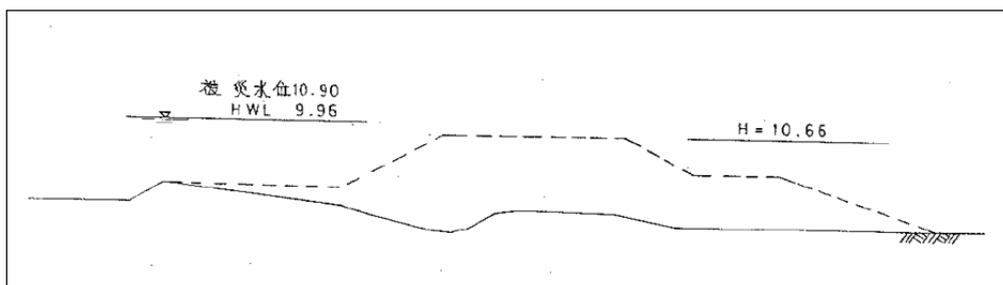


図- 5 断面図 (②石狩川：美原 36 線地先)



写真- 3 破堤状況 (③石狩川：美原 37 線地先)

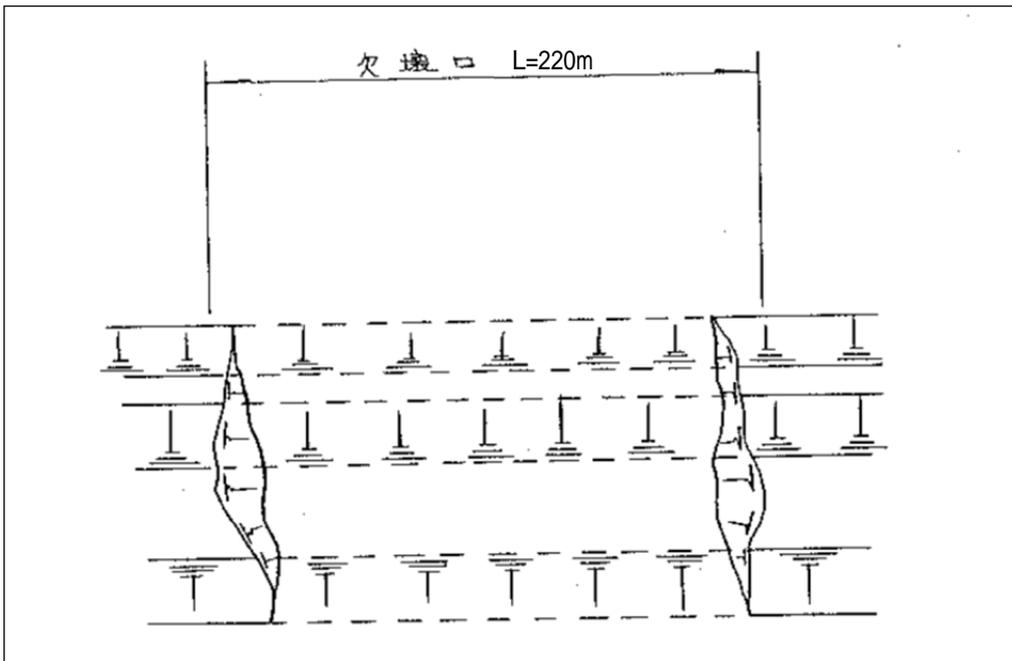


図- 6 平面図 (③石狩川：美原 37 線地先)

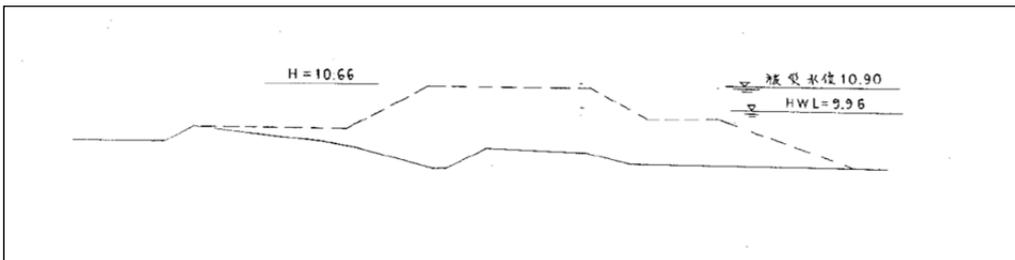


図- 7 断面図 (③石狩川：美原 37 線地先)



写真- 4 破堤状況 (④幌向川：西2号線地先)

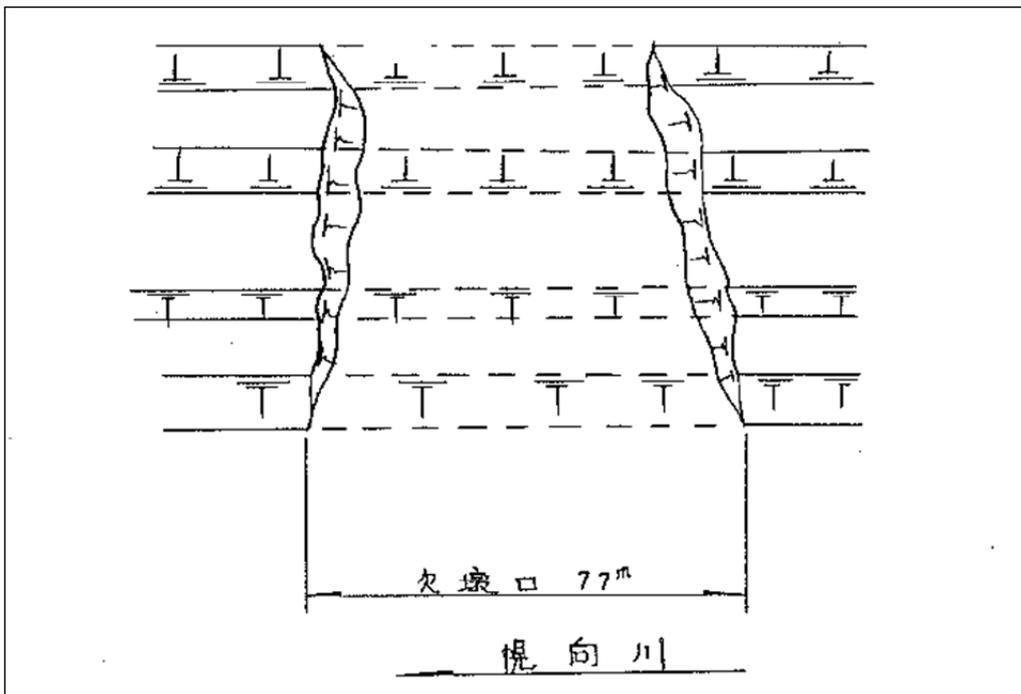


図- 8 平面図 (④幌向川：西2号線地先)

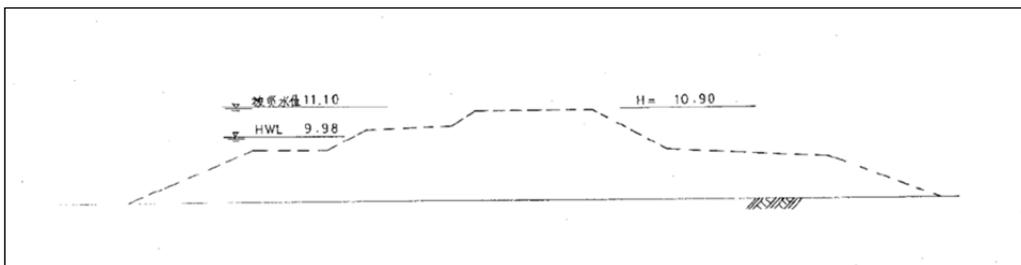


図- 9 断面図 (④幌向川：西2号線地先)



写真- 5 破堤状況 (⑤幌向川 : 7 西 1 号橋下流)

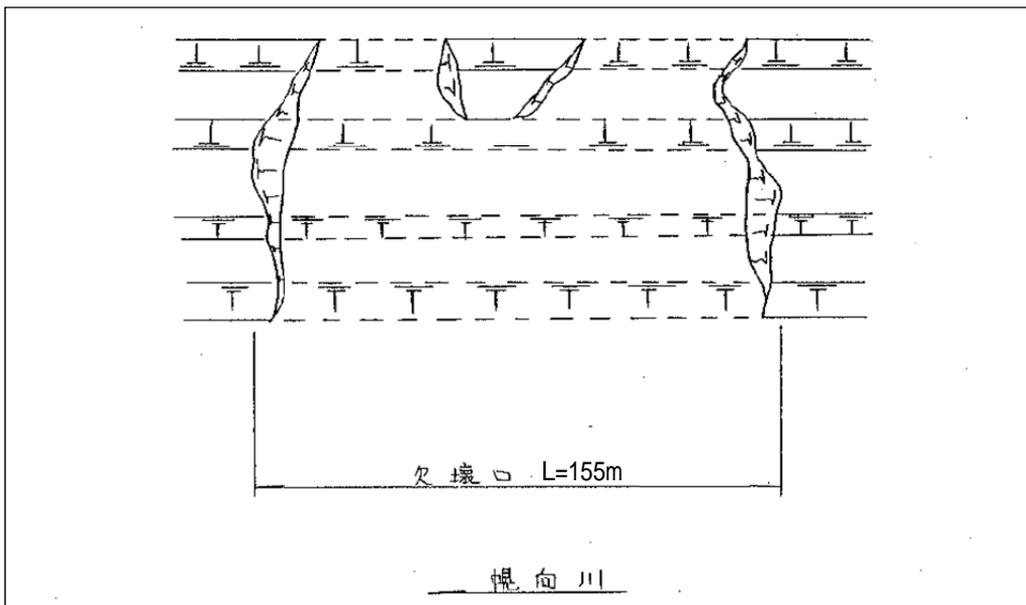


図- 10 平面図 (⑤幌向川 : 西 1 号橋下流)

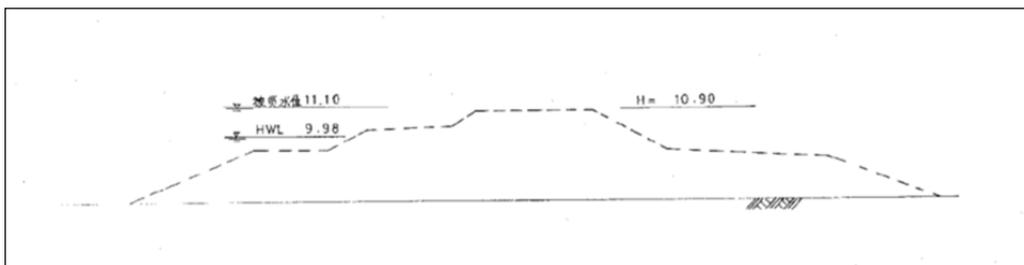


図- 11 断面図 (⑤幌向川 : 西 1 号橋下流)



写真- 6 破堤状況 (⑥嶮淵川)

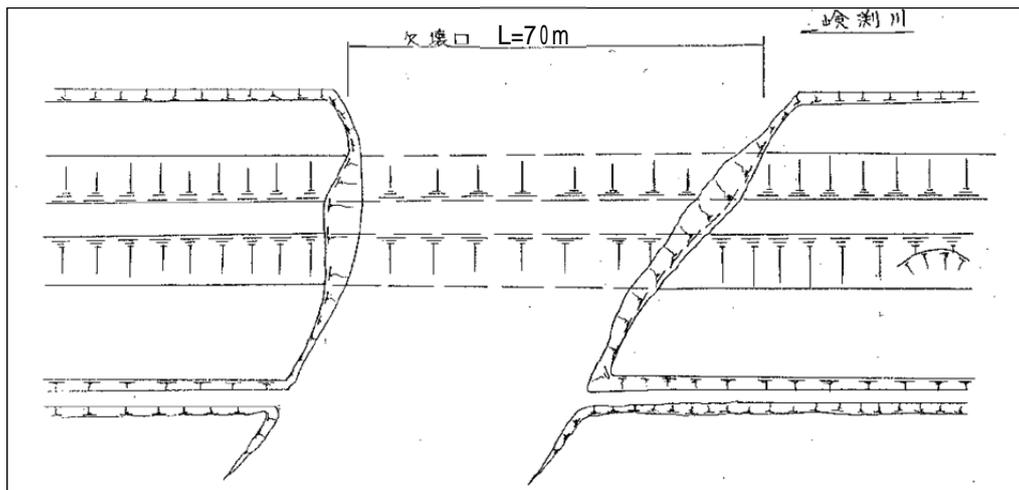


図- 12 平面図 (⑥嶮淵川)

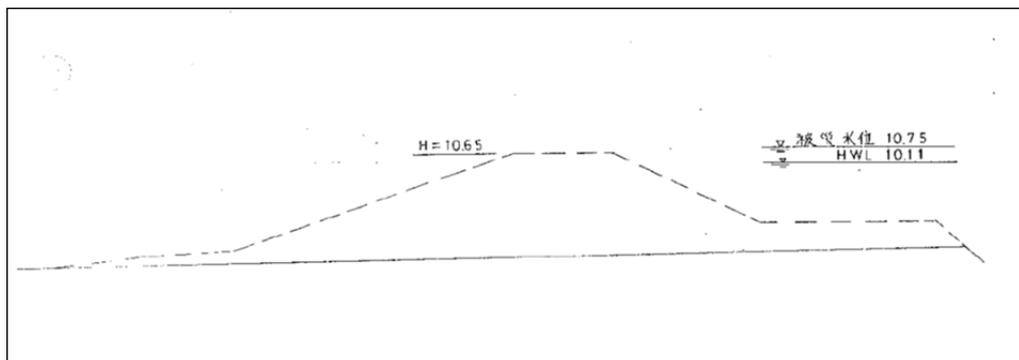


図- 13 断面図 (⑥嶮淵川)

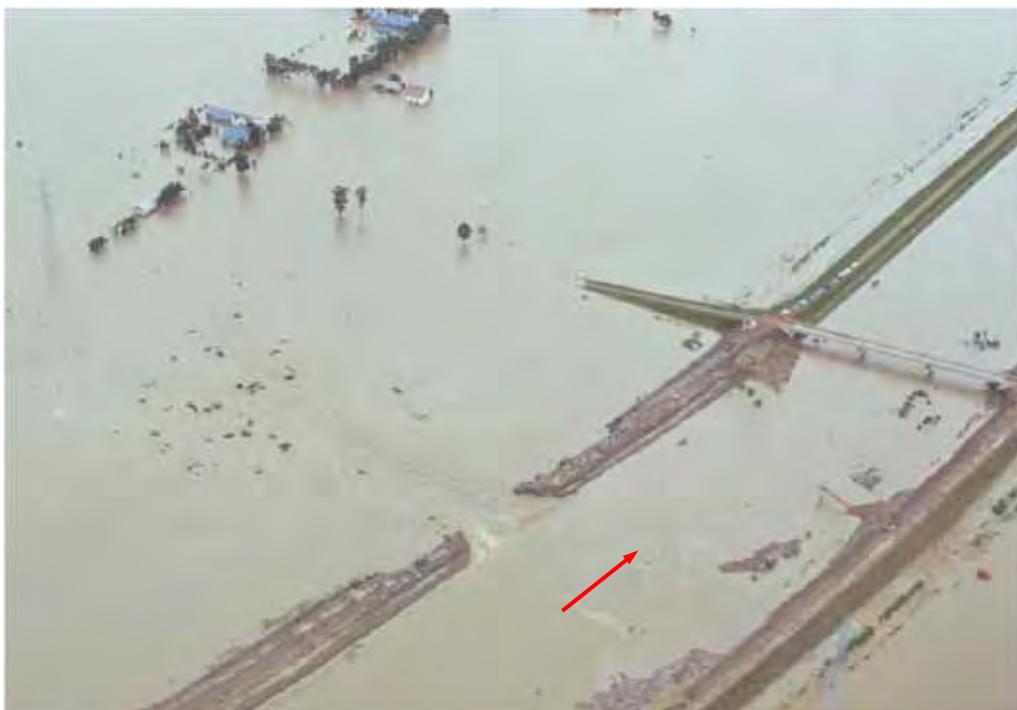


写真- 7 破堤状況 (⑧産化美唄川)

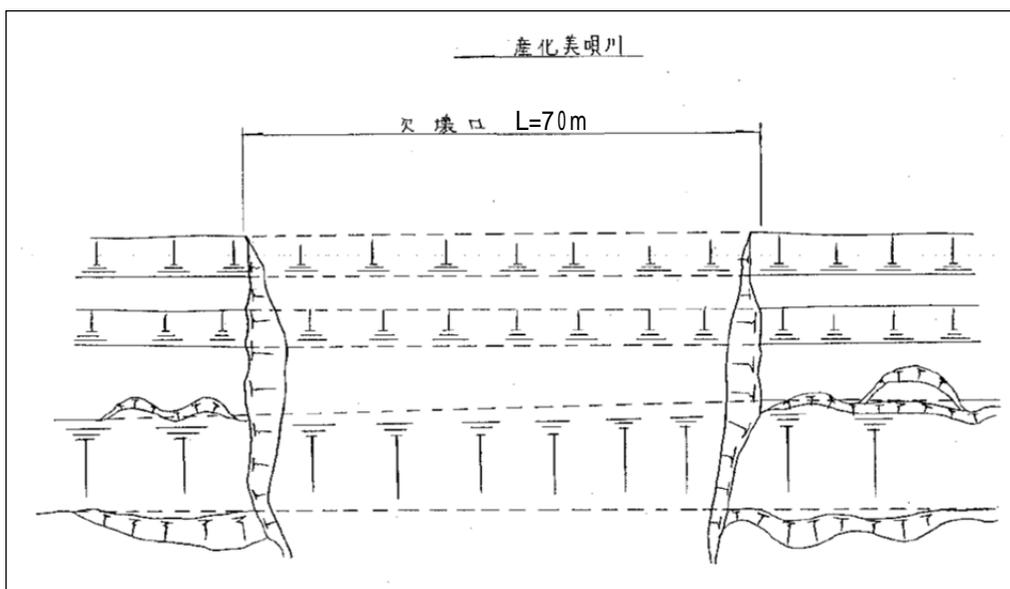


図- 14 平面図 (⑧産化美唄川)

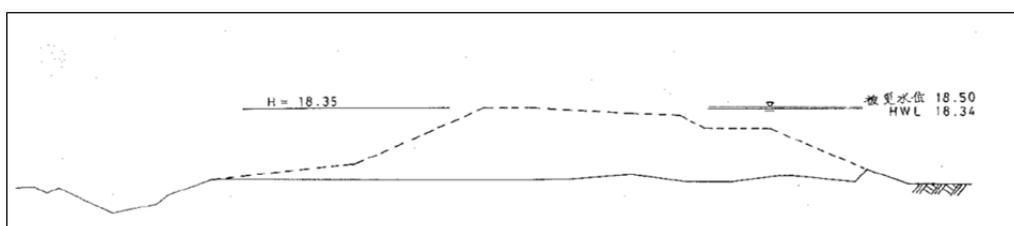


図- 15 断面図 (⑧産化美唄川)



写真- 8 破堤状況 (㊟奈井江川)

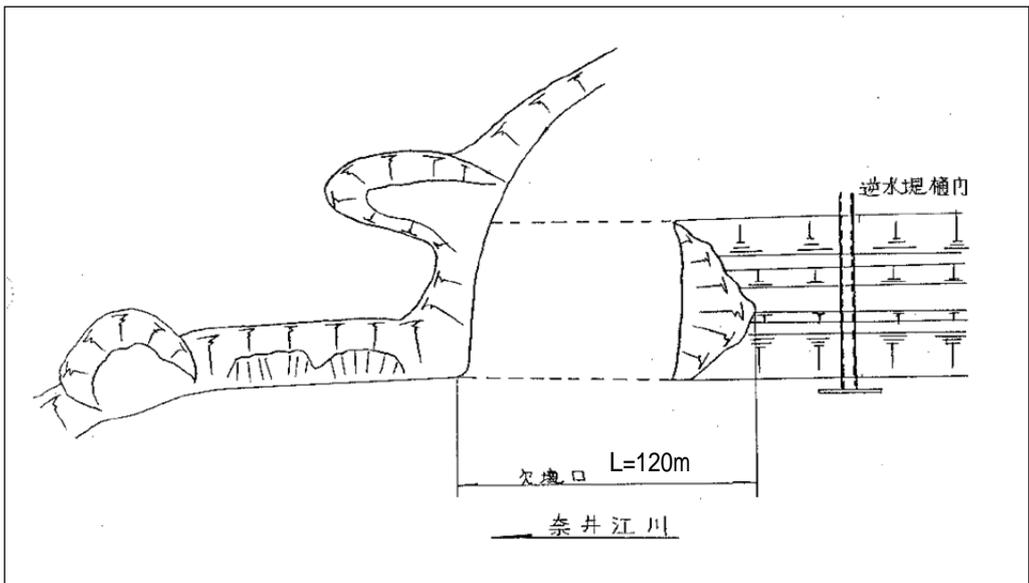


図- 16 平面図 (㊟奈井江川)

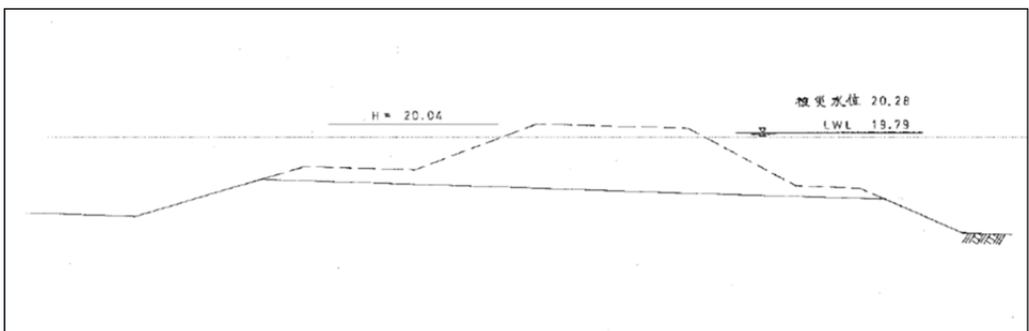


図- 17 断面図 (㊟奈井江川)



写真- 9 破堤状況 (⑩大鳳川)

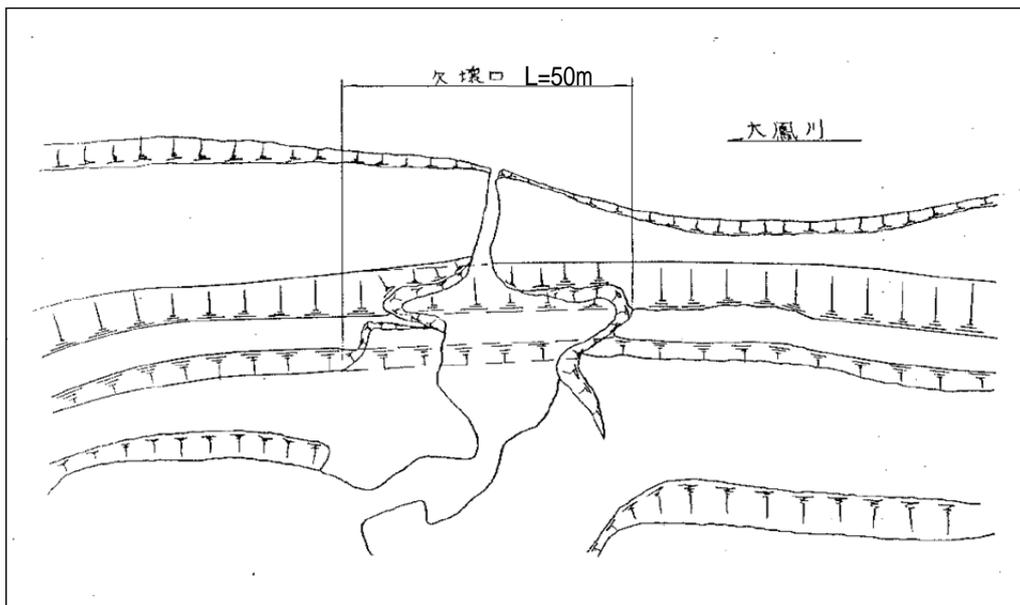


图- 18 平面图 (⑩大鳳川)

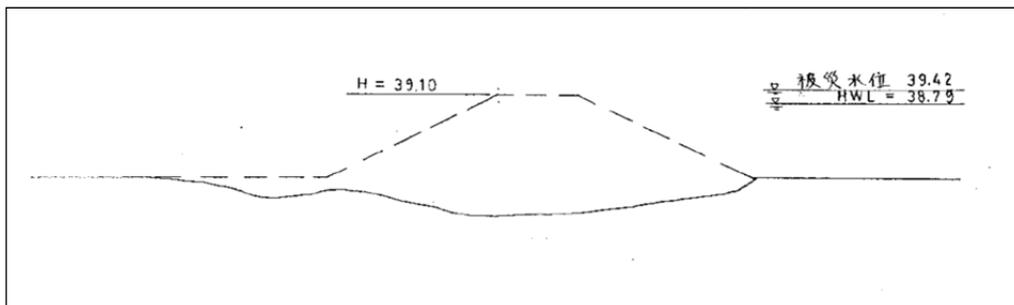


图- 19 断面图 (⑩大鳳川)

(2) 北海道以外の災害事例

表-2 に北海道以外の主な破堤事例として、近 20 年の破堤事例のなかで、その状況を比較的良く把握できている事例について紹介する。また、災害後に破堤のメカニズム等に関する調査検討を行っているいくつかの事例について、調査報告書等からその内容を抜粋する。これらの事例では、災害後の調査に加え、数値計算等により破堤メカニズムの推定が行われているものもある。

表-2 近 20 年の破堤に伴う主な災害事例

年月	被災地	破堤の状況
1995 年 7 月	信濃川 水系 鳥居川 (長野県)	信濃川支川鳥居川の豊野町浅野地区で越水破堤があった。昭和橋付近で越水による浸水が始まり、下流の鳥居大橋付近で堤内側から堤外側への越流による破堤が発生し、最終的に破堤延長は最大 60m になった。 ※建設省河川局, 河川, 1995. 8 より
1998 年 8 月	阿武隈川 水系 阿武隈川・ 堀川 (福島県)	阿武隈川支川堀川で 1 箇所、堀川が合流する付近の本川で 2 箇所の越水破堤があった。堀川では、堤防高が低かったことにより、越水破堤した。本川の 2 つの破堤箇所では、堀川の破堤による氾濫水がその 2 箇所に集中し、堤内地側から本川に越水し破堤した。 ※土木研究所, 土木技術資料, 1998. 11 より
2000 年 9 月	庄内川 水系 新川 (愛知県)	新川で 3 箇所の破堤があった。破堤の要因としては、雨水浸透と河川水位上昇に伴う堤体浸透により堤体が弱体化し、堤防裏法が崩れ始め、崩壊が堤防天端にまで達したのち、越水が始まり、堤体侵食が広がったと推定されている。 ※辻本, 土木学会誌, 2001. 10 より
2000 年 9 月	矢作川 水系 籠川・ 広田川 (愛知県)	矢作川支川籠川で 1 箇所、広田川で 1 箇所の破堤があった。籠川の破堤地点は護岸がない土堤状態であること、破堤前に越流はないことから湾曲部における外岸側の河床洗掘と側岸侵食の進行により、破堤が生じたものと推定されている。広田川では越水により破堤した。 ※辻本ら, 河川技術論文集, 2001. 6 より
2004 年 7 月	九頭竜川 水系 足羽川 (福井県)	九頭竜川支川足羽川で 7 箇所、その他支川で 2 箇所の破堤があった。それらのうち、足羽川の春日地先では、破堤地点の上下流で左右岸ともに越水が認められ、越流水深は 0.2m で約 1 時間の越流が継続したと推定されている。 ※玉井, 土木学会誌, 2004. 10 より
2004 年 7 月	信濃川 水系 五十嵐川・ 刈谷田川 (新潟県)	・信濃川支川五十嵐川の諏訪地区において破堤があった。破堤延長は約 120m であり、破堤原因は、越流によるせん断力が法面の植生の耐侵食力を上回る状態が続き、越流水の落下する法尻部の洗掘及び越流水が流下する法肩から法面が侵食し、さらに拡大して破堤に至ったものと推定されている。 ・信濃川支川刈谷田川で 4 箇所の破堤があった。そのうち中ノ島地区の破堤延長は 50m であり、破堤原因は、水衝部での越水によるもので、越流によるせん断力が裏法面植生の耐侵食力を上回る状態が続き、堤防裏法尻部の洗掘・裏法面が侵食され、破堤に至ったものと推定されている。 ※7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会報告書, 2005. 5 より
2004 年 10 月	円山川 水系 円山川・出 石川 (兵庫県)	円山川及び支川出石川で各 1 箇所の破堤があった。円山川の立野地区では、堤防越水が発生し、裏法面侵食と堤体浸透により破堤したと推定されている。出石川の鳥居地区では、堤防越水が発生し、裏法面侵食により破堤したと推定されている。 ※後藤, 河川, 2005. 2 より



写真- 10 破堤状況（諏訪地区） ※7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会報告書より引用

a) 信濃川水系五十嵐川・刈谷田川の破堤事例（2004年7月）

※引用：7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会報告書

【五十嵐川】(写真- 10 参照)

堤防は明治期の旧堤防を嵩上げ拡幅し、昭和12年頃には概ね現在の形状になっていたものと推定される。堤防土質は、堤体がシルト質細砂～砂質シルトで構成され、基礎地盤の表層は粘性土で覆われ、その下部に砂礫層が分布する構造となっている。現在の堤防は、高さが約4m、天端幅は約4mでアスファルト舗装が施されており、法勾配は2割で表・裏とも植生で覆われている。破堤箇所は、周辺に比べ堤防高さが若干低く、裏法面は植生が乏しかった模様である。

堤防に作用した降雨は、1ヶ月前からの降雨量で見ると360mmを越え、河川水は7月13日10時前後に堤防天端を超え始め、その後低下して再び12時頃から水位が上昇し越水が生じたものと考えられる。

非定常浸透流解析によると、河川水位が天端に迫ると基礎地盤の砂礫層での圧力が高まり、堤内地でボイリング（噴水、噴砂）が生じる可能性があることから、10時前後にはこのような現象が生じていたものと推定される。但し、破堤が生じていない対岸においても同様な解析結果が得られている。また、調査結果から推測すると破堤に直接つながる基礎地盤を破壊するような浸透現象（パイピング）は生じなかったものと推定される。河川水位はその後低下し、12時頃から再び越水が発生すると、越流によるせん断力が法面の植生の耐侵食力を上回る状態が続き、越流水の落下する法尻部の洗掘及び越流水が流下する法肩から法面が侵食し、さらに拡大して破堤に至ったものと推定される。その後、上流側へ破堤が拡大したものと推定される。これは、破堤後の落堀の形状と堤内地の稲の倒伏状況からも読みとれる。また、堤内地に散乱する砂礫や玉石は、堤体材料のほか、破堤に伴い基礎地盤が深く抉られたために砂礫層の一部が流出したことによるものと考えられる。

以上のことから、五十嵐川（諏訪）の破堤は、越流による裏法面等の侵食が主原因であると考えられる。（図- 20 参照）

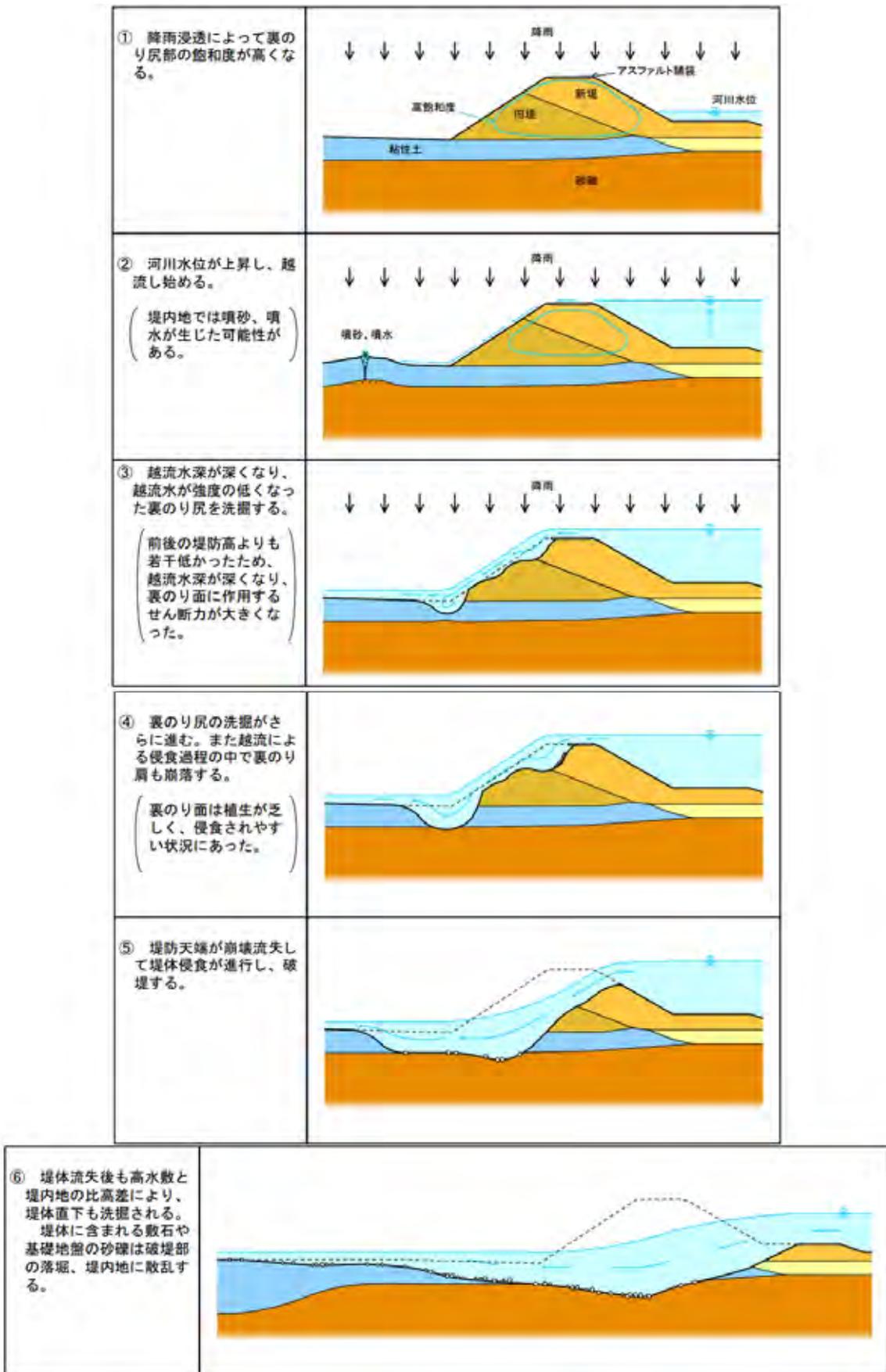


図- 20 破堤のメカニズム (五十嵐川) ※7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会報告書より引用 (一部修正)



写真- 11 破堤状況（中之島地区） ※7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会報告書より引用

【刈谷田川】(写真- 11 参照)

刈谷田川の堤防は、明治期の旧堤を嵩上げ・拡幅し、昭和36年洪水を契機に実施された河川改修により概ね現在の形状になっていたものと推定される。堤防の土質は、粘性土が主体であり、基礎地盤は表層に約6～9mの粘性土層、その下部に砂層が分布する構造である。現在の堤防は、高さが約5m、天端幅は約3m、法勾配は概ね2割で表法面は天端まで護岸が施工され、裏法面は植生で覆われている。破堤箇所は、河道の湾曲部の外岸側であり、表のり面は堤防天端まで護岸が施工されていたものの橋との取り付け等の関係で裏のり勾配は急であった様である。

堤防に作用した降雨は、1ヶ月前からの降雨量でみると480mmを越えていた。また、河川水は、7月13日11時頃に計画高水位を越え、12時頃には越水が生じたものと考えられる。越流水深はヒアリング調査の結果最大40cm程度であったと推定される。

このような状況から、12時頃からの越流によるせん断力が法面植生の耐侵食力を上回る状態が続き、越流水の落下する法尻部の洗掘及び越流水が流下する法肩から法面の侵食のさらなる拡大により破堤に至ったものと推定される。その後堤防は東屋が設置されていた下流側に破堤が進行したものと推定される。

なお、破堤地点以外でも越水が生じていたようであるが、例えば、今町大橋上流の右岸部に見られるように堤防裏法面がコンクリートブロックで被覆されていたこと、法尻部にアスファルト舗装の道路が位置していたなど、破堤部の堤防に比べ壊れにくい堤防構造となっていた。なお、目撃証言にある法面の途中からの泥水の噴出しについては、土質調査や浸透流解析では、再現することは困難であり、これが破堤の要因とは考えられない。

以上のことから、刈谷田川(中之島地区)の破堤は、越流による法肩及び裏法面の侵食が主原因であると考えられる。(図- 21 参照)

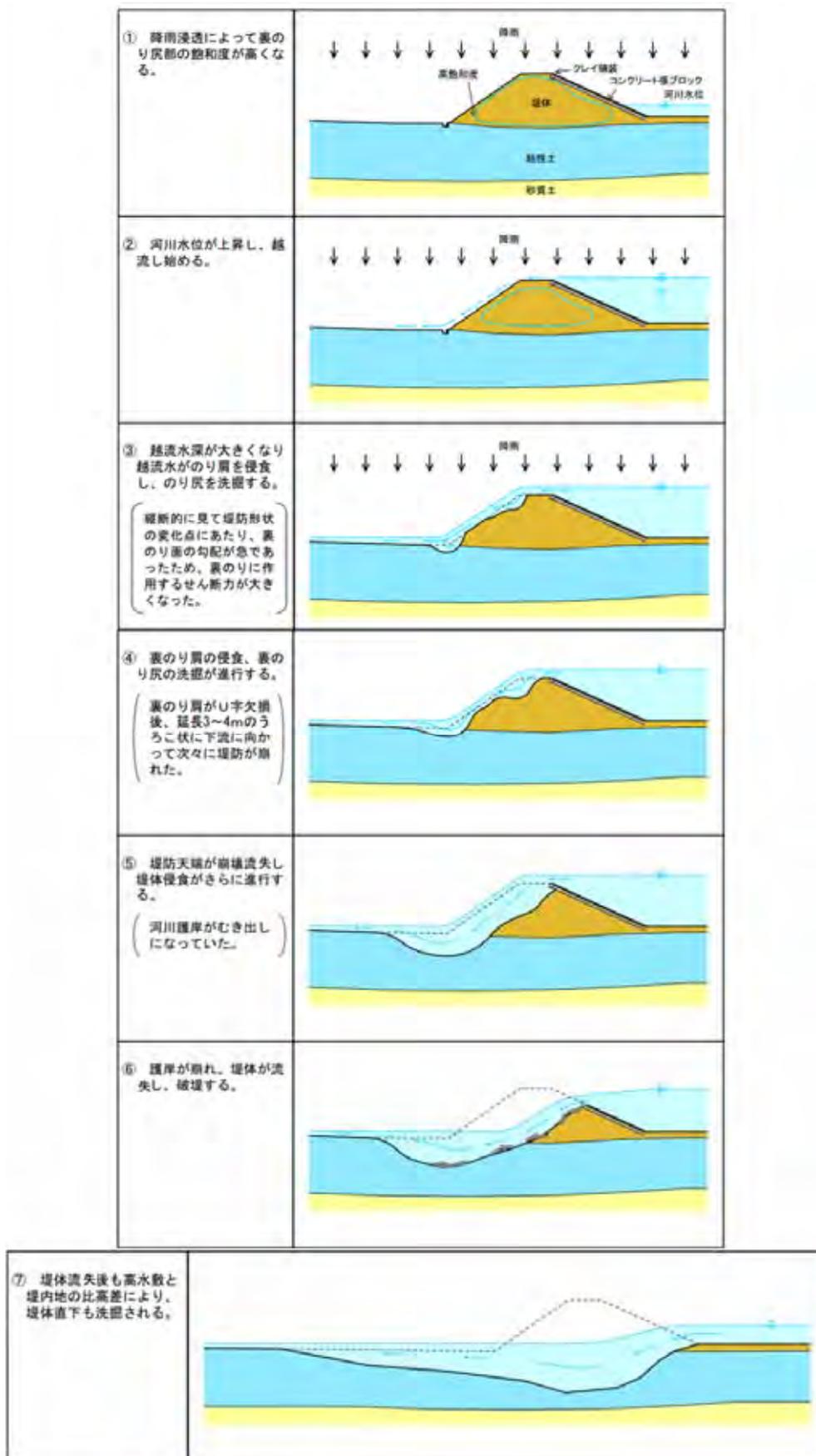


図- 21 破堤のメカニズム（刈谷田川） ※7.13 新潟豪雨洪水災害調査委員会報告書より引用（一部修正）

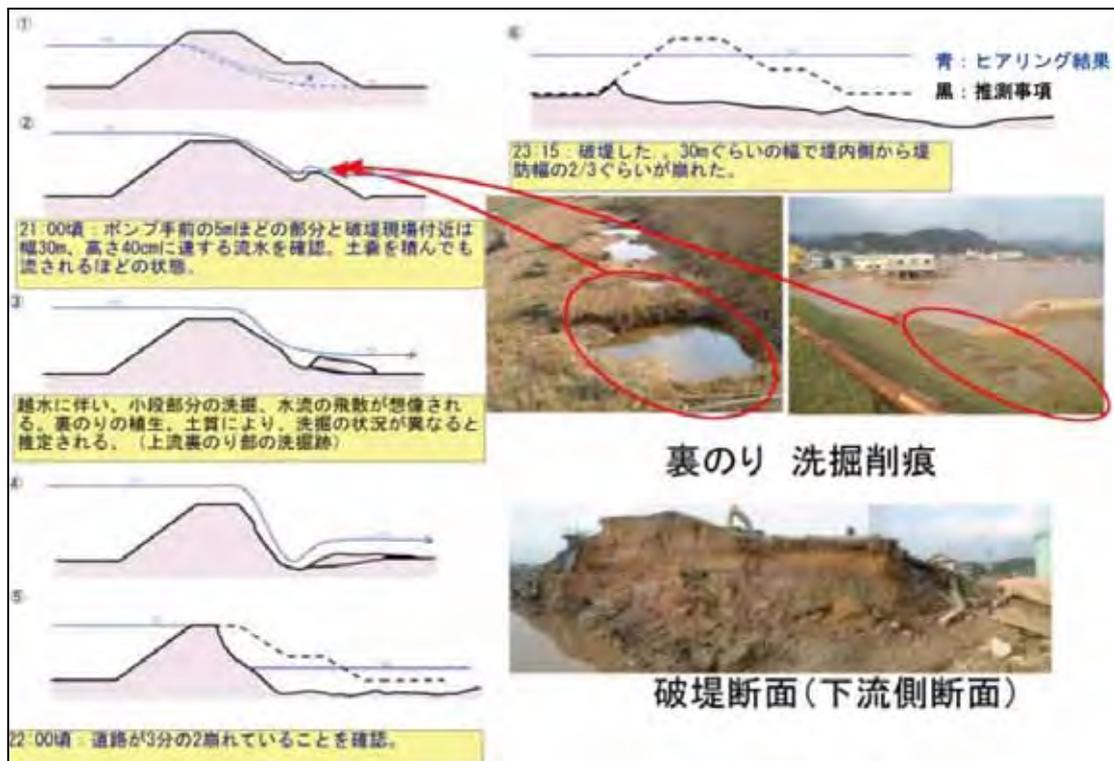


図- 22 破堤のメカニズム (円山川) ※後藤正 河川 台風 23 号災害(破堤)についてより引用

b) 円山川水系円山川・出石川の破堤事例 (2004 年 10 月)

※引用:後藤正 河川 台風 23 号災害(破堤)について

【円山川】

「越流による裏法面侵食」後に「浸透」が加わる複合的要因により破堤したものと推定される。この地点での堤防法線は直線形状であるが、堤防・河道等が完成していないため、計画高水流量以下の洪水で越流して裏法面(小段も含む)が侵食し、これに浸透が加わり破堤したものと推測される。(図- 22 参照)

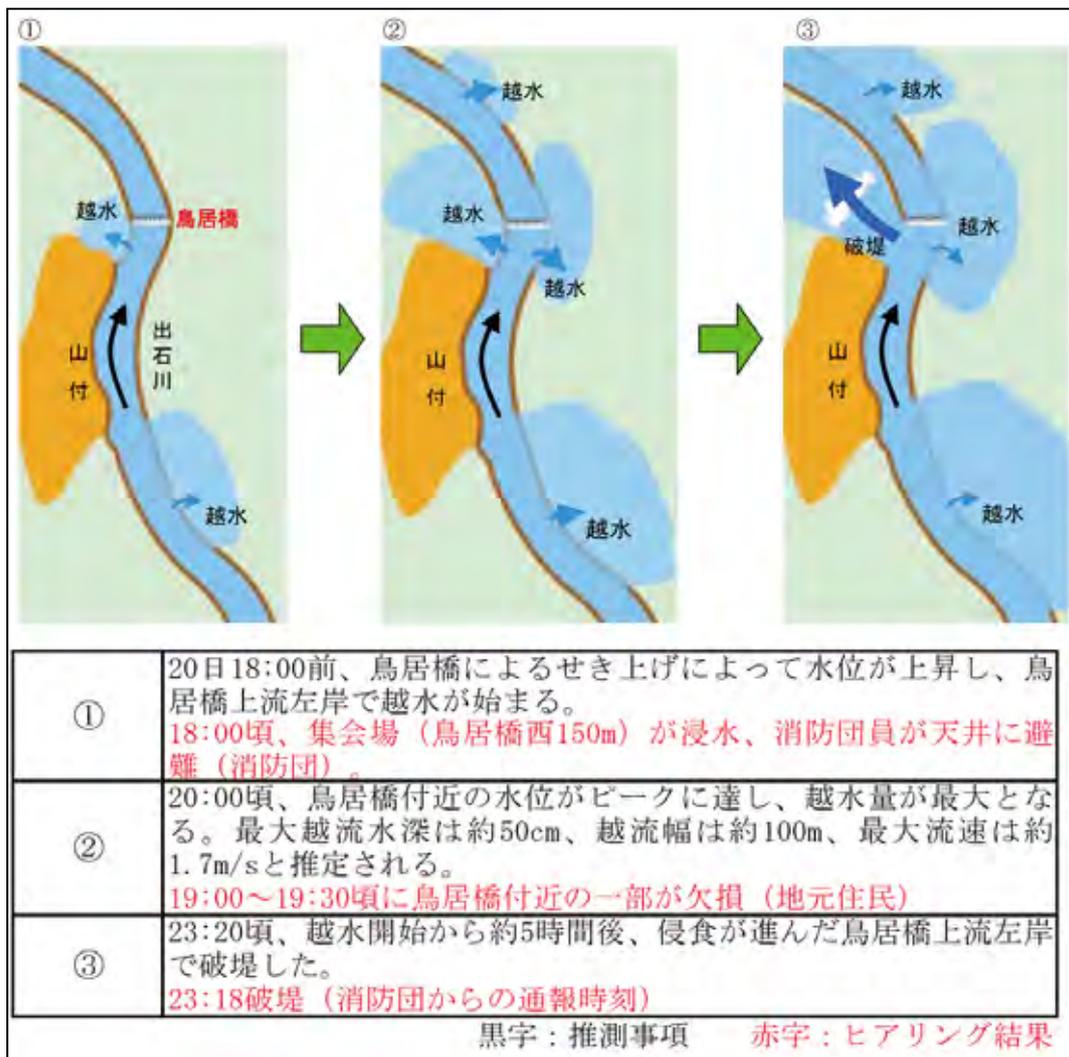


図- 23 破堤のメカニズム（出石川） ※後藤正 河川 台風23号災害(破堤)についてより引用

【出石川】

越流による裏法面浸食により破堤したものと推定される。この地点は外水の水衝部に相当し、流下能力を超え越流した水が裏法尻で集中する湾曲した堤防法線形状のため裏法面の浸食が助長され、破堤したものと推定される。また、堤防断面が相当程度減少した状態において、外水圧または浸透の影響もあったものと推測される。（図- 23 参照）



写真- 12 破堤状況（新川） ※愛知県河川堤防緊急強化検討会報告書より引用

c) 庄内川水系新川の破堤事例（2000年9月）

※引用：愛知県河川堤防緊急強化検討会報告書

破堤箇所における破堤メカニズムを次のとおり推定している。（写真- 12・図- 24 参照）

- ①降雨量は新川の計画規模をはるかに超え、これに内水域からのポンプ排水及び洗堰からの庄内川の洪水流入も加わり、計画高水位を超える河川水が長時間にわたり外力として作用した。
- ②降雨及び河川水の堤体浸透により堤体は湿潤状態となり、安全率の低下した堤防裏法面に法すべりが発生した。
- ③その後、裏法面のすべり変状が徐々に堤防天端に及び、堤防がやせ細った。
- ④浸透してきた表面流により、裏法面の侵食が更に進み、堤防はますます細くなり、堤防天端にせまる高い水位には耐え切れない状態となった。
- ⑤破堤区間上流部で薄くなった堤防の上部が崩れ、越流し、堤防法尻部及び基礎地盤を激しく洗掘した。
- ⑥破堤の初期段階では残っていた高水護岸が壊れることにより、河川水が一気に流出し、破堤口を拡大していった。また、堤防法尻部及び基礎地盤での洗掘も拡大、落堀が形成された。
- ⑦なお、破堤箇所以外でも裏法面すべりが数カ所発生しており、堤防天端に近い水位であった一連の区間においては、どこで破堤してもおかしくない状態であった。

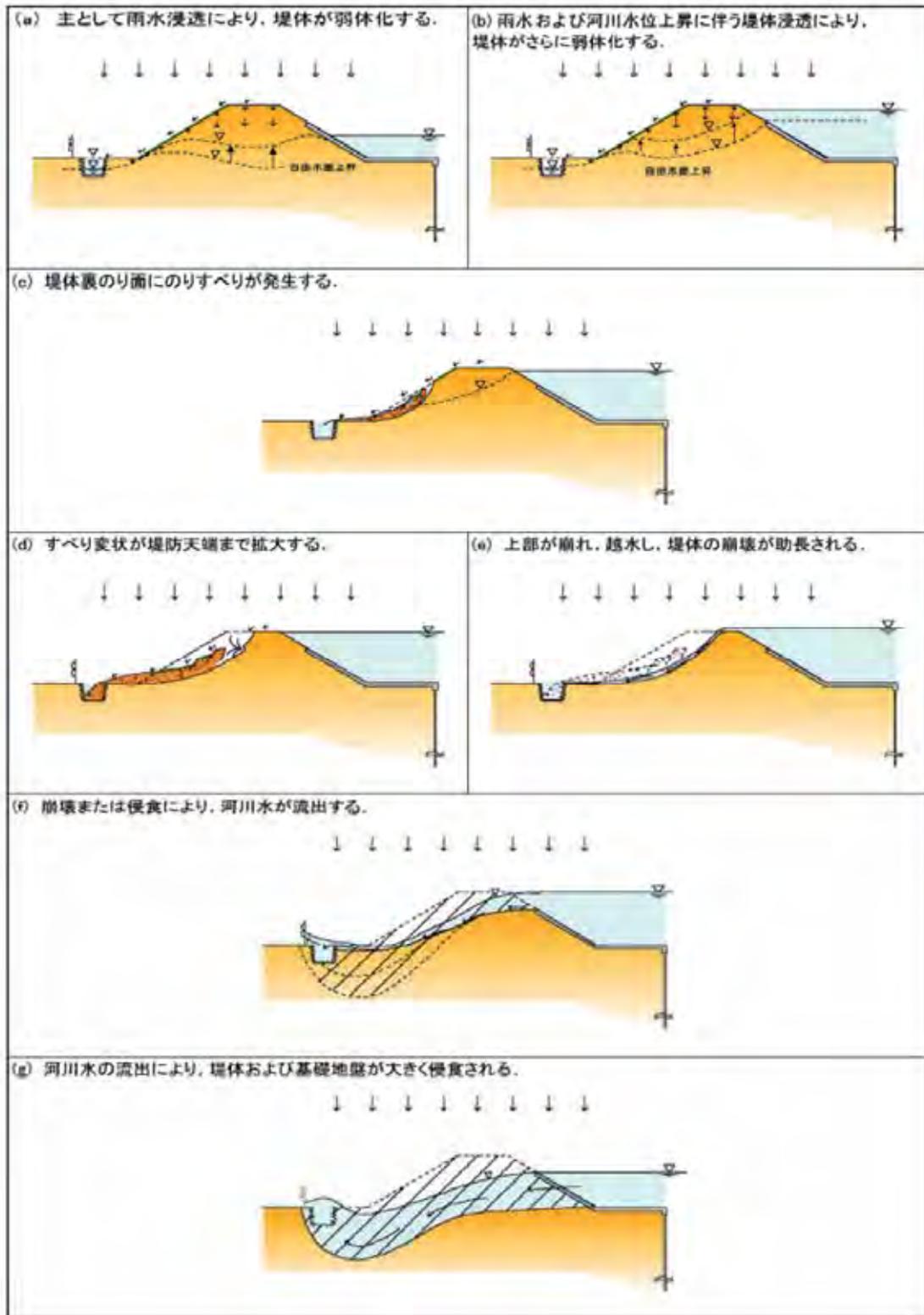


図- 24 破堤のメカニズム（新川） ※愛知県河川堤防緊急強化検討会報告書より引用

第2章 越水破堤現象に関する既往の研究事例

これまで、越水破堤現象に関する研究は様々な方法で行われており、それらを表- 3 に整理した。研究方法は、実験、現地調査、数値計算に分類した。

実験による方法は、実物大実験と縮尺模型実験に分類した。ここで、既往の実物大実験²⁾は、流れに横断方向に配置された堤防からの正面越流を対象としたもののみで行われている(写真-13 参照)。一方、縮尺模型実験は、正面越流だけでなく、実河川と同様に流れに縦断方向に配置された堤防からの横越流を対象としたものも行われている。

現地調査は、災害後の調査や破堤状況のヒアリング等によるものが主であり、進行中の破堤現象を定量的に捉えたものは少ない。

数値計算は、堤防の破堤過程に着目した解析や氾濫後の浸水状況に着目した氾濫解析等が実施されている。

表- 3 越水破堤に関する研究事例

研究方法	規模等	研究課題	研究項目	研究内容(概要)
実験	実物大	耐侵食・耐越水化対策	耐侵食性 ³⁾	旧堤を利用した越流実験を実施し、植生(芝、チガヤ)の耐侵食性、及び堤防土質と芝の耐性について整理している。
			耐越水性 ⁴⁾	正面越流型の大型模型による越水実験を行い、裏法保護工として吸出し防止材や遮水シート、ジオテキスタイルについて堤防裏法面の保護効果を検証している。
			越水破堤機構・耐越水性 ⁵⁾	正面越流型の大型模型を用いた越流実験を行い、裸堤や芝張堤の破堤メカニズムについて整理するとともに、越水堤防保護工(天端アスファルト、連節ブロック、かみ合わせブロック、防水シート、改良土)の評価を行っている。また、越水時の水位・流速計等の水理特性について計測・整理を行っている。
	縮尺模型	破堤過程	遠心模型実験 ⁶⁾	遠心装置を用いた縮尺模型実験、及び有限要素法を用いた解析により、越水破壊メカニズムに関して、堤体内の間隙水圧、変形挙動や破壊過程の考察を行っている。
			破堤口拡大実験 ⁷⁾	正面越流型の縮尺模型を用いて越流実験を行い、破堤口の拡大過程と形状について観察し整理している。
		耐越水化対策	堤防裏法尻保護 ⁸⁾	正面越流型の縮尺模型を用いて越流実験を行い、法尻保護工(法尻部に越流水に対し垂直方向に減勢工壁を等間隔で複数枚並べたもの)の減勢効果について整理している。
		越流部水理特性	正面越流水理特性 ⁹⁾	正面越流型の縮尺模型を用いて越流実験を行い、底面圧力、流速分布、レイノルズ応力分布の詳細な測定を実施し、堤防に及ぼす外力について整理している。
			横越流特性 ¹⁰⁾	横越流型の縮尺模型を用いた越流実験及び、数値計算による解析を行い、河道に沿って横越流する流れの水理特性について再現性の検証を行っている。
		氾濫拡散状況	樹木群の効果 ¹¹⁾	正面越流型の縮尺模型を用いて越流実験を行い、堤防沿いに繁茂している樹木群と破堤後流況との関係を定量的に把握するとともに、樹木群の配置方法(堤内側と堤外側)の違いによる流況の変化や洗掘防止効果について検討を行っている。
			建物群内の氾濫特性 ¹²⁾	氾濫域を含む縮尺模型(建物は直方体ブロックで再現)を用いた越流・氾濫実験、及び数値計算による解析を行い、市街地に氾濫する越流水の水理特性、建物の粗度等について検討を行っている。
		現地調査	被災事例・要因分析	被災状況・要因 ¹³⁾
PIVによる流向分析 ¹⁴⁾	ヘリコプターで撮影された破堤中の流況映像から、表面流のPIV解析を行っている。			
数値計算 解析	破堤過程	破堤口拡大過程解析 ¹⁵⁾	水深平均平面2次元流れと掃流砂輸送、河床変動を組み込んだ数値解析モデルを用いて、破堤拡幅進行の定量的評価、及び破堤口前面の条件(樹林帯・市街地)の違いによる破堤拡幅への影響について検討を行っている。また、同モデルによる模型実験、現地調査の再現性について検証している。	
		破堤初期過程解析 ¹⁶⁾	粒子法を用いた数値解析を行い、堤防の越流侵食過程の解析を試みている。	
	氾濫解析	実洪水の氾濫再現解析 ¹⁷⁾	平面二次元不定流モデルを用いた氾濫解析を行い、実洪水の浸水状況についての再現を試みている。	

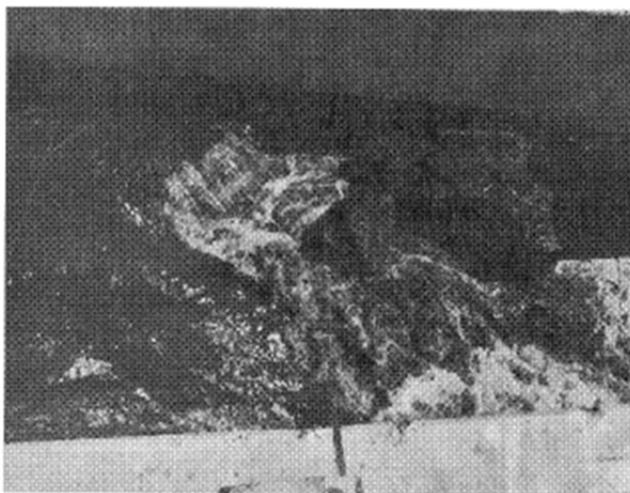
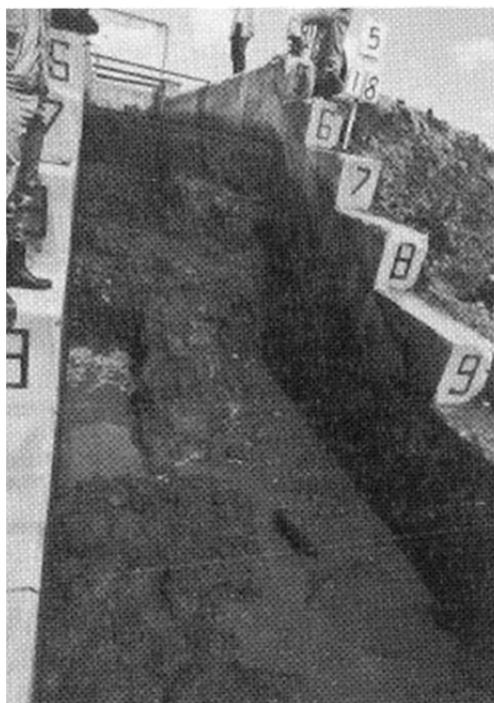


写真- 13 正面越流実験の状況

※越水堤防調査最終報告書-解説編- 建設省土木研究所資料 第 2074 号 1984 より引用(一部修正)

第3章 十勝川千代田実験水路による実験の目的と意義

前述した既往の調査研究事例を踏まえ、これまでの越水破堤現象に関する調査・研究の課題とともに、それらの課題に対して千代田実験水路で実験を行うことの利点について、表- 4 に整理した。

まず、これまでの調査・研究に関する課題について述べる。実物大実験に関しては、正面越流による越水破堤実験において、破堤進行過程や保護工等の検討が行われているが、実現象でみられるような横越流を想定した流れの実験は実施されておらず、また、破堤の拡幅過程に関する実験も行われていない。縮尺模型及び数値計算に関しては、正面越流や横越流による破堤過程や破堤拡幅過程、及び氾濫流の水理特性について検討されているが、実現象(実物大レベル)での十分な検証がなされていない。また、現地調査においては、破堤進行中の堤体観測や流況観測は困難である。

次に、千代田実験水路の利点について述べる。千代田実験水路では、実スケールの堤防を用いて、実河川と同様に河道からの横越流による破堤実験が可能であること、実験水路であることから流量を調整できること、事前に各種観測機器を設置して破堤進行過程等の高精度の観測ができることなどが特徴である。また、千代田実験水路は千代田新水路の一部を利用しており、千代田新水路を氾濫域に見立て、氾濫流に関する実スケールの実験も可能である。このため、上記で述べた既往調査・研究の課題に対し、千代田実験水路において実現象に近い実物大の横越流破堤実験を実施することで、破堤の進行過程や氾濫状況を観測することができ、縮尺模型による実験結果の検証等を行うことができる。

平成 19 年度に完成した千代田実験水路における最初の実験として、越水破堤現象に関する実験を行ったが、特にこれまで未解明な点が多かった破堤の拡幅機構の解明を主目的とした。また、同時に、破堤実験に必要な各種計測技術の開発についても取り組んだ。

これまで、越水破堤現象を時系列で観測することは困難であったが、千代田実験水路における破堤実験によって、破堤進行時の堤体及び水理量の時系列の観測データを得ることは、破堤現象に関する今後の研究の発展や知見の集積、さらに、破堤時の減災対策や避難にかかる情報の精度向上など、河川の防災・減災技術の向上に向けて非常に重要であるといえる。

表- 4 既往調査・研究の課題と千代田実験水路の利点

方法	既往調査・研究の課題	千代田実験水路の利点
実物大 実験	<ul style="list-style-type: none"> ・正面越流による越水破堤実験において、破堤の進行過程、保護工による侵食抑制効果の検討が行われているが、実現象である横越流を想定した実験は行われていない。 ・破堤の拡幅に関する実験は行われていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・横越流による越水破堤実験を行うことが可能 ・破堤口が拡幅する過程における流況、堤体崩壊状況、越水の水理特性等について詳細な観測を行うことができる。
縮尺模型 実験	<ul style="list-style-type: none"> ・縮尺模型による正面越流及び横越流の越水破堤実験において、越水破堤メカニズム、破堤口の拡大過程と形状について、数値解析と合わせて検討されているが、実物大レベルによる検証が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・越水破堤に関する既往の縮尺模型実験等による結果について、実物大スケールによる検証が可能。
数値計算	<ul style="list-style-type: none"> ・縮尺模型を用いた越流・氾濫実験及び数値解析を行い、氾濫流の水理特性について検討を行っているが、実物大レベルによる検証が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・破堤による氾濫流に関する既往の縮尺模型実験等による結果について、実物大スケールによる検証が可能。
現地 調査	<ul style="list-style-type: none"> ・実洪水により越水破堤した箇所において、被災直後に現地調査を実施し、破堤原因を推定しているが、破堤の進行状況を観測した事例はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・越水破堤による破堤拡幅機構、河道・越流部・氾濫域等の水理特性について、実物大スケールで破堤進行中の観測を行うことが可能。