

# 平成21年度の実験結果報告

北海道開発局  
(独) 土木研究所寒地土木研究所

## 越水破堤実験の計画概要

| 実施年度  | 実施目的                             | 実験手法  | 備考             |
|-------|----------------------------------|---|----------------|
| H20年度 | 計測手法の確立等                         | 水路内横断堤を用いた正面越流(破堤2回)                        | 実施済            |
| H21年度 | 堤体材の相違による破堤きっかけ・破堤状況確認・計測方法の計画立案 | 水路内縦断堤を用いた横越流<br>Case1(4/30)<br>Case2(6/30) | 実施済<br>本資料での報告 |
| H22年度 | 氾濫域も含めた破堤現象の解明                   | 背割堤を用いた横越流(3回程度実施)                          |                |
| H23年度 | 〃                                | 〃<br>(2回程度実施)                               |                |

# 資料構成

1. 実験概要
  - 縦断堤概要
  - 観測概要
  - 通水概要
  
2. 実験結果
  - 実験概況
  - 水理量
  - 破堤進行過程
  
3. まとめ

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 実験概要

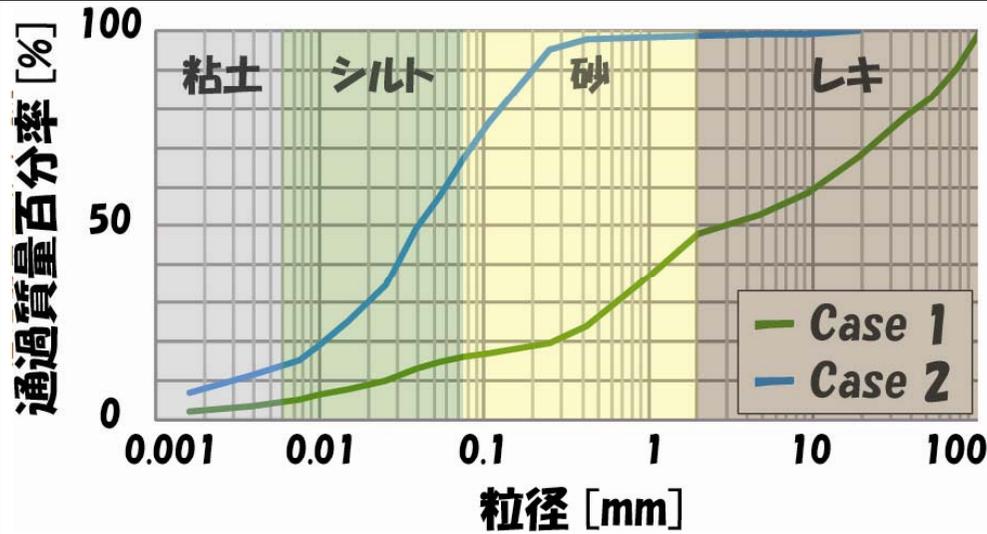


水路内に縦断堤(高さ2.5m、天端幅3m、法勾配2割)を造成し、横越流による破堤実験を土質を変えて2回行った  
なお水路内造成でありバック水位の影響により、氾濫域にも水深があるため、氾濫流の拡がり・落掘形成は想定せず「破堤きっかけ・拡幅初期」に特に注目し実験を行った

通水による堤防浸食を防ぐため、破堤対象の80m区間には表法にはブロックを、その他区間には表裏法にビニールシートを設置した。形状詳細・観測内容については次ページ以降に示す。

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 堤防に用いた土質



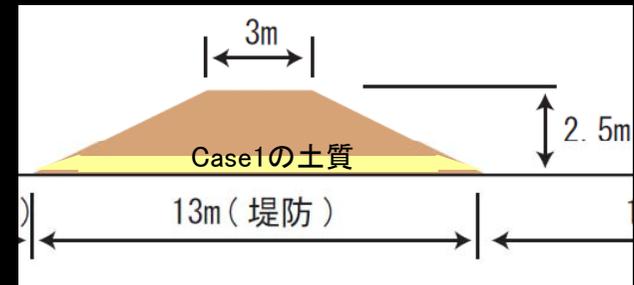
| 項目   |   | Case1 | Case2 |
|------|---|-------|-------|
| 一般   | 土粒子の密度 $\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]      | 2.685 | 2.624 |
|      | 自然含水比 $w_s$ [%]                           | 8.02  | 31.24 |
| 粒度構成 | 礫分 [%] (2~75mm)                           | 52.0  | 1.2   |
|      | 砂分 [%] (0.075~2mm)                        | 32.0  | 31.4  |
|      | シルト分 [%] (0.005~0.075mm)                  | 11.9  | 54.8  |
|      | 粘土分 [%] (~0.005mm)                        | 4.1   | 12.6  |
|      | 50%粒径 [mm]                                | 2.7   | 0.037 |
| 締固   | 最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ [g/cm <sup>3</sup> ] | 2.615 | 1.304 |
|      | 最適含水比 $w_{opt}$ [%]                       | 7.2   | 29.3  |
|      | 締固度 [%]                                   | 93.3  | 93.0  |

Case1は

礫分が50%程度で細粒分は16%程度

Case2は

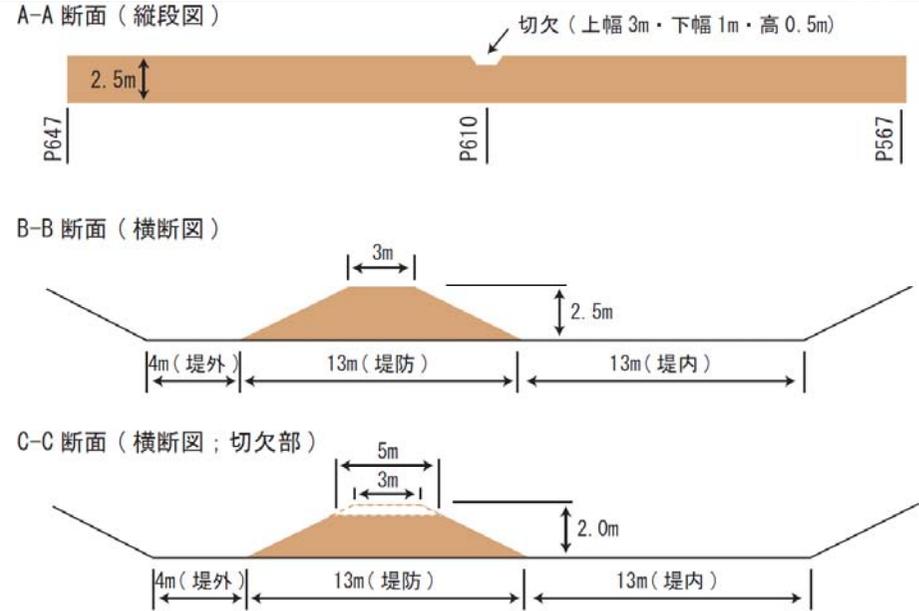
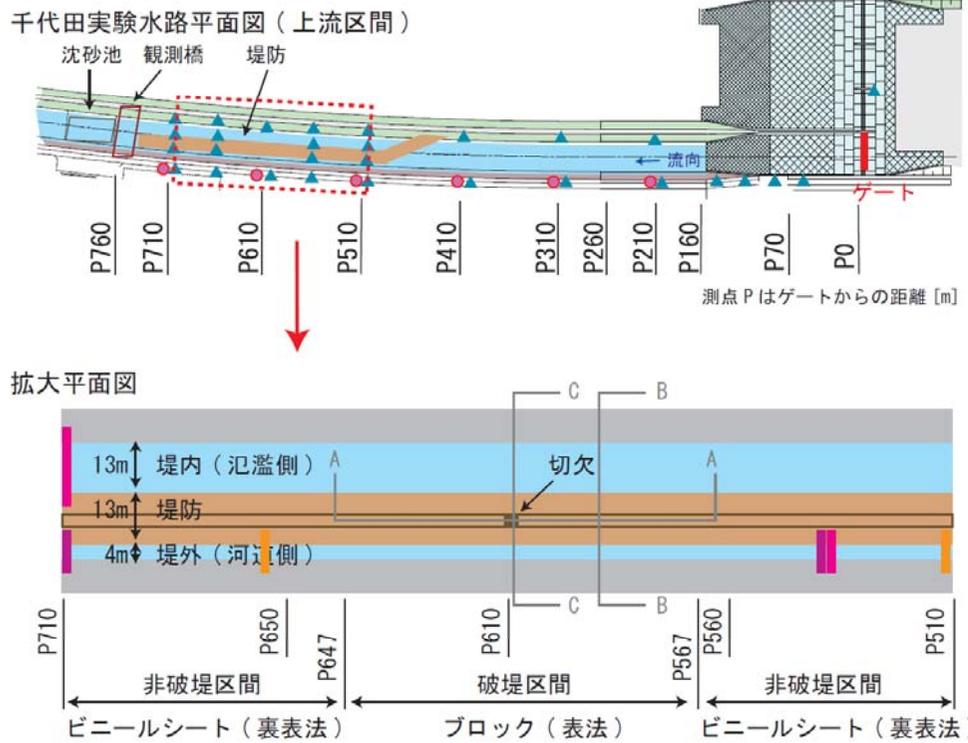
礫分が1%程度で細粒分は70%程度



なおCase2について、河床より0.6m程度は施工の都合によりCase1の土質を使用

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

# 水路形状と観測概要



## 主な観測項目

| 観測時期 | 観測項目  | 観測箇所・手法                     |
|------|-------|-----------------------------|
| 通水中  | 水路内水位 | ● 定点水位計 ▲ ダイバー式水位計          |
|      | 流量観測  | Case1 (ADCP・電波式流速計)         |
|      | 流量観測  | Case2 (ADCP) Case2 (電波式流速計) |
|      | 破堤形状  | ○ 加速度センサー(詳細は下記)            |
|      | 実験状況  | カメラ・ビデオ撮影                   |

堤体形状 ; 堤防高2.5m・天端幅3m

切欠形状 ; 深さ0.5m・下幅1m・上幅3m

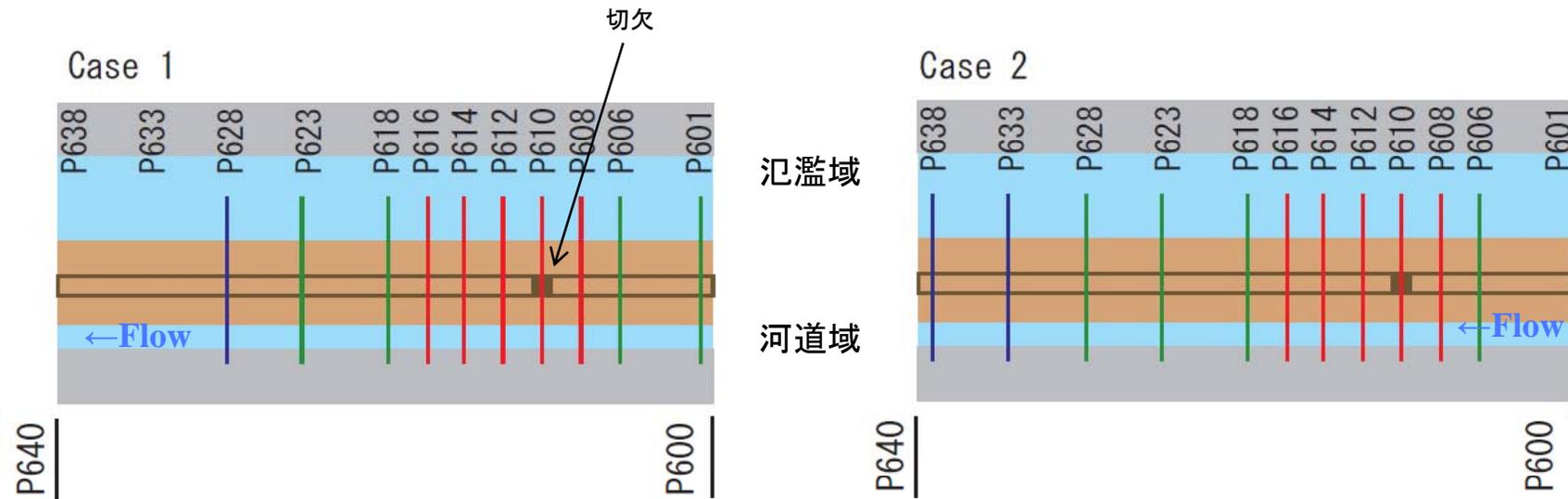
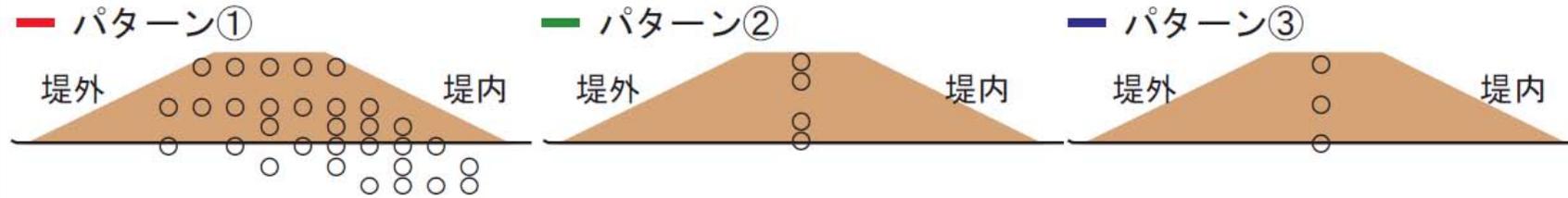
河道形状 ; 河道域の下幅は4m・氾濫域の下幅は13m

観測項目は上記のほかに破堤区間におけるPIV観測(流況)・3D画像解析(面的水面形状)・間隙水圧計(切欠部断面の堤内水位)、通水後にはレーザー測量(実験後の形状)。なお加速度センサーの詳細は次ページに示す。

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 観測概要 (加速度センサー配置)

加速度センサーの配置パターン



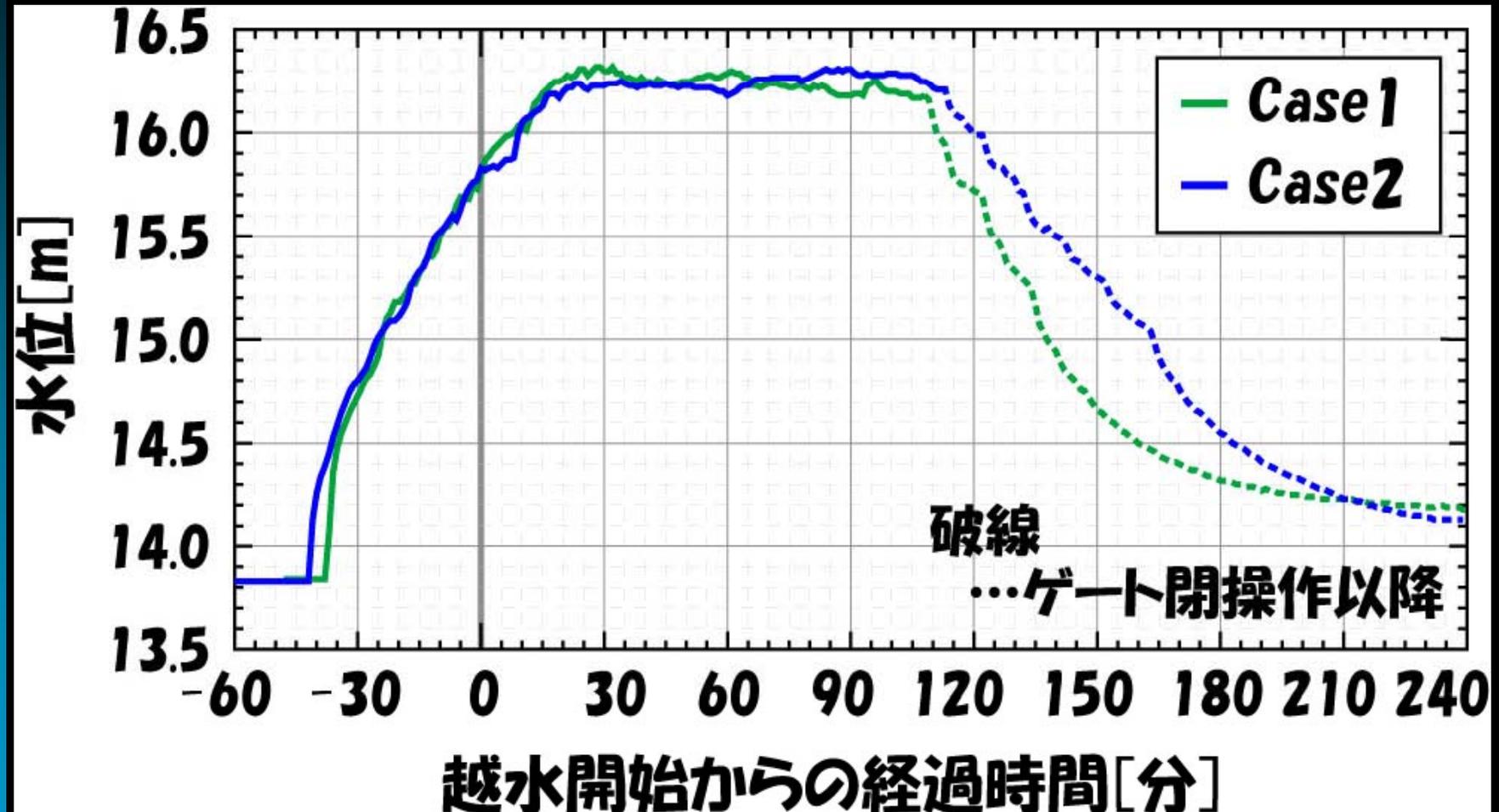
切欠部周辺の8m区間は破堤初期の進行過程を詳細に把握するため、2mピッチでセンサーを密に配置(パターン①)

この区間以外は堤体中央部に鉛直方向に3~4個のセンサーを配置(パターン②・③)

Case1の結果より切欠部より上流への拡幅が見られなかったため、Case2ではより下流側への配置を密とした

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## P510 (切欠部より100m上流) の堤外水位



両Caseともに概ね同様の水位変化であるが、通水終了のためのゲート閉操作を行った以降、水位低下に要した時間に相違があった

これより、以下に示す実験結果の比較はゲート閉操作までを対象とする

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

# 実験概況 (Case1)

再生速度×100倍

寒地土木研究所 寒地河川チーム



09/04/30 9:42:56

下流より全景



09/04/30 09:42:56

真上から全景



09/04/30 09:42:56

切欠部正面



09/04/30 9:42:56

切欠部背面

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 実験概況 (Case2)



下流より全景



真上から全景



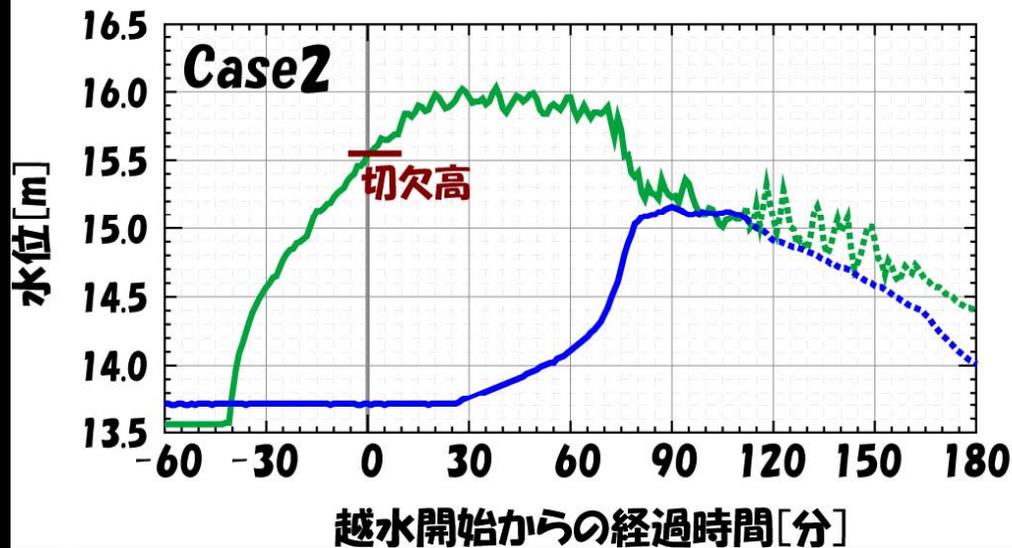
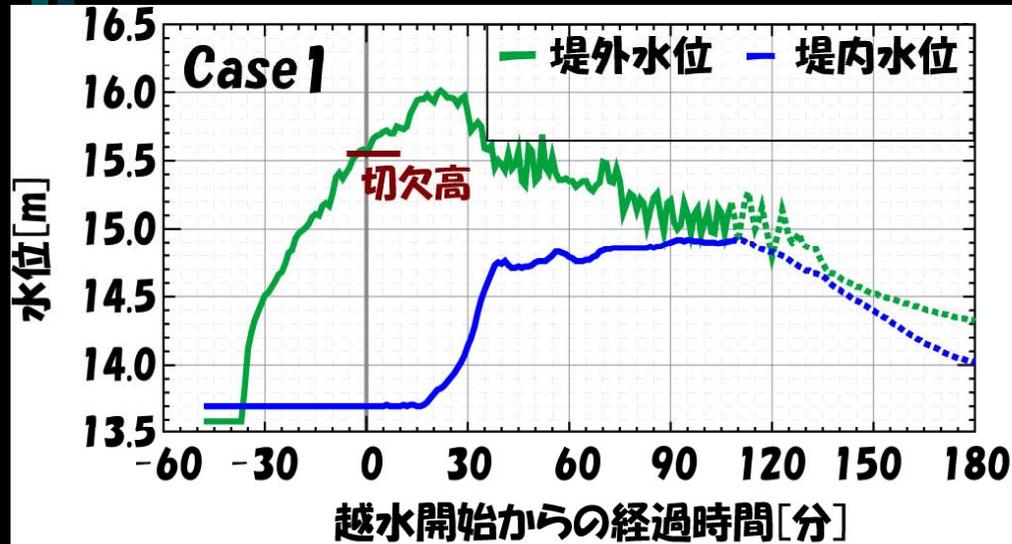
切欠部正面



上流より全景

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 堤内外水位 (切欠部断面)



越水開始実時刻と、水位データが堤防切欠高を超えた時刻は一致し、越流水深は50cm程度まで水位が上昇し、その後は概ね一定水位

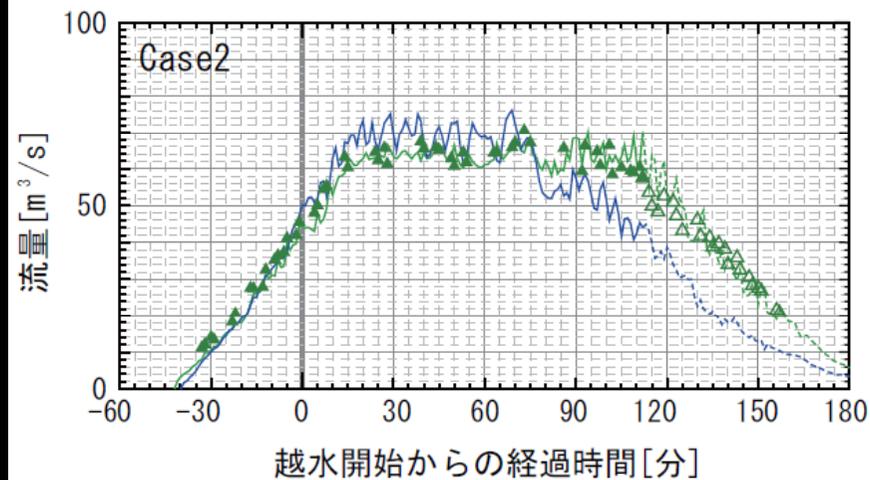
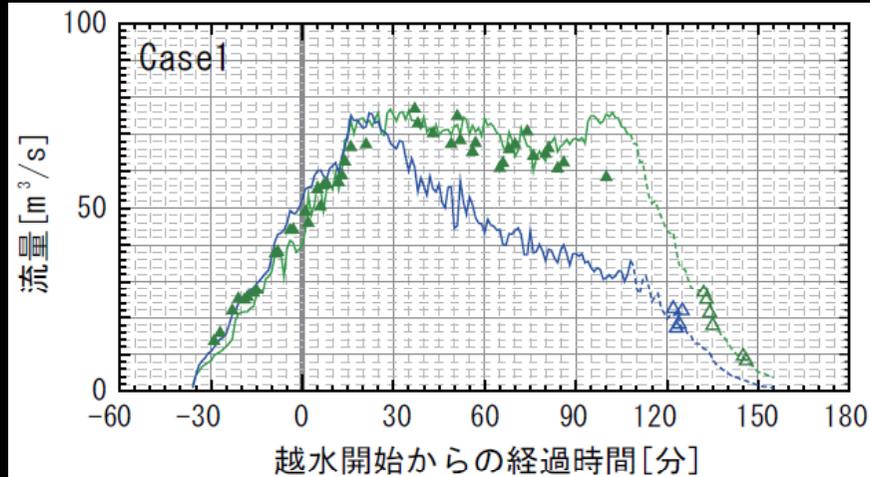
堤外水位について、Case1は越水開始から約30分後、Case2は越水開始から約75分後に急激な水位低下がみられ、実験概況動画の破堤拡幅進行時間帯と一致

またCase1は堤外水位の低下後、90分後まで徐々に堤内外水位差が縮まっているのに対し、Case2は堤外水位の低下後、すみやかに水位差がなくなっている

破堤進行過程において水理量が異なっているため、破堤拡幅過程ではこれらの考慮も必要と考えられる

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 越流量の推定～破堤区間上下流の流量



— 上流区間流量(電波式) ▲ 上流区間流量(ADCP)  
— 下流区間流量(電波式) ▲ 下流区間流量(ADCP)  
なお破線及び白抜きはゲート閉操作以降

越流量＝破堤部上流流量－破堤部下流流量より算出を行う

杭ワイヤー式ADCPは、観測時刻での河床形状・断面流速の計測が可能であり精度が高いと考えられる

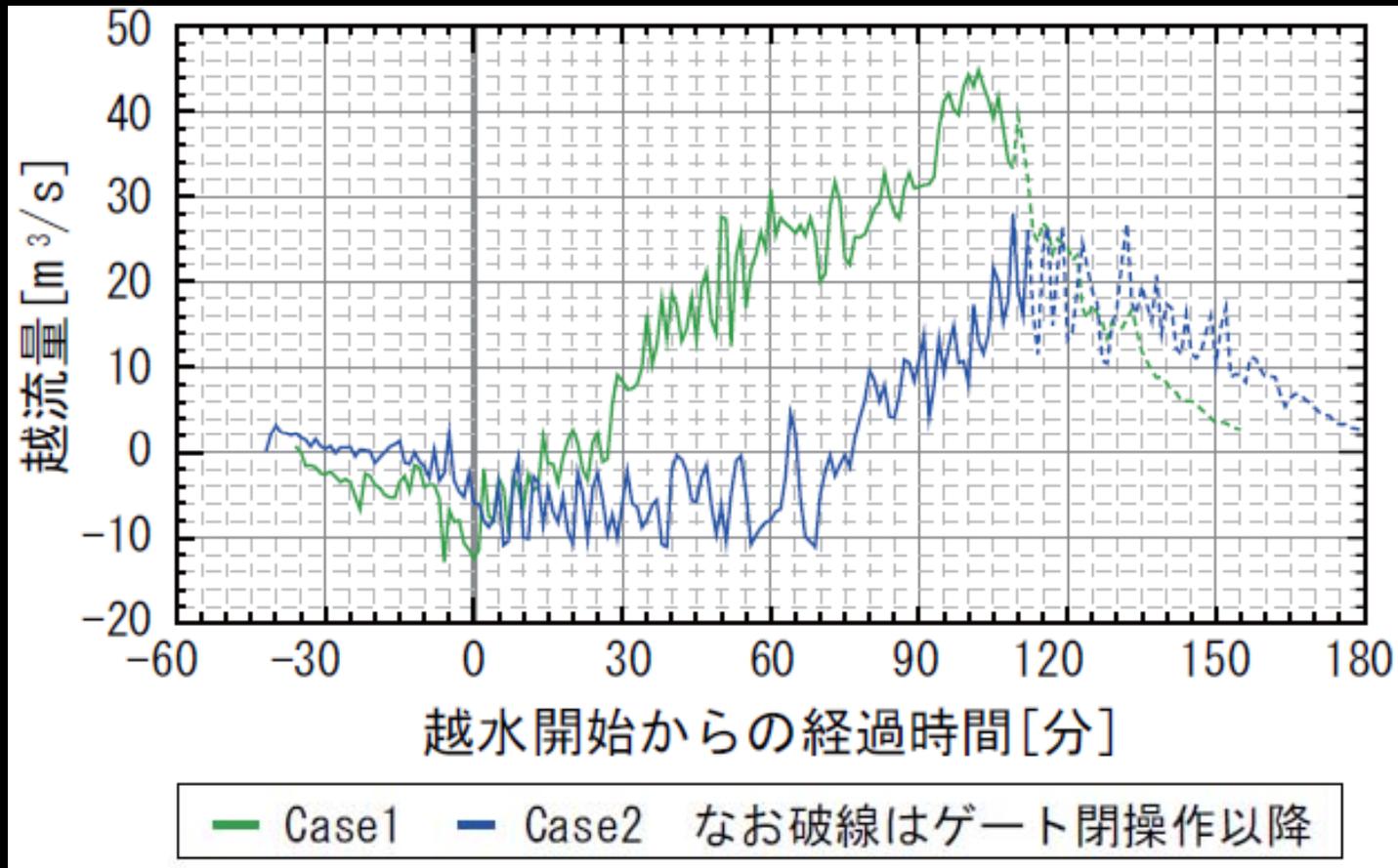
一方、電波式流速計は1点のみの流速計測ではあるが時系列でのデータ取得が可能。

これより電波式流速計による流量算出結果の精度検証のため両者の流量値の比較を行う

両者の値は概ね一致しており、河道内流量として電波式流量の値を採用する

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 越流量の推定

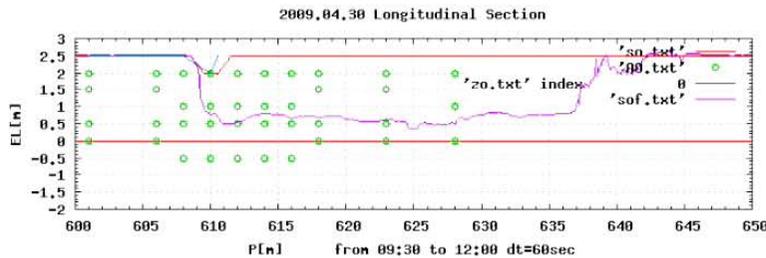
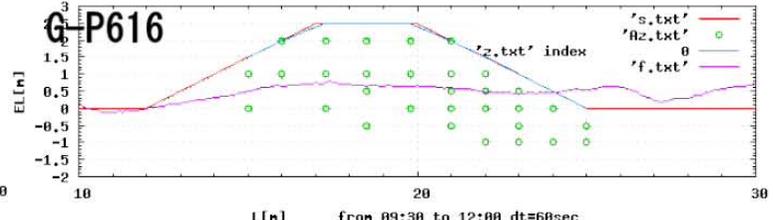
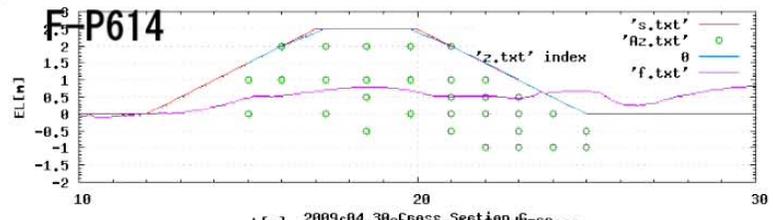
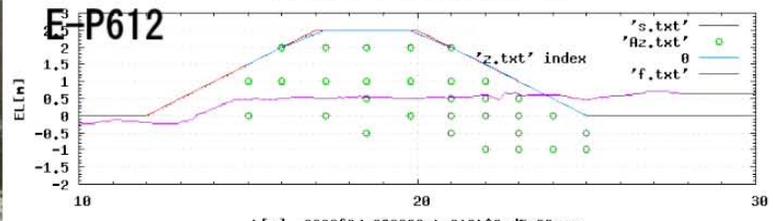
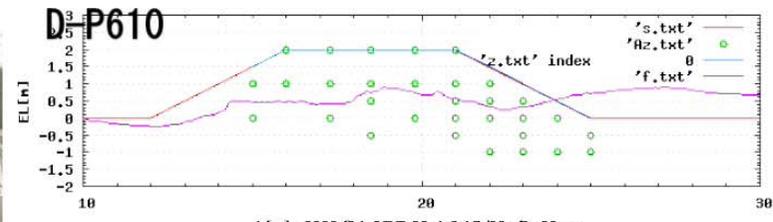
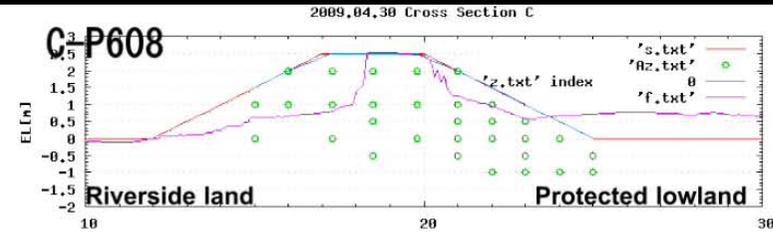


水面変動が激しく、越流量の推定値にも振動が見られるが、ここでは観測値より算出した値をそのまま記載  
傾向としては前述の実験概況動画、水位観測結果と同様に、破堤拡幅が顕著に見られる時間帯から越流量の急増

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

# 切欠部周辺の破堤進行状況 (Case1)

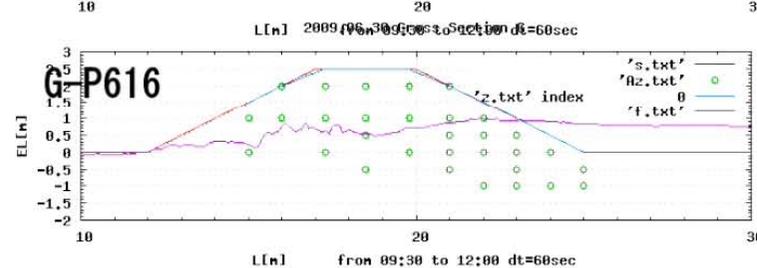
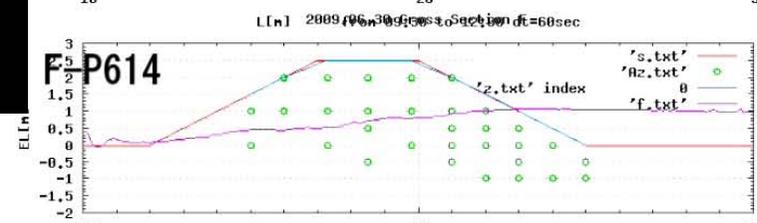
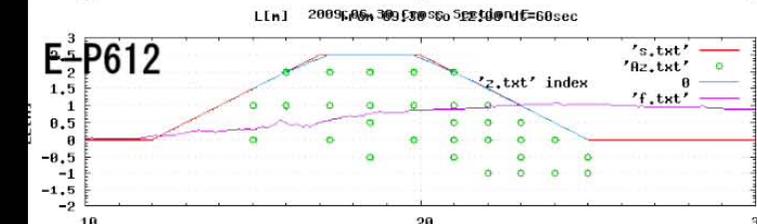
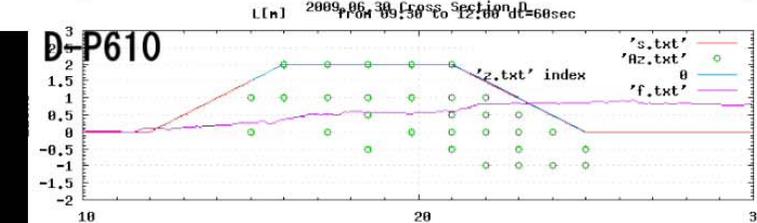
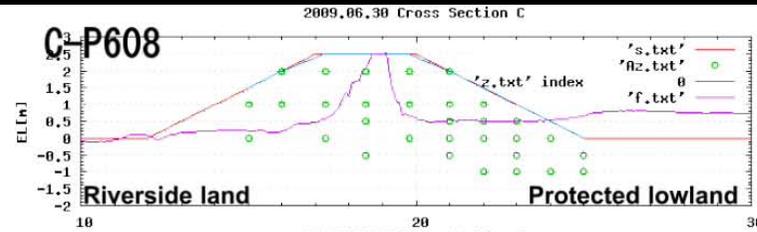
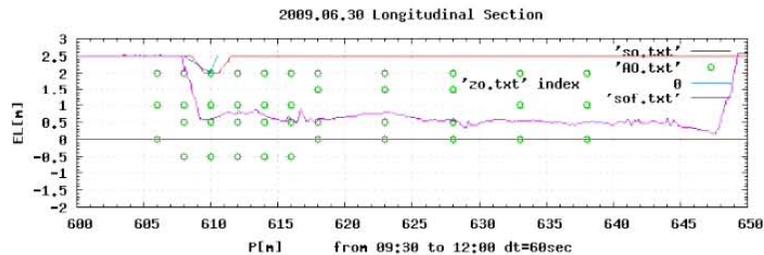
Levee Breach by overflow  
Apr/30/09 Material - Sand gravel



1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

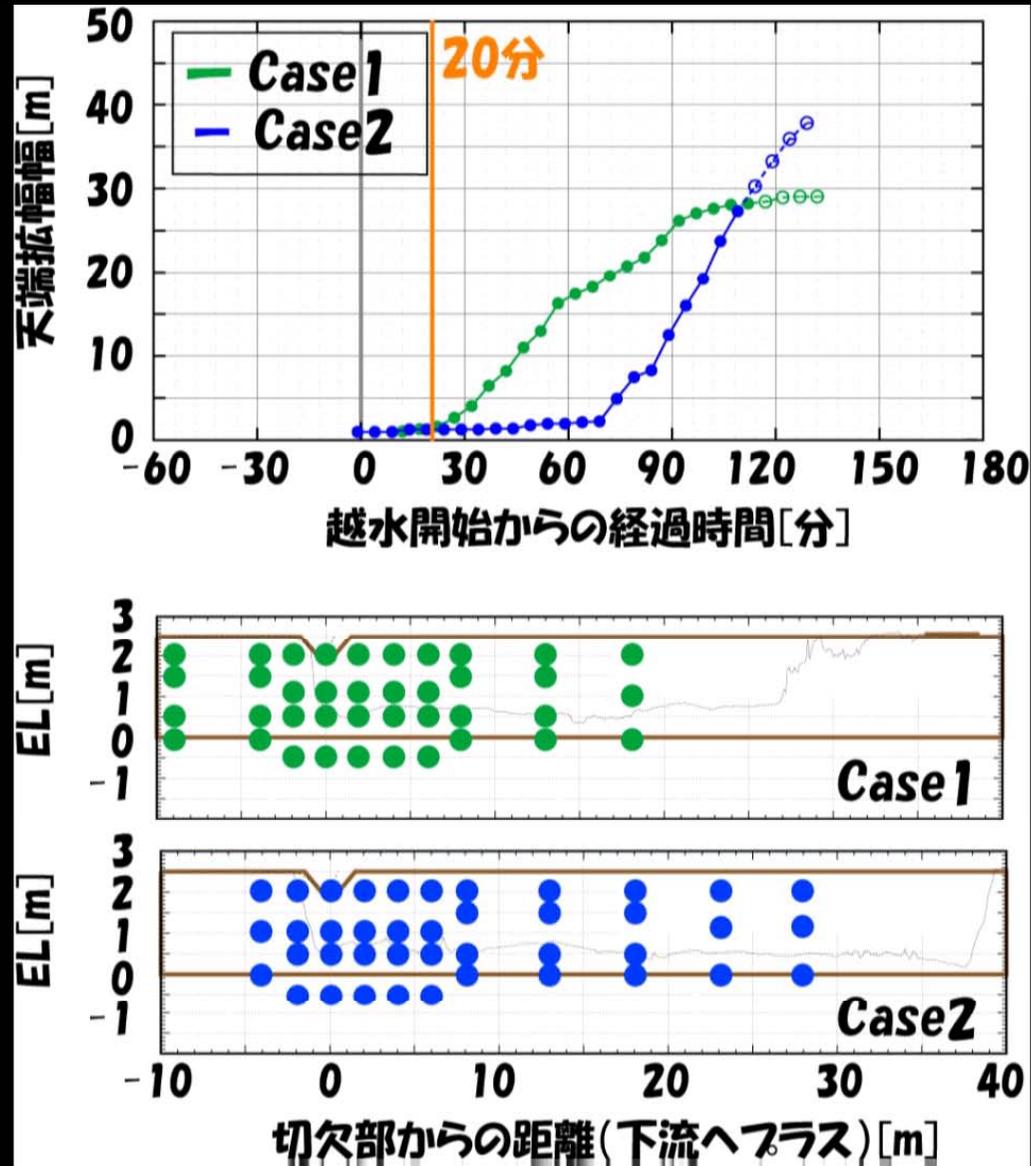
# 切欠部周辺の破堤進行状況 (Case2)

Levee Breach by overflow  
Jun/30/09 Material - Silt



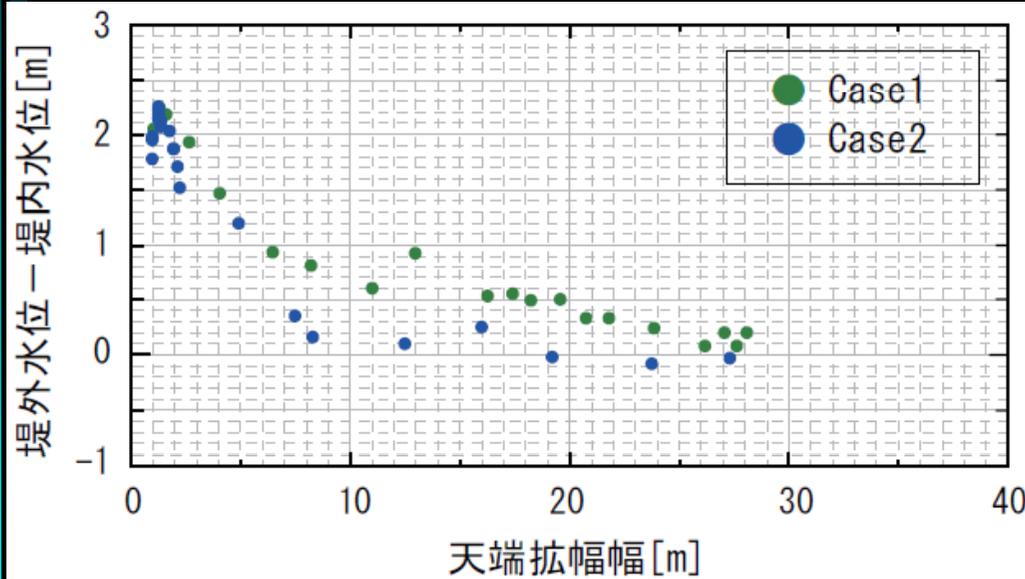
1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 破堤進行状況～破堤拡幅以降



1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## 堤体土質相違による破堤拡幅過程



Case1・2の相違点は土質のみの設定としたが、前述の通り、堤内外水位の変動に差があるため、破堤拡幅過程において単純に土質の差のみとして比較はできない

左図は天端拡幅幅と切欠部断面における堤内外水位差の関係を示す

破堤幅10mまでに着目すると両Caseともに水位差は徐々に小さくなるにせよ、水位差を保ったまま天端拡幅が進行していることから、この段階まで破堤拡幅幅の相違が土質によるものと考えられる

前述の通りCase1はある程度、堤体上部が拡幅した後に下部が崩壊を繰り返している

このため越水開始から60分程度以降、拡幅速度が遅くなったのは堤内外水位差がなくなり、堤体下部が浸食しづらくなったことも一因と考えられる

これに対し、Case2は堤体上下部が同時に崩壊しながら破堤拡幅が進行

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## まとめ

### ○ 越水開始～破堤拡幅開始まで

越水後、破堤拡幅が始まるのは堤体断面の大半が崩壊した以降

これは正面越流の破堤実験と同様の結果

越水から破堤拡幅が始まるまでの時間の相違は土質によるものと考えられ、既往事例同様に細粒分が多い場合、破堤拡幅までの時間が長くなる

越水から破堤拡幅までは既往の2次元実験と同じ過程を示すことから、既往成果を用いることが可能であるとともに、越水後も堤体断面の大半が崩壊するまでは、破堤幅の拡幅・越流量の急増にはつながりづらいと考えられる

1.概要(堤体・観測・通水) → 2.結果(概況・水理・破堤) → 3.まとめ

## まとめ

### ○ 破堤拡幅開始～

破堤拡幅過程について、砂礫の多い堤体土質では堤体上部がある程度、崩壊拡幅した後、堤体下部が崩壊、といったことを繰り返しながら拡幅が進行

細粒分の多い堤体土質では堤体上下部が同時に崩壊し、拡幅が進行

### ○ 今後の予定

PIVデータを用いた破堤部周辺の流況、3D画像データを用いた破堤部周辺の水面形状等を用いた解析を進行中

■ 次の実験研究テーマの提案について  
「破堤部の緊急復旧の新技术と検証」

第4回千代田アドバイザー委員会資料

平成22年4月26日

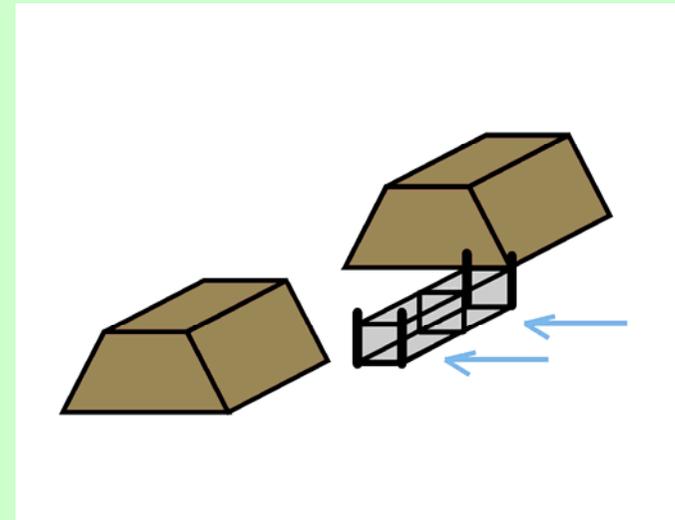
北海道開発局

# 破堤部緊急復旧工法の新技術開発と検証

## 5. 千代田実験水路における検証実験（イメージ）②

### 2) 背割堤試験

横断試験結果、有効と考えられる手法を用い、背割堤部にせめ工を再現し、その有効性を検証する。



背割堤試験(鋼製枠組沈設)イメージ

# 千代田実験長期計画について

第4回千代田アドバイザー委員会資料

平成22年4月26日

北海道開発局

# 1. 長期研究テーマについて

## 1.1 河川行政を取り巻く情勢の変化

- ・近年の気候変化に伴う集中豪雨等の増加など、水災害リスクの増大が顕在化しつつあり、治水安全度の低下が懸念されている。
- ・このような課題に対して、緊急性等を踏まえつつ、今まで以上に公共投資の集中化・重点化が求められている。

## 1.2 近年の研究成果について

- ・観測技術の向上等により、洪水時における河道内樹木の影響や河床変動など、現地観測データ・研究成果などの蓄積がされてきている。

## 1.3 実験可能最大流量の変更

- ・近年、暖冬等の影響により、融雪出水流量の小さい年が見られるなど流量にばらつきがある。
- ・地域の関係機関等との調整により、豊富な融雪流量が期待できる5月の実験が現状では困難な状況にある。

(当初の想定)最大150m<sup>3</sup>/s程度→(現状)安定的に確保できるのは概ね70m<sup>3</sup>/s程度

## 2.見直しの観点について

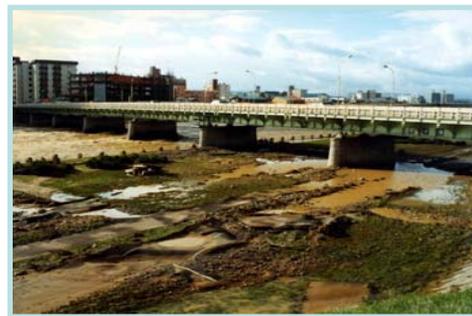
●千代田実験水路では、実スケールでの実験が可能なが最大の特徴であり、  
模型実験だけでは解明できない課題、現地観測でも解明が困難な課題について、  
実験研究を行うことが必要である。

### 1)洪水時における構造物の安全性について

- ・床止め周辺における高水敷から低水路へ流れ落ちる流水の影響(局所洗掘、河岸侵食等)
  - ・橋梁の橋台や橋脚周辺の乱れた流れによる堤防等への影響(法面侵食等)
  - ・流木などの流下物が橋梁や樋門等の構造物等に及ぼす影響。
- 重要な構造物の安全性の向上(応急対策、構造物の設置基準の見直しなど)
- 構造物の安全度評価(管理基準などに反映)



床止め周辺の流れ落ちる流水による被災例  
S56年8月豊平川洪水被災状況



橋脚等の乱れた流れによる被災例  
S56年8月豊平川洪水被災状況



橋脚への流木閉塞被害例  
(平成16年 水害レポート2004河川局HPより)

## 2. 見直しの観点について

### 2) 複断面河道における河岸侵食の進行について

多自然川づくりが進められていく中、その物理特性、耐久性は未だ不明な点が多い。また、伝統的工法と呼ばれるものは主に本州で行われていた事例が多く、北海道の気候・風土にあったもの、使用材料など改良すべきこともあると考える。

- ・伝統的工法とコンクリート護岸などの洪水への耐久性の比較

- ・北海道独自の多自然川づくりに適した工法、材料の開発

- ・河岸の耐侵食性の比較が明らかになっていない河岸材料や植生の影響

→ 河岸保護対策技術の向上により多自然川づくりに寄与(河岸保護工設計指針などに反映)

→ 河岸侵食に対する堤防の安全度評価(堤防防御ラインなどの管理基準の設定など)



耐流速試験を実施した  
伝統的工法(杭柵)の例



伝統的工法(籠出し)施工例  
H16年7月撮影 札内川



高水敷侵食の様子  
H13年9月撮影 十勝川