

平成20年度予備実験成果について

(独) 土木研究所寒地土木研究所
北海道開発局帯広開発建設部

平成20年度実験の位置づけ

・越水破堤に関する研究の発展には・・・

実スケールにおける3次元越水破堤メカニズムの把握が非常に重要

これらの実験は平成21年度より行う予定であるが、実験規模が非常に大きく、観測が広範囲で且つ計測項目が多岐にわたることからも、平成20年度は計測機器の機能検証や計測手法の確立を目指した

・平成20年度の実験実施概要

1. 室内実験

室内実験水路を用いて流水下(不可視)で破堤履歴の計測手法を確立

2. 現地実験

千代田実験水路内に横断堤を造成し、横断方向への拡幅過程も再現可能な正面越流による2次元越水破堤実験を実施。計測手法の確立だけでなく、新たな知見として破堤拡幅過程について明らかとなった

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

センサーの選定

十勝川千代田実験水路実験検討会において様々な計測機器の案が出たが、平成21年度以降の実験では堤体内に数多く設置する予定であることから、小型・無線・安価であることを基本とし総合的に判断

加速度センサーの考え方

堤体内に設置し、設置箇所が破堤し流出することで加速度が発生

水温センサーの考え方

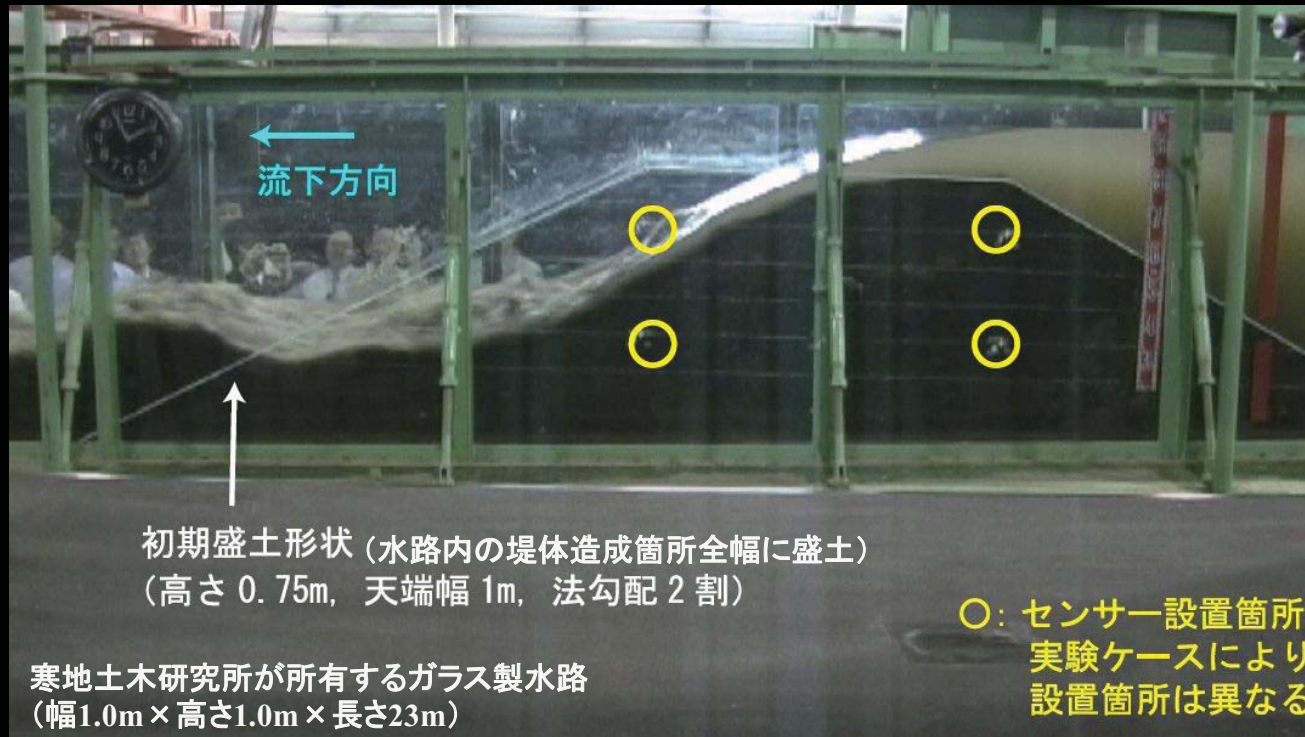
堤体内に設置し、設置箇所が破堤し流出することで堤体内と流水の温度の違いにより水温変化が発生



	加速度センサー	水温センサー
製造会社	米国オンセット社	
型番	UA-004-64	UTBI-001
計測範囲	± 3G	-20~30 °C (水中)
精度	± 0.075G	±0.2 °C
分解能	0.025G	0.02 °C
時間精度	± 1 分/月	± 1 分/月
寸法/重量	58× 33× 23 mm/18g	30× 40× 17 mm/23g
メモリ	64k(3 軸で 21,800 点)	64k(42,000 点)

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

室内実験の概要



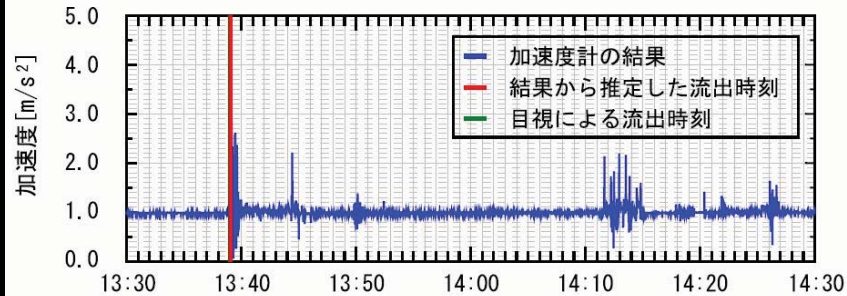
センサーを側面から流出状況が目視できるよう配置

目視により流出した時刻とセンサーの記録した時刻を比較することで、センサーの精度検証・現地での適用の可能性を確認した(全4ケース・センサー使用累計数26個)

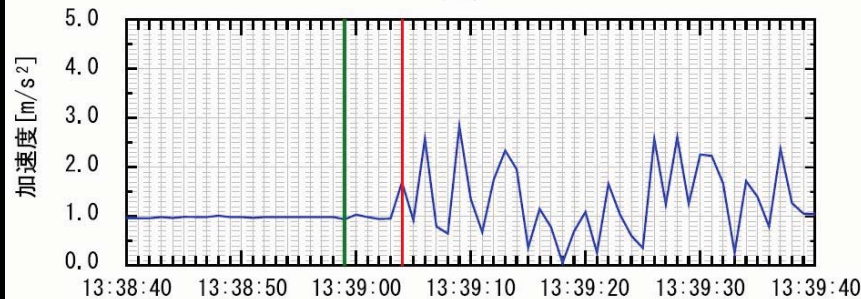
1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

室内実験の結果 (各センサーの結果一例)

加速度センサーの結果

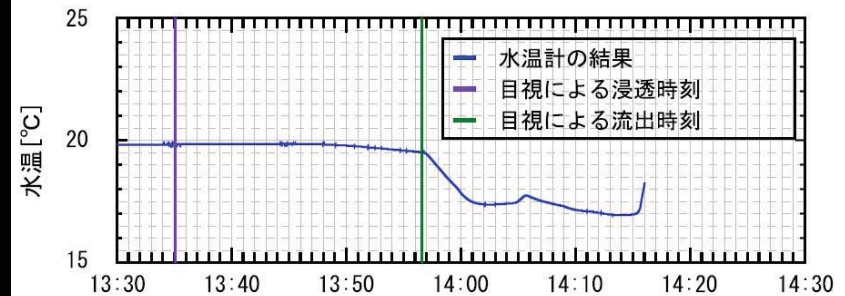


↓ 流出時刻の拡大

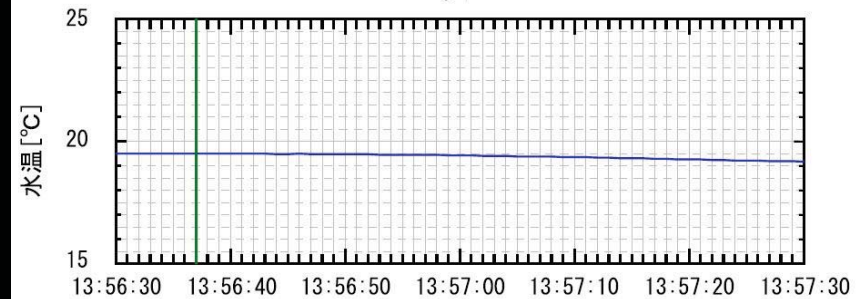


加速度センサーは実流出時刻の5秒後に反応したことが確認できる

水温センサーの結果



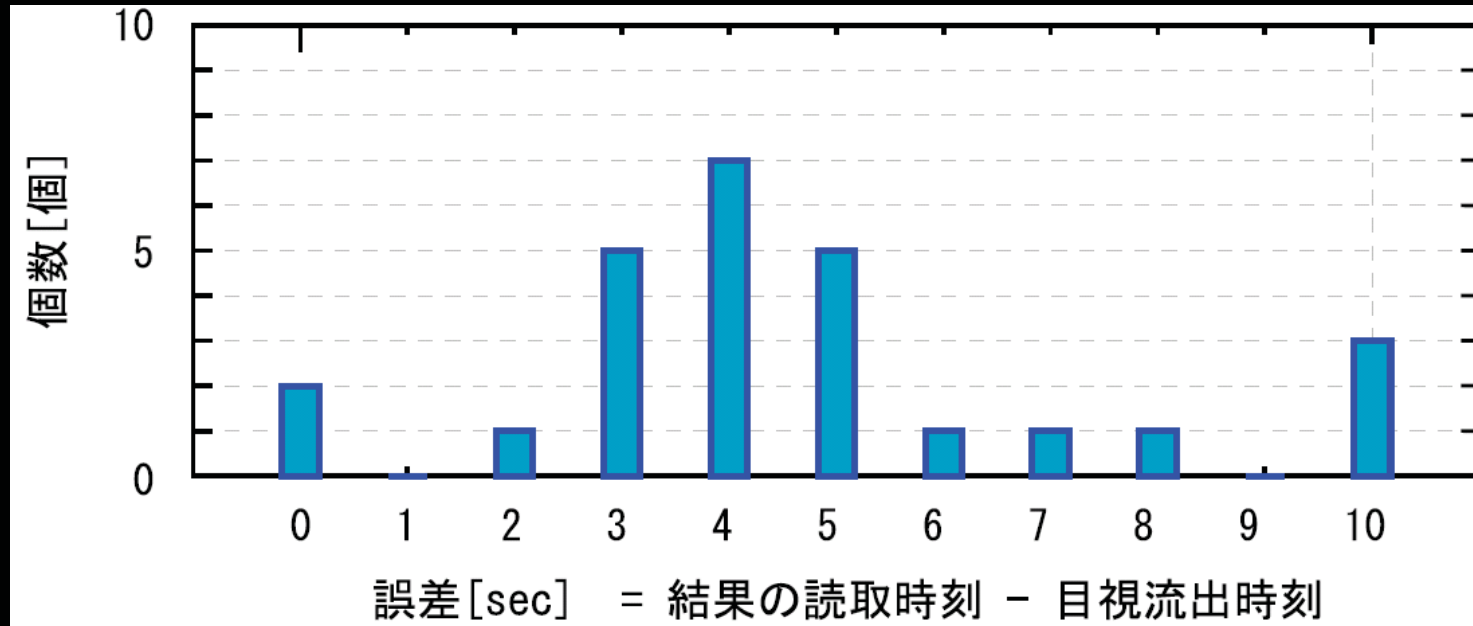
↓ 流出時刻の拡大



水温センサーは流水の浸透影響を受け徐々に反応が開始、流出時刻近辺で再度反応が見られるが秒単位での推定は困難。また千代田実験水路は屋外施設のため、通水中の気象条件より未破堤箇所でもセンサー反応の可能性

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

室内実験の結果（加速度センサーの精度）

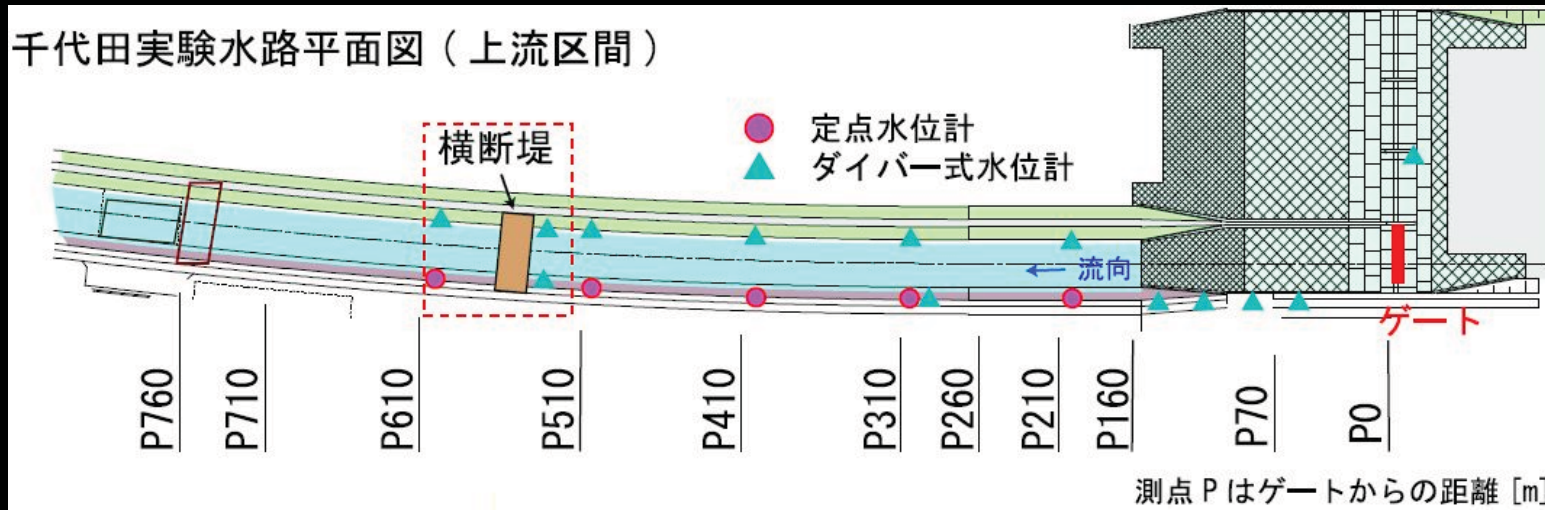


加速度センサーの目視による流出時刻と、センサーが記録したデータから推定した流出時刻の誤差を示す

これより数秒単位の誤差での破堤推定時刻が可能であると考えられ、加速度センサーをメインとし、現地での適用性確認を行った

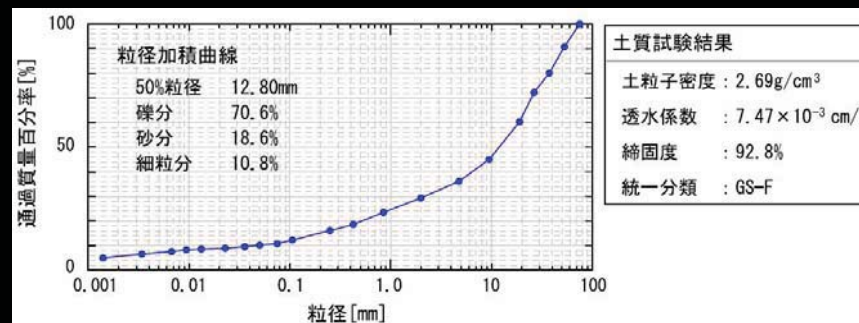
1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

現地実験の概要



高さ2.5m、天端幅2m、法勾配2割の横断堤防を水路全幅において造成。破堤きっかけとして天端中央に幅5m、深さ0.05mの切欠を設けた

通水は堤防の高さ2.25mまで堪水させ10分間の通水停止後、 $4\text{m}^3/\text{s}$ を通水し横断測線方向への拡幅が概ね落ち着いた時点で実験を終了



用いた土砂は現地発生材であり、実験水路河床材料と概ね同じ土質

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

現地実験の概要

通水中の主な観測

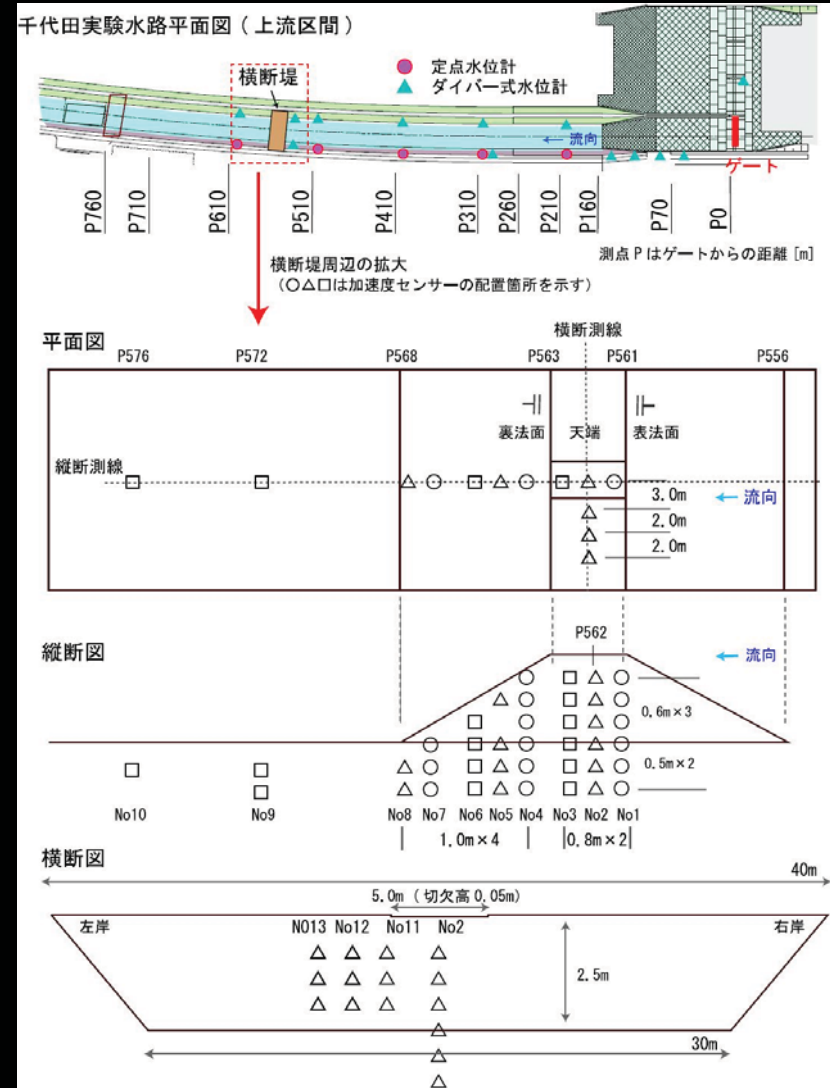
水位計による水位観測

複数台のビデオを用いた状況撮影

加速度センサーによる破堤形状の時系列計測

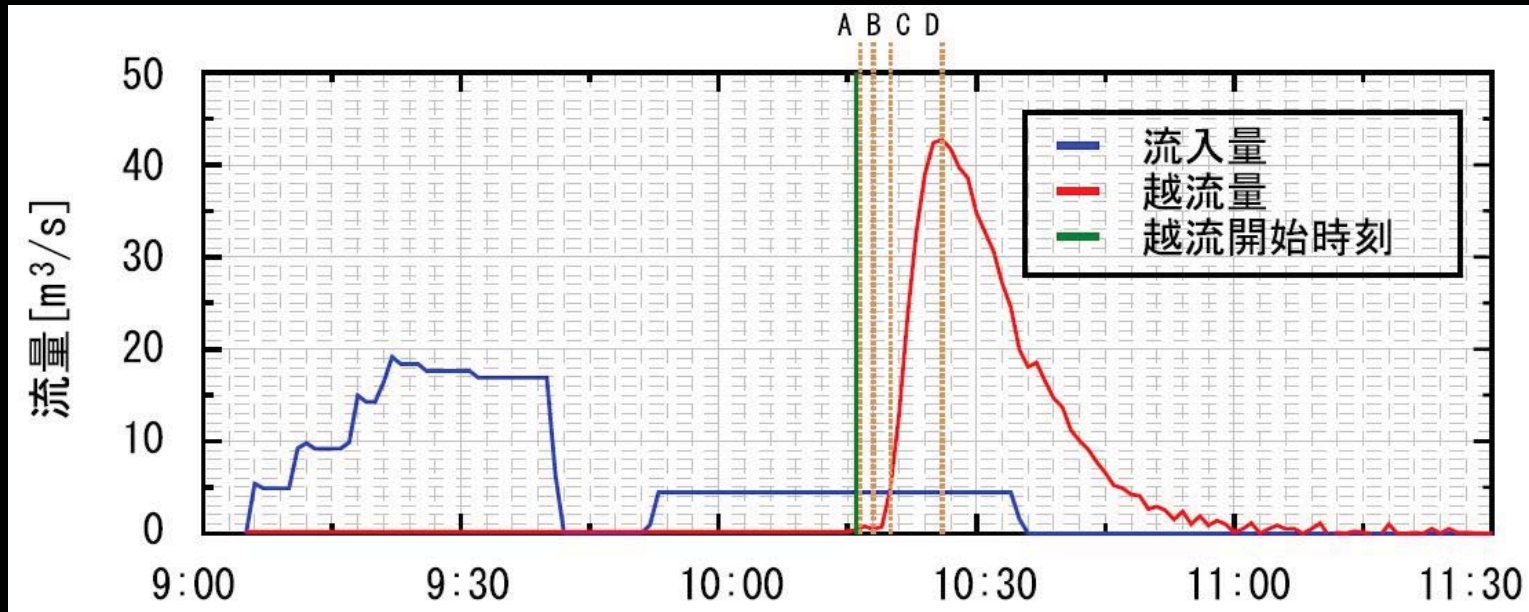
通水後の主な観測

三次元レーザースキャナによる破堤部周辺形状の測量



1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

越流量の推定



ゲートからの水路内流入量と堤防上流区間の水位結果を用いて、(1) 式より堤防からの越流量を推定した。

$$Q_{out}(t) = Q_{in}(t) - (V(t) - V_{(t-1)})/\Delta t \quad (1)$$

ここで Q_{out} :越流量、 Q_{in} :流入量、 V :横断堤上流部の堪水体積、 Δt :水位計データは1分毎なので60secである。

累計流入量は40,473m³/s、
累計越流量は40,457m³/sで
両者は概ね一致

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

実験状況

(※)プリントアウト版で見るとは別紙1を参照



←高所作業車を用いて
左岸より撮影

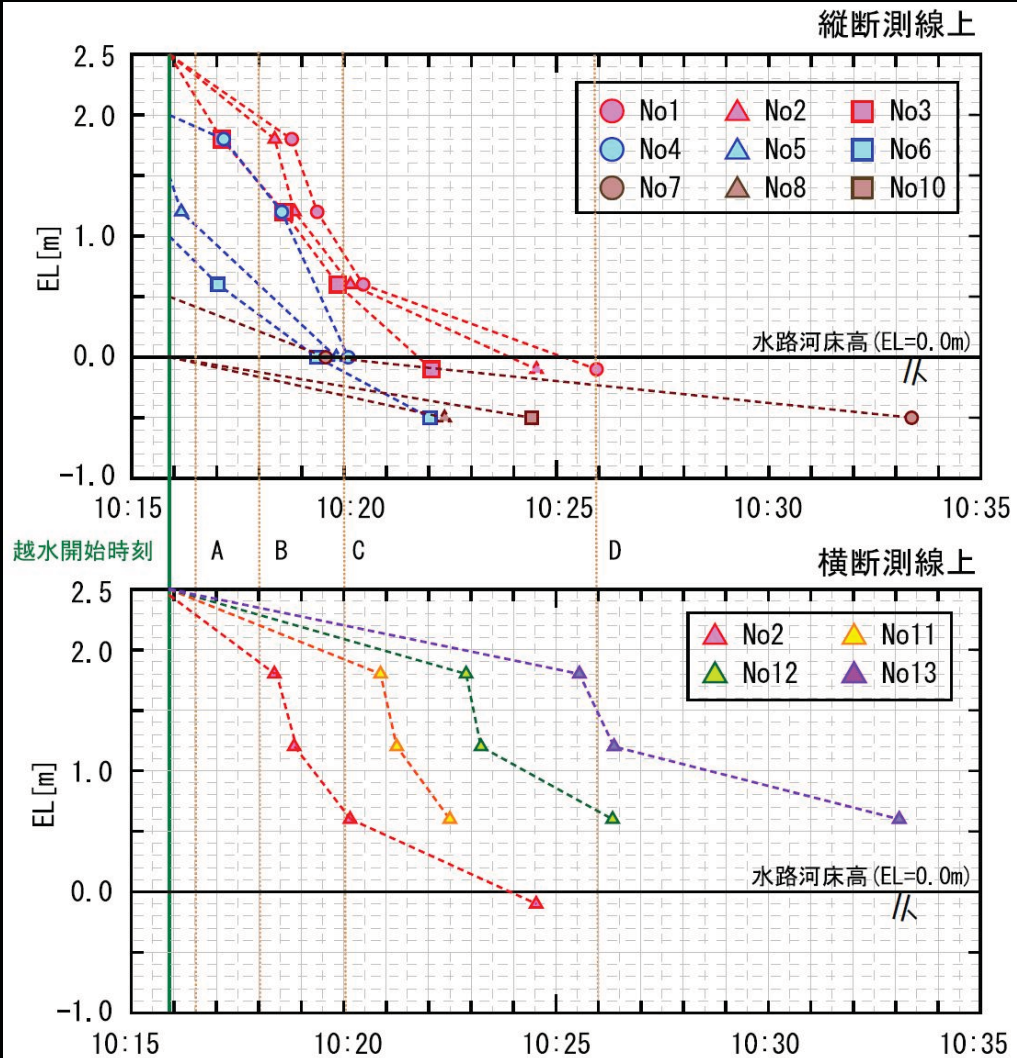
クレーンを用いて→
正面より撮影

H20.08.15
再生速度: 20倍



1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

破堤進行過程 (センサー結果より判読)

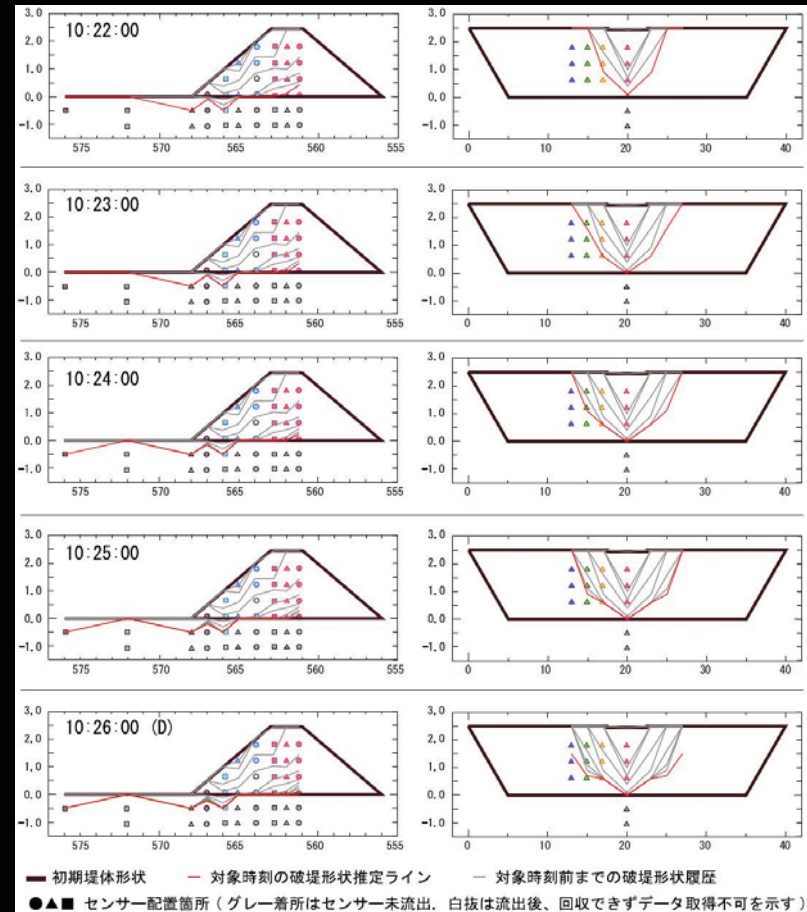
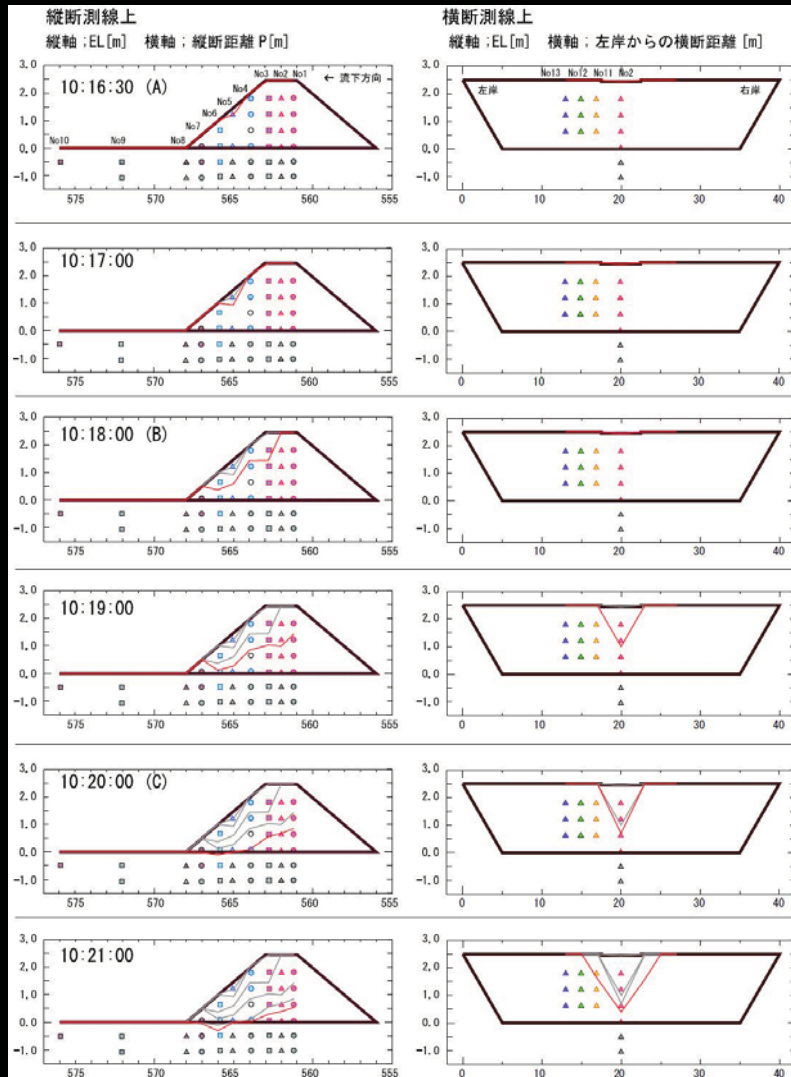


センサーの記録より判読した破堤時刻を示す

縦軸は水路河床を基準高0mとし、越水開始時刻ではそれぞれのセンサー配置箇所における堤防高を示す

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

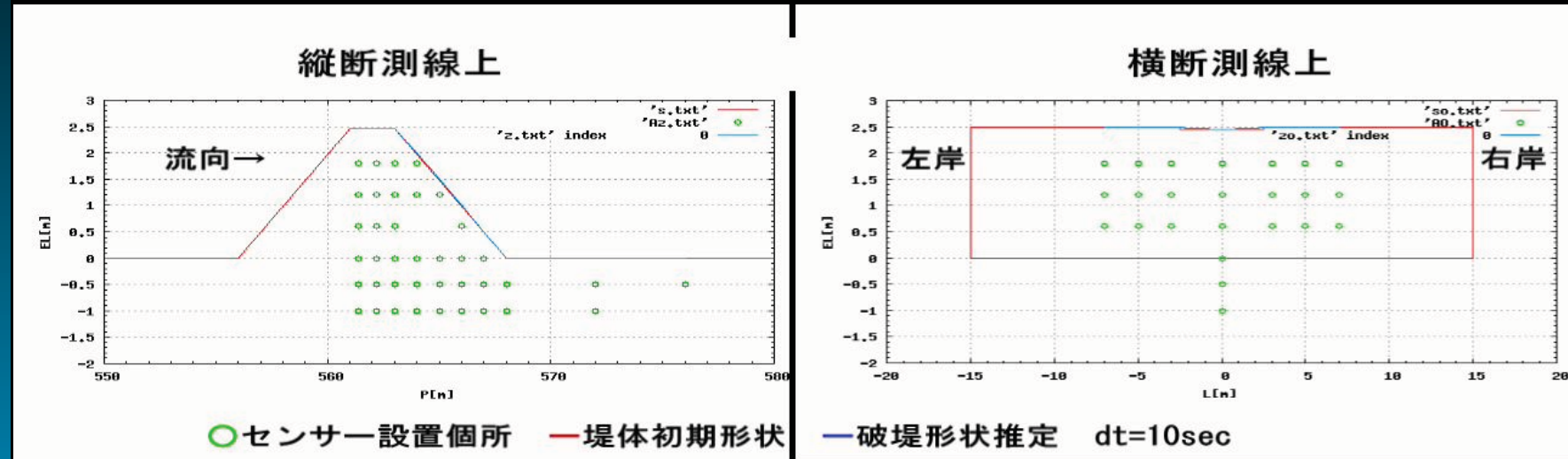
破堤進行過程 (破堤進行過程の推定)



センサー設置箇所の破堤時刻を用いてセンサー間には直線補間とし、時刻A~Dにおける1分毎の破堤進行過程を推定

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

破堤進行過程 (アニメーション)



1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

破堤進行過程（補足説明）

縦断測線方向

越水開始から時刻B

裏法面部全体と裏法肩付近が崩壊

時刻B～C

天端箇所において下流側から順次、鉛直方向下方にむかって崩壊が進み、時刻Cで河床高より上の堤体部分の大半が崩壊

時刻C以降

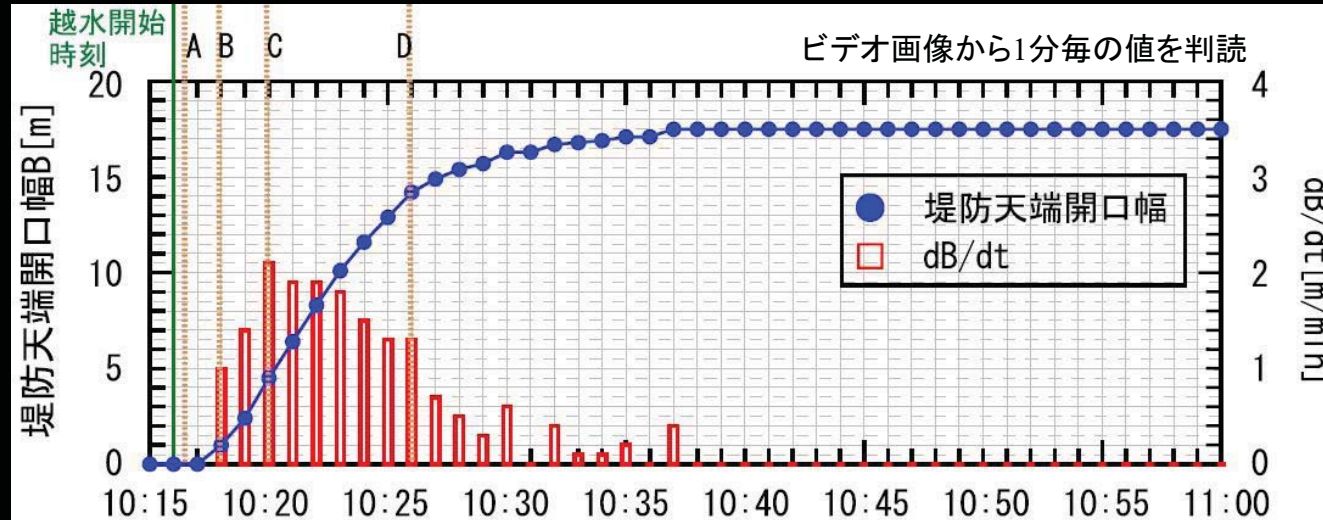
天端箇所についても河床高まで下流側から順次崩壊。更に法尻から下流では河床高より低い部分についても崩壊しており、時刻C前後、つまり縦断測線上の堤防崩壊が概ね終了する時刻前後より落ち掘れの形成が始まったと推定できる

横断測線方向

堤防センターに配置したNo.2において天端より2m程度崩壊が進んだ後、No.11の崩壊が開始。No.11が天端より鉛直方向下方に2m程度崩壊が進んだ後、No.12の崩壊が開始。またともに天端から鉛直方向下方1.5m程度は同時期に崩壊。これは堤体下層が削られ不安定となることで、周辺の上部が塊となり崩壊するといったことを繰り返しながら、破堤拡幅が進行していると言える

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

破堤拡幅過程



既往の研究では破堤拡幅は掃流作用ではなく堤体が鉛直方向下方に崩壊が進み、これにより周辺土砂が不安定な状態となり拡幅が進むと推定

今回の実験結果では時刻Cで開口幅変化率の最大値が出現。時刻Cは前述の通り、縦断測線上において堤体の大半が崩壊した時刻である。このため周辺土砂が不安定となり、急激に横断方向への拡幅が進行したと考えられる。

また10:30までは連続的に拡幅が進行しているが、この時間以降、間欠的な拡幅が確認できる。例えば前述のNo.13で堤体下方が崩壊した時刻(10:33)から3分後には0.4m/minの開口幅変化率が現れており、既往の推測の域から実スケールの実験結果として確認することが出来た。

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

破堤最終形状

破堤部開口形状は表法側が大きく開いたハの字をしており、落ち掘れの最大洗掘深の発生箇所は等高線の絞り込まれた裏法尻近傍にあり、既往の室内実験¹⁾とも一致

1)例えば藤田裕一郎ほか:河川堤防決壊口の拡大過程に関する実験,土木学会年次学術講演会第2部,第42回,pp.559-560,1987.

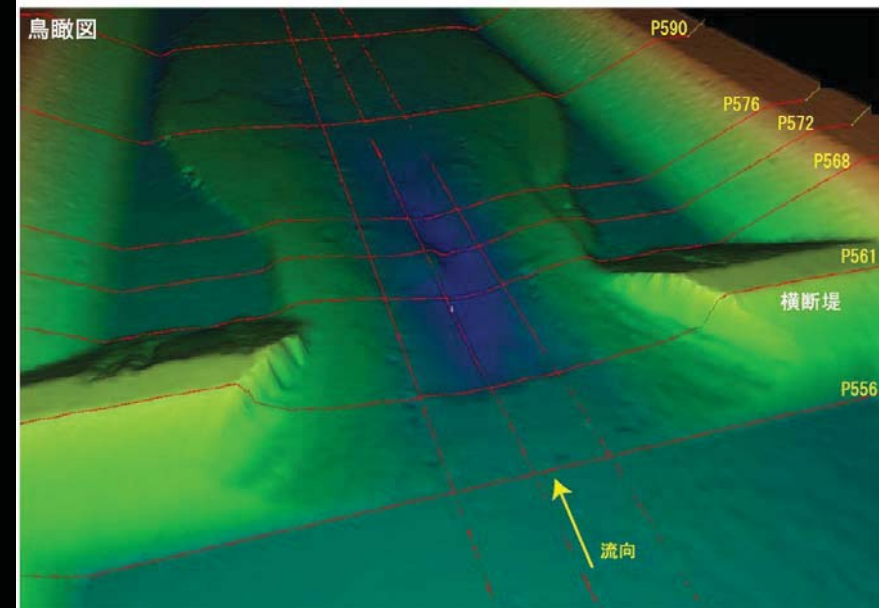
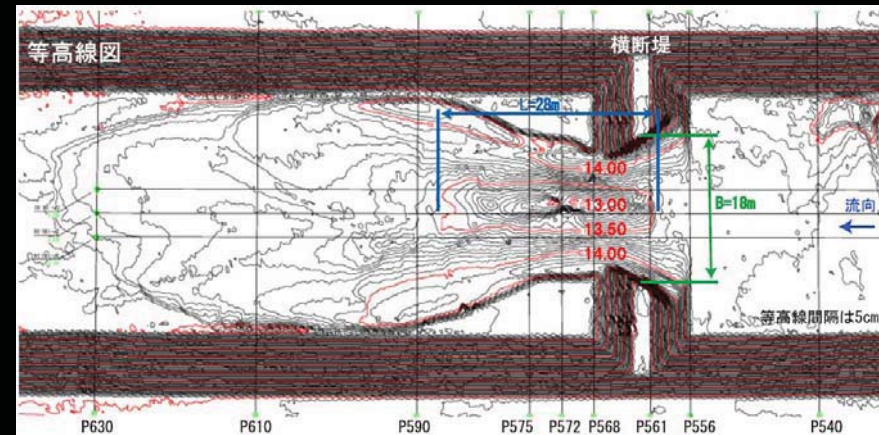
ここで落ち掘れ形状は次の通り

延長Lが約28m

最大洗掘深Dが約0.8m

天端開口幅Bが約18m

この形状特性と既往資料の比較を次項に示す

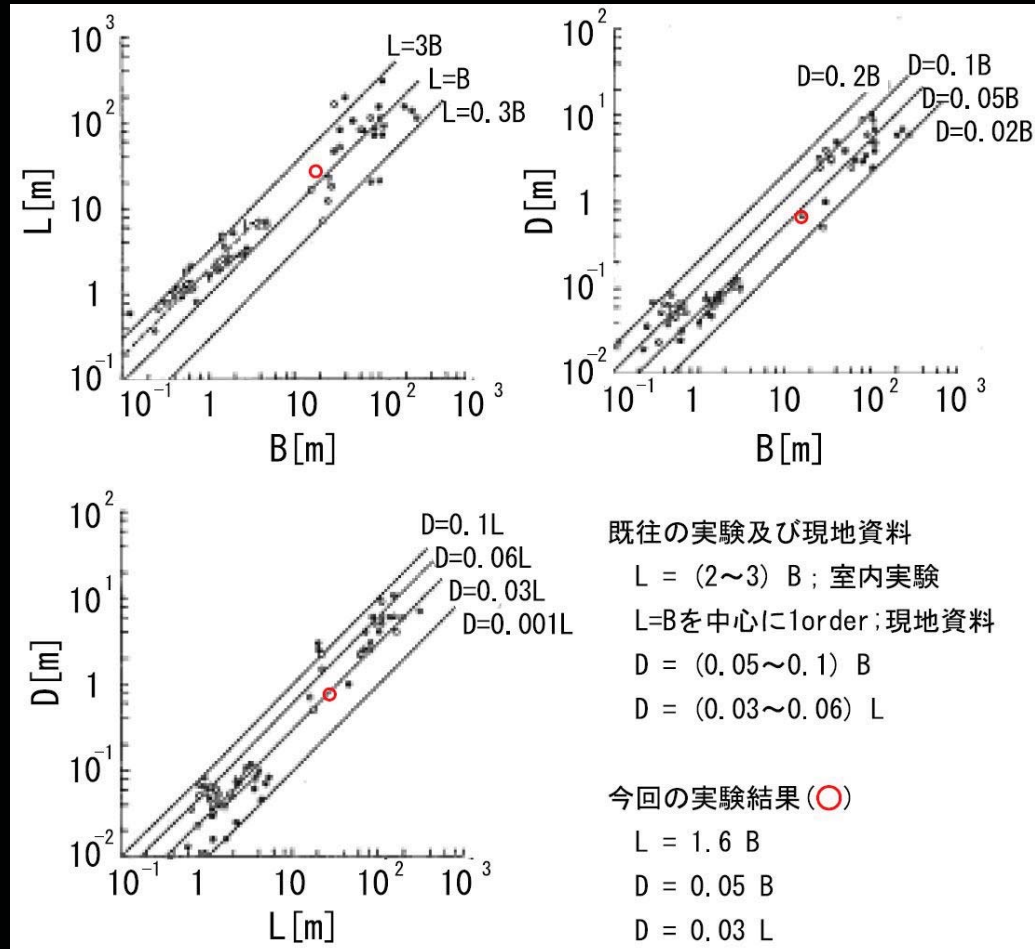


1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

落ち掘れの形状特性

落ち掘れの形状特性について
 既往の室内実験(最終形状に
 至るまでの実験過程も含む)、
 及び現地資料について形状特
 性を検討したものである。

今回の千代田実験の結果は
 概ねその範囲内におさまっ
 ている



前項の参考文献1)より

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

まとめ

今年度は計測が困難である流水下での破堤履歴の計測手法検討、実スケールでの横断方向拡幅が再現できる正面越流による2次元越水破堤実験を行った。これより次のことが明らかとなった。

1. 加速度センサーを用いることで、実スケールで通水を止めることなく不可視部分の破堤過程を計測する手法が確立できた
2. 千代田実験水路で形成された落ち掘れの形状特性について、既往事例の範囲内であった。これは今後、千代田実験水路での越水破堤実験で得られた知見を他の研究について適用可能であると言える
3. 横断方向への拡幅過程は掃流作用ではなく鉛直方向下方に崩壊が進み、周辺土砂が不安定な状態になることで拡幅が進むことがわかった。これは既往の研究では室内実験結果からの推測にとどまっていたが、実スケールでその現象を捉えることができた(行政への還元としてハザードマップ精度向上のための一資料となる)

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

今年度の実験の位置づけ・行政への還元

・今後の3次元実験結果と今回の2次元実験の位置づけ

既往の研究の内、実験が行われているのはスケールモデルでは2次元・3次元、実スケールでは2次元実験である。

今後、3次元実験を進めていく中で次のような関係性を明らかにすることが目標

実スケールにおいて2次元と3次元の破堤過程等に関する共通点・相違点(千代田)

実スケールとスケールモデルの破堤過程等に関する共通点・相違点(千代田・既往)

これらが明らかとなれば、今後、破堤に関する研究の進展が見込まれる

・行政への還元

- ・堤防の安全度評価技術の向上
- ・破堤後における堤防緊急復旧等の危機管理対策技術の向上
- ・越水破堤破壊メカニズムの解明によるハザードマップ精度の向上
- ・水防資材備蓄数量の精度向上

1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

今後の予定

今年度の実験では、更に破堤部周辺で次のデータを取得している
～3D画像解析による水面形状・PIV解析による流況

現在は画像から数値データ変換を行っている段階であるが、これらのデータが揃った段階で以下の検討を予定

- ・堤内外水位(水面勾配 I_w)と破堤拡幅速度の関係。また流量 Q を用いて $Q I_w$ と拡幅速度の関係
- ・堤体周辺の水面形状と落ち掘れ形状(例えば最深箇所)の関係
- ・天端初期流速と初期破堤の関係 等...































1.室内実験(概要・結果) → 2.現地実験(概要・越流量・状況・破堤・形状) → 3.まとめ

論文等の発表































今年度の論文等の発表状況は以下の通りである

- ・島田友典ほか:十勝川千代田実験水路の基礎的な土砂挙動特性, 土木学会応用力学論文集, Vol.11, pp.699-707, 2008年9月
- ・市原哲也ほか:千代田実験水路における基礎的な水理特性, 土木学会北海道支部, 第65号, 2009年1月
- ・島田友典ほか:千代田実験水路における横断堤を用いた越水破堤実験, 第52回北海道開発技術研究発表会, 2009年2月
- ・市原哲也ほか:千代田実験水路における基礎的な水理特性-千代田実験水路の河床形態と土砂移動について-, 第52回北海道開発技術研究発表会, 2009年2月
- ・島田友典ほか:十勝川千代田実験水路における横断堤を用いた正面越流破堤実験, 寒地土木研究所月報, 第669号, 2009.
(投稿中)
- ・島田友典ほか:千代田実験水路における横断堤越水破堤実験, 土木学会水工学論文集, Vol.53, 2009年3月
- ・T.Shimada et al.: Basic Hydraulic Characteristic of the Chiyoda Experimental Channel, River Flow 2008, Vol.3, pp.1805-1813, Sep,2008.
- ・T.Shimada et al.: Basic Study on Sediment Behavior in the Chiyoda Experimental Channel, ICHE2008, Sep,2008.

別紙1-1

	カメラを用いた上空からの撮影	高所作業車を用いた左岸からの撮影	カメラを用いた正面からの撮影
10:16:30 (A)			
10:17:00			
10:18:00 (B)			
10:19:00			
10:20:00 (C)			
10:21:00			
10:22:00			
10:23:00			
10:24:00			
10:25:00			

別紙1-2

	バルーンを用いた上空からの撮影	高所作業車を用いた左岸からの撮影	クレーンを用いた正面からの撮影
10:26:00 (D)	 08.08.15.10.26.00	 08.08.15.10.26.00	 08.08.15.10.26.00
10:27:00	 08.08.15.10.27.00	 08.08.15.10.27.00	 08.08.15.10.27.00
10:28:00	 08.08.15.10.28.00	 08.08.15.10.28.00	 08.08.15.10.28.00
10:29:00	 08.08.15.10.29.00	 08.08.15.10.29.00	 08.08.15.10.29.00
10:30:00	 08.08.15.10.30.00	 08.08.15.10.30.00	 08.08.15.10.30.00
10:31:00	 08.08.15.10.31.00	 08.08.15.10.31.00	 08.08.15.10.31.00
10:32:00	 08.08.15.10.32.00	 08.08.15.10.32.00	 08.08.15.10.32.00
10:33:00	 08.08.15.10.33.00	 08.08.15.10.33.00	 08.08.15.10.33.00
10:34:00	 08.08.15.10.34.00	 08.08.15.10.34.00	 08.08.15.10.34.00
10:35:00	 08.08.15.10.35.00	 08.08.15.10.35.00	 08.08.15.10.35.00

今後の越水破堤実験計画について

(独) 土木研究所寒地土木研究所
北海道開発局帯広開発建設部

越水破堤に関する課題

行政上の課題

- ・地球温暖化に伴う超過洪水により、越水破堤のリスク増大が今後懸念される
- ・昨今の公共事業費の削減のため、堤防安全度評価技術の向上により、効果的な堤防安全度の向上を図る必要がある

技術的課題

既往の越水破堤に関する検討は、2次元水路実物大実験による堤防強化方法検討が主で、3次元的破堤拡大状況(開口部の広がり方、速度、開口幅、流量との相関等)をトータルで検証する実験がなされていない。

行政への還元

- ①堤防決壊氾濫流解析によるソフト対策
- ②堤防強化技術の向上
- ③堤防の安全度評価