

破堤実験研究成果の普及活動報告

千代田実験水路において平成 20 年度～平成 23 年度にかけて行った破堤実験の研究成果は「河川堤防の越水破堤現象のうち破堤振幅機構に関する実験報告書」として取りまとめ、平成 24 年 10 月に公表した。本実験の研究成果を周知するため、学会等を通じ普及活動を行っている。

【研究成果の活動報告について】

① 第48回 水工学に関する夏期研修会

日時：平成 24 年 8 月 28 日

場所：北海道大学 工学部

概要：“十勝川千代田実験水路における越水破堤実験”と題して、A コース（河川・水文）で越水破堤実験研究の講義を行った。（参加者 150 名）

② 第15回 技術者交流フォーラムin帯広

日時：平成 24 年 10 月 17 日

場所：とちがち館 鳳凰の間

概要：“千代田実験水路における破堤実験”と題して越水破堤実験研究の講義を行い、地域に関する情報交換、産官学の技術者交流および連携等を図った。（参加者 196 名）

③ 国土交通省国土技術研究会 ポスターセッション

日時：平成 24 年 10 月 25 日～26 日

場所：国土交通省（中央合同庁舎 2 号館）

概要：“千代田実験水路における破堤実験”と題して、ポスター発表を行った。実スケール水路での実験ということで実験の実施や観測の方法、破堤進行過程についての質問があった。



① 水工学夏期研修会



② 技術者交流フォーラム

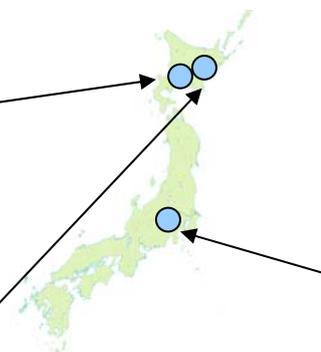


写真. 広報の様子



③ 国土交通省国土技術研究会

④ 十勝川千代田実験水路における実験研究報告会

日時：平成 24 年 10 月 29 日

場所：寒地土木研究所 1 階講堂

概要：千代田実験水路における越水破堤現象に関する実験のうち破堤振幅機構に関する実験研究成果の報告、および活用研究 3 例（渡邊教授・泉教授・清水教授（発表順））の報告がなされた。（参加者 103 名）

⑤ 土木研究所の開発技術に関する意見交換会（今後も全国各地で予定）

日時：平成 24 年 11 月 1 日（高松）、13 日（熊本）

場所：四国地方整備局 7 階、熊本市役所 14 階大ホール

概要：土研ショーケースの前日に、地整との意見交換会で発表を行った。出席者は、高松は主に地整関係者、熊本は主に地整や県、市役所職員で、千代田報告書の概要版を配布し、実験報告会の資料などを用いて説明を行った。（参加者 高松 43 名、熊本 39 名）

⑥ 第56回（平成24年度）北海道開発技術研究発表会技術資料展示

日時：平成25年2月19日～21日

場所：北海道開発局研修センター

概要：“千代田実験水路における破堤実験”と題して、ポスター展示による技術紹介を行った。

⑦ 第57回 水工学講演会

日時：平成25年3月5日～7日

場所：名城大学天白キャンパス（名古屋）

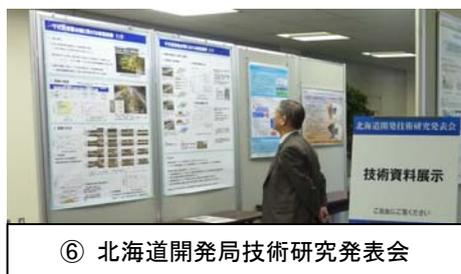
概要：“千代田実験水路の移動床抵抗に関する研究”と“千代田実験水路破堤拡幅実験に基づく堤体崩壊量の定量化”と題した論文の登載が決定し、講演会で発表を行う。



④ 千代田実験水路実験報告会



⑦ 水工学講演会



⑥ 北海道開発局技術研究発表会



⑤ 土木研究所の開発技術に関する意見交換会（四国地整）



⑤ 土木研究所の開発技術に関する意見交換会（熊本市役所）

写真. 広報の様子

【今後の予定】

⑧ 2013年度 河川技術に関するシンポジウム

日時：平成25年6月6日～7日

場所：東京大学農学部 弥生講堂（東京）

概要：“破堤氾濫流量の数値計算推定手法に関する研究”、“根固ブロックによる破堤抑制効果の検討”、“千代田実験水路縮尺模型実験による破堤特性と川幅・勾配に関する考察”と題した論文を投稿中。

⑨ RCEM2013（河川に関する国際シンポジウム）

日時：平成25年6月9日～13日

場所：カンタブリア大学（スペイン サンタンデル）

概要：“A Research on Levee Breach Process（破堤進行過程に関する研究）”と“A Study on Bedform Observation and the Law of Resistance in the Chiyoda Experimental Flume（千代田実験水路での河床波観測と抵抗則に関する研究）”と題した論文を投稿。

⑩ 第48回 地盤工学研究発表会

日時：平成25年7月23日～25日

場所：富山国際会議場ほか（富山）

概要：“千代田実験水路における堤体材料の違いによる河川堤防の破堤実験”と題した論文を投稿。

⑪ ISRS2013（流域土砂管理国際シンポジウム）

日時：平成25年9月2日～5日

場所：京都テルサ（京都）

概要：“Levee Breach Observation in Chiyoda Experimental Flume（千代田実験水路における破堤崩壊土砂量の推定）”と題した論文を投稿。

第7回 十勝川千代田実験水路等実験アドバイザー委員会

平成24年度 河床変動特性の検証実験 研究報告

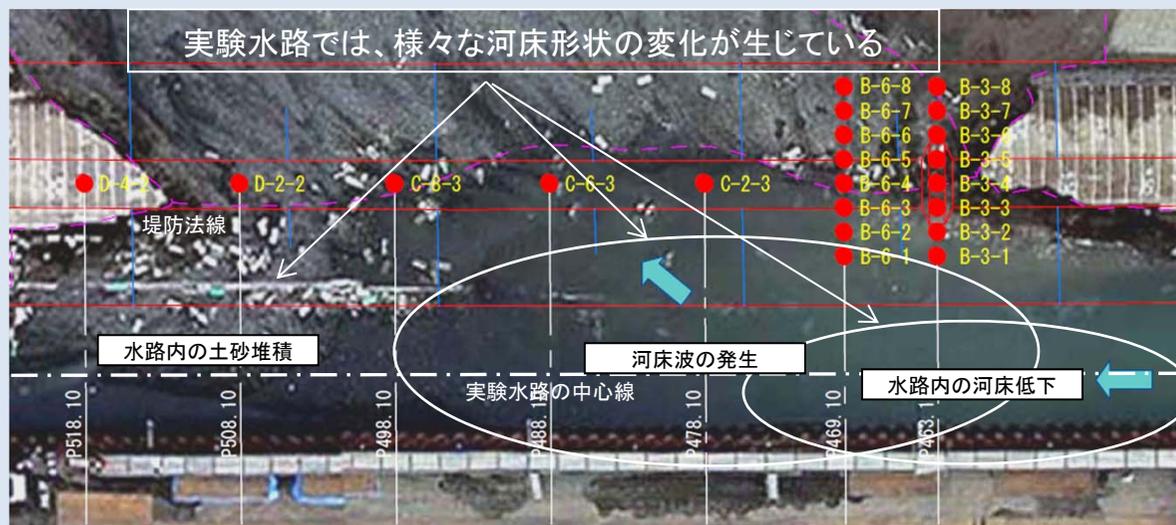
実験概要	.....	p 1
実験結果		
各種観測結果（水位・流速・河床高・波長・波高・粒度分布・勾配）	.....	p 8
波長・波高の観測値と既往の実験結果の比較	.....	p16
波形勾配の観測結果と推定値の比較	.....	p17
粗度係数の時間変化	.....	p18
河床形態の判定	.....	p19
まとめ	.....	p20
参考資料（各種観測結果の時系列一覧）		

【目的】

- 破堤現象解明のため実験水路の河床変動特性を把握すること、実河川スケール規模の河床変動実験を行うことにより河床変動に関する諸研究の成果の実際の河川への適応性を検証することを目的に、河床変動特性の検証実験を行う。
- 破堤実験と同様の水路条件、流量(①： $Q=70\text{m}^3/\text{s}$,②： $Q=35\text{m}^3/\text{s}$)で通水実験を行い、通水中の水理量や河床形態等を詳細に観測する。
- 小規模河床波の形状を詳細に観測するため、マルチビームソナーを用いて時系列的な変化を把握する。
- 実験実施日 ～ ①：平成24年6月28日(木)、 ②：平成24年7月24日(火)

第6回実験アドバイザー委員会(H24年3月6日開催)資料より抜粋

【河床変動特性の検証】



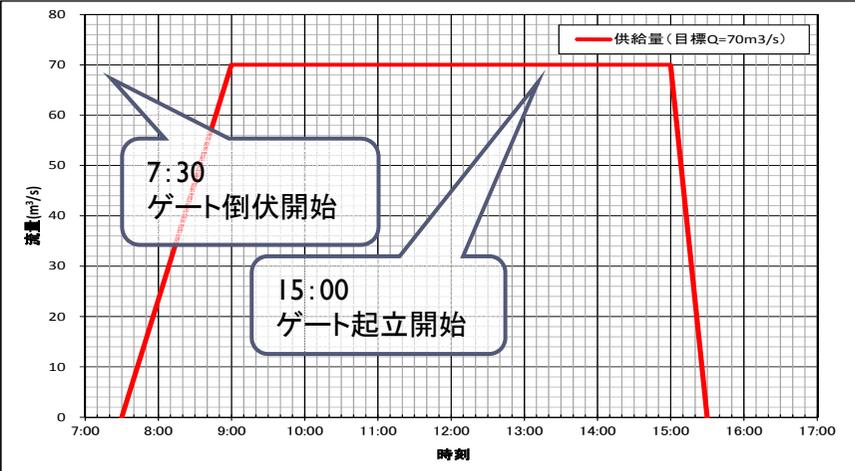
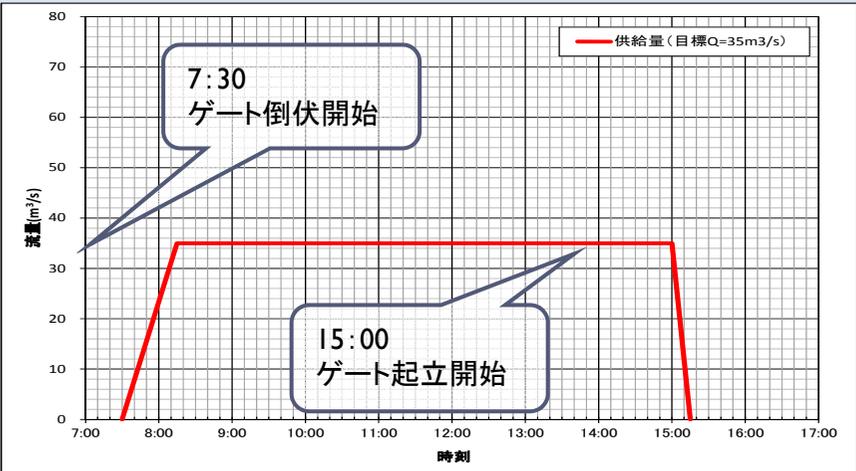
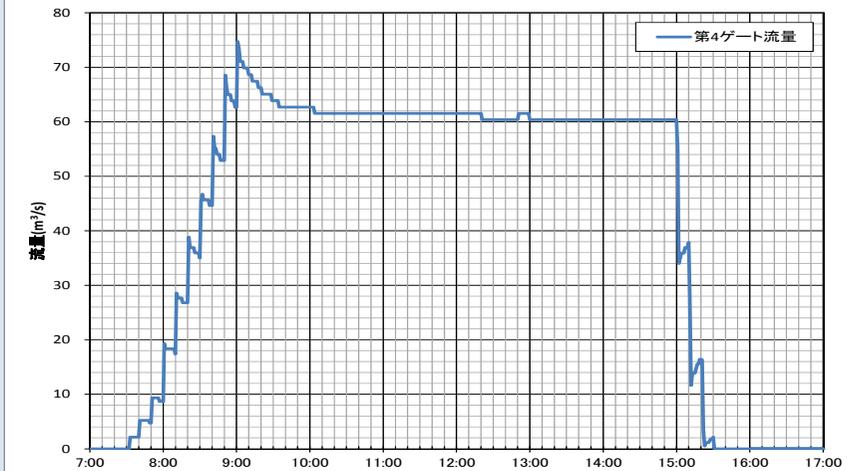
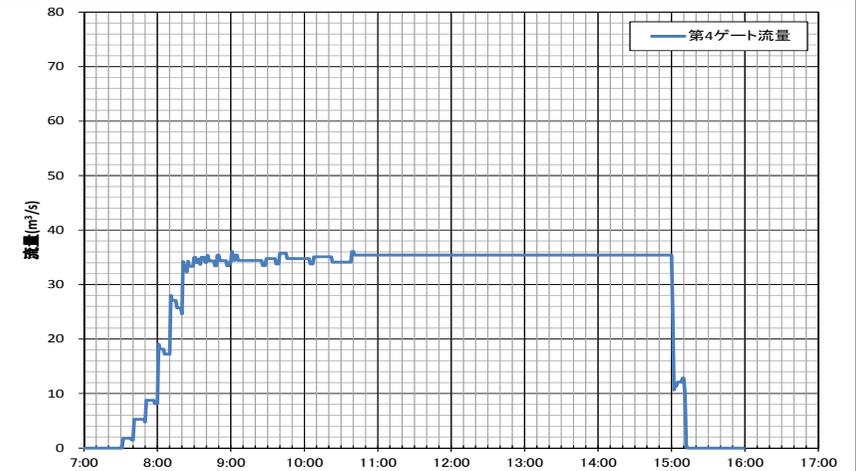
破堤実験後の破堤部の状況(ケース3)

【目的】

- 破堤現象解明のため河床変動特性を把握
- 実験結果は、基礎水理学の進展にも貢献

【実験計画】

- H24年度に千代田実験水路で実験を実施(2ケースの実験を実施)
- 実験結果を今後の分析に活用するため、河床形状の変化の他、水理量の変化も詳細に観測

実験	第1回:平成24年6月28日	第2回:平成24年7月24日
目標流量	70m ³ /s	35m ³ /s
計画 通水量		
ゲート 通水量 (実際)		

第6回実験アドバイザー委員会(H24年3月6日開催)資料より抜粋

濁水モニタリング

(堰上流、堰直下、実験水路縮小部、P760 右岸、実験水路終点左岸・右岸、十勝川合流点 (左右)、千代田大橋 (中右)、池田大橋、茂岩橋)

■ 濁度計 P570 鋼矢板沿い 3基 (表層・中層・下層)

■ 実験水路河床材料調査 (P410, 460, 510, 560, 610, 沈砂池内 9箇所)

■ 浮遊砂 P520 人道橋から

● 定点水位計観測 (6基: P210, P310, P410, P510, P610, P710)
(P310~P210以外の4基は鋼矢板沿い)

◆ ダイバー水位計 (19基 25m ピッチ)
(鋼矢板沿い: 11基: P363, 385, 435, 460, 485, 535, 560, 585, 635, 660, 685)
(右岸法面: 8基: P363, 385, 410, 435, 460, 485, 585, 610)

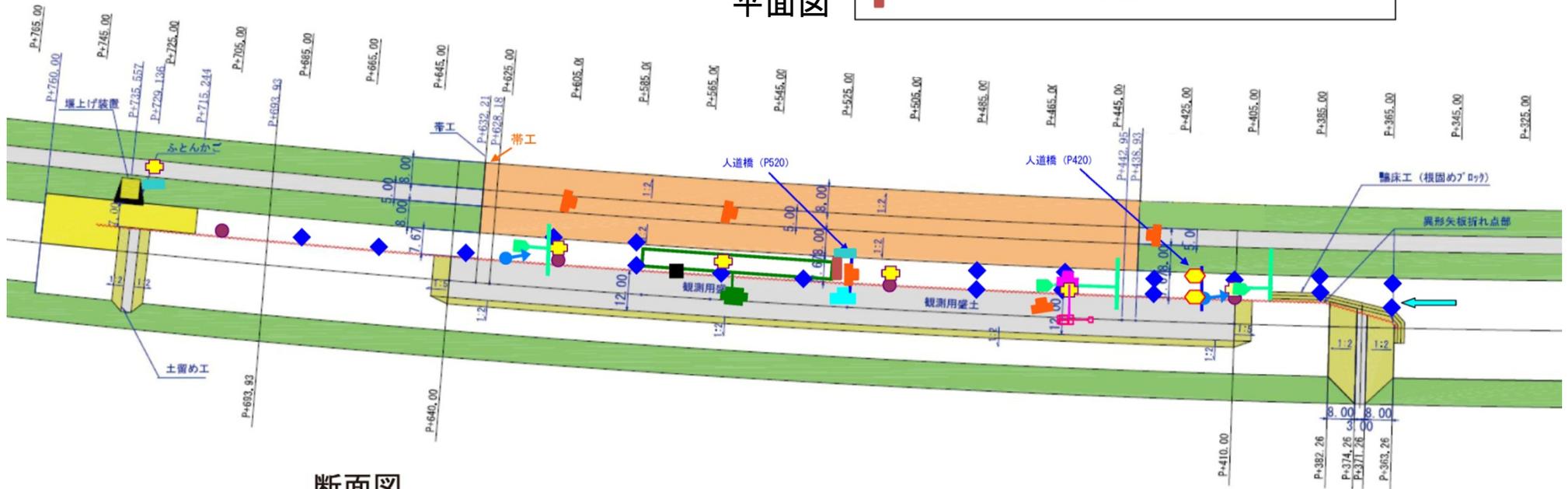
● 杭ワイヤー式 ADCP 観測 (3基: P410, P530~580, P610)

● 電波流速計 (2箇所: P420, P620 の ADCP 近傍を計測)

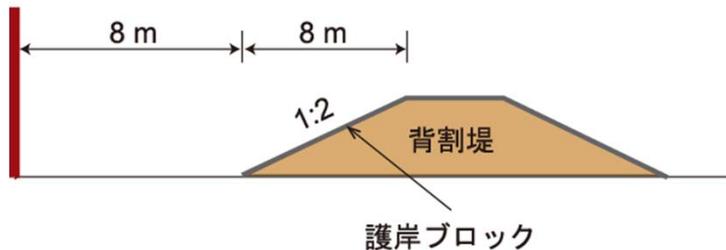
■ マルチビームソナー (P530~P580、実験水路中央 4m 幅、ロングアームバックホウ)

■ イメージングソナー (P520 人道橋から近傍を計測)

平面図



断面図



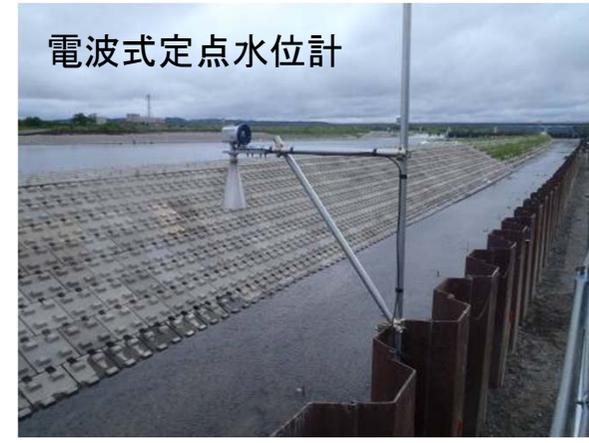
■ 表面流速ビデオ撮影 (PIV 解析) (1基: P460、高さ 52m)

(高さ 2.4m の土盛り+クレーン車 65ton 付)

■ 手持ちビデオ撮影 (計 5 基、背割堤上下流部 (P435, P550, P605)、人道橋 (P520)、鋼矢板側から 1 基: P465)

■ 水中ビデオカメラ (P524)

■ トレーサー散布 (人道橋 P420 左右岸)



【マルチビーム測深器 (Seabat8125)】

- 一度に広範囲の測深を高密度で行うことができる。直行方向に 120° の幅を240本の音響ビームで測深する。計測分解能は6mmで1秒間に最大40回測深する。

機器名称	Seabat8125
メーカー	Reson(デンマーク)
適応水深	0.5 ~ 120m
スワ幅	水深の約3.4倍
ビーム指向角	$0.5^\circ \times 1.0^\circ$
ビーム数	240本
発振周波数	455kHz
ソナーヘッド重量	24kg
ソナーヘッド外寸	H192 × W383 × L499mm

センサー部



通常の測定方法(船上からの測定)



【千代田実験水路における測定】

- 流速が速く船上観測が困難なため、バックホウのバケットの先端にセンサーを取り付け、測定を試みた。

解析機器をクローラに固定



センサーをバケットに固定

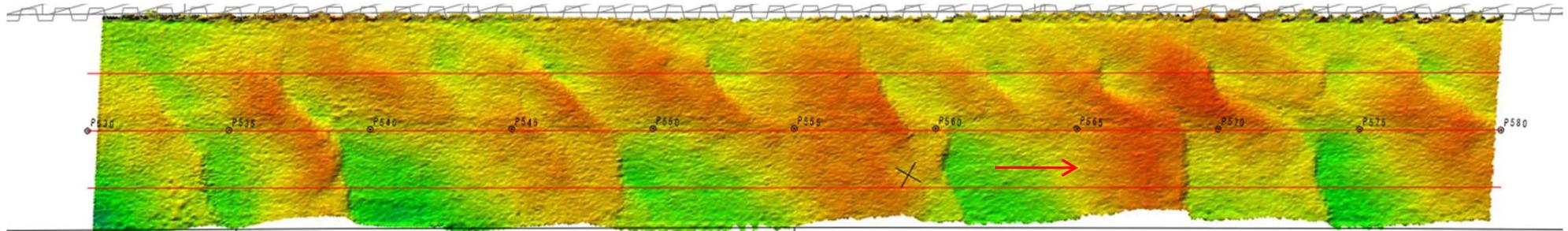


バックホウを50m移動して測定



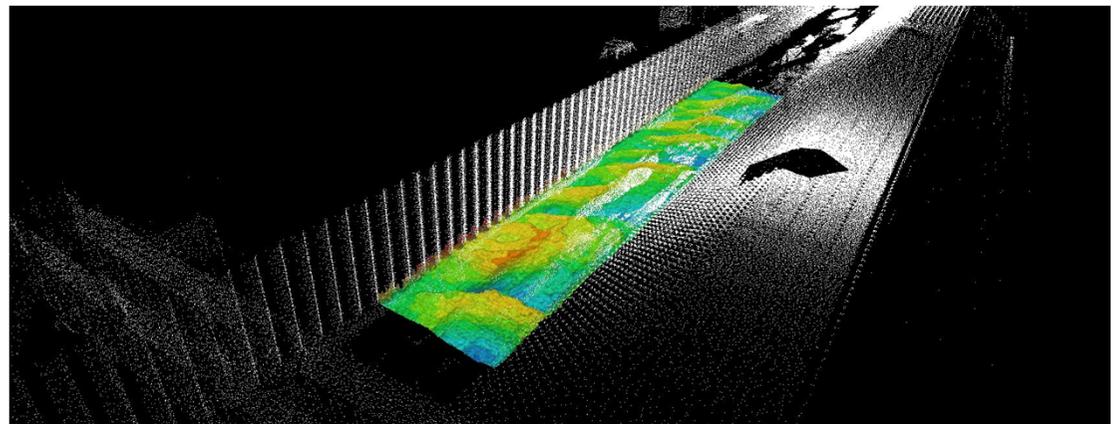
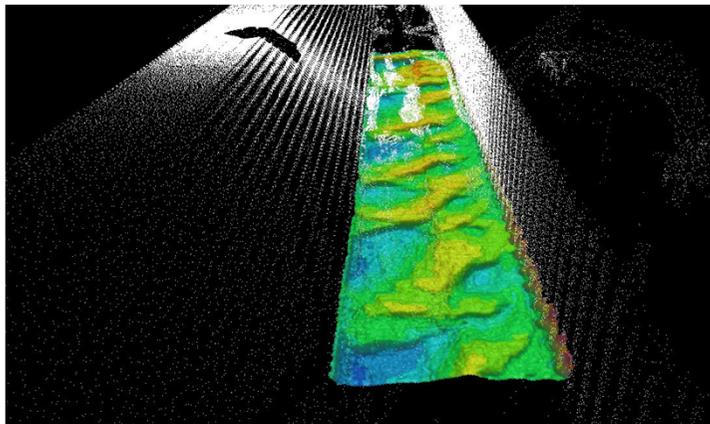
【詳細な河床形状データを取得】

- 50mの観測区間において、約60分間隔で河床高を計測。（1回目、2回目ともに、各8回の計測を実施）
- 実河川スケールでの河床形状（小規模河床波）変化に関する貴重なデータを得ることができた。

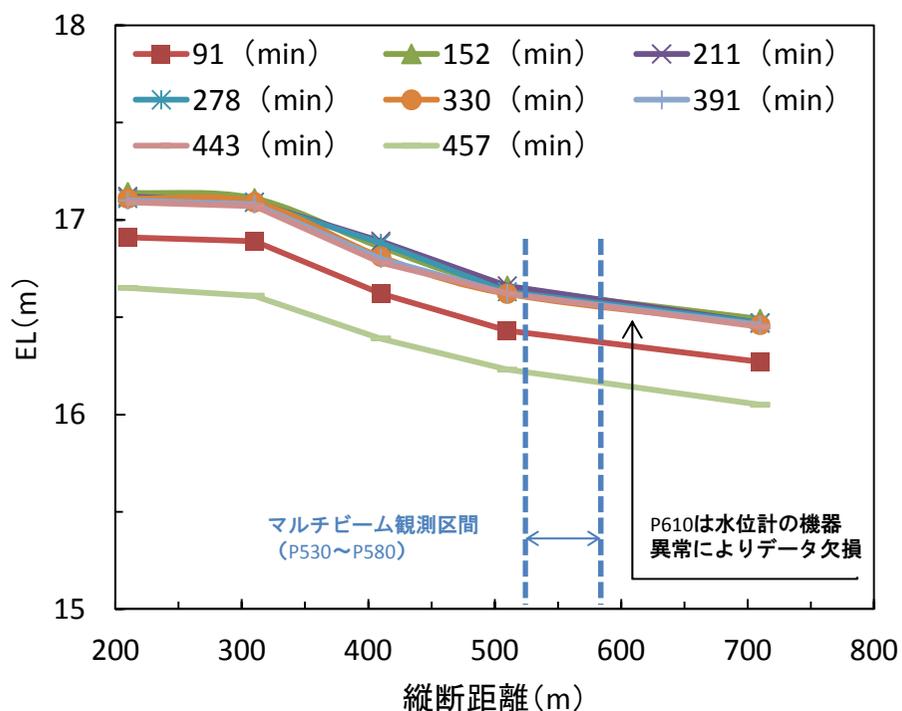
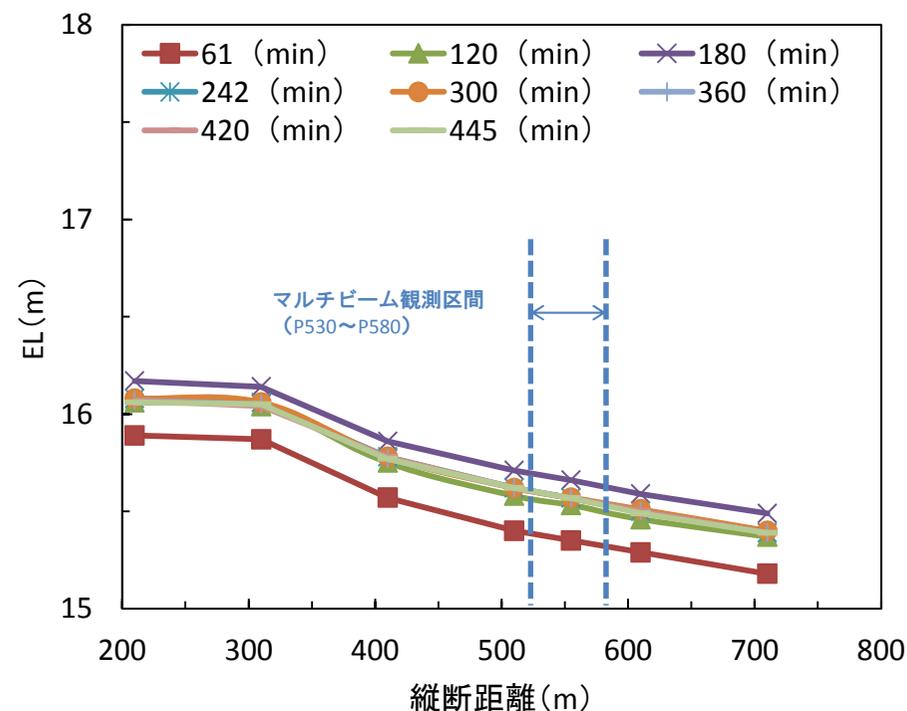
観測された河床形状（第1回実験（ $Q=70\text{m}^3/\text{s}$ ）。通水開始から457min経過時）

【地上部の3次元測量データとの組み合わせ】

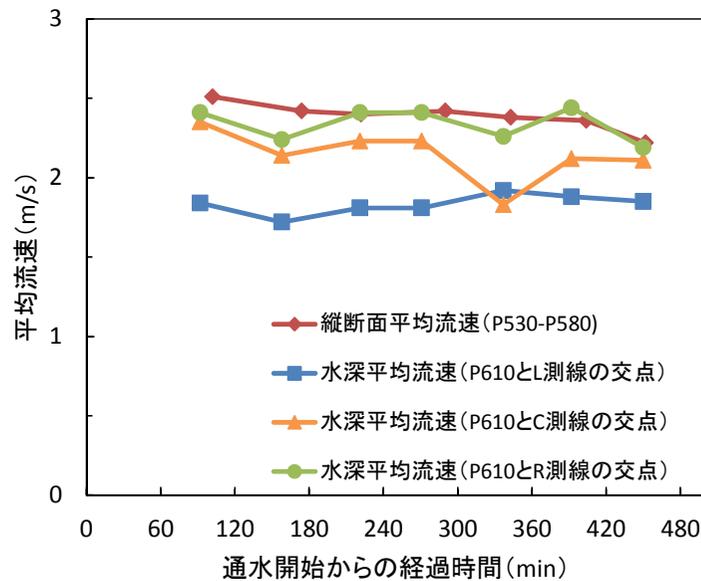
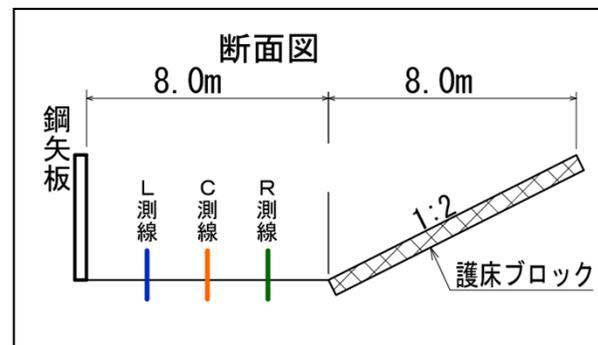
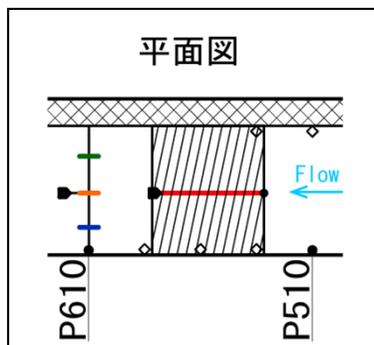
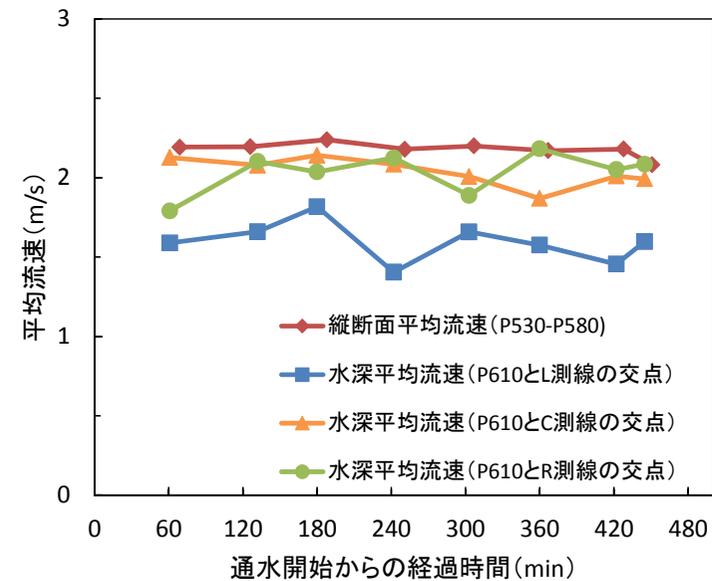
- 地上部（水中以外の箇所）の地形データについては、レーザースキャナにより計測を行っており、マルチビームのデータとの重ね合わせより、実験水路全体の3次元データが得られた。

三次元データによる鳥瞰図（第1回実験（ $Q=70\text{m}^3/\text{s}$ ））

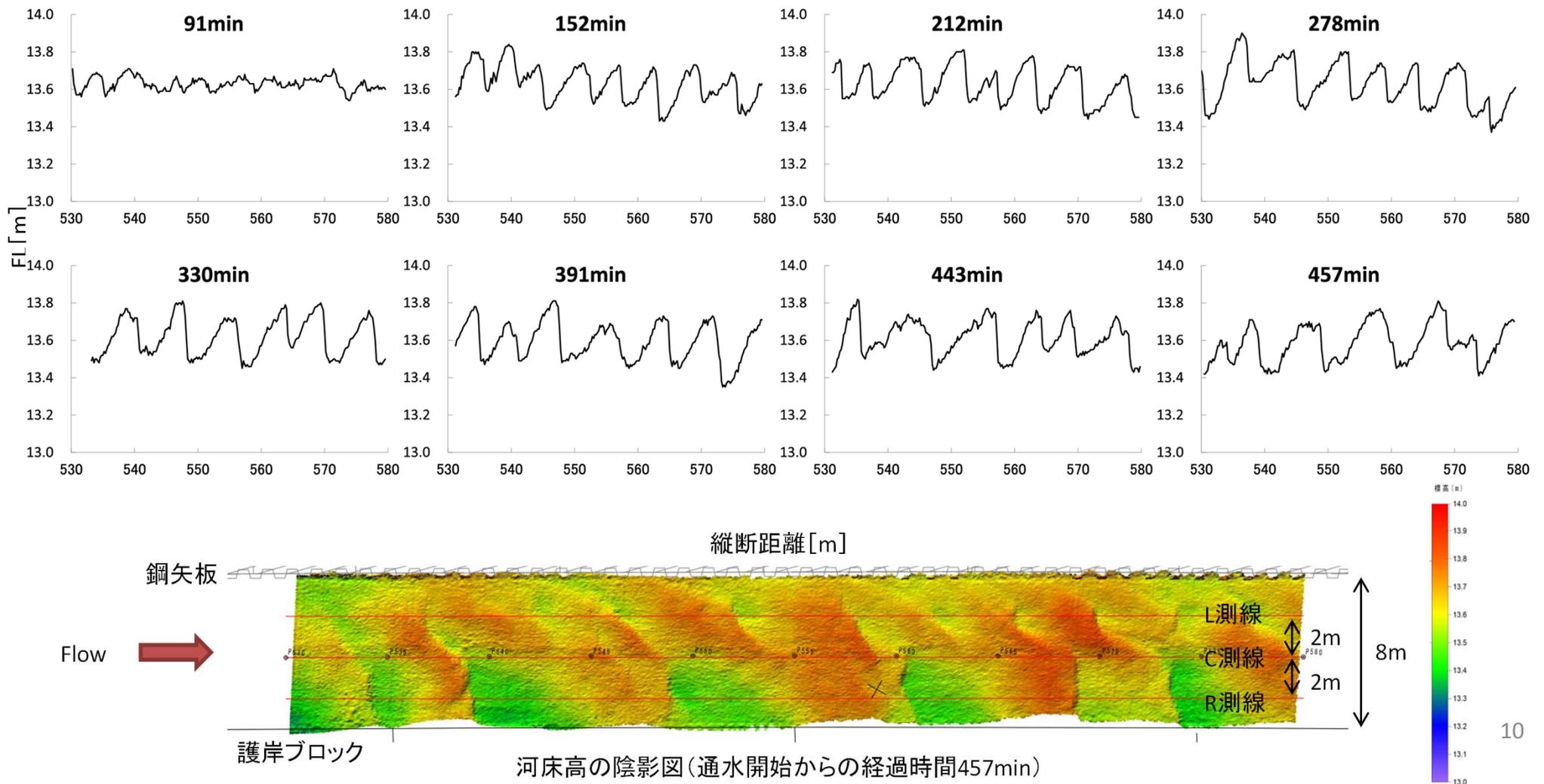
- マルチビーム観測時間における電波式水位計の観測結果を示す。
- 両実験ともに目標流量以降(第1回実験152分、第2回実験120分)に水位が安定している。。

第1回実験(Q=70m³/s)第2回実験(Q=35m³/s)

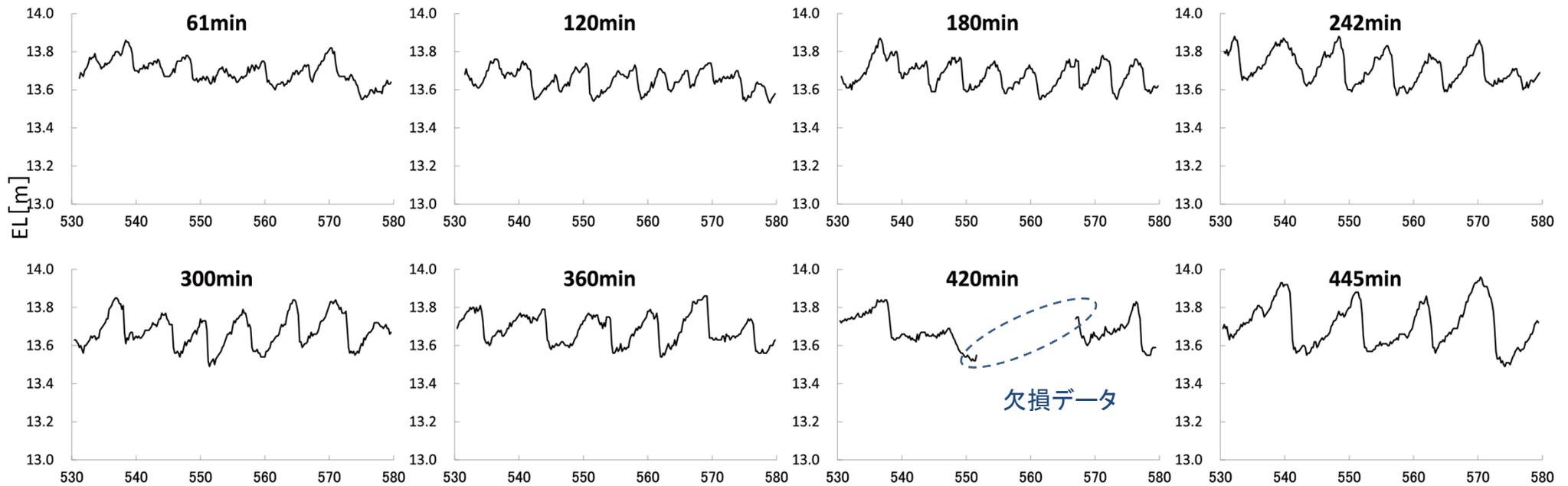
- 縦断面平均流速は、ADCP観測によるマルチビーム観測区間(P530~P580)付近の平均流速
- 水深平均流速は、P610のADCP観測値の各測線における水深平均値
- 縦断面平均流速は、通水中大きな変化は無かった
- L測線の水深平均流速は、C・R測線より小さく、矢板の影響があると考えられる

第1回実験(Q=70m³/s)第2回実験(Q=35m³/s)

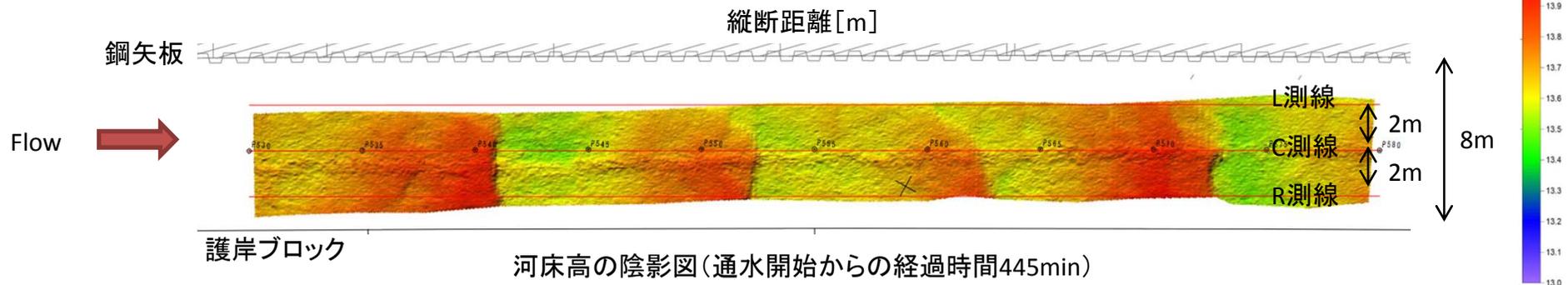
- マルチビーム観測による河床高の陰影図からL測線とR測線では河床波の傾向が異なることが確認できる。ここでは矢板の影響が小さいと考えられるR測線の結果を示す。
- 通水後152分には河床波が発達しているのが確認できる。



- マルチビーム観測による河床高の陰影図からL測線とR測線では河床波の傾向が異なることが確認できる。ここでは矢板の影響が小さいと考えられるR測線の結果を示す。
- 通水後120分には河床波が発達しているのが確認できる。

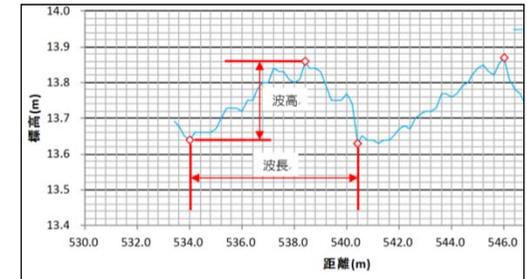


※欠損データは機器の特性上、計測範囲外となったものである。

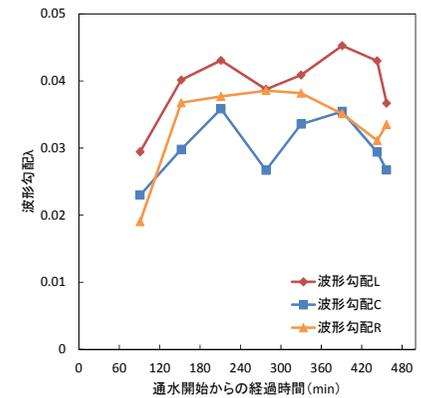
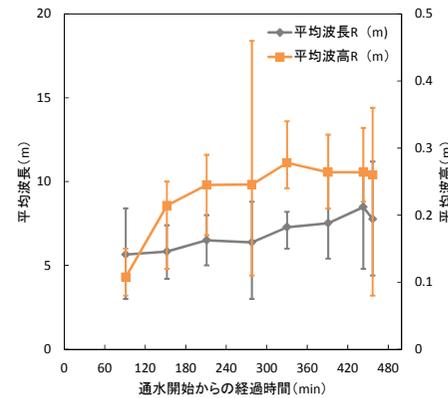
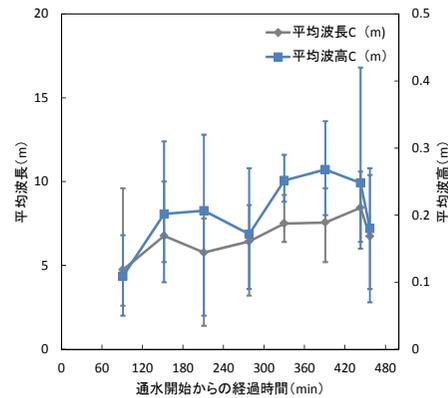
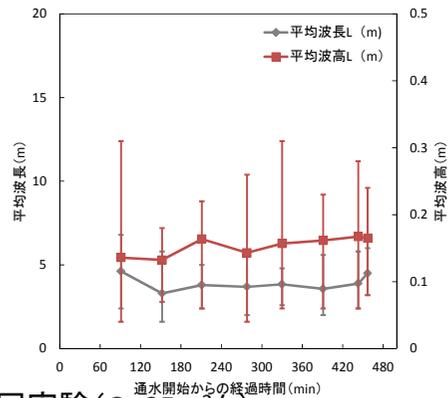


- L・C・R測線の河床波に関して、波長、波高、波形勾配(波高/波長)の平均値の時系列変化を示す
- 第1回実験の平均波長は3.9m~8.5m程度、平均波高は0.1m~0.3m程度
- 第2回実験の平均波長は4.3m~13m程度、平均波高は0.1m~0.3m程度
- 平均波長は通水時間経過に伴いC・R測線で増加
- 平均波高の伸びが鈍化。また、第2回実験では減少している
- L測線の波長・波高はC・R測線と傾向が異なる

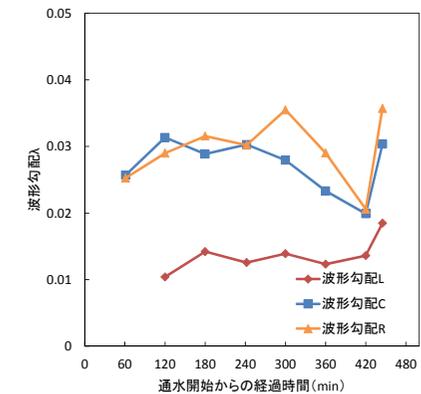
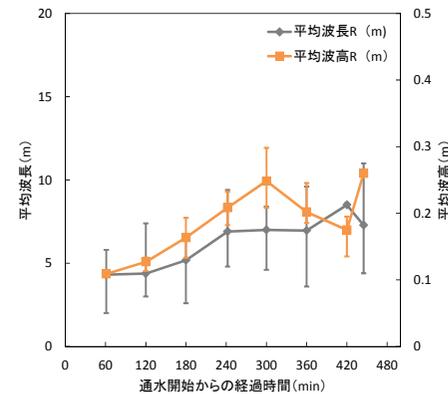
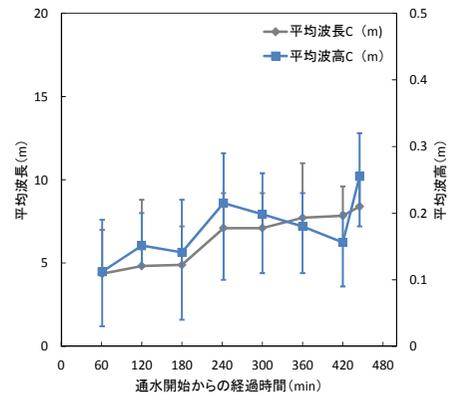
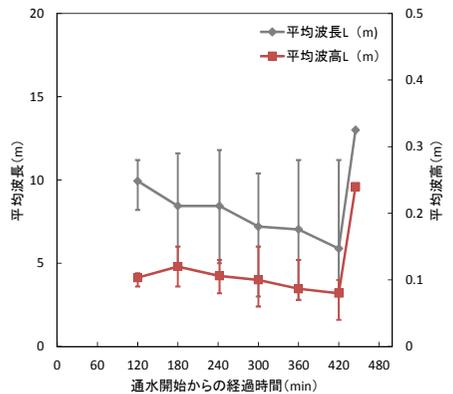
波長・波高の定義



第1回実験 (Q=70m³/s)

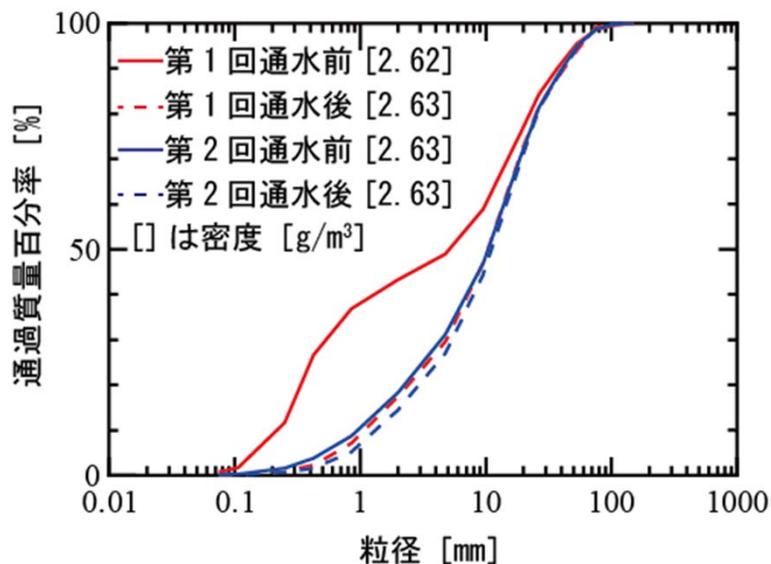


第2回実験 (Q=35m³/s)

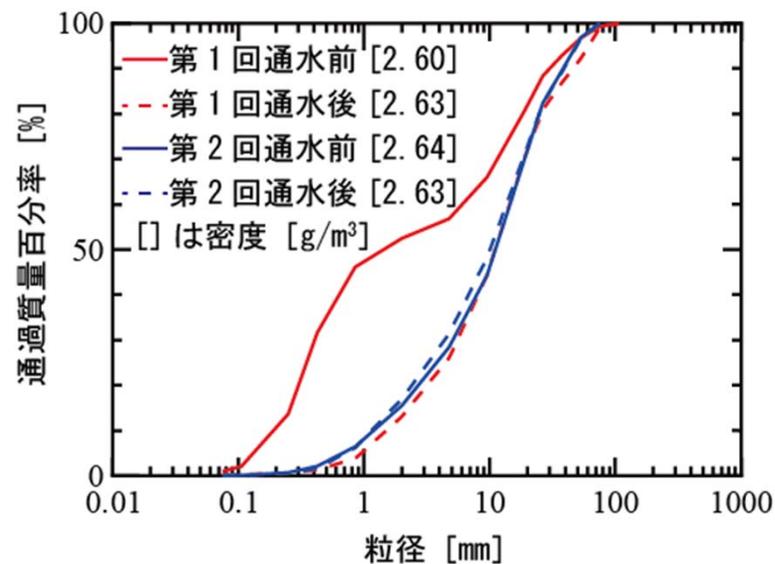


- 実験区間とマルチビーム観測区間の通水前後の河床材料の粒度分布を示す。
- 採取箇所は、縦断方向に実験水路のP410からP610まで50m間隔に5測線、横断方向に水路中央地点と水路中央地点から両岸に向かって3m地点で3箇所の計15地点で採取
- 採取方法は、表層を0.1~0.2m程度取り除き、河床採取厚さは河床から0.5m、採取範囲は0.5m四方
- 実験区間の平均粒径とマルチビーム観測区間(P560)の平均粒径
 第1回実験は実験区間で通水前13.14mm、通水後16.47mm、マルチビーム観測区間で通水前10.39mm、通水後17.60mmであり、実験後の粗粒化が見られる。
 第2回実験は実験区間で通水前16.45mm、通水後17.01mm、マルチビーム観測区間で通水前15.84mm、通水後15.43mmであり、実験前後の変化が小さい。

実験区間の河床材料の粒度分布



マルチビーム観測区間(P560)の河床材料の粒度分布



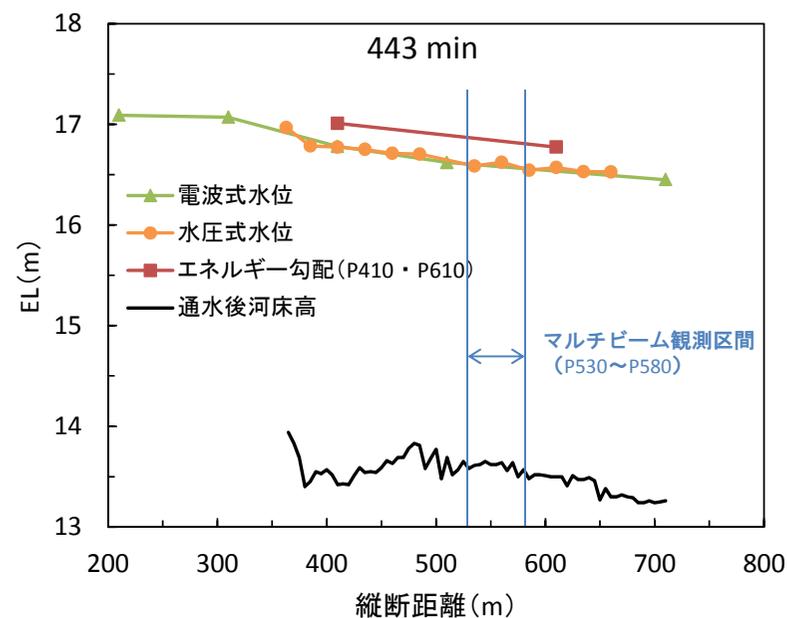
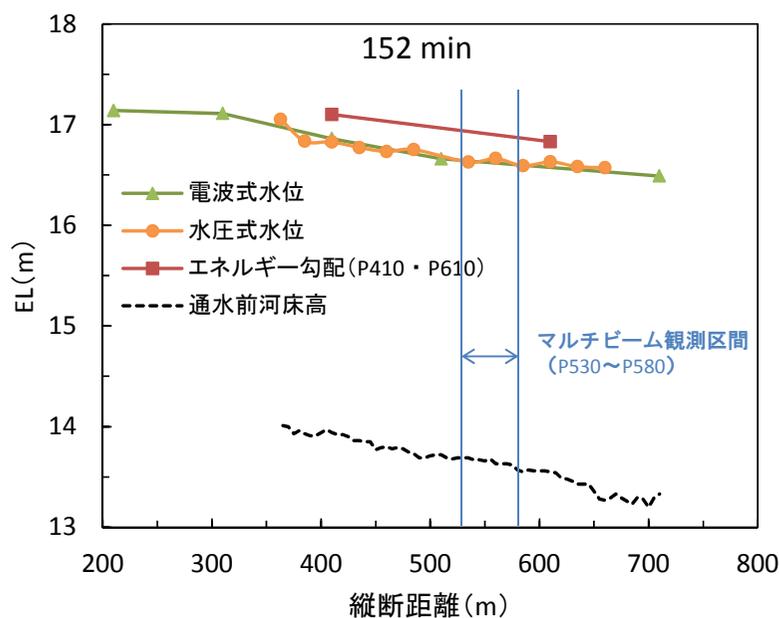
【検討方法】

- 用いる勾配を設定するために図に示すように、水面勾配(P535-P585)・エネルギー勾配(P410-P610)・初期河床勾配(P530-P580)について比較を行った

【結果】

- 第1回実験では、下流端に設置している堰上げ施設の影響により、マルチビーム観測区間の水面勾配が河床勾配に比べて緩い
- エネルギー勾配に関しては、流速を計測したP410は急縮部で河床洗掘が大きいため、通水中の変化が大きい。これに対し、マルチビーム観測区間では通水前後の河床高の変化は小さい
- 時間の経過とともに、エネルギー勾配と河床勾配の差が大きくなっている

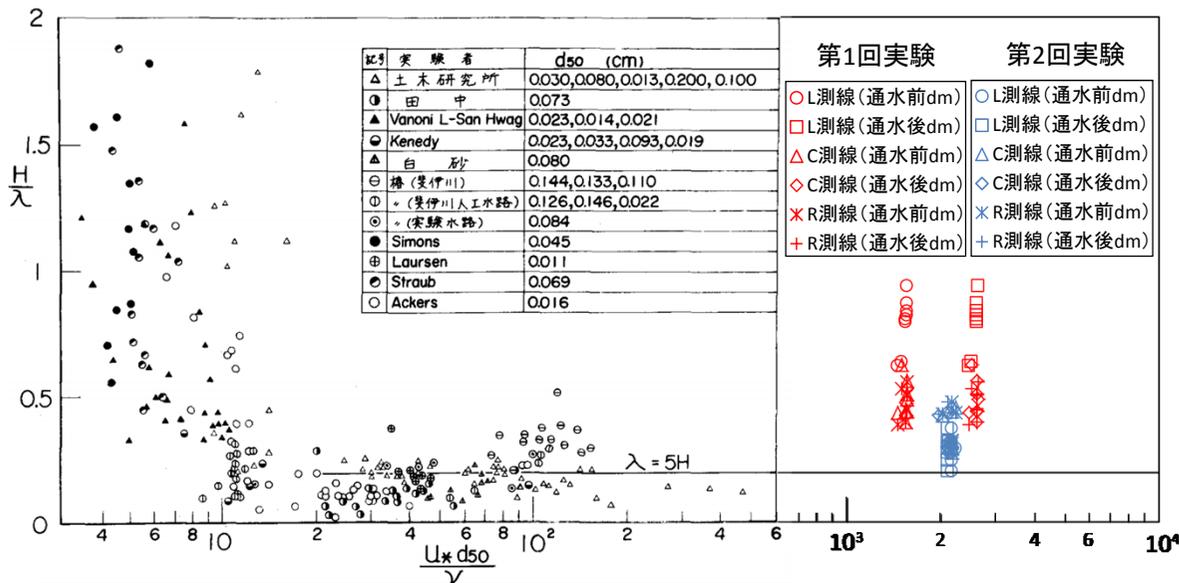
以上のことから、下流の堰上施設や上流の河床洗掘を考慮し、マルチビーム観測区間の勾配は初期河床勾配を用いることとした



エネルギー勾配 = 速度水頭 $u^2/2g$ + 水深 H の勾配
 u : ADCP縦断面平均流速
 g : 重力加速度
 H : P410・P610の水位

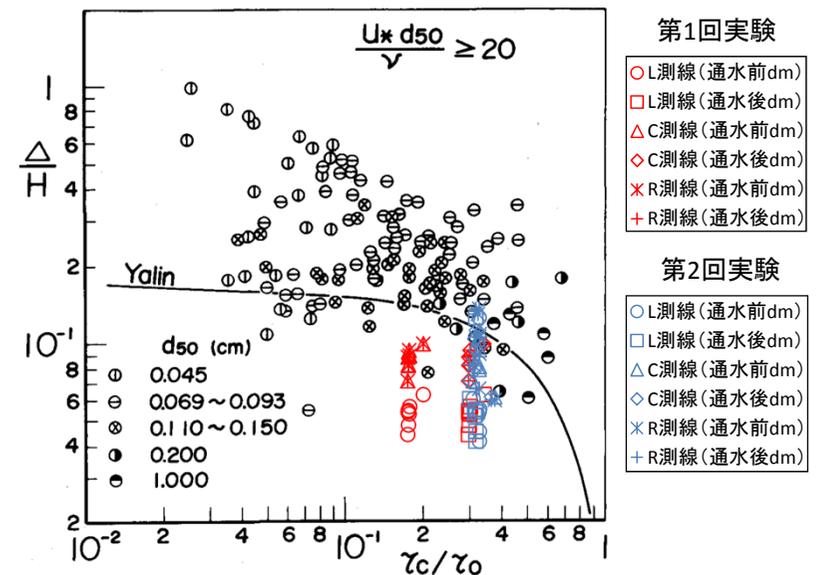
- 既往の実験結果より得られた砂澱・砂堆領域における h/λ と Re_* との関係と各測線の観測結果の比較を示す
- 第1回実験は、矢板の影響のあるL測線を除き、既往の実験結果より得られた砂堆領域 ($Re_* > 20$) と概ね同様の分布である
- 第2回実験は、砂堆領域 ($Re_* > 20$) と概ね同様の分布である
- 砂堆の Δ/h と T_c/T_0 の関係と各測線の観測結果の比較を示す
- 第1回実験、第2回実験ともにL測線を除き、波高水深比 Δ/h は既往の実験結果やYalinの値と概ね同様の分布である

砂澱・砂堆に関する h/λ と Re_* との関係と観測結果の比較



粒子レイノルズ数 $Re_* = u_* d_{50} / \nu$ 、摩擦速度 $u_* = \sqrt{ghI}$ 、 g : 重力加速度、 I : 平均初期河床勾配 (P530~P580)
 d_{50} : 通水前後の平均粒径、 ν : 動粘性係数、 λ : 波長
 H : 平均水深 (P535・P585の平均水位とマルチビーム観測区間 (P530~P580) の初期平均河床高より算出)

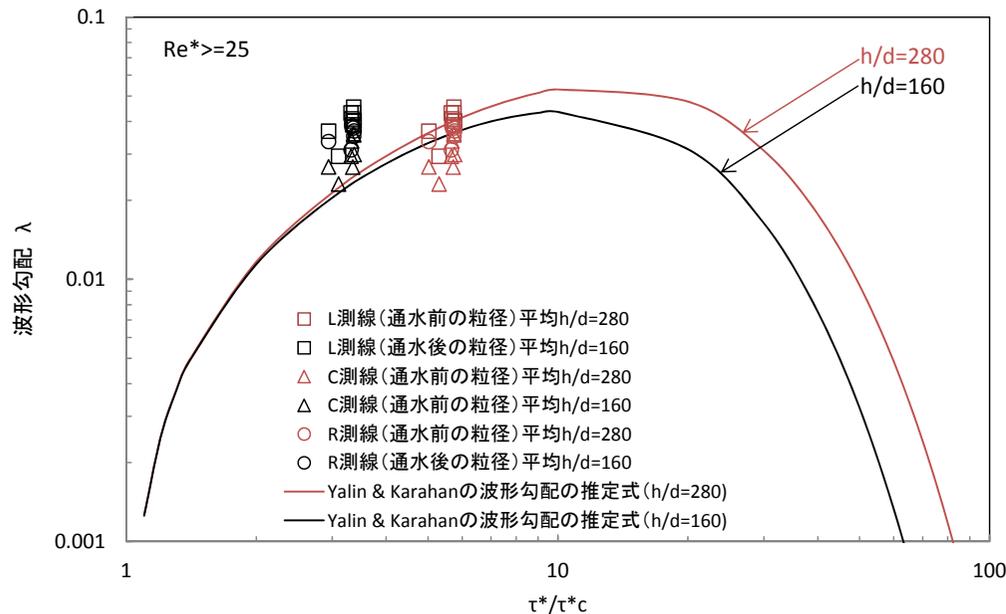
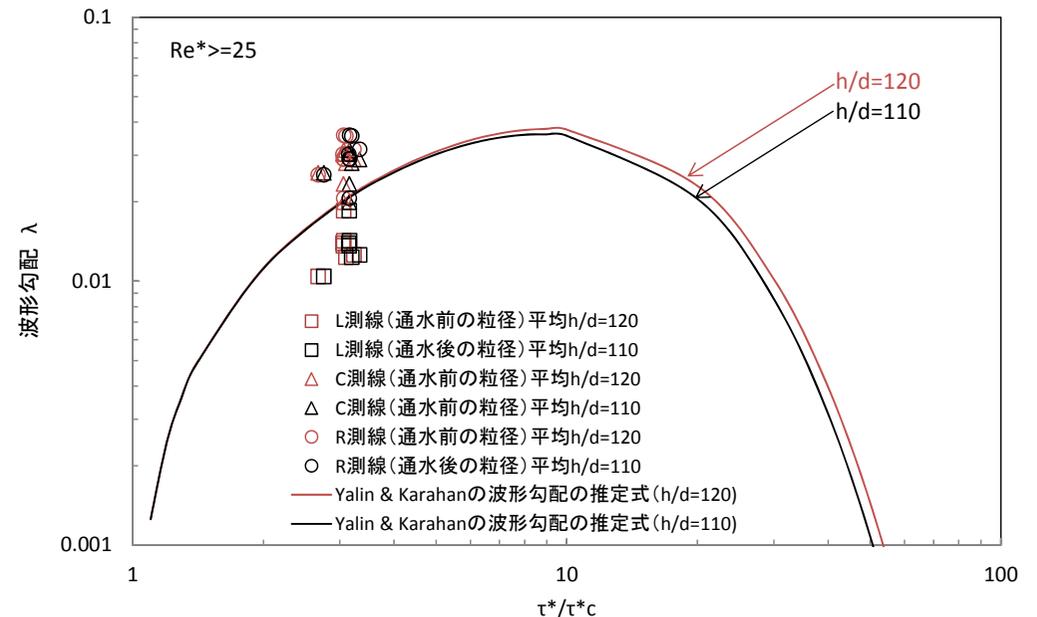
砂堆の Δ/h と T_c/T_0 の関係と観測結果の比較



無次元限界掃流力 $\tau_{c*} = u_*^2 / sgd$ 、無次元掃流力 $\tau_* = hI / sd$ 、限界摩擦速度
 $u_*^2 = \tau_{c*} = \text{岩垣の式}$ 、 s : 砂粒の水中比重、 g : 重力加速度、 d_{50} : 通水前後の平均粒径
 H : 平均水深 (P535・P585の平均水位とマルチビーム観測区間 (P530~P580) の初期平均河床高より算出)、 I : 平均初期河床勾配 (P530~P580)、 Δ : 波高

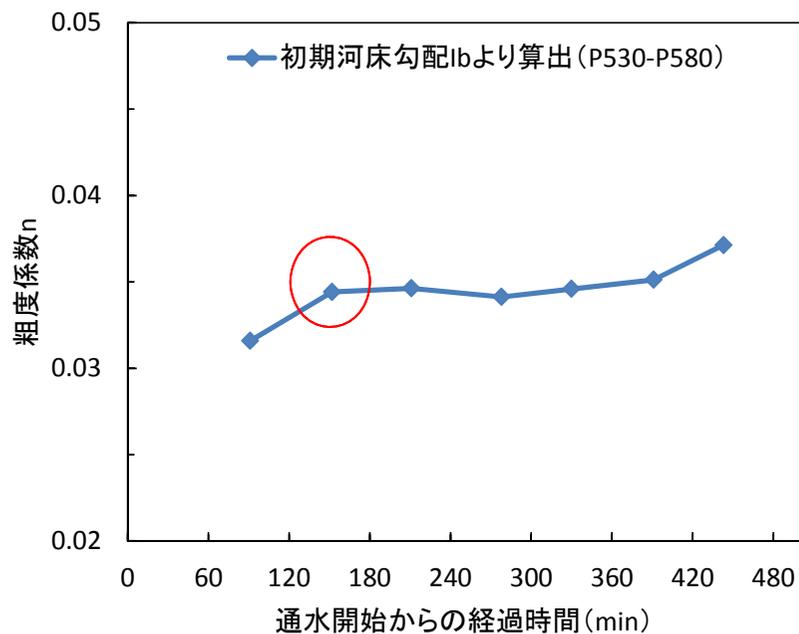
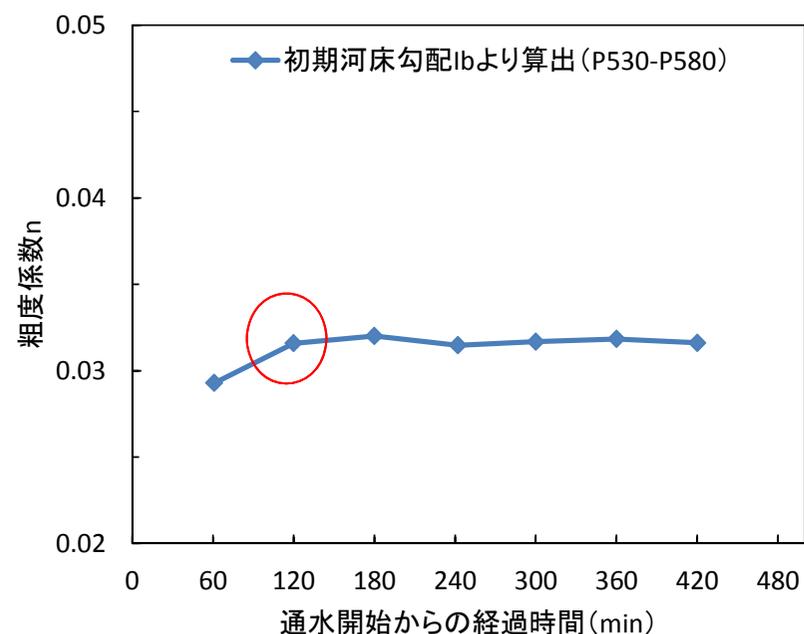
- Yalin・karahanの波形勾配推定手法を用いた推定値と各測線の観測結果の比較を示す
- 第1回実験の平均粒径水深比 h/d は160~280、第2回実験は110~120の間にある
- 第1回、第2回実験共に、波形勾配の算定式から算出した推定値と同様の傾向となった

河床波の波形勾配算定式と観測結果の比較

第1回実験結果 ($Q=70\text{m}^3/\text{s}$)第2回実験結果 ($Q=35\text{m}^3/\text{s}$)

Yalin&Karahanaの波形勾配推定式 $\lambda=0.0127(\eta-1)\exp(1-\eta/\eta_m-1)$ 、 λ : 波形勾配(波高/波長)、 η : τ_*/τ_{*c} 、 η_m : 最大波形勾配 λ_{\max} が生じるときの η 値
 λ_{\max} : $-0.058+0.02\ln(h_m/d)$; $h_m/d < 400$ 、無次元限界掃流力 $\tau_{*c}=u_{*c}^2/sgd$ 、無次元掃流力 $\tau_*=hl/sd$ 、限界摩擦速度 u_{*c}^2 =岩垣の式
 s : 砂粒の水中比重、 g : 重力加速度、 d_{50} : 通水前後の平均粒径、 h : 平均水深 (P535・P585の平均水位とマルチビーム観測区間 (P530~P580) の初期平均河床高より算出)、 I : 平均初期河床勾配 (P530~P580)

- マニングの抵抗則を用いたマルチビーム観測区間(P530~P580)の粗度の時系列変化を示す
- 粗度係数は、マルチビーム観測区間の平均水深 h とマルチビーム観測区間の縦断平均流速 u 、初期の平均河床勾配 I_b より算出した
- 第1回実験の粗度は0.032~0.039、第2回実験の粗度は0.029~0.033
- 通水後それぞれ152分、120分で河床粗度が増大しており、河床波と対応しているものと考えられる

第1回実験結果 (Q=70m³/s)第2回実験結果 (Q=35m³/s)

粗度係数 $n = 1 / (u \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2})$

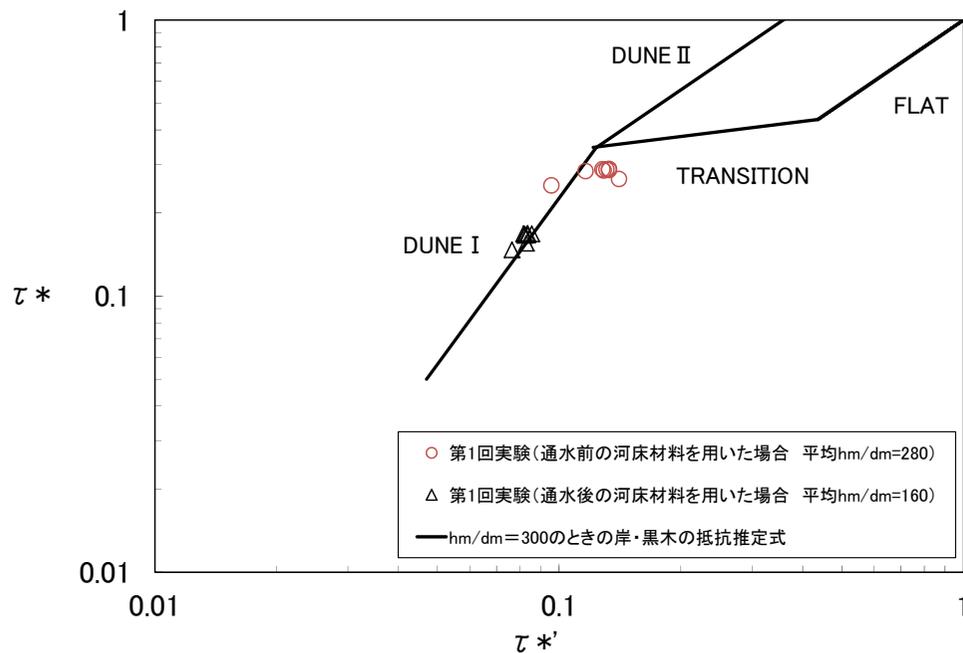
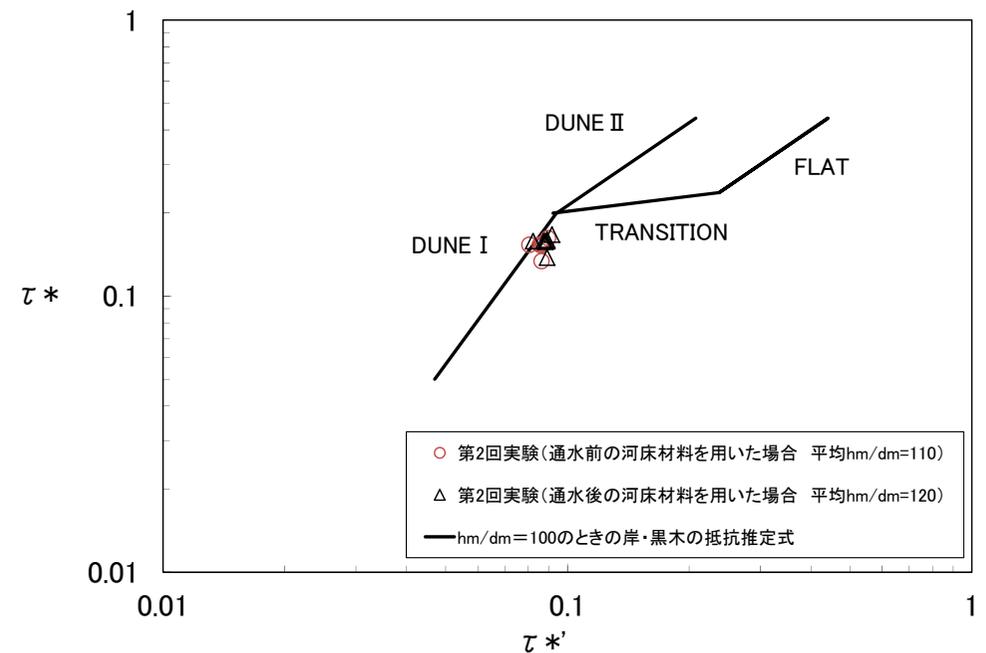
u : ADCP縦断面平均流速

R : 平均水深 (P535・P585の平均水位とマルチビーム観測区間 (P530~P580) の初期平均河床高より算出)

I : 平均初期河床勾配 (P530~P580)

- 全せん断力と有効せん断力について岸・黒木の関係と観測値から算出した値を比較する
- 第1回実験、第2回実験共に通水前後の河床材料を用いた結果は、Dune I の領域にあり τ_* と τ_*' の関係は概ね岸・黒木の関係にのっている

岸・黒木の式から推定した抵抗則の結果

第1回実験結果 (Q=70m³/s)第2回実験結果 (Q=35m³/s)

無次元掃流力 $\tau_* = hI/sd$ 、無次元有効せん断力 $\tau_*' = h_m' I/sd$ 、
 h : 平均水深 (P535・P585の平均水位とマルチビーム観測区間 (P530~P580) の初期平均河床高より算出)、
 h_m' : $u_m = \sqrt{gh_m' I (6+5.75 \log(h_m' / 2d_m))}$ 、 g : 重力加速度、 I : 平均初期河床勾配 (P530~P580)
 s : 砂粒の水中比重、 d : 通水前後の平均粒径

1. 実スケール実験で既往の破堤実験で得られた観測技術や新たな手法を駆使し河床波を観測

- マルチビームを用いて通水中の河床波の発達を観測することができた

2. 通水中の水理量や河床波の時間変化の状況を把握

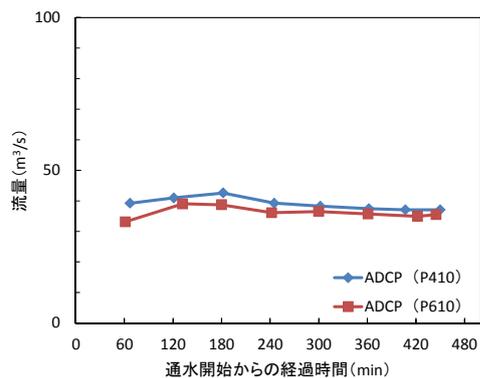
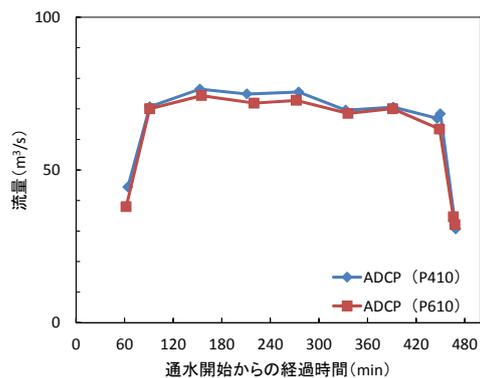
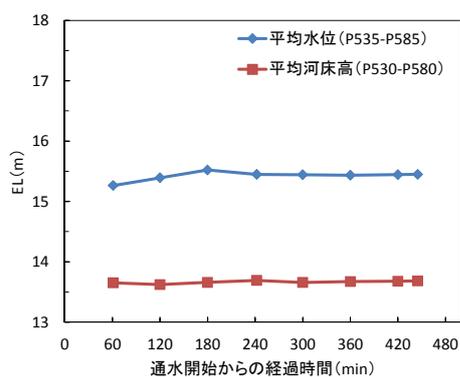
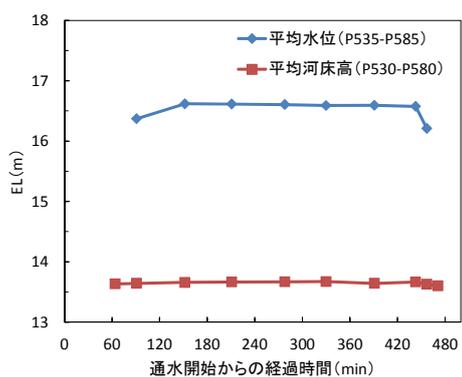
- 河床形状の時間変化より河床波が発達していたと考えられる
- 左岸側(鋼矢板側)と右岸側(護岸ブロック側)では河床波の発達傾向が異なっており、矢板の影響があったと考えられる
- 河床粗度は河床波の発達に応じて上昇している状況がみられた

3. 河床波に関する既往の実験結果との比較

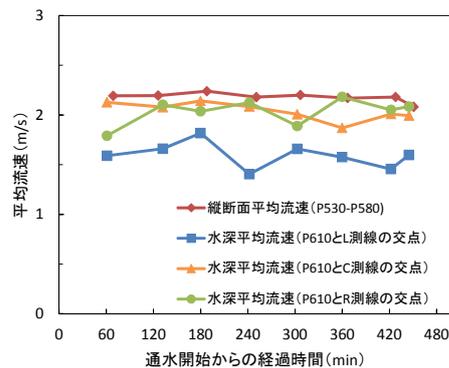
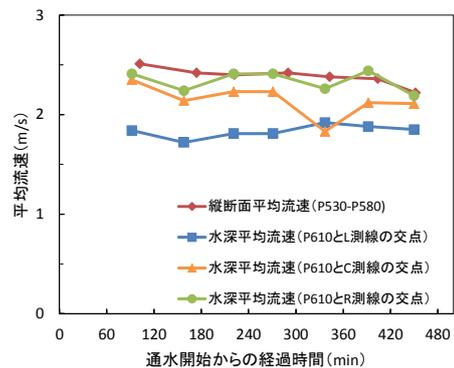
- 水深波長比は砂堆領域にあり、樁らの実験結果と概ね同様の分布であった
- 波高水深比は、Yalinらの実験結果と概ね同様の分布であった
- 波形勾配は概ね、Yalinらの推定値の範囲内にある
- 岸・黒木の抵抗則より河床はDune I の領域にあったと考えられる

参考資料

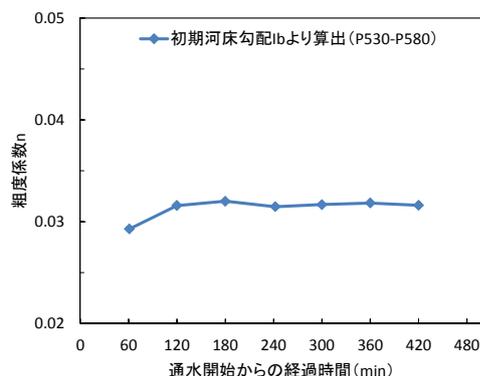
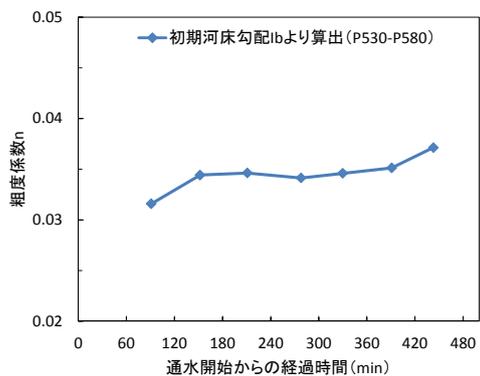
(各種観測結果の時系列一覧)

第1回通水実験 (70m³/s)第2回通水実験 (35m³/s)流量 [m³/s]水位 [m]
河床高 [m]

流速 [m/s]



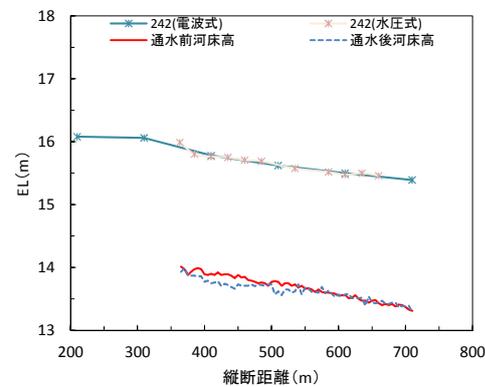
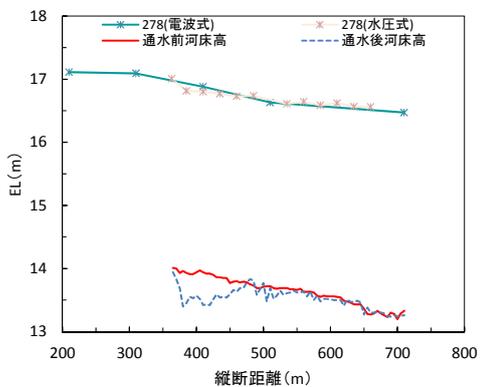
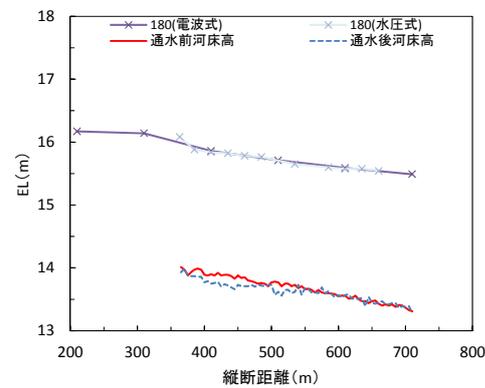
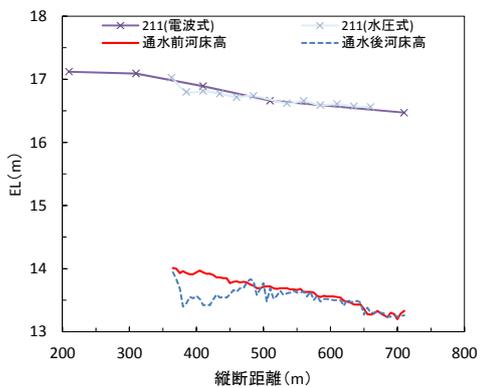
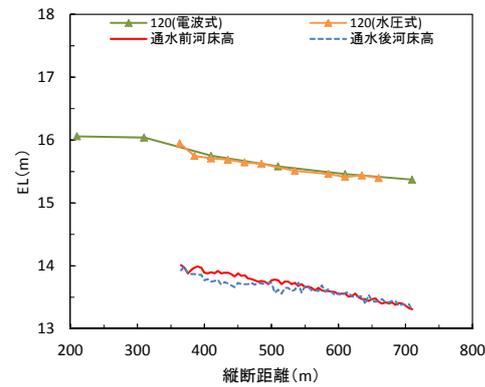
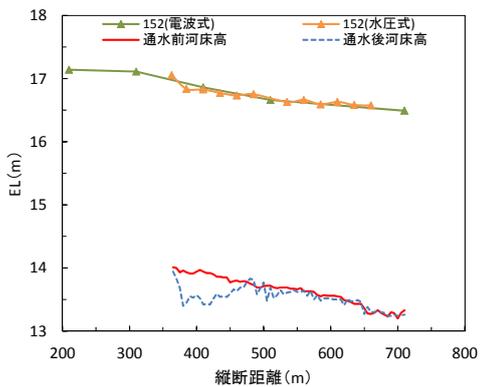
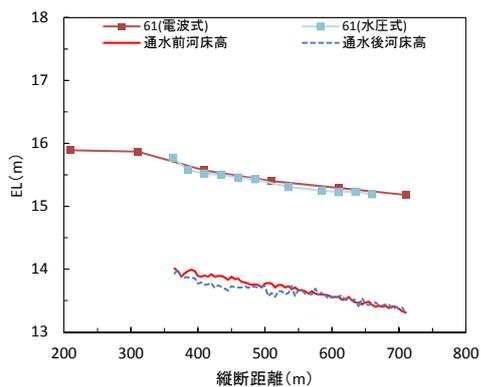
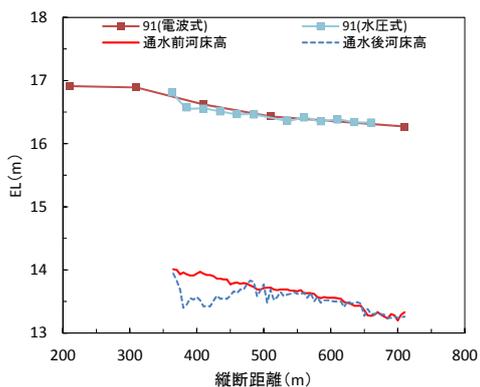
粗度係数



水位[m]
河床高[EL]

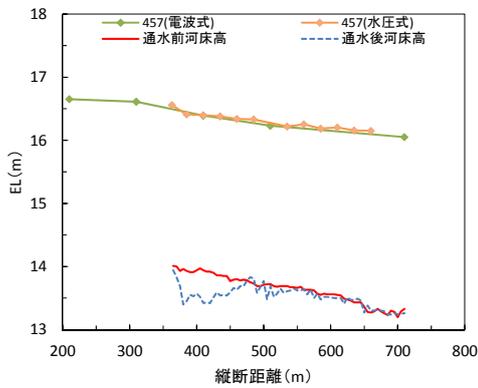
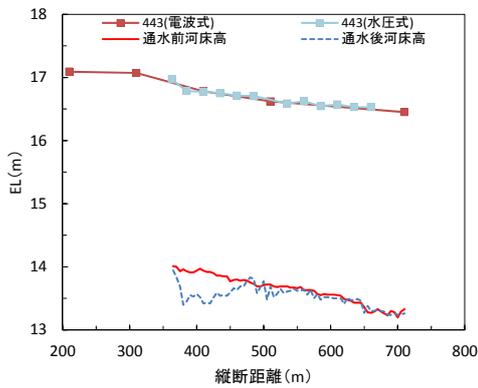
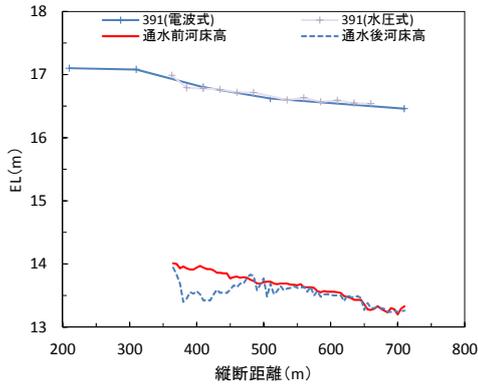
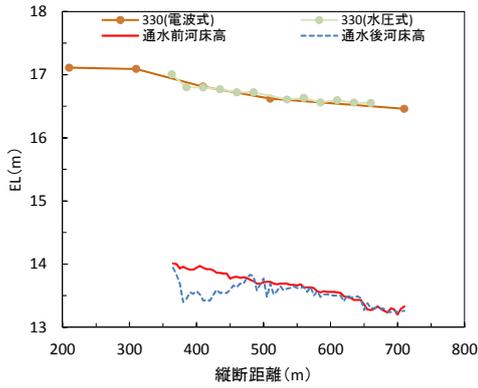
第1回通水実験 (70m³/s)

第2回通水実験 (35m³/s)

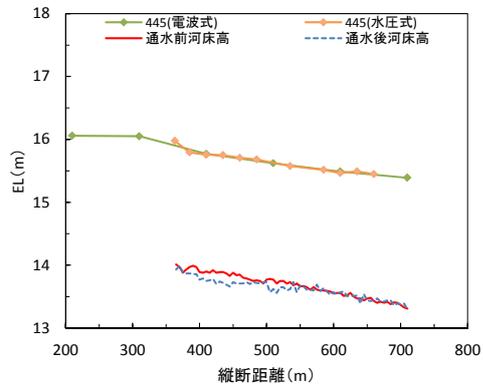
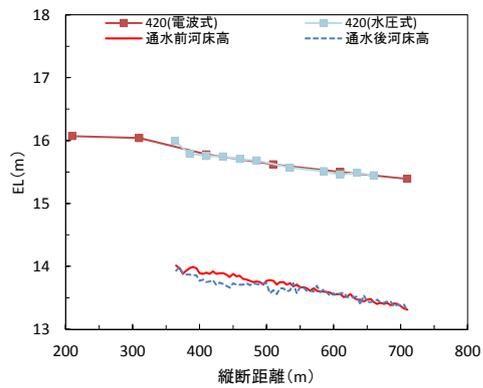
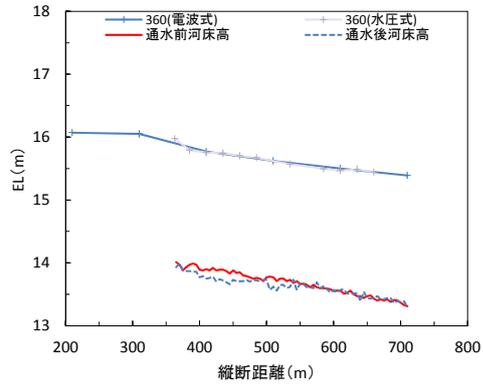
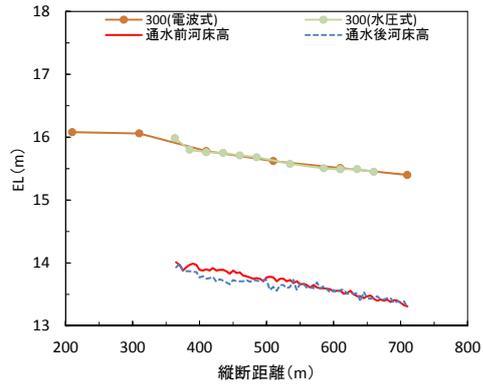


水位[m]
河床高[EL]

第1回通水実験 (70m³/s)



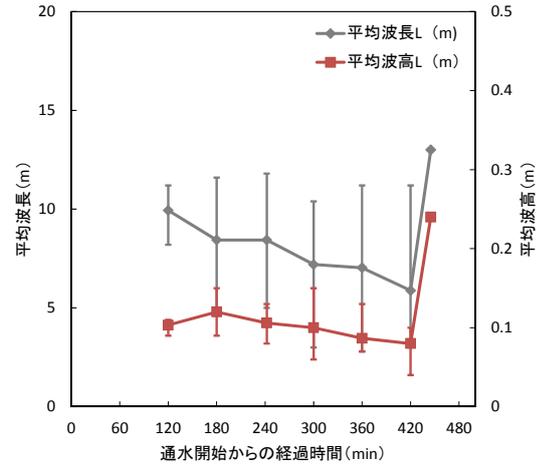
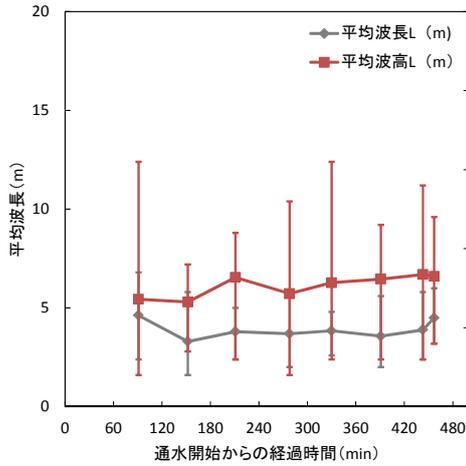
第2回通水実験 (35m³/s)



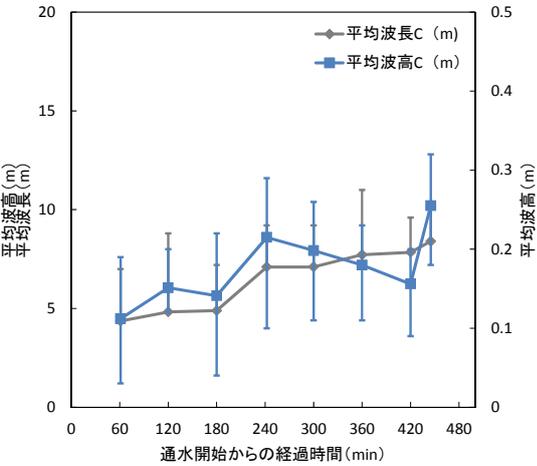
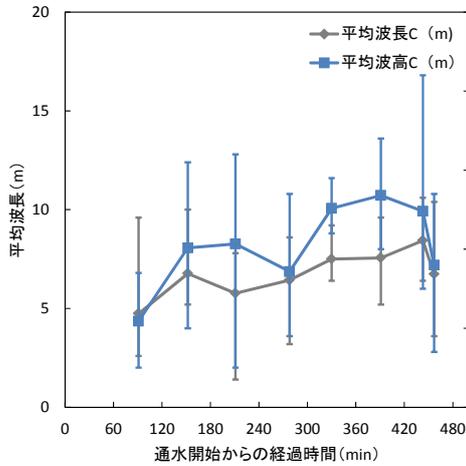
第1回通水実験 (70m³/s)

第2回通水実験 (35m³/s)

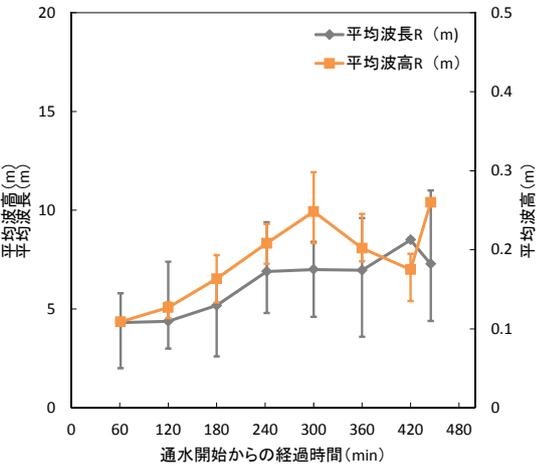
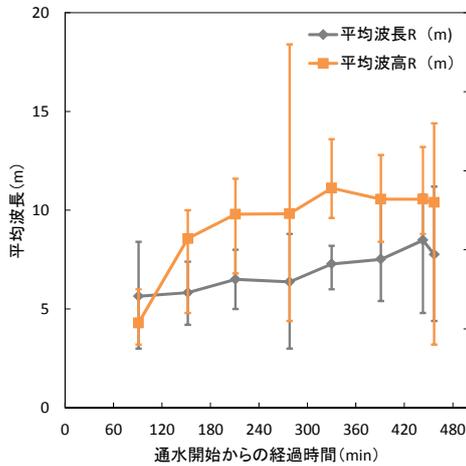
L測線の波長[m]
L測線の波形[m]



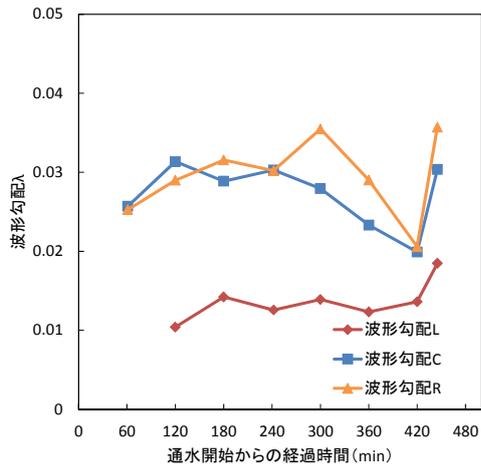
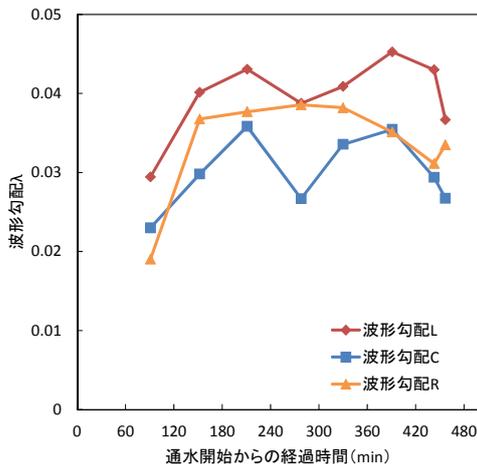
C測線の波長[m]
C測線の波形[m]



R測線の波長[m]
R測線の波形[m]

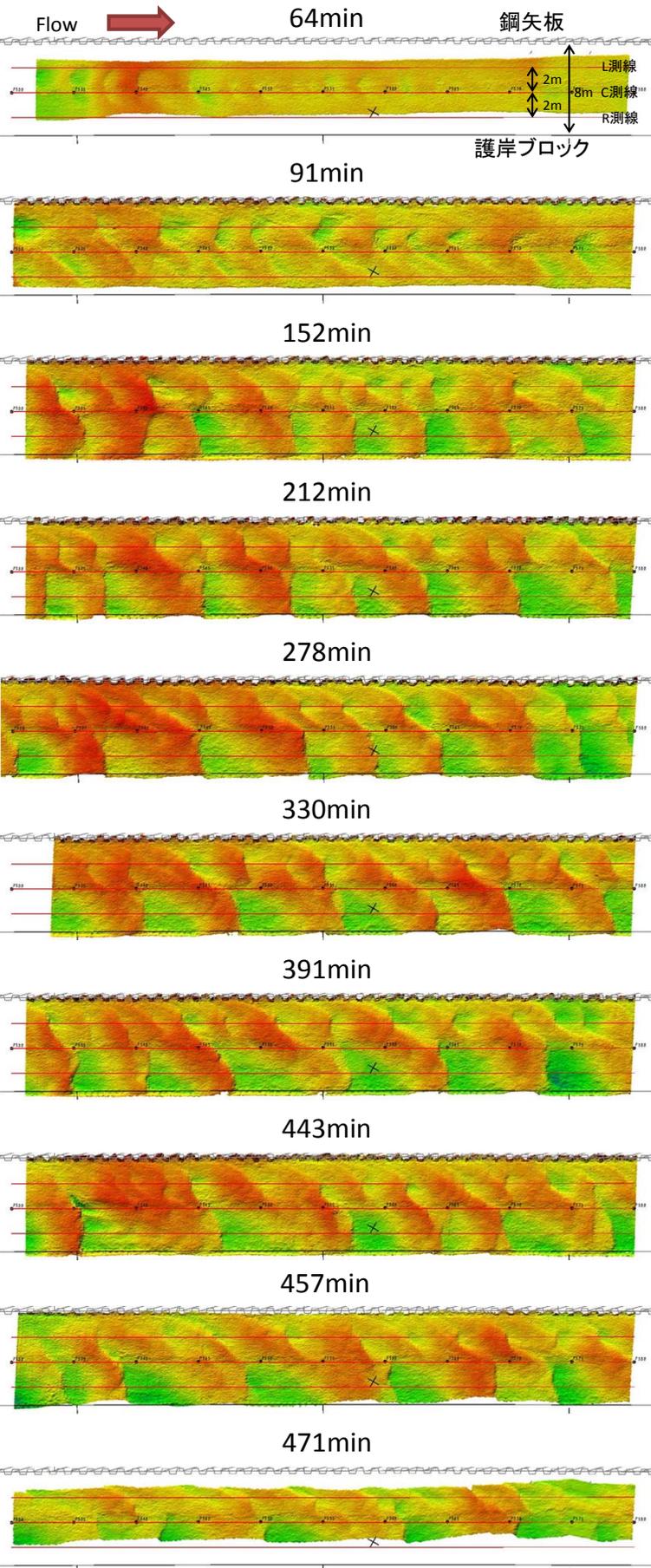


波形勾配



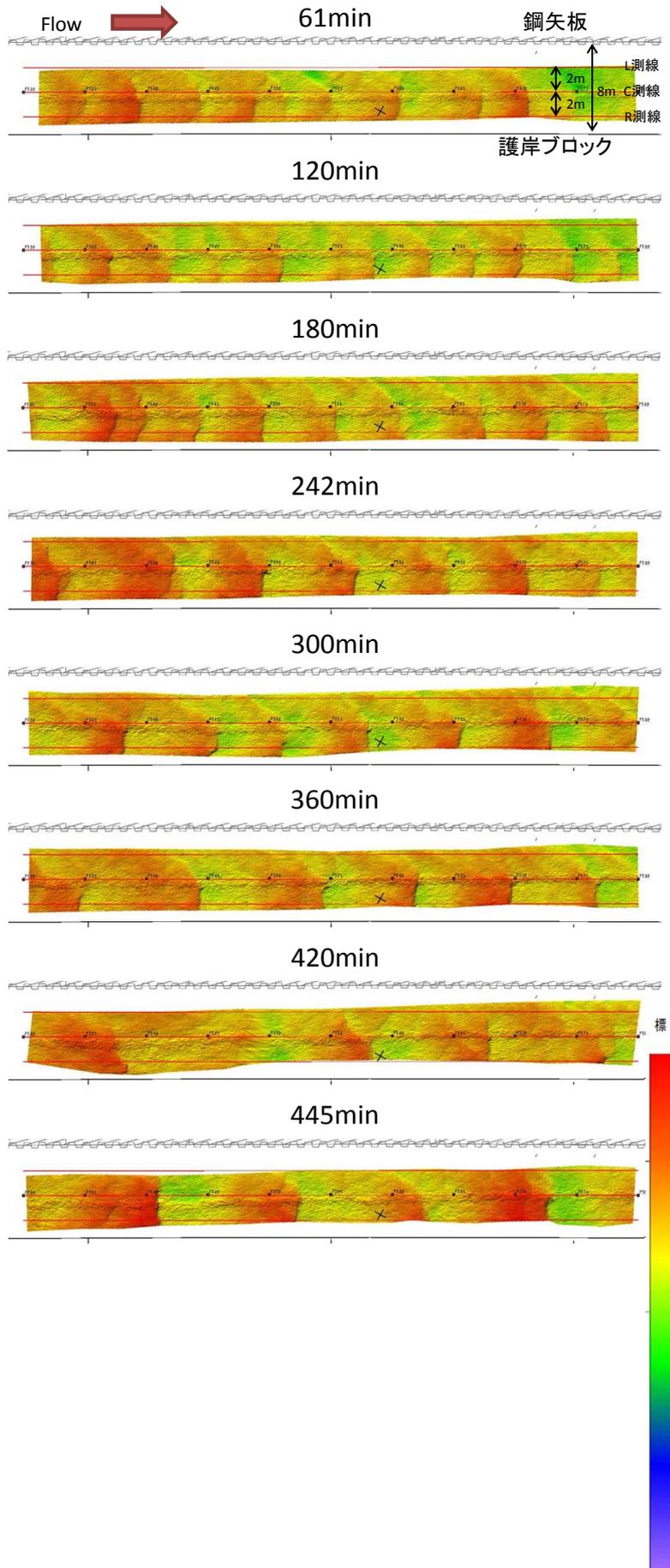
第1回通水実験 (70m³/s)

通水開始からの経過時間



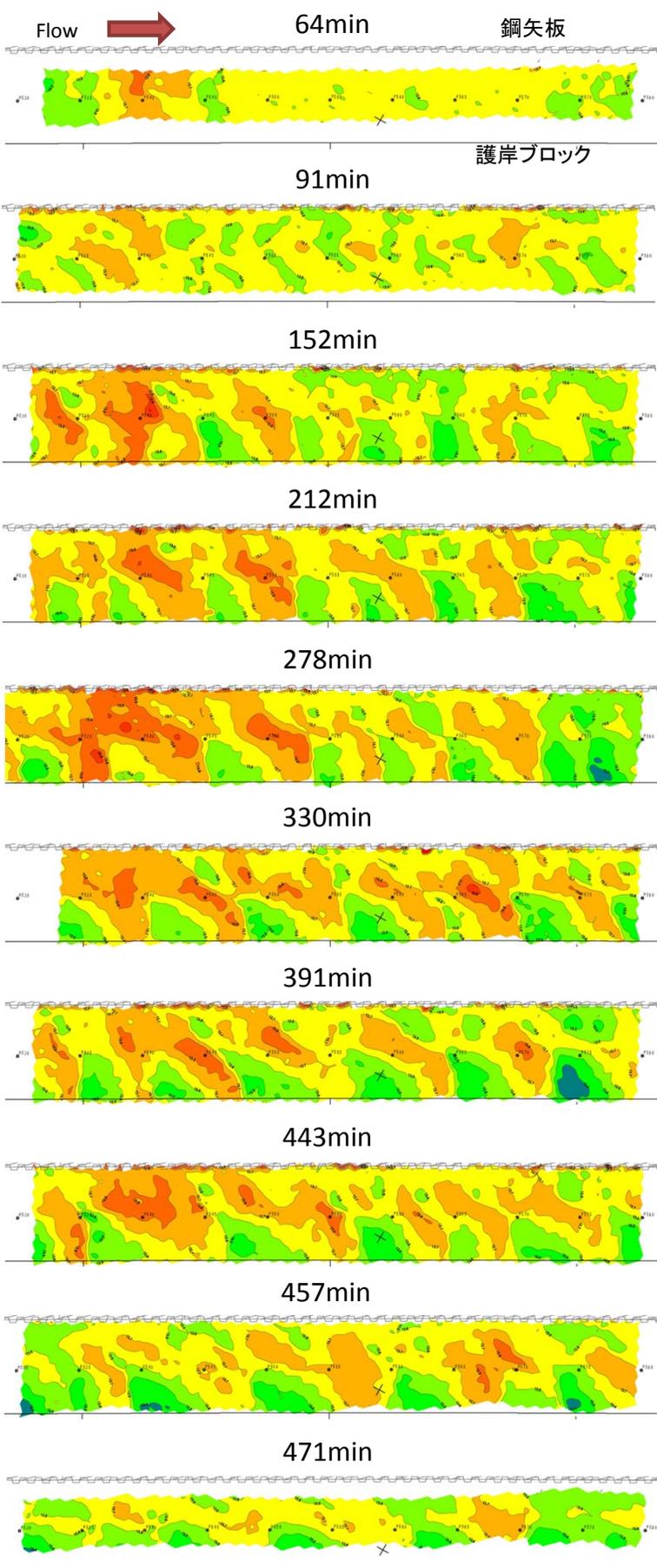
第2回通水実験 (35m³/s)

通水開始からの経過時間

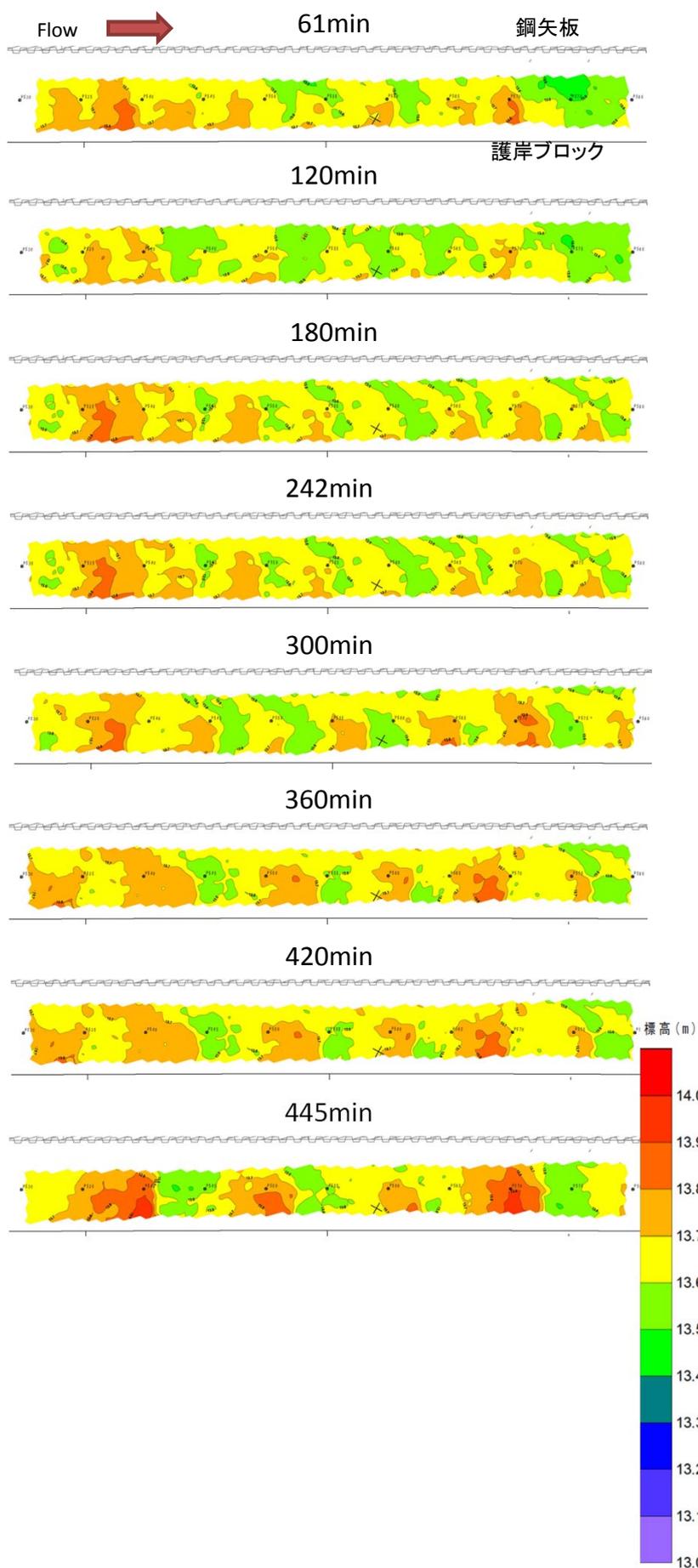


第1回通水実験 (70m³/s)

通水開始からの経過時間

第2回通水実験 (35m³/s)

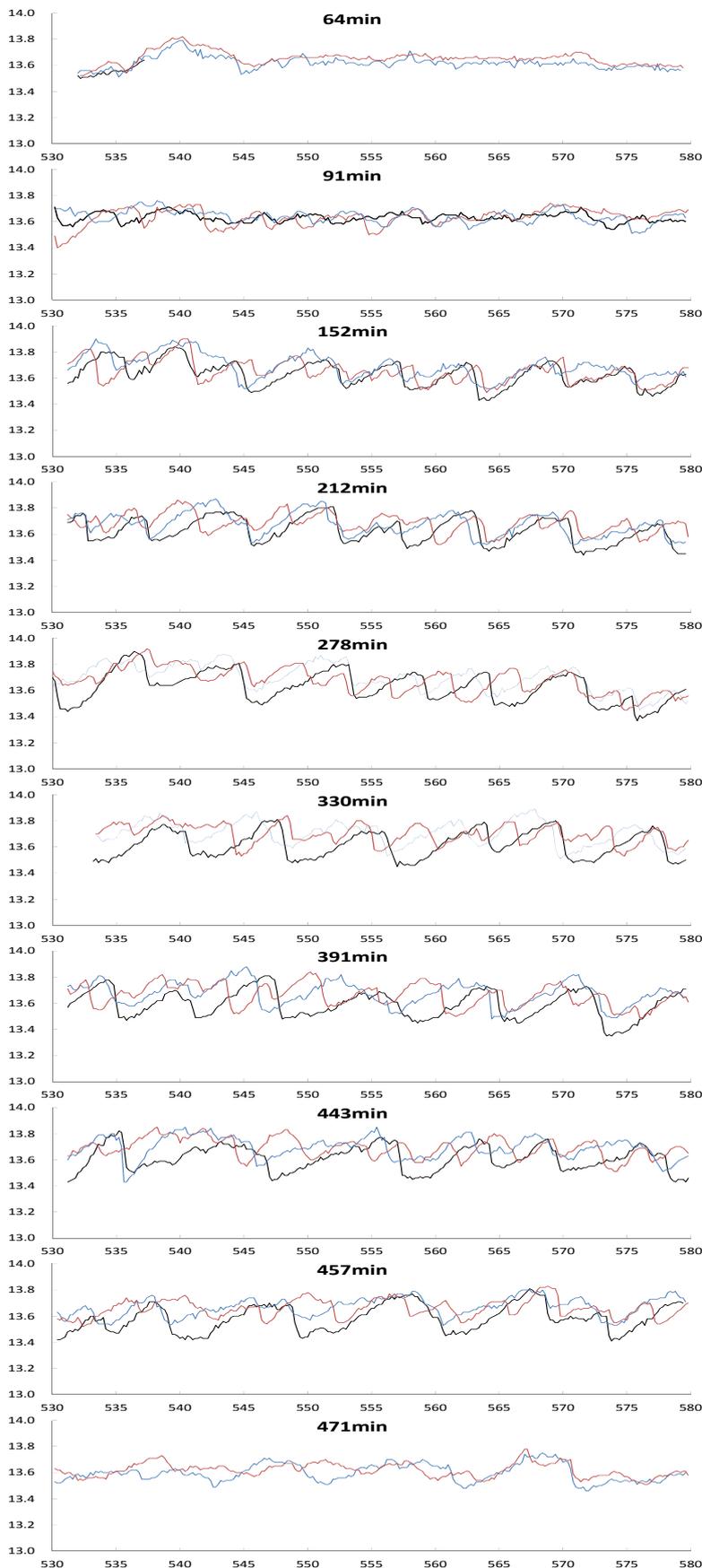
通水開始からの経過時間



第1回通水実験 (70m³/s)

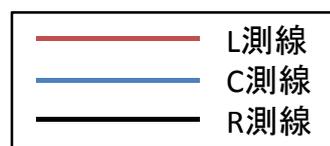
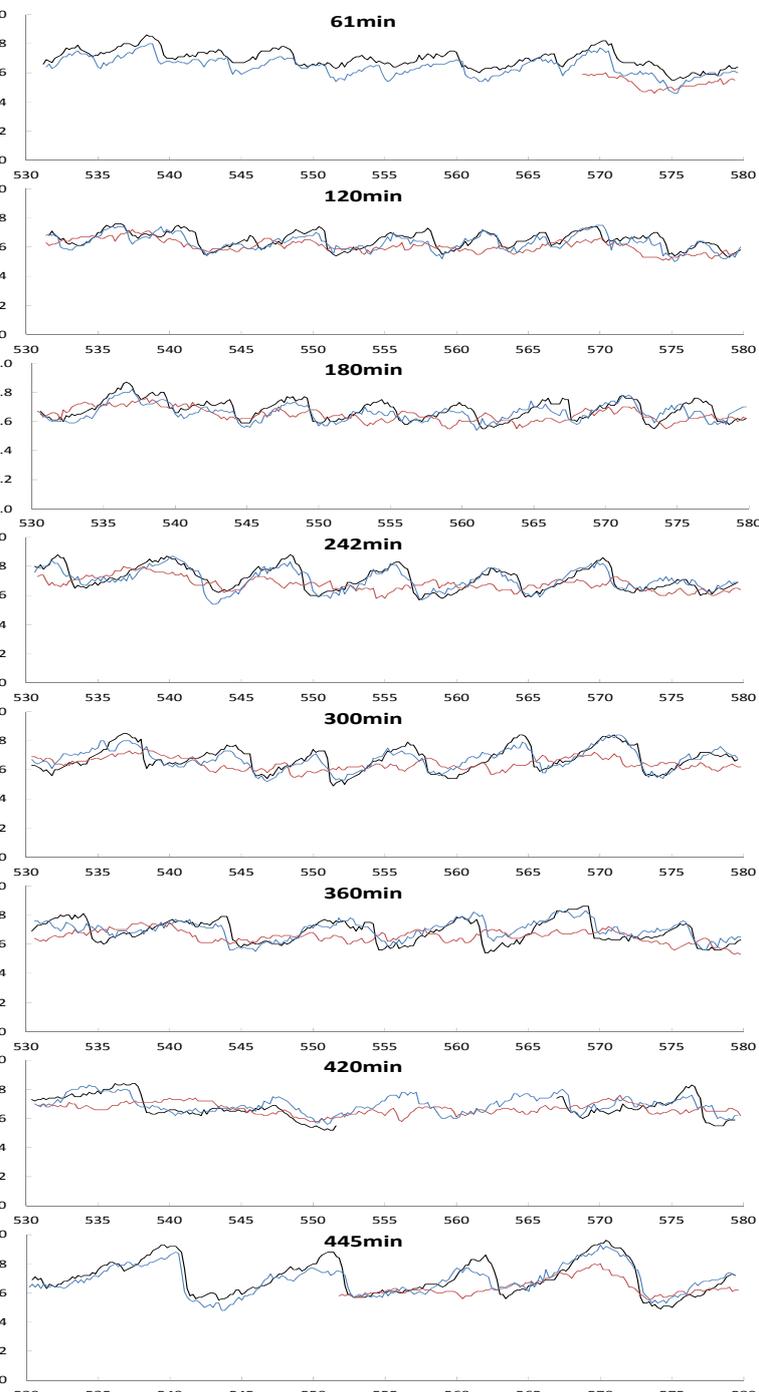
通水開始からの経過時間

Flow →

第2回通水実験 (35m³/s)

通水開始からの経過時間

Flow →

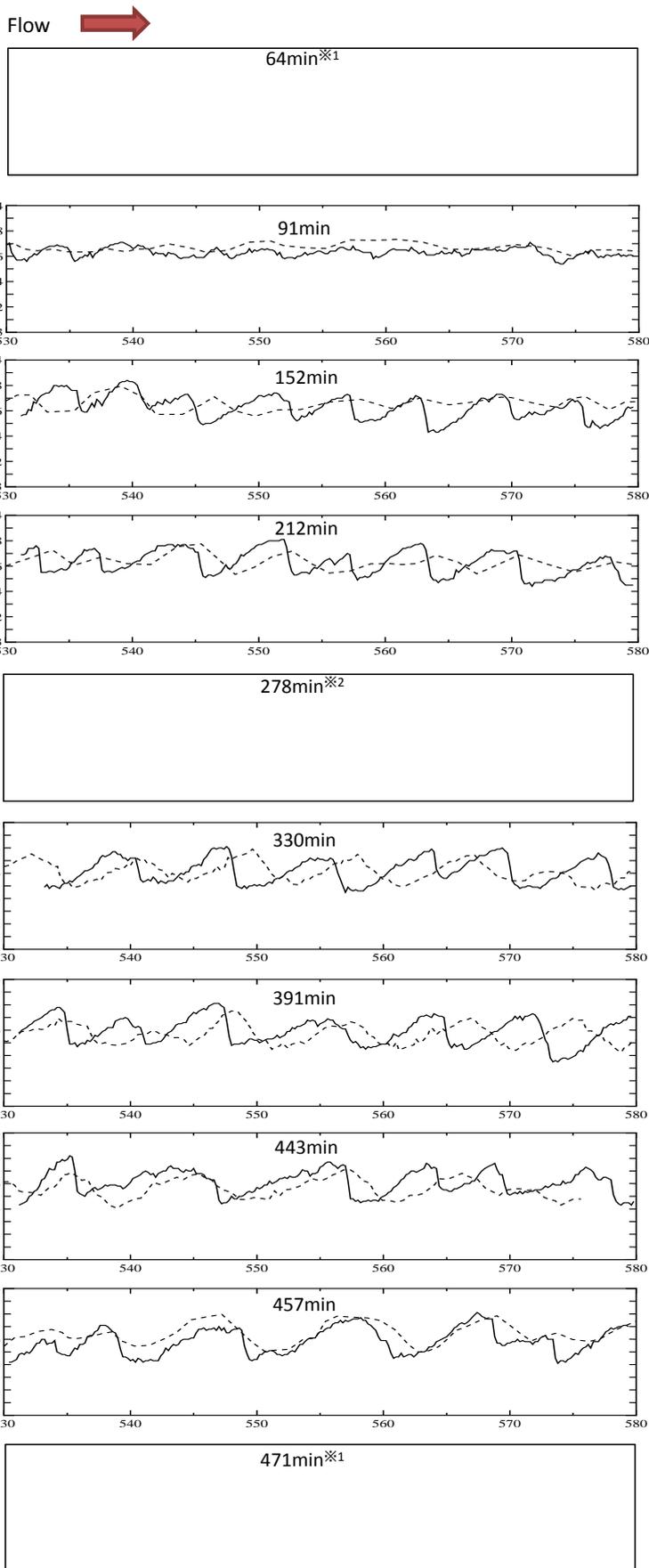


※ マルチビーム観測機器の特性上、計測範囲外のため以下のデータが欠損データとなっている。

- ・ 第1回実験 (64min, 471min) のR測線
- ・ 第2回実験 (61min, 445min) のL測線

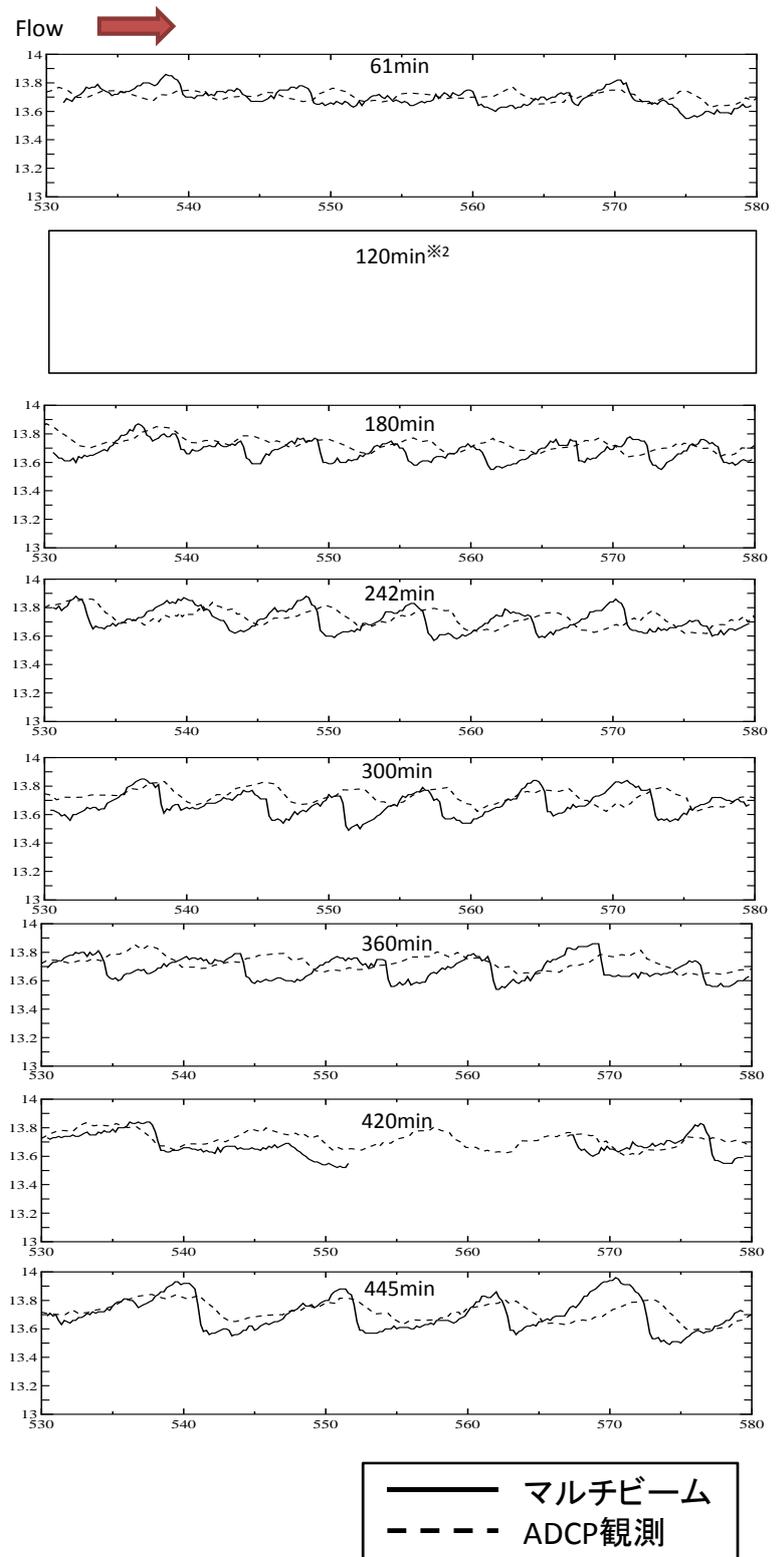
第1回通水実験 (70m³/s)

通水開始からの経過時間



第2回通水実験 (35m³/s)

通水開始からの経過時間

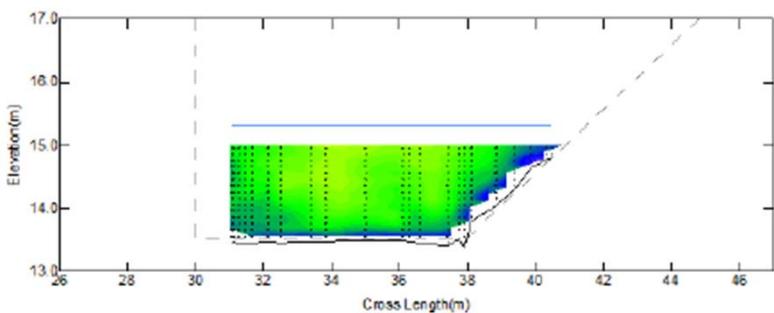


— マルチビーム
- - - ADCP観測

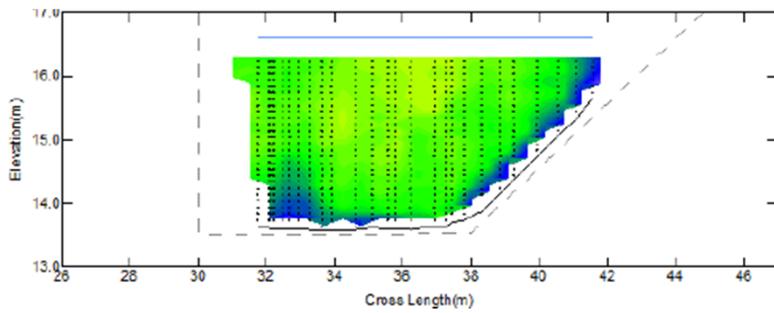
マルチビーム観測によるR測線とADCP縦断観測の河床高を比較
図上の時刻はマルチビーム観測の時刻である。

- ※1 マルチビーム観測機器の特性上、R測線が上が計測範囲外のため欠損データとなっていることから、観測時刻のみ記載
- ※2 ADCP観測機器の観測精度低下による欠損データのため観測時刻のみ記載

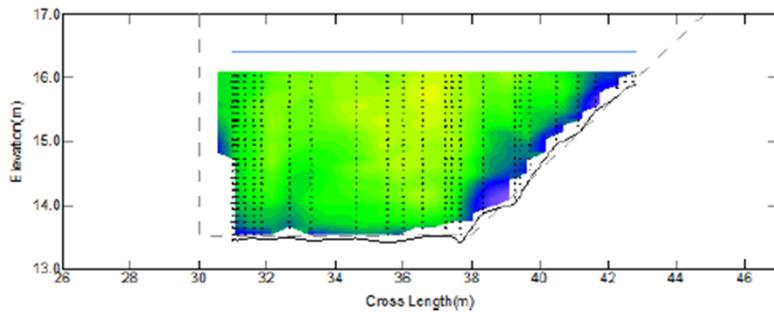
61min



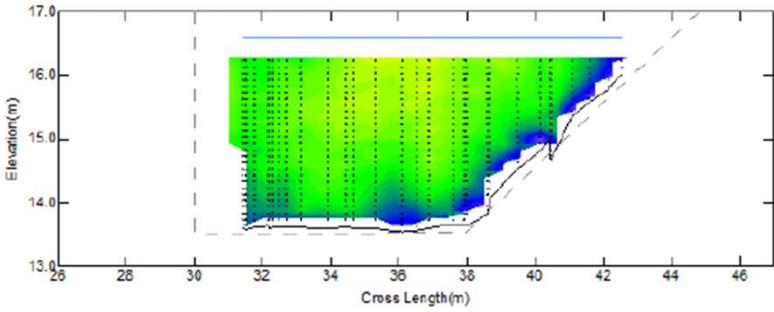
337min



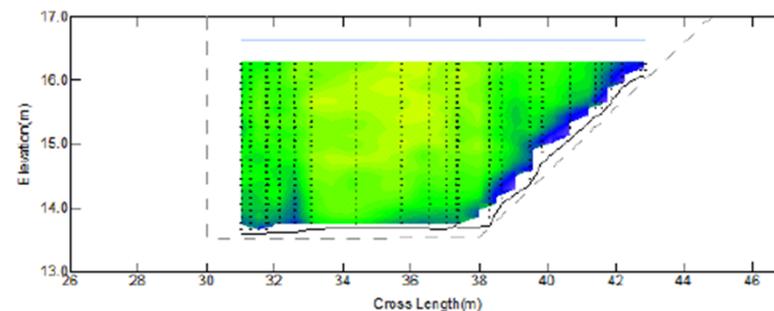
92min



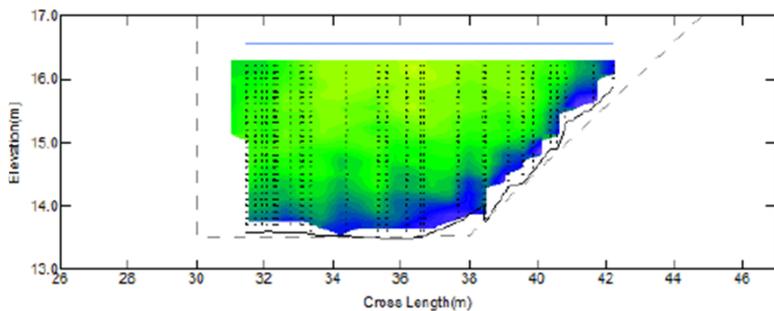
392min



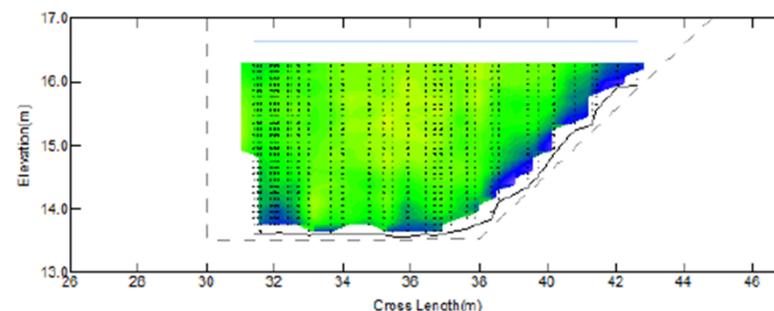
158min



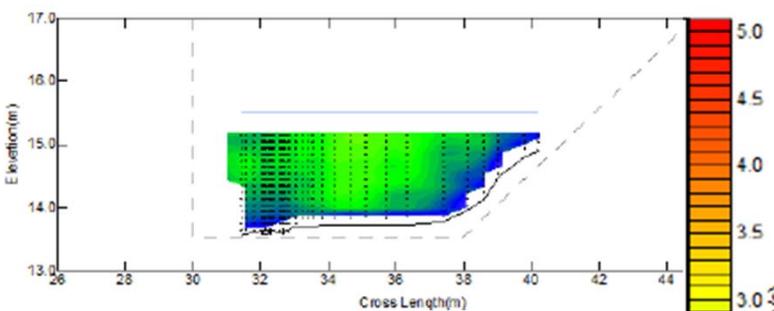
450min



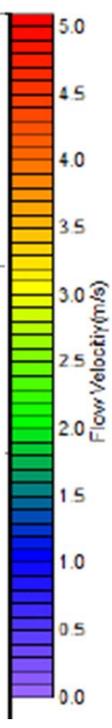
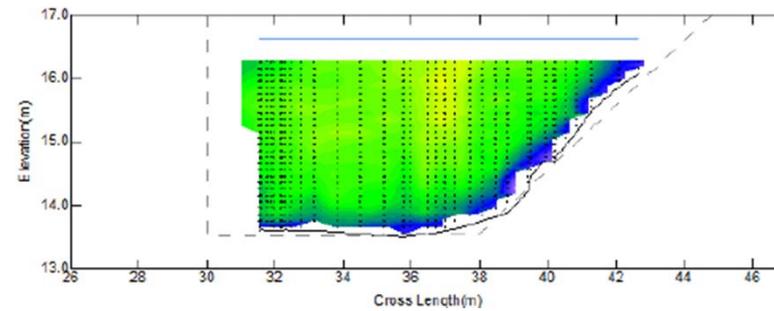
221min



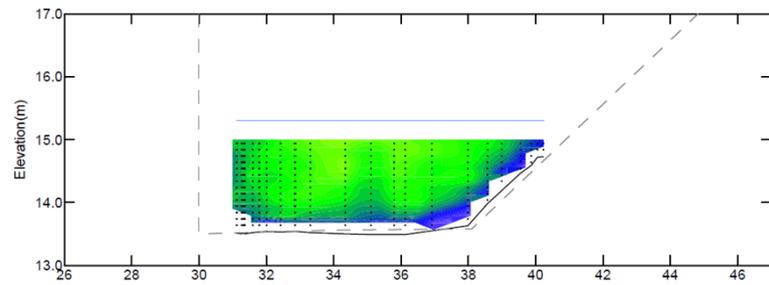
461min



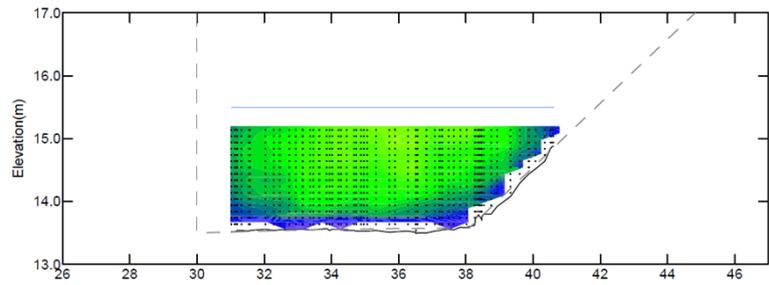
271min



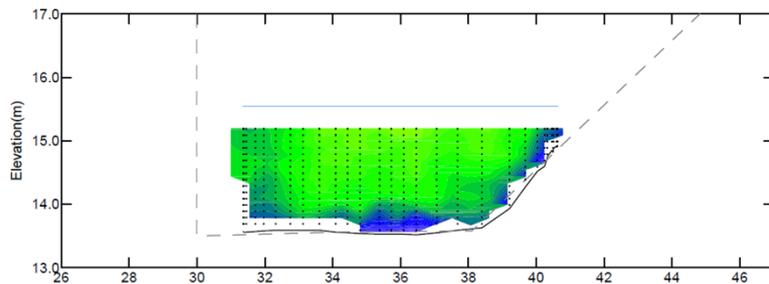
61min



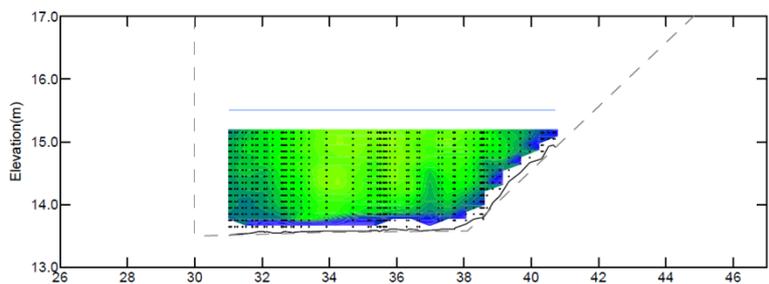
359min



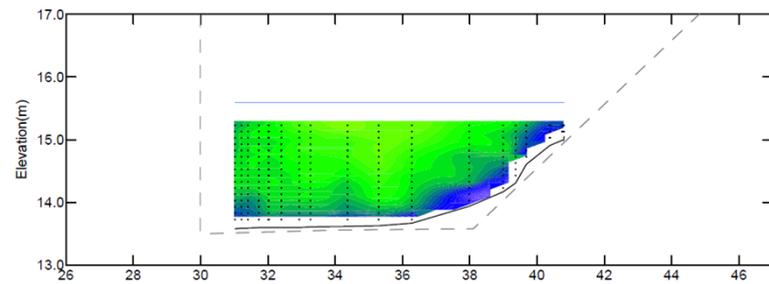
132min



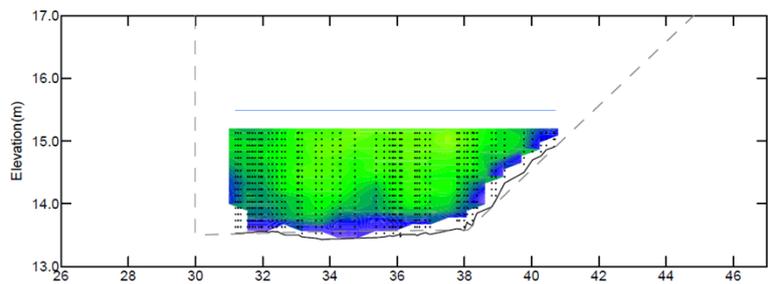
424min



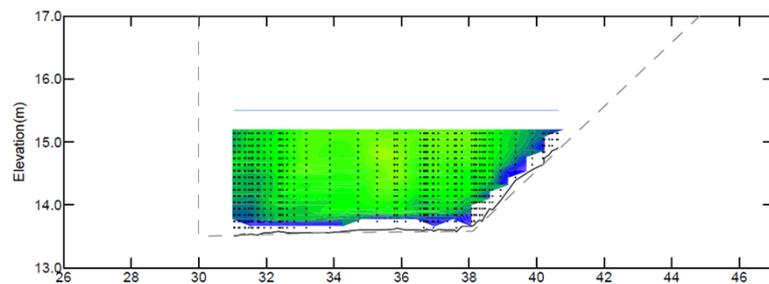
180min



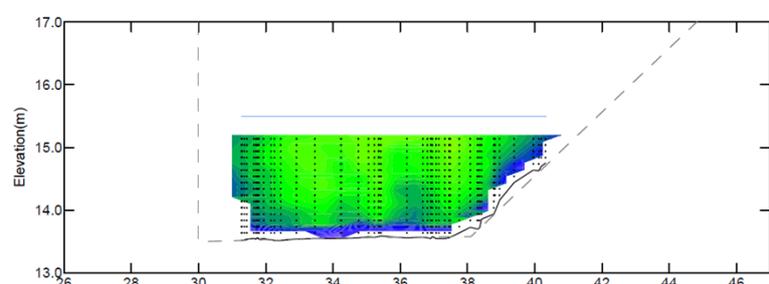
443min

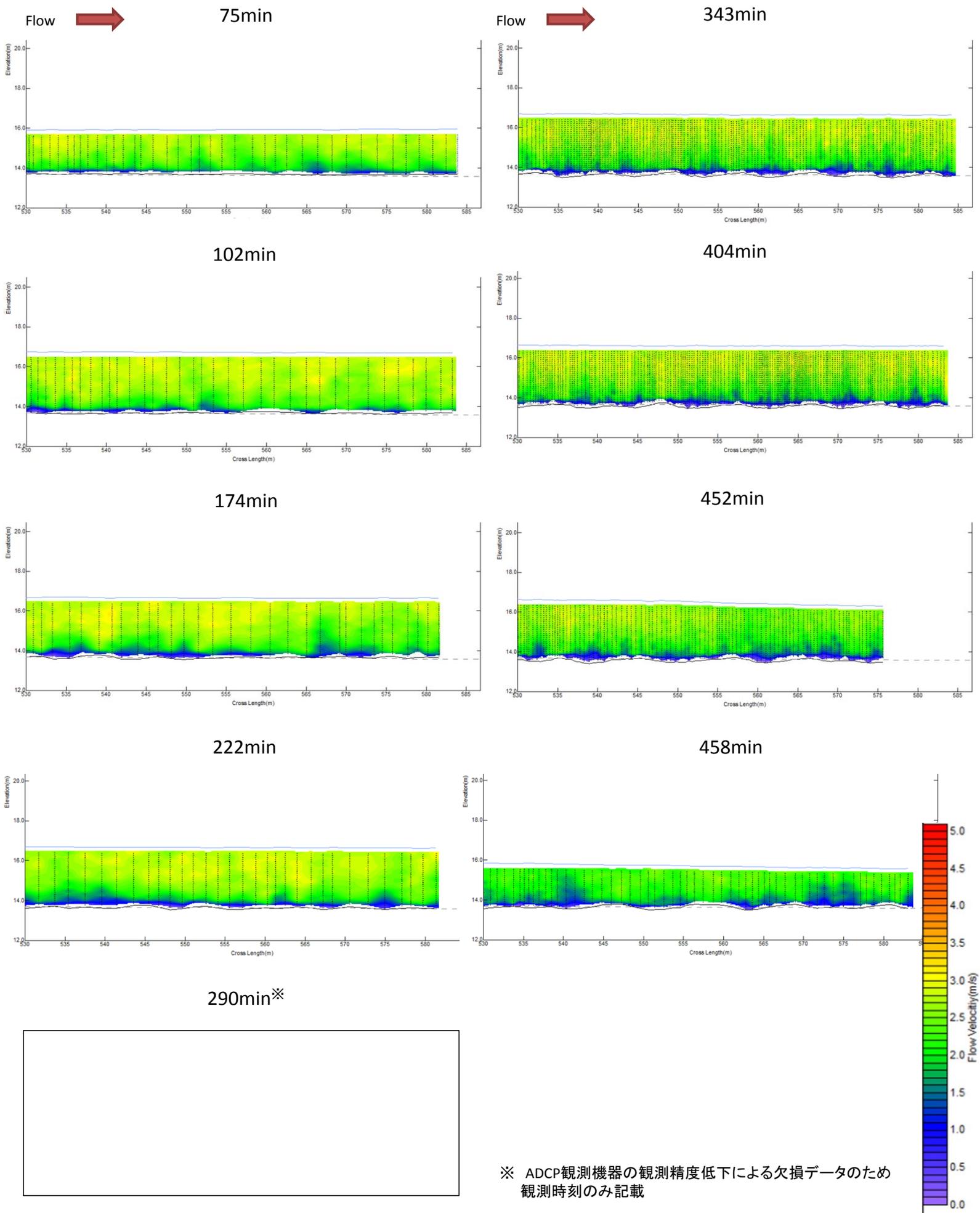


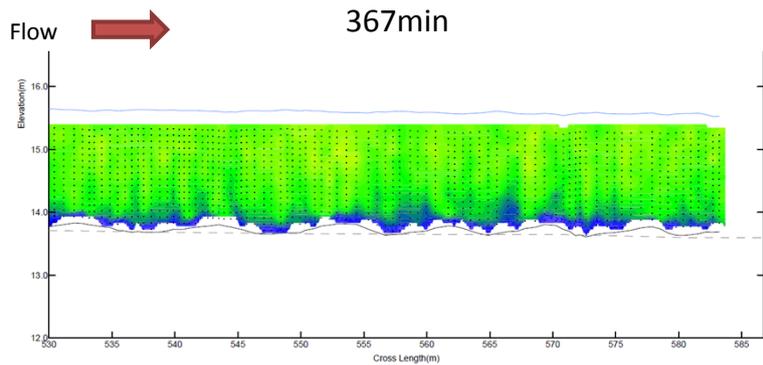
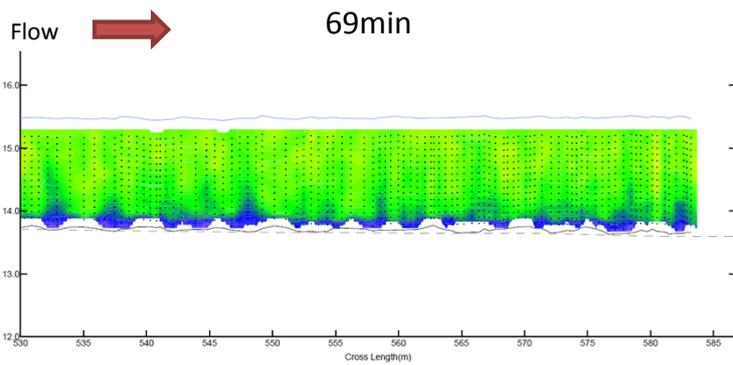
242min



303min



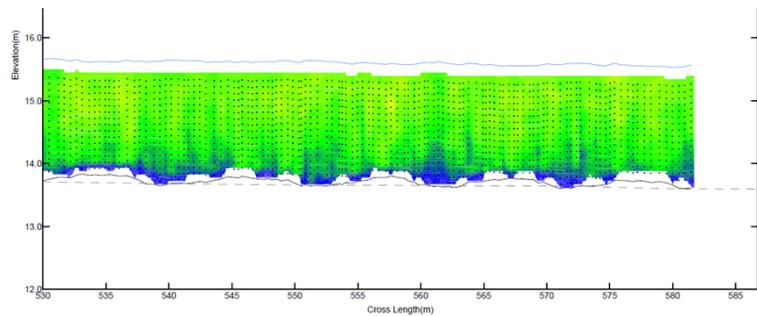




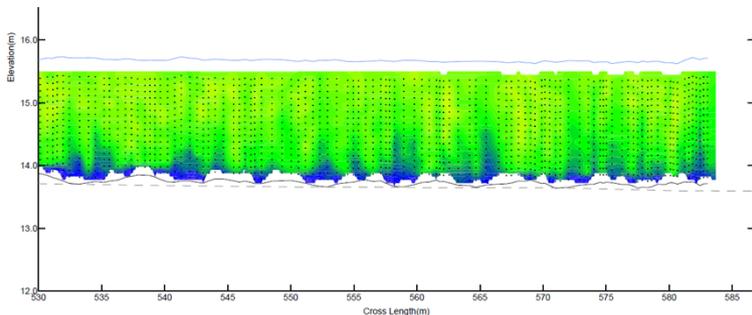
126min※



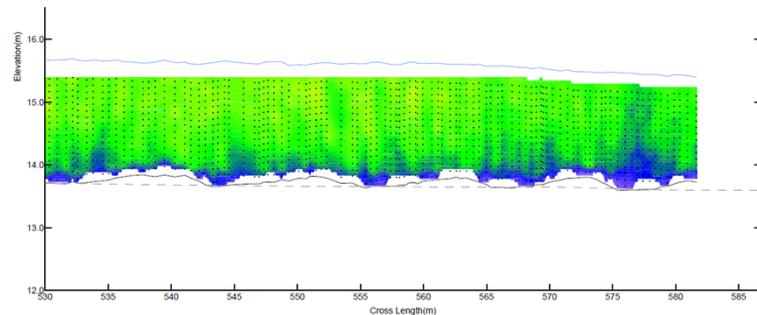
428min



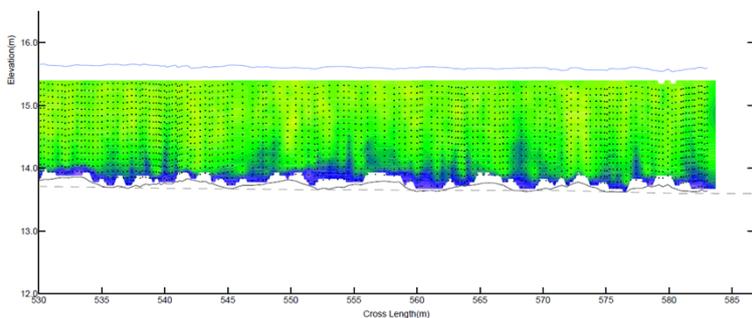
188min



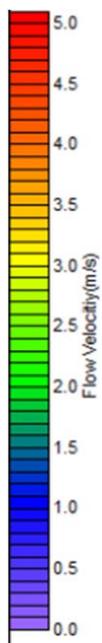
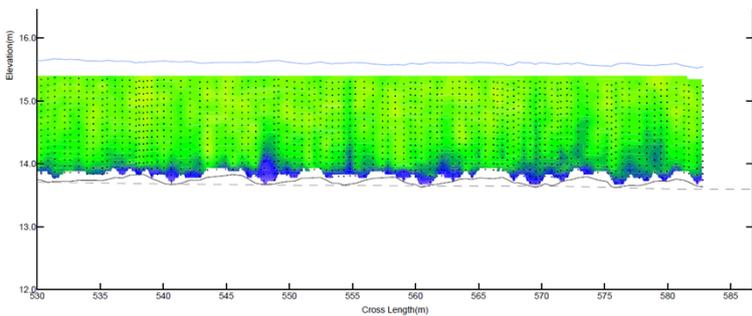
451min



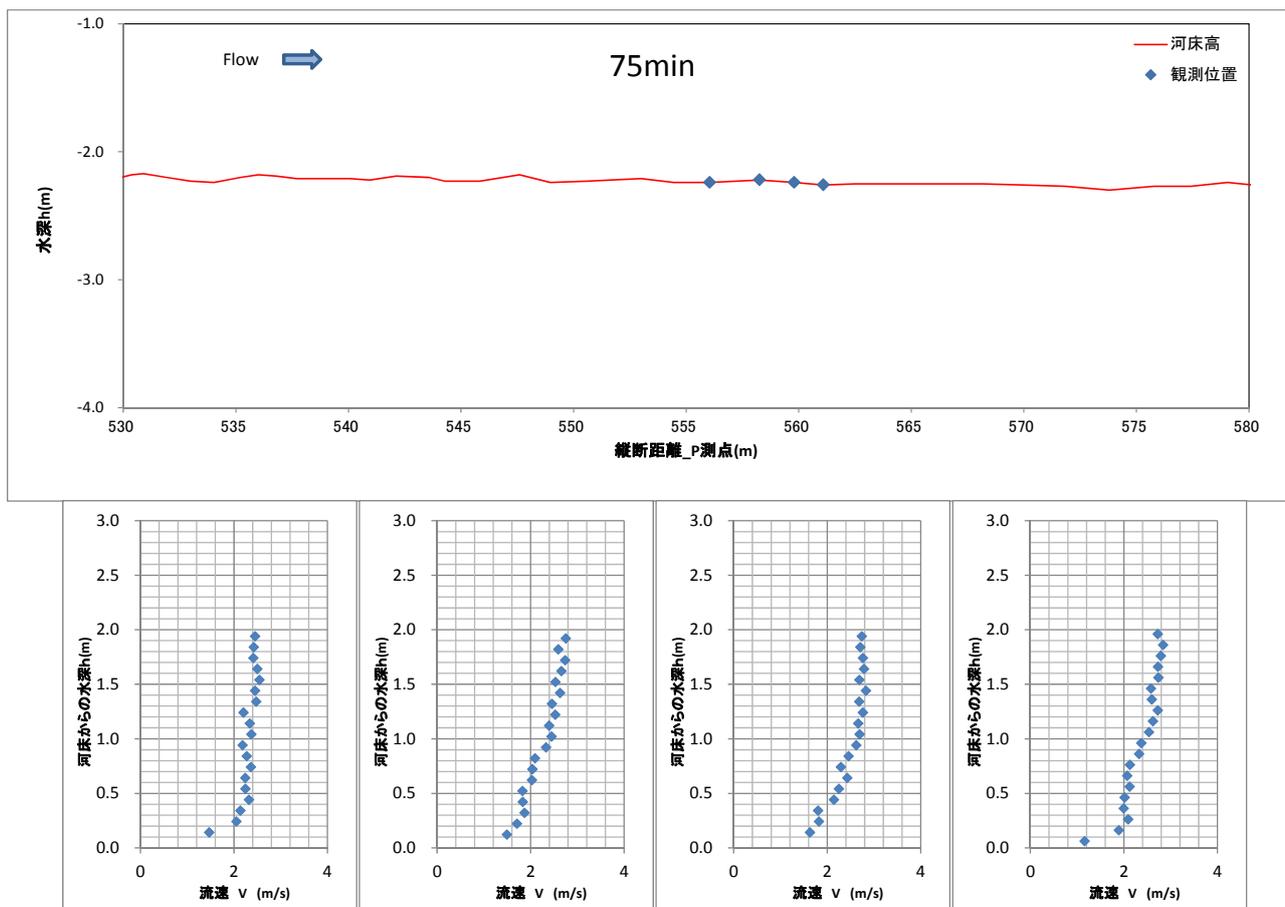
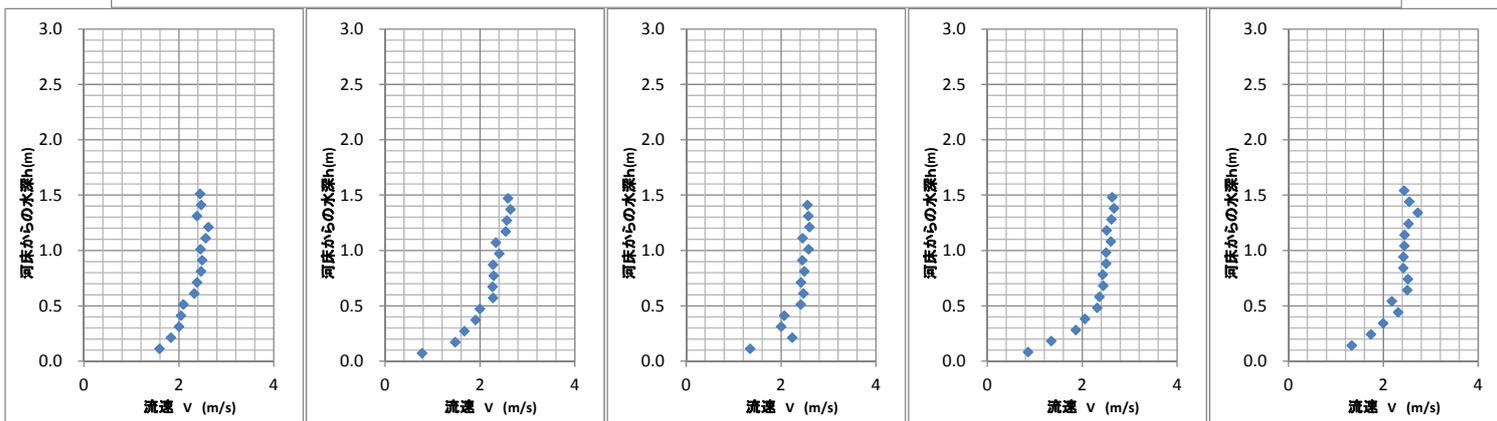
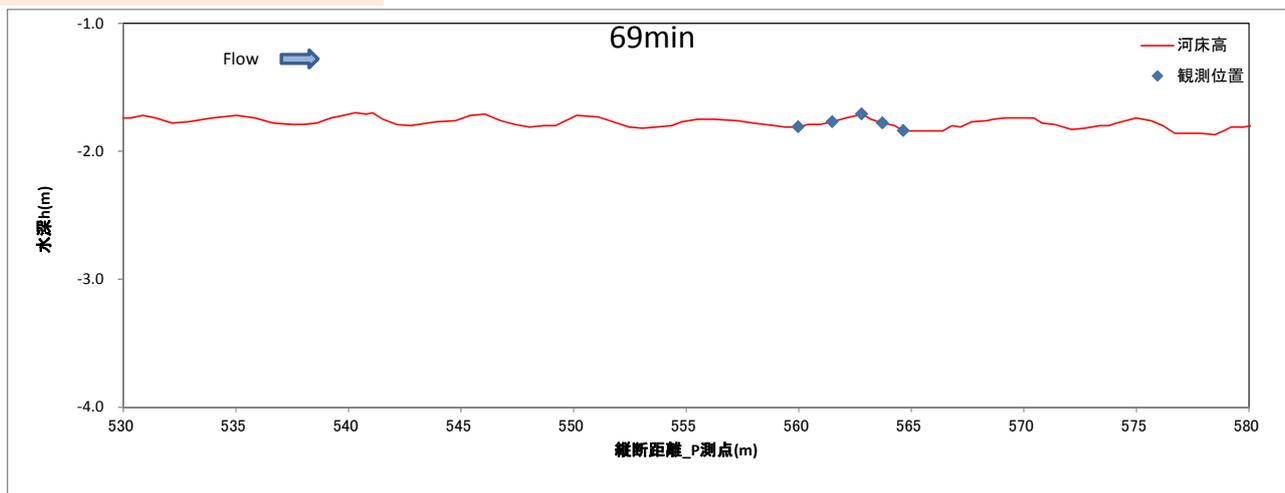
251min



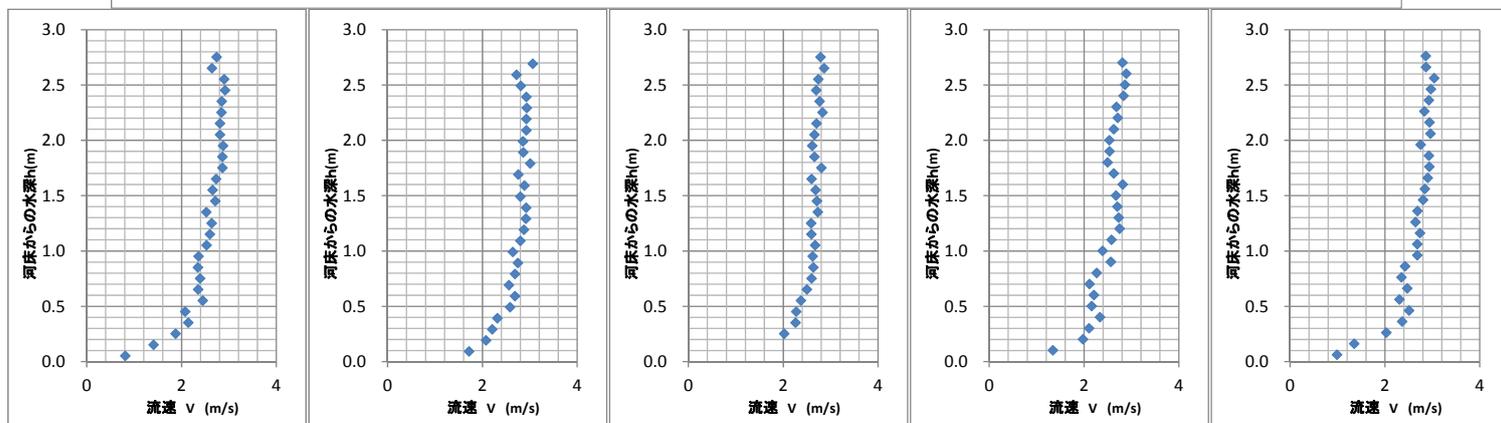
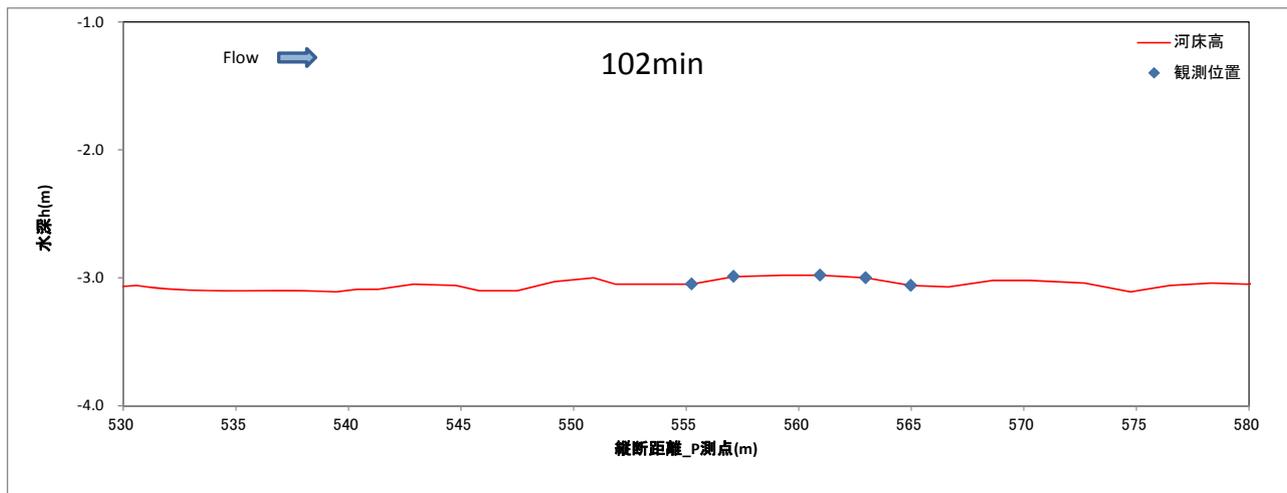
307min



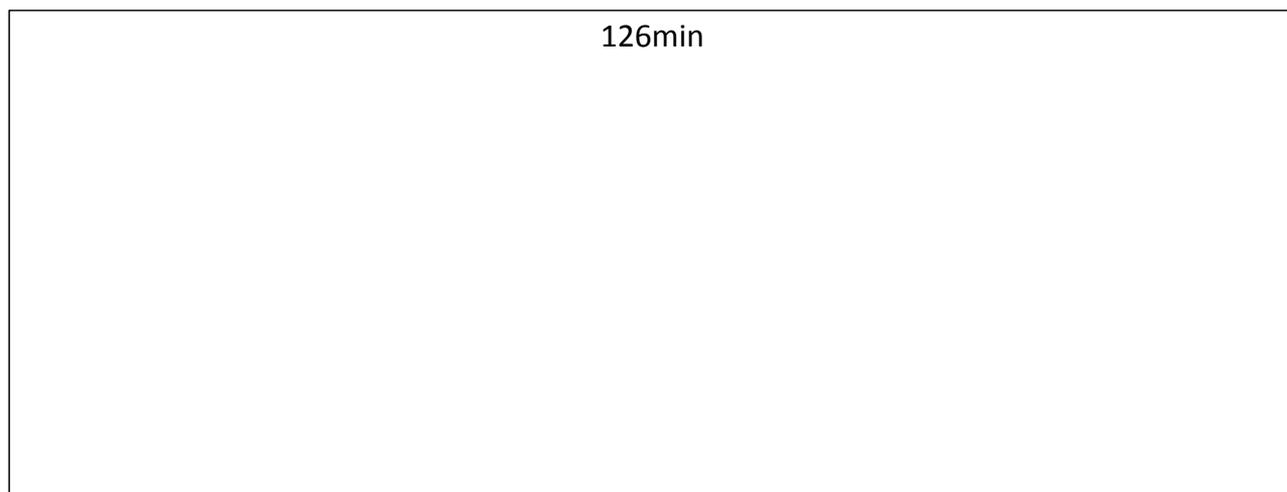
※ ADCP観測機器の観測精度低下による欠損データのため観測時刻のみ記載

第1回通水実験 (70m³/s)第2回通水実験 (35m³/s)

第1回通水実験 (70m³/s)

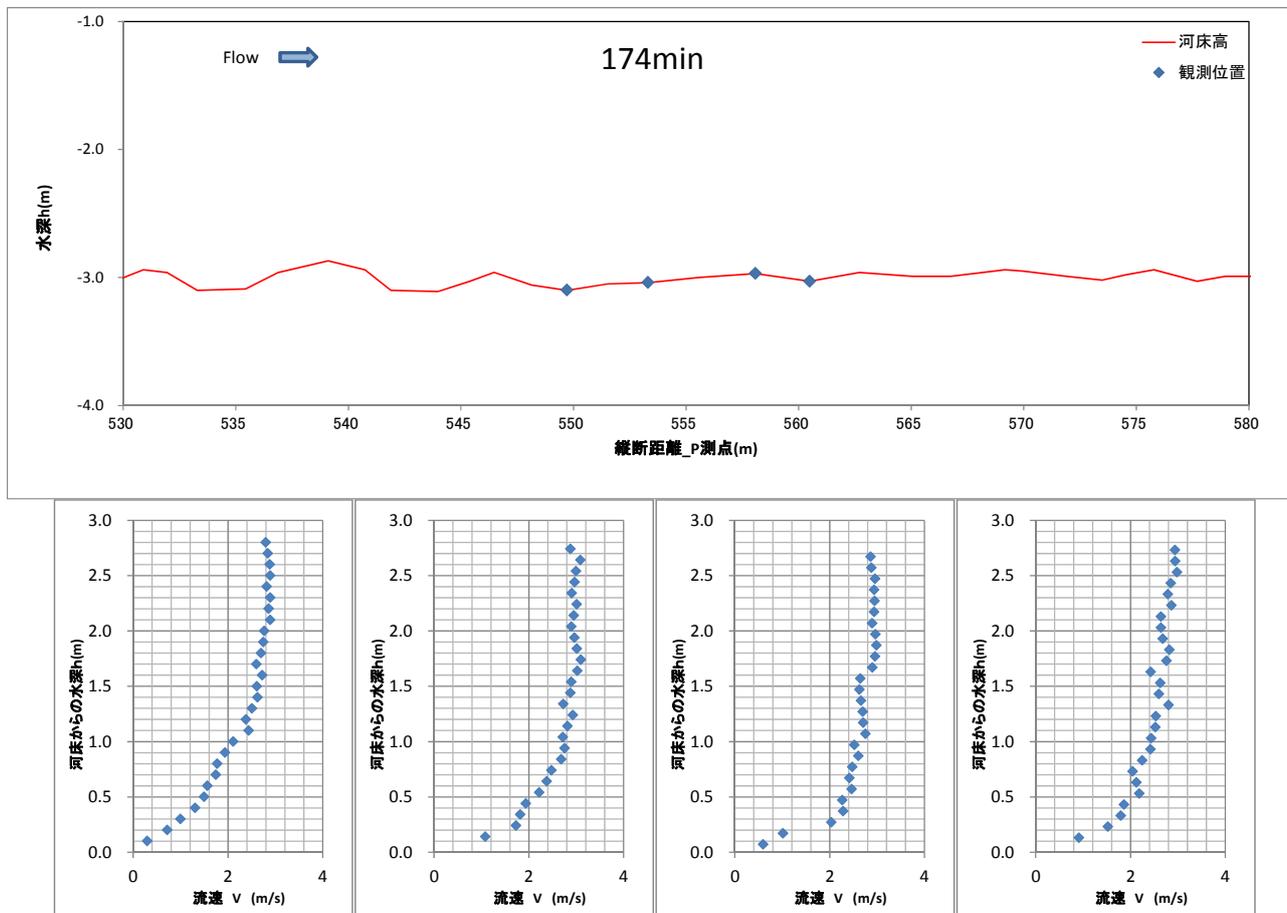


第2回通水実験 (35m³/s)

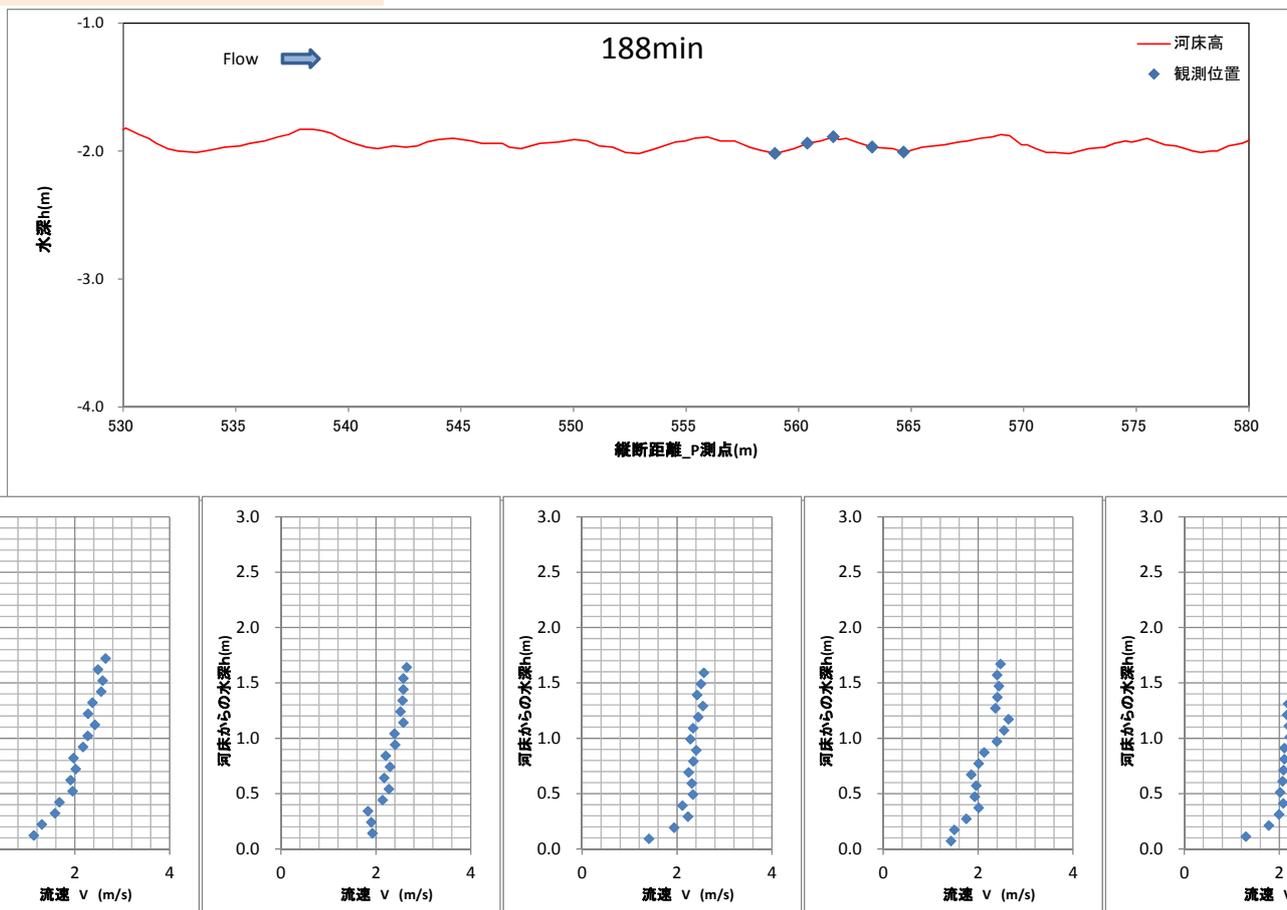


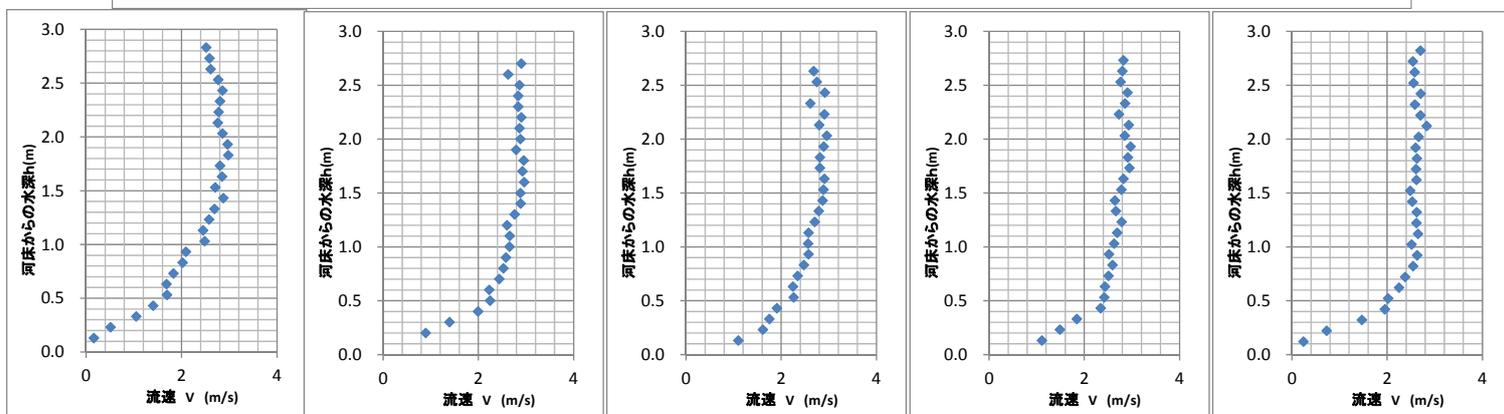
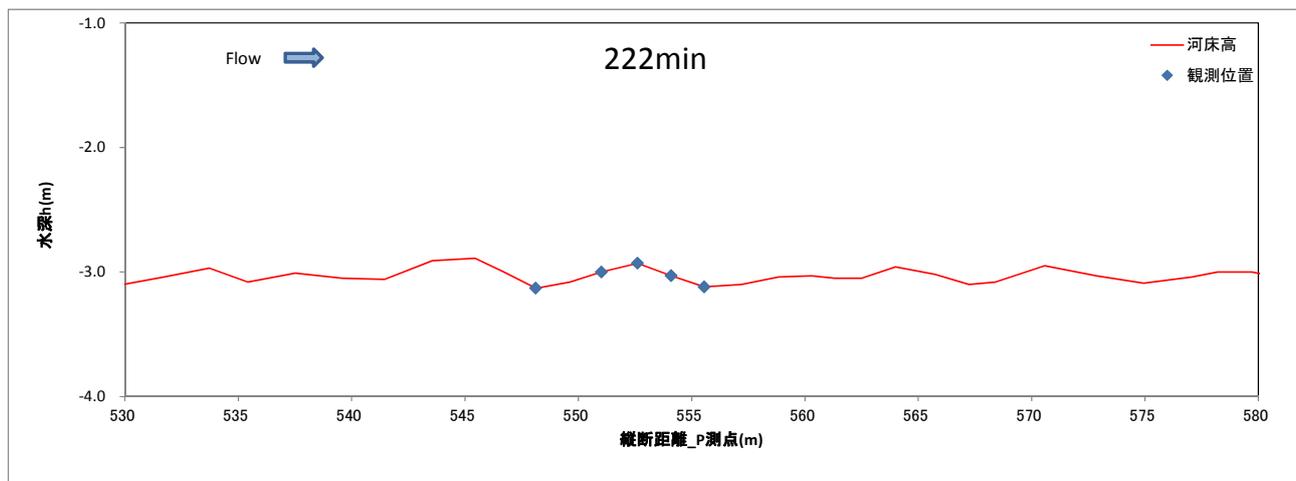
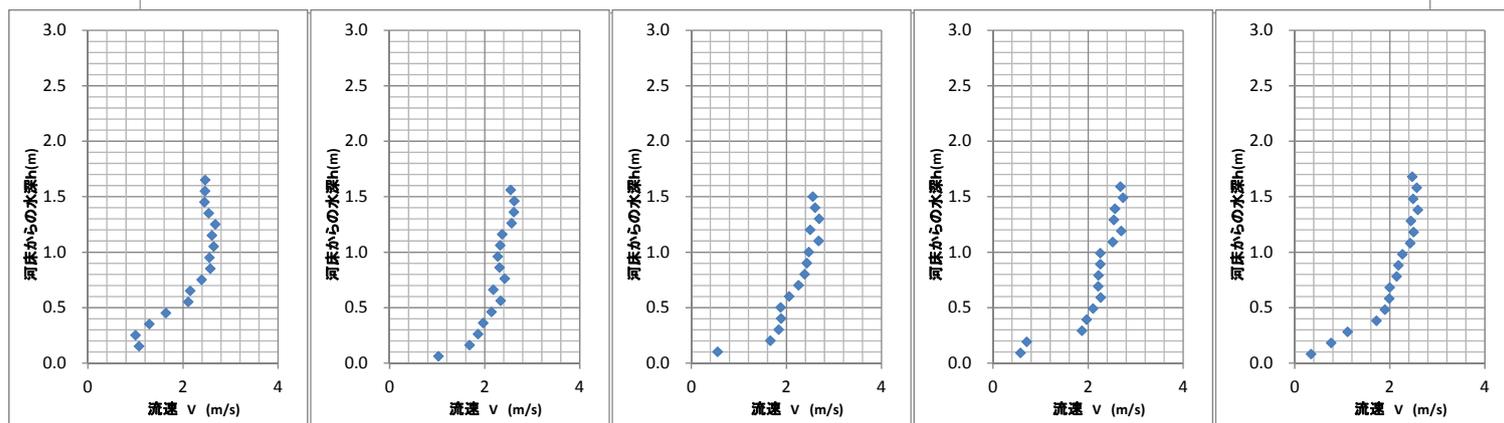
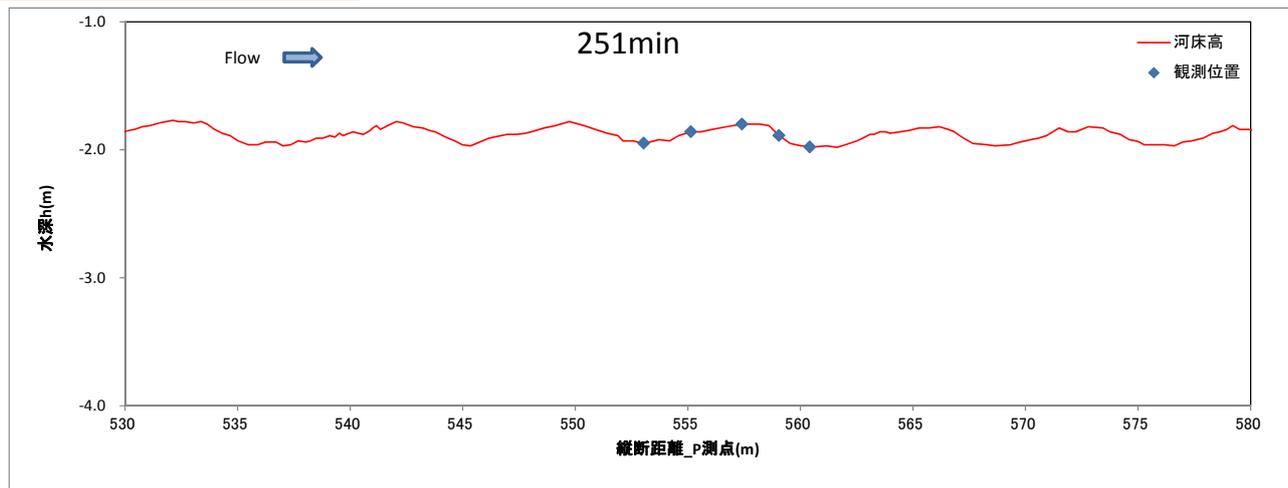
※ ADCP観測機器の観測精度低下による欠損データのため観測時刻のみ記載

第1回通水実験 (70m³/s)



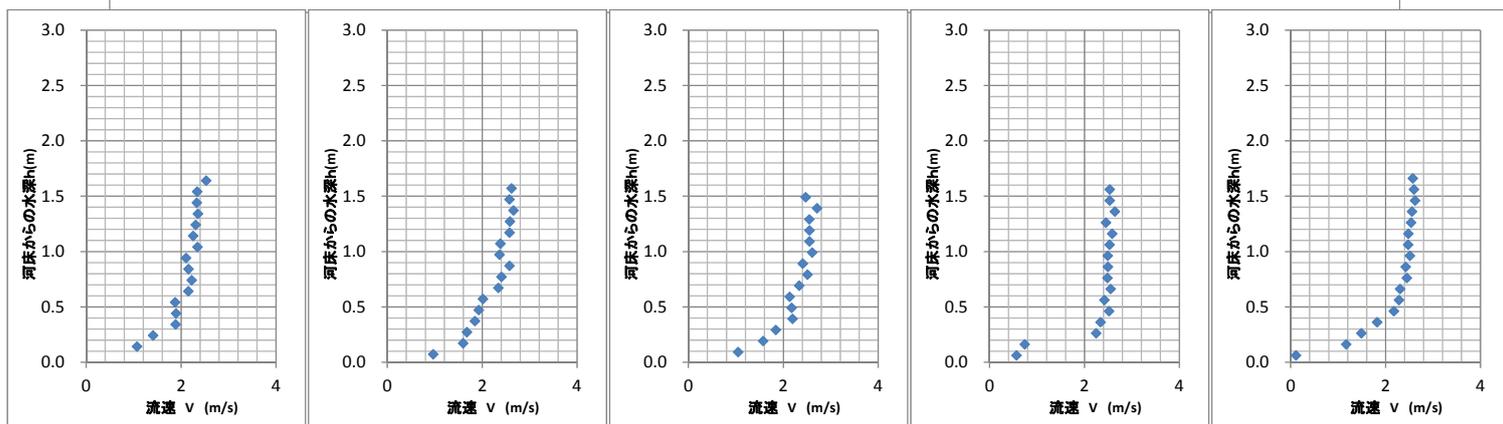
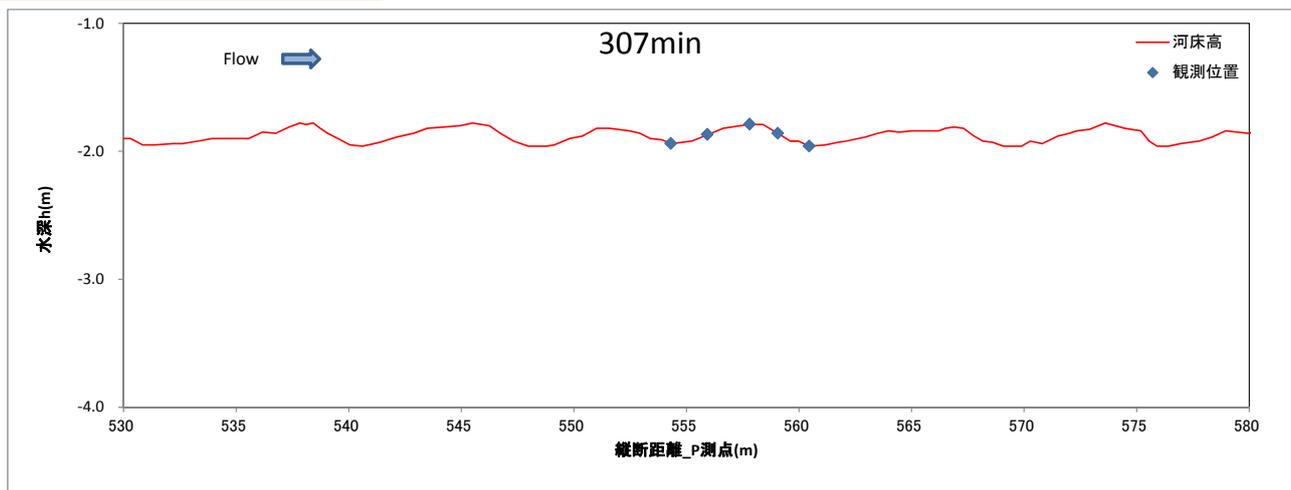
第2回通水実験 (35m³/s)

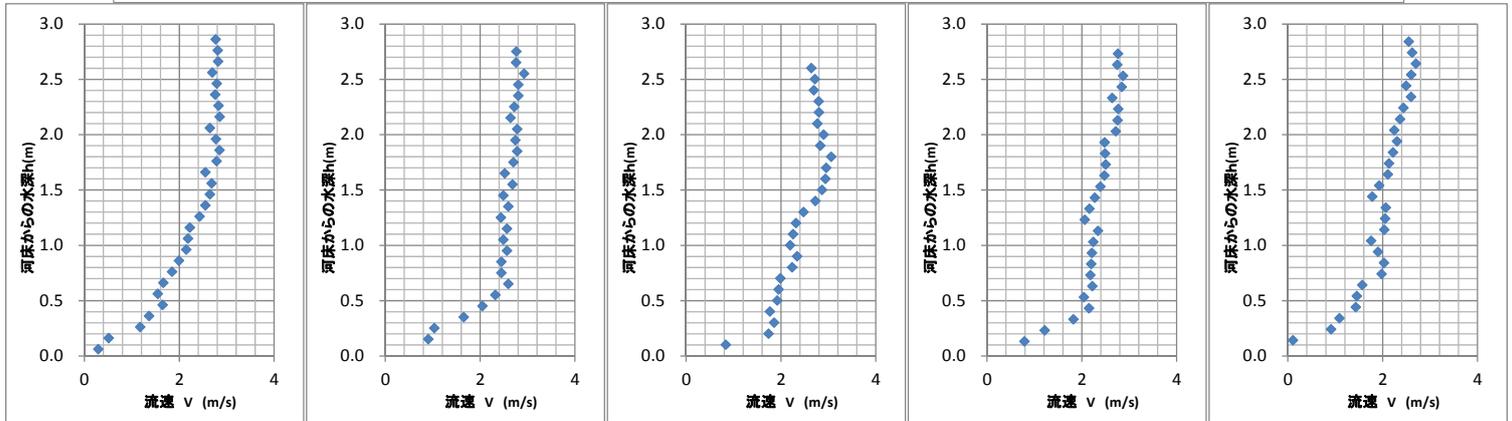
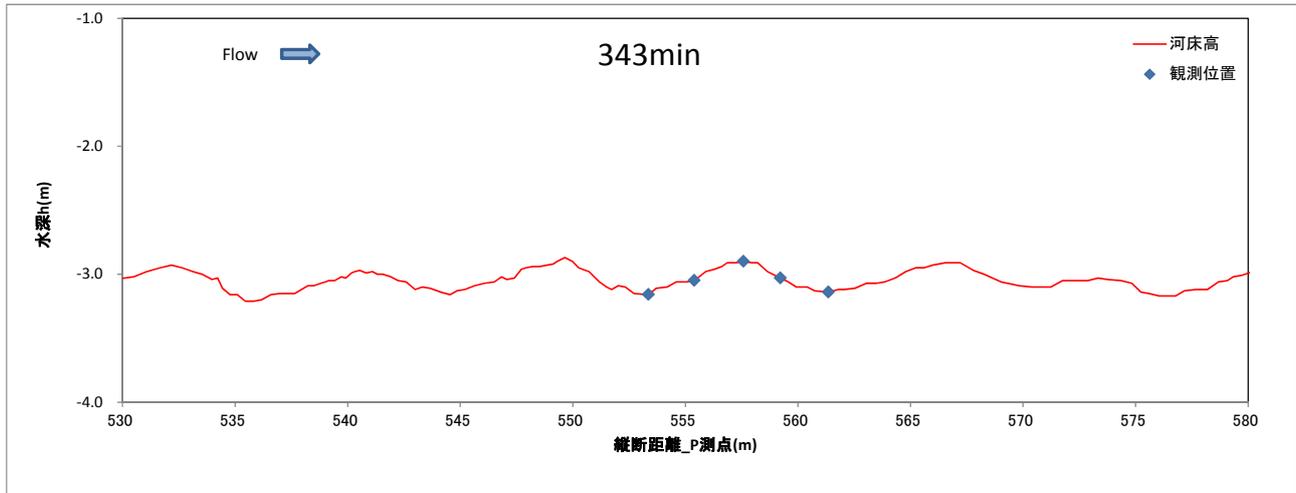
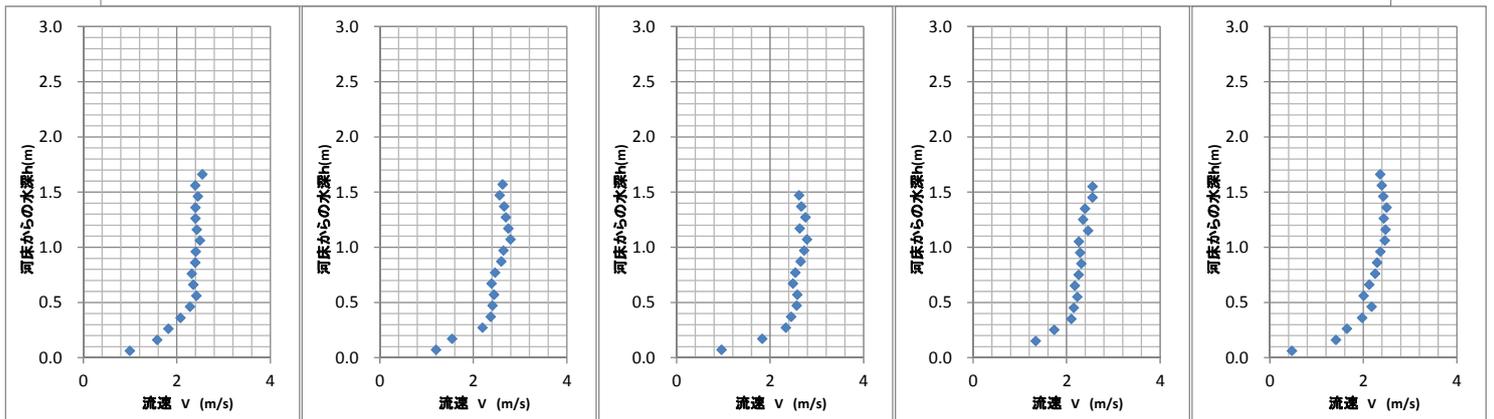
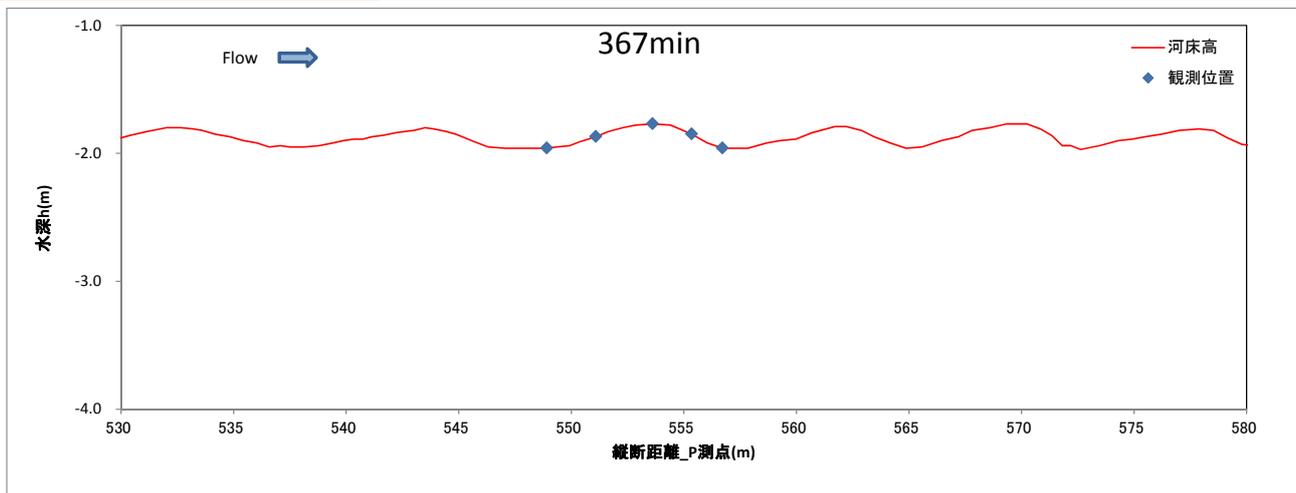


第1回通水実験 (70m³/s)第2回通水実験 (35m³/s)

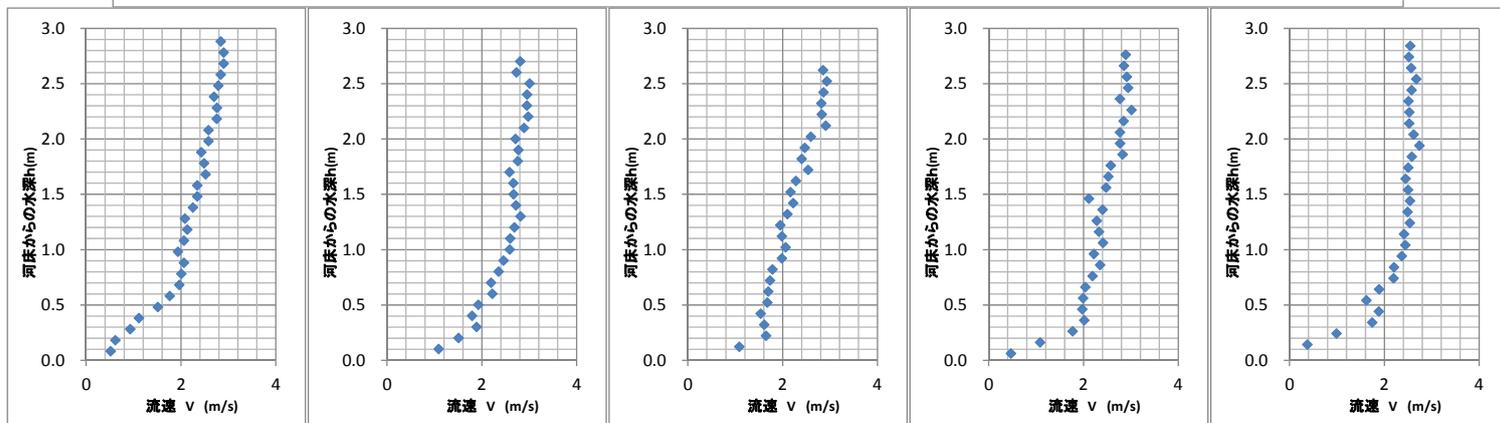
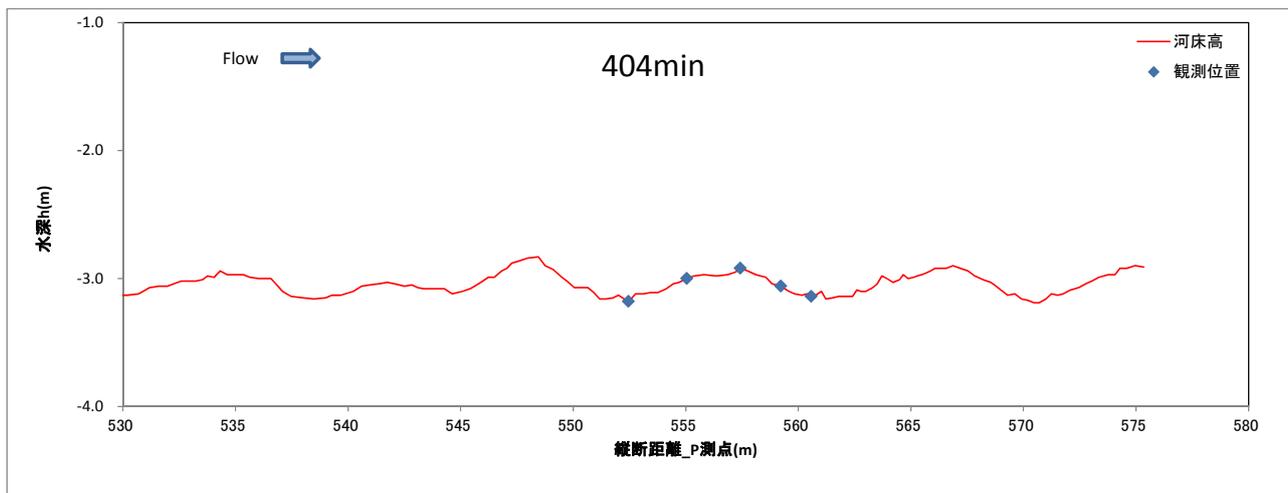
第1回通水実験 (70m³/s)

※ ADCP観測機器の観測精度低下による欠損データのため
観測時刻のみ記載

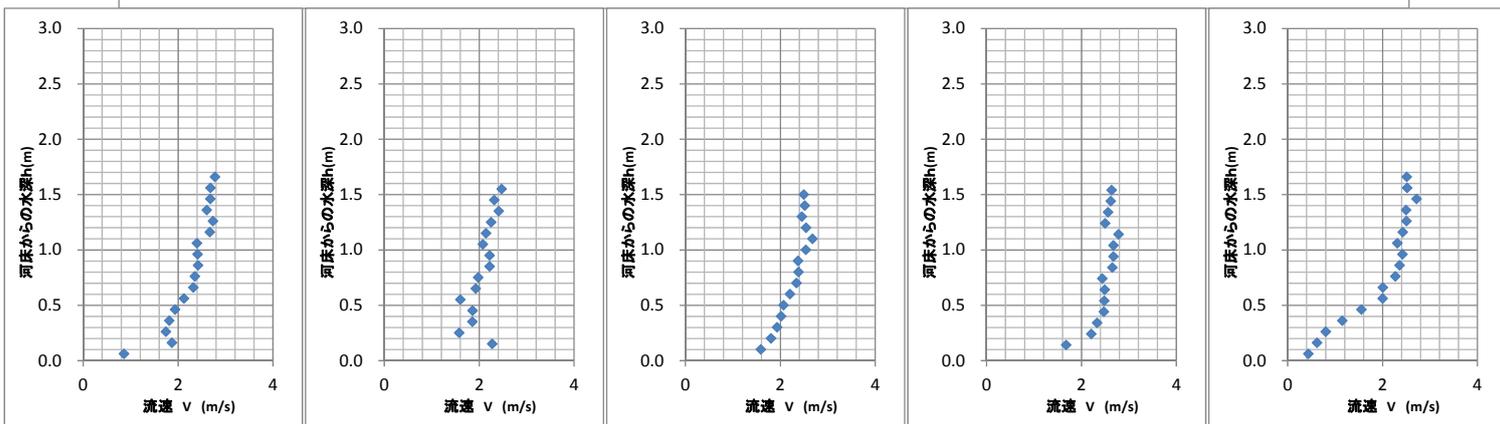
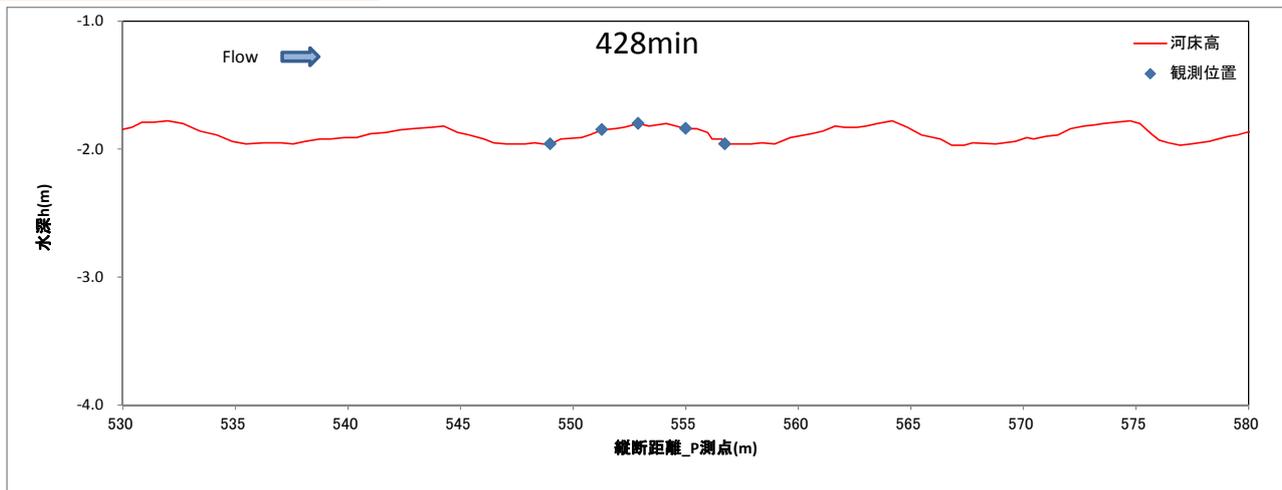
第2回通水実験 (35m³/s)

第1回通水実験 (70m³/s)第2回通水実験 (35m³/s)

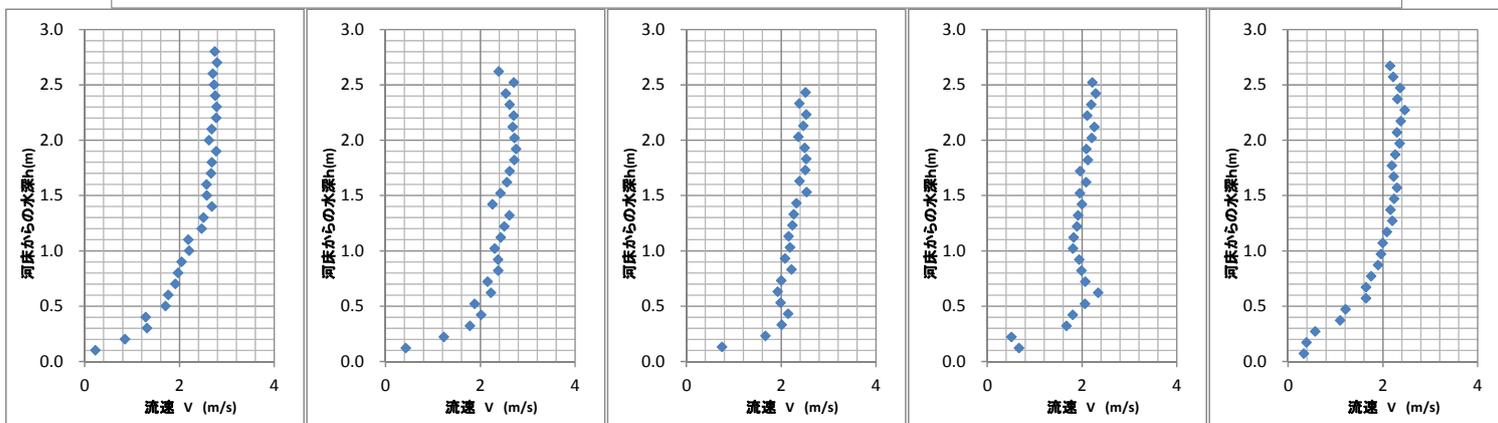
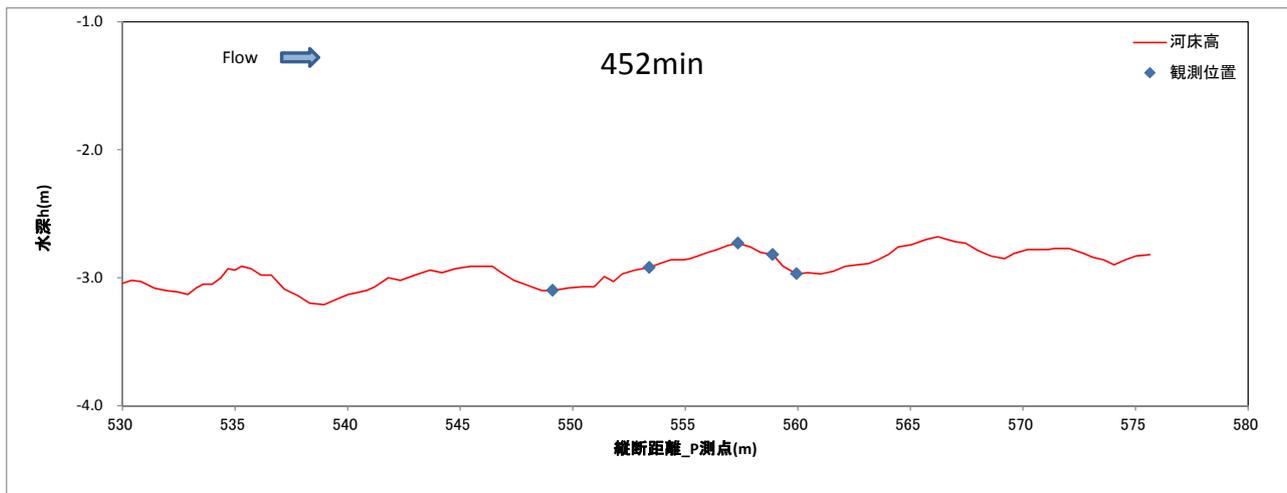
第1回通水実験 (70m³/s)



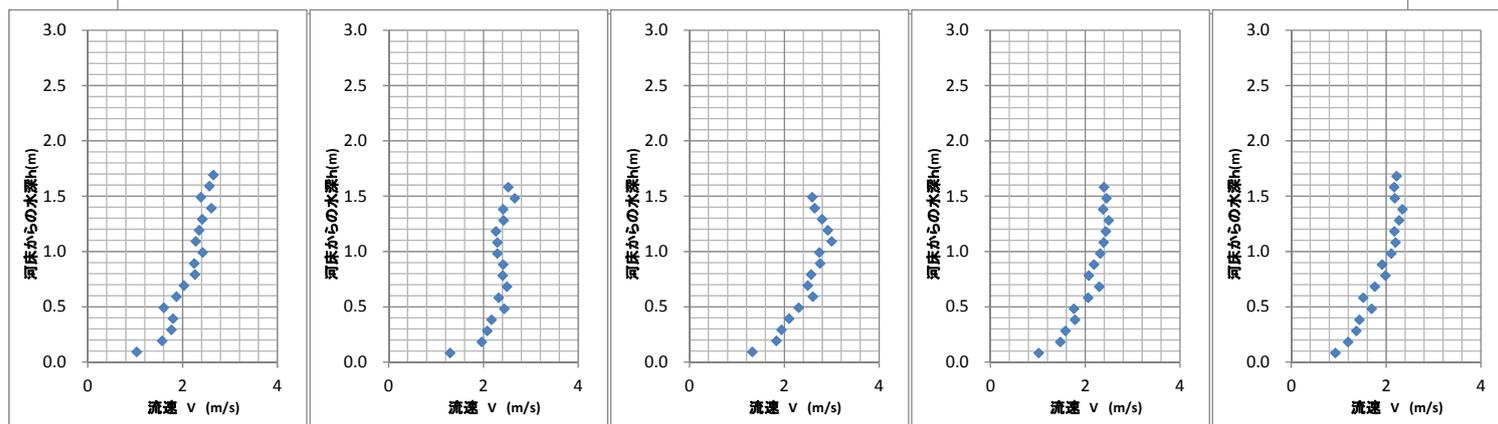
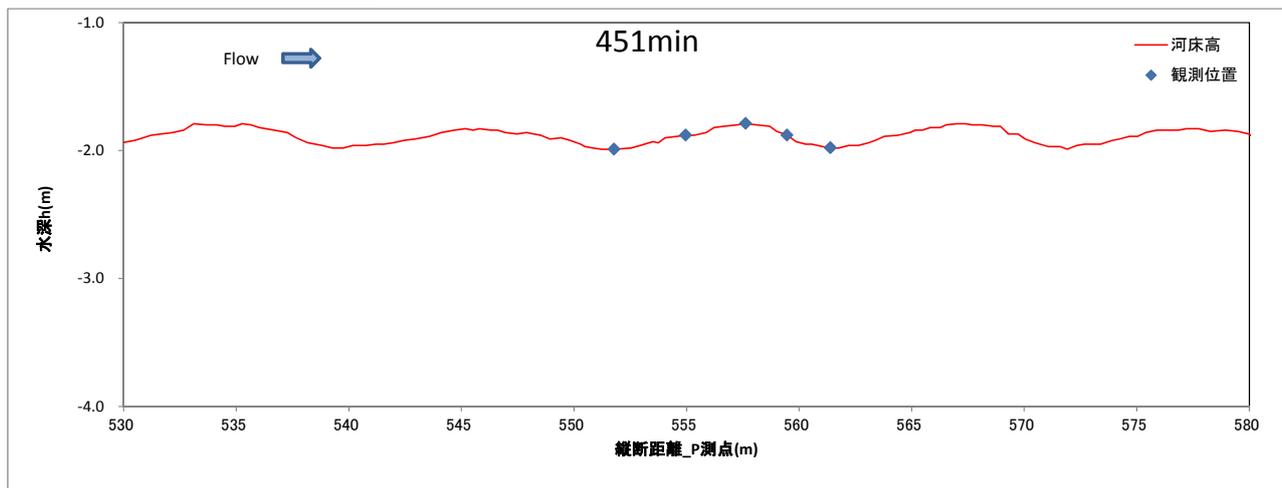
第2回通水実験 (35m³/s)

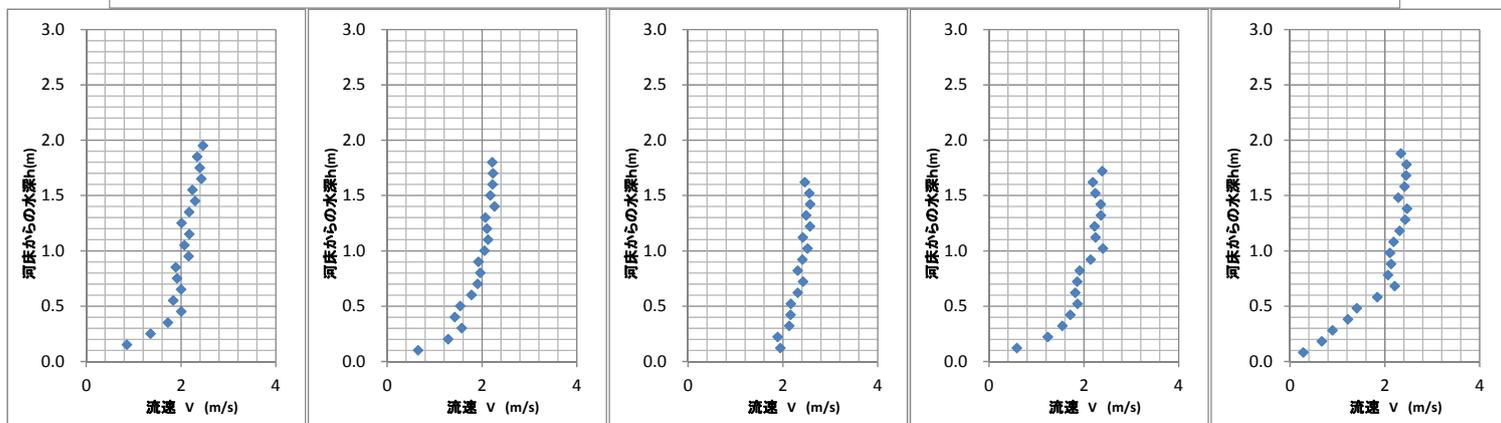
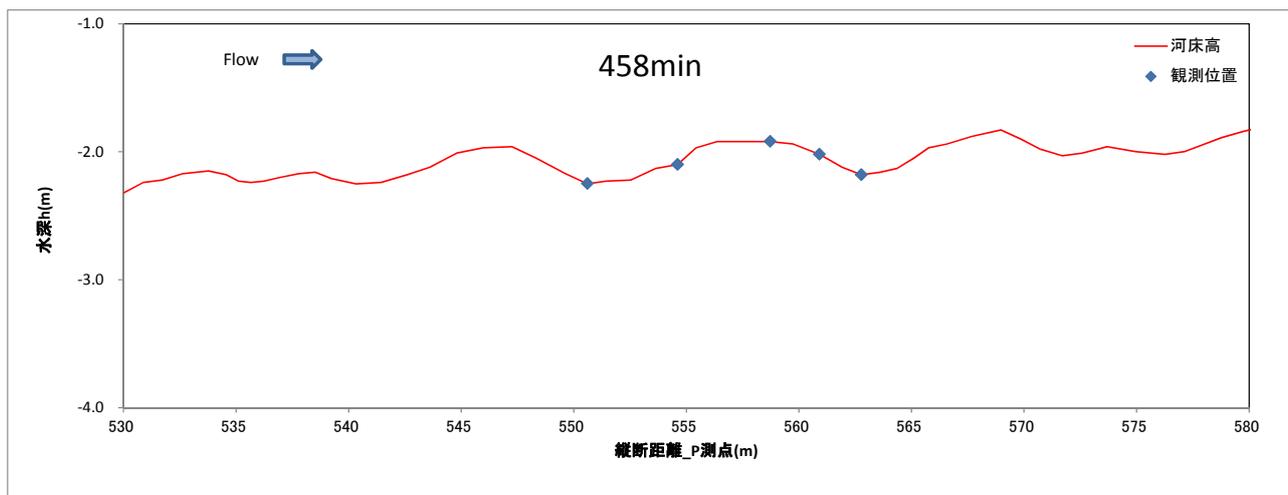


第1回通水実験 (70m³/s)



第2回通水実験 (35m³/s)



第1回通水実験 (70m³/s)

第7回 十勝川千代田実験水路等実験アドバイザー委員会

平成24年度 破堤抑制工実験 実験実施計画

<目次>

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画	p 2
1.1 実験計画基本方針	p 2
1.2 「越水破堤現象の被害軽減技術」として想定される工法案	p 3
1.3 越水破堤実験について	p 4
1.4 破堤拡幅の抑制による氾濫被害の軽減	p 5
1.5 実験テーマ	p 7
1.6 実験の目的	p 8
1.7 実物大実験と縮尺模型実験の役割と工程	p 9
1.8 設置するブロック個数の検討	p10
2. 縮尺模型実験	p13
2.1 縮尺模型実験による最適ブロック設置諸元の検討	p13
2.2 縮尺模型実験結果の考察	p20
3. 平成25年度 破堤抑制工実験条件の提案	p26
4. 現地実験観測計画	p27
4.1 観測計画方針	p27
4.2 新規導入検討する観測方式	p28
5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）	p30

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1. 実験計画基本方針

1.1 次期実験テーマについて

H24年3月15日開催 「第6回 実験アドバイザー委員会」

H24年度以降の実験方針について検討

【行政的ニーズ】

◎ 減災の早期解決への貢献

・万が一災害が発生した場合でも被害を最小限にとどめる減災対策を進める。

◎ 越水後の減災手法の確立

・これまでの工法は越水防止が主であり、越水後の減災手法の確立が望まれる。

◎ H22～23「越水破堤現象のうち河川堤防の破堤拡幅機構に関する研究」の研究成果の応用

・研究で得られた知見を活用し、実際の治水計画・河川管理に応用できる技術開発を行う。



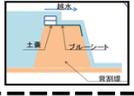
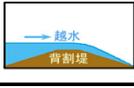
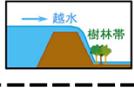
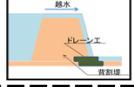
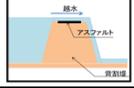
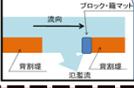
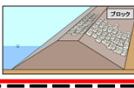
【方針】H24年以降は「越水破堤の被害軽減技術に関する研究」を実施

・これまでの知見を活かし、破堤による氾濫の軽減・減災の工法を確立することを目指す。

※H23年12月水防法改正 「国は緊急を要すると認めるとき特定緊急水防活動(決壊箇所の締切等の被害拡大防止のための処置)」を実施 → 被害軽減技術開発の必要性大

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.2 「越水破堤現象の被害軽減技術」として想定される工法案

越水破堤プロセス	現象	有効な対策	実験ケース(対策工)の案			千代田での検証の有効性	
Step1 (初期破堤段階)	越水開始後、越水部の裏法面・裏法肩が侵食される 天端は裏法肩から表法肩に向かって徐々に侵食される	法面侵食の抑制	被害軽減対策	シート+土のう工		法面をシートで覆い、法面侵食を抑制	× (二次元で可)
				緩傾斜堤防		法面勾配を緩くし、法面侵食を抑制	× (二次元で可)
Step2 (拡幅開始段階)	越水部の表法肩まで侵食が到達すると、急激に断面が侵食されて、破堤拡幅が上下流方向に徐々に進行	堤防天端や法尻部の強化	被害軽減対策	樹林帯		氾濫流を抑え、開口速度を低減	× (準備が難)
				のり尻保護工		堤内側法尻部の深掘れ防止による侵食抑制	○
				天端アスファルト保護工		堤防断面の侵食を抑制	○
Step3 (拡幅加速段階)	堤体断面の大半が侵食されると、破堤拡幅が急激に進行し、進行方向は主に下流側となる	任意の地点での堤体侵食抑制	水防工法	締め切り工		破堤部の締め切りを行い、早期復旧を図る	○
				破堤抑制工		堤体上にブロックを積み、自然落下させ開口拡大を抑制	○
Step4 (拡幅減速段階)	氾濫流の主流部がほぼ一定の幅で下流へ移動 氾濫流はほぼ一定で推移し、破堤拡幅速度は遅くなる	早期の緊急復旧対策	水防工法	締め切り工		破堤部の締め切りを行い、早期復旧を図る	○
				バルーン工法など		破堤部に資材を投入し、開口拡大を防ぐ	○

平成24年3月のアドバイザー委員会において、被害軽減に効果的な対策工(ブロック抑制工)について検討することが確認された

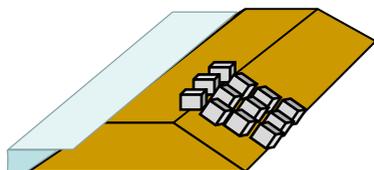
1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.5 実験テーマ

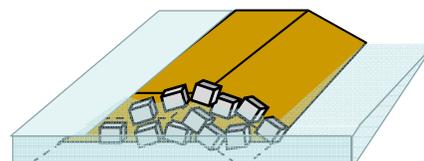
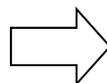
実験テーマ	破堤口拡大抑制工法の検証実験
実験テーマ 設定経緯の まとめ	<p>平成22年～23年度に「河川堤防の越水破堤機構に関する研究」として実施した実験により、『越水破堤のプロセスや堤防破壊の基礎的なメカニズム』について解明することができた。</p> <p>今後は、破堤による被害を最小限にとどめるために、平成22年～23年に実施した「河川堤防の越水破堤機構に関する研究」の活用・応用技術の開発として、『越水破堤の被害軽減技術に関する研究』を実施する方針が、平成24年3月の第6回アドバイザー委員会において確認された。</p>

【実際の洪水時におけるブロック投入工】

破堤箇所の下流側にて、破堤が達する前に堤防天端と堤内側法面にブロックを設置する。破堤が当該地点に達するとブロックが自然落下し、破堤の抑制による氾濫被害軽減を期待。



出水時、根固めブロックを堤防の天端と裏法面に積みあげる。



破堤がブロックの配置箇所到達すると、根固めブロックが自然落下して、破堤の進行を抑制

破堤口拡大抑制工実験イメージ図

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.3 越水破堤実験について

・H22～H23に実施

【目的】

越流による堤防破堤メカニズムの解明

【実験内容】

堤体形状・堤体土質・河道水理条件を変えながら全4回の破堤実験を実施。



表-1 越水破堤実験の実験条件

ケース	方針	築堤材	流量	Fr数	堤防形状	実施時期
1	基本ケース	砂礫	70	0.47	高3m, 幅3m	H22年4月27日
2	本川Frの相違効果	砂礫	35	0.23	高3m, 幅3m	H22年8月 4日
3	堤体材の相違効果	シルト	70	0.47	高3m, 幅3m	H23年4月27日
4	天端幅の相違効果	砂礫	70	0.47	高3m, 幅6m	H23年6月30日

【実験結果】

・越水破堤のうち破堤拡幅のプロセスや破堤現象の要因について実験・分析を行い、堤防破堤の基礎的なメカニズムを解明。

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.4 破堤拡幅の抑制による氾濫被害の軽減(1)

氾濫流量と破堤幅の関係 ・破堤幅の拡大と氾濫流量の増大は、ほぼ比例関係にある。

図1 氾濫流量と破堤幅の関係

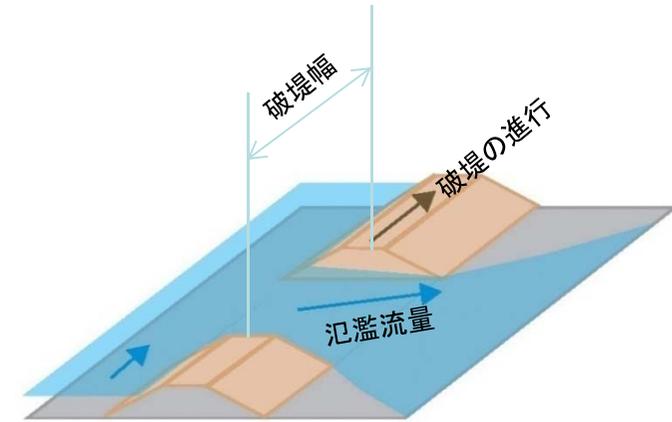
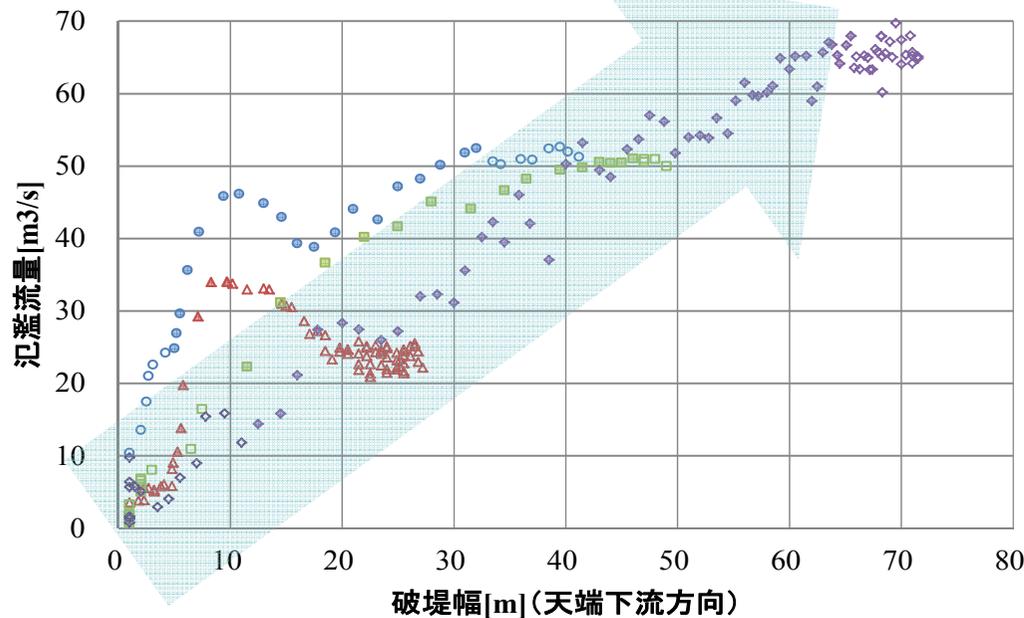


図2. 左図の諸量の概念

【図1について】

- ・Case1・3は約70m³/s、Case4は約80m³/s、Case2は約35m³/sの定常流の実験。
- ・Step2(拡幅開始段階)以降の所定の定常流時データのみプロット。流量低下期のデータは除外。
- ・Case4のみ破堤幅70mまでの実験を実施している。
- ・Case1は氾濫流量が安定する前に実験を終了している。

【実験結果の応用】

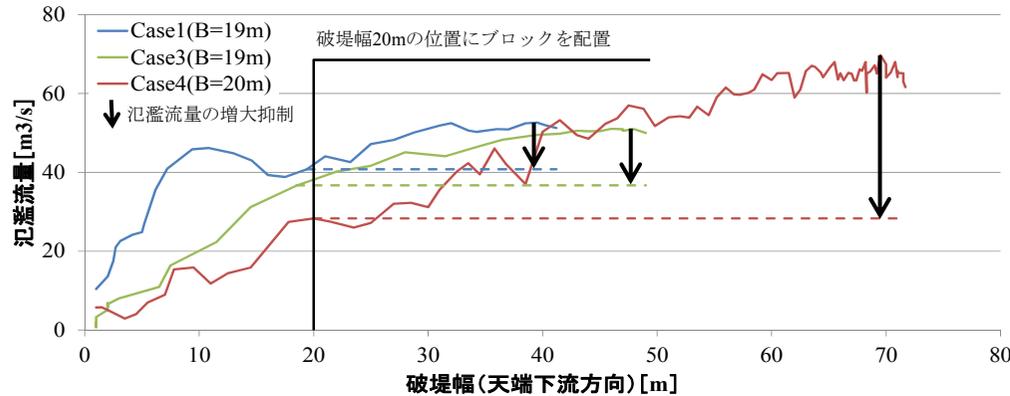
破堤幅の増加に伴い氾濫流量は増加する。破堤幅拡大の進行を抑制することで、氾濫流量の増加を抑えられる可能性がある。

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.4 破堤拡幅の抑制による氾濫被害の軽減(2)

破堤拡大を抑制したときの氾濫流量

図3 氾濫流量の時間的変化

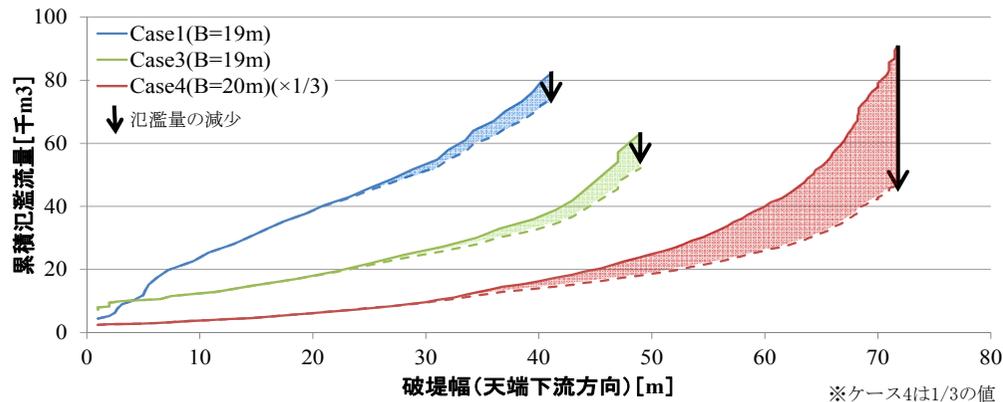


・破堤幅の拡大を出来るだけ早く抑制することにより、氾濫流量を減少させられる可能性がある。

【図3について】

- ・Case1・3・4の実験結果をベースに破堤拡幅開始段階以降(Step2)で検討。
- ・例えば、破堤幅が約20mに達した段階で、それ以上の進行を止めたものと仮定。
- ・破堤幅が約20mのときの氾濫流量はそれぞれ約41m³/s、37m³/s、29m³/s(前頁の図1参照)であり、その後も氾濫流量は変化しないものと仮定。
- ・ピーク氾濫流量に対してCase1・3・4でそれぞれ約23%・28%・59%の氾濫流量が減少。

図4 累積氾濫流量の時間的変化



【図4について】

- ・図3の氾濫量から、各パターンの氾濫量を算出。
- ・累積氾濫量に対してCase1・3・4でそれぞれ最大約10%・18%・47%の氾濫量が減少。

【有効な対策】

氾濫流量が増加しなければ河川からの累積氾濫量が低減することから、洪水時の氾濫被害低減のためには、破堤拡大を抑制する対策が有効である。

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.6 実験の目的

【実験目的】

- ◎ 破堤進行の抑制工法の開発
 - ・投入するブロックの設置方法の検証
 - ・実際の出水対応時の施工性、安全性の検証
- ◎ 破堤進行抑制による氾濫被害低減効果の把握
 - ・氾濫量の低減効果の検証
 - ・ブロック落下後の河道形状の変動の検証
- ◎ 破堤部の水理量の計測方法の確立
 - ・破堤部での簡易的な水深、流速計測方法の提案
- ◎ 破堤口拡大抑制策の施工方法の検証と課題の抽出

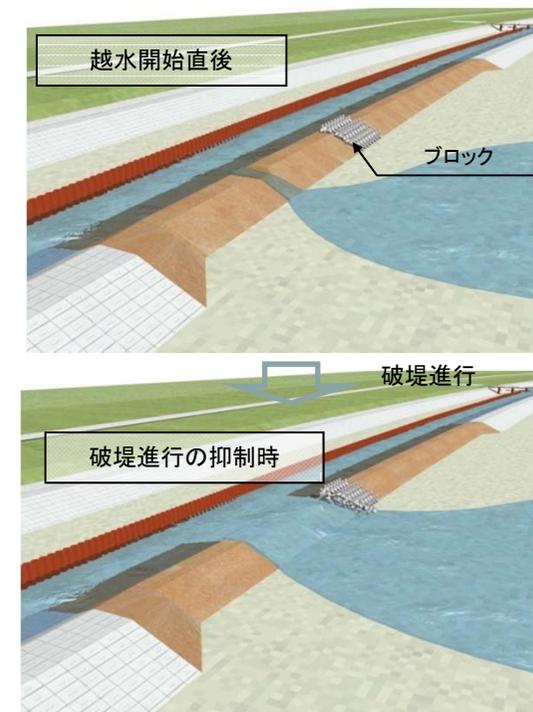


図5. 千代田実験水路での実験イメージ

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.7 実物大実験と縮尺模型実験の工程（案）

年度	縮尺模型実験(S=1/20)	千代田現地実験
H24年度	H25年度現地実験に向けた模型実験 (破堤位置、ブロック設置位置、数量)	
H25年度	H26年度現地実験に向けた模型実験 (H25実験結果を踏まえて実施)	現地実験(破堤抑制工実験) ・H24模型実験結果を踏まえて実施 ・現地実験結果および実験条件について考察
H26年度	他条件補足模型実験 ・抑制策の汎用化のために、様々な条件での縮尺模型実験を実施 H27年度現地実験に向けた模型実験 (破堤抑制工現地実験結果を踏まえて締切工・せめ工の実験条件の検討)	現地実験(破堤抑制工実験) ・H25実験結果を踏まえて実施 ・「破堤抑制工」現地実験結果を踏まえて、次年度以降の「締切工」の実験の実施の可能性について整理
H27年度		現地実験(締切工・せめ工実験) ・H26模型実験を踏まえて実施



長期テーマ I-1「堤防・保護工の機能評価技術の向上」の終了

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.8 設置するブロック個数の検討

1.8.1 検討するブロックの種類

北海道の一級河川で普及している水防資材のうち、主流となっている『ブロック 2tタイプ』を選定した。



ブロックカタログより

図6 ブロック2tタイプの写真

※資材ヤードから千代田新水路までの距離

下士幌備蓄ヤード L=約10km

トイトッキ資材ヤード L=約35km

利別水防拠点 L=約15km

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

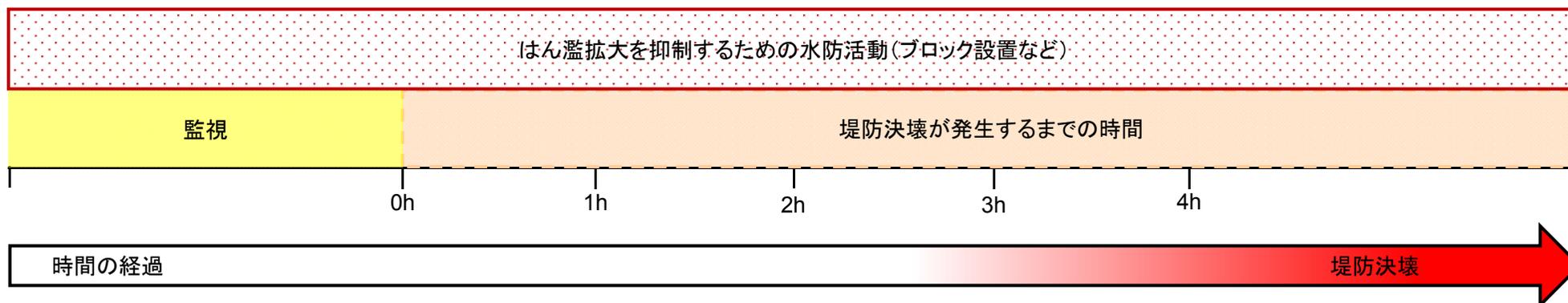
1.8.2 破堤抑制工に必要な時間

ブロック設置時間の考え方

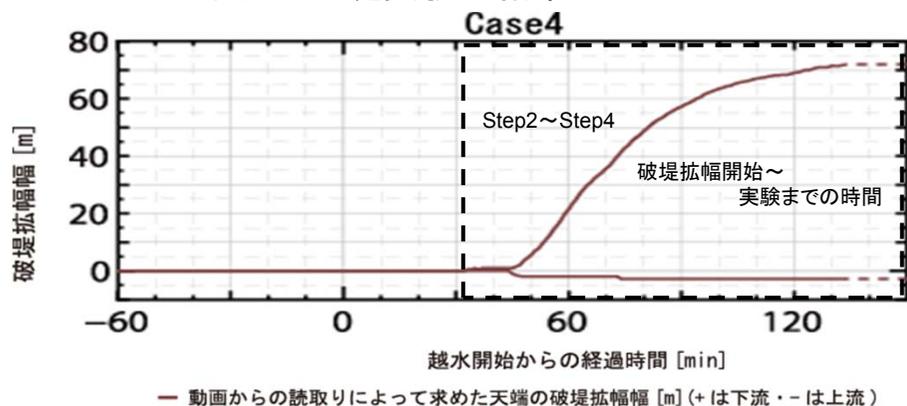
既往事例では、堤防決壊が発生するまでの時間として長良川で約4時間※1、小貝川で約8時間※2、阿武隈川で約8時間※3などの報告がある。

破堤抑制工では、ブロックの設置時間などの破堤口拡大抑制のための施工に必要な時間を考慮する必要がある。

破堤抑制対策工の必要想定時間(例)



千代田破堤実験の結果(Case4)



- ※1 堤防にキレツが発見され破堤するまでの時間
出典：1976年台風第17号による長良川地域水害調査報告、主要災害調査第12号、昭和52年3月、科学技術庁国立防災科学技術センター
- ※2 水防警報出動から破堤するまでの時間
出典：1981年8月24日台風第15号による小貝川破堤水害調査報告、主要災害調査第20号、昭和58年2月、科学技術庁国立防災科学技術センター
- ※3 洪水警報が出された時間から破堤するまでの時間
出典：1986年8月5日台風第10号の豪雨による関東・東北地方の水害調査報告、主要災害調査第27号、昭和62年3月、国立防災科学技術センター

図7 千代田Case4の破堤拡幅時間

※千代田実験水路では、堤体は裸堤(芝を張らない土堤)とするなど条件を限定した実験であるため、ブロックの設置位置までの時間については、芝等で防護された通常の堤体とは異なる。

1. 平成25年度 破堤抑制工実験計画

1.8.3 ブロック設置に必要な時間

ブロックの設置には、設置可能時間に加えて、運搬に要する時間やブロック投入に要する時間を考慮する必要がある。

表3 ブロック設置に必要な時間

	必要時間と設置可能数	備考
①運搬に要する時間	下土幌備蓄ヤード:3.1個/hr 利別水防拠点 :2.7個/hr	土木工事積算基準 より
②ブロック投入に要する時間	層積み:50個/日 乱積み:66個/日	土木工事積算基準 より //

※ブロック投入に要する時間は、より短時間で設置している実績がある

1.8.4 設置可能なブロック数

クレーン1台の単位時間あたりの設置可能なブロックの数量を試算した。

表4 1時間あたりの設置可能数量(クレーン1台の場合)

ブロック投入に要する時間	層積み	6~7個/1セット
	乱積み	8~9個/1セット

※セット数を増やせば数量の増量は可能

例えば5時間では、層積み約35個、乱積み約45個

2. 縮尺模型実験

2.1 縮尺模型実験による最適ブロック設置諸元の検討

2.1.1 実験の目的

破堤口の拡大抑制効果の高いブロックの設置諸元の概略検討

2.1.2 実験概要

現地実験 ケース	堤体・水路形状				流量条件	
	高さ (m)	天端幅 (m)	法勾配	水路幅 (m)	水面勾配 (目標)	通水流量 (目標) (m^3/s)
Case1	0.15 (3)	0.15 (3)	1:2 (1:2)	0.4 (8)	1/500 (1/500)	0.039 (70)

• 実験条件は、現地(千代田実験水路)の縮尺1/20で堤体・水路形状は千代田破堤実験のCase1とした

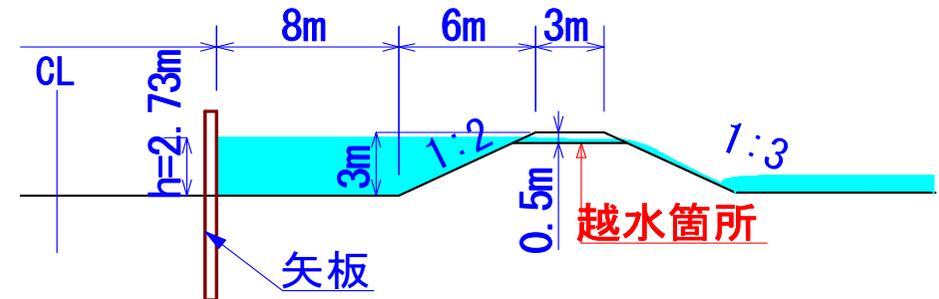


図8 堤体・水路断面形状

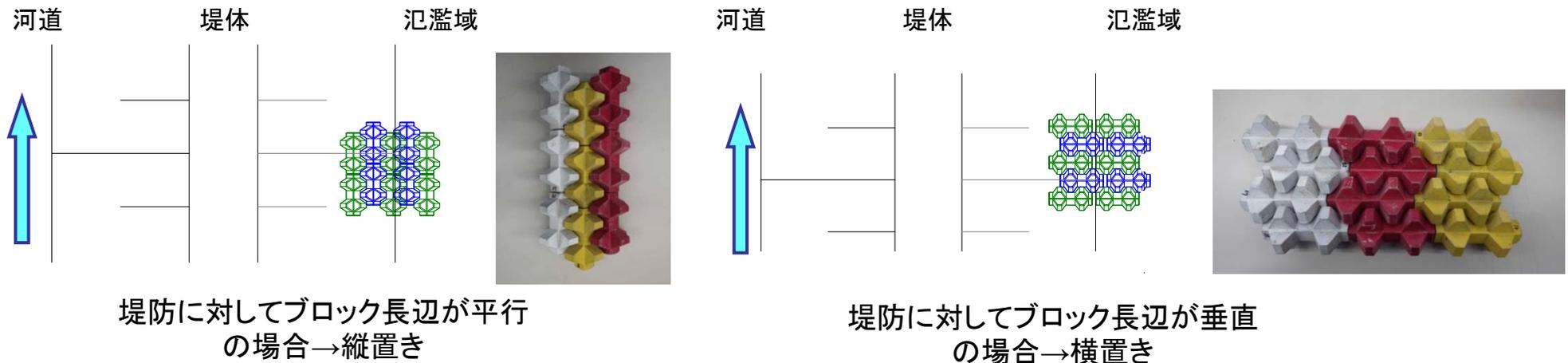


図9 ブロックの設置方向の説明

2. 縮尺模型実験

2.1.3 予備実験形状

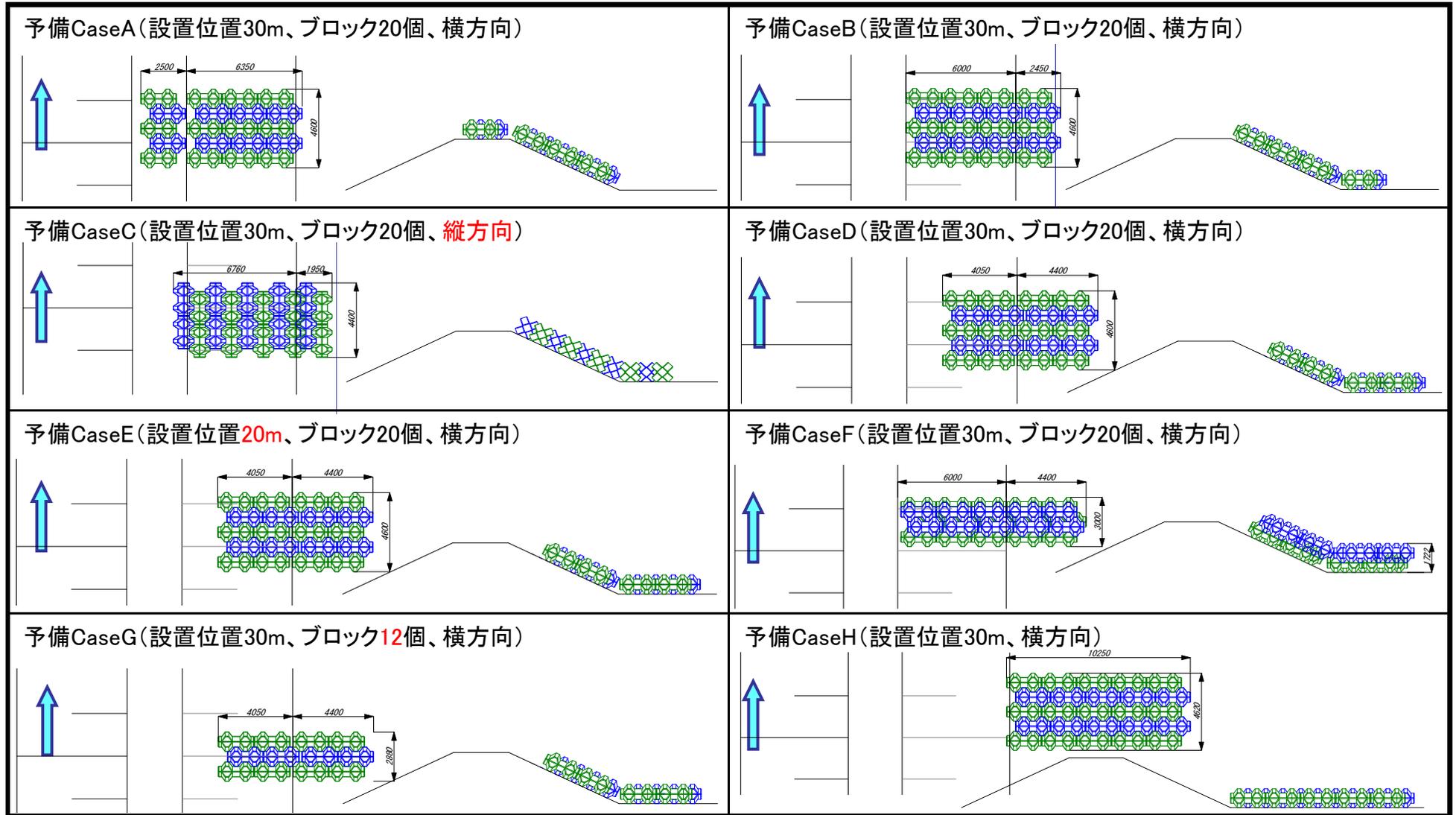


図10 各実験ケースのブロック配置形状

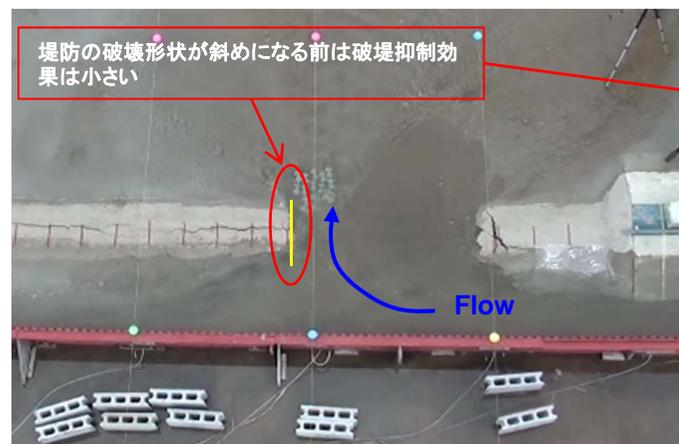
2. 縮尺模型実験

2.1.4 縮尺模型実験の予備実験ケース

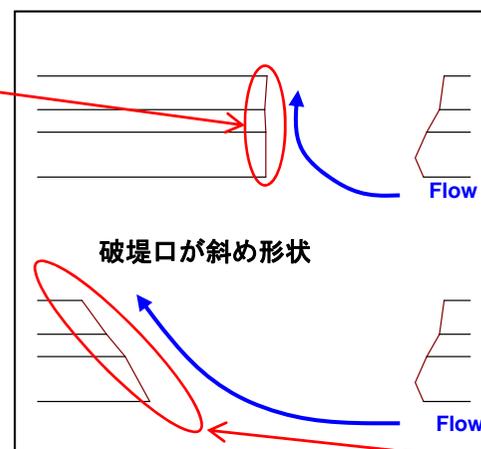
検討結果を踏まえて、ブロック数を20個、破堤口からのブロックの設置位置を30mを標準ケースとして予備実験を実施。予備実験は、ケース1と5を除き、破堤状況を越水開始から再現していないので参考実験扱い

縮尺模型実験の予備実験から得られた知見

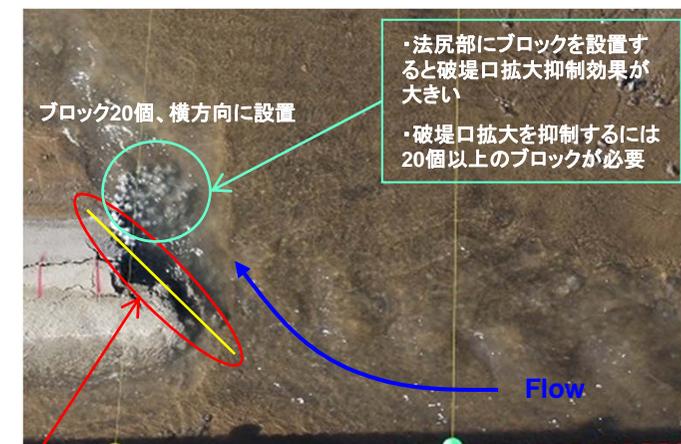
- ・ ブロックの設置方向は横設置の方がブロックが組み合わさることで流出しにくい。
- ・ 法尻部にブロックを設置すると破堤口拡大抑制効果が大きい。
- ・ 堤防の破壊形状が斜めになる前は破堤口拡大抑制効果は小さい。
- ・ 破堤口の水位が高いとブロックにかかる力が大きいので、ブロックが流出されやすい。
- ・ 破堤口拡大を抑制するには20個以上のブロックが必要。
- ・ ブロックの段数を2段にすると重なったブロックが破堤部を保護することは確認できたが、不確実性がある。



予備実験ケースE



破堤形状模式図



予備実験ケースB

堤防の破壊形状が斜めになると破堤抑制効果が大きい

2. 縮尺模型実験

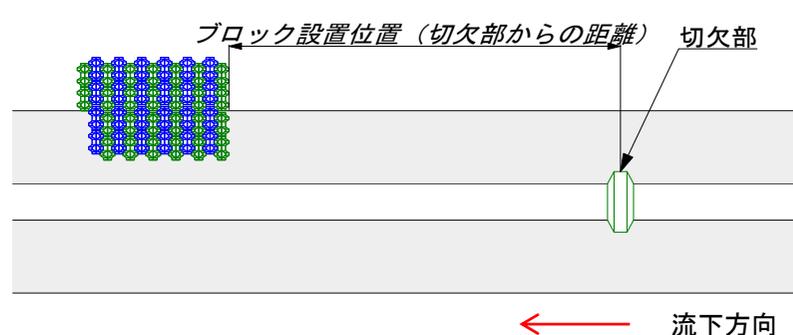
2.1.5 縮尺模型実験ケースと概要

予備実験の結果を踏まえて、ブロック設置位置を破堤口から30m、設置数を20個、段数を1段とし、法尻付近を保護する条件を基本として実験を実施。

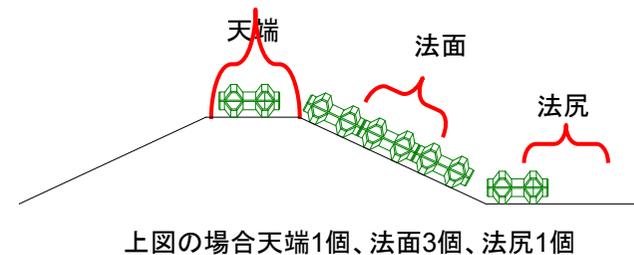
表5 実験ケース

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤口拡大	
								天端	法面	法尻	抑制効果	
縮尺模型実験	1	標準	30	層積・横	20	なし	1	5	0	3	1	×
	2	連結・配置	30	層積・横	20	あり	1	4-6	0	0+2	2+2	×
	3	位置・連結・配置	40	層積・横	20	あり	1	4	1	3	1	△
	4	個数・配置	30	層積・横	50	なし	1	10	1	3	1	△
	5	位置・個数・配置	40	層積・横	50	なし	1	12-13	0	2	2	○
	6	位置・個数・配置	40	層積・横	30	なし	1	10	0	2	1	△
	7	位置・個数・配置	35	層積・横	50	なし	1	16-17	0	2	1	○
	8	位置・個数・配置	45	層積・横	50	なし	1	16-17	0	2	1	○

※赤字は標準ケース1との変更箇所



平面図



断面図

2. 縮尺模型実験

2.1.6 模型実験形状

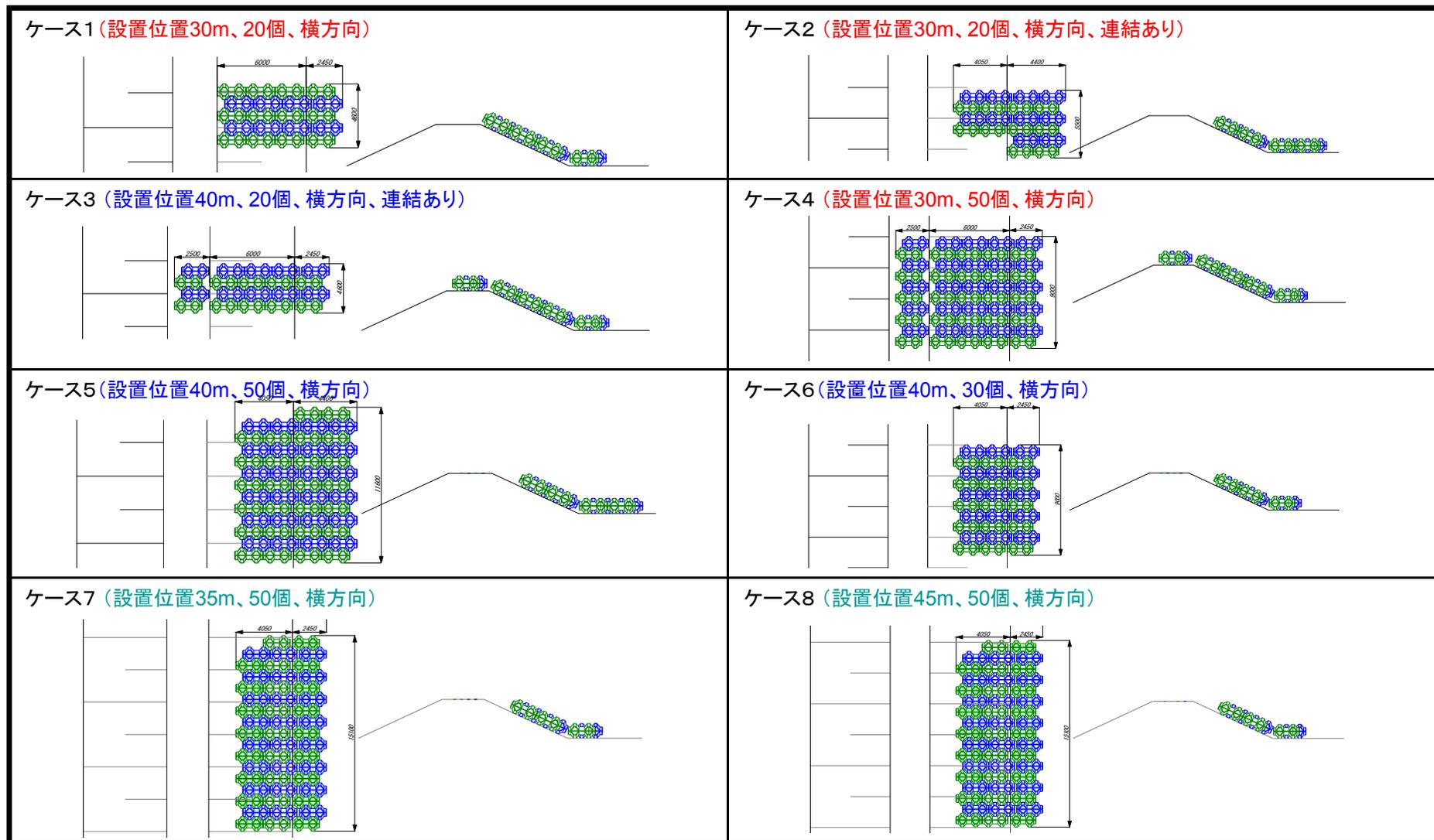
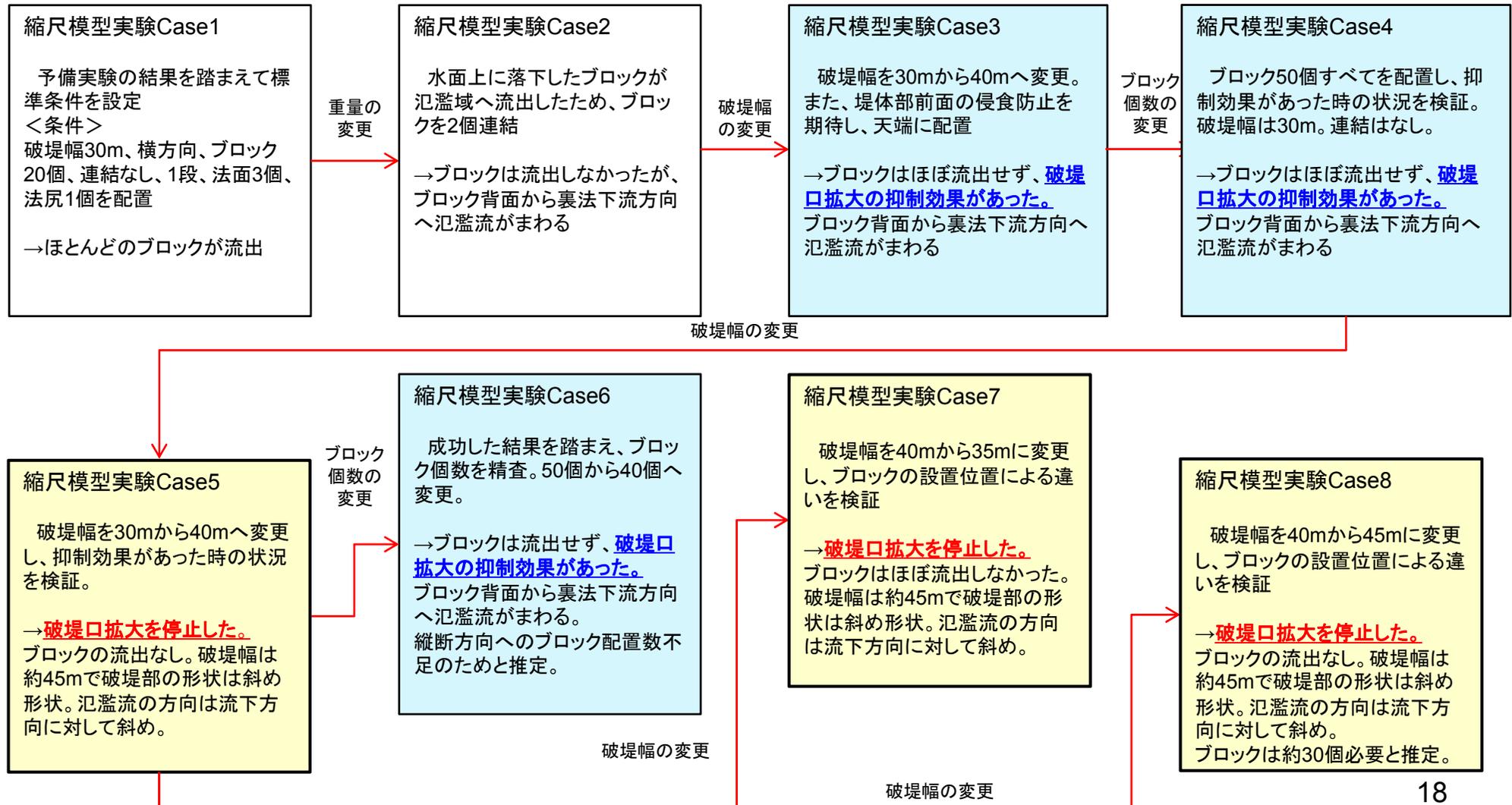


図11 各実験ケースのブロック配置形状

2. 縮尺模型実験

2.1.7 実験検討の流れと結果

実験は下記の流れより破堤抑制効果の高い条件を絞って検討を進めた。



2. 縮尺模型実験

2.1.8 破堤口拡大を抑制する効果の高い条件の整理

縮尺模型実験（予備実験を含む）を踏まえて、破堤口の拡大抑制効果の高い条件を以下に整理する。
（実験結果の詳細は「2. 縮尺模型実験結果参考資料」参照）

表6 破堤口拡大を抑制する効果の高い条件の整理

着目点	効果が高い	効果が低い
破堤口からのブロック 設置位置	遠い （破堤部形状が斜めになりやすい）	近い （破堤部形状が垂直のまま）
破堤口の堤体形状	堤防に対して斜め	堤防に対して垂直
破堤口の水位	低い	高い
ブロックの配置	裏法尻付近に縦断方向に設置 （ブロックがゆっくり沈下、水位堰上げ効果大）	横断方向に配置 （裏法尻下流方向へ氾濫流が回りやすい）
ブロックの数量	多い	少ない
ブロックの重量	重い、連結あり （ブロックが転流し難い）	軽い、連結なし （ブロックが転流されやすい）

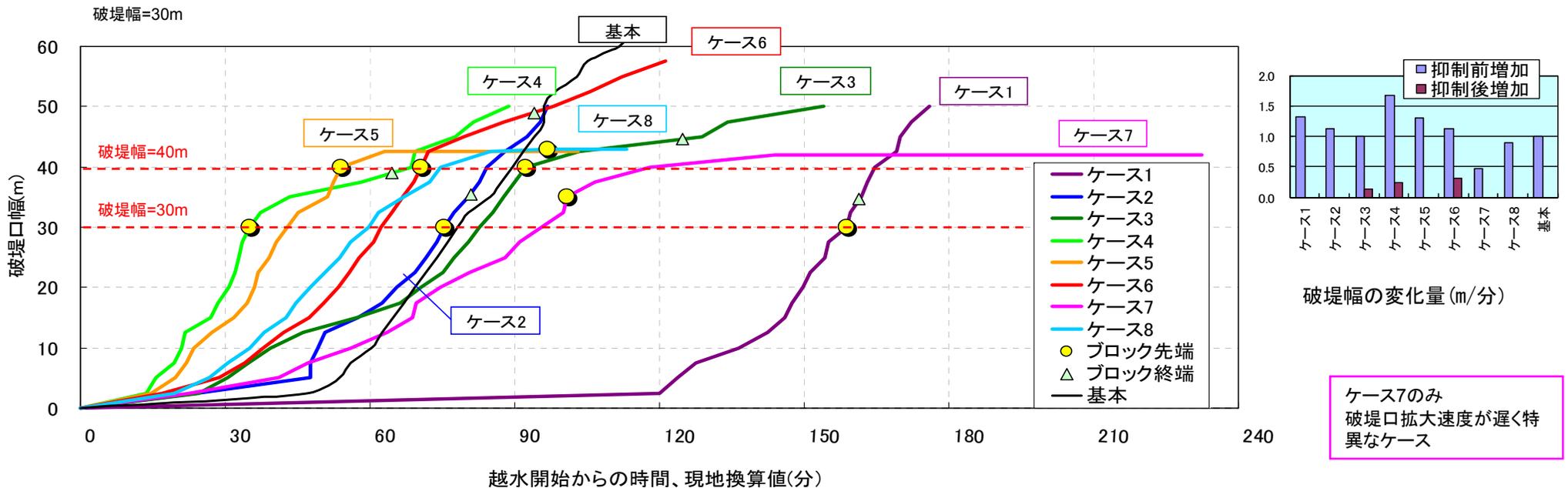
2. 縮尺模型実験

2.2 縮尺模型実験結果の考察

2.2.1 破堤口拡大速度

越水開始からの経過時間と破堤口拡大速度の関係を整理した。

- ・ ケース1と2を除いて、破堤口がブロック先端部に達すると、破堤口拡大速度は低下し、破堤が抑制されていることを確認した。
- ・ ケース5と7と8は破堤口の拡大を停止でき、特にケース5と8はブロック設置位置から2~3mで停止し、抑制効果が高かった。
- ・ ケース3と4と6は破堤口の拡大を停止できなかったが、破堤口拡大速度が低下し、特にケース3の抑制効果は大きい



※基本ケースは、ブロックを設置していない越水破堤実験の縮尺模型実験C1-3の結果を適用

図12 破堤口拡大速度の時間変化

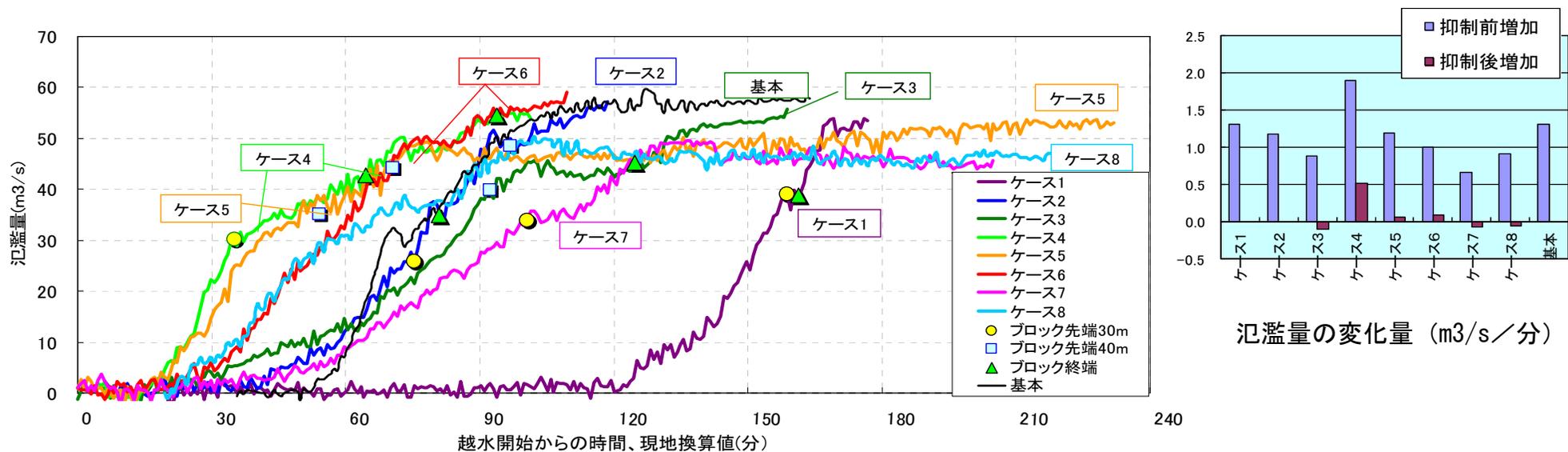
2. 縮尺模型実験

2.2 縮尺模型実験結果の考察

2.2.2 氾濫量

越水開始からの経過時間と氾濫量の関係を整理した。

- ・ 破堤口の拡大を停止したケース5、7、8での最大氾濫量は50m³/s程度で一定となった。
- ・ ケース3、4、6では破堤口幅の拡大は停止できなかったが、氾濫量の増加が抑制されている。
- ・ ケース5、7は、破堤口がブロック始端に達しても、氾濫量の増加はすぐには停止せず、しばらく増加した。それに対しケース8は、ブロック始端に達してすぐに氾濫量の増加は停止した。
- ・ ケース3は越水開始後95分～130分の間、一時氾濫量を抑制し、ブロック通過後に氾濫量が増加している。



※基本ケースは、ブロックを設置していない越水破堤実験の縮尺模型実験C1-3の結果を適用

図13 氾濫量の時間変化

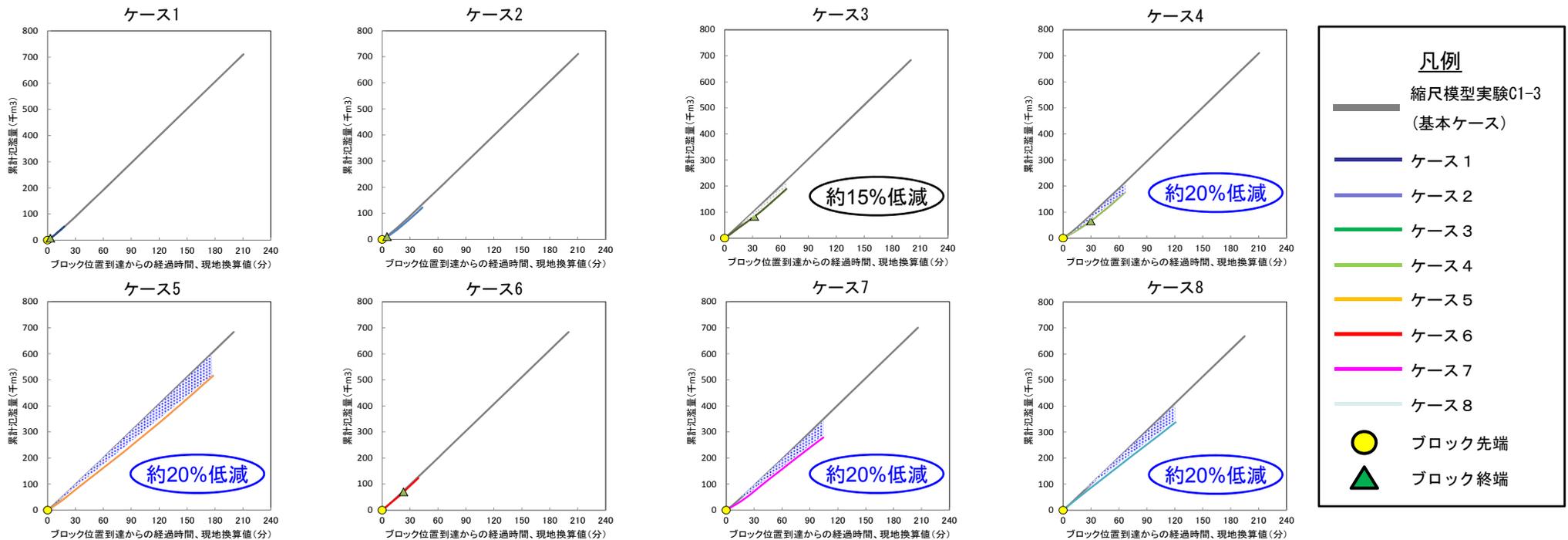
2. 縮尺模型実験

2.2 模型実験結果の考察

2.2.3 累計氾濫量

ブロック設置位置到達からの経過時間と累積氾濫量を整理した。

- ・ 破堤の進行を抑制したケース3の累積氾濫量の低下率は約15%、ケース4は約20%。
- ・ 破堤の進行を停止したケース5、7、8の累積氾濫量の低下率は約20%。
- ・ 破堤幅の拡大を抑制することにより、累積氾濫量の低減効果があった。



※基本ケースは、ブロックを設置していない越水破堤実験の縮尺模型実験C1-3の結果を適用

図14 累積氾濫量の時間変化

2. 縮尺模型実験

2.2 模型実験結果の考察

2.2.4 破堤口の堤体形状(1)

破堤口の破壊角度は、以下のように変化する。

- ①越水開始時：堤防に直角
- ②破堤口幅数 m ：上流側に傾き
- ③破堤口幅10~30m：ほぼ堤防に直角
- ④破堤口幅30m以上：下流側に傾き、徐々に傾斜角は鋭角に

破堤口の先端形状によりブロックによる破堤抑制効果が発揮できるかどうかの判断基準となりうる

ケース3と5と7と8が比較的破堤口先端形状が斜めになっている。ケース5, 7, 8は破堤口拡大を停止できた。またケース3は破堤口幅や氾濫量の増加がより小さくなっていることが確認できる。

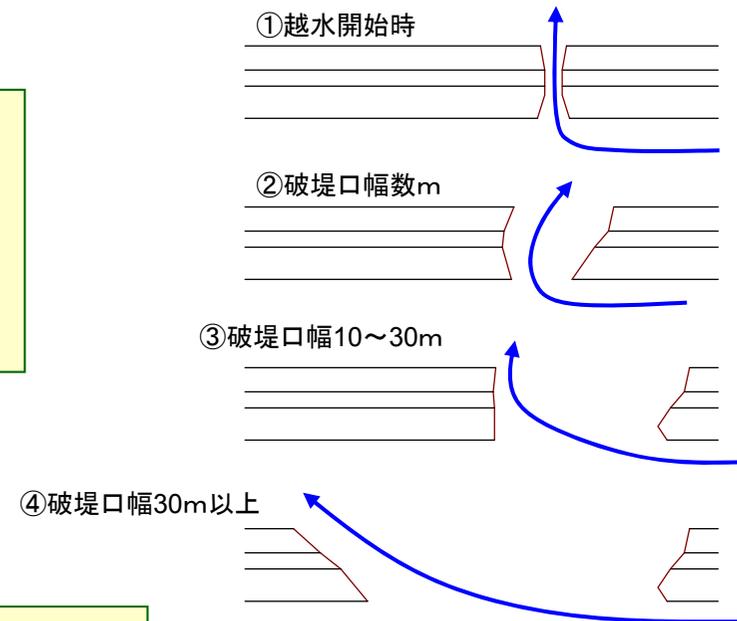


図 15 破堤口形状模式図

ケース1 (30m) ケース2 (30m) ケース3 (40m) ケース4 (30m) ケース5 (40m) ケース6 (40m) ケース7 (35m) ケース8 (45m)



図16 各ケースのブロック先端に達した時の破堤口形状

2. 縮尺模型実験

2.2 模型実験結果の考察

2.2.4 破堤口の堤体形状(2)

破堤幅と破堤口の角度について、水理量との関係を整理した。

破堤口の角度は、ビデオ画像からの読み取り結果に加えて、現地実験は加速度センサーの流出結果も用いた。

- ・破堤幅が広がるとともに破堤口の角度と氾濫量は大きくなる。
- ・Case1では破堤幅30m以上、Case4では破堤幅10m以上から破堤口の破壊角度が氾濫域下流側に向かって徐々に大きくなる。
- ・破堤口の角度が大きくなるとともに、河道水位は低下し破堤口近傍の無次元掃流力 τ_* は小さくなる。

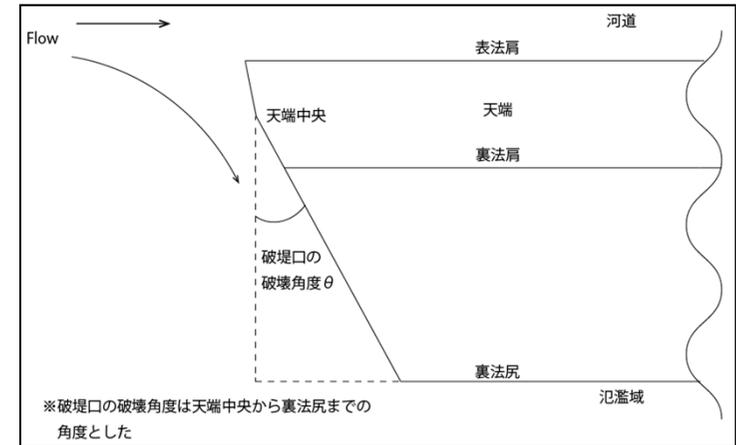


図 17 破堤口の破壊角度の定義

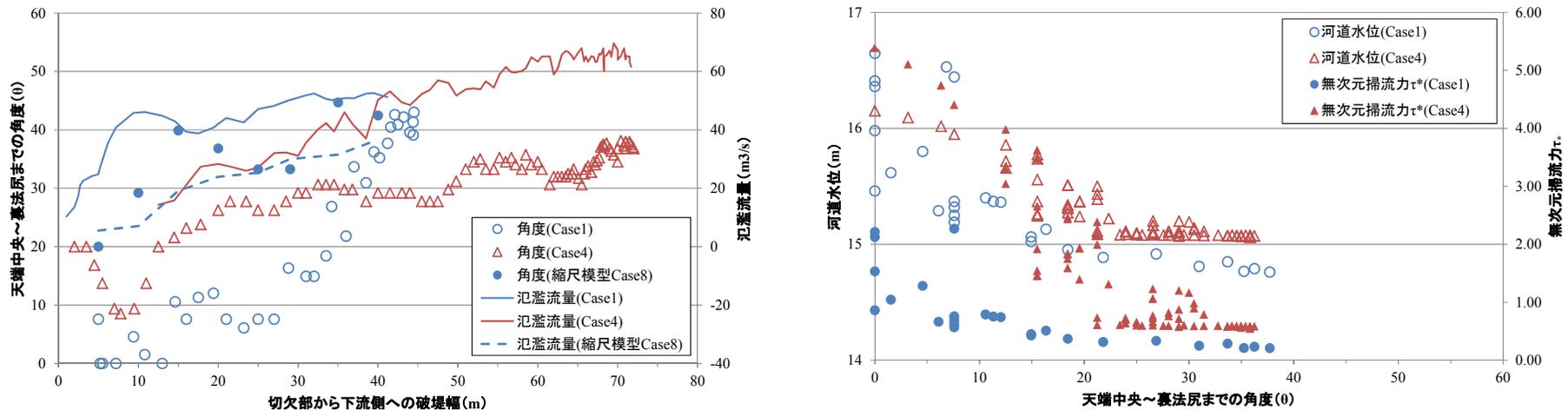


図 18 破堤口の破壊角度と水理量の関係

- ・現地実験は詳細に水理量を計測しているため、河道水位と無次元掃流力 τ_* を整理した。
- ・河道水位は、切欠部から50m下流までの平均水位。
- ・無次元掃流力 $\tau_*(=u_*^2/\sqrt{sgd})$ は河道と氾濫域の平均水位を用いて推定。また、水深は初期河床高と水位の差より算出。勾配は河道と氾濫域の水位より算出した水面勾配を用いた。(Case1・4の河道水位は切欠部から50m下流、氾濫域水位は約60m下流までの平均値)
- ・Case1は氾濫流量が安定する前に実験を終了している。

2. 縮尺模型実験

2.2 模型実験結果の考察

2.2.5 破堤抑制メカニズム

- ・ブロックによる堰上げが裏法尻で発生すると、水面勾配が緩くなることが観察された。
- ・ブロックの堰上げにより、水深が増大し、流速が低下することにより、水理量が低下し、ブロックを流出させる掃流力が小さくなると推定。

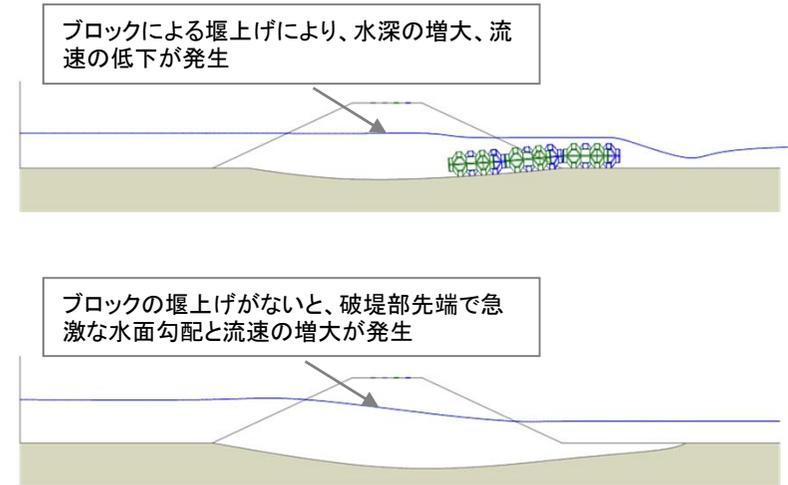


表7 破堤口先端部の摩擦速度（参考）

	ブロック設置位置(m)	水位※1 EL(m)	平均速度 U(m/s)	推定水深※2 H(m)	摩擦速度 U*(m/s)	無次元掃流力 τ^*	破堤口拡大抑制効果
本実験case1	30m	15.37	4.78	2.2	0.302	0.3131	×
本実験case2	30m	15.37	4.29	2.2	0.271	0.2515	×
本実験case3	40m	15.11	4.59	2.2	0.290	0.2888	△
本実験case4	30m	15.60	4.79	2.2	0.303	0.3144	△
本実験case5	40m	15.08	4.38	2.2	0.276	0.2626	○
本実験case6	40m	15.36	4.29	2.2	0.271	0.2520	△
本実験case7	35m	15.44	4.38	2.2	0.277	0.2627	○
本実験case8	45m	15.27	4.58	2.2	0.289	0.2873	○
平均			4.52	2.2	0.285	0.2804	

※1 水位は、参考値としてブロック設置位置に到達した時刻の河道水位（切欠部から約50m下流の水位）

※2 平均水深は、模型実験で破堤部周辺を簡易計測した全ケースの平均値とした



例) 本実験Case5の場合の表面流速PTV計測箇所

河川砂防技術基準調査編P134

$$\text{流速係数 } \psi = U / U^* = R^{1/6} / (\sqrt{g \cdot n})$$

U: 平均流速 m/s

U*: 摩擦速度

R: 径深 = H: 水深

n: 粗度係数

$$\text{摩擦速度 } U^* = (\sqrt{g \cdot n \cdot U}) / H^{1/6}$$

$$\text{無次元掃流力 } \tau^* = U^2 / (s \cdot g \cdot d)$$

s: 水中比重 = 1.65

g: 重力加速度 9.8 m/s²

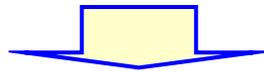
d: 平均粒径 (m)

3. 平成25年度 破堤抑制工実験条件の提案

H25実験ケースの提案

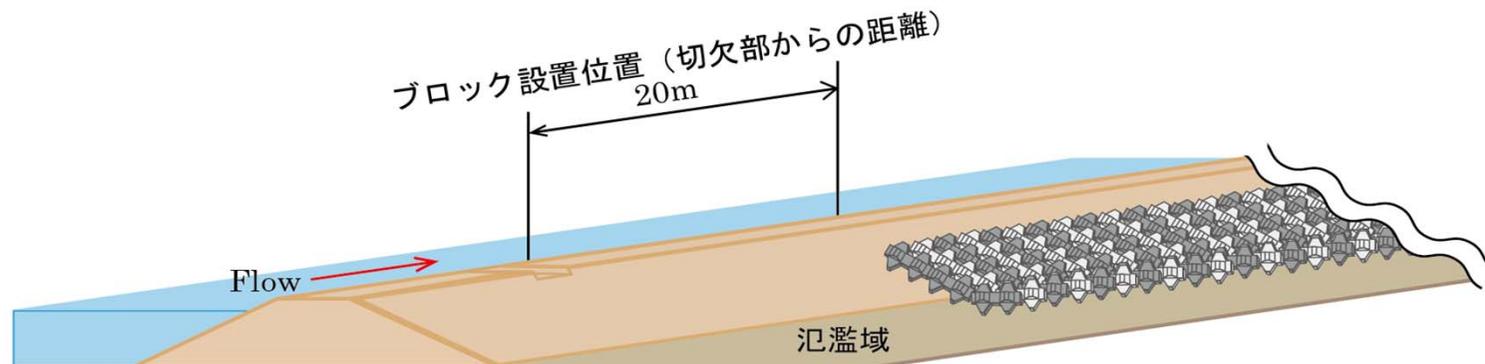
H25実験ケースの計画

実スケールでの破堤抑制工の現象把握を目的に、縮尺模型実験結果の傾向を踏まえ、千代田実験水路における現地実験を計画する。



H25実験ケース条件設定

- ・ 破堤拡幅開始段階からのブロックの挙動を把握するとともに、ブロックと水理量の関係からブロックの安定性や破堤口の抑制効果を検証できるものとする。
- ・ ブロックの設置方法は、様々な破堤幅や水理状況に応じたブロックの挙動や破堤抑制効果を計測できるようにするため、破堤位置からの幅20mより法尻付近に縦断方向に長く設置する。
- ・ 破堤口の拡大が停止する状況までを確実に捉えることの出来るよう、縦断方向に長い区間に設置する。



4. 現地実験観測計画

4.1 観測計画方針

H25年度実験における観測計画方針を以下に示す。詳細な観測項目と観測位置図は別途資料に示す。

表8 H25現地実験の観測計画方針

項目	目的
着目点	破堤口拡大に伴う、先端部に落下したブロックの挙動およびその要因分析。 水理量（流速や水深など）が破堤の進行抑制に与える要因の分析。
基本方針	H22～H23年度の越水破堤実験時の観測項目を踏襲。 ただし、破堤口先端部に観測項目を集中もしくは追加。
水位・水深	ブロックが移動するかの判断基準として、破堤口先端のブロック設置周辺の摩擦速度、無次元掃流力等の算出のために、水面形・水深を観測する。
流速	ブロックが移動するかの判断基準として、破堤口先端のブロック設置周辺の摩擦速度、無次元掃流力等の算出のために、流速を観測する。
ブロック挙動	ブロックの挙動を把握するため、ブロックの転倒時刻・移動経路等を把握。
破堤状況	破堤口拡大抑制効果を検証するため、ブロックによる破堤速度の停止もしくは減速状況を把握 堤体の破壊状況が、ブロックの有無により変化しているか把握。

4. 現地実験観測計画

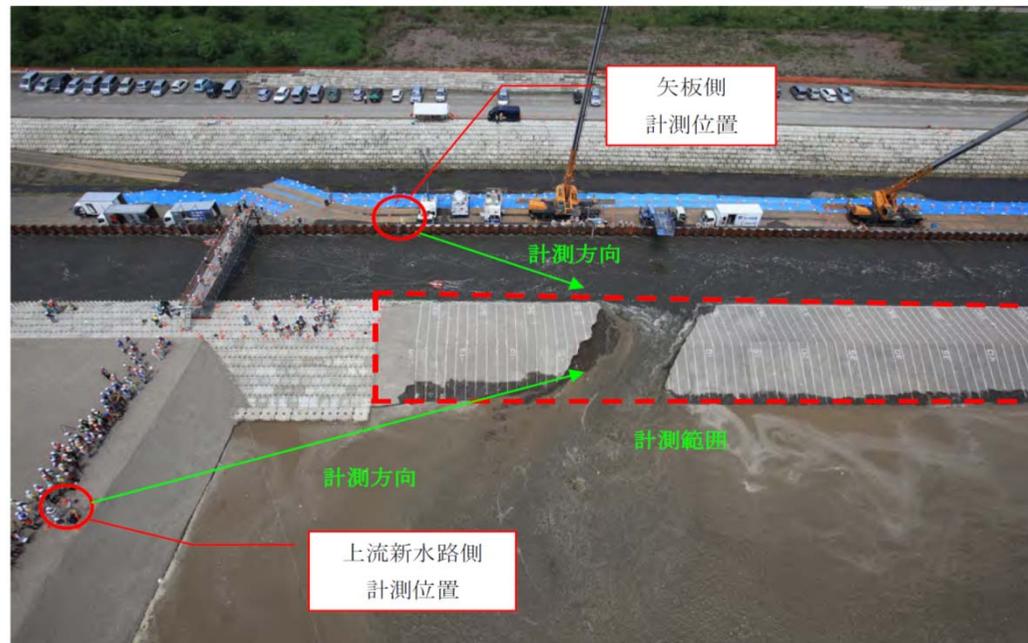
4.2 新規導入検討する観測方式

4.2.1 レーザースキャナーによるブロックの挙動の把握

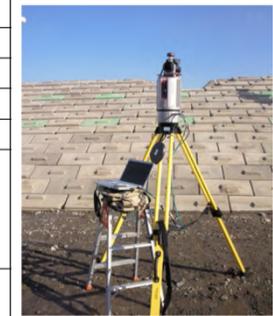
レーザースキャナーについて

- ・ レーザーを照射して、物体を3次的に計測・図化するシステム。

鋼矢板と氾濫域上流盛土より計測し、ブロックの挙動を把握する予定



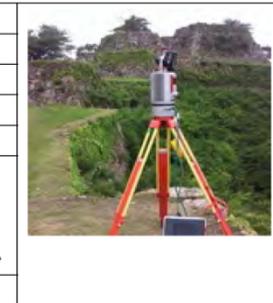
型式	LMS-Z620 (RIEGL 社)
測定範囲 (反射率 $\rho \geq 80\%$)	2~2,000m
測定精度	±10mm
繰返し精度	単発±10mm、平均化±5mm
スキャニング範囲	80° × 360°
測定レート・計測時間と点数	1,1000 点/秒 (ミラ動揺時) 8,000 点/秒 (ミラ回転時) 水平方向: 1~20scan/sec 垂直方向: 0.01~15° /scan
使用レーザー	近赤外パルスレーザー class1



型式	LMS-Z420i (RIEGL 社)
測定範囲 (反射率 $\rho \geq 80\%$)	2~1,000m
測定精度	±10mm
繰返し精度	単発±8mm、平均化±4mm
スキャニング範囲	80° × 360°
測定レート・計測時間と点数	1,1000 点/秒 (ミラ動揺時) 8,000 点/秒 (ミラ回転時) 水平方向: 1~20scan/sec 垂直方向: 0.01~15° /scan
使用レーザー	近赤外パルスレーザー class1



型式	VZ-400 (RIEGL 社)
測定範囲 (反射率 $\rho \geq 80\%$)	1.5~600m
測定精度	±5mm
繰返し精度	単発±3mm、平均化±3mm
スキャニング範囲	100° × 360°
測定レート・計測時間と点数	42,000 回/秒 (長距離モード) 122,000 回/秒 (高速モード) 水平方向: 0 度/秒 ~ 60 度/秒 垂直方向: 3LINE/秒 ~ 120LINE/秒
使用レーザー	近赤外パルスレーザー class1



4. 現地実験観測計画

4.2 新規導入検討する観測方式

4.2.2 加速度センサー埋設によるブロックの挙動の把握

堤防破壊状況の把握のために設置してきた加速度センサーを活用

- ・ ブロックに埋設して、ブロックの落下時期、回転や移動挙動を計測する。
- ・ 加速度センサー単体による挙動の把握は可能なことを簡易実験により確認している。

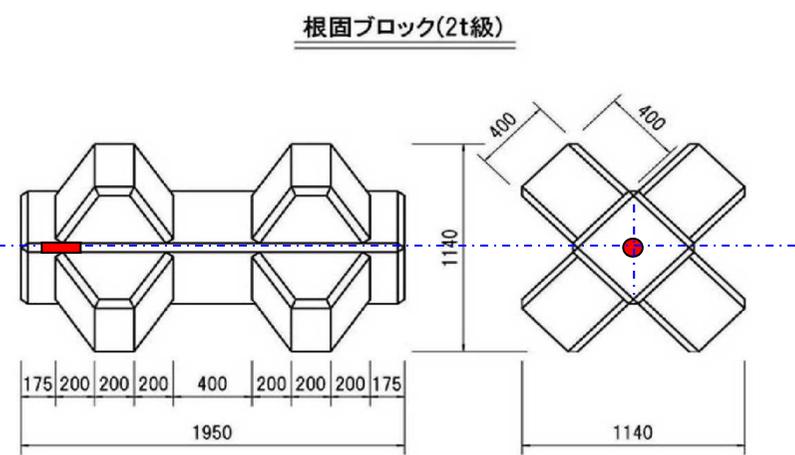
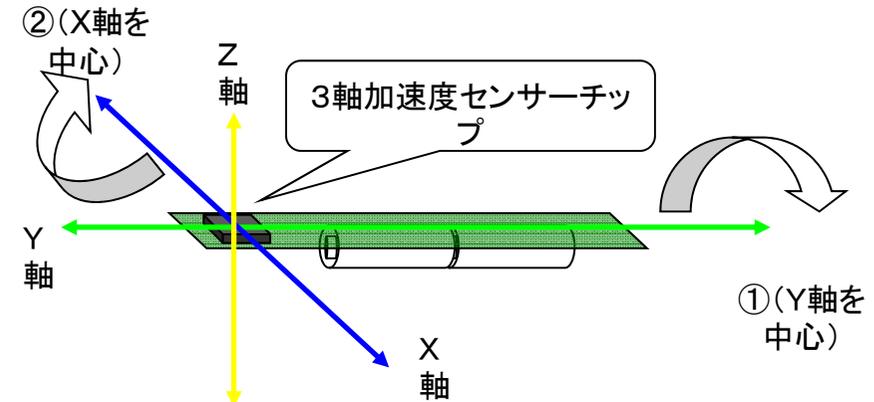
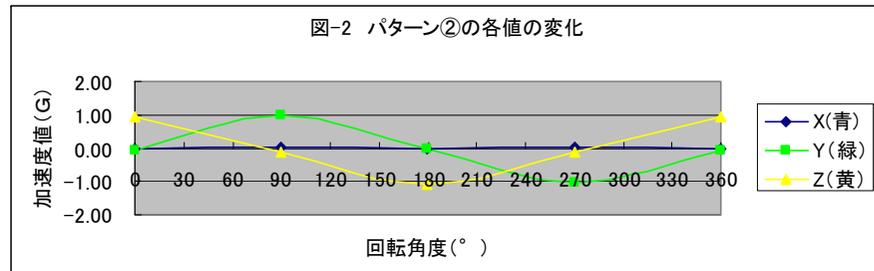
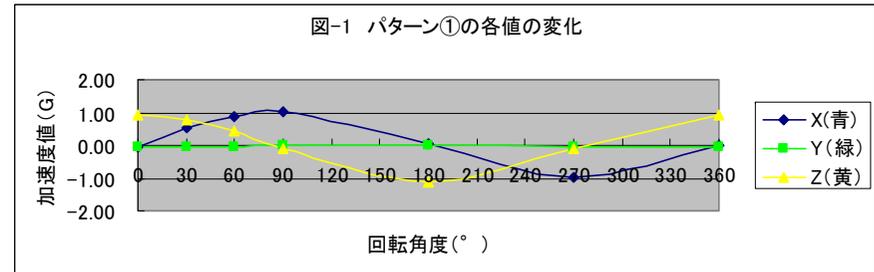


図14 加速度センサー埋設イメージ図



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.1 縮尺模型実験ケース1

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤拡幅 抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
1	標準	30	層積・横	20	なし	1	5	0	3	1	×	10/10

【概要】

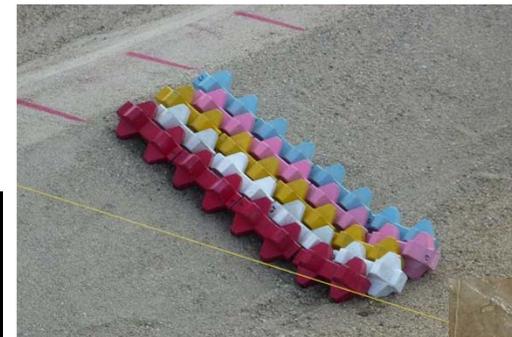
- 標準ケース。縮尺模型実験の予備実験を通じて得られた知見をもとにブロックの噛み合わせ、積み方は横方向とした

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	ほぼ堤防に直角に破堤 破堤幅40mに達すると斜めに変化
氾濫流方向	実験水路から流れに沿って破堤部に衝突し、70度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2~2.2m、ブロックによる堰上げはない
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.8m/s程度
ブロック流出状況	ブロックは侵食とともに氾濫域側に14個流出。

【結果】

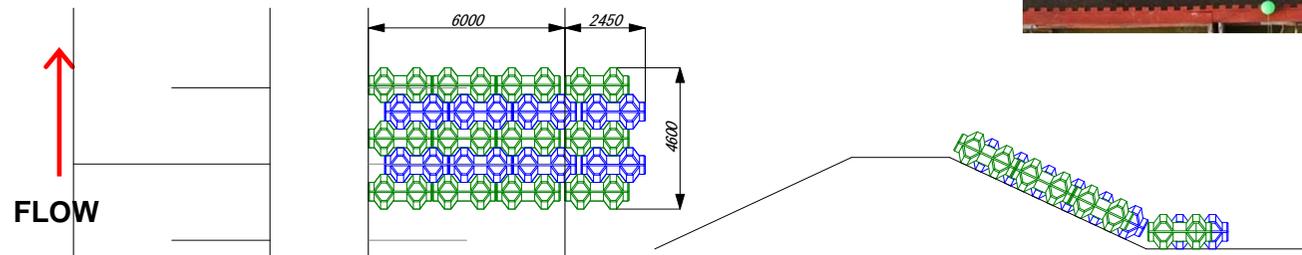
- ブロックは堤体の侵食とともに氾濫域側へ流出。特に水面上に落下したブロックは転倒を繰り返した。全20個のうち法尻付近の6個は残存



ブロック設置状況



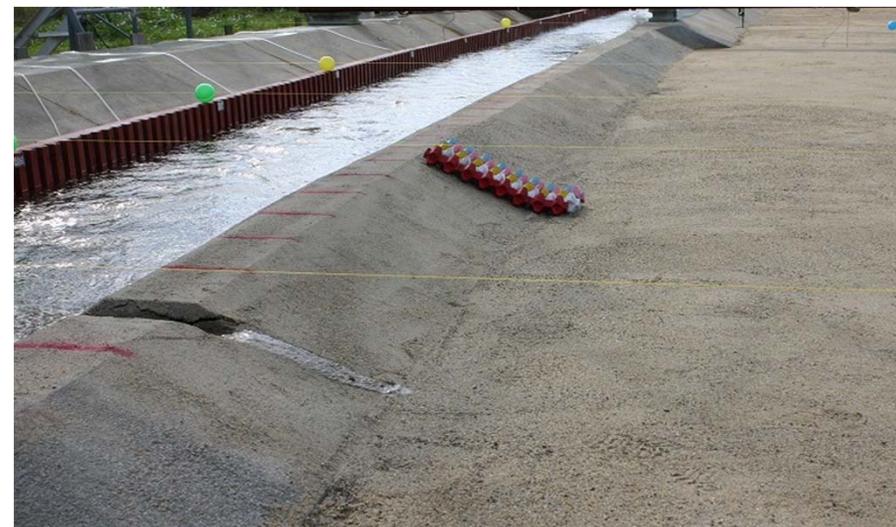
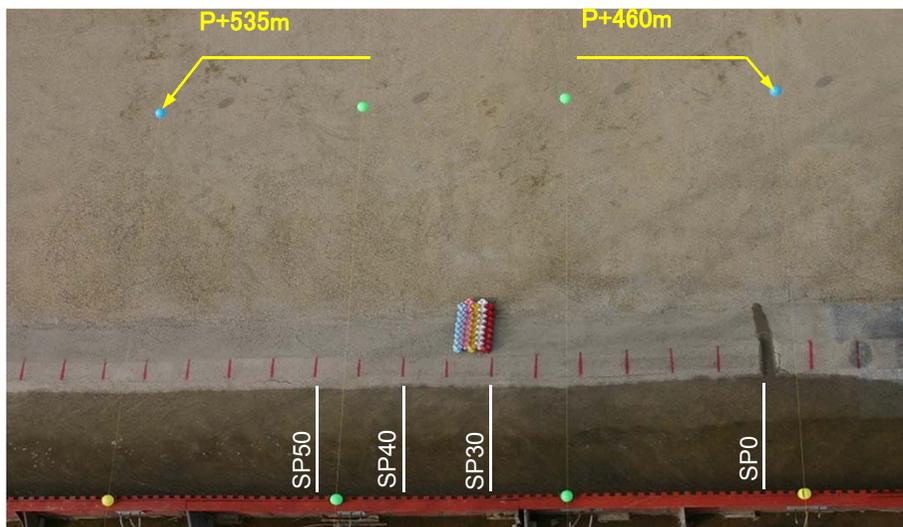
ブロック流出後の状況



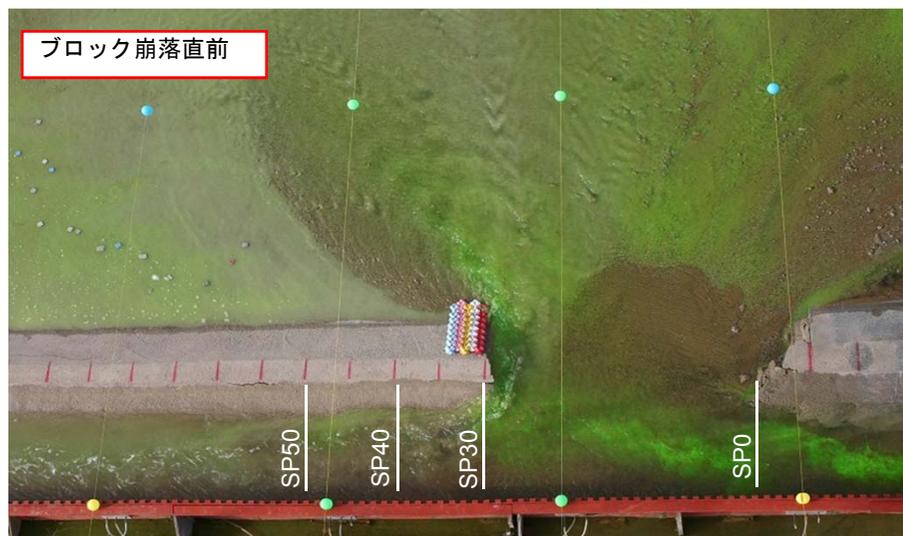
5. 縮尺模型実験結果 (巻末資料)

5.1 縮尺模型実験ケース1

越水開始 (t=0min)



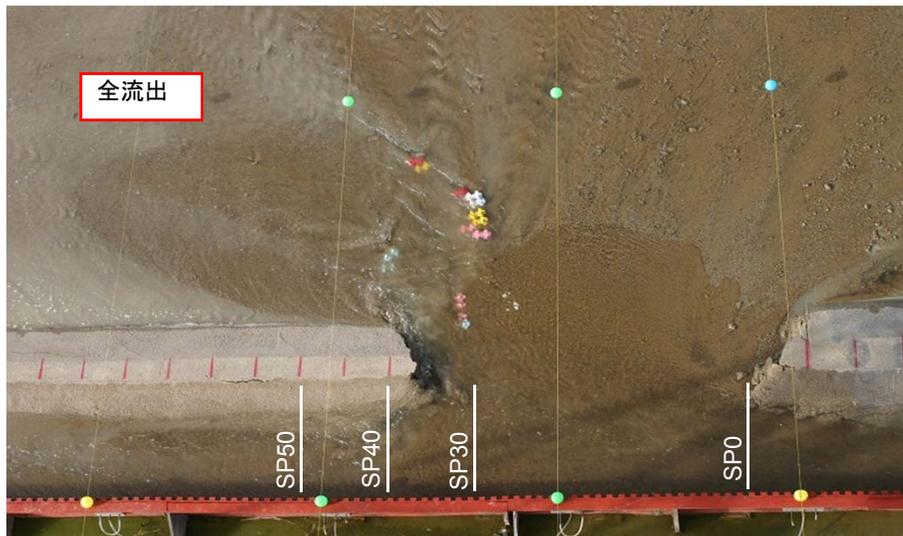
破堤幅 ≒ 32m (t=156.5min)



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.1 縮尺模型実験ケース1

破堤幅 \approx 37m (t=163.2min)



通水後



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.2 縮尺模型実験ケース2

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤拡幅抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
2	連結・配置	30	層積・横	20	あり	1	4+2	0	2+0	2+2	×	10/18

【概要】

- ・ケース1(標準ケース)でブロック単体では氾濫域側へ流出したことを踏まえ、2個連結(ヒモ縛り)とした。
- また、法面のブロックが流出する場合、氾濫域上流側へ流出したことから法尻にブロック2列の計4個を配置

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	ほぼ堤防に直角に破堤 破堤幅40mに達すると斜めに変化
氾濫流方向	実験水路から流れに沿って破堤部に衝突し、70度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2~2.2m、ブロックによる堰上げが発生
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.3m/s程度
ブロック流出状況	法面に設置したブロックが2個流出。



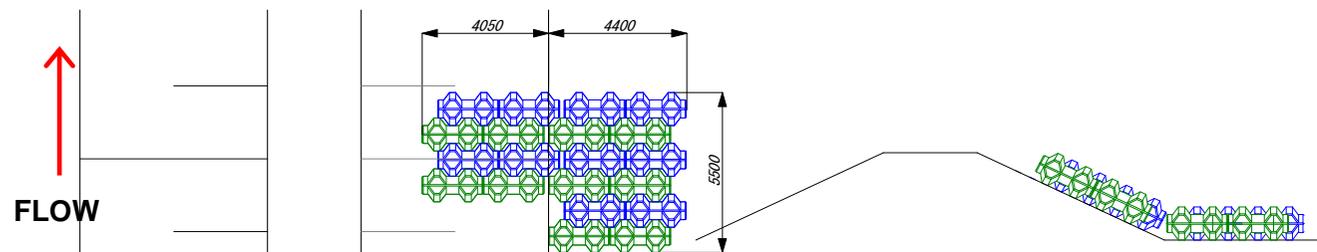
ブロック設置状況



ブロック通過後の状況

【結果】

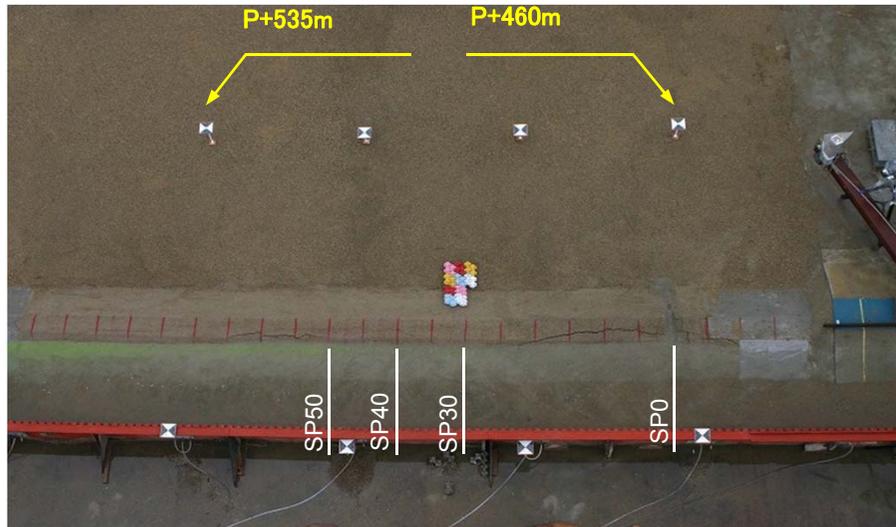
- ・ブロックの流出は法面に設置した2個のみ
- ・ブロックの背面から裏法下流方向へ水がまわり、破堤口の拡大は継続



5. 縮尺模型実験結果 (巻末資料)

5.2 縮尺模型実験ケース2

越水開始 (t=0min)



破堤幅 ≒ 32m (t=77.5min)

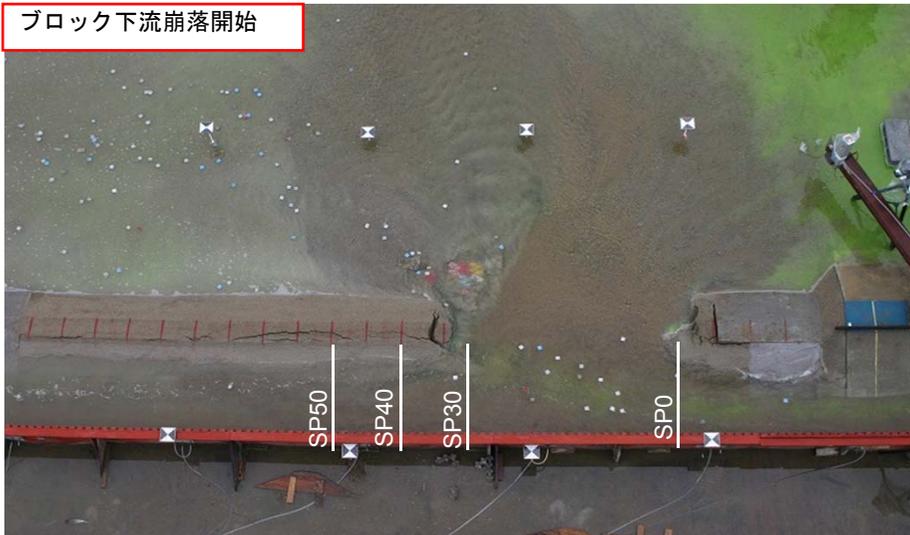


5. 縮尺模型実験結果 (巻末資料)

5.2 縮尺模型実験ケース2

破堤幅 \approx 34m (t=82.0min)

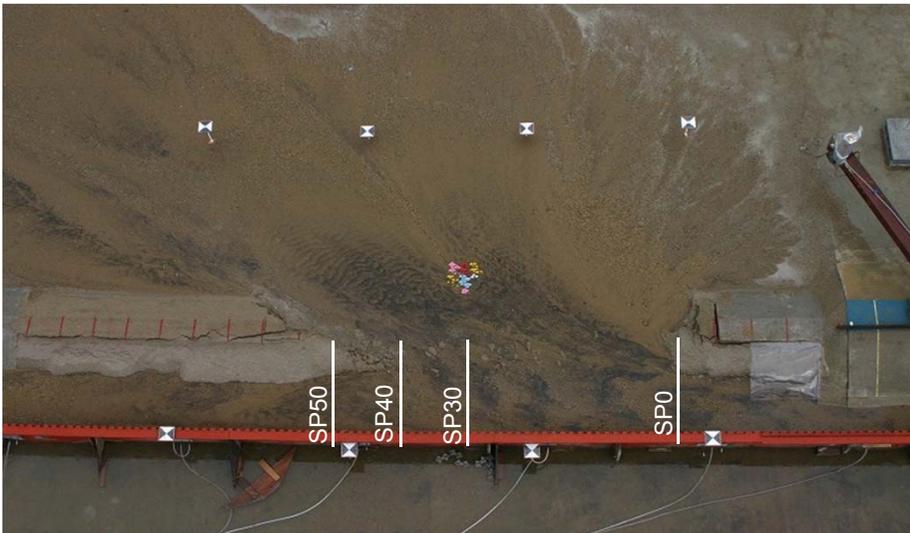
ブロック下流崩落開始



ブロック下流崩落開始



通水後



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.3 縮尺模型実験ケース3

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤拡幅抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
3	位置・連結・配置	40	層積・横	20	あり	1	4	1	3	1	△	10/30

【概要】

- 破堤幅30mの位置における流況ではブロックは流出しなかったが、破堤の拡幅が進行したことを踏まえ、破堤幅40mの位置にブロックを設置した。また、堤体の前面の侵食を防ぐことを目的に天端にブロックを配置

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	破堤幅40mに達すると斜め方向に破堤
氾濫流方向	実験水路から流れに沿って破堤部に衝突し、45度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2~2.2m、ブロックによる堰上げが発生
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.6m/s程度
ブロック流出状況	法面に設置したブロックが2個流出。

【結果】

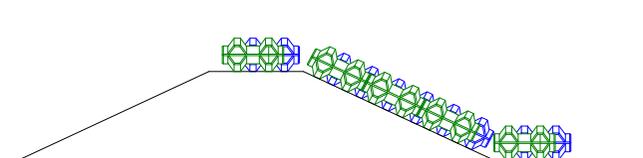
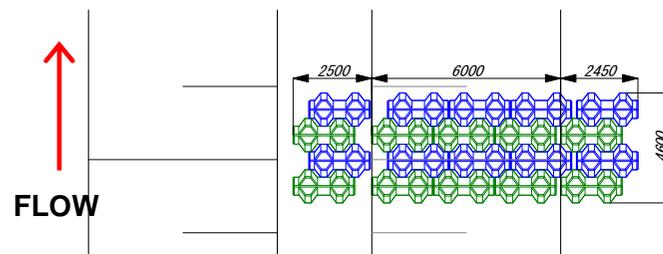
- ブロックの流出は法面に設置した2個のみ
- ブロックの背面から裏法下流方向へ水がまわり、破堤口の拡大は継続



ブロック設置状況



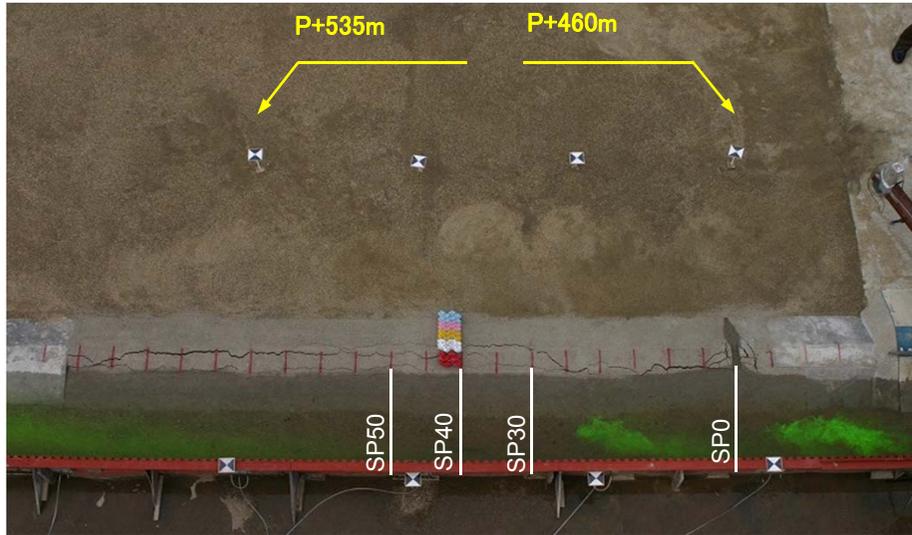
ブロック通過後の状況



5. 縮尺模型実験結果 (巻末資料)

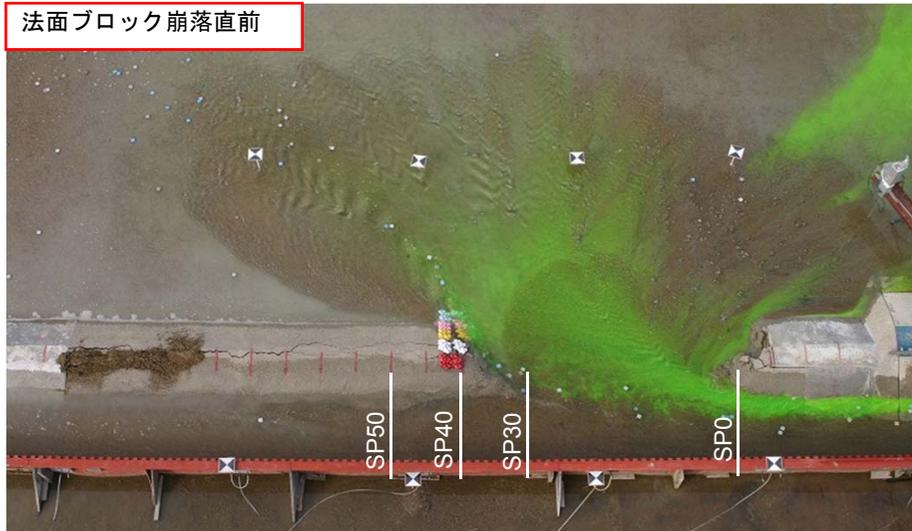
5.3 縮尺模型実験ケース3

越水開始 (t=0min)



破堤幅 ≒ 40m (t=90.2min)

法面ブロック崩落直前



法面ブロック崩落直前



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

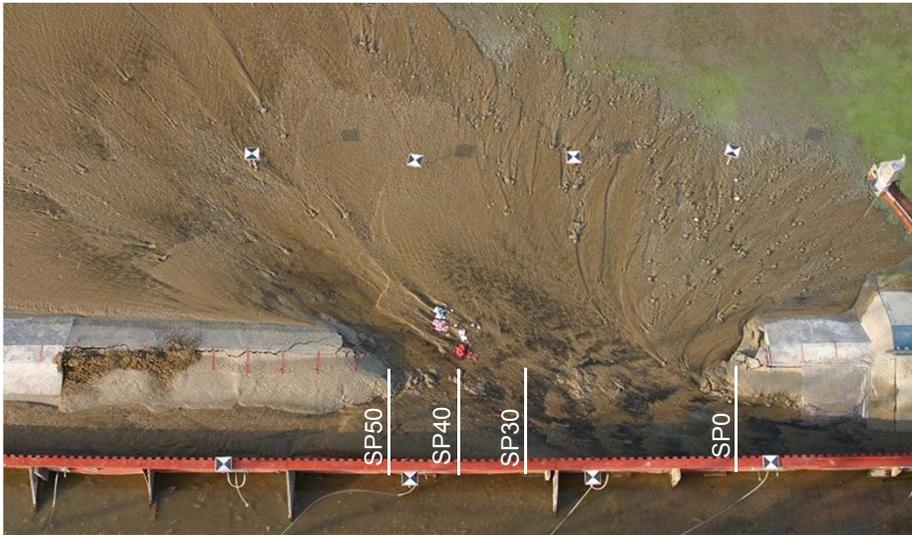
5.3 縮尺模型実験ケース3

破堤幅 \approx 45m (t=102.9min)

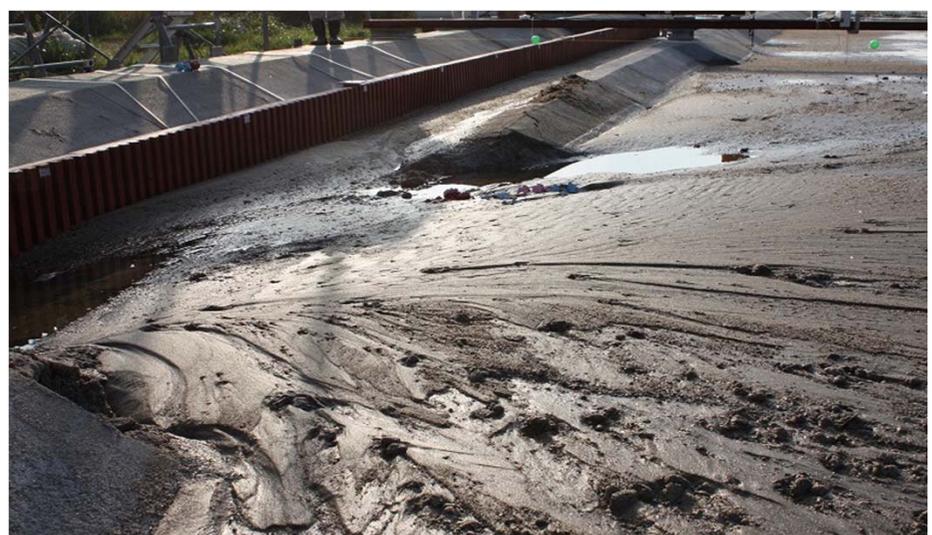
全ブロック崩落し、沈降



通水後



全ブロック崩落し、沈降



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.4 縮尺模型実験ケース4

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤幅抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
4	個数・配置	30	層積・横	50	なし	1	10	1	3	1	△	10/31

【概要】

- 破堤幅30mの位置にブロックを下流方向へ可能なだけ並べ、破堤の拡大を抑制したときの状況観察を目的

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	破堤幅30mに達した時は堤防に直角だが、35m地点に達するとハの字に、また40m地点で斜め方向に変化
氾濫流方向	破堤幅30m付近では、70度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2~2.2m、ブロックによる堰上げが発生
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.8m/s程度
ブロック流出状況	法面に設置したブロックが3個流出。



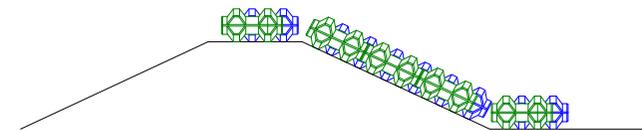
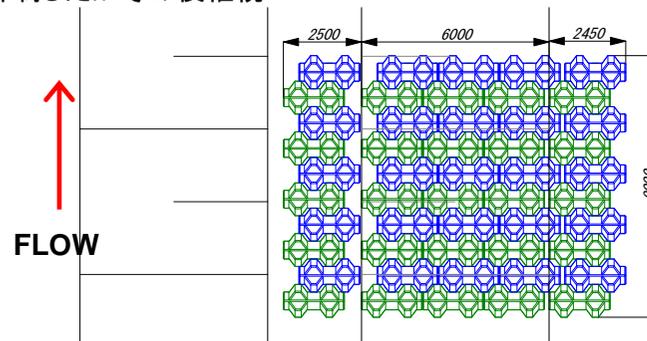
ブロック設置状況



ブロック通過後の状況

【結果】

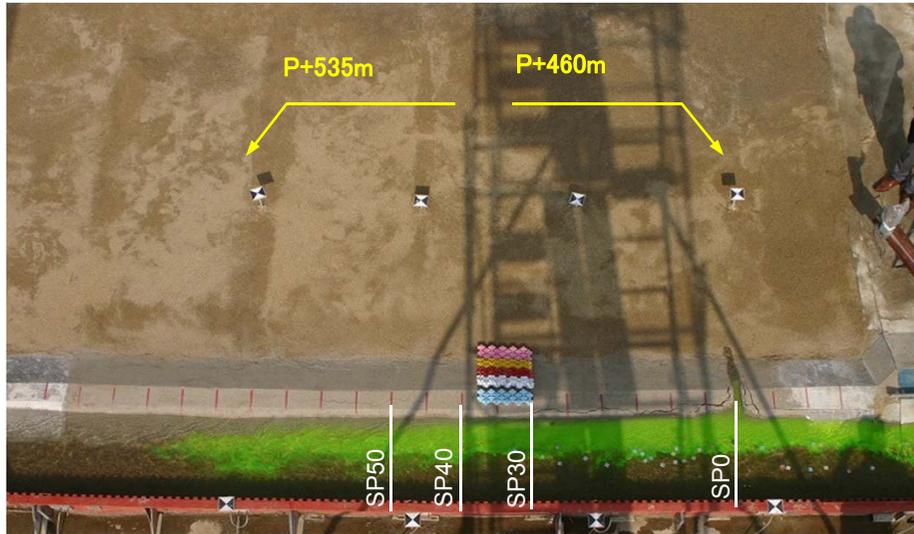
- ブロックの流出は法面に設置した3個のみ。
- ブロックの背面から裏法下流方向へ水がまわり、破堤口の拡大は30分程度抑制したがその後継続



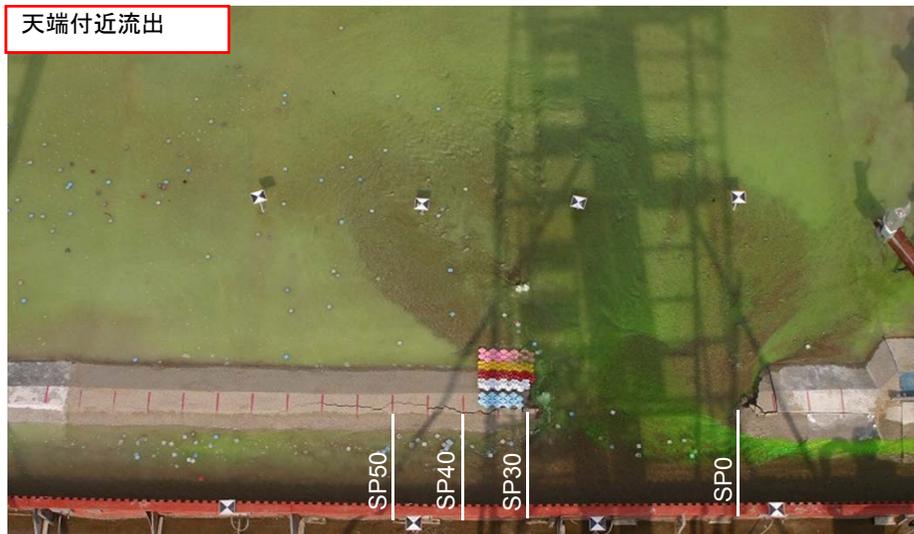
5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.4 縮尺模型実験ケース4

越水開始 (t=0min)



破堤幅 \approx 32m (t=35.1min)



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.4 縮尺模型実験ケース4

破堤幅≒40m (t=64.9min)

破堤進行し、全ブロック沈降



通水後



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.5 縮尺模型実験ケース5

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤幅抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
5	位置・個数・配置	40	層積・横	50	なし	1	10	0	3	2	○	11/9

【概要】

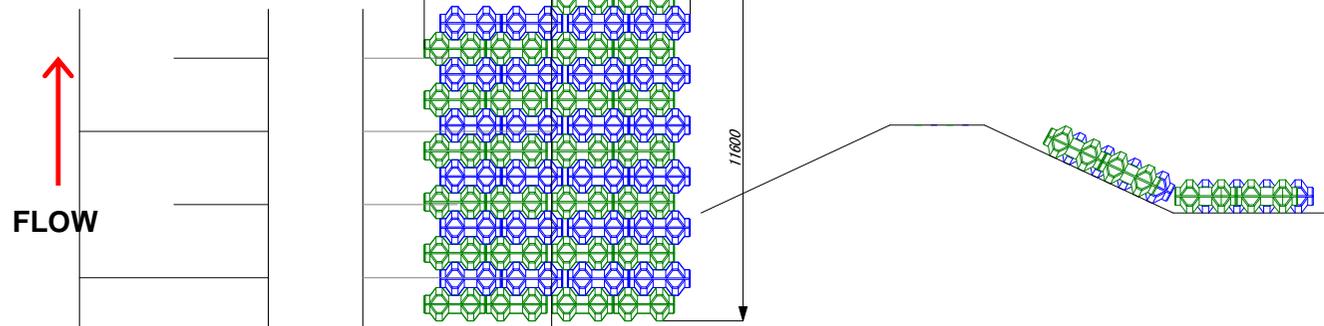
- ブロック個数を50個まで増やし、破堤の拡大を抑制したときの状況観察を目的

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	破堤幅40mに達した時は斜め方向に破堤
氾濫流方向	破堤幅30m付近では、50度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2~2.2m、ブロックによる堰上げが発生
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.4m/s程度
ブロック流出状況	ブロックは流出しなかった。設置した場所で沈降・水没したのみ。

【結果】

- ブロックの流出はない。
- ブロック5列目までは、ブロックが沈降・水没するが、破堤口拡大の進行を停止した



ブロック設置状況

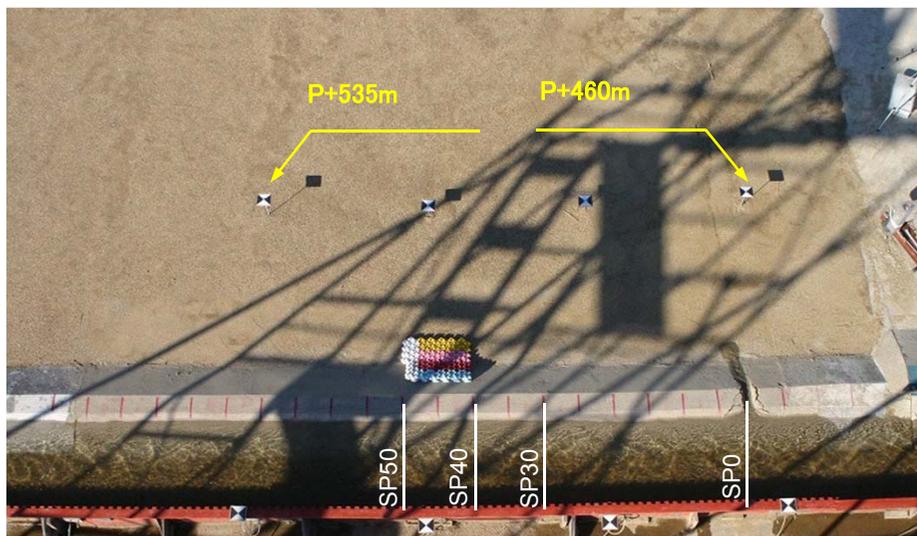


ブロックによる破堤口拡大抑制状況

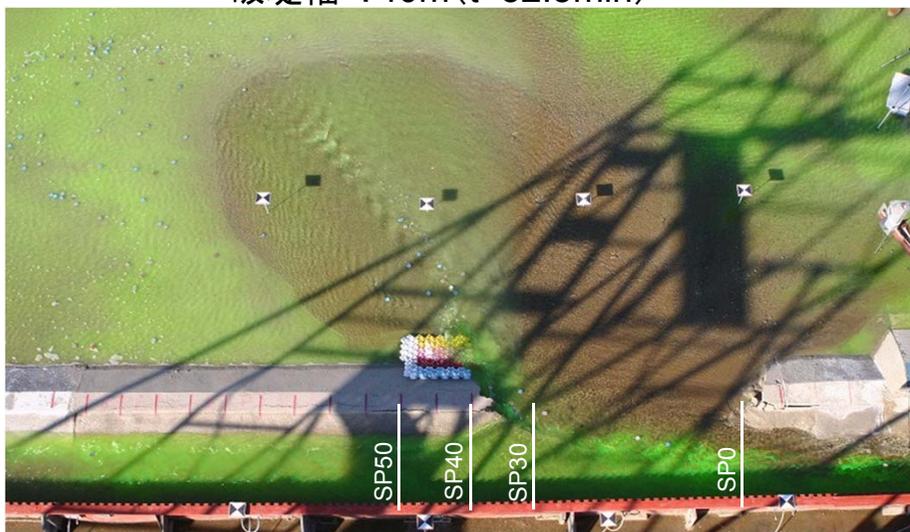
5. 縮尺模型実験結果 (巻末資料)

5.5 縮尺模型実験ケース5

越水開始(t=0min)



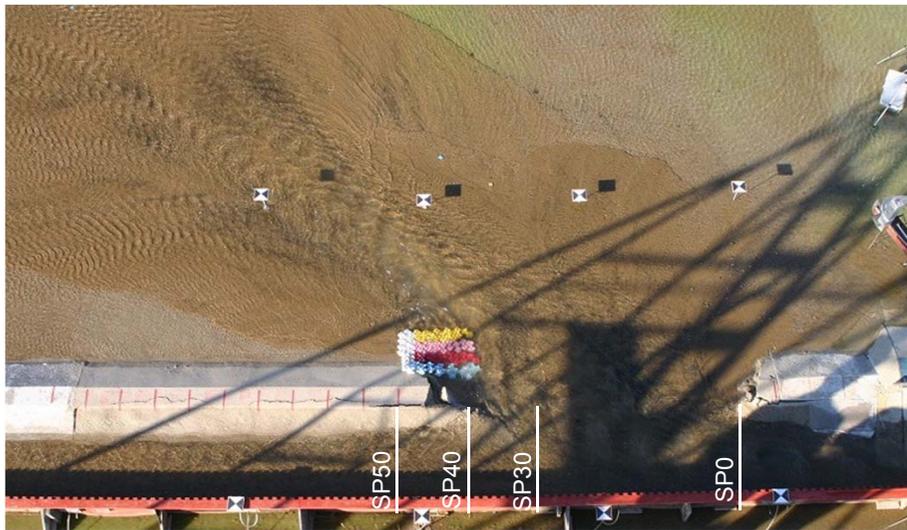
破堤幅≒40m(t=52.5min)



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.5 縮尺模型実験ケース5

破堤幅≒40m (t=196min、破堤口の拡大を停止してから30分以上)



通水後



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.6 縮尺模型実験ケース6

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤拡幅抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
6	位置・個数・配置	40	層積・横	30	なし	1	6	0	3	2	△	11/14

【概要】

- 破堤幅40mの位置にブロックを法面に2個、法尻に1個設置し、下流方向へ10列並べ、破堤の拡大を抑制したときの状況観察を目的とする。

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	破堤幅40mに達しても破堤部形状は堤防に直角（実験の再現性にバラツキがあると想定）
氾濫流方向	破堤幅30m付近では、70度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2~2.2m、ブロックによる堰上げが発生
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.3m/s程度
ブロック流出状況	ブロックは法尻上流端の1個のみ移動



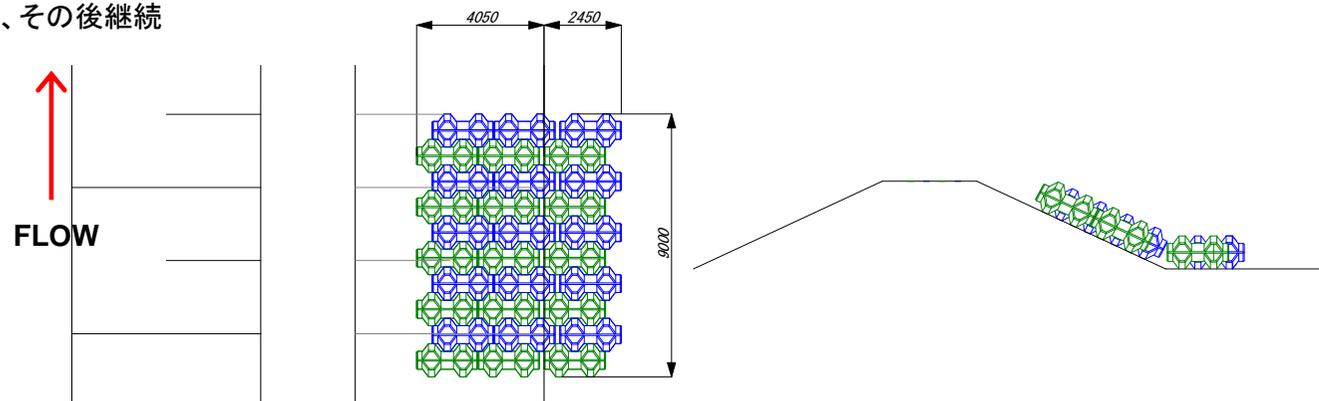
ブロック設置状況



ブロック通過後の状況

【結果】

- ブロックの移動は法尻上流端の1個のみ。
- ブロックの背面から裏法下流方向へ水がまわり、破堤口の拡大を30分程度抑制したが、その後継続

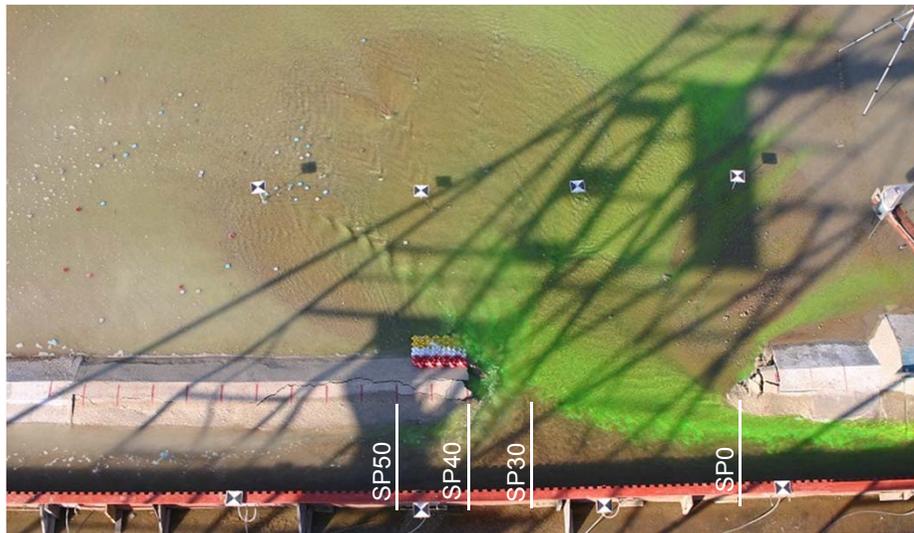


5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.6 縮尺模型実験ケース6 越水開始 (t=0min)



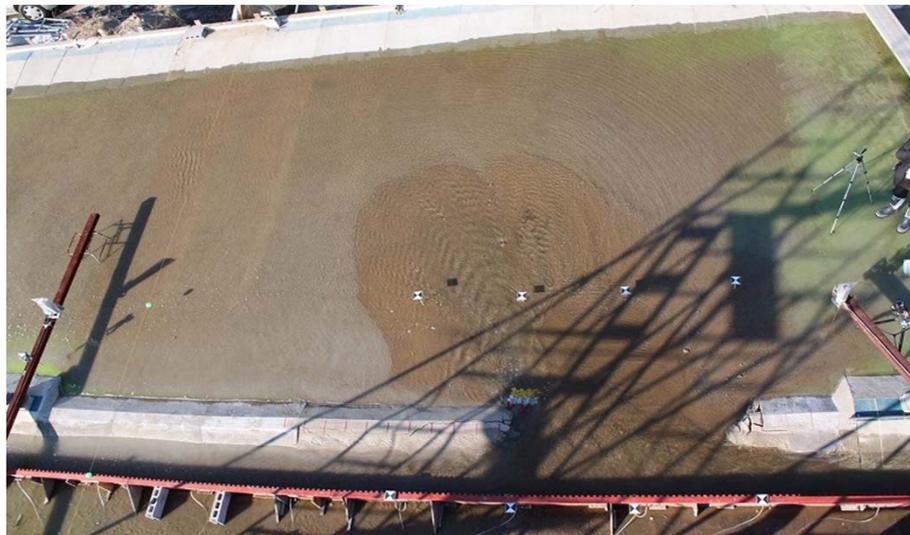
破堤幅 ≒ 40m (t=69min)



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.6 縮尺模型実験ケース6

破堤幅≒50m (t=90min)、ブロックを通り抜けた



通水後



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.7 縮尺模型実験ケース7

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤拡幅抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
7	位置・個数・配置	35	層積・横	50	なし	1	16-17	0	2	1	○	12/5

【概要】

- 破堤幅35mの位置にブロックを法面に2個、法尻に1個設置し、下流方向へ16～17列並べ、破堤の拡大を抑制したときの状況観察を目的とする。

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	約30度で斜めに破堤
氾濫流方向	実験水路からほぼ流れに沿って破堤部に衝突し、70度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2～2.2m、ブロックにより破堤部は堰上がった状況
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.4m/s程度
ブロック流出状況	3個のブロックが氾濫域へ転出、上流から4列目までは堤防の流出に伴い沈下、水没。



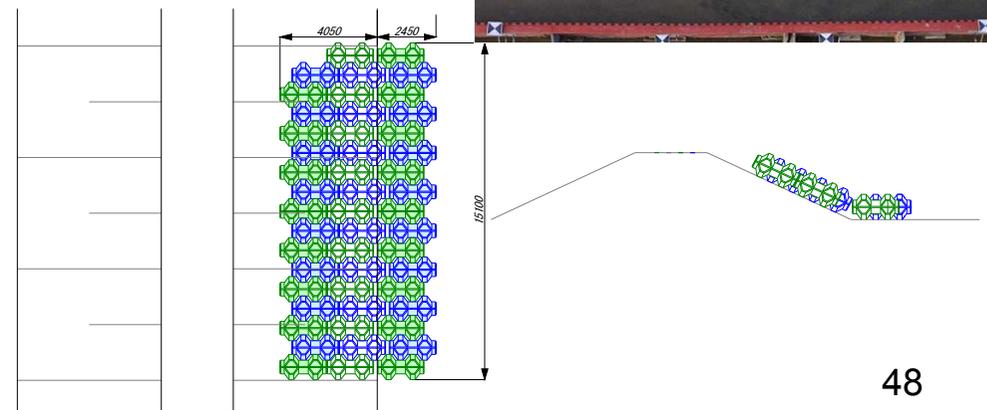
ブロック設置状況

破堤口幅40mの状況



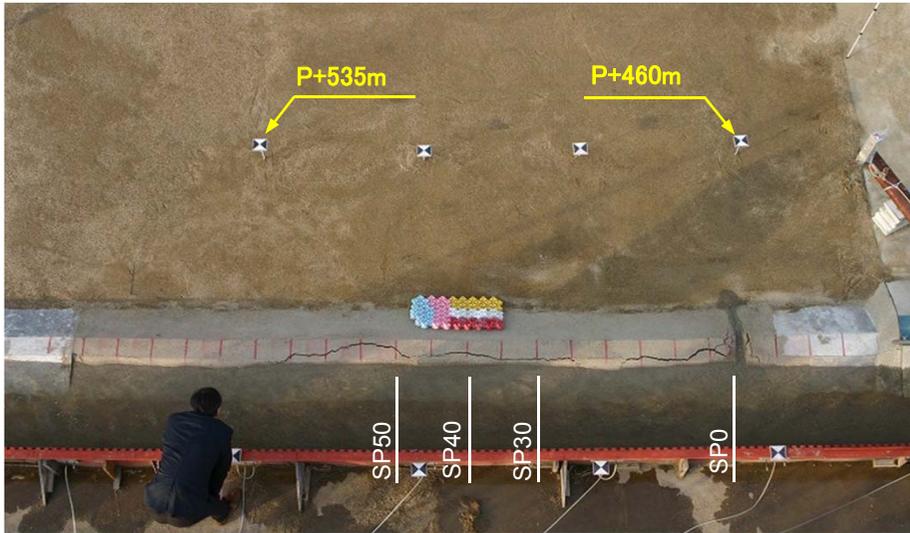
【結果】

- ブロックの移動は法尻上流端の3個のみ。
- ブロック上流側の水位が沈下したブロックにより堰上がり、流速が低下し、破堤口の拡大を停止した

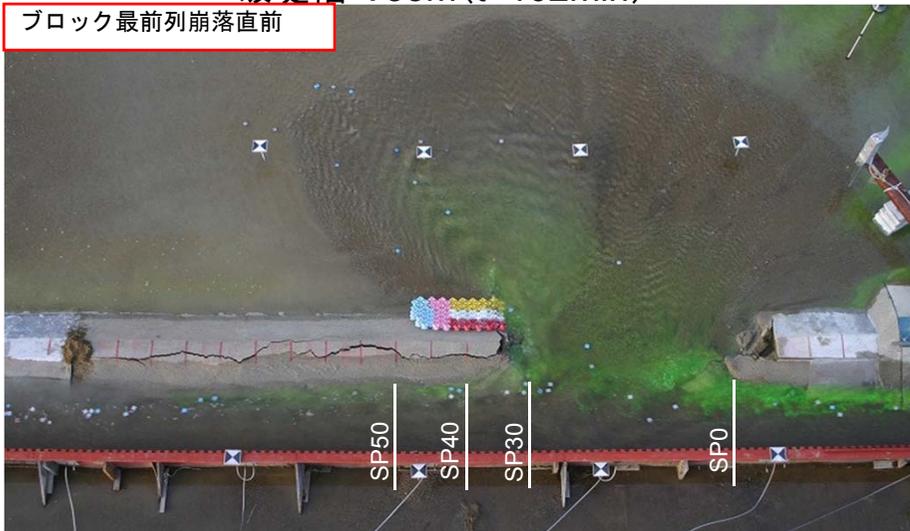


5. 縮尺模型実験結果 (巻末資料)

5.7 縮尺模型実験ケース7 越水開始 (t=0min)



破堤幅 ≒ 35m (t=102min)

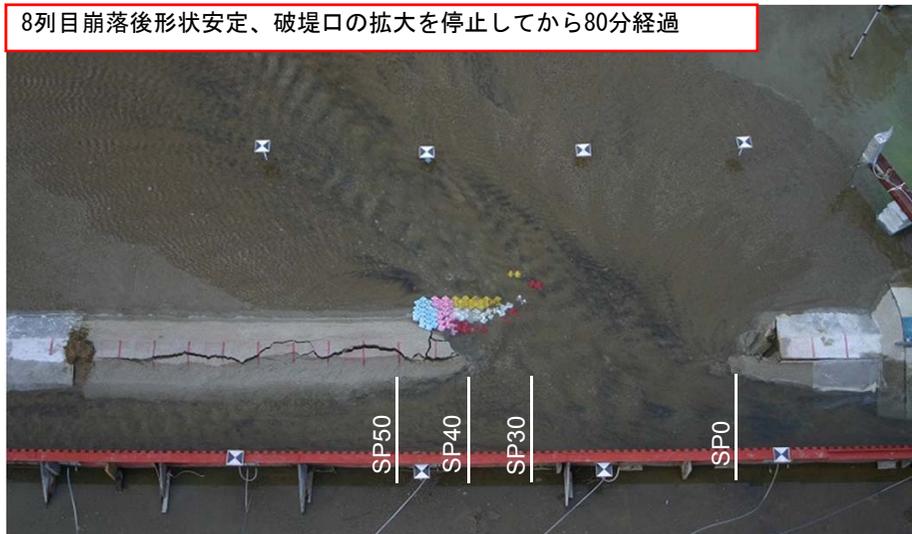


5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.7 縮尺模型実験ケース7

破堤幅≒40m、破堤口の拡大は停止した

8列目崩落後形状安定、破堤口の拡大を停止してから80分経過



通水後



8列目崩落後形状安定、破堤の進行を抑制してから80分経過



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.8 縮尺模型実験ケース8

ケース	検討内容	位置 (m)	積み方	個数	連結	段数	列数	1列あたりの個数			破堤拡幅 抑制効果	実施日
								天端	法面	法尻		
7	位置・個数・配置	45	層積・横	50	なし	1	16-17	0	2	1	○	12/6

【概要】

- ブロックの設置位置の違いにより、破堤の拡大を抑制したときの状況観察を目的とする。

【破堤部がブロックへ達した時の状況】

破堤部形状	約40度で斜めに破堤
氾濫流方向	実験水路からほぼ流れに沿って破堤部に衝突し、50度ぐらい角度を変えて氾濫域に流出
水深	破堤部2~2.2m、ブロックにより破堤部は堰上がった状況
表面流速	ブロックへ衝突する流速4.6m/s程度
ブロック流出状況	ブロックは全く流出しない。上流から5列目までは堤防の流出に伴い沈下、水没。



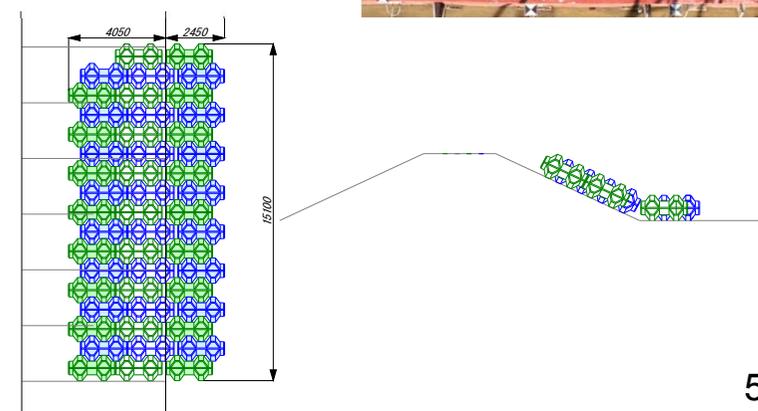
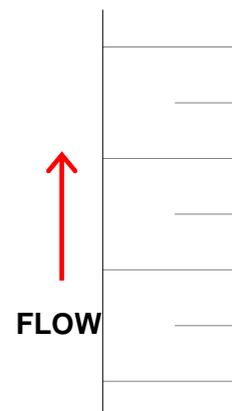
ブロック設置状況



破堤口幅45mの状況

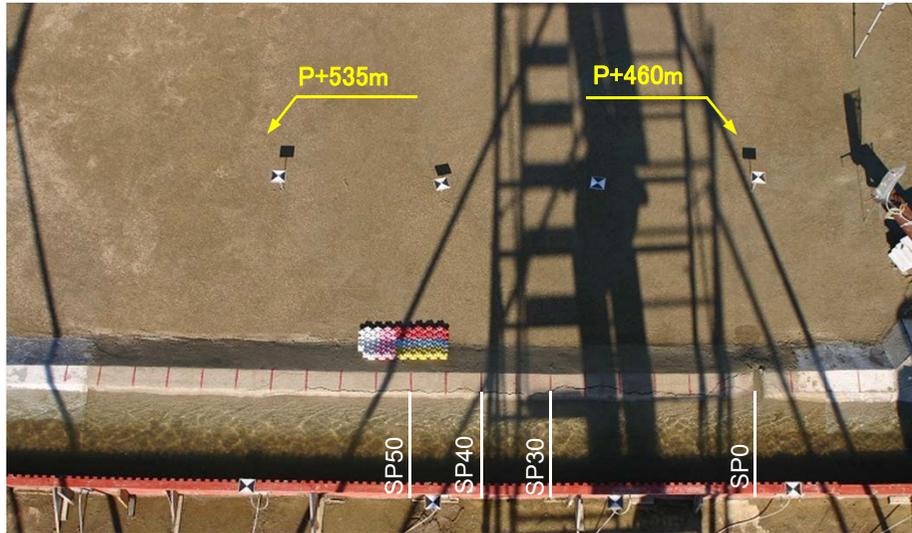
【結果】

- ブロックの移動はない。
- ブロック上流側の水位が沈下したブロックにより堰上がり、流速が低下し、破堤口の拡大を停止した



5. 縮尺模型実験結果 (巻末資料)

5.8 縮尺模型実験ケース8 越水開始 (t=0min)



破堤幅 \approx 35m (t=102min)



5. 縮尺模型実験結果（巻末資料）

5.8 縮尺模型実験ケース8

破堤幅≒40m、破堤口の拡大は停止した

3列目崩落後形状安定、破堤口の拡大を停止してから116分経過



通水後



3列目崩落後形状安定、破堤口の拡大を停止してから116分経過



平成25年度 実験観測計画

1. 計測設定方針
2. 計測項目
3. 加速度センサー配置図
4. 計測位置図

1. 計測設定方針

縮尺模型実験結果を踏まえて、計測項目の設定方針を以下に示す。

項目	目的	観測方法
着目点	破堤口拡大に伴う、先端部に落下したブロックの挙動およびその要因分析。	
基本方針	H22～H23年度の越水破堤実験時の観測項目を踏襲。 H24年度縮尺模型実験の結果を踏まえて設定 但し、破堤口先端部に観測項目を集中もしくは追加	
水位	ブロックが移動するかの判断基準として、破堤口先端のブロック設置周辺の摩擦速度、無次元掃流力等の算出のために、	高クレーンによる画像3D解析
水深	水面形・水深を観測する必要有り。	大型バックホーに備付した測深器による水深計測 観測船に搭載した測深器による水深計測 実験水路に加えて、氾濫域水位の計測数の追加
流速	ブロックが移動するかの判断基準として、破堤口先端のブロック設置周辺の摩擦速度、無次元掃流力等の算出のために、 流速を観測する必要有り。	表面流速はPIV解析
ブロック挙動	ブロックの挙動を把握するため、ブロックの転倒時刻・移動経路等を把握 ブロックへの設置は、上流側から沈下が予想される範囲として3列目までを想定	加速度センサーによるブロック転倒時刻の把握 ブロックの色分け、番号付けによるブロック移動の明確化
破堤状況	破堤口拡大抑制効果を検証するため、ブロックによる破堤速度の停止もしくは減速状況を把握 堤体の破壊状況が、ブロックの有無により変化しているか把握	破堤部全体を上空から平面撮影 氾濫域側観測支柱から側面撮影 レーザースキャナーによる破堤・ブロック状況計測 堤体内加速度センサーは、切欠部の設置数を減らし、ブロック先端付近を増加。 色砂はブロック先端付近に横断的に設置

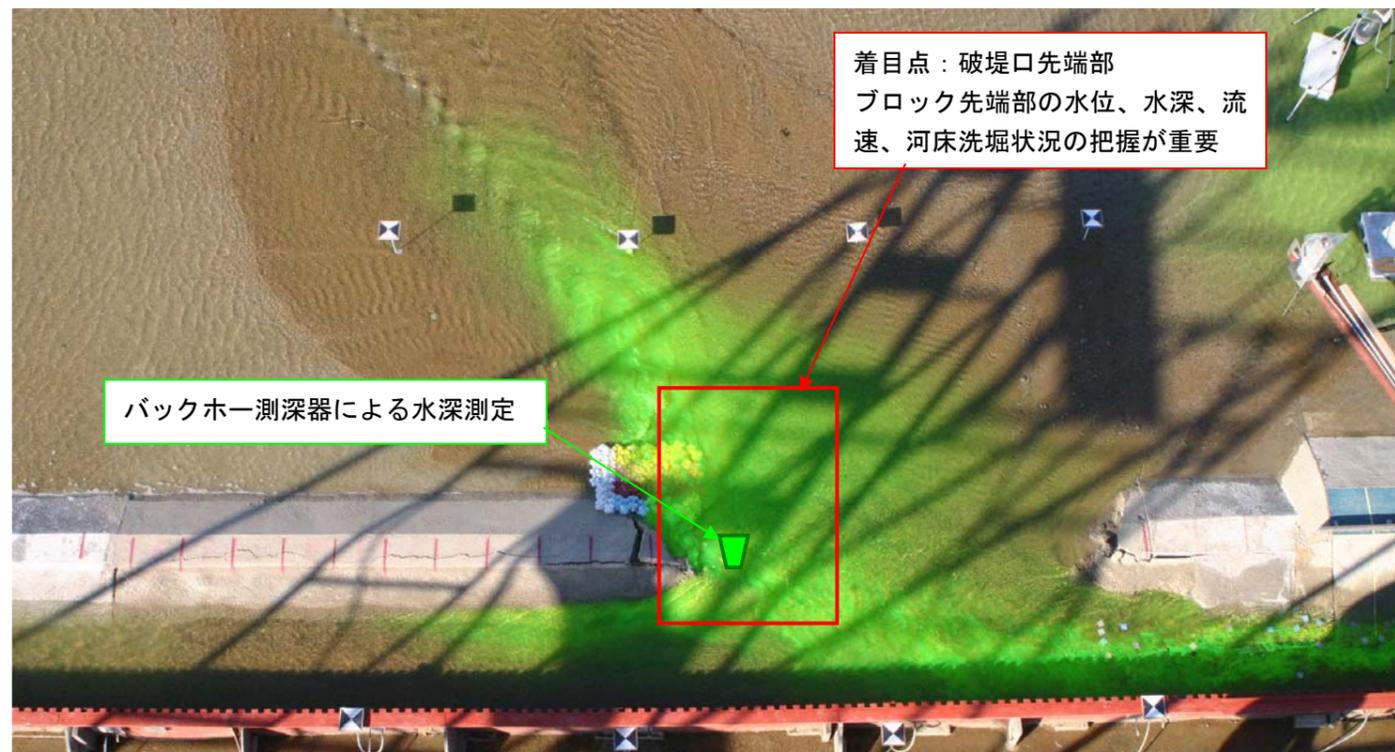


図1 縮尺模型実験、ケース5より

2. 計測項目

切欠部：P463.1、ブロック設置先端部：P493.1

表1 実験計測項目(案)

計測項目	詳細項目	計測内容	具体的計測方法	計測場所
水路内水位・流量	給水量	堰コンより算出 (水路上流流量観測で補足)	ゲート上流水位、ゲート高から越流量換算式より算出	ゲート操作室
	氾濫量 Qcut	破堤部上流水路内流量観測 Qin 破堤部下流水路内流量観測 Qout 氾濫量 Qcut = Qin - Qout (河道内貯留を考慮)	定点水位観測 (電波式水位計鋼矢板部に移設) (ダイバー水位計補足) 電波流速計観測 (表面流速と水深から流量算出) 流速観測 (杭ワイヤー式 ADCP 観測で検証) 堰上げ装置上流 P720 地点で H-Q 破堤前計測	電波式水位計観測・ADCP 流速・河床高観測、電波流速計表面流速観測位置 ・水路内切欠き部より上流 50m 地点 (水位安定箇所) P413 ・水路内切欠き部より下流 125m 地点 (河床変動影響少ない場所) P588
	水路内水位	水位計による計測	定点水位観測 (電波式水位計移設) ダイバー式水位計 (既存機器活用) 鋼矢板上流部の貯留量把握 (P310, P210 水位)	切欠き部、切欠き上流 50m、下流 125m、P720、P310、P210 実験水路縮小部：25m ピッチ、鋼矢板沿い 7 点、右岸護岸沿い 6 点
	水路内流速	流速計による計測 浮子による計測	杭ワイヤー式 ADCP 観測 浮子による流速値補足計測 ブローイングマシーンによるトレーサー投入 (3 箇所)	杭ワイヤー式 ADCP 観測および浮子による流速計測位置 ・水路内切欠き部より上流 60m 地点 (流れ安定部分) P403 ・水路内切欠き部より下流 115m 地点 (河床変動量影響受けにくい距離) P578 トレーサー投入位置：観測橋 P420 (左右岸)、破堤部下流 P468 左岸
堤体破堤部～氾濫域の状況	全景写真	実験状況記録	ラジコンヘリによる全景撮影	高度 100m、実験水路～新水路全体
	破堤部～氾濫域状況写真	越流状況記録、モニタリング 破堤状況記録、モニタリング	クレーン・高所作業車によるビデオ撮影 作業員によるビデオ撮影 (河川側) (背割堤上流) 遠隔操作によるビデオ撮影 (氾濫域側) → コード出力もしくは無線によるモニタリング	矢板裏上空から：58m×48m×2 アングル (クレーン) 切欠部および切欠部下流 40m 地点 河川側 (鋼矢板裏) から：上流から+裏正面から+下流から 3 アングル (三脚) 背割堤上流から 1 アングル (三脚) 氾濫域側から：正面から、下流から、2 アングル (遠隔) (撮影支柱の設置が必要)
	破堤部～氾濫域洗掘状況	堤体内、基盤部の破壊・洗掘状況	加速度センサー埋設 充填材に色砂を利用して最大洗掘深を測定	加速度センサー埋設数 合計 391 個 ブロック先端付近を中心に、5 断面× (6 もしくは 9 本) = 33 本
	ブロック移動状況	ブロックの落下・転倒、移動状況	加速度センサーブロックに設置 ブロックに No を付けて、ブロックの移動状況を把握 レーザースキャナーによるブロックの移動状況を把握	加速度センサー埋設数 上流側 3 個×5 列 = 15 個最低必要 (加速度センサーの残数で設定) ブロックの 4 面にブロック No 記述、ブロック上面を 5 色で色づけ 新水路側および鋼矢板側より 2 箇所設置
	破壊面～氾濫域流況	水位計測	画像 3D 解析 (写真撮影、トレーサー) 支柱・背割堤にダイバー水位計設置 バックホーによる破壊面の水深計測 観測船搭載の測深器による水深計測	矢板裏上空から：58m×48m×2 アングル (クレーン) 支柱・背割堤にダイバー水位計 5 器設置 堤防破堤口先端部 堤防破堤口先端部
		流速計測	P I V 解析 (ビデオ撮影、トレーサー)	矢板裏上空から：58m×48m×2 アングル (クレーン)
	通水前後の洗掘状況	洗掘深計測	新水路初期河床 (浅深測量) レーザープロファイラ (水面上) レベルによる地形測量 (水面下)	破堤部・氾濫域：10m ピッチ×10 断面 (P460～P540) 実験水路：19 断面 (P360～P540)、ADCP 用 (P412, P582)、流観用 (P665, P680)
河床材料	河床材料調査	ふるい分け試験	氾濫域 5 断面 (P470～P510) 18 点程度 実験水路 12 点 (P390, 410, 430, 450, 470, 490, 510, 530, 550, 570, 590, 610) 堰上流 3 断面×5 点+1 断面×4 点=19 点	
濁水の影響	濁水モニタリング	採水して、濁度・SS 計測	堰上流、堰直下、実験水路破堤上流部・下流部、観測橋、新水路左岸、実験水路終 端左岸・右岸、十勝川合流点 (左右)、千代田大橋 (左中右)、池田大橋、茂岩橋	
堤体材料特性	堤体土質調査 (次年度築堤範囲を調査)	土質試験 (粒度分布等) 簡易現場透水試験 RI 測定 (締固め度)	築堤材料毎 実験毎 打設層毎	

赤字は H25 年度新規・変更計測項目

3. 加速度センサー配置図

ブロック設置範囲は切欠部より下流 20m 区間からとし、ブロック設置数は 3 個 × 66 列 + 2 個 = 合計 200 個とする。(図 2 参照)

加速度センサー設置位置補正方針は以下の通り。

- ・切欠高は 0.6m と従来より越水しやすくするため 10cm 低下。
- ・切欠部だけは、既往破堤結果と比較するため、詳細に設置する。
- ・ブロック設置先端付近と切欠部以外の範囲は、堤防中央のみとする。
- ・ブロック設置上流 5m 地点～下流 10m、合計 15m 区間のみ、2.5m ピッチで詳細に設置する。
- ・ブロック設置周囲の洗掘状況を把握するため、氾濫域にセンサーを配置する。
- ・ブロック上流詳細区間は表法尻部の堤防が残存しているか確認するためセンサー設置数を増加する。
- ・**ブロック上流側 15 個に加速度センサー (新) を設置する。**

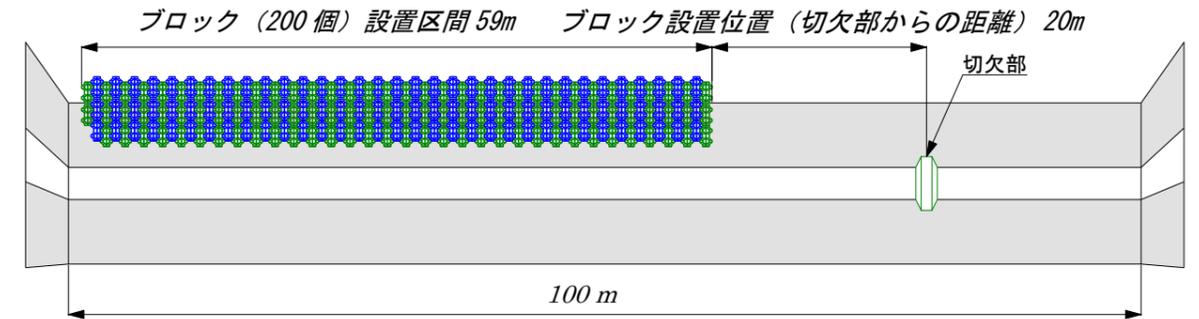


図 2 ブロック設置イメージ図

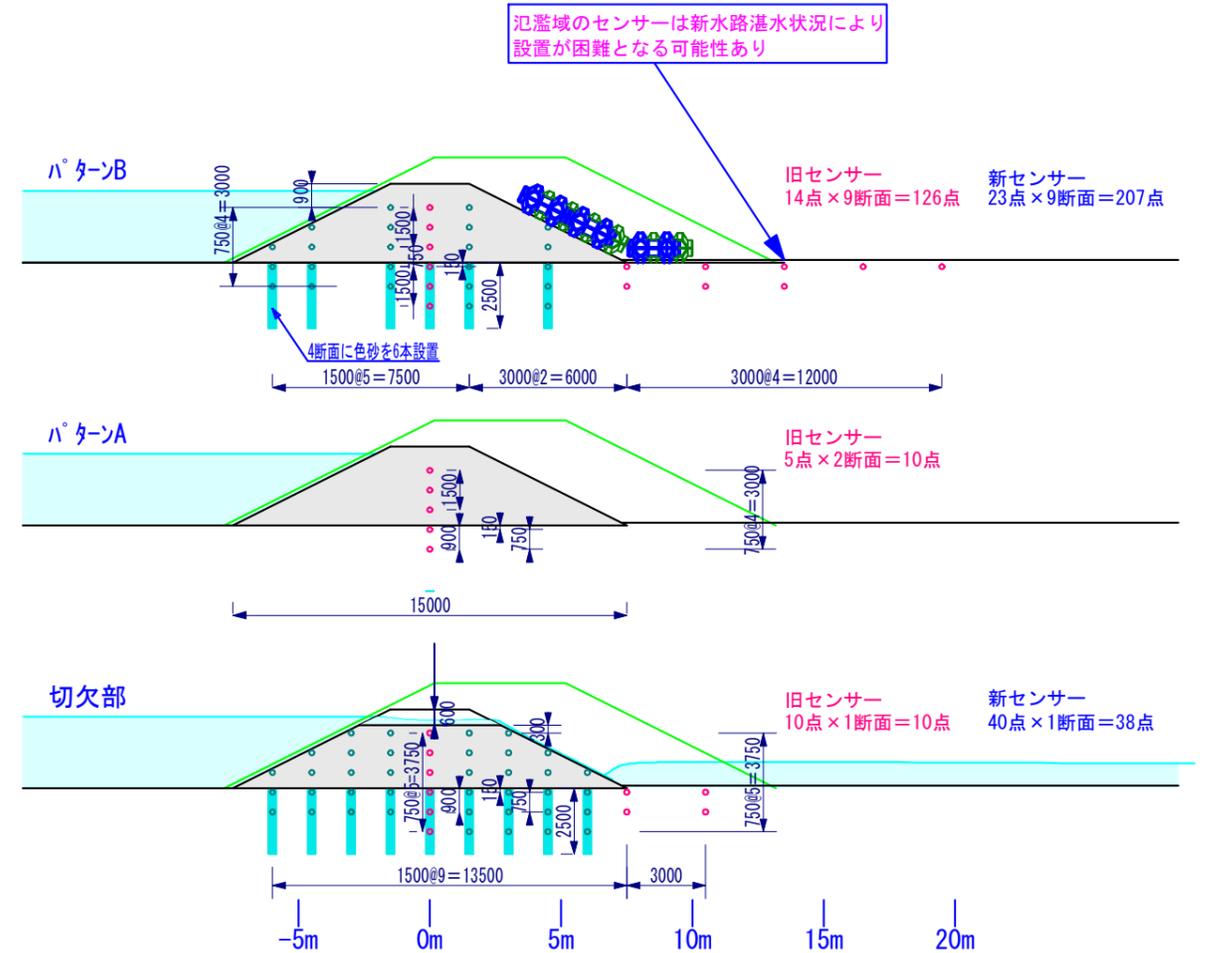
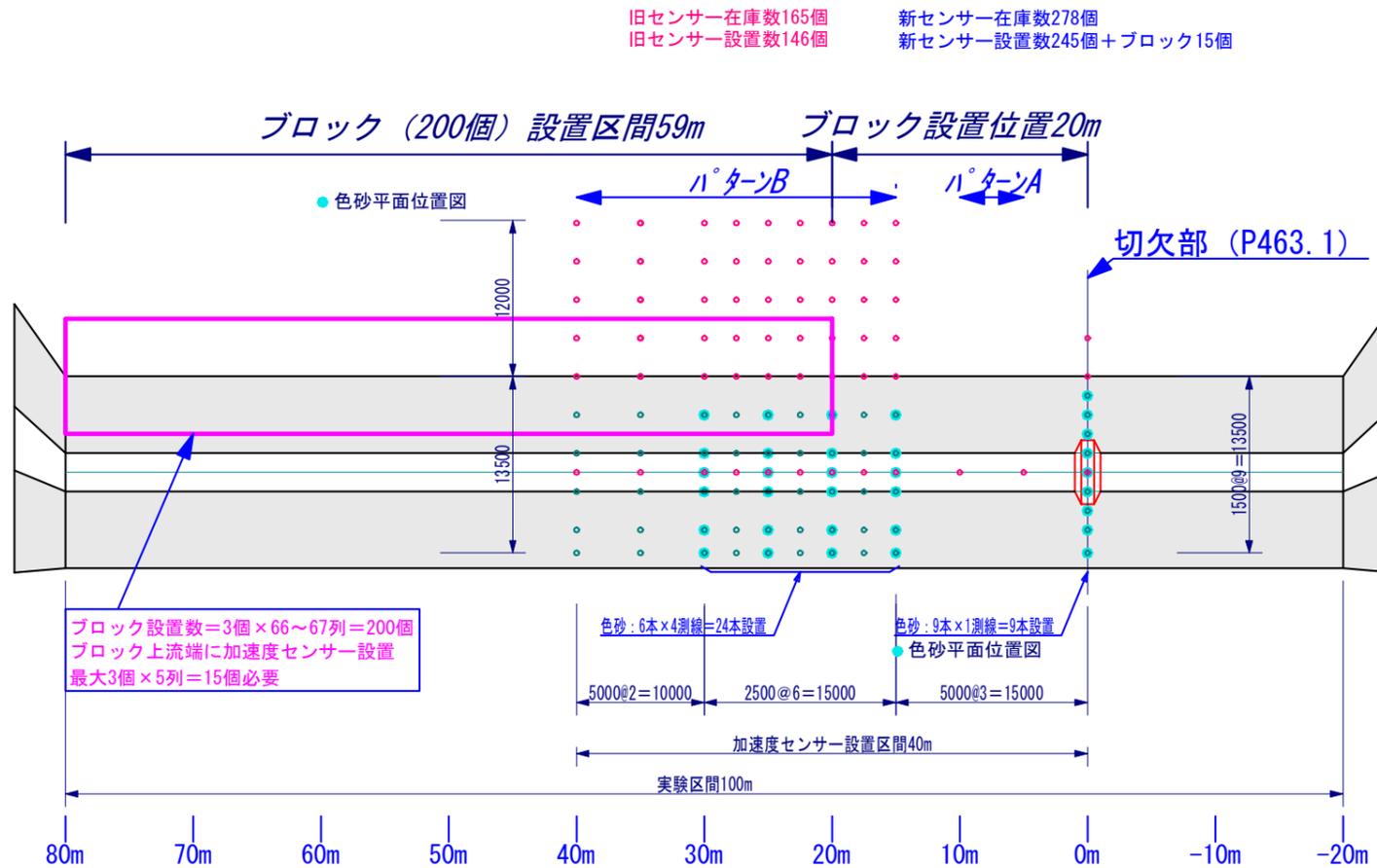


図 3 加速度センサー設置位置図 H25年度

4. 計測位置図

H25年度 (H25年6月下旬予定) 実験計画、切欠き軸 P463.1、ブロック設置位置 P483~

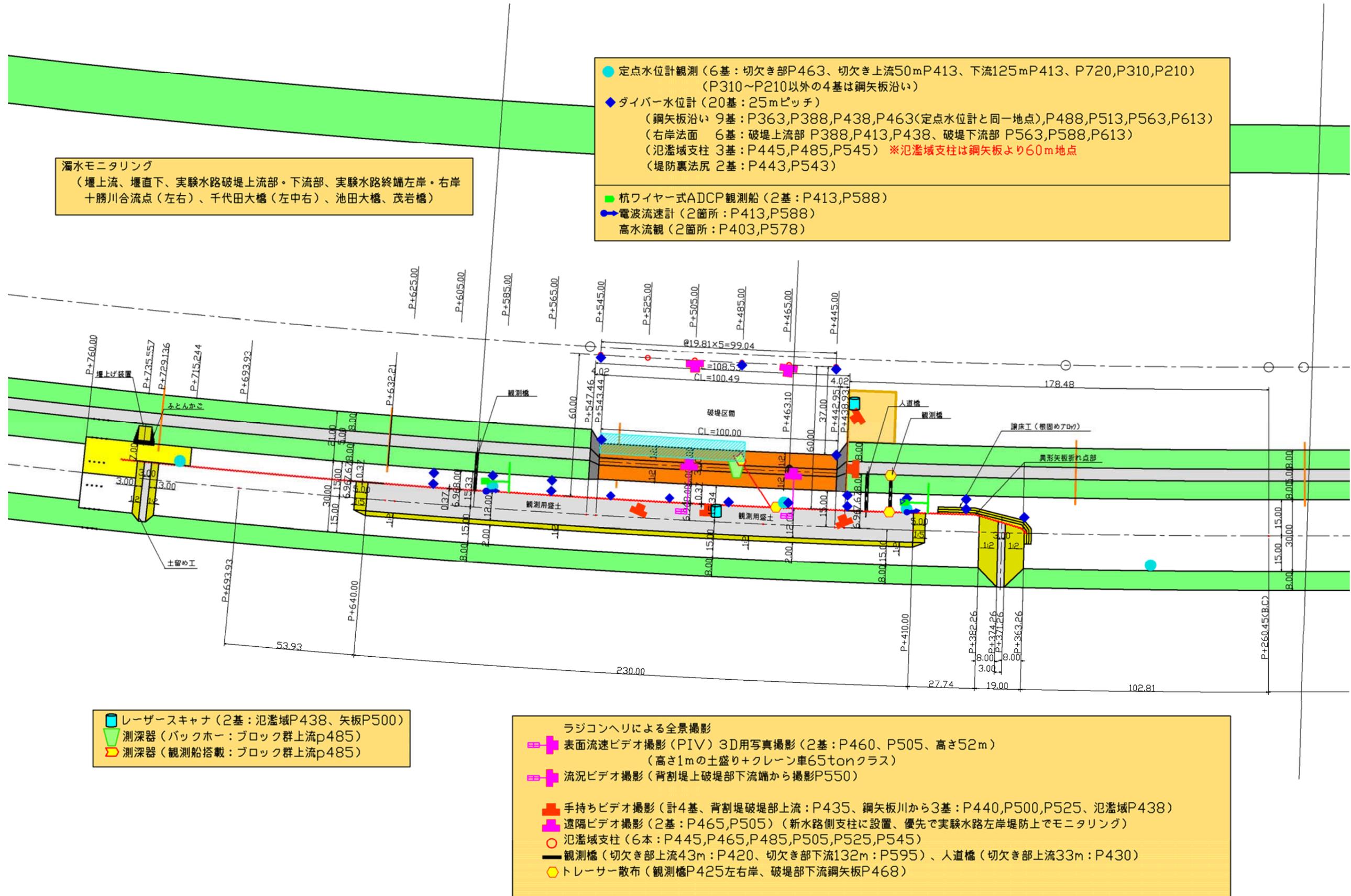


図4 観測位置図 H25年度