

2020/10/06

令和2年度 第14回十勝川千代田実験水路等アドバイザー委員会
第20回十勝川千代田実験水路等実験検討会

令和2年度 千代田現地実験に向けた検討

1. 背景
2. 被災要因の整理
3. 数値解析・模型実験による検証
4. 千代田実験水路での検証項目
5. 観測計画
6. 今後のスケジュール

国土交通省
北海道開発局 帯広開発建設部

【各項目の概要】

1. 背景

- ・ 頻発する豪雨と堤防被害の概要

2. 被災要因の整理

- ・ H28.8洪水時における急流河川の湾曲部堤防侵食被害の要因

3. 数値解析・模型実験による検証

- ・ 堤防が被災するメカニズムの把握

■ 本委員会の論点

4. 千代田実験水路での検証項目

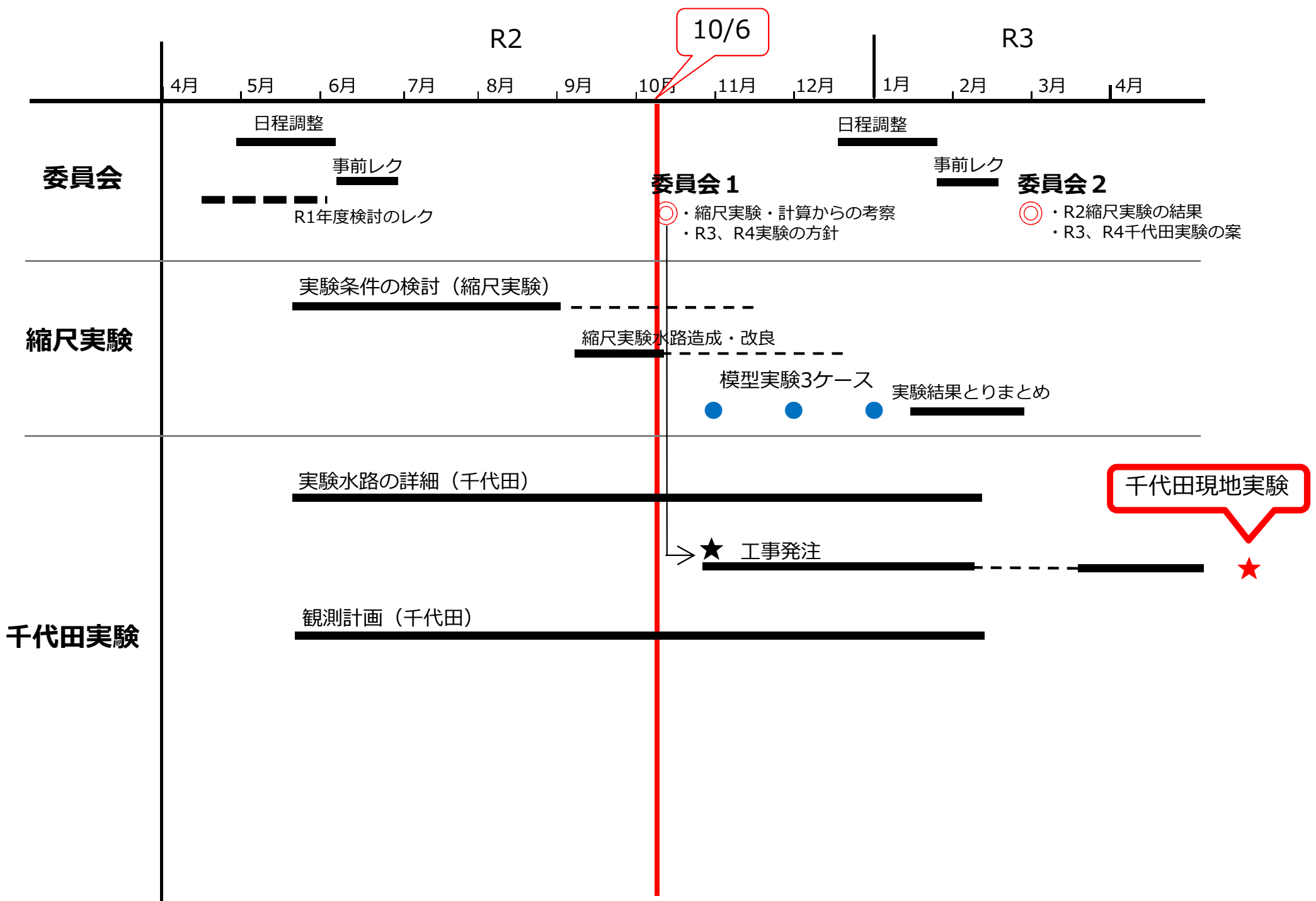
- ・ 千代田実験水路で検証する項目とその内容

5. 観測計画

- ・ 千代田実験で実施する観測項目や方法等の観測計画

6. 今後のスケジュール（案）

- ・ 千代田実験水路の現地実験に向けた今後のスケジュール



1. 背景

H28年8月に北海道で発生した洪水

H28.8洪水の被害状況

いしかりがわ
石狩川水系:22 河川
【床下浸水16戸_床上浸水1戸_浸水面積367.6ha】



いしかりがわ
石狩川水系辺別川(被害状況)H28.8.23撮影

さるがわ
沙流川水系:1河川
【床下浸水12戸_全壊1戸_半壊1戸_浸水面積180ha】



さるがわ
沙流川水系沙流川(被害状況)H28.8.31撮影

常呂川水系:2河川
【床下浸水11戸_床上浸水1戸_浸水面積117.5ha】



常呂川水系東亜川(被害状況)H28.8.23撮影

十勝川水系:10河川
【家屋流出3戸_床上浸水1戸_床下浸水260戸_浸水面積441ha】



十勝川水系ペケレベツ川(被害状況)H28.9.1撮影



十勝川水系パンケ新得川(被害状況)H28.9.1撮影

H28.8洪水の被害状況

- H28.8洪水を始めとして、堤防決壊、特に北海道では侵食による堤防災害が発生。
- 気候変動の影響により、今後洪水の頻発化・激甚化が懸念。
- 北海道の急流河川では、これまで大きな洪水の経験がなく洪水時にどのような状況になるか想定が難しい。

【音更川】



【 辺別川】



【空知川】



被害状況

音更川

辺別川

空知川

低水路河岸の侵食

○

○

○

低水護岸背面の洗掘、土砂流出

○

○

○

低水護岸の崩落

○

○

○

堤防表法面の侵食

—

○

○

堤防の決壊

—

—

○

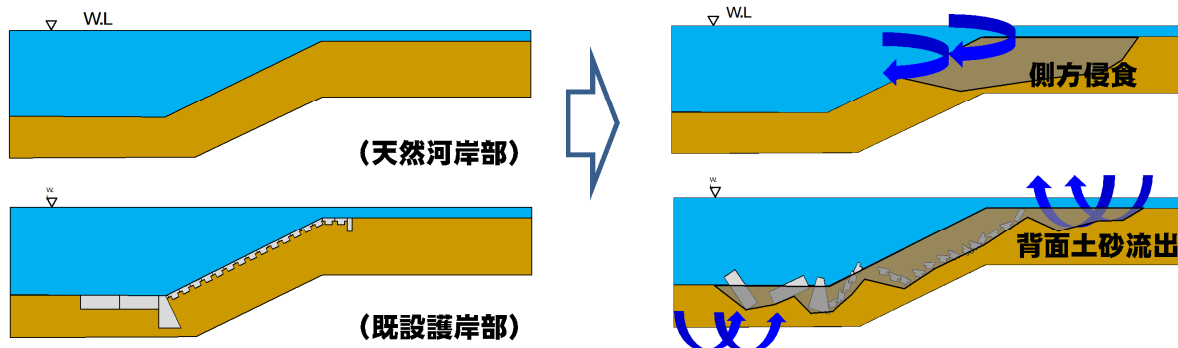
2. 被災要因の整理

- ・ 近年、北海道で生じた堤防侵食被害の着目ポイント
- ・ 千代田実験水路にて対象とする現象と課題

●音更川KP9.0



- ①蛇行流による天然河岸の側方侵食
- ②高水敷上の高速流による既設護岸の背面土砂流出



●辺別川右岸KP7.0



【湾曲外岸側で侵食被害発生】

想定要因※

- ① 湾曲部で生じる流れの直進性による堤防表法面の直接侵食
- ② 低水路の蛇行発達などによる天然河岸の側方侵食の進行
- ③ 既設護岸の背面土砂流出、高水敷洗掘の進行

※土木学会報告書などから引用

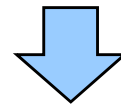
■ H28.8洪水では急流河川の湾曲部において堤防決壊、侵食による堤防災害が発生。

ニズム

洪水時空撮



- ・ 本来護岸の機能は侵食防止であるが、低水護岸が設置されていても侵食が高水敷・堤防に及んでいる。
- ・ 堤防決壊、侵食に至るまでの過程が明らかになっていない。
- ・ 該当する現象を実規模で再現した検討例はない。



- ・ 急流河川の湾曲部における堤防侵食対策として、効果的・効率的な侵食防止・堤防防護方法の確立が必要。

河道整備に伴う
新たな侵食要因

堤防侵食 要因	堤防表法面 の侵食	低水路河岸 侵食の進行	低水護岸の 背面高水敷洗掘の進行
現在の 検討状況	■数多くの知見あり ・堤防法面の耐侵食性は、侵食実績、実物大・室内試験など数多の知見が取りまとまっている。	■十勝川河道計画WGでとりまとめ中 【概要】 ・低水路満杯流量規模で、蛇行発達による低水路河岸侵食が大規模に進行し、堤防侵食に至る。	<u>洗掘実績は確認されているが、現象把握には至っていない。</u> 【概要】 ・HWL規模で、湾曲部では低水護岸が整備されていて広い高水敷幅が確保されていても洗掘が進行して堤防被災に至る。
主な課題	・法面の耐侵食性向上 ・堤防近接の流速低減	・侵食箇所・範囲の予測（蛇行侵食現象の理解）	・湾曲部における堤防に接近する高水敷上の高速流の抑制（高水敷上の流況の理解） ・侵食箇所・範囲の予測（低水護岸背後の高水敷洗掘現象の理解）
主な対策	・植生養生、高水護岸整備 ・複断面化、高水敷幅の確保	・次の出水時の侵食防護を優先 ・優先箇所の低水護岸整備	・湾曲部における対策の検討が必要

■ 急流河川の湾曲部外岸側は、低水路内や高水敷上で偏流や高流速が発生する。

推定要因

- ・ 直線部の複断面流れが湾曲部に到達すると、直進性が卓越した低水路の流れが高水敷へと乗り上げ、高水敷上に高速流が生じる。
- ・ 低水路流れが乗り上がる箇所では、湾曲した堤防法線に沿う高水敷上の流れと合流する影響もあり、高速になりやすい。
- ・ 低水路内岸側での砂州の発達により、外岸側に偏流・高流速が発達しやすい。



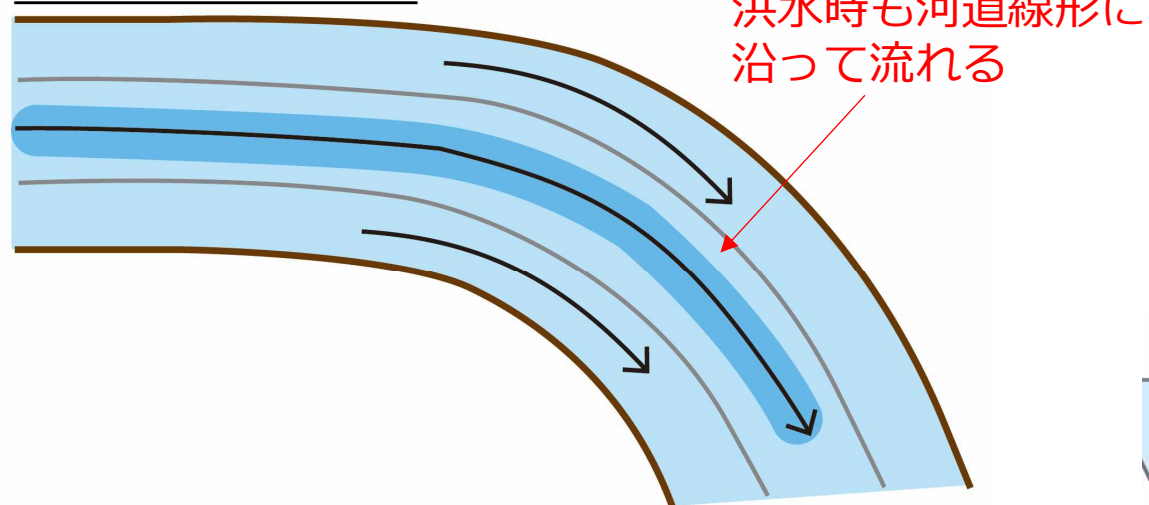
現象分析のポイント

■ 現象が起こる条件（感度分析）

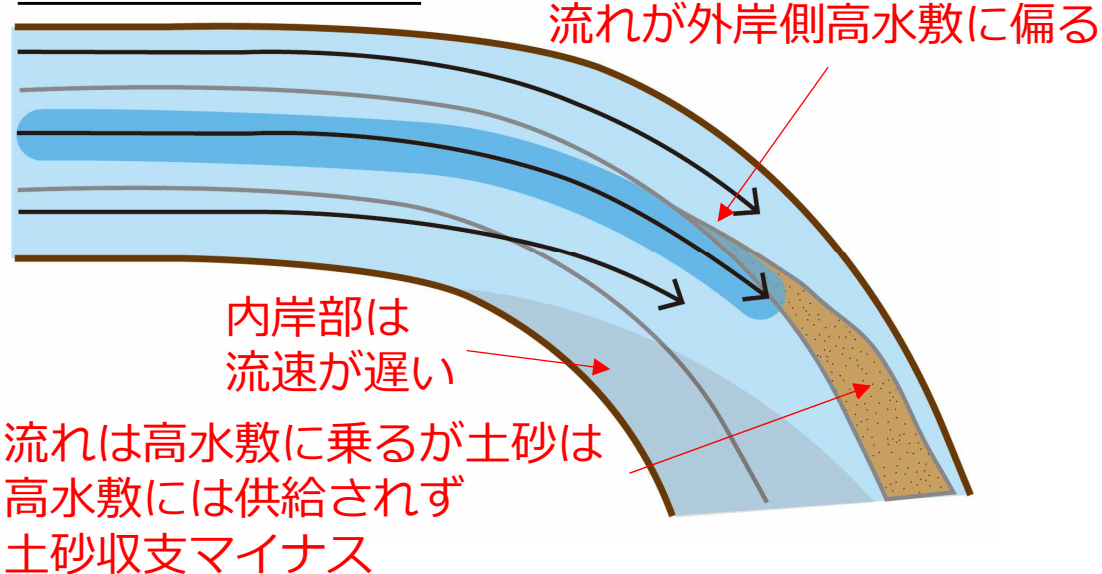
- ・ 流量、流速、河床勾配、曲率半径、水深、比高差、高水敷幅、低水護岸の有無、護岸の表裏の侵食、堤防高水敷の材料等

- 急流河川の湾曲外岸部において、低水護岸がある場合でも堤防決壊に至る侵食が発生するメカニズムについて、流れと河床変化の関係から仮説を設定した。

緩流河川の場合



急流河川の場合

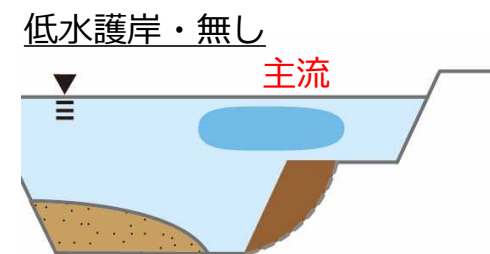
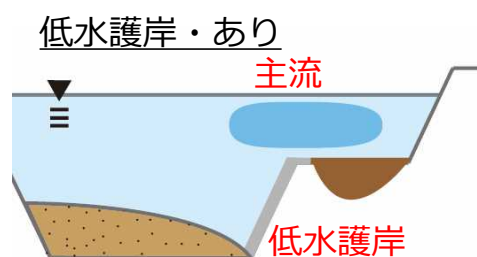


<<仮説>>

- 低水路の内岸部は流れが弱まる

土砂堆積（内岸砂州の発達）

- 主流が外岸側に偏る



- 護岸を乗り越える流れで高水敷が侵食される

- 河岸侵食が進む

- 高水敷上の洗掘箇所をきっかけとして、高水敷上に高速流が発達しやすくなる

- 河岸侵食とともに、主流は外岸側へ移行

- 侵食が堤防に至ると決壊

① H28.8洪水時における急流河川湾曲部の護岸設置箇所における高水敷洗掘の主な要因の抽出

- ・ 北海道での被災事例河道（音更川等）を参考に設定した河道において、数値計算で要因分析を実施（おおよその低水路幅、高水敷幅、比高差、ハイドロ等）



② 最も影響すると考えられる河床勾配と曲率半径について注目し感度分析

→ 湾曲部の流心の偏りが要因と仮定

③ 数値解析とつくば実験施設での検証

- ・ 被災事例河道（音更川等）の河道、千代田実験水路の河道の2ケースにおいて、数値解析で、河床勾配と曲率半径の被災状況の再現分析。つくば実験施設でも同じ条件で検証。



堤防が被災するメカニズムの把握

3.数値解析・縮尺実験による検証

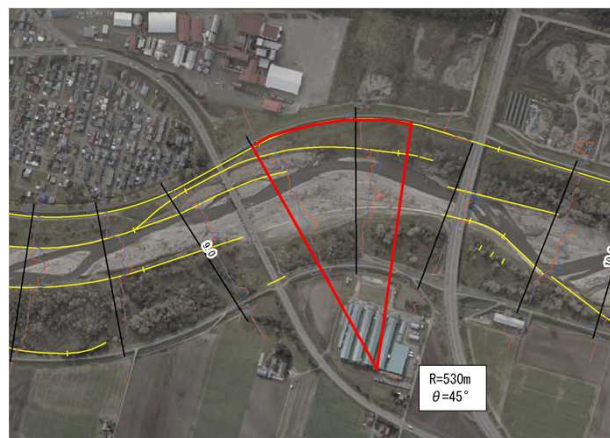
3-1.数値解析による検証

■ 着目点 1 曲率半径・河床勾配

平成28年8月北海道豪雨での侵食災害では、流量ハイドロに違いがあるものの、**河床勾配が急**で、**曲率半径が小さい**場所で大きな侵食被害が発生している傾向にある。

●音更川

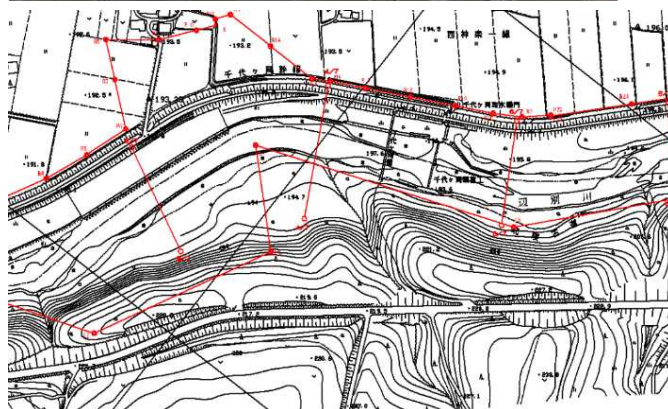
低水路幅：80m
 低水路高：3.0m
 高水敷幅：50m
 河道幅：300m
河床勾配：1/204
曲率半径：530m、45°
 河床材料：30～40mm



被害小

●辺別川

低水路幅：30m
 低水路高：**2.0m**
 高水敷幅：30m
 河道幅：**100m**
河床勾配：1/140
曲率半径：250m、70°
 河床材料：30～40mm



・堤防の一部侵食

●空知川

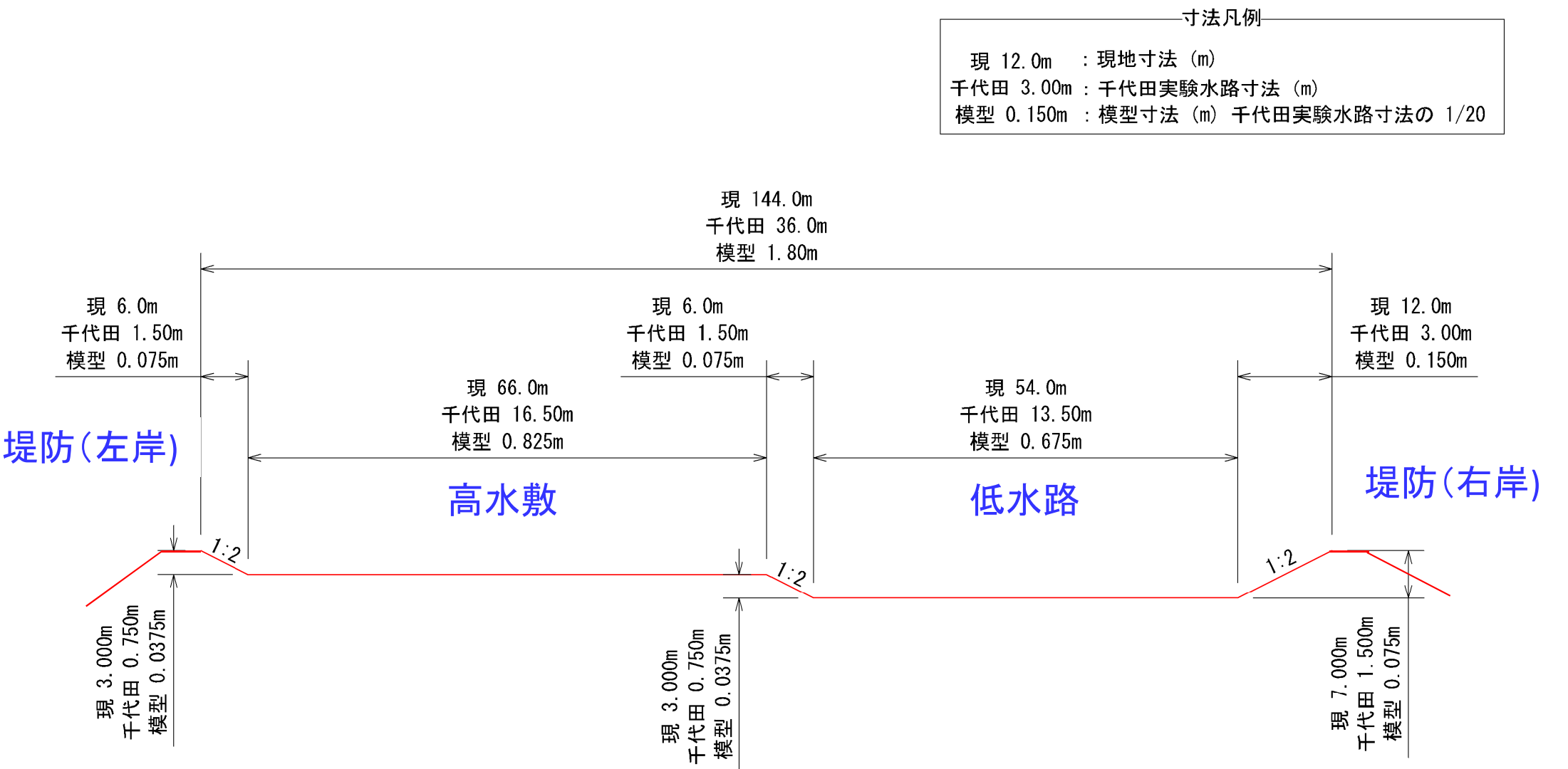
低水路幅：50m
 低水路高：3.0m
 高水敷幅：50m
 河道幅：**160m**
河床勾配：1/180
曲率半径：160m、60°
 河床材料：30～40mm



・堤防決壊

被害大

■ 数値解析における河道断面形状は、H28.8洪水により被災した音更川、辺別川、空知川の3河川の河道断面を基本として設定した。



■ 数値解析により河床勾配と曲率半径の違いによる侵食の進行の違いを確認した。

■ 変化させるパラメータ

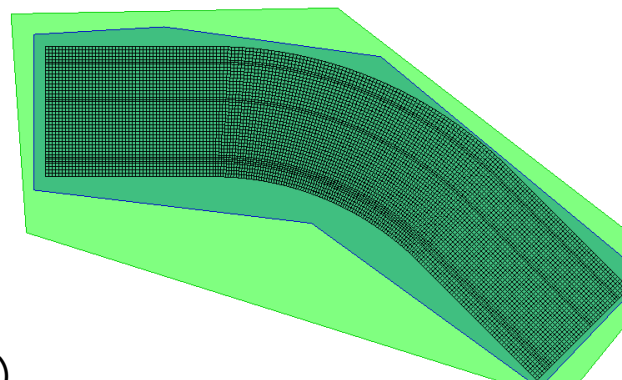
- ・河床勾配(1/300～1/150)
- ・曲率半径(200m～530m)

※音更川、空知川、辺別川を参考に設定

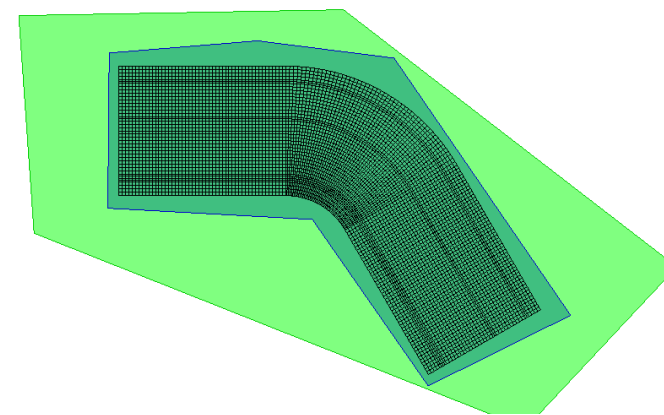
■ 固定するパラメータ

- ・流量(HWL相当)
 - ・数値解析時間(10時間)
 - ・上流からの土砂量(全ケース一定)
- 全16ケースを実施

※C-Vは護岸ありも実施



CaseC- I : R=530m、
河床勾配1/200



CaseC- V : R=200m、
河床勾配1/200



曲率半径 河床勾配	I : 530m (R/B ≒ 3.0)	II : 450m (R/B ≒ 2.5)	III : 350m (R/B ≒ 2.0)	IV : 250m (R/B ≒ 1.5)	V : 200m (R/B ≒ 1.0)
A : 1/300	高水敷洗掘	高水敷洗掘	高水敷洗掘	高水敷洗掘	高水敷洗掘
B : 1/250	高水敷洗掘	高水敷洗掘	高水敷洗掘	堤防一部侵食	堤防一部侵食
C : 1/200	高水敷洗掘	高水敷洗掘	堤防一部侵食	堤防決壊 (5.7時間程度)	堤防決壊 (5.1時間程度)
D : 1/150	堤防決壊 (5.8時間程度)	堤防決壊 (5.4時間程度)	堤防決壊 (5.0時間程度)	堤防決壊 (3.3時間程度)	堤防決壊 (2.8時間程度)

※護岸および砂州は無し

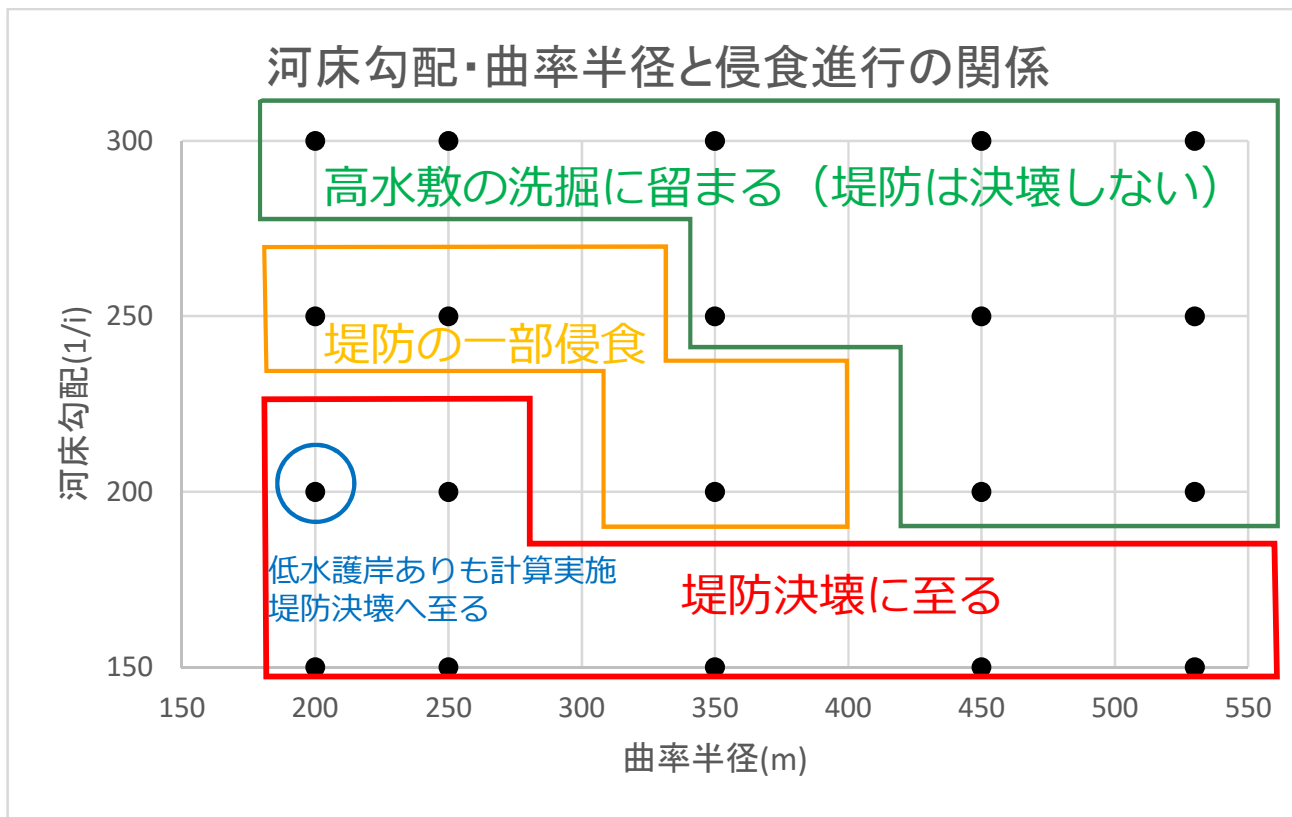
※R/B=曲率半径÷河道幅。河道幅は180mと仮定(音更川の湾曲部で護岸背面洗掘が生じた河道形状を参考)

※スケールは千代田実験水路に収まるものとして実河川の1/5と仮定。音更川のHWL相当で $Q=35\text{m}^3/\text{s}$ 、高水敷水深20cm

※堤防幅は1m($S=1/5$)であるため、1m以上天端が侵食された時間を堤防決壊と判断

※H28年8月洪水時のピーク流量継続時間が概ね15時間程度であるため、10時間程度目安として計算

- 数値解析による感度分析から、曲率半径と河床勾配の違いでの侵食進行について明らかとなったことを以下に示す。



【河床勾配】

- 河床勾配が大きくなると、高水敷の侵食が大きくなる傾向にある。
- 計算例では河床勾配が1/200より急になると堤防決壊へ至るケースが多くなり、1/150では曲率半径に関わらず堤防決壊へ至った。

【曲率半径】

- 曲率半径が小さくなると、高水敷の侵食が大きくなる傾向にある。
- 計算例では $R=250\text{m}$ ($R/B=1.5$)以下となると侵食が大きくなり、河床勾配によっては堤防決壊へ至る(1/200より急勾配の場合)。

【低水護岸の有無】

- 計算例では低水護岸をある場合でも曲率半径200m、河床勾配1/200のケースで堤防決壊へ至った。

■着目点2 低水護岸の有無による影響

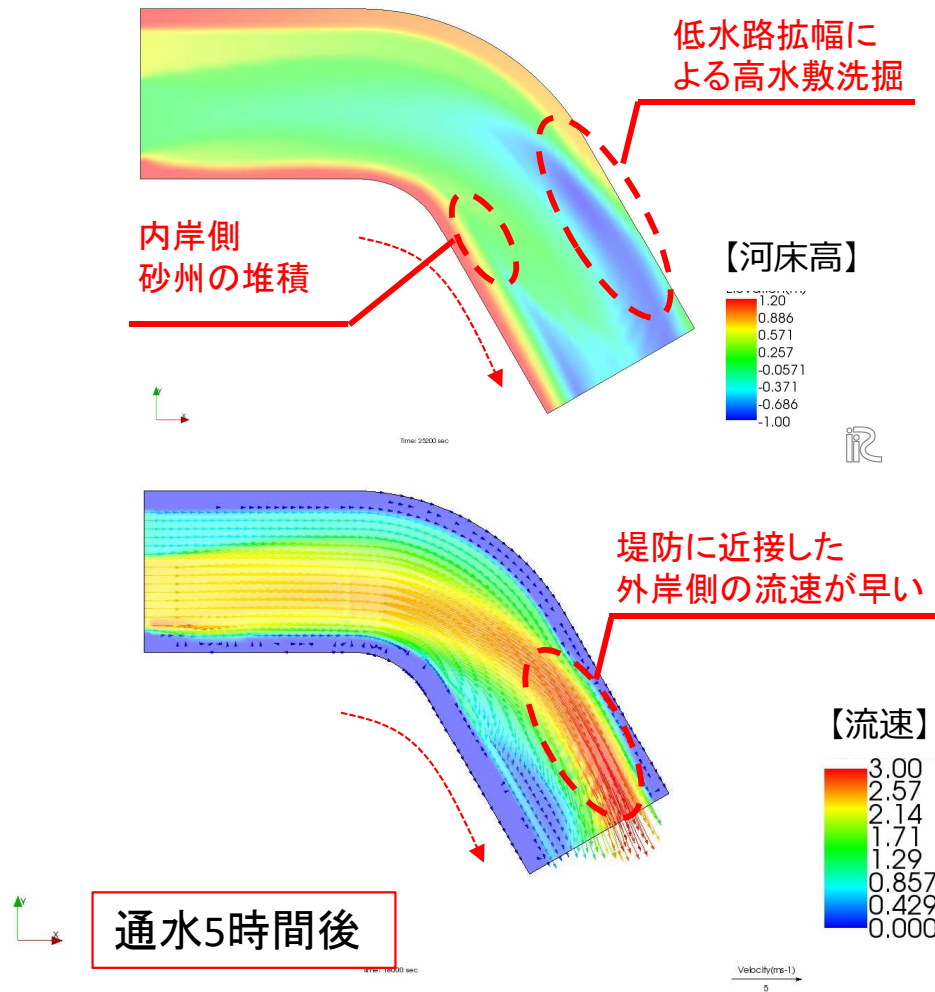
低水護岸の有無による現象の違い

- 出水時には低水護岸の有無に関わらず侵食が進行するが、生じる現象が異なる。
- ただし、低水路の断面変化、高水敷の洗掘状況は似たような状況となった。

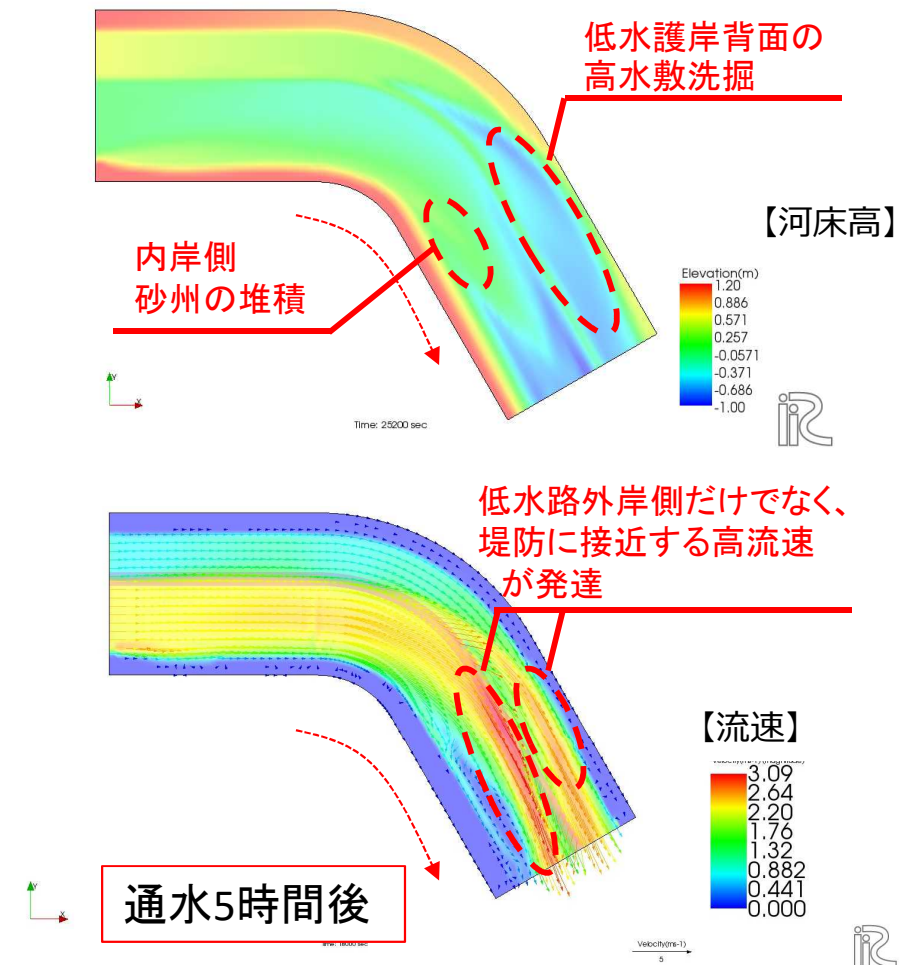
【低水護岸無し】 低水路拡幅により高水敷が洗掘（低水路が堤防へ接近）

【低水護岸有り】 低水路は拡幅しないが、高水敷が広く洗掘（洗掘箇所が堤防へ接近）

【低水護岸無し】 R=200m、河床勾配1/200



【低水護岸あり】 R=200m、河床勾配1/200



数値解析で検証できたこと

【侵食現象の支配要因の推定】

- ・ 横断方向の侵食状況の再現は可能
- ・ 曲率半径および河床勾配（急勾配かつ曲率半径が小さいほど危険性が高い）

【低水護岸の有無の違い】

■ 流況

- ・ 湾曲部で主流線が外岸側に偏る
- ・ 【無】 高速流が堤防に接近（低水路拡幅に伴う）
- ・ 【有】 高速流が堤防に接近（低水路内だけでなく高水敷上でも高速流が発達）

■ 河床変化

- ・ 低水路内岸側に土砂堆積
- ・ 高水敷の洗掘断面は、低水護岸の有無に関わらず同程度
- ・ 【無】 高水敷洗掘（低水路拡幅による）
- ・ 【有】 高水敷洗掘（護岸背後の洗掘）

数値解析では検証できないこと

- ・ 数値解析結果が実現象を反映しているか判定が難しい。
特に高水敷の洗掘現象再現性の判定が難しい。
- ・ 低水護岸の挙動（流体力や浮力による挙動、連結護岸としての挙動）が不明
（数値解析では固定床扱い）

3-2. 縮尺実験による検証

縮尺実験の条件設定

■縮尺実験では、2つの着目点に関して再現・検証を行った。

【実験ケースⅠ(河道断面モデル)の着目点】

- ・H28年洪水時に生じた**護岸背面の洗掘現象を再現**
(音更川KP9.0付近の河道を参考。流量は
1,200m³/s相当。計画高水流量相当は1,700m³/s)

【実験ケースⅡ(千代田実験)の着目点】

- ・低水護岸の有無による**堤防決壊へ至る侵食進行のプロセスを検証**
(流量は実験水路のHWL相当の流量)

ケースⅠ-1

曲率半径:530m

河床勾配:1/200

低水護岸:無し

流量 :H28年実績

2019年7/31に実施

ケースⅠ-2-1およびⅠ-2-2

曲率半径:530m

河床勾配:1/200

低水護岸:あり

流量 :H28年実績、
計画高水流量相当

2019年3/5に実施

ケースⅡ-1

曲率半径:200m

河床勾配:1/200

低水護岸:無し

流量 :実験水路
HWL相当

2019年10/17に実施

ケースⅡ-2

曲率半径:200m

河床勾配:1/200

低水護岸:あり

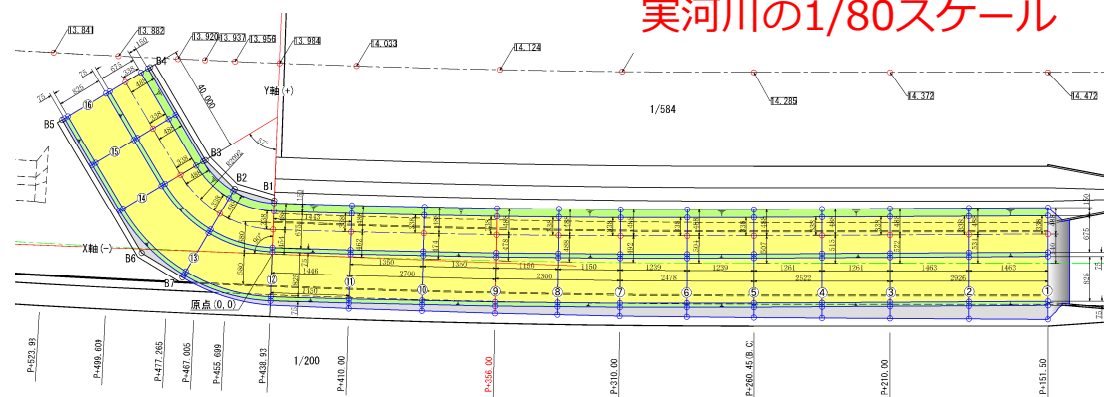
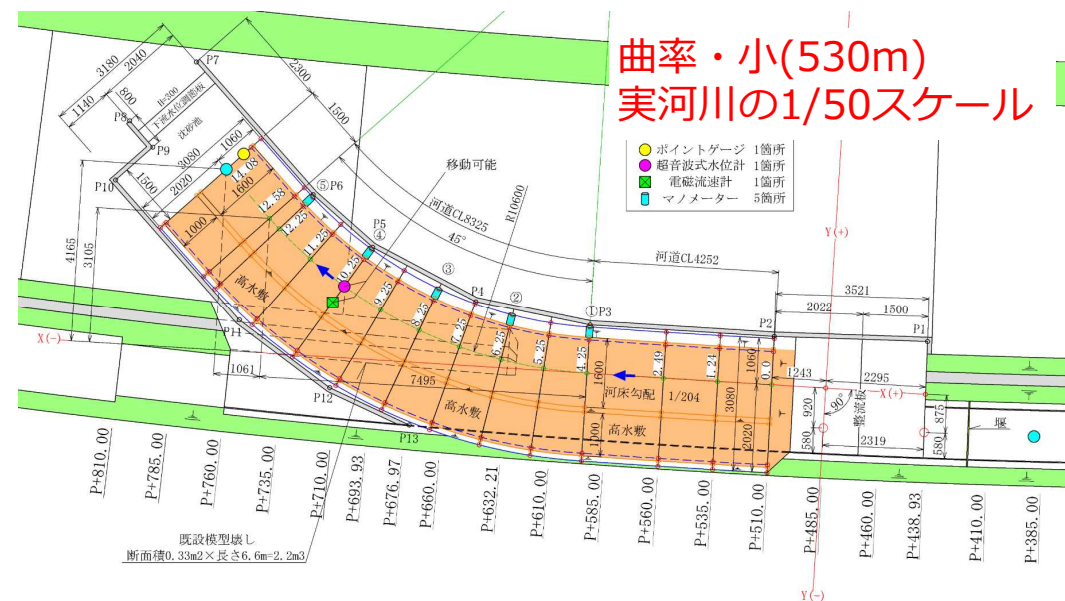
流量 :実験水路
HWL相当

2019年11/14に実施

ケースⅡ-1と比較し、
侵食進行のプロセスを考察

曲率・小(530m)
実河川の1/50スケール

曲率・大(200m)
実河川の1/80スケール



縮尺実験ケース I

検証内容：護岸背面の洗掘現象を再現

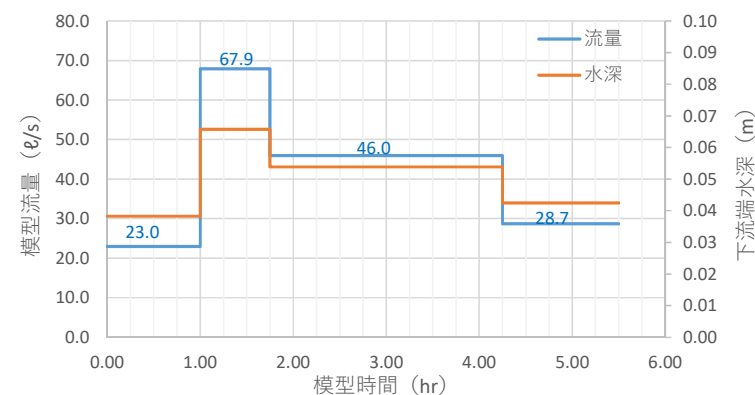
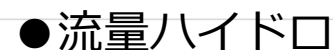
I -1 : 低水護岸無し

I -2-1 : 低水護岸あり(H28年8月洪水時の流量)

I -2-2 : 低水護岸あり(計画高水流量相当の流量)

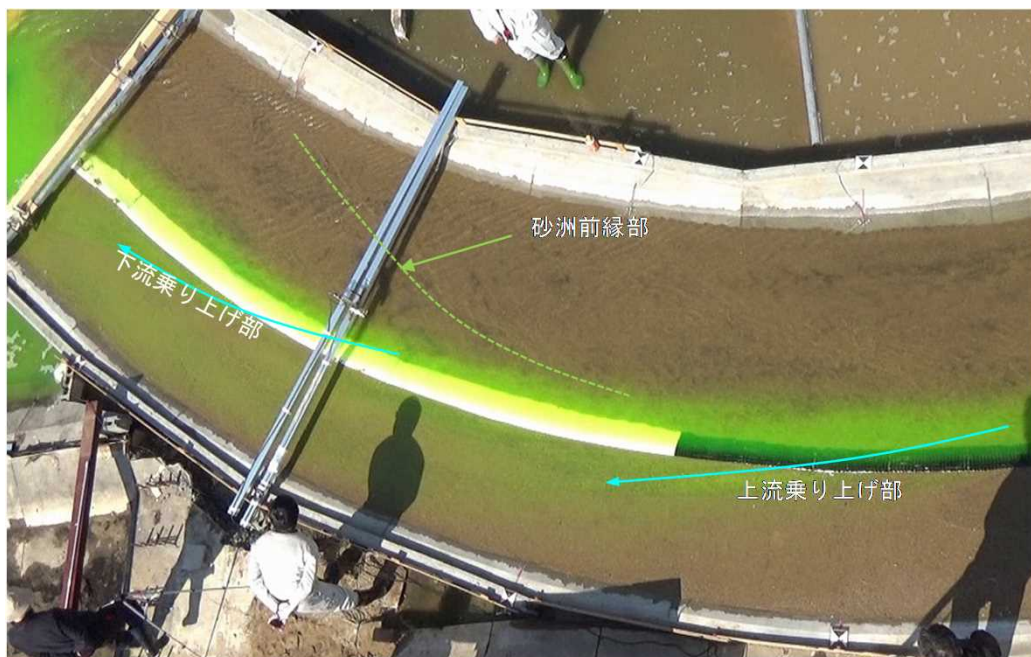
縮尺実験ケース一覧（表中の水路幅・延長、曲率半径、低水路高は実河川の1/50を想定）※縮尺はフルード相似則に則る

●縮尺実験平面図



縮尺実験 I : 結果～H28年8月洪水相当の流量

- 全体の流況は湾曲に沿って流下し、湾曲上流部と下流部の二箇所で大水深を乗り越える流れが確認でき、護岸背面における大水深の洗掘が進行していた。



【全体の流況】

・湾曲に沿って流下し、湾曲部上流部と下流部の2箇所で大水深を乗り越える流れが確認できた。

【低水路の河床状況】

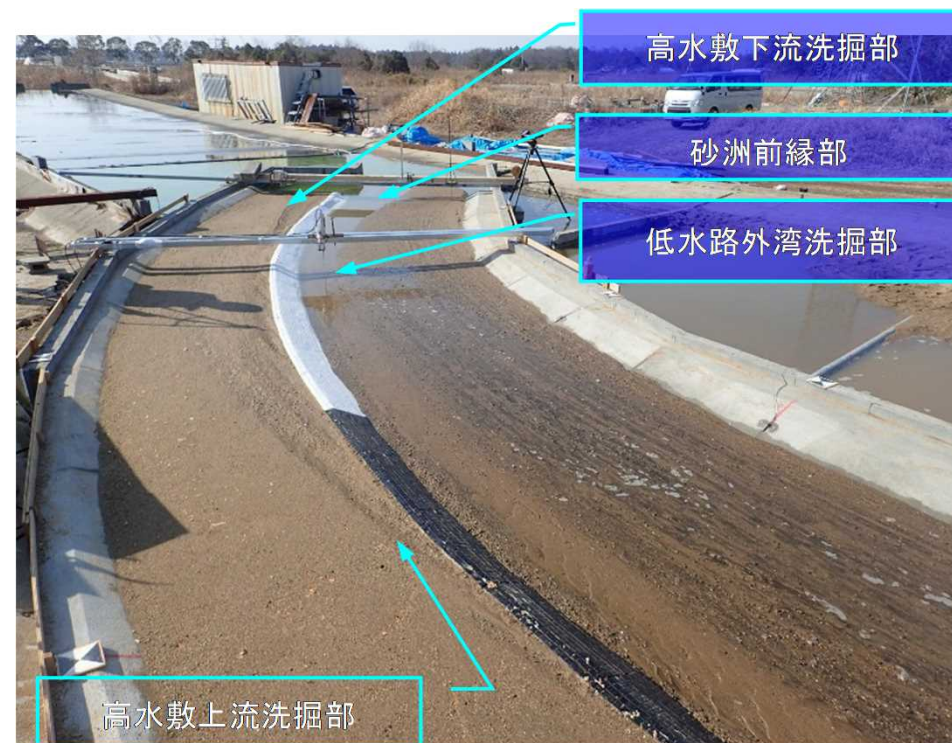
・外湾護岸基礎部分で洗掘が進行し、内湾部から外湾部に向けて、砂洲の発達・移動が確認できた。その波長は50～60mと長い。

【護岸ブロック状況】

・ブロックはそれぞれ連結しているため、急激な崩壊は発生しない。大水深天端の2列のブロックは、沈下は見られるものの、崩壊には至らない。ただし、護岸基礎部の洗掘が大きい。

【大水深の洗掘状況】

・湾曲部上流部と下流部の2箇所の大水深へ水流が乗り越える箇所において、護岸背面における大水深の洗掘が進行した。

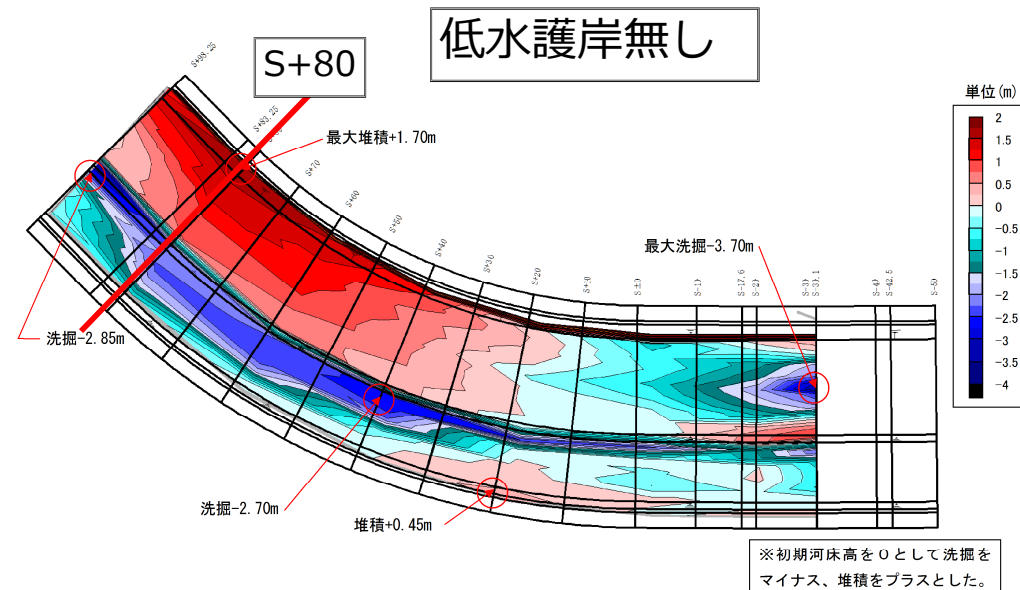
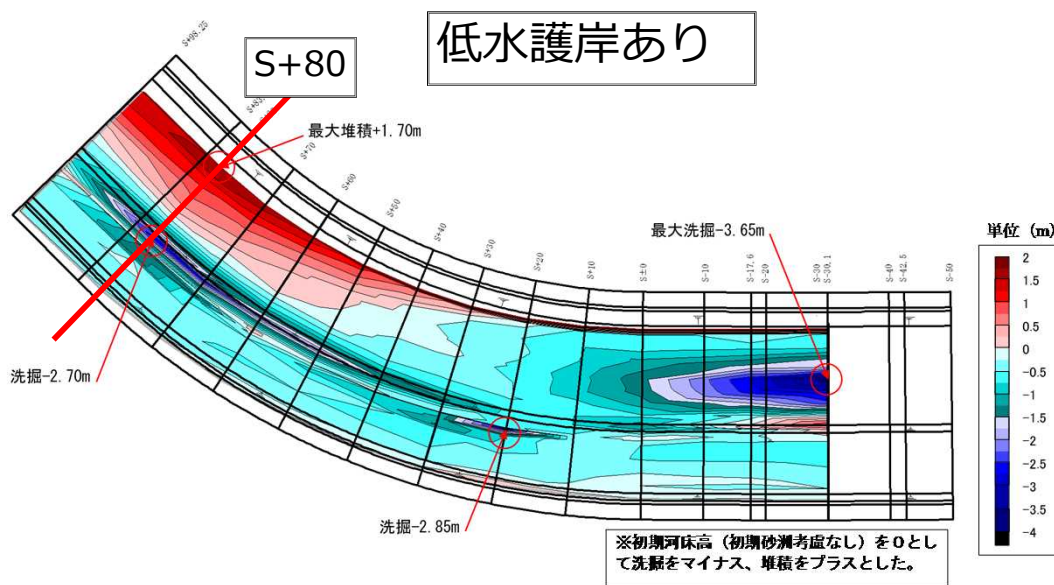


高水深下流洗掘部

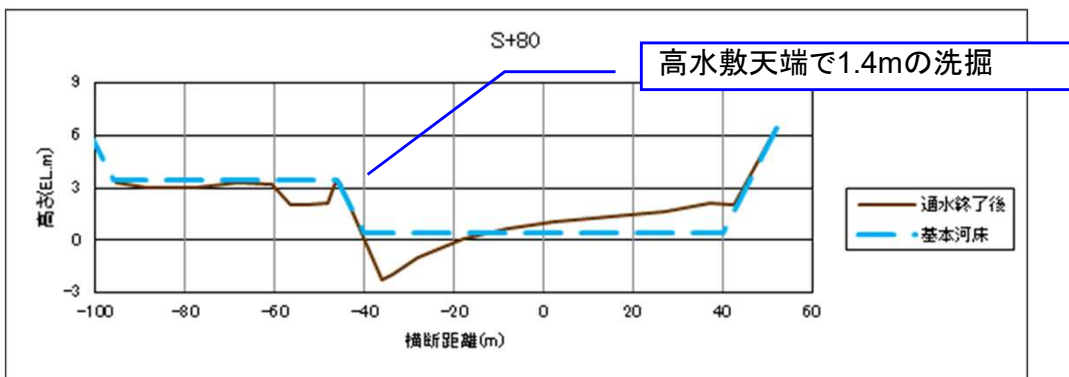
高水深上流洗掘部

縮尺実験Ⅰ：結果～通水後の河床洗掘状況(護岸無しとの違い)

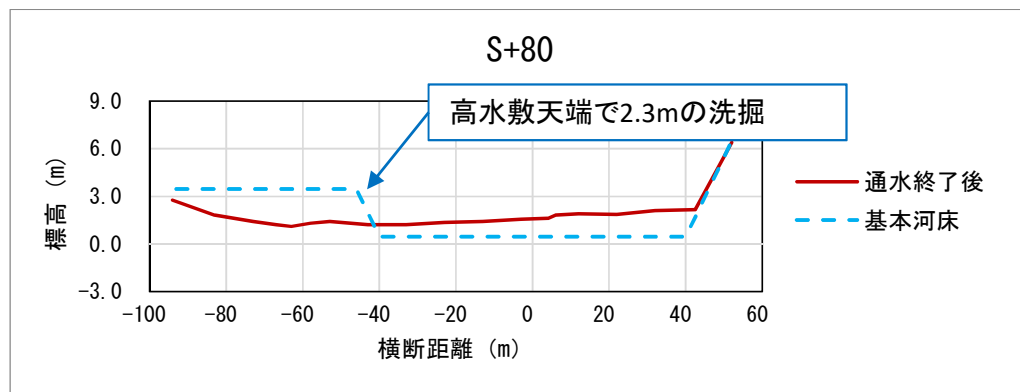
- 低水護岸が無い場合、高水敷洗掘はより広範囲、低水路内は砂州堆積が著しい。
- 音更川相当の湾曲度の河川では、高水敷洗掘に対する低水護岸の効果は大きい。
- 一方、数値解析では同程度流量で同程度の高水敷洗掘や低水路堆積が確認されているが、縮尺実験では洗掘深さや堆積量が異なるため検証が必要である。



低水護岸の有無による洗掘状況比較(縮尺実験結果)



※実験終了時の測量結果



縮尺実験ケースⅡ

検証内容：堤防決壊へ至る侵食進行のプロセスの検証

Ⅱ-1：低水護岸無し

Ⅱ-2：低水護岸あり

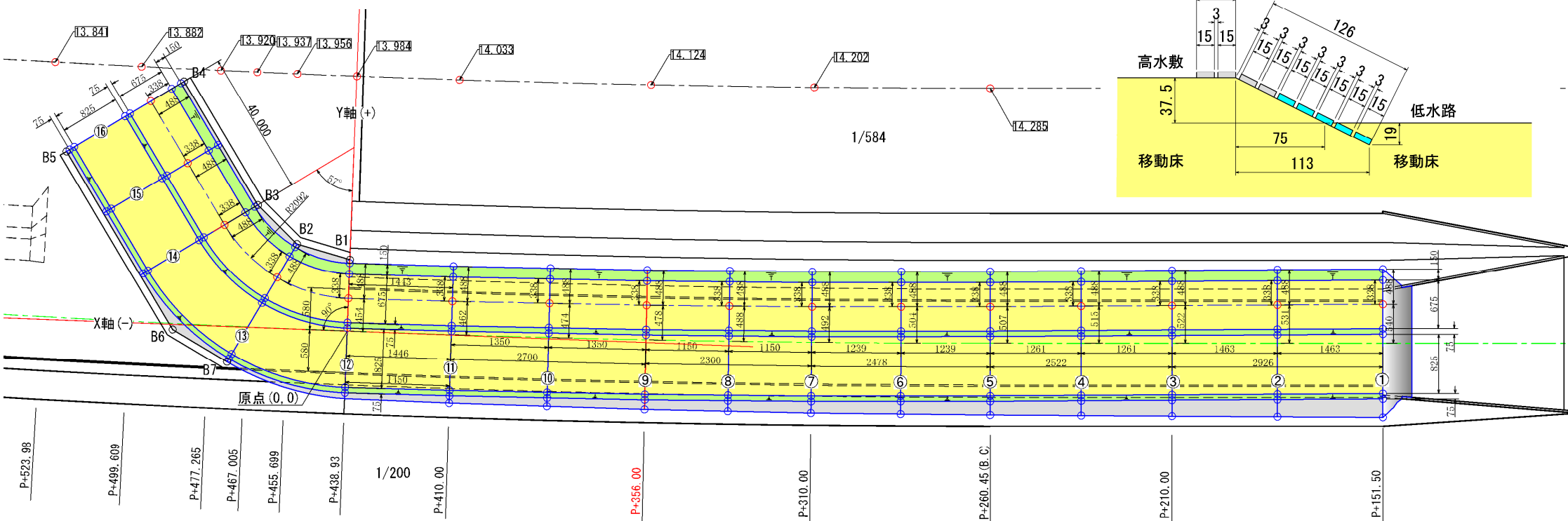
縮尺実験Ⅱ：条件

- 低水護岸の有無による堤防決壊へ至る侵食進行のプロセスの検証(仮説の検証)することを目的として、縮尺実験を実施した。

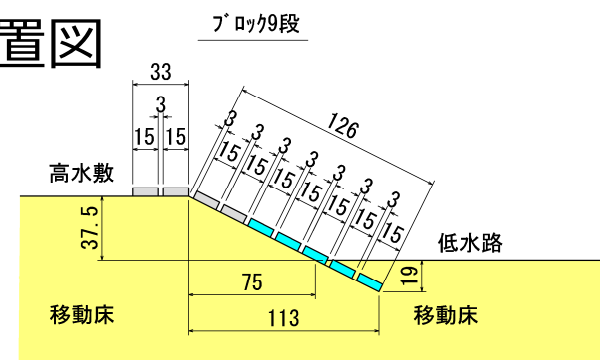
実験ケース一覧（表中の水路幅・延長、曲率半径、低水路高は実河川の1/80を想定。通水流量は千代田実験水路の70m³/s相当）
※縮尺はフルード相似則に則る

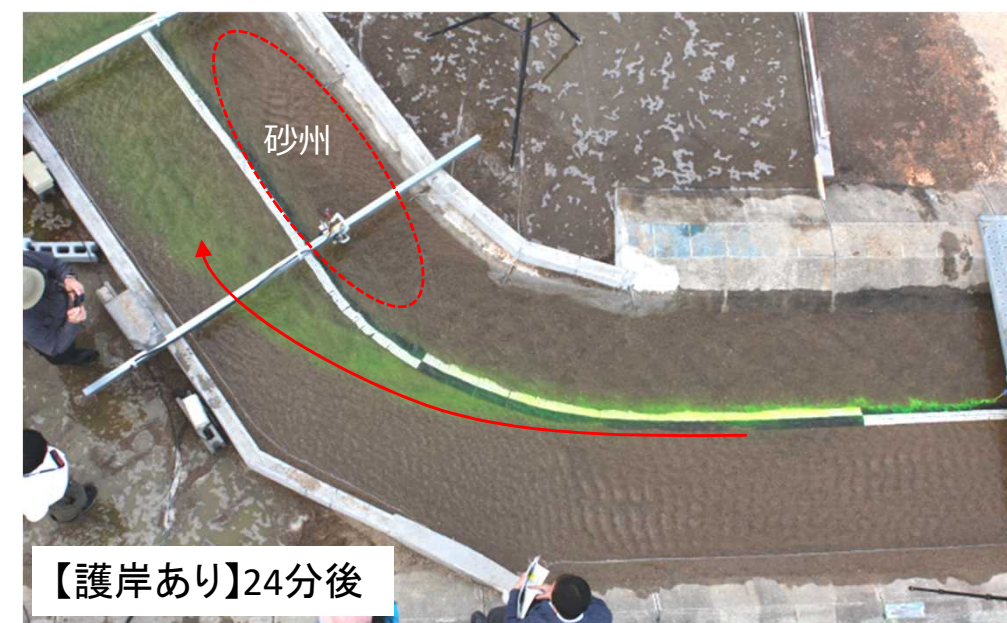
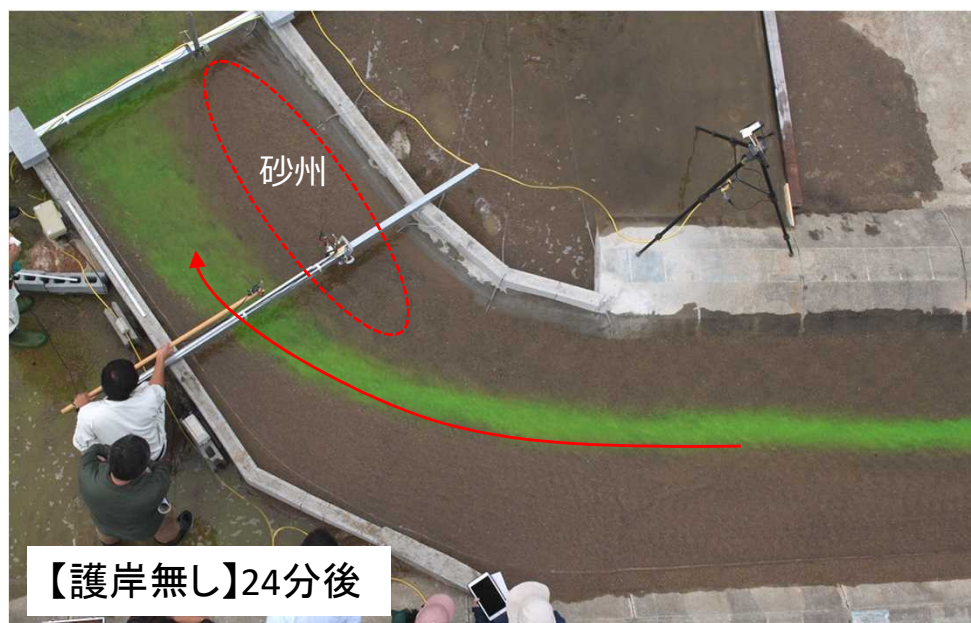
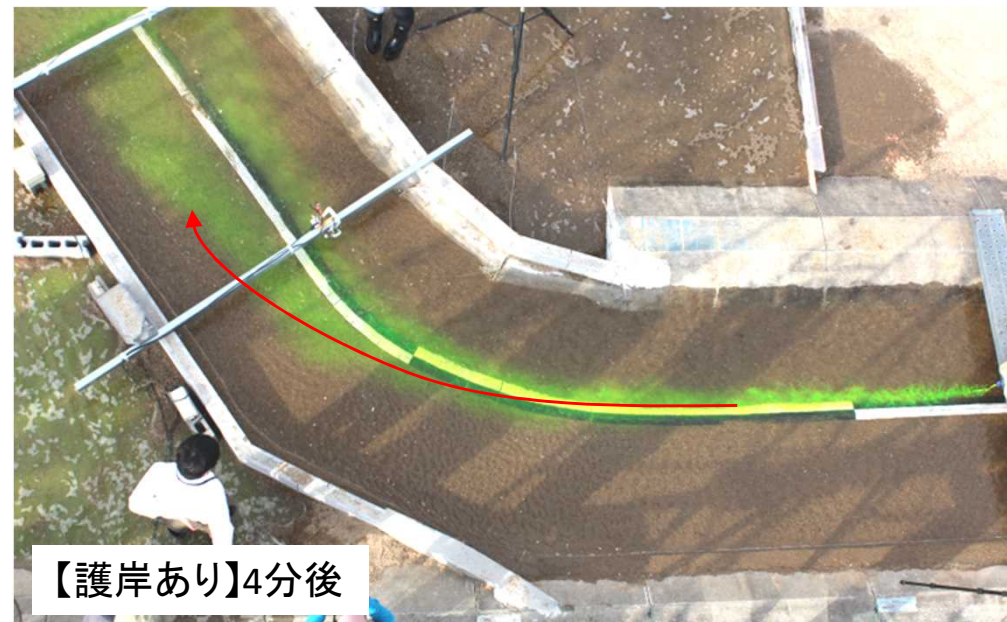
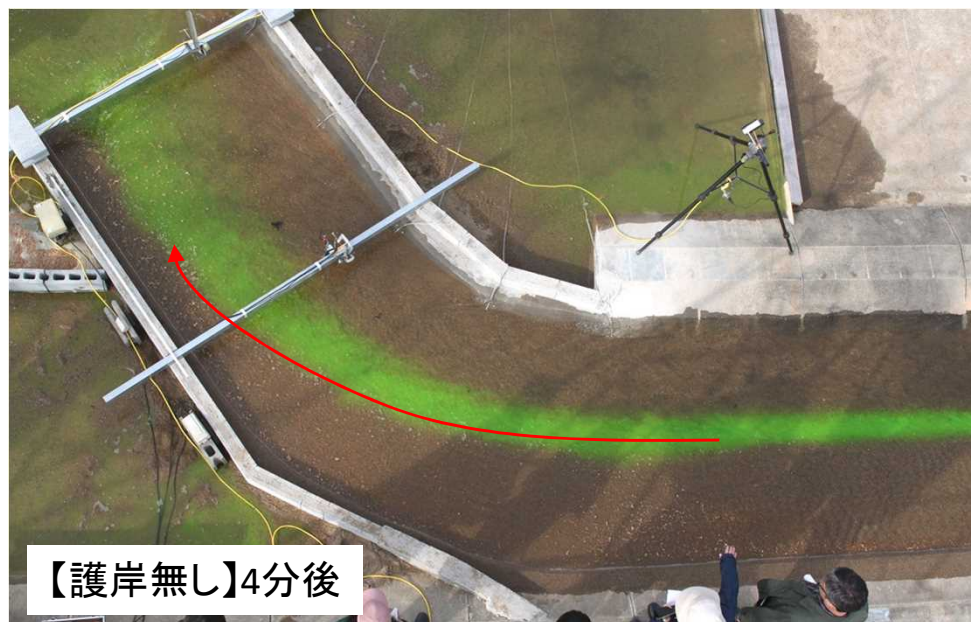
ケース	実験内容	縮尺	河床勾配	低水路幅 (m)	水路延長 (m)	曲率半径 (m)	低水路高 (m)	通水流量 (m ³ /s)	材料粒径 (mm)
Ⅱ-1	護岸無し R1.10.17	1/80	1/200	0.675 (高水敷幅0.825)	約20	2.5	0.0375	Q=70m ³ /s (39.1ℓ/s相当)	D60 =1.2mm
Ⅱ-2	護岸あり R1.11.14								

●千代田実験平面図



●低水護岸の設置図



**【通水時の流況】**

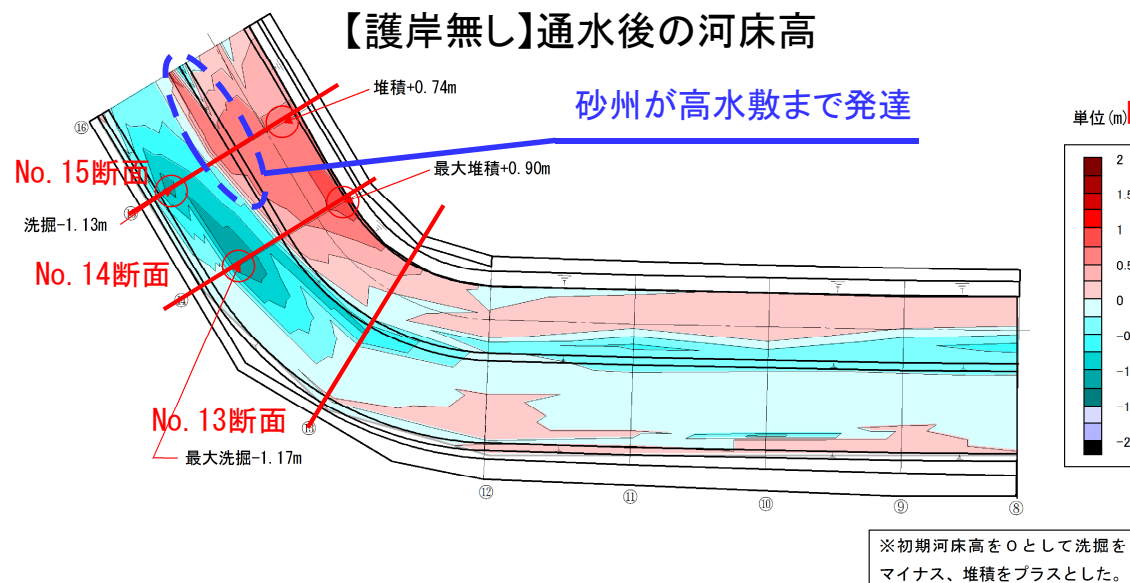
いずれのケースも湾曲部内岸側に砂州が形成され、主流が外岸側へ移行する傾向である。

縮尺実験Ⅱ：結果～河床状況(通水後の測量結果)

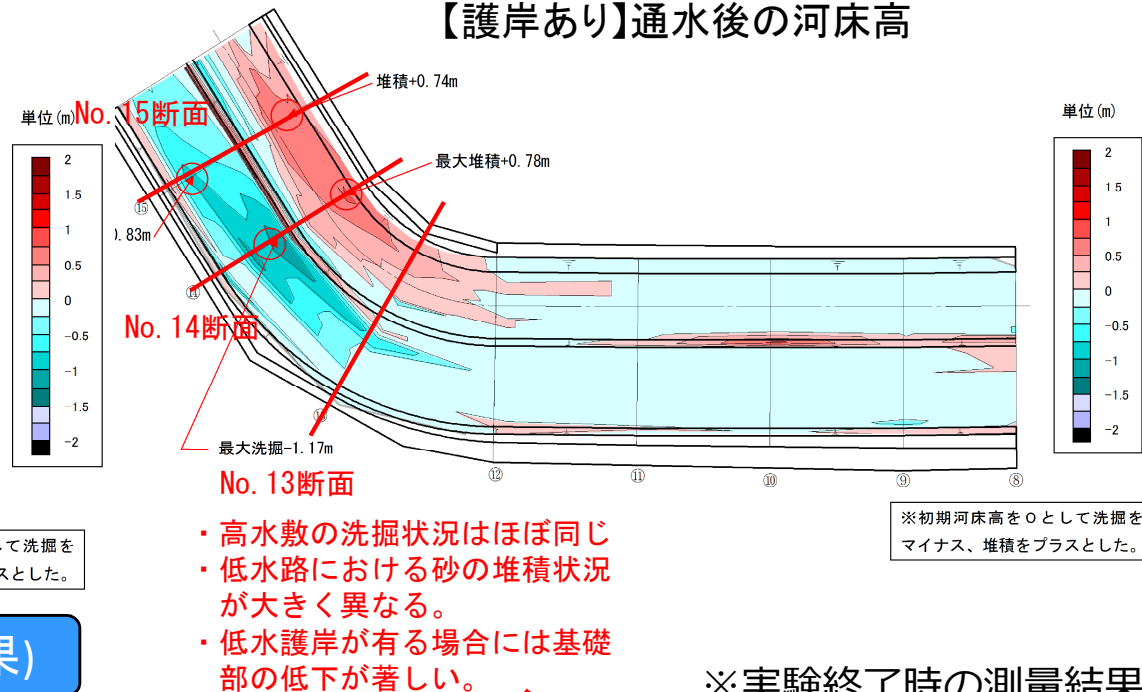
- 低水護岸が無い場合、低水路が拡幅する過程で内岸側の砂州が高水敷まで発達。
- 低水護岸が有る場合、砂州の発達は低水路内に留まるが、高水敷の侵食は進行。また、基礎部の洗掘が著しい。

【護岸無し】通水後の河床高

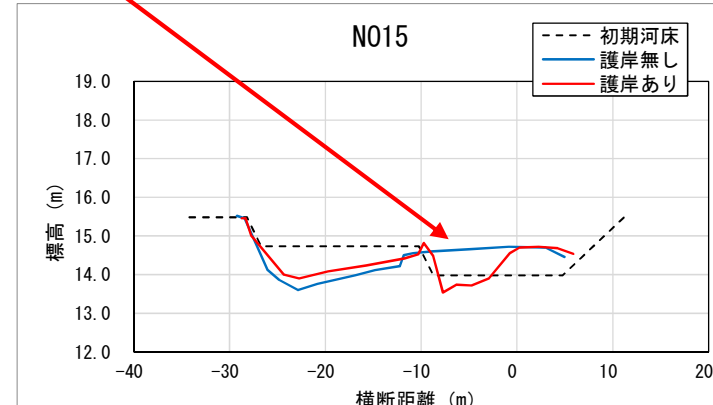
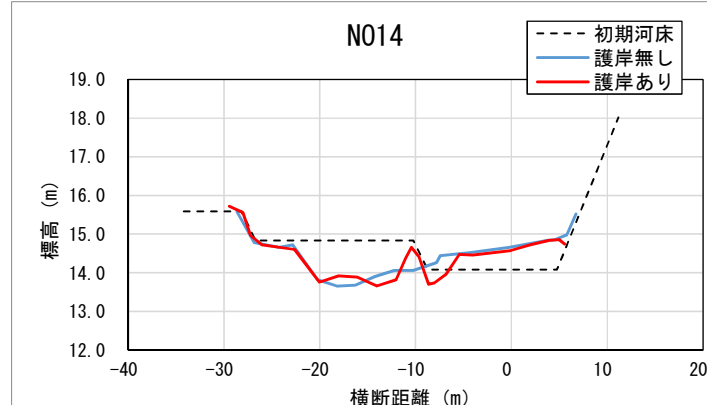
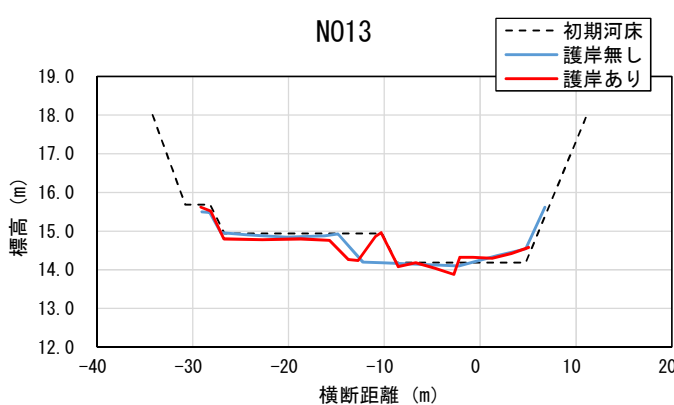
砂州が高水敷まで発達



【護岸あり】通水後の河床高



低水護岸の有無による洗掘状況比較(縮尺実験結果)

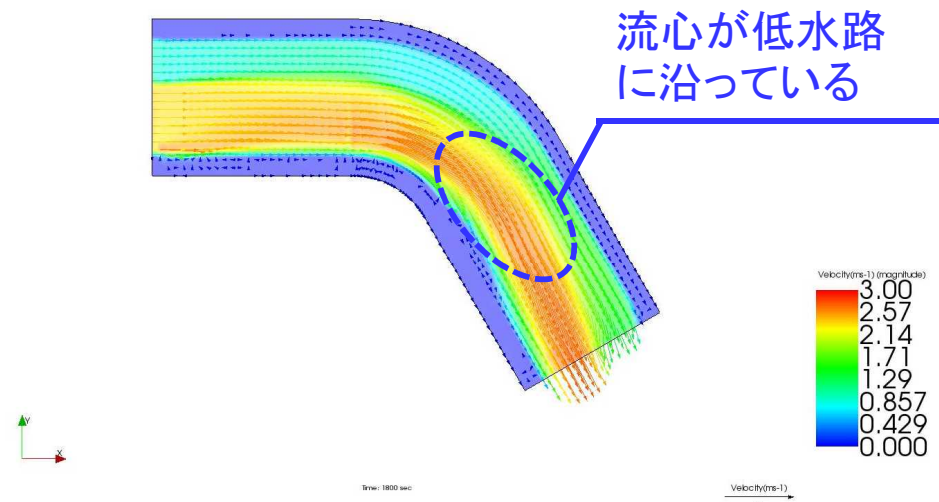


※実験終了時の測量結果

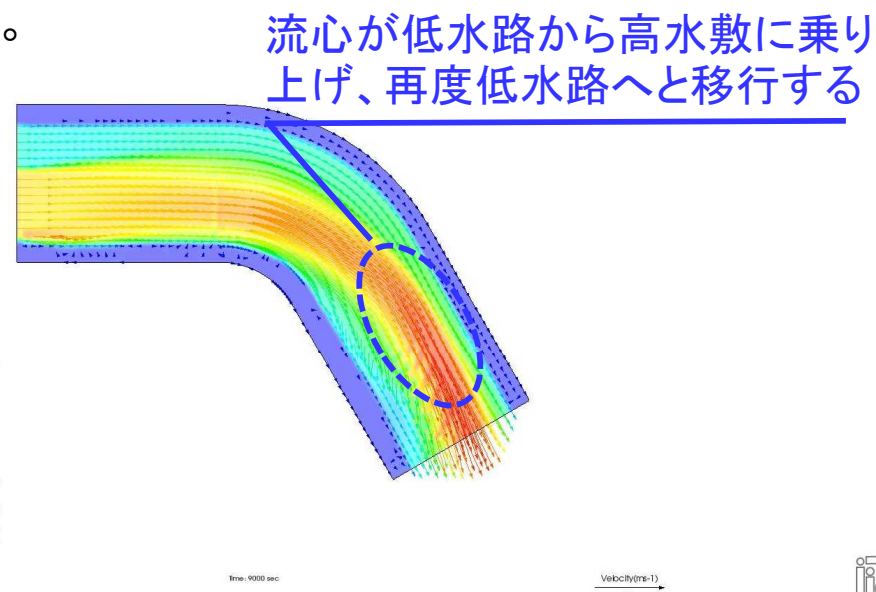
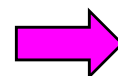
数値解析と縮尺実験の比較検討、流心位置の変動

流心位置の変動

- ・時間が経過するにつれて、流心が低水路から高水敷に乗り上げ、堤防へ接近。
- ・下流側で、流心が再度低水路へ移行する。

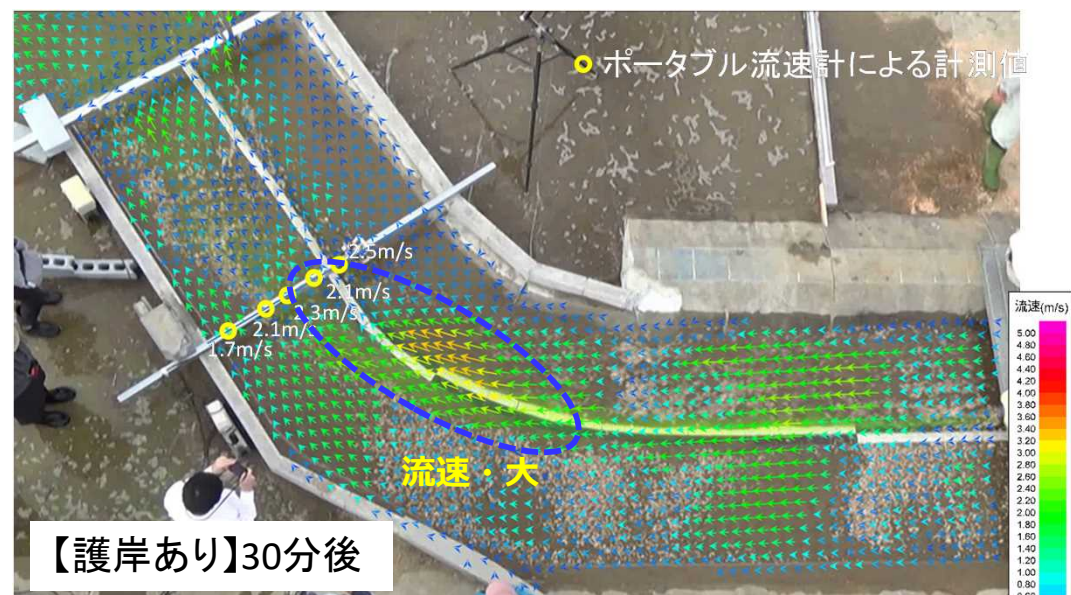
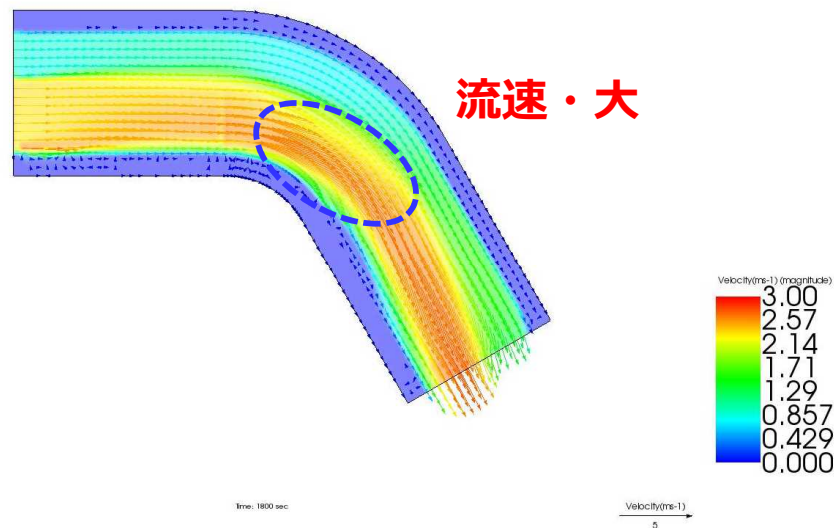


2時間経過



流速ベクトル比較

- ・通水30分後における流速分布については低水路の外岸側で早くなる傾向にあり、数値解析と縮尺実験でも大きな差はなく同等の傾向にある。



縮尺実験で検証できたこと

【流況および河床変化】

- ・ 数値解析と同様の流況を確認
(湾曲部の上流部・下流部で低水路と高水敷の交換流)
- ・ 湾曲部において低水護岸基礎部の洗掘進行、内岸部の砂州の発達が確認

【連結タイル（低水護岸）の崩落状況】

- ・ タイルは連結されており急激な崩落には至らない
- ・ また、タイルの沈下が確認されたが、崩落はしていない
- ・ 一方、低水護岸基礎部の洗掘が激しく、基礎部崩落による護岸法面崩落が懸念

縮尺実験では検証できないこと

- ・ 高水敷水深が浅く、高水敷上の流れが実現象をどこまで反映できているか不明
- ・ 出水中の深掘れ、減水期の埋め戻しなどの過程と流況変化との関係が未確認
- ・ 混合粒径と均一粒径の違いによる移動現象の比較が困難
- ・ スケール比による侵食現象の進捗比較が困難

4. 千代田実験水路での検証項目

■ 数値解析、縮尺実験で検証できた現象は限定的であることから、侵食現象の把握のため千代田実験で検証を行う必要がある。

- ・ 河床高の変化や河岸・高水敷侵食の状況は把握できるが、数値解析結果が実現象を反映しているか判定が難しい。
- ・ 低水護岸の有無による河岸侵食状況は把握できるが、低水護岸の挙動(流体力や浮力による挙動、連結護岸としての挙動)が不明
- ・ 均一粒径の場合、横断方向侵食の検証ができない。
- ・ 高水敷水深が浅く、高水敷上の流れが実現象をどこまで反映できているか不明
- ・ 出水中の深掘れ、減水期の埋め戻しなどの過程と流況変化との関係が未確認
- ・ 混合粒径と均一粒径の違いによる移動移動現象の比較が困難
- ・ スケール比による侵食現象の進捗比較が困難

数値解析

縮尺実験

各手法で確認した
侵食現象の違いの
要因を把握

【計算条件】

流量: 70m³/s (定常)
下流水位: 等流水深
粗度係数: 0.023
粒径: 23mm

千代田実験水路

- 千代田実験に求められる観測項目
- ・ 実験前後および実験中の高水敷、低水路の河床高さ
 - ・ 実験中の低水護岸の挙動
 - ・ 実験前後および実験中の低水護岸基礎部の土砂移動

- 千代田実験に求められる観測項目
- ・ 3次元的な流速(二次流等)発生状況
 - ・ 出水中の深掘れ、減水期の埋め戻し
 - ・ 高水敷、低水路の粒径加積曲線

侵食現象の把握、有効な対策工の開発

千代田実験水路での検証内容(案)

数値解析

【実施結果】

- ・堤防法線の曲率半径と河床勾配が高水敷侵食を拡大させる支配要因と推定（ただし、その他要因も侵食現象に影響を与えている可能性あり）
- ・湾曲部では、低水護岸の有無に関わらず、同様の流況・低水路内土砂堆積・高水敷洗掘が発生することを確認。ただし、その過程は低水護岸の有無で異なることを確認。

縮尺実験

【実施結果】

- ・数値解析と同様に、低水護岸の有無に関わらず、同様の流況・低水路内土砂堆積・高水敷洗掘が発生することを確認。
- ・数値解析と同様に、低水護岸の湾曲部における基礎の洗掘、内岸側の砂州の発達を確認。
- ・連結したタイルで模擬した低水護岸は急激な崩落には至らず。一方、護岸基礎の洗掘による法面崩落が懸念される。

数値解析

縮尺実験

R2.10～で追加実施

R3

R3千代田実験

■ R3千代田実験水路での検証内容(案)

- ・数値解析結果の検証
- ・縮尺実験で生じた流況・洗掘状況を検証

数値解析

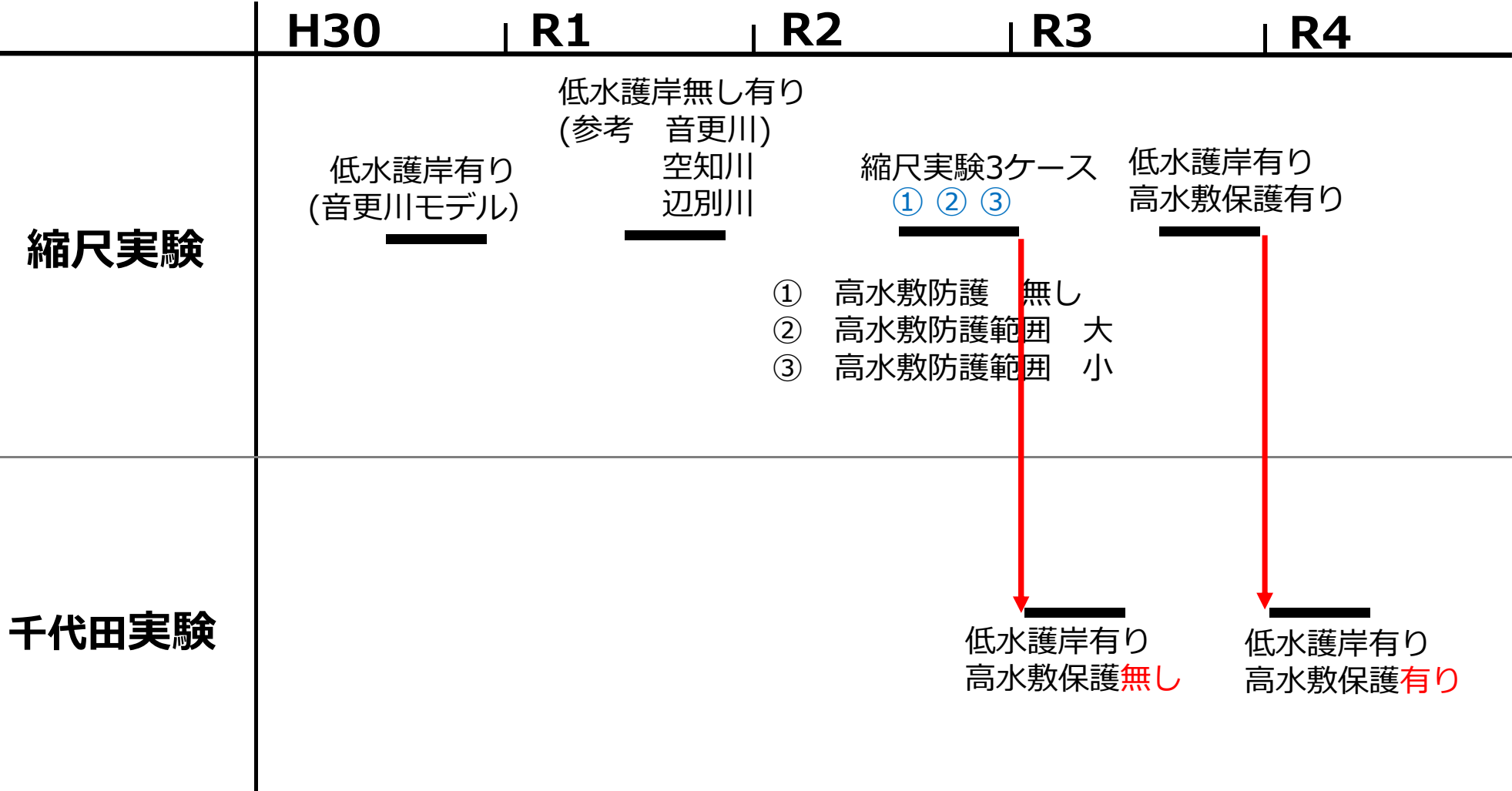
縮尺実験

R3年度に実施予定

R4

R4千代田実験

→高水敷保護工の有効性について検証を実施



■ R2.10の縮尺実験は現時点で3ケースを想定している。

■ 縮尺実験ケース①

R3千代田実験の再現検証を行い、観測範囲の絞り込みや観測項目の再検討。

【着目点】

- ・ R3千代田実験水路における高水敷洗掘範囲と堤防侵食箇所の絞り込みによる現地観測の効率化
- ・ 実現象確認による追加観測項目の抽出

■ 縮尺実験ケース②③

千代田実験で想定している高水敷保護工の有効性検証。

【高水敷保護工の有効性検証】

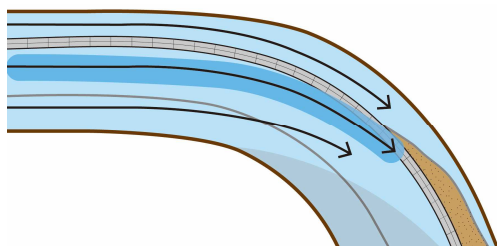
- ・ R4千代田実験で想定している高水敷保護工が有効に機能するか、敷設範囲の違いによる現象の違いを把握

縮尺実験

R3千代田実験

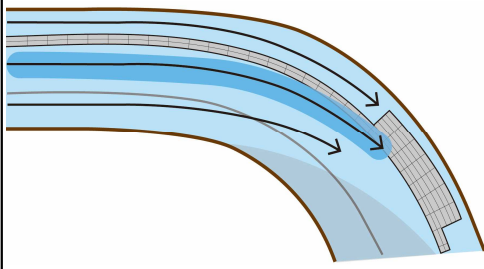
縮尺実験ケース①

曲率半径: 200m
河床勾配: 1/200
高水敷保護: 無し
流量: HWL相当



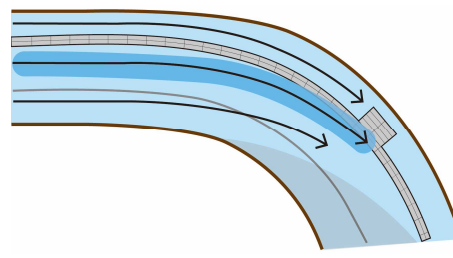
縮尺実験ケース②

曲率半径: 200m
河床勾配: 1/200
高水敷保護: 大
流量: HWL相当



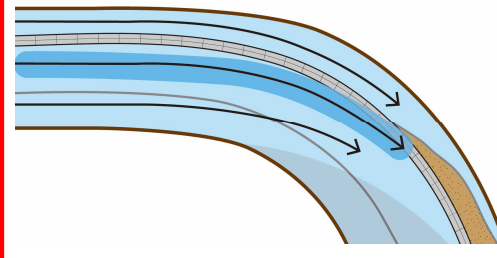
縮尺実験ケース③

曲率半径: 200m
河床勾配: 1/200
高水敷保護: 小
流量: HWL相当



R3千代田実験水路

曲率半径: 200m
河床勾配: 1/200
高水敷保護: 無し
流量: HWL相当



■従来の侵食対策工に加え、高水敷の洗掘に対し効果的な対策工を提案する。

従来の侵食対策工

- ・護岸工（低水護岸、高水護岸、堤防護岸）
- ・水制工

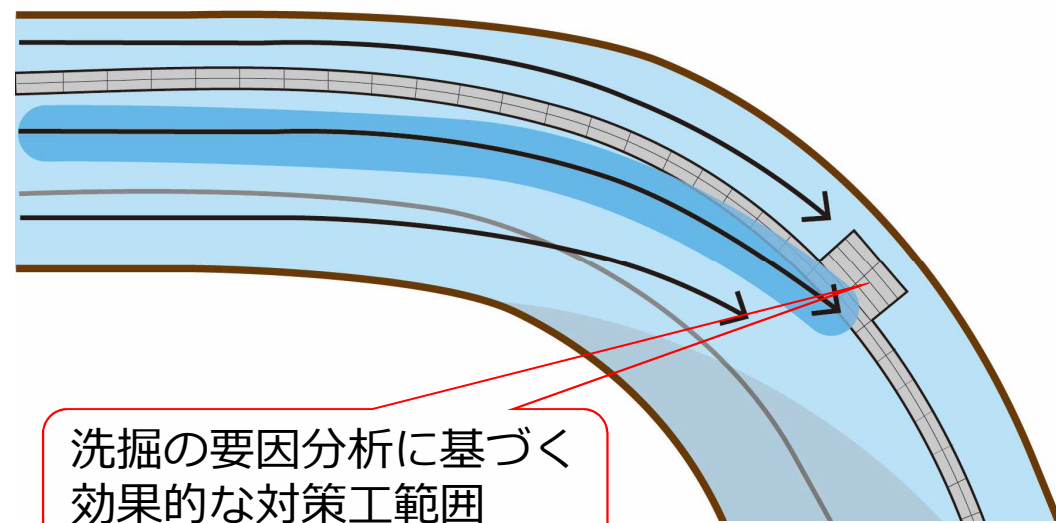
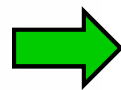
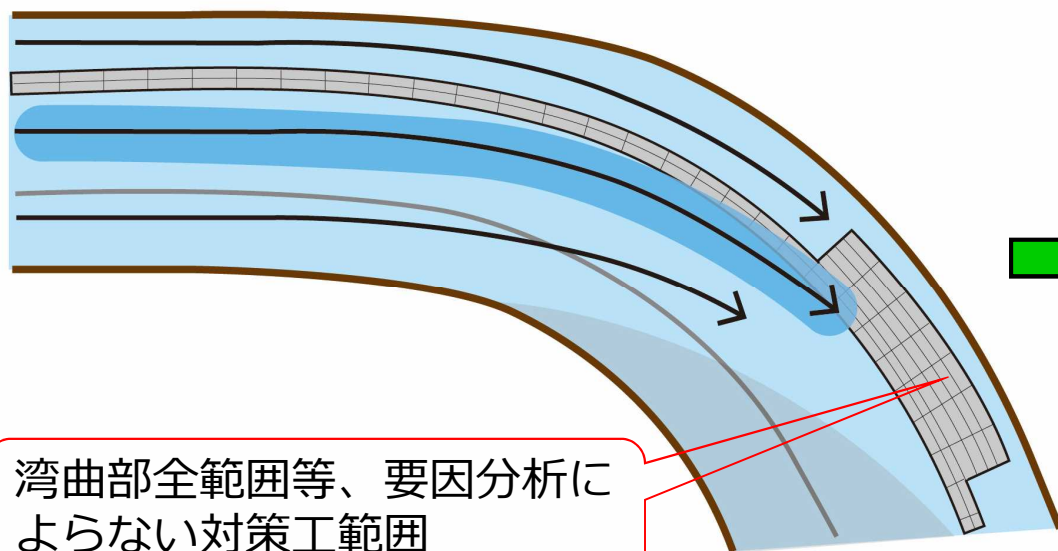
新たな侵食対策工

- ・高水敷保護工による侵食対策

【着目点】

- ①河道形状（湾曲度や曲率半径等）による流速が大きい箇所に着目
- ②乗り上げ部のみを防護すればよいかに着目

➡ 高水敷の洗掘対策における要因分析をもとに、効率的な対策工範囲を設定



5. 観測計画（案）

■ 論点

- ・ 低水路から高水敷への乗り上げ流の把握
- ・ 低水護岸背後の高水敷洗掘が進行するメカニズムの検証
- ・ 高水敷洗掘による堤防決壊要因の検証

R2縮尺実験とR3千代田実験における観測項目の違い

- 縮尺実験では水深が浅く、計測できない項目がある。
- R2縮尺実験では、定量的な計測は限られた項目のみ可能（定性的な観測が主）。
- R3千代田実験では、現象の把握のために、できるだけ定量的な計測を実施する。

現象	観測項目	千代田実験	縮尺実験			縮尺実験の観測手法
			ケース1	ケース2	ケース3	
水の流れ	流心位置	○	○	○	○	ビデオカメラ等
	流量	○	—	—	—	
	表面流速	○	○	○	○	電磁流速計、PIV解析
	断面流速	○	—	—	—	
	水深	○	—	—	—	
	水位	○	○	○	○	超音波式水位計等
洗堀過程	低水路堆積高	○	○	○	○	張り糸を用いた計測
	河床洗掘深	○	○	○	○	〃
	河床洗掘の経時変化	○	—	—	—	
	高水敷洗掘深	○	○	○	○	張り糸を用いた計測
	高水敷洗掘の経時変化	○	—	—	—	
	高水敷保護範囲	○	—	○	○	ビデオカメラ等
その他	堤防侵食状況	○	—	—	—	
	低水護岸の挙動	○	—	—	—	

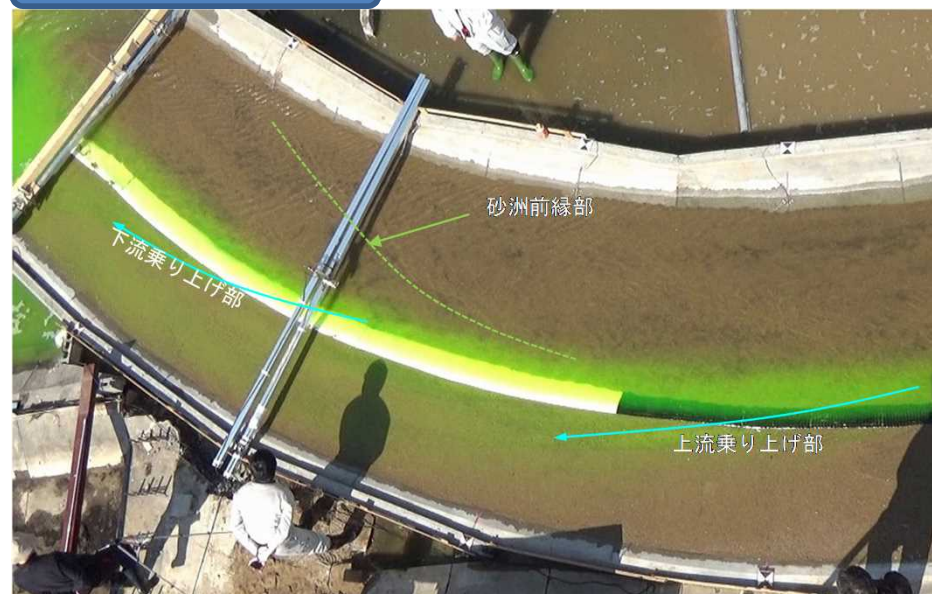
縮尺実験の観測方法1(案)

流況

観測ケース

ケース1	ケース2	ケース3
○	○	○

観測イメージ



目的

- 湾曲部における水の直進性や低水路から高水敷への乗り上げ流等の流況を把握するため。

観測方法

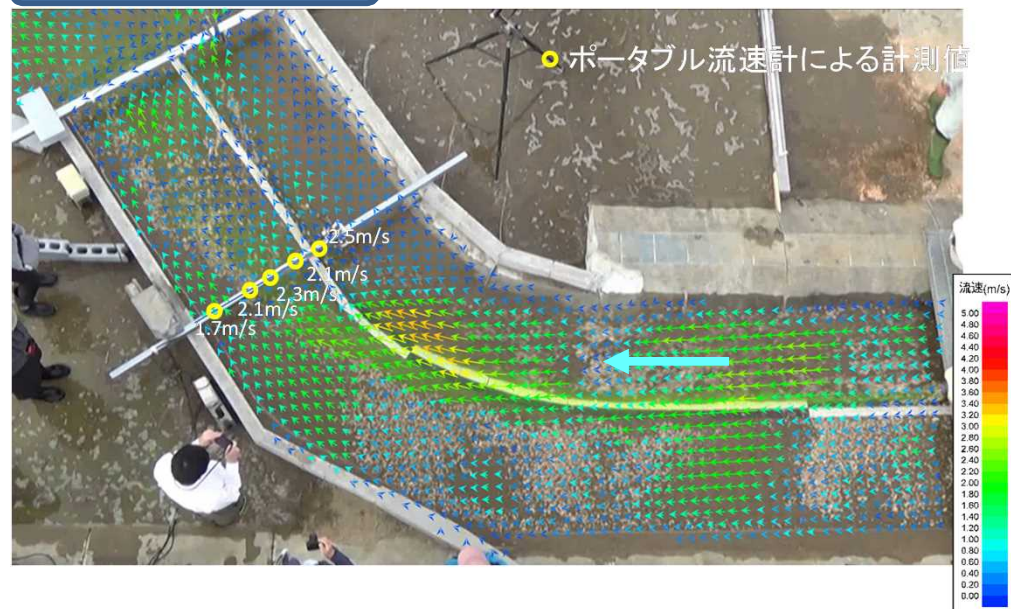
- カメラによる写真撮影、ビデオカメラによる動画撮影により流況を観測する。

表面流速

観測ケース

ケース1	ケース2	ケース3
○	○	○

観測イメージ



目的

- 湾曲部における流速分布を把握するため。

観測方法

- 電波式流速計により流速の時間変動を定点観測する。代表的な時刻の表面流速の平面分布を観測しPIV解析を行う。

縮尺実験の観測方法2(案)

水位

観測ケース		
ケース1	ケース2	ケース3
○	○	○

目的

- ・通水開始から破堤に至るまでの水位状況を把握するため。

観測方法

- ・超音波式水位計による定点観測、マノメーターによる縦断水位、サーボ式水位計による実験水路の上流の水位変動を観測。

観測イメージ



低水路堆積高
河床洗掘深
高水敷洗掘深

観測ケース		
ケース1	ケース2	ケース3
○	○	○

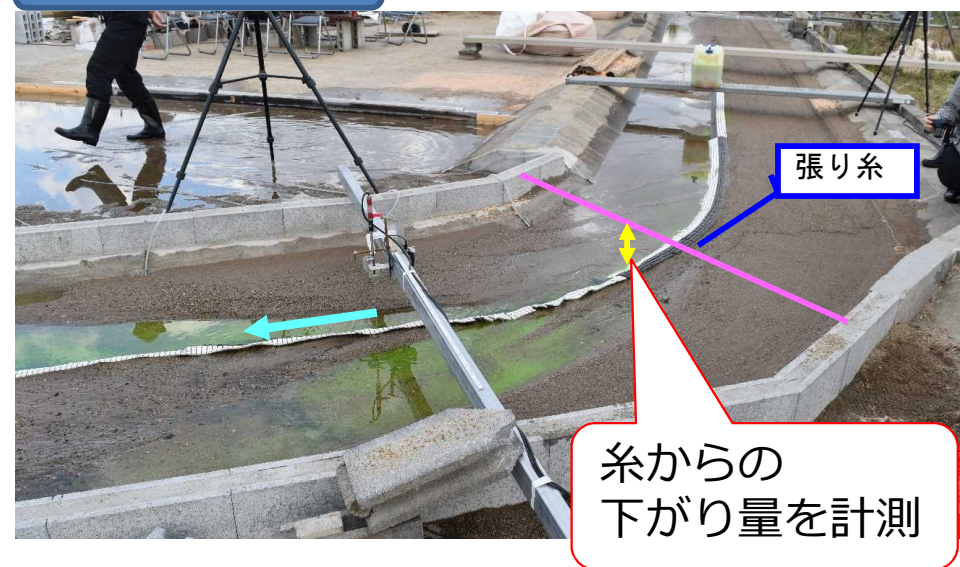
目的

- ・土砂移動による低水路の土砂堆積状況と河床洗掘深、高水敷洗掘深を把握する。

観測方法

- ・水路内に横断的に設置した一定高の張り糸からの下がり量を観測する。また、横断測量により河床高を計測する。

観測イメージ



縮尺実験の観測方法3(案)

高水敷保護範囲

観測ケース

ケース1	ケース2	ケース3
—	○	○

観測イメージ



目的

- 効果的な高水敷保護工範囲の検証にあたり出水による高水敷洗掘範囲を把握するため。

観測方法

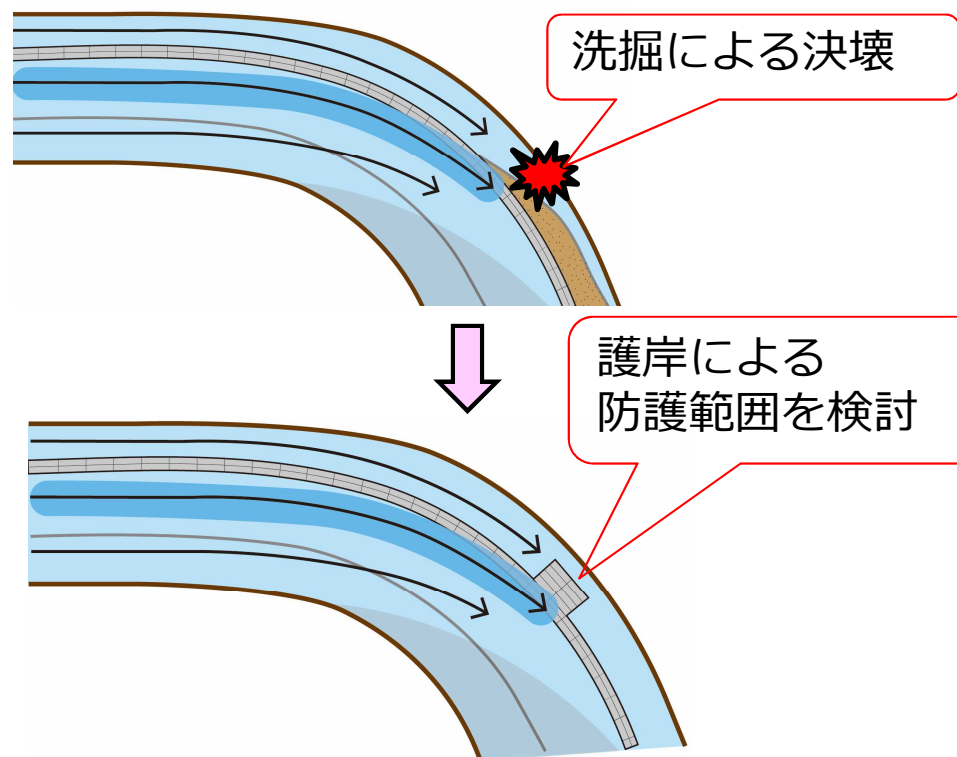
- ビデオカメラにより洗掘範囲を撮影

■条件整理

- 高水敷保護範囲の検証にあたっては、河道条件や地質条件、ブロック重量等の条件を整理する。

■高水敷保護範囲検証条件

- ・曲率半径: 200m
- ・河床勾配: 1/200
- ・対象流量: HWL相当
- ・高水敷材料: 砂質土
- ・ブロック重量: 320kg/m²

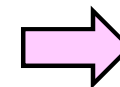


【観測の目的】

- R3千代田実験においては、数値解析や縮尺実験より得られた結果に対し実現象ではどのような流況や土砂の移動が生じるかを把握する。
- 生じる現象をデータにより定量的に評価する指標として、流速や水深等の基礎データを観測する。

○流況の把握

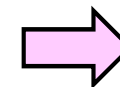
- ・ 湾曲部外岸側においては流れの直進性が強くなり、流れが外岸側に偏る。
- ・ 一方、内岸側は外岸側に比べ流れは弱くなる。



①水の流れ

○土砂の移動

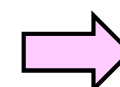
- ・ 湾曲部外岸側の高水敷では洗掘が生じるが、上流側からの土砂供給は無く洗掘傾向にある。
- ・ 一方、外岸側よりも流れが遅い内岸側では上流からの土砂の移動により砂州が形成される。



②河床の変化

○定量的な評価

- ・ 流速や水深等の水理諸量である基礎データを収集することにより、生じる現象に対し定量的な評価を行える。

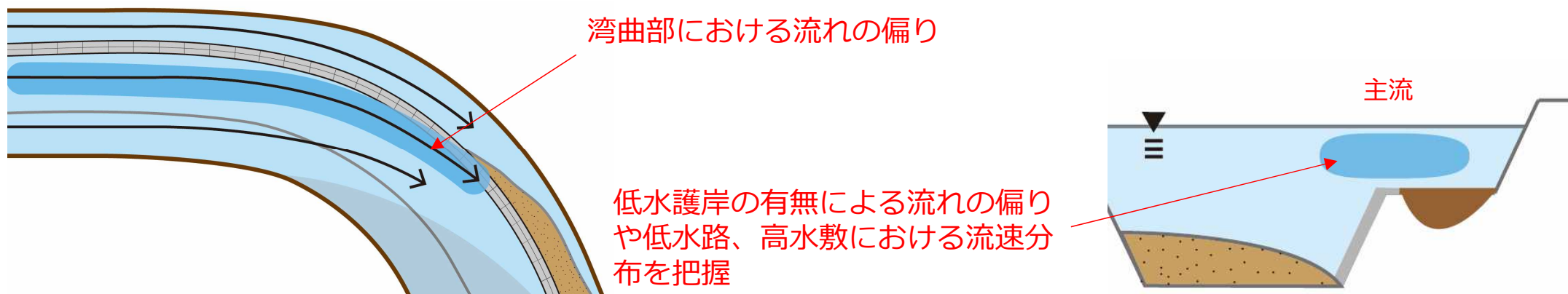


③基礎データ

R3千代田実験に求められる観測事項

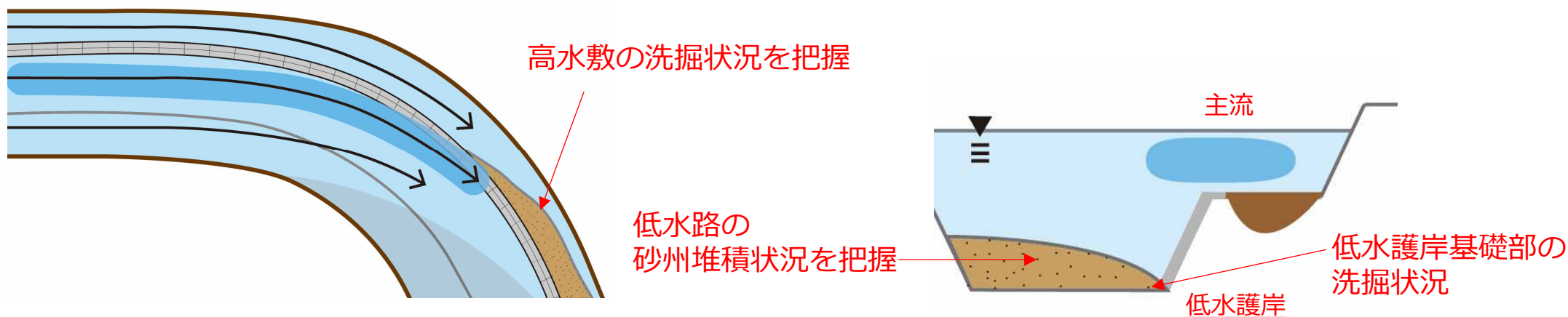
①水の流れ

- ・湾曲部の低水路・高水敷境界面における3次元流速(流心位置の変動)



②河床の変化

- ・実験前後、実験中の高水敷・低水路(内岸部および護岸基礎部)の河床変化
- ・実験中の深掘れ、減衰期の埋め戻し



③基礎データ

- ・基礎データの収集(直線部の流量、流速、低水護岸の挙動、高水敷・低水路構成土砂の粒径加積曲線 など)

- ・実験で得られた基礎データより、現象が生じる傾向を把握する。

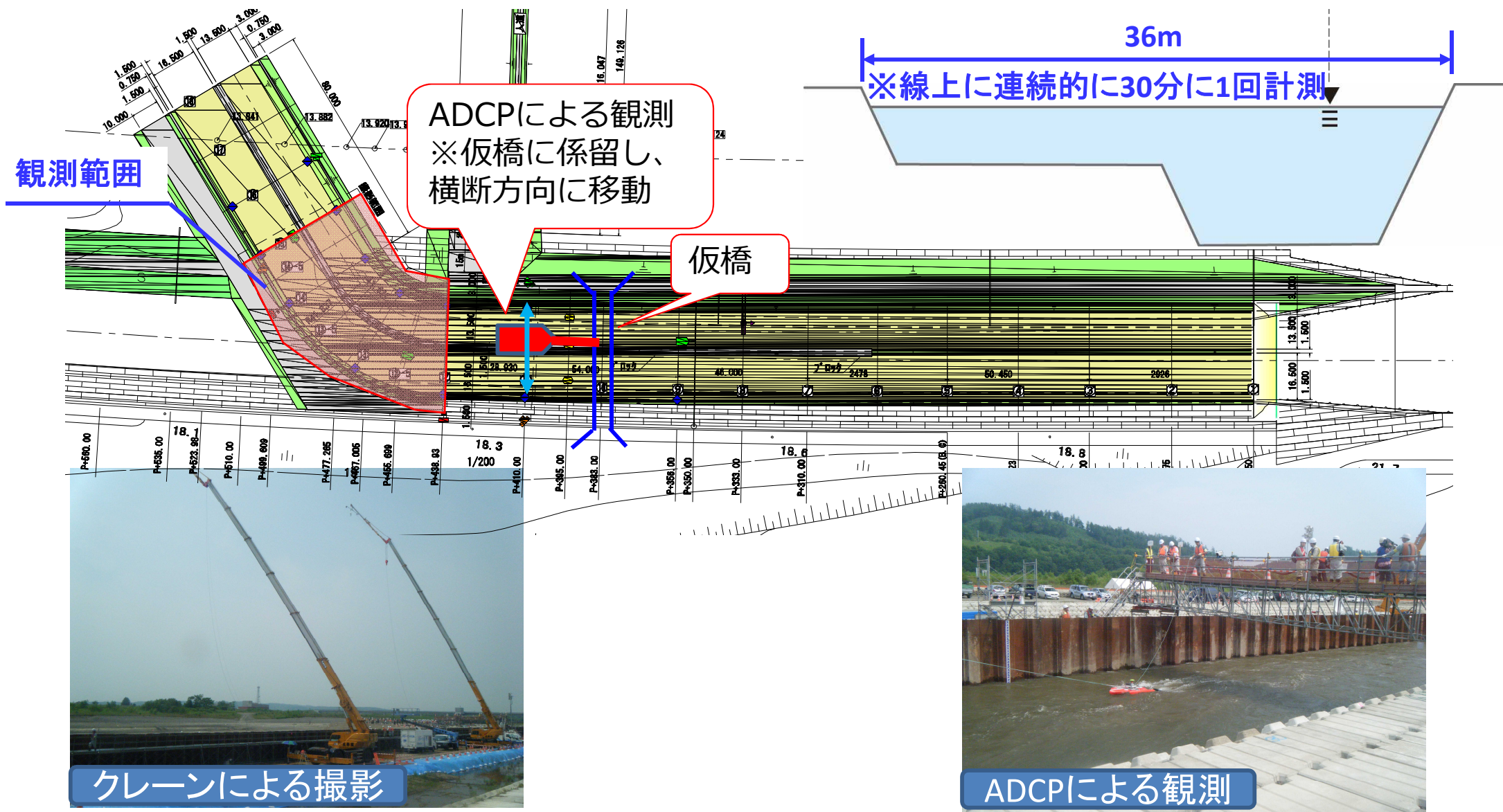
観測項目や観測目的等

観測内容	観測項目	観測機材など	観測場所	観測目的
基本的な水理量	流量	ADCP	水衝部上流(仮橋地点)	・流量の違いにより生じる現象やその状況を把握するため
平面的な流況計測	表面流速	ビデオカメラ 電波式流速計 ドローン ADCP	水衝部上空(クレーン) 水衝部右岸側 水衝部上空 低水路河岸	・湾曲部における水の直進性等の流況の把握するため ・砂州の堆積による水深の変化の把握を把握するため
三次元的な流況計測	流速の鉛直分布 水深(右岸) 平面的な水位	ダイバー式水位計 ビデオカメラ	右岸背割り堤法面 水衝部上空	
高水敷洗掘状況	洗掘深さの経時変化 実験前後の横断面 構成材料の粒径分布 透水係数	加速度センサー カラーボール 見出し杭 グリーンレーザープロ ファイラ※ 横断測量など	高水敷が洗掘されると 想定される範囲 (iRICや模型実験で 詳細を決定)	・流水による高水敷の洗掘範囲や深さを把握するため
低水路堆積状況 河床洗掘状況	洗掘深さの経時変化 実験前後の横断面 実験前後の粒径分布	加速度センサー カラーボール 色砂 横断測量など	高水敷が洗掘されると 想定される範囲 (iRICや模型実験で 詳細を決定)	・流水による低水路の土砂堆積範囲や高さを把握するため
堤防侵食状況	堤防法面の侵食	加速度センサー ビデオカメラ	侵食箇所の対岸	・堤防の侵食状況の把握するため
低水護岸の移動	低水護岸ブロック挙動	加速度センサー	縮尺模型実験で決定	・低水護岸背面の洗掘による護岸の挙動を把握するため

※千代田実験水路の条件で計測可能か検証中のため、補助計測扱いとしている

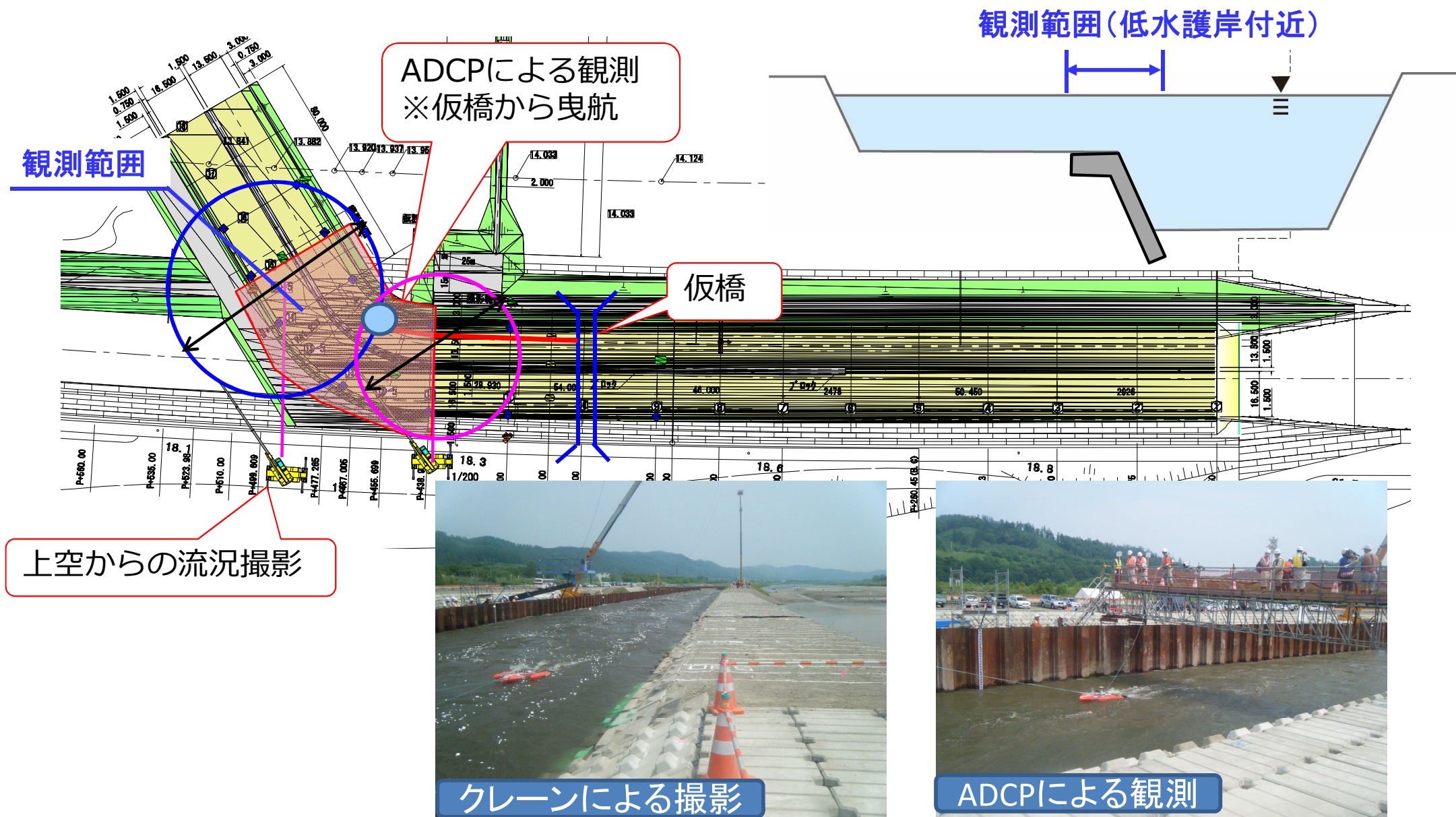
観測計画(基本的な水理量: 複断面直線部の流速、流量)

- ・ 実験中の水理量は仮橋からADCPを曳航し、横断方向に移動して観測
- ・ 低水路観測中は、鉛直流速分布も計測
- ・ 観測範囲は数値解析における高水敷洗掘を網羅した範囲に設定



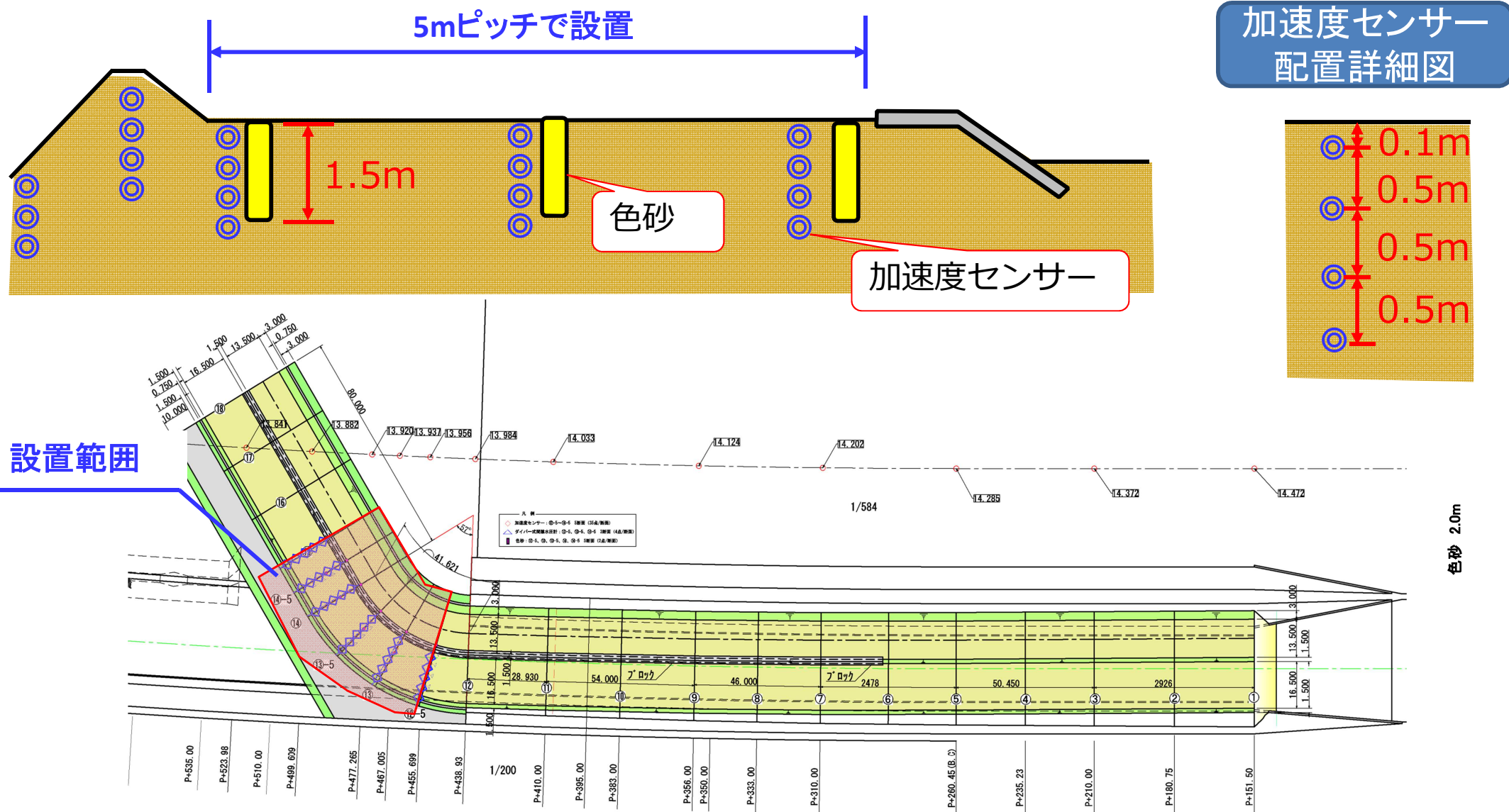
観測計画(低水護岸法面付近の3次元流況計測、PIV計測、水面の平面形計測)

- ・ 仮橋からADCPを曳航し、曳航ロープを伸ばして低水護岸法面付近の流況を計測
- ・ 平面的な流況はクレーンによる上空からの撮影や対岸側の撮影映像を基に解析



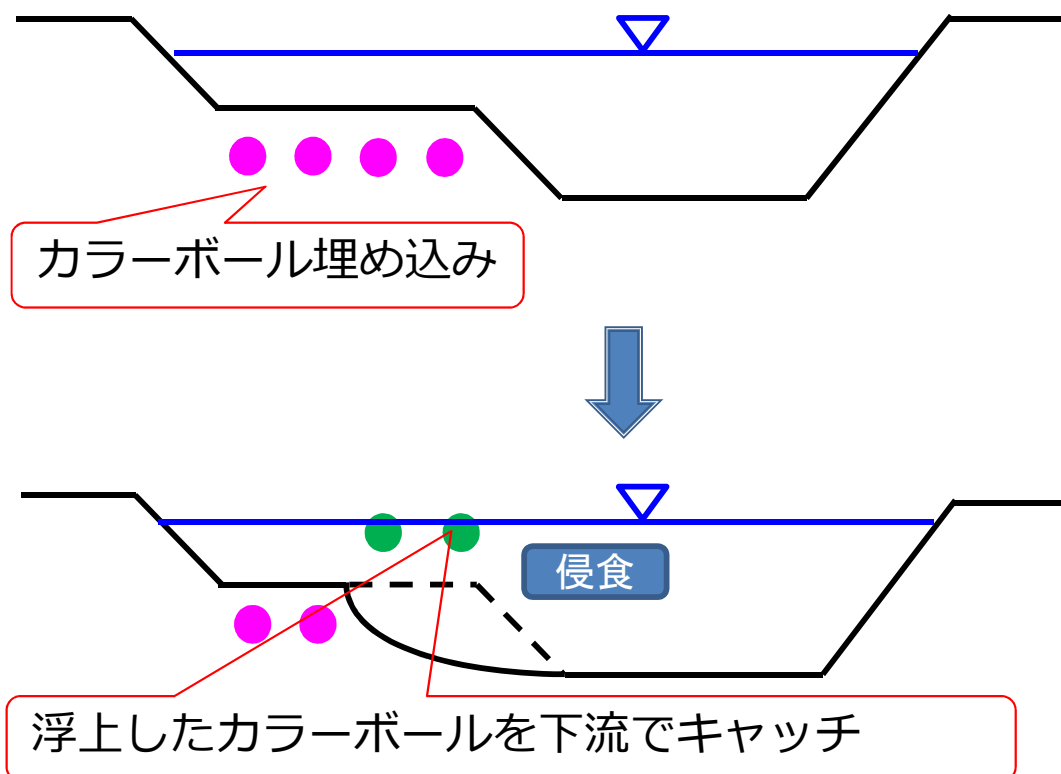
観測計画(高水敷洗掘状況、堤防侵食状況)

- ・ 高水敷洗掘の経時変化や堤防侵食状況は加速度センサーにより観測
- ・ 模型実験結果より最大洗掘深さが1.2mであったため、加速度センサー、色砂は1.5mの深さを網羅するように設置



- ・ 侵食された位置を把握するために、着色したカラーボールを高水敷に埋め込む。
- ・ 侵食到達時間は浮上したカラーボールを回収して時刻を確認する。
- ・ さらに、カラーボールにICタグをつけて移動を確認できるか検討中。

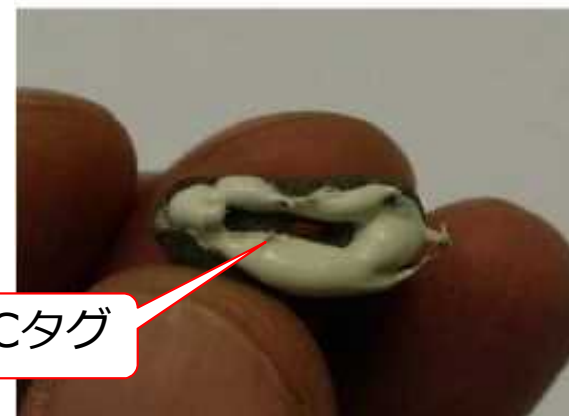
カラーボール 配置イメージ



■ ICタグ



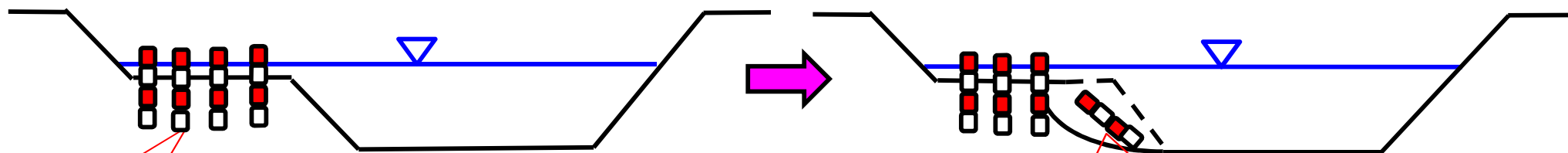
■ ICタグ埋め込み (過年度実験時)



観測計画(高水敷洗掘の進行状況の把握)

- ・ 低水路の侵食進行状況を視認できるように高水敷に赤白ポールを設置し、侵食進行状況を確認。
- ・ 赤白ポールの根入れは模型実験で確認（50cm程度を想定）

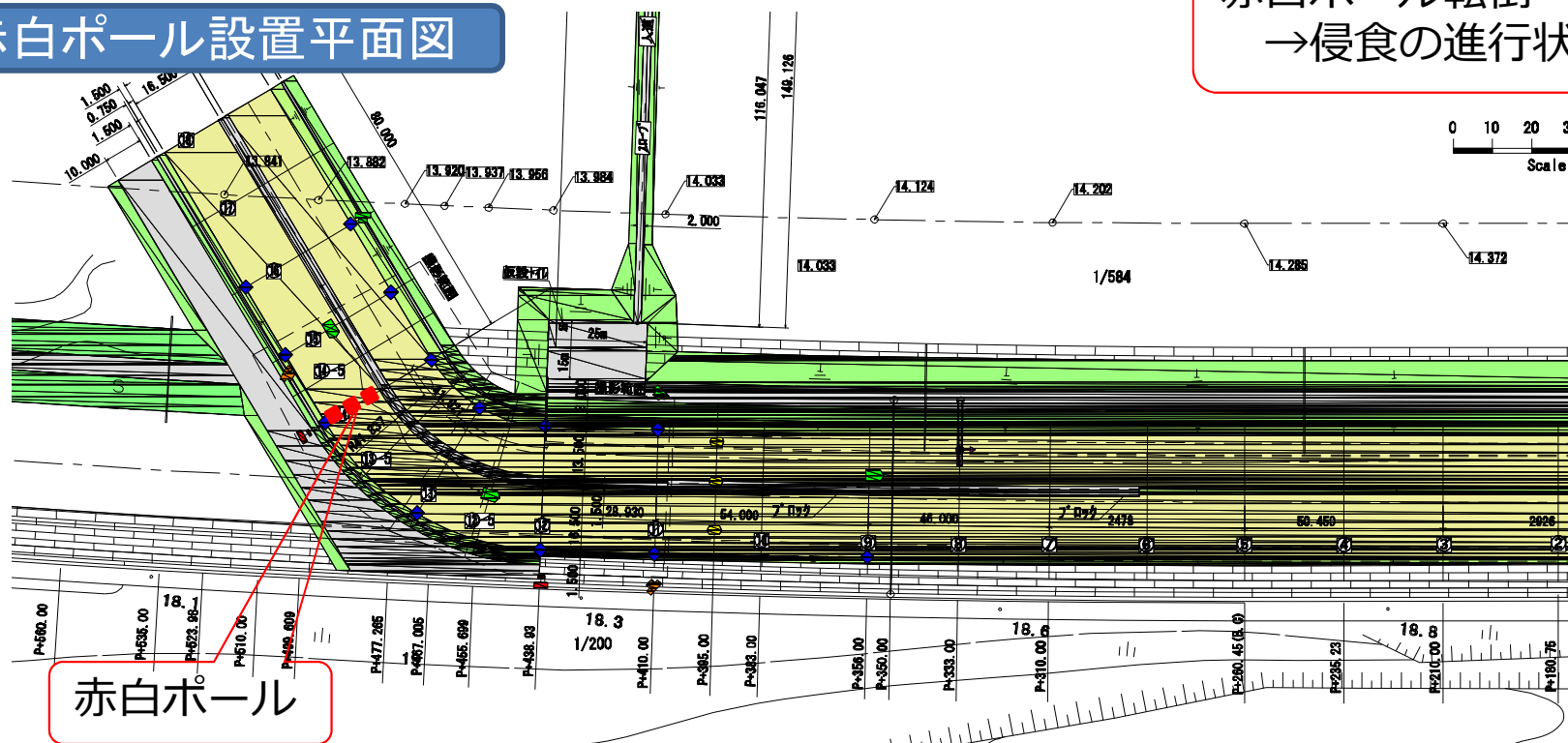
赤白ポール設置横断面図



赤白ポール

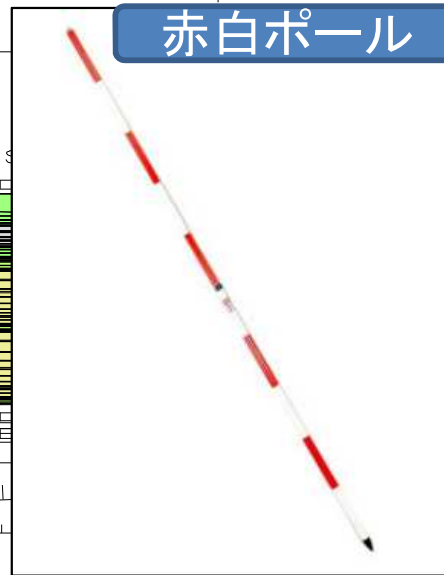
赤白ポール転倒
→侵食の進行状況を視認できる

赤白ポール設置平面図



赤白ポール

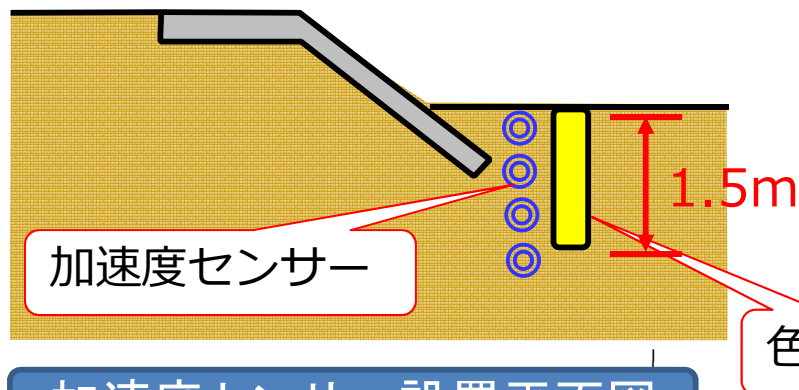
赤白ポール



観測計画(低水路洗掘状況の把握)

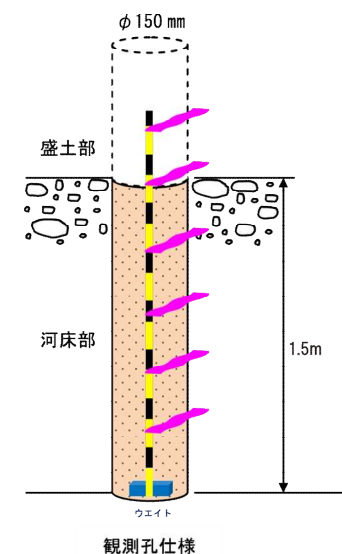
- ・ 実験中の最大洗掘深を計測するため、色分けした砂を埋設。
- ・ 色砂は護岸の根入れに合わせ1.5mの深さまで設置。
- ・ 低水護岸全面の洗掘状況を把握するため加速度センサーも設置。
- ・ 河床の洗掘状況、土砂堆積状況を把握するため横断測量も実施。

色砂設置イメージ

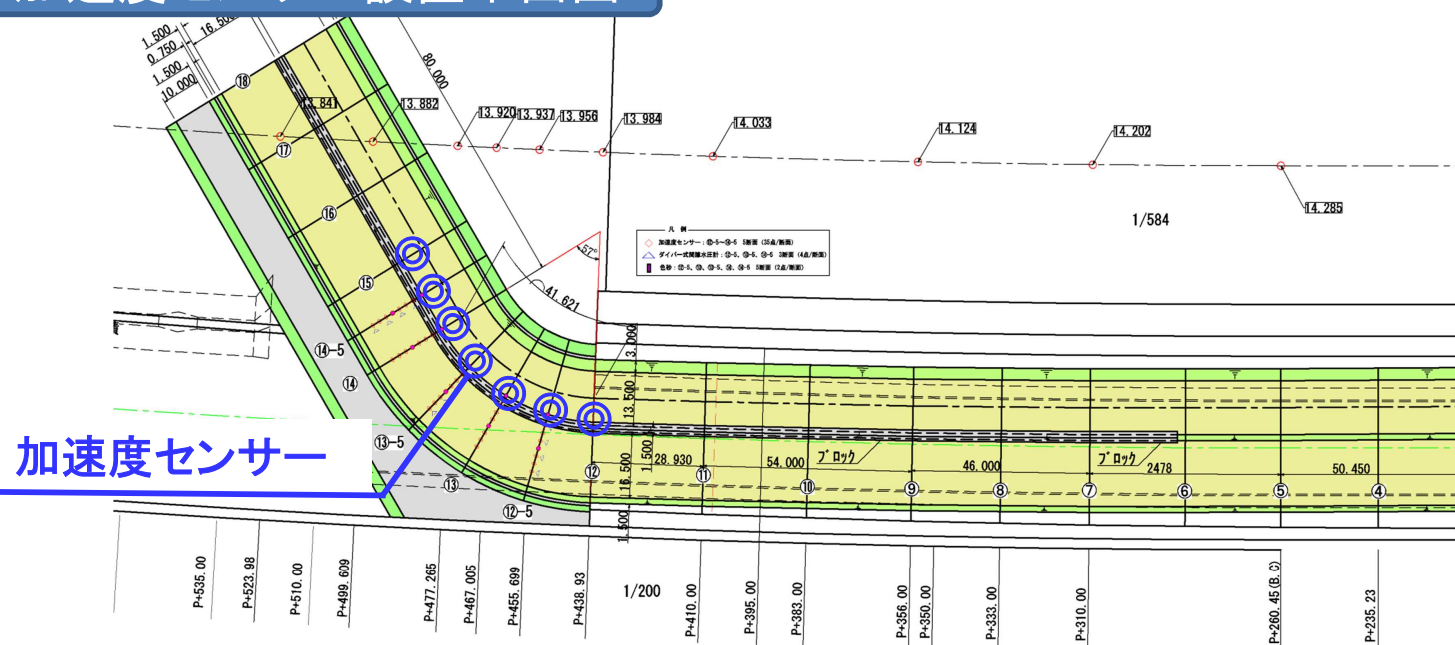


色砂設置方法

- ・ ボーリング孔に保護管を埋設し、ロープを挿入した後色砂で埋戻す。
- ・ 実験終了後、掘削して色砂の位置を確認する。



加速度センサー設置平面図

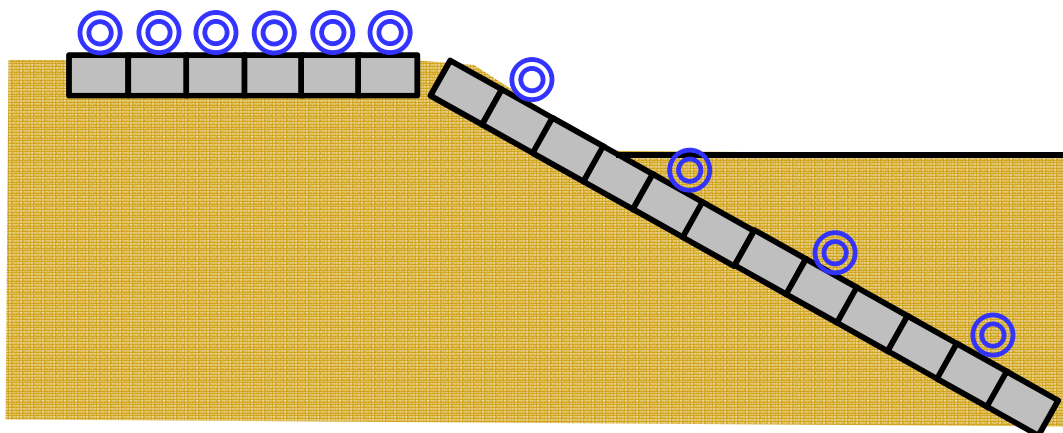


観測計画(低水護岸の挙動)

- ・ 低水護岸背面の洗掘による低水護岸の挙動を把握するため加速度センサーを設置
- ・ 加速度センサーは流出しないよう護岸ブロックに固定する。

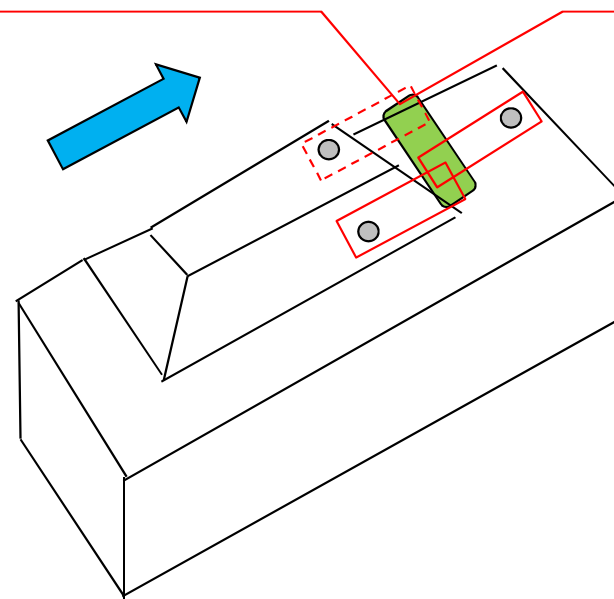
加速度センサー設置箇所

- ・ 加速度センサーは1ブロックに1つ、法面は3ブロックに1箇所設置。

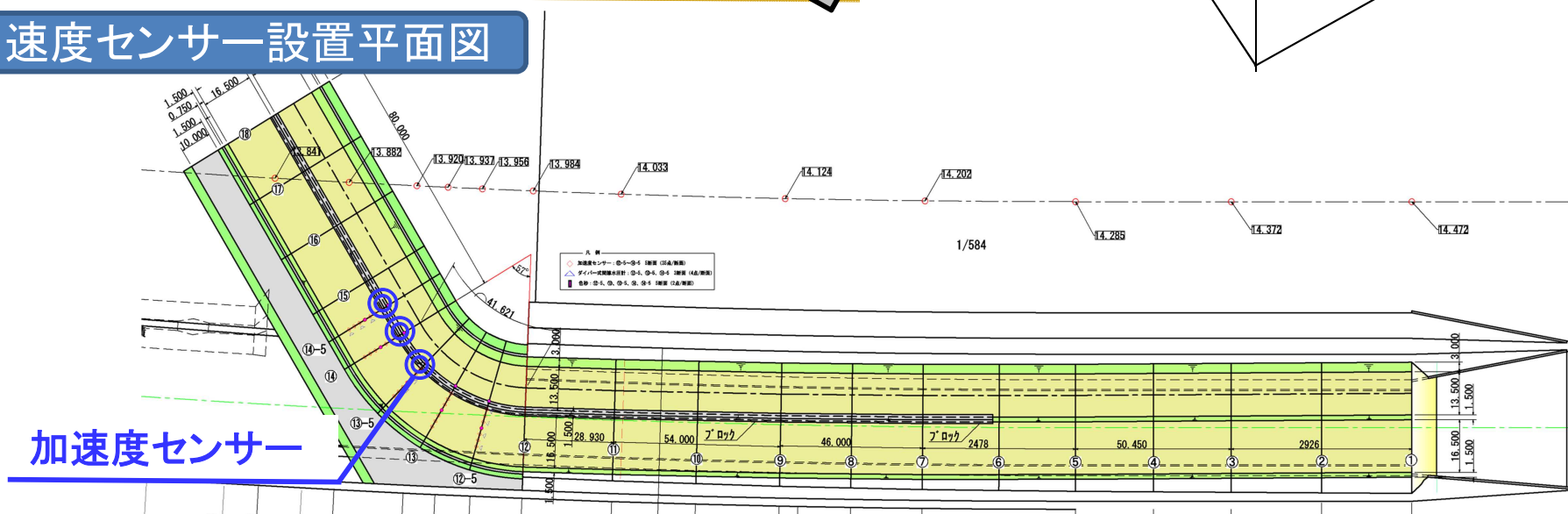


流水により流出しないよう加速度センサーを内蔵したケースを固定し観測を行う。

流向

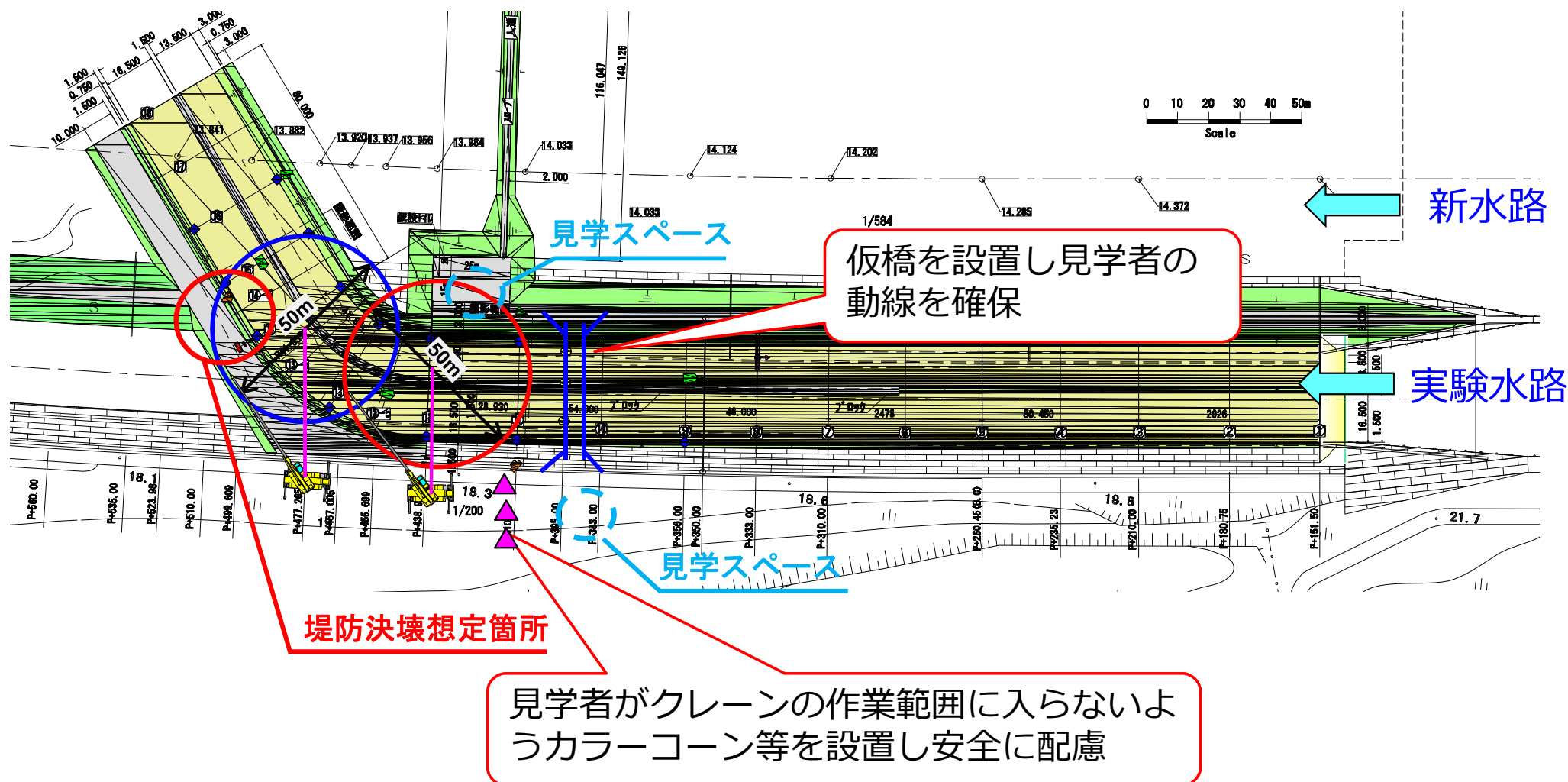


加速度センサー設置平面図



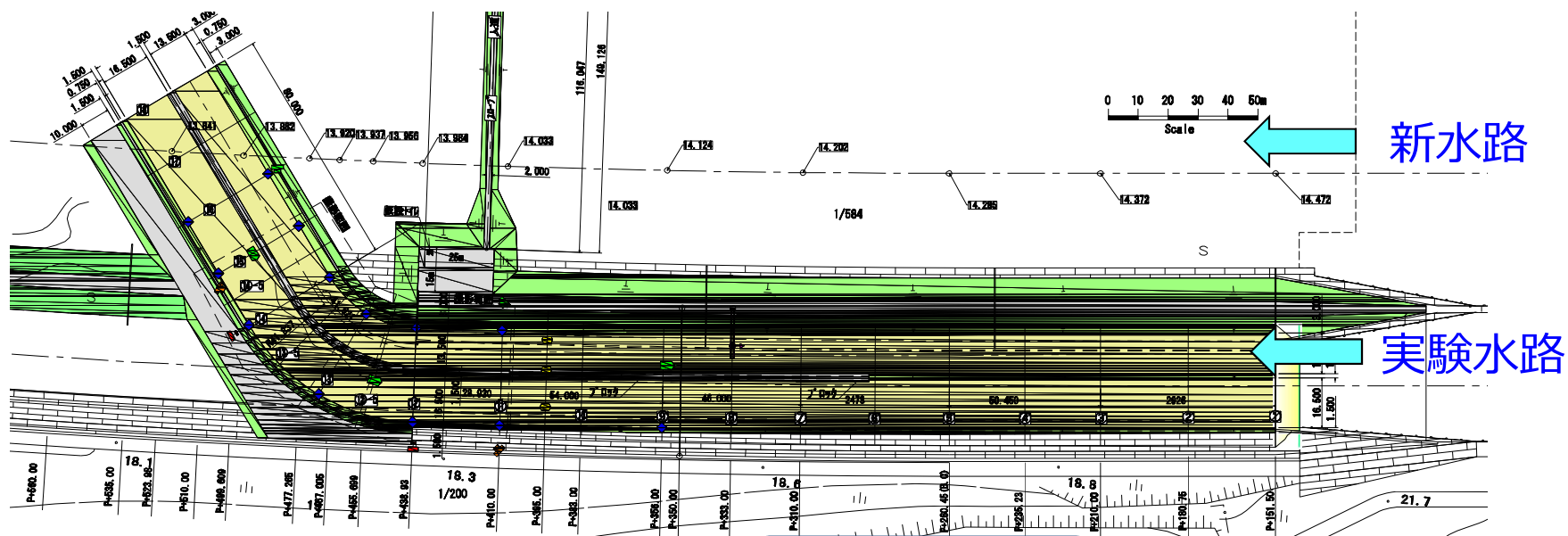
観測計画(見学者スペース)

- ・実験時には委員や関係機関の他に、一般参加者や報道機関等多数の見学者が参加する。
- ・観測にあたりクレーン等の重機を使用するため、見学者の安全や動線の確保が必要である。

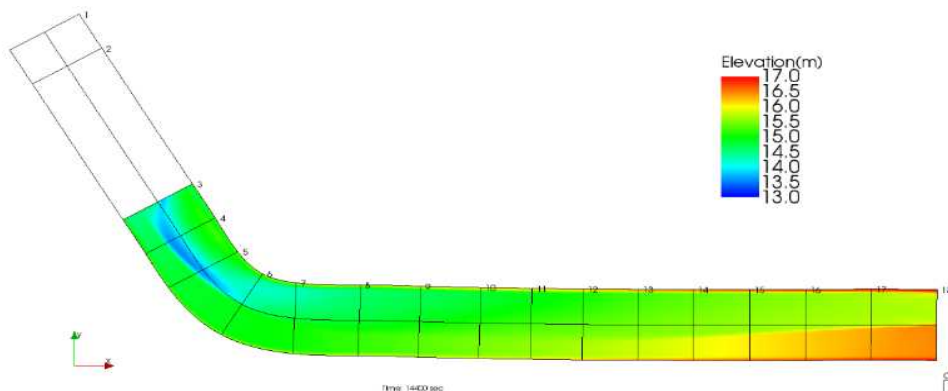


観測計画(水路下流端の必要延長)

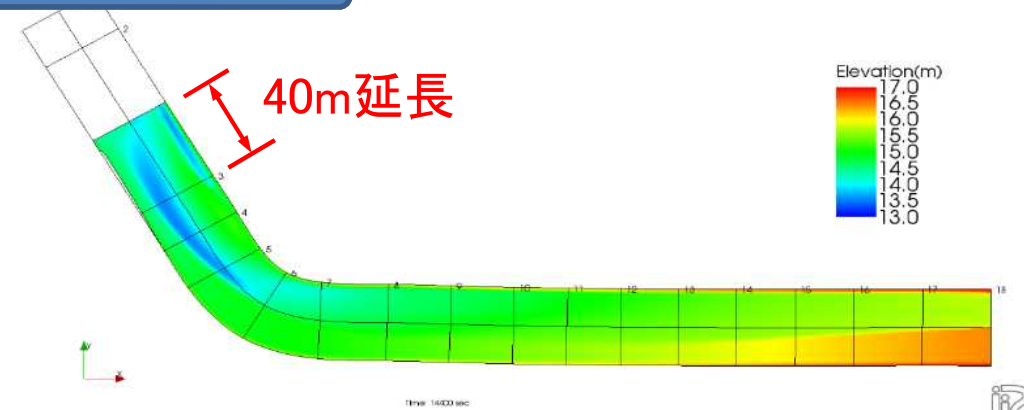
- 予備実験において堤防決壊や高水敷の洗掘箇所は水路下流端であったため、断面変化の影響を受け水面上昇していることからこのような現象が生じる可能性が考えられた。
- 水理計算により必要な下流延長を算出した結果、下流水路を40m延長することにより断面変化の影響を受けないことが確認された。



当初水路形状



水路40m延長



6. 今後のスケジュール（案）

R2

■ 観測計画

- ・ 観測項目の整理
- ・ 観測位置の検討

■ 合同委員会(1回目・R2年10月6日)

- ・ 模型実験案の提示(現時点で3ケースを想定)
- ・ R3年度に実施する千代田実験内容の合意

■ 効果的な対策工の立案

- ・ 模型実験による比較検証(現時点で3ケースを想定)
- ・ R2年10月以降を予定

■ 観測計画の検討

- ・ 侵食現象を適切に把握可能となる観測計画の立案

■ R3年度実験の発注

- ・ 鋼矢板の切断
- ・ 実験水路の整形(1/200)

R3

■ 合同委員会(2回目・R3年2~3月)

- ・ 模型実験結果の提示
- ・ 効果的な低水護岸背面の洗掘防止対策案の提示
- ・ R3年度に実施する千代田実験の観測計画の提示