

令和3年度 千代田現地実験に向けた検討

1. 背景及びこれまでの検討内容
2. 対策工の検討
3. R04年度 千代田実験計画（実験条件、観測計画）

国土交通省 北海道開発局
寒地土木研究所

1. 背景及びこれまでの検討内容

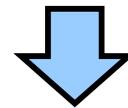
急流河川における堤防侵食の発生要因

急流河川湾曲部における堤防侵食防止の確立の必要性

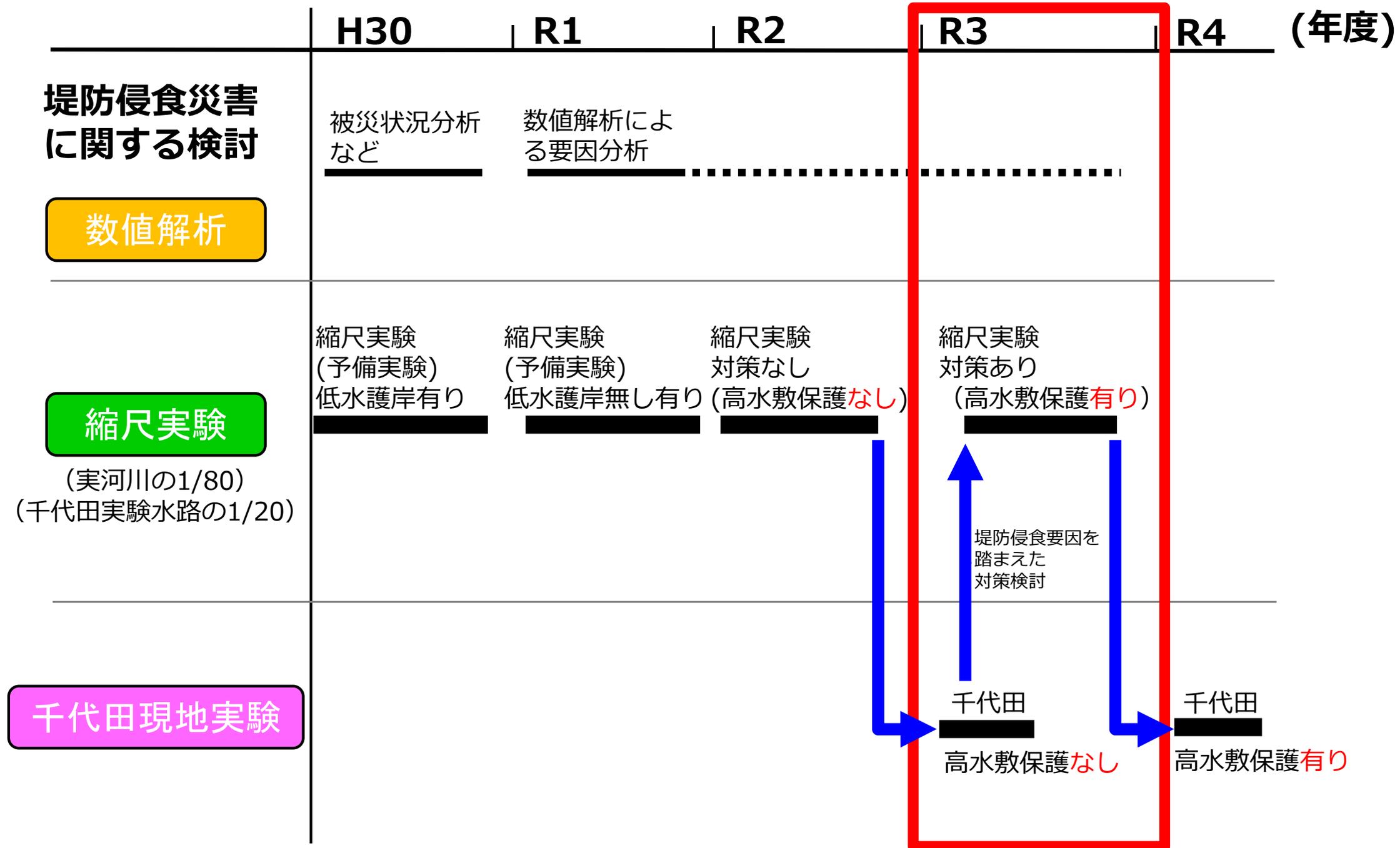
■ H28.8洪水では急流河川の湾曲部において侵食による堤防災害が多く発生した。



- ・湾曲部外岸側には低水護岸がすでに設置されている場合がほとんどでも、低水護岸の裏側から侵食が高水敷・堤防に及んでいる。
- ・この堤防侵食、決壊に至るまでの過程が明らかではない。



急流河川の湾曲部における堤防侵食に対するメカニズムの解明と
効果的・効率的な侵食防止・堤防防護方法の確立が必要



R03

千代田現地実験
(対策なし)

- ・ 侵食現象を把握

本委員会の内容

数値解析
(対策有り)

- ・ 対策工範囲を変えた数値解析を実施
- ・ 縮尺実験条件の絞り込み

縮尺実験
(対策有り)

- ・ 侵食に対する対策工法として、高水敷保護工法の効果を概略的に検証
- ・ 千代田現地実験での解明点の洗い出し

実験計画

令和4年度千代田現地実験の計画

R04

千代田現地実験
(対策有り)

R04以降

数値解析で対策工を検討できるよう整理 (留意点含む)

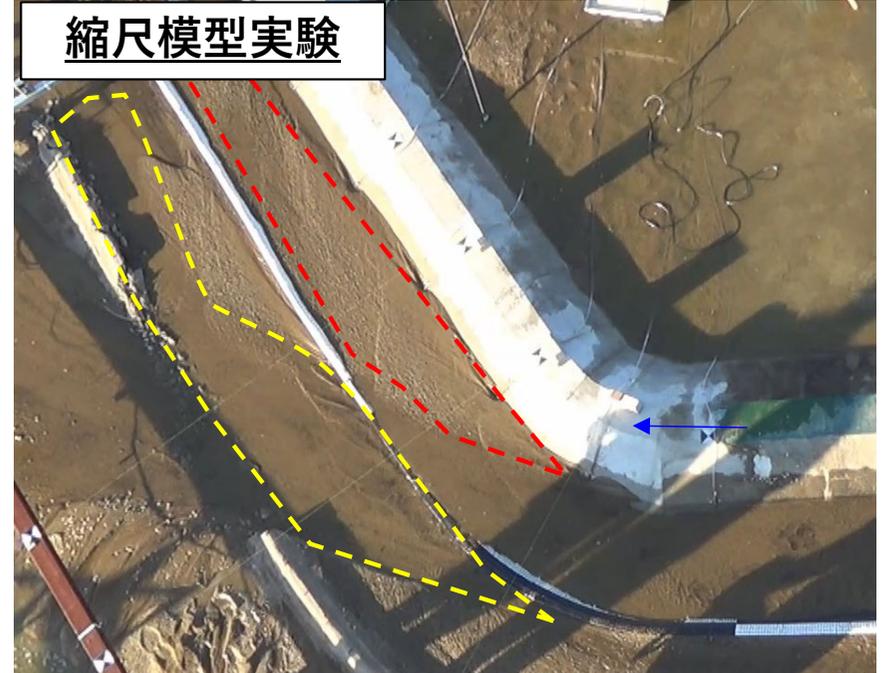
堤防侵食に対するメカニズム

- 急流河川の湾曲部外岸部において、高水敷上の侵食が堤防に至ることで、低水護岸がある場合でも堤防決壊に至る現象を数値解析・縮尺模型実験・千代田現地実験から確認した。

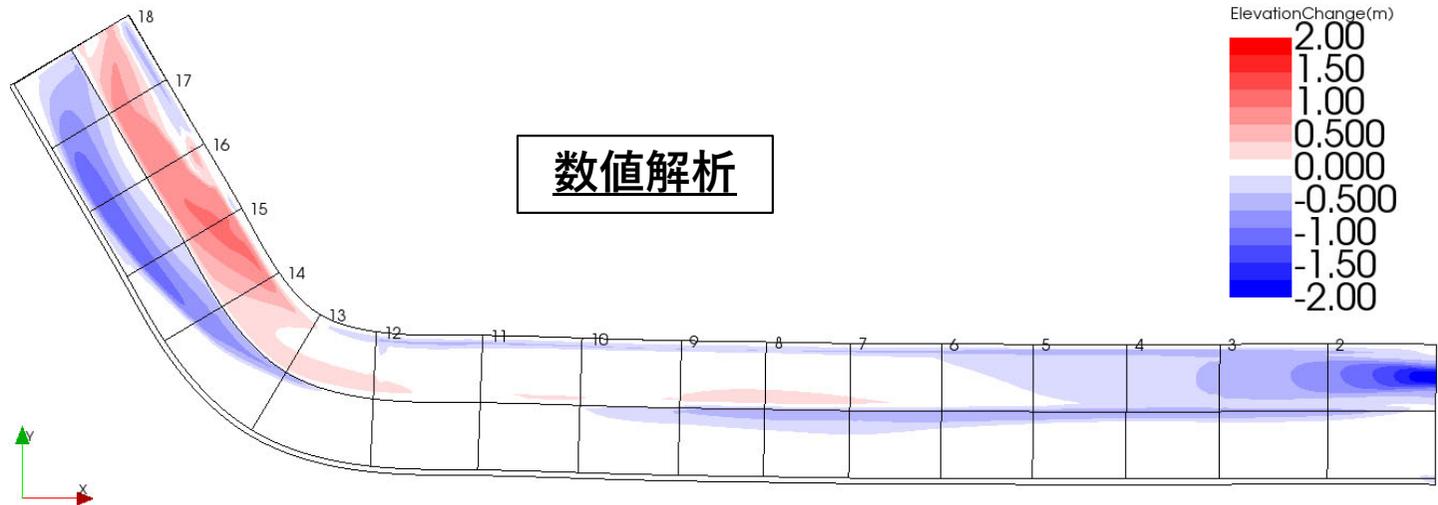
千代田模型実験



縮尺模型実験



数値解析

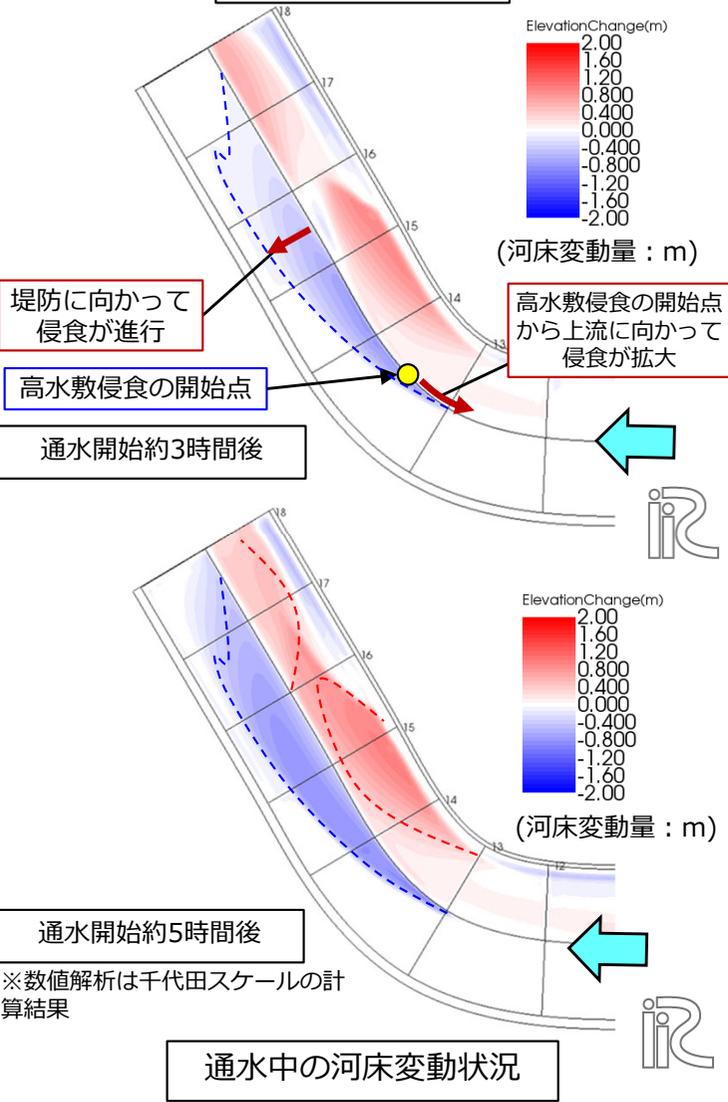


Time: 36000 sec

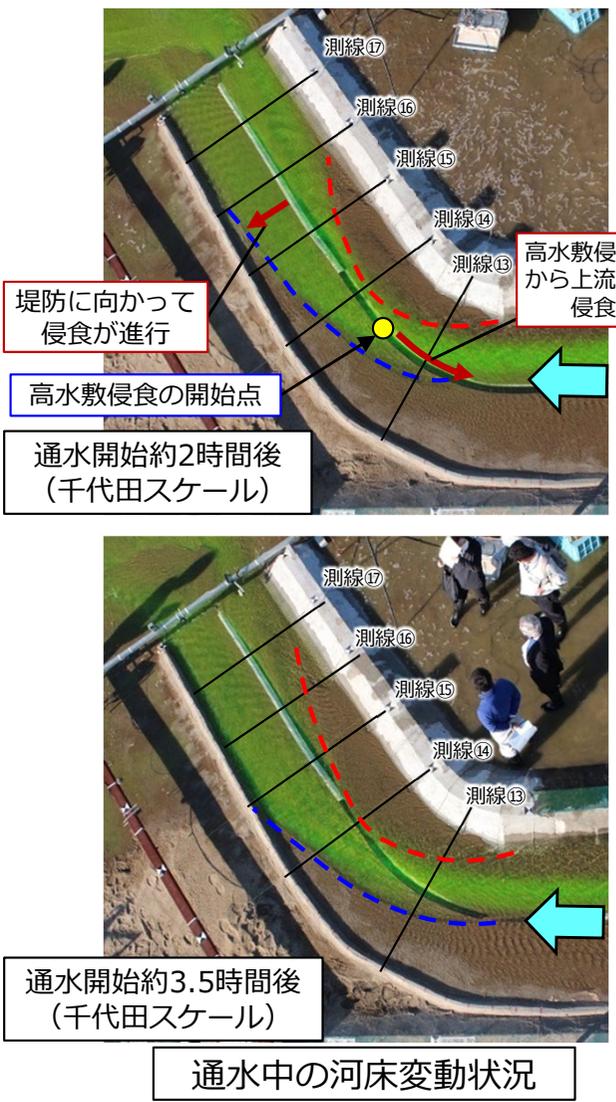
堤防侵食に至る過程について【数値解析・縮尺模型実験・千代田現地実験】

- 千代田現地実験で確認された湾曲部外岸部の高水敷侵食が堤防へ向かって進む状況や、高水敷侵食の開始点から上流へ拡大する侵食の状況は、数値解析や縮尺模型実験でも同様の状況が確認された。
- 低水路内の土砂堆積の進行状況については、千代田現地実験では通水中の濁水の影響により把握することが出来なかったものの、縮尺模型実験と数値解析では同様の進行状況が確認された。

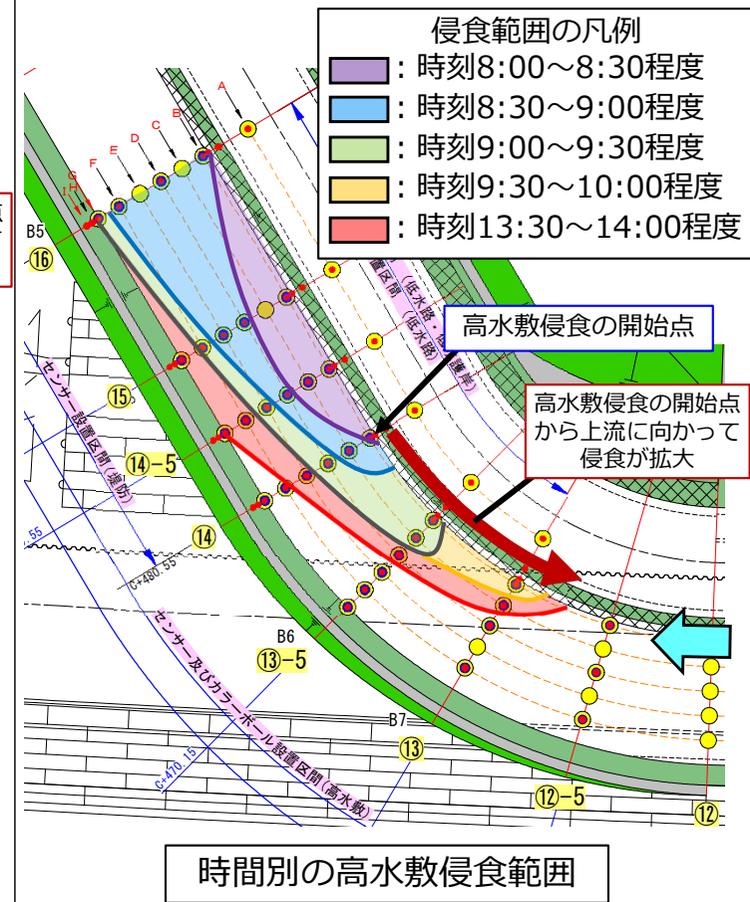
数値解析



縮尺模型実験

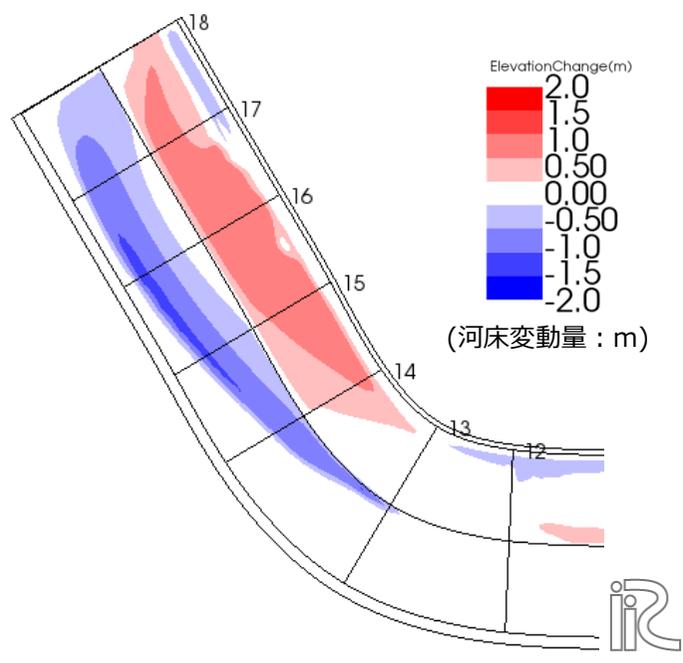


千代田現地実験

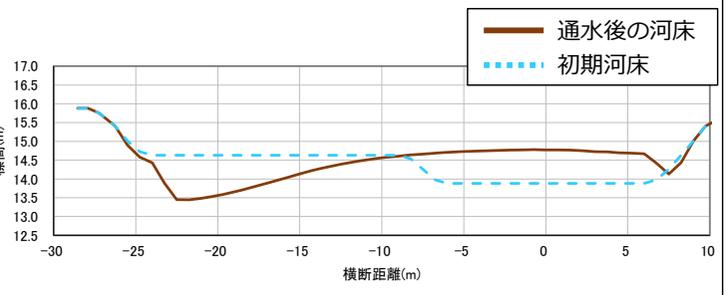


- 高水敷の侵食程度では、数値解析が縮尺模型実験や千代田現地実験より大きく、低水路の土砂堆積は数値解析や縮尺模型実験が千代田現地実験時に比べて大きく、差異が確認された。
- 通水後の河床について、高水敷侵食や堤防侵食の状況および低水路の土砂堆積傾向は概ね同じである。

数値解析

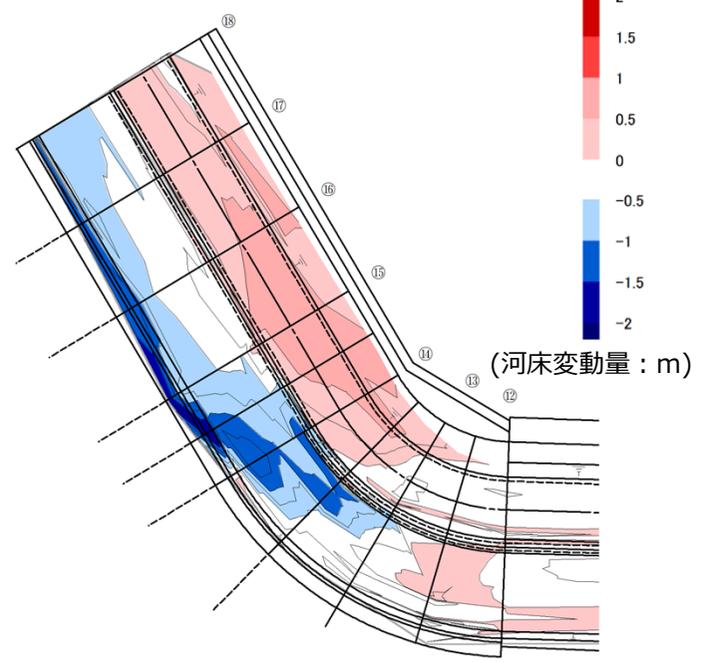


通水前後の標高変動コンター図

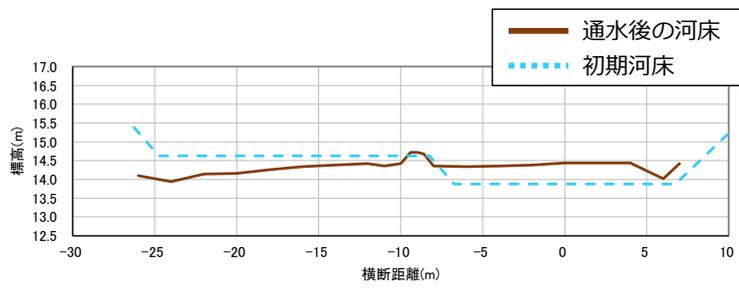


通水前後の横断図 測線⑬

縮尺模型実験



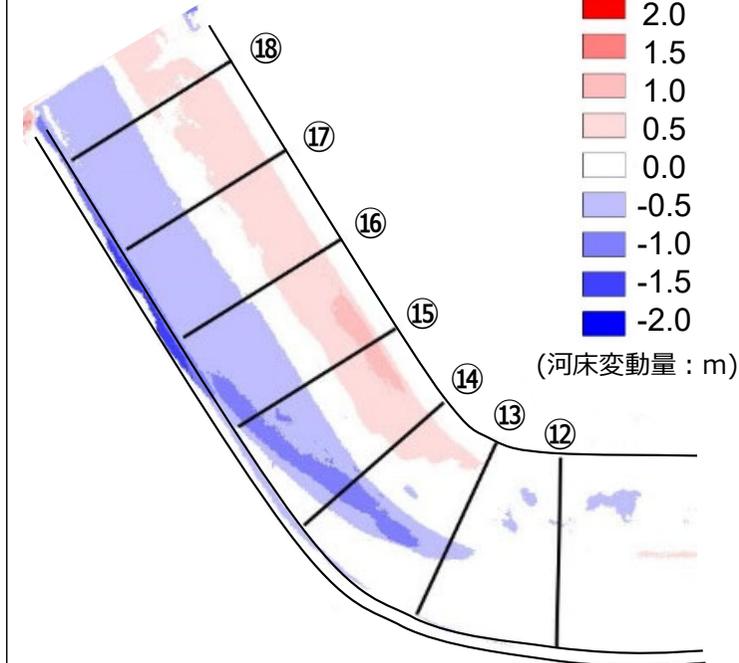
通水前後の標高変動コンター図



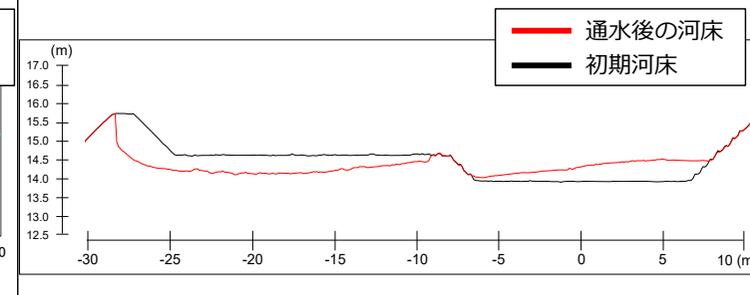
通水前後の横断図 測線⑬

※縮尺模型実験では堤防決壊

千代田現地実験



通水前後の標高変動コンター図



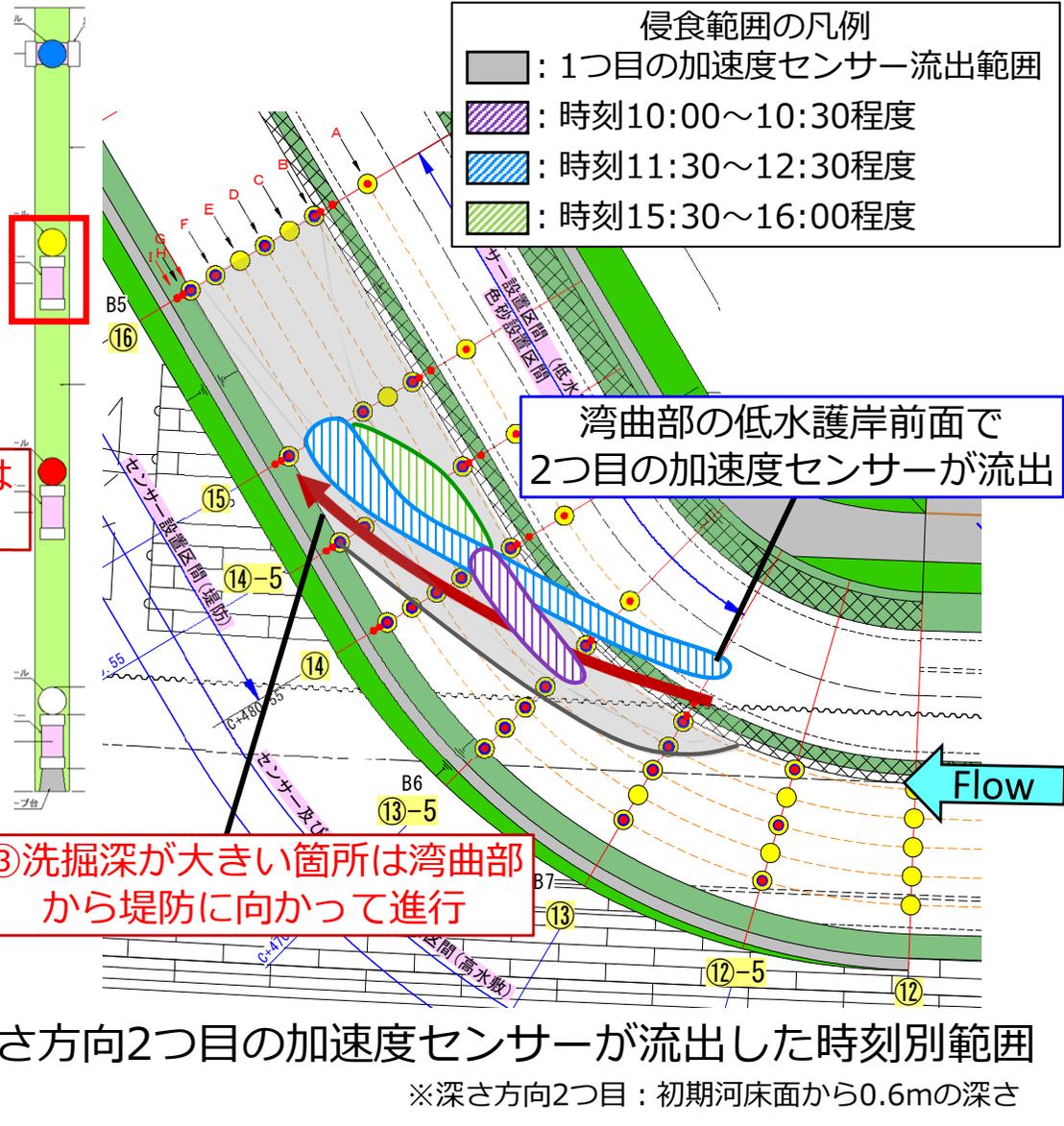
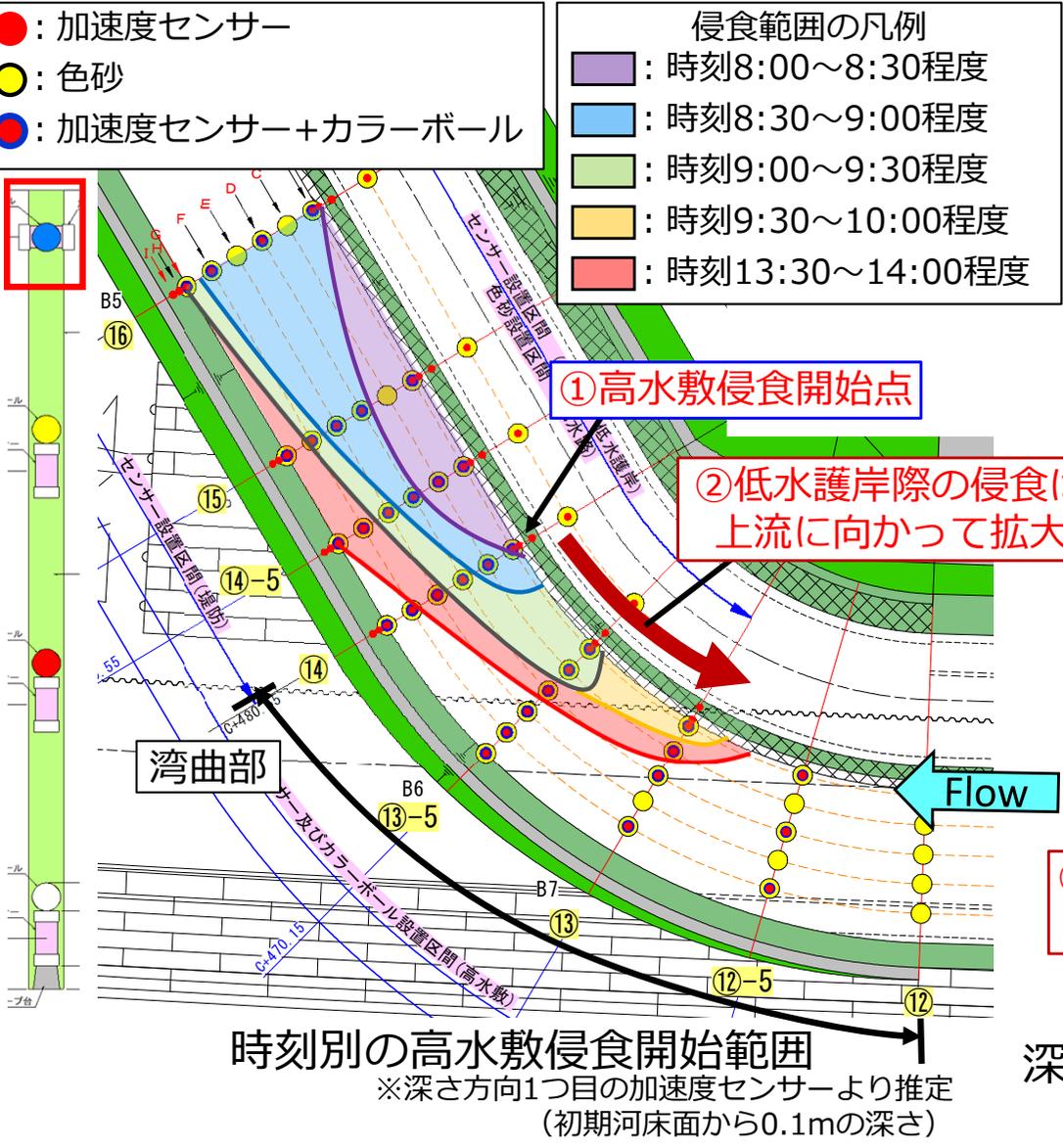
通水前後の横断図 測線⑬

2. 対策工の検討

数値解析及び縮尺実験での検証

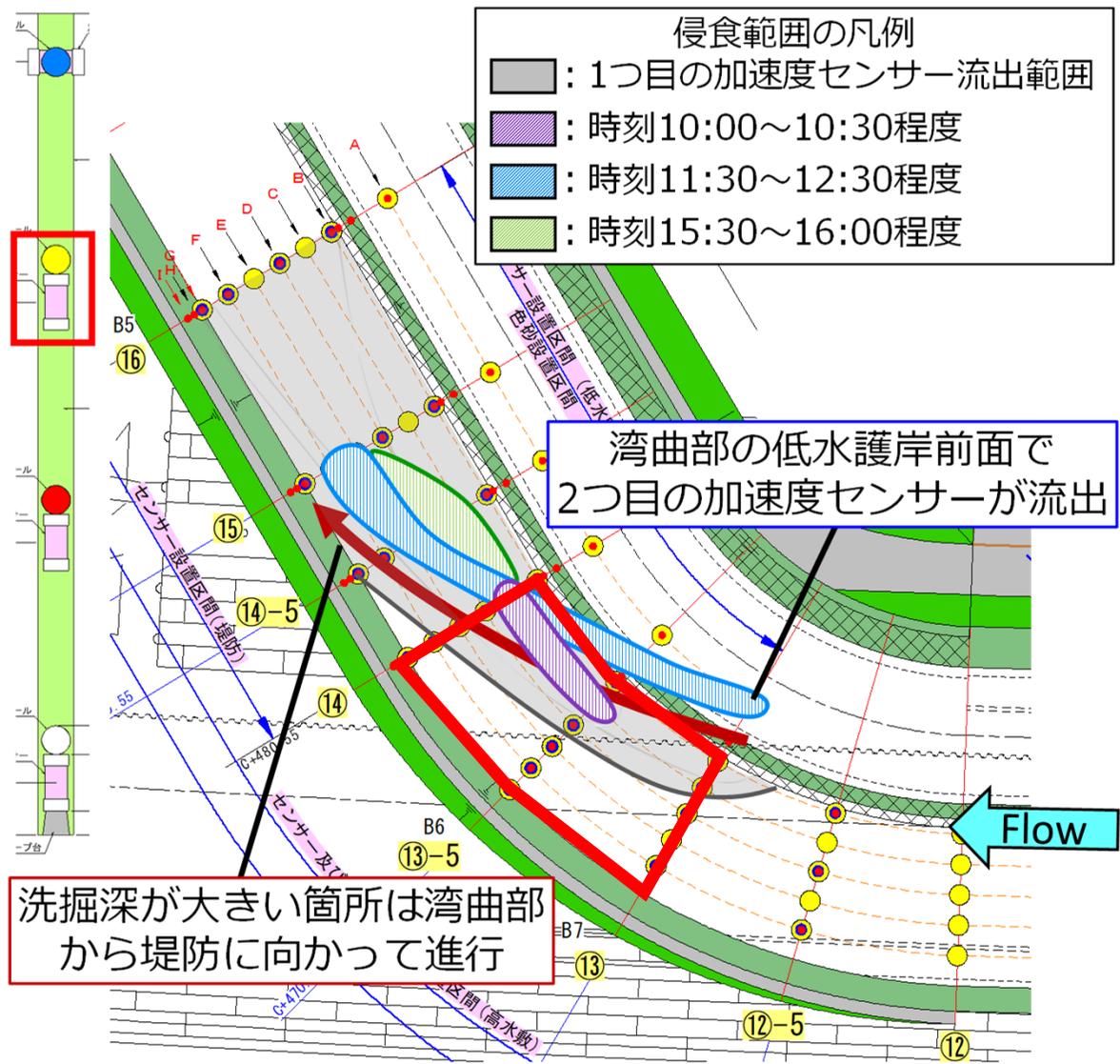
対策検討にあたって

■ 堤防侵食に至るプロセスとして、低水護岸背面の侵食が進行し、堤防侵食に至るため、対策はこれを防ぐ方法を検討する。

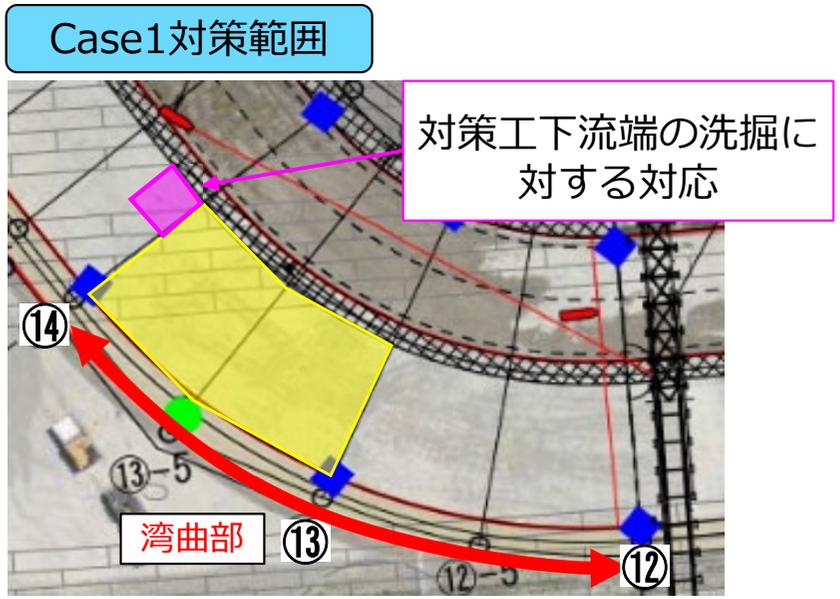
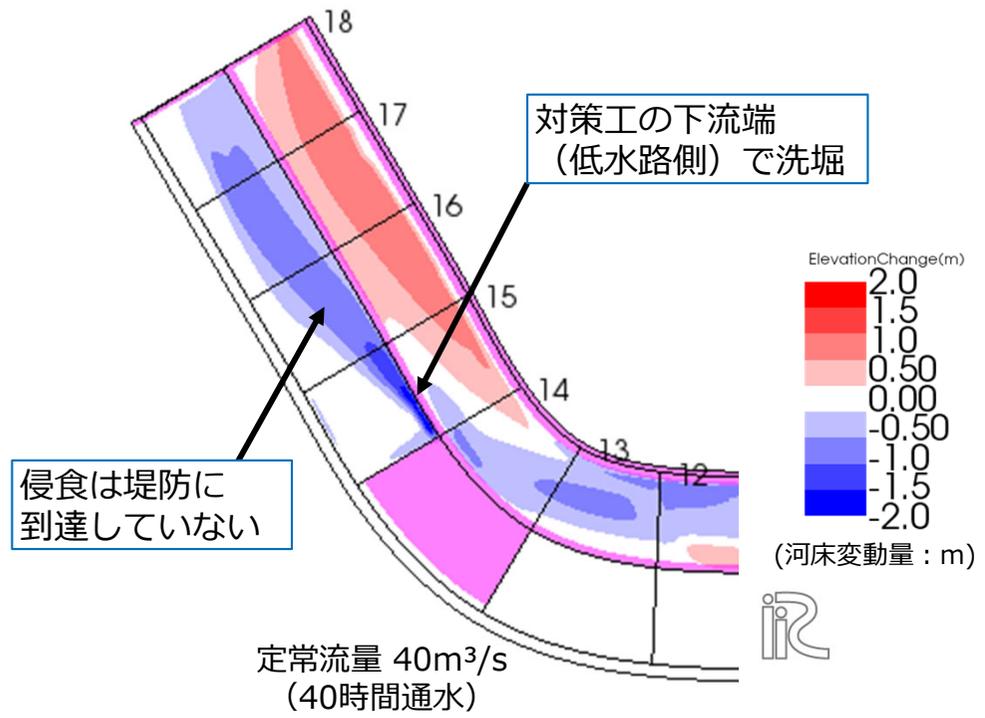


対策工検討【Case1】 対策範囲

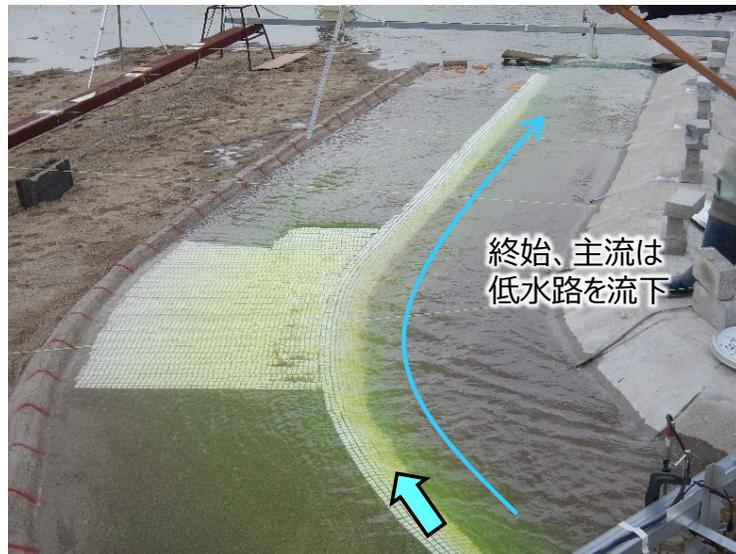
■ Case1は初期に深掘れが確認された箇所を全面的に保護する案として対策範囲を設定した。



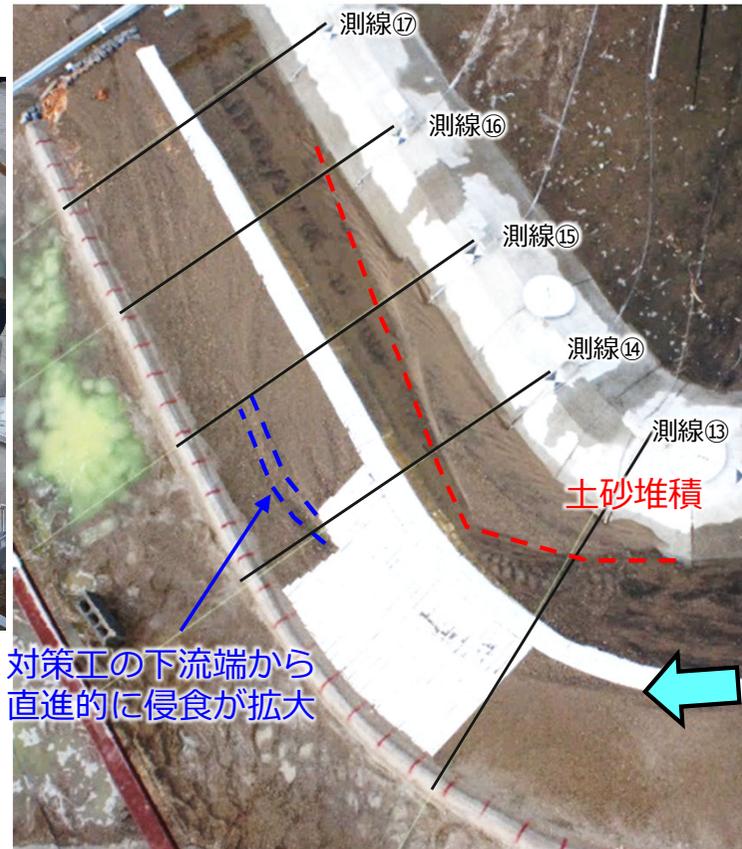
※深さ方向2つ目：初期河床面から0.6mの深さ



- 通水初期から通水終了時まで主流は低水路を流れていた。
- 通水後の高水敷侵食範囲は、対策工の下流端から直進的に拡大していたものの、堤防に向かって進行していなかった。また、低水路の湾曲部内岸側では土砂が堆積し、砂州が形成された。
- 堤防の侵食程度については、堤防法面はほとんど侵食されず、初期形状を維持していた。



通水中の流況



通水後の実験水路



通水後（下流を望む）

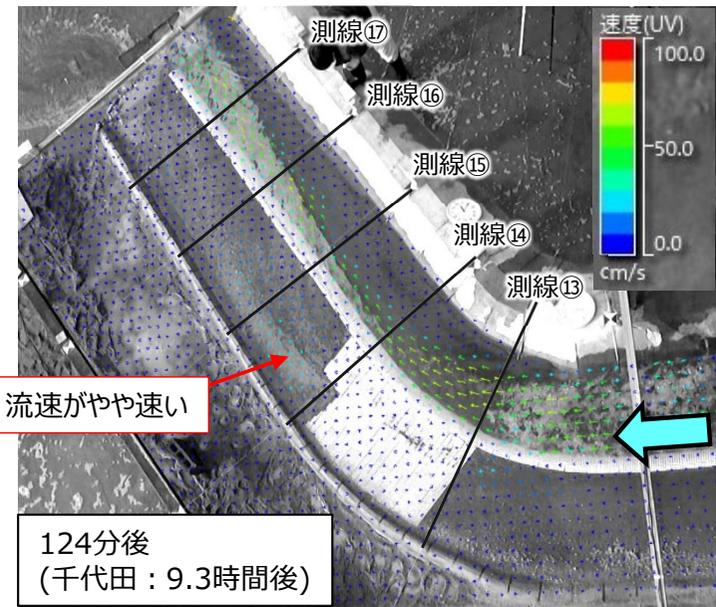
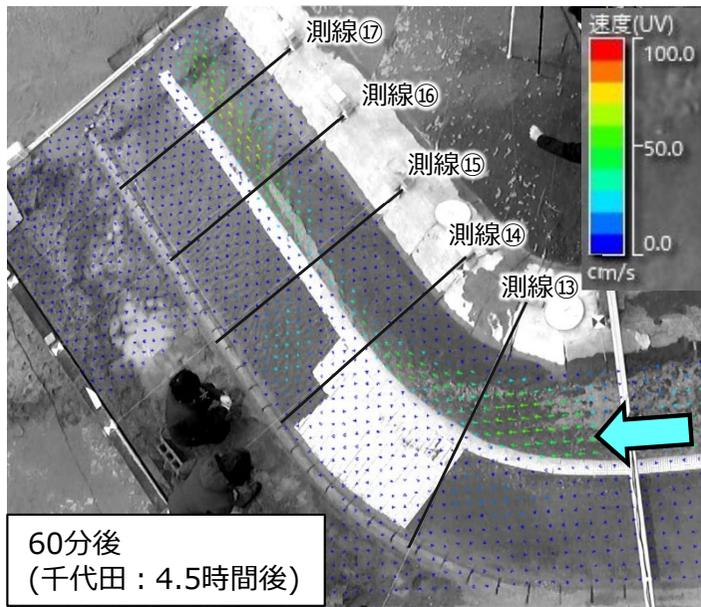
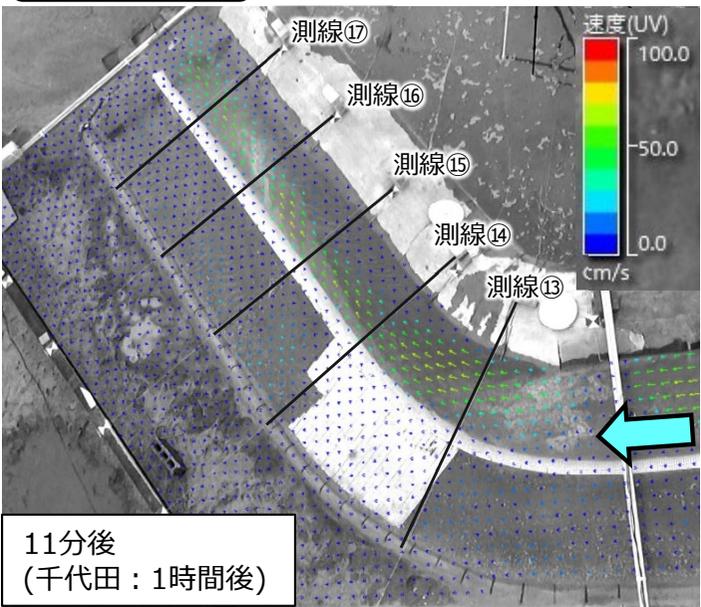


通水後（堤防の侵食状況）

- 主流は通水全体を通して低水路を流れていた。
- 時間経過とともに、湾曲部の低水護岸前面に流れが集中した。
- 高水敷上の流れは主流より遅いものの、対策工下流端の左岸側で流速が速い箇所があった。

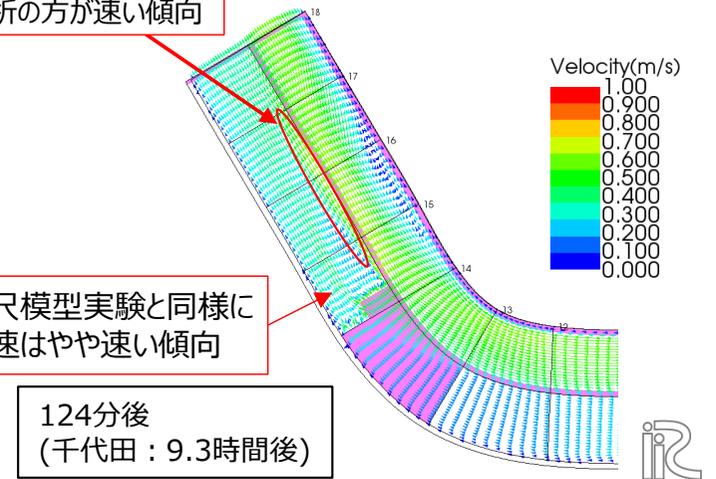
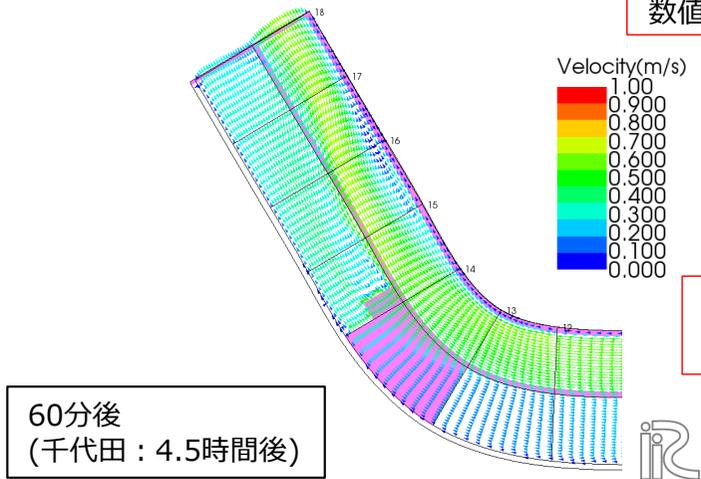
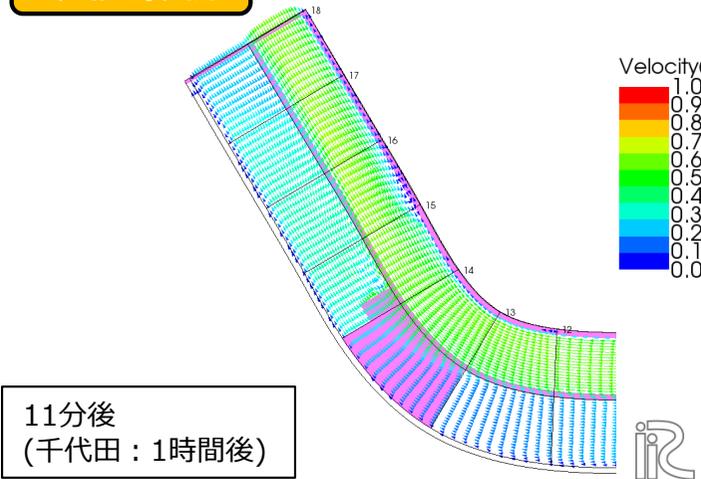
縮尺実験

表面流速



数値解析

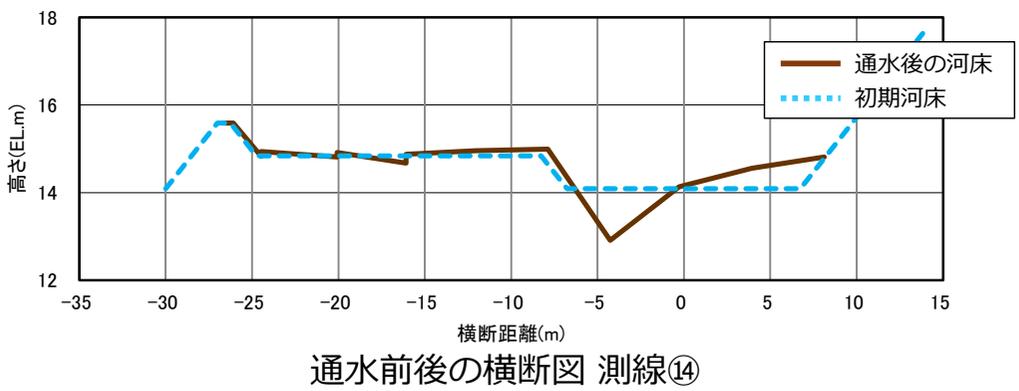
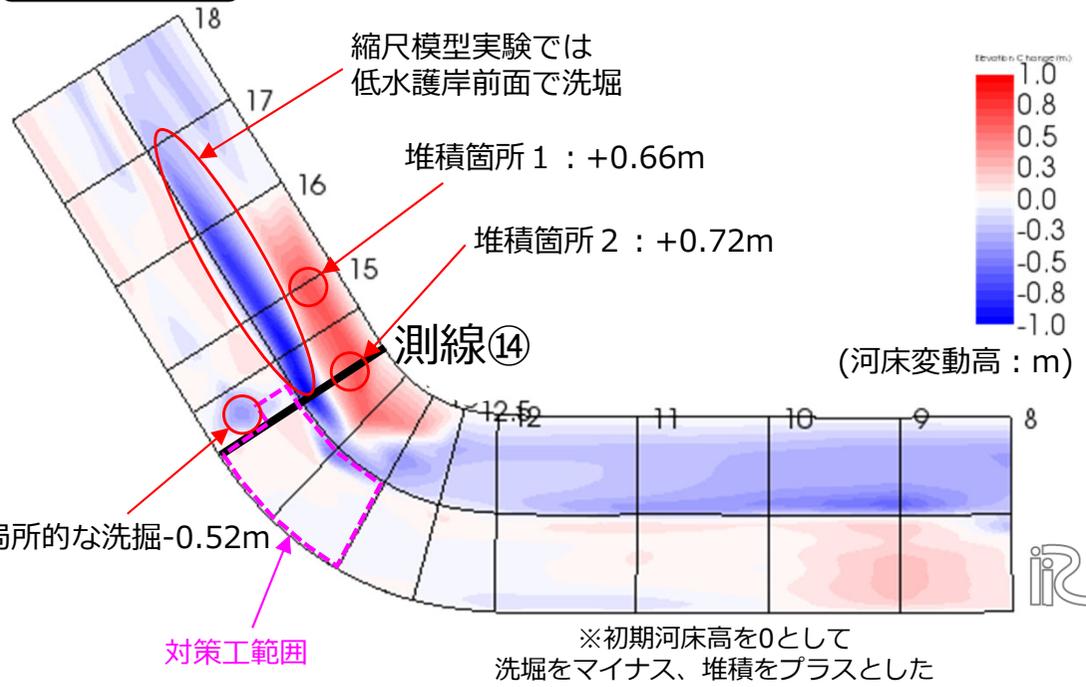
平均流速



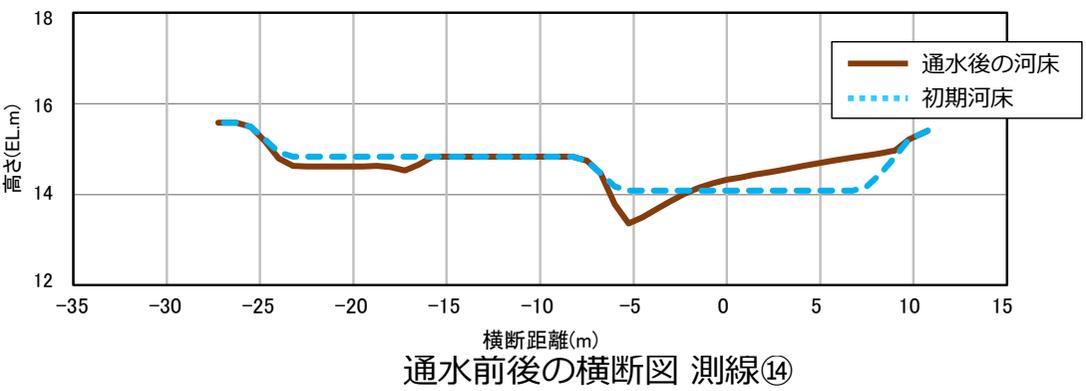
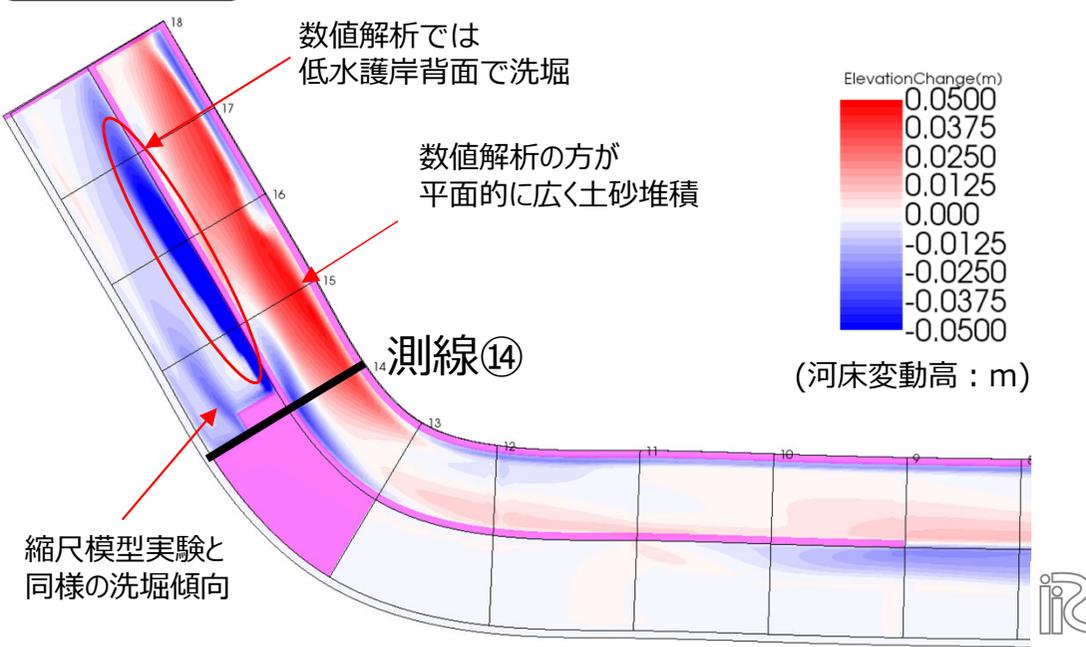
対策工検討【Case1】縮尺模型実験の結果～通水後の河床の変化

- 湾曲部の下流部（測線⑭）から測線⑮にかけて低水護岸前面の洗掘が大きく、内岸側では土砂堆積傾向（堆積箇所1、堆積箇所2）であった。
- 高水敷において、対策工下流端で局所的な洗掘が発生した。
- 河床の変化について目視等で確認できたものの、経時的な変化を正確に把握することは困難であった。

縮尺実験

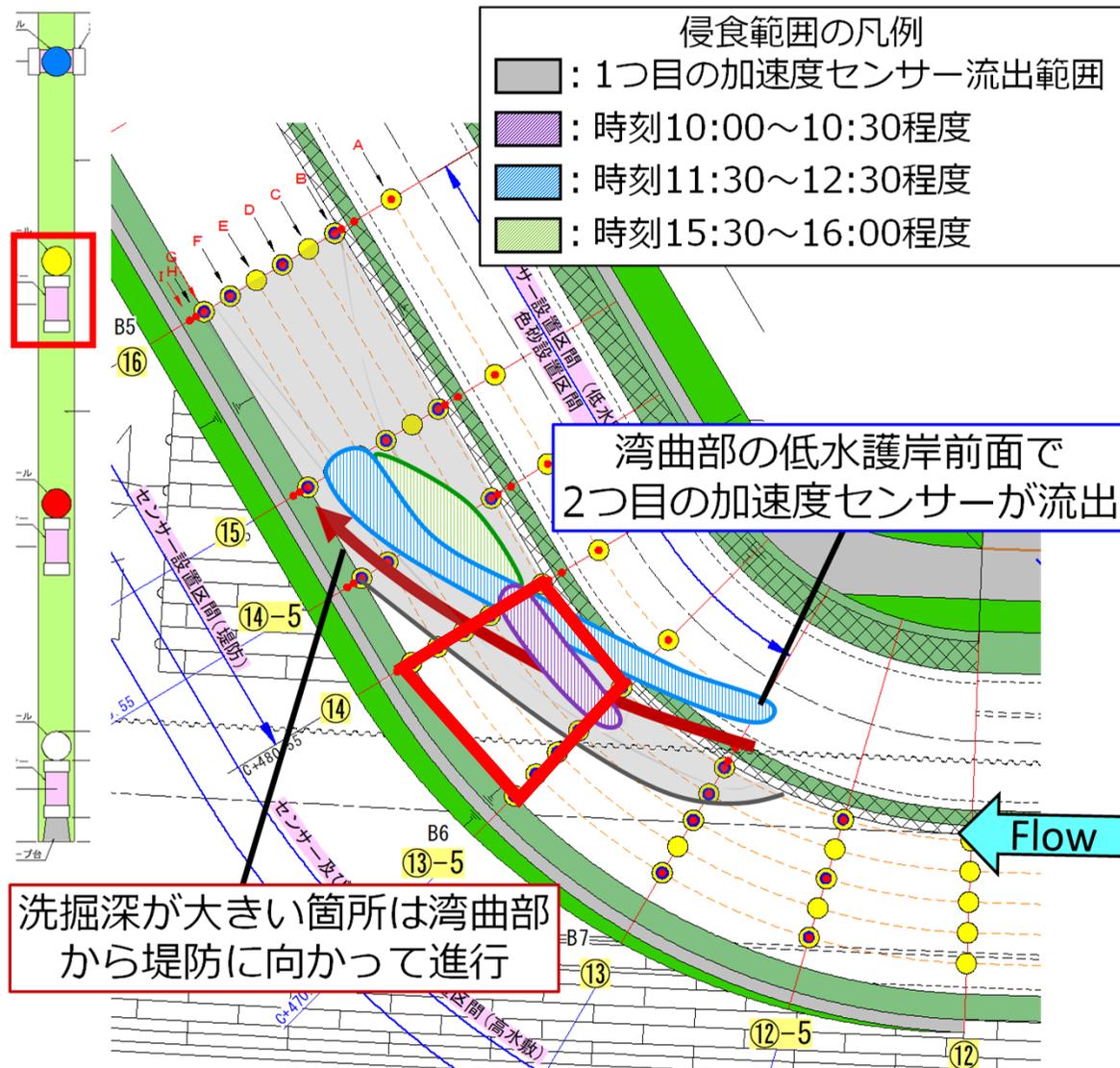


数値解析

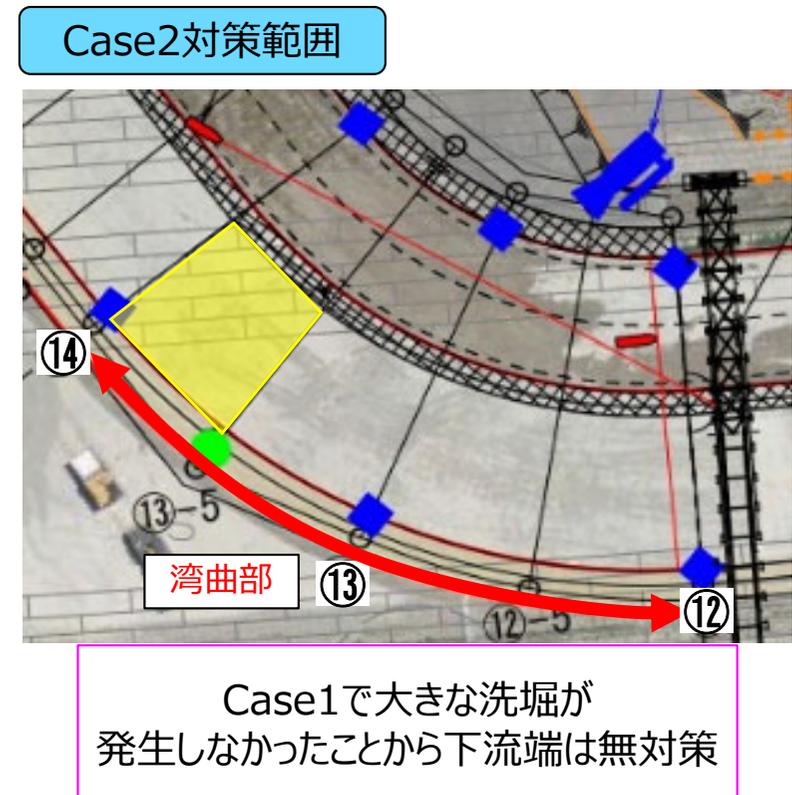


対策工検討 【Case2】 対策範囲

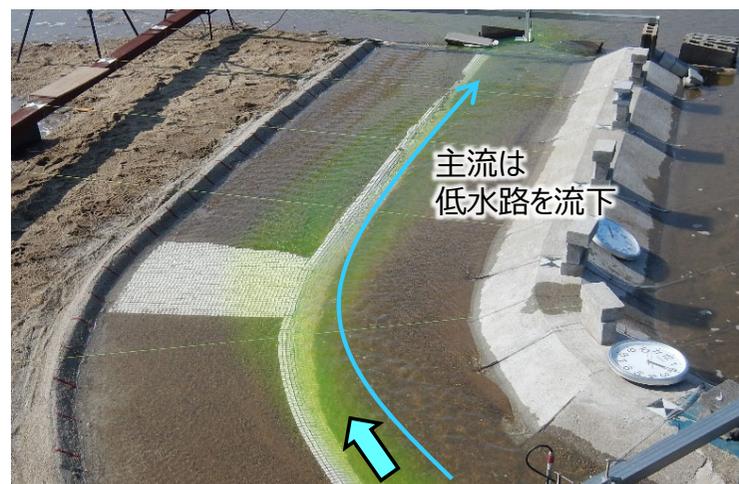
■ Case1では、堤防に向かって進行する高水敷侵食を防止したことから、Case2では、初期の深掘れが確認された箇所限定した案として対策範囲を設定した。



※深さ方向2つ目：初期河床面から0.6mの深さ

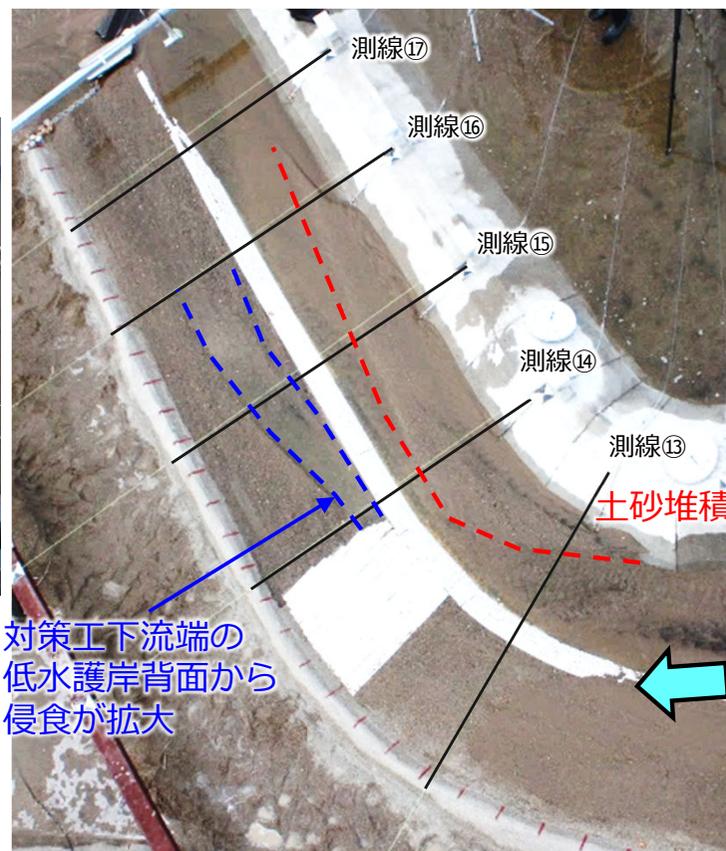


- 通水初期において、主流はCase1と同様に低水路を流れていた。
- 時間経過とともに、対策工下流端の低水護岸背面の洗掘が進行した。
- 通水後の高水敷の侵食範囲は、対策工下流端の低水護岸背面から拡大したものの、堤防に向かって進行しなかった。また、低水路の湾曲部内岸側では土砂が堆積し、砂州が形成された。
- 堤防は、ほとんど侵食されなかったものの、対策工下流端の堤防法尻付近で部分的に侵食が発生した。



通水中の流況

主流は
低水路を流下



通水後の実験水路

対策工下流端の
低水護岸背面から
侵食が拡大

土砂堆積



通水後（下流を望む）



通水後（堤防の侵食状況）

部分的に
堤防法尻が侵食

堤防法面の侵食は
ほとんど生じていない

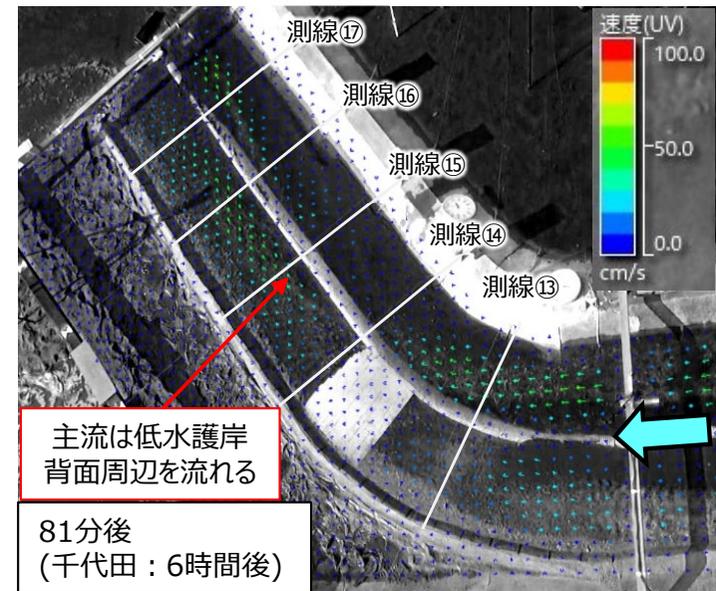
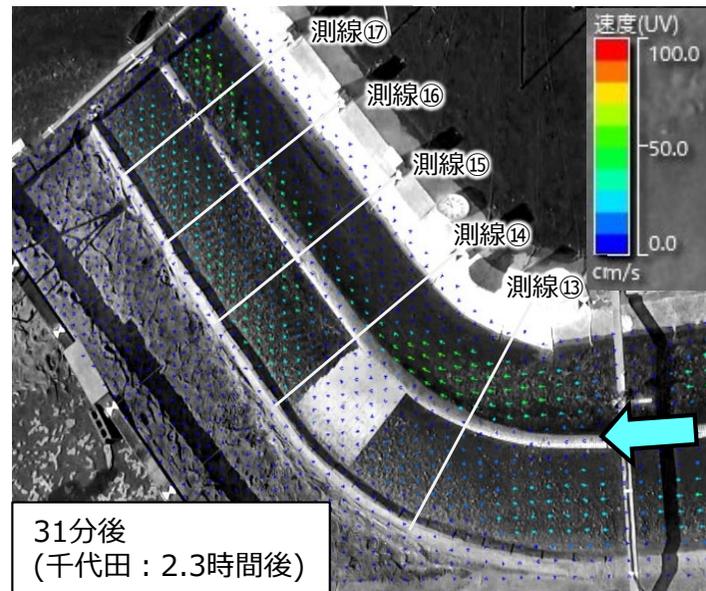
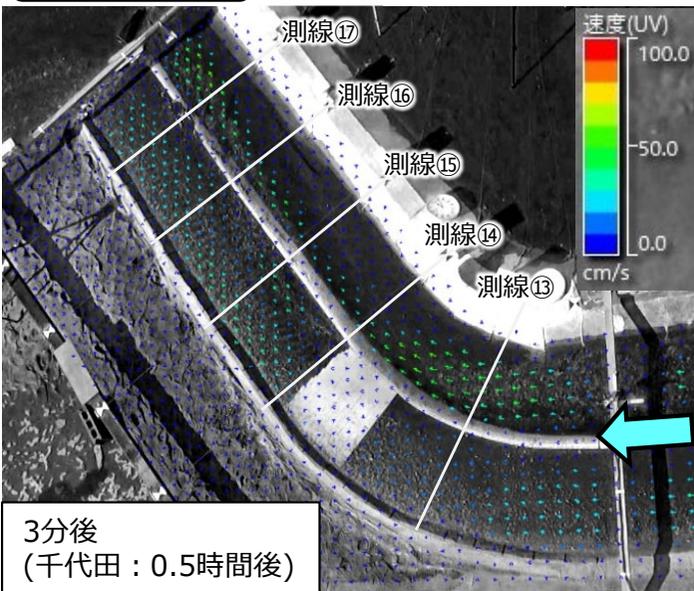
部分的に
堤防法尻が侵食

対策工検討【Case2】縮尺模型実験の結果～流況(PIV)

- 主流はCase1と同様に低水路を流れていた。
- 時間経過とともに、対策工より下流部では、主流は低水護岸背面周辺を流れるようになったものの、堤防側へ向かう様子は見られなかった。

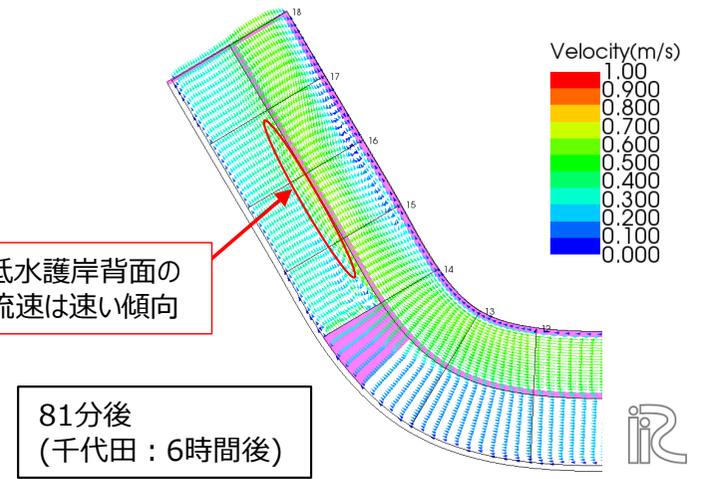
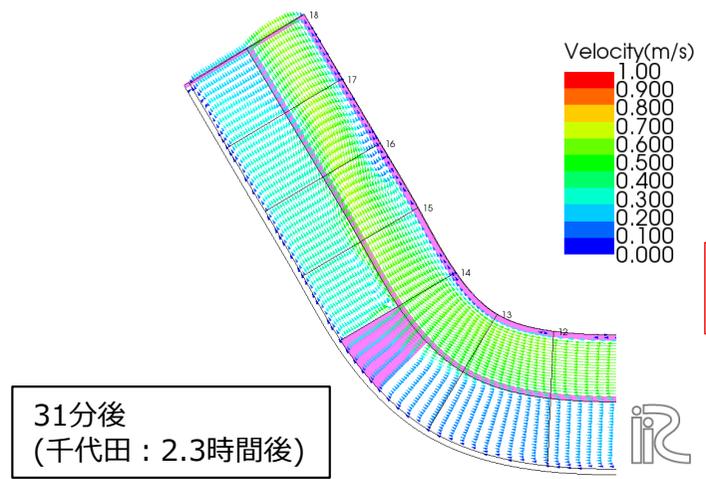
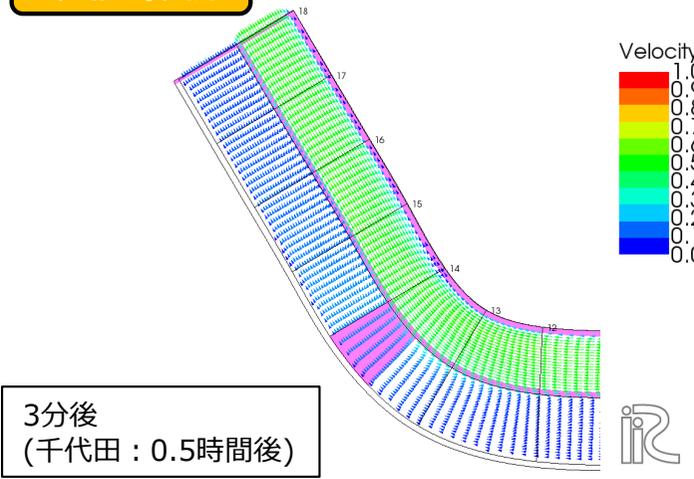
縮尺実験

表面流速



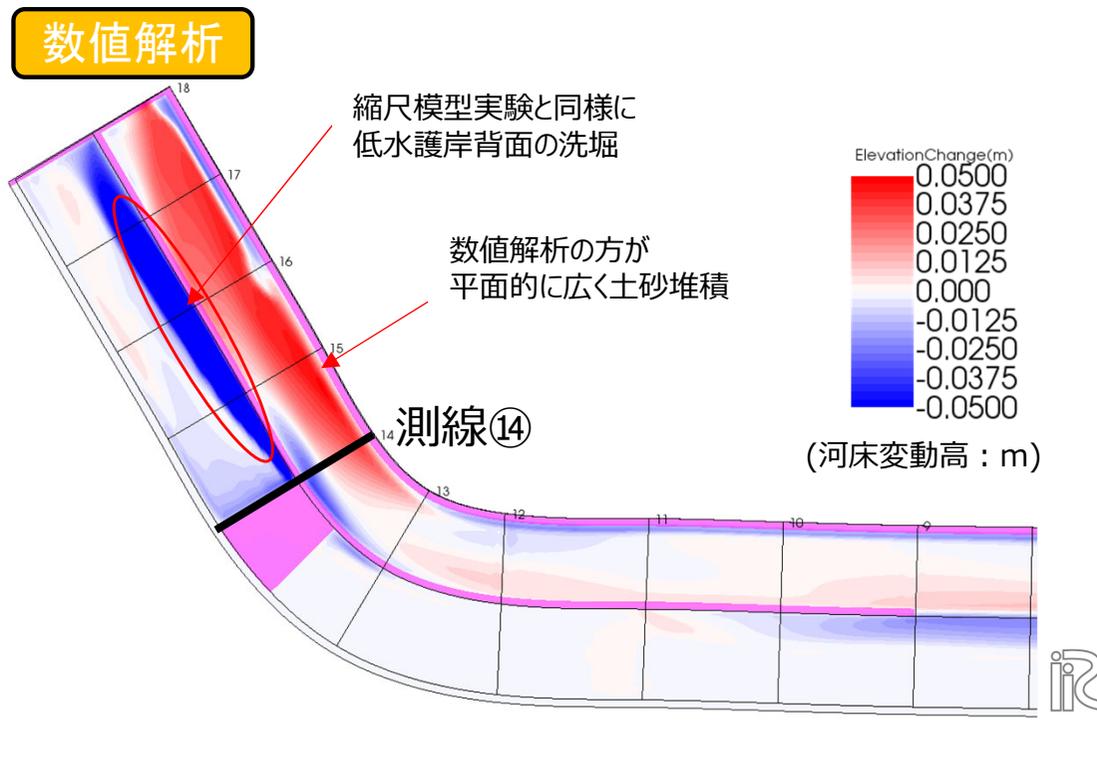
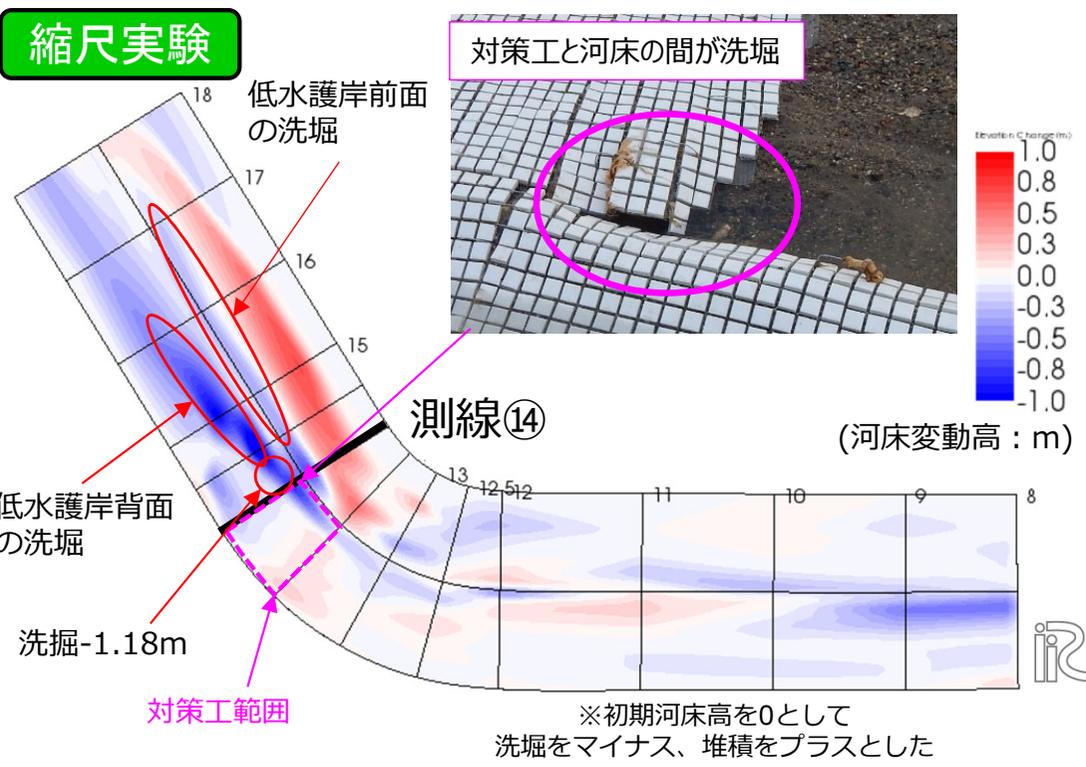
数値解析

平均流速



対策工検討【Case2】縮尺模型実験の結果～通水後の測量結果

- 低水路は湾曲部内岸側では土砂堆積傾向であり、低水護岸前面で洗掘が生じていた。
- 高水敷の洗掘は対策工下流端の低水護岸背面から洗掘範囲が拡大した。また、対策工と河床の間も洗掘が発生していた。
- Case 1 同様に、経時的な河床の変化を正確に把握することは困難であった。



■流況

- 湾曲部の高水敷を保護することで、主流が低水路となり数値解析と同様の傾向となった。
- 対策工下流端で洗堀が生じ、流速が大きくなるものの、堤防に向かう洗堀が確認されず、数値解析と同様の傾向となった。

■河床の変化

- どちらも低水護岸前面の洗堀など数値解析と差が生じ、侵食状況などの相違が生じた。

■堤防侵食対策の効果

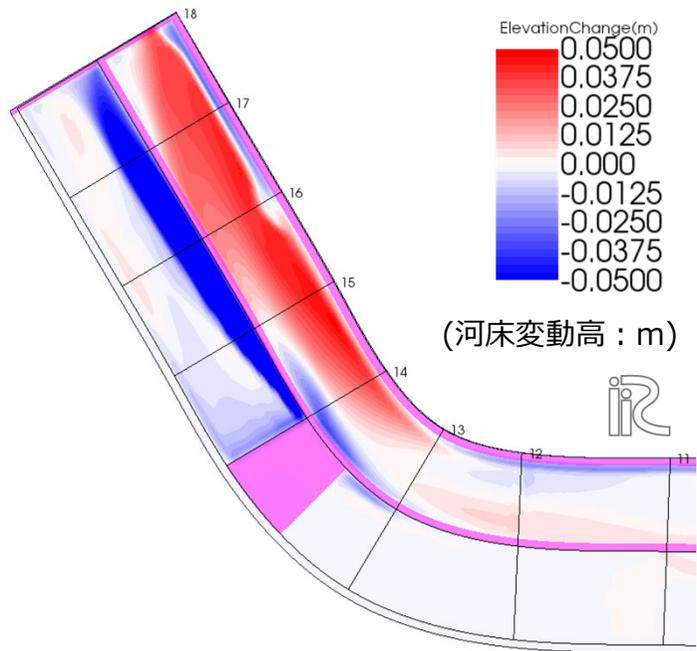
- 堤防侵食のきっかけとなる低水護岸背面から堤防に向かって進行する侵食を防止することを可能とし、数値解析も同様の傾向となった。

■その他

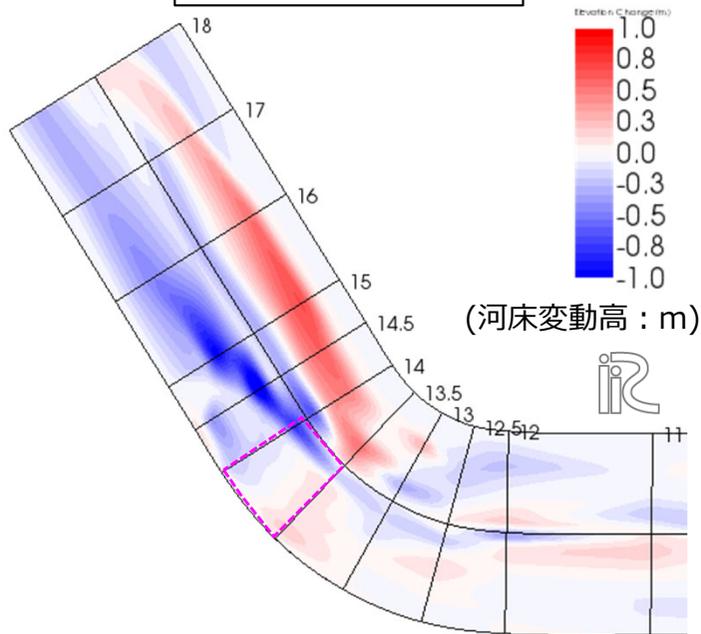
- 縮尺模型実験では対策工の下が部分的に洗堀され、対策工の被災が確認されたが数値解析では検証が不可能であった。
(縮尺実験では保護工はタイルを使用しており、針金で連結していることからほとんど挙動が発生しなかった。)

- 縮尺模型実験や数値解析から対策範囲の違いより侵食状況に相違があった。
- 縮尺実験でも実現象と違いがあるため、実現象との相似の現象が確認出来る千代田現地実験で現象を把握する。

数値解析



縮尺模型実験



千代田現地実験

千代田現地実験では、

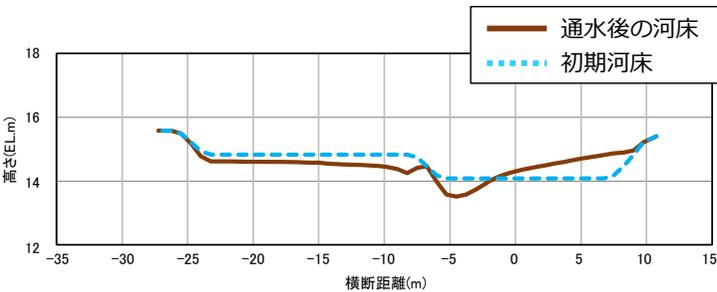
- ・対策工の粗度が異なることが想定され、実河川と流況が異なることが考えられる。
- ・構造物の挙動の確認が必要である
- ・通水中の低水護岸前面の最大洗堀深の確認が必要である。
- ・河床の時系列変化を把握することが必要である。

- 具体的な確認事項
- ・対策工設置により流況の変化する可能性
- ・対策工や低水護岸が変状する可能性
- ・低水護岸の根入れ不足になる可能性
- ・対策工設置による河床の時系列変化

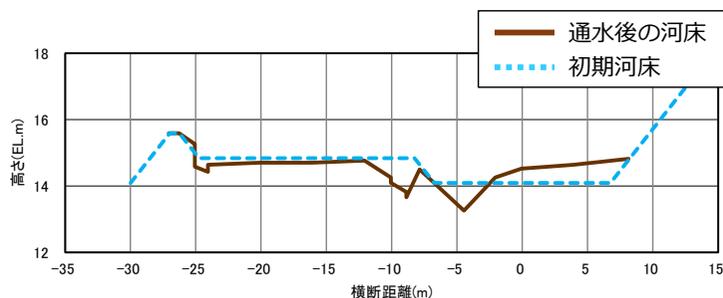
千代田現地実験で現象を把握し、数値解析などに反映したい。



千代田現地実験で行う対策工予定範囲



通水前後の横断図 測線⑭



通水前後の横断図 測線⑭

3. R04年度 千代田実験計画（実験条件、観測計画）

対策範囲や観測項目について

R04年度 千代田実験計画 【実験水路】

- 令和4年度千代田現地実験で実施する水路形状は、令和3年度千代田現地実験と同様の形状とする。
- 通水流量についても令和3年度千代田現地実験と同じ流量で通水する。

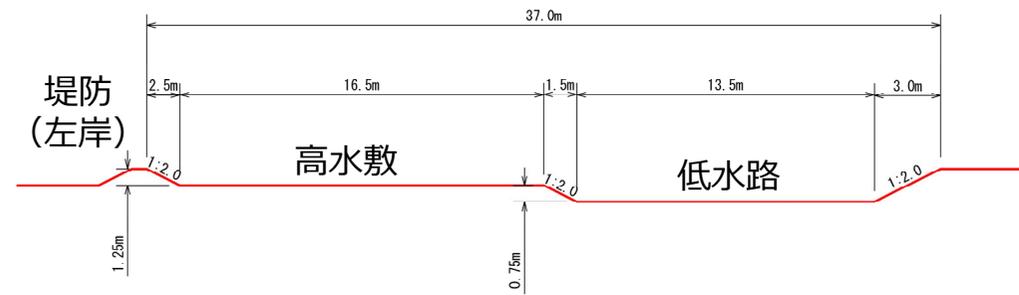
水路形状

縮尺	河床勾配	低水路幅 (m)	高水敷幅 (m)	水路延長 (m)	曲率半径 (m)	低水路高 (m)	代表粒径	砂の水中比重
実河川/千代田: 1/4程度	1/200	13.5	16.5	約400	50	0.75	d ₆₀ =17mm	s=1.65

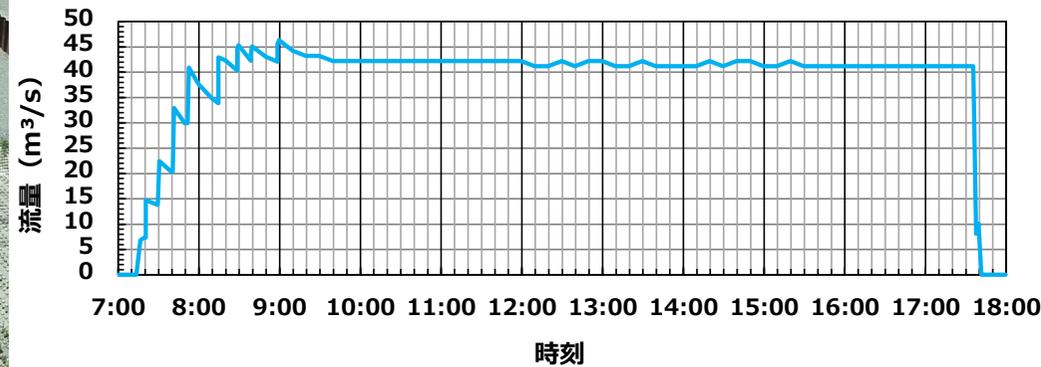


R03年度千代田現地実験時の空撮

標準断面図



通水流量: 40m³/s



令和3年度千代田現地実験ハイドロ
(ゲート流量: 42m³/s程度)

観測項目や観測目的等

観測目的	観測項目	観測機材など	観測場所
<ul style="list-style-type: none"> ・対策工より下流部の高水敷の洗掘の範囲や深さを把握するため (対策工設置による河床の時系列の変化) ・低水護岸前面における通水中の最大洗掘深を把握するため (低水護岸の根入れ不足になる可能性) ・低水路の土砂堆積の範囲や高さを把握するため 	河床の経時変化 実験前後の横断面 実験前後の粒径分布 堤防の透水係数	加速度センサー カラーボール 色砂 グリーンレーザ など	高水敷が洗掘されると 想定される範囲 低水路の土砂堆積・河床洗掘が 生じると想定される範囲
<ul style="list-style-type: none"> ・堤防の侵食状況の把握するため 	堤防法面の侵食	加速度センサー ビデオカメラ	堤防法面 侵食箇所の対岸
<ul style="list-style-type: none"> ・実験対象流量40m³/sが流下していることを確認するため 	流量	ADCP	水衝部付近(仮橋地点)
<ul style="list-style-type: none"> ・高水敷保護工の粗度の違いによる流況を把握するため (対策工設置により流況が変化する可能性) ・湾曲部及び対策工周辺の流況を把握するため (対策工設置により流況が変化する可能性) ・砂州の堆積による水位の変化の把握を把握するため 	表面流速	PIV 電波式流速計	水衝部上空(クレーン) 水衝部左岸側
	水面下の流速分布 局所的な流速	ADCP	低水路河岸
	水位	ダイバー式水位計	右岸背割り堤法面
<ul style="list-style-type: none"> ・低水護岸背面の洗掘による護岸の挙動を把握するため (低水護岸が変状する可能性) ・対策工下流部の洗掘による対策工の挙動を把握するため (対策工が変状する可能性) 	低水護岸ブロック挙動 対策工の挙動	加速度センサー	—

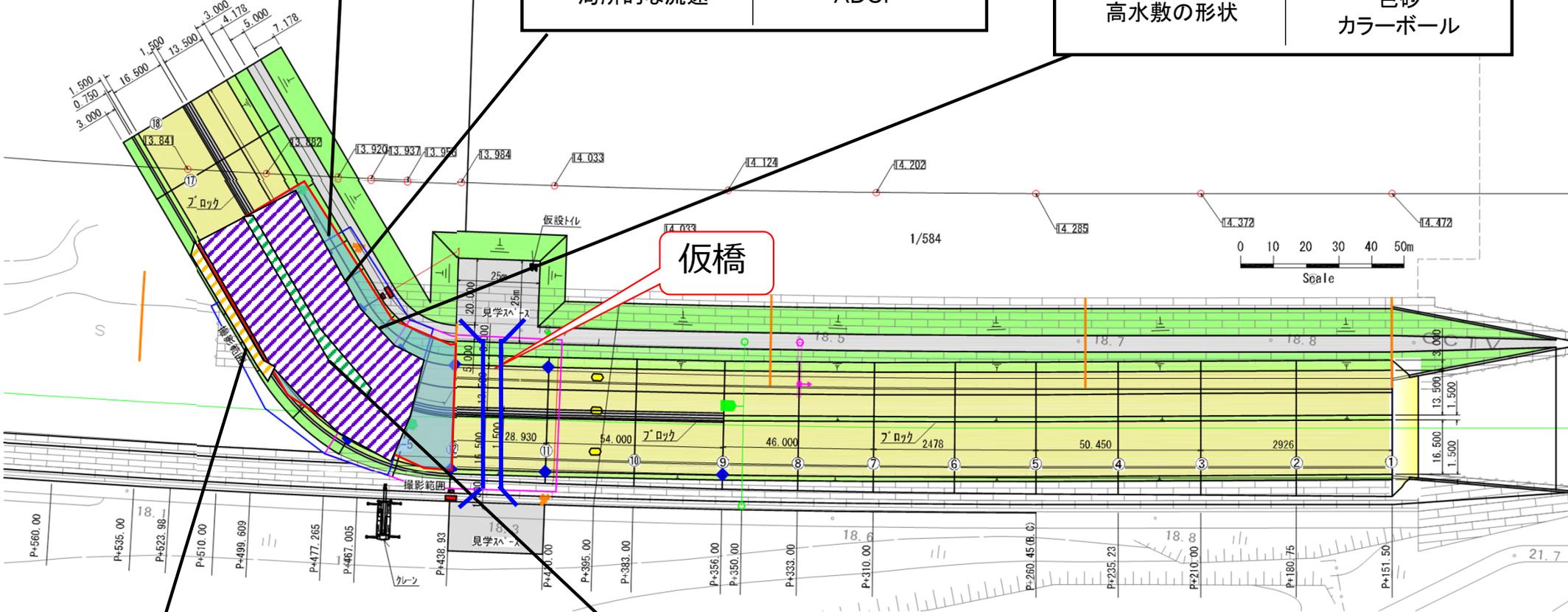
※土木研究所水文チーム、寒地土木研究所寒地河川チームが独自に実施する観測は除く

R04年度 千代田実験計画 【観測計画】

■ 流量	
観測内容	観測機材など
断面全体 配分流量	ADCP

■ 流速	
観測内容	観測機材など
表面流速 水面下の流速分布 局所的な流速	PIV 電波式流速計 ADCP

■ 高水敷、低水路の形状変化	
観測内容	観測機材など
低水路河床の形状 高水敷の形状	加速度センサー 色砂 カラーボール

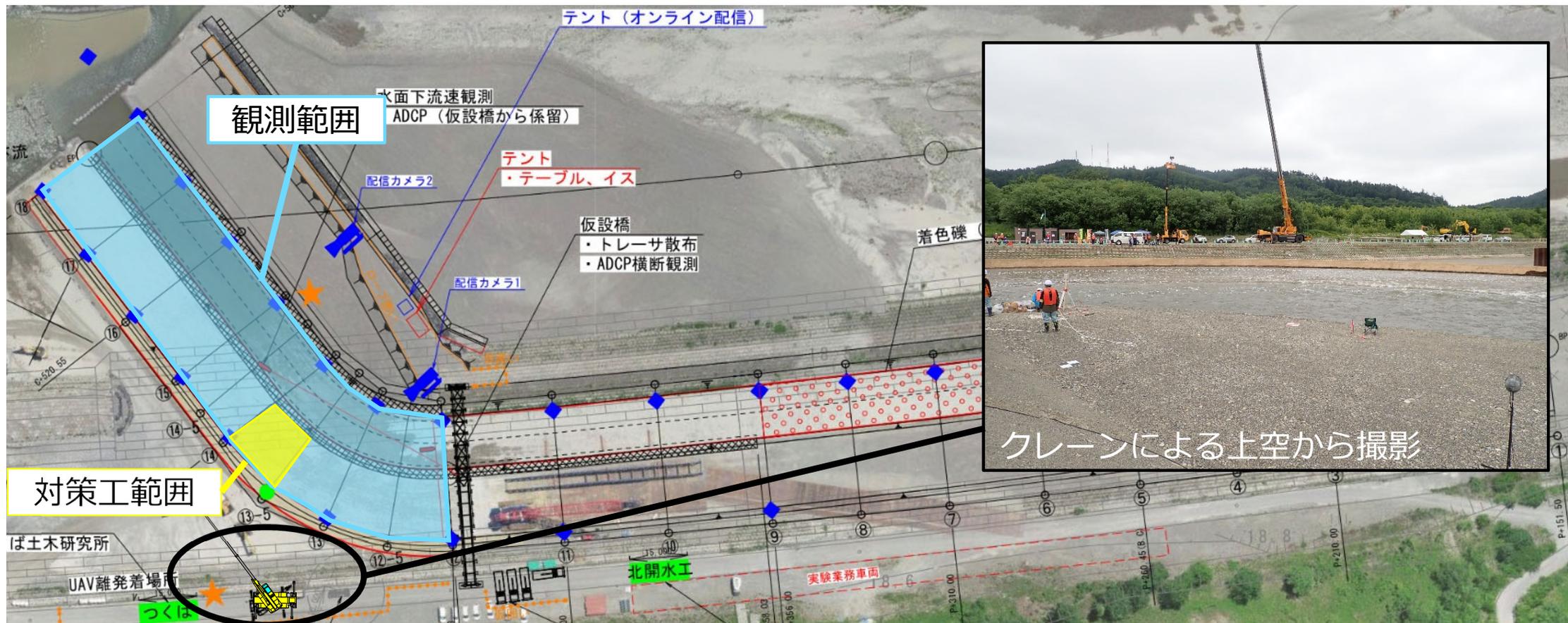


■ 堤防	
観測内容	観測機材など
侵食時間 侵食状況	加速度センサー

■ 低水護岸	
観測内容	観測機材など
通水中の挙動	加速度センサー

■ その他基礎データ	
観測内容	観測機材など
実験前後の横断測量 実験前後の河床材料	グリーンレーザー プロファイラ UAVなど

- 目的
平面的な流速分布を把握する。
- 観測方法
平面的な流況をクレーンによる上空からの撮影映像を基にPIV解析を実施する。
- 観測範囲
対策工を設置する湾曲部周辺と対策工の上下流を網羅した範囲とする。



■ 目的

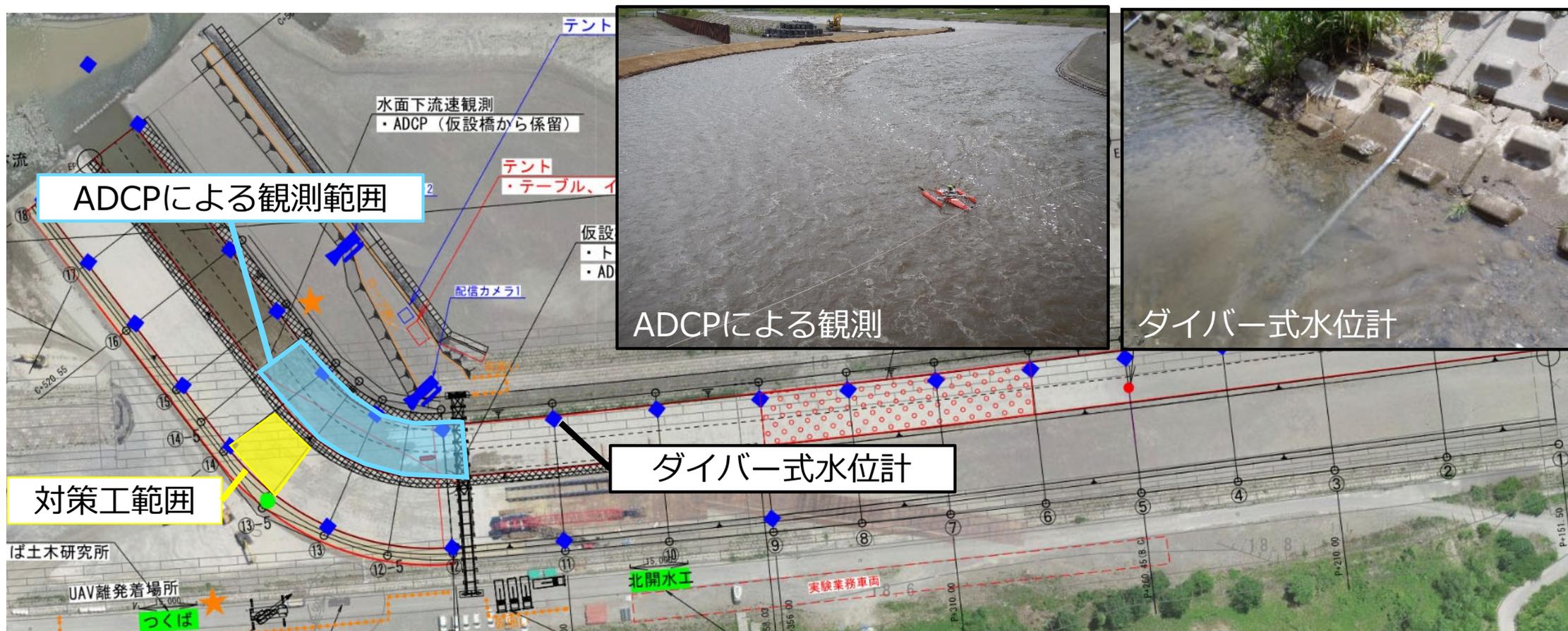
実験対象流量 $40\text{m}^3/\text{s}$ が流下していることを確認する。
通水中の水位の変化や水面下の流速分布を確認する。

■ 観測方法

水位：両岸のダイバー式水位計により計測する。
水面下流速：仮橋からADCPの曳航ロープを伸ばして流速を計測する。

■ 観測範囲

対策工を設置する湾曲部周辺と対策工の上下流を網羅した範囲とする。



■ 目的

高水敷洗堀の経時変化を把握し、対策工設置による侵食過程について把握する。

■ 観測方法

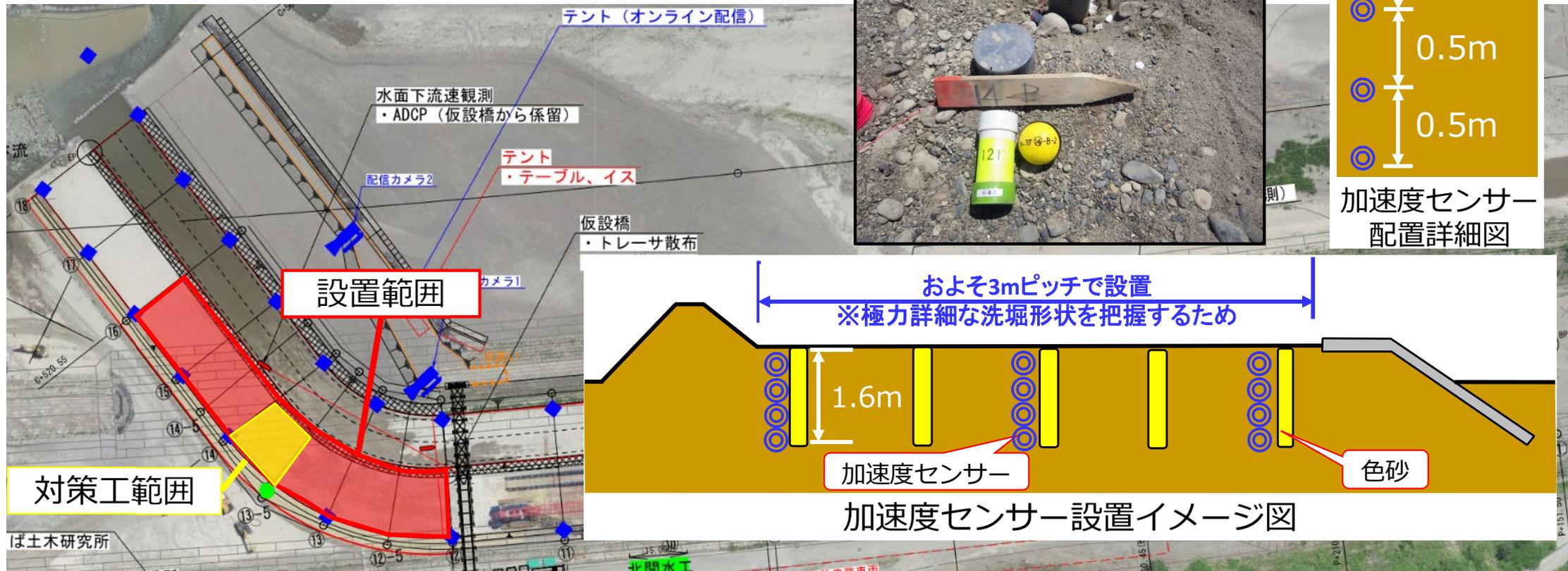
加速度センサーを埋め込み、センサー箇所にて侵食が達した時間を記録する。

埋め込み深さは令和3年度千代田実験と同様に1.6mとした。

また、最大洗堀深を把握するため、色砂を埋設する。

■ 観測範囲

数値解析及び模型実験結果より対策工周辺で高水敷洗堀が生じた範囲とする。



■ 高水敷侵食の進行状況を視覚化

通水中は水が濁るため、高水敷侵食の進行状況の視認が難しいことが想定される。

加速度センサーや色砂はリアルタイムで状況を把握することが出来ないため、侵食の進行を把握が簡易に確認出来る方法が望まれる。

■ 目的

侵食の進行をリアルタイムで状況を確認する。

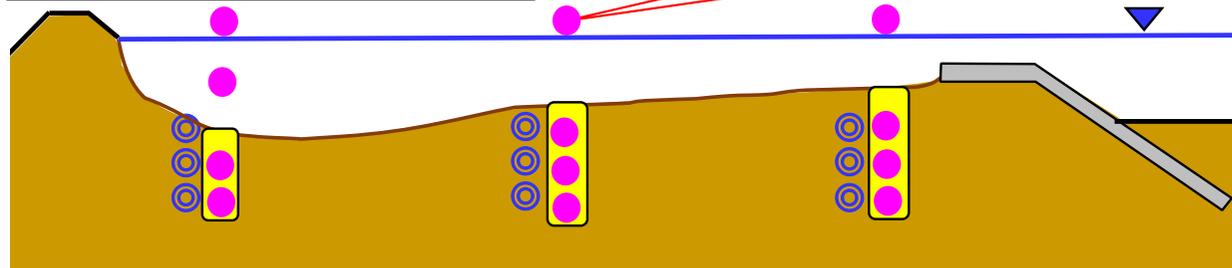
■ 視覚化の方法

カラーボールにビニールテープを巻き付けボールの浮上とともに巻き付けたテープがほどけ視覚化しやすくする。

■ 観測範囲

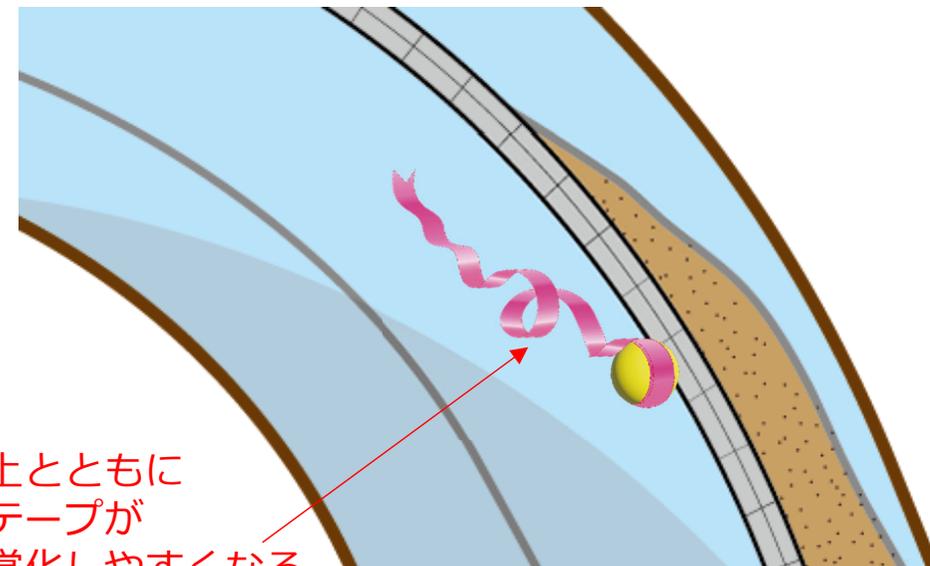
加速度センサー設置箇所を同じ場所に埋め込む。

侵食進行時のイメージ



カラーボール

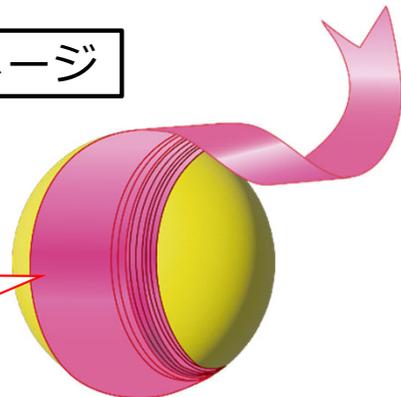
視覚化のイメージ



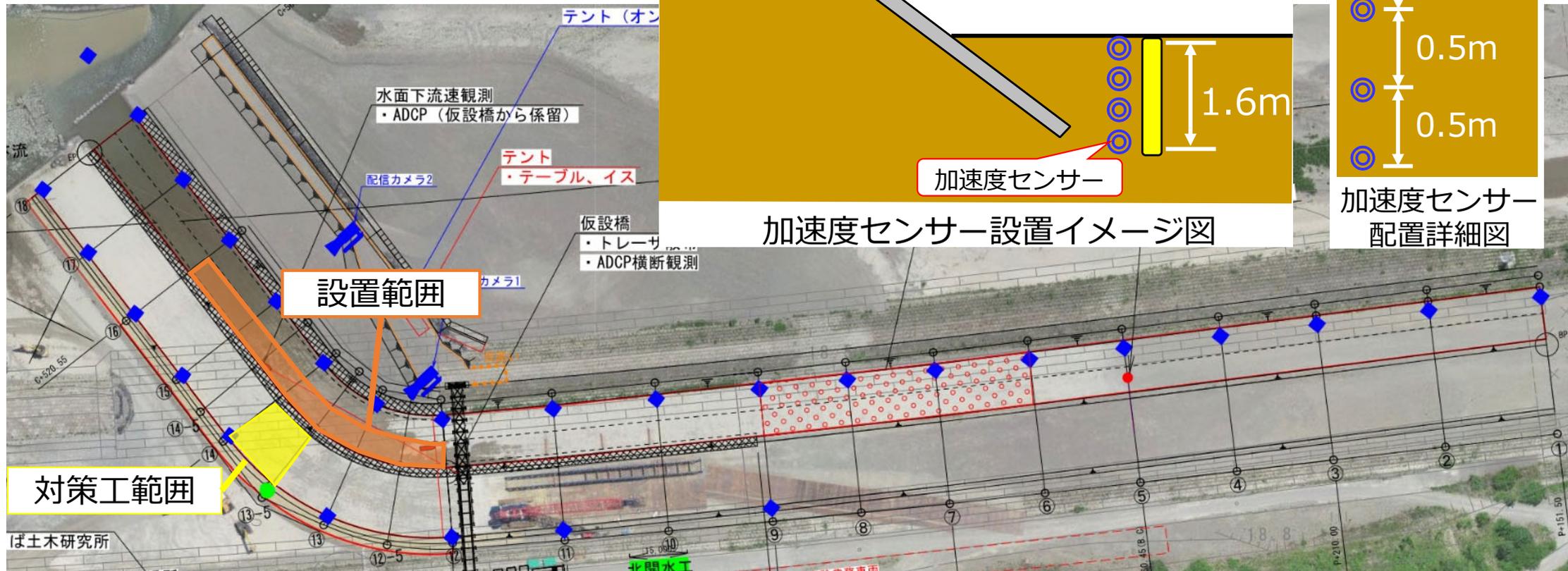
ボールの浮上とともに
巻き付けたテープが
ほどけて視覚化しやすくなる

カラーボールのイメージ

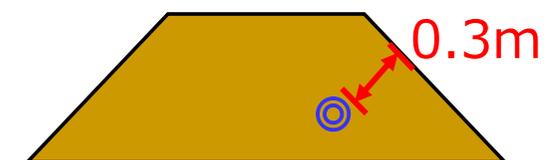
ビニールテープを
巻き付ける



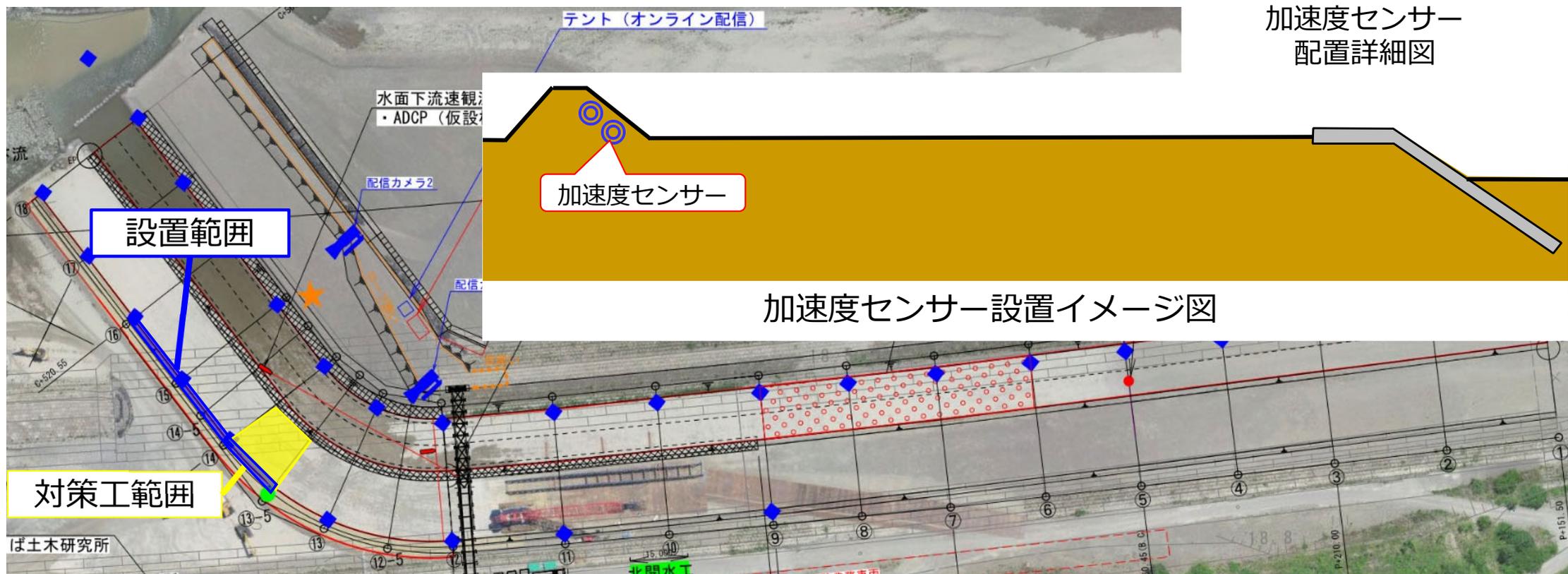
- 目的
低水護岸前面の洗掘状況の経時変化を把握する。
- 観測方法
加速度センサー、色砂を1.6mの深さまで設置する。
- 観測範囲
数値解析及び模型実験結果を踏まえて、形状変化が生じる範囲を網羅した範囲とする。



- 目的
堤防の侵食状況の経時変化を把握する。
- 観測方法
加速度センサーを堤防法面に沿って法面から30cmの深さに設置する。
- 観測範囲
数値解析及び模型実験結果を踏まえて、形状変化が生じる範囲を網羅した範囲とする。



加速度センサー
配置詳細図



加速度センサー設置イメージ図

- 目的
対策工下流端や低水護岸背面の洗掘による低水護岸の挙動を把握する。
- 観測方法
連節ブロックに固定したケースに加速度センサーを内蔵する。
加速度センサーは対策工下流部と低水護岸天端および法面に設置する。
- 観測範囲
数値解析及び模型実験結果を踏まえて、低水護岸背面の洗掘が想定される範囲とする。

