

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

河床整正位置の検証結果

	原 案	原案 － 30m下流
模型実験結果 ・水位 ・流速 ・縦断勾配) ※TP4.0mで実験	【水位】 水位は、河床整正箇所0.2m程度上昇（TP4.2m）し、遙拝堰魚道入口付近まで水位が上昇する。	【水位】 水位は、河床整正箇所0.1m程度上昇（TP4.1m）し、遙拝堰の護床工の下流端付近まで水位が上昇する。
	【流速】 中央部 1.9m/s 越流部 0.5m/s	【流速】 中央部 0.6m/s 越流部 0.3m/s
	【縦断勾配】 八の字下流の縦断勾配が大きい。	【縦断勾配】 八の字下流の縦断勾配は大きい。
シミュレーション 計算結果	瀬の範囲は、約20,000m ²	瀬の範囲は、約15,000m ²
考察と総合評価	◎ 瀬の面積は目標に達し、かつ、中央部と越流部の流れの変化が多様な流れとなっている。上流側の水位が上昇することから、連続性の向上が期待できる。	× 瀬の形成は比較的狭く、八の字上流側の水位上昇による連続性の向上が小さい。瀬の面積は目標に達しない。

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

ケース2の考え方

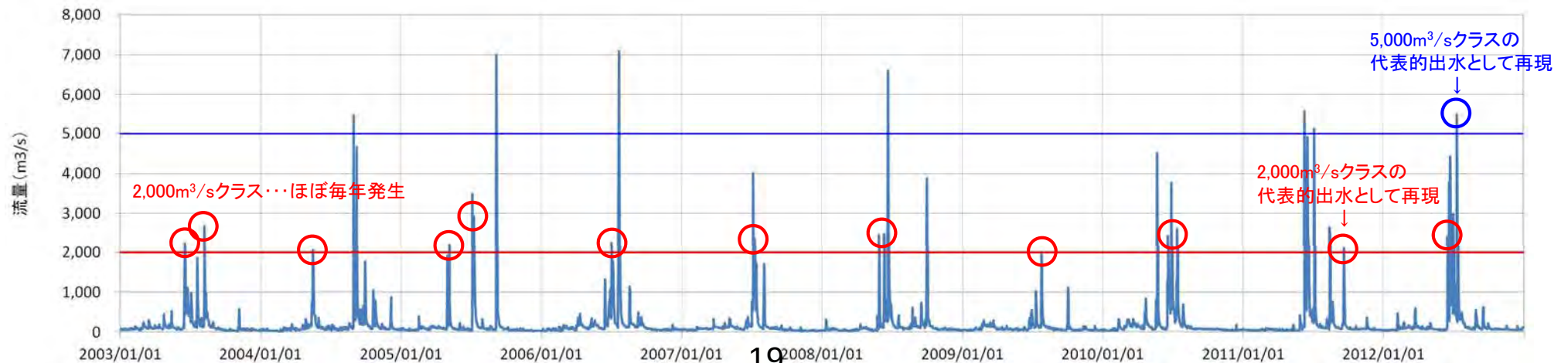
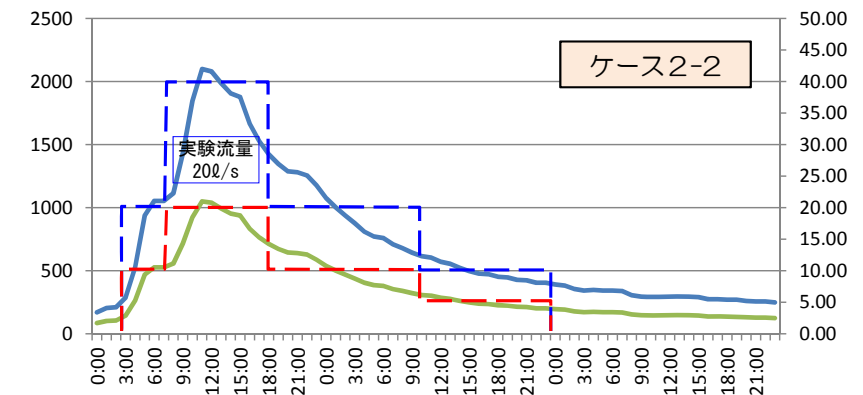
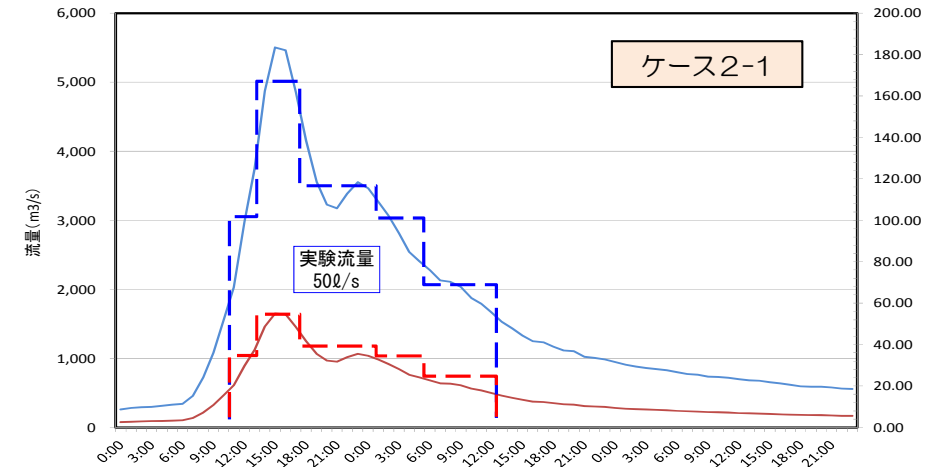
平均年最大流量の10ヶ年平均値は $5,075\text{m}^3/\text{s}$ であることから、近似値として平成24年7月出水をベースに、 $5,000\text{m}^3/\text{s}$ クラスの中規模出水を流下させて、河床変化の状況を見ることとした。（→ケース2-1）

流下時間も、平成24年7月出水を再現するものとした。

また、 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ クラスの出水はほぼ毎年発生していることから、平成23年9月出水をベースとした $2,000\text{m}^3/\text{s}$ クラスの小規模出水を流下させる実験も行った。（→ケース2-2）

年最大流量（近10カ年）

	最大流量	
	流量 (m^3/s)	生起日時
H16年 (2004)	5,477	8月30日 18:00
H17年 (2005)	6,993	9月06日 16:00
H18年 (2006)	7,098	7月22日 08:00
H19年 (2007)	4,009	7月07日 16:00
H20年 (2008)	6,592	6月22日 07:00
H21年 (2009)	1,961	7月25日 22:00
H22年 (2010)	4,507	5月23日 15:00
H23年 (2011)	5,578	6月11日 19:00
H24年 (2012)	5,505	7月12日 16:00
H25年 (2013)	3,033	9月01日 17:00
10カ年平均	5,075	



3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

実験ケース 2-1

- 小規模出水流量 2,000m³/s (2011年9月20日出水の再現)
1,000m³/s → 2,000m³/s → 1,000m³/s → 500m³/s
- 八の字：あり (原案位置、T.P.4.0m)
- 土砂供給：なし



3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

■ 模型実験における流況（小規模出水流量 2,000m³/s （2011年9月20日出水の再現）、土砂供給なし）

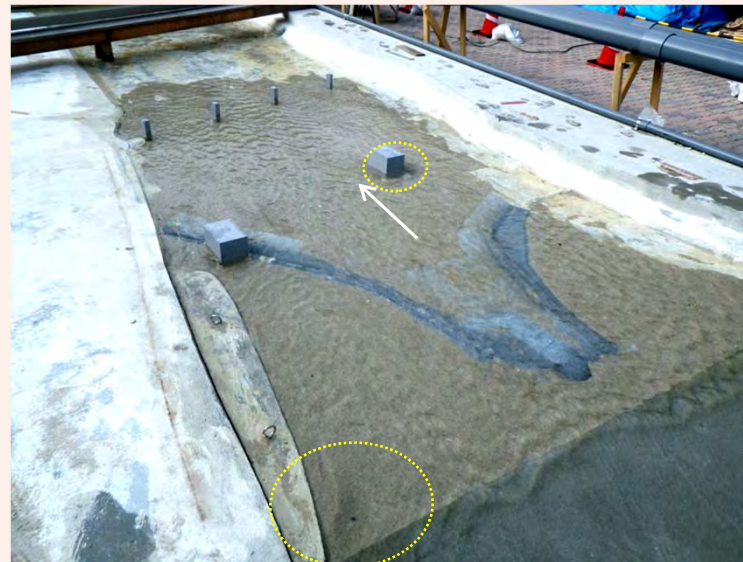
流 況

①1,000m³/s
(5分経過)



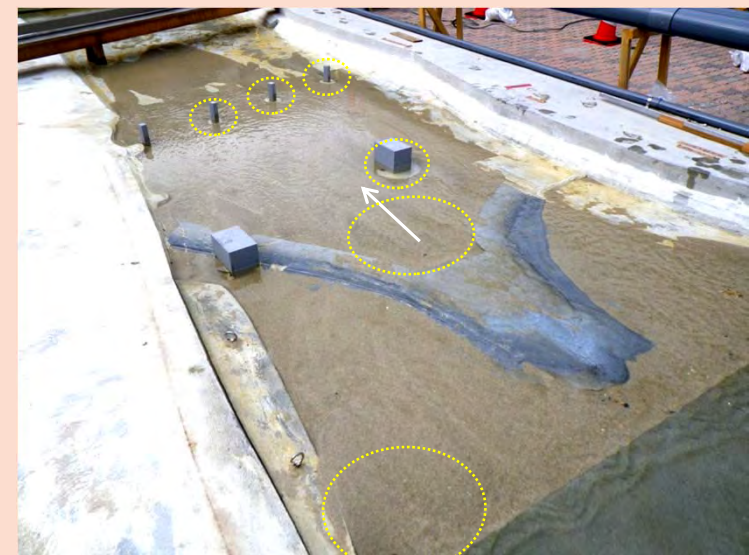
遙拝堰護床工直下の左岸側では、洗掘の傾向が見える。顕著な河床変化はあまり見られない。

②2,000m³/s
(20分経過)



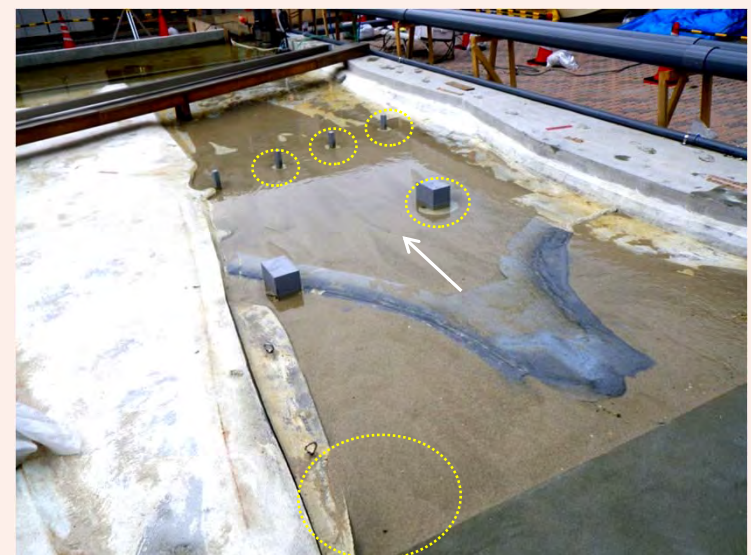
遙拝堰護床工直下の左岸側の洗掘の様子が分かる。また、高速道路下の橋脚周りでも洗掘削が進み始める。

③1,000m³/s
(85分経過)



時間の経過とともに、高速道路橋脚及びオレンジ鉄道橋脚の周囲の洗掘が進む。またハの字中央下流側も河床が低下している様子が分かる。

④500m³/s
(105分経過)



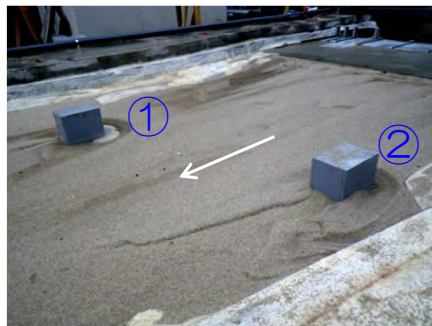
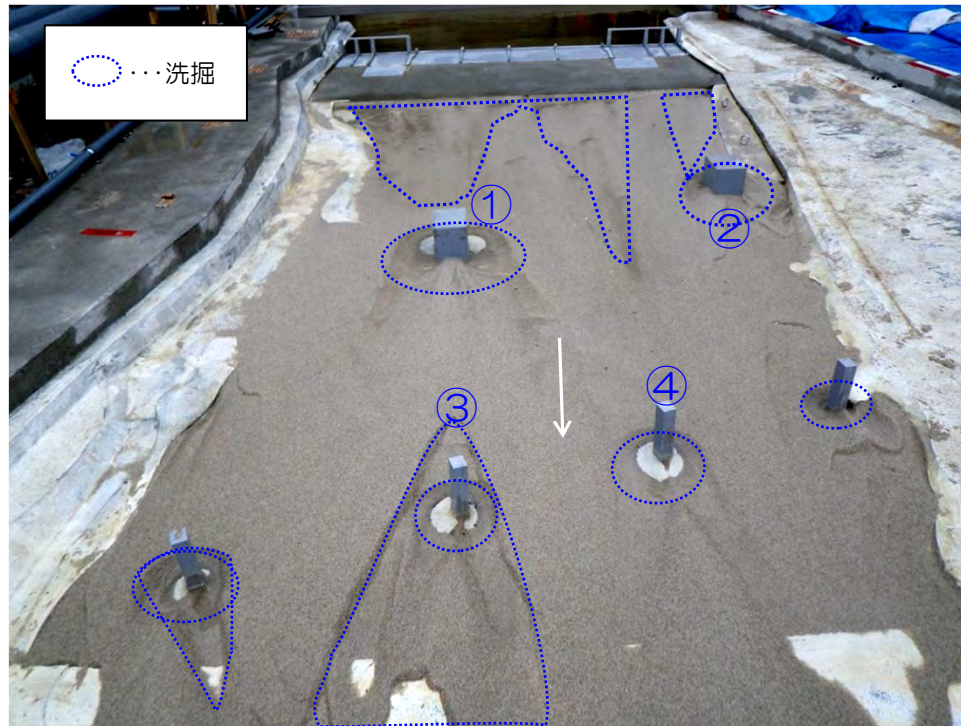
500m³/sの流下では、流れが落ち着き、河床状況の著しい変化は確認できなかった。

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【小規模出水流量（2,000m³/s）における河床の変化①】

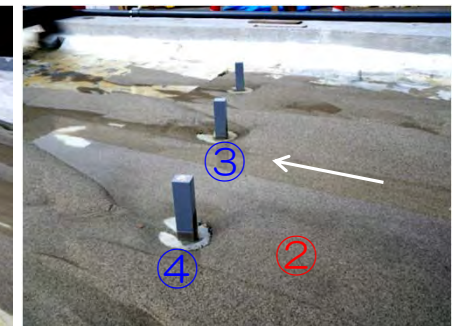
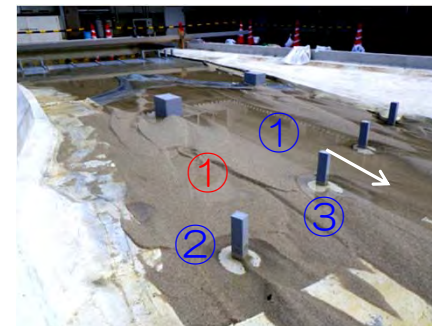
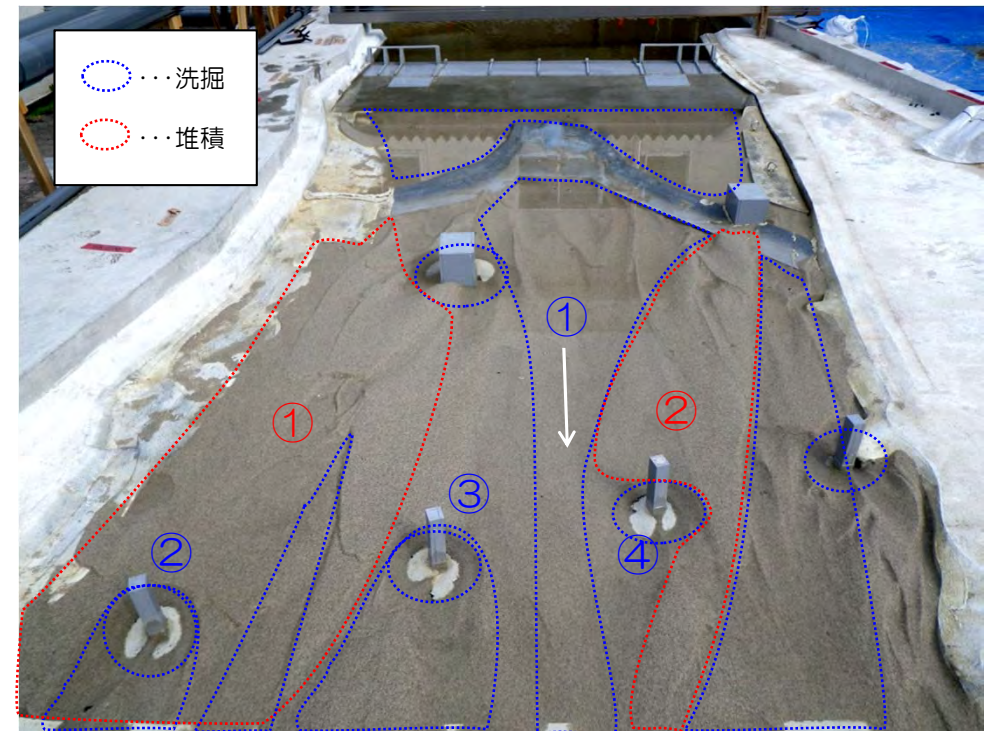
■ 八の字の河床整正無し、土砂供給無し

- 洗掘箇所は、主に橋脚周りが洗掘され、流心の滞筋の河床も低下した。
- 遙拝堰下流直下の左岸では、顕著な洗掘傾向が見られた。



■ 八の字の河床整正有り、土砂供給無し

- 洗掘箇所は、主に橋脚周りが洗掘され、また、橋脚と橋脚の間に生じた滞筋の河床も低下した。
- 洗掘された箇所の間には土砂が堆積し、メリハリのある河床となった。



3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

実験ケース 2-2

- 平均年最大流量 5,000m³/s (2014年7月12日出水の再現)
3,000m³/s → 5,000m³/s → 3,000m³/s → 2,500m³/s → 2,000m³/s
- 河床整正：あり(原案位置、TP4.0m)
- 土砂供給：なし

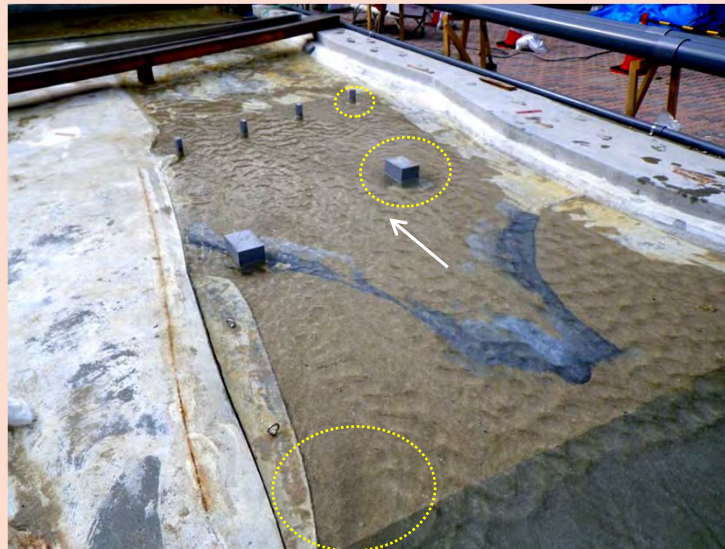


3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

■ 模型実験における流況（平均年最大流量 5,000m³/s （2014年7月12日出水の再現）、土砂供給なし）

流 況

① 3,000m³/s
(5分経過)



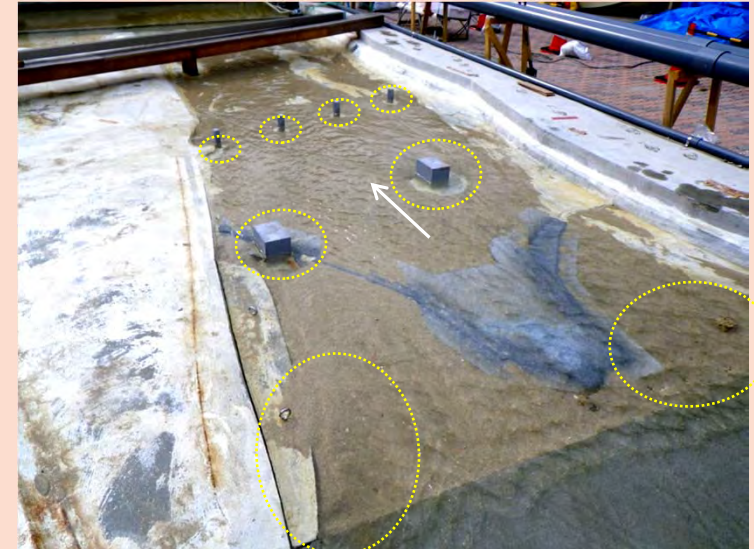
遙拝堰護床工直下の左岸側では、洗掘の傾向が見える。また、高速道路橋脚、オレンジ鉄道橋脚の周辺でも洗掘が始まっている。

② 5,000m³/s
(27分経過)



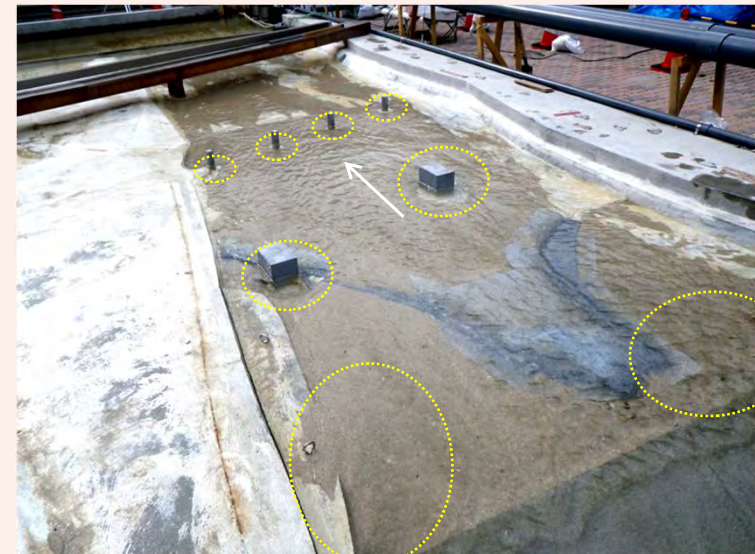
高速道路橋脚、オレンジ鉄道橋脚周辺で洗掘が進行する。また、遙拝堰直下の左右岸でも洗掘が進行し、流れた土砂が護岸に乗る。

③ 2,500m³/s
(146分経過)



河床形状は安定的となり、大きな変化は見られない。

④ 2,000m³/s
(173分経過)



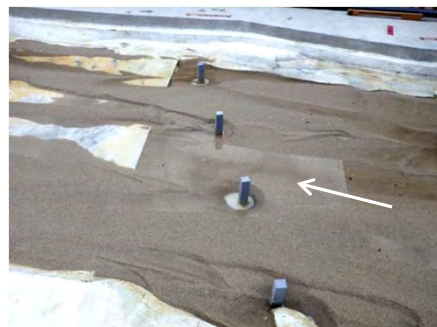
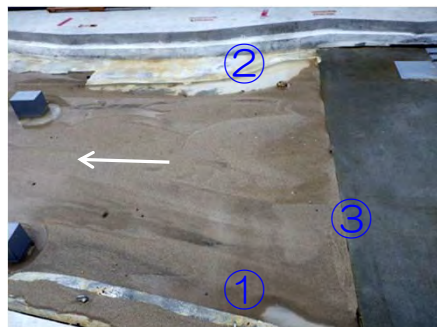
河床形状は安定的となり大きな変化は見られない。

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【平均年最大流量（5,000m³/s）における河床の変化①】

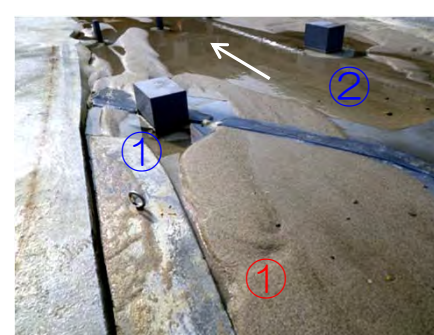
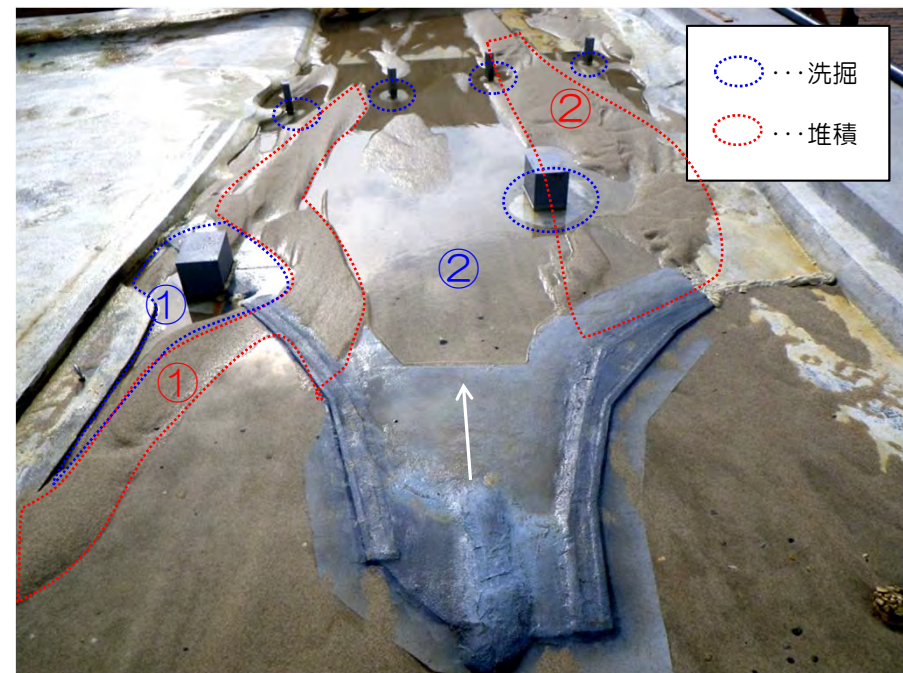
■ 八の字の河床整正無し、土砂供給無し

- 洗掘された箇所は、遙拝堰護床工直下の左右岸沿いと流心付近、橋脚周りで、流れの滞筋の河床も低下した。



■ 八の字の河床整正有り、土砂供給無し

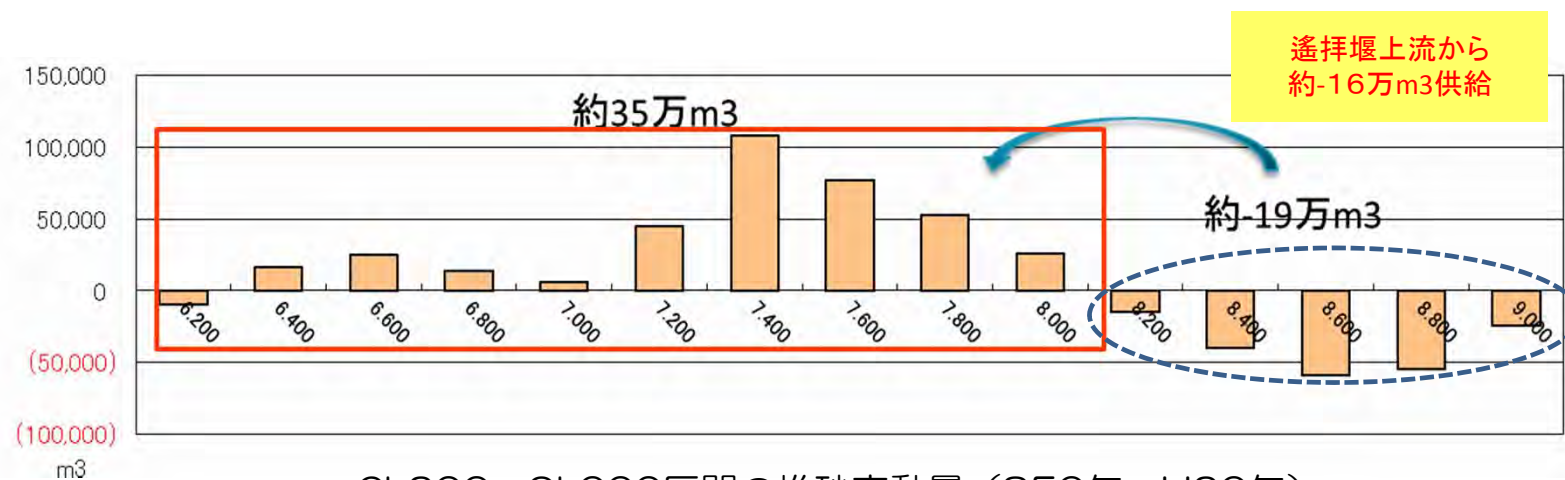
- 洗掘された箇所は橋脚周りで、流心の滞筋の河床も低下した。
- 遙拝堰護床工直下の左右岸沿いには土砂が堆積し、八の字を越流して下流まで帯状に堆積している。



3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【土砂供給による河床の変化】

- 既往調査結果から、6～8 k 堆砂量は遙拝堰下流から約19万 m^3 、遙拝堰上流から約16万 m^3 の土砂供給があると考えられており、遙拝堰下流区間においては、下流への流出土砂量と上流からの供給土砂量は、ほぼ同等と考えられる。
- 模型実験は、平均年最大流量で掃流される土砂量を計測し、これを実験流量に比例配分して供給しながら行った。



模型実験時の土砂供給量の設定

	2,000 m^3/s		5,000 m^3/s	
	模型値 (1/100)	原型値	模型値 (1/100)	原型値
現況河床での土砂の流出量	30 ℓ	3.0 m^3	100 ℓ	10.0 m^3
供給する土砂量	30 ℓ	3.0 m^3	100 ℓ	10.0 m^3
土砂配分量 (対流量)	1,000 (4H) 2.4 ℓ 2,000 (11H) 13.8 ℓ 1,000 (15H) 9.6 ℓ 500 (13H) 4.2 ℓ	—	3,000 (3H) 12 ℓ 5,000 (3H) 20 ℓ 3,500 (7H) 33 ℓ 2,500 (5H) 17 ℓ 2,000 (7H) 18 ℓ	—

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

実験ケース 2-2

- 平均年最大流量 5,000m³/s (2014年7月12日出水の再現)
3,000m³/s → 5,000m³/s → 3,000m³/s → 2,500m³/s → 2,000m³/s
- 八の字：あり(原案位置、TP4.0m)
- 土砂供給：あり

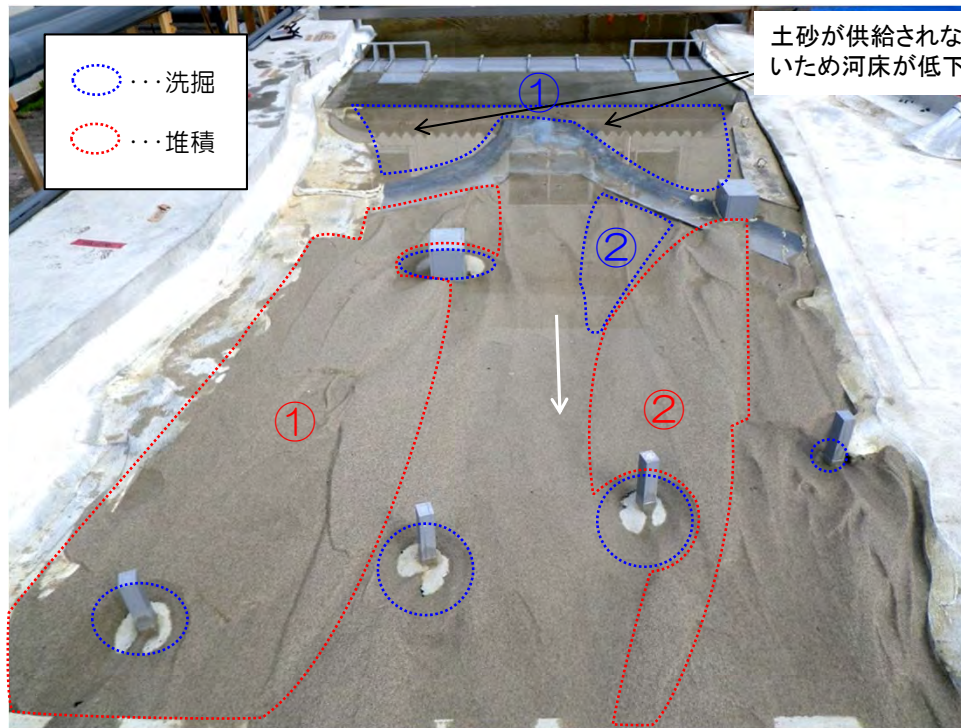


3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【小規模出水流量（2,000m³/s）における河床の変化②】

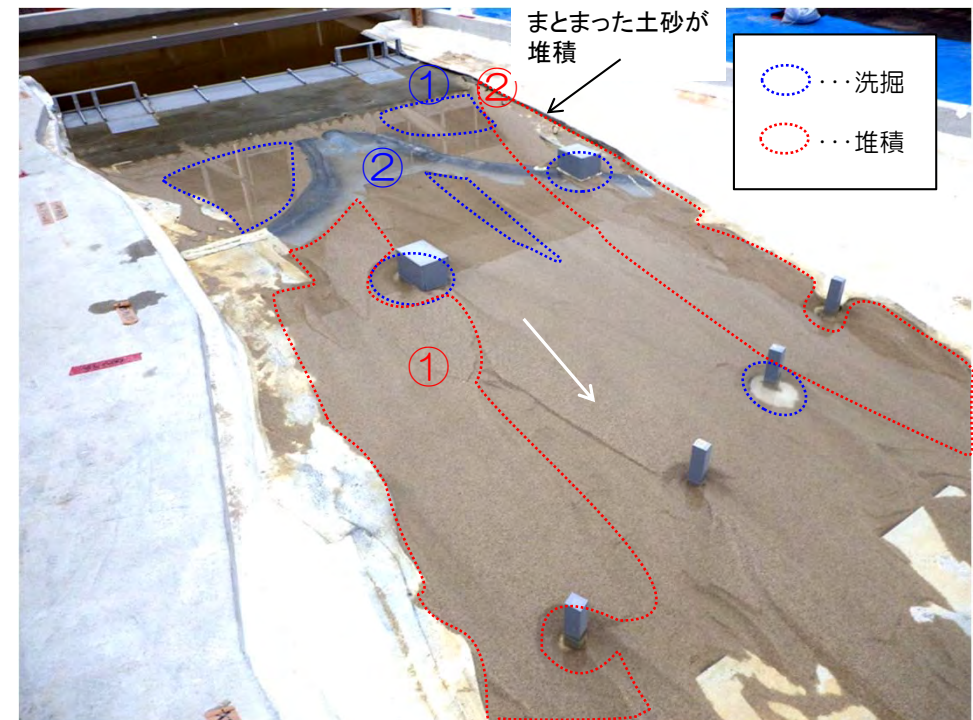
■八の字の河床整正有り、土砂供給無し

- 左右岸に土砂が分かれ、帯状に溜まる傾向であった。
- 洗掘された箇所は、遙拝堰護床工と八の字の間の河床と、八の字の流心直下がわずかに洗掘されている。
- 左岸の鉄道橋付近に、複雑な形状の河床が現れた。



■八の字の河床整正有り、土砂供給有り

- 左右岸に土砂が分かれ、帯状溜まる傾向であった。
- 洗掘された箇所は、遙拝堰護床工直下と、八の字の流心直下及び鉄道橋の左岸から2番目の橋脚周りであった。
- 全体的に、高低差が少なく形状も単純な河床となった。

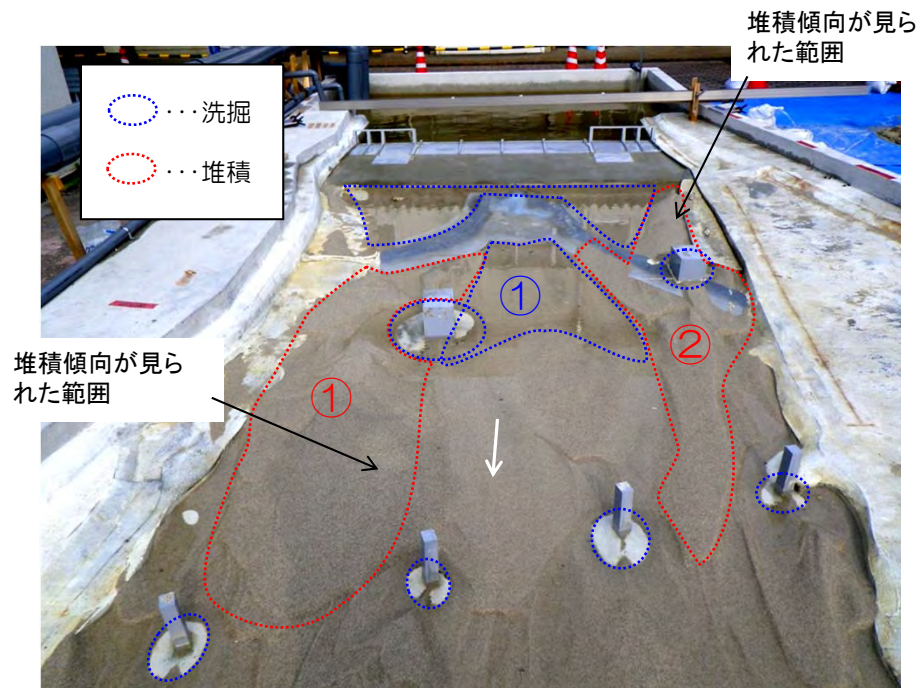


3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【平均年最大流量（5,000m³/s）における河床の変化②】

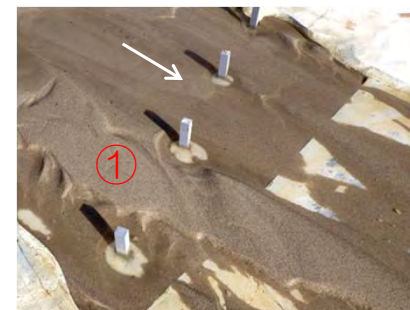
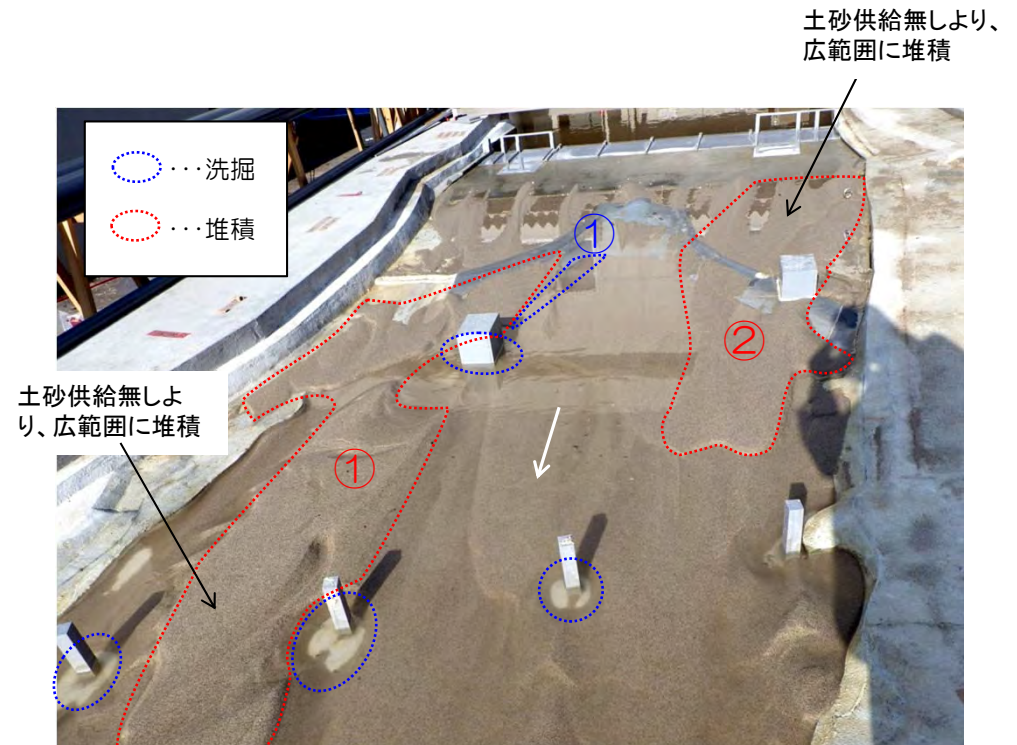
■八の字の河床整正有り、土砂供給無し

- 左右岸に土砂が分かれ、帯状に溜まる傾向であった。
- 上流から流下した土砂の堆砂は、鉄道橋付近まで見られ、それより下流では堆積していない。
- 洗掘された箇所は、遙拝堰護床工と八の字の間の河床と、八の字の流心直下、橋脚周辺である。



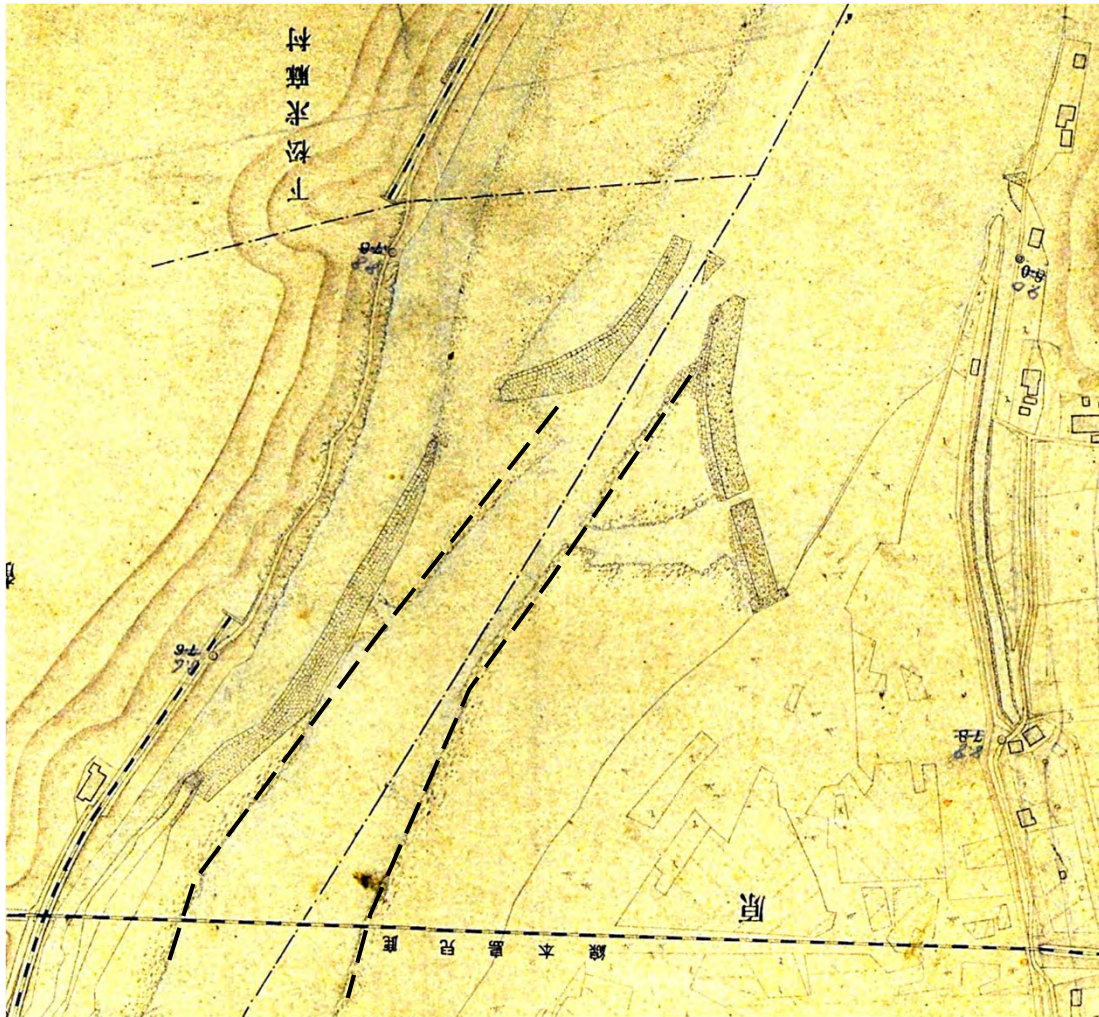
■八の字の河床整正有り、土砂供給有り

- 左右岸に土砂が分かれ、帯状に溜まる傾向であった。
- 上流から流下した土砂の堆砂は、特に右岸側で、移動床の外まで流下し堆積している。
- 洗掘された箇所は、八の字の流心直下と鉄道橋周辺である。

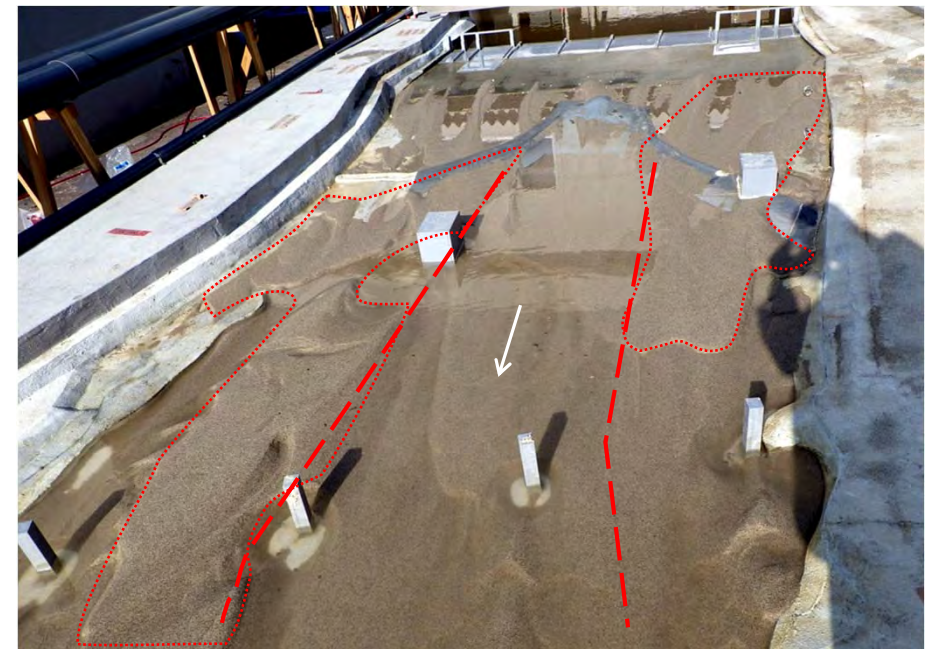


3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

八の字の河床整正及び上流側からの土砂供給によって、堆積箇所には、土砂の広がりや高さは異なるものの、昭和8年の測量図の砂州と近似した堆積形状が現れた。



昭和8年の測量図面



水理実験結果
(八の字の河床整正有り、土砂供給有り、 $5000\text{m}^3/\text{s}$)

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

実験ケース 3-1 左岸側護岸の形状確認

■ 模型実験における流況（平均年最大流量 5,000m³/s （2014年7月12日出水の再現）

流 況

① 3,000m³/s
(4分経過)



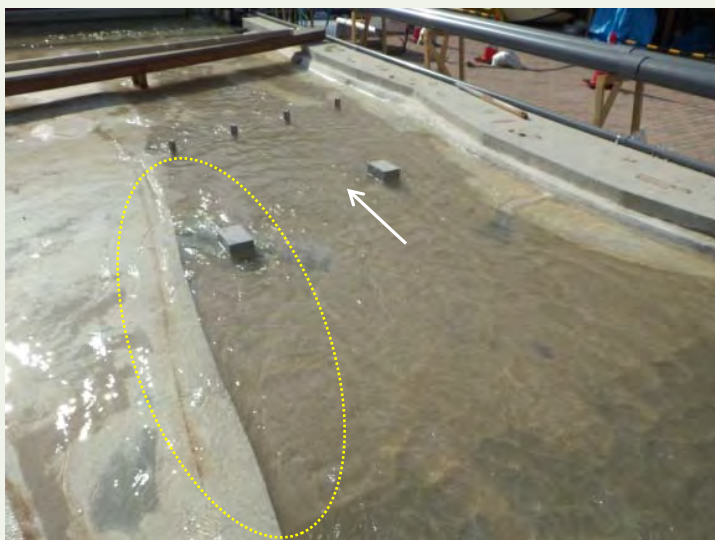
遙拝堰護床工直下の左岸に洗掘傾向が見られる。左岸沿いはスムーズに流れている。

③ 2,500m³/s
(85分経過)



左岸沿いの水際は、水が走るため、徐々に洗掘が見られる。

② 5,000m³/s
(22分経過)



高水敷まで水位があがり、左岸沿いの低水部の流れは複雑になっている。

④ 2,000m³/s
(122分経過)



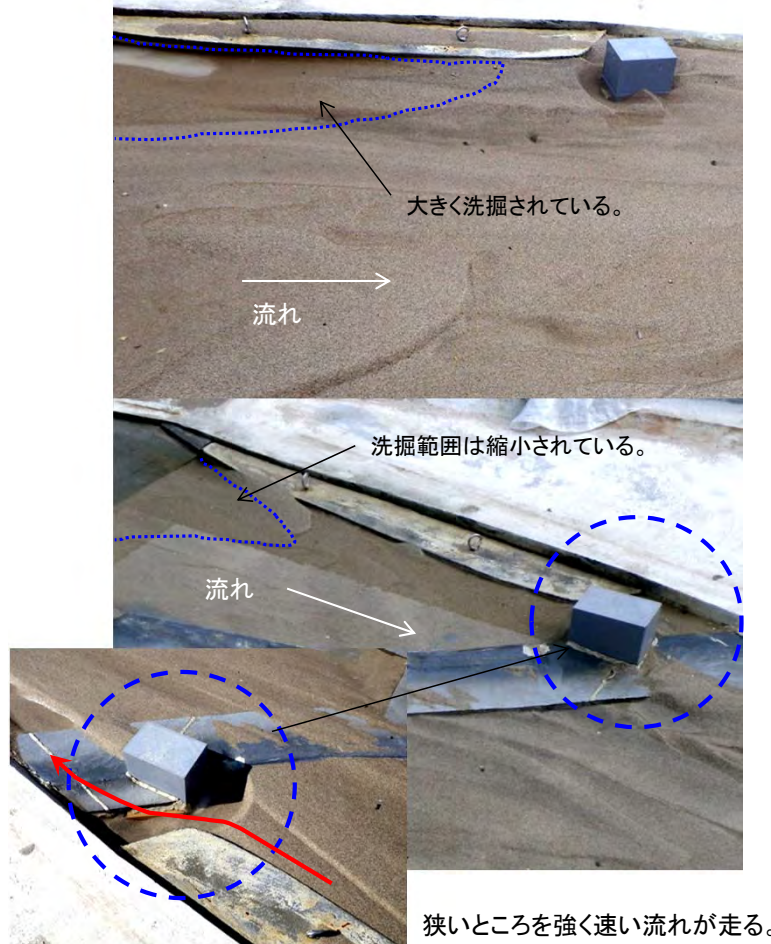
流れは安定的になっており、顕著な河床の変化は見られない。

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

■左岸側護岸の形状の確認

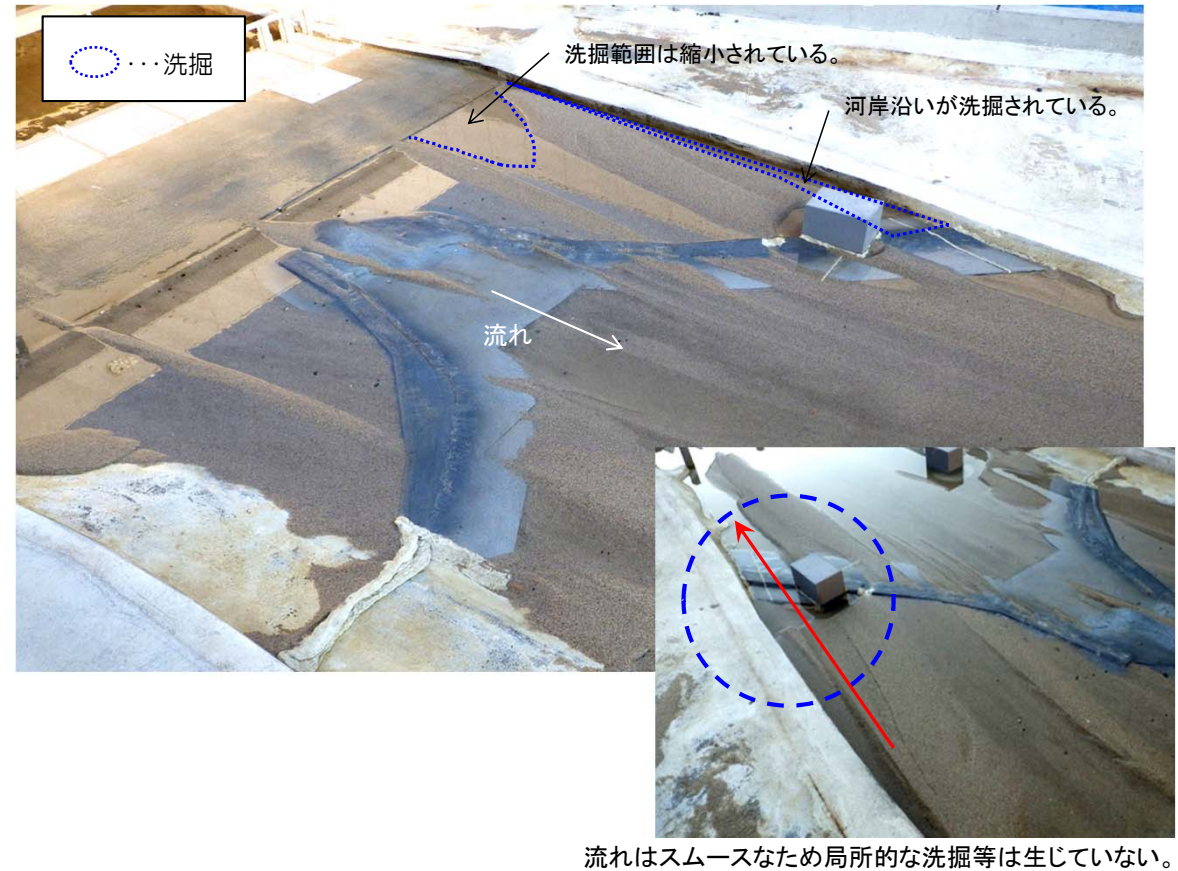
■現況左岸 + 八の字の河床整正

- 局所的な河岸洗掘が見られ、大きく深掘れする傾向が確認された。
- 高速道路橋脚付近で複雑な流れが生じている。



■左岸形状を改変（張り出し部分を撤去）

- 障害物がなくなることで、流向がスムーズとなったが、護岸沿いに洗掘がされる結果となった。



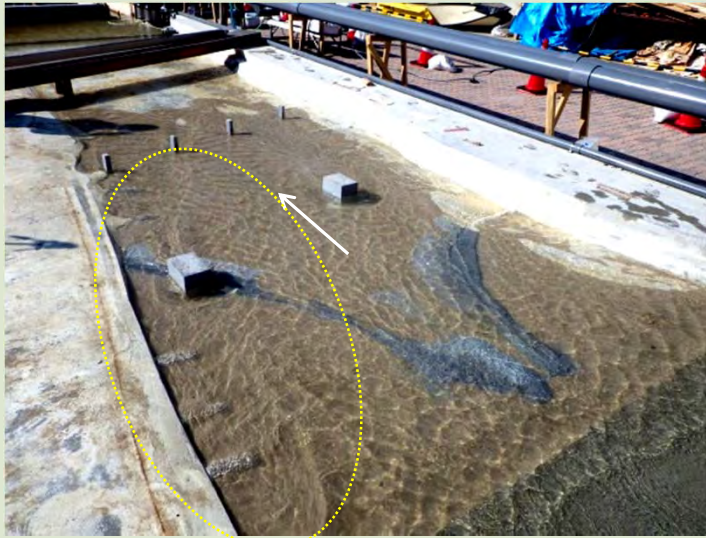
3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

実験ケース 3-2 水制の効果の確認（左岸3基）

■ 模型実験における流況（平均年最大流量 5,000m³/s （2014年7月12日出水の再現）

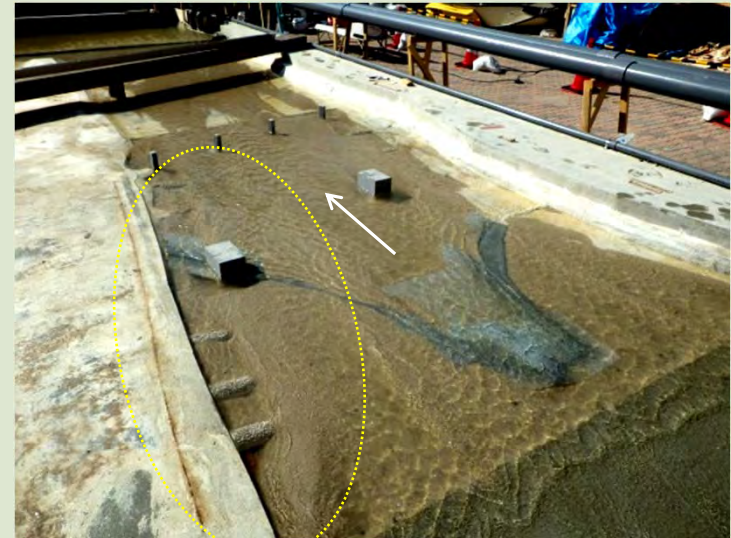
流 況

① 3,000m³/s
(5分経過)



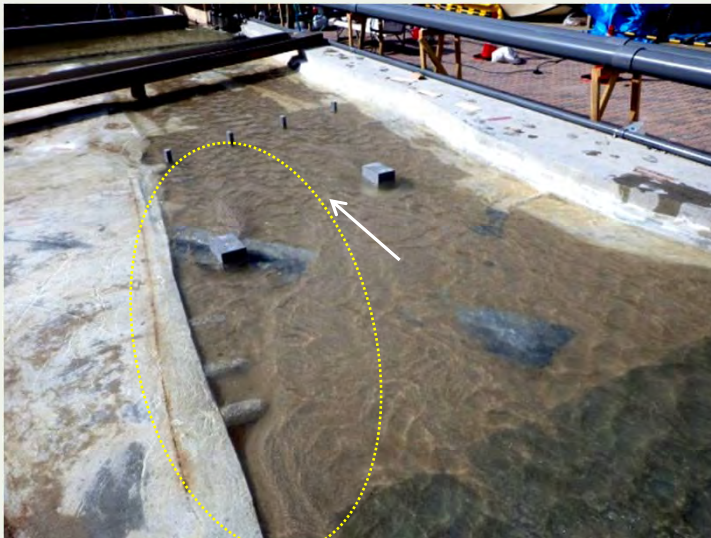
水制工の影響もあり、水を中央へ刎ねている様子が分かる。

③ 2,500m³/s
(146分経過)



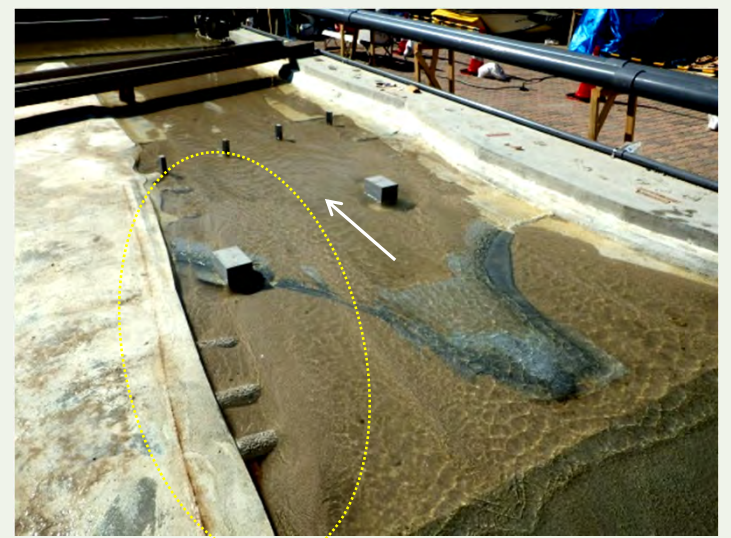
水量が減少し、流れが安定的になってからは、河床の変化はほとんど生じていない。

② 5,000m³/s
(27分経過)



水量が増すと、水制工の効果が低減し、水制工の周辺は洗掘を起こしている。

④ 2,000m³/s
(173分経過)



水制工の下流で若干の土砂の堆積が見られる。

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【水制の効果】

■左岸形状を改変（張り出し部分を撤去）

- 障害物がなくなることで、流向がスムーズとなったが、護岸沿いに洗掘がされる結果となった。



■水制3基を設置

- 水制の周辺には土砂が堆砂するものの、護岸の洗掘は軽減されなかった。



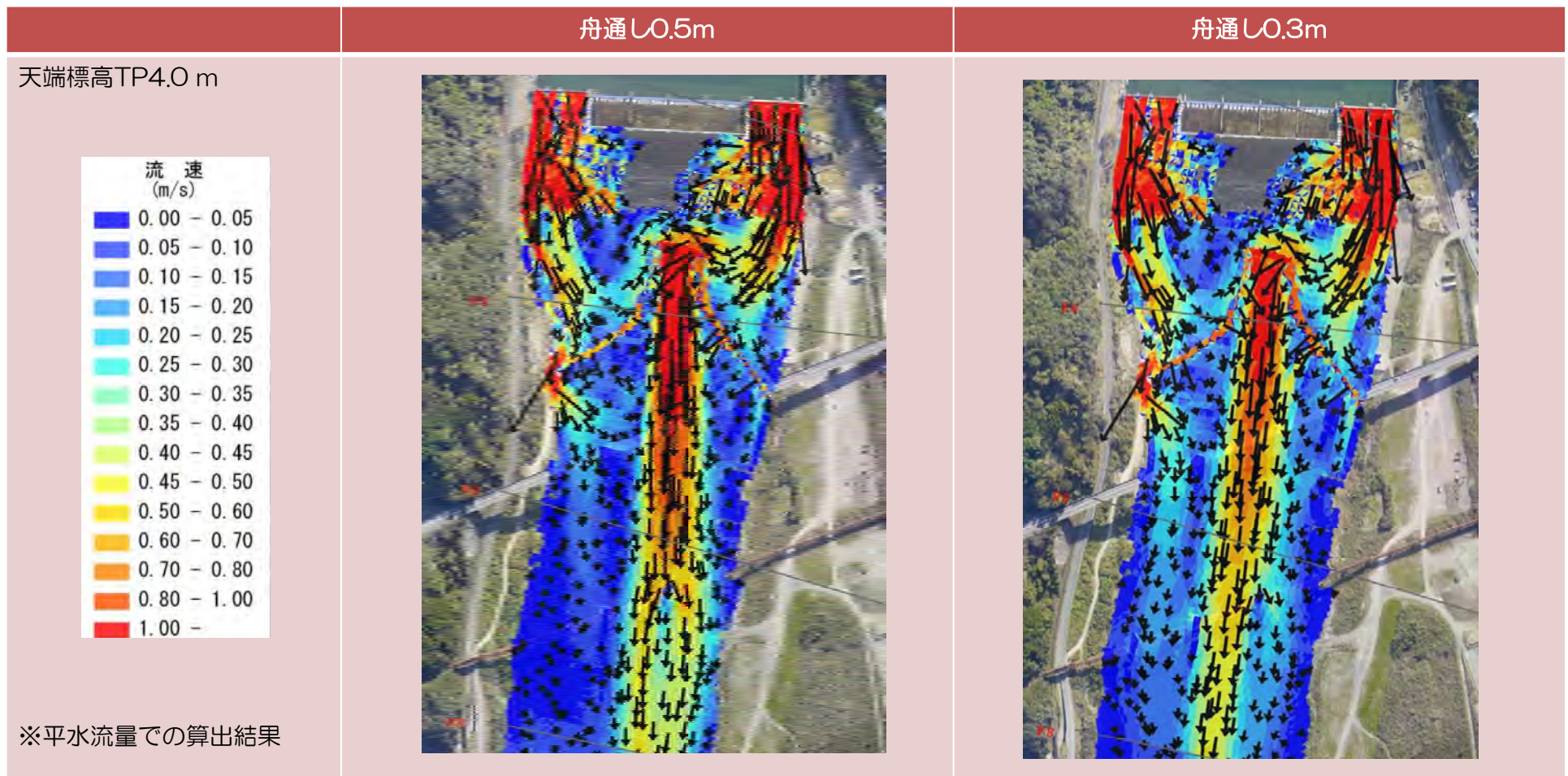
3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【天端と中央開口部（舟通し）の標高差について】

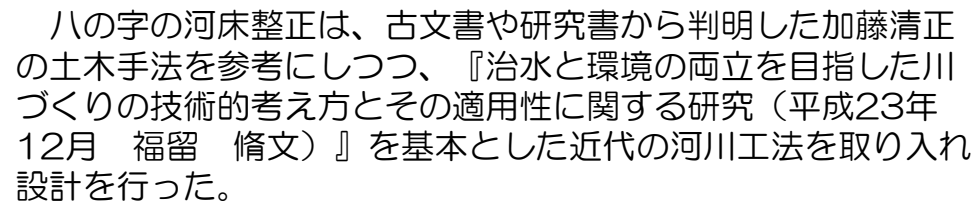
- 模型実験においては、八の字上流の水面高は、八の字の天端高より0.2m程度上昇する結果となった。
- シミュレーション計算結果では、舟通しの深さが0.5mと0.3mの場合で、再生される瀬の面積に大きな差はない。
- 自然石を使った施工では多少の凸凹が生じるため、標高差0.3～0.5mと幅を持たせて施工することとする。



八の字の石組み(天端は凹凸がある)



1) 八の字の河床整正の基本構造



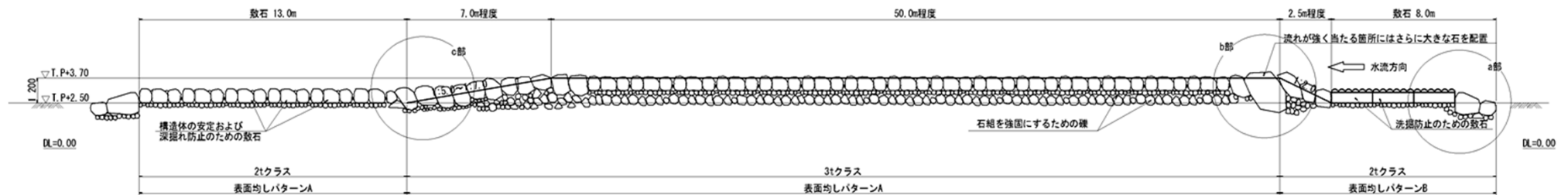
また、石材の十分な確保が難しい現状から、現地の発生材（現地にある石）を活用して、球磨川アユストーン等を制作し活用する。

八の字中央開口部（B-B）には、速い流れが生じることから、強度を増すために石材を連結した構造とする。



4. 検証を踏まえた河床デザインの再考

●B-B断面



2) 八の字の河床整正の材料

球磨川アユストーンとは、球磨川の現地で発生する石材を活用したもので、球磨川の河川環境や景観になじみが良く、かつ、球磨川の流れにも流出しない十分な重量と連結性を持つ。

また、現地で発生する石を利用し、景観に配慮した施工が可能な根固め工として利用する。

■ 球磨川アユストーン

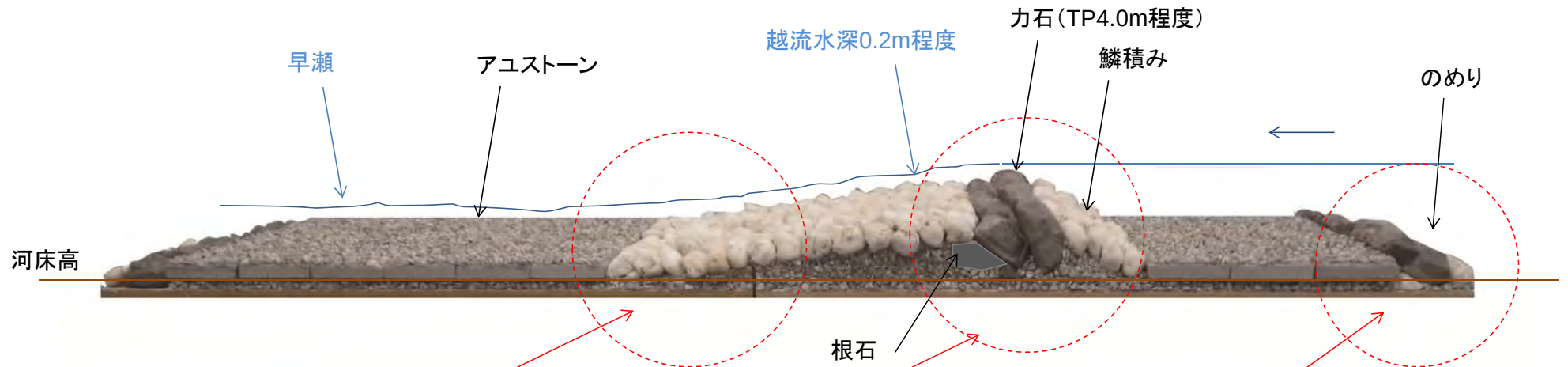


■ 現地発生材を利用した根固め工

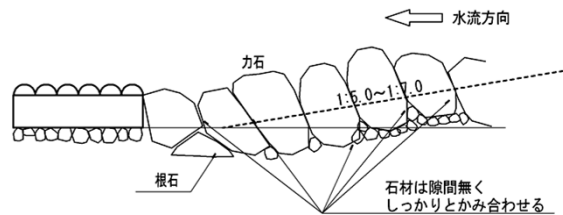


4. 検証を踏まえた河床デザインの再考

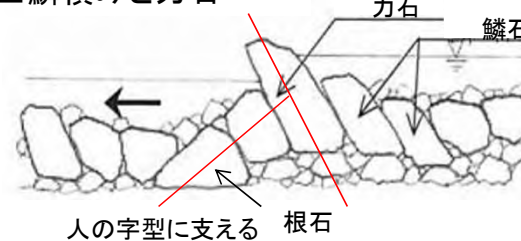
石組みの構造については、「治水と環境の両立を目指した川づくりの技術的考え方とその適用性に関する研究（平成23年12月 福留 脩文）」を基本として、また、加藤清正由来のななめ堰の石組みの構造を参考に検討する。



■ 傾斜の留め



■ 鱗積みとカ石



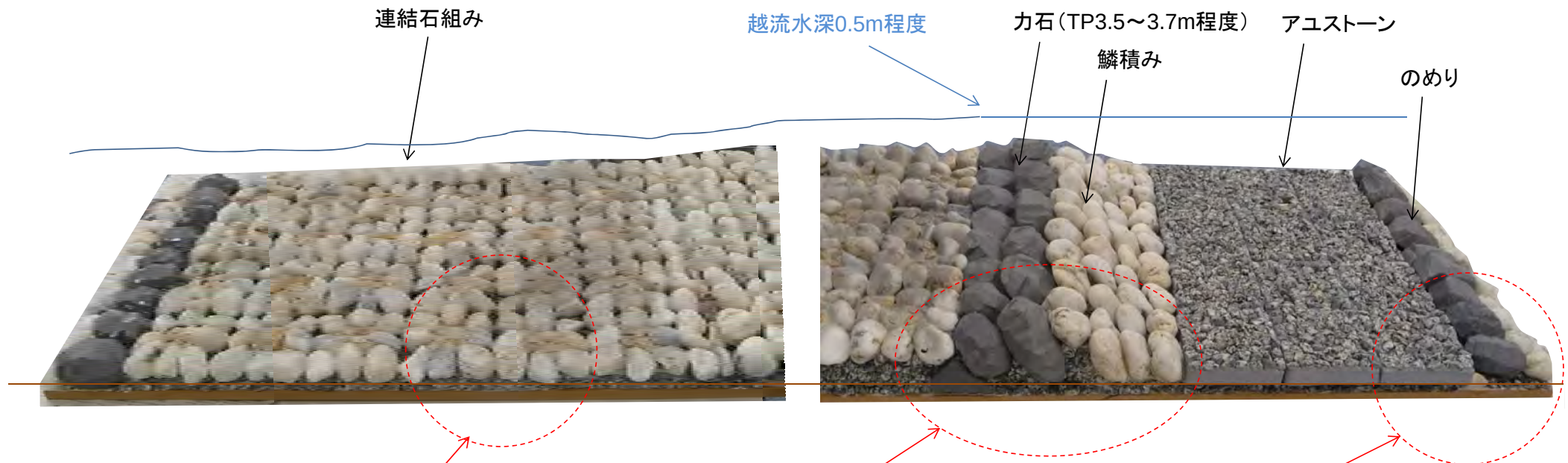
■ のめり



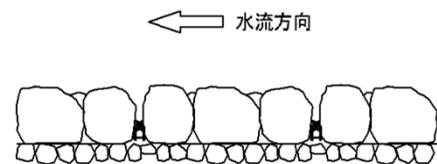
水がはじめにあたる箇所は、水流を上
面を滑るように流し、石が流出しないよ
うにする。

石組みの中でも要所となる箇所は、カ石（大きな石）を設置し、
動かないように上流側にうろこ状に並べた鱗石、下流側に根
石を置く。

4. 検証を踏まえた河床デザインの再考

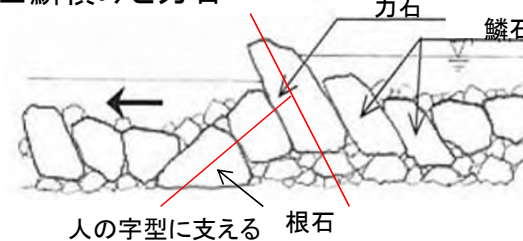


■ 連結石組み



巨石に配筋して連結し、連続体として形成することで、強度が増す。

■ 鱗積みとカ石



石組みの中でも要所となる箇所は、カ石(大きな石)を設置し、動かないように上流側にうろこ状に並べた鱗石、下流側に根石を置く。

■ のめり



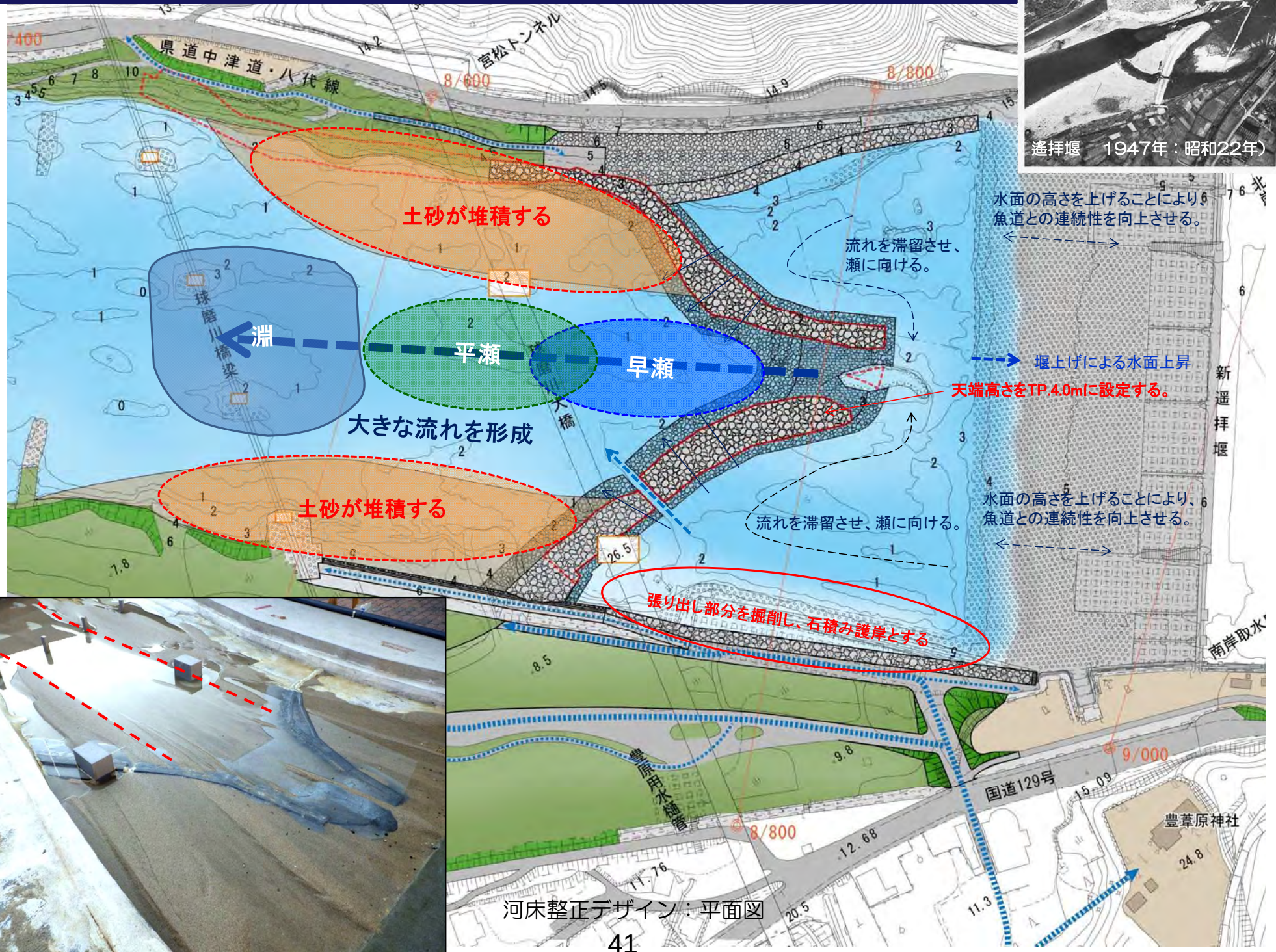
水がはじめにあたる箇所は、水流を上流側を滑るように流し、石が流出しないようにする。

4. 検証を踏まえた河床デザインの再考

以上、1～3章の検討結果を考慮し、既往の河床デザイン（案）を改良して最終案を作成した。
検証結果を下表に、作成した新たな河床デザインの平面図及びパースを次頁以降に示す。

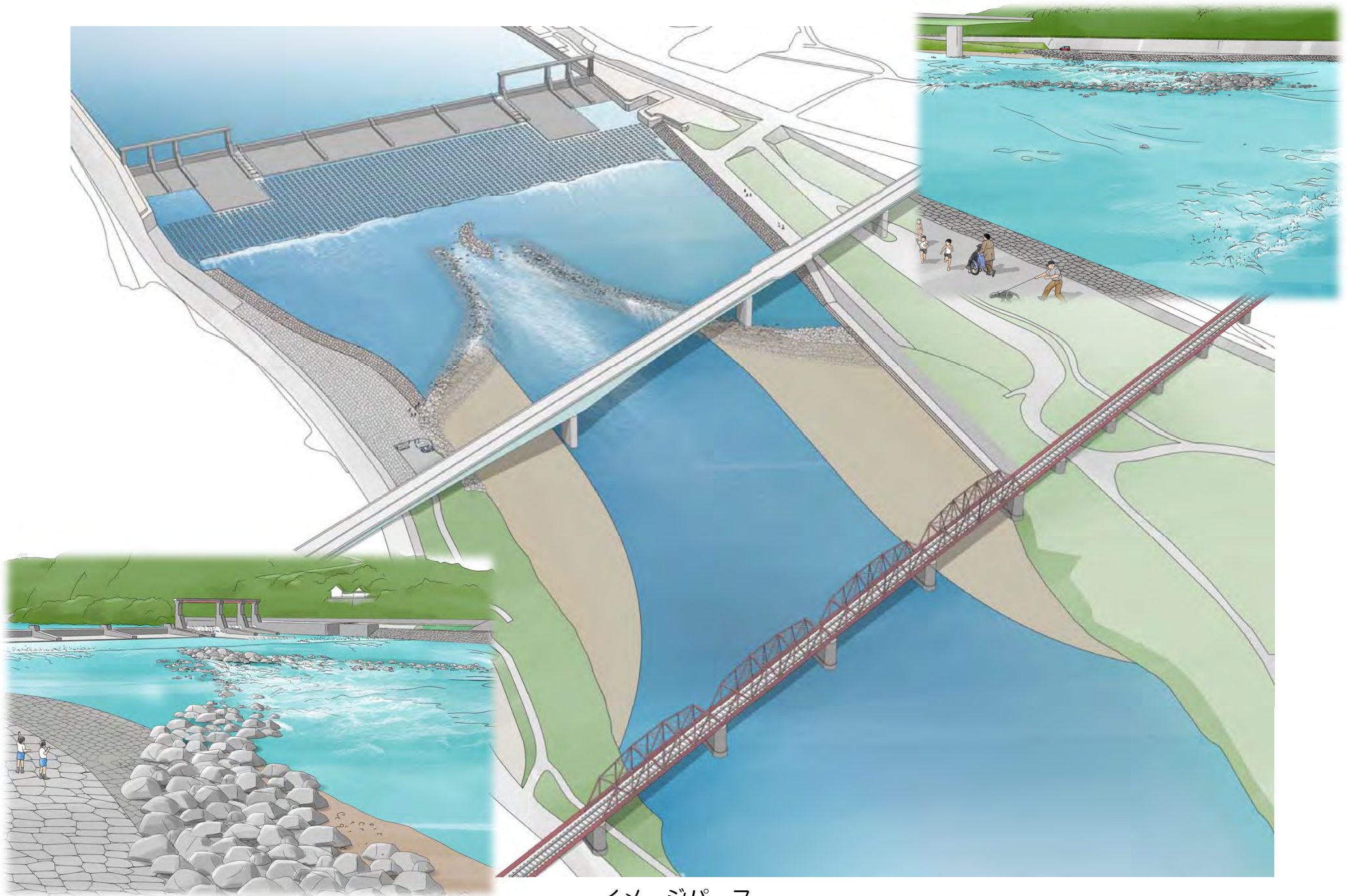
No.	項 目	検証結果（■は決定項目）
1	八の字の河床整正の 標 高	TP4.0mの場合、瀬の面積は目標に達し、かつ、中央部と越流部の流れの変化が多様な流れとなっている。上流側の水位が上昇することから、連続性の向上が期待できる。 また、TP4.0 mの方が、水没せずに八の字の形状がはっきりと視認できると考えられることから、景観的にも優位になると考えられる。 ■TP4.0mを基準に設計するものとする。
2	八の字の河床整正の 位 置	30m下流に移動した場合、瀬の形成は比較的狭く、瀬の面積は目標に達しない。八の字上流側の水位上昇による連続性の向上が小さい。 ■<u>原案位置で八の字を形成することとする。</u>
3	八の字中央の船通し部 （開口部）の標高差	自然石を使った施工では多少の凸凹が生じるため、標高差0.3～0.5mと幅を持たせて施工することとする。 <u>船通し部は30～50cm程度の水深とする。</u>
4	八の字の河床整正の 構 造	八の字の河床整正の石積みについては、以下のように設定した。 ■加藤清正公由来の<u>石積み構造を参考</u>にし、石組みについては<u>福留委員の事例を参考</u>とする。 ■使用する材料については、可能な限り<u>球磨川由来の石材・礫材を使用</u>する。 ■速い流れが走る生じる箇所等には、強度を高める必要があるため、<u>球磨川の石を活用した球磨川アユストーンや連結した石組み等を使用</u>する。
5	周辺の整備	左岸側の護岸の線形については、張り出し部を撤去することで高速道路橋脚周辺の局所的な洗掘は軽減できるが、左岸沿いに水が走り、河岸が洗掘される傾向にあると考えられる。 水制工については、模型実験では、洗掘を緩和する効果が確認できなかったが、大きさ、設置の方向、基数を変えてさらに検討する余地はあると考えられる。 ■<u>遙拝堰直下の左岸の護岸形状は、張り出し部を撤去し、利用・景観を考慮した護岸等の整備を行う。</u> ■<u>遙拝堰直下の左岸について、高水水制工の設置等を検討</u>する。

4. 検証を踏まえた河床デザインの再考



河床整正デザイン：平面図

4. 検証を踏まえた河床デザインの再考



イメージパース