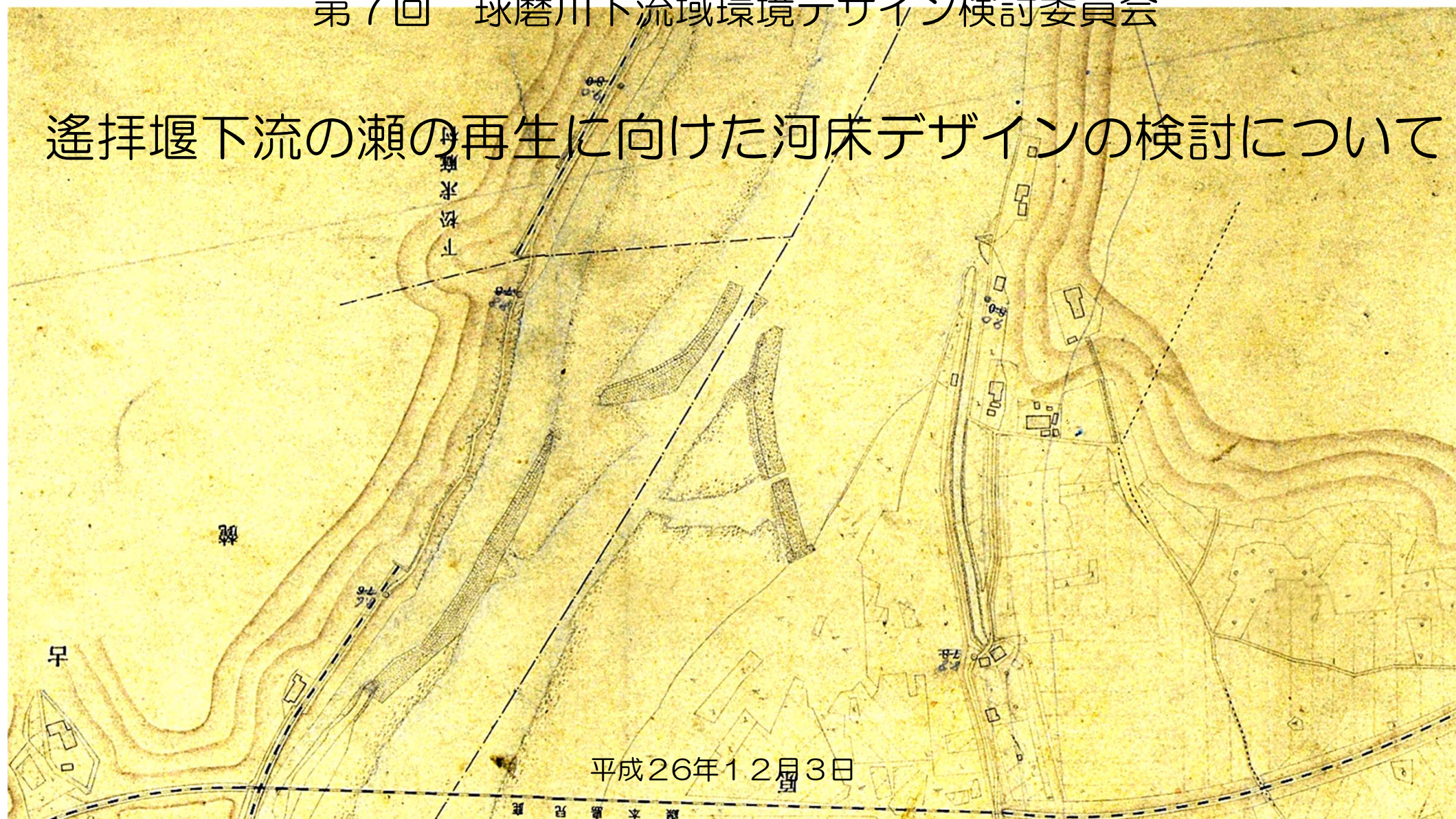


第7回 球磨川下流域環境デザイン検討委員会

遙拝堰下流の瀬の再生に向けた河床デザインの検討について



平成26年12月3日

八代河川国道事務所

【 目 次 】

1. 瀬の再生の基本方針	1
2. デザインコンセプト	2
3. 第6回委員会における指摘事項とその検証	4
4. 検証結果を踏まえた河床デザインの再考	36

河床デザインへの思い

球磨川下流域の自然再生の一環として、瀬・淵が連続する多様な流れを再生し、かつてのようにアユ等の魚類が豊富な環境とすべく、河床デザインの検討を行った。

対策実施の予定地となったのは、現在、遙拝堰のある地点である。ここは古来より八代地域の水利用上の要所で、文献によると中世には既に杭瀬が打たれていたと言う。また、球磨川のアユの生息環境として重要な地点でもある。

天正16年（1588）、肥後の国に入国した藩主加藤清正は、この杭瀬を石堰に改め「遙拝堰」と名付けた。水の勢いを下流に向かっていなす形式の斜め堰は、漢字の「八」の字に似ていたため、八の字堰とも呼ばれた。土木の神様と讃えられたその手腕によって、清正は、球磨川の急流を制御して地域の農業生産力を底上げし、度重なる一揆や洪水で荒廃していた農地や民心の立て直しを実現したのである。

八の字堰の「八」は、八代の「八」でもある。

球磨川の瀬・淵を再生するにあたり、この「八」の形態を採用することで、多様な河川環境と共に、かつてそこに在った風景と地域の歴史を蘇らせ、新たな八代の財産とする、これは「良好な環境再生」と「歴史的土木遺産の再現」を融合させる試みである。

球磨川下流域環境デザイン検討委員会

1. 瀬の再生の基本方針

1. 加藤清正由来の旧遙拝堰（八の字堰）の形状を基本とする。
⇒八の字堰の構造について、古文書、研究書等を元に、考え方、構造、施工方法、材料等について抽出し、できるだけ旧遙拝堰（八の字堰）の形状の復元に努める。
2. アユの生息環境に配慮する。
⇒河床整備するにあたって、アユの生息に必要な環境条件を整理するとともに、エサ場環境の拡大、継続的な産卵場を確保する。
3. アユ以外の生物にも配慮する。
⇒アユ以外で球磨川の指標種と位置付けられる、ウナギに対しては多孔質な構造、ヨシノボリ属に対しては礫河床、モクズガニに対しては餌環境と回遊性の向上等を確保する。
4. 現代の自然景観に調和させるようなデザインとする。
⇒球磨川の現在の自然景観の調和すべく、出来る限り球磨川の自然素材を活用する。
5. 空間利用が促進されるようなデザインとする。
⇒水辺空間の利用といった観点から、左右岸からの近づきやすさを向上させる。
旧遙拝堰（八の字堰）の形状と復元した経緯を含め、歴史・文化の学習の場として次世代に引き継ぐための啓発を実施する。
6. 近代の河川技術（水理的な根拠）より詳細な構造を模索する。
⇒上記1～5の基本方針を考慮するとともに、洪水時に流出しにくい構造とする。
また、福留脩文氏が取り組んで来られた「水制工及び分散型落差工」等の理論を活用する。

2. デザインコンセプト

加藤清正由来の旧遙拝堰（八の字堰）の形状を基本とし、逆アーチに湾曲した全体構造及び舟通し・余水吐き等忠実に復元する。ただし、現存の産卵床を改変しない程度に下流側に移動した位置とする。

八の字の基礎構造は、遙拝堰は球磨川が山間地帯より平野へ移行する境界地点で、洪水時の水かさが太く水害多きため、この築造にあたっては地中深く巨石をしきこみ堰体の基礎工事を行ったと伝えられている。（肥後藩農業水利史より）

しかし、遙拝堰の詳細な基礎構造に関する文献が残っていないため、加藤清正が手掛けたと伝えられている斜め堰の白石堰・鵜ノ瀬堰を参考にし、八の字の上下流は巨石を敷き込み、八の字本体は下流に向かって傾斜した石張り構造とする。

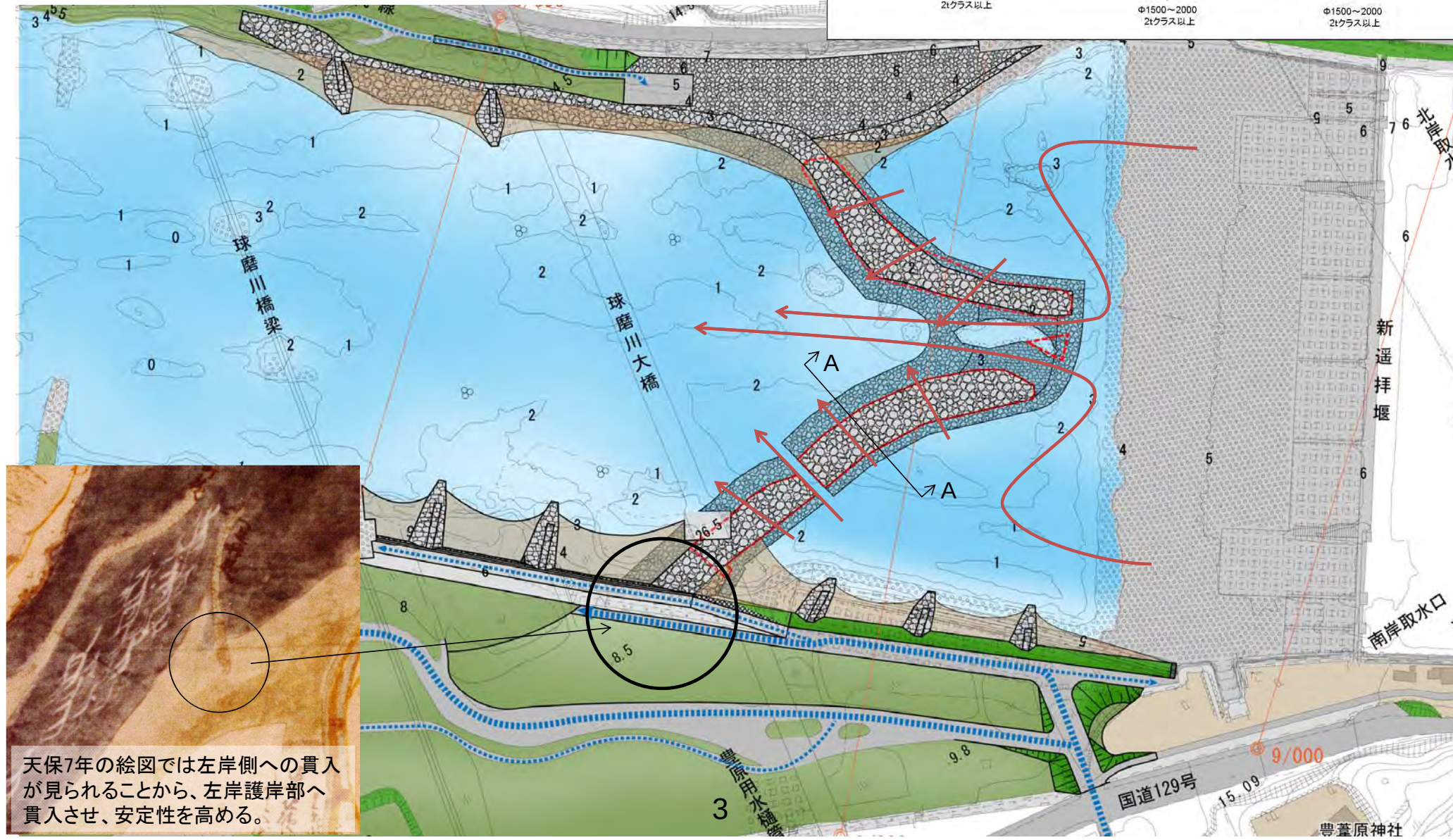
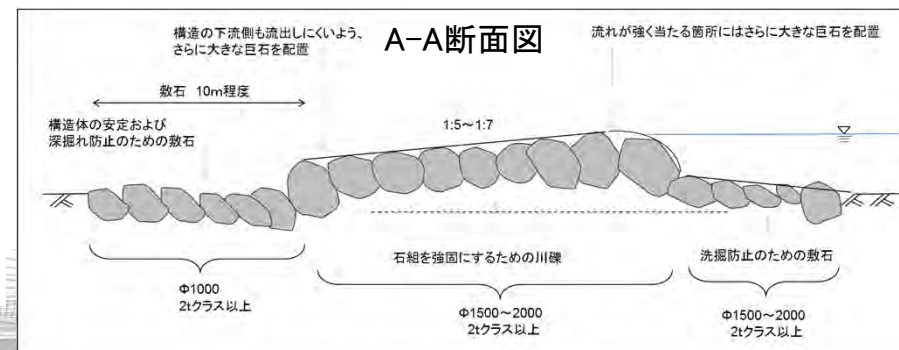
八の字の河床整正のデザインコンセプトとその根拠

項 目	デザインへの反映	決定の根拠
基本形状	加藤清正由来の旧遙拝堰（八の字）の基本形状	・加藤清正由来の八の字を復元することにより、「良好な環境再生」と「歴史的土木遺産の再現」を融合させる。 ・収集した文献で最も古い球磨川絵図（天保7年）に近似している球磨川測量図（昭和8年）を踏襲する。
	施工位置	・現存の産卵床を改変しない程度の位置。
構 造	石張り構造	・天正16年（1588）藩主加藤清正により杭瀬から石堰に改築されている。（肥後藩農業水利史より） ・洪水時の水かさが太く水害多きため、この築造にあたっては地中深く巨石をしきこみ堰体の基礎工事を行ったと伝えられている。（肥後藩農業水利史より） ・出水時7.0m/sの流速にも耐えられる構造するため、水流を和らげる治水上の役割をもっていた白石堰の巨石を敷き込んだ石張り構造とする。（肥後藩農業水利史より）
施工方法	構造体の上下流には巨石の敷石	・鵜ノ瀬堰 堤体を強化するために上下流に敷石を並べた構造となっている。（土木史 加藤清正の土木と治水（その四）より）
	下流に向かって傾斜した本体	・白石堰 肥後藩農業水利史 断面図より ・鵜ノ瀬堰 下流に向かって傾斜し47間（約85m）ほど敷石堤体を強化している。（土木史 加藤清正の土木と治水（その四）より）
	※ 巨石間のコンクリート充填	・白石堰 堤体の表面の切り石の下は、二和土（砂と粘土を混ぜたもの）又は三和土（砂、粘土、石灰を混ぜたもの）が盛られている。（肥後藩農業水利史 断面図より） ・鵜ノ瀬堰 敷石間には手頃な石、または二和土か三和土が埋めてある。（土木史 加藤清正の土木と治水（その四）より）
材 料	巨石の大きさ（2tクラス以上）	・白石堰 1m～1.3m程度（肥後藩農業水利史より） ・鵜ノ瀬堰 幅1間の巨石（土木史 加藤清正の土木と治水（その四）より）

※水理模型実験等により、洪水時に外力が集中し破壊の恐れがある箇所において対応

2. デザインコンセプト

- ◎昭和8年の測量図を基本とした八の字形状
- ◎巨石を使用した流出しにくい群体構造
- ◎構造安定性および洗掘・深掘れ防止のための敷石
- ◎平常時の両岸側からの放流に配慮した水通し部（かつてあった流頭部と左岸側に水通し部を設置）
- ◎左岸側の護岸形状を改善



3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

1. 八の字の河床整正の標高

- ①標高をなるべく高くすると、バックウォーターが効いて、現在の遙拝堰の魚道と水面が連続し、生き物の遡上や景観的にもよい。
- ②治水性能を担保することも大事であるが、「八」の字以外が見えないようにすると、一般の人にも事業の目的がわかりやすく、景観的にもよい。

⇒ 八の字の天端高について、シミュレーション計算及び模型実験により検証

2. 八の字の河床整正の位置

現在の遙拝堰との間が窮屈にならず、また、早い水流が八の字にぶつかることを避けるため、なるべく下流側に下げておくほうが良いと考えられる。

⇒ 八の字の河床整正の位置について、模型実験により検証

3. 八の字中央の船通し部（開口部）の標高差

中心の流速が早いようなので、もっと天端高と舟通し部の標高差を小さくしてはどうか。

⇒ 八の字の天端高と中央の舟通し部との標高差について、シミュレーション計算により検証

4. 八の字の河床整正の構造

加藤清正の堰は、全体的に大きな石を並べ、その間に詰め物をしている。基本的には、その手法を踏襲する。なお、構造的に無理があるようなら他の手法について検討をする。

⇒ 八の字堰の施工手法及び近代の河川工法から、設計図を作成

5. 周辺の整備

直線的な左岸側の護岸や水制が不自然であるため、隠し護岸として土手にしてはどうか。

⇒ 護岸及び水制の効果について、模型実験により検証

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

水理模型の諸元

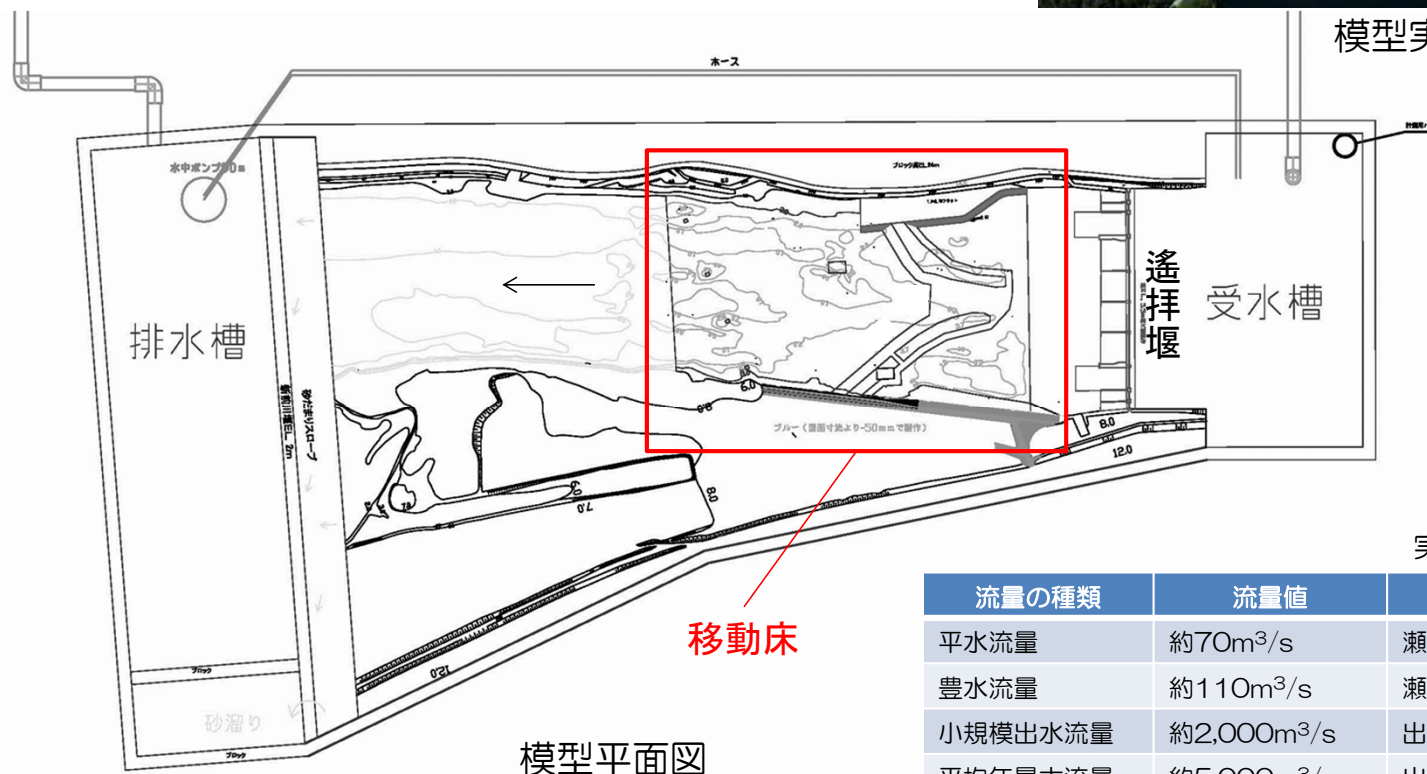
水理実験模型は、実現象の再現性をから1/100スケールで制作した。

模型では、球磨川河道8/000～9/000の範囲を再現し、模型での水流や瀬の状況（乱流状態）が分かるよう、水深3cm以上を確保しうる模型縮尺として設定した。

また、模型は移動床模型として、河床状況の変化が発現するよう設計した。



模型実験対象範囲



模型平面図



水理実験模型

実験流量

流量の種類	流量値	確認するポイント
平水流量	約70m ³ /s	瀬・淵等の多様な流れが創出されるかを確認
豊水流量	約110m ³ /s	瀬・淵等の多様な流れが創出されるかを確認
小規模出水流量	約2,000m ³ /s	出水時の流況及び河床変動の状況を確認
平均年最大流量	約5,000m ³ /s	出水時の流況及び河床変動の状況を確認

※小規模出水は、毎年発生している規模の出水、平均年最大流量は近10カ年の平均値

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

■ 模型縮尺と縮率：1/100

基本量	模型縮尺	種別	単 位	水理量		備 考
				原型値	模型値	
長 さ	1/100=1/100	河道延長	m	1,000	10	8/000～9/000
水 深	1/100=1/100	河道水深	m	8.1	0.08	計画高水位
		越流水深		3.7	0.04	平水位
流 速	$1/100^{1/2}=1/10$	想定流速	m/s	1.0	0.1	平水時計算値
流 量	$1/100^{5/2}=1/100,000$	河道流量	m ³ /s L/s	5,075	50.8	年平均最大流量
				112.06	1.1	豊水流量
				68.52	0.7	平水流量
粗度係数	$1/100^{1/6}=1/2.15$	計画粗度	s/m ^{1/3}	0.034	0.016	
時 間	1/100=1/10	時間縮尺	Min	100min	10min	

■ 河床材料

現地の河床材料は、過年度の調査結果から50～100mm程度のレキが多くを占めることから、移動床で用いる砂の粒径を1mmとした。



護床工で見られる河床材料（1～10cm）

		9月	11月
長径 (mm)	250-	0%	0%
	200-250	0%	5%
	150-200	13%	11%
	100-150	42%	0%
	50-100	45%	53%
	50-250total	100%	68%
50mm未満		0%	32%
最大(mm)		196	218
最小(mm)		58	29
平均(mm)		106.3	83.7

H24年度調査 アユの成長期（9月・上）及び産卵期（11月・下）における河床状況（8/400付近）

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

ケース1-1 : 八の字の敷高をT.P3.7m及びT.P4.0mで実験を実施
【平水、豊水流量】

ケース1-2 : 八の字の位置を原案及び30m下流に配置し実験を実施
【平水、豊水流量】



各ケースの実験結果から、最適案を決定

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)

ケース2-2 : 平均年最大流量 5,000m³/s
(2012年7月12日出水の再現)



ケース3-1 : 左岸側護岸の形状確認【平均年最大流量】

ケース3-2 : 水制の効果確認【平均年最大流量】



熊本高等専門学校 八代キャンパス 模型実験現場



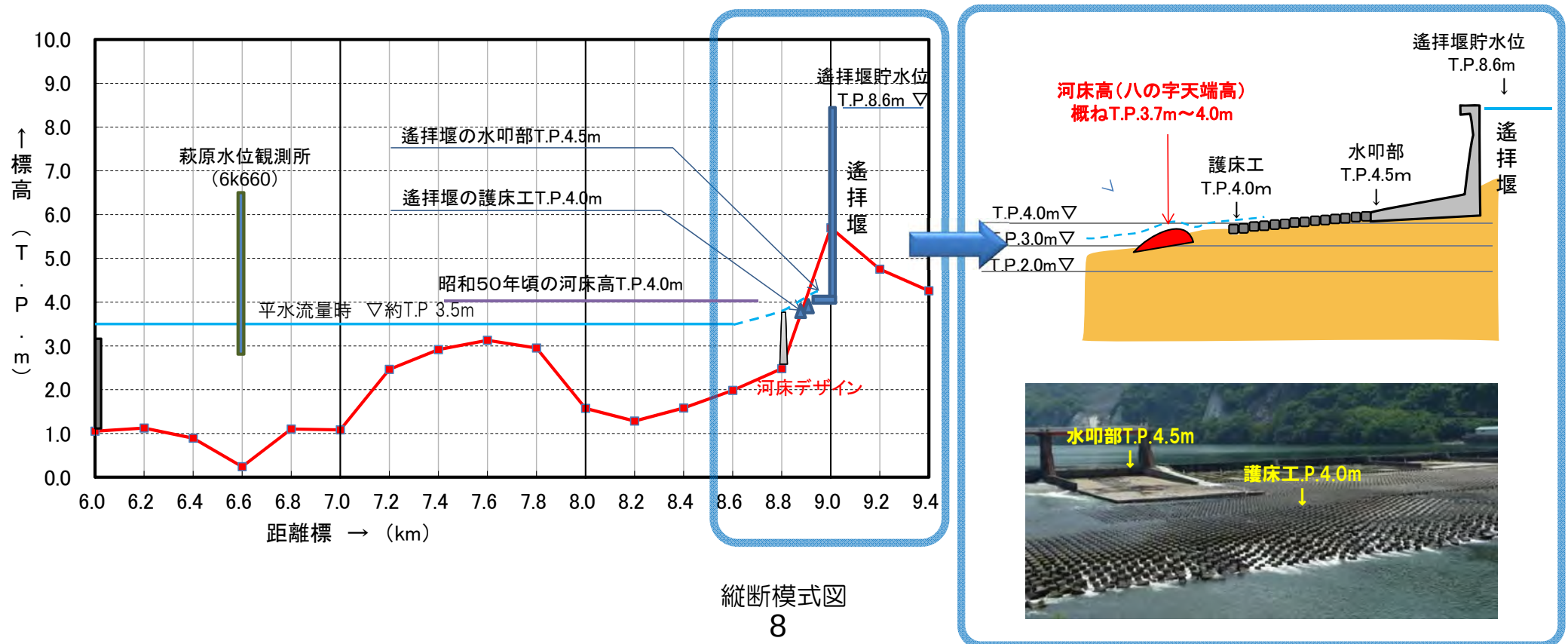
水理実験模型

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

ケース1-1の考え方 ー河床整正の標高ー

- 遙拝堰下流に良好な瀬を形成するためには、水深30cm以上、流速が約0.5m/s以上の流況が必要である。
- 河床を整正する8/800付近の現状として、アユ期（6月～10月）の水深が1.2m、流速は0.1～0.2m/sとなっており、河床を上げ水深、流速を改善する必要がある。
- 球磨川堰、新前川堰の上流のアユ期（6月～10月）の水位（洪水時を除く）は、球磨川堰の湛水区間で概ねT.P.3.5m、流水区間の8/800付近で概ねT.P.3.7mであることから、ハの字の天端高は最低でもT.P.3.7m以上必要である。
- 遙拝堰直下の護床工の高さはT.P.4.0m、良好な瀬が形成されていた昭和50年頃の河床高は概ねT.P.4.0mである。

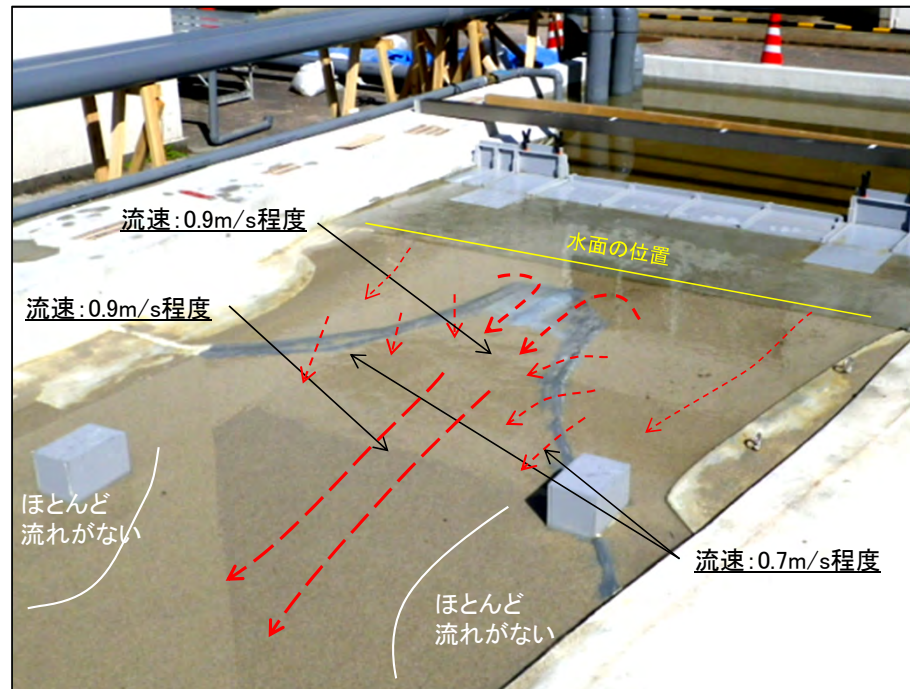
水理模型実験における河床高の設定は、T.P.3.7m～4.0mと設定した。（→ケース1-1）



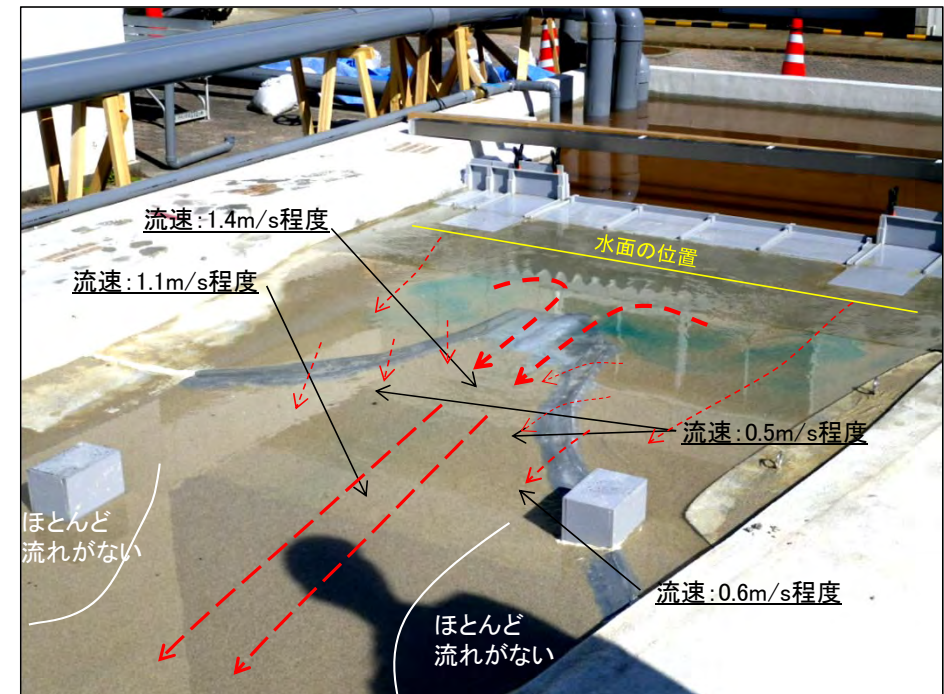
3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【模型実験における河床整正高TP3.7mとTP4.0mの比較①】

- 河床整正高TP3.7mの場合、八の字全体から越流する流れとなるのに対して、河床整正高TP4.0mの場合は八の字全体からの越流はあるが、八の字中央の開口部からの流れが強くなる傾向にあった。
- 越流速度については、TP3.7mは0.7m/s程度、TP4.0mは0.5m/s程度であり、瀬の条件としての流速0.5m/s以上を満足している。
- 流心の流速は、TP3.7mで0.9m/sに対し、TP4.0mは1.4m/s程度であり、約1.5倍の流速となった。
- 八の字の上流の水面の位置は、堰上げ効果により、TP3.7m、TP4.0mそれぞれ水面上昇が生じている。



河床整正標高 T.P.3.7m (平水流量時)

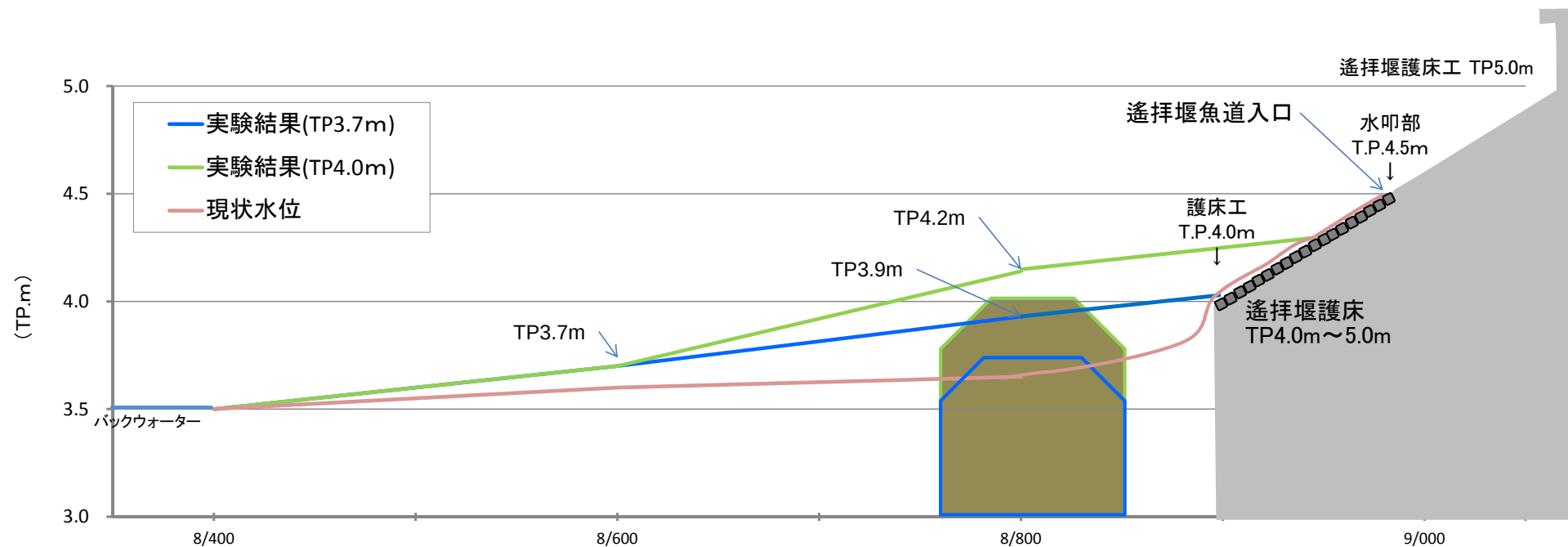


河床整正標高 T.P.4.0m (平水流量時)

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【模型実験結果から見た河床整正標TP3.7mとTP4.0mの比較②】

- 実験結果の水位縦断を見ると、河床整正高TP3.7mの場合とTP4.0mの場合では、それぞれ水面を0.2m程度堰上げる結果となった。
- 河床整正高TP3.7mの場合は、遙拝堰の護床工の下流端付近まで、TP4.0mの場合は遙拝堰魚道入口の近くまで、水面が上昇すると考えられる。
- 河床整正高TP3.7mの場合よりもTP4.0mの場合の方が、水面勾配が2倍以上急となるため、中央開口部からの流速が上昇する傾向にあるものと考えられる。



河床整正標高の検証結果（水位）：平水流量時

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【八の字の河床整正の高さのシミュレーション】

TP3.7mとTP4.0mを比較すると、創出される瀬の面積は、ほぼ同等程と考えられる。

設置高さ	現 状	八の字の河床デザイン	
	—	TP3.7m	TP4.0m
流速 (m/s) 0.00 - 0.05 0.05 - 0.10 0.10 - 0.15 0.15 - 0.20 0.20 - 0.25 0.25 - 0.30 0.30 - 0.35 0.35 - 0.40 0.40 - 0.45 0.45 - 0.50 0.50 - 0.60 0.60 - 0.70 0.70 - 0.80 0.80 - 1.00 1.00 - ※近10ヶ年平水流量の予測（横石地点:69.9m³/s）			
概 況	現状では遙拝堰両岸側からの流れによってのみ、流速が生じており、護床工の落差によって流れが急激に減少する。	八の字の河床整正TP3.7mの場合、平水位の水面高とほぼ同程度の高さとなり、八の字を越流する流れが多い。中央部の流れは若干弱くなるため、流速の速い範囲は八の字～高速道路橋脚付近となる。	八の字の河床整正TP4.0mの場合は、0.3m堰上げしたことにより、中央開口部からの流れが強くなり、流速の速い範囲はオレンジ鉄道橋付近まで伸びている。また、中央部と越流部の緩急がはっきりしている。
瀬の面積 (水深0.3mかつ 流速0.5m以上)	約4,000m ²	約21,000m ²	約20,000m ²

※面積の計測範囲・・・遙拝堰の護床工下流～8/400

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

河床整正高の検証結果

	TP3.7m	TP4.0m
模型実験結果 ・水位 ・流速 ・縦断勾配	【水位】 水位は、河床整正箇所では0.2m程度上昇（TP3.9m）し、遙拝堰の護床工の下流端付近まで水位が上昇する。	【水位】 水位は、河床整正箇所では0.2m程度上昇（TP4.2m）し、遙拝堰魚道付近まで水位が上昇する。
	【流速】 中央部 0.9m/s 越流部 0.7m/s	【流速】 中央部 1.4m/s 越流部 0.5m/s
	【縦断勾配】 八の字の下流の縦断勾配が小さい。	【縦断勾配】 八の字の下流の縦断勾配が大きい。
シミュレーション 計算結果	瀬の範囲は、約21,000m ²	瀬の範囲は、約20,000m ²
考察と総合評価	△ 瀬の面積は目標に達するが、八の字の設置による流速の変化が小さく、上流側の水位上昇による連続性の向上は小さい。	◎ 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。

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

T.P.4.0m：平水流量時



豊水流量時

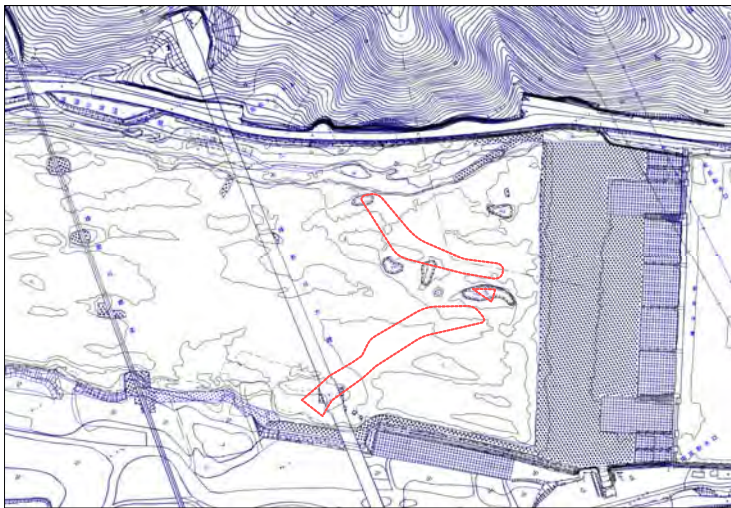


CGによる八の字の河床整正高さの検証結果：T.P.4.0m（平水流量時、豊水流量時）

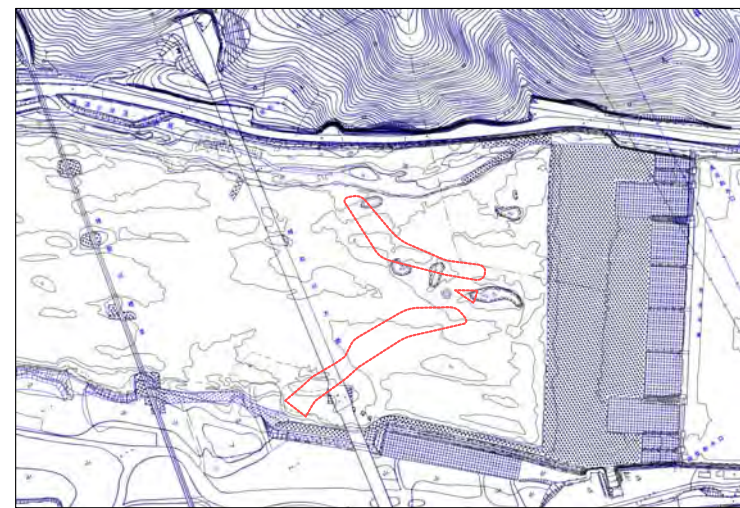
3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

ケース1-2の考え方 ー河床整正の位置ー

水理模型実験では、原案の位置、第6回委員会で提言された下流に移動した位置の2ケースについて実験を行った。なお、下流側に移動したケースの位置は、浅場を利用できるギリギリの位置（約30m下流側）とした。
（→ケース1-2）



原案の位置

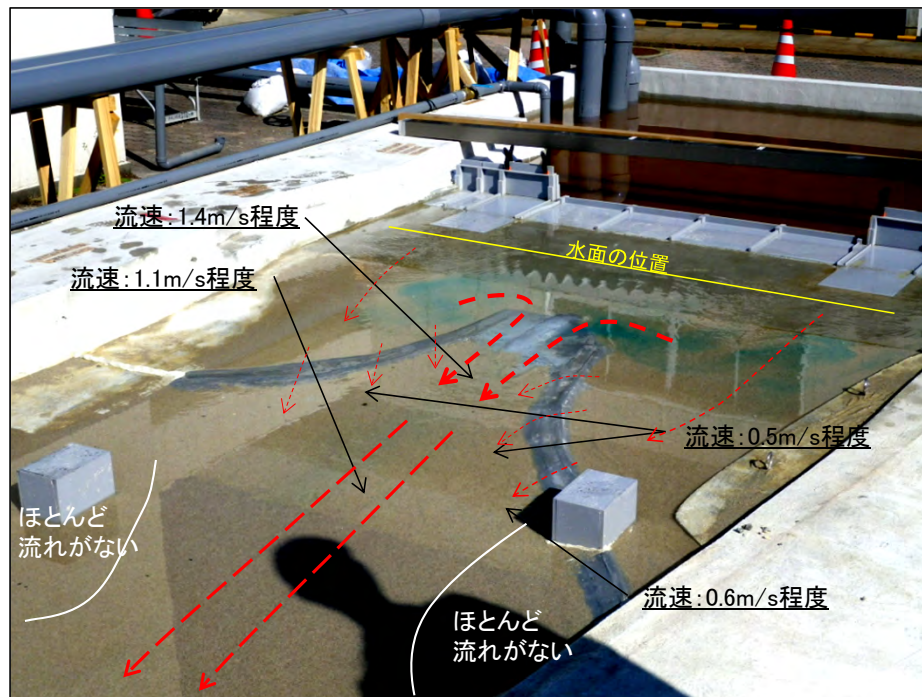


約30m下流へ移動した位置

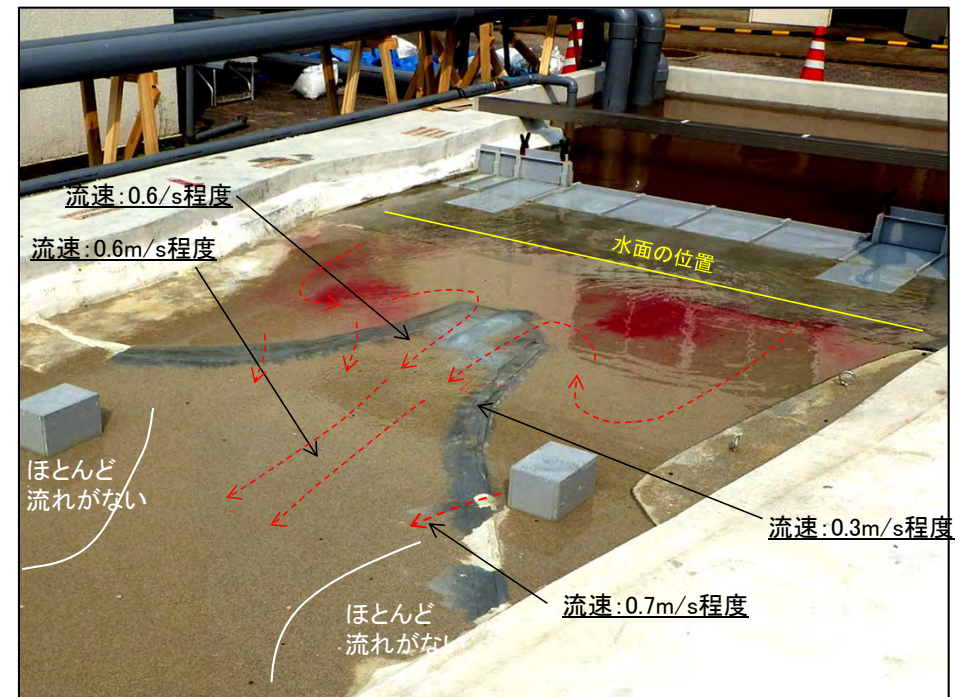
3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【河床整正原案位置と下流へ約30m移動した場合の比較】

- 原案位置では、主たる流れは八の字の中央開口部からとなり、加えて八の字を越流して流下する様子が伺えた。
- 原案位置より30m下流に移動した場合、八の字の上流側に湛水域が広がり、遙拝堰からの流れが一度滞留するため、八の字を越流する流れは全体的に弱くなった。
- 原案位置での流速は、八の字の下流側で約1.4m/s程度となるのに対して、30m下流に移動した場合は、流速0.6m/s程度と半分以下となった。
- 原案位置での上流側の水位は、堰上げ効果によって遙拝堰の魚道付近まで水面が上昇する結果となった。一方、30m下流に移動した場合は、堰上げ効果はあるものの、比較的水面の上昇は小さかった。



河床整正 原案位置（平水流量時）

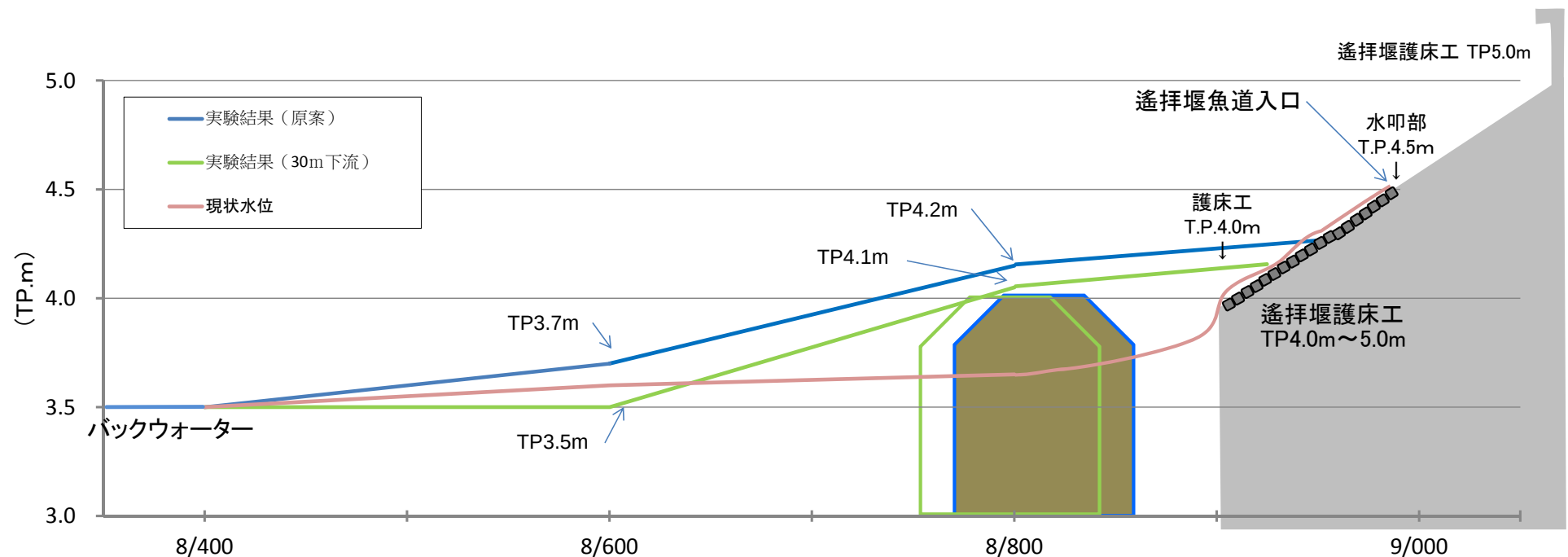


下流へ約30m移動（平水流量時）

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【模型実験結果から見た河床整正位置の比較】

- 実験結果の水位縦断を見ると、原案と30m下流に移動した場合とでは、原案の方が全体的に水位が高い結果となった。
- 原案では、遙拝堰の魚道近くまで水位が上昇することが期待できるが、30m下流に移動した場合は、若干の水位上昇にとどまるものと考えられる。
- 原案と30m下流に移動した場合との水面勾配に大きな差は見られないが、30m下流に移動した場合は、遙拝堰からの流れが一度滞留してから八の字を越流するため、流れが弱く、下流の新前川堰・球磨川堰の影響を受けて8/600付近で流速がなくなる。



河床整正位置の検証結果（水位）：平水流量時

3. 第6回委員会における指摘事項とその検証

【ハの字の河床整正の位置のシミュレーション】

原案と、原案からさらに30m移動した場合を比較すると、創出される瀬の面積は、原案の位置の方が多い結果となった。

設置位置	現 状	ハの字の河床デザイン	
	—	原案	原案より30m下流
流 速 (m/s) 0.00 - 0.05 0.05 - 0.10 0.10 - 0.15 0.15 - 0.20 0.20 - 0.25 0.25 - 0.30 0.30 - 0.35 0.35 - 0.40 0.40 - 0.45 0.45 - 0.50 0.50 - 0.60 0.60 - 0.70 0.70 - 0.80 0.80 - 1.00 1.00 - ※近10ヶ年平水流量の予測（横石地点:69.9m³/s）			
概 況	現状では遙拝堰両岸側からの流れによってのみ、流速が生じており、護床工の落差によって流れが急激に減少する。	原案位置（TP4.0m）では、水面が上昇し、ハの字中央開口部からの強い流れが生じるため、オレンジ鉄道橋付近まで流れの強い範囲が形成されている。	30m下流の位置では、水面が上昇するも、広くなった湛水域で滞留するため、中央部と越流部の流速は小さい。
瀬の面積 (水深0.3m かつ流速0.5m以上)	約4,000m ²	約20,000m ²	約15,000m ²