

六角川高水敷に設置された湛水池群による 洪水水位低減効果の評価

○後藤 勝洋¹ 今村 正史²

片渕 公淑² 福岡 捷二¹

¹中央大学研究開発機構

²国土交通省 九州地方整備局 武雄河川事務所

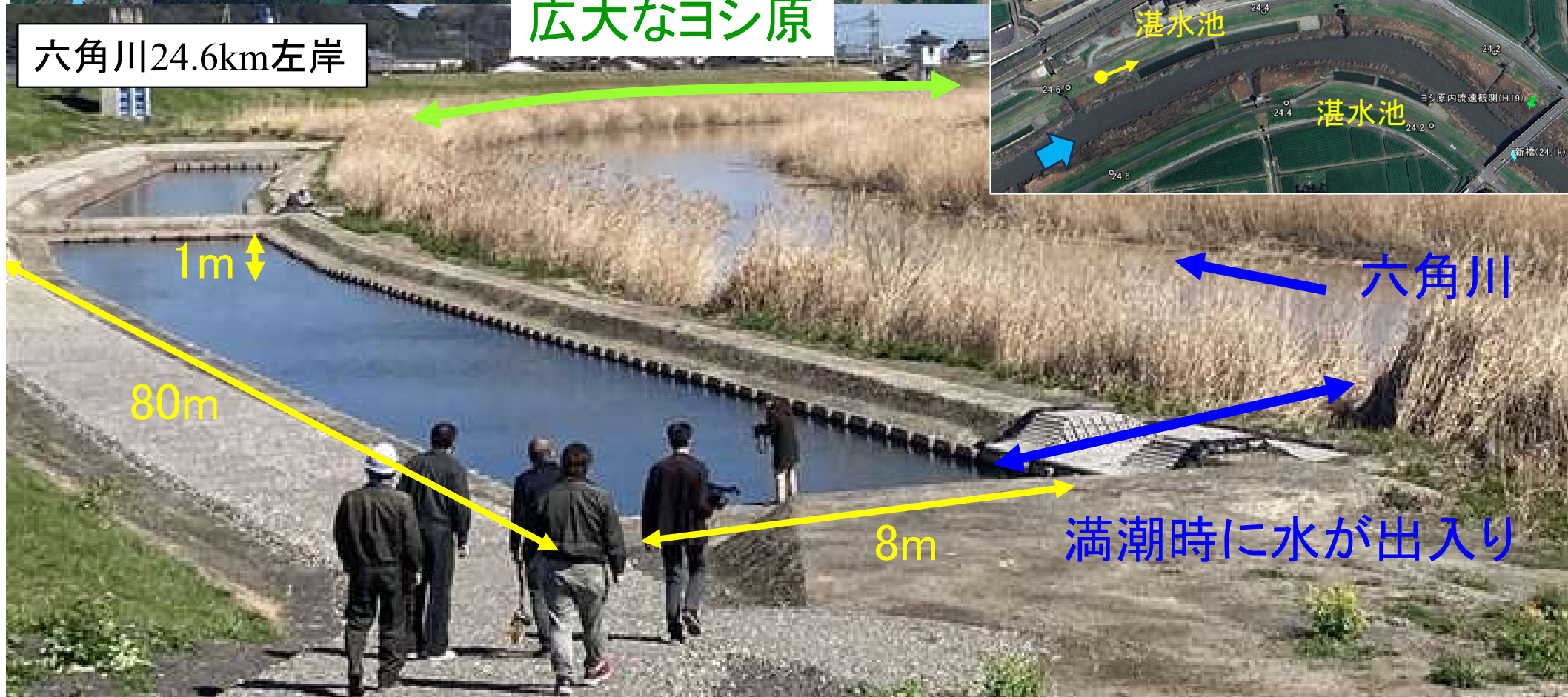
六角川高水敷に整備された湛水池

- 水位観測所
- 排水機場(直轄, 自治体・農林)
- 湛水池(R4~R5整備)



六角川24.6km左岸

広大なヨシ原

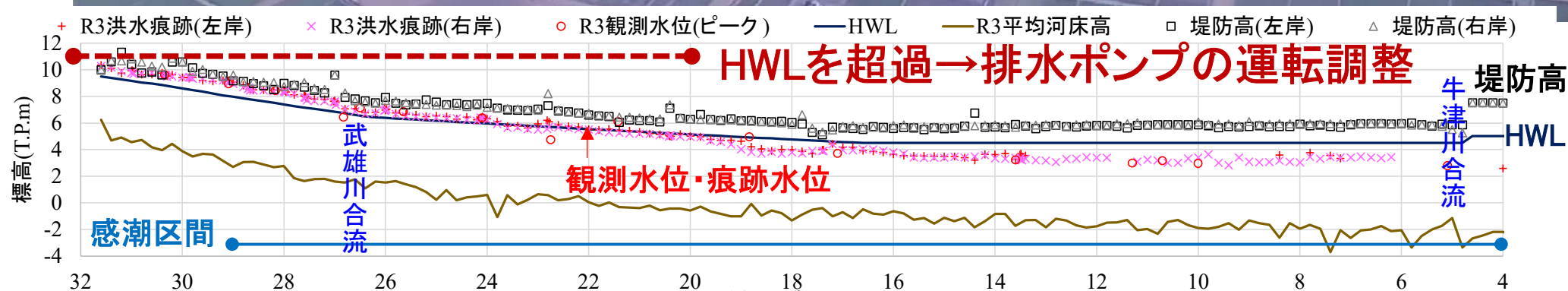


令和3年8月六角川洪水による浸水被害



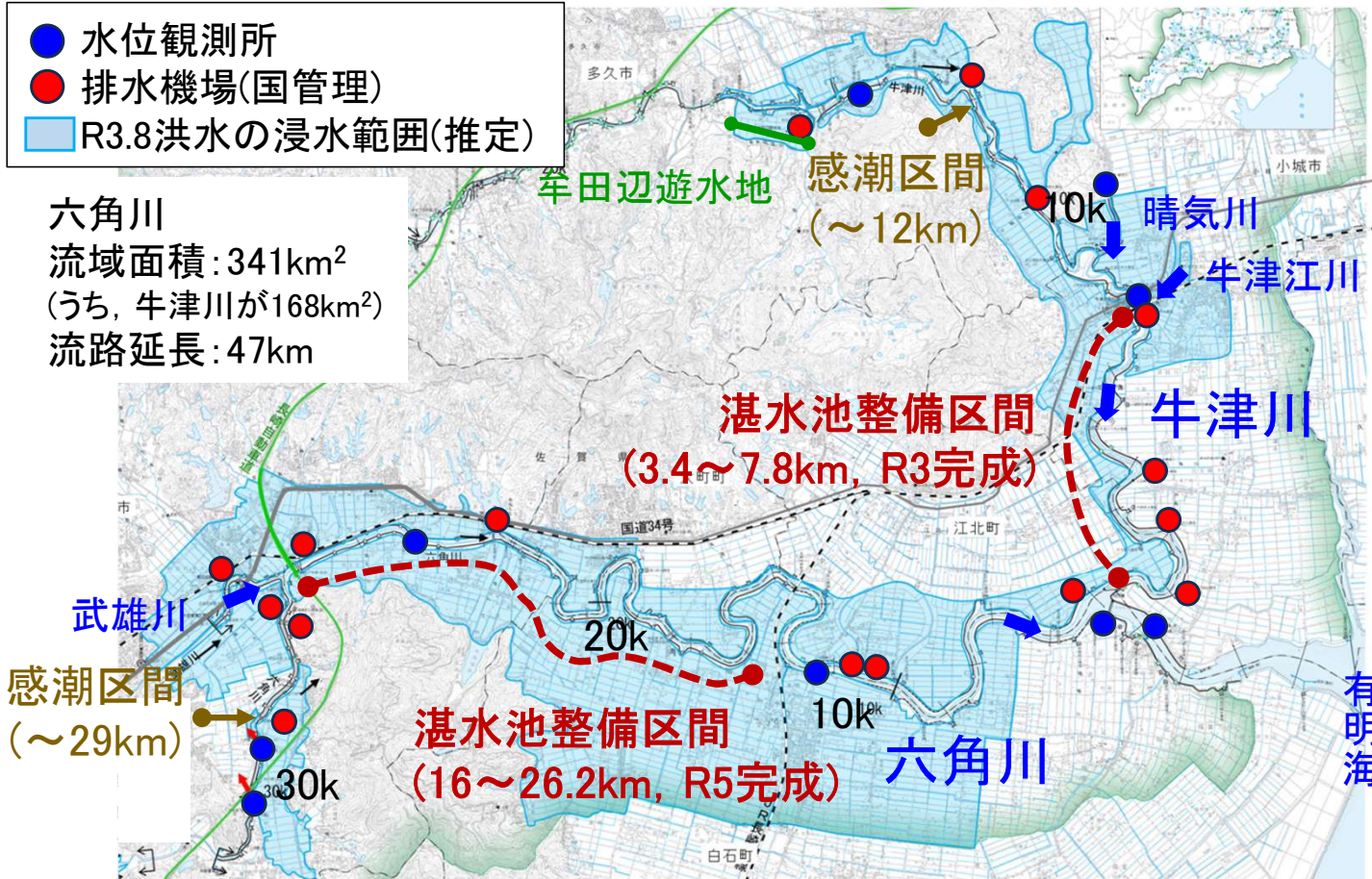
六角川水位縦断図(R3.8洪水)

【ヘリ位置】佐賀県杵島郡白石町
【撮影位置】佐賀県杵島郡大町町



六角川中下流部での課題

- ・六角川中下流部は、低平地の緩流感潮河川であることから、豪雨時の内水の排水が困難であり、**排水ポンプによる内水排除が不可欠**である。
- ・**高水敷上にヨシが繁茂**し、**洪水流の大きな流下阻害**となっている。洪水水位が計画高水位(HWL)を越えるため、**排水ポンプを十分稼働できない**。
- ・河積確保のために高水敷を掘削しても、有明海の潮汐によって運ばれる**ガタ土(細粒粘土)**が再堆積するため、**河道の流下能力不足を助長**している。



六角川中下流部



高水敷に繁茂するヨシ



ガタ土(微細粘土)の堆積

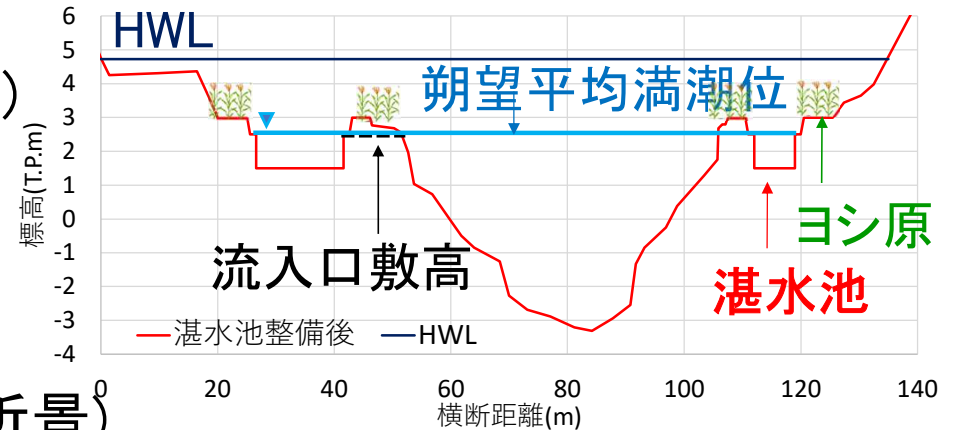
湛水池整備によるヨシ繁茂抑制対策

- ・高水敷のヨシ原の一部を掘削し湛水池を設置することで、ヨシの繁茂を抑制し洪水水位を下げる対策が実施されている。
- ・湛水池は、高水敷掘削やヨシの定期的な伐採に比べて維持管理が容易であることに加え、新たなワンド環境を創出する効果も期待できる。
- ・湛水池は、平成25年から牛津川で試験的に施工され、ヨシの繁茂抑制効果や土砂堆積状況が検証された後、令和4年以降、六角川で整備が進められて来た。

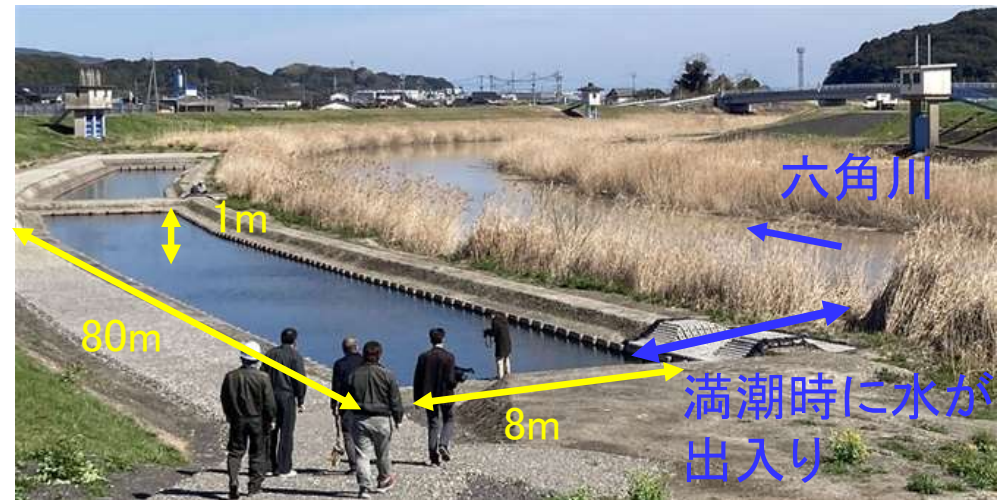


六角川高水敷における湛水池整備

横断図
(17.8km)



湛水池(近景)



■本研究の目的

- ・六角川中下流部におけるヨシの抵抗特性と湛水池の形状・構造を考慮した準三次元洪水流解析法を令和3年8月六角川洪水に適用し、**湛水池群による洪水水位低減効果を評価**する。
- ・湛水池群の治水機能とワンド環境としての機能を踏まえ、**六角川河道の治水と環境の調和に向けた考え方**を示す。

明らかにすべき事項

・ヨシ原を湛水池に変えたことによる高水敷の抵抗特性の変化、洪水の流れ方への影響

・ヨシ原を湛水池に変えたことによるヨシ原に生息していた生物への影響
・湛水池による新たなワンド環境の創出効果、洪水時の避難場所としての機能

・湛水池内の土砂堆積や水質・水環境の変化などの維持管理の課題

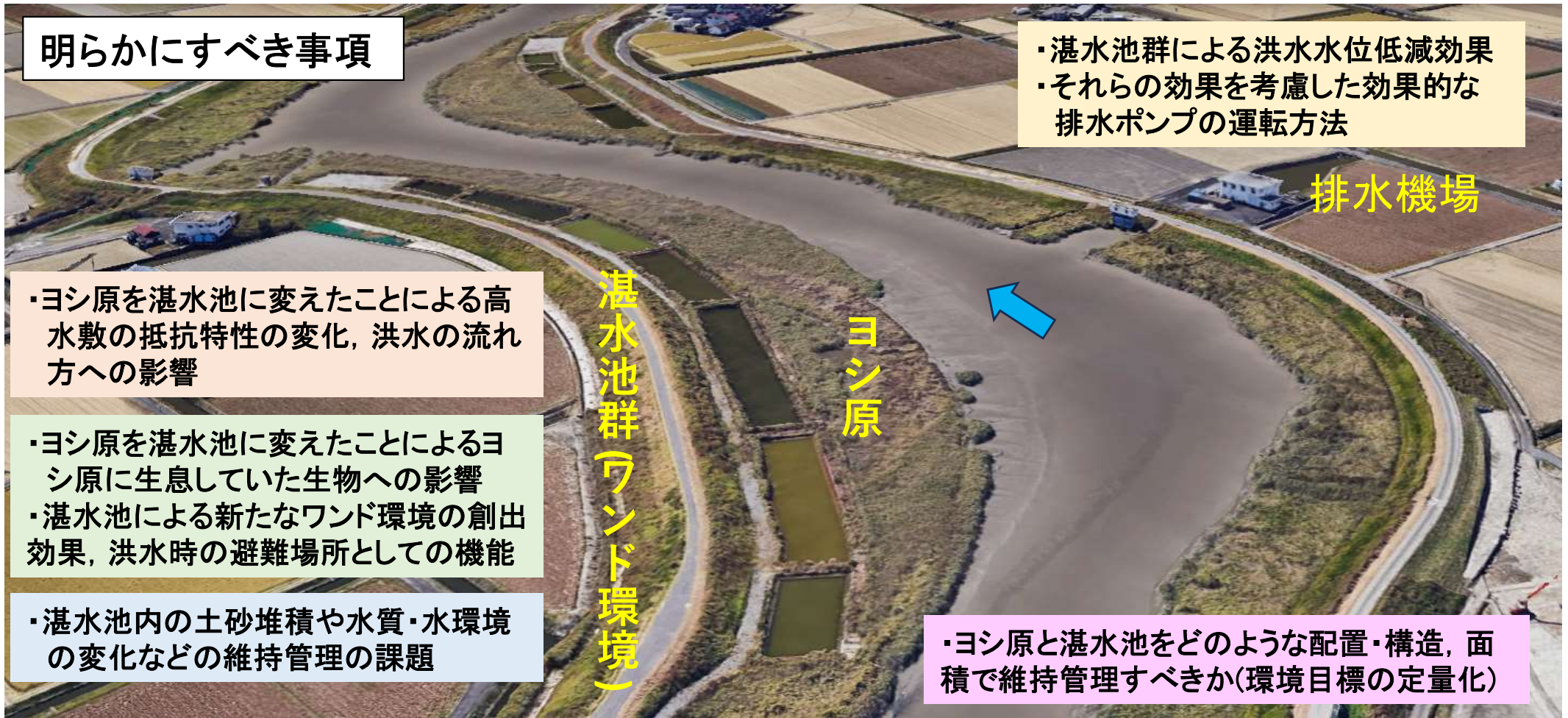
・湛水池群による洪水水位低減効果
・それらの効果を考慮した効果的な排水ポンプの運転方法

排水機場

湛水池群(ワンド環境)

ヨシ原

・ヨシ原と湛水池をどのような配置・構造、面積で維持管理すべきか(環境目標の定量化)



■六角川洪水を精度良く解析するためには、以下を考慮する必要がある。

- ①干満差の大きい**潮汐**の影響
- ②**ヨシ**の倒伏に伴う抵抗特性の変化
- ③**湛水池**周辺で生じる三次元流れ場
- ④**支川**や**ポンプ排水**の流入

■これらの影響は洪水水面形の時間変化に現れるため、六角川で観測されている水面形時系列データを用いて、それらを再現するように洪水流解析を行うことが現象の解明に有効となる。

■本研究では、観測水面形時系列データを解として、複雑な河床地形や構造物周辺の局所的な三次元流れ場を高精度に再現できる**準三次元洪水流解析法(Q3D-FEBS, 竹村・福岡, 2019)**を用いる。

Q3D-FEBS法(竹村・福岡, 2019)の特徴

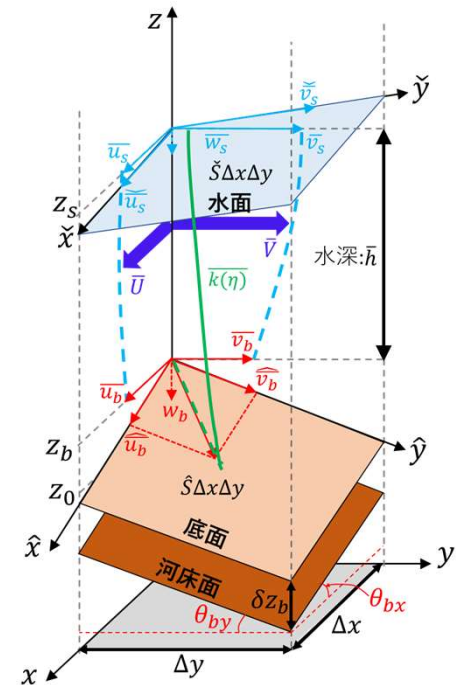
・流速鉛直分布を以下の3次関数式で与え、水深積分および水面・底面上の3つの運動方程式を解くことで、三次元的な流れ場を計算できる高精度な準三次元解析法

流速の鉛直分布

$$u_i(\eta) = (12\eta^3 - 12\eta^2 + 1)\Delta u_i - (4\eta^3 - 3\eta^2)\delta u_i + U_i$$

$$\eta = \frac{z_s - z}{h}, \quad \Delta u_i = u_{si} - U_i, \quad \delta u_i = u_{si} - u_{bi}$$

U_i : 方向水深平均流速, u_{si} : 方向水面流速, u_{bi} : 方向底面流速, h : 水深, z_s : 水位

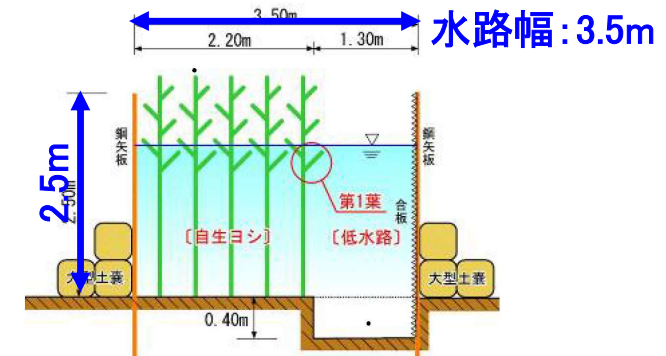


六角川ヨシ原通水実験(平成14年)

■平成14年に実施された六角川ヨシ原通水実験では、**ヨシの倒伏判定指標(水深, 流速)**, **ヨシ倒伏前後の粗度係数**など, ヨシの洪水流に対する抵抗特性が明らかとなった。

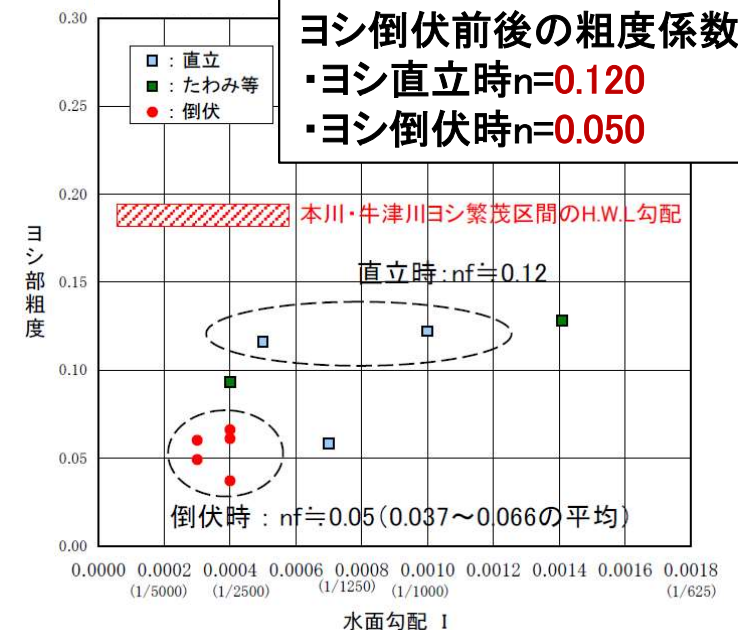
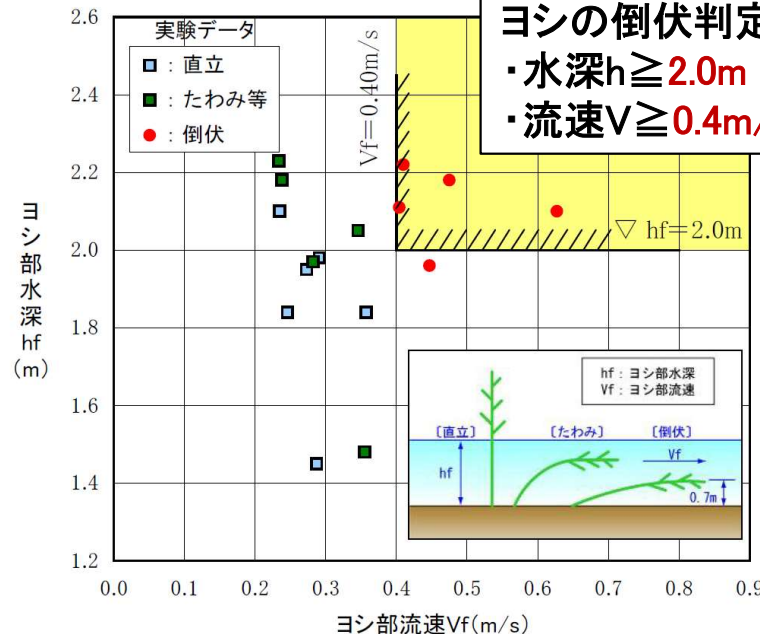
実施年月:平成14年8月
 実施場所:六角川10.2km
 左岸高水敷
 水路長:50m
 水路幅:3.5m

実験施設概要

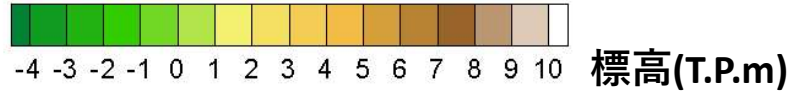


ヨシの倒伏判定指標 (流速-水深)

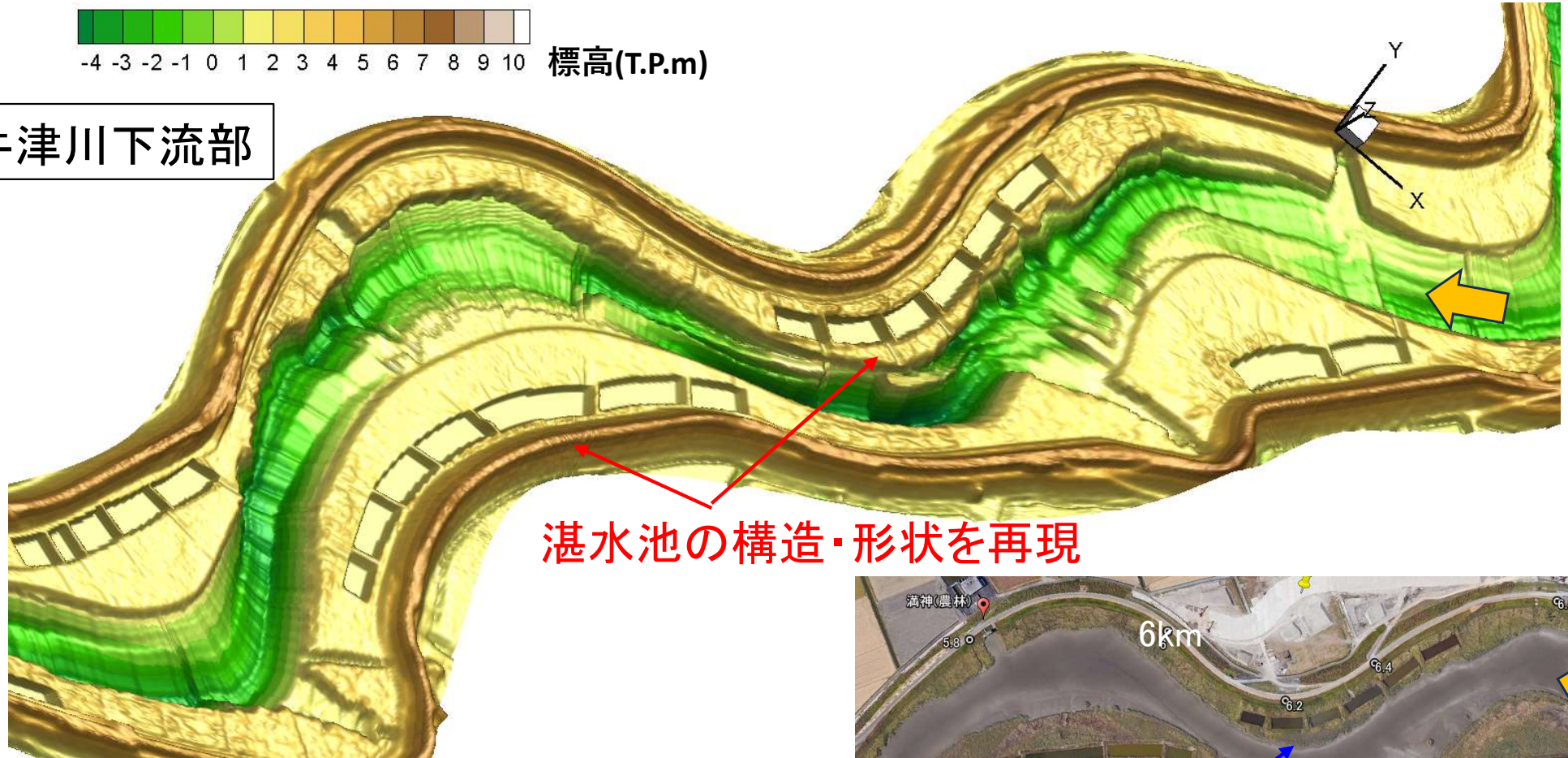
ヨシ倒伏前後の粗度係数



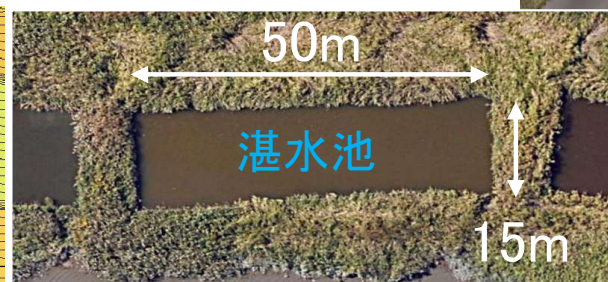
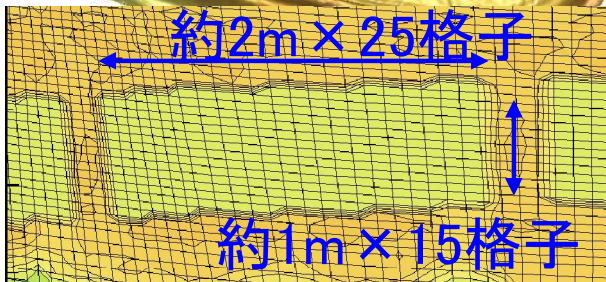
■六角川の特徴である大きく蛇行した河道形状を適切に再現するため、LP測量データを基本に平面的な河道形状を作成し、LP測量では捉えられていない水面下の河床形状を横断測量データで補間することで3次元解析河道を作成した。



牛津川下流部



湛水池の構造・形状を再現

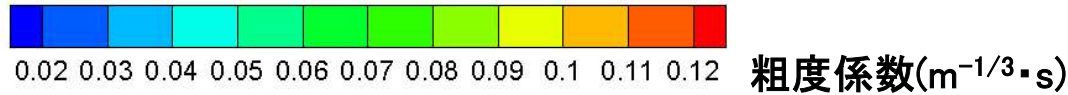


【設定した粗度係数】

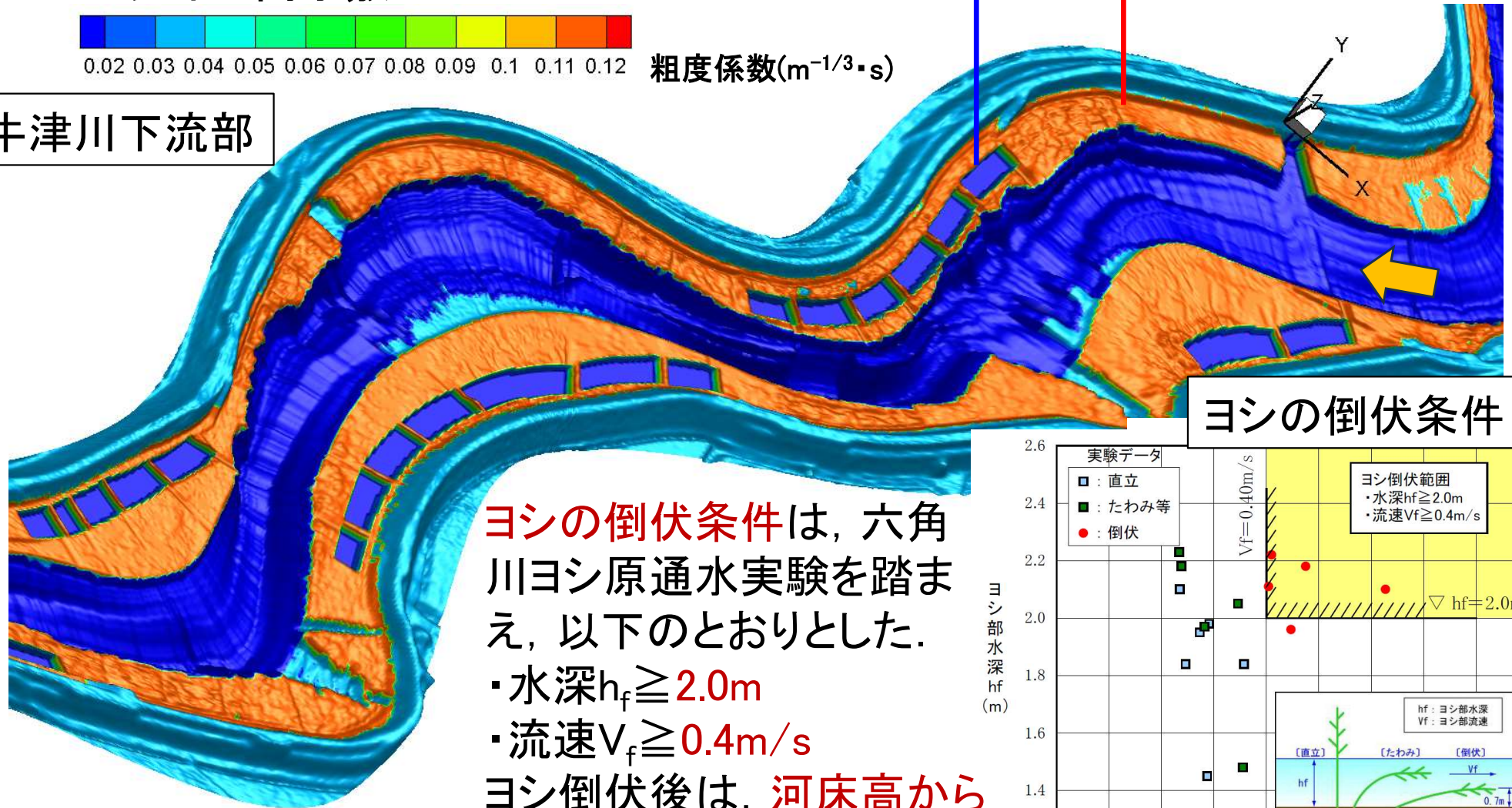
低水路, 湛水池: $n=0.02$

ヨシ(直立時): $n=0.12$ ヨシ(倒伏時): $n=0.05$

ヨシ以外の高水敷: $n=0.035$



牛津川下流部

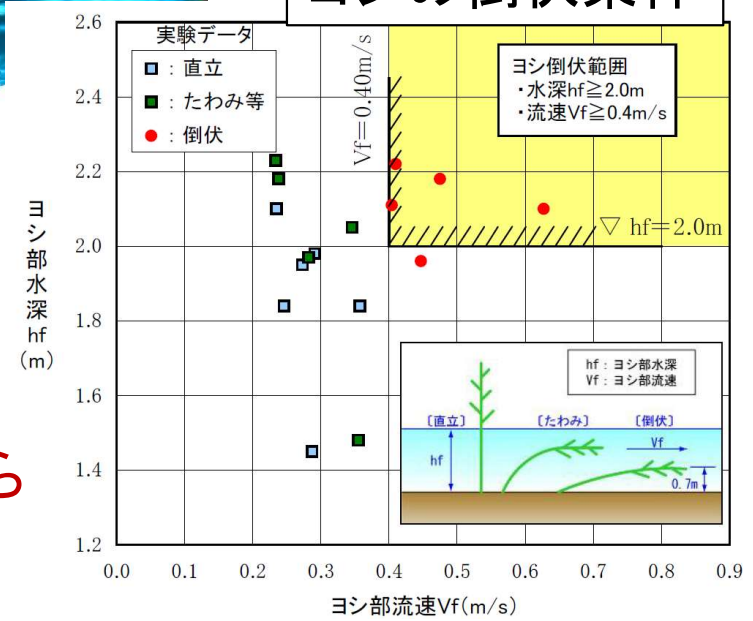


ヨシの倒伏条件

ヨシの倒伏条件は、六角川ヨシ原通水実験を踏まえ、以下のとおりとした。

- 水深 $h_f \geq 2.0m$
- 流速 $V_f \geq 0.4m/s$

ヨシ倒伏後は、河床高から $0.7m$ を死水域とする。



湛水池群による洪水水位低減効果の評価

(1) 令和3年8月牛津川洪水解析(湛水池あり)

【上下流端】

- ・上流端: 妙見橋(14.36k)水位観測所の実測水位ハイドログラフを設定
- ・下流端: 鳴瀬排水機場(0k:六角川合流点)の実測水位ハイドログラフを設定

【支川流入】

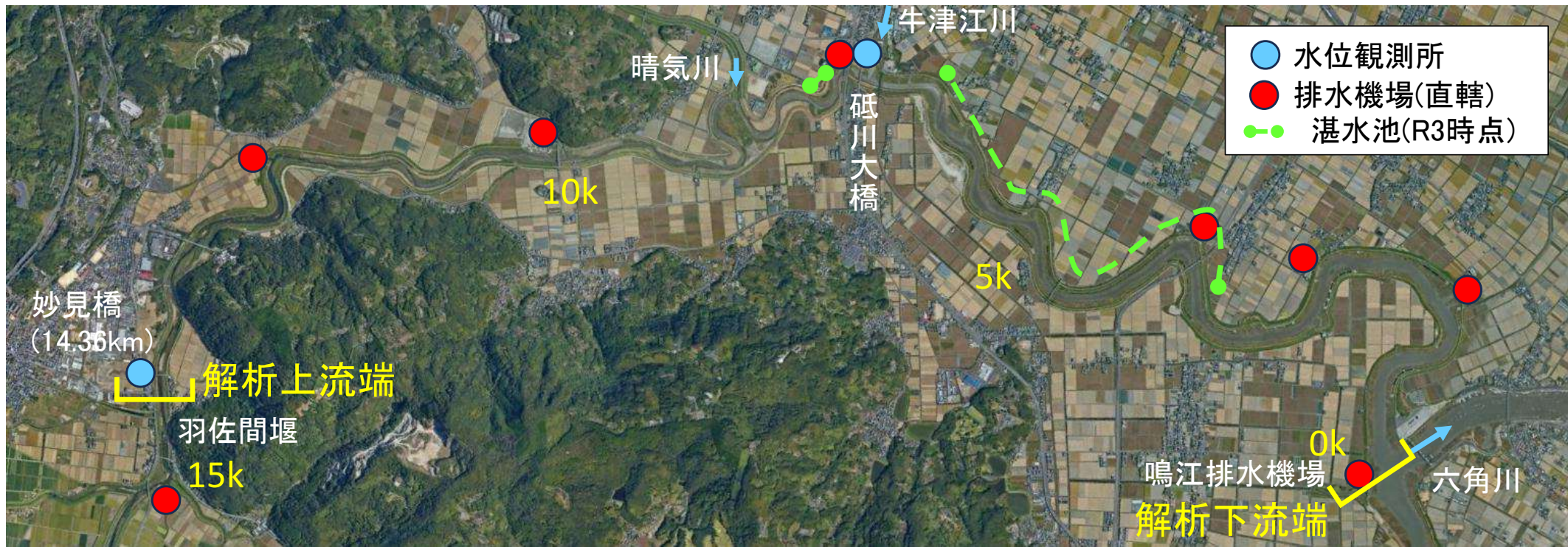
- ・晴気川(8.5km合流): 解析流量
- ・牛津江川(7.4km合流): 牛津江水門閉鎖時の牛津江排水機場の実績排水量

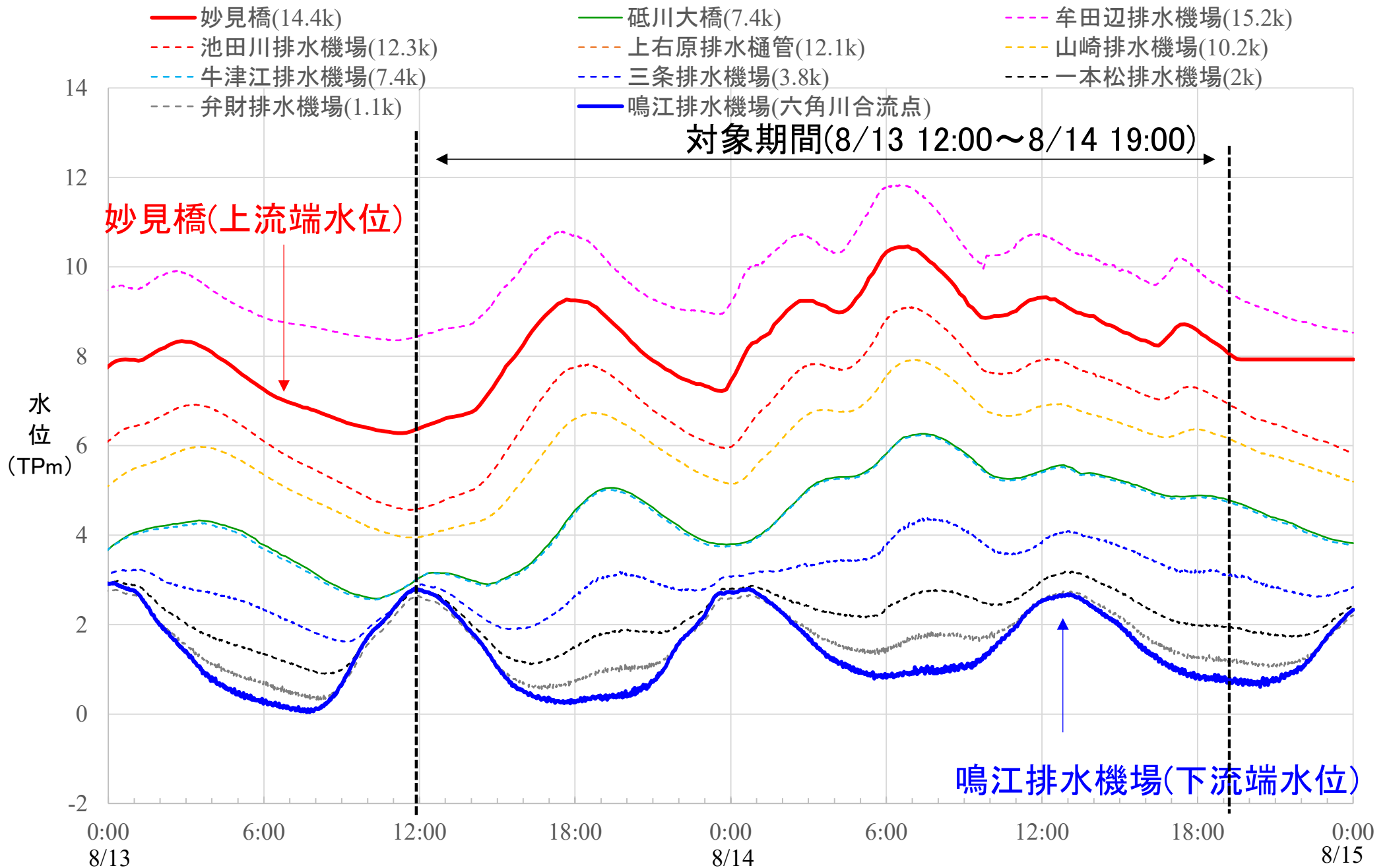
【ポンプ排水】

- ・直轄排水機場6基の実績排水量を設定

【湛水池】

- ・3.4～7.8km(令和3年8月洪水時点で整備済)



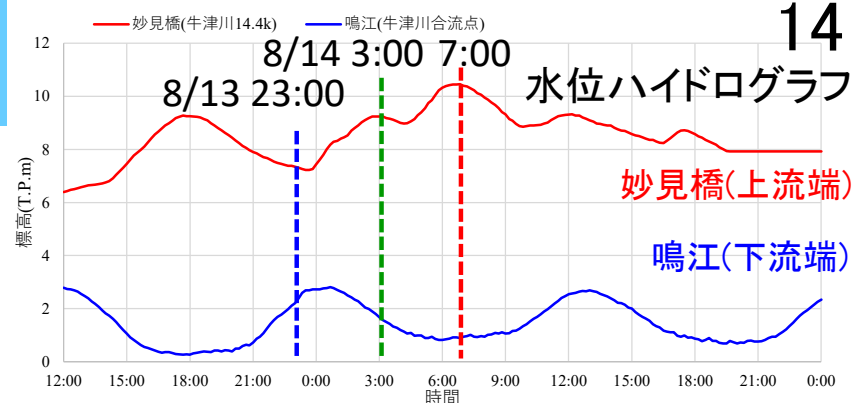
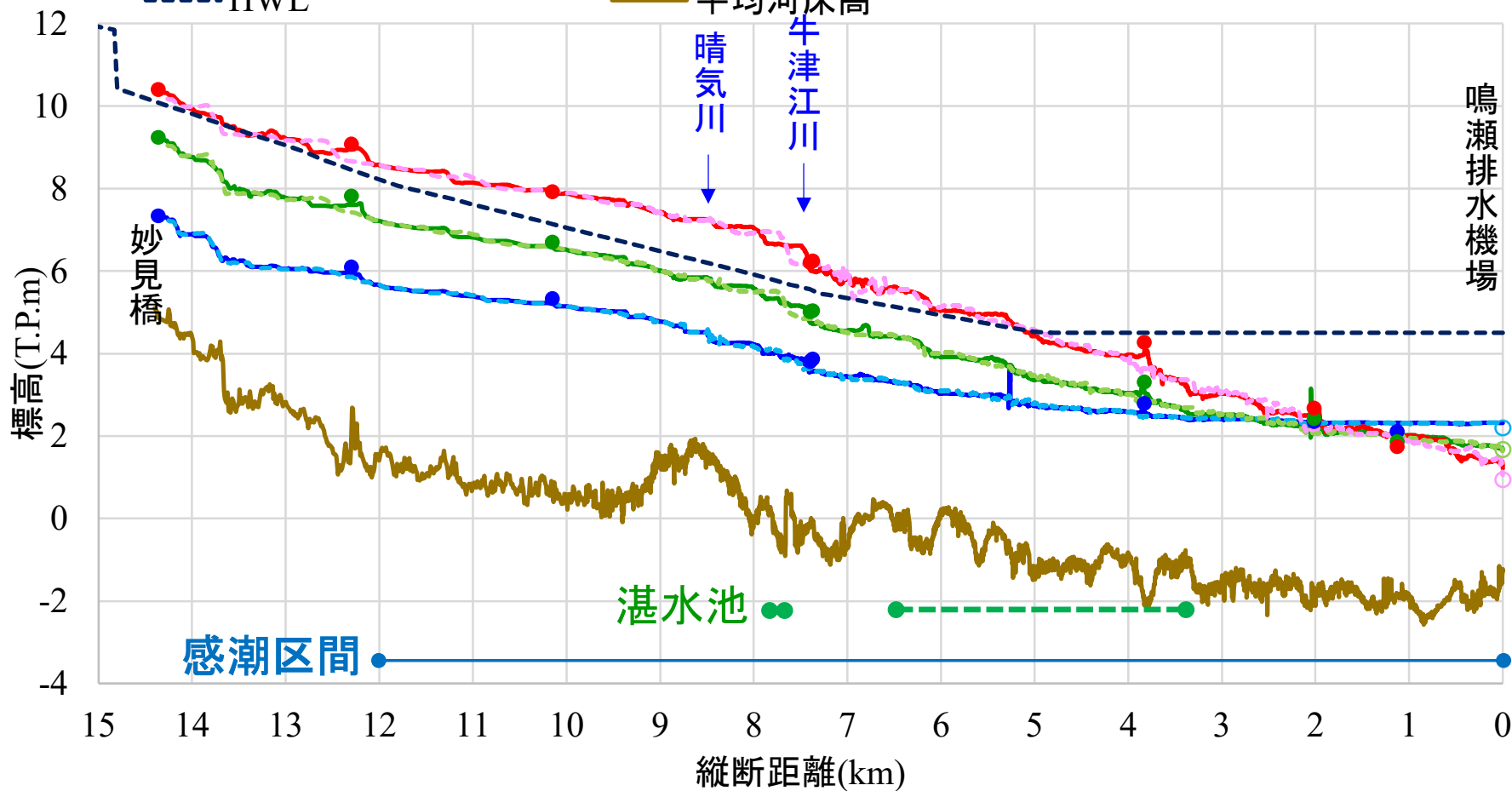


観測水位と解析水位の比較

■ 解析結果は、実測の洪水水面形の時間変化を概ね説明できている。

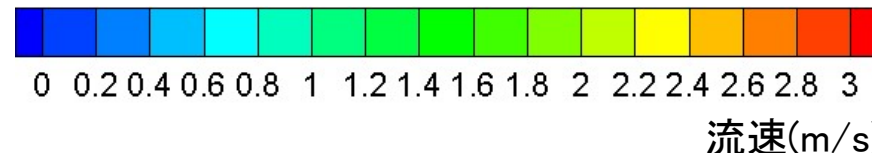
令和3年8月牛津川洪水水面形

- 8/13 23:00(左岸)
- - - 8/13 23:00(右岸)
- 観測(8/13 23:00)左岸
- 観測(8/13 23:00)右岸
- - - HWL
- 8/14 3:00(左岸)
- - - 8/14 3:00(右岸)
- 観測(8/14 3:00)左岸
- 観測(8/14 3:00)右岸
- 平均河床高
- 8/14 7:00(左岸)
- - - 8/14 7:00(右岸)
- 観測(8/14 7:00)左岸
- 観測(8/14 7:00)右岸

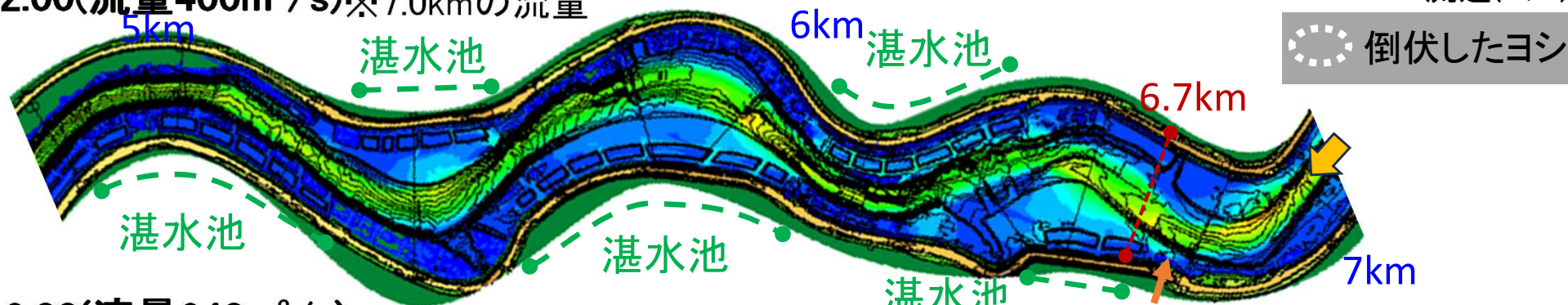


■牛津川下流部では、洪水流量の増加とともに主流が蛇行部内岸に寄ることで洪水流が水当りに位置する湛水池に流入しやすい配置となっている。

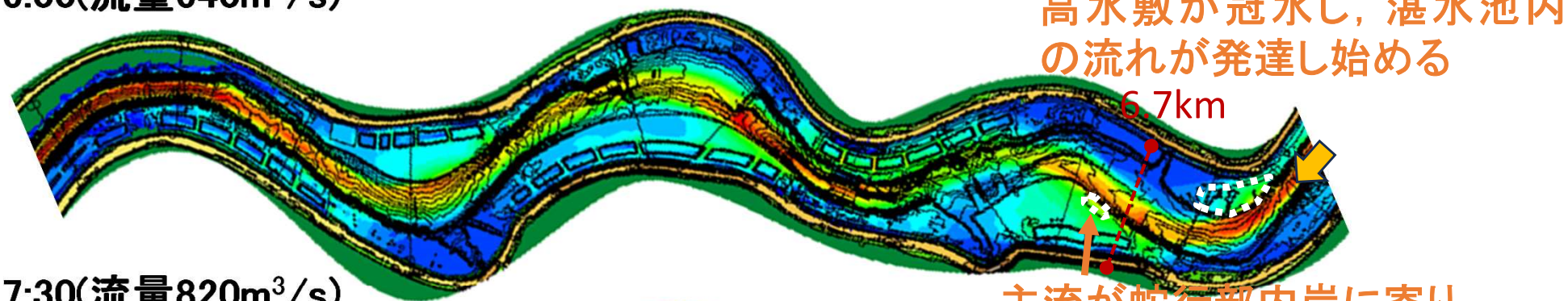
水深平均流速コンター



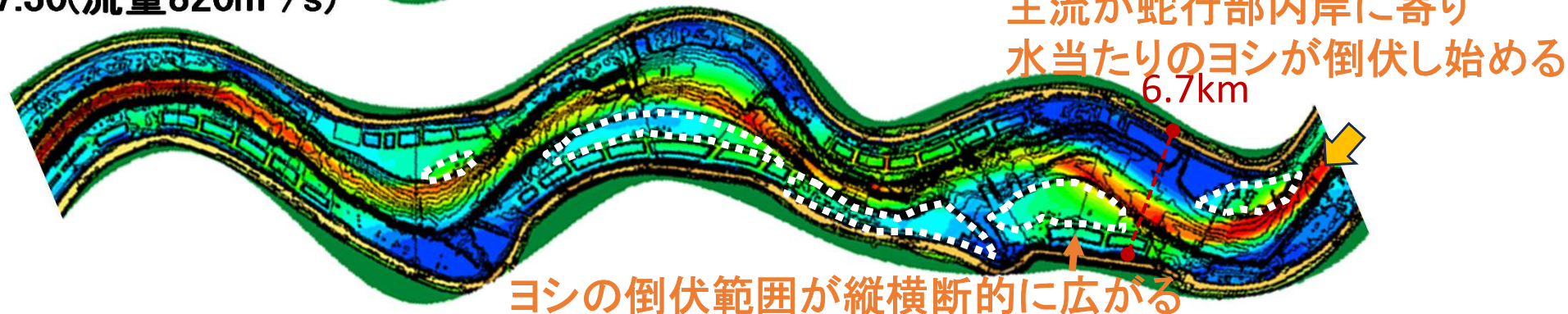
8/14 2:00(流量400m³/s)※7.0kmの流量



8/14 6:00(流量640m³/s)



8/14 7:30(流量820m³/s)



湛水池周辺の横断面内流速分布(R3.8洪水解析結果) 16

■ 湛水池が設置されたことで、低水路と高水敷の流量配分が変化し、河道全体で洪水流が流れ易くなるように寄与している。

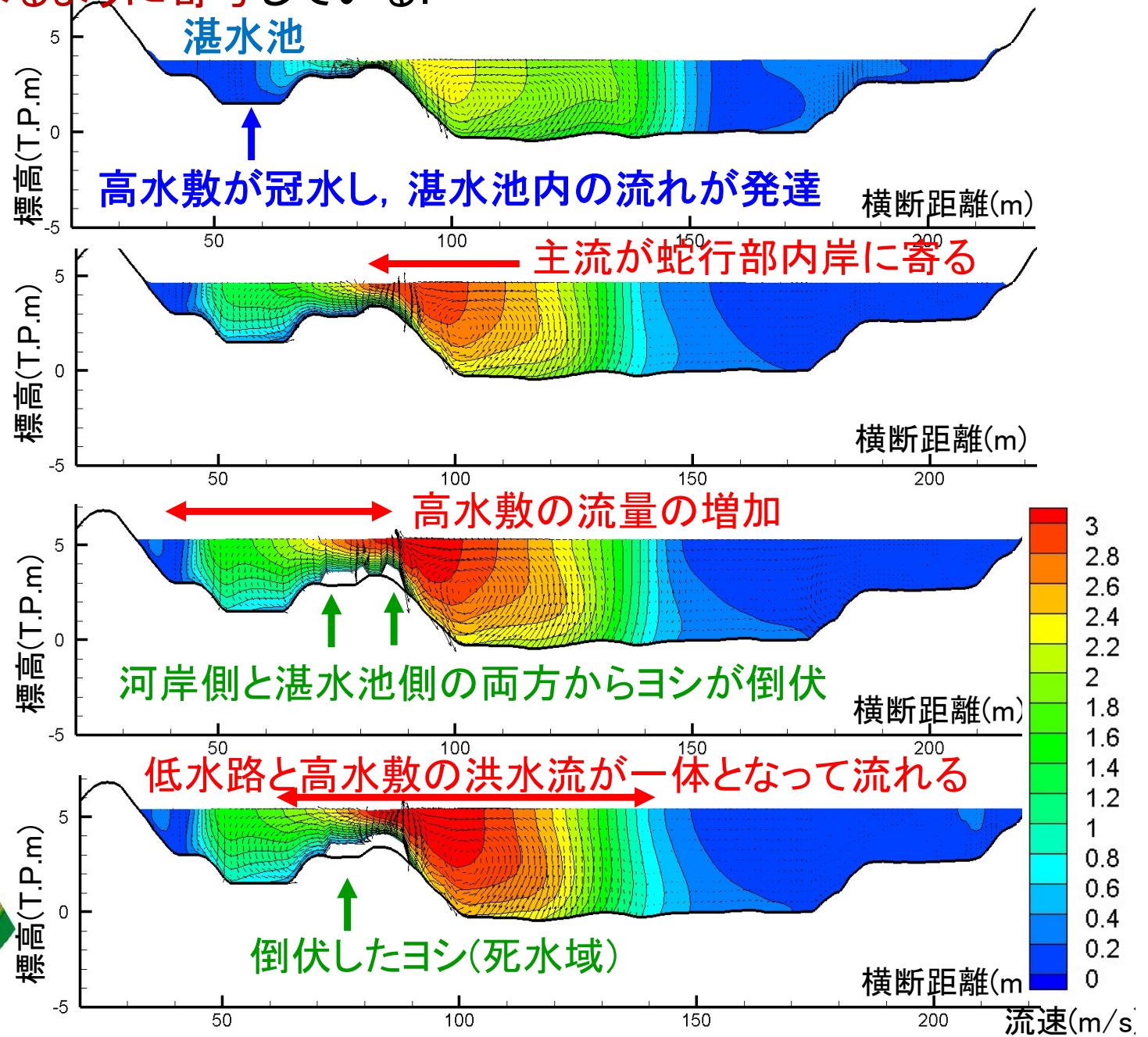
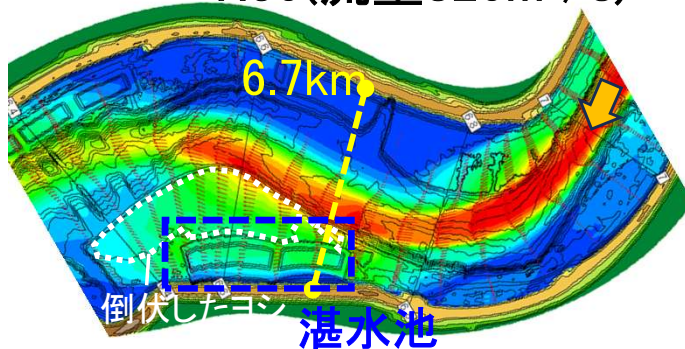
横断面内流速コンター
(6.7km断面)

8/14 2:00(流量400m³/s)

6:00(流量640m³/s)

7:00(流量800m³/s)

7:30(流量820m³/s)



湛水池群による洪水水位低減効果の評価

(2) 令和3年8月六角川洪水解析(湛水池なし・あり)

【上下流端】

- ・上流端: 潮見橋(30.35km) 水位観測所の実測水位ハイドログラフを設定
- ・下流端: 住之江橋(3.8km) 水位観測所の実測水位ハイドログラフを設定

【支川流入】

- ・武雄川(26.2km合流): 観測流量(H-Q)+高橋排水機場の排水量を設定
- ・牛津川(5km合流): 解析流量を設定

【ポンプ排水】

- ・直轄排水機場9基の実績排水量を設定

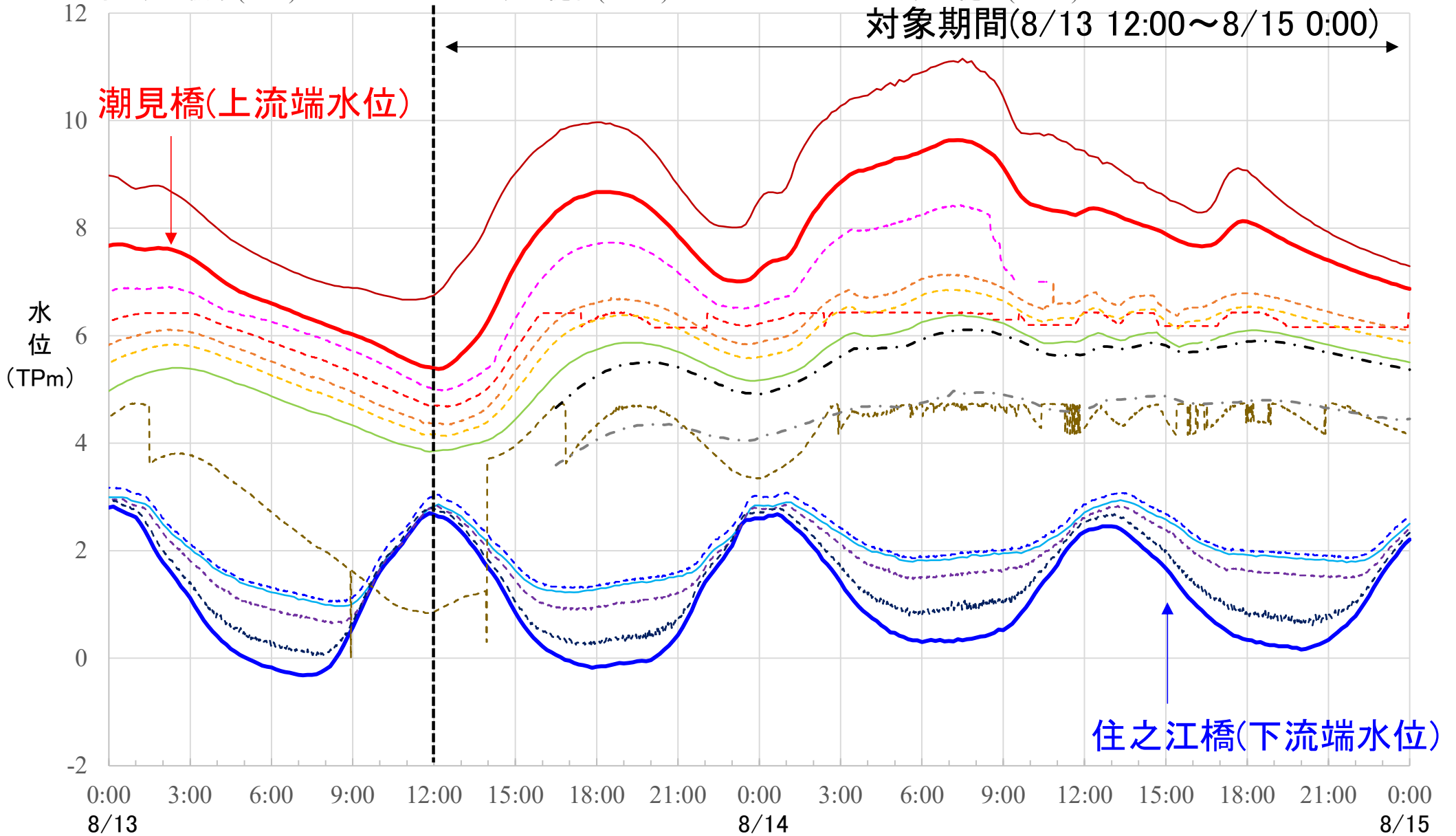
【湛水池】

- ・R3.8洪水時点では未整備 ※R4以降, 26.2~16km区間で整備



令和3年8月六角川洪水 水位ハイドログラフ

- 溝ノ上(32.3k)
- 住ノ江橋(3.8k)
- 川添排水機場(25.7k)
- 鳴江排水機場(5.1k)
- 潮見橋(30.4k)
- 東川排水機場(28.2k)
- 焼米排水機場(22.8k)
- 玉江排水樋管(21.4k)
- 新橋(24.1k)
- 鳴瀬排水機場(26.8k)
- 西古川排水機場(10.7k)
- 大町境川排水樋門(18.8k)
- 六角橋(11.3k)
- 板橋排水機場(26.5k)
- 東古川排水機場(10k)

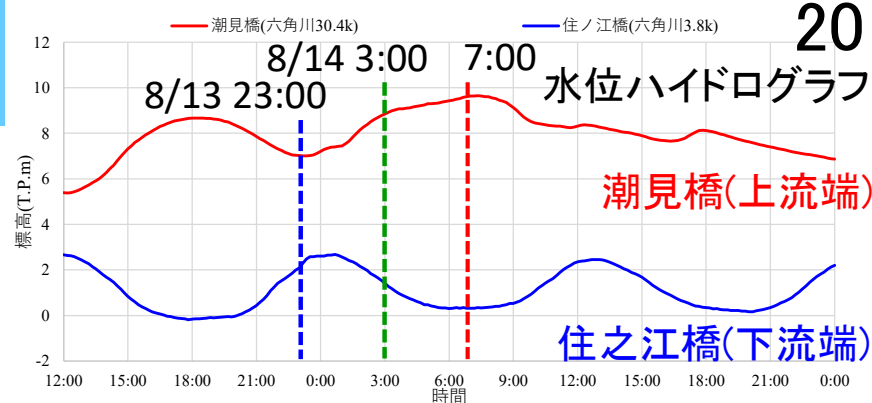
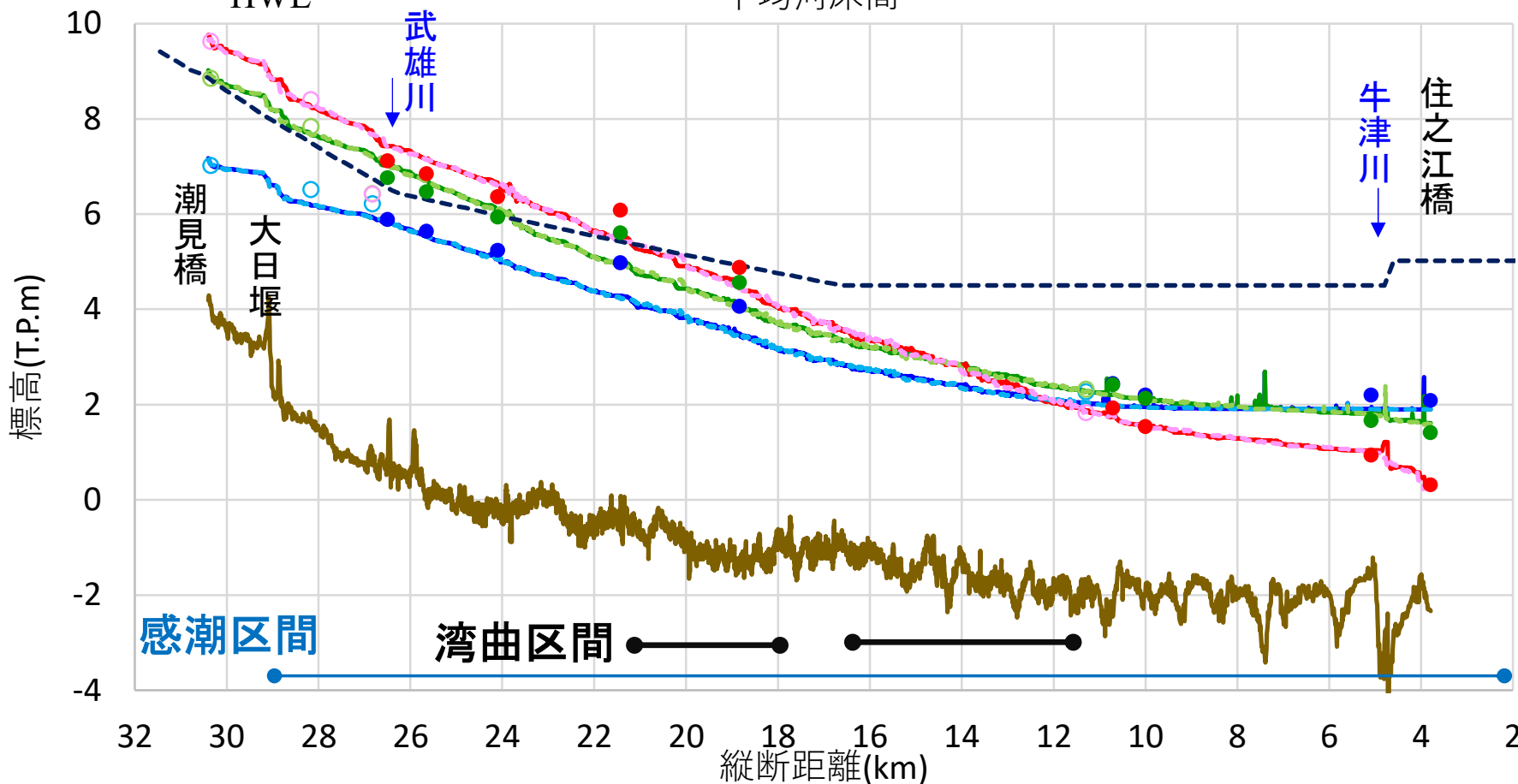


観測水位と解析水位の比較

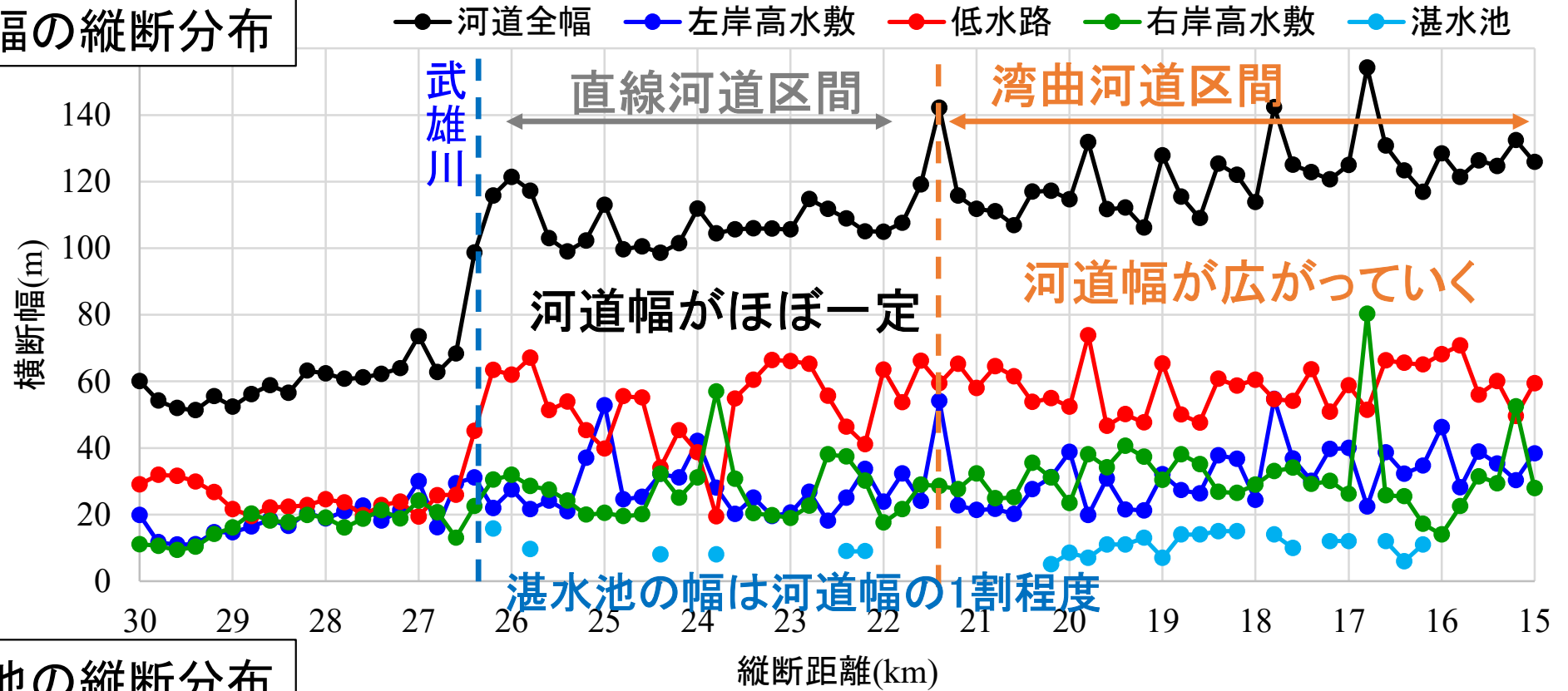
■ 解析結果は、実測の洪水水面形の時間変化を概ね説明できている。

令和3年8月六角川洪水水面形

- 8/13 23:00(左岸)
- - - 8/13 23:00(右岸)
- 観測(23:00)左岸
- 観測(23:00)右岸
- - - HWL
- 8/14 3:00(左岸)
- - - 8/14 3:00(右岸)
- 観測(8/14 3:00)左岸
- 観測(8/14 3:00)右岸
- 8/14 7:00(左岸)
- - - 8/14 7:00(右岸)
- 観測(8/14 7:00)左岸
- 観測(8/14 7:00)右岸
- 平均河床高



河道幅の縦断分布



湛水池の縦断分布



湛水池の有無による流速横断分布の比較(26.2km) 22

■ 湛水池整備後の河道では、**湛水池周辺で流速が増加し**、低水路の流速がやや低下しており、**低水路と高水敷の流量配分が変化している。**

26.2km断面 (直線区間)

流速横断分布
(湛水池有・無)

R3.8 8/13

14:00 130m³/s

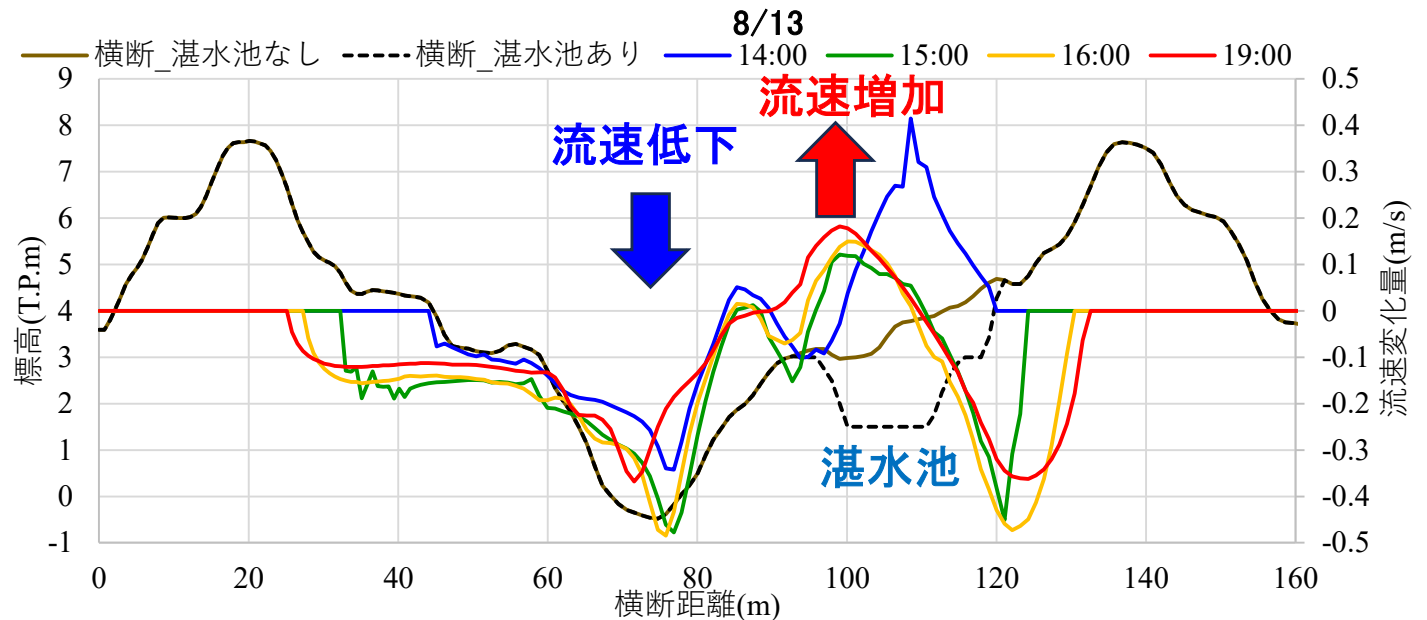
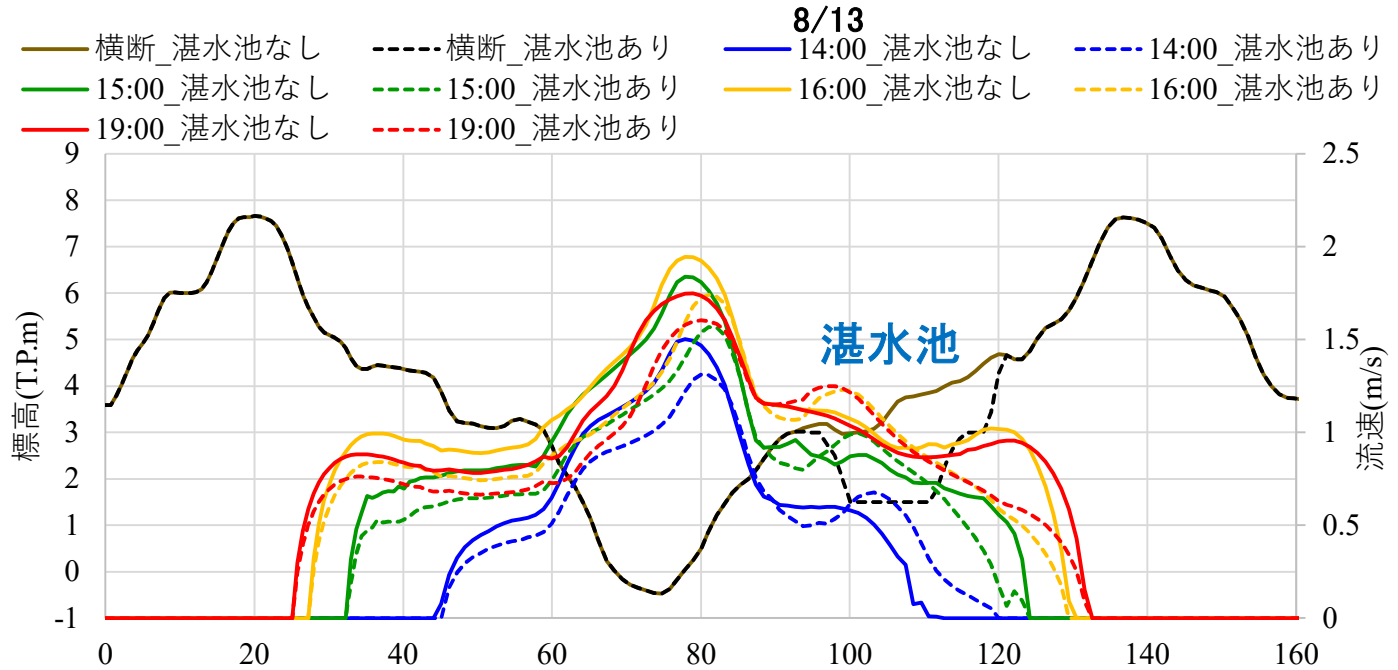
15:00 240m³/s

16:00 340m³/s

19:00 420m³/s

※26km地点流量

流速変化量
(湛水池有 - 湛水池無)



湛水池の有無による水位横断分布の比較(26.2km) 23

■ 湛水池による水位低減効果は水面幅全体に顕れており，高水敷が冠水すると顕われ始め，**湛水池の流れが発達する増水期に卓越する。**

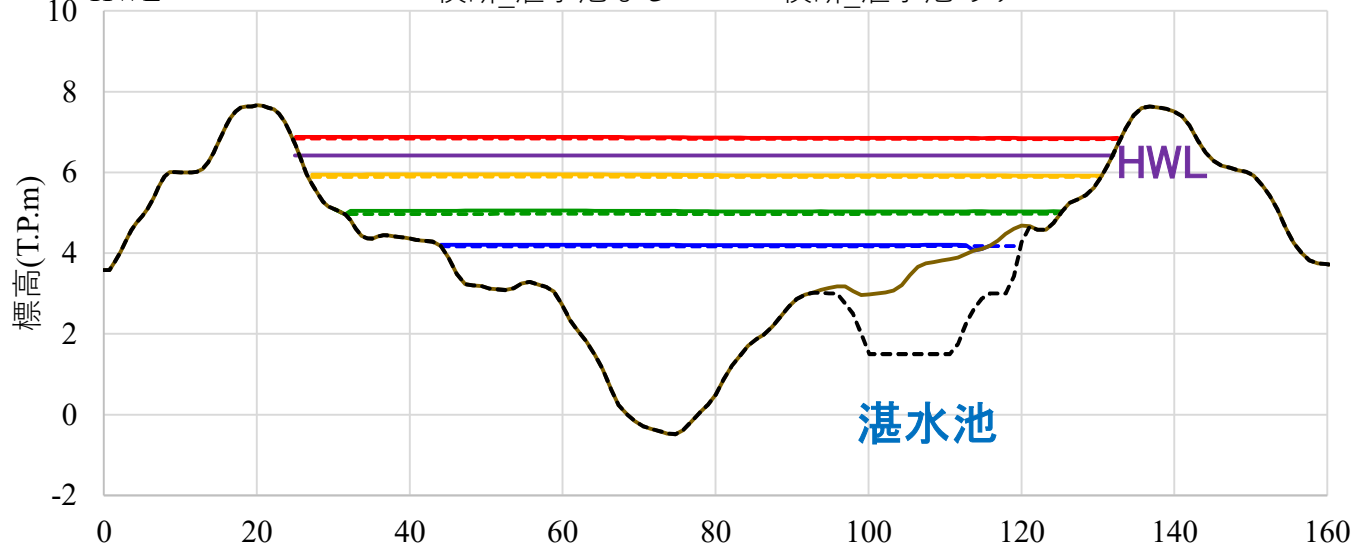
26.2km断面 (直線区間)

水位横断分布
(湛水池有・無)

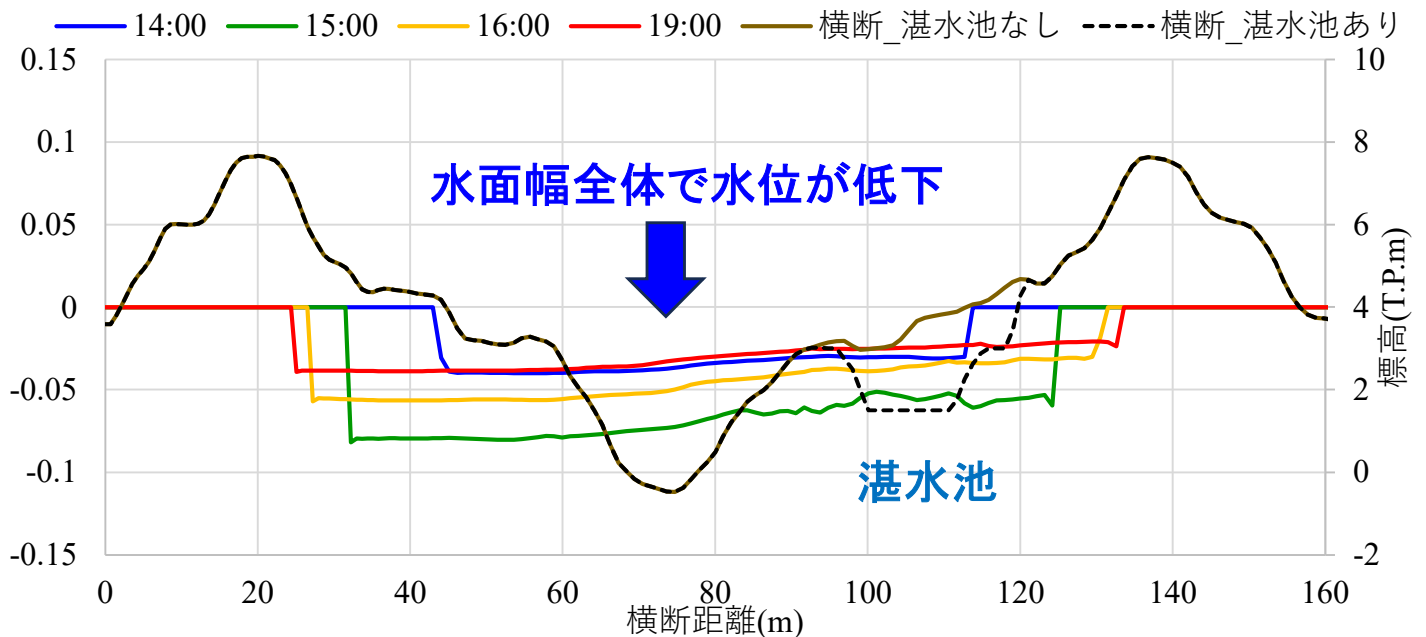
水位変化量
(湛水池有 - 湛水池無)



8/13
 14:00_湛水池なし (solid blue) 14:00_湛水池あり (dashed blue) 15:00_湛水池なし (solid green) 15:00_湛水池あり (dashed green)
 16:00_湛水池なし (solid yellow) 16:00_湛水池あり (dashed yellow) 19:00_湛水池なし (solid red) 19:00_湛水池あり (dashed red)
 HWL (solid purple) 横断_湛水池なし (solid brown) 横断_湛水池あり (dashed black)



湛水池の無い河道に対する湛水池の
有る河道の水位変化量(m)



湛水池の有無による流速横断分布の比較(19.2km) 24

■湾曲河道区間は河道幅が広く、比較的大きな流量でないと高水敷が冠水しないため、湛水池の効果が発揮される流量の範囲は限定的。

19.2km断面 (湾曲区間)

流速横断分布
(湛水池有・無)

R3.8 8/13

14:00 140m³/s

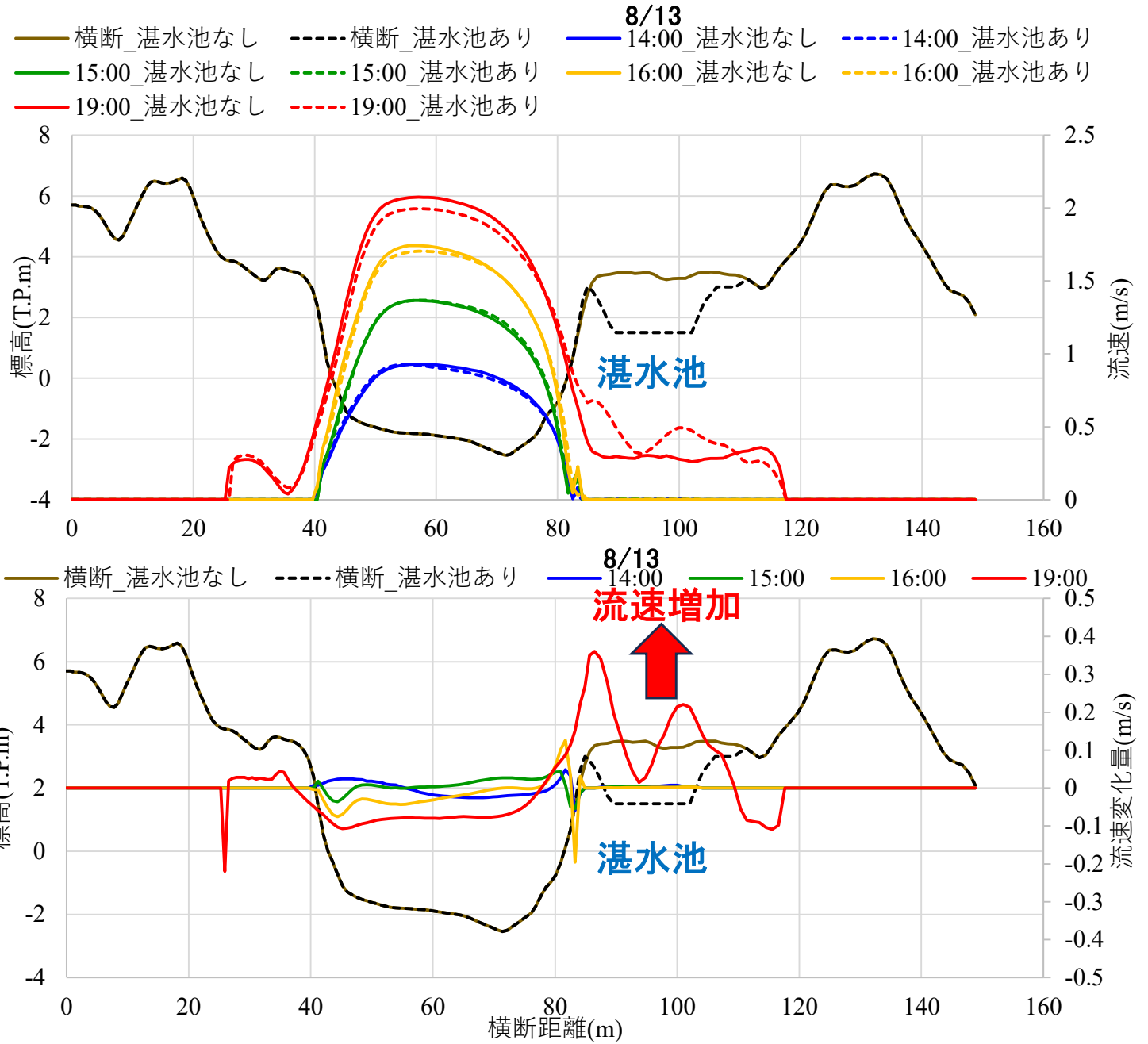
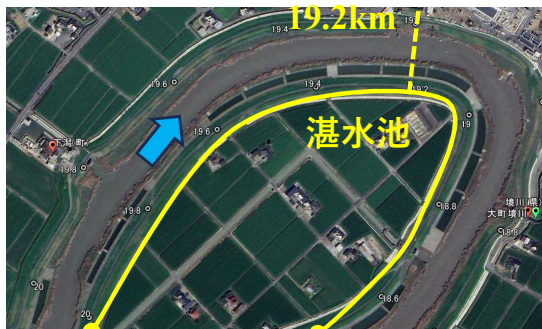
15:00 200m³/s

16:00 260m³/s

19:00 430m³/s

※19km地点流量

流速変化量
(湛水池有 - 湛水池無)



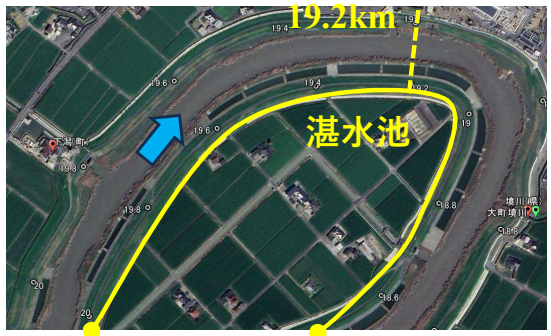
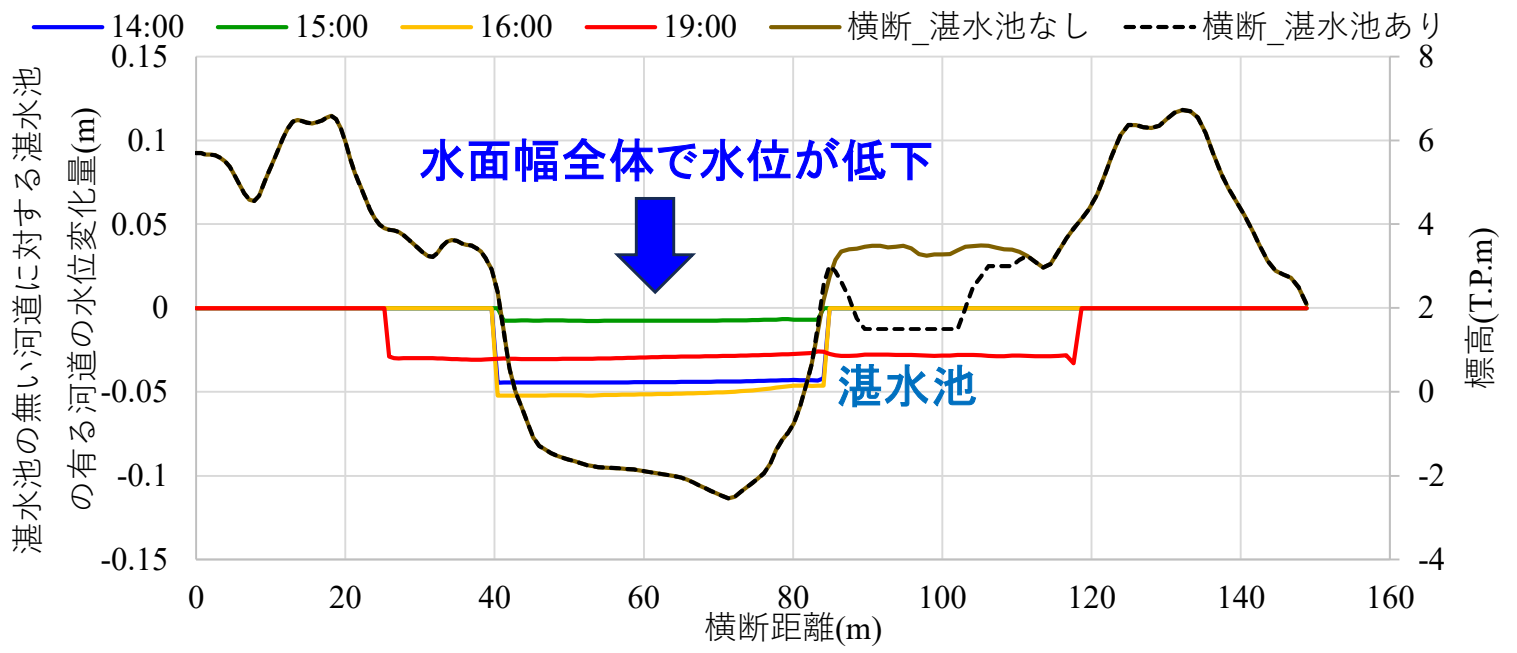
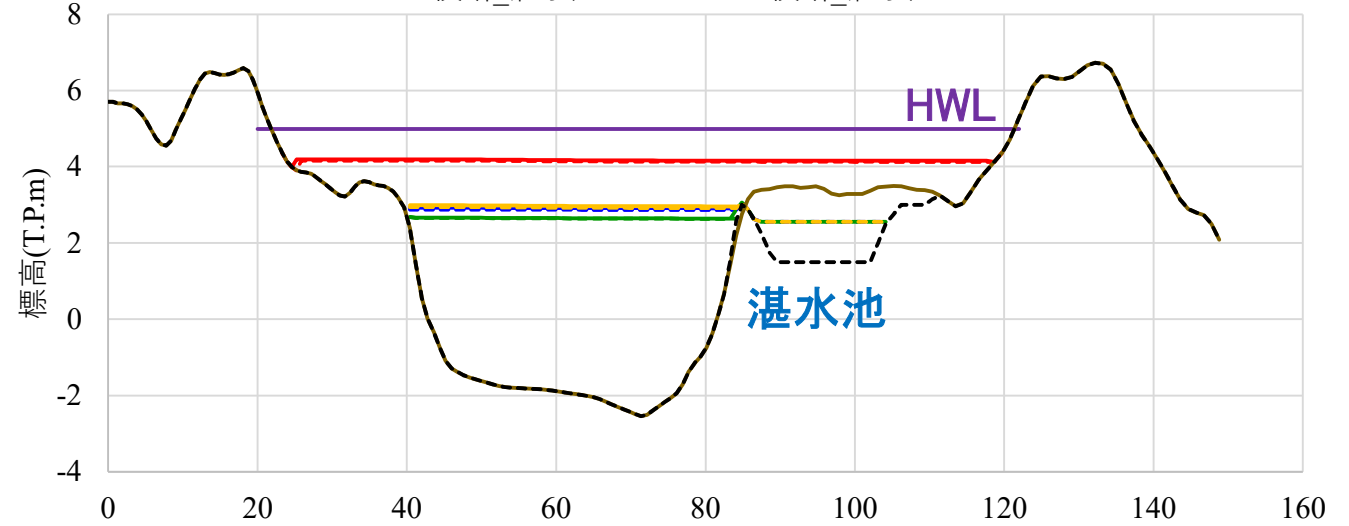
■湾曲河道区間は河道幅が広く、比較的大きな流量でないと高水敷が冠水しないため、湛水池の効果が発揮される流量の範囲は限定的。

19.2km断面 (湾曲区間)

水位横断分布
(湛水池有・無)

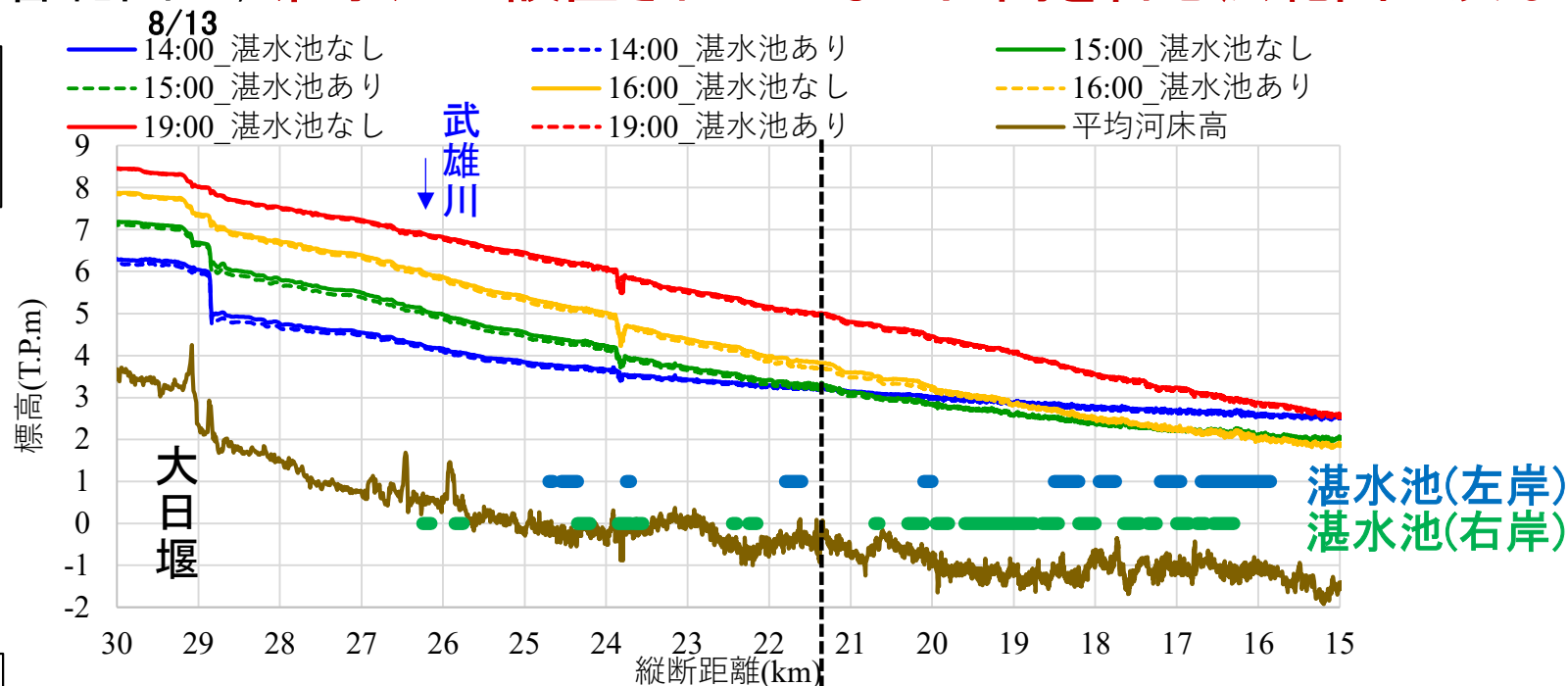
水位変化量
(湛水池有 - 湛水池無)

- 8/13
- 14:00_湛水池なし (solid blue)
 - 14:00_湛水池あり (dashed blue)
 - 15:00_湛水池なし (solid green)
 - 15:00_湛水池あり (dashed green)
 - 16:00_湛水池なし (solid yellow)
 - 16:00_湛水池あり (dashed yellow)
 - 19:00_湛水池なし (solid red)
 - 19:00_湛水池あり (dashed red)
 - HWL (solid purple)
 - 横断_湛水池なし (solid brown)
 - 横断_湛水池あり (dashed black)

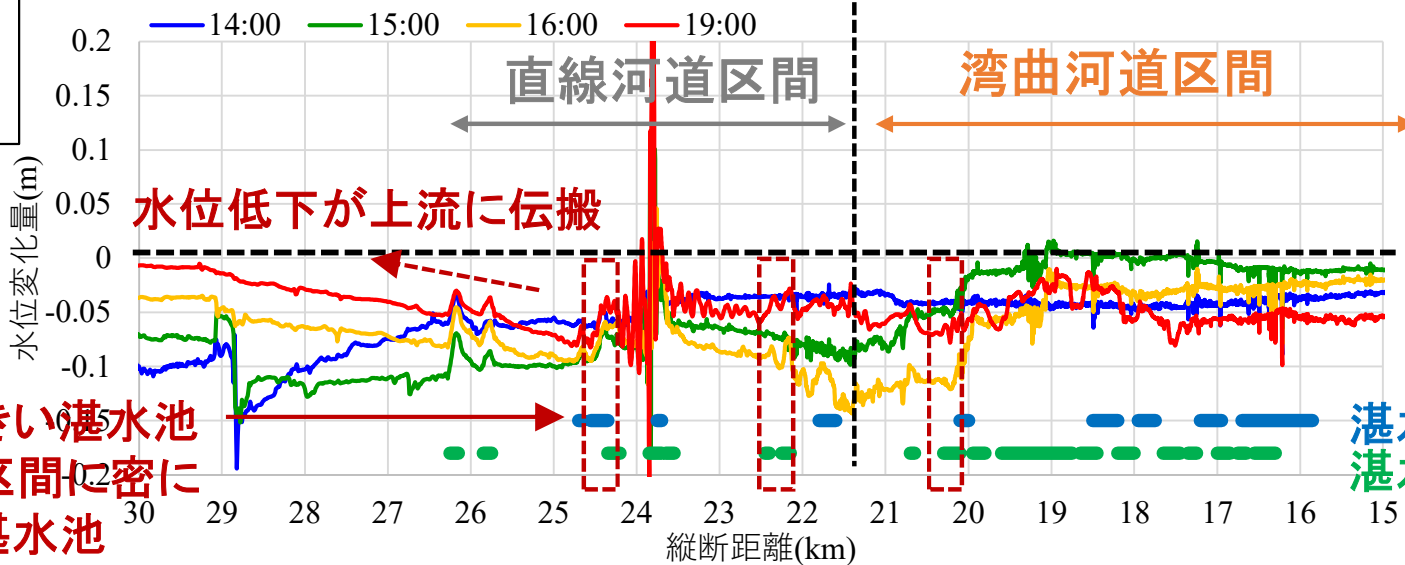


- 湛水池による水位低減効果は令和3年8月洪水外力に対して-5~-15cm程度.
- 水位低下の影響範囲は、湛水池が設置されていない区間を含む広範囲に及ぶ.

水位縦断分布
(湛水池有・無)



水位変化量
(湛水池有 - 湛水池無)

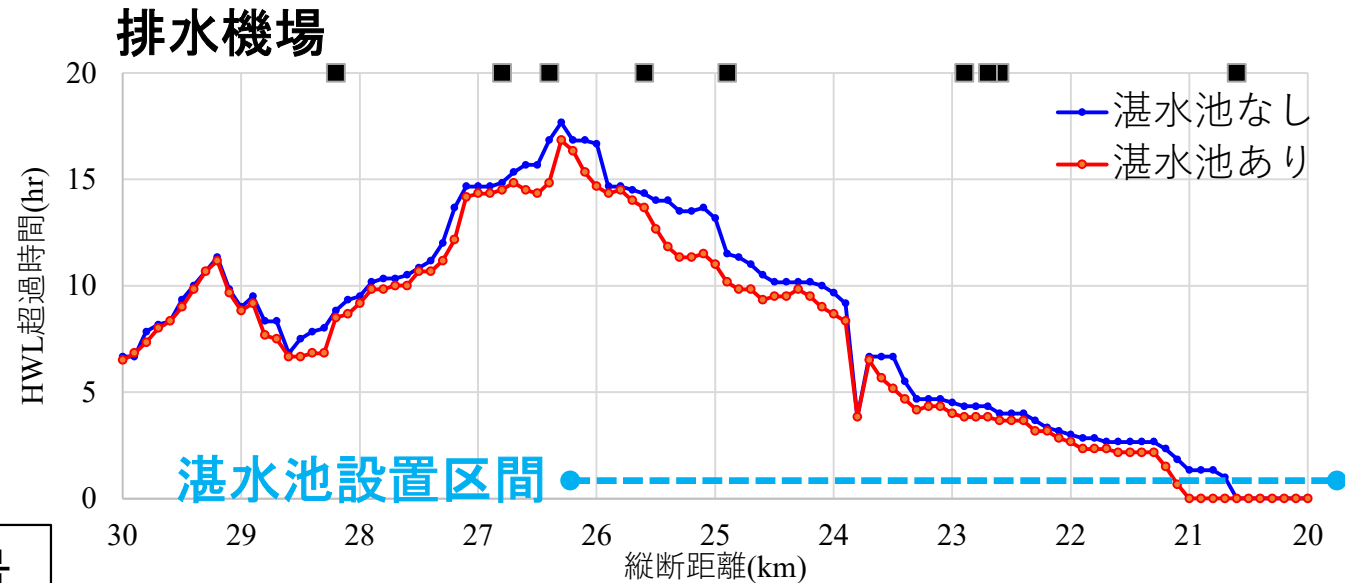


水位低減効果の大きい湛水池
→ 低水路幅が狭い区間に密に
設置されている湛水池

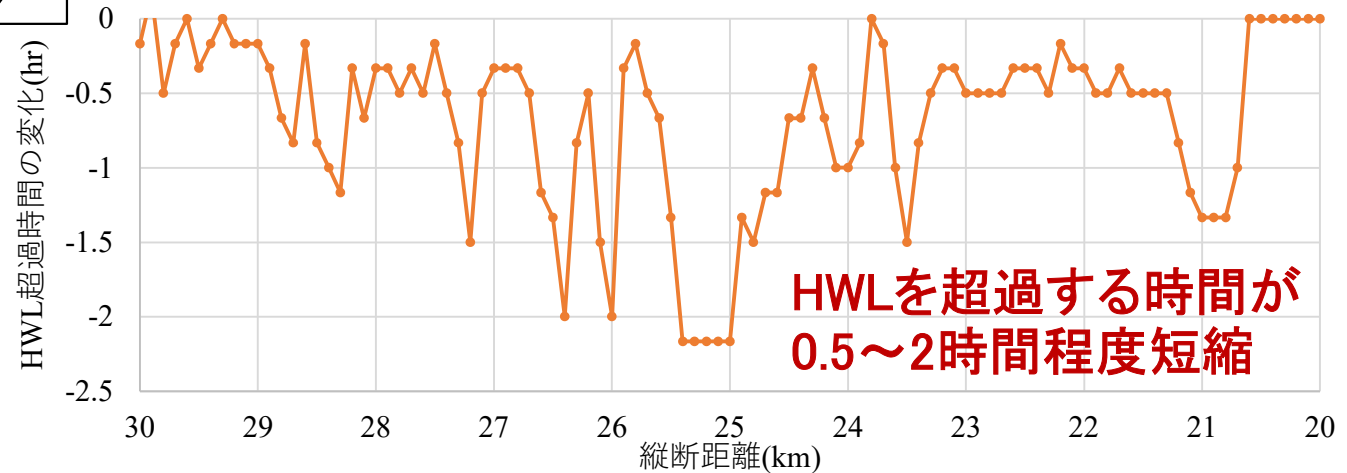
湛水池整備による計画高水位の超過時間の短縮効果 27

■ 湛水池群による水位低減により, R3.8洪水外力に対して**計画高水位を超過する時間が0.5~2時間程度短くなる**. これは計画高水位を超過する区間に設置されている**排水機場の運転調整時間の短縮に寄与**し得る.

HWL超過時間
(湛水池有・無)



HWL超過時間の変化量
(湛水池有 - 湛水池無)



- 湛水池の機能として、高水敷の流量を増加させヨシの倒伏を促すことにより、**低水路と高水敷の流量配分の変化**が生じ、河道全体で洪水流を流れ易くすること、**湛水池の設置されていない区間を含む広範囲に水位低減効果が及ぶ**こと、それにより**計画高水位を超える時間を短縮**し得る。
- 六角川高水敷の湛水池群の治水効果は明確であり、湛水池による水位低下やポンプ排水による水位上昇が上流河道の水面形に影響することを考慮した**効果的な排水ポンプの運転方法**を、水位低減効果を最大限に活かせる**湛水池の構造・配置とセット**で検討する必要がある。
- 六角川・牛津川湛水池で実施されている環境調査では、近辺の河川水辺の国勢調査結果と同様の魚種、底生生物種が確認されている。既往調査で確認されていない重要種等が新たに湛水池へ生息域を広げており、**本川と湛水池間を生物が行き来する貴重なワンド環境が形成**されつつある。
- 六角川河道の治水・環境機能をより高めるための湛水池の構造、湛水池とヨシの適切な配置を検討するとともに、**六角川の治水と環境の調和に向けた「定量的な目標」として、ヨシ・湛水池の保全・整備面積**を明らかにする。

本研究は、2024年度の国土交通省河川砂防技術研究開発制度河川技術・流域管理分野の助成をいただきました。

ここに記して謝意を表します。