

第5回筑後川土砂動態調査に関するWG

【資料-4】 筑後川下流域の河床変動解析による
洪水時の有明海への流出土砂量の推定について

目 次

目的	1
検討の流れ	2
河床変動解析の基本的な考え方	3
河床変動解析モデルの概要	4
①初期条件の設定	6
②境界条件の設定	10
③観測水位の再現性	11
④流速ベクトル図	23
⑤河床変動高の再現性	25
⑥河床形状の時間変化	27
⑦有明海への流出土砂量の推定	29

目的

《従来は・・・》

土砂移動量の直接観測は困難であるが、土砂移動（量・質）を推定するための水面形や河床堆積物等が把握されていない

⇒ 有明海への土砂供給量を定量化できない

調査・観測
の実施

筑後大堰下流での土砂動態調査（現地観測）

- ・河床の堆積構造把握
- ・土砂（砂）移動の確認
- ・洪水時の水面形把握 等、データ蓄積

《河床変動解析の目的》

洪水時の水面形や河床変動状況（観測結果）を精度よく再現し、

⇒ 有明海への土砂供給量の定量化 を試みる

検討の流れ

基本的な考え方と流れ

[1] 条件の設定

- ・現地調査結果（深浅測量、柱状コア、底質探査）から河床高及び堆積土層構造を設定



[2] 現地観測結果の再現（河床変動解析）

- ・観測水位、観測流量の時間変動を表現し、かつ実績河床変動（洪水前後の深浅測量結果）の傾向を概ね表現できるように、パラメータ等を設定し、河床変動解析を行う。



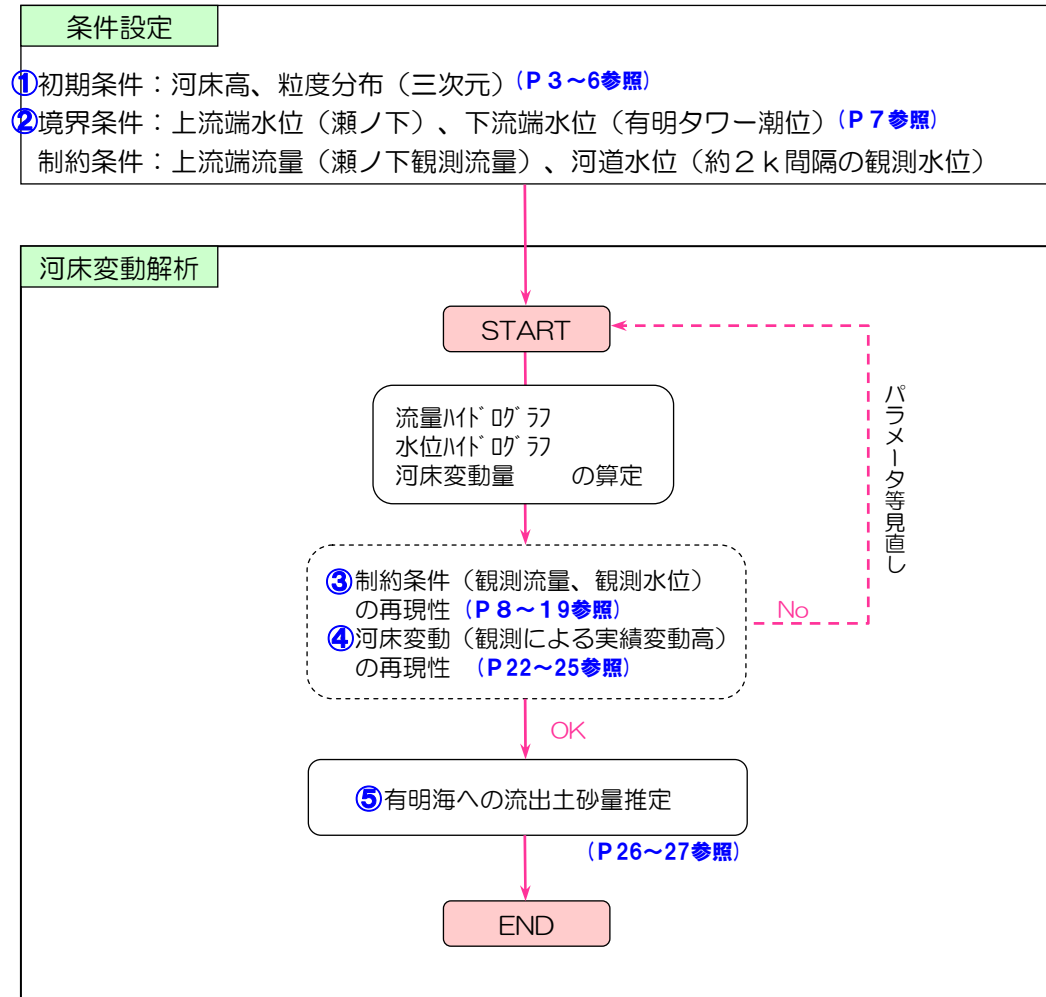
[3] 流出土砂量の推定

- ・[2]の解析結果から得られる河口部での土砂移動量を累加し、洪水中の海域への流出土砂量を算定する。



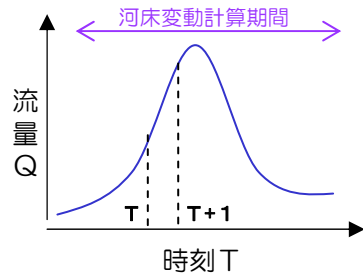
筑後川から有明海への
土砂供給量の推定

■検討フロー

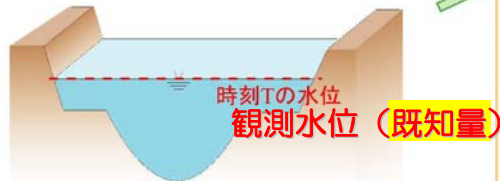


河床変動解析の基本的な考え方

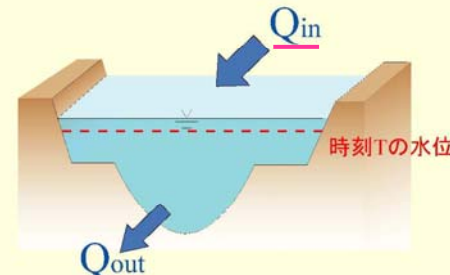
- 【1】 各断面での水位変化は、水（流量 Q ）と土砂（流砂量 qB ）の出入りにより生じる。
- 【2】 計算水位が観測値を再現できるように、流量 Q と流砂量 qB をトライアルしながら求める。
- 【3】 河口部での各時刻の流砂量 qB を累加し、洪水中の有明海への土砂流出量を算定する。



時刻 T

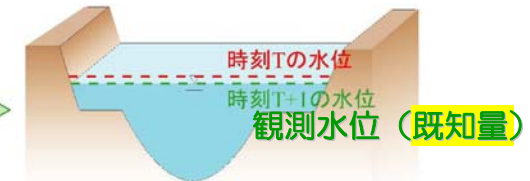


水の流出入に伴う水位変動

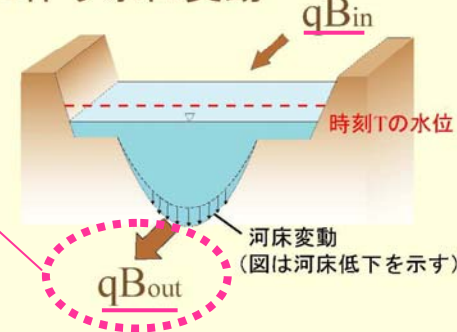


→ : 水の流出入
→ : 土砂の流出入

時刻 $T+1$



土砂の流出入（河床変動）に伴う水位変動



【2】

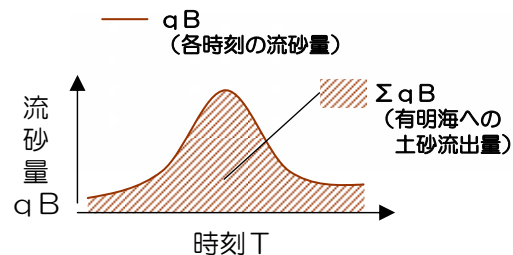
計算水位が観測水位を再現できるように、

- ・ 水の流出入量《流量 Q 》と
- ・ 土砂の流出入量《流砂量 qB 》

を、各時刻毎にトライアルしながら求める。

【3】

洪水中（計算期間中）の各時刻の河口での《流砂量 qB 》を累加《 ΣqB 》し、有明海への土砂流出量を算定する。



河床変動解析モデルの概要（1）

モデルの概要

対象区間 : 筑後川26.2地点～有明海（有明タワー）
対象洪水 : 2009年（平成21年）洪水（下図参照）
水理解析 : 一般座標系による非定常準三次元流解析
河床変動解析 : 平面二次元河床変動解析

- ・ 芦田・道上の掃流砂式により流砂量を算出。但し、細粒分0.010～0.030mmは、移動後は浮遊状態で移送され、底面へ沈降堆積しないものとする。
- ・ 流砂量式（芦田・道上式）の筑後川への適合性を考えて、感度分析的に解析を実施し、流出土砂量は流砂量を1～3倍にして幅を持たせて推定した。

河道メッシュモデル : 2009年調査の洪水前測量結果を基に、縦断方向50m、横断方向20～30分割による河道メッシュモデル

上流端境界条件 : 瀬ノ下観測所実績水位

下流端境界条件 : 有明タワー実績潮位

上流端給砂条件 : 平衡給砂

粒度分布モデル : 2009年洪水のコアサンプル調査結果より鉛直方向の三次元粒度分布を考慮し推定

設定粒径区分 : 3.4, 1.4, 0.6, 0.3, 0.15, 0.075, 0.03, 0.01mmの8区分に設定。

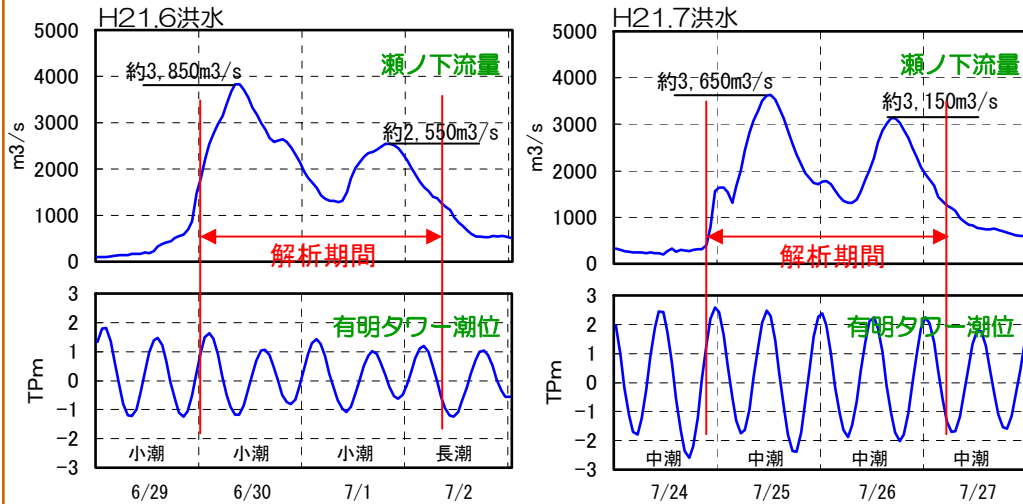
※初期河床高（河道形状）はH21年洪水前の測量結果、有明海の形状はH14年測量結果に基づき設定した。

※河床材料はH21年のコアサンプル調査結果に基づき設定した。

河床変動解析モデルの概要（2）

解析対象期間：2009年（H21）洪水時

※流量は速報値



解析は2009年6月洪水（約2.5日間）、7月洪水（約2.5日間）の計約5日間を対象に実施した。※瀬ノ下地点流量が概ね1,000m³/s以上の期間

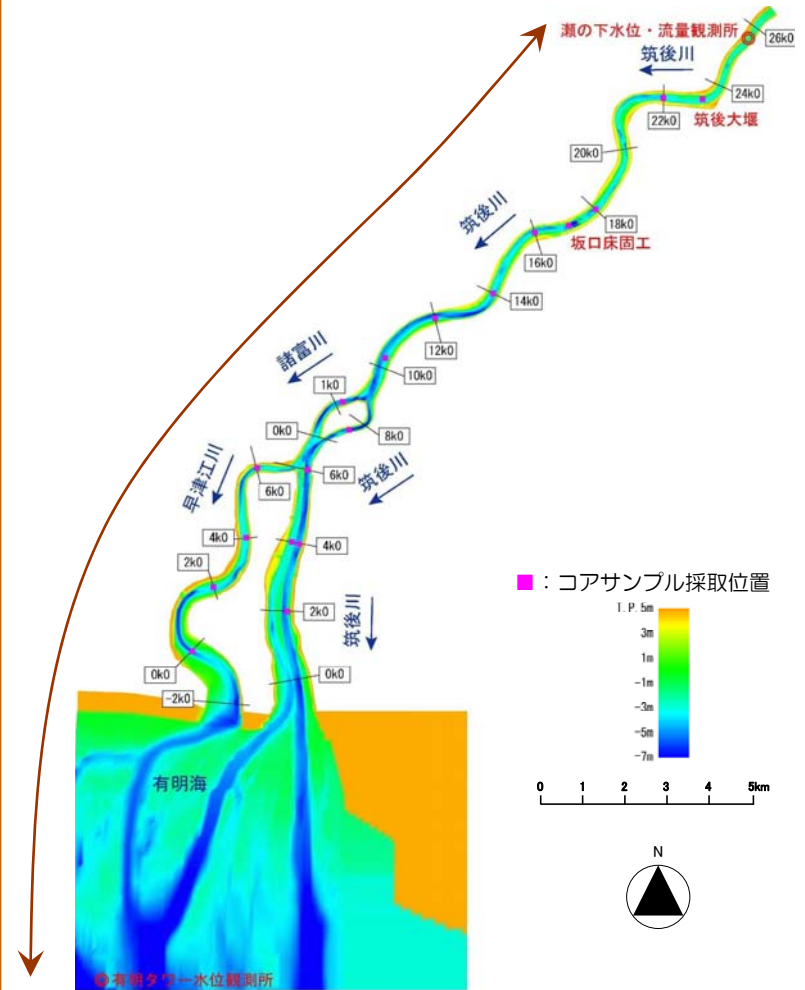
流砂量の推定について

芦田・道上の流砂量式により流砂量を推定。

$$\frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 17\tau_{*e}^{1.5} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*}\right)$$

流砂量式（芦田・道上式）については、現地河川で流砂量を測定して作成された式ではないため、筑後川への適合性を考えて感度分析的に解析を実施し、流出土砂量は流砂量を1～3倍して幅をもたせて推定した。

解析対象範囲：26.0k～有明タワー



検討対象範囲図

①初期条件の設定：粒度分布の設定

粒度分布の設定

○筑後川の特性を踏まえ、解析には以下の8区分の粒径を設定。

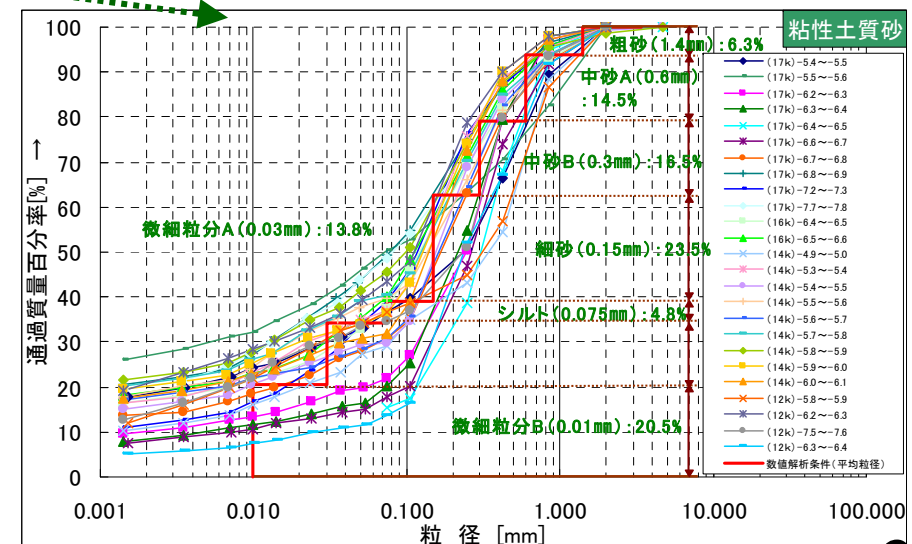
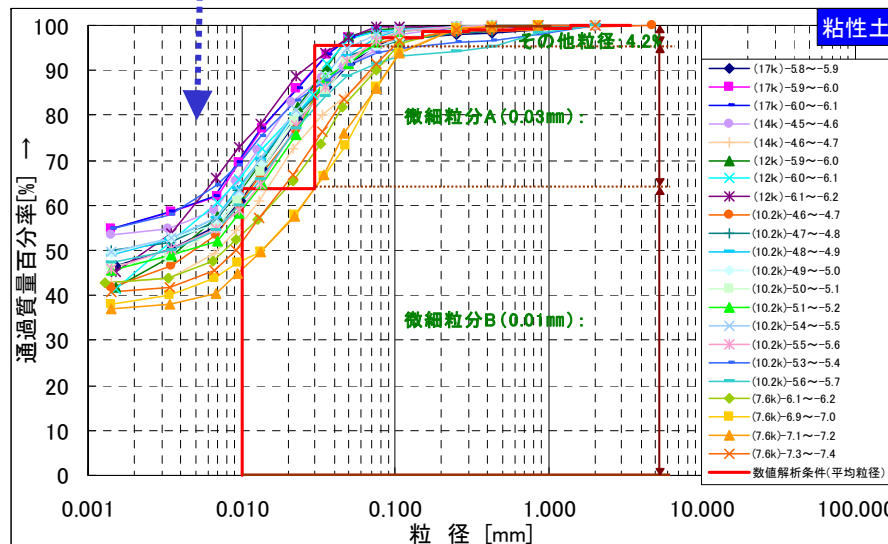
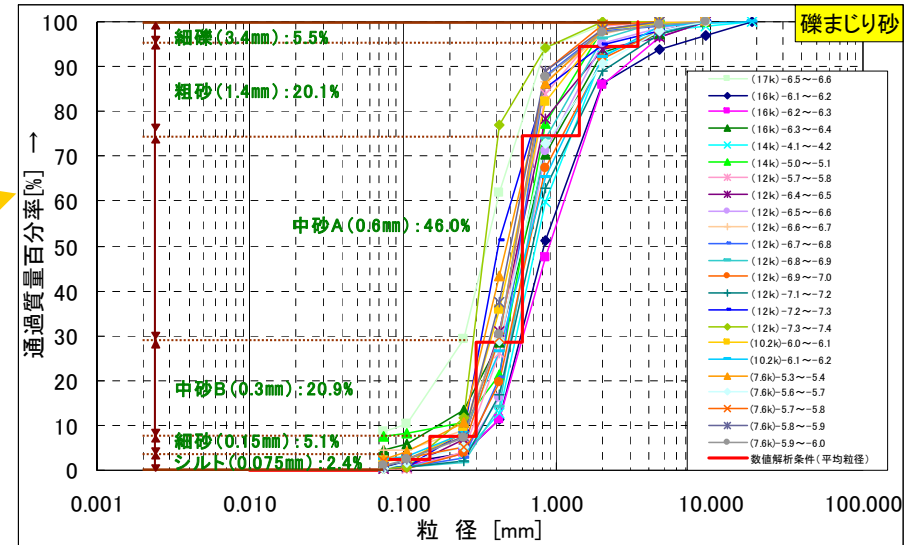
設定粒径：3.4, 1.4, 0.6, 0.3, 0.15, 0.075, 0.03, 0.01mmの8区分

○解析上必要と考えられる下表の**堆積土層（8層）**に分類し、筑後川河床材料の互層構造を表現。

表 堆積土層分類

No.	数値解析上の土層分類	概ねの粒径	備考
1	砂質礫	1.4~3.4mm 以上	砂質分を含む礫層
2	礫質砂	0.6~3.4mm	礫質分を含む砂層
3	粘性土質礫質砂	0.075~3.4mm	粘性土及び礫質分を含む砂層
4	礫まじり砂	0.3~1.4mm	礫質分を若干含む砂層
5	砂	0.3~0.6mm	砂質分が卓越する層
6	粘性土質砂	0.01~0.15mm	粘性土分を含む砂層
7	砂質粘性土	0.01~0.075mm	砂質分を含む粘性土層
8	粘性土	0.01mm 以下~0.075mm	粘性土が卓越する層

8層に分類



筑後川本川17.4k~6.0k区間における土層別粒径加積曲線

①初期条件の設定：三次元粒度分布モデルの構築（1）

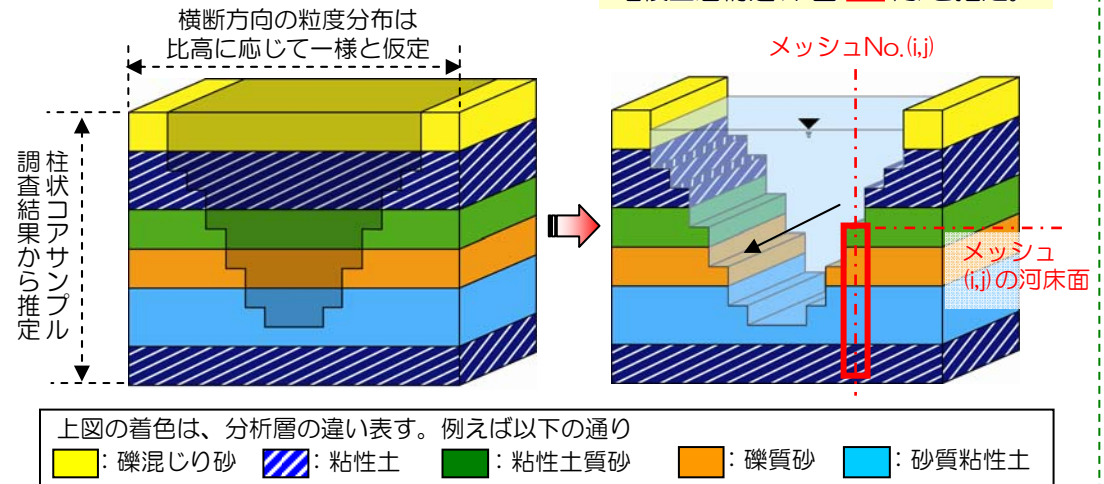
横断方向・深さ方向の土層構造の設定

○横断方向の粒度分布は比高に応じて一様であると仮定し、各メッシュ毎に河床高以下の堆積土層構造を設定。（右図参照）

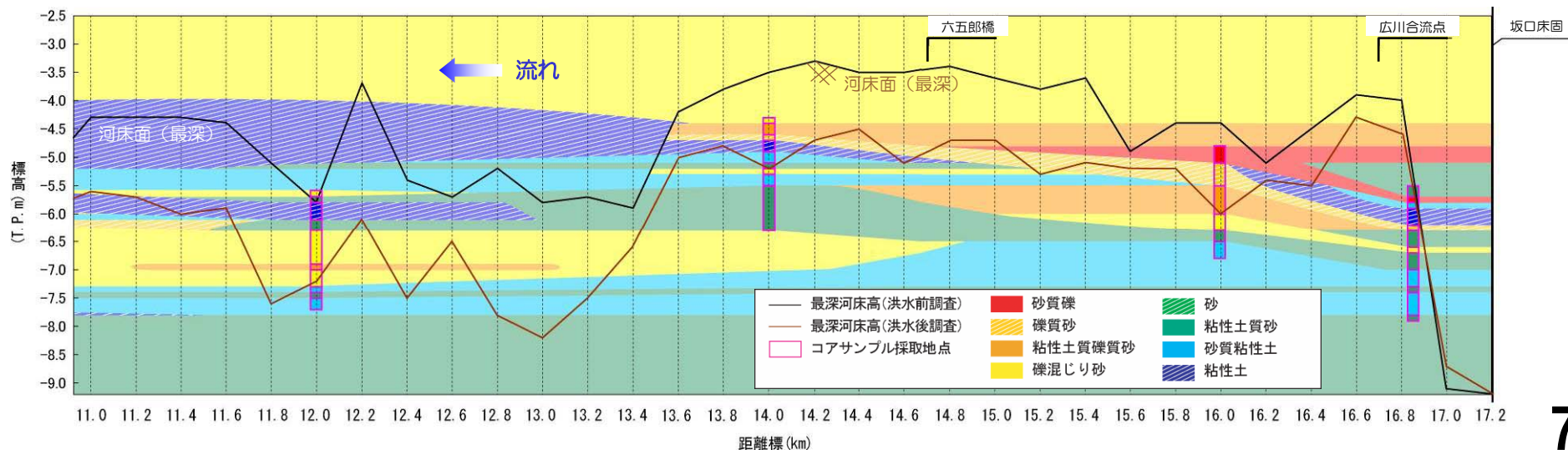
縦断方向の土層構造の設定

○H21年度の柱状コアサンプル分析結果から、縦断方向の堆積土層構造を設定。（下図参照）

土層構造設定イメージ



縦断方向の土層構造設定図 (例：筑後川11.0k~17.2k)

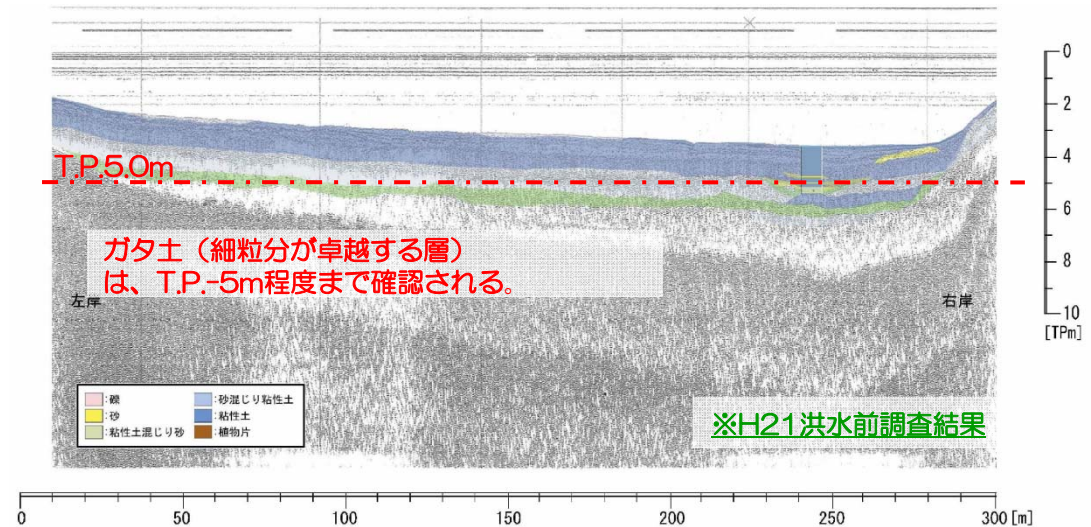


①初期条件の設定：三次元粒度分布モデルの構築（2）

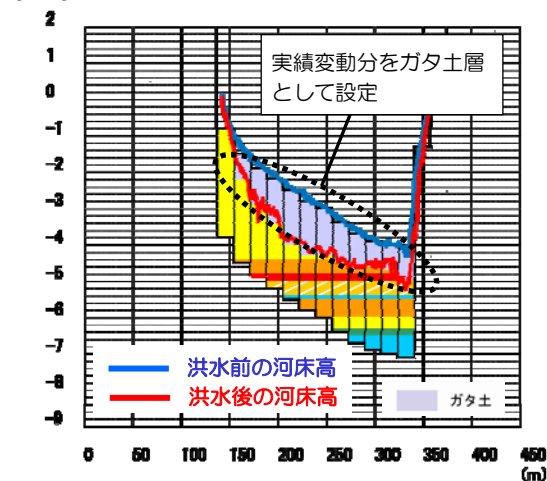
ガタ土堆積層の設定

- 早津江川分派点(6.0k)～坂口床固工(17.2k)までの区間は出水前のガタ土の堆積が顕著。
- 洪水前の底質調査からも、ガタ土が厚く堆積していることを確認。
- 当該区間の未サンプリング範囲については、実績河床変動分（洪水前後の河床形状変化）の層でガタ土堆積が予測される高さの層をガタ土層として設定する。

底質探査（10k2地点）結果

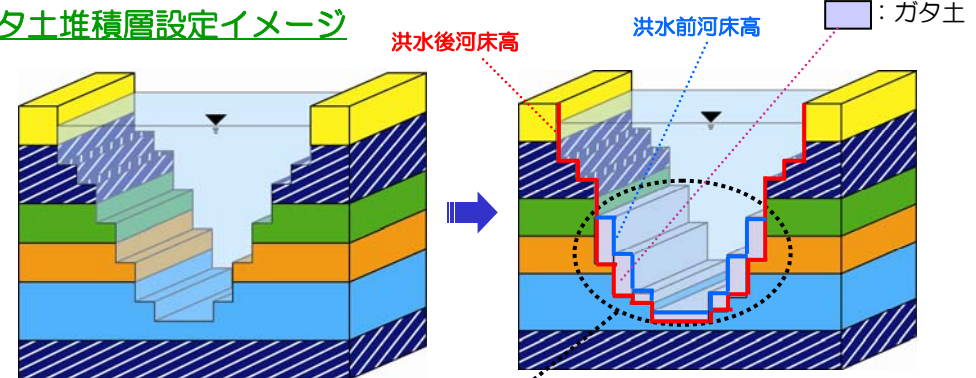


例：15k8地点堆積土層構造設定図



— 最深河床高(洪水前調査)	礫質砂	粘性土質砂
— 最深河床高(洪水後調査)	粘性土質礫質砂	砂質粘性土
— 河道メッシュ標高	礫混じり砂	粘性土
■ 砂質礫	砂	ガタ土

ガタ土堆積層設定イメージ



実績河床変動分をガタ土層として設定する。

上図の着色は、分析層の違いを表す。例えば以下の通り

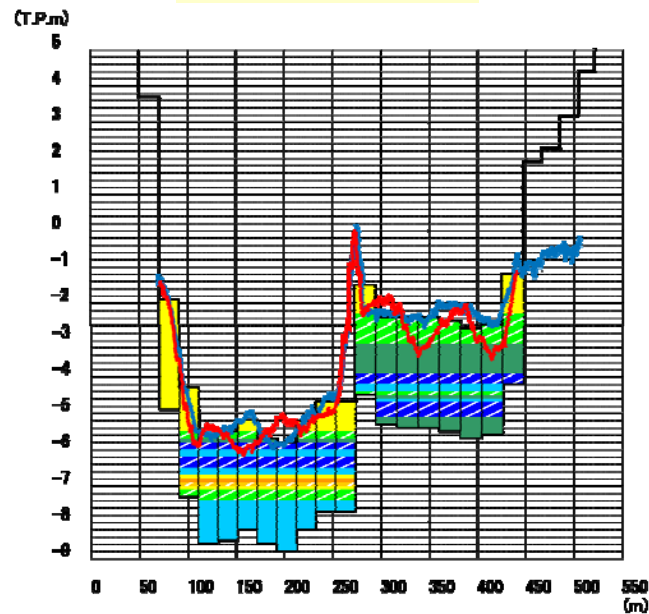
■ 礫混じり砂	■ 粘性土	■ ガタ土	■ 粘性土質砂	■ 礫質砂	■ 砂質粘性土
---------	-------	-------	---------	-------	---------

①初期条件の設定：三次元粒度分布モデルの構築（3）

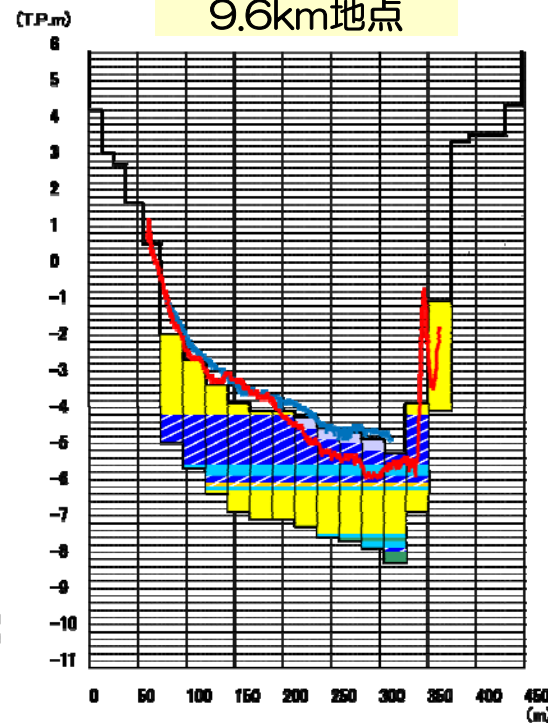
三次元堆積構造の設定結果

以上の考え方により設定した堆積構造の例を示すと以下のとおり。

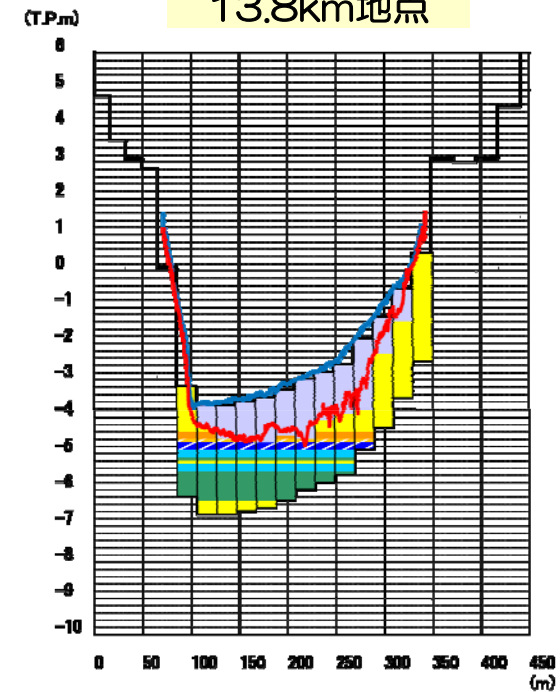
筑後川
4.6km地点



筑後川
9.6km地点



筑後川
13.8km地点

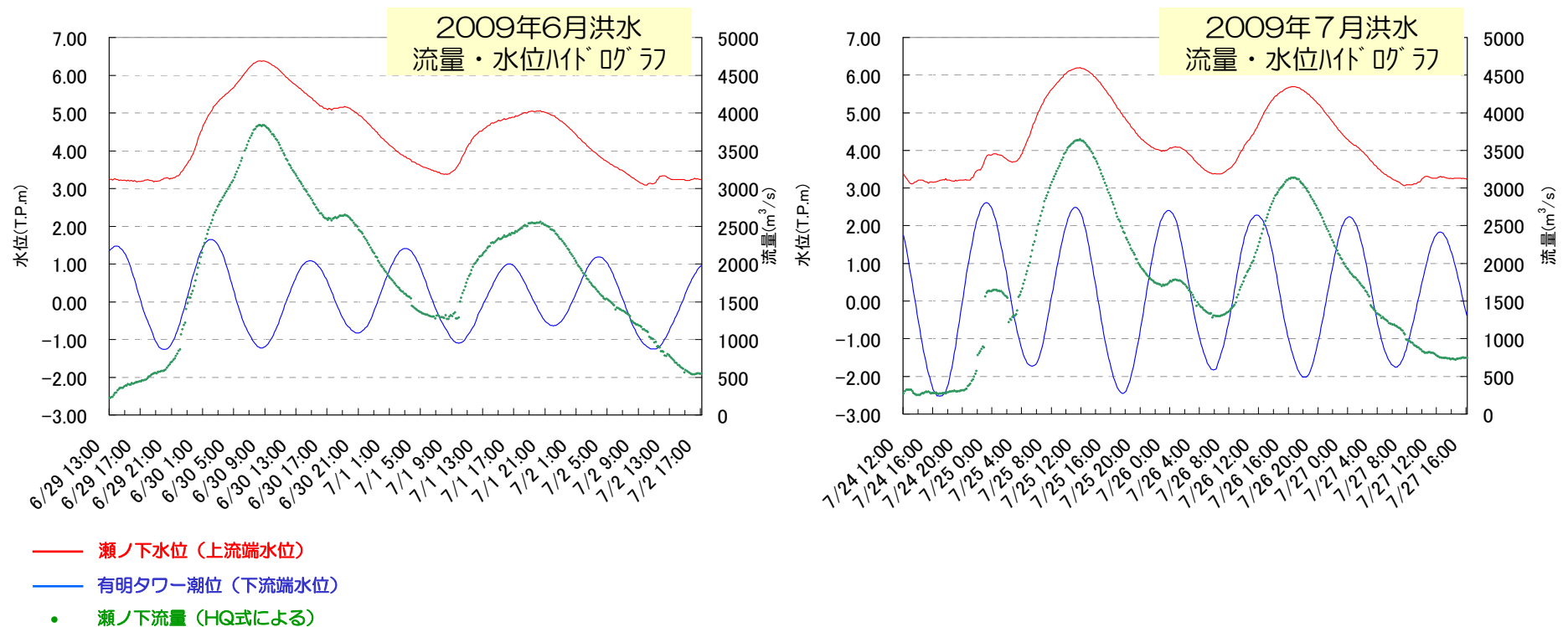


②境界条件の設定（対象洪水と境界条件）

対象洪水と境界条件

平均年最大流量（約3,000m³/s）以上のピーク流量が発生した2009年6月洪水及び2009年7月洪水を対象とした。

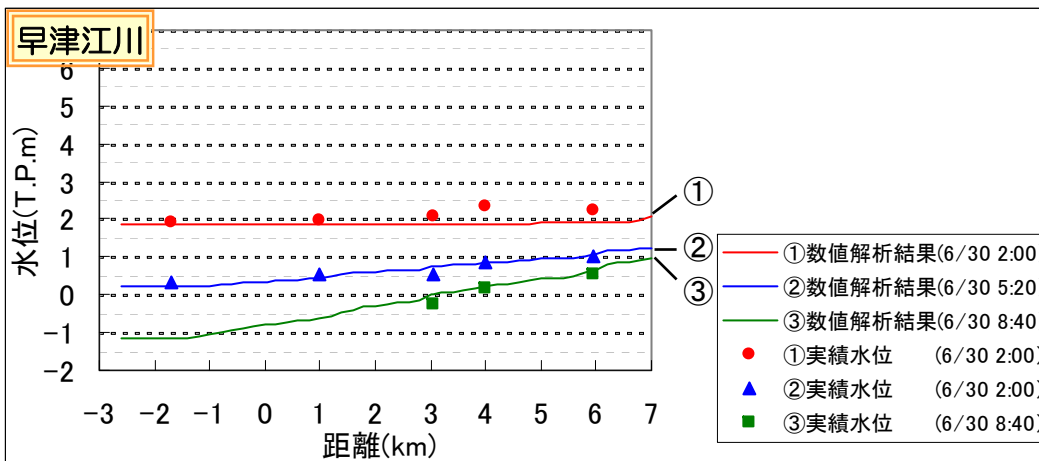
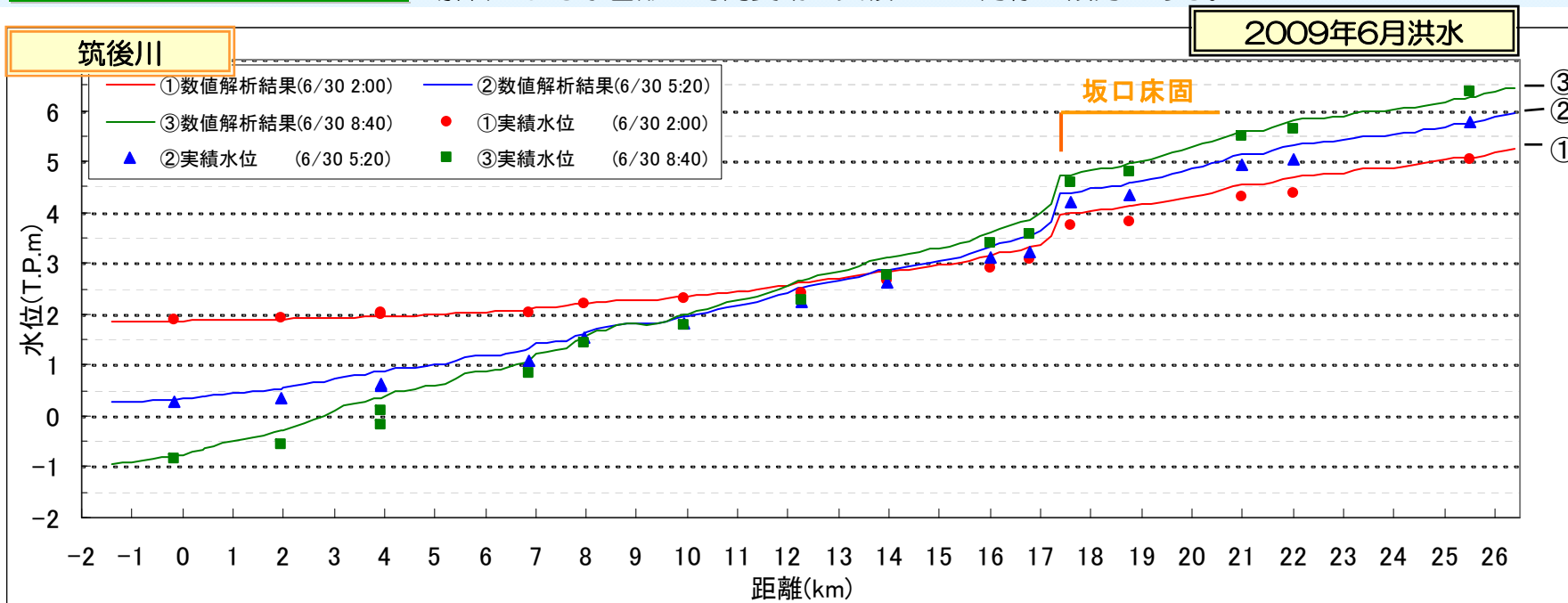
- 対象洪水 : 2009年6月洪水（瀬ノ下ピーク流量（H-Q換算流量）：3,840m³/s）
 : 2009年7月洪水（瀬ノ下ピーク流量（H-Q換算流量）：3,650m³/s）
- 上流端境界条件 : 瀬ノ下観測所の実績水位
- 下流端境界条件 : 有明タワー潮位



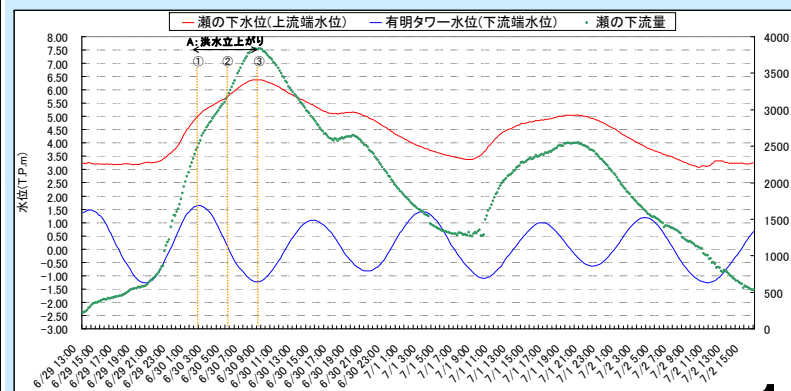
2009年6月洪水上下流端境界条件水位・流量ハイドログラフ

③観測水位（縦断水位）の再現性 （1：2009年6月洪水、洪水ー山目立ち上がり）

解析結果（縦断水位の再現性）：解析による水面形の時間変動は実績とほぼ同様の傾向にある。

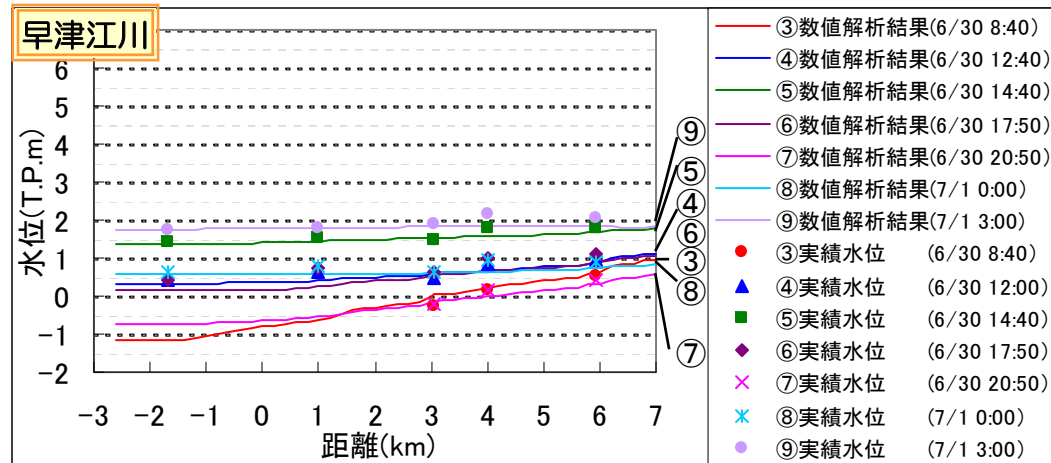
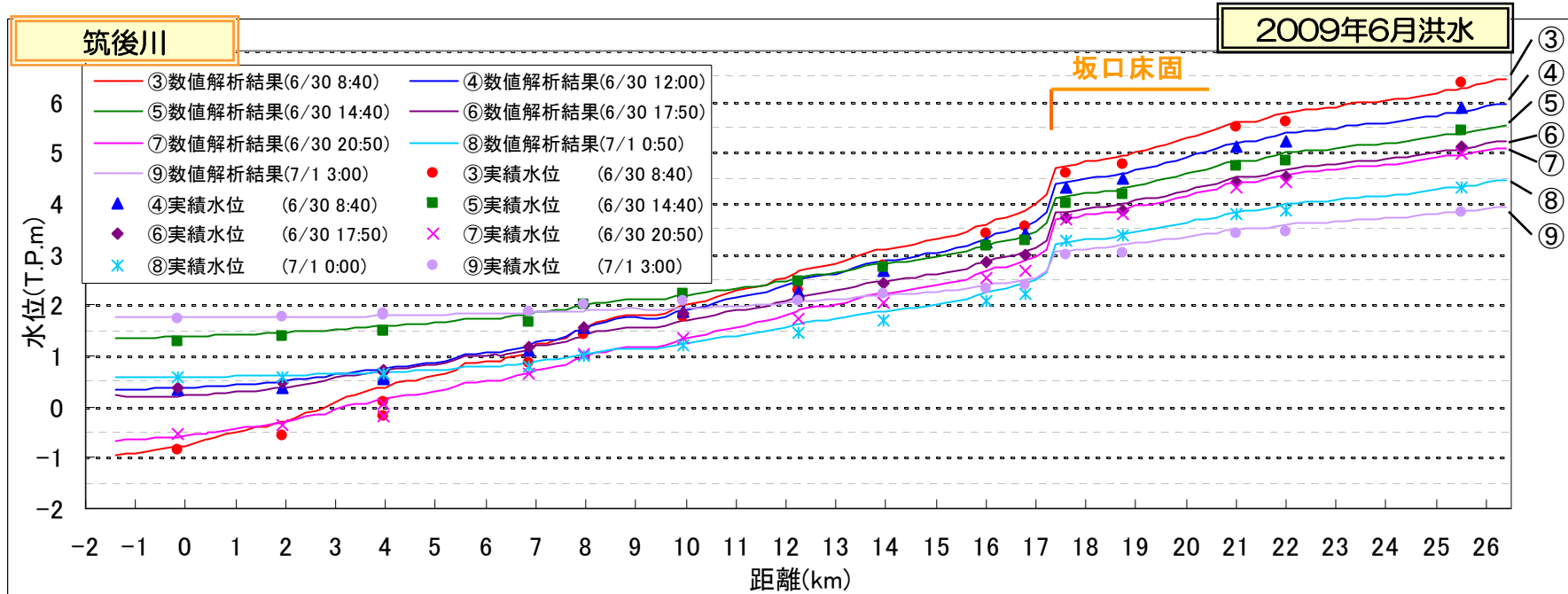


水位縦断図対象時間

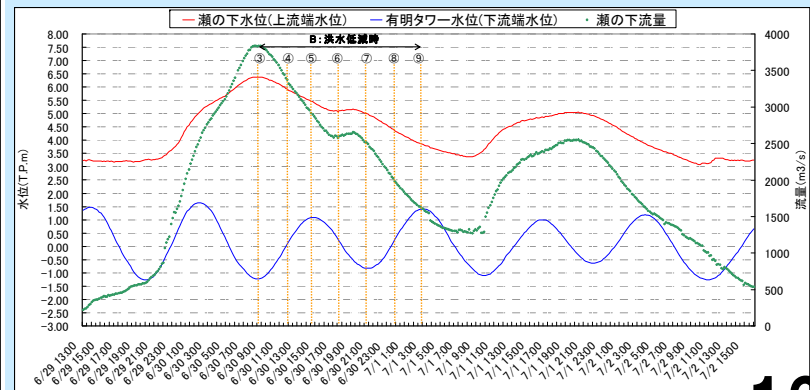


③観測水位（縦断水位）の再現性 （2：2009年6月洪水、洪水一山目低減時）

解析結果（縦断水位の再現性）：洪水立ち上がり時と同じく、解析による水面形の時間変動は実績とほぼ同様の傾向にある。

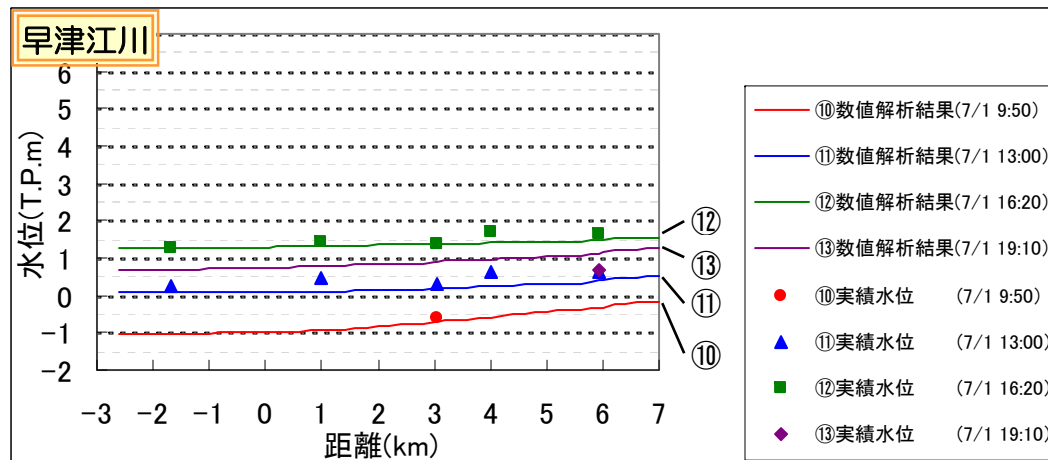
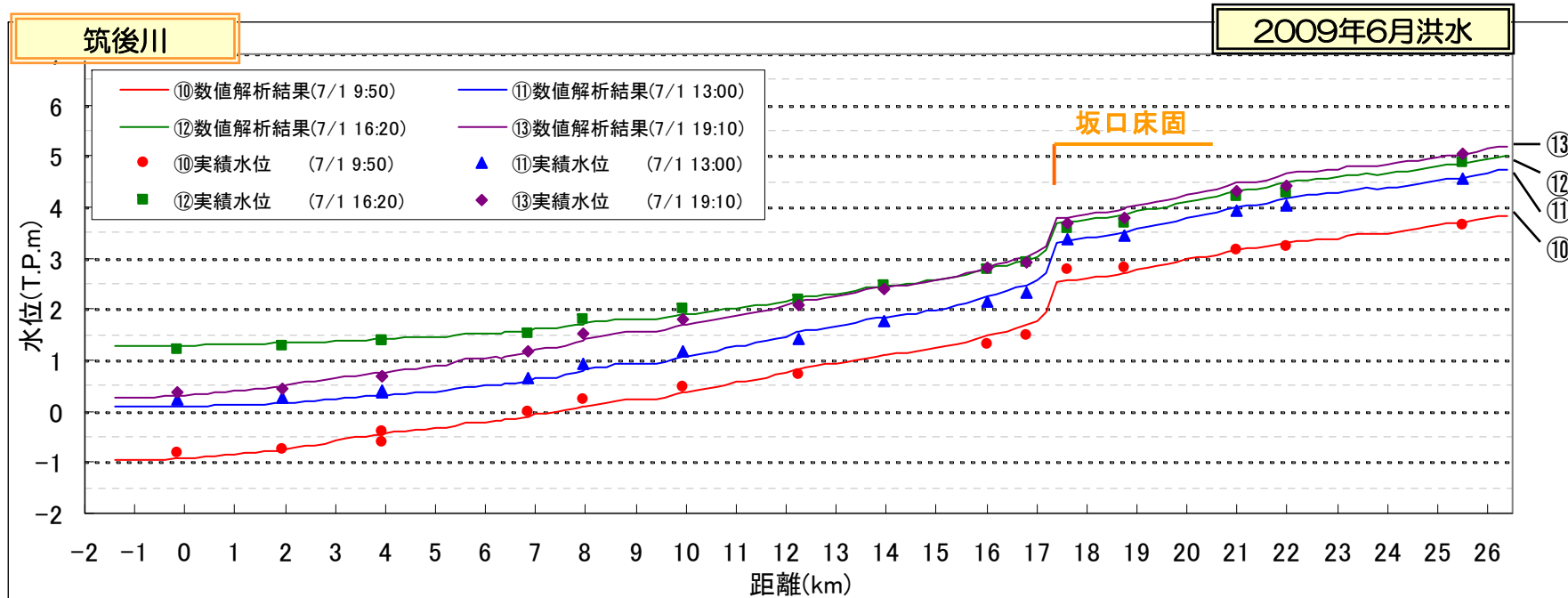


水位縦断図対象時間

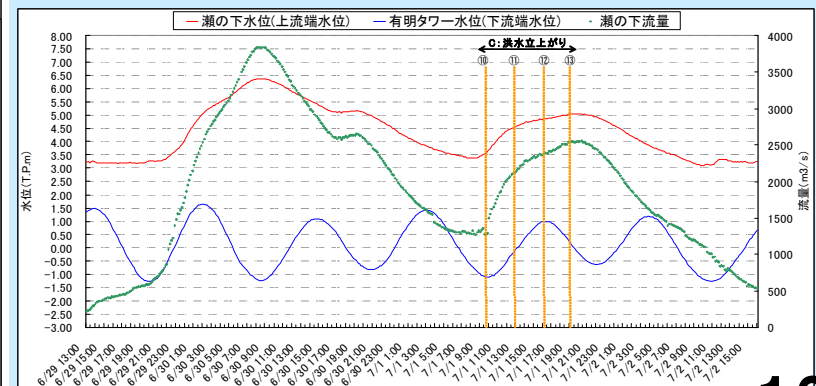


③観測水位（縦断水位）の再現性 （3：2009年6月洪水、洪水二山目立ち上がり）

解析結果（観測水位の再現性）：解析による水面形の時間変動は実績とほぼ同様の傾向にある。



水位縦断図対象時間

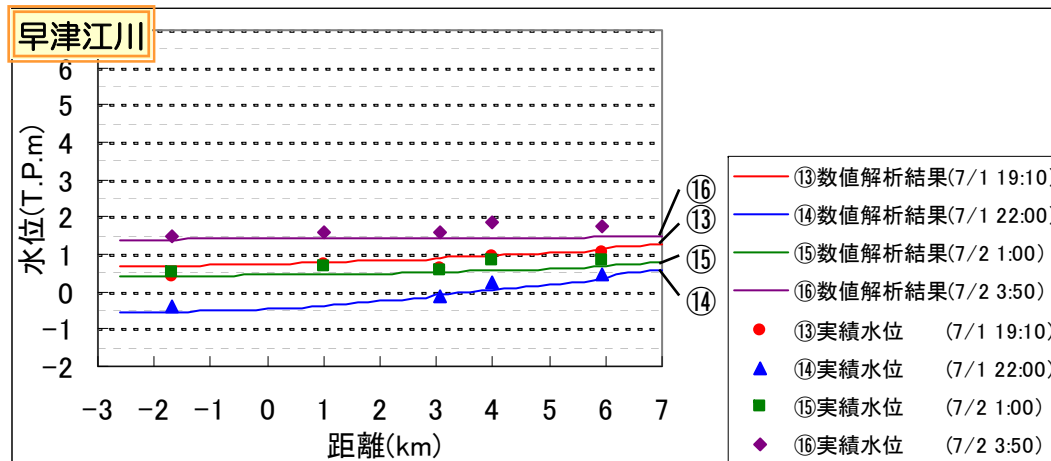
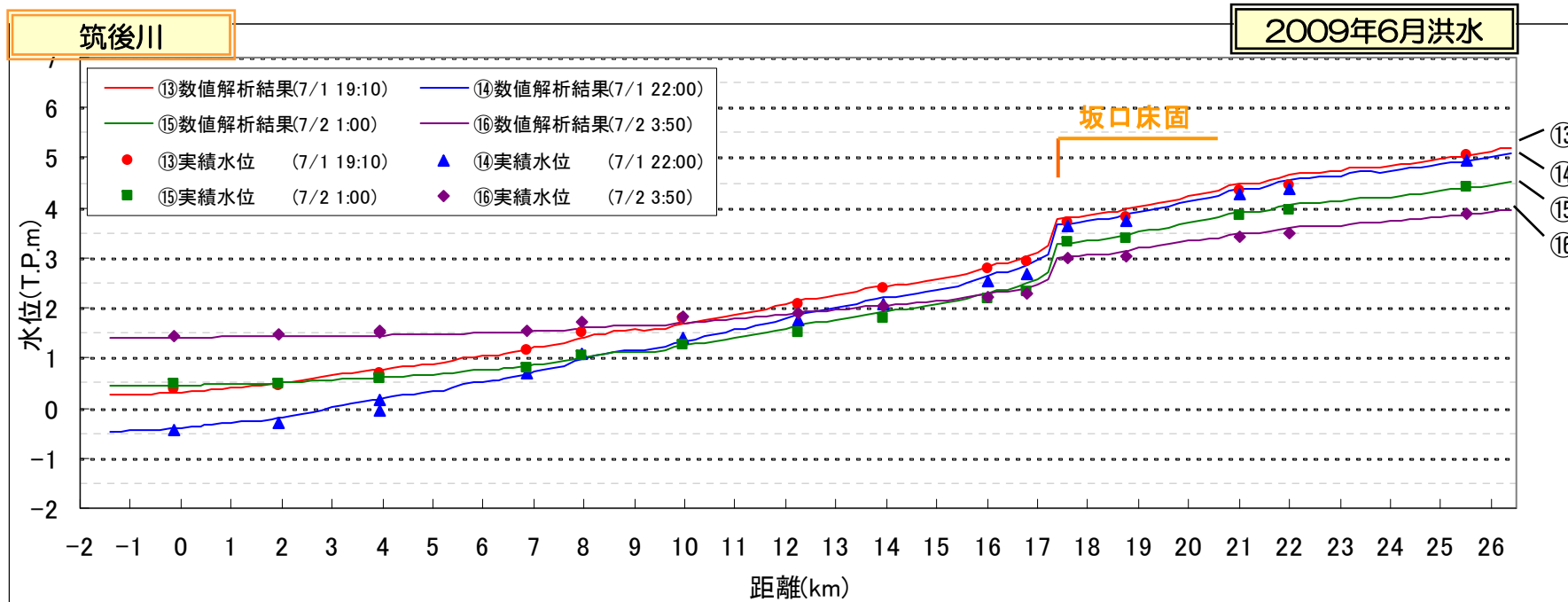


③観測水位（縦断水位）の再現性

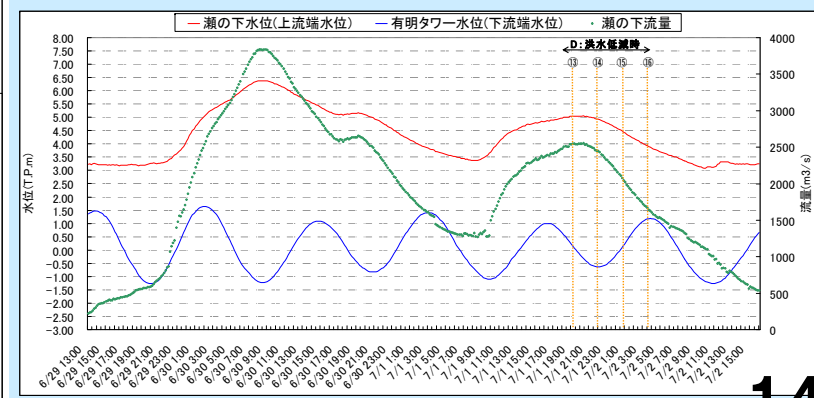
P1の検討フロー③

（4：2009年6月洪水、洪水二山目低減時）

解析結果（観測水位の再現性）：解析による水面形の時間変動は実績とほぼ同様の傾向にある。



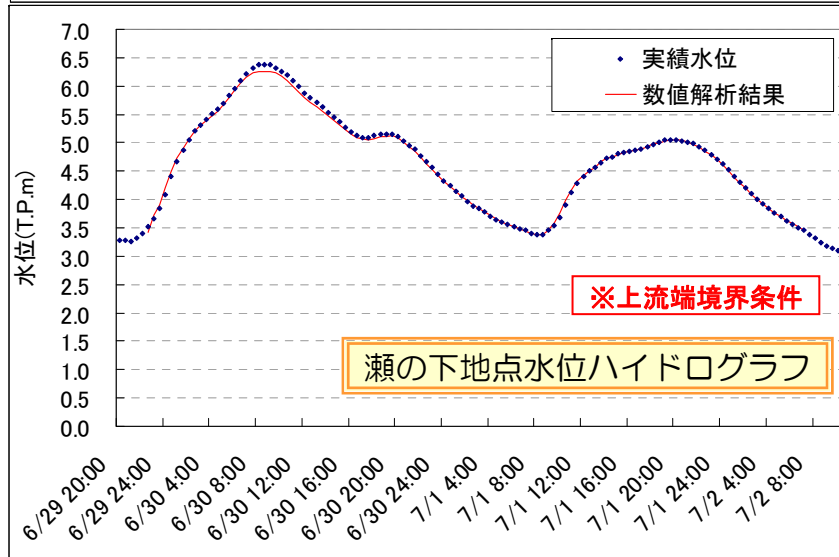
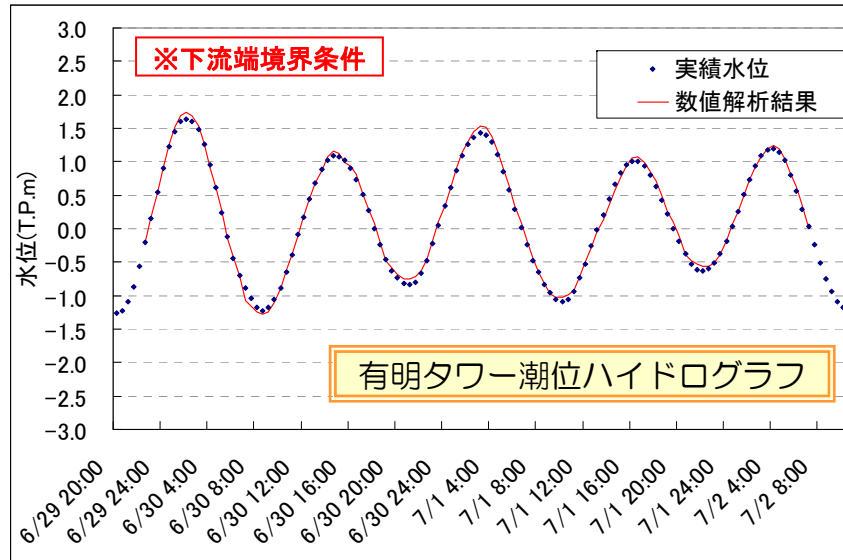
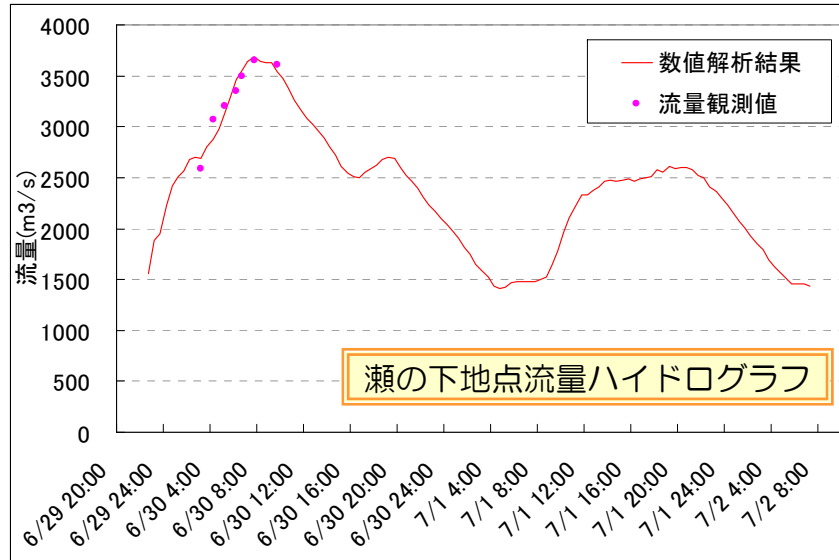
水位縦断面図対象時間



③観測水位（上下流端水位）の再現性 （2009年6月洪水）

P1の検討フロー③

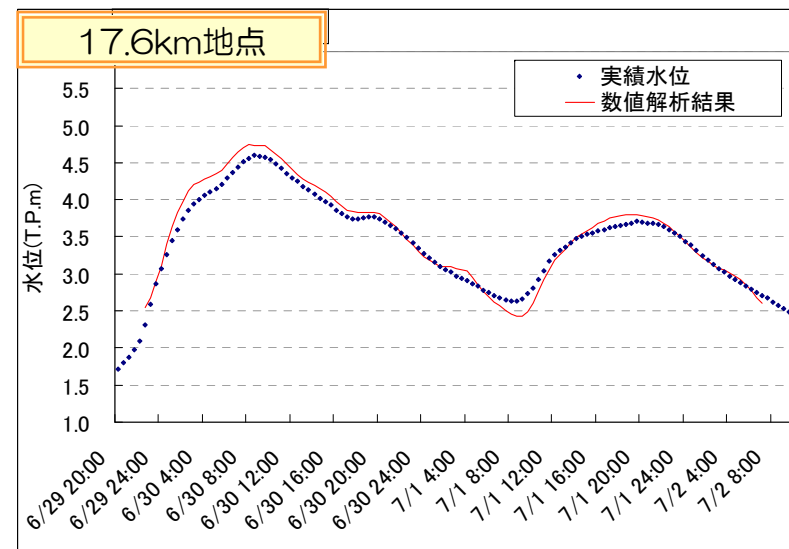
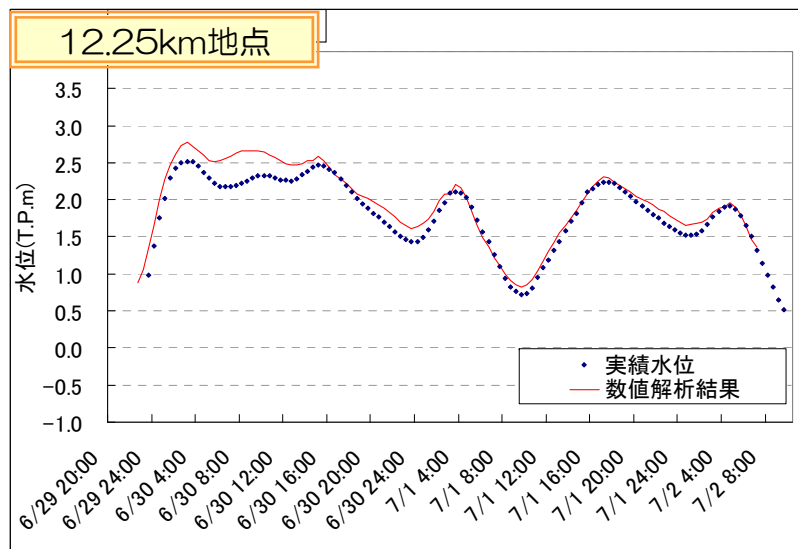
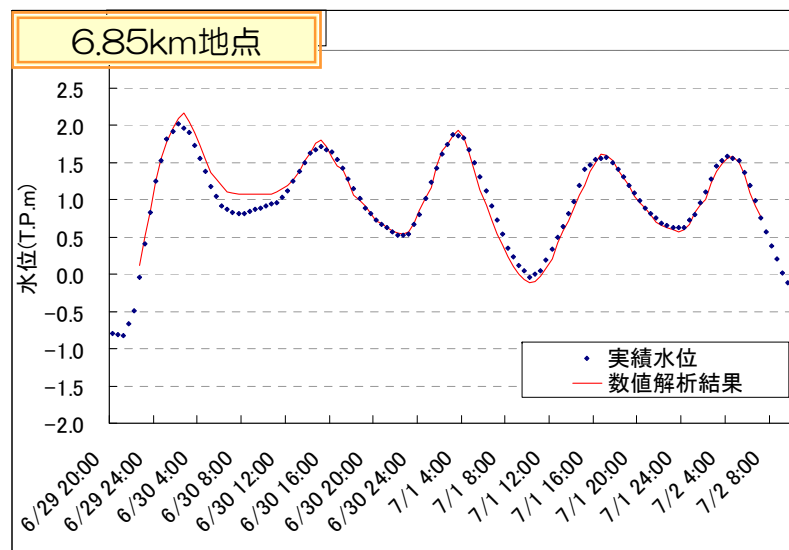
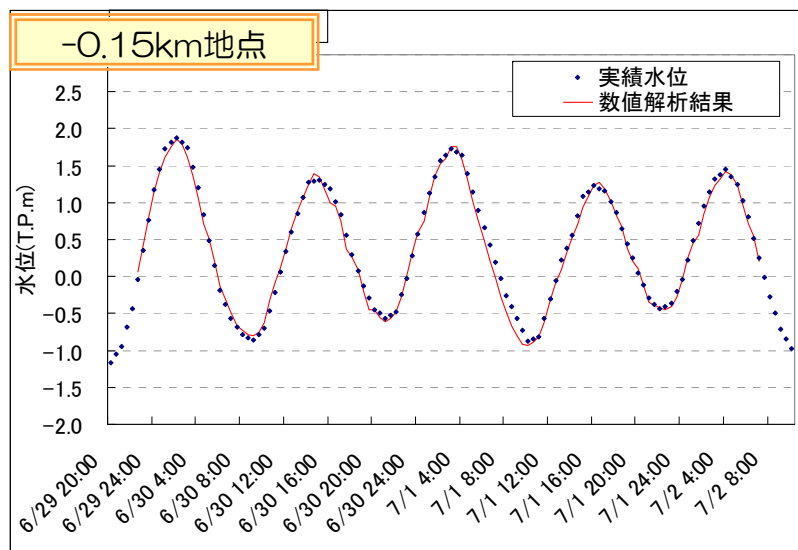
解析結果（上下流端水位と観測流量の再現性）：上下流端共に解析値の時系列変化は実績水位（目標値）を追従している。
ピーク流量の解析値は、流量観測値とほぼ同程度となることを確認。



③観測水位（地点別ハイδροグラフ）の再現性 P.1の検討フロー③

（2009年6月洪水）

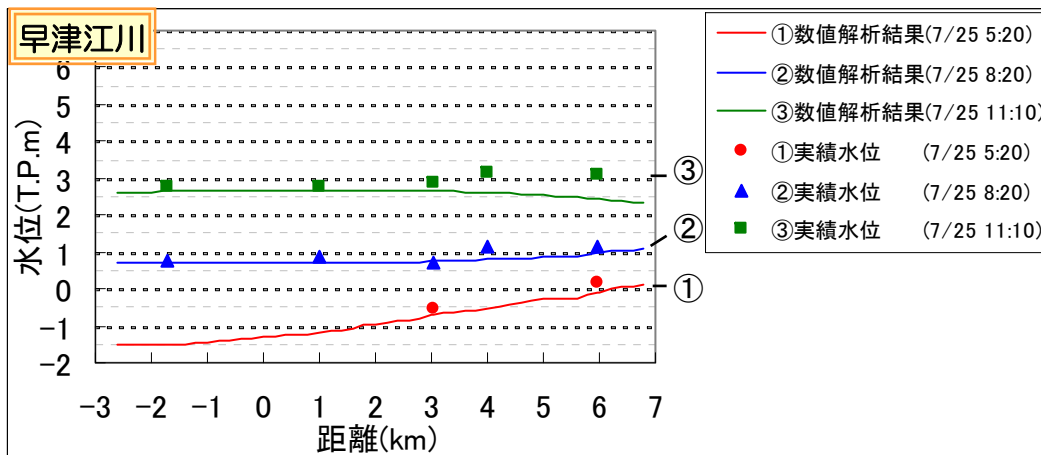
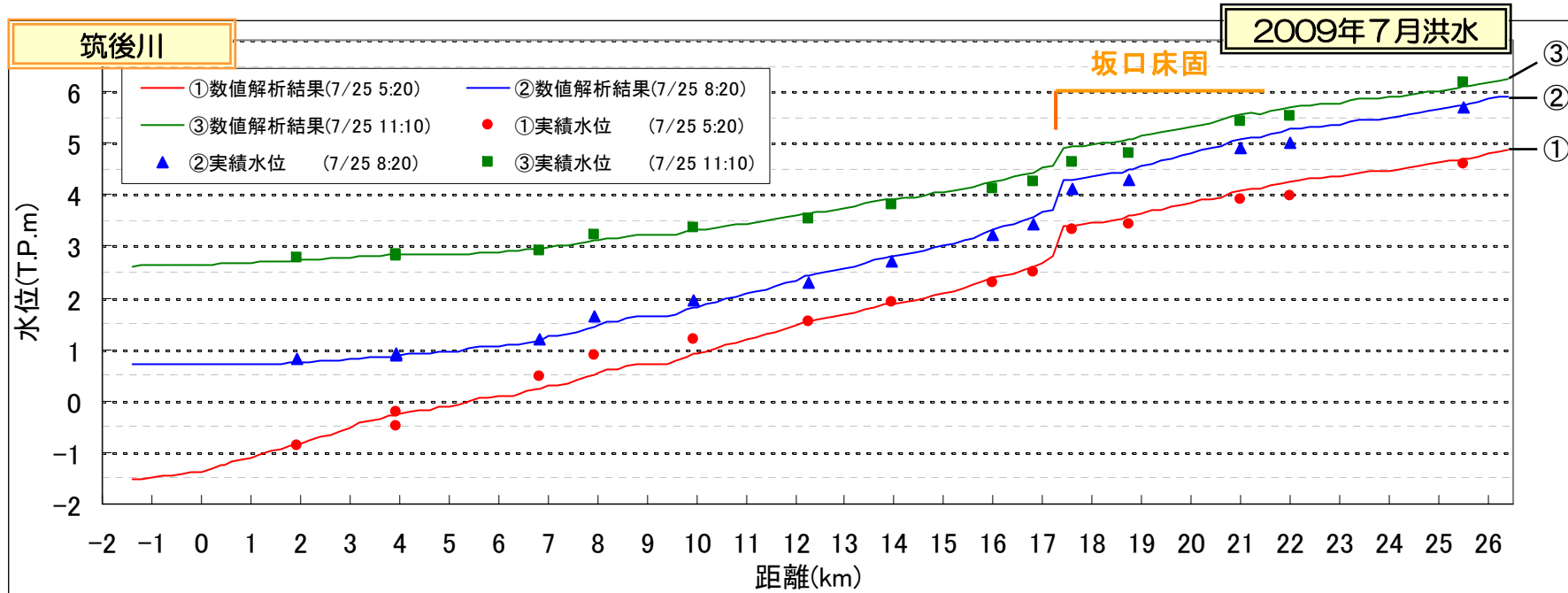
解析結果（地点別水位ハイδροグラフの再現性）：全川の的に水位の観測値と実績値の時間変動は同様の傾向にある。



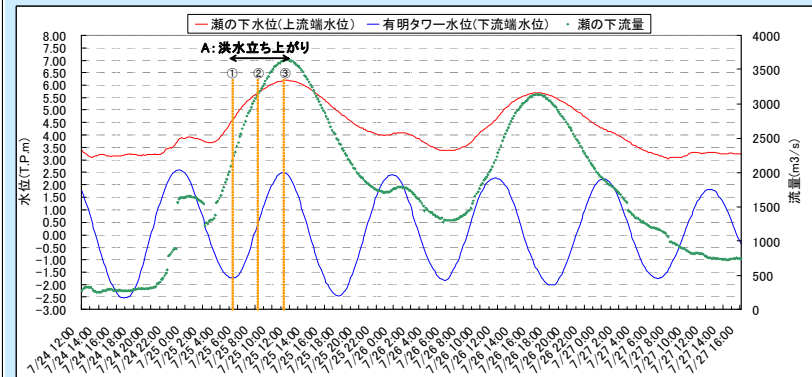
③観測水位（縦断水位）の再現性 （1：2009年7月洪水、洪水一山目立ち上がり）

P1の検討フロー③

解析結果（縦断水位の再現性）：潮位差の激しい2009.7洪水においても解析と実績の水位時間変動は同様の傾向にある。

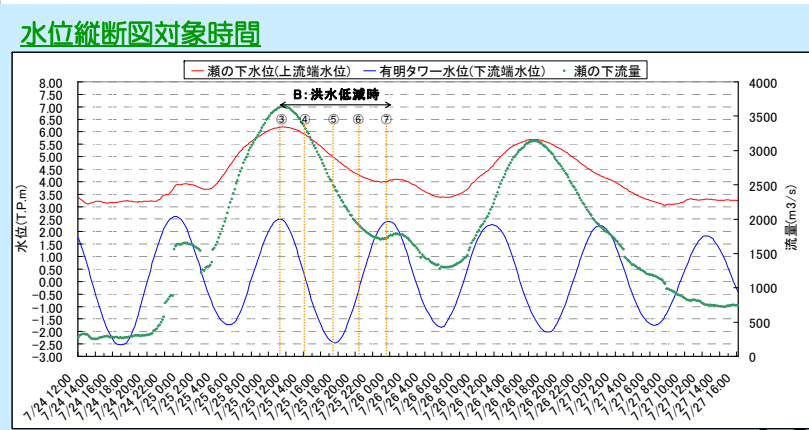
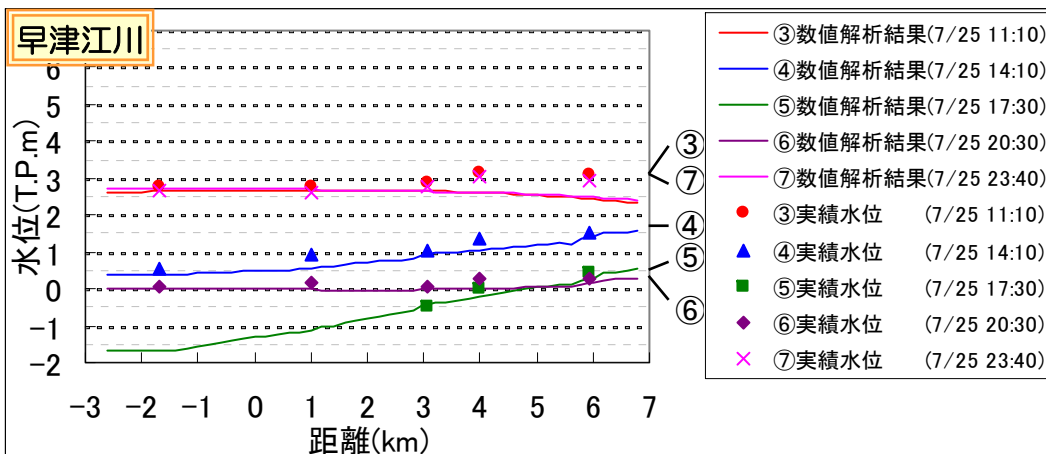
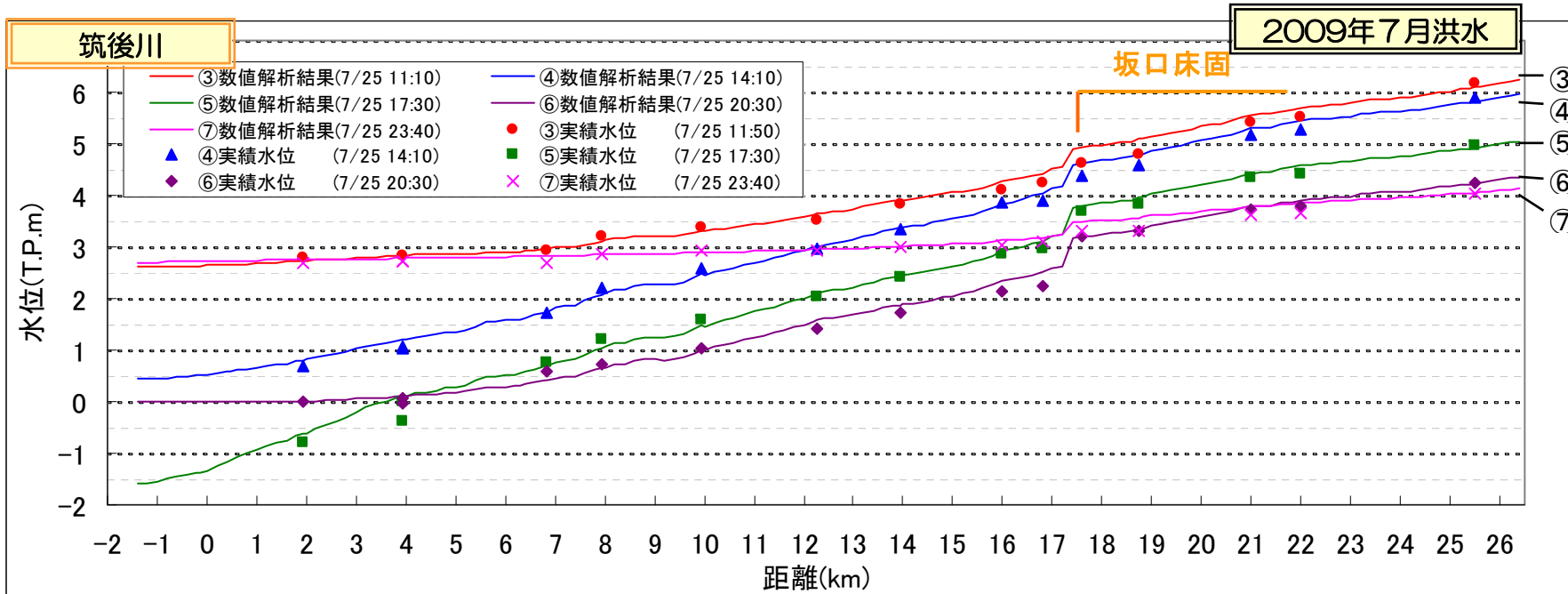


水位縦断図対象時間



③観測水位（縦断水位）の再現性 (2: 2009年7月洪水、洪水一山目低減時)

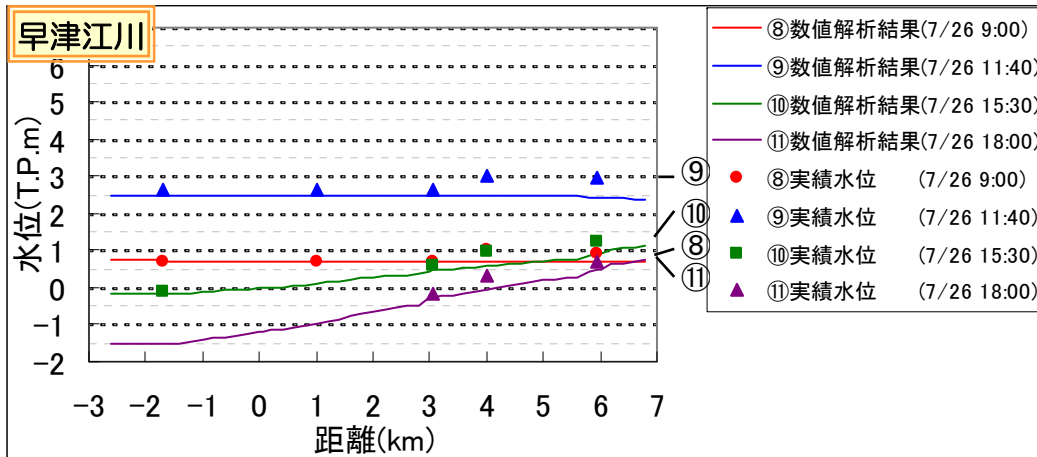
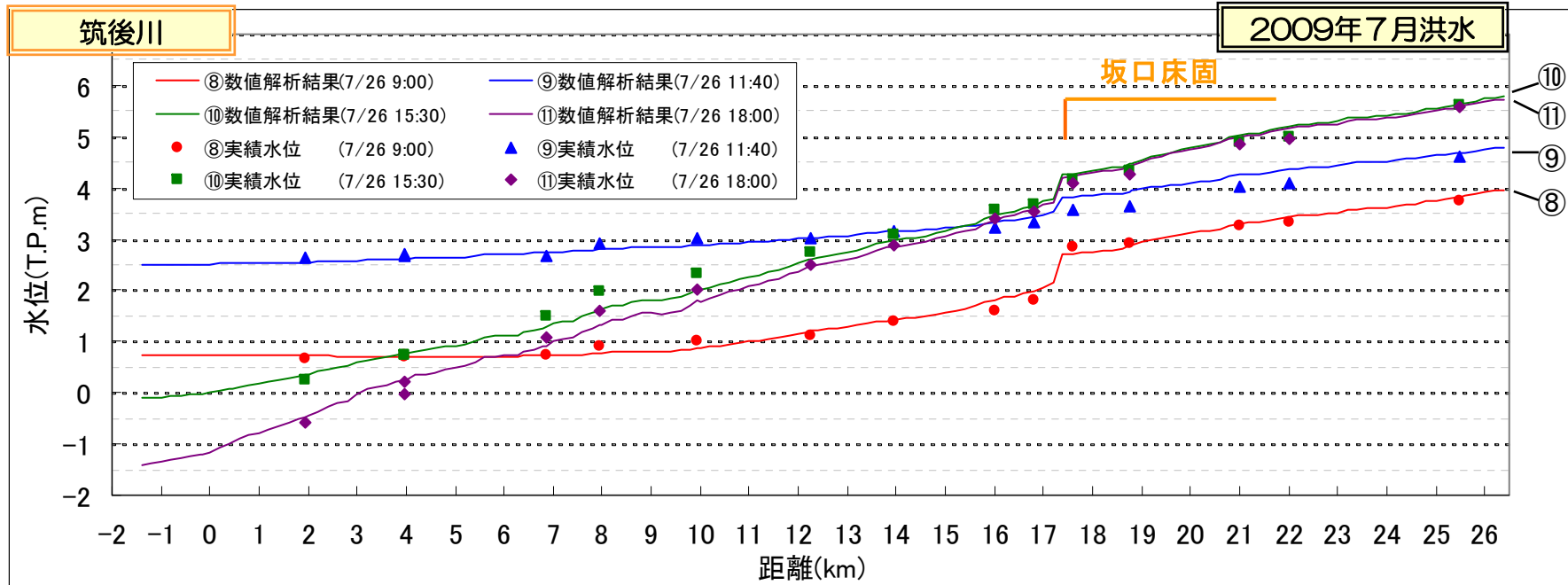
解析結果（縦断水位の再現性）：解析による水面形の時間変動は実績とほぼ同様の傾向にある。



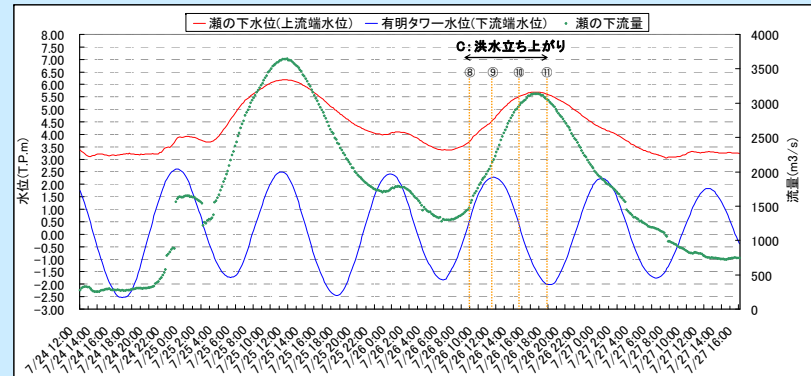
③観測水位（縦断水位）の再現性

(3 : 2009年7月洪水、洪水二山目立ち上がり)

解析結果（観測水位の再現性）：解析による水面形の時間変動は実績とほぼ同様の傾向にある。



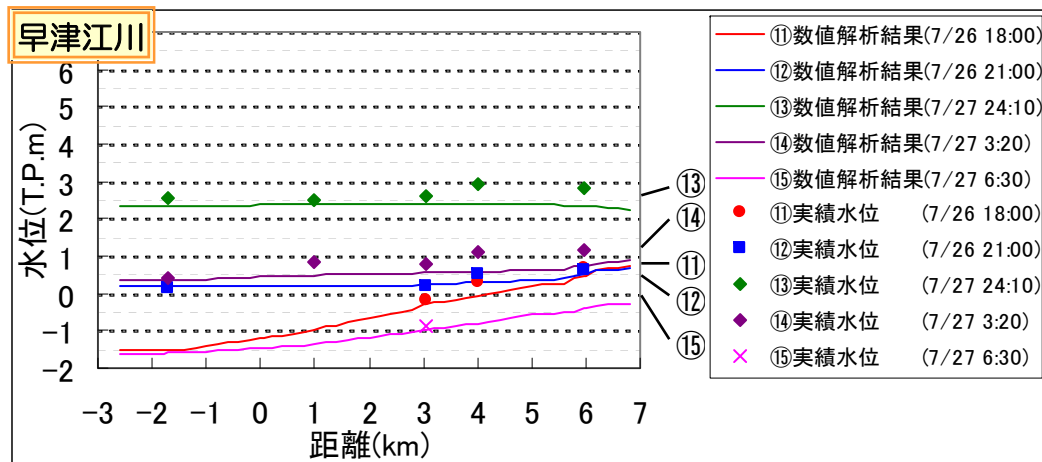
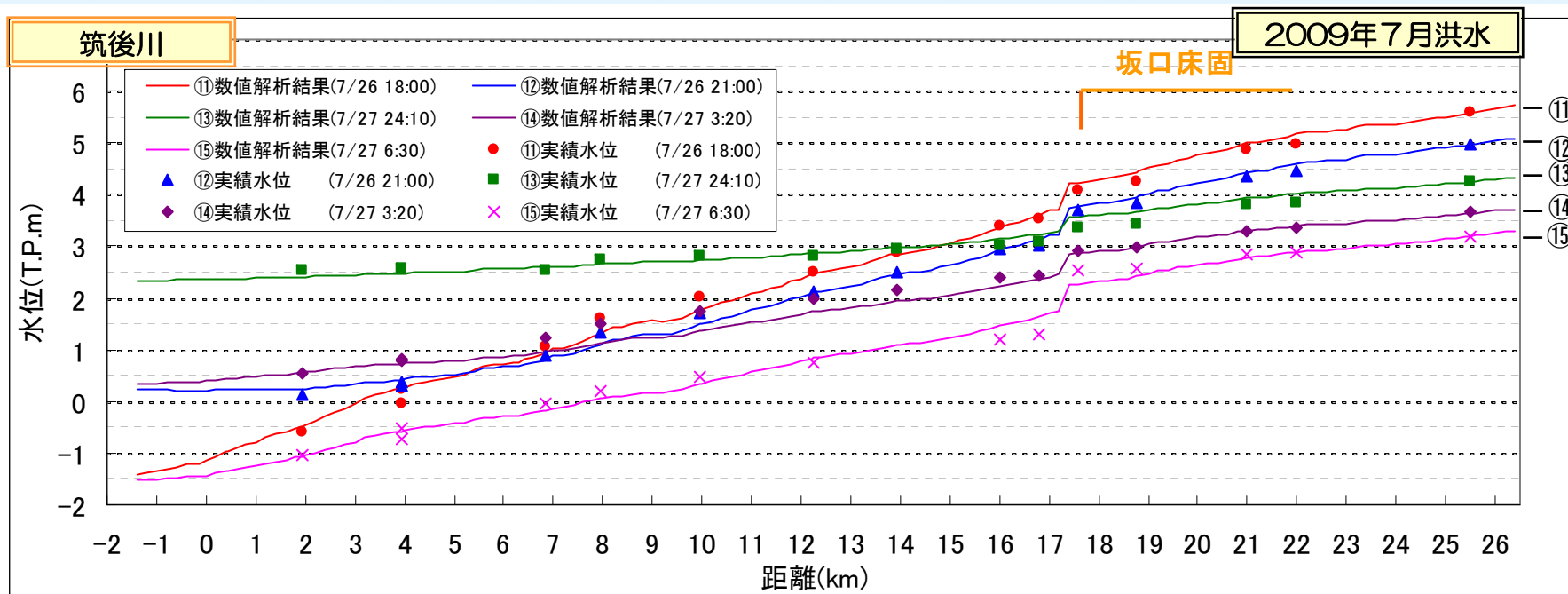
水位縦断図対象時間



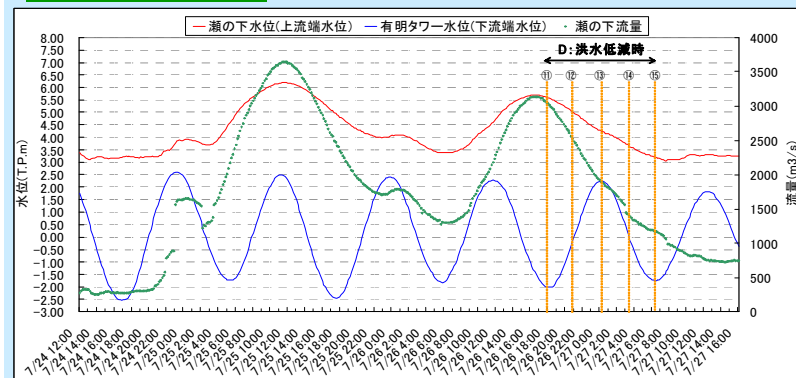
③観測水位（縦断水位）の再現性 （4：2009年7月洪水、洪水二山目低減時）

P1の検討フロー③

解析結果（観測水位の再現性）：解析による水面形の時間変動は実績とほぼ同様の傾向にある。



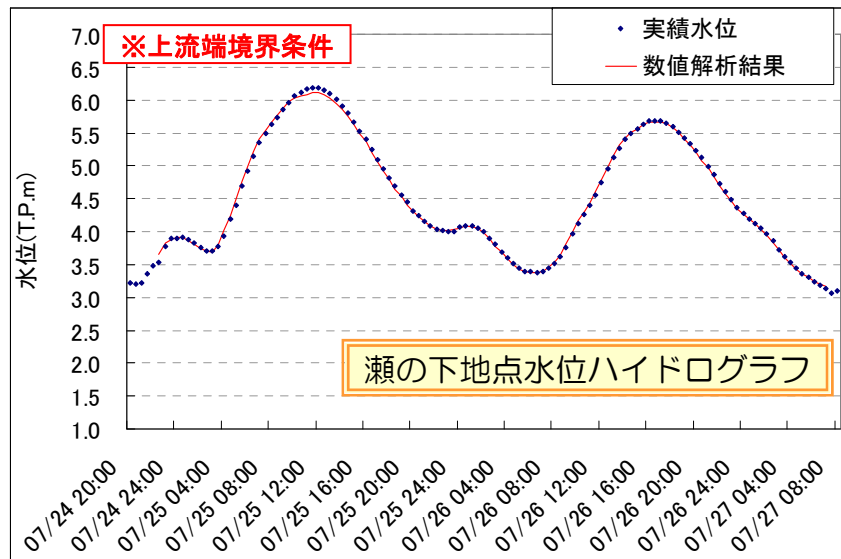
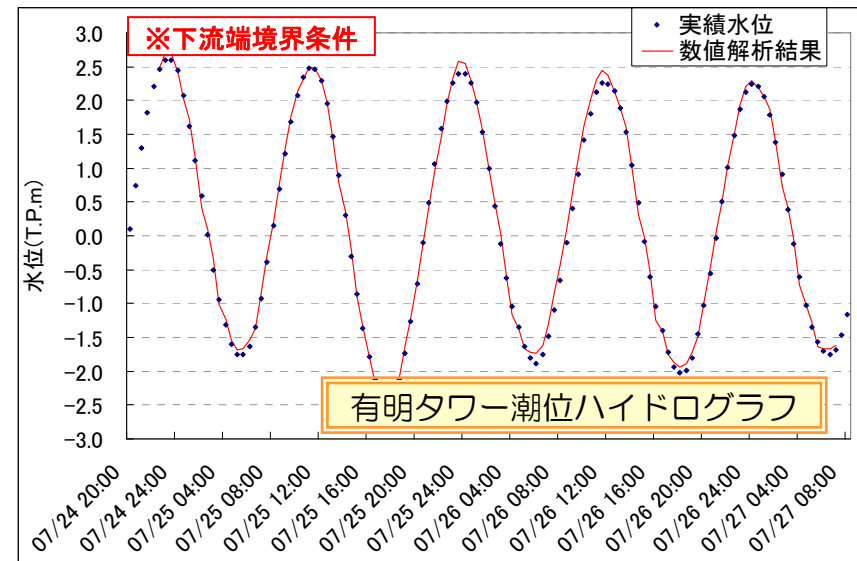
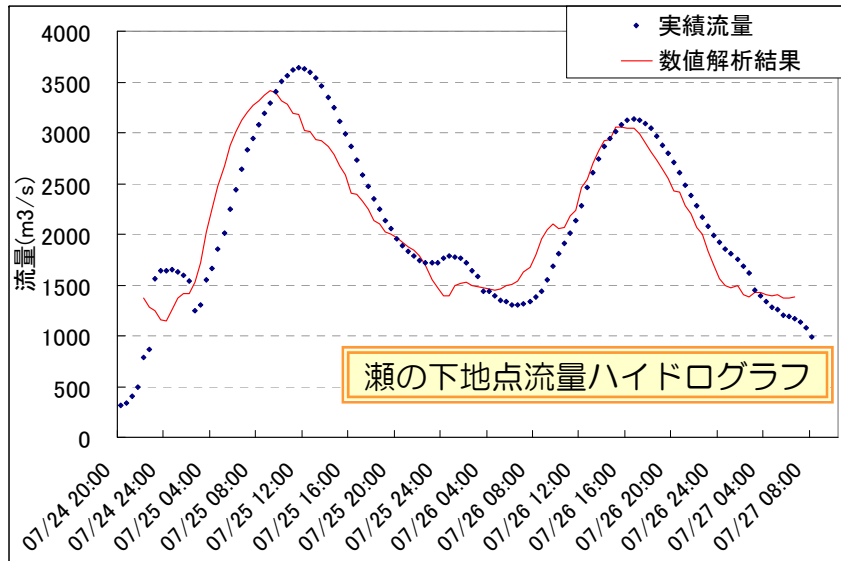
水位縦断面対象時間



③観測水位（上下流端水位）の再現性 P1の検討フロー③

（2009年7月洪水）

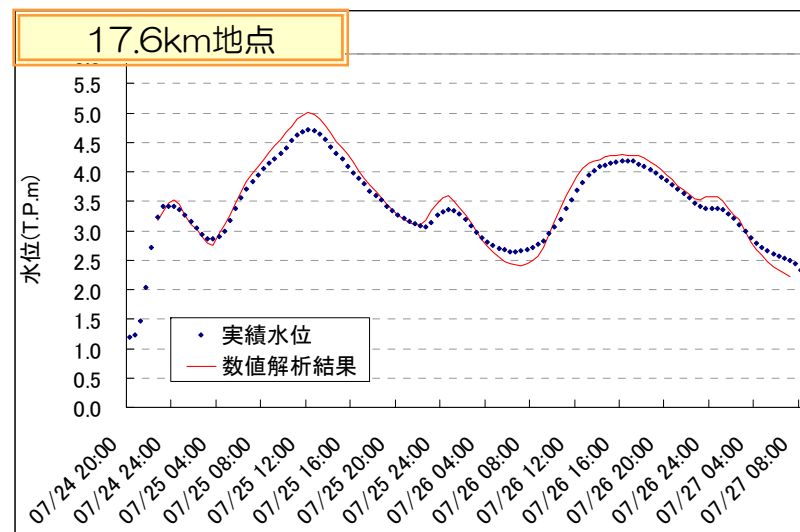
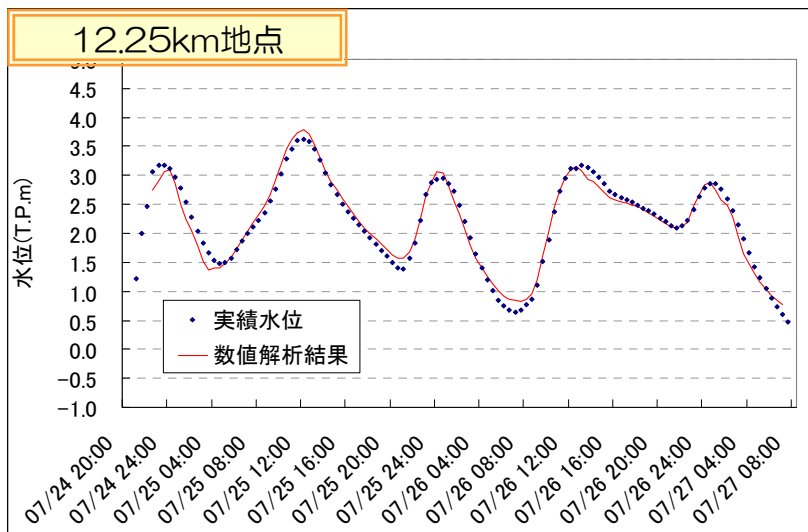
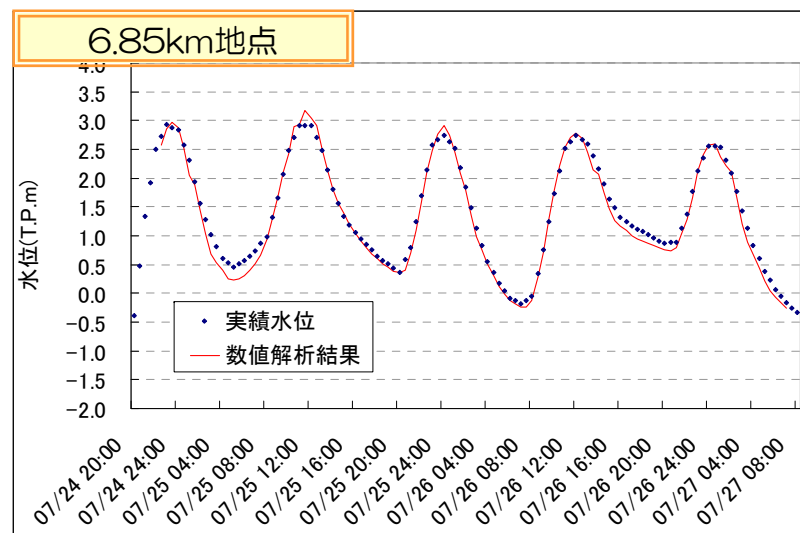
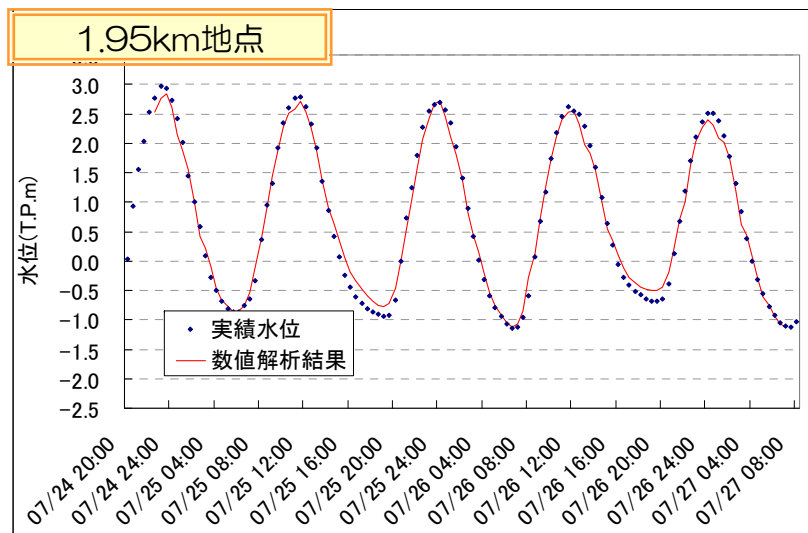
解析結果（上下流端水位と観測流量の再現性）：上下流端共に解析値の時系列変化は実績水位（目標値）を追随している。



③観測水位（地点別ハイドログラフ）の再現性 P.1の検討フロー③

（2009年7月洪水）

解析結果（地点別水位ハイドログラフの再現性）：全川的に水位の観測値と実績値の時間変動は同様の傾向にある。



④流速ベクトル図(26.0k~6.0k)

解析結果(流速ベクトル:ピーク生起時)

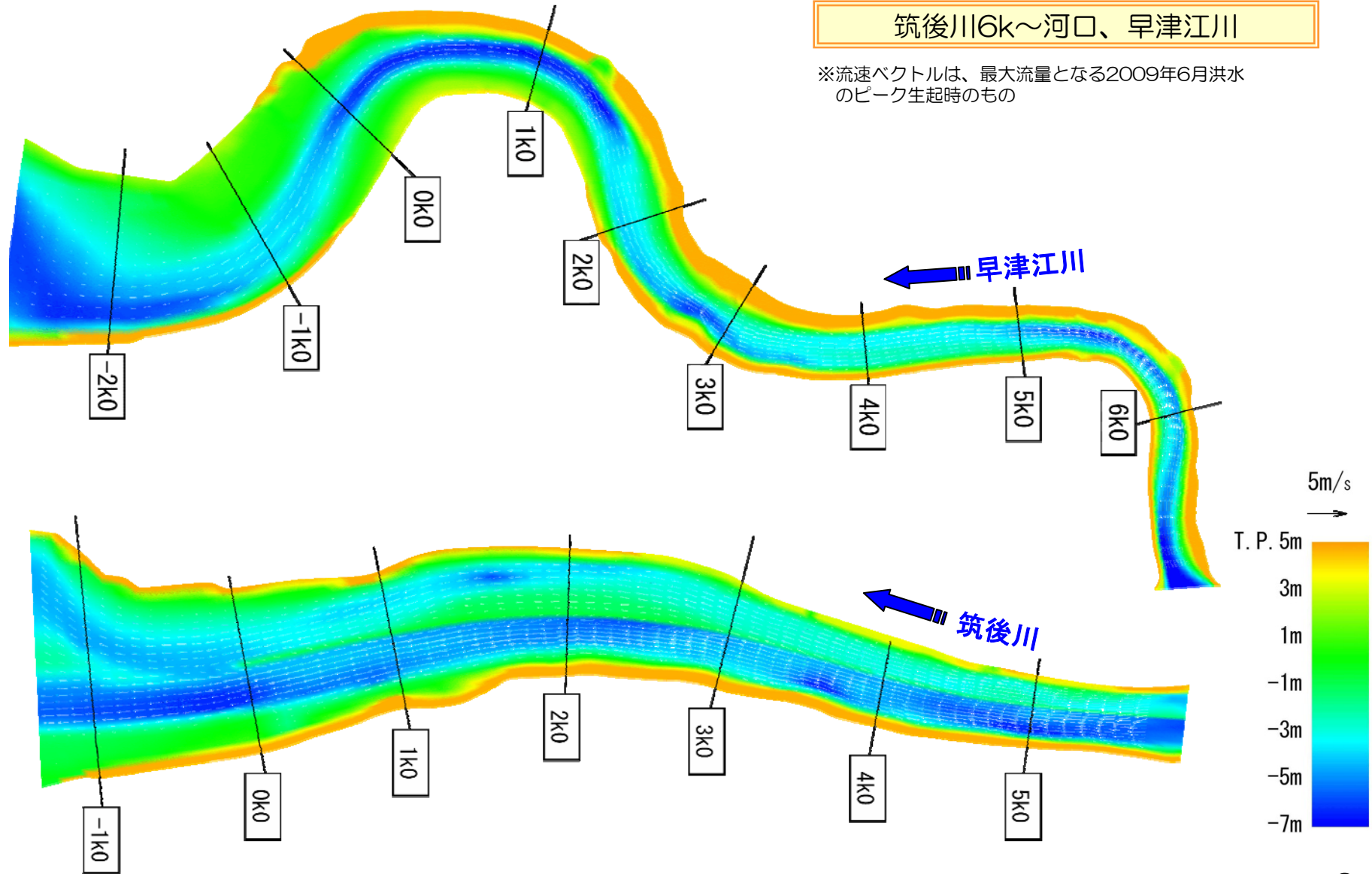
局所的な渦流の発生など非現実的な流れは見受けられず、全川的にスムーズな水の流れが表現できている。



④流速ベクトル図 (6K~河口,早津江川7K~河口)


筑後川6k~河口、早津江川

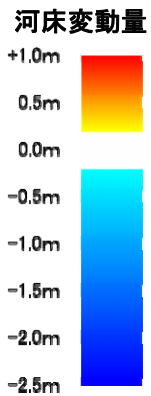
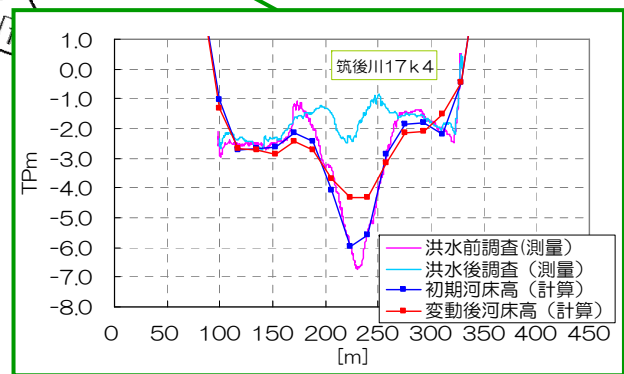
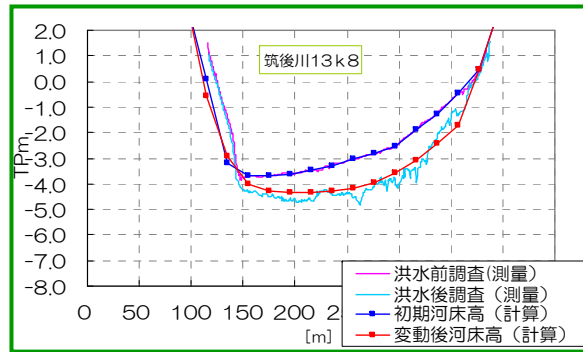
※流速ベクトルは、最大流量となる2009年6月洪水のピーク生起時のもの




⑤河床変動高の再現性 (筑後川22.0k~10.5k)

解析結果 (河床変動高の再現性)

流砂量1倍としたケースでも坂口床固工(17.2k)下流の洗掘など実績の河床変動と同様の傾向にある。  流砂量1倍の結果を推定流砂量の下限として想定。



※河床変動高コンターは2洪水(2009.6洪水、2009.7洪水)通過後の変動高で整理。

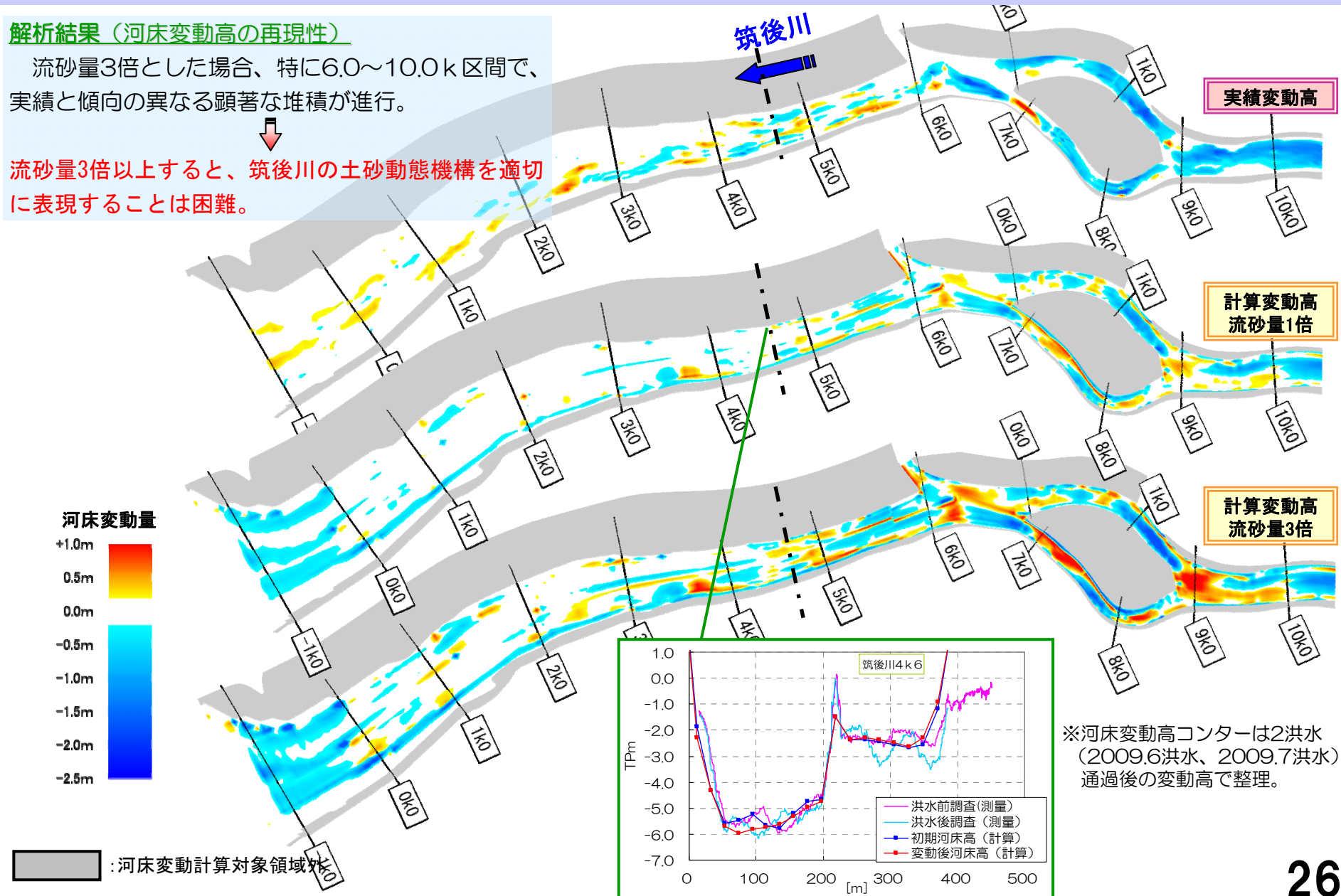
 : 河床変動計算対象領域外

⑤河床変動高の再現性(10.5k~河口)

解析結果 (河床変動高の再現性)

流砂量3倍とした場合、特に6.0~10.0k区間で、実績と傾向の異なる顕著な堆積が進行。

↓
流砂量3倍以上すると、筑後川の土砂動態機構を適切に表現することは困難。

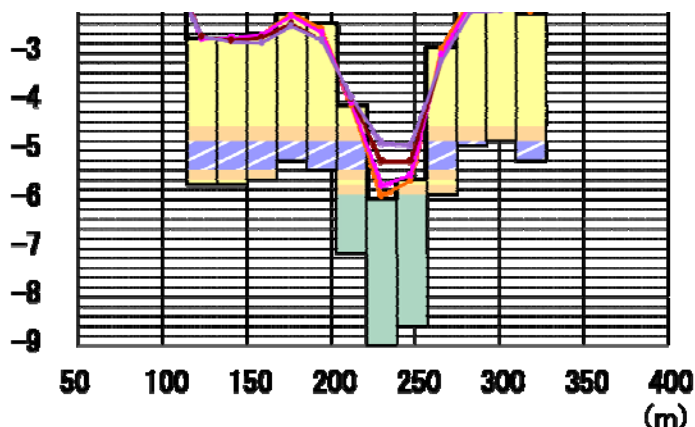


⑥河床形状の時間変化 (2009年6月洪水)

解析結果 (河床変動高の時間変化) : ガタ土のフラッシュは洪水一山目のピーク生起までに概ね終了し、その後、砂を含む層が徐々に洗掘される結果となった。

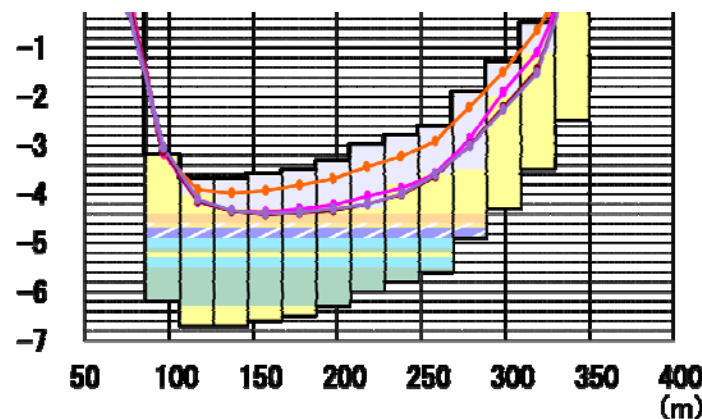
(T.P.m)

17.4km地点



(T.P.m)

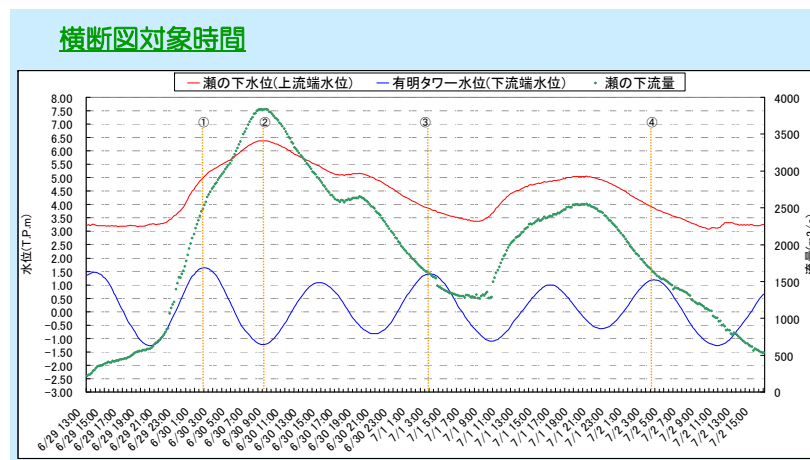
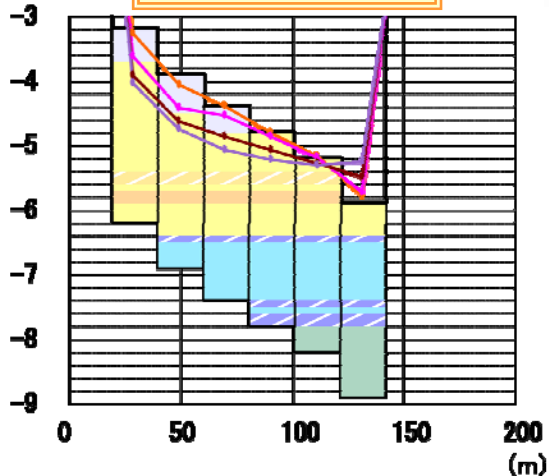
13.8km地点



解析結果 (河床変動高の時間変化) : ガタ土フラッシュ後、砂面が露出し洗掘の進行が緩やかになる結果となった。

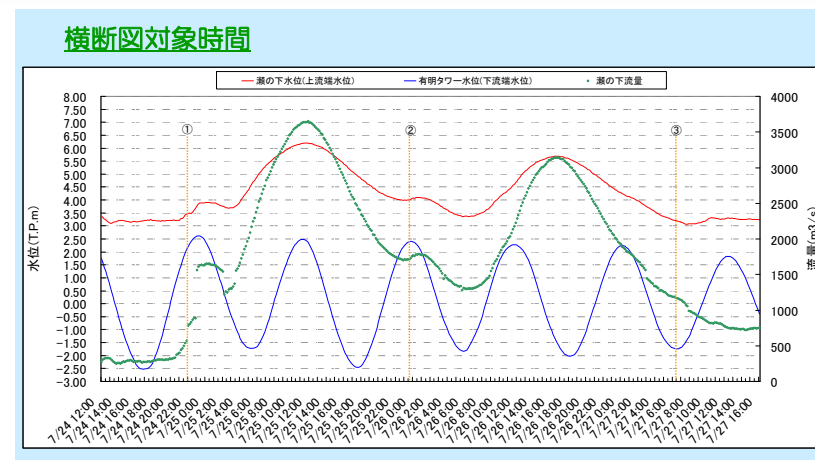
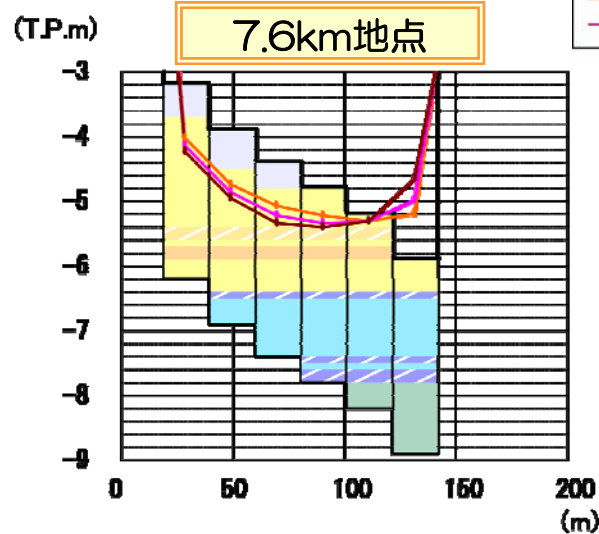
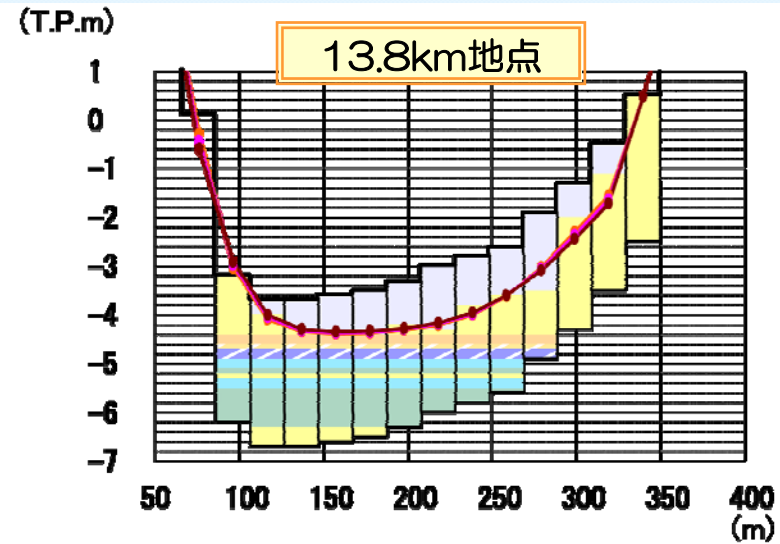
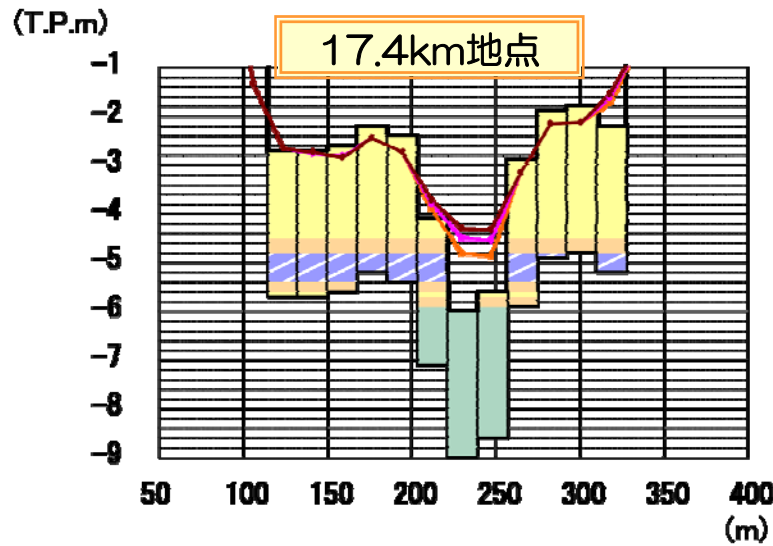
(T.P.m)

7.6km地点



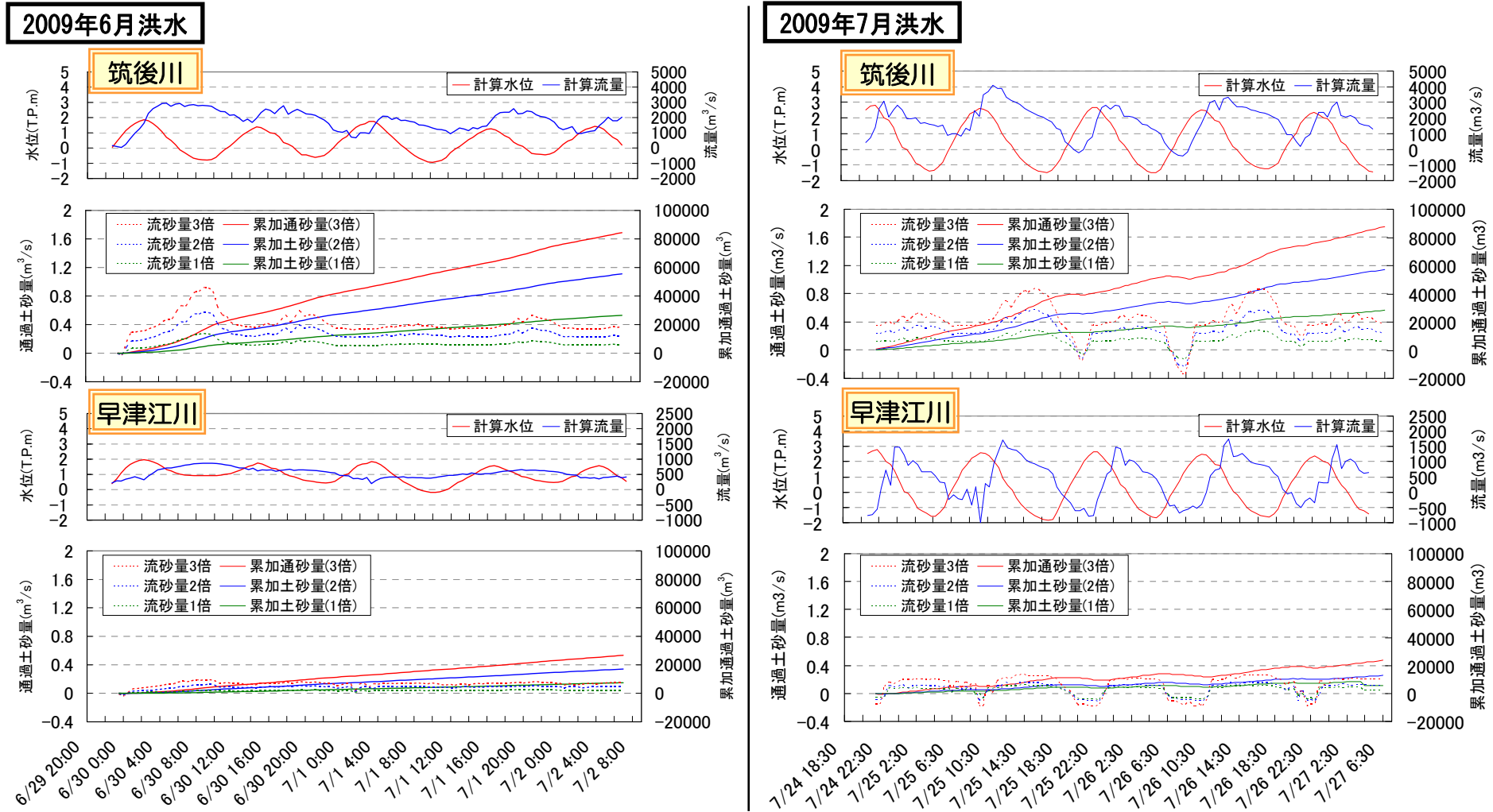
⑥河床形状の時間変化 (2009年7月洪水)

解析結果(河床変動高の時間変化)：6月洪水によりガタ土はフラッシュされ砂面が露出しており、洗掘の進行が緩やかになる結果となった。



⑦有明海への流出土砂量の推定

シルト・粘土成分 (0.075mm以下) より細粒分の土砂は集計の対象外とし、2009年6月洪水及び2009年7月洪水時の筑後川河口 (-0.15k地点) と早津江川河口 (0.00k地点) における砂・礫成分 (0.075mm以上) の通過土砂量を整理。



河口部の通過土砂量ハイドログラフ

⑦有明海への流出土砂量の推定

流出土砂量の推定結果

- 2009年6月洪水及び2009年7月洪水を対象に、現地観測結果（観測流量・観測水位・河床変動高等）を制約条件とし、河床変動解析を実施
- 筑後川及び早津江川河口部での、解析対象期間中の通過土砂量を累加し、2009年洪水期間中の海域への流出土砂量を算定

○2009年洪水（6月、7月洪水）時の有明海への流出土砂量

2009年6月洪水概算値

35,400~115,200m³

+

2009年7月洪水概算値

34,500~109,000m³

有明海への流出土砂量 **69,900 ~ 224,200m³** ※1

筑後川からの流出土砂量推算値

【2009洪水の流出土砂量】

約7万~22万m³ ※1

*2009年洪水時

有明海

※1：流出土砂量の推定に用いた流砂量式（芦田・道上式）の筑後川への適合性を考えて、感度分析的に解析を実施し、流出土砂量は流砂量を1~3倍にして幅を持たせて推定した。

