

(3) 土砂・流木の影響による水位上昇や氾濫域を評価する手法

3 手引き改定にあたっての考慮対象

○土砂堆積の影響を評価する技術について

○事務局提案手法について

- ・土砂堆積の影響の評価方法（流木を含む）
- ・計算結果例
- ・対象とする河川・区間の考え方

手法事例①

iRIC ソルバー Morpho2DH ～土石流・泥流の平面二次元解析～

＜開発者＞ 竹林洋史(京都大学)、(一社) iRIC-UC

Morpho2DH (ver.2)ソルバーとして公開中

＜手法の概要＞

- Morpho2DHは、平面二次元の土石流・泥流モデルを主体としたiRICの解析ソルバー。
- 斜面崩壊を初期条件とした土石流・泥流の流動・堆積過程を解析。平面二次元不定流と掃流砂・浮遊砂を対象とした河床変動解析も可能。
- 河床面付近に層流、その上に乱流が形成された二層モデルを考慮。

＜必要となるデータ、条件設定＞

(降雨・流量関係)

- ・斜面崩壊(土石流・泥流)を初期条件とした解析ソルバーのため、降雨・流量等の条件は入力不要。

(土砂・流木に関するデータ関係)

- ・土砂の供給を反映するために、土石流に関する諸元として斜面の崩壊箇所、浸食深等を設定。
- ・流木については解析の対象外。

＜利点＞

- ソルバーが公開されており、一般利用が容易。
- 砂防ダム、堰、家屋等の構造物や地盤の浸食深さの平面分布などを考慮した詳細な解析が可能。
- 土石流・泥流の具体の対策効果検討等に活用可能。

＜手引きへの反映の観点から見た留意事項＞

- 土石流の再現解析を対象とした手法であり、洪水浸水想定区域図を作成するための手法とは異なる。
- 現地調査結果に基づく斜面崩壊箇所、平均粒径、浸食深の設定等が必要。

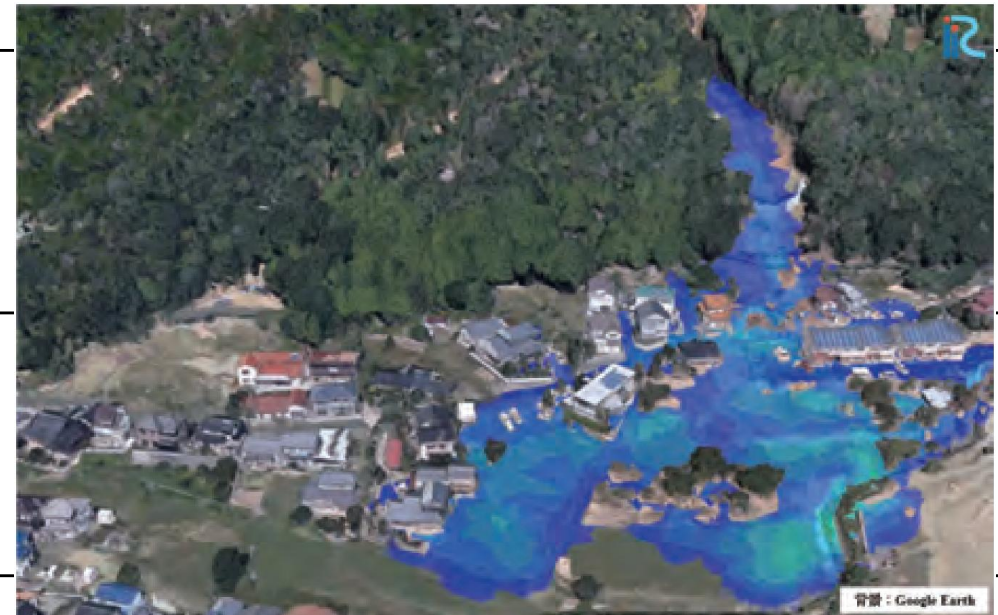


図 2018年に広島市安芸区矢野東で発生した土石流のシミュレーション結果
(出典) 竹林洋史: iRIC-Morpho2DHを用いた土石流・泥流の数値シミュレーション, sabo, vol.134, pp.2-7, 2023.

手法事例②

iRIC ソルバー「RRI on iRIC」における降雨-土砂流出(RSR)モデル

<開発者> (国研)土木研究所 ICHARM、(一社) iRIC-UC

RRI on iRIC として公開中

<手法の概要>

- RRI on iRICには、従来のRRIモデルに土砂・流木生産および輸送過程を拡張したRSRモデルが搭載されている。
- RSRモデルは降雨に伴う崩壊・土石流による土砂・流木の生産・河道への供給を解析し、単位河道を直列及び並列に配置することによって流域全体の水・土砂・流木の流出を一体的に解析するもの。
- 得られた水・土砂・流木のハイドログラフを境界条件として、河道・氾濫原を対象とした平面2次元河床変動計算(Nays2DH等)に引継ぐ。

<必要となるデータ、条件設定>

(降雨・流量関係)

- ・対象期間の降雨データを時空間的に設定。
- ・RRIモデルの降雨流出計算のための河道条件とパラメータの設定

(土砂・流木に関するデータ関係)

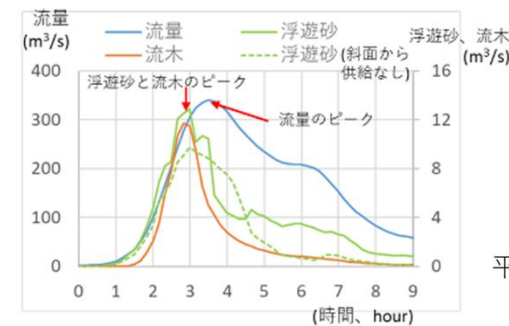
- ・山地斜面および河床材料の粒度分布の設定が必要。
- ・表層土壌の厚さ・粘着力等を設定。崩壊箇所の設定は不要。
- ・崩壊・土石流を伴う流木生産として、立木密度の設定が必要。

<利点>

- ソルバーが公開されている。
- 山地からの土砂・流木生産から、下流河道の土砂・流木輸送・堆積過程を一体的に解くことが可能。
- 流域任意地点の洪水流量、流木量、流砂量と河床変動量およびこれらの粒度分布に関する時空間分布が評価可能

<手引きへの反映の観点から見た留意事項>

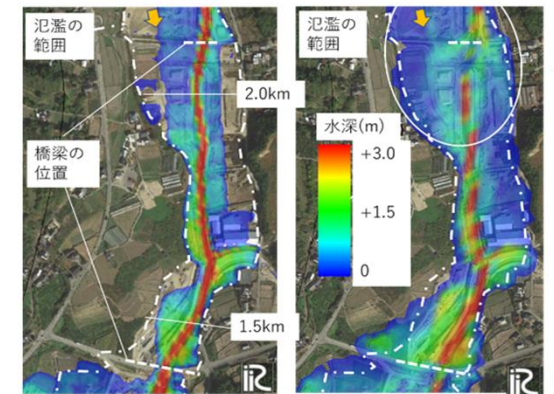
- 河床の移動床厚さと斜面の最大侵食深を適切に設定する必要。
- 斜面崩壊計算には、地形データのメッシュサイズは10m以下が必要



RSRモデルによる洪水・土砂・流木のハイドログラフの評価

流入する洪水・土砂・流木のハイドログラフの設定

平面二次元の水・土砂・流木氾濫解析
流れのみ 土砂・流木を考慮



(出典) Harada, D., & Egashira, S. (2023). Method to evaluate large-wood behavior in terms of the convection equation associated with sediment erosion and deposition. Earth Surface Dynamics, 11(6), 1183-1197.

3 手引き改定にあたっての考慮対象

○土砂堆積の影響を評価する技術について

○事務局提案手法について

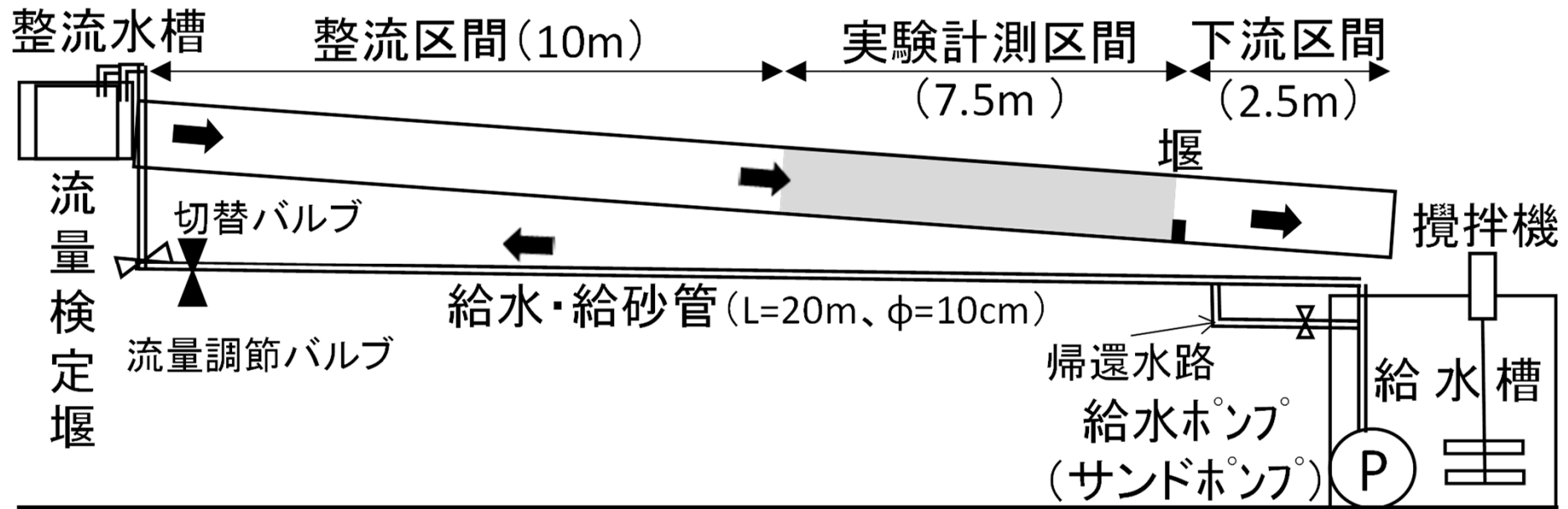
- ・土砂堆積の影響の評価方法（流木を含む）
- ・計算結果例
- ・対象とする河川・区間の考え方

高濃度で供給される浮遊土砂の 堆積・上流延伸プロセスに関する実験結果

出典) 武内慶了・山本陽子・海老原友基・井上清敬・板垣修: 急勾配河道区間に
大量の細粒土砂が供給された場合の堆積・延伸過程, 河川技術論文集,
第29巻, pp.305-310, 2023.

実験水路の概要

～基となった研究成果説明～



【水路の形状等】

- ・水路延長20m
- ・水路幅0.15m
- ・直線可変勾配水路
- ・水路床に $d_{60}=2\text{mm}$ の砂貼付

【土砂混じり流水の供給】

- ・水路下流端に給水槽を設置
- ・サンドポンプによる循環構造
- ・給水槽に攪拌機
(槽底部堆積による濃度減少を回避)

【堰の設置】

- ・水路下流端から2.5m地点に設置

実験条件

～基となった研究成果説明～

水路勾配 I_{b0}	堰高 (m)	土砂濃度 $C(\%)$	流量 $Q(l/s)$	等流区間		ケース 数
				$h_0(m)$	$Fr_0()$	
1/40	0.04	4.0, 6.1, 8.2	18.9	0.078~0.08	1.8	3
1/40	0.05	4.1, 6.1, 8.2, 10.3	18.9	0.078~0.08	1.8	4
1/40	0.06	<u>3.9</u> , <u>6.0</u> , <u>8.0</u> , 10.3	18.9	0.078~0.08	1.8	4
1/40	0.07	10.1	18.9	0.078	1.8	1
1/55	0.04	3.2, 5.0, 7.6, 10.1	22.1	0.099	1.5	4
1/55	0.05	<u>3.2</u> , <u>5.0</u> , 7.5, 10.0	22.1	0.099	1.5	4
1/55	0.06	<u>3.1</u> , <u>4.9</u> , <u>7.3</u> , <u>9.9</u>	22.1	0.099	1.5	4
1/80	0.02	0.5, 0.9, 3.1, 10.1	18.4	0.091~0.1	1.3	4
1/80	0.03	<u>0.4</u> , <u>0.8</u> , <u>3.1</u> , <u>9.4</u>	18.4	0.091~0.1	1.3	4
1/80	0.04	<u>0.4</u> , <u>0.8</u> , <u>3.1</u> , <u>9.3</u>	18.4	0.091~0.1	1.3	4
1/100	0.01	0.4, 0.8, 2.1, 3.3	16.5	0.092~0.1	1.2	4
1/100	0.03	<u>0.4</u> , <u>0.7</u> , <u>2.0</u> , <u>3.0</u> , <u>4.1</u>	16.5	0.092~0.1	1.2	5
1/100	0.04	<u>0.3</u> , <u>0.7</u> , <u>1.9</u> , <u>2.8</u>	16.5	0.092~0.1	1.2	4

※表中の斜体・下線は、堰直上流で跳水が生じたケース

- ✓ 供給する土砂: $d=0.11mm$ (一様粒径)
- ✓ 堰の影響を受けない区間(等流区間)の水深 h_0 が概ね0.1mとなるよう、流量設定
- ✓ 赤谷川での洪水及び堆積土砂の粒径集団を参考に、水深・粒径比や、土砂の運動形態を表す指標である摩擦速度・土砂沈降速度比(u_*/w_0)を設定
- ✓ 水路床勾配 I_{b0} 、土砂濃度 C 、堰高を変化させた計49ケース

長い区間で土砂堆積する事例(実験動画)

【次頁で実験動画を再生】

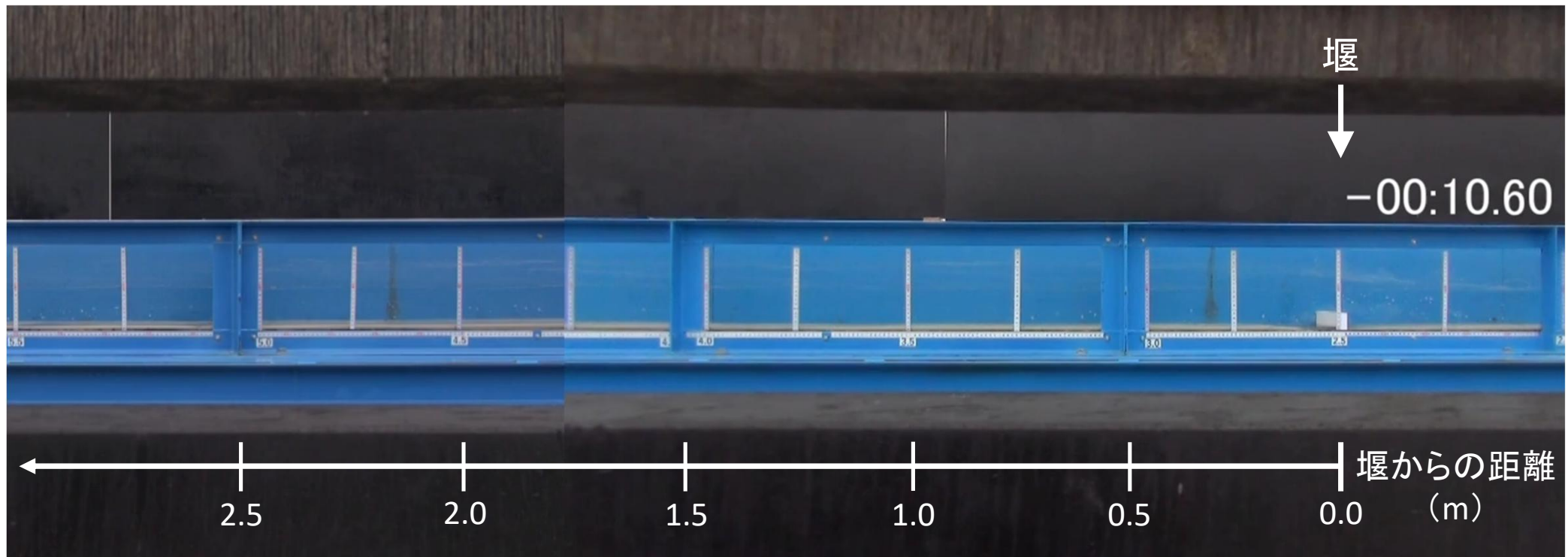
★ポイント

- ・堰を起点として上流側にせき上げ区間・堆積区間が延伸



～基となった研究成果説明～
長い区間で土砂堆積する事例(実験動画)

等倍速



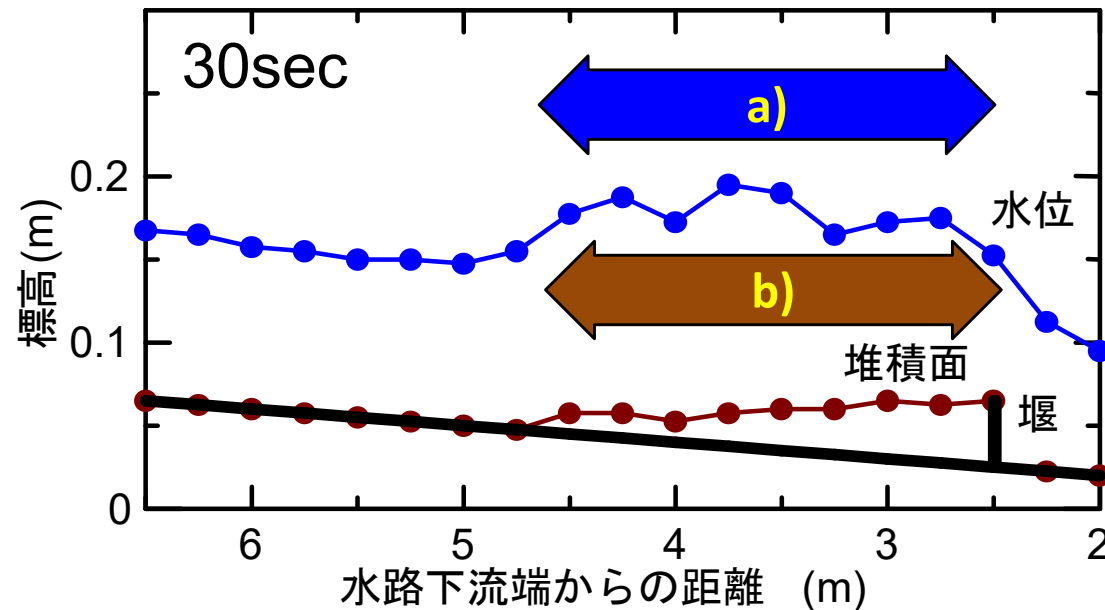
実験条件:

- ✓水路床勾配 $I_{b0}=1/100$
- ✓土砂濃度 $C=2.8\%$ ($d=0.11\text{mm}$)
- ✓流量 $Q=16.5\text{l/s}$
- ✓堰高 $=0.04\text{m}$
- ✓等流水深 $h_0=0.092\text{m}$

堆積区間の上流延伸過程

～基となった研究成果説明～

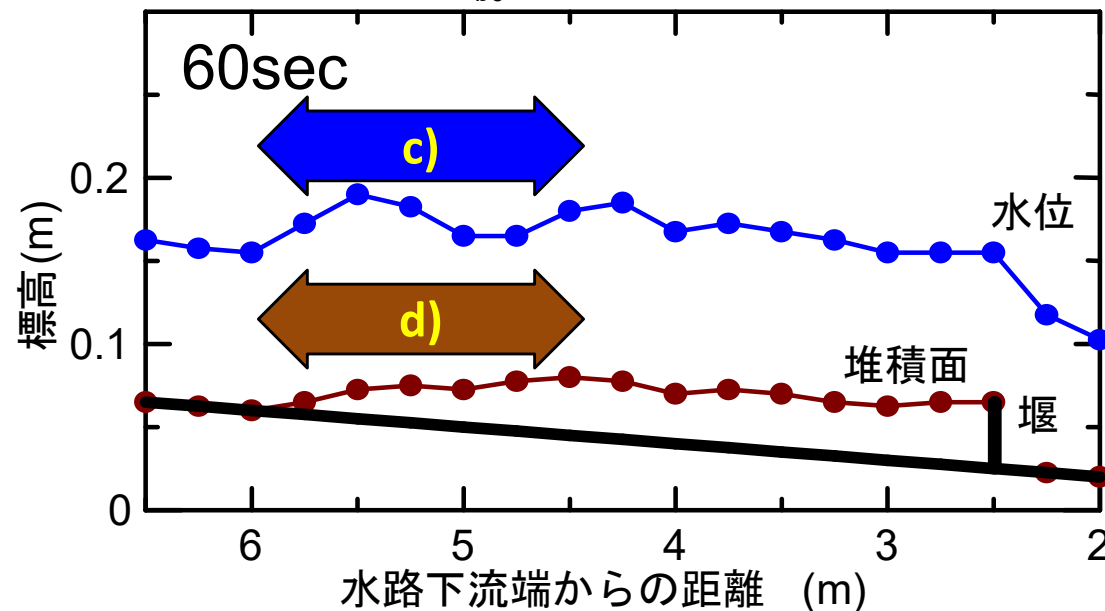
実験条件： $I_{b0}=1/100$ ， $C=2.8\%$ ， 堰高 4cm



a) 堰直上流部において、跳水を伴う
水位せき上げ区間が発生

b) 水位せき上げ区間に土砂が堆積

実験条件： $I_{b0}=1/100$ ， $C=2.8\%$ ， 堰高 4cm



c) 堆積土砂の影響により、水位せき上げ区間
が上流方向に延伸

d) 新たに生じた水位せき上げ区間に
土砂が堆積

e) 上記c),d)を繰り返し、
堆積区間が上流方向に延伸

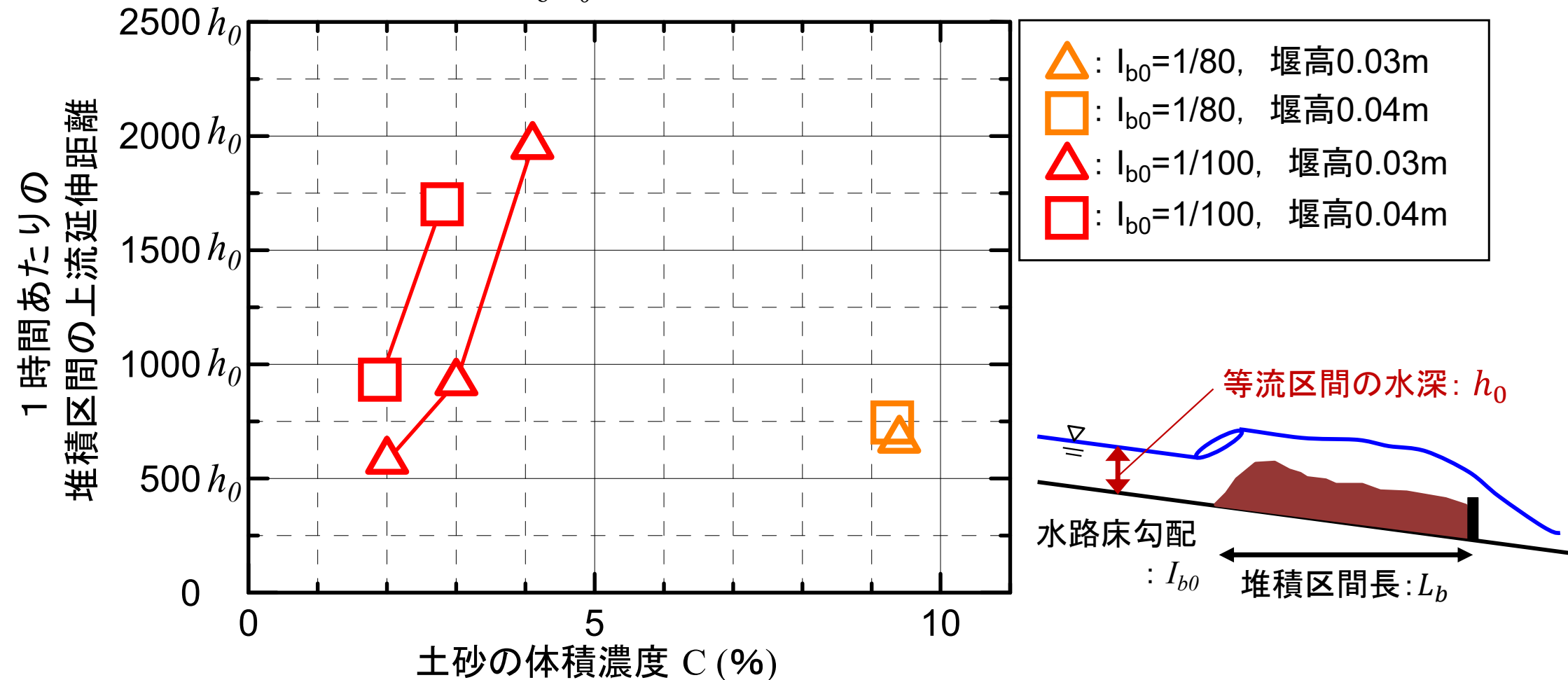
以降、堆積上
流延伸ケース
に着目し分析

※この過程において、反砂堆のような河床波と
波状の水面形が形成されるケースもあり。

堆積上流延伸の速度

～基となった研究成果説明～

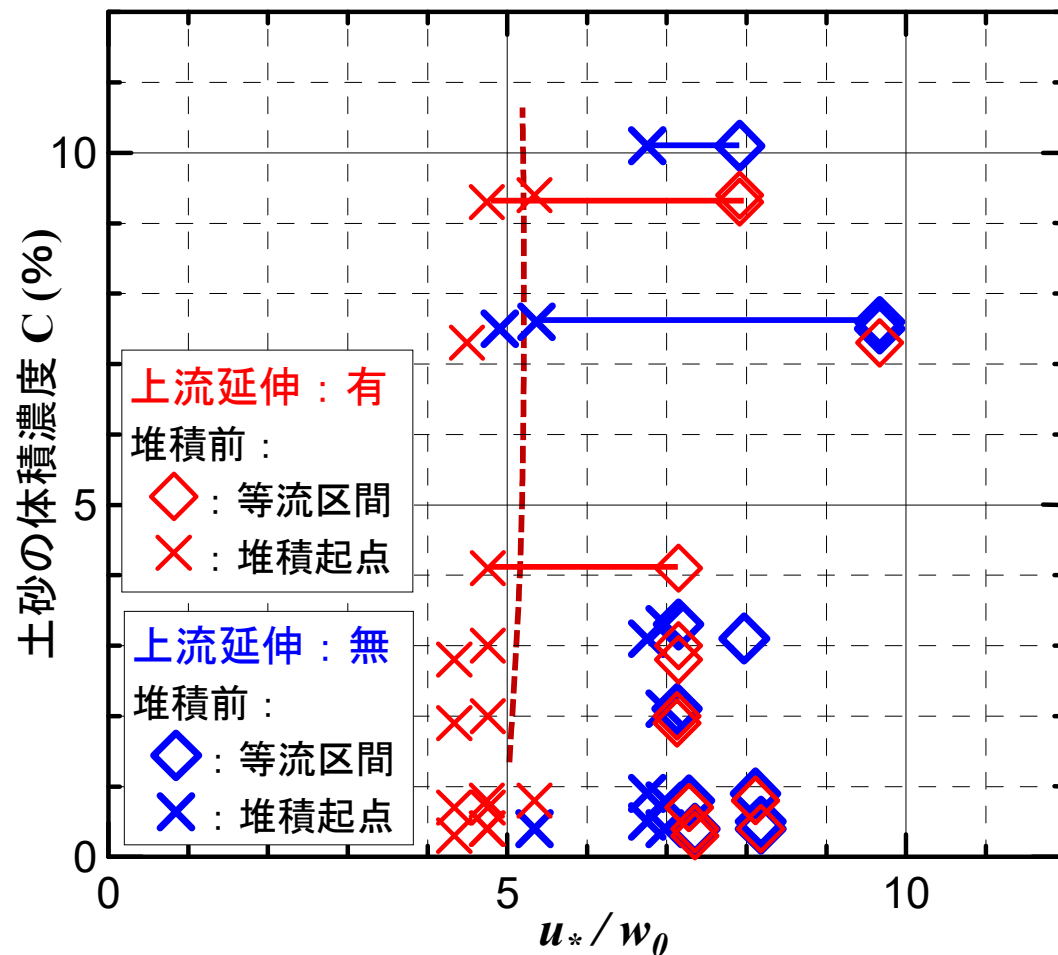
$L_b/h_0 > 100$ のケースのみ表示



○いずれのケースも、1時間あたりの堆積区間の上流延伸の距離は等流区間の水深 h_0 の500倍以上(等流区間の水深が2mだとすれば、1km以上)と大きい。

○ C (土砂の体積濃度) の増加に伴い延伸速度が増大

堆積上流延伸ケースの発生条件 ～非延伸ケースとの違い①～



等流区間 u_*/w_0 : ◇ (延伸有) ≐ ◇ (延伸無)
堰直上流 u_*/w_0 : × (延伸有) < × (延伸無)

土砂堆積：浮遊土砂の“沈降”が支配的

⇒ 土砂の運動形態に着目 ⇒ $u_*/w_0 \sim C$

u_* ：摩擦速度 \sqrt{gRi}

g ：重力加速度

R ：径深

i ：エネルギー勾配

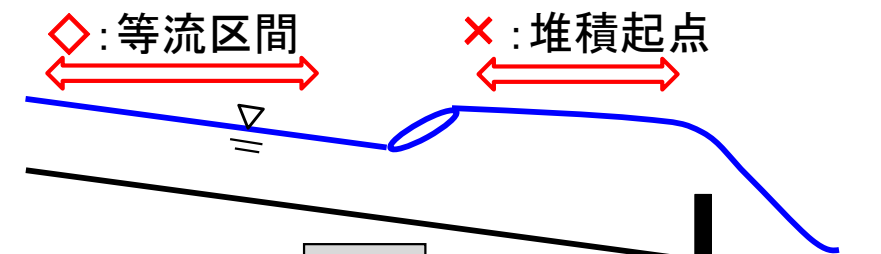
w_0 ：土粒子沈降速度

ここでは、Rubey式(*)を用いて算定

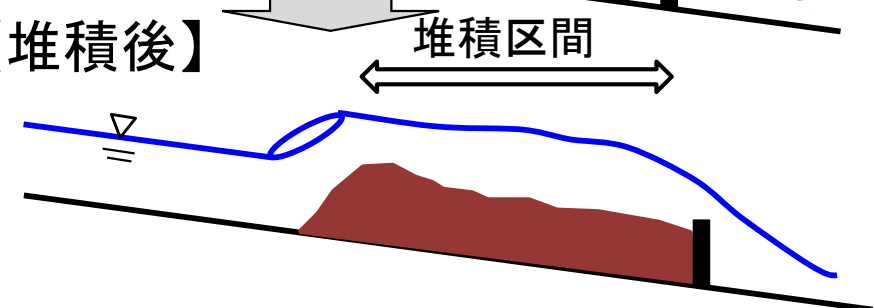
※ 土粒子沈降速度を砂粒の粒径等で表す実験式

1つの実験ケースで2つの u_*/w_0 をプロット

【堆積前】

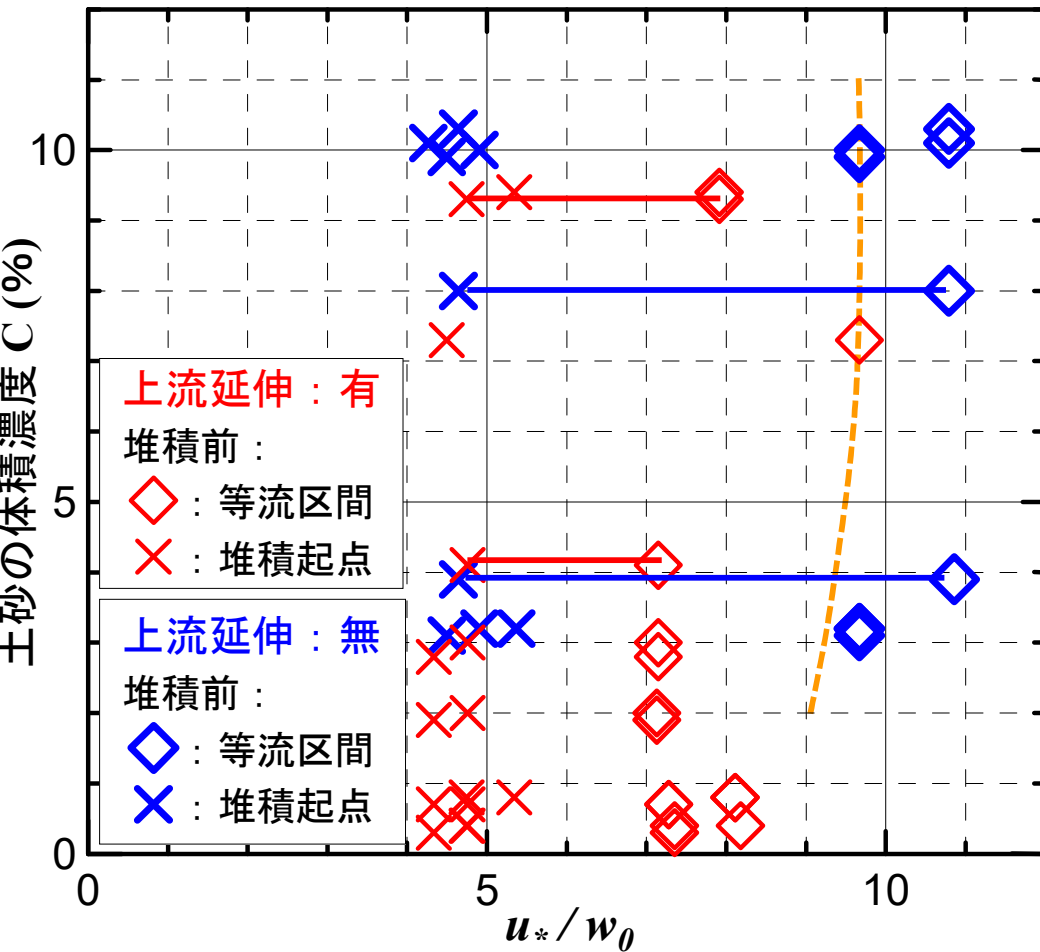


【堆積後】



○全体の流況(等流区間の u_*/w_0)が類似していても、局所区間(堰直上流の u_*/w_0)で u_*/w_0 がある一定の数値より小さくなると(今回の実験では $u_*/w_0 \leq 5$)、当該区間を起点として堆積区間が上流に延伸。

堆積上流延伸ケースの発生条件 ～非延伸ケースとの違い②～

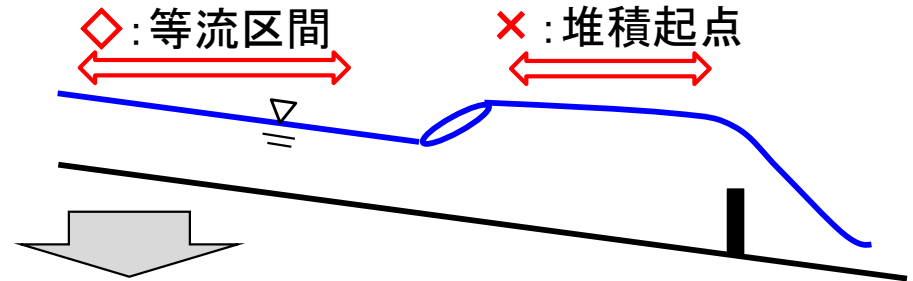


等流区間 u_*/w_0 : ◇ (延伸有) < ◇ (延伸無)

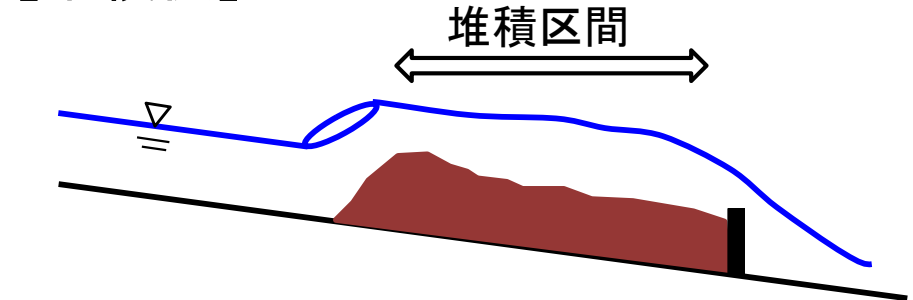
堆積起点 u_*/w_0 : × (延伸有) = × (延伸無)

1つの実験ケースで2つの u_*/w_0 をプロット

【堆積前】



【堆積後】



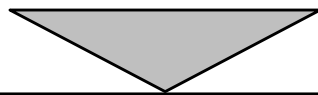
○一方で、局所区間(堰直上流の u_*/w_0)で u_*/w_0 が一定の数値より小さく、堆積の起点となりうる条件であっても、全体の流況を示す等流区間の u_*/w_0 が一定以上(今回の実験では $u_*/w_0 \geq 10$) の場合、堆積区間の上流延伸が生じていない。

高濃度で供給される浮遊土砂の 河道埋塞プロセスに関する数値計算結果

出典) 武内慶了・山本陽子・海老原友基・井上清敬・板垣修: 急勾配河道区間に
大量の細粒土砂が供給された場合の堆積・延伸過程, 河川技術論文集,
第29巻, pp.305-310, 2023.

計算の手法・条件

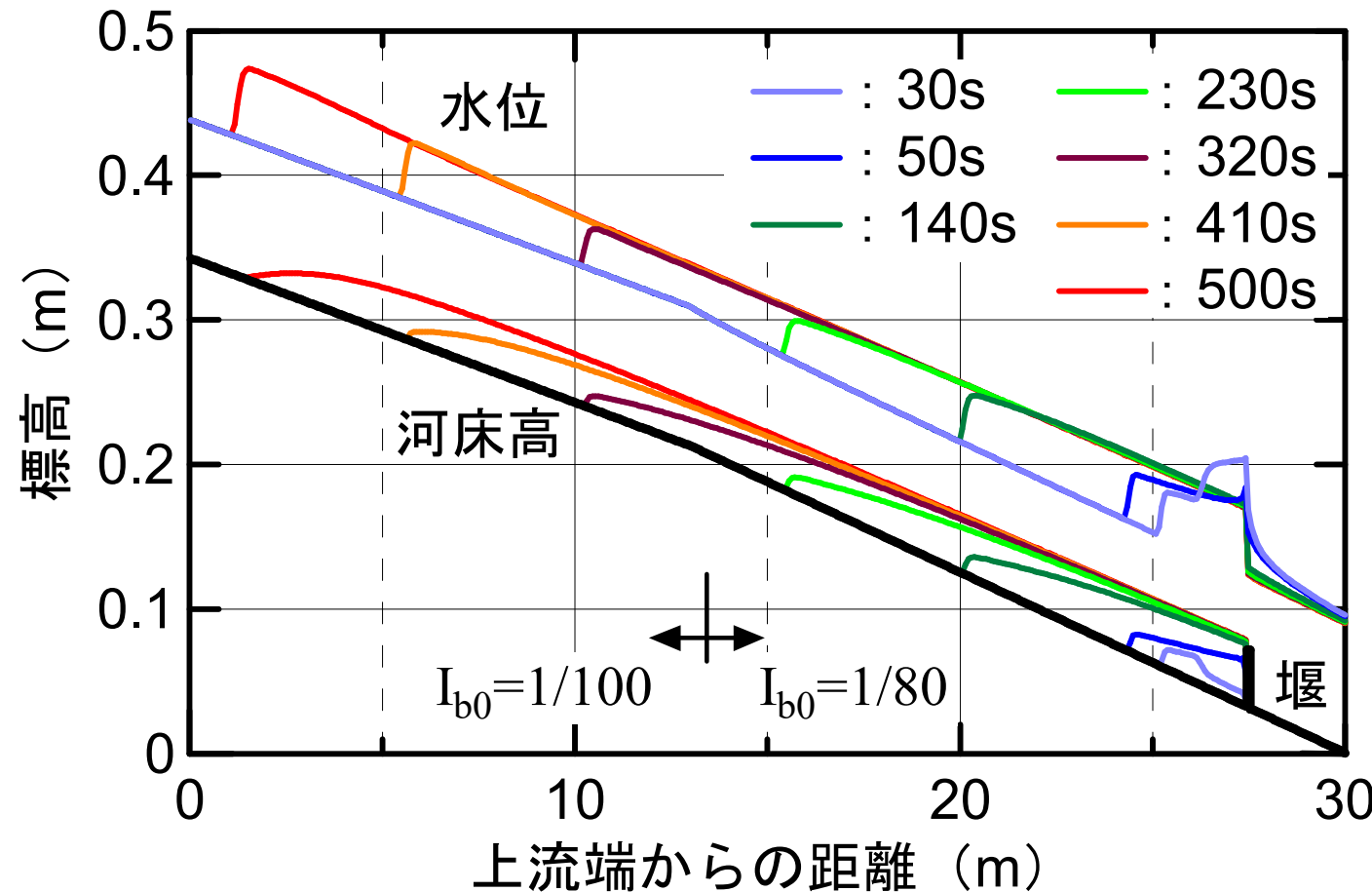
- 実験から得られた堆積上流延伸過程のみでは長い区間での“河道埋塞”が説明できていない.
- そもそも堆積上流延伸過程が計算できるのか？
- 長い区間において“河道埋塞”するためには、ほかにどのような影響が考えられるか？



河川工学で広く使われる計算技術でどこまでモノが見えるか？

計算手法	流れ計算	平面2次元不定流の基本式
	掃流砂量	芦田・道上の式
	浮遊砂量	板倉・岸の式
	浮遊土砂の濃度分布	Lane-Kalinske式
	土粒子の沈降速度	高橋・里深の式 (土粒子の干渉沈降を考慮) $w'_0 = (1 - C)^\beta \cdot w_0$
計算条件	dx,dy	dx,dy=0.075m(等流水深スケールより小)
	上流端境界条件	流量 Q 、土砂濃度 C を定常で与えた
	下流端境界条件	等流水深に見合う水位を与えた

再現計算結果 堆積上流延伸過程の解釈

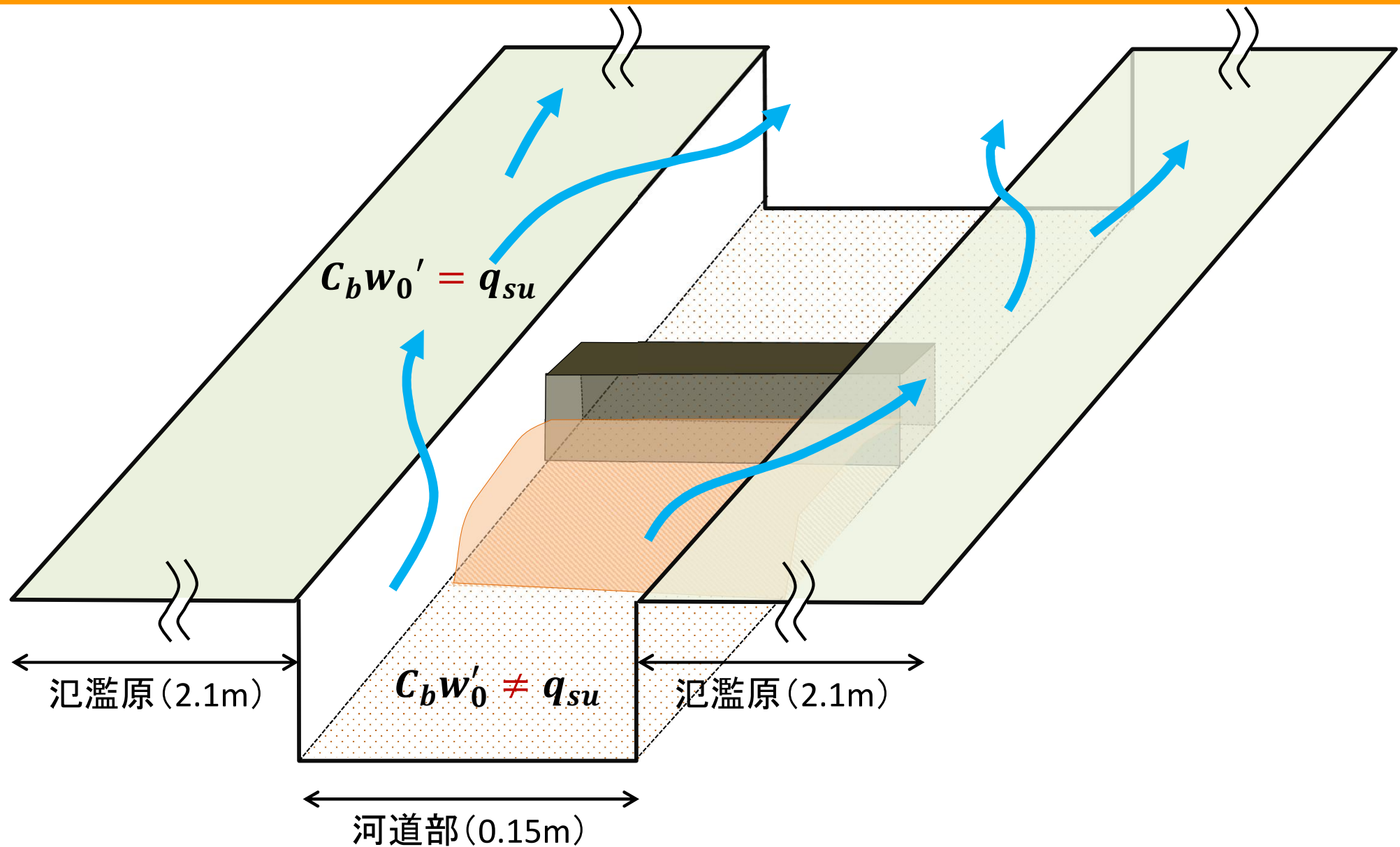


再現対象とした実験ケース条件

- 水路床勾配: $I_{b0}=1/80$
- 堰高 = 0.04(m)
- 流量: $Q = 18.4(l/s)$
- 土砂濃度: $C = 9.3(\%)$

- 通水初期の水位せき上げ区間への土砂堆積(堆積の起点)や堆積区間の上流方向延伸等、実験で得られた堆積区間の上流延伸プロセスが説明できている。
- 1時間当たりの堆積区間延伸距離は計算結果の方が長い : 70m(実験)、160m(計算)
- 堆積後河床勾配は計算結果の方が小さい : 1/57(実験)、1/86(計算)
- 実験で生じた堆積延伸過程における反砂堆のような河床波は、計算では生じなかった。

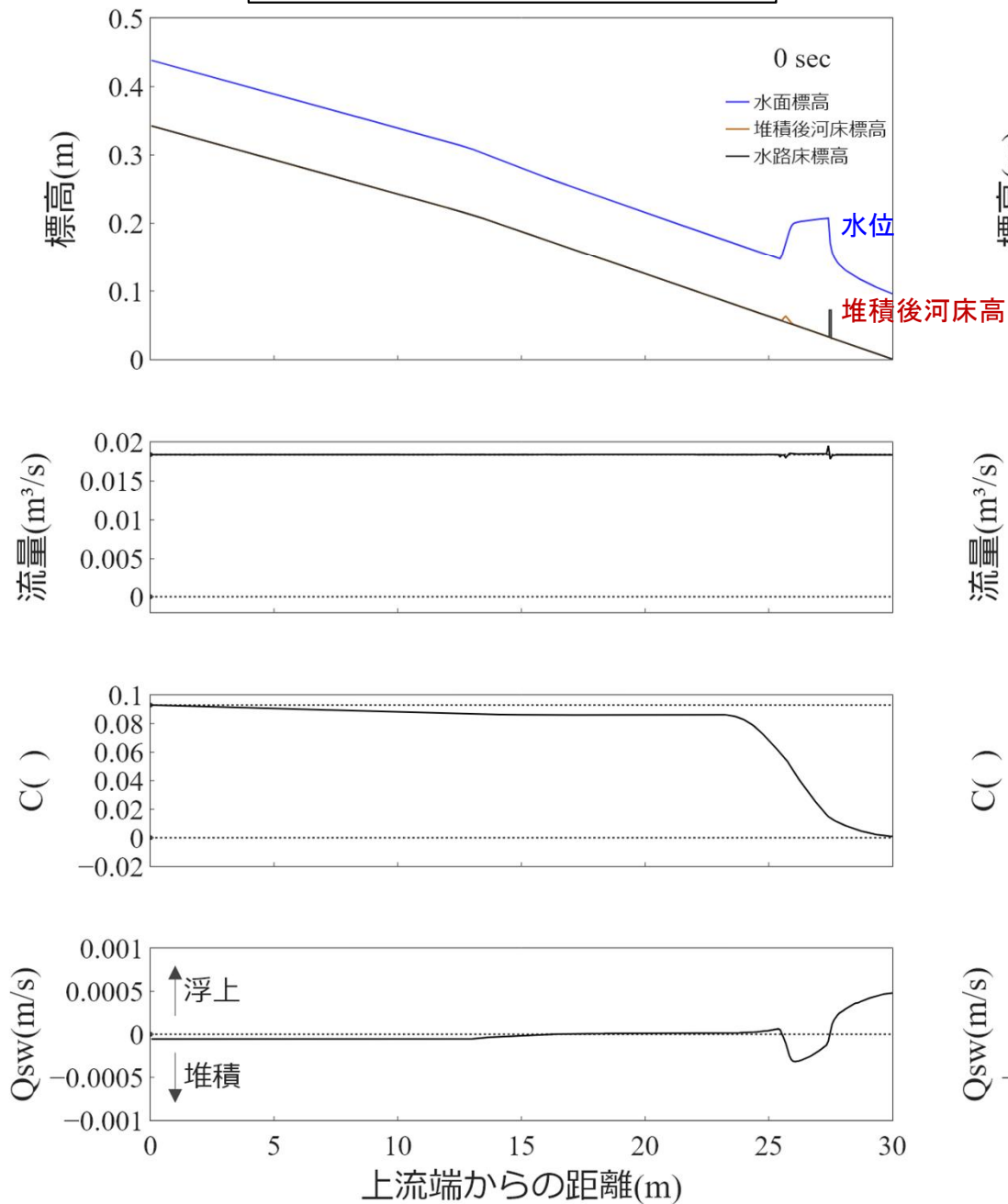
氾濫を考慮した計算



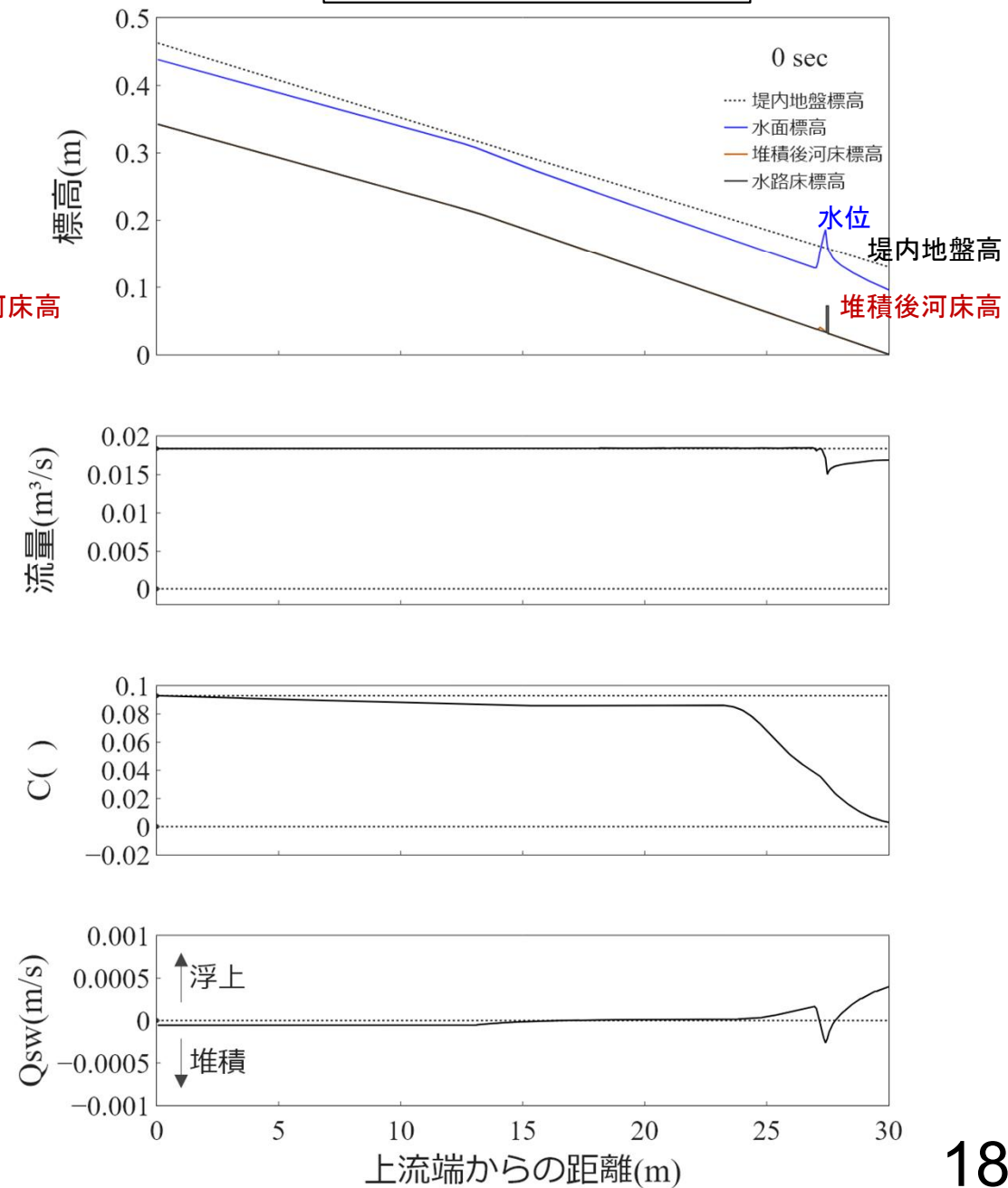
- 矩形ケースと同じ幅の河道部の兩岸に、幅2.1mの氾濫原をそれぞれ設置
- 氾濫原に供給された土砂は堆積せず流下するよう設定 (河岸肩への異常堆積・・・)

氾濫が堆積過程に及ぼす影響の計算 ～アニメーション～

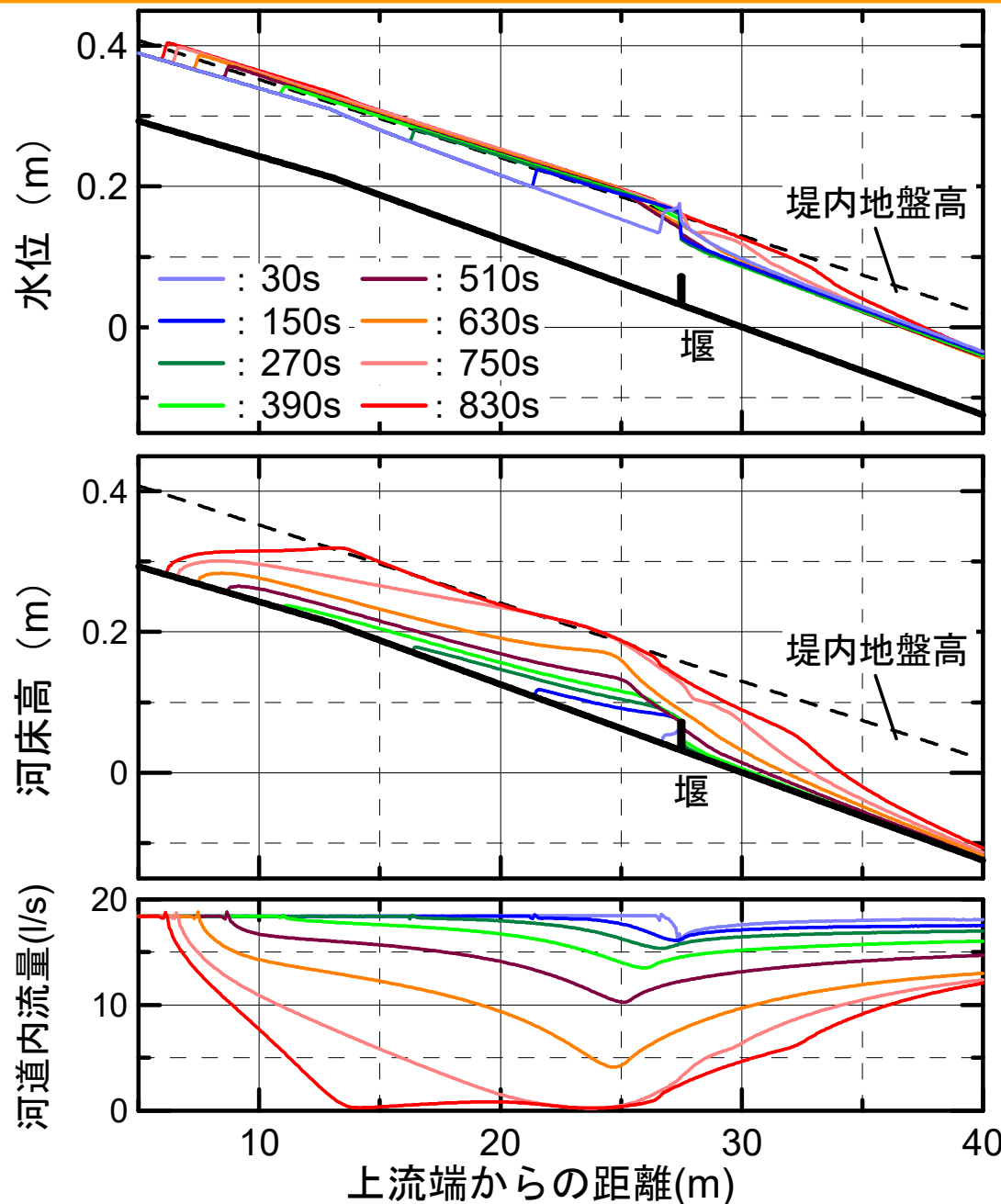
氾濫なし(堆積上流延伸)



氾濫あり(河道埋塞)



氾濫に伴う河道内流量減少が河道部土砂堆積に及ぼす影響



再現計算(前頁)との条件の違い

- ・複断面形状となるよう幅2.1mの堤内地を両岸にそれぞれ設置
- ・堤内地の縦断勾配は1/90, 横断勾配は0
- ・河道部初期河床高と堤内地盤高の比高は、堰設置部付近で0.13m
- ・氾濫原において堆積しない条件



○堆積厚

- ・矩形断面(氾濫なし): 約0.04m
- ・氾濫ありの計算: 約0.13m
- ⇒ 堤内地盤高相当まで堆積

○河道の埋塞過程

- ⇒ 堆積上流延伸過程
- ⇒ 氾濫に伴う河道内流量の減少
- ⇒ 掃流力の低下により堆積が促進
- ⇒ 堆積に伴う氾濫流量の増加



ひとたび氾濫を伴えば、長い区間において土砂による河道埋塞を引き起こす可能性

得られた知見と手引きへの組み込み方(案)

得られた知見	手引きへの組み込み
①1時間あたりの堆積区間の上流延伸の距離は等流区間の水深の500倍以上（等流区間の水深が2mだとすれば、1km以上）と非常に大きい。	○堆積形状の時間変化を見込まず、 <u>堆積後の地形を初期条件として考慮</u> （土砂堆積に伴う浸水範囲の最大値の見逃し回避の観点）
②局所区間（堰直上流の u_*/w_0 ）で u_*/w_0 が一定の数値より小さくなると、当該区間を起点として堆積区間が上流に延伸。 （今回の実験では $u_*/w_0 \leq 5$ ）	○現行手引き（水のみ）で得た計算モデルを堆積前河道の水理量として活用 ○ <u>堆積の起点となる区間を抽出</u> ○ <u>橋梁への流木堆積を考慮</u>
③局所区間（堰直上流の u_*/w_0 ）で u_*/w_0 が小さく、堆積の起点となりうる条件であっても、全体の流況を示す等流区間の u_*/w_0 が一定の数値以上の場合、堆積区間の上流延伸が生じていない。（今回の実験では $u_*/w_0 \geq 10$ ）	○現行手引き（水のみ）で得た計算モデルを堆積前河道の水理量として活用 ○ <u>堆積区間の上流端を抽出</u>
④氾濫が発生することで河道内の掃流力が低下し、堆積が促進される。	○設定された区間における堆積高は河岸高程度を基本とし、初期条件（地形）として考慮



設定された堆積後の地形を初期条件とし、
1次元不等流計算等（水のみ）により水位・浸水深分布を算定

事務局提案手法の概要

- 以上の研究成果を踏まえた上で、大量の土砂・流木堆積を考慮した浸想図を作成する手法としては、下記のようなものが想定される(事務局提案手法)。

【手法の流れ(案)】

1. 諸元整理

- ・検討及び計算に必要となるデータの収集整理を行う

2. 計算モデル作成

- ・1次元不等流計算モデルを作成する
- ・この際、土砂堆積の起点となる橋梁等の横断工作物の箇所を計算断面に設定することが重要

3. 堆積前断面での1次元不等流計算

- ・堆積の起点となる箇所を特定するために、清水を堆積前断面で流し、摩擦速度 u_* 等の水理量を算定する

4. 堆積後断面の推定

- ・水理量が閾値を下回った点を堆積の起点として設定する
- ・起点より上流区間において、河岸高までの堆積が発生した堆積後断面を設定する

5. 堆積後断面での1次元不等流計算

- ・堆積後断面に再度清水を流す

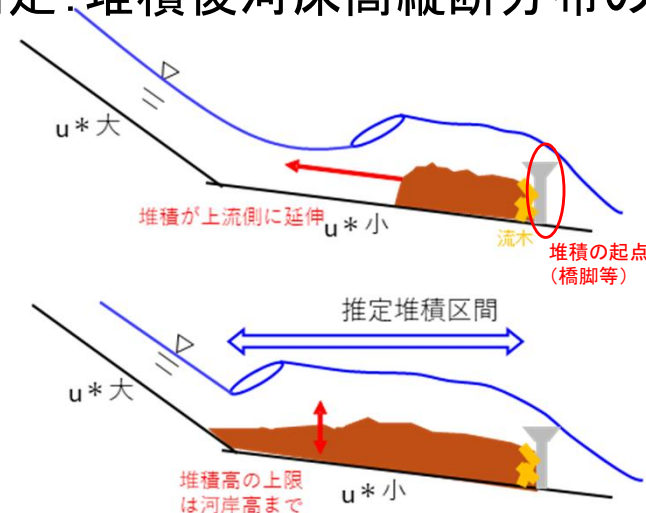
6. 土砂堆積を考慮した浸水深分布の図化

堆積の起点抽出
パート①

堆積形状の推定
パート②

浸水計算
堆積考慮のパート③

【補足：堆積後河床高縦断分布の推定方法】



○ 起点となる箇所及び堆積が延伸する区間について、 u_*/w_0 を用いて推定する。

○ 起点となる箇所としては、橋脚等が考えられる。
なお、流木捕捉を考慮した場合には起点候補となる橋梁が多くなるイメージ。

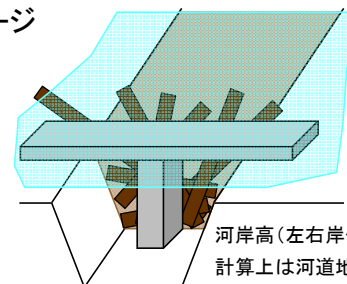
【今後確認すべきポイント】

- ・背水区間の取り扱いについて
堆積メカニズムが異なることが想定される背水区間の取り扱いについては、例えば過去の実績から設定する等の別の手法を設定する必要がある。

【その他留意事項】

- ※ 堆積後断面の推定形に洪水ピーク流量を与えることについて
→ L2浸想の目的を鑑み、より厳しい状況での算出と理解

パート②・③のイメージ



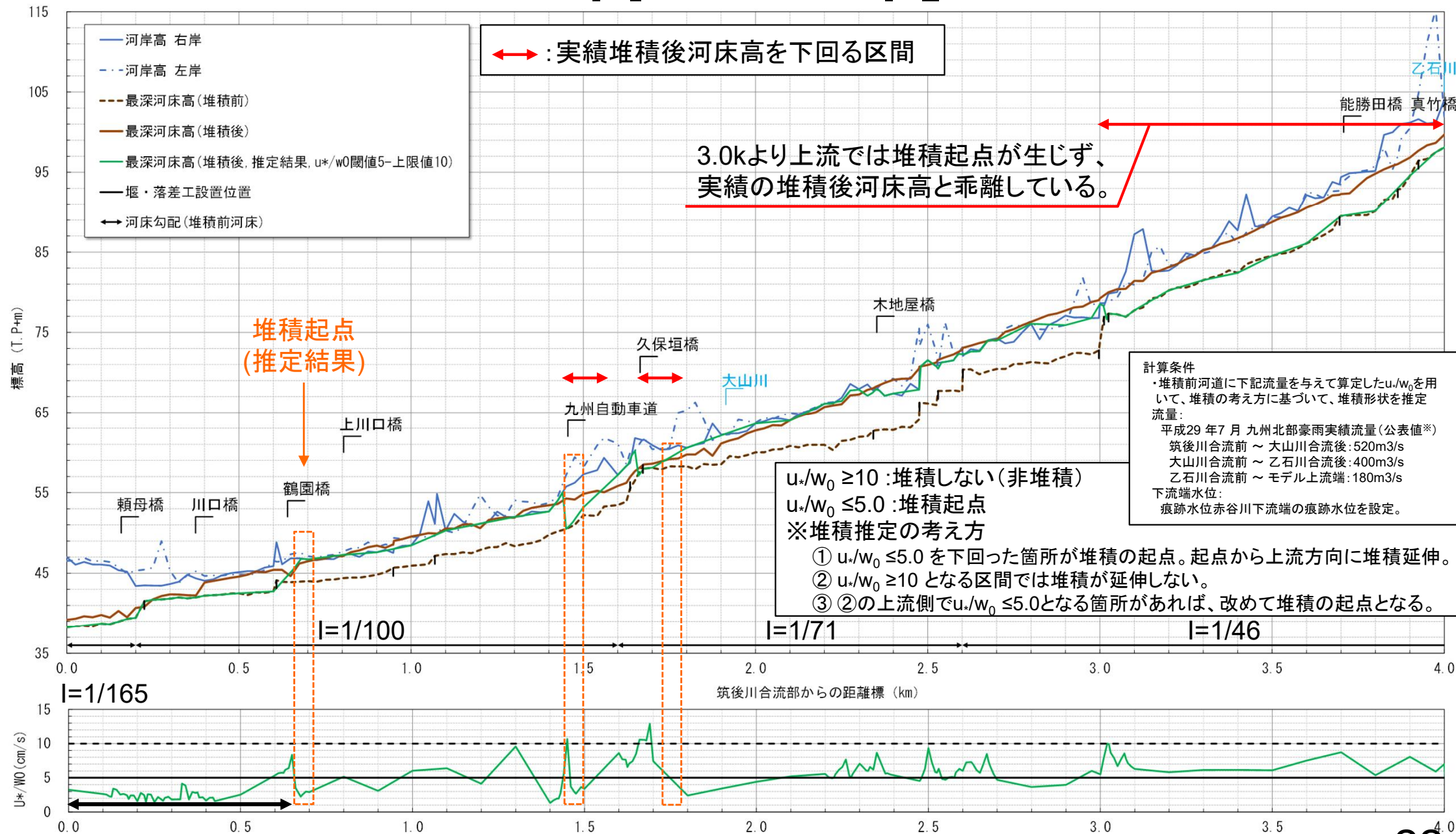
堆積後の地形で、
水のみ的一次元不等流計算を実施し、
浸水深分布を図化

河岸高(左右岸低い方)まで土砂の堆積を想定し、
計算上は河道地形として表現

計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

赤谷川 ①堆積後河床の推定と実績の比較($u_*/w_0 \leq 5$ で堆積の起点, $u_*/w_0 \geq 10$ で堆積の上流延伸停止)



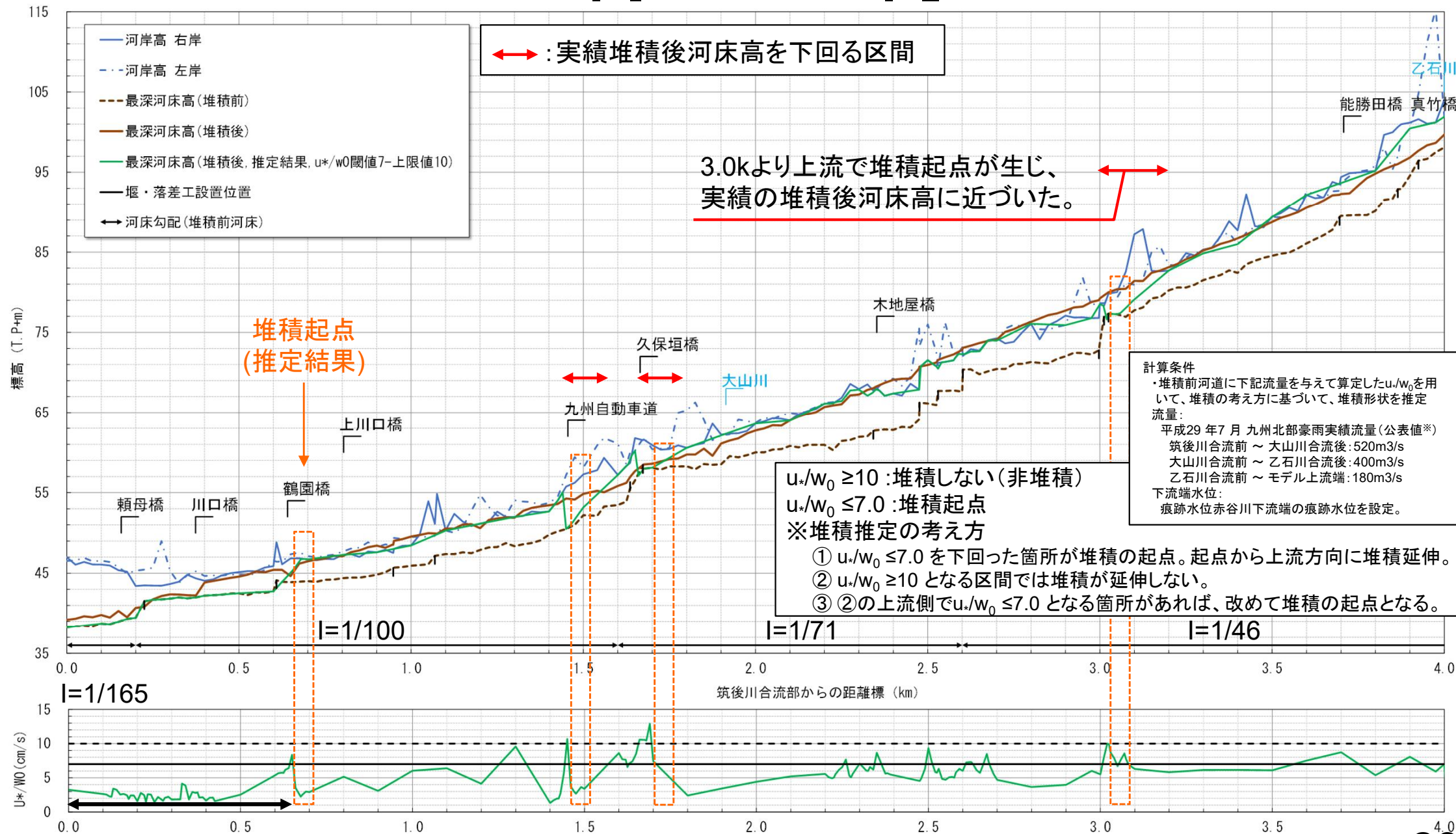
合流先の筑後川本川の水位の影響を受ける背水区間は、閾値を下回っても堆積起点とはならない判定とした。

※筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書 平成29年11月22日

計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

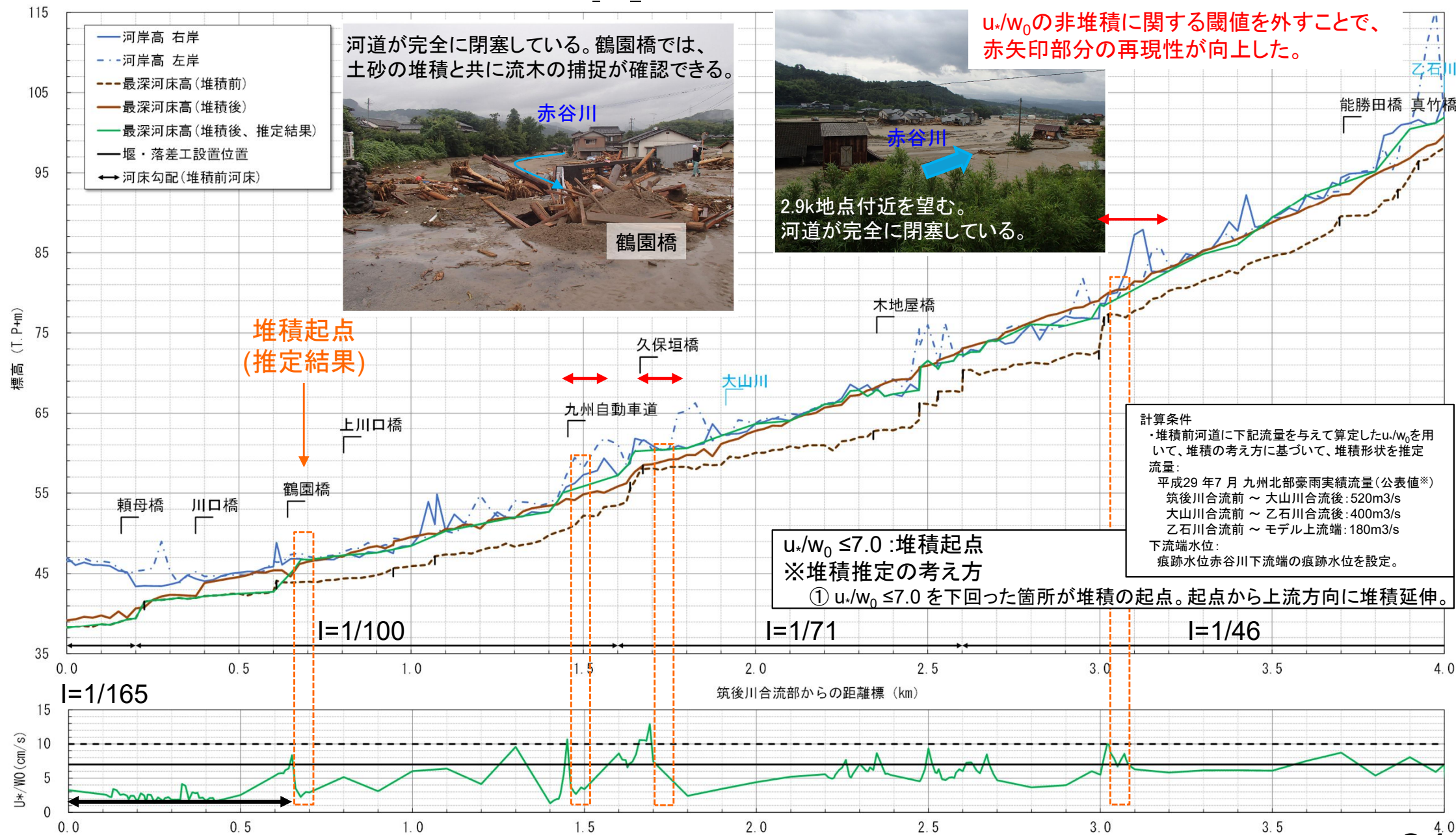
赤谷川 ①堆積後河床の推定と実績の比較($u_*/w_0 \leq 7$ で堆積の起点, $u_*/w_0 \geq 10$ で堆積の上流延伸停止)



計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

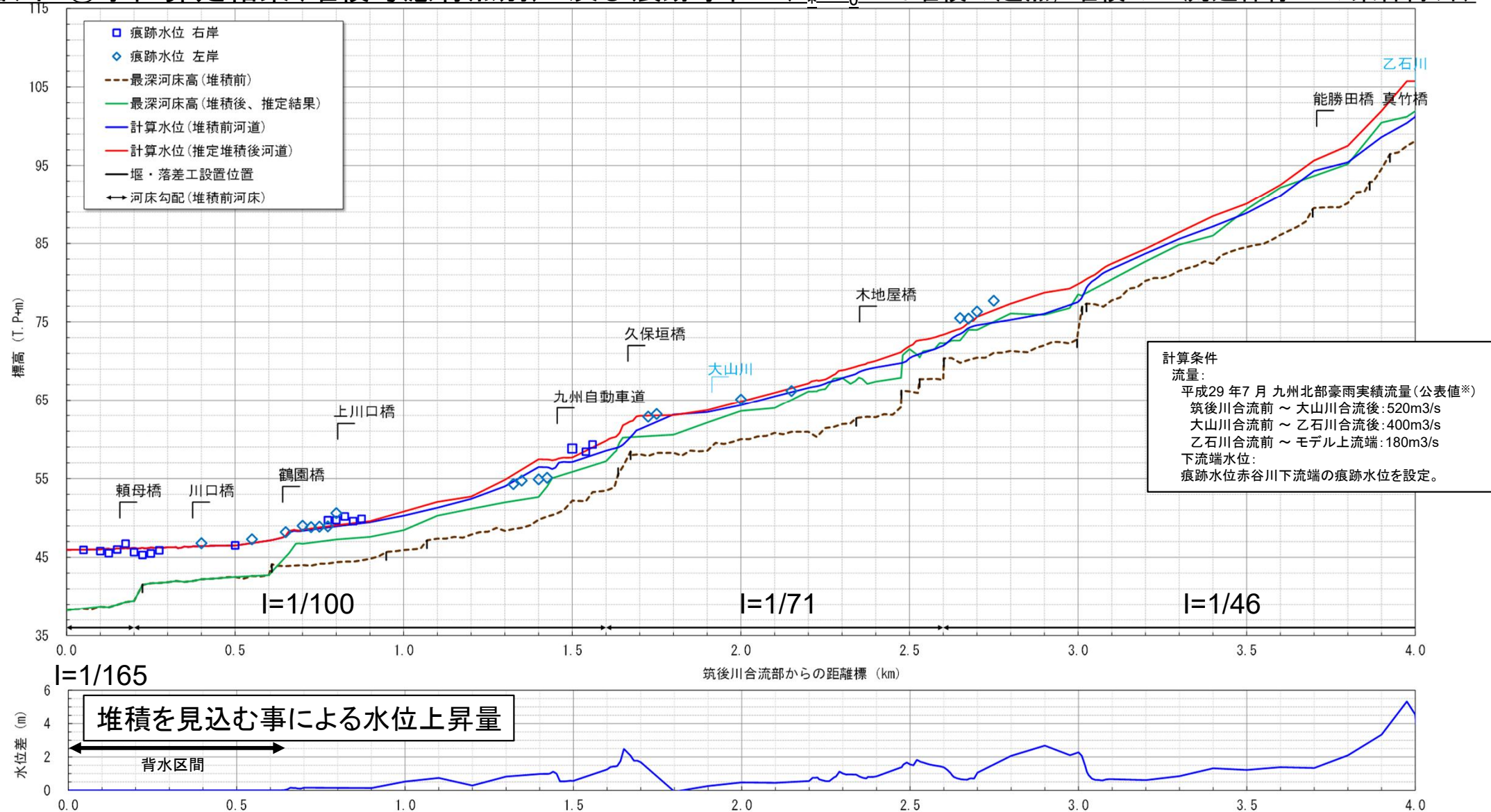
赤谷川 ①堆積後河床の推定と実績の比較($u_*/w_0 \leq 7$ で堆積の起点, 堆積の上流延伸停止の条件除外)



計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

赤谷川 ②水位算定結果(堆積考慮有無別) 及び痕跡水位 ($u_*/w_0 \leq 7$ で堆積の起点, 堆積の上流延伸停止の条件除外)



・土砂堆積を考慮することで、考慮しない場合の算定水位(青実線)よりも水位上昇が発生し(赤実線)、痕跡水位(□◇)と整合が図られることが分かる。
※河口部背水区間については、堆積の影響を考慮していない。

計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

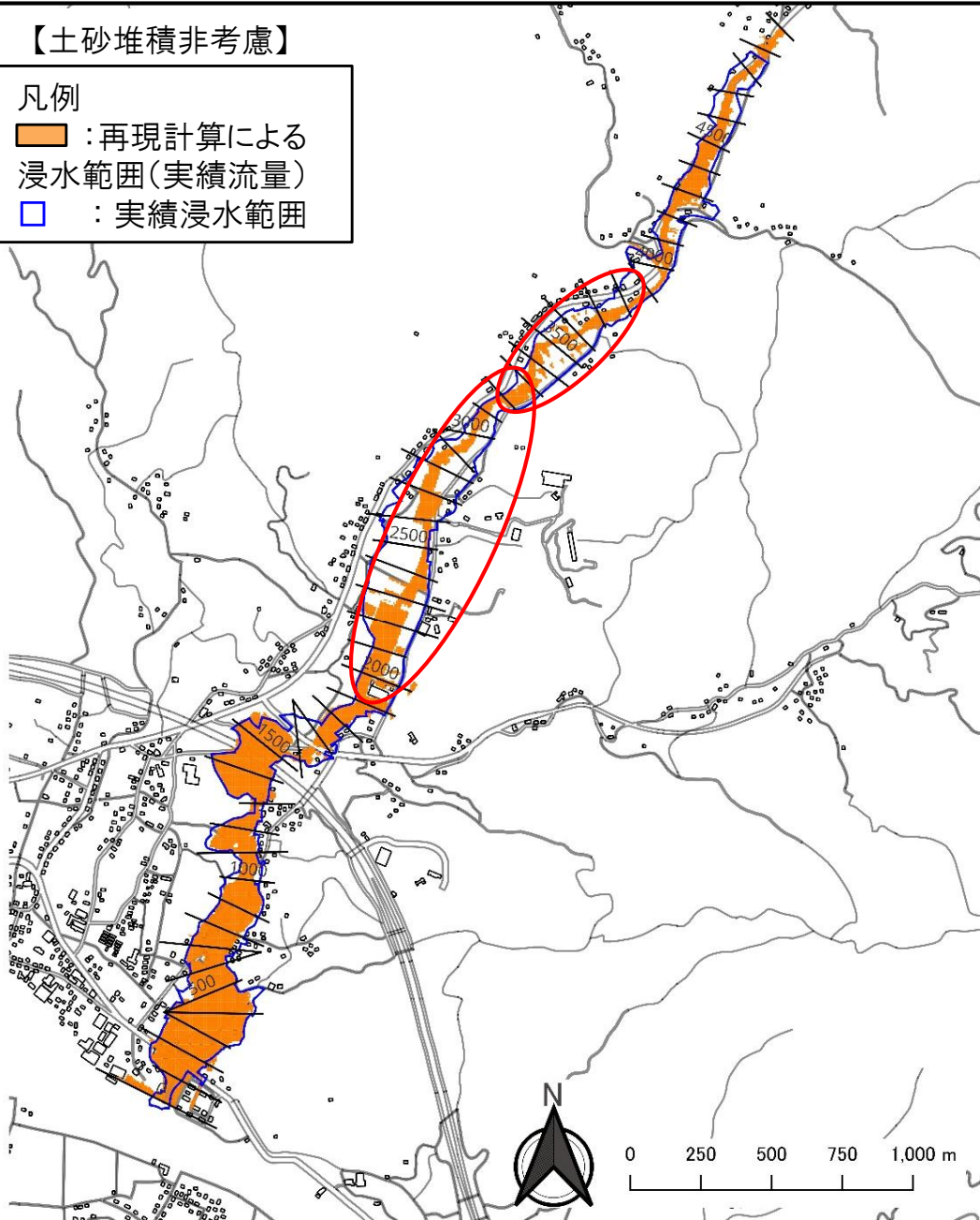
赤谷川 平面図化した際の浸水深分布の比較(実績流量・堆積考慮有無 別)

【土砂堆積非考慮】

凡例

■ : 再現計算による
浸水範囲(実績流量)

□ : 実績浸水範囲

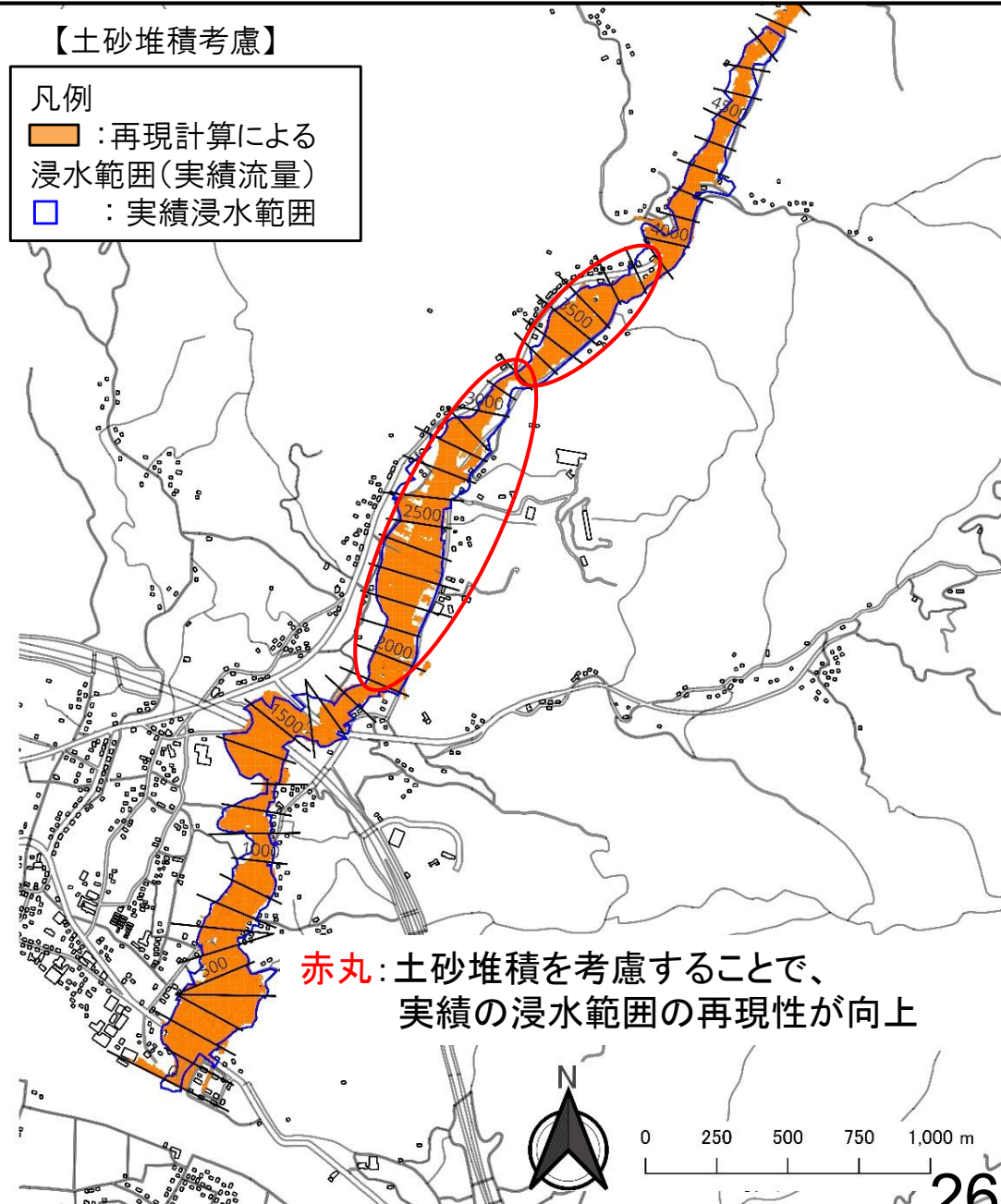


【土砂堆積考慮】

凡例

■ : 再現計算による
浸水範囲(実績流量)

□ : 実績浸水範囲

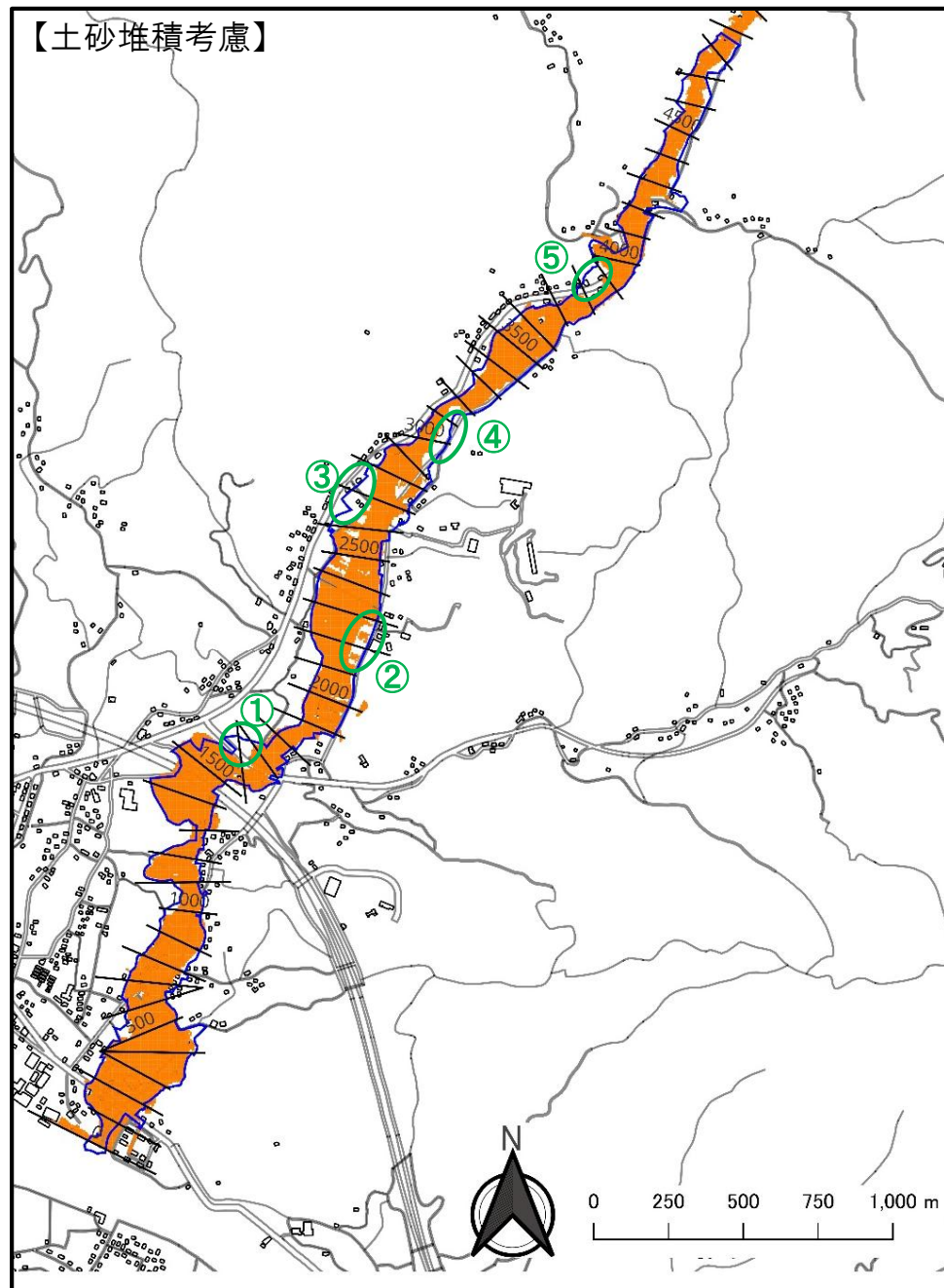


計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

補足: 不適合箇所の理由推測

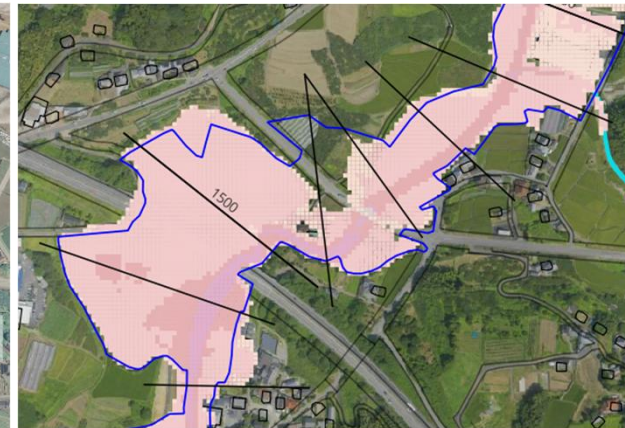
【土砂堆積考慮】



- ・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。

○実績浸水範囲と計算水位の差異について

①の範囲について



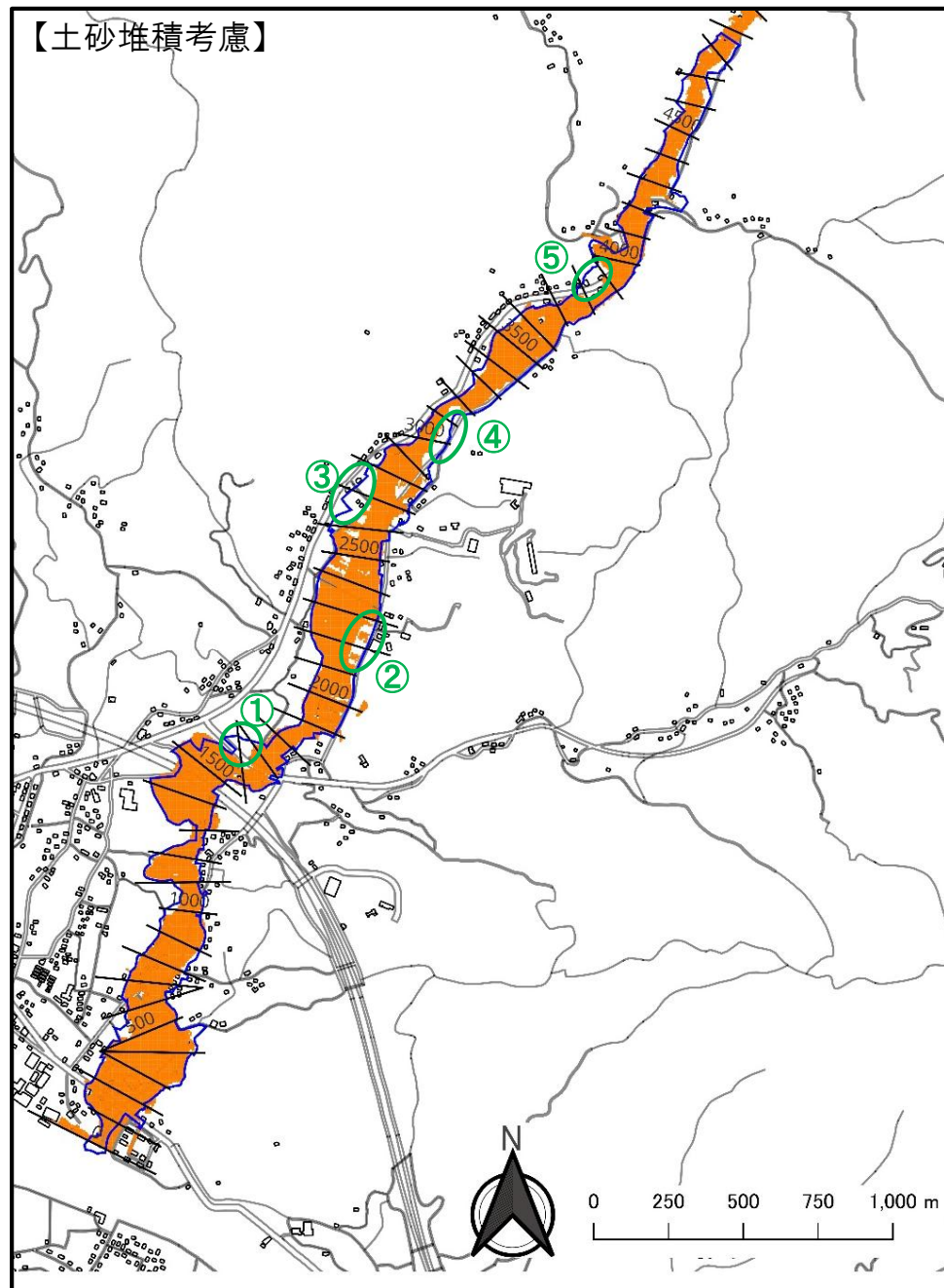
- ・河道屈曲部により水位の堰上げが生じ、氾濫範囲が拡大したと考えられる。(上記現象が、1次元不等流計算の枠組みでは十分に考慮できない。)

計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

補足: 不適合箇所の理由推測

【土砂堆積考慮】



- ・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。

○実績浸水範囲と計算水位の差異について

②の範囲について



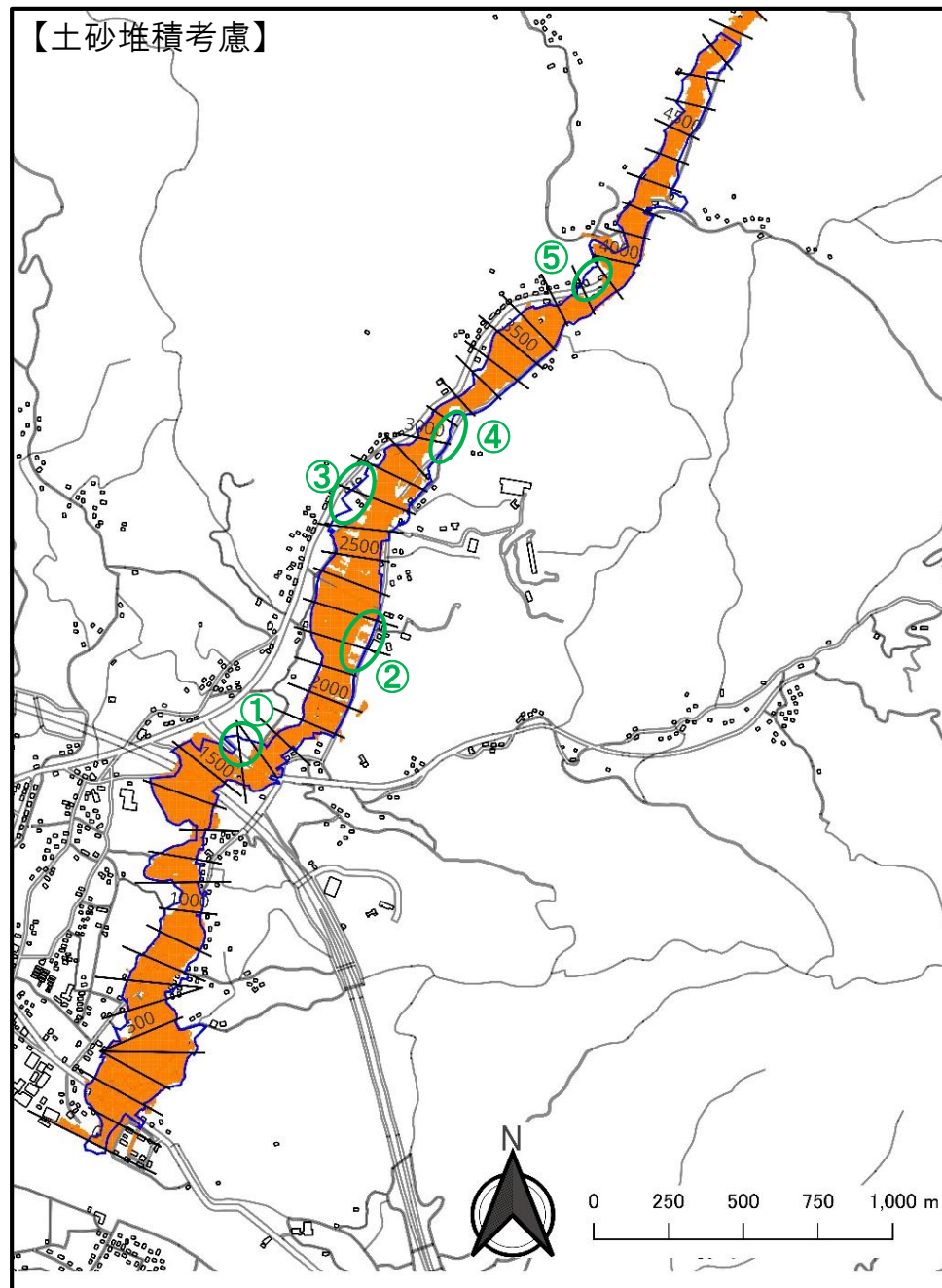
- ・オレンジ色で示す範囲の中に、周囲よりも1~2m高い範囲(黒点線部分)があり、計算上はその高い部分が浸水しない計算となっている。
なお、近隣で計測された痕跡水位は計算上再現できている。
(想定される要因)
- ・現地状況を確認すると、わずかに高い地盤高上にビニールハウスがあることから、浸水の程度に濃淡が生じていたと推定される。
そのため、実績浸水範囲は包絡した範囲がとられていると推定される。

計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

補足: 不適合箇所の理由推測

【土砂堆積考慮】



- ・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。

○実績浸水範囲と計算水位の差異について

③の範囲について



・横から溪流が流入しており、被災後航空写真より土砂崩れが起きた痕跡がみられ、その土砂がオレンジ丸部分に堆積したと考えられる。

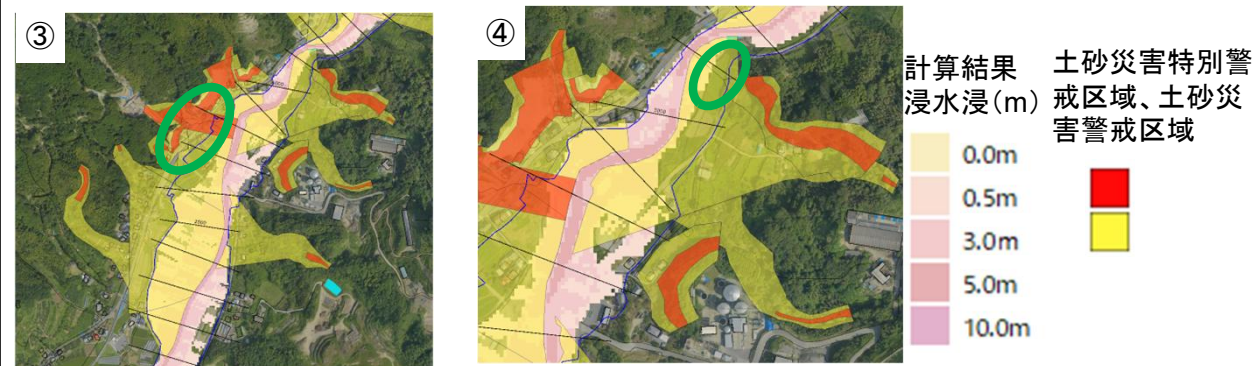
④の範囲について



・被災後航空写真からは土砂崩れが起きた痕跡はみられないものの、国土地理院によって土砂崩壊地と推定されている。

⇒本川上流からの土砂ではなく、支川や溪流等によって生産された土砂が本川との合流部付近に堆積した影響が、実績浸水範囲には含まれているものと考えられる。

○参考: 土砂災害警戒区域との関係性について



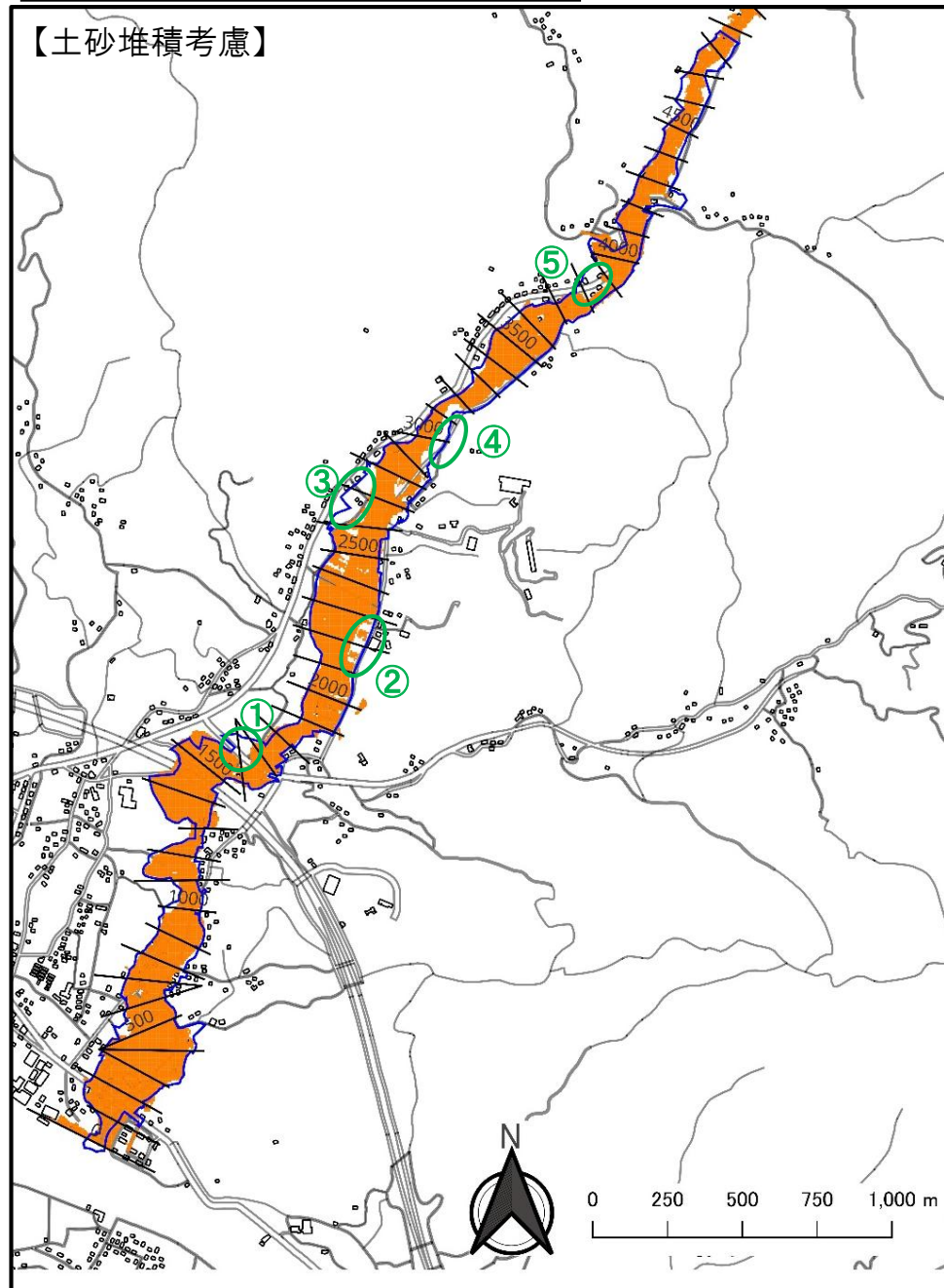
- ・浸水推定(左図)の範囲外となっているエリアは、土砂災害警戒区域になっており、重ね合わせることでハザードエリアをカバーできている。

計算結果例(赤谷川)

【福岡県】

補足: 不適合箇所の理由推測

【土砂堆積考慮】



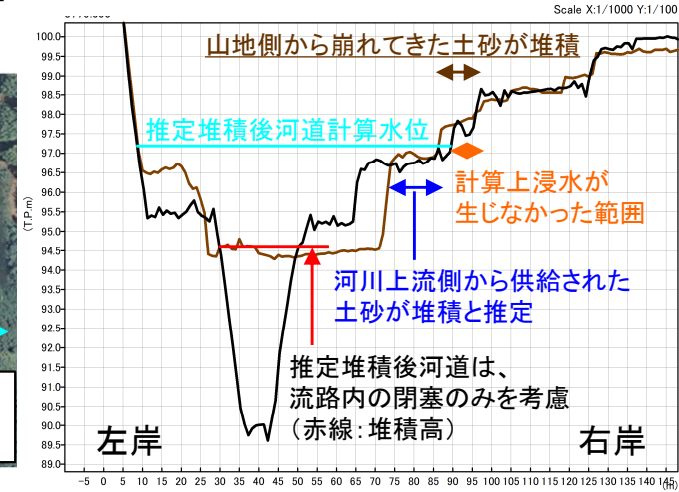
・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。

○実績浸水範囲と計算水位の差異について

⑤の範囲について



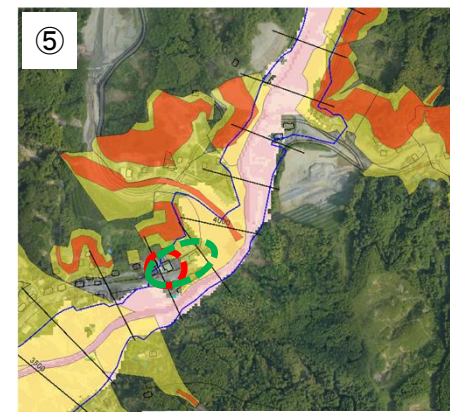
3.775k



・横から乙石川や溪流が流入していることや、裏山が崩れた痕跡があり、それらによる土砂がオレンジ丸部分に堆積したものと考えられる。
・横断面で確認すると、河川側から供給された土砂が堆積した箇所もあるが、差異の原因としては山地側から崩れてきた土砂に起因すると推察される。

⇒本川上流からの土砂に加え、支川や溪流等によって生産された土砂が本川との合流部付近に堆積した影響が、実績浸水範囲には含まれているものと考えられる。

○参考: 土砂災害警戒区域との関係性について



計算結果
浸水浸
(m)

0.0m
0.5m
3.0m
5.0m
10.0m

土砂災害特別警戒区域
土砂災害警戒区域

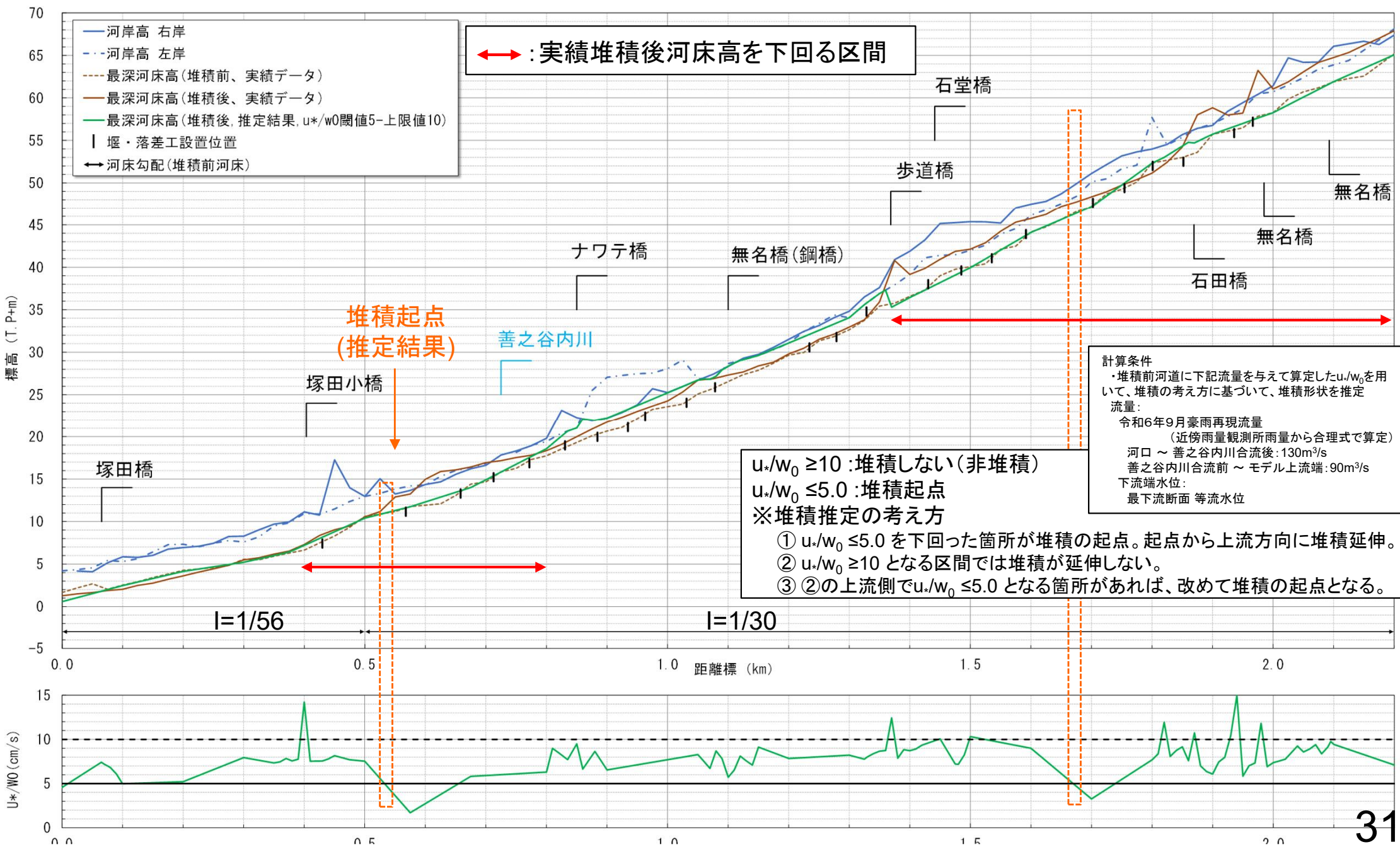


・浸水推定(左図)の範囲外となっているエリア(緑点線範囲)について、土砂災害警戒区域と重ね合わせることでハザードエリアを一部カバーしているが、赤点線範囲については空白域となっている。

計算結果例(塚田川)

【石川県】

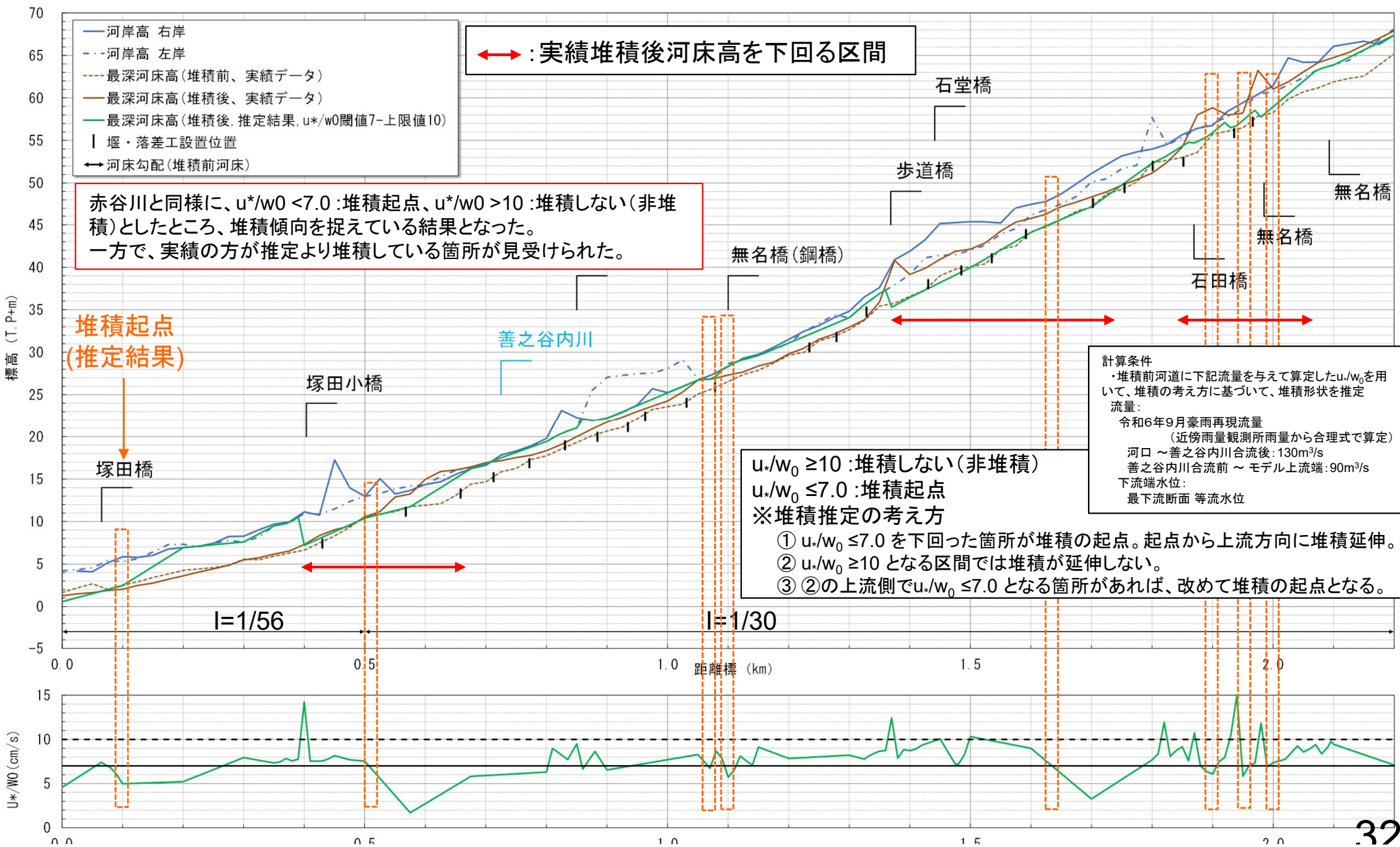
塚田川 ①堆積後河床の推定と実績の比較 ($u_*/w_0 \leq 5$ で堆積の起点, $u_*/w_0 \geq 10$ で堆積の上流延伸停止)



計算結果例(塚田川)

【石川県】

塚田川 ①堆積後河床の推定と実績の比較 ($u_*/w_0 \leq 7$ で堆積の起点, $u_*/w_0 \geq 10$ で堆積の上流延伸停止)

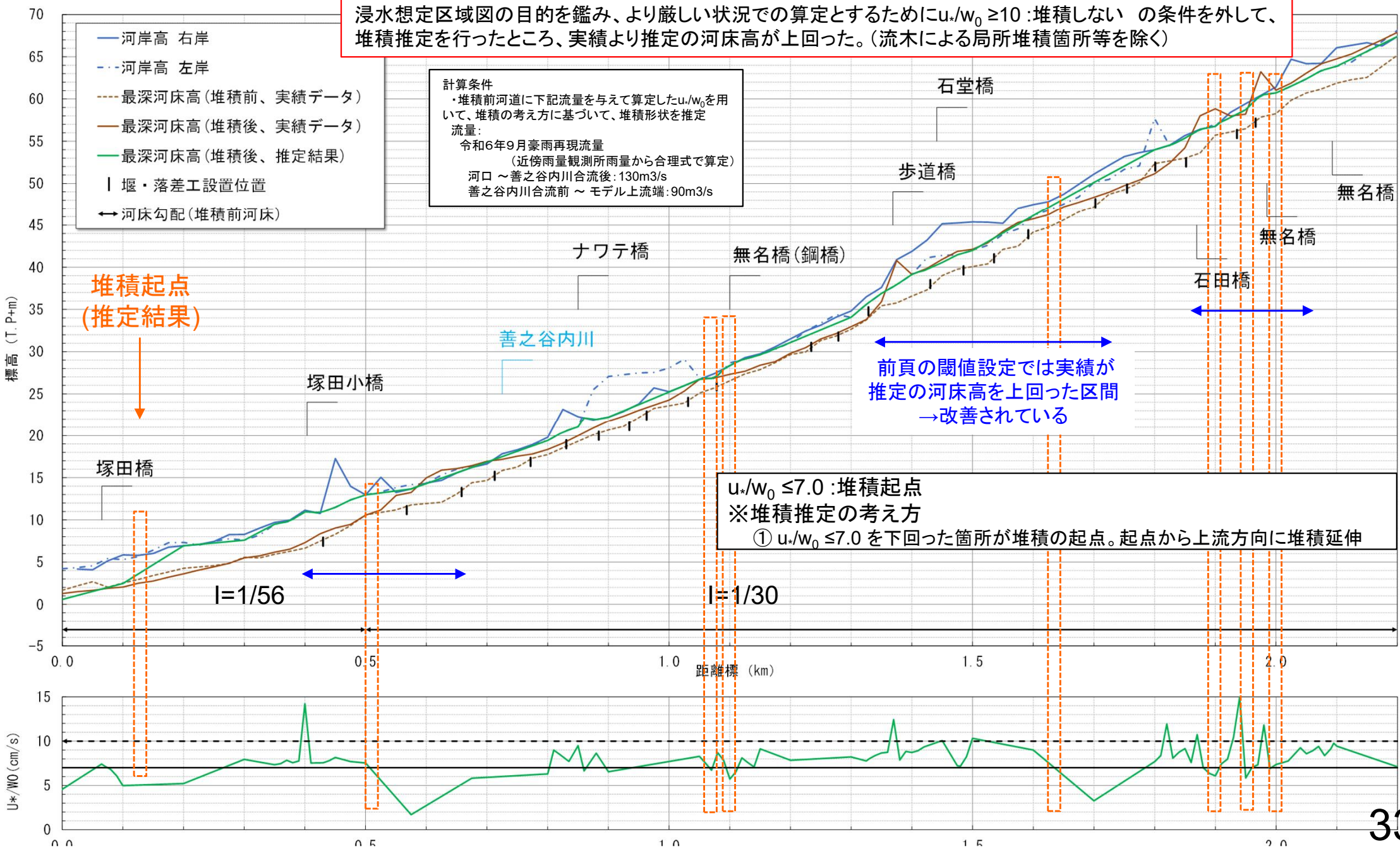


計算結果例(塚田川)

【石川県】

塚田川 ①堆積後河床の推定と実績の比較 ($u_*/w_0 \leq 7$ で堆積の起点, 堆積の上流延伸停止の条件除外)

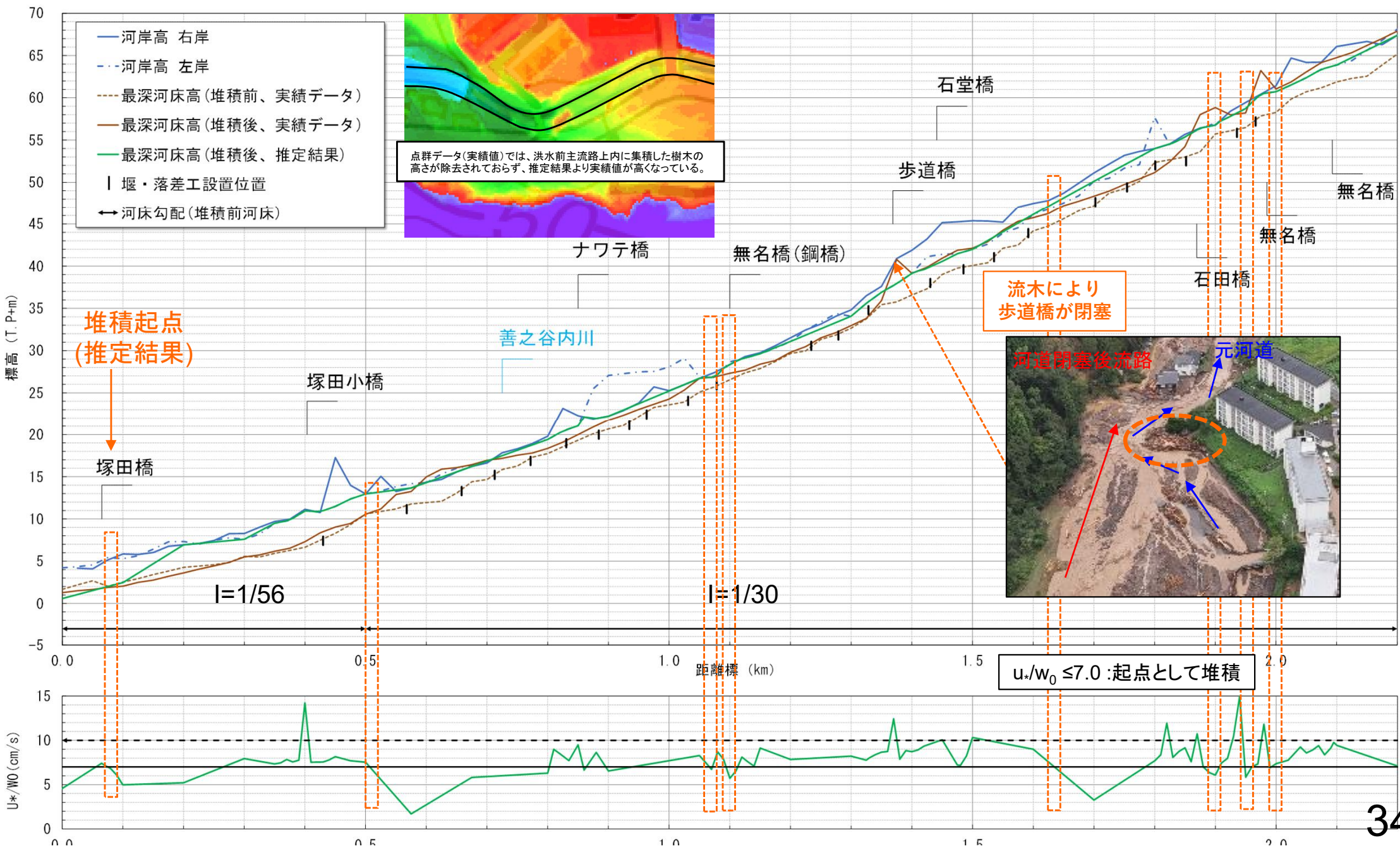
浸水想定区域図の目的を鑑み、より厳しい状況での算定とするために $u_*/w_0 \geq 10$: 堆積しない の条件を外して、堆積推定を行ったところ、実績より推定の河床高が上回った。(流木による局所堆積箇所等を除く)



計算結果例(塚田川)

【石川県】

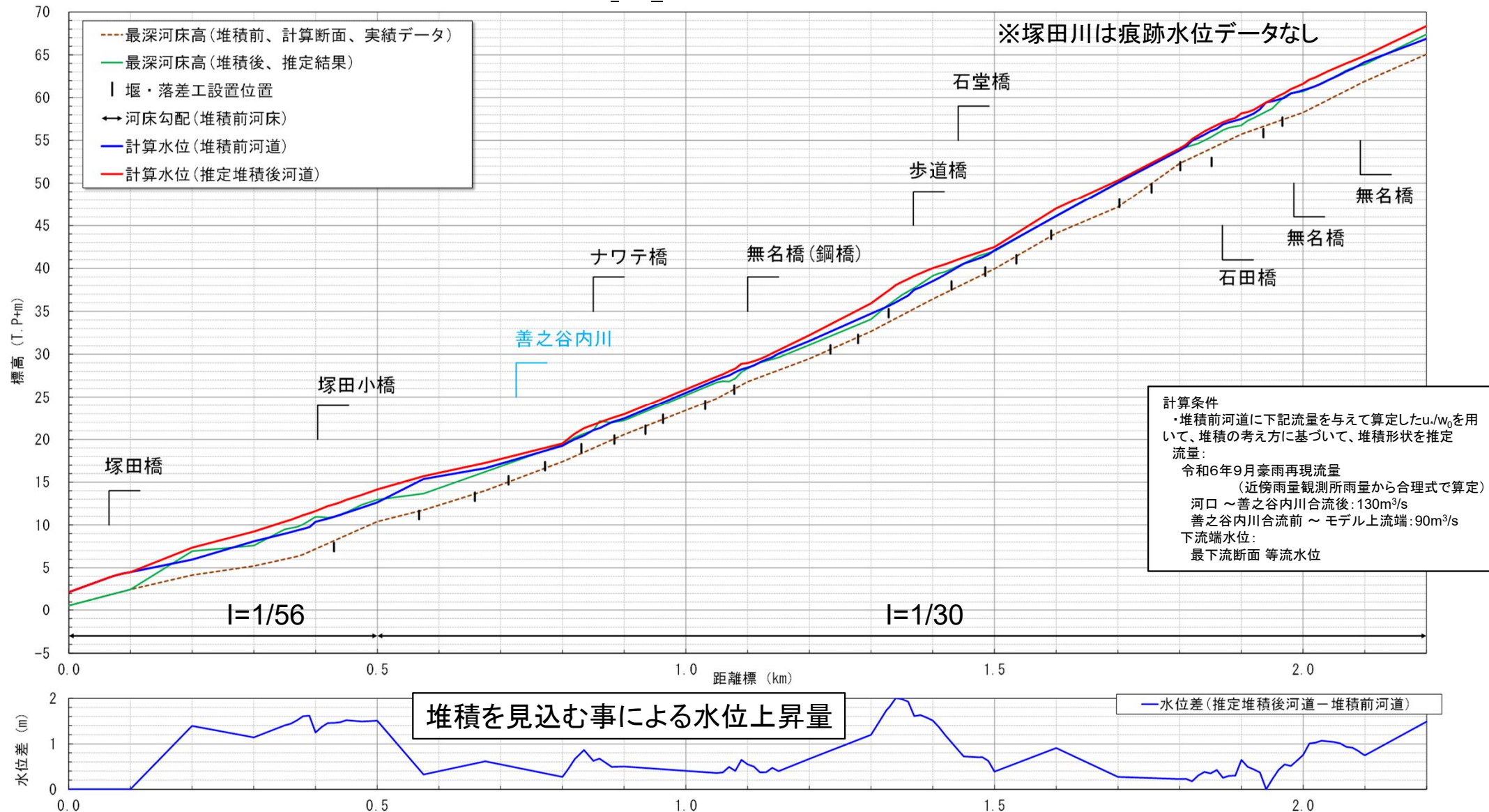
塚田川 ①堆積後河床の推定と実績の比較 ($u_*/w_0 \leq 7$ で堆積の起点, 堆積の上流延伸停止の条件除外)



計算結果例(塚田川)

【石川県】

塚田川 ②水位算定結果(堆積考慮有無別) ($u_* / w_0 \leq 7$ で堆積の起点, 堆積の上流延伸停止の条件除外)



- ・土砂堆積を考慮することで、考慮しない場合の算定水位(青実線)よりも水位上昇が発生(赤実線)
 →痕跡水位データがないため、縦断面図上では適合性を確認できないが、平面図化した後の実績浸水範囲との整合で適合性が上昇していることを確認。但し、赤谷川と比較すると、精度は良くない。

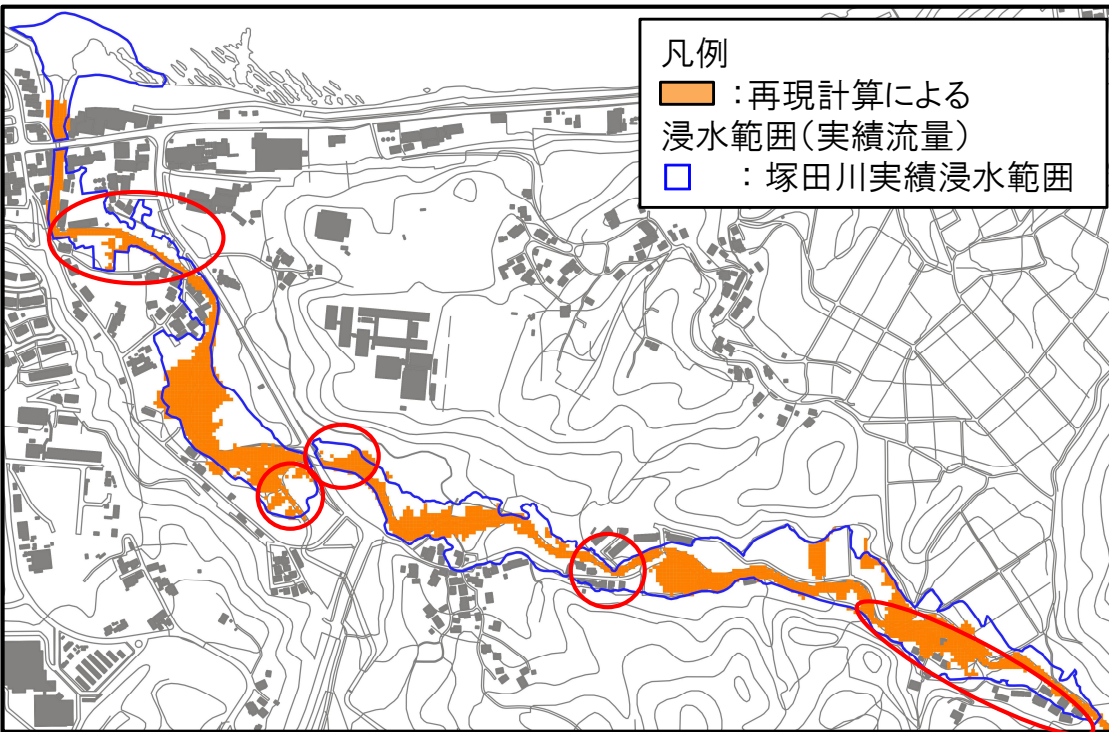
計算結果例(塚田川)

【石川県】

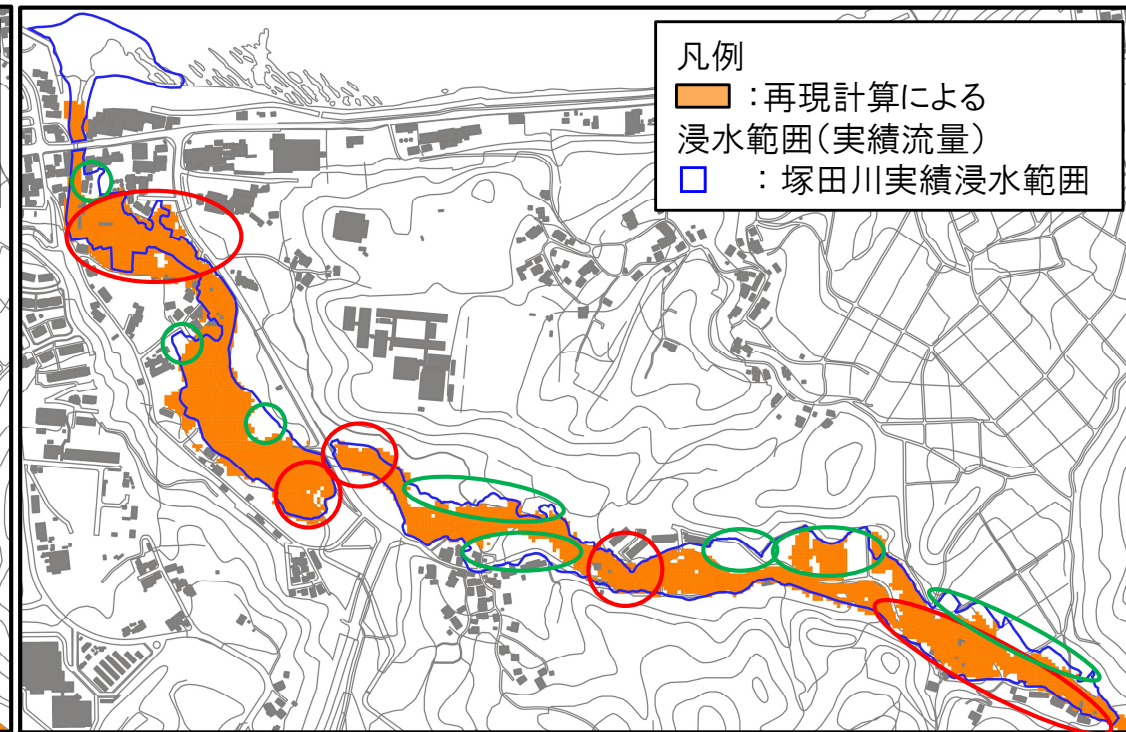
塚田川 平面図化した際の浸水深分布の比較(実績流量・堆積考慮有無 別)

○ 土砂堆積を考慮することで、実績の浸水範囲の再現に寄与している箇所(赤丸)が存在する一方で、依然として、実績の浸水範囲よりも計算による浸水範囲が狭い箇所(緑丸)が存在する。

【土砂堆積非考慮】



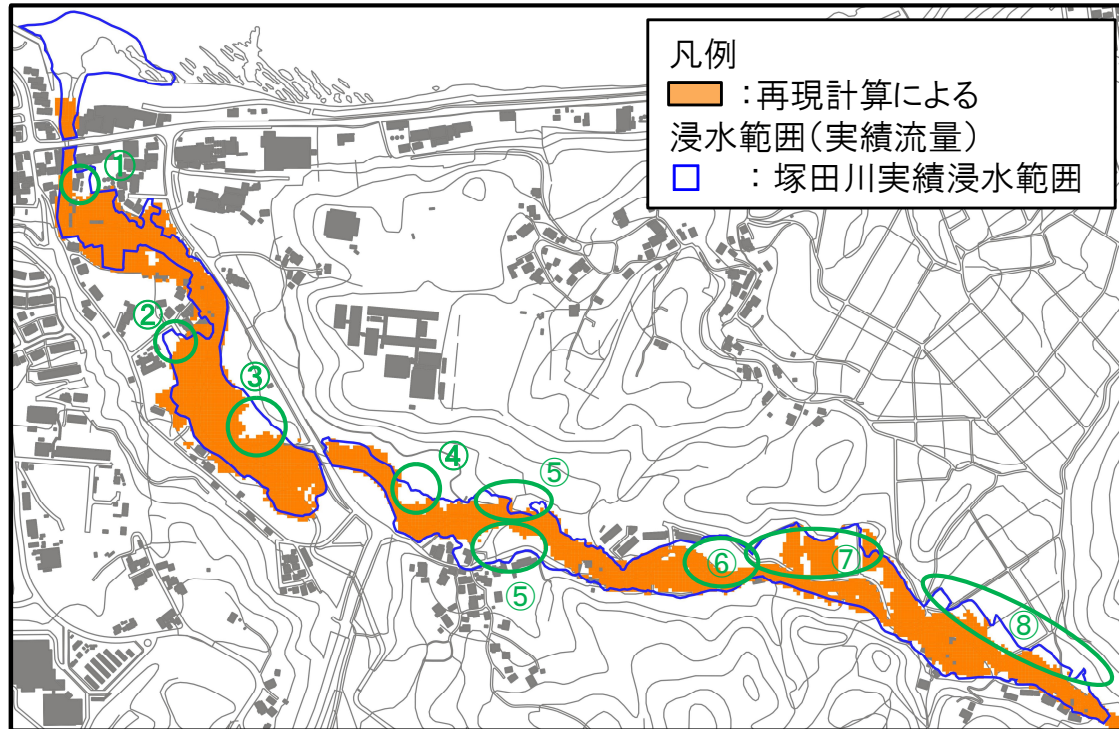
【土砂堆積考慮】



計算結果例(塚田川)

【石川県】

補足: 不適合箇所の理由推測



・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。



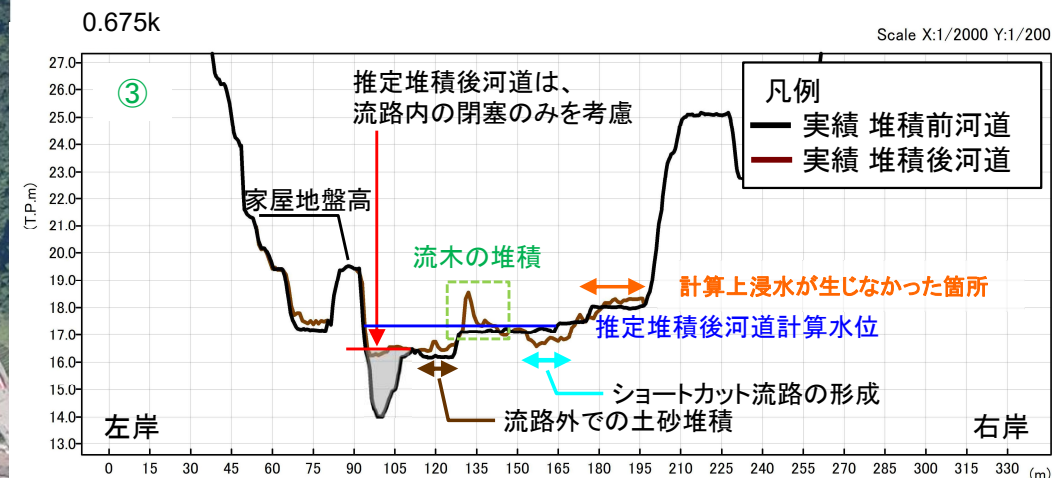
・屈曲部により水位のせきあげが生じ、氾濫範囲が拡大したと考えられる。



・ショートカット流れが発生。



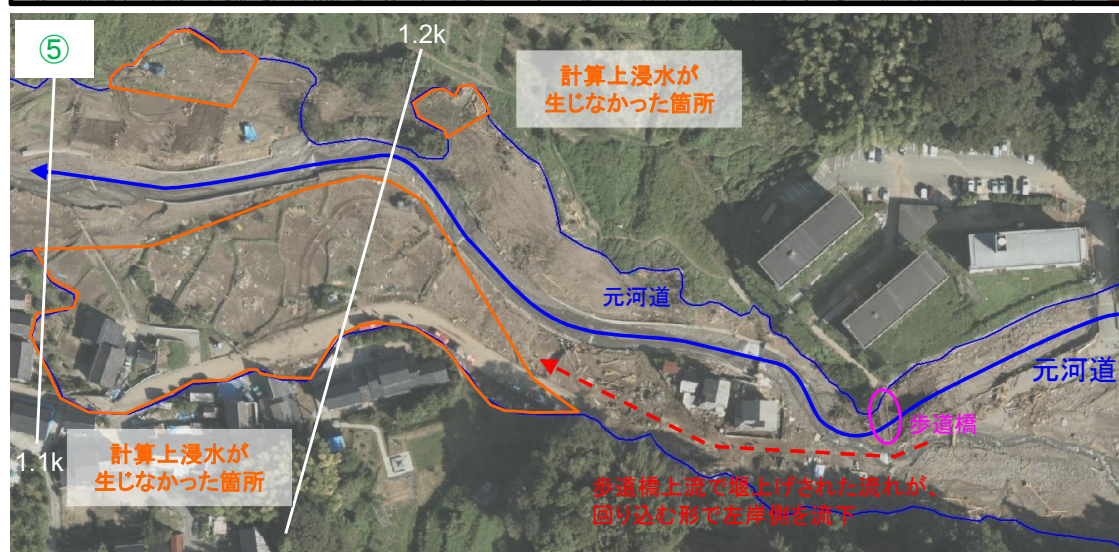
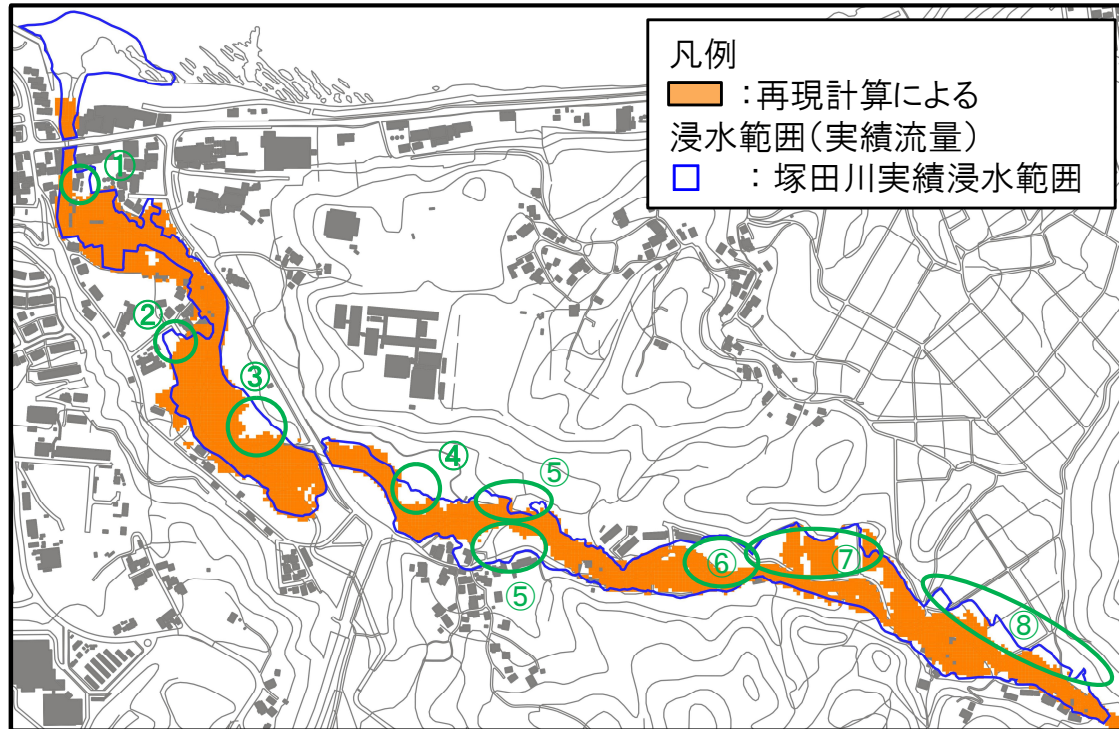
・護岸破損箇所からショートカット流れが発生。
 新しい流路が形成されると共に、土砂と流木により河道(流路外も含む)が閉塞。



計算結果例(塚田川)

【石川県】

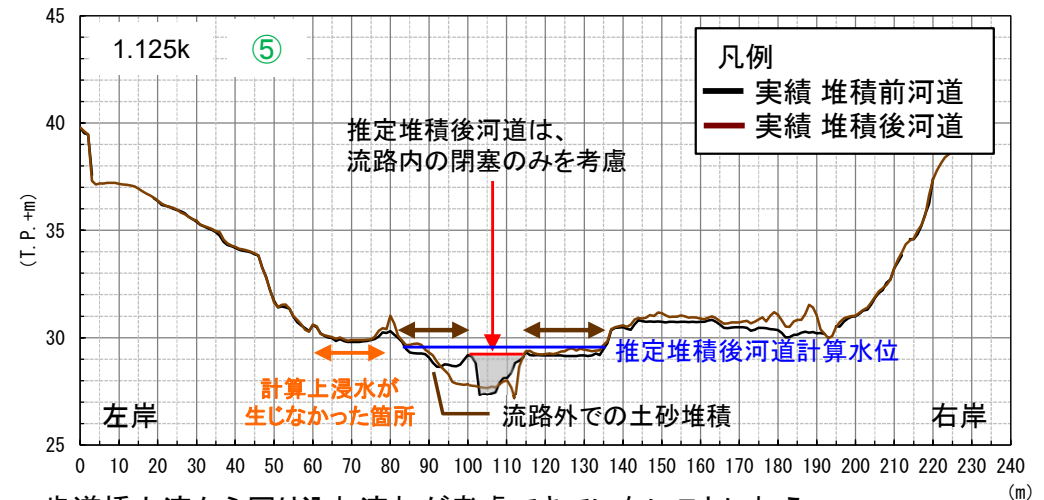
補足: 不適合箇所の理由推測



- ・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。



- ・被災前流路に対して直交するよう測線を設定し、河道断面を作成。そのため、谷底地形を流下する氾濫流の流れを想定した場合、流下断面を過大に設定している可能性がある。測線を見直したケースは、P.41より記載。

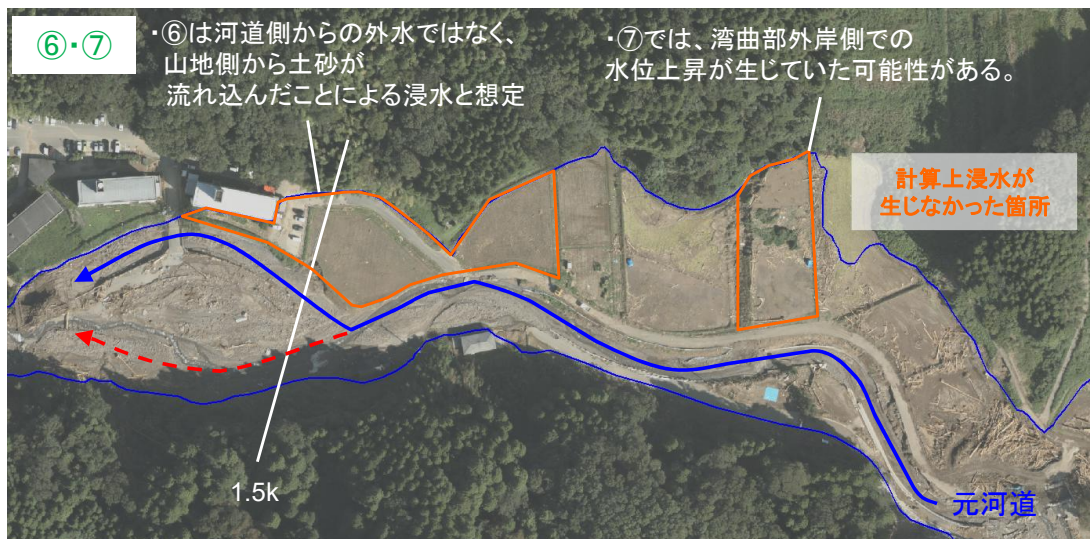
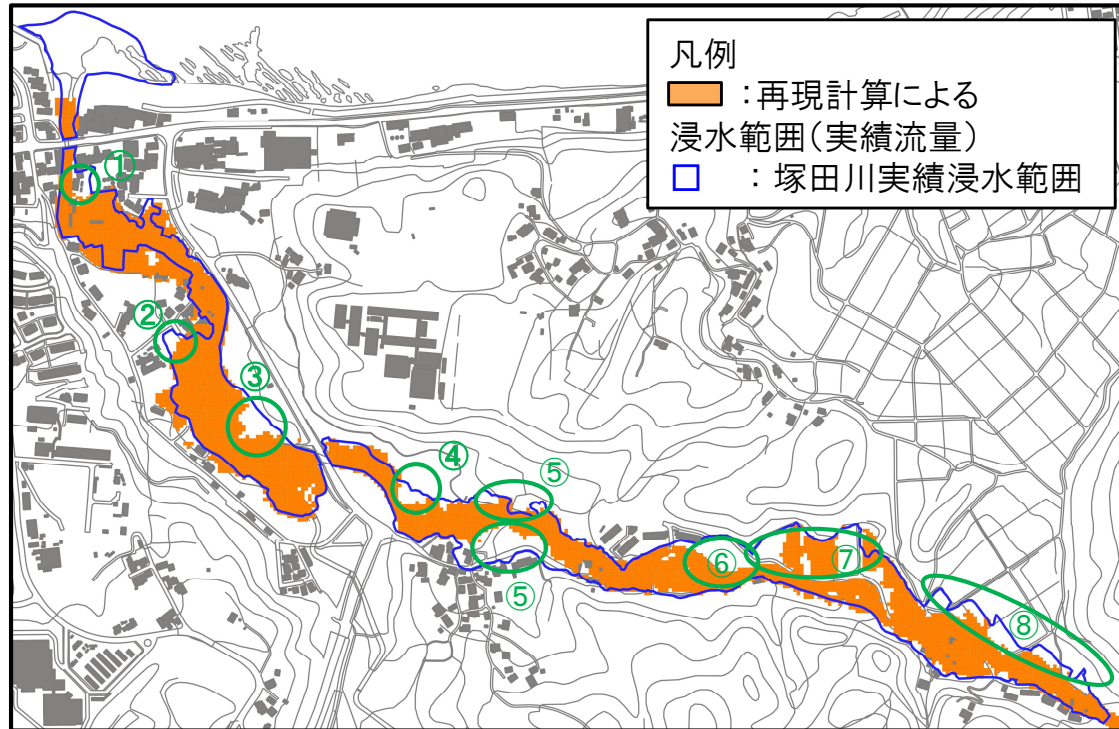


- ・歩道橋上流から回り込む流れが考慮できていないことに加え、流路以外の箇所(自然堤防の堤内側)でも土砂の堆積が確認できる。横断方向の土砂堆積範囲についての考慮が必要と考えられる。

計算結果例(塚田川)

【石川県】

補足: 不適合箇所の原因推測



出典(現地写真): 石川県提供のUAV動画よりキャプチャ(撮影日: 令和6年10月15日)

・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。

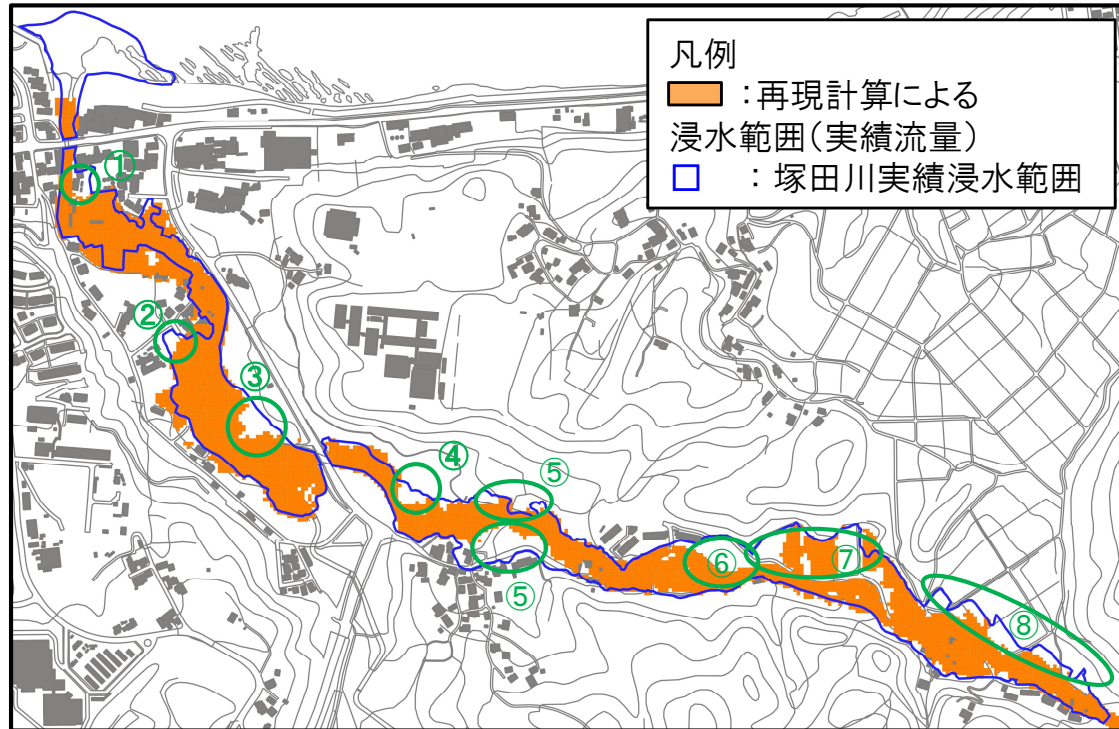


← 塚田川
⇒河道からの越水ではなく、背後の山地から流入したのと考えられる。

計算結果例(塚田川)

【石川県】

補足: 不適合箇所の理由推測



・実績に比べ、浸水範囲の計算結果が小さくなっている箇所(緑丸)について、その要因を調べた。



・橋梁部において流木による河積阻害が発生している。
 橋桁より上の部分にも流木が堆積しているため、流路の河道閉塞を考慮するのみでは、現地での水位せき上げ量を見込めていない可能性がある。

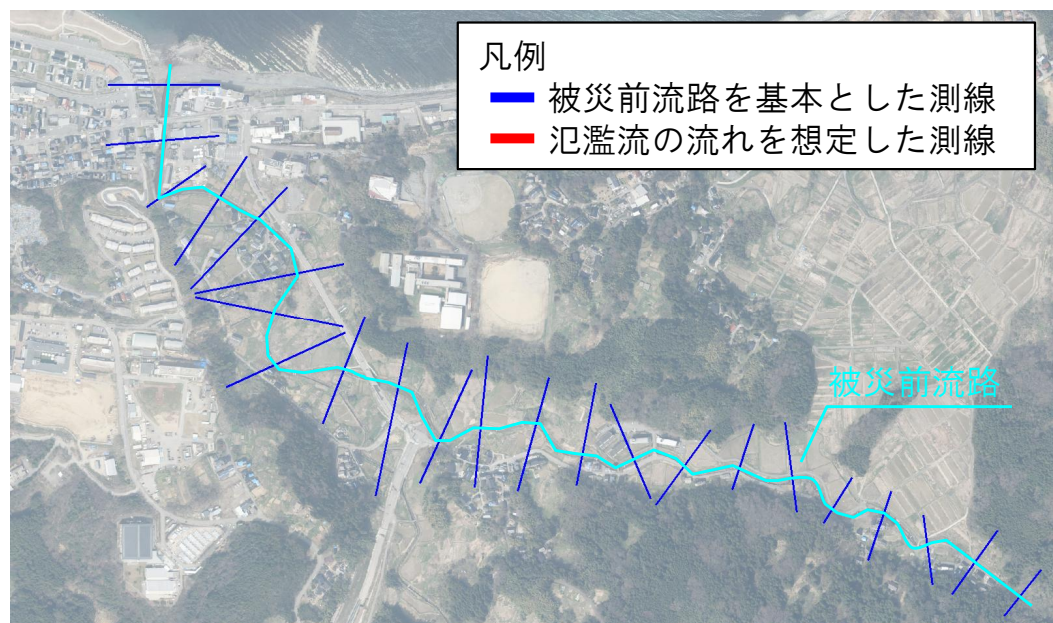
計算結果例(塚田川:閉塞後河道を想定した測線での計算)

【石川県】

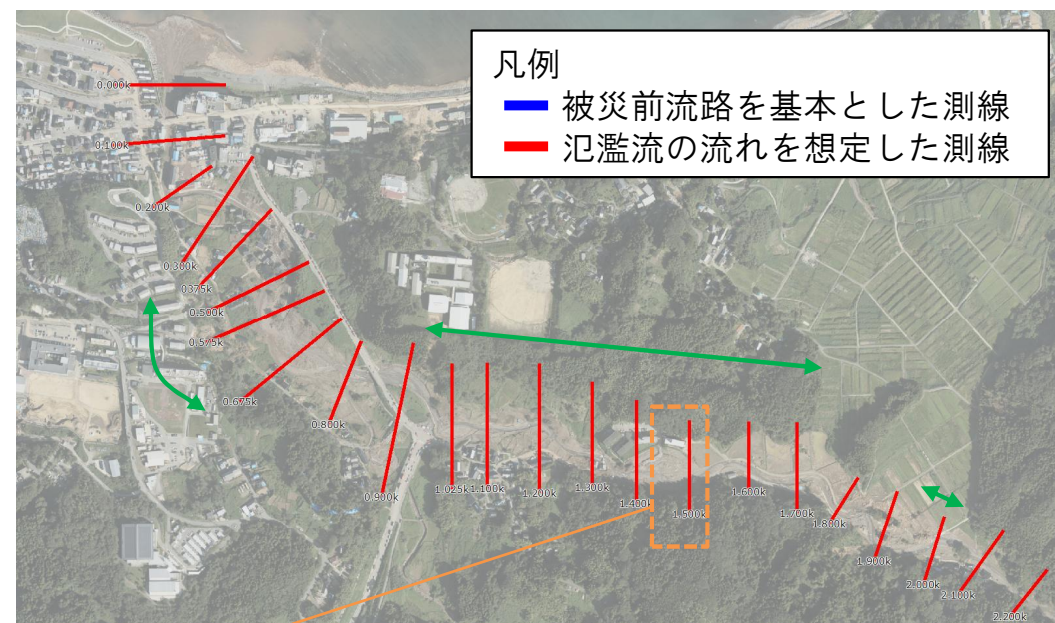
○水位が低く計算されたことへの対応として、氾濫原全体を流れる状況を踏まえた測線位置の見直しを行った。

- ・前頁までの検討では、河道法線形に沿った形で測線を設定している。
- ・そのため、河道縦断方向の流れではなく、氾濫原を全体的に流下する場合には、解析断面上の河積を大きく見込んでいる可能性がある。
- ・氾濫原を一体的に流下する状況を想定した測線を設定し直し、浸水範囲の精度向上が得られるか確認した。

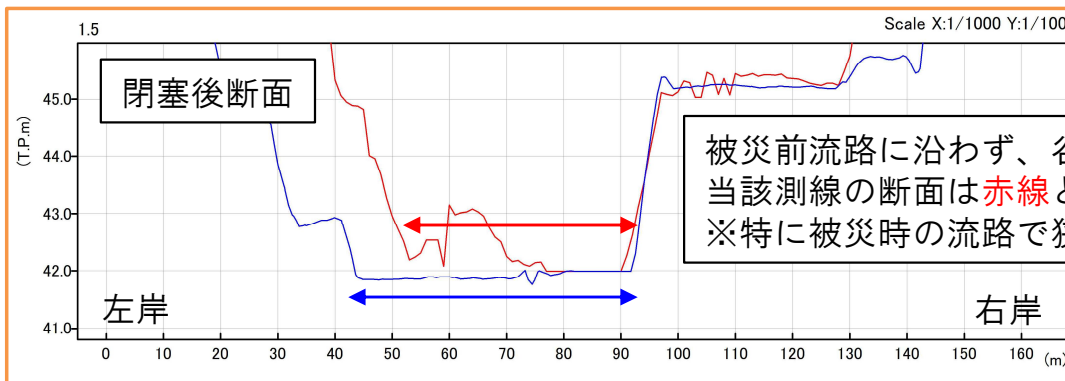
【能登半島豪雨被災前航空写真】



【能登半島豪雨被災後航空写真】



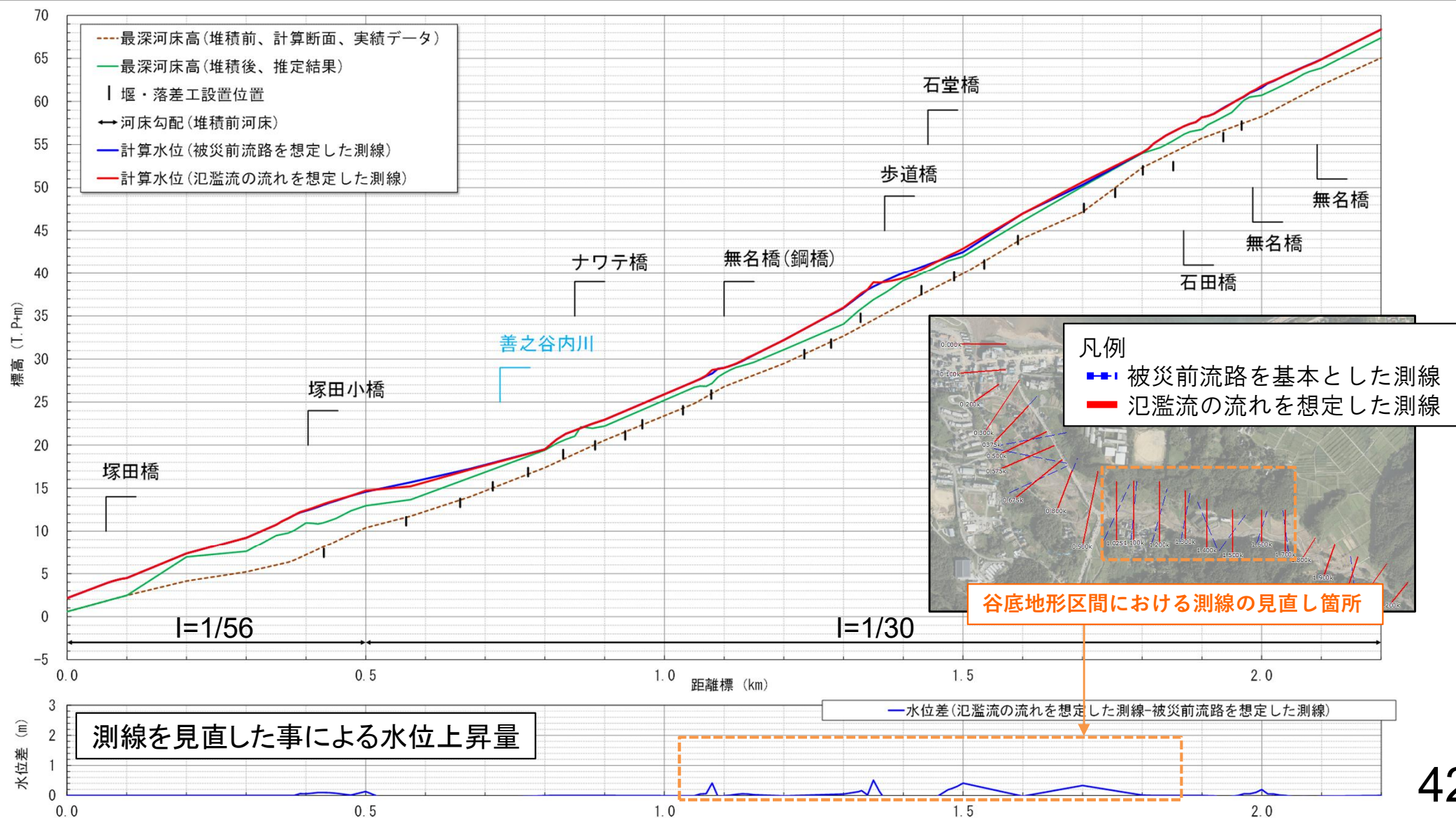
氾濫流を想定し緑矢印区間の測線設定を見直し。
氾濫流の流れに対し、直交するよう設定。



計算結果例(閉塞後河道を想定した測線での計算)

【石川県】

- 善之谷内川合流部上流(氾濫流が谷底地形を流下する区間)において、断面の見直し(流下幅の減少)により被災前流路を基本とした測線の水位(青実線)より、氾濫流の流れを想定した測線(赤実線)の水位が高い。
- 善之谷内川合流部下流では、数cm単位の水面上昇は見られるが大きく変化は無い。
- 氾濫流 流下時に狭窄部となり得る箇所については、測線の設定が浸水範囲の再現性に寄与するものと考えられる。

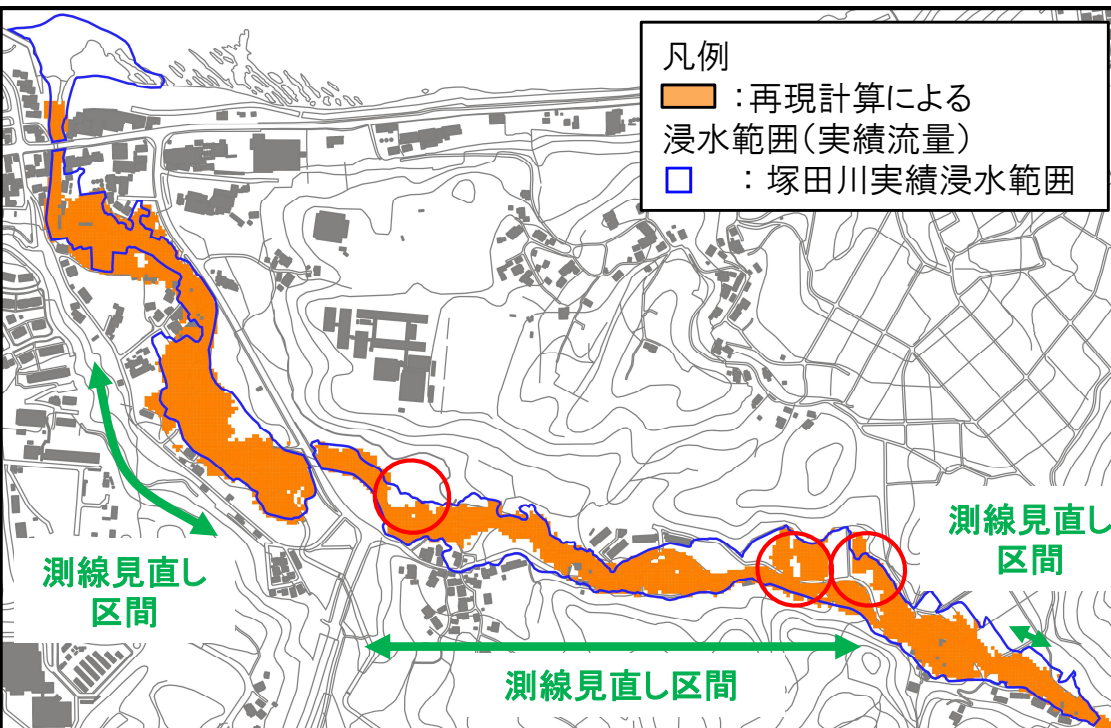


計算結果例(塚田川:閉塞後河道を想定した測線での計算)

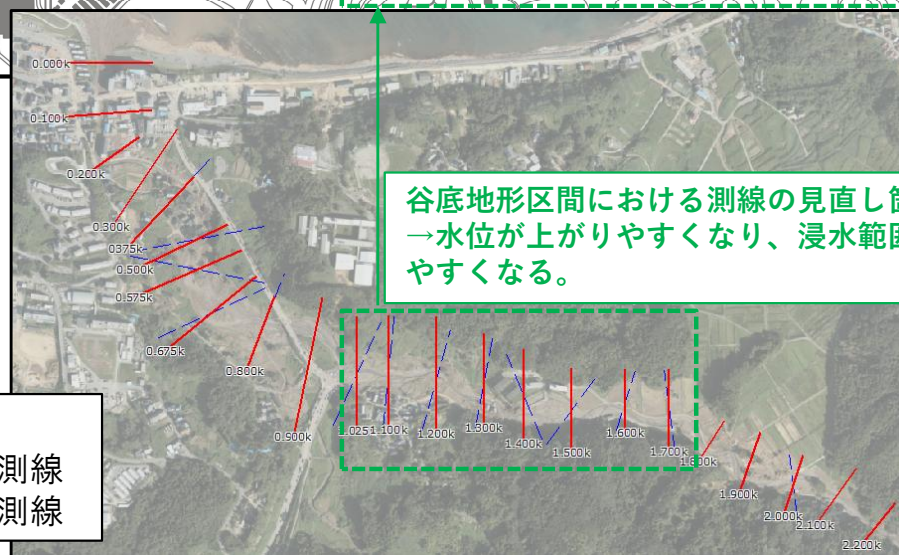
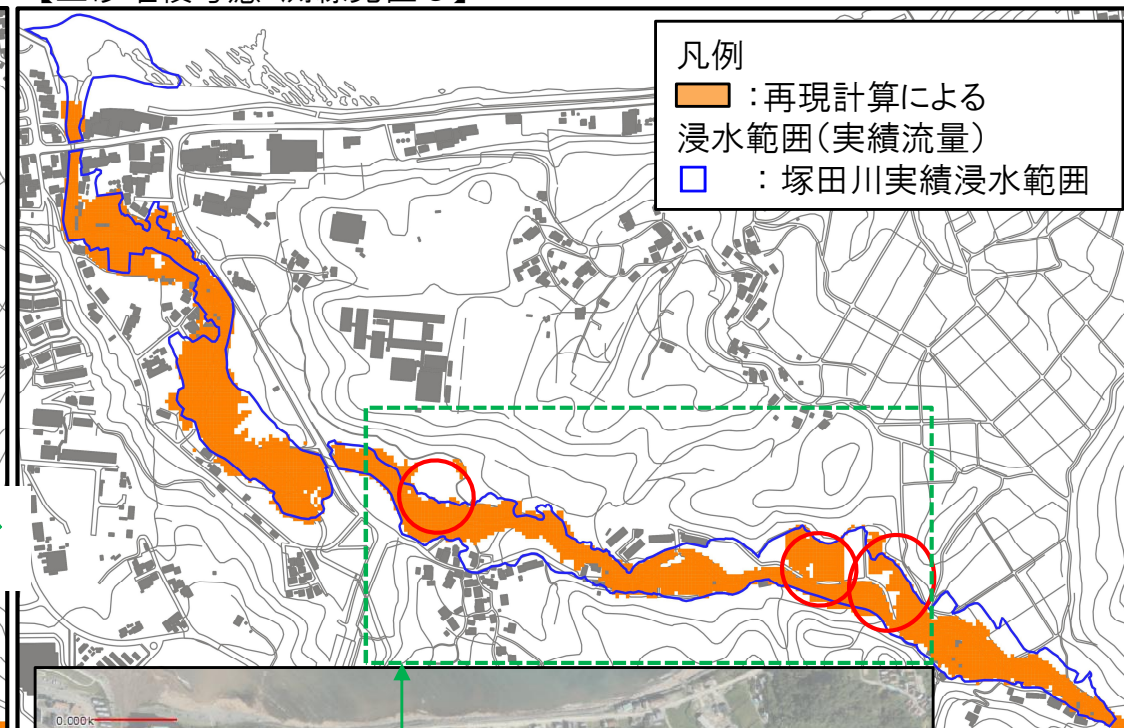
【石川県】

- 河道閉塞後の流路を考慮した測線設定により、善之谷内川合流部上流区間での再現精度が向上した(赤丸箇所)。
- 谷底地形を氾濫流が流下する区間については、測線の設定を工夫することで再現精度の向上に繋がると考えられる。

【土砂堆積考慮】



【土砂堆積考慮-測線見直し】



再現精度の確認によって明らかになった技術的課題について

- 事務局提案手法(案)を赤谷川及び塚田川で試行した結果、実績浸水範囲との比較等から、再現性が低い箇所が散見された。
- 今後、丁寧に分析を進め、1次元不等流計算に考慮すべき技術的事項を抽出していく。

＜橋桁を大きく上回る高さまで堆積した流木の影響考慮＞

- 再現性が低い箇所の中には、橋桁を大きく上回る高さまで流木が堆積している箇所があった。(P40 塚田川事例箇所⑧)
- 事務局提案手法(案)では河岸高まで土砂堆積するよう設定しているが、これを上回る高さまで堆積した流木が更なる水位上昇をもたらした場合が考えられる。

＜計算水位に影響を及ぼす主流部の土砂堆積状態推定＞

- 浸水範囲の再現性が低い箇所の中には、河岸高より低い河道近傍の氾濫原範囲においても、河道範囲と概ね同等の高さまで土砂が堆積している実態が散見されている(P37 塚田川事例箇所③)
- ※ 浸水した実績があるが計算では浸水しなかった範囲の地盤高と、算定した水位の差は78cm
- 事務局提案手法(案)では、元の河道範囲のみを河岸高まで埋塞させることとしている。

＜高濃度土砂が洪水流に混入することによる洪水流量への影響＞

- 細粒土砂が大量に供給される現象を対象としているため、土砂が混じることにより、洪水流の見かけの流量の増加等が発生していることも考えられる。

＜平面2次元不定流計算との比較による技術的課題の抽出＞

- 慣性力等の影響により、氾濫原でのショートカット流れが生じていると考えられる事例が確認された。
- 同一の横断面内において、水深の異なる箇所(河道部と氾濫原部)で常射流が混在している可能性もある。
- 1次元不等流計算においては、この現象を再現することができないため、再現精度に影響を及ぼしている可能性がある。

事務局手法(案)を手引きへ組み込むにあたっての課題・留意点

○ 前頁の他、事務局提案手法(案)を手引きに組み込むにあたって、留意が必要となる点が抽出された。

＜供給される土砂の粒径の設定＞

- 堆積の起点、堆積区間上流端設定に必要な指標として u_*/w_0 を用いている。
- w_0 は土砂粒径 d により変化するため、 d の設定方法に課題が残る。
- 実際には供給される粒径に幅を持つ。

＜堆積起点直上流区間の計算断面間隔＞

- 局所的な水位せき上げを適切に評価するため、計算断面間隔を小さく設定する必要
- 現行手引きで得た計算条件の再設定が必要

＜ u_*/w_0 の閾値設定＞

- 設定する粒径、水理計算条件(計算断面間隔)により、 u_*/w_0 の閾値に幅を持ちうる。

＜堆積区間上流端の設定＞

- (上記を踏まえ、)既往の実績をベースとして設定する方法も考えられる(河床勾配)。

＜堆積高さの設定＞

- 実態としては河岸高程度までとなった場合が多いが、河岸高以上まで堆積した場合も少数あり。
(流下幅の小さい氾濫原区間等)

＜河口部背水区間の堆積形状推定＞

- 堆積区間が、起点から上流方向に延伸しない堆積プロセスが想定される。
一方で、 u_*/w_0 が低い箇所では堆積が発生しやすいことは実験でも確認されているため、
河口部背水区間においても、 u_*/w_0 の値により、河岸高までの堆積有無を判定することも考えられる。

3 手引き改定にあたっての考慮対象

○土砂堆積の影響を評価する技術について

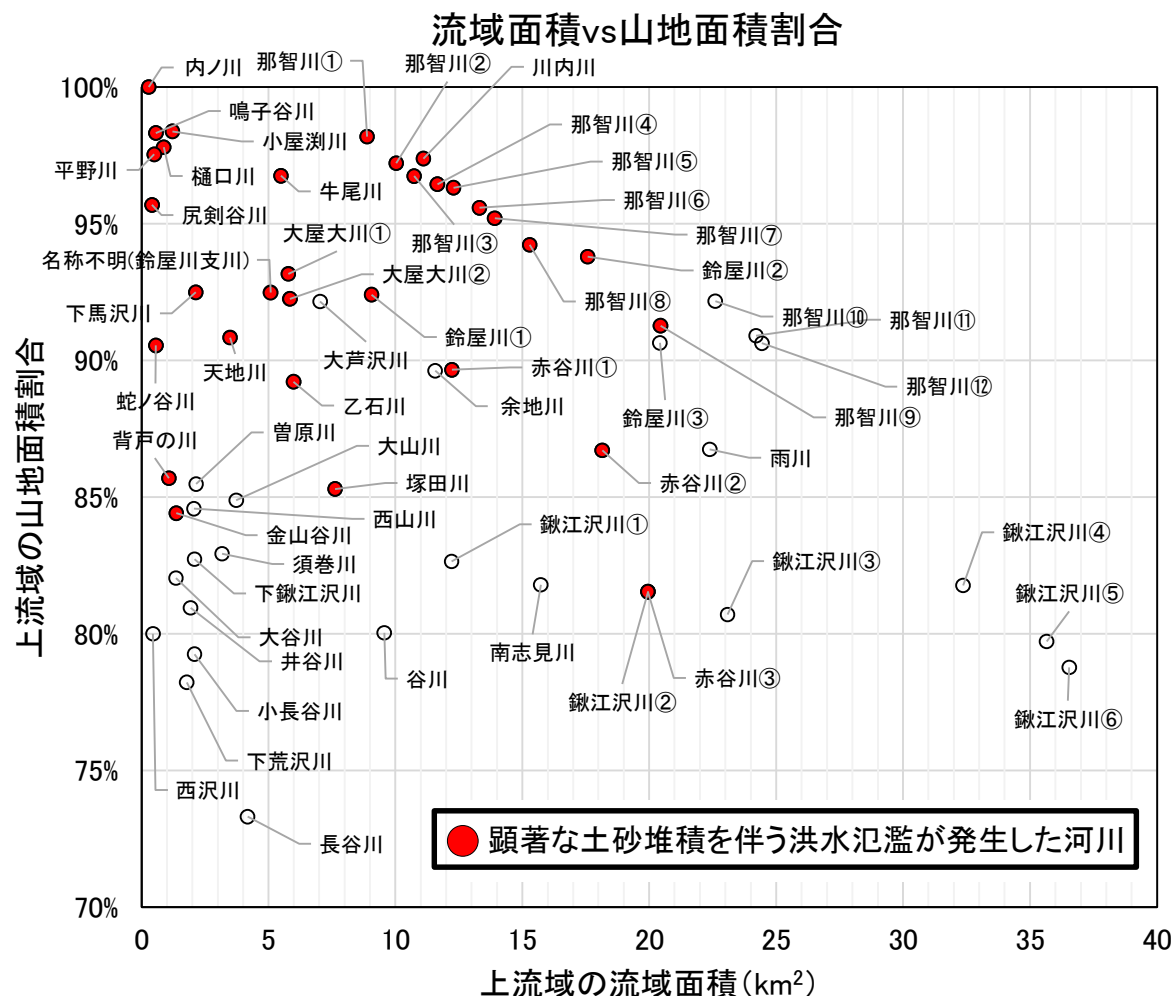
○事務局提案手法について

- ・土砂堆積の影響の評価方法（流木を含む）
- ・計算結果例
- ・対象とする河川・区間の考え方

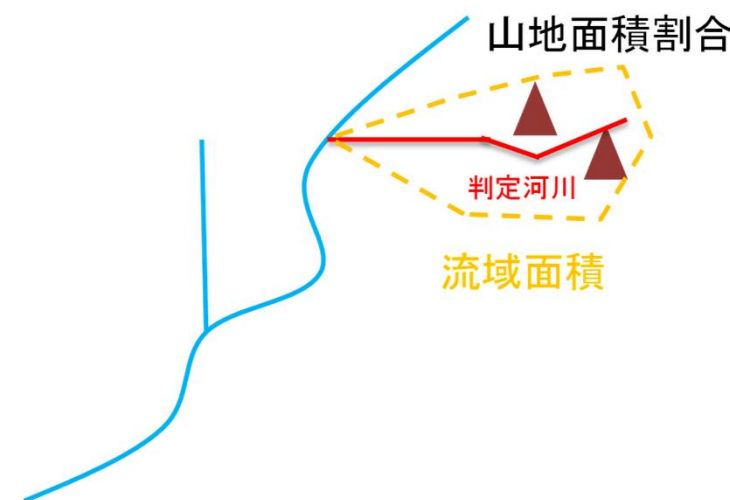
土砂・流木の堆積を考慮した浸想図を作成すべき河川の抽出手法

＜プロットの母集団＞

- ① 全国を対象に、近年、顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生した河川
 - ② ①の近傍又は合流先であるにも関わらず顕著な土砂堆積が見受けられなかった河川
- 上記の河川について、支川が合流している場合には、合流前と合流後(合流前部分も含む)で分割の上で、プロットを実施



＜イメージ図＞



プロットの結果、

- I 流域面積が小さく、山地面積割合が大きいと顕著な土砂堆積を伴う洪水氾濫が発生しやすい
- II なお、I の分布域内に存在する河川であっても、砂防施設の整備やダムが存在すること等により、土砂流入が抑えられている場合には、現象が発生していない場合もある ことが判明

堆積区間上流端勾配に関する実績

○ 過去の土砂堆積事例を整理したところ、堆積区間の上流端の河床勾配は1/20～1/30程度であった。

- ・近年に、土砂・洪水氾濫が発生した河川を対象に、河床勾配がどの程度、急勾配になるまでの区間で堆積が発生していたかを整理した。
- ・なお、整理にあたっては、本川での堆積状況に着目し、合流する溪谷部からの局所的な土石流による堆積と思われるものは除外した。

河川名	本川堆積発生区間の最大河床勾配 (縦断図・航空写真より読み取り)
赤谷川	1/30程度以上
五福谷川	1/22程度
塚田川	1/25程度
大屋大川	1/22程度
白木谷川	1/19程度

これらの区間には、掃流状に流送される大粒径土砂の堆積区間も含まれる。

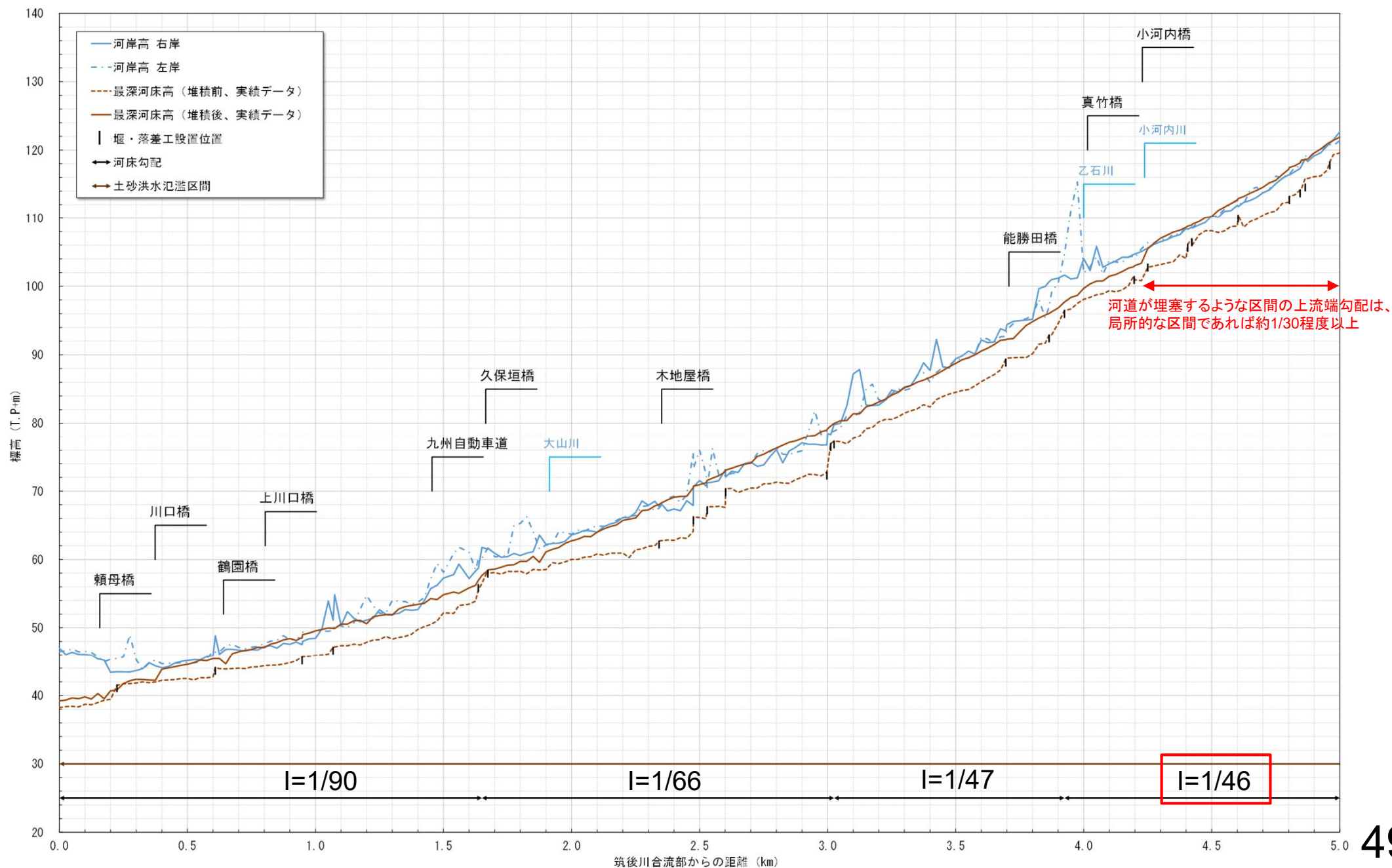
⇒これらの実績及び砂防分野における既往整理(※)を踏まえれば、本手引きの対象として、土砂堆積を考慮した浸水想定区域図を検討すべき上流端は、河床勾配にして1/20～1/30程度を目安とした箇所までが妥当と思われる。

※土砂・洪水氾濫により大きな被害のおそれのある流域の調査要領

堆積区間上流端勾配に関する実績

【福岡県】

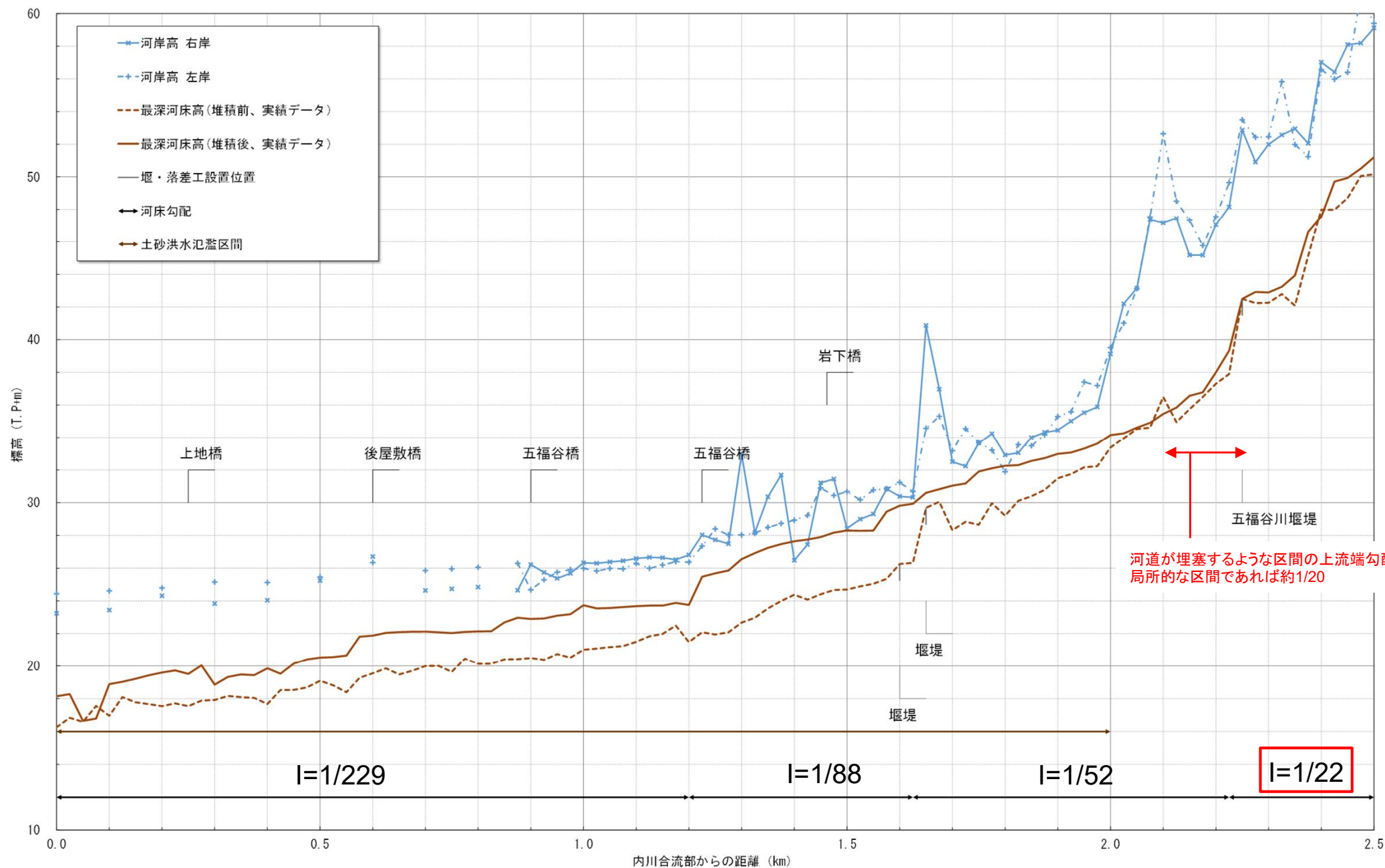
＜赤谷川での例＞



堆積区間上流端勾配に関する実績

【福島県】

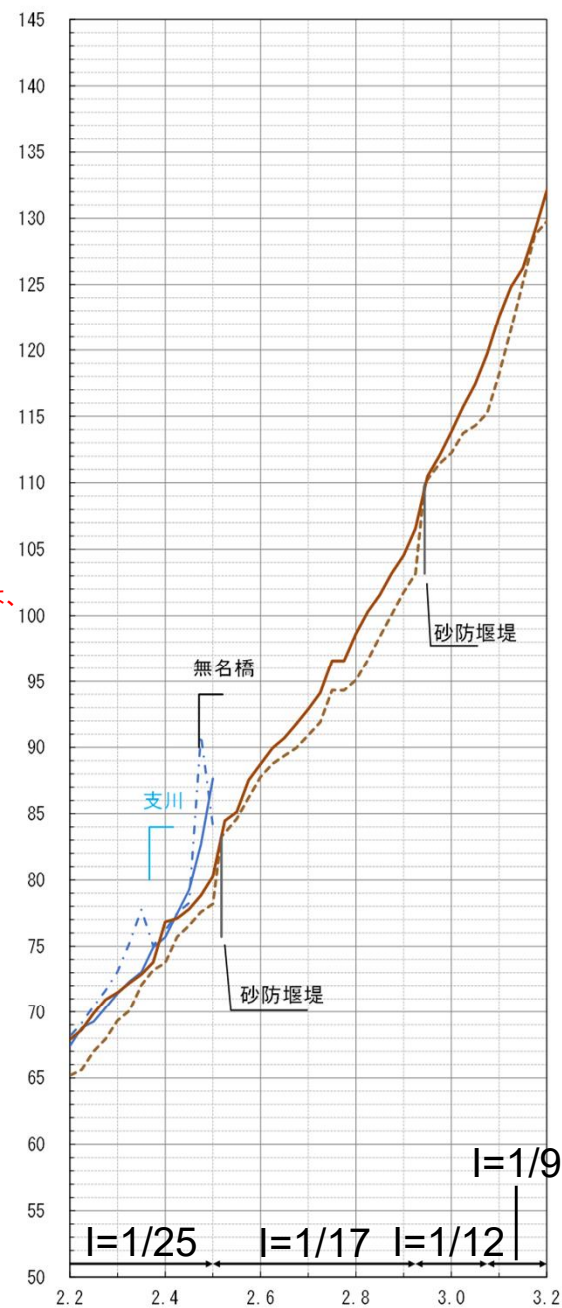
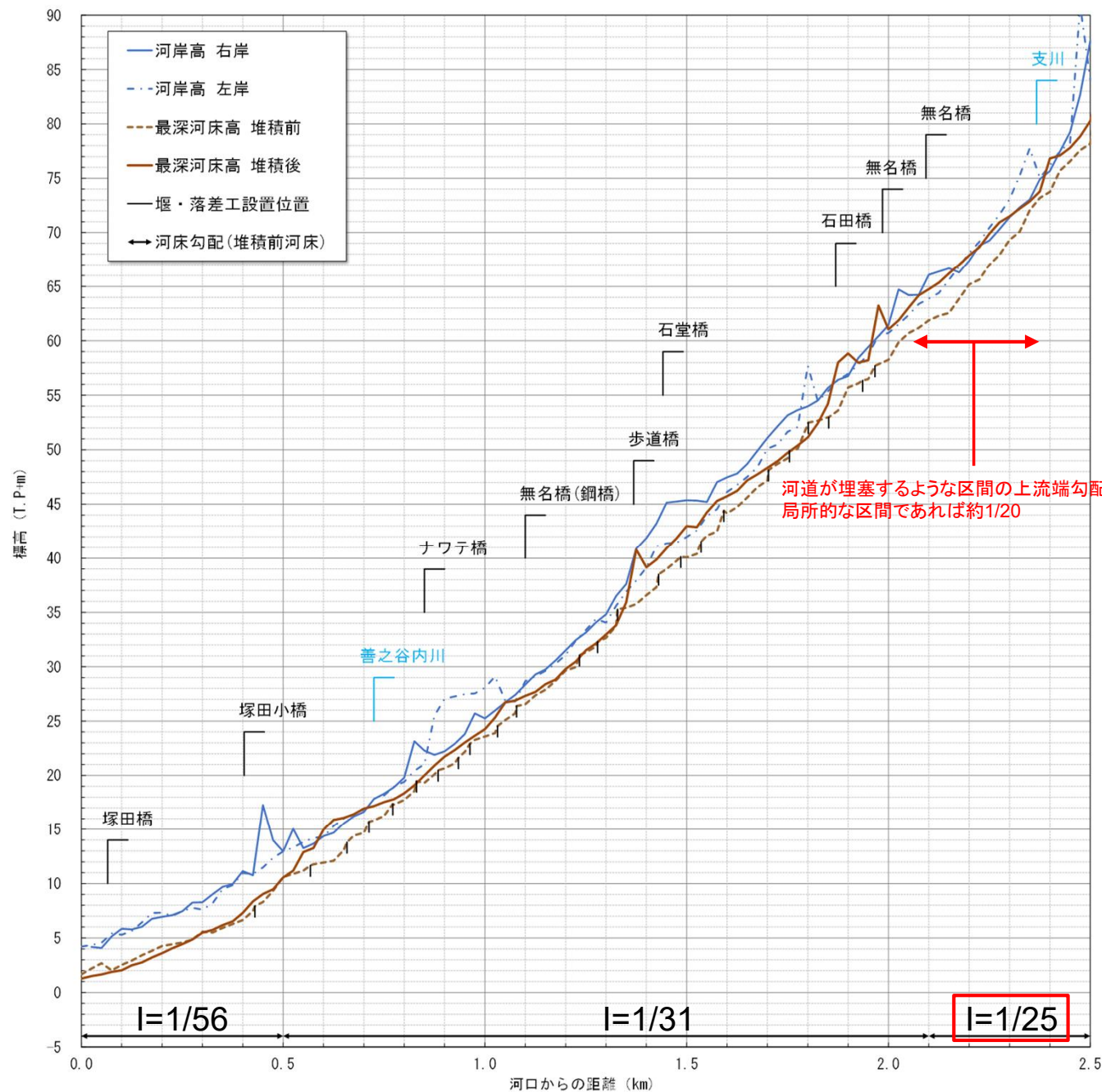
＜五福谷川での例＞



堆積区間上流端勾配に関する実績

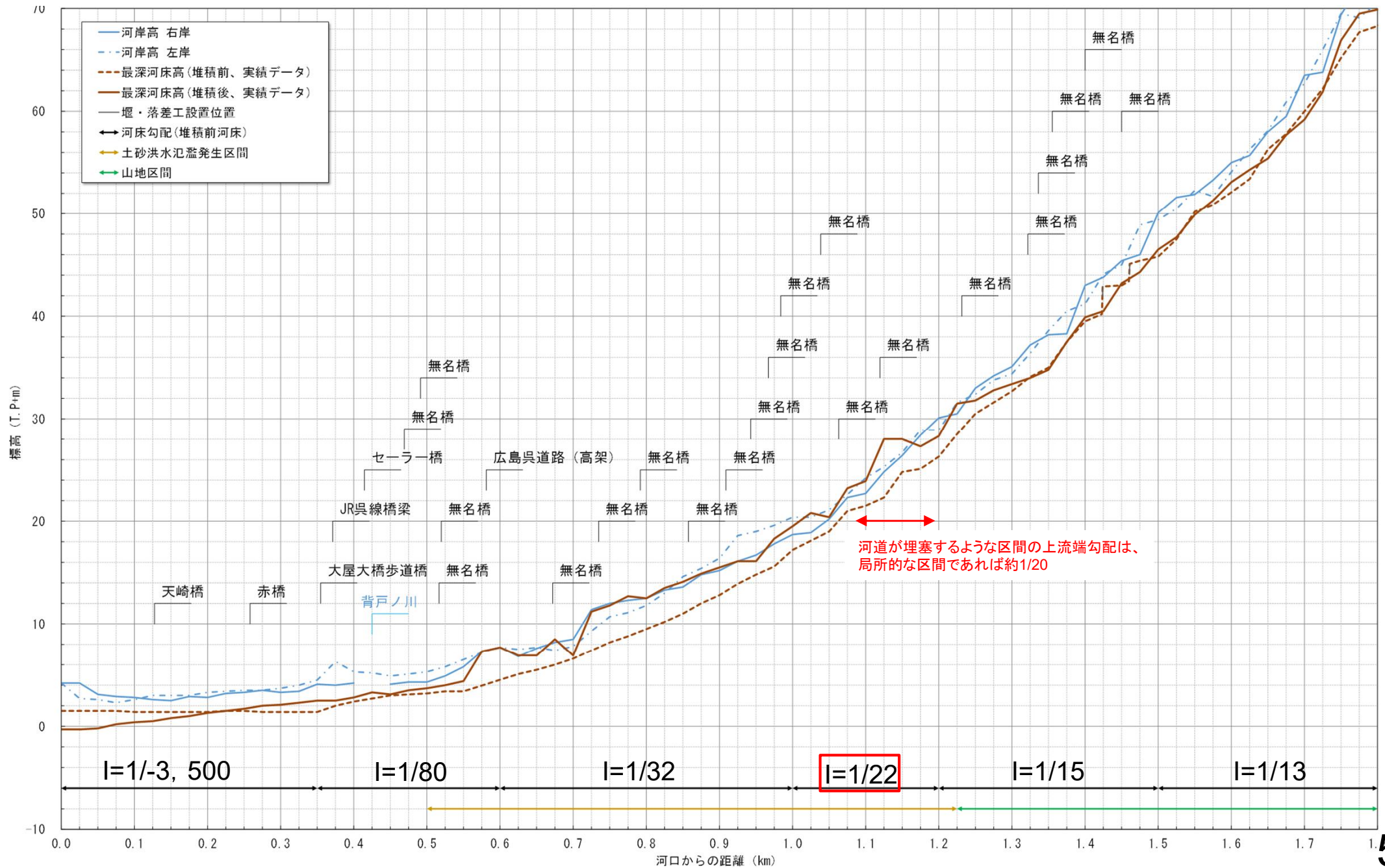
【石川県】

<塚田川での例>



堆積区間上流端勾配に関する実績

＜大屋大川での例＞



堆積区間上流端勾配に関する実績

【福岡県】

＜白木谷川での例＞

