

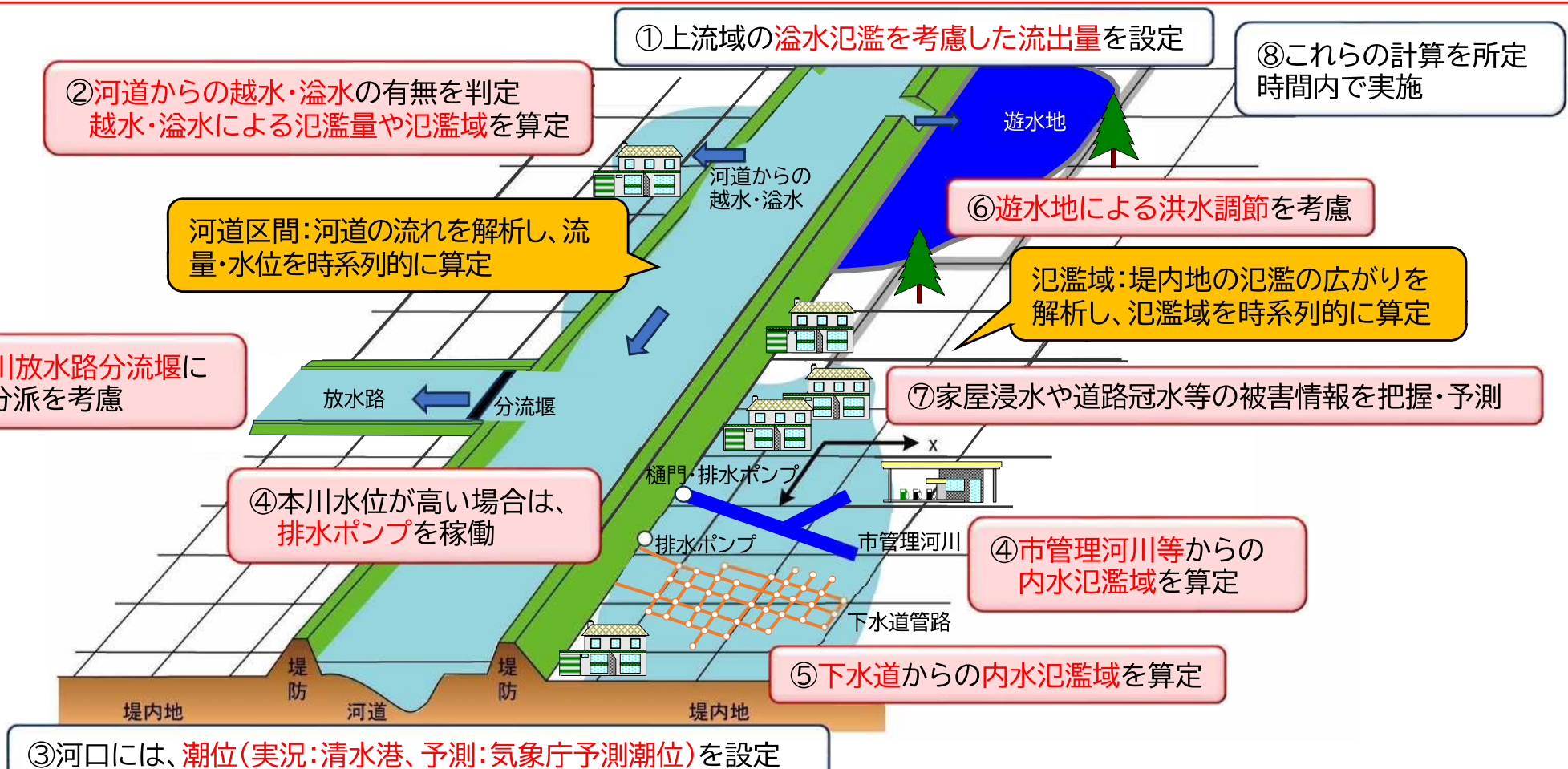
2. 水位・氾濫域予測モデルの構築

水位・氾濫域予測モデルの要件設定

- 巴川は遊水地や放水路等、様々な要因で水位が変動し、外水氾濫以外に支川・下水道からの内水氾濫も顕著
- 巴川流域の複雑な氾濫特性を踏まえ、以下に示す水位・氾濫域予測モデルの要件を設定

水位・氾濫域予測モデルの要件

- ① 溢水を伴いながら下流河川に到達する流量の算定
- ② 河道形状をもとに、溢水・越水判定や水位・氾濫域等の算定
- ③ 潮位変動による河川水位・流量の変化を考慮
- ④ 市管理河川等からの内水氾濫現象を考慮
- ⑤ 排水不良による下水道からの内水氾濫現象を考慮
- ⑥ 複数の遊水地や大谷川放水路等の洪水調節施設の効果を考慮
- ⑦ 家屋浸水や道路冠水等の被害情報の正確な把握・予測
- ⑧ リアルタイム運用を見据えた高速計算



水位・氾濫域予測モデルの手法選定

- 「中小河川洪水予測モデル構築マニュアル」に準拠し、全流域を対象にRRIモデル(100mメッシュ)を構築
- 内外水氾濫モデルは、モデル要件を踏まえ、**巴川流域の氾濫特性の表現が可能で、計算速度が高速な静岡型モデル**を選定し、中下流域を対象に構築(家屋浸水等を正確に判定するため、25mメッシュを採用)
- 上記手法により、巴川のような中小河川の水位・氾濫域を予測することは、全国的にも先進的な取り組み

■「内外水氾濫モデル」の候補

モデル名	特徴	外水 氾濫	内水氾濫		計算速度	選定 (案)
			支川	下水道		
RRI (公開版)	・流出から氾濫まで一体的な解析が可能な公開モデルで、水位・氾濫域予測への適用実績が豊富(氾濫解析に実地形を考慮させるためには工夫が必要) ・樋門等の閉鎖による支川や下水道の内水氾濫現象を対象とした解析は不可 ・流出から氾濫まで同一のメッシュサイズで解析するため、メッシュサイズを小さくすると計算速度が大幅に低下	○	△	×	遅	
MIKE URBAN	・静岡市内水ハザードマップの作成等に使用 ・下水道管路網を対象とした詳細な解析が可能 ・水位・氾濫域予測への適用実績が少 ・メッシュサイズが小さいと計算速度が大幅に低下	○	○	○	遅	
Dio VISTA	・流域治水の検討等に使用されているが、水位・氾濫域予測への適用実績は少 ・下水道からの氾濫現象を対象とした解析は不可	○	○	×	速	
静岡型 モデル	・河道モデル(一次元不定流)と氾濫モデル(平面二次元不定流)を連成した河道と氾濫の一体モデル ・各種流出モデルとの接続や下水道からの氾濫を考慮した解析が可能 ・測量断面で河道水位・流量を計算し、実地形に即した溢水・越水を判定 ・詳細なメッシュサイズでも、ホットスタート機能※1や領域逐次設定機能※2により、予測計算の高速化が可能	○	○	○	速	○

※1 ホットスタート機能: 過去の計算結果(水位や氾濫量等)を引き継ぎ、最新の計算を実施する機能。洪水期間の途中から計算を実施するため、計算期間を限定し、計算時間の大幅な短縮が可能。

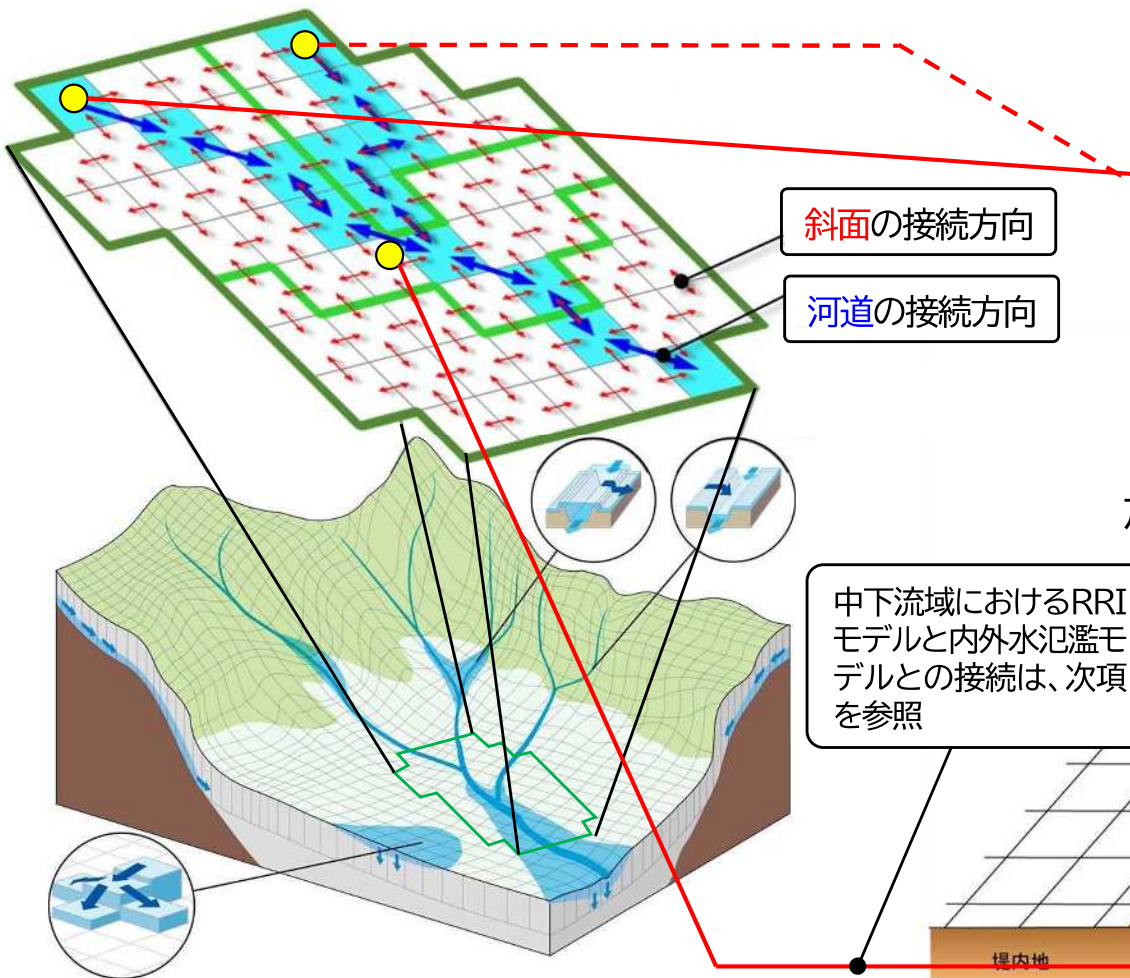
※2 領域逐次設定機能: 解析で得られた時々刻々の氾濫領域に応じて、計算領域を自動的に拡大・縮小することで、計算量を適切に設定し、計算時間の大幅な短縮が可能。

水位・氾濫域予測モデルの構成

- 巴川流域の特性を踏まえ、2種類のモデルを構築
 - ✓ 全流域を対象としたRRIモデル(上流域での洪水氾濫による流量低減を考慮)
 - ✓ 中下流域を対象とした内水・外水氾濫モデル(巴川の浸水要因を正確に表現)

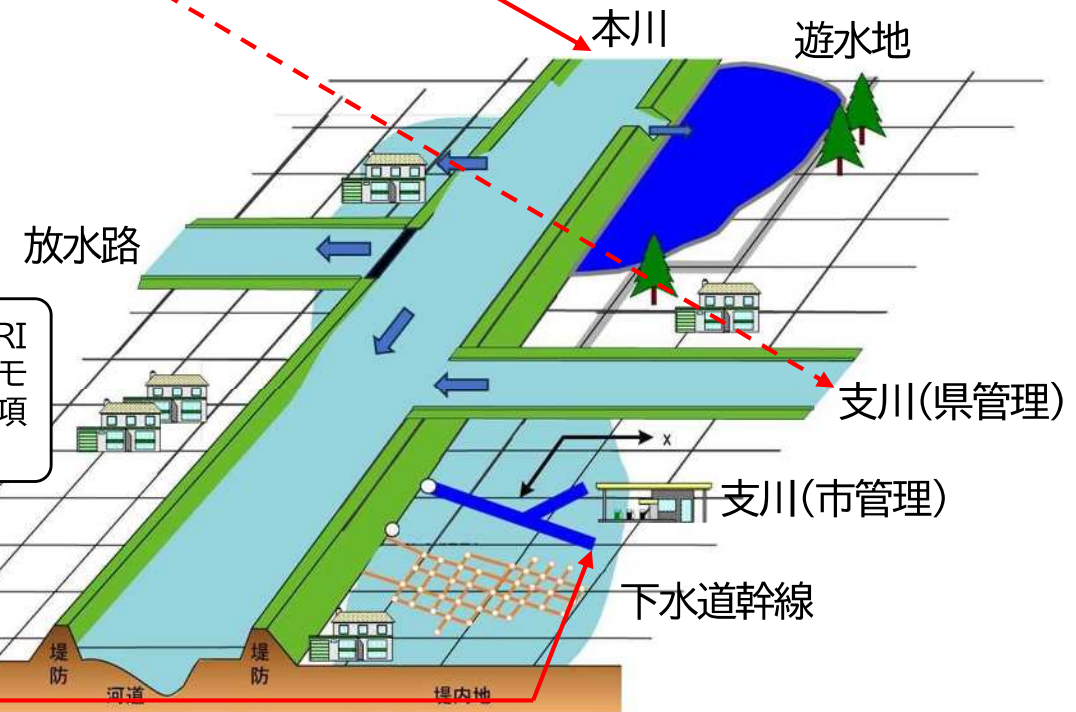
■「RRIモデル」のイメージ

- 小流域毎に流出量を算定し、内外水氾濫モデルの境界条件として設定



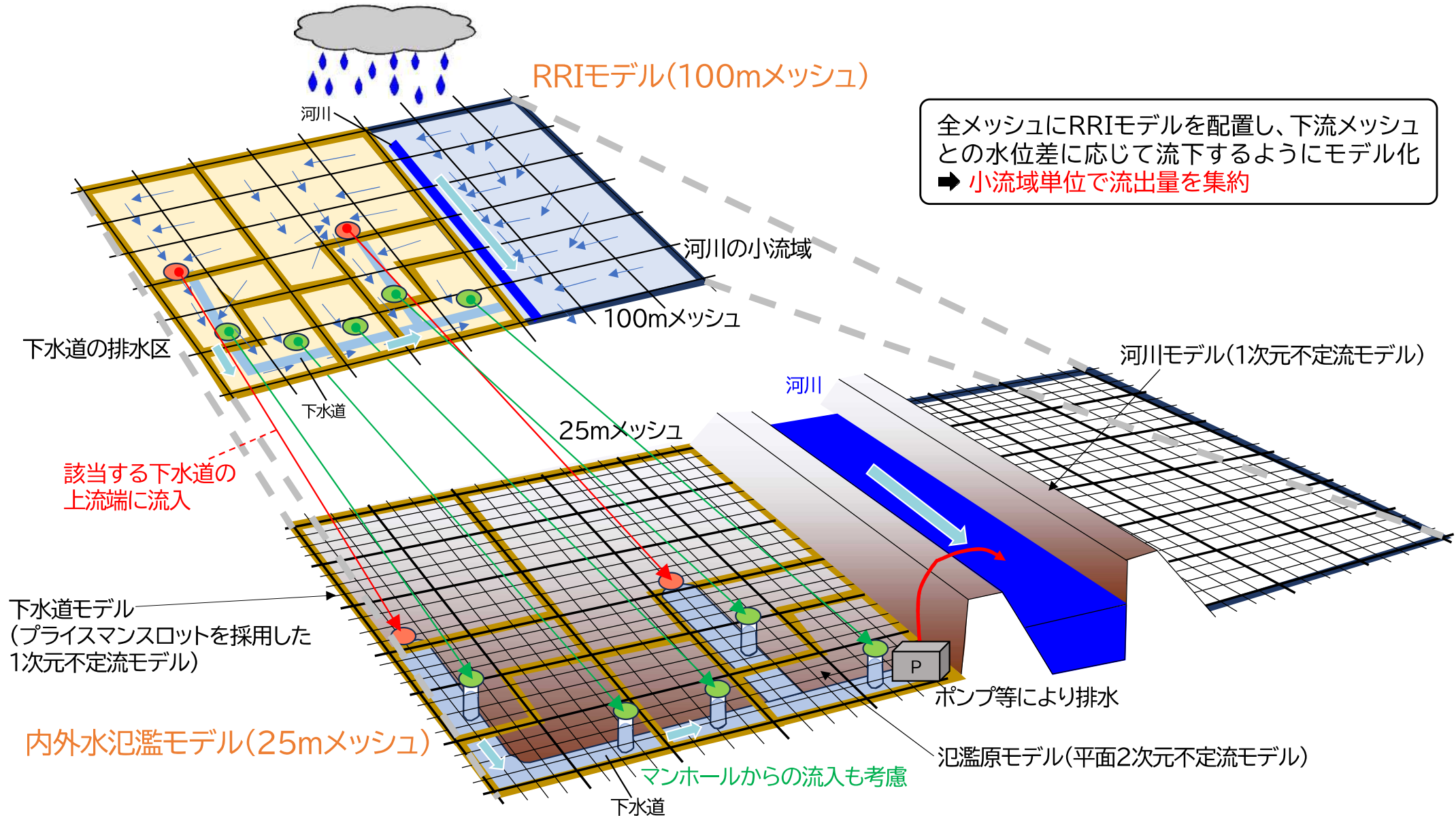
■「内外水氾濫モデル」のイメージ

- 本支川の合流、放水路への分派、遊水地・雨水貯留施設による洪水調節、下水道を考慮し、内水・外水氾濫を一体的に計算
- RRIモデルの流出量を境界条件として引き継ぐ



中下流域のRRIと内外水氾濫モデルの接続方法

- RRIモデルにより算定した流出量(河川の小流域や下水道の排水区単位で算定)を内外水氾濫モデルの境界条件として設定

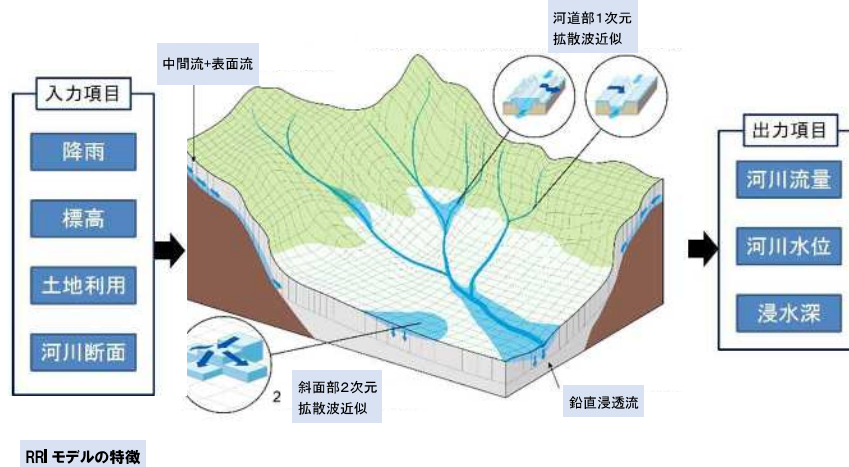


第2回研究会資料抜粋

RRIモデルの概要および設定が必要な項目

- 巴川流域を対象にRRIモデルを構築し、降雨データから小流域単位(もしくは下水道集水区単位)の流出量を算定

■RRIモデル(降雨流出氾濫モデル)



特徴①：降雨(Rainfall)～流出(Runoff)～氾濫(Inundation)を一体的に解析
⇒ 通常の分布型モデルは降雨～流出を取り扱っているが、それらに加え、**氾濫も取り扱うことが可能**

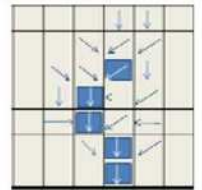
■RRIモデルの構築に必要な設定項目

設定項目	設定方法	使用するデータ
地盤高	100mメッシュ毎に平均地盤高を設定	3次元点群データ(VIRTUAL SHIZUOKA)
落水線	上記で作成した平均地盤高および排水区情報をもとに、メッシュ間の流下方向を設定	地盤高・流域界・下水道排水区
河川断面	レジーム則に従って河道幅と河道深さを流域面積の関数として設定	河道測量断面データ
土地利用分類	水田、畑地、山地、都市、水域の5つに分類し、各パラメータを設定	国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(100mメッシュ)

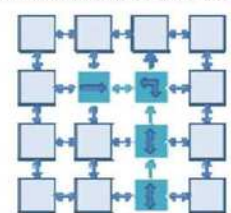
RRIモデルの特徴

- ・ キネマティックウェーブ法の仮定を回避
 - 流れの方向は地形だけの情報で固定せず、水位差から決定
 - 流速は地形勾配の関数でなく動水勾配の関数とする
- ・ 二次元解析
 - 斜面と河道を別々に扱う
- ・ 拡散波近似法を適用
 - ダイナミックウェーブ法 > 拡散波近似法 > キネマティックウェーブ法

一般的な分布型流出モデル
流れの方向は地形に従って固定



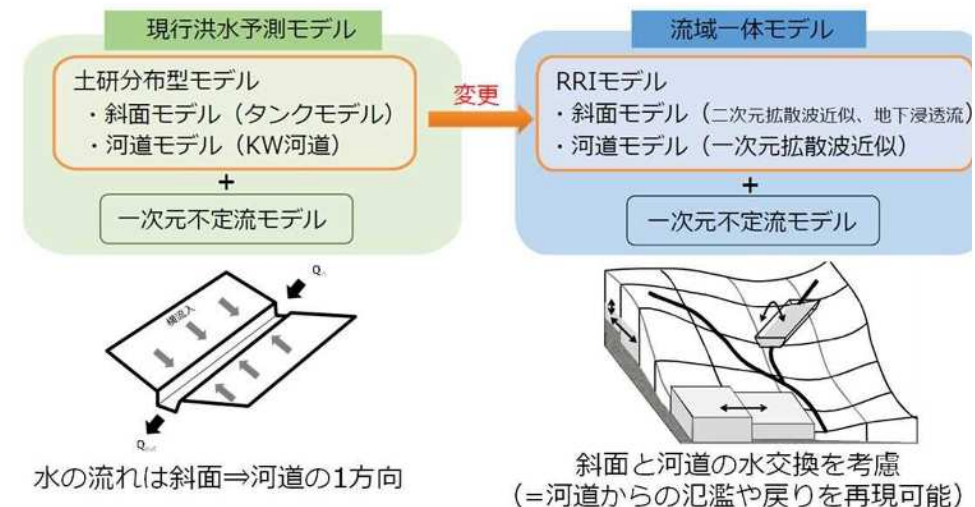
RRIモデル
流れの方向は水位に応じて可変



特徴②：物理的に再現性の高い解析方法を使用

⇒分布型に比べて**より高度な物理現象の再現が可能**

RRIモデルの特徴



特徴③：堤防のほとんどない上流部の河川からの
溢水による流量低減、戻りを考慮可能

⇒+堤防溢水時の再現精度が向上

内外水氾濫モデルの概要および設定が必要な項目

- 河道・水路・下水道は一次元不定流モデル、氾濫原は平面二次元不定流モデルを構築
- 各モデルを接続し、氾濫の判定・氾濫流の広がり等を解析

■内外水氾濫モデル

外水氾濫モデル

河道モデル(一次元不定流)

+

氾濫原モデル(平面二次元不定流)

+

内水氾濫モデル

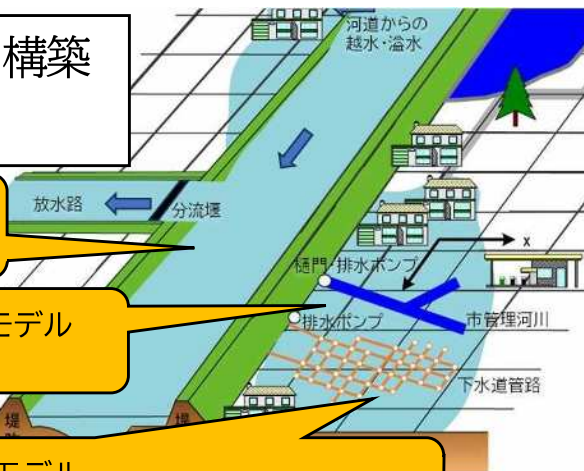
水路モデル(一次元不定流)

下水道モデル(一次元不定流)

河道：一次元不定流モデル
河道の流れを解析し、流量・水位を時系列的に算定

氾濫原：平面二次元不定流モデル
氾濫域を時系列的に算定

水路・下水道：一次元不定流モデル
水路・下水道の流れを解析し、流量・水位を時系列的に算定

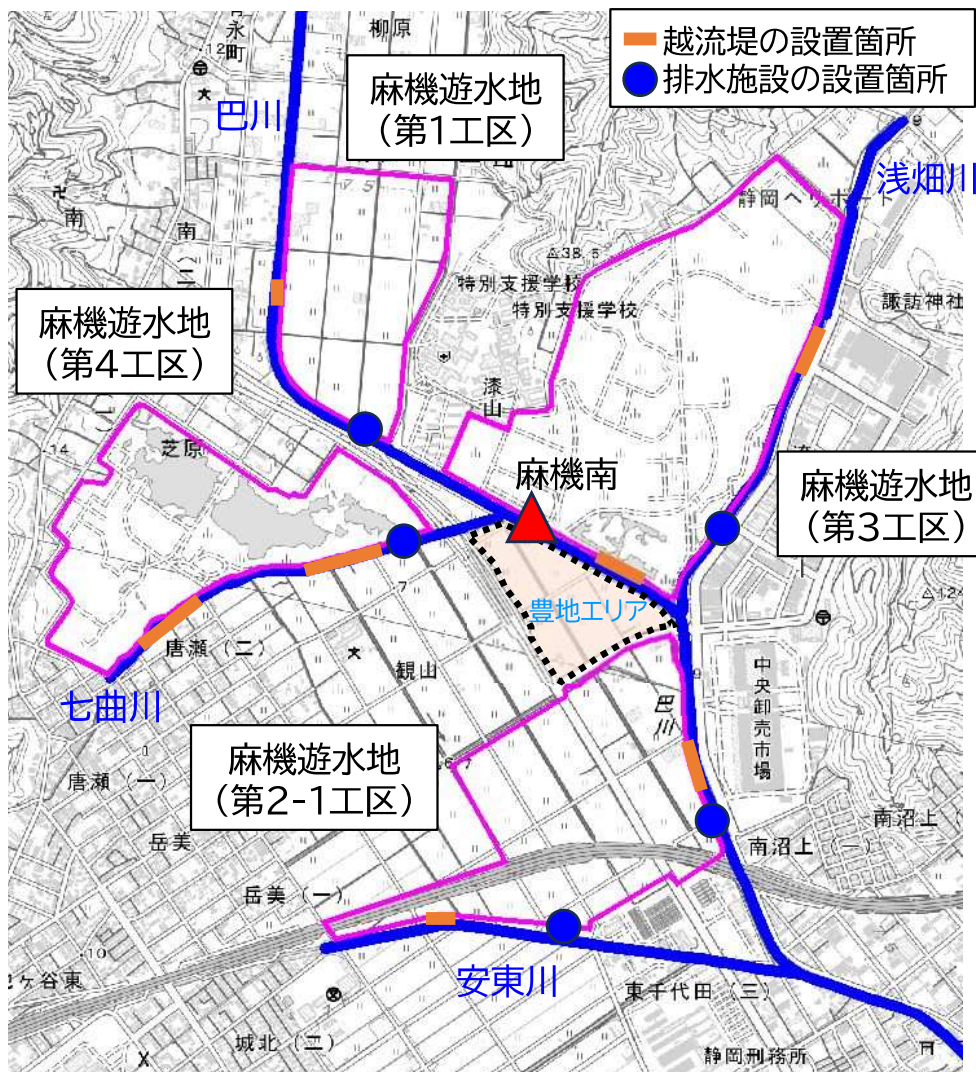


■内外水氾濫モデルの構築に必要な設定項目

モデル名	設定項目	設定方法	使用するデータ
河道モデル	河道断面	モデル構築区間を対象に河道の横断形状を100m程度の間隔で設定	河道横断測量成果、LPデータ
	粗度係数	河道断面毎に河道の流れの抵抗を表す係数を設定	整備計画等の計画値を採用
	遊水地	巴川沿川の遊水地の諸元(越流堤の高さ・幅、遊水地のHV)を設定	各遊水地の諸元(越流堤の高さ・幅、遊水地のHV)
	分流堰	大谷川放水路分流堰の諸元(堰の高さ・幅)を設定	大谷川放水路分流堰の諸元(堰の高さ・幅)
水路モデル	水路断面	モデル構築区間を対象に水路の横断形状(矩形断面と仮定)を設定	河道横断測量成果、LPデータ
	粗度係数	水路断面毎に河道の流れの抵抗を表す係数を設定	内水HMの設定値を採用
	ポンプ・樋門	モデル構築区間にあるポンプ・樋門の諸元(排水量・運用ルール)を設定	各遊水地の諸元(越流堤の高さ・幅、遊水地のHV)
下水道モデル	函渠諸元	モデル構築区間を対象に管渠の横断形状やマンホールのサイズを設定	下水道函渠の台帳
	粗度係数	管渠の断面毎に流れの抵抗を表す係数を設定	内水HMの設定値を採用
	ポンプ・樋門	モデル構築区間にあるポンプ・樋門の諸元(排水量・運用ルール)を設定	各遊水地の諸元(越流堤の高さ・幅、遊水地のHV)
氾濫原モデル	地盤高	25mメッシュ毎に平均地盤高を設定	3次元点群データ(VIRTUAL SHIZUOKA)
	粗度係数	25mメッシュ毎に氾濫流の流れの抵抗を表す係数を設定	巴川の洪水浸水想定区域図作成時の値を採用
	透過率	25mメッシュ毎に氾濫した水が流れる面積割合を設定(建物エリアは水が流れない)	基盤地図情報の建築物の外周線、DRM(デジタル道路地図)
	盛土構造物	鉄道や道路等の盛土やカルバート(暗渠)を設定	LPデータ

内外水氾濫モデル構築(巴川上流部遊水地の設定)

- 巴川上流部に整備されている麻機遊水地をモデル化し、洪水調節効果を反映
- 麻機遊水地第2-1工区は、豊地エリア以外を令和3年3月から供用を開始しているため、R4.9洪水・R5.6洪水の再現計算時は第2-1工区(供用エリア)による洪水調節効果を考慮



麻機遊水地 (第1工区)

項目	内容
越流堤長	100m
越流堤敷高	6.90m
越流箇所	巴川14.0k
排水箇所	巴川13.5k

※2.0m×1.0mの管路で排水

越流堤:1箇所
排水:1箇所

調節池のHV

H (m)	V (m³)
6.00	0
6.30	32,327
6.50	54,411
6.80	88,347
7.00	111,516
7.30	147,100
7.50	171,382
7.68	193,600
7.80	208,618
8.00	245,813
8.14	272,038
8.30	302,192
8.50	340,172
8.61	361,196
9.00	436,475
9.20	475,544

麻機遊水地 (第2-1工区)

項目	内容
越流堤長	200m
越流堤敷高	6.80m
越流箇所	巴川12.2k
排水箇所	巴川12.1k

※1.5m×1.5mの管路で排水

項目	内容
越流堤長	100m
越流堤敷高	6.90m
越流箇所	安東川0.9k
排水箇所	安東川0.6k

※1.5m×1.5mの管路で排水

調節池のHV

H (m)	V (m³)
5.30	0
8.00	632,227
8.91	846,343

越流堤:2箇所
排水:2箇所

麻機遊水地 (第3工区)

項目	内容
越流堤長	200m
越流堤敷高	6.80m
越流箇所	浅畑川0.7k
排水箇所	浅畑川0.2k

※1.5m×1.5mの管路で排水

項目	内容
越流堤長	200m
越流堤敷高	6.80m
越流箇所	巴川12.8k

調節池のHV

H (m)	V (m³)
5.30	0
5.60	64,440
7.12	516,944
8.60	1,286,840

越流堤:2箇所
排水:1箇所

麻機遊水地 (第4工区)

項目	内容
越流堤長	300m
越流堤敷高	6.80m
越流箇所	七曲川0.4k
排水箇所	七曲川0.2k

※1.4m×1.5mの管路で排水

項目	内容
越流堤長	300m
越流堤敷高	6.80m
越流箇所	七曲川0.9k

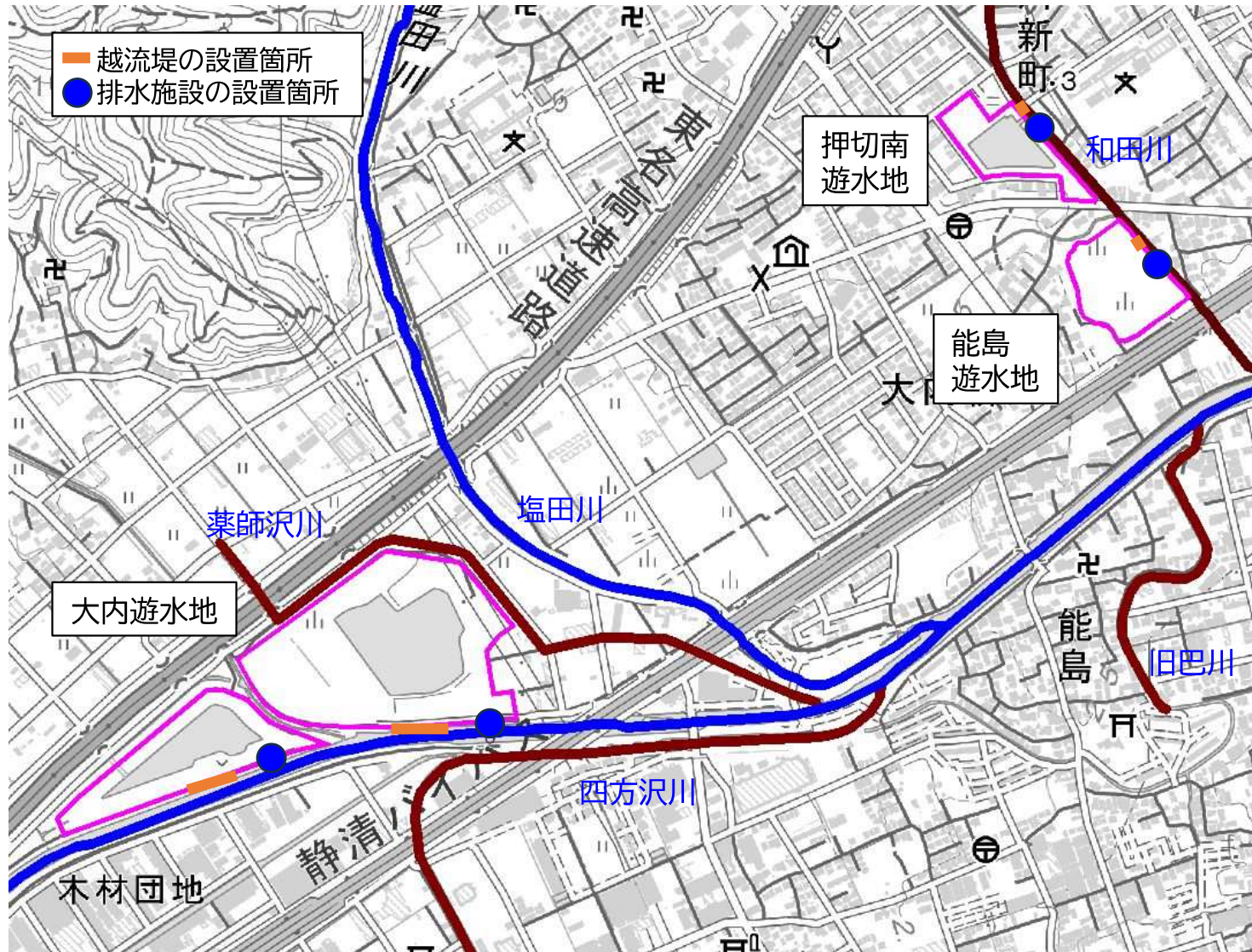
越流堤:2箇所
排水:1箇所

調節池のHV

H (m)	V (m³)	H (m)	V (m³)
5.30	74	7.20	432,715
5.40	14,862	7.30	457,861
5.50	30,548	7.40	483,015
5.60	47,394	7.50	508,177
5.70	65,550	7.60	533,346
5.80	85,851	7.70	558,523
5.90	108,852	7.80	583,707
6.00	133,236	7.90	608,899
6.10	157,787	8.00	634,097
6.20	182,474	8.10	659,301
6.30	207,246	8.20	684,513
6.40	232,067	8.30	709,729
6.50	256,978	8.40	734,950
6.60	282,012	8.50	760,176
6.70	307,106	8.60	785,406
6.80	332,210	8.70	810,641
6.90	357,323	8.80	835,880
7.00	382,446	8.90	861,124
7.10	407,577	9.00	886,372

内外水氾濫モデル構築(巴川中流部遊水地の設定)

- 巴川中流部に整備されている大内遊水地や能島遊水地、押切南遊水地をモデル化し、洪水調節効果を反映



大内遊水地（上池）

項目	内容
越流堤長	41m
越流堤敷高	4.65m
越流箇所	巴川6.3k
排水箇所	巴川6.2k

※1m×1mの管路で排水

調節池のHV

H (m)	V (m ³)
1.9	0
2.9	16750
3.9	35710
4.9	56310
5.9	79880

大内遊水地（下池）

項目	内容
越流堤長	105m
越流堤敷高	4.25m
越流箇所	巴川6.0k
排水箇所	巴川5.9k

※1m×1mの管路で排水

調節池のHV

H (m)	V (m ³)
1.6	0
2.6	50,030
3.6	102,474
4.6	160,289
5.6	222,234

押切南遊水地

項目	内容
越流堤長	6m
越流堤敷高	2.50m
越流箇所	和田川0.7k
排水箇所	和田川0.7k

※0.532m³/sのポンプで排水

調節池のHV

H (m)	V (m ³)
-3.2	0
2.5	38,264
4.0	57,676

能島遊水地

項目	内容
越流堤長	20m
越流堤敷高	3.13m
越流箇所	和田川0.4k
排水箇所	和田川0.4k

※0.8m×0.8mの管路で排水

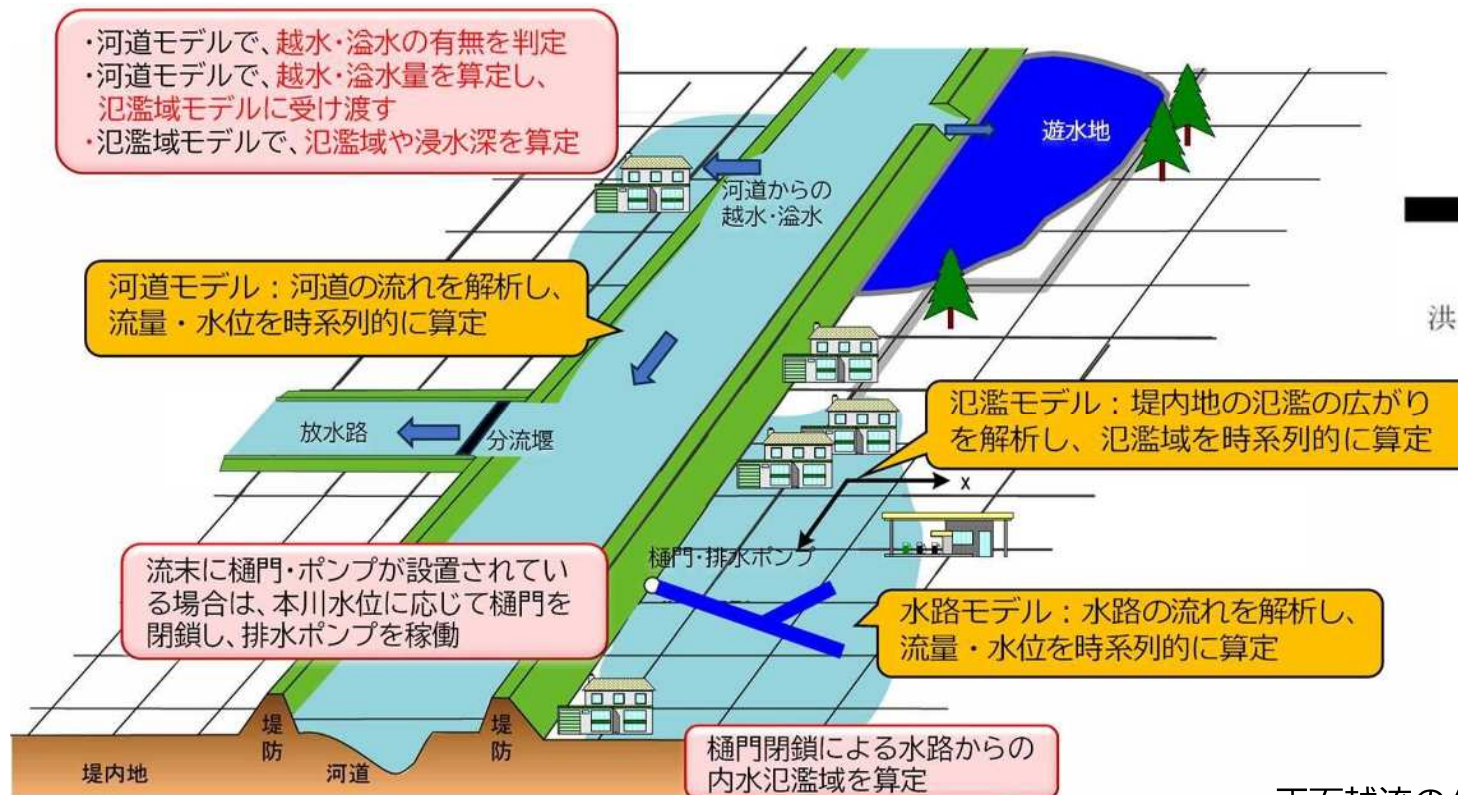
調節池のHV

H (m)	V (m ³)
0.90	0
3.13	22,829
4.10	35,494

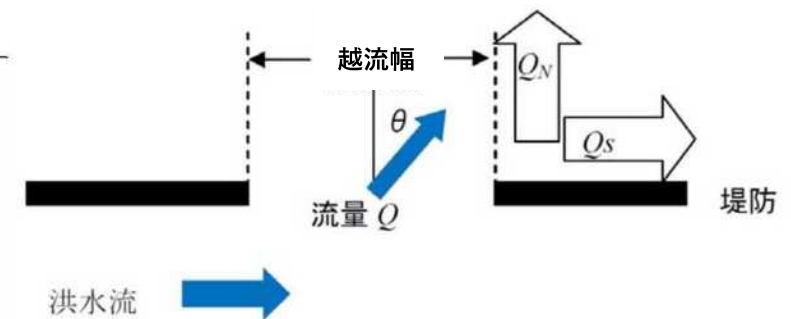
内外水氾濫モデル構築(河道・水路と氾濫域の接続)

- 河道・水路モデルにより、河川内の流量・水位を時系列的に算出
- 河道・水路モデルと氾濫域モデルを接続することにより、河川から溢れる量を氾濫域モデルに受け渡し、氾濫域モデルにより、浸水域や浸水深を算出

■河道・水路と氾濫域の接続方法



河川からの越水・溢水量は、本間の正面越流公式を補正した横越流公式(栗城等の公式)を適用



$$\begin{aligned} \text{堤防法線方向成分} \quad Q_N &= \alpha Q_0 \cos \theta \\ \text{堤防接線方向成分} \quad Q_S &= \alpha Q_0 \sin \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{横越流特性} \quad & I > 1/12,000 \\ & \alpha = 1, \quad \theta = 155 - 38 \times \log_{10}(I/I_0)^\circ \\ & 1/12,000 \geq I \\ & \alpha = 1, \quad \theta = 0^\circ \end{aligned}$$

補正係数: α 方向角度: θ 河床勾配: I

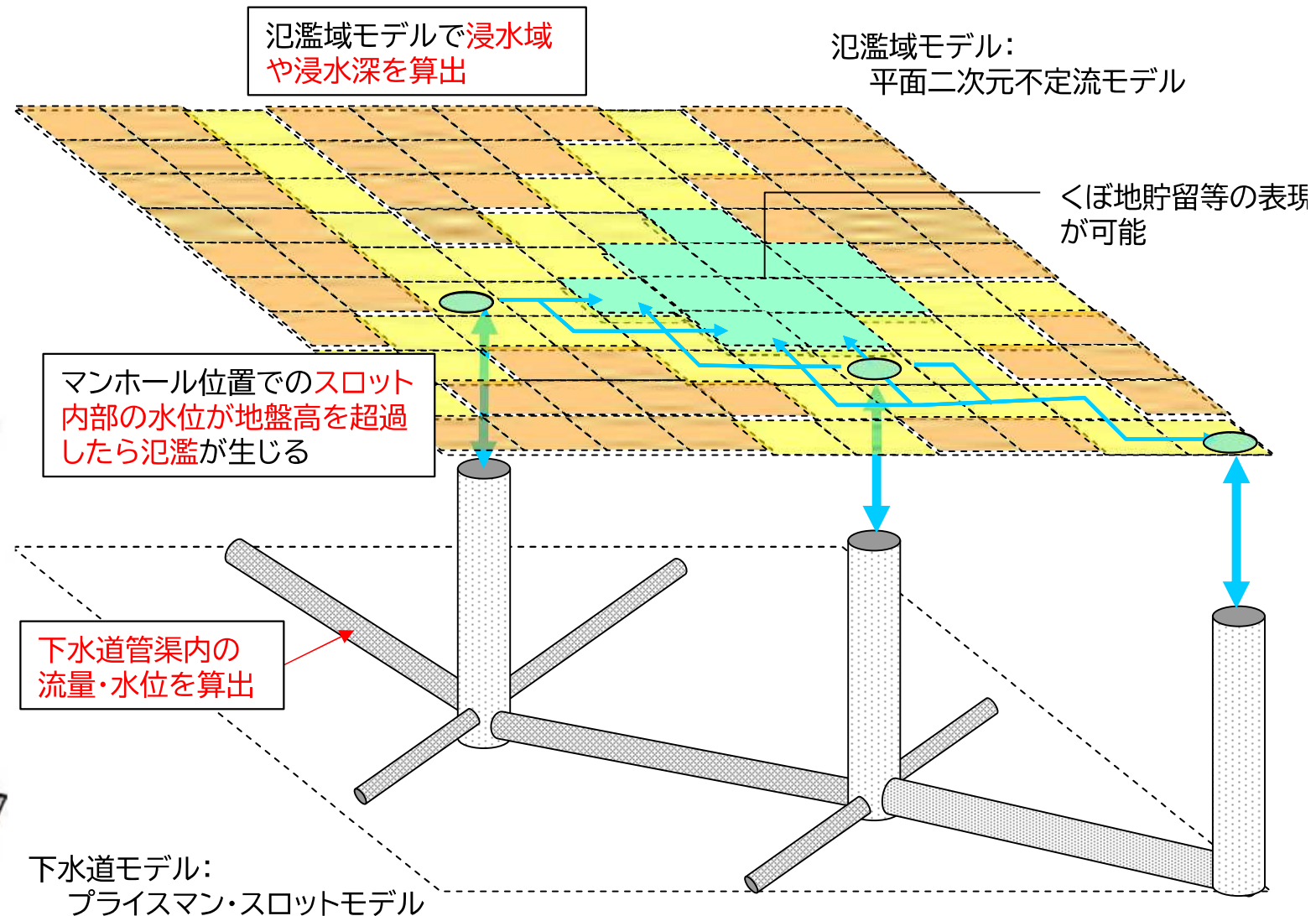
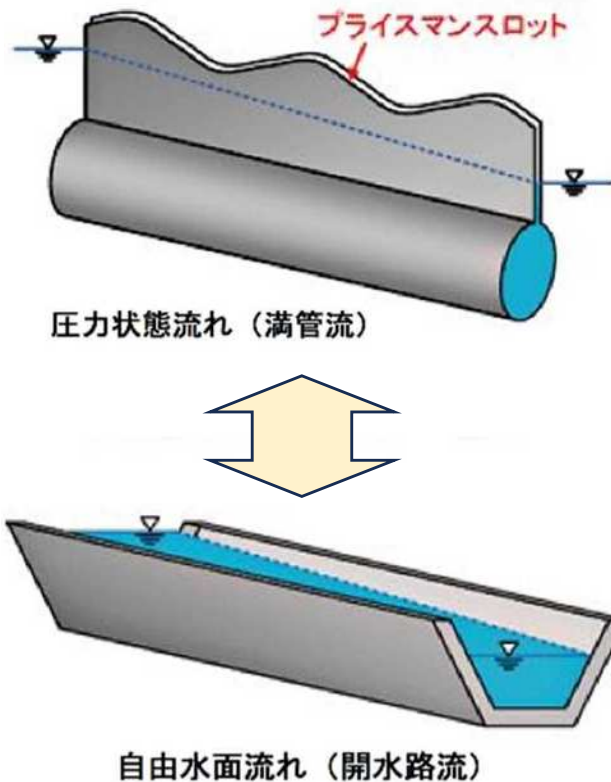
$$\begin{aligned} \text{正面越流の公式} \quad & \text{完全越流} \quad h_2/h_1 < 2/3 \\ & Q_0 = 0.35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B \\ & \text{潜り越流} \quad h_2/h_1 \geq 2/3 \\ & Q_0 = 0.91 \times h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \times B \end{aligned}$$

内外水氾濫モデル構築(下水道と氾濫域の接続)

- 下水道モデルにより、下水道管渠内の流量・水位を時系列的に算出
- 下水道モデルと氾濫域モデルを接続することにより、マンホールから溢れる量を氾濫域モデルに受け渡し、氾濫域モデルにより、浸水域や浸水深を算出

■下水道と氾濫域の接続方法

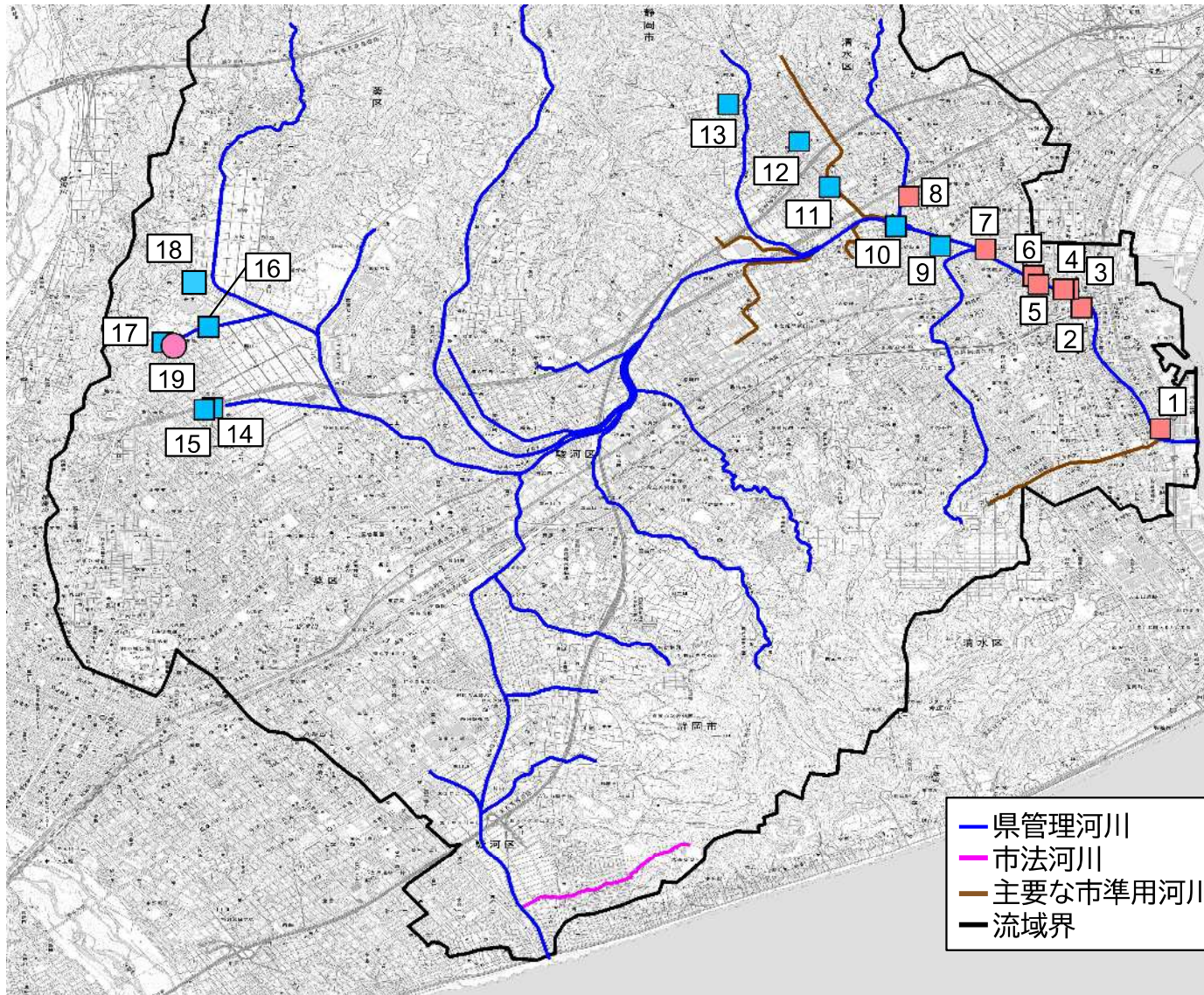
下水道は、管路の流れを解析するため、**プライスマン・スロットモデル**を採用
管路の頂部に仮想のスロットを設ける
ことにより、**開水路流～満管流を一連の一次元不定流解析が可能**



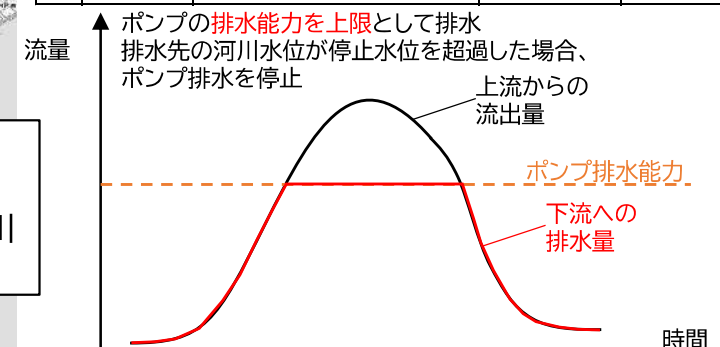
内外水氾濫モデル構築(ポンプ・樋門の設定)

- 巴川流域に設定されている排水・雨水ポンプや樋門をモデル化し、洪水時の排水ポンプの稼働(外水位が停止水位を超過したら排水停止)や樋門の閉鎖を考慮

● 静岡県(河川管理者)のポンプ施設 ■ 静岡市(下水道部局)のポンプ施設 ■ 静岡市(河川部局)のポンプ施設



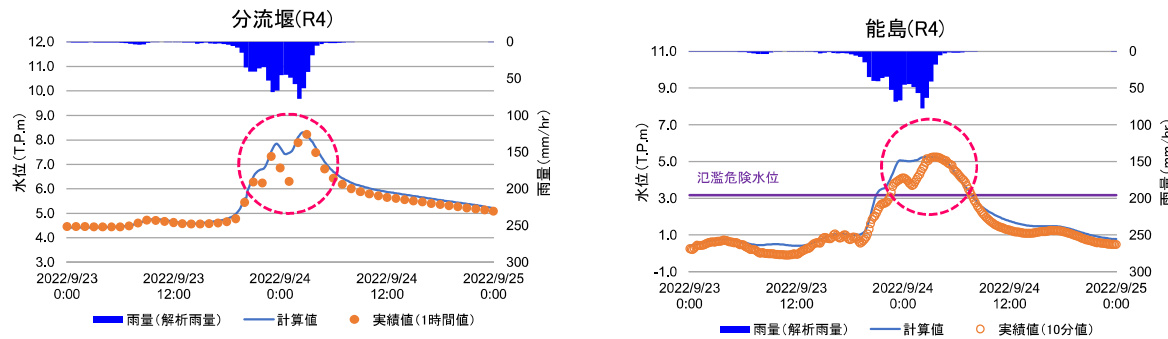
No	所管	施設名	排水先	排水量 (m ³ /s)
1	下水道(市)	築地ポンプ場	巴川0.5k	11.667
2	下水道(市)	浜田ポンプ場	巴川2.2k	6.500
3	下水道(市)	銀座第一マンホールポンプ	巴川2.5k	0.283
4	下水道(市)	銀座第二マンホールポンプ	巴川2.5k	0.250
5	下水道(市)	入江マンホールポンプ	巴川2.7k	0.067
6	下水道(市)	江尻小地下滞水地排水ポンプ	巴川2.8k	0.250
7	下水道(市)	花の木雨水ポンプ所	巴川3.4k	2.670
8	下水道(市)	高橋雨水ポンプ場	山原川0.4k	9.000
9	河川(市)	渋川ポンプ施設	巴川3.8k	0.500
10	河川(市)	北脇新田排水ポンプ施設	巴川4.3k	0.400
11	河川(市)	押切南遊水池ポンプ施設	和田川0.6k	0.532
12	河川(市)	押切北調整池ポンプ施設	壺町田川	0.130
13	河川(市)	光福寺沢ポンプ施設	山ノ神川	0.500
14	河川(市)	城北1号ポンプ施設	安東川1.1k	0.273
15	河川(市)	城北2号ポンプ施設	安東川1.1k	0.182
16	河川(市)	観山地区排水ポンプ施設	七曲川0.6k	1.500
17	河川(市)	唐瀬地区排水ポンプ施設	麻機遊水地 第4工区	1.000
18	河川(市)	芝原排水ポンプ施設	麻機遊水地 第4工区	1.000
19	河川(県)	七曲川逆流防止樋門	七曲川1.0k	3.000



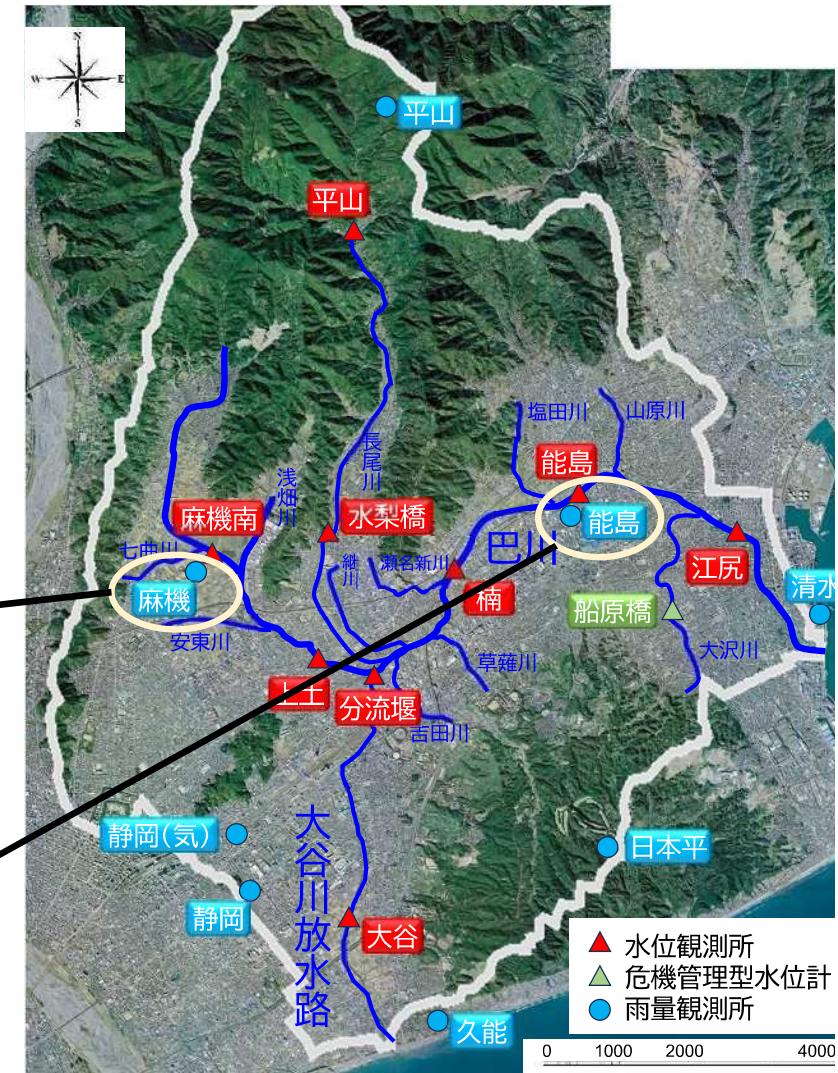
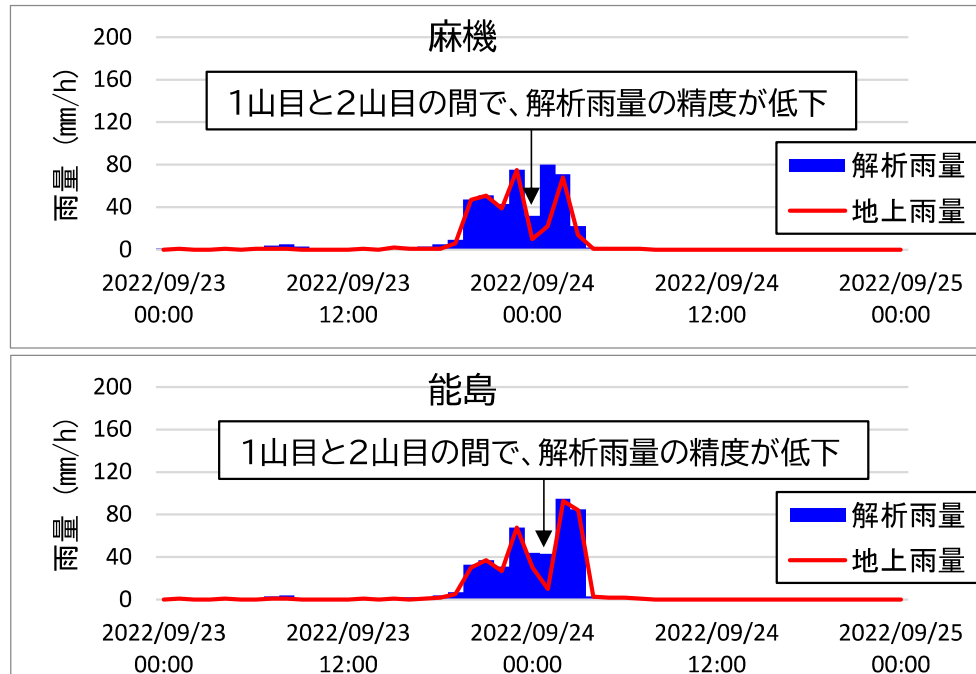
精度低下の要因分析(R4.9洪水、分流堰・能島地点)

- R4.9洪水において、巴川の中・下流部に位置する水位観測所の再現性が低い結果となった
- 解析雨量(モデルの検証に使用)と地上雨量を比較すると、1山目と2山目の間で、解析雨量の精度が低下しており、これが要因と考えられる

■水位ハイドログラフ



■解析雨量(モデルの検証に使用)と地上雨量の比較結果

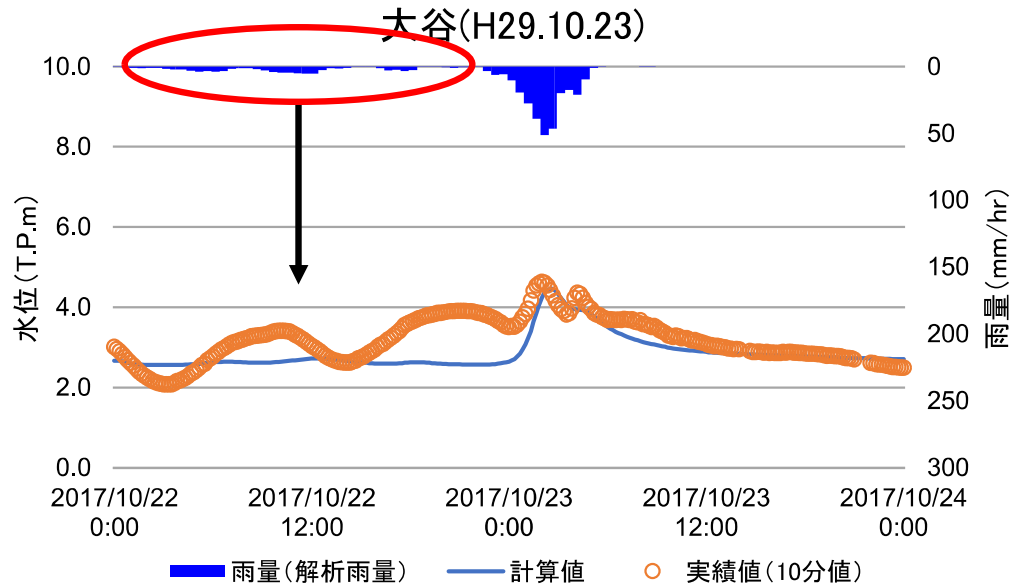


地上雨量観測所の位置に該当する解析雨量(レーダ雨量)のメッシュ値を比較

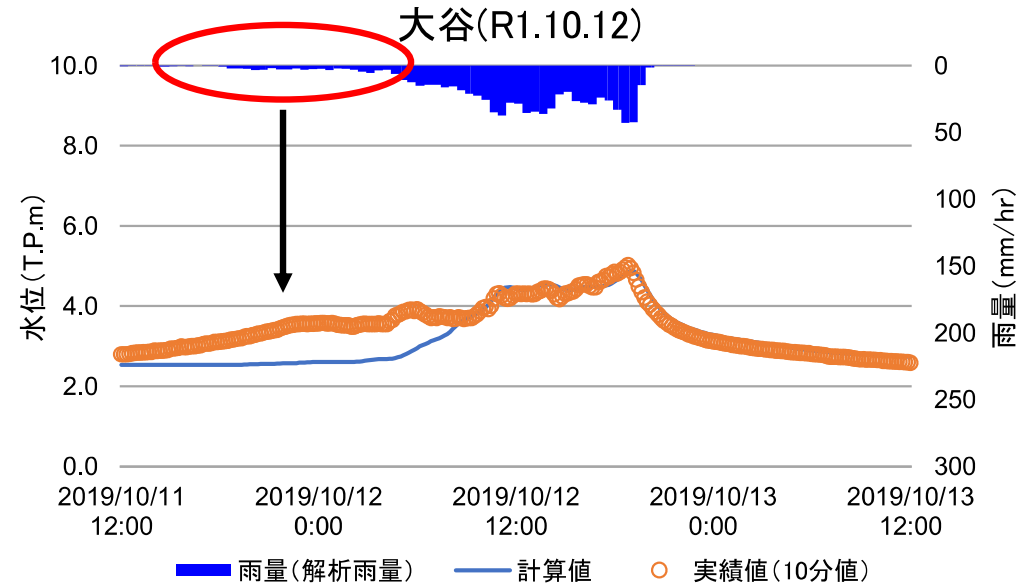
精度低下の要因分析(H29.10洪水、R1.10洪水、大谷)

- 流域平均雨量と水位の関係性を確認 ⇒ 無降雨時、もしくは少雨時に、水位が上昇しており、一部の期間の水位データの観測精度が低下している可能性が考えられる。

平成29年台風21号(H29.10.23)



令和元年東日本台風(R1.10.2)



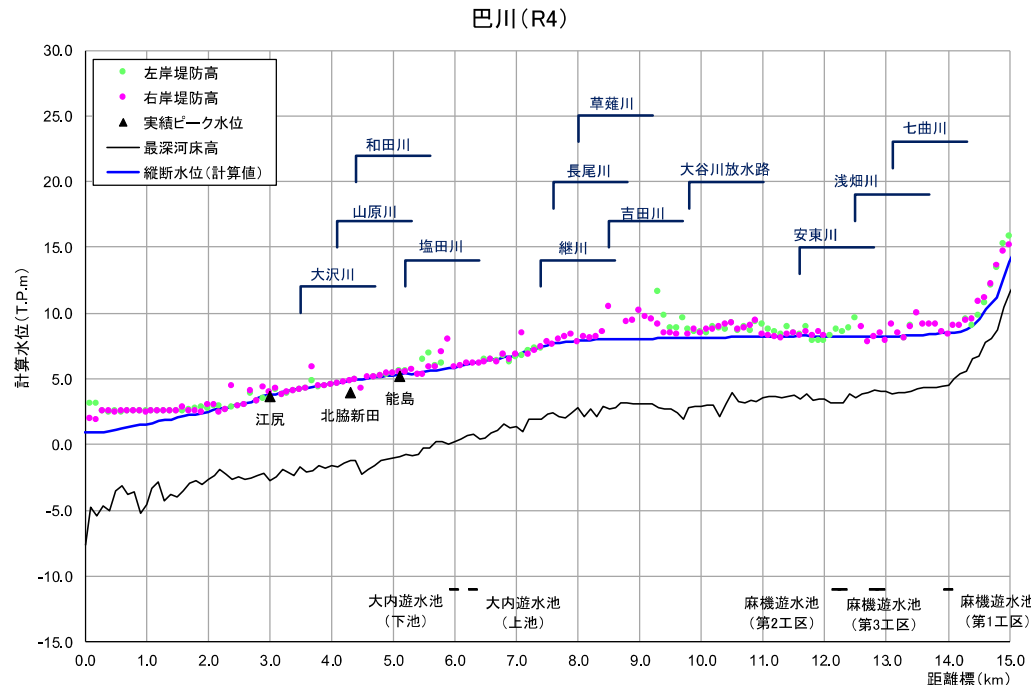
いずれの洪水も、降雨量に対して、水位の変動が大き過ぎる

精度低下の要因分析(R4.9洪水、北脇新田地点)

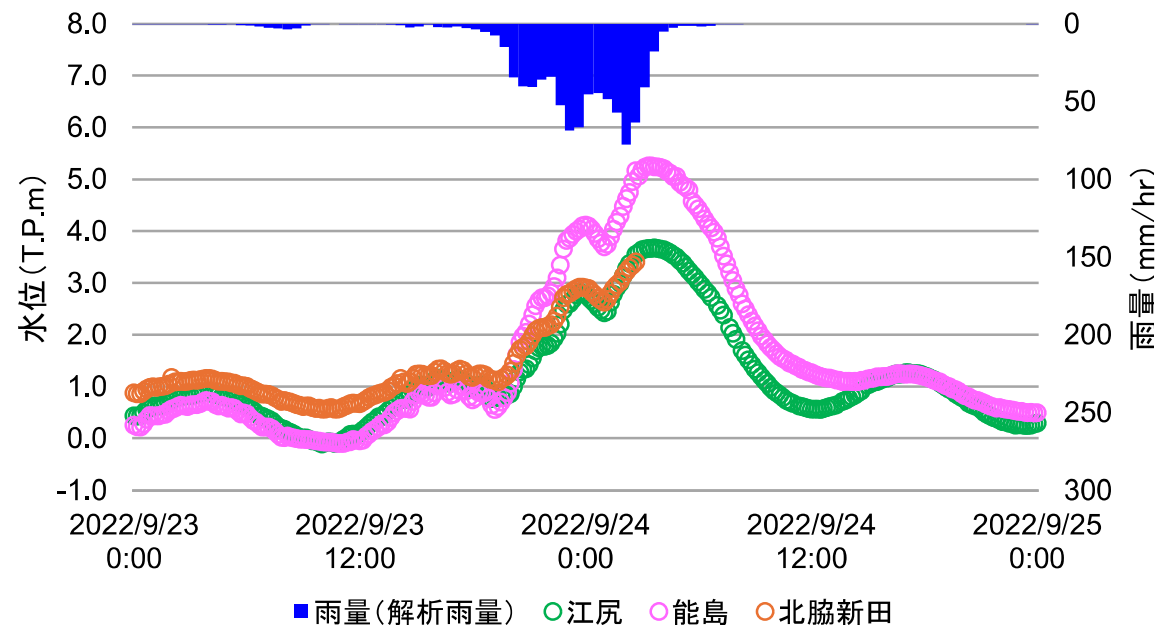
- R4.9洪水において、巴川の下流部に位置する北脇新田(ポンプ施設外水位)の再現性が低い結果となった
- 北脇新田のポンプ施設の位置は、能島と江尻の間にあるため、その水位と比較した結果、概ね江尻と同じ水位で推移している。

大きな洪水時の巴川本川の挙動は
引き続き検証が必要

■河川の縦断水位グラフ



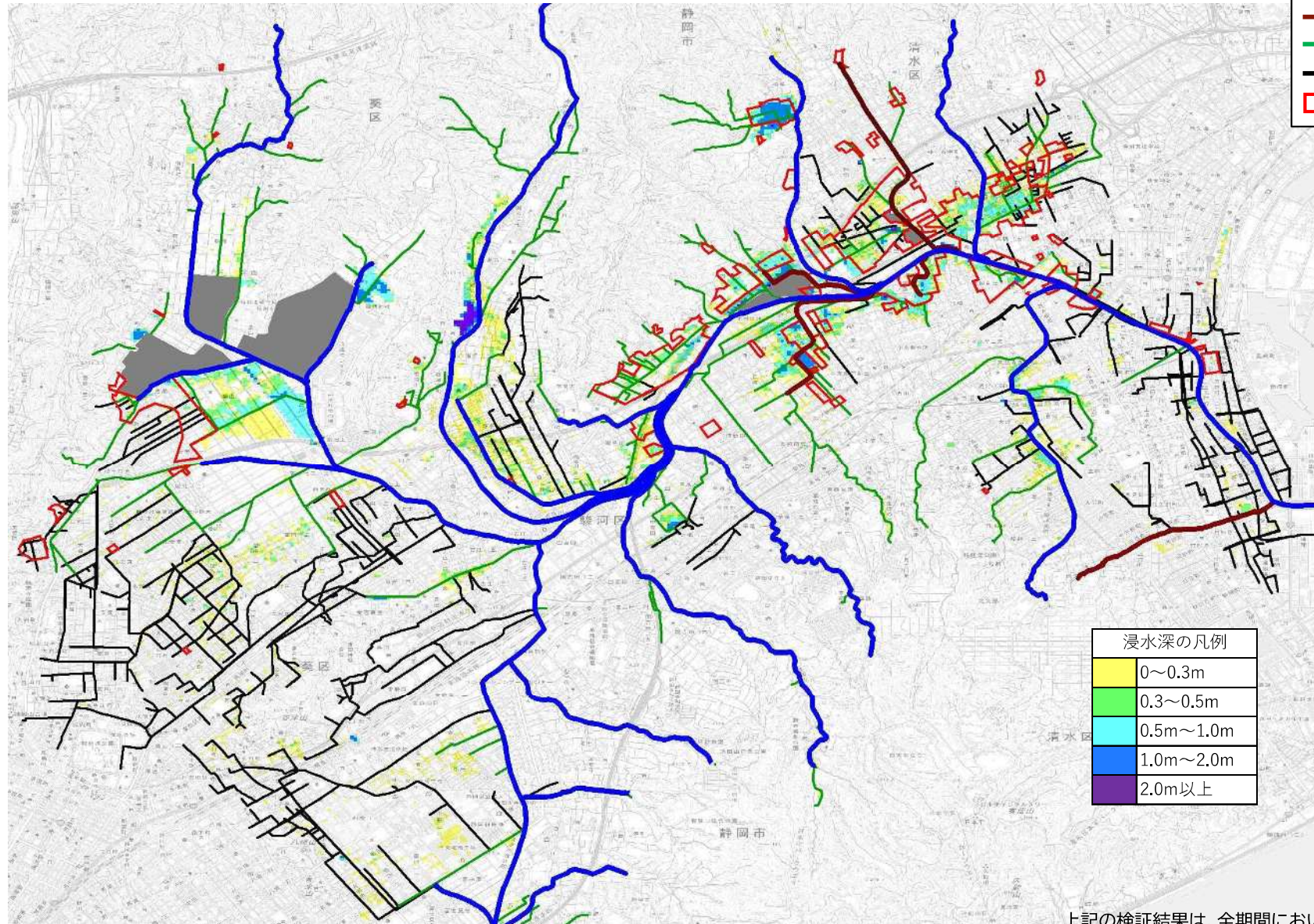
■水位ハイドログラフ



STEP2の検証結果(浸水エリア、H26.10洪水)

- 構築したモデルにより得られた浸水エリアと実績の浸水エリアを比較し、モデルの妥当性を確認

■浸水エリアの比較図(H26.10洪水)

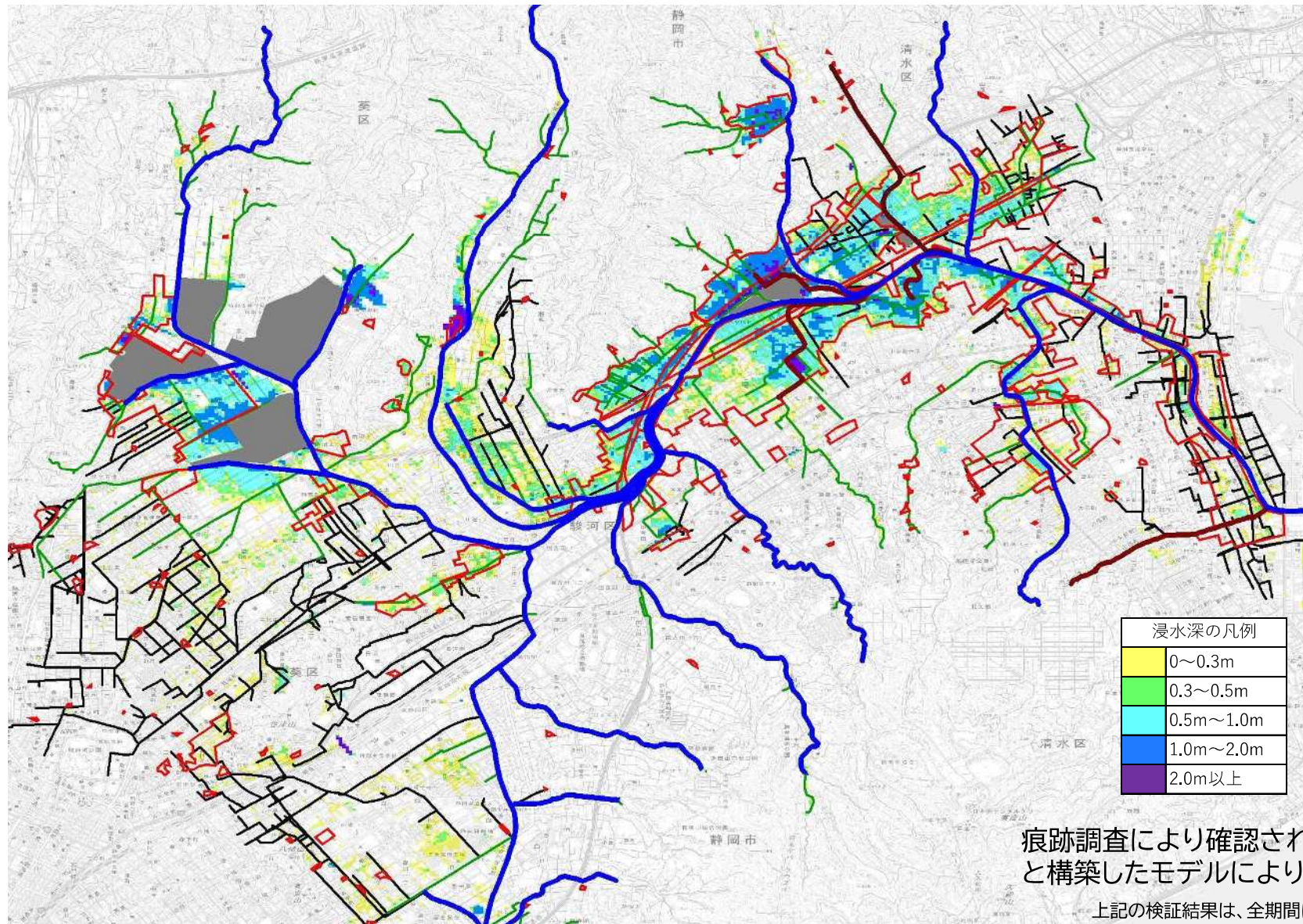


上記の検証結果は、全期間において、実績雨量を適用した計算結果である

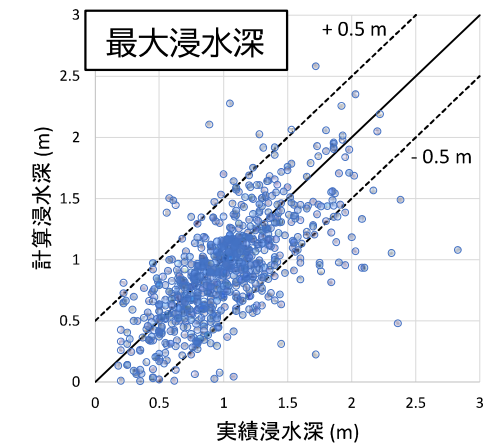
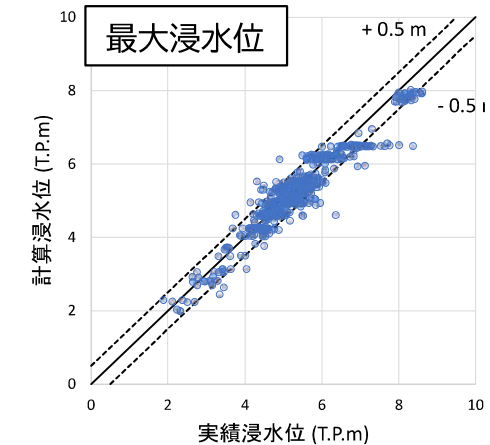
STEP2の検証結果(浸水エリア、R4.9洪水)

- 構築したモデルにより得られた浸水エリアと実績の浸水エリアを比較し、モデルの妥当性を確認

■浸水エリアの比較図(R4.9洪水)



- 河道モデル(県管理河川)
- 河道モデル(主要な市準用河川)
- 水路モデル
- 下水道モデル
- R4.9洪水の浸水実績エリア



痕跡調査により確認された氾濫発生時の最大浸水位・浸水深と構築したモデルにより得られた最大浸水位・浸水深を比較

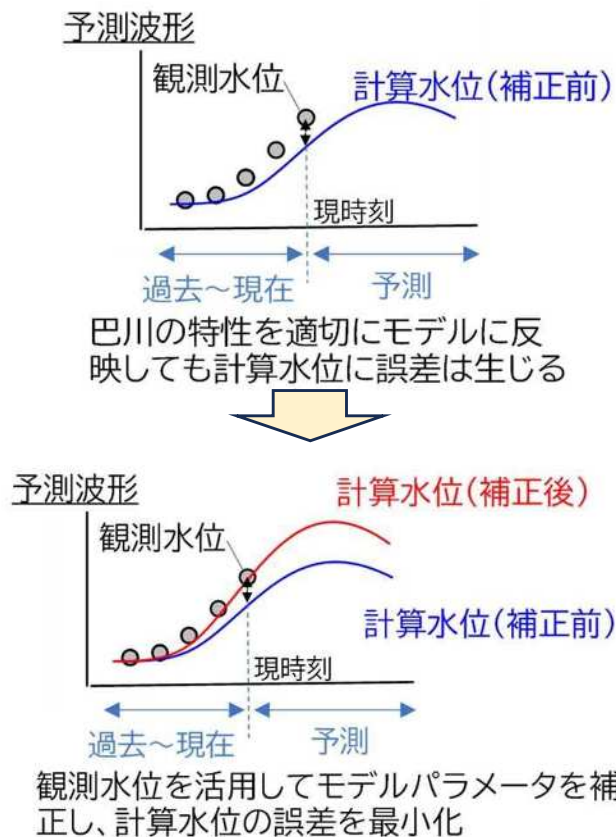
上記の検証結果は、全期間において、実績雨量を適用した計算結果である

リアルタイム誤差補正手法の導入

- RRIモデルや内外水氾濫モデルの検証過程から粗度係数は洪水毎に最適値を設定することで予測精度が確保できることを確認(p.37～56参照)
- 水位・氾濫域予測システムでのリアルタイム計算において、現時刻が更新される毎に(10分間隔を想定)、河道粗度係数を最適化する仕組みを構築し、水位・氾濫域予測モデルへ実装

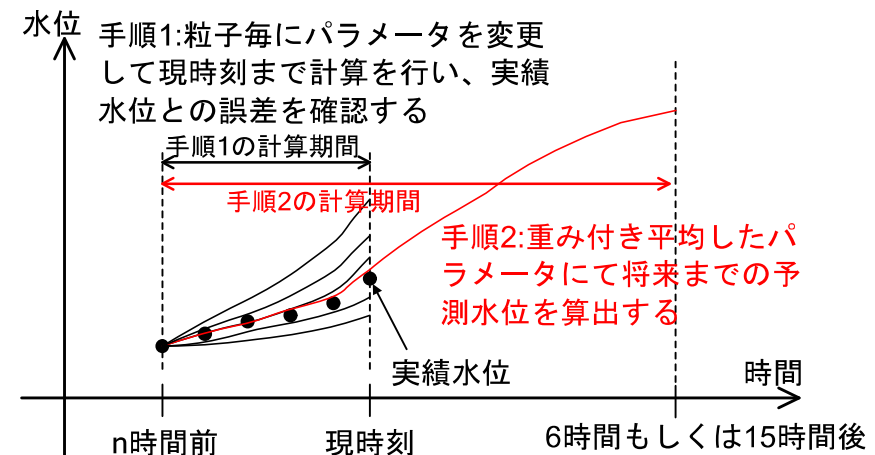
リアルタイム誤差補正手法

洪水時に変動することが想定される河道粗度係数を逐次補正し、観測水位(過去から現在まで)と計算水位の誤差を最小化することで、予測精度を確保



データ同化の設定条件・手順

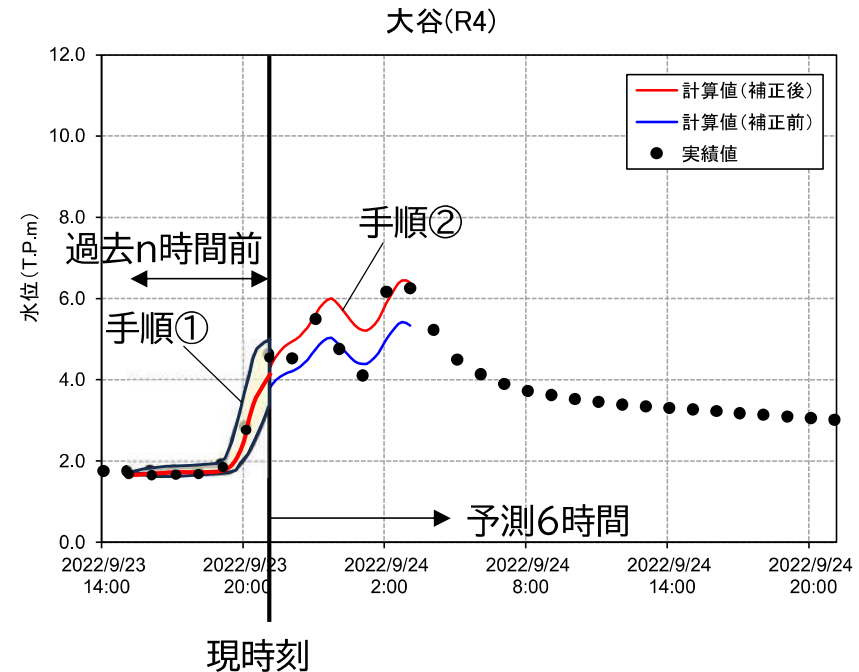
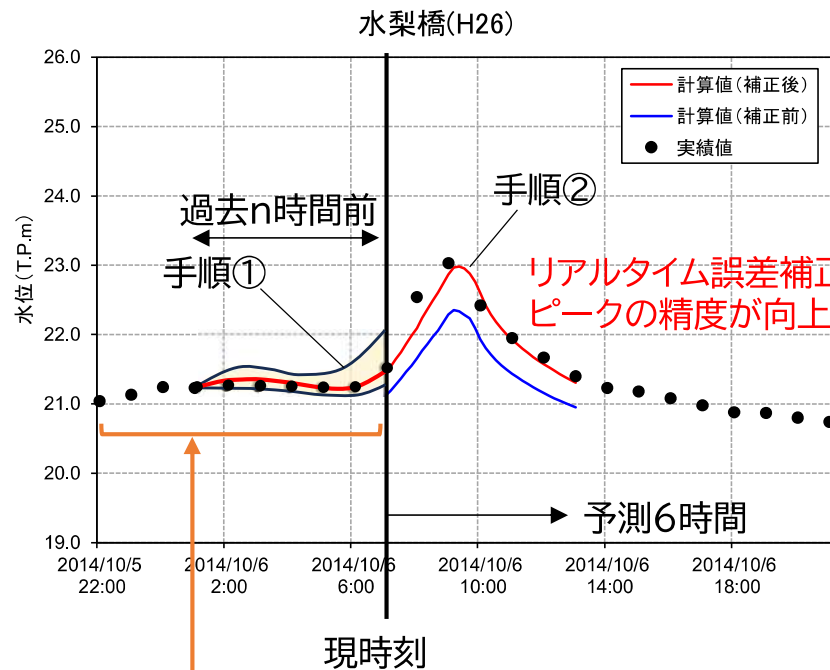
項目	内容
同化地点	麻機南・上土・分流堰・楠・能島・江尻・平山・水梨橋・大谷・船原橋
同化変量	河道モデルの粗度係数
変動範囲	0.015～0.050
粒子数	30
尤度の算定方法	n時間前から現時刻までの誤差をもとに尤度関数(正規分布を仮定)により算定
リサンプリング方式	ドント方式



リアルタイム誤差補正の適用効果例

- リアルタイム誤差補正手法により、河道モデルの粗度係数を逐次補正し、予測精度を確保

■リアルタイム誤差補正による予測精度向上効果を確認した例



手順①

計算区間(水梨橋の場合は長尾川)に対し、異なる粗度係数の30ケース※を用意し、過去から現時刻までの期間を対象に各ケースの予測計算を実施

手順②

30ケースの計算水位の誤差から最適な粗度係数を設定し(誤差を確率分布で近似することにより、確からしい粗度係数を設定)、予測計算を実施

現時刻が更新される度に実施

※国が主導している水害リスクライン(全国の1級水系を対象とした洪水予測システム)では、30ケース程度で予測精度が確保できることを確認している