

（仮称）二級河川巴川流域水位・氾濫域 予測システム構築（第2回）研究会

説 明 資 料

静岡市 建設局 土木部 河川課

令和6年2月28日

目次

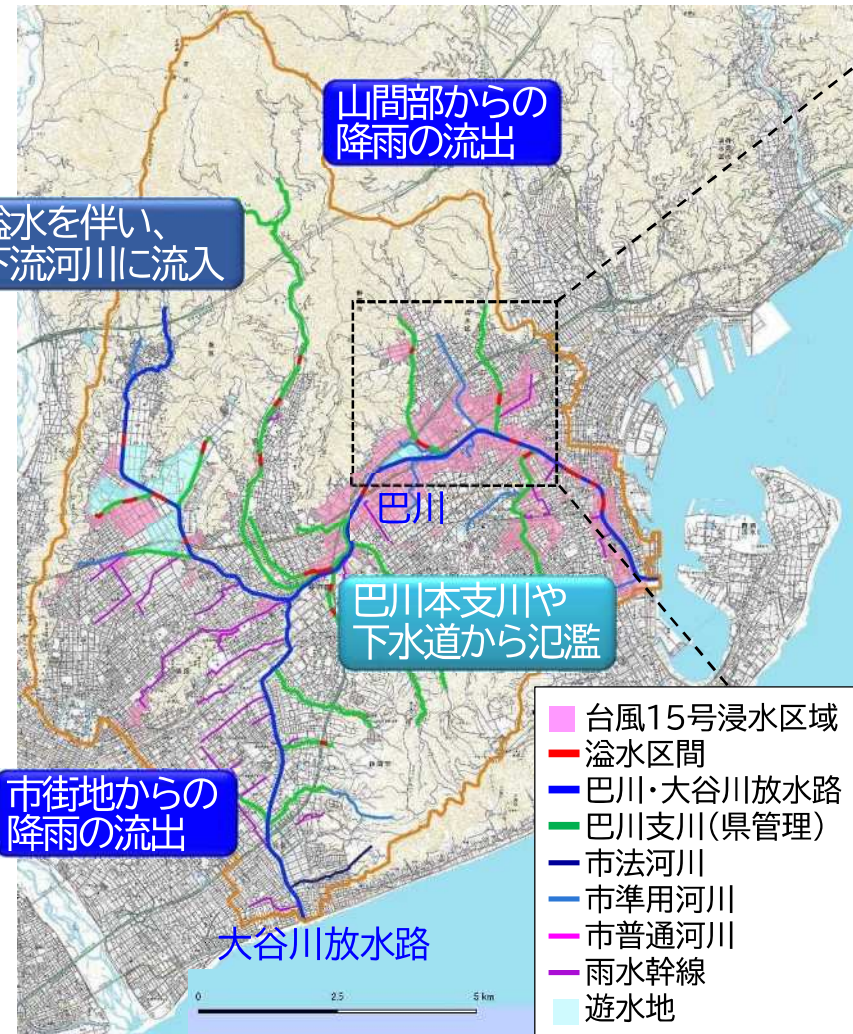
1. 水位・氾濫域予測モデルの構築……………P.2
2. 実況・予測雨量の精度検証……………P.83
3. 予測システムのプロトタイプ構築……………P.140
4. 住民周知のための対応方針……………P.144
5. 表示システムの検討……………P.165
6. 今後の課題と展開……………P.175

1. 水位・氾濫域予測モデルの構築

巴川流域における令和4年台風15号の浸水要因

- 令和4年台風15号は計画規模以上の洪水であったため、**県管理区間等からの外水氾濫と、支川・下水道等の内水氾濫の複合的な要因**で浸水被害が発生
- 巴川の複雑な氾濫特性を水位・氾濫域予測モデルで表現することが必要

■ 巴川流域の特性



■ 令和4年度台風15号の浸水要因

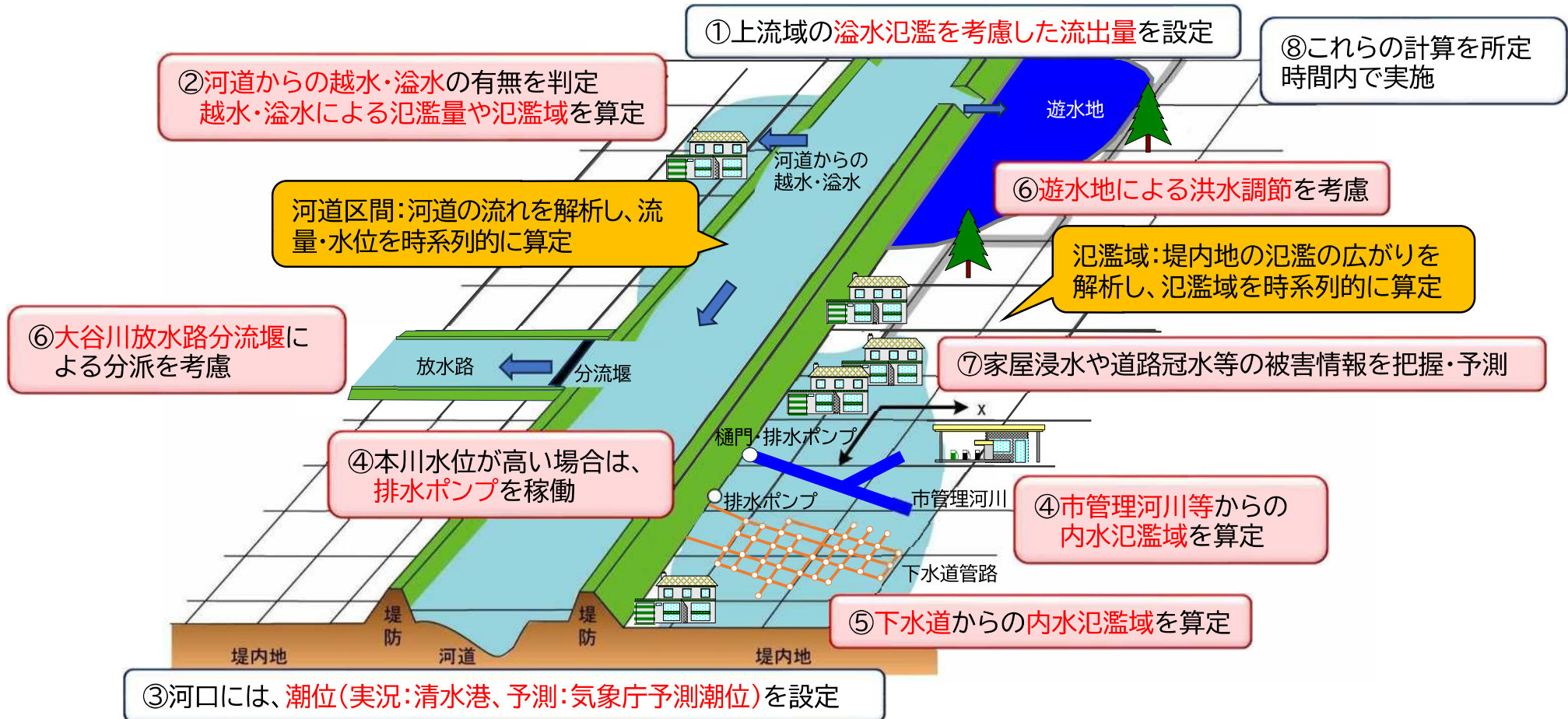


水位・氾濫域予測モデルの要件設定

- 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 | ⑤ 排水不良による下水道からの内水氾濫現象を考慮 |
| 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 | 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 |
| ③ 潮位変動による河川水位・流量の変化を考慮 | ⑦ 家屋浸水や道路冠水等の被害情報の正確な把握・予測 |
| ④ 市管理河川等からの内水氾濫現象を考慮 | 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)	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。

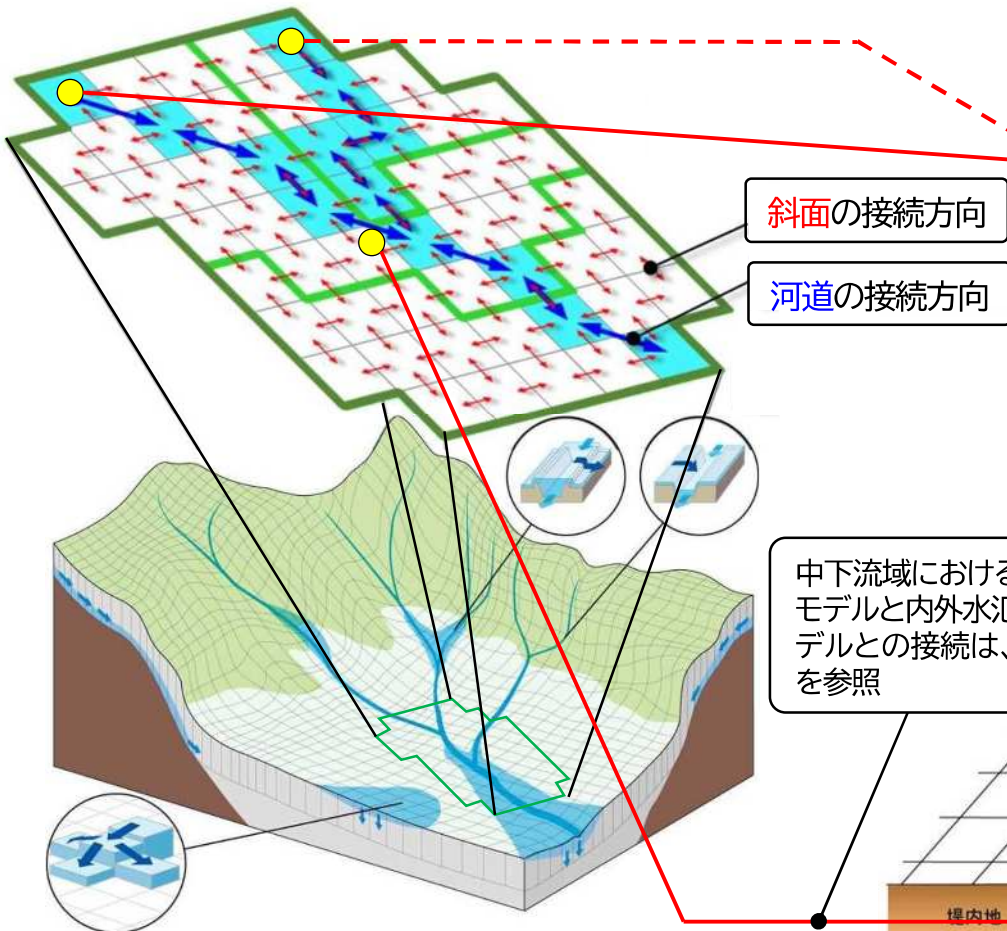
※2 領域逐次設定機能: 解析で得られた時々刻々の氾濫領域に応じて、計算領域を自動的に拡大・縮小することで、計算量を適切に設定し、計算時間の大幅な短縮が可能。

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(上流域での溢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)

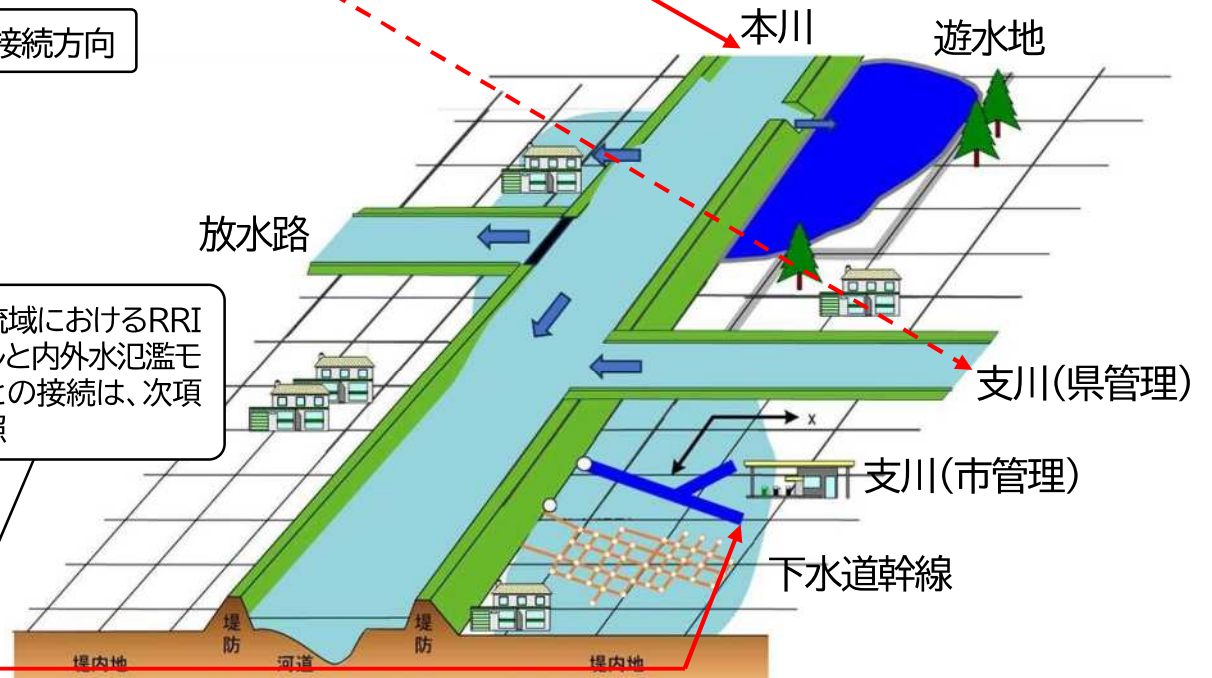
■「RRIモデル」のイメージ

- 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



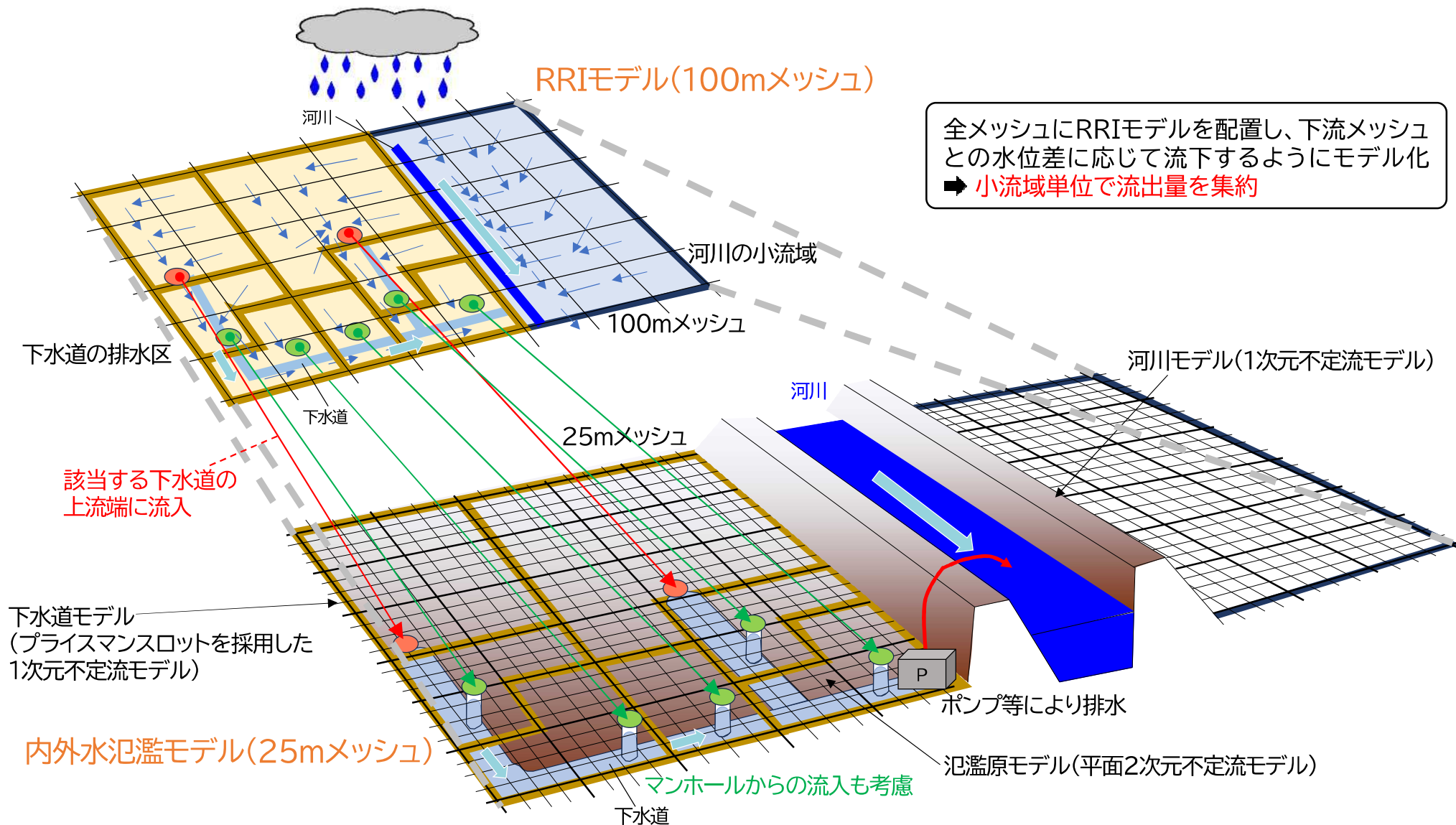
■「内外水氾濫モデル」のイメージ

- 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

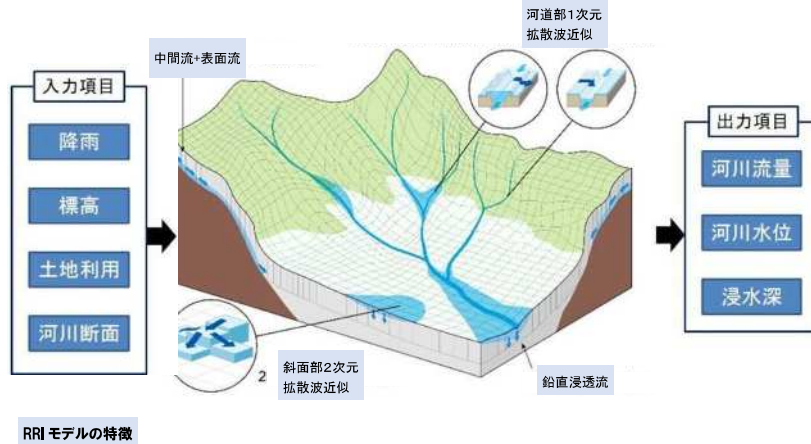
- RRIモデルにより算定した流出量(河川の小流域や下水道の排水区単位で算定)を内外水氾濫モデルの境界条件として設定



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

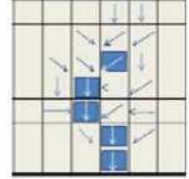
設定項目	設定方法	使用するデータ
地盤高	100mメッシュ毎に平均地盤高を設定	3次元点群データ(VIRTUAL SHIZUOKA)
落水線	上記で作成した平均地盤高および排水区情報をもとに、メッシュ間の流下方向を設定	地盤高・流域界・下水道排水区
河川断面	レジーム則に従って河道幅と河道深さを流域面積の関数として設定	河道測量断面データ
土地利用分類	水田、畑地、山地、都市、水域の5つに分類し、各パラメータを設定	国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(100mメッシュ)

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

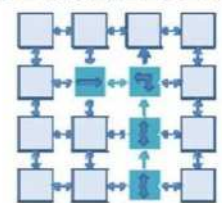
一般的な分布型流出モデル

流れの方向は地形に従って固定



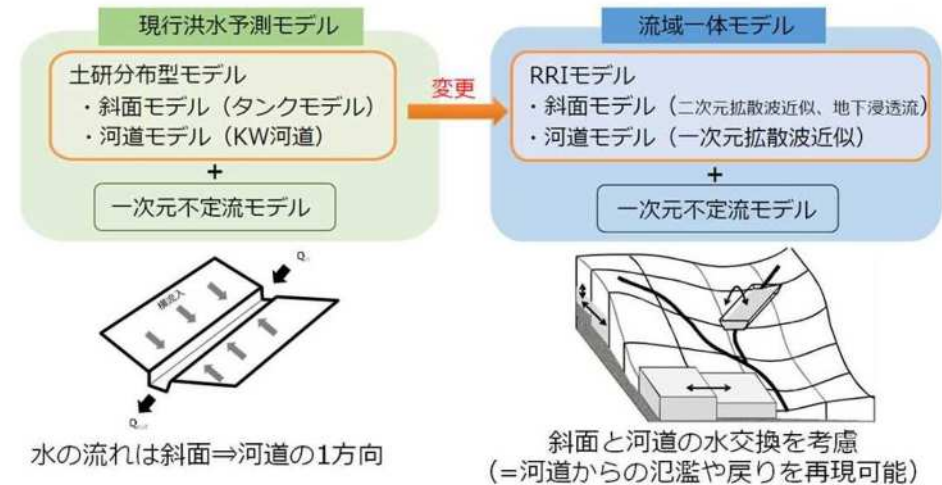
RRIモデル

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



水の流れは斜面⇒河道の1方向

斜面と河道の水交換を考慮
(=河道からの氾濫や戻りを再現可能)

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
⇒ **大規模洪水時の再現精度が向上**

RRIモデル構築(地盤高の設定)

- VIRTUAL SHIZUOKAの標高データ(3次元点群データ)を活用し、メッシュ地盤高データ(100mメッシュ)を作成

■使用したデータ

項目	内容
出典	VIRTUAL SHIZUOKA 静岡県 中・西部 点群データ
データ種別	LPデータグリッドデータ
メッシュサイズ	0.5m
更新日	2023年10月19日

■メッシュ地盤高の整理(100mメッシュ)

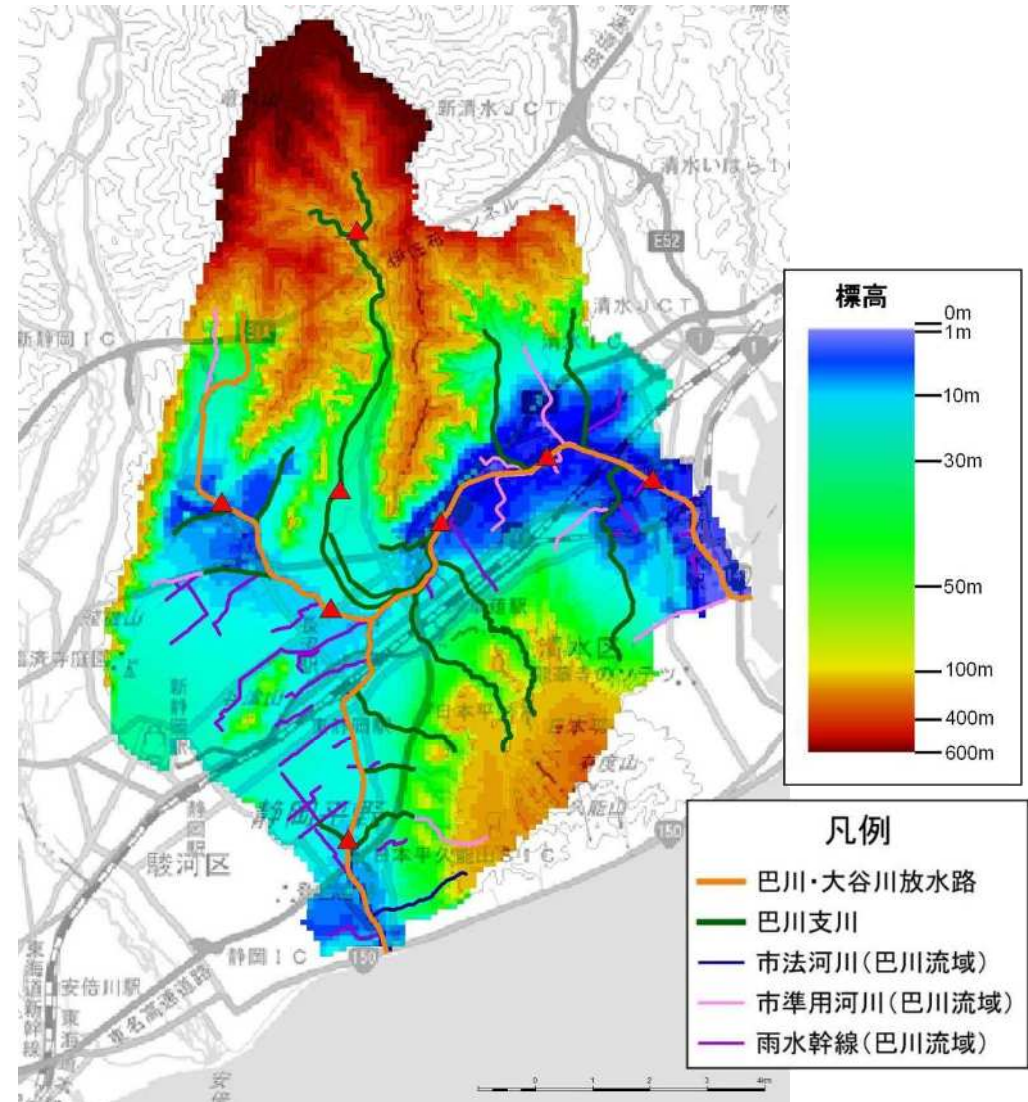
グリッドデータ



グラウンドデータ



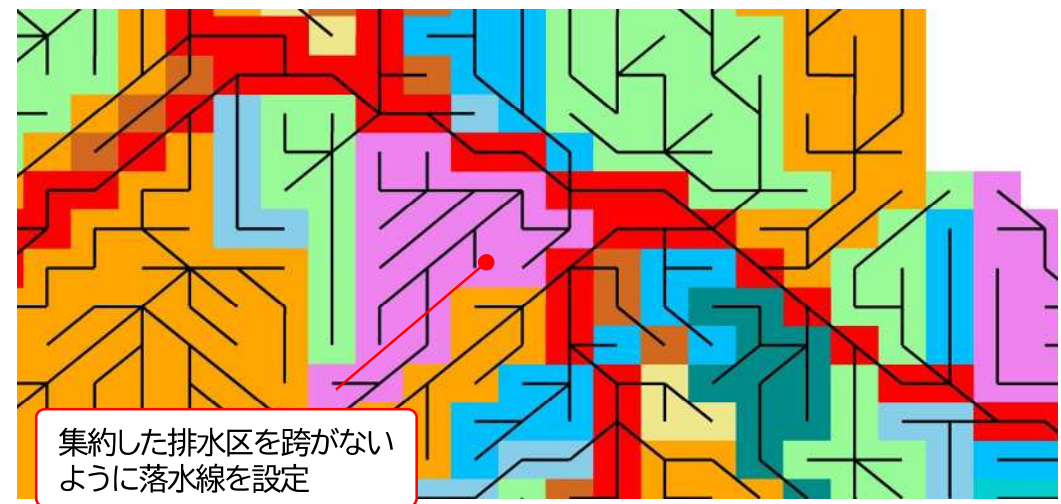
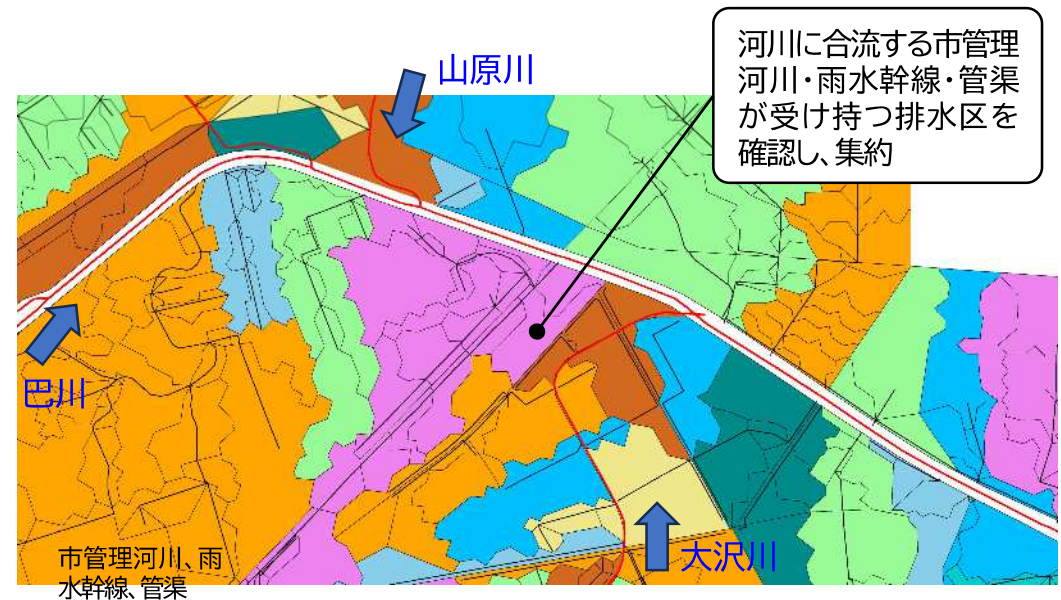
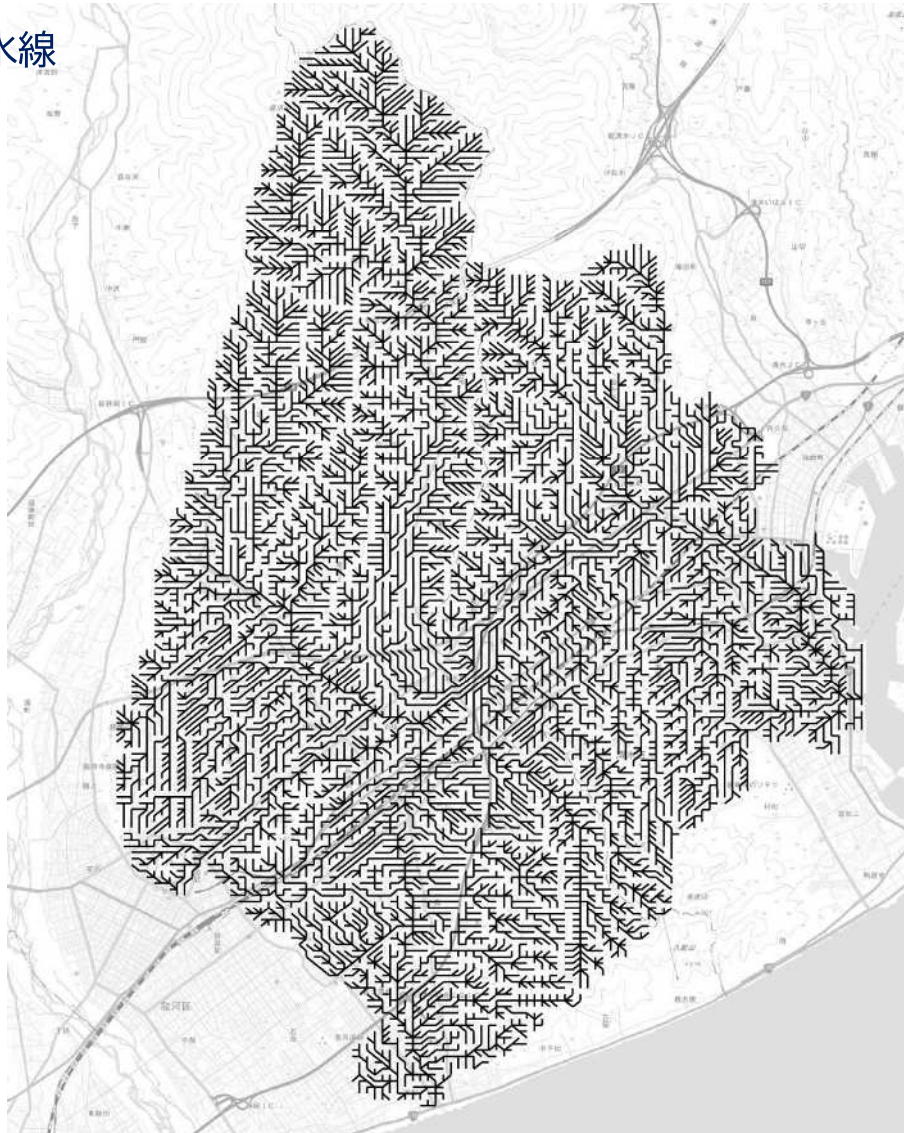
グラウンドデータは工場など標高データが存在しない箇所があり、また局所的に標高の低いところを観測している場合があるため、グリッドデータを用いて100mメッシュ地盤高を算定



RRIモデル構築(落水線の設定)

- 前項で作成したメッシュ地盤高データから落水線(河道モデルにおける水の流れを規定)を作成
- 内外水氾濫モデルと接続することを前提として、小流域界や排水区を跨がないように落水線を設定

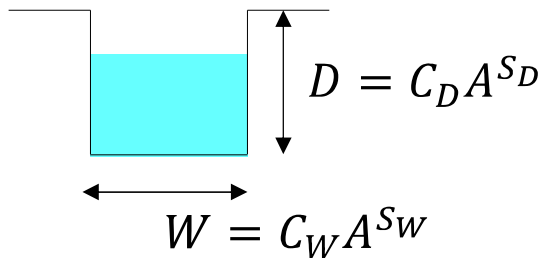
■落水線



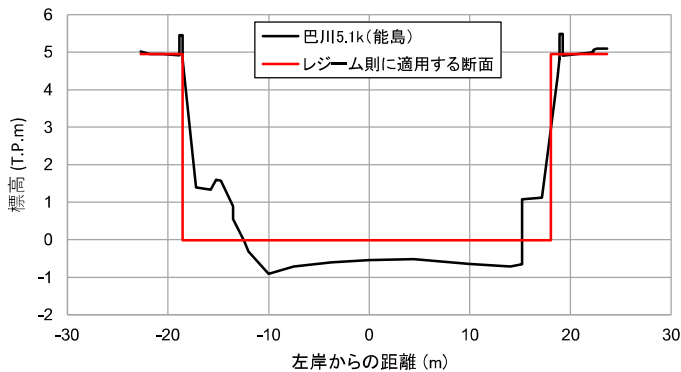
RRIモデル構築(河川断面の設定)

- 内外水氾濫モデルにおいて河道モデルの対象としている河川(県管理河川・市法河川・主要な市準用河川、p.14参照)は、断面形状を矩形断面と仮定し、測量成果やLPデータをもとに、河道幅・河道深さを設定
- 上記以外のRRIモデルにおける河道モデル設定箇所も断面形状は矩形断面と仮定し、河道幅・河道深さは、レジーム則に従い上流域面積に応じて設定
- レジーム則の河道形状係数(C_W など)は、水位観測所地点で測量された断面形状と整合するように設定

■レジーム則より類推された流域面積と河道幅・河道深さの関係



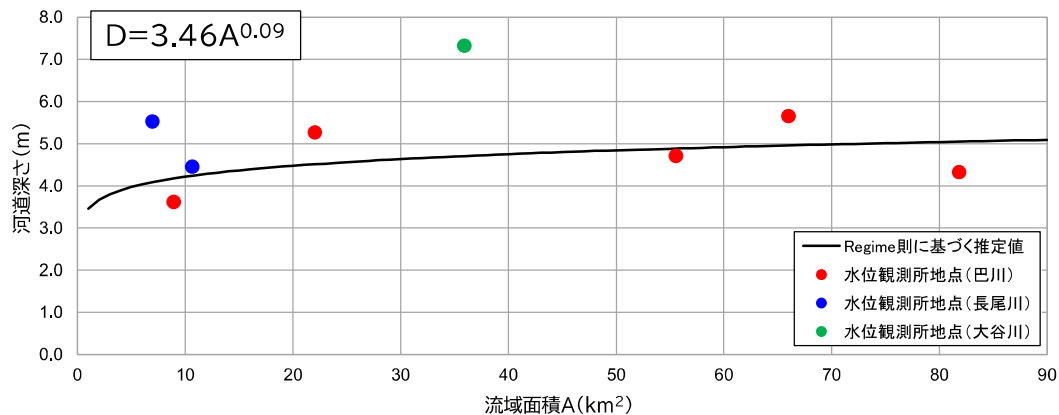
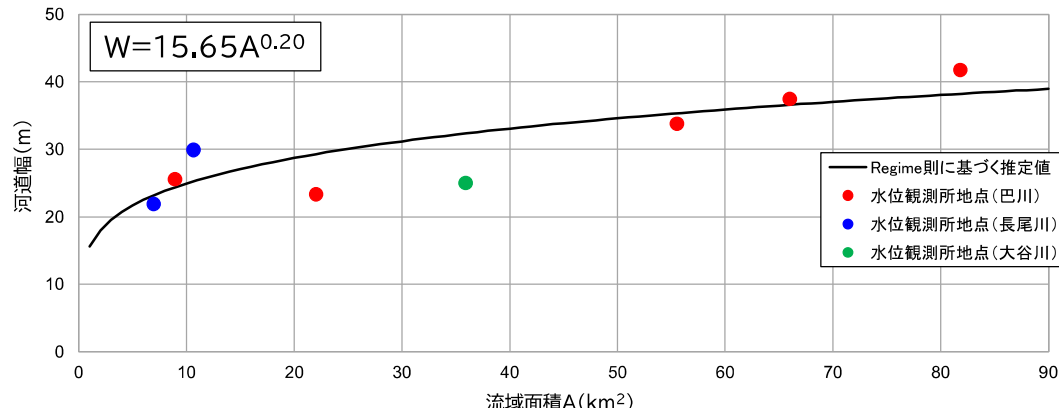
W : 河道幅 D : 河道深さ A : 流域面積
 C_W 、 S_W 、 C_D 、 S_D : 河道形状係数



矩形断面と実地形の違い

→水位評価は内外水氾濫モデルの河道モデルで実施

■設定した河道形状係数



※大谷観測所は放水路上に位置し、人為的な幅・深さであるため、参考として表示

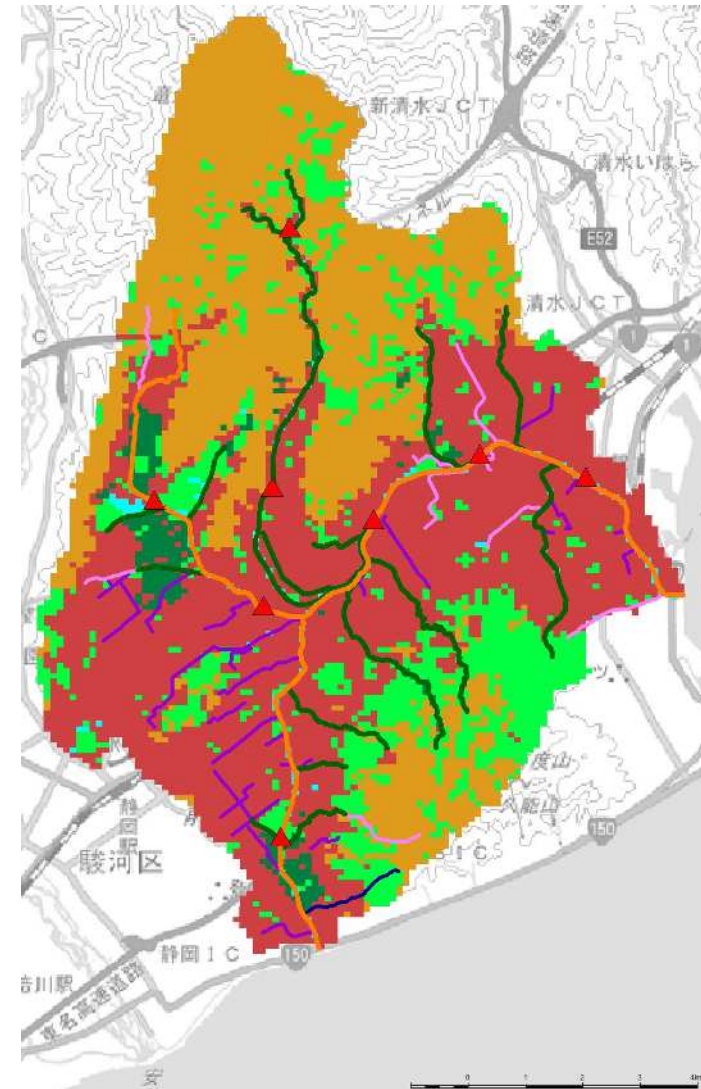
RRIモデル構築(土地利用分類の設定)

- 国土数値情報土地利用細分メッシュデータの12分類を水田、畑地、山地、都市、水域の5つに分類し、それぞれパラメータを設定

■土地利用細分メッシュデータとRRIモデルの土地利用5分類

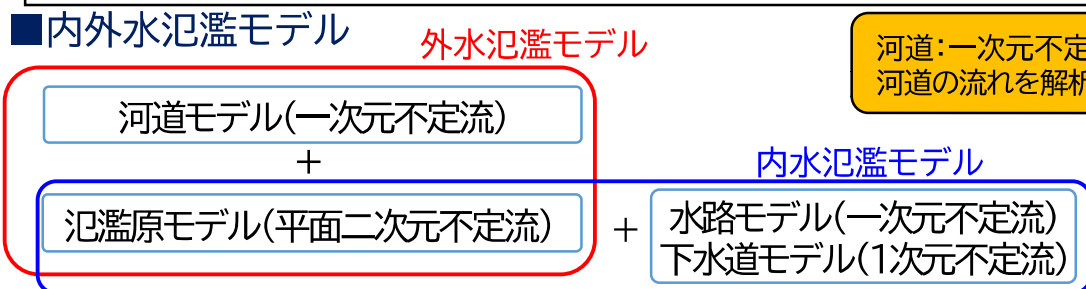
国土数値情報定義		RRIモデルにおける土地利用分類
種別	定義	
田	湿田、乾田、沼田、蓮田および田	水田
その他の農用地	麦・陸稲・野菜等を栽培する土地	畑地
森林	多年生植物の密生している地域	山地
荒地	しの地・荒地・がけ・岩等	畑地
建物用地	住宅地・市街地等	都市
道路	道路等	都市
鉄道	鉄道・操車場等	都市
その他の用地	運動競技場、野球場・学校港湾地区・人工造成地の空地等	畑地
河川地および湖沼	人工湖・自然湖等 河川・河川区域の河川敷	水域
海浜	海岸に接する砂、礫、岩の区域	水域
海水域	隠顕岩、干潟、シーパースも含む	水域
ゴルフ場	ゴルフコースの集まっている部分のフェアウェイ及びラフの外側と森林の境目を境界とする	畑地

■土地利用分類の整理(100mメッシュ)



内外水氾濫モデルの概要および設定が必要な項目

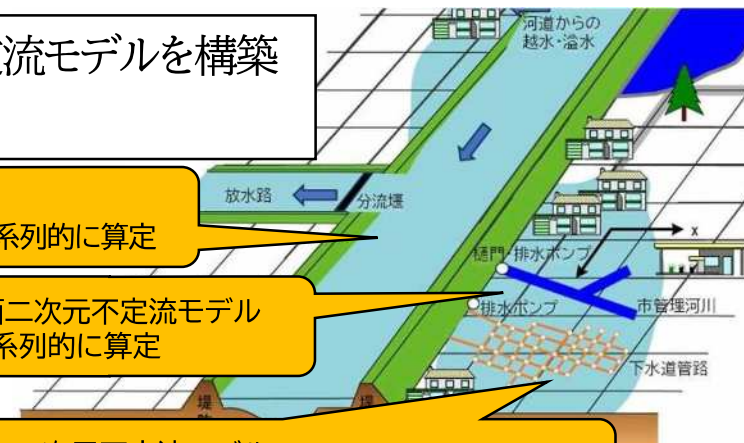
- 河道・水路・下水道は一次元不定流モデル、氾濫原は平面二次元不定流モデルを構築
- 各モデルを接続し、氾濫の判定・氾濫流の広がり等を解析



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



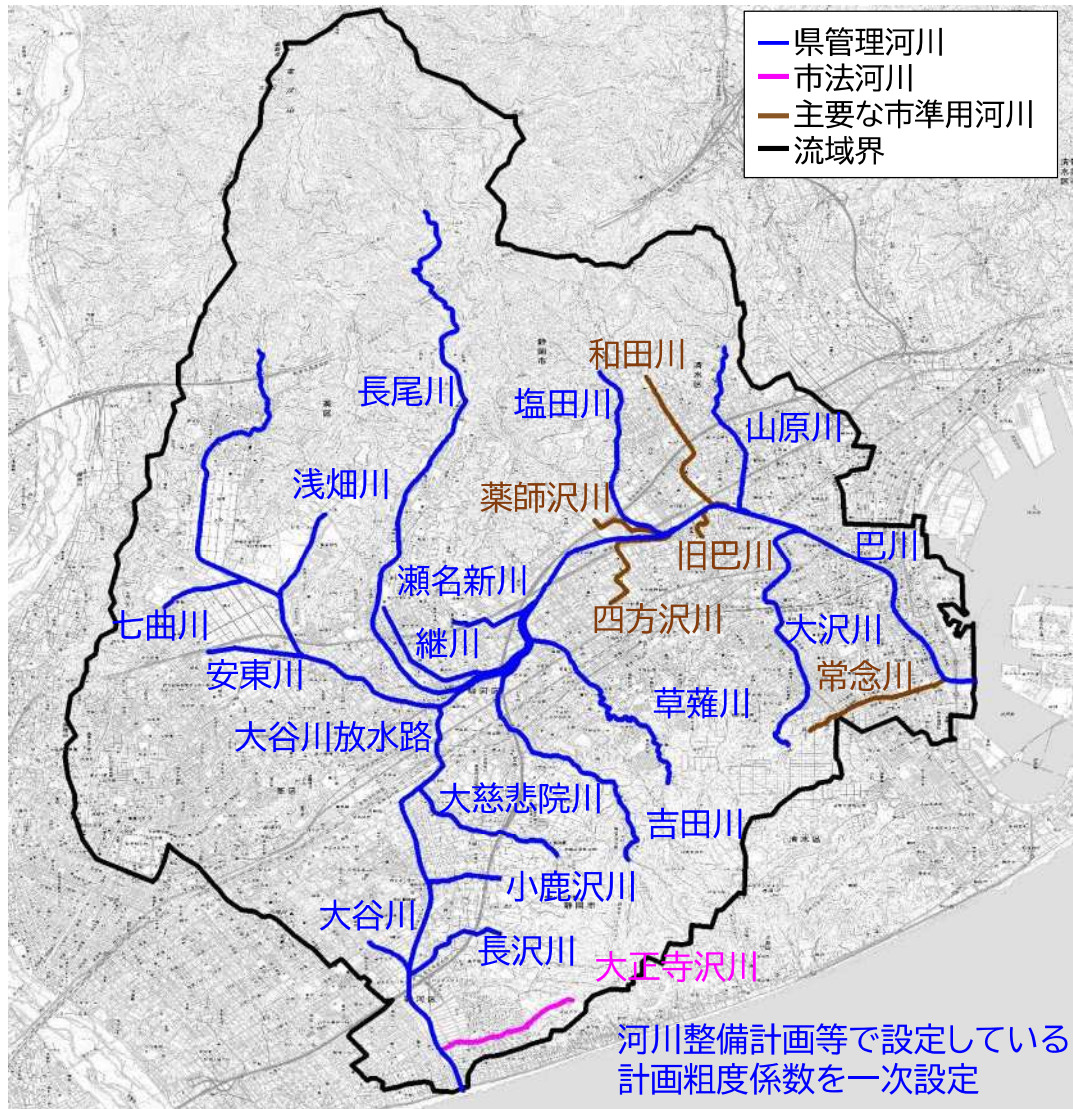
内外水氾濫モデルの構築に必要な設定項目

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(河道モデルの設定)

- 県管理河川や市法河川、氾濫実績が多い市準用河川を対象に河道モデルを構築
- 測量データや、VIRTUAL SHIZUOKAの標高データ(3次元点群データ)から、河道断面データを作成

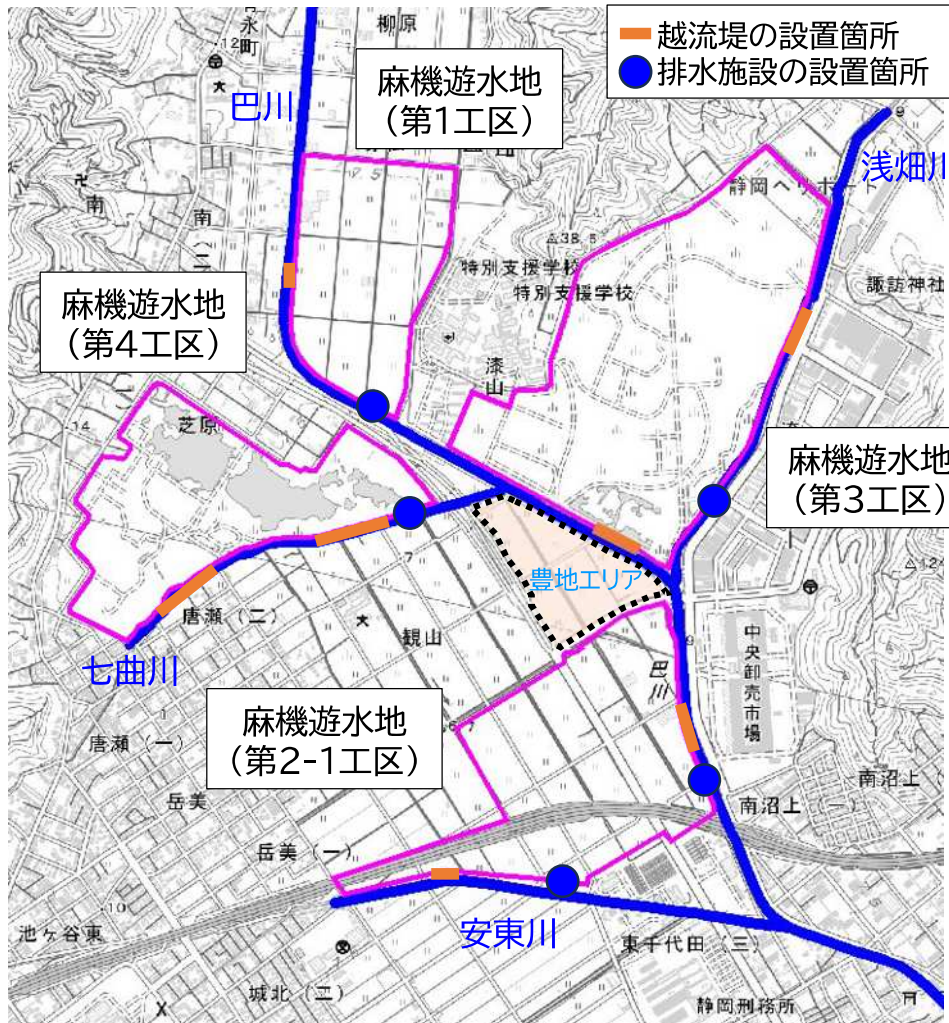
河道モデルを構築する対象河川



河川	区間	断面データの出典	粗度係数 一次設定値
巴川	0.0k~14.3k	H26測量	0.030
	14.4k~17.4k	標高データ(3次元点群データ)	0.030
常念川	0.0k~1.45k	R4測量	0.030
大沢川	0.0k~2.5k	H15測量	0.030
	2.6k~4.1k	標高データ(3次元点群データ)	0.030
山原川	0.0k~2.8k	H5、H7、H8、H19測量	0.030
	2.9k	標高データ(3次元点群データ)	0.030
和田川	0.0k~2.3k	H15測量	0.030
	2.4k~2.5k	標高データ(3次元点群データ)	0.030
旧巴川	0.0k~0.49k	H29測量	0.030
塩田川	0.0k~2.95k	H5、H19測量	0.035
四方沢川	0.0k~1.809k	R1測量	0.030
薬師沢川	0.0k~1.0k	R4測量	0.030
瀬名新川	0.0k~1.095k	H13測量	0.030
継川	0.0k~3.3k	S58、H23測量	0.030
草薙川	0.0k~3.6k	H19測量	0.030
吉田川	0.0k~4.122k	H1、H2、H3測量	0.030
長尾川	0.0k~10.6k	S62、H3、H16測量	0.030
安東川	0.0k~0.2k	H30測量	0.024
	0.3k~1.1k	H30測量	0.030
浅畑川	0.0k~1.3k	H15測量	0.035
七曲川	0.0k~1.1k	H11測量	0.030
大谷川放水路	0.0k~6.2k	H17測量、H18測量	0.025
大正寺沢川	0.0k~1.4k	H19測量	0.030
長沢川	0.0232k~1.457k	H17測量	0.030
大谷川	0.0k~0.6k	H19測量	0.030
小鹿沢川	0.0k~0.943k	H19測量	0.030
大慈悲院川	0.0k~2.2k	H1、H2測量	0.035

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 (m ³)
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 (m ³)
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

調節池のHV

H (m)	V (m ³)
5.30	0
8.00	632,227
8.91	846,343

越流堤:2箇所
排水:2箇所

※1.5m×1.5mの管路で排水

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

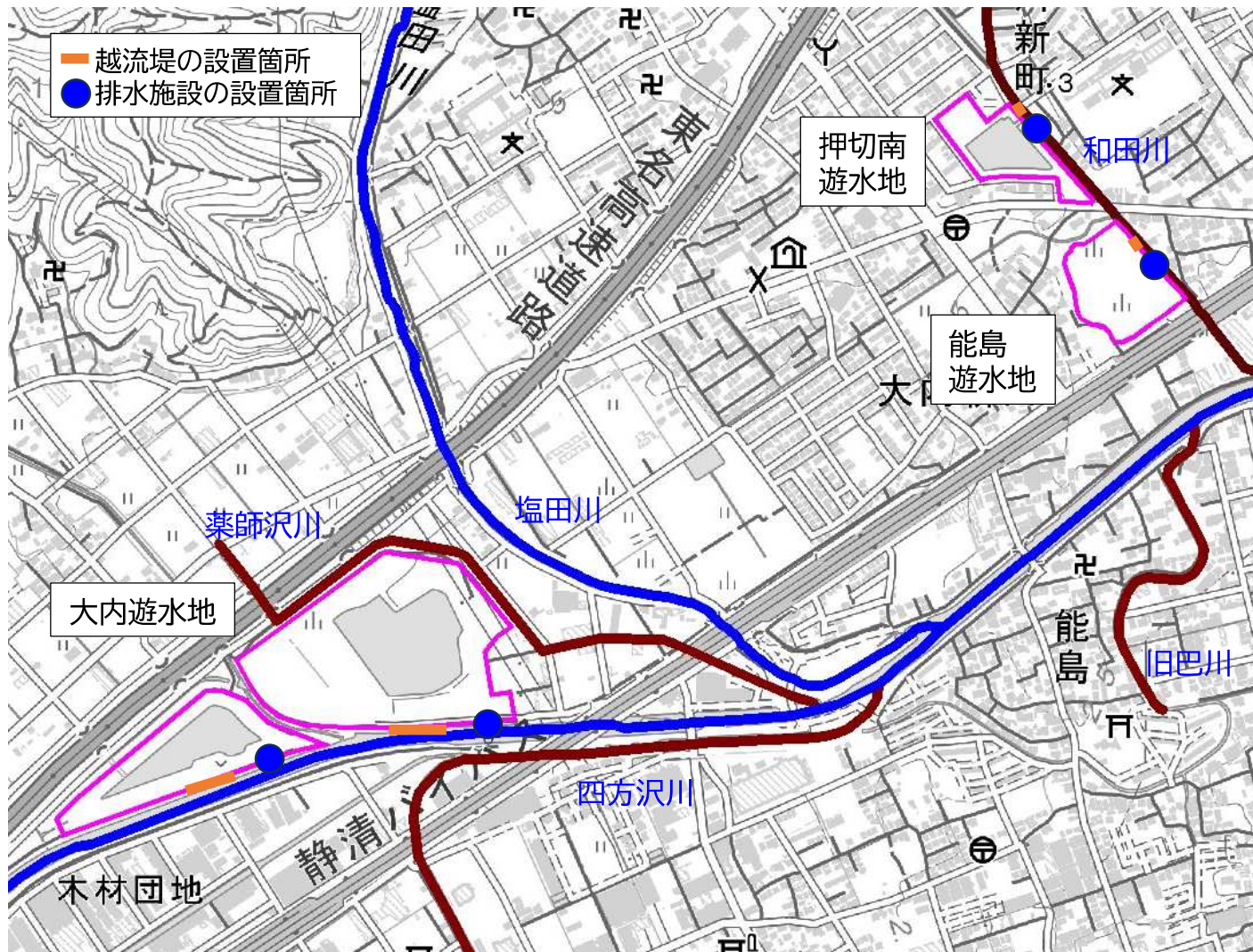
項目	内容
越流堤長	300m
越流堤敷高	6.80m
越流箇所	七曲川0.9k

調節池のHV

H (m)	V (m ³)	H (m)	V (m ³)
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

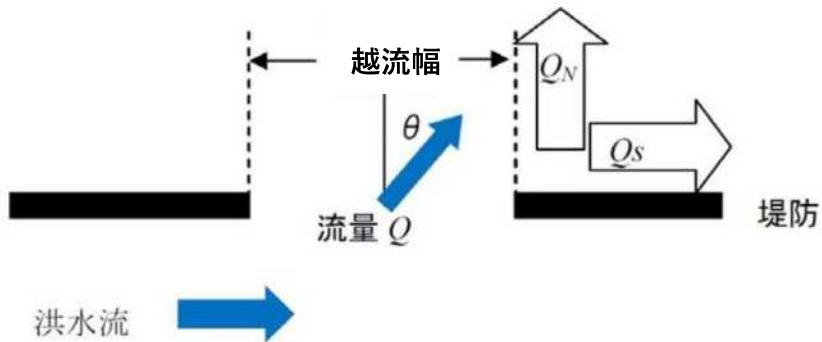
調節池のHV

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(越流量・排水量の算定方法)

- 遊水地への越流量や河川への排水量は、以下の式により算定

遊水地への越流量は、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



堤防法線方向成分 $Q_N = \alpha Q_0 \cos\theta$
 堤防接線方向成分 $Q_S = \alpha Q_0 \sin\theta$

横越流特性

$I > 1/12,000$
$\alpha = 1, \theta = 155 - 38 \times \log_{10}(1/I)^\circ$
$1/12,000 \geq I$
$\alpha = 1, \theta = 0^\circ$

補正係数: α 方向角度: θ 河床勾配: I

正面越流の公式

完全越流 $h_2/h_1 < 2/3$
 $Q_0 = 0.35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B$

潜り越流 $h_2/h_1 \geq 2/3$
 $Q_0 = 0.91 \times h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \times B$

河川水位と堤内地浸水深を比較し、高い方を h_1 、低い方を h_2 に設定

排水樋管からの排水量は、以下のオリフィス式により算定

潜り流出: $h_2 \geq H$ $Q = CBH \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ $C = 0.75$
 中間流出: $h_2 < H, h_1 \geq 3/2 H$ $Q = CBH \sqrt{2gh_1}$ $C = 0.51$
 自由流出: $h_2 < H, h_1 < 3/2 H$ $Q = CBh_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ $C = 0.79$

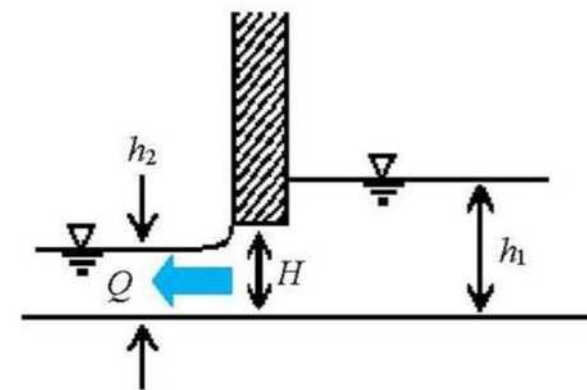
$h_1/h_2 \geq 3/2$ の場合は、 $h_2 = 2/3 h_1$ に置き換える。

H : 樋管高さ

B : 樋管幅

h_1 : 樋管敷高から測った高い方の水深

h_2 : 樋管敷高から測った低い方の水深



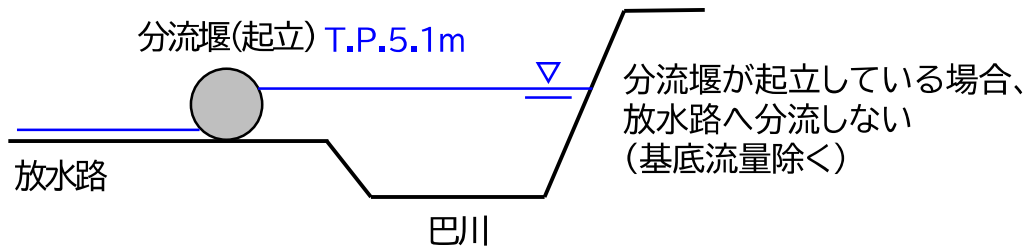
内外水氾濫モデル構築(大谷川放水路分流堰の設定)

- 大谷川放水路分流堰をモデル化し、分流堰の仕組み(巴川の水位(放水路分流前水位)が上昇すると分流堰が倒伏し、大谷川放水路に分流)を正確に反映

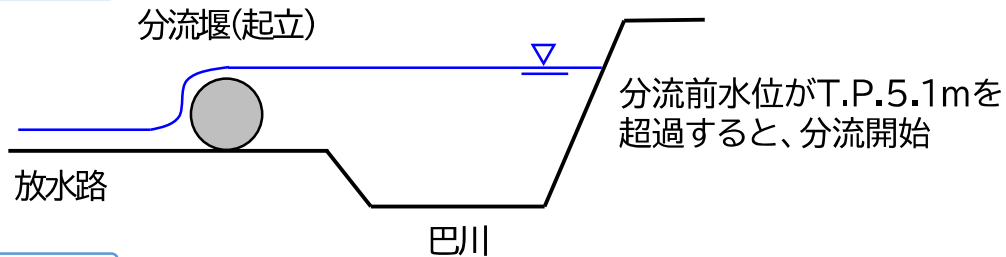
①分流開始水位【T.P.5.1m】、②分流堰倒伏開始水位【T.P.5.6m】、③倒伏後敷高【T.P.3.4m】

■分流堰の起立・倒伏と分流の関係

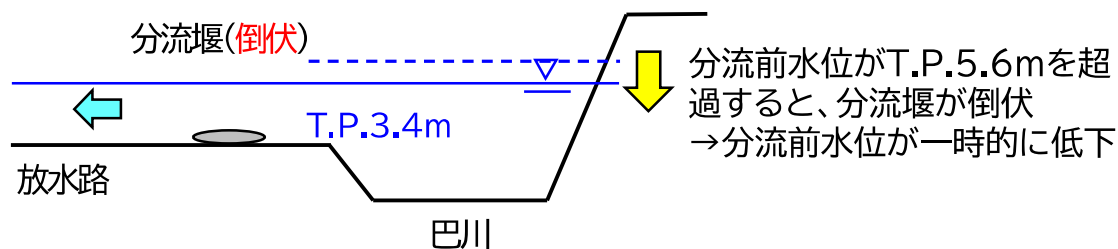
通常時



越水時



倒伏時



■分流堰の状態

(起立時)



(倒伏時)

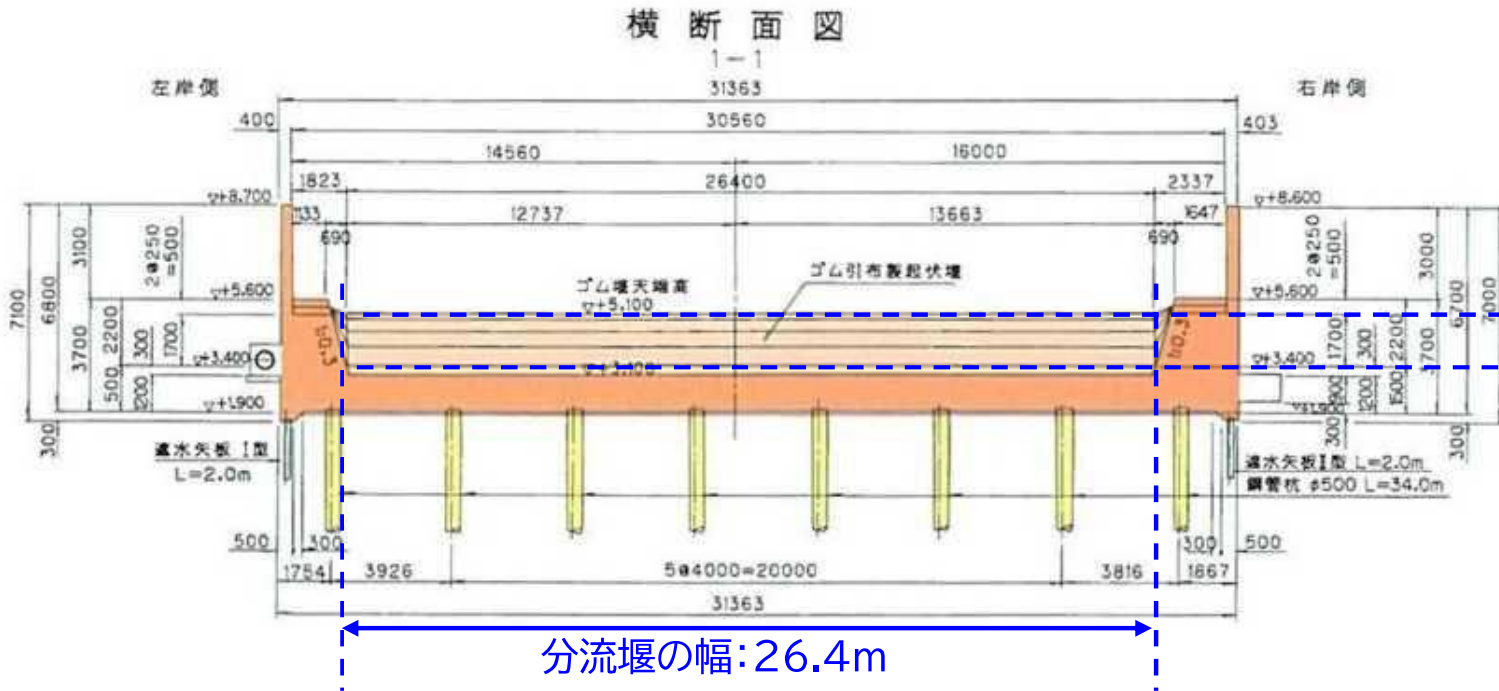


内外水氾濫モデル構築(大谷川放水路分流堰の設定)

- 大谷川放水路分流堰をモデル化し、分流堰の仕組み(巴川の水位(放水路分流前水位)が上昇すると分流堰が倒伏し、大谷川放水路に分流)を正確に反映

①分流開始水位【T.P.5.1m】、②分流堰倒伏開始水位【T.P.5.6m】、③倒伏後敷高【T.P.3.4m】

■大谷川放水路分流堰の断面図および大谷川への分派量算定式



越流公式により、大谷川放水路分流堰から大谷川への分派量を設定

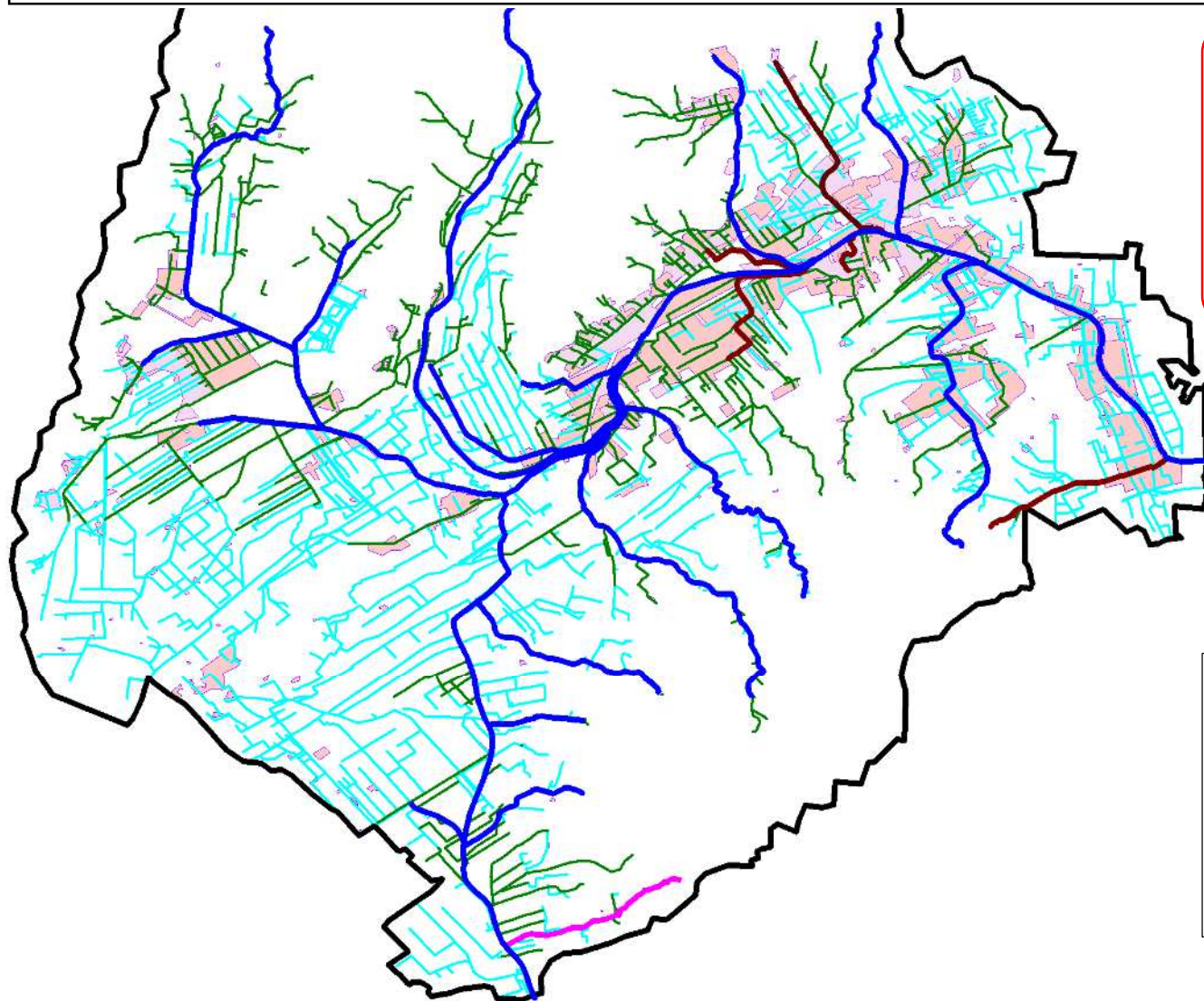
$$h_2/h_1 < 2/3 \text{ のとき、 } Q_0 = 0.35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B \quad \text{: 完全越流}$$

$$h_2/h_1 \geq 2/3 \text{ のとき、 } Q_0 = 0.91 \times h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \times B \quad \text{: 潜り越流}$$

B: 大谷川放水路分流堰の越流堤幅(m)

内外水氾濫モデル構築(水路・下水道モデルの設定)

- 前項で設定した河道モデル以外に、市管理河川や下水道(Φ600mm以上を対象)を水路・下水道モデルの対象として設定(内水ハザードマップ作成時に設定している断面や粗度係数を設定)
- 予測精度や計算時間を確認し、リアルタイム運用に向けてモデル構成を最適化(p.60で詳述)



- 水路モデル(主に市管理河川・雨水幹線の開水路区間):
矩形開水路を設定し、水位・流量を算定
- 下水道モデル(管渠):
プライスマンスロット・モデルを採用し、開水路状態～満管状態まで一連で計算

- 県管理河川(河道モデルの対象)
- 市法河川(河道モデルの対象)
- 主要な市準用河川(河道モデルの対象)
- 水路モデルの対象
- 下水道モデルの対象
- 流域界
- R4.9洪水の浸水実績エリア
- H26.10洪水の浸水実績エリア

内外水氾濫モデル構築(下水道モデルの諸元設定)

- 施設台帳等をもとに作成した下水道データ(管渠のサイズやマンホール位置・諸元)を利用
- 浸水対策推進プランで整備された巴川流域内の下水道や排水機場を追加

浸水対策推進プランの整備メニュー

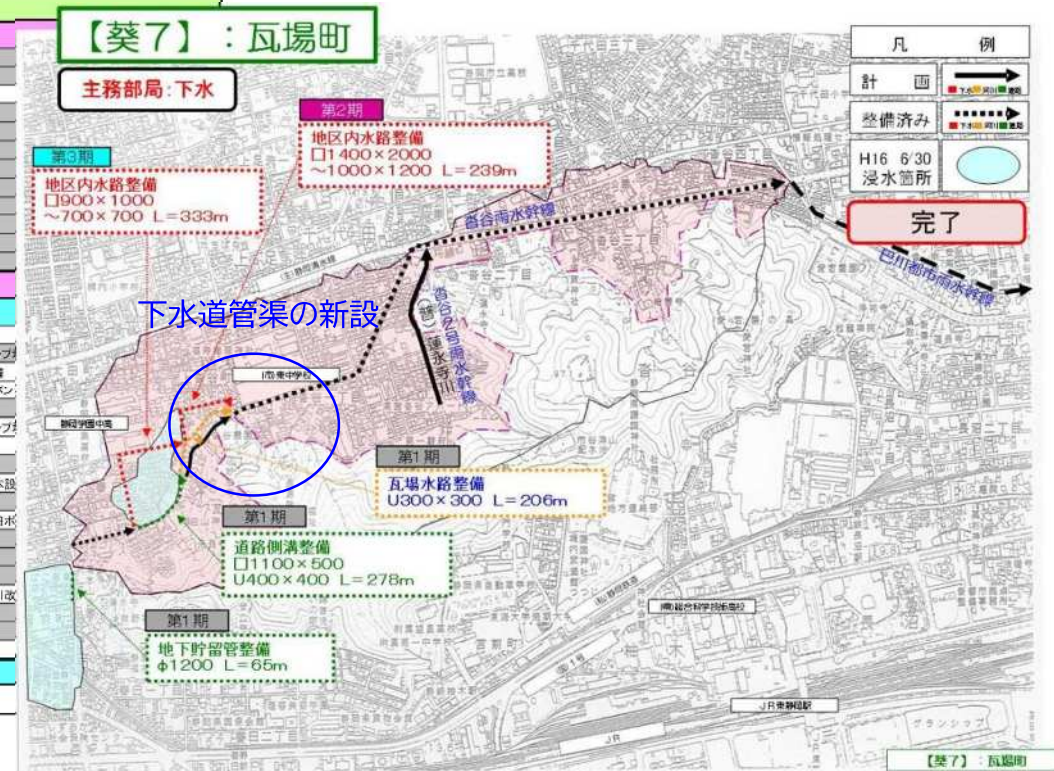
◆令和3年度の完了地区と令和4年度の取組地区

箇所番号	地区名	令和2年度迄		令和3年度の実績		令和3年度迄完了		令和4年度の取組み(見込)		
		工事着手	完了	設計	工事完了	設計	工事完了	設計	工事完了	
◆築区										
築1	唐瀬、丘美	●	●			●				
築2	羽島、建神	●	●			●				
築3	城北2丁目				●			●		
築4	大岩3丁目								●	
築5	新伝馬3丁目									
築6	教ヶ谷	●	●			●				
築7	瓦場町	●	●			●				
築8	長沼2・3丁目	●	●			●				
築9	春日2・3丁目	●	●			●				
築10	瀬名川3丁目	●	●			●				
築11	宮前町	●	●			●				
小計：【11地区】		10	8	0	1	0	8	0	1	0
◆駿河区										
駿1	下川原	●	●			●				
駿2	登呂4・5丁目	●	●			●				
駿3	西島、下島	●	●			●				
駿4	小坂	●	●			●				
駿5	丸子菅ヶ谷	●	●			●				
駿6	広野	●	●			●				
駿7	寺田	●	●			●				
駿8	手越、向敷地	●	●			●				
駿9	石部	●	●			●				
駿10	小鹿3丁目				●	●				
駿11	中島	●	●			●				
駿12	豊田2・3丁目	●	●			●				
小計：【12地区】		12	10	0	1	1	11	0	0	0
◆清水区										
清1	押切、石川新町	●			●					
清2	高橋2・3丁目、飯田町	●			●					
清3	道分2丁目	●			●					
清4	水栗町、江尻台町	●			●					
清5	幸町	●	●			●				
清6	川岸町、澁川	●		●	●					
清7	北藤、能高、吉川	●			●					
清8	船原1丁目、有東坂2丁目	●	●			●				
清9	江尻町、銀座	●			●					
清10	島坂	●			●					
清11	長崎新田	●		●						
清12	蔵が丘町	●			●					
清13	駒越	●			●					
清14	折戸	●			●					
清15	馬走	●			●					
清16	船尾	●			●					
清17	駒越北町	●			●					
清18	三保	●			●					
小計：【18地区】		15	8	3	5	0	8	3	4	1
合計：【41地区】		37	26	3	7	1	27	3	5	1

担当：【河】河川部局 【下】下水道部局

R5までに完了している施設は全てモデルに反映

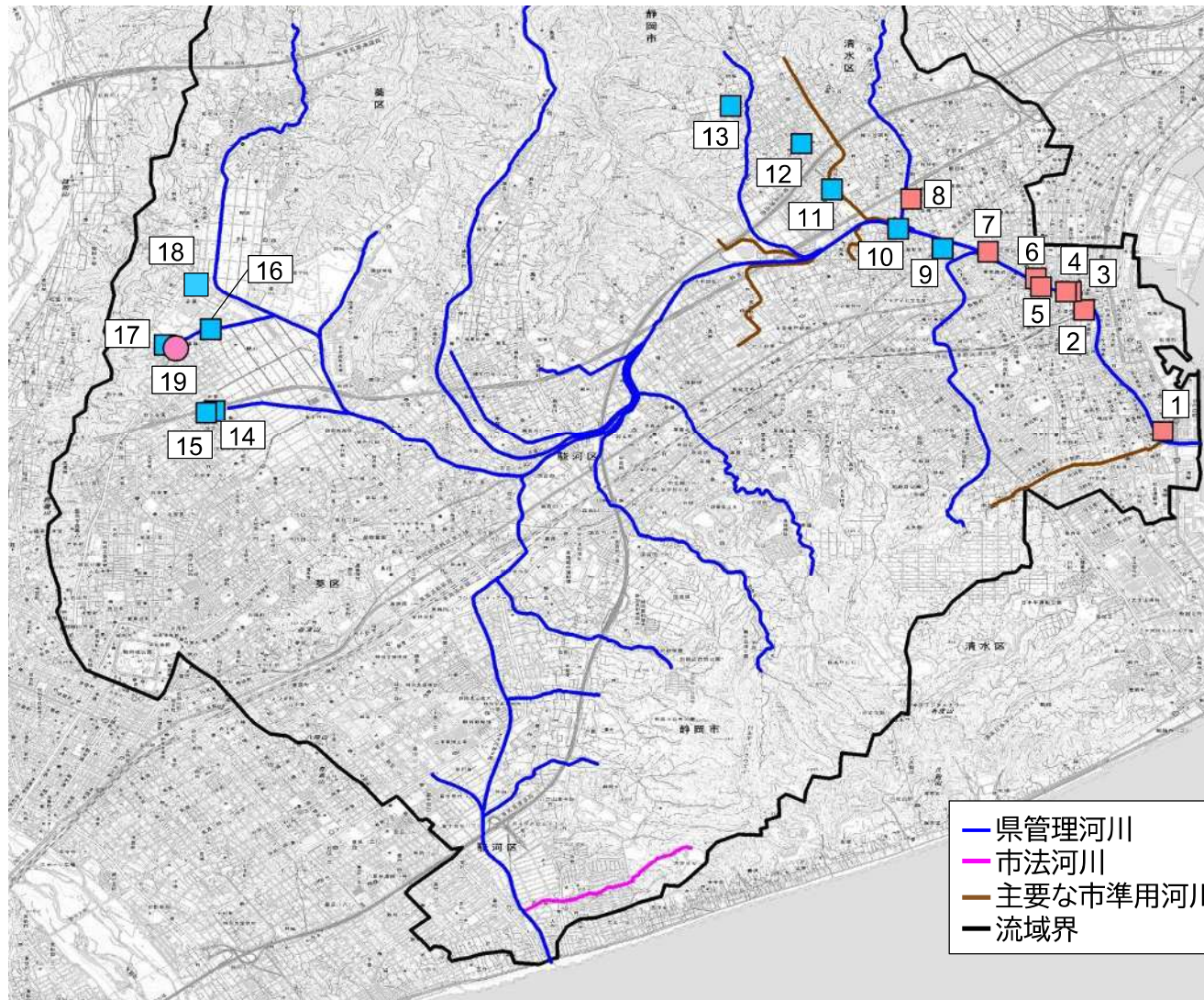
【築7】の内容を例示



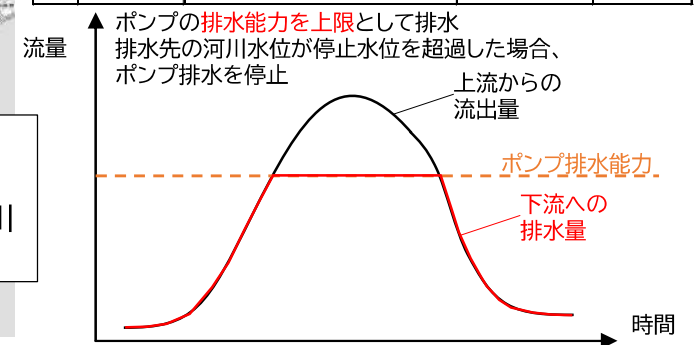
内外水氾濫モデル構築(ポンプ・樋門の設定)

- 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



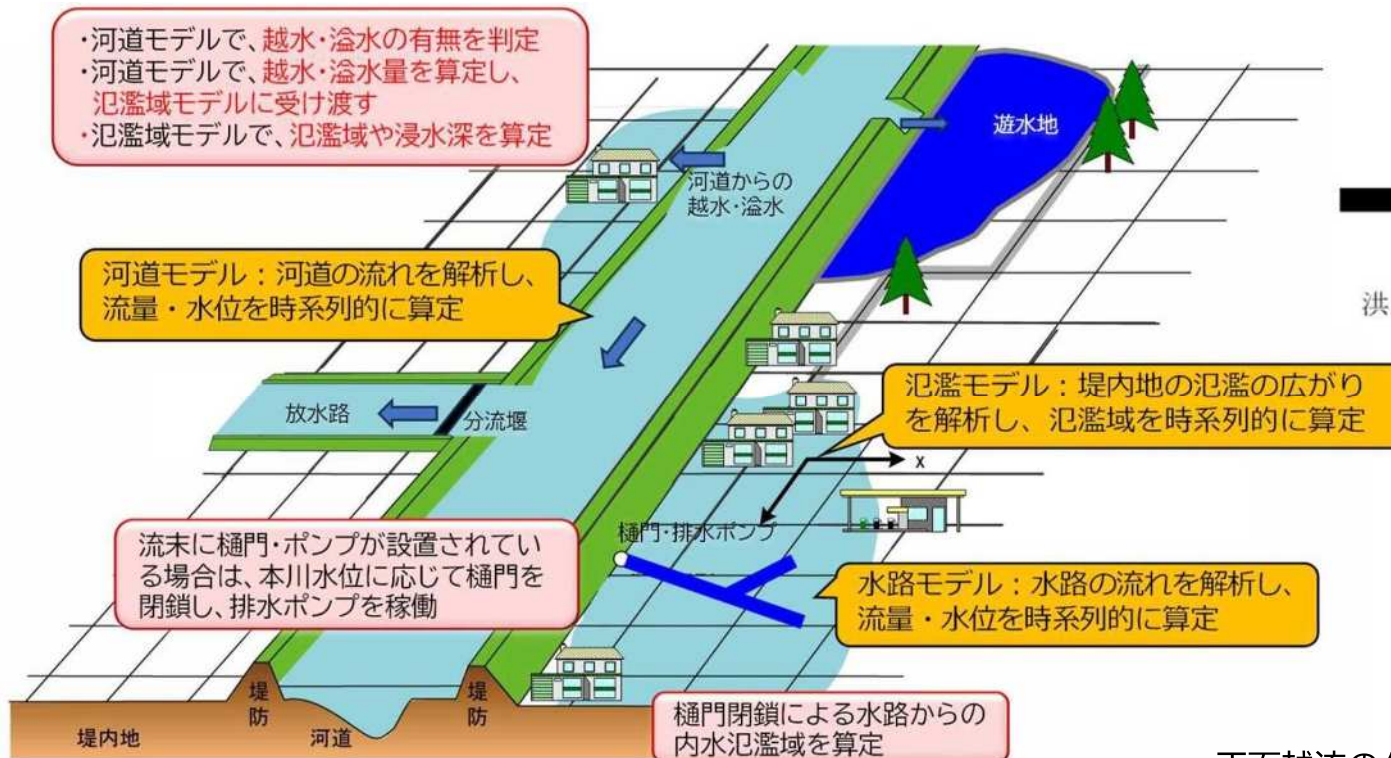
No	所管	施設名	排水先	排水量 (m ³ /s)
1	下水道(市)	築地ポンプ場	巴川0.5k	11.667
2	下水道(市)	浜田ポンプ場	巴川2.2k	6.500
3	下水道(市)	銀座第一マンホールポンプ	巴川2.5k	0.283
4	下水道(市)	銀座第二マンホールポンプ	巴川2.5k	0.250
5	下水道(市)	入江マンホールポンプ	巴川2.7k	0.067
6	下水道(市)	江尻小地下滞水地排水ポンプ	巴川2.8k	0.250
7	下水道(市)	花の木雨水ポンプ所	巴川3.4k	2.670
8	下水道(市)	高橋雨水ポンプ場	山原川0.4k	9.000
9	河川(市)	渋川ポンプ施設	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	吉町田川	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		1.000
19	河川(県)	七曲川逆流防止樋門	七曲川1.0k	3.000



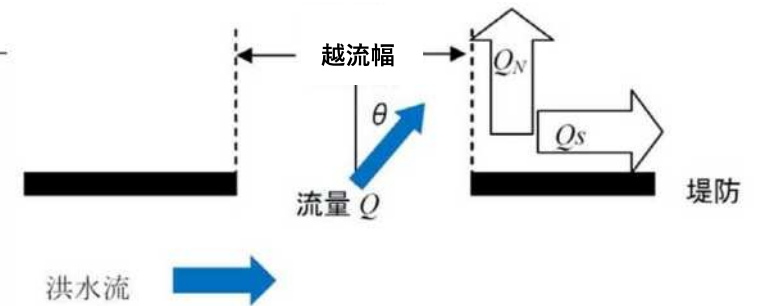
内外水氾濫モデル構築(河道・水路と氾濫域の接続)

- 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



堤防法線方向成分 $Q_N = \alpha Q_0 \cos\theta$
 堤防接線方向成分 $Q_S = \alpha Q_0 \sin\theta$

横越流特性

$I > 1/12,000$
$\alpha = 1, \theta = 155 - 38 \times \log_{10}(1/I)^\circ$
$1/12,000 \geq I$
$\alpha = 1, \theta = 0^\circ$

補正係数： α 方向角度： θ 河床勾配： I

正面越流の公式

完全越流 $h_2/h_1 < 2/3$

$$Q_0 = 0.35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B$$

潜り越流 $h_2/h_1 \geq 2/3$

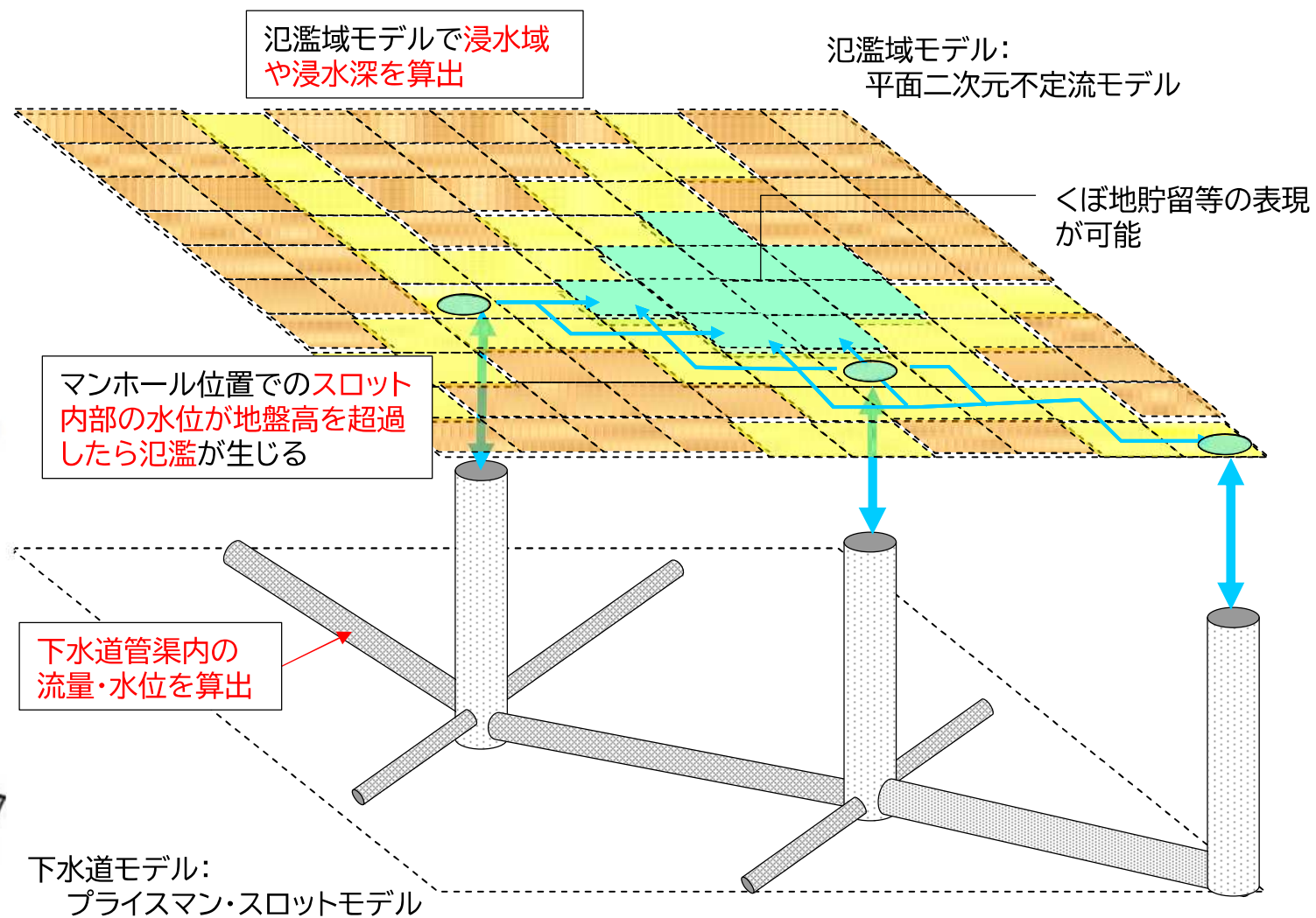
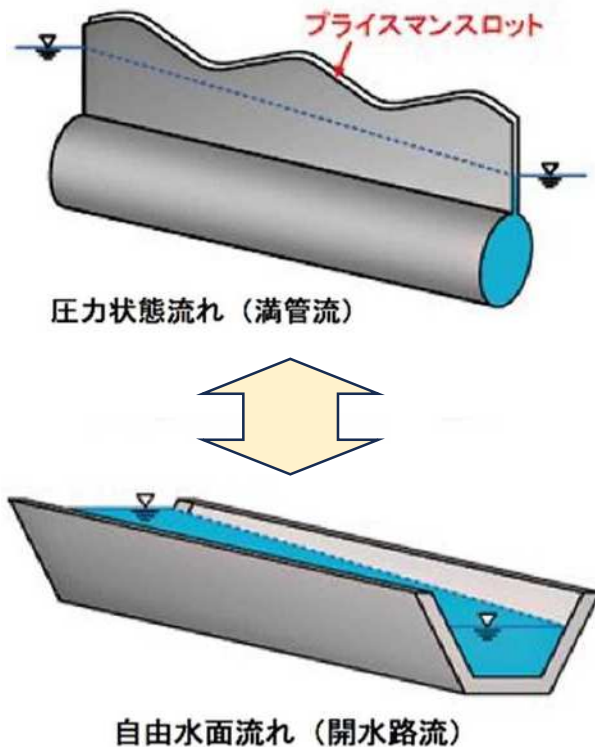
$$Q_0 = 0.91 \times h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \times B$$

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

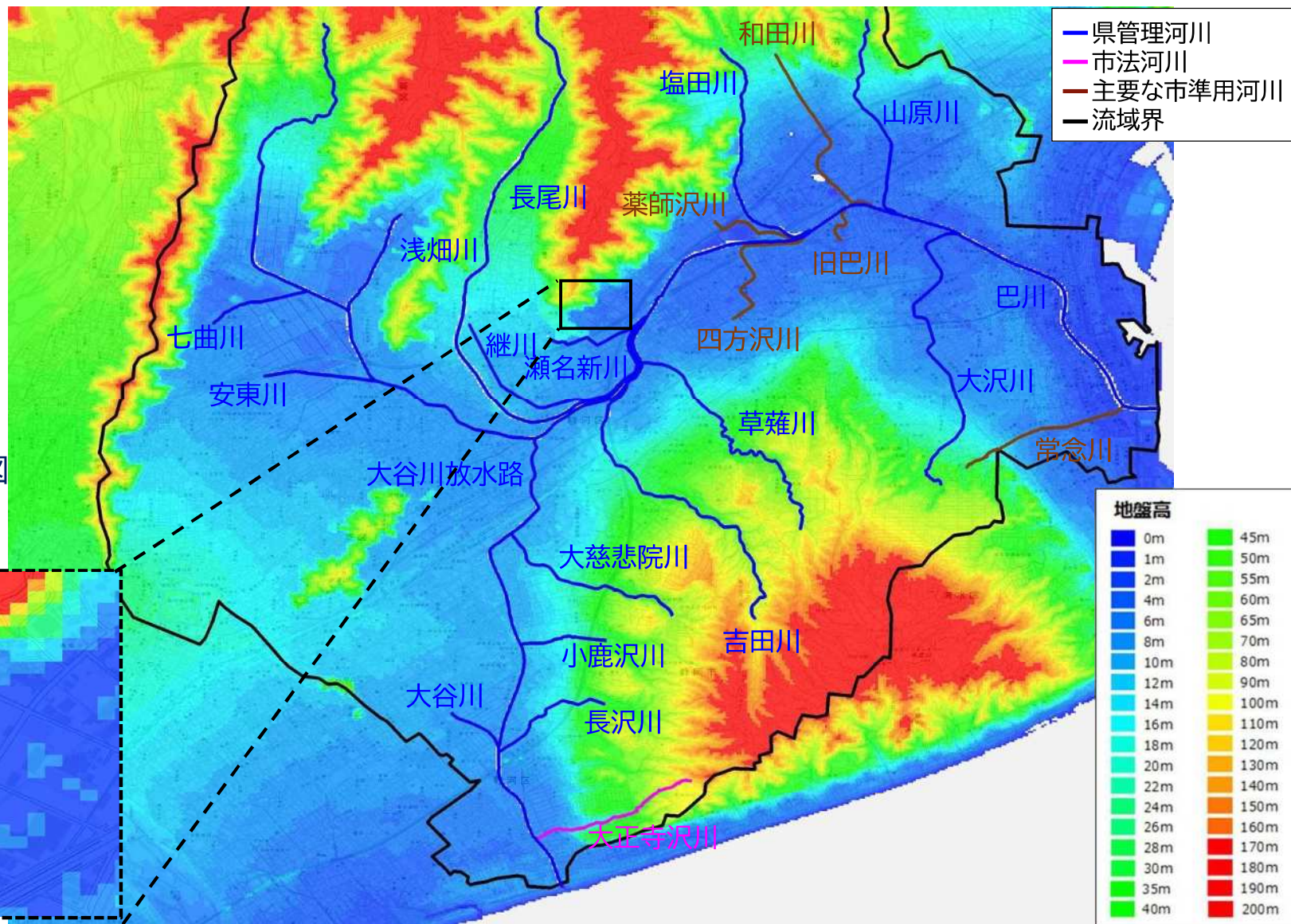
下水道は、管路の流れを解析するため、**プライスマン・スロットモデル**を採用
管路の頂部に仮想のスロットを設けることにより、**開水路流～満管流を一連の一次元不定流解析が可能**



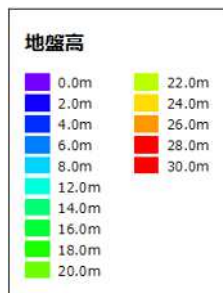
内外水氾濫モデル構築(地盤高の設定)

- 3次元点群データ(VIRTUAL SHIZUOKA)から対象流域の25mメッシュ地盤高データを作成

■25mメッシュ地盤高図



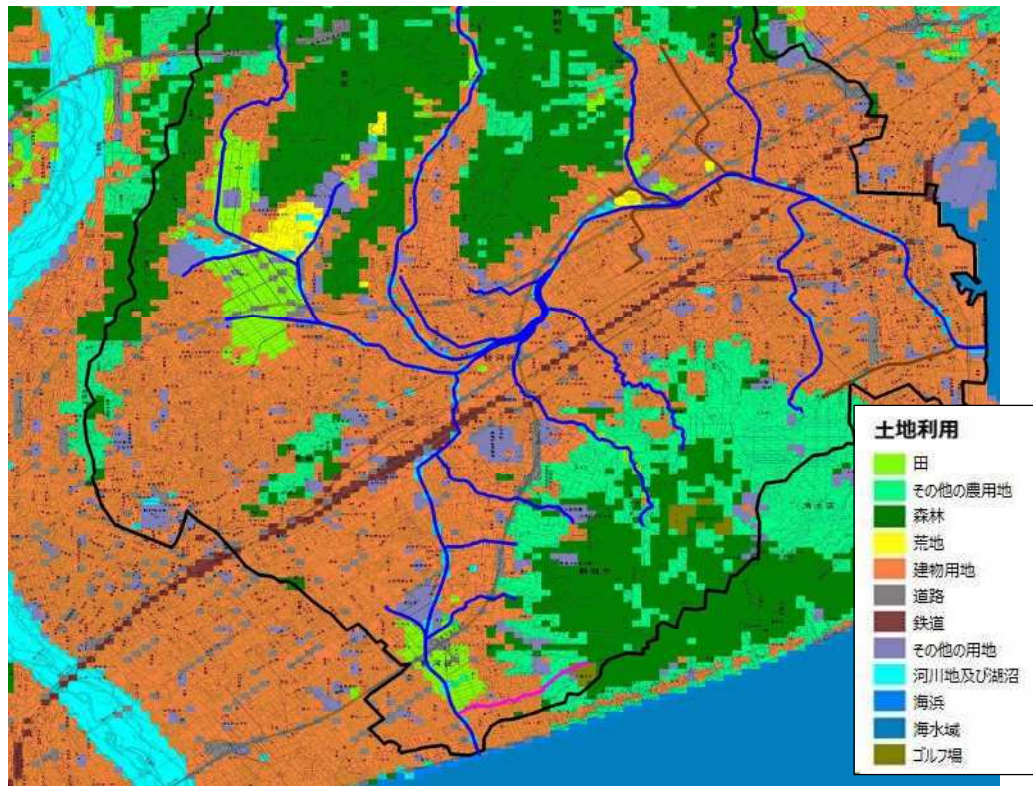
■25mメッシュ地盤高の拡大図



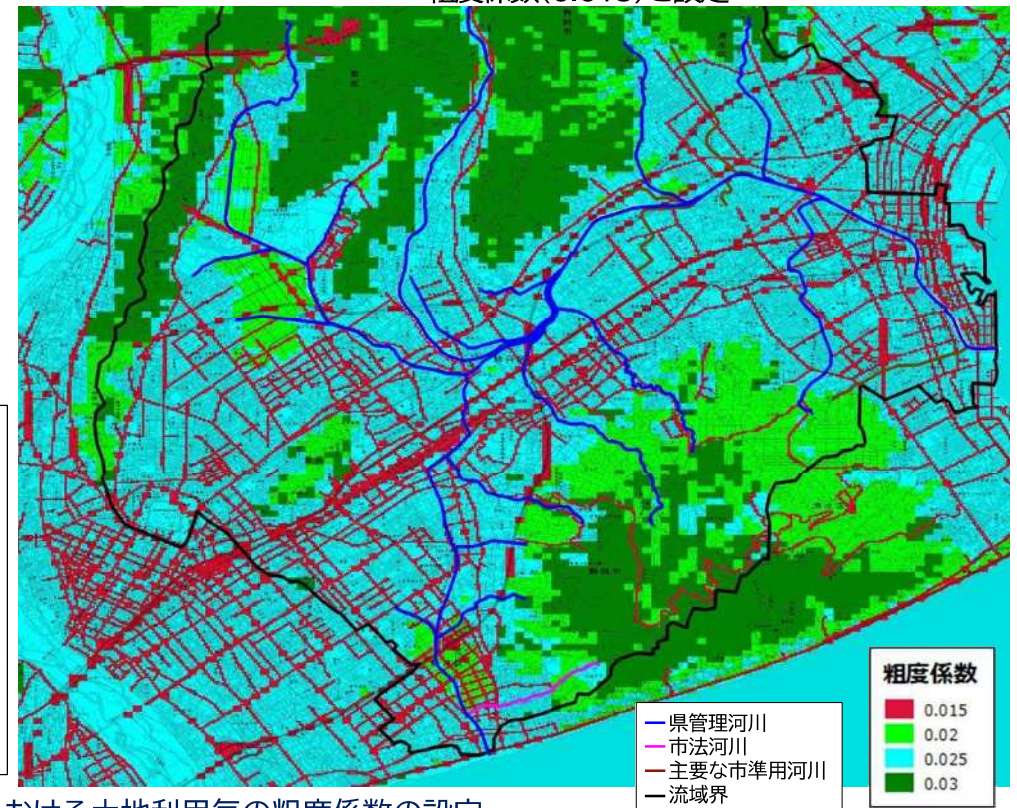
内外水氾濫モデル構築(粗度係数の設定)

- 土地利用毎に粗度係数(氾濫流の流れの抵抗を表す係数)を設定

■土地利用図



■粗度係数のメッシュ図



道路メッシュ(幅員5.5m以上、次頁参照)は道路の粗度係数(0.015)を設定

■洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)における記載

土地利用	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)
農地	0.020~0.060
林地	0.030~0.060
水域	0.025
空地・緑地	0.025~0.050
道路	0.015~0.047

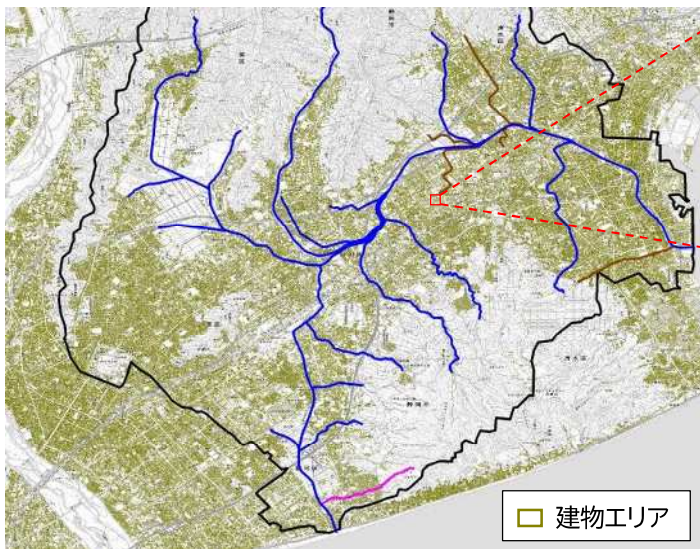
■内外水氾濫モデルにおける土地利用毎の粗度係数の設定

土地利用	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	土地利用	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)
田	0.020	鉄道	0.015
その他農用地	0.020	その他用地	0.025
森林	0.030	河川地及び湖沼	0.025
荒地	0.025	海浜	0.025
建物用地	0.025	海水域	0.025
道路	0.015	ゴルフ場	0.025

内外水氾濫モデル構築(透過率の設定)

- 建物エリアデータおよび道路メッシュをもとにメッシュ毎の透過率(氾濫した水が流れる面積割合)を設定

■建物エリア

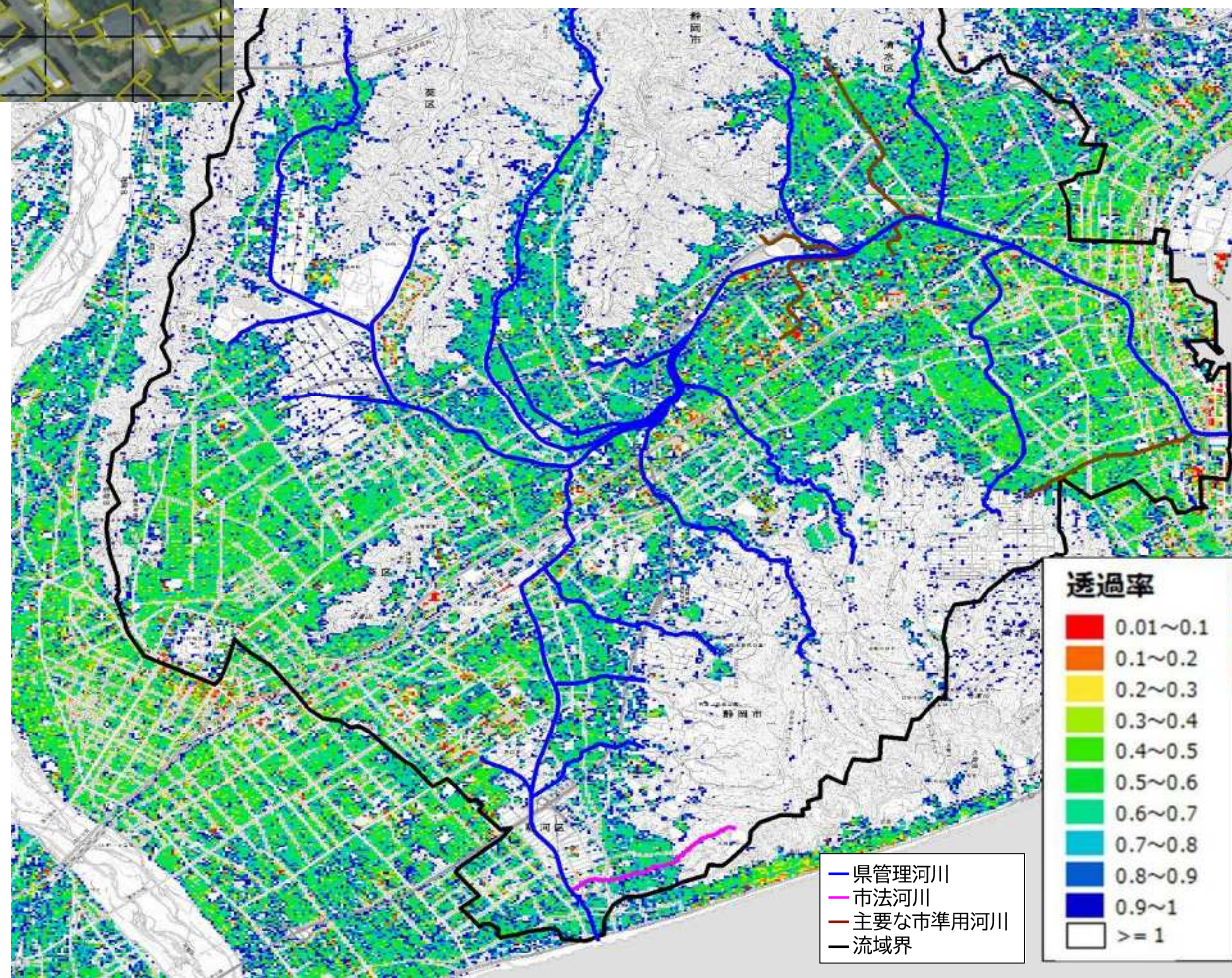
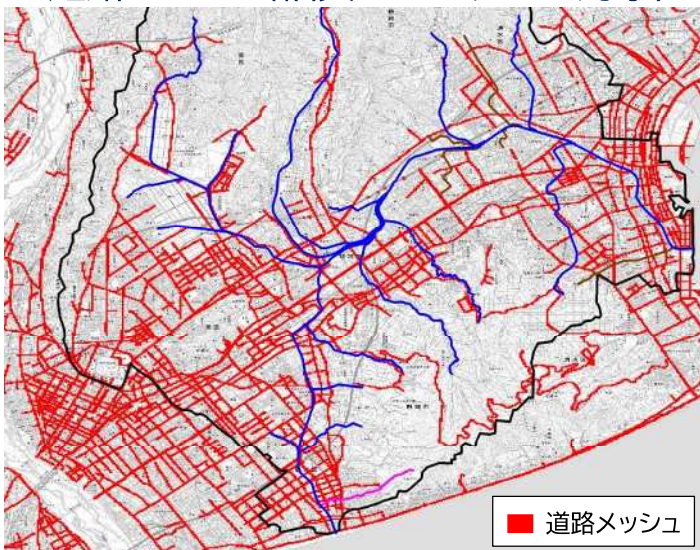


メッシュ毎に建物エリアの占有率を算出し、以下の式により透過率を算定

$$\text{透過率} = 1.0 - \text{建物占有率}$$

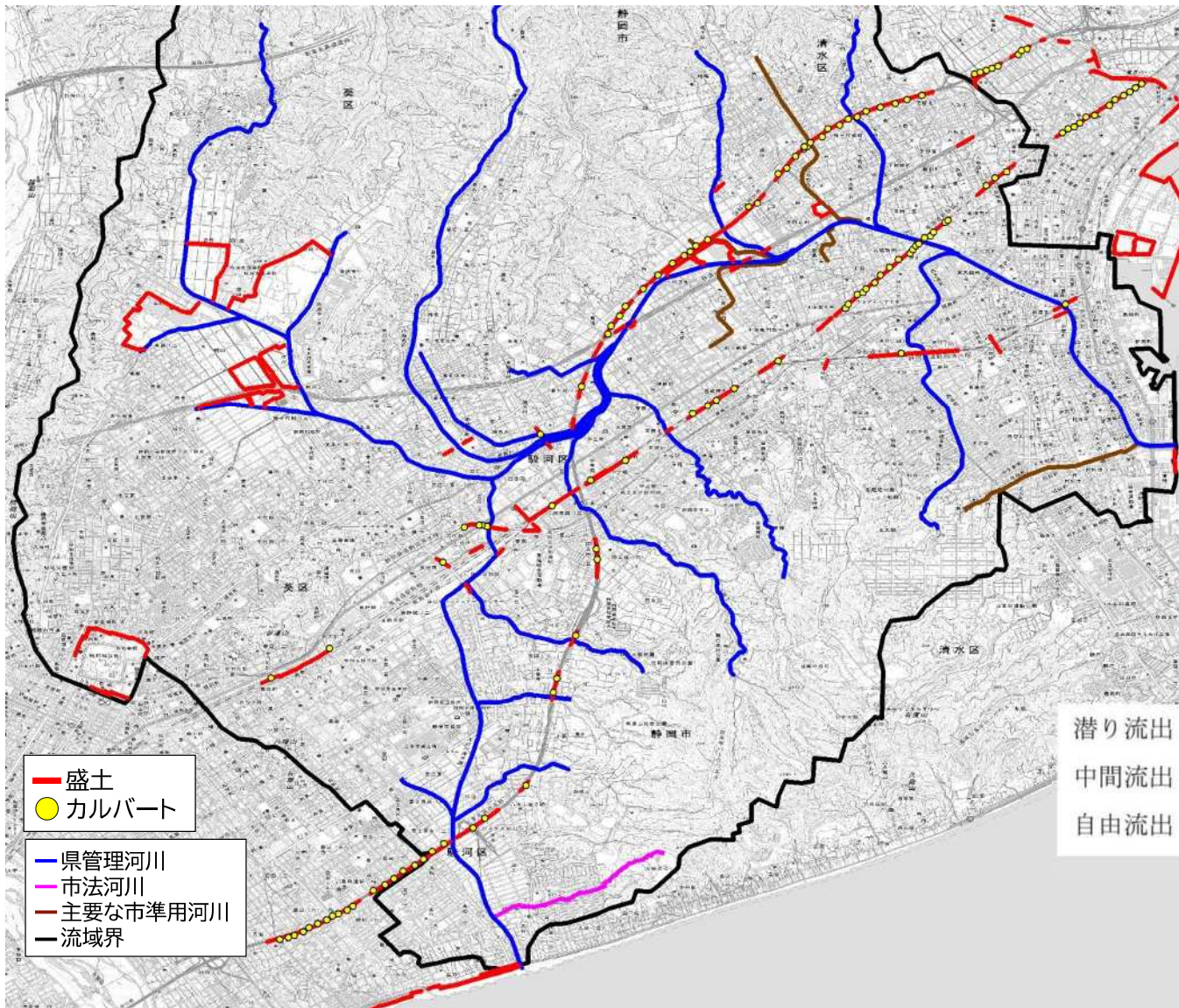
道路メッシュに該当するメッシュは、透過率を1.0と設定

■道路メッシュ(幅員5.5m以上を対象)

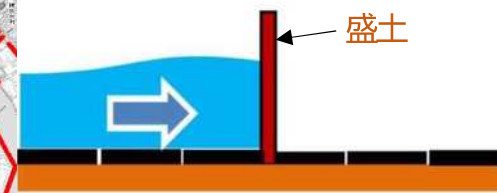


内外水氾濫モデル構築(盛土構造物の設定)

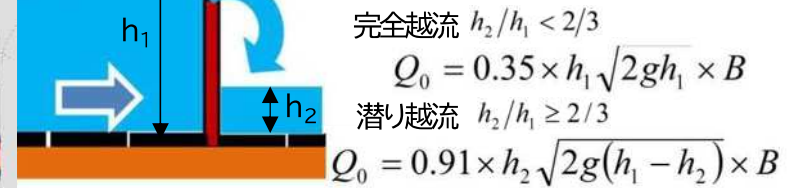
- 鉄道盛土や道路盛土、遊水地周囲堤等の構造物を確認し、氾濫流を阻害する盛土としてモデル化
- 盛土にカルバートが設置されていれば、これもモデル化し、氾濫水の流れを適切に表現



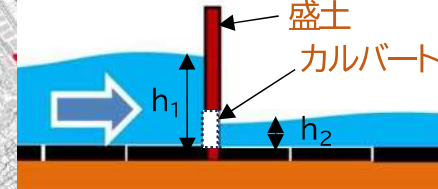
盛土によって氾濫流を阻害



水位が盛土高以上の場合、盛土を超えて氾濫が拡散



カルバートが設置されている場合は、そこから氾濫が拡散

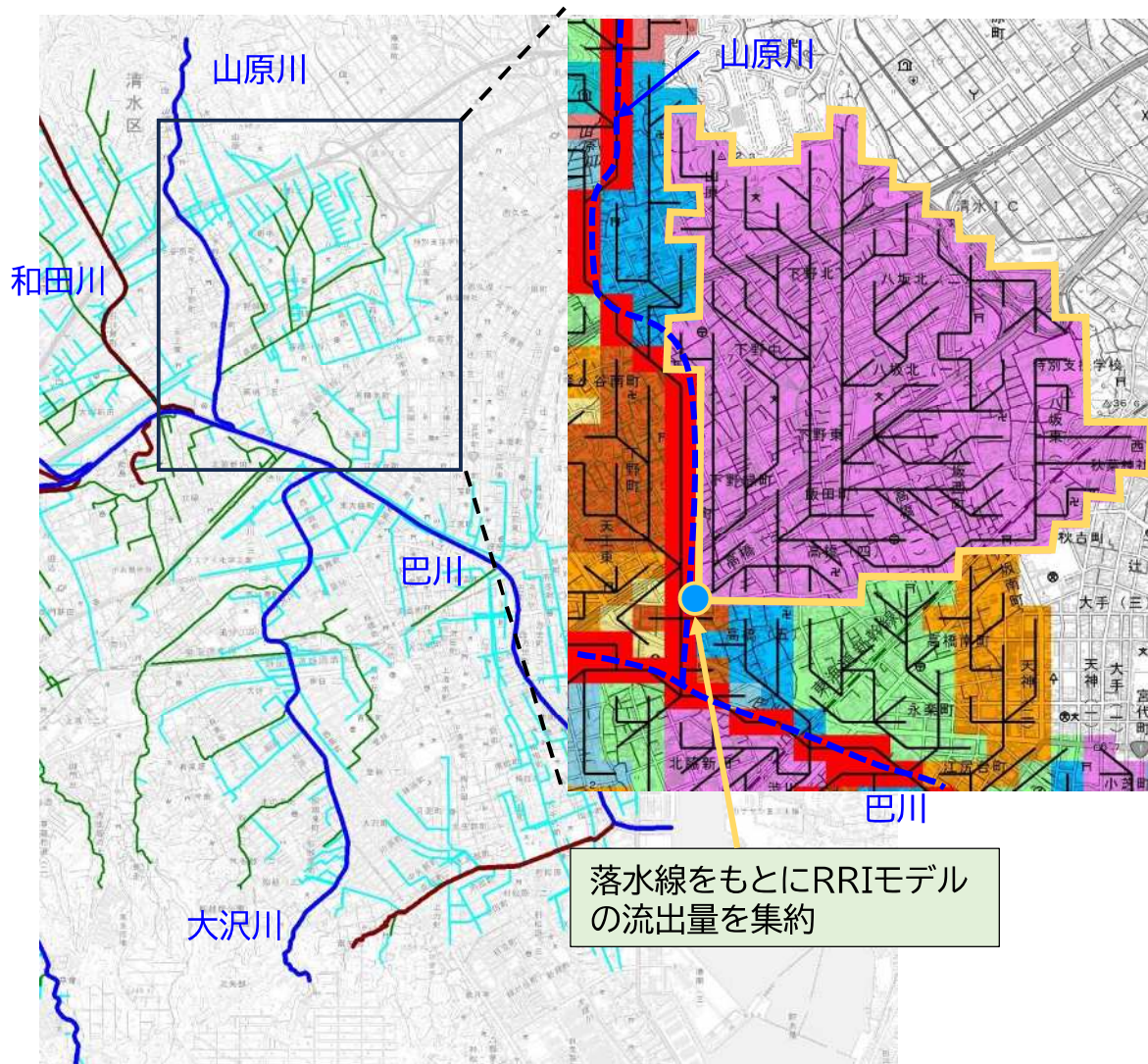


潜り流出: $h_2 \geq H$ $Q = CBH \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ $C = 0.75$
 中間流出: $h_2 < H, h_1 \geq 3/2 H$ $Q = CBH \sqrt{2gh_1}$ $C = 0.51$
 自由流出: $h_2 < H, h_1 < 3/2 H$ $Q = CBh_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ $C = 0.79$
 $h_1/h_2 \geq 3/2$ の場合は、 $h_2 = 2/3 h_1$ に置き換える。

H : カルバート高さ(m)、 B : カルバート幅(m)
 h_1 : カルバート敷高から測った高い方の水深(m)
 h_2 : カルバート敷高から測った低い方の水深(m)

RRIモデルと内外水氾濫モデルの接続方法

- 落水線をもとにRRIモデルの流出量を集約し(次項参照)、小流域単位で面積按分した流量を河道・水路・下水道の境界条件として設定



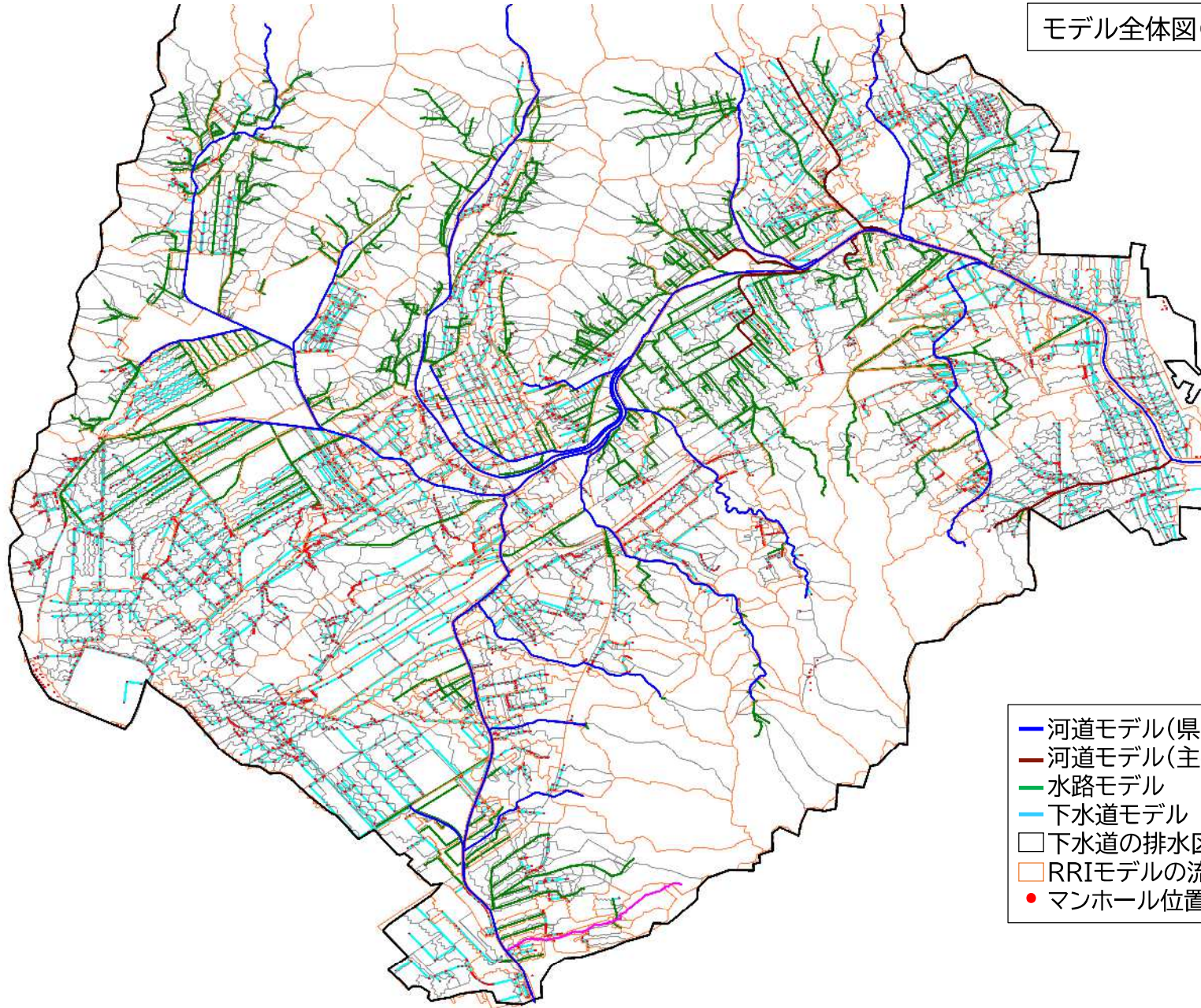
集約したRRIモデルの流出量を、河川(水路モデルの対象)の小流域毎に面積按分し、上流端流量として設定



- 下水道の排水区
- RRIモデルの流出量を集約する範囲
- 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
- マンホール位置

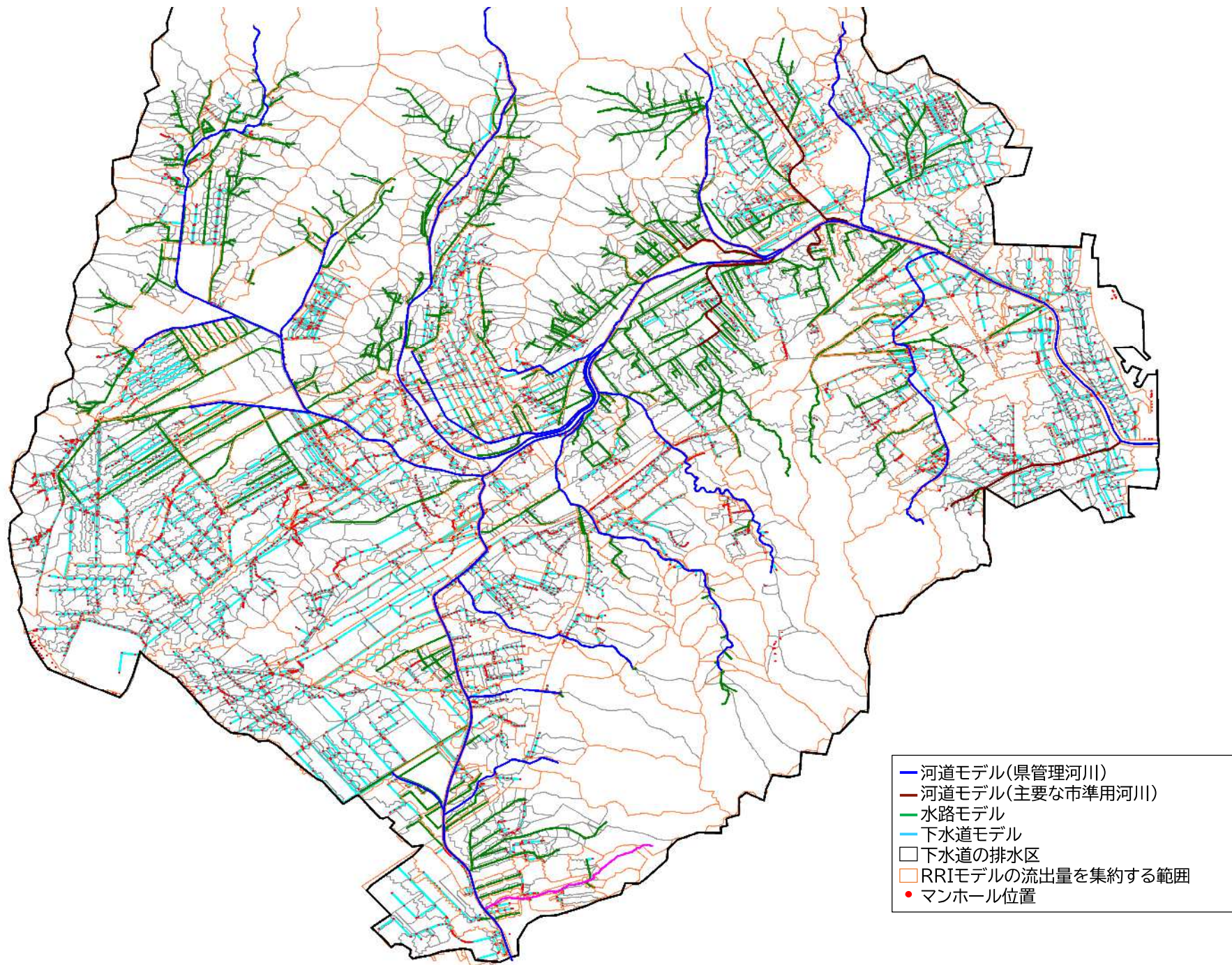
河道モデル等の位置およびRRIの流出量の集約単位流域

モデル全体図(次項のA3資料を参照)



- 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
- 下水道の排水区
- RRIモデルの流出量を集約する範囲
- マンホール位置

河道モデル等の位置および RRI の流出量の集約単位流域 (A3 版資料)



RRIモデルと内外水氾濫モデルの検証条件

- 地上雨量との補正を行っており、精度が高い気象庁の解析雨量をRRIモデルの入力データとして採用
- 対象洪水は、氾濫実績がある令和4年台風15号・平成26年台風18号などの4洪水を選定
- 大谷川分流堰や供用が開始されている遊水地をモデルに反映

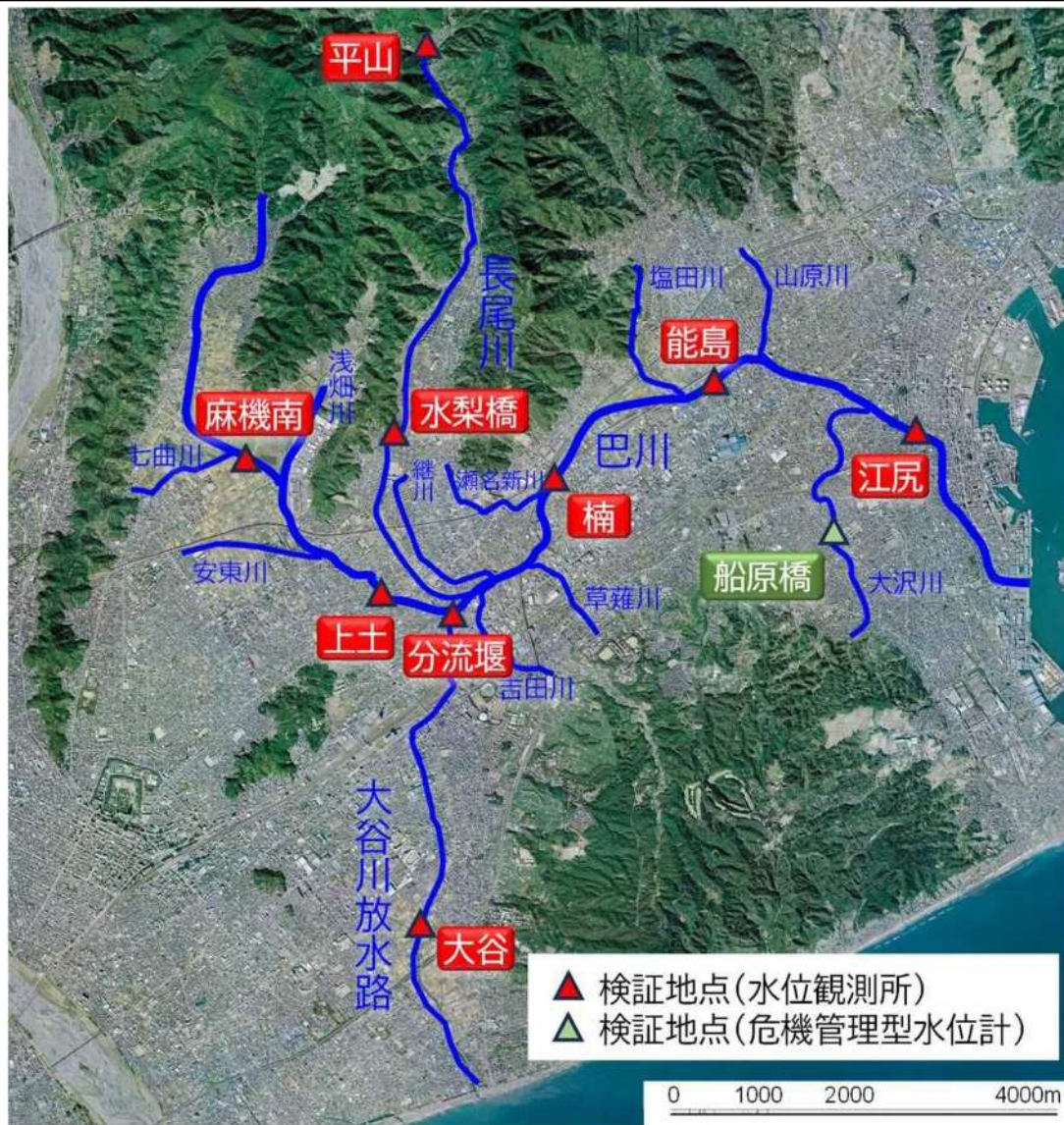
モデル名	項目	設定内容
RRIモデル	降雨データ	気象庁の解析雨量を使用
	対象洪水	4洪水 ・H26.10洪水(平成26年台風18号) ※内水氾濫が発生 ・R1.10洪水(令和元年東日本台風) ・R4.9洪水(令和4年台風15号) ※外水氾濫および内水氾濫が発生 ・R5.6洪水(令和5年台風2号)
	初期パラメータ	「マニュアル」に記載されてるデフォルトパラメータを設定
内外水氾濫モデル	施設条件	大谷川分流堰 遊水地(麻機遊水地(第1～第4工区)、大内遊水地、能島遊水地、押切南遊水地)※1 各種ポンプ施設(p.22参照)※2
	境界条件	上流端条件(横流入量も含む):RRIモデルの流出量を設定 下流端条件:清水港の潮位を巴川下流端および大谷川放水路下流端に設定
	初期パラメータ	河川整備計画等で設定されている粗度係数(計画値)を設定(p.14参照)

※1 麻機遊水地(第2工区)は、R3.3に供用開始されているため、平成26年台風18号、令和元年東日本台風の2洪水の検証では考慮しない

※2 高橋雨水ポンプ場は、R4.7に供用開始されているため、平成26年台風18号、令和元年東日本台風の2洪水の検証では考慮しない
芝原排水ポンプ場はR5.9に供用開始されているため、4洪水の検証では考慮しない

RRIモデルと内外水氾濫モデルの検証地点

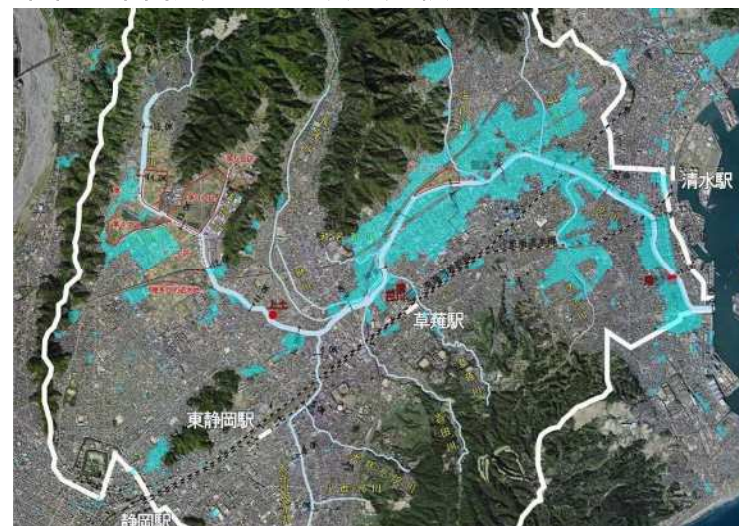
- 静岡県のサイポスレーダーで、水位データの取得が可能な水位観測所(9箇所)を検証地点として設定
- 氾濫実績がある大沢川は水位観測所が無いいため、船原橋地点(危機管理型水位計)を検証地点に追加(計10箇所)



平成26年台風18号の浸水実績



令和4年台風15号の浸水実績



RRIモデルと内外水氾濫モデルの検証方法

- STEP1:外水氾濫のみを考慮した水位・氾濫域予測モデルで、計算水位(前項で示す水位観測所が対象)の再現性が高まるように、RRIモデルや内外水氾濫モデルのパラメータをSCE-UA法により調整(次項で詳述)
- STEP2:上記でチューニングしたパラメータを用いて、水位・氾濫域予測モデル(内外水氾濫を考慮)により、河道水位や浸水深の再現性を確認
- STEP2:内外水氾濫モデルの河道粗度係数を微調整し、巴川流域のパラメータを確定

STEP1 水位・氾濫域予測モデル(外水氾濫※1のみを考慮)

※1 氾濫原+河道+遊水地+放水路

RRIモデル:SCE-UA法により各種パラメータを最適化
内外水氾濫モデル: SCE-UA法により河道粗度係数を最適化

※内外水氾濫モデルの河道粗度係数は、検証地点(前項を参照)が位置する河川(巴川(中流・下流)、長尾川、大沢川、大谷川放水路)のみを対象として調整

パラメータチューニングの対象洪水

氾濫形態	H26.10洪水	R1.10洪水	R4.9洪水	R5.6洪水
外水氾濫	-	-	発生	-
内水氾濫	発生	-	発生	-

SCE-UA法によりパラメータを最適化する際、様々なパラメータでの繰り返し計算が必要
そのため、外水氾濫のみ生じるように設定し、計算時間を短縮することで、膨大なケース数の計算を実現

RRIモデルのパラメータは、**全洪水共通で最適となる値を設定**
内外水氾濫モデルの河道粗度係数は、**洪水や河川の状況に応じて最適値が異なるため、洪水毎に最適化が必要と判断**

システム運用時のリアルタイム計算では、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ことで予測精度を確保(p.80で詳述)

STEP2 水位・氾濫域予測モデル(内外水氾濫※2を考慮)

採用したパラメータに対して、**内外水氾濫モデルの河道粗度係数を微調整し、巴川流域のパラメータを確定**

※2 氾濫原+河道+遊水地+放水路+水路・下水道

前段では、外水氾濫のみを考慮してパラメータを最適化しているため、内水氾濫の影響により、河道水位等の再現性が若干低下する可能性がある。

精度を確認した上で、必要に応じて河道粗度係数を微調整し、精度を確保

STEP1 RRI・内外水氾濫モデルのパラメータの最適化手法

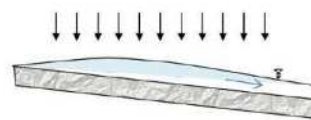
- 対象4洪水(R4.9洪水など)の実績水位を検証データとして、パラメータチューニングを実施(「マニュアル」に記載されている「SCE-UA法(大域的探索手法)」を採用)
- SCE-UA法でチューニングするパラメータは、「マニュアル」に記載されているRRIモデルの各パラメータと内外水氾濫モデルの河道粗度係数を対象

■モデルパラメータ最適化条件

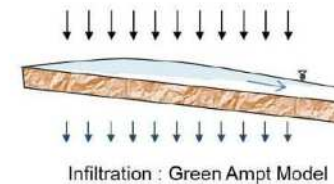
項目	内容
検証洪水	4洪水(H26.10洪水・R1.10洪水・R4.9洪水・R5.6洪水)
検証データ	実績水位(10地点、p.32参照)
パラメータ最適化手法	SCE-UA手法(次項で詳述)
評価指標	RMSE(波形誤差)、ピーク水位差
最適化方法	RRIモデルのパラメータ(飽和透水係数等) →全検証洪水で同一として最適化 内外水氾濫モデルのパラメータ(河道粗度係数) →検証洪水毎に変更させて最適化

■対象パラメータ

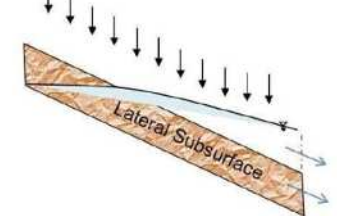
(A)表面流のみ
【都市】



(B)表面流+鉛直浸透流
【水田、畑地】



(C)表面流+中間流
【山地】



モデル名	最適化対象	初期値	最小値	最大値	(A)都市	(B)水田畑地	(C)山地
RRIモデル	河道粗度係数	0.03	0.015	0.050	○	○	○
	斜面粗度係数	0.2~0.6	0.015	1.0	○	○	○
	土層厚	1.0	0.5	2.0		○	
	飽和空隙率	0.3	0.1	0.6			○
	飽和透水係数 α	0.01	0.001	0.1			○
	不飽和空隙率 β	2.5	1.0	10.0			○
内外水氾濫モデル	河道粗度係数	計画値	0.015	0.050	-	-	-

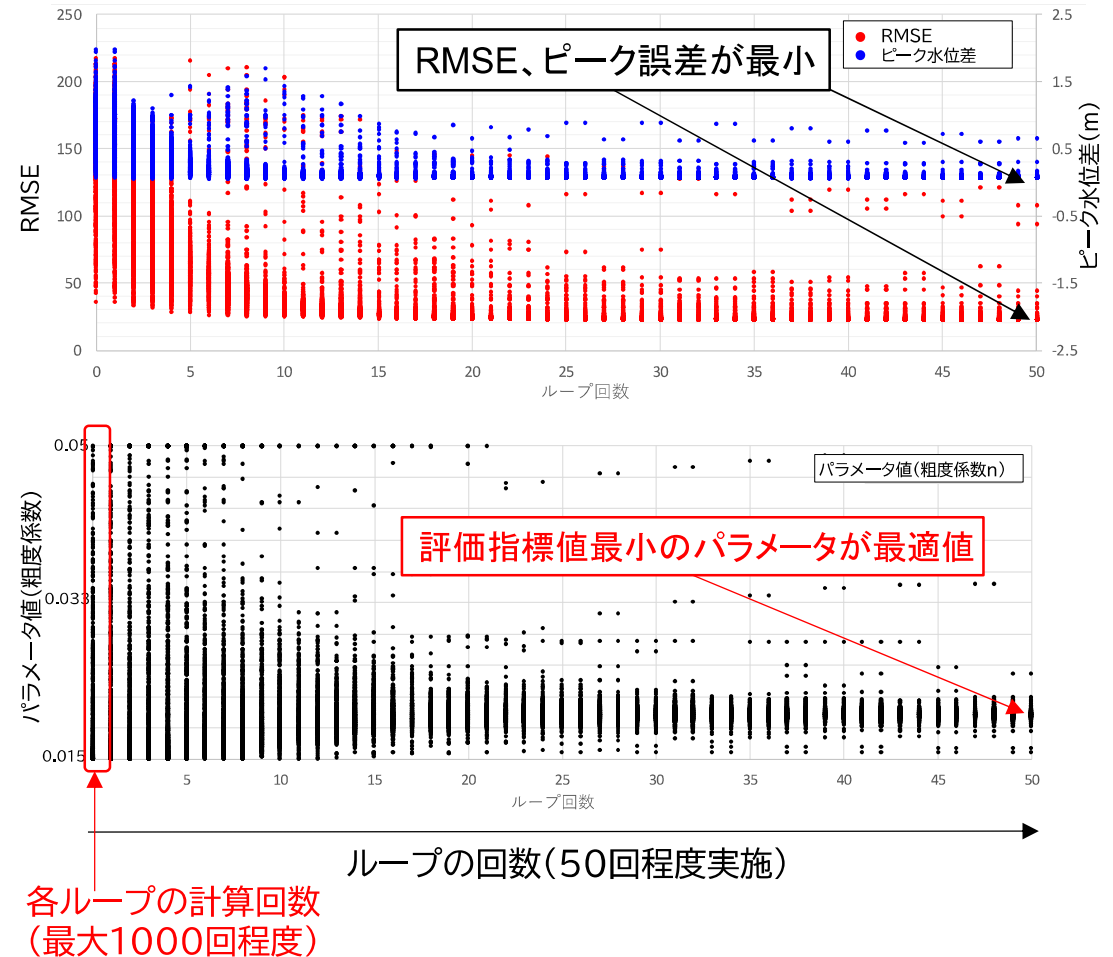
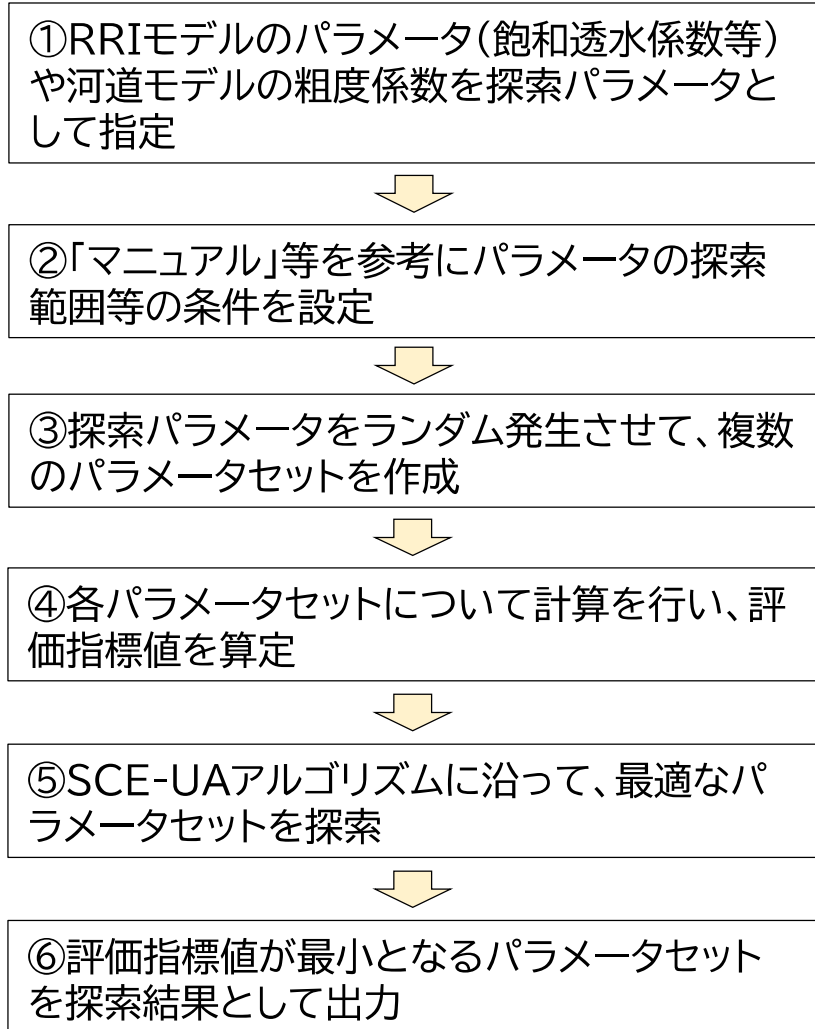
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_o(i) - H_c(i))^2}$$

$H_o(i)$: i 時の実績水位

$H_c(i)$: i 時の計算水位

STEP1 RRI・内外水氾濫モデルのパラメータの最適化手法

- SCE-UA法は、比較的少ない事例に対し、多くのパラメータの最適化を客観的・効率的に行うことができる大域的探索手法であり、RRIモデルや河道モデル(内外水氾濫モデル)への適用実績が豊富



STEP1 巴川の河道モデルの粗度係数設定方法

- 巴川は、河床縦断勾配が上流・中流・下流で異なるため、3区分に分割し、各区分に対し最適な粗度係数を洪水毎に設定することで、河道モデルの再現性を向上

■ 巴川の粗度係数の設定区間

