【第二回　花園・島崎地区浸水対策施設技術検証委員会】

事務局報告資料

令和元年　12月　24日

熊本市上下水道局計画整備部下水道整備課

目次

１．報告概要 p3
２．施設概要 p4
３．第１回委員会の指摘事項と回答 p10
４．当初設計内容の検証 p20
５．現地観測結果と評価 p22
６．シミュレーション p34
７．まとめと対策の方向性 p48

1. 報告概要

本編P1～

第１回　技術検証委員会議事要旨

〇原因究明及び対策検討には、原因と推定される箇所の水位等の確認が必要
〇分水計算や損失計算など既往設計内容を確認すること
〇既存水路の排水能力やゴミの実態など現地調査を行い、設計条件と現地に差異が生じていないか確認を行うこと

検証フロー

① 設計内容の確認
- 〇 分水の検討について、設計条件や越流公式など計算等に誤りがないか
- 〇 分水部におけるゴミの影響やスクリーンの損失の考え方
- 〇 伏越し部のヘッドロスをどの程度考慮していたのか
- 〇 流域、流出係数の設定

② 調査の実施
- 〇 現地測量（水路断面、各構造物の高さ）
- 〇 現地踏査（流出係数、区域内流入）
- 〇 水位・流速観測　⇒　各観測地点の流量算出
- 〇 （算出した流量から）分水量・分水率、伏越し部損失の算出

③ モデル作成（H30年度時）
- 〇 既往モデルの反映
- 〇 調査結果によるモデルの修正
- 〇 実績降雨における観測流量等との比較によるキャリブレーション

④ 原因究明
- 〇 シミュレーションによる原因推定
- 〇 これまでの対策効果の検証

⑤ 対策案検討
- 〇 推定した原因に対する対応方針検討
- 〇 シミュレーションによる効果検証
- 〇 対策の方向性

検証結果

＜既往設計内容の確認、現地調査＞
- 〇 分水については、場所の制約や超過降雨時の安全性など総合的な判断から横越流方式を採用し，複数の計算手法から最も安全側となる堰長を採用しているものの、観測結果から計画値である100%分水は出来ていない。
- 〇 損失については、設計指針に基づき新設バイパス管の伏越し構造部の計算を行っており、観測結果も設計の範囲内であった。ただし、分水量が多い場合には留意が必要。
- 〇 現地調査の結果、麹川流入ゲートが閉じた場合、排水先を失った麹川流域の一部が、区域外流入として小山田川流域に流れ込んでいる。

＜シミュレーション結果＞
（H27.7.1降雨によるシミュレーション結果）
- 〇 H30モデルでH27.7.1降雨によるシミュレーションを行った結果、浸水は発生しなかった（これまでの対策が一定の効果を発揮）。

（計画降雨によるシミュレーション結果）
- 〇 H30モデルのゲート全閉時に計画降雨を降らせると浸水が発生
- 〇 浸水発生時、小山田川と麹川バイパスの合流地点の水位が上昇している
- 〇 浸水が発生した箇所は合流地点よりも地盤が低いため、合流地点の水位が上昇すると浸水が発生しやすい状況となる
- 〇 H30モデルの分水率を100%、麹川バイパスからの逆流をゼロにした場合、浸水は解消

＜浸水原因（まとめ）＞
- 〇 調査及びシミュレーションの結果から、H27の浸水原因は、ポンプの稼働水位、分水機能の不足（ゴミ、横越流）が主な浸水原因であることが判明。
- 〇 さらに、計画降雨によるシミュレーション結果から、上記2点に加え、麹川バイパスからの逆流による小山田川の水位上昇も浸水を引き起こす原因となっていることが判明。

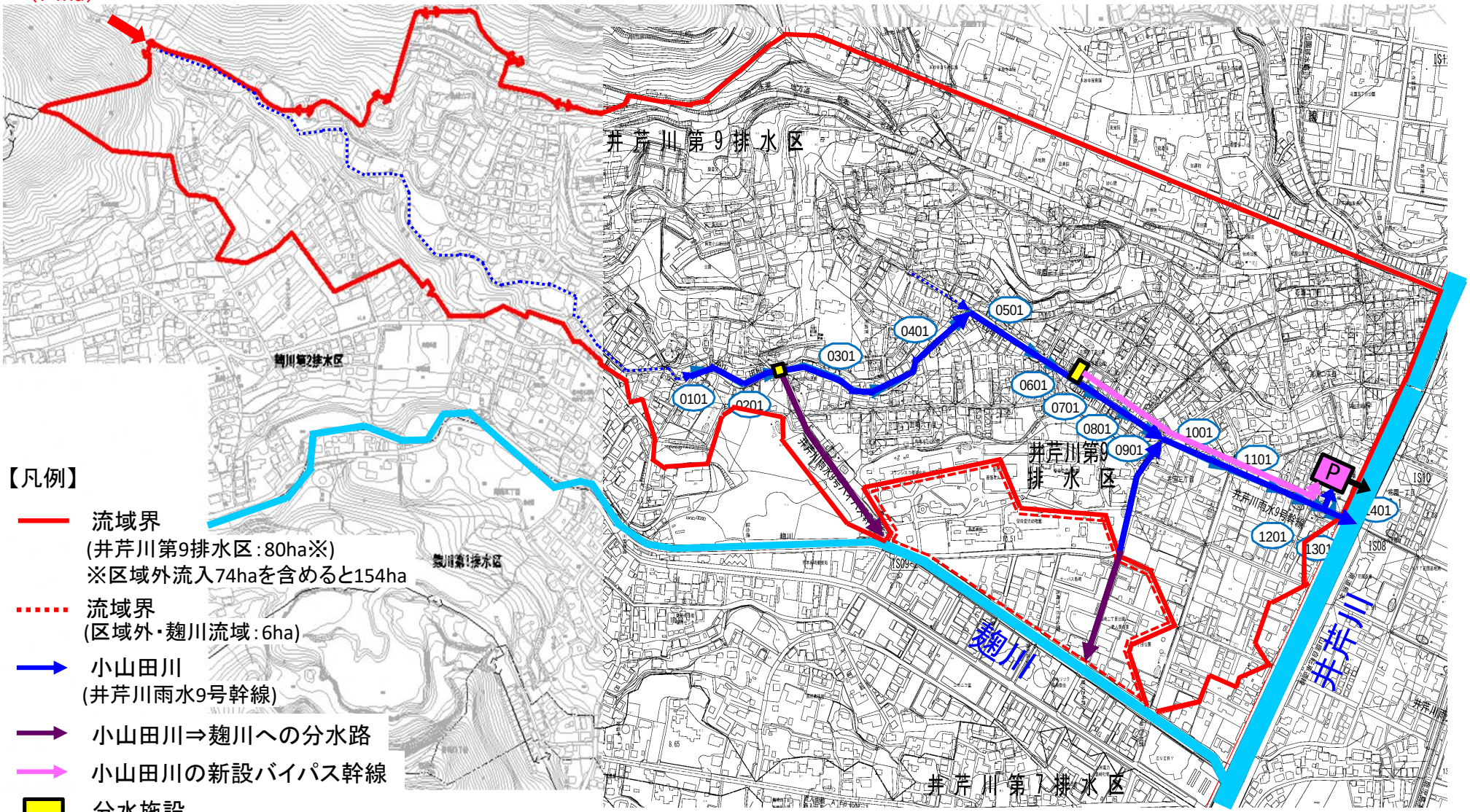
＜対策方針＞
- 〇 これまでの対策が一定の効果を発揮しているものの、計画降雨に対応するには更なる改善が必要
- 〇 対策方針としては、分水機能の向上、麹川バイパスからの逆流対策が必要

2. 施設概要（井芹川第9排水区の流域と主要施設）

熊本市上下水道局
Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau

本編P2～

区域外流入
（74ha）



【凡例】

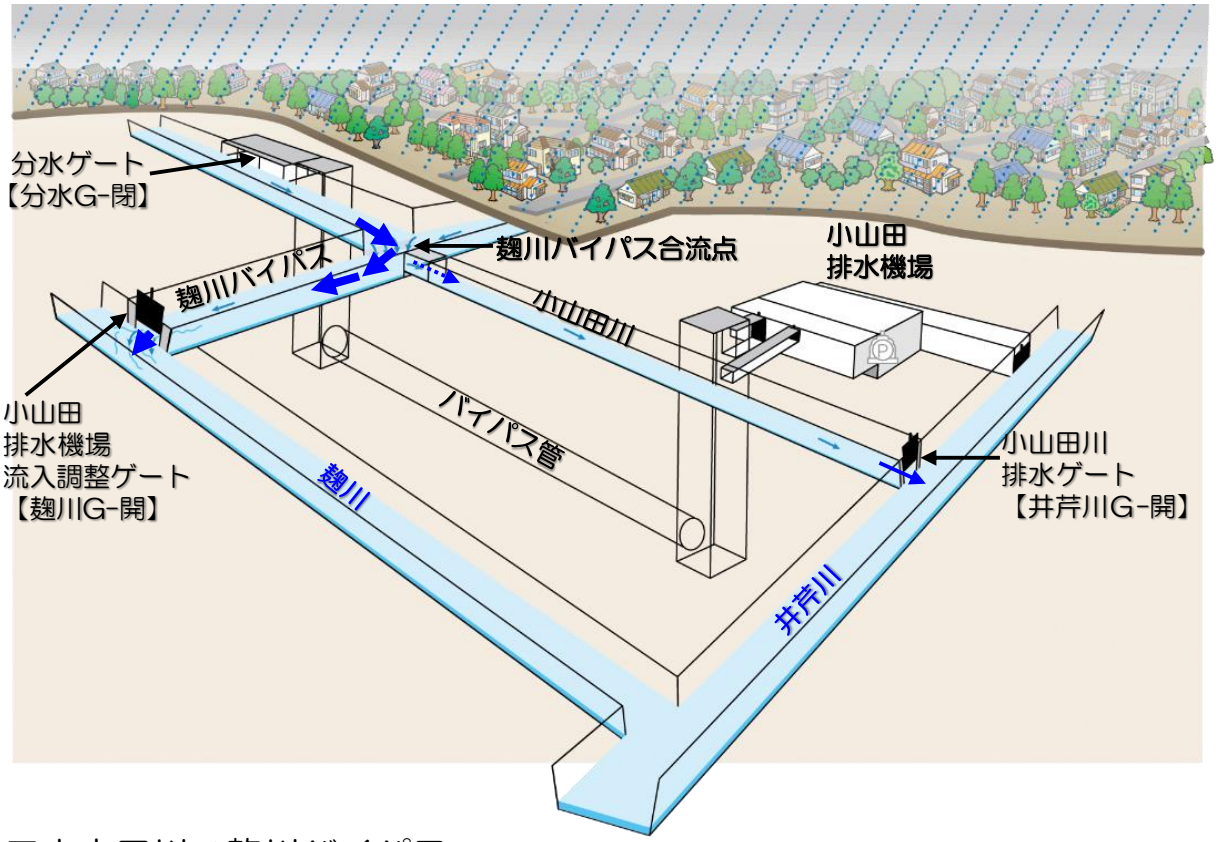
- 流域界
  (井芹川第9排水区：80ha※)
  ※区域外流入74haを含めると154ha
- 流域界
  (区域外・麹川流域：6ha)
- 小山田川
  (井芹川雨水9号幹線)
- 小山田川⇒麹川への分水路
- 小山田川の新設バイパス幹線
- 分水施設
- P 排水機場
  (小山田排水機場)

2. 施設概要（井芹川第9排水区の雨水排水方法）

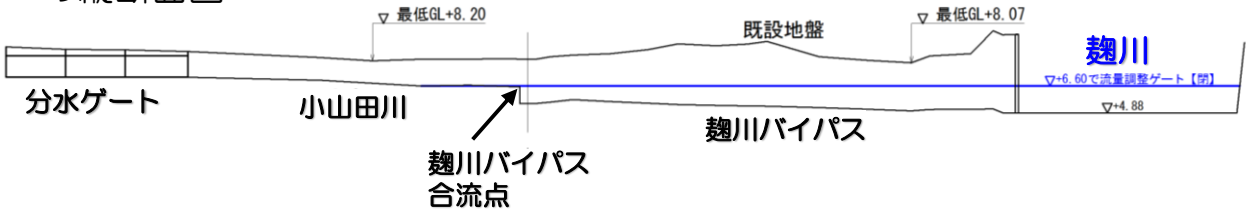
熊本市上下水道局
Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau

本編P2～

◆STEP 1　水位が低い降雨初期には、麹川バイパス水路との合流点にて小山田川下流側より水路底盤高が低い麹川バイパス水路側へ流れる。



■小山田川⇒麹川バイパス
の縦断面図



■小山田川と麹川バイパス水路合流点
（麹川バイパス底盤高が低い）

■降雨時の流下状況（麹川バイパス合流点）

・2018/9/20　12:28

麹川へ

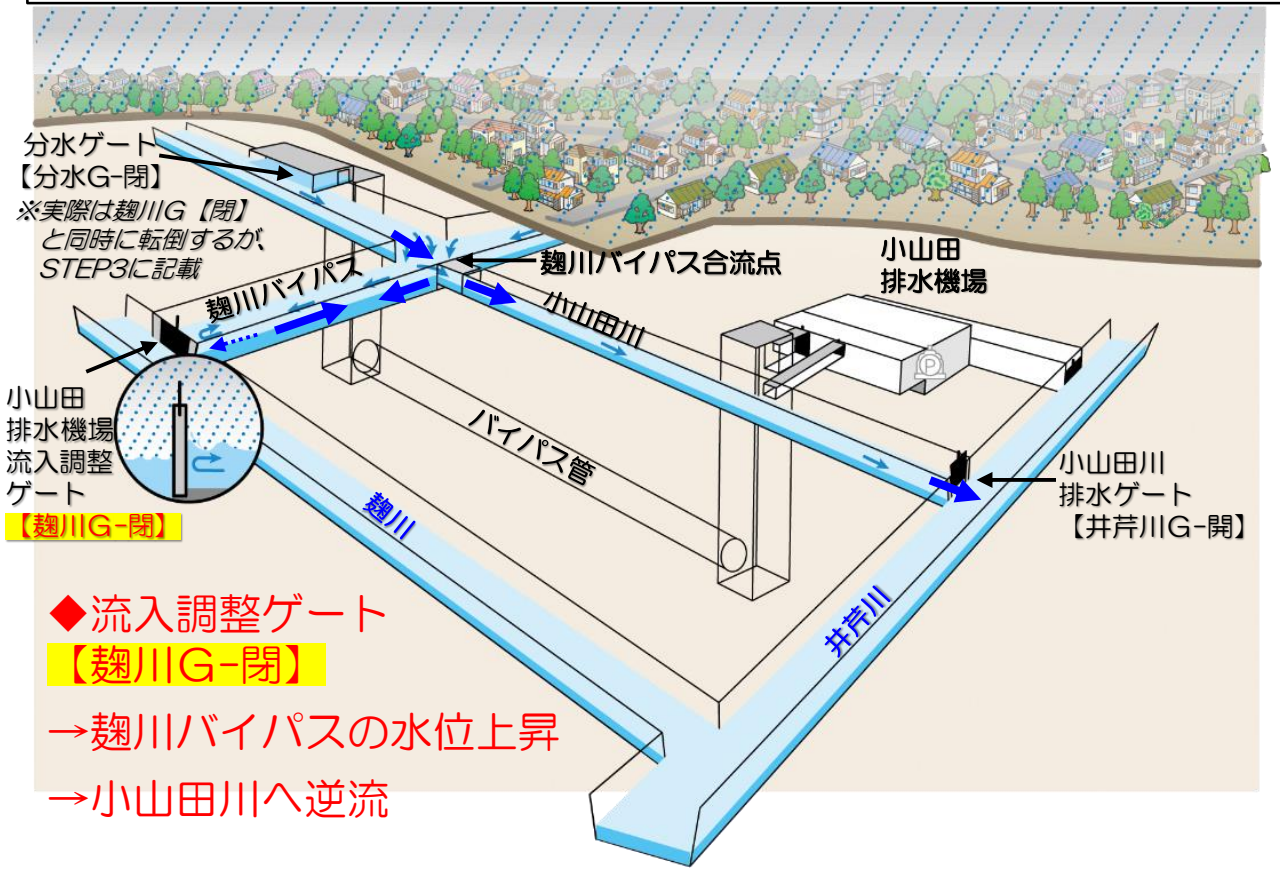
・2018/9/20　12:58

麹川へ

2. 施設概要（井芹川第9排水区の雨水排水方法）

本編P2～

◆STEP 2　水位が高くなってくると、麹川バイパス合流点より小山田川の下流側へも流れ込む。麹川の水位が小山田排水機場流入調整ゲート（麹川ゲート）閉鎖水位(TP+6.6m)を超えると、麹川バイパスから麹川への流下（排水）が不可となり、さらに水位が上昇する。



◆流入調整ゲート
【麹川G-閉】
→麹川バイパスの水位上昇
→小山田川へ逆流

■小山田排水機場流入調整ゲート
(ゲート操作規則に従い閉鎖)

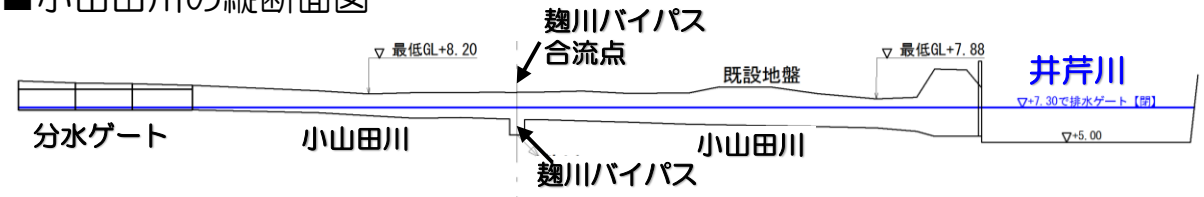
■降雨時の流下状況（麹川バイパス合流点）

・2018/9/20　13:38
麹川へ【麹川G-開】

・2018/9/20　14:08
【麹川G-閉】

小山田川下流部
（排水機場へ）

■小山田川の縦断面図



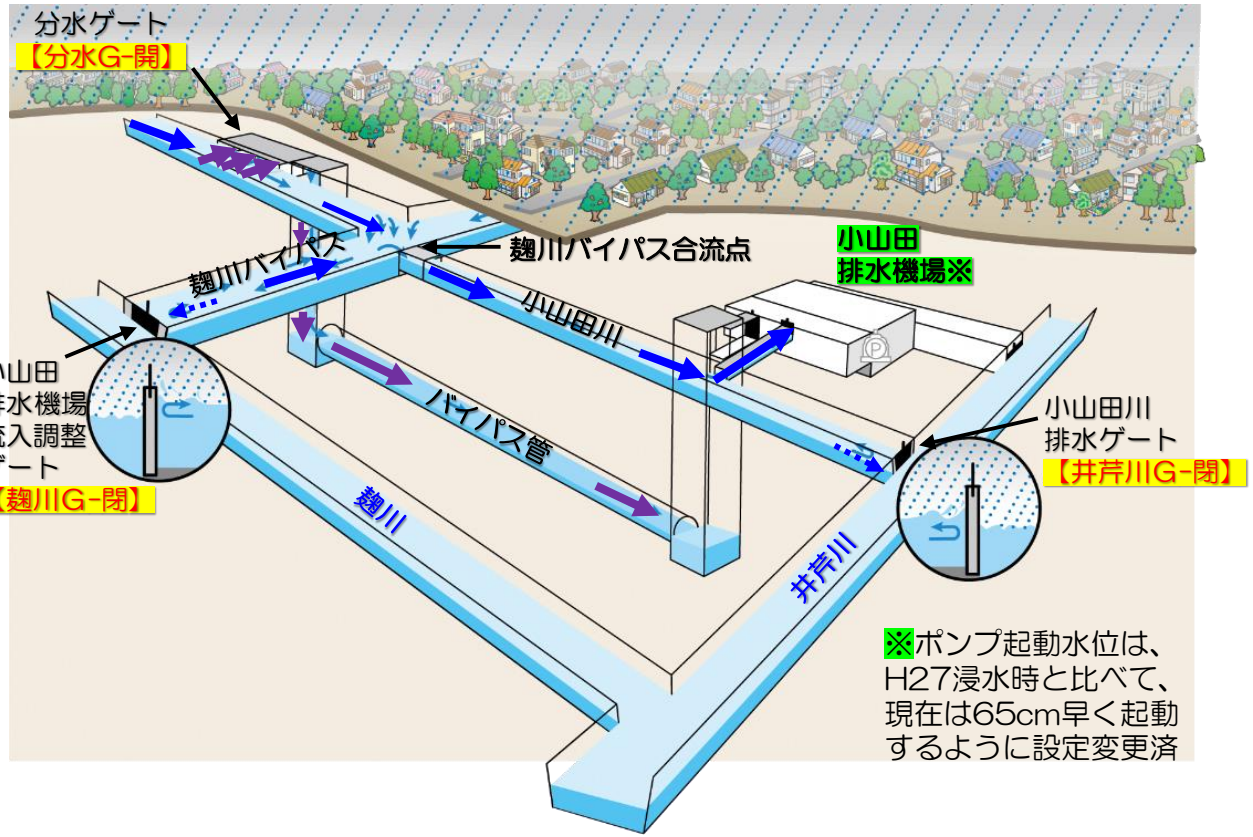
2. 施設概要（井芹川第9排水区の雨水排水方法）

熊本市上下水道局
Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau

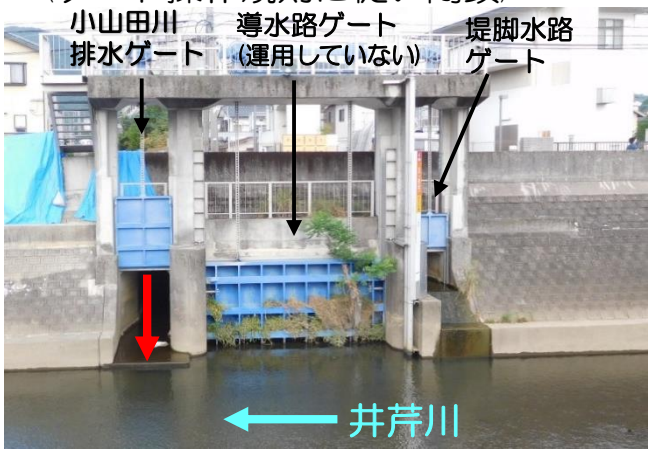
本編P2～

◆STEP 3　小山田排水機場流入調整ゲート（麹川ゲート）閉鎖水位(TP+6.6m)は、分水ゲートの転倒条件と連動。麹川バイパスからの逆流と同時に分水ゲートが転倒※（さらに小山田排水機場の流入ゲートが開）し、地下バイパス管への流入（貯留）が開始する。井芹川の水位が小山田川排水ゲート（井芹川ゲート）閉鎖水位(TP+7.3m)となると、小山田川川流入ゲートが開となり、小山田排水機場への流入が開始し、小山田排水機場のポンプが起動する。

※分水ゲートの転倒条件は、①小山田川水位≧0.7m、②井芹川水位≧TP+7.3m、③麹川水位≧TP+6.6mのいずれか。



■小山田川排水ゲート（井芹川ゲート）
（ゲート操作規則に従い閉鎖）



■降雨時の流下状況（分水ゲート部）

・2018/9/20　13:47
【分水ゲート転倒前】

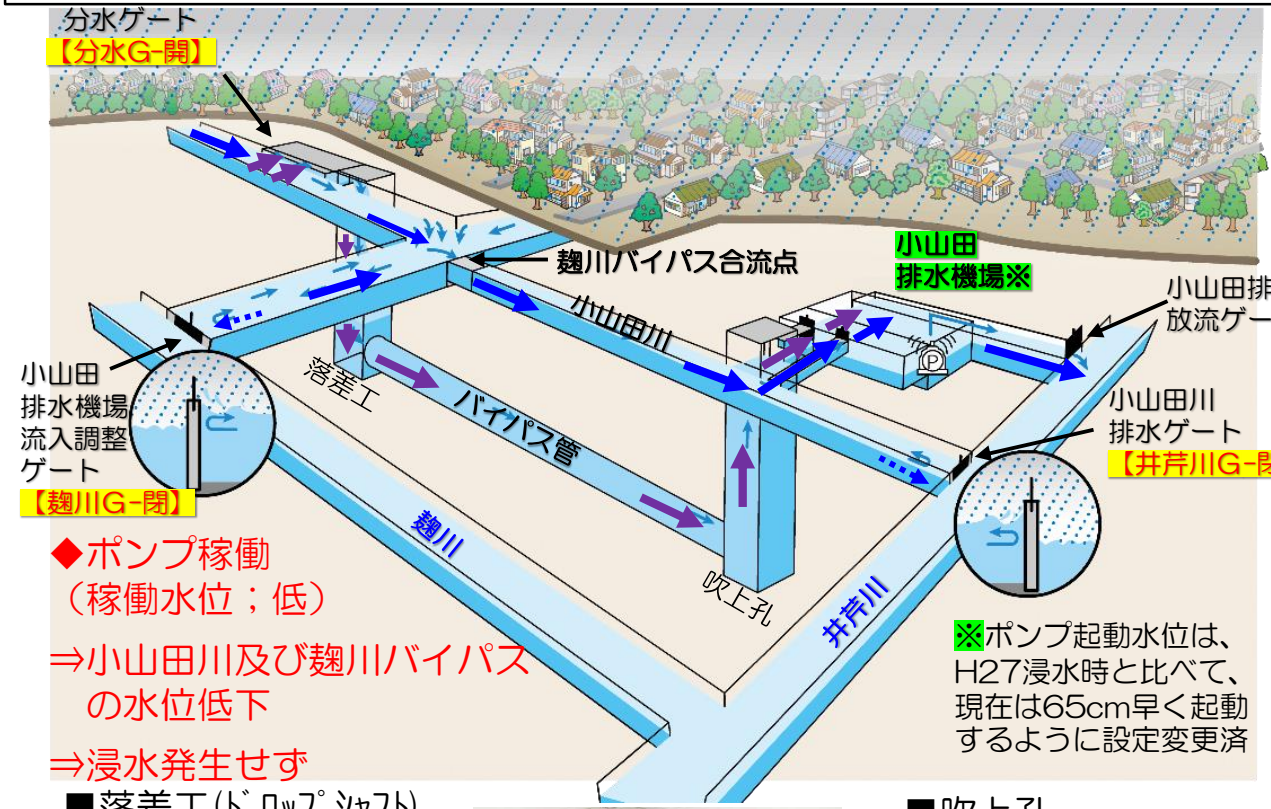
・2018/9/20　13:57
【分水ゲート転倒後】

2. 施設概要（井芹川第9排水区の雨水排水方法）

熊本市上下水道局
Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau

本編P2～

◆STEP 4　吹かし上げ構造である地下バイパス管は、流入の初期には貯留管として機能するが、ポンプ井の底盤高(TP+4.8m)を超えると流下管として機能する。小山田排水機場のポンプ稼働後、ポンプ井水位を低く保持可能な流量であれば浸水は発生しない。



■小山田川排水機場放流ゲート
ポンプ運転時に【開】

■降雨時の流下状況（分水施設工内部）

・2018/9/20　13:47
【分水ゲート転倒前】

・2018/9/20　13:57
【分水ゲート転倒後】

(ﾄﾞﾛｯﾌﾟｼｬﾌﾄ越流部拡大)

(ﾄﾞﾛｯﾌﾟｼｬﾌﾄ越流部拡大)

■落差工(ﾄﾞﾛｯﾌﾟｼｬﾌﾄ)

■バイパス管
(φ2200mm)

■吹上孔

2. 施設概要（これまでに実施した対策（改良）一覧）

本編P4～

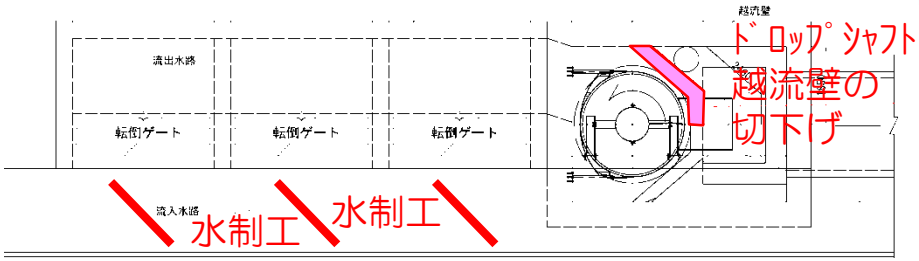
◆地下バイパス管、分水施設供用後に浸水が発生　⇒　緊急措置として改良を実施

時期	対策内容	目的
平成27年 3月	対策施設（地下バイパス管、分水施設）が完成、	運用開始
7月	浸水発生	
7月	小山田排水機場の運転水位変更	ポンプの起動を早くする（全4台を従来より0.2～0.9m低水位で起動）
10月	分水施設のスクリーン取替え	ゴミ詰まりを防止し、バイパス管への分水を促進
平成28年 6月	分水施設の内部構造改良 （ドロップシャフト越流壁の切下げ）	分水施設内の水位低下
6月	浸水発生	
7月	分水施設に水制工設置	分水ゲート側へ流下方向を変化させるとともに分水施設工部での水深を上昇させることで、バイパス管への分水を促進
平成29年 5月	分水施設のスクリーン取替え	ゴミ詰まりを防止し、バイパス管への分水を促進
6月	小山田排水機場の運転水位変更	ポンプの起動を早くする（2～4台目をさらに0.2～0.5m低水位で起動）
7月	第1回花園・島崎地区浸水対策技術検証委員会	
平成30年9月	小山田排水機場のポンプ井水位計ゼロ点補正	ポンプ起動水位の誤差修正（全4台を0.45mずつ低水位で起動）

■ドロップシャフト越流壁の切下げ

■

■水制工の設置



■スクリーン取替え

当初：目幅10cm

平成27年10月～：目幅25cm

平成29年10月～現在：
目幅30cm、構造変更

- 目幅を広くしても草木等のゴミが付着
- 付着物により開口部が閉塞

- スクリーンにはゴミが付着しているが、開口部は確保

3. 第1回技術検証委員会における指示事項とその対応

本編P5～

議事要旨

- ◆ 原因の究明や対策の検討には、原因と推定される箇所の水位の確認が重要
- ◆ 分水計算や損失計算など既往設計の内容を確認するとともに、既存水路の排水能力やゴミの実態など現地調査を行い、設計条件と現場に差異が生じていないか検証を行うこと

指示事項

- ◆ 既往設計内要確認、現地調査、水位観測等、各委員からの意見を踏まえ、事務局で情報を整理し、次回委員会で報告を行うこと

項目		内容	該当ｽﾗｲﾄﾞ
設計条件と現場との差異	1-1	分水ゲートの構造、分水施設部の小山田川の水路断面、水路底高などの詳細について提示すること	ｽﾗｲﾄﾞ11
	1-2	小山田川の構造（断面、勾配、仕上げ等）について、設計での流量計算と実態に差異が生じていないか確認すること	ｽﾗｲﾄﾞ12、13
既往設計の内容	2-1	分水施設部におけるゴミの影響やスクリーンの損失、伏せ越し部の上下流のヘッドロスをどの程度考慮していたのか確認すること	ｽﾗｲﾄﾞ14
	2-2	分水の検討において、設計条件や越流公式など計算等に誤りがないか確認を行うこと	ｽﾗｲﾄﾞ15
原因と推定される箇所の水位	3-1	分水ゲートの構造、分水施設部の小山田川の水路断面、水路底高などの詳細について提示すること	ｽﾗｲﾄﾞ16
その他	4-1	ポンプ稼働条件や水位等の重要な情報は全て提示し、実測値や推定値等は識別できるようにすること	ｽﾗｲﾄﾞ17
	4-2	４台のポンプそれぞれの起動水位と停止水位について、平成27年時から平成28年時の変更点を整理し、図化すること	ｽﾗｲﾄﾞ18
	4-3	スクリーンに詰まるゴミの性質について確認すること（比重等）	ｽﾗｲﾄﾞ19
まとめ		当初設計の妥当性評価	ｽﾗｲﾄﾞ20、21

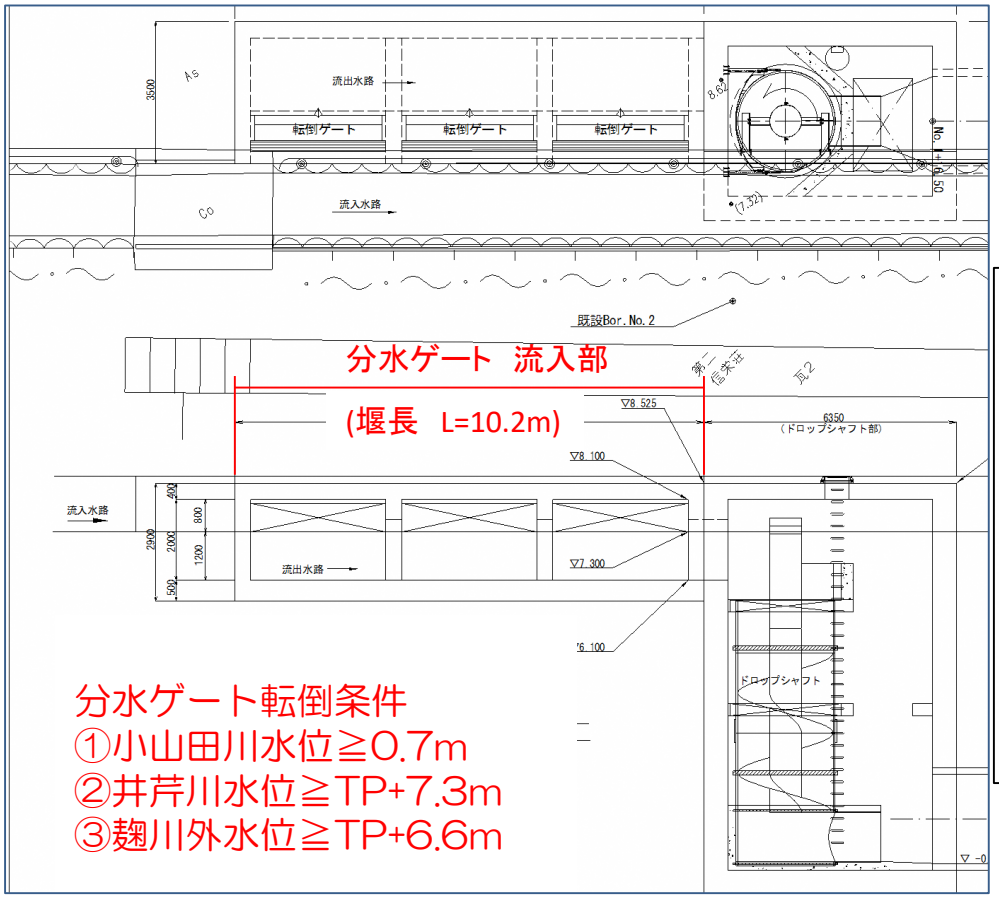
3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

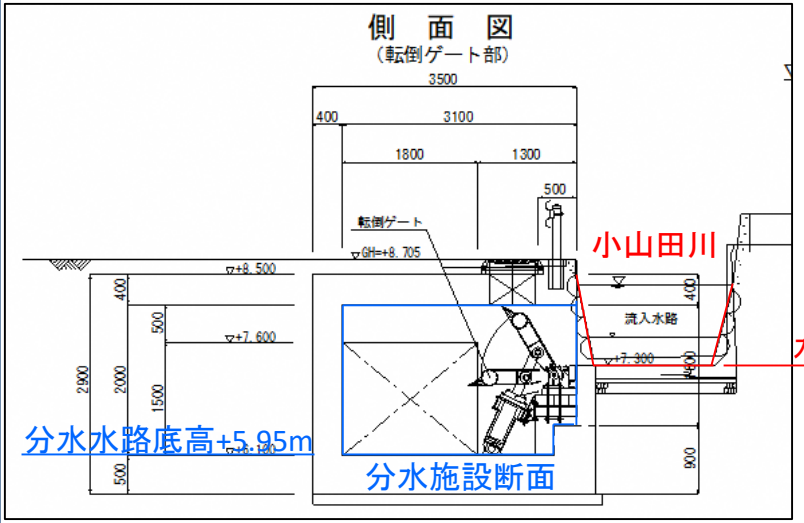
熊本市上下水道局
Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau

本編P5～

指示事項1-1：分水ゲートの構造、分水施設部の小山田川の水路断面、水路底高などの詳細について提示すること

- ◆ 横越流堰方式を採用
- ◆ 大雨時は分水側の油圧式転倒ゲートを転倒させることによりバイパス管へ流下
- ◆ 堰長 L=10.2m（W=3.4m×3スパン）





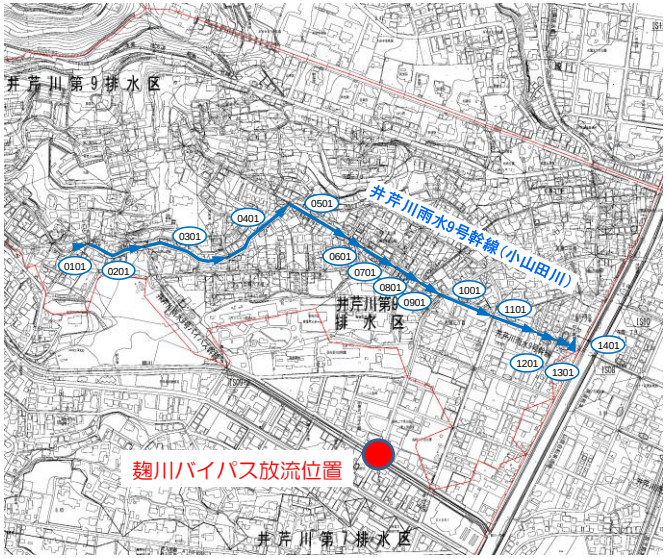
※現地測量の結果、小山田排水機場のレベルに15cmの差異が認められた。上図には補正後の数値を記載している。

3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

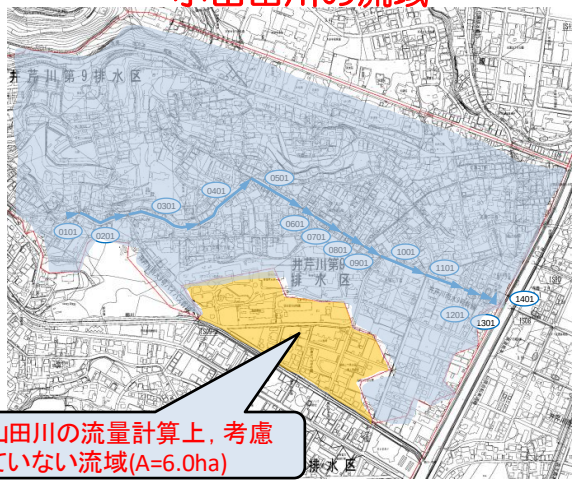
本編P5～

指示事項1-2：小山田川の構造（断面、勾配、仕上げ等）について、設計での流量計算と実態に差異が生じていないか確認すること

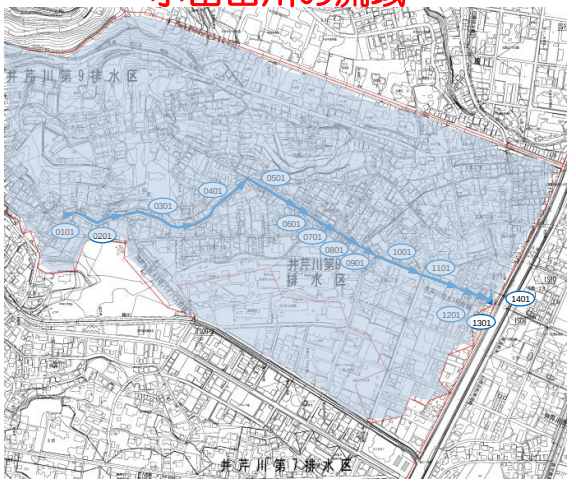
- ◆ 現地調査（測量）により、小山田川の断面変化部ごとに、断面諸元（寸法）、水路底高を計測した。流量計算書では、代表的な断面毎の諸元のみが計上されているため、単純な比較はできないが、断面諸元、勾配は若干の差異は認められるものの概ね整合していることが確認できた。ただし、排水機場のレベルが設計値と測量結果で15cmの差異が認められたため、本検証作業では補正した値を用いることとした。また、後述するシミュレーションにおける断面、勾配は、測量値を用いる方針とした。
- ◆ 流量計算書ではコンクリート管の粗度係数を一律に適用しているが、現地は壁が石積みやブロック積みであったり、底面が土であったり、場所によって材質が異なっていた。
- ◆ 流量計算に関しては，当該排水区ではなく流量計算上として考慮していない流域面積分が流入していることを確認した。具体的には、流入調整ゲートの閉鎖に伴いポンプ排水区に変更される下記A=約6.0ha分が小山田川の流域に変更されるが，流量計算上は考慮していない。



自然排水区状態の
小山田川の流域



ポンプ排水区状態
小山田川の流域



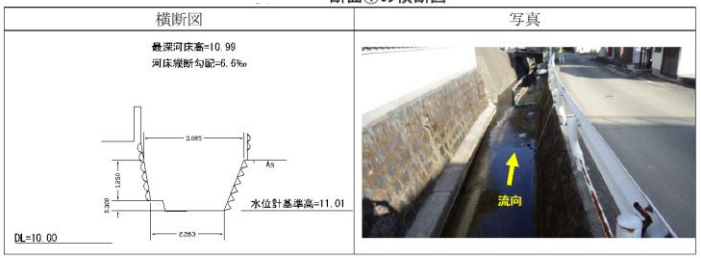
3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

本編P6～

指示事項1-2：小山田川の構造（断面、勾配、仕上げ等）について、設計での流量計算と実態に差異が生じていないか確認すること

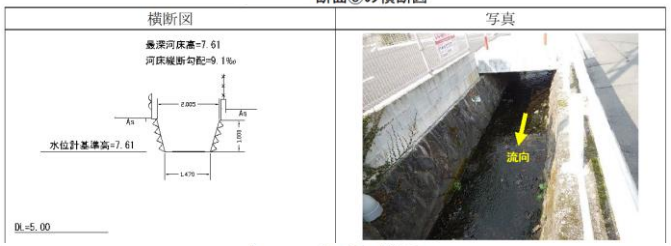
- ◆ 断面及び勾配は右下表のとおり設計条件に対して断面・勾配・水路仕上げともに差異が生じており，写真のとおり水路の断面形状の変化が多いと言える。
- ◆ また，写真のとおり水路底部には砂利による断面阻害や季節によっては水草が生えることによる流下能力の低下が考えられる。

断面①の横断図

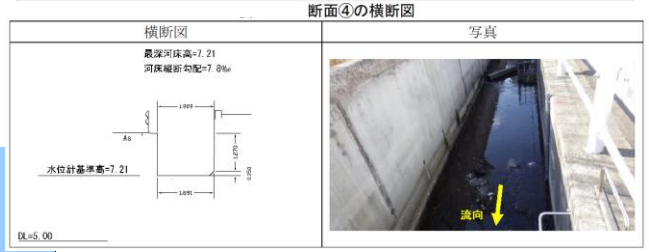


断面②の横断図

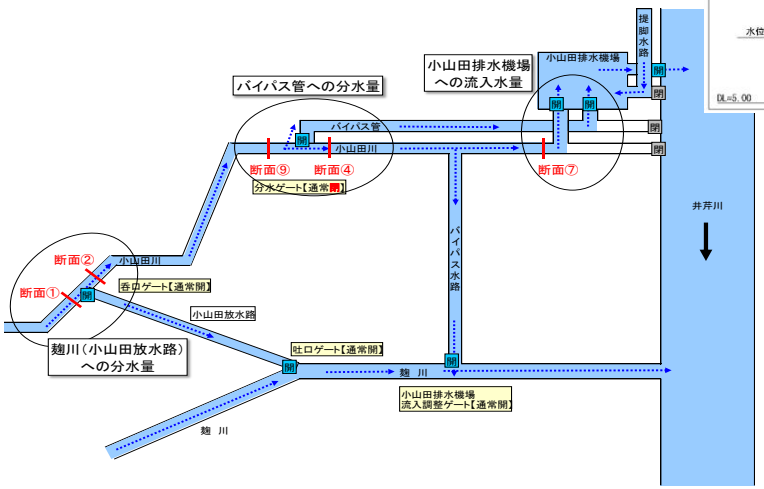
断面⑨の横断図



断面④の横断図



断面⑦の横断図



		断面①	断面②	断面⑨	断面④	断面⑦
断面（幅×高さ:m）	設計	2200×2000	2500+2200×1500	1500×1800	1500×1800	2000×1800
	測量結果	3080+2260×1550	2200+1850×1500	2000+1470×1000	1900×1420	1200×1580
勾配	設計	2.2	11.5	2.0	2.0	1.8
(‰)	測量結果	6.6	4.9	9.1	7.8	2.5
仕上げ	設計	Co 3面張				
	測量結果	(両岸)石積 (底部)土	(両岸)石積 (底部)土	(両岸)石積 (底部)土	Co 3面張	Co 3面張

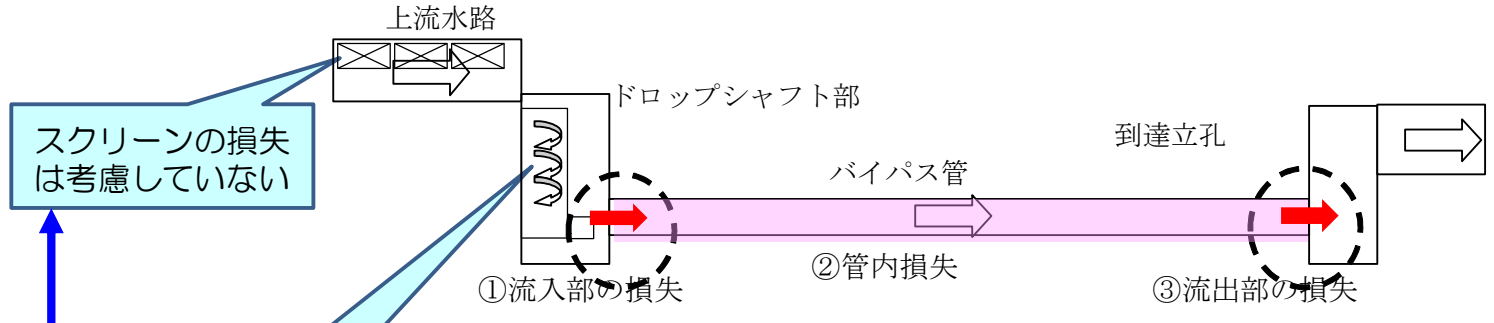
3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

本編P5～

指示事項2-1：分水施設部におけるゴミの影響やスクリーンの損失、伏せ越し部の上下流のヘッドロスをどの程度考慮していたのか確認すること

- ◆ スクリーンの損失は考慮していない。
- ◆ 減勢工（ドロップシャフト）等の損失も考慮していないが、動水位上昇時にはドロップシャフト前部から越流する構造となっており、損失低減対策が取られている。
- ◆ 伏せ越し部の上下流のヘッドロス（損失水頭）は、下水道施設計画・設計指針と解説（日本下水道協会）を参考に計算し、計画流量Q=6.15m^3/sのときH=0.7mとしている。

詳細設計における伏せ越し部の損失計算



■管以外の損失①および③ ➡
急縮および急拡による損失　h1＝0.296m

■管内の損失②
摩擦および曲線による損失　h2＝0.314m

■伏せ越し部の損失水頭　安全側の数値に丸めている
H＝h1＋h2＝0.296m＋0.314m＝0.610m　⇒　0.7m

3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

本編P6～

指示事項2-2：分水の検討において、設計条件や越流公式など計算等に誤りがないか確認を行うこと

- ◆ 不等流計算により堰長を L=10.2mに決定している。これは、堰長を算定する方法として、複数ケースを検討し、最も堰長が長くなる方式として採用しており、最善策がとられている。なお、不等流計算による水面追跡においては、越流量をケース１（正面越流式）と同じ式を用いて算定し、逐次計算を行っているため、分水施設工の下流にいくにつれて実際には越流係数Cが低下していくことが反映されていない。しかし、各計算スパン毎の越流係数Cを適切に設定することは困難である。
- ◆ いずれのケースも完全越流を前提とした計算となっている。流出水路の底高は小山田川本川よりも1.2mと十分に低くなっており、想定したバイパス管の損失が設計値の範囲内であれば、流出水路の水位も小山田川本川よりも低くなる。しかし、転倒ゲートは転倒時において水平状態となるため、越流部の水の流れが通常の越流堰の構造と異なることに留意する必要があるが、本構造を適切に反映できる算式はない。

	計算手法	越流水深	必要堰長L （Q=6.15m^3/s）	備考
ケース1	正面越流式	0.7m（ゲート高と同等）	6.0m	下水道雨水調整池技術基準（案）において、堰長の概算に適用されている。
ケース2	本間の式	0.7m（ゲート高と同等）	7.0m	下水道雨水調整池技術基準（案）において、準用することが多いとされている。 基本的には正面越流式の変形式である。
ケース3 【採用】	不等流計算による水面追跡	分水開始地点：1.026m （開水路8割水深） 分水終了地点：0.017m （計算結果）	10.2m	加勢川第６雨水幹線分水施設の検討に適用され、本市で実績あり。 *加勢川第6雨水幹線では、不等流計算により、堰長と堰高を決定しているが、堰高については水理模型実験の結果を基に変更している。

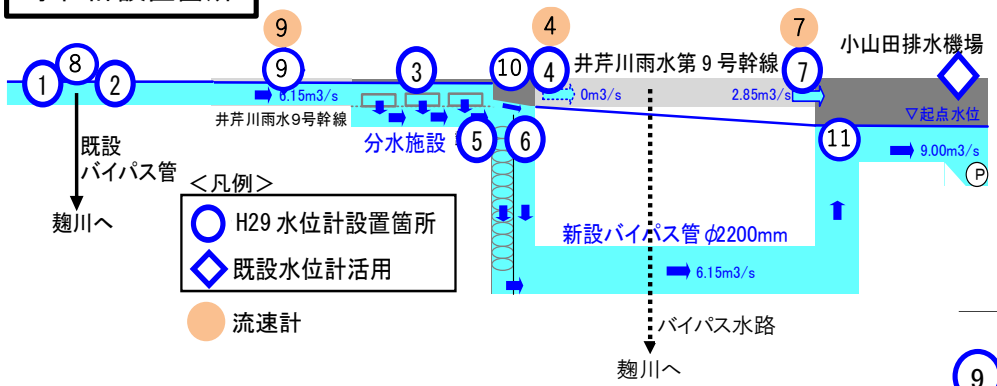
3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

本編P6～

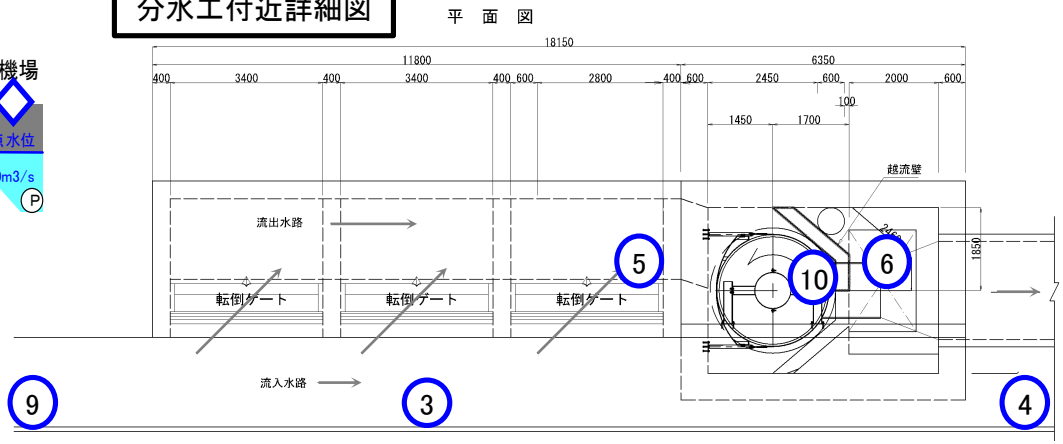
指示事項3-1：分水開始地点、分水終了地点、中間点における小山田川及び、分水施設内部に水位計を設置し、横越流前後の水位観測を行うこと

◆ 委員会での意見を踏まえて水位計設置箇所を選定し、平成30年1月より水位観測を開始。
（5．現地観測結果と評価にて後述）

水位計設置箇所



分水工付近詳細図



番号	測定位置	測定内容と目的
①	小山田川（麹川分水地点の上流側）	水位・流速*：分水前流量の推定
②	小山田川（麹川分水地点の下流側）	水位・流速*：分水後流量の推定
③	小山田川（分水施設の中間付近）	水位：分水時の水位
④	小山田川（分水施設の下流側）	水位・流速：分水後流量の推定
⑤	分水施設の流出水路（分水ゲート裏側）	水位：分水ゲートからの流入状況
⑥	落差マンホール（ドロップシャフト越流堰の外側）	水位：バイパス管起点水位
⑦	小山田川（最下流部付近）	水位・流速：（小山田川の）排水機場への流入量の推定
⑧	小山田川（麹川分水地点の越流堰の内側）	水位：越流状況の把握
⑨	小山田川（分水施設の上流側）	水位・流速：分水前流量の推定
⑩	落差マンホール（ドロップシャフト越流堰の内側）	水位：越流状況の把握
⑪	バイパス管（吹上げマンホール）	水位：バイパス管終点水位

*ポータブル式流速計による測定

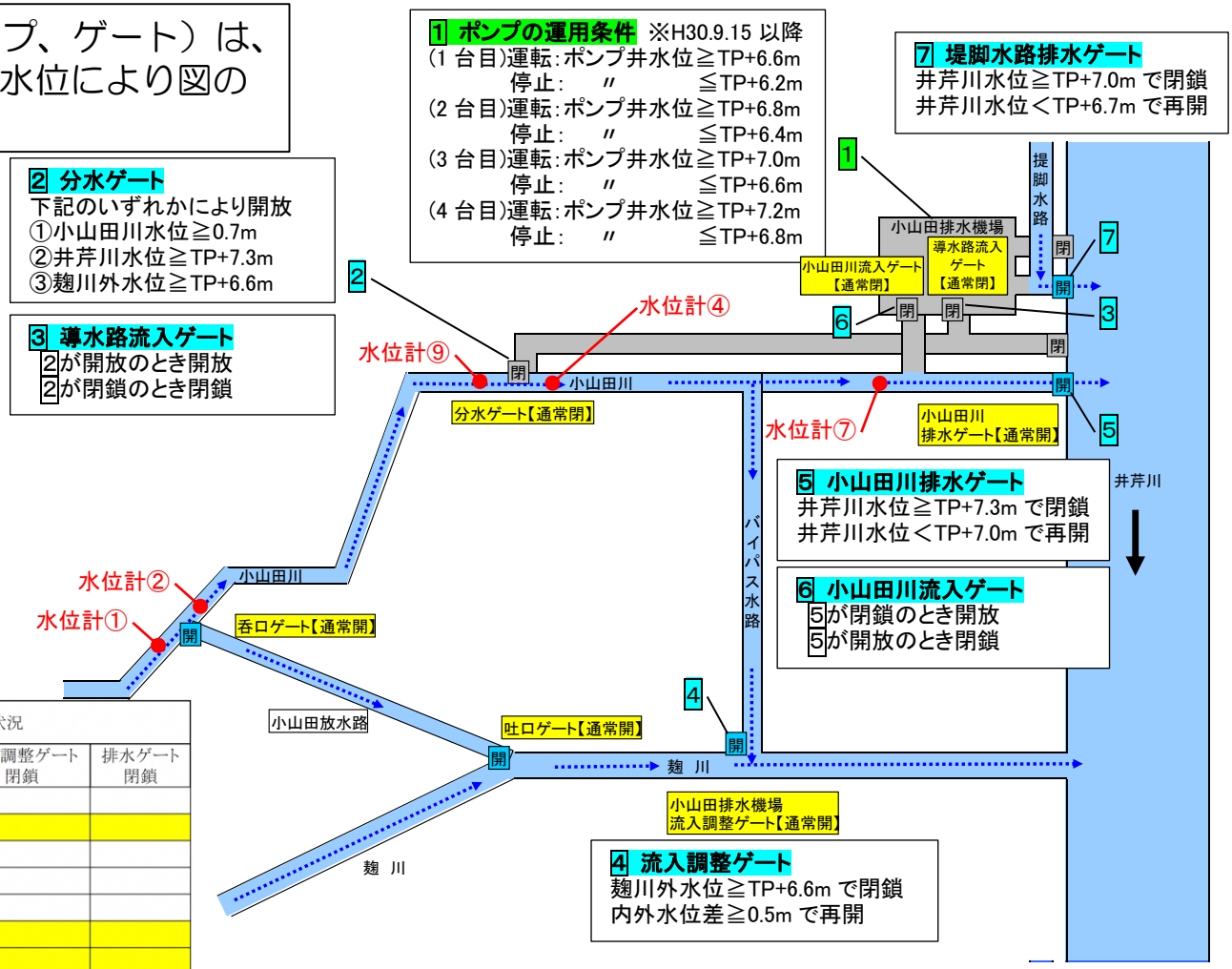
麹川分水地点

3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

本編P7～

指示事項4-1：ポンプ稼働条件や水位等の重要な情報は全て提示し、実測値や推定値等は識別できるようにすること

◆ 井芹川第９排水区の浸水対策施設（ポンプ、ゲート）は、小山田川及び放流先（井芹川、麹川）の水位により図のとおり運転制御されている。



平成30年の主な降雨と施設稼働状況

日付		警報発令(熊本市)		降雨量(mm)(熊本地方気象台)			施設稼働状況			
年	月日	大雨	洪水	総降雨量	1時間最大	10分間最大	ポンプ排水	分水ゲート開放	流入調整ゲート閉鎖	排水ゲート閉鎖
H30	04/14		○	43.0	11.0	4.0				
	04/24		○	121.5	24.5	8.0		○		
	05/02		○	41.5	9.5	3.5				
	05/07		○	39.0	9.5	6.5				
	06/08		○	33.0	30.0	8.0				
	06/19	○	○	101.0	32.0	7.0		○		
	06/20	○	○	103.5	29.5	12.5	○	○		
	06/29	○	○	18.0	9.5	5.5				
	07/06	○	○	133.0	19.5	6.5	○	○	○	○
	07/07	○	○	43.5	22.5	8.5	○	○	○	○
	09/20	○	○	146.0	56.5	11.5	○	○	○	○

（注記）
・上図は、スライド27と同一である。
・水位計については「5.現地観測結果と評価」にて後述

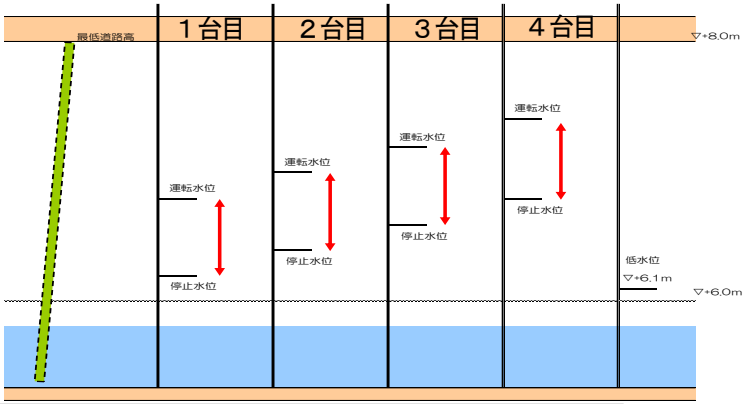
3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

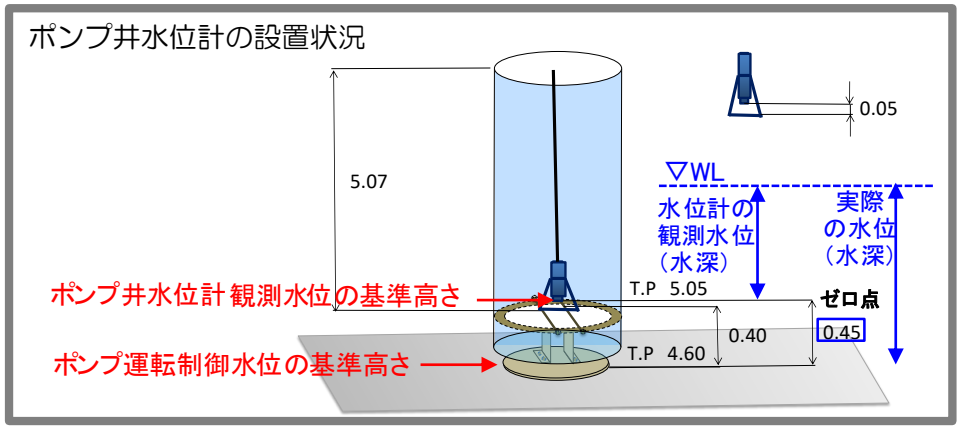
本編P8～

指示事項4-2：４台のポンプそれぞれの起動水位と停止水位について、平成27年時から平成28年時の変更点を整理し、図化すること

- ◆ 平成27年7月、平成29年6月に設定を変更。（平成28年6月20日は特例として大雨時の手動運転を実施。）
- ◆ 現在は、すべてのポンプの起動水位と停止水位を運用開始時より低く設定している。
- ◆ 現地調査の結果、ポンプ井の水位計が設置位置を考慮した0設定がされていなかったことを確認。
  ⇒運用開始以降、規定水位より高い水位でポンプの起動・停止を行っていたことが判明（H30.9.15修正）

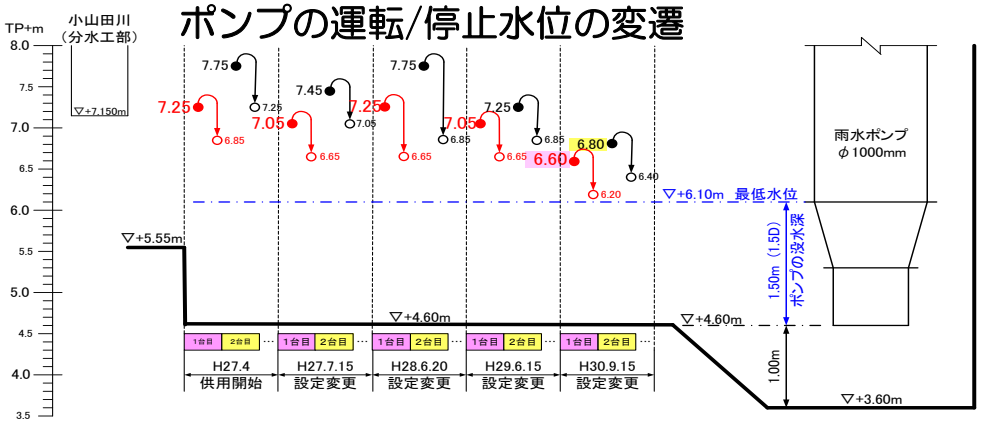
※上記の水位計はポンプを発停させる起動・停止用として設置している。





設定	設定日	水位	1台目ポンプ	2台目ポンプ	3台目ポンプ	4台目ポンプ
1	平成27年4月運用開始	運転	7.25	7.75	8.55	9.05
		停止	6.85	7.25	8.05	8.55
2	平成27年7月15日	運転	7.05	7.45	7.85	8.15
		停止	6.65	7.05	7.45	7.85
3※	平成28年6月20日	運転	7.25	7.75	8.05	8.35
		停止	6.65	6.85	7.45	7.85
4	平成29年6月15日	運転	7.05	7.25	7.45	7.65
		停止	6.65	6.85	7.05	7.25
5	平成30年9月15日	運転	6.60	6.80	7.00	7.20
		停止	6.20	6.40	6.60	6.80

上表の運転水位・停止水位は自動運転制御における規定水位である。
※設定3のみ操作方法の特例として手動運転を実施
※水位計の誤差を修正した実際の高さである



3. 第1回技術検証委員会における指示事項と回答

本編P8～

指示事項4-3：スクリーンに詰まるゴミの性質について確認すること

- ◆ 採取日：平成30年9月21日（前日9月20日の雨量：146mm/日）
- ◆ 現地調査の結果：スクリーンに付着するゴミは自然物（草木等）が主であったが、人工物（プラスチック、ビニール、土のう袋等）も存在した。スクリーンの最上流部と最下流部に多くゴミが付着していた。

スクリーンへの
ゴミの付着状況（回収作業前）

回収したゴミの状況

	自然物	人工物
試料外観		
内容物	草木類のみ	ビニール、布きれ、その他
発生量*	125L （15.6杯×8L/杯）	8.8L （1.1杯×8L/杯）

*試料は水切り後、湿潤状態のままバケツで容量を計量した。

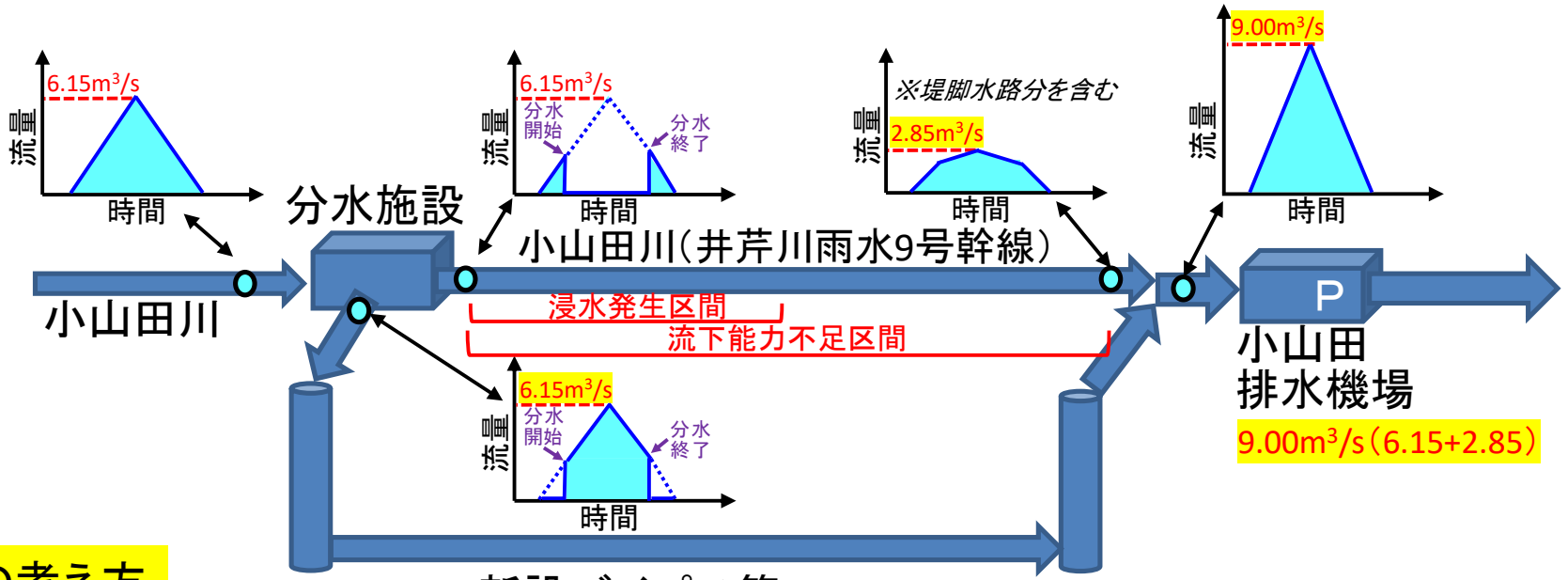
4. 当初設計内容の検証

本編P8～

分水施設工について

計画の考え方

井芹川第9排水区の雨水整備計画では、計画降雨における雨水流出量と小山田川の流下能力から、流下能力不足区間の上流部で流量の全量（6.15m³/s）をカット（100%分水）し、新設バイパス管を利用して小山田川排水場に流入させる。

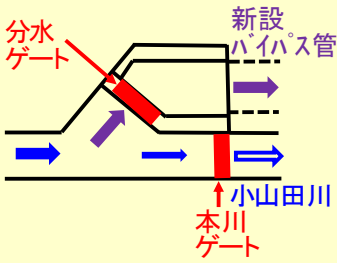


設計の考え方

【前提条件】①降雨初期は、分水せず小山田川本川を流下させる。（新設バイパス管は通常ドライ管理）
②計画で掲げた100%分水を極力可能とする。
③超過降雨時では、計画上の分水量（6.15m³/s）の超過分を小山田川本川側に流下させる。
④対策のための新たな用地買収を必要とせず、施設制御の信頼性が高い方式であること。

【検討結果】分水施設工の構造は、複数案（①落差工+ｹﾞｰﾄ案、②分水部拡幅案、③本川迂回+越流堰案、④段差開口案、⑤水平転倒ゲート案、⑥分水側（横越流側）転倒ゲート案）を比較し、計画上の100%分水は達成できないものの、前提条件を踏まえた総合的な判断から⑥分水側（横越流側）転倒ゲート案を選定。

検討案の一例
（②分水部拡幅案）



4. 当初設計内容の検証

本編P8～

＜当初設計内容の整理＞

◆ 本分水施設は、計画降雨を対象とし、分水地点より下流の小山田川導水能力も考慮した上で、計画分水量を6.15m^3/sとすることで、下流部の浸水を解消させる計画としていた。

◆ この計画分水量を実現させるには本川流下方向に可動ゲートを設置し、かつ自動制御等が必要となるが、 設計においては場所の制約、制御の信頼性、超過降雨時の安全性等、総合的な判断から、現在の施設構造が採用されている。

◆ また、採用した横越流構造において、最大限に分水させるために、堰高は水路底高と同レベルとした上で、堰長については複数の計算式を用いた計算結果の中から、最も長くなる計算式を用いて設計されており、最善策がとられていると評価できる。

◆ 損失については、立坑内（落差工、越流堰、オリフィス構造）の損失、3連ゲート柱部の一部の損失等は見込まれていないものの、指針等に記載されている、流入部の損失、管内摩擦損失、流出部の損失は計上されている。

＜施設完成以降の取組み＞

◆ 当市では、これまで、ポンプ運転水位の変更や、分水率を向上させるための対策を実施し、浸水解消に向けて取り組んできた。

5. 現地観測結果と評価（目的と設置位置）

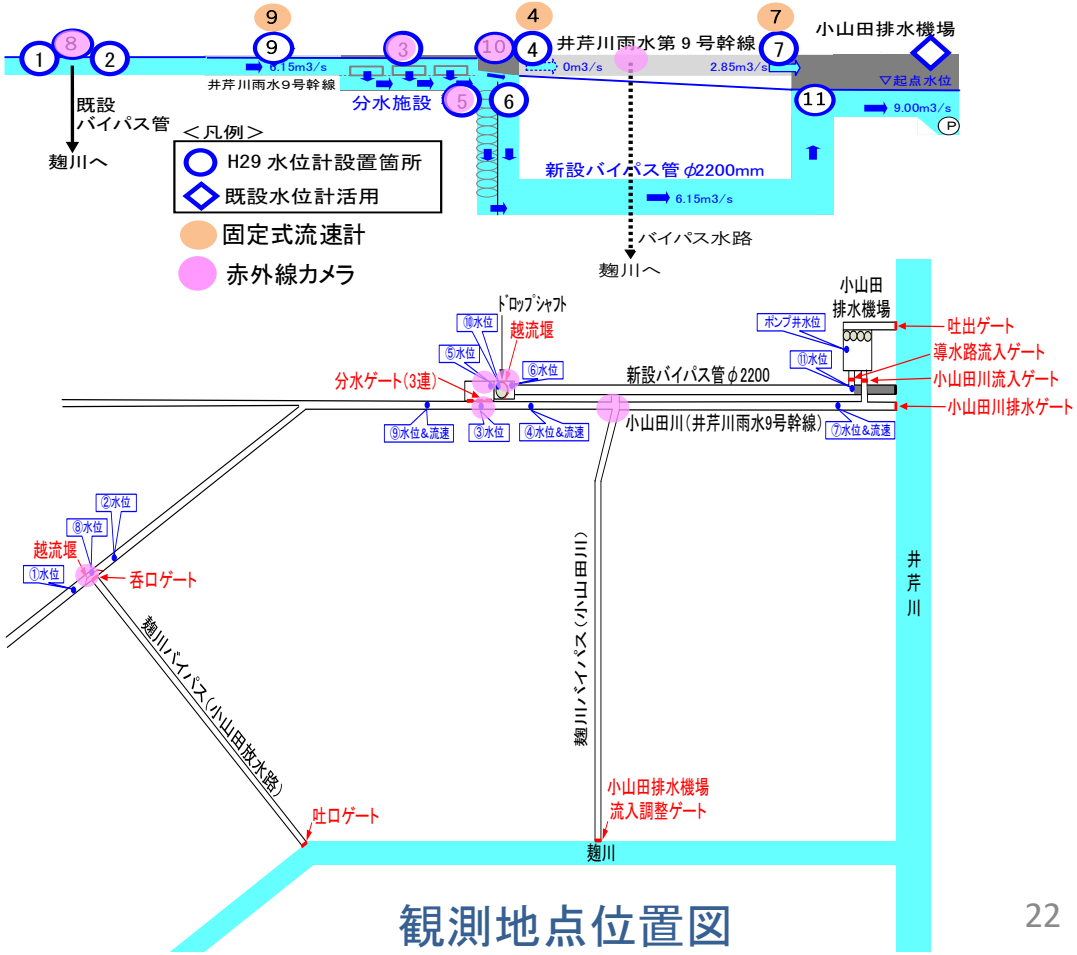
本編P9～

- 浸水要因の検証（下表参照）のため、11か所の水位計（絶対圧式※）、3か所の固定式流速計（超音波式）により、水位・流速の観測を行った。 *※2か所（排水機場内及び分水施設工内）にバロメーターを設置し、大気圧補正を実施。*
- 流量への換算は、水位計のみ設置箇所ではマニング式による平均流速から流量を算定、流速計の設置箇所では観測流速から流量を算定した後にH-Q曲線を作図し、水位データから流量を算定した。

  ※測定箇所⑨、④では、ポータブル式流速計により水路の水平・鉛直方向の流速分布等を求め、必要に応じて流速の補正を実施（後述）。
- 分水地点等の重要箇所（4か所）には、赤外線カメラを設置し、流況の観測（撮影）を実施した。

検証項目と方法

推定される要因	検証項目	検証方法
●バイパス管への分水施設構造に起因する分水量不足	●バイパス管への流入量（流量⑨－流量④） ●分水施設工下流側の流量（流量⑦）	水位・流速の観測（⑨、④） 水位・流速の観測（⑦）
	●スクリーンのゴミ付着状況	スクリーン部のカメラ画像（③）、付着物の分析
●バイパス管の伏せ越し構造が原因で生じる損失に起因した分水量不足	●バイパス管の各地点の水位 ●バイパス管（分水施設工）の流況	水位の観測（③、⑤、⑥、⑪、ポンプ井）、分水施設工内部のカメラ画像（⑤）
●ポンプの運転水位が高いことに起因する動水位上昇	●バイパス管及び流域内各地点の水位	水位の観測（③、④、⑦、ポンプ井）
●計画流量と実流量の差異に起因する流下能力不足	●麹川分水前後の流量及び分水量 ●分水施設工部の流量 ●排水機場流入量（バイパス管流入量＋流量⑦＋堤脚水路流量）	水位の観測（①、②、③） 水位・流速の観測（⑨）



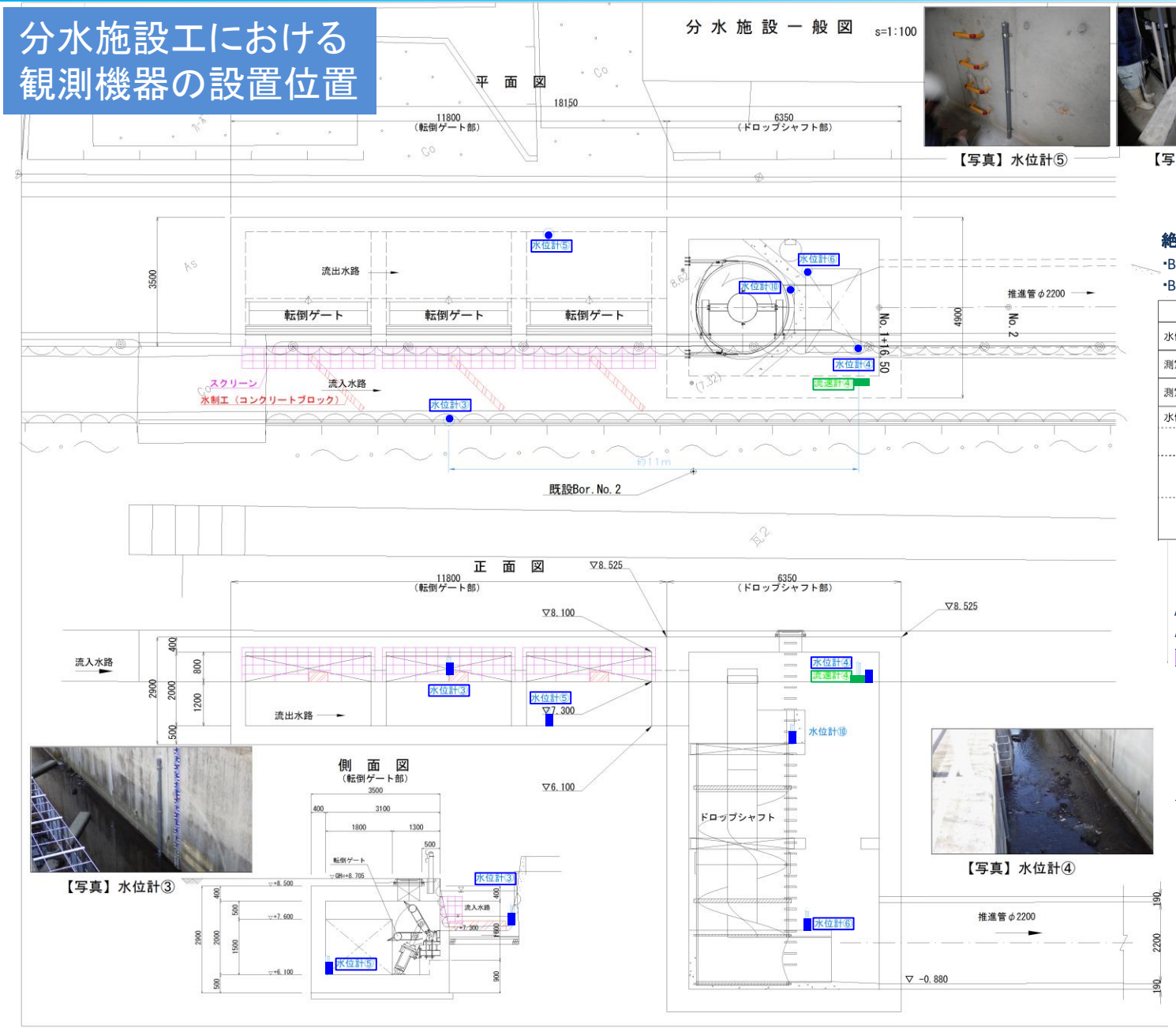
観測地点位置図

5. 現地観測結果と評価（観測機器の仕様と設置位置）

熊本市上下水道局
Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau

本編P10～

分水施設工における観測機器の設置位置



【写真】水位計⑤

【写真】水位計⑩

側面図【写真】水位計⑥
（ドロップシャフト部）

【写真】水位計③

【写真】水位計④

水位計の仕様　2分間隔で計測

絶対圧式を採用⇒バロメータ(BM)により大気圧補正

- BM1(小山田排水機場内に設置):水位計(下記以外)の補正
- BM2(分水施設工内部に設置)　:水位計⑤、⑥、⑩の補正

	仕様
水位測定レンジ	5m、10m、20m、30m、100m 1.5m（大気圧補正用）
測定回数（メモリ容量）	リニア測定時　水位・温度　各40,000回 （ファームウェアバージョンver1.019以前は各30,000回）
測定間隔	リニア測定時　連続0.5秒,1～99秒(1秒単位), 1～99分（1分単位）,1～99時間（1時間単位）
水位センサ	ハステロイ圧電抵抗式シリコン圧力トランスデューサー
水位測定用圧力センサ精度	±0.1%FS　(0 ～ 40℃)（精度補償範囲）
水位測定範囲（海抜0メートル時）	5m レンジ計　：4m　10mレンジ計　：9m 20m レンジ計　：19m　30mレンジ計　：29m 100m レンジ計：99m
水位分解能	5m レンジ計　：1mm　10mレンジ計　：3mm 20m レンジ計　：6mm　30mレンジ計　：9mm 100m レンジ計：30mm

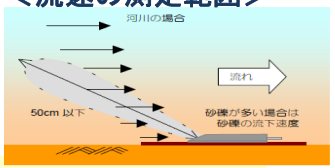
流速計の仕様　2分間隔で計測

回転式、電磁式、超音波式、電波式があるが、水路底部に設置可能で鉛直方向の平均流速を計測可能な超音波式を選定

項目	仕様	
測定方式	超音波ドップラー	半導体抵抗
測定範囲	0.2～10m/sec	-5～50℃
精度	2% of FS	±0.2℃
分解能	1cm	0.1℃
発射角	30度	
ケーブル長さ	25m　※ 200m まで延長可能	
外形寸法	W92×D180×H25mm	
材質	ステンレス製	

※測定精度は、FS(フルスケール:10m/s)の2%であるため、
10×2/100=0.2m/s
⇒計測誤差は最大で±0.2m/s。

＜流速の測定範囲＞



（注記）断面図における高さは、
15cm補正を行う必要がある
＊図面+7.300m→実高さ+7.150m

5. 現地観測結果と評価（流速の観測方法）

本編P11～

＜固定式流速計の設置方法＞

◆ 測定箇所④と⑦では水路中央の底部コンクリートに流速計のセンサを固定し、測定箇所⑨は底部が土砂のため側壁の石積み護岸（右岸側）にセンサを固定した。

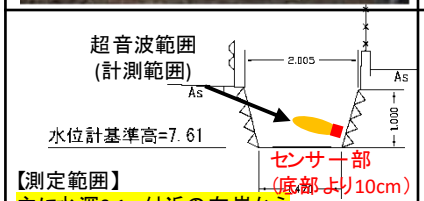
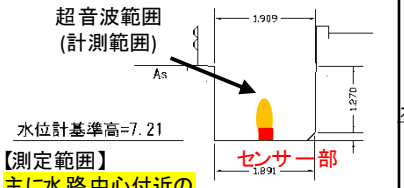
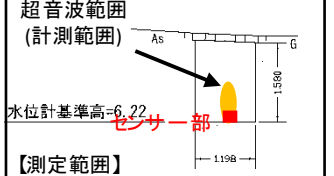
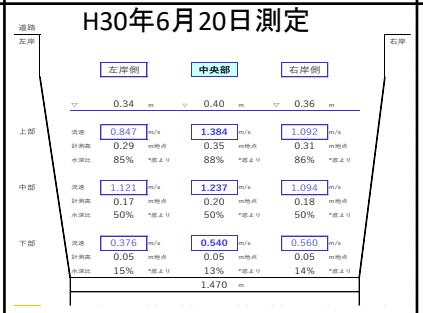
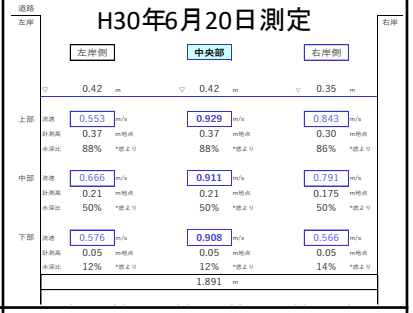
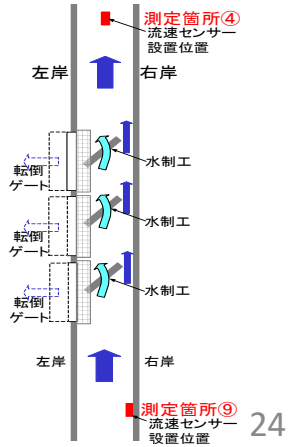
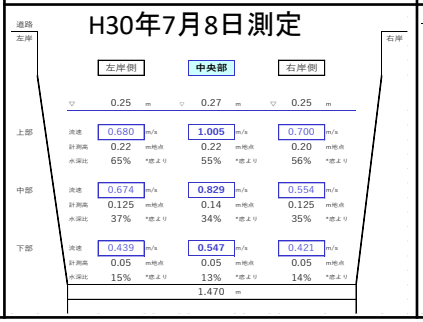
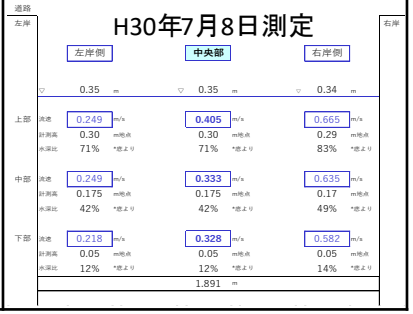
＜ポータブル式流速計※による流速分布計測＞

◆ バイパス管への分水流量を算定する上で重要となる測定箇所⑨、④については、ポータブル流速計（電磁式）を用いて水路内の流速分布を計測するとともに、固定式流速計の計測結果と比較した。

＜水路内の流速分布計測の計測結果＞

	測定箇所⑨	測定箇所④
断面形状	台形水路	矩形水路
横断方向の流速分布	左右岸端部より中央部が高い一般的な分布	水深が低い場合に右岸側の流速が早くなる 水深が高くなると一般的な分布に近づく
鉛直方向の流速分布	流速変化あり（上部が高く、下部が低い）	流速変化は極めて少ない

横断部中央の平均流速で断面流速を評価可能と判断

	測定箇所⑨（分水施設工上流側）	測定箇所④（分水施設工下流側）	測定箇所⑦（排水機場上流）
固定式流速計の設置位置と測定範囲			
			
	【測定範囲】 主に水深0.1m付近の右岸から概ね水路中心部迄の範囲(平均)	【測定範囲】 主に水路中心付近の概ね全水深の範囲(平均)	【測定範囲】 主に水路中心付近の概ね全水深の範囲(平均)
ポータブル式流速計による流速分布測定	H30年6月20日測定 	H30年6月20日測定 	**※観測地点④の右岸側の流速が高い理由** 水深が低い場合には水制工の影響を受ける 
	H30年7月8日測定 	H30年7月8日測定 	

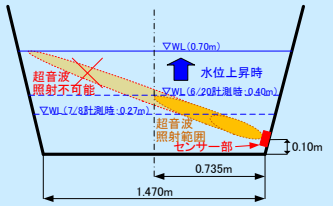
5. 現地観測結果と評価（流速の補正について）

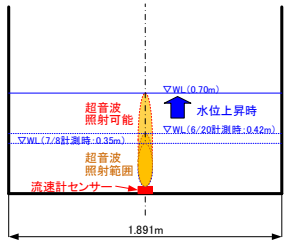
本編P11～

＜鉛直方向の流速分布※と固定式流速計の計測値の比較＞

※ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ式流速計による水路横断方向中央部の測定結果

	測定箇所⑨	測定箇所④
断面形状	台形水路	矩形水路
鉛直方向の流速分布	流速変化あり（上部が高く、下部が低い）	流速変化は極めて少ない
固定式流速計の計測値の評価 （水深0.4m迄）	○中層部の流速を反映 ○ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ式流速計の計測値から求めた平均流速※と概ね一致。 ○固定式流速計は平均流速を計測可能と評価。	○表層部の流速を反映 ○ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ流速計では水面下方の主流速最大値を捉えていない可能性。 ○固定式流速計では主流速最大値を含め平均流速を計測可能と評価。
同上 水深増加時の評価 （水深0.4m以上）	平均流速の計測は困難 ⇒計測値の補正で対応	平均流速の計測が可能





＜測定箇所⑨の流速補正の方法＞

○Vm/Vavg=1となる水深比Hm/H=0.414。水深が0.40mを超える場合に補正が必要と想定して、Hm/H=0.414から計測水深Hm=0.1656m

○具体的な手順は以下の通り。

（Step1）計測水深Hm=0.1656mとして、実水深Hから水深比Hm/Hを算出

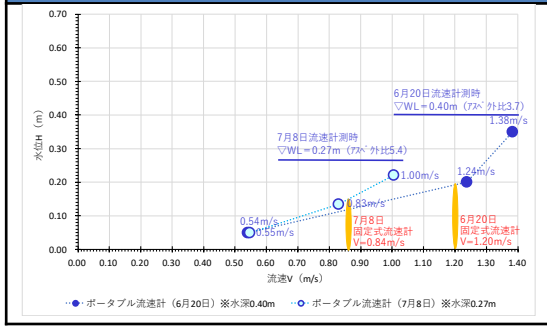
（Step2）Vm/Vavg=0.4012・Ln（Hm/H）+1.3535から、Vm/Vavgを算出

（Step3）Vm/avg⇒Vavg/Vmを算出

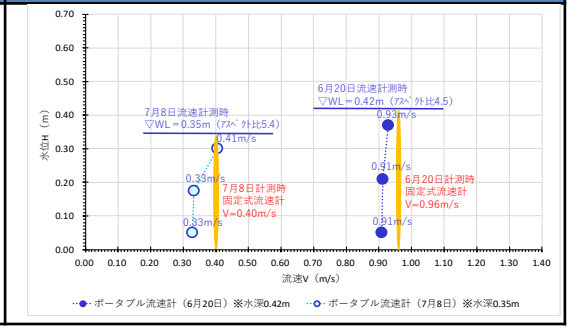
（Step4）計測流速VにVavg/Vmを乗じて平均流速Vavgを算定

水路横断方向中央部における流速の鉛直分布(ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ式流速計による)と同時刻における固定式流速計の計測結果の比較

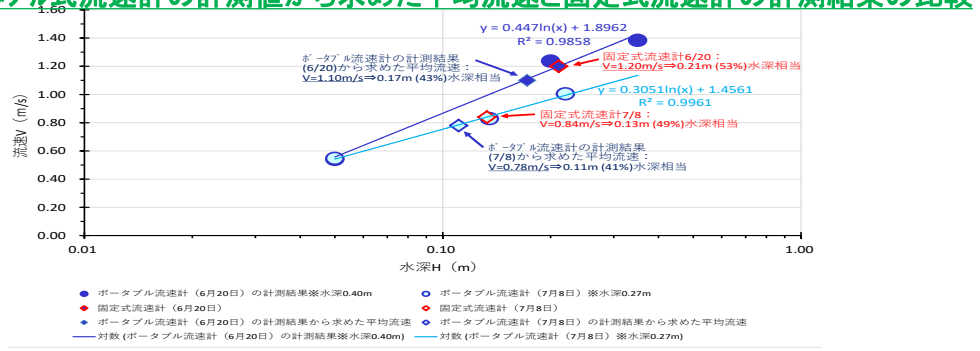
測定箇所⑨（分水施設工上流側）



測定箇所④（分水施設工下流側）

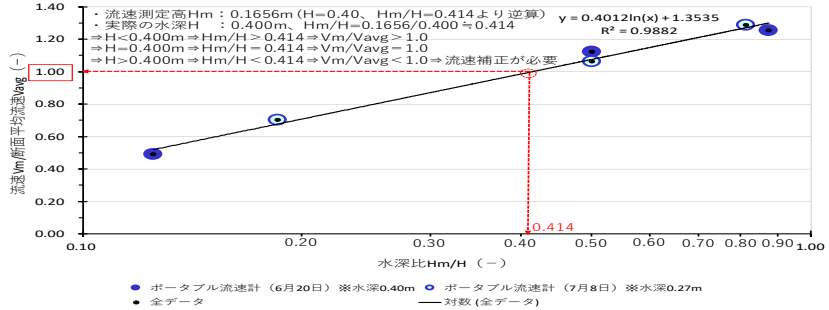


※ﾎﾟｰﾀﾌﾞﾙ式流速計の計測値から求めた平均流速と固定式流速計の計測結果の比較



測定箇所⑨の水深比（Hm/H）と流速比（Vm/Vavg）との関係

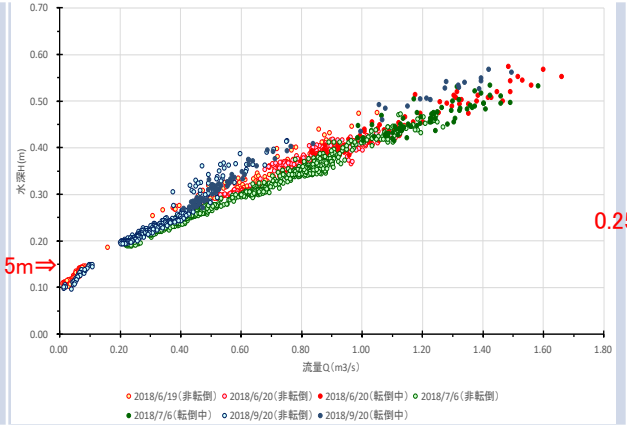
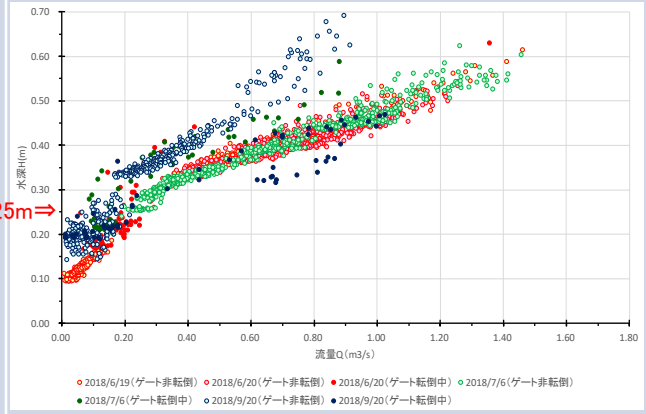
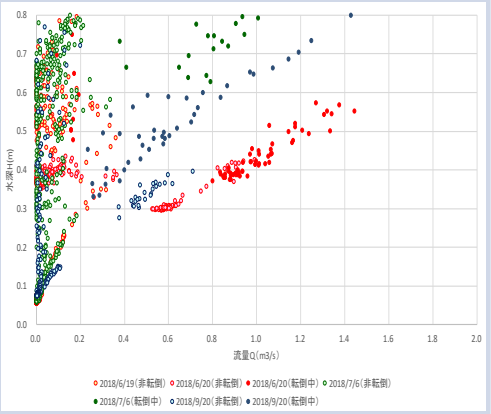
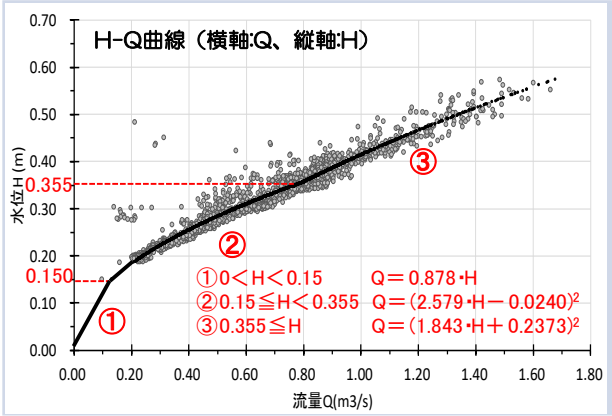
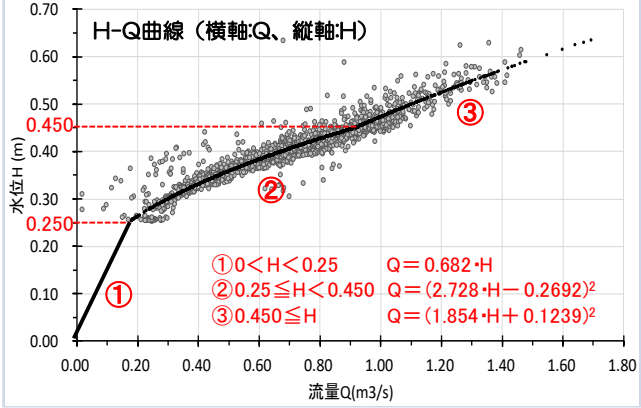
平均流速Vavgに対する計測流速Vmとの比（Vm/Vvg）は、測定水深Hmと水深Hとの比率（水深比Hm/H）との間に対数則が成立すると仮定してプロット



5. 現地観測結果と評価（流量の算定方法、H-Q式）

本編P14～

- 流量Qは、観測水位Hから算定した流水断面積Aに計測された流速Vを乗じることで算定（Q=A・V）されるが、流速計の計測値はばらつきが大きいため、H-Qに相関が認められる測定箇所⑨と④についてはH-Q式を作成して、流量Qを算定。（測定箇所⑦については、H-Q式を用いず観測水位Hと流速Vから流量Qを算定）
- H-Q式は、低水位（測定箇所⑨では0.15m未満、測定箇所④では0.25m未満）のデータ並びにその他相関が低いデータ（9/20のゲート非転倒時のデータ等）を除外したH-√Q曲線より係数を決定して求めた。

	測定箇所⑨（分水施設工上流側）	測定箇所④（分水施設工下流側）	測定箇所⑦（排水機場上流）
H-Q曲線（プロット）			
(H-√Q) <略>			
H-Q式			― （H-Q式は作成しない）

5. 現地観測結果と評価（施設稼働状況の一覧）

本編P16～

◆ 観測期間中において、警報発令された降雨のうち、ポンプが稼働した3降雨（6/19～20、7/6～7、9/20）を対象として、観測結果を整理した。

＜ゲートやポンプの稼働条件＞

- ●4流入調整ゲート（麹川ゲート）は、麹川外水位（TP+6.6m以上）で閉鎖し、麹川へ排水されていた雨水が小山田川（本川）へ流下する。
- ●2分水ゲートは、①小山田川水位（+0.7m以上）or ②井芦川水位（TP+7.3m以上）or ③麹川水位（TP+6.6m以上）の条件で転倒する。
- ●２分水ゲートの転倒と連動して、3導水路流入ゲート（小山田排水機場への流入ゲート）が開放される。
- ●5小山田川排水ゲート（井芦川ゲート）は井芦川水位が+7.3m以上で閉鎖し、それと連動して6小山田川流入ゲートが開放され、ポンプ排水区に切り替わる。

平成30年の主な降雨と施設稼働状況

		4/14	4/24	5/2	5/7	6/8	6/19	6/20	6/29	7/6	7/7	9/20
警報発令	大雨						○	○	○	○	○	○
(熊本市)	洪水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
降雨量	総雨量	43.0	121.5	41.5	39.0	33.0	101.0	103.5	18.0	133.0	43.5	146.0
	1時間最大	11.0	24.5	9.5	9.5	30.0	32.0	29.5	9.5	19.5	22.5	56.5
	10分間最大	4.0	8.0	3.5	6.5	8.0	7.0	12.5	5.5	6.5	8.5	11.5
施設稼働状況	小山田排水機場ポンプ運転							○		○	○	○
	分水ゲート開放(転倒)		○				○	○		○	○	○
	流入調整ゲート(麹川ゲート)閉鎖							(○)		○	○	○
	排水ゲート(井芦川ゲート)閉鎖							(○)		○	○	○
ポンプ運転水位	1台目	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	6.60
(TP+m)	2台目	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	6.80
ポンプ運転実績	ポンプ井最大水位						5.32	7.21		7.23	7.08	6.78
(TP+m)	ポンプ運転台数						0	1		2	1	2
外水位	麹川						6.53	6.92		7.12	7.90	7.51
(TP+m)	井芦川						6.95	7.39		7.51	8.12	7.77

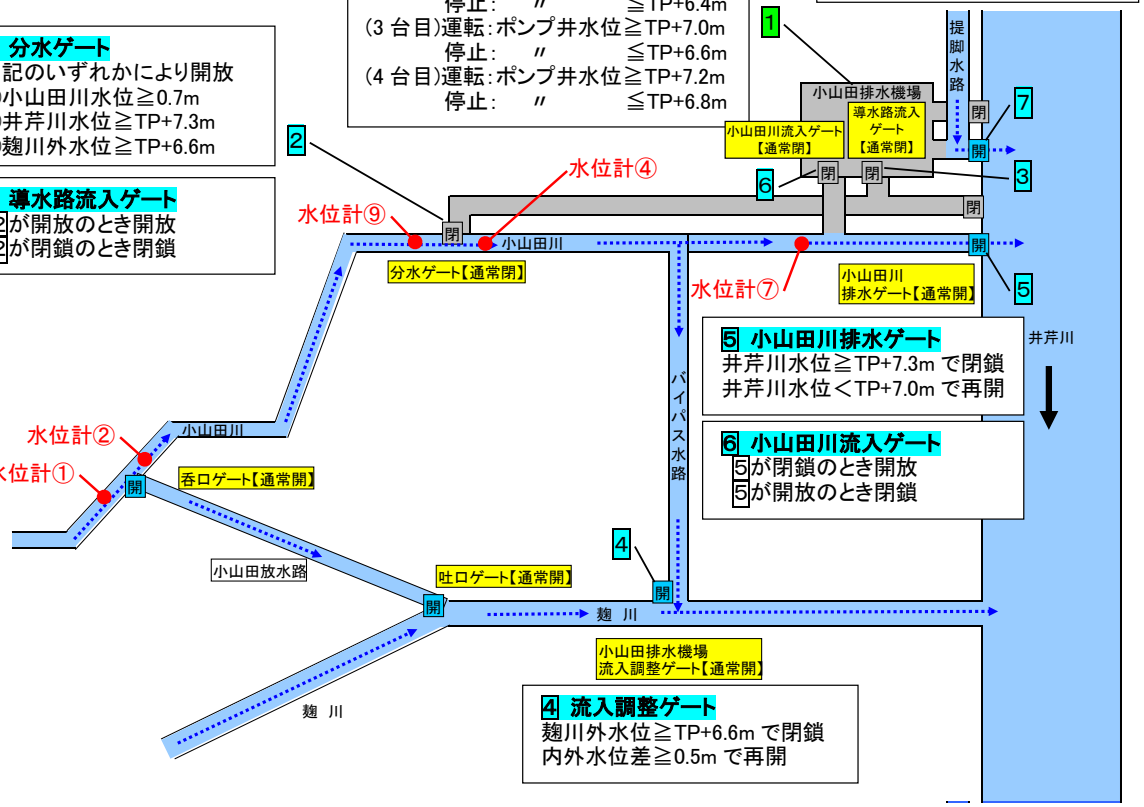
いずれの降雨も浸水発生なし

1 ポンプの運用条件 ※H30.9.15 以降
(1 台目)運転：ポンプ井水位≧TP+6.6m
停止：〃 ≦TP+6.2m
(2 台目)運転：ポンプ井水位≧TP+6.8m
停止：〃 ≦TP+6.4m
(3 台目)運転：ポンプ井水位≧TP+7.0m
停止：〃 ≦TP+6.6m
(4 台目)運転：ポンプ井水位≧TP+7.2m
停止：〃 ≦TP+6.8m

2 分水ゲート
下記のいずれかにより開放
①小山田川水位≧0.7m
②井芦川水位≧TP+7.3m
③麹川外水位≧TP+6.6m

3 導水路流入ゲート
2が開放のとき開放
2が閉鎖のとき閉鎖

7 堤脚水路排水ゲート
井芦川水位≧TP+7.0m で閉鎖
井芦川水位＜TP+6.7m で再開



5 小山田川排水ゲート
井芦川水位≧TP+7.3m で閉鎖
井芦川水位＜TP+7.0m で再開

6 小山田川流入ゲート
5が閉鎖のとき開放
5が開放のとき閉鎖

4 流入調整ゲート
麹川外水位≧TP+6.6m で閉鎖
内外水位差≧0.5m で再開

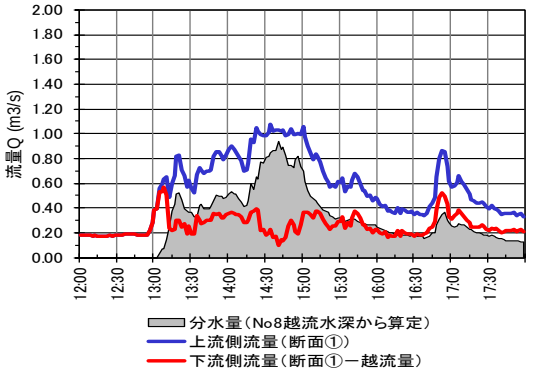
5. 現地観測結果と評価（観測流量の評価）

本編P16～

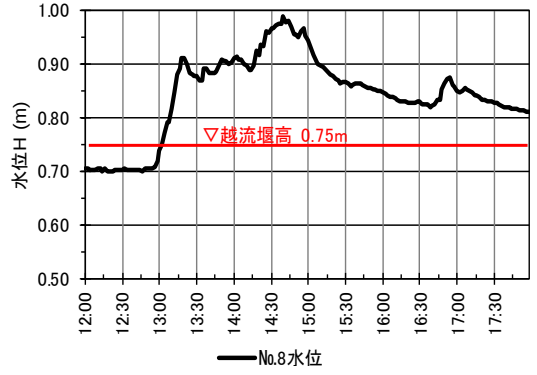
- 9月20日の降雨は、1時間最大降雨量が56.5㎜で計画降雨とほぼ同規模であるにも関わらず、分水地点の最大流量は約1.65m³/sであり、計画流量（6.15m³/s）より少なかった。また、バイパス管への分水量は最大で約0.66m³/sであった。
- 小山田川上流の麹川バイパス地点の最大流量は約1.1m³/sであり、計画流量（8.53m³/s※）と比較して少なく、これは流域上流（山間部）からの雨水流出量の違いと考えられた。また、麹川へのバイパス流量は、最大約0.9m³/sであり、分水機能は有効に発現していた。※麹川バイパス部下流の計画流量：上流からの流量8.53－麹川バイパス流量3.04＝5.49m³/s
- 小山田排水機場への流入量は最大で約2.9m³/s、また総流入量は約1.5万m³と推定され、これはポンプ能力と運転時間から算定した排水量（1.7万m³）と概ね一致した。

麹川バイパス（小山田放水路）

◆9/20流量（上流、下流、分水）

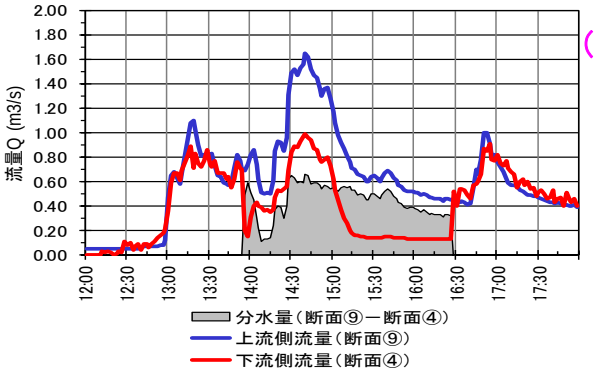


◆9/20水位（小山田川（越流部））

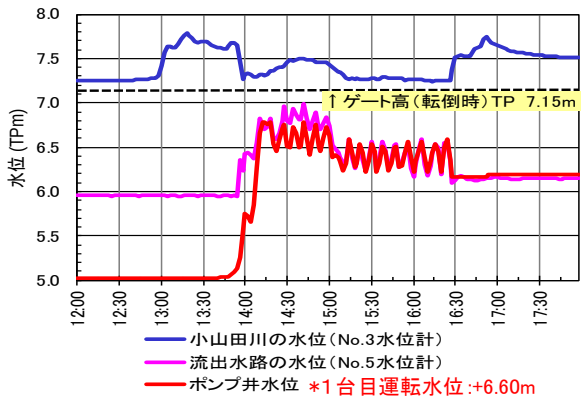


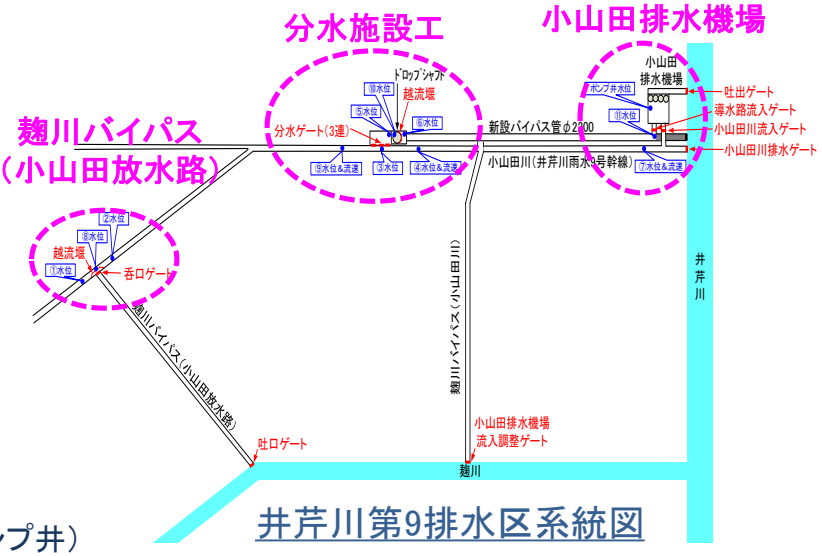
分水施設工

◆9/20流量（上流、下流、分水）



◆9/20水位（小山田川、流出水路、ポンプ井）

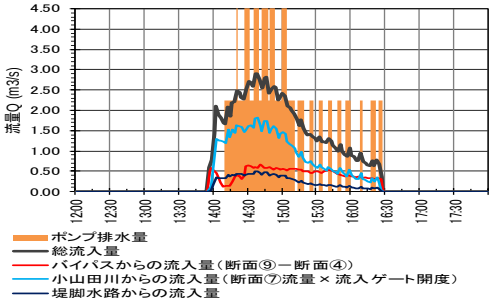




井芹川第9排水区系統図

小山田排水機場

◆9/20排水機場流入量/排水量



◆9/20流量収支

		最大流量 (m3/s)	総水量 (m3)
流入量【Qin】	バイパス	0.66	4,117
	小山田川	1.82	8,571
	堤脚水路	0.50	2,338
	総流入量	2.90	15,026
ポンプ排水量【Qout】		4.50	17,145

＊堤脚水路は想定値

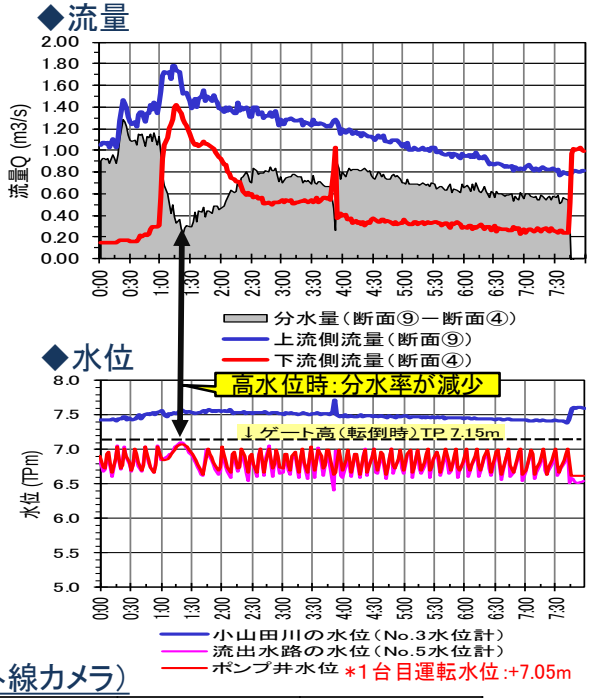
5. 現地観測結果と評価（分水率の評価）

本編P16～

- バイパス管への分水率は平均すると55～86%程度と算定された。
- 6月20日や7月6～7日においてはポンプ井水位が上昇すると、潜り越流状態となり分水量が減少する時間帯があったが、ポンプ稼働により解消されるため、長時間継続することはなかった。一方、ポンプ稼働水位変更後の9月20日においては、潜り越流現象自体が解消されている。（※H30.9.15にポンプ運転水位（1台目）を+7.05m⇒+6.60mに変更）

日付	時刻	区分	上流側流量（m³/s）	下流側流量（m³/s）		分水量（m³/s）		ポンプ井水位（TP+m）
6/20	①2：14～2：38	最大	1.68	1.67	－	1.43	－	7.080
		平均	1.36	0.38	28%	0.98	72%	6.288
	②3：00～4：22	最大	1.43	1.28	－	1.27	－	7.210
		平均	1.03	0.23	22%	0.80	78%	6.870
	③12：58～13：52	最大	1.50	0.88	－	1.34	－	7.080
		平均	1.18	0.17	14%	1.01	86%	6.789
7/6	④21：40～23：58	最大	1.50	1.69	－	1.08	－	7.230
		平均	1.20	0.48	40%	0.72	60%	6.715
7/7	⑤0：00～7：46	最大	1.78	1.42	－	1.29	－	7.080
		平均	1.16	0.47	41%	0.69	59%	6.845
9/20	⑥13：56～16：28	最大	1.65	0.99	－	0.66	－	6.780※
		平均	0.82	0.37	45%	0.45	55%	6.409※

7/7　分水施設工の流量・水位



◆越流状態の区分について

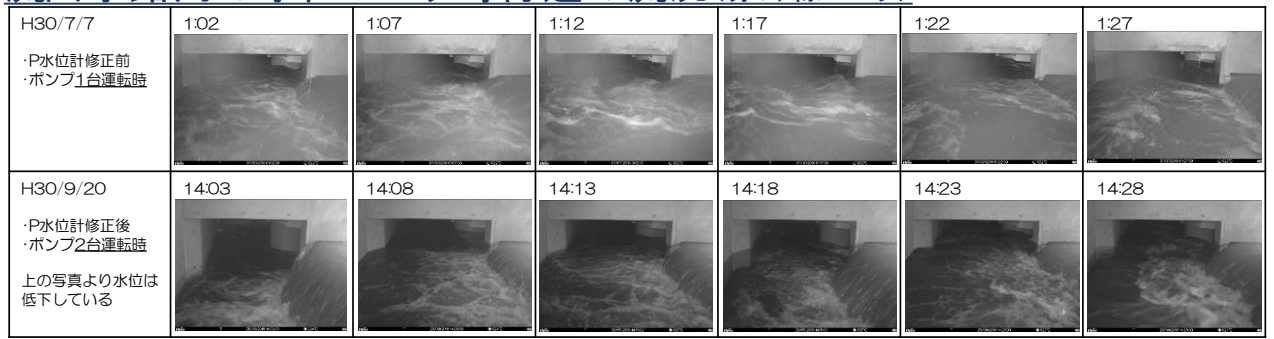
ゲート非転倒

ゲート 転倒

水位低　水位高

完全越流　潜り越流

◆流出水路内の水位ピーク時付近の流況（赤外線カメラ）



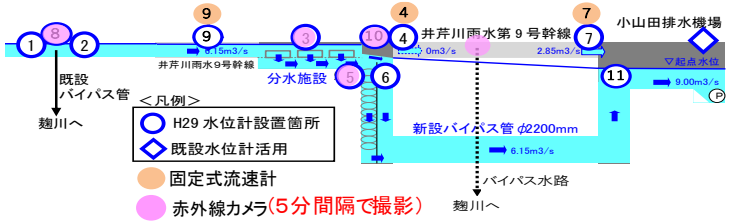
5. 現地観測結果と評価（赤外線カメラによる分水機能の評価）

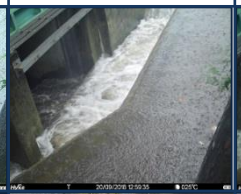
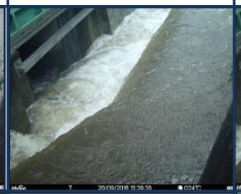
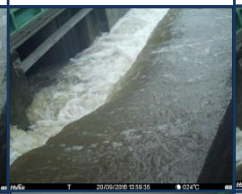
熊本市上下水道局
Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau

本編P16～

- ◆ 上流側の麹川バイパスは、越流堰による分水が十分に機能していた。
- ◆ 下流側の麹川バイパスは、流入調整ゲート（麹川ゲート）が閉鎖すると、水位が上昇し、小山田川（本川）方向へ逆流する。
- ◆ 分水ゲートの転倒時において、小山田川（本川）での逆流（下流側から引き込む）現象が確認された。

赤外線カメラの設置位置図



	降雨前	上流側麹川バイパス越流直後	流入調整ゲート閉鎖直前	分水ゲート転倒直後（流入調整G閉鎖）	ポンプ1台目運転直前	ポンプ2台目運転後	分水ゲート復帰前（流入調整G閉鎖）	分水ゲート復帰直後（流入調整G開放）
	12:30頃	13:00頃	13:40頃	14:00頃	14:10頃	14:30頃	16:00頃	16:30頃
上流側麹川バイパス（越流堰部）⑧								
下流側麹川バイパス（小山田川合流部）〇								
分水施設工（外部：流入水路側）③								
分水施設工（内部：流出水路側）⑤								

5. 現地観測結果と評価（バイパス管の損失評価）

本編P19～

①伏せ越し部の上下流の水位差（H6-H11）

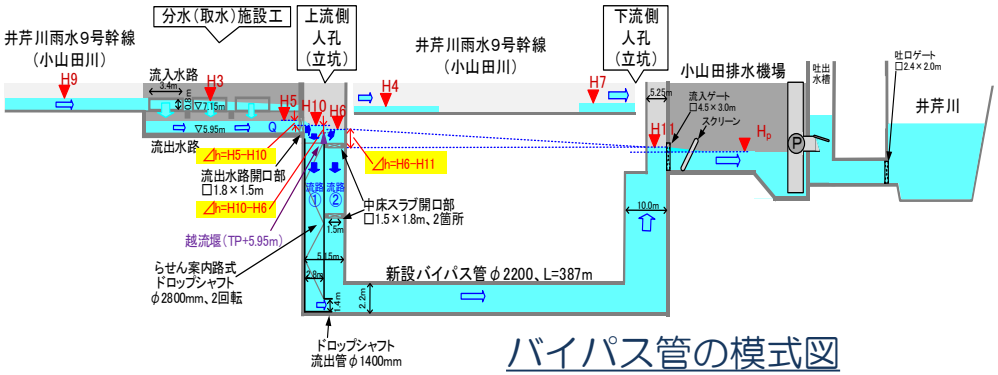
- 詳細設計と同一の方法で損失計算を行うと、分水量の平均流量Q=0.60m³/sに対し、損失水頭は0.012mとなる。
- 実測値では、H6-H11の平均値は0.02mとなったが、時刻によって正/負の値が入れ替わることから、水位差（損失）は定量化が困難なほど小さいと考えることができ、上述の詳細設計の計算方法で求めた損失水頭とほぼ同等といえる。（計画流量6.15m³/s相当の流入量が生じた場合には留意が必要）

②ドロップシャフト流入部とバイパス管起点の水位差（H10-H6）

- H10-H6の平均値は0.08mであった。これはドロップシャフトによる損失とドロップシャフト前部の越流堰を超える流れにより発生する損失が原因と考えられる。（当初設計では考慮していない。）

③流出水路とドロップシャフト流入部の水位差（H5-H10）

- H5-H10の平均値は0.05mであった。これは流出水路と落差マンホールの接続部で損失水頭が原因と考えられる。（当初設計では考慮していない。）



バイパス管の模式図

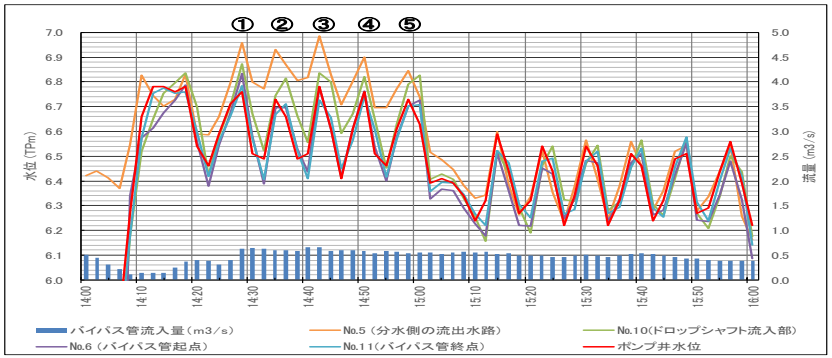
H30.9.20降雨における水位観測データー覧

	時刻	バイパス管流入量（m3/s）	水位（TPm）					水位差（m）				
		Q	H5	H10	H6	H11	Hp	H5－H10	H10－H6	H6－H11	H11－Hp	H5－Hp
	14:10	0.138	6.826	6.520	6.574	6.573	6.660	0.306	−0.054	0.001	−0.087	0.166
	14:12	0.138	6.744	6.651	6.615	6.754	6.780	0.093	0.036	−0.139	−0.026	−0.036
	14:14	0.147	6.703	6.754	6.673	6.776	6.780	−0.051	0.081	−0.103	−0.004	−0.077
	14:16	0.243	6.729	6.795	6.726	6.755	6.760	−0.066	0.069	−0.029	−0.005	−0.031
	14:18	0.378	6.830	6.836	6.788	6.759	6.780	−0.006	0.048	0.029	−0.021	0.050
	14:20	0.404	6.590	6.698	6.560	6.597	6.540	−0.108	0.138	−0.037	0.057	0.050
	14:22	0.393	6.587	6.422	6.380	6.419	6.460	0.165	0.042	−0.039	−0.041	0.127
	14:24	0.307	6.659	6.581	6.542	6.559	6.590	0.078	0.039	−0.017	−0.031	0.069
	14:26	0.400	6.795	6.705	6.675	6.661	6.710	0.090	0.030	0.014	−0.049	0.085
①	14:28	0.624	6.957	6.873	6.834	6.784	6.760	0.084	0.039	0.050	0.024	0.197
	14:30	0.650	6.801	6.672	6.579	6.571	6.510	0.129	0.093	0.008	0.061	0.291
	14:32	0.630	6.772	6.523	6.388	6.407	6.490	0.249	0.135	−0.019	−0.083	0.282
	14:34	0.592	6.930	6.744	6.696	6.668	6.730	0.186	0.048	0.028	−0.062	0.200
②	14:36	0.605	6.870	6.816	6.696	6.712	6.660	0.054	0.120	−0.016	0.052	0.210
	14:38	0.589	6.805	6.661	6.529	6.523	6.490	0.144	0.132	0.006	0.033	0.315
	14:40	0.663	6.817	6.556	6.436	6.410	6.510	0.261	0.120	0.026	−0.100	0.307
③	14:42	0.656	6.984	6.837	6.777	6.727	6.780	0.147	0.060	0.050	−0.053	0.204
	14:44	0.580	6.831	6.798	6.612	6.655	6.610	0.033	0.186	−0.043	0.045	0.221
	14:46	0.592	6.708	6.591	6.414	6.448	6.410	0.117	0.177	−0.034	0.038	0.298
	14:48	0.594	6.804	6.672	6.609	6.565	6.610	0.132	0.063	0.044	−0.045	0.194
④	14:50	0.577	6.900	6.822	6.762	6.742	6.760	0.078	0.060	0.020	−0.018	0.140
	14:52	0.542	6.696	6.651	6.537	6.607	6.510	0.045	0.114	−0.070	0.097	0.186
	14:54	0.577	6.695	6.452	6.401	6.414	6.460	0.243	0.051	−0.013	−0.046	0.235
	14:56	0.561	6.772	6.628	6.577	6.569	6.610	0.144	0.051	0.008	−0.041	0.162
	14:58	0.544	6.844	6.790	6.703	6.701	6.730	0.054	0.087	0.002	−0.029	0.114
⑤	15:00	0.554	6.738	6.828	6.726	6.709	6.630	−0.090	0.102	0.017	0.079	0.108
	15:02	0.548	6.516	6.405	6.327	6.358	6.390	0.111	0.078	−0.031	−0.032	0.126
	15:04	0.527	6.486	6.429	6.366	6.394	6.410	0.057	0.063	−0.028	−0.016	0.076
	15:06	0.557	6.445	6.406	6.361	6.391	6.390	0.039	0.045	−0.030	0.001	0.055
	15:08	0.561	6.382	6.331	6.292	6.344	6.340	0.051	0.039	−0.052	0.004	0.042
	15:10	0.554	6.330	6.255	6.225	6.266	6.240	0.075	0.030	−0.041	0.026	0.090

H5：流出水路水位、H10：ドロップシャフト流入部水位、H6：バイパス管起点水位、H11：バイパス管終点水位、Hp：ポンプ井水位

ポンプ2台運転　着色なし ポンプ1台運転　赤字：最大値

H30.9.20降雨における各地点水位の経時変化



バイパス管の損失算定結果

①～⑤の平均値

項目		記号	平均値	水位差		
流量(m3/s)	バイパス管流入量	Q	0.60		実測値	計算値
水位(TPm)	流出水路	H5	6.89	H5−H10=	0.05	—
	ドロップシャフト流入部	H10	6.84	H10−H6=	0.08	—
	バイパス管起点	H6	6.76	H6−H11=	0.02	0.012
	バイパス管終点	H11	6.73	H11−Hp=	0.02	—
	ポンプ井	Hp	6.72			

5. 現地観測結果と評価（夾雑物の堆積状況）

本編P22～

- ◆ 平成28年6月20日の降雨後は、スクリーンに付着した草木等が開口部の高さの半分以上塞いでいた。
- ◆ 平成30年9月20日の降雨後は、草木等がスクリーンに付着しているものの、開口部から離したため、分水ゲート前の開口部は確保されている。
- ◆ スクリーンの改良による分水促進効果が確認できた。

H28/6/20の降雨後	H30/9/20の降雨後

5. 現地観測結果と評価（現地観測結果のまとめ）

本編P22～

区分	要因	想定される事象	今回の調査の結果
対策施設の構造的要因	①バイパス管への分水施設構造	● 横越流方式のため、井芹川雨水第9号幹線（小山田川）の直進する流れを十分に分水できない。 ● 分水ゲート手前のスクリーンが樹木や落ち葉で塞がれることにより、分水が阻害される。	● 調査の結果、分水率は6～8割程度の結果が得られている。これには起動条件の変更や分水施設の改造の効果が寄与しているものと考えられるが、これ以外に麹川からの影響も考えられるため、シミュレーションにより水理的な現象を検証していく。 ● ごみについては、H28.6.20時点では、草木等でゲート開口部が半分以上閉塞されていたものの、スクリーンの改良を行ったため、H30.9.20では、開口の閉塞が解消されていた。
	②バイパス管の伏せ越し構造	● ポンプ井の水位設定が上流側での分水機能に影響する。 ● 落差マンホールの減勢工（ドロップシャフト）等で発生する損失により、バイパス管上流部の同水位が上昇し、小山田川からの分水に支障を及ぼす。	● 浸水当時と比べて水位設定を下げて運用していること、及びポンプ井水位計の誤差（45㎝）見直しにより下流側への水位低下が確認され、分水機能への影響の低減が確認された。 ● 損失については、観測時の平均流量を基に、計算値と実測水位差を比較した結果、ほぼ同等であると評価できた。（ただし、計画流量6.15m^3/s相当の流入量が生じた場合には留意が必要）
その他の要因	③計画流量と実流量の差異（対策施設の能力を超える過剰流入）	● 計画区域外からの流入。 ● 雨水流出量（流出係数）の増加。 ● 麹川への分水量の不足。 ● 麹川のゲート閉鎖時における小山田川の逆流。	● 調査実施前に懸念された計画区域外と実流量との差異については、過剰流入ではなく、むしろ想定よりかなり少ない流入量であることが降雨強度と比べて各地点で得られた流速・水位データから確認された。 ● 麹川バイパスにおいて、強降雨時に調整ゲートが閉鎖することで、麹川流域の雨水が小山田川へ流入することが確認された。

6. シミュレーション（目的と検討フロー）

本編P25～

■目的
①浸水原因の検証②当市の対策効果の検証③対策効果が不十分な場合の改善策の検討

- 「熊本市下水道浸水対策計画策定業務委託」にて構築したモデル（以下、既往モデルという）を活用
- 主要幹線の現地測量、流域界の踏査を実施し、既往モデルを改良（以下、H30モデルという）
- H30モデルをベースに、各種ゲート（流入調整ゲート、小山田川排水ゲート、分水ゲート等）の条件設定を追加
- 分水構造、ドロップシャフト、バイパス管（吹かし上げ構造）をモデル化
- 小山田川排水機場の条件設定を追加

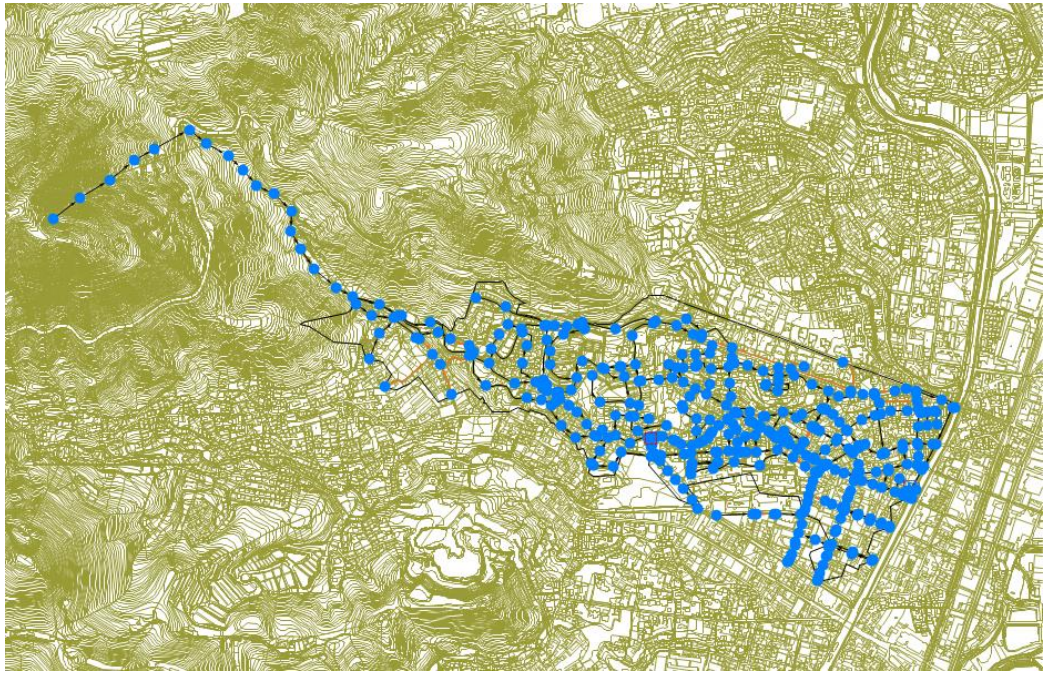


図　シミュレーションモデル平面図

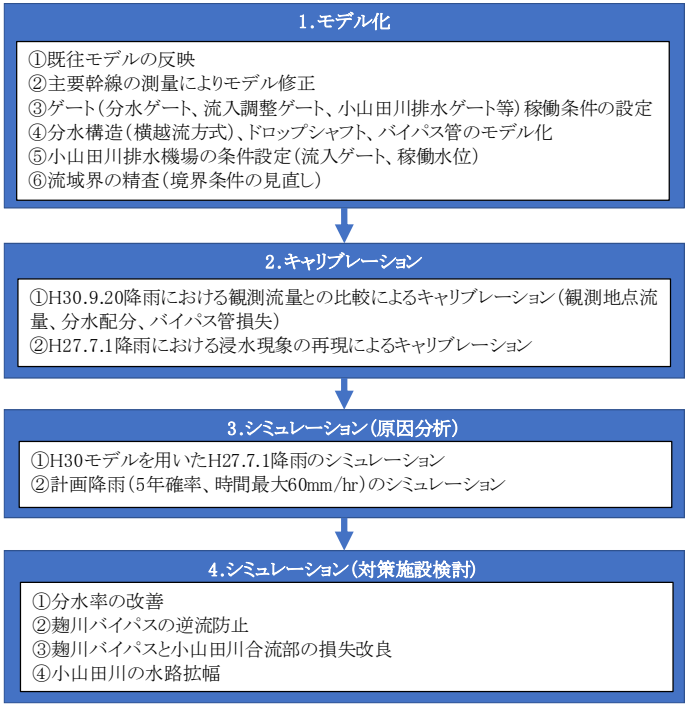


図　シミュレーション検討フロー図

6. シミュレーション（モデル検討条件）

本編P25～

◆ キャリブレーションの対象降雨は、観測期間中に分水ゲートが転倒したH30.9.20降雨（浸水無）及び過去に浸水したH27.7.1降雨の2降雨を選定。

◆ モデルの再現性を高めるために、損失特性、分水特性、流入条件、ポンプ運転条件、外水位を設定。

◆ 当市がこれまで実施してきた、ドロップシャフト内の堰の切り下げ、分水ゲート部の底部突起工、夾雑物除去対策、ポンプ運転条件をモデル化。（※右表黄色着色部）

◆ 流出係数：区域内0.55

区域外0.30（＋流出抑制機能を考慮）

※既往設計：区域内0.55、区域外0.40

◆ H30.9.20降雨では、観測結果を基に再現性を確認。

◆ H27.7.1降雨では、浸水実績との整合性を確認。

キャリブレーション対象降雨の比較

対象降雨	総降雨量（mm）	時間最大（mm）	10分最大（mm）
H30.9.20	146.0	56.5	11.5
H27.7.1	135.5	36.5	10.5

表　検討条件一覧

項目		ノード・リンク名	備考	2018.9.20	2015.7.1
損失特性	ドロップシャフト側壁部開口	Link488	入口損失	0.25	0.25
			出口損失	0.25	0.25
	ドロップシャフト内	Link455	入口損失	10	10
			出口損失	10	10
	ドロップシャフト堰	Link456	堰長（m）	2.46	2.46
			堰高（m）	5.95	6.37
	ドロップシャフト外	Link487	入口損失	0.25	0.25
			出口損失	0.25	0.25
分水特性	転倒条件※1			実績と整合を図り井芹川の水位等より設定	実績と整合を図り井芹川の水位等より設定
	底部突起※2		粗度係数で表現	0.04	0.02
	分水阻害（夾雑物の詰まり）※3		流量係数（堰で表現）	0.2	0.2
			天端高−堰高（m）	2.00	1.45
流入条件	境界条件			流域踏査により確定	同左
	流出係数			区域内：0.55相当 区域外：0.30相当	同左
ポンプ運転条件	1台目	Pump_Link	開始水位	6.60	7.25
			停止水位	6.20	6.85
	2台目		開始水位	6.80	7.75
			停止水位	6.40	7.25
	3台目		開始水位	7.00	8.55
			停止水位	6.60	8.05
	4台目		開始水位	7.20	9.05
			停止水位	6.80	8.55
外水位	麹川	1001015cc		実測値	実測値
	井芹川	PST−Out Iseri−Out1 Iseri−Out2		実測値	実測値

変更箇所

※1：分水ゲートの転倒条件は、実状を基に設定している。

※2：熊本市が実施した底部突起工の対策効果を粗度係数（未対策0.02、対策0.04）で表現した。

※3：夾雑物除去工の対策効果をバイパス管への開口高さ（天端高－堰高）で表現した。（未対策時1.45m、対策時2.00m）

6. シミュレーション（キャリブレーション①（H30.9.20））

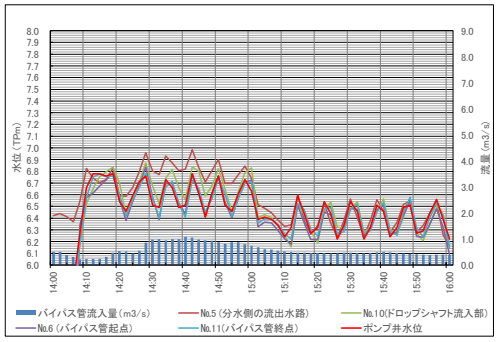
本編P26～

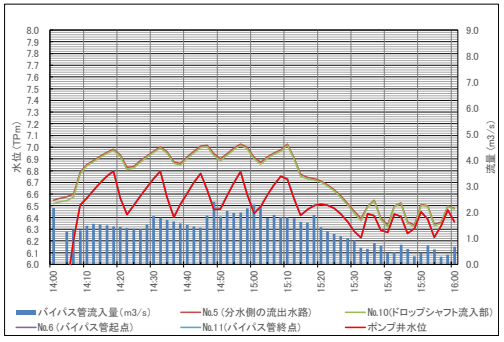
- ◆ 分水率は、実測値55%に対して、解析値90%（逆流現象）
- ◆ バイパス管起点部と終点部の水位差は、実測値ほぼゼロに対して、解析値13㎝
- ◆ 各観測値点のピーク流量、時系列とも再現性は良好。

表　分水率の比較

項目	時刻	区分	上流側 m³/s	下流側		分水量	
				m³/s	%	m³/s	%
実測値	13：56 ～ 16：28	最大	1.65	0.99	—	0.66	—
		平均	0.82	0.37	45%	0.45	55%
解析値	13：56 ～ 16：28	最大	2.15	1.47	—	1.61	—
		平均	1.03	0.28	27%	1.04	90%

※実測値は分水地点上流流量-分水地点下流流量で分水量を算定

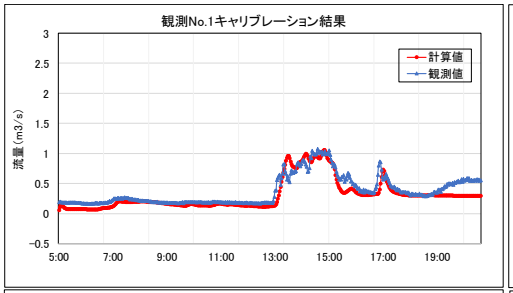


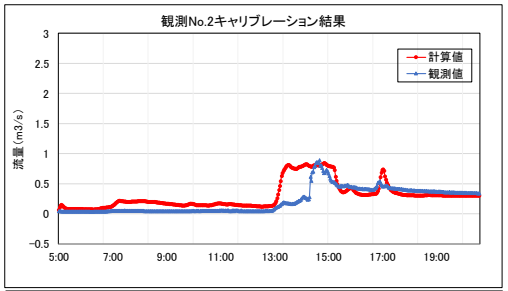


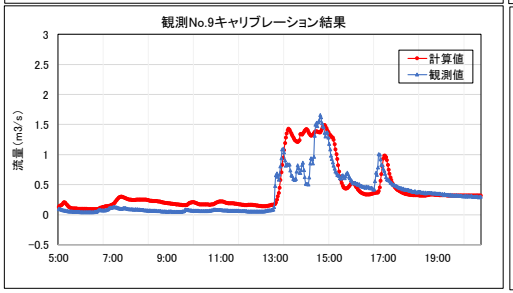
項目		記号	平均値	水位差		
					実測値	計算値
流量(m3/s)	バイパス管流入量	Q	0.60			
水位(TPm)	流出水路	H5	6.89	H5−H10=	0.05	—
	ドロップシャフト流入部	H10	6.84	H10−H6=	0.08	—
	バイパス管起点	H6	6.76	H6−H11=	0.02	0.03
	バイパス管終点	H11	6.73	H11−Hp=	0.02	—
	ポンプ井	Hp	6.72			

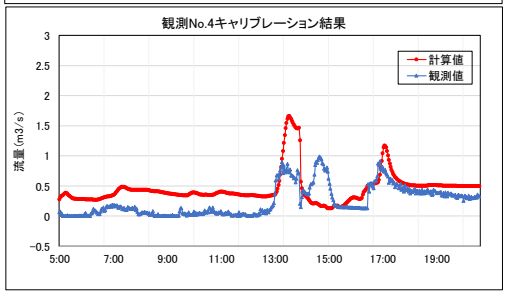
項目		記号	平均値	水位差		
					計算値	実測値
流量(m3/s)	バイパス管流入量	Q	1.79			
水位(TPm)	流出水路	H5	6.79	H5−H10=	0.00	0.11
	ドロップシャフト流入部	H10	6.79	H10−H6=	0.04	0.10
	バイパス管起点	H6	6.74	H6−H11=	**0.13**	0.00
	バイパス管終点	H11	6.61	H11−Hp=	0.01	−0.01
	ポンプ井	Hp	6.61			

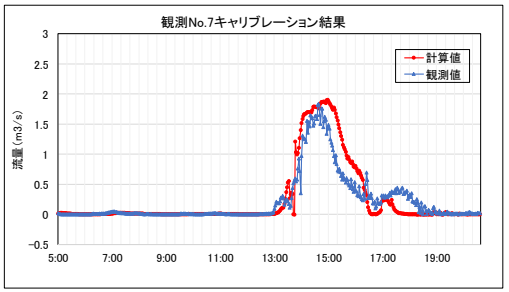
図　バイパス管内水位変動の比較

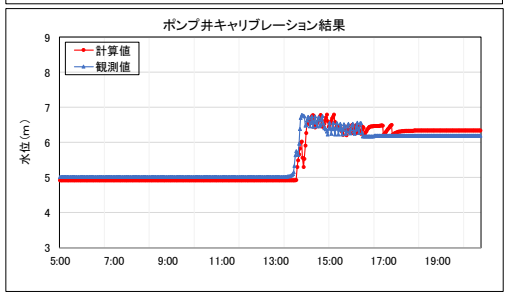


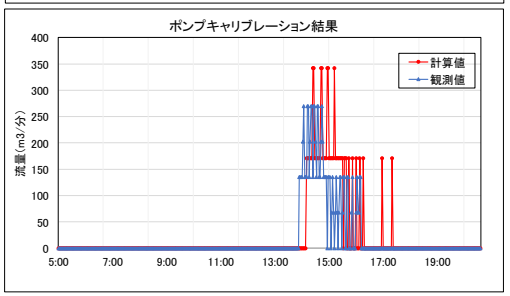












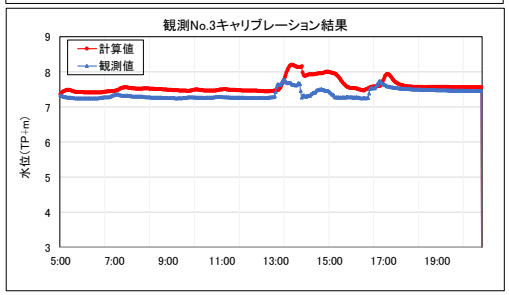


図　観測地点流量及び水位の比較

6. シミュレーション（キャリブレーション②（H27.7.1））

本編P27～

- 浸水発生箇所は、実績と解析範囲の整合が図れている。
- シミュレーションにおける浸水量は約250m^{3}であり、浸水箇所の総延長約200m、道路幅員約7m（水路含む）とすると、浸水深は約20㎝程度（250÷（200×7）＝0.18m）となり、実際の浸水深と概ね整合が図れている。

※2次元の氾濫解析は実施していないため、あくまで参考値である。

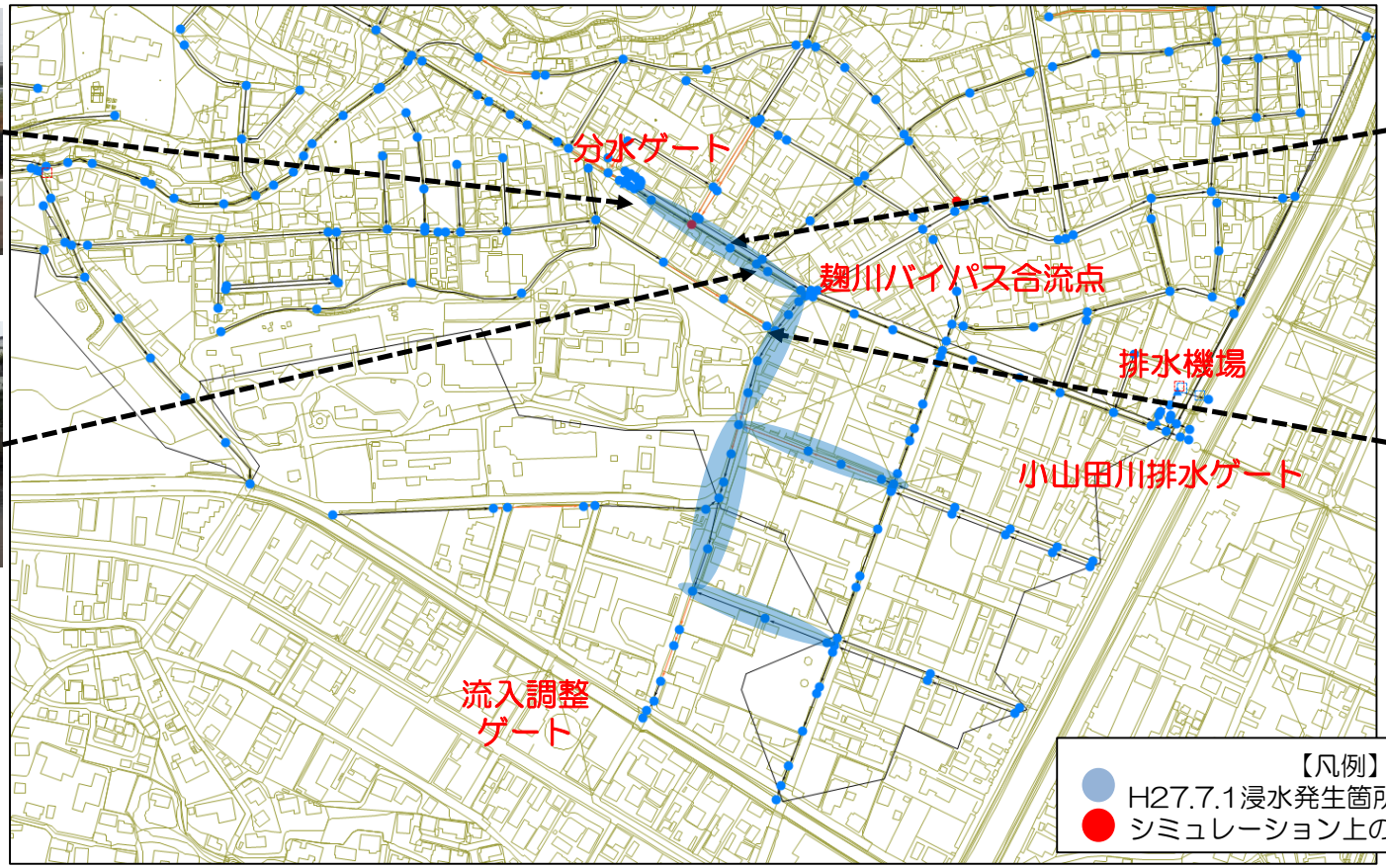


図　浸水発生箇所の比較

6. シミュレーション（H30モデルによるH27.7.1降雨の再現①）

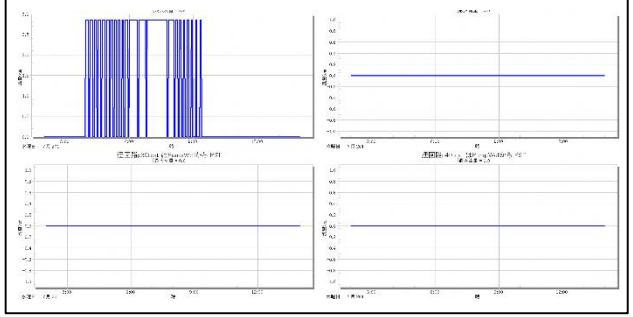
本編P30～

- H30モデルを用いてH27.7.1降雨をシミュレーションした結果、浸水現象は確認できなかった。
- 底部突起工、夾雑物除去対策を実施したため、分水率が22%から76%に向上している。
- ポンプ起動水位を下げたため、ポンプの稼働時間が増加している。

表　分水率の比較

検討ケース	分水前 m^3/s	分水後 小山田川m^3/s	分水後バイパス管	
			m^3/s	%
H27.7.1の再現結果	0.831	0.810	0.182	22%
H30モデルによるシミュレーション結果	0.831	0.363	0.632	76%

■H27.7.1の再現結果



■H30モデルによるシミュレーション結果

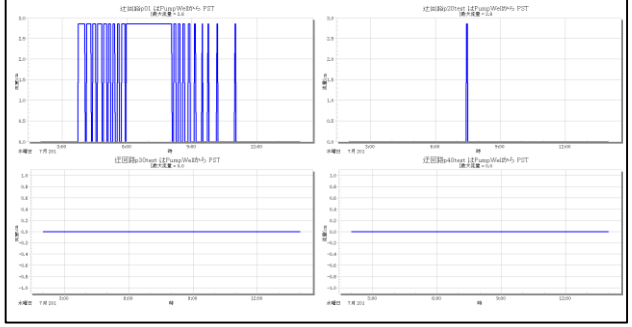


図　ポンプ稼働結果

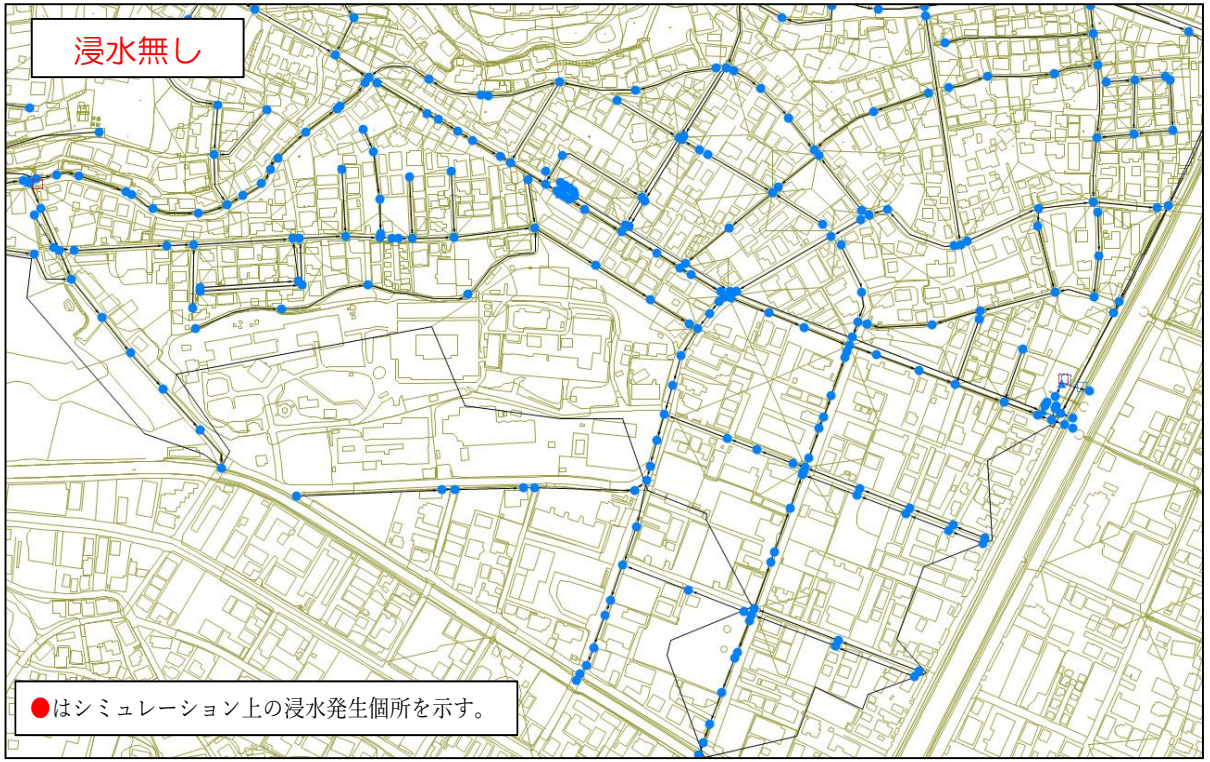
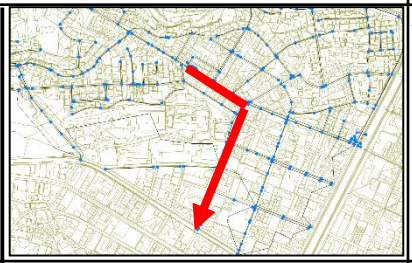
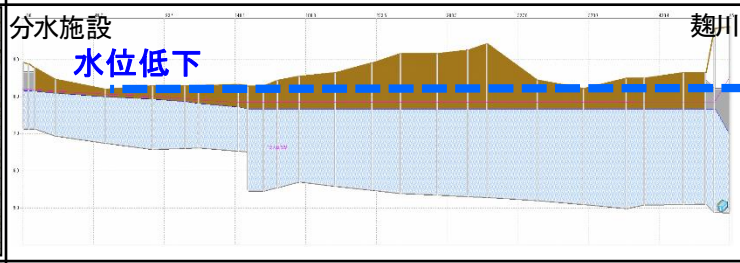
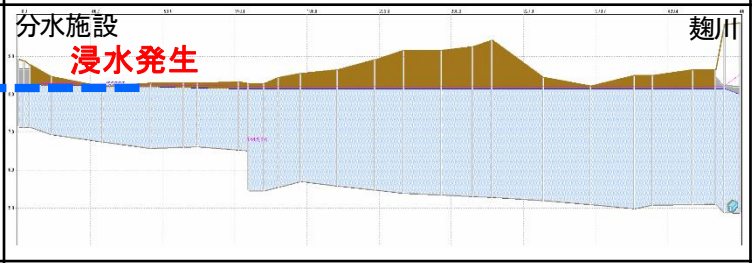
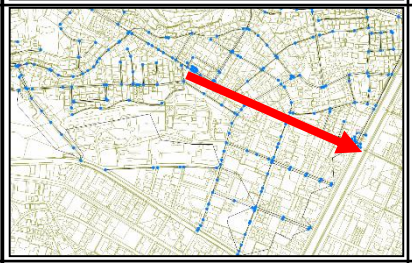
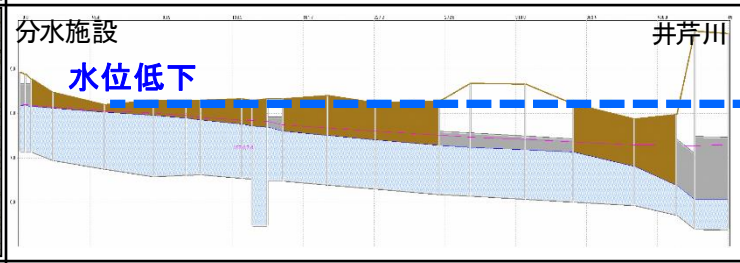
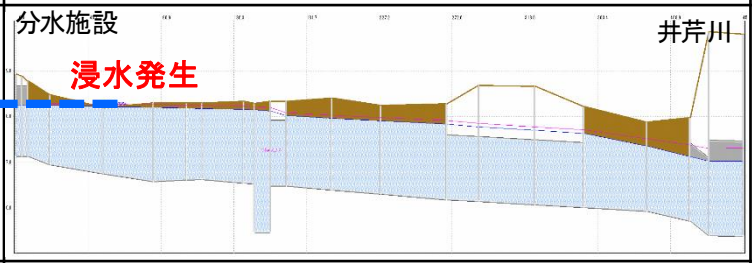
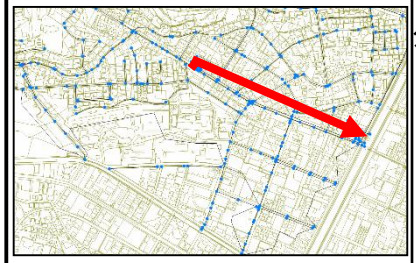
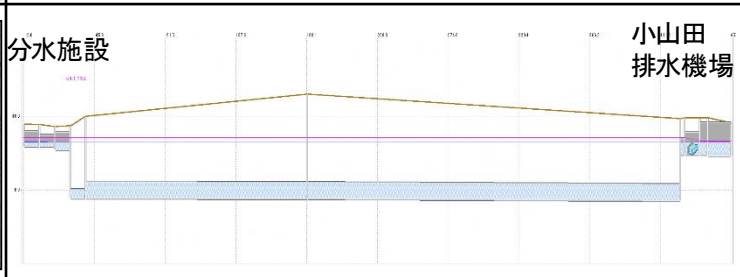
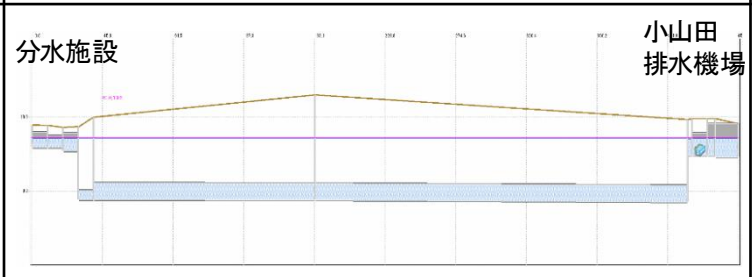
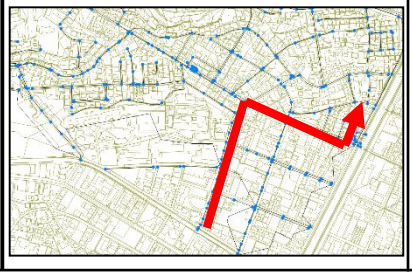
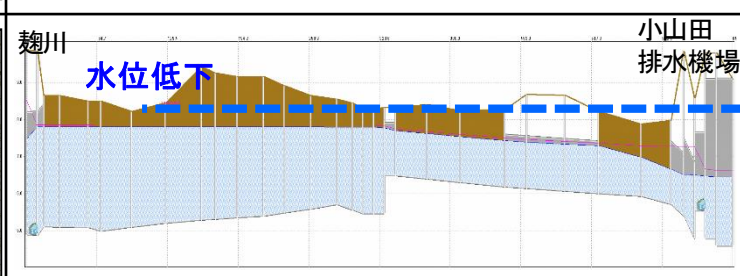
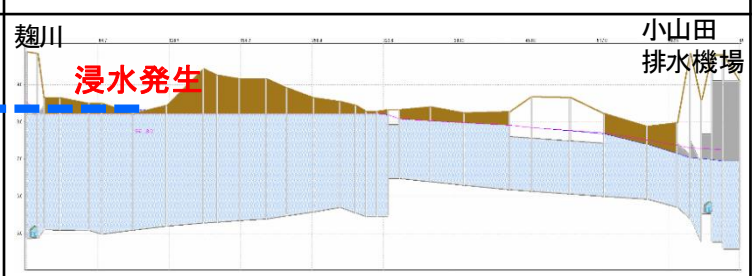


図　H30モデルによるH27.7.1降雨のシミュレーション結果

6. シミュレーション（H30モデルを用いたH27.7.1降雨の再現②）

本編P31～

◆ 分水率の向上と併せてポンプ起動水位を低下させたことで、小山田川の水位が低下し浸水が解消された。

対象平面図	H30モデルによるシミュレーション結果	H27.7.1の再現結果
分水地点～麹川			
分水地点～井芹川			
バイパス管			
麹川～排水機場			

※水位縦断図は左側が上流を示す。

図　H27.7.1におけるシミュレーション水位縦断図

6. シミュレーション（H30モデルを用いたH27.7.1降雨の再現③）

本編P30～

◆ 浸水当時は、分水率が約22%程度であったものの、各種対策の効果があり、H30モデルでは、約76%と試算された。

表　H27.7.1における分水率の比較

区分			分水前	分水後 小山田川	分水後 バイパス管	分水率
浸水再現時	3：00～ 9：00	最大値	1.506	1.489	0.720	48%
		平均値	0.831	0.810	0.182	22%
H30モデル	3：00～ 9：00	最大値	1.567	1.493	1.095	70%
		平均値	0.831	0.363	0.632	76%

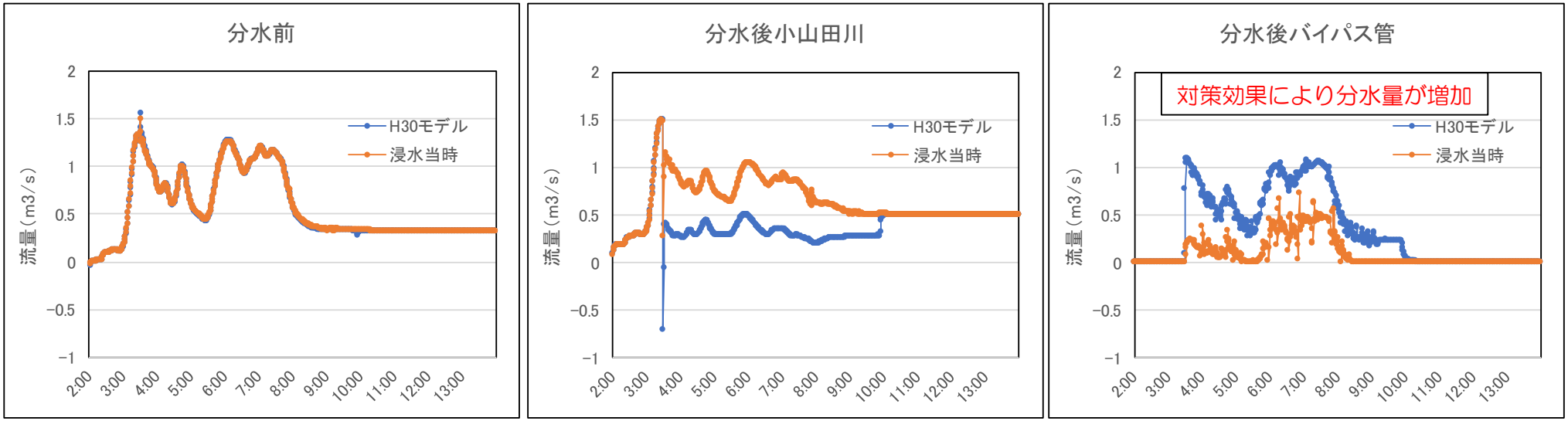
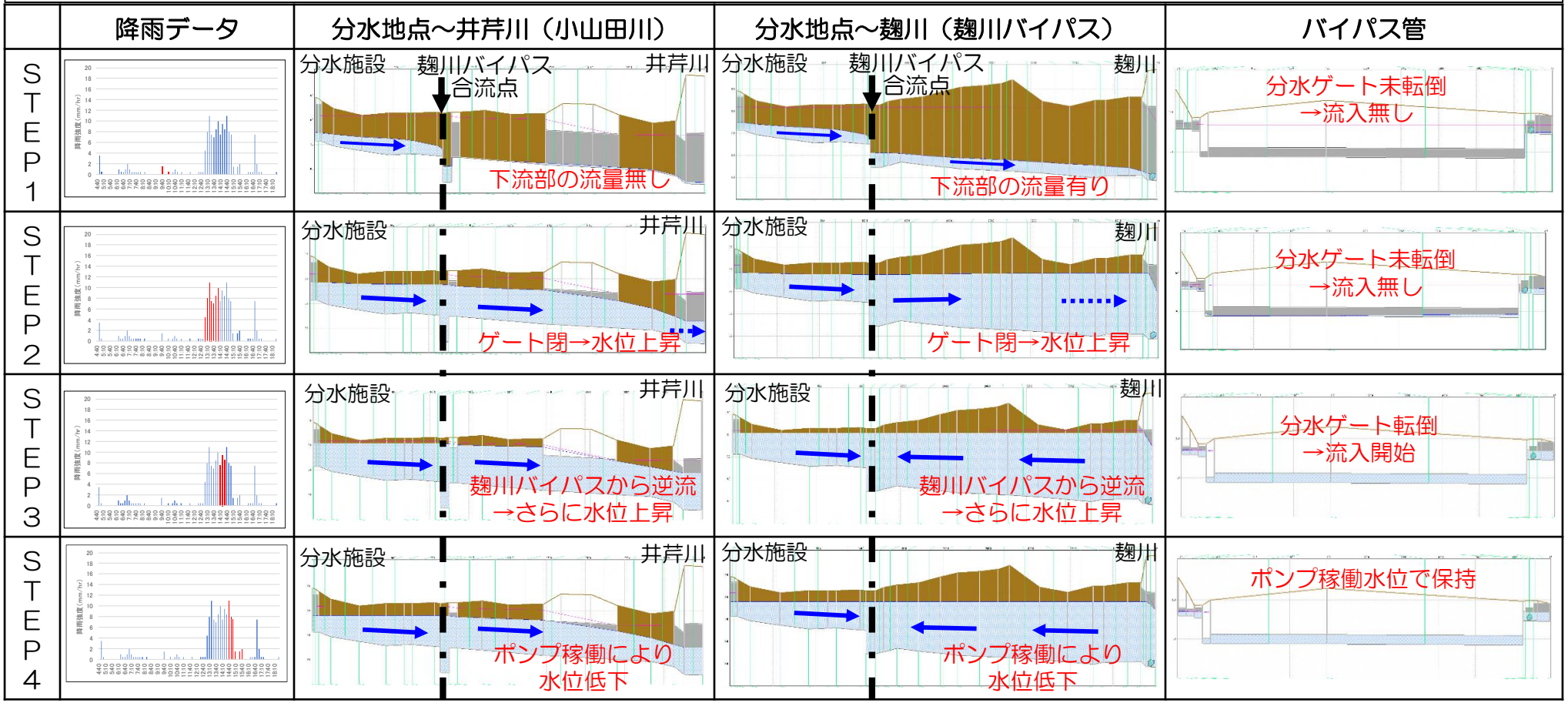


図　H27.7.1における分水地点ハイドログラフ

6. シミュレーション（H30モデルを用いたH30.9.20降雨①）

本編P28～

- ◆ STEP1：降雨初期段階は、麹川へ流下する。
- ◆ STEP2：13：30過ぎに流入調整ゲート及び小山田川排水ゲートが閉じ、ポンプ排水区へ切り替わる。
- ◆ STEP3：麹川バイパスへの排水が小山田川に逆流し、14：00頃に1台目のポンプが稼働する。
- ◆ STEP4：14：30過ぎに2台目のポンプが稼働する。



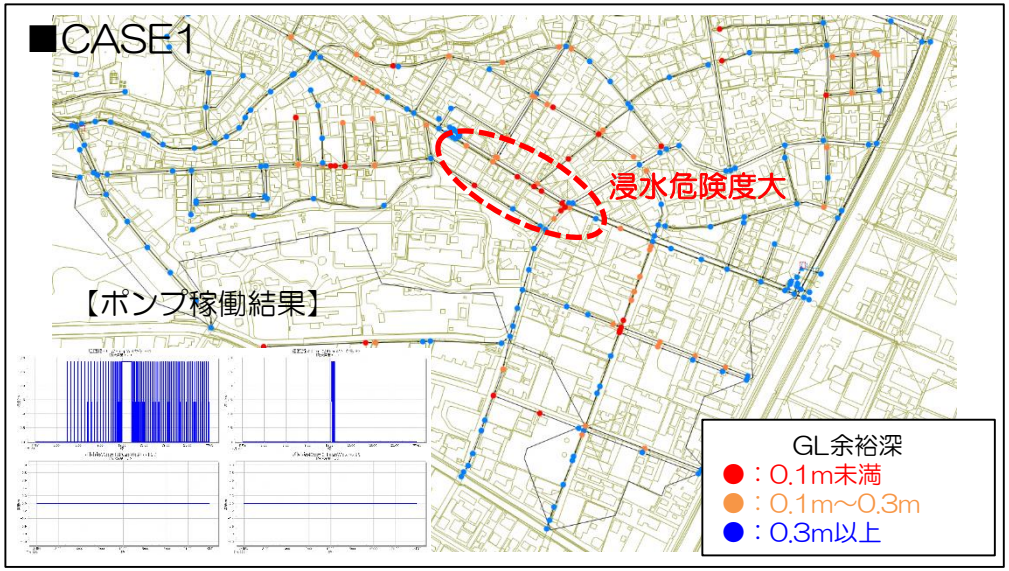
※水位縦断図は左側が上流を示す。

図　H30.9.20におけるシミュレーション結果（時系列水位）

6. シミュレーション（計画降雨時のシミュレーション①）

本編P32～

- CASE1：計画降雨、流入調整ゲート、小山田川排水ゲート常時閉鎖→浸水発生
- CASE2：計画降雨、流入調整ゲート、小山田川排水ゲート常時開放→浸水無し



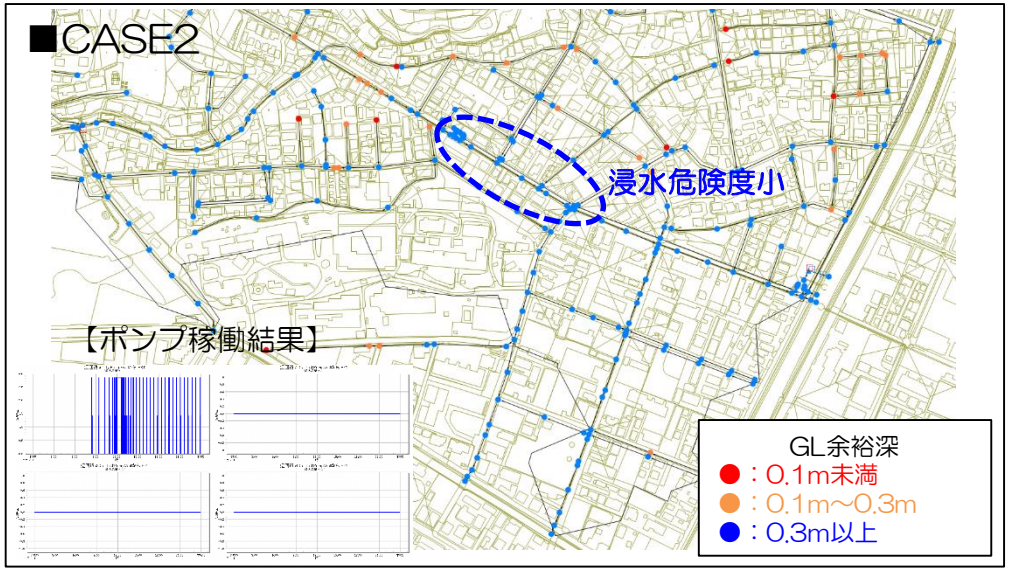


図　計画降雨によるシミュレーション結果平面図

表　計画降雨のシミュレーション検討条件

項目		ノード・リンク名	備考	2018.9.20	CASE1: 計画降雨	CASE2: 計画降雨
損失特性	ドロップシャフト側壁部開口	Link488	入口損失	0.25	0.25	0.25
			出口損失	0.25	0.25	0.25
	ドロップシャフト内	Link455	入口損失	10	10	10
			出口損失	10	10	10
	ドロップシャフト堰	Link456	堰長(m)	2.46	2.46	2.46
			堰高(m)	5.95	5.95	5.95
	ドロップシャフト外	Link487	入口損失	0.25	0.25	0.25
			出口損失	0.25	0.25	0.25
分水特性	転倒条件※1			実績と整合を図り井芹川の水位等より設定	常時ゲート開放	
	底部突起※2		粗度係数で表現	0.04	0.04	0.04
	分水阻害(夾雑物の詰まり)※3		流量係数(堰で表現)	0.2	0.2	0.2
			天端高-堰高(m)	2.00	2.00	2.00
流入条件	境界条件			流域踏査により確定	同左	同左
	流出係数			区域内:0.55相当 区域外:0.30相当	同左	同左
ポンプ運転条件	1台目	Pump_Link	開始水位	6.60	6.60	6.60
			停止水位	6.20	6.20	6.20
	2台目		開始水位	6.80	6.80	6.80
			停止水位	6.40	6.40	6.40
	3台目		開始水位	7.00	7.00	7.00
			停止水位	6.60	6.60	6.60
	4台目		開始水位	7.20	7.20	7.20
			停止水位	6.80	6.80	6.80
外水位	麹川	1001015cc		実測値	常時閉:TP+7.9m	常時開:TP+6.6m
	井芹川	PST-Out Iseri-Out1 Iseri-Out2		実測値	常時閉:TP+8.5m	常時閉:TP+7.3m

変更箇所

※1:分水ゲートの転倒条件は、実状を基に設定している。

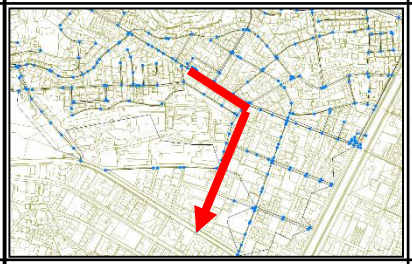
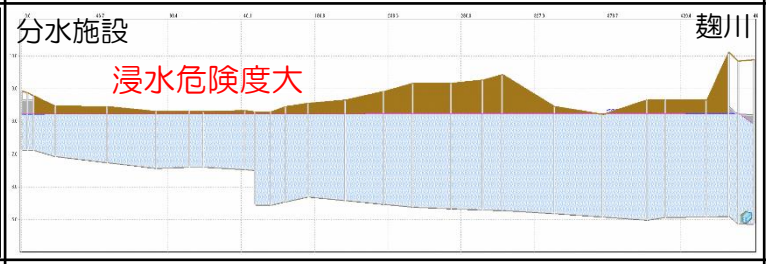
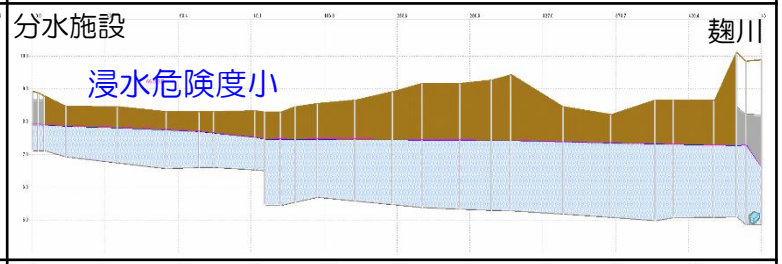
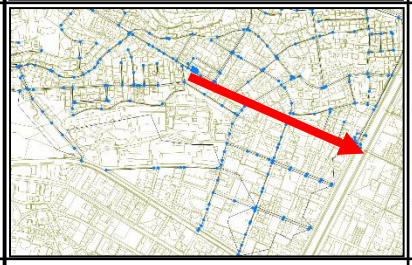
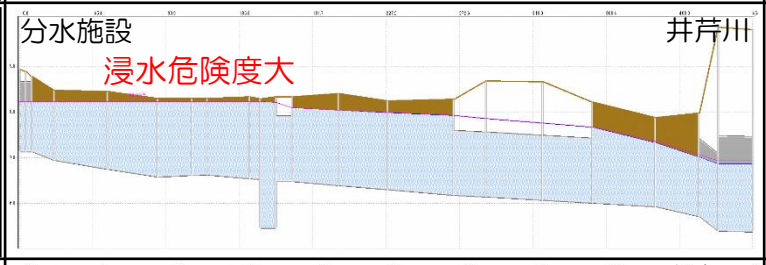
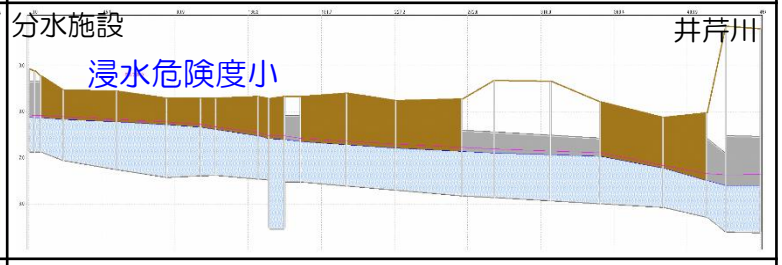
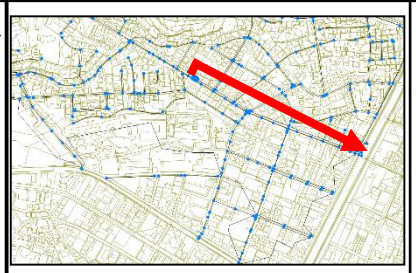
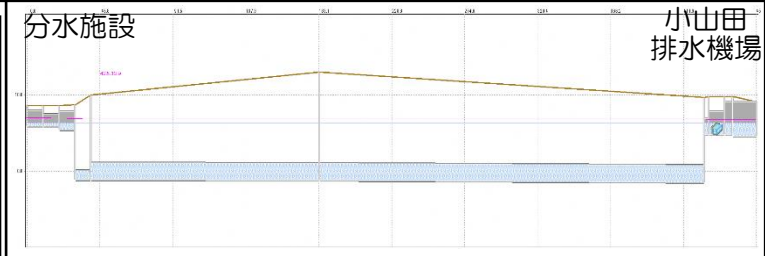
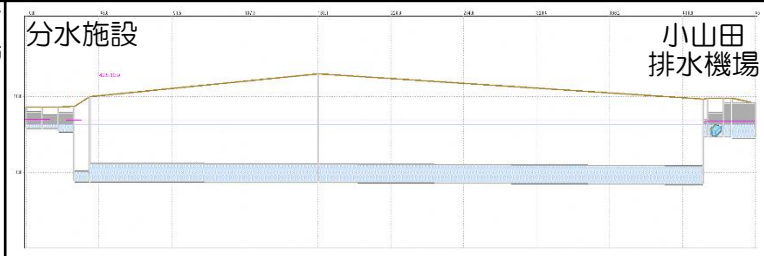
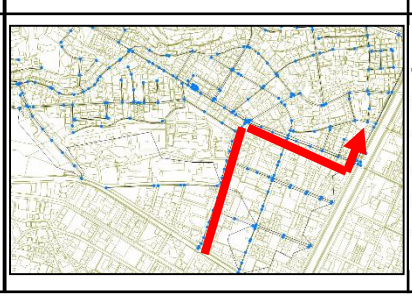
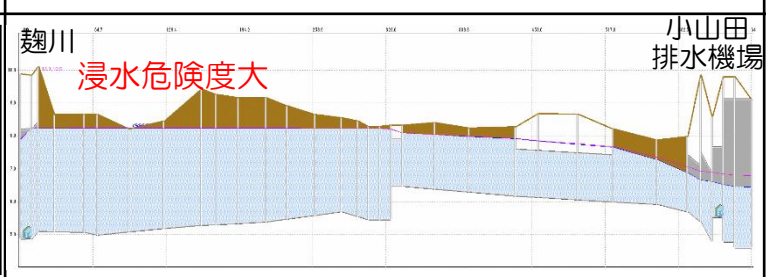
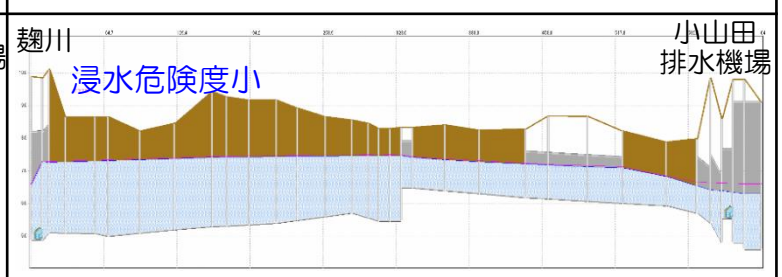
※2:熊本市が実施した底部突起工の対策効果を粗度係数（未対策0.02、対策0.04）で表現した。

※3:夾雑物除去工の対策効果をバイパス管への開口高さ（天端高－堰高）で表現した。（未対策時1.45m、対策時2.00m）

6. シミュレーション（計画降雨のシミュレーション②）

本編P32～

◆ H27.7.1降雨においては、当市の対策効果が発揮できたものの、計画降雨に対しては、さらなる改善が必要となる。

対象平面図	CASE1（流入調整ゲート、小山田川排水ゲート閉）	CASE2（流入調整ゲート、小山田川排水ゲート開）
分水地点～麹川			
分水地点～井芹川			
バイパス管			
麹川～排水機場			

※水位縦断図は左側が上流を示す。

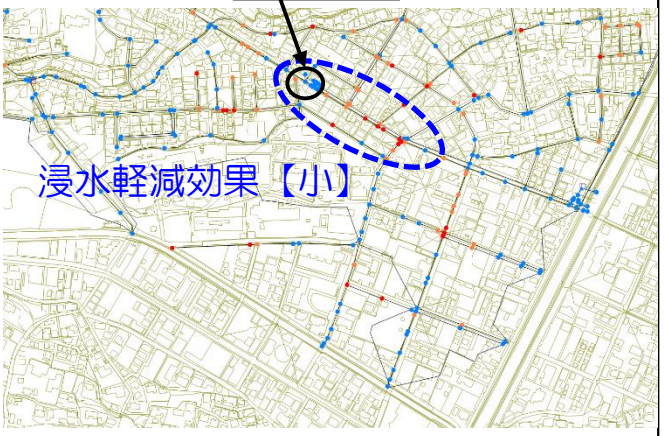
図　計画降雨におけるシミュレーション水位縦断図

6. シミュレーション（浸水原因の感度分析①）

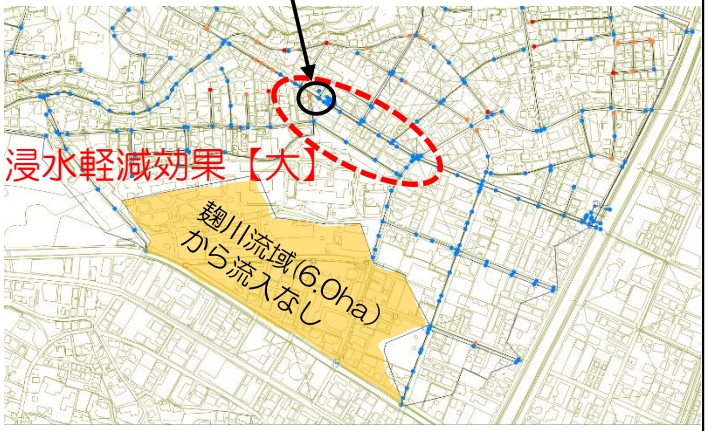
本編P36～

- パターン1：分水ゲートにおいて100%分水した場合⇒浸水軽減効果【小】
- パターン2：分水ゲートにおいて100%分水に加えて、麹川バイパスからの逆流を0にした場合⇒浸水軽減効果【大】
- パターン3：分水率は現状とし、麹川バイパスからの逆流を0にした場合⇒浸水軽減効果【大】
- パターン4：麹川バイパス合流地点の水路の損失を改善した場合⇒浸水軽減効果【小】
- パターン5：小山田川の水路断面を拡幅した場合⇒浸水軽減効果【中】

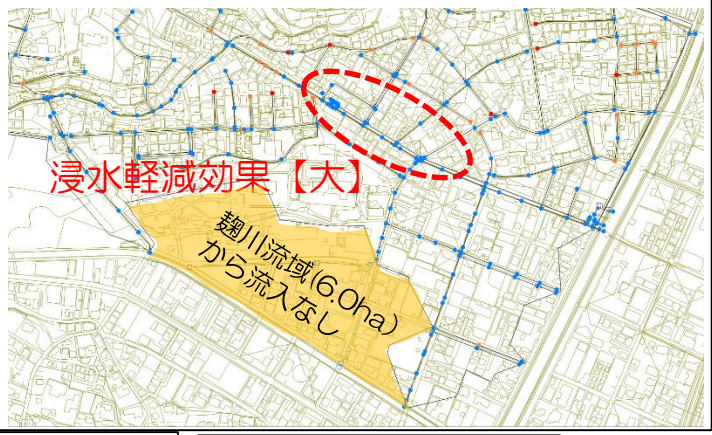
■パターン1（100%分水）



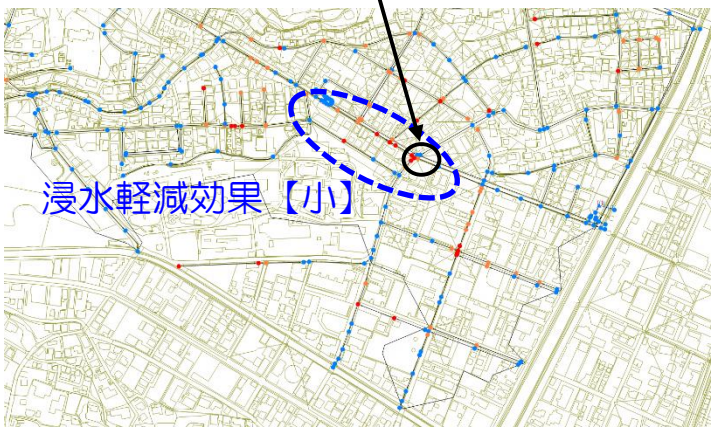
■パターン2（100%分水＋麹川流入0）



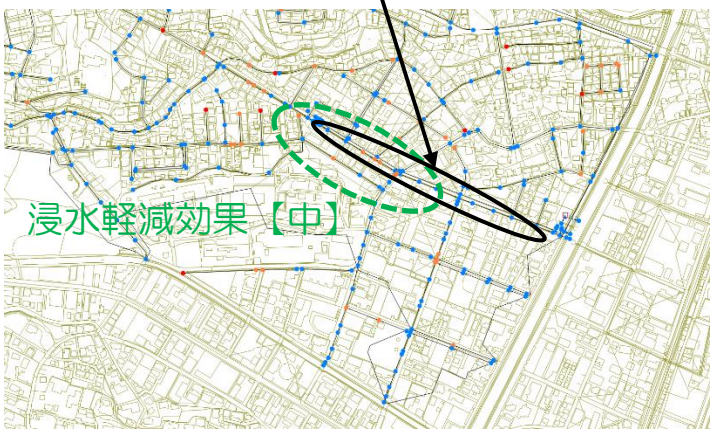
■パターン3（現状分水率＋麹川流入0）



■パターン4（麹川バイパス合流部の損失解消）



■パターン5（小山田川水路拡幅）



GL余裕深
●：0.1m未満
●：0.1m～0.3m
●：0.3m以上

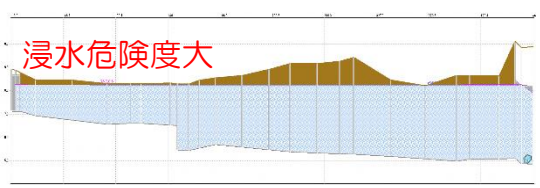
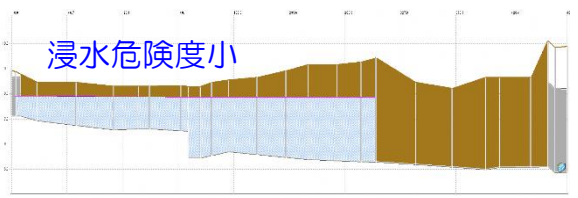
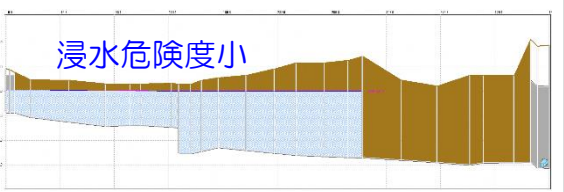
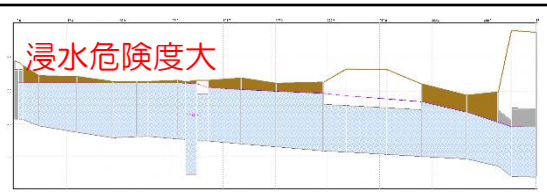
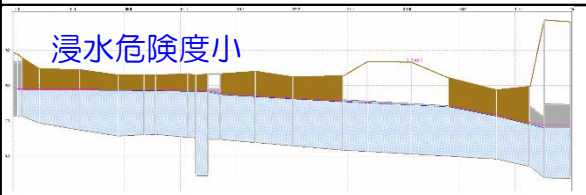
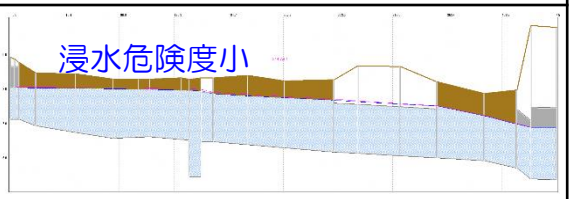
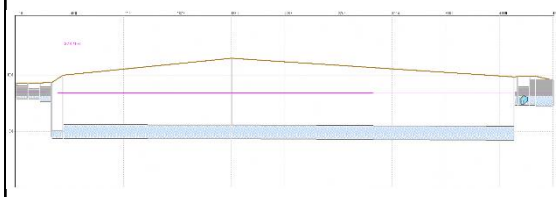
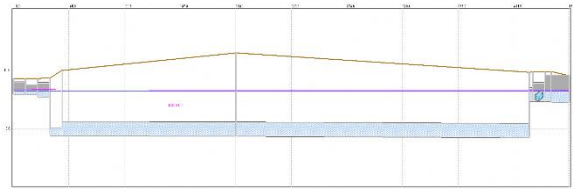
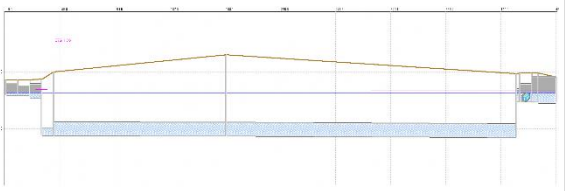
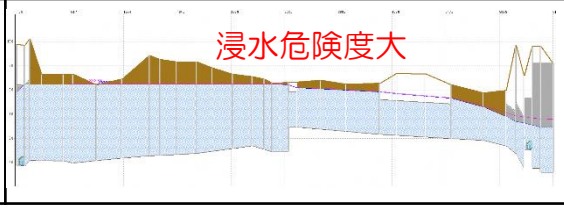
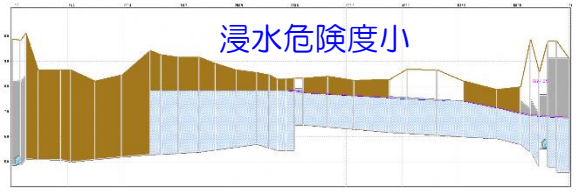
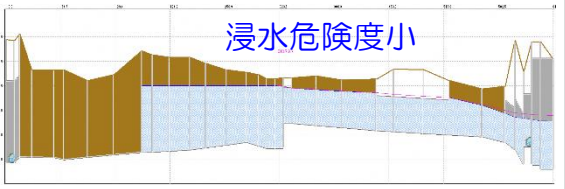
図　浸水原因の感度分析結果

写真　麹川バイパス合流部

6. シミュレーション（浸水原因の感度分析②）

本編P36～

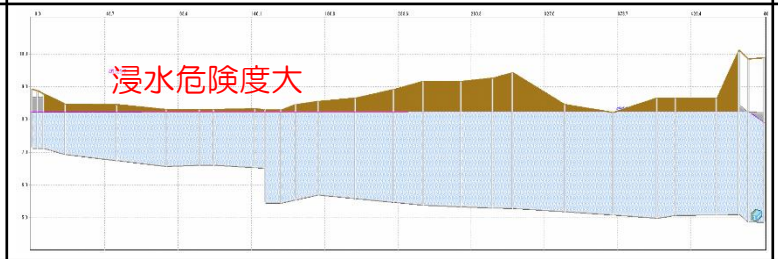
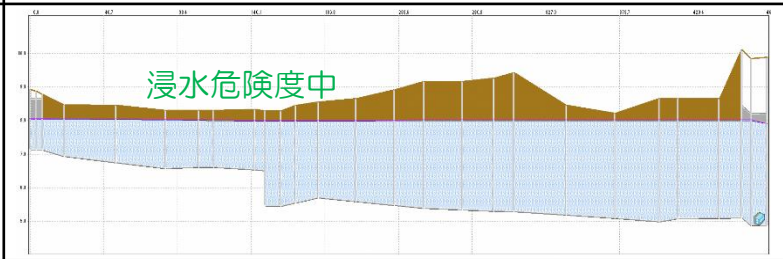
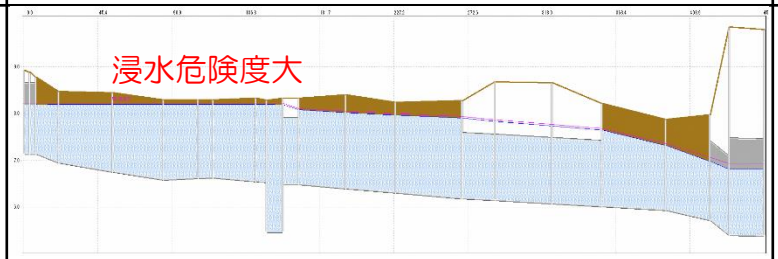
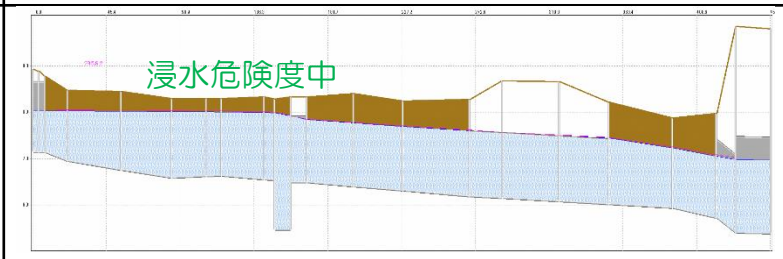
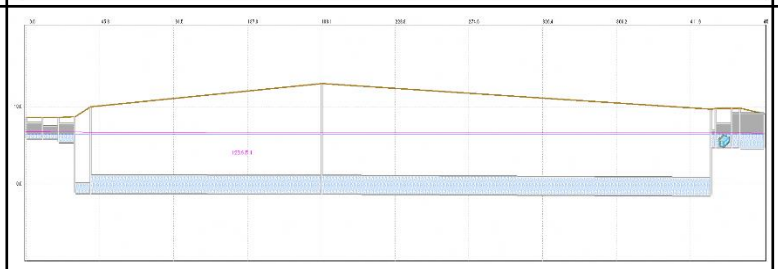
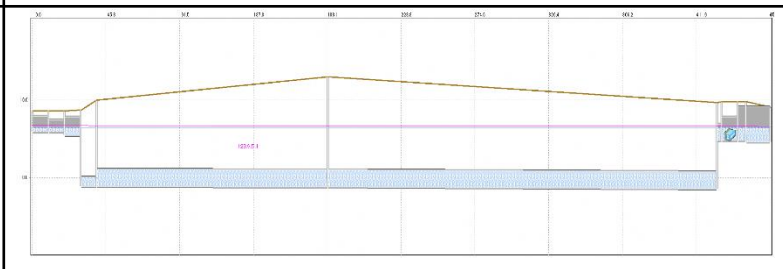
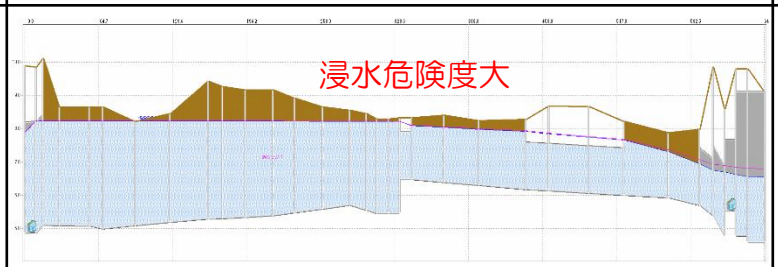
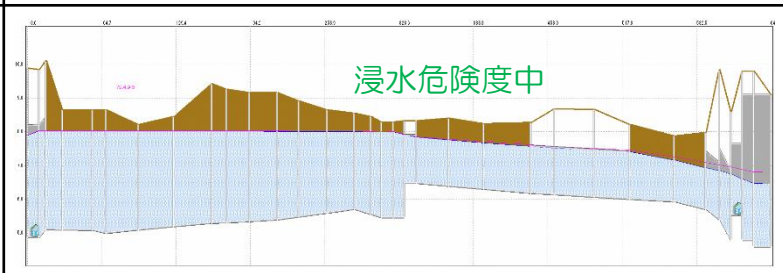
- ◆ パターン２，３は麹川バイパスの逆流が無くなっているため、麹川バイパス及び小山田川の水位が低下している。
- ◆ パターン２は、３と比べて、100%分水されているため、小山田川の水位が低下している。

	パターン1（100%分水）	パターン2 （100%分水＋麹川流入ゼロ）	パターン3 （現状分水率＋麹川流入ゼロ）
分水地点～麹川			
分水地点～井芹川			
バイパス管			
麹川～排水機場			

6. シミュレーション（対策効果の感度分析③）

本編P36～

- ◆ パターン４は局所的な損失を解消しても、大きな効果は見られない。
- ◆ パターン５は小山田川の水位が低下し、麹川バイパスもそれに連動し水位が低下している。

	パターン４　（麹川バイパス合流部の損失解消）	パターン５（小山田川水路拡幅）
分水地点～麹川		
分水地点～井芹川		
バイパス管		
麹川～排水機場		

6. シミュレーション（浸水原因の特定）

本編P41～

■計画降雨によるシミュレーション

◆ CASE1（麹川調整ゲート、井芹川放流ゲート閉）においては、分水ゲート～麹川バイパス合流点及び麹川バイパスを中心に、浸水が発生している。

◆ CASE2 （麹川調整ゲート、井芹川放流ゲート開）においては、浸水が発生していない。

■浸水時における各地点での水位状況

◆ 麹川調整ゲートが閉鎖することで、麹川流入区域（約6.0ha）の雨水が行き場を失い、麹川バイパスの水位が上昇する。

◆ さらに、分水率が低いため、分水しきれなかった雨水が小山田川下流に流れ、麹川バイパスとの合流点で水位が上昇し、周辺地区の低地部において浸水が発生している。

■水位上昇を引き起こす要因

◆ 浸水原因は、①分水率が低いことによる小山田川への負荷、②麹川調整ゲートが閉じることによる区域外流入の影響、③麹川合流地点の水路構造による局所損失、④小山田川の流下能力不足（上記①②も含めて）が考えられる。

■浸水原因の特定

◆ 上記要因について、シミュレーションによる感度分析の結果、麹川流域の流入が最も影響が大きいことが判明し、分水率100%、麹川流域からの流入をゼロにすることで浸水が解消された。

浸水原因　⇒　分水機能不足、区域外（麹川流域）からの流入

7. まとめと対策の方向性

本編P41～

■既往設計内容の確認、現地調査・観測調査結果
- ◆ 分水については，場所の制約や調査降雨時の安全性など総合的な判断から横越流方式を採用し，複数の計算手法から最も安全側となる堰長を採用しているが，観測結果から100%の分水はできていない（6～8割程度）。
- ◆ 損失については，設計指針等に基づき計算を行っており，観測結果も設計の許容範囲であると言える。
- ◆ 現地調査の結果、麹川流入ゲートが閉じた場合、排水先を失った麹川流域の一部が、区域外流入として小山田川流域に流れ込んでいる。

■シミュレーションによる解析結果
- ◆ H27.7.1降雨によるシミュレーション結果から、浸水原因はポンプの運転水位が高かったこと、分水機能が十分でなかったことが挙げられる。
- ◆ さらに、現地調査及び計画降雨によるシミュレーション結果から、上記２点に加え、麹川流域からの逆流（区域外流入）も浸水を引き起こす原因となっていることが判明した。

＜浸水原因＞
●ポンプ運転水位　●分水機能　●区域外流入

■対策の方向性
- ◆ シミュレーションにより分水ゲートにおける100%分水の実現及び麹川流域の小山田川への逆流を解消することで、計画降雨規模に対しても浸水が発生しないことが判明した。
- ◆ よって，今後の対策の方向性として，ポンプ運転水位はこれまで変更によりこれ以上改善の余地が少ないことから、分水率を向上させるための施設の改良及び小山田川への逆流対策の改善を行うことが望ましい。