

新たな雨水管理計画の策定手法 に関する調査報告書（案）

-調査フィールド：岡崎市-

平成 27 年 6 月

国土交通省水管理・国土保全局下水道部

目次

1. はじめに	1
1-1. 計画策定の背景と目的	1
1-2. 新たな考え方に基づく「雨水管理計画」の骨子	1
1-3. 計画の対象範囲	3
1-4. 計画の概要	6
2. 基礎調査	9
2-1. 資料収集	9
2-2. 降雨情報（要因別降雨発生特性）	11
2-3. 浸水情報（水害発生特性）	14
2-4. 地形・土地利用特性	16
2-5. 施設情報（流出解析モデルを行うための現況排水施設情報）	23
2-6. 水位情報（水位観測）	25
3. 計画降雨に対する現況排水施設の能力評価	35
3-1. 流出・氾濫解析モデルの概要	35
3-2. 流出・氾濫解析モデルの構築	35
3-3. モデルの再現性の確認	36
3-4. 現況排水施設の能力評価	41
4. 照査評価基準・照査降雨の設定	48
4-1. 照査評価基準	48
4-2. 照査降雨	54
5. 照査降雨に対する水害要因分析	57
5-1. 現況施設の照査評価基準の達成度評価	57
5-2. 水害要因の分析	68
6. 対策計画	72
6-1. ハード対策メニューの立案	73
6-2. 照査の考え方	76
6-3. ハード・ソフト対策を総動員した浸水対策に必要な水位計設置計画	79
6-4. ハード対策	82
6-5. ソフト対策	83
7. おわりに	93

用語の説明

1. はじめに

1-1. 計画策定の背景と目的

都市化が進展し、流出率（降雨量のうち直接流出に寄与する割合）が増加するとともに、近年、局地的な大雨（いわゆるゲリラ豪雨）等が頻発していることから、雨水の地下街、地下室への進入、床上浸水による個人財産の被災など、甚大な被害が発生している。

そこで、「ストック¹⁾を活用した都市浸水対策機能向上のための新たな基本的考え方」（平成 26 年 4 月ストックを活用した都市浸水対策機能向上検討委員会（以下、「最終とりまとめ」という。）において、施設情報や観測情報等によりストックの「弱み」と「強み」を評価した上で、計画を上回る降雨に対してきめ細やかな対策による被害の軽減を評価するという手法などが示された。

これを受け、国土交通省は、新たな雨水管理計画の策定に向けて個別都市での調査への助言や情報共有を行い、指針类等へ反映する内容を検討するとともに、最終とりまとめで示された取組みを水平展開するために継続的に実施すべき事項のフォローアップを行うことを目的に、「計画規模を超える局地的な大雨に対する新たな雨水管理計画策定に係る調査検討会（委員長：古米弘明 東京大学教授）」を平成 26 年度に設置した。

本資料は、新たな基本的な考え方に基づく、具体的事例を積み上げるため、愛知県岡崎市において実施したフィージビリティスタディ（FS²⁾）の結果をとりまとめたものである。

1-2. 新たな考え方に基づく「雨水管理計画」の骨子

平成 21 年 9 月に改定された「下水道施設計画・設計指針と解説、（公社）日本下水道協会」（以下「設計指針」という。）では、ハード・ソフト対策の基準として、ハード対策は、5～10 年確率の降雨を基本とし、自由水面流れ³⁾の施設規模を計画すること、ソフト対策は、ハザードマップの作成にあたり、既往最大降雨（当該都市の最大降雨、他都市の最大降雨など）を対象降雨（外力）とし、浸水予測等を行うこととしている。

このように、ハード対策については、計画降雨⁴⁾の設定方法は指針に位置づけられているが、計画降雨を上回り、ハードとソフトの総合的な対策の目標とすべき降雨について、近年の発生頻度傾向や被害時の降雨特性をとらえた設定方法は確立されていないことなどの課題がある。

一方、管渠の新設で用いられる自由水面流れを原則とした合理式等による計画手法は、従来の通り位置づけられているものの、浸水シミュレーションを活用した計画手法を具体的に示すまでには至らず、一定程度のストックが蓄積している状況で雨水管理を行う取組みが進まない一つの要因となっている。

大都市等では、下水道浸水被害軽減総合事業制度が適用される地域などにおいて、浸水

シミュレーションを活用し、ハード・ソフトを組み合わせた総合的な浸水対策が進められているが、中小都市などは、このような浸水対策が十分に進められていない現状が見られる。

こうした背景を踏まえ、近年の降雨特性等に応じた下水道施設の計画・設計方法を位置づける際には、浸水シミュレーションを活用し、安く早く浸水被害を軽減する取組みの原則化を図るとともに、多くの都市で適用できる手法を解りやすく提示する必要がある。

このため、今回のFS調査では、計画を検討する上での基本要素として、対策手法・外力・評価基準の関係を整理し、従来よりも経済的でスピード感のあるきめ細やかなハード・ソフト対策を下水道事業に位置付けるための雨水管理計画の新たな骨子を定めた（図 1.1）。

対策手法については、外力と評価基準の関係から、従来からのハード対策に加え、評価基準を満たすための局地的なハード対策の導入も含め、ソフト対策、他事業（道路、地下街他）との連携等とを組み合わせた対策手法を選定するものとした。

外力については、従来の浸水被害の発生を防止するための下水道施設の整備の目標となる計画降雨に加え、下水道施設の弱部の評価を実施する降雨を「照査降雨⁵⁾」とし、計画降雨と同じ降雨又は実際に地域に降った既往最大降雨等を複数設定した。

今回のFS調査では、従来の下水道によるハード対策で整備された既存ストックの能力評価を行うため、計画降雨によるシミュレーションにより、管渠網の弱部を把握し、排水能力の部分的な増強等を検討するとともに、既往最大降雨等によるシミュレーションにより、他事業者等の施設を組み合わせたハード・ソフトを総動員した浸水対策を検討した。

また、平成27年5月に成立した改正水防法において、内水浸水想定区域の外力として検討されている「想定し得る最大規模の降雨」によるシミュレーションもあわせて実施し、少なくとも命を守り、社会経済活動の壊滅的な被害を回避する観点から、BCP⁶⁾、タイムライン⁷⁾等を策定するために必要な基礎資料を作成した。



図 1.1 新たな考えに基づく「雨水管理計画」の骨子

1-3. 計画の対象範囲

1-3-1. 対象範囲の概要

FS 調査の対象都市である岡崎市は、図 1.2 に示すように、岡崎市は愛知県の中央に位置する。市内を矢作川が南北に、乙川が東西に流れており、支流も数多く存在する。

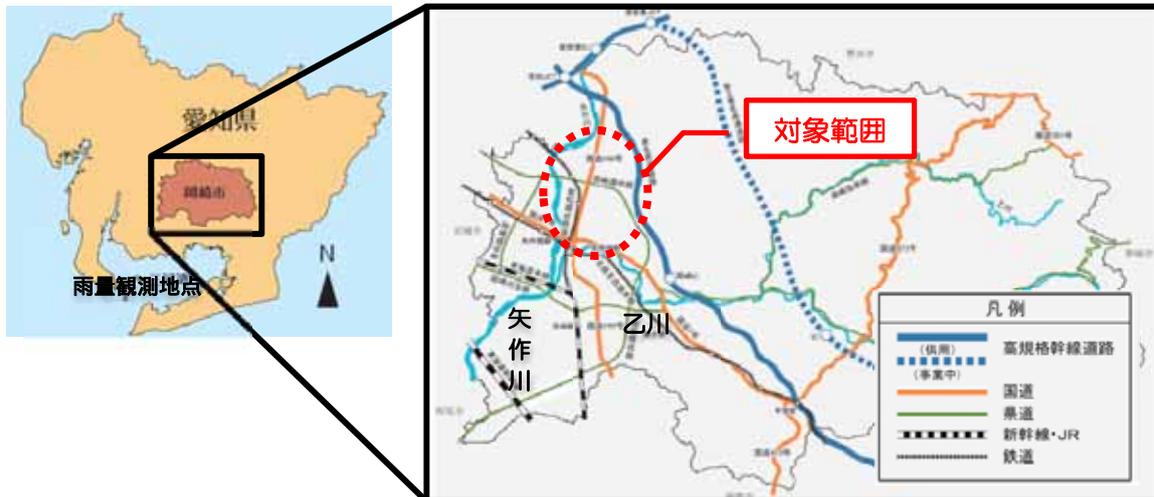


図 1.2 対象都市の位置図

今回の FS 調査では、既存ストックを活用した浸水対策を検討するため、岡崎市のうち、浸水被害箇所が多い伊賀川排水区（東側に位置する伊賀 5～7 分区は浸水被害が発生していないため、検討から除外）及び早川排水区の計 2 排水区（約 920ha）を対象範囲とした。

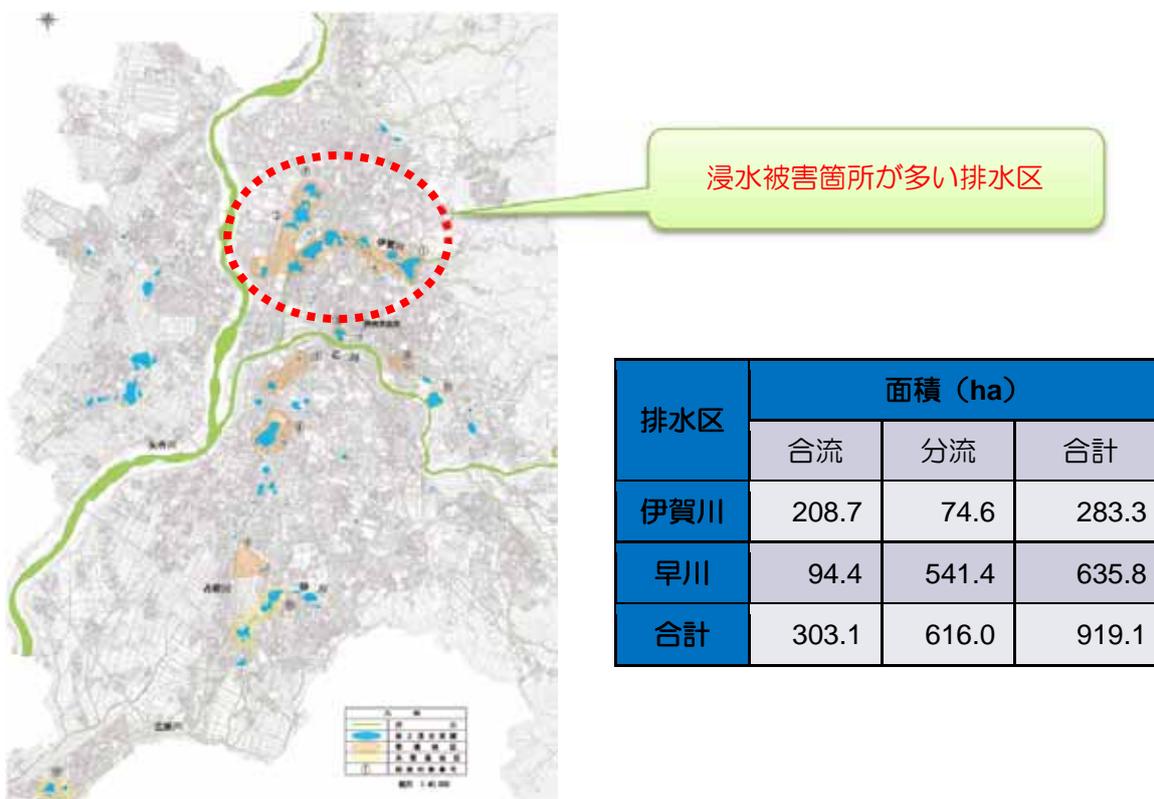


図 1.3 (左) 対象範囲周辺の浸水箇所と (右) 対象範囲の面積

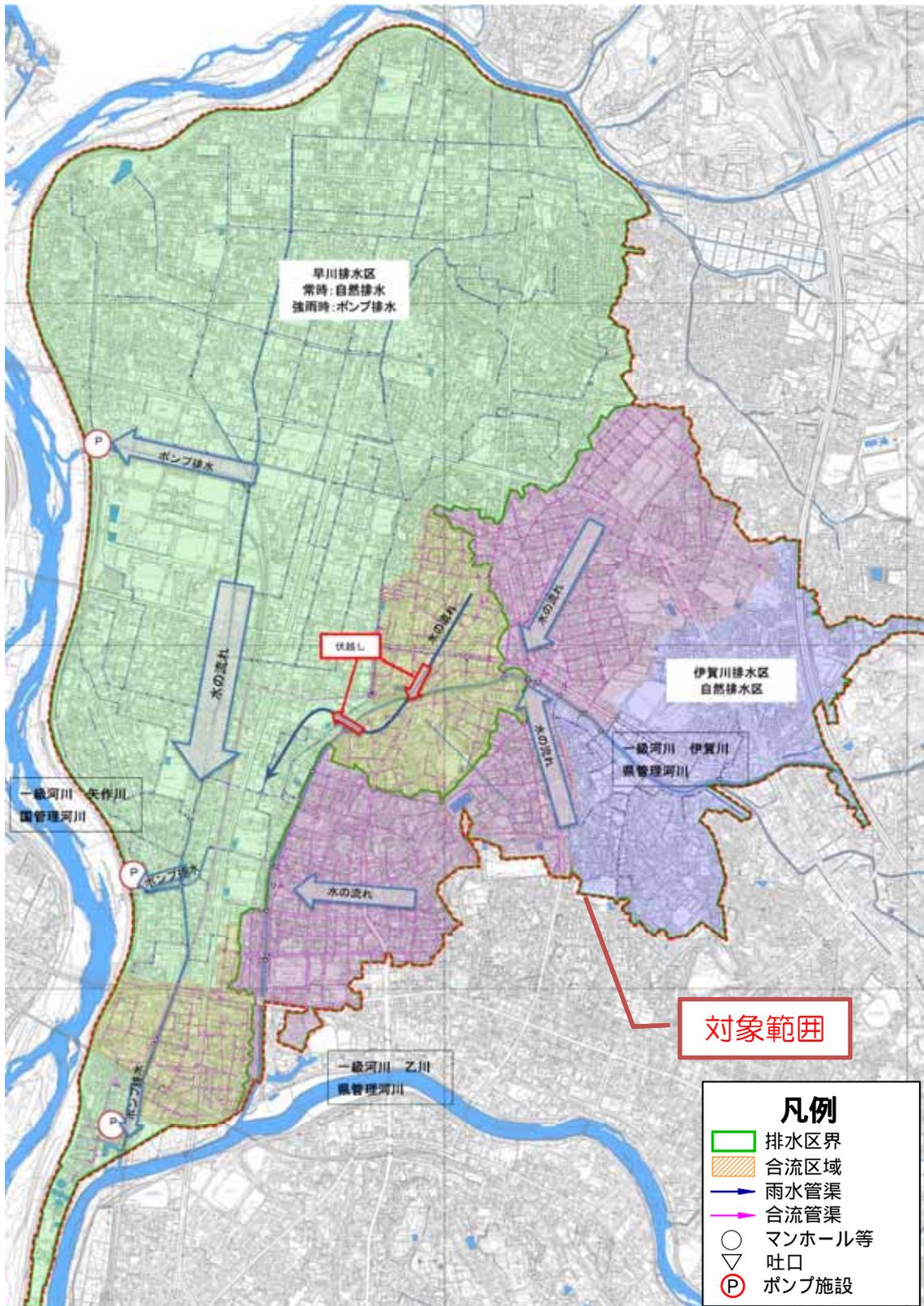


図 1.4 計画の対象範囲

1-3-2. 対象排水区の特徴

(1) 早川排水区の特徴

- 早川排水区は流域面積約 750ha（検討対象は約 640ha）をもつ排水区で、近年、商業施設が国道沿いに立地し、都市化が著しい地区を抱えている。排水区の地形は北から南に緩やかに下っており、排水区の間あたり一部低地区が存在する。また、東側には丘陵地、西側には一級河川矢作川の堤防によって挟まれた平坦地でもある。
- 本排水区は、豊田市と岡崎市を結ぶ国道 248 号や愛知環状鉄道が南北に走っており、交通の要所も抱えている。
- 排水区内に降った雨水は、排水区中心部を南北に縦貫する早川 1 号幹線によって、小降雨時には自然流下にて一級河川乙川に排水している。一方、降雨規模が大きくなった場合には、早川 1 号幹線から横引きするような雨水幹線から、上流部に位置する大門ポンプ場、八帖ポンプ場により矢作川へ強制排水し、その後、その余剰分を最下流部の早川ポンプ場により乙川へ強制排水している。また、伊賀川の左岸に一部低地区が伊賀川を伏せ越し管で横断して早川 1 号幹線に流出させている箇所もある。
- 早川 1 号幹線はもともと農業の用排水兼用水路として整備したことから、幹線の高水位が周辺地形よりも比較的高く設定されているため、幹線の背水の影響を受け易い低地地区において、浸水が発生し易くなっている。また、伏せ越し部の影響によっても浸水が発生し易くなっている。

(2) 伊賀排水区の特徴

- 伊賀川排水区は流域面積約 370ha（検討対象は約 280ha）をもつ排水区で、古くからの住宅地が一級河川伊賀川沿いの低地地区に立地し、近年、その外縁部に位置する丘陵地に住宅地が造成された地区を抱えている。排水区の地形は伊賀川沿いに低地地区があり、その低地地区の周りに高低差の大きな丘陵地を抱えている。
- 排水区に降った雨水は、基本的には伊賀川に自然流下にて排水しているが、河川水位が比較的上昇し易く、丘陵地からの流出した雨水が河川の背水の影響をうけて排水し難くなる傾向がある。
- また、管渠施設の能力が計画当初、実験式で設計された箇所もあることから、全体的に能力不足が生じており、各所で管渠能力不足に伴い溢水した雨水が低地地区に流出し、浸水を助長している傾向も観られる。

1-4. 計画の概要

これまでの岡崎市の雨水計画では、基本的にハード整備は5年に1回の降雨に対する安全度を確保（約150haを受け持つ施設については10年に1回の降雨に対する安全度を確保）し、これ以上の降雨では、ソフト対策として自助で対応してきた。

このような従来計画に対して、新たな考え方による雨水管理計画では、防災・減災の観点から、比較的頻度の高い降雨に対しては、これまで通り下水道整備を進めるとともに、下水道施設の能力を上回る降雨に対しては、その降雨によって管渠の水の流れや、浸水被害の発生状況を照査し、ハード・ソフト対策を総動員した浸水対策を提案する。

具体的には、動水勾配⁸⁾等により現況及び既定計画の下水道施設について能力評価を行うとともに、全国的に局地的な大雨（いわゆるゲリラ豪雨）等が発生しうる可能性を勘案し、過去の水害等の計画を上回る降雨により生じる水害要因分析を行い、浸水シミュレーションにより、床上浸水による個人財産や地下空間等における生命の保護等の観点から、その要因に応じた付加的な施設整備等のきめ細やかなハード・ソフト対策により、粘り強く効果を発揮させて、被害の軽減を図る浸水対策方策を提案する。

【今回のFS調査で検討した「新たな」部分】

シミュレーションの十分な活用

- 浸水シミュレーションにより現況を正確に把握し、水害要因分析に基づく下水道施設の弱部の評価を実施した上で圧力状態を考慮した浸水被害の最小化を図る施設整備手法を検討した。
- 下水管内の水位計設置箇所の考え方を整理した上で豪雨時の水の流れを把握するためのキャリブレーション⁹⁾の実施方法を検討した。

近年の降雨特性等を反映した計画降雨・照査降雨の設定

- 浸水シミュレーションを実施する上で、従来から用いられている下水道施設の計画降雨に加え、下水道施設の弱部の評価を実施する降雨を「照査降雨」とし、計画降雨と同じ降雨又は実際に地域に降った既往最大降雨等の下水道施設の能力を超える降雨を複数設定する方法を検討した。

他事業者との現況及び計画との連携

- 河川水位の影響が大きな地域では、内水と外水を一体的に検討する必要があるため、下水道施設の能力評価などに用いる放流先河川の計画高水位や下水道吐口の高さ等を整理するとともに、河川の水位が解らない場合の放流先河川の水位の推定方法を検討した。

防災・減災に応じた評価基準の設定

- 対象地区における地域や社会特性等を踏まえ、照査評価基準の評価軸は、**浸水深**に加え、**浸水開始時間（リードタイム¹⁰⁾**を考慮することとした。さらに、評価基準とは別に対策による発現効果を分かり易く表現する狙いから、**浸水継続時間も考慮**することとした。
- 基準値については、対象地区内に位置する地下空間利用施設、防災拠点、緊急輸送路等を整理した上で対象地区の重要度を勘案し、起きてはならない最悪な事態を起こさないための**照査評価基準値の設定方法を検討**した。

防災・減災を組合せた新たな考え方による雨水管理計画

- 止水板を設置するまでの時間などのリードタイムを評価基準とすることで、ハード対策施設をより確実に減災面で機能させることを目的とした**水位計の設置計画を策定**した。
- 従来の下流側から順次管渠増径等を実施していくハード対策に対して、防災・減災を組合せた新たな考え方では、動水勾配を確認した上で管内の圧力状態を想定しつつ、評価基準を満たすための必要最低限のハード対策施設として、**バイパス管や貯留施設の最適化を図るとともに小規模なポンプ施設を計画**した。
- 想定最大規模降雨¹¹⁾による浸水想定区域図を時間別に表現することで、**タイムライン式行動計画やBCPの策定の基礎資料**を作成した。

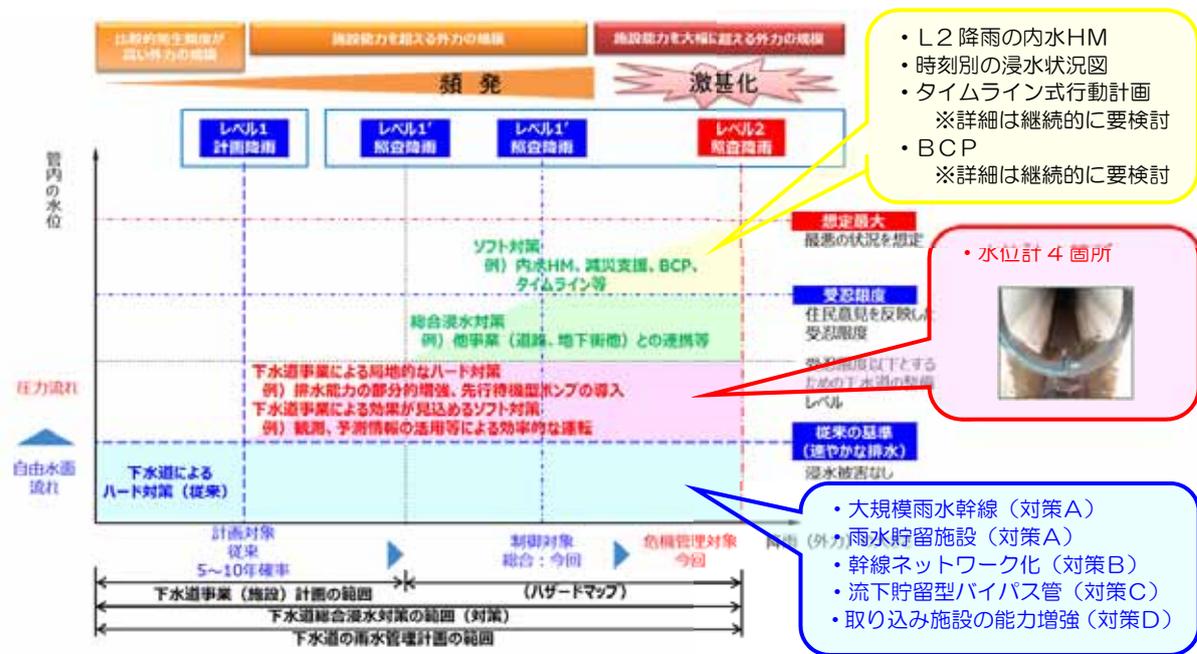


図 1.5 新たな考え方に基づく「雨水管理計画」の概念図と今回の対策内容の関係

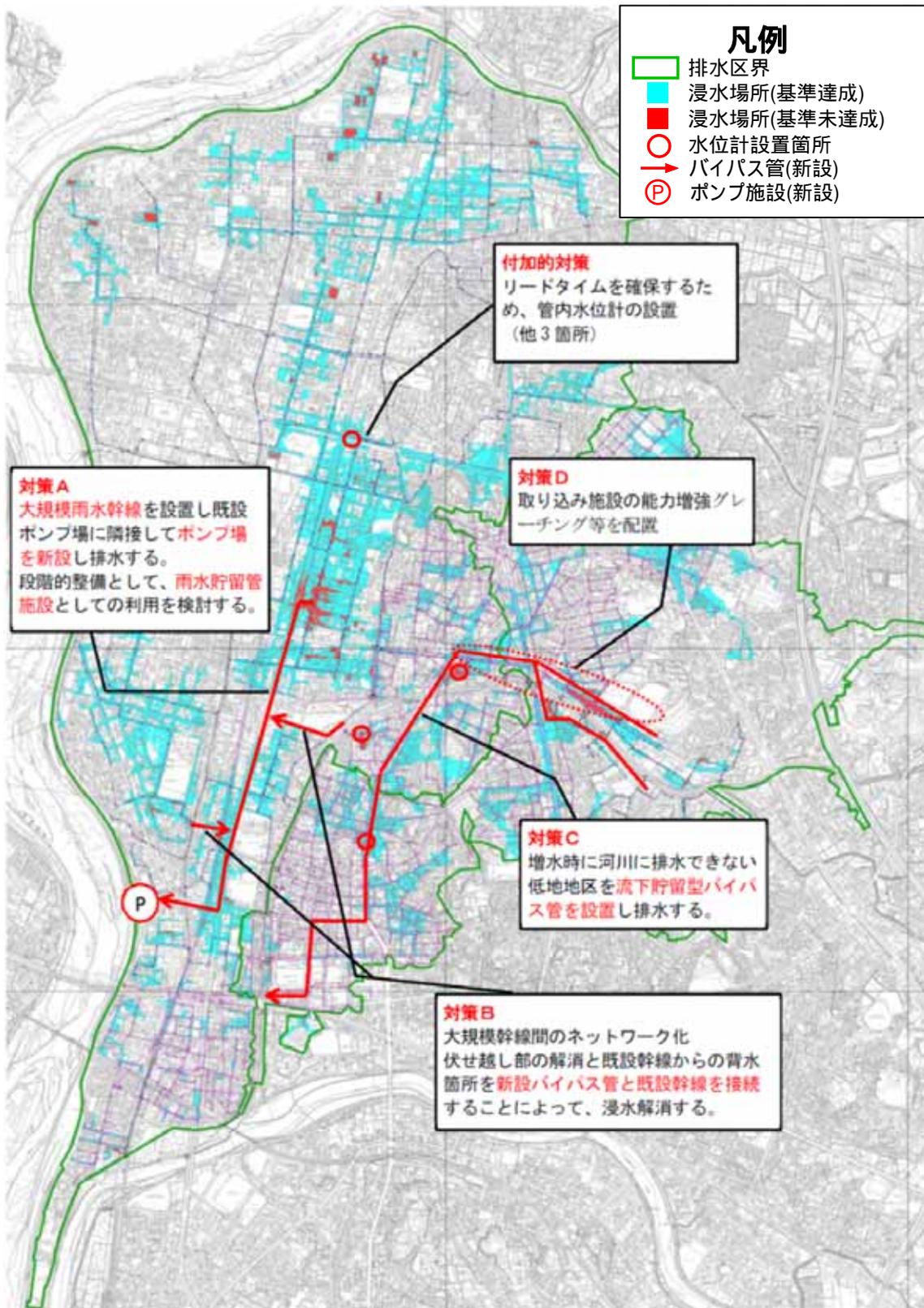


図 1.6 新たな考え方に基づく「雨水管理計画」の対策施設 (案)

2. 基礎調査

2-1. 資料収集

流量計算表による既存施設的能力評価を行う際には、計画降雨強度式を設定するための降雨記録や施設能力評価を行うための雨水管渠整備状況等の資料の収集が必要になる。今回の FS 調査では、より正確に流出・氾濫解析モデルによる既存施設的能力評価等を行うため、これら資料に加え、浸水被害実績や河川水位等、表 2.1 に示す資料を収集した。

現行の設計指針に示されている資料収集の目的は、計画降雨強度式の設定などの 8 の目的に大別されるが、今回、岡崎市の検討対象排水区においては、15 の目的に応じて、31 項目の資料を新たに収集した。なお、検討対象の排水区の状況に応じて、収集すべき（できる）資料は異なることに留意する必要がある。

このうち、新たな考え方に基づく雨水管理計画の検討において特に重要となる次の 5 つの事項について資料収集・整理方法を詳述する。

- 降雨情報（要因別降雨発生特性）
- 浸水情報（水害発生特性）
- 地形・土地利用特性
- 施設情報（流出解析モデル¹²⁾を行うための現況排水施設情報）
- 水位情報（水位観測）

表 2.1 収集資料の項目一覧

大項目	中項目	新たな雨水管理計画の策定に必要な資料収集の目的(案)		(参考)設計指針に示された資料収集の目的
①浸水被害実績	<ul style="list-style-type: none"> ■日時、場所 ■被害状況(浸水面積、床上床下戸数、浸水深、浸水原因等) ■水防活動状況 	①	浸水要因の把握、キャリブレーション	
②降雨記録	<ul style="list-style-type: none"> ■気象庁の観測点：名称、所在地 ■上記の10分単位の時系列降雨量(基本的に全データ、期間はストック管理状況に応じて指定) ■気象庁以外の観測点：名称、所在地 ■上記の10分単位の時系列降雨量(基本的に全データ、期間はストック管理状況に応じて指定) ■XRAINデータ 	② ③ ④	気象要因の区分、時間分布の検討、計画降雨強度式の設定 降雨の地域特性、照査対象降雨の設定 降雨の空間分布の検討	① 計画降雨強度式の設定
③河川水位	<ul style="list-style-type: none"> ■観測点：名称、所在地 ■1時間単位の時系列水位(浸水被害時) 	⑤	外水位の設定	
④雨水管渠整備状況	<ul style="list-style-type: none"> ■下水管台帳(地盤高、マンホール座標、管径、管底高、延長) ■雨水整備区域、幹線整備状況 ■水理構造物(雨水吐口、ポンプ場等)の構造図 	⑥	モデルによる既存施設の能力評価	② 流量計算表による既存施設の能力評価
⑤下水道計画	<ul style="list-style-type: none"> ■下水道法事業計画申請書 ■一般平面図 ■施設区画割平面図 ■流量計算表 ■計画降雨諸元(整備目標(確率年)、確率年別降雨量(確率降雨量の推定方法)、降雨強度式、対象とした降雨資料の属性(観測地点、位置、統計期間)) ■その他ハザードマップに適用した降雨諸元(降雨時系列、総降雨量、降雨継続時間) 	⑦ ⑧	下水道計画の把握 照査対象降雨の設定	③ 下水道計画の把握
⑥河川等整備状況	<ul style="list-style-type: none"> ■河川計画資料(計画諸元、図面等) ■河川整備状況(現況整備計画、整備状況、断面、縦断等) ■貯留・浸透施設の現況と計画(施設諸元、図面等) ■農業用排水路の現況と計画(施設諸元、図面等) ■排水機場(施設諸元、図面、操作規則等) 	⑤ ⑨ ⑥	外水位の設定 雨水流出量の算定 モデルによる既存施設の能力評価	④ 外水位の設定 ⑤ 雨水流出量の算定 ⑥ 流量計算表による既存施設の能力評価
⑦地形・地勢等状況	<ul style="list-style-type: none"> ■都市計画用途地域図 ■地形図(DMデータ(デジタルマッピング)) ■標高図(LPデータ(航空レーザー測量データ)) ■土地利用図(数値情報、図面等) 	⑩ ⑪ ⑫ ⑬	都市計画の把握 解析モデルの作成 地表面氾濫解析モデルの設定 雨水流出モデルの設定	⑦ 流出係数の設定 ⑧ 区画割施設平面図の作成
⑧地下空間の利用状況	<ul style="list-style-type: none"> ■地下街 ■その他地下空間施設情報 	⑭	照査評価基準の設定	
⑨水位計等の設置状況	<ul style="list-style-type: none"> ■水位計等設置状況(位置、機種等) 	⑮	浸水要因の把握、キャリブレーション	

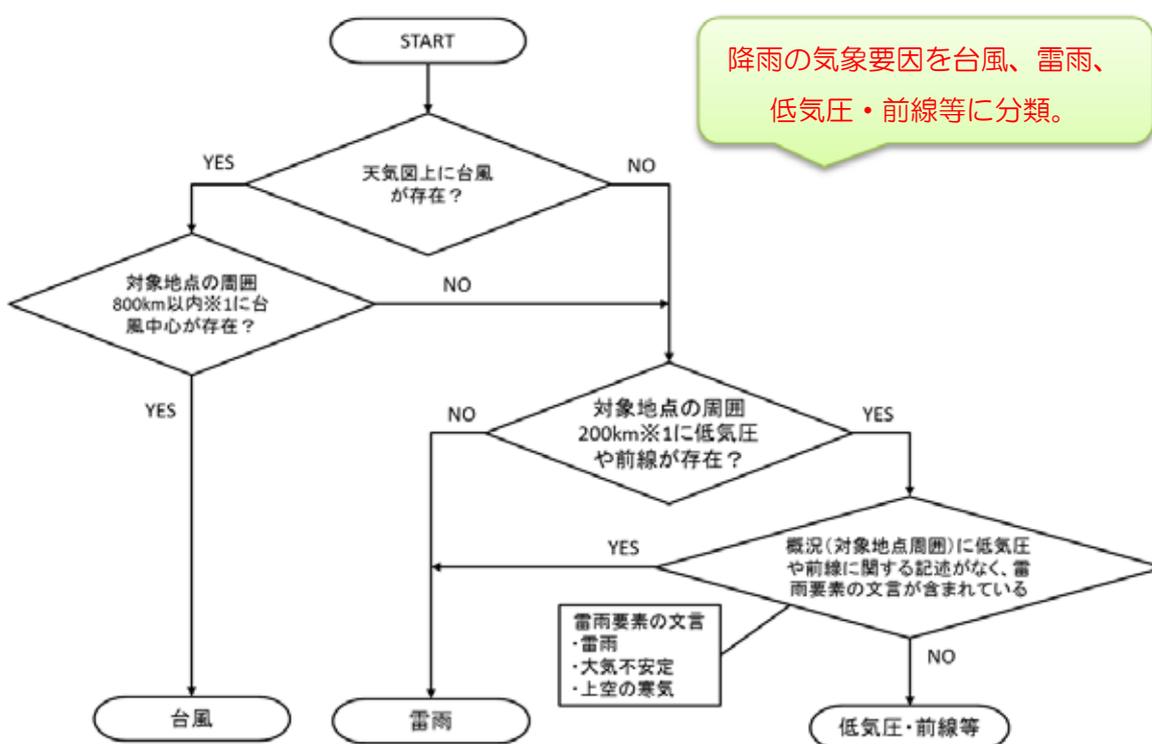
※表中下線部：今回、新たに収集した資料

2-2. 降雨情報（要因別降雨発生特性）

近年、局地的な大雨等が頻発しており、全国的に見ても、時間雨量が100mmを超える降雨もめずらしくない状況となっている。また、台風や前線に伴う降雨のほか、積乱雲の急激な発達等により、短時間にごく狭い地域に生じる局地的な大雨等が増大している。このような局地的な大雨等は、狭い範囲に生じる降雨であることから、排水区内の管路内流下にあわせて雨域が移動している事例もあり、管内の流量が急激に増大するおそれがある。

今回のFS調査では、上述の観点から、下水道施設の能力を上回る降雨の際の安全性の評価などを行うため、確率計算に用いる降雨を抽出するだけでなく、「照査降雨」を設定する際に必要となる、**気象要因別の降雨発生特性を整理**する。今回の調査では、気象庁のアメダス観測地点で10分間降水量データが入手可能な1994年~2013年の20年間において、12時間無降雨を独立降雨と定義して、継続時間別に降雨量の上位40位個を抽出した。また、気象要因別の降雨発生特性を把握するため、天気図に着目して、「台風」、「雷雨」、「低気圧・前線等」の3つの降雨形態に分類した整理を行った。

具体的な分類方法は、図2.1のとおり。



留意点

- 対象事例毎に1つの天気タイプとすること(1事例が2日間の場合に、1日目はその他で2日は台風といった判定は行わない)
- 強雨を観測した時刻付近の天気図を最重要視する→強雨となっている時刻はハイトグラフで確認
- 前後の天気図を確認し擾乱(台風や低気圧)が対象地域の周囲を通過しているか類推すること【※1】
- 前線を伴わない低気圧(単にLと記載されたもの)は、低気圧として扱わない
- 熱帯低気圧(TD)は、台風として扱う

図 2.1 降雨の気象要因判定方法

このほかにも、国土交通省・気象庁において、雨の定義を行っており、気象要因・降雨継続時間に着目して「にわか雨」、「局地的な大雨」、「集中豪雨」、「台風・前線等」に区分することも考えられる。

表 2.2 国土交通省河川局（当時）における雨の定義

区分	名称	概要	雨量指数	予測の可能性	浸水被害
国土交通省 河川局（当時） における定義	局地的な大雨	急な雨が数時間 内で発生・消滅	1時間雨量、3時 間雨量	大雨の予測が困 難	内水による浸水被害 が発生するおそれが 高い
	集中豪雨				
	台風等による大雨	数日間にわたっ て降る大雨	日雨量(24時間 雨量、74時間雨 量)、総雨量	数時間先の大雨 の予測がある程 度可能	内水による浸水被害 に加え、洪水により 大規模な浸水被害が 発生するおそれ

出典：https://framework.nilim.go.jp/assets/download/090312_sympisium_presentation.pdf

表 2.3 気象庁における雨の定義

区分	名称	概要	降雨量	降雨継続 時間	降雨区域	浸水被害	その他
気象庁における定義	やや強い雨	1時間に10mm以上20mm未 満の雨			—		この程度の雨でも長く続く時は注意 が必要。
	強い雨	1時間に20mm以上30mm未 満の雨					側溝や下水、小さな川があふれ、小規 模の崖崩れが始まる。
	激しい雨	1時間に30mm以上50mm未 満の雨					山崩れ・崖崩れが起きやすくなり危険 地帯では避難の準備が必要。都市では 下水管から雨水があふれる。
	非常に激しい雨	1時間に50mm以上80mm未 満の雨					都市部では地下室や地下街に雨水が 流れ込む場合がある。マンホールから 水が噴出する。土石流が起こりやす い。多くの災害が発生する。
	猛烈な雨	1時間に80mm以上の雨					雨による大規模な災害の発生するお それが強く、厳重な警戒が必要。
	局地的大雨	急に強く降り、数 十分の短時間に 狭い範囲に数十 mm程度の雨量 をもたらす雨。 「局地的な大雨」 とも言う。	数十mm 程度	数十分の 短時間	狭い範囲	—	単独の積乱雲が発達する ことによって起き、大雨 や洪水の注意報・警報が 発表される気象状態でな くても、急な強い雨のた め河川や水路等が短時間 に増水する等、急激な状 況変化により重大な事故 を引き起こすことがある。
	集中豪雨	狭い範囲に数時 間にわたり強く 降り、100mm から数百mmの 雨量をもたらす雨。	100mm から数百 mm	数時間			積乱雲が同じ場所で次々 と発生・発達を繰り返す ことにより起き、重大な 土砂災害や家屋浸水等の 災害を引き起こす。

(参考) にわか雨：降水が地域的に発散する一過性の雨

出典：「気象庁 HP」

降雨継続時間毎の気象要因別上位 40 位降雨数を図 2.2 に示す。降雨継続時間 1440 分では、台風による大雨が上位を占める割合が高いが、10分、60分といった比較的短時間の大雨については、雷雨性豪雨が上位 40 位で占める割合が高い傾向であることがわかった。

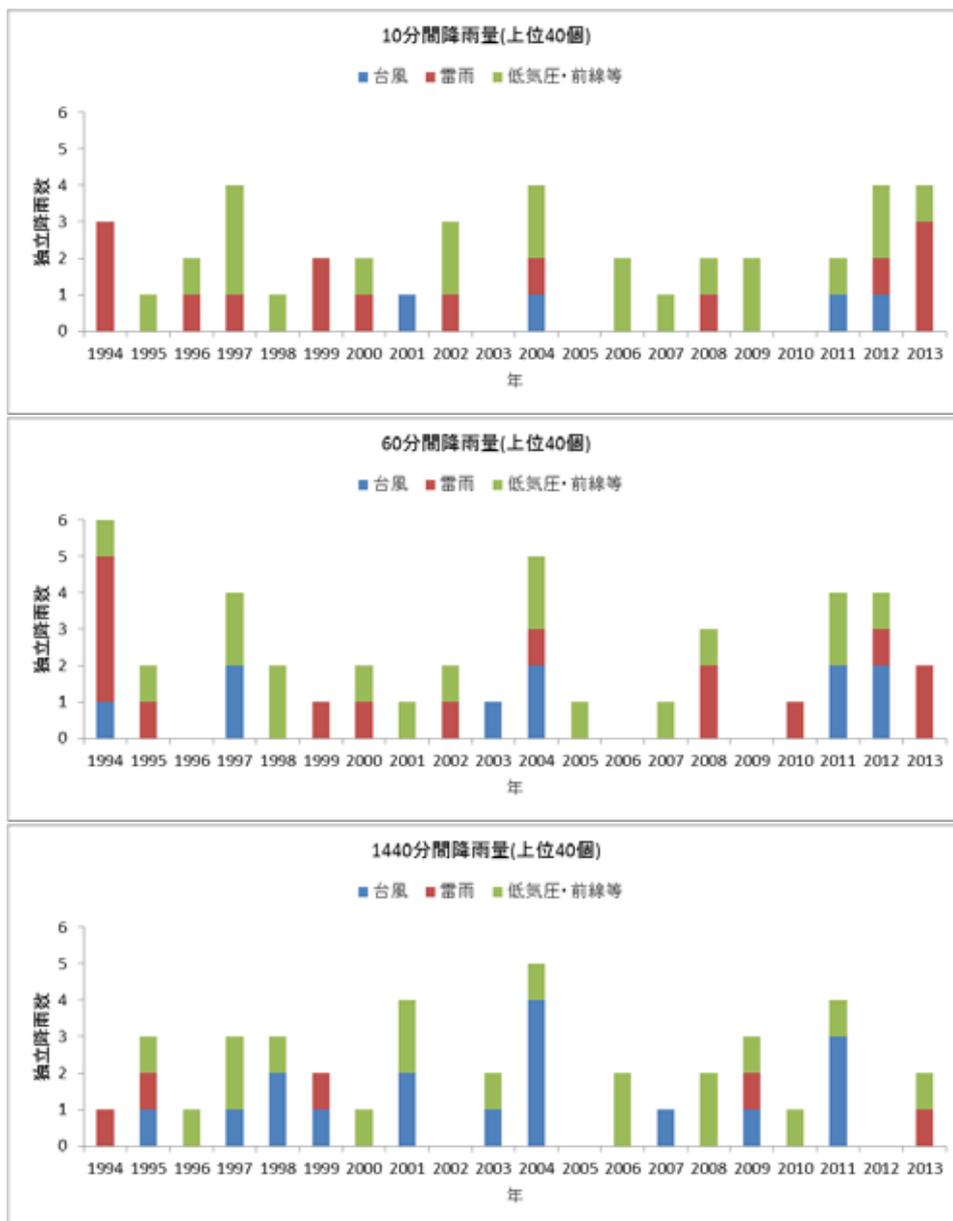


図 2.2 降雨継続時間毎の気象要因別上位 40 位降雨数

2-3. 浸水情報（水害発生特性）

岡崎市全域における浸水被害は、近年で最も被害が大きい平成 20 年 8 月末豪雨では、死者 2 人（伊賀川沿い）、建物全壊 6 戸、半壊 3 戸、一部破壊 22 戸、床上浸水が 1,110 戸、床下浸水が 2,255 戸の被害が発生している。

平成 20 年 8 月末豪雨ならびに東海豪雨における当該排水区の被害戸数と全体における割合を表 2.4 に示す。また、浸水位置図は図 2.4 に示すとおりである。当該排水区における平成 20 年 8 月末豪雨の床上浸水戸数は、全市に対して約 4 割を占めている。

今回の調査では、浸水実績のデータが少ないことなどから、十分な分析を行うことができず、このような分析に留まったが、例えば、排水区毎の降雨の傾向や、局地的な大雨等が発生しやすい状況などとあわせて調査を行うことで、浸水対策を実施すべき区域や浸水対策レベルの検討など、浸水対策の立案を行う上で、有用な情報を得ることができるものと考えられる。

表 2.4 市全域および当該排水区における東海豪雨と平成 20 年 8 月豪雨の浸水箇所の状況

排水区名	項目	床上浸水			床下浸水			浸水被害(床上+床下)		
		東海豪雨	H20.8月末	計	東海豪雨	H20.8月末	計	東海豪雨	H20.8月末	計
早川	戸数	74	289	363	145	417	562	219	706	925
	全市に占める割合	17.9	26.0	23.8	12.2	18.5	16.3	13.6	21.0	18.6
伊賀川	戸数	34	156	190	45	251	296	79	407	486
	全体に占める割合	8.2	14.1	12.5	3.8	11.1	8.6	4.9	12.1	9.8
全市	戸数	414	1,110	1,524	1,193	2,255	3,448	1,607	3,365	4,972

(単位上段:戸)

(単位下段:%)

40.1%

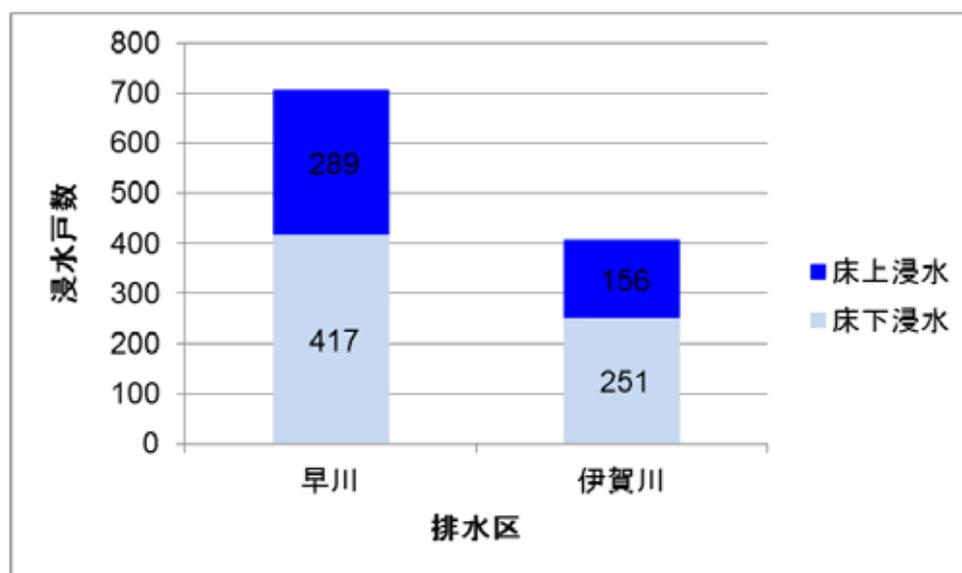


図 2.3 計画の対象範囲内での浸水戸数（平成 20 年 8 月末豪雨）

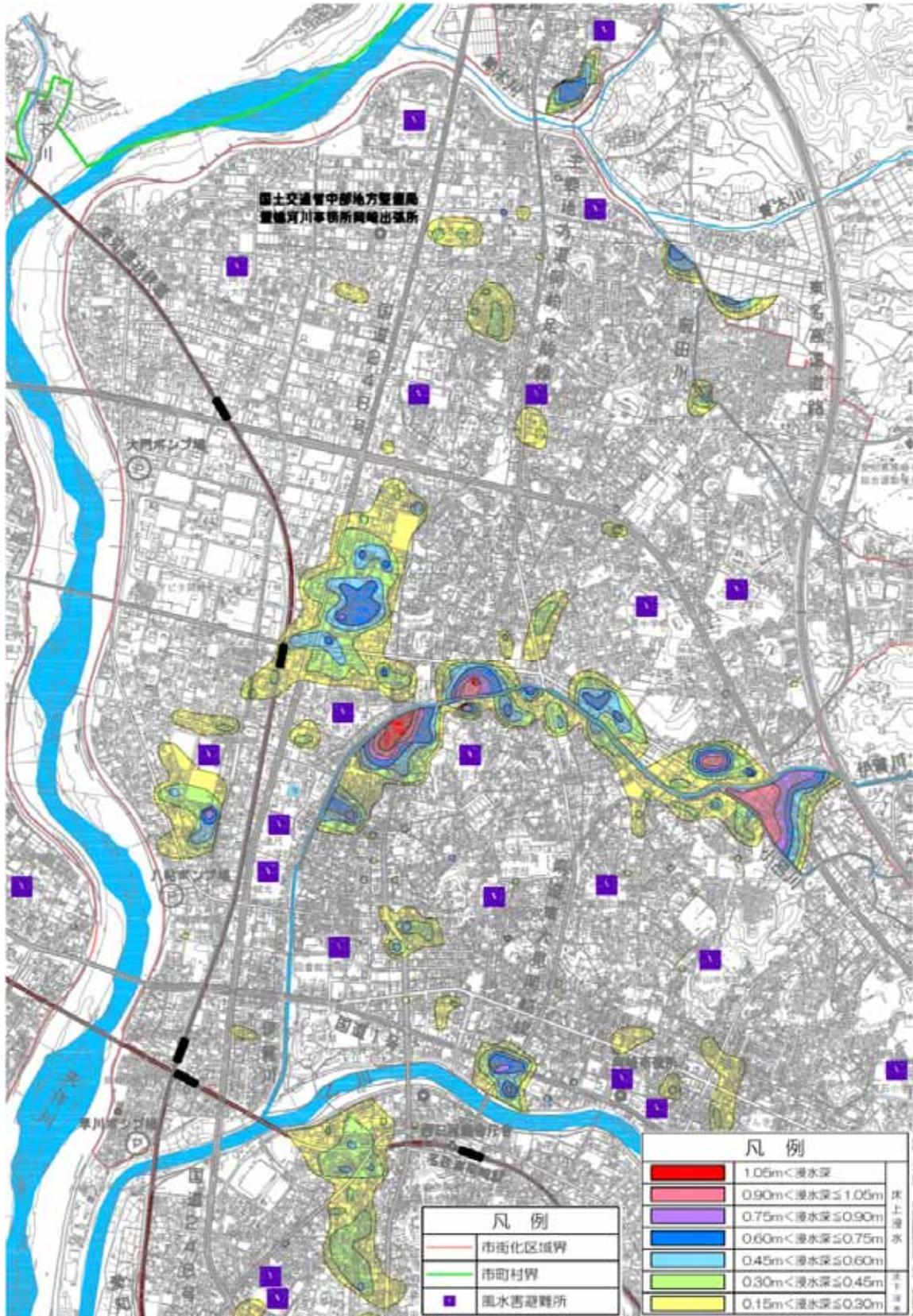


図 2.4 計画の対象範囲内での浸水実績分布図（平成 20 年 8 月末豪雨）

出典：「岡崎市HP」

2-4. 地形・土地利用特性

2-4-1. 地形

対象範囲における5mメッシュの標高を図2.5に、25mメッシュの標高を図2.6に標高の断面図を図2.7に示した。西側に矢作川、南側に乙川があり、東側には比較的高い標高があり、これらに囲まれた土地は窪地となっており、ポンプ排水区となっている。

今回のFS調査では、「生命の保護」、「都市機能の確保」、「個人財産の保護」の視点から定める、浸水対策の目標となる評価基準により対策の検討を行う際に、氾濫解析モデルにより建物における浸水深や道路の冠水状況をより精緻に表現する必要があるため、道路や建物を分けて表現可能な5mメッシュの標高データを使用した。

(国土交通省は、平成17年～平成21年にかけて1級河川沿いを中心に実施した航空レーザー測量を基にした高精度な数値標高データ、約134,000km²(国土の約35%)について、国土地理院のウェブサイトで見盤地図情報として提供を開始している。)

ただし、メッシュの大きさについては、対象範囲の面積(メッシュ数)、地形勾配、局所の盛土や窪地等の微地形の有無等の条件を考慮し、氾濫解析の目的に応じたサイズを設定することが望ましい。例えば、市域全域5mメッシュの標高データにより流出解析を行う場合、解析に多くの時間が必要であることから、市域全域で流出解析を行う際には、25mメッシュの標高データに基づき概略的な検討を行い、道路冠水、宅地への浸水などの現象を把握した上で、よりきめ細やかで効果的な浸水対策を検討すべき排水区においては、5mメッシュの標高データに基づき検討を進めることなどが考えられる。

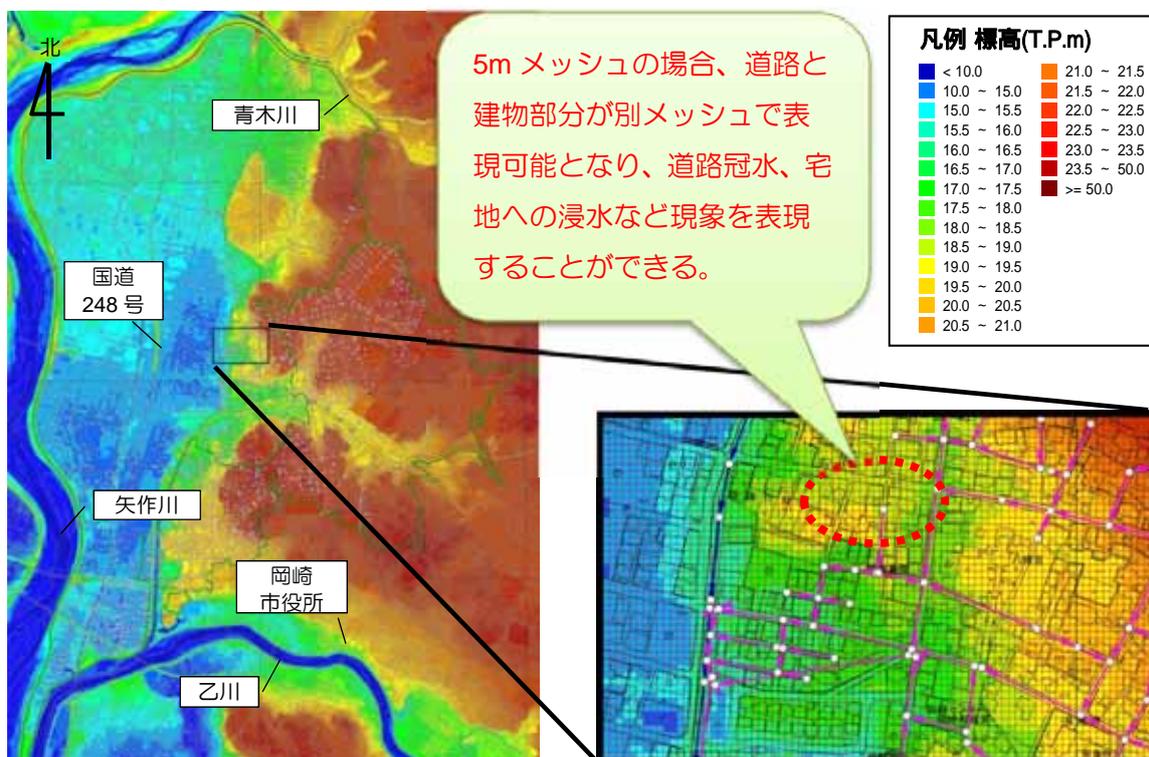


図 2.5 標高5mメッシュの平面分布図

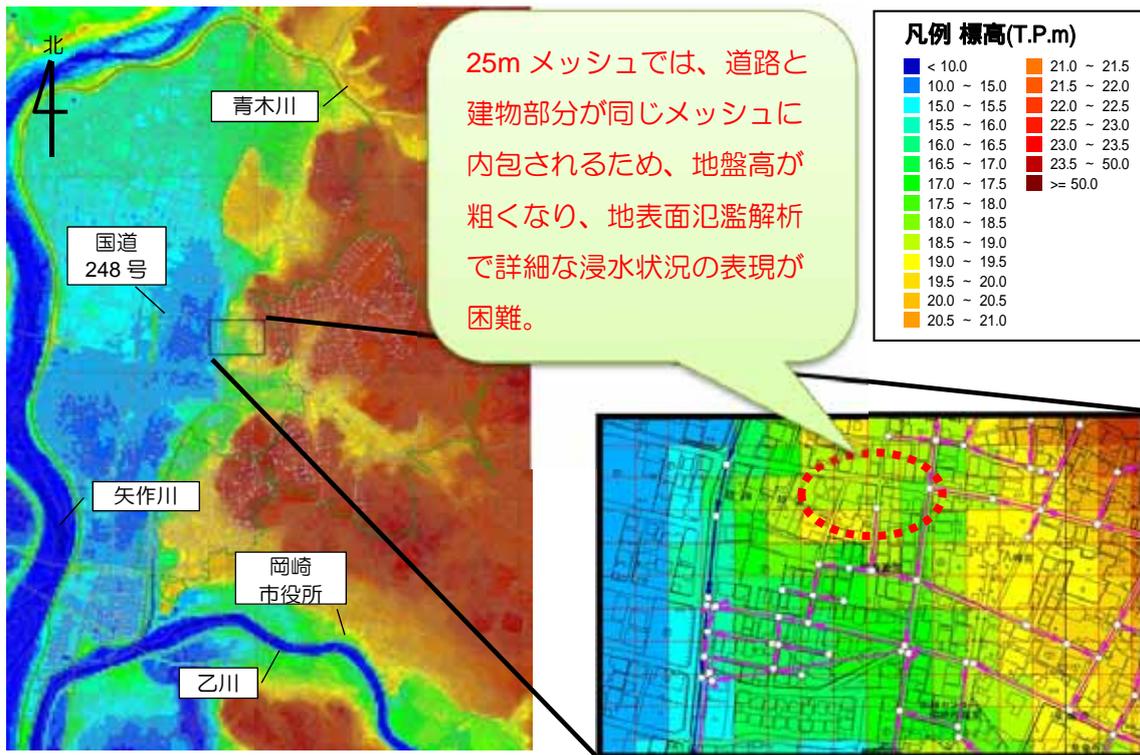


図 2.6 標高 25m メッシュの平面分布図

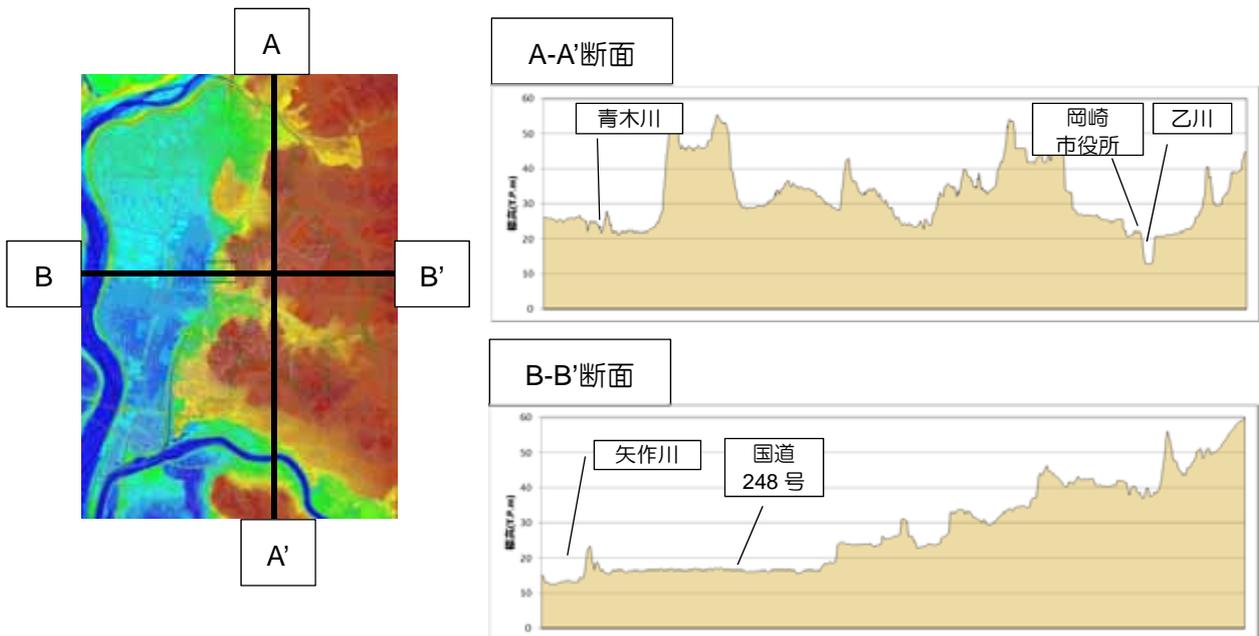


図 2.7 標高 5m メッシュの標高縦断図

2-4-2. 土地利用

土地利用状況は図 2.8 のとおり、北岡崎駅周辺は大規模工場等が集積している地区であり、建物が密集している。また、対象区域の南に位置する中岡崎駅周辺には岡崎城がある。駅から離れるに従い空地が増えている。



図 2.8 土地利用の分布図

従来の合理式¹⁵⁾による手法では、一般的に図 2.9 に示す都市計画用途地域図を参考に流出係数を設定して排水区の流出係数を設定している。

今回の FS 調査では、流出解析モデルの適用にあたり、雨水が地表面から管内等への流出する過程において、より実態に即して表現できる「降雨損失モデル」の採用を想定しているため、前述の道路、建物等の土地利用の分布図を踏まえた不浸透面積と浸透面積の整理を実施した。

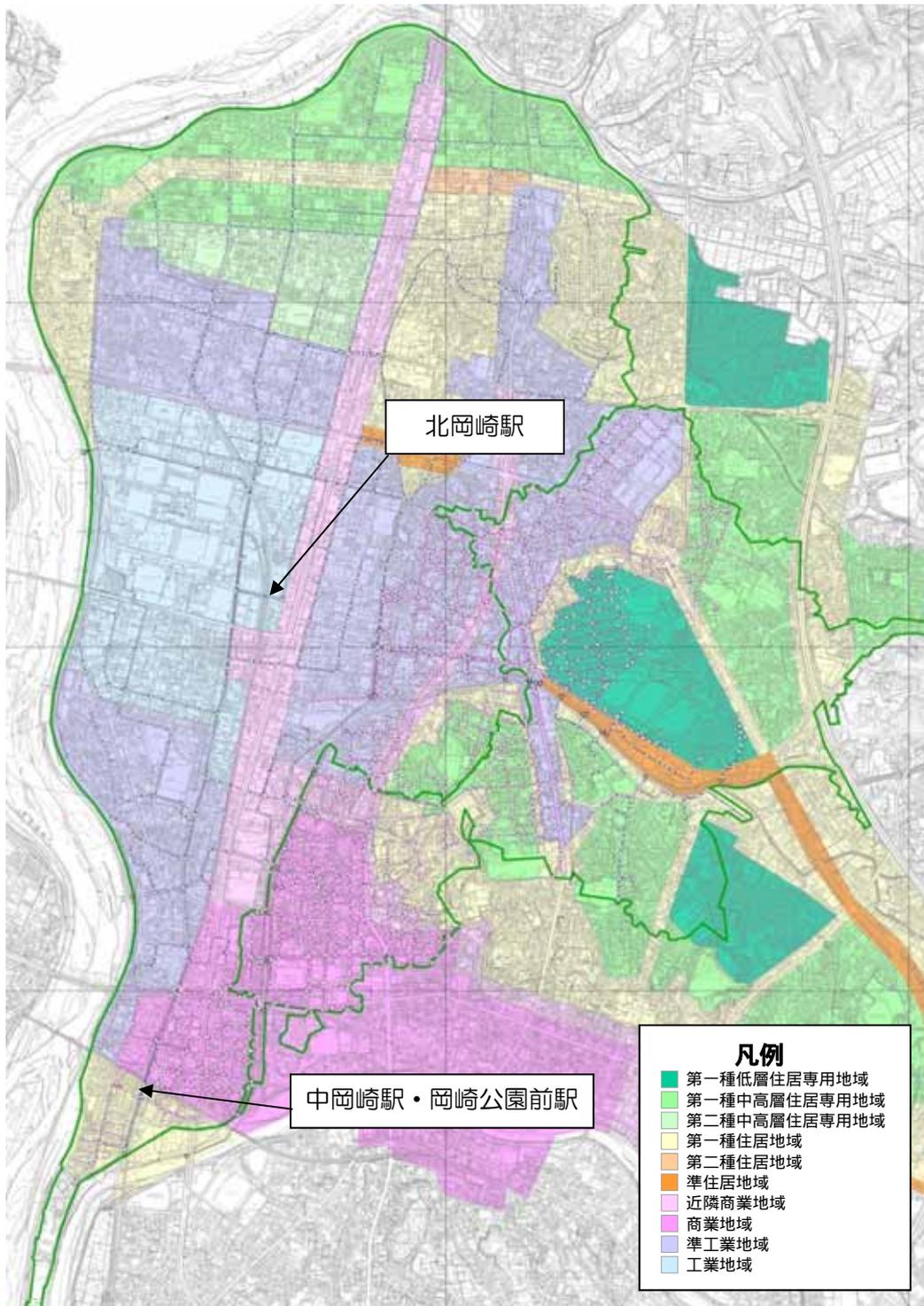


図 2.9 都市計画用地地域図

【参考】降雨損失モデルについて

降雨は、下水管に流入するものと、流入せずに浸透・窪地貯留等により損失するものがあり、この様々な損失を降雨損失という。降雨損失を計算する代表的な方法として、「①降雨損失モデル」と「②流出係数モデル」等がある。

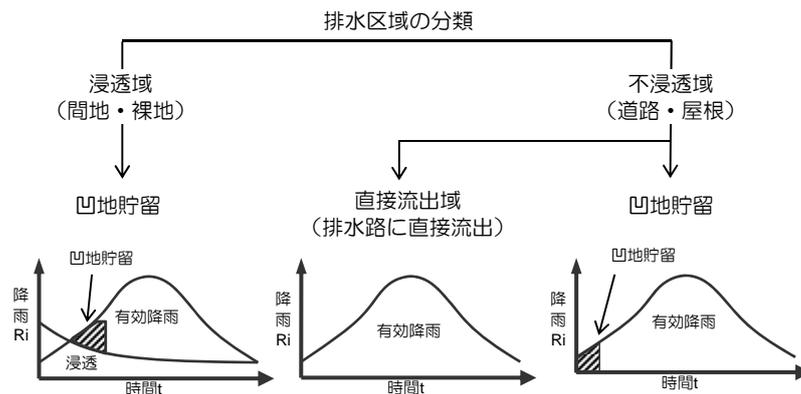
①降雨損失モデル

降雨損失モデルは、様々な降雨損失要素をモデルに組み込んだもので、代表的なものとして窪地（凹地）貯留損失と浸透損失がある。また、これらの損失は、下図に示すように土地利用の状況から浸透域および不浸透域に大別される区域ごとに設定されることが多い。

浸透損失の求め方にはいくつかの方法があるが、ここでは、ホートン式を例に取り説明する。ホートン式は、降雨のうち雨水施設へ流入せず地表面から土壤に浸透する雨水量の時間変化量を求める式であり、次のように表わす。

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

ここで、 f ：浸透能（mm/hr）、 f_0 ：初期浸透能（mm/hr）、 f_c ：最終浸透能（mm/hr）、 k ：減衰係数（ s^{-1} ）、 t ：時間（s）である。



②流出係数モデル

流出係数モデルは、降雨損失モデルの各損失を流出率として表わすもので、都市流域の流出計算に用いられることが多く、有効降雨量＝降雨量×流出率の式となる。

流出率は、一般に工種別面積と工種別基礎流出係数からおおむね想定できるが、降雨規模によって幅があるため、キャリブレーションにより調整を行う。

出典：流出解析モデル利活用マニュアル-2006年3月-、(財)下水道新技術推進機構

2-4-4. 地下空間や防災拠点等

新たな基本的考え方に基づく雨水管理計画では、近年頻発している計画降雨を上回るような豪雨に対して、浸水安全度の向上を一刻も早く図ることができるよう、従来の一律的な評価基準ではなく、受け手を主体とした評価基準に基づき、地区や対策の重要度を設定し、効率的・効果的な雨水整備を実施する。

したがって、今回のFS調査では、地下空間等における「生命の保護」や幹線道路の交通支障等の「都市機能の確保」、床上浸水被害等による「個人財産の保護」の視点から定める評価基準等の設定に反映するため、**地下空間の利用状況や防災拠点、緊急輸送路などの地域の防災計画を整理**する（表 2.5、図 2.10）。

その他、これら情報に加え、交通量や収容人数等を調べておくと、評価の際の重みづけに利用することも可能である。

表 2.5 地下空間や防災拠点等の整理項目一覧

カテゴリー	該当土地利用	整理項目	備考
生命の保護	高度地下空間利用地区（地下街、地下鉄駅構内等）	地下施設位置	該当なし
	災害時要支援者関連施設を有する地区（養護老人ホーム、身体障害者療護施設、児童養護施設等）	災害時要支援者関連施設位置	該当なし
都市機能の確保	商業・業務集積地区（商店街、官庁街、大規模オフィスビル等を含む地区等）	商店、官庁、大規模オフィスビル位置	都市計画用途地域図
	交通拠点施設・主要幹線地区（終着駅・複数路線の結節点となっている駅、緊急輸送道路等になりうる幹線道路等）	緊急輸送路位置	岡崎市地域防災計画の緊急輸送路位置図から第一次・第二次緊急輸送路を整理
	防災関連施設地区（災害時の防災拠点や避難所、緊急医療施設、役所、消防本部、消防署等）	防災拠点等位置	岡崎市防災マップから防災拠点や指定避難場所等の位置を整理
個人財産の保護	一般市街地の床上浸水常襲地区	建物位置	土地利用分布図

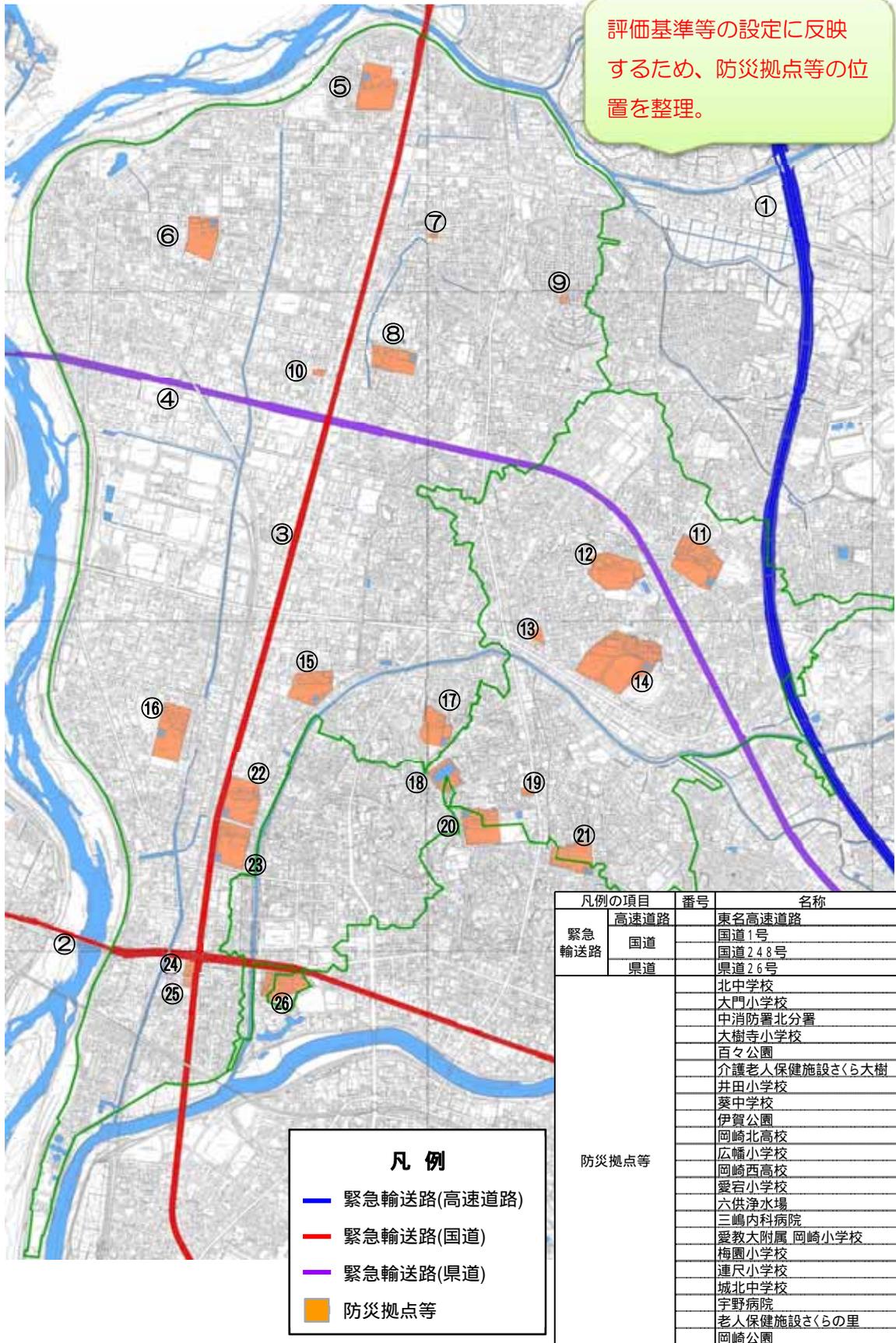


図 2.10 防災拠点等の位置

2-5. 施設情報（流出解析モデルを行うための現況排水施設情報）

流出解析モデルを適切に構築するには、施設情報等に関するデータを十分に調査し、これをモデルに入力する必要がある。また、地表面の氾濫現象をより精緻に再現するためには、下水道管路等（管渠、マンホール、開水路等）の水位と地表面とが密接に関連していることから、マンホールからの噴き出し（溢水）位置を実際と近い状態とする必要がある。

浸水シミュレーションに基づき、浸水対策施設の設置場所等を概略的に検討し、合理式で施設設計を行うような従来の手法では、 $\phi 600\text{mm}$ 程度の幹線管渠のみを考慮することも考えられるが、今回の FS 調査では、浸水シミュレーションに基づき、施設計画・設計を行うことを念頭に、管路網のモデル化を行う際には、浸水実績の多い合流区域では、下水道台帳等の資料を用いて、幹線のみならず、 $\phi 200\text{mm}$ 以上の枝線等管渠を考慮した。一方、分流区域は、浸水実績が比較的少ないこと、また、枝線以上（ $\geq \phi 200\text{mm}$ ）の管路網を構築するとなると、モデルの構築や計算に相当の時間が必要となることから、管路網の簡素化を図り、幹線・準幹線を対象として管路網をモデル化した（図 2.12）。

管路網の簡素化については、「流出解析モデル利活用マニュアル-2006 年 3 月-、（財）下水道新技術推進機構」では、下水道施設等のモデル化にあたり、必要に応じて、管路網の簡素化（モデル化する下水道の最小管径の設定、または系統内の上下流における同一口径・勾配の管渠を統合し、モデルを簡素化すること）を図ることにより、モデル構築作業の労力や解析時間が短縮され、作業性が向上するとしていることから、検討の目的等に応じて、このような管路網の簡素化も有効である（図 2.11）。

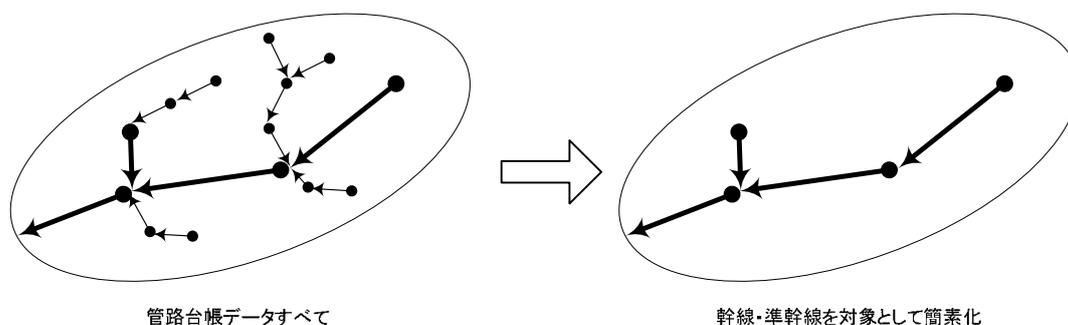


図 2.11 管路網簡素化のイメージ

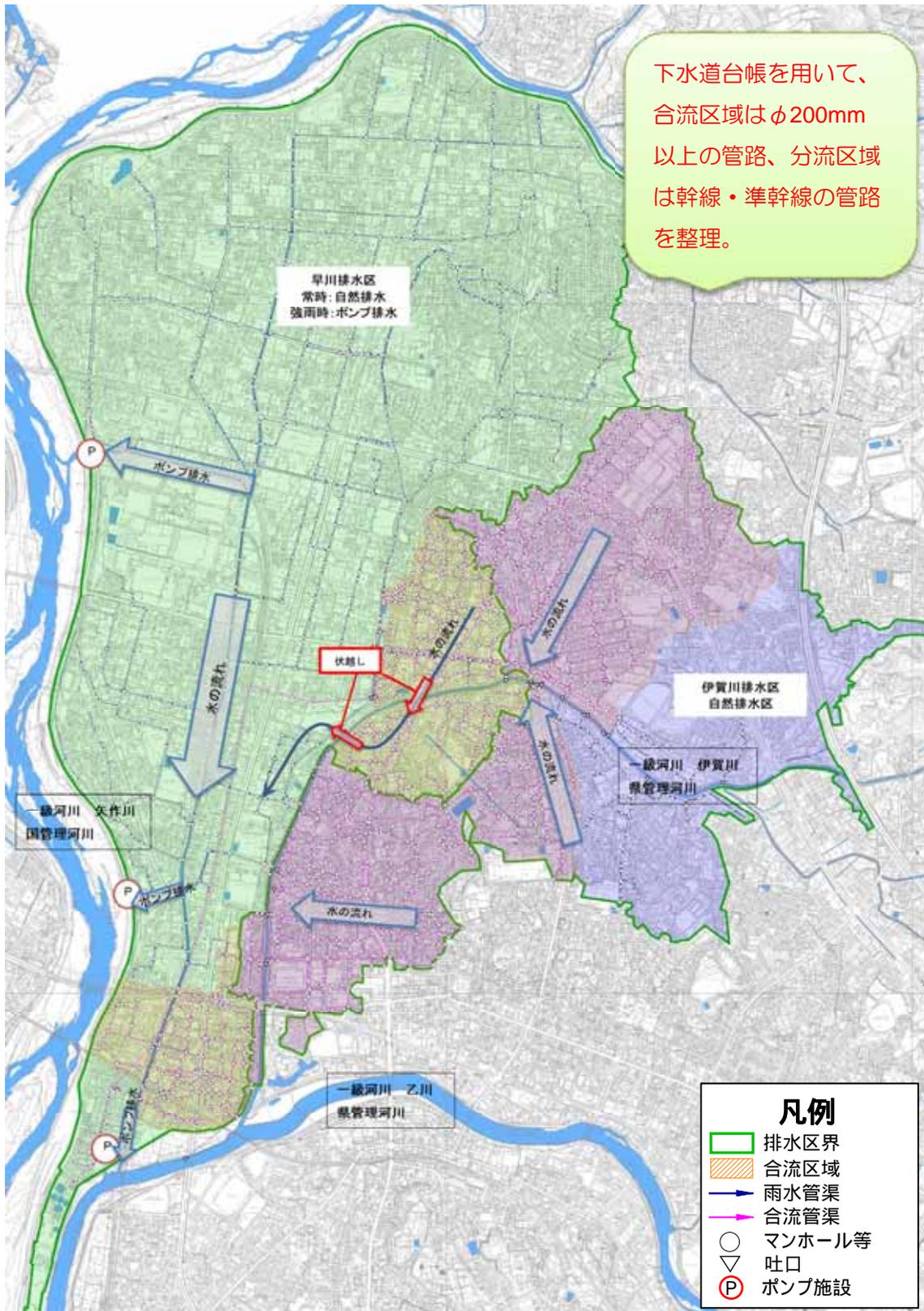


図 2.12 計画の対象範囲における管路網図

2-6. 水位情報（水位観測）

2-6-1. 排水区域内の水位（内水位）

従来の合理式等による手法では、計画雨水流出量に対して、流下能力を有する計画断面を設定するが、計画策定時に水位等の観測情報として、必ずしも水位等観測を実施して雨水流出量の検証を行っていないのが実情である。既存ストックがある状態で水位等観測を行わないまま、新たな施設計画・設計してしまうと、浸水被害を解消するために必要十分でない施設を整備してしまうおそれがある。

このため、今回のFS調査では、**流出解析モデルを適用した現状の能力評価検討の精度向上等のため、水位計を設置**した。水位等の観測方法は、表 2.6 に示す面測式流量計（流速、水位）、圧力式水位計（水位）によるものなどがあるが、今回のFS調査では、流速は水位と比較して観測誤差が大きく、キャリブレーションも難しいと考え、水位計による水位情報を用いた。ただし、放流先河川等による背水の影響がある箇所では、逆流現象も把握するため、水位だけではなく流向（流速）も測定することが望ましいと考えられる。

表 2.6 仮設型水位等測定機器（例）

	面測式流量計 計測項目：水位・流速・（流量）	圧力式水位計 計測項目：水位
設置例		
測定方法	<ul style="list-style-type: none"> 水位と流速を連続的に測定し流量を求めるものであり、管きよの底部に流速および水位センサーを固定しバッテリー等で稼働させ、データはデータロガのRAMカードに集積して回収するものである。 (参考) 5分間隔で1ヶ月間連続測定可能 	<ul style="list-style-type: none"> 管きよの底部にセンサーを固定しバッテリー等で稼働させ、データはデータロガ（記録部）のRAMカードに集積して回収する。 (参考) 5分間隔で1ヶ月間連続測定可能
設置場所	<ul style="list-style-type: none"> 大・中口径管内が一般的であるが、小口径管内にも設置可能である。ただし、水位が5cm以下になると精度が低下する。 	<ul style="list-style-type: none"> 設置場所は、大・中口径管内が一般的であるが、小口径管内にも設置可能である。 なお、センサーの設置位置は、常に水位を測定できる位置とする（合流管や常時流水水路などでの適用が一般）。
その他	<ul style="list-style-type: none"> 費用は圧力式水位計に対してやや高価 管路の直線部に位置しているとともに、管路上流の曲がり、たるみその他、流入管からの流入等がないことが必要である。 水位の異常上昇にも対応した水密性の高いデータロガが適している。 <p>(参考) 機器損料：90千円/月</p>	<ul style="list-style-type: none"> 費用は面測式流量計に対してやや安価 放流量を把握するための測定では、背水の影響がなく十分な直線部を有する放流管路がある場合には、放流管路部での水位測定が好ましい。 比較的大きな開水路での水位測定では、水面接触センサーや錘を付けたロープによる測定も可能である。 <p>(参考) 機器損料：69千円/月</p>

また、下水道管渠等に設置する水位計については、どのような場所で、どのような機器を用いて、どのような頻度・回数で観測すべきかなどの知見が少ない。今回のFS調査を通じて、表2.7に示すように水位等観測の目的を4つに区分し、水位等観測の検討フローを図2.13に示すように整理したが、今後、更なる検討を進める必要がある。

表 2.7 水位等観測の目的（案）

フェーズ	目的	内容
計画時 (計画・設計)	精度向上	<ul style="list-style-type: none"> 流出解析モデル、氾濫解析モデルのキャリブレーションにおいて、構築したモデルの妥当性を判断する。 施設計画の検討精度の向上に役立てる。
運用時 (維持・管理)	施設操作	<ul style="list-style-type: none"> 継続的なデータの蓄積・分析作業を行い、ポンプ施設やゲート施設等の運転制御に役立てる。
	情報提供	<ul style="list-style-type: none"> 住民や防災センター等他部局へ情報提供し、警報発信等に役立てる。
	施設管理	<ul style="list-style-type: none"> 実施した対策施設等において、浸水軽減機能が発揮されているか確認し、下水道施設のストックマネジメントに役立てる。

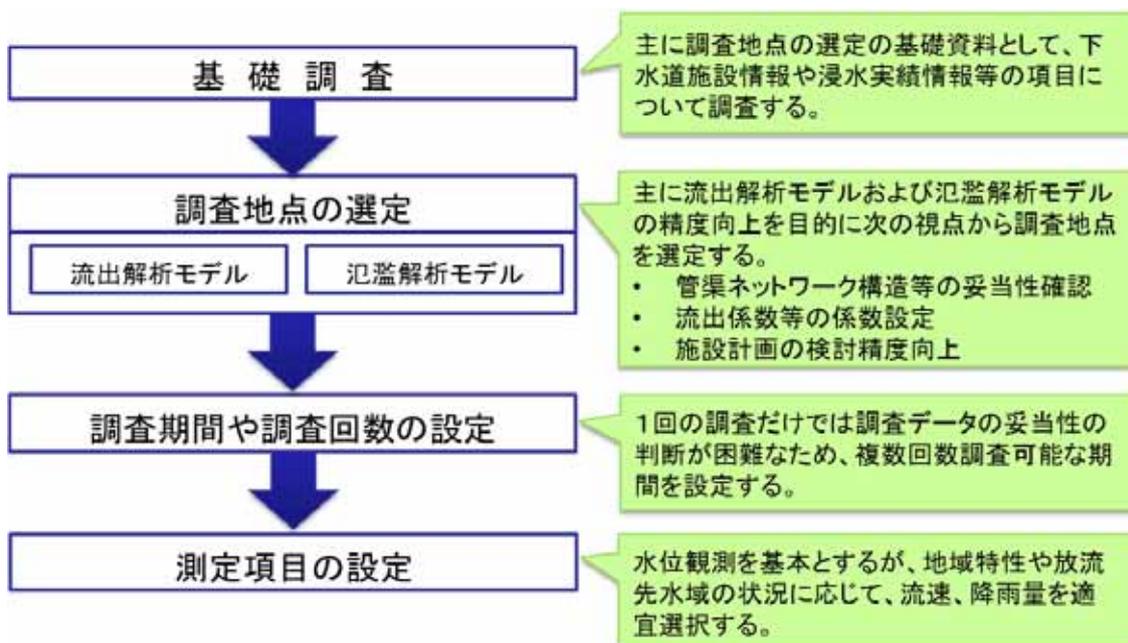


図 2.13 計画時における水位等観測の検討フロー（案）

水位計の設置箇所については、表 2.8 に示すように、水位計の設置目的に応じて、3つのステップを踏んで設置することとした。具体的には、まず、現状の能力評価検討の精度向上を目的として、浸水実績箇所直上の幹線（ネック箇所）や流域下流端の幹線等に水位計を4箇所設置し、得られた水位情報を基に浸水シミュレーションのキャリブレーションを行った。この際、流出係数等の係数設定を行うため、各排水区の主要な幹線に1箇所以上の水位計を配置した。さらに、施設計画の検討精度向上を目的として、浸水シミュレーション実施後に確認されたネック箇所に追加で1箇所設置した（図 2.15）。

表 2.8 水位計設置箇所概要

段階	目的		設置箇所等
ステップ1	現状の能力評価 検討の精度向上	管渠ネットワーク構造等の妥当性確認	<ul style="list-style-type: none"> ● 浸水実績箇所直上の幹線（ネック箇所） ● 流域下流端や分水地点の幹線
ステップ2		流出係数等の係数設定	<ul style="list-style-type: none"> ● その他の幹線（代表的な土地利用や地表面勾配を有する幹線）
ステップ3	施設計画の検討精度向上		<ul style="list-style-type: none"> ● シミュレーション実施後に確認された浸水箇所やネック箇所（枝線含む）

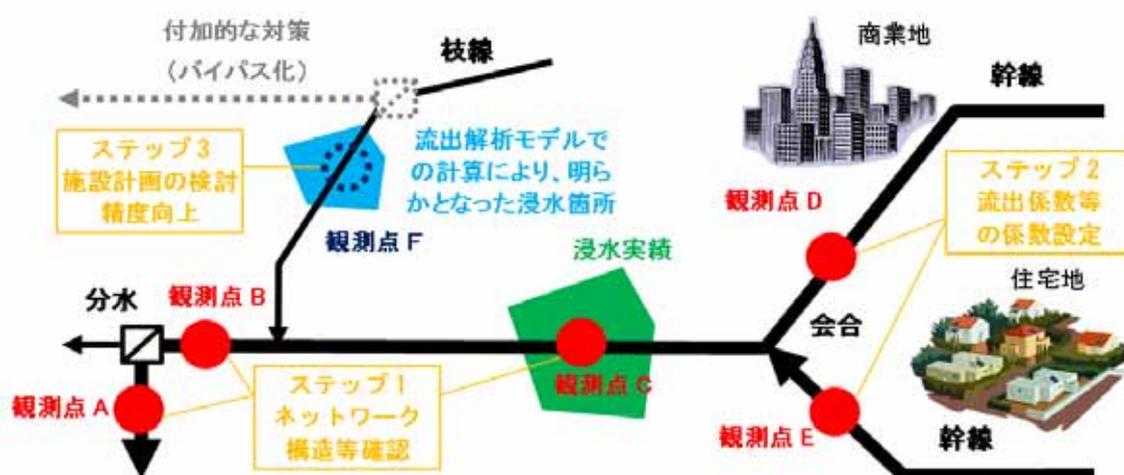


図 2.14 水位計等設置箇所のイメージ図

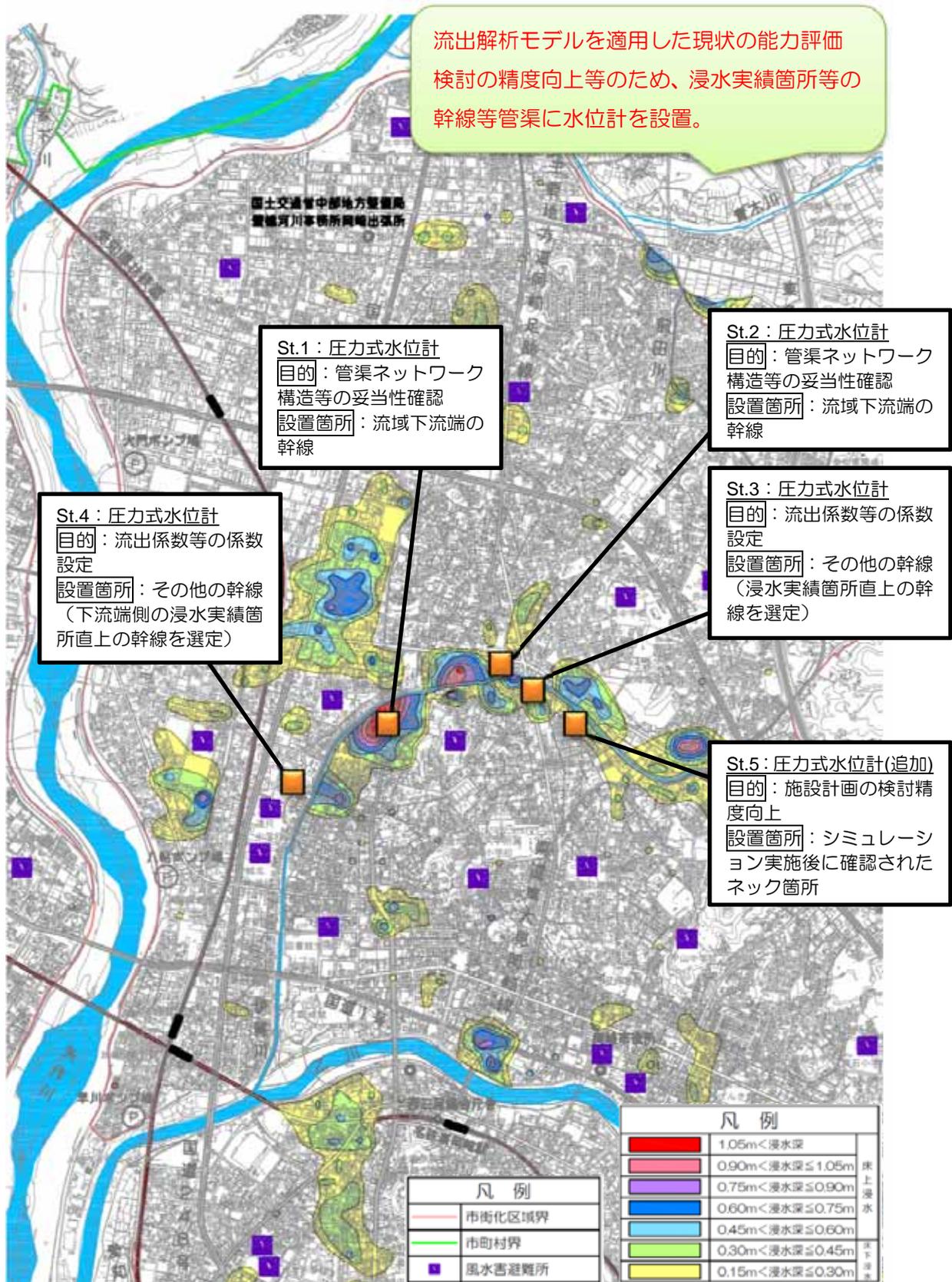


図 2.15 水位計設置位置

2-6-2. 放流先河川の水位（外水位）

従来の合理式等による手法では、等流（自由水面流れ）を仮定して計画雨水流出量を求めるため、基本的に下水道管路の最下流端（放流先河川等）の設定を必要としない。

今回の FS 調査では、流出解析モデル（管路の圧力状態を考慮できる不定流解析モデル）を適用し、下水道の能力不足だけでなく、放流先河川等の水位上昇によって雨水を排水できないことにより発生する浸水現象も考慮とすることから、放流先河川等の水位の経時変化を設定する必要がある。

特に、伊賀川排水区は、比較的緩勾配の自然排水区であることから、内外水の影響があり、外水位を考慮する必要がある。先ずは、吐口地点での放流先河川の状況について、河床高、管底高、計画高水位、フラップゲートの有無等について位置関係を整理した(図 2.18)。

フラップゲートは、河川などの逆流防止扉として使用され、内外の水位差による水圧力を利用して外水位からの背水の影響を低減できる、無動力で簡易なゲートである。

現在、伊賀川排水区においては、19 の吐口のうち、11 ヶ所にフラップゲートが設置されている。将来的には、各吐口地点における計画高水位と内水側の地盤高の高さ関係を確認した上で、「計画高水位 > 内水側の地盤高」となる吐口には、河川改修に伴いフラップゲートを設置していく予定である。

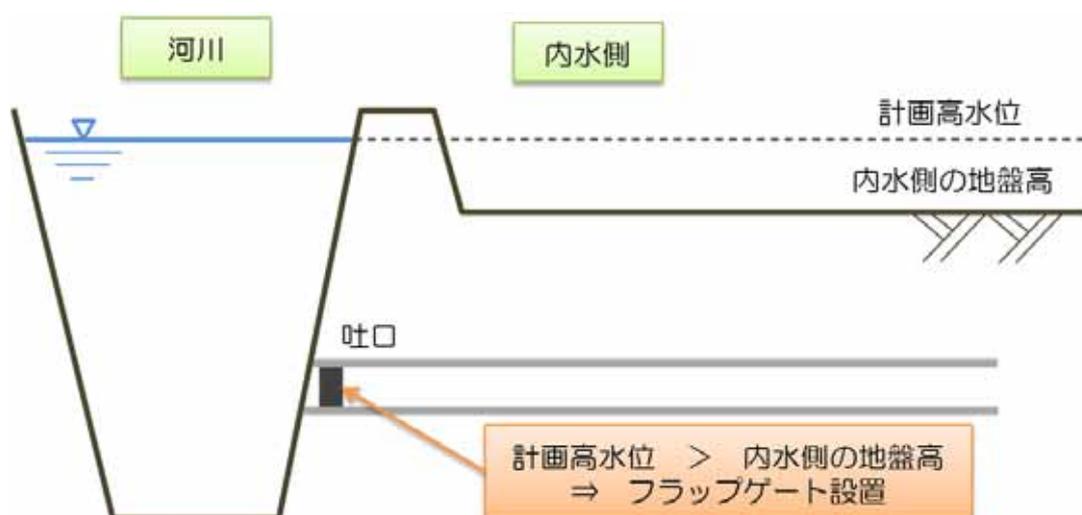


図 2.16 計画高水位と内水側の地盤高の関係

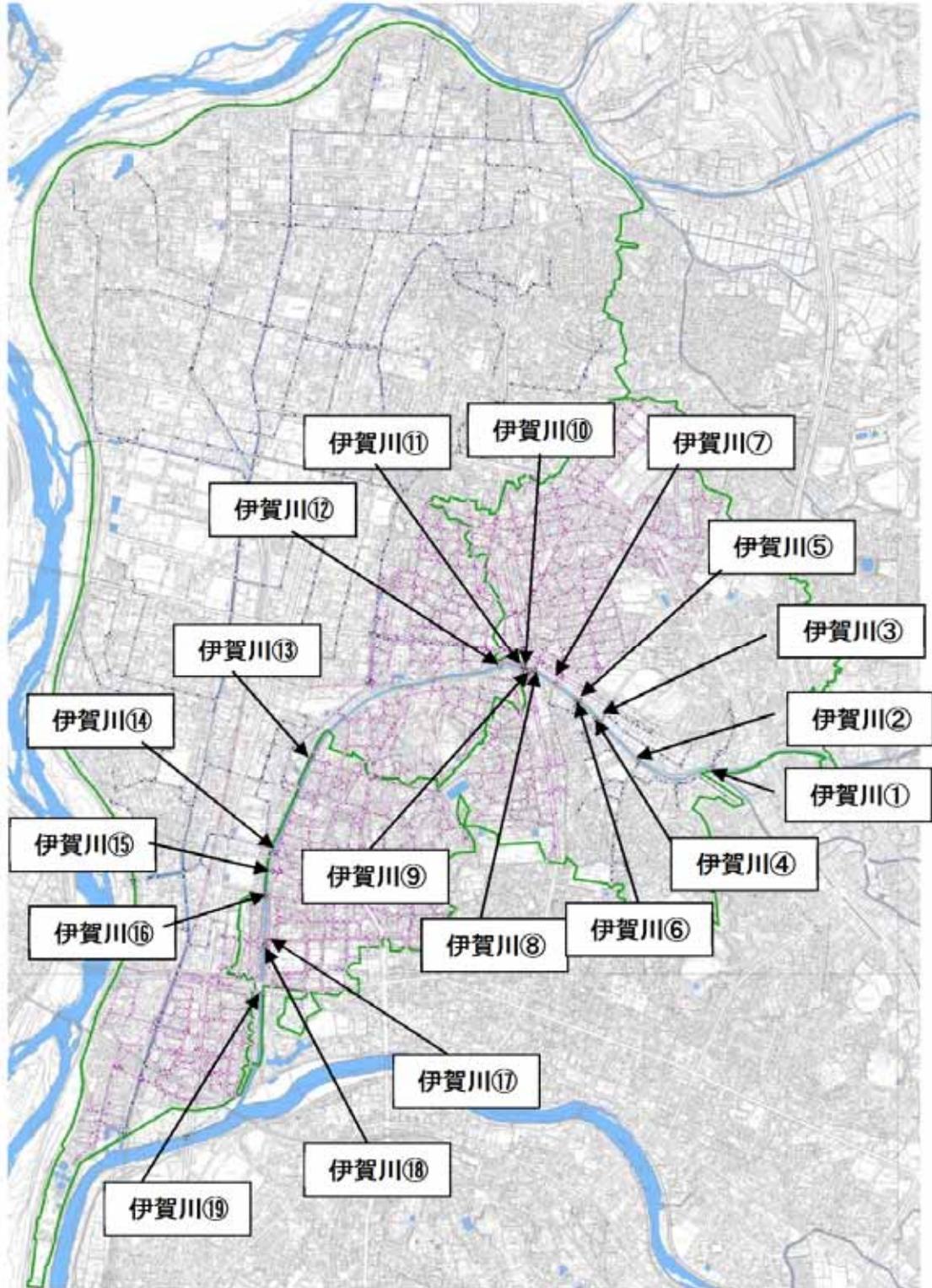
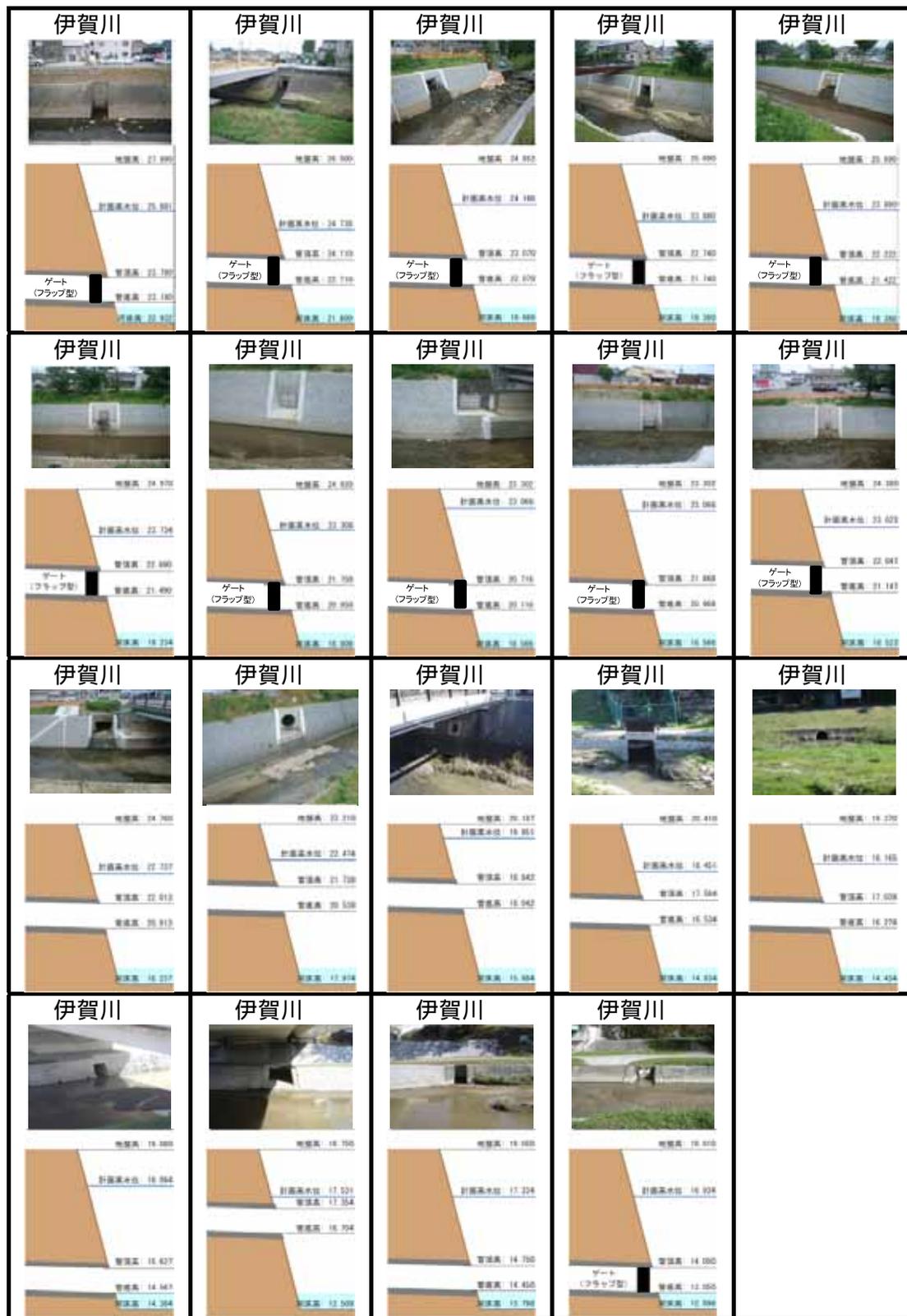


図 2.17 吐口の位置



吐口地点での放流先河川の状況について、河床高、管底高、計画高水位等について位置関係を整理。

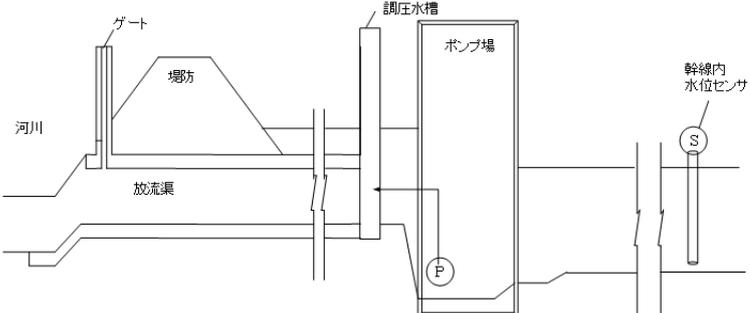
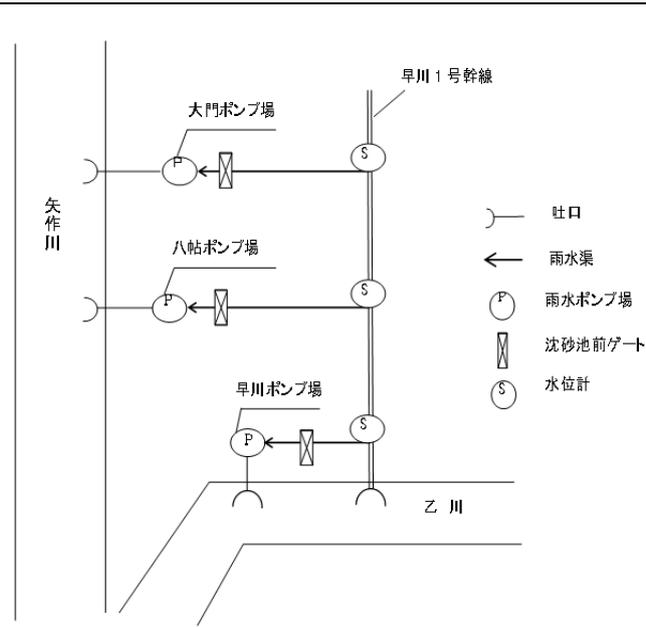
図中のフラップゲートは、河川などの逆流防止扉として使用され、内外の水位差による水圧力を利用して外水位からの背水の影響を低減できる、無動力で簡易なゲートである。

図 2.18 吐口の状況

一方、早川排水区の排水系統は次のような特徴があるため、ポンプ場の諸元とポンプ排水概要等について整理した（表 2.9）。

- 早川排水区は乙川に自然吐口を持った早川 1 号幹線と早川 1 号幹線に接続された3つのポンプ場によって排水している。
- 小降雨時は、早川 1 号幹線にて乙川へ自然排水する。
- 降雨が強くなり、幹線水位が上昇すると幹線内に設置した水位センサーの通報を得てポンプ排水となる。

表 2.9 ポンプ場の諸元及びポンプ排水概要

ポンプ場名等	諸 元		
大門ポンプ場	排水量：44m ³ /s ポンプ：11m ³ /s×4台 (※8月末豪雨時：22m ³ /s) 計画高水位：22.870m	【運転操作】 ポンプ起動水位：14.40m～15.10m 幹線内水位：14.50m～15.20m	3箇所水位センサーで確認
八帖ポンプ場	排水量：14m ³ /s ポンプ：3.5m ³ /s×4台 計画高水位：20.800m	【運転操作】 ポンプ起動水位：14.00m～14.30 幹線内水位：14.10m～14.40m	2箇所水位センサーで確認
早川ポンプ場	排水量：24m ³ /s ポンプ：8.0m ³ /s×4台 計画高水位：18.310m	【運転操作】 ポンプ起動水位：14.50m 幹線内水位：14.30m	1箇所水位センサーで確認
ポンプ排水概要図	 <p>【ポンプ場流入流出断面模式図】</p>		
	 <p>【早川排水区模式図】</p>		

計画降雨の条件下では、外水位は計画高水位とすることが、下水道施設計画・設計指針と解説に記されている。ただし、下水道の計画降雨を上回る局地的な大雨の場合、外水位は必ずしも計画高水位に至らないことも考えられる。

例えば、河川流域は下水道排水区に比べ面積が大きいこと、いわゆる大河川と呼ばれる一級水系の河川等は計画規模が大きいことから、1時間以内の短時間の降雨量が大きい場合には、外水位が計画高水位まで上昇しないこともある。また、中小河川と呼ばれる二級水系等の河川でも、下水道排水区と河川流域のピーク流出に時間差があり、下水道排水区は外水位の影響をさほど受けなくて排除可能であることも知られている。

このため、放流先河川等の水位の経時変化を設定する必要があるが、放流先（吐口）において水位観測が行われていることは稀である。したがって、今回のFS調査では、各吐口地点での放流先河川水位の推定方法を検討した。なお、河川管理者から吐口での水位情報の提供が受けられる場合は、この限りではない。

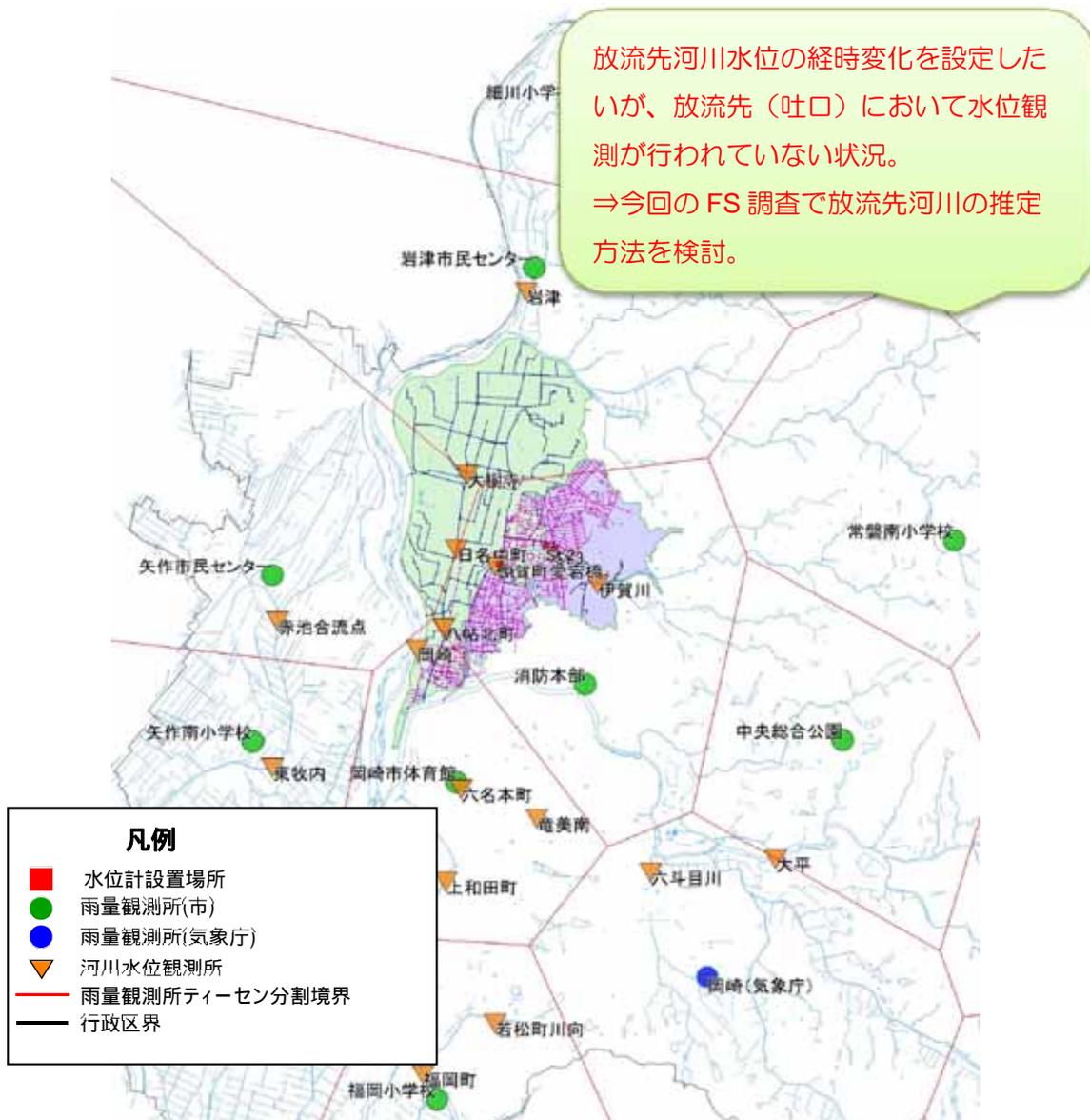


図 2.19 河川水位等観測地点の位置図

＜放流先河川水位の推定方法＞

次に示す手順で、放流先河川の水位を推定した（図 2.20）。

手順 1：外水位の観測値を同地点の水深と流量の関係式に当てはめて流量を求め、流域面積を用いて比流量を推定する。

手順 2：外水位の観測地点の比流量を、外水位の設定地点に適用し、流域面積を用いて流量を求め、同地点の水深と流量の関係式から水深と水位を推定する。

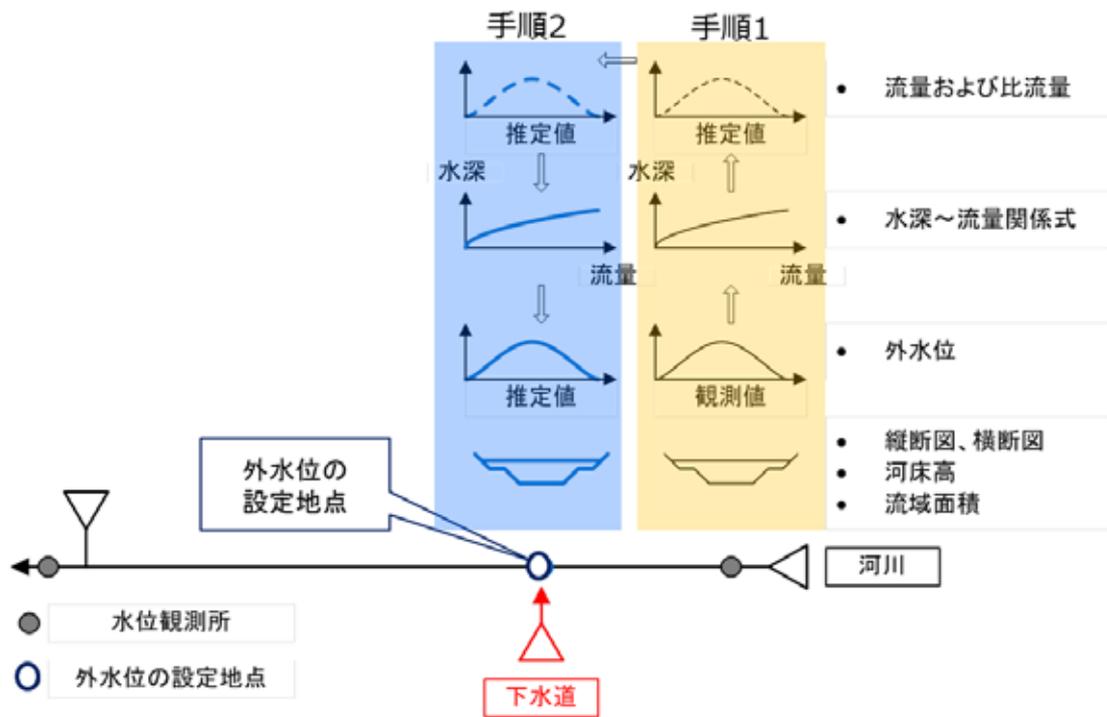


図 2.20 外水位推定方法の模式図

上記の手順に従って設定した河川水位の例を図 2.21 に示す。

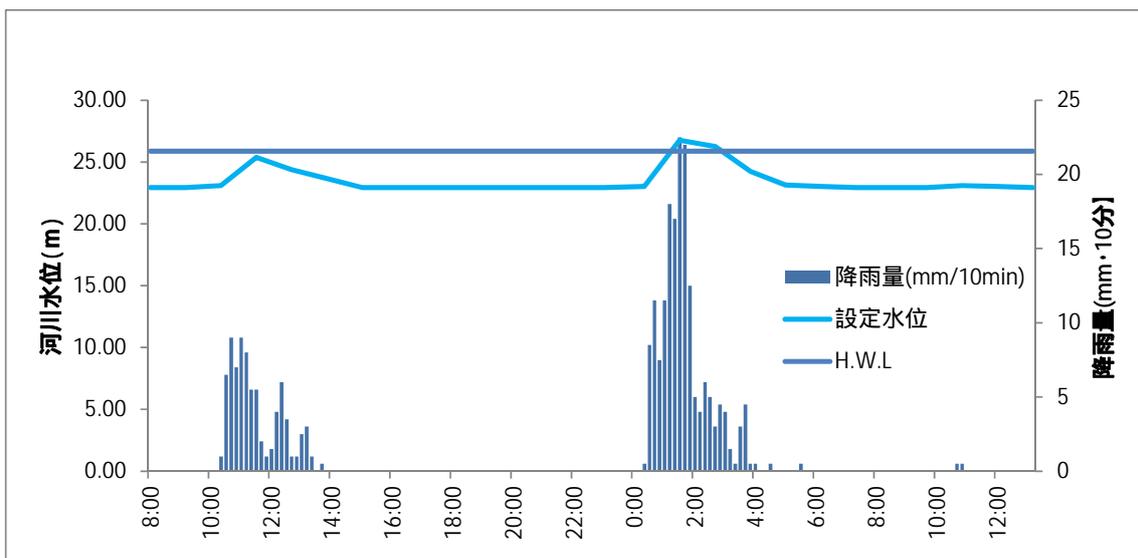


図 2.21 外水位設定例（2008/8/28 降雨：伊賀川①）

3. 計画降雨に対する現況排水施設の能力評価

3-1. 流出・氾濫解析モデルの概要

氾濫現象の解析を行うにあたっては、下水道管路等（管渠、マンホール、開水路等）の水位と地表面とが密接に関連しているため、下水道管路等と地表面氾濫現象を同時かつ一体的に解析できる流出・氾濫解析モデルを構築した。その上で、以下のとおり現況施設の能力評価を行った。

- モデルの再現性の確認：過去の実績の降雨から、流出・氾濫状況を再現。
- 現況排水施設の能力評価：計画降雨から、現況排水施設の能力を評価。
- 水害要因分析：照査降雨から、浸水状況を予測。
- 対策計画の効果検証：照査降雨から、対策施設の規模等を変更した場合の効果検証。

3-2. 流出・氾濫解析モデルの構築

計画の対象範囲全体を 5m メッシュに分割して地表をモデル化し、さらに $\phi 200\text{mm}$ 以上の下水道管路及び施設等のモデル化を行った流出・氾濫解析モデルにより、実績降雨や計画降雨時等の管路内水理挙動及び地表面氾濫の挙動を数値化（シミュレーション）した。

- 地表面の流出計算：土地利用状況等をより精緻に反映できる「降雨損失モデル」を採用。不浸透面積率は、最新の土地利用図より設定。
- 下水道管路等の水理計算： $\phi 200\text{mm}$ 以上の下水道管路の流れをモデル化。既存の下水道台帳や区画割平面図等をより、下水道管路モデルを作成。また、施設構造図等により、分水施設等の規模をモデル化。
- 地表面の氾濫計算：排水施設の能力不足等により、溢水した水の地表面の流れをモデル化。5m メッシュの標高図より、地盤高を生成。

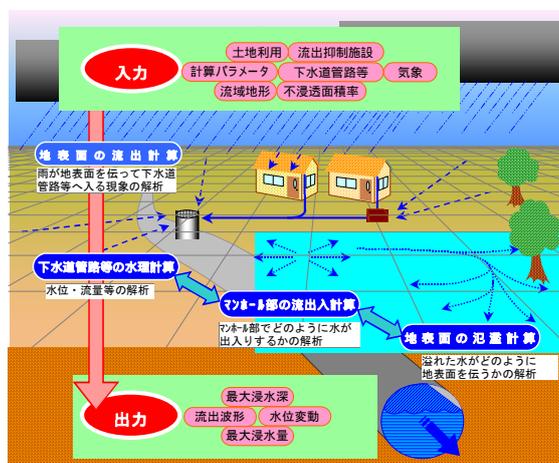


図 3.1 流出・氾濫解析モデルのイメージ

3-3. モデルの再現性の確認

3-3-1. キャリブレーションの概要

キャリブレーション（調整）とは、計算値と実績値との比較検証を通じて、シミュレーションモデルのパラメータ等を調整して、対象流域のモデル化の妥当性を判断するとともに、流域の特性をより正確に反映し、精度の高いシミュレーション結果を導き出す上で重要な作業である。

今回のFS調査では、キャリブレーションを実施する担当者の視点により結果が大きく異なることが想定されるため、ルールを明確化する必要がある。今回のFS調査では、表 3.1 に示すキャリブレーションの視点を踏まえて、シミュレーションモデルのパラメータ等を調整した。

表 3.1 キャリブレーションの視点等

項目（視点）	内容	主に関係する諸元・パラメータ	主に寄与する対策
総流出量	総降雨量と不浸透面積率、浸透能の関係から総流出量を確認する。	初期損失、浸透損失、不浸透面積率	貯留施設の規模
ピーク水位	管路内の水位やポンプ場ポンプ井の流入水位が既知の場合、ピークの水位が整合しているか確認する。	同上	管路施設の規模
水位の時間変動	時系列の水位データがある場合、その波形の整合性について確認する。	粗度係数、地表面勾配	施設の運用

キャリブレーションの作業は、表 3.2 に示すように管路内の水位観測を実施している期間における複数の実績降雨に対して行った。

表 3.2 キャリブレーションの対象降雨

	総降雨量 (mm)	10分最大降雨量 (mm/10分)	60分最大降雨量 (mm/時)
2014年9月1日降雨	32.0	3.5	16.0
2014年9月6日降雨	27.0	6.5	19.5

3-3-2. キャリブレーションの結果

パラメータの調整にあたっては、既往文献や報告事例等からパラメータの取り得る値の範囲を調べ、概ねその範囲内で値を調整した。また、妥当性を判断する指標としては、総流出量は推定値と計算値の差、ピーク水位は実測値と計算値の差、水位の時間変動（水位波形）は実測値と計算値の相関とした。

今回の FS 調査では、流量計の測定誤差が大きいと判断して、総流出量については、流量の実測値ではなく、水位の実測値から推定する方法を用いた。

（参考：総流出量の算定、推定方法の例）

- 降雨の実測値から推定する方法：流域面積×降雨量×流出係数（又は流出率）
- 水位の実測値から推定する方法：流域最下流端における水位観測地点における流水断面面積に流速（推定値）を乗じた値
流水断面面積および流速は、管渠諸元（形状、幅、高さ、勾配）と水位の実測値を用いてマンニング式により推定する。
等流を仮定しているため、満管以上となる水位では評価できない。
- 水位及び流速の実測値（流量の実測値）から算定する方法：流域最下流端における水位・流速観測地点における流水断面面積に流速（実測値）を乗じた値
流水断面面積は、管渠諸元（形状、幅、高さ）と水位の実測値を用いて推定する。
流速は水位と比較して観測誤差が大きい。

キャリブレーションの結果を表 3.3 及び図 3.2 に示す。パラメータの調整は、観測値の精度が高いと考えられるピーク水位と水位波形に主眼を置いて妥当性を判断できるまで実施するものとし、今回は、妥当と判断できるまでに 3 回を要した。

計算値と実績値の整合性が比較的高いパラメータケースは、3 回目の結果となり、現況の雨水排水特性を再現するモデルのパラメータは、当回の数値を採用するものとした。

今回の調査では、計算値と実績値の整合性について、全ての水位観測地点におけるピーク水位の誤差を最大 2 割程度まで許容したが、この許容誤差の程度については、過去に検討された事例が少なく、ルールが明確でない。

したがって、今後、許容誤差の程度に関する検討を行う必要がある。また、計算値と実績値の整合性が悪い場合には、モデルに組み込まれていない要素、例えば、農業用水や地下水等の不明水の流入や雨水の取込み口におけるゴミの溜まり具合などについて、現地踏査により確認することが望ましい。

表 3.3 キャリブレーションにおけるパラメータ設定

区分	項目	1回目		2回目		3回目	
		不浸透域	不浸透域	不浸透域	不浸透域	不浸透域	不浸透域
降雨損失モデル	凹地貯留損失 (m)	0.002 (2mm)	0.006 (6mm)	0.002 (2mm)	0.006 (6mm)	0.002 (2mm)	0.006 (6mm)
	浸透開始(初期浸透能) (m/s)	-	1.3×10^{-6} (5mm/hr)	-	2.7×10^{-6} (10mm/hr)	-	5.5×10^{-6} (20mm/hr)
	浸透終了(最終浸透能) (m/s)	-	0.5×10^{-6} (2mm/hr)	-	1.1×10^{-6} (4mm/hr)	-	2.2×10^{-6} (8mm/hr)
	指数:減衰係数 (s^{-1})	-	0.001	-	0.001	-	0.001
	粗度係数(マンニング数の逆数)	0.014	0.03	0.014	0.03	0.014	0.03
	管内水理モデル	管渠粗度係数 n	塩化ビニル製 0.010		0.010		0.010
		コンクリート製 0.013		0.013		0.013	
	マンホール損失	見込まない		見込まない		見込まない	
氾濫モデル	粗度係数(マンニング型)	5mメッシュ毎に設定		5mメッシュ毎に設定		5mメッシュ毎に設定	
境界条件	吐き口境界条件	自由流出		自由流出		自由流出	
	区域外流入	現況排水系統		現況排水系統		現況排水系統	
キャリブレーションの視点・判断							
	視点1) 総流出量	総流出量は、解析結果と理論値(面積×流出係数×降雨量)と概ね同程度となった。		総流出量は、解析結果と理論値(面積×流出係数×降雨量)と概ね同程度となった。		総流出量は、解析結果と理論値(面積×流出係数×降雨量)と概ね同程度となった。	
	視点2) ピーク水位	実測値より大きい		実測値より大きい		実測値と同程度	
	視点3) 水位波形	概ね同様の波形となった		概ね同様の波形となった		概ね同様の波形となった	

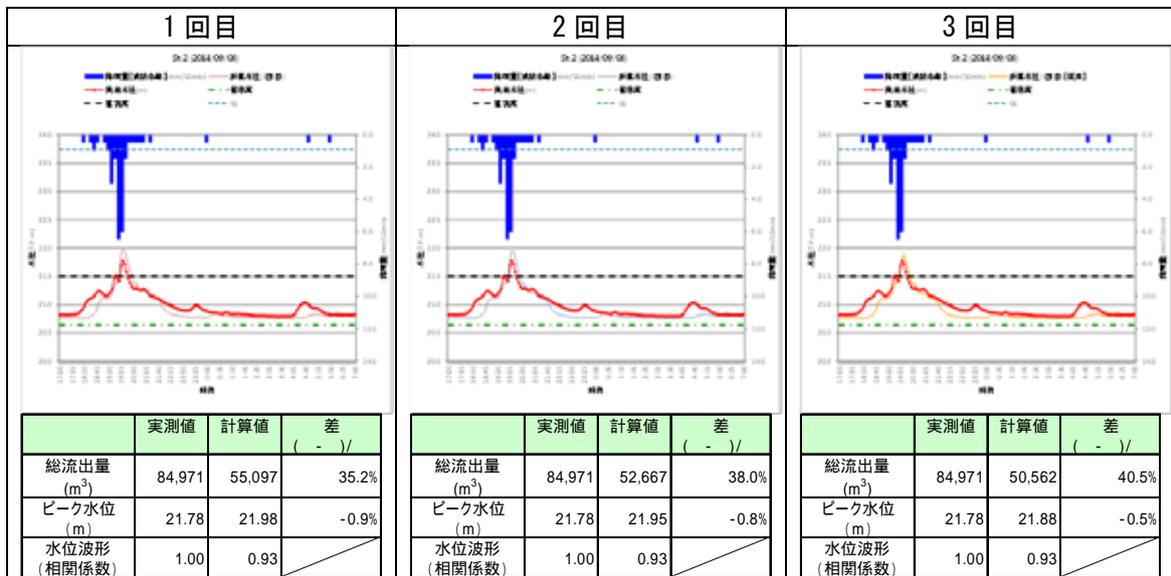


図 3.2 St.4 地点の各回キャリブレーション結果の例

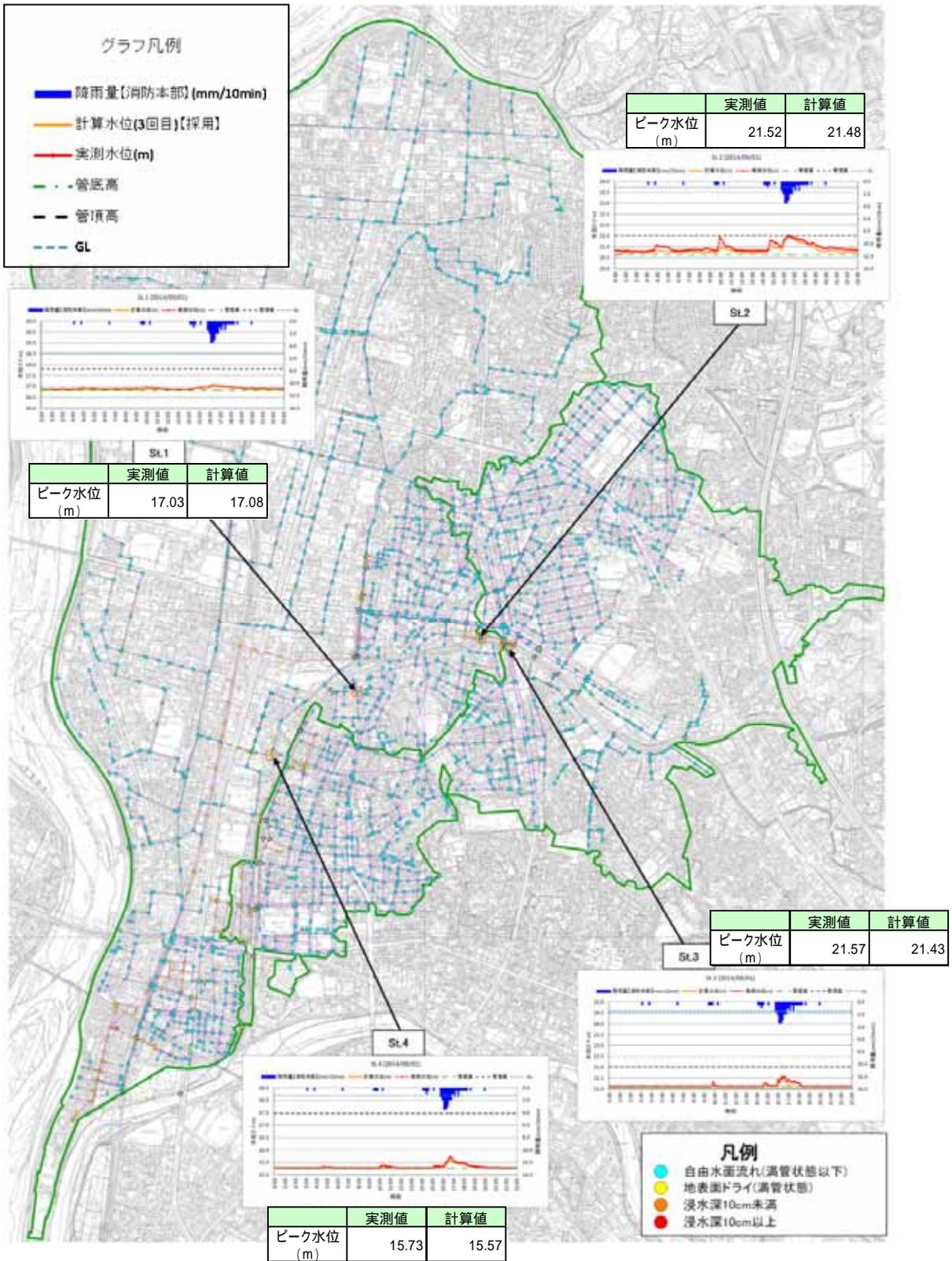


図 3.3 キャリブレーション結果 (3 回目) の例 (2014/09/01 降雨)

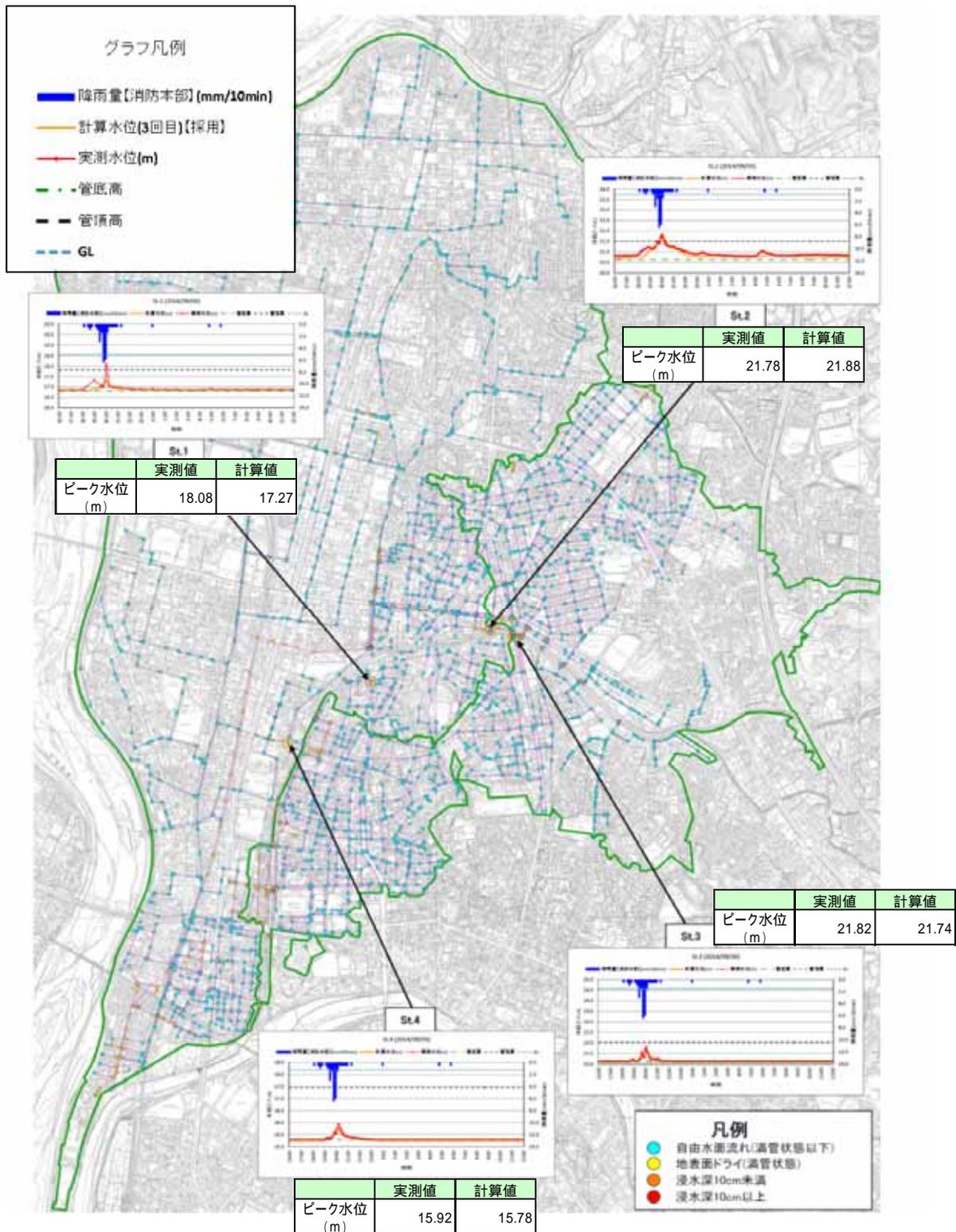


図 3.4 キャリブレーション結果 (3 回目) の例 (2014/09/06 降雨)

3-4. 現況排水施設の能力評価

3-4-1. 等流計算（流量）による能力評価

管渠スパン毎に最大計画雨水流出量に対して自由水面流れの能力を有しているか・否かを把握するため、従来の合理式を基本とした方法と同様に、計画降雨を外力とした現有施設の能力を等流（マンニング式）の考え方により評価した。

最大計画雨水流出量を求めるための諸元を定めるため、防災に資する管渠、ポンプ場等の施設計画の基準となる計画降雨等を設定する。

- 計画雨量算定式：合理式を採用。降雨強度式はタルボット型を採用。
- 確率年：5年確率を採用。
- 流出係数：当初計画時の都市計画用途地域図より、土木学会水理公式集等に示される基礎流出係数を用いて用途地域別流出係数を算出し、排水区単位で流出係数を設定。早川排水区は0.6、伊賀川排水区は0.55とした。
- 流達時間：流入時間と流下時間の和とする。これらの数値は、「設計指針」に準じ、流入時間は8分、流下時間は管渠区間毎の距離と計画流量に対する流速から設定。

表 3.4 計画降雨の確率年ならびに降雨強度式

排水区	確率年	降雨強度式 (1時間降水量)	備考
下記以外	5年	$I=4,230 / (t+34)$ (45mm/h)	
伊賀川地区、早川地区、久後崎地区、六名地区の主要な施設	10年	$I=5,060 / (t+32)$ (55mm/h)	

計画降雨に対する現有施設的能力評価の結果は次のとおりである。

- 5年確率降雨（45mm/hr）に対し面積カバー率で約74%、管渠延長割合では約52%の流下能力を有していることを把握した（表3.5）。各排水区の排除方式毎にみていくと以下のとおりとなる。
 - ・伊賀川排水区（合流）：管渠能力としては約50%が能力不足となっている。
 - ・伊賀川排水区（分流）：管渠能力としては概ね能力を満足している。
 - ・早川排水区（合流）：管渠能力としては約70%が能力不足となっている。
 - ・早川排水区（分流）：管渠能力としては約50%が能力不足となっている。
- 計画降雨に対する全路線の自由水面流れの能力確保のための対策には長期間を要し、投資額も膨大になることが明らかとなり、後述する、計画を上回る照査降雨に対する達成プロセスとあわせ、段階的かつ選択的な対策により、浸水安全度を向上する方法が適切であると評価できる。

表 3.5 等流（マンシング式）による現有施設の自由水面流れ能力評価

排水区		面積 (ha)			管渠延長 (m)			逆勾配路線	
排水区名	排除方式	総面積	能力有	割合	総延長	能力有	割合	延長	箇所
伊賀川	合流	206.7	129.6	62.7%	52,695.5	24,086.0	45.7%	86.4	9.0
	分流	165.0	147.0	89.1%	36,892.4	31,953.2	86.6%	87.4	3.0
	小計	371.7	276.5	74.4%	89,587.9	56,039.2	62.6%	173.8	12.0
早川	合流	94.41	58.2	61.7%	26,528.9	8,602.6	32.4%	534.2	19.0
	分流	662.22	502.1	75.8%	70,178.6	33,021.5	47.1%	4,131.7	101.0
	小計	756.63	560.28	74.0%	96,707.5	41,624.1	43.0%	4,665.9	120
合計		1,128.3	836.8	74.2%	186,295.4	97,663.3	52.4%	4,839.7	132.0

3-4-2. 流出解析モデル（水位）による能力評価

流出解析モデルによる能力評価では、岡崎市で定める雨水整備重点地区（150ha を受け持つ地区）の計画降雨（55mm/hr）を外力として、パラメータ調整後の流出・氾濫解析モデルを用いたシミュレーションを実施した。

まずは、シミュレーション結果を用いて、水位により被圧状態¹⁶⁾や溢水危険度を評価することで、全体的に施設の弱部（ネック箇所）を把握した（図 3.5）。

次に、弱部については、その原因を動水勾配等から把握した（表 3.6、

表 3.7）。

このように流出解析モデルを用いたシミュレーションを実施することで、水位を指標とした能力評価から、施設の弱部を溢水危険度と連動して見出すことができるため、対策計画の検討において、効果的かつ優先的手法の抽出へとつなげることが可能となる。

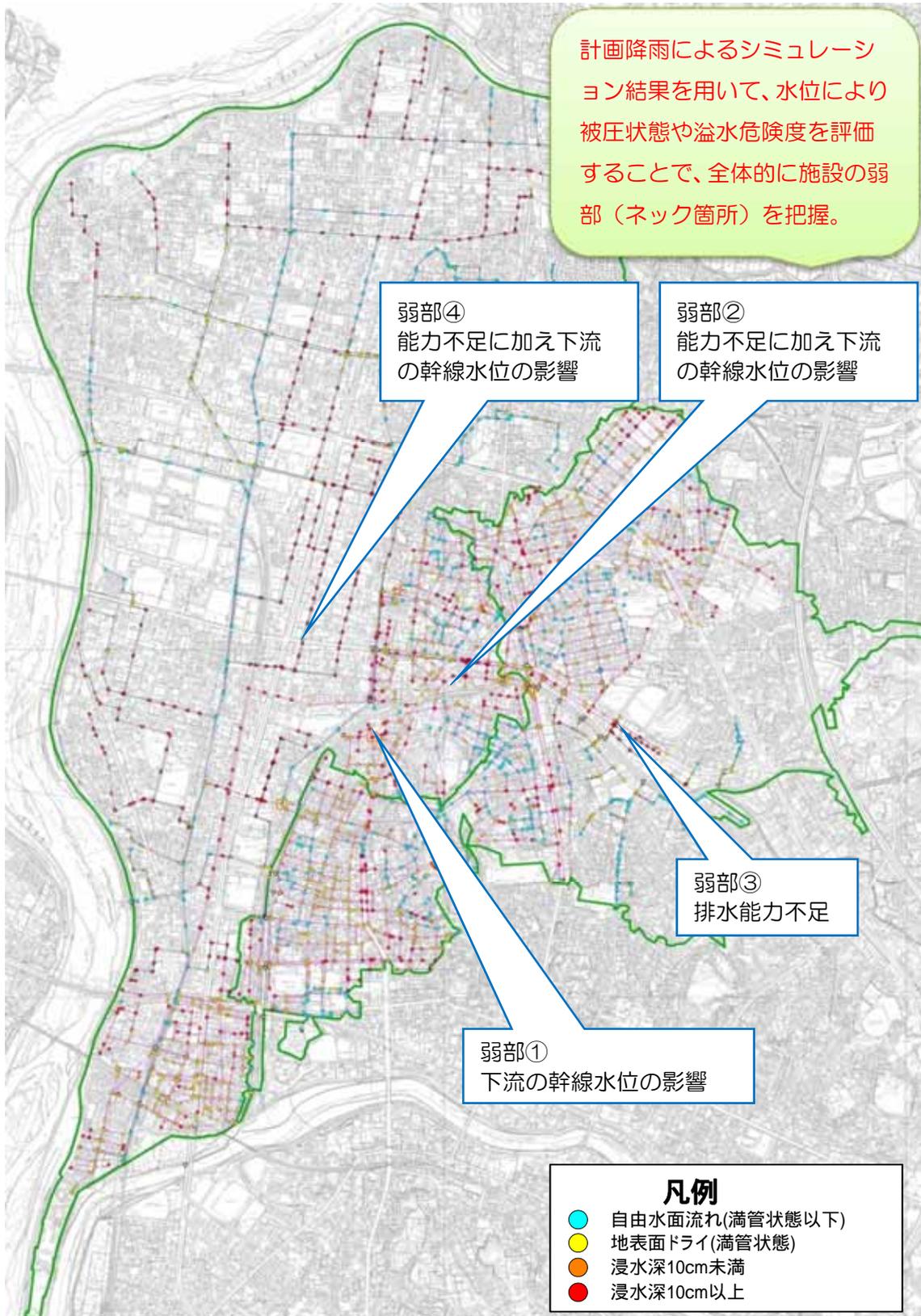


図 3.5 流出解析モデルによる計画降雨に対する現況施設の能力評価

表 3.6 流出解析モデルによる浸水要因 (1/2)

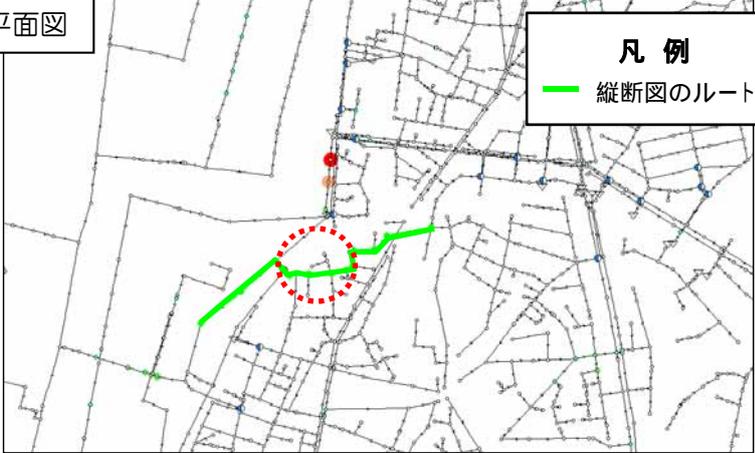
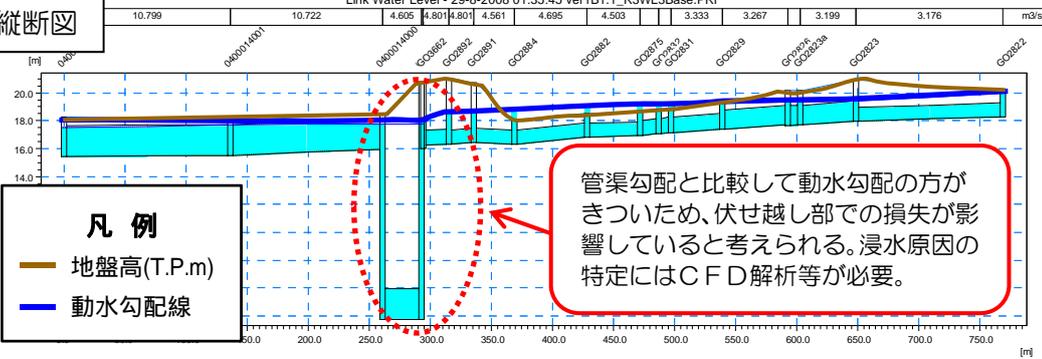
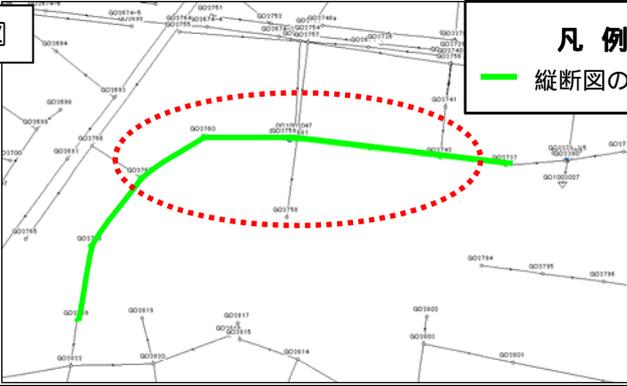
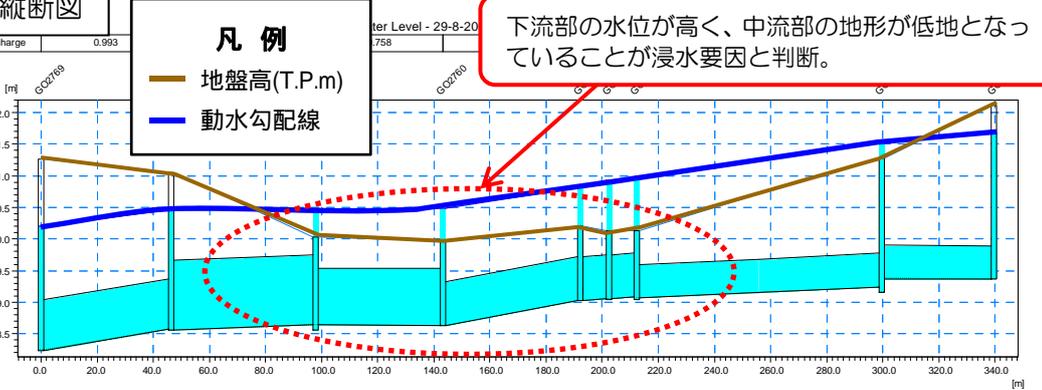
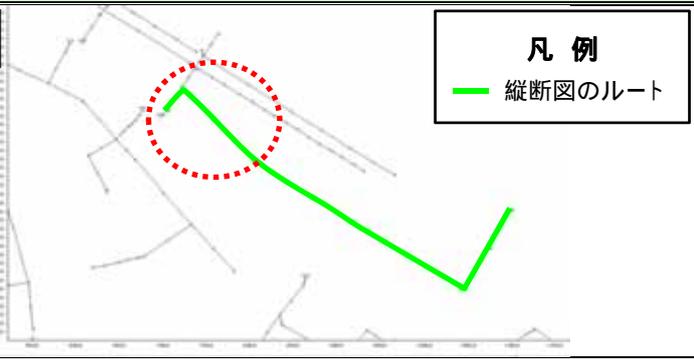
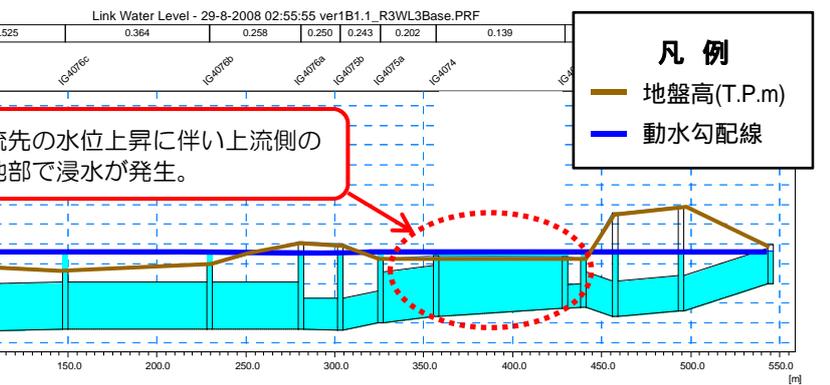
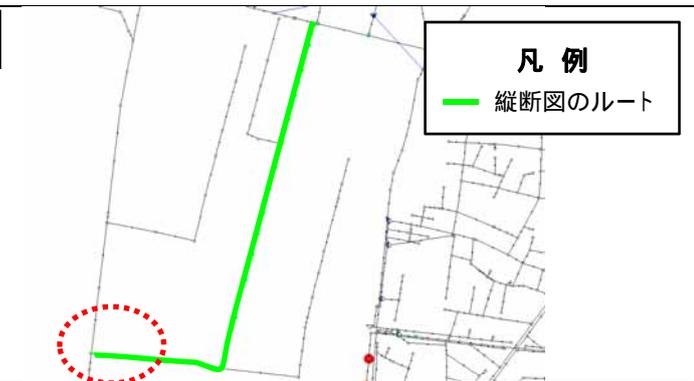
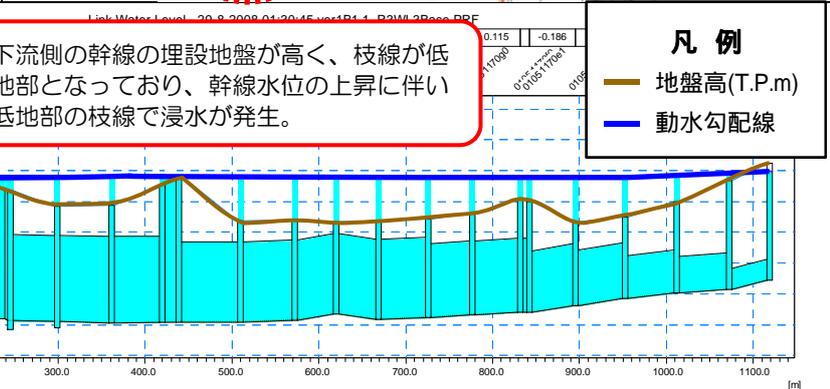
弱部	浸水要因	弱部箇所の平面・縦断面図	
	<p>下流側幹線の水位が高いことに加え、伏せ越し部での損失がある。</p>	<p>平面図</p>	 <p>凡例 — 縦断面図のルート</p>
	<p>縦断面図</p>	 <p>Link Water Level - 29-8-2008 01:35:45 ver1B1.1_R3WL3Base.PRF</p> <p>凡例 — 地盤高(T.P.m) — 動水勾配線</p> <p>管渠勾配と比較して動水勾配の方がきついため、伏せ越し部での損失が影響していると考えられる。浸水原因の特定にはCFD解析等が必要。</p>	
	<p>下流の幹線水位の影響による上流区域が浸水している。</p>	<p>平面図</p>	 <p>凡例 — 縦断面図のルート</p>
	<p>縦断面図</p>	 <p>Discharge 0.993 Water Level - 29-8-2008 01:35:45 ver1B1.1_R3WL3Base.PRF</p> <p>凡例 — 地盤高(T.P.m) — 動水勾配線</p> <p>下流部の水位が高く、中流部の地形が低地となっていることが浸水要因と判断。</p>	

表 3.7 流出解析モデルによる浸水要因 (2/2)

弱部	浸水要因	弱部箇所の平面・縦断図	
	<p>放流先水位の影響により上流区域が浸水している。</p>	<p>平面図</p>	 <p>凡例 — 縦断図のルート</p>
	<p>縦断図</p>	 <p>Link Water Level - 29-8-2008 02:55:55 ver1B1.1_R3WL3Base.PRF</p> <p>凡例 — 地盤高(T.P.m) — 動水勾配線</p> <p>放流先の水位上昇に伴い上流側の低地部で浸水が発生。</p>	
	<p>幹線が埋設されている地盤が高く枝線は低地部となっている。そのため幹線の水位が上昇すると浸水が発生する</p>	<p>平面図</p>	 <p>凡例 — 縦断図のルート</p>
	<p>縦断図</p>	 <p>Link Water Level - 29-8-2008 04:20:45 ver1B1.1_R3WL3Base.PRF</p> <p>凡例 — 地盤高(T.P.m) — 動水勾配線</p> <p>下流側の幹線の埋設地盤が高く、枝線が低地部となっており、幹線水位の上昇に伴い低地部の枝線で浸水が発生。</p>	

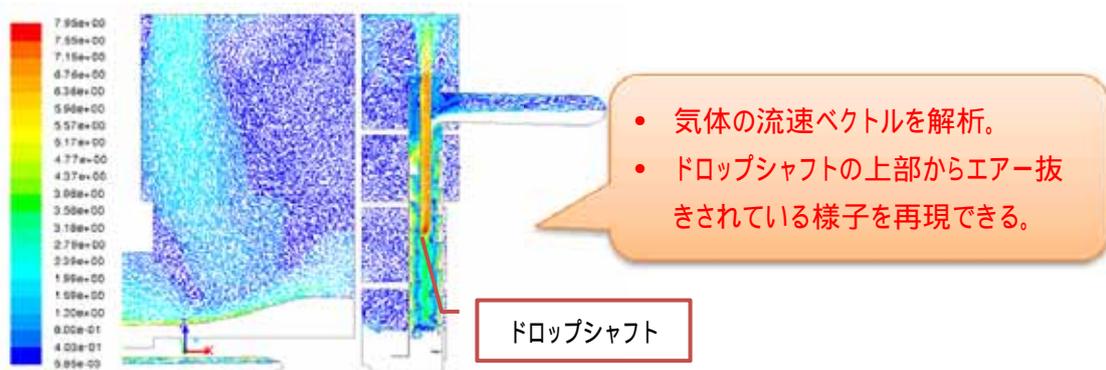
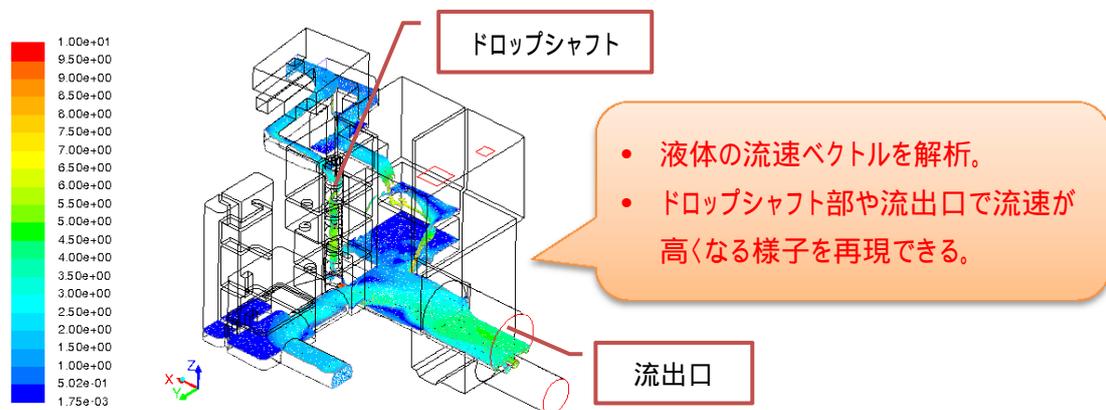
【参考】弱部①：伏せ越し部について

今回の FS 調査では、伏せ越し部において、流出解析モデルを用いた再現計算を行った。流出解析モデルをもちいて、伏せ越し部の損失を考慮した水の流れを再現することはできるが、より精緻に実現象を再現するには、伏せ越し部における高落差流入により形成された空気と水の混相流（気液混相流）の観点から検討を行う必要がある。

今回のような浸水要因分析にあたっては、流出解析モデルも一定の適用性が確認されたが、伏せ越し部における対策検討を行う際には、施設管理の観点から、マンホールの蓋飛び等のリスクを想定し、対策施設の位置や規模を決定する必要がある。

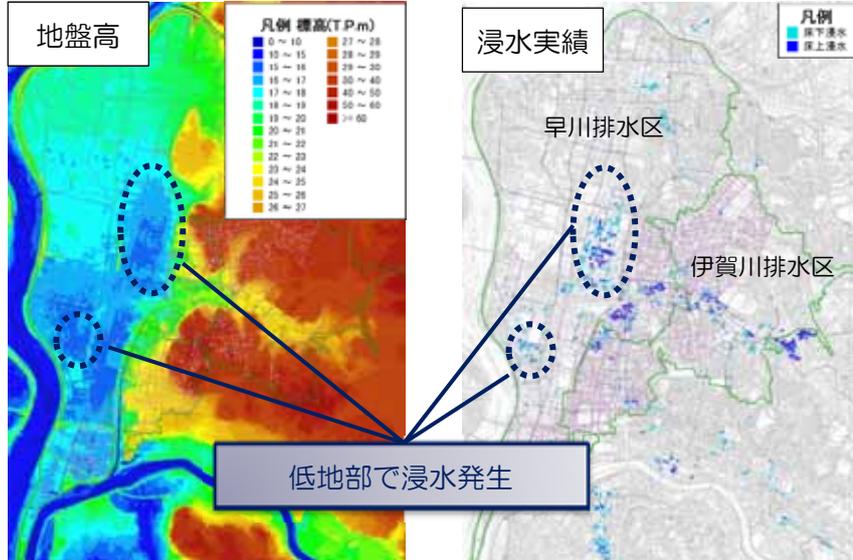
このような場合には、気液混相流を考慮した検討が有効であるが、現時点では、気液混相流についての技術的知見が不十分であり、確実な雨水対策施設の整備と管理を進めるためには、実証実験や数値解析モデルの知見を蓄積し、雨水管理計画の策定手法に反映していくことが望ましい。参考までに、気液混相流を表現できる数値解析モデルとして、CFD 解析による空気の移動の再現事例を紹介する。

- CFD 解析とは、数値流体力学（Computational Fluid Dynamics）を応用し、流れを観察する数値解析のことで、流体の運動に関する方程式をコンピュータで解く。
- Navier-Stokes 式を用い、有限体積法(Finite Volume Method)により空間的(2 もしくは 3 次元)に流体（液体、気体）の状況を算定する。
- 下図は、ポンプ場から貯留管へ連絡するドロップシャフト部の流体を算定した例である。



【参考】弱部④：低地部について

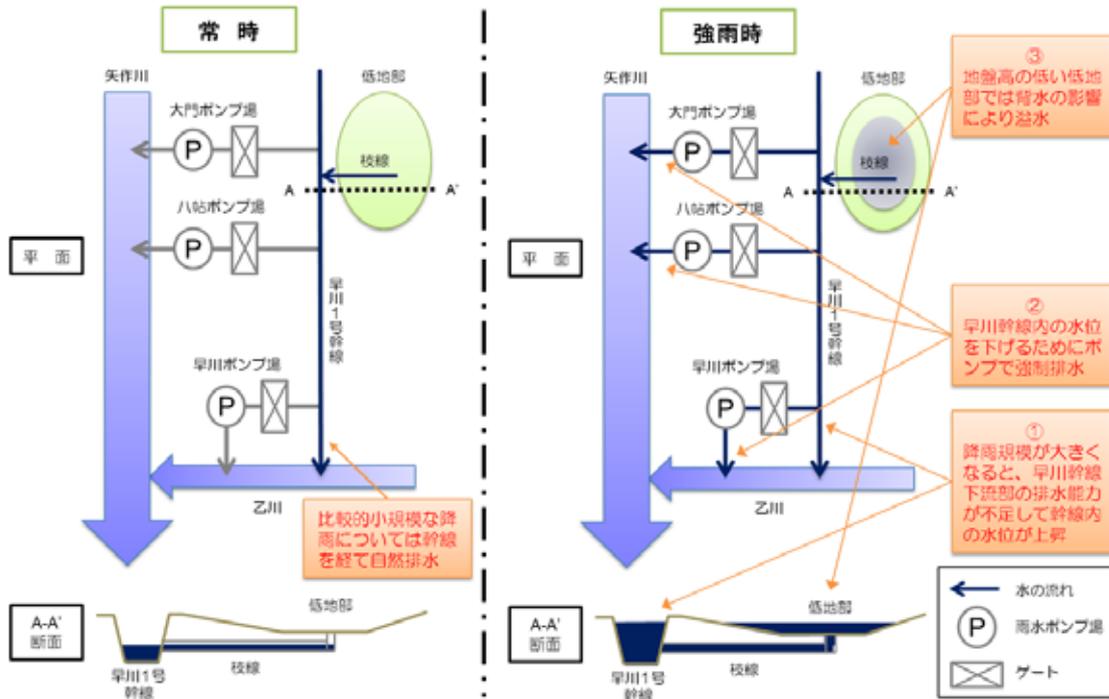
流出解析モデルによる能力評価において、早川排水区（常時：自然排水、強雨時：ポンプ排水）の低地部で浸水が発生した。地盤高や浸水実績を整理した段階で地形上の問題であることが想定されるが、対策検討においては幹線・枝線の高さ関係やポンプの稼働条件等のメカニズムを把握しておくことが重要なため、これら概要を参考までに示す。



(左) 地盤高と (右) 浸水実績

<排水・溢水のメカニズム>

- 常時：排水区（分流式）を南北に縦貫する早川1号幹線を経て乙川に自然排水。
- 強雨時：幹線下流部が能力不足となり、上流部に位置する大門・八帖ポンプ場の順で矢作川へ強制排水し、その後、余剰分を下流部の早川ポンプ場から乙川へ強制排水。



排水・溢水のメカニズムのイメージ

4. 照査評価基準・照査降雨の設定

4-1. 照査評価基準

公助のハード対策のみによる早期の完全な浸水抑止には限界がある一方で、計画降雨のみならず、近年頻発している計画降雨を上回るような豪雨に対して、浸水安全度の向上を一刻も早く図る必要がある。

そのため、効率的かつ積極的な対策の推進を図るべく、管渠の圧力状態の許容やある程度の浸水は受忍するなど、減災の考え方を取り入れた照査評価基準を定める。

- 評価軸および基準値に関する基本的な考え方
- 照査評価基準の設定

4-1-1. 評価軸および基準値に関する基本的な考え方

「新たな考え方」では、照査評価基準の考え方を次のように示している。

- 下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）に準じて、計画を「降雨（外力）」主体ではなく、「人（受け手）」主体の観点から評価すべきである。
- その場合、地下空間等における「生命の保護」や幹線道路の交通支障等の「都市機能の確保」、床上浸水被害等による「個人財産の保護」の視点から、浸水深のほか、その地域の実情や視点の特性に応じて、自助活動のためのリードタイム確保の観点からの浸水開始時間や、浸水被害軽減の観点からの浸水継続時間も、評価軸とするべきである。
- なお、図 4.1 は、BCP の観点から、防災と減災の対策の組合せにより浸水深及び浸水時間を縮減し、浸水対策機能の早期の復旧について示したものである。

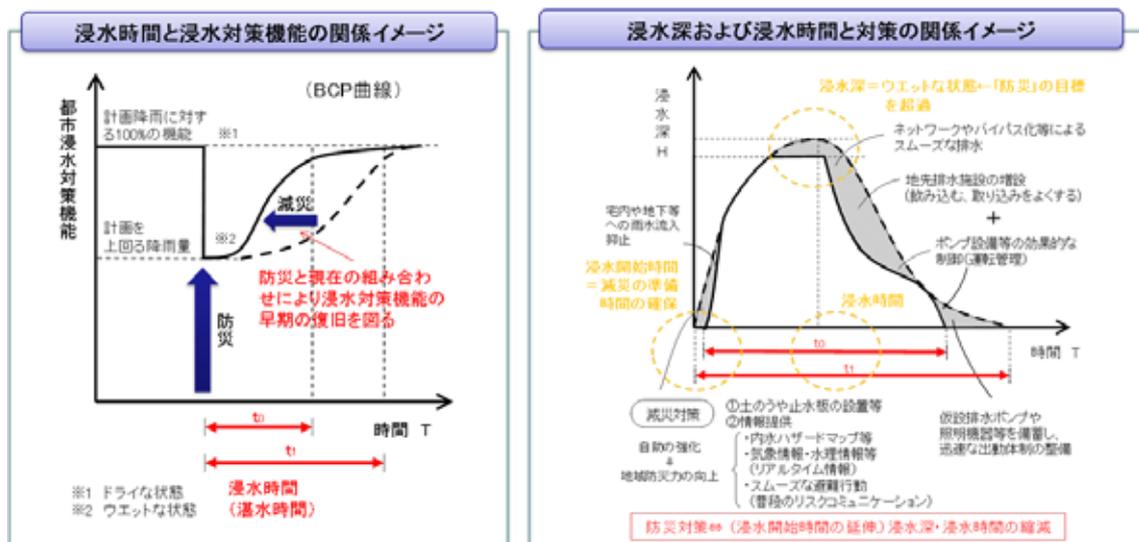


図 4.1 照査評価基準の設定にあたっての新たな考え方

今回の FS 調査でも、「新たな考え方」を踏襲し、対象地区における地域や社会特性等を踏まえ、照査評価基準の評価軸は、浸水深に加え、浸水開始時間（リードタイム）とする。さらに、評価基準とは別に、対策による発現効果を分かり易く表現する狙いから、浸水継続時間についても評価軸として示すものとする。

評価軸に応じた基準値については、「新たな考え方」に示される事例（表 4.1）を目安とし、計画の対象範囲におけるカテゴリー分類に応じて設定するものとする。

表 4.1 評価軸に応じた基準値の目安

	浸水深	浸水開始時間	浸水継続時間
生命の保護 施設(地下街、地下鉄駅構内、災害時要援護者関連施設等)への浸水が防止できるレベル (最優先)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地下空間(マウンドアップ、止水板や土嚢の高さ) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 設定浸水高さ 【参考】止水板の高さ: 例えば、30cm~70cm^{※1} ■ 災害時要援護者関連施設 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 自動車(救急車)が走行困難、災害時要援護者の避難が困難:30cm^{※2} ➢ 徒歩による移動困難、床上浸水:50cm^{※2} ➢ コンセントに浸水し停電(医療用電子機器等の使用困難):70cm^{※2} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自助活動のためのリードタイムの確保 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 防水板設置: 人力20~30分、自動5分~20分以上^{※4} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可能な限り短く
都市機能の確保 施設(商店街、役所、主要ターミナル駅等)の機能が確保されるレベル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地下空間(マウンドアップ、止水板や土嚢の高さ) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 設定浸水高さ 【参考】止水板の高さ: 例えば、30cm~70cm^{※1} ■ 防災拠点施設や幹線道路 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 乗用車のブレーキの効きが悪くなる:10cm^{※2} ➢ 道路管理者によるアンダーパス等の通行止め基準:20cm^{※2} ➢ 自動車(緊急車両、パトロール車)が走行困難、自治体のバス運行停止基準、乗用車の排気管やトランスミッション等が浸水:30cm^{※2} ➢ 徒歩による移動困難、床上浸水:50cm^{※2} ➢ JAFの実験でセダン、SUVともに走行不可:60cm^{※2} ➢ コンセントに浸水し停電(防災無線等の使用困難):70cm^{※2} 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可能な限り短く
個人財産の確保 一般市街地の家屋の床上浸水が防止できるレベル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家屋の床上浸水 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 床上浸水:50cm^{※2} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自助活動のためのリードタイムの確保 	
【参考】稲の収穫	<ul style="list-style-type: none"> ■ 田(水稲)の浸水日数1~2日の冠浸水別被害率 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 50cm未満:21%、50cm以上1m未満:24%、1m以上:37%^{※3} 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1日以内
【参考】畑の収穫	<ul style="list-style-type: none"> ■ 畑(畑平均)の浸水日数1~2日の冠浸水別被害率 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 50cm未満:27%、50cm以上1m未満:35%、1m以上:51%^{※3} 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可能な限り短く

※1:東京都地下空間浸水対策ガイドライン-地下空間を水害から守るために、東京都、平成20年9月

※2:水害の被害指標分析の手引(第25試行版)、国土交通省水管理・国土保全局、平成25年7月

※3:治水経済調査マニュアル(案)、国土交通省河川局、平成17年4月

※4:地下空間における浸水対策ガイドライン 同 解説<本編>、国土交通省水管理・国土保全局

4-1-2. 照査評価基準の設定

下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）にある機能保全水深¹⁷⁾におけるカテゴリー一分類の考え方を参考に、都市の浸水対策の基本的な目的である「A：生命の保護」、「B：都市機能の確保」、「C：個人財産の保護」の3つのカテゴリーに照らし、対象地区内に位置する地下空間利用施設、防災拠点、緊急輸送路などを整理し、対象地区のカテゴリー分類を行う。また、前述の「評価軸に応じた基準値の目安」を参考に、カテゴリー分類に該当する地区に応じた照査評価基準を設定する。

今回のFS調査では、計画の対象範囲における照査評価基準を設定するにあたり、カテゴリーBとカテゴリーCの土地利用の分布を各々分けることが難しいことから、カテゴリーを「A」と「B&C」に分類した。また、カテゴリーB&Cの区域のうち、水田に該当する地区を「水田地区」とし、この地区は無被害であることから、浸水を許容するものと考えた。

- **カテゴリーA**：高度地下空間利用地区に該当する区域をカテゴリーAとし、地下街入口マウント部の高さ以下を基準とした（基準A-1）。ただし、基準A-1が達成できない場合でも、止水板設置にかかる時間を考慮した基準を設定した（基準A-2）。なお、今回の対象範囲内では、カテゴリーAに該当する箇所がない状況であった。
- **カテゴリーB&C**：商業・業務集積地区、交通拠点施設・主要幹線地区、防災関連施設地区、一般市街地の床上浸水常襲地区に該当する区域（カテゴリーA以外）をカテゴリーB&Cとし、道路冠水程度の高さ以下（浸水深20cm以下）を基準とした（基準B-1・C-1）。ただし、基準B-1・C-1が達成できない場合でも、土のう積みにかかる時間（30分）を考慮して、リードタイムが30分以上確保できる場合には、浸水深さ50cm以下を基準とした。なお、今回、カテゴリーBは建物施設を想定して基準を設定したが、緊急輸送道路等になりうる幹線道路等については、車両の移動限界や道路管理者によるアンダーパスの通行止めを考慮して、B-1のみの基準を設定することが望ましい。

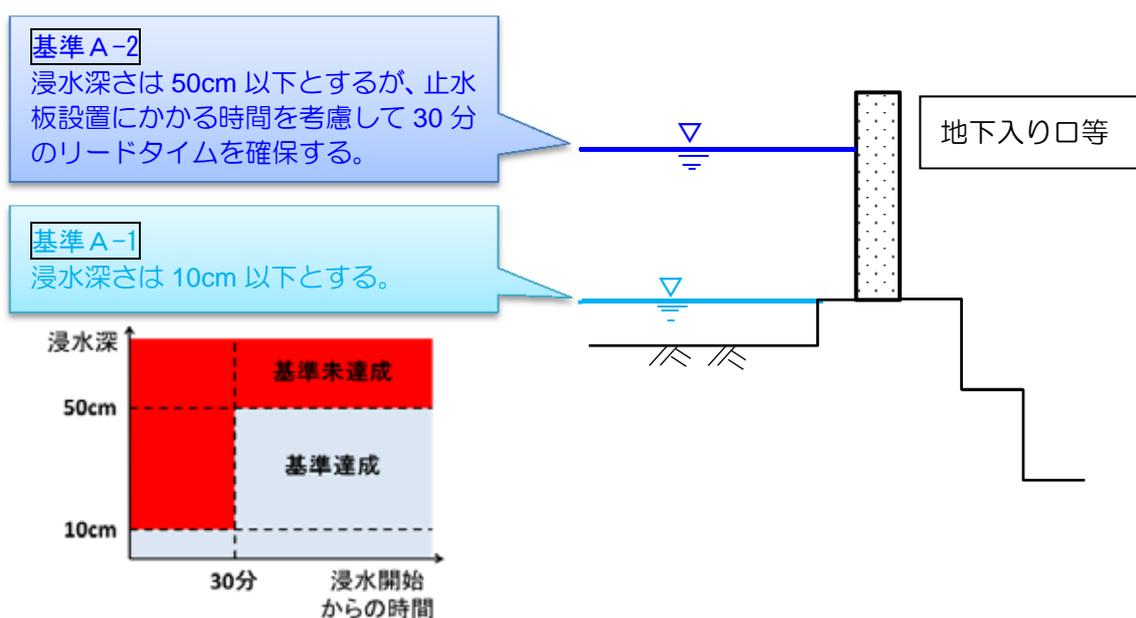


図 4.2 カテゴリーAにおける自助を組み合わせた評価基準達成のイメージ図

表 4.2 対象地区の照査評価基準（案）

加丁リー	該当土地利用 ^{注)}	対象地区の カテゴリー分類	照査評価基準		
			考え方	浸水深	浸水開始 時間 (リード タイム)
A	生命の保護	該当なし	■基準 A-1 【従来基準】 地下街の入り口マウン ト部の高さ以下に浸水 深を抑制	—	—
			■基準 A-2 【新たな基準】 基準 A-1 が達成できな い場合、止水板の高さと 設置時間を考慮し、自助 対策と併せ、被害を防止	—	—
B	都市機能の確保	該当なし	■基準 B-1 道路冠水程度とする	20cm 以下	—
			■基準 B-2 基準 B-1 が達成できな い場合、床上浸水の回避 に加え、土のう積みと併 せて施設内浸水を防止	20 超～ 50cm 以下	30 分以上
			③商業・業務集積地区 （商店街、官庁街、大 規模オフィスビル等 を含む地区等） ④交通拠点施設・主要 幹線地区（終着駅・複 数路線の結節点とな っている駅、緊急輸送 道路等になりうる幹 線道路等） ⑤防災関連施設地区 （災害時の防災拠点 や避難所、緊急医療施 設、役所、消防本部、 消防署等）	加丁リー A 以外の 全域に設定	
C	個人財産の保護	加丁リー B の区域 のうち、該当例の ③～⑤に該当し ない地区	■基準 C-1 道路冠水程度とする	20cm 以下	—
			■基準 C-2 基準 C-1 が達成できな い場合、床上浸水の回避 に加え、土のう積みと併 せて宅内浸水を防止	20 超～ 50cm 以下	30 分以上

注) 下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）に準じて設定。

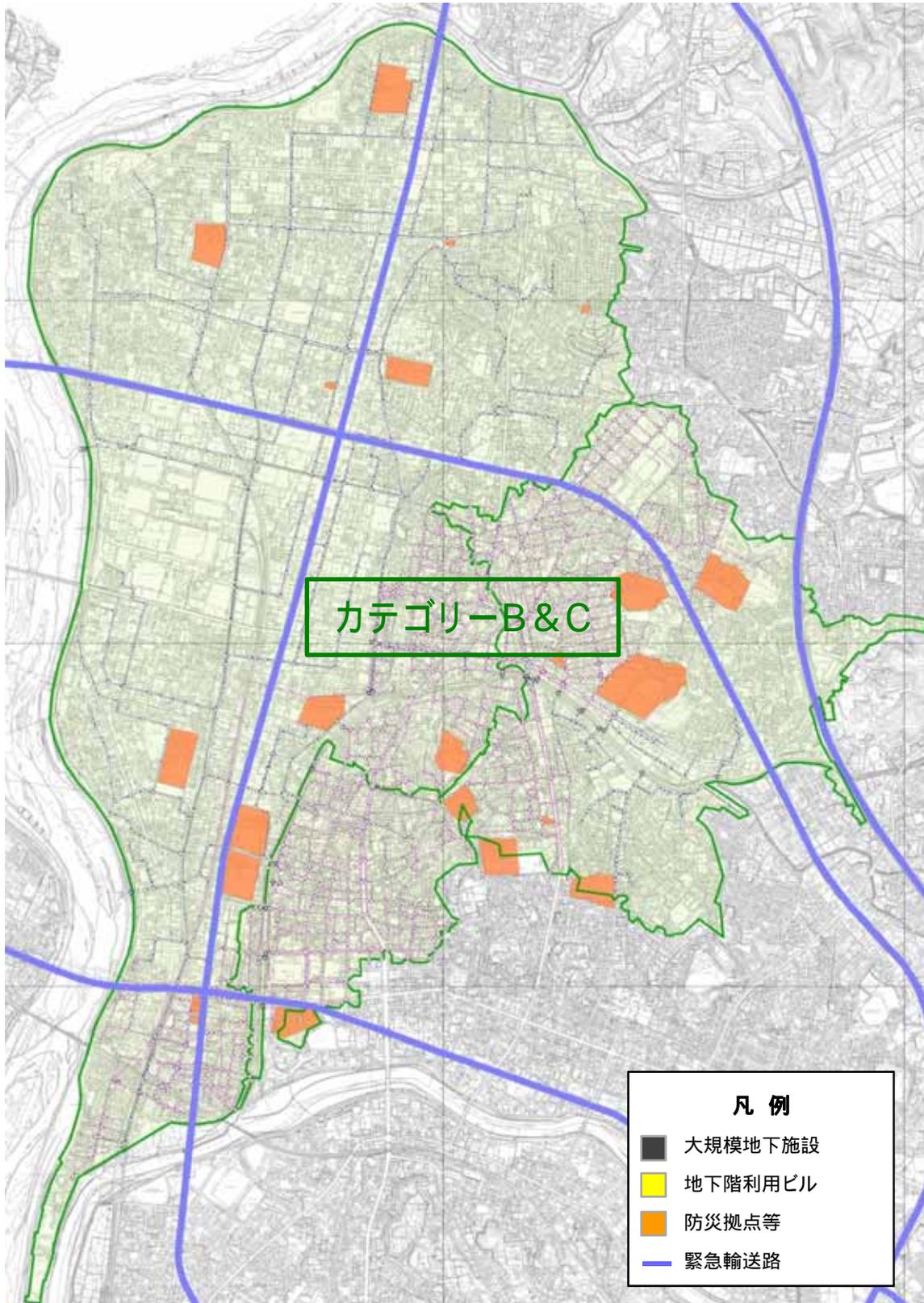


図 4.3 計画の対象範囲におけるカテゴリー分類

【参考】住民意見を反映した評価基準項目及び基準値の設定方法について

- 今回のFS調査では、参考文献等を基に浸水深と浸水開始時間（リードタイム）を評価基準項目として設定した。
- より一層、地域の実情に応じた極め細やかな浸水被害軽減目標を設定するためには、住民意見を反映した評価基準項目及び基準値を設定することが考えられる。
- そのため、住民意見を反映した評価基準項目及び基準値を設定するための方法として、「断水社会実験による湧水受忍限度の分析」（国土交通省国土技術政策総合研究所 水資源研究室）を参考に以下の手順を示す。
- なお、被験者の浸水に関する知識が基準値に大きく影響するため、浸水対策に関する説明会を開催し、住民に理解を深めて頂くことが重要である。
- 説明会は自治会等の単位で複数回開催することが望ましい（例、1回目は浸水現象のヒアリングや要望確認、2回目は浸水シミュレーション結果と対策施設案の説明など）。

手順① 属性調査

- アンケートの被験者の属性を調査するため、左の表のとおり性別、年齢、家族構成など9項目について調査を行い、受忍限度の意識調査と合わせて分析（数量化Ⅱ類）することで浸水災害時の要支援者等の特定などに役立てる。

属性調査票（案）

属性情報	回答欄
性別	男性 ・ 女性
年齢	10代 ・ 20代 ・ 30代 ・ 40代 ・ 50代 ・ 60代以上
家族構成	単身 ・ 2人 ・ 3人 ・ 4人以上
高齢者の存在	有り ・ 無し
幼児の存在	有り ・ 無し
就業の有無	有り ・ 無し
住居状況	戸建て ・ マンション
階数	1階 ・ 2階 ・ 3階 ・ 4階以上
浸水経験	有り ・ 無し

手順② 受忍限度の意識調査

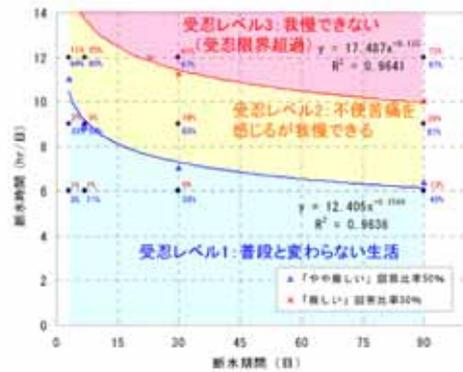
- 「浸水深」と「浸水継続時間」を合わせて評価するためにマトリクスで整理を行う。
- なお、項目については、説明会で住民の要望を確認して設定することが考えられる。

手順③ 受忍限度の把握

- アンケート結果を基に分析を行い、受忍限度について設置値を算出する。

受忍限度の意識調査票（案）

浸水深	浸水状況	浸水継続時間		
		10分間 継続	30分間 継続	1時間 継続
10cm	ブレーキが効きにくくなるなど自動車の走行に支障をきたしはじめます	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3
	一部アンダーパス等の交通止めの障害が発生します	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3
	要介護者の非難が困難になります	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3
	床上浸水となり、住居の1Fが浸水となります	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3
	徒歩による非難が困難になり、床上浸水が発生してきます	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3	大丈夫 やや厳しい 厳しい 1 2 3



受忍限度の設定値イメージ

（断水社会実験による湧水受忍限度の分析結果）

4-2. 照査降雨

近年の浸水被害発生時の降雨特性などから、一層の浸水安全度の向上を図るため、従来から用いられている下水道施設の計画降雨に加え、これを上回る降雨を設定し、雨水管理計画の照査降雨として複数設定する（図 4.4）。

照査降雨は、ハード対策とソフト対策を組み合わせることで浸水被害を最小化するために、計画降雨と同じ降雨、下水道施設の能力を超える降雨（L1'）及び想定される最大降雨（L2）により、管渠網全体の能力評価を行う降雨とした。

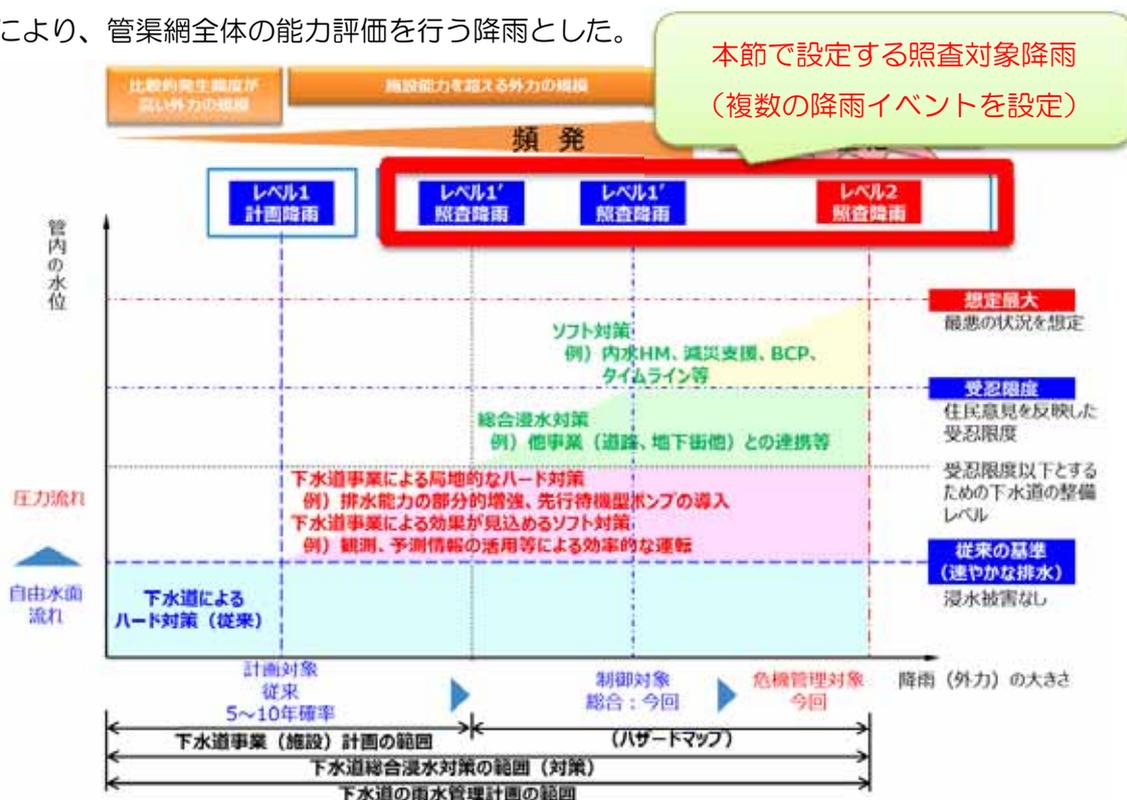


図 4.4 照査対象降雨の位置づけ

4-2-1. 照査降雨（L1'）の設定

照査降雨（L1'）の設定にあたっては、局地的な大雨等に係る地域特性、時間分布、空間分布の分析を行い、下水道施設の整備や住民、民間企業、関係部局等に対して解りやすく提示する必要がある。

今回の FS 調査では、以下の手順で照査降雨（L1'）を設定した。

- 降雨の地域特性の検討：ティーセン分割¹⁸⁾により各観測所の降雨の支配領域と対象排水区の位置関係を把握し、対象排水区に与える降雨をどの観測所で観測された降雨とするか検討。降雨観測所は資料が充足している気象台(岡崎市：岡崎)を対象。
- 観測所の独立降雨の収集：岩津市民センター、矢作市民センター、消防本部、岡崎市体育館の4つの降雨観測所における過去12年間(2002/12～2014/12)の10分降雨量データを収集し、12時間無降雨を基準に各々約900個の独立降雨を抽出。

- 降雨の時間分布の検討：「雷雨性」、「台風性」等の気象要因の違いにより降雨を分類し、下図に示すような DD 特性¹⁹⁾ (Depth-Duration) を整理した。下水道排水区は約 1~2 km² 以内であり狭小であり、比較的容易に降雨資料の収集できる 10 分降雨量と 60 分降雨量を指標に計画を超過する実績降雨を 6 降雨抽出し、照査降雨を設定した。シミュレーションで評価する降雨は、この 6 降雨の中から、水害の規模とその要因(気象要因、外水位)に最も差異が生ずるであろう 2 降雨とし、10 分・60 分降雨量が何れも最大である 2008/8/28 降雨(消防本部)と 10 分・60 分降雨量が何れも最小である 2011/9/19 降雨(岡崎市体育館)の 2 降雨を L1'降雨として選定した。
- 降雨の空間分布の検討：DA 特性²⁰⁾ (Depth-Area) の分析結果から、降雨中心からの 2 km² 以内の降雨量の低減度合いは、継続時間によらず大凡で 1 割程度と小さいことが確認されたため、降雨量の空間分布は考慮しないで一様に設定した。

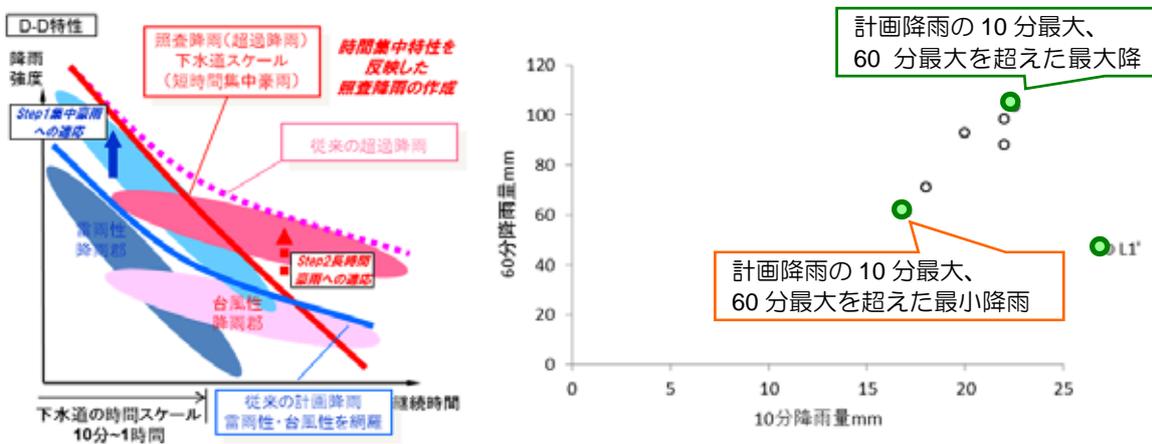


図 4.5 (左) DD 特性に着目した降雨イベントの抽出概念と(右) L1'降雨の特性

表 4.3 照査降雨の選定結果 岡崎市の事例(案)

10分降雨量が計画超過								
地点	開始日時	継続時間hr.	R10mm	確率年	R60mm	確率年	備考	気象原因
岩津市民センター	04/09/04	13.7	22.0	20.4	88.0	80.3		雷雨
岩津市民センター	08/08/28	25.5	22.0	20.4	98.5	154.3		その他
矢作市民センター	08/08/28	18.7	20.0	11.2	93.0	109.9		その他
消防本部	08/08/28	24.7	22.5	23.8	103.5	209.1	L1	その他
60分降雨量が計画超過								
地点	開始日時	継続時間hr.	R10mm	確率年	R60mm	確率年	備考	気象原因
岩津市民センター	04/09/04	13.7	22.0	20.4	88.0	80.3		雷雨
岩津市民センター	08/08/28	25.5	22.0	20.4	98.5	154.3		その他
矢作市民センター	08/08/28	18.7	20.0	11.2	93.0	109.9		その他
消防本部	08/08/28	24.7	22.5	23.8	103.5	209.1	L1'	その他
岡崎市体育館	08/08/28	19.3	18.0	6.3	71.0	26.8	欠測あり	その他
岡崎市体育館	11/09/19	21.2	17.0	4.8	61.0	13.8	L1'	台風

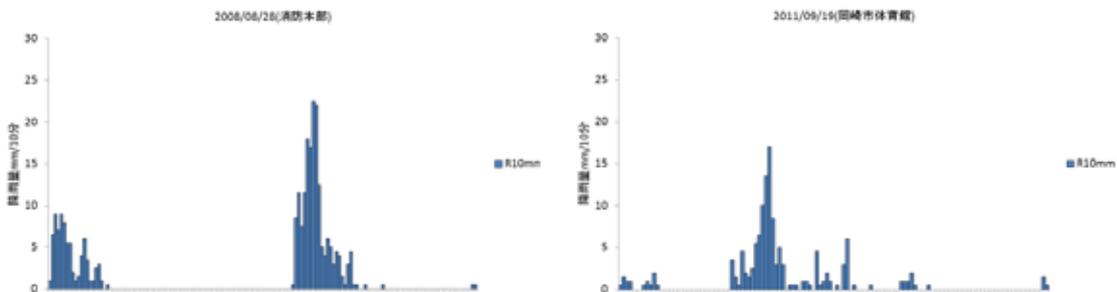


図 4.6 照査対象降雨(L1')のハイエトグラフ²¹⁾

4-2-2. 照査降雨（L2）の設定

照査降雨（L2）は、この調査において、気象庁のアメダスデータから 1976 年～2013 年における中部地域の 60 分最大雨量の最大値を整理した結果（146.5mm：愛知県岡崎）を用いた。L2 のハイトグラフの作成にあたっては、2008/8/28 降雨(気象庁、岡崎のアメダス地域気象観測所)を設定した。

- 10 分降雨量：30.5mm
- 60 分降雨量：146.5mm

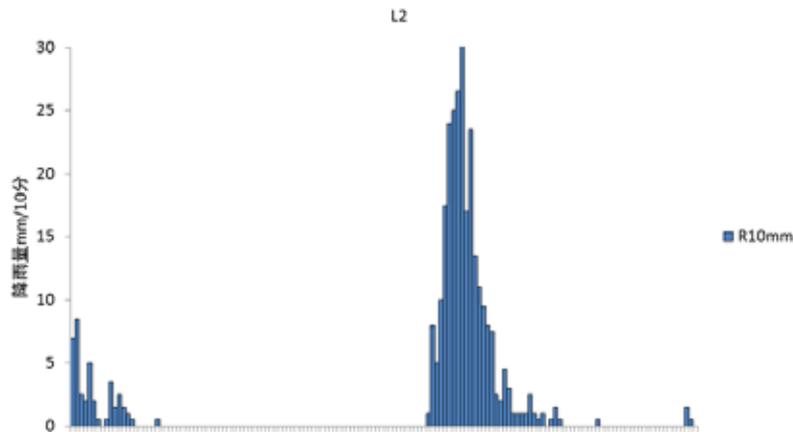


図 4.7 照査対象降雨（L2）のハイトグラフ

なお、L2 の考え方については、国土交通省で設置した、浸水想定（洪水、内水）作成のための「想定最大外力（洪水、内水）の設定に係る技術検討会」において、検討中である。

4-2-3. 照査降雨（L1'、L2）のまとめ

照査降雨は、下図に示すとおり設定した。なお、図中の 10 年確率のハイトグラフは確率降雨量である。

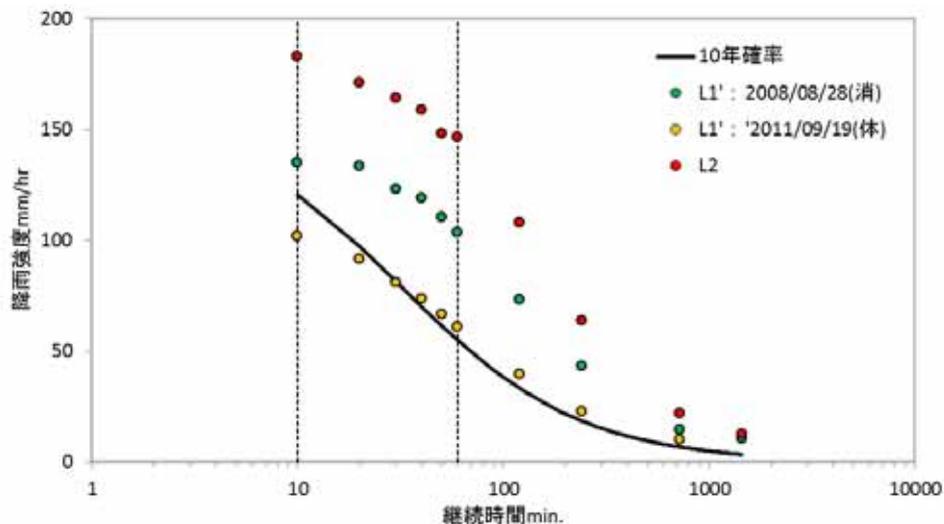


図 4.8 照査降雨の降雨ハイトグラフの設定結果

5. 照査降雨に対する水害要因分析

複数の照査対象降雨を外力とした現況施設の氾濫シミュレーションを行い、現況施設の照査評価基準の達成度を評価するとともに、基準が達成できない要因を分析する。

- 現況施設の照査評価基準の達成度評価
- 水害要因の分析

5-1. 現況施設の照査評価基準の達成度評価

現況施設において、計画降雨及び照査対象降雨について管内水理シミュレーション及び地表面氾濫解析を実施した。検討ケースは、表 5.1 のとおりである。

表 5.1 照査降雨の選定結果 岡崎市の事例（案）

	降雨		外水位	備考
	10分最大	60分最大		
1 計画降雨	20.0mm/10分	55.0mm/hr	水位設定なし	現況施設において、計画流出量の流下能力の有無について把握
2 2008/8/28降雨	22.5mm/10分	103.5mm/hr	実績水位	10分・60分降雨が強い降雨に対して、現況施設の能力把握及び浸水要因分析
3 2008/8/28降雨	22.5mm/10分	103.5mm/hr	H.W.L	外水位の影響が大きい場合、現況施設の能力把握及び浸水要因分析
4 2011/9/19降雨	17.0mm/10分	61.0mm/hr	実績水位	計画降雨を超える降雨に対して、現況施設の能力把握及び浸水要因分析
5 L2降雨	30.5mm/10分	146.5mm/hr	H.W.L	考えられる最大降雨に対して、浸水状況の把握

照査評価基準の浸水開始時間（リードタイム）は、図 5.1 に示すように当該排水区内で、最初に浸水が発生した時刻をスタート時間（浸水開始時間：ゼロ）として評価した。

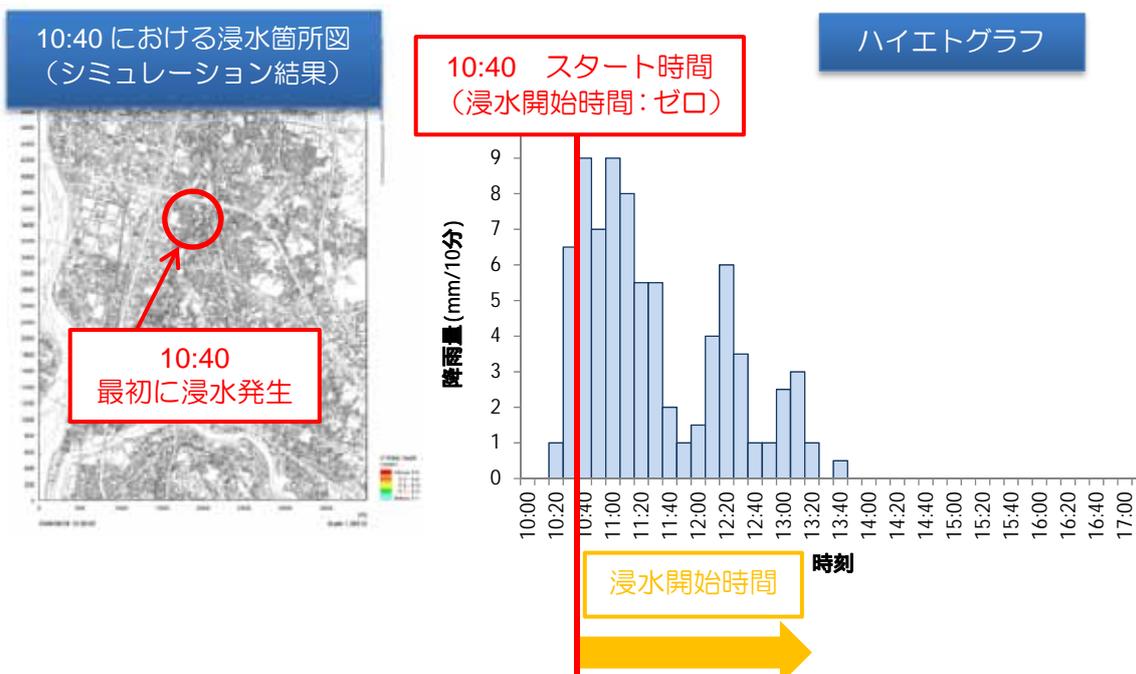


図 5.1 照査評価基準の浸水開始時間の設定（例）

以下、現況施設の照査評価基準の達成度評価結果を示す。

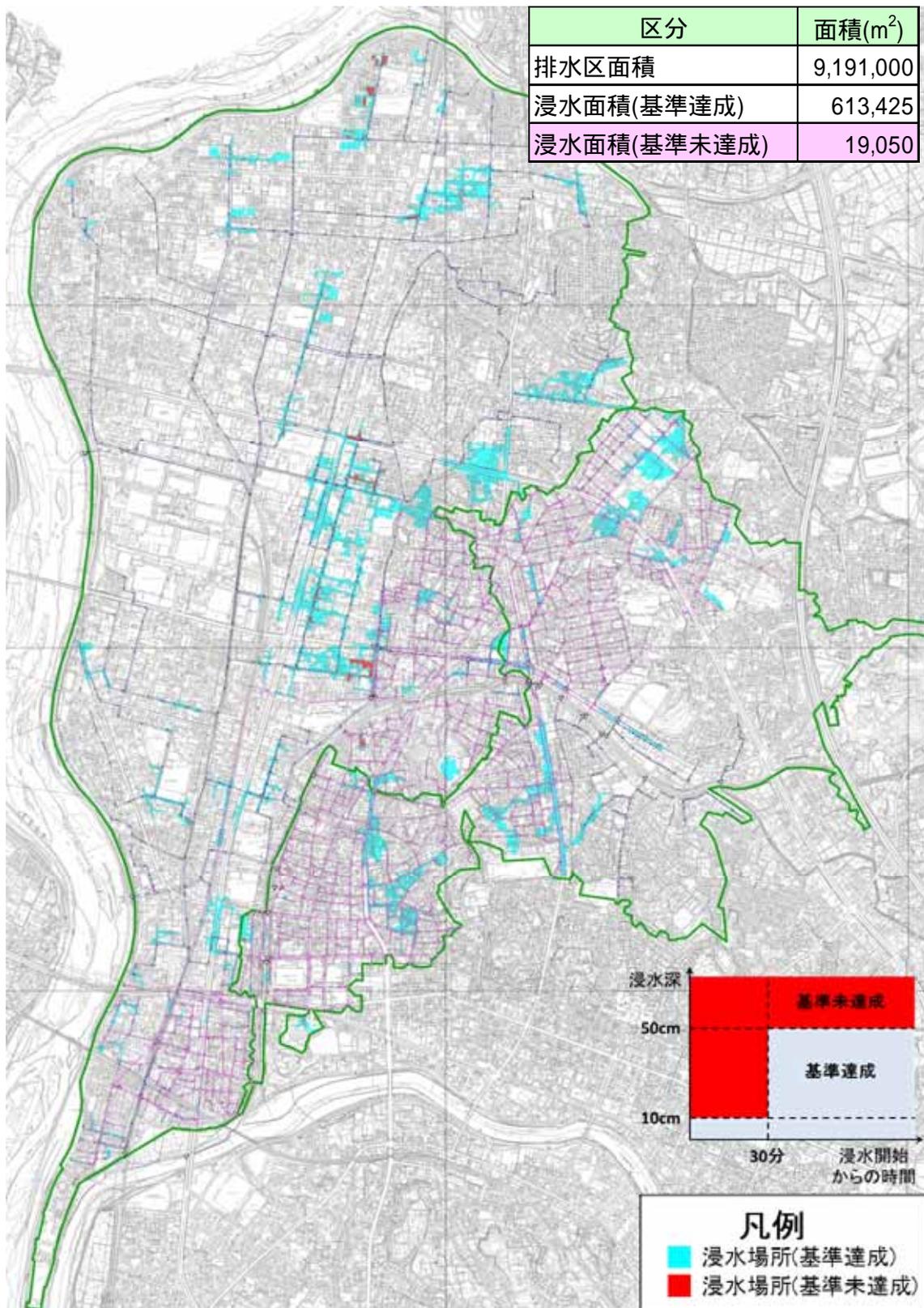


図 5.2 現況施設における照査基準達成状況 (L1 降雨：計画降雨 55mm/hr)

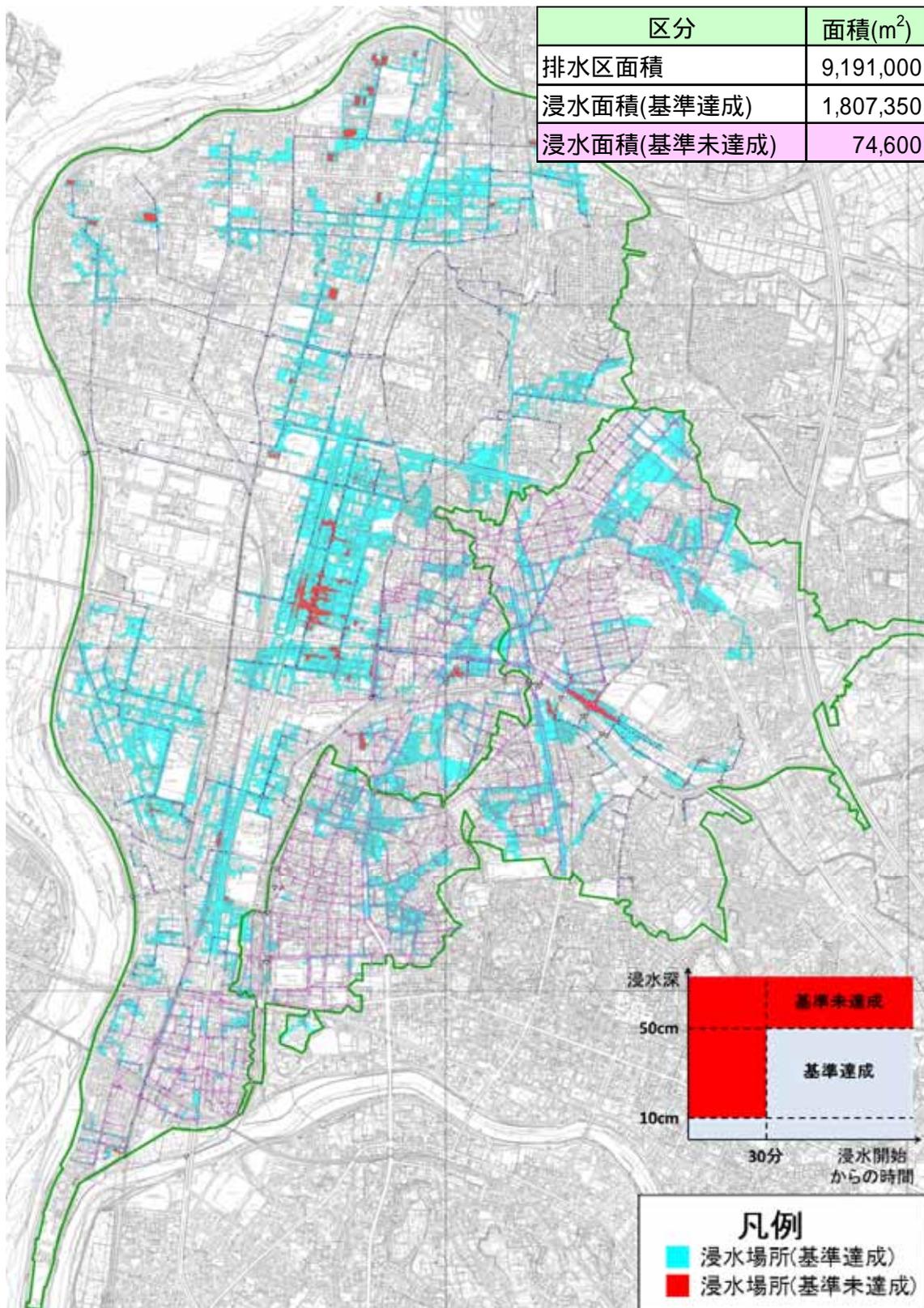


図 5.3 現況施設における照査基準達成状況 (L1' 降雨：2008/8/28 降雨，実績水位)

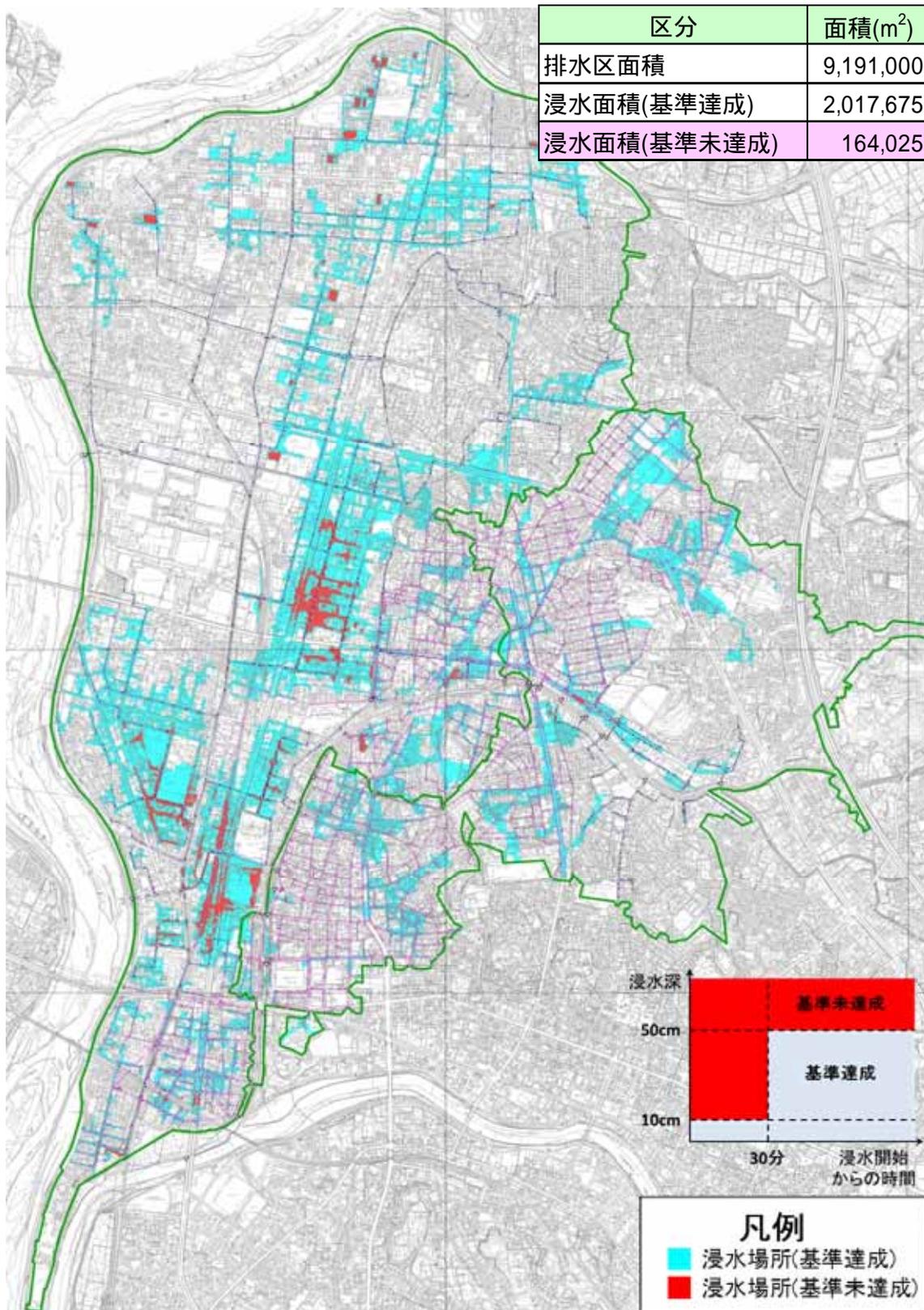


図 5.4 現況降雨における照査基準達成状況 (L1' 降雨: 2008/8/28 降雨, 計画高水位)

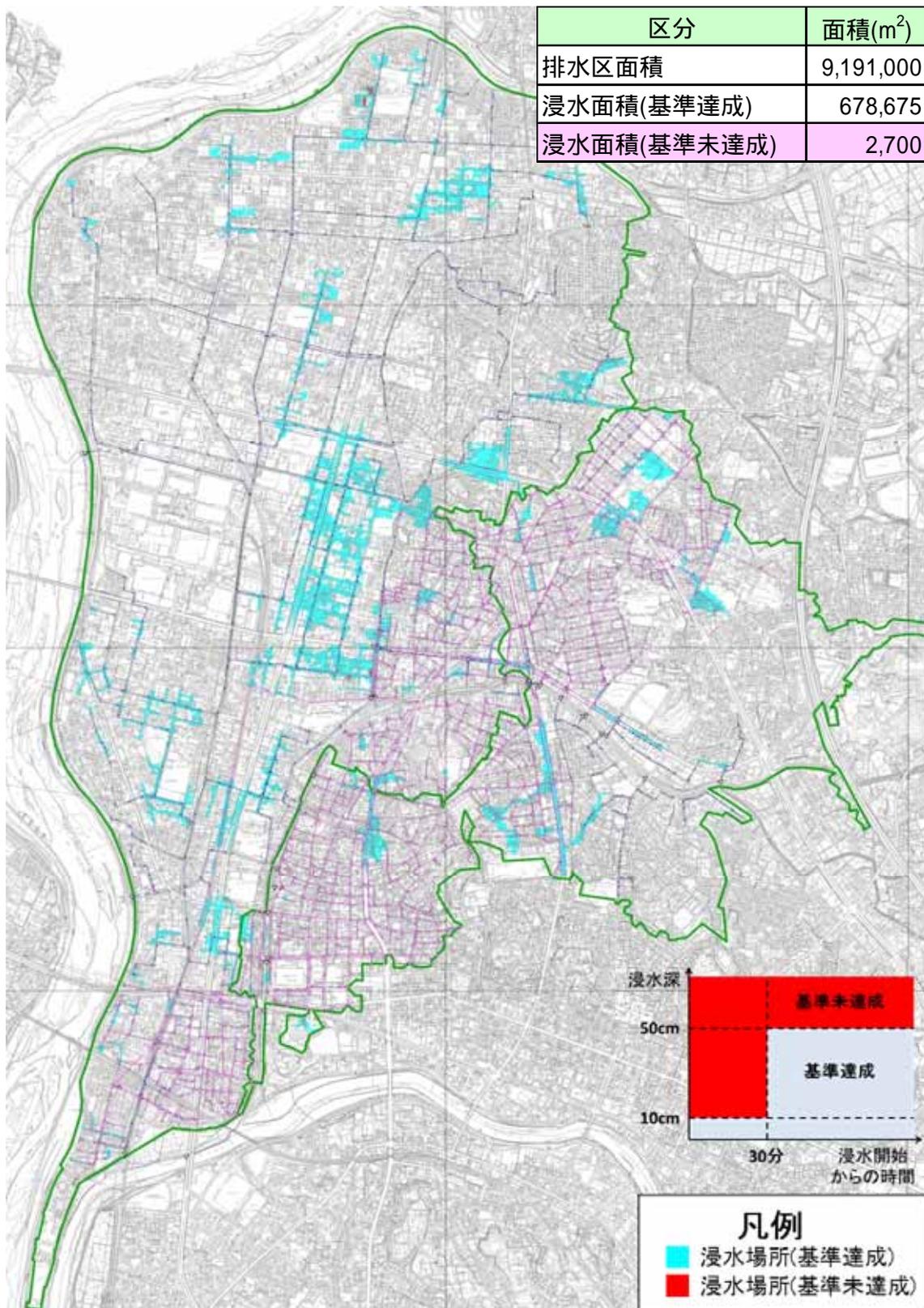


図 5.5 現況降雨における照査基準達成状況 (L1' 降雨：2011/9/19 降雨，実績水位)

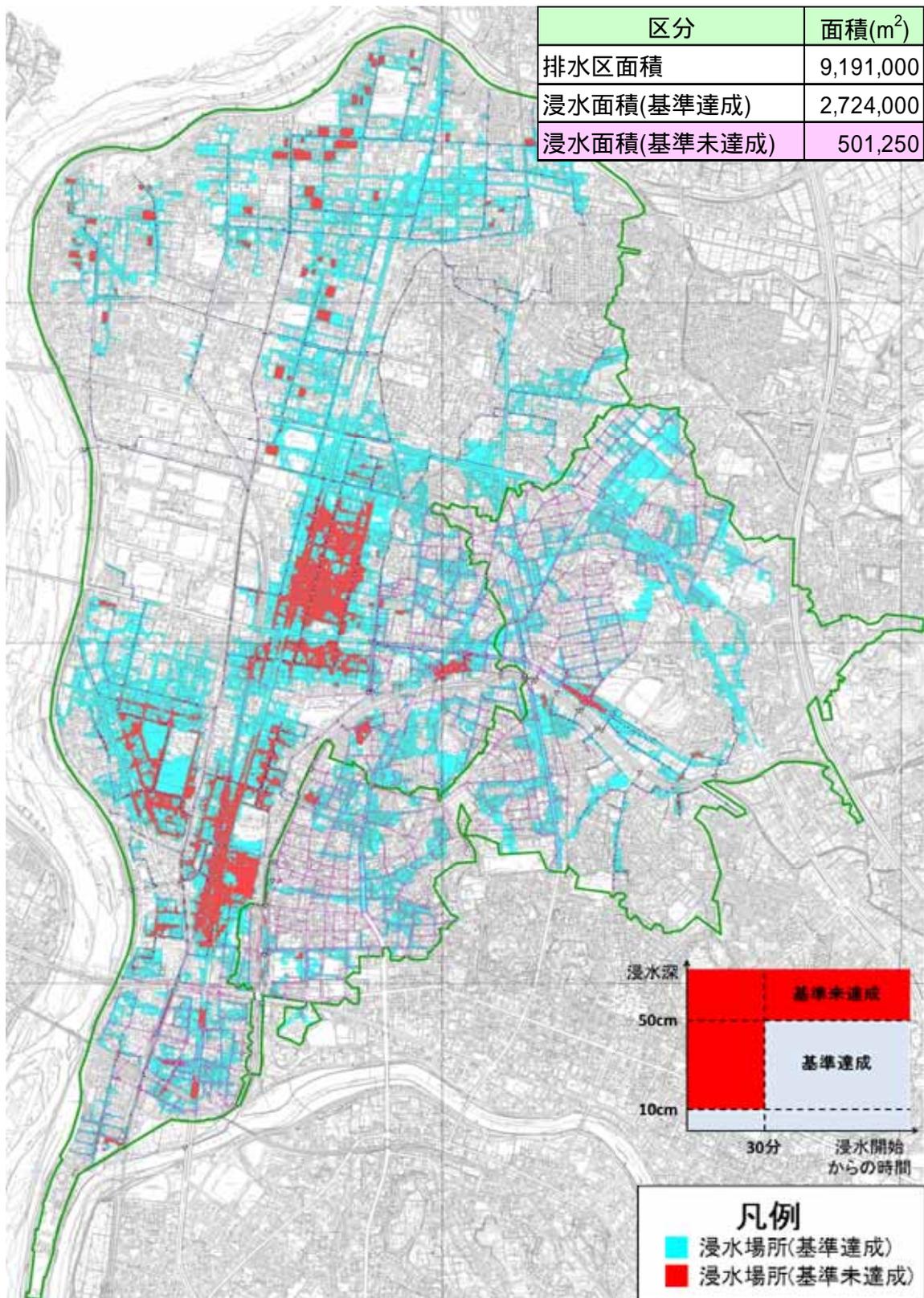


図 5.6 現況施設における照査基準達成状況 (L2 降雨, 計画高水位)

表 5.2 対策前の現況施設における計画降雨及び照査対象降雨の照査評価基準達成状況（面積指標）

(単位:m²)

排水区 (カテゴリー)	浸水深	No.1			No.2			No.3			No.4			No.5		
		L1降雨:計画降雨(55mm/hr)			L1'降雨:2008/8/28降雨			L1'降雨:2008/8/28降雨			L1'降雨:2011/9/19降雨			L2降雨		
		水位設定なし			実績水位			H.W.L			実績水位			H.W.L		
		30分未満	30分以上	合計	30分未満	30分以上	合計	30分未満	30分以上	合計	30分未満	30分以上	合計	30分未満	30分以上	合計
早川排水区 (B & C)	50cm超	950	50	1,000	175	60,000	60,175	200	154,975	155,175	75	1,675	1,750	0	478,750	478,750
	20cm超~50cm以下	17,000	5,525	22,525	500	322,750	323,250	950	484,900	485,850	350	64,875	65,225	250	680,950	681,200
	20cm以下	321,775	83,825	405,600	23,550	965,400	988,950	28,850	1,006,225	1,035,075	1,450	466,150	467,600	2,175	1,282,775	1,284,950
	合計	339,725	89,400	429,125	24,225	1,348,150	1,372,375	30,000	1,646,100	1,676,100	1,875	532,700	534,575	2,425	2,442,475	2,444,900
伊賀川排水区 (B & C)	50cm超	100	0	100	0	13,925	13,925	0	4,925	4,925	50	0	50	0	22,025	22,025
	20cm超~50cm以下	950	25	975	0	36,225	36,225	2,975	27,400	30,375	550	400	950	225	60,875	61,100
	20cm以下	187,600	14,675	202,275	1,850	457,575	459,425	13,775	456,525	470,300	92,925	52,875	145,800	3,350	693,875	697,225
	合計	188,650	14,700	203,350	1,850	507,725	509,575	16,750	488,850	505,600	93,525	53,275	146,800	3,575	776,775	780,350
合計	50cm超	1,050	50	1,100	175	73,925	74,100	200	159,900	160,100	125	1,675	1,800	0	500,775	500,775
	20cm超~50cm以下	17,950	5,550	23,500	500	358,975	359,475	3,925	512,300	516,225	900	65,275	66,175	475	741,825	742,300
	20cm以下	509,375	98,500	607,875	25,400	1,422,975	1,448,375	42,625	1,462,750	1,505,375	94,375	519,025	613,400	5,525	1,976,650	1,982,175
	合計	528,375	104,100	632,475	26,075	1,855,875	1,881,950	46,750	2,134,950	2,181,700	95,400	585,975	681,375	6,000	3,219,250	3,225,250

注1)30分未満とは、同排水区内のいずれかの地点で浸水が開始した時刻を0分とし、その時刻から30分未満に浸水した面積の合計値。

注2)網掛けは、照査評価基準を達成できない面積を示す。

【表の見方】

排水区 (カテゴリー)	最大浸水深	No.3		
		L1'降雨:2008/8/28降雨		
		H.W.L		
		30分未満	30分以上	合計
合計	50cm超	200	154,975	155,175
(B & C)	20cm超~50cm以下	950	484,900	485,850
	20cm以下	28,850	1,006,225	1,035,075
	合計	30,000	1,646,100	1,676,100

← 検討ケース名

← 対象降雨

← 外水位

← 浸水開始からの時間

← :最大浸水深が50cm超の浸水面積(m²)

← :最大浸水深が20cm超~50cm以下の浸水面積(m²)

← :最大浸水深が20cm以下の浸水面積(m²)

← : + + の浸水面積(m²)

□ :照査評価基準未達成の面積(m²)

対策が必要

□ :照査評価基準達成の面積(m²)

a: 浸水開始時間30分未満の浸水面積(m²)

b: 浸水開始時間30分以上の浸水面積(m²)

c: a + bの浸水面積(m²)

浸水開始時間を評価軸としない場合は、
照査評価基準未達成となる面積

【参考】照査降雨の設定と評価方法について

これまで、計画を上回る降雨（以下、照査降雨）の水害要因分析や対策（メニュー、規模）検討において、設計指針への記載はなく、昨年度の検討会（最終とりまとめ）では、以下の指摘を受けている。

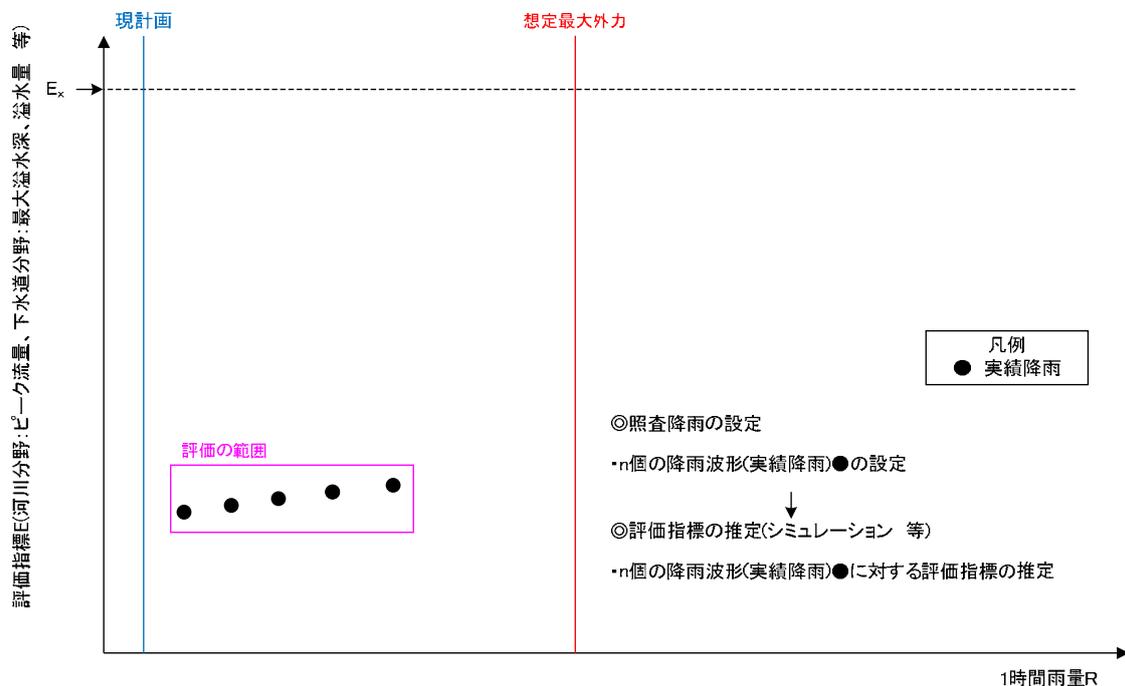
- 降雨量：既往最大降雨を基本として降雨量を設定
 - 照査降雨の時間分布・空間分布：降雨の実績の時間分布を考慮すべき
 - 複数の照査降雨の設定：既往最大降雨に限らず照査降雨を複数用意することも有用
- 上記課題を踏まえ、照査降雨の設定とその評価方法について示すと、次の3つの方法が考えられる。

- 評価方法1：実績降雨を照査降雨とする方法
- 評価方法2：カバー率を用いる方法
- 評価方法3：総合確率法を用いる方法

以下では、これら3つの評価方法について紹介する。

評価方法1：実績降雨を照査降雨とする方法

今回のFS調査において採用した評価方法で、この方法では、既往最大降雨を含み照査降雨を複数用意し、溢水量等の評価指標から対策を検討する。



実績降雨を照査降雨とする方法の概念図

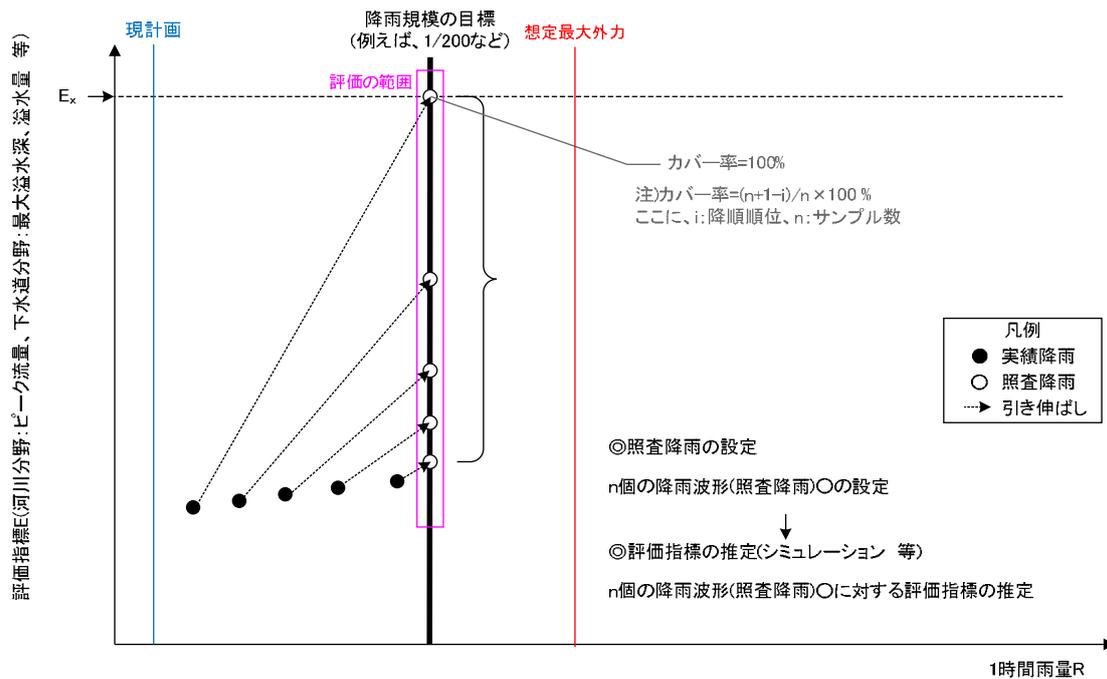
評価方法2：カバー率を用いる方法

照査降雨を複数用意し、溢水量等の評価指標とカバー率から対策を検討する。この方法では、目標およびカバー率をいかに設定するかが課題となる。

なお、カバー率は次式にて定義される。

$$C = \frac{n+1-i}{n} \times 100$$

ここに、 C ：カバー率(%)、 i ：評価指標の降順順位、 n ：照査降雨のサンプル数である。



カバー率を用いる方法の概念図

評価方法3：総合確率法を用いる方法

照査降雨を複数用意し、評価指標から対策を検討する。総合確率法は、任意の再現期間（確率年）に応じた評価指標を求める方法である。以下の概念図の通り、この方法では、降雨の継続時間と確率年を設定すれば、任意の再現期間（確率年）に応じた評価指標を求めることができるが、実績降雨だけでなく引き伸ばした降雨の全部を評価する必要があるため、計算量が多くなるのが課題である。

ここで、総合確率法の適用方法について河川を例に挙げ説明しよう。各洪水ピーク流量に関して、様々な降雨波形に対応した洪水ピーク流量をもたらす降雨量の超過確率（すなわち、その降雨波形を条件として与えたときの洪水ピーク流量の条件付き超過確率）を算定して、その超過確率と降雨波形の生起確率との積を求め、全ての降雨波形にわたって加算して、洪水ピーク流量の超過確率を求めている。

なお、ここでの総合確率法は、次の①～④の仮定の下に適用されている。

- ① 降雨波形の生起確率に関して、実際の運用では総降雨量、降雨の時間的・空間的分布は独立である。

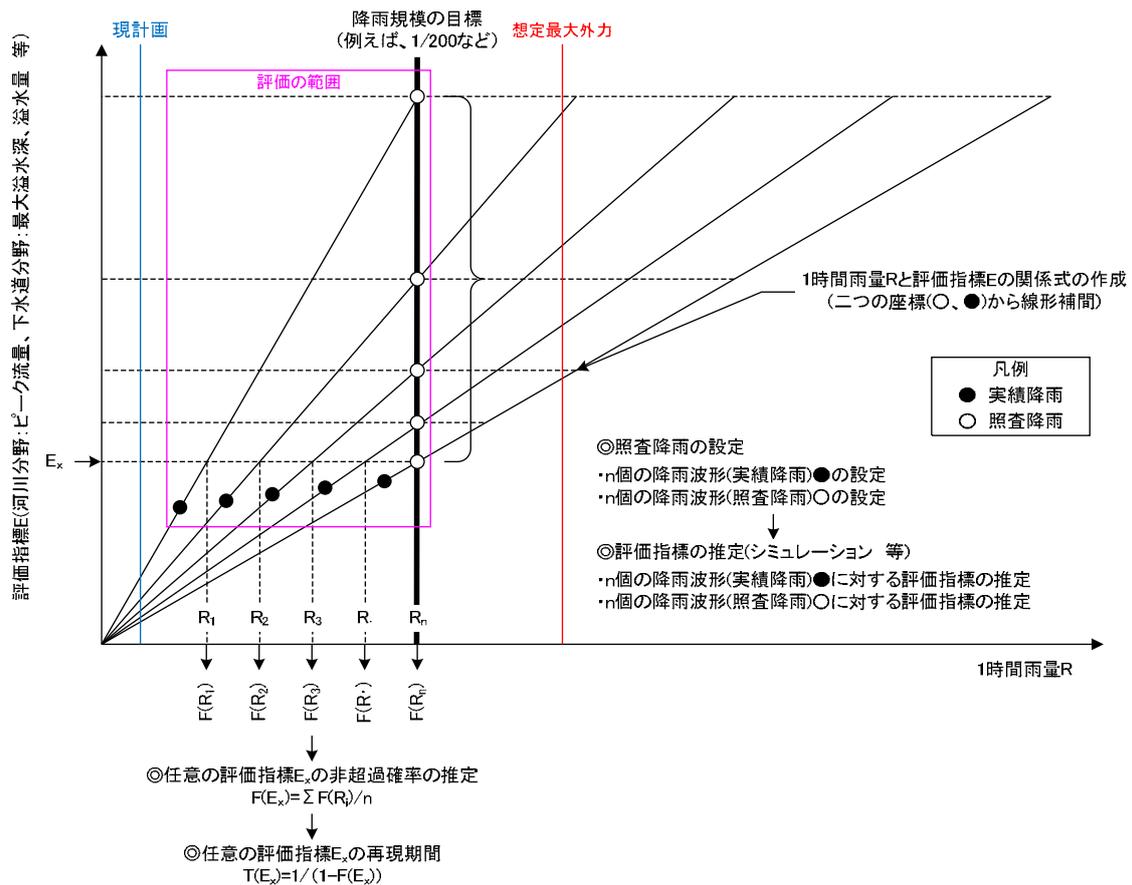
- ② 何れの降雨においても、降雨パターンを固定して総降雨量だけを変化させた場合、総降雨量とともに洪水ピーク流量は単調に増加する。
- ③ 降雨の時間的・空間的分布は抽出した降雨波形に代表される。
- ④ 降雨波形の生起確率は一様分布である。

これより、評価指標の再現期間は次式により求められる。

$$T(E_x) = \frac{1}{1 - F(E_x)}, \quad F(E_x) = \sum_{i=1}^n (F(R_i) \cdot F(Rptn_i))$$

ここに、 E_x : 評価指標、 $T(E_x)$: 評価指標の再現期間、 $F(E_x)$: 評価指標の非超過確率、 $F(R)$: 継続時間別の総降雨量 R の非超過確率、 $F(Rptn)$: 降雨波形 $Rptn$ の非超過確率、 i : 抽出した降雨波形を表す添字、 n : 抽出した降雨波形の数である。ここで、降雨波形はそれぞれ等しく生起するものと考え、これに一様分布を仮定すれば次式を得る。

$$F(E_x) = \frac{\sum_{i=1}^n (F(R_i))}{n}$$



総合確率法の概念図

参考文献) 椎葉充晴・立川康人: 総合確率法の数学的解釈、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.69、No.2、pp.101-104(2013)

5-2. 水害要因の分析

前節では、対策前の現況施設について照査評価基準の達成度を評価した。ここでは、前節を踏まえて、照査評価基準が達成できない箇所について、その要因を分析し対策検討へ反映する。

施設の弱部については、3章の「3-4.現況排水施設の能力評価」で明らかにした通りであるが、下水道施設の能力を上回る降雨にも対応できる対策を検討するために、複数の降雨（照査対象降雨）による浸水シミュレーションの結果を比較し、浸水要因を分析した。

今回のFS調査では、抽出した降雨のうち、10分・60分降雨が最大及び最小となる降雨による浸水被害の比較により、枝線、幹線での浸水発生メカニズムを把握するとともに、1つの降雨で、河川水位が計画高水位の場合とそうでない場合による浸水被害の比較により、外水位の影響を把握した。

比較①：No.2（2008/8/28 降雨）とNo.3（2008/8/28 降雨・計画高水位）の比較

No.2（2008/8/28 降雨）とNo.3（2008/8/28 降雨・計画高水位）の比較では、外水位の影響について把握できる。

（伊賀川はNo.2の方が一時的に水位が計画高水位より高い）

比較②：No.2（2008/8/28 降雨）とNo.4（2011/9/19 降雨）

No.2（2008/8/28 降雨）とNo.4（2011/9/19 降雨）の比較では、降雨の規模による被害状況が把握できる。

※早川排水区上流域について

図 5.7 の水害要因分析位置図に示す早川排水区上流域（点線部）における基準未達成（赤色部）の浸水場所は、水田などの窪地であり、豪雨時における実際の現象としては、水田等に雨水が湛水した後、農業用排水路で速やかに排水され、浸水被害は生じていない状況である。

一方、表 4.1 の評価軸に応じた基準値の目安では、田の浸水継続時間は1日以内としているが、今回の調査では、農業用排水路をモデル化していないため、シミュレーション上、水田などの窪地に湛水した雨水は排水されずに溜まった状態が続く。

よって、今回の調査では、実際の状況を勘案して水田での被害は少ないと判断し、早川排水区上流域における水田などの窪地については対策の対象外とするが、今後、水田等について評価を行う際には、農業用排水路等の排水路もモデル化することが望ましい。

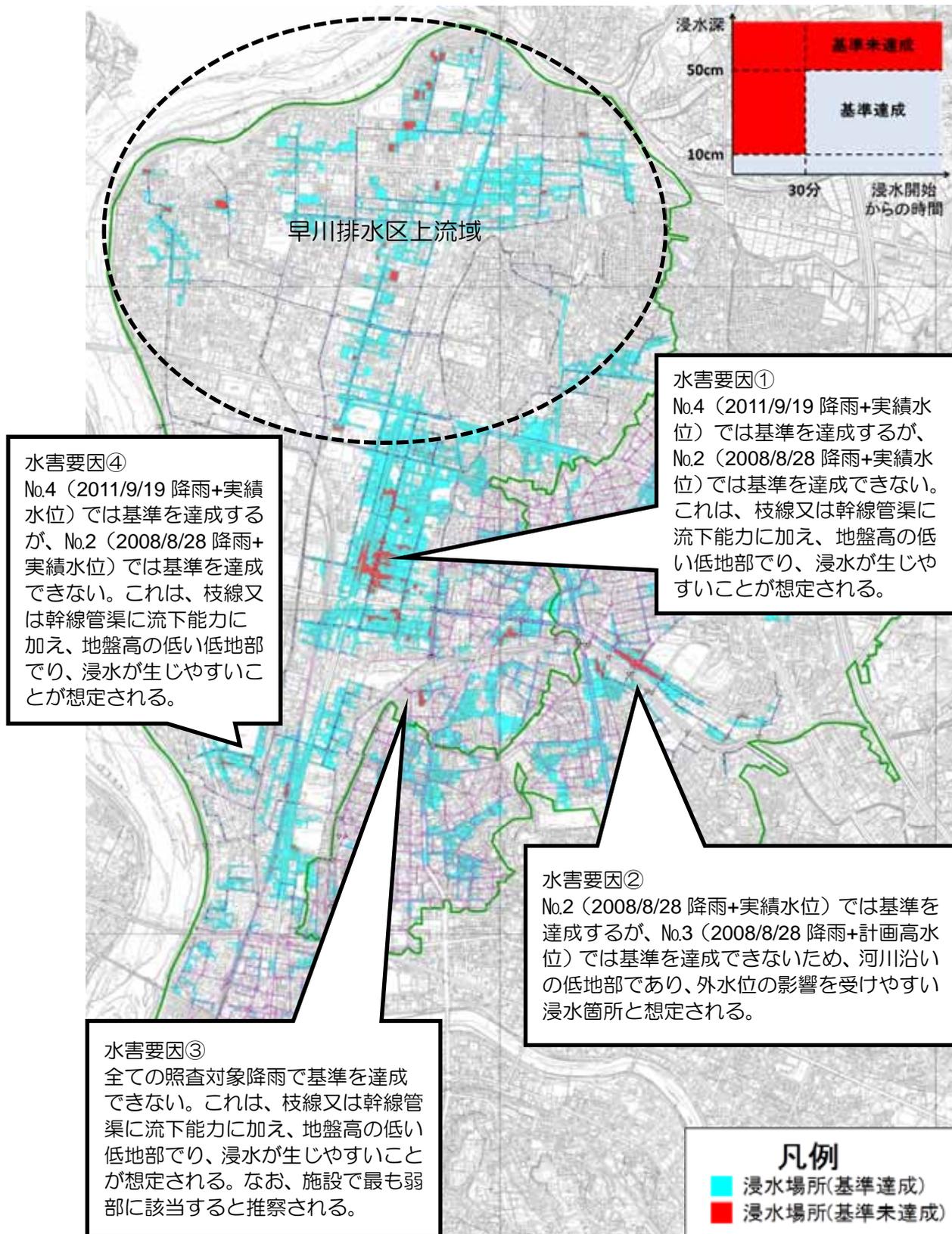


図 5.7 水害要因分析 位置図

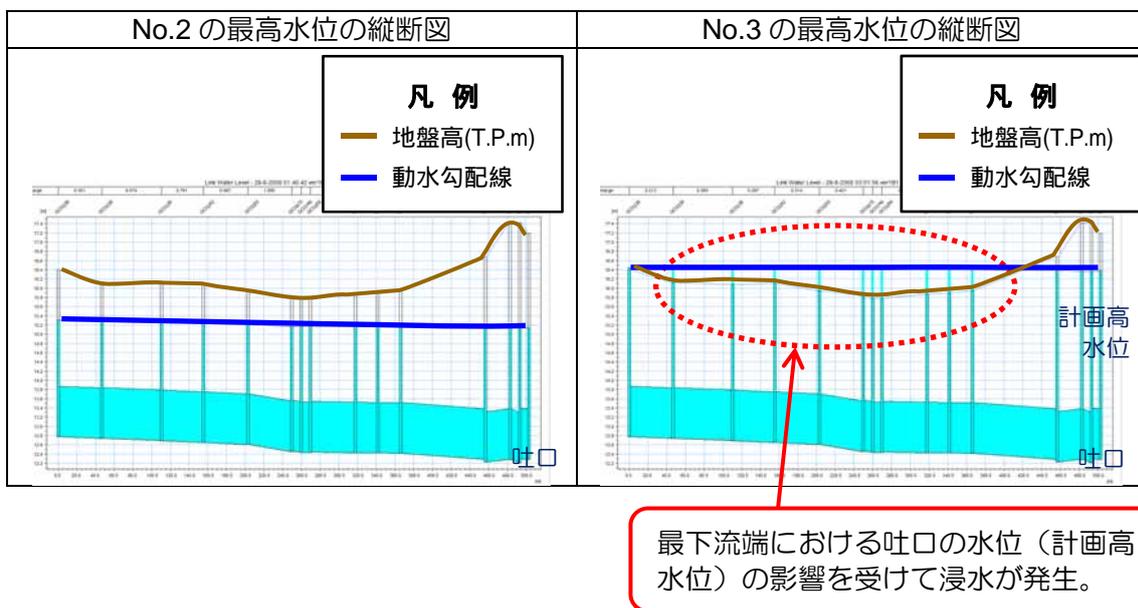
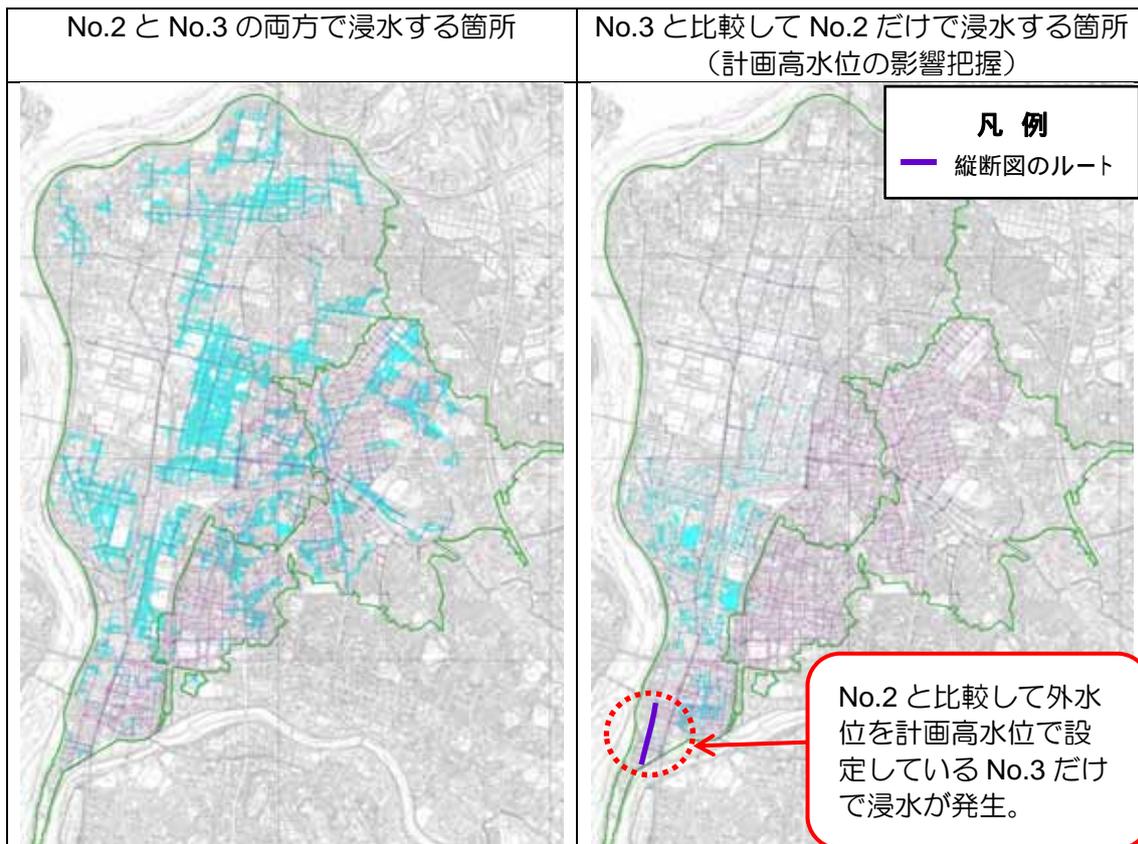
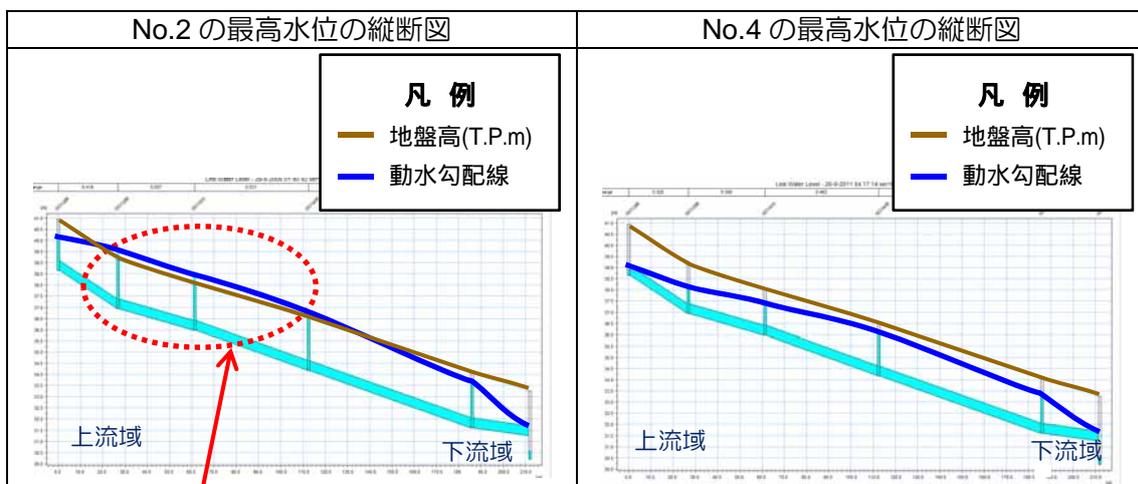
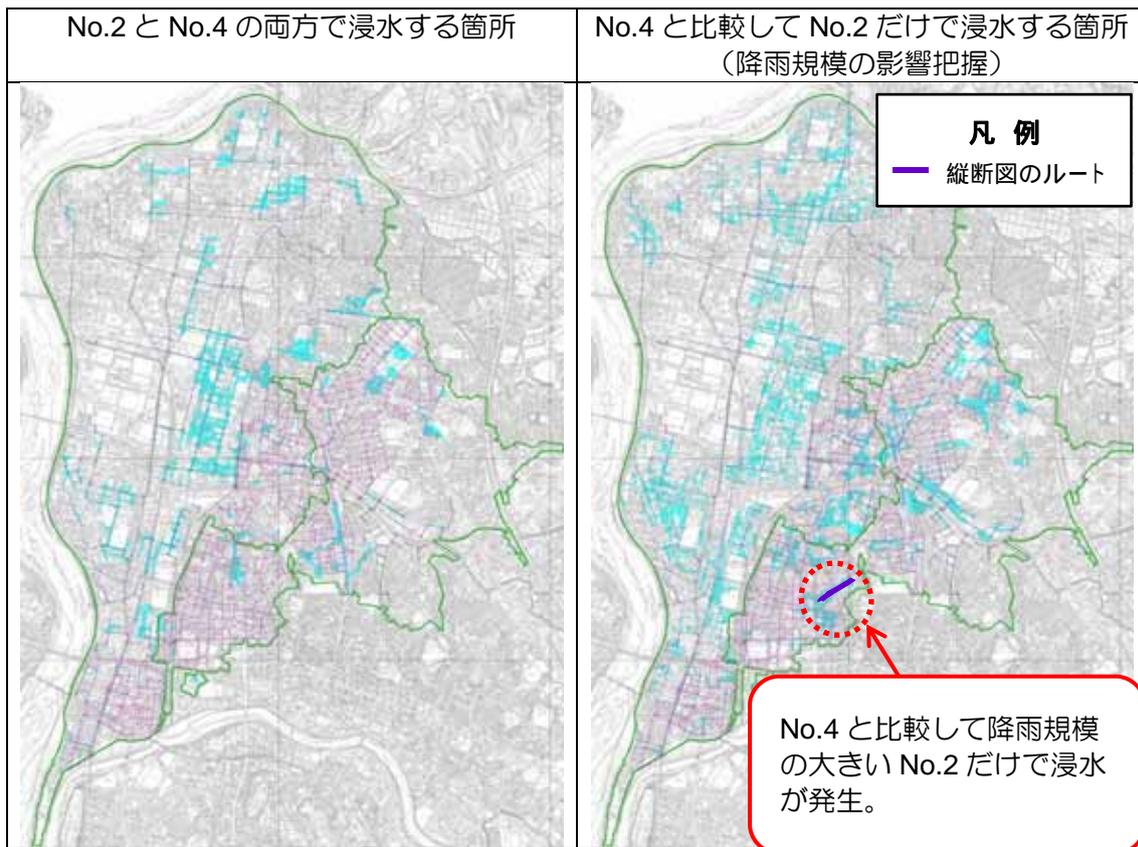


図 5.8 No.2 と No.3 の浸水箇所及び縦断面図の比較



降雨規模の大きい No.2 では、No.4 よりもピーク時の流入量が多いため、流下能力不足による浸水が発生。

図 5.9 No.2 と No.4 の浸水箇所及び縦断面図の比較

6. 対策計画

対策検討は、これまでの現況施設の水害要因分析を踏まえ、排水能力の部分的増強や先行待機型ポンプの導入などの下水道事業による局地的ハード対策と、観測、予測情報の活用等による効果的な運転などの下水道事業による効果が見込めるソフト対策を主眼に照査基準が達成できる最適な施設計画等を以下のとおり立案する。

- ハード対策メニューの立案：ストックを最大限に活用した弱部を補完するためのハード対策メニューの立案
- 照査の考え方：施設規模の計画設計並びに照査実施方法の設定
- ハード対策の検討：ケース別の照査を通じたハード対策施設計画の検討
- ソフト対策の検討：BCP、タイムライン等の作成を視野に入れたソフト対策の検討

6-1. ハード対策メニューの立案

ハード対策は、従来型の管渠増径のほか、以下のような対策が挙げられる。

- ① 「下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）H18.3」で示されている対策：表 6.1 参照
- ② 「最終とりまとめ」で示されている既存ストックを活用した対策：表 6.2 参照

表 6.1 「下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）H18.3」で示されている対策

区分	対策手法・対策例			
公助	流出抑制型 施設	雨水貯留施設	・雨水調整池、貯留管、雨水滞水池	下水道のみならず、道路、学校、公園等他施設との連携を進める
		雨水浸透施設	・浸透ます、浸透トレンチ、浸透側溝 ・透水性舗装	
	施設の 有効活用	大規模幹線の貯留管としての利用		
		取水施設の早期整備		
		大規模幹線のネットワーク化		
		小規模管路における対応	・相互接続	
	流下型 施設	管路施設	・増補管、バイパス管による既存管路の増強	
		ポンプ施設	・ポンプ場の新設および増設、高性能ポンプの導入 ・局地排水用小規模ポンプの設置	
	効率的・効果的な施設の運用		・雨量計、水位計、流量計、監視カメラ、光ファイバー網等の設置による情報収集体制の構築 ・リアルタイムコントロールを利用したゲート、堰、ポンプ等の運転管理システムの構築	
	非常時に備えた防災機能の確保		・可搬式ポンプ・移動ポンプ車の活用 ・ポンプ施設の耐水化 ・マンホール蓋の飛散防止	
その他の連携施策		・道路雨水ます蓋のグレーチング蓋への取替え ・道路雨水ますの増設及び道路横断・縦断側溝の設置 ・緑地・農用地による流出抑制		
自助		・地下施設等の止水板の設置・耐水化、浸水時の土のう設置 ・地下（半地下）式駐車場の対応策 ・各戸の貯留・浸透施設の設置 ・建物の耐水化 ・地下室等の建築時の配慮		

表 6.2 「最終とりまとめ」で示されている対策

既存の下水道施設 を活用した対策	付加的施設や改築等 による最適化	(1) 管径の一部増径 (2) 大規模幹線間やポンプ場間のネットワーク化 (3) 小規模管路間のネットワーク化・バイパス化 (4) 改築にあたっての既存施設等の有効活用 (5) 既存管路活用と相乗して能力を高める雨水貯留施設整備 (6) 流下貯留型化による雨水貯留施設の有効活用
	既存の下水道施設の多目的化 段階的な早期の効果発現	(1) 合流式下水道の改善対策施設等の浸水対策利用 (1) 大規模幹線等の雨水貯留施設としての利用 (2) 取水施設の早期整備
他事業の既存計画や施設と連携した対策	(1) 河川の調整池と下水道の雨水貯留施設の直接接続等による連携 (2) 水路等との連携 (3) 取り込み施設の能力増強等による連携 (4) 小型雨水貯留浸透施設の道路側溝下部等への設置 (5) 公園・緑地、校庭、駐車場、水田、ため池等との連携 (6) 流域保全林等との連携 (7) 雨水貯留浸透施設整備の指導や助成制度の導入等 (8) 河川部局等との合築 (9) 暫定防災調整池の恒久化・有効活用	

既存のストックの能力・弱部評価等を踏まえ、圧力状態を考慮しつつ、照査評価基準を満足できることを狙いとした、ハード対策の候補案を抽出する。

岡崎市におけるハード対策は、表 6.3 及び図 5.1 に示すとおりである。

表 6.3 岡崎市におけるハード対策施設

対策	ハード対策施設（案）	対策施設の内容	備考
対策A	大規模雨水幹線の設置と段階的な整備による雨水貯留施設としての利用	<ul style="list-style-type: none"> ● 早川1号幹線からの<u>背水の影響をうける低地地区の排水を行うためバイパス管+ポンプ場</u>を設置する。 ● バイパス管は低地地区を中心に既設管渠と接続し、分水することによってバイパスを行う。 ● ポンプ場は既設ポンプ場近傍に設置し、既設ポンプ場よりも低いポンプ井を設置することによって低地地区の排水を効率的に行う。 ● 段階的な対応としてポンプ場を設置するまでの間、バイパス管を雨水貯留施設として活用することも検討する。 	① ②
対策B	既設幹線間のネットワーク化	<ul style="list-style-type: none"> ● A対策実施のバイパス管を有効利用し既設幹線間のネットワークを図る。 ● ネットワーク管を設置することにより<u>既設伏越し部の水位上昇を避ける</u>ことができる。 ● また、ネットワーク管を設置することにより、早川1号幹線からの背水の影響を軽減出来る。 	① ②
対策C	流下貯留型バイパス管の設置	<ul style="list-style-type: none"> ● 河川沿いの低地区（ポンプ排水区）の排水を地区毎にポンプ場を設置せず、低地地区を貫くようなバイパス管を設置することによって、上流側の地盤高より河川の計画高水位が低い地点まで導水し排水する。 ● <u>上流の地盤高より河川の計画高水位が低い地点まで導水することによってポンプを設置せず、ふかし上げ構造によって排水することにより、新たなポンプ場の設置をすることなく排水可能となる。</u> ● さらに、貯留機能を 	①
対策D	取り込み施設の能力増強	<ul style="list-style-type: none"> ● 高台地区の能力不足の管渠から溢水後、路面を流下し低地部に雨水が流入する。 ● これら低地地区に流入した雨水を効率的に排除するため、<u>グレーチング等を配置しバイパス管の排水能力を最大限活用</u>する。 	① ②

備考：

①「下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）H18.3」で示されている対策

②「最終とりまとめ」で示されている対策

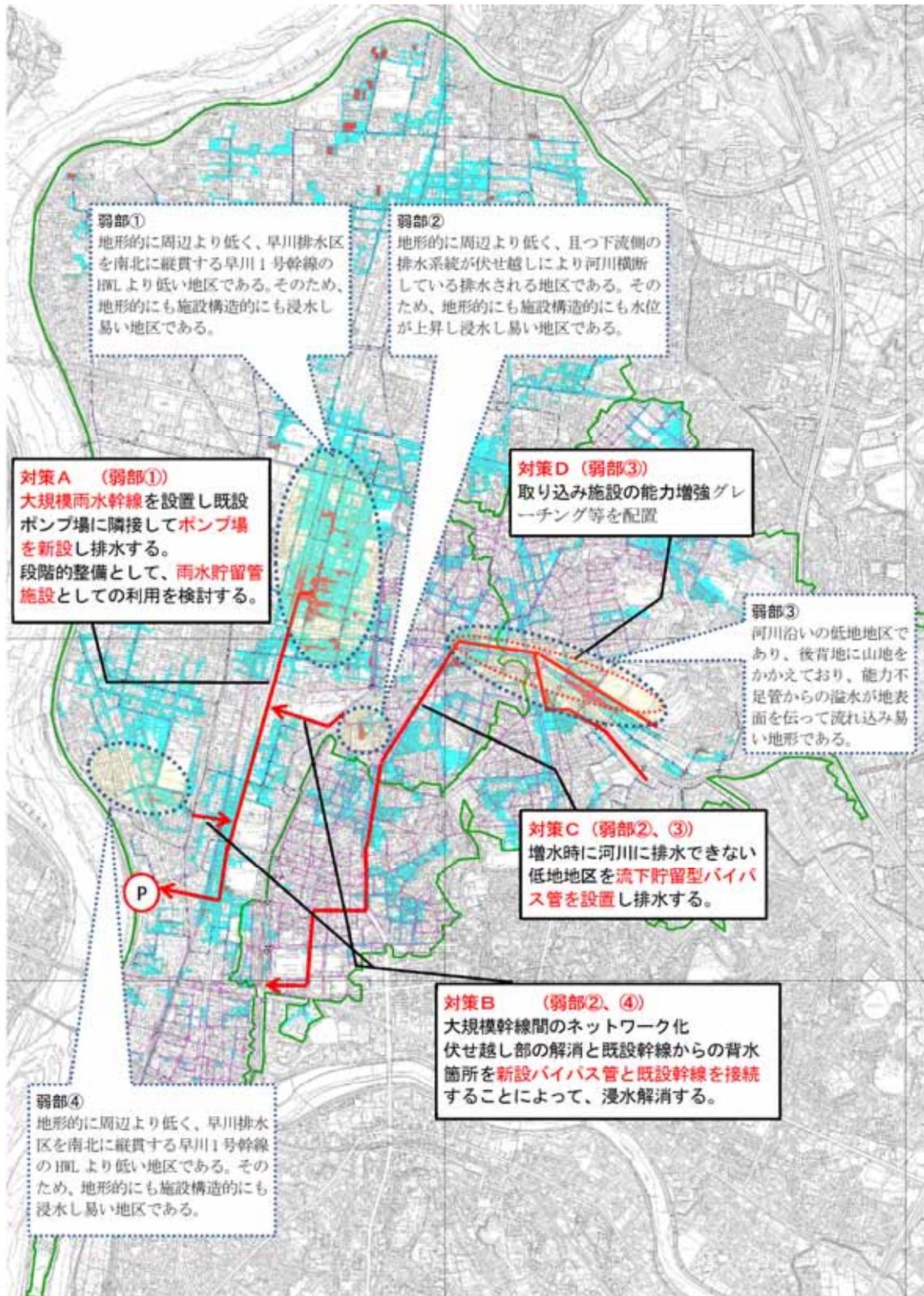


図 6.1 岡崎市におけるハード対策施設 (案)

6-2. 照査の考え方

6-2-1. 施設規模の設定の考え方

今回の FS 調査では、施設規模の検討は以下の手順で行った。

- ①計画降雨に対して、ハード対策により地域の安全度を確保するため、第 1 に合理式・等流計算により、概略的に施設規模を設定した。
- ②計画降雨に対する浸水シミュレーションの実施により、①で検討した施設規模が妥当であるかの確認を行い、施設規模の合理化（対策優先施設の抽出）を行った。
- ③ また、照査降雨に対する浸水シミュレーションの実施により、②で検討した施設規模で、下水道計画を上回る降雨（照査降雨）に対しても、浸水安全度に関する照査評価基準を達成できるかの確認を行い、付加的対策施設を含めた施設規模の検討を行った。

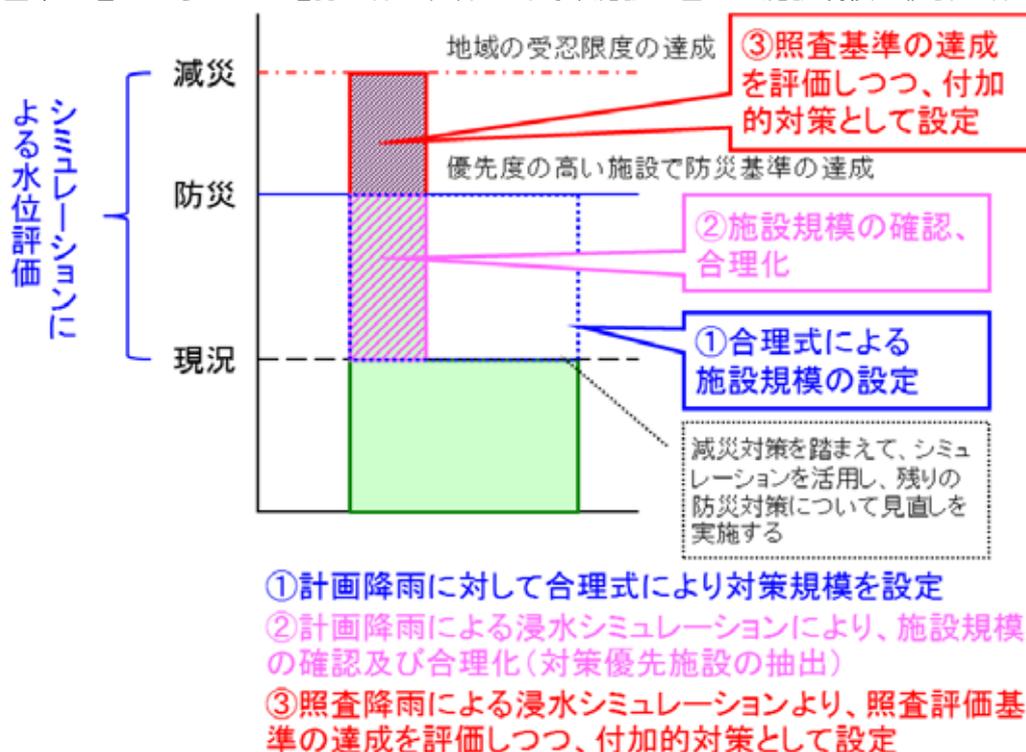


図 6.2 下水道事業における局地的ハード対策施設の規模設定の考え方

付加的施設について

付加的施設は、照査評価基準を達成するため、下水道事業による局地的なハード対策と、下水道事業による効果が見込めるソフト対策がある。

- 下水道事業による局地的なハード対策
例) 排水能力の部分的増強、先行待機型ポンプの導入
- 下水道事業による効果が見込めるソフト対策
例) 観測、予測情報の活用等による効果的な運転

6-2-2. 照査ケースの設定

岡崎市においては、現行計画の5年確率降雨（1時間降雨強度：45mm/h）による整備を進めているところであるが、平成20年8月末豪雨によって被害を受けた伊賀川地区、早川地区、久後崎地区、六名地区の主要な施設は10年確率（1時間降雨強度：55mm/h）に対応する施設計画を検討しているところである。

岡崎市では、伊賀川排水区、早川排水区について、10年確率降雨を外力とした施設計画を合理式により計画し、この施設を現況施設の解析モデルに組み合わせ、2008年8月28日降雨（1時間降雨最大雨量:103.5mm/h）が発生した場合のシミュレーションを実施し、浸水深を評価軸とした浸水被害軽減目標を達成しているかを評価している。なお、2008年8月28日降雨は、今回のFS調査の照査対象降雨でもあり、また、岡崎市の浸水被害軽減目標の浸水深評価値は、今回のFS調査の照査評価基準に同様であるが、浸水時間を評価指標とはしていない。

上述の岡崎市の計画においては、既存施設に10年確率降雨対応の施設を組み合わせ、計画を立案しているが、当該降雨の外力が非常に大きいため、全対策施設の実施に要する費用が高額で、また、段階的な整備優先順位が見いだせないことから、事業の着手には至っていない状況にある。

以上を踏まえ、今回のFS調査では、以下の事項を狙いとした照査ケースを設定する。

- ① 市が立案した施設計画に対し、2008年8月28日降雨を対象とした浸水シミュレーションを通じて、現在の市の施設計画を評価する（ケース0）。
- ② 市が立案した施設計画に対し、2008年8月28日降雨より規模が小さい照査降雨である2011年9月19日の照査降雨（1時間降雨最大雨量:61.0mm/h）を対象とした浸水シミュレーションを通じて、整備優先順位を検討する。対策方法としてバイパス幹線とポンプ場の増強があげられているが、2011年9月19日の照査降雨により、ポンプ場の対策の優先度やバイパス対策のみで対応可能かを照査する（ケース1・2・3）。
- ③ 上記①の施設に対して、2011年9月19日の照査降雨や、想定最大外力となる降雨での浸水状況を確認し、BCPやタイムライン式行動表などのソフト対策の方向性について検討・評価する（ケース4・5）。

表 6.4 照査による対策施設の検討ケース

	照査降雨			照査評価基準		目的	対策の組み合わせ		
	No.	10分最大 (mm/10分)	60分最大 (mm/hr)	浸水深	浸水開始 時間		早川排水区 バイパス対策	伊賀川排水区 バイパス対策	八帖ポンプ場 増強対策
ケース0	3	22.5	103.0	評価	評価	現在の市の施設計画を評価	実施	実施	実施
ケース1	4	17.0	61.0	評価	評価	現在の市の施設計画のうち、優先的に実施すべき対策を評価	—	実施	—
ケース2	4	17.0	61.0	評価	評価		実施	-	実施
ケース3	4	17.0	61.0	評価	評価	ポンプ場の増強対策の優先度を評価	実施	—	-
ケース4	3	17.0	61.0	評価	評価	全ての対策施設を実施した場合の浸水状況を評価し、ソフト対策の方向性を評価する。	実施	実施	—
ケース5	5	30.5	146.5	評価	評価		実施	実施	実施

表 6.5 本 FS 調査の照査対象降雨（再掲）

No.	降雨		外水位	備考
	10分最大	60分最大		
1	計画降雨	20.0mm/10分	55.0mm/hr	水位設定なし 現況施設において、計画流出量の流下能力の有無について把握
2	2008/8/28降雨	22.5mm/10分	103.5mm/hr	実績水位 10分・60分降雨が強い降雨に対して、現況施設の能力把握及び浸水要因分析
3	2008/8/28降雨	22.5mm/10分	103.5mm/hr	H.W.L 外水位の影響が大きい場合、現況施設の能力把握及び浸水要因分析
4	2011/9/19降雨	17.0mm/10分	61.0mm/hr	実績水位 計画降雨を超える降雨に対して、現況施設の能力把握及び浸水要因分析
5	L2降雨	30.5mm/10分	146.5mm/hr	H.W.L 考えられる最大降雨に対して、浸水状況の把握

6-3. ハード・ソフト対策を総動員した浸水対策に必要な水位計設置計画

照査評価基準の浸水開始時間を含めた照査評価値が達成できる付加的施設を計画する際には、いつ、どこで浸水が発生するか、また、どのように浸水発生を察知するか整理しておく必要がある。

今回のFS調査では、シミュレーションモデルにより、予め照査降雨において最初に浸水が発生する箇所を把握し、近傍管渠に水位計を設置して浸水発生状況を察知することを想定した。

以下では、水位計設置計画を策定するための考え方を示す。

6-3-1. 水位計設置箇所の考え方

4章の「4-1-2.照査評価基準の設定」で述べたように、リードタイムは、止水板の設置や土のう積み等の自助活動時間を確保するために30分とした(図6.3)。また、浸水開始時間は、対象範囲内で最初に浸水が発生した時刻からの時間とした。

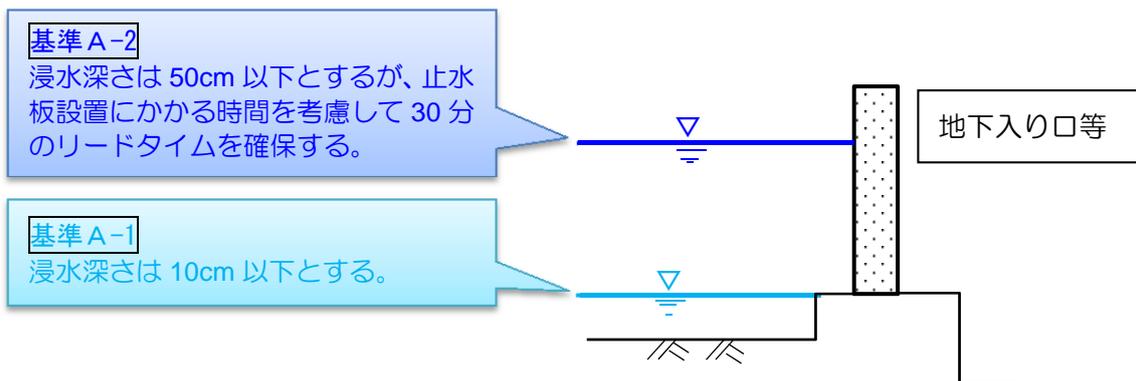


図 6.3 カテゴリーAにおける自助を組み合わせた評価基準達成のイメージ図(再掲)

ただし、上記のリードタイムには、水位計設置箇所の水位情報が施設管理者等に伝達されるまでの時間や自助活動の行動開始までの時間が含まれていない。このため、水位計設置箇所の抽出にあたっては、浸水発生までにある程度時間が確保できるように、最初に管渠内の水の流れが圧力状態(満管状態)になる箇所とした。また、水位情報の伝達範囲は、排水区域内を想定し、水位計の設置は基本的に各排水区1箇所以上とした。

6-3-2. 水位計設置計画の策定

水位計設置箇所の考え方に基づき、「浸水深と浸水開始時間の両方を照査評価基準とした場合」のケース 4 について、管渠内の水の流れが最初に圧力状態（満管状態）になる箇所を特定し、その箇所に水位計を設置することとした。

＜水位計の設置数＞

- ケース 4：4 箇所

＜水位計の設置箇所＞

ケース 4 における水位計の設置箇所を図 6.4 に示す。水位計設置箇所の抽出にあたっては、図 6.5 に示すように、管渠内の水の流れが最初に圧力状態となった時間を開始時間として、この時間から 30 分以内において圧力状態となる箇所を水位計の設置箇所とした。

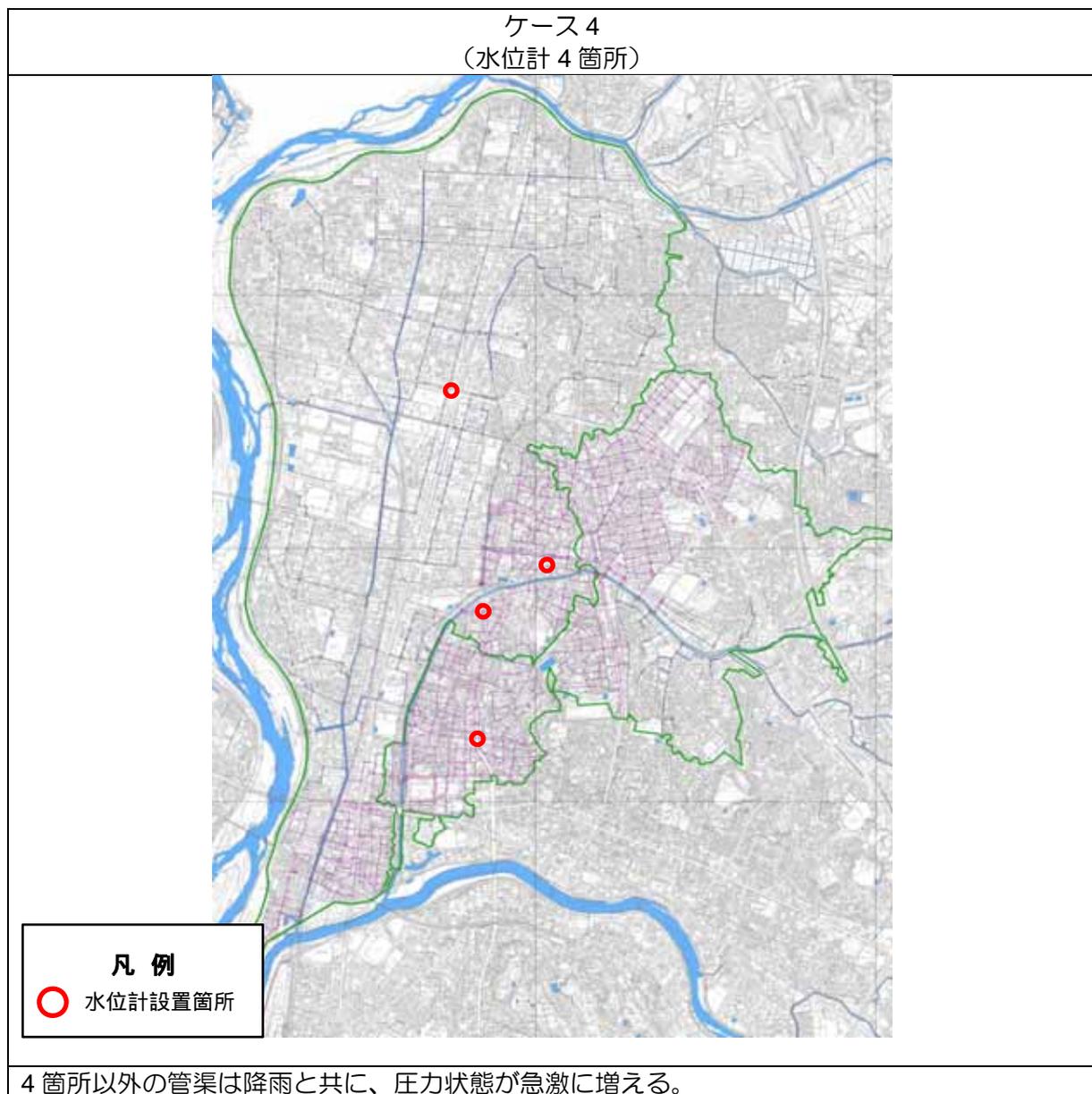


図 6.4 ケース別の水位計設置箇所

ケース	① 圧力状態開始	② ①から 30 分以内	③ ①から 30 分超過
ケース 4	 <p data-bbox="432 763 655 797">2 箇所で圧力状態</p>	 <p data-bbox="767 763 991 797">4 箇所で圧力状態</p>	 <p data-bbox="1110 763 1318 831">複数個所で 急激に圧力状態</p>

図 6.5 管渠圧力状況の時間変化（ケース 4 の場合）

6-4. ハード対策

前項で設定した照査ケース別に流出解析モデルによるシミュレーションの結果より、各ケースにおける施設規模、概算事業費及び対策施設による削減効果は、表 6.8、表 6.9 に示すとおりである。

なお、事業費については、本調査において簡易的な手法により算定した概算事業費であり、実際の事業費とは異なる。

前述したとおり、優先順位を検討するため、2008年8月28日降雨より規模が小さい照査降雨である2011年9月19日の照査降雨（1時間降雨最大雨量:61.0mm/h）を対象としてシミュレーションを行った。そのため、対策施設設置前後における基準未達成の削減エリアが小さく、今回の検討として、ハード対策による効果を分かり易く測定するうえでは、基準未達よりも浸水面積の削減度合を評価基準として設定することが適切であると判断した。

【同じ照査評価基準に対する対策施設の優先順位について（ケース1、ケース2、ケース3）】

- 本FS調査では、表 6.8 に示すとおりケース1～3では、同じ降雨を対象に、対策施設の優先順位を因るため、伊賀川排水区に対する対策施設、早川排水区に対する対策施設、そして早川排水区に対する対策施設のうちポンプ場を当初設置しなかった場合の事業の効率性（事業費に対し、評価基準を達成できる区域面積の割合）の違いを確認した。
- 結果は、ケース3で事業の効率性が最も高くなった。また、ケース1とケース2の比較ではケース1の対策の方が、削減効果が高くなった。
- したがって、施設の効率性の観点から、まず、早川排水区の雨水幹線を行うことが望ましいことが明らかとなった。その後の整備順序については、現在進行中である伊賀川の改修効果、上記の早川排水区の雨水幹線の効果、施工性を加味したポンプ場との組み合わせ等を複合的に勘案し、継続的なモニタリングを進めるなかで決定すべきと考える。

6-5. ソフト対策

レベル1' 降雨を超えるような降雨や想定最大となるレベル2 降雨並びに外水位の設定状況によっては、付加的・局地的なハード対策施設や、下水道施設の効果が最大限に発揮できるソフト対策を実施しても、照査評価基準を達成できない場合が想定される。

本調査では、BCP やタイムライン等の作成をするための基礎資料となるように、レベル2 降雨（ケース5）について、流出解析モデルによりシミュレーションを実施した。シミュレーションの結果は、表 6.8、表 6.9 に示すとおりである。

BCP やタイムライン等の作成を目的に、表 6.6 の評価基準を参考にシミュレーション結果の背景には緊急輸送路及び防災拠点を表示させ、浸水深については 10cm, 20cm, 30cm, 50cm, 60cm と色分けを行った。

レベル2 降雨（ケース5）において、緊急輸送路の浸水深は県道 26 号を除いて 20cm 以下となっており、表 6.6 に示す自動車（救急車）の走行や、災害時要支援者の避難が困難となる浸水深 30cm より低いことが把握できた。また、防災拠点等においても浸水深は 20cm 以下となっていることが確認できた。

したがって、今回のケースでは、レベル1' 及びレベル2 降雨においても、付加的局地的なハード対策やソフト対策を実施すれば、緊急輸送路や防災拠点の機能を概ね確保できる水深に抑えることができる可能性が示唆された。

表 6.6 評価軸に応じた基準値の目安（再掲）

	浸水深	浸水開始時間	浸水継続時間
生命の保護 施設(地下街、地下鉄駅構内、災害時要援護者関連施設等)への浸水が防止できるレベル (最優先)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地下空間(マウンドアップ、止水板や土嚢の高さ) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 設定浸水高さ 【参考】止水板の高さ: 例えば、30cm^{※1} ■ 災害時要援護者関連施設 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 自動車(救急車)が走行困難、災害時要援護者の避難が困難: 30cm^{※2} ➢ 徒歩による移動困難、床上浸水: 50cm^{※2} ➢ コンセントに浸水し停電(医療用電子機器等の使用困難): 70cm^{※2} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自助活動のためのリードタイムの確保 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 防水板設置: 人力20~30分、自動5分~20分以上^{※4} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可能な限り短く
都市機能の確保 施設(商店街、役所、主要ターミナル駅等)の機能が確保されるレベル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地下空間(マウンドアップ、止水板や土嚢の高さ) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 設定浸水高さ 【参考】止水板の高さ: 例えば、30cm^{※1} ■ 防災拠点施設や幹線道路 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 乗用車のブレーキの効きが悪くなる: 10cm^{※2} ➢ 道路管理者によるアンダーパス等の通行止め基準: 20cm^{※2} ➢ 自動車(緊急車両、パトロール車)が走行困難、自治体のバス運行停止基準、乗用車の排気管やトランスミッション等が浸水: 30cm^{※2} ➢ 徒歩による移動困難、床上浸水: 50cm^{※2} ➢ JAFの実験でセダン、SUVともに走行不可: 60cm^{※2} ➢ コンセントに浸水し停電(防災無線等の使用困難): 70cm^{※2} 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可能な限り短く
個人財産の確保 一般市街地の家屋の床上浸水が防止できるレベル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家屋の床上浸水 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 床上浸水: 50cm^{※2} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自助活動のためのリードタイムの確保 	
【参考】稲の収穫	<ul style="list-style-type: none"> ■ 田(水稲)の浸水日数1~2日の冠浸水別被害率 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 50cm未満: 21%、50cm以上1m未満: 24%、1m以上: 37%^{※3} 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1日以内
【参考】畑の収穫	<ul style="list-style-type: none"> ■ 畑(畑平均)の浸水日数1~2日の冠浸水別被害率 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 50cm未満: 27%、50cm以上1m未満: 35%、1m以上: 51%^{※3} 	-	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可能な限り短く

※1: 東京都地下空間浸水対策ガイドライン-地下空間を水害から守るために-, 東京都, 平成20年9月
 ※2: 水害の被害指標分析の手引き (H25試行版), 国土交通省水管理・国土保全局, 平成25年7月
 ※3: 治水経済調査マニュアル(案), 国土交通省河川局, 平成17年4月
 ※4: 地下空間における浸水対策ガイドライン 同 解説<本編>, 国土交通省水管理・国土保全局

表 6.7 水深さと想定される事象から必要な行動例

	浸水深と想定される事象	0分	10分	20分	30分	60分	120分
生命の保護 施設(地下街、地下鉄駅構内、災害時要援護者関連施設等)への浸水が防止できるレベル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地下空間(マウンドアップ、止水板や土嚢の高さ) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 設定浸水高さ 【参考】止水板の高さ: 例えば、30cm¹ ■ 災害時要援護者関連施設 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 自動車(救急車)が走行困難、災害時要援護者の避難が困難: 30cm² ➢ 徒歩による移動困難、床上浸水: 50cm² ➢ コンセントに浸水し停電(医療用電子機器等の使用困難): 70cm² 	止水板の準備情報	要援護者の避難	早め避難行動	電化製品の退避		
都市機能の確保 施設(商店街、役所、主要ターミナル駅等)の機能が確保されるレベル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地下空間(マウンドアップ、止水板や土嚢の高さ) <ul style="list-style-type: none"> ➢ 設定浸水高さ 【参考】止水板の高さ: 例えば、30cm¹ ■ 防災拠点施設や幹線道路 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 乗用車のブレーキの効きが悪くなる: 10cm² ➢ 道路管理者によるアンダーパス等の通行止め基準: 20cm² ➢ 自動車(緊急車両、パトロール車)が走行困難、自治体のバス運行停止基準、乗用車の排気管やトランスミッション等が浸水: 30cm² ➢ 徒歩による移動困難、床上浸水: 50cm² ➢ JAFの実験でセダン、SUVともに走行不可: 60cm² ➢ コンセントに浸水し停電(防災無線等の使用困難): 70cm² 	止水板の準備情報	自動車へのアナウンス	自動車の避難・アナウンス	近隣の避難施設に避難指示	近隣の避難施設に避難指示	電化製品の退避
個人財産の確保 一般市街地の家屋の床上浸水が防止できるレベル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 家屋の床上浸水 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 床上浸水: 50cm² 	各戸の止水板の準備情報					

表 6.8 ケース別の照査実施結果（ケース1～3：ハード対策）

項目	ケース1			ケース2			ケース3		
	照査降雨(2011/9/19) L1'降雨②(10分最大 17.0mm/10分, 60分最大 61.0mm/hr)			照査降雨(2011/9/19) L1'降雨①(10分最大 17.0mm/10分, 60分最大 61.0mm/hr)			照査降雨(2011/9/19) L1'降雨②(10分最大 17.0mm/10分, 60分最大 61.0mm/hr)		
評価基準	浸水深基準	浸水開始時間基準	計	浸水深基準	浸水開始時間基準	計	浸水深基準	浸水開始時間基準	計
削減面積	2,100m ²	600m ²	2,700m ²	800m ²	1,900m ²	2,700m ²	500m ²	2,200m ²	2,700m ²
浸水削減面積			225,825m ²			362,750m ²			235,950m ²
対策施設				対策A① 対策A②	φ1650～φ3250mm×1700m(約8,400m ³) φ1,800mm×2,740kw×2台(14m ³ /sec) φ1,350mm×1,500kw×1台(4m ³ /sec)	2,050百万円 7,480百万円	対策A①	φ1650～φ3250mm×1700m(約8,400m ³)	2,050百万円
				対策B	φ2200mm×340m φ1800mm×190m	640百万円	対策B	φ2200mm×340m φ1800mm×190m	640百万円
	対策C	φ1650～φ3250mm×3500m(約21,000m ³)	4,990百万円						
	対策D	水位計×4箇所	2百万円	対策D	水位計×4箇所	2百万円	対策D	水位計×4箇所	2百万円
	対策E	横断側溝	－百万円	対策E	横断側溝	－百万円	対策E	横断側溝	－百万円
	合計		4,992百万円	合計		10,172百万円	合計		2,692百万円

平面図	ケース1	ケース2	ケース3
	<p>評価0.54m²/百万円 (=2,700m²/4,992百万円)</p> <p>評価45.2m²/百万円 (=225,825m²/4,992百万円)</p> <p>凡例 ■ 浸水場所(基準達成)</p> <p>○に水位計を設置して、管きよが圧力状態になった時刻から止水板等の設置を行えば、リードタイムは確保可能となる。</p>	<p>評価0.27m²/百万円 (=2,700m²/10,172百万円)</p> <p>評価35.7m²/百万円 (=362,750m²/10,172百万円)</p> <p>凡例 ■ 浸水場所(基準達成)</p> <p>○に水位計を設置して、管きよが圧力状態になった時刻から止水板等の設置を行えば、リードタイムは確保可能となる。</p>	<p>評価1.0m²/百万円 (=2,700m²/2,692百万円)</p> <p>評価87.6m²/百万円 (=235,950m²/2,692百万円)</p> <p>凡例 ■ 浸水場所(基準達成)</p> <p>○に水位計を設置して、管きよが圧力状態になった時刻から止水板等の設置を行えば、リードタイムは確保可能となる。</p>

※各対策のうち、市が計画中の対策と重複するメニューについては、その双方の事業費は必ずしも一致していない。
 ※事業費は、本調査において簡易的な手法により算定した概算事業費であり、実際の事業費とは異なる。また、直接工事費のみであり、経費は含まれない。

表 6.9 ケース別の照査実施結果（ケース4：ハード対策、5：ソフト対策、ケース0：ハード対策）

項目	ケース4			ケース5			ケース0				
	照査降雨(2011/9/19) L1'降雨②(10分最大 17.0mm/10分, 60分最大 61.0mm/hr)			照査降雨(2008/8/28) L2降雨(10分最大 30.5mm/10分, 60分最大 146.5mm/hr) +HWL			照査降雨(2008/8/28) L1'降雨②(10分最大 22.5mm/10分, 60分最大 103.5mm/hr) +HWL				
評価基準	浸水深基準	浸水開始時間基準	計	浸水深基準	浸水開始時間基準	計	浸水深基準	浸水開始時間基準	計		
削減面積	-m ²	m ²	m ²	-m ²	m ²	m ²	-m ²	-m ²	42,700m ²		
対策A①		φ1650~φ3250mm×1700m(約8,400m ³)	2,050百万円	対策A①		φ1650~φ3250mm×1700m(約8,400m ³)	2,050百万円	対策A①		φ1650~φ3250mm×1700m(約8,400m ³)	2,050百万円
対策A②		φ1,800mm×2,740kw×2台(14m ³ /sec) φ1,350mm×1,500kw×1台(4m ³ /sec)	7,480百万円	対策A②		φ1,800mm×2,740kw×2台(14m ³ /sec) φ1,350mm×1,500kw×1台(4m ³ /sec)	7,480百万円	対策A②		φ1,800mm×2,740kw×2台(14m ³ /sec) φ1,350mm×1,500kw×1台(4m ³ /sec)	7,480百万円
対策B		φ2200mm×340m φ1800mm×190m	640百万円	対策B		φ2200mm×340m φ1800mm×190m	640百万円	対策B		φ2200mm×340m φ1800mm×190m	640百万円
対策C		φ1650~φ3250mm×3500m(約21,000m ³)	4,990百万円	対策C		φ1650~φ3250mm×3500m(約21,000m ³)	4,990百万円	対策C		φ1650~φ3250mm×3500m(約21,000m ³)	4,990百万円
対策D		水位計×4箇所	2百万円	対策D		水位計×4箇所	2百万円	対策D		水位計×4箇所	2百万円
対策E		横断側溝	-100万円	対策E		横断側溝	-100万円	対策E		横断側溝	-100万円
	合計		15,162百万円	合計		15,162百万円	合計		15,162百万円		

平面図	ケース4	ケース5	ケース0
	<p>対策B ネットワーク管 φ2200 対策D グレーチング等 対策A② 放流ポンプ 10m³/s 対策C 流下貯留型バイパス管 φ1650~φ3250 対策B ネットワーク管 φ1800</p> <p>凡例 ■ 最大浸水深10cm以下 ■ 最大浸水深10cm超20cm以下 ■ 最大浸水深20cm超30cm以下 ■ 最大浸水深30cm超50cm以下 ■ 最大浸水深50cm超60cm以下 ■ 最大浸水深60cm超</p>	<p>対策B ネットワーク管 φ2200 対策D グレーチング等 対策A② 放流ポンプ 10m³/s 対策C 流下貯留型バイパス管 φ1650~φ3250 対策B ネットワーク管 φ1800</p> <p>凡例 ■ 最大浸水深10cm以下 ■ 最大浸水深10cm超20cm以下 ■ 最大浸水深20cm超30cm以下 ■ 最大浸水深30cm超50cm以下 ■ 最大浸水深50cm超60cm以下 ■ 最大浸水深60cm超</p>	<p>対策B ネットワーク管 φ2200 対策D グレーチング等 対策A② 放流ポンプ 10m³/s 対策C 流下貯留型バイパス管 φ1650~φ3250 対策B ネットワーク管 φ1800</p> <p>凡例 ■ 浸水場所(基準達成)</p> <p>○に水位計を設置して、管きよが圧力状態になった時刻から止水板等の設置を行えば、リードタイムは確保可能となる。</p> <p>評価 2.81m²/百万円 (=42,700m²/15,162百万円)</p>

※各対策のうち、市が計画中の対策と重複するメニューについては、その双方の事業費は必ずしも一致していない。
 ※事業費は、本調査において簡易的な手法により算定した概算事業費であり、実際の事業費とは異なる。また、直接工事費のみであり、経費は含まれない。

表 6.10 浸水開始後からの時系列浸水予測 (0分~20分後)

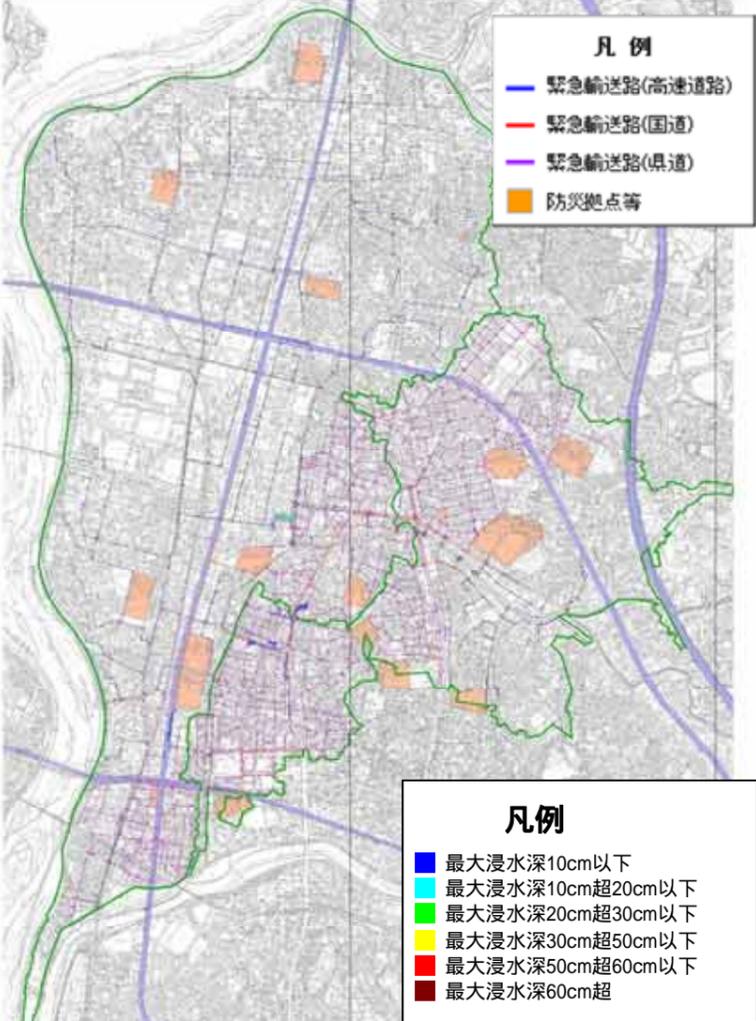
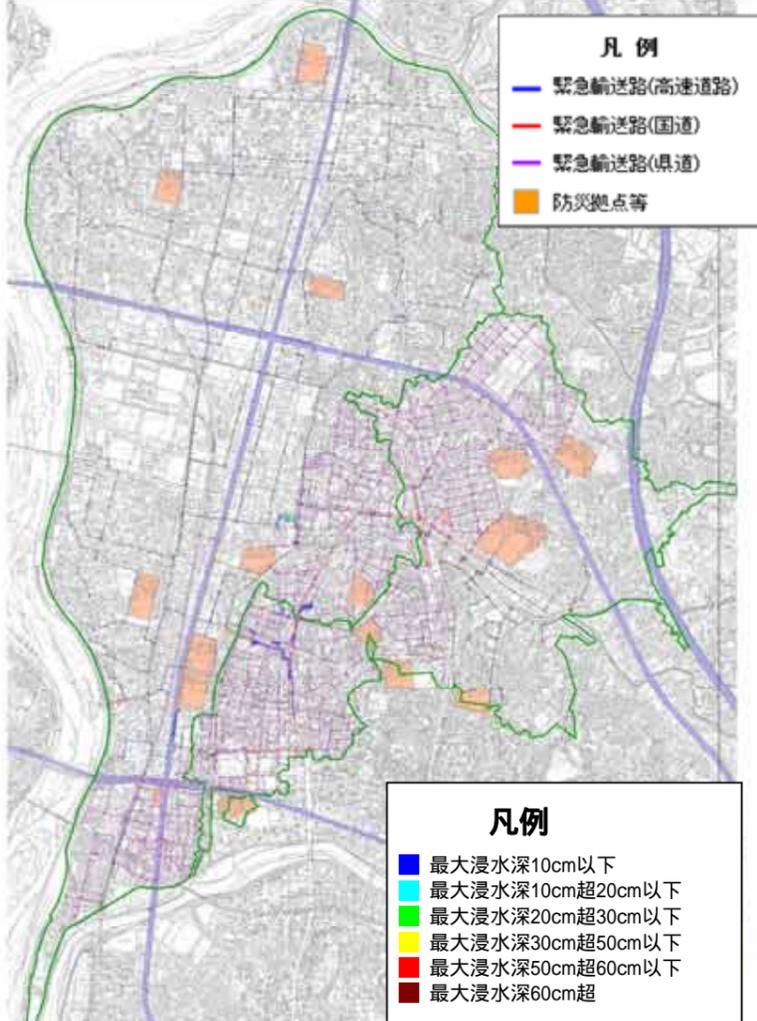
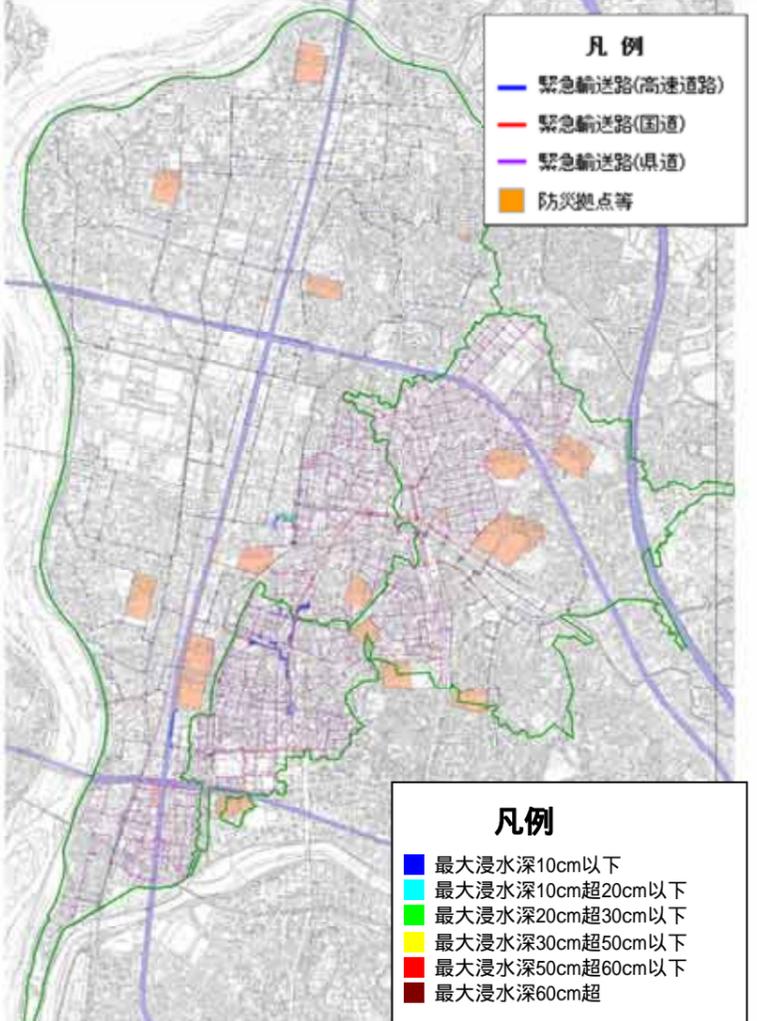
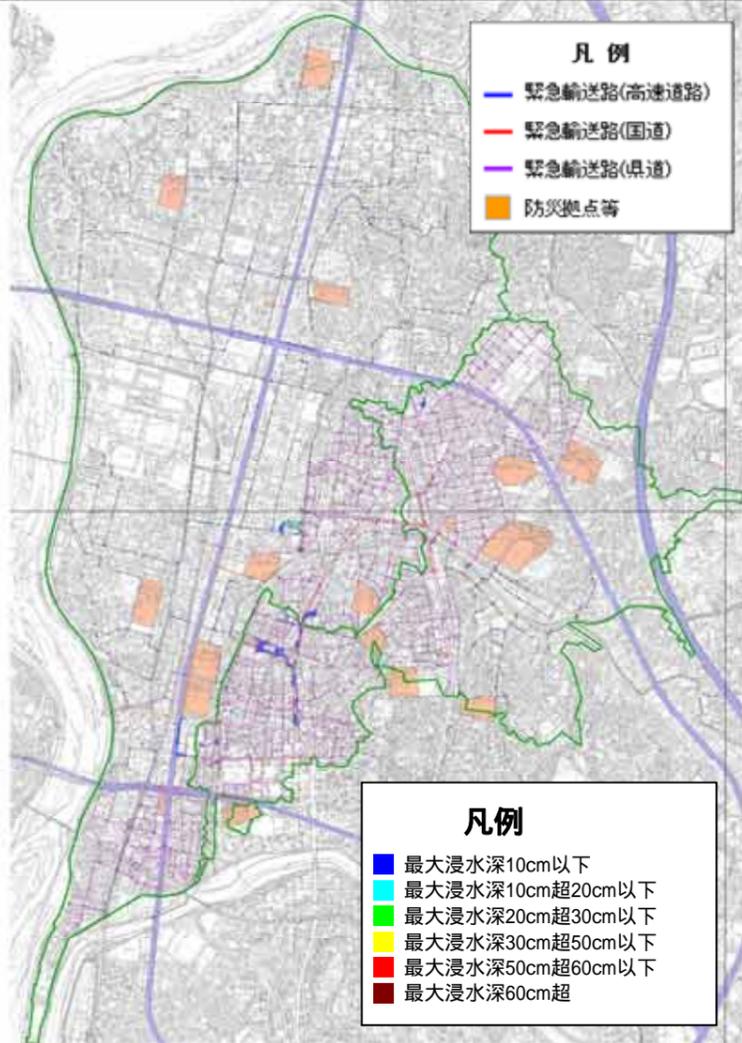
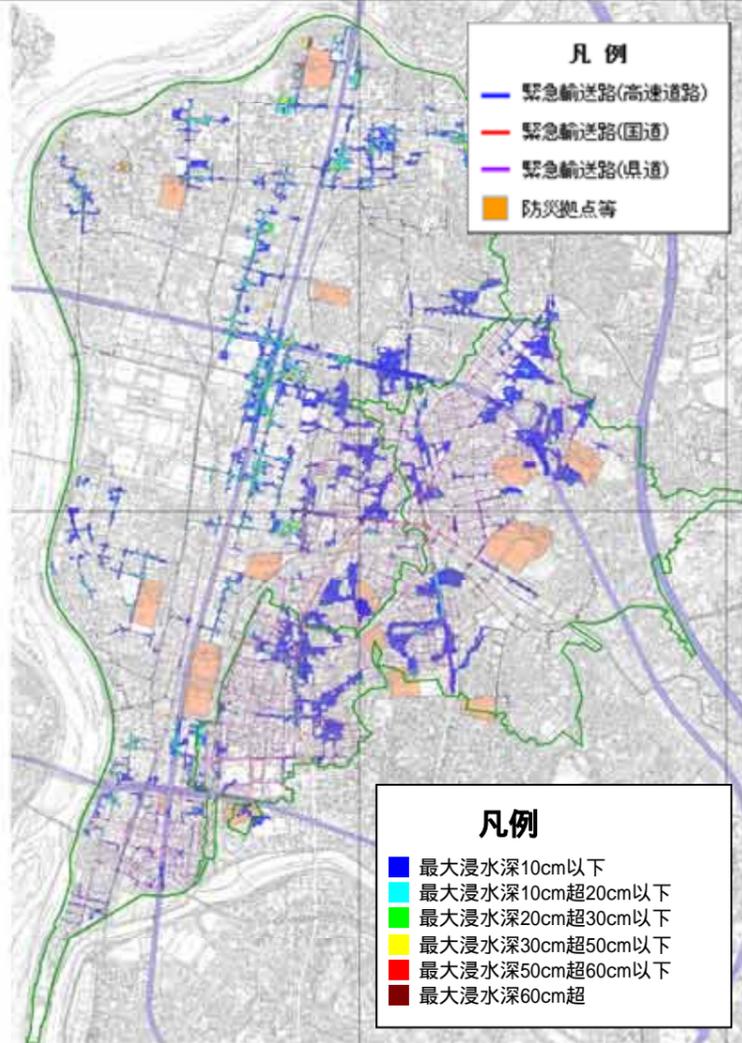
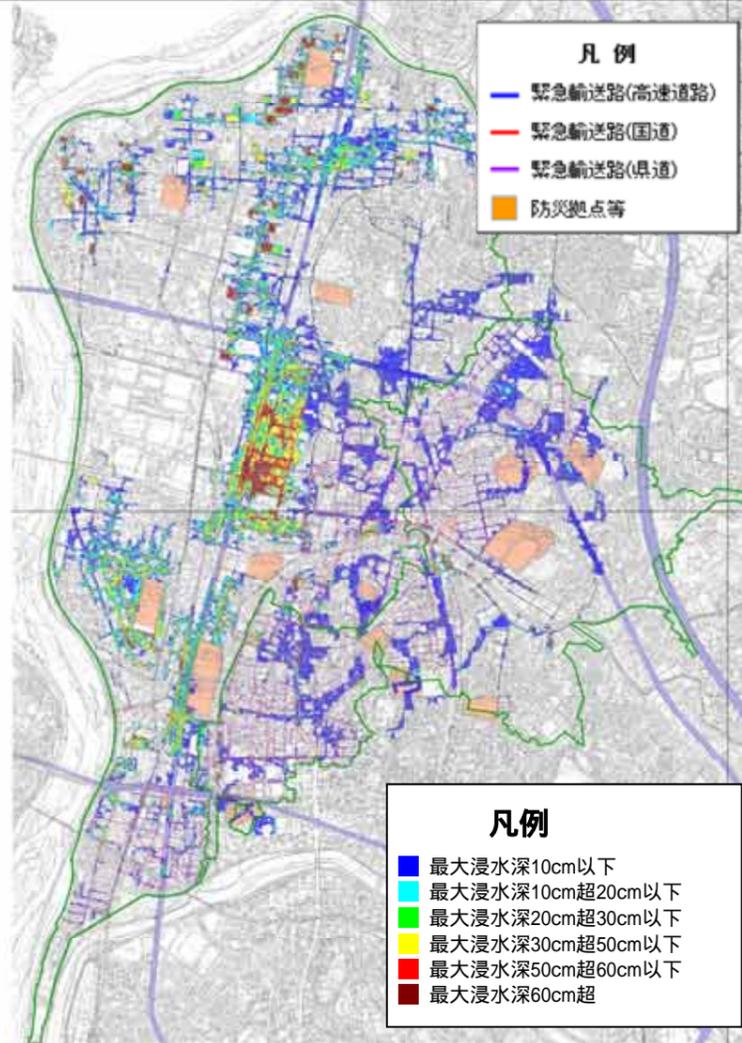
項目	浸水開始(0分)	浸水開始10分後	浸水開始 20分後
主な想定される事象	○乗用車のブレーキの効きが悪くなる	○乗用車のブレーキの効きが悪くなる ○道路管理者によるアンダーパスの通行止め	○道路管理者によるアンダーパスの通行止め ○地下空間への浸水 ○災害時用援護者の避難が困難
浸水状況	 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> — 緊急輸送路(高速道路) — 緊急輸送路(国道) — 緊急輸送路(県道) ■ 防災拠点等 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 最大浸水深10cm以下 ■ 最大浸水深10cm超20cm以下 ■ 最大浸水深20cm超30cm以下 ■ 最大浸水深30cm超50cm以下 ■ 最大浸水深50cm超60cm以下 ■ 最大浸水深60cm超 	 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> — 緊急輸送路(高速道路) — 緊急輸送路(国道) — 緊急輸送路(県道) ■ 防災拠点等 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 最大浸水深10cm以下 ■ 最大浸水深10cm超20cm以下 ■ 最大浸水深20cm超30cm以下 ■ 最大浸水深30cm超50cm以下 ■ 最大浸水深50cm超60cm以下 ■ 最大浸水深60cm超 	 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> — 緊急輸送路(高速道路) — 緊急輸送路(国道) — 緊急輸送路(県道) ■ 防災拠点等 <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 最大浸水深10cm以下 ■ 最大浸水深10cm超20cm以下 ■ 最大浸水深20cm超30cm以下 ■ 最大浸水深30cm超50cm以下 ■ 最大浸水深50cm超60cm以下 ■ 最大浸水深60cm超

表 6.11 浸水開始後からの時系列浸水予測 (30分～120分後)

項目	浸水開始30分後	浸水開始 60分後	浸水開始 120分後
主な想定される事象	<ul style="list-style-type: none"> ○地下空間への浸水 ○災害時用援護者の避難が困難 ○自治体のバス運行停止 ○乗用車の排気筒やトランスミッション等が浸水し立ち往生 ○各戸の浸水 	<ul style="list-style-type: none"> ○自治体のバス運行停止 ○乗用車の排気筒やトランスミッション等が浸水し立ち往生 ○各戸の浸水 	<ul style="list-style-type: none"> ○自治体のバス運行停止 ○乗用車の排気筒やトランスミッション等が浸水し立ち往生 ○各戸の浸水 ○コンセントに浸水し停電 ○セダン、SUVともに走行不可
浸水状況			

7. おわりに

新たな雨水管理計画の考え方による FS 調査を通じて得られた成果について、特筆される内容を以下に示す。

[気象要因別の降雨特性や下水管内水位の把握]

- 雨水管理計画では、外力設定・施設計画検討等においては、その結果の根拠や妥当性を明らかにするため、必要な情報を確実に収集・整理することが求められる。本 FS 調査では、適切な浸水シミュレーションの実施や照査降雨の設定等に必要な情報収集項目、調査方法について、これらデータの活用目的等も付記した解説を示すことで、新たな雨水管理計画の基礎調査手法の体系化を図った。また、放流先河川の時系列による外水位の設定方法として、限られた情報提供の場合での推定手法を具体化した。

[水位観測に基づく浸水シミュレーションによる能力評価]

- 新たな雨水管理計画では、圧力状態を許容しつつ既存ストック能力を活用することで、きめ細やかな対策手法を検討することに大きく着目している。そのため、現況排水施設の能力評価においては、対策すべき現況排水施設の弱部を適切に見出す必要がある。本 FS 調査では、従来の合理式に基づく「水量」による方法に加え、浸水シミュレーションを活用した「水位」による方法を具体化し、施設の弱部を溢水危険度と連動して抽出できるといった、能力評価における浸水シミュレーションの特長を明示した。

[減災目標とすべき照査降雨の設定]

- 近年の豪雨発生傾向としてあげられる局地的な大雨等の増加については、各報道等における「ゲリラ豪雨」という言葉に象徴されるように、住民も豪雨に対する脅威の認識が高まってきている。よって、照査降雨の設定においては、従来の計画降雨を上回る降雨として、従来の設定方法よりも大きく踏み込み、情報収集が可能な期間での全ての降雨と浸水被害実績を調査し、被害発生時の豪雨特性を分析した。本分析を通じて、レベル 1'としては本市住民が経験している実績降雨を、レベル 2 としては想定最大規模降雨として本市が含まれる降雨特性区分での実績最大降雨に基づき設定した。

[スピード感のあるきめこまやかな対策の提案]

- 浸水安全度を照査する基準（照査評価基準）としては、その評価軸として、下水道総合浸水対策計画策定マニュアル（案）での浸水深に加え、浸水開始・継続といった浸水時間を設定した。浸水深と浸水時間をあわせた評価軸による対策計画検討により、ソフト対策（管内水位情報の運用等）や自助対策（止水板等）を組み合わせることで、ハード対策の施設規模を大きく低減できることが明らかとなった。本方法は、スピード感のあるきめこまやかな対策計画検討を実現できる有効な手段であると期待される。

今後、新たな雨水管理計画の考え方に基づく計画策定手法を一般化し、全国に水平展開するためには、主に以下に示す事項について、より踏み込んだ検討が求められ、今後も産官学が一体となり、継続的に取り組む必要がある。

[雨水管理における情報マネジメント]

- 雨水を管理する、すなわち浸水対策をマネジメントするためには、その基盤となる情報収集・管理が欠かせない。よって、水位計の設置方法の他、降雨情報、浸水情報等も含めたデータのストック方法、運用・管理方法を確立する必要がある。さらに、下水道と河川との一体的浸水対策を進めていく上で、これらの情報について、河川部局等の関係部局との情報の相互提供による連携した浸水対策の推進方策について検討する必要がある。

[地域とのリスクコミュニケーションによる照査評価基準の設定]

- 浸水被害に関する住民の意識は、当該地区の社会特性、産業特性やこれまでの被害経験などにより、地域によってまちまちである。そのため、新たな雨水管理計画の推進にあたっては、地域とのより積極的なコミュニケーションにより、浸水安全度の基準となる照査評価基準をアウトカム指標として設定する等の検討を行う必要がある。

[まちづくり部門も含めた他事業との連携施策]

- 本 FS 調査では、下水道で位置づけられた雨水排水施設を中心とした既存ストックの能力評価により、対策計画の検討を行っている。流域の雨水排水能力は、その他部局が管理する施設についても大きなポテンシャルを有していると推察されるため、これらに関する情報収集や計画検討における活用方法を確立していく必要がある。また、コンパクトシティ化等も踏まえ、まちづくり・地域づくりと連携した雨水管理計画について、地域の土地利用、避難計画等と連携した対策計画の検討手法を確立していく必要がある。

[管内の圧力状態時の事象についての技術的知見]

- 圧力状態を想定したハード対策を行う上で、水と空気が混ざりあって流れる事象（気液混相流）についての技術的知見は不十分であり、浸水シミュレーションにおいても、圧力状態時の管内事象の再現には一定の限界がある。管内の圧力状態時には、施設管理の観点から、マンホールの蓋飛び等のリスクを想定する必要があるため、確実な雨水対策施設の整備と管理を進めるため、実証実験等による知見を蓄積し、雨水管理計画の策定手法に反映する必要がある。

用語の説明

- 1) **ストック**：ここでは、下水道事業の浸水対策において整備された雨水幹線等施設のみならず、他事業も含めた施設情報や観測情報、既定計画等の情報をいう。
- 2) **FS**：Feasibility Study の略。プロジェクトの実現可能性を事前に調査・検討することで、「実行可能性調査」とも呼ばれる。
- 3) **自由水面流れ**：管路内の流水が大気圧を受けている流れの状態をいい、能力的には比較的余裕のある状況をいう。
- 4) **計画降雨**：ここでは下水道施設の計画規模を定めるための降雨をいい、通常 5～10 年確率の降雨が対象となる。
- 5) **照査降雨**：管渠網全体の流出解析を行い、防災・減災の観点から浸水被害の程度を評価するための降雨。下水道施設的能力を超える既往最大降雨、想定最大規模降雨等が対象となる。
- 6) **BCP**：Business Continuity Plan の略。災害発生時のヒト、モノ、情報及びライフライン等の利用できる資源に制約がある状況下においても、適切な業務執行を行うことを目的とした計画のことをいう。
- 7) **タイムライン**：防災に関わる組織が連携し、事前調整を図り、災害発生時に対するそれぞれの役割や対応行動を時系列で定めたものをいう。
- 8) **動水勾配**：管路の各断面における圧力水頭と位置水頭との和を連ねた線を動水勾配線といい、この線が水平線となす傾きを動水勾配という。動水勾配線が地盤高を越えると溢水が生じるようになる。開水路では自由水面が動水勾配線となる。
- 9) **キャリブレーション**：流域特性を踏まえて、解析を行うためのパラメータを設定することをいう。パラメータの確認のため、観測地点における実測値とシミュレーション値の比較を行う。
- 10) **リードタイム**：警報・注意報を発表してから基準を超える現象が発生するまでの時間（防災機関や地域住民への伝達・周知及び防災対策に要する時間を考慮するもの）をいう。
- 11) **想定最大規模降雨**：想定し得る最大規模の降雨であって、国土交通大臣が定める基準に該当するものをいう。
- 12) **流出解析モデル**：管渠網全体の雨水流出に関する一連の現象（降雨損失、地表面流出、管内流下等）を解析する手法であり、浸水状況等のシミュレーションに用いられる。
- 13) **降雨損失**：雨量のうち蒸発散、地表面の貯留や浸透等により直接地表面に流出しない分をいう。
- 14) **不浸透域**：排水区域内で、舗装道路や屋根などの雨水が浸透しにくい部分をいう。
- 15) **合理式**：計画降雨から計画最大雨水流出量を算定する手法であり、下水道施設の計画設計に用いられる。

- 16) **被圧状態**：圧力管状態ともいい、流水が管路の全断面を満たし、大気圧が直接作用していない流れをいう。能力的に限界状態にあることを示し、その程度は動水勾配線で評価される。
- 17) **機能保全水深（受忍限度）**：「生命の保護」、「都市機能の確保」および「個人財産の保護」の観点より設定した重点対策地区の性格に応じて、対象降雨に対し機能を保全するために設定する水深であり、例えば道路冠水レベル、人および車の移動限界レベル、床下浸水レベル等が挙げられる。
- 18) **ティーセン分割**：雨量観測値が、1地点の降雨量（点雨量）であるため、流域全体における降雨量（面雨量）を知るために、任意の雨量観測所が支配する面積（当該観測所の降雨が代表降雨となり得る範囲）を幾何学的に捉える方法である。流域内外の雨量観測所を直線で結ぶことにより三角形網をつくり、各辺の垂直二等分線によりできる多角形を当該観測所が支配する面積とするものである。
- 19) **DD 特性**：Depth-Duration の略。降雨量（降雨強度）と降雨継続時間の関係のことで、降雨の時間的な分布特性をいう。
- 20) **DA 特性**：Depth-Area の略。ここでは、降雨量（降雨強度）と降雨面積の関係のことで、降雨の空間的な分布特性をいう。
- 21) **ハイトグラフ**：横軸に時間、縦軸に降雨量を取り、降雨の時間的変動を表すグラフをいう。

