

3 シミュレーションモデルの構築と再現性の確認

3.1 キャリブレーションの方針

(1) キャリブレーションの目的と手順

キャリブレーションは、本システムにおけるシミュレーションの妥当性を確保し、正確な予測を行うことを目的とする。手順として、浸水発生のもっとも大きな要因である管内水位計算について再現性を確認し、続いて、地表面の浸水区域計算の再現性を確認する、次の2つのフェーズにより実施するものとした。

表 3-1 キャリブレーションのフェーズ設定

項 目	フェーズ1	フェーズ2
目 的	管内水位計算の妥当性確認 ※パラメータ同定含む	地表面の浸水区域計算の妥当性確認
再現性の確認対象	管内水位 江波排水区内に設置した管内水位計による計測結果に対し確認する。	浸水域 浸水実績では、大まかな浸水範囲と、罹災報告されている住民のみを対象とした床上・床下浸水、及び道路冠水の情報しかなく、浸水深に関する詳細情報がないため、浸水範囲の妥当性について確認する。
対 象 降 雨	平成27年8月17日 (浸水罹災届なし) ※計測期間中最も水位が上昇した降雨日	平成24年7月3日 平成24年7月14日 平成24年8月14日 (いずれも浸水罹災届あり)
評価対象管路モデル	平成27年度管路系統 (増補雨水幹線系統あり)	平成24年度管路系統 (増補雨水幹線系統なし)

(2) 対象降雨

【フェーズ1】

- ①平成27年8月17日実績降雨：時間最大 33.5mm/hr（江波水資源再生センター地上雨量計）
- ②平成27年8月25日実績降雨：時間最大 11.5mm/hr（江波水資源再生センター地上雨量計）
- ③平成27年9月 1日実績降雨：時間最大 19.0mm/hr（江波水資源再生センター地上雨量計）
- ④平成27年11月14日実績降雨：時間最大 24.5mm/hr（江波水資源再生センター地上雨量計）

【フェーズ2】

- ①平成24年7月 3日実績降雨：時間最大 55.9mm/hr（江波水資源再生センター地上雨量計）
- ②平成24年7月14日実績降雨：時間最大 42.7mm/hr（江波水資源再生センター地上雨量計）
- ③平成24年8月14日実績降雨：時間最大 50.4mm/hr（江波水資源再生センター地上雨量計）

(3) 再現性の確認対象

【フェーズ1】

江波排水区内に設置した管内水位計による計測結果に対し確認する。

【フェーズ2】

浸水実績では、大まかな浸水範囲と、罹災報告されている住民のみを対象とした床上・床下浸水、および道路冠水の情報しかなく、浸水深に関する詳細情報がないため、浸水範囲の再現性についてのみ確認する。

3.2 フェーズ1（管内水位）における再現性の確認

3.2.1 対象降雨

対象降雨は、本実証研究において地上雨量計および小型光水位計設置後の平成27年1月からの降雨実績に基づいて決定するものとした。

計測期間中、最も強度の大きい降雨は8月17日であり、計測水深が全体的に最大となるのは11月14日の降雨であった。浸水は発生していないものの、計測水位や実績雨量から判断すると既存排水施設的能力を最大限使用した降雨といえるため、両日の実績降雨を再現性確認の対象降雨とする。

なお、これら降雨は降雨分布（強雨域）に偏りがあり、様々な降雨波形での再現性を確認する必要があることから、比較的強度が大きく、かつ選択した2降雨とは降雨分布や波形の異なる降雨として8月25日および9月1日の降雨についても対象降雨とした。

- ① 平成27年8月17日（分布：上流域・波形：中央集中型）
- ② 平成27年8月25日（分布：全域・波形：前方集中型）
- ③ 平成27年9月1日（分布：全域・波形：ピーク連続型（2山））
- ④ 平成27年11月14日（分布：中下流域・波形：後方集中型）

また、キャリブレーションは、まず計測期間中において最大の降雨強度であった8月17日降雨を対象にパラメータを調整することで実施し、ここで決定したパラメータを用いて他降雨における再現性の確認を行う。

3.2.2 キャリブレーション対象地点

計測結果と計算結果を比較検討するキャリブレーション対象地点としては、小型光水位計設置地点のうち、現時点の管路系統等から次の点を勘案して決定するものとした。

- ① 過去に浸水が発生し、現在の浸水の危険性が高い地区周辺の地点
（増補系統未接続である地点）
- ② 区域外からのポンプの影響を受けると考えられる地点

上記の観点から、キャリブレーション対象地点は図 3-1 の地点と決定した。

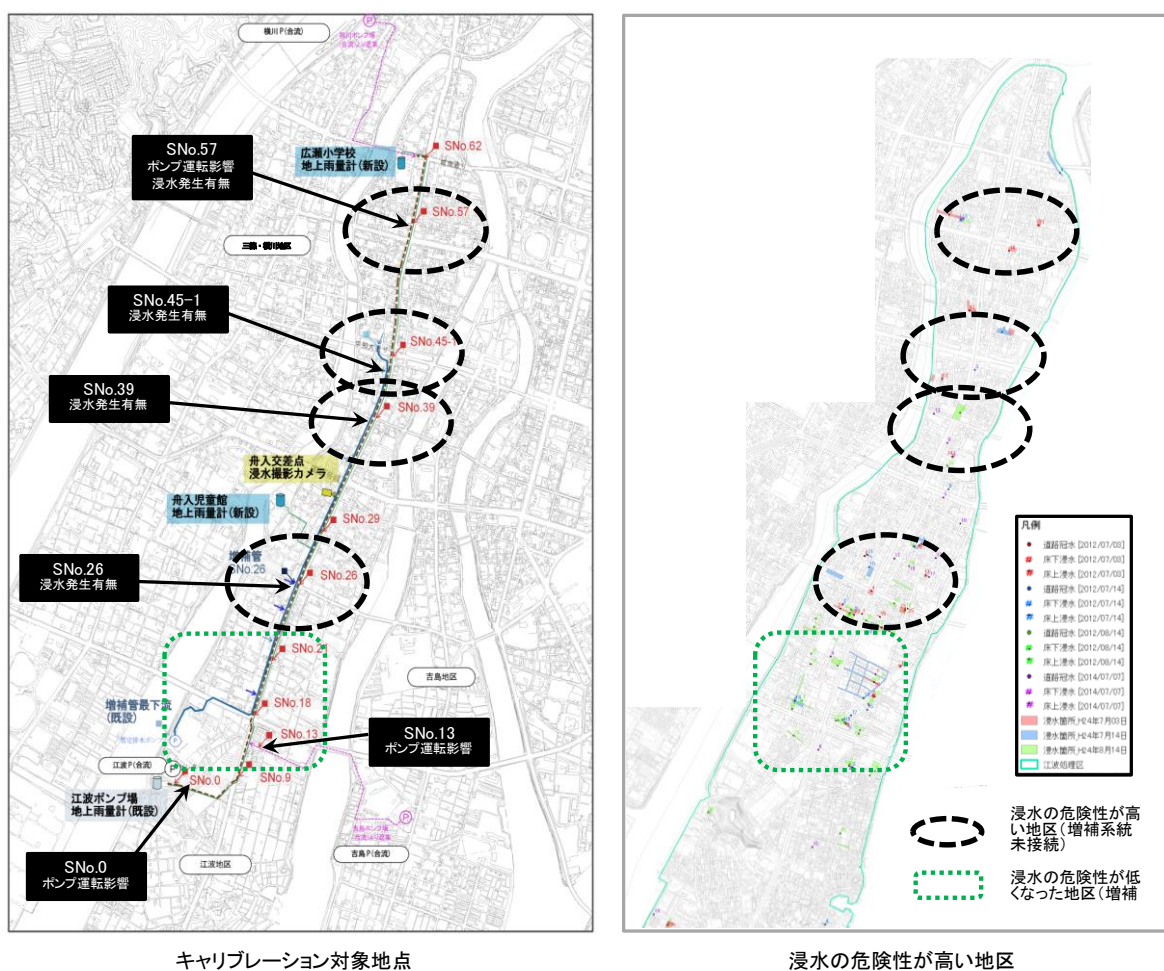


図 3-1 キャリブレーション対象地点

3.2.3 キャリブレーション結果

フェーズ1のキャリブレーションについては、次に示す2段階でパラメータを調整して行った。

i) 流出係数モデルによるモデル化

平成26年度の実証研究成果において、地表面流出モデルは流出係数モデルを採用しており、これを踏襲して計測期間中で最大規模となる8月17日降雨により再度キャリブレーションを行い、その結果を図3-5に示した。この結果より、各地点における計算結果のピーク値は計測値に比べて低い傾向がみられ、流出係数をさらに高くする必要がある。しかしながら、表3-2に示すパラメーター一覧をみると、住宅用地や商業地区等は流出係数0.9としており、通常で考えられる値の上限レベルであると考えられることから、これ以上の流出係数モデルによる調整は不適切と判断した。

ii) 降雨損失モデル（ホートン式）によるモデル化

流出係数モデルの代替として、図3-2に示す降雨損失モデル（ホートン式）によりキャリブレーションを行った。

流出係数モデルはどのような形態の降雨でも一様な雨水流出状況を表現するモデルであるのに対し、降雨損失モデルは雨の降り方に応じて雨水流出状況の変化を表現できるモデルである。例えば、小規模降雨であれば土地の窪地貯留や浸透能力に余裕があるため下水道管への流入はほとんどないが、その後、高強度の降雨が発生した場合、降雨の大半が下水管路内へ流入するような状況を表現することが可能となる。

リアルタイム浸水予測シミュレーションを行う上で、施設運転への反映まで考慮すると、小規模降雨、長時間降雨、複数ピークの存在する降雨等様々な降雨形態に対し時系列で再現性を確保することが必要となるため、流出係数モデルよりも降雨損失モデルのほうが地表面流出モデルとして最適といえる。

現在の土地利用図を航空写真と照合すると（図3-3）、住宅・商業・工業用途はほとんど舗装面であり浸透域がないため、次表に示すパラメータ値として計算を行った8月17日降雨における解析結果を図3-6に示した。

これより、各地点における水位変動やピーク値が概ね整合していると判断し、パラメータを確定した。

表 3-2 パラメーター一覧表

用途	平成26年度検討		平成27年度検討		
	i)流出係数モデル	i)流出係数モデル	ii)降雨損失モデル		
	流出係数	流出係数	浸透能(Horton式) 初期(mm/hr)	浸透能(Horton式) 終期(mm/hr)	浸透能(Horton式) 減衰係数(1/hr)
畑	0.30	0.30	20.0	10.0	0.001
樹園地	0.30	0.30	20.0	10.0	0.001
山林	0.50	0.50	20.0	10.0	0.001
水面	0.00	0.00	0.0	0.0	0.001
その他の自然地	0.30	0.30	20.0	10.0	0.001
住宅用地	0.65	0.90	0.0	0.0	0.001
商業用地	0.80	0.90	0.0	0.0	0.001
工業用地	0.65	0.80	0.0	0.0	0.001
公益施設用地	0.50	0.70	10.0	5.0	0.001
道路	0.85	0.90	0.0	0.0	0.001
交通施設	0.85	0.85	20.0	10.0	0.001
公共空地	0.20	0.65	20.0	10.0	0.001
その他空地	0.20	0.40	20.0	10.0	0.001
横川	0.80	0.85	10.0	5.0	0.001
吉島	0.76	0.85	10.0	5.0	0.001

※流出係数設定値:下水道施設計画・設計指針(案)の用途別標準値の範囲を勘案して設定した。

※浸透能設定値:合流式下水道改善対策暫定指針(案)と使用したシミュレーションソフトのデフォルト値を参考にして浸透能(初期・終期・減衰係数)を設定した。
 なお、住宅・商業・工業用地については、現在の土地利用と航空写真の照合から浸透域がほとんどないことから浸透能0.0mm/hrと設定した。

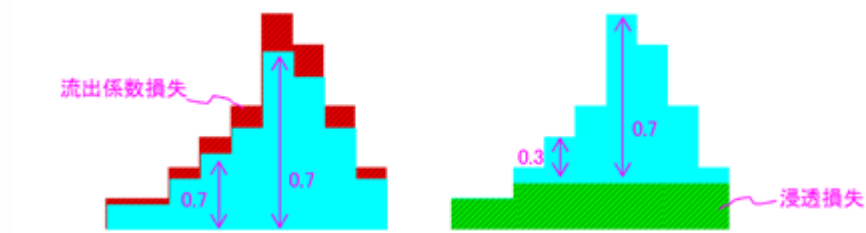


図 3-2 降雨損失 流出係数モデル（左）と降雨損失モデル（右）

3 シミュレーションモデルの構築と再現性の確認

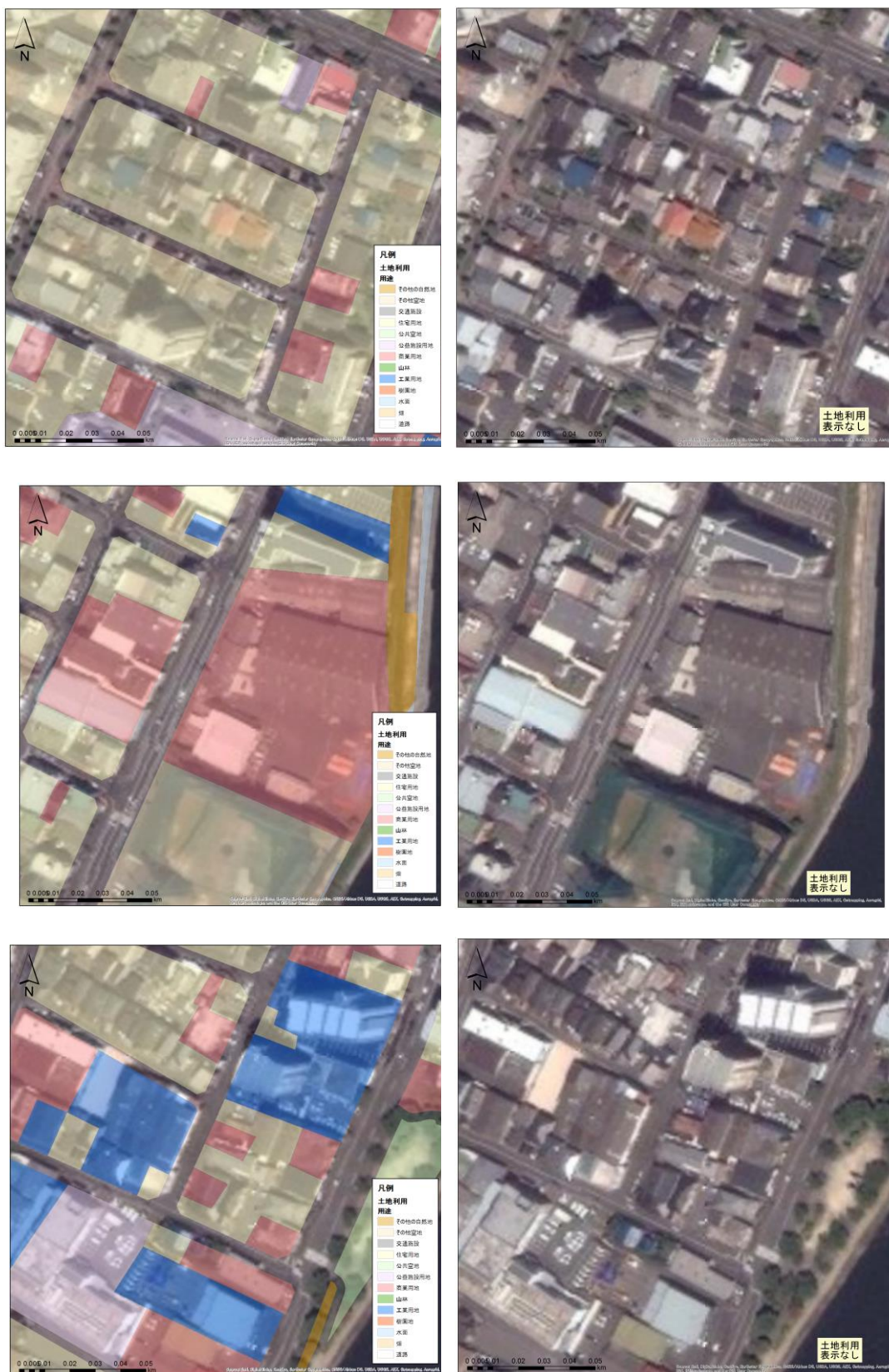


図 3-3 土地利用図および航空写真比較 住宅(上) / 商業(中) / 工業(下)

3.2 フェーズ1（管内水位）における再現性の確認

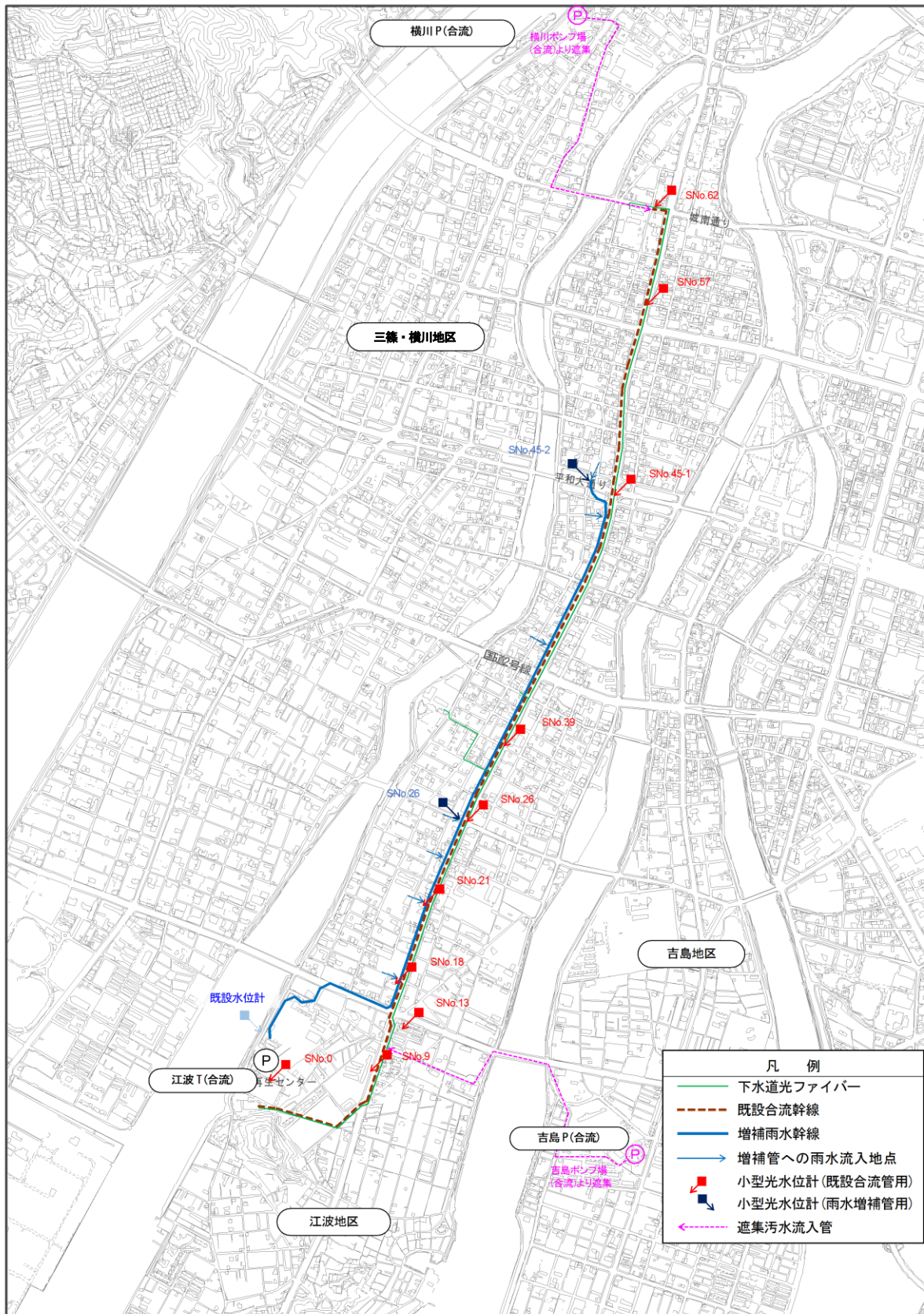


図 3-4 流域概要図と光水位計設置地点一覧

3 シミュレーションモデルの構築と再現性の確認

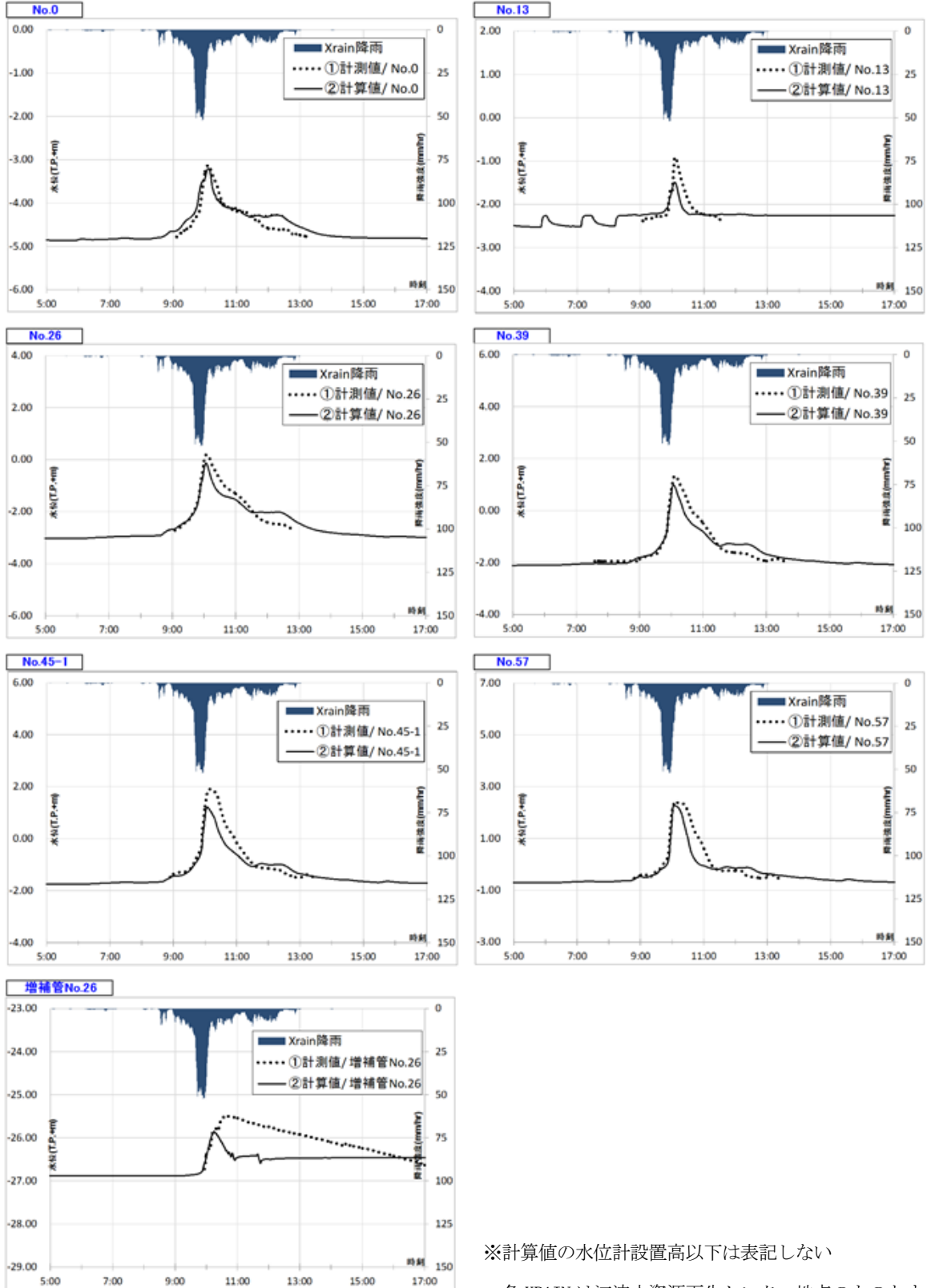


図 3-5 キャリブレーション結果（流出係数モデル）

3.2 フェーズ1（管内水位）における再現性の確認

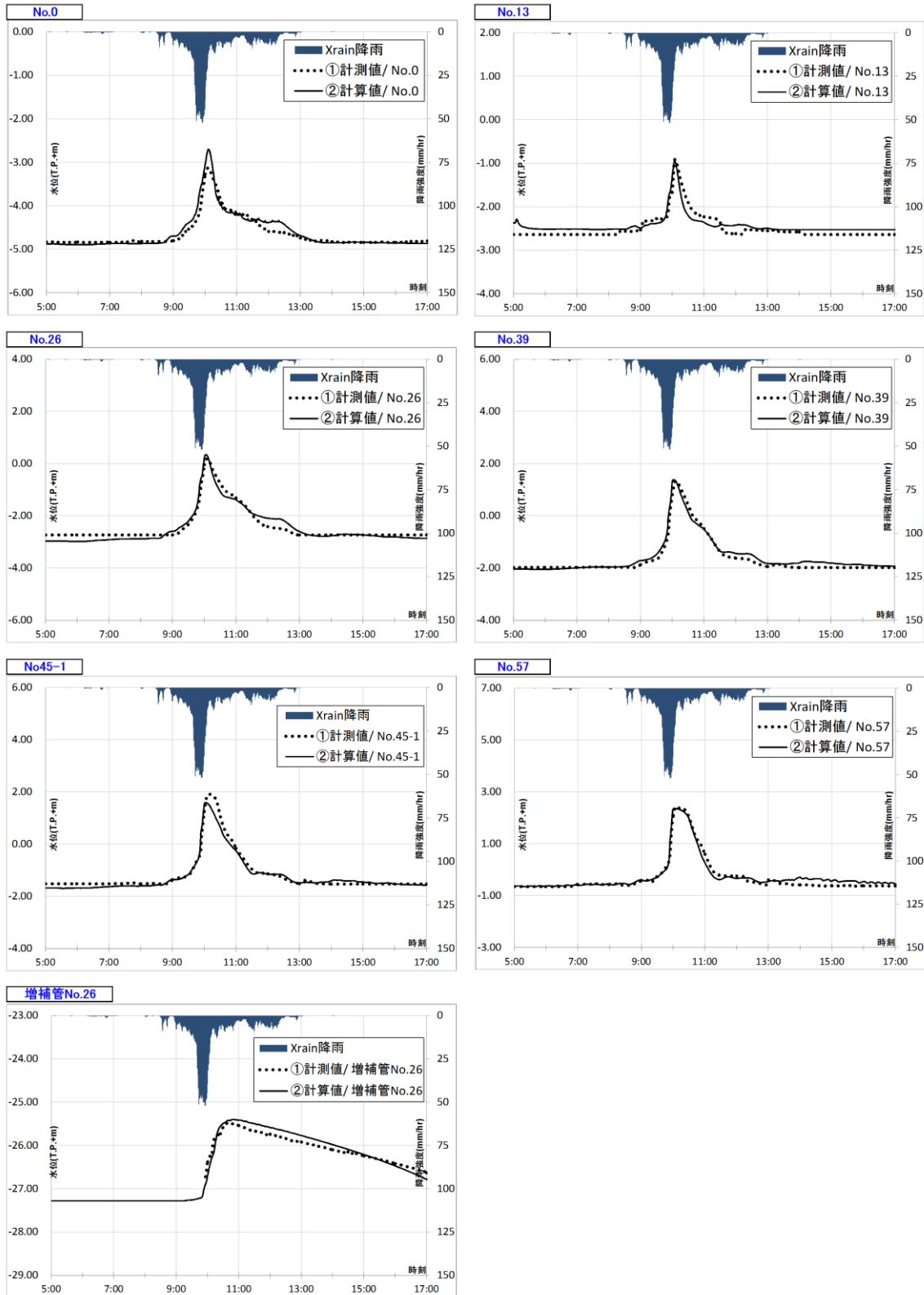


図 3-6 キャリブレーション結果（降雨損失モデル）

3.3 フェーズ2（浸水域）における再現性の確認

3.3.1 対象降雨

浸水域を評価対象としたフェーズ2のキャリブレーションでは、過去の大きな浸水被害が発生した降雨日を選定するものとし、平成24年7～8月に発生した次に示す3降雨を対象とすることとした。

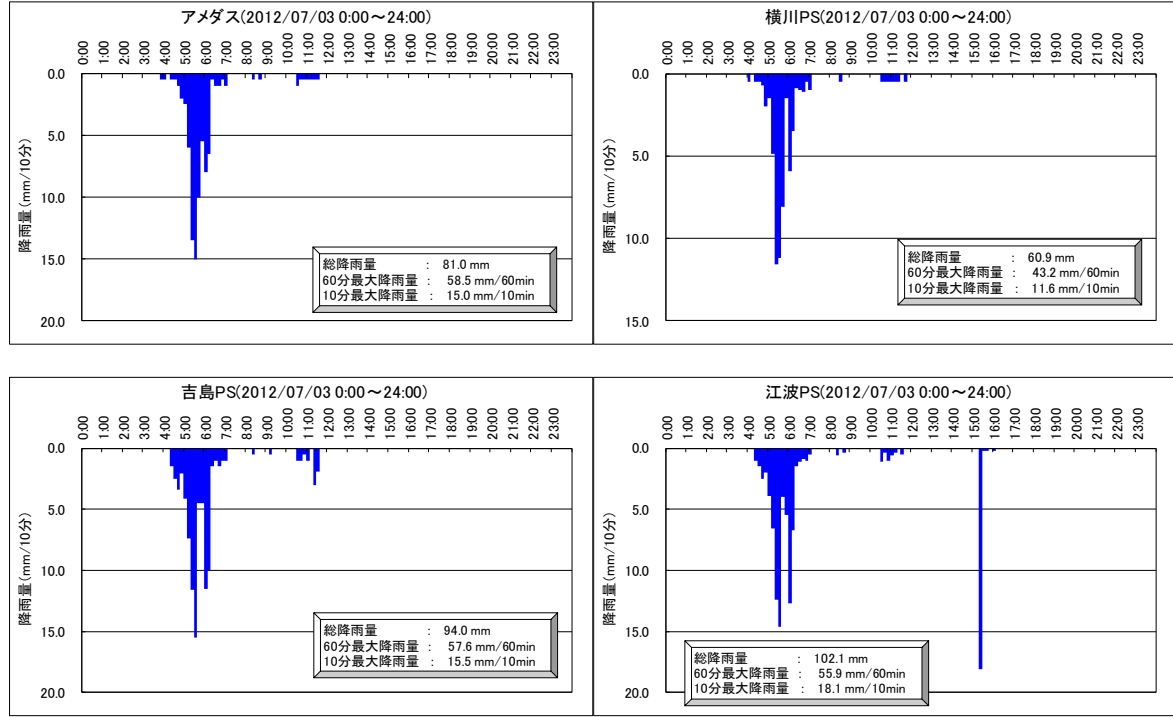


図 3-7 各地点の実績降雨（平成24年7月3日）

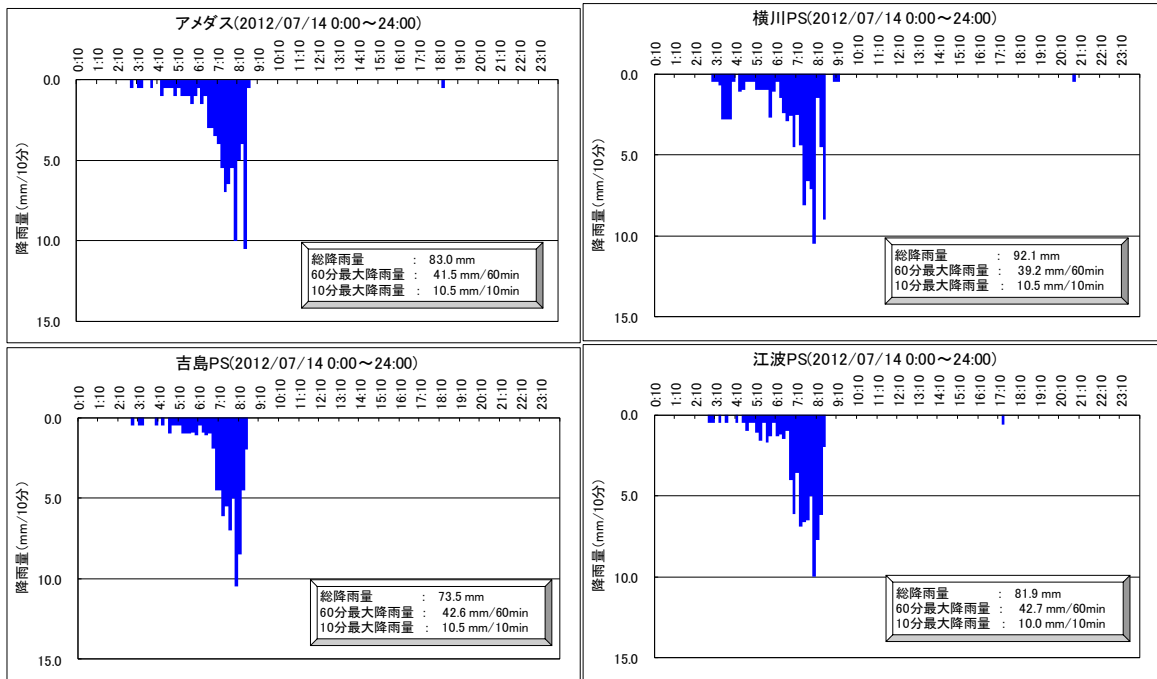


図 3-8 各地点の実績降雨（平成24年7月14日）

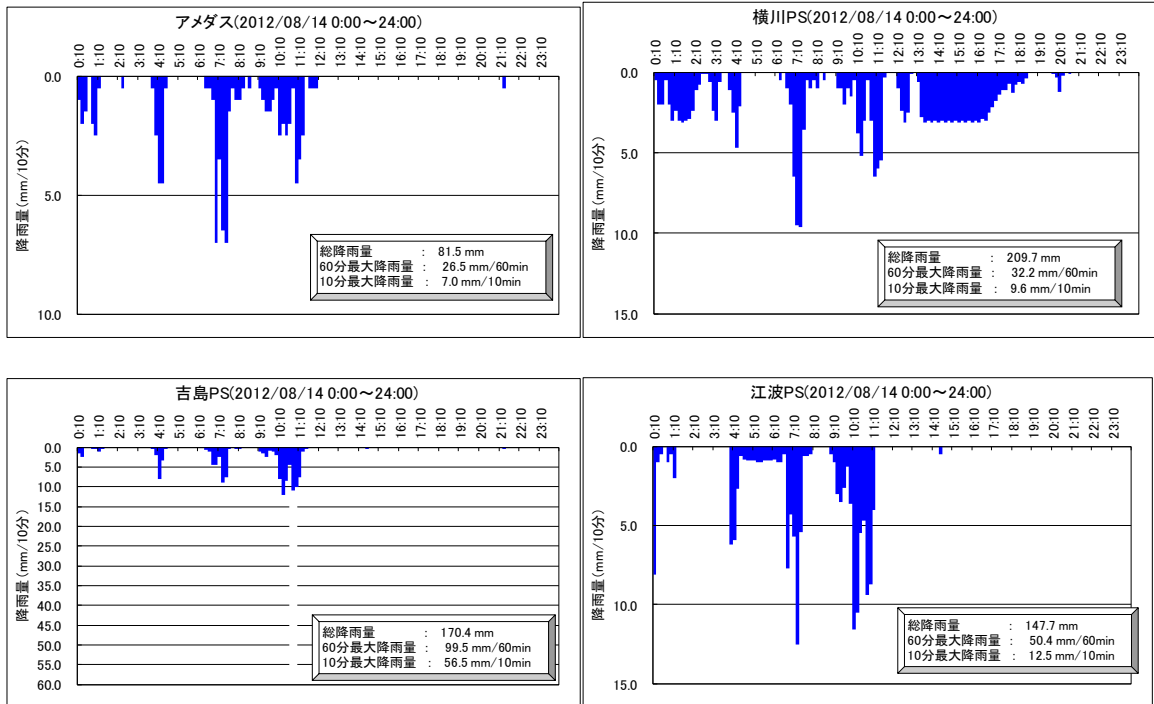


図 3-9 各地点の実績降雨（平成 24 年 8 月 14 日）

3.3.2 段階的なキャリブレーションのアプローチ

キャリブレーションは、次に示す 3 段階でパラメータを調整して行った。

i) 未調整における浸水想定区域図

フェーズ 1 で設定した浸透損失（ホートン式）設定を固定してシミュレーションを実施する。

ii) 細部の地盤高調整後の浸水想定区域図

罹災報告における浸水実績地点で浸水が想定されていない箇所について、元データである DEM・DSM 地盤高データより周辺道路との高低差を確認し、モデル上のメッシュ内地盤高の不具合箇所を適宜修正した。

iii) 浸水域の整合確認

浸水実績地点とシミュレーションによる浸水区算定結果を重ね合わせ、浸水域の再現性について確認した。

iv) 浸水区域の表現とシミュレーションの精度

浸水区域の表現については、アスファルト舗装面の凹凸及び家屋によって路面と宅盤の高低差が異なることを考慮し、1mm 以上の浸水深から表現することとした。

また、シミュレーションの精度について、浸水想定区域の浸水深に関するキャリブレーションは、基本的に過去の浸水履歴の計測結果（地上設置の水位計の計測値や浸水跡の計測値等）を対象に実施することが望ましい。しかし、本実証研究の対象区域では、浸水履歴の計測結果が無く、浸水被害内容（床上・床下浸水および道路冠水）しか明確でない状況であった。したがって、現地調査によりシミュレーションによる浸水想定区域の浸水深と浸水実績地点の道路と宅盤の高低差や浸水実績家屋の軒下高さ等を比較し、浸水被害内容に対する再現性の確認を行った。

3.3.3 キャリブレーション結果

以上の4段階のモデルの調整を行った解析モデルを使用したシミュレーション結果と、各実績降雨における浸水実績を次ページ以降の図に比較した。

一般的に建築基準法上の軒下高さが45cmとされていることから、概ね浸水深40～50cm以上は床上浸水、それ未満は床下浸水もしくは道路冠水といえるが、実際に排水区内の家屋の軒下が当該数値を満足してはいないため、浸水深での比較は一概にはできない。

しかし、罹災報告されている浸水地点は、概ね3降雨ともシミュレーション上も浸水が想定されており、モデルの再現性は確保できていると判断した。

なお、平成24年8月14日の降雨による浸水実績については、一部の浸水箇所において、現場調査の結果、下水道本管に入る前の段階での浸水と判断されるため、本実証研究で使用する解析モデルでは表現できない浸水であることから、この地区は検証対象外と考えた。

表 3-3 フェーズ2 シミュレーション結果（平成24年7月3日降雨） 1/2









































浸水箇所	浸水実績及びシミュレーション結果	備考
	 <p>凡例  浸水箇所 平成24年7月3日 平成24年7月3日罹災報告  道路冠水  床下浸水  床上浸水 浸水深(m)  0.0 - 0.44  0.45 以上</p>	<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>
	 <p>凡例  浸水箇所 平成24年7月3日 平成24年7月3日罹災報告  道路冠水  床下浸水  床上浸水 浸水深(m)  0.0 - 0.44  0.45 以上</p>	<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>
	 <p>凡例  浸水箇所 平成24年7月3日 平成24年7月3日罹災報告  道路冠水  床下浸水  床上浸水 浸水深(m)  0.0 - 0.44  0.45 以上</p>	<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>
	 <p>凡例  浸水箇所 平成24年7月3日 平成24年7月3日罹災報告  道路冠水  床下浸水  床上浸水 浸水深(m)  0.0 - 0.44  0.45 以上</p>	<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>
	 <p>凡例  浸水箇所 平成24年7月3日 平成24年7月3日罹災報告  道路冠水  床下浸水  床上浸水 浸水深(m)  0.0 - 0.44  0.45 以上</p>	<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>

表 3-4 フェーズ2シミュレーション結果（平成24年7月3日降雨）2/2







浸水箇所	浸水実績及びシミュレーション結果	備考
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、罹災報告のあった浸水地点を含み一致している</p>

表 3-5 フェーズ2シミュレーション結果（平成24年7月14日降雨） 1/2

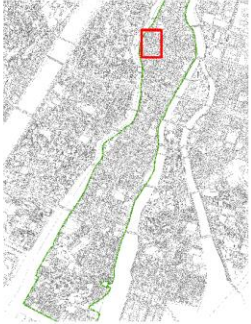
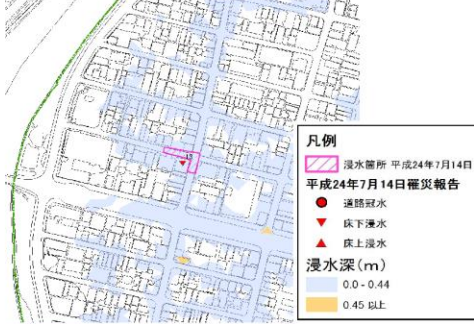
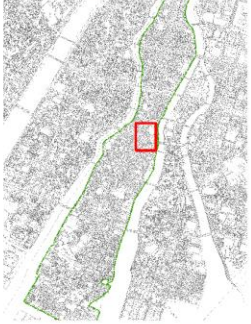

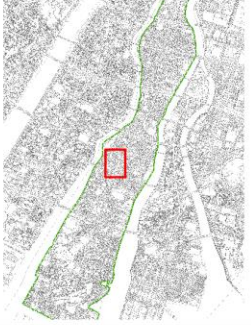

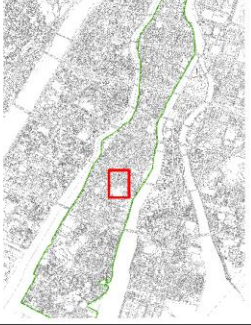
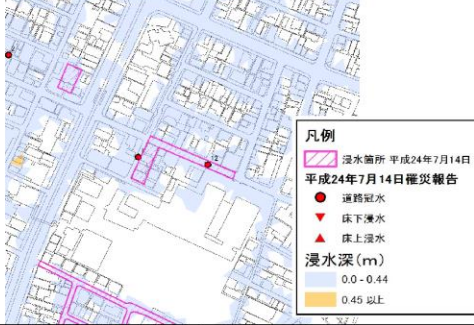

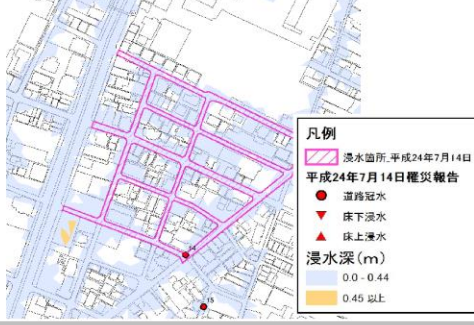
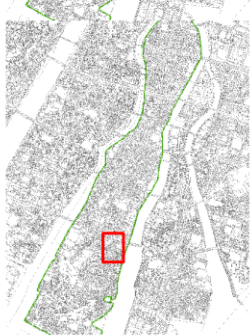
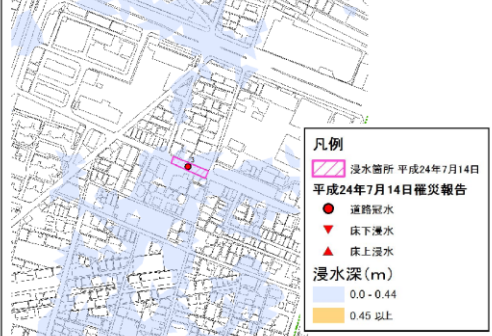
浸水箇所	浸水実績及びシミュレーション結果	備考
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、 罹災報告のあった浸水地点を含み 一致している</p>
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、 罹災報告のあった浸水地点を含み 一致している</p>
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、 罹災報告のあった浸水地点を含み 一致している</p>
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、 罹災報告のあった浸水地点を含み 一致している</p>
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、 罹災報告のあった浸水地点を含み 一致している</p>

表 3-6 フェーズ2 シミュレーション結果 (平成 24 年 7 月 14 日降雨) 2/2

浸水箇所	浸水実績及び シミュレーション結果	備考
		<p>シミュレーションによる浸水区域は、 罹災報告のあった浸水地点を含み 一致している</p>

3.4 浸水予測シミュレーション

3.4.1 概要

本実証研究においては、10分ごとに配信される XRAIN 予測雨量を用いて、将来の浸水発生を予測するリアルタイム浸水予測シミュレーションモデルを構築し、この浸水予測情報を用いて、ポンプ等の施設運転の変更を判断する情報を提供する。

本研究で用いた浸水シミュレーションは、一旦計算を開始する現在時刻から60分間過去に遡って、計測値による計算を行う。次にこの期間（以下、計測期間）において、計算水位と計測水位の差がある場合は、整合するように水位補正を行う。

また、計算を開始する現在時刻以降の期間（以下、予測期間）においては、計測期間の補正結果を用いた計算を行うことにより、予測精度を高める方法を用いている。

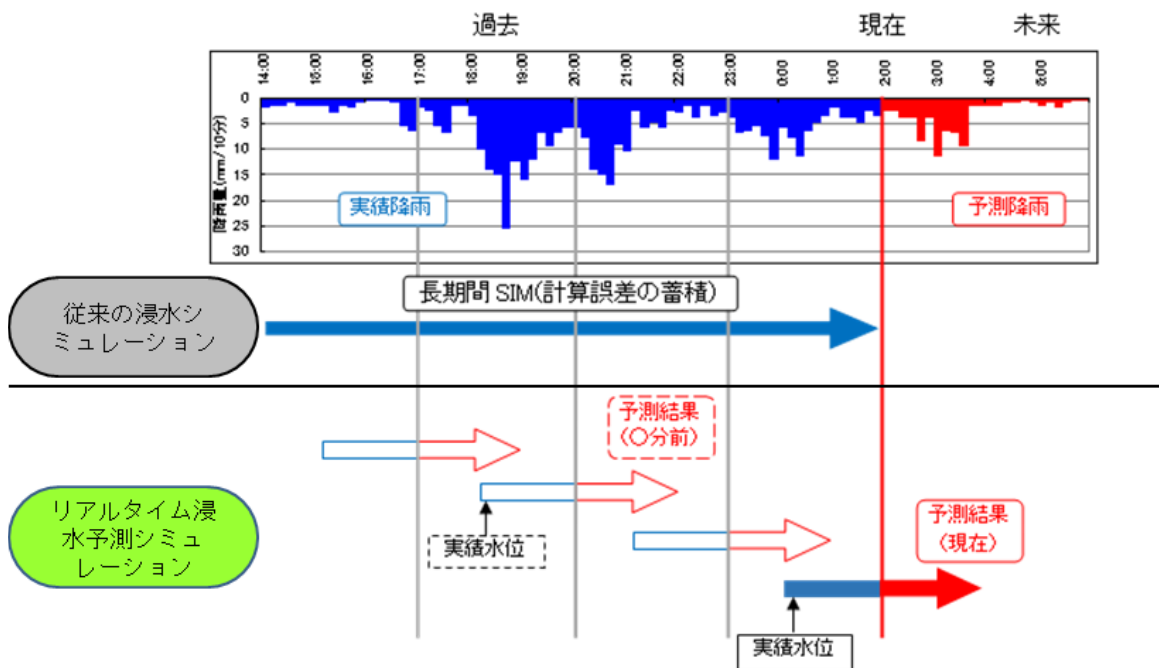
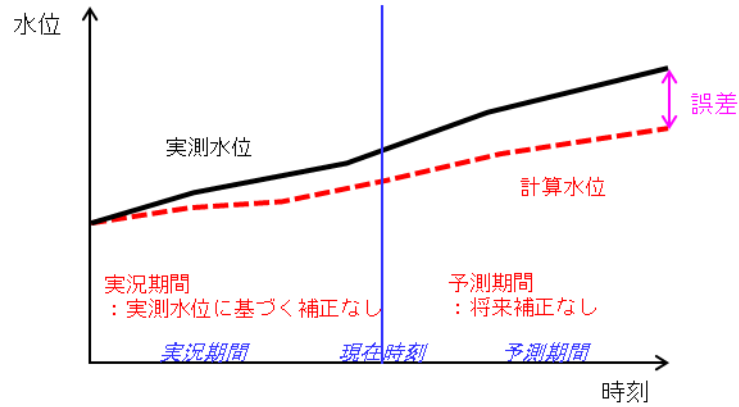
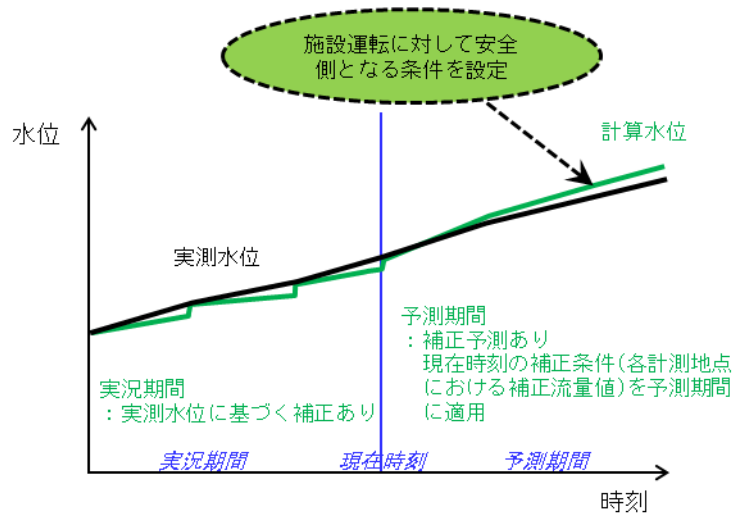


図 3-10 リアルタイム浸水予測シミュレーション計算イメージ



従来（従来の）浸水シミュレーション



リアルタイム浸水予測シミュレーション

図 3-11 リアルタイム浸水予測シミュレーション逐次補正計算イメージ

3.4.2 水位補正方法

水位補正の方法は、流量の差引による簡易補正方法を採用した。今回用いた流出解析モデルには水位補正が標準機能として存在しないため、図 3-12 に示すように小型光水位計観測地点で計測水位と解析水位を常時比較し、誤差が生じている場合には流量の差引を行い、計算水位の補正を行うものとした。

3.4 浸水予測シミュレーション

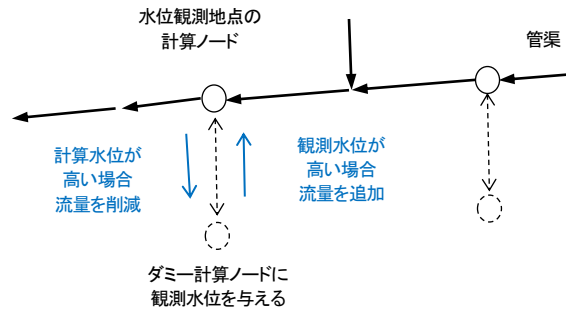


図 3-12 リアルタイム浸水予測シミュレーション／水位補正方法

3.4.3 水位補正による効果

水位補正あり／なしの場合を比較すると、浸水予測シミュレーションにおいては、水位補正を行うと水位の急上昇区間の解析値と計測値は一致するため、水位ピーク値も解析値と計測値はほぼ一致、または、施設運転の判断において安全側（水位の立ち上がりが早く・高めの水位）の解析値を与えることが確認できた。

本実証研究においては、計測水位による逐次補正と安全側水位を計算する予測補正条件を適用して、浸水予測を行うものとした。

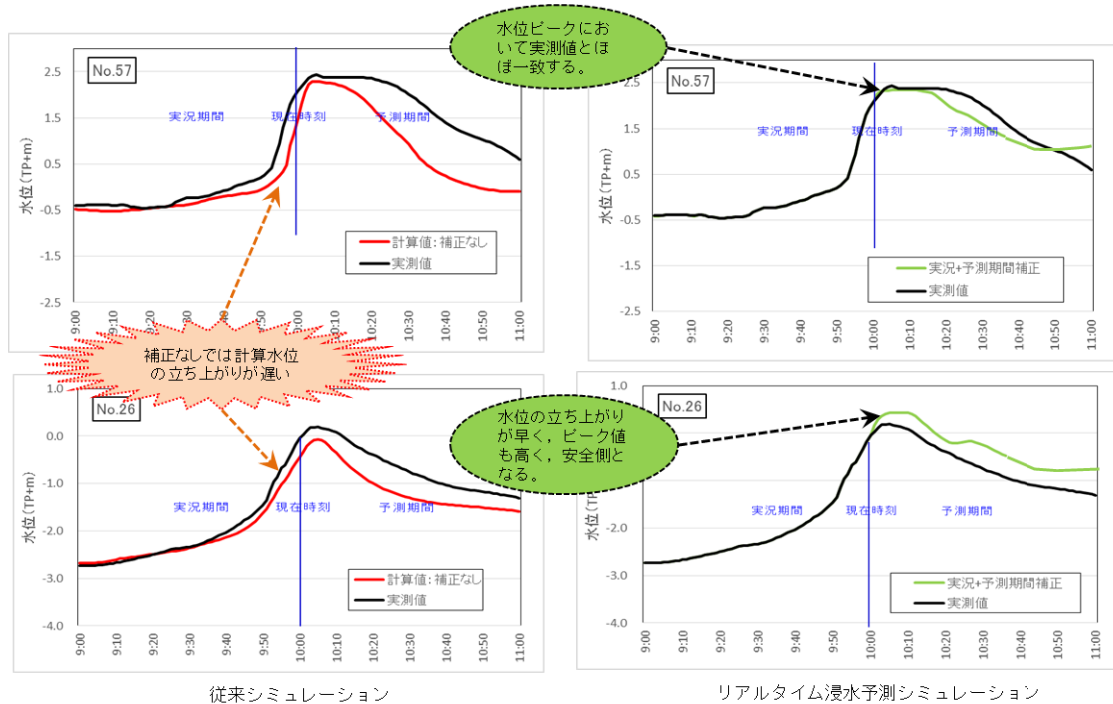


図 3-13 水位補正の有無による水位解析値の比較（平成 27 年 8 月 17 日降雨）

3.4.4 予測精度と解析時間（情報提供間隔）

(1) 予測精度

① 下水管路内水位に求められる予測精度

対象区域の排水を担う江波ポンプ場雨水ポンプの各ポンプの起動・停止水位を下図に示す。各ポンプとも起動・停止水位差は30～40cmであるが、ポンプ間の起動水位差は5cmである。リアルタイム浸水予測シミュレーション結果をポンプの運転支援情報として活用するためには、予測水位の誤差が5cm以上とならない時間内で解析を完了する必要がある。したがって、下水管路内水位に求められる予測精度は5cmとする。

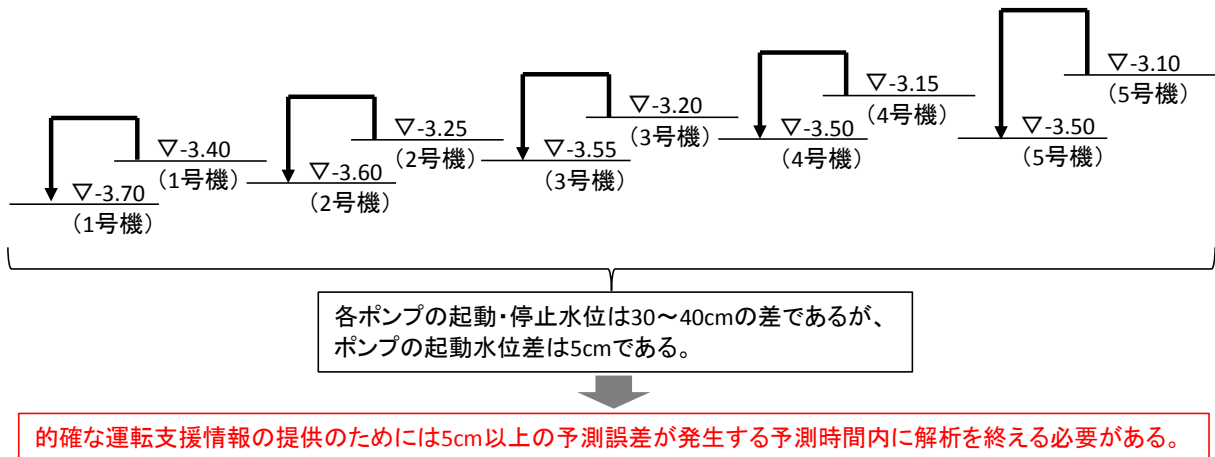


図 3-14 江波ポンプ場雨水ポンプの起動・停止水位と下水管路内の予測精度

② 浸水深に求められる予測精度

シミュレーションモデルのキャリブレーション結果を踏まえ、シミュレーション精度は宅地造成時の盛土、および車道と歩道部の縁石高さ等を考慮し、概ね20cm程度としている。したがって、リアルタイム浸水予測シミュレーションの浸水深に求められる予測精度は20cmとする。

(2) 解析時間（情報提供間隔）

実証研究におけるリアルタイム浸水予測シミュレーションにおける予測水位と計測水位の予測時間別誤差を表 3-7 に示す。実証研究では浸水を伴う降雨は発生していないため、解析時間は下水管路内水位に求められる予測精度を基に決定する。

下水管路内水位に求められる予測精度は5cmであり、予測水位と計測水位の誤差において5cm以上の誤差が発生するのは10分先の予測時間からである。一方、実証研究で要した解析時間は5分であるため、予測精度以上の誤差が発生する予測時間以内に解析を完了することができている。

したがって、解析時間（情報提供間隔）は5分とする。

表 3-7 予測水位と計測水位の予測時間別誤差（2015/8/17）

項目	予測時間	予測水位と計測水位の誤差(cm)
予測期間	5分先	3.9
	10分先	7.9
	20分先	6.2
	30分先	12.5
	40分先	18.4
	50分先	28.2
	60分先	50.2

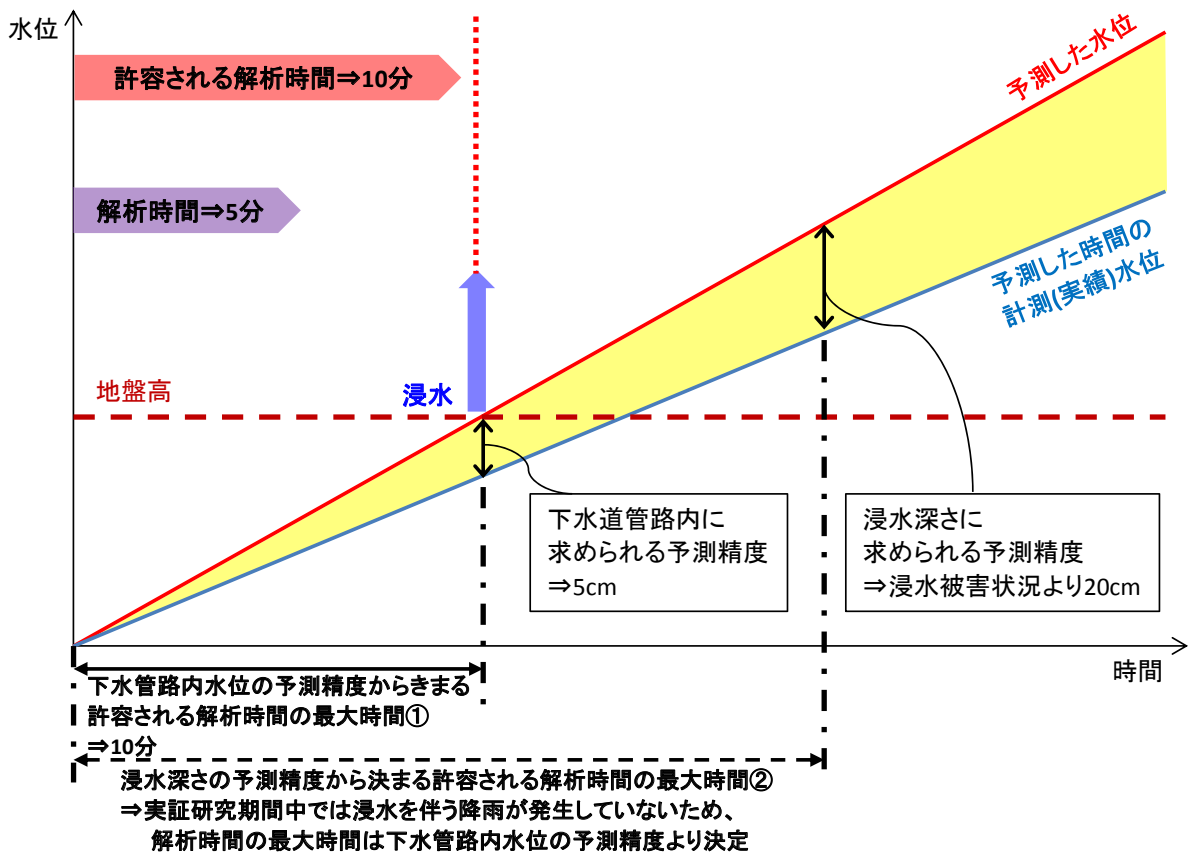


図 3-15 解析時間の設定