

第5章 設計

第1節 設計

§ 22 本技術の設計

本技術は、新たに導入する要素技術と既存設備との相互関係を勘案し、技術全体として有効に機能するよう設計を行う。

- (1) 基本事項の検討
- (2) 要素技術の構成検討

【解 説】

(1) 基本事項の検討

基本事項の検討においては、導入検討の結果を踏まえ、施設運転支援の対象施設の確認、自助・共助支援の範囲、段階的導入についての確認を行うとともに必要に応じて見直しを行う。

(2) 要素技術の構成検討

要素技術の構成においては、基本事項の検討を踏まえ、要素技術の組合せ、既存の計測技術や監視設備におけるデータ活用について検討する。

§ 23 本技術の基本性能

本技術では、以下に示す基本性能を定めて、それを満たすように設計する。

- (1) 予測時間
- (2) 予測情報配信までの時間
- (3) 予測精度

【解 説】

本技術は、レーダ雨量計により観測された降雨量に基づき短時間降雨予測を行い、さらに流出解析を短時間で実施することで、下水管路内水位や内水による浸水等の予測情報をリアルタイムに提供することが可能となる。このため、本技術の基本性能では、このリアルタイム情報に基づき、既存の浸水対策施設の運転支援、住民への自助・共助支援に必要な予測時間および予測情報配信までの時間を定めるものとする。

(1) 予測時間

予測時間は、施設運転支援における予測情報の活用期間、自助・共助支援におけるリードタイムに必要な時間を考慮し設定するものとする。

(2) 予測情報配信までの時間

施設運転支援、自助・共助支援におけるリードタイムの確保に必要な期間を確保できるよう、観測から予測情報配信までの時間を決定する。なお、実証研究における観測から予測情報配信までの時間については資料編 3.1 を参照のこと。

(3) 予測精度

本技術における予測精度については、降雨観測精度、降雨予測精度、流出解析モデルの解析精度の複数要素により決まるが、最終的には水位による精度を確保するものとする。水位による精度については、予測時間における精度の違いを考慮し、§ 27 の表 5-1 に示す精度を確保するものとする。

§ 24 計測技術

計測技術は、計測に必要な性能が発揮できるよう適切に設計を行う。

- (1) レーダ雨量計
- (2) 地上雨量計
- (3) 水位計

【解説】**(1) レーダ雨量計**

レーダ雨量計については、国土交通省において XMP, CMP が整備されている。また、実証研究では、都市域レーダを設置し評価を行った。なお、本ガイドラインにおいては、実証研究で用いた都市域レーダの性能、機能、配置計画、架台の設置について示すものとする。

1) 都市域レーダ**①設備性能および機能****(a)観測範囲**

近年、移動速度 60km/h 以上の豪雨も観測されている¹⁰⁾。雨雲の移動速度を 60km/h と想定した場合、30 分先予測を行うために必要な観測範囲は半径 30km である。都市域レーダの観測範囲（レーダユニット 1 台の場合）は図 5-1 に示すとおり、観測半径 30km であり、このような場合でも対応が可能である。

また、複数のレーダユニットを設置する場合には、下水道排水区域内において、下水道計画降雨に相当する降雨強度の降雨またはそれ以上の想定降雨が発生しても、レーダユニット間の補完により電波消散による欠測が生じないよう各レーダユニットを表 4-9 の最大距離以内に配置する。

なお、実証研究における観測範囲の確認については資料編 1.2.2 を参照のこと。

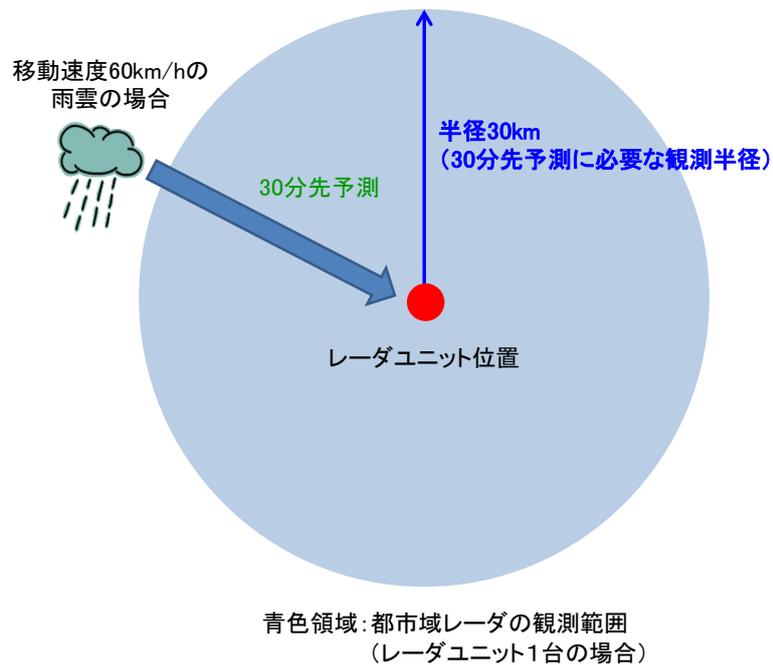


図 5-1 都市域レーダの観測範囲（レーダユニット 1 台の場合）

(b) 観測高度

下水道排水区域外から移流する降雨に基づき 30 分先の予測を行うため、観測半径 30km 圏を観測可能な高度にて降雨観測する。

(c) 分解能

都市域レーダの分解能は、パルス幅 $0.5 \mu\text{s}$ により距離方向 75m、アンテナ径 0.75m により方位方向 2.7° である。

(d) 配信周期

下水道排水区域において、時々刻々と変化する局所的集中豪雨等の降雨量を短い間隔で配信することを目的として、既存の浸水対策施設の効果的な運転や自助・共助におけるリードタイムを確保するために 1 分以内の周期で雨量データを配信する。

(e) データ収集サーバおよびデータ合成サーバ

データ収集サーバは、レーダユニットの観測データ（仰角ごとに観測したデータ）を収集する機能および障害監視を行う機能を有する。

データ合成サーバは、データ収集サーバで収集した観測データを合成処理し、雨量データに変換する機能を有する。

②配置計画

配置については，§ 20 の概略検討における配置計画を確認し，設計段階において現地の状況等を確認した結果，設置が不可能等の場合においては見直しを行うものとする。

③架台設計

架台設計においては，建築基準法施行令に従って，都市域レーダの架台に求められる設計基準の要件を検討し，各設置箇所に対応する構造計算を行う。次に，架台設計基準を満足しているか確認する。都市域レーダの架台検討フローを図 5-2 に示す。

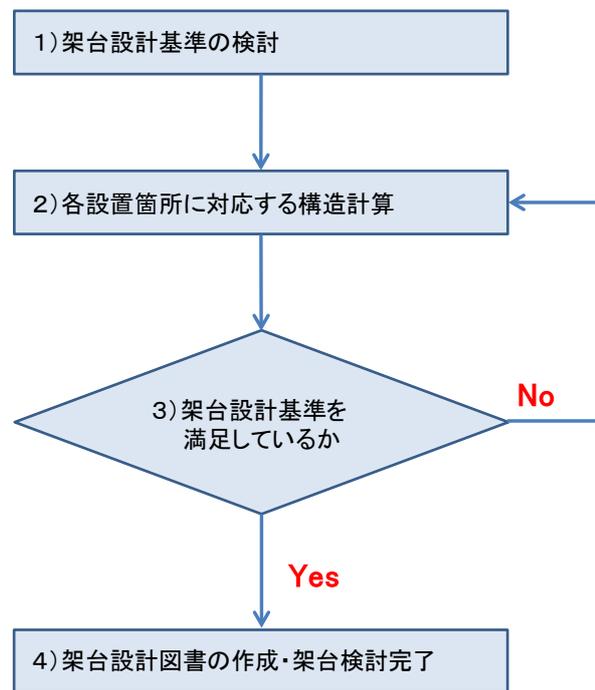


図 5-2 架台検討フロー

(2) 地上雨量計

本技術で用いる地上雨量計に必要となる仕様は以下の1)～3)に示すとおりである。

1) 計測精度

計測精度は、気象業務法に基づくものとする。§9の表 2-4に一般的な地上雨量計における計測精度を参考とする。いずれの地上雨量計も気象観測用として求められる精度を有している。

2) 分解能

レーダ雨量計測値の妥当性の確認にあたっては、独自に設置した地上雨量計以外に、地域気象観測システム（アメダス）等を活用する場合もある。したがって、地上雨量計の分解能は、地域気象観測システム（アメダス）の雨量データの最小表示単位である0.5mmを標準とする。

3) データ転送

本技術において地上雨量計測値とレーダ量計測値とをリアルタイムで確認する場合は、データ転送機能が必要である。

(3) 水位計

本技術で用いる水位計に必要となる仕様は以下の1)～4)に示すとおりである。

また、具体的な水位計の選定や設置・維持管理手順等については「下水道管きよ等における水位等観測を推進するための手引き（案）」¹¹⁾を参考とされたい。

1) 満管以上の計測可否

浸水被害が発生する際には、下水管路が満管以上となっている場合が多いと考えられることから、満管以上でも水位を計測できることが必要である。

2) 計測精度

水位計の計測精度は、測定原理等により異なる。なお、一般的な水位計の計測精度は表 2-5に示すとおりである。

3) 計測範囲

本技術で用いる水位計は、小降雨時から豪雨時、更に浸水発生時に至るまでの下水管路内の水位変動を計測できることが求められる。また、水位計により計測範囲に上限があるため、対象となる管路の状況を踏まえて、適切な計測範囲を有する水位計を選定しなければならない。

4) データ転送

本技術においては水位情報をリアルタイムで確認するため、データ転送機能が必要である。

§ 25 データ収集技術

データ収集技術は、雨量、水位等のデータをリアルタイムで収集するために必要な機能を発揮できるよう適切に設計を行う。

【解説】

データ収集技術は、降雨量、下水管路内水位、既存監視設備からポンプの起動・停止・故障、ゲートの開度・故障等の対象施設の全データを定周期で収集し、データベースへの保存、保存データの取り出しに関する検討を行う。

(1) 収集信号の整理

情報配信に必要な信号、リアルタイム流出解析技術に必要な信号を整理する。整理した信号は、既存設備と連携する必要があるため固有番号を採番して管理するようにする。

また、単位についても注意する必要がある。情報配信に使用する単位と、リアルタイム流出解析技術で使用する単位とが違う場合は、変換処理等について考慮する必要がある。

(2) 連携仕様の設計

連携仕様は、情報配信技術やリアルタイム流出解析技術、既存設備との連携するための通信方式、処理周期、異常処理方式等を決定する。

(3) データベース設計

精度検証、評価に用いるデータについては、データベース化が望ましい。データベースの設計においては、HDD容量を考慮して、データベース構造、保存期間等の仕様を決定する。なお、データベースソフトウェアには市販の製品があるので活用するとよい。

(4) プロセス管理

降雨量、下水管路内水位、既存監視設備からポンプの起動・停止・故障、ゲートの開度・故障等、すべての施設のデータ収集に関する欠損状況、遅延状況、各サーバにおけるデータ処理プロセスの進行状況等すべての情報をモニタリングし、異常がある場合には情報配信技術を介して利用者に通知する機能を有するものとする。

(5) 定周期データ収集

降雨量、下水管路内水位、既存監視設備からポンプの起動・停止・故障、ゲートの開度・故障等のデータを各計測設備から定周期で収集する機能を有するものとする。なお、収集周期は、リアルタイム性を勘案し、基本性能（情報配信の時間と精度や解析）を満足する時間とする。

(6) データ保存および取出し

収集した降雨量，下水管路内水位等の観測データ，ポンプの起動・停止・故障，ゲートの開度・故障等の施設運転データは，降雨イベント後の浸水解析による浸水原因の分析，流出解析モデルの精度向上，施設運転の見直し等の検討に活用するため，データベースに保存するとともに，保存データを情報配信技術等から任意期間，場所別に取り出しが行える機能を有するものとする。保存データはリアルタイム流出解析技術，情報配信技術と連携するため，データ参照できる形式とする。

§ 26 レーダ雨量解析技術

レーダ雨量解析技術では、降雨予測、レーダ雨量処理に必要な性能を発揮できるよう適切に設計を行う。

【解説】

レーダ雨量解析技術は、レーダ雨量計で観測したデータに基づく短時間降雨予測解析と、観測降雨と予測降雨の雨量分布図等の配信に必要な情報に加工するための雨量データ処理機能について検討を行う。

(1) 短時間降雨予測解析

短時間降雨解析は、解析モデルに入力する雨量データのメッシュごとの降雨強度の予測値を算出するものとする。実測値と予測値の降雨強度を累積雨量換算し、実測雨量に近い予測値を示す短時間降雨解析パラメータを選定する。

1) レーダ雨量データの取得

短時間降雨予測に必要となるレーダ雨量データを定周期で取得する機能を有するものとする。

2) 予測精度

降雨予測精度については、実績データと比較して確認すること。なお、実証研究における検証結果については資料編 3.4 を参照のこと。

3) 予測処理

定周期で予測処理を繰り返し実行可能とする機能を有するものとする。

4) 予測結果の出力

予測結果はリアルタイム流出解析技術へ連携することを目的に、所定のファイル形式で出力する機能を有するものとする。

5) 動作環境

短時間降雨予測モデルをリアルタイムで実行するためには、高速計算処理に適した装置上で実行する必要がある。短時間降雨予測モデルを安定して実行するために必要な装置スペックを検討する。また、装置スペックを検討する際は、短時間降雨予測モデルが対象とするメッシュ数により処理時間が左右されるため、予測条件を整理した上で要求性能を満たすスペックを特定する必要がある。

(2) レーダ雨量データの処理

1) 観測データの取込

レーダ雨量計で観測された観測雨量を取込む機能を有するものとする。

2) 単位時間雨量の算出

観測雨量，予測雨量に対して時間単位の雨量を算出する機能を有するものとする。時間単位については，変更可能とすることが望ましい。

3) レーダ雨量分布図作成

レーダ観測雨量，予測雨量を対象区域の地図画像と重ね合わせ雨量分布図を作成する機能を有するものとする。対象区域の地図画像については，下水道排水区域界，雨水ポンプ場等のランドマークなど必要に応じて記載するとともに，拡大，縮小機能を有することが望ましい。

4) 排水区平均雨量算出

施設運転支援の対象施設や自助・共助支援の対象区域における雨量情報を提供するため，レーダ観測雨量，予測雨量から排水区別に平均雨量を算出する機能を有するものとする。

5) 浸水危険度画像作成

本画像は，レーダ雨量データの排水区毎の平均雨量と基準雨量（過去の浸水実績と単位時間雨量等から設定した浸水危険度を判別するための設定雨量）から浸水の危険等がある排水区を検出する機能であることから，レーダ雨量計のみを先行して導入するケースやリアルタイム流出解析技術を導入していない排水区において有用な情報となる。

基準雨量については，排水区別の浸水実績と単位時間雨量との関係もしくは浸水シミュレーションにより設定する手法があり，内水浸水想定区域図作成マニュアル（案）における浸水シミュレーションによる内水浸水想定や浸水実績を活用した内水浸水想定を参考にするとよい。

§ 27 リアルタイム流出解析技術

リアルタイム流出解析技術は、下水管内水位、内水による浸水等の予測に必要な性能を発揮できるように適切に設計を行う。

【解説】

リアルタイム流出解析技術の設計においては、「§ 20 導入効果検討」で構築したオフライン流出解析モデルを活用したリアルタイム流出解析モデルの構築およびサーバ等の仕様を検討する。

(1) オフライン流出解析モデル

1) 基本機能

オフライン流出解析モデルの構築については、リアルタイム流出解析技術に搭載できるように、以下の性能を確認する。

- ・リアルタイム流出解析に使用するレーダ雨量計や水位計等のデータを用いてキャリブレーション可能であり、精度の確認ができること。
- ・リアルタイム流出解析の結果を再現可能であり、モデルや解析の検証ができること。
- ・オフライン解析における浸水被害の再現、精度向上、ポンプ運用変更による効果の検証等に用いたパラメータ値やRTC※（リアルタイムコントロール）設定値（ポンプ起動・停止水位等施設運転ルール）をリアルタイム解析に直接反映できること。
- ・リアルタイム流出解析に使用する管網モデルのメンテナンス（更新等）が可能であり、更新の度に高額な費用が発生しないものであること。

※ポンプ、ゲート等の運転方案をモデル化したもの

2) 解析手法

下水管路内の一次元不定流解析、地表面における二次元不定流解析、ポンプやゲート等各種施設の制御条件となる水位設定が単一プラットフォーム上で再現できる機能を有するものとする。

下水管の吐き口が河川にあり、かつ河川水位以下である場合など、河川水位が下水管路のリアルタイム流出解析に影響を及ぼす場合は、影響を及ぼす範囲までを適切に取り入れた解析を行うものとする。

3) 解析時間

既存の浸水対策施設の効果的運転や、自助・共助に必要な時間を確保するために必要な予測時間を確保できるよう、流出解析に要する時間を決定する。なお、実証研究における解析時間の考え方については資料編 3.1 を参照のこと。

4) 解析精度

流出解析モデルが確保すべき解析精度を表 5-1 に示す。

表 5-1 流出解析モデルが確保すべき解析精度

| 評価項目 | 確保すべき解析精度等 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 管路内水位 | 下水管路内における水位やピーク時間・水位の解析結果が、実績と概ね一致すること。 評価の目安として以下のような例が挙げられる。 ・水位波形の NS* が 0.7 以上であること ・複数の雨水ポンプの先行運転を行う場合は、誤差が各ポンプの起動水位差以下であること |
| 浸水発生位置、範囲、浸水深、浸水発生時間 | 解析による浸水発生状況が、浸水実績と概ね一致すること。 評価の目安として以下のような例が挙げられる。 ・浸水深さが実績の床上浸水/床下浸水と一致すること |

※NS(Nash-Sutcliffe 係数)

Nash-Sutcliffe 係数は、1970 年に (Nash and Sutcliffe, 1970) により提唱された指標であり値が 1 に近いほどモデルの精度はよいとされ、指標値 0 より小さい場合、ほぼ予測の効果がないとみなすことができる。一般的に 0.7 を超えると有効な精度であるとされている。

■Nash-Sutcliffe 係数

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_c(i)\}^2}{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_{av}\}^2}$$

$$q_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_o(i)$$

N : 計算時間数

$q_o(i)$: i 時の実測流量

$q_c(i)$: i 時の計算流量

q_{av} : 実測流量の平均値

5) 水位補正

リアルタイム解析の計算過程では、雨量データ精度、地表面流出率の変化等に起因し、図 5-3 に示すように実測水位と解析水位に誤差が生じる可能性がある。このため、例えば計測水位と解析水位をリアルタイムで比較・補正する方法等の適用を検討することが望ましい。

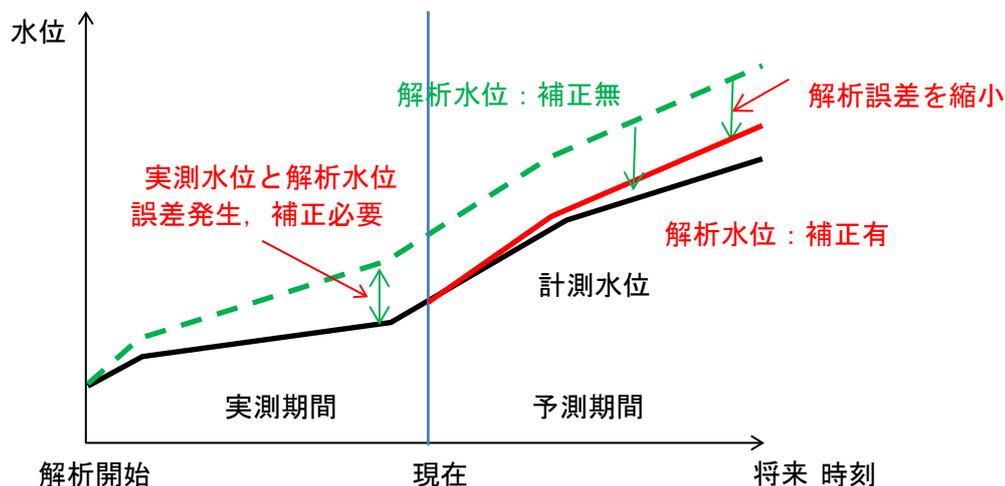


図 5-3 リアルタイム解析における水位補正イメージ

(2) リアルタイム解析技術

1) データ送受信

解析モデルにリアルタイムで取り込む信号、および情報配信する解析結果データを整理する。データ数が多いと結果の出力処理に時間を要し、データベースに保存する容量が増加するため、不要なデータ出力は行わないようにする。

また、データ収集技術との連携方法について適切な方法で設計する。連携方法には、データベースと API を使って直接データを読み込んだり書き込みする方法、FTP 通信等によるデータファイルを送受信する方法などがある。

2) リアルタイム解析環境

リアルタイム解析は定周期で安定して実行する必要があるため、要求性能を満足する機器構成、通信環境等を検討する。

採用する機器に求められる性能は、解析モデルにおける水理構造物のコントロール、解析対象面積、降雨条件、予測期間等によって異なるため、必要な性能を実現可能な機器構成・通信環境を設計する必要がある。

3) HDD 等記憶媒体の容量確保

リアルタイム解析では解析結果データやログファイル等の様々なデータが解析処理毎に出力される。HDD 等の容量を確保して安定稼働を実現するためには、これらのデータを必要に応じて削除、もしくは外部の記憶媒体へ保存できるようにする必要がある。

§ 28 情報配信技術

情報配信技術は、レーダ雨量、下水管路内水位、リアルタイム流出解析技術における解析結果等を必要な画像等に加工し配信できるよう適切に設計を行う。

【解説】

情報配信技術では利用者が情報を閲覧するための Web サーバとして必要な仕様を検討する。

(1) 配信画面設計

§ 19 基礎調査等で得られた利用者が閲覧したい情報を整理し、その情報をどのような画面として配信するかを設計する。

雨量情報であれば、雨量分布図、ハイトグラフ、数値情報等になる。水位情報と雨量情報をまとめて表示する等検討する。

1) レーダ雨量配信画面

レーダ雨量の画面表示機能は、降雨の範囲、強さ、移動状況を捉えることを目的に、次の内容を基本とする。

①レーダ雨量の降雨強度

レーダ雨量の降雨強度は、広域、行政区域、排水区等、必要に応じて表示スケール（図 5-4 参照）を変えてメッシュにて表示する機能を有するものであることが望ましい。



図 5-4 レーダ雨量強度のメッシュ表示例（左：広域，中：行政区域，右：排水区域）

②時系列での表示

過去（任意時間）から予測時間の雨量強度を時系列に連続して表示（図 5-5 参照）する機能を有するものとする。



図 5-5 レーダ雨量強度のメッシュ表示例（左：30 分前，中：現在，右：30 分後）

③排水区雨量

対象排水区における過去から現在の観測雨量および将来の予測雨量をグラフ化等の時系列データにて表示する機能を有するものとする。画面表示例を図 5-6 に示す。

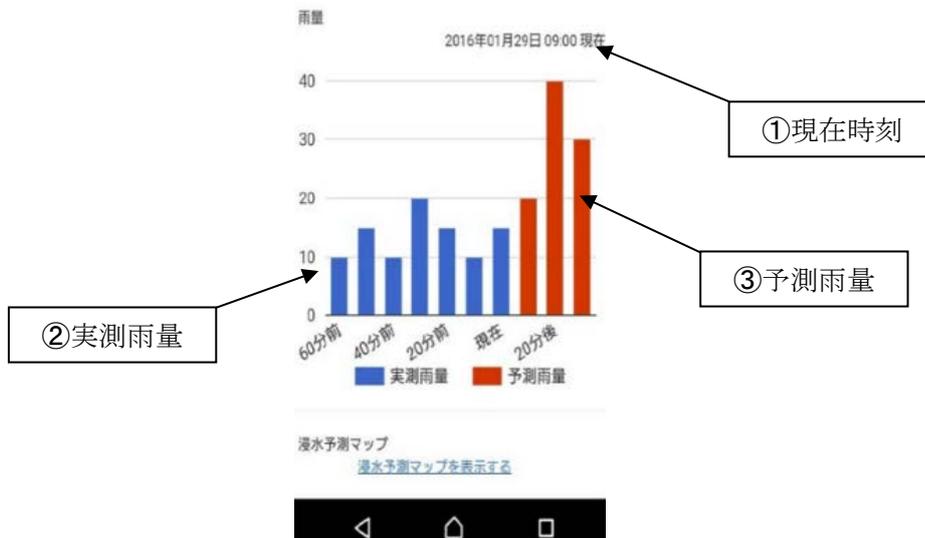


図 5-6 排水区雨量画面（例）

④データの更新周期

データの更新周期については、観測値は計測技術の観測間隔、予測値は短時間降雨予測の間隔によるものとする。

2) 施設運転支援画面

施設運転支援の画面表示機能は、ポンプ等の運転を最適に支援することを目的に、次の内容（図 5-7，図 5-8 参照）を基本とする。

①水位データの表示

施設運転に必要な下水道管路内，ポンプ井，放流先の観測水位等を数値やグラフ等で表示する機能を有するものとする。なお，施設運転の判断基準（閾値）を設定する場合は閾値を合わせて表示する。

②施設稼働状況の表示

ポンプ等の稼働状況を表示する機能を有するものとする。なお，既存設備において確認が可能な場合は不要とする。

③運転判断情報の表示

ポンプ等の起動・停止を一目で判断できる情報を表示する。

④データ更新周期

データの更新周期については，観測値は計測技術の観測間隔，予測値は短時間降雨予測の間隔によるものとする。

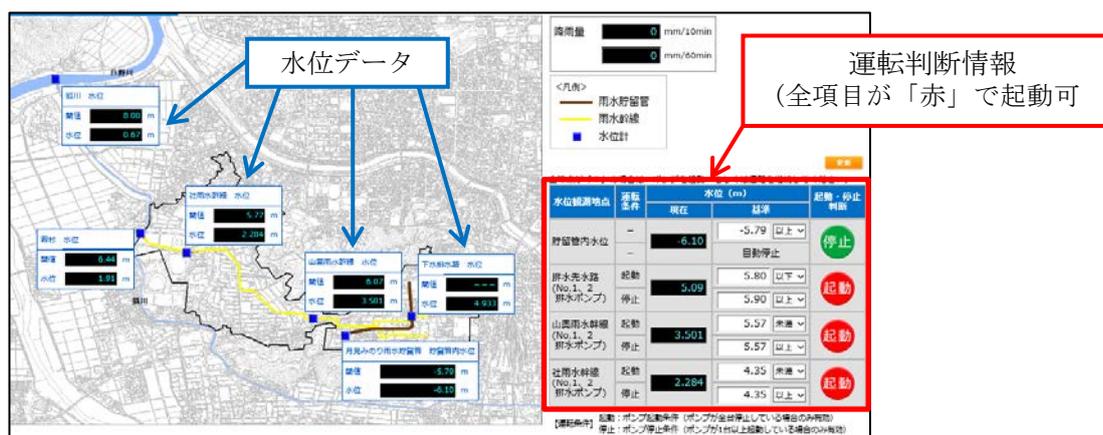


図 5-7 施設運転支援画面（平面図）

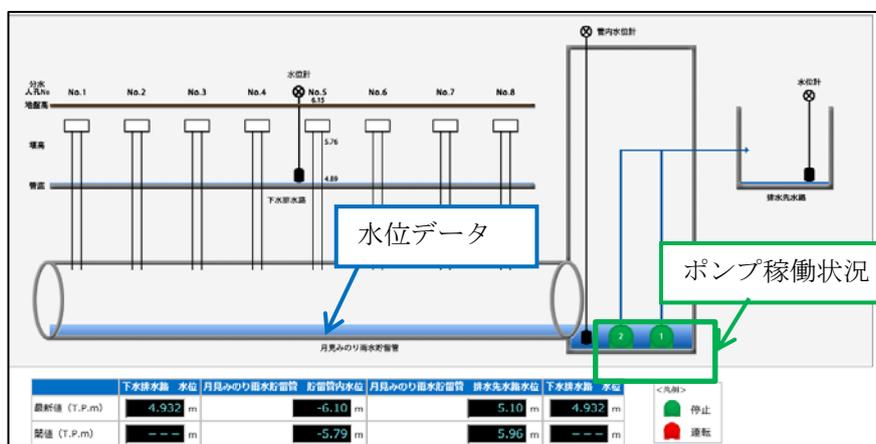


図 5-8 施設運転支援画面（貯留管断面図）

3) 自助・共助支援画面

自助・共助支援画面は、一般住民が利用するため、レーダ雨量、排水区雨量、下水管路内水位、内水浸水想定区域等の自助・共助支援に必要な情報を視覚的に理解しやすい情報に加工し、リアルタイムに情報を提供できる機能を有するものとする。

なお、雨量の予報を行う場合には、気象業務法にもとづく予報業務許可が必要となるため留意が必要である。詳細については、§31を参照のこと。

①排水区雨量

対象排水区における過去から現在の観測雨量および将来の予測雨量をグラフ化等の時系列データにて表示する機能を有するものとする。

②下水管路内水位

水位計設置箇所（浸水常襲地区）における過去から現在の観測水位および将来の予測水位をグラフ化等の時系列データにて表示する機能を有するものとする。画面表示例を図5-9に示す。

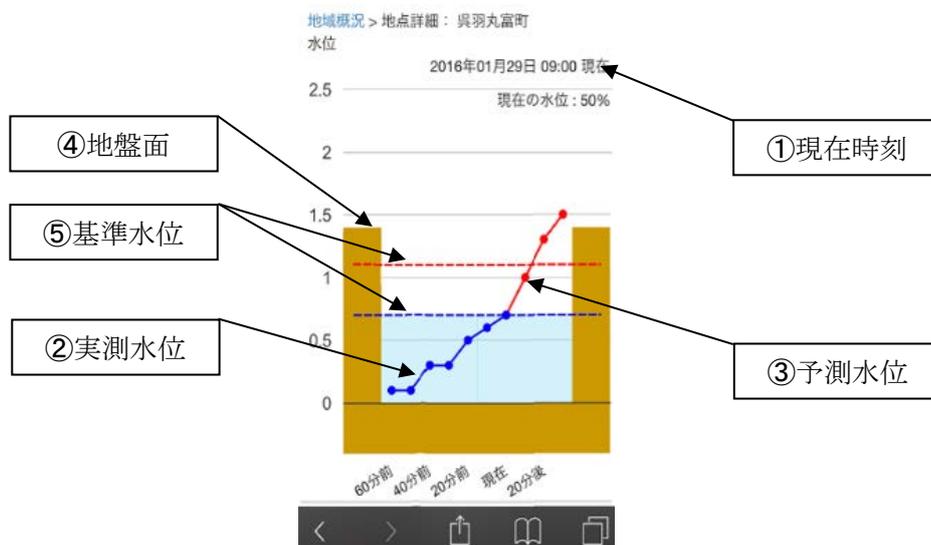


図 5-9 下水道管路内水位画面（例）

③内水による浸水予想図

対象排水区における内水による浸水予想図を浸水深毎に色分けしマップとして表示する機能を有するものとする。画面表示例を図 5-10 に示す。なお、住民等へ配信する際には、気象庁が大雨による浸水害のおそれがある場合に発表する「大雨警報（浸水害）」、「大雨注意報」および「大雨警報（浸水害）の危険度分布」と、区別可能な名称・表示となるよう留意する。

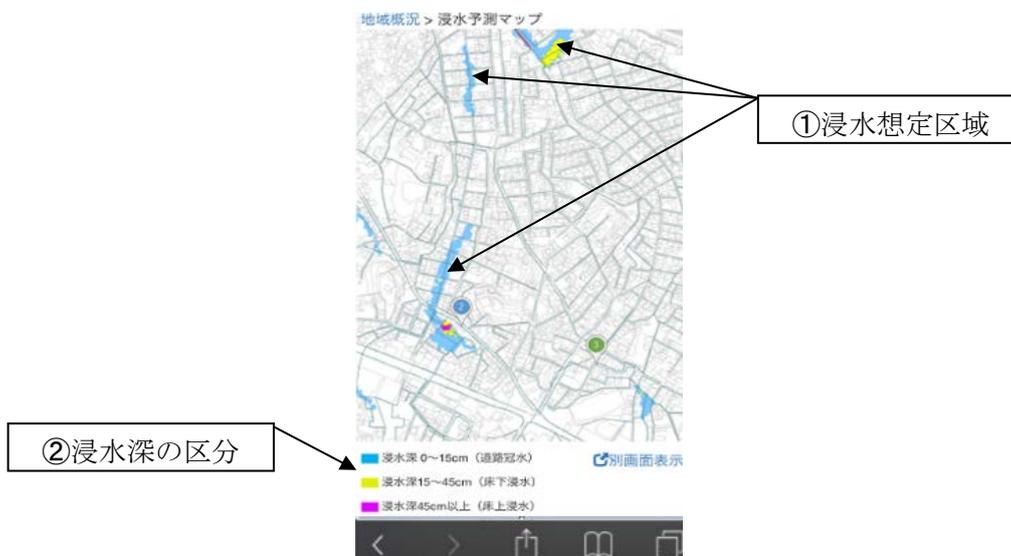


図 5-10 内水による浸水予想図画面（例）

④データ更新周期

データの更新周期については、観測値は計測技術の観測間隔、予測値は短時間降雨予測の間隔によるものとする。

(2) 情報配信環境設計

情報配信環境は、利用者がどのような方法でアクセスしてくるかを把握し、環境を設計する必要がある。Web ブラウザなど推奨環境を決定する。

考慮点は、サーバ負荷状況、通信回線検討のために利用者がどのような環境からアクセスするか、同時アクセス数、アクセス頻度等である。

通信環境は応答性への影響が大きいため、十分検討すること。

(3) その他

本要素技術の可用性、セキュリティ対策、応答性能、運用保守性など実運用していくうえで必要な要件を整理しておくことが望ましい。特にインターネットで情報公開を行う場合は、利用者だけでなく悪意を持った攻撃の対象にもなることから、セキュリティ対策は十分に検討する必要がある。

§ 29 情報通信技術

情報通信技術は、リアルタイムでの情報収集、配信ができるよう適切に設計を行う。

【解 説】

情報通信技術の設計においては、要求性能を発揮できるよう通信回線、機器等の選定、仕様を検討する。

(1) 要件整理

要素技術間の通信方法、情報配信技術への利用者のアクセス方法、データ収集方法や通信環境等を確認し、合わせてセキュリティ方針についても確認して要件を整理する。

(2) 通信環境設計

要件を満足できる通信サービス、アクセス回線、通信機器を選定し、設計を行う。

回線および通信サービスは、表 5-2 に示すとおり、通信速度、安定性、確実性を考慮し選定する。

通信機器は機能やスループットだけではなく、通信制御機能やセキュリティ機能による処理遅延等を考慮し、要求を満たす機器を選定する。また、下水処理場など特殊な設置環境である場合は、その環境に耐えうる機器を選定することも考慮する。

なお、参考値ではあるが、本実証で用いた通信速度は 100Mbps である。

表 5-2 情報通信技術の仕様に関する確認項目

| 分類 | 項目 | 確認内容 |
|------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 情報伝達技術として確認すべき項目 | 通信速度 | 本技術で取り扱う情報量に対応した速度が確保できるか。本技術で扱う情報量に比べて、通信速度が不足した場合、情報の遅滞が発生する可能性があるため、大量の情報を取り扱う場合は特に注意が必要。 |
| | 安定性 | 本技術で必要な通信速度を常時確保できるか。 |
| | 確実性 | 災害時においても、できるだけ通信の制約(通信の遮断等)を受けず、通信を確保できるか。 |