

避難行動を支援するための洪水氾濫予測システムの設計と構築

Architecture of real-time flood forecasting system due to evacuation activity and flood fighting

坂井広正*, 深草新*, 原田翔太*, 田中耕司*, 井辻英雄*, 酒井伸一**

Hiromasa sakai , Shin Fukakusa , Syouta Harada , Kohji Tanaka , Hideo Itsuji , Shinichi Sakai

*工修, (株) 建設技術研究所大阪本社 (〒541-0045 大阪市中央区道修町1丁目6-7)

**国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所調査第一課 (〒918-8015 福井市花堂南2-14-7)

Real-time flood flow forecasting system is developed due to supporting evacuation , flood fighting, flood prevent activities during flood event. In this paper, issues of architecture and structure of Real-time flood flow forecasting system is described. This system gives much effective information in inundation area for residents. We architected user-interfaces for residents and municipal officers, which is integrated with WEB GIS. Flood flow in inundation area is automatically computed in this system.

Key Words: WEB GIS, Real-time flood flow forecasting system, evacuation route

キーワード: 地理情報システム, 洪水氾濫予測システム, 避難経路探索

1. はじめに

近年, ゲリラ豪雨や計画規模を超過した降雨等による浸水被害が発生している。これらの洪水にも対応できるように, Xバンドレーダの活用や分布型洪水予測システムの導入による洪水予測機能の高度化が図られている¹⁾。また, 国土交通省では, 全国的にリアルタイム氾濫予測システム構築²⁾³⁾が推進され, 浸水被害対策への対応が進んでいる。

一方, 全ての洪水をハード対策で防ぐことは現実的に不可能である。また, ハード対策は効果を発揮するまでに時間を要するため, 施設が完成するまでには, 浸水被害等が発生する可能性も考えられる。そのため, 洪水による浸水被害は発生することを前提に, 地域と行政が一体となって, 人民の命を守る取り組みや, 浸水被害を軽減する取り組み, 避難計画の立案も各地で進められ始めている。しかし, これらの減災対策を実施する際の課題としては, 実際の氾濫現象を把握した避難経路の検索や避難行動の実施は困難であることが挙げられる。

また, 実際の洪水氾濫では, 大河川からの越水・破堤氾濫が生じる前に, 下水道の排水不良や中小河川からの浸水被害が発生している場合が多いと想定される。

そのため, このような氾濫特性の把握や災害時における避難行動支援を目的として, 以下の点に留意して, シ

ステムの全体設計を実施し, システム開発を行った。

- ① 内水氾濫, 破堤氾濫も含めた浸水被害予測システム
- ② 住民への洪水氾濫情報の提供システム

2. 氾濫予測システム設計の視点

2.1 システムの考え方

今回構築するシステムの目的は, 流域に対する浸水状況を予測し, 行政の防災業務支援や住民の迅速な避難誘導への活用, 災害復旧支援等に活用できる情報を提供することである。

それを支援するためのシステムとしての構築方針は以下のとおりである。

- ・ リアルタイムでの迅速かつ精度のよいモデル構築
- ・ 操作性に配慮したユーザインターフェース
- ・ 誰でもが閲覧可能となるシステム構築 (WEBブラウザによる閲覧)

2.2 氾濫モデルの適用

今回のシステムでは, 内水氾濫も含めて, 市街部の複雑な街区や道路網を表現できるモデル構築が必要である。これまでの浸水想定区域図や治水経済調査等で用いられる氾濫モデルは, 一般に直交座標系 (デカルト座標系) によるメッシュ分割により作成されている。直交座標系

で、市街地における複雑な街区や道路網を流下する氾濫現象を表現するためには、メッシュを非常に詳細に分割する必要があるが、メッシュサイズが細くなると計算時間が膨大となる。ここで、リアルタイムでの演算のためには、計算時間にも留意する必要がある。そのために、本システムにおいては、地形形状に応じて、メッシュ分割やサイズを変更できる「非構造格子モデル」⁴⁾を採用するものとした。

2.3 洪水予報業務における支援

洪水予報業務は、気象庁と河川管理者（国土交通省または都道府県）が対象河川の水位や降雨状況等を判断し、洪水注意報や洪水警報を発令し、洪水の発生の恐れや氾濫の危険性を市町村や住民に周知するために行っている。

洪水予報業務支援として、洪水予報指定河川においては、洪水予測システムが運用されているが、これらのシステムは、水位予測地点の河道水位を予測するシステムとなっている。

本システムを導入することで、氾濫の危険性が高まった場合に、氾濫現象の予測結果を確認することができ、浸水の恐れが高い地域や施設など、きめ細やかな情報提供も可能となる。

2.4 避難行動の支援

浸水被害が発生するような場合には、住民の安全かつ迅速な避難誘導が重要である。そのためには、自宅や職場の浸水状況、避難先の浸水状況、安全な避難ルートといった情報が必要である。これらの情報を把握するために、以下の支援機能を構築することとした。

(1) 地図上での浸水状況の表示機能

地図上で氾濫状況を確認することは重要であり、「①浸水深」、「②流向・流速」、「③洪水到達時間」、「④歩行危険度」の情報を地図と重ねて表示できるようにした。

ここで、「③洪水到達時間」は計算開始から当該メッシュが浸水し始めた時間を表示している。また、「④歩行危険度」は、単位幅比力による指標⁵⁾で0.125m²を超える場合に危険と判定している。

$$\text{単位幅比力} = \frac{u^2 h}{g} + \frac{h^2}{2} \quad (1)$$

ここで、 u : 流速 (m/s)、 h : 水深 (m)、 g : 重力加速度 (m/s²) である。

(2) 表形式による浸水状況の表示機能

浸水被害が多数の地域で発生している場合や、広範囲に及んでいる場合には、システムで確認するには時間を要する。そこで、解析結果をもとに浸水被害が発生する地区、避難所等の重要な施設に関して、表形式で確認できる機能を構築した。

(3) グラフ形式による浸水状況の表示機能

避難情報としては、平面的な浸水状況の拡がりに合わせて、対象地点の浸水状況を把握することも重要である

と考えられる。したがって、地図上で選択した施設や地点の浸水状況や任意横断面における浸水予測状況をグラフ表示できる機能を構築した。

(4) 避難ルート検索機能

安全な避難ルートや資材運搬路の検索を目的として、Dijkstra's Algorithm により、地図上で指定した2点間の最短ルートを検索する機能を構築した。

3 システムの設計

3.1 モデル構築

本システムのモデル構築にあたっては、平成18年度に実施された九頭竜川治水経済調査時のデータを参考に、堤内地の状況や対象とする支川の流入状況等を考慮して、対象氾濫原を設定した。

モデル構築にあたっては、氾濫現象の再現と計算時間の制約の両方の観点を踏まえ、福井市街部に関しては、50m程度のメッシュサイズ、その他の地域に関しては、100m程度のメッシュサイズとしてモデル化した。また、道路を伝搬する氾濫流を捉えるために、福井市街部に位置する幅員6m以上の主要道路（国道、県道、市道）に関しては、非構造格子としてモデルとした。なお、総メッシュ数は41,630である。

また、中小河川における内水浸水を表現するために、九頭竜川本川に流入する主要な内水河川（11河川）をモデル化した。支川モデルは、堤内地メッシュ境界部に設定し、川幅及び河積見合いの矩形で近似し、対応するメッシュの地盤高相当で河岸高を設定した。河道内の水位が河岸高を越えた場合には、その河道が存在する解析メッシュに越流するモデルである。支川モデル自体には上流端に内水流域からの流出量を与え、一次元不定流解析により河道内の水位や溢水量を算定した。

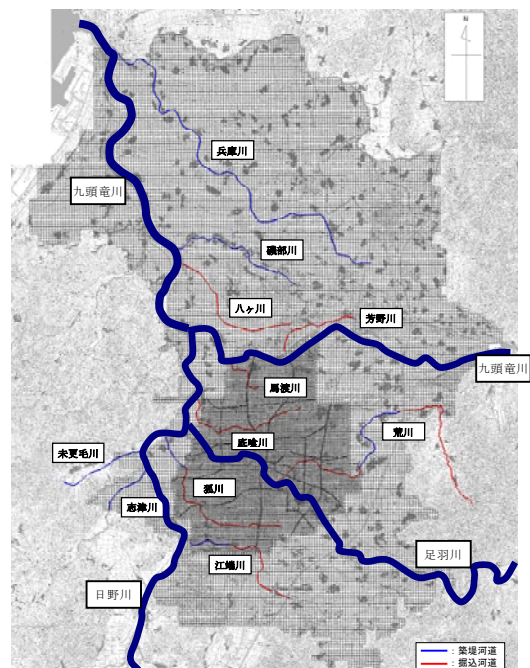


図-1 メッシュ分割図と内水河川位置図

3.2 関連システムとの連携

リアルタイム氾濫予測システムが稼動するためには、実績の観測データや予測降雨データの取得が必要となる。これらのデータに関しては、統一河川情報システムや洪水予測システムからのオンライン取得が可能となっている。

本システムにおいては、これらの関連システムから入手可能な情報をリアルタイムに取得して、演算を実施するシステムとした。

3.3 システム全体構成

本システムは、表-1 に示す5つの機能を有するサブシステムから構成し、これらを組み合わせて、全体システムを構築した。

表-1 サブシステム一覧

| サブシステム | 主な機能 |
|------------|---|
| 外部通信処理システム | <ul style="list-style-type: none"> データ収集機能 データ登録機能 |
| 計算実行システム | <ul style="list-style-type: none"> ●解析部 <ul style="list-style-type: none"> 河道水位予測計算 はん濫予測計算 ●処理部 <ul style="list-style-type: none"> 自動計算機能 |
| 情報提供システム | <ul style="list-style-type: none"> 計算結果表示機能（最大・時系列） 浸水状況表示機能（地区、避難所等） 道路冠水状況表示機能 避難経路・運搬経路の検索 |
| 計算条件編集システム | <ul style="list-style-type: none"> 解析条件設定機能 手動計算条件設定機能 手動計算実行機能 |
| データベース | 実績・予測水文データ、計算結果データ等を保存、管理する |

4. システムの開発

4.1 外部通信処理システムの開発

外部通信処理システムは、図-2 に示すように氾濫計算に必要な水位、雨量データを関連システム（統一河川情報システム、洪水予測システム）から取得し、データベースに格納するサブシステムである。

本システムでは、表-2 に示すデータを取得した。

表-2 関連システムより取得するデータ

| 関連システム | 取得データ |
|------------|--|
| 統一河川情報システム | <ul style="list-style-type: none"> テレメータ実績水位、雨量 実績レーダ雨量 予測レーダ雨量 |
| 洪水予測システム | <ul style="list-style-type: none"> 上流端予測流量 |

4.2 計算実行システムの開発

(1) 計算実行間隔の考え方

近年導入されている洪水予測システムは、10分に1回の予測演算が可能となってきている。また、統一河川情報システムから配信される実績観測データも10分に1回配信されている。予測レーダ雨量に関しては、1時間先までの予測値の配信は10分毎、6時間先までの予測値は1時間毎の配信となっている。これらのデータを利用するとリアルタイム氾濫予測も10分に1回の予測が可能である。

一方、防災業務の中で、氾濫予測結果から、浸水状況を確認し、避難情報発令や水防活動の体制を決定するには、30分～1時間程度の時間が掛かると推定された。九頭竜川の洪水予測システムは、現時点で1時間に1回の

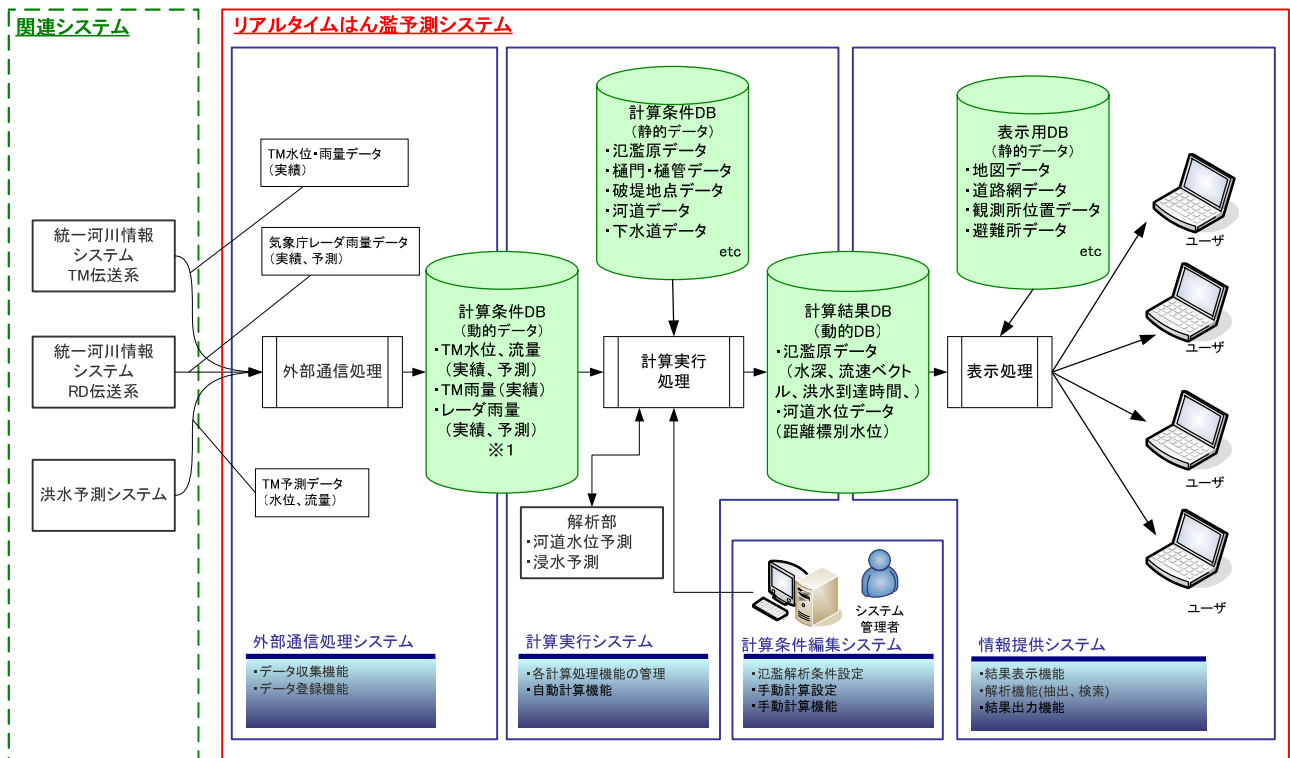


図-2 システム全体構成図

演算であるため、リアルタイム氾濫予測システムは、1時間に1回の演算間隔とした。

(2)破堤条件の考え方

実際の氾濫現象としては、まず、内水氾濫が生じ、中小河川の氾濫、大河川の溢水・破堤氾濫へと浸水被害が拡大することが推測される。破堤氾濫自体は、築堤区間においてはどこでも起こり得る可能性があり、破堤地点、破堤開始水位や破堤幅、破堤の進行状況などの不確定要素が多く、破堤条件を確定することは困難である。

一方で、破堤氾濫が発生した場合の氾濫域の把握も重要であり、破堤氾濫に関しては、手動計算により任意条件を入力して計算を実施する場合と初期条件を固定して自動で計算させる以下の2通りの計算を実行するシステム機能を組み込んだ。

- ① 内水氾濫と溢水氾濫のみを考慮するケース
- ② ①に破堤氾濫(破堤条件を満たした地点は同時破堤とする)も考慮したケース

なお、手動計算は、①の内水氾濫と溢水氾濫の計算結果を利用して、ユーザが破堤地点や破堤条件を任意に設定して、計算を実行するシステムとした。

(3)タイムスケジュール

リアルタイム氾濫予測システムのタイムスケジュールは、図-3に示す通りである。

氾濫モデルによる氾濫計算実行時間は約10分である。さらに、データの取得、氾濫計算結果のデータベースへの登録、情報提供システムで表示するためのデータ作成に要する時間は約20分である。これにより、データ取得から計算結果を表示するまでの一連の処理に要する時間は約30分である。

4.3 情報提供システムの開発

(1)表示システム全体機能

防災業務では、職員の誰もが同一の情報を閲覧でき、情報を共有できることが、意思決定や行動の迅速化に重要である。

そのため、情報提供システムは、WEBシステムとして開発し、予測結果に関してはLAN上のPCから、WEBブラウザ(インターネットエクスプローラ)で閲覧できるシステムとした。

次頁の図-4には、開発したシステムの画面遷移図を示す。

(2)避難行動を支援する機能

本システムでは、特に避難等への支援を目的として以下の機能を開発した。

1)リアルタイムの浸水危険性を通知する機能

すべての画面上部には、浸水被害が予測される地区および、破堤、越水被害が生じる地点があると想定される場合に注意喚起を呼びかける機能を開発した。

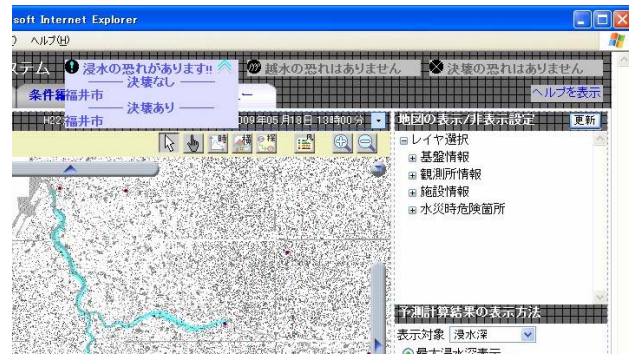


図-5 リアルタイムの浸水危険性を通知する機能

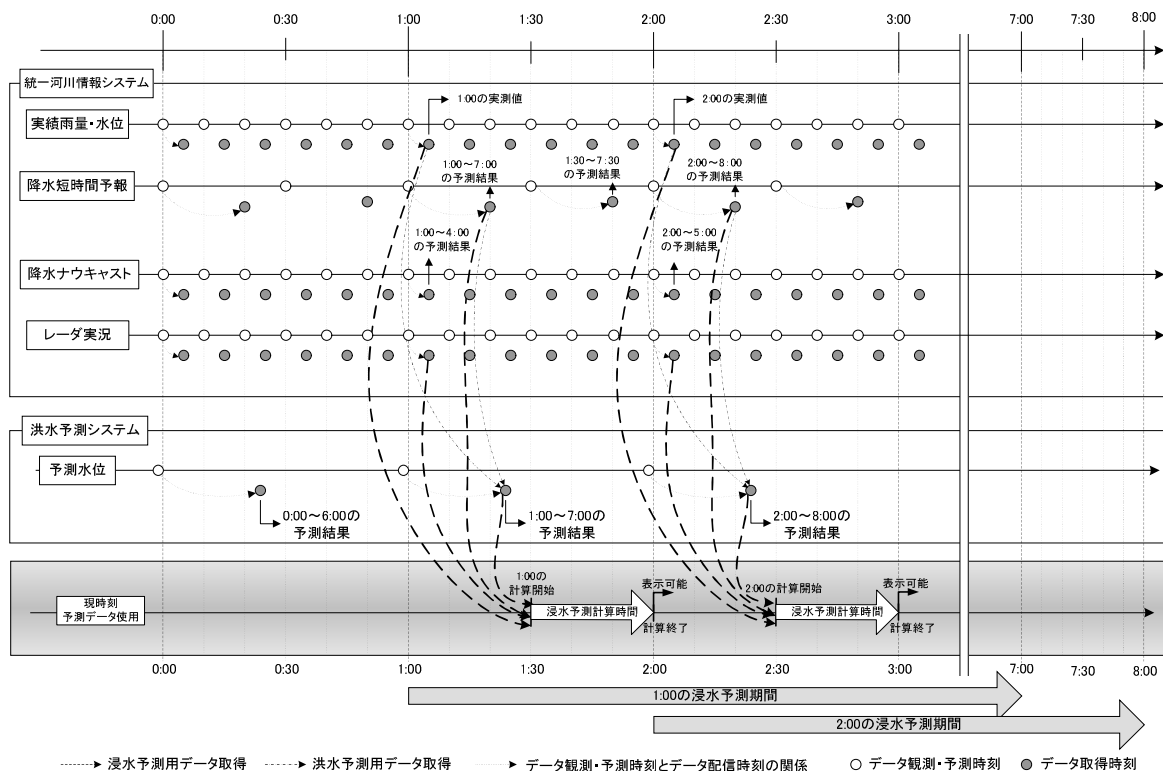


図-3 計算実行タイムスケジュール

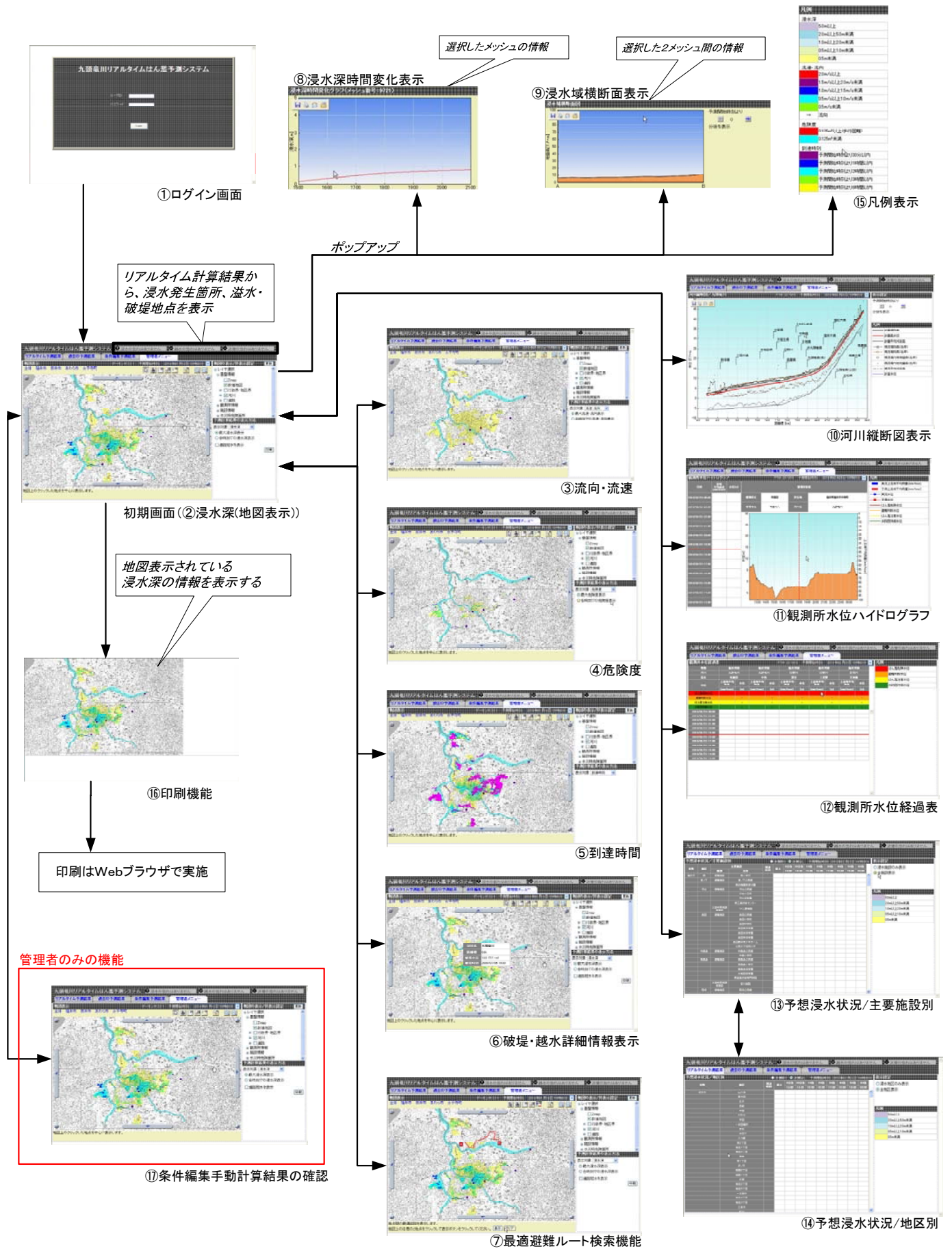


図-4 情報提供システム画面遷移図

2)地図上における表示機能

地図上では、地形図や主要施設、道路網と計算結果を重ね合わせて表示できる機能とした(図-4 ②～⑤)。溢水や破堤が想定されるその地点は、その詳細情報をポップアップにより確認できるようにした(図-4 ⑥)。また、避難ルート検索は、地図上から始点と終点を選択し、検索結果は、浸水深図や背景地図と比較して確認ができるように配慮した(図-4 ⑦)。

3)グラフ形式による表示機能

グラフ形式では、選択した地点の浸水状況(図-4 ⑧)や、堤内地間の横断的な浸水状況(図-4 ⑨)、河道水位の計算状況(図-4 ⑩)および水位予測観測所の予測結果を確認できる画面を開発した(図-4 ⑪)。

4)表形式による表示機能

浸水の恐れがある地区や地域を容易に把握することを目的として、地区や避難所や主要施設で浸水の恐れがある箇所を抽出して、表形式で表示できる機能を開発した。(図-4 ⑫, ⑬)。また、水位観測所のデータは表形式でも確認できるようにした(図-4 ⑭)。

4.4 条件編集システムの開発

本システムでは、手動計算や計算条件で使用するデータのメンテナンス用のサブシステムとして条件編集システムを開発した。

(1)手動計算機能

手動計算機能としては、リアルタイム計算を補完する機能として、①破堤条件を任意に入力して計算する機能、②境界条件を任意に設定して計算する機能を構築した。

1)破堤条件を任意に入力して計算する機能

破堤条件を一義的に確定する事は困難である。そのため、溢水氾濫と内水氾濫の氾濫計算結果をもとに、任意の破堤地点・破堤条件・破堤時刻を選択することで、再計算できる機能を開発した。

2)境界条件を任意に設定して計算する機能

外部通信処理システムの不具合で、リアルタイム演算に必要なデータが取得できない場合や防災演習等にも活用できる機能として、利用者が境界条件を手動入力することで演算可能となる機能も開発した。

(2)メンテナンス機能

システムを導入した場合には、メンテナンスが簡単に実行できるかが、継続的にシステムが利用されるためには重要であると考えられる。

本システムにおいては、氾濫計算に必要なメッシュデータ諸元等に関しては、ファイル管理することとし、頻繁に変更すると考えられる破堤条件(堤防天端高、破堤開始水位、破堤幅、破堤後敷高)は、簡単に変更できるようにするとともに、外部ファイルからの取り込みも可能とした。

5.終わりに

リアルタイム氾濫予測システムは、WEBGISを基本として構築した。そのため、LAN上のPCから、誰もが、氾濫解析結果や危険情報を閲覧することが可能であり、浸水危険情報や被害情報の共有化も可能なシステムとなっている。

一方で、開発したシステムに関しては、まだ、以下の点での課題が残っている。

(1)情報提供のあり方

今回開発したシステムは、将来的な情報配信を見据えているが、現状では、国土交通省内での閲覧に留まっている。これらの情報を地方自治体や防災関係機関、地域住民へ配信することは防災活動や、避難行動、災害復旧支援効果などが期待できる。その一方で、配信されるデータによっては、地域が大混乱に陥ることも想定されるため、結果の公表方法に関しては、今後検討が必要である。

(2)モデルの精度検証

システム導入後に、内水氾濫も含めて浸水実績やその時点の実績・予測データを蓄積したうえで、今後の精度検証が必要である。

(3)実運用を踏まえた操作性等の改良点の整理

本システムは、新規で構築されたシステムであるため、計算結果の表示や操作性、防災業務等の実運用での利用状況、ユーザインターフェースの問題点を踏まえた改良が必要と考える。

参考文献

- 1) 中小河川における局地的豪雨対策WG報告書：国土交通省，2009.1
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tyusyokasen_gouuWG/index.html
- 2) 平川了治，館健一郎，武富一秀，安田浩保，金木誠，飯田進史，五十嵐孝浩，谷岡康：リアルタイム氾濫解析システムの構築とその活用の方向性について，河川技術論文集，第9巻，2003.
- 3) リアルタイム浸水予測シミュレーションの手引き(案)，国土交通省河川局，2005.
- 4) 川池健司：都市域における氾濫解析法とその耐水性評価への応用に関する研究，2001.11
- 5) 大西良純，石垣泰輔，馬場康之，戸田圭一：地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用，水工学論文集，第52巻，2008年2月

(2010年8月6日受付)