

リアルタイム浸水情報提供システムの構築と運用 —信濃川下流域低平内水地域を対象として—

Construction and operation of the real-time inner water inundation information system
— for the lowlying inner water area of the Shinano river down-stream region —

藤田士郎¹・宮崎誠²・谷岡康²・飯田進史²・島田立季²・五十嵐孝浩³・山本智昭³

Shirou FUJITA, Makoto MIYAZAKI, Yasushi TANIOKA, Shinji IIDA, Tatsuki SHIMADA,
Takahiro IGARASHI, Tomoaki YAMAMOTO

¹国土交通省 北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所 調査設計課 (〒951-8153 新潟市文京町14-13)

²正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 水工事業本部 河川部 (〒163-0730 新宿区西新宿2-7-1)

³正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 水工事業本部 流域計画部 (〒163-0730 新宿区西新宿2-7-1)

Once excess rain occurs in a catchment, it becomes important for the related agencies to share and distribute inundation information in order to minimize first- and second-stage damage. This paper describes the scientific and practical subject and solution in building and equipping the real-time inner water inundation information system for the forced drainage district of the Shinano river down-stream region (Niigata-shi, Kameda-cho, and Yokogoshi-cho) which suffered large-scale inner water inundation damage from the heavy rain on August 4, 1998.

Comparing the model result with the disaster track record of the heavy rain on August 4, 1998, it turned out that a real-time analysis is effective to grasp the circumstances of the inner water occurrence.

As for the system, the outstanding user interface for information perusal, which can respond to a future increase in users and input-and-output data and expansion of the catchment in question and purpose of use, has already been built.

Key Words : *Pumping drainage area, River and inner water combined flood analysis model, Real-time inundation information provision, System user interface, Disaster prevention crisis management*

1. はじめに

今日、日本の大都市部では例外なく下水道管路網の整備が進み、それら管路網によって集水された雨水が自然排水方式あるいはポンプ排水方式によって、都市内を流れる河川あるいは海へと排水される人工的な雨水排水システムが構築されている。

このような状況の中、近年大都市部において河川ならびに下水道の整備水準を越えるような集中豪雨が多発し、都市中小河川の外水氾濫、下水道が整備された密集市街地における内水氾濫が大きな問題となっている。

上記のようなことを踏まえて、大都市部における内外水の複合氾濫現象を解析し、解析結果をリアルタイムで提供することは河川および下水道管理者等の防災危機管理、そして都市部の住民の安全な生活のために、もはや必要不可欠なものとなってきている。

ところで「都市域における浸水情報提供システム」といったものを考えるとき、通常「下水道整備区域の氾濫

解析モデルの構築」といった点に主眼が置かれがちになるが、日本各地の大都市の地域特性を見るとき、いわゆる下水道が整備された都市中枢部に隣接して広大な水田や畑地、場合によっては荒地等が存在していることも非常に多い。

このような場合、これらの地域からの流出・氾濫現象が都市中枢部におけるそれに大きな影響を与えるため、それら地域全体の流出・氾濫メカニズムを明らかにした上で一体的に解析しなければ、実質的な「浸水情報提供システム」の構築・運用はできないことになる。

またシステム運用の目的が関係機関の防災危機管理活動および住民の安全の確保であることを思えば、システムの管理者にとっては管理上の負担が少なく、情報を授受する者にとってはわかりやすく扱いやすいインターフェースを有している必要があり、具体的には、解析の開始・終了の取り扱い、解析結果の配信の間隔、専門知識のない者にとって視認・理解しやすい画面、今後の入出力データの増加、解析対象地域の拡充等に逐次対応で

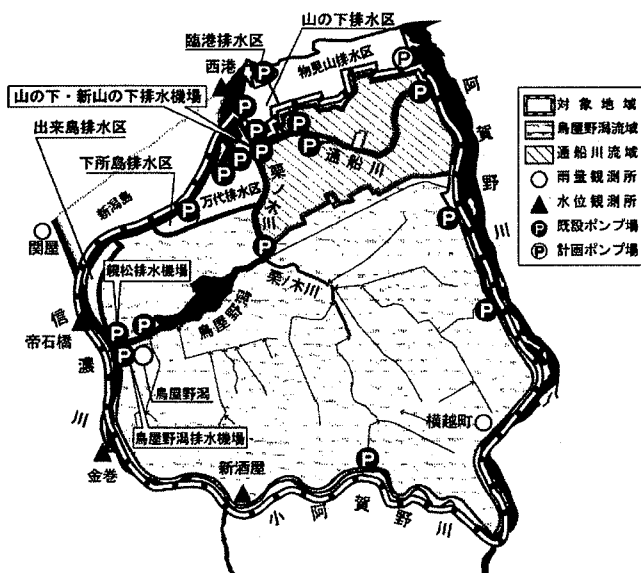


図-1 システム構築の対象地域

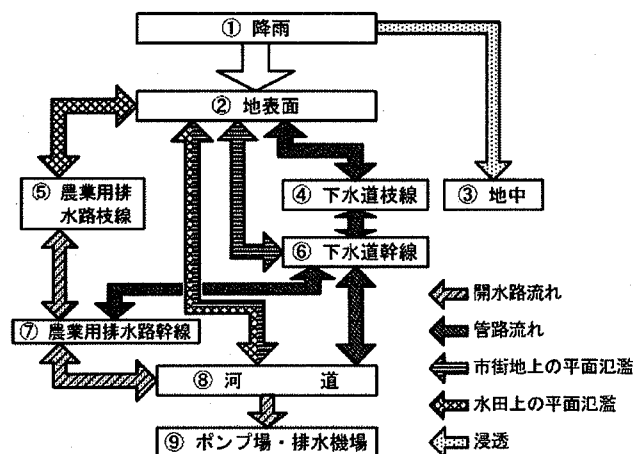


図-2 対象流域の流出・氾濫過程

きるシステム構成等、実質的なシステムの運用のためには実に多くの実務的課題もある。

以上のことを踏まえて、本報告では、信濃川下流域の低平ポンプ排水地域を対象としたリアルタイム浸水情報提供システムの構築・実装を行った際の技術的課題とそれに対する解決策について述べる。

2. 対象地域の概要と流出・氾濫過程のモデル化

今回、浸水情報提供システム構築の対象地域としたのは、図-2に示すような信濃川下流域の通船川流域、鳥屋野潟流域を中心とする面積約120 km²の低平地域である。平成10年8月4日には、この地域を時間最大97mm、日雨量265mm(いずれも新潟気象台観測)の豪雨、いわゆる「新潟豪雨」が襲い、浸水戸数約6900棟(通船川、鳥屋野潟流域)という大水害となった。

同図からわかるように、当該地域は大規模な河川・農林の排水機場、および多数の下水道雨水ポンプ場によって地域内の雨水を排水する強制排水地域であり、信濃川、阿賀野川本川の外水氾濫のみならず、通船川、栗ノ木川等の中小河川の外水氾濫、そして地域内の内水氾濫の危険に常に晒されている。鳥屋野潟を挟んで大きく北側が市街地、南側が広大な水田地帯となっており、鳥屋野潟・親公両排水機場はこの水田地帯から排水される雨水を信濃川本川へ排水する役目を担っている。

また水田地帯の雨水を集水する栗ノ木川、鳥屋野潟の水位は、それらに隣接する市街地の雨水排水にも密接に関係しており、当該地域の流出・氾濫現象を考える場合、北側の市街地、南側の水田地帯を一体的に取り扱う必要がある。

以上のことを踏まえて対象地域の流出・氾濫過程を整理しモデル化すると図-2のようになる。

3. 内外水氾濫解析モデルの構築

前述のとおり、今回の対象地域の地域特性を考えると、市街地とともに広大な水田地域の流出・氾濫現象を一体的に解析することが必要不可欠であり、より具体的に言うところリアルタイムの浸水情報という観点から、モデルは少なくとも次の要件を満たす必要がある。

- ① 対象地域の流出・氾濫現象を再現できる
- ② 解析結果のオンライン提供に適する(①の要件を満たす範囲内で計算時間を短縮する)

(1) 降雨および土地利用に応じた土壌浸透能等の与え方

図-2中の①降雨については、リアルタイム解析を行う上で降雨の時空間分布を滑らかに再現することが重要であるため、後述の3雨量観測所地点雨量をもとに1kmメッシュの雨量分布を変分法で与えている。

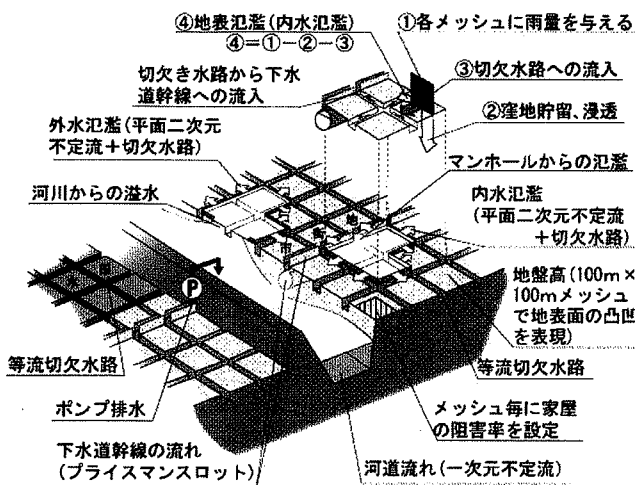
図-2中の③浸透は、窪地貯留・浸透能モデルとし、その標準値を図-4中の表のように与えている。

(2) 市街地のモデル化

市街地のモデル化に際しては、図- 2で示した流出・氾濫過程の現象②, ③, ④, ⑥, ⑧, ⑨についてその水理現象を再現できることが必要である。

本システムの構築にあたっては図- 3に示すようなモデルを構築した。

ここで特に下水道枝線管路流，地表面氾濫流に等流切欠き水路モデルを採用することにより，下水道枝線の雨水排水を擬似的に表現するとともに，地表面の浸水深の小さい内水氾濫が速く伝達する効果をも擬似的に表現することができ，前述の「新潟豪雨」の実績水理水文データを用いて検証を行った結果，等流切欠き水路の幅・深さの微調整により平面的な浸水状況を再現できたことも



各現象※1)	採用モデル
②	平面二次元不定流+等流切欠き水路モデル
③	窪地貯留・浸透能モデル
④	等流切欠き水路モデル
⑥	プライスマンスロットモデル
⑧	一次元不定流モデル
⑨	排水機場、ポンプ場の操作ルールモデル

※1) 各現象の番号は図-2で示す番号

図-3 市街地の内外水氾濫解析モデルイメージ図

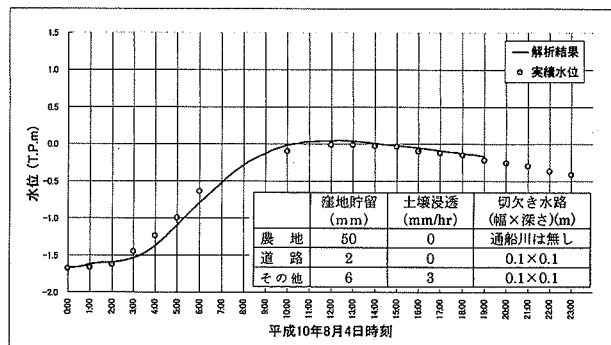


図-4 新潟豪雨における山ノ下・新山ノ下排水機場実績水位と計算結果との比較

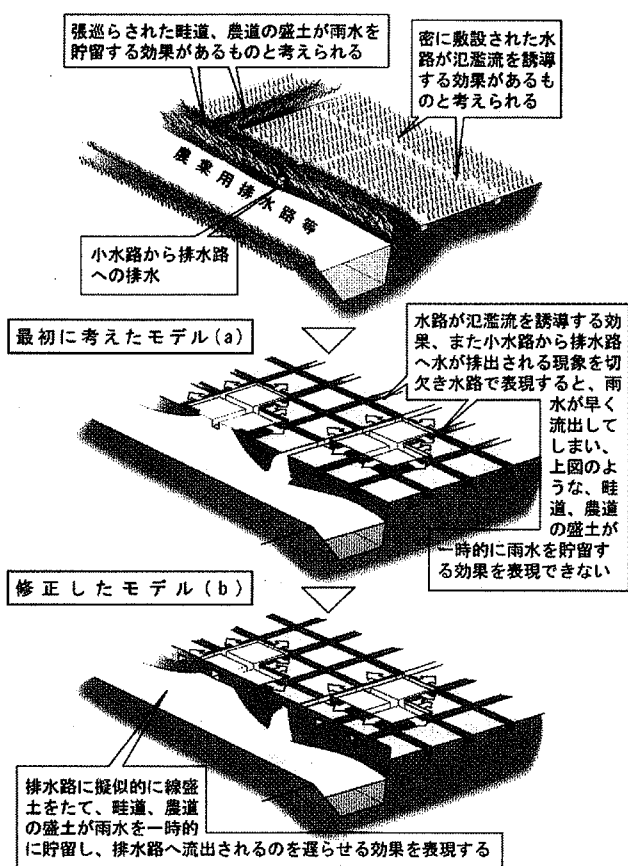
に、図-2で示した山ノ下・新山ノ下排水機場における実績水位とモデルによる計算値も図-4に示すように良好に一致する結果となった。

また同時に対象地域120 km²の3時間分の氾濫計算に要する時間も約10分と計算時間の大幅な短縮に成功した。

(3) 水田地域のモデル化

水田地域のモデル化に際しては、図-2で示した流出・氾濫過程の現象⑤、⑦、⑨についてその水理現象を再現することが必要である。

水田地域のモデル化にあたっては、当初図-5の(a)のようなモデルを構築した。水田地域にはかなりの雨水貯留効果があることが知られているが、水田面そのものが非常に水平であることから、それによる貯留効果が相当あるであろうと当初推測したからである。



各現象※1)	採用モデル
⑤	等流切欠き水路モデル
⑦	一次元不定流モデル
⑨	排水機場の操作ルールモデル

※1) 各現象の番号は図-2で示す番号

図-5 水田地域の内外水氾濫解析モデルイメージ図

しかしながら前述の「新潟豪雨」の実績水理水文データを用いて検証を行った結果、平面的な浸水状況はおおまか実績を再現できても、図-2で示した鳥屋野潟排水機場における実績水位とモデル(a)による計算値とは図-6のケースⅠに示すように大きく乖離する結果となった。

計算結果のピークを実績に合わせるために浸透能や切欠き水路の幅・深さを大きく変更すると、ケースⅡに示すようにピーク以後の洪水低減部が再現できなかった。

これは、図-5の水田イメージ図に示すように実際の水田には農道や畦道等が田面を囲むように張り巡らされており、これによって水田地域全体が貯水池のような役割を果たして雨水の流出を大きく遅らせる効果が生じているのに対し、モデル上ではこの効果が表現できなかったことが原因と考えられる。

そこで、図-5の(b)に示すように、水田地域の農道等に仮定の壁を立て、擬似的に雨水の流出を遅らせる効果を持たせたモデルを構築した結果、鳥屋野潟排水機場における実績水位とモデル(b)による計算値とは図-6のケースⅢに示すように良好に一致する結果となり、平面的な浸水状況もおおまか実績を再現することができた。

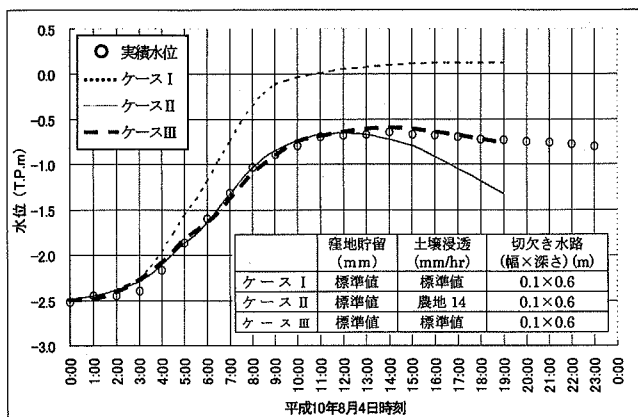


図- 6 新潟豪雨における鳥屋野潟実績水位と計算結果との比較

4. リアルタイム浸水情報提供システムの構築

(1) 入出力データの取り扱い

今回のシステム実装にあたって解析用の水文データとして取り込んだのは図- 1中の関屋、鳥屋野潟、横越町の3雨量観測所の雨量であり、これは「信濃川下流河川情報システム」に実装済の観測所である。解析に直接利用するのは主に10分雨量であるが、1時間、3時間、24時間雨量（正時雨量）についても、今後システムの高度化に伴って、各雨量を用いた解析中の判断事項等が増加することが予想されるため同時に取り込むものとした。

また同河川情報システムに実装されている図- 1中の信濃川本川の水位観測所である新酒屋、帝石橋、西港、金巻の4観測所の10分水位データも取り込んだ。これは近い将来、本システムが本川外水氾濫も含めた内外水複合水害へも対応可能となるよう配慮してのことである。

出力データとしては、浸水の時々刻々の変化を十分に追跡することができるように各メッシュ(100m)の10分浸水位と浸水深、ならびに各メッシュの雨量(10分、1時間、3時間、24時間)も気象状況の再確認のために出力できるようにした。また鳥屋野潟の10分水位、通船川、栗ノ木川の各断面での10分水位も出力できるようにし、将来的に浸水が生じていない洪水初期段階での潟や河道の水位を監視するシステムとしても拡張できるように配慮した。

なお入出力データの様式については、新潟市が管理する「防災気象情報システム」ならびに下水道ポンプ場に設置してある水位・雨量観測所等との将来的な連携に配慮した。

(2) リアルタイム解析の開始・終了の取り扱い

システムを現実運用していく際には、これまで述べてきたような発災時の解析上の問題に止まらず、平時のシステムの維持管理も問題となる。

解析計算を随時回したままにしておく常時起動は、将来的にはこれが可能なようにプログラムの高度化を図っ

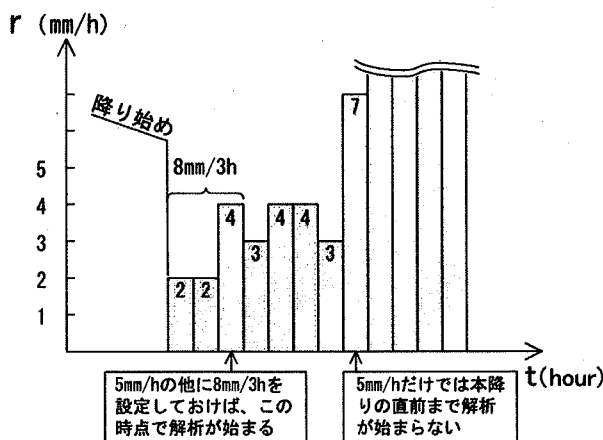


図- 7 1時間雨量、3時間雨量の補足と解析開始の関係

ていくにしても、現在の段階では解析が陽的計算で行われている関係上、計算誤差の蓄積や不安定解の発生等の可能性を否定できない。

よってシステムの維持管理責任も踏まえると、解析を行うべき出水を適切に捕捉して計算を開始し、一連の出水が終了した段階で停止するのが適切である。

以上のことから今回のシステム構築にあたっては、解析開始・終了の判断基準を設定することとした。

解析開始については、気象庁の気象予警報が1時間、3時間、24時間雨量をもとに発令されていることに着目し、対象地域において、“大雨”、“洪水”、“雷”の何れかの注意報が発令される降雨を原則捕捉して解析を開始させることにした。

平成15年出水期について上記の注意報発令と降雨状況を整理した結果、平成15年出水期において注意報が発令され、かつ実際に降雨があったのは32降雨であり、これらの降雨については1時間雨量4mmを解析開始雨量として設定すれば全降雨を捕捉できることがわかった。

これを踏まえて初年度のシステムの実装にあたっては1時間雨量4mmを解析開始雨量とした。しかしながら図- 7に示すように、判断基準として3時間雨量も合わせて設定した方が、1時間雨量単独を判断基準とするよりも降雨を早く捕捉できるケースもあるため、システムの今後の運用改善にも配慮して、3時間雨量の設定もできるようにした。

解析終了については、一定の無降雨状態が継続した場合に終了させることになるが、この時注意しなければならないのは、無降雨時間が短く一連の降雨として解析を続行しなければならないにもかかわらず、解析が終了してしまう場合があることである(図- 8参照)。

このようなことを避けるために、前述の32降雨について一連の降雨とみなせる期間内で、関屋、鳥屋野潟、横越町の3雨量観測所すべてが無降雨となる最大時間を整理した。整理の結果、最大時間は3時間であることがわかったため、解析終了の無降雨継続時間を4時間に設定した。

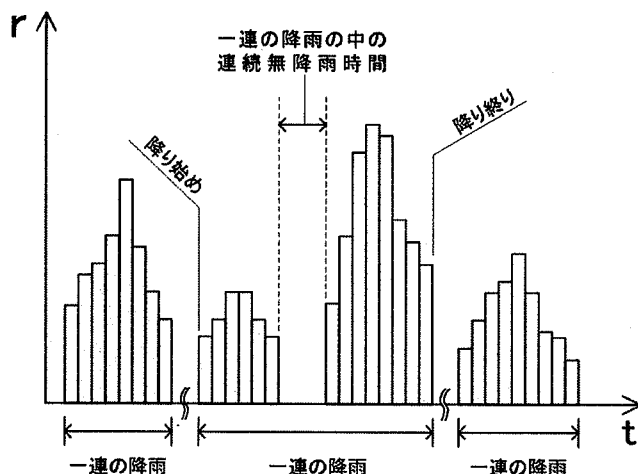


図-8 一連降雨の中の連続無降雨時間のイメージ図

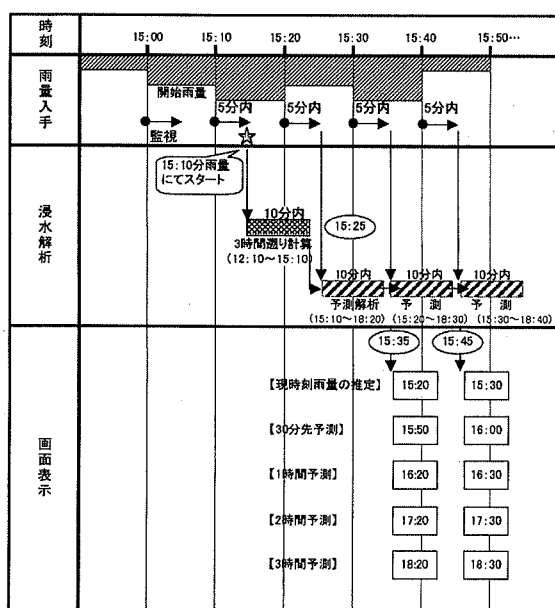


図-9 解析結果配信のサイクルタイムの考え方

(3) 配信サイクルタイムの設定

システムの実運用にあたっては、解析結果配信のサイクルタイムの設定が非常に重要である。単に解析モデルを構築し、過去の水理水文データを使用してその解析精度等を検証している段階では問題とならないが、現実には解析用の入力データを収集して解析プログラムへと渡すのに要する時間、解析結果が出るまでの時間、解析結果を配信するのに要する時間があり、これらと前述の解析開始のタイミングとが複雑に関係するからである。

今回は、前章で述べた対象地域の解析時間、および入力データの収集に要する時間、解析結果の配信に要する時間を踏まえて、配信のサイクルタイムを図-9に示すように設定した。

現段階では、前述のように計算開始の基準として1時間雨量、3時間雨量を設定しているので最大3時間の遡り計算があることと、入力データの収集時間、解析に要する時間を踏まえて配信は10分間隔となっている。

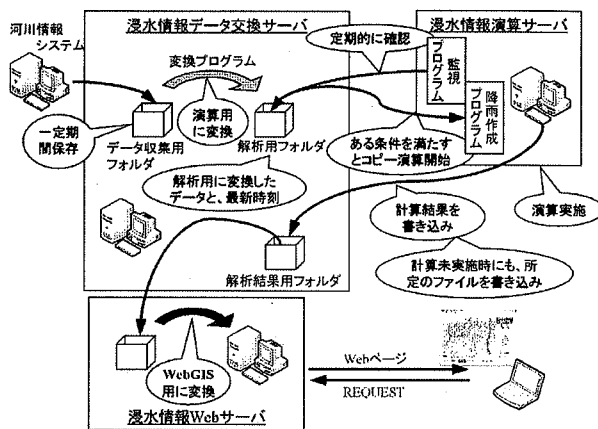


図-10 浸水情報提供システムの構成図

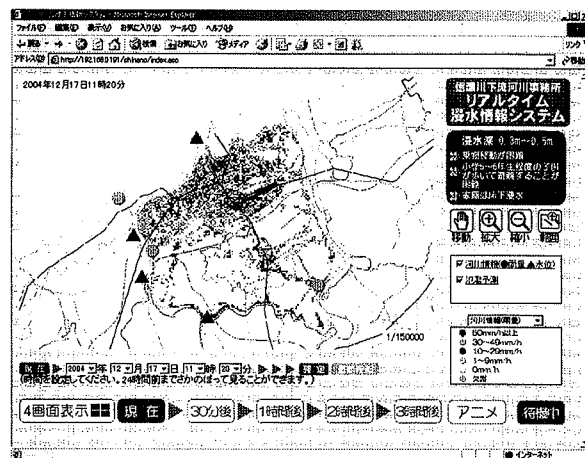


図-11 配信メイン画面(画面中の●が雨量観測所、▲が水位観測所)

(4) 浸水情報提供システムの構成

本システムの構成は、今後の解析用入力データすなわち水理水文観測所の増加、出水の解析結果のモニタリングによる解析プログラムの更なる高度化、配信コンテンツの増加等、実運用における維持管理の問題に対応できるように、図-10に示すように「浸水情報データ交換サーバ」、「浸水情報演算サーバ」、「浸水情報WEBサーバ」をそれぞれ独立させる構成とした。

(5) 浸水情報提供用インターフェース

本年度は事務所内ならびに新潟市への試行配信を行うが、浸水解析結果を配信する画面については、前述の出力データをもとに可能な限り豊富な情報を提供できるようにするとともに、それら情報の表示の切り替えを行うための操作ボタン等の配置に留意した。

図-11が配信のメイン画面であり、この状態で画面下段の「現在」、「30分後」、「1時間後」、「2時間後」、「3時間後」ボタンにより現在時刻の解析結果、30分後、1時間後、2時間後、3時間後の予測結果を表示できるようにしている。また画面右中断の「移動」、「拡大」、「縮小」、「範囲」ボタンにより、住宅一棟レベルでの浸水結果の拡大表示

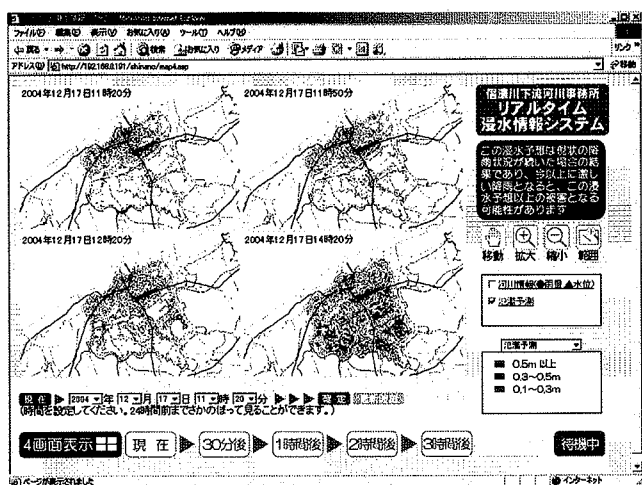


図- 12 配信メイン画面（4画面表示）

ができるようにしている。

画面右上段には今後の住民への配信にも配慮し、浸水深の説明を表示している（例えば、浸水深0.3～0.5mは、乗り物移動が困難な水深、小学5～6年生の子供が歩いて非難するのが困難な水深、住宅は床下浸水 等）。

また画面左下の「4画面表示」ボタンによって図- 12に示す4画面表示に切り替わり、現在時刻～3時間後までの解析結果を4画面で一挙に表示できるようにしている。

また紙面の関係上ここには記載していないが、対象地域内の水理水文観測リアルタイムデータについても各雨量・水位観測所のマークをクリックすると時刻とそのときの雨量、水位(将来的には河川流量)が表示されるようになっており、ハイエトグラフや水位ハイドログラフも表示される。管理用画面として各時刻のメッシュ雨量も表示できるようになっている。

5. システムを用いた水災シナリオの検討

信濃川や阿賀野川などの直轄河川の破堤氾濫予測情報を元にした洪水ハザードマップでは、囲を堤防に囲まれてお盆のような地形となっている今回の対象地域では一面が数メートルの浸水深となる。

「新潟豪雨」のような中小河川の外水氾濫及び地域の内水氾濫が発生した際の防止危機管理活動を的確に実施するためには、時々刻々と変化する浸水の分布や規模の状況をリアルタイムに把握し、さらには浸水予測の情報をも考慮した意思決定ができることが重要であり、本システムの意義はそこにある。

参考までに、今日まで浸水実績図により最大浸水域のみを把握していた「新潟豪雨」の時系列の浸水被害分布を再現することを試みた。「新潟豪雨」時の解析結果（浸水分布など）をシステムから出力し、ある時刻における被災状況（被害報告、写真など）、水防活動や交通規制などの対応状況、その時刻までの降雨量、鳥屋野潟

の水位、気象予警報・洪水予報・水防警報の発令状況、及び地下施設の入口など重要施設地点の浸水深変化など、本対象の水災状況を把握するために必要な情報を集約して浸水予測図に重ね合わせて経時的に整理した。その一部分を図- 13に示す。

図からわかるように、被害が発生したとされる時間帯に解析上も浸水が始まっており(0.3m以上)、また変電所冠水等の大規模被害発生時には、その周辺一体が浸水し、かつ浸水深が大きくなっていることなどが把握できる。

このように洪水時において本システムにより予測結果を取得し、どのような被害が発生する可能性がありそうか、こういった対応が必要となるのかなどをできるだけ早くイメージできるようにすることが今後の防災活動に必要不可欠となっている。

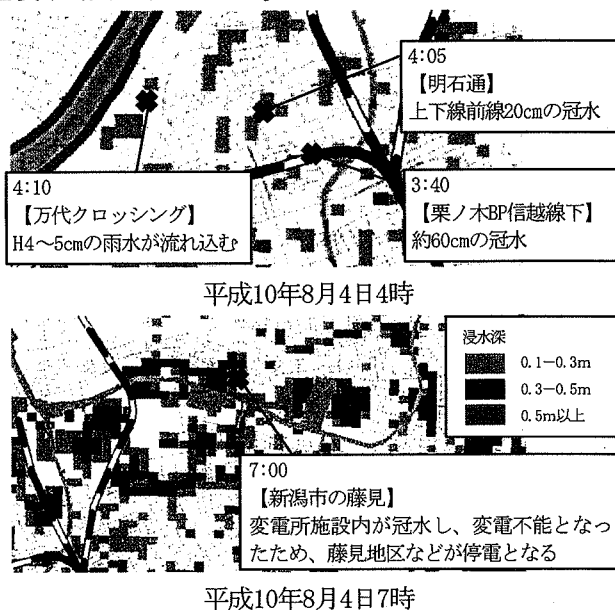


図- 13 「新潟豪雨」時の被害状況と浸水解析結果

6. おわりに

以上述べてきたように、信濃川下流域低平内水地域における浸水情報提供システムの構築・実装にあたっての様々な課題を解決した。本年度より事務所内ならびに新潟市への試行配信を開始する。

今後は水理水文観測所の追加や運用を通じた解析の検証・高精度化、配信コンテンツのさらなる充実、そして解析および配信の対象区域の拡大等を急ぐ必要がある。

参考文献

- 1) 舘健一郎, 武富一秀, 川本一喜, 金木誠, 平川了治, 飯田進史, 谷岡康: 内水を考慮した氾濫解析モデルの構築と検証—大垣市を対象として—, 河川技術論文集, 第8巻, 2002, 6
- 2) 平川了治, 舘健一郎, 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方向性について, 河川技術論文集, 第9巻, 2003, 6

(2005. 4. 7 受付)