

事前防災・減災対策としての加古川水系 氾濫予測システムの取り組みについて

関 正造

兵庫県 北播磨県民局 加東土木事務所 河川砂防課 (〒673-1431 兵庫県加東市社字西柿 1075-2)

兵庫県は、2009年8月台風第9号による千種川水系での甚大な浸水被害を契機に、市町の避難勧告等の発令が、よりの確となる情報提供が必要と考え、県下すべての管理河川で、氾濫予測システムの整備に取り組んでいる。これにより、本システムが、市町の地域防災計画に位置付けられ、市町が発令する避難勧告等の一助となることが目的である。

本論文では、加古川水系氾濫予測システムに取り組んだ結果、直面した課題、独自に提案した課題解決の方法およびその実施結果について、述べるとともに、今後の取り組み方針等について、見解を述べる。

キーワード 水位予測、避難勧告、分布型モデル、予測精度向上

1. はじめに

兵庫県は、これまで風水害に備えた事前防災・減災対策の一環で、河川水位・雨量のリアルタイムの観測情報やCGハザードマップおよび洪水予報等の情報を住民に提供しており、さらに、市町には水位予測情報をホームページ等を通じて提供し、避難勧告等の発令を支援してきた。

しかし、2009年8月の台風第9号では、千種川水系で急激に河川水位が上昇し、避難やその判断に時間的余裕の少ない上流域や支川で被害が多く発生した。そのため、県の台風第9号災害検証委員会からは、上流域における予測情報等を発信するなど、県から市町への情報提供の充実を求める提言があった。

その提言を受け、県としては、河川の上下流域に関わらず、市町の避難勧告等の発令が、よりの確となる情報提供が必要と考え、県下全684河川で氾濫予測システムの整備に取り組むこととした。

これにより、本システムが市町の地域防災計画に位置付けられ、市町が発令する避難勧告等の一助となることが整備の目的である。

以上を背景とし、2010年度から千種川水系をはじめ、県下すべての水系で氾濫予測システムの整備

に取り組んでいる。

本論文では、2011年度から現在まで、加古川水系における氾濫予測システムの構築およびモデルの精度に取り組んだ結果、直面した課題、私なりに考えた課題解決への提案、その実施結果および今後の取り組み方針等について述べる。

2. 氾濫予測システムの概要

(1) 氾濫予測システムの特徴

氾濫予測システムは、水系ごとの水位予測モデルを使用して、気象庁の降雨予測データを基に、数kmの区間ごとに3時間先までの水位を予測し、氾濫のおそれの有無をフェニックス防災システムで市町に配信するものである。

一連のプロセスは、まず、気象庁の実況降雨および予測降雨を降雨入力データに、流出解析（分布型モデル）で計算流量を算出する。

次に、観測流量を逐次フィードバックして補正を行い、H-Q式で予測水位を算定する。

その結果、評価地点の予測水位を横断図に表示するとともに、氾濫のおそれのある区間を平面的に表

示し、視認性を重視したことが氾濫予測システムの特徴である（図-1、2）。

なお、類似したもので2007年度に構築した水位予測システムがある。水位予測システムは、水位観測所の予測水位を横断面図に表示するだけのもので、氾濫予測システムの方が、対象とする水位データの評価地点数や表示方法が多岐にわたっている。

氾濫予測システムと水位予測システムの体系概念を示す（図-3）。前述のとおり、両システムとも予測水位を算出するまでのプロセスは同様であるが、出力内容が違っている。

(2) 加古川水系氾濫予測システムの特徴

「氾濫予測システム」という観点での加古川水系の特徴は、次の点が挙げられる。

① 県下で最も河川数が多く、総延長も長く、流域面積も大きい水系である

(河川数 130・総延長 778 km・流域面積 1,730 km²)

② 県下で最も多数の県民局・土木事務所・市町に流域が跨っている

(5 県民局・5 土木事務所・14 市町)

③ 下流は直轄区間であり、別途、国土交通省が洪水予測システムを構築している

以上より、解析の対象範囲や関係者間の調整範囲が県下最大であり、その他、国土交通省も別途、システムを構築していることが特徴といえる。

避難行動が遅れ、被災することが考えられる。

一方、実際には所定の水位に達していないにもかかわらず、予測水位の方が高いため、住民へ極端に早く避難を促してしまう場合も発生する。

そして、そのような事態が続けば、住民が避難勧告を次第に信用しなくなり、避難勧告が発令されても避難行動に転じずに被災する、最も重大な問題を引き起こすおそれもある。

氾濫予測システムは、あくまで解析で予測水位を算出している性質上、実現象と乖離するケースもあり、ある程度は“オオカミ少年”の要素も持ち合わ

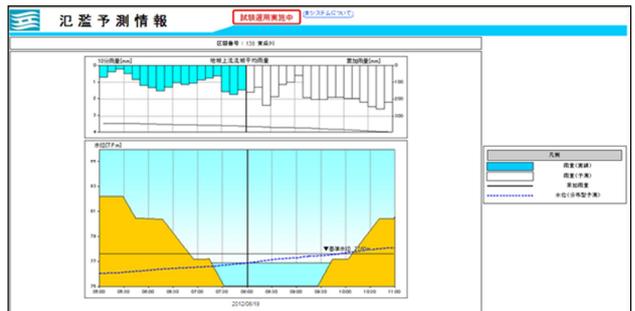


図-1 氾濫予測システム表示画面 (区間水位グラフおよび断面図)

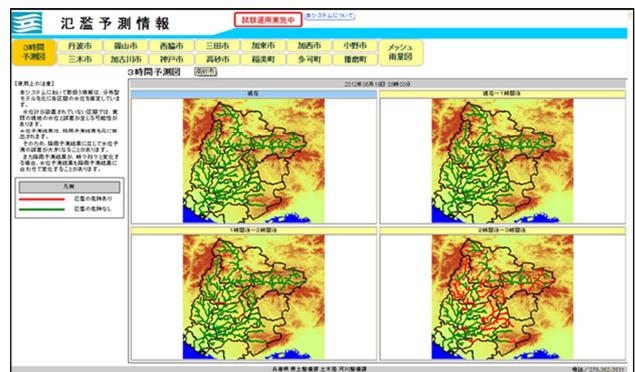


図-2 氾濫予測システム表示画面 (3時間予測図 (メイン画面))

3. システム運用上の課題および問題点

(1) 課題および問題点

これまで取り組んできた中で、システムで算定した予測水位が実測水位と合わない場合があり、システムの予測精度のレベルが重要課題となっている。

仮に、予測精度が低いレベルで市町が氾濫予測システムのみを避難勧告の判断材料とすると、実際には所定の水位に達しているにもかかわらず、予測水位の方が低いため、避難勧告の発令、については住民の

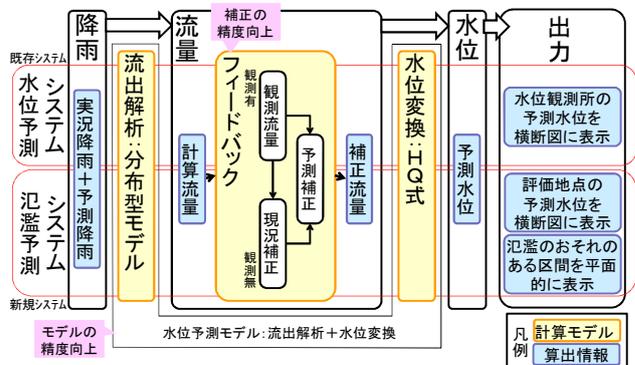


図-3 氾濫予測システムと水位予測システムの体系概念図

せたシステムであることを認識しながら運用しなければならない。

ただし、それも程度問題で、何より重要なポイントは予測精度の向上である。

そこで、精度向上を図る上で、より具体的な課題として以下の4点を挙げ、それぞれ課題解決に向けた取り組みを行った。

a) 河道形状データの精度

前述のとおり、加古川水系には130もの河川があるため、対象河川の中には、河道形状データがない河川もある。2011年度はシステム構築が命題だったため、河道形状データがない河川は、Googleマップから地形を推測し、想定矩形断面で河道形状および流下能力を評価した。

b) 直轄区間との連続性・一体性

加古川水系において、直轄区間は国土交通省が洪水予測システムを構築している。

しかし、国土交通省は貯留関数モデルを予測の本格運用に採用しているため、本県とは流出解析手法が異なり、本県のシステムとの連続性・一体性に課題が残る。当然のことながら、加古川水系は連続して存在するため、本格運用するには課題と考える。

なお、国土交通省は、貯留関数モデルとは別に、分布型モデルも保有している。

c) モデル定数の設定

分布型モデル定数として、土層厚、間隙率、粗度係数および透水係数等が挙げられるが、流出計算を行った際の実績値の再現性が高い定数を見出し、より適切な値に設定することが課題である。

とくに、避難勧告を発令する際は、洪水の立ち上がり部分が最も重要なポイントとなることから、その点にも着目する必要があると考える。

d) 精度向上のための検証期間

本システムは、洪水が発生した際の実測流量・水位とシステムによる解析値が合致しているかどうかでモデルの再現性を評価する。

しかし、システム構築に取り組んでから、まだ洪水の発生件数が少なく、再現性を判断するには不十分である。実際、解析値と実測値が合致しているケ

ースもあれば、乖離しているケースもある(図-4)。

いかなる洪水でも再現性が高い万能なシステムを構築することは非常に重要で、目指すべきところではあるが、検証期間が今のままでは決して十分とはいえない。

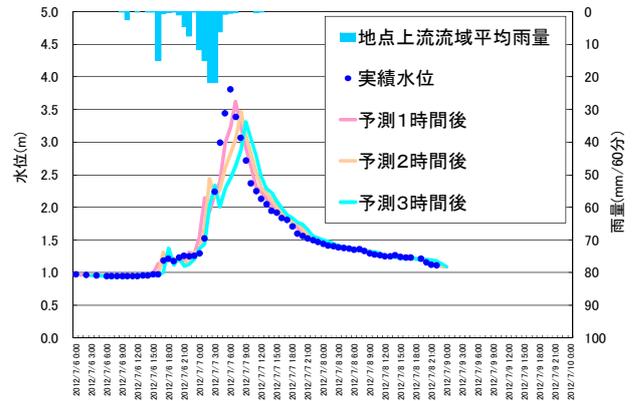
4. 課題解決に向けた提案

(1) 精度向上に向けた提案

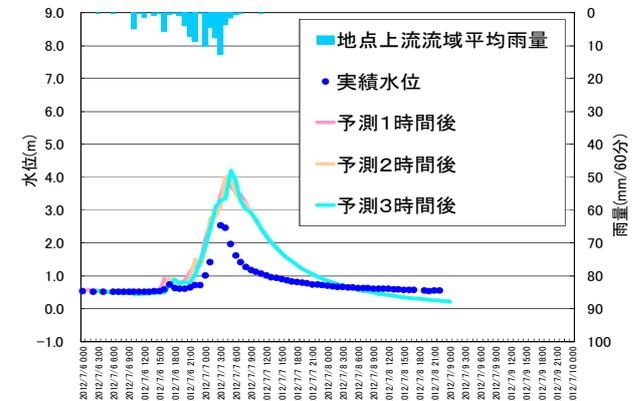
a) 現地横断測量による河道形状および流下能力評価の精度向上

河道形状データがない河川(区間)から、河道形状データがとくに必要な箇所を厳選して、簡易GPS測量および光波測量を行い、130河川(390測線)で縦横断データを作成した。

なお、簡易GPS測量および光波測量による河道縦横断形状の把握は、現地条件によっては通常の河川横断測量の1/10程度の費用で収まる上に、短時



(合致してるケース: 美囊川)



(乖離しているケース: 下里川)

図-4 ハイδροグラフ(実測値と解析値)

間の作業で済むことから採用している。

この結果、推定の矩形断面から正確な河道形状となることで、流下能力評価も正確になり、解析の精度向上が図られ、モデルの再現性の向上に寄与すると考えられる（図-5）。

また、正確な河道形状データを構築・ストックすることは、公物管理をする上で非常に重要なデータベースの構築にもなり、今後、様々な面で有効利用できる利点もある。

b) 分布型モデル定数の見直し

モデル定数の見直しを行い、繰り返し再現計算を何度も行った結果、とくに精度向上に寄与するパラメータは、土層厚および間隙率であることがわかった。この点に着目し、さらに洪水の立ち上がりに着目して再現計算を繰り返した結果、以下のとおりすべての予測時間帯で定量的に再現性が向上したため、モデルの精度向上が図られたと考える（図-6）。

① ピーク水位誤差

$$\text{ピーク水位誤差} = \max(H_{cal}) - \max(H_{obs})$$

計算値: Hcal、実績値: Hobs

〔予測時間: 見直し前→見直し後 (差分)〕

予測 1 時間後: 75%→82% (+ 7%)

予測 2 時間後: 66%→72% (+ 6%)

予測 3 時間後: 56%→64% (+ 8%)

(実績と予測のピーク水位差が 50 cm 以内に収まる水位観測所数の割合(%))

② 波形誤差

$$\text{波形誤差} = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{cal} - H_{obs})^2}{n}$$

計算値: Hcal、実績値: Hobs

〔予測時間: 見直し前→見直し後 (差分)〕

予測 1 時間後: 77%→84% (+ 7%)

予測 2 時間後: 59%→82% (+ 23%)

予測 3 時間後: 57%→74% (+ 17%)

(実績と予測の波形が 10 cm 以内に収まる水位観

測所数の割合(%))

c) 国・県が一体となった一元的解析

本来は、国・県が一元化した流出解析手法により加古川水系全体を連続した形で解析を行うことが望ましいが、現実には、国・県が管理者単位で別々に取り組んでいる。

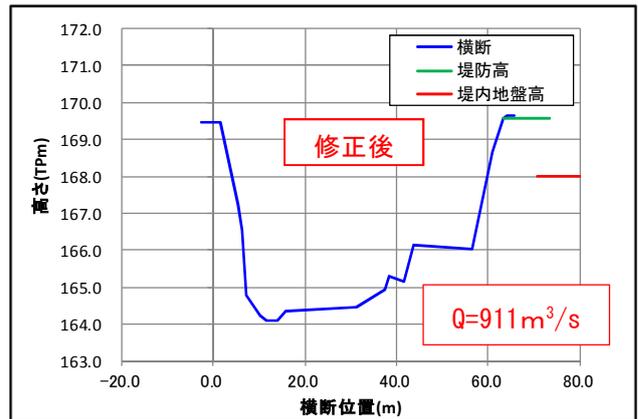
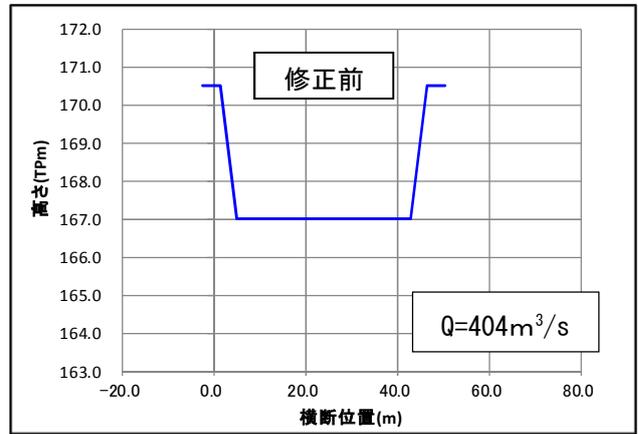


図-5 河道形状および流下能力評価の修正例 (杉原川)

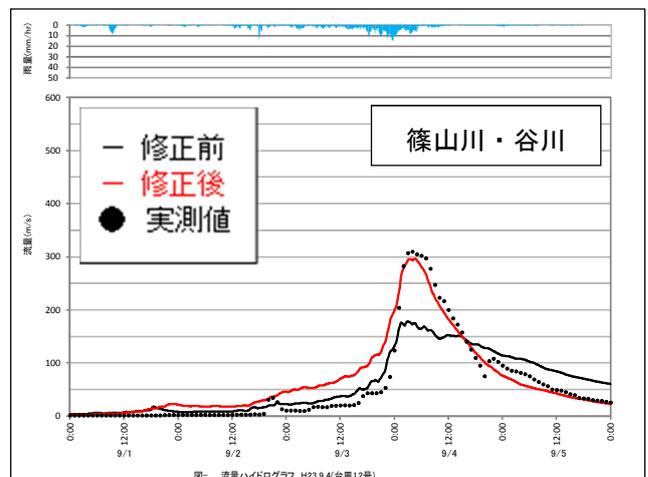


図-6 分布型モデル定数の修正例 (篠山川)

そこで、可能な限り国との整合を図るため、国土交通省が別途、構築済みの分布型モデルの基本条件（地盤高など）をすべて踏襲した。

この結果、分布型モデルにおいては、国・県が同じ条件下での解析となり、水系一貫でのモデルの再現性の向上に寄与すると考えられる。

d) 十分な検証期間の設定

本システムは、平水時ではなく洪水時の水位予測が主目的であるため、実際に大規模な洪水が複数発生しないと精度検証しにくい。実測値と解析値との乖離を少しでも改善していくには、より多くの実洪水の発生が必要である。

したがって、2013年度から本格運用するが、より多くの降雨パターンによる実洪水での検証を継続しながら、今後、更なる精度向上を図る必要があると考える。

(2) その他の提案

a) 協議会の継続開催

加古川水系の対象要素が県下最大という特徴を意識して、県関係土木事務所・関係市町を参集し、氾濫予測システムについて情報共有する「協議会」を他の水系に比べ多数開催（計4回）している。

評価地点の設定、システム構築の進捗状況および運用方法の説明など、システム全般に関して、県・市町双方で意見交換し、運用上の理解を深める取り組みを展開している（図－7）。

5. おわりに

(1) まとめ

本論文では、加古川水系氾濫予測システムの構築およびモデルの精度検証に取り組んだ結果、直面した課題および課題解決に向けた提案を行った。

その結果をまとめると、次のとおりとなる。

- ① 河道形状データを早期かつ経済的な測量手法により正確なものに修正
→ 流下能力評価の精度向上に寄与

- ② モデル定数の見直し
→ 水位および波形ともに再現性が向上し、予測精度の向上に寄与
- ③ 国土交通省が所有する流出解析（分布型モデル）の基本条件を踏襲
→ 水系一貫で評価する際の連続性・一体性の向上
- ④ 十分な検証期間の設定
→ 多数の実洪水によるモデルの検証を行い、モデルのさらなる精度向上
- ⑤ 協議会を継続開催
→ 本システムの内容および運用上の県・市町の相互理解の向上

なお、加古川水系氾濫予測システムを2013年度から本格運用することは、すでに本県の決定事項として対外的に表明している。

したがって、本システムはまだ発展途上段階であり、本格運用後も市町が本システムを避難勧告等の発令時の判断材料とする際には、十分な注意を促し本システムの精度レベルの理解を促進していく必要がある。

(2) 今後の取り組み方針

これまで、氾濫予測システムに取り組んできた中で、私なりに見出した今後の取り組み方針は、これまで精度向上に向けて取り組んだ事項ならびに新たな科学的知見に基づく事項を必要に応じて取り入れ、十分な検証期間で複数の実洪水でシステムの精度検証を継続することだと考える。



図－7 協議会開催状況

例えば、気象庁の降雨予測データの他に、国土交通省が開発したXバンドMPレーダを取り入れることも具体策の一つと考える。

そして、今後も必要に応じて協議会を開催し、県と市町の相互理解やシステムの操作内容をより一層深めていくことも重要である。

その結果、氾濫予測システムによる水位予測の再現性の精度が向上し、市町による避難勧告の実効性が向上することで、地域住民の的確かつ迅速な避難行動へ繋がり、地域住民の安全・安心が確保されると考える。

(3)おわりに

今後、地球温暖化がさらに進行し、これまで以上に広範囲および高頻度で局地的豪雨が発生したり、計画規模を超える洪水が発生することも十分予想さ

れる。

厳しい社会経済情勢の下、これまでとは違い各種インフラへの老朽化対策予算も必要不可欠となり、長期間で巨額の費用を要することが多いハード整備の進捗が極めて困難な状況となっている。

そのため、ハード整備よりは、比較的短期間かつ安価で整備できることが多いソフト面での事前防災・減災対策は、住民の安全・安心を確保する上で非常に重要であり、有効な手段といえる。

さらに、東日本大震災を契機に、東海・東南海・南海地震や首都直下地震などの大規模災害への備えとして、事前防災・減災対策は社会的にもクローズアップされ、国民意識も高まりをみせている。

以上より、様々な観点において、事前防災・減災対策としての氾濫予測システムの精度向上への継続的な取り組みは重要と考える。