

論文

GIS を利用した洪水氾濫解析システムの構築と 1998 年津山市水害への適用

早瀬 一英*・近森 秀高**・永井 明博**

Development of Comprehensive System of Flood Inundation Analysis and Its Application to flood disaster in Tsuyama in 1998

Kazuhide HAYASE*, Hidetaka CHIKAMORI** and Akihiro NAGAI**

Abstract

A low-cost system of flood runoff and inundation analyses was developed by combining easily obtainable applications running on a personal computer. The system is composed of three components, that is, the component of the GIS, that for flood runoff analysis and that for flood inundation analysis. Most of topographic data and meteorological data for the GIS component are available in low-cost or charge-free. The developed system was applied to analysis of flooding process in Tsuyama city located in Okayama Prefecture during October 16-18, 1998, which was due to record heavy rainfall caused by Typhoon No.10. The accuracy in the water levels estimated by the developed system was supported by the observed water level data and the information acquired by interviews in field investigations, which shows that the developed system has a great advance in practical use as flood control planning.

キーワード : GIS, 水文情報, 地形情報, 氾濫解析, 1998 年台風 10 号

Key words : GIS, hydrological information, topographic information, flood inundation analysis, Typhoon No.10 in 1998

* 岡山県立津山工業高等学校土木科
Okayama Prefectural Tsuyama Technical High School

** 岡山大学環境理工学部環境管理工学科
Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University

本報告に対する討論は平成 18 年 2 月末日まで受け付ける。

1. はじめに

台風や前線に伴う豪雨は、時として河川の氾濫を引き起こし、市民生活に多大な影響を及ぼす。このような災害を防ぐために、堤防、ダム、遊水地などを建設する治水事業を行なわれるが、これが適切であるためには、多面的な解析や評価が必要である。

ある地域における洪水氾濫現象の再現を行い、その氾濫過程の概要を捉えて評価するためには、観測雨量・水位・流量、河道断面などの基礎的なデータを入手し、これらを基に降雨解析・洪水流出解析・洪水氾濫解析を行う必要がある。

これまで、豪雨に伴う洪水氾濫の解析については、数多くの研究が行われ実用に供されてきた。氾濫水の挙動を不定流として取り扱う解析手法は、まず、1次元不定流の基礎式を基に差分モデルを構築し解析を行う方法から始まったと言ってよい。これについては、岡ら（1973）の研究が、初期のものの一つであると言える。その後、角屋ら（1975）は、1次元不定流の基礎式を用いた解析で、氾濫域を河川断面の一部として表現し、水位上昇時の氾濫水を河道中の流出水の一部として計算する改良を行った。この他、氾濫現象を1次元で表された河道と氾濫域タンクとで表現する1次元不定流-貯留モデルが永井ら（1977）や岡ら（1977）によって開発されている。

一方、破堤氾濫などに伴う急激な氾濫現象を解析するためには1次元のモデルは不十分であるとの考え方から、2次元の氾濫モデルが開発され、その一部はハザードマップの作成などの実用に供されている。2次元不定流モデルによる氾濫解析は、我が国では、岩佐ら（1980）によって最初に導入されたと言ってよいだろう。このモデルは、改良を加えられながら、市街地における氾濫（例えば、高橋ら、1983）や土石流氾濫（例えば、高橋ら、1984）、高潮による氾濫（中川ら、1995）など多方面へ応用されている。

本研究では、1998年10月台風10号豪雨による吉井川久木流域の洪水氾濫解析を行った。この洪水では、氾濫が河道に近接する低地を中心

としたものであり、また、破堤氾濫を伴わず流量・水位の変化が比較的緩慢な溢水氾濫が主体であったことから、1次元不定流モデルで現象の概要を把握できると考えた。

昨今では、コンピュータの高性能化が進み、以前は高価な計算機システムを必要とした高度な解析が市販のパソコンでも可能になってきた。効率的な洪水氾濫解析を行うためには、高性能で廉価なコンピュータシステムを、数値解析だけではなく、洪水氾濫解析に必要な膨大な地理情報データの整理に活用することも重要である。今回、われわれは、解析用ソフトウェアに比較的安価なものを使用して、地理情報データの処理から洪水氾濫解析に至る一連の処理を包括的に行う洪水氾濫解析システムの構築を試みた。

2. 洪水氾濫解析システム

2.1 GISを用いた水文・地形情報処理システム

洪水氾濫解析には、河道の位置、河道断面、氾濫域の形状、標高の分布だけでなく、氾濫域へ流れ込む河川の流域形状、土地利用など数多くの種類の地理情報が必要となる。洪水氾濫解析自体を行う前に必要なこれら地理情報の整理は、従来、別々の地図等で把握せざるを得ず、きわめて複雑な作業を必要とした。しかし、これらの多様な地理情報をコンピュータ上で統合的に管理する地理情報システム（GIS）を構築することができれば、見やすさと同時にそこから大切な情報を新たに得ることができる。

本研究では洪水氾濫解析システムとして「水文・地形情報処理システム」を提案する。このシステムでは洪水氾濫解析用GISの利用も考慮しており、解析全体の流れの概略を図1に示す。この解析では、氾濫域には不定流モデルを、非氾濫域にはベキ乗型タンクモデルを適用する。詳細は後述する。

（1）基本情報

洪水氾濫解析に必要な基本情報としては、図1に示すように、雨量・地形・地質・土地利用などに関する情報がある。これらの情報には次のものを用いた。

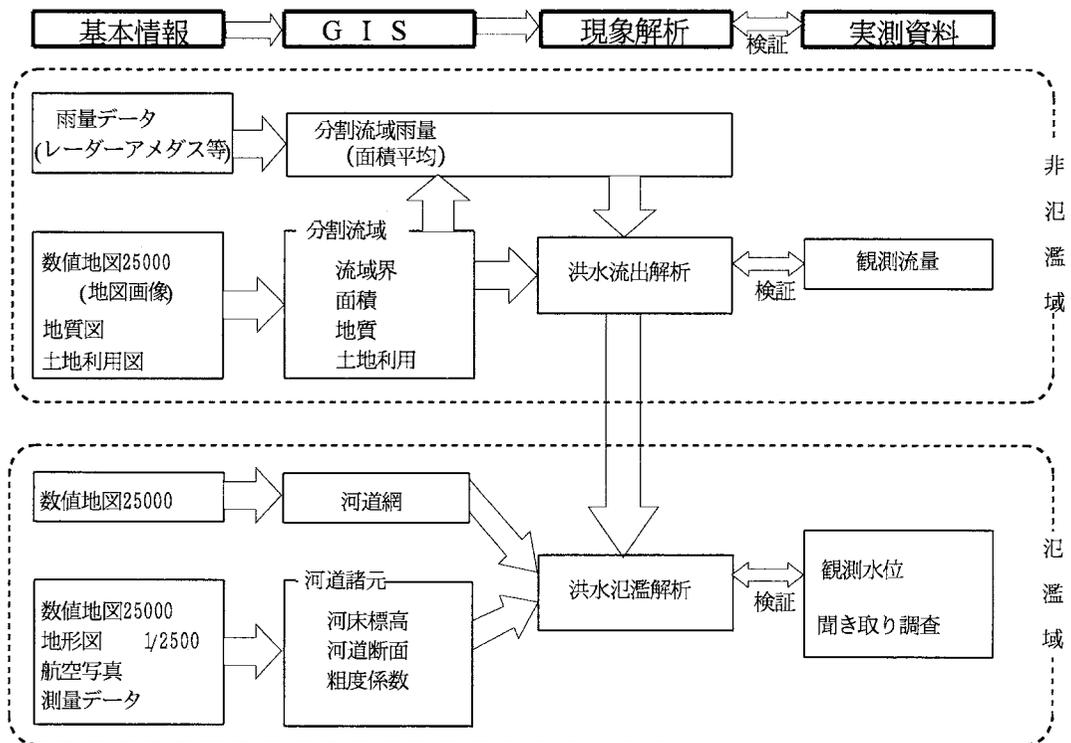


図1 水文・地形情報処理システム構成

雨量データには、細分化された分割流域ごとに精度の高い情報が必要となるので、空間解像度が高いレーダーアメダス解析雨量を用いた。流域の様々な地形情報を GIS 上に表すための基本地図には数値地図 25000 (地図画像) を使用した。地質図、土地利用図は、流域の特性を把握するために必要である。地質図には各県の土地保全図自然環境条件図より、土地利用図には同じく土地利用・植生概況図よりそれぞれ一部をデジタル画像としてデータ化したものを使用した。

関係市町村の 1/2500 都市計画図は、洪水氾濫解析のための河道断面、河床標高などの決定のため、また氾濫域の詳細な地形情報を得るのに必要である。航空写真は、災害時の氾濫域の特定、河道形状の確認や粗度の推定に有効である。最近では自治体のホームページにも航空写真を表示できる webGIS の構築がなされており、画

像が十分細かいならば氾濫解析のために利用することが可能である。測量データは、河川横断測量についてのものであり、不定流解析時に河道断面を決める場合に参考となる。観測水位・流量は、洪水流出解析、洪水氾濫解析において、モデル定数の同定や境界条件として使用する。

(2) 流域モデルの決定

基本情報に基づいて、流域をいくつかの分割流域に分ける。これは不定流解析時の境界条件流量の設定に必要である。その流量推定は洪水流出解析手法により行う。不定流解析流域では、合流点を節点としたが、その場合の節点間隔はほぼ等しくなるように設定する。

実際の河川断面形状は複雑であるが、本研究でその形状を複合台形断面近似し、その中に氾濫域も含めて表現した。これについては後述する。

(3) 洪水氾濫解析用 GIS の構築

洪水氾濫解析に必要な地理情報は膨大な量に上るが、ここでは、これらの地理情報を効率的に整理し容易に活用できるようにするため、解析用の GIS を構築した。GIS では、さまざまな地理情報を種類別にレイヤー（画層）で管理する。ここでは、数値地図 25000（地図画像）（縮尺 1/25,000）を用いて対象流域を包含する画像ファイルを作成し、これを、この GIS の基本図とした。この図の位置情報を基に、レーダーアメダス雨量メッシュ、流域界、分割流域面積、河道、河床標高、氾濫域、地質、土地利用の各データの位置情報をそれぞれ異なるレイヤーに割り当てた。これらの異なるレイヤーに含まれる各データは、この GIS を用いて統一的に管理され、データ間の関係は容易に把握できる。また、河道の各節点の断面形状および粗度の情報は、別データとして取り扱い、河道のレイヤーに含まれる節点の位置情報とリンクした。

2.2 洪水氾濫解析モデル

取得した雨量データを、洪水流出解析、不定流氾濫解析に用いるため、あらかじめ各分割流域の平均雨量、流域全体の平均雨量を求めている。

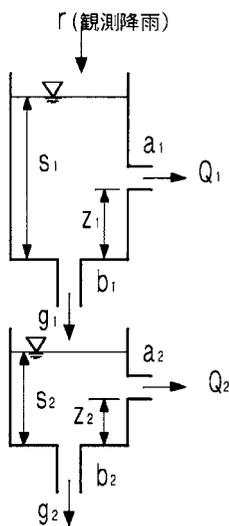


図2 ベキ乗型タンクモデル

(1) 洪水流出解析

全流域に対する洪水流出解析は、図2の2段型ベキ乗型タンクモデル（永井，1995）を用い、モデルの同定は、Rosenbrock法を用いた。その際の誤差評価基準としては、カイ二乗誤差評価基準を採用し、また第三者にも分かりやすいように、相対誤差でも誤差を表現する。

ベキ乗型タンクモデルの計算式は次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= a_1(S_1 - Z_1)^m : S_1 > Z_1 \\ &= 0 : S_1 \leq Z_1 \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし $m=5/3$

$$\left. \begin{aligned} g_1 &= b_1 S_1 \\ Q_2 &= a_2(S_2 - Z_2) : S_2 > Z_2 \\ &= 0 : S_2 \leq Z_2 \end{aligned} \right\} (2)$$

$$g_2 = b_2 S_2 \quad (3)$$

ここに、 Q_1, Q_2 ：タンクからの流出量、 S_1, S_2 ：タンク貯留量、 Z_1, Z_2 ：流出孔の高さ、 a_1, a_2, b_1, b_2 ：流出孔の係数、 g_1, g_2 ：浸透量。

(2) 不定流氾濫解析

本研究では洪水氾濫解析は一次元解析法により行う。横流入がある場合の不定流の運動方程式および連続の式は、流量と水位を変量とするとき、次のように表される。

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2QB}{gA^2} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{2Qq}{gA^2} - \frac{Q^2 B}{gA^3} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} = 0 \quad \dots(4)$$

$$B \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots(5)$$

ここに、 Q ：流量、 H ：水位、 A ：流水断面積、 B ：水面幅、 R ：径深、 i ：水路床勾配、 n ：Manningの粗度係数、 q ：水路単位長当りの横流入量、 g ：重力加速度、 x ：距離、 t ：時間。

不定流解析における境界条件として、河道上流端流量はベキ乗型タンクモデルから求まるブロック流域流出量とし、河道下流端水位には下

流端実測水位を用いる。河道内各点の水位、流量は差分法により求めた。次に、各節点における水位計算値と聞き取り調査結果とを比較して、氾濫解析結果を検証する。また、この解析で求められた下流端計算流量を実測流量と比較して、不定流解析の適合性を検証した。

3. 1998年津山市水害における洪水氾濫解析

上述の洪水氾濫解析用 GIS を用いた水文・地形情報処理システムを、1998年10月台風10号豪雨による津山市水害の洪水氾濫解析に適用する。

3.1 流域の概況

対象流域は津山市を含む吉井川水系久木流域(978.8 km²)である。岡山県三大河川の一つの吉井川は、県の最北端、中国山地脊梁部の高峰の一つ三国山(1252 m)に発して、美作地域北部の山地を刻んで流下した後、津山盆地に入る。ここで、香々美川・久米川・皿川・宮川・加茂川・広戸川などの支川が流入して流下する。全長は137 km、流域面積は2058 km²である。

地質的には、山頂付近以外は花崗岩が広く分布している。吉井川は、第三紀層を刻みながら沖積低地を形成し、広大な氾濫原を造ったり、古生層の地域で、大きな穿入蛇行を生じさせたりしている。

久木流域中央部にある津山盆地は中新世に著

しい海進を受け、この時期の浅海堆積物である第三紀層が盆地を覆う形で、厚さ300 m、東西50 km、南北10 kmの範囲に分布し、古・中生層を不整合に被覆している。第三紀層は台地状丘陵となっているが、一部で古・中生層の基盤岩が丘陵となって突出している。その上を厚さ5~30 mの洪積層が覆っている。

対象流域の土地利用形態は、一部市街地を含むが、ほとんど山地、農地となっている。

図3に岡山県と久木流域の形状を示し、図4に久木流域河川の詳細を示す。

3.2 災害の概要

(1) 台風の経路

1998年10月に全国各地に多大な被害をもたらした台風10号は、10月8日にフィリピンの遙か東の海上で発生し、フィリピン、台湾を縦断し東シナ海を北東に進んだ。その後10月17日16時30分頃に鹿児島県に上陸し、いったん



図3 久木流域の位置

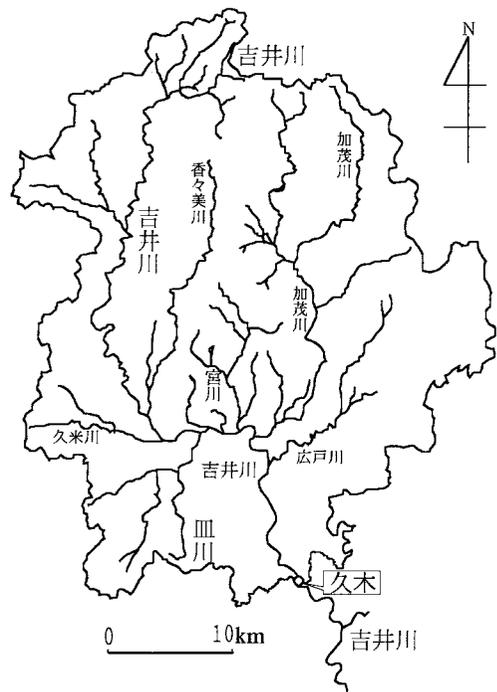


図4 吉井川久木流域概況図

日向灘に出て、同日 21 時頃に高知県宿毛市付近に再上陸した。その後四国を縦断して瀬戸内海を通過後、22 時 30 分頃に玉野市付近に再上陸し、18 日 1 時過ぎに日本海に抜けた。中国四国地方での通過経路を図 5 に示す。

(2) 降雨概況

1998 年 10 月 16 日 12 時頃から台風 10 号が前線を刺激して降り始めた雨は、岡山県全域に長時間にわたり降り続き、総雨量で 100 mm ～ 250 mm の大雨となった。17 日 21 時頃からは台風接近のため、時間最大 20 mm/h ～ 60 mm/h の激しい雨となり、台風通過後の 18 日 1 時頃までの 4 時間程度の間には総雨量の 7 割が集中する豪雨となった。図 6 に津山における雨量を示す。

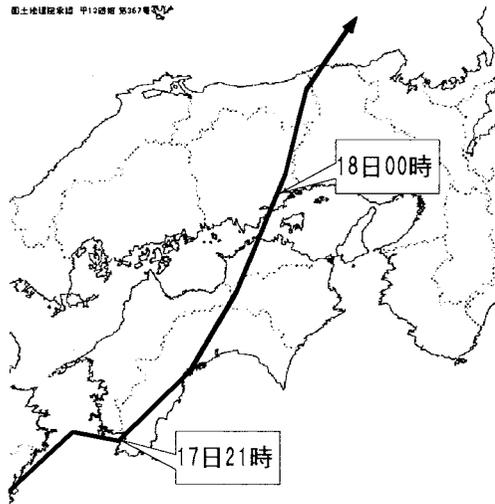


図 5 台風 10 号の中国四国地方での経路

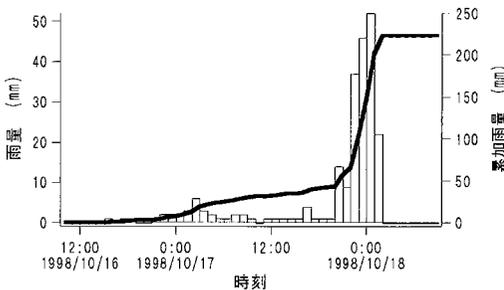


図 6 津山測候所観測雨量

(3) 被害状況

この豪雨により、岡山県内各地で浸水や氾濫が発生し、ライフライン・公共施設などの被害、住宅・商店・工場・農林施設などの被害が生じた。これに伴い、経済活動の支障、市民生活の支障が生じた。久木流域内のうち、特に津山市における被害状況を表 1、表 2 に示す。

3.3 水文・地形情報の統合

表 1 津山市内被害額

被害額	(単位：千円)
公共文教施設	88,175
農林水産業施設	1,913,448
公共土木施設	482,586
その他公共施設	340,104
農業被害	77,000
林業被害	15,000
畜産被害	10,000
水産被害	2,000
商工被害	3,115,000
合計	6,043,313

表 2 津山市内被害状況一覧

人的被害	負傷者	重傷1人, 軽傷4人
住宅被害	全壊	4 棟
	半壊	5 棟
	一部損壊	43 棟
	床上浸水	1740 棟
	床下浸水	1414 棟
非住宅被害	公共建物	1 棟
	その他	21 棟
その他被害	田	流失・埋没 90 ha 冠水 185 ha
	畑	流失・埋没 2 ha 冠水 8 ha
	文教施設	34 箇所
	道路	204 箇所
	橋梁	1 箇所
	河川	43 箇所
	清掃施設	1 箇所
	水道	570 戸
	電話	2106 回線
	電気	4131 戸
	ブロック塀等	18 箇所
	公園	3 箇所
	その他公共施設	29 箇所

(津山市「台風10号災害」より)

図1における観測データや氾濫域、地形その他の基本情報を図化する機能についてはGIS専用ソフトウェアでなくても、CADソフトウェアで十分対応できる。本解析ではインターネット上で入手したアカデミックフリーCADソフトウェア「M7」(<http://homepage2.nifty.com/m7/>)を使用した。

また、非氾濫域における洪水流出解析、氾濫域における不定流氾濫解析についてはFORTRANで解析用プログラムを開発した。

(1) 雨量データ

雨量データはレーダーアメダス解析雨量を使用した。降雨の対象期間は1998年10月台風10号に伴う降雨とし、1998年10月14日1時～10月22日24時までとした。

(2) 洪水氾濫解析用GISの構築

本研究における洪水氾濫解析では、地形、地質、土地利用、氾濫域、レーダーアメダスメッシュの各地理情報データをCADソフトウェアのM7を用いて整理し、GISを構築した。解析対象地域における地理情報の基本となる地形図は、国土院発行の数値地図25000(地図画像)(縮尺1/25000)の「姫路」および「高梁」の画像ファイルから久木流域を含む範囲を抽出し用いた。地質図および土地利用図には、それぞれ岡山県土地保全図自然環境条件図および土地利用・植生概況図のデジタル画像から抽出したものをを用いた。氾濫域図は、1998水害レポート(岡山県土木部河川課)の浸水状況図を基に作成した。また、前述のレーダーアメダス解析雨量のデータから、雨量の空間分布を表すためのメッシュの位置情報を抽出し用いることにした。

これらの地理情報データの空間分布は、CADソフトウェアのM7を用いて、対象流域の地形図における位置関係を基本に整理し、各データを、レイヤーと呼ばれるデータセットに割り当てた。これにより、解析対象領域における地形情報と各データの位置に関する情報を総合的に取り扱うことができるGISが構築された。

(3) 地理情報システムによるデータ整理

まず、構築された地理情報システムを用いて行政界、分水界、河道中心線を抽出した。対象流域は、氾濫域図のデータを用いて、流出解析の対象となる非氾濫域と氾濫解析の対象となる氾濫域とに分割した。

このうち非氾濫域は、雨量をより正確に解析に反映させるため24個の分割流域(平均面積:約40km²)に分け、各流域面積を求めそれぞれに流域番号を付けた。また、各分割流域の流域平均雨量をレーダーアメダス解析雨量から求めるために、これらの流域の位置とレーダーアメダスメッシュとの対応関係について調べ、データ化した。

氾濫域では、不定流解析を行うために、河道中心線に沿って約400m間隔で節点を設けた。各節点における河川断面の形状は図7のような複合台形断面で表すことにし、節点ごとに河床標高、河床幅、および左岸・右岸の堤防法面傾斜、堤頂標高、堤内地幅および堤内地標高のデータを与えた。これらのデータは縮尺1/2500の都市計画図と測量データを基に定めた。

河道中心線上の各節点におけるManningの粗度係数 n は、河川の写真、津山市のwebGIS「きらきらつやまっぷ」、航空写真データおよび現地調査の結果に基づき、河川内の橋脚の有無、植生状況を考慮しながら、Chow(1959)が示したデータを参考に、次の3段階に設定した。

①水深0～1.5mでは、アシなどの植物の繁茂状況が大きく影響すると考えられるので、 $n = 0.028 \sim 0.080$ とした。

②水深1.5m～堤頂高では、植生の影響はあるものの流下への抵抗は比較的小さいと考えら

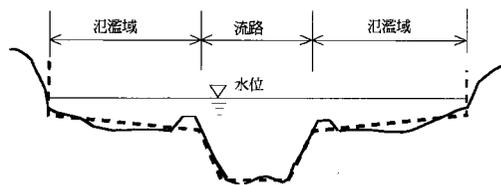


図7 河道断面図

れる。ただし、流路に比較的大きな木がある場合や橋脚などで流れに影響が出ると考えられる場合には、粗度係数を大きく設定し、 $n = 0.026 \sim 0.080$ とした。

③水深が堤頂高を超えた場合では、地物により非常に大きな抵抗が生じていると考えられるので $n = 0.080$ 、また橋梁を越えて流水があったと認められている場合は $n = 0.150$ とした。

以上のようにして得られたデータのうち、行政界、分水界、分割流域の位置・番号、分割流域面積、各分割流域とレーダーアメダスメッシュとの位置関係、河道中心線および河道節点の位置・番号については、M7を用いて、それぞれに別々の新たなレイヤーを作成して整理し、各河道節点に関する河川断面形状データおよび粗度係数については、節点番号別に表計算ソフトのMicrosoft Excelを用いて整理した。

3.4 洪水氾濫解析

(1) 久木流域の洪水流出解析と各分割流域の流量推定

久木流域における洪水流出解析では、解析期間は平成10年10月13日24時から10月22日24時までの216時間とし、久木流域の平均雨量をベキ乗型タンクモデルに与えて最適同定を行った。結果を図8に示すが、計算値と実測値はよく一致していることがわかる。

吉井川久木流域(978.8 km²)における住宅地帯面積は約30 km²で全面積の3%にすぎないこと、

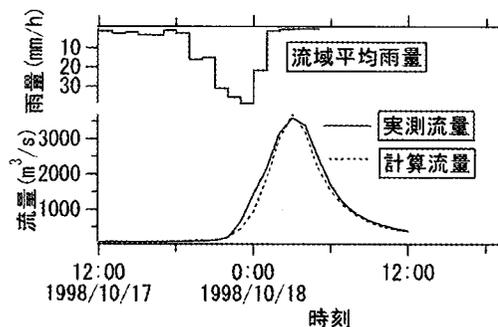


図8 久木の観測流量と洪水流出解析流量

また各分割流域における住宅地帯の面積割合は最大でも22%以下であることから、流域内の土地利用は森林で一様であると見なし、久木流域を1ブロックとしたモデル定数を流域内の各分割流域のモデルとして使用し、流量を推定した。

この最適同定したベキ乗型タンクモデルにより、不定流モデルによる氾濫解析の際の河道上流端流量(境界条件)と河道横流入量を推定した。ただし、洪水の遅れ時間は流域面積によって異なるものとし、次式で推定した。

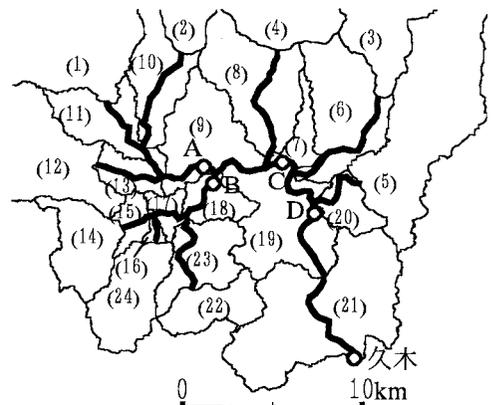
$$T_l = \alpha \sqrt{A} \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 T_l :遅れ時間(h)、 A :流域面積(km²)、 $\alpha = 0.15$ 。

上式の係数 α は、久木流域(面積 $A = 978.8$ km²)の流出モデル同定で得られた $T_l = 4.65$ (h)から換算された値である。この α を各分割流域における T_l の推定に用いた。

(2) 各地点の氾濫水位

前項で推定した河道上流端流量(境界条件)および河道横流入量を用いて不定流氾濫解析を行った。図9に示す地点A~Dにおける氾濫解析の結果と、聞き取り調査結果を比較する。



数字は分割流域番号
太線は不定流解析域

図9 吉井川久木流域区分

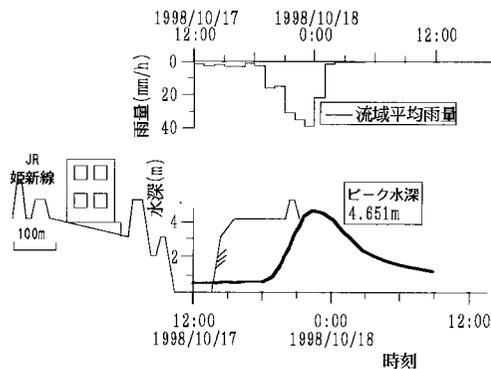


図10 A地点の断面図と水深変化および流域平均雨量

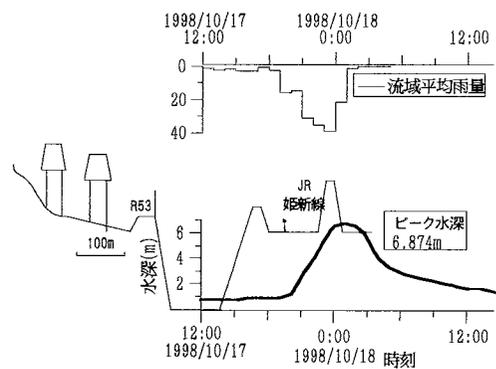


図12 C地点の断面図と水深変化および流域平均雨量

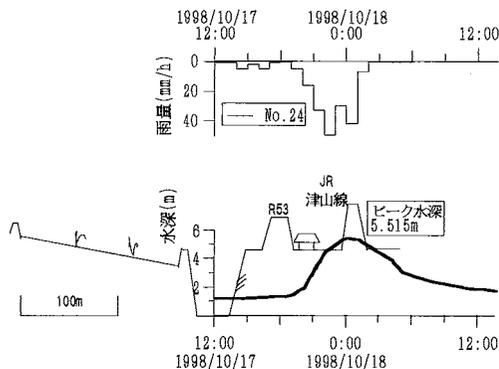


図11 B地点の断面図と水深変化および分割流域No.24での雨量

(a) 吉井川A地点(津山市二宮, 平福)

図10に吉井川A地点の断面図と水深変化を示す。左岸側の津山市二宮での氾濫は、解析結果では17日23時～18日4時となったが、聞き取り調査結果では17日23時～18日3時となっており、計算による氾濫終了時刻が1時間早いもののほぼ満足できる結果となっている。右岸側の津山市平福での氾濫は、解析結果では17日22時～18日4時であり、皿川B地点の解析結果と同じ時間帯の氾濫となっており、再現性は十分良好であると思われる。

(b) 皿川B地点(津山市平福)

図11に皿川B地点の断面図と水深変化を示す。聞き取り調査では、氾濫開始時刻は17日

21時30分～24時、終了時刻は0時～4時であるが、解析結果によると皿川B地点では氾濫開始時刻は22時、終了時刻は4時であり、聞き取り調査結果と符合している。

(c) 吉井川C地点(津山市西新町)

図12に吉井川C地点での断面図と水深変化を示す。解析結果による氾濫は17日23時～18日3時となっているが、聞き取り調査では氾濫開始時刻が17日23時30分～18日1時、氾濫終了時刻が18日1時～5時であり、ほぼ一致しているといえる。

(d) 吉井川D地点(津山市押測)

図13に吉井川D地点の断面図と水位変化を示す。ここから下流域は吉井川の浸食によるV字谷が形成されている。したがって吉井川からあふれ出た水は、谷に充満するように水位を上昇させ流下することになった。今回の氾濫では、住宅の2階まで浸水するような氾濫が生じている。解析結果によると吉井川D地点での氾濫は17日22時～18日5時である。D地点よりやや上流部で行った聞き取り調査の結果から推測して、解析による氾濫開始時刻は実際よりも少し早い、氾濫終了時刻はほぼ間違いのないように思われる。

4. まとめと総合的考察

本研究においては、図1の水文・地形情報処理システム構成に基づき、吉井川久木流域に対

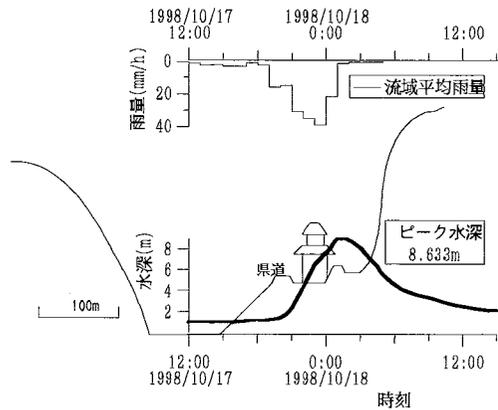


図13 D地点の断面図と水深変化および流域平均雨量

応するレーダーアメダス解析雨量を使用し、流域平均雨量および各支流雨量を求める降雨解析を行い、さらに粗度係数などの河道諸元、吉井川久木の流量・水位を入力すれば、ベキ乗型タンクモデルによる洪水流出解析、不定流モデルによる洪水氾濫解析が行えるシステムを開発できた。手順は複雑ではあるが、解析結果とその検証から、吉井川久木上流域における氾濫概況を把握できるものになったと考えられる。したがって、データさえあれば、吉井川久木流域における本研究事例以外の洪水氾濫解析が可能であろう。

以上のことから、同様の手法を用いて他流域の洪水氾濫解析を行うことも可能であると考えられる。本研究の特徴を要約すると、以下のとおりである。

(1) 洪水氾濫解析用 GIS

洪水氾濫解析用 GIS では、CAD ソフトウェア M7 上に行政界・分水界・河道中心線・氾濫域・節点番号・レーダーアメダスメッシュ・メッシュ内各分割流域面積比率・流域番号・分割流域面積・地質図・土地利用図の各レイヤーを作成した。

このことによる利点を幾つか述べる。

各分割流域の流出量を流域全体のベキ乗型タンクモデルで推定するという方法の裏づけのために、土地利用図レイヤーを作成した。これに

より、この地域の土地利用形態のほとんどが山地農地であり、各分割流域でもその形態が変わらないことを示すことができた。

氾濫域レイヤーを作成することで各分割流域を決めやすくなった。また、それらの面積を正確に計測できた。

分水界レイヤーとレーダーアメダスメッシュレイヤーよりメッシュ内各分割流域面積比率レイヤーのデータを作成でき、各支流域に対する降雨をより正確に反映させることができた。

レイヤー表示の組み合わせを変えることで、それぞれ内容の異なる地図を表示することができた。例えば、図4と図9である。

以上のことから、洪水氾濫解析用 GIS では、先に示した各レイヤーからの地理情報を有効に活用することができた。本研究ではひとつの事例を示したが、同様の手法でレイヤー作成ができれば、十分機能すると考えられ、「水文・地形情報処理システム」における洪水氾濫解析用 GIS のレイヤー構成として提唱したい。

(2) 解析用プログラム

降雨解析の部分では、本解析ではレーダーアメダスデータを使用した。アメダスデータや都道府県が独自に構築している観測システムのデータを使用できるように、プログラムを変更することも可能である。

不定流解析において、比較的氾濫幅が狭い場合、本解析のような1次元解析で十分その概要は把握できるものと思われる。また、氾濫幅が大きい場合など必要に応じて、不定流解析のプログラムを2次元のものに変更して解析を行うことも可能である。

従って、本解析において開発したモデルは、手順の複雑さと、プログラミング能力を要求される部分はあるものの、自由度の高い有用なシステムであるといえる。

(3) ベキ乗型タンクモデルの適用方法

本解析での実測流量の数値は、吉井川久木流域最下流端である久木地点だけのものである。しかし、洪水流出解析と各支流流量推定において使用したベキ乗型タンクモデルとそのモデ

ル定数は、不定流解析の結果から考えて、平成10年10月台風の豪雨に伴う出水をよく再現していると考えられる。従って、流量データの観測点数が少ない場合で、流域面積中の土地利用形態が大きく変わらない場合には、大流域で同定されたベキ乗型タンクモデルを大流域に含まれる小流域の洪水流出モデルとして使用しても十分利用できるものと思われる。

5. おわりに

本研究では洪水氾濫解析のシステム化の手法を提案したが、この手法は他流域での洪水氾濫の再現や概況の把握に対しても適用できるものと考えている。ただし、解析用 GIS において、分水界、氾濫域などの地理情報データの入力や、不定流氾濫解析での水位計算点の設定とそれに対応したプログラムの作成などは複雑な点がある。今後、より扱いやすいシステムにするには、これらの簡便化が課題となろう。またこのために、解析用プログラムと河道諸元データ（必要に応じて変更可能）を組み込んだ GIS の開発も必要ではないかと考えている。

本研究における津山市を含む久木流域のようにそれぞれの地域で洪水氾濫解析システムが構築できれば、治水事業、ハザードマップの作成など防災面で有効に活用できるのではないかと期待される。本研究がその一助となれば幸いである。

謝 辞

解析に必要なデータを提供いただいた国土交通省中国地方整備局岡山河川工事事務所の担当官の方々、関係自治体の担当各位に感謝いたします。また、本研究では聞き取り調査データを利用しましたが、当時このデータ作成を地道に行っておられた元津山工業高等専門学校杉山智也氏にも感謝の意を表します。

参考文献

Chow, V. T.: OPEN-CHANNEL HYDRAULICS, International Student Edition, McGraw-Hill, pp.109-

113, 1959.

岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文：氾濫水の水利の数値解析法，京都大学防災研究所年報，第23号B-2，pp.305-317，1980.

岡 太郎・角屋 睦：昭和47年7月豪雨による東大阪水害とその考察，京都大学防災研究所年報，第16号B，pp.385-400，1973.

岡 太郎・角屋 睦・永井明博：昭和51年台風17号による鏡川洪水災害とその考察，京都大学防災研究所年報，第20号B-2，pp.201-215，1977.

岡山県土木部河川課：1998水害レポート

角屋 睦・早瀬吉雄・岡 太郎：昭和49年7月豪雨による伊勢市水害の発生過程，京都大学防災研究所年報，第18号B，pp.453-468，1975.

高橋 保・中川 一：市街地における洪水氾濫水の挙動に関する研究，京都大学防災研究所年報，第26号B-2，pp.245-259，1983.

高橋 保・辻本浩史：土石流氾濫・堆積の数値シミュレーション，京都大学防災研究所年報，第27号B-2，pp.467-485，1984.

津山市：台風十号水害，pp.1-9.

中川 一・井上和也・島本和仁・武田 誠・上塚哲彦：大阪湾における高潮とその氾濫に関する研究，京都大学防災研究所年報，第38号B-2，pp.477-499，1995.

永井明博・角屋 睦・岡 太郎：7617号台風による日下川波介川流域の水害とその考察，京都大学防災研究所年報，第20号B-2，pp.217-232，1977.

永井明博：洪水流出タンクモデルの総合化に向けて，農業土木学会論文集，第176号，pp.215-223，1995.

(投稿受理：平成16年11月12日
訂正稿受理：平成17年3月8日)