

洪水および氾濫解析のための格子作成における 測量データの有効活用

An attempt to utilize the surveying data into the grid generation
for calculating the flood flow

岩佐隆広*・島田ゆり**・八木剛***・豊田政史****・富所五郎*****

By Takahiro Iwasa*, Yuri Shimada**, Takeshi Yagi***, Masashi Toyota**** and Goro Tomidokoro*****

Abstract: Flood damages are often happened all over the world recently. The flood flow characteristics in time and space have to be estimated in high accuracy in order to minimize the damages on human beings. Therefore, flood flow simulation considering fine topography and land categories is required, as they have a great influence on how to behave the flood flow. In this study, we focused on the grid generation, which is one of the important procedures in the flood flow simulation. The results proved that In order to reconstruct the situation in the case of an ancient deluge, the flood flow simulation, in which the river channels of those days were estimated in the basis of the old topographical maps, was performed. It could be reconstructed in more detail than the previous studies. It was introduced the numerical information for altitude and land use issued by Geographical Survey Institute into the unstructured grid generation procedure semi-automatically. This method had nearly equal resolution to the manual data input and saved us much time.

Keywords: topographical map, numerical information on national land, flood flow simulation

キーワード: 地形図、国土数値情報、洪水氾濫解析

1. はじめに

近年、洪水氾濫による人的・物的被害が頻発しており、その被害軽減のために洪水氾濫解析が数多く行われている^{1), 2)}。解析においては、当然ながら精度および簡便さが求められる。そこで本論文では、洪水氾濫解析格子作成時に着目し、精度向上および省力化のために測量データを活用した2つの例を示す。

治水計画を立案するにあたっては、水文データ（降水量・河川流量など）を用いて計画基準年に対応した（たとえば、100年に1度など）洪水規模が求められる。しかし、日本で水文観測が系統的に行われるようになったのはせいぜい明治時代中期以降のことであり、計画基準年に対応した洪水規模を推定するために用いることのできるデータ数が不足している。それに対する基本的な解決法の一つとして、昔の洪水を復元し、近代の観測データを追加して大標本を構成する方法があげられる³⁾。庄ら³⁾や佐藤⁴⁾は統計水文学や古日記などの文書記録に基づいて洪水を復元している。そのほかに、昔の洪水を復元する方法とし

*	信州大学大学院工学系研究科社会開発工学専攻	Graduate student, Department of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University
**	工修 日本上下水道設計株式会社	Nippon Jogesuido Sekkei Co.,Ltd.
***	工修 株式会社 NIPPO コーポレーション	NIPPO Corporation Co.,Ltd.
****	工修 信州大学工学部社会開発工学科助手	Research associate, Department of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University
*****	工博 信州大学工学部社会開発工学科教授	Professor, Department of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University

て、地形データに基づいて洪水流を水理学的に推定する方法があり、山田⁵⁾や寒川ら⁶⁾が行っている。しかし、これらの研究では洪水流を定常状態かつ縦断方向に一次的に解析しており、洪水流に大きな影響を及ぼすと思われる非定常性および地形の横断方向変化が考慮されていない。そこで本研究では、より詳細な洪水の復元をめざして、過去の地形図の読図および文献調査を行い、当時の地形を推定する。そして、その地形に基づいて作成した解析格子を用いて行った洪水流の平面二次元非定常解析例を示す。

一方、仮に氾濫が起こったときに、氾濫水が堤内地をどのように広がるかを把握することは、被害軽減のためには不可欠である。そのため、洪水氾濫解析モデルを用いた結果に基づいた洪水ハザードマップの公開が市町村レベルで行われ始めている。しかし、現段階では、解析格子には構造格子を用いており、その大きさは 250m 程度のものが多い。このため、氾濫水の広がり方に大きな影響を及ぼす対象領域の標高や土地利用が詳細に表しきれない。川池ら⁷⁾や富所ら⁸⁾は、非構造格子を用いて氾濫解析を行っているが、その地形データ作成の多くは手作業で、多大な時間をかけているのが現状である。そこで本研究では、非構造格子を用いた氾濫解析格子の作成時間短縮を図るために、国土数値情報を用いる方法を試みる。

2．地形図を用いた過去の流路推定結果に基づいた洪水復元解析

本章では、過去の大洪水を復元するために、古い地形図を用いて当時の流路を推定し、その地形を用いて洪水解析を行う。ここでは、千曲川流域において発生したものの中で既往最大規模といわれている 1742 年洪水を対象とした。この洪水は、十二支の戌年に発生したことから「戌の満水」と呼ばれている。

(1) 洪水流解析の対象領域

洪水流解析の対象領域を図 1 に示す。千曲川については、千曲市大正橋(距離標 89.0km)を上流端とし、中野市古牧橋(距離標 39.5km)を下流端とした、49.5km 区間を考える。犀川については、長野市小市橋(距離標 9.5km)を上流端とし、千曲川合流点までの 9.5km 区間を考える。なお、距離標の値は新潟県境からの距離である。また、対象領域の面積は 197km²である。対象領域の標高を図 2 に示す。ここで、解析領域内の河床勾配は 1/1000 ~ 1/400 である。



図 1 解析対象領域

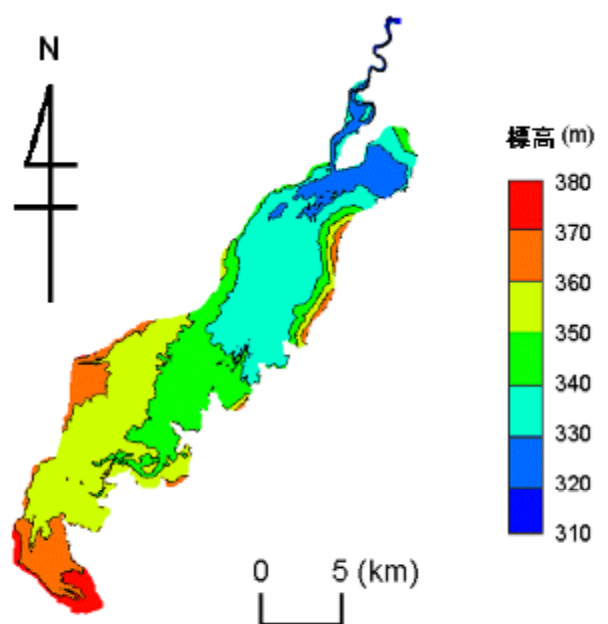


図 2 対象領域の標高

(2)千曲川流域における洪水の歴史

千曲川流域では、平安時代前期の888年(仁和4年)5月の「仁和大水災」をはじめ、数々の洪水の記録が残されている。洪水水位の記録としては、江戸時代から明治時代にかけて、長野市長沼の妙笑寺において、歴代の住職が本堂の柱に浸水の記録を記したものが残っている。図3に、妙笑寺の記録をもとに建てられた善光寺平洪水水位標を示す。この図より、本研究で対象とする「戌の満水」の水位が他の洪水に比べ、非常に高かったことがわかる。この大洪水は、1742年(寛保2年)7月27日から8月2日までの5日間にわたる豪雨により、荒川・利根川および千曲川流域で発生したものである。死者数は、関東地方で14000人、千曲川流域で3000人といわれている。



図3 善光寺平洪水水位標

(3)過去の地形図を用いた「戌の満水」(1742年)当時の河道位置推定

戌の満水が発生してから約260年が経過しているため、流域の地形や土地利用は大きく変化していると考えられる。洪水復元解析を行うにあたっては、地形データ作成時に当時の地形図を用いるのが自然であるが、現存しない。そこで本研究では、現存する最も古い地形図の読図および文献調査により、当時の河道位置を推定する。

対象領域で現存する地形図で最も古いものは、1913～1915年(大正2～4年)に製版された1/50000地形図である。この地形図を土地利用別に色分けすることにより、水田地帯は低地、住宅地や畑は比較的高地であると推定することができる^{9)、10)}。図4は、千曲市から長野市南部地域の地形図を色分け(水田:青色、住宅地:橙色、畑:黄色)したものである。この図から、東西に流れる犀川は中州の多い網状流路、南西から北東に流れる千曲川は蛇行流路であることがわかる。犀川南にある集落については、周囲に細長い水田があることから、かつての中州であったと思われる場所が多い。千曲川では、両岸に畑・水田の順に土地利用が広がっていることから、自然堤防と後背湿地が発達していることがわかる。両河川には、一部の区間に堤防があるが、現在のような連続堤防はない。土地利用は、水田と桑畑がほとんどである。住宅地は水田や畑の間にみられるが、面積は小さい。なお、このような状況は解析対象領域全域においてみられた。

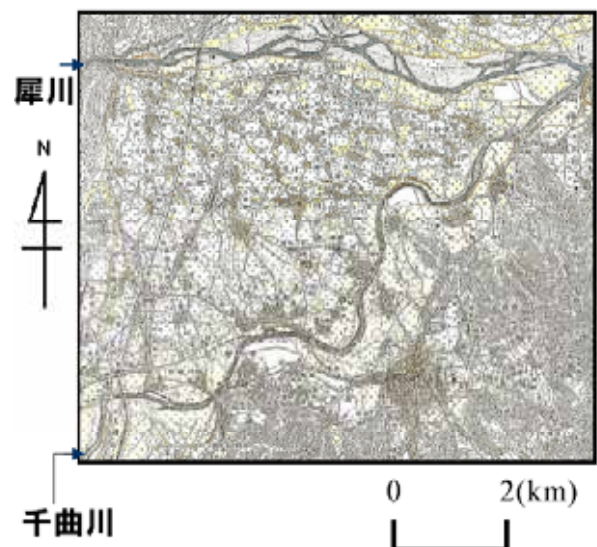


図4 千曲市・長野市南部の地形図(1915年)

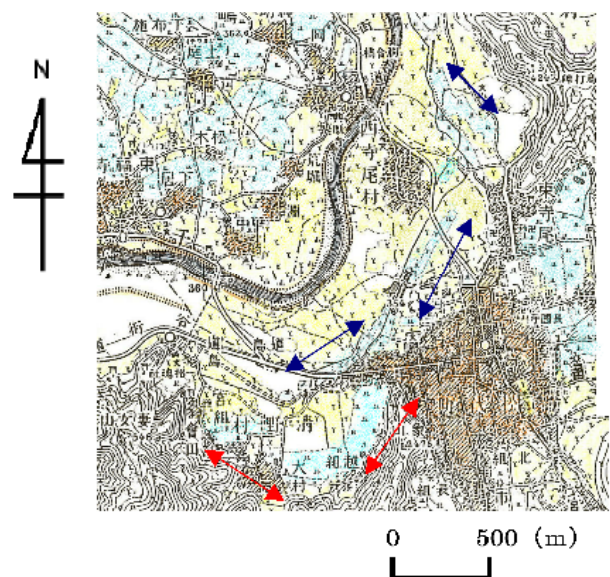


図5 長野市松代地区の地形図(1915年)

次に、地形図の読図により、旧流路跡が見られた長野市松代地区を図5に示す。図の西から北へ流れているのが千曲川である。図中の矢印の近辺に、細長い水田が確認できる。この水田の方向は現在の千曲川

の蛇行と同じことから、これらは流路跡と推定できる。また、南部の山沿いを流れる流路と(赤矢印)、住宅地の西側を流れる流路(青矢印)の、2つの流路跡が確認できる。文献 11) によると、長野盆地の千曲川は、沖積世初期(約一万年前)には1~2km程度東に偏っていたと考えられている。このことから、赤矢印で示した流路はその頃のものと推定できる。

解析対象領域において、上述のような方法で地形図の読図および文献調査を行った結果、「戊の満水」発生時に千曲市~長野市南部地域と豊田村上今井地区の河道が、現在と異なるものであったと推定できた。その推定した河道をそれぞれ図 6 および図 7 に示す。

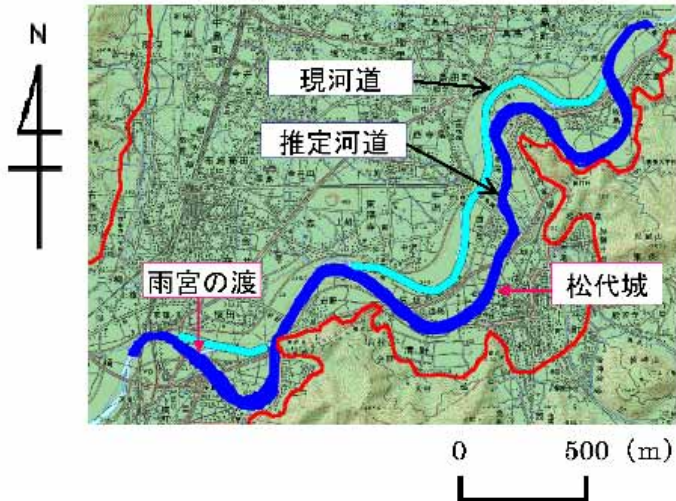


図 6 推定河道(千曲市~長野市南部地域)

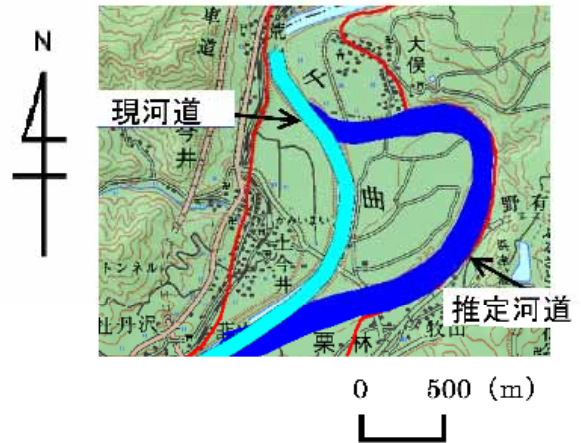


図 7 推定河道(豊田村上今井地区)

(4)洪水復元解析

本研究では、図 6 および図 7 に示した場所以外の流路位置は現在と同じであり、堤防は全く存在しないと仮定して、洪水流解析を行った。ここで、現河道部分の標高については、現河道付近の堤内地と等しい値に設定した。解析方法・条件および結果の詳細については、文献 12)を参照されたい。ここでは、解析例として、推定した河道付近における流速および水深の結果を図 8 に示す。この図から、現河道部分よりも推定河道の流速が大きくなっていることがわかる。また、図中の黒丸付近で、推定河道だけでなく現河道部分にも水が流れ込んでいることが確認できる。次に、最大氾濫流量時の水深図を図 9 に示す。この結果から、解析対象領域内の最大氾濫水量が3億18万(m^3)と推定できた。

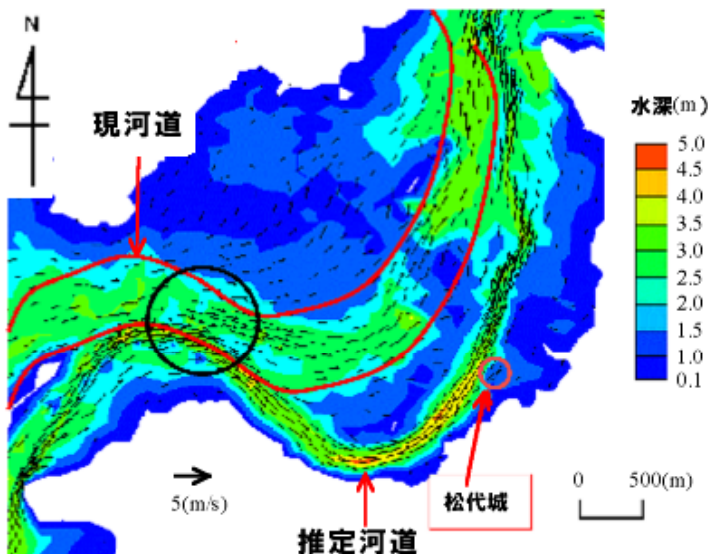


図 8 推定した河道付近の解析結果

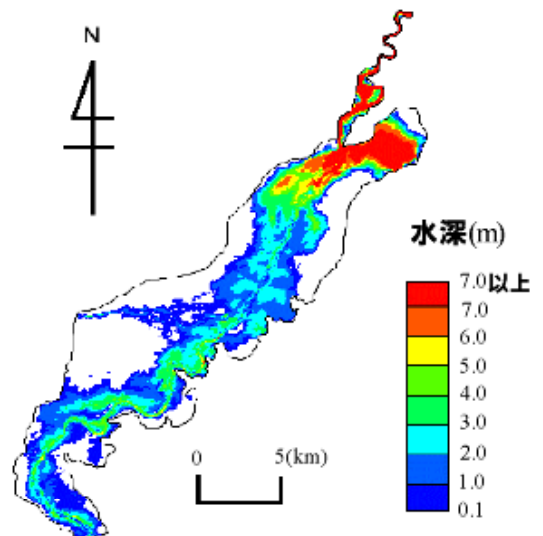


図 9 最大氾濫水量時の水深図

3．国土数値情報を用いた氾濫解析のための非構造格子の作成

氾濫解析に用いる最も一般的な格子として、構造格子が考えられる。たとえば、100m 四方の構造格子を用いれば、国土交通省が発行している土地利用メッシュの地目がそのまま使用できるため簡便であるが、氾濫水の拡がり方に大きな影響を及ぼす対象領域の地形や土地利用（道路や水路など）を詳細に表現できない。そこで本研究では、氾濫流の挙動を精度良く再現するために、三角形非構造格子を用いた。この格子は、対象領域の地形や土地利用を詳細に表現することができる。しかし、それぞれの格子に標高や土地利用を手動で与えるには、多大な労力が必要となる。そこで本章では、非構造格子における標高および土地利用の決定に、国土数値情報を用いて、格子作成作業の省力化手法を検討する。

(1)非構造格子データの作成方法

研究対象領域は、2.の(1)でのべた領域と同じとした。解析格子の作成フロー図を図 10 に、利用した数値情報の概要を表 2 に示す。なお、土地利用メッシュで表現される属性は、田・その他の農用地・森林・荒地・建物用地・幹線交通用地・その他の用地・河川地および湖沼・海浜・海水域・ゴルフ場である。まず、数値地図 25000 の地図画像上において、解析領域境界上に節点をとったあとに、総節点数を設定し、三角形要素の面積比を小さくする条件で修正デローニ三角分割法¹³⁾を用いて自動的に節点を発生して三角形の非構造格子を作成した（CASE-1）。次に、CASE-2 ではCASE-1 に加えて低水路・堤防・道路などの連続した細長い形状（以下では細長形状という）を表現するために、それらのベクターデータをもとに、その内部に節点を手動でとったあとに、CASE-1 と同様に非構造格子を自動作成した。ここで、研究対象領域内の低水路および道路節点の手動指定にかかった時間は、数時間程度であった。また、土地利用の決定については、三角形要素の重心が含まれる土地利用メッシュの属性をそれぞれの要素に与えた。ただし、CASE-2 において、低水路・堤防・道路などの土地利用は、それぞれの細長形状にとられた内部点により土地利用の属性を区別して指定した。さらに、格子面積の違いによる土地利用表現に関する精度比較を行うために、CASE-2 と同様の方法で節点数のみを減少させたCASE-3 の格子作成も行った。表 3 にCASE-1～CASE-3 の格子の概要を示す。なお、節点の標高は、50mメッシュ標高から線形補間により与えた。

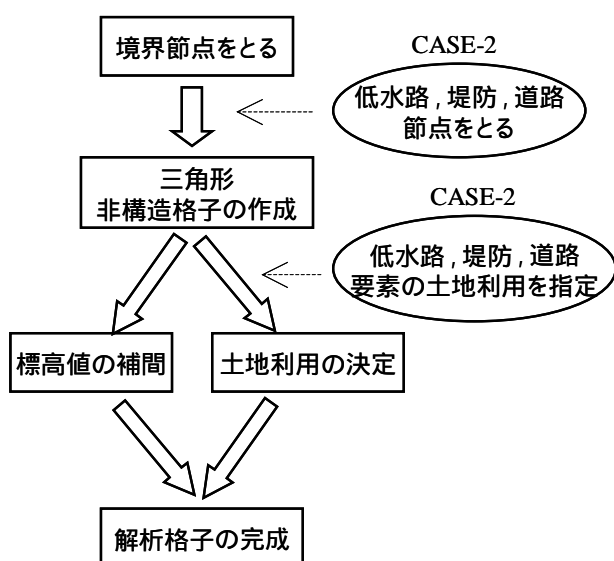


表 2 利用した数値情報の概要

データ	概要
数値地図 25000	国土地理院刊行。1/25,000地形図をデジタル化したラスタ型の地図画像。
数値地図 50m メッシュ 標高	国土地理院刊行。1/25,000地形図（1図葉約10km四方）の等高線を利用。経度及び緯度方向に、各200等分したメッシュ平均の標高を記録。標高の間隔は、実距離で約50m×約50m。
土地利用 メッシュ 100m	国土交通省刊行。経度及び緯度方向に、4.5°×3°に区画された細部区画に土地利用の情報がコード化されている。メッシュは実距離で約100m×約100m。

表 3 土地利用表現精度比較に用いる格子の概要

	CASE-1	CASE-2	CASE-3
節点数 / 要素数	50000 / 97949	50000 / 94389	30000 / 54903
最大格子面積[m ²]	3752.73	4770.94	10848.78
最小格子面積[m ²]	80.19	1.91	6.61
平均格子面積[m ²]	2011.17	2082.06	3579.46

図 10 解析格子の作成フロー

(2) 作成した非構造格子の土地利用表現に関する精度比較

国土交通省の国土情報ウェブマッピングにより図
 10-1-1 図 11 土地利用メッシュ 100m¹⁴⁾ (図 11) (1)の
 作成方法で得られた非構造格子CASE-1 (図 12) およ
 びCASE-2 (図 13) について、作成した格子の土地利
 用表現に関する精度を比較する。ただし、図 11 の
 作成において、道路などの線形形状は 100m単位の分
 解能では完全に再現されていないことを考慮し、土
 地利用メッシュとは別にベクター型の道路線データ
 を用いて、図の中央と左側を縦断する幹線道路を表
 現している。

土地利用メッシュの面積は一律に 10000m²であるのに対して、本研究で作成した三角形格子の平均面積は約 2000m²(表 3 参照)と小さい。そのため、CASE-1 (図 12) は、土地利用メッシュ 100m (図 11) とほぼ同様な土地利用を再現できているが、ラスタ型土地利用メッシュ 100m の属性に含まれていない道路や水路などは表現できていない。一方、CASE-2 では、道路や水路の部分について、ベクターデータに基づいて細長形状要素を作成し、土地利用を指定している。そのため、CASE-2 (図 13) は CASE-1 (図 12) よりも実条件に近くなっており、氾濫水の拡がり方に影響する土地利用をおおむね表現できていると考えられる。このことから、氾濫解析に用いる格子作成時には、所要時間が長くなっても道路や水路などのベクターデータを手動で追加する必要があるといえる。

(3) 格子面積の違いによる土地利用表現に関する精度比較

図 14、図 15 に平均格子面積が異なる CASE-2 および CASE-3 における土地利用表現結果の裾花川付近での拡大図を示す。また、図 16 にその地域の地形図をあわせて示す。まず、裾花川を表している図の左上を縦断する河川部に注目する。CASE-2 (図 14) では裾花川の合流部付近の河道部を表現することができているが、CASE-3 (図 15) では、裾花川と犀川の合流部付近で河道に不連続な箇所が存在する。次に、図の下部 (図中の白丸) をみると、CASE-2 (図 14) でみられる土地利用の変化が、CASE-3 (図 15) では方が CASE-2 よりも格子面積が大きいため、CASE-3 ツッシュに重なる面積が大きくなった結果であると思

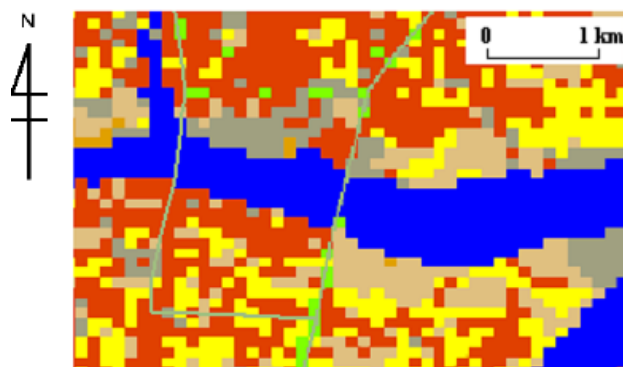


図 11 土地利用メッシュ 100m

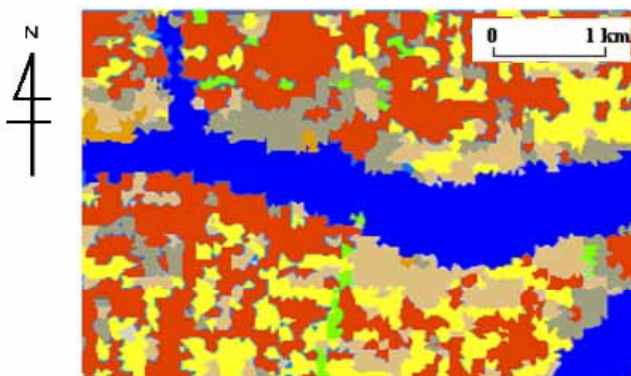


図 12 作成した土地利用図 (CASE-1)

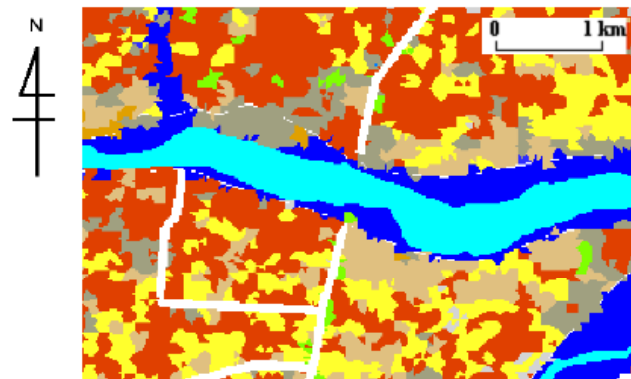


図 13 作成した土地利用図 (CASE-2)

凡例 (图 11 ~ 图 13)

 田	 建物用地
 その他の農用地	 幹線交通用地
 森林	 その他の用地
 荒地	 湖沼・河川他
 道路（指定）	 低水路（指定）

以上の比較から、土地利用をより詳細に表現するためには格子面積を小さくする方がよいことが確認できた。しかしその場合、氾濫流の解析所要時間が増大するため、氾濫流を解析するにあたっては格子面積と解析所要時間のバランスを考えた解析格子を用いることが望ましいといえる。

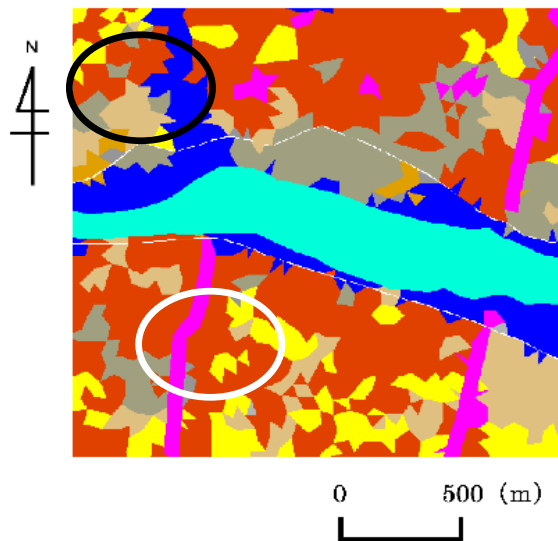


図 14 土地利用図 (CASE-2、格子面積：小)

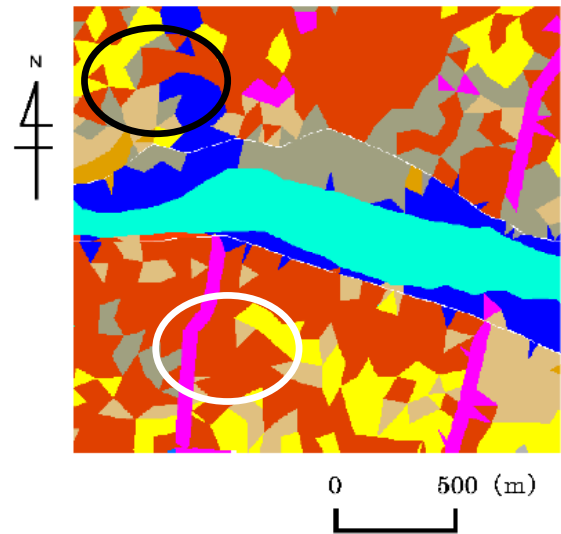


図 15 土地利用図 (CASE-3、格子面積：大)

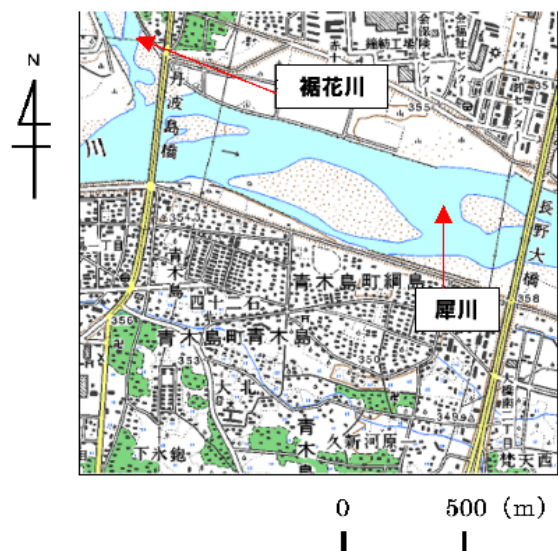


図 16 実際の地形図

凡例 (図 14、図 15)

■ 幹線交通用地	■ 湖沼・河川他
■ 建物用地	■ 低水路(指定)
■ その他の農用地	■ 森林
■ その他の用地	■ 堤防(指定)
■ 荒地	■ 田

4. おわりに

本研究では、洪水および氾濫解析のための格子作成時における測量データ(地形図および国土数値情報)活用方法について検討を行った。以下に得られた結果を示す。

1) 過去の大洪水を復元するために、古い地形図を用いて当時の河道位置を推定し、その地形を用いて平面二次元洪水解析を行った。その結果、洪水流の非定常性や詳細な地形条件などを考慮することにより、従来の研究による洪水復元結果と比べて、より現実に近い形で洪水の状況を再現することができた。

2) 氾濫流を解析するための格子作成における所要時間短縮をめざして、土地利用に関する数値情報の利用を試みた。その結果、数値情報で得られるラスターデータとは別途に、道路や水路などのベクターデータを手動で追加したあとに、三角形要素自動分割を行うことにより、実際の地形をほぼ表現する解析格子を作成できた。また、土地利用をより詳細に表現するためには、格子面積を小さくする方がよいことが確認できたが、その場合は解析所要時間とのバランスを考える必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、貴重な図面の提供など多大なる協力をいただきました国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所のみなさまに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 川池健司・丸山寛起・吉本静磨・野口正人：諫早低平地における氾濫解析とその浸水被害軽減策への応用に関する研究、水工学論文集、第 49 巻、pp.565-570、2005
- 2) 川口広司・末次忠司・福留康智：2004 年 7 月新潟県刈谷田川洪水・破堤氾濫流に関する研究、水工学論文集、第 49 巻、pp.577-582、2005
- 3) 庄建治朗・長尾正志・富永晃宏：古日記天候記録を用いた琵琶湖歴史洪水の復元、土木学会論文集、No.656/ -52、pp.15-25、2000
- 4) 佐藤照子：歴史市街地水害の復元とその水害環境 - 東京神田川における事例研究 - 、自然災害科学、14-1、pp.59-76、1995
- 5) 山田啓一：千曲川における寛保 2 年（1742 年）洪水の規模推定について、第 9 回日本土木史研究発表論文集、pp.131-134、1989
- 6) 寒川典昭・山下伊千造・南士郎：千曲川下流の歴史洪水の復元と考察、土木史研究第 12 号、pp.251-262、1992
- 7) 川池健司・井上和也・戸田圭一：非構造格子の都市氾濫解析への適用、水工学論文集、第 44 巻、pp.461-466、2000
- 8) 富所五郎・谷川勝彦・松本明人：標高を解とした解適合格子を用いた有限要素氾濫解析、水工学論文集、第 46 巻、pp.361-366、2002
- 9) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第 1 巻 読図の基礎、古今書院、p.200、1997
- 10) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第 2 巻 低地、古今書院、p.554、1998
- 11) 建設省北陸地方整備局千曲川工事事務所：千曲川・犀川 30 年のあゆみ、pp.91-103、pp.124-132、1980
- 12) 島田ゆり：氾濫解析による千曲川流域における 1742 年洪水の再現に関する研究、信州大学工学部社会開発工学科修士論文、2004
- 13) 谷口健男：FEM のための要素自動分割、森北出版、198p、1992
- 14) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス（<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>）、L03-09 M-20-02.0.zip.（平成 9 年、長野）