

洪水氾濫解析のための 精緻な地盤高データ作成手法の構築

DEVELOPMENT OF A PROCEDURE TECHNIQUE FOR ESTIMATING GROUND HEIGHT IN APPLYING FOR THE FLOOD-FLOW SIMULATION

天口英雄¹・川本一喜²・安田武志³・長坂丈巨⁴・河野次朗⁵・河村明⁶
Hideo AMAGUCHI, Kazuki KAWAMOTO, Takeshi YASUDA, Takemi NAGASAKA,
Jiroh KOHNO and Akira KAWAMURA

- ^{1,6}正会員 首都大学東京 都市環境学部 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1丁目1番)
^{2,3}三井共同建設コンサルタント株式会社 河川計画グループ (〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-4-15)
⁴三井共同建設コンサルタント株式会社 東京事業本部 (〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-4-15)
⁵正会員 三井共同建設コンサルタント株式会社 東京事業本部 (〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-4-15)

The objective of this study is to develop a procedure technique for estimating ground height data using city-planning map with a scale of 1 to 2,500. First, the ground height information was traced from the map. Then, the traced image data was scanned into a Personal Computer and the ground height information data was converted into the XYZ data by using R2V. Next, the data was interpolated in 10m grid data by use of Triangulated Irregular Network technique. The accuracy of this method was verified for the flood hazard area in Tama River basin. As a Result, the estimated ground height corresponded to the distribution of the ground height getting from city-planning map very well.

Key Words : DEM, Tama Rive Basin, TIN, 2Dim-Flood-Flow Simulation

1. はじめに

「水防法」は東海豪雨災害を契機に平成13年6月に抜本的に改正され、更に平成16年の新潟災害等を経て現在改正作業が進められている。「水防法」に基づく浸水想定区域の公表のために氾濫解析を実施しなければならない河川は、従来の国土交通大臣管理河川に加え、都道府県知事管理の河川にまで拡大された。後者には中小河川が多数含まれている。

氾濫解析を実施するには、氾濫原の地盤高や、河道の水位を算定するための河川横断測量資料をはじめとする各種データが必要である。このうち河川測量資料は、河川改修計画等の調査の一環で実施された定期横断測量の成果が利用できる。しかし、氾濫原の地盤高は、氾濫解析を実施するための十分なデータが整備されていない場合もあり、氾濫解析のために新たに測量を実施することは、費用や時間の面でも課題が多い。また、洪水ハザー

ドマップ作成のベースとなる浸水想定区域図作成に不可欠な氾濫解析モデル構築は、現状では2次元氾濫シミュレーションが主流になっている。

これまでの地盤高作成は、1/2,500地形図での単点高及び等高線を注意深く見比べた上で、モデルのメッシュサイズでのデータを作成していくために、多大な労力と時間を要する。更に、メッシュサイズによっては、図面上の単点高及び等高線からその平均高を設定することになり、平均化技法は、画一化されていない。

他方、最近では航空機搭載のレーザースキャナーを利用した3次元地形計測が注目を集めており、各分野での利用が検討されている。氾濫解析においても、細密な地形標高データを用いて、氾濫原の微地形に応じた浸水状況を表す場合などにレーザースキャナーデータを活用する新たな試行が始まっているが、コスト・パフォーマンスと精度面での課題も論じられている^{1),2)}。

そこで、本研究では、2次元氾濫シミュレーションモデル構築のための、1/2,500地形図の地盤高情報(単点標

高及び等高線)から精緻な地盤高情報を作成する手法を開発し、多摩川の想定最大氾濫区域を対象に、当該手法の精度検証を行った。

2. 地盤高データ作成手法

(1) 氾濫シミュレーションマニュアル³⁾の地盤高設定要件
氾濫シミュレーションマニュアルに基づく2次元氾濫解析での地盤高の作成は、縮尺が1/2,500や1/5,000の都市計画図などを用いて、地図上に示された単点の地盤高から、各メッシュ内での平均値を設定することが基本となっている。また、国土数値情報を利用して地盤高を算定する場合には、崖地・丘陵地周辺のメッシュは、都市計画図などを用いて地盤高を設定することとしている。

一方、平均地盤高を設定するメッシュ領域は、氾濫シミュレーション結果を用いた治水経済調査への活用にも配慮することが合理的である。即ち、流域内の人口や資産等を把握するために活用している総務省の統計情報が、標準地域メッシュ⁴⁾(緯度経度で定まる領域でのデータ整理)になっているので、これら統計メッシュと平均地盤高データのメッシュ領域の整合性を計ることとなる。

標準地域メッシュを基準として平均地盤高を作成するには、図-1に示すように都市計画図と標準地域メッシュとの座標系を整合させて、都市計画図に示されている等高線や道路上の標高点から、各メッシュ内の平均標高値を推定する。

(2) 従来の手法

都市計画図と標準地域メッシュは利用している座標系が異なるために都市計画図の図枠とメッシュ領域の関係はないために手作業での平均標高値の推定は困難である。図-2は都市計画図に標準地域メッシュ(約250m相当)の格子を重ね合わせたものに、地図内の地盤高情報を強調して示した。この図から、都市計画図の端部分は標準地域メッシュとの整合性がないために隣接する都市計画図も考慮して平均地盤高を設定する必要がある。このような作業を人為的に地図を見ながら行うために、作業する人の主観が入ることは避けられず、さらに作成した平均地盤高の再チェックを行う際にも都市計画図を見直すので非常に作業効率が悪くなる。

(3) 本研究で提案する地盤高作成手法

都市計画図から地盤高データを作成するには、図-3に示すように以下の5つの手順により行う。

- ① 都市計画図上の地盤高情報(等高線、標高点)をトレースする。
- ② トレースした図面をスキャナーで白黒2値画像としてPCに取り込み、等高線や地盤高単点を位置情報(X,Y)と標高値(Z)としてデジタル化を行う。

標準地域メッシュと地盤高の関係

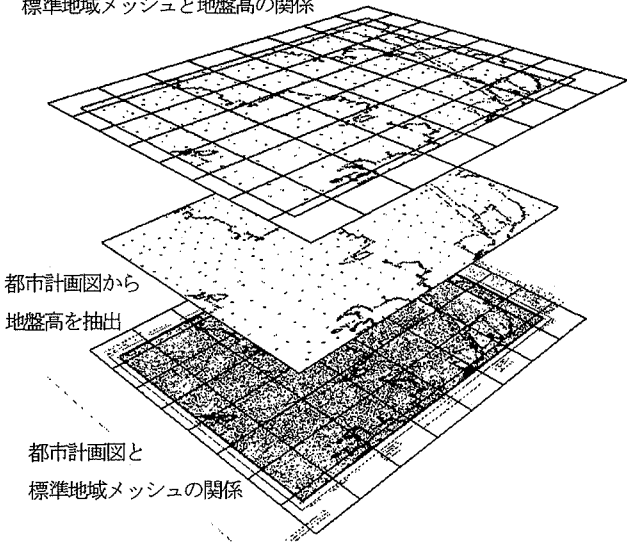


図-1 地盤高作成の概要

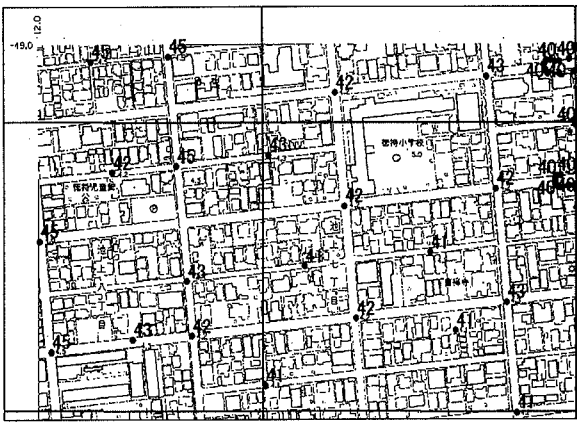
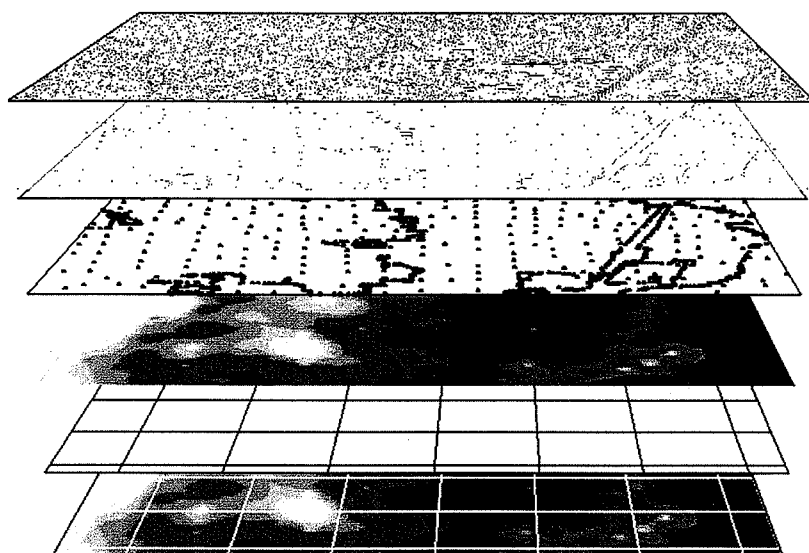


図-2 標準地域メッシュと都市計画図の関係

- ③ 三角形化に基づいた線形補間によりグリッドデータの作成を行う。
 - ④ 標準地域メッシュに基づき、作成しようとする平均地盤高領域をベクトルデータとして作成する。
 - ⑤ ③と④から、領域内の平均値を作成する
- 以下に作成手法について詳細に示す。

a) 都市計画図の標高情報からXYZデータの作成

都市計画図などの、紙に描かれた地図から地理情報システムで利用可能なデジタルデータに変換するには、デジタイザを用いて直接地図上の情報を取得する方法や、地図をスキャナー等でデジタル化し、それをディスプレイ上で情報を取得する方法がある。デジタイザでは等高線のような連続物に対してもポイントとして入力しなければならないために作業効率が悪くなる。そこで、本研究では、ラスターデータからベクトルデータへの変換を



都市計画図を用意する

① 都市計画図の地盤高情報をトレースする

② トレースした図面をスキャナーでPCに取り込み
R2Vを利用してXYZデータに変換

③ XYZデータを10m間隔グリッドデータに変換

④ 取得したいメッシュ領域をグリッドデータ
に重ね合わせる

⑤ 統計処理によりメッシュ領域内の平均値
を抽出する

図-3 地域メッシュと都市計画図の関係

行うために、R2Vを利用した。このソフトウェアは市販されているのもで (ABLE SOFTWARE CORPOLATION. AUTOMATED RASTER TO VECTOR CONVERSION SOFTWARE FORGIS, MAPPING AND CAD: 通称R2V)、画像データを Digital Vector Dataに変換するために利用する。このソフトウェアを利用することで、等高線の自動追跡が行われるために、作業効率の向上が図れる。

都市計画図から地盤高情報を取得する際に注意する点を次に示す。

- ① 人工盛土 (道路、堤防、鉄道) などの標高値を入れると、作成される平均地盤高がこの標高値に影響を受けるために上昇・下降する場合がある。このため、最終的に利用するメッシュの大きさに対してその盛土幅が小さい時にはその標高値を入れないで地盤高を作成する。ただし、このような特異点は氾濫モデル内で境界条件として考慮する。
- ② 田や人工盛土周辺は、地盤高が急激に変化する。このような場所にも通常地盤高の単点が記入されているが、それだけでは地盤情報が不足するため、平均値として作成される地盤高にも影響がある。そのために、明らかに周囲との地盤高が急変している場所では、地盤の低い方と高い方に対して地盤高を追加する。標高点を追加する場合には、後述するように、XYZデータから規則的なグリッドデータを作成するために三角化に基づいた線形補間による手法を熟知する。

b) X, Y, Zデータからラスターデータの作成

都市計画図より作成したXYZデータから一定間隔に空間補間を行いグリッドデータに変換する。ここで、XY



図-4 50mメッシュと10mグリッド点の関係

は位置情報を表し、Zはその位置の標高値を表す。このような不規則データから規則的な格子点での標高値について空間補間を行う方法は、標高点を三角形で結ぶ三角化によって行われる。つまり、データの無い地点の値は、三角形の中で線形補間、あるいはスプラインのような連続した数学的な曲面を適合することにより推定される。曲面モデルはパラメータの設定や、入力時に内挿される標高点を推定することが困難であるために、本研究では線形補間を用いて行う手法を用いた。線形補間では、標高データ入力時に直感的に内挿点の標高値を推定できるために、前項②の条件のような場合に、地図に入力されていない標高点をどのように入力するかが容易に分かる。

三角化に基づいた線形補間による一定間隔グリッドデータを作成する手順は以下に示す。

- ① はじめに、入力した標高値が三角形の頂点の値にな

るように、TIN (Triangulated Irregular Network) を作成する。

- ② 作成したTINから規則的な点での標高値を線形補間によって計算する。
- ③ 作成するグリットの大きさは、最終的に50mメッシュの作成を行うために10m×10mのグリッドデータを作成する。

c) 標準地域メッシュ範囲内平均地盤高の作成

氾濫解析において利用されるグリット形状が地域メッシュで定義されるものと異なり、一定距離のグリットを用いてモデルを作成する場合には、以下に示すような変換は必要ない。しかし、氾濫解析結果を用いて治水経済調査を行う場合には人口などの統計データを利用し、そのデータが地域メッシュ単位で作成されている。このために、氾濫解析で利用する地盤高をこの地域メッシュに整合する必要がある。図-4は標準地域メッシュを基準に作成した50m相当のメッシュと10mグリッド中心点との関係を示したものである。この図のようにメッシュ境界においてメッシュにより中心点が含まれる個数が異なるために、平均地盤高を作成する場合にはメッシュ毎に地盤高のサンプル数が異なることに注意が必要である。以下標準地域メッシュを基準とした50mメッシュ標高作成時を例として説明する。

- ① 標準地域メッシュを基準に50mメッシュの領域を作成する。作成した地域メッシュの大きさは、第2次メッシュ単位(約10km四方の大きさで国土地理院発行の地形図1/2.5万の図枠に相当)とすると200×200の大きさである。地域メッシュは緯度・経度を基準に作成されているために、1メッシュ当りのサイズは東京周辺では東西方向57.7m、南北方向46.6mとなる。
- ② ER Mapperを用いて、10m×10mの大きさで作成したグリッドデータからの上記で作成した50mメッシュ領域内に存在するラスターデータから平均値を求める。
- ③ 氾濫解析用に用いるグリッドサイズに基づき、上記②で作成した50mメッシュ標高を基に100mや250m範囲での平均標高値を求める。

3. 多摩川下流域への適用

(1) 対象流域の概要

本研究での対象地域は、多摩川の石原地点下流における想定氾濫区域を選んだ。多摩川は東京都を縦断し、幹川流路延長約140kmを有する。流域は東京、山梨、埼玉及び神奈川の1都3県にまたがり、面積1,240km²である。

石原地点下流部における地盤高の分布を、「数値地図50mメッシュ(標高)」⁹⁾の数値情報を用いて図示したものが図-6であり、(a)は1m間隔の等高線、(b)は2m間隔の

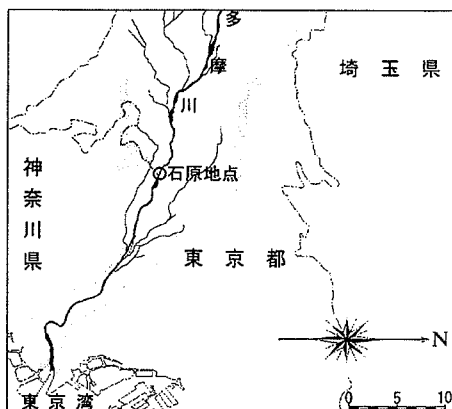
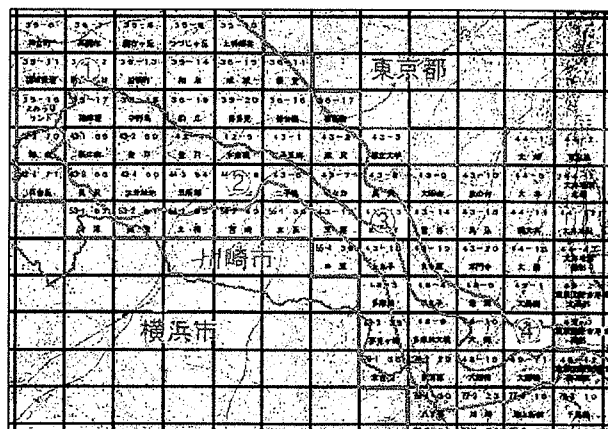


図-5 多摩川下流域図

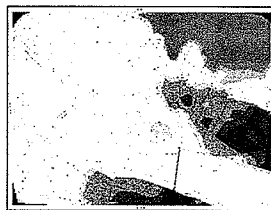


(a) 1m間隔等高線表示例 (b) 2m間隔等高線表示例

図-6 多摩川下流部の地盤高分布状況



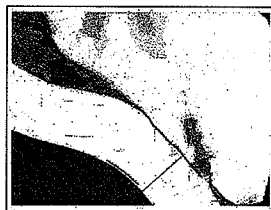
(a) 都市計画図位置図とTINによる表示例位置



(b) ①京王多摩川



(c) ②津田山



(d) ③田園調布



(e) ④荻中

図-7 TINによる地盤高表示例

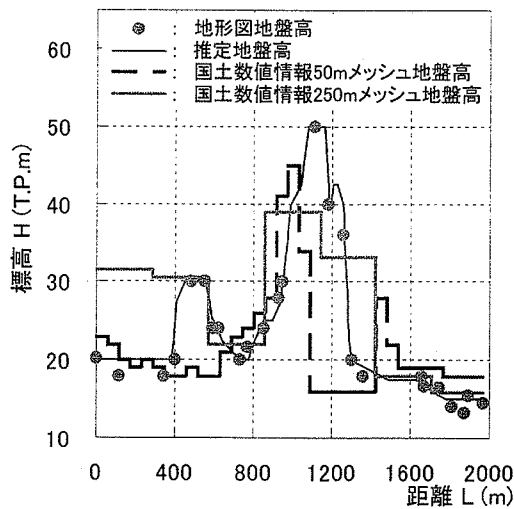


図-8 津田山D-D' 断面地盤高縦断面図

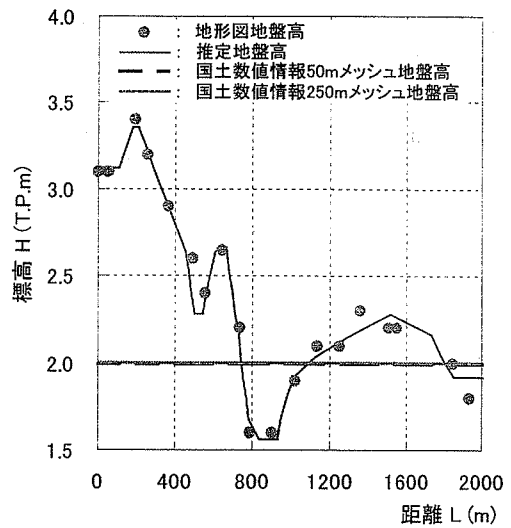


図-9 荻中I-I' 断面地盤高縦断面図



図-10 津田山縦断面図位置図



図-11 荻中縦断面図位置図

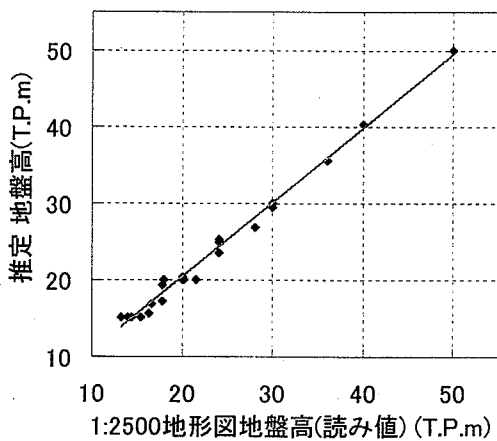


図-12 地形図地盤高と推定地盤高相関図(津田山)

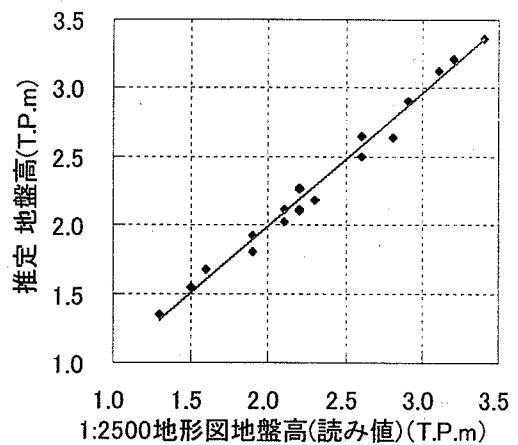


図-13 地形図地盤高と推定地盤高相関図(荻中)

等高線を描いたものである。特に(a)では小規模な起伏が発達していることが示されている。また、地盤高等高面間隔の違いにより、ごく微小な起伏形状に差異が生じている。更に、最下流部のデルタ地区はほぼ平坦であるが、数値地情報では、1m間隔と2m間隔で等高面形状に差

異が著しいために、このような流域を人力で地盤高等高線を描画するには、熟練した技能を必要とするものと推察される。

(2) 対象流域の地盤高作成

対象流域の地盤高作成手法の作業手順は前項に示した通りであるが、多摩川流域を対象とした具体的な手順を以下に説明する。

はじめに、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所が公表している多摩川の想定最大氾濫区域に基づいて、当該区域を包括するように東京都及び神奈川県川崎市が発行した1/2,500都市計画図を収集する。地盤高データ作成手順は、①都市計画図の地盤高情報のトレース、②トレースした図面をスキャナーにより白黒2値画像としてPCに取り込み、③取り込んだ画像からR2Vを用いてXYZデータに変換し、④ER Mapperを用いて10mグリッドデータの作成を行い、⑤標準地域メッシュを重ね合わせ平均地盤高の計算を行う。図面が複数の場合には①～③までの手順を各図面に対して行い、その後④・⑤の手順は一度に行う。以上の手順に基づき、多摩川下流域の想定氾濫区域を対象に地盤高を作成した。TINデータ作成結果の一例を図-7(b)～(e)に示す。

(3) 地盤高データの精度検証

地盤高データ作成手法の妥当性を考察するため、精度検証には、地域メッシュ単位で平均化した地盤高ではなく10mグリッド地盤高を利用しておこなった。推定した地盤高の精度を検証するために、一例で示した4地区のうちで起伏が最も著しい津田山地区及び最下流デルタ地区の萩中を対象に、任意の測線上での1/2,500地形図の単点標高及び地盤高等高線での地形断面を図-8～図-11に示す。同図には、我々が考案した地盤高作成手法での地形断面を対比して示した。

津田山は小規模台地に接しているため地盤高がTP10m程度から50m程度で変化し、断面中央においてこの形状が捉えられている。萩中は地形の起伏幅は津田山に比較して1オーダー小さく、TP1m～3m程度である。津田山及び萩中ともに我々の手法での推定地盤高は、地形図上標高を的確に再現できている。

更に、図-12及び図-13には地形図上単点標高と推定地盤高との関係を相関図に示した。断面図で示したとおり、地盤高の一致度は非常に高く、推定誤差は10cm以下である。

(4) 国土数値情報との比較

本手法での推定地盤高と国土数値情報(50mメッシュと250mメッシュ)とを比較した結果を、図-8及び図-9に示す。津田山での国土数値情報は、地盤形状の傾向は捉えているが、場所によっては10m以上の誤差がある。また、下流部デルタ地区である萩中での国土数値情報は、地盤高が整数値であるため、抽出した縦断標高は2mと一定値であり、低地部の精度に幾分問題があるようである。

4. おわりに

従来の地盤高作成手法では、氾濫シミュレーションの対象地域が低平地部に多く、国土数値情報と1/2,500地形図を丹念に比較しながら地盤高情報を作成していたが、従来の手法に精度面での問題が危惧されていた。本研究では、1/2,500地形図の地盤高情報(単点標高及び等高線)から10mメッシュでの地盤高情報を定量的に解析する手法について提案し、多摩川流域を対象に本手法の適用を行った。本研究で示した比較的簡易な手法でも精度が確保できてかつ、2次元氾濫シミュレーションの基本となる地盤高情報が得られることを示した。精度検証では、得られた地盤高情報は、単点標高との偏差が10cm未満であることが判明した。

更に、本手法はエキスパートな技能を必要とせず、行政機関が作成した測量等に基づく1/2,500地形図を収集することにより、スキャナーとパソコン程度のハードウェアに加えてソフトウェアを装備すれば、地図購入費及び作業人件費を除けば、小額の初期投資で、浸水想定区域図の公表のために要求される十分な精度での地盤高情報が得られる利点がある。

今後の課題として、本手法での地盤高データと国土数値情報のデータ夫々から作成した2次元氾濫解析シミュレーションモデルでの浸水深比較の結果から、本手法が適正であることを実証する予定である。また、この手法はメッシュの形状に制限を受けないもので、今後の氾濫シミュレーションの解析手法に導入が検討されているE.F.G.M. (Element-Free Galerkin Method) などにも適用する予定である。

参考文献

- 1) 舘健一郎、武富一秀、川本一喜、金木誠、飯田進史、平川了治、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) 川本一喜、舘健一郎、武富一秀、金木誠：レーザースキャナーを用いた中小河川河道モデルの作成手法に関する研究、河川技術論文集、第8巻、2002.6。
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所：氾濫シミュレーションマニュアル(案)、1995
- 4) 大竹一彦：新版2万5000分の1地図、pp208.2002。
- 5) 国土地理院：数値地図50mメッシュ(標高)CD-ROM 1997。

(2005.4.7 受付)