

(論文内容の要旨)

我が国は世界でも有数の地殻変動帯に位置しており、急峻な地形と脆弱な地質からなっている。その上、台風、集中豪雨あるいは豪雪といった過酷な気象条件の下にあり、いわゆる自然災害が発生しやすい。住宅はもとより、道路、トンネルあるいは橋梁といった国民の生活を支える重要な社会資本の多くが、自然災害による機能の損失の危険に曝されている。このような背景の中、利用者にとって安全かつ安心な生活が確実に確保されよう社会資本を維持・管理する必要がある。

これらに対応する技術として、GPS をネットワーク化することにより 2cm 精度の高精度化を行なった。これを利用し、移動体水準測量車両を開発し、効率的に広範囲の地盤高を計測可能とした。この移動体水準測量結果で航空写真による 3 次元地形モデルを補正することにより、広域においても高さ 10cm 精度の地形モデルを生成する技術を開発した。さらに、このして生成された 3 次元地形モデルを高速に表示できる GIS システムを構築し、任意の位置・角度からの視点で見られることを可能とし、さらに、図上計測機能も搭載した。そうして、これらの技術を融合させることにより高精度空間情報統合システム (GeoSIIS : Geo-Spatial Information Integration System) を構築した。これを利用して、社会資本の現在の位置や形状を正確に把握することが可能になり、地形モデルの上で各種シミュレーションを行なうことにより効率的な防災対策や維持管理計画業務の効率化ができることを示した。

本論文は、序論および結論を含め、10 章から成っている。

第 1 章は序論であり、3 次元地形モデル作成方法と利用法に関して現状と課題を記し、本研究の目的および位置付けについて述べている。

第 2 章は、現状、公共測量として行われている 3 次元地形モデル作成の代表例として、航空写真測量を例に挙げ、その工程とそれぞれの手法を示した。また、最近利用されている航空レーザ測量についても触れている。

第 3 章は、GPS を用いた高精度測位の仕組みとシステム構築に関して記した。GPS を利用した測位において、測位誤差が発生するメカニズムを示し、その測位誤差を極小化し、1~2cm の測位精度をリアルタイムで得るための手法として、ネットワーク型 GPS の中でも面補正パラメータ (FKP) 方式を取上げ、測位誤差の発生要因のうち、衛星軌道誤差、衛星クロック、電離層による遅延、対流圏による遅延についてそれぞれの誤差量を推定するための理論について示した。また、これを実現するために GPS 信号をインターネット経由でコンピュータネットワーク取込むシステムの開発を行なった。

第 4 章では、第 3 章で検討した高精度 GPS 測位方式の公共測量への利用と移動体での利用に関して記した。例として豊中市においては基準点測量を行い、公共測量作業として利用する場合の運用方法を検討した。その結果、測量結果が確実に 1~2cm の精度範囲に入る運用方法が見出されたため、その運用方法に沿って行なわれるように測量プログラムを作成した。これにより基準点測量についてはすでに測量法 16 条 (2008 年測量法改定後は 17 条) による公共測量届を提出し、国土地理院はこれを認めている。効率の点では基準点測量については従来の 2 倍~5 倍の効率になることを示した。また、FKP 方式では移動体においても測位精度は低下せず、この特徴を生かした移動体簡易水準測量の精度検証を渡良瀬遊水地にて行い、従来の水準測量との比較を行ったうえで、高さ方向で 2cm 程度の精度、効率の点では 100 倍以上を得られることを確認した。

第 5 章では、3 次元地形を高精度に作成・補正する方法と忠実にモデル化するデータ構造について記した。従来の航空写真による 3 次元地形モデル作成では、高さ方向の精度が大体 30cm 程度が限度であり、かつ、堤防、急崖地形など地形が平面から急に立ち上がるなど変化する部分や建物、壁など

垂直になっている部分、さらに橋梁、高速道路などの空中に浮かんでいるような地形がある場合には、ステレオ写真の3次元化処理において往々にして地形が歪む場合があることを指摘した。

3次元地形モデルを正確に表現するためには、データ構造においては地形と地物に分離し、地形はブレイクライン付 TIN (Triangulated Irregular Network) にて表現し、地物はオブジェクトとして別途モデル化することとしている。これにより、地形モデルを忠実に表現すると同時にデータ量の増大を抑えることができる。また、ブレイクラインを生成する場合、移動体水準測量を行った車両の走行軌跡より道路、堤防の法肩を概略計算し、これをブレイクラインとすることを提案した。

また、地盤高さも移動体水準測量を使ってステレオ写真の3次元化処理に加えることによって、正確に補正できることを検証し明らかにした。さらに、航空レーザ測量に対しても移動体水準測量を行うことにより高さ方向のばらつきを抑えることが可能であることを示した。

第6章は、高精度空間情報統合システム (GeoSIIS : Geo-Spatial Information Integration System) の表示エンジンに関して記した。第5章にて作成した3次元地形モデルを身近にあるパソコンで任意の視点、任意の角度、任意の距離から見ることができ、また、表示している各ピクセルごとに3次元座標を持たせることによってデスクトップ上で距離、面積、体積、断面形状などが測量することを可能とし、さらに、将来的には雨量計、水位計、現場映像など収集した現地データをリアルタイムで表示することを可能とする GeoSIIS のための3次元地形モデル表示エンジンの開発を行なった。大容量データの表示に際し、速度が障害となっていたグラフィックエンジンへのデータ転送をグラフィック内部の高速バスで転送することなどの工夫を行い、従来にない表示速度と簡便な操作性を達成した。

第7章では、近畿地方整備局九頭竜川ダム統合管理事務所管内で、第3章、第4章で述べた測量システムおよび、第5章、第6章で述べた GIS 技術を融合させ、GeoSIIS として実際に国土交通省の管理するフィールドにて河川管理手法として利用した例について実証している。ここでは航空写真測量と移動体水準測量を組み合わせることにより、福井県大野市を含む真名川流域 150 平方 km という広範囲な領域を3次元化し、高さ方向の目標精度、10cm を達成した。

この精度の計測結果により河川氾濫シミュレーションによる浸水の被害予測と避難経路説明が可能としている。さらに、従来方法の地形モデルの精度向上によりどの程度被害予測などが異なるかを事例を用いて検証した。この GIS は、ダム設置効果を住民に説明するための分かりやすい道具としても活用する一方、通常の実務において工事見積りや発注の際の簡易測量の代わりとして利用できることも実証した。

第8章は、国交省紀南河川国道事務所管内で、GeoSIIS の道路管理に適用した例について記した。同事務所が以前に撮影した航空写真を用いて、高精度 GPS による標定点測量と移動体水準測量を併用することにより国道 42 号線沿線の高精度な3次元地形モデルを生成し、GeoSIIS 上で表示を行ない、急崖地形の防災対策に資する方法の検討を行なった。

第9章は、高精度 GPS を利用した進化形の移動体測量車両を利用した3次元地形モデルの生成について記述している。同車両を利用することにより、微地形を含んだ3次元地形モデルの生成がさらに効率的になることを示すと共に、道路台帳の更新時における精度検証を行なって 10cm 精度であることを実証している。また、急崖地形やその他微地形についても高精度で計測できることを示した。

別の現場では、同様なシステムを援用してトンネル形状の計測も実施し、地すべり地形とトンネルの損傷状況との関連性を考察できる GIS を構築した。

第10章は、結論として本研究により得られた結果をとりまとめ、今後の課題を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

我が国は世界でも有数の地殻変動帯に位置しており、急峻な地形と脆弱な地質からなっている。その上、台風、集中豪雨あるいは豪雪といった過酷な気象条件の下にあり、いわゆる自然災害が発生しやすい。住宅はもとより、道路、トンネルあるいは橋梁といった国民の生活を支える重要な社会資本インフラの多くが、自然災害による機能の損失の危険に曝されている。このような背景の中、利用者にとって安全かつ安心な生活が確実に確保されよう社会資本を管理する必要がある。この一つの手段として正確な 3 次元地形モデルを作成し、データ化することにより、地理情報システム (GIS) 化を行い、シミュレーション、モニタリングの技術を向上させることは、防災としても必要不可欠なことであり、維持管理の効率化に対して大いに貢献する一方、災害時の対策としても有効な手段と考えられる。このような背景から、本論文は、高精度改良型 GPS システムの開発と、同 GPS を搭載した車両を高速で走行させながら高精度で 3 次元地形を計測する技術を構築するという新しい測量技術を開発し、さらに当技術で得られる 3 次元地形モデルを活用した防災用 GIS の開発に関する研究成果をまとめたものである。

本論文の主な内容は以下の通りである。

- 1) 高精度なネットワーク型 GPS システムを構築し、2cm レベルの高精度測位を実現する運用方法を確立した。さらに、これに対応した測量プログラムを開発し公共測量の方法として国土地理院に認定された。
- 2) 高精度 GPS を用いた移動体水準測量車両を試作し、広い範囲で、高精度に、従来方法より格段に効率的に測位できることを実証した。
- 3) 航空写真測量と移動体水準測量を利用して、広範囲でかつ、高さ方向に 10cm レベルの高精度な 3 次元地形モデルの生成手法を検討、実証を行なった。
- 4) 3 次元地形モデルを歪めることなく、かつデータの増大を防ぐため、ブレイクライン付 TIN (Triangulated Irregular Network) で地形を表し、その上に地物オブジェクトとして家屋、橋梁などを定義するデータ構造の導入を行い、実物モデルを用いて効果を検討した。
- 5) コンピュータグラフィックス理論を導入した表示方法の開発により、膨大なデータ量でも精度を劣化させることなく表示が可能で任意の視点から任意の角度・距離で高速に表示することを実現し、さらに、任意の位置で座標、距離、面積、断面形状など図上計測を可能とした 3 次元防災用 GIS の構築を完成させた。
- 6) 前述の測量システムおよび GIS 技術を融合させ、河川氾濫シミュレーションによる浸水の被害予測あるいは避難経路表示を考察する防災用 GIS システム等を構築し、空間情報の精度向上によりどの程度被害予測などが異なるかなどを、実例を用いて検証した。
- 7) 高精度 GPS を利用した進化形の移動体計測車両を用いてさらに効率的な 3 次元地形モデルの生成技術を開発し、微細な地形も 3 次元地形として計測できる技術を開発した。その中で、地すべり地形とトンネルの損傷状況との関連性を考察する GIS の構築を行なった。

以上、要約すると、本論文は、3 次元地形モデルを高精度で効率良く生成できる技術と得た結果を忠実に再現できる GIS エンジンを開発し、シミュレーション、モニタリングの技術を向上させている。これらの成果は、防災対策や災害時対策の向上のみならず、社会資本の維持管理の効率化に対して大きく貢献すると考えられ、土木計測および防災システム工学分野の発展に関し、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 20 年 11 月 14 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。