

# 高度な画像処理による減災を目指した 国土の監視技術の開発

キーワード： 減災  
画像処理  
電子国土  
DSM

測図技術開発室長

大 野 裕 幸

# 高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発

## 1. はじめに

わが国は、地勢上大規模地震の発生が避けられない。被害を最小限にとどめるための減災対策が重要であり、特に人命救助のためには発災直後の迅速な被害把握が求められる。

平成7年に発生した阪神・淡路大震災では、6,434名の人命が失われ、約25万棟の家屋が全半壊の被害を受けた。また、地震後に発生した火災によって7,124棟の家屋が全半焼している。特に都市直下型の地震では、建物の倒壊と地震後の火災によって失われる人命が多い。中央防災会議がまとめた首都直下地震の被害想定では、揺れによる全壊約15万棟、地震後の火災による焼失約65万棟と想定されている。

そのような大規模な災害の場合、その被害を地上調査において収集するのは道路閉塞等の交通障害が多く発生することが予想されることから効率的でなく、把握に時間を要することが懸念される。

また、地震の揺れによる直接被害だけでなく、地震による火災や土砂災害も大規模な人的・物的被害をもたらす。火災による被害は、被災状況が季節や天候に加え、道路の拡張や建物の建築などにも大きく影響されるため、精度の高い被害想定を行うためには、都市の変化に応じてシミュレーションを実施する必要がある。さらに、盛土などの脆弱な地盤の箇所の特定や危険度判定が進んでおらず、対策も遅れている状況にある。

そこで、国土交通省では、平成19年度から平成21年度までの3カ年にわたり、標題の総合技術開発プロジェクト（通称：減災総プロ）を立ち上げ、大規模地震災害対応の初動期の直接被害の把握に必要とされる技術開発と、災害に備える事前対策としての技術開発の2方面から減災につながる技術開発を実施した。

直接被害に対応する技術開発としては、空中写真や衛星画像を用いて被災地域の面的な観測を行い、建物の倒壊や道路閉塞といった被災状況を効率的に抽出する方法及びその伝達手段を開発した。

事前対策に活用する技術開発としては、地方自治体による災害に強いまちづくりへの活用を目指し、揺れが大きくなりやすい盛土部の検出ならびにその危険性評価手法の開発と市街地火災総合対策支援ツールの開発を実施した。

減災総プロの研究遂行にあたっては、各研究項目に詳しい学識経験者6名を含めた運営委員会を組織し、研究項目によってはさらに専門家会合を設置して内容を精査しつつ研究を実施した。また、国土地理院及び国土技術政策総合研究所による研究開発のほか、千葉大学との共同研究及び独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）との共同実験も実施した。

## 2. 研究概要

研究内容は、大きく初動期の直接被害に対応する技術開発と、事前対策に活用する技術開発の2つに分類できる。初動期の直接被害に対応する技術開発は、災害対応の初動期間として位置づけられ、また、人命救助の目安ともされる発災後72時間以内をターゲットとして、広域で発生した建物の倒壊箇所や瓦礫等による道路閉塞箇所を的確に把握して地図上に表示可能とする技術及び通信能力が低下した環境下でも適切な情報伝達を可能とする技術を開発した。事前対策に活用する技術開発では、災害に備えた事前調査や災害に強いまちづくりのための住民との合意形成に活用するツールの構築を実施した。

研究項目は、以下のとおりである。

### (1) 初動期の直接被害に対応する技術開発

#### 1) 迅速な画像取得・処理技術の開発

- ① デジタル空中写真を用いた被害抽出
- ② 陸域観測衛星「だいち」による災害状況把握
- ③ 地上計測車による画像の取得技術
- ④ インフラ施設管理機関における災害対応業務分析

#### 2) 災害情報の収集・伝達技術の開発

- ① GPS 携帯端末を用いた双方向通信の技術
- ② 電子国土の簡単なGIS機能の付与

#### 3) 基盤地図情報の更新の迅速化・高度化

- ① 工事図面等を活用した更新の迅速化
- ② 仕様の異なる地図データ間の位置ズレ補正

### (2) 事前対策に活用する技術開発

- 1) 地盤の脆弱性把握のための技術開発
- 2) 市街地火災総合対策支援ツールの開発

本稿では、このうち、国土地理院が主体となって研究開発を実施した研究項目の成果について報告する。

## 3. 迅速な画像取得・処理技術の開発

迅速な画像取得・処理技術の開発は、発災直後に被災地域を面的に撮影した空中写真や衛星画像を用いて、建物倒壊や道路閉塞などの被害状況を迅速かつ正確に抽出する技術の開発である。この研究項目では、デジタルカメラによって撮影された空中写真を用いた研究、陸域観測衛星「だいち」の画像を用いた研究、地上計測車からの撮影映像を用いた研究及びそれら技術の実災害対応業務への適用分析を実施したが、本稿では空中写真を用いた被害状況の抽出手法について述べる。

研究は、倒壊建物等の抽出精度の向上及び画像取得から処理全般についての所要時間の短縮を目標とし、撮影されたデータの処理の流れに基づいて、①画像の撮影、②撮影基地から国土地理院までの画像の伝送、③画像処理、④空中写真への地名挿入の4項目について

て実施した。

### 3. 1 デジタルカメラによる被害抽出

この研究項目は、デジタル化された測量用カメラを用いることを前提とした撮影条件の検証及び建物倒壊箇所抽出アルゴリズムを確定し、発災後速やかに被害箇所を地図上に表示して、初動期に活用可能とすることを目的に技術開発を実施したものである。

従来、空中写真の撮影にはフィルム式のいわゆるアナログカメラが用いられてきた。アナログカメラでは撮影には十分な光量が必要で、太陽が傾き始める午後3時以降は露出不足となり撮影が不可能となることがあった。そのため、曇天といった天候の要因を除いても被災地域の写真撮影は発災翌日以降となる例がほとんどであった。

そこで、CCDによる測量用デジタルカメラを用いて写真撮影を行うことで撮影可能時間帯の増大を図るため、被害状況抽出が可能な限界時間の検証を実施した。冬の日没前後という、光量が最も少ない時間帯で同一の撮影コースを10~20分間隔で反復撮影を行い、建物倒壊抽出に用いるDSM(デジタル表層モデル。詳細は後述する)の作成に影響のない極限時間帯を調査した。写真-1に、日没1分後に撮影された京都市の空中写真を、表-1に撮影諸元を示す。

その結果、日没前10分程度から赤色の光量が急激に減少し始め、青味が強い画像になるものの、日没10分後の画像までは災害状況の把握やDSMの作成に支障なしとの結論が得られた。

この成果をもとに、平成21年駿河湾沖地震では発災当日の日没直前に緊急撮影を実施し、撮影画像はNEXCO中日本に提供された。



写真-1 日没後の空中写真

表-1 撮影諸元

撮影日	平成21年12月6日
使用カメラ	DMC
撮影場所	京都駅北側四条通り沿い 東西5km, 南北1kmの範囲
撮影時間	14:55~16:58 (合計9回)
撮影縮尺	1/8,000

### 3. 2 通信衛星「きずな」による画像伝送実験

東北地方以北や中部地方以西で地震が発生した場合、遠隔地の飛行場を撮影基地として使用することがある。平成19年新潟県中越沖地震では、名古屋空港を、平成20年岩手宮城内陸地震では、自衛隊松島基地を撮影基地として使用した。

そのような場合、撮影された空中写真の画像データは数十ギガバイトから数百ギガバイトの容量に達することから、画像を記録したハードディスクドライブを物理的に国土地理院まで陸送する措置が取られていたため、陸送に半日程度を要することがあった。

フィルム式カメラの場合は、フィルムを物理的に運搬するしかないが、デジタルカメラでの撮影画像の場合は、画像をデータとして伝送が可能である。

そこで、平成20年2月23日にJAXAが打ち上げた超高速インターネット衛星「きずな」を用いて、撮影基地から国土地理院に直接画像データを伝送することによって陸送時間の短縮を図る通信実験を実施した。衛星通信は、地上の通信経路のダメージの影響を受けることが無く、撮影基地と国土地理院があるつくばの間の通信経路を確実に確保することができる。しかも、帯域数十Mbpsの安定した通信品質が保たれる。

この通信実験は、JAXAとの共同実験として実施し、海上自衛隊の協力を得て、測量用航空機「くにかぜII」(当時)の常備基地でありつくば市の国土地理院本院から約700km離れた徳島基地とJAXAつくば宇宙センターとの間で画像伝送実験を実施した(写真-2)。送信用のアンテナは、JAXAから可搬型アンテナ1式を借受けて徳島基地に設置し、受信側にはJAXAつくば宇宙センターに常設されている固定式アンテナを使用した。



写真-2 きずなの可搬型アンテナとくにかぜII(当時)

その結果、陸送の場合と比較して6時間程度の時間短縮効果が見込めることが判明した。

この成果をもとに、国土地理院とJAXAとの間で、強い地震が発生した際には「きずな」の通信リソースを36時間優先的に国土地理院が使用できる取り決めを締結し、平成22年4月から適用している。



### 3. 3 画像処理

#### 3. 3. 1 二時期の DSM による建物倒壊箇所の抽出

本研究では、建物倒壊箇所の抽出の手法として、空中写真から生成したデジタル表層モデル (DSM) のデータを使用する。DSM は、ステレオ撮影された空中写真画像を処理することで得られる地上の高さを表わすデータであり、地表の高さを表わす DEM (デジタル標高モデル) とは異なり、屋根上や樹木の頂部の高さを表す情報である (図-1)。また、撮影された空中写真画像の画素サイズと同じサイズで生成することができるため、地上分解能 20cm の空中写真からは、20cm 格子毎の高さデータが得られる。

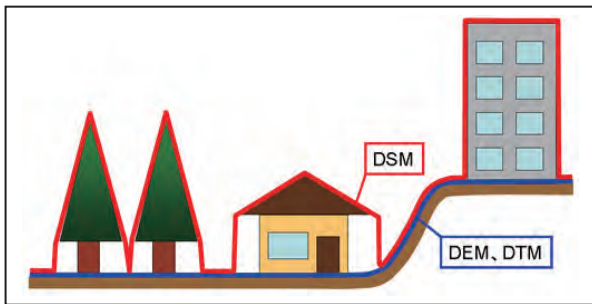


図-1 DSM と DEM の違い。DEM が地形の高さを表すのに対し、DSM は地物の表面の高さを表す

発災前に撮影された空中写真から生成した DSM と、発災後に撮影された空中写真から生成した DSM との差分を取ることで、発災によって生じた地上の高さの変化を知ることができる。

ここで、平屋の家屋の屋根上までの高さは 3m 前後であると推測されることから、差分のうちで発災前と比較して高さが 3m 以上下がった箇所は、何らかの建造物が倒壊したか、土砂崩壊等によって地面が下がった箇所であると推測できる (図-2)。逆に、発災前と比較して高くなった箇所には、何らかの堆積物が生じた箇所と推測できる。

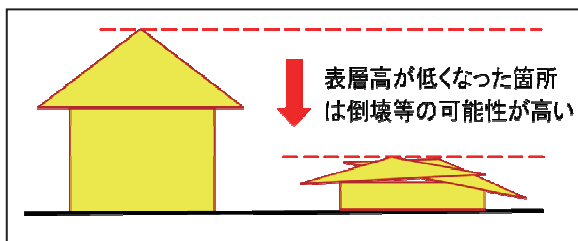


図-2 DSM 差分による倒壊建物抽出の考え方

これに、建物のサイズや DSM 差分量によるフィルタ処理を加えることで、DSM の位置ズレによるノイズや車などの小対象物、空中写真の撮影方向に生じる特有のノイズなどを消去することができ、建物が倒壊した箇所を高精度に抽出することができた。図-3 は、平

成 19 年新潟県中越沖地震で被災した新潟県柏崎市の発災前後の空中写真 (地上画素サイズ 20cm) を用いて倒壊建物の位置を抽出し、柏崎市の都市計画図上に表示したものである。現地調査及び写真判読により抽出精度を検証した結果、抽出率 91% (95 棟中 86 棟)、抽出漏れ 10% (11 棟) であり、自動処理による抽出精度としては十分な結果が得られた。



図-3 新潟県中越沖地震における倒壊家屋の抽出結果 (半壊や傾いている建物は含まない)

なお、空中写真を撮影した「くにかぜ II」が飛行場に着陸してから倒壊建物抽出までに必要な合計処理時間は、データの伝送時間を含め地上分解能 20cm の写真を用いたケースで、最初の 30km<sup>2</sup> の処理完了まで約 31 時間を見込んでいる。このうち、DSM の作成時間が 20 時間を占めるが、並列処理を行うことで処理時間の短縮は可能である。

#### 3. 3. 2 空中写真への地図情報の挿入

従来は、被害情報等を地図上に表示するために、正射投影への変換 (オルソ化) 等によって空中写真や各種の情報を地図の座標系に合致させる処理を行ってきた。しかし、オルソ化は処理に時間を要するため、空中写真の撮影が発災翌日になると災害の初動対応期には処理が間に合わない恐れがある。そのため、発想を転換し、空中写真の座標系に合わせて地図情報の座標を変換し、空中写真画像に地図情報を挿入する技術開発を実施した。

今日では、空中写真撮影時に、空中におけるカメラの位置と傾きを記録する GPS/IMU 装置を併用することが一般的となっている。GPS/IMU の情報を利用すれば、写真撮影をした瞬間のカメラの平面位置 (X, Y) と高さ (Z)、3 軸周りの回転を示すロール ( $\omega$ )、ピッチ ( $\phi$ )、ヨー ( $\kappa$ )、絶対的な飛行機の進行方向である方位角のパラメータを得ることができる。

一方、地図情報のうち、地名などを表示するために取得されている電子国土基本図の注記データは、対象

物の位置を代表点座標 (X, Y) として保持している。これに、基盤地図情報の 10mメッシュ DEM を利用して代表点の高さ座標 (Z) をあらかじめ与えたものを、空中写真の 7つのパラメータを用いて写真測量の原理で逆変換を加えることによって、空中写真の画像座標上での注記代表点の位置を求めることができる。写真-3は、この技術によって空中写真に地名を挿入した画像の例である。



写真-3 地名を挿入した空中写真画像

地名入りの空中写真は1枚あたり数十秒という極めて短時間で作成することができるため、いち早くどこで何が発生しているかを把握することができる。この画像は、特に発災後 36 時間程度までの、オルソ化処理を加えた画像作成までのつなぎとして、被害状況把握に用いられることを想定している。

#### 4. 災害情報の収集・伝達技術の開発

災害発生後の初動期から応急復旧期にかけては、施設確認、人命救助やライフライン復旧作業等が現地で行われる。その際の連絡通信は携帯電話や無線を用いて行われることが想定される。特に GPS 機能が付与された携帯電話は、現地からの被害情報の集約や、現在地周辺の通行困難箇所などの情報を現地で入手する有効なツールとなる。ただし、被災地の通信環境は、基地局がダメージを受ける等によって能力が低下していることを想定する必要がある。

そこで、被災した地域を対象にして被害箇所等の情報を現地から収集する機能や、画像処理等によって抽出された被害情報を現地のモバイル端末に伝達する機能を提供する災害情報の収集・伝達システムの開発を実施した。

このシステムは、国土地理院が運用している WebGIS である電子国土 Web システムを用いて、パソコン向けに提供している災害情報集約サイトをベースとして開発した。ベースシステムに対し、GPS 携帯電話から現

地写真やコメントを添付したメールを送付することで情報が登録される機能と、携帯電話から地図情報とともに災害情報を検索して呼び出せる機能を付加した。また、通信衛星「きずな」等により伝送された画像情報を迅速に関係者で共有するため、GPS/IMU 情報を用いて画像情報をシステムに簡便に登録するツールを開発した。

図-4に携帯電話によるアクセス画面の例を示す。携帯電話上で地図上に情報を重ね合わせられるシステムともなっており、パソコンによる情報集約と携帯電話を連携して用いることができ、現地における情報ツールとして活用可能と考える。

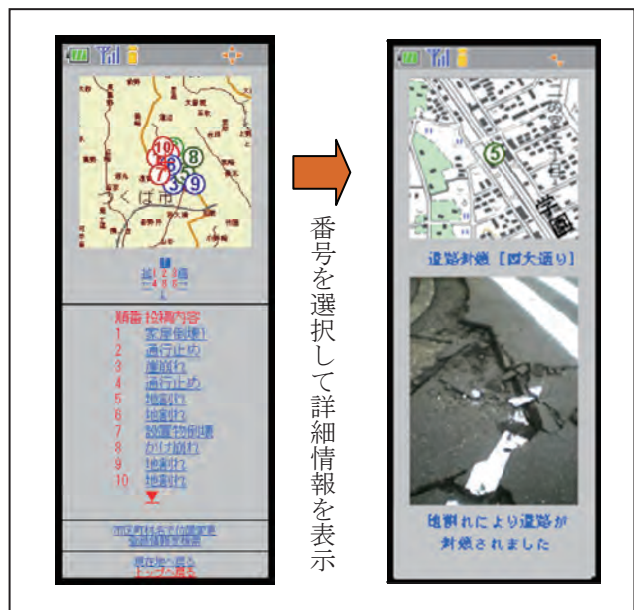


図-4 携帯電話による災害情報（サンプル）の閲覧画面

#### 5. 基盤地図情報の更新の迅速化・高度化

基盤地図情報は、電子地図における位置の基準として整備されているものである。基盤地図情報のソースとしては、市町村が作成した都市計画図や国土地理院が作成した電子国土基本図などが用いられ、様々な情報を集約する際の基盤として使用される。

災害発生時の被害情報を的確に把握するためには、基盤となる地図情報が適切に更新されている必要がある。そのため、特に変化が激しく、災害発生時には避難路や物資輸送路ともなり、寸断などによる障害箇所を的確に把握することが極めて重要な、道路の更新を効率的に行うことを目的とした技術開発を実施した。

基盤地図情報として用いられるデータの更新であることから、更新に用いる情報は高い位置精度を保持している必要がある。そのため、国土交通省の直轄道路工事の電子納品成果である工事完成図面の CAD データを用いて基盤地図情報の道路縁データを更新する手法の開発を実施した。

また、本稿では触れないが、工事図面から GIS デー



タ化したものをCADデータに逆変換するコンバータも開発しており、将来、工事図面で基盤地図情報を更新し、それを再度CADデータに変換して次期の道路工事の再にも再利用することで、データの更新サイクルの確立につなげることを目指している。

### 5. 1 工事図面のGISデータ化

CADデータである電子納品された工事図面を用いて基盤地図情報の道路縁データを更新するには、まず、CADデータをGISで使用可能な情報に変換する必要がある。また、工事図面の縮尺は1/500~1/1,000のため、更新対象区間が複数の図面データにまたがって記録されているため、図面データをつなぎ合わせる接合・標定処理のステップを実施しなければならない。このステップは、国土技術政策総合研究所情報基盤研究室(以下、「国総研」という。)によって技術開発が実施され、工事図面データを道路基盤地図情報に変換するツールを開発するとともに工事図面データをつなぎ合わせる手法を確立した。図-5は工事で作成された完成平面図データであり、これから自動的に道路基盤地図情報が生成される。

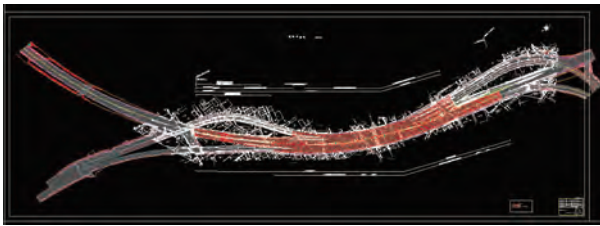


図-5 工事で作成した完成平面図データ(国総研情報基盤研究室による)

### 5. 2 道路基盤地図情報を用いた道路縁の更新

国総研により作成された道路基盤地図情報を用いて、基盤地図情報の道路縁データを更新するアルゴリズムの開発を実施した。

道路基盤地図情報は、直轄道路部分のみの情報であり、歩道部、車道部等の面型のデータとして定義されているため、研究は、更新対象となる道路基盤地図情報から周辺道路との接続部を含めた外周部の道路縁データを半自動的に抽出する手法の開発と、それを用いた更新アルゴリズムの開発の二段階で実施した。

道路縁の抽出では、道路基盤地図情報の歩道部、車道部、車道交差部等の道路を構成する面データから、線分の中点から発生させた法線の始終点に対し面の内外判定を行うことで外周部を自動的に判定して道路縁に相当する線データを抽出し、自動もしくは必要に応じて手動で線を接続して更新用の道路縁データを作成する手法を開発した。図-6に、これにより抽出した道路縁のイメージを示す。

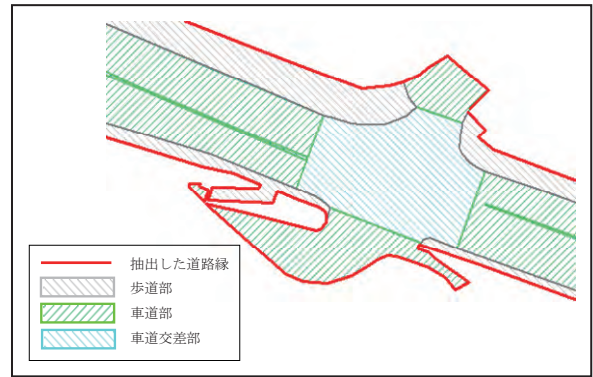


図-6 道路基盤地図情報から抽出する道路縁のイメージ

抽出された更新用の道路縁データを、既存の基盤地図情報の道路縁データと対照させ、新旧データ間の対応する位置を検出して差分量を求めることにより、削除すべきか、保持すべきか、追加すべきかを判定するアルゴリズムを開発した(図-7)。このアルゴリズムを適用し、2500レベルの基盤地図情報が提供されている札幌、富山、三重、大阪の4地区の道路縁総延長約372kmにて、更新の実証実験を実施した。手動で修正した場合と同様の結果が得られたものを適切と判定した結果、既存の道路縁を更新用道路縁に適切に更新できた延長は266km(71.5%)となった。

適切に更新されなかった箇所には、削除されるべき旧道路縁が削除されずに残留するケースなどが見られたことから、アルゴリズムを工夫することによって変換率のさらなる向上が可能であると思われる。

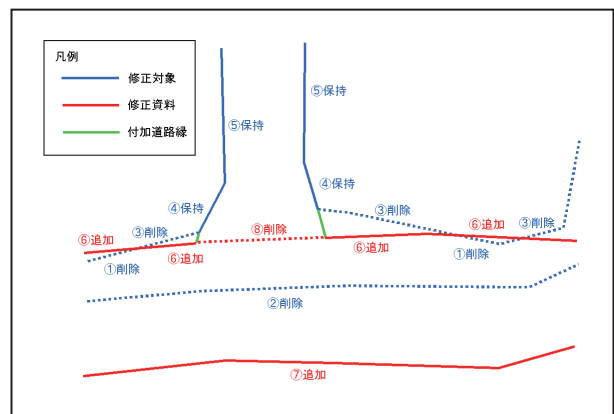


図-7 道路縁の処理判定のイメージ

## 6. 事前対策に活用する技術開発

災害の事前対策に活用を図ることを目的とした技術開発としては、地盤に関する研究と市街地火災シミュレーションに関する研究を実施した。いずれも地方自治体での活用を図ることを目的としており、自治体の実務担当者や学識経験者を含めた専門家会合を設置して実務、科学的考察の両面から研究内容を精査しつつ研究を実施した。本稿では、このうち、地盤に関する研究開発について述べる。

## 6. 1 盛土の位置と規模を特定する手法の開発

地盤が脆弱な地域では、地震の揺れが大きくなる傾向があることが知られている。そのため、国土交通省では、大規模盛土造成地における盛土の分布と形状を把握し、その危険性を調査することを目的として「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン」(以下、「ガイドライン」という。)を平成18年に公表し、地方自治体に対して地震時の大規模盛土造成地の変動予測調査を義務付けている。

しかし、調査対象地域の設定や盛土造成地の位置と規模を把握する第一次スクリーニングにおける標準手法が示されていないことや、その後に実施する現地調査や安定計算を実施する第二次スクリーニングの対象となる盛土を絞り込むために必要な、盛土の相対的な危険度(脆弱性)を評価する手法が示されていないことが一因となって、調査が十分に進んでいないという現状がある。

そこで、第一次スクリーニングで実施する盛土造成地の位置と規模を把握する手法として、過去の地形と現在の地形を比較することで改変地形データを作成する手法を開発した。

過去の地形データ計測手法の検討では、マップデジタルサイズ、ブレイクライン取得など3種類の空中写真測量方法などを用いて地形データを試作して精度評価等の比較検討を実施し、発注担当者向け及び実務担当者向けの「人工改変地形データ抽出のための手順書(案)」としてとりまとめた。この手順書は、ガイドラインの標準手法を示す参考資料として位置づけるよう調整中である。図-8の背景に表示されているものが、これに基づいて試作した人工改変地形マップであり、赤い部分が盛土、青い部分が切土部であることを示している。

## 6. 2 盛土の危険性評価システムの構築

ガイドラインに示されている点数方式に加え、統計的地形情報回帰モデル(統計的側部抵抗モデル型、統計的三次元安定解析モデル型)の3手法を用いて、盛土の危険性(脆弱性)を評価するシステムを構築した(図-8)。谷軸(盛土)を手動で指定すると、自動的に盛土部(赤色の範囲)が計算範囲として生成され、必要に応じて谷幅を手動設定し、安全性が判定される

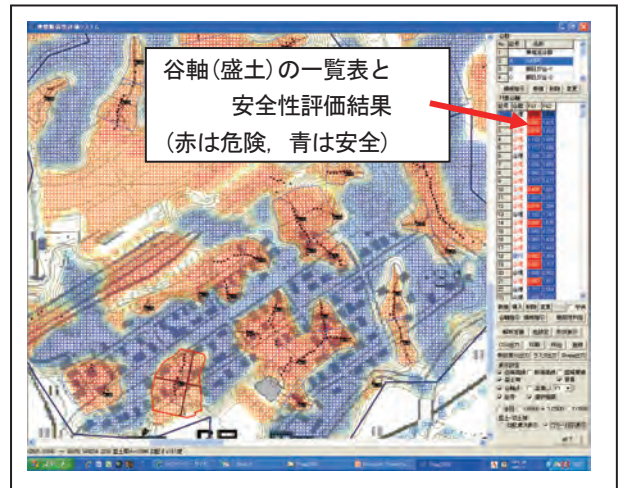


図-8 盛土脆弱性評価システムの操作画面

仕組みとなっている。

このシステムは、操作マニュアルとともに、国土地理院の減災総プロのウェブサイトからダウンロード可能とする予定であり、地方自治体による第二次スクリーニングの計画作成(対象盛土の絞り込み)に活用されることを見込んでいる。

## 7. まとめ

この総プロは、災害直後に活用する技術、日頃からの事前対策に活用する技術の2つのアプローチで減災に取り組む技術開発を実施した。本稿で報告できなかった市街地火災総合対策支援ツールや、地上計測車による夜間撮影画像なども含め、開発したシステムやツールは、今後、国土地理院のウェブサイトには置かれた減災総プロのページ(<http://gensai.gsi.go.jp/committee/>)を通じて提供されるほか、研究に用いた画像等のデータ類も可能な限り公開していくことにしている。また、「人工改変地形データ抽出のための手順書(案)」は、印刷物としても関係自治体に配布する予定である。

研究成果はすぐに効果が発揮できるもの、長期的な効果発現につなげるものなど多岐にわたるが、この研究の成果によって少しでも人的被害・物的被害が軽減されることを期待するとともに、さらに改良が可能な点もあり、今後の課題として取り組んでいく。

## 参考文献

消防庁(2006): 阪神・淡路大震災について(確定報), 1-2.

内閣府(2006): 阪神・淡路大震災教訓情報資料集, [http://www.bousai.go.jp/linfo/kyoukun/hanshin\\_awa\\_ji/index.html](http://www.bousai.go.jp/linfo/kyoukun/hanshin_awa_ji/index.html) (accessed 21 Apr. 2010).