

写真測量技術を使った大規模造成宅地の地盤脆弱性評価

国土地理院 小荒井衛、中埜貴元、星野実、吉武勝宏
太田ジオリサーチ 太田英将

1. はじめに

1978年宮城県沖地震、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震等の際に、大規模に谷や沢を埋めた造成宅地において、盛土と地山との境界面等で盛土全体の地すべりの変動が発生し、大きな被害をもたらした。そのような背景から、「宅地造成等規制法」が改正され、都道府県知事等が崖崩れ等による災害で相当数の居住者等に危害を生ずる恐れが大きい造成宅地の区域を「造成宅地防災区域」として指定し、その区域内の宅地所有者等に対し、災害防止のための必要な措置をとることを勧告し、または命ずることが出来るようになった(2006年9月30日施行)。この法律では、地方公共団体が大規模盛土造成地の変動予測調査を行って宅地ハザードマップを作成し、都道府県知事等が造成宅地防災区域の指定もしくは宅地造成工事規制区域における勧告を行い、宅地所有者等が滑動崩落防止工事を実施するとなっている。国土交通省では、造成宅地防災区域の指定等を行うにあたって必要となる大規模盛土造成地の変動予測の調査手法について、「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」と略す)としてとりまとめ、公表している。

ガイドラインでは、盛土面積が3000㎡以上の「谷埋め盛土」、盛土する前の地盤面の角度が20°以上でかつ盛土の高さが5m以上の「腹付け盛土」を、大規模盛土造成地として対象にしている。変動予測調査は資料調査が中心の第一次スクリーニングと現地調査が中心の第二次スクリーニングにより構成され、第一次スクリーニングでは、造成前後の地形図、空中写真等の基礎資料により盛土造成地の位置と規模を把握し、第二次スクリーニングを実施する大規模盛土造成地を抽出する。

本発表は、第一次スクリーニングで必要な改変地データデータの作成手法と、それを用いた地盤脆弱性評価手法について検討した結果を報告する。この研究は、

国土交通省総合技術開発プロジェクト「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」の一環として行われたものである。

2. 地盤脆弱性評価で使用する地理空間情報

改変地形の抽出に使用する地理空間情報は、縮尺1/2,500~1/5,000程度が望ましい。地図情報としては、国土基本図・旧版都市計画図が1960年代から地方公共団体によって整備されている。空中写真については、1960年代から撮影縮尺約1/8,000~1/15,000のモノクロ空中写真が撮影されている。一方、米軍撮影の空中写真が1940年代後半に約1/40,000で全国撮影されており、主要都市や海岸部、幹線道路沿いでは約1/10,000で撮影がなされている。これらの資料を使って、盛土造成地の位置と規模について、地図情報の重ね合わせや数値標高モデル(DEM)の差分計算等により求めることになる。

3. 改変地形データ作成手法の検討

新旧の地形情報から10mメッシュDEMをそれぞれ作成し、両者の差分から改変地形データを作成した。4つの計測手法(マップデジタイズ、空中写真測量点群データ取得、同ブレイクライン取得、同ステレオマッチング)を用いてモデル地域(仙台、千葉、柏崎)でデータを試作し、各手法における達成可能な計測精度や必要な工数の比較を行った。その際に、以下の項目に着目して、比較検討した。

谷埋め盛土の範囲を捉えているか。腹付け盛土の範囲、特に法面部分の連続性を捉えているか。尾根と谷・沢を造成した切盛りが混在する範囲を捉えているか。造成していないと考えられる範囲において、標高変化を示していないか。

その結果を表1に示すが、空中写真測量ブレイクライン取得法が最も計測精度が高く、データの均質性や効率性を加味しても総合的に評価が高かった。

表1 改変地形データ作成手法の比較検討

計測手法		空中写真測量 点群データ取得	空中写真測量 ブレイクライン取得	空中写真測量 ステレオマッチング	マップデジタイズ	
観点	盛土地形 の特徴	旧 地形	○ 地形の連続性を考慮しにくい	○ 地形の連続性を考慮しながら取得	× ・樹木上の標高を取得 ・画質により標高が変わる	○ 等高線と標高点のみのデータ取得
		新 地形	○ 擁壁をポイントで計測できない	○ 擁壁をブレイクラインとして連続的に取得	× ・建物が建った範囲も取得 ・画質により標高が変わる	△ 等高線と標高点のみのデータ取得
	盛土の 隣元 (盛土地形範囲)	○~△ 連続的な地形の特徴がある盛土の正確性がやや低い	○ 盛土地形範囲の正確性が比較的高い	× 盛土地形の範囲を正確に把握できない	△ 微地形を捉えにくく、盛土地形範囲の正確性が低い	
均質性	○ 平面位置が決まっており差異が出にくい	△ ブレイクラインかどうかの判断にやや差異が生じる傾向	○ 機械による作業	○ 決まった情報を取得		
効率性	△ モデル作成にやや時間を要する	△ モデル作成にやや時間を要する	○ モデル作成にやや時間を要するが、データ取得は自動	○ 作業準備の時間が少ない		
総合評価		○	○	×	△	

4. 地盤脆弱性評価システムの試作

現地調査を伴うことなく、改変地形データから評価が半自動的に行えることを目指して、地盤脆弱性評価システムを試作した。試作したシステムでは、以下の3つの手法で評価している。

1つはガイドラインに示されている点数法(点数法1)である(表2)。盛土厚、盛土幅、原地盤勾配、地下水の有無で評価しているが、盛土厚と盛土幅の配点が高く、地下水の評価比率は2%と小さい。点数法1では腹付け盛土は評価できない。

2つめは、地下水をより重視した点数法として、釜井・守随(2002)の数量化 類によるカテゴリスコア(点数法2)を採用した(表3)。幅/厚さ比、底面傾斜/厚さ比、形成年代、谷の長軸方向、地下水の豊富さで評価している。地下水の評価比率は15%となるが、点数法2でも腹付け盛土の評価はできない。

3つめが、盛土幅、盛土厚、盛土長、地山傾斜角、地下水の有無のみで力学的な評価が可能な、簡易力学モデル(太田・榎田, 2006)である。谷側部の抵抗力と底面の過剰間隙水圧を考慮し、谷埋め盛土の形状を図1のように単純化して評価しており、腹付け盛土も評価可能である。地下水については、地山勾配の関数として地下水位を入力しており、実測値も入力可能としてある。形成年代、盛土材質、施工方法等の定性的な情報については、バイアスとしてマニュアル入力が可能としてある。

可能としてある。

表2 ガイドラインの点数法の配点

盛土厚さ(m)		盛土幅(m)		盛土幅/盛土厚さ		原地盤の勾配(度)		地下水	
区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数
3以下	21	20以下	0	5以下	1	5以下	5	あり	1
3~6	12	20~50	3	5~10	2	5~10	4	なし	0
6~12	6	50~120	5	10~15	5	10~15	2		
12より大きい	0	120より大きい	10	15より大きい	8	15より大きい	0		

表3 数量化解析手法のカテゴリスコア

要因	カテゴリ	N	カテゴリスコア		レンジ
横断形状 (幅/厚さ比)	0~4未満	46	0.0	0.0	1.808
	4~8未満	62	0.0	0.0	
	8~10未満	21	0.0	0.0	
	10~12未満	19	0.0	0.0	
	12~50未満	80	-0.2	0.0	
	50以上	11	-0.4	0.0	
滑動基準 (底面傾斜/厚さ比)	0~0.3未満	8	0.0	0.0	0.606
	0.3~2未満	160	0.0	0.0	
	2~4.5未満	45	0.0	0.0	
	4.5以上	28	0.0	0.0	
形成年代	1974年以前	206	0.0	0.0	0.193
	1975年	33	0.0	0.0	
谷の長軸方向	北北東-南南西	57	0.0	0.0	0.114
	東北東-西南西	30	0.0	0.0	
	東南東-西北西	55	0.0	0.0	
地下水の豊富さ	少ない	45	0.0	0.0	0.464
	豊富	194	0.0	0.0	

注) カテゴリスコアが大きい(正に)ほど安全側。Nはサンプル数

地盤脆弱性評価システムの画面を図2に示す。盛土

部分と盛土の谷軸線が表示される。その谷軸を旧地形の等高線などを参考に手動で指定することにより、自動で計測範囲を指定して評価に必要な地形量を計測し、3つの手法による地盤脆弱性評価結果をそれぞれ表示する。

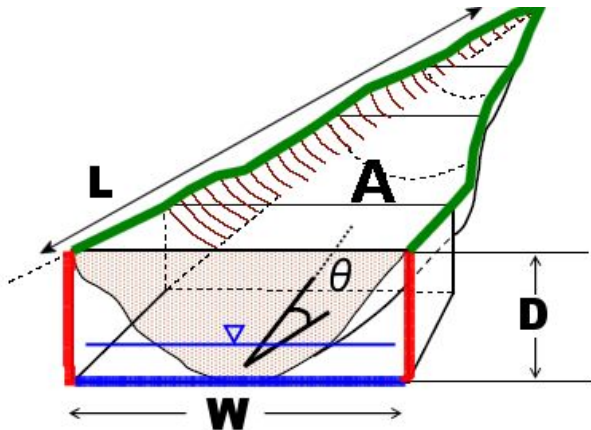


図1 地盤脆弱性評価に使用する地形量

A：盛土面積；L：盛土長；D：盛土深；W：盛土幅

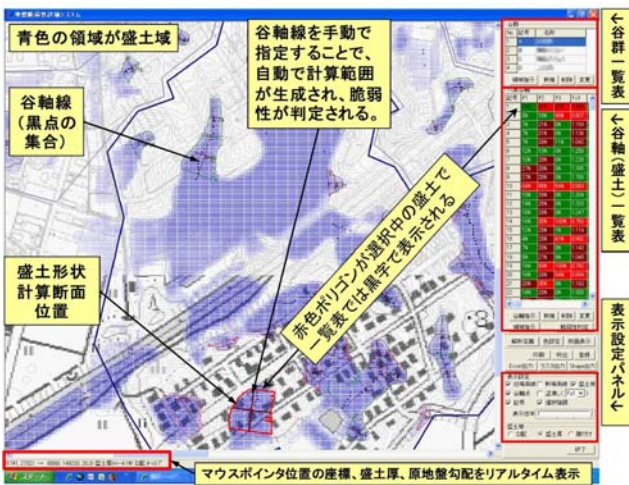


図2 試作した地盤脆弱性評価システムの画面

5. 柏崎地区での検証

柏崎市の朝日が丘、向陽町、上田尻における造成宅地の改変地形データと、中越沖地震時の地盤変状分布を用いて、試作した地盤脆弱性評価システムの検証を行った。旧地形は昭和36年撮影の1/20,000空中写真、新地形は平成14年撮影の1/20,000空中写真を使用して作成した。盛土切土分布と地盤変状を重ね合わせたものを図3に示す。図3を見ると、地盤変状は盛土部分と盛切境界部分で発生している。

検証では、正誤判定基準を変動確率 = 50%及び安全率 $F_s = 1.0$ (または変動確率 = 30%及び安全率 $F_s = 1.2$) として正答率を求めた。点数法においては腹付け盛土の評価はできないため、腹付け盛土と判断された盛土は正答率の計算から除外した。以上により求めた3手法の正答率は、変動・非変動盛土を合わせた正答率で70%以上であったが、変動盛土に限って見ると、ガイドラインの「点数法」では30%以下と非常に低かった。



図3 朝日が丘・向陽町の盛土切土分布と中越沖地震による地盤変状の分布(小荒井：2009)

6. 盛土の抽出精度から見た問題点

点数法1では、盛土厚に関する配点が高く、厚さ3m以下の盛土の点数が21となっている。図4左が閾値2mで表示した盛土分布であるが、水田の半分程度の面積が盛土として表示されている。図4右は閾値3mで盛土表示したものであるが、谷埋め盛土や道路部の盛土などが概ね適切に抽出されている。従って、盛土の抽出精度は標高差2~3m程度と考えられ、厚さ3m以下の盛土を正確に抽出することは難しい。従って、厚さ3m以下の盛土の地盤脆弱性をかなり高く評価している点数法1の設定は、技術的に難しいものがあると言える。

7. 腹付け盛土の選定基準についての問題点

ガイドラインの腹付け盛土の基準（高さ 5m 以上、地山傾斜角 20° 以上）は、縦断形状のみから定められている。しかし、現場あるいは図上で腹付け盛土と判定する際には、長さに比べて幅が広いというような平面的な形状で判断していることが多い。谷埋め盛土と腹付け盛土の形状的な違いは、幅に対して長さが短いことや、幅に対して厚さが薄いことで特徴づけられる。柏崎市朝日が丘及びその周辺地区の場合には、谷埋め盛土は幅/長さ比 0.3~2、幅/厚さ比 4~15 に多くが分布するのに対し、腹付け盛土は幅/長さ比 2、幅/厚さ比 10 に多く分布していることが判明した（図 5）。今後、幅/長さ比に着目し、より合理的な腹付け盛土の定義について再検討する必要がある。

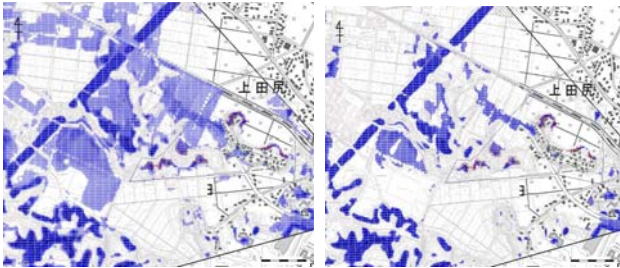


図 4 盛土分布図（左：閾値 2 m；右：閾値 3 m）

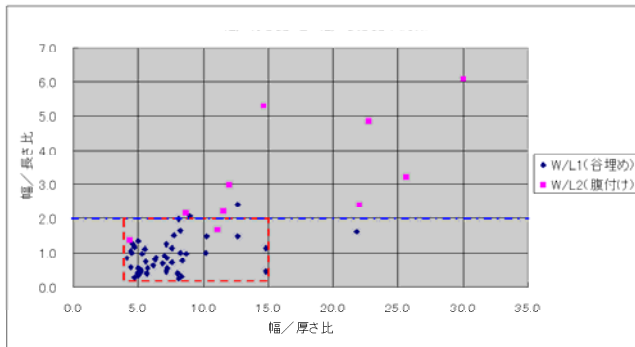


図 5 盛土の「幅/長さ比」と「幅/厚さ比」の関係

また、現地で実際に腹付け盛土の高さを計測した結果(A)と、改変地形データを用いて地盤脆弱性評価システムで計測された盛土厚(B)には、表 4 に示すような違いがある。これは現地計測が腹付け盛土末端部の擁壁の高さを計測しているのに対し、システムでは盛土中心部の厚さを計測していることから、全体として腹付け盛土厚が小さくなる傾向があることも一因と考えられる。現に、改変地形データにおける盛土内の

最大盛土厚(C)は、システムで計測した盛土厚(B)より一様に大きく、現地計測高さ(A)との差も小さい。なお、この差は改変地形データ作成時の写真測量の誤差の範囲内である。システムで自動計測される値のみによって、ガイドラインの基準に従って自動で腹付け盛土を抽出することは、必ずしも適当ではない。

表 4 腹付け盛土の現地計測高とシステム計測結果

	現地計測高 (A)	システム計測盛土厚 (B)	システム最大盛土厚 (C)	B - A	C - A
D-3	6.1m	4.7m	5.3m	-1.4m	-0.8m
D-4	4.8m	3.3m	5.8m	-1.5m	+1.0m
D-5	4.5~6.5m	2.8m	4.5m	-1.7~ -3.7m	0~-2.0m
D-7	5.0m	1.5m	3.2m	-3.5m	-1.8m

8. 今後の予定

過去の被災地域（仙台、阪神地区、長岡、柏崎等）において、試作したシステムの評価結果と実被害結果とを比較し、全体として正答率が向上するようにシステムを改良する予定である。特に、実際に変動した盛土の正答率を向上させるため、旧地形の詳細な形状が変動確率に与える影響や地域性（地質等）も考慮して改良を進める予定である。

参考文献

釜井俊孝, 守随治雄 (2002) : 斜面防災都市—都市における斜面災害の予測と対策, 200pp, 理工図書。
 小荒井衛 (2009) : 2.2 地震後の地形変化, 2007 年新潟県中越沖地震災害調査報告書, (社)地盤工学会。
 太田英将, 榎田充哉 (2006) : 谷埋め盛土の地震時滑動崩落の安定計算手法, 第 3 回地盤工学会関東支部研究発表会講演集, 27-35。