

過去の地形状況把握のための手法検討

檀上 拓也・小田 三千夫・富田 進太郎（国際航業株式会社）
星野 実・吉武 勝宏（国土地理院）

1. はじめに

大規模災害において宅地造成地の崩壊が多数報告されている。特に、盛土部分が地すべりの的に滑動・崩壊する事例が多い。現在、盛土など地形変化抽出は、二時期の地形図を重ね合わせ、技術者の判読により抽出を行っている。この手法では、判読技術者により抽出結果に差異があり、かつ再現性がないため、盛土の場所と形状を定量的に抽出することは困難である。

本検討では、盛土の抽出を定量的に行うために、宅地造成前後の二時期の標高データを活用した複数の計測手法の検証を行うことにより、効果的な盛土抽出のための手法について考察を行った。

2. 抽出結果に対する要求事項

盛土抽出のための計測手法の検討にあたり、盛土抽出に関する課題をふまえ、計測手法の抽出結果に対する要求事項を以下のとおり設定した。

- (1) 抽出結果に漏れが無いこと
- (2) 抽出結果に根拠と再現性があること
- (3) 抽出結果が均質であること

なお、抽出結果の計測精度については、現在の盛土抽出に縮尺1/2,500～1/10,000の地形

図を使用していることをふまえ、計測精度の目標は地図情報レベル2,500～5,000とした。

3. 計測手法の選定

宅地造成前後の二時期の標高データを取得するためには、市販の標高データの購入や航空レーザー計測による標高データの取得等が考えられるが、データの計測精度や時点等、標高データに求められる条件をふまえると、空中写真測量手法及び既成図数値化手法を適用して標高データを新規に取得することが有効である。

本検討では、空中写真測量手法として「メッシュ法」、「ブレイクライン法」「ステレオマッチング法」、既成図数値化手法として「マップデジタイズ法」を選定し、盛土抽出による標高データを作成した。

選定した計測手法の詳細を表1に示す。

なお、「メッシュ法」、「ブレイクライン法」、「ステレオマッチング法」は空中三角測量を行った空中写真を利用し、「マップデジタイズ法」は空間配置された地形図を利用して計測を行った。

4. 原資料の選定

地域によっては空中写真の形態、撮影高度

表1 選定した計測手法

計測手法	計測手法の詳細
メッシュ法	あらかじめ格子状に設定した水平位置の標高データを計測する手法
ブレイクライン法	地形の変化点を三次元ラインとして計測する手法
ステレオマッチング法	空中写真の濃度分布などの類似点を指標として画像相関による自動計測する手法
マップデジタイズ法	スキャンした地形図を空間配置し、等高線・標高点等の三次元項目を数値化する手法

などの撮影縮尺が異なることや撮影緒元、空中三角測量及び地形図などの標定要素が少ない場合も想定される。

そこで、宅地造成前後の空中写真及びに地形図・地形データ等の原資料について、撮影縮尺や画像範囲等を比較検討し、原資料の違いによる地形変化計測結果の精度と整備範囲の評価を行った。

計測手法に使用する原資料を選定する上で以下の点に着目し整理した。

①計測精度

計測精度について、下記の原資料に対して比較検討を行った。

- ・アナログ空中写真：1/3,000～4,000、1/6,000～8,000、1/10,000～12,500、1/20,000～25,000
- 1/30,000～40,000、または米軍写真

- ・デジタル空中写真：フレームセンサ、スリーラインセンサ

- ・地形図

- ・航空レーザー測量成果

※参考情報として航空レーザー測量成果を追加している。

②整備範囲

地域によって整備されている原資料が異なる。このため原資料の整備範囲を整理した。特に宅地造成前の資料においては、現存する資料以外に取得ができないため、選定には注意が必要であった。

5. 原資料の評価結果

原資料ごとの条件ごとに精度、効率性及びに整備範囲について比較検討した結果の一覧を表2～表3に示す。

表2 原資料ごとの計測精度・効率性の比較検討結果一覧（1）

撮影縮尺		1/3,000～1/4,000 地図情報レベル500相当		1/6,000～1/8,000 地図情報レベル1000相当		1/10,000～1/12,500 地図情報レベル2500相当	
標定要素		空中三角測量 成果	地形図	空中三角測量 成果	地形図	空中三角測量 成果	地形図なし
精度		地図情報レベル 500相当	地図情報レベル 1000相当	地図情報レベル 1000相当	地図情報レベル 2500相当	地図情報レベル 2500相当	地図情報レベル 5000相当
	水平±〇m	±0.25m	±0.7m	±0.7m	±0.7m	±1.75m	±3.5m
	鉛直±〇m	±0.25m	±0.33m	±0.33m	±0.33m	±0.66m	±1.65m
整備	新	一部地域		一部地域		主要都市	
範囲	旧	一部地域		一部地域		主要都市	
評価		△	×	○	△	◎	○

表3 原資料ごとの計測精度・効率性の比較検討結果一覧（2）

撮影縮尺		1/20,000～1/25,000 地図情報レベル 5000相当		1/30,000～1/40,000 地図情報レベル 10000相当		スリーラインセンサ 地図情報レベル 2500相当		米軍写真 1/10,000	米軍写真 1/40,000	航空 レーザ 測量	地形図
標定要素		空中三角 測量成果	地形図	空中三角 測量成果	地形図	撮影 諸元	地形図	—	—	—	—
精度		地図情報 レベル 5000相当	地図情報 レベル 10000相当	地図情報 レベル 10000相当	地図情報 レベル 25000相当	地図情報 レベル 2500相当		地図情報 レベル 2500相当	地図情報 レベル 10000相当	地図情報 レベル 1000相当	地図情報 レベル 5000相当
	水平±〇m	±3.5m	±7.0m	±7.0m	±17.5m	±1.75m	—	±3.5m	±17.5m	—	±3.5m
	鉛直±〇m	±1.65m	±3.3m	±3.3m	±6.6m	±0.66m	—	±1.65m	±6.6m	±0.3m	±1.65m
整備	新	日本全国		日本全国		一部地域		なし	なし	一部地域	一部地域
範囲	旧	日本全国		日本全国		なし		一部地域	日本全国	なし	なし
評価		○	△	×	×	△	△	△	△	○	△

※参考情報としてレーザー測量も追加した。

空中写真を用いて計測を行う場合は、空中写真を標定し、空中写真の位置、傾きを正確に再現する必要がある。本検討では、標定要素となる空中三角測量成果が存在する場合と空中三角測量成果が存在しない場合の標定方法である地形図から標定点（移写点）を取得して空中三角測量を行う場合の2通りについて検討した。

なお、地形図より標定する手法においては、地形図の測量成果の誤差などを加味して精度区分を1ランク落とした評価を行っている。

検討の結果、以下の点を確認した。

- ▶ 5.0m程度の地形変化を正確かつ効率的に抽出するには、地図情報レベル2500～5000程度の精度は必要と思われるため、撮影縮尺1/3,000～1/20,000程度の写真で計測を行うことが望まれる。
- ▶ 撮影縮尺1/10,000～1/25,000の空中写真は、山間部以外の主要都市及びに地方都市のほとんどが網羅されている。特に昭和36年前後には日本全国の都市部において撮影縮尺1/10,000程度の撮影が行われている。

- ▶ スリーラインセンサについて、一部のデジタル図化機が対応していないため、計測できない例が存在した。
- ▶ 米軍が撮影した空中写真について、政令指定都市においては昭和22年前後頃に縮尺1/10,000程度で撮影が行われているが、撮影主点間の重複率が53%を満たしていないものがあり、ステレオ計測を行う際に穴ができる恐れがある。また、内部標定を行う指標が正確に定められていないため、標定を行った際の精度に問題点が存在する。
- ▶ 地形図については、既に計測されている結果のデジタル化のため非常に作業効率がよいが、計測精度・計測密度を向上させることが難しい。

6. 計測手法の評価

選定した4種類の計測手法を適用して盛土抽出を行い、それぞれの計測手法の抽出結果について評価を行った。

- 比較評価の観点を、以下に示す。
- ・ 谷埋め盛土の範囲を的確に捉えているか。

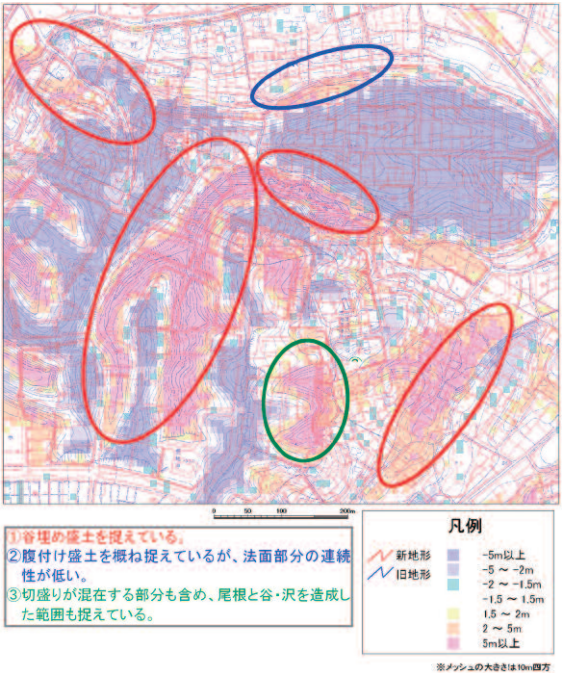


図1 盛土地形の計測結果（メッシュ法）

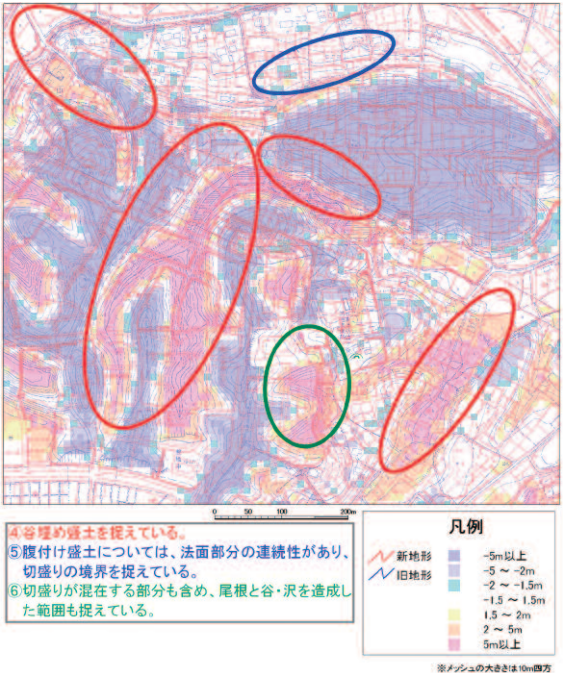


図2 盛土地形の計測結果（ブレイクライン法）

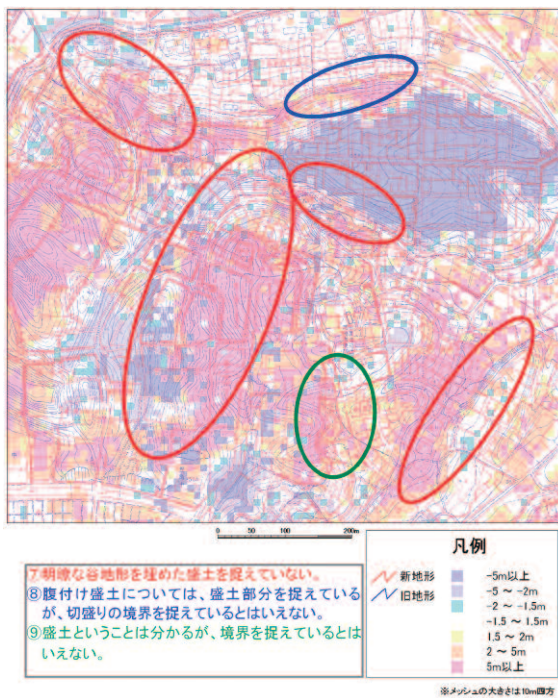


図3 盛土地形の計測結果（ステレオマッチング法）

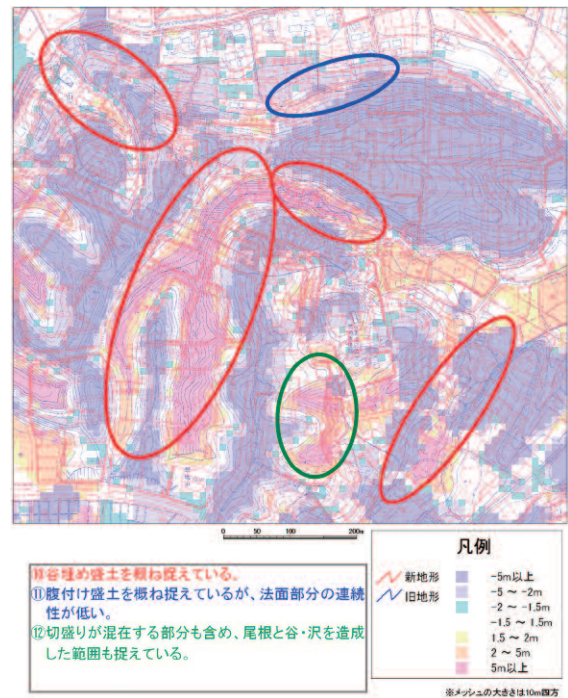


図4 盛土地形の計測結果（マップデジタイズ法）

表4 計測手法の評価結果

計測手法		空中写真測量 メッシュ法	空中写真測量 ブレイクライン法	空中写真測量 ステレオマッチング法	地形図数値化 マップデジタイズ法
評価指標	漏れ	○	◎	×	△
	再現性	△	◎	×	△
均質性		○	△	○	○
総合評価		○	◎	×	△

- ・腹付け盛土の範囲及び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（地形変化）を示していないか。

盛土地形の抽出結果を図1～図4に示す。検討を行った結果より評価結果を表4に示す。

- ▶メッシュ法は、予め格子状に配置された位置の標高を計測するため、地形のエッジが再現されない傾向があり、抽出結果の再現性に課題がある。
- ▶ブレイクライン法は、地形の変化点を線形で計測するため、抽出結果の再現性が

高く、全般的に課題はない。ただし、作業者によって抽出結果に若干差異が生じる傾向がある。

- ▶ステレオマッチング法は、一括で標高データの取得を行うことにより均質な標高データを得ることができるが、樹上高や建物高を取得するため、抽出結果の計測精度全般に課題がある。
- ▶マップデジタイズ法は、等高線が他の地物により遮断されている場合、等高線の連続性を再現できないため、抽出結果の計測精度に課題がある。

上記の評価結果及び以下に述べる考察により、ブレイクライン法が盛土抽出のための計測手法として、最も有効な計測手法であると考えた。

7. 計測結果の特徴の考察

選定した4種類の計測手法について、盛土抽出結果に対する計測結果の考察を行った。

考察を行うにあたり、宅地造成前後の計測結果に陰影表現を施してどこに問題点があるか確認を行った。陰影表現を行うにあたり、計測した結果より10mメッシュのDEMデータを作成し、陰影表現を行っている。結果は以下の図5～図6に示す。

- ▶メッシュ法は、森林部など地盤面が明確に確認できない箇所においては、計測する際に推定高となるため、計測精度が安定しない点が顕著に現れている。このような計測精度の安定しない計測点が盛土抽出の際に影響を及ぼす可能性があるため注意が必要である。
- ▶ブレイクライン法は、森林部など地盤面が明確に確認できない箇所においても、

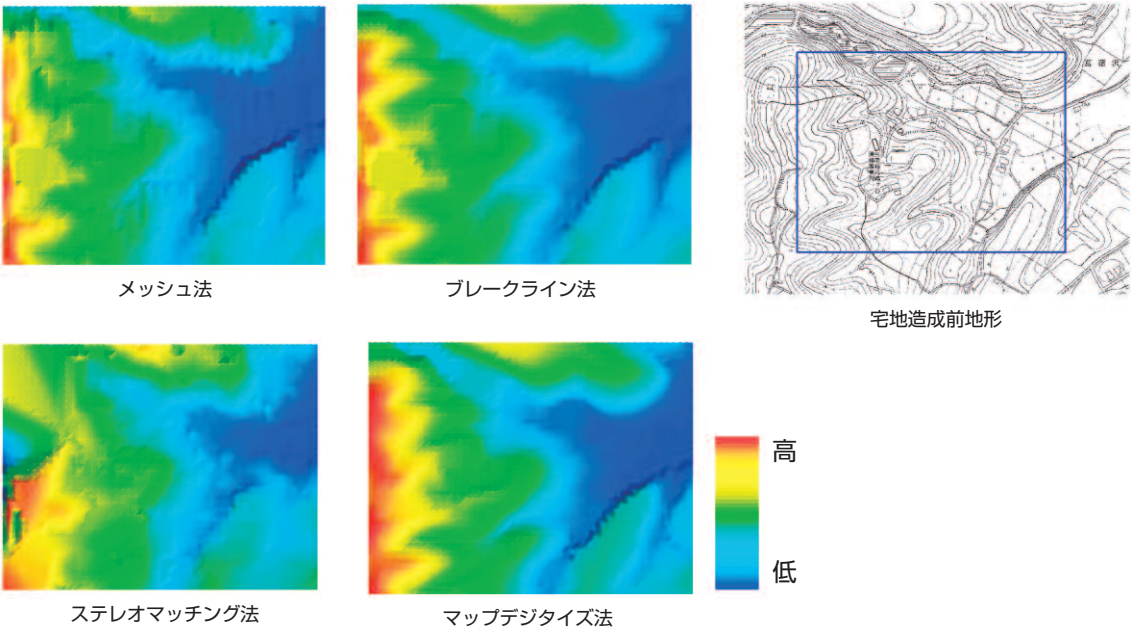


図5 計測手法による地形の特徴（宅地造成前）

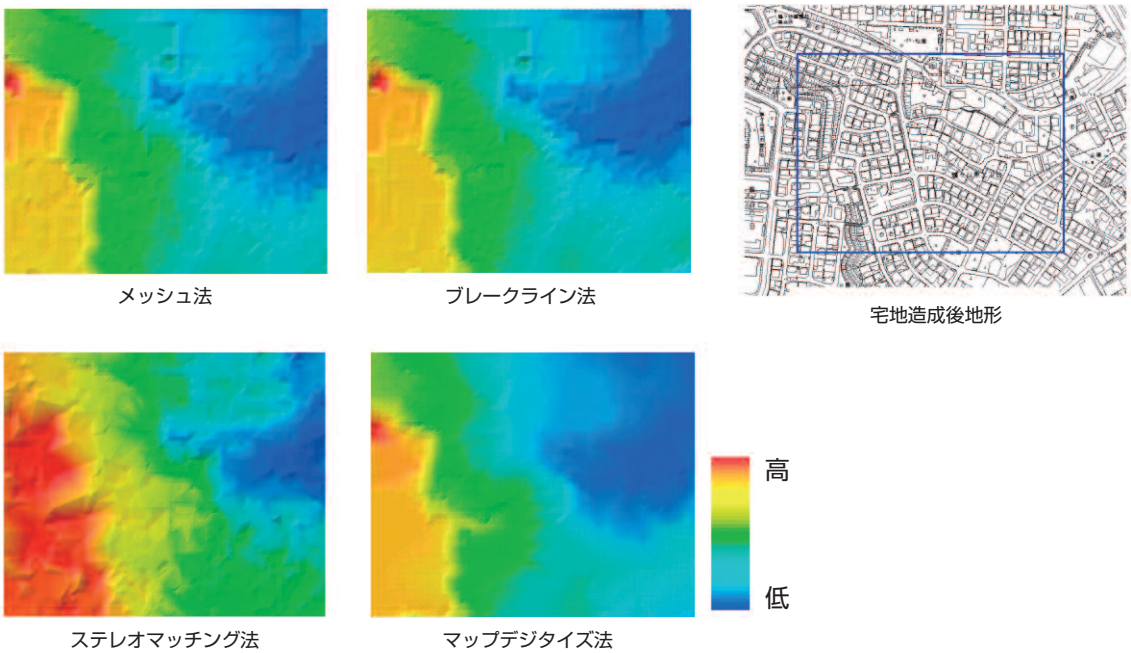


図6 計測手法による地形の特徴（宅地造成後）

等高線を計測するため地形はきれいに表現されている。本手法が宅地造成前後の地形計測においてもっとも有効だと判断ができる。

▶ステレオマッチング法は、自動計測した表層面を地盤面データとするフィルタリング作業が必要である。フィルタリングは、計測点を消す作業であるため地表面に計測点が存在しない場合は地形形状が正確に表現されない。本検討の際、地盤面を正確に計測できていない箇所が多数存在した。このような箇所は、森林部や建物が密集している地形に多い。

▶マップデジタイズ法は、等高線により地形を再現する手法のため宅地造成後地形においては、人工斜面や被覆など人工構造地形では、公共測量標準図式に則り図面作成を行っている場合は間断処理されているため等高線の形状を把握できない。そのため宅地造成後地形において正確な標高値を取得することが困難だと思われる。だが、宅地造成前地形においては、宅地造成前の地形は、自然地形である場合が多数である。自然地形においては、等高線を用いて地形形状を図式化するため、宅地造成前地形の計測において有効な手法であることが判断できる。

8. まとめ

本検討により、盛土の抽出を定量的に行うための手法として、抽出結果の品質の観点から、ブレイクライン法によって取得した標高データを活用することが有効な手法であることが明らかとなった。

一方で、ブレイクライン法は、作業準備に時間がかかり計測にも時間を要するため、他の計測手法に比べ作業効率が良いとはいえない。対応方策としては、宅地造成前の地形の

状態を等高線や図化機測定点のみで正確に3次元地形として再現できるか確認し、宅地造成前の地形のみにマップデジタイズ法を適用することや、予察を行い明らかに地形変化のない箇所を抽出し、作業対象外とすることにより作業の効率化を図ること等が考えられる。

また、近年、国土地理院では基盤地図情報として線引き都市計画区域を数値写真レベル10000（地上解像度20cm）～20000（地上解像度40cm）で撮影を行い、オルソ画像・数値地形モデル（5mグリッド）の整備を行っている。本成果を使用することで、計測の手間を省け効率的に作業を行うことができると予想される。

■参考文献・参考図書

- 1) 国土交通省国土地理院地理調査部防災地理課（2008）地盤の脆弱性把握のための盛土・埋土地形データ作成に関する検討業務報告書
- 2) 国土交通省都市・地域整備局（2008）大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説
- 3) 安田岩夫（2006）「人工改変地データベース整備と活用」～3次元地形地盤データベースの活用～、先端測量技術 No.91-10
- 4) 安田岩夫（2007）三次元地盤データベースの整備と活用 人工改変地DB・宅地ハザードマップから三次元土地条件図データへ、先端測量技術 No.93-5

発表日：2009年6月19日

■発表者

檀上 拓也（だんじょう たくや）
国際航業株式会社 空間情報技術本部
東日本技術部 基盤情報グループ

