

道路斜面の崩壊リスク要因の抽出手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令和3

担当チーム：地質チーム

研究担当者：浅井健一、梶山敦司、
矢島良紀

【要旨】

本研究は近年技術発達の著しい航空レーザ測量等のデータ取得技術や解析技術を活用した危険箇所の抽出手法を検討し、道路斜面崩壊のリスク要因の抽出のための技術的手法を提案することを目的としている。令和3年度は、崩壊危険度評価の前提となる崩壊実績と地形的特徴の関係の解析において、崩壊前の高精度地形データがない場合における崩壊後の航空レーザ測量データや崩壊前の衛星画像から作成した地形データによる代用可能性の検討を行った。

キーワード：道路、斜面、崩壊、地形、危険度

1. はじめに

近年、激甚化した台風や豪雨を齎飲とする道路斜面災害の多発により、人的被害の発生や移動・物流の遮断がたびたび発生し、国民の安全・安心や経済上の大きな課題となっている。このような道路斜面災害に対しては従来から道路防災点検による危険箇所の抽出・評価とそれに基づいた対応（対策等）が行われてきたが、近年は航空レーザ測量、写真測量、小型無人航空機（UAV：unmanned aerial Vehicle）などの地形・地質情報の取得技術の進展や、高分解能の解析雨量など雨量情報の高精度化が著しく、これらの新技術・詳細情報を活用して危険箇所抽出の精度向上を図ることが必要である。

本研究は、これら技術発達の著しいデータ取得技術や解析技術を活用した危険箇所の抽出手法を検討し、道路斜面崩壊のリスク要因の抽出のための技術的手法を提案することを目的としている。令和3年度は3か年計画の初年度として、危険度評価に必要な情報及びその精度の検討の一環として、崩壊危険度評価の前提となる崩壊実績と地形的特徴の関係の解析において、崩壊前の高精度地形データがない場合における崩壊後の航空レーザ測量データや崩壊前の衛星画像から作成した地形データによる代用可能性の検討を行った。

2. 研究方法

2.1 崩壊後の航空レーザ測量データから作成した地形データによる代用可能性の検討

平成30年7月の豪雨で被災した広島県呉地域を対

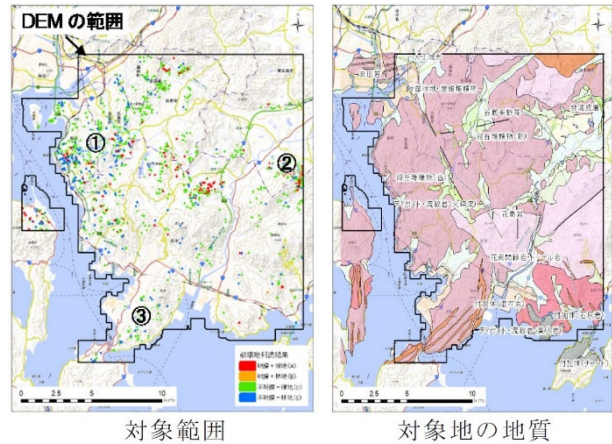


図-1 対象範囲と対象地の地質

表-1 比較に用いたデータ

| 項目 | 内容 | 資料元 |
|-----------|---------------------|--------------------|
| 崩壊前の地形データ | H21～H24間に計測されたLPデータ | 国土地理院 |
| 崩壊後の地形データ | H30に計測されたLPデータ | 林野庁 |
| 地質区分 | 日本シームレス地質図V2 | 産業技術総合研究所 |
| 崩壊地判読結果 | 崩壊地データ | 泉水ほか ¹⁾ |

表-2 作成した地形要素

| 地形要素 | 接点間隔 | | | | |
|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| | 10m | 20m | 30m | 40m | 50m |
| 平均曲率 | | | | | |
| k1 | | | | | |
| k2 | | | | | |
| ラプラシアン | | | | | |
| 尾根谷度 | | | | | |
| 集水面積 | | | | | |
| 傾斜量 | | | | | |
| 傾斜方向 | | | | | |
| 起伏量 | | | | | |
| 遷急点距離 ²⁾ | | | | | |

象として(図-1)、表-1に示すデータを用いて、崩壊前後それぞれの地形データを用いて表-2に示す地形要素を作成し、崩壊の有無との関係に関する多変量解析を

行って違いを比較した³⁾。検討手順は以下のとおりである。

(1) 説明変数の抽出

多変量解析に用いる説明変数を抽出するために、各種地形要素と崩壊の関係を分析し、関係性の高い地形要素を抽出した。

(2) 多変量解析結果を用いた比較

抽出した説明変数を用いて「判別分析」「ロジスティック回帰分析」「重回帰分析」の3手法を用いて多変量解析を行い、各手法の的中率の差を比較した。また、3手法のうち1手法を選択し、説明変数の係数を算出し、その数値の違いを比較した。なお、崩壊点数に対し、非崩壊点数が極端に多いことから、分析に当たり非崩壊点数についてはランダムサンプリング⁴⁾を実施した。

2.2 崩壊後の衛星画像から作成した地形データによる代用可能性の検討

同時期に取得された衛星画像及び航空レーザ測量データをもとにそれぞれの地形データ及びオルソ画像を作成し、比較した⁵⁾。検討手順は以下のとおりである。

(1) 地形データ及びオルソ画像の作成

1) 衛星画像を用いた作成方法

衛星画像をもとに作成された地形データ（以下「衛星による地形データ」と呼ぶ）及びオルソ画像（以下「衛星によるオルソ画像」と呼ぶ）の作成は、航空測量において用いられてきた手法（ステレオマッチング）で行われる。手順の概要を以下に示す。

- ①対となるステレオ画像の抽出
- ②ステレオ画像の撮影位置を特定
- ③複数の画像で同一となる点を無数に抽出
- ④三角関数により抽出地点ごとに最小二乗法により位置を計算
- ⑤木の高さ等の情報をもとに高さを補正
- ⑥グリッドデータ化するために、三角メッシュなどを作成、補間することによって地形データを作成
- ⑦地形データと撮影画像を用いて、画像を正射投影しオルソ画像を作成

2) 航空レーザ計測による作成方法

航空レーザ計測による地形データ及びオルソ画像の作成は、レーザ計測機器を回転翼機あるいは固定翼機に搭載し計測する方法である。計測結果からデータを作成する手順の概要を以下に示す。

- ①航空レーザ計測の実施
- ②計測地点と計測結果の情報をもとに位置を計算

③地表面から離れている点を抽出・削除するフィルタリング処理により植生などの情報を削除

④グリッドデータ化するために、三角メッシュなどを作成、補間することによって地形データを作成

⑤航空レーザ計測実施時に同時に撮影した画像と地形データを用いて、画像を正射投影しオルソ画像を作成

(2) 対象地域と比較データの諸元

1) 対象地域の概要

比較を行った地域は、1 m グリッドのデータとして計測されることが多い地図情報レベル 2,500 以上（地図情報レベル 2,500 は 1/2,500 相当縮尺⁶⁾）の精度を持つデータが存在する範囲、平坦な地形や起伏の富んだ地形の再現性を把握するために平野部および山間部を含む範囲とした。これらの基準を満たす兵庫県六甲地域と広島県呉地域の2地域を選定した。兵庫県六甲地域の選定範囲を図-2 に、広島県呉地域の選定範囲を図-3 に示す。いずれの地域も 4,500 m × 4,500 m の範囲を比較対象とした。なお、図-2 中の枠は図-6 および図-11 に示す拡大範囲の位置を示し、図-3 中の枠は図-9～10、図-13～14 に示した拡大範囲の位置を示す。なお、拡大範囲はいずれも 300 m × 250 m の範囲とした。

2) データの概要

①航空レーザ計測データ

兵庫県六甲地域は、国土交通省によって 2,500 レベル相当の精度で平成 28 年に計測されたデータである。地形データは 1.0 m 間隔のグリッドデータであり、オルソ画像は約 2.0 pixel/m のデータである。広島県呉地域は、林野庁によって 1,000 レベル相当の精度で平成 30 年に計測されたデータである。地形データは 0.5 m 間隔のグリッドデータであり、オルソ画像は 4.0 pixel/m のデータである。

②衛星データ

衛星データは、米国 Maxar 社 WorldView 衛星等により撮影された画像をもとに作成された「AW3D 高精細版地形データ⁷⁾」と「AW3D オルソ画像⁸⁾」を用いた。AW3D 高精細版地形データは、3 種類（0.5 m, 1.0 m, 2.0 m）で提供されている中から 1.0 m のデータを用いた。AW3D オルソ画像は、5 種類（30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 250 cm）の解像度で提供されている中から 30 cm (3.3 pixel/m) のデータを用いた。

なお、地形データについては、基準点を利用して精度を上げることができる「グラウンドコントロールポイントあり」と衛星位置情報のみからデータを作成する「グラウンドコントロールポイントなし」の二つの

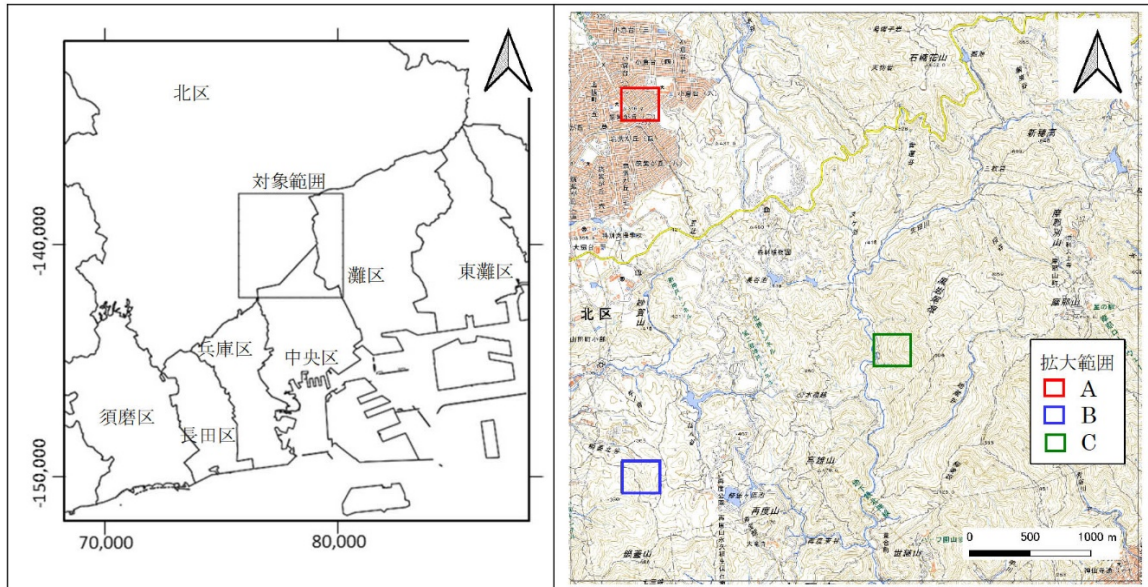


図-2 兵庫県六甲地域の選定範囲

基図は「国土数値情報（行政データ）」（国土交通省、2021）と「タイル地図」（国土地理院、2008）を加工して作成。座標値は平面直角座標第5系の座標

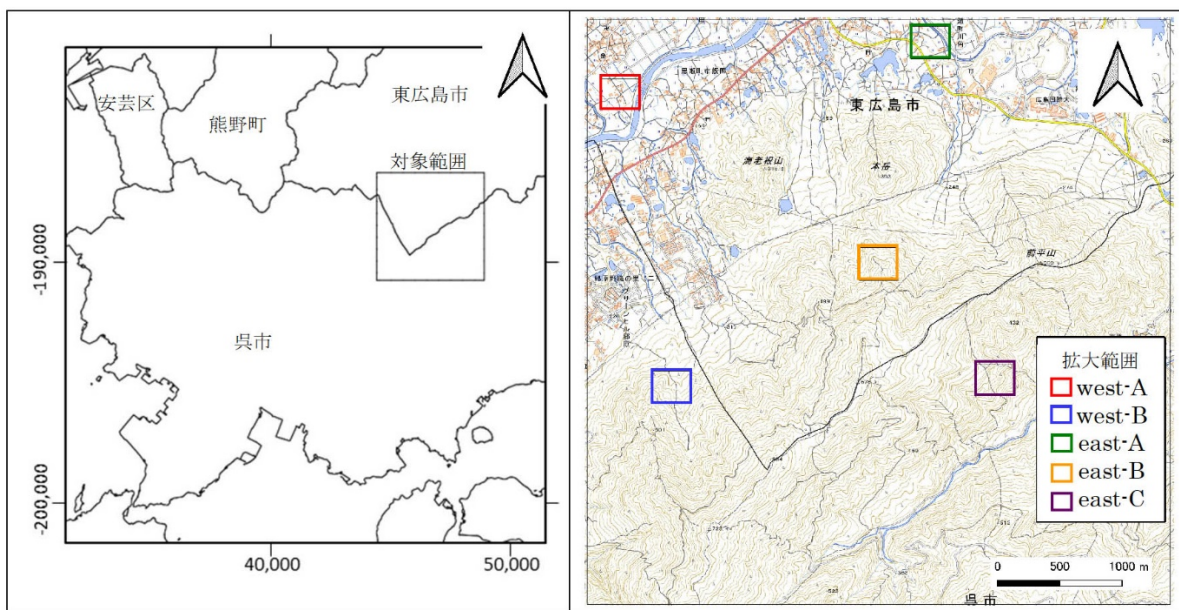


図-3 広島県呉地域の選定範囲

基図は「国土数値情報（行政データ）」（国土交通省、2021）と「タイル地図」（国土地理院、2008）を加工して作成。座標値は平面直角座標第4系の座標

データが提供されている。本報告では、基準となる点が無い山間部も対象として比較することから、「クラウドコントロールポイントなし」のデータを用いた。

提供されるデータの精度は、AW3D 高精細版地形データは水平 1.0 m (Root Mean Square Error, RMSE) / 1.5 m (CE90)、垂直 1.0 m (RMSE) / 1.5 m (LE90) とされている⁷⁾。また、AW3D オルソ画像の精度は、

水平方向 3.0 m (RMSE) / 5.0 m (CE90) とされている⁸⁾。なお、「1.5 m (CE90)」は半径 1.5 m の範囲内に 90%以上が収まる位置精度を示しており、「1.5 m (LE90)」は上下 1.5 m の範囲内に 90%以上が収まる位置精度を示している。

本研究で用いた衛星による地形データとオルソ画像は、兵庫県六甲地域は平成 27 年～平成 28 年、広島県

呉地域は平成 30 年～令和 2 年に撮影された画像をもとに作成されている。オルソ画像を単体で購入した場合、5 mDTM (Digital Terrain Model) から正射投影された画像となるが、本研究ではオルソ画像と DTM を同時に購入したことから、1 mDTM から正射投影された画像となっている。

(3) 精度の比較方法

1) 地形データ

地形データの精度は、等高線の形状と標高の差分値をもとに比較した。差分値は、「衛星による地形データの標高値」から「航空レーザ計測による地形データの標高値」を引いた値を計算、平面分布図とヒストグラムを作成し、平面的な差分値の分布とバラツキの程度を比較した。

なお、地形データの大枠の違いと細かな違いを確認するため、縮尺を変更した図を 2 パターン（大縮尺と小縮尺）作成した。

2) オルソ画像

オルソ画像の精度は、地形データの比較において示した大縮尺の範囲を対象として、構造物や崩壊などの特徴的な位置の平面的な位置の違いを比較した。

3. 研究結果

3.1 崩壊後の航空レーザ測量データから作成した地形データによる代用可能性の検討

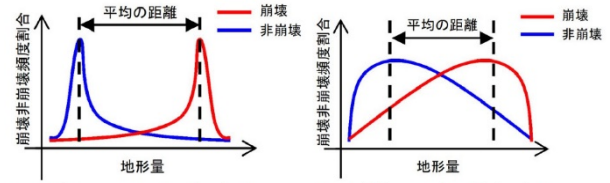
3.1.1 説明変数の抽出結果

崩壊の発生場を表す有意な指標を抽出するために、地形要素において崩壊と非崩壊の平均値及び標準偏差を求めた (表-3)。崩壊の発生場を表す有意な地形要素の場合、崩壊と非崩壊の平均値の距離は遠くなる (図-4)。ただし、平均値の距離が遠くてもばらつき (標準偏差) が大きければ崩壊と非崩壊に有意な差はないと考えられる。このことから、平均値の距離が遠くかつばらつきが小さい地形要素の説明変数候補として抽出

表-3 各地形要素と崩壊点及び非崩壊点の関係

| 地形要素 | 崩壊前の地形 | | | | 崩壊後の地形 | | | |
|-----------|--------|------|------|------|--------|-------|------|------|
| | 崩壊 | | 非崩壊 | | 崩壊 | | 非崩壊 | |
| | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 |
| 平均曲率(10m) | 0.36 | 0.36 | 0.00 | 1.00 | 0.36 | 0.48 | 0.32 | 0.00 |
| 平均曲率(20m) | 0.27 | 0.31 | 0.00 | 1.00 | 0.27 | 0.34 | 0.27 | 0.00 |
| 平均曲率(30m) | 0.15 | 0.31 | 0.00 | 1.00 | 0.15 | 0.20 | 0.26 | 0.00 |
| 平均曲率(40m) | 0.04 | 0.39 | 0.00 | 1.00 | 0.04 | 0.09 | 0.32 | 0.00 |
| 平均曲率(50m) | -0.04 | 0.43 | 0.00 | 1.00 | 0.04 | 0.02 | 0.32 | 0.00 |
| 尾根曲率(10m) | 0.15 | 0.57 | 0.00 | 1.00 | 0.15 | 0.54 | 0.63 | 0.00 |
| 尾根曲率(20m) | 0.21 | 0.58 | 0.00 | 1.00 | 0.21 | 0.49 | 0.62 | 0.00 |
| 尾根曲率(30m) | 0.13 | 0.67 | 0.00 | 1.00 | 0.13 | 0.34 | 0.70 | 0.00 |
| 尾根曲率(40m) | 0.00 | 0.76 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.17 | 0.79 | 0.00 |
| 尾根曲率(50m) | -0.11 | 0.82 | 0.00 | 1.00 | 0.11 | 0.04 | 0.84 | 0.00 |
| 傾斜曲率(10m) | 0.35 | 0.33 | 0.00 | 1.00 | 0.35 | 0.43 | 0.28 | 0.00 |
| 傾斜曲率(20m) | 0.25 | 0.28 | 0.00 | 1.00 | 0.25 | 0.31 | 0.25 | 0.00 |
| 傾斜曲率(30m) | 0.14 | 0.30 | 0.00 | 1.00 | 0.14 | 0.18 | 0.25 | 0.00 |
| 傾斜曲率(40m) | 0.04 | 0.38 | 0.00 | 1.00 | 0.04 | 0.08 | 0.31 | 0.00 |
| 傾斜曲率(50m) | -0.03 | 0.43 | 0.00 | 1.00 | 0.03 | 0.02 | 0.31 | 0.00 |
| ラフネス | 0.55 | 0.94 | 0.00 | 1.00 | 0.55 | 1.32 | 1.21 | 0.00 |
| 尾根谷度(10m) | 0.72 | 0.78 | 0.00 | 1.00 | 0.72 | 1.33 | 0.85 | 0.00 |
| 尾根谷度(20m) | 0.52 | 0.70 | 0.00 | 1.00 | 0.52 | 0.90 | 0.71 | 0.00 |
| 集水面積 | -0.08 | 0.07 | 0.00 | 1.00 | 0.08 | -0.07 | 0.06 | 0.00 |
| 傾斜 | 0.73 | 0.48 | 0.00 | 1.00 | 0.73 | 0.98 | 0.46 | 0.00 |
| 傾斜方向(東西) | -0.13 | 0.97 | 0.00 | 1.00 | 0.13 | -0.14 | 0.97 | 0.00 |
| 傾斜方向(南北) | 0.18 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 0.18 | 0.20 | 1.00 | 0.00 |
| 起伏量 | 0.71 | 0.59 | 0.00 | 1.00 | 0.71 | 1.03 | 0.80 | 0.00 |
| 遷急点距離 | -0.07 | 0.78 | 0.00 | 1.00 | 0.07 | 0.00 | 0.89 | 0.00 |

説明変数として採用した地形要素
平均差分が0.4以上の地形要素



(a)ばらつきが小さい (b)ばらつきが大きい

図-4 地形量の分布イメージ

表-4 説明変数に採用した地形要素

| 指標 | 崩壊/非崩壊傾向 |
|-----------|---|
| 尾根谷度(10m) | 谷型前面で崩壊割合が高く、尾根型斜面で非崩壊割合が高い。 |
| 集水面積 | 10 ² ~10 ³ m ² の集水面積を持つ地点で崩壊割合が高い。 |
| 傾斜 | 30~40度の傾斜の地点で崩壊割合が高い。 |
| 傾斜方向 | 北側斜面で崩壊割合が高い。 |
| 起伏量 | 10~20mの起伏量を持つ地点で崩壊割合が高い。 |
| 遷急点からの距離 | 10 ¹ ~10 ² m遷急点から離れた地点で崩壊割合が高い。 |

表-5 多変量解析の結果

| 分析方法 | k 統計量 | 地形データ | 崩壊(実値) | | 非崩壊(実値) | |
|-------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | 崩壊(推定) | 非崩壊(推定) | 崩壊(推定) | 非崩壊(推定) |
| 判別分析 | 0.50 | 崩壊前 | 648 (82.65%) | 254 (32.40%) | 136 (17.35%) | 530 (67.60%) |
| | | | 681 (86.86%) | 186 (23.72%) | 103 (13.14%) | 598 (76.28%) |
| | 0.63 | 崩壊後 | 624 (79.59%) | 230 (29.34%) | 160 (20.41%) | 554 (70.66%) |
| | | | 669 (85.33%) | 162 (20.66%) | 115 (14.67%) | 622 (79.34%) |
| ロジスティック回帰分析 | 0.50 | 崩壊前 | 648 (82.65%) | 254 (32.40%) | 136 (17.35%) | 530 (67.60%) |
| | | | 681 (86.86%) | 186 (23.72%) | 103 (13.14%) | 598 (76.28%) |
| | 0.65 | 崩壊後 | 624 (79.59%) | 230 (29.34%) | 160 (20.41%) | 554 (70.66%) |
| | | | 669 (85.33%) | 162 (20.66%) | 115 (14.67%) | 622 (79.34%) |
| 重回帰分析 | 0.50 | 崩壊前 | 648 (82.65%) | 254 (32.40%) | 136 (17.35%) | 530 (67.60%) |
| | | | 681 (86.86%) | 186 (23.72%) | 103 (13.14%) | 598 (76.28%) |
| | 0.63 | 崩壊後 | 624 (79.59%) | 230 (29.34%) | 160 (20.41%) | 554 (70.66%) |
| | | | 669 (85.33%) | 162 (20.66%) | 115 (14.67%) | 622 (79.34%) |

表-6 説明変数の係数

| 地形 | 尾根谷度(10m) | 集水面積 | 傾斜 | 斜面方向(東西) | 斜面方向(南北) | 遷急点距離 | 定数 |
|-----|-----------|-------|------|----------|----------|-------|-------|
| 崩壊前 | 1.15 | -2.51 | 1.35 | -0.37 | 0.21 | -0.19 | -1.75 |
| 崩壊後 | 1.62 | -2.59 | 2.18 | -0.48 | 0.17 | -0.29 | -3.38 |

最も大きい係数
2番目に大きい係数
3番目に大きい係数

した。地形要素の説明変数を抽出した結果を表-4に示す。また、各地形要素の相関性を検証し、相関性が高かった起伏量と傾斜のうち起伏量を除外した5つを説明変数とした。

3.1.2 多変量解析の結果

(1) 3手法の的中率

抽出した説明変数をもとに「判別分析」「ロジスティック回帰分析」「重回帰分析」の3手法により多変量解析を行った結果を表-5に示す。いずれの手法でも崩壊後の地形データによる的中率よりも高い値を示している。これは崩壊前よりも崩壊後の地形の方が、地形的に特徴があることを示していると考えられる。

(2) 説明変数の係数

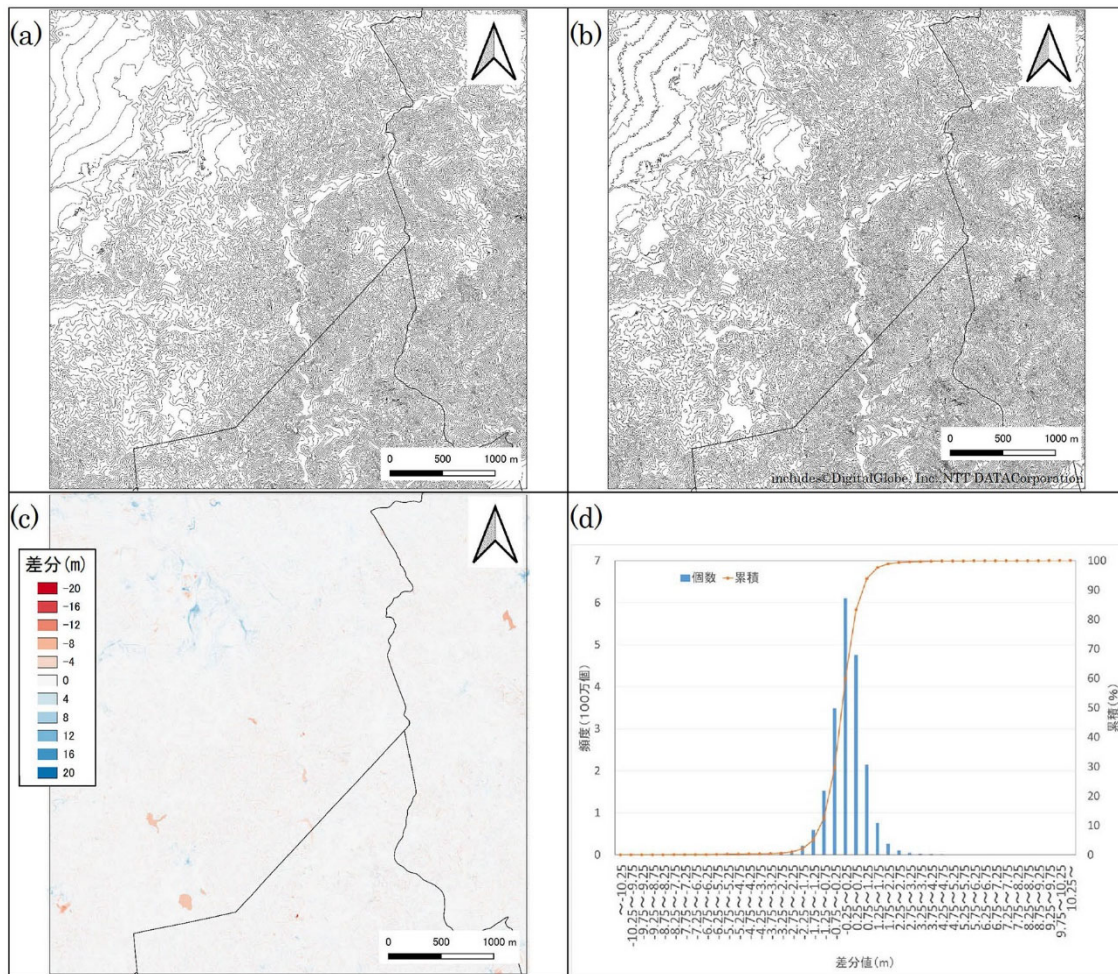


図-5 兵庫県六甲地域の地形データ（小縮尺）

(a)衛星による地形データから作成した等高線図（10m間隔） (b)航空レーザ計測による地形データから作成した等高線図（10m間隔） (c) (a)と(b)の差分値 (d) (a)と(b)の差分値のヒストグラム

的中率に加えさらに、説明変数の係数の違いを比較するため、ロジスティック回帰分析結果に基づく説明変数の係数を算出した（表-6）。崩壊前と崩壊後の地形いずれも、関係性の高い地形要素が「集水面積」「傾斜」「尾根谷度」の順になっているが、いずれの数値も崩壊後の方が高い値を示している。(1)の結果と同様、崩壊前よりも崩壊後の地形の方が、地形的に特徴があることを示していると考えられる。

3.2 崩壊後の衛星画像から作成した地形データによる代用可能性の検討

3.2.1 地形データの比較

(1) 兵庫県六甲地域

衛星による地形データと航空レーザ計測による地形データから作成した等高線図を図-5(a)および図-5(b)に、差分値を算出した平面図を図-5(c)に、差分値から作成したヒストグラムを図-5(d)に示した。また、図-6(a), (c), (e)には、図-2に示した拡大範囲を対象として、等高線および差分値の平面図分布を示し、各々の差分値

から作成したヒストグラムを図-6(b), (d), (f)に示した。図-6(a)の差分値から作成したヒストグラムを図-6(b)、図-6(c)の差分値から作成したヒストグラムを図-6(d)、図-6(e)の差分値に対するヒストグラムを図-6(f)に示した。

図-5(a)および(b)の等高線の分布やその形状を比較すると、等高線の曲がり方や等高線の粗密はいずれも同様の傾向を示す。また、図-5(c)および図-5(d)に示したヒストグラムからは差分値のほとんどが-1.25~1.25 mの範囲に分布していることが分かる。

拡大した場合は、図-6(a)の平野部では細かい違いはあるものの等高線の形状は同様の傾向を示し、図-6(b)の差分値のヒストグラムもほとんどが-1.25~1.25 mの範囲に分布していることが分かる。一方、図-6(b)および(c)に示す山間部では、等高線の形状が凹状の沢地形部や凸状の尾根地形部において異なり、差分値も沢地形部や尾根地形部において大きくなる。その結果を表すように、差分値のヒストグラムも分布範囲は広がり、

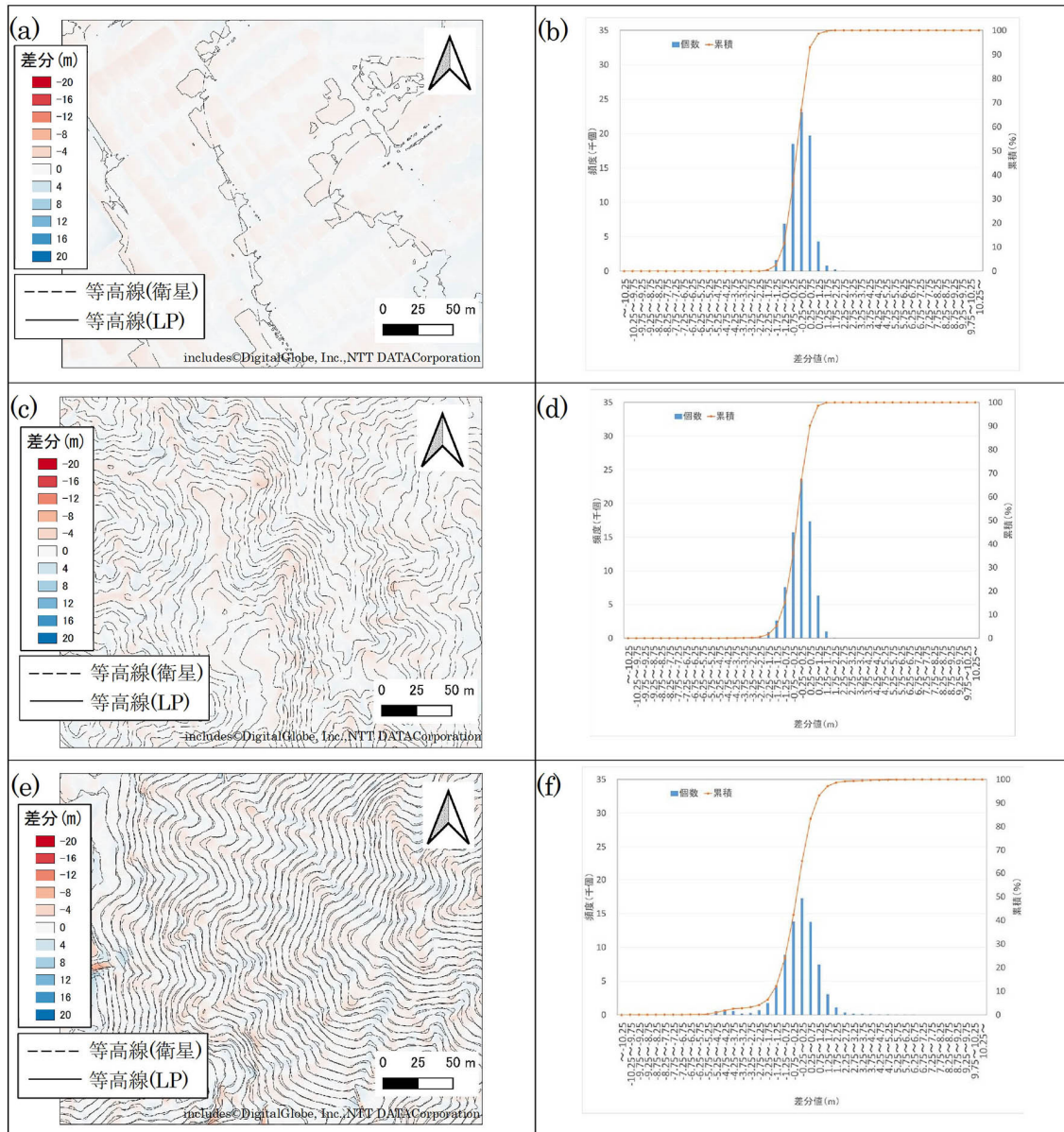


図-6 兵庫県六甲地域の地形データ（大縮尺）

(a)A地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m間隔） (b)A地点範囲の差分値のヒストグラム (c) B地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m間隔） (d) B地点範囲の差分値のヒストグラム (e) C地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m間隔） (f) C地点範囲の差分値のヒストグラム

ピークとなる $-0.25 \sim 0.25$ mの数も小さくなる。山間部の地形データのうち尾根や谷において差が大きい理由は、LP計測では計測時に地表面以外の森林などにレーザが照射されたデータはフィルターで除去され、地表面にレーザが照射されたデータのみで地形データをしており、植生のある山間部においても比較的正確に地形データが取得可能なためと考えられる。しかしながら、衛星による地形データの作成は、画像を用いて写真測量の原理を用いてデータを取得しているため、植生のある場所では木の高さを計測し、木の高さを引

くことによって地形データを作成している。この計測とデータの処理の違いによって、衛星による地形データでは、微細な地形が取得できなかった可能性が考えられる。

(2) 広島県呉地域

兵庫県六甲地域と同様に、衛星による地形データと航空レーザ計測による地形データから作成した等高線図を図-7(a)及び図-7(b)に示し、差分値を算出した平面図を図-7(c)に示し、差分値から作成したヒストグラムを図-7(d)に示した。当該地域では、図-7(c)の差分値を

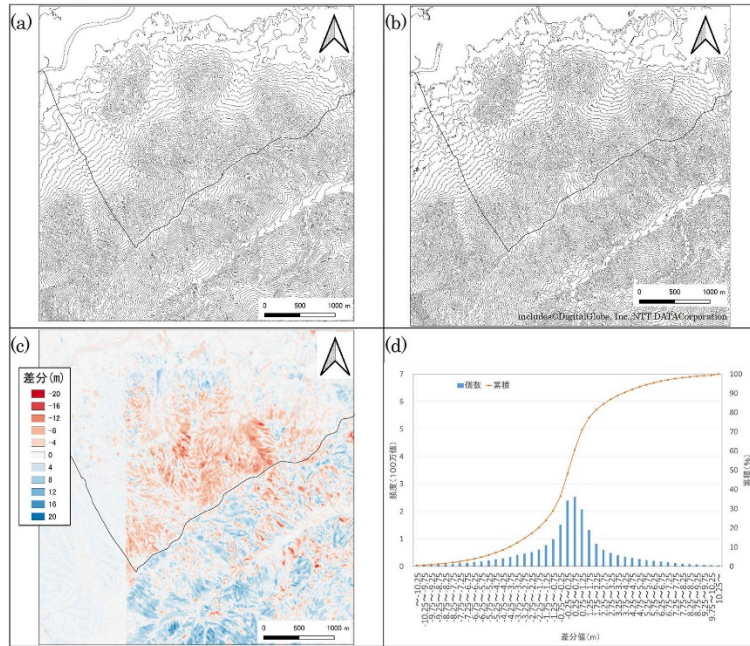


図-7 広島県呉地域の地形データ（小縮尺）

(a)衛星による地形データから作成した等高線図（10m 間隔） (b)航空レーザ計測による地形データから作成した等高線図（10m 間隔） (c) (a)と(b)の差分値 (d) (a)と(b)の差分値のヒストグラム

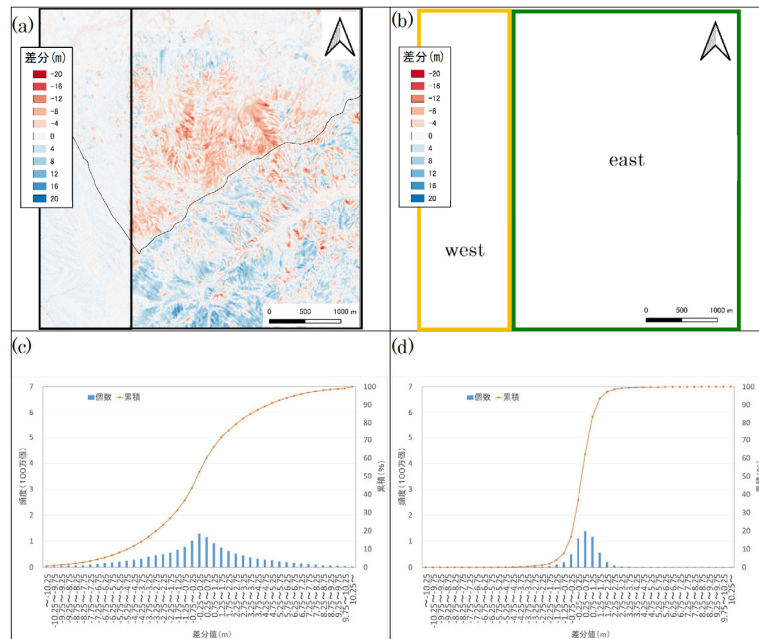


図-8 広島県呉地域の地形データ（小縮尺）分割版

(a)衛星による地形データと航空レーザ計測による地形データの差分値 (b)east と west の範囲 (c)east の範囲の差分値のヒストグラム (d)west の範囲の差分値のヒストグラム

算出した平面図において、東と西で差分値の傾向が大きく異なったため、傾向の異なる範囲を東と西に区分し、差分値のヒストグラムを作成した（図-8）。図-8(b)に east の範囲と west の範囲を示し、east の範囲中に含まれるデータの差分値から作成したヒストグラムを図-8(c)に示し、west の範囲中に含まれるデータの差分値

から作成したヒストグラムを図-8 (d)に示した。また、図-9(a), (c)および図-10(a), (c), (e)に第 2 図に示した拡大範囲を対象として、等高線および差分値の平面図分布を示し、各々の差分値から作成したヒストグラムを図-9(b), (d)及び図-10(b), (d), (f)に示した。

図-7(a)及び(b)の等高線の分布やその形状を比較す

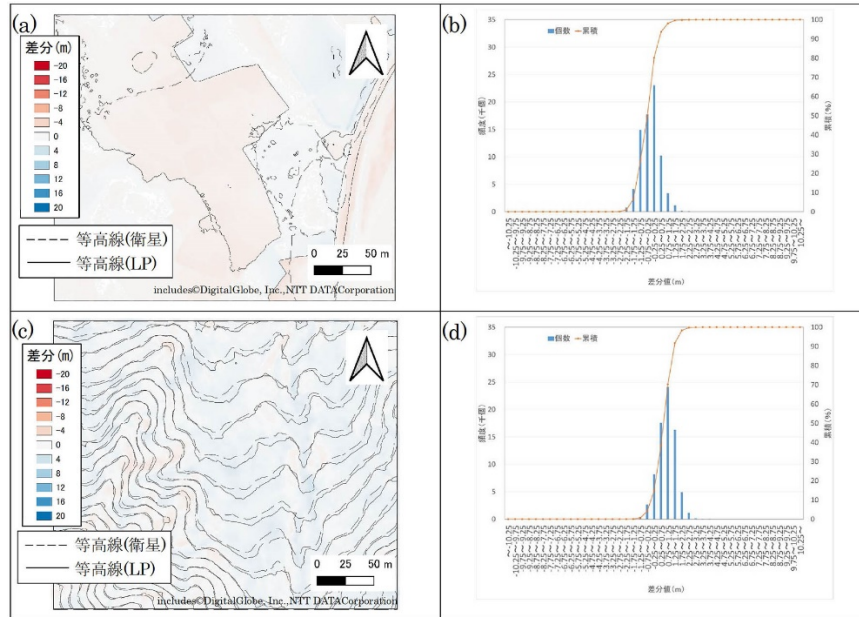


図-9 広島県呉地域 west 内の地形データ（大縮尺）

(a) west-A 地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m 間隔） (b) west-A 地点範囲の差分値のヒストグラム (c) west-B 地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m 間隔） (d) west-B 地点範囲の差分値のヒストグラム

ると、等高線の曲がり方や等高線の粗密はいずれも同様の傾向を示すように見える。しかしながら、図-7(c)の標高の差分値を見ると西側は0に近い数値となるが、東側は大きく異なる値を示している。区間を分けて作成したヒストグラム図-8(b)および図-8(d)でも、図-8(d)に示す west の範囲はヒストグラムが0付近に集中するのに対し、図-8(b)に示す east の範囲はヒストグラムの分布範囲が広がっており、east の範囲は標高値に大きな差があることが分かる。

west の範囲を拡大した場合は、図-9(a)に示した平野部においては、細かい違いはあるものの等高線は同様の傾向を示す。差分値から作成したヒストグラムも多くのデータが、-1.25~1.25 m の範囲に分布していることが分かる。一方、図-9(c)に示す山間部では、兵庫県六甲地域と同様に等高線の形状が微細な凹状の沢地形部や凸状の尾根地形部において異なり、差分値も沢地形部や尾根地形部において大きくなる。その結果を表すように、差分値のヒストグラムも分布範囲は広がり、ピークとなる-0.25~0.25 m の数も小さくなる。

east の範囲を拡大した場合は、図-10(a)に示した平野部においては、細かい違いはあるものの等高線は同様の傾向を示す。差分値から作成したヒストグラムも多くのデータが、-1.25~1.25 m の範囲に分布していることが分かる。一方、図-10(c)および(e)に示す山間部では、

差分値の値は大きく異なる結果となった。この結果は、衛星データの取得条件等は公開されないため詳細は不明であるが、east の範囲は使用できる写真の数が少ないなどの理由により、ステレオマッチング時の精度が低かったものと考えられる。

(3) 地形データの比較結果

兵庫県六甲地域と広島県呉地域において、衛星による地形データと航空レーザ計測による地形データを比較した結果、以下のことが分かった。

1) 等高線の形状

小縮尺で見る等高線の形状はほぼ同一の形状である。大縮尺で見る平野部の等高線もほぼ同一の形状となる。一方、大縮尺で見る山間部の等高線は、標高値の差分でズレの大きい広島県呉地域 east を除くと、微細な凹状の沢地形部や凸状の尾根地形部で異なるが、概ね同様の形状となる。

2) 標高値の差分

対象範囲全体の標高データの差分では、兵庫県六甲地域ではズレの程度が少なく、広島県呉地域ではズレの程度は大きくなる。ただし、ズレの大きい広島県呉地域の east を除くと、ズレの範囲が-1.25~1.25 m に収まる。対象範囲を絞った標高データの差分では、平野部はズレの範囲が-1.25~1.25 m に収まる。山間部においても、標高値の差分でズレの大きい広島県呉地

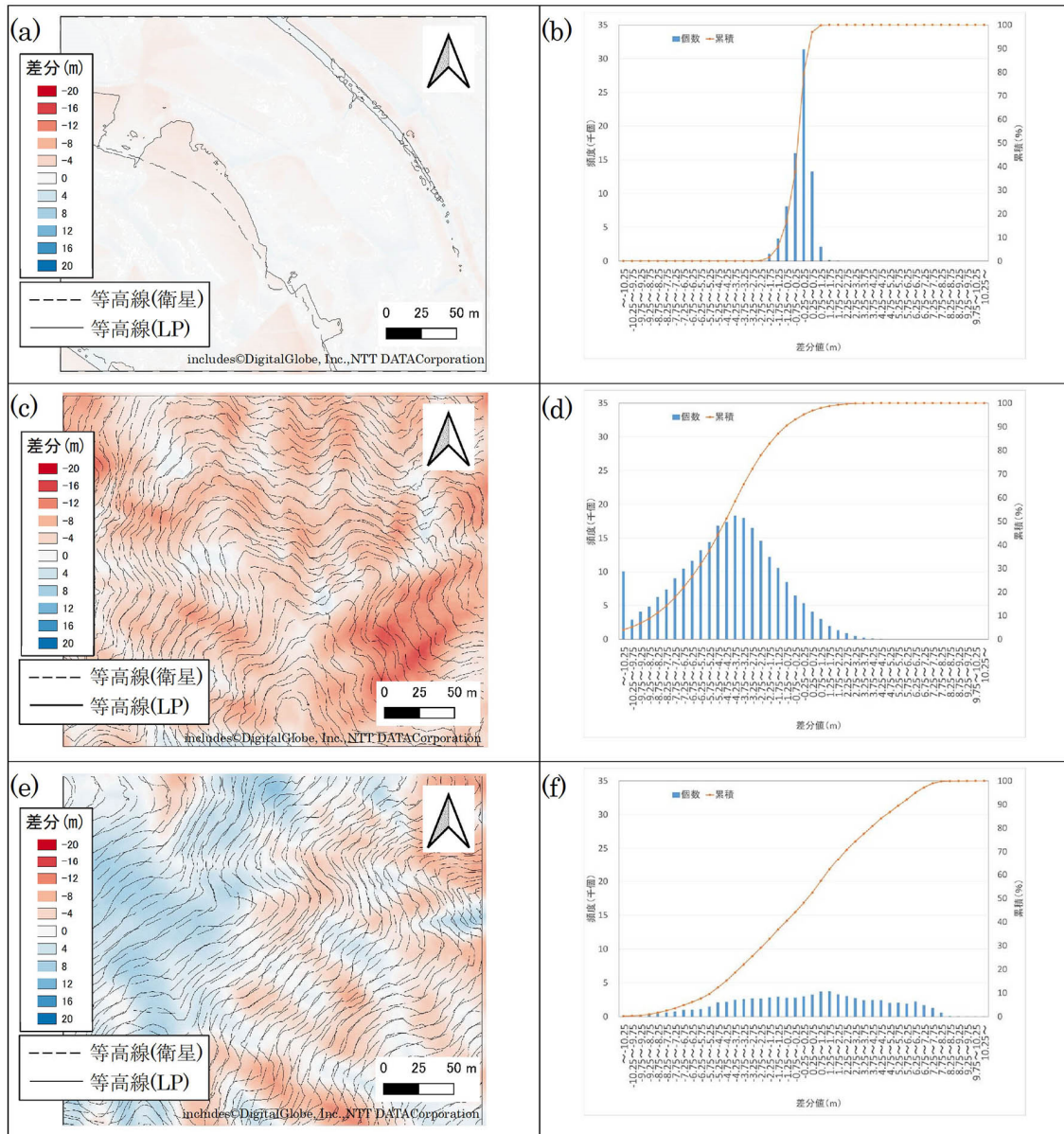


図-10 広島県呉地域の east 内の地形データ（大縮尺）

(a) east-A 地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m 間隔） (b) east-A 地点範囲の差分値のヒストグラム (c) east-B 地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m 間隔） (d) east-B 地点範囲の差分値のヒストグラム (e) east-C 地点の衛星と航空レーザ計測による地形データの差分値と等高線（5m 間隔） (f) east-C 地点範囲の差分値のヒストグラム

域 east を除くと、平野部よりズレの範囲は広がり、 $-0.25 \sim 0.25$ m のピークの値も小さくなる。

広島県呉地域の east を除く箇所では、等高線や標高値に大きな違いは認められなかった。しかし、広島県呉地域の east のような比較的大きな違いが認められる場合がある事が分かった。ステレオマッチング時の精度が低かったものと考えられるが、衛星画像を用いて解析等を行う際には、目的に応じて差分値の算出等によりデータを確認する必要がある。

3.2.2 オルソ画像の比較

(1) 兵庫県六甲地域

衛星によるオルソ画像と航空レーザ計測による平野部のオルソ画像を図-11(a)および図-11(b)に示し、山間部のオルソ画像を図-11(c)～(f)に示す。また、オルソ画像上で特徴点の座標をそれぞれ計測した結果を表-7に示す。平野部は、色調は異なるがそれぞれのデータから抽出した座標の残差は ± 2 m 程度となる。山間部は目印が無い為、砂防ダムの位置のみの評価となるが、残差が ± 2 m 程度となる。

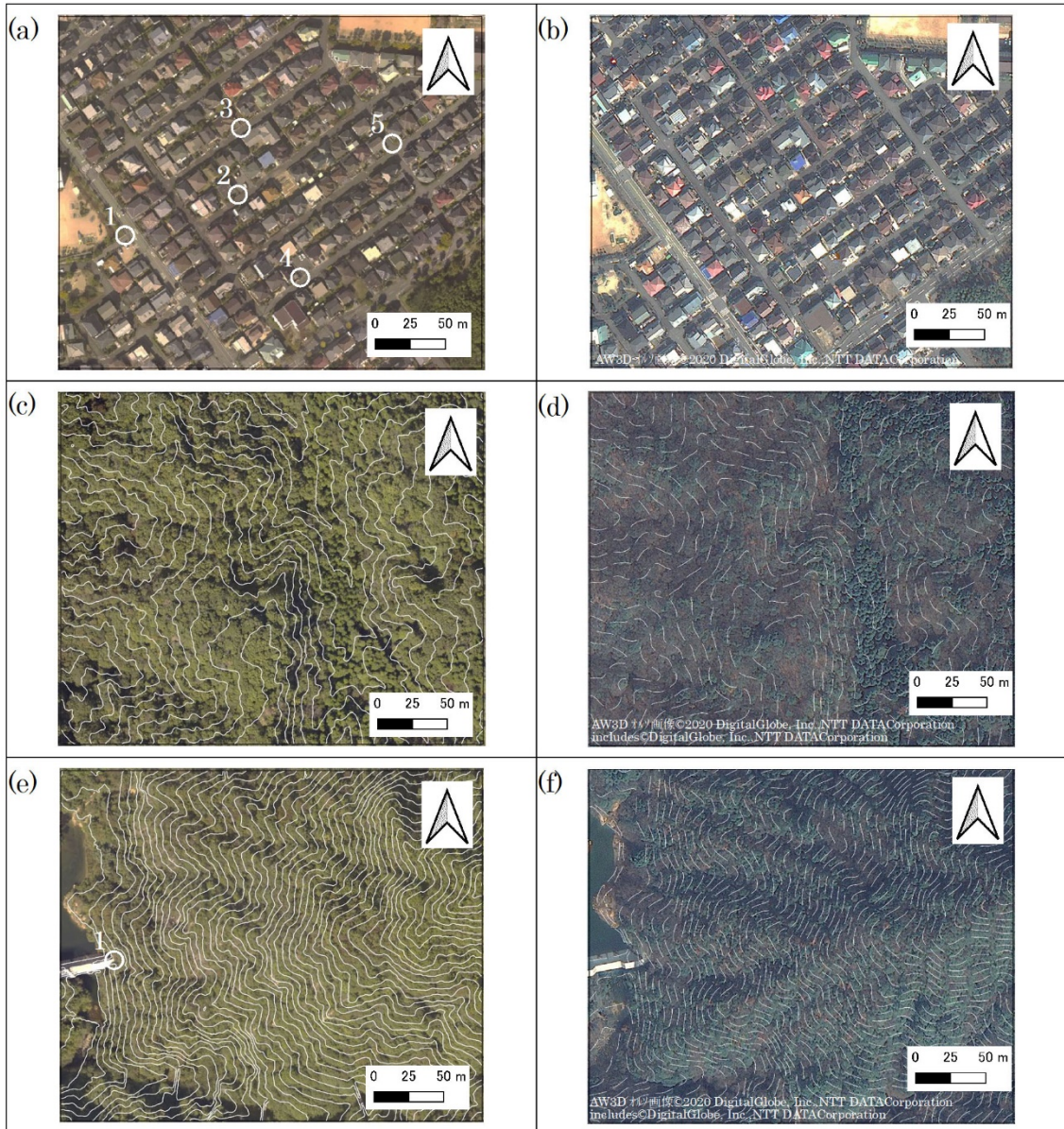


図-11 兵庫県六甲地域のオルソ画像（大縮尺）

白丸：座標抽出地点 (a) A地点の航空レーザ計測によるオルソ画像 (b) A地点の衛星によるオルソ画像 (c) B地点の航空レーザ計測によるオルソ画像と等高線（5m 間隔） (d) B地点の衛星によるオルソ画像と等高線（5m 間隔） (e) C地点の航空レーザ計測によるオルソ画像と等高線（5m 間隔） (f) C地点の衛星によるオルソ画像と等高線（5m 間隔）

表-7 兵庫県六甲地域の特徴点の座標

| 場所 | 区分 | ポイント | 平面直角座標(m) | | | | 残差(m) | |
|-----|-----|------|-----------|---------|-------|---------|-------|----|
| | | | LP計測 | | 衛星画像 | | | |
| | | | X | Y | X | Y | | |
| 兵庫県 | 平野部 | 1 | 76248 | -138556 | 76248 | -138557 | 0 | -1 |
| | | 2 | 76329 | -138527 | 76328 | -138528 | -1 | -1 |
| | | 3 | 76329 | -138479 | 76330 | -138480 | 1 | -1 |
| | | 4 | 76373 | -138586 | 76372 | -138587 | -1 | -1 |
| | | 5 | 76437 | -138493 | 76437 | -138493 | 0 | 0 |
| | 山間部 | 1 | 78237 | -140486 | 78238 | -140486 | 1 | 0 |

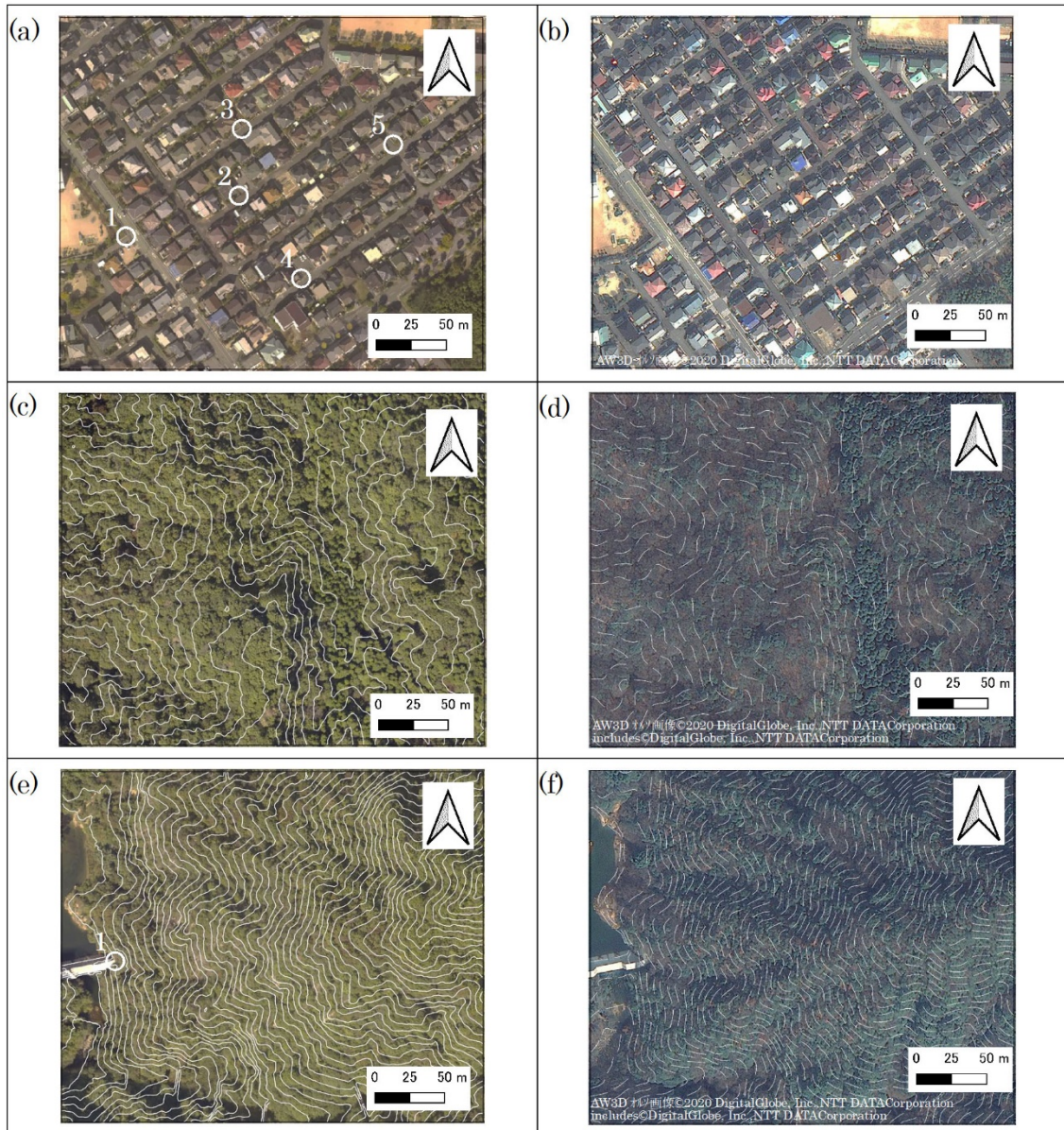


図-12 広島県呉地域 west 内オルソ画像（大縮尺）

白丸：座標抽出地点 (a)west-A 地点の航空レーザ計測によるオルソ画像 (b)west-A 地点の衛星によるオルソ画像
(c)west-B 地点の航空レーザ計測によるオルソ画像と等高線（5m 間隔） (d) west-B 地点の衛星によるオルソ画像と等高線（5m 間隔）

(2) 広島県呉地域

衛星によるオルソ画像と航空レーザ計測による east 内の平野部のオルソ画像を図-12(a)と(b)に示し、east 内の山間部のオルソ画像を図-12(c)～(d)に示す。また、west 内の平野部のオルソ画像を図-13(a)と(b)に示し、west 内の山間部のオルソ画像を図-13(c)と(d)に示す。また、オルソ画像上で特徴点の座標をそれぞれ計測した結果を表-8 に示す。

図-12 に示した平野部は、兵庫県六甲地域と同様に色調は異なるが、それぞれのデータから抽出した座標の残差は±2m 程度となる。一方、図-12 に示した west

内の山間部のオルソ画像は、平野部と同様に残差は±2m 程度となることに対し、図-12 に示した east 内の山間部のオルソ画像は、残差が±9m 程度と大きくなる。残差が大きいeast内のオルソ画像は、east内の地形データをもとに正射投影されているため、標高値の違いにより影響が出た可能性が高いと考えられる。

広島県呉地域では、さらに崩壊部の見え方を確認するために、east-B 地点の崩壊部（幅 10 m 長さ 40 m 程度）の拡大図を図-14 に示した。図-14 では、LP 計測によるオルソ画像の方が衛星によるオルソ画像より鮮明に見えるが、いずれからも裸地の抽出は可能である。

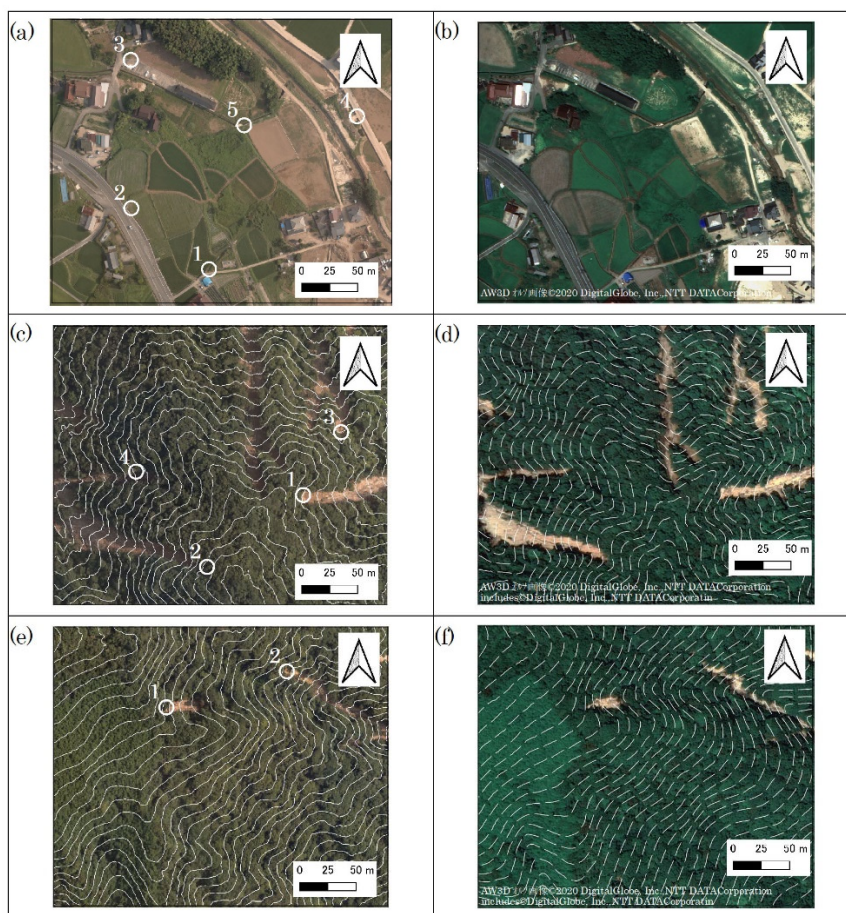


図-13 広島県呉地域 east 内のオルソ画像（大縮尺）

白丸：座標抽出地点 (a)A 地点の航空レーザ計測によるオルソ画像 (b)A 地点の衛星によるオルソ画像 (c)B 地点の航空レーザ計測によるオルソ画像と等高線（5m 間隔） (d) B 地点の衛星によるオルソ画像と等高線（5m 間隔） (e)C 地点の航空レーザ計測によるオルソ画像と等高線（5m 間隔） (f)C 地点の衛星によるオルソ画像と等高線（5m 間隔）

表-8 広島県呉地域の特徴点の座標

| 場所 | 地形区分 | 範囲 | ポイント | 平面直角座標(m) | | | | 残差(m) | |
|-----|--------|--------|-------|-----------|---------|---------|---------|-------|---|
| | | | | LP計測 | | 衛星画像 | | | |
| | | | | X | Y | X | Y | | |
| 広島県 | 平野部 | east-A | 1 | 47035 | -186573 | 47033 | -186571 | -2 | 2 |
| | | | 2 | 46968 | -186517 | 46966 | -186516 | -2 | 1 |
| | | | 3 | 46964 | -186385 | 46963 | -186384 | -1 | 1 |
| | | | 4 | 47169 | -186434 | 47168 | -186432 | -1 | 2 |
| | | | 5 | 47069 | -186443 | 47067 | -186442 | -2 | 1 |
| | 山間部 | east-B | 1 | 46626 | -188267 | 46617 | -188262 | -9 | 5 |
| | | | 2 | 46723 | -188205 | 46719 | -188203 | -4 | 2 |
| | | | 3 | 46759 | -188154 | 46756 | -188146 | -3 | 8 |
| | | | 4 | 46582 | -188187 | 46582 | -188182 | 0 | 5 |
| | | | 1 | 47498 | -189027 | 47499 | -189023 | 1 | 4 |
| | 平野部 | west-A | 2 | 47608 | -188991 | 47604 | -188988 | -4 | 3 |
| | | | 1 | 44535 | -186928 | 44534 | -186927 | -1 | 1 |
| | | | 2 | 44655 | -186979 | 44653 | -186977 | -2 | 2 |
| | | | 3 | 44595 | -186773 | 44593 | -186772 | -2 | 1 |
| | | | 4 | 44707 | -186831 | 44706 | -186830 | -1 | 1 |
| 山間部 | west-B | 5 | 44661 | -186871 | 44660 | -186870 | -1 | 1 | |
| | | 1 | 45000 | -189053 | 44998 | -189051 | -2 | 2 | |
| | | 2 | 44998 | -189183 | 44996 | -189181 | -2 | 2 | |

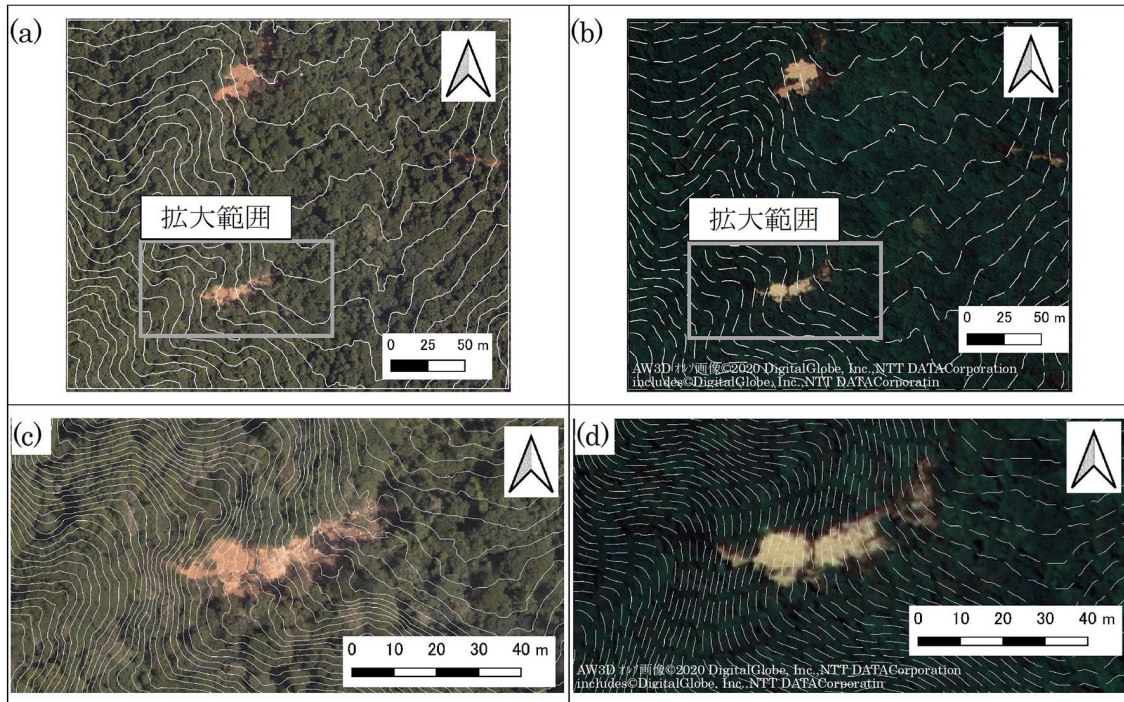


図-14 広島県呉地域 east-B 内の崩壊地

(a) east-B 地点の航空レーザ計測によるオルソ画像と等高線 (5m 間隔) (b) east-B 地点の衛星によるオルソ画像と等高線 (5m 間隔) (c) (a) 内の崩壊の拡大図 (等高線 1m 間隔) (d) (b) 内の崩壊の拡大図 (等高線 1m 間隔)

(3) オルソ画像の比較結果

兵庫県六甲地域と広島県呉地域において、衛星によるオルソ画像と LP 計測によるオルソ画像を比較した結果、以下のことが分かった。

平野部は色調が異なるが、それぞれのデータから抽出した座標の残差は±2m 程度となる。山間部の崩壊部等についても、標高値の差分でズレの大きい広島県呉地域 east を除くと、平野部と同様に残差は±2m 程度となる。また、崩壊地点の位置および崩壊地の数の判読が可能であり、崩壊地の大きさが幅 10 m 長さ 40 m 程度の小さなものでも判読が可能であることが分かった。

地形データと同様に、広島県呉地域の east を除く箇所では、差分値に大きな違いは認められなかった。しかし、広島県呉地域の east のような残差が±9m 程度と大きくなる箇所が存在することが分かった。

4. まとめ

崩壊危険度評価の前提となる崩壊実績と地形的特徴の関係の解析において、崩壊前の高精度地形データがない場合における崩壊後の航空レーザ測量データや崩壊前の衛星画像から作成した地形データによる代用可能性の検討を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 崩壊前と崩壊後の高精度地形データの多変量解析による比較の結果、崩壊と関係性の高い地形要素に違いはないものの、説明変数の係数に違いが認められる。
 - 2) 崩壊前の航空レーザ測量データと衛星画像から作成した地形データの多変量解析による比較の結果、山間部では平地部に比べて両者の標高差のばらつきが大きいことがわかった。
- 今後、これらの違いによる崩壊予測精度の影響などについては引き続き後継の主要研究において検討を行っていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、国土地理院、林野庁及び国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所には航空レーザ測量データを提供いただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 泉水友裕・梶山敦司・浅井健一：平成 30 年 7 月豪雨における表層崩壊発生場と崩壊土砂到達距離の特徴、日本応用地質学会令和 2 年度研究発表会講演論文集、pp.109-110、2020

- 2) 室井翔太・島田徹・小野尚哉・平野昌繁・小泉和也・笹原克夫：LiDAR データを用いた数値解析に基づく地形判読補助図の作成、日本地すべり学会誌、Vol.55、No.1、pp.25-34、2018
- 3) 梶山敦司・泉水友裕・浅井健一：崩壊前後の LP データによる崩壊発生場の地形的特徴ー平成 30 年 7 月豪雨広島県呉地域を対象としてー、第 40 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集、pp.159-160、2021
- 4) Ripley, B.: Stochastic Simulation, John Wiley & Sons, p.237, 2006
- 5) 梶山敦司・矢島良紀・浅井健一：航空レーザ計測結果と衛星画像による地形データおよびオルソ画像の比較、情報地質、Vol.32、No.3、pp.79-88、2021
- 6) 国土地理院：作業規程の準則、国土地理院、166p、https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2_junsoku.pdf、2008
- 7) AW3D：AW3D 高精細版地形データ、<https://www.aw3d.jp/products/enhanced/>、2021
- 8) AW3D：AW3D オルソ画像
<https://www.aw3d.jp/products/enhanced/>、2021

RESEARCH FOR EXTRACTING FACTORS OF ROAD SLOPE DISASTER RISK

(blank line)

Research Period: FY2021

Research Team: Geology Research Team, Geology and
Geotechnical Engineering Research Group

Author: ASAI Ken-ichi

KAJIYAMA Atsushi

YAJIMA Yoshinori

Abstract: A purpose of this research is to propose the method for extracting factors of road slope disaster risk based on sensing and analysis technology remarkably developed recently. In 2021, we examined possibility of using satellite data or areal LiDAR data after the disaster in case of geographic analysis for risk factor extraction, instead of pre-disaster LiDAR data. Topographic analysis revealed that residual between these data is different at plain area and mountainous area.

Keywords: road, slope, collapse, topography, danger