

機関番号：16201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21710186

研究課題名(和文) DEMと空中電磁法を用いた地すべり危険箇所抽出手法の開発に関する研究

研究課題名(英文) landslide susceptibility analysis by using airborne resistivity data

研究代表者

野々村 敦子 (NONOMURA ATSUKO)

香川大学・工学部・准教授

研究者番号：60363181

研究成果の概要(和文)：

本研究では、徳島県三好市馬路地区徳島道沿い斜面において、空中電磁法により得られた比抵抗データを用いて分化型地すべりによる斜面の緩みの程度を推定する手法を検討した。視野を考慮して地形の起伏を評価する凹凸度の考え方を比抵抗分布に適用し、比抵抗分布パターンを定量化することを試みた。その結果、頭部斜面に近い谷壁斜面で比抵抗値の凹凸度変換点が見られる斜面が多数見られ、風化土層厚の変化点と対応していると考えられる。

研究成果の概要(英文)：

Slopes on which valley creeping type landslide is occurring are prone to persistent rainfall-induced landslides. Identification of these slopes is therefore an important consideration when mapping landslide susceptibility and preparing for landslide risk management. In this study, we investigated the use of resistivity data to identify slopes on which valley creeping type landslide is occurring.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：岩盤の比抵抗，尾根谷度，斜面崩壊

## 1. 研究開始当初の背景

地震および降雨による斜面災害は、社会に甚大な損害をもたらしている。被害を最小限に抑えるためには、対策工事の実施や災害時

緊急対応の事前計画などが不可欠である。そのため、地形・地質学的観点から斜面の脆弱性を推定し、災害発生危険箇所を事前に抽出する手法が求められている。地形評価は従来、

技術者の地形判読により行われてきているが、判読結果には個人差があり、客観性に欠けることが問題視されてきた。一方、リモートセンシング技術の発達が DEM（数値標高モデル）の分解能および精度の向上をもたらし、GIS（地理情報システム）の普及がデータ解析手法の開発を促進させた。その結果、データに基づく客観的な地形解析が可能となってきた。斜面防災の分野においても、斜面災害箇所を地形学的特徴を分析し、災害危険箇所を地形学的観点から事前に抽出するといった研究が行われてきている。地震時の小中規模の表層崩壊については、急傾斜の尾根で発生しやすいという点に着目した危険箇所抽出手法が提案され（内田ら、2004）、手法の汎用性も明らかにされてきている（例えば、小山内ら（2005））。しかし、河道閉塞や道路の寸断などの主な要因の1つである分化型の地すべりについては、危険箇所を抽出する客観的手法は確立されているとは言えない。

航空レーザ測量で取得される DEM は高分解能であり、植生の影響がほぼ完全に除去されているため、可視化すると大・小地形が細部に至るまで忠実に再現されていることがわかる。しかし、現行の DEM による地形解析は、小中規模の崩壊危険箇所は抽出できるが、大規模崩壊や地すべりの前兆地形抽出には至っていない。その要因の1つとして、現行の DEM による地形解析は局所的な地形を対象とする手法であることが挙げられる。また地盤の緩みが地形に表れないこともあるため、DEM による解析のみから不安定斜面を抽出するという手法は十分であるとはいえない。

## 2. 研究の目的

本研究では、不安定で再滑動する可能性が高いと考えられる地すべり地形を抽出する手法の開発に取り組むことを目的とした。河

道閉塞や道路寸断の主な原因となる地すべりの多くは、初期に形成された一次すべりが素因となり、その内部で更に地すべりが発生するという分化型の進化形態をとることから、本研究では、航空レーザ測量により得られた DEM データと空中電磁探査により得られた比抵抗データを用いて地盤が緩み、不安定な箇所を抽出する手法の開発に取り組んだ。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究の概要

本研究のモデル斜面を徳島県三好市馬路地区とし、平成 21 年度は、航空レーザ測量により得られた DEM を用いて、地すべり地形を DEM データから明瞭に判読する手法を検討した。平成 22 年度は、空中電磁探査で得られた比抵抗分布データを用いて地盤の緩みを推定する手法を検討した。さらに斜面に沿って縦断方向に断面をとり、地形断面と比抵抗値の断面上の値を比較し、緩んだ地盤とその地形に関する関係について調査・分析を行った。

### (2) 空中電磁探査

#### ① 航空レーザ測量

研究対象地域において、平均  $1\text{m} \times 1\text{m}$  の範囲内に 1 点程度の密度になるように計測コースや高度を設定して実施した。その際、樹木の下や斜面のデータをより多く取得するために、コース間のサイドラップを 60% に設定した。

#### ② 空中電磁探査とは

空中電磁法は土壌・岩石の比抵抗（抵抗率： $1\text{m}^3$  の電気抵抗に相当し、地盤の中の電気の流れにくさを表す。）を求め、地質状況を判定する手法である（トンネル調査研究会, 2001）。

通常の電気探査では一対の電流電極を用いて地下に直流電流を流し、それによって生

ずる電位差を別対の電位電極で測定して地下の比抵抗分布を求めている。電流電極の間隔を逐次広げるにつれて電流が深部にまで透入し、深部の比抵抗情報が得られる。これに対して、空中電磁法では、コイルに交流電流を流し、それによって生ずる交流磁場が地中を透過しようとする際に生ずる電磁誘導現象を利用して地下の比抵抗分布を求める探査手法である。通常、5組の送受信コイル対を用いて5周波数同時に測定し、高周波数で浅部、低周波数で深部の比抵抗情報をそれぞれ取得する。有効探査深度は、用いる電気・電磁気探査の種類により異なるが、弾性波探査のそれよりも一般に大きい。空中電磁法で100m～最大200m程度である。空中電磁法は、ヘリコプターを用いて空中から大地に非接触で非常に高密度に測定しているため、以下の利用がある。

- 広域を迅速に低コストで調査できる
- アクセス困難な斜面なども容易に調査できる
- 地形の影響をほとんど受けないために均質なデータが得られ、微細な地質異常を識別出来る。
- 比抵抗分布の平面的な広がりや深度方向の変化を把握することができるために真の意味での3次元調査が可能である。
- 調査・設計の留意点の絞り込みが容易になり、調査精度や能率の向上さらにはコスト縮減が期待できる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 地すべり地形判読方法

研究対象地域において航空レーザ測量により得られたデータを用いて、1) 地形の粗度を示す行列式 (McKean and Roering, 2004) を算定する、2) 反転させた勾配データにエッジ処理を施す、という2つの方法で地すべり地形の抽出を試みた。

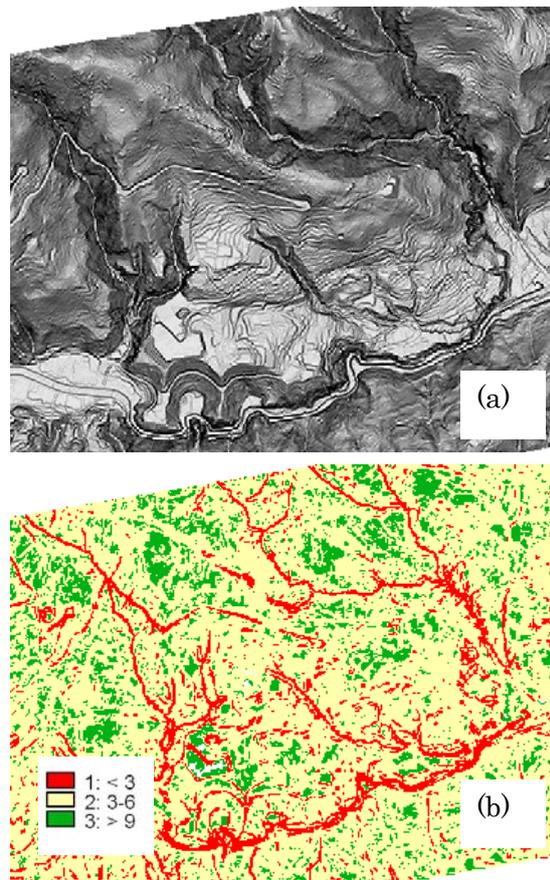


図1 分化型地すべり井ノ久保地すべり  
(a)勾配のエッジ処理結果, (b)粗度

粗度を推定するために行列式を計算し、第1と第2主成分の比を求めた。値が小さいほど斜面に対する法線ベクトルの向きがランダムであることから、斜面の粗度が大きいとみなすことができると言われている。地すべり末端部が河川に押し出している箇所では、斜面上部に位置し、安定していると思われる地すべり地形の斜面に比べて値が小さく、地表面の起伏、すなわち粗度が高いこと推定されていると言える。しかしそれだけではなく、鋭く明瞭な谷においても高い値が見られることから、この指標は、あらかじめ地すべり地形を抽出した後、粗度を比較するには使えるが、この値から地すべり地形を評価することは、今の段階ではできないと考える。

勾配を反転させ、エッジ処理した図からは、目視で容易に地形を判読することができる。地すべり地形を自動抽出・自動分類することはできないが、容易な処理で地形を明瞭に表示する画像を作成することができるため、地形判読の補助資料として有効であると考えられる。

図1は井ノ久保地すべりの部分を拡大した結果を示す。井ノ久保地すべり東部末端部は馬路川に押し出す形で分布している、段丘が発達していないため、比較的新しい地すべりであるといえる。一方、西部末端部は河川の下刻による段丘が発達していることから、長い間地すべりが発生しておらず、比較的安定していると考えられる。航空レーザ測量のデータの目視判断でこのような地形を用意に判読することができるが、粗度指標では河川の押し出した不安定な地すべり末端部と安定した地すべり末端部を識別することはできない。

## (2) 比抵抗値を用いた緩み箇所推定手法の検討

地盤の比抵抗は地盤の電気的性質に関する物理量で、岩石や土の組成、破碎帯および亀裂に伴う間隙率、飽和度、地下水の比抵抗、風化および変質に伴う粘土鉱物含有量などによって変化する。地盤の生成過程と風化過程における比抵抗変化を考慮すると、新鮮な岩盤が風化変質を受けることにより、亀裂などが発達し、間隙率が大きくなり、体積含水率が上昇するため、比抵抗が小さくなると考えられる。風化・体積が進み再堆積した土塊は未固結状態であることから、比抵抗が小さくなると考えられる。

同種類の基盤岩は分布に連続性があると考え、周囲よりも比抵抗値が低い箇所が水分を多く含み、風化しているという想定のもと、周囲に比べて比抵抗が低い箇所を推定する

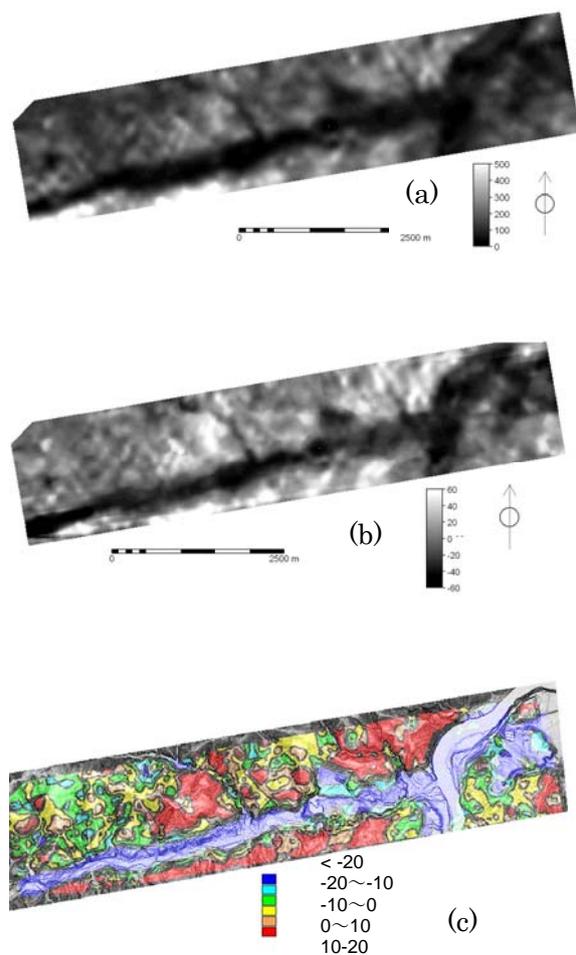


図2 解析対象地域の比抵抗値と比抵抗凹凸度データ(a)比抵抗データ(b)比抵抗凹凸度(c)凹凸度分類図

手法を検討した。

周囲のピクセルとの相対的な関係を定量化する手法をして、画像のフィルタリング処理がある。通常のフィルタリング処理は、対象とするピクセル周辺の $3 \times 3$ ピクセル、 $5 \times 5$ ピクセルなど、サイズの決まったフィルターを用いたものである。しかし、地形は、さまざまな規模の作用の複合により形成されているものであることから、決まった大きさのフィルターでは、適切に地形量を定量化することができない。そこで、Yokoyama et al. (2002) や Chiba et al. (2008) は、地形の起伏の傾向を定量化する手段として、地上開度、地下開度、尾根谷度という指標を提案し

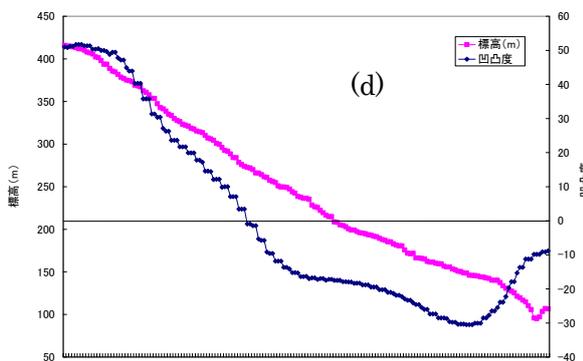
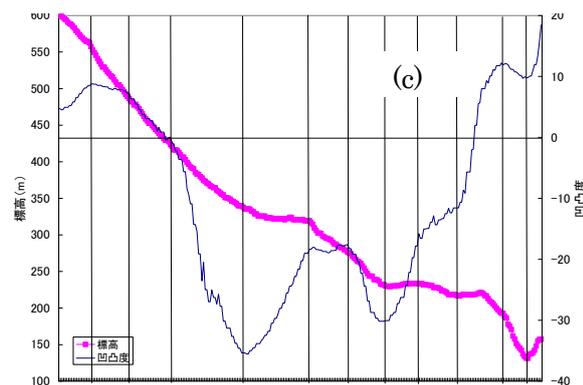
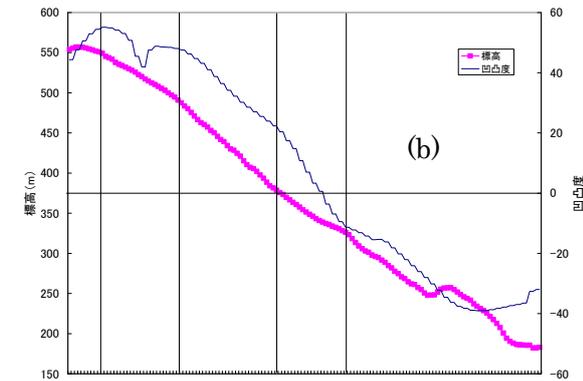
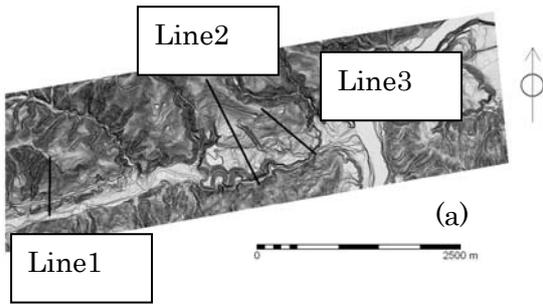


図3 (a) 断面の位置(b)Line1の比抵抗分布と標高(c) Line2の比抵抗分布と標高(d) Line3の比抵抗分布と標高

本研究では比抵抗データに尾根谷度計算アルゴリズムを適用し、周囲との相対的な起伏量の定量化を試みた。ここでは比抵抗データの凹凸度と呼ぶ。負の値は周囲よりも比抵抗値が低いことを示し、正の値は周囲よりも比抵抗が高いとみなすことができる。

図2(a)は深さ5-30mの比抵抗分布図を示す。メッシュサイズは10mである。この比抵抗分布図から、周辺の範囲を100mとして算定した比抵抗の凹凸度を計算した結果を図2(b)に示す。地すべりの末端では比抵抗の尾根谷度、すなわち凹凸度がゼロより小さく、比抵抗値が周囲より低い値を示す。算定した比抵抗の凹凸度と地形との関係と比較するために、エッジ処理を施したデータの上に凹凸度を等間隔で分類したデータを重ね合わせた。(図2(c))。

斜面の上部では尾根谷度がゼロより大きい高い値を示す。これは周囲よりも地盤の比抵抗が小さいことを示しているといえる。とくに、大規模地すべり地形を比抵抗分布図から地盤の緩みを定量的に評価することができるかどうか検討するために、地形の形成過程を考慮し、地形と比抵抗分布とをより詳細に検討することとした。そのため、図3(a)で示す断面に沿って地形断面と凹凸度の値を比較することとした。

斜面上部では凹凸度がやや低いが、斜面中腹で値が増加する。ここから斜面頂上部付近では風化土層が分布しているため、比抵抗が低い。やや標高が低下すると、風化土層が浸食され、基盤岩表れるため、比抵抗が高くなると考えられる。

### (3) 今後の課題

本研究では分化型地すべりを地形と地盤の比抵抗データを用いて分析した。本研究で使用した比抵抗データは5-30mの深さのデータであるが、今後、大規模な地すべりを考

える為には、より深い位置での比抵抗データもあわせて解析することが求められる。

#### (4) 参考文献

- 内田太郎, 片岡正次郎, 岩男忠明, 松尾修, 寺田秀樹, 中野康雄, 杉浦信男, 小山内信智 : 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 204, 91pp., 2004.
- 小山内信智, 栗原淳一, 藤澤和範, 花岡正明 : 地震に起因する土砂災害対策の現状と課題. 土木技術資料 47-12, 24-29, 2005.
- トンネル調査研究会 : 地盤の可視化と探査技術. 鹿島出版会, pp.1-10, 2001
- McKean, J. and Roering, J. : Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology*, 57, 331-351, 2004
- Yokoyama R., Shirasawa, M., Pike R. J. : Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68, 257-265, 2002
- Chiba T, Kaneta S, Suzuki Y : Red relief image map: new visualization method for three dimensional data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII, Part B2: 1071-1076, 2008

#### 5. 主な発表論文等

なし。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

野々村敦子 (NONOMURA ATUKO)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号 : 76872028