詳細地形情報を用いた山岳道路盛土の抽出に関する基礎的検討

A study on detection of mountain road embankments using high-resolution topography data

沢田和秀 [1]，森口周二 [2]，岩田麻衣子 [3]

1　岐阜大学・流域圏科学研究センター・sawada@gifu-u.ac.jp
2　岐阜大学・工学部社会基盤工学科
3　岐阜大学・工学部

概　　要

2004 年新潟県中越地震および 2007 年能登半島地震などでは、山岳道路盛土に多くの被害が生じ、道路ネットワークの遮断や交通機能の低下が発生した。このため、山岳道路の耐震評価と対策が重要であり、そのためには道路や地形の情報が必要となるが、全ての道路について十分な情報が整備されていないのが現状である。多くの道路の情報は道路台帳で管理されているが、古い道路などは紙面上のデータであることが多い。そこれ、本研究では、岐阜県が有する 2m メッシュの数値標高モデル（DEM）を用いて、地形情報から山岳道路の危険箇所（特に盛土部）を抽出するモデルの可能性について検討した。その結果、本研究で対象とした道路区間については、2mDEM を用いることにより、盛土部を精度よく抽出できることを確認した。

キーワード：道路盛土, DEM, ロジスティック回帰分析

1.　はじめに

2004 年新潟県中越地震および 2007 年能登半島地震などでは、山岳道路の盛土部で多くの被害が生じた [1) 2)]。また、2011 年東北地方太平洋沖地震でも、山岳部の道路の盛土部で変状が多く発生している。これらの被害は、直接的に道路ネットワークの遮断や機能低下につながるとともに、地震直後の救援や復旧作業の遅延の原因となる。これらの被害を防ぐ、または最小限に留めるためには、限られた予算の中で効率的に対策を進めなければならない。そのためには道路の危険個所の抽出と危険度評価が不可欠となるが、道路台帳などの道路の情報は、未だ紙面データである場合も多く、一元的に管理できないため、これらの情報を用いて道路の危険個所を抽出するだけでも多大な労力と費用を要する。そこで、本論文では、近年様々な用途に利用されている数値標高モデル（Digital Elevation Model：以下、DEM と記す）を用いて山岳道路の盛土部を抽出するモデルの構築を試みた結果について報告する。道路周辺の地形情報を地理情報システム（Geographic Information System：以下、GIS と記す）上で数値化し、ロジスティック回帰分析によりモデルを構築する。岐阜県では、全県を対象として独自に作成した 2m メッシュの DEM データを所有しており、本研究ではこの DEM データを用いて研究を実施した。

2.　対象道路区間とモデル構築方法

本研究では、実際の山岳道路の情報を用いて盛土部抽出モデルを構築し、そのモデルの精度を検証する。本研究で対象とした路線区間は、図 1 に示す岐阜県内の県道 91 号線（地方主要道）の一部である。この山岳区間には、路線内には補強土工法などで構築された盛土部分なども存在するが、本研究ではこれらを対象外としているため、これらを含まない No.1～3 の区間を対象区間とした。区間内の盛土部と切土部の詳細な情報は、道路台帳などを参照して、検証データとして利用した。以下、モデルの構築手順について説明する。

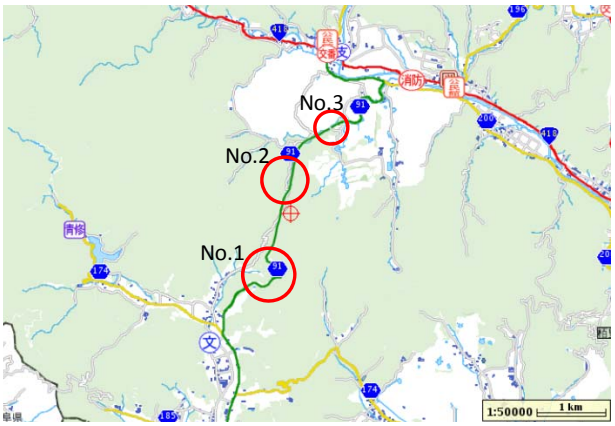

図 1　対象道路区間（岐阜県県域統合型 GIS に加筆）

まず、岐阜県が所有する 2m メッシュの DEM データを用いて GIS 上で地形と道路の位置を関連付ける（図 2）。図 2 および図 3 は、2m メッシュ DEM データを用いて地形（標高）を段彩表現している。次に、図 3 に示すように、道路線形に対して一定の幅（本研究では 90m とした）を考慮して等間隔で断面位置を決定する。道路台帳に記載されている断面が 20m 間隔であったため、本研究でも 20m 毎に断面位置を設定した。各断面位置についてそれぞれ断面図を作成し、盛土抽出に対して有効と考えられる情報を数値化する。これらの情報の具体的な算出手法は、後に説明する。

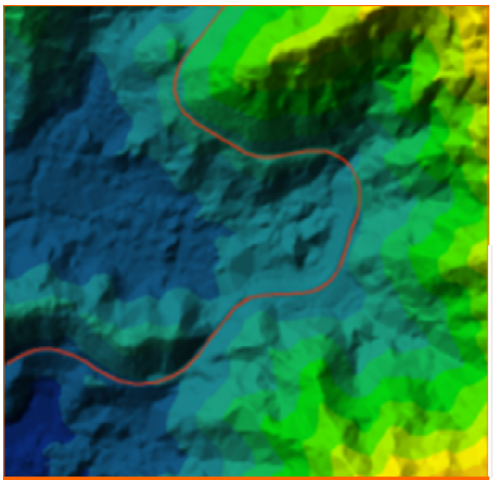

図 2　対象区間 No.1 の標高図

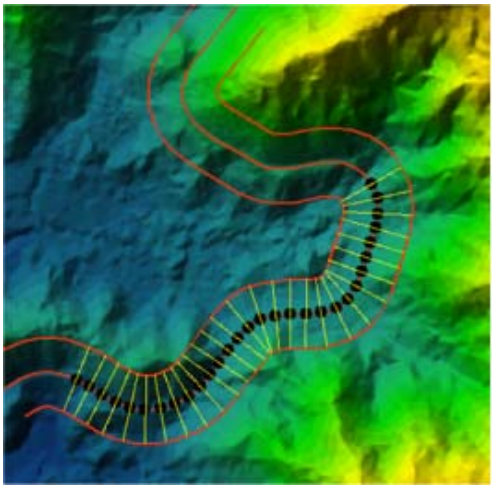

図 3　断面図位置のイメージ図

断面情報を数値化した後、その情報を用いてロジスティック回帰分析により、モデルを構築する。ロジスティック回帰分析とは、予測したい事象（目的変数）が 2 値の質的変数であるとき、量的変数である説明変数を含む関数を用いて、事象の発生確率を算出することができる一般化線形モデルの 1 種である。ロジスティック回帰分析に用いられるモデルは以下のものである。

$$p = \frac{\exp(Z)}{1+\exp(Z)} = \frac{1}{1+\exp(-Z)} \qquad (1)$$

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_k x_k + \cdots + \beta_n x_n \qquad (2)$$

ここで、p は事象の発生確率、x_k は説明変数、β_k は最尤法によって算出される係数である。p は 0～1 の値をとり、対象としている事象の発生確率を意味する。本研究においては、地形情報から数値化された盛土抽出に対して有効と考えられる情報を説明変数 x_k として、対象断面が盛土部である確率を算出するモデルを構築する。

3.　説明変数

ロジスティック回帰分析を用いて、各道路断面の地形情報から盛土部を抽出するモデルを構築するためには、複数の目的変数と説明変数の組み合わせのデータが必要となる。本研究の場合、各断面が盛土部であるかどうかが目的変数となり、各断面の地形情報から数値化された情報が説明変数となる。各断面が盛土部であるかは、道路台帳に記載されている設計断面図から判断した。説明変数は、盛土部の抽出に寄与する可能性があるものとして、①開度、②山留側傾斜角、③路側側傾斜角、④地山の表面角度、⑤水平開度、⑥道路曲率の 6 種類の変数を設定した。ここで、「盛土部の抽出に寄与する可能性があるもの」という表現を用いた理由は、必ずしもこれらの変数全てがモデルの中に組み込まれるわけではなく、ロジスティック回帰分析の結果、寄与度の高い変数のみが採用されるためである。以下、各変数の算出方法について説明する。

3.1　開度について

開度は、図 4 に示すように、道路の横断方向の地形の開き具合を示す角度である。この角度は、直接的に盛土部を抽出するものではないが、開度が小さい場合は切土部である可能性が高くなるため、盛土部抽出に対しては負の説明変数となるものと考えて説明変数に設定した。

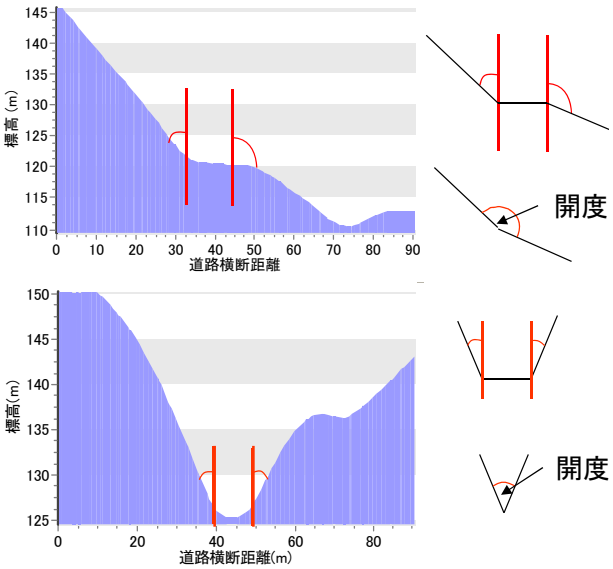

図 4　開度のイメージ図

3.2　山留側傾斜角と路側側傾斜角について

傾斜角については、図 5 に示すように、山留側の傾斜角と路側側の傾斜角の 2 種類を考慮した。これらの角度を区別して設定した理由は、切土斜面では山留側の傾斜角（勾配）、盛土斜面では路側側の傾斜角（勾配）が、それぞれ設計の条件として定められているという事実に基づいている。そのため、図 6 のようなイメージを持って、2 種類の変数を設定した。

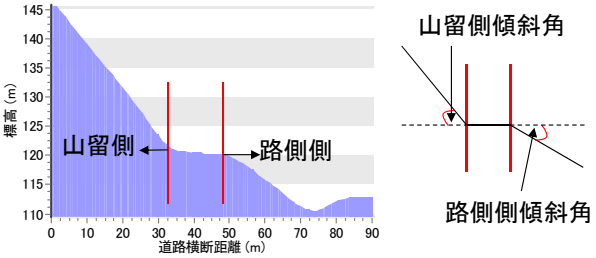

図 5　傾斜角のイメージ図

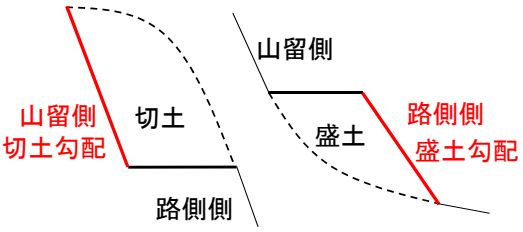

図 6　切土部と盛土部のイメージ図

3.3　地山地表面角度について

地山表面角度とは、図 7 に示すように、地山内部の表面角度を示し、この角度が 180 度以上であれば凹型、180 度以下であれば凸型の地山形状であることを意味する。この値の算出には、図 8 に示すように、道路端から水平距離で 5m 離れた地点から水平距離 30m の範囲で複数の表面角度を算出し、その平均値を断面の代表値として用いた。

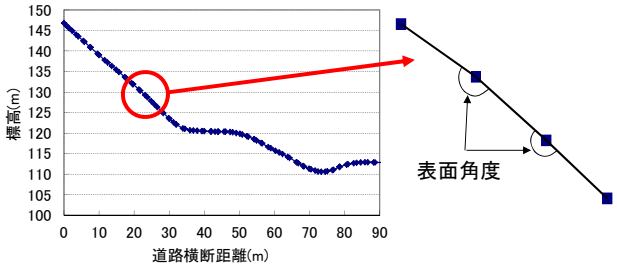

図 7　地山地表面角度のイメージ図

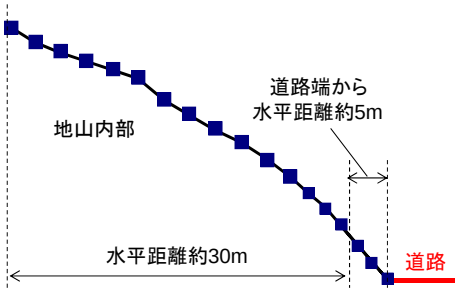

図 8　地山地表面角度のイメージ図

3.4　地山地表面角度について

水平開度と道路曲率は，他の説明変数とは異なり，道路平面の延長方向の変化に関する情報である．先述のように，本研究では，20m 間隔で道路横断方向の断面図を作成している．これらの断面と道路の中心線の交点の座標を用いて水平開度と道路曲率を算出した．水平開度と道路曲率のイメージは図 9,10 に示すとおりである．

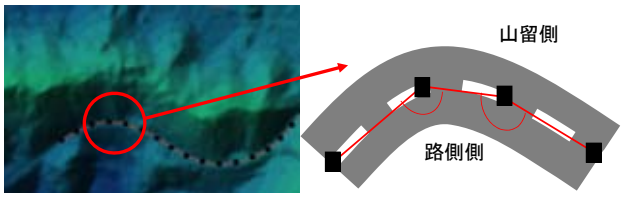

図 9　水平開度のイメージ図

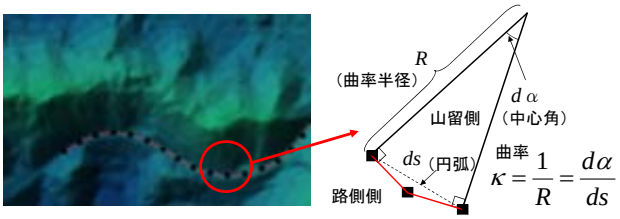

図 10　道路曲率のイメージ図

4.　ロジスティック回帰分析によるモデルの構築

4.1　モデル構築

先述のように、各道路断面が盛土部か切土部であるかは、道路台帳の情報を基に既知データとした。本研究では、盛土部であるかどうかだけでなく、切土部および片切片盛土部の計 3 種類の分類を試みた。そのため、断面地形情報を活用して、片切片盛土部のみを抽出するモデル（モデル A）、盛土部のみを抽出するモデル（モデル B）、片切片盛土部と盛土部を抽出するモデル（モデル C）の 3 種類について抽出を検討した。対象区間（No.1～No.3）に含まれる断面数は合計で 44 であり、切土部、盛土部、片切片盛土部の断面数は表-1 に示すとおりである。

表 1　各断面の分類割合

盛土部	22
切土部	14
片切片盛土部	8
合計	44

ロジスティック回帰分析を用いて複数の説明変数でモデルを構築する場合、複数の説明変数の組み合わせが考えられ、その中で最も説明性の高い組み合わせを最適モデルとして選択する必要がある。本研究では、全ての組み合わせについてロジスティック回帰分析を行い、赤池の情報量規準(AIC)[3]および残差の値を基準として、A、B、C 3 種類

のモデルに対して最適なモデルを選択した。得られた最適モデルの各説明変数の係数と t 値を表-2 に示す。表中の空欄部分は、説明変数として採用されなかったことを意味する。この結果より、開度はどのモデルに対しても非常に説明性の高いパラメータであることが確認できる。

表 1　最適モデルの各説明変数の係数と t 値

	片切片盛土部のみを抽出するモデル(モデルA)		盛土部のみを抽出するモデル(モデルB)		片切片盛土部と盛土部を抽出するモデル(モデルC)	
	係数 β	t 値	係数 β	t 値	係数 β	t 値
開度	0.017	0.848	0.164	2.422	0.150	2.322
山留側傾斜角						
路側側傾斜角			0.090	0.939	0.205	1.504
地山表面角度			2.801	1.936	5.787	1.910
水平開度	0.056	1.206				
道路曲率						
切片　β_0	-1.435		-534.2		-1067.0	

4.2　構築したモデルの精度検証

表-2 に示した 3 種類のモデルの精度を検証するために、各断面の確率（ロジスティック回帰分析により得られたモデルにより算出される確率）を算出し、図 11～13 のようにグラフ化した。図 11～13 は、それぞれモデル A～C の結果を示しており、横軸に道路台帳番号（断面番号）、縦軸に確率を示している。図中の赤と青の色分けは、赤が確率 100%となるべき断面であり、青が確率 0%となるべき断面であることを意味する。例えば、片切片盛土部を抽出するモデル A の場合、片切片盛土部となるべき断面は赤、それ以外は青で示され、赤が 100%に近く青が 0%に近ければ精度のよいモデルといえる。モデル A の結果から、片切片盛土部とそれ以外を精度よく分離できていないため、片切片盛土部のみを抽出することは非常に困難であることがわかる。ただし、全体として片切片盛土断面の総数が少ないことがこの要因の 1 つとも考えられる。モデル B の結果では、盛土部とそれ以外をある程度分離するような傾向は確認できるが、50%程度の確率のものも多く存在しており、抽出精度は低い。これらに対して、片切片盛土部と盛土部を同時に抽出するモデル C は、よい精度で分離できていることが確認できる。図中の点線で囲まれた確率が低い値を示している断面は片切片盛土部であり、これらの精度を向上させる改良を加えることで、より精度の高いモデルの構築が可能と考えられる。

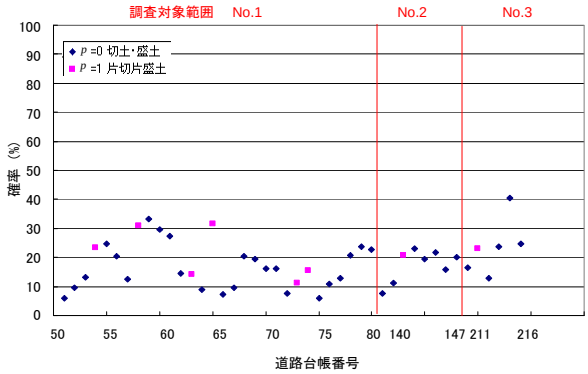

図 11　モデル A（片切片盛土部を抽出）の結果

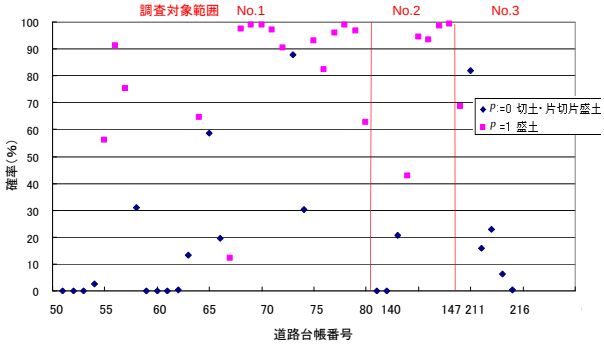

図 12　モデル B（盛土部のみを抽出）の結果

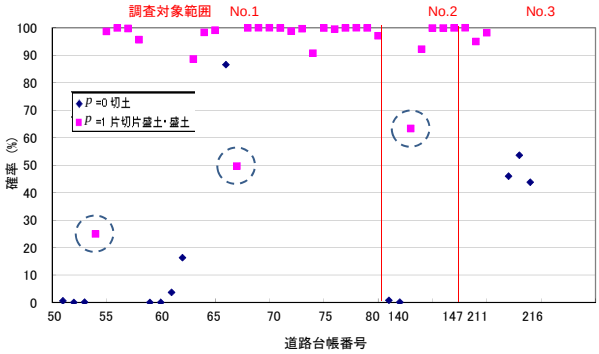

図 13　モデル C（片切片盛土部と盛土部を抽出）の結果

5.　まとめ

詳細地形データを用いて、山岳道路の盛土部を抽出するモデルの構築を試みた結果、片切片盛土部と盛土部を個別に抽出するモデルでは十分な抽出精度が確認されなかったが、それらを同時に抽出するモデルでは高い抽出精度を確認した。近年整備が進む詳細地形モデルの活用に対して有益な情報であると考え、ここに報告するものである。今後、本研究で得られた知見をもとに、モデルの精度向上を目指すとともに、地形情報から得られるその他の重要な情報（集水地形など）と組み合わせて、道路の危険度箇所を抽出できるモデルの構築を検討する。

本研究は、岐阜県および（財）岐阜県建設研究センターの協力によって実施できた。ここに記して、感謝の意を表する。

参　考　文　献

1)　例えば、地盤工学会：2004年新潟県中越地震災害調査報告書, 2007
2)　例えば、土木学会：2007年能登半島地震被害調査報告書, 2007
3)　赤池弘次ら：赤池情報量規準 AIC－モデリング・予測・知識発見, 共立出版(株), 2007.