

# 詳細数値標高モデルと GIS を用いた山岳道路盛土の抽出

## Extraction of embankments on mountain roads utilizing the digital elevation model and GIS

沢田和秀<sup>1</sup>，森口周二<sup>2</sup>，田中貴大<sup>3</sup>，浅野憲雄<sup>4</sup>，岩田麻衣子<sup>5</sup>

1 岐阜大学・流域圏科学研究センター・sawada@gifu-u.ac.jp

2 東北大学・災害科学国際研究所

3 愛知県

4 中部大学

5 岐阜大学・工学部・社会基盤工学科

### 概 要

本研究では、机上でのスクリーニングを目的として、数値標高データ (DEM) を用いて山岳道路盛土を抽出する方法を提案した。実際に存在する山岳道路を対象とし、ロジスティック回帰分析を用いて、DEM から得られる地形情報を説明変数として構築した抽出モデルの的中精度を確認した。その結果、構築したモデルは高い精度で道路盛土を抽出することができることを確認した。特に、谷側傾斜角が最も必要な説明変数であることを明らかにした。同時に、補強土や擁壁については提案した方法では取り扱いが難しく、今後の課題として残された。解決すべき課題はいくつか残されているが、DEM の地形情報のみから、山岳道路盛土を抽出する手法の有効性を示すことができた。

キーワード：山岳道路盛土，ロジスティック回帰分析，数値標高モデル

### 1. はじめに

2004 年新潟県中越地震，2007 年能登半島地震，2011 年東北地方太平洋沖地震などでは、道路の盛土部の崩壊や変状が数多く発生している<sup>1-3)</sup>。地震時の道路盛土に関する崩壊の危険性は、以前から指摘されているが、道路ネットワークを構成する橋梁などの他の構造物と比較して、耐震性能評価や耐震対策が遅れている。この理由として、耐震性の向上や確保を復旧の容易性として認識してきたこと<sup>4)</sup>に加え、地盤材料のバラツキに起因する設計の難しさ、連続した線構造物であるがための評価や対策の難しさなどが挙げられる。

近年では、道路盛土の危険度評価や設計法に関する数多くの研究成果<sup>5-7)</sup>が報告されているが、これまでに行われてきた研究は、道路盛土の位置情報、断面形状、地質などの詳細情報が整備された時点 (設計または施行) での条件を用いているものが多い。高速道路や国が管理する国道などの重要な道路は、設計時の情報が保存されているため、先述の技術の適用が可能であるが、ローカルな地域の生活を支えるような県管理道や市町村道については、管理すべき情報自体が存在しないケースも少なくないため、先述したような、これまでに高度化された技術の適用が難しい場合もある。特に、危険度評価が早急に必要と考えられる構築時期の古い道路でこの傾向は顕著である。つまり、危険

度評価の前段階として、情報のデータベース化が大きな問題であり、道路の中で盛土部の位置情報を確認するだけでも、多くの時間と費用を要する。

このような背景のもと、本研究では、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) と地理情報システム (Geographic Information System : 以下、GIS と記す) を用いて、机上データのみで山岳道路に存在する盛土部分を抽出する手法の構築を試みた。盛土を抽出したあと、地震に対する耐震性等の危険度評価をすることになるが、本研究では、DEM を用いて、机上で盛土を取りこぼしなく抽出できる方法を提案する。岐阜県が保有する 2m メッシュの密度を持つ高精度 DEM を用いて、山岳道路の道路横断面に関する情報を数値化し、盛土部を抽出するためのモデルを構築し、その有効性について検討した。また、補強土盛土や擁壁の存在が抽出精度に与える影響についても確認した。

### 2. DEM と道路盛土抽出条件

#### 2.1 DEM について

国土地理院は、基盤地図情報の一部として 10m メッシュの DEM を日本全土に対し整備している。また、都市計

画区域においてはさらに高精度な 5mDEM が整備されている。これに対して、岐阜県では、独自に 2m メッシュの DEM (以下、2mDEM と表現する) を県内全域整備している。本研究では、この 2mDEM を用いて山岳道路盛土部を抽出する方法について検討する。

## 2.2 対象道路区間

本研究で対象とした道路区間は、岐阜県揖斐川町に位置する国道 303 号の一部の区間で、片側 1 車線の道路である。図 1 の赤い点線は対象道路区間を示しており、図 2 は対象道路区間の空中写真である。対象範囲は、様々な形状の切土と盛土が混在している比較的新しい道路であるため、詳細な道路情報が残されており、盛土の位置情報を得ることができた。つまり、全ての盛土部の位置が把握でき、道路の盛土部の抽出方法の検討を行う上で、検証のための情報が揃っている状態であった。そのため、本研究の調査対象道路の区間として選択した。



図 1 対象道路区間の地図 (Google map より)

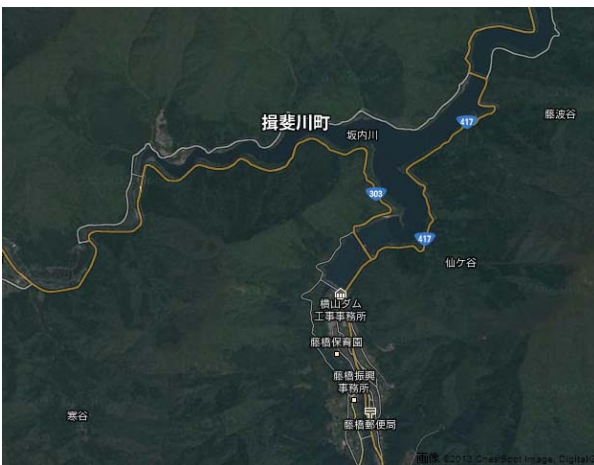


図 2 対象道路区間の空中写真 (Google map より)

## 2.3 道路断面情報の切り出し

本研究では、2mDEM から道路の横断面 (以下、道路断面と表現する) を取得し、このデータから地形の特徴を数値化する。図 3 は、GIS ソフトを用いて岐阜県内のある地域の標高図に道路のベクトルデータ (以下、道路線と呼ぶ) を重ねた図である。線形構造物である道路は、その断面図

は道路延長方向の位置によって変化する。そのため、道路線に沿って連続的に道路断面形状を把握する必要がある。本研究では、20m 毎に横断面情報を取得した。また、取得する道路断面の範囲は 90m (道路線の両サイドに 45m) とした。図 4 は道路断面取得のイメージである。

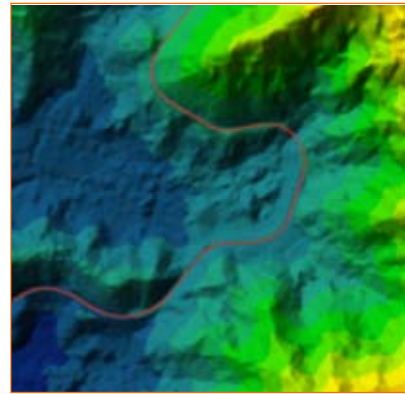


図 3 2mDEM と道路線の重ね合わせ

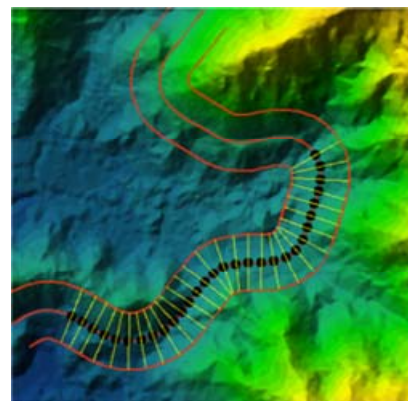


図 4 道路断面取得のイメージ

## 2.4 想定する道路断面形状

図 5 は、山岳道路の断面として典型的な地形のイメージを示したものである。当然ながら、全ての道路断面が図 5 の条件となるわけではないが (例えば V 字型や凸型の道路断面も存在するが)、本研究では道路両サイドの平均標高を比較して、高い方を「山側」、低い方を「谷側」と定義する。以降、「山側」と「谷側」と表現している部分については、図 5 のイメージを参照されたい。この断面形状の条件設定は、十分なものではないが、本研究の対象路線区間は、大部分が河川沿いの片側 1 車線程度の山岳道路であるため、道路断面はほぼこの条件に適合する。そのため、本研究においては、道路断面が基本的に図 5 の地形条件に適合するという条件で議論を進める。

## 2.5 断面の種類

基本的に道路断面は、切土と盛土またはその組み合わせで構成されている。本研究では、断面の種類を図 6 に示す 3 種類に分類する。断面が切土のみで形成されている場合は切土断面、切土と盛土が混在している場合は切盛断面、盛土のみで形成されている場合は盛土断面と表現する。

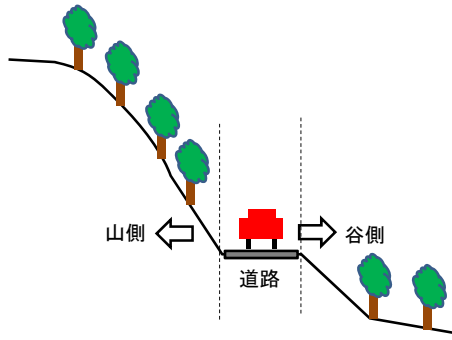


図 5 山側と谷側のイメージ

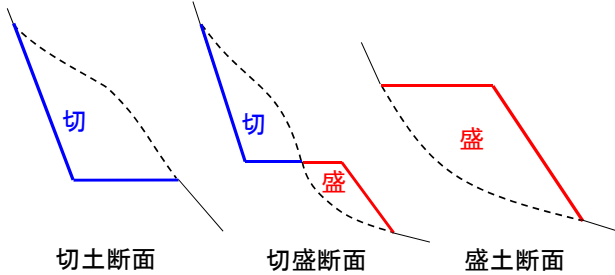


図 6 断面の種類

### 3. 盛土抽出モデルの構築方法

先述のように、本研究では、道路中心線に沿って等間隔で道路断面の形状を取得し、地形的な特徴を数値化する。また、数値化された情報を用いて、盛土部を抽出するモデルを構築する。以下では、道路盛土を抽出するための具体的な方法について説明する。ここでは、「盛土である」または「盛土でない」という判別をするために、種々の説明変数から2値回帰分析を実施するための手法として、ロジスティック回帰分析を適用した。

#### 3.1 ロジスティック回帰分析

本研究では、統計解析手法としてロジスティック回帰分析を採用した。ロジスティック回帰分析では、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種であり、防災の分野でも広く用いられている<sup>8-10)</sup>。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。

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

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \dots + \beta_n x_n \quad (2)$$

ここで、 $p$ は事象の発生確率、 $x_k$ は説明変数、 $\beta_k$ 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、道路断面情報から数値化された情報が説明変数 $x_k$ となり、その説明変数から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ことになる。

#### 3.2 説明変数

ロジスティック回帰分析を用いて、各道路断面の形状により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为目的変数となり、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。先述のように、道路の盛土部の位置は把握できているため、目的変数は既知である。説明変数は、盛土部の抽出に寄与する可能性がある地形的特徴として、①開度、②山側傾斜角、③谷側傾斜角、④地山表面角度、⑤水平開度、⑥道路曲率の6種類を設定した。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。以下では、各説明変数の算出方法について説明する。

##### (1) 開度

開度は、図7に示すように、道路の横断方向の地形の開き度合を示す角度である。道路端からどの程度の範囲（距離）を考慮するかによって角度の値が変化するが、最適な範囲については本研究の中で検討する。

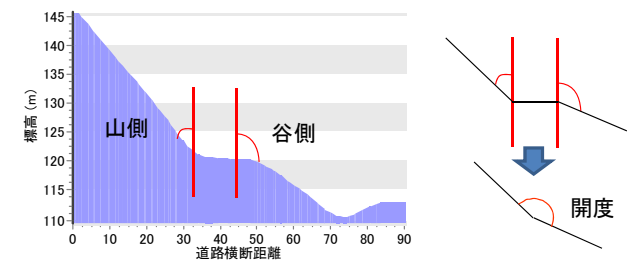


図 7 山側と谷側のイメージ

##### (2) 山側傾斜角と谷側傾斜角

傾斜角については、図8に示すように、山留側の傾斜角と谷側の傾斜角の2種類を設定した。これらの角度を区別して設定した理由は、切土部では山留側の傾斜角が、盛土部では谷側の傾斜角が強い説明変数になると考えたためである。開度と同様に、傾斜角を算出する際の範囲については本研究の中で検討する。

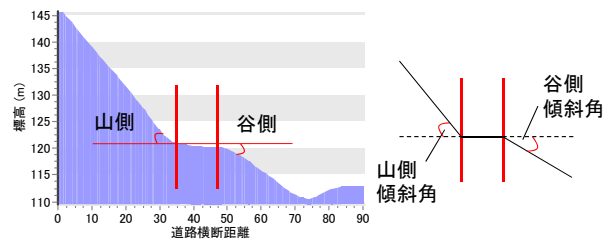


図 8 山側傾斜角と谷側傾斜角のイメージ

##### (3) 地山表面角度

地山表面角度とは、図9に示すように、山側の地山表面

角度を意味し、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。地山表面角度は、図 9 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 の範囲平均値をその断面の代表値として用いた。道路端から水平距離 5m の範囲を除外した理由は、道路周辺は切土や盛土によってもとの地山地形が変化している可能性があるためである。

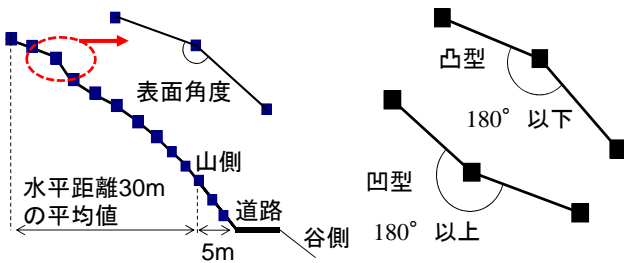


図 9 地山表面角度のイメージ

#### (4) 水平開度と道路曲率

水平開度は、先述の説明変数とは異なり、道路延長方向の変化に関する説明変数である。図 10 は水平開度のイメージを示したものである。先述のように、本研究では道路線形方向 20m 間隔で道路断面情報を取得しており、これらの道路断面と道路中心線の交点の座標を用いて水平開度を算出した。図 10 に示すように、水平開度は谷側の角度と定義している。これにより、道路延長方向に尾根形状となる部分では水平開度が 180 度以上となり、谷形状となる部分では 180 度以下となる。尾根形状や谷形状が盛土部の抽出に寄与するかどうかは不明であるが、ロジスティック回帰分析では寄与しない説明変数は自動的に棄却されるため、入力データとしての説明変数として採用しても問題は無い。地形データから得られる情報をより多く考慮するためにこの説明変数を採用した。

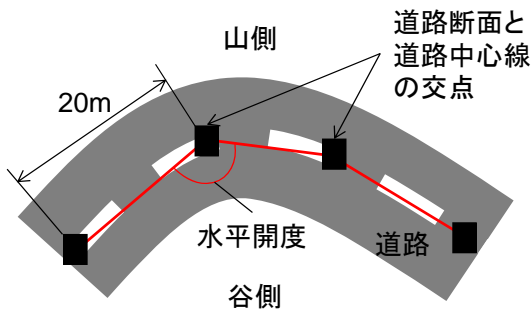


図 10 水平開度のイメージ

#### (5) 道路曲率

道路曲率は、水平開度と同様に道路平面の延長方向の変化に関する説明変数である。図 11 は道路曲率のイメージを示したものである。水平開度の算出方法と同様に、道路断面と道路中心線の交点の座標を用いて道路曲率を算出

した。また、その定義は一般的な曲率の定義と同様に曲率半径の逆数としている。道路曲率についても、盛土部の抽出に寄与するかどうかは不明であるが、水平開度の説明で示したことと同様の理由により、入力データの説明変数として採用している。

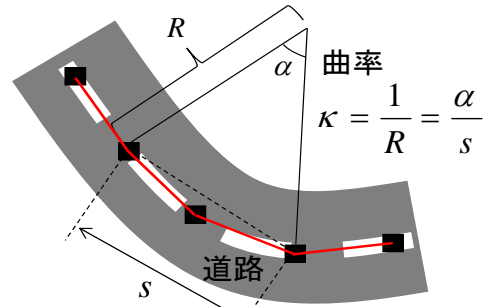


図 11 水平開度のイメージ

### 3.3 開度と傾斜角の算出範囲について

先述のように、開度と傾斜角（山側傾斜角と谷側傾斜角）の算出範囲については、本研究の中で適切な範囲（道路端からの距離）の検討を行う。ここでは、検討する算出範囲のパターンについて説明する。本研究では、図 12 のように道路端からの距離を 5, 10, 15m と変化させて異なる算出範囲を設定した。また、図 12 は水平方向に範囲を変化させたものであるが、図 13 に示すように、鉛直方向に変化させた場合についても検討した。鉛直方向については 5m のみとした。ここで示した 4 種類の算出範囲で得られる開度と傾斜角について、それぞれロジスティック回帰分析を実施し、盛土部抽出の精度を確認することにより、適切な算出範囲を検討する。

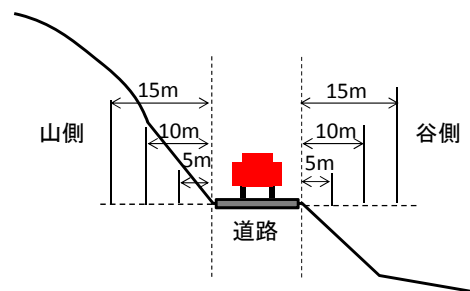


図 12 開度と傾斜角の算出範囲（水平方向）

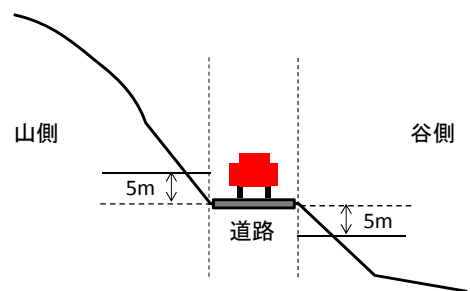


図 13 開度と傾斜角の算出範囲（鉛直方向）

#### 4. モデルの構築と精度検証

ここでは、ロジスティック回帰分析の結果と各条件における盛土部の抽出精度を示し、詳細地形モデルによる道路盛土部の抽出の有効性、および抽出モデル構築のための適切な条件について議論する。説明変数の算出条件の他に、補強土と擁壁を含む断面に対するモデルの適用性についても検討する。

##### 4.1 設定条件とモデルの選定基準

道路断面の種類は、前章に示したように、切土断面、切盛断面、盛土断面の3種類がある。対して、本研究におけるロジスティック回帰分析の目的変数は「盛土部」または「非盛土部」の2値である。そのため、本研究においては、切盛断面または盛土断面である場合は「盛土部」とし、切土断面の場合は「非盛土部」と設定した。つまり、ロジスティック回帰分析によって構築されるモデルは、切盛断面または盛土断面で確率が100%、切土断面で0%となる場合に理想的なモデルということになる。

先述のように、説明変数は、開度、山側傾斜角、谷側傾斜角、地山表面角度、水平開度、道路曲率の6種類である。ロジスティック回帰分析では、あるモデルの構築を考えた場合、説明変数の組み合わせの数だけモデルが存在するが、その中で最も適切なモデルを選択する必要がある。本研究では全ての組み合わせ(63通り)についてモデルを構築し、その中で最良のものを選択する方針とした。モデルの優越を判断するための指標には、赤池情報量規準<sup>11)</sup>(Akaike's Information Criterion: 以下AICと表現する)を用いた。AICは、モデルの複雑さとデータとのバランスをとるための指標である。一般的に、説明変数の数が増加するほど入力データとの整合性が高くなる。その反面、偶発的なデータ(物理的に意味のないもの)の変動にも整合させることになる。AICは、この問題に対して解を与える指標であり、AICの値が最少となるモデルを選択すれば、多くの場合、適切なモデルを選択しているということになる。

本研究では、表1に示す5種類の条件でモデルを構築し、結果を比較した。モデルA~Dは補強土と擁壁を含む断面を除外して、説明変数の算出範囲を変化させている。これらの結果を比較することにより、説明変数の算出範囲の影響を確認することができる。また、モデルEは、モデルDと同じ算出範囲としているが、補強土と擁壁を含めた条件とした。つまり、モデルDとモデルEを比較することにより、補強土や擁壁の存在が、解析結果に及ぼす影響を確認することができる。

##### 4.2 平均判別率の定義

同一条件の中で説明変数の組み合わせが変化する場合のモデル選択にはAICを用いることができるが、異なる条件で作成されたモデルの精度を比較するためには別の指標が必要である。そこで、本研究では、次のように平均

表1 各モデルの算出条件

モデル	説明変数の算出範囲	補強土・擁壁
A	水平 15m	除く
B	水平 10m	除く
C	水平 5m	除く
D	鉛直 5m	除く
E	鉛直 5m	含む

判別率を定義し、異なる条件で構築されたモデルを比較するための指標とした。

まず、構築されたモデルにより、全ての断面の確率を計算する。ここで、確率とは、ロジスティック回帰分析により構築されたモデルによって計算される各断面の確率であり、その断面が盛土部である確率である。断面が盛土断面または切盛断面の場合には、モデルによって計算される確率をそのままその断面の判別率とする。これに対し、断面が切土断面の場合には、100%からその断面の確率を減じた値を判別率とする。この算出方法によって各断面の判別率を算出し、全ての断面の判別率の平均値をモデルの平均判別率と定義する。図14は、平均判別率のイメージを示したものである。図中では、簡単のため、3断面のみとし、切土断面、切盛断面、盛土断面が1断面ずつ含まれる条件としている。

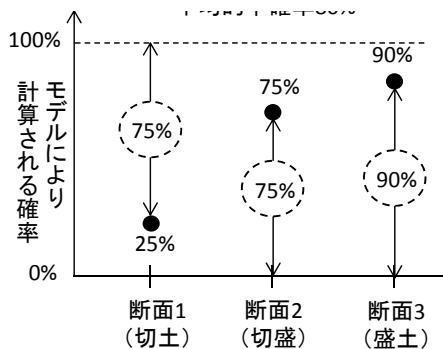


図14 平均判別率のイメージ(平均判別率=80%)

##### 4.3 ロジスティック回帰分析の結果とその分析

先述の5種類のモデル(モデルA~E)について、ロジスティック回帰分析の結果を表2~6に示す(紙面の関係上、参考文献の後に示す)。これらの表は、AICが上位10の説明変数の組み合わせであり、各説明変数の係数、t値、AIC、残差、平均判別率を示している。これらの表より、谷側傾斜角は極めて重要な説明変数であることが確認できる。また、開度や山側傾斜角についても上位のモデルの説明変数として採用されやすい傾向がある。これに対して、地山表面角度、水平開度、道路曲率については、上位モデルの説明変数には採用されにくい傾向があることが確認できる。これらの傾向は、前章で示した説明変数の分布の特徴とよく一致している。

表2 水平 15m 上位 10 モデル (補強土・擁壁なし)

順位	$\beta$ o		開度		傾斜角度(山側)		傾斜角度(谷側)		表面角度		水平開度		道路曲率		AIC	残差	平均的中確率
	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値			
1	7.81	6.48			-0.11	-3.86	-0.08	-4.30							191.6	185.6	71.611%
2	63.99	1.31			-0.11	-3.80	-0.09	-4.35	-0.31	-1.15					192.3	184.3	71.824%
3	22.31	5.91	-0.08	-4.23	-0.19	-7.13									192.4	186.4	71.470%
4	-10.49	-2.72	0.10	3.79			-0.18	-7.21							192.8	186.8	71.378%
5	75.76	1.53	-0.09	-4.28	-0.19	-7.04			-0.29	-1.09					193.2	185.2	71.667%
6	48.21	0.99	0.10	3.73			-0.19	-7.10	-0.33	-1.21					193.3	185.3	71.609%
7	7.67	2.78			-0.11	-3.86	-0.08	-4.30					25	0.06	193.6	185.6	71.611%
8	7.48	0.44	0.002	0.019	-0.10	-1.08	-0.08	-0.89							193.6	185.6	71.611%
9	7.75	2.88			-0.11	-3.86	-0.08	-4.30			0.0003	0.0240			193.6	185.6	71.611%
10	64.93	1.33			-0.11	-3.80	-0.09	-4.35	-0.32	-1.17			99.34	0.22	194.2	184.2	71.833%

表3 水平 10m 上位 10 モデル (補強土・擁壁なし)

順位	$\beta$ o		開度		傾斜角度(山側)		傾斜角度(谷側)		表面角度		水平開度		道路曲率		AIC	残差	平均的中確率
	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値			
1	73.33	1.34	0.07	2.66			-0.24	-7.41	-0.42	-1.40					167.2	159.2	75.810%
2	-3.33	-0.87	0.07	2.71			-0.23	-7.53							167.3	161.3	75.471%
3	89.86	1.64			-0.07	-2.58	-0.17	-5.87	-0.45	-1.48					167.7	159.7	75.692%
4	9.00	7.06			-0.07	-2.59	-0.16	-5.82							168.0	162.0	75.311%
5	-16.56	-0.64	0.14	0.99	0.07	0.52	-0.30	-2.04							169.0	161.0	75.547%
6	-4.49	-0.98	0.07	2.69			-0.23	-7.51			0.01	0.48			169.0	161.0	75.522%
7	61.55	0.96	0.12	0.77	0.05	0.34	-0.29	-1.79	-0.41	-1.35					169.1	159.1	75.846%
8	-2.45	-0.51	0.069	2.686			-0.23	-7.51					-144	-0.31	169.2	161.2	75.496%
9	70.64	1.27	0.07	2.65			-0.24	-7.40	-0.41	-1.35	0.0040	0.2660			169.2	159.2	75.826%
10	72.89	1.33	0.07	2.66			-0.24	-7.40	-0.42	-1.38			-45.05	-0.09	169.2	159.2	75.813%

表4 水平 5m 上位 10 モデル (補強土・擁壁なし)

順位	$\beta$ o		開度		傾斜角度(山側)		傾斜角度(谷側)		表面角度		水平開度		道路曲率		AIC	残差	平均的中確率
	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値			
1	2.70	0.61	0.08	2.70			-0.44	-6.64							102.1	96.1	86.168%
2	17.45	6.43			-0.08	-2.61	-0.35	-6.46							102.8	96.8	86.048%
3	69.68	1.84	0.07	2.33			-0.45	-6.44			-0.18	-1.78	-5808	-1.80	103.4	93.4	86.580%
4	61.52	0.83	0.09	2.75			-0.45	-6.36	-0.33	-0.80					103.5	95.5	86.173%
5	-9.86	-0.30	0.15	0.84	0.07	0.39	-0.51	-2.60							104.0	95.9	86.207%
6	3.66	0.60	0.08	2.65			-0.44	-6.62					-153	-0.23	104.1	96.1	86.203%
7	2.82	0.50	0.08	2.69			-0.44	-6.60			-0.001	-0.036			104.1	96.1	86.163%
8	75.68	1.01			-0.09	-2.66	-0.36	-6.38	-0.32	-0.78					104.2	96.2	86.046%
9	18.27	4.15			-0.08	-2.56	-0.35	-6.47					-155.73	-0.24	104.7	96.7	86.085%
10	132.90	1.53	0.08	2.40			-0.47	-6.12	-0.35	-0.82	-0.18	-1.80	-5793	-1.80	104.7	92.7	86.568%

表5 鉛直 5m 上位 10 モデル (補強土・擁壁なし)

順位	$\beta$ o(切片)		開度		傾斜角度(山側)		傾斜角度(谷側)		地山表面角度		水平開度		道路曲率		AIC	残差	平均的中確率
	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値			
1	11.72	2.04	0.05	1.51			-0.54	-6.19							88.5	82.5	88.010%
2	130.31	1.49	0.07	1.76			-0.56	-5.96	-0.67	-1.36					88.5	80.5	88.161%
3	144.13	1.60			-0.07	-1.73	-0.49	-6.15	-0.68	-1.37					88.6	80.6	88.156%
4	21.57	6.02			-0.05	-1.46	-0.48	-6.19							88.7	82.7	88.006%
5	19.74	6.43					-0.50	-6.54							89.0	85.0	88.033%
6	149.36	1.66	0.08	1.82			-0.58	-5.71	-0.75	-1.50	-0.02	-1.10			89.3	79.3	88.214%
7	164.77	1.78			-0.07	-1.80	-0.51	-5.93	-0.76	-1.52	-0.02	-1.10			89.5	79.5	88.209%
8	139.28	1.58	0.08	1.83			-0.58	-5.73	-0.74	-1.49			687	0.98	89.5	79.5	88.190%
9	154.80	1.70			-0.08	-1.80	-0.51	-5.96	-0.75	-1.50			684.18	0.97	89.7	79.7	88.185%
10	15.17	2.12	0.06	1.53			-0.55	-5.99			-0.02	-0.87			89.7	81.7	88.077%

表6 鉛直5m上位10モデル(補強土・擁壁含む)

順位	$\beta$ $\sigma$		開度		傾斜角度(山側)		傾斜角度(谷側)		表面角度		水平開度		道路曲率		AIC	残差	平均的中確率
	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値	$\beta$	t値			
1	-3.06	-1.25	0.05	3.09			-0.14	-6.83							268.8	262.8	62.771%
2	-27.96	-1.13	0.19	1.38	0.14	1.01	-0.28	-2.02							269.7	261.7	63.084%
3	6.38	6.61			-0.05	-2.94	-0.09	-6.20							269.8	263.8	62.585%
4	-34.74	-0.89	0.05	3.16			-0.14	-6.83	0.17	0.81					270.1	262.1	62.681%
5	-3.72	-1.13	0.05	3.10			-0.14	-6.82					109	0.30	270.7	262.7	62.737%
6	-2.80	-0.90	0.05	3.09			-0.14	-6.82			-0.002	-0.14			270.7	262.7	62.755%
7	-63.41	-1.34	0.20	1.44	0.15	1.06	-0.29	-2.07	0.19	0.88					270.9	260.9	62.964%
8	-23.01	-0.60			-0.05	-3.00	-0.09	-6.07	0.16	0.76					271.2	263.2	62.493%
9	-38.20	-1.17	0.06	3.21			-0.15	-6.86			0.0951	1.0640	3152	1.09	271.4	261.4	63.003%
10	-30.15	-1.20	0.20	1.43	0.15	1.06	-0.29	-2.07					165	0.44	271.5	261.5	63.051%

表7は、説明変数の算出範囲が異なる4種類のモデル(モデルA~D)の平均判別率(各条件のAICが最も低いモデルの平均判別率)をまとめたものである。表7より、算出範囲が狭くなるのに伴って、平均判別率が高くなることが確認できる。また、算出範囲を鉛直方向5mとした場合でも、水平方向5mと同程度の平均判別率となることが確認できる。つまり、開度と傾斜角度の算出範囲は、道路端から水平方向または鉛直方向に5mが適当であると結論付けられる。ここで、5mよりも狭い範囲で説明変数を算出する場合について言及しておく。開度や傾斜角度は、算出範囲内に存在する2mDEMの標高値を使って平均値を算出するが、少なくとも3点程度の標高値が必要となる。そのため、5mよりも狭い範囲とする場合には、標高点の数が十分でないケースが発生する可能性が高くなるため、本研究では5mを最小の範囲とした。

表7 説明変数の算出条件別の平均判別率  
(補強土・擁壁を含まない条件)

算出条件	平均判別率
水平方向 15m	72%
水平方向 10m	76%
水平方向 5m	86%
鉛直方向 5m	88%

#### 4.4 補強土・擁壁の影響

次に、補強土・擁壁の存在がモデルの精度に与える影響について確認する。表8はモデルDとモデルEの平均判別率を示している。この結果より、補強土と擁壁を含む断面を含めてモデルを構築する場合には、除外した場合に比べて平均判別率が著しく低下することが確認できる。補強土や擁壁は、一般的に切土や盛土に比べて、急勾配なりの面となるため、これらを含めた場合には開度や傾斜角度の値に大きな影響を与え、平均判別率が低下するものと思われる。

図15は、モデルEによる全断面の判別率の分布図であり、赤色は切土・切盛・盛土断面(補強土・擁壁以外)であり、青色が補強土・擁壁を含む断面を示している。縦軸は、判別率であるため、断面の種類によらず、値が高い方

が高精度ということになる。この図より、補強土・擁壁を含む断面で判別率が低くなっていることが確認できる。つまり、地形情報から盛土を抽出するモデルを構築する際には、補強土・擁壁を含む断面の取り扱いには注意が必要であり、補強土・擁壁を含めない方が高精度なモデルを構築することが可能である。

#### 5. まとめ

本研究では、DEMから山岳道路盛土を抽出する方法を提案し、実際に存在する山岳道路を対象として、抽出モデルの有効性を確認した。本研究により得られた知見を以下に示す。

- 補強土や擁壁を含まない断面については、2mDEMを用いて山岳道路盛土の高精度な抽出が可能である。
- 本研究で考慮した6種類の説明変数の中で、開度、山側傾斜角、谷側傾斜角は盛土抽出に対して強く寄与しており、特に谷側傾斜角は最も必要な説明変数である。
- 開度と傾斜角度の算出範囲は、道路端から水平方向または鉛直方向に5m程度の範囲が適当であり、この範囲を広げるに従って平均的中精度が低下する。
- 補強土や擁壁は、切土や盛土に比べて急勾配なりの面の構築が可能であるため、開度や傾斜角度の値に大きな影響を与え、平均判別率が低下するため、モデルを構築する際の取り扱いに注意が必要である。

本研究では、対象とした路線区間が1種類であり、地域性が説明変数に与える影響などについては更なる検証が必要である。また、補強土や擁壁については、本論文で示した方法では取り扱いが難しいということが明らかとなり、今後の課題として残された。このように、未だ解決すべき課題はいくつか残されているものの、DEMの地形情報のみから、山岳道路盛土を抽出する手法の有効性を示すことができた。

表 8 説明変数の算出条件別の平均判別率

補強土・擁壁	平均判別率
除く	88%
含む	63%

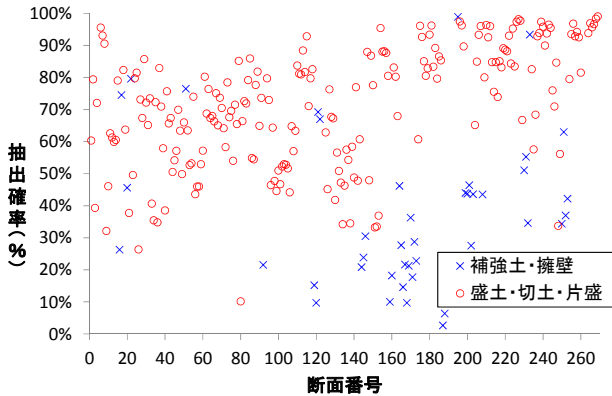


図 15 補強土・擁壁を含む全断面の判別率 (モデル E)

参 考 文 献

- 1) 2004年新潟県中越地震災害調査報告書, 地盤工学会, 2007
- 2) 2007年能登半島地震被害調査報告書, 土木学会・地盤工学会, 2007
- 3) 東北地方太平洋沖地震における高速道路の被害および復旧状況について, 安部哲生, 横田聖哉, 金田和男, 長尾和之, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, pp.117-125, 2012.

- 4) 道路盛土の耐震性能評価の方向性に関する考察, 常田賢一, 小田和広, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.4, pp.857-873, 2009.
- 5) 道路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する研究開発, 常田賢一, 小田和広, 中平明憲, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No.17-4, 国土交通省, 2008.
- 6) 地震危険度から見た中山間部における道路盛土のスクリーニング手法, 林健二, 常田賢一, 上出定幸, 土と基礎, Vol.61, No.1, pp.6-9, 2013.
- 7) 水分履歴を考慮した不飽和道路盛土の耐震性の評価法と強化法, 岡二三生, 木村亮, 木元小百合, 肥後陽介, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, No.21-4, 国土交通省, 2008.
- 8) 岐阜県飛騨圏域を対象とした道路斜面危険度評価, 本城勇介, 町田裕樹, 森口周二, 原隆史, 沢田和秀, 八嶋厚, 土木学会論文集 C, Vol.67, No.3, pp.299-309, 2011.
- 9) 被災事例に基づく河川堤防の安定性評価, 宇野尚雄, 森杉壽芳, 杉井俊夫, 中野雄治, 土木学会論文集, 第 400 号, III-10, pp.161-170, 1988.
- 10) 数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築, 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹, 自然災害科学, Vol.27, No.1, pp.69-83, 2008.
- 11) 赤池弘次・甘利俊一・北川源一郎・樺島祥介・下平英寿, 赤池情報量規準 AIC-モデリング・予測・知識発見, 共立出版(株), pp.14, 2007