

土石流危険渓流が集中する山地流域における土砂流による被災範囲推定手法の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：火山・土石流チーム

研究担当者：石塚 忠範、山越 隆雄、森田 耕
司、武澤 永純、清水 武志

【要旨】

2011年9月の和歌山県那智勝浦や2009年7月の山口県防府で発生した土砂災害のように、複数の土石流危険渓流の源頭部において斜面崩壊に起因する土石流が発生し、土砂が河道へ流入し、下流の緩勾配の地域において土砂流により土砂害が発生している。そこで、本重点研究課題において、(1)河道の合流による土砂流の流出状況の推定手法の検討や、(2)斜面崩壊に起因する土砂が河道に流入する量などを評価する方法の検討、(3)数値地形を土砂流の氾濫解析等に使用する場合の処理の方法の検討などについて実施する。昨年度は(1)と(2)に関して報告した。今年度は(3)について報告する。格子型数値地形モデルは河道が表現できていないことがある。その影響で、土砂氾濫解析等に用いる場合、河道部分の標高の値を変更して河道を表現しなくては、解析結果が現実的な結果とならない場合がある。一方で、標高を技術者が任意に変えてしまうと元々の地形の計測データが持つ信頼性を損ねた状況を生み出すことになる。そこで、標高の変更方法の方針について既往研究成果を調査した上で、土砂流の氾濫解析等で使用する場合に、現実的な地形表現を得ることができ、かつ、信頼性のある地形処理の方法について検討した。

キーワード：土砂流、格子型数値地形モデル

1. はじめに

2011年9月の和歌山県那智勝浦や2009年7月の山口県防府で発生した土砂災害のように、複数の土石流危険渓流の源頭部において斜面崩壊に起因する土石流が発生し、土砂が河道へ流入し、下流の緩勾配の地域において土砂流により土砂害が発生している。この現象に取り組む際に本重点研究課題では、次の3つの課題に着目して研究を実施することとした。

- 1) 河道の合流によって土砂流が下流へ流下する被害評価に関する課題
- 2) 斜面崩壊に起因した土砂が河道に流入する場合に河道に流入する土砂量を評価する課題
- 3) 土砂流の被害を想定する際に基盤となる数値地形モデルの効率的な使い方に関する課題

これら検討課題の対象現象は、毎年発生する程度の頻度の土砂移動現象が複数箇所で発生し、河道へ流下した土砂が合流し、さらに下流域等において土砂流が氾濫する現象である。斜面での土砂の流動、河道への流入、下流での土砂流の氾濫の3つの現象について、要素に分解した上で重要な課題と考えたものである。

本報告では、3)の数値地形モデルの効率的な使い方に関する課題のうち、格子型数値地形モデルを用いると、表現しにくい河道の平面形状やその標高を表現する方法について報告する。まず、既往研究成果の考え方を述べる。その知見を背景に、作業者が数値地形モデルの標高を確認しながら値を変更する場合の留意点を整理し、変更対象メッシュと修正量を定める方針を定め、手法について検討した。

2. 格子型数値地形モデルと河道表現

地形を離散的な点として表現する数値地形モデルは、正方形、三角形、六角形などの幾何的なメッシュの中央や節点あるいは等高線上の節点等、標高を評価する点の配置によって様々な形式が提案されている。この中で高い頻度で使用されている形式のひとつが、正方形あるいは長方形の格子の中央に1点の標高データを配置する格子型数値地形モデル（以下、DEM）である。日本全土を覆うDEMは、国土地理院による数値地図50mメッシュ（標高）（空間解像度約50m）や基盤地図情報 数値標高モデル（空間解像度約10m）が代表的である。近年は航空機レーザ測量による数mの水平解像度を持つ詳細な

DEM が一部の地域で作成あるいは公開されるようになってきている。DEM は一定間隔の離散的な評価点に、その点直下の標高や、その評価点が代表している周囲の領域の点群データの統計的な平均標高などが格納されたデータ構造を有する地形データである。このようなデータ作成法は、地形計測の分野における方眼法などのように、従来から行われてきた。しかし、データ作成方法から分かるように、評価点が一定間隔で並ぶため、評価点間隔と河道等の詳細な地形との相対的な大きさによって、詳細な地形の位置やその標高が適切に表現されない場合がある。また、例えば、図-1の左右の図のように評価点の配置の仕方によって河道の表現が異なる特徴を有する。

本報告では、土砂流の氾濫解析等を行うための基盤データとして DEM を使用することを想定して効率的な処理方法を検討した内容を記述する。

本報告では、DEM 以外の情報（空中写真や河道の線の情報など）が存在する場合、作業者がそれらの情報を用いて、DEM の修正場所と修正量を判断する場合を想定して、DEM の修正箇所の簡易な発見方法と修正方針の案を記述した。DEM の修正を実施する場合に、一定の方針の下、ある程度定型的で簡易で、再現性のある結果を得ることができる方法を検討した。

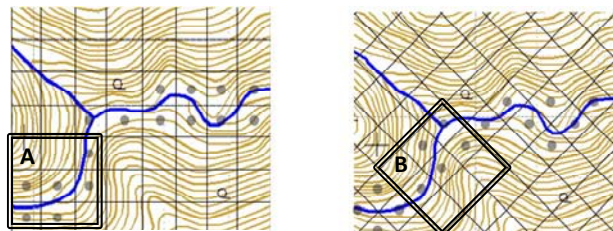


図-1 評価点の配置による河道の表現の違い

3. 数値地形モデルにおける河道作成における課題

DEM では離散化して地形を表現するため、河道の下流側の標高が上流側より高くなる凹地が生じると河道の連続性が阻害される。DEM に存在する凹地や平坦地の存在は、主としてノイズとみなすか離散化の影響とみなすかの2つの見方ができ、それぞれの立場で処理する方針も変わる。例えば、空中写真や衛星画像の立体視等で作成した DEM では、凹地や平坦地を作成過程で生じたノイズとみなすことが多いが、国土地理院のように測量に基づいて作成したデータの場合は離散化等に伴う評価点の配置の影響

とみなす場合が多い。前者の立場でデータを見る場合、凹地や平坦地を平滑化してノイズを除去する方法は合理的な手法の一つとなる。一方、後者の立場の場合、誤差は存在するものの、正確に測量されたオリジナルデータをなるべく変更せず、評価点の離散的な配置によって表現できなかった対象を浮かび上がらせるようにデータを処理する方法が望ましいと考えるべきだと考える。そこで、国土地理院で公表しているデータを扱う場合、後者の立場に立って、オリジナルデータをなるべく変更せず、流路を適切に表現できる手法がよいと考えることができる。そのため、数値地形の標高値を種々のフィルタ等を用いて平滑化する方法や内挿方法等については本報告では対象としない。

DEM 上の凹地を埋積する、掘削する、または元々存在する平坦地あるいは凹地を埋積した結果生じる平坦地上の流路を決定するために傾斜をつける行為は、標高の改変を伴う。上述の考えに沿って、次の方針で検討を行うこととした。この考え方は自動的に河道網を生成する手法に関する既往文献などでも報告されている考え方である。

方針 1) 標高の修正をなるべく少なくする

方針 2) 修正する箇所と量は、作業者によらず一定となることを望ましい

方針 3) 作業者の作業手順を少なくする

方針 4) 氾濫計算は X、Y 方向に離散化されるため、格子と直交する 4 方向の評価点と接続するように河道を表現する

4. データ

DEM は、基盤地図情報の数値標高モデル（10m メッシュ）を用いた。また、河川の位置の情報を特定するため、国土交通省国土政策局 国土数値情報河川データ（以下、河道データ）を用いた。航空レーザ測量による数値地形データを後述する手法の結果確認のために用いた。

5. 方法と結果

5. 1 DEM 上の河道の修正箇所の特定方法

DEM と河道データを重ね合わせた図を作成する（図-2a）。次に、対象評価点から氾濫計算で用いる 4 方向の最急勾配を探索（以下、同方法を D4 と呼ぶ）し、その方向の矢印を表示させる。河道上の凹地が修正箇所となるため、その位置を赤○印とする（図-2b）。以上の2つの図より、修正すべき

a)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	234.4	227.7	217.5	205.7	200.9	193.0	177.9	162.7	148.7	138.8	132.7	127.5	123.0	119.4	116.8	114.4	112.1	110.0	108.0	106.1
2	247.0	228.8	218.1	201.1	192.3	181.1	170.4	158.9	150.8	144.7	138.5	132.7	128.0	124.2	120.9	118.1	115.5	113.1	110.8	108.6
3	247.7	231.2	216.6	205.4	195.9	182.0	169.5	162.6	158.7	144.6	138.9	134.5	130.4	126.4	123.0	120.1	117.4	114.8	112.3	110.0
4	258.7	234.1	218.3	207.0	197.9	187.4	175.6	170.9	157.8	149.8	141.5	135.5	130.5	127.0	124.4	121.8	119.3	116.8	114.3	111.8
5	268.4	237.2	221.9	212.5	199.7	188.6	176.6	171.1	146.1	141.8	143.8	136.7	133.1	132.2	121.4	120.2	228.3	238.4	224.8	212.8
6	252.1	242.1	228.0	218.8	202.8	191.9	177.1	171.5	148.8	142.3	143.5	143.8	143.8	127.6	123.7	120.7	225.8	240.2	228.5	212.3
7	253.5	242.3	228.1	218.8	202.7	195.5	178.2	174.9	163.9	163.4	151.1	142.3	143.8	127.6	123.7	218.8	208.8	240.0	234.4	222.7
8	253.0	238.5	227.4	208.4	203.5	195.6	182.7	172.5	157.2	151.3	160.0	158.1	156.6	149.7	138.4	134.3	135.1	232.3	238.0	228.3
9	254.8	242.4	228.8	212.4	202.4	193.0	184.1	175.1	159.9	157.8	168.6	158.4	151.9	143.6	135.2	138.6	138.5	228.2	240.8	235.4
10	258.9	245.8	228.0	212.0	202.7	187.4	176.9	168.6	158.9	157.8	157.8	155.9	155.3	138.8	131.9	218.8	214.0	221.0	218.0	228.5

b)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
6	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
7	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
8	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
9	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
10	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

c)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	234.4	227.7	217.5	205.7	200.9	193.0	177.9	162.7	148.7	138.8	132.7	127.5	123.0	119.4	116.8	114.4	112.1	110.0	108.0	106.1
2	247.0	228.8	218.1	201.1	192.3	181.1	170.4	158.9	150.8	144.7	138.5	132.7	128.0	124.2	120.9	118.1	115.5	113.1	110.8	108.6
3	247.7	231.2	216.6	205.4	195.9	182.0	169.5	162.6	158.7	144.6	138.9	134.5	130.4	126.4	123.0	120.1	117.4	114.8	112.3	110.0
4	258.7	234.1	218.3	207.0	197.9	187.4	175.6	170.9	157.8	149.8	141.5	135.5	130.5	127.0	124.4	121.8	218.8	228.8	228.2	208.9
5	268.4	237.2	221.9	212.5	199.7	188.6	176.6	171.1	146.1	141.8	143.8	136.7	133.1	132.2	121.4	120.2	228.3	238.4	224.8	212.8
6	252.1	242.1	228.0	218.8	202.8	191.9	177.1	171.5	148.8	142.3	143.5	143.8	143.8	127.6	123.7	120.7	225.8	240.2	228.5	212.3
7	253.5	242.3	228.1	218.8	202.7	195.5	178.2	174.9	163.9	163.4	151.1	142.3	143.8	127.6	123.7	218.8	208.8	240.0	234.4	222.7
8	253.0	238.5	227.4	208.4	203.5	195.6	182.7	172.5	157.2	151.3	160.0	158.4	156.6	149.7	138.4	134.3	135.1	232.3	238.0	228.3
9	254.8	242.4	228.8	212.4	202.4	193.0	184.1	175.1	159.9	157.8	168.6	158.4	151.9	143.6	135.2	138.6	138.5	228.2	240.8	235.4
10	258.9	245.8	228.0	212.0	202.7	187.4	176.9	168.6	158.9	157.8	157.8	155.9	155.3	138.8	131.9	218.8	214.0	221.0	218.0	228.5

修正メッシュにおける基準方向: 上側 下側 右側 左側

d)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
6	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
7	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
8	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
9	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
10	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

図-2 修正方法の手順の概略 a) DEM と河道データ、b) D4 による下流方向と凹地の位置、c) 修正箇所的位置、d) 修正後 DEM の下流方向

DEM の場所が明らかになる (図-2c)。その場所を修正すると、D4 で河道が連続することが確認できる (図-2d)。図-2c から図-2d を作成する際の標高の修正量については次節で述べる。

この方法によれば、DEM と河道の位置を合わせれば作業者の経験に基づく判断の要素を大きく減少させることが可能となり、作業者の技量に依らずほぼ同じ位置の標高を修正することが可能となる。ただし、河道を表現するメッシュが隣接する場合は河道が短絡する、あるいは、河道幅が広い (メッシュの複数分) 場合は、D4 での確かな下流方向が表現できない場合などがある。対象とする地形によっては、留意する事項があることに注意する必要がある。

5.2 DEM の標高の修正方法

標高を修正する方法は、勾配が負になる場所 (前節の赤○) の上下流の標高を見て平均的な値に修正する方法や、あらかじめ定めておいた河床勾配になるように標高を変化させる方法などが考えられる。

3.で述べた方針3)のように作業者の作業数を減らす観点から、後者の考え方を採用して検討を行った。つまり、予め標高を修正する場合には一定の河床勾配に勾配を定めておく。その河床勾配は、対象とする DEM の領域における河道の平均勾配などとする。ただし、遷急点や遷緩点などの傾斜変換点が対象河道内に存在する場合は注意を要するものの、そのような傾斜変換点がなければ、良好な結果を得ることができると考えられる。同方法と比較検討のため、より急な河床勾配とより緩い河床勾配に標高を修正する場合についても検討を行った。

図-3a の赤線は処理を何もしていない河道上の DEM の値であり、黒線が同じ位置の航空レーザ測量のデータである。ただし、理解のしやすいように河道に沿った 1 次元で表現している。これを見ると DEM は少なくとも 3 つの凹地が存在していることが分かる。この凹地を取り除くように標高を修正する。図-3b の赤点線は修正後のデータであり、凹地が無くなっていることが分かる。図-3c では緩い河床勾配になるように標高を修正した場合である。凹地がほぼ無くなるが、航空レーザ測量のデータ (黒線) とと比較すると大きな差がある。図-3d では急な河床勾配になるように標高を修正した場合である。航空レーザ測量のデータ (黒線) 実際と比較して掘り過ぎていることが分かる。

以上は、1 事例の結果であるが、平均的な河床勾

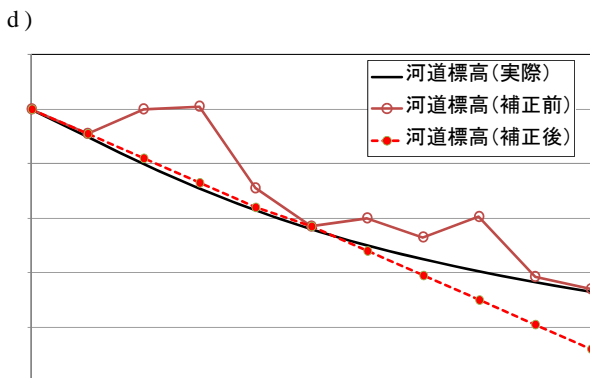
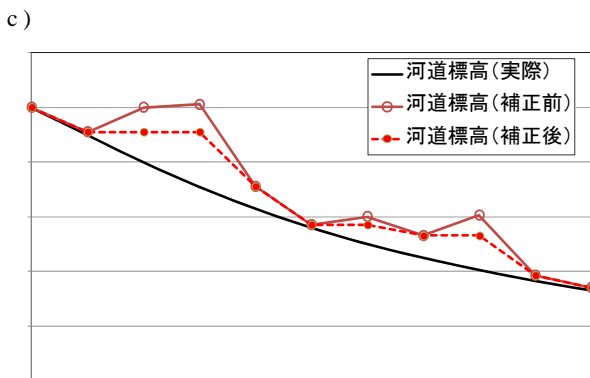
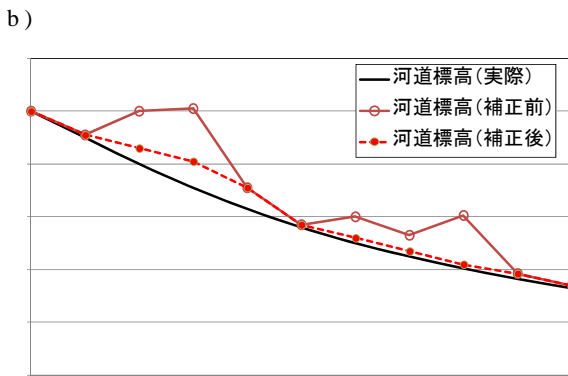
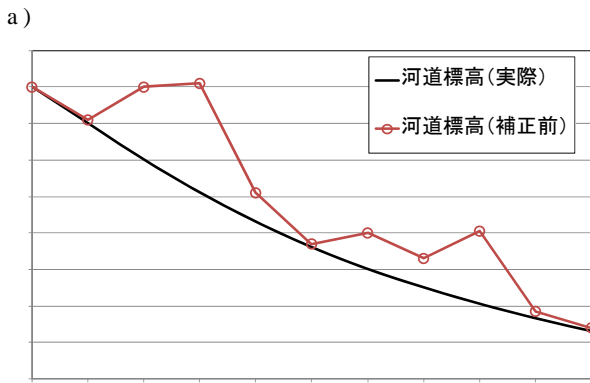


図-4 標高の修正方法による結果の違い。a) 修正前、b) 平均修正標高量による修正、c) 小修正標高量による修正、d) 大修正標高量による修正

配に修正する場合は最も良い結果が得られている。

6. おわりに

本報告においては、地形の離散化に伴いデータとして表現されなくなった河道を DEM 上で表現するために、技術者の技量に大きく依存せずに修正箇所を見つける簡易な方法とその標高の修正方法の検討結果を報告した。前者については、DEM と河道網データの重ね合わせ、および、D4 による修正箇所の探索を実施することで、ある程度定型的に作業を実施できる可能性があることが分かった。後者については、よりよい方法を引き続き検討する予定である。

Development of the method to estimate the area affected by hyper-concentrated flow in densely-populated mountainous watersheds

Budget: Grants for operating expenses, General account

Research Period: FY2011 - 2014

Research Team: Volcano and Debris flow Research Team

Authors: ISHIZUKA Tadanori, YAMAKOSHI Takao, MORITA Koji, TAKEZAWA Nagazumi, SHIMIZU Takeshi

ABSTRACT: Recently, it often happens that landslide induced debris flows don't stop just on the fan but merging into the main stream. In that case, it often results in flooding of the wider area in the lower reach of the stream. It is necessary to develop the method to estimate the area affected by hyper-concentrated flow in densely-populated mountainous watersheds. In FY2012, we investigated the quality control method of estimating river flow networks on gridded digital elevation model with no dependence on the technique of mature or novice engineers.

KEY WORDS: gridded digital elevation model, flow routine, depressions, filling, carving