

レーザースキャナを用いた地すべり変位観測のための三次元モデリング

高知工科大学 光岡 操、高木方隆

1. 背景

地すべりとは、雨や地下水などの影響により、移動土塊と不動土塊とを境界として 0.01 ~ 10mm/day 程度移動し、何らかの力学的バランスが崩れた時に一気に崩壊してしまう現象を言う。

現在、四国には 1200 箇所以上の地すべり防止区域が存在している。地すべり発生メカニズムの解明のためには、三次元的に地すべりの挙動把握を行う必要がある。現在地すべりの変位観測には、孔内傾斜計や伸縮計を用いて行われている。しかし、孔内傾斜計や伸縮計は点と点間の計測であるため、面的にどの部分がよく動いているのか把握することが困難である。

レーザースキャナ計測は、面的な情報を捉えるのに非常に有効的な手段である。しかし、据え付けておかない限り、同一観測条件での計測は困難である。そのため、据え付けない場合は、変位を追跡するための仕組みづくりが必要となる。

2. 目的

三次元モデルには、等高線・断面図、数値標高モデル、サーフェイスモデルなどがある。本研究では、高知県仁淀村長者地すべりを対象とし、変化抽出に適したモデルを選定し、変化抽出アルゴリズムの構築を行う。

3. 現地概要

(1) 位置

長者地すべりは、高知市の西北西約40kmにあり、一級河川仁淀川の長者川右岸に位置している(所在地：高知県高岡郡仁淀村)。

地すべりブロックの規模は、幅約200m・長さ約900m・平均斜面勾配約15°であり、移動方向は北方向(長者川方向)に移動している。地すべりの末端部は長者川を越えており、対岸の護岸工に隆起現象が認められる。

(2) 地形

地すべり地の周辺は山地に囲まれており、その標高は約600m・斜面傾斜は35° ~ 40°である。一部露岩が認められ一般に表土は薄い。山頂部には、二重山稜線(稜線が二重になっている)の地形もあり特異である。

(3) 地質

地すべり地基盤の地質は秩父帯に属する黒瀬川構造体の伊野層で、泥岩・砂岩・礫岩・花崗岩、石灰岩・蛇紋岩からなる。蛇紋岩は、やわらかい粘土になっている部分があり、すべり面になりやすい特性を持つ。

(4) 地すべりの動き・対策工

明治19年の台風より長者川が大洪水になり移動を始める。その後も、台風や豪雨などにより約1m/年の移動あり。昭和26年より調査が開始され、昭和28年より対策工が行われる。しかし、現在も約数cm ~ 10cm/年の移動が見られる。そのため、変位観測を行いやすい地域であると考え選定した。

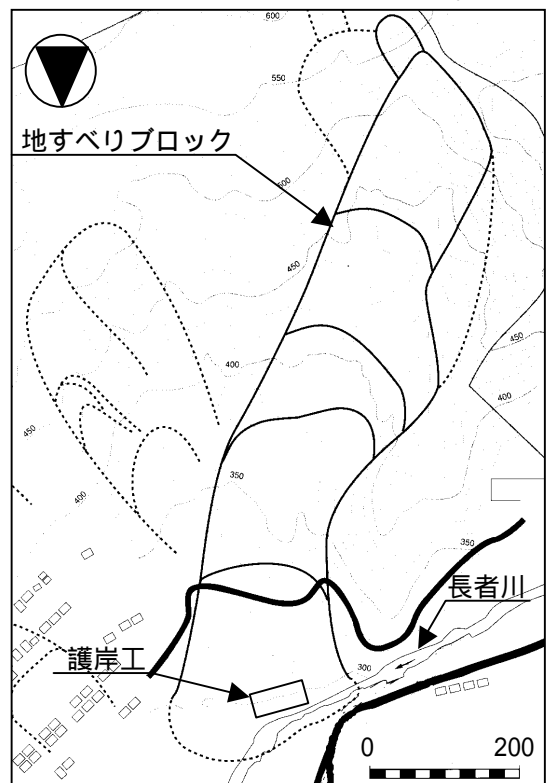


図-1：長者地すべりの全景

4. レーザースキャナ

(1) 概要

地上において使用することを目的としたスキャナタイプのレーザーセンサであり、ノンプリズムタイプの光波測距儀の一種である。レーザースキャナは、写真を撮るように、一般的な単点タイプの光波測距儀よりも、高速高密度に位置情報を取得可能である。

(2) 計測原理

トータルステーションと類似しており、対象物に向かって放射したレーザーパルスが反射して戻ってくるまでの時間により距離を計測し、機械を基準とした水平角と垂直角を計測する(図-2)。

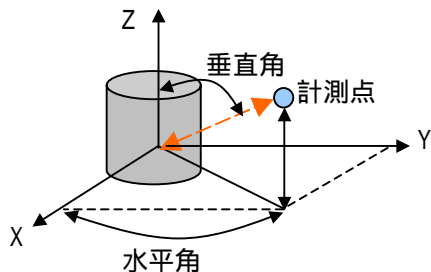


図-2：レーザースキャナの計測原理

(3) 使用したレーザースキャナ

名称：LMS-Z210 (Riegl 社製)

得られるデータは、対象物までの距離、角度、対象物の反射強度、カラー情報である。また、距離測定器性能、スキャニング性能を表-1、表-2に示す。このレーザースキャナは、ミラーが縦方向に回転しながらデータを取得するため、ライン方向は上から下向きと定義されている。

表-1：LMS-Z210 距離測定器性能

項目	詳細
測定距離範囲	350m(反射率 80%の自然物)
測定距離範囲	150m(反射率 10%の自然物)
最短距離	2m
測定精度	±2.5cm
レーザー波長	0.9μm(近赤外線)

表-2：LMS-Z210 スキャニング性能

項目	詳細	
	ラインスキャン (縦方向)	フレームスキャン (横方向)
数(最大)	1106	4621
範囲	±40°	0°~333°
機構	回転ポリゴンミラー	回転光学ヘッド
速度(/s)	5scan~52 scan	1°~15°
角度分解能	0.036°	0.018°

(4) 計測位置

長者川の北側より対岸の護岸工を計測した。レーザースキャナと護岸工の距離は、近いところで約45m・遠いところで約65m離れている。周りに背の高い植物がなく、見通しがよく護岸工が一望できる場所より計測した。計測した護岸工は、長者地すべりの末端部に位置し、最も動きが見られるところである(図-1)。

5. 三次元モデル

(1) 等高線・断面図

等高線は、Z軸に垂直に切断した面を線で表現したものである。等高線の間隔が狭いところでは、傾きが急で、広いところは傾きが緩やかになる。また、等高線作成間隔を狭めることにより、より詳細な表現ができる。しかし、Z軸に対して平行な面のある地形(崖など)を完全に表現することはできない。

断面図は、Z軸に平行に切断した面を線で表現したものである。等高線のみで表現できない地形は、断面図を用いることで表現することができる。

等高線作成は、レーザースキャナデータを1ライン毎読み、指定した等高線位置(Z値)に最も近いポイントを上下それぞれ選んだ。その後、その2点を結び、線形内挿によりプロットしていった(図-3a)。

断面図作成は、以下のアルゴリズムにより作成した(図-3b)。

[断面図作成アルゴリズムフロー]

1. 作成する断面図の始点と終点を指定し、X-Y平面上での切断面の直線の式を決定する。
2. X-Y平面上で、切断面の式と測点の距離が、ある一定の範囲内にあるものを抽出する。
3. Z値の小さい順に並び変える。
4. 2点毎に点の座標を読み込む。
5. 2点が、切断面の直線の式をまたいでいるかチェックする。
6. またいでいた場合、線形内挿により切断面上のZ値を算出する。
7. 4.に戻る。

(2) 数値標高モデル

最小単位をピクセル(小さな正方形)とし、そのピクセル毎に地表面の標高値が入力されているも

のである。よって、オーバーハングなどを表現することはできない。

作成は、レーザースキャナデータのランダムポイントを指定したサイズのグリッドに当てはめていった。1 グリッドの大きさによって、複数の点が含まれることがある。その場合は、Z 値が一番低いものを取り作成した(図-4)。低いものを選んだ理由は、植物の可能性を低くし、標高値である可能性を高くするためである。

(3)サーフェイスモデル

多角形の面によって表現したものである。対象物を構成する面毎に色やテクスチャを与えることができるため見かけ上透過せず、ワイヤーステッドモデルなどと比べるとリアルなものを作成することができる。対象物を構成する面の数を増やすことによってリアルさは増す。また、面毎に光の状態を表現するシェーディングと呼ばれる技法を用いることができ、よりリアルな表現が可能である。

サーフェイスモデル作成は、以下のアルゴリズムにより作成した(図-5)。

[サーフェイスモデル作成アルゴリズムフロー]

- 1.2 ライン毎読み込む
2. 読み込んだ2ラインのデータを上から2点毎読み込む。
3. 取得した4点のうち、3点以上距離データが存在するかチェックする。
4. レーザースキャナと各3~4点との距離が2cm以内で一致するかチェックする。
5. 3.4.の条件をクリアした3~4点を利用してポリゴン化する。

6.変位置抽出

(1)等高線・断面図

2 時期分のデータを重ねたものを図-6、7、に1 時期目を点線、2 時期目を実線で示す。等高線は、推定される移動方向とは逆に、概ね 8cm の動きが見られた。等高線に見られる突起した部分は、護岸工のブロックとブロックの隙間である。断面図も同様に、推定される移動方向とは逆に約 7 ~ 14cm の動きが見られた。また、断面図より、鉛直方向に対する動きは見られなかった。図-7 の天場のところでは、1 時

期目のものが下、2 時期目のものが上になっている。これは、2 時期目のデータは、1 時期目よりも 4m 程度低い位置から取得しているためと考えられる。

断面図は、護岸工のオーバーハングしているブロックも表現することができた。また、データ量は軽く、変位も目視により容易に確認することができた。

(2)数値標高モデル

図-8 は、2 時期目より 1 時期目を引いたものである。両時期それぞれが、0 でない場所のみ演算した。結果は、全てがマイナスの値となった。最も変位があったところで、約-9.4cm の変位が見られた。このデータのみでは、1 時期目より 2 時期目の方が、沈下しているという状況であった。

データ量は軽く、変位置抽出も容易に行えた。しかし、グリッド化の際に値を平均化してしまうため、信頼性は下がる。

(3)サーフェイスモデル

1 つの面は、4 点の 3 次元座標で構成されているため、膨大なデータ量になってしまった。変位置抽出を行うには、まず同一ポリゴンを探索し、対応させていかなければならない。それぞれのポリゴンを判別していくには、複雑なアルゴリズムが必要となる。そのため、対象物をリアルに表現するには、非常に適していると思われたが、今回は変位置解析を行うのは困難であった。

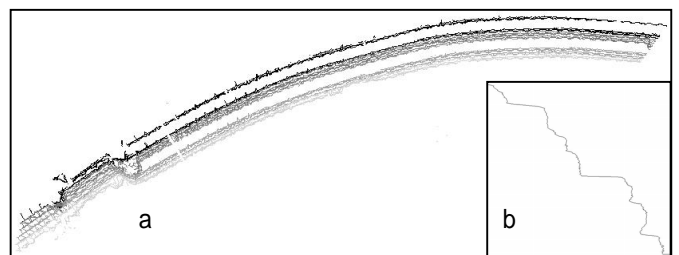


図-3 : a 等高線(20cm 間隔)・b 断面図

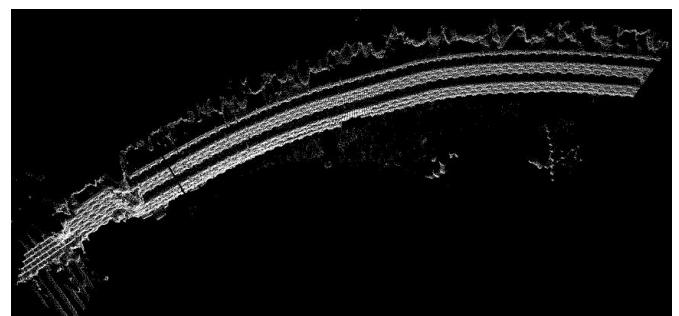


図-4 : 数値標高モデル(5cm グリッド)

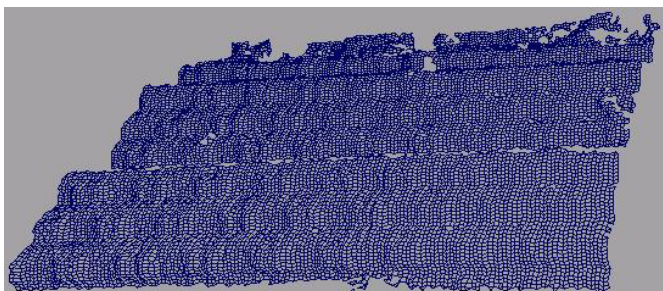


図-5：サーフェスモデル(150 ライン)

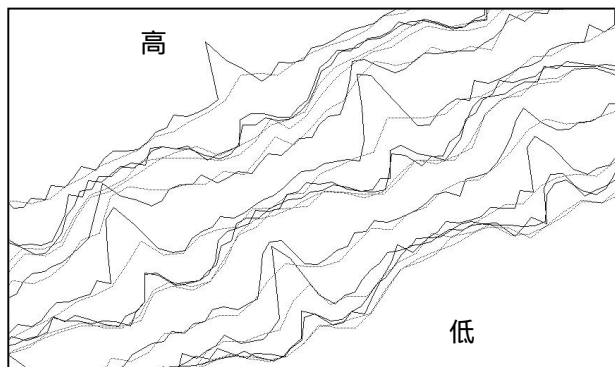


図-6：等高線による変位抽出

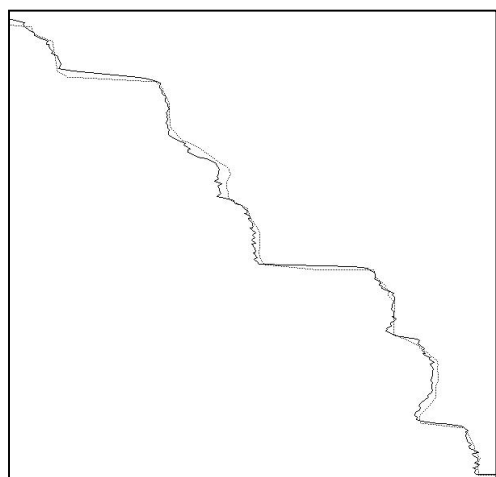


図-7：断面図による変位抽出

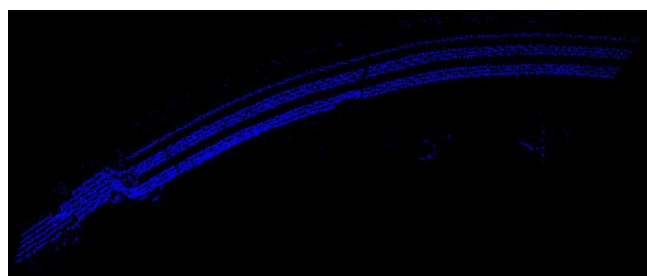


図-8：数値標高モデルによる変位抽出

7.まとめ

地すべり変位観測のための三次元モデルには、等高線・断面図を用いて行う手法が良いと考える。理由としては、データ量が軽く、オーバーハングなども表現可能、実測値を平均化することなく実測値に基づいて作成可能、変位量抽出が容易に行えることなどの利点からである。しかし、今回は推定される

移動方向とは逆の動きが見られた。その原因としては、基準点計測誤差及び、レーザースキャナの計測位置(約水平方向に 5m・鉛直方向に 4m の差)及びレーザースキャナの計測密度(1 時期目×2.5 2 時期目)に原因があると考えられる。つまり、基準点計測誤差・計測条件の不一致などの要因により、不確かな結果となってしまったと考える。よって、変位量抽出を行うためには、変位に関わる全ての条件を揃えなければならない。まず、基準点計測を高精度で行い、同一条件で計測を行う必要がある。レーザースキャナの設定は、位置・傾きについては、ほぼ同じであれば良いが、密度については一定にしなければならない。

今回、基準点計測誤差(約 3cm)・器械誤差(約 2.5cm)・取得間隔(65m 離れた時、約縦 4cm・横 2cm)を考え、レーザースキャナにより 65m 離れた位置から同一観測条件下でデータ取得できたとすると、XY 平面では約 7.5cm・Z 軸方向では約 9.5cm の精度で変位観測を行えると考えられる。従って、今回捉えた変位量は、有意な差とは認められなかった。

レーザースキャナデータは、ランダムなポイントデータである。そのため、1 時期目と 2 時期目とで同一点の検索は困難である。等高線・断面図の作成時には、最も望ましい点を導き出しているだけである。よって、実際にトータルステーションなどで計測した値と検証をする必要がある。それにより、どのくらいの変位ならば抽出可能かもしることが出来る。

8.参考文献

- 1) 野村努・高木方隆、「デジタル写真測量による地すべり地の三次元移動追跡への適用可能性」、[287-290P] 日本写真測量学会平成 12 年度秋季学術講演会発表論文集 2000
- 2) 村井俊治、「空間情報工学」、社団法人日本測量協会
- 3) 動体計測研究会、「イメージセンシング」、社団法人日本測量協会
- 4) 高知県土木部防災砂防課、「長者地すべり」
- 5) リーグルジャパン株式会社、「LMS-Z210 取扱説明書」