

## 甚之助谷地すべり地における近年の変動量の面的な把握

—LP 地形モデルを用いた PIV 解析と現地 GNSS 測量との比較—

国土交通省 北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 岡嶋 康子、藤田 和恵、南 憲長  
株式会社 パスコ ○平林 大輝、小島 光平、大畑 有緒、中西 計友  
野呂 数馬、村井 渉、鈴木 清敬、坂田 剛

### 1. はじめに

手取川水系牛首川上流域には、流域面積 0.7km<sup>2</sup> の荒廃渓流である甚之助谷があり、甚之助谷には、標高 1,400m~2,000m の高標高域に大規模な地すべり地帯が存在している。甚之助谷地すべり地では、排水ボーリング工や排水トンネル工等の地すべり対策事業が実施されているものの、現在も地すべりブロックは滑動している。地すべりの挙動を監視するため、近年は GNSS 測量による定点観測や孔内傾斜計を用いた観測が実施されており、年間平均 10cm 超程度の大きな移動が確認されている。これらの観測結果は点での観測のため、地すべりブロック全体の面的な挙動を把握することは困難である。

一方で、当該地すべり地区では、荒廃地における土砂生産・土砂移動量等の把握を目的とした航空レーザ測量が定期的に実施されており、標高差分による変動量解析が行われている。ただし、地すべりブロックの動きは、垂直成分の動きよりも水平成分の動きが主となるため、標高差分による変動量解析では、その動態を十分に把握することができない。そこで本発表では、画像解析（PIV 解析：Particle Image Velocimetry）を用いて、甚之助谷地すべりの水平移動量の把握を試行し、GNSS 測量での点での観測結果と PIV 解析による面的な観測結果を比較し、甚之助谷地すべりの面的な動きを把握することを試みた。

### 2. 現地 GNSS 測量結果<sup>1)</sup>

#### 2.1 観測概要

現地 GNSS 測量は、まず骨格基準点として国土地理院が設置した電子基準点を与点とする 2 級 GNSS 測量を行い、次に下流側の骨格基準点を基準として、3 級 GNSS 測量により移動点の座標観測を実施している。

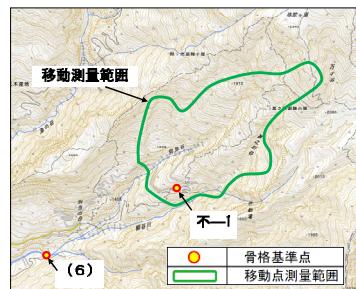


図-1 骨格基準点及び移動点測量範囲

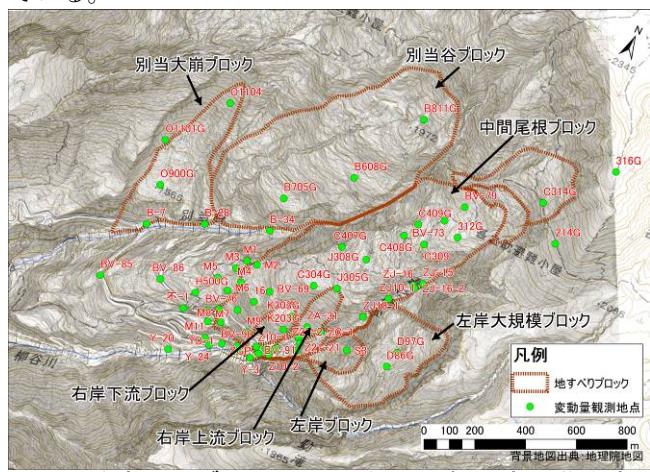


図-2 地すべりブロックと現地 GNSS 観測点（移動点）

#### 2.2 現地 GNSS 測量による水平移動量の結果

平成 15 年から令和元年（16 年間）の水平移動量の結果を表-1 に示す。また、平成 28 年～令和元年に着目した移動ベクトルを図-3 に示す。中間尾根ブロックと、中間尾根ブロック末端付近にて大きな変動が観測されている。各観測点での移動ベクトルの方向は、観測年によらず概ね一定方向のベクトルとなっており、毎年ほぼ同じ方向に変位している。また、変動量が大きい年と、小さい年があることが確認できる。

表-1 現地 GNSS 測量による水平移動量結果

| ブロック区分           | 年月               | H19.10 H18.10 H17.10 H16.10 H15.10 H14.10 H13.10 H12.10 H11.10 H22.10 H23.10 H21.1C H25.9 H23.10 H22.10 H21.10 H20.10 H29.10 H28.9 H27.9 H26.9 H25.9 H24.9 H23.9 H22.9 H21.9 H20.9 H19.9 H18.9 | H20.9-H21.9 年間合計 | 平均     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |      |      |     |
|------------------|------------------|--|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|-----|
|                  |                  | H16.09   | H17.09           | H18.09 | H19.09 | H20.09 | H21.09 | H22.09 | H23.09 | H24.09 | H25.09 | H26.09 | H27.09 | H28.09 | H29.09 | R01.09 |      |      |     |
| 中国尾根ブロック         | C314G            | 114  | 128              | 129    | 82     | 23     | 38     | 83     | 78     | 45     | 75     | 58     | 88     | 29     | 104    | 125    | 63   | -62  | 78  |
|                  | C312G            | 201  | 191              | 188    | 119    | 40     | 74     | 137    | 104    | 171    | 158    | 202    | 155    | 261    | 335    | 229    | -106 | 171  |     |
|                  | C309             | 171  | 154              | 175    | 141    | 40     | 77     | 137    | 153    | 121    | 199    | 156    | 197    | 188    | 275    | 325    | 211  | -114 | 170 |
|                  | C304G            | 143  | 168              | 86     | 20     | 79     | 110    | 140    | 108    | 146    | 128    | 172    | 130    | 212    | 312    | 166    | -146 | 141  |     |
|                  | IS               | 178  | 146              | 205    | 110    | 75     | 93     | 137    | 197    | 173    | 174    | 171    | 264    | 189    | 270    | 428    | 209  | -219 | 187 |
| 年間平均 (中間尾根ブロック)  | 166              | 152  | 173              | 107    | 39     | 72     | 120    | 142    | 110    | 153    | 134    | 184    | 184    | 224    | 305    | 175    | -130 | 149  |     |
| 左岸大規模ブロック        | D86G             | 143  | 118              | 86     | 16     | 52     | 84     | 98     | 80     | 104    | 98     | 139    | 76     | 172    | 228    | 132    | -98  | 108  |     |
|                  | D87G             | 127  | 82               | 102    | 12     | 59     | 74     | 89     | 80     | 102    | 103    | 123    | 95     | 159    | 228    | 92     | -136 | 101  |     |
|                  | 平均               | 135  | 100              | 94     | 14     | 55     | 79     | 93     | 80     | 103    | 100    | 131    | 85     | 165    | 228    | 112    | -116 | 104  |     |
| 左岸ブロック           | S3               | 110  | 81               | 118    | 53     | 58     | 64     | 103    | 109    | 118    | 115    | 119    | 130    | 130    | 201    | 284    | 136  | -148 | 119 |
|                  | Z1-Z1            | 82   | 62               | 84     | 49     | 41     | 56     | 91     | 100    | 87     | 122    | 107    | 156    | 76     | 190    | 255    | 115  | -140 | 104 |
|                  | 平均               | 96   | 71               | 101    | 51     | 49     | 55     | 97     | 104    | 102    | 118    | 113    | 143    | 103    | 195    | 289    | 125  | -144 | 112 |
| 年間平均 (左岸大規模・左岸)  | 96               | 103  | 100              | 72     | 31     | 55     | 88     | 98     | 91     | 110    | 106    | 137    | 94     | 180    | 248    | 118    | -130 | 107  |     |
| 右岸上流ブロック         | J80G             | 140  | 131              | 132    | 105    | 13     | 56     | 101    | 115    | 75     | 131    | 108    | 154    | 110    | 195    | 253    | 161  | -92  | 123 |
|                  | ZA-31            | 93   | 71               | 89     | 46     | 44     | 57     | 76     | 99     | 74     | 103    | 102    | 114    | 93     | 174    | 207    | 129  | -78  | 98  |
|                  | 平均               | 116  | 101              | 110    | 75     | 28     | 56     | 88     | 107    | 74     | 117    | 105    | 134    | 101    | 184    | 230    | 145  | -65  | 110 |
| 右岸下流ブロック         | K303G            | 101  | 123              | 61     | 37     | 54     | 92     | 106    | 70     | 134    | 112    | 107    | 146    | 166    | 255    | 132    | -123 | 113  |     |
|                  | K300G            | 134  | 110              | 144    | 70     | 58     | 66     | 93     | 110    | 87     | 132    | 113    | 123    | 130    | 167    | 327    | 123  | -204 | 124 |
|                  | 平均               | 134  | 105              | 133    | 65     | 47     | 60     | 92     | 108    | 78     | 133    | 112    | 115    | 138    | 166    | 291    | 127  | -164 | 119 |
| 年間平均 (右岸上流・右岸下流) | 125              | 103  | 121              | 70     | 37     | 58     | 90     | 107    | 76     | 125    | 108    | 124    | 119    | 175    | 260    | 136    | -125 | 114  |     |
| 中間尾根の下流尾根        | H800G            | 34   | 32               | 18     | 23     | 33     | 21     | 4      | 8      | 3      | 10     | 25     | 23     | 33     | 28     | 10     | 16   | 6    | 20  |
|                  | H803G            | 37   | 39               | 42     | 20     | 34     | 11     | 22     | 30     | 9      | 26     | 16     | 25     | 23     | 25     | 40     | 32   | -8   | 26  |
|                  | 年間平均 (中間尾根・下流尾根) | 35   | 35               | 30     | 21     | 33     | 16     | 13     | 19     | 6      | 18     | 20     | 24     | 28     | 26     | 25     | 24   | -1   | 23  |
| 別当谷ブロック          | B81G             | 143  | 64               | 17     | 11     | 31     | 56     | 14     | 23     | 18     | 36     | 24     | 26     | 38     | 20     | -18    | 37   |      |     |
|                  | B806G            | 108  | 274              | 83     | 34     | 29     | 58     | 105    | 39     | 57     | 39     | 88     | 21     | 60     | 88     | 31     | -57  | 74   |     |
|                  | B705G            | 114  | 94               | 194    | 69     | 34     | 16     | 41     | 65     | 21     | 41     | 24     | 54     | 28     | 40     | 60     | 26   | -34  | 57  |
|                  | O1101G           | 114  | 101              | 203    | 72     | 28     | 18     | 43     | 75     | 24     | 40     | 27     | 59     | 24     | 42     | 62     | 25   | -37  | 59  |
|                  | O1104            | 16   | 8                | 21     | 5      | 14     | 13     | 26     | 8      | 10     | 8      | 37     | 14     | 21     | 21     | 6      | -15  | 14   |     |
|                  | 年間平均 (別当大崩)      | 23   | 27               | 18     | 14     | 19     | 20     | 13     | 7      | 7      | 10     | 4      | 20     | 16     | 17     | 11     | 8    | 3    | 14  |

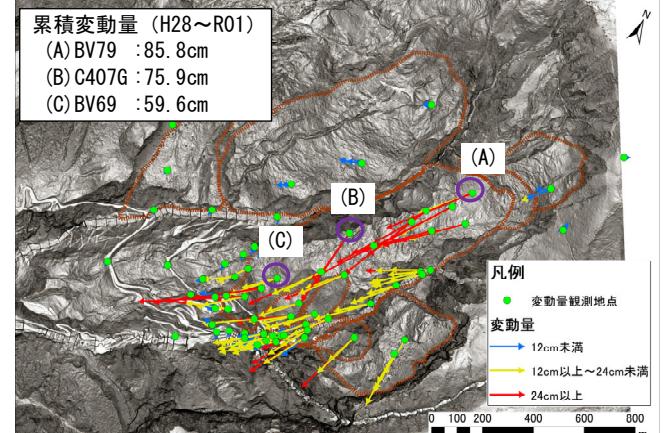


図-3 現地 GNSS 測量による移動ベクトル (H28～H29, H29～H30, H30～R01 の各移動ベクトルを重ねて表示)

#### 3. 気象条件の整理<sup>2)</sup>

変動状況の要因を確認するため、地すべり地周辺の

雨量等観測所「甚之助」「風嵐」における雨量・水位・最大積雪深データを整理した。「甚之助」観測所は地すべり地の概ね中央にあり、雨量が観測されている。「風嵐」観測所は地すべり地帯の約20km下流にあり、雨量・水位・積雪が観測されている。2015年～2019年の気象データを整理した。

「甚之助」における整理期間内の日雨量の最大値は、平成29年台風5号の321mm(2017年8月8日)、次点は、平成30年西日本豪雨時の230mm(2018年7月5日)である(※冬季は観測がされていない:図-4左)。

「風嵐」における日雨量の最大値は、平成30年西日本豪雨時の194mm(2018年7月5日)である(図-4右)。また、平成27年(2015)、平成29年(2017)、平成30年(2018)における4月～7月の期間では水位が高いまま維持されており、雪融けにより基底流量(地下水位)が増加したことが示唆される。また、平成27年(2015)は積雪深が高い期間が長く、平成30年(2018)は整理期間内の最大積雪深となっている(図-5左)。

GNSS測量による中間尾根ブロックの変動量は、平成29年～平成30年に最大の変動量(中間尾根ブロックにて平均30.5cm)を示している。また、最大積雪深の大きい年の雪融け時に地すべり変動量が大きくなっている傾向がある(図-5右)。

以上のことから、最大積雪深と地すべり変動量には必ずしも相関があるものではないが(令和元年は積雪深が小さいが、変動している)、最大積雪深が大きい年の雪融け時に地すべりが大きく変動している可能性があると考えられる。これは、雪融け時期(4月～6月)の基底流量(地下水位)の増加による可能性を考えられ、甚之助谷地すべりの変動は概ね雪融け時期に発生している可能性が考えられる。

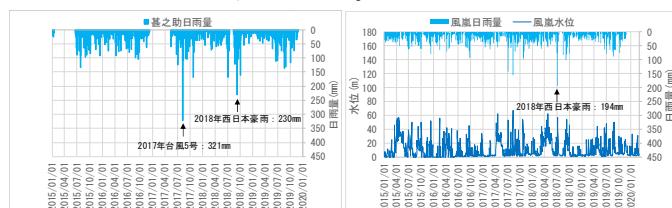


図-4 観測データ「甚之助(雨量)」及び「風嵐(雨量・水位)」

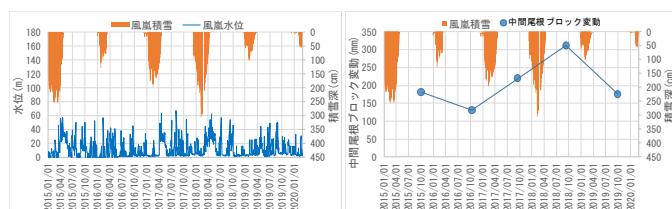


図-5 「風嵐(水位・積雪深)」及び中間尾根ブロック変動

#### 4. PIV解析を用いた甚之助谷地すべりの解析結果<sup>2)</sup>

##### 4.1 PIV解析概要

粒子画像流速測定法(PIV: Particle Image Velocimetry)を用いて地すべり地の変動量の面的な解析を試みた。PIV法とは、ビデオ等の動画(のコマ送り画像)を用いて、流速ベクトルを解析する技術であり、砂防分野では、土石流流速の計測や、地すべりの挙動の把握時に使用された実績がある。具体的には、2時期の航空レーザデータから傾斜区分図(50cmメッシュ)を作成し、その画像上のpixel輝度パターン(例えば5×5pixel)を用いて、前時期の画像における輝度パターンが後時期の画像ではどの位置に移動したかを判別している。

PIV解析対象とした航空レーザ計測成果は、平成28年10月、平成29年9月、平成30年7月、令和元年10月を使用した。PIV解析のソフトウェアは、デジモ社製

MVファイル生成ver7.001、イメージトラッカー(PIV)ver10.002を使用した。

##### 4.2 PIV解析結果と考察

H28～R01(3年間)のPIV結果を示す。中間尾根ブロックの上部およびその上部ブロックが変動している結果となった。変動方向の傾向は地上実測結果とほぼ同じである(図-3と図-6との比較)。一方、中間尾根ブロックの上部および末端部では、PIV変動量が地上GNSS測量結果よりも20～30cm程度過大となっており、中間尾根ブロックの中腹部では、PIV変動量が地上GNSS測量結果よりも10～20cm程度過小となっている結果となった。

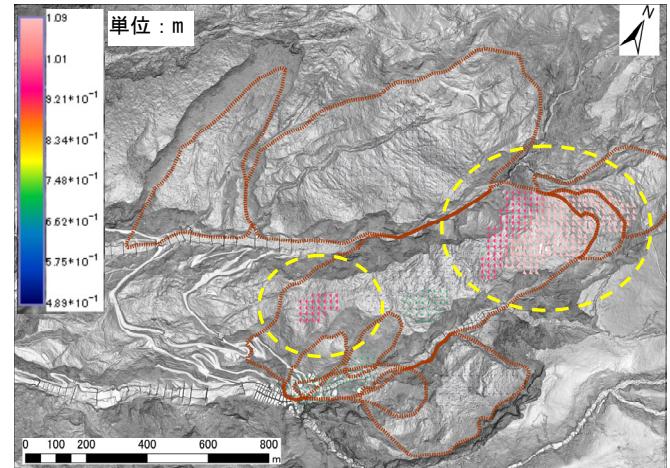


図-6 PIV解析による移動ベクトル(H28～R01)

また、PIV解析対象の時期をH29～R01(約2年間:図-7左)およびH30～R01(約1年間:図-7右)に限定して解析を実施した。前者では全体的な下方への変動、後者では特に現地GNSS測量観測点の少ない中間尾根ブロック最上部で変動が大きくなる結果となった。移動量としては1m程度とGNSS測量結果よりも过大となっていた。

以上のことから、PIV解析を用いて地すべり変動量を面的に捉えることは可能である。一方で、航空レーザ計測のメッシュサイズ、PIV解析時のメッシュサイズ、実際の地すべり変動量によって解析結果に乖離が出る可能性はある、これらを考慮して感度分析等を行う必要性があることがわかった。

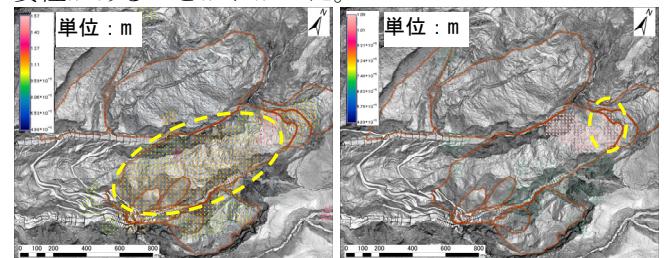


図-7 PIV解析による移動ベクトル結果  
(左:H29～R01、右:H30～R01)

#### 5. おわりに

本手法は、解析対象時期や計算メッシュサイズの感度分析等の課題はあるものの、実測地点間の移動方向・量の補完へ活用可能であると考えられ、特に地上からの調査が困難である地域における地すべり変動状況を面的に確認・監視する手法として活用が期待できると考えられる。

参考文献 1)金沢河川国道事務所、令和元年度甚之助谷地すべり移動測量業務 報告書、令和元年12月 2)金沢河川国道事務所 令和元年度手取川上流域航空レーザ測量業務 報告書、令和2年1月