

## 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。

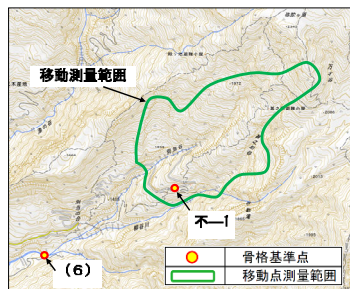


図-1 骨格基準点及び移動点測量範囲

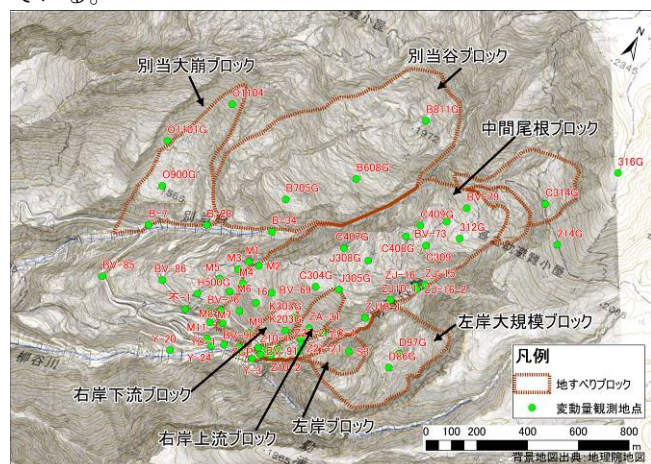


図-2 地すべりブロックと現地 GNSS 観測点（移動点）

## 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

平成15年度～平成30年度 測量結果と平均値																			単位: mm	
ブロック区分	年別	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R01	平均	標準偏差
中間尾根ブロック	C314G	114	128	129	82	23	38	83	78	45	75	58	88	29	104	125	63	-62	78	
	312G	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		
	平均	178	146	205	110	75	93	137	107	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	134	224	305	175	-130	149	
左岸大規模ブロック	D89G	基準値	143	118	86	16	52	84	98	80	104	98	139	76	172	228	132	-96	108	
	D91G	基準値	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	54	103	109	118	115	119	130	130	201	284	136	-148	119	
	Z11-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	J305G	140	131	132	105	13	56	101	115	75	131	108	154	110	195	253	161	-92	123	
	Z4-Z1	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	基準値	101	123	61	37	54	92	106	70	134	112	107	146	166	255	132	-123	113	
	K203G	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	
中間尾根の下流側	H500G	34	32	18	23	33	21	4	8	3	10	25	23	33	28	10	16	6	20	
	H400G	37	39	42	20	34	11	22	30	9	26	16	25	23	25	40	32	-8	26	
	平均	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	B811G	基準値	143	64	17	11	31	56	14	23	18	36	24	26	38	20	-18	37		
	B808G	基準値	108	274	83	34	29	58	105	39	57	39	88	21	60	88	31	-57	74	
	B705G	114	104	194	69	34	16	41	65	21	41	24	54	28	40	80	26	-34	57	
年間平均 (別当谷)		114	101	203	72	28	18	43	75	24	40	27	59	24	42	62	25	-37	59	
別当大崩ブロック	G900G	基準値	36	21	14	25	27	7	6	7	13	4	3	14	18	8	9	1	14	
	O1101G	30	39	14	2	-	-	7	8	4	7	2	再読	21	14	4	9	5	101	
	O1104	16	8	21	5	14	13	26	8	10	10	8	37	14	21	21	6	-15	14	
	年間平均	23	27	18	14	19	20	13	7	7	10	4	20	16	17	11	8	-3	14	

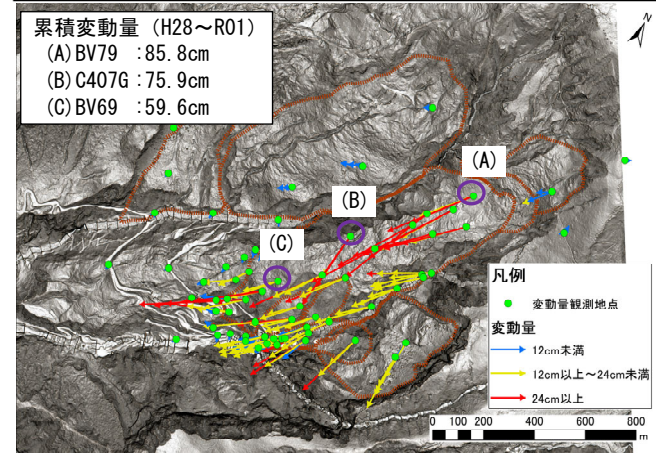


図-3 現地 GNSS 測量による移動ベクトル (H28～H29, H29～H30, H30～R01 の各移動ベクトルを重ねて表示)

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 年にて最大の変動量 (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 (令和元年是積雪深が小さいが、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が考えられ、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。

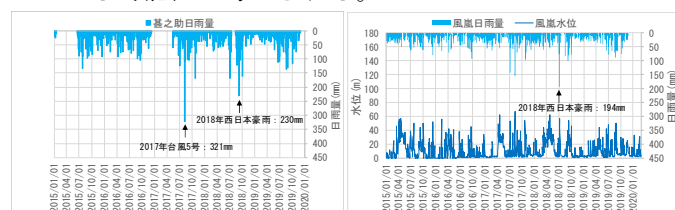


図-4 観測データ「甚之助(雨量)」及び「風嵐(雨量・水位)」

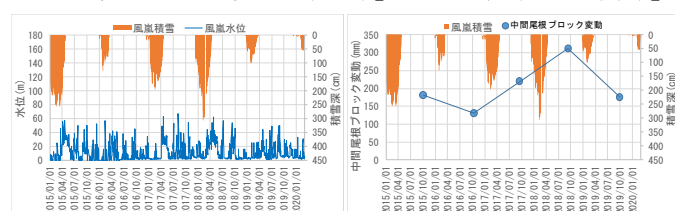


図-5 「風嵐(水位・積雪深)」及び中間尾根ブロック変動

#### 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こ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。

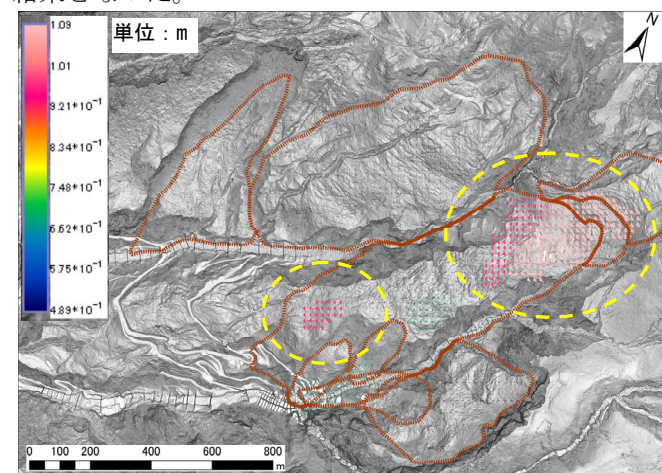


図-6 PIV 解析による移動ベクトル (H28～R01)

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 測量結果よりも過大となっていた。

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り、これらを考慮して感度分析等を行う必要があることがわかった。

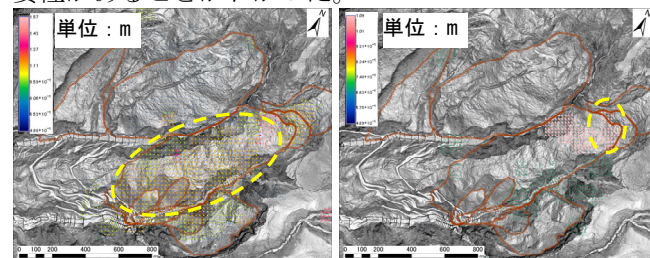


図-7 PIV 解析による移動ベクトル結果 (左：H29～R01、右：H30～R01)

##### 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