

◆ 報 文 ◆

降水指標による地すべり警戒基準に関する調査 (第2報)

鈴木将之* 藤澤和範**

1. はじめに

降雨を契機に発生する斜面災害への対策として、構造物の設置や改良などによるハードの対策と、施設などの利用規制によって危険を回避しようとするソフトの対策があり、鉄道や道路では古くから両者の併用がひろく行われている。

これに対し、現在地すべり対策においては、地盤伸縮計などにより計測された移動量をもとにその危険度を判断し¹⁾、災害発生時の調査に基づき防止施設を設けることが一般的である。

しかしながら、対策が未着手である多くの箇所について計測管理を行うことは不可能であり、なおかつ対策が着手された区域についても完了までにはある程度の時間を要する。このため、土砂災害軽減の観点から、地すべりを含む土砂災害に対するソフトの対策として、警戒避難体制の充実が今後ますます重要になってくる。

現在、災害報告や点検票などに基づき、累積雨量と雨量強度の散布図上で発生・非発生の境界を求めて設定した基準雨量が、がけ崩れや土石流²⁾の警戒雨量、鉄道³⁾、一般道路⁴⁾、高速道路⁵⁾における雨量規制値などとして普及している。

しかし、小橋ら (2003)⁶⁾ は、一般国道の道路斜面において、被災時の情報が散逸していたり、対策工の設置効果が正確に把握できなくなっているなどの、防災点検の記録法などにまつわる問題点を指摘している。

点検票に基づく災害履歴の調査は、広範囲を短時間で調べられるという点で優れているが、崩壊のメカニズムに見合った危険度の評価を行うには、対象斜面を限定して綿密に調査したり⁷⁾、連続した記録により斜面の状態の変化を分析したりする必要がある。

また、降雨と地すべり活動との関係についてみ

ると、ほぼ同じ降雨量に対しても、土塊の移動量や、降雨から移動開始までの遅れ時間が一定でない現象が認められている。このような現象のため、地すべりが発生したという情報と降雨量データのみでは、地すべりの危険度を判断する指標を構築するのは難しい。

そこで本研究では、複数の計器の観測データに基づき降雨と土塊の移動との統計的な関係を調べた。方法として、伸縮計の読みに対し「累積傾向の有無」で地すべり活動を判定するところから、これを「ある日数における変動の件数」と定義して、頻度の分析によった。

前報⁸⁾では、多数の降雨事例と観測事例を対照することを意図して、地すべり観測データとアメダス降雨量データを整理し、降雨と地すべり土塊の移動との関係を調べた。

その結果、変位量そのものと雨量との関係は必ずしも明瞭ではないが、地盤伸縮計および孔内水位計の観測値の変化と降雨の頻度に注目することにより、降雨により地すべりの活動危険度が増大する関係のある程度示しうることがわかった。

本報文では、降雨による地すべり活動危険度の評価を目的に、地盤変位件数、水位上昇件数と、実効雨量ならびに降雨後の最高実効雨量との関係を調べ、降水指標による警戒基準 (地域限定的) 設定手法について検討を加えた結果を述べる。

2. 方法

2.1 検討方法

表-1に示す宮崎、静岡両県の15地すべり地における最近5年程度の地すべり観測データ、およびアメダス降雨量データを整理し、地盤伸縮計変位および孔内水位に対する降雨の影響について検討した。観測期間中には対策工の施工期間も含まれる (表-2)。

以下の雨量基準の計算においては、降水指標として実効雨量を採用した。地盤変位および水位変

動を最もよく説明する実効雨量の半減期は、計器により異なる⁸⁾。しかしながら、異なる半減期による基準雨量が併存すると混乱を来すことは明らかであるから、基準雨量を計算する上では半減期を統一する必要がある。ここでは既往の調査結果⁸⁾を参考に半減期を5日とした。

雨量基準の考え方として、大きくわけて2つの種類について検討を行った。

まず、ある程度大きな地盤日変位量、水位日上昇量、もしくは高い水位を記録する日の実効雨量が何mm以上ということができれば、その実効雨量を基準として考えることができる。この方法を以下A法とし、得られる実効雨量の基準値を、地盤変位しきい実効雨量、水位上昇しきい実効雨量、水位しきい実効雨量とそれぞれ名付ける。

もうひとつは、降雨があったのちに変位や水位上昇が発生することが想定されることから、ある

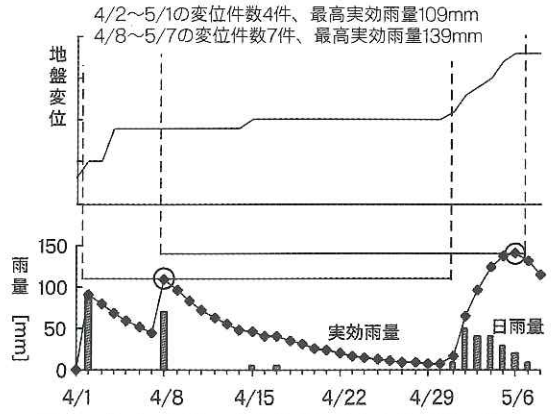


図-1 降雨日以後の変位件数と最高実効雨量の集計 (集計期間30日間の例、データは架空)

表-1 対象地すべりとアメダス観測点

県	地区	所在地	地盤伸縮計	孔内水位計	アメダス観測点	
			(基)	(基)		
宮崎	A	東臼杵郡	20	12	高千穂・中小屋・北方	
	B	東臼杵郡	10	6		
	C	宮崎郡	40	9	都城・鱒塚山・宮崎	
	D	南那珂郡	11	13		
	E	南那珂郡	8	13		
	F	南那珂郡	13	15		
静岡	G	掛川市	0	2	三倉・掛川・牧の原	
	H	掛川市	3	8		
	I	掛川市	11	8		
	J	小笠郡	9	11		
	K	磐田郡	0	5	佐久間・南信濃・越水平	
	L	磐田郡	2	6		
	M	磐田郡	1	16		
	N	磐田郡	1	11		
	O	静岡市	38	45		本川根・井川・梅ヶ島

表-2 収集データ期間内の各地区の対策工

地区	対策工内容
A	H11年12月 - H12年4月杭、H12年4月 - 9月集水井
B	H15年7月横ボーリング
C	H12年8月 - H13年3月集水井
D	H12年5月 - 10月集水井、H12年6月 - 11月鋼管杭
E	H14年5月 - 11月集水井
F	H15年集水井掘削中
G	H10年3月集水井完成
H	H15年3月 - 5月集水井完成
I	
J	H12年3月抑制工・抑止工完成
K	H10年3月、H14年2月、H15年3月、9月横ボーリング
L	H13年1月、11月、H15年3月集水井完成
M	H11年5月、H13年6月集水井完成
N	H11年6月アンカー完成、H11年3月、6月集水井完成
O	H1年H5年排水トンネル・集水井、H10年H15年集水井

程度の降雨後、期間を設けて地すべり地ごとに変位や水位上昇の件数を集計し、それがあつた件数を上回る場合の、期間中の最高実効雨量が何mm以上であるかを調べる方法である。図-1の例では、70mm以上の降雨後30日間において変位件数が5件を上回る最高実効雨量は139mmとなる。同様の集計を観測期間全体について行う。この方法を以下B法とし、得られる実効雨量の基準値を、地盤変位件数しきい実効雨量、水位上昇件数しきい実効雨量とそれぞれ名付ける。

対策前、対策後、全期間のそれぞれについて、地盤伸縮計および孔内水位計データと降雨の抽出条件、集計期間を表-4～表-8に掲げる各ケースに設定して計算を行い、計算の可否と得られた基準値の妥当性を検討した。対策前、対策後の期間は、県提供の資料や水位データに基づき設定した。対策前または対策後の期間がない地区もある。

2.2 計算手順

地盤変位しきい実効雨量の計算では、地盤日変位量が抽出条件以上である日 (以下「変位あり」) と、抽出条件以下である日 (同「変位なし」) の度数を、それぞれ、実効雨量1mmから300mmまで1mmごとに集計した (表-3参照)。ある実効雨量における変位ありの理論度数を次の式で算出した。

$$\text{理論度数} = (\text{ある実効雨量の日数}) / (\text{全観測日数}) \times (\text{全変位件数})$$

例えば表-3の実効雨量8mmにおける変位ありの理論度数は、

$$(8 + 2) / (1268 + 83) \times 83 = 0.614$$

表-3 1～300mmまでの実効雨量における0地区S-11地盤伸縮計(対策前期間)2mm/日変位度数分布表

実効雨量 [mm]	変位なし 度数	変位あり 度数	変位あり 理論度数	変位ありの 累計相対 度数	変位あり 理論度数の 累計相対度数	相対度数の差 d
1	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3	0	0.184	0.000	0.002	0.002
3	10	0	0.614	0.000	0.010	0.010
4	13	0	0.799	0.000	0.019	0.019
5	12	0	0.737	0.000	0.028	0.028
6	9	0	0.553	0.000	0.035	0.035
7	10	0	0.614	0.000	0.043	0.043
8	8	2	0.614	0.024	0.050	0.026
中 略						
298	0	0	0.000	0.976	0.999	0.023
299	1	0	0.061	0.976	1.000	0.024
300	0	0	0.000	0.976	1.000	0.024
計	1268	83	83			

(300mm以上のものを含む)

と計算される。各実効雨量において変位ありの累積相対度数と変位あり理論度数の累積相対度数の差の絶対値、dを計算し、dの最大値D、およびDを与える実効雨量をまとめた。各抽出条件に対するDを与える実効雨量を地盤変位しきい実効雨量とした。

水位上昇しきい実効雨量、水位しきい実効雨量も地盤変位しきい実効雨量と同様の方法により計算した。計算は各計器ごとに行い、計算結果を地すべり地ごとに単純平均して表-4、表-5に示している。

地盤変位件数しきい実効雨量の計算は、以下のように行った。アメダス降雨データから、表-1の地域内のアメダス観測点のいずれかで抽出条件20mm/日、50mm/日、70mm/日、100mm/日以上の日雨量のあった日(以下「降雨日」)を抽出した。降雨日以後集計期間5日間、10日間、15日間、30日間に地すべり地内で地盤日変位量0.1mm以上を記録した件数を地すべり地ごとに集計した。なお同じ地すべり地でも計器数が時期により変動するため、変位件数は、地盤日変位量0.1mm以上を記録したのべ件数を、集計期間中に観測を行っている計器数で除したものとした。地すべり地から直近のアメダス観測点における実効雨量を計算し、集計期間内の実効雨量最高日と変位件数をまとめた。「しきい件数」を1件、2件、3件、4件、5件とし、集計期間内の変位件数がしきい件数以上の場合と、集計期間内の変位件数がしきい件数未満の場合の度数を、実効雨量最高日の実効雨量1mmから300mmまで1mmごとに集計した。

地盤変位しきい実効雨量の計算と同様の方法により、各しきい件数に対するdの最大値D、Dを与える実効雨量をまとめた。Dを与える実効雨量を地盤変位件数しきい実効雨量とした。

水位上昇件数しきい実効雨量の計算は、孔内水位日上昇量0.1m以上を記録した件数を集計し、地盤変位件数しきい実効雨量と同様の方法により行った。

3. 結果

表-4から表-8に計算結果を示す*。

A法では、地区によってはかなり低いしきい実効雨量が計算される(表-4～6)。

一方、B法では、全体としては100mm台後半より大きなしきい実効雨量が得られた(表-7、8)。計算可能な地区の数は抽出条件により異なるが、20mm/日の降雨後30日間の変化件数と最高実効雨量を集計したケースでは比較的多くの地区について計算可能であった。このため20mm/日の降雨後30日間の集計結果のみを示す。

一例としてE地区の地盤変位件数しきい実効雨量と水位上昇件数しきい実効雨量を単純平均して得られる137mmを、図2にE地区SD-4地盤伸縮計累積変位、実効雨量とともに示す。実効雨量が概ね137mmを超えたとき地盤変位が観測される。

計算されたしきい実効雨量のうち、Dが大きなものの割合は、地すべり地により大きく異なる。すなわちいずれの地すべり地も同じ手順で観測データを処理したが、観測期間の違い、降雨と地すべり活動との関係の違いにより、有意なしきい実効雨量が得られやすい地すべり地とそうでない地すべり地があることを意味している。

4. 考察

4.1 地すべり警戒基準実効雨量の検討

今回の計算結果によると、しきい実効雨量が50mm以下のようなかなり低い値となるものもある。各地区で実効雨量が今回計算したしきい実効雨量の最低値を超えると即避難という考えでは、地区によっては年中避難し続けることになり、不合理で

*表中のn/aは、該当する事例がない、もしくは少ないなどの原因により、しきい実効雨量が計算できないことを示す。

表-4 地盤変位しきい実効雨量計算結果

	期間	対策前			対策後			全期間		
		地盤変位 0.1mm/日	0.5mm/日	1.0mm/日	0.1mm/日	0.5mm/日	1.0mm/日	0.1mm/日	0.5mm/日	1.0mm/日
地盤変位 しきい実効 雨量(半減期 5日[mm])	A地区	165	254	268	53	46	88	67	70	109
	B地区	131	148	181	118	246	268	117	189	218
	C地区	48	153	173	96	201	287	92	197	265
	D地区	25	138	285	65	60	89	53	69	116
	E地区	50	111	123	84	130	32	67	102	146
	F地区	33	40	32	104	190	237	54	107	168
	H地区	22	30	121	54	85	111	34	92	116
	I地区	40	46	81	n/a	n/a	n/a	40	46	81
	J地区	50	130	202	n/a	n/a	n/a	50	130	202
	L地区	54	41	n/a	105	n/a	n/a	54	30	n/a
	M地区	111	n/a	n/a	62	60	60	62	60	60
	N地区	90	n/a	n/a	99	n/a	n/a	99	n/a	n/a
	O地区	49	50	56	56	64	59	58	57	59
	全体 (計器数)	58 (86基)	93 (69基)	130 (52基)	78 (143基)	108 (118基)	117 (71基)	69 (163基)	97 (126基)	124 (96基)

表-5 水位上昇しきい実効雨量計算結果

	期間	対策前			対策後			全期間		
		水位上昇 0.1mm/日	0.5mm/日	1.0mm/日	0.1mm/日	0.5mm/日	1.0mm/日	0.1mm/日	0.5mm/日	1.0mm/日
水位上昇 しきい実効 雨量(半減期 5日[mm])	A地区	74	93	118	96	116	147	68	87	110
	B地区	53	69	136	53	83	136	106	130	175
	C地区	64	86	109	64	95	125	86	120	135
	D地区	64	88	n/a	11	n/a	n/a	79	100	n/a
	E地区	60	77	116	57	85	115	51	70	104
	F地区	75	130	180	65	57	72	181	220	222
	G地区	71	91	n/a	n/a	n/a	n/a	71	91	n/a
	H地区	25	49	85	25	28	48	52	65	87
	I地区	51	71	96	51	71	96	n/a	n/a	n/a
	J地区	54	86	135	20	50	29	76	87	135
	K地区	71	78	98	n/a	n/a	n/a	71	78	98
	L地区	80	75	76	81	80	88	61	76	80
	M地区	99	141	132	114	276	n/a	97	131	132
	N地区	71	98	140	66	124	179	70	115	110
	O地区	65	92	93	55	65	70	71	99	105
	全体 (計器数)	56 (99基)	77 (76基)	96 (67基)	84 (143基)	108 (123基)	122 (108基)	67 (163基)	94 (141基)	112 (127基)

ある。実効雨量が小さいときに地すべりの活動が皆無という意味ではないが、年間の警戒発令頻度を考慮すると、100mm 台後半以上の実効雨量基準で警戒するのが現実的である。

A法で低いしきい実効雨量が計算されるのは、今回扱った観測データの大部分がごくわずかな日変化量である⁸⁾ことと、地すべりの活動が実効雨量に比例していない部分があることに由来する。A法は、警戒基準の観点からはあまりに安全側の値を出しがちと言える。

一方、B法は、全体としては100mm 台後半より大きなしきい実効雨量が得られ、地すべりの観

測データに基づいて降水指標の警戒基準を設定する1手法の基本になりうると考える。

4.2 対策工施工前後の観測データの比較

対策前と対策後の比較は、雨の降り方、観測態勢が共通していることが前提である。実際には、例えばA地区では、対策前に非常に豪雨があり、対策後に小崩壊部に地盤伸縮計を増設している。このような事情があるので、対策後のしきい実効雨量が対策前の値に比して低くても、斜面の耐降雨性が低下したことを意味するものではない。

また、水位しきい実効雨量、水位上昇しきい実効雨量、地盤変位件数しきい実効雨量、水位上昇

表-6 水位しきい実効雨量計算結果

期間 最低水位との差	対策前					対策後					全期間				
	1.0m	2.0m	3.0m	4.0m	5.0m	1.0m	2.0m	3.0m	4.0m	5.0m	1.0m	2.0m	3.0m	4.0m	5.0m
A地区	84	112	79	91	n/a	86	134	102	112	128	86	129	98	109	128
B地区	78	130	143	166	186	122	161	268	285	270	75	131	143	166	186
C地区	60	66	61	76	138	113	112	140	190	236	63	76	104	133	158
D地区	15	22	26	26	36	54	111	88	116	85	67	86	78	92	73
E地区	64	96	119	111	61	51	59	134	114	166	53	69	124	113	141
F地区	33	27	21	89	67	156	154	177	197	183	46	82	121	167	179
水位しきい 実効雨量 (半減期 5日[mm])	G地区	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42	45	45	45	n/a	42	45	45	n/a
H地区	50	45	41	n/a	n/a	58	64	126	65	83	56	50	126	65	68
I地区	48	71	92	118	97	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	48	71	92	118	97
J地区	26	49	31	n/a	n/a	98	93	143	120	186	53	54	66	81	120
K地区	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	45	74	119	89	191	45	74	119	89	191
L地区	48	57	79	71	58	48	48	52	48	46	57	58	75	81	57
M地区	103	203	n/a	n/a	n/a	84	70	86	99	94	85	81	86	99	94
N地区	28	30	103	137	202	102	80	91	138	193	51	66	90	133	171
O地区	36	38	44	59	63	45	51	44	60	58	48	53	44	54	56
全体 (計器数)	43 (97基)	59 (80基)	67 (64基)	81 (55基)	85 (40基)	72 (136基)	80 (119基)	94 (106基)	105 (94基)	109 (78基)	58 (158基)	73 (142基)	85 (126基)	94 (113基)	97 (88基)

表-7 地盤変位件数しきい実効雨量計算結果

期間 地盤変位件数	対策前					対策後					全期間				
	1件	2件	3件	4件	5件	1件	2件	3件	4件	5件	1件	2件	3件	4件	5件
A地区	n/a	n/a	n/a	n/a	90	209	173	173	135	135	209	173	173	135	267
B地区	130	130	156	156	156	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	130	130	156	156	156
C地区	190	190	125	246	246	95	146	92	77	n/a	123	146	155	293	293
地盤変位 件数しきい 実効雨量 (半減期5日 [mm]・20mm/ 日降雨後 30日間)	D地区	119	119	119	59	42	94	208	208	208	293	94	84	84	293
E地区	n/a	n/a	n/a	n/a	133	n/a	n/a	98	98	98	n/a	n/a	146	146	133
F地区	n/a	98	98	98	98	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
G地区	n/a	123	123	123	123	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	116	181	74	74
H地区	244	244	244	244	244	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	244	244	273	273	273
I地区	n/a	265	265	104	104	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	265	265	104	104
J地区	106	115	115	115	143	n/a	82	92	92	92	106	115	115	115	115
K地区	184	184	198	198	198	145	183	183	191	251	145	184	198	198	251
L地区	130	184	184	184	184	183	191	191	198	198	183	191	191	191	191
M地区	n/a	n/a	175	175	175	n/a	n/a	n/a	n/a	97	n/a	n/a	182	182	97
全体 (地区数)	158 (7地区)	165 (10地区)	164 (11地区)	155 (11地区)	149 (13地区)	169 (6地区)	182 (7地区)	94 (8地区)	161 (8地区)	182 (8地区)	169 (9地区)	176 (11地区)	185 (13地区)	173 (13地区)	195 (13地区)

表-8 水位上昇件数しきい実効雨量計算結果

期間 水位上昇件数	対策前					対策後					全期間				
	1件	2件	3件	4件	5件	1件	2件	3件	4件	5件	1件	2件	3件	4件	5件
A地区	192	192	192	192	181	109	118	128	133	267	109	109	133	133	267
B地区	n/a	52	75	108	156	n/a	87	205	n/a	n/a	n/a	87	218	108	108
C地区	n/a	191	191	198	241	84	91	116	241	241	84	91	125	198	241
D地区	73	59	n/a	n/a	n/a	101	233	233	293	293	191	233	233	293	163
水位上昇 件数しきい 実効雨量 (半減期5日 [mm]・20mm/ 日降雨後 30日間)	E地区	43	49	123	123	123	292	292	292	292	292	63	91	114	114
F地区	98	98	91	63	63	288	288	288	288	288	288	174	92	92	288
G地区	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	130	134	134	239	134	130	134	134	239	134
H地区	n/a	123	123	120	120	n/a	120	200	200	200	n/a	123	123	61	62
I地区	61	120	131	131	231	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	61	129	131	131	131
J地区	203	134	134	134	134	127	186	127	126	n/a	127	203	203	185	186
K地区	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	147	147	191	191	270	147	147	191	191	270
L地区	151	151	198	220	220	82	82	124	124	108	151	151	143	220	220
M地区	130	182	184	254	254	151	151	156	270	270	151	151	156	270	270
N地区	n/a	143	198	198	254	115	115	121	183	181	115	115	121	198	254
O地区	127	185	275	275	138	97	146	165	165	165	127	185	127	166	283
全体 (地区数)	120 (9地区)	129 (13地区)	160 (12地区)	168 (12地区)	168 (12地区)	151 (12地区)	156 (14地区)	177 (14地区)	211 (13地区)	226 (12地区)	152 (13地区)	140 (15地区)	148 (15地区)	173 (15地区)	199 (15地区)

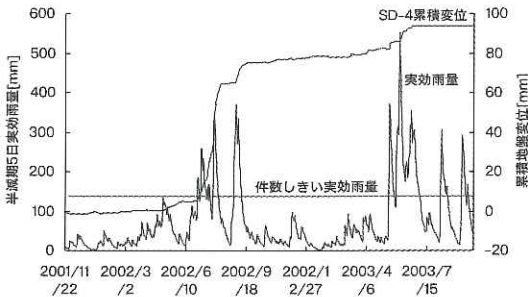


図-2 E地区SD-4地盤伸縮計(01/11/23-03/9/30)の累積地盤変位と件数しきい実効雨量

件数しきい実効雨量とも対策前に比して対策後のほうが高い値となっている。対策前から長期間一定の観測態勢を継続すれば、観測データは、対策の実施により斜面の耐降雨性が向上したことを数値として示す可能性がある。

4.3 観測数量の検討

表-4~8の全体的な傾向から、複数の区域における観測データを分析することで、地域における警戒基準を構築しようと考えられる。ただし地質や地すべりの機構などによって基準値に違いを設ける、すなわち精度を向上させるには、多数の地区の観測データを収集する必要があるであろう。

また、降雨によって生じた地すべり活動を多数記録していれば、Dは大きな値となるはずであるが、Dと観測日数との間には関係が認められなかった。すなわち地すべり地により降雨と地すべり活動との関係が異なるため、両者の関係を示す上で統計的に十分となる観測日数は一概に言えないらしいことがわかった。

さらに、一度基準雨量を設定した後は地すべり観測をとりやめるというのではなく、機構の解明およびハード対策の進捗によって基準の見直しを図ることが重要である。ソフトとハードの基準の結合⁹⁾ができれば、対策事業の目標はより明確で現実的なものになる。

5. おわりに

ある雨量を境に地すべり活動が活発化するということを証明するのは必ずしも容易ではなく、これまで地すべりに関して実用的な降水指標の警戒基準は存在しなかった。

これに対し、本調査の結果、長期間一定の観測態勢を継続すれば、地すべり活動や対策工の効果

を、降雨量を指標として説明できる可能性があることがわかった。今後、観測の数量と整理の手法が改善されてゆくことが望まれる。

謝 辞

データ収集にあたり、宮崎県砂防課・静岡県砂防総室の関係各位のご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 網木亮介、藤澤和範：地すべりの警戒・避難基準の考え方、土木技術資料, Vol. 41, No.3, pp.12-13, 1999
- 2) 防災情報通信システム研究会編著：防災情報通信システム 土砂災害から生命を守るために、山海堂, 2003
- 3) 島村 誠：降雨による斜面・のり面災害に対する列車運転規制の考え方、基礎工, Vol.29, No.2, pp.17-20, 2001
- 4) 山田敦浩、竹本大昭、小林央直ほか：豪雨時の道路事前通行規制基準雨量の設定に関する研究、砂防学会誌, Vol.57, No.6, pp.28-39, 2005
- 5) 奥園誠之：切土法面の維持管理、日本地すべり学会誌, Vol.41, No.6, pp.569-575, 2005
- 6) 小橋秀俊、恒岡伸幸、加藤俊二ほか：リスク評価手法を用いた道路斜面管理、土木技術資料, Vol.45, No.9, pp.54-59, 2003
- 7) 朝倉一満、大西貞一、堀本達雄：降雨と崩壊の関連調査について、四国地方建設局管内技術研究会論文集, Vol.28, pp.511-518, 1985
- 8) 鈴木将之、石井靖雄、藤澤和範：降水指標による地すべり警戒基準に関する調査(第1報)、土木技術資料, Vol.45, No.9, pp.52-57, 2005
- 9) 岡田勝也：自然災害に対する鉄道防災の研究開発の回顧と展望、鉄道総研報告, Vol.9, No.3, pp.1-6, 1995

鈴木将之*



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ地
すべりチーム研究員、博
士(学術)
Dr. Masayuki SUZUKI

藤澤和範**



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ地
すべりチーム上席研究員
Kazunori FUJISAWA