

◆ 報 文 ◆

降水指標による地すべり警戒基準に関する調査 (第1報)

鈴木将之* 石井靖雄** 藤澤和範***

1. はじめに

土砂災害軽減の観点から、土砂災害に対する警戒避難体制の充実が今後ますます重要になってくる。気象情報を活用し土砂災害を軽減しようとするならば、降雨と災害の発生危険度との関係のできる限りわかりやすく整理する必要がある。例えば、雨量に基づくがけ崩れや土石流の警戒基準として、累積雨量と雨量強度をプロットし、発生・非発生の境界を求めて基準雨量を設定する方法が普及している¹⁾。

一方、降雨と地すべり活動との関係についてみると、降雨量と個々の計器の移動量データとの対応は必ずしも明瞭ではない。降雨と地すべり活動の危険度との関係を統計的に見いだす手法が定式化されていないため、現在、地すべりにおいては、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する²⁾ことが一般的である。

これに対し筆者らは、より早期の警戒避難体制に向け、①予測降雨を活用しうる、②日本全国同じ精度で入手可能、などの利点を有する降雨データを用いた警戒基準の設定について研究している。

予察的な検討により、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、危険度を判断する指標を構築するのは難しい。

一般に地すべりは間隙水圧等の外力が一定値以上になると移動を開始し、減少すると移動を停止する運動形態を持つものが多い²⁾といわれる。しかし地すべり全体のうちの程度がそのような運動形態として説明可能であるかは明らかではない。また、その値を超過したときに「必ず」地すべりが発生するような一定値の存在を疑問視する観測結果³⁾も報告されている。

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ることにした。たとえば気象条件、地形や地質で限定した地域内の地すべりを対象に、観測データを一括して処理することにより、降雨による危険

度の増大を定量的に表現し、初期段階の降雨警戒基準を求めることを目指している。

観測データに依拠して地すべり降雨警戒基準を検討する際、課題となるのは、エラーデータの処理、欠測への対応も含めた、統一的な処理手順づくりである。

野外で自動観測を行っているため、地すべり観測データはさまざまな要因のエラーデータを含むことが認識されている。これに対し、多種多数の観測が行われている貯水池周辺斜面に対しては、観測値の重回帰分析により管理基準を設定する手法が提案されている⁴⁾。

しかし長谷川ら(2004)⁴⁾も指摘しているように、原因を特定できなければ、エラーデータだけを一律に除去したり補正したりする方法は本来ない。また地すべり土塊の運動は本来緩慢であると考えるので、変位の累積性を判断する前に小さな日変位量のデータを排除することはできない。

そこで、現実的な方法としては、結論の表現は鮮明ではなくなるが、エラーデータや欠測を少々含んでいても結論に影響しないような分析を行うことになる。本研究では1つの方法として、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、頻度の分析を行うことにした。

この方法は、1個の地すべりに完璧な計測と解析を行ってその結果を他の地すべりに当てはめようとするのではなく、既存の観測データの中で大部分について成立する法則性を見いだして基準につなげようとする考え方に立っている。

地すべり警戒基準の検討にあたり、降雨による地すべり活動危険度の評価が最初の課題と考え、現在研究を行っている。本報文では、その中間報告として、地盤変位および水位上昇と降雨との関係を、それらの頻度と程度に着目して調べた結果を述べる。

2. 方法

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するため、宮崎、静岡両県の14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、および最近10年間のアメダス降雨量デー

タを収集し、整理した(表-1)。観測期間中には対策工の施工期間も含まれる(表-2)。

アメダス降雨量データについて、日雨量20mm以上を観測した事例の件数(以下、降雨件数と称する)を集計した。日雨量20mmとしたのは、後述する地盤変位件数、水位上昇件数の集計にあたって日変動量の上位10%までのデータを用いたことに概ね対応させるためである。日雨量20mmの年間出現頻度は約15%(55日前後)である。

地盤伸縮計および水位観測データについて、日変化量のヒストグラムを作成した(図-1、図-4)。今回収集した観測データは、2地区の一部の計器を除いて概ね日単位であったので、日データのみを対象とした。

表-1 対象地すべりとアメダス観測点

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

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

2.1 地盤変位・孔内水位上昇事例の抽出

地盤変位データ全体では、日変位量0mmが80%程度、伸張、圧縮が約10%ずつを占めている(図-1)。また、孔内水位データ全体では、日変動量±0.05m未満が約65%、日水位低下量0.05m以上が約22%、日水位上昇量0.05m以上が約14%を占める(図-4)。

全体に著しい変動が少なく、時系列グラフでは変動開始点が明らかでないものが多いので、降雨と対比する変動開始点の抽出方法として、日変動量の上位10%までのデータに着目することにした(ここで抽出したデータの頻度を以下それぞれ地盤変位件数、水位上昇件数と称する)。地盤変位については、伸張・圧縮の頻度がほぼ同じであるため、日変位量の絶対値をとり、その上位10%までを抽出した。

なお、同じ地すべり地でも計測している計器数は時期により異なる。このため、地盤変位・水位上昇件数に関する議論では、抽出した件数を観測データ数で除し割合を求めた。図-2、3、5、6の月別地盤変位件数および水位上昇件数の割合は、月間の地盤変位件数および水位上昇件数をそれぞれ月間のデータ数で除したものである。表-3(b)、4(b)では、毎日の地盤変位件数および孔内水位上昇件数を当日の計器数で除したものを集計した。

2.2 降雨域の偏りと遅れ時間への考慮

今回扱ったのは日単位の地盤変位・孔内水位データであること、またがけ崩れや土石流と異なりピンポイント・短時間の予測を目指していないことにより、雨量データとしてアメダス降雨量を用いた。対象地すべりと直近のアメダス観測点間の距離は、最も近いもので0.6km、最も離れたもので13.0kmある。

対象地域は山地を主とするので、10km程度離れた2点では、ある短い時刻をとれば降雨量が大きく異なることも多いものと推定した。また、比較的弱い降雨が数日以上続き、かつ一時的にまとまった降雨がある状況が地すべりの活動を促すことを想定した。このような降雨では、どの降雨が地すべり活動の引き金になったのか必ずしも明瞭ではなく、降雨から地すべり活動までの遅れ時間も定義できない。

これらの事情を考慮し、3.3で降雨件数と地すべり観測データの変化件数との対応を調べるにあたっては、表-1の最右列に示すアメダス観測点における降雨件数を合算集計した。表-1のA・B、C~F、G~J、K~Nの区分は、気象台の予報細分区に概ね対応する地域となるようにした。これらの地域内で各アメダスの降雨件数を合算したものを、30日の時間幅をとって集計した。

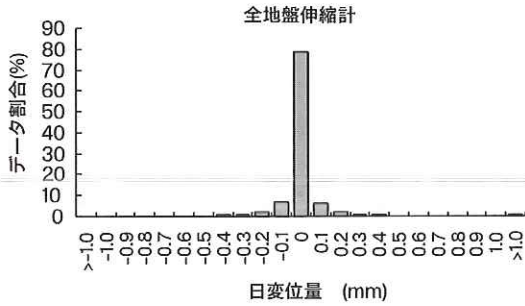


図-1 地盤変位ヒストグラム

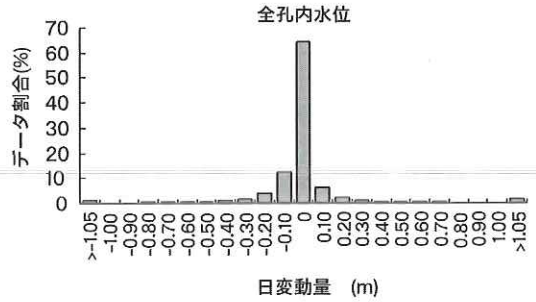


図-4 孔内水位変動ヒストグラム

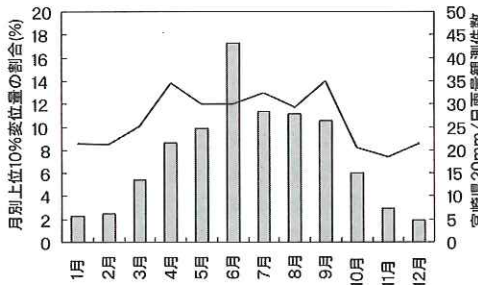


図-2 月別変位件数の割合 (折れ線) と 20mm/日雨量観測件数 (宮城県)

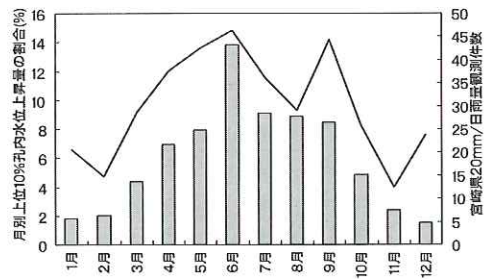


図-5 月別孔内水位上昇件数の割合 (折れ線) と 20mm/日雨量観測件数 (宮城県)

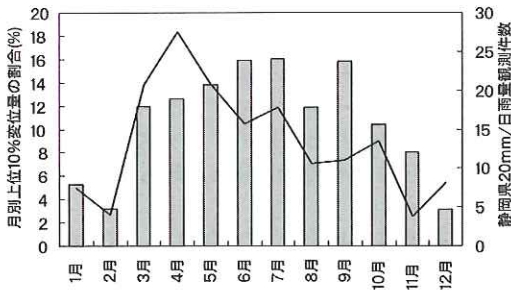


図-3 月別変位件数の割合 (折れ線) と 20mm/日雨量観測件数 (静岡県)

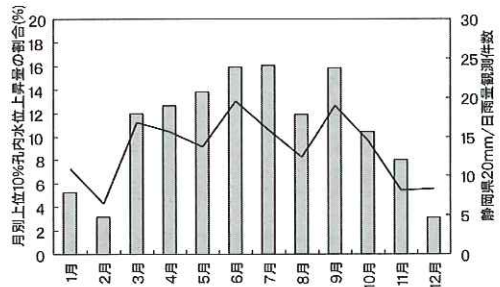


図-6 月別孔内水位上昇件数の割合 (折れ線) と 20mm/日雨量観測件数 (静岡県)

2.3 実効雨量の計算

計測期間が長く、変動が大きい計器を各地すべり地から1基ずつ選び、地すべり地から直近のアメダス観測点の降雨量を用いて、日変動量および孔内水位によく合う実効雨量半減期を調べた(表-3(a), 4(a))。実効雨量は、次式による。

$$RG = R + RG' \times 0.5^{1/T}$$

- ここに RG : 実効雨量
- RG' : 前日の実効雨量
- R : 当日の雨量
- T : 半減期

1日から30日までの半減期について計算し、日変動量および孔内水位との相関係数が最大となるものを最適な半減期として採用した。

3. 結果

3.1 地盤変位量と降雨指標(実効雨量)との関係
対象とした12基の地盤伸縮計のうち9基について、地盤変位量と実効雨量との間に有意な相関が認められた(例: 図-7)。しかしながら相関係数は概して低く、観測期間を通じた地盤変位量を降雨指標から直接予測することはできない(表-3

表-3 (a) 実効雨量と日変位置との相関分析

地区	機器名	最大日 変位量 [mm]	データ数	半減期 (日)	相関係数	t値	実効雨量 との有意性 の有無
A	S-6 (自動)	214.9	569	1	0.641	19.9	○
B	S-4	202.4	409	3	0.174	3.6	○
C	2-A (S-2)	7.8	1,424	30	0.287	11.3	○
D	S-4	11.0	562	1	0.069	1.6	×
E	SD-3	9.7	652	4	0.382	10.5	○
F	S-A4	3.0	331	30	0.028	0.5	×
H	S-1	1.2	215	1	0.724	15.3	○
I	S-9	367.7	349	2	0.336	6.6	○
J	S-4	17.6	135	1	0.685	10.8	○
L	S-3	0.8	608	30	0.066	1.6	×
M	S-1	1.4	830	30	0.083	2.4	○
N	S-1	0.2	873	6	0.279	8.6	○

(相関係数のt検定)

表-3 (b) 降雨件数と変位件数との相関分析

地区	データ数	相関係数	t値	降雨件数との 相関有意性 の有無
A	233	0.576	10.7	○
B	87	0.754	10.6	○
C	238	0.030	0.5	×
D	148	0.312	4.0	○
E	103	0.212	2.2	○
F	58	0.288	2.2	○
H	65	0.199	1.6	×
I	181	0.410	6.0	○
J	27	0.056	0.3	×
L	169	0.260	3.5	○
M	187	0.247	3.5	○
N	171	0.485	7.2	○

(相関係数のt検定)

(a)。言い換えれば、土塊の移動速度が実効雨量に比例するとは限らない。地すべり滑動後短時間のデータをプロットするとそのようにみえるものもあるが、今回扱ったデータについては、両者を直接関係づけがたいものが多い。

3.2 孔内水位と降雨指標 (実効雨量) との関係

対象とした14孔の水位計のうち12孔について、孔内水位と実効雨量との間に有意な相関が認められた (表-4 (a)、例: 図-9)。全般に孔内水位は地盤変位より降雨に対する反応がよく、適切な半減期を設定することで、実効雨量から直接予測可能なものも多い。

3.3 地盤変位件数および水位上昇件数と降雨件数との関係

20mm/日以上のアメダス降雨観測後30日間に

表-4 (a) 実効雨量と日変位置との相関分析

地区	機器名	データ数	半減期 (日)	相関係数	t値	実効雨量との 相関有意性 の有無
A	B11-3	1,191	3	0.741	38.1	○
B	B-2	582	1	0.383	10.0	○
C	B-3	1,292	1	0.114	4.1	○
D	BVA-1	329	6	0.662	16.0	○
E	BVB-1	562	5	0.354	9.0	○
F	BV-B2	297	1	0.171	3.0	○
G	BV-7-1	170	1	0.032	0.4	×
H	BV-3	426	2	0.090	1.9	×
I	VB-6	984	2	0.638	26.0	○
J	BV-10	377	2	0.158	3.1	○
K	A-3	369	5	0.732	20.6	○
L	C-1	765	11	0.365	10.8	○
M	BV-4'	701	6	0.756	30.5	○
N	BV-2	843	5	0.120	3.5	○

(相関係数のt検定)

表-4 (b) 降雨件数と水位上昇件数との相関分析

地区	データ数	相関係数	t値	降雨件数との 相関有意性 の有無
A	255	0.382	6.6	○
B	88	0.840	14.3	○
C	216	0.653	12.6	○
D	136	0.507	6.8	○
E	97	0.703	9.6	○
F	49	0.570	4.8	○
G	45	0.256	1.7	×
H	62	0.507	4.6	○
I	187	0.665	12.1	○
J	64	0.390	3.3	○
K	153	0.693	11.8	○
L	169	0.539	8.3	○
M	194	0.636	11.4	○
N	160	0.788	16.1	○

(相関係数のt検定)

おける、20mm/日以上降雨件数と地盤変位件数ならびに水位上昇件数との関係を調べた。月別にみると、地盤変位事例および水位上昇事例が含まれる割合は、両県とも3月から10月にかけて高く、降雨件数が多い時期に地盤変位や孔内水位上昇が多く発生するといえる (図-2、3、5、6)。

地盤変位件数については12地すべり中9地すべりにおいて (表-3 (b)、例: 図-8)、水位上昇件数については14地すべり中13地すべりで、それぞれ降雨件数と危険率5%で有意な相関が認められた (表-4 (b)、例: 図-10)。

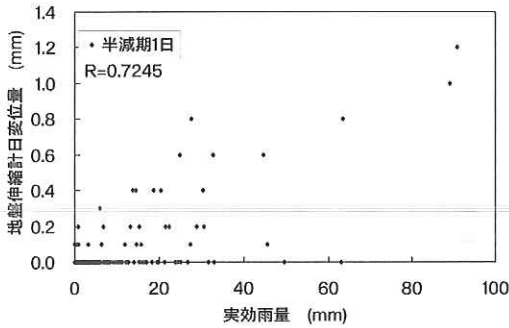


図-7 実効雨量とH地区S-1地盤伸縮計日変位置との関係

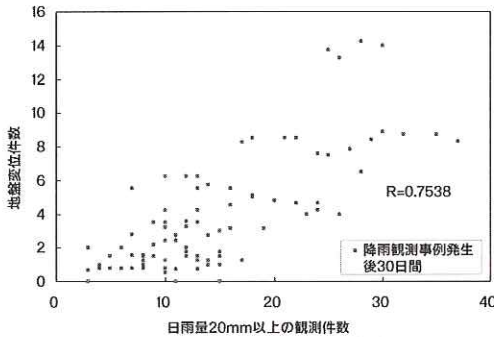


図-8 降雨件数とB地区地盤変位件数との関係

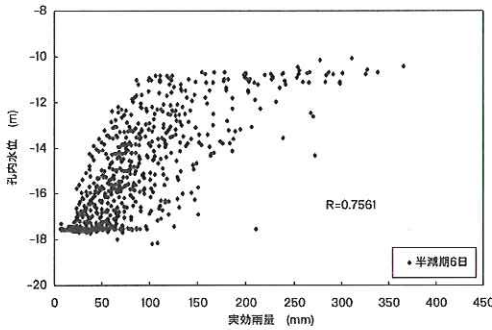


図-9 実効雨量とM地区BV-4'孔内水位との関係

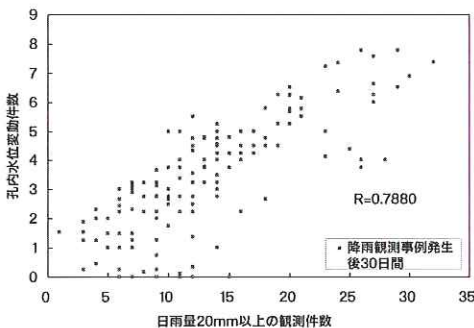


図-10 降雨件数とN地区水位上昇件数との関係

4. 考察

4.1 降雨と地すべり変位との関係

全地すべり地で、実効雨量と日変位置との間か、降雨件数と地盤変位件数との間のどちらかには有意な相関が認められた。総合すると、観測によれば、降雨と地すべり変位との関係は、降雨量と降雨の頻度が、変位置と変位の頻度に影響を及ぼす関係となっている。

そこで、日変位置が比較的小さい場合、降雨量から変位置を直接予測するより、降雨件数と変位件数との関係を求め、変位の累積を十分小さな値に抑えうる雨量水準を探索するのが実用的と考える。

一方、滑落に近い大きな日変位置に対しては、降雨量の明瞭な閾値を個々の計器で見いだす可能性があるが、事例が少ないので、降雨と変位の関係については微量な変位および孔内水位の情報と対照して検討する必要がある。

4.2 対策工の影響

対策工施工前後では当然地盤の降雨に対する反応は大きく変化するので、地すべりと降雨との関係をより明瞭にとらえようとすれば、対策工の効果をいかに評価するかという問題と密接に関連してくる。3.1、3.2で降雨との相関性が低いと判

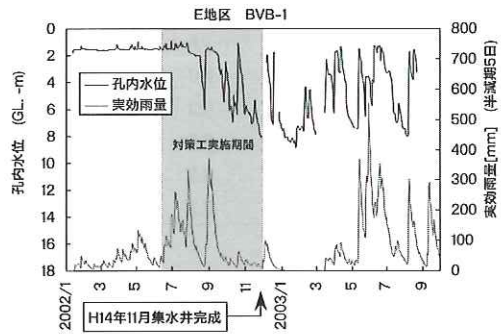


図-11 E地区BVB-1孔内水位計・アメダス罅塚山実効雨量時系列

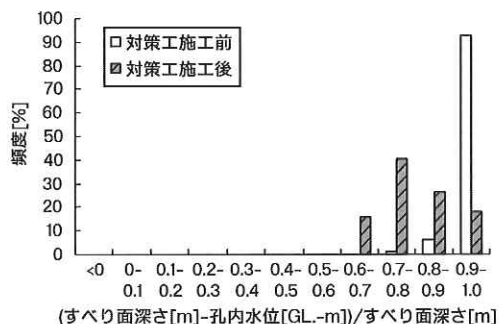


図-12 対策前後のE地区BVB-1孔内水位頻度分布

定された計器の少なくとも一部は、対策工施工前後の変化が影響している可能性がある。

この点については現在調査中であるが、E地区BVB-1孔内水位計の事例について図-11、12に示す。集水井工による対策前は、地表面に近い、高い孔内水位を記録する頻度が高かったのが、対策後は高い孔内水位を記録する頻度が減少し(図-12)、この事例では対策工の実施により恒常的に高い孔内水位を低下させる効果があったと判断できる。

このような場合、対策前の水位からモデル水位を計算し、実測水位との乖離をもって対策工の効果を論じる方法もあるが、一般に短い観測期間内に対策工完成後の期間も含んでいる観測データの変化を、地盤の降雨に対する反応と対策の効果に分類可能な、簡潔かつ合理的な手法は確立されておらず、今後の検討課題である。

4.3 観測計画の必要性

現行の地盤伸縮計等による観測は、地盤の降雨に対する反応について統計処理することを目的として行われていない。このためデータ処理を行うときさまざまな困難に遭遇する。収集した電子ファイル上で例えばS-1とS-1'と記載されているものは別の計器として処理したが、総括表などの紙資料を点検したところ、観測を中断後再開したものについて、同一の計器でありながらファイル上の計器名が異なるものがあった。現場の状況を知らないと、このような場合に適切な処理ができない。観測の目的として、単に多雨期における最高値の取得のみならず、管理も視野に入れるならば、データの統計処理の都合も考慮する必要がある。

エラーデータ、欠測の両問題は、複数の地点で長期間継続観測することを最初から計画していれば、かなりの部分は解消される。降雨基準の作成を観測の目的に加えた場合の望ましい観測数量については、今後検討したい。

5. おわりに

多数の降雨事例と観測事例を対照することを意

図して、本研究では複数の計器の観測データに基づき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パターンに着目することにより、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。

一方、観測データには多くの場合対策工の施工期間が含まれているので、対策工との関連性を明らかにするという観点から現在調査を行っているところである。また、変位量が比較的大きな地すべりを対象としてひきつづき解析手法の検討を行っている。

本研究の目標は精度のよい警戒基準雨量の設定であるが、筆者らは動態観測に基づく地下水排除工の設計手法について別途研究しており、地すべり活動と降雨との関係の研究を対策工設計の合理化に反映させたいと考えている。

今後は、①孔内水位の変動傾向と移動量との関係、②実効雨量と地盤変位件数、水位上昇件数、ならびに降雨パターンとの関係を調べ、降雨による活動危険度を評価し、降雨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い。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 末峯 章：地すべり発生時の地下水の観測事例、第42回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.403-406, 2003
- 4) 長谷川 隆・小野慎吾・松本 敏・細谷健介：宇奈月ダム貯水池周辺斜面における計測管理の問題点と今後の展望(その2)、ダム技術、No.210, pp.63-74, 2004

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

石井靖雄**



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
主任研究員
Yasuo ISHII

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