

◆ 特集：大規模土砂災害対策 ◆

東横山地すべりを例とした地すべり災害における リスクマネジメントに関する一考察

小原嬢子* 藤澤和範**

1. はじめに

地すべり災害によって道路や鉄道などのインフラが被災すると、交通が途絶することにより、広く地域住民や地域経済などに、大きな影響を及ぼすことがある。

そのため、地すべり滑動の初期段階で形成される変状を発見し、地すべりの発生を早期に認識することで、地すべり対策の実施や、住民の避難、道路の通行止めなど、地すべりによる被害を最小限にするための対応が求められる。

ここでは、2006年5月に発生した東横山地すべりの災害を事例に、河合ほか(2006)や志智(2006)を基に、地すべりが滑落する前後の対応を整理し、地すべり災害におけるリスクマネジメントの在り方について述べる。また、東横山地すべりは、地すべりが滑落する際の画像が撮られた貴重な現場であり、この画像を基に地すべりの滑落の様子を解析した結果も紹介する。

2. 東横山地すべりの概要

東横山地すべりは、岐阜県揖斐川町の揖斐川の左岸側に位置し、地すべり地の上流約2kmには国土交通省横山ダム、下流約3.5kmには中部電力久瀬ダムがある(図-1)。地すべりの規模は幅約150m、高さ約135m、地すべり移動土塊量約25万 m^3 である(写真-1)。

地すべりは2006年5月13日に滑落して約5万 m^3 の土砂が河川に流出し、写真-2のように河道幅の約2/3を閉塞するとともに、町道を埋没した。地すべりの滑落後、その移動土塊の大部分は地すべり斜面に残された状態であった。

地すべりが発生した斜面は、揖斐川に面する標高135~270mの平均傾斜約35°の急斜面である。

地質は、中・古生層二畳紀からなる美濃帯で粘板岩を主体としている。地質構造は受け盤を呈し、地すべり頭部および末端部には強風化部が認められる。また、末端部付近の緩み領域には受け盤構造で破碎帯が存在している。

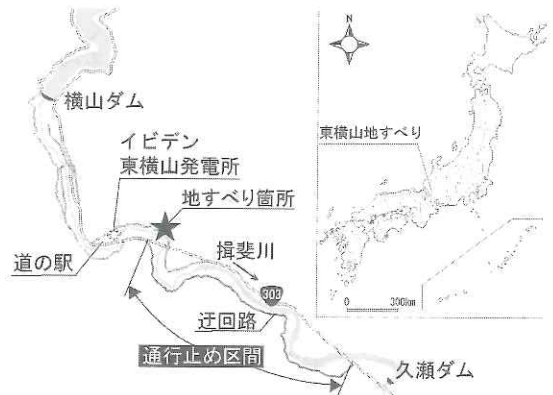


図-1 東横山地すべり位置



写真-1 地すべり地全景 (H18.5.14撮影)



写真-2 地すべり末端部の河道内土砂堆積状況 (H18.5.14撮影)

3. 地すべり滑動時の対応

3.1 地すべり滑落までの経緯

地すべり滑落までの経緯を表-1にまとめた。

4月11日に道路法面で崩壊が発見された後、4月21日に斜面の現地調査により崩壊斜面の約80m上部に滑落崖を確認し、道路法面の崩壊や亀裂が地すべりに伴って発生したものであることが確認された。その後、地すべりの変位量を把握するため、地すべり頭部に地盤伸縮計を設置して観測を始めている。降雨により地すべり滑動が活発化し、5月10日から変位が急激に増加し始め、地盤伸縮計のデータが4mm/2hを超え、24時間体制で地すべりの監視が行われた。また、5月12日には現地の状況や地盤伸縮計のデータ等により、地すべりが滑落する可能性が高まったため、5月12日22:00～5月13日5:00の間、国道303号を一時通行止めとした。この間の5月12日から13日にかけて崩壊が数回発生し、13日7:57に地すべりが滑落した。

3.2 地すべり発生前の対応

4月11日に町道法面の崩壊を確認後、背後の斜面の現地調査を行うことによって地すべりの存在が確認され、地すべりの進行に応じた適切な対応が可能となった。4月21日に斜面で滑落崖が確認された後、4月28日から地盤伸縮計を設置して地すべりの移動量の観測が開始された(図-2)。5月11日時点の観測データを基に、斉藤式による崩落予測を実施し、5月12日20:00以降に崩落することが予測された。

地すべりの移動土塊が完全に滑落することによって、揖斐川の閉塞や、地すべり土塊が対岸の道路

まで到達する可能性が考えられ、揖斐川の上下流にあるダムや道の駅、漁業関係者などに影響が及ぶことが予想された。このことから、これら関係機関への情報伝達が必要不可欠であったため、地すべりが滑落する前の4月28日に現地土木事務所が漁業共同組合、電力会社、発電所、警察、消防、行政機関等を召集した第1回対策会議を行い、情報を的確に伝達するための連絡体制と各機関の対応すべき事項(道路通行止め、入山者立入禁止、河川区域内立禁止、住民への周知など)が確認された。その後も数回にわたり会議を行うとともに、広く地域住民などに向けて、記者発表、行政機関ホームページ上での情報公開などが行われた。また、地盤伸縮計の変位量を基に監視体制(レベル1～3)が設定され、これに応じた対応が取られた。

5月12日22:00～5月13日05:00にかけて、国道303号の約2.9kmの区間を通行止めにした際には、現地土木事務所から警察、消防、ダム建設所、県、町のそれぞれに連絡を行い、道路にはバリケードや案内看板、交通誘導員などを配置して、全面通行止めの情報の周知が徹底された。幸い、近くに小型車が通ることができると迂回路があったことや、通行止め期間が夜間であったため、通行止めによる周辺地域への影響は小さかったものと推測される。

3.3 地すべり発生後の対応

5月13日に発生した地すべりの滑落により、崩土が揖斐川の川幅の約2/3を閉塞したが、地すべりの移動土塊の大部分は斜面に不安定な状況で残っていた。河川に流出した崩落土砂は、斜面に落ち

表-1 地すべり滑落までの経緯

日	経緯	対応
4月11日	道路パトロール中に、法面崩壊を発見(揖斐川町)	町道通行止め
4月17日	町道敷斜面のクラック認識される	現地調査(揖斐川町)、対応協議(岐阜県、揖斐川町)
4月18日	町道敷上部斜面より小規模崩落発生	
4月21日	斜面頭部のクラック確認→地すべりを確認	国・県・町による現地調査
4月28日	小規模崩落発生	伸縮計観測開始、第1回対策会議
5月7日～	降雨に伴い2～4mm/2hの変位継続	警戒体制・非常体制
5月11日		災害対策機器の配置
5月12日	13:45 崩壊発生(推定土量約2,000m ³)	専門家派遣、現地指導
	14:00頃 伸縮計切断(変位計測不能)	22:00 国道303号通行止め
	20:00 崩壊発生(推定土量約1,000m ³)	
	22:38 1回目の大きな崩壊発生(推定土量約10,000m ³)	
5月13日	4:39 崩壊発生(推定土量1,000m ³)	05:00 国道303号規制解除(監視継続)
	7:57 2回目の大きな崩壊発生(推定土量約40,000m ³)	

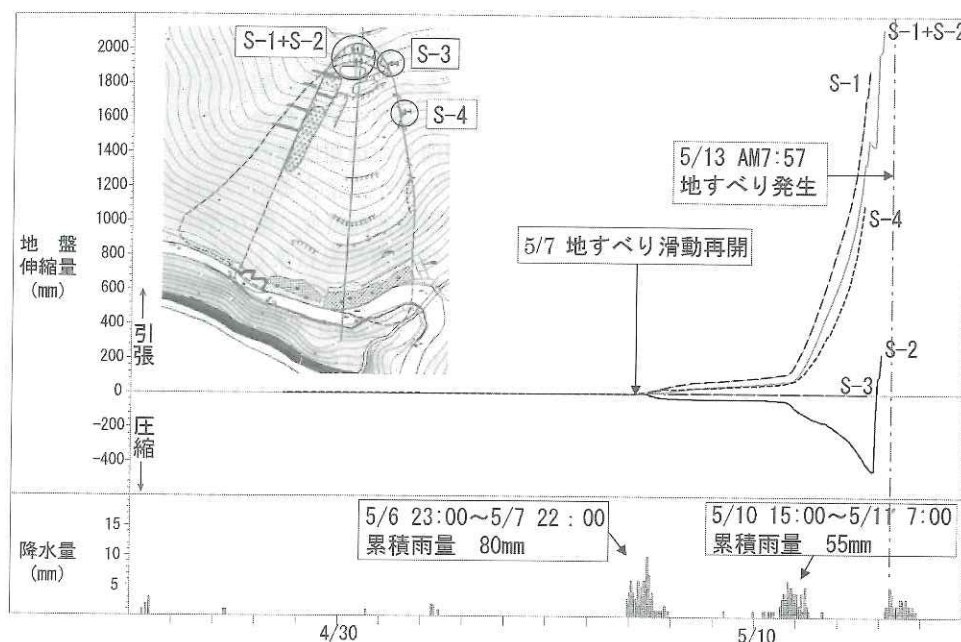


図-2 地盤伸縮計による観測結果（岐阜県より）

残っていた地すべり土塊の支えになっていると考えられた³⁾。河川の侵食によって崩落土砂が流出し、地すべり土塊が不安定化することを防ぐために、地すべり斜面对岸の河道を拡幅するとともに、根固めブロック1000個が崩落土砂の末端に設置された。これらの作業は、本格的な梅雨の時期に河川の増水により侵食が激しくなることを懸念して、24時間体制で行われた。

地すべり土塊に対しては、排水ボーリング工や地すべり頭部の応急排土工が行われた。地すべり斜面は40度程度の急勾配であり、安全性が十分に確認されない中で人が地すべり地内に立ち入り、作業をすることは危険であったため、斜面の不安定土塊の排除には、リモートコントロール操作の可能なバックホウなどを用いて行われた。また、ノンプリズムの光波測量による斜面変動の観測と、監視員を現場に配置して施工中の安全性の確保も同時に行われた。

4. 地すべり滑動の画像解析

地すべりが滑落するまでの過程を把握し、今後の地すべり災害対応に活かすことを目的として、地すべりの監視時に撮影された画像を用いて、地すべりに伴う斜面変動履歴や落石・崩壊等の発生個数、移動速度の解析を行った⁴⁾。

4.1 方法

5月12日12:00～13日10:00の約22時間分の画

像について解析を行った。画像の縮尺は約1/1,000で、目視で挙動を認識できる物体の最小サイズは1m程度であった。画像と地形図から推測される崩壊土量が約1,000m³以上の比較的規模の大きい表層崩壊と、地すべりの滑落を抽出し、スケッチ図を作成した。また、落石や崩壊、倒木などの発生回数を数え、地すべりが滑落するまでに見られる変状をまとめた。

なお、ここでは土砂の崩落に伴って画像上で地形の変化が認められるものを「崩壊」とし、土砂の崩壊があるものの画像上で地形の変化が認められないものを「落石」とする。

また、最も大規模な斜面表層部の崩壊を伴い、5月13日07時57分に滑落した地すべりについて、おおよその移動速度を画像から読み取った。

4.2 解析結果

地すべりが滑落する前後の画像を解析した結果、崩壊土量が1,000m³以上と推測される斜面表層部の崩壊と地すべりの滑落が6回発生していることが分かった。これらを発生順に崩壊①～⑥とし、それぞれについてスケッチを作成した（図-3）。画像から、地すべりが滑落に至るまでの履歴は以下のように推測される。

- i) 4月11日に道路山側の法面斜面で崩壊が確認され、同21日には斜面上部で亀裂が確認されている。その後、5月12日13時38分に斜面上部の亀裂の下流側延長部付近にて、崩

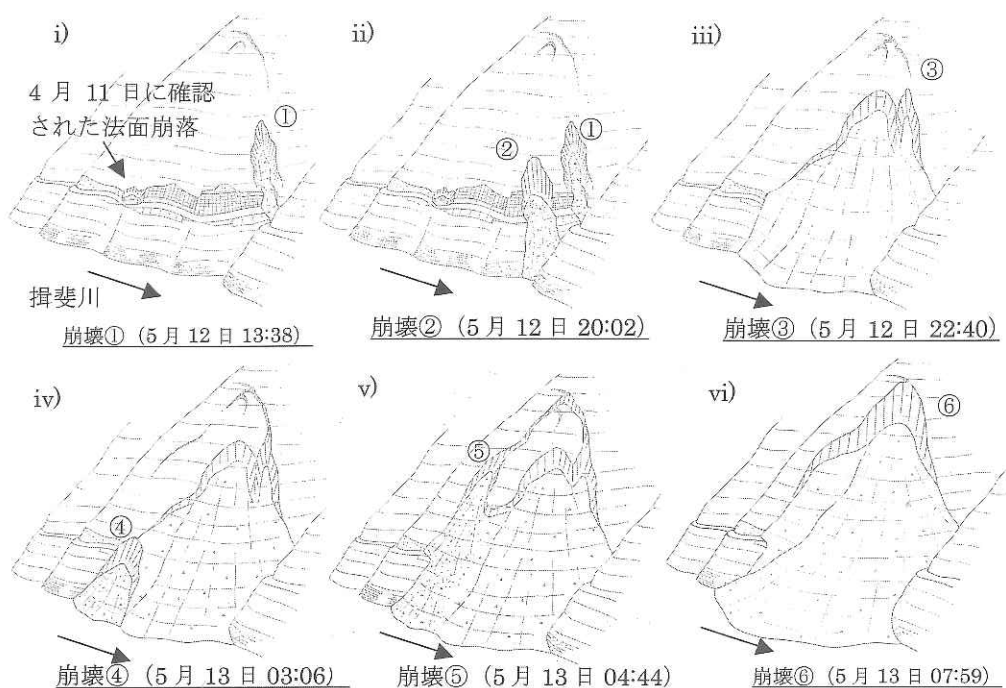


図-3 崩壊発生履歴のスケッチ

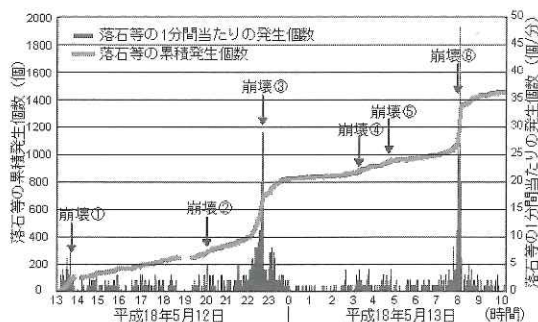
壊規模約 $2,000\text{m}^3$ の崩壊が発生した(図-3 崩壊①)。

- ii) 崩壊①や4月11日の崩壊部から小規模な落石が続き、5月12日20時02分に崩壊①のやや上流側で崩壊規模約 $1,000\text{m}^3$ の崩壊が発生した(図-3 崩壊②)。
 - iii) 同12日22時23分から崩壊①、②周辺で落石・崩壊が頻発するようになり、22時40分に崩壊規模約 $10,000\text{m}^3$ の大規模な崩壊が発生した(図-3 崩壊③)。
 - iv) 崩壊③の後は小康状態が続いたが、同13日03時06分に上流側の斜面末端部付近で崩壊規模約 $1,000\text{m}^3$ の崩壊が発生した(図-3 崩壊④)。
- なお、画像の角度と暗闇により詳細は不明であるが、局所的に樹木が揺れることなどから、この頃から斜面上流側サイドで、地すべりによる頭部亀裂の上流側サイドへの伸展が現れ始めていると推測される。
- v) 同13日04時44分に崩壊④の上方斜面より崩壊規模約 $1,000\text{m}^3$ の崩壊が発生した(図-3 崩壊⑤)。
 - vi) 同13日07時40分頃から、斜面中段～下段で落石・崩壊が発生し始め、時間の経過とともにその発生回数が増加し、07時59分に崩壊規模約 $40,000\text{m}^3$ の大規模な崩壊・滑落

が発生した(図-3 崩壊⑥)。その後、落石や小崩壊は発生したが、地形を大きく改変するような崩壊は発生しておらず、また光波測量結果でも地すべりの変位量が収束していった。

このように、地すべりが滑落するまでの状況として、はじめに地すべり滑動に伴う応力の影響が現れやすいと考えられる地すべり縁部(頭部～側部・末端)で崩壊が発生し、崩壊後もその箇所から落石や小崩壊が頻発していた。

落石・崩壊・倒木の発生個数を数えた結果、6回の崩壊が発生する前に落石等の発生個数が時間の経過とともに頻発していることがわかる(図-4)。また、崩壊③や崩壊⑥のような大規模な崩壊の前



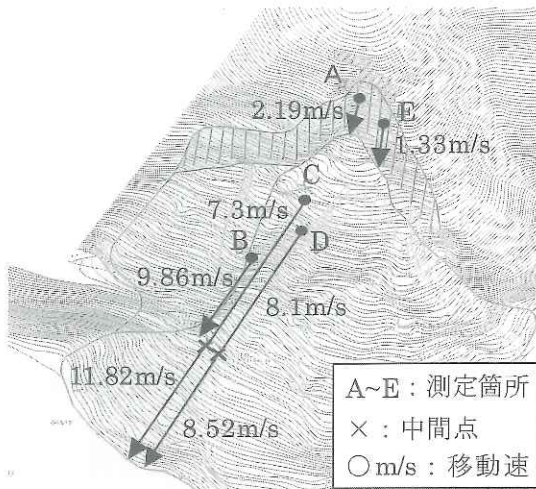


図-5 移動速度測定箇所と移動ベクトル

には他の崩壊直前に比べて落石等が急増していることが分かる。

崩壊⑥について、岩塊や樹木などを目標物として、A～Eの5箇所地すべりや表層崩壊の移動ベクトルを解析した(図-5)。すべり面まで到達する地すべり本体の動きは、秒速1.3～2.2m(図-5、A・E)で、平成16年8月に発生した奈良県大塔村の地すべりが最大速度約3.5m/sであったのに対し⁵⁾、やや遅い動きであった。しかし、斜面表層部で発生した崩壊は秒速8.5～11.8mであった(図-5、B・C・D)。

5. 地すべり災害のリスクマネジメント

地すべりの発生という危機的な事態には、危機の発生から消滅に至までのライフサイクルがある。図-6のように、地すべりの活動が表面化し始める以前の潜伏期、活動が表面化する警戒期を経て発症期に被害が増大し、地すべり滑動が沈静化する沈静期を経て収束すると考えられる。この時、地すべり発生の危険性を早期に認知できれば、応急対策によって被害を最小限にすることができる。

5.1 地すべり危険箇所の把握

地すべり災害を発生させないためには、地すべりの危険箇所をあらかじめ把握しておくことが重要である。特に、山間部に道路やトンネルなどを建設する際は、事前に地すべり調査を行い、地すべりによる被害が想定される場合には、ルートの変更により危機の発生を回避することや、回避できなくても危険箇所を把握しておくことで十分な監視を行い、危機の発生を早期に認知出来る体制を作ることが重要である。

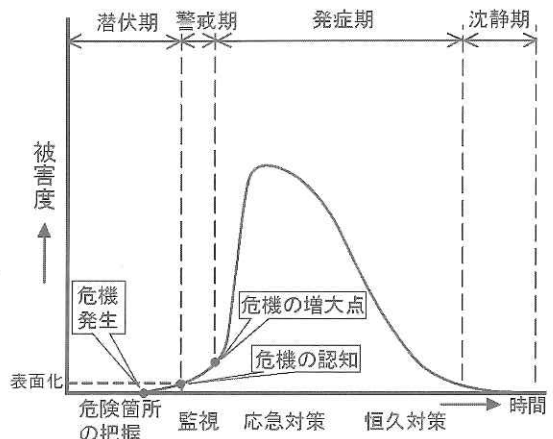


図-6 地すべり災害のライフサイクル⁵⁾を一部修正

5.2 地すべりの認知・監視

地すべり発生により、斜面には亀裂の形成や小崩壊・隆起などの変状が現れる。東横山地すべりでは、道路法面の崩壊や斜面頭部の亀裂などの変状が早期に確認されたことで、斜面頭部の亀裂に地盤伸縮計を設置し、表面上は分かりにくい地すべりの動きを捉えることが出来た。また、崩壊③(図-3)の発生後に落石等の発生は小康状態が続いていたが、崩壊斜面よりも上部に亀裂が確認されていたことや、それ以前に地盤伸縮計で時間当たり100mm以上の変位量が観測されていたことなどから、地すべりが滑落する危険性を認識し、立ち入り禁止などの対応が継続され、適切な対応が可能となった。

そのため、亀裂や崩壊などの変状を発見した場合には、背後斜面を含めた斜面の踏査などにより早期に地すべりの発生を認識することが重要である。また、地盤伸縮計やビデオカメラ等により、移動量の観測や斜面監視を行うとともに、地すべりの移動量に応じて警戒避難や通行規制を行う必要がある。

5.3 情報連絡体制と情報の共有化

東横山地すべりでは、その影響が上下流のダムや河川、道路など多岐に及ぶことが予想されたため、複数の関係機関との間で連絡調整を行う必要があった。この様に、地すべり災害により道路や鉄道、河川などが被災した際には、周辺地域への影響が大きいため、地すべりにより被災した箇所の管理者は、行政機関や警察、消防、その他関係機関への連絡体制と役割分担をあらかじめ整えておくことが重要である。これにより、災害情報を常に共有し、密接な連携のもとで迅速な対応が可能となる。また、管理者は、地すべり災害箇所の

地域住民に対しても記者発表やホームページを通じて、逐次情報を提供する必要がある。

5.4 対策工事における留意点

対策工事を行う際、地すべりの安定性が不明確な場合がある。東横山地すべりでは、斜面に残った移動土塊の再滑動や、地すべりが背後斜面へ拡大する可能性が考えられた。そのため、光波測量や、滑落崖の背後斜面に設置された地盤伸縮計により変位量の観測をおこなうとともに、監視カメラや監視員を配置して斜面の監視を行い、安全性を確認しながら対策工事が行われた。このように、地すべり発生直後に地すべり対策工事を行う場合、地すべりの再滑動や拡大を考慮して、地すべりの変位量の計測や、斜面の監視を行うなど、工事関係者の安全に十分配慮する必要がある。また、調査が十分に出来ない状況で地すべり機構が分からない場合には、地すべりに関する知識・経験が豊富な専門家に助言を求めることも必要である。

6. まとめ

東横山地すべりにおけるリスクマネジメントでは、地すべりの発生により対応を求められた機関相互の連携がうまくできたことが、被害を最小限に抑えることにつながった。地すべりの滑落前に対策会議を行い、地すべり災害であることの認識を共有し、それぞれが持つ緊急時の対応のノウハウを持ち寄って役割分担ができた。また、早期に情報を伝達する仕組みを作ることで、情報の共有と公開ができた。

地すべりの対応においては、地すべりが滑落する危険性や滑落までの時間を予測し、その中で最善の対応をすることが求められる。そのため、様々な地すべりの事例から地すべりの特徴・被害・対応などを学び、地すべり発生という危機的な状況においても、的確な判断・対応ができるようにすることが求められる。

また、東横山地すべりの画像解析では、地すべりの初期段階で、主に地すべりの縁辺部（頭部～側部・末端）で落石や崩壊等が発生し、地すべりが大規模に滑落する前には、落石や崩壊等の発生が増加することが分かった。このようなことから、落石・崩壊等の発生位置・個数の把握は、地すべりの初期段階に、その発生範囲や滑落がどの程度差し迫っているかの有効な判断基準になるものと考えられる。

7. おわりに

地すべり災害におけるリスクマネジメントについては上野（2005）や野村ほか（2006）でも述べられているが、地すべりによる被害を最小限にするために、様々なタイプの地すべり災害を検証し、より実効性のあるリスクマネジメントについて検討して行きたい。

資料収集や画像解析などにあたり、国土交通省中部地方整備局越美山系砂防事務所、岐阜県県土整備部砂防課、岐阜県揖斐土木事務所はじめ関係各位に多大なるご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 河合成司、岡田藤博、吉田宇男、木下慎逸：2006（平成18）年5月13日岐阜県揖斐川町で発生した東横山地すべり、日本地すべり学会誌、Vol.43, No.3, pp.35-38, 2006
- 2) 志智正美：東横山地すべりの初動対応と地すべり発生後の対応、全国地すべりがけ崩れ対策協議会第60回研究発表大会資料集、pp.3-9, 2006
- 3) 藤澤和範、池田 学、樋口佳意：岐阜県揖斐川町東横山地区で発生した地すべり速報、土木技術資料、第48巻、第7号、pp.4-5, 2006
- 4) K.Fujisawa, J.Ohara : Simultaneous monitoring of a collapsing landslide by video cameras, 2nd Alexander von Humboldt International Conference on The Role of Geophysics in Natural Disaster Prevention, pp.30, 2007
- 5) 野村康裕、藤澤和範：地すべりの運動特性を考慮したリスクマネジメントに関する一考察～奈良県大塔村で発生した地すべり道路災害を例として～、日本地すべり学会誌、Vol.42, NO.6, pp.11-18, 2006
- 6) 危機マネジメント研究会：実践危機マネジメント、(株)ぎょうせい、p.581, 2002
- 7) 上野雄一：斜面災害のリスクマネジメント（その1）、地すべり技術、Vol.31, No.3, pp.15-25, 2005

小原 嬢子*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべり
チーム研究員
Joko OHARA

藤澤和範**



独立行政法人土木研究所
つくば中央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