

画像解析による東横山地すべりの発生機構

独立行政法人土木研究所 土砂管理研究グループ
上席研究員 藤澤和範
研究員 小原嬢子

1. はじめに

平成13年に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律(以下、土砂災害防止法)」が制定され、土砂災害警戒区域等の指定等のソフト対策が進められている。しかし、地すべりに関してはその前兆が見られない状態での特別警戒区域の設定が困難となっている。また、地表面に現れる亀裂や表層崩壊などの現象から地すべりの危険性有りとの判断にいたるには、専門家の判断が必要になる場合も多い。

近年、地すべり滑動を画像として捉えたものとして、奈良県大塔村宇井地区で平成16年8月10日に発生した地すべり¹⁾や、岐阜県揖斐川町東横山地区で平成18年5月12日から13日にかけて発生した地すべりがある。地すべりを画像として捉えたものは少なく、この画像を解析することによって、地すべりが発生するまでの過程や運動特性が明らかにされることは、今後の地すべり対策や危機管理のうえで重要であると考えられる。

そこで筆者らは、東横山地すべりが滑動する様子が撮影された画像から、地すべりが滑落する際の現象や、地すべりに伴う斜面変動履歴、地すべりの移動速度を読み取り、その発生機構の考察を行った。

2. 地すべりの概要

東横山地すべりは、岐阜県揖斐郡揖斐川町東横山地区、国土交通省横山ダムの下流約2km、中部電力久瀬ダムの上流約3.5kmの一级河川揖斐川の左岸側に位置している(図-1)。地すべりの規模は、幅約150m、高さ約135mで、崩落土砂の土量は約5万 m^3 である。地すべり末端の土砂は揖斐川の川幅を半分程度まで閉塞させたが、その大部分は地すべり斜面に残された状態となった²⁾(写真-1、2)。

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。地質構造は、頁岩を基盤岩とする受け盤構造で、地すべり頭部および末端部には緩み領域となる強風化頁岩が認められる。また、



図-1. 東横山地すべり位置²⁾

末端部付近の緩み領域には受け盤構造で破砕帯が存在している。



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. 調査方法

地すべりの画像解析には、国土交通省中部地方整備局越美山系砂防事務所所管の監視カメラ画像を用いた。地すべりの画像が撮影された平成 18 年 5 月 12 日 12 時～13 日 10 時の間に発生した比較的規模の大きい崩壊と地すべりの滑落を抽出し、斜面変動履歴を把握するためにスケッチ図を作成した。また、最も大規模な崩壊を伴い、最終的な地すべり地を形成した同月 13 日 07 時 59 分頃の地すべりの滑落について、より詳細な滑落の現象をスケッチ図にまとめるとともに、おおよその滑落の速度を画像から読み取った。

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、土砂の崩落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、地すべりの移動土塊が落ちきらずに斜面に残るような滑動をするものを「滑落」とする。

4. 地すべりの画像解析結果

4-1. 地すべり滑落までの斜面変動履歴

平成 18 年 5 月 12 日 12 時～13 日 10 時の間の地すべり画像から、比較的大規模な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ものを図-2 に示す。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、崩壊規模約 2,000 m³の崩壊が発生した (図-2. 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 m³の崩壊が発生した (図-2. 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

分には崩壊規模約 10,000 m³の大規模な崩壊が発生した (図-2. 崩壊③)。

iv) 崩壊③の後にはしばらく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 m³の崩壊が発生した (図-2. 崩壊④)。なお、画像の角度と暗闇によって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、地すべりによる変状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 m³の崩壊が発生した (図-2. 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 m³の大規模な崩壊・滑落が発生した (図-2. 崩壊⑥)。その後、斜面では落石・小崩壊が発生するものの、地形を大きく改変するような崩壊は発生しておらず、この崩壊⑥によってほぼ現在の地形形状となった。

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辺部 (頭部～側部・末端) で崩壊が発生し、その崩壊部分から落石や小崩壊が頻発していることが分かる。また、大規模な崩壊の前には落石・小崩壊が時間の経過とともに頻発していく様子が、画像から読み取ることが出来る。

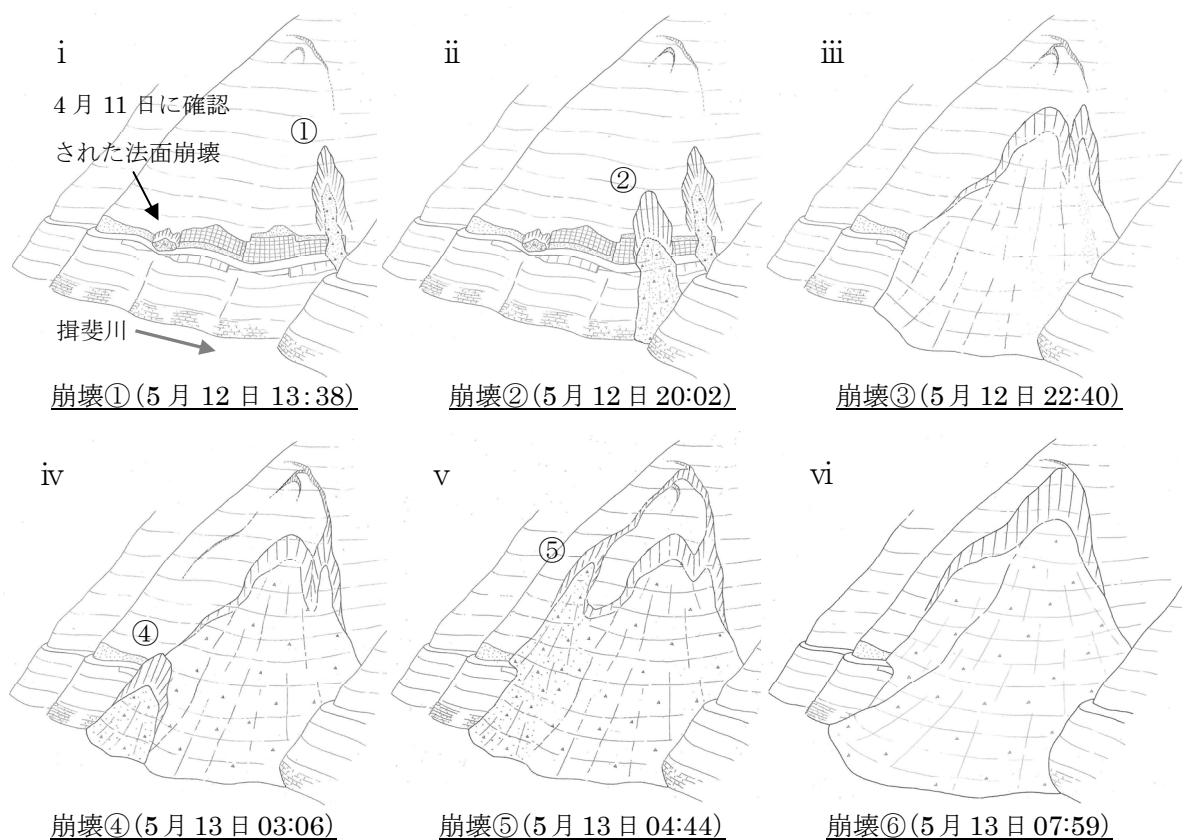


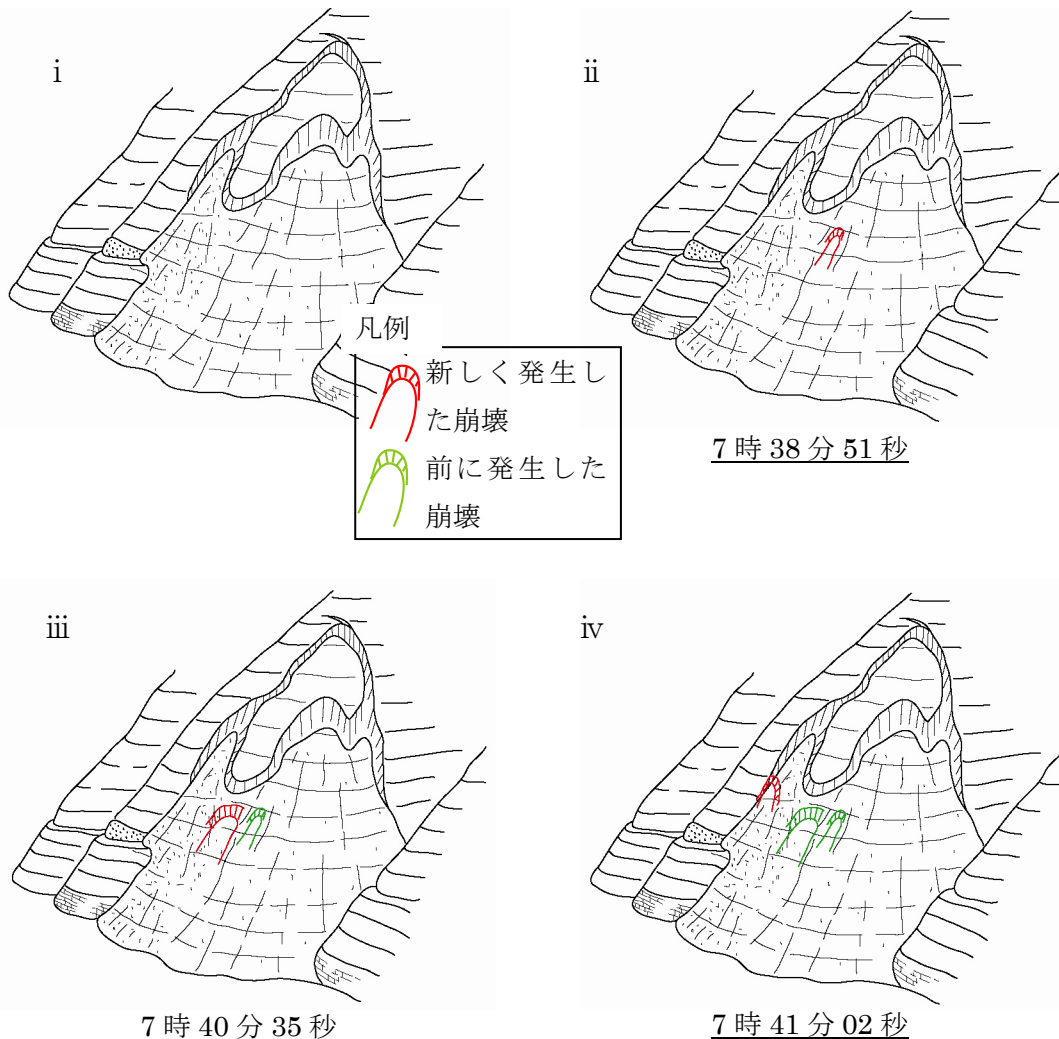
図-2 地すべりの崩落履歴スケッチ

4-2. 5月13日07時59分頃に発生した地すべりに伴う斜面変動履歴

地すべりの変遷の中で、最も大規模に滑落した図-2.の崩壊⑥(5月13日07時59分頃発生)の滑落前の約20分間と、滑落時の約20秒間についてスケッチを行った結果をそれぞれ図-3, 図-4に示す。

1) 滑落前約20分間

図-3に示すように、5月13日07時38分51秒~07時59分50秒を10コマに分けてスケッチ図を作成し、崩壊⑥の発生直前の落石・崩壊の状況を把握した。これによると、道路よりやや高い位置の斜面で小規模な崩壊が発生し、ほぼ同じ高さで、小規模な崩壊が時間の経過とともに左右に転移して発生していることが分かる(図-3. ii~vi)。崩壊⑥の発生直前には斜面上部でも崩壊が発生するようになり、崩壊⑤の時点で滑落崖の下方に落ち残っていた土塊が崩壊し始め、ついには斜面全体が滑落に至ったことが分かる(図-3. vii~x)。



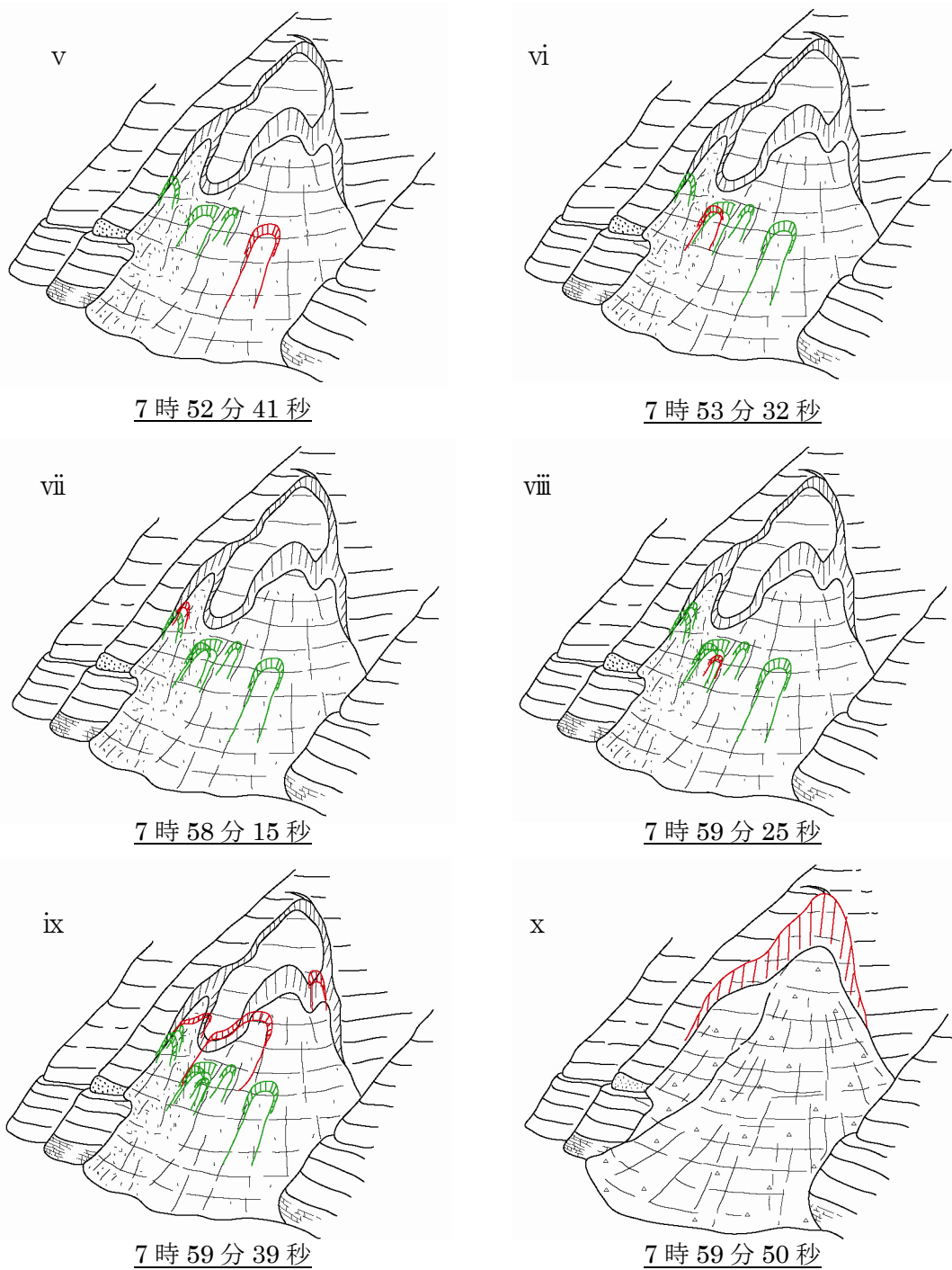


図-3. 崩壊⑥に至る20分間の崩壊履歴

2) 滑落時の20秒間

図-4に示すように、5月13日07時59分35秒～07時59分55秒の20秒間を10コマに分けてスケッチ図を作成した。ここでは、地すべり地のほぼ正面からの画像を用いて地すべり全体の滑落状況を把握した。また、これと下流側から地すべり地を斜め方向から撮影

した画像を用いて、図-4. i に示した測線に沿って断面図を作成し、地すべり滑落に伴う移動土塊の変形状況を検討した。

これによると、地すべり地上流側部で崩壊が進行するとともに、崩壊⑤の時点で滑落崖の下方に落ち残っていた土塊に亀裂が形成され、そこから崩壊が拡大している（図-4. ii ～ iii）。その後、崩壊は地すべり頭部で発生するようになり、地すべり本体の滑動が始まるのに伴って、この時点での地すべり縁辺部（頭部～側部・末端）で崩壊が多発するようになる（図-4. iv）。地すべり本体の動きとして地すべり土塊の頭部が下方へと移動していく様子が確認され、これに伴って地すべり頭部～中腹部にかけて表層部の破壊が進行し、複数の段差を伴った地形の盛り上がり確認されるようになることから、地すべり滑動はトップリング変動を伴うものと推測される（図-4. v ～ vi）。その後、トップリング変動が推定される地すべり頭部～中部の土塊が破碎され、崩積土化しており、この崩壊土砂が斜面下方全体を覆うとともに、末端部の土塊のトップリングが確認される（図-4. vii ～ ix）。これは、地すべり滑動に伴う応力が斜面下方にまで達したために、斜面末端部でトップリングが発生したものと推測される。地すべり表層付近の崩壊土砂とは別に地すべり移動土塊は斜面上部に残存し、トップリングに伴う崩壊土砂が下方へと流れ落ちたために、地すべり移動土塊の下方に崩壊による滑落崖が形成されている（図-4. x）

4-3. 移動速度

図-2. の崩壊⑥について、地すべりの移動速度の読み取りを行った。崩壊⑥の際には、すべり面まで達する地すべり本体の動きと、地すべりの地表付近で発生する崩壊が見られる。地すべりの表層付近で発生する崩壊のために、地すべり全体の動きを把握することは困難であるが、滑落崖付近の地すべり移動体の移動が、地すべり本体の移動速度を表していると仮定して2箇所の移動速度を計測した（図-5. の A, E）。また、地表付近の崩壊土砂の移動速度についても3箇所で計測を行った（図-5. の B, C, D）。

表-1. 各地点の移動距離と移動速度

測定箇所	中間点まで		最終到達点まで	
	距離 (m)	速度 (m/sec)	距離 (m)	速度 (m/sec)
A			15.6	2.19
B			49.7	9.86
C	87.7	7.3	59.1	11.82
D	72.9	8.1	59.6	8.52
E			20.0	1.33

(A, E は地すべりの滑落、B, C, D は崩壊の移動速度を示す)

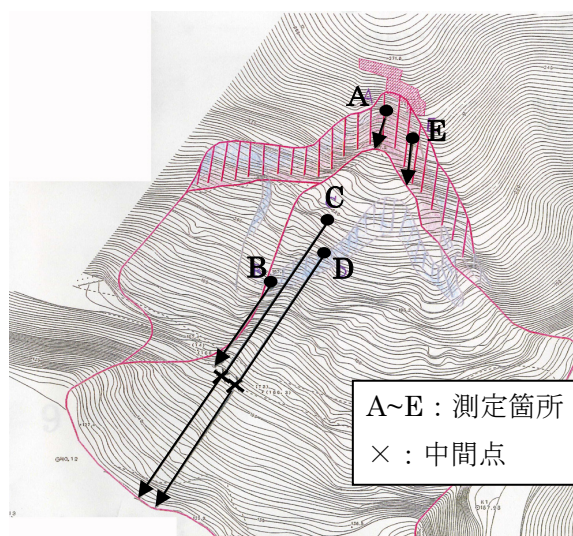


図-5. 移動速度測定箇所と移動ベクトル

移動距離の長い C, D 測定箇所では、道路の高さを中間点として、崩壊開始点から中間点、中間点から最終到達点までの移動速度を計測した（表-1.）。なお、移動速度計測箇所は、Dが岩塊、それ以外は木を目標物としている。

その結果、地すべり本体の動きは秒速 1.3~2.2m程度であるが、地表付近の崩壊土砂は秒速 8.5~11.8m 程度であることが分かった。

5. 考察

地すべりの画像解析結果から、図-2. の崩壊①、②のように、地すべりの前兆となる初期の崩壊は、主に道路山側の法枠工上部で発生していることや、崩壊⑥の滑落直前の崩壊現象も主に法枠工上部で発生していることから、崩壊⑥の直前までは地すべりの末端は道路のやや上部に位置していたと考えられる。しかし、地すべりの下流側では、地すべり頭部~中部で発生したトップリング現象が末端部に波及している様子が確認されたことなどから、崩壊⑥の地すべり滑動に伴う応力が、下方の土塊に伝達されることにより、すべり面が道路の位置よりも下方へと拡大されていったものと推測される。

6. まとめ

今回、東横山地すべりの画像から、地すべりに伴って発生する落石や崩壊などの現象を解析することで、地すべりの発生機構を分析し、以下のようなことが把握できた。

- ・地すべり初期の変状として、主に地すべりの縁辺部（頭部~側部・末端）で落石や崩壊が発生している。
- ・地すべり滑動に伴う応力が下方の土塊に伝達されることにより、すべり面の位置が下方に拡大することがある。
- ・大規模な滑落に際しては、それに先だって落石や崩壊発生頻度の増加を伴う。

以上から、落石・崩壊の発生位置と発生回数を詳細に追跡することにより、地すべりの発生範囲や滑落までの時間的余裕を推測することが可能になるものとする。このような手法は、特に地すべりに伴う崩壊等の現象が進行し、地すべり発生前に、地すべり頭部に形成された亀裂へ伸縮計などの設置が困難な場合などに有効であると思われる。

今回は法面崩壊発生後の踏査により、早期にカメラ等による斜面の監視体制が取られたことで貴重な画像情報を入手でき、地すべりの発生機構を把握することができた。今後、詳細に3次元の立体的な解析を行えるように、複数の角度（例えば地すべり全体を含む3方向（正面・斜め2方向））から同時に画像情報を収集することができれば、地すべり土塊の応力状態などを推測することも可能となり、地すべりの機構解析や危機管理に役立つと考える。

最後に、本研究の実施に当たってご協力いただきました、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、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 野村康裕・藤澤和範(2006)：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－, 地すべり, Vol. 42, No. 6, pp. 11-18.
- 2) 藤澤和範・池田学・樋口佳意(2006)：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, Vol. 48, No. 7, pp. 4-5.

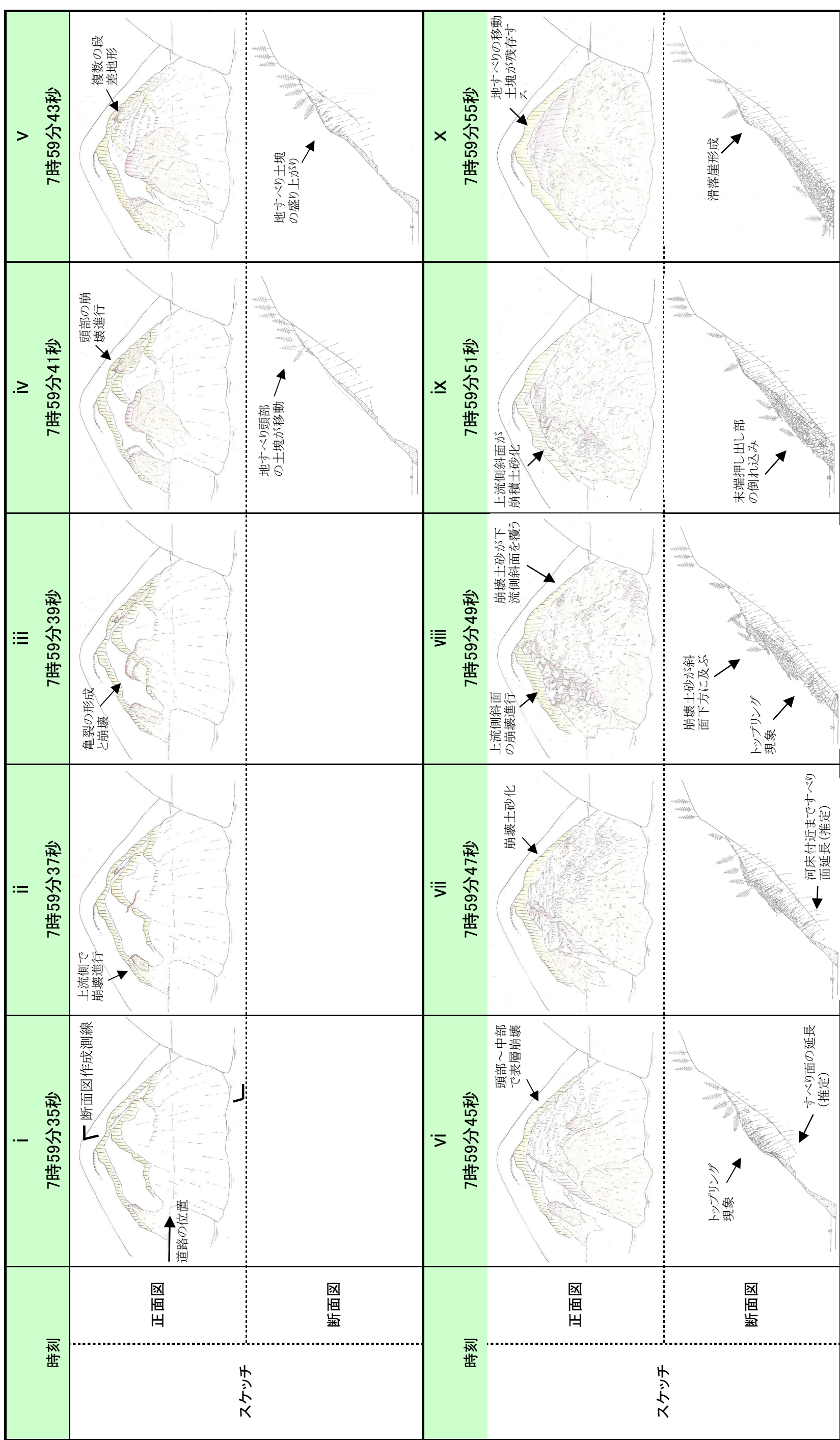


図-4. 崩壊⑥発生時20秒間の斜面変動履歴