

断裂起因の移動土塊形成モデルによる 崩壊場所の予測

PREDICTION OF COLLAPSE SITE USING MOVING MASS FORMATION MODEL CAUSED BY FRACTURE

吉村 辰朗¹・照井 剛²

Tatsuro YOSHIMURA, Takeshi TERUI

¹第一復建株式会社 (〒812-0006 福岡市博多区上牟田 1 丁目 17 番 9 号)

E-mail: tt_yoshimura@dfk.co.jp

²第一復建株式会社 (〒812-0006 福岡市博多区上牟田 1 丁目 17 番 9 号)

E-mail: t_terui@dfk.co.jp

Key Words: prediction, collapse site, conjugated fracture, gamma-ray survey

1. はじめに

近年局地的な集中豪雨の発生増加に伴い、斜面崩壊が多く発生している。これまでの斜面崩壊の「場所の予測」に関しては、崩壊が発生した場所の原因を後付けで見出すことはなされてきたが、隣接する崩壊しなかった場所については説明されることがほとんどなかった。特定の場所を予測できるかは、崩壊発生機構と深い関係のある要因をいかに取り入れるかが最も重要である。崩壊地の移動土塊を形成する滑落崖・側方崖付近には断裂が分布することを見出し、「主断裂・共役断裂の分断に起因する移動土塊形成モデル」(断裂起因の移動土塊形成モデル)を作成した¹⁾。移動土塊を形成する主断裂・共役断裂と地形・地質特性を重ね合わせることによって、崩壊発生機構と場所の予測が可能となると考える。今回は、土砂災害(斜面崩壊)が発生した箇所で「断裂起因の移動土塊形成モデル」を検証した事例と、上段の切土のり面における部分的崩壊から崩壊機構を確認した後、応力開放した下段のり面が降雨によって崩壊する場所を予測した事例を紹介する。

地球上の岩盤には自然由来の微弱な放射線(γ 線)が放出されている。地殻変動に伴う破断・変形・変質を受けた地質体では、その作用によって物質(地盤・岩盤)の磁性が変化し、 γ 線強度異常値が生じると考えられる²⁾。地表 γ 線測定での使用機器はアロカ社製 γ 線用シンチレーションサーベイメータ TCS-172B を使用した。測定は、センサー部を地盤に密着させ 10 秒おきに 5 回読み取り、その平均値を測定値とした。放射線の測定単位は、Sv/h である。 γ 線測定結果図では、断裂部の異常値を塗りつぶした。



図-1 測定機器

2. 断裂(断層, 裂か, 節理)を検出する γ 線

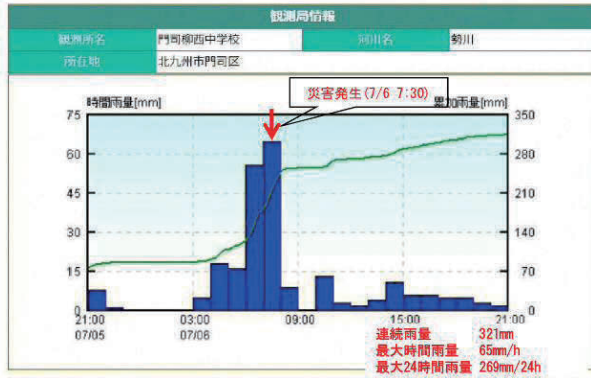
探査

3. 「断裂起因の移動土塊モデル」の検証事例

調査地は北九州市の急傾斜地である。調査地域に分布する地質は、呼野層群大積ユニットと称される

古生層である。崩壊地には、赤色に風化した泥岩が分布する。2018年7月6日7:00の記録的大雨（最大時間雨量65mm/h、図-2）によって、裏山が崩壊した（図-3）。当斜面は、警戒区域には指定されていなかった。

【災害時の気象状況】



出典：平成30年8月国土交通省砂防部保全課

図-2 崩壊時前後の時間雨量（2018年7月）



図-3 2018年7月6日に発生した裏山崩壊

γ線探査測線は、崩壊跡を取り囲むように設定した（図-4）。測線長は60mで、測点間隔は2mとした。γ線測定結果を図-5に示し、結果一覧表を表-1に示した。



A測線(0m~30m)の全景(終点側から起点を写す) A測線(30m~60m)の全景(起点側から終点を写す)

図-4 A測線設定状況

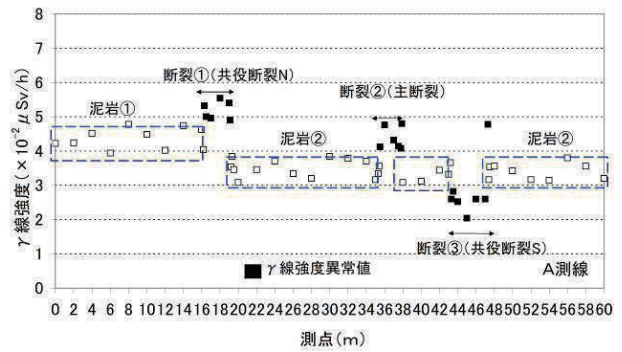


図-5 γ線測定結果（A測線）

表-1 A測線のγ線異常値区間と断層の規模・方向

測線名	断層名	異常値区間	断層幅	方向(走向)
A測線	断層①(共役断層N)	16.3m~19.1m	2.7m	N72° E
	断層②(主断層)	35.5m~37.9m	2.3m	N12° E
	断層③(共役断層S)	43.3m~47.3m	2.2m	N88° E

γ線探査で検出した断層は、崩壊地内で断層露頭として確認された（図-6）。

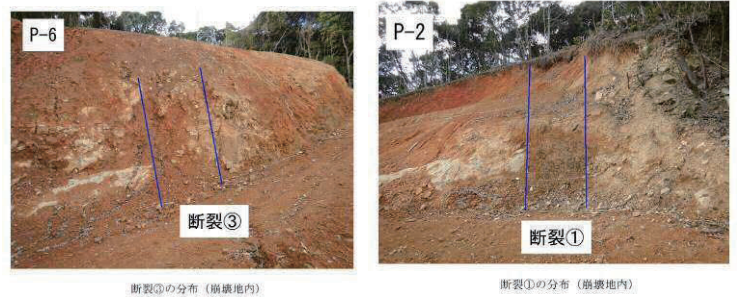


図-6 崩壊地内で確認された共役断層の露頭

図-7に示すように、主断層（断層②）と共役断層（断層①、③）に囲まれた区域が移動土塊として崩壊したこと（断層起因の移動土塊モデル）が明らかになった。

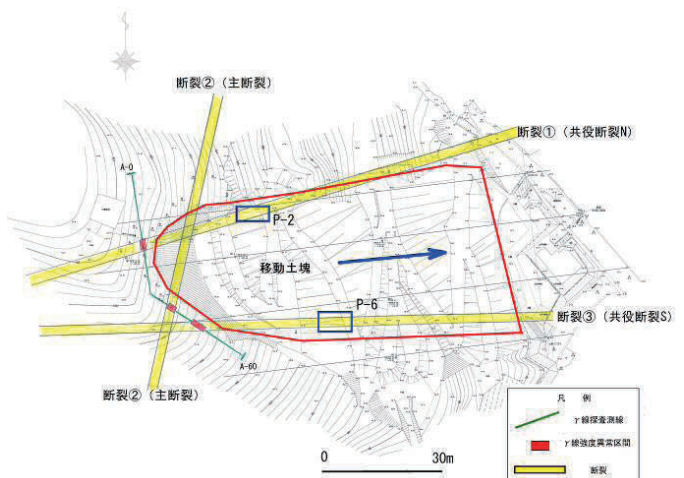


図-7 断層に囲まれた区域が移動土塊として崩壊した

4. 地質構造に規制される部分的のり面崩壊

(1) 切土のり面の部分的変状（せり出し）

調査地は、標高約 300m 前後の山々に囲まれた盆地状の地形をなしており、その山間を縫うように塩田川が北東方向へ流下している。山地と低地との標高 100m 前後の丘陵地は茶畑として利用されている。調査地はその丘陵地に位置し、東側には国道 34 号線が走っている。調査地域に分布する堆積岩は、古第三紀杵島層群早岐層と称される。切土のり面付近に分布する地質は、砂岩・泥岩・シルト岩および凝灰岩から構成される。切土のり面に変状が見られた箇所にはシルト岩が分布し、地層の走向は N60° E、北へ 13° ~ 16° 傾斜している。開口亀裂が認められた南側のり面は、流れ盤となっている。

2019 年 3 月に、切土掘削後ののり面において開口亀裂①が認められた（図-8）。この亀裂はほぼ計画路線と並行に走り、のり面に垂直方向の縦亀裂で分断されていた。

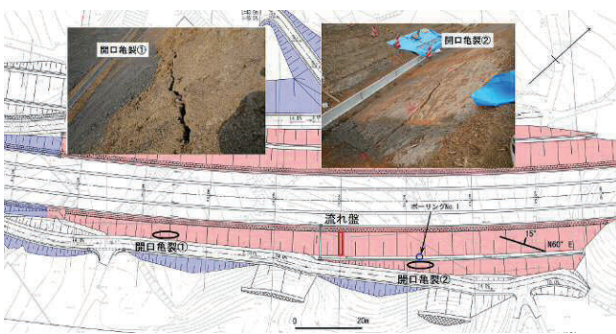


図-8 切土後に開口亀裂が発生（開口亀裂①）

開口亀裂の延長部に B 測線を設定した。B 測線の測線長は 15m で、測点間隔は 1m である。測線設定位置および断裂分布と γ 線探査結果を図-9 にまとめた。B 測線での γ 線異常値区間と規模・走向を表-2 にまとめた。断裂の規模は小さく、断裂幅 0.9m（断裂 B）である。

表-2 B 測線の γ 線異常区間と断裂の規模・走向

測線名	断裂名	異常値区間	断裂幅	走向
B測線	断裂B	9.0m~12.5m	0.9m	N30° E

開口亀裂発生直後に崩壊を防ぐ目的でビニールシートを設置したため、縦亀裂の延長部（対面のり面）で C 測線を設定し γ 線探査を実施した。C 測線の測線長は 30m で、測点間隔は 2m である。 γ 線異常値区間と規模・走向を表-3 にまとめた。断裂の規模は小さく、断裂幅 0.8m（断裂 C-1）および断裂幅 1.1m（断裂 C-2）である。

表-3 C 測線の γ 線異常区間と断裂の規模・走向

測線名	断裂名	異常値区間	断裂幅	走向
C測線	断裂C-1	7.9m~8.7m	0.8m	N60° W
	断裂C-2	15.9m~17.0m	1.1m	N60° W

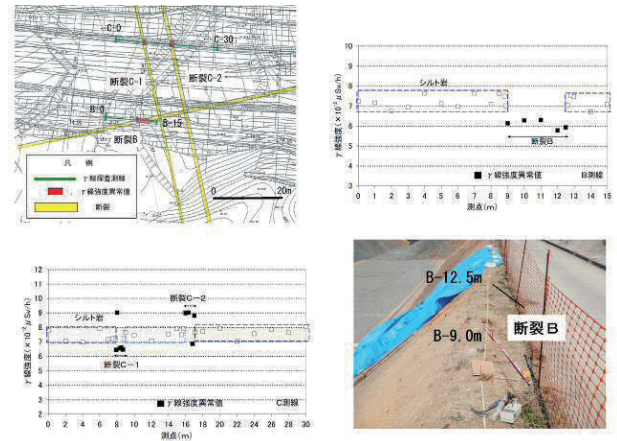


図-9 測線設定位置および断裂分布と γ 線探査結果（B 測線、C 測線）

2019 年 7 月 21 日の大雨のあと、「のり面のせり出し」が断裂に分断された区間で発生した（図-10）。

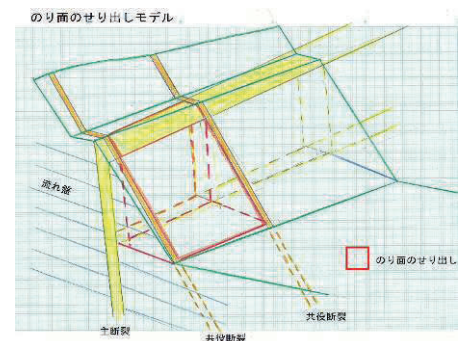
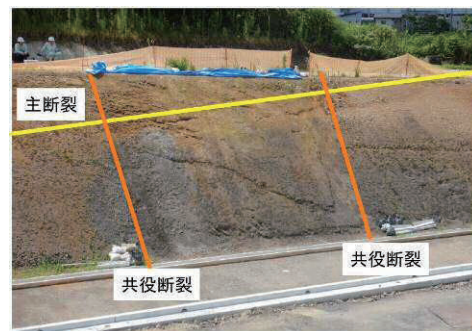


図-10 大雨後に生じた「のり面のせり出し」

(2) 崩壊場所の予測

2018年12月6日に、開口亀裂②が認められた(図-11)。この亀裂も開口亀裂①と同様に、ほぼ計画路線と並行に走り、のり面に垂直方向の縦亀裂で分断されていた。



図-11 切土後に開口亀裂②が発生 (2018年12月6日)

開口亀裂の延長部にD測線を設定した。D測線の測線長は20mで、測点間隔は2mである。D測線でのγ線異常値区間と規模・走向を表-4にまとめた。

表-4 D測線のγ線異常区間と断裂の規模・走向

測線名	断裂名	異常値区間	断裂幅	走向
D測線	断裂D	9.3m~12.3m	0.5m	N35° E

E測線の測線長は20mで、測点間隔は2mである。γ線異常値区間と規模・走向を表-5にまとめた。

表-5 E測線のγ線異常区間と断裂の規模・走向

測線名	断裂名	異常値区間	断裂幅	走向
E測線	断裂E-1	5.2m~5.7m	0.5m	N40° W
	断裂E-2	14.9m~15.8m	0.9m	N40° W

D測線およびE測線の測線設定位置および断裂分布とγ線探査結果を図-12にまとめた。

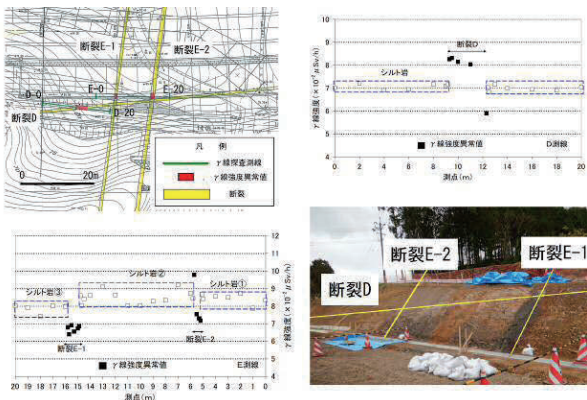


図-12 測線設定位置および断裂分布とγ線探査結果 (D測線, E測線)

最上段のり面掘削後の状況を図-13に示す(2019年2月12日撮影)。南側のり面は「流れ盤(傾斜角度 15°前後)」となっている。



図-13 再掘削のり面状況(流れ盤)(2019年2月12日)

切土再開後の2019年6月7日に、下段のり面において「のり面のせり出し」が発生した(図-14)。せり出しが生じる前には、顕著な降雨は認められない(図-15)。



図-14 「のり面のせり出し①」発生(2019年6月7日)

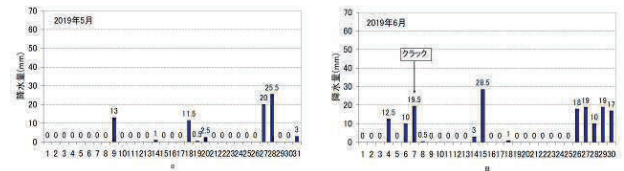


図-15 せり出し①発生時(2019年5月~6月)の降雨量

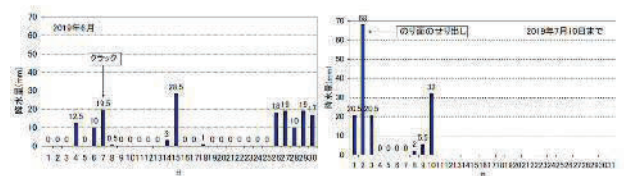


図-16 せり出し②発生時(2019年6月~7月)の降雨量

6月下旬からの降雨後(図-16)2019年7月2日に、下段のり面において「のり面のせり出し②」が発生した(図-17)。

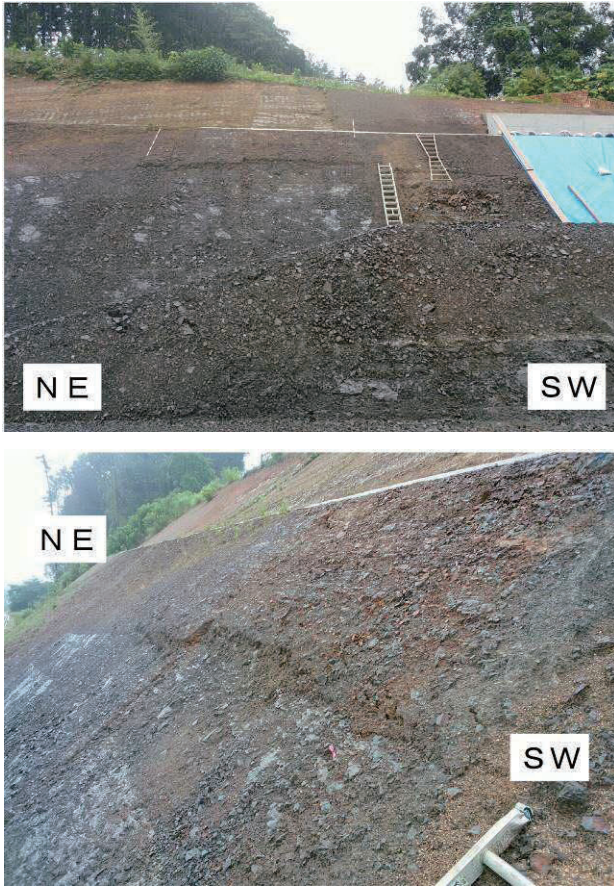


図-17 「のり面のせり出し②」発生(2019年7月2日)

北東側のり面への崩壊拡大が予想されたため、2019年7月8日にF測線を設置し(図-18)、 γ 線探査を実施した。

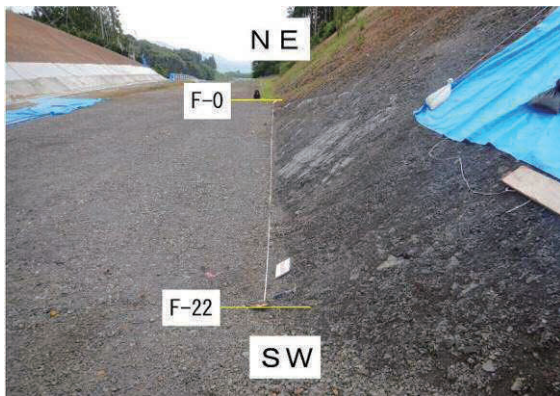


図-18 γ 線探査, F測線の設置状況(2019年7月8日)

γ 線探査結果を図-19に示す。シルト岩の γ 線強度の平均値は、 $7.11 \sim 7.23 (\times 10^{-2} \mu \text{Sv/h})$ 、標準偏差は $0.19 \sim 0.29 (\times 10^{-2} \mu \text{Sv/h})$ で、この範囲外の γ 線強度異常値区間を表-3にまとめた。断裂の走向は $N40^\circ W$ である。

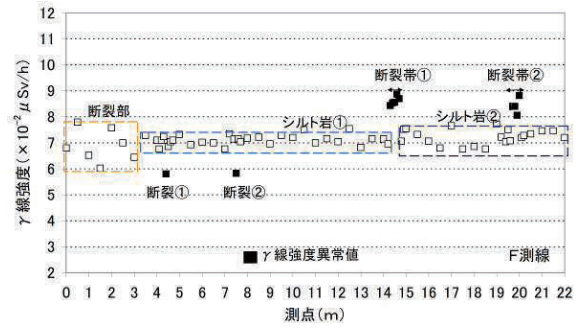


図-19 γ 線測定結果図(F測線)

表-3 γ 線強度異常値区間と断裂幅(F測線)

断裂名	γ 線異常値区間	断裂幅
断裂①	4.4m	0.1m
断裂②	7.5m	0.1m
断裂帯①	14.3m~14.7m	0.5m
断裂帯②	19.7m~20.0m	0.4m

F測線で検出された断裂幅は0.1m~0.5mと小規模であったが、2019年7月21日の豪雨(図-20)後に、切土で応力開放されたのり面中の「主断裂と共役断裂で分断された区間」で岩盤崩落が発生した(図-21)。

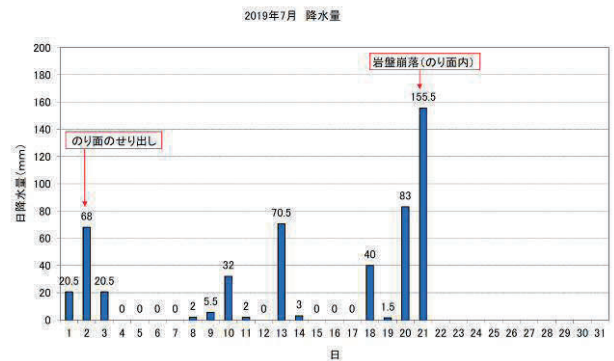


図-20 岩盤崩落発生時(2019年7月22日)の降雨量

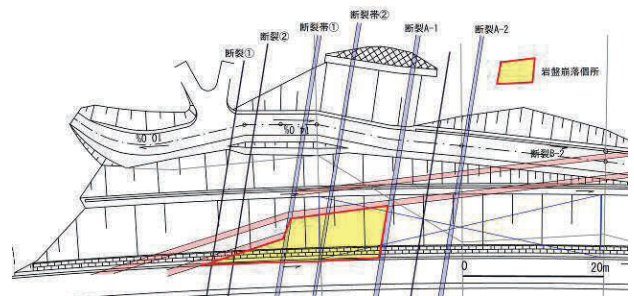


図-21 崩落予測区間で岩盤崩落発生(2019年7月22日)

崩壊前（2019年7月8日）と崩壊後（2019年7月29日）ののり面全景写真を以下に示す。崩壊のり面の背後には谷があることから、「切土のり面の部分的崩壊」は、「路線方向とほぼ並行に走る主断裂」と「谷地形を形成した共役断裂」に分断された区間で「流れ盤」に沿って発生したと考えられる（図-22）。

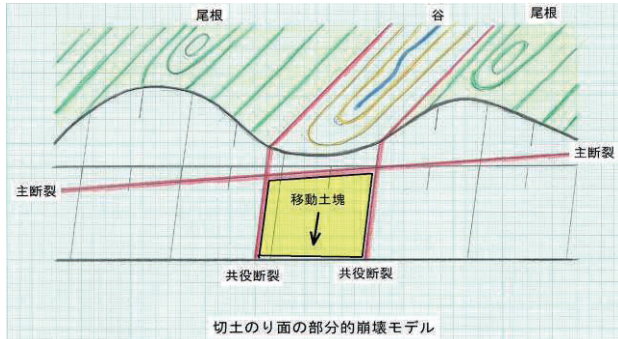


図-22 切土のり面の部分的崩壊モデル

5. まとめ

近年の豪雨に際し全国各地で斜面崩壊が毎年のように発生している。同様の斜面の中で、何故その斜面だけが崩壊したかを容易に説明できない理由として、崩壊斜面と非崩壊斜面の間に決定的な差がないことが挙げられてきた^{3) 4)}。

今回の事例では、「主断裂と共役断裂で分断された区間」が地下の地質状況（風化帯、流れ盤等）とリンクして移動土塊を形成している。この事例より、移動土塊を形成する主断裂・共役断裂を見出し、地形・地質特性を重ね合わせることによって崩壊発生機構と場所の予測が可能となると考えられる。

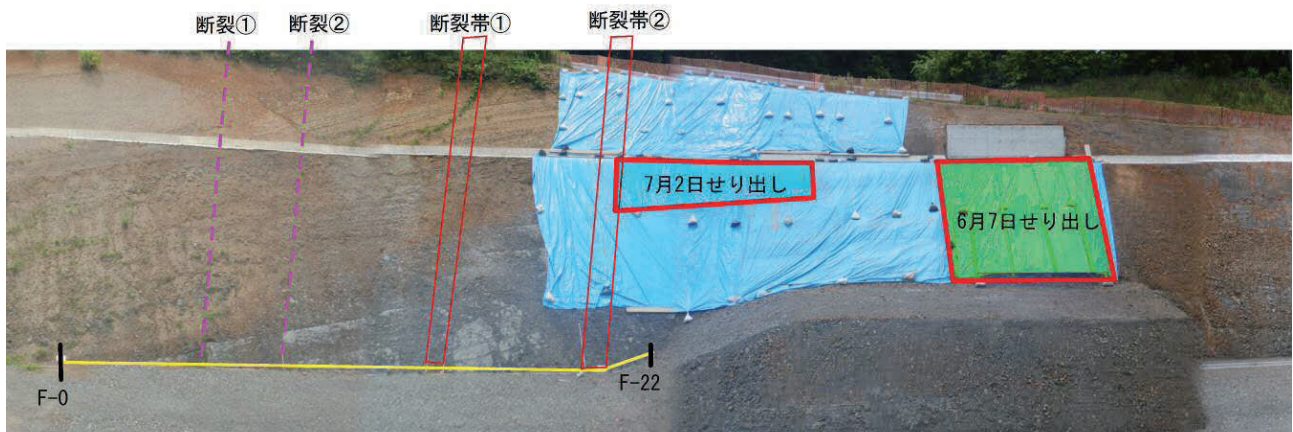
謝辞：本稿の作成にあたって、3名の匿名査読者の方々からは原稿を改善するうえで貴重なご意見を頂きました。記してお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 吉村辰朗, 吉松史徳, 辛島光彦, 澁谷快晴：断裂による分断が起因となる斜面崩壊について, 第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 1-5, 2018.
- 2) 吉村辰朗, 大野正夫：断層破砕帯における帯磁率異常に伴う γ 線量の変化, 物理探査, **63**, 151-160, 2012.
- 3) 千木良雅弘：地すべり・崩壊の発生場所予測-地質と地形からみた技術の現状と今後の展開-, 土木学会論文集C, Vol. 62, No. 4, 722-735, 2006.
- 4) 千木良雅弘：深層崩壊—どこが崩れるのか—, 近未来社, 231p, 2013.

(2020.7.1 受付)

崩壊前 2019年7月8日



崩壊後 2019年7月29日

