

断裂構造を指標とした斜面崩壊危険度評価の意義

SIGNIFICANCE OF SLOPE FAILURE HAZARD ASSESSMENT USING

FRACTURE STRUCTURE AS AN INDICATOR

吉村 辰朗¹・照井 剛²

Tatsuro YOSHIMURA and 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: geotechnical disaster, fractured structure, fracture cluster

1. はじめに

近年「記録的な大雨」が毎年のように降り、豪雨による斜面崩壊もどこかで発生し、これによる社会的損失は計り知れない。従来、同じような地形・地質であっても崩壊する斜面としない斜面があり、崩壊発生危険箇所の予測を困難にしてきた。斜面崩壊では特徴的な「断裂構造」が見られる。「断裂構造」は、「岩石の破壊条件(地質)」と「応力配置(構造応力)」によって異なる。一般的に、断裂(断層, 節理, 裂っかの総称)が多いほど風化がすすみ斜面崩壊が増加すると考えられているが、断層分布と大規模崩壊の関係性を調べた吉村ほか¹⁾では、断層密度が低いほど厚層風化帯を形成する事例を示した。今回は、斜面崩壊に関わる「断裂構造」と風化・崩壊様式の対応を述べ、断裂群の違いに留意した斜面崩壊危険度評価について考察した。

2. 「断裂構造」を形成する断裂線の描き方

線状をなす基準地形線(稜線、河谷の谷筋)が線状模様(リニアメント)を境に屈曲している場合、このリニアメントを「断裂線」と定義する。「断裂線」を描く上でのポイントである「谷の屈曲点、尾根の屈曲点」の抽出は、「活断層の認定方法」(地形判読)の着目点と同じである。「断裂線」は小規模であるた

め(横ずれ変位が小さいため、活断層のようにクラック状までいかない)、僅かな「屈曲」に留意する必要がある²⁾。「断裂線」の方向は、断層運動が現地形に反映されていると考えられる河川の流下方向を参考にする。尾根と谷の屈曲を指標として描いた「断裂線」の例を図-1に示す。



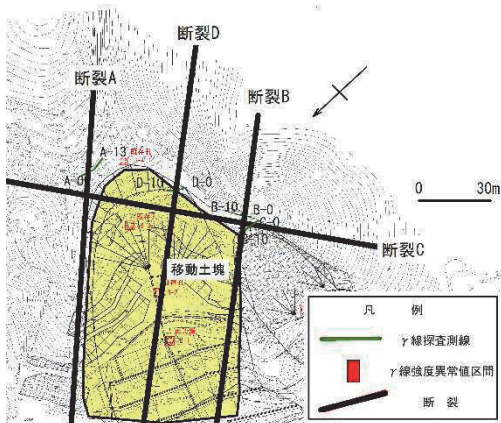
— 尾根線 — 谷線 — 断裂線

図-1 尾根と谷の屈曲を指標として描いた「断裂線」

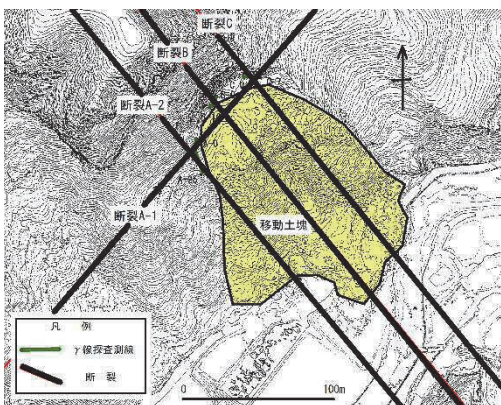
現地での「断裂線」の認定は、 γ 線探査で行う。断裂帯において帯磁率異常が生じている。帯磁率を γ 線遮蔽効果の指標として γ 線減弱実験を行なった結果、帯磁率が高いほど γ 線吸収量が多くなる現象が認められる。帯磁率は、磁性鉱物の大きさ、磁性鉱物量の増減、磁性鉱物の風化・変質によって変化する。断裂帯における γ 線は、物質の磁性特性によって変化し、非破砕部の γ 線強度より高 γ 線や低 γ 線が検出される³⁾。測定法は、全計数法である。斜面災害の原因となる断裂の規模は、断裂幅が0.5m～2.5mと小規模なもので、現地形の大半が形成された第四紀地殻変動に伴うものと推定され、「最近活動した割れ目」と考えられる⁴⁾。

3. 斜面崩壊にみられる「断裂構造」

豪雨による土砂災害被災地において γ 線探査による断裂分布調査を行った結果、斜面崩壊は「断裂構造」に規制されて発生している場合が多いことが認められる。斜面崩壊では、図-2に示すように“主断裂と共役断裂で区切られた土塊（すべりブロック）”を形成する「断裂構造」が認められる⁵⁾。



2017年九州北部豪雨 朝倉市



2018年4月 耶馬溪崩壊

図-2 斜面崩壊にみられる「断裂構造」

「断裂構造」を形成する主断裂と共役断裂の交差部（断裂交差部）では透水性が高く、地下水および物質の重要な移行経路となることが報告されている⁶⁾。この「地下水経路」（水みち）による湧水は、地すべりでは「地下水包蔵体」と称されている（図-3）。プレートの水平運動でできる基盤岩石にできる基本構造を図-4に示す。この中で[C]の(c)では、断層群が直角に近い角をなして並走し、敷石状の地塊群を形成している。この「敷石状の地塊群」を限るのが断裂と考えられる。尾根・谷の屈曲に留意して地盤災害発生箇所周辺の断裂線を描いた場合、崩壊箇所は「断裂線間隔が狭い区間」が交差した区域に相当している（図-5）。この事象は、「断裂交差部」では透水性が高く、地下水の移行経路⁶⁾による湧水によって（図-6）、風化進行が顕著になり崩壊しやすくなる事象と解釈される。

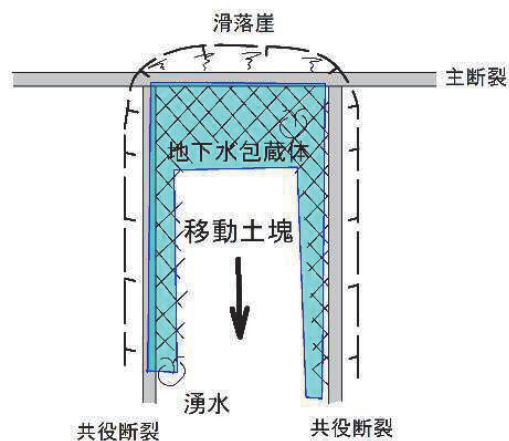


図-3 断裂に分断される移動土塊と「地下水包蔵体」

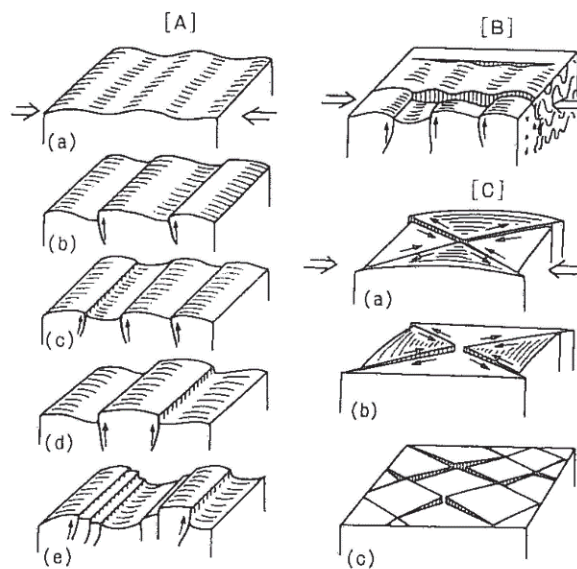


図-4 水平圧縮によって基盤岩石にできる3つの基本構造モデル⁷⁾

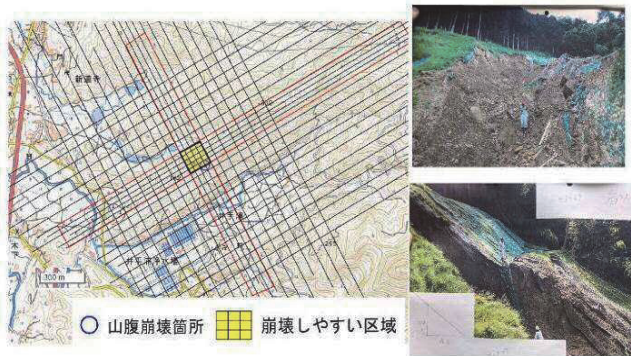
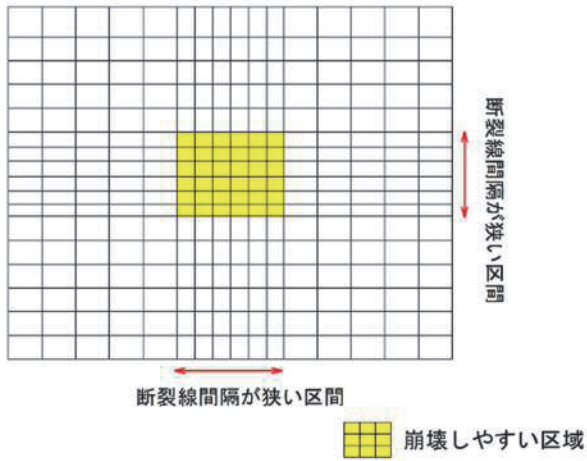


図-5 断裂線間隔と崩壊しやすい区域の対応

4. 表層崩壊と大規模崩壊における断裂群

「断裂構造」は、「岩石の破壊条件（地質）」と「応力配置（構造応力）」によって異なる．特定の造構的応力場のもとで生じた断裂の集合体を断裂群とした場合，その構成グリッドを断裂ユニットと定義する（図-7）．本章では，表層崩壊と大規模崩壊における断裂群の様相を述べる．

(1) 表層崩壊（朝倉市）

平成 29 年 7 月九州北部豪雨によって，福岡県朝倉市では表層崩壊・土石流が多発した．基盤岩は花崗閃緑岩で，風化しマサとなっている．豪雨による表層崩壊によって発生した土砂の流出箇所を黒色で明示したのが図-8（上）である．2 章で述べた手法で断裂線を描いたのが図-8（下）である．断裂ユニットの規模が大きい区域（断裂が少ない区域）では，崩壊による土砂流出はほとんど見られなかった．

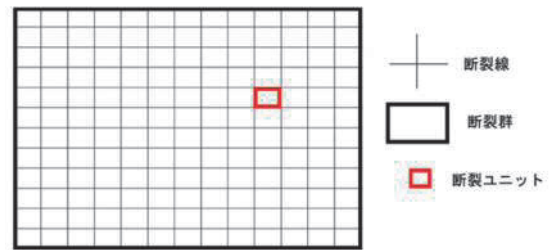


図-7 断裂群と断裂ユニット

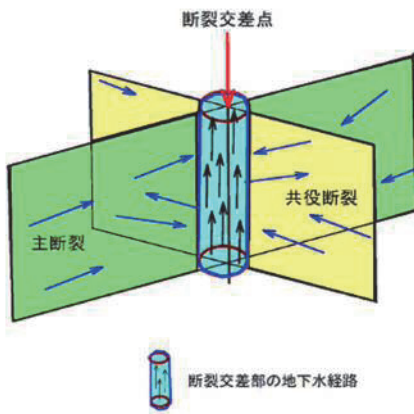
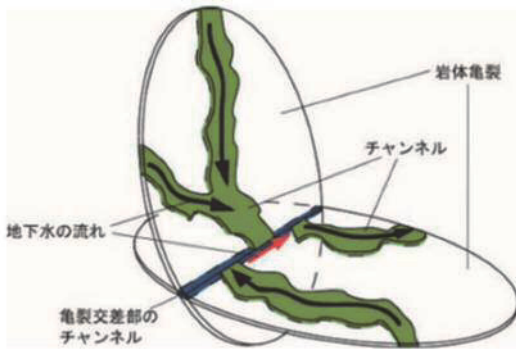
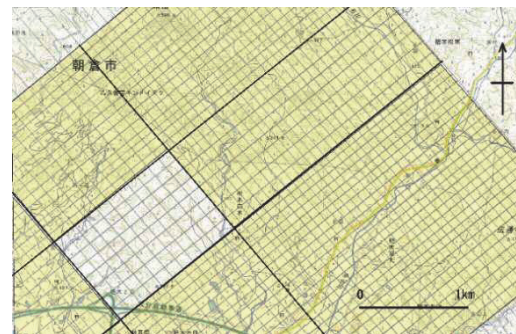


図-6 断裂交差部の「地下水経路」の形成



表層崩壊・土石流に伴う土砂流出図



調査地の断裂分布図

図-8 豪雨による土砂流出箇所図(上)と断裂分布図(下)

(2) 大規模崩壊（大隅半島）

調査区間は、佐多伊座敷から南大隅町大浜の国道265号沿いである（図-9）。調査地に分布する基盤岩は、新第三紀の花崗岩類で大隅花崗岩と称される。調査地の北側では北東-南西方向、南側では東北東-西南西方向のリニアメントが推定されたためγ線探査を実施した。地質踏査・落石調査およびγ線探査の結果から、調査区間を下記の3区間に分けて地質状況を述べる。

(I) 石走～小浜区間（土石流区間）

扇状地には、径2～3mの巨礫を含む土石流堆積物が分布する。山体ではマサが見られ、厚層風化帯をなしている。γ線探査では平均断層幅20.3mの断層が3断層検出され、断層密度は低い。調査地の北部では大規模崩壊（深層崩壊、平成22年7月 南大隅町根占山本地区、図-10-I）が発生している。

(II) 浮津～大川区間（風化区間）

道路沿いに露岩は認められず、斜面にも転石は少ない。γ線探査では平均断層幅6.9mの断層が5断層検出され、断層密度は低い。

(III) 伊座敷～浮津区間（亀裂区間）

急崖地形を呈する。表層にマサはほとんど見られず、岩盤では縦亀裂が多く認められる。γ線探査では平均断層幅5.1mの断層が8断層検出され、断層密度は高い。断層密度に留意して、調査地域の断層線を描いたのが図-10である。図-9の断層方向と図-10の断層方向が異なるのは、断層は花崗岩生成時からの断層運動の痕跡であるのに対し、断層は現地形を形成する新規の断層運動を反映していると考えられる。図-10より、3区間では分布地質は花崗岩で同じであるが、断層の走向が異なり、断層群は異なることが判明した。断層ユニットの規模は、「亀裂が多い区間（III）」より「大規模崩壊が見られた区間（I）」のほうが大きい結果が得られた。

5. 風化・崩壊様式を規制する断層構造

4章の崩壊事例に示した断層群の特性は、断層群の方向性と断層ユニットの規模によって異なっている。ここでは、断層群の捉え方に応じて、風化・崩壊様式に差異が生じる現象について検討した。

(1) 小区域を調査対象とした場合（単一断層群）

朝倉市の調査範囲は小区域（単一断層群）であるため、断層群の方向性や面の性質は共通しているものと考えられ⁸⁾、図-11に示す風化様式となる。図-11より、一般に考えられている「亀裂の多いほうが風化しやすく、亀裂が少ないほうが風化しにくい」

が成り立ち、断層が多いほど風化がすすみ斜面崩壊が増加すると考えられる。

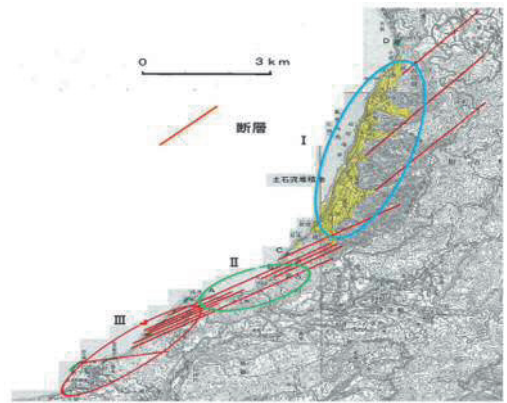


図-9 調査地の断層分布

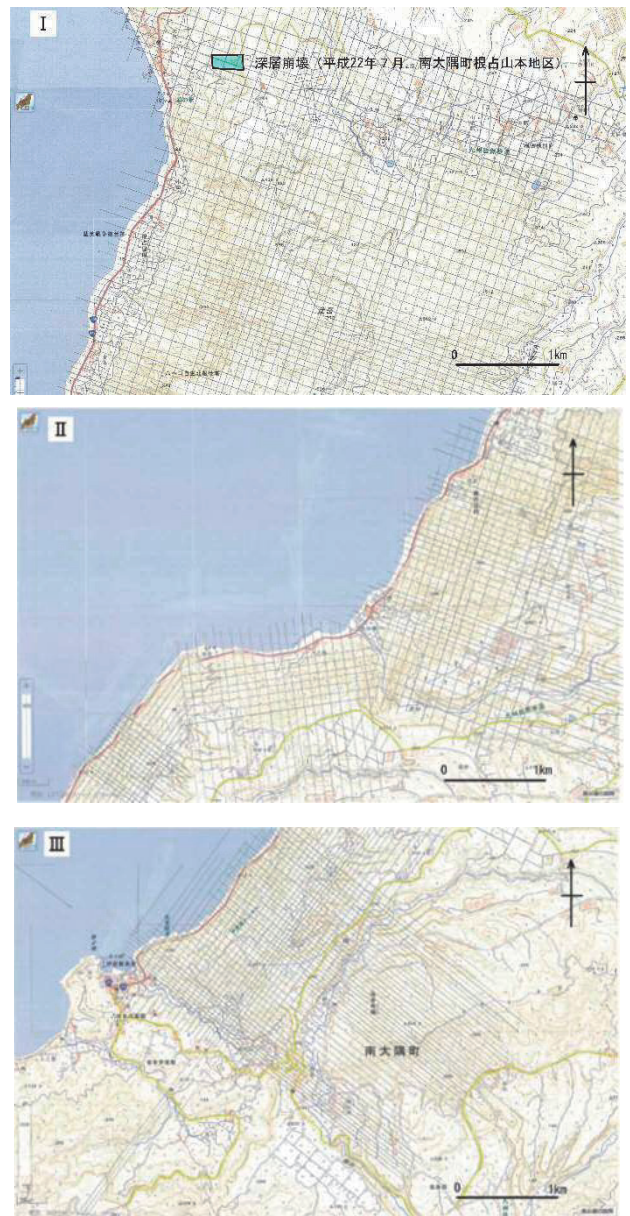


図-10 断層密度が異なる地域の断層分布図

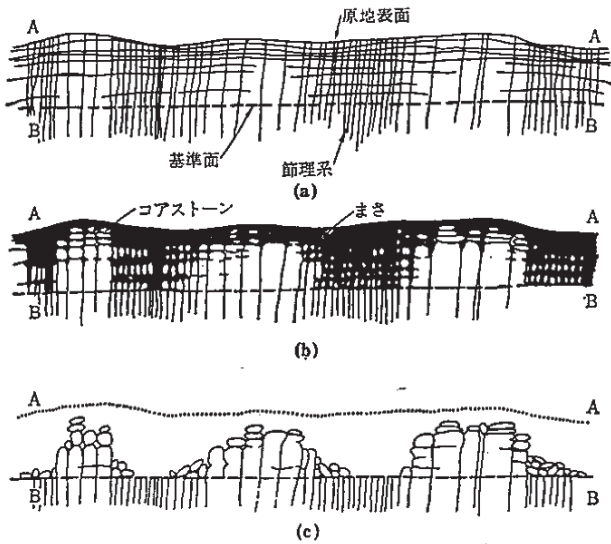


図-11 Dartmoor 風化進行と浸食による地形変化⁹⁾

(2) 大区域を調査対象とした場合 (複合断層群)

大隅半島の調査範囲は大区域で、異なる単一断層群が隣接する「複合断層群」地域である。本項では、「断層幅の関係式より導かれる風化様式」と断層ユニットとの対応より、断層ユニットの規模が風化・崩壊様式に影響することを示す。

(断層幅の関係式より導かれる風化様式)¹⁾

1992年～2003年に近畿地方を主に約50箇所、γ線探査によって239断層を抽出し断層幅を計測した結果、断層幅2m・5m・8m・11m・14m・17m・20mを階級値(w)とした場合、断層幅(FW)と断層数(N)には下記のべき乗関係式が認められる。

$$N=150 \cdot w^{-1.73}, \quad w=(FW+1)/3 \dots \dots \textcircled{1}$$

基盤岩中のγ線探査結果では、活断層図に記載された断層長が長いほど断層幅が広がる傾向がみられ、断層幅[FW(m)]と断層長[L(km)]には下式の関係が認められる。

$$L=0.36FW+0.62 \dots \dots \textcircled{2}$$

上記の2式より、断層幅の規模が大きいほど断層長は長い、断層数は少ないと予想される。断層面の形状は矩形で近似でき、その長さ(断層長)と幅はほぼ2:1の関係が成り立っている。これらの事象をまとめると、「断層密度が低い(断層ユニットの規模が大きい)ほど、地下深部まで破断面が分布することによって厚層風化帯を形成しやすくなり大規模崩壊が発生しやすい」と考えられる。断層ユニット規模・亀裂数と風化帯形成の関係を図-12にまとめた。大隅半島の事例を図-12に示したモデルに対応させたのが図-13である。

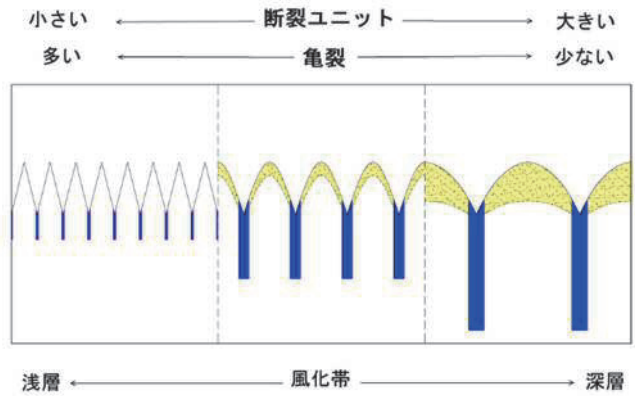


図-12 断層ユニット規模・亀裂数と風化帯形成の対応

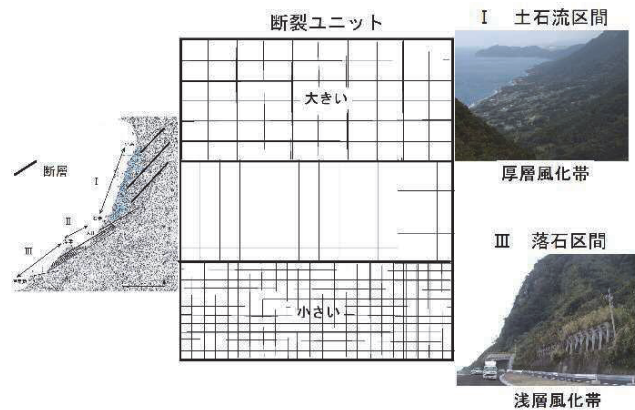


図-13 大隅半島における断層ユニットと風化形態

図-13より下記の事象が認められる。

- ① 「Ⅰ 土石流区間」では、断層ユニットが大きく厚層風化帯を形成し、大規模崩壊(深層崩壊)が発生している。当地区を単一断層群として捉えた場合、図-10-Iの深層崩壊は断層ユニットが小さい区域で発生している。
- ② 「Ⅲ 落石区間」では、断層ユニットが小さく表層にマサはほとんど見られず、岩盤では縦亀裂が多く認められる。

分布地質は同じ花崗岩であるが、断層の走向が異なる複合断層群における「風化進行と浸食による地形変化様式モデル図」を図-14に示す。

以上のように、断層ユニットの規模が風化・崩壊様式に影響することから、調査地域が単一断層群か複合断層群かの区別が斜面崩壊危険度評価において重要となる。

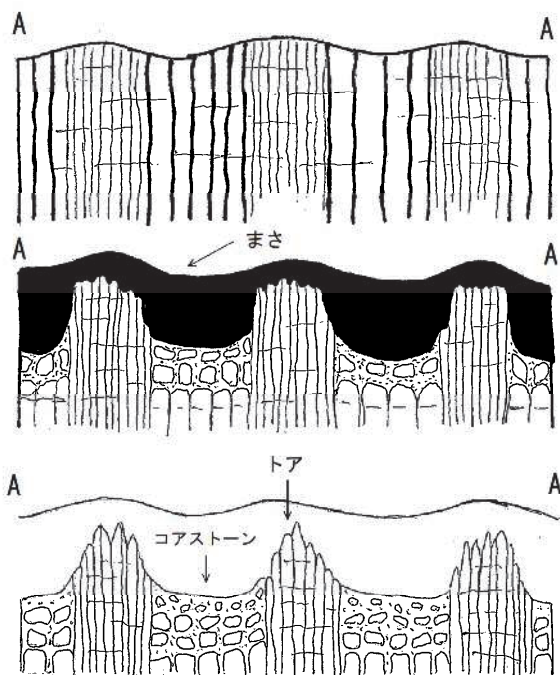


図-14 複合断裂群での風化進行と浸食による地形変化様式モデル図

6. まとめ

従来、同じような地形・地質であっても崩壊する斜面としない斜面があり、崩壊発生危険箇所の予測を困難にしてきた。3章で述べたように、斜面崩壊では特徴的な「断裂構造」が見られる。「断裂構造」は、「岩石の破壊条件（地質）」と「応力配置（構造応力）」によって異なるため、最初に分布地質を把握する必要がある。特定の造構的応力場のもとで生じた断裂の集合体を断裂群とした場合、風化・崩壊様式は断裂ユニットの規模が影響することから、調

査地域が単一断裂群か複合断裂群かの区別が斜面崩壊危険度評価において重要となる。この状況から、「災害発生場所の予測」には従来の地形・地質調査に「断裂（地質構造）」を調査項目に加える必要があり、断裂構造に関する構造地質学上の知識を斜面崩壊と関連づけて検討することが重要である。

参考文献

- 1) 吉村辰朗・縄田徳広・古城輝夫：断層分布と大規模崩壊の関連性，地形，38巻，3号，pp.235-248，2017.
- 2) 山内一彦・白石健一郎：中国山地西部、徳佐盆地およびその周辺部に分布する活断層の変動地形学的検討，立命館地理学，第25号，pp.15-35，2013.
- 3) 吉村辰朗・大野正夫：断層破碎帯における帯磁率異常に伴うγ線量の変化，物理探査，65，pp.151-160，2012.
- 4) 吉村辰朗：災害の因となる断裂について，めらんじゅ32号，pp.33-39，2021.
- 5) 吉村辰朗・吉松史徳：断裂による分断に起因する斜面崩壊発生機構，応用地質，第59巻，第6号，pp.485-494，2019.
- 6) 鑑 桂一・澤田 淳・内田雅大：亀裂交差部に沿った方向の透水特性の評価，サイクル機構技法，No.23，pp.63-70，2004.
- 7) 藤田和夫・岸本兆方・塩野清治：Neotectonics and Seismicity in the Kinki Area, Southwest Japan, Journal of Geosciences, Osaka City Univ. vol.16, p103, 1973.
- 8) 垣見俊弘：断裂系の調査と第四紀テクトニクス，第四紀研究，7巻，4号，pp.212-216，1968.
- 9) 土質工学会編：風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用，pp.13，1979.

(2022.5.30 受付)