

P28. 蛇紋岩の山頂陥没帯の構造解析：線状凹地発生時の運動像

Structural Analysis of Summit Collapse of Serpentinite : Initial Movement Picture of Linear Depression

○仙波咲子（高知大院・理），横山俊治（高知大・理）
Sakiko Senba, Shunji Yokoyama (Kochi Univ.)

1. はじめに

山地斜面にはしばしば線状凹地¹⁾と呼ばれる地形が存在する。これは、山向き小崖と斜面の間に形成された凹地のことで、稜線に平行な方向に伸びることが多い。

地すべり地においては、開口クラックに起因する線状凹地がしばしば見られる。これは、地すべり変動に伴い地表に開口クラックが形成され、その後年月を経るとともに地形改変が起こり、結果地表には線状の凹地のみが残る、というものである。地形改変が進むと開口クラックの初生構造は失われ線状凹地のみが残るため、変動発生時の構造や、その時地盤がどう動いたのかといった疑問に対しては不明な点が多い。

これまで、線状凹地の形成過程については様々なモデルが考えられてきた^{例えは 2)}。しかし、実際に線状凹地が形成される時に斜面全体がどのように変形するかを解析した事例はない。そこで、本稿では、線状凹地発生時に形成された開口クラックの構造解析と、様々なセンサーを用いた動的挙動の解明を通して、線状凹地発生時の斜面全体の運動像を明らかにすることを目的とする。

調査地である蛇紋岩の採石場では、掘削により斜面が変形し、山頂に凹地が形成された。この凹地は、開口クラックの形成とそれによる山頂の陥没により形成されたもので、開口クラックの形態は蛇紋岩に発達するクラックの構造規制を受けている。この構造規制の実態を解明するためにひずみ像解析を行った。また、現在斜面は降雨に敏感に反応し変形を続けている。そこで、斜面の動きを把握するために行った樹木センサー³⁾・地盤伸縮計・移動杭測量による動態観測を加え、線状凹地発生時の運動像を解析した。

2. 調査地の地形・地質

調査地は高知県中央部に位置する蛇紋岩の採石場である（図-1）。調査地内には標高 130~150m の尾根線がほぼ東西方向に伸びており、採石場ではこの主尾根から北に延びるやせ尾根を掘削している。この掘削後の切土法面とその上方尾根付近において斜面変動が発生した（図-2）。

この地域は、秩父帯中帯⁴⁾にあたり、採石場内一帯には蛇紋岩が分布する。蛇紋岩には多数のクラックが発達しており、ハンマーで叩くと鏡肌を伴う破断面に沿って割れる。また、調査地内には比較的平滑で連続

性が良く、ほぼ東西走向の破断面を有する小断層が所々に走っている。

本稿では、蛇紋岩中に発達する微細構造である多数のクラックの破断面を剪断面と定義し、断層とは関係なしに蛇紋岩の持つ初生構造として剪断構造という語を使用する。また、これとは別に比較的平滑で連続性が良い小断層を、小断層という語として使用する。

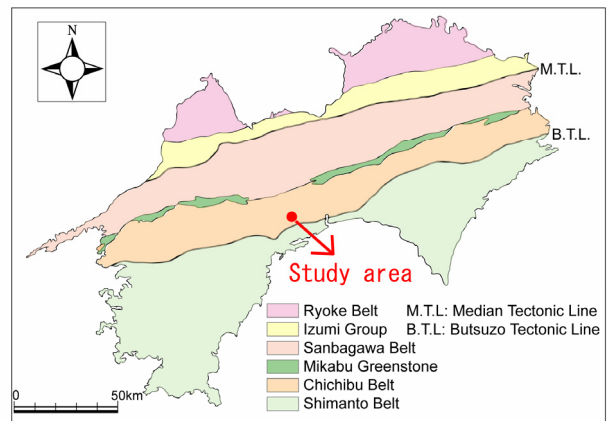


図-1 調査地域

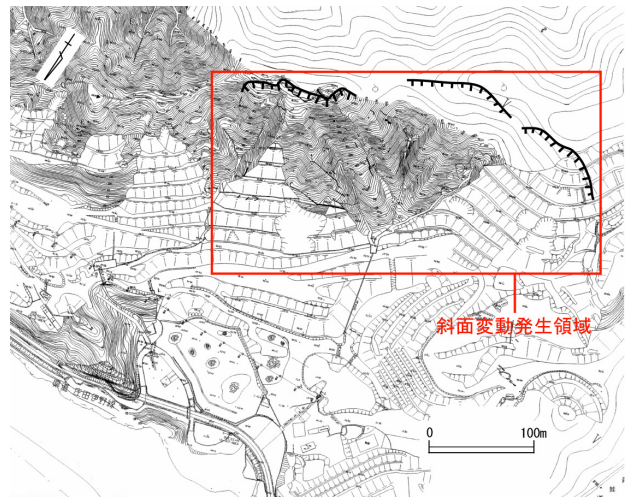


図-2 調査地域の地形図

3. 斜面変動の概要

斜面変動の発生領域を図-2 に、各変形の分布を図-3 に示す。尾根付近には連続性の良い開口クラックが形成されており、滑落崖の様相を呈する。開口クラックは長さが 100m 以上続き、落差は大きいところで約 5m にも達する。これに平行するような開口クラックも多数形成されており、尾根付近は展張帯となっている。採石場側斜面では、尾根直下から斜面の麓まで自然斜

面や切土法面に山向き小崖やプレッシャーリッジ、小段を覆うコンクリートの変形など、圧縮を示す構造が多数形成されており、斜面は膨らむように変動している⁵⁾。

蛇紋岩の掘削は1990年に開始され、切土法面は1995～1997年に整形された。尾根に発達する開口クラックが発見されたのは2003年3月のことである。尾根をはじめとして斜面全体に変動構造が形成されているものの、現在のところ大規模な崩壊には至っていない。

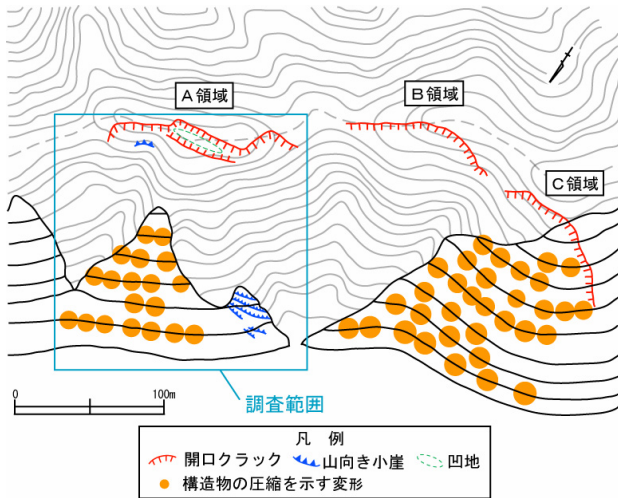


図-3 斜面変形分布図

4. 斜面変動により形成された山頂陥没帯の形態

展張帯の変動領域は開口クラックの形態と連続性から、A領域・B領域・C領域の大きく3つに区別される⁵⁾(図-3)。これらの変動領域のうち、A領域の中央部において尾根を挟むように多数の開口クラックが形成され、尾根付近は陥没して線状凹地が形成された。

山頂陥没帯を構成している開口クラックの形態を把握するため測量を行った⁶⁾。A領域の開口クラックの分布を図-4に示す。一番南側に連続性の良い開口クラックが存在する。長さは約140mで、途中で90度方向を変える右ステップの形状を示す。この開口クラックは、東端と西端では採石場のある北側斜面に伸びるが、中央部のステップするところでは稜線を越え採石場とは逆の南側斜面に伸びる。

東端からその延長を追うと、はじめ採石場のある北側斜面から伸びる開口クラックは途中で尾根線に沿うようになり、やがて尾根線を越えて採石場側とは逆の

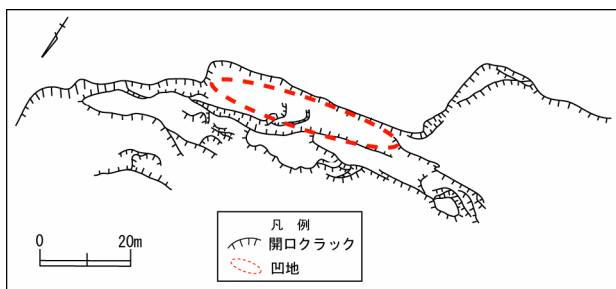


図-4 山頂部の開口クラック分布図 (A領域)

南側斜面に伸びる。南側斜面では尾根線と並行に走り、その後再び尾根線に戻ってくる。そして西端では尾根線を越えて北側斜面へと延長する。

A領域の中央部では、南縁を走る開口クラックに並走するように数列の開口クラックが形成されており、開口クラックと開口クラックの間が陥没して凹地を形成している。また、これらの開口クラックの多くは採石場側の地盤が下がる正断層であるため、尾根は全体として陥没するように変動しており、もともとの標高よりも2～3m沈下しているものと推定される。

5. 山頂陥没帯の地質構造

5.1. 開口クラックの走向

山頂陥没帯を構成している開口クラックの構造を明らかにするため、開口クラックの走向を測定した(図-5, 6)。南縁を走る開口クラックは、ばらつきがあるものの $N65\sim 85^\circ E$ と $N0\sim 5^\circ E \cdot N0\sim 5^\circ W$ の範囲が卓越する傾向にあった。南縁を走る開口クラックよりも北側に分布する開口クラックの走向は、 $N75\sim 85^\circ E$ の範囲の頻度が一番多いものの $N35\sim 75^\circ$ の範囲を占める割合も高く、全体としてNE方向のものが多いといえる。また、 $N25\sim 35^\circ W$ と $N85\sim 90^\circ W$ の範囲も卓越する傾向にあった。開口クラックはそれぞれある程度の連続性を持って現れているため、その卓越方向に開口クラックの構造を規制するような働きをするものがあると考えられる。ただ、山頂を含め採石を行っている山は蛇紋岩で構成されており、明瞭な層理面や節理面は認められない。そのため、開口クラックの形態が地

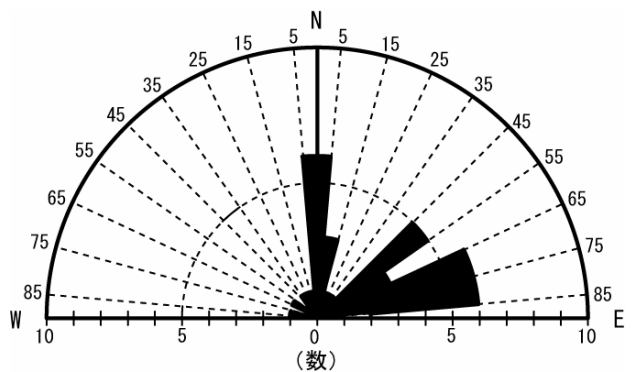


図-5 南側に分布する開口クラックの走向

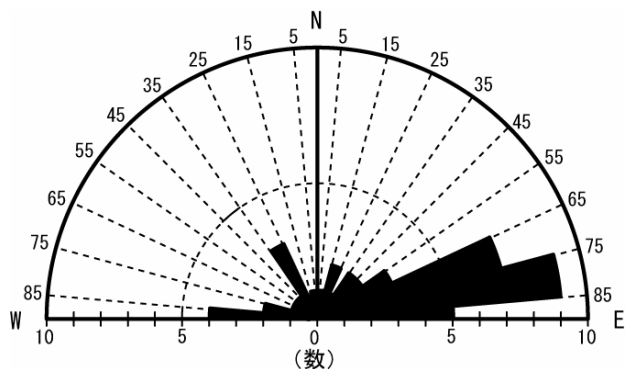


図-6 北側に分布する開口クラックの走向

質構造の規制を受けていると考えるならば、蛇紋岩に発達する多数のクラックの剪断構造が開口クラックの形態を規制しているものと考えらるべきである。

5.2. 開口クラックを規制する構造

開口クラックの形態を規制していると考えられる蛇紋岩中の微細な剪断面の面構造を測定した(図-7)。蛇紋岩は剪断面の発達によりレンズ状岩片の集合体のように見える。そのため、剪断面の走向傾斜とともに、レンズの長軸と短軸の長さも測定した(図-8)。走向はN65~85° Eの範囲が卓越しており、これに大きく斜交するようなN65~85° Wの範囲も卓越していた。傾斜は60~90° Nの範囲に集中していた。1つの岩片はそれほど大きくなく、長軸は最大30.0cm、最小2.0cmで、5.0~10.0cmの範囲のものが多かった。短軸は最大6.0cm、最小0.2cmで、0.5~1.0cmのものが多かった。データから近似式を求めて形状比(長軸:短軸)を求めた。長軸:短軸は2~4:1の割合のものが多いが、かなりばらつきがあった。

剪断面の走向は、N65~85° Eの範囲が開口クラックの走向と同走向を示しており、開口クラックは蛇紋岩の剪断構造を使って発達しているものと考えられる。

南縁を走る開口クラックには、一部の崖面に条線が残されているところがあり、開口クラックの一部が小断層を使って発達したことは明らかである。しかし、条線はほんの一部でしか確認されておらず、開口クラックのどの部分が小断層を使っていて、どの部分が蛇紋岩の剪断構造を使って発達しているのかという詳細については不明である。

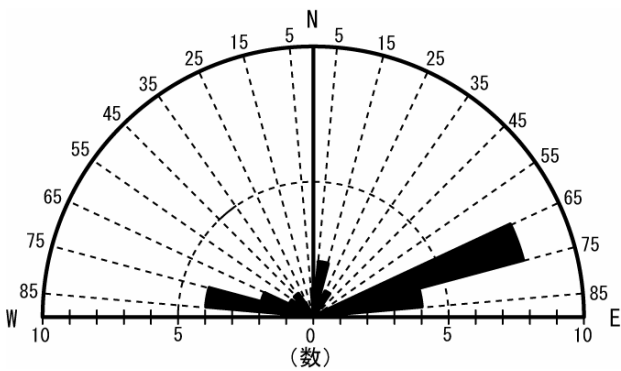


図-7 蛇紋岩に発達する剪断面の走向

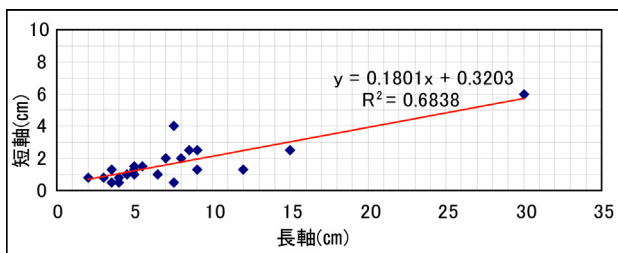


図-8 蛇紋岩の岩片形状

また、南縁を走る開口クラックは、ほとんどの開口クラックが尾根線と並走する中で、これに直行するように途中で折れ曲がっている。この折れ曲がりがあるという構造に起因するものなのか、ということについては更なる調査が必要である。

6. 山頂陥没帯の運動像

6.1. 樹木センサーを使った山頂部地盤の動き

山頂の地盤の動きを明らかにするため、緊張した樹根の引張方位と落とし角の測定を行った(図-9,10)。引張方位は、全体としてN35~65° Wの範囲が卓越する傾向にあった。落とし角は0~20°の範囲のものが多いが、かなりばらつきがあり様々である。

この緊張した樹根の引張方位は開口クラックの変動方向を示すものと考えられる。そのため、山頂部の開口クラックはN35~65° W方向に開口したものと推定される。また、開口クラックの走向はN65~85° Eなので、山頂部地盤の変動方向は開口クラックに対して斜交する方向である。そのため、開口クラックは、開口クラック面に直行した方向でなく斜交する方向に開いたと考えられる。

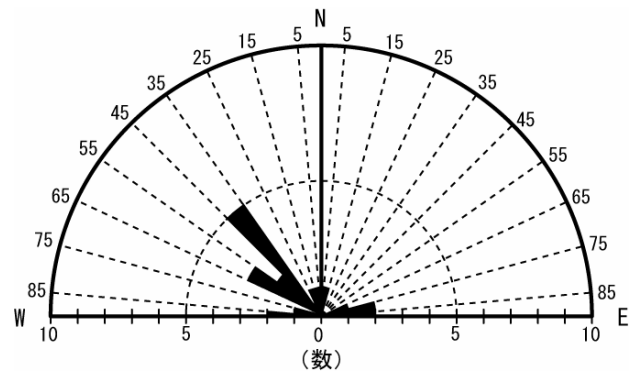


図-9 緊張した樹根の引張方位
(ローズダイアグラム)

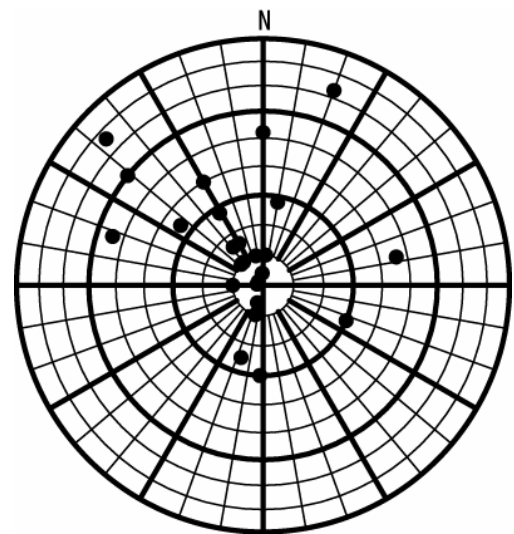


図-10 緊張した樹根の引張方位
(シュミットネット, N=25)

6.2. 開口クラックの変動状況

山頂部開口クラックの変動状況を把握するため、2003年5月8日～10月27日まで地盤伸縮計による動態観測を行った結果、いずれの観測点でも全て明瞭な引張り変位が認められ半年間で最大約70cmの累積変位が確認された⁷⁾。また、降雨直後に激しく変動する傾向があり、累積降雨量が100mmを越えるような強い雨に対しては、最大約20cmの変位が観測された。上記期間後の観測では伸縮計の糸が切れて測定不能になるケースが相次いでおり、変動の激しさを物語っている。

また、伸縮計設置場所に近い開口クラックには2004年6月に行った測量時にマーカーを施してあったが、2004年12月に再度調査を行った際には、下盤側から手の届く範囲にあったマーカーが手の届かないところまで達していた。これは、約半年間で都合2mほど下盤が下がったことになり、このことから山頂部の変動の激しさがうかがわれる。

7. 斜面の運動像

切土法面の小段を利用して移動杭を使った光波測量を行った⁷⁾(観測期間:2003年6月6日～10月23日)。A領域には2つの切土法面があるが、いずれも北北西～北西方向に変動していた。半年間の累積変位は、代表断面(移動方向とほぼ同方向の北西-南東断面)で見た場合、最大で水平変位22cm、鉛直変位10cmだった。高標高部では水平変位に比べて鉛直変位の方が大きく、側方に膨らむというよりも沈下するように変動している。対して低標高部では鉛直変位に比べて水平変位のほうが大きく、側方に押し出されている様子が見える。

一番変動が激しかったのが9月1日～9月22日の間で、この期間の地盤伸縮計の観測結果を見ると、強い降雨により激しく変動していた。このことから、降雨により山頂部の開口クラックが大きく変動し、それに伴い斜面も大きく変動しているものと考えられる。

8. 線状凹地発生時の運動像

仙波ほか(2005)⁵⁾によると、南縁を走る開口クラックの開口時期は古く、7000年以前に既に開口クラックが存在していたことが明らかになっている。そのため、掘削が始まる以前に変動の元となる構造は形成されていたものと考えられる。

開口クラックが形成される以前の初生的構造としては、蛇紋岩に発達する剪断構造と、所々に分布する小断層の存在が考えられる。これらの構造があった上で尾根には開口クラックが形成され、さらに斜面の掘削が開始されたことで山頂部には局所的な引張応力が働き、展張帯が形成された。そして、急激な重力作用により山頂には尾根線と並走する開口クラックが多数形成され、南縁を走る開口クラックは大きく開口した。

この開口クラックは当初開口クラック面と斜交する方向に開口し、採石場側の斜面は沈下するように変動した。また、山頂部では開口クラックと開口クラックの間が陥没し、山頂陥没帯が形成された。

現在、山頂の開口クラックは降雨の影響で開口幅が拡大しており、その影響で採石場側の斜面は膨らむように変動している。採石場側斜面の変動方向は尾根の開口クラックとはほぼ直行する方向であり、尾根付近と斜面では変動方向が異なる結果となった。

山頂陥没帯は現在、初生構造を残した状態を保っており、山地で見られるようなのっぺりとした線状凹地とはまた少し違った様相をしている。しかし、今後地形が改変されるにつれて初生構造はどんどん失われるものと考えられ、そうなる結果として線状の凹地のみが残ることとなる。そのため、今後時間の経過とともに、他の地すべり地や崩壊地、山地で見られるような線状凹地と同様の地形に発達していくものと考えられる。

引用文献

- 1) 鈴木郁夫(1974):赤石山脈南部の高山地形.新潟大学教育学部紀要, Vol.16, 66-85.
- 2) Hutchinson, J. K. (1988): Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In Bonnard, C. ed., *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, 1, 3-35.
- 3) 横山賢治・横山俊治(2004):異常樹木をセンサーとする地すべり性開口クラックの検出と解析.地すべり, Vol.41, No.3, 217-224.
- 4) 四国地方土木地質図編纂委員会(1998):四国地方土木地質図.
- 5) 仙波咲子・布施昌弘・横山俊治(2005):四国黒瀬川構造帯の蛇紋岩地すべり発生初期の変形挙動.第44回日本地すべり学会研究発表会講演集, 463-466.
- 6) 仙波咲子・布施昌弘・横山俊治(2004):四国黒瀬川帯の蛇紋岩採石場で発生した重力性クラック群.平成16年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 303-306.
- 7) 高知県(2004):平成14年度エコ高知第14-2号エコサイクルセンター基本計画設計委託業務地質調査報告.