

樹木の変形を利用した崩壊危険斜面の検出

DETECTION OF LANDSLIDE HAZARDOUS SLOPES

BY USING TREE DEFORMATION

三田和朗¹

Kazurou MITA

¹ (株) 日本地下技術 技術部 (〒890-0008 鹿児島市伊敷 5-16-3)

1. はじめに

斜面変動¹⁾の予知技術が、地形・地質・土質・地下水・計測など多方面の分野から研究されている。しかしながら、変動の発生時間・規模・崩壊タイプの予知が一般に実用化されている段階ではなく、予知を単に斜面変動の発生箇所の予知と限定しても、予知の成功はかなり困難である。斜面変動の発生予知が困難な理由の一つには、地形・地質・土質・地下水などのそれぞれのアプローチが必ずしも崩壊を予知する資料として決定的ではないことがあげられる。予知のためにこれらの指標を組み合わせてボーリングや斜面変動の計器観測など総合的な調査を行うと予知精度は向上すると考えられるが、危険が予測される斜面全体にわたって広範囲に適用できない経済的側面の制約もある。

筆者は、樹木の変形が斜面変動の指標に有効であることから、斜面変動箇所を踏査する過程で植生と斜面変動の関心に注目してきたが、特に針葉樹の幹の変形が危険斜面の抽出に有効であると考えに至った。本論は、平成15年7月20日の豪雨(24時間雨量540mm)で崩壊が多発した鹿児島県北部の災害現場付近で針葉樹の幹の変形割合と崩壊斜面の関係を調査し、崩壊危険斜面の検出法について提案するものである。地表踏査で把握可能なほかの要素、たとえば微地形の変形・地質・地下水・周辺斜面の安定度などの指標を参考にすることにより、よりの確かな斜面変動の予知が可能になるものと考えられる。この手法は、すべての斜面変動を予測できるわけではないが、非常に低コストな調査である点と、樹幹変形という単一のアプローチである割には、危険斜

面の抽出精度が高い点が特徴であると考えられる。

2. 長期間の斜面変動と樹木の変形

本論で対象とする斜面変動は、主として地すべり・崩壊・トップリング・クリープである。IAGEの地すべり委員会では、斜面上の多種多様な変動現象全般に対し「landslide」を用語として用いる動きがあり²⁾、本論では地すべりと崩壊を含んだ広義の変動現象を表わす名称としてこの用語を使用した。

斜面変動予測が困難な理由のひとつに、計器観測の場合は、観測期間が一般に0.1~3年と短い点が指摘される。その間に斜面変動を発生させる予兆現象が起きないと、「斜面は変動していなかった」すなわち「安全である」と判定され、崩壊予測や危険度判定の精度が悪いものとなる。

一方、杉などの針葉樹の場合は、地表の傾動により成長方向が変化すると幹が変形するので、仮に樹齢30年の杉であれば、30年間の地表付近の傾動を記録した地盤傾斜計と見なすことも可能である。ただし、地表付近が傾動しなければ杉に変形が生じないので、本手法で検出できる可能性がある斜面変動は、杉の成長期間内に変動が発生した下記の現象であると考えられる。

①地すべり

②崩壊の前駆的な現象(過去の豪雨時に発生した亀裂や小滑落崖形成など)

③トップリング(速度がある程度大きいもの)

④表層のクリープ(速度がある程度大きいもの)
初生的な地すべり・活動が停止している地すべり・変動履歴をもたない崩壊は、本手法では検出でき

ない。したがって、崩壊については前駆現象が崩壊直前に発生するものが多いため、単発的な崩壊には本手法を適用できないと考えられる。

3. 樹木の変形要因

(1) 判定に使用する樹木と変形

今回、斜面変動箇所の予測に用いる樹木は杉である。現地には生えている杉は、幹の直径で 10~40cm であるが、20cm 前後のものが多い。地質的には、風化安山岩や変朽安山岩が分布している地域で、多くの杉(約 5~7 割程度)に、根曲がり認められる。「幹の曲がりの発生機構は殆ど不明である」²⁾とされるように幹の曲がりを形成する要因は複雑であるが、鹿児島県のように積雪がほとんどない地域の根曲がりには、主に斜面変動と強風によって形成されると考えられる。一方、極表層のクリープでは、崩壊発生の如何に関わらず、クリープ斜面の変動により根曲がり形成されると考えられるので、根曲がりを指標に加えると、崩壊や地すべり発生箇所の予測は複雑化する。したがって、多くの杉が根曲がりしている本現場では、崩壊と最も密接に関係していると考えられる幹の変形のみを調査対象とし、根曲がりについては調査対象から除外した。このことは、根曲がりの判定が崩壊予測に無効という事ではなく、ある程度有効なはずであるが、本フィールドでは、あまりにも根曲がりが多いため統計からはずしたものである。

今回調査したフィールドでは、樹高 1.5m 以内で根曲がり収束し、それより上部の幹は真っ直ぐ伸長しているケースが一般的である。樹高 1.5m を超えると根曲がりの影響が軽微なので、樹高 1.5m 以上の幹部分の変形・傾倒を調査対象とした。筆者は経験的に、これより上の部分の幹の変形は斜面変動の履歴に直結していると考えている。すなわち、ある程度鉛直方向に真っ直ぐ伸びた杉が、斜面変動により傾くと、その後伸張方向の修正が起り、幹が曲がると思われるからである。なお、根曲がりから連続して 1.5m より上部の幹まで曲がっているケースもあるが、この場合は、斜面変動などによる変形が根曲がりに加わったと考え変形した樹木に区分した。

(2) 台風の影響と変形

鹿児島県の場合は、斜面変動以外の傾倒要因として、台風の強風がある。斜面変動により発生した樹幹の変形か、強風により発生した樹幹の変形か判定が困難な場合もあるが、強風により発生した幹の変形には次の特徴があるので、斜面変動による変形と区別できるケースが多い。

- ①強風により傾いた杉は、根も一緒に地中から引き出されており、このために根元付近に土の盛り上がりや、引き出された根が露出する。
- ②強風により傾いたと考えられる杉は、周囲の杉に傾きがほとんど無いのに、1本だけ真っ直ぐな幹が倒れるなど、周囲の杉の形態と調和的ではない。
- ③台風の影響を受けやすい南東~南西向き斜面や山頂近くの斜面、あるいは尾根や谷頭で上記①や②が見られることが多い。
- ④崖の縁など特に風が強い部分では、杉が揃って曲がっていることもあるが、その場合は根曲がりの方向が斜面傾斜方向と逆である場合が多い。今回は、この様な点を考慮し上記①~④のケースを斜面変動による変形と区別するため排除した。しかし、幹の変形の原因が斜面変動によるものか台風によるものか不明なケースもあるので、その場合には、斜面変動により発生したもとして区分した。

4. 樹木の変形区分

(1) 樹幹の変形形態

フィールドを踏査し、現地には生えている杉の幹に認められる変形形態を図 1 に示した 6 タイプに区分した。以下にそれぞれのタイプの特徴について述べる。

・弓形 幹が弓のように弧を描いて根曲がりと同じ方向に曲がったもの。

・S字型 根曲がり逆方向に幹が曲がって緩いS字型になったもの。

・折れ型 真っ直ぐな幹が折れ曲がってから成長したもの。

・波型 幹が波打つように曲がったもの。

・傾倒型 幹が真っ直ぐなまま倒れたもの。(台風による傾倒は除外する。)

・その他 上記以外の種々の変形

以上のように杉の幹の変形を区分した。なお、変形の度合いは 30m 程度離れた地点からでも容易に目視確認できる程度以上の変形を抽出した。その結果、

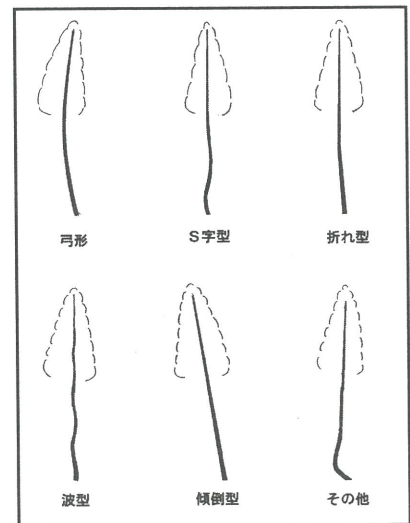


図-1 樹幹変形の形

多少変形していても人間の感覚で真っ直ぐと感じられる杉は本報告では曲がっていない杉に分類される。

現場の状況を写真-1 に示す。



写真-1 本フィールドで述べる真っ直ぐな杉林の状況

2〜3本の杉を除いて1.5m以上の高さでは樹幹に変形が認められない。変形ランクではCランクになる。

(2) 変形区分

杉林の変形の度合いを目視判定によりS, A, B, Cの4ランクに区分した。区分は、高さ1.5m以上の部分で、樹幹が変形した杉が何%含まれているかという点で区分した。

- Sランク 70%以上の杉が変形
- Aランク 50〜70%
- Bランク 10〜50%
- Cランク 10%以下

ただし、最も危険度が高いSランクには、変形した杉の割合が70%以下でも、崩壊発生を示すと考えられる顕著な変形が少しでもある場合を含めた。これらの区分要因をまとめて、表-1に変形ランク区分を示す。

表-1 幹の変形ランク区分

変形ランク	幹が曲がった杉の割合	備考
S	70%以上 (70%以下でも備考欄のケースは適用)	波型に変形した幹や45度以上極端に曲がった幹、斜面変動を示唆する顕著な変形が少数でもあった場合を含む。
A	50〜70%	—
B	10〜50%	—
C	10%以下	—

変形ランクを設定する面積は特に定めていないが、

目視で簡便に調査可能な単位として、調査地点から前後左右10〜20m程度(約400〜1600㎡)の範囲を目測で設定して調査した。曲がった杉の割合は対象範囲の中から平均的な変形割合の部分抽出して、20本程度の杉で判定した。しかし、特に変形が著しい部分(SとA)は、狭い範囲でも判定して記載した。

写真-2, 3, 4に、B, A, Sの各変形ランクに区分した杉林の状況を示す。



写真-2 Bランクの杉林の状況

写真-2は、Bランクのうち、樹幹の変形が多い地点である。40〜50%の杉の幹に変形が認められる。



写真-3 Aランクの杉林の状況

写真-3は、Aランクの林の状況である。60%の杉に弓形やS字型の変形が認められる。平行に傾倒した写真中央部の2本の杉のうち真っ直ぐな杉は台風により倒れ、根元が緩いS字型に変形している左側の杉は斜面変動により変形したと推定される。なお、この部分は小崩壊地形の頭部であり、過去に崩壊を発生させた不安定斜面であるが、この部分の杉の変形からは、現状でも斜面変動があると考えざるを得ない。ただし、現地には新しい亀裂は発生していないため、次に述べるSランクの地点より崩壊危険度は低い。

写真-4付近では、幹が曲がった杉の割合は70%以下であるが、下記3点の特徴があるためAランクよ



り不安定なSランクに区分した。

写真-4 Sランクの杉林の状況

- 特徴1 図-1 に示した波型の杉 (★印で写真に示す) が3本認められる。
 - 特徴2 傾倒方向がA・Bランクでは揃っているが、Sランクでは不揃いである。
 - 特徴3 斜面の横方向からだけでなく上下流方向から林を見ても幹が著しく変形している。
- 写真-4の地点は、図-2に示した崩壊(カ)の滑落崖

上部の斜面に位置するSランク地点である。この地点は馬蹄形の凹地形を示し、平成15年の豪雨で形成された落差20cm・長さ数mの亀裂が凹地形に沿って認められる。この部分の土塊は、平成15年の豪雨で崩落までは至っていないが、杉の幹の変形が著しいため、平成15年以前にもこの部分は斜面変動を繰り返しており、危険な状態であったと考えられる。

5. 斜面崩壊と変形ランクの関係

豪雨で崩壊が多発したフィールドを踏査し、表-1の区分で幹の変形ランクをS～Cに区分し、図-2 樹幹変形ランク平面図を作成した。図-2の踏査範囲には、ア～サの記号で示した合計11箇所の崩壊跡が認められる。これらの崩壊跡周辺に認められる変形ランクと崩壊との対応を表-2にまとめ、本調査法が斜面崩壊箇所検出にどの程度有効か検討する。

A～Sの各ランクで発生した崩壊と健全な斜面の割合から次の点が考えられる。

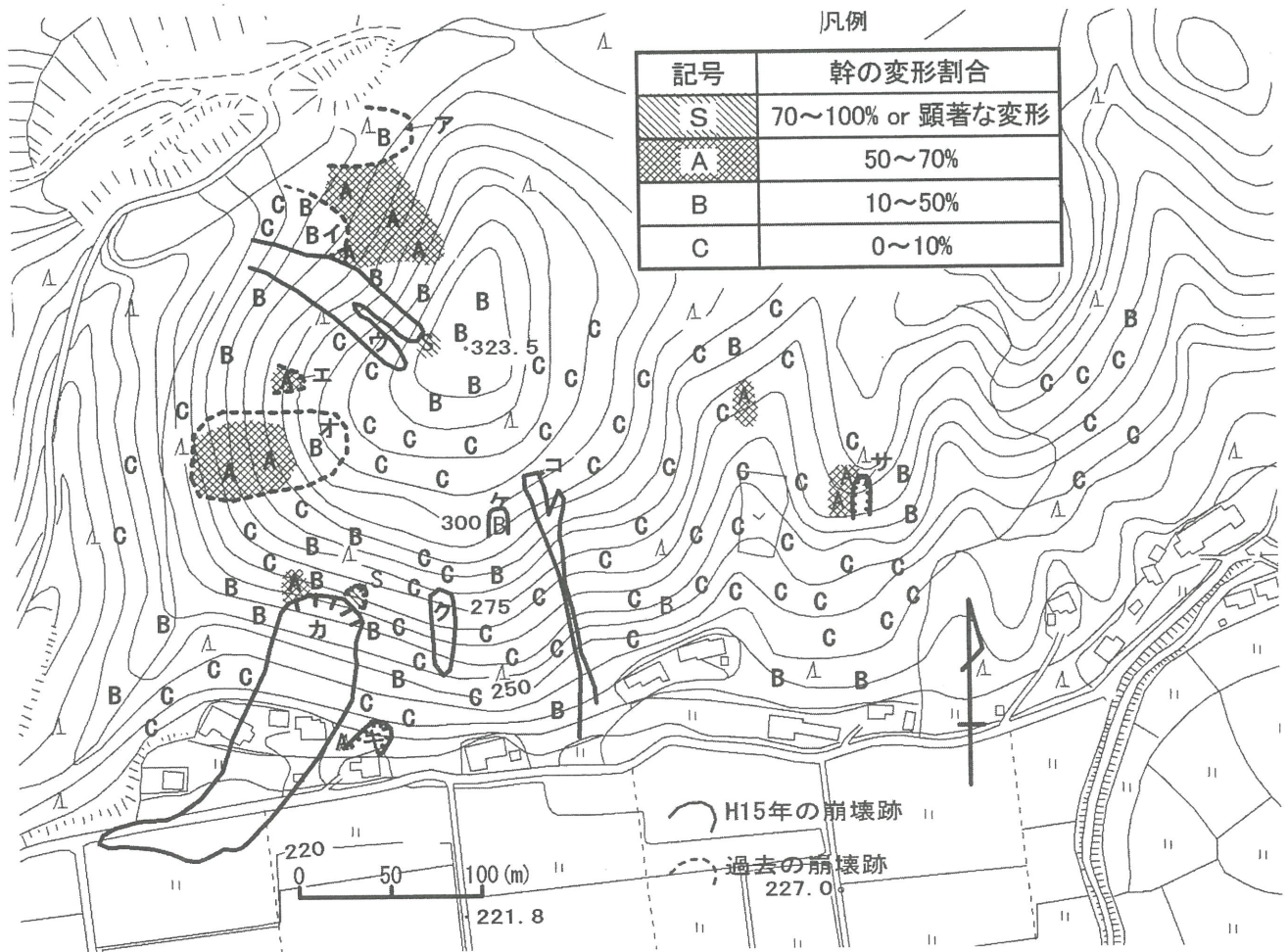


図-2 樹幹変形ランク平面図

表-2 崩壊と危険度ランク

崩壊名	崩壊の時期	崩壊周囲の変形ランク	地形の特徴
ア	30年以上前	A B	凹地形（崩壊跡）
イ	30年以上前	A B C	凹地形（崩壊跡）
ウ	H15年	S B C	-
エ	30年以上前	A	凹地形（崩壊跡）
オ	30年以上前	A B	凸地形（崩壊？）
カ	H15年	S A B C	-
キ	H15年	A C	-
ク	H15年	C	0次谷
ケ	H15年	B	0次谷
コ	H15年	C	0次谷
サ	H15年	A	0次谷

Sランク

Sランクの変形が認められた2箇所とも、その下方の斜面が崩壊している。さらに、サ地点のAの変形もSに近いものだったため、SないしSと疑われるような顕著な樹幹変形が見られた斜面は、斜面変状の場であり最も危険である。今回のような異常豪雨時には、Sランクの斜面付近では、高い確率で崩壊が発生すると考えられる。

Aランク

Aランクの変形が認められた7箇所のうち既往の崩壊跡が無い3箇所で、平成15年に斜面が崩壊している。残り4箇所は、30年以上前の既往の崩壊跡（崩壊名ア・イ・エ・オ）である。このことからAランクの変形が認められる斜面は、過去に既に崩壊した後に引き続き変形している斜面であるか、崩壊履歴が無い斜面では、崩壊の前駆的な斜面変動（過去の豪雨時に発生した亀裂や小滑落崖形成など）が樹幹の変形として記録されている斜面であると考えられる。したがって、Aランクの未崩壊地点は、異常豪雨時に崩壊する可能性が高く、同じAランクでも既往崩壊後や緩い斜面では新たな高速の崩壊発生の可能性は低いと考えられる。

Bランク

Bランクの変形は、山頂部・尾根付近・斜面の末端付近・既往崩壊跡付近に認められる。このうち、山頂部と尾根付近のBランクの変形は、台風による幹の変形を相当量含んでいると考えられる。3.(2)に記載した①～④に明確に当てはまらないケースを台風の影響として明確には排除できないからである。

図-2のうち、ケで示した崩壊部分には、周囲一帯がCランクであるにもかかわらず、この付近だけBランクの顕著な樹幹の変形があり異常だったので、近づいて地表を見ると、小規模な馬蹄形の亀裂が形成されていた部分である。ケ地点は、現地踏査では0次谷であることを確認できる。

Cランク

Cランクは、根曲がりを除いて樹幹の変形がほとんど認められない部分である。単発的な斜面変動で一気に崩壊に至る場合には、崩壊発生時点でまだ幹が変形していないので、樹高1.5m以上の部分を調査し、崩壊発生箇所を予測することは困難である。この観点からはCランクの斜面は、調査フィールドの範囲では過去の斜面変動が少なく、比較的安定な斜面に該当するが、表-2に示したク・コ地点では平成15年に崩壊している。ク・コ地点の崩壊源地点は、1:5000の地形図には現されていないものの現地踏査では0次谷であることを確認できる。ウ・ク・コ地点では、崩壊土砂が下方斜面に流出している。

6. 斜面危険度の判定方法

ここまで述べたように、SランクとAランクの斜面では、幹の変形と崩壊発生箇所間に一定の関係があることが明らかになった。BランクとCランクでは、幹の変形と斜面崩壊に密接な関係は認められない。これらの点をまとめて崩壊判定の指標として

表-3 斜面崩壊の危険度（変朽安山岩～風化安山岩斜面に適用）

幹の変形ランク	幹が曲がった杉の割合	斜面崩壊の危険度
S	70%以上 or顕著な 変形	付近にSランクを有する斜面は豪雨で崩壊する危険性が高い非常に危険な斜面である。
A	50～70%	崩壊履歴が無い斜面の場合、豪雨で崩壊する危険性が高い。崩壊履歴が有る場合と緩い斜面の場合は、新たに高速の崩壊が発生する可能性は低い。
B	10～50%	全般に崩壊の危険度は低い(0次谷を除く)。Aランクに近いBの場合は、崩壊を示すものがある。
C	10%以下	崩壊の危険度はBランク地点より低い(ただし、0次谷ではランクに関わらず崩壊しやすい)。

表-3 斜面崩壊の危険度を示す。

本フィールドと同じ地形・地質状況の地域では、表-3を指標として、豪雨時の崩壊箇所の予測が可能と考えられる。

なお、BランクとCランクで豪雨時に崩壊した箇

所はいずれも0次谷であることから、B・Cランクでは、表-3において0次谷での適用範囲の制限を設けた。

7. まとめ

平成15年7月の豪雨で崩壊があった斜面(図-2の範囲)を踏査し、杉の幹の変形(地上1.5mより上の部分が対象)と崩壊の関係を検討した結果、表-3に示した変形が著しいS・Aランク部分で、幹の変形と崩壊に密接な関係があることがわかった。したがって、事前にS・Aランクの変形を検出し、斜面変動で形成された微地形と合わせて考慮すれば、かなり高い確率で崩壊が発生しやすい斜面を検出できると考えられる。一方、幹の変形が50%以下のB・Cランクの斜面では、崩壊発生の危険性は低いと考えられる。ただし、当フィールドのように根曲がり非常に多い斜面では、0次谷で崩壊しやすいのでこの危険度の判定は0次谷では適用できないと考えられる。

8. あとがき

今回の調査項目から根曲がりを外したが、筆者は鹿児島県において針葉樹の根曲がりが多い斜面は根曲がりがない斜面より不安定であると考えている。その根拠として、地すべり地の孔内傾斜計による観測では、表層のみがクリープ的に移動する現象が頻繁に認められるため、このような斜面では根曲がりが生じやすく、地質的にも不安定な斜面であると考えられるからである。

本来、斜面変動の予測に根曲がりも考慮すべきと考えられるのに、調査項目から除外したのは、本フィールドに余りにも根曲がりが多かったからである。この意味では、表-3のB・Cランクの斜面も根曲がり相当有り、さらに樹高1.5mより上の幹に50%以下の割合で曲がりが見られた斜面である。このように、本フィールドの杉は、斜面全体が相当不安定な地域であることも示唆している。

このような全体的に不安定な斜面では、マサ分布地域に見られるように異常豪雨に0次谷で崩壊が頻発する。本フィールドのB・Cランクの斜面も、0次谷で崩壊が発生しているが、0次谷での崩壊と根曲がりの関係を整理できれば、針葉樹の幹の変形を崩壊危険箇所検出のための有効なデータに利用出来る可能性がある。

最後に、本調査法の特徴は、非常に調査コストが低い点にある。図-2の範囲を1日で調査可能である。この調査法で、危険箇所を抽出し、その危険箇所に絞って地質・地下水・地盤の変形などの斜面変動調査を実施すれば、より効率的で的確な判断が、低コストで下せるものと考えられる。

また、調査法が簡便なので、「針葉樹の幹がかなり曲がっている」という観点から、住民自らが住宅の裏山を調査し、住民の有効な自主避難につながるケースがあれば幸いである。

参考文献

- 1) 藤田崇・田中耕平・野崎保:斜面における地質学,日本応用地質学会「斜面地質学」1~11p,1999.
- 2) 野々田三郎・川尻秀樹・木村等:ヒノキの幹曲がりに関する試験,岐阜県林業センター研究報告 53p,1983.

(2004. 6. 18 受付)