

# 緑斜面の健全性診断と再生のための新技術

新 貝 文 昭

緑斜面研究会では、里山や道路の緑斜面（森林）の保全を図るため、浸透水と樹木の根張り（根系）に着目し、地形・地質の性状、浸透水の挙動、森林の根系状態を総合的に診断する技術を提案した。主な内容は、実証的検討に基づいた、「崩壊しやすい緑斜面（森林）の抽出方法」、「防災機能に優れた緑斜面の再生方法」であり、本報告はその概要について示したものである。

キーワード：緑斜面，土砂災害，表層崩壊，土石流，直根，里山，道路景観

## 1. はじめに

緑斜面研究会は、緑化学，地盤環境工学，応用地質工学，砂防・治山工学等の各分野を代表する学識経験者，民間の5社の担当者から成る。

これまで、松本砂防事務所と六甲砂防事務所圏内の現場，西丹沢，湯西川ダムと奥日光，国道1号「箱根道路」などにおける現地検討会を重ねつつ，近年の降雨による斜面崩壊事例の分析と崩壊機構の検証を通じて、「崩壊しやすい緑斜面の抽出技術」や「防災機能に優れた緑斜面の再生技術」の研究を進めてきた。

## 2. 対象とした災害と発生機構

### (1) 対象とした災害

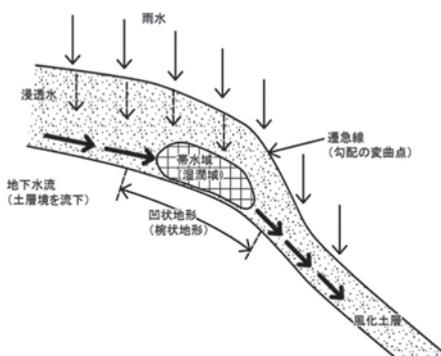
2011年9月の台風12号が全国20道県の民家や公共施設に被害を与えた土砂災害127ヶ所のうち約8割が，土砂災害防止法で定める「土砂災害警戒区域」と異なっていたことが，国土交通省の調査で明らかとなった。

そこで，里山や道路などの「緑斜面」における山崩れ（表層崩壊や土石流）を主な検討対象として，土石流の引き金となる谷筋上部の源頭部（0次谷）の表層

崩壊発生要因を追究した（図—1）。「緑斜面」とは、「森林」に代表される自然斜面のほか，道路，ダム，宅地，堤防，公園などにおける「緑化を行う切土や盛土などの人工斜面」を総称した。

### (2) 土石流の発生原因

現地検討会，長野県上伊那郡辰野町赤羽地区での継続調査等を踏まえ，源頭部（0次谷）における表層崩壊を発生源とする土石流の発生機構を次のように考察し，これをもとに技術の提案を行った（図—2）。



図—2 崩壊現象にみられる水挙動の概念図

- ①尾根筋に平坦な地形（緩傾斜の地形）が存在し，そこに浸透した雨水が遷急線付近の土層境から浸透水（地下水流）として供給される。
- ②上記の現象は，とくに，遷急線付近の地下に凹状地形（お椀状地形）が存在する，0次谷において顕著に現れる。
- ③降雨が継続すると雨水の供給が続き，遷急線付近の凹状地形の風化土層が厚い箇所ほど不安定になり崩壊に至る。



図—1 研究対象の土石流と源頭部（左）の凹状地形（右）

### 3. 緑斜面の崩壊危険箇所の総合診断

崩壊危険箇所の診断は、「崩れやすい生育基盤の検出」、「弱い森林の検出」により総合的に行う。

#### (1) 崩れやすい生育基盤の検出

崩れやすい生育基盤は、源頭部（0次谷）における表層崩壊を発生源とする土石流の発生機構を踏まえマイクロからミクロに検出する。

##### ① DEMを用いた微地形解析

崩壊危険箇所を広域的に抽出するため、DEMを用いた微地形解析を行う。まず、1mメッシュの標高データを活用し、GISの空間解析機能を用いて遷急線を読み取る。次に、遷急線の上部に位置する尾根部の平坦な地形を傾斜角から判読する。崩壊危険箇所は、対象地域における過去の崩壊発生の傾斜角や安息角（自然傾斜角）などを参考に遷急線の下部に凹状の地形（0次谷）を設定した後に判読する。長野県伊那市諏訪形地区で解析した結果と平成18年7月の集中豪雨により発生した崩壊地の照合を確認した（図-3）。

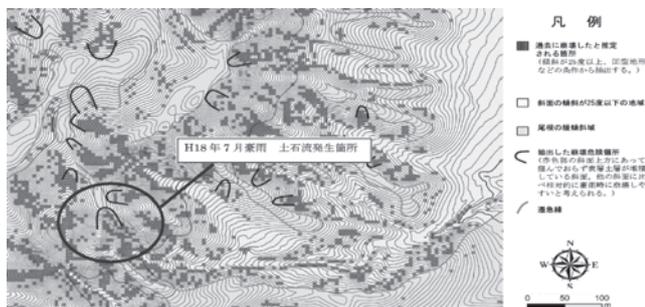
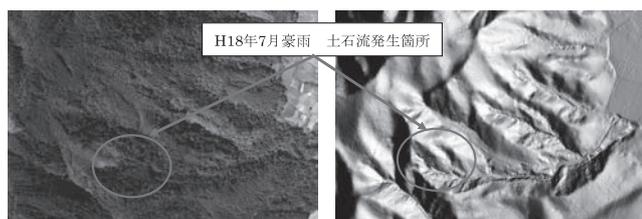


図-3 崩壊危険箇所の抽出例（長野県伊那市諏訪形地区）

##### ② 航空レーザー計測データ等を活用した微地形判読

上記で抽出した崩壊危険箇所を詳細に判読するため、3D陰影図をもとに地形判読を行う。航空レーザー計測により取得されたLPデータで作成された陰影図は、地表を覆う森林をフィルタリングにより除去した状態で地表面を再現するため、精細な地形が再現できる。一般の空中写真では、図-4のように森林が障



空中写真：国土地理院撮影の空中写真（昭和51年撮影）  
DEM：平成20年度航空レーザー計測1mメッシュデータ（天竜川上流河川事務所提供）

図-4 空中写真（左）とLPデータで作成した陰影図（右）

害となり微地形を判読できないが、LPデータで作成した陰影図では過去の表層崩壊地などの抽出が可能となる。

##### ③ 弾性波探査と比抵抗探査から風化土層厚を推定

表層崩壊の対象となる風化土層の厚さを把握するため、弾性波探査と比抵抗探査を行う。風化土層の厚さは、弾性波探査による「P波速度構造断面図」と比抵抗探査法（比抵抗映像法）による「2次元比抵抗構造図」を重ね合わせることで把握できる。また、10分間隔で繰り返し行った2次元電気探査結果（見かけ比抵抗変化率）を動画として可視化することで、地盤内の水分等の変化を動的にモニタリングできることを確認した（図-5）。

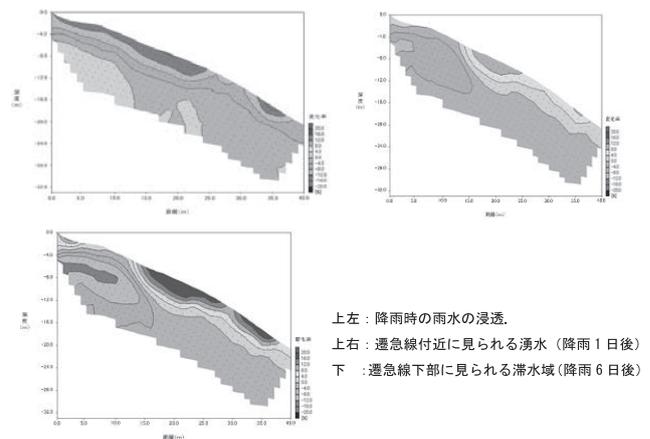


図-5 遷急線付近の水の挙動（見掛け比抵抗率からの評価）

##### ④ 土層強度検査棒（土検棒）による測定

風化土層厚を直接調査する方法は、静的な貫入試験である土検棒が安全性、作業性の面で優れていることを確認した（弾性波探査と比抵抗探査の結果と整合）。

#### (2) 弱い森林の検出

弱い森林は、2006年7月の豪雨災害で土石流が発生した長野県上伊那郡辰野町赤羽地区の土石流発生位置（谷頭部）の調査で、直根の有無、ネット構造の強弱、根系土塊の大きさに関係がある知見を得た。併せて、緑斜面の安定化に寄与する植物の働きを整理した。

##### ① 直根の有無（太さ、伸長深）

未崩壊部の樹木（天然生木）は、太い直根が地中深く2m前後に伸長し、下層の難透水層に達する。一方、崩壊部の樹木（植栽木）は、直根が全く見られず、根系の伸長深は天然木の半分で、細く短い根系が密生する（図-6）。

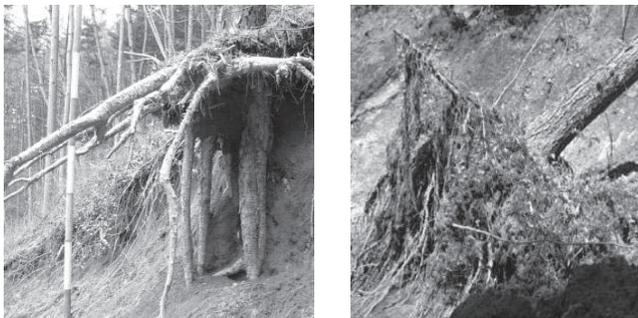
##### ② ネット構造の強弱（側根の太さ、長さ）

未崩壊部の側根は、太く長く、四方に3m以上も



図一六 天然木(左)と植栽木(右)の根系の違い(赤羽地区被災地)

伸長し、隣木の側根と相互に交差する「根系のネット構造」が発達する。一方、崩壊部の樹木の側根は1.5m前後と短く、太く長い側根がほとんど見られない(図一七)。

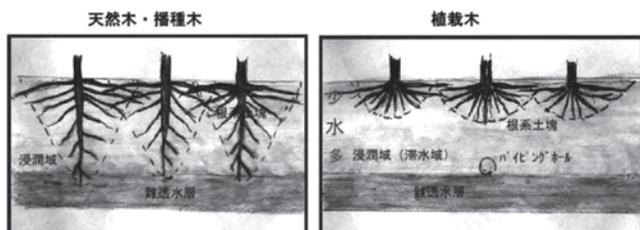


図一七 天然木(左)と植栽木(右)のネット構造の違い(赤羽地区被災地)

③根系土塊の大きさ(根系圏の大きさ)

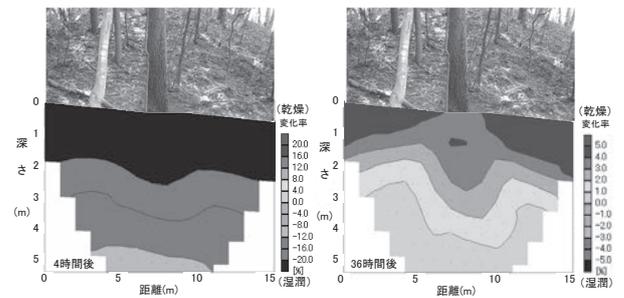
未崩壊部の根系は、下層の難透水層上部の浸潤域(滯水域)に伸長し深さ2m前後の円錐形の根系土塊を形成し、隣木の根系と相互に交差しネット構造を有する。一方、崩壊部の根系は、難透水層上部の浸潤域に伸長せず、深さ1m前後の根系土塊を形成する(図一八)。

ここで、根系土塊の大きさを調査する新技術として「見かけの比抵抗変化率」を用い、土中水分の動きを追跡する手法を示す。土中水分の降雨時における湿潤



- ◎直根の伸長
  - 根系土層：厚い
  - ⇒根系土塊：大(動き難い)
- ◎ネット構造の発達(土塊の連結力：大)
  - (原因)根系：太い、長い、疎生する
  - ◎生育空間：深<広い ⇒自重の支え：容易
- ◎直根の消失
  - 根系土層：薄い
  - ⇒根系土塊：小(動き易い)
- ◎ネット構造の貧弱化(土塊の連結力：小)
  - (原因)根系：細い、短い、密生する
  - ◎生育空間：浅<狭い ⇒自重の支え：困難

図一八 崩壊部と未崩壊部に見られる根系土塊の違い(原図：山寺 2011)



図一九 土中水分の挙動から根系の生育空間を推測する手法(辰野赤羽地区)(樹木位置は断面図の中央部)

左：降雨浸透により土中水分が高まる過程(根系部の浸透が速い)  
右：降雨後の乾燥が進む過程(根系部の乾燥が速い)

過程と降雨後の乾燥過程での変化から根系分布(伸長範囲)が推定できる(図一九)。

④緑斜面の安定化に寄与する植物の働き

苗木の養成時の“根切り”作業やポット苗・コンテナ苗の利用が弊害となり、植栽木の根系は自然林と異なる形状を示し、環境保全機能や有機物生産量が低下する要因となっている。

4. 災害に強い緑斜面の造成方法

(1) 直根を発達させる方法

検出した崩れやすい生育基盤や弱い森林を変えていくことは、災害に強い緑斜面の造成につながる。造成の手法として植生基材吹付工を用いた場合、樹木の直根が失われず伸長するが、目標とする木本植物の群落が形成されるには高度な技術が要される。このため、この工法の施工跡地で環境改善機能の高い群落は殆ど見られず、不良景観が形成されている例が多い。そこで、施工が容易で、確実性の高い手法を提案した。

土、有機物(堆肥)、肥料などを混合した基材を、中央に貫通穴のある円筒体に圧縮成型した土壌ブロックを用い、それに樹木の種子を播いて苗木を育てる手法である。この手法では、直根は貫通穴に沿って重力方向に伸長し、側根は土壌ブロック中に侵入するため、ポット苗・コンテナ苗を用いた場合と全く異なった根系形状となる。この直根が伸長する苗木を「直根苗」



図一十 直根苗(保育ブロック苗)による直根の伸長(コナラ、ノニレ、ニセアカシア)

(保育ブロック苗)と呼ぶ(図—10)。直根苗は、植物の生命を守り、生命力を発現させるために開発したため、「生命維持装置をもつ」、「生命力を倍増させる」、「根系の基本的構造をなす」苗木としての特性を有する。

## (2) 質の高い緑斜面の創出

災害に強い緑斜面を造成するためには、「質の高い緑斜面」の創出が重要である。質の高い緑とは植物の種々の環境保全機能がより高度に発現される性状を持った緑(群落)である。植物群落は、生物が生息する生態環境を創出し、維持する機能を有するが、緑の質によってその発現が異なり、健全で成長の旺盛な群落ほど高い機能が発現される。健全で旺盛な生育を支えている根源は根系の活動である。根系の旺盛な生命活動は、植物の生育性や健全性に大きく係わり、環境保全機能にも影響する。

「質の高い緑斜面」は、土壤保全機能の高い群落が形成され、景観などの他の環境保全機能も高度に発現する(図—11)。昨今、集中豪雨などにより里山や道路に隣接する緑斜面が崩壊し災害が生じているが、これらの多くは質の低い緑斜面のため根系が貧弱(細く短い)で風化土層を固定する力が弱いことに起因する。木本植物の根系の旺盛な成長を促し、土壤保全力を高めることで、緑斜面の崩壊を抑制することができる。と考える。



図—11 立地条件に適応した森林の成立(多様性・自然の活用性・持続性に富む)

なお、「質の高い緑斜面」を創出し、それを維持し続けるには管理が重要である。また、防災機能が高く、美しい里山や道路の景観を創出するには、緑を主体とする機能的景観の形成も重要である。

以上のように、災害に強い緑斜面を造成するためには、根系の生育が重要であるが、緑斜面の再生の基本は「自然本来の姿に学ぶ」ことである。自然の法則を無視して自然環境の修復再生を行っても持続しない。自然環境の修復再生や機能的空間の創出は、自然界のバランスのもとで行う必要がある。と考える。

## 5. おわりに

本報告では、里山や道路の緑斜面において、山崩れの危険性の高い箇所を検出するための考え方と対策方法を示した。今後は、予測事例をさらに増やし、信頼度をより一層高める。また、新たな取り組みとして、地域の観光資源としての緑斜面の価値を積極的に創出するエコロジカル・ランドスケープに配慮した緑斜面の生態系管理指針(仮称)などを提案していく予定である。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 緑斜面研究会(2012):緑斜面の健全性診断と再生のための新技術-里山や道路を土砂災害から護る-
- 2) 環境省(1982):自然公園における法面緑化基盤の解説
- 3) 社団法人 日本道路協会:道路土工一切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)(2009),社団法人日本道路協会
- 4) 日本緑化工協会(2006):21世紀の環境を創る緑化工技術—21選—,創立40周年記念出版,日本緑化工協会
- 5) 勝部圭一(2000):50m-DEMを用いた山地地形計測,CSIS Discussion Paper 29,35-37.
- 6) 勝部圭一・小口高(2006):日本の山地における起伏・傾斜・水系密度の関係,地形,27,109
- 7) 山寺喜成(2010):自然環境再生の緑化技術—砕石跡地の自然回復—,社団法人日本砕石協会
- 8) 山寺喜成(2010):温暖化防止を意識した緑の造成技術 ~機能重視の緑化へ~,第9回「みちと自然」シンポジウム(講和集),財団法人道路環境研究所
- 9) 山寺喜成(2010):環境改善機能を高める緑化技術 ~美しい道路景観の創出方法~,第10回「みちと自然」シンポジウム(講和集),財団法人道路環境研究所
- 10) 山寺喜成(2011):美しい道路景観を創出する緑化技術 ~イメージを変える緑化手法~,第11回「みちと自然」シンポジウム(講和集),財団法人道路環境研究所
- 11) 山寺喜成(2012):災害に強い道路づくりへの提言,第12回「みちと自然」シンポジウム(講演集),財団法人道路環境研究所
- 12) 吉川勝秀,三木博史,上野将司,藤原宜夫,和田正,門間敬一,三浦裕二(2006):生態学的な斜面・のり面工法—これからの緑化技術—,山海堂
- 13) 安藤伸,山寺善成,馬場干児,上野将司,佐藤謙司,小林剛,小西千里(2011):斜面崩壊危険箇所を迅速に調査するための非破壊探査および貫入試験の適用性評価 特に土層強度検査棒について,第46回地盤工学研究発表会講演集,pp.1983-1984.
- 14) 北原哲郎,安藤伸,小林剛,山寺喜成(2012):斜面崩壊危険箇所における調査手法—非破壊探査,土層強度検査棒および比抵抗モニタリングの適用性について—,平成24年度砂防学会研究発表会概要集,pp.344-345.
- 15) 佐々木靖人・柴田光博・福田徹也・片山弘憲(2002):斜面の土層深とせん断強度の簡易試験法の開発,平成14年度応用地質学会講演論文集,pp.359-362.
- 16) 上野将司(2012):危ない地形・地質の見極め方,日経コンストラクション編,日経BP社

### 【筆者紹介】

新貝 文昭(しんかい ふみあき)  
パシフィックコンサルタンツ(株)  
環境・地盤技術部  
課長代理



\*緑斜面研究会  
元信州大学教授の山寺喜成博士,元土木研究所の三木博史博士,パシフィックコンサルタンツ株式会社,(株)キタック,応用地質(株),日特建設(株)および(株)加藤建設の5社の担当者から成る。