

ヒマラヤで山の復旧やっています

- JICA の技術協力でインド山岳地帯の森林保全 -

© ウッタラカンド州山地災害対策プロジェクト

2013年6月にインド・ウッタラカンド州の山岳地域では大規模な水害が発生し、4,200以上の村が被害を受け、6,000人以上の方が亡くなりました。

ウッタラカンド政府と JICA（日本国際協力機構）は日本の治山技術を取り入れて山地災害の復旧・防止をするため、覚書を結び、2017年3月から技術協力プロジェクト「ウッタラカンド州山地災害対策プロジェクト」が始まりました。

このパンフレットは、そのプロジェクトでウッタラカンド州に取り入れられる日本の治山技術について、分かりやすく紹介するために作成したものです。



© ShingoKitaura

主な登場人物紹介

オサム
治さん(チーフ)



プロジェクトのチーフ
治山のことを誰かに話したくていつもチャンスを狙っている。

ヤマ
山さん(専門家)



治山の技術者
調査や設計をプロジェクトと一緒に働くインド人技術者に指導している。

ガリマさん(秘書)



プロジェクトのアシスタント
日本語は得意だけど、治山については知識がないので、勉強中。

プロジェクトには、JICA から派遣されている日本人専門家だけではなく、ウッタラカンド州森林局の職員やインド人エンジニア、プロジェクトスタッフ、調査会社、日本の治山分野で仕事をしている方など様々な方が関わっています。これらの方達の日々の活動や、やりとりを通じて日本の治山技術の移転が行われています。

※ このパンフレットの登場人物や出来事は、実在のものではないものも含まれていることを、あらかじめご了承ください。

1. どうして治山工事が必要なんですか？



本来、自然に不変なものはありません。山も同じで、崩れ、自然の力で回復することで森林は世代交代もしますし、山も維持されるんです。でも、人間の活動範囲の広がりや、予測の難しい大雨や地震など、様々なことが要因になって、大規模な山地崩壊が発生しています。

ウッタラカンドでも2013年に大洪水が発生して、たくさんの方が亡くなったり財産を失いましたね。

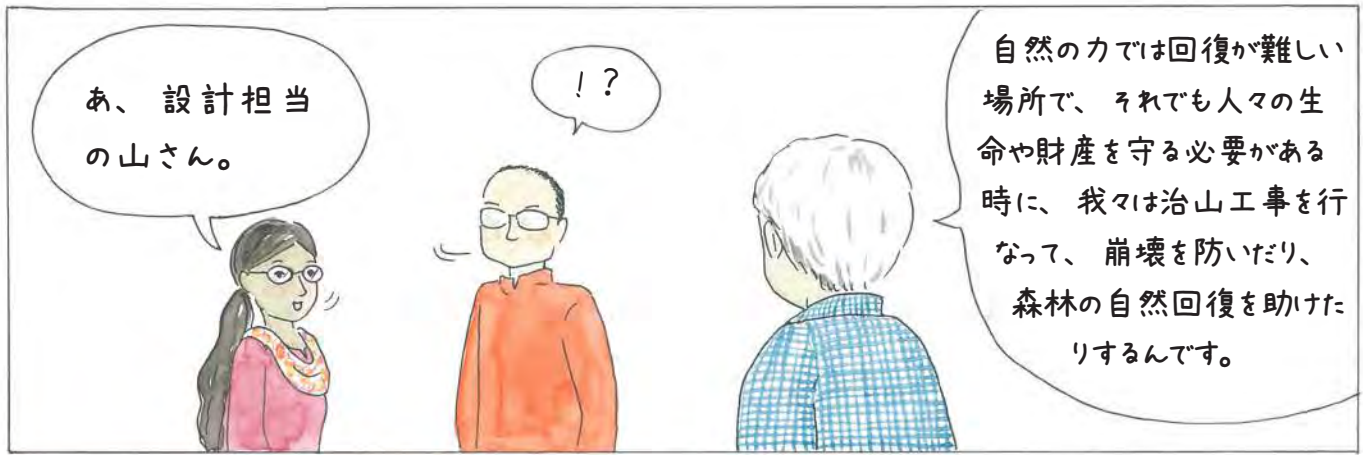


山には人々の生活があり、財産や道路など、守るべきものが増えているんですよ。

もうムリ！



1. どうして治山工事が必要なんですか？



写真は日本での崩壊地と、治山工事後の様子です。土壌を安定させることで山が緑に戻っていくのが分かるでしょう？

本当ですね！
工事をしたのも分からないくらい！



© 大井川治山センター



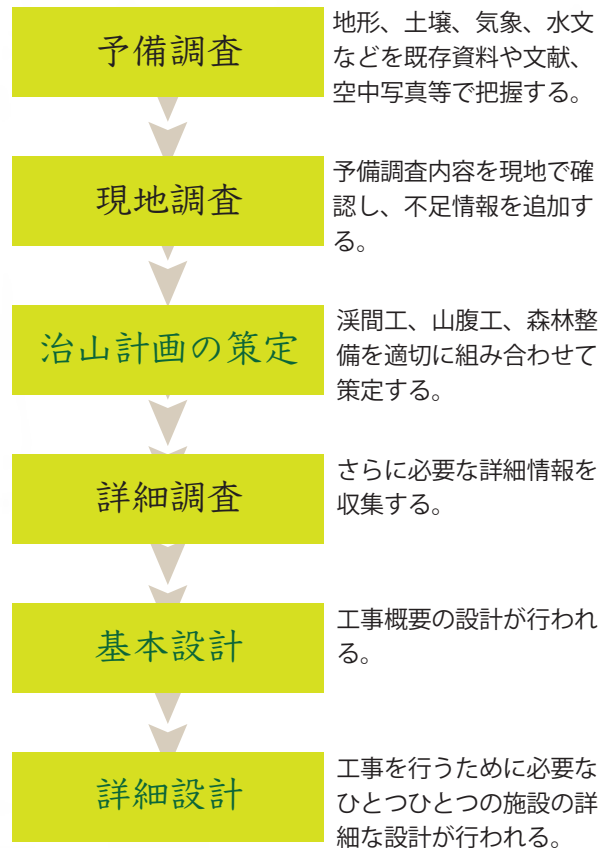
これらは1982年から2007年にかけて静岡県の大井川で撮られました。ここでは大規模な崩壊が発生し、林野庁が20年以上 治山工事を行なっているんです！



2. どうして調査に時間がかかるの？



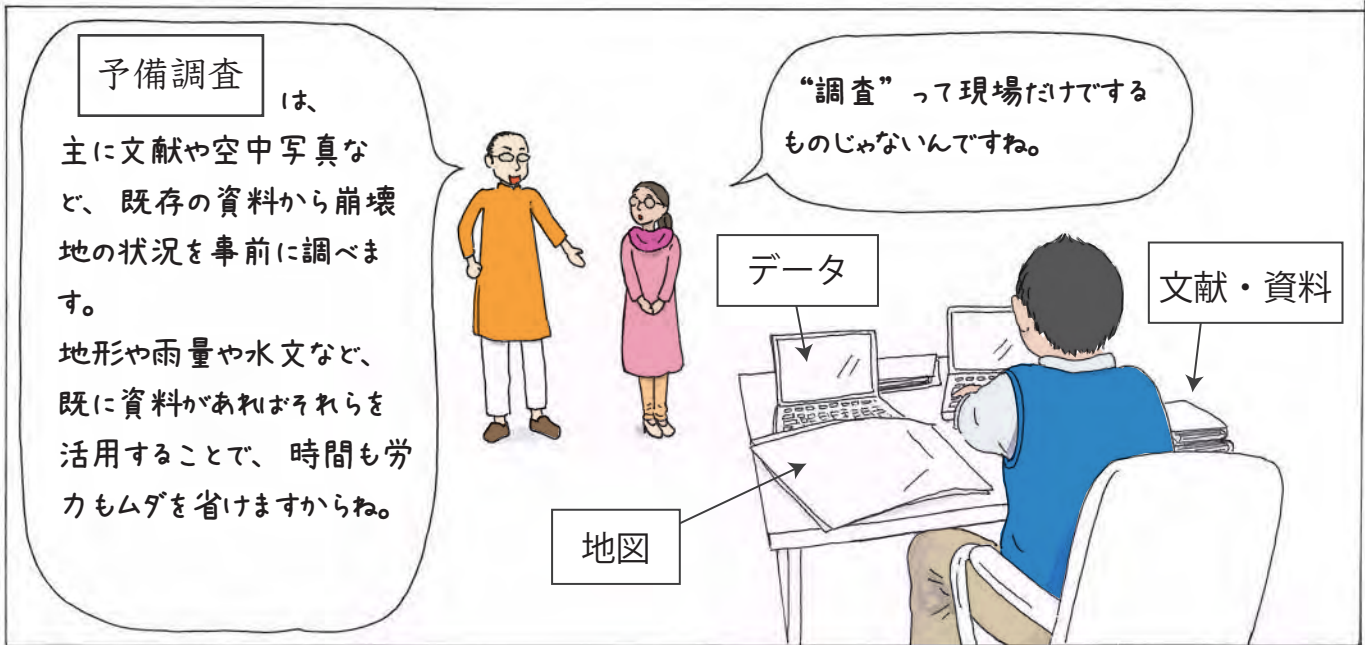
治山工事は、もともと崩れやすい斜面に工事をしなくてはなりません。さらに数十年に一度とかの豪雨の時にこそ、その機能を発揮することが求められています。かといって、いくらでも予算があるわけではないので、様々な調査を事前に行い、最も経済的で効果的な対策となるようにするんです。ていねいな調査をすることで、計画や設計がより実効性のあるものになっていきます。

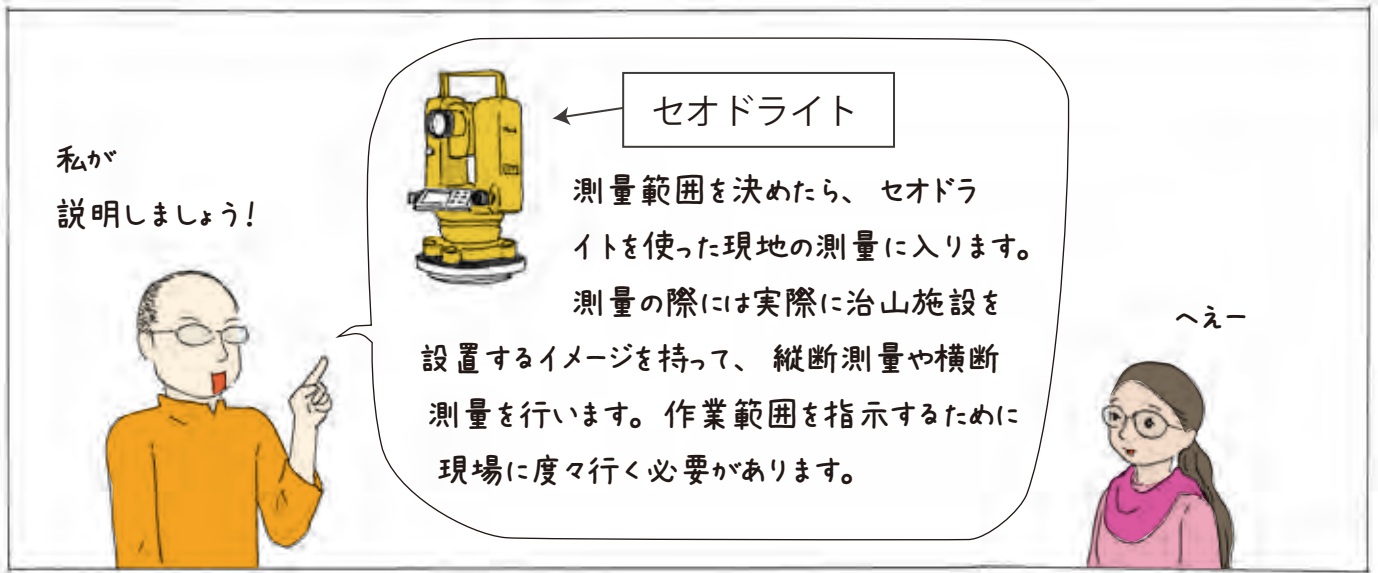


うーん 単語が難しいですね... 内容も教えてくださいませんか？



2. どうして調査に時間がかかるの？





測量をして平面図、横断図、縦断図ができたなら、大まかな計画を作ります。

土留工を設置するのに基礎地盤の支持力は十分でしょうか？

図面は線がたくさんですね!

それは等高線です。

土層厚と基岩の深さと状態を確認するために地質調査(原位置試験^{*1})が必要だね。

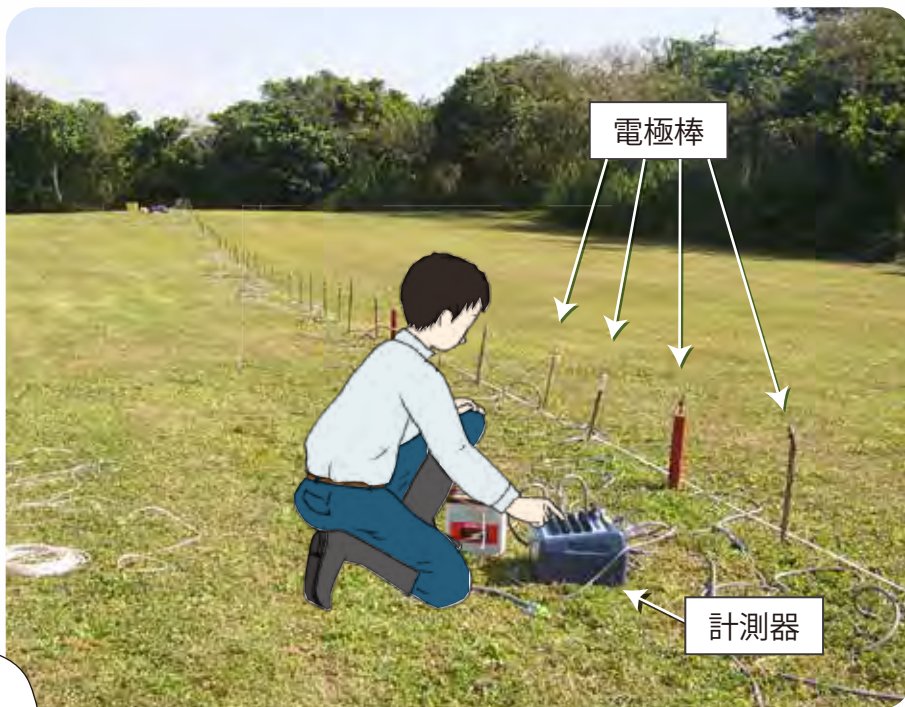
地下水調査もしておいた方が良さそうですね。

詳細調査を実施

*1 原位置試験：土がもともとの位置にある自然の状態のまま実施する試験の総称で、地表やボーリング孔を利用して、地盤の性質を直接調べます。

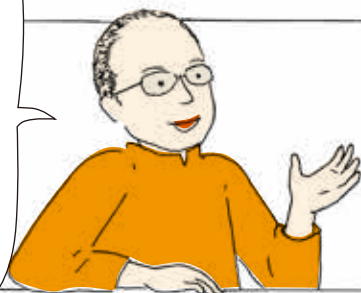
電気探査

複数の電極棒を等間隔に地面に差し、それぞれの電極間の地中の電気抵抗を測ることで地盤の状態を把握する試験。電極棒と計測器は電線でつながれていて、計測器から電気を流します。



© 応用地質

治山工事を予定している所では、必要に応じて原位置試験を行い、土の性質や地下水の状態を把握します。そうして得た情報で根拠のある基本設計をするんです。



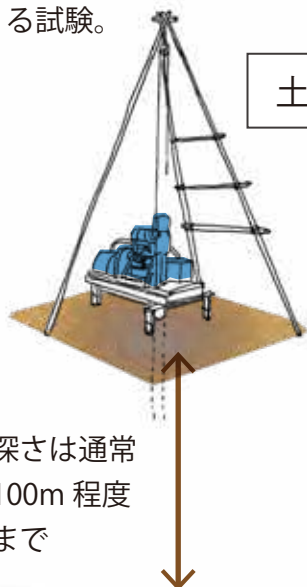
時間かか
かりそうな調
査ばかり。



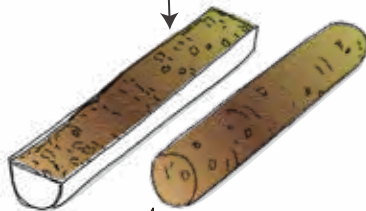
だから何度
も現場に行
くんですね。

ボーリング試験

地中に穴を掘って、土の層のサンプル(コア)を採取し、直接地下の様子を探る試験。



土質サンプル (コア)



硬い岩盤では円柱
状に採取できるよ

スウェーデン式サウンディング試験

地上から段階的に1KN(約100kg)までの重りをつけて装置の沈下量を測った後、先端がスクリー状になっている鉄の棒を地面に回転挿入してその抵抗を測定し、地盤の硬軟や締まりを測定する試験。



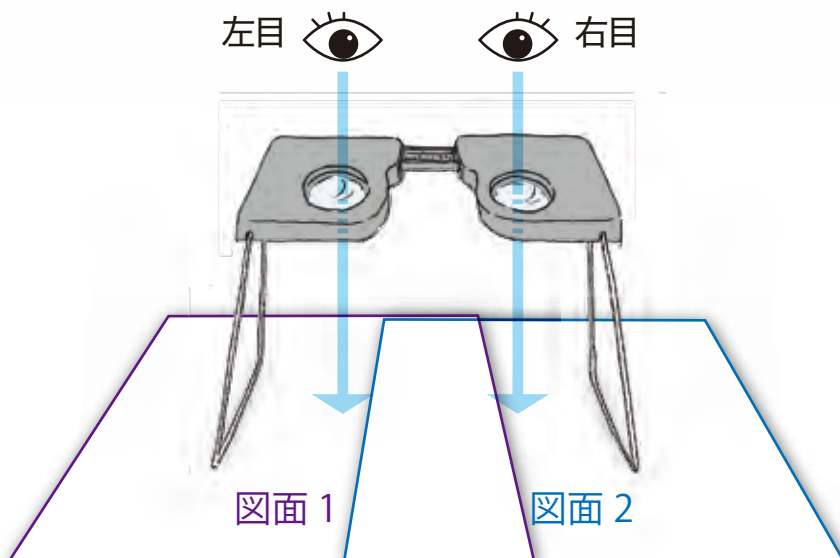
やぐら等を
設置しなく
ても、簡易
に土の強さ
などを測定
できる。

2. どうして調査に時間がかかるの？



実体鏡

少し横にズレている2枚の図面や写
真を、左右の目で別々に見ることで、
立体的（3次元）に見ることができ
る装置。この道具で2枚の空中写真
を見ると、1枚の空中写真だけでは
読み取りにくい、起伏や谷が、はっきりと現れます。



見るときは、2枚の写真などを
動かして、見たい部分がちょうど
両目の正面に来るようにします。





…この範囲が集水域です。
集水域からの水がこの部分に集まって、さらに土砂を道路に出しているので、この部分で水の勢いを緩める対策を…



基盤が強固でないから、柔軟性のある鋼製自在枠を採用したんだよ。

どうしてコンクリート製ではなく、鋼製自在枠のダムなんでしょうか？

うー。難しい…。

治山工事が始まるずいぶん前から、調査、設計の後で担当者による情報共有のための会議が行われています。今回のプレゼンテーションはサイトの詳細調査までが一通り終わった後の、**基本設計**についてです。



治山工事は税金を使って行われる場合がほとんどなので、一般の人々に十分な説明ができるようにしておかないけません。プロジェクト・ダイレクターは最終的な説明者になるので、工事を選んだ理由や工事の進め方などを把握しておく必要があるんですよ。

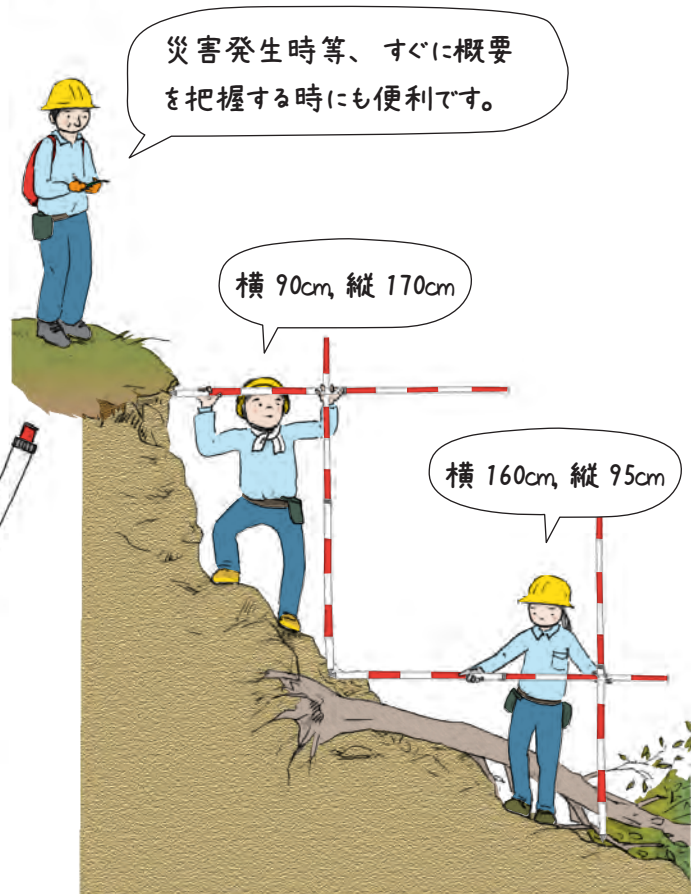
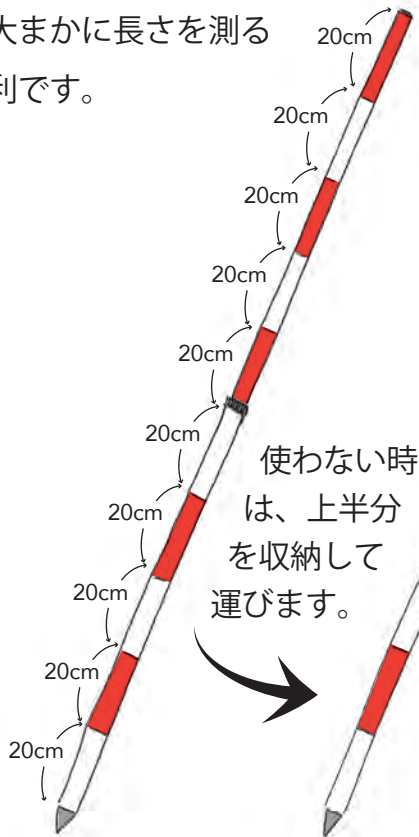
* アカウンタビリティ（説明責任）
組織が一般の人々に活動の予定や内容、結果などを報告する責任。



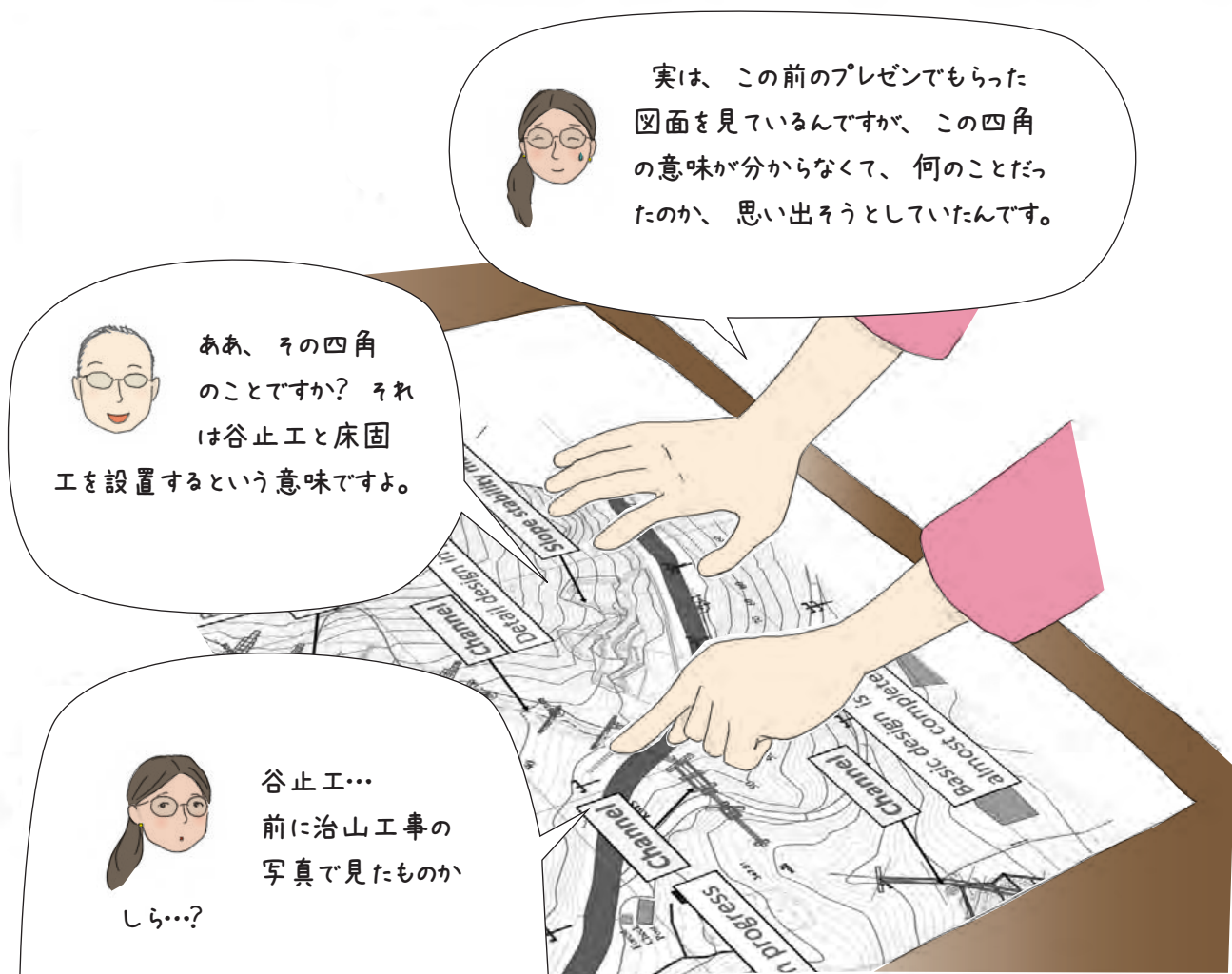
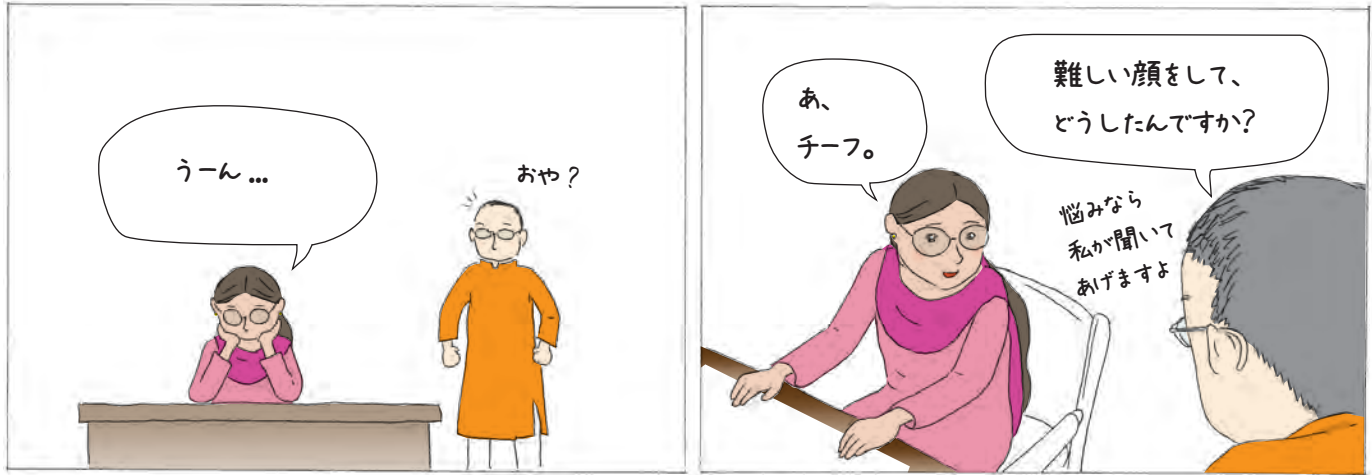


紅白ポールは、日本の現場でよく使われるポールです。素材は木製、アルミ製、樹脂製等様々ですが、

基本的に長さは2mで、赤白の色が20cm間隔で塗られています。遠くや森林内でも赤白の色差がよく目立つので、測量で視準する時や大まかに長さを測る時に便利です。

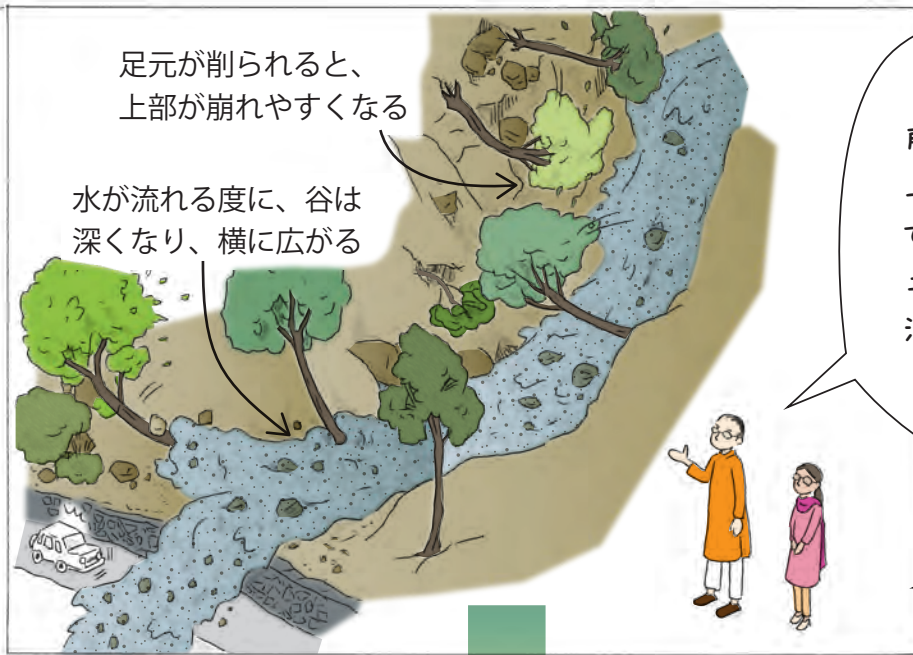


4. 溪間工（谷止工のはたらき）



4. 溪間工（谷止工のはたらき）

溪間工 施工前



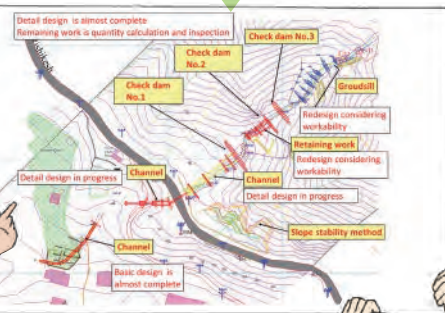
足元が削られると、
上部が崩れやすくなる

水が流れる度に、谷は
深くなり、横に広がる

これが溪間工を施工する
前の状況です。
上流部から水が集まる場所
で、雨のたびに谷が削られて、
土砂が下流の道路や土地に
流されています。

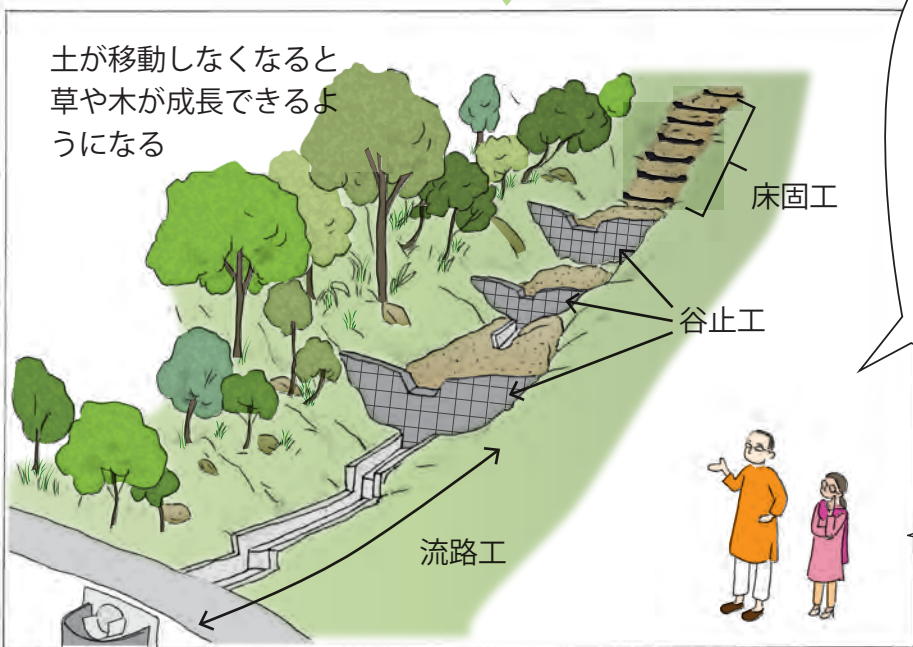
とても危ないですね。

そして、こ
の四角が谷止
工と床固工な
んですね。



土壌が安定していない
と、植物は育ちません。
そのため、水の流れをコン
トロールし、土壌を固定
するためにこのような溪間
工の基本設計を行いました。

溪間工施工後の
イメージ

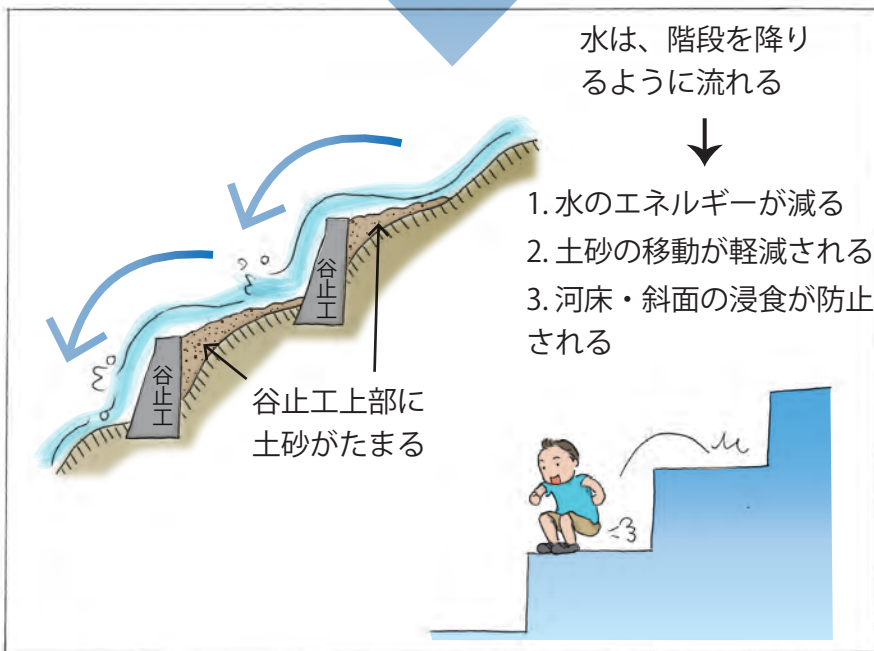
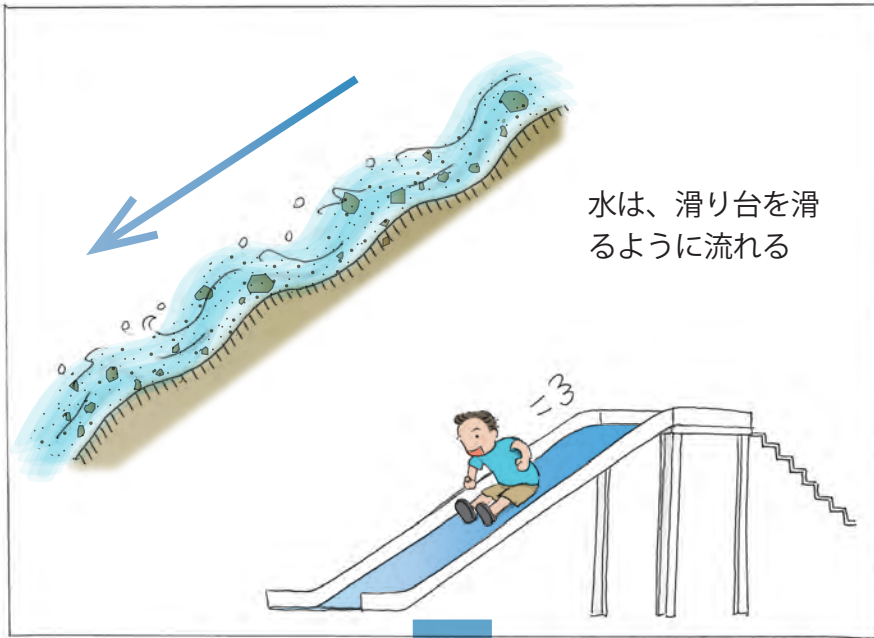


土が移動なくなると
草や木が成長できるよ
うになる

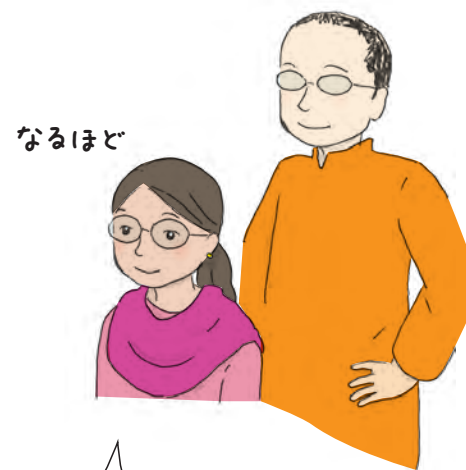
上流部は床固工で斜面
の傾斜を保ちながら、土の
移動を抑えます。
その下には谷止工を3基設
置して、溪流の傾斜を緩や
かにします。
そして、流路工で水を安全
に下流に流す計画です。

“谷止工で傾斜を緩
やかにする”ってどうい
う意味ですか？

4. 溪間工（谷止工のはたらき）

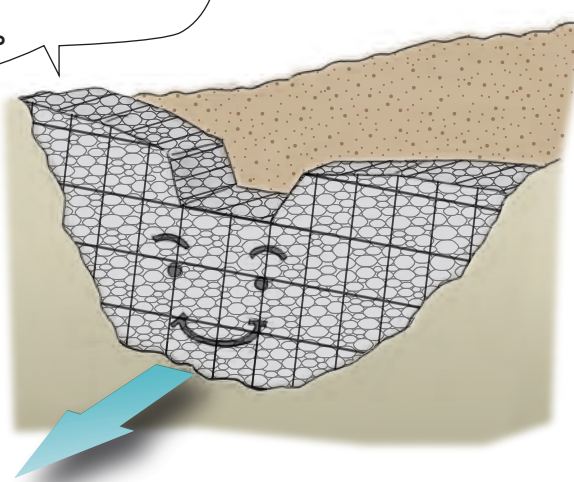


左の2つの図を見て下さい。上が何もしていない状態。下が谷止工を設置した後です。谷止工の背面に土砂がたまり、階段状になります。そうすると、段差はできますが、一つ一つの斜面の傾斜を緩やかに”できる”んです。



滑り台を階段に変え
ると、水が加速しにく
くなるんですね。

さらに谷止工には堆積した土砂で両岸の土壌を支える役割や、谷止工自体が水を下の斜面の安全な方向へ流す、などの役割があります。



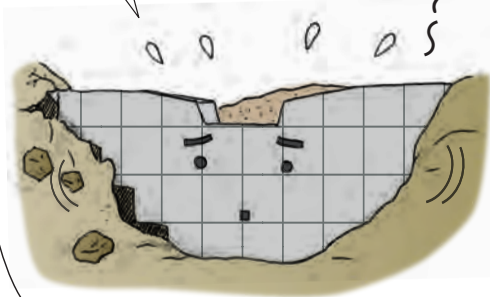
谷止工は安全な流路方向に向けて設置されます。

4. 溪間工（谷止工のはたらき）

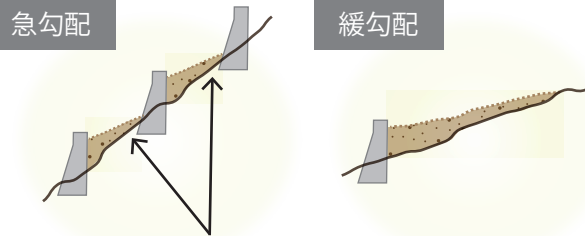


まず第一に、重たい谷止工を設置して、さらに谷止工の後ろに貯まる土砂を支えなければならぬので、設置する場所の両岸も溪床も地盤が丈夫でなければなりません。

両脇も足元もしっかり踏ん張れないと、倒れちゃうよー!



また、谷止工を階段状に設置する場合は、溪流の河床勾配や、侵食の防止を考えて設置場所を決めます。



谷止工の背面に貯まる土砂は、次の谷止工の足元まで届くように計画する



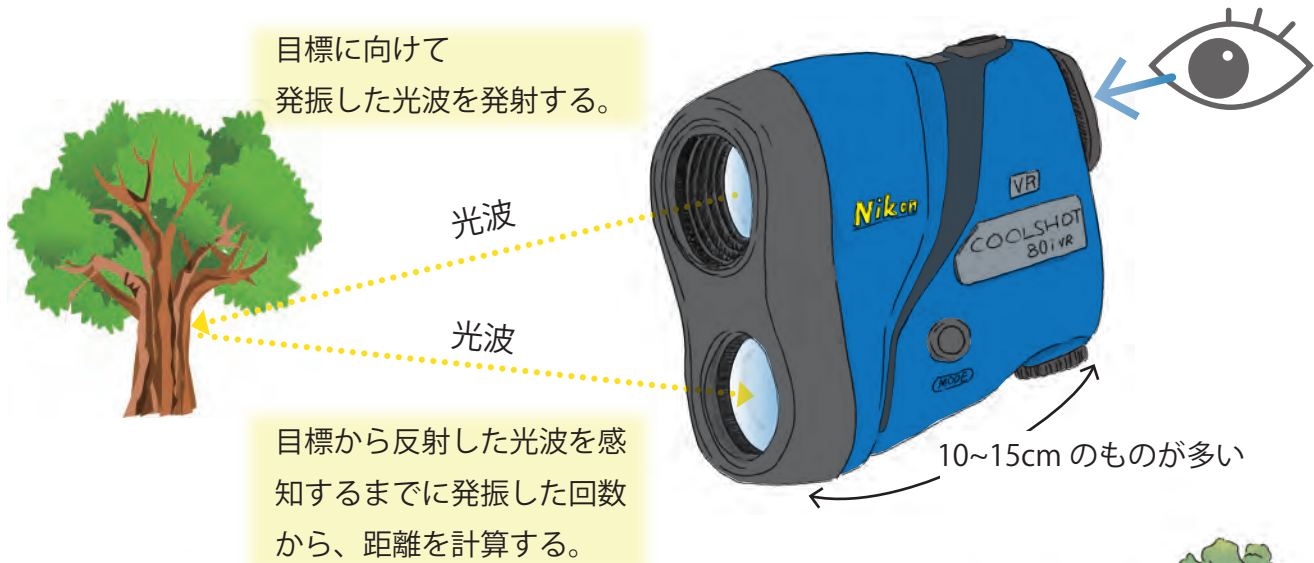
そうなんです。両岸や土台になる地面の状態や、全体のこと、色々考えなければならぬんですね。設置場所の決定ができるようになるには知識や経験が必要そうですね。





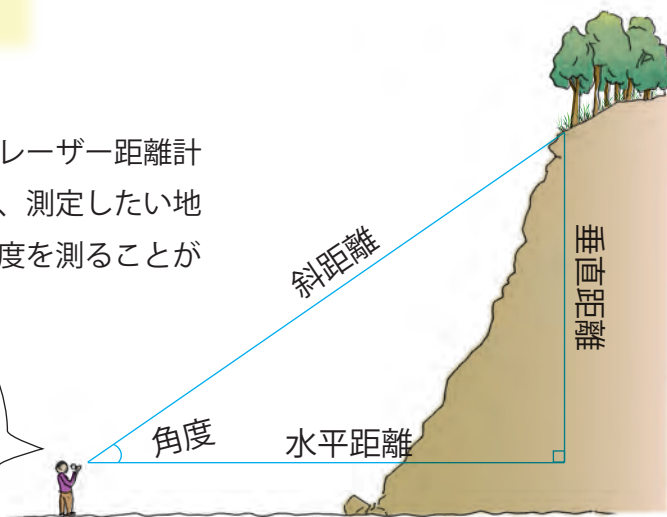
レーザ距離計

レーザ距離計は、光波測距儀の仲間で、光波を発射し、反射して戻ってくる光波を感知して距離を測る道具です。測量に使われるトータルステーションや、数十 km 先まで測れる軍用のもの、衛星に搭載されているもの等、機能や性能によって様々な使われ方をしています。治山の調査では、高性能で大きなものよりも、コンパクトな携帯サイズのレーザ距離計が活躍します。短距離であれば、広い距離や凹凸のある地形、険しい斜面など、巻き尺では測定するのが難しい場所でも、レーザ距離計を使うことで、簡易におおよその測定を行うことができます。

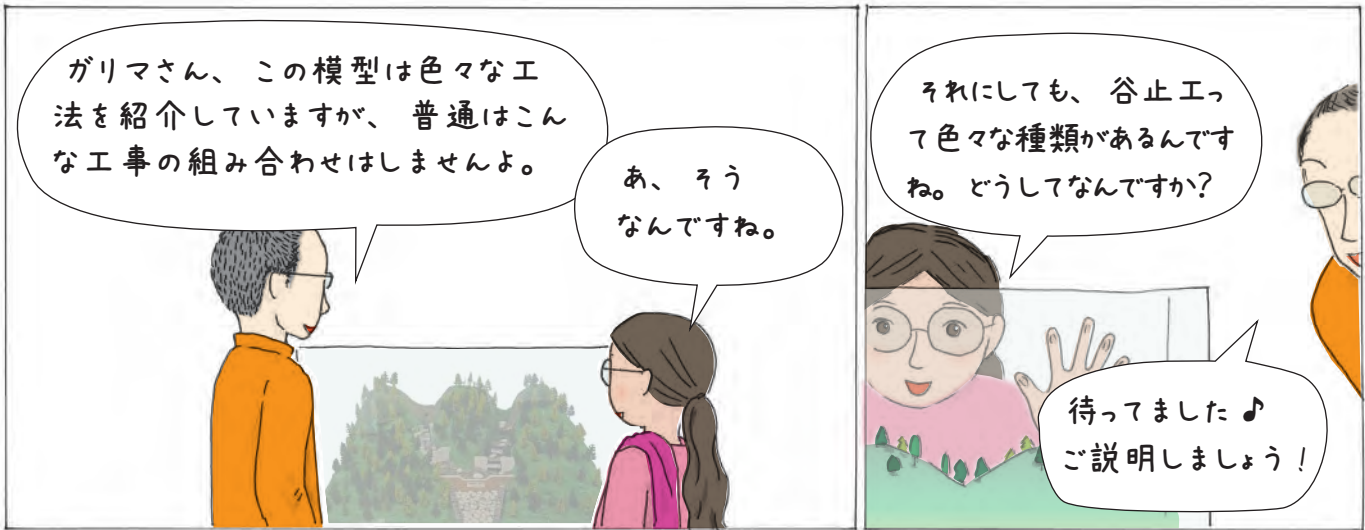


プロジェクトでは、ゴルフ用に開発されたレーザ距離計を使用しています。コンパクトで高性能で、測定したい地点までの斜距離、水平距離、垂直距離、角度を測ることができます。

森林内など、見通しの悪い場所では、超音波を使った測距離計も使われています。





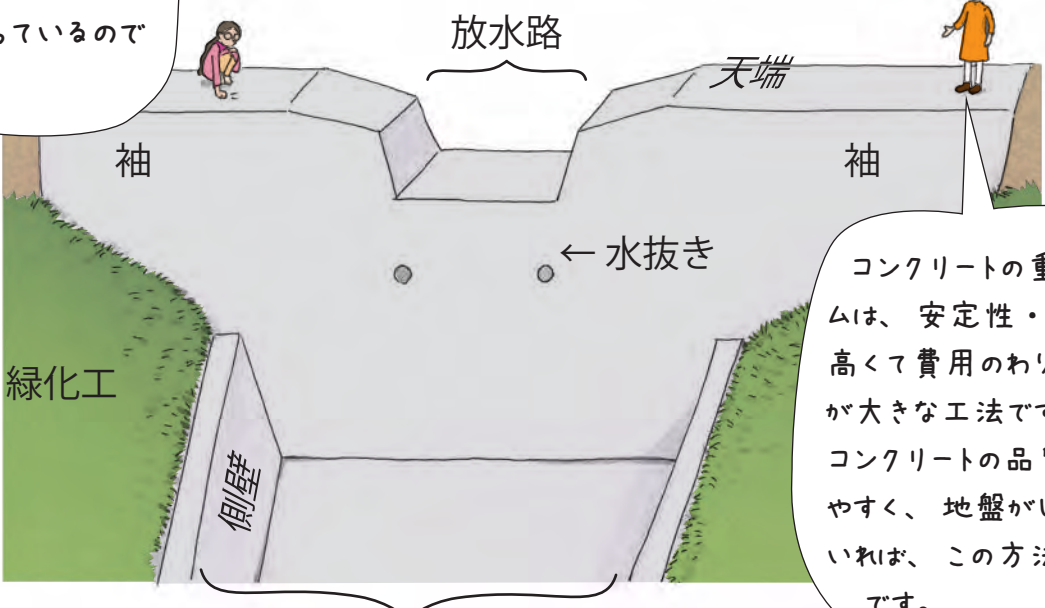


コンクリート製の重力式治山ダムは、日本で一番よく見られる谷止工です。このように大きなダムでは、下流側に水叩きが設けられることもありますし、もう一回り小さな“副ダム”を設ける場合もあります。ダムとその背面にたまる土砂で溪床の勾配を緩やかにし、両岸の山腹斜面を支え、山腹斜面を安定させます。

重力式治山ダム (コンクリート)

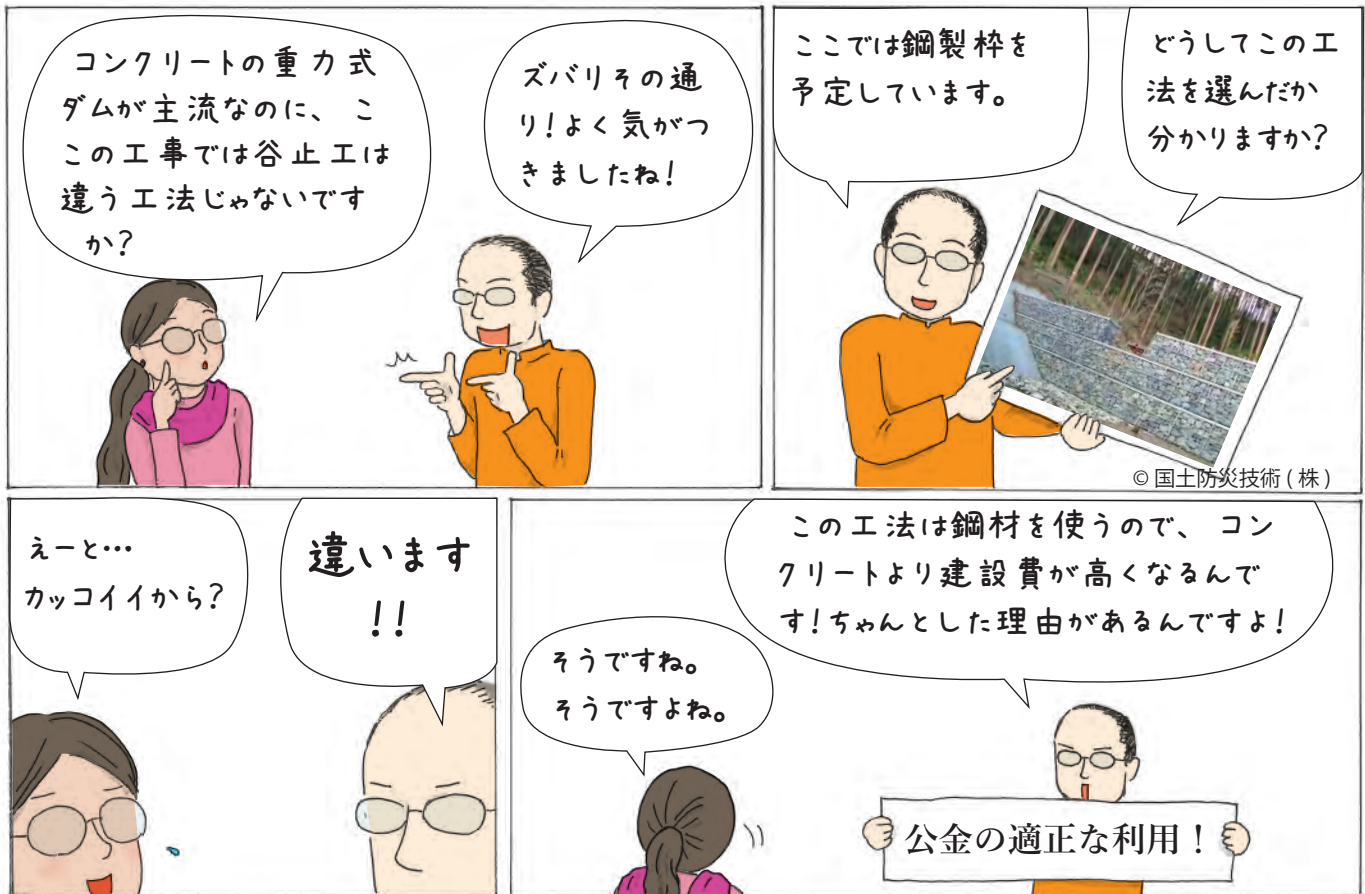
コンクリートで出来ているんですね。中に鉄筋も入っているのですか？

鉄筋は入っていません。



コンクリートの重力式ダムは、安定性・耐久性が高く、費用のわりには効果が大きな工法です。コンクリートの品質管理がしやすく、地盤がしっかりしていれば、この方法が一般的です。

流路工



鋼製枠（重力式）

鋼製枠は枠を工場で生産して、現地で組み立てます。
そして組み立てた枠の中に、現地で採取した石等を詰めて作ります。

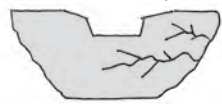
コンクリートダムよりダム自体の重さが軽いので、ダムを支える地盤への荷重が少なくて済みます。そのため、比較的軟弱な地盤でも設置をすることができるのです。

現地で採れる石を利用するのは合理的ですね!!


工場から運ばれる鋼材は規格に合わせて作られているので、コンクリートの品質管理が難しい現場でも、安定した品質のダムを作ることが出来ます。

ダム本体が石詰で隙間があって、水を下流へ流しやすいことも、このダムの長所です。

谷止工を設置した場所の堆積土砂が、不均等に沈んでしまうことがあります。この場合、コンクリートだとヒビが入って、ダム全体の安定に影響します。



しかし、鋼製枠はダム本体が柔軟に変形するので、安定を保つことができます。



なので、コンクリートの方が強度やコスト面で優れていますが、地盤が弱い場所では鋼製自在枠の方が適しています。

他にも...

地盤の状況や、災害発生要因、工事規模に加え現地発生材の利用や、工事後の景観、予算等を考慮してその場所に最適な谷止工を選ぶんです。

セルダム



写真提供 © 林野庁

スリットダム



写真提供 © 国土防災技術(株)

ふとんかご



写真提供 © 櫻井正明

色々な形があるんですね。働きはどれも同じですか？

谷止工によってその働きも若干異なります。それぞれの長所・短所を知って、慎重に選ぶことが肝心です。

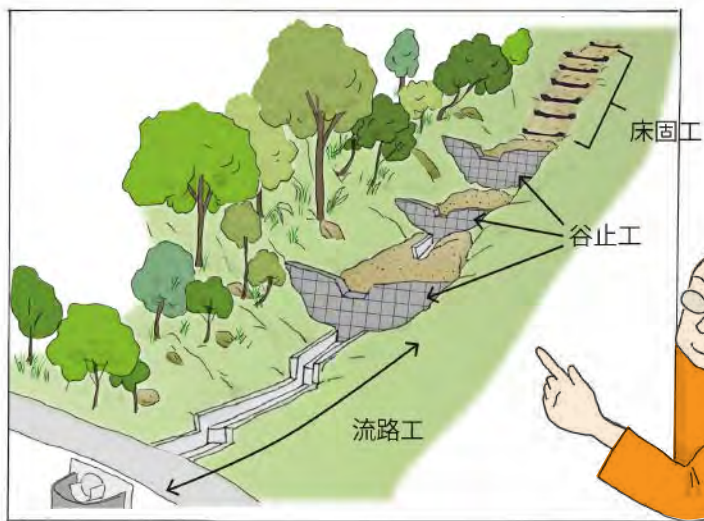
じゃあ、この中から最適な工法を選べるようになったら、溪間工マスターですね。

!!!

この前プロジェクトで実施する溪間工の話をしたじゃないですかー！谷止工が溪間工の全てではないですよ！

あれ、そうでしたっけ？

もう一度、溪間工全体の説明をします。



溪間工は溪流に実施される治山施設の総称なので、プロジェクトで施工する床固工、谷止工、流路工は全て溪間工のうちの一つなんです。

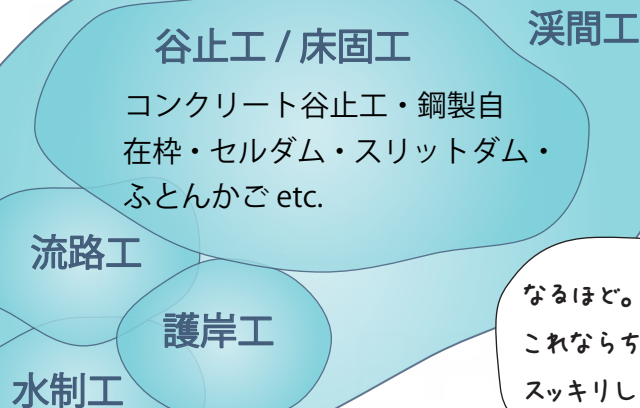
ちなみに、高さの高いダムを谷止工、低いものを床固工と呼びます。

すみません。色々な単語が出てきて混乱しています。

じゃあ、これならどうですか？
治山工事は大きく2種類に分けられます。
溪流の崩壊対策を行う**溪間工**と、
山腹の斜面对策を行う**山腹工**です。

山腹工

山腹工も色々な工種がありますが、
今回は説明は省きますね。



なるほど。
これならちょっと
スッキリします。

流路工

頭の整理が出来たところで、他の溪間工の話
をしましょう。まず、流路工は水を安全に下流へ
流し、溪流の侵食を防ぐために施工します。

プロジェクトで
も流路工を
計画していま
すよね。



写真提供 © 国土防災技術(株)

そうですね。
プロジェクトでは両岸をコ
ンクリートや鋼製自在枠
で保護した流路工を計
画しています。

護岸工

水の流れているところに設置するんですか？

そしてこれももう一つの工種。溪流の侵食や崩壊を防止する機能がある護岸工です。



写真提供 © 国土防災技術(株)

そうですね。水流で岸が削られるのを防ぎます。また、護岸工は他にも溪流の岸を安定させることで、山腹工の基礎にもなります。

水制工

溪間工は、これらの4つの工法を組み合わせるんですね。

最後の水制工は、川幅が広くて傾斜が緩やかな沢に用いられるので、山での使用例は少ないですが、これも大事な工法の一つです。



写真提供 © 櫻井正明

そうですね。谷止工だけが溪間工にあらず！様々な工法とその工種をいかに組み合わせるかが、計画の腕の見せ所なんです！

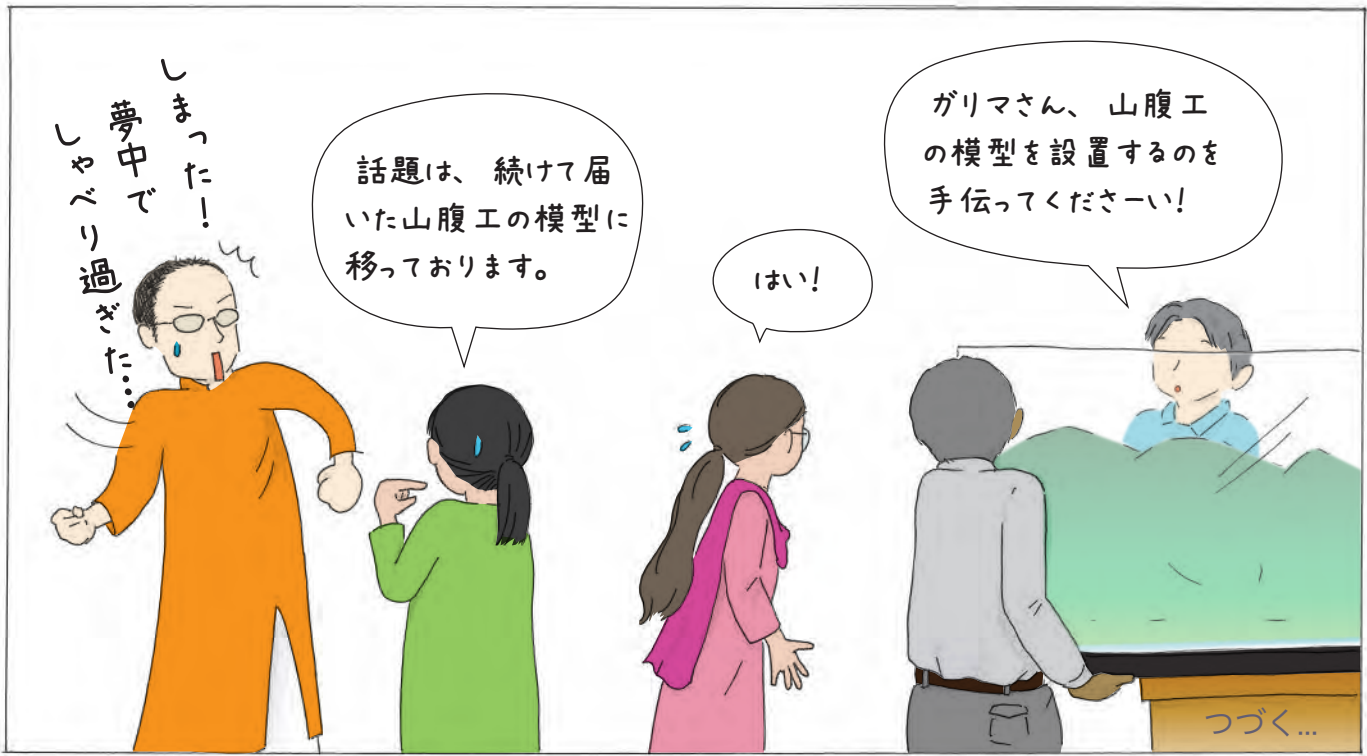
この他にも

や
や...

あの一、
チーフ...

何ですか？
今、谷止工について色々説明しているところなんですけど。

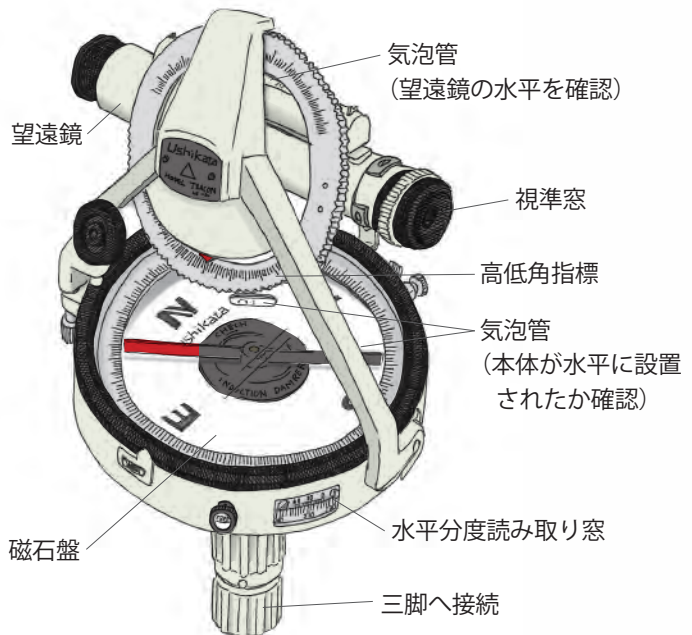
はい、
知っていますが、
残念ながら...



道具紹介
ポケットコンパス

ポケットコンパスは、日本の森林の現場でよく用いられる測量機器で、巻尺と合わせてコンパス測量に使用されます。ポケットコンパスは、望遠鏡と本体のコンパスを備えており、方位角や傾斜角の測定ができます。また、機種によっては距離の測定や内角等角度測定、レベルの測定

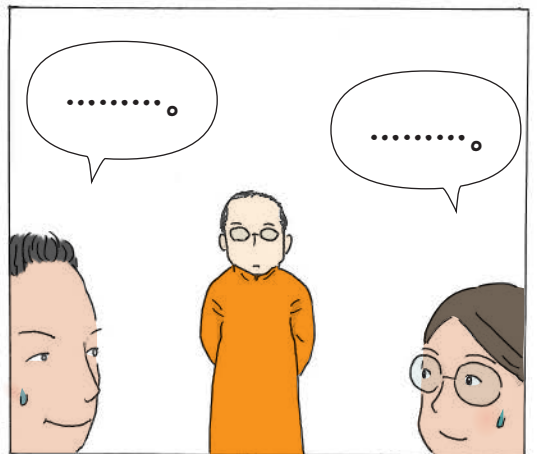
ができるものもあります。比較的軽量・小型で持ち運びがやすく、また、慣れると設置も簡単で迅速にできるため、セオドライトほど精密な測量を必要としない、概略を知るための測量にとっても便利です。

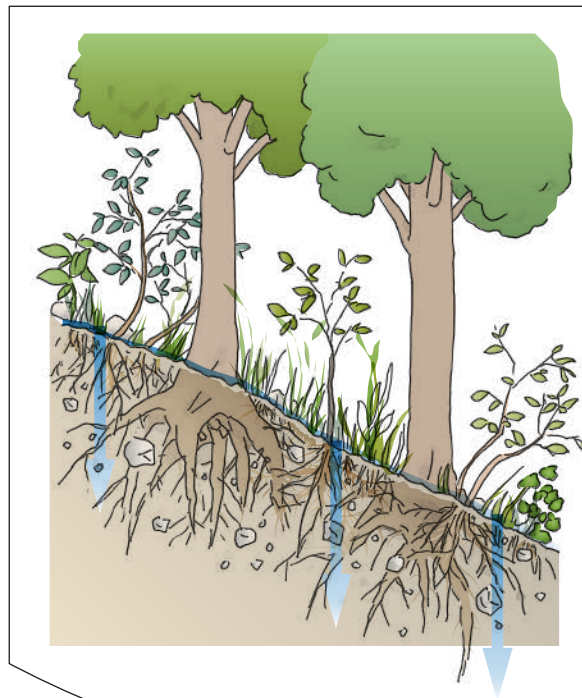


斜面の脇の測点でも、簡単に水平を取って設置することができます。



治山の現場では、コンパス測量の結果をもとに基本設計を行い、詳細設計等の必要に応じてトランジット測量をすることが多いです。最近はGPS(全地球測位システム)やUAV(無人航空機/ドローン)を使った測量も増えていますが、少人数で簡易に、比較的正確に測量を行えるポケットコンパスは、依然として森林関係の調査で重要な役割を果たしています。



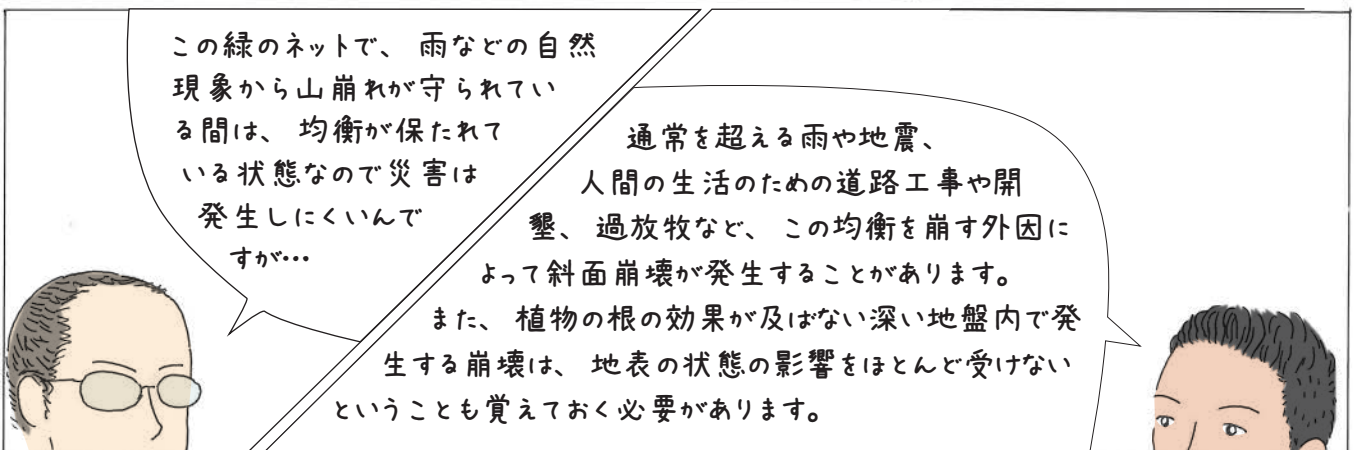


植物が地表を覆っているということは、地面が服を着ているような状態です。この状態では雨が降ったり、雨水が地表を流れたりする時に、水が直接地面を削る量が少なくなります。このことを治山では「表面侵食を減らす」と言います。

また、植物があることで生態系が生まれ、生物の活動によって地中に隙間が生まれ土がスポンジのようになります。スポンジのような土壌では、地表の水が地中に浸透しやすくなるので、地表を流れ出る水の量が減ります。

さらに、植物の根は地中で絡み合っって土壌をしっかりと包むので、表土が一体となってネットのように山の斜面をそっと抑えることになるんです。

緑のネットで山を覆っているような感じですね。



一度崩れた場所は、土壌が不安定なため、自然の力で元の森林に戻るには非常に長い年月が必要です。

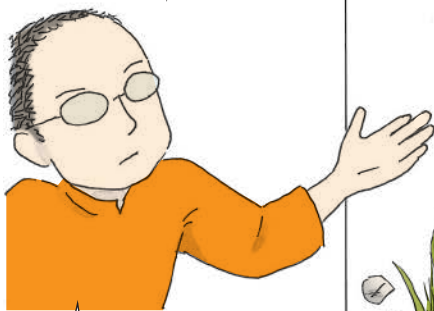


治山の山腹工は森林が元の姿に戻るのを早める手助けをしているんですよ。

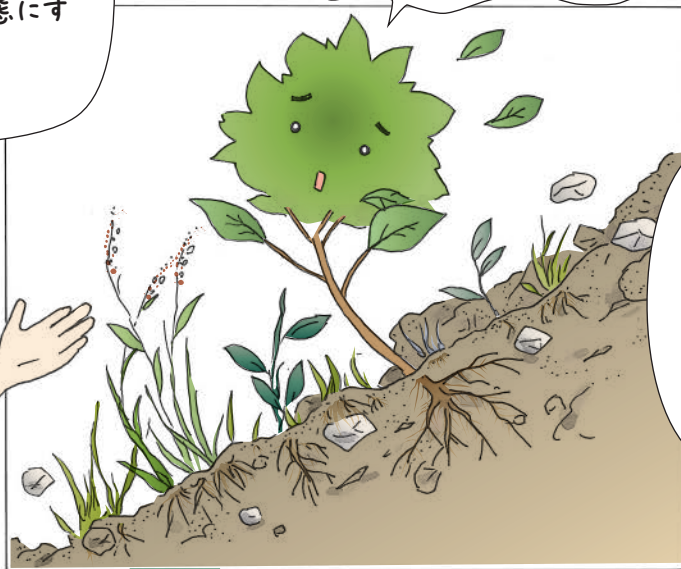


早めるって、肥料を撒いたりするんですか？

土壌の養分も大切ですが、それより大事なのは、植物が根を張れる状態にすることです。



土が動くと根っこが切れちゃうよー!!



治山の山腹工では、まずこのような土壌の移動を止めて、植物が根を張りやすい環境を作ります。

土壌が不安定な場所では雨のたびに表土が動くので、植物が根を張って土壌を固定するまでの大きさに成長しにくいんです。

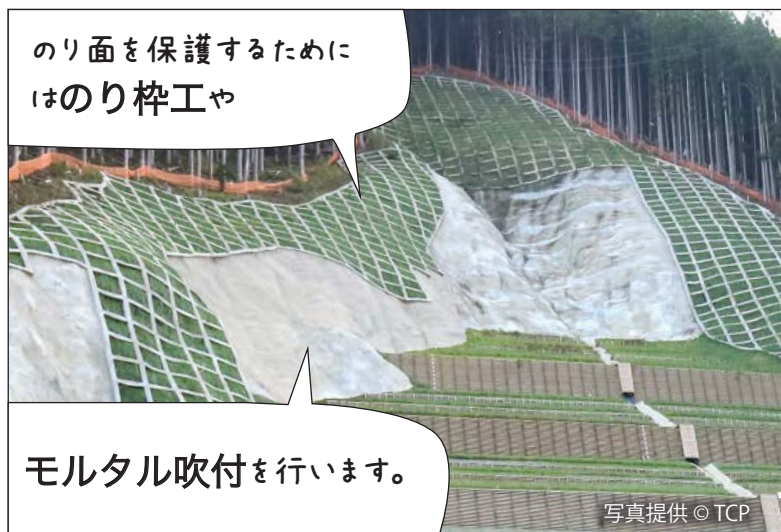
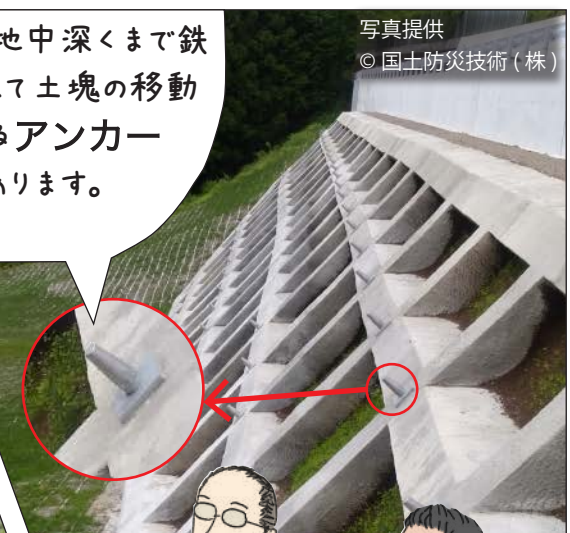
地に根を張って大きくなるよ!!



植物が育つ基盤を作るんですね!



6. 山腹工



地盤の対策と同時に、周囲から植生の進入が見込まれない場合は、山腹基礎工と合わせて植生工を行います。谷止工の間に植栽したり、のり砕工の枠の中に種子・養分・土を混ぜたものを吹き付けたり、植生マットを敷いたり…。植生工ではじめに使われる種子は、荒地でも育つ草本を選び、荒廢地をできるだけ早く緑で覆うようにします。

山腹基礎工を行わず、ヘリコプターによる播種のみする場合があります。



写真提供 © 関東森林管理局 治山課

植生の回復を早めるために、種子・肥料・土を織り込んだ植生マットを貼る現場が多いです。

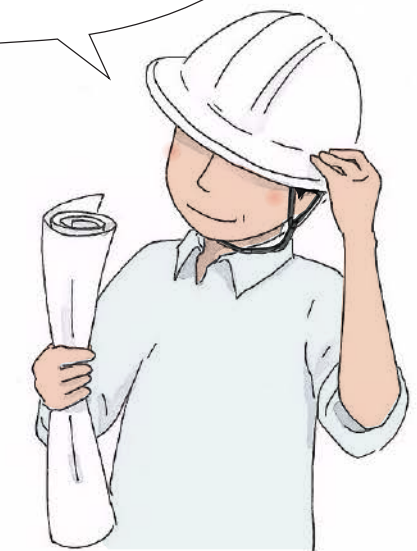


写真提供 © 近畿中国森林管理局 奈良森林管理事務所

崩壊の規模が大きければ、工事規模も大きくなり、工事期間も長くなります。そのため大規模な山腹工は山をコンクリートで覆っているような印象を与えがちです。でも、数十年後に工事箇所に行けば、森林が山を覆い山崩れを防いでいる姿を見ることが出来ますよ。



木の伐採等を必要としない地山補強土工もあります。





Eco-DRR とは？

Eco-DRRはEcosystem-based Disaster Risk Reductionの略で、「生態系を活用した防災・減災」のことです。

森林をはじめサンゴ礁や湿地など、生き物とその周りの環境をあわせて生態系といい、生態系には様々な災害を防ぐ機能が備わっています。例えば森林は、落ち葉や地表付近の植物が土の侵食を防いだり、樹木の根が張り巡らされることで土が安定したり、生物の活動によって生まれる土の中の空間が雨水を蓄えることで川に流れる雨水の量を調節して洪水を防いだりする効果があります。また、これらの防災・減災機能に加えて、森林は、木材・薪や水の供給、生物多様性の保全や地球温暖化の原因である温室効果ガスの吸収源としても重要な役割を果たしています。

こうした生態系が本来持つ機能を活用して防災・減災を行うEco-DRRは、近年、生物多様性条約締約国会議など国際的な合意においても生態系に基づく防災へのアプローチが推奨されているなど、世界的に注目が集まっています。JICAでは以前から世界各地の途上国で森林等生態系の保全と防災効果との関わりに注目したプロジェクトを支援してきました。例えばチリでは1993年から山地災害対策の技術協力をを行い、その後その技術をさらに中南米地域の国々へ広めました。また、中国四川省では治山技術を導入して災害からの復旧活動のための技術協力をを行い、このプロジェクトの成果をもとに中国独自でも同じような活動を中国国内で行うようになりました。また、近年Eco-DRRへの関心が高まる中、マケドニアにおいて「持続的な森林管理を通じたEco-DRR能力向上プロジェクト」を開始したところです。JICAでは今後の自然環境分野の戦略として「森林等生態系を活用した防災・減災」の取り組みをより強化することとしています。

写真提供 ©JICA 地球環境部

中国 四川省における治山技術の導入のための技術協力プロジェクト(技プロ)



技プロ開始時点での崩壊地の様子



技プロによる治山工事の実施



技プロ後の植生の回復した様子