

第2回「緑のゼミナール」開催

パネルディスカッション「緑の斜面づくり」

斜面保全部

1. まえがき

平成11年1月25日に砂防会館で開催された第2回「緑のゼミナール」において、当センターの主宰になるパネルディスカッション「緑の斜面づくり」が実施されました。

人的被災をなくすことを目的として設計・施工される急傾斜地崩壊対策事業では、これまで不安定表層土層の排土を基本的に行ってまいりましたが、この工法は斜面の植生を表層土とともに除去することになり、従来の自然環境、景観を著しく改変する結果を来していました。

近年の環境保全に関する強い世論を背景に、公共事業をはじめとして自然の改変を伴う全ての事業の実施に際しては、自然の保護あるいは早急な回復が図られるよう計画すべく要望される時代となっています。がけ崩れ災害から人命・財産を保全するという回避のできない本事業においても、自然を残す工法の考案・適用によって環境の保全が図られるよう求められています。

以上の背景をふまえて、当センターでは、平成8年度から「緑の斜面づくり工法検討研究会」を設置して、人命の安全と環境の保全を両立させべく、がけ地斜面植生の望ましいあり方の研究と適用工法の検討に努めてまいりました。その結果、立木根の表層土壌緊縛効果について現地実験から数量的に把握することによって、斜面安定解析に対して土層強度の補強要因とすることが可能となる一方、適用工法についても補強土工法を中心として一応の設計手法を取りまとめる段階に至ってきました。

本ディスカッションでは根系の補強土効果について、現地実験の成果からその機構を解析しているほか、急傾斜地崩壊対策事業では試験的な工事にとどまっている補強土工法について設計手法を解説することに主眼がおかれています。

このような時宜にかなった話題を取り上げたことによりまして、官公庁のみならず地質コンサルタン



パネルディスカッション「緑の斜面づくり」討議会場全景

ト業界からの参加者も多く、総数485名を数える盛会となりました。以下にディスカッションにおける話題提供の概要をとりまとめました。

2. 根系の効果、鉄筋挿入工

東京農工大学教授 中村浩之

樹木を残したままで斜面を安定化させようとする工法の必要性は、環境・景観に対する意識とともに高まっている。緑の斜面づくりの中で鉄筋挿入工が注目されているが、樹木を利用して斜面の安定化を図るバイオエンジニアリングによる効果を十分に発揮させ、さらに鉄筋を斜面に挿入し、安定度を向上させることができるためと考えられる。

本文では樹木の斜面安定に対する力学的評価と鉄筋補強土工の設計法について簡単にとりまとめることにする。樹木や植生が斜面安定に与える影響を表

表-1 樹木の斜面安定に与える影響

	水文学的効果	力学的効果
樹冠遮断による降水量の減少	○	樹根の補強効果 (土のせん断強度の増加) ○
浸透能の増加	×	樹木の載荷重 ○×
蒸散による土壌水分の減少 (間隙水圧の減少)	○	風荷重 ×

凡例 ○：プラス効果 ×：マイナス効果

-1にとりまとめる。

補強材の許容引張り耐力 T_{pa} は補強材の支圧盤が移動土塊から受ける許容支持力 T_1 、不動層から受ける許容引き抜き抵抗 T_2 、および補強材の許容引張り力 T_s のうちの最小のものであるが、樹木を残し表層土の発達した自然斜面に適用された挿入鉄筋の許容引張り耐力 T_{pa} はほとんど支圧盤の許容支持力 T_1 によって決定される。

図-1に補強材に作用する軸方向の力を示す。

また室内実験より補強鉄筋は杭工としての補強力もあることから杭頭が拘束され、かつ支圧盤の下の地盤より地盤反力を受ける杭工と考えることが適当と考えられる。

緑を残したままでの自然斜面を安定化させるためには多くの問題を残している。樹木の斜面安定化に対する評価は今後も大きな検討課題である。現在樹木の引き抜き抵抗を測定し、補強力を求めるための調査や根系の分布調査などが実施されているが、その成果が待たれる。

また斜面の安定化工法の一つとして用いられている鉄筋補強土工は、従来切取り法面に用いられているものと設計の考え方を考える必要があるが、まだその設計方法は確立していない。

今後研究を進めることによって、バイオエンジニアリングと鉄筋を用いた斜面補強土工の組合せにより、緑の斜面による土砂災害の回避ができればと考えている。

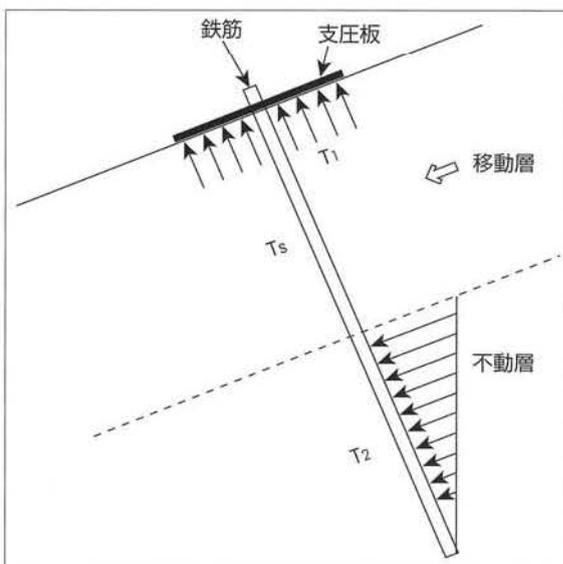


図-1 補強材に作用する軸方向の力

3. 杵工と風倒

建設省土木研究所地すべり研究室主任研究員 富田陽子

実験内容

樹木を残してのり杵工を施工した場合で、特に強風により樹木が倒れようとする場合の樹木がのり杵に与える影響を計測した。

試験木：アラカシ（樹高9mを2mに伐採）、樹幹から20cm上部に上杵がある。

試験方法：

- ①試験木の地上1.35m付近にワイヤーロープをかけ、斜面下の平地部に載荷重を満足させる固定端としてバックホウ1台を配置。
- ②1分間に100kgfずつ載荷し、その荷重を4分間程度保持した後に、新たに次の荷重を載荷する。
- ③引張荷重は最大2,200kgfまで載荷し、最大荷重に達したところで20分間程度保持した。その後は1分間におおよそ1,000kgf程度の荷重を除荷していった。
- ④樹木の下記各場所に変位計を設置し、変位を測定した。
 樹木の根元部（地上高0m）
 載荷部（地上高1.35m）
 切断部（地上高2m）
- ⑤のり杵の計測として、のり杵の内部の鉄筋歪み、表面のコンクリート歪み、浮き上がり量の測定を行い、のり杵の内部の鉄筋歪みは、樹木のあるのり杵と、樹木のないのり杵にそれぞれ8箇所ずつ計16箇所の鉄筋計を、のり杵吹付前にのり杵内部に設置した。のり杵表面のコンクリート歪みは、歪みゲージを樹木のあるのり杵の表面に5箇所設置した。のり杵の浮き上がり量はダ

表-2 斜面・樹木の諸元

斜面高さ	15m
斜面勾配	平均47°
主な土質	関東ローム 砂質土
樹種	アラカシ
樹高	9.0m
胸高直径	21.4cm
根元直径	24.8cm
樹冠長	4.7m
樹幹幅	3.0m
	2.9m
地上部重量	183kg

イヤルゲージを樹木のある上枠中央に設置した。上枠では、上に凸の最大曲げ応力12kgf/cm²が発生した。

試験後、樹木の根元で5mm程度のクラックが発生していた。

樹木のある上枠の浮き上がりは、引張荷重700kgf以上になって発生し、最大引張荷重2,200kgfの時に浮き上がり量0.5mmを示した。

浮き上がり量は荷重を徐荷した後も残留し、残留変位0.45mmを示していた。

上枠では、上に凸の最大曲げ応力(12kgf/cm²)が発生したが、これはこののり枠の吹付コンクリートの引張強度試験結果の最低値17kgf/cm²を下まわり、コンクリートが破壊しないことが裏付けられた。

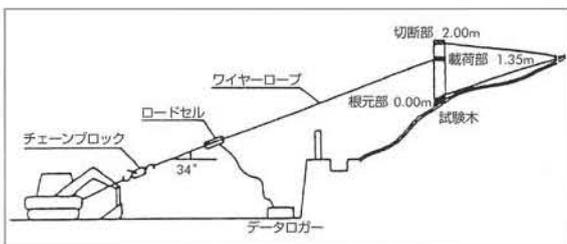


図-2 引張試験概略図 (横断面)



図-3 計測機器配置図 (平面図)

4. 複合補強土

(助砂防・地すべり技術センター専務理事 安江朝光)

この複合補強土工法は、鉄筋補強土工法とグラウンドアンカー工法を組合せ、地表面と安定した地盤が離れている場合でも樹木を保全した状態で斜面安定を図ったものである。すなわち、グラウンドアンカー工法において、アンカー頭部としての中心部とこの中心部から放射状に延びる3本以上の脚部とからなる星形のキャッピングプレートを用意し、この星形キャッピングプレートの中心部にグラウンドア

ンカーの引張部の端部を固定するとともに脚部に網状鉄筋挿入工法による棒部材の端部を固定することにより、グラウンドアンカー工法と網状鉄筋挿入工法とを複合させたものである。

この複合補強土工法による斜面安定の考え方を図-4に示す断面図に基づいて説明すると、法枠に相当する疑似法枠が、棒部材を挿入した地表面付近に補強土ゾーンとして形成される。この補強土の効果は樹木の根によって増大する。法枠との違いは、法枠より強度が小さいことおよび斜面のどの断面でも図-4に示すような疑似法枠が存在することである。

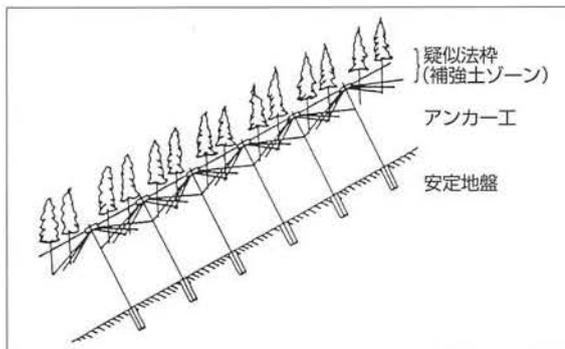


図-4 補強土工とグラウンドアンカー工を組合せた複合補強土工法概念図

図-4において、想定すべり面は表層の底盤あるいは表層の下にある風化岩の層あるいは締った崖錐層の中にある。アンカーの確実な定着層は、このすべり面よりある程度深い。想定すべり面より深く棒部材が入っている場合は、この部分での引き抜き抵抗を考慮することができるが、この部分での地層の強度が信頼できない場合は、現時点では安全側を考え考慮に入れず、これについては今後の課題とするのが妥当であろう。

従って、図-4において、複合補強土工法後の斜面の安全率は実務的には次の式で示されるであろう。

$$F_{sp} = \frac{\sum(c \cdot l + \cos \alpha \cdot \tan \phi) + \sum P_0(\mu_1 + \cos \beta + \mu_2 \cdot \sin \beta \cdot \tan \phi)}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

ここで、

F_{sp} : 計画安全率

W : 各スライスにおける土塊重量 (tf/m)

P_0 : 各スライスのアンカー引張力 (tf/m)

l : スライスがすべり面を切る弧の長さ (m)

α : 各スライスすべり面の斜傾角 (度)

c : 土の粘着力 (tf/m)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

μ_1 ：引止め力低減率 μ_2 ：締付け力低減率

上式は従来からグラウンドアンカー工に対して用いられているものであるが、アンカーの引止め力および締付け力に対してそれぞれ低減率 μ_1 、 μ_2 に乗じることになる。 μ_1 、 μ_2 は主として疑似法枠の強度や変形性により変わってくるが、法面補強土に関する道路公団の資料、研究等から一つの目安として、

$$\mu_1 = 0.4 \sim 0.6$$

$$\mu_2 = 0.1 \sim 0.2$$

程度ではないかと考えている。いずれにしても今後の研究課題である。

5.土留柵工

北海道建設部砂防災害課長 山平英夫

急傾斜地崩壊対策工事は、がけ崩れ災害を防止し人命を守ることを第一の目的として実施されるが、環境や景観に対する地域住民の関心が高まる中で、北海道においてもこれらに対する配慮が強くなり求められるようになって来ている。

「土留柵工（どどめさくこう）」は、施工前の斜面

に生育している既存の樹木を、ある程度残すことが可能であり、自然環境の保全に対して効果が期待できる工法である。

北海道では、急傾斜地崩壊対策事業が開始された昭和40年代から、表土層の滑落を抑制することに主眼を置いて土留柵工が採用されてきたが、近年では、地域住民の強い要望を受けて多くの箇所で土留柵工が採用されている。

土留柵工は基本的に表-3に示す要素で構成される。図-5（標準側面図）および図-6（標準正面図）に基本的な構造を示した。

土留柵工は通常、崩壊が予想される不安定土砂の厚さが3m程度以下、斜面の勾配が45度程度以下の場合に採用される。

杭の材料としてはほとんどの場合H型鋼が、また土留横材としては軽量鋼矢板、崩土防止横材としては落石防護柵が使用される。

表層土の滑落を杭で抑止することを主眼としているが、土留横材の相互に隙間（1～2cm）を持たせ、背面に透水性の高い裏込め材を充填することで、浸潤面の上昇を抑える抑制機能を併せ持っている。

土留柵工が既存の樹木を保全できるといっても、もちろん全てを残せるわけではない。

北海道においても現在の状況に満足してはおらず、設計段階において立木調査を行い具体的に保全樹木の選定をしたり、補強土工法の併用により列間隔を拡大したりして、樹木の保全割合の向上に取り組んでいる。

また、防錆対策として実施してきた亜鉛メッキが景観上の大きな弱点であることから、最近では露出部を木材で覆ったり、メッキの上から塗装するなどの工夫もしている。

がけ崩れから住民の生命を守ることを第一の目的としている急傾斜地崩壊対策事業は、まず斜面の安定をより確実なものとしなければならない。

このことを踏まえた上で、地域住民の要望や社会の期待に応えられるよう、北海道として今後ともいろいろな課題に積極的に取り組んでいく必要があると考えている。

表-3 土留柵工の構成要素

構成要素	摘要
杭	不安定土砂の下位地盤に支持され、すべりを抑止する。
土留横材	杭で支持され、表土の小崩壊を防止する。
崩土防止横材	杭頭部に立ち上げて小崩壊土砂や積雪の下方への移動および小規模な落石を防止する。
裏込め材	不安定土砂内への浸透水を速やかに排水する。
水路工	表面水や裏込め材からの地下水を排水する。
モルタル等	杭と地盤を一体化させる。

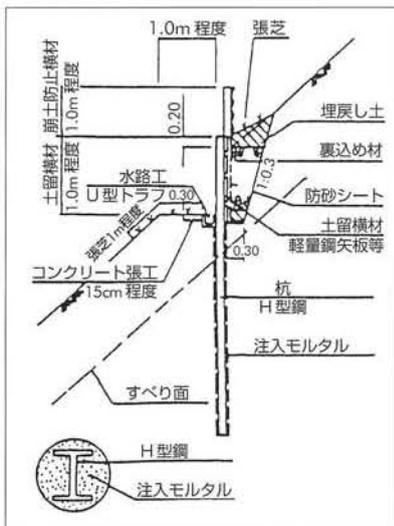


図-5 標準側面図

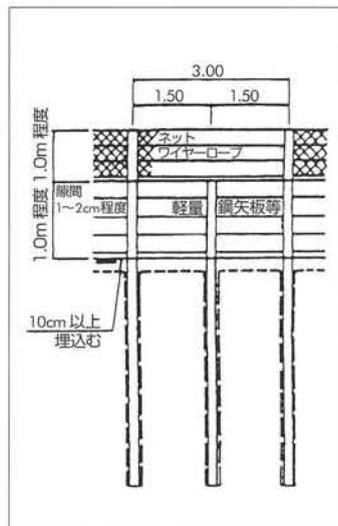


図-6 標準正面図