

既存木を残地した法面保護のための根系分布深さの把握手法と法面保護工

ジオグリーンテック株式会社 長谷川秀三

1. はじめに

近年、法面・斜面保護工は景観への配慮や生態系を含めた環境保全の面から既存樹林・樹木を残存させたまま行うという方向へと進みつつある。従来は、樹木根系の発達する表土層、すなわち風化土層は法面保護を行うにあたり不安定要素となるとして切土され取り除かれてきた。しかしながら、既存樹林・樹木を残したまま法面・斜面の保護を行うと言うことは、樹木根系の伸長域である不安定要素を含む土塊を残存させたまま安定を図ることであり、このため根系伸長域、すなわち風化土層の厚さを把握するとともに、根系による崩壊防止効果についても工学的な検討が必要とされるようになってきた。

本稿は、表層風化土層の構造を詳細に把握し、また根系分布深さの推定可能とするために新しく開発された S H 型簡易貫入試験器による根系分布深さの推定について紹介するとともに、既存樹林・樹木を残地させた法面・斜面保護工と既存木残地に関する調査について言及するものである。

2. 地下部根系伸長域の調査

2. 1. 根系伸長域土層の調査手法

これまでの法面・斜面の安定に関する調査はボーリングによることが多く、ピンポイントの掘進記録から地質構造を読み取ることが行われるのみで、樹木根系の伸長域である表層風化土層の情報を読み取ることが困難であった。このため、既存林地・樹木を残地する法面・斜面保護工を実施するにあたっては、ボーリング調査結果と現場踏査をもととし、経験により風化土層深を推定し設計を行ってきた。

しかしながら、このような手法では風化土層厚さに関する面的、かつ、詳細な情報の入手は望むべくもなく、代表的な地層断面を想定し画一的な対応をとらざるを得ないものであった。

このような経緯より、実際に即した法面・斜面保護工を設計するために、表層地質構造に関する詳細な情報と風化土層深の面的な広がりを把握する調査手法がもてられてきた。

これまでに用いられてきた土層調査手法は、ボーリング調査、スウェーデン式サウンディング、簡易貫入試験などがあった。

ボーリング調査は、63.5kg のハンマーを高さ 76cm の高さから自由落下させ 30cm 貫入するのに要した打撃回である N 値と抜き取ったコアにより地質構造を把握するものであるが、ハンマーが 63.5kg と重いので軟質な風化土層の構造を把握することは困難である。また、法面上にボーリングマシンを設置するためには足場の仮設が必要とるため高価となり、多点調査を望むことは困難であった。

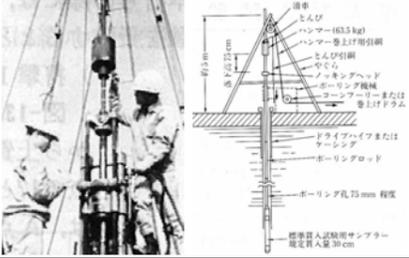
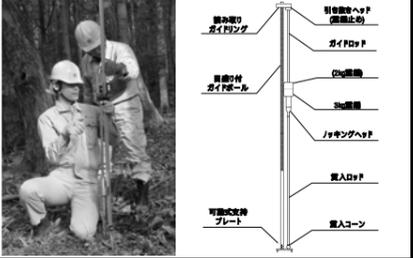
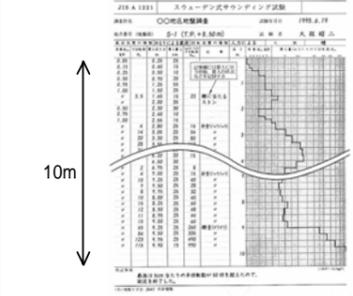
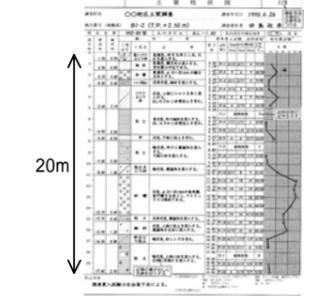
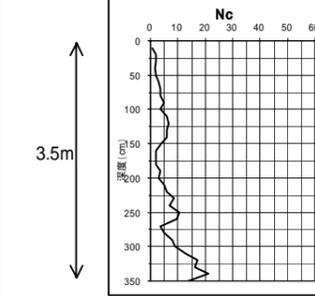
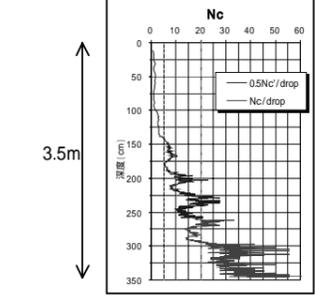
これよりも簡易な調査方法としてスウェーデン式サウンディングがあるが、それでも、重錘が 100kg あり、また人力による回転作業が必要なため足場の不安定な急斜面上での調査は危険が伴うために困難である。

このため、より軽量・小型の簡易貫入試験機による調査が試行されたが、N 値と同様一定厚さ(10cm)に対する打撃回数による数値化を基本とし重錘も重いので、根系侵入域のような軟質な表層風化土層の詳細な把握は困難であった。

S H 型簡易貫入試験機は、このような欠点を改善するために、簡易貫入試験機に改良を加えたものである。改良点は、簡易貫入試験機の重錘は 5kg であったものを 3kg と軽量化し、加えて、一打撃毎の貫入深を計測可能としたことにあり、これにより表層土層構造に関する詳細な情報の収集を可能とした。また、本体重量が 17kg(ロッド 5m)と軽量で、操作が簡易であるため急勾配法面に対しても多点実施できることに特徴を有すものといえる。これにより、表層風化土層の詳細な構造の把握と硬さの面的な広がりに関する情報の入手が可能となり、根系分布範囲の推定も容易となった。

これらの調査方法の比較を表1に示す。

表1. 土層調査手法比較(貫入試験)

調査名称	スウェーデン式サウンディング	標準貫入試験(機械ホーリング)	簡易貫入試験(従来型)	SH型簡易貫入試験	
作業状況図					
調査法概要	貫入タイプ	静的貫入試験			
	概要	・1kN(100kgf)以下の荷重で貫入する場合の荷重Wswと、この貫入停止後に回転貫入させた時の半回転数から換算した貫入量1mあたりの半回転数Nswを求める。	・ボーリング孔内で試験実施。 ・63.5kgの重錘を高さ76±1cmから落下させ、サンプラーが30cm貫入するのに要した打撃回数を記録する(N値)。 ・土質試料を採取する。	・5kgの重錘を高さ50cmから落下させ、コーンが10cm貫入するのに要した打撃回数を記録する(Nc値)。	・3kgの重錘を高さ50cmから落下させ、一打撃毎の貫入量を記録する。硬い土層では2kgの重錘を付加し5kg重錘で試験を行う。 ・試験結果は一打撃毎の貫入抵抗値であるNc'/drop(回/10cm)として表示。 ・コーンをサンプラーに交換し土質試料採取可。
	重錘重量	100kg(5,15,25,50,75,100kgと段階的に増減)	63.5kg	5kg	3kg+2kg(着脱式)
	貫入部形状	スクューポイント(33mm,L200mm)	標準貫入試験用サンプラー(51mm,L810mm)	円錐コーン(60°,25mm)	円錐コーン(60°,25mm)
	貫入方法	荷重による貫入(100kgまで段階的に増減) 回転による貫入(100kg重錘)	高さ76±1cmからハンマーを自然落下	高さ50cmから重錘を自然落下	高さ50cmから重錘を自然落下
	測定・記録の間隔	25cm毎(回転貫入時)	1m毎	10cm毎	1打撃毎(貫入量を1mm単位で読取り) (自動記録機使用時は0.1mm単位)
	データ表示	Wsw(荷重貫入時、荷重の大きさを表示) Nsw(貫入量1mあたりの半回転数)	N値(30cmの貫入に要した打撃回数)	Nc値(10cmの貫入に要した打撃回数)	Nc'/drop(1打撃毎の貫入抵抗値,3kgはNc'/drop) (従来型の10cm毎のNc表示も可能)
本体重量	110kg超(ロッド5m分)	約400kg	15kg(ロッド5m分)	17kg(ロッド5m分、従来型にガイドボール等が付加)	
調査性能	調査結果例				
	測定精度	・測定は5~100kgの重錘を段階的に増減させた時のロッドの沈下量でNswを求め、沈下しない場合ハンドルを回転させ、回転数からNswを求める。 ・このため測定者によって差異が生じ客観的高精度の数値を把握する事は難しい。	・土質試料等により、土質・地質の垂直分布を詳細に把握できる。 ・重錘が63.5kgと重く、軟らかい土層や微妙な硬さの変化を把握するには不向き。 ・N値測定が1m毎でピッチが大きく、土層の硬さの連続的把握には不向き。	・土層と基岩層との境界を把握できる。 ・重錘が5kgと重めであり、また10cm毎のデータであるため、表層の微妙な硬さの変化の把握には精度が不十分である。	・一打撃毎に土層の硬さを測定するため、土層の硬さの変化を連続的・詳細に把握できる。このため礫当たりの影響を除いて土層の硬さを把握可能。 ・重錘が3kgと軽量であるため、軟らかい土層を高精度で把握。
	表層崩壊対策での有効性	・すべり面の判断基準なし。 ・表層崩壊すべり面深度の把握には不適。	・すべり面の判断基準なし。 ・N値の測定ピッチが粗く、また貫入力が強いいため、表層土層の詳細なデータが得られず、表層崩壊すべり面深度の把握には不適。 (地すべり等の深層のすべり面把握に適)	・すべり面の判断基準なし。 ・岩盤の深度を知ることができるが、表層崩壊すべり面深度の推定には難あり。	・一打撃毎グラフによるすべり面の判断基準あり。 ・表層崩壊すべり面を推定可能。 ・待ち受け式擁壁のポケット容量、ロックボルトの挿入深さの検討に有効。
	樹木根系発達深度推定	・測定値と根系発達の相関も把握されておらず樹木根系発達深度の推定は不可能。	・ボーリング時の土層サンプルに含まれる根系より、樹木根系発達深度をある程度推定可能。	・Nc値と樹木根系発達に関する研究事例があるが不明確。	・Nc'/dropの高分解能・高精度のデータより、表層崩壊と関連の深い根系発達深度を高精度で推定可能。
	N値との対応	・土質毎にN値との相関式が得られている。	・N値を測定。	・Nc=(1~3)Nの相関があるが、幅が大きく適用に難あり。	・Nc(0.5Nc') Nの実績あり(一打撃毎のデータより礫当たりデータを除き詳細に対比)。
作業性	試験作業	・急傾斜地では作業足場が必要。 ・重錘100kgの運搬には問題あり。	・機材の運搬が可能で、作業足場、工事用水が確保されれば、急傾斜地でも試験は可能。	・急傾斜地でも作業可能。 ・5kg重錘を人力で持ち上げる作業のため疲労しやすく、作業者の体力が必要。	・急傾斜地でも作業可能。 ・3kg重錘を主に用いるため、打撃回数は増えるが作業者の疲労度は軽減する。
	機動性	・重錘が合計100kgあり、人肩による搬入・移動に労力大。 ・傾斜地では足場仮設必要。	・重量大きく搬入・設置に労力・費用を要す。 ・傾斜地への搬入にはモルセル仮設を要す。 ・傾斜地では足場仮設必要。	・軽量であるため、人肩運搬により機材搬入・移動が容易。 ・作業も容易であり多点調査可能。 ・足場仮設不要。	同左
	適用範囲	・平坦地が基本(傾斜地では仮設足場必要)。 ・深さ10m程度以浅のN値20以内の土層。 ・密な砂質土層・礫・玉石・硬い粘性土層には不適。	・平坦地が基本(傾斜地では足場仮設必要)。 ・全ての土質・地盤で試験可能	・傾斜50°程度まで試験可能 ・N値20程度までの地盤 ・大礫や玉石の多い土層は調査困難 ・最大深度5m程度まで	同左
	安全性	・重錘が合計100kgあり、試験作業や移動時などに十分な注意を要する。	・重錘が63.5kgと非常に重く、作業には十分な注意を要する。	・重錘5kgと重く注意が必要。 ・疲労により指はさみ事故多い。	・主測定の重錘は3kgと最軽量である。 ・疲労も少なく事故発生しにくい。
経済性	試験単価	傾斜地では、試験器の搬入が困難、かつ、段切り足場の仮設が必要であり高価となる。	傾斜地では、試験器の搬入にモルセル等の仮設、及び足場仮設が必要であり、高価となる。	急傾斜地で安価に試験を行うことができるが、精度は低く、基準の整備がなされていない。	急傾斜地で安価に試験を行うことができ、かつ、基準の整備がなされている。
	搬入・設置	・搬入費が必要 ・傾斜地では足場仮設費が必要。	・搬入費が必要。 ・工事用水が必要。 ・傾斜地では足場仮設費が必要。	・費用微少	・費用微少
	合理的設計(コスト削減効果)	・表層崩壊対策では、すべり面を捉えられず、適切な設計ができない。	・表層崩壊対策では、すべり面を捉えられず、適切な設計ができない。	・表層崩壊すべり面の推定には精度低く、適切な設計ができない。	・合理的で適切な設計が可能 (ボーリング調査との併用でより精度向上)
総合評価	・平地での試験では他の調査の補完として評価できるが、傾斜地では作業困難で精度的にも表層崩壊対策には不適。	・深層に及ぶ土質・地質把握に不可欠だが、単独では斜面表層の土層状況把握には不適。 ・表層崩壊対策としては費用対効果低い。	・急傾斜地でも作業が容易。 ・斜面の土層厚調査に適用できるが、表層崩壊深推定の信頼度は高くない。	・急傾斜地でも作業が容易。 ・斜面表層の土層厚を詳細に把握可能。 ・設計・施工までを含めた適切で合理的な表層崩壊対策に有効。	

2.2. 根系の垂直分布と表層崩壊

2.2.1. 樹木根系による斜面の安定効果

既存林地・樹木を残した法面・斜面保護を考えるにあたり、法面の安定に関する二つの異なる要因に対する整理が必要となる。それは、根系侵入が可能な比較的軟質な表層風化土層が存在することによる不安定要因と、樹木根系が風化土層を緊縛することと根の杭効果による安定要因である。この異なる要因が拮抗している部分からの表層崩壊が発生することは無く、この拮抗が崩れた領域、すなわち根系の分布が急激に減った領域で表層崩壊が発生するものと考えることができる。

換言するならば、既存林地・樹木を残させたまま法面・斜面保護を行うということは、樹木根系により緊縛された表層土塊の深さとその分布特性を把握し、その安定の確認と、表層崩壊が生じた場合の崩壊深を設計根拠として提示し、妥当な基礎工の設計・適用を図ることにあるといえる。

実際の斜面の表層崩壊した跡を観察すると、表層崩壊と根系分布とは密接な関係があり、すべり面に引きちぎられた根系がいくつか残っていることが多い。崩壊が根系分布の下端付近で生じることが多いからである。このため表層崩壊の深さや表土層の樹木の根系による土の補強強度を評価する上でも根系分布の深さを知ることが重要となるが、根系分布を調べるためには現在でも土を掘り出し根を露出する方法しか信頼できるものはなく、膨大な労力と時間と費用がかかり困難なものとなっており、樹木根系による効果を設計に組み込むことを困難としてきた。このため直接根系分布を調べるのではなく、間接的に根系分布深を調べる方法としてS H型簡易貫入試験器機を用いる検討がされている^{1,2)}。

S H型簡易貫入試験器機を用い、土の硬さの分布状況を調べ、その硬さの状況から根系分布深さを推定するという方法である。

表層崩壊はその大部分が深さ1~2m程度で生じるが、この深さは樹木根系が分布する範囲でもある。樹木の根系分布深は樹種・樹齢によって異なるが、土壌が柔らかく根系侵入に対する規制を受けていない一般的な樹木(浅根性を除く)であれば1~1.5m程度まで、大きな木であれば2m程度まで分布する。深くなるにつれ根系は減り根系による土の強度補強効果は減少する。

塚本ら³⁾は、鉛直根は表土を貫いて力学的強度の大きい下層土に侵入していると考え、この斜面に無限長斜面安定式を適用して鉛直根の根量と斜面安全率(F_s)の関係を図1のように示している。すべり面に直径1cm以上の根が1m²あたり1本以上あれば斜面安全率が1.0以上になり、直径2cmの根が2本存在すると F_s は2倍に増加することになる。このように根の垂直分布状態はすべりと大きく関係しており、稲垣は植生の斜面安定効果を期待する視点から植生根系を積極的に工学的な対策工法として検討していくことも重要であると述べている⁴⁾。

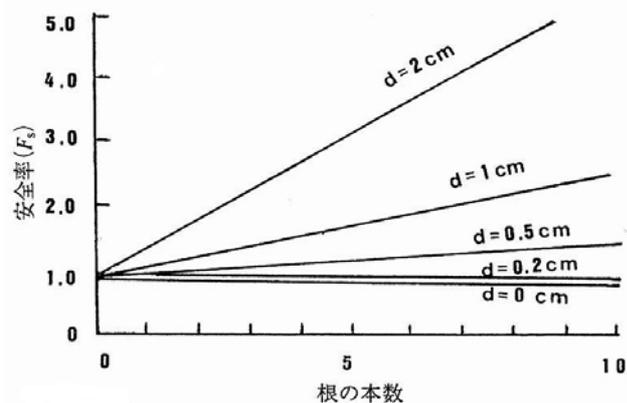


図1. すべり面の鉛直根の根量と斜面安全率

2.2.2. 根系発達と土の硬さ

根系は土が硬くなると発達が規制され、ついには根系分布が止まる。このため根系発達を規制する土の硬さの分布が分かれば根の垂直分布が推定される。樹木の根系分布と硬さの関係は古くは山中式土壤硬度計で、近年は長谷川式土壤貫入計で調査研究^{5,6,7,8,9)}が行われ、造園学会の委員会によりその判断基準値¹⁰⁾が表1のように示されている。

ケヤキの根の例で示すと図2のようにS値1.0cm以下で根系発達に阻害が始まって数本以下となり、S値0.7cm以下では発達が困難となり1本以下となる⁷⁾。長谷川式土壌貫入計は図3に示すように2kgの重錘を50cmの高さから落下させ、直径20mmのコーンを貫入させ、1打撃当たりの貫入量をcmで表し軟らか度(S値cm/drop)として表示する。測定深は1mである。その結果は軟らか度(S値グラフ)として整理し、深さ方向にS値の分布状況を連続して見ることができる。

S値グラフからS値1.0cm以下の土層が10cm以上またはS値0.5cm以下の土層が5cm以上続いた場合を根系規制層としている。このような判断基準を用い根系発達深度が推定できるようになった。

表2．長谷川式土壌貫入計による軟らかさ(硬さ)の判断基準¹⁰⁾

軟らか度 S値 (cm/drop)	対応する山中式 土壌硬度 (mm)	植栽基盤としての判定 根の侵入の可否	硬さの表現	判定
0.7以下	27以上	多くの根が侵入困難	固結	××
0.7～1.0	24～27	根系発達に阻害あり	硬い	×
1.0～1.5	20～24	根系発達阻害樹種あり	締まった	
1.5～4.0	11～20	根系発達に阻害なし	軟らか	
4.0より大	11以下	// (支持力低下, 乾燥)	脆軟過ぎ	

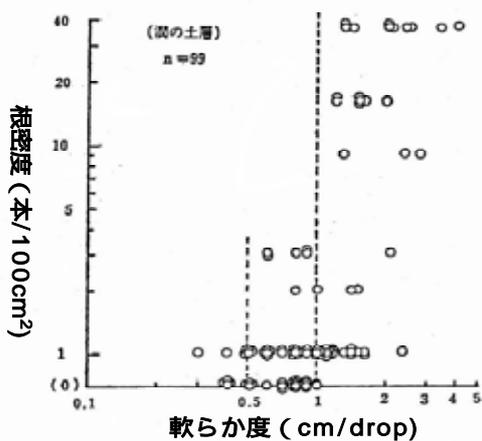
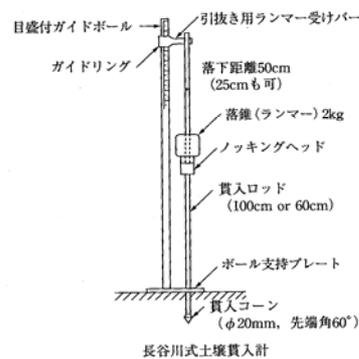
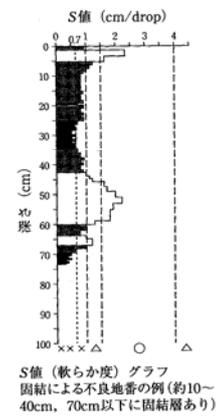


図2．ケヤキの根密度と軟らか度(S値)の関係⁷⁾



1) 長谷川式土壌貫入計



2) S値グラフ

図3．長谷川式土壌貫入計⁹⁾

2.3. S H型簡易貫入試験機による根系分布深さの把握

2.3.1. S H型簡易貫入試験とその性能

長谷川式土壌貫入計は造園緑化地の植栽基盤の調査用に、根系発達を規制するような硬い不良土層があるかどうかを調べるために開発されたもので、表層の根系土壌層の調査に適しているが測定限界は1mである。しかし自然斜面では深さ1.5m、場合によれば2mまで根系分布が見られる。一方斜面調査用に用いられる5kgの重錘を用いる従来の簡易貫入試験器(簡易動的コーン貫入試験機)は、4m程度までの貫入試験が可能であるが根系の分布する比較的軟らかい表層1～2mの調査には5kgの重錘では貫入力が強すぎるきらいがある。このため5kgの重錘を3kgと2kgに分割できるようにし、表層では3kgとすることにより高い分解能で精度の高いデータの取得を可能とし、また長谷川式土壌貫入計と同様に詳細な解析ができるように1打撃毎の貫入深を読み取れるように改良したS H型簡易貫入試験機(図4)を開発した¹¹⁾。表2に両者の違いを示す。また新たに開発したデータロガーを使

用することで、正確で高精度(0.1mm 単位)の貫入抵抗値のデータが得られる。この1打撃毎の貫入抵抗値を深度に応じて表すSH貫入グラフにすることで、根や礫のノイズを分離して土層自体の硬さや軟弱層を精度よく見ることができるようになった。このような改良により土の硬さの分布状態の詳細な把握ができるようになったので根系分布状態が精度よく推定できるようになった。またSH型簡易貫入試験機の3kg重錘での貫入抵抗値(Nc'値)と長谷川式の貫入抵抗値(Nh値)との関係は図5のようにほぼ同じ値となり長谷川式の貫入能力と同じであることが分かった⁸⁾。これにより根系発達との関係が良く分かっている長谷川式の基準値が同様に使えることになった。また5kg重錘のNc値(Nd値)との関係を見ると $Nc = 0.51Nc'$ と1/2の貫入力となり(図6)、旧来から用いられてきたNc値に換算し互換性を持たせることも可能となった。

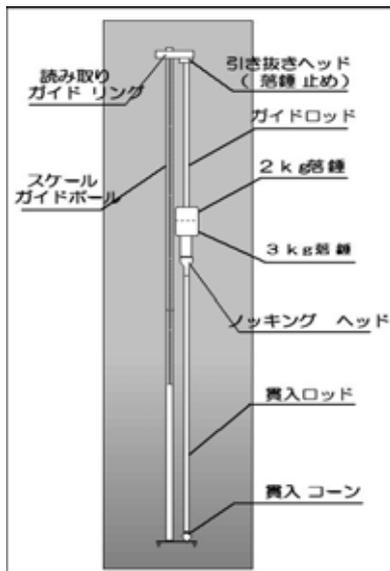


図4 . SH型簡易貫入試験機⁸⁾

表3 . 各貫入試験器の構造比較⁸⁾

	改良型	従来型 (簡易貫入試験機)	長谷川式
先端コーン径	φ25mm	φ25mm	φ20mm
貫入ロッド径	φ16mm	φ16mm	φ16mm
重錘	3kg+2kg (着脱式)	5kg	2kg
材質 (重錘除く)	SUS304	S45C SUS416	SUS304
測定方法	一打撃毎の貫入量を測定	10cm貫入毎の打撃回数(Nc値)を測定	一打撃毎の貫入量を測定

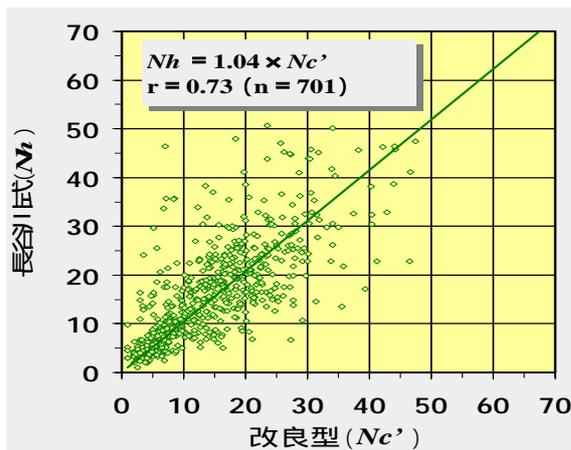


図5 . 長谷川式とSH型の貫入抵抗の関係⁸⁾

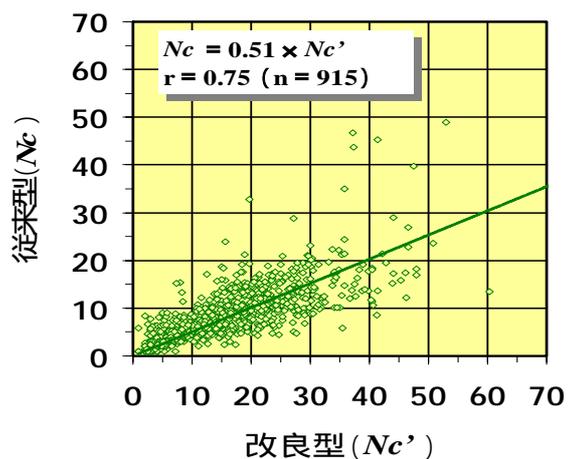


図6 . 簡易貫入試験とSH型の貫入抵抗の関係⁸⁾

2.3.2. 根系分布調査

SH簡易貫入試験器を用い自然斜面に生育する自生木のコナラについて調査しその精度を検証した

2). 調査木はコナラの成木(表4)である。マサ土の調査地は瀬戸市、ロームの調査地は厚木市である。調査は根元から20~50cm離れた位置に貫入試験の測線を設け、20cm間隔で8~11箇所の貫入試験を行い、試験後に測線の位置で幅1.5~2mのトレンチを根が認められなくなる深さまで掘り、トレンチの断面に20cmのメッシュを張り、出現したすべての根系について、太さと出現位置を測定した。

根の分布と貫入抵抗値を長谷川式の判断基準に準じNc'10(S値1cm)とNc'15(S値0.75cm)、Nc'20(S値0.5cm)に分け、その値が出現する下限の深さを描いた。これと根の分布(図7)を見ると、マサNo.3を除きおおよそNc'15で根系分布が止まり、Nc'20では根系が分布しないことがわかる。Nc'15は多くの根が侵入困難とされる領域である。マサ3はNc'15以上の硬い土層は2m以深にあり、通気性の良いマサ土でも、深さ1.6mでこの根系分布が止まっている。調査した4本のコナラとも1.5~1.8mが最大侵入深であったので、コナラの成木ではこの程度が根系の限界発達深と考えてよいであろう。

Nc'と根の分布を、出現本数比、出現断面積合計比から見たのが図8であるが、マサ土ではNc'15までに92.7%、Nc'20までに96.6%、ロームではNc'15までに89.7%、Nc'20までに98.1%が出現しどちらもNc'15以上になると根の侵入はかなりの制限を受け、Nc'20を越えるとほとんど侵入しないといえる。これはロームでの根系スケッチ(図9)からも理解されよう。これにより、根系分布域の表層土層の断面構造と根系分布域に関する情報を掘削することなく得ることが容易になる。

これにより根系の侵入が可能な土層と、根系の存在しない土層に関する情報を得ることができるようになり、既存木の分布状態(存在と密度)、および、地上部の生育状態により表層崩壊の可能性についての考察が可能となった。すなわち、滑り面に直径1cm以上の根が存在することにより斜面安全率が1.0となるものとするならば、根系可能な風化土層が存在するにも係わらず、立木が存在しない急勾配箇所は表層崩壊、あるいは抜け落ちが発生しやすい箇所と見なすことができ、立木が存在する場合は、根系の伸長が制限される硬さより浅い箇所からの崩落は発生しないといえることができるのである。

現時点では資料数がすくないため、多くの種類の樹木に関するこのような資料の整備を行うことが必要となる。これにより、樹木根系による斜面補強効果を組み込んだ斜面安定計算が可能となるものと考えられるが、現状では資料が少なくその段階には至っていない。したがって、樹木根系による斜面補強効果は安全サイドの要因として切り捨てて安定計算をしなければならないものとする。

表4. 調査地の立地条件及び対象木の概要

No.	土質	位置	傾斜	方位	樹高	胸高直径
1(マサ1)	花崗岩マサ	山腹上	43°	N18°E	14m	31.4cm
2(マサ2)	花崗岩マサ	山腹中	43.5°	N19°E	16m	28.5cm
3(マサ3)	花崗岩マサ	緩尾根	23°	S26°E	14m	34.1cm
4(ローム)	関東ローム	緩尾根	10°	N3°E	13.9m	28.7cm

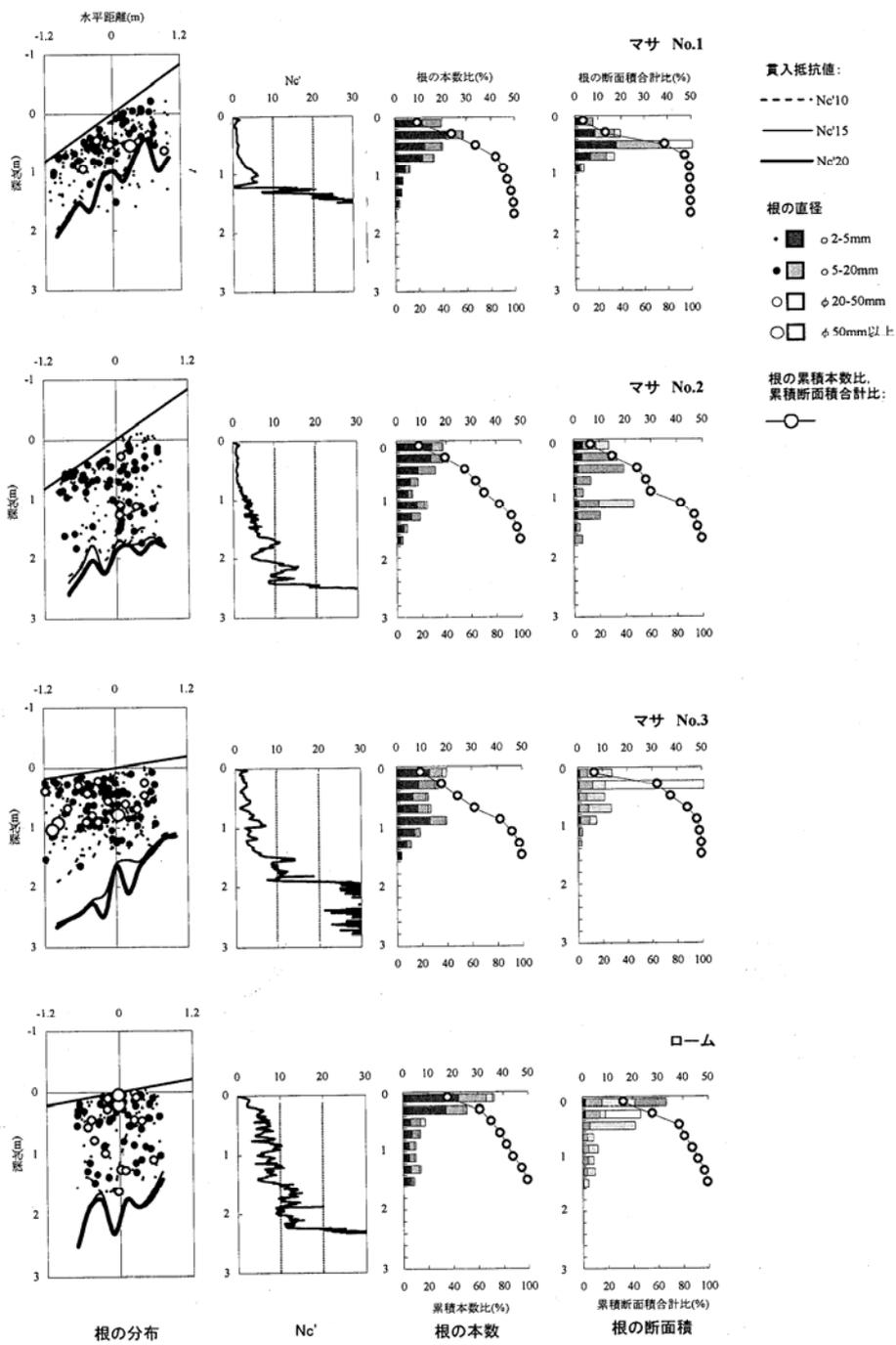


図7. コナラの根系分布と貫入抵抗値($N_c'^2$)

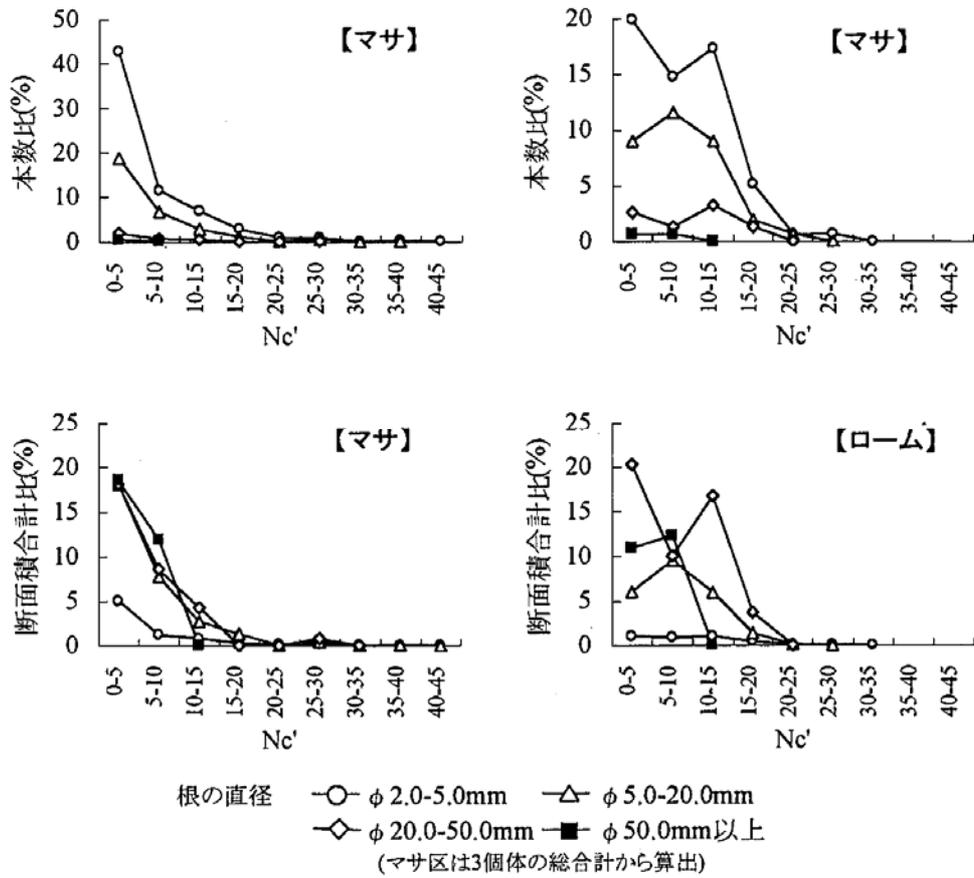


図8. 貫入抵抗値 (N_c') と根の本数比および断面積合計比²⁾

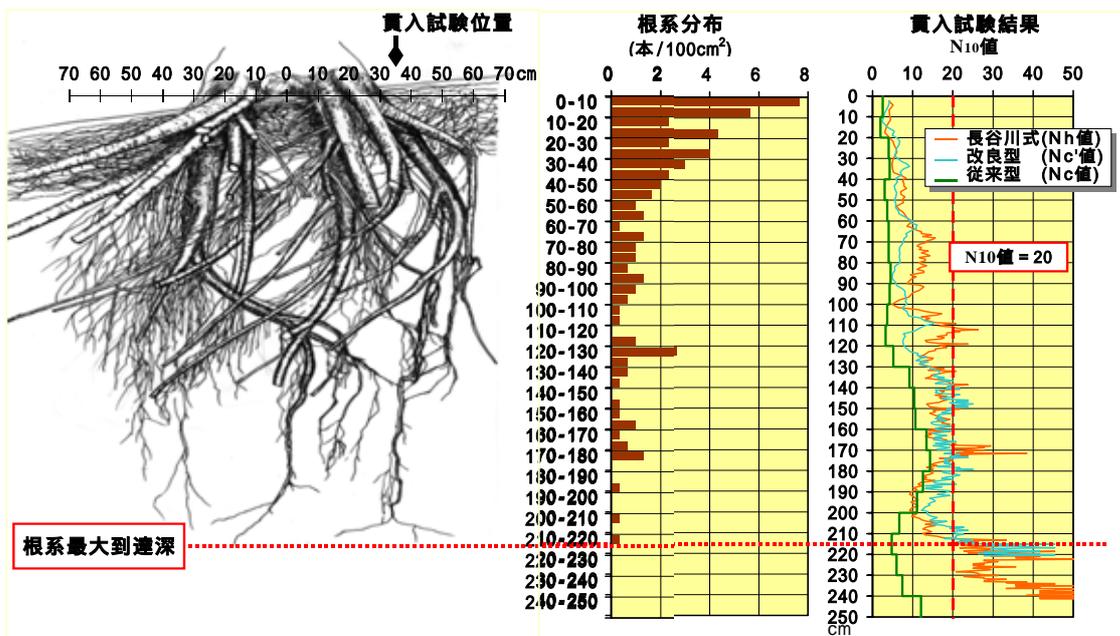


図9. 根系発達と貫入抵抗値との関係⁸⁾

3. 既存樹林・樹木の残地と法面保護工

3.1. 既存樹林・樹木残地のための調査

既存樹林・樹木を残地させるためには、樹木根系の伸長可能な表層風化土層の安定に関する調査とともに、樹木の地上部の状態に関する調査が必要となる。生き物である樹木を残存させるということは、樹勢が悪化することにより根系による緊縛力が低下したり、強風による根株周辺土層の緩み・風倒などの発生、樹冠の鬱ペイによる下草の消失など、法面・斜面風化土層の浸食・崩落などの不安定要因を発生する恐れのあるものといえる。樹木の生育は、根系が健全に発達しているうちは安定側に作用するものであるが、不健全な樹木は不安定要因となる可能性の高いものといえることができる。

このため、既存樹木・樹林を残地し法面・斜面保護を行う場合は表層地盤、すなわち風化土層に関する情報とともに、地上部の健全性に関する情報の収集が必要となる。

これにより、残地可能な樹木を選定し、樹木残地に対し最適な法面・斜面保護工を決定することが可能となる。

調査項目、および留意点としては、次の項目をあげることができる。

表5 既存樹林・樹木残地のための調査項目¹¹⁾

区分	調査項目	留意点
地形・地質	勾配・斜面方向(微地形) 崩壊地形・崩壊履歴 表土の深さ	急勾配地形 崩壊地形 せん急変化点 集水・湧水地形 など、防災的に弱点となる部位の特定
気象	微気象(風向きなど)	乾燥・風衝の状態
樹木・植生	樹林構成 種類・径級・樹高・活力度 樹林密度 植被状況 など	下草の消滅・衰退箇所(うっ閉の程度) 倒木・傾斜木 不良な樹形の樹木 太すぎる樹木(老齢木) 活力のない樹木 など、密度決定・除間伐木選定資料
社会的調査	所有者の意見・要望 周辺住民の意見・要望 景観的価値 など	利用形態の確認 要求水準の確認 目標・ゾーニングなどの決定資料

3.2. 設計

3.2.1. 目標

既存樹林・樹木を残存させる場合、まず考慮しなければならないことは、樹木を残存させる目的と、その景観・形態的な目標である。

道路や急傾斜崩壊対策地域に指定されている法面の場合、法面保護を行う目的の第一は生命・財産の安全確保であり、次に景観保全、生物多様性の保全ということになる。法面の安定を図ることが第一であり、安定を確保した後にあわせて景観・生物多様性に対する配慮を行うものである。

目標とは、斜面・法面の景観と樹林の形態を指すものであり、外観上の緑景観の程度であり、密な

樹林、疎な樹林、高木林、低木林などに分類でき、景観と生物多様性保全に対する要求水準により決定することが必要となる。

3.2.2. ゾーニング

大規模な法面の場合、景観的な観点からは法面全域を画一的に目標設定するよりも、景観的な観点、地形的な条件などを加味しゾーニングを行うことが好ましいものといえる。

たとえば、急傾斜地の場合、建築物に近い部分は見通しのきく疎な状態(中低木疎林型)とし庭園の一部に組み込、弱い谷筋地形、緩勾配地など深い発達した土壌を持ち水分条件も良好な箇所に対しては、防災面での問題が少ないことから比較的密な状態とし(適潤林型)、せん急線以下の急勾配部分は斜面安定に配慮し根系の発達した樹木を残地させる(防災林型)ものとし、尾根筋に関しては強風に配慮した樹木を残地(乾燥林型)させる、などである(図10)。

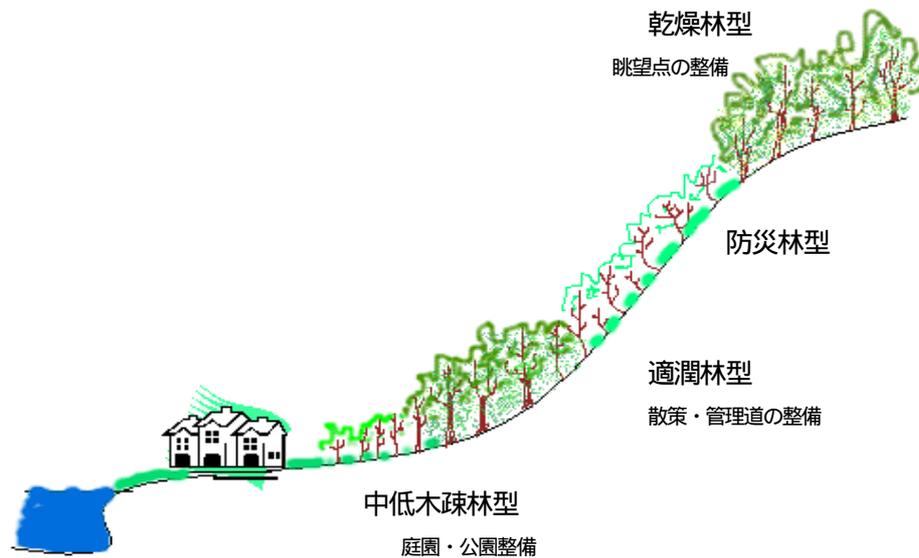


図10 目標林型によるゾーニングと (垂直方向でのゾーニング例) 11)

3.3. 法面保護工

既存樹林・樹木を残地させ法面・斜面保護を行うことのできる工法として表6に示す工法をあげることができる。

既存樹林・残地木の形態は多様であるために、SH式簡易貫入試験器を用いた根系分布域に関する調査と残地木と撤去木の選別に関する調査結果に基づき、また、地域住民の要望など社会科学的な要件についても加味し、法面の安定と既存樹林・樹木を残地を併用することのできる工法の選択、組み合わせを行うこととなる。

現状は、既存樹林・樹木を残地させ法面保護を図るという事例は増しつつあるが、根系分布域を正確に把握する手法がなかったために経験的に判断し実施してきた。このため、工法選定に関しても経験的な観点から行われてきた。

今後は、施行事例の集積に努め、調査と設計に関する標準化を図ることが必要と考える。

表 6 . 既存樹林・樹木残地法面保護工の種類と目的 ¹⁾

区分	工法名	目的	
樹木地際表土崩落箇所の埋戻処理	貧配合ソイルセメント (貧配合モルタル)吹付工 など	地際空洞部を吹付工により埋戻し、樹木の地際の補強・安定を図り、風による地際の緩みを避ける	
残地樹木周辺箇所のみ処理による方法	吹付砕工 簡易吹付砕工 など	残地樹木箇所の梁を飛ばし、残地木の生育空間を確保する 孤立木的に残地させる場合に用いる	
既存樹林を面的に残地させる方法	法面表面に対する処理	長繊維補強土吹付工	もたれ擁壁効果による補強・安定を図る
	法面下部に対する処理による方法	大間隔吹付砕工 大間隔簡易吹付法砕工	吹付砕工の梁のスパンを 3m 以上とし、既存木を残地させたまま法砕により法面の安定を図る
		ロックボルト工 ノンフレーム工法 おびじめ工法 など	ロックボルト単体、あるいは、ワイヤー、帯状補強材などを併用して法面の安定を確保しつつ既存樹林の保全を図る
		待受擁壁工 落石防止フェンス工 など	斜面樹林整備を行った上で、法尻部に構造物を設置し、落石、風倒木、崩落土塊を抑止する

4 . おわりに

既存樹林・樹木を残存させ法面保護工を実施する場合、樹木根系の問題と地上部の問題が発生する。

これまでは、地下部根系伸長域に関する適切な把握手法が存在しなかったために、地表踏査による観察結果と経験的な観点から適用工法が選定されてきた。

S H型簡易貫入試験により、地下部の根系伸長域とその広がりについての推定が容易となったことより、より現実に即した設計が可能となった。今後は、S H型貫入試験による得られた資料を用いた設計手法の標準化を図ってゆくことが必要となる。

地上部の確認、すなわち不健全木の判定に関しては、定量的な把握手法の確立は困難であり経験による判定を行うこととなるために、生理・生態的な性質に詳しい樹木医などの専門家と法面の地質・安定問題に関する専門家が共同で当たることとが必要と考える。

引用参考文献

- 1) Kazutoki ABE, and Masaru IWAMOTO Simulation Model for the Distribution of Tree Roots –App lication to a Slope Stability Model-, J. Jpn. For. Soc. 72, 375-387, 1990
- 2) 福永健司・石塚 望・富樫勇介・槇島朋子・漆崎隆之・長谷川秀三：コナラの根系分布と土壌硬度 の関係, 日本緑化工学会誌, 29, 261-264, 2003
- 3) 塚本良則・窪田順平: 斜面プロセスにおける森林の役割, 地形, 12(3), 243-257, 1991
- 4) 稲垣秀輝：根系層崩壊, 土と基礎, Vol. 50, 5, pp. 5~7, 2002

- 5) 長谷川秀三・川九邦雄・今川映二郎:長谷川式土壤貫入計による緑化地の土壤調査,昭和56年度日本造園学会春季大会研究発表要旨,43-44,1981
- 6) 増田拓朗・藤原賢一・吉田重幸:ケヤキの生育に及ぼす土壤物理性の影響,香川大学農学部学術報告,34(2),157-162,1983
- 7) 長谷川秀三・田畑衛・小澤徹三・佐藤吉之:重機造成地の植栽基盤の物理性と活力度の関係について,造園雑誌48,2,104-122,1984
- 8) 吉松弘行・川満一史・瀬尾克美・村中重仁・長谷川秀三:斜面の表層構造調査用の簡易貫入試験機について,平成14年度砂防学会研究発表会概要集,392-393,2002
- 9) 地盤工学会 自然環境の保全と緑化編集委員会編:地盤工学・実務シリーズ21 自然環境の保全と緑化,社団法人地盤工学会,2004
- 10) (社)日本造園学会緑化環境工学研究委員会:緑化事業における植栽基盤整備マニュアル,ランドスケープ研究63,224-241,2000
- 11) 中野緑化工技術研究所 中野裕司:斜面の樹林管理のための調査・設計の考え方(案),2005.10