

特集「斜面の安定と根系を巡る諸問題」

根系深さの推定手法

長谷川秀三¹⁾

1) ジオグリーンテック株式会社

摘要：斜面土層の表層崩壊と密接に関係する樹木根系分布の推定手法について、現在までの研究成果を簡潔にとりまとめた。根系は土が硬くなると発達が規制されるため、根系発達を規制する土の硬さを把握できれば根系の分布状況を間接的に推定可能である。こうした土の硬さによる間接的調査手法としては、造園分野などで従来から実績を持つ山中式土壤硬度計や長谷川式土壤貫入計、および、近年、急傾斜斜面における土層厚調査用に特化し開発されたSH型簡易貫入試験機がある。自然斜面に生育するコナラを対象にSH型簡易貫入試験機による根系発達深さの推定精度を検証したところ、Nc'15で根系分布が止まり、Nc'20以上の土層では根系が分布しないという結果が得られた。この結果より、SH型簡易貫入試験機を用いることで、長谷川式土壤貫入計などと同様に一定の判断基準によって斜面土層における根系分布状況を推定可能であると考えられた。

キーワード：根系, 表層崩壊, 斜面, 土層, SH型簡易貫入試験, Nc

1. はじめに

斜面の表層崩壊は根系分布と密接な関係があり、表層崩壊した跡を見ると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ではなく、膨大な労力と時間と費用がかかり困難なものとなっている。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さを調べる方法の検討がされている^{1,2)}。

ここでは、その一つとして、精度の高い貫入試験機で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方法について紹介する。

2. 根系の垂直分布と表層崩壊

表層崩壊は深さ1~2m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。樹木の根系分布深さは樹種・樹齢によって異なるが、規制を受けていない一般的な樹木であれば1~1.5m程度まで分布する。この深さは根系の土の強度補強効果が急激に減る部位である。

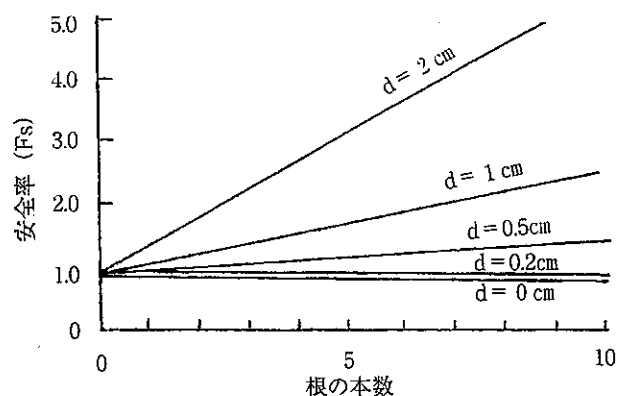


図-1 すべり面の鉛直根の根量と斜面安全率の関係

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 (Fs) の関係を図-1のように示している。すべり面に直径1 cm以上の根が1 m²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2 cmの根が2本存在するとFs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が重要であると述べている⁴⁾。

3. 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1.0 cm以下で根系発達に阻害が始まって数本以下となり、S値0.7 cm以下では発達が困難となり1本以下となる⁷⁾。長谷川式土壤貫入計は図3-1)に示すように2 kgの重錘を50 cmの高さから落下させ、直径20 mm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1 mである。その結果は軟らか度 (S値) グラフ (図3-2) として整理し、深さ方向にS値の分布状況

表-1 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)	膨軟過ぎ	△

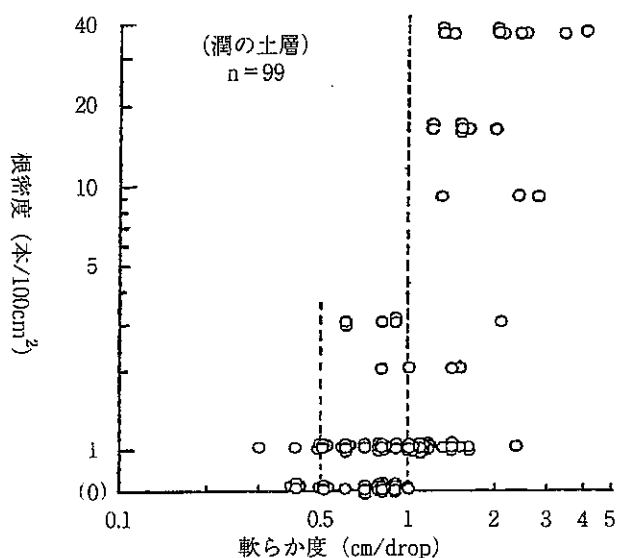


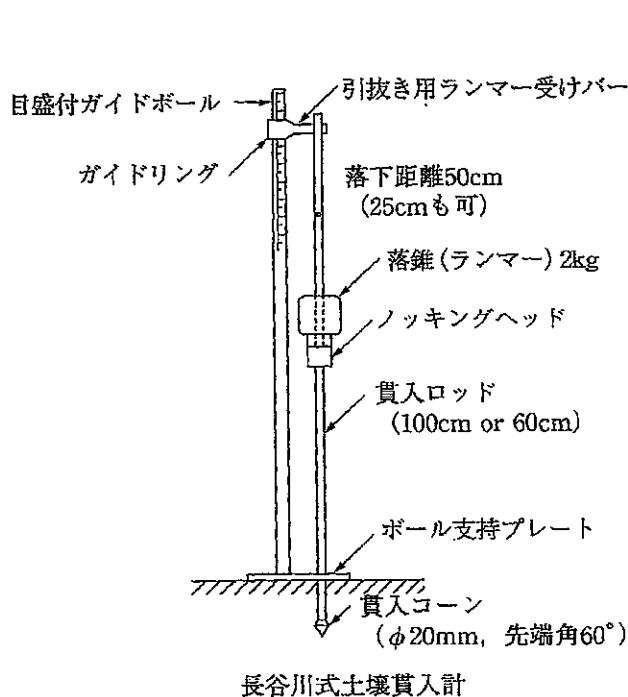
図-2 ケヤキの根密度と軟らか度(S値)の関係⁷

を連続して見る事ができる。

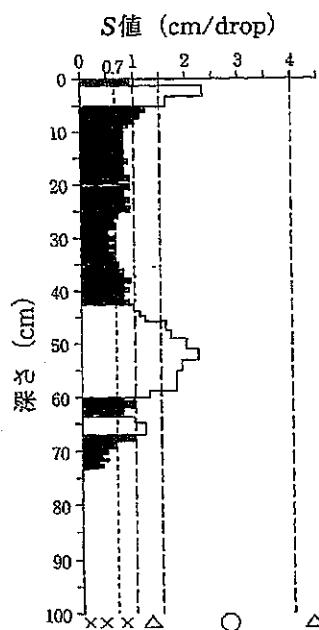
S 値グラフから S 値 1.0 cm 以下の土層が 10 cm 以上または S 値 0.5 cm 以下の土層が 5 cm 以上続いた場合を根系規制層としている。このような判断基準を用い根系発達深度が推定できるようになった。

4. 改良型簡易動的コーン貫入試験機 (SH 型簡易貫入試験機) による根系分布深さの把握

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 1 m である。しかし自然斜面では深さ 1.5 m, 場合によれば 2 m まで根系分布が見られる。一方斜面調査用に用いられる簡易動的コーン貫入試験機は 4 m 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 1~2 m の調査には 5 kg の重錘では貫入力が強



1) 長谷川式土壌貫入計



S値 (軟らか度) グラフ
固結による不良地番の例 (約10~40cm, 70cm以下に固結層あり)

2) S値グラフ

図-3 長谷川式土壌貫入計⁹⁾

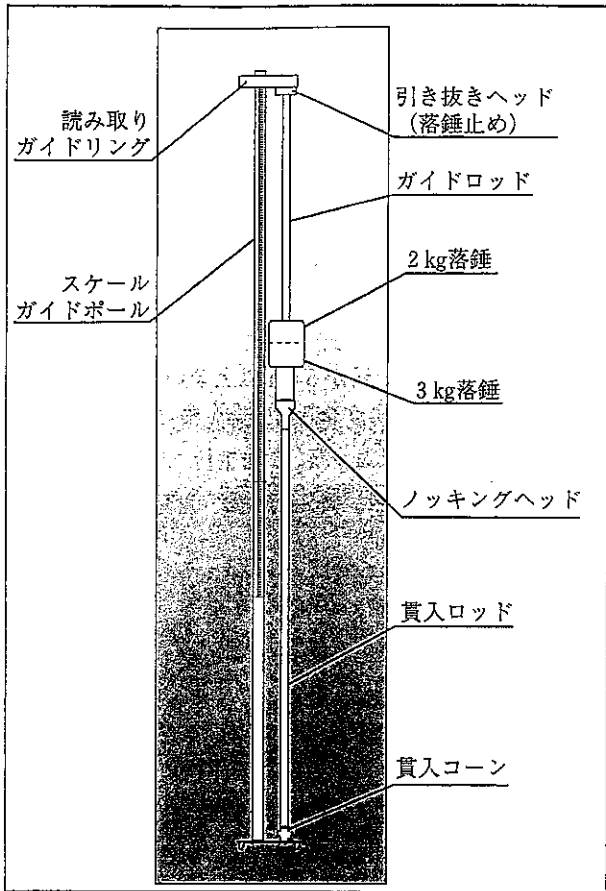


図-4 SH型簡易貫入試験器⁸⁾

表-2 各貫入試験機の構造比較⁸⁾

	改良型	従来型 (簡易貫入試験機)	長谷川式
先端コーン径	φ 25 mm	φ 25 mm	φ 20 mm
貫入ロッド径	φ 16 mm	φ 16 mm	φ 16 mm
重 錘	3 kg + 2 kg (着脱式)	5 kg	2 kg
材質 (重錘除く)	SUS 304	S 45 C SUS 416	SUS 304
測定方法	一打撃毎の貫入量を測定	10 cm 貫入毎の打撃回数 (Nc 値) を測定	一打撃毎の貫入量を測定

すぎるくらいがある。このため 5 kg の重錘を 3 kg と 2 kg に分割できるようにし、表層では 3 kg とすることにより高い分解能の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 1 打撃毎の貫入深を読み取れるように改良した SH 型簡易貫入試験機 (図-4) を開発した⁸⁾。表-2 に両者の違いを示す。また製作したデータロガーを使用することで、正確で高精度 (0.1 mm 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事ができるようになった。このような改良により根系分布状態が精度よく推定できるようになった。SH 型簡易貫入試験機の 3 kg 重錘での貫入抵抗 (Nc' 値) と長谷川式の貫入抵抗 (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る。また 5 kg 重錘の Nc 値 (Nd 値) との関係を見ると $Nc = 0.51 Nc'$ と 1/2 の貫入力となり (図-6)、軟らかいところをより分解能高く測定でき、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。

これ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⁹⁾。調査木はコナラの成木である。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 20~50 cm 離れた位置に貫入試験の測線を

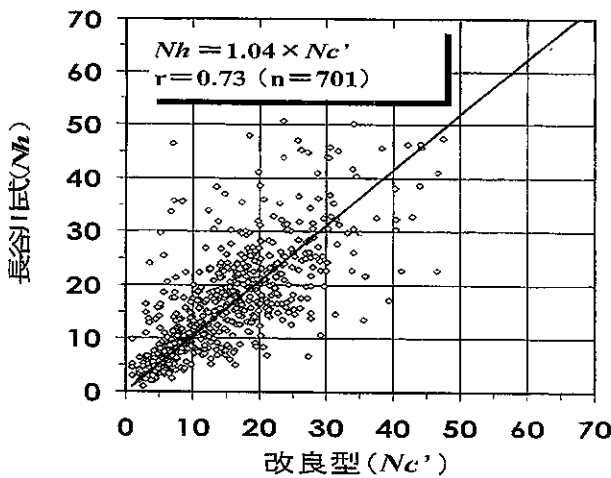


図-5 長谷川式と SH 型の貫入抵抗の関係⁸⁾

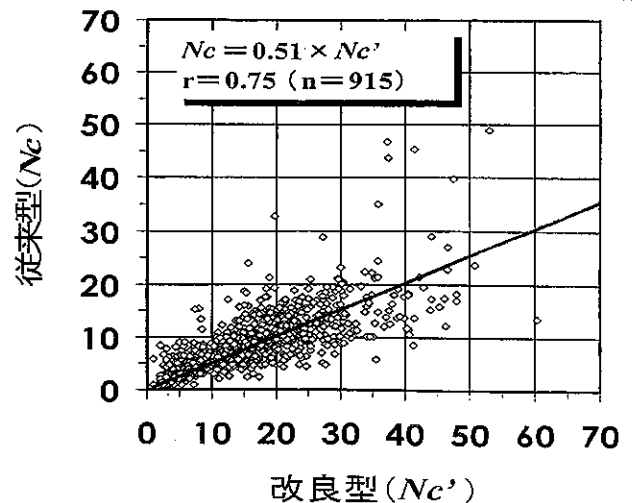


図-6 簡易貫入試験機と SH 型の貫入抵抗の関係⁸⁾

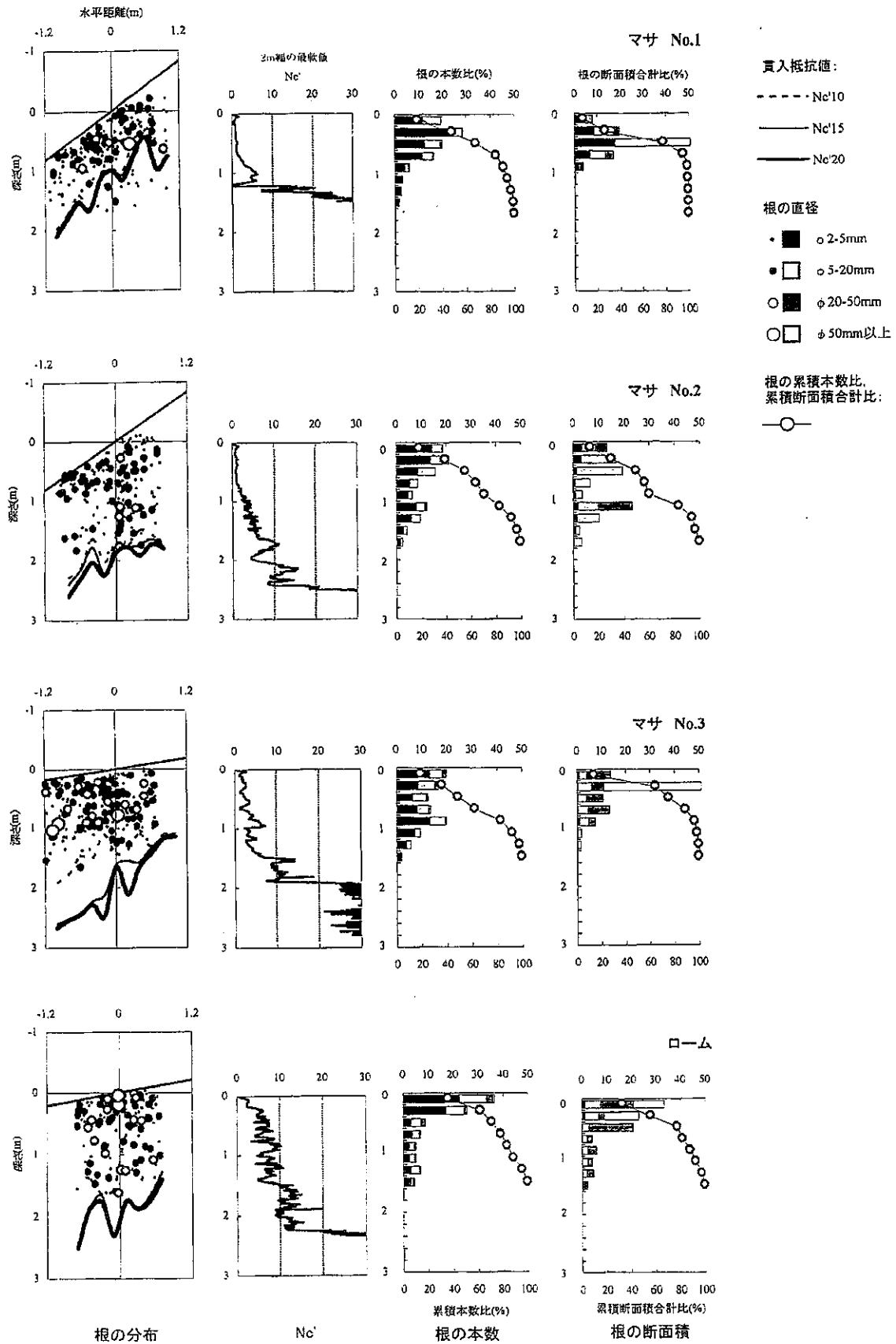


図-7 コナラの根系分布と買入抵抗値(N_c')²

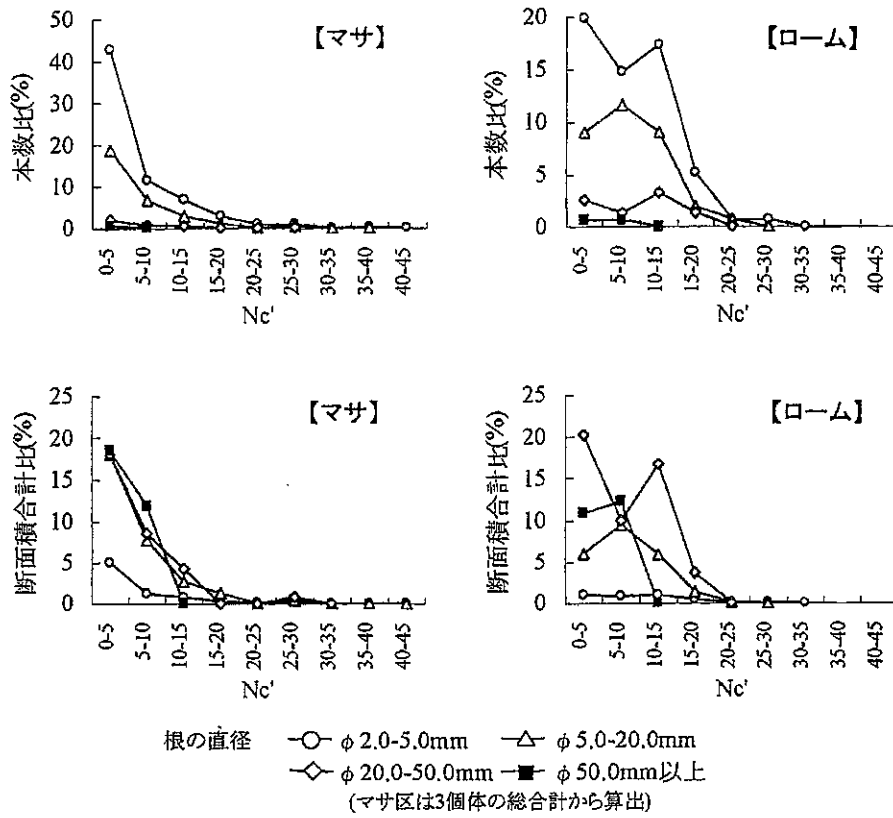


図-8 貫入抵抗値(Nc)と根の本数比および断面積合計比²

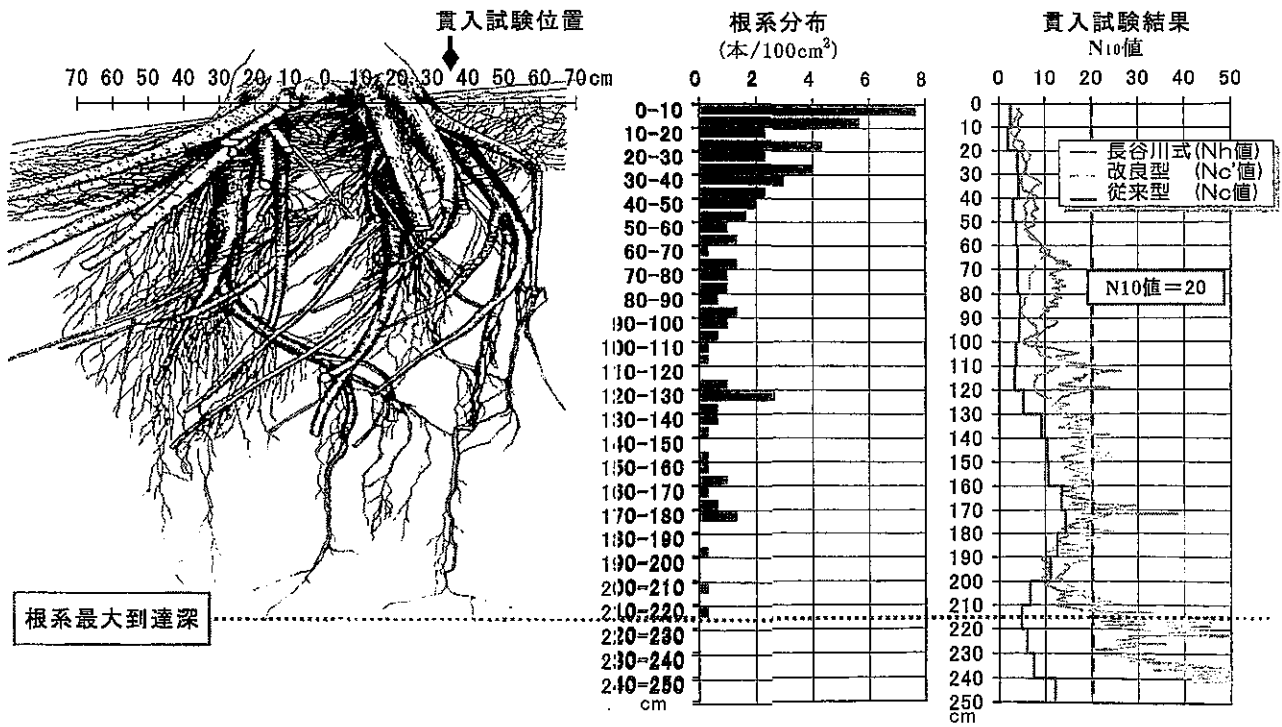


図-9 根系発達と貫入抵抗値との関係³

設け、20 cm 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1.5~2 m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20 cm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1 cm) と Nc'15 (S値0.75 cm), Nc'20 (S値0.5 cm) に分け、その出現深さを描いた。これと根の分布(図-7)を見ると、マサNo3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No3 は Nc'15 以上の固い土層は2 m以深にあり、通気性の良いマサ土でも、深さ1.6 mでこの根系分布が止まっている。4本のコナラとも1.5~1.8 m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。

根の出現箇所にもっとも近い 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見える。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。

5. おわりに

樹木の根系分布は斜面土層の表層崩壊と密接に関係する因子であり、安全性や環境面を両立した斜面对策が望まれる昨今、その高精度な推定手法の必要性が一層高まっている。

急傾斜斜面における土層厚調査用に特化し開発された SH 型簡易貫入試験機について、自然斜面に生育するコナラを対象に根系発達深さの推定精度を検証したところ、Nc'15 で多くの根系分布が止まり、Nc'20 以上の土層では根系が分布しないという結果が得られた。さらに調査事例を蓄積することが必要ではあるが、SH 型簡易貫入試験機を用いることで土の硬さ(Nc'値)を判断基準として斜面土層における根系分

布状況を推定可能であると考えられた。

なお、SH 型簡易貫入試験機は斜面土層構造の把握と表層崩壊すべり面の推定においても高い能力を有する¹¹⁾ことから、今回報告した根系発達深さの推定方法と併せることで、安全性および環境面を包含する合理的な斜面对策に資することが可能と考えられる。

引用文献

- 1) Kazutoki ABE, and Masaru IWAMOTO (1990) Simulation Model for the Distribution of Tree Roots—Application to a Slope Stability Model—, J. Jpn. For. Soc. 72, 375-387
- 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 (2003) 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
- 3) 塚本良則・窪田順平 (1991) 斜面プロセスにおける森林の役割, 地形, 12(3), 243-257
- 4) 稲垣秀輝 (2002) 根系層崩壊, 土と基礎, Vol. 50, No.5, pp. 5~7
- 5) 長谷川秀三・川九邦雄・今川映二郎 (1981) 長谷川式土壌貫入計による緑化地の土壌調査, 昭和56年度日本造園学会春季大会研究発表要旨, 43-44
- 6) 増田拓朗・藤原賢一・吉田重幸 (1983) ケヤキの生育に及ぼす土壌物理性の影響, 香川大学農学部学術報告, 34(2), 157-162
- 7) 長谷川秀三・田畑衛・小澤徹三・佐藤吉之 (1984) 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
- 8) 吉松弘行・川満一史・瀬尾克美・村中重仁・長谷川秀三 (2002) 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
- 9) 地盤工学会自然環境の保全と緑化編集委員会編 (2004) 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
- 10) 社)日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) 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
- 11) 小山内信智・内田太郎・曾我部匡敏・寺田秀樹・近藤浩一 (2005) 簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究, 国総研資料第261号