

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

樹木根系の引抜抵抗力および土壌の物理・力学的性質の測定とその空間分布の解明

研究代表者氏名 小暮 哲也¹⁾
研究分担者氏名 西井 稜子²⁾

1) 島根大学学術研究院環境システム科学系, 2) 新潟大学災害・復興科学研究所

研究要旨

樹木の根系による斜面安全率の増加を定量的に評価するための第一歩として、島根大学三瓶演習林内の6本のスギを対象に、根系や周囲の土壌の物理・力学的性質の測定とその空間分布を調査した。その結果、根系は表層から20~30 cm付近に多く分布し、そうした土壌の硬度は1 kg/cm²以下、含水率は50~70%程度だった。また、土壌硬度の大きさは引抜き抵抗力に影響しなかった。根を引き抜ける土壌硬度の上限は2.5 kg/cm²程度であり、これ以上硬い土壌では根が破断することがわかった。

A. 研究目的

樹木根系の土質強度補強効果により、森林植生が表層崩壊防止機能を発揮すると認識されている(執印ほか, 2009)。これは、樹木根系が自然斜面や法面に対してアンカー工やネットの役割を果たすためといわれる(阿部, 1997)。

実際の表層崩壊地では、滑落崖や側方崖を含めた崩壊縁において、破断された根系を確認できる。根を破断させるためには根の引張あるいはせん断強度以上の応力が必要となるが、これは根系の存在により土壌の粘着力が増加することを意味する。また、崩壊発生時に根が土壌から引き抜かれる際、根と土壌との間に生じる摩擦力も、土壌の粘着力を増加させる。したがって、樹木の根系を考慮して斜面安定解析を行うためには、根系の存在がもたらす土壌の粘着力の増分を正確に見積もる必要がある。実際の斜面では樹種、樹齢、地質の種類など、パラメータの組合せが複雑である。現時点では、そうした様々な種類の樹種や地質において研究例が豊富とは言えない。そのため、樹木の根系が斜面安定性に与える影響について関連分野の研究者や技術者が共通認識を持つためには、研究事例を増やす必要がある時期と考えられる。

本研究では、樹木根系およびその周辺土壌の物理・力学的性質を評価し、また、それらの相互関係を明

らかにすることを目的として、島根大学三瓶演習林におけるスギの根系分布を調査し、根の引張強度、引抜抵抗力、土壌の物理・力学的性質を測定した。ここに、その結果を報告する。

B. 研究方法

B-I. 調査地および調査木

三瓶演習林は島根県大田市三瓶町多根、三瓶山北側・東側に位置し、地質は第四紀更新世三瓶火山噴出物起源のデイサイトである。年平均気温は13℃程度、最高月平均気温は25℃程度(8月)、最低月平均気温は1℃程度(1月)、年間降水量は2000 mm程度である(島根大学生物資源科学部生物資源教育研究センター森林科学部門)。全体の面積は約260 haであり、そのうち約155 haはコナラ、シデ類等からなる落葉広葉樹林、約55 haはスギ(約32 ha)やヒノキ(約14 ha)等からなる人工林からなる。

本研究では、樹齢12年、15年、58年のスギを2本ずつ、計6本を選定し調査木とした。選定した調

表1. 調査木の概要

調査木	胸高直径(cm)	樹齢(年)	樹高(m)	傾斜角(°)
No.1	11.5	15	8.8	23
No.2	13.1	15	11.3	28
No.3	18.2	58	22.9	24
No.4	23.9	58	19.1	27
No.5	11.2	12	6.6	21
No.6	8.4	12	6.1	19

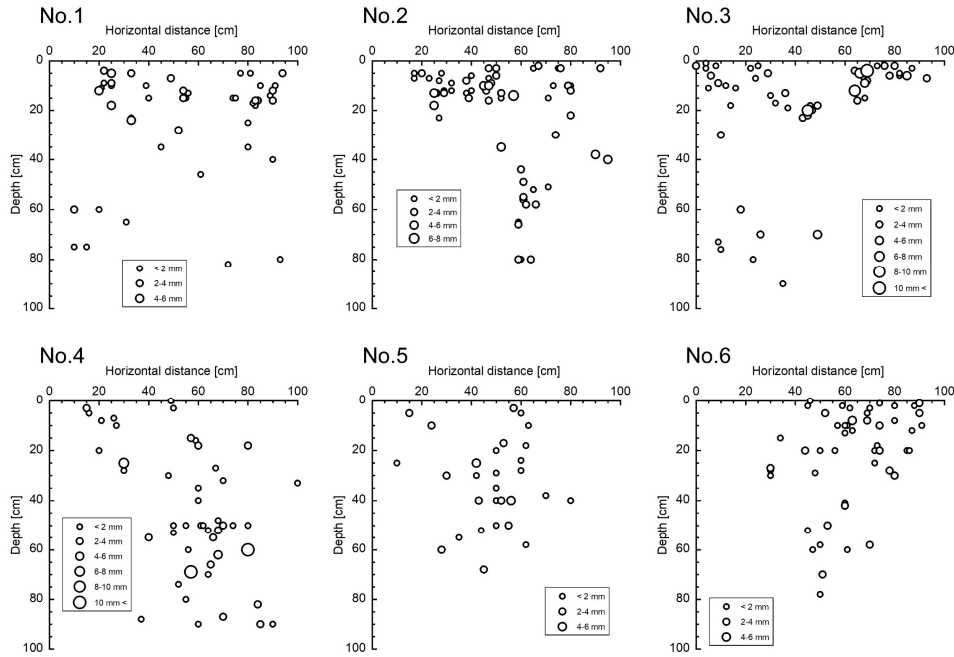


図 1. 各調査木における根系分布

査木の概要を表 1 に示す。

B-II. 根系分布の把握，土壤硬度測定，引張試験

スギから斜面下方に 50 cm 離れたところに水平距離 1 m × 深さ 1 m のトレンチを作成し，断面に現れた根系の座標と根の断面直径 D を測定した。トレンチ表面では，山中式土壤硬度計を用いて深さ 10 cm ごとに土壤硬度 X (パネの縮長, mm) を測定した。測定用の測線を 3 本設け，同一深さの 3 点の計測値を平均し，その深さの X とした。その後，根をデジタルフォースゲージ ((株)イマダ製 DST-1000N) で引張り，破断時の引張荷重 F_t を測定した。対象となった根の数は，調査木 No. 1~6 について，それぞれ 46, 61, 53, 49, 29, 49 本である。

B-III. 引抜試験

調査木の幹からランダムな距離に鉛直面の土壤トレンチ (深さ 0~20 cm) を掘り，現れた根系を剪定はさみで切断し， D とその地点の土壤硬度を測定した。その後，根を伸長方向の逆向きに引き抜き，破断しなかった根の引抜き抵抗 R_w を求め，引き抜けた根の長さ L を測定した。対象となった根の数は，調査木 No. 1~6 について，それぞれ 14, 19, 11, 8, 8, 8 本である。

B-IV. 土壤サンプリング

土壤の物理・力学的性質を評価するため，含水比

試験および一面せん断試験用に土壤を採取した。含水比試験用の土壤は調査木 No. 1~6 のトレンチから深さ 10 cm ごとに攪乱試料として採取された。一面せん断試験用の土壤は，No. 1, 3, 5 のトレンチおよび演習林内の表層崩壊滑落崖から，いずれも深さ 50 cm 地点から採取された。

C. 結果および考察

C-I. 根系分布と土壤の物理・力学的性質

調査木の根系分布を図 1 に示す。どの調査木においても，地表から深さ 20~30 cm までに多くの根が存在した。No. 1~6 において深さ 30 cm までに存在する根の割合は，76, 72, 86, 41, 52, 80% であった。

No. 3 と 4 および No. 5 と 6 は樹齢がそれぞれ 58 年と 12 年とお互いに等しいにも関わらず，地表から深さ 30 cm での全根系本数に対する割合はそれぞれ 86, 41%，および 52, 80% と大きな差がある。したがって，根系分布は樹齢の大きさに依存しないと考えられる。

図 2 は，各トレンチにおける深さ方向の根系分布，土壤硬度，含水率の変化を示す。全てのトレンチにおいて表層から 30 cm ほどの深さで根系本数が減少し，30 cm 以深では深さ 10 cm 当たり 5 本以下となる (図 2a)。根の本数の減少とは対照的に，表層から 30 cm 程度まで 1 kg/cm^2 だった土壤硬度は 30 cm 以深で徐々に増加する (図 2b)。また，含水率は表層から 30 cm 程度まで 50~70% であるが，30 cm 以深で

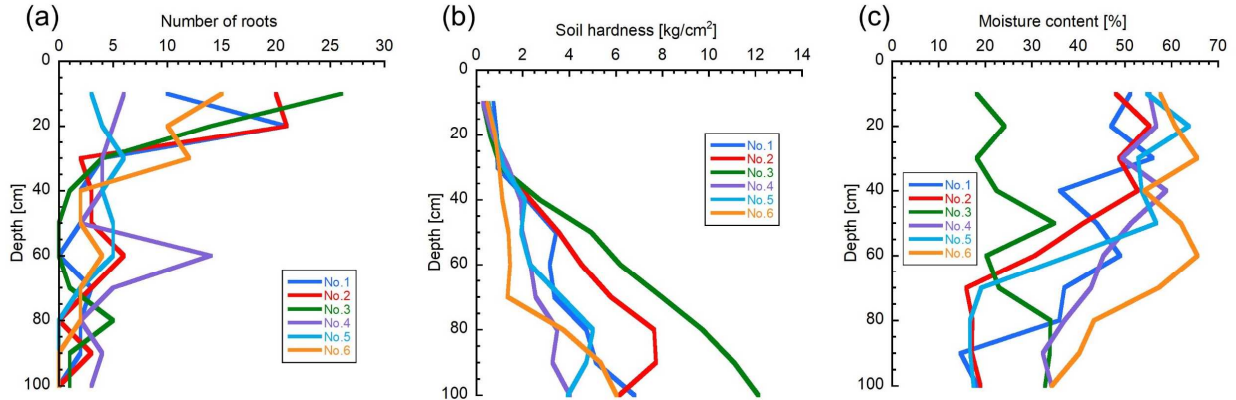


図 2. 各調査木のトレンチにおける深さ方向の(a)根系分布, (b)土壌硬度, (c)含水率の変化

は徐々に減少し、100 cmではおよそ20~30%となる(図 2c)。深部に向かうにつれて土壌硬度が増加し含水率が減少する傾向は、土壌硬度が大きい場所ほど間隙率が小さいことを反映していると考えられる。したがって、深部ほど根系本数が少ない理由は、①土壌が固く根が貫入しにくいこと、および②水分が少なく根の生育に適さない環境であること、の両方が考えられる。

C-II. 土壌硬度と引抜き抵抗力

図 3 に引抜き試験の結果を示す。 R_w の最大値は366 N、最小値は3 Nであり、根が破断せずに引き抜かれた土壌硬度の最大値は2.24 kg/cm²であった。図 3a は、土壌硬度が大きいほど、 R_w が小さい傾向を示す。ただし、引き抜かれた根の長さや太さは根ごとに異なる。そのため、根同士で R_w を比較するため、根の単位表面積当たりの R_w を表す WRUSA (Withdrawal Resistance per Unit Surface Area)を算出した(図 3b)。その結果、WRUSA は土壌硬度の大きさに関わらずほぼ10 N/cm²以下であった。これは、本研究で対象としたスギについては、土壌硬度が引抜き抵抗力

に影響しないことを示唆する。

D. まとめ

島根大学三瓶演習林におけるスギ根系および土壌の空間分布や物理・力学的性質の特徴は以下の通りである：

- 根系は表層から20~30 cm付近に多く分布し、このとき、土壌硬度は1 kg/cm²以下、含水率は50~70%程度である
- 土壌硬度は引抜き抵抗力に影響しない
- 根を引き抜ける土壌硬度の上限は2.5 kg/cm²程度であり、これ以上硬い土壌では根が破断する

文献

阿部和時(1997): 樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究. 森林総研報 No. 373, 105-181.
 島根大学生物資源科学部生物資源教育研究センター森林科学部門: 各演習林のご紹介. <http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/enshurin/enshurin/enshurin.html> (最終閲覧日: 2021年3月3日)
 執印康裕・鶴見和樹・松英恵吾・有賀一広・田坂聡明(2009): 分布型表層崩壊モデルによる樹木根系の崩壊防止機能の定量的評価について, 日本緑化工業誌 35(1), 9-14.

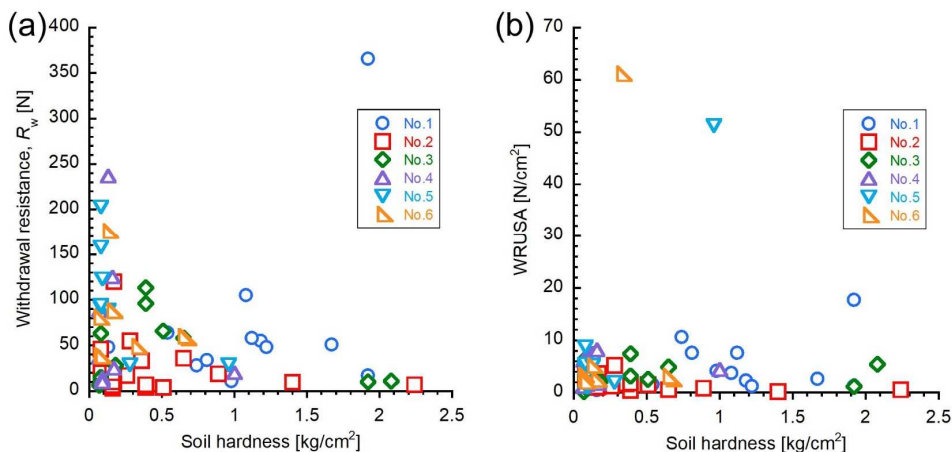


図 3. 土壌硬度と(a)引抜き抵抗力, (b)単位表面積当たりの引抜き抵抗力との関係