

論文

土壌硬度や根量が法面の表面侵食量に与える影響*¹木原早紀*²・久保田哲也*³・水野秀明*³

木原早紀・久保田哲也・水野秀明：土壌硬度や根量が法面の表面侵食量に与える影響 九州森林研究 72：25－28, 2019 本研究は、根系の影響を示す指標として根量を使用し、土壌硬度と根量の関係を求めた上で、土壌硬度や根量が法面の表面侵食量に与える影響を明らかにした。本研究では、既往盛土実測値から土壌硬度を三段階に設定し、緑化に用いられるエンバクを成長させたボックスと、裸地のボックスを複数用意した。エンバクを15日間生育した後に地上部を刈り取り、30度傾斜させたボックスで表面侵食試験を行い、侵食量を比較した。結果として、盛土で想定される土壌硬度の範囲内であれば、土壌硬度と植物の根量に相関はみられなかった。また土壌硬度及び根量は侵食量と負の相関を示した。よって盛土法面においては可能な限り土壌硬度を上げた状態で緑化することにより、植生の侵食防止効果が上がると考える。

キーワード：表面侵食, 緑化, 土壌硬度

I. はじめに

法面は林道や作業道を形成する際に生じる斜面のことを指し、地盤を切り出す切土や、地盤に土砂をもって締め固める盛土といった方法で形成される。この法面は形成後、裸地状態のまま放置すると降雨や表面流等によって表面侵食が生じ、甚大な被害をもたらす可能性がある。その法面侵食を防ぐ対策の一つとして緑化が挙げられる。緑化は雨滴・流水による土砂生産の抑制、凍結・融解による表層崩壊の防止のほかにも、景観保全や生態系保全など多くの効果が期待されている。

緑化による表面侵食の軽減には、地表近くに多く発達した根系による土粒子の締め付けと、地上部による雨滴衝撃の軽減、地表流の流速軽減が働いている。地上部量の指標となる被覆率が侵食量に影響があることは多数の研究例がある(岩崎ほか, 2013; Shinohara *et al.*, 2016; 若原ほか, 2008)。しかし林道や高速道路の法面では視距や景観上の配慮から地上部が刈り取られたり、夏の乾燥や冬の寒さ等で地上部が消失したりするため、地上部の有無にかかわらず、根系がどれほど侵食量軽減に影響するかは重要である。草本類の根系が侵食量に影響を与えることは関根(2008)や村井(1974)によって報告されている。しかし降雨条

件等によって根系の影響がみられないこともあり(Shinohara *et al.*, 2016), 研究すべき余地がある。

さて、土壌硬度の大きさは根の成長に影響があると考えられる。例えば小沢(1965)の研究では、芝の生育において土壌硬度の大きさに伴い、根系の成長量に大きな差が出たとの報告があった。林道や作業道を開設の際に形成される法面には土砂を盛って締め固める盛土によって形成されたものがあるが、この盛土法面を緑化するのであれば、法面の土壌硬度による根系や侵食量への影響は考慮すべきと考えられる。しかし、草本類の生育する法面において土壌硬度の大きさによる侵食量の変化について述べたものはあまり見られない。例えば江崎(1990)の研究では、植生工区の土砂流出量は土壌硬度が高いほど増加するとの報告があるが、この植生工区には草本類も木本類も存在している。木本類は杭として法面を安定させる効果もあるが、草本類は根系が表層に偏っており、木本類と草本類が同様のメカニズムで土砂流出量に影響があると考えてよいのか疑問である。

そこで本研究では、根系を示す指標として根量を使用し、土壌硬度と根量の関係、そして土壌硬度や根量が侵食量に与える影響を実験によって定量的に明らかにすることを目的とする。そのために、緑化にも用いる草本植物であるエンバクで緑化した斜面と裸地の人工斜面を用意して侵食試験を行った。以後人工斜面はサンプルと呼ぶ。

II. 研究方法

実験用サンプルとして図1のようなボックスを準備した。真砂土のみだと栄養が不十分でエンバクが十分に生育しない可能性があったため、図-1の示すように7.5 cmの高さまで真砂土を締め固め、次に化成肥料2 gと石灰石21 gを混ぜた真砂土を2 cmの厚さで締め固めた。土壌硬度は九州大学福岡演習林での盛土の実測値(足立, 2003)を参考に、三段階(0-2 mm, 4-6 mm, 8-10

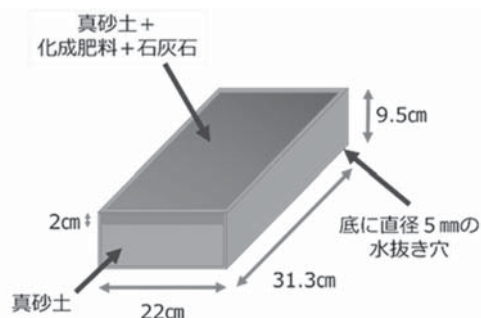


図-1. 実験用模型斜面(サンプル)概要

*¹ Kihara, S., Kubota, T., Mizuno, H. : The influence on erosivity on artificial slopes due to soil strength and root volumes.

*² 九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395, Japan

*³ 九州大学農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 819-0395, Japan

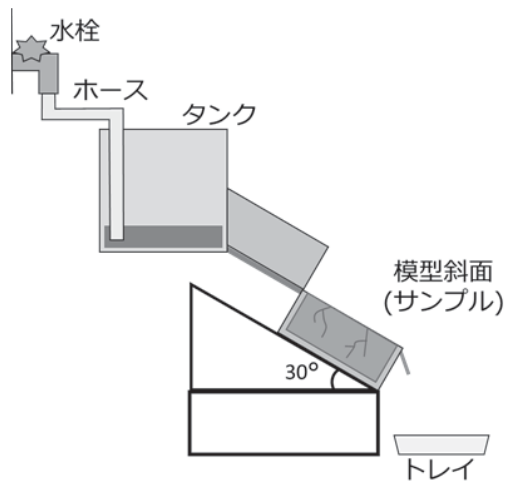


図-2. 侵食試験装置

mm)の条件で締固め、一つの条件に対してエンバク生育用サンプルは5つ、裸地用サンプルを3つ用意した。土壌硬度は山中式硬度計を用いてボックスの四隅と中央の値を測定して平均値を求めた。この時測定した土壌硬度を生育前土壌硬度として扱う。またこの時土の質量も測定した。

今回の実験に使用する植物は既往の研究でも用いられており、成長の早い在来種であるエンバクを選択した。確実に生育させるためにまずエンバクの種子を5日間、水を含んだ綿の上に置いて発芽させ、発芽した種子を各々のボックスに70個、3cm間隔で植えた。これは関根(2008)の論文にて、3cm間隔までは間隔を狭くすると土砂流出防止効果が強く表れ、それ以上間隔を狭めても土砂量に対して差がない、との報告を参考に設定した。種子を植えたサンプルは30度の角度で設置して、15日間毎日水を100cc与えて生育させた後に侵食試験を行った。裸地のサンプルも同様に、15日間水を100cc与えた後に侵食試験を行った。今回の実験では根系による土砂量への影響をより明らかにするため、侵食試験直前にエンバクの地上部はすべて除去し、地上部重を測定した。また、侵食試験の前に土壌硬度を再度測定し、これを生育後土壌硬度とした。

侵食試験はBurylo(2012)を参考に図-2のように製作した侵食試験装置を用いて行った。まず装置に30度の角度でサンプルを設置して、サンプルの上方に30度の13.7cmの斜面を配置した。斜面の上部には縦37.2cm×横25.3cm×深さ14cm、片面から高さ6.5cmで横幅21.5cmの長方形をくりぬいたタンクを備え付けた。侵食試験を行う際には、タンクに水栓からホースで水を供給した。

侵食試験ではタンクに水栓からホースで水を供給して約32ml/秒の水流を10分間発生させた。この流量は演習林試験地である新建川林道斜面流域350㎡あたりに降雨強度1.0mm/時間の雨が降った場合、下方の斜面に流れ込む流量を想定して設定した。タンクからボックスに流れ込む水流により流れ出た土砂は、ボックスの下方に設置したトレイに蓄積させた。トレイは2分半ごとに入れ替えた。

侵食試験を終えた直後のボックスから100ccサンプラーで土壌のサンプルを取り、24時間約110℃で乾燥して乾燥重量を測定し、

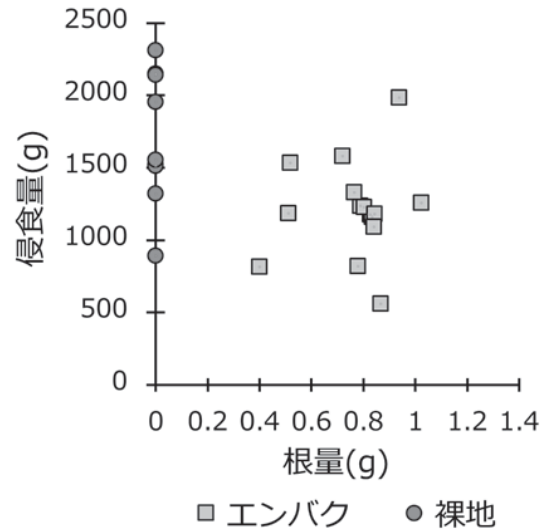


図-3. 根量と侵食量の関係

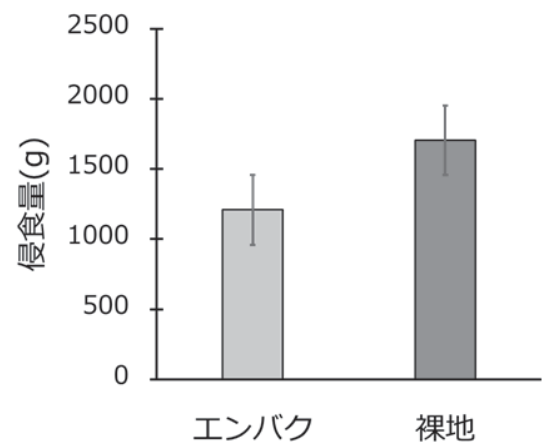


図-4. 侵食量の平均値の比較

事前に測定した真砂土の密度の値とサンプラーの容積を用いて間隙率を算出した。またボックスの土をふるいにかけて根を取り出し、乾燥機にて約110℃で24時間乾燥させ、根の乾燥重も測定した。これを根量として扱う。表面侵食試験の後にトレイに蓄積した土砂をバットに移し替え、乾燥機で約110℃で24時間乾燥させた後、バットごとに土砂の乾燥重量を測定した。その合計をボックスの侵食量と定めた。

Ⅲ. 結果と考察

図-3は根量と侵食量の関係を示したもので、根量と侵食量のあいだには決定係数 $R^2=0.2359$ と相関がみられた。図-4では同一のデータを用いてエンバクと裸地の侵食量の平均値を比較したものである。図-4からも分かる通りエンバクを生育したボックスの方が裸地条件のボックスよりも侵食量が小さくなり、平均値の差のt検定でもその差は有意であった($P < 0.05$)。これにより根系による土壌緊縛効果が見られることは確認できた。

また、図-5では生育前土壌硬度と侵食量の関係を示した。裸地においては $R^2=0.3634$ と相関がみられたが、エンバクにおい

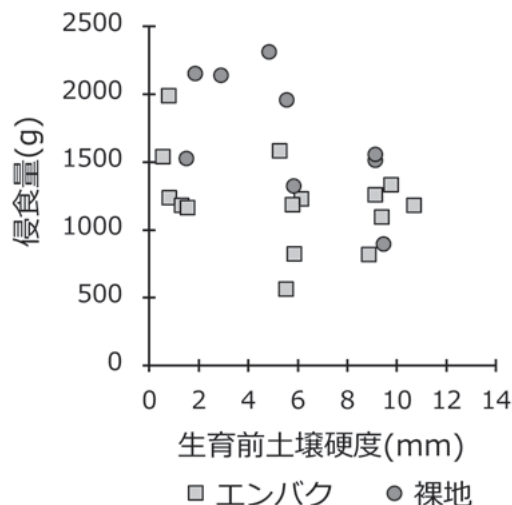


図-5. 生育前土壌硬度と侵食量の関係

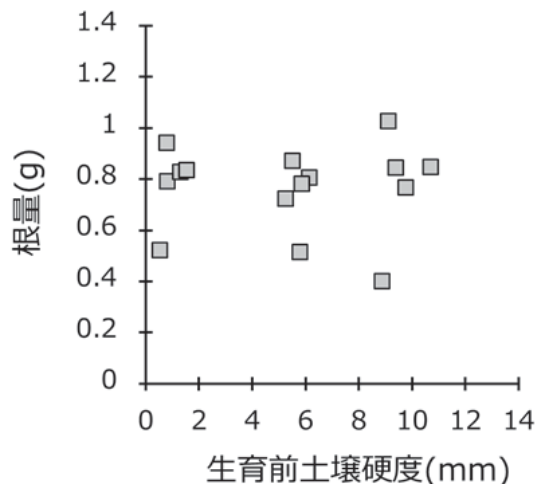


図-7. 生育前土壌硬度と根量の関係

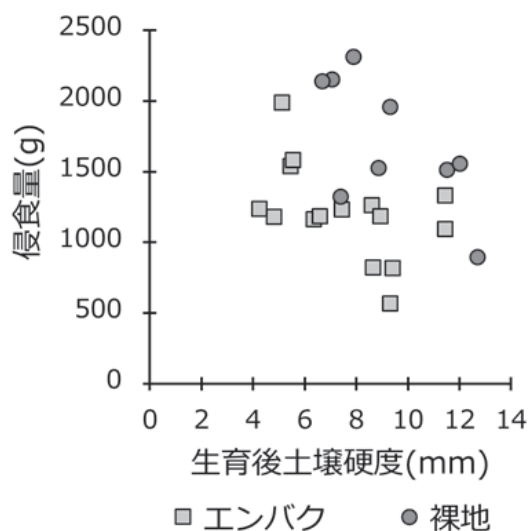


図-6. 生育後土壌硬度と侵食量の関係

では $R^2=0.1429$ と裸地よりも小さい相関が見られた。図-6は生育後土壌硬度と侵食量の関係を示したもののだが、こちらはエンバクにおいても $R^2=0.2481$ と相関は見られたものの、生育前土壌硬度と侵食量の関係とさして変わらない結果となった。これは今回の実験においては生育前後の土壌硬度はほぼ比例関係になっていたため、土壌硬度と侵食量の関係性があまり変化しなかったからである。

図-7には生育前土壌硬度と根量の関係を示した。土壌硬度による根量の差は見られず、決定係数も $R^2=0.0003$ と、結果として生育前土壌硬度と根量の間においては相関は見られなかった。これは、今回の実験条件で設定した土壌硬度が1-10 mm程度と比較的小さく、実験条件で設定した土壌硬度の範囲が根系の成長に差を及ぼすほど広くなかったのが原因ではないかと考えられる。

これまでの結果において根量や生育土壌硬度以外の要素が侵食量に影響を与えている可能性も考えられたため、重回帰分析も行った。まず重回帰分析に使用する説明変数を絞り込むために表-1のように測定した項目の相関行列を示した。生育前土壌硬

度と生育後土壌硬度・土質量、そして根量と地上部重・乾燥地上部重の相関が大きかった。今回の実験の目的に伴い、生育前土壌硬度と生育後土壌硬度・土質量においては生育前土壌硬度を、また根量、地上部重・乾燥地上部重量においては根量をそれぞれ説明変数として選択した。

表-2では侵食量を目的変数に、生育前土壌硬度、間隙率、乾燥根量の三つを説明変数において重回帰分析を行った結果を示した。この重回帰分析においては、重相関係数は $R=0.6547$ となった。標準偏回帰係数の絶対値は生育前土壌硬度が0.3786、根量が0.4912となったが間隙率は0.0027であった。これらの P 値は間隙率のみ0.05以上であったため、間隙率は侵食量にさほど影響がないと考えられる。これより、重回帰分析においても土壌硬度と根量の両変数が侵食量に影響を与えているといえることができる。

結果として緑化において、被覆を除去しても根による侵食量の減少効果大きいことが示された。盛土で想定される範囲においては土壌硬度の高さが根量に与える影響は小さいため、土壌硬度をできる限り大きくした方が侵食防止につながるといえよう。

IV. おわりに

本研究では土壌硬度と根量の関係、そして土壌硬度や根量が侵食量に与える影響を明らかにした。研究の結果、盛土で想定される土壌硬度の変化の範囲内であれば土壌硬度と植物の根量に相関は認められなかった。従って盛土で目標とされる土壌硬度の範囲内では土壌硬度による根の発達阻害はなかったと想定できる。また重回帰分析によって土壌硬度及び根量の増加が侵食量を抑制することが示された。これは根系が土粒子を締め付けることによる侵食量軽減効果が十分現れたからだと考えられる。

このように今回の実験内で土壌硬度が根量に発達阻害を起こさず、また土壌硬度と根量が侵食量を抑制した結果から、通常盛土で想定される範囲においては、可能な限り土壌硬度を大きくした方が、法面緑化の侵食防止効果があると思われる。

表-1. 相関行列

	生育前土壌硬度	生育後土壌硬度	土質量	間隙率	根量	地上部重	乾燥地上部重	侵食量
生育前土壌硬度	1.0000							
生育後土壌硬度	0.8092	1.0000						
土質量	0.9253	0.8223	1.0000					
間隙率	0.1703	0.1378	0.1971	1.0000				
根量	-0.0166	-0.3192	-0.0786	0.3265	1.0000			
地上部重	-0.0624	-0.4017	-0.1304	0.3230	0.9300	1.0000		
乾燥地上部重	-0.0244	-0.3417	-0.0955	0.3609	0.9438	0.9926	1.0000	
侵食量	-0.3709	-0.2577	-0.3117	-0.2275	-0.4857	-0.5207	-0.5283	1.0000

表-2. 重回帰分析

修正済決定係数： $r^2=0.2865$

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P 値	判定
生育前土壌硬度	-50.3690	-0.3786	0.0475	*
間隙率	-0.5617	-0.0027	0.9889	
根量	-555.8752	-0.4912	0.0161	*
定数項	1952.0008		0.0628	

V. 謝 辞

本研究を進めるにあたり、森林保全学研究室の学生諸氏にも助力をいただいた。記して感謝する。

引用文献

足立奈々 (2003)：福岡演習林の林道法面における植生について、九州大学卒業論文

- 江崎次夫・藤久正文 (1989)：日本緑化工学会誌, 15 (3)：1-13
 岩崎貴大ほか (2013)：九大演報, 94：18-22
 Burylo, M. *et al.* (2012)：and Landforms, 37: 1463-1470
 村井 宏 (1974)：水利科学 18：51-76
 小沢知雄・萩原信弘 (1965)：造園雑誌 29 (2)：12-17
 関根正人ほか (2008)：水工学論文集第 52：559-564
 Shinohara, Y. *et al.* (2016)：Hydrological Sciences Journal 61, 2435-2442
 若原妙子ほか (2008)：日森林誌 90：378-385
 (2018 年 11 月 9 日受付；2018 年 12 月 21 日受理)