

短 報 (Short communication)

海岸防災林再生事業で造成された盛土の深耕による 硬度と透水性の変化

篠宮 佳樹^{1)*}、今矢 明宏²⁾、坂本 知己³⁾

要旨

東日本大震災後の海岸防災林再生事業で造成された生育基盤盛土の一部では、水溜まりの発生や盛土の硬さが問題となり、改善作業が実施されている。本研究では、宮城県名取市の盛土におけるスケルトンバケット式バックホウによる深耕の効果とその持続性について明らかにするため、透水性及び硬度を調査した。硬度は長谷川式土壌貫入計を用いて、透水性は採土円筒により非攪乱状態の盛土を持ち帰り、定水位法で測定した。その結果、深耕による盛土の硬度の低下と透水性の改善を確認した。深耕から3か月、6か月経過後、0～10 cmの最表層で再硬化と透水性の低下が認められたが、10 cm以深の盛土は柔らかく、深耕の効果が持続していた。

キーワード：深耕、盛土、海岸林再生、締固め

1. はじめに

東日本大震災で被災した海岸防災林の再生に際して、津波に対して根返りしにくい林帯を造成するため、地下水位から一定の地盤高を確保した盛土が造成されている(林野庁 2013, 坂本 2015)。しかし、盛土の一部で地表面に水溜まりがみられ、植栽木の健全な生育が懸念される事態が生じた(伊藤 2015)。

重機で造成された植栽基盤では根の伸長阻害などが起きやすいことが指摘されている(長谷川ら 1984, 長谷川 2008, 長谷川・猪俣 2015)。これを回避するための手段の一つとして深耕が挙げられる。深耕とは、通常深さ40～60 cm以上の耕起のことを指す(国土交通省都市局 2009)。千葉県九十九里浜の低湿地における海岸林造成のため盛土を施工した事例では、植栽から10年経過したクロマツの根系の発達が深耕を実施しなかった箇所より実施した箇所のほうで良好であったことが報告されている(野原・高橋 2007)。以上の報告から、重機により造成された盛土は締固まりやすいが、深耕することで盛土の生育基盤としての適性が改善されると考えられる。

仙台森林管理署でも、盛土地表面の水溜まりの改善と盛土内に形成された硬い土層の破碎を目的として、リッパードザーやバックホウを用いて盛土の深耕を実施している。ただし、盛土の施工から3～4か月経過して何日か降雨があると表面付近が再硬化する。そのため、深耕を行った後、再硬化が進まないうちに期間を空けないで直ちに植栽するといった施工スケ

ジュールの制約が生じている(伊藤 2015)。造成後の盛土における植栽木の健全な生育と、迅速な再生事業の遂行のため、盛土における深耕の効果の持続性を検証することが必要である。本報では、盛土における透水性と硬さからみた深耕の効果とその持続性について深耕から6か月間の変化について明らかにする。

2. 研究方法

2.1 調査地

調査地を宮城県名取市の台林国有林 89 林班にある、海岸防災林復旧事業名取 10 工区に設定した(Fig. 1)。調査地点は汀線から約 450 m、防潮堤から約 300 m ほど内陸に位置する。アメダス観測点「名取」(調査地から南西へ約 2 km)の年降水量は 1159.6 mm、年平均気温 12.4℃(2003～2010 年)である(気象庁 2016)。盛土材は海岸から 10～30 km 離れた宮城県岩沼市、山元町の丘陵地帯から採取された砂岩が主体の山砂であり、盛土は 2014 年に完成した。盛土は地下水位から 2.4 m 高く造成されることになっている(村上 2015)。また、後述するように盛土断面調査を実施した範囲(深さ 1 m)においては、震災前の地表面である海砂が現れることは一度もなかった。深耕作業は 2015 年 3 月 10～23 日に実施された。作業はスケルトンバケット式バックホウ(KOMATSU 製 PC200 バケット容量 0.8 m³)により行われ、工区の最奥部から作業道の出入り口へ後退しながらバケットの大きさである深さ 70 cm 程度まで深耕された。スケルトンバケットはバケッ

原稿受付：平成 29 年 6 月 15 日 原稿受理：平成 29 年 8 月 29 日

1) 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点

2) 国際農林水産業研究センター

3) 森林総合研究所 森林防災研究領域

* 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

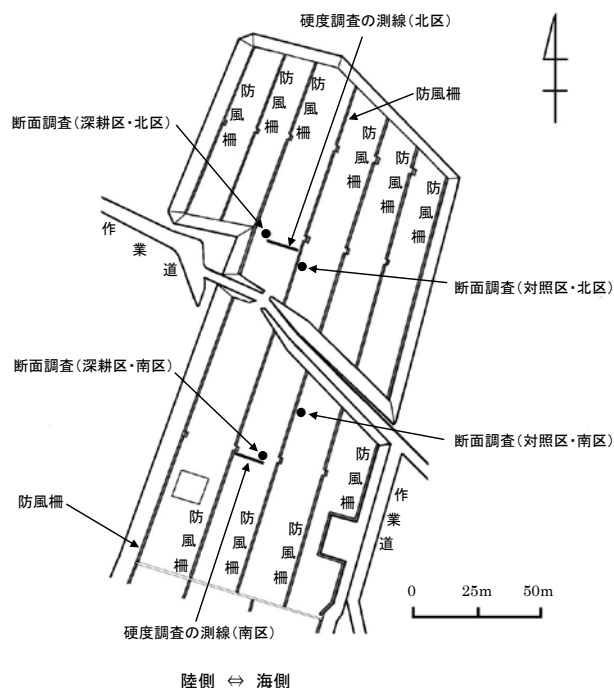


Fig. 1. 試験地の位置
The location of research site

トにスリットが入っていて、細かな土塊は落ちる構造になっている。森林管理署の情報では、深耕作業後、地表面にできた凹凸はバケットで軽く均されている。続いて素掘り水路（幅約 50 cm、深さ約 30 cm）が防風柵と防風柵の間（概ね 20 m）に 1 本の割合で作設された。この作業のため、小型バックホウ（HITACHI 製 ZX-120 0.5m³）が水路をまたぐ形で走行した。2015 年 6 月にクロマツ（*Pinus thunbergii*）、アカマツ（*Pinus densiflora*）が 1ha あたり 5000 本の密度で植栽された。植栽後の 6 月下旬～7 月中旬にかけて静砂垣（日本海岸林学会（2016）によれば、静砂垣は垣内の風速を弱めて飛砂の発生を防ぎ、この垣内に植栽されたクロマツ幼齢木等の植栽木を守るために作られる）が設置された。その際、杭の打ち込みのため、アタッチメントを取り付けた小型バックホウ（KUBOTA 製 形式不詳）が静砂垣と平行に走行した。

2.2 盛土断面調査

名取 10 工区を東西に横断する作業道を挟んで南北に 1 か所ずつ、合計 2 か所（以降、南区、北区と表示）で盛土断面調査を行った（Fig. 1）。調査は深耕前（2015 年 3 月 6 日北区のみ）、直後（4 月 3 日北区、4 月 8 日南区）、3 か月後（6 月 30 日南区のみ）、6 か月後（9 月 28～29 日）に行った。盛土断面調査では、深さ 1m の試孔を設け、断面の形態的特徴を記載後、粒径分析用試料及び非攪乱試料（400 mL 採土円筒、A=100 cm²、h=4 cm）を 2、10、20、30、50、70、90 cm の深さより 1 個ずつ採取した。ただし、深さ 20 cm に

いては深耕直後より試料採取を開始した。深耕前の深さ 2 cm と 90 cm については 100 mL 採土円筒（A=19.6 cm²、h=5.1 cm）を用いて 1 個ずつ、深耕直後の北区の深さ 70、90 cm については 100 mL 採土円筒を用いて 2 個ずつ採取した。対照として同様の調査を、防風柵があるために深耕されなかった場所（以降、対照区と表示）でも行った（北区の深耕直後の対照区の深さ 70、90 cm も 100 mL 採土円筒で 2 個ずつ採取）。

2.3 物理性の測定

採取した円筒試料（n=80）について、河田・小島（1979）に従って一般物理性を測定した。今回の試料はほぼ砂で構成されていたので、石英や長石の真比重に相当する値 2.65 を土粒子の比重とみなした。飽和透水係数の測定には定水位法（100 mL 円筒試料は変水位法）を、粗間隙率の測定には素焼板を用いた。粒径分析はピペット法にて行い、国際土壌学会法により土性を決定した。日本造園学会（2000）では、植栽基盤の透水性の「良」、「不良」の境界について 10⁻³ cm s⁻¹ = 36 mm h⁻¹ を基準にしており、本研究でもこの基準に従った。

2.4 硬度の測定

硬度の測定には、長谷川式土壌貫入計（ダイトウテクノグリーン製 H-100SE）を用いた。長谷川式土壌貫入計は試孔を掘らなくても硬度の測定ができること、硬度が樹木の根の伸長と関連づけられていることに特徴があり、植栽基盤の基準（国土交通省都市局 2009、日本造園学会 2000 など）や土壌硬度の研究（増田ら 1991、河口・堀 2002、魚井ら 2013 など）に広く利用されている。長谷川式土壌貫入計による硬度は柔らか度（S 値）と呼ばれる、1 打撃（2 kg の錘を 50 cm の高さから落下）あたりの貫入量（cm drop⁻¹）で表される（以降、S 値の単位は省略する）。S 値が小さいと硬く、S 値が大きいと柔らかいことを意味する。S 値 1 以下が 10 cm 以上続いた場合、根の侵入が困難と判断され、S 値 4 以上の場合には乾燥害や支持力低下の懸念があるとされている（長谷川・猪俣 2015）。

硬度の測定は深耕前（2015 年 2 月 3 日北区、3 月 6 日南区）、直後（4 月 2 日）、3 か月後（6 月 30 日～7 月 2 日）、6 か月後（10 月 1～2 日）に行った（Fig. 1）。試孔に近い場所で長さ 10 m 程度の測線を南区、北区にそれぞれ 1 本ずつ設定し、深耕前は 2 m 間隔、深耕後は 0.25 m 間隔で深さ 1 m まで測定した。なお、水平距離は測線の陸側端を起点（0 m）として表示した（Fig. 1 では、測線の左側端が起点である）。北区の水平距離 8.25～10.75 m は地表に木材チップが積まれており、深耕されていない。深耕から 3～4 か月経過した頃、南区の測線の水平距離約 7.6 m 付近および、北区の測線の水平距離約 2.2 m 付近に 1 本ずつ測線に直交する

方向に静砂垣が設置された。この他、盛土断面調査の試孔付近（1 m 以内）でも長谷川式土壌貫入計により硬度を測定した。

3. 結果及び考察

3.1 調査地の盛土の一般物理性

盛土断面の形態的特徴として、土壌構造の発達はなく、深さ 1 m 以内では海砂など、盛土材である山砂以外の出現はなかった。深耕前の土層は全般的に緻密であったが、深耕後は間隙が目視できた。採土円筒に含まれている礫（2 mm 以上）の体積含有率は平均 3.0%（最小 0.1%～最大 10.7%）であった。全間隙率は概ね 35～50%、粗間隙率は 5～30% の範囲にあった。深耕前（2015 年 3 月 6 日北区のみ）、深耕直後（4 月 3 日北区、4 月 8 日南区）に採取された試料の粒径組成は採取深度に関わらず概ね砂 80%、シルト 10%、粘土 10% の重量比で、土性は砂壤土であった。深耕直後から 3 か月、6 か月経過してもシルトや粘土の含有率が明確に増加した箇所は認められなかった。

3.2 深耕前後の盛土の飽和透水係数

深耕前及び対照区の飽和透水係数の鉛直分布を Fig. 2a に示す。飽和透水係数は一部に採取時期による差異がみられたが、これは経時変化によるものではなく、採取箇所によるばらつきを反映したものであると考えられた。深耕前及び対照区の飽和透水係数は深さ 10～30 cm の浅い部分を中心にほぼ 36 mm h^{-1} 以下であった。特に深さ 10、20 cm の試料は全て 36 mm h^{-1} 以下で、

最小値（ 1.3 mm h^{-1} ）も同深度に存在した。50 cm より深い層の飽和透水係数は $3 \sim 231 \text{ mm h}^{-1}$ とばらつきがみられた。

深耕後の飽和透水係数の鉛直分布を Fig. 2b に示す。深耕直後の北区の深さ 10 cm の結果（ 8 mm h^{-1} ）を除けば、深さ 50 cm より浅い部分では、深耕直後、3 か月、6 か月経過しても飽和透水係数は 36 mm h^{-1} 以上と良好な透水性を示した。ただし、深さ 10～50 cm の飽和透水係数が深耕直後、3 か月後、6 か月後と時間経過に伴い低下するようなことはなかったのに対して、6 か月後の最表層（深さ 2 cm）の飽和透水係数は南区及び北区ともそれぞれ 43 、 38 mm h^{-1} と、深耕直後（ 457 、 258 mm h^{-1} ）、深耕 3 か月後（南区のみ 187 mm h^{-1} ）に比べて低下していた。深耕後の深い部分（50～90 cm）の飽和透水係数は $21 \sim 321 \text{ mm h}^{-1}$ で、明確な経時変化が認められなかった。なお、深耕直後の北区の深さ 10 cm の試料で飽和透水係数が 8 mm h^{-1} と低かった理由として、深耕の影響を免れた硬い土塊から試料を採取した、深耕作業後、地表面の凹凸を均す際に固められた箇所から採取したなどが考えられる。

3.3 飽和透水係数に及ぼす深耕の効果と持続性

深耕前及び対照区の深さ 50 cm 以深は飽和透水係数 $3 \sim 231 \text{ mm h}^{-1}$ と、日本造園学会（2000）の指標による「不良」、「良」が混在していたが、深耕前及び対照区の盛土の深さ 10～30 cm は 17 試料中 16 試料で飽和透水係数が 36 mm h^{-1} 未満であった。これらのことから、深耕前の盛土は主に深さ 10～30 cm の範囲では

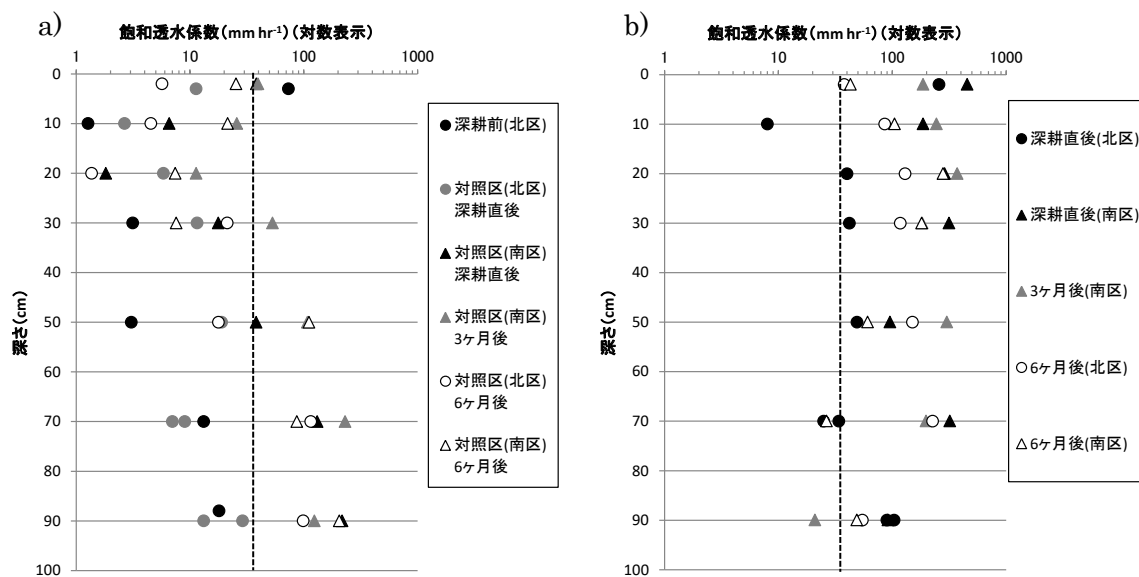


Fig. 2. 飽和透水係数の鉛直分布 (a) 深耕前及び対照区、(b) 深耕後

The vertical variation in saturated hydraulic conductivities (a) before deep tillage and control plot, (b) after deep tillage
点線は飽和透水係数 36 mm h^{-1} を示す

Dotted lines represent 36 mm h^{-1} in saturated hydraulic conductivity

透水性が「不良」であることが示された。深耕後、深さ 10～30 cm では 15 試料中 14 試料で飽和透水係数 36 mm h^{-1} 以上の「良」であった。このように深耕後の透水性は深耕前及び対照区より改善していることから、深耕の効果が認められた。

6 か月後、南区及び北区とも最表層（深さ 2 cm）の透水性の低下がみられた。一方で、深さ 10～50 cm では深耕から 6 か月の間に透水性の低下は認められず、かつ飽和透水係数は 36 mm h^{-1} 以上であった。以上より、6 か月経過しても最表層を除けば、飽和透水係数に関して深耕の効果が維持されていることを確認できた。

3.4 深耕前後の盛土の硬度分布

深耕前及び対照区の盛土の S 値の鉛直分布を Fig. 3 に示す。深耕前及び対照区では、深さ 10～50 cm にかけて S 値はほぼ 1.0 以下で、深さ 10、20、30、40、50、60 cm における S 値の平均 ($n=18$) はそれぞれ 0.5、0.5、0.5、0.7、0.7、0.9 と、深さ 10～30 cm において最小を示した。70 cm 以深の S 値は 0.4～3.3 の範囲にあって、S 値の平均 ($n=18$) は深さ 70、80、90、100 cm でそれぞれ 1.0、1.2、1.3、1.5 と、1.0 を超えていた。

深耕直後から 6 か月経過後までの S 値の変化を Fig. 4a 及び 4b に示す。深さ 10～50 cm の S 値は深耕前にはほぼ 1.0 以下であったが、深耕直後には大部分が 1.0 を超えていた (Fig. 4a、4b)。ただし、北区 (Fig. 4a) において、地表にウッドチップが積まれ、深耕されなかった部分である、水平距離 8.25～10.75 m では深さ 0～70 cm くらいまで S 値 1.0 以下となっている。S 値 4.0 を超す部分は、深耕から 3 か月、6 か月と経過するにつれて、南区及び北区ともに少なくなった。深耕直後、3 か月後、6 か月後の南区の S 値の最大はそれぞれ 40.1、40.7、37.2 であったが、S 値 10.0 以上の出現回数は深耕直後、3 か月後、6 か月後の順に 31 回、11 回、10 回と少なくなった。同様に北区の S 値の最大は深耕直後、3 か月後、6 か月後の順にそれぞれ 18.9、8.4、7.1 と低下した。北区の S 値 10.0 以上の出現回数は深耕直後に 4 回あったものの、3 か月後、6 か月後では 0 回であった。

Fig. 5 に S 値と飽和透水係数の関係を示す。これは試孔付近で測定された硬度 (S 値) の結果と盛土断面調査の際に採取された円筒を用いて測定された飽和透水係数の結果を採取深度で対応させたもので、南北両区の深耕前、対照区、深耕直後、深耕 3 か月後、深耕 6 か月後のすべての深さのデータ ($n=72$) を示した。ただし、深さ 2 cm について土壤貫入計の自重でこの深さに達した場合は検討対象から除外した。また、北区の深耕 6 か月後の深さ 70 cm の S 値について、深さ 54.3 cm から 70.3 cm まで 1 打撃で貫入したため、S 値は 16.0 であった。しかし、深さ 70.3 cm から 72.2 cm まで S 値 1.9、深さ 72.2 cm から 74.3 cm まで S 値は 2.1

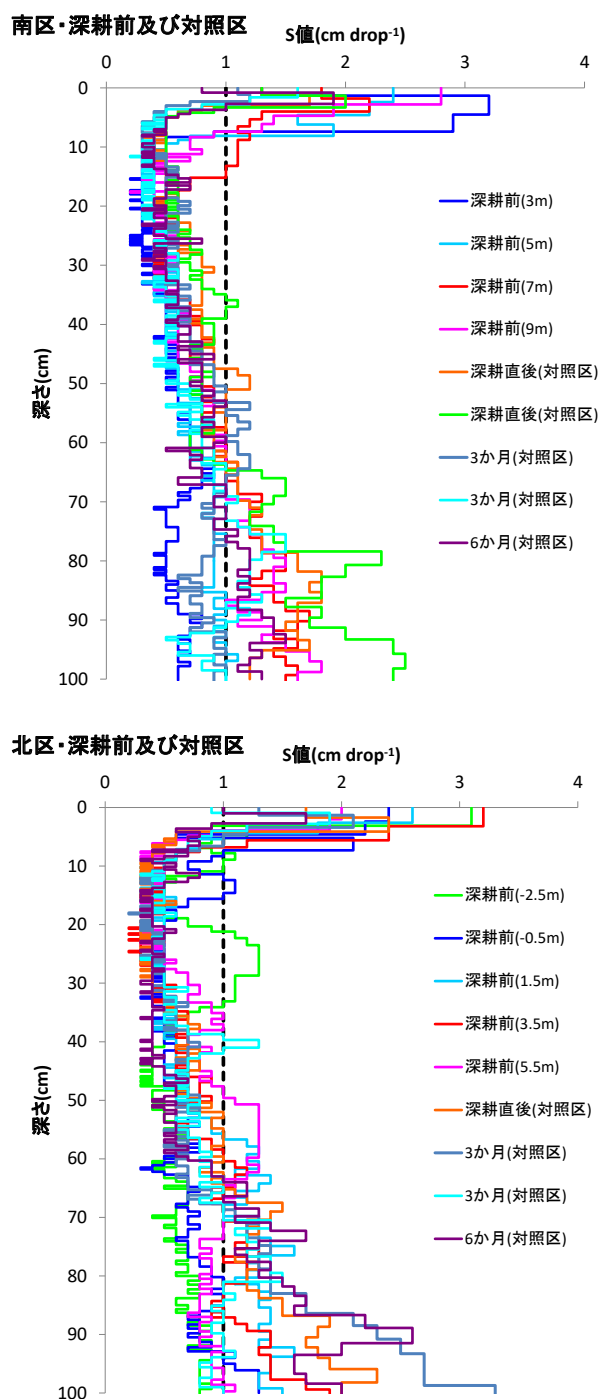


Fig. 3. 深耕前及び対照区の盛土の S 値の鉛直分布

The vertical variation of the S-value in the embankment before deep tillage and control plot

括弧内の数値 (単位: m) は側線の起点からの距離を示す

Number (unit: m) in the parenthesis shows the distance from the starting point of the measuring line

であったことを考慮すると、円筒の採取深さ 68～72 cm を代表する S 値はもっと小さい可能性がある。そのため、これも対象から除外した。なお、同じ深度にデータが複数ある場合は算術平均値を示した。飽和透水係数は、S 値 ≤ 0.5 ($n=15$) では $3 \sim 86 \text{ mm h}^{-1}$ 、 $0.5 <$

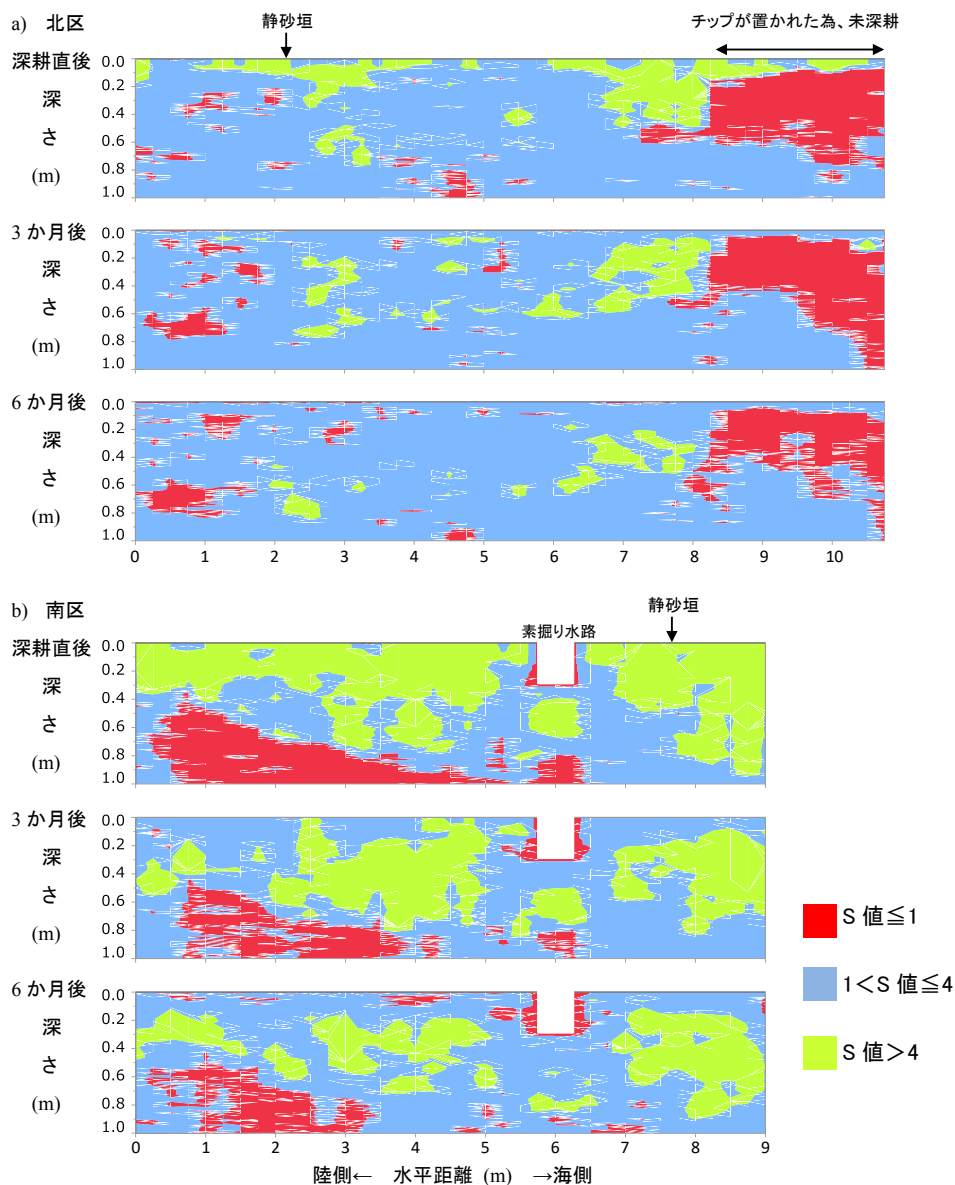


Fig. 4. 深耕直後から6か月経過後までのS値の時間変化 a) 北区、b) 南区

The temporal variation of the S-value for six months after deep tillage a) North plot, b) South plot

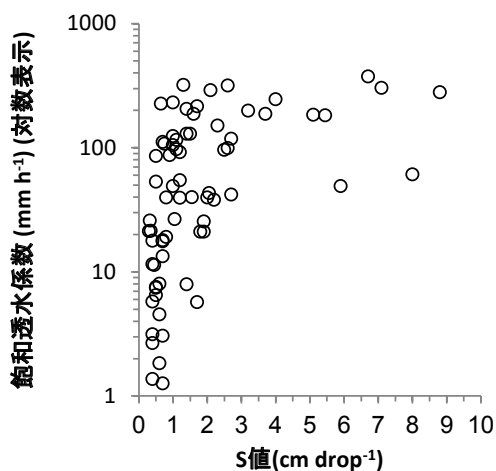


Fig. 5. S値と飽和透水係数の関係

The relationship between the S-value and saturated hydraulic conductivity

S 値 ≤ 1.0 ($n=18$) では $2 \sim 231 \text{ mm h}^{-1}$ 、 $1.0 < \text{S 値} \leq 2.0$ ($n=19$) では $8 \sim 321 \text{ mm h}^{-1}$ 、S 値 > 2.0 ($n=20$) では $42 \sim 374 \text{ mm h}^{-1}$ であった。S 値 ≤ 0.5 、 $0.5 < \text{S 値} \leq 1.0$ 、 $1.0 < \text{S 値} \leq 2.0$ 、S 値 > 2.0 の各範囲において飽和透水係数 36 mm h^{-1} 以下を示す割合は、それぞれ 87%、50%、32%、0% であり、S 値が小さいほど、低い飽和透水係数を示す地点の割合が増加していた。以上のように全体に S 値が小さいと飽和透水係数が低い傾向が認められた。S 値 2.0 以上であれば、飽和透水係数は 38 mm h^{-1} 以上を満足した。なお、S 値が 1.0 以下であっても透水性が良い地点があったが、これについては硬度の測定場所と円筒試料の採取場所が一致していないこと、円筒の採取時や輸送時に隙間ができてしまった等の可能性が考えられる。

3.5 硬度に関する深耕の効果と持続性

深耕前の 70 cm 以深においては S 値 0.4 ~ 3.3 と、硬い箇所と比較的柔らかい箇所が混在していたが、深耕前の盛土の深さ 10 ~ 50 cm にかけて S 値はほとんど 1.0 以下であり、根の侵入が困難と判断される程度にまで土層が硬いことが示された。Fig. 2a および Fig. 3 より、飽和透水係数が 36 mm h^{-1} 以下と低い値を示す深度（深さ 10 ~ 30 cm）と S 値が 1.0 未満の値を示す深度（深さ 10 ~ 50 cm）とが概ね一致していた。

深耕直後の S 値 > 4.0 の分布（Fig. 4a 及び 4b）から判断して、深耕はおおよそ深さ 60 ~ 90 cm まで及んでいるとみられる。ただし、南区（Fig. 4b）の水平距離 0 ~ 3 m 付近では S 値 > 4.0 を示す深さが浅くなっている（水平距離 0 m で約 40 cm、水平距離 1.5 m で約 50 cm）。これは測線（水平距離 0 ~ 1 m）の近傍に防風柵があり、十分に深耕作業ができなかったためと推定される。深耕前に比較して、深耕後の盛土は柔らかくなっていることから、深耕は硬化した土層の破碎に効果があると認められた。

膨軟過ぎて、乾燥の恐れがあるとされる S 値 > 4.0 の部分は北区、南区ともに深耕直後、3 か月、6 か月と経過するにつれて減少し、S 値の最大値や大きな S 値（10.0 以上）の出現回数も低下した。このように全体的に膨軟な状態は改善されてきている。最表層（0 ~ 10 cm 深）について、S 値 > 4.0 の部分は 3 か月後には縮小した。6 か月経過時点では S 値 > 4.0 の部分は消滅し、S 値 1.0 以下の部分も認められるようになった。このことから、時間経過に伴って地表面が硬化する傾向がみられた。6 か月後の最表層（深さ 2 cm）で飽和透水係数の低下がみられたことも調和的である（Fig. 2b）。ヒレル（1998）、西村・取手（1999）でも述べられているように、これは雨滴衝撃により盛土の土塊が崩壊し、分散した細粒な粒子が間隙を目詰まりさせたことが要因として考えられる。素掘り水路、静砂垣施工時の重機走行（木村・藤原 1995、阿部ら 2015）や作業による踏圧（森本・増田 1975、大貫ら 1999）などの要因の可能性も局所的に考えられる。

一方で、盛土内部の深さ 10 cm より深い範囲では、深耕後 S 値 1.0 以下の部分が散見されるものの、6 か月後においても大部分（深耕 6 か月後の硬度測定を実施した 70 地点の深さ 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 cm の 688 点のうち 85%）は S 値が 1.0 を超えていた。今回の深耕では土層内部に局所的に硬度の高い部分が残るものの、盛土全体として固結した状態は解消されたと考えられた。

以上より、深耕による物理性改良の効果は、最表層を除けば、6 か月経過しても維持されていることを確認できた。深耕後に最表層が再硬化するものの、それより下部の盛土は柔軟であることから、例えばコンテナ苗を用いた植栽であっても根鉢の深さが 10 ~ 15 cm

であることから、今後の植栽木の根系の伸長に問題は生じないと考えられる。このことは、深耕の施工時期は必ずしも植栽時期にあわせる必要がないことを示している。

4. まとめ

盛土への深耕の施工は、緻密であった土層を破碎し、盛土を柔らかくし、透水性を向上させることを確認した。深耕から 3 か月、6 か月経過するにつれ、最表層（0 ~ 10 cm 深）で再硬化と透水性低下の傾向が認められた。その一方で深耕から 6 か月後でも盛土内部は柔らかい状態を維持していた。以上の結果から、深耕の効果は 6 か月間持続していると考えられた。深耕を実施した盛土では、局所的に降雨時に水溜まりが生じる箇所はあるが、乾燥により亀裂が生じていたり、雑草の侵入が顕著になってきたりしている。亀裂が形成されたり草本の根系が発達したりすることで、雨水の地表面下への浸透は促進される可能性が考えられる。今後、当初計画したように根系発達が進み、海岸林の再生が着実に進んでいるか把握するため、植栽木の根系の発達状況を観察していくことが重要である。

謝 辞

本研究の遂行に際して、林野庁東北森林管理局および仙台森林管理署には試験地使用のご承認をいただき、当時の森林総合研究所東北支所の小野賢二主任研究員、齋藤武史チーム長、阿部俊夫主任研究員、久保田多余子主任研究員には調査に多大なご協力をいただいた。以上の方に深く感謝の意を表します。本研究は森林総合研究所運営交付金プロジェクト「海岸林再生における盛土土壌の湛水原因の解明と改善策の提案」によって行われた。

引用文献

- 阿部 俊夫・相澤 州平・橋本 徹・佐々木 尚三（2015）ハーベスタ・フォワードシステムによる間伐跡地からの濁水発生一生田原国有林の事例Ⅰ. 北方森林研究, 63, 53-56.
- 長谷川 秀三（2008）土壌診断の方法について. グリーンエイジ, 416, 18-21.
- 長谷川 秀三・猪俣 景悟（2015）陸前高田松原再生の成功に向けた植栽基盤造成試験の取組. 日本緑化学会誌, 41 (2), 336-340.
- 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—高速道路植栽地を例にして—. 造園雑誌, 48, 104-122.
- ダニエル ヒレル（1998）（岩田 進午・内嶋 善兵衛 監訳, 2001）環境土壌物理学Ⅲ環境問題への土壌物理学の応用. 農林統計協会, 322pp.

- 伊藤 智弥 (2015) 盛土を伴う海岸防災林復旧工事と植栽までの手順. 治山研究発表会論文集, 54, 83-89.
- 河田 弘・小島 俊郎 (1979) 環境測定法Ⅳ－森林土壌－. 共立出版, 190pp.
- 河口 智志・堀 良通 (2002) 海岸砂丘における土壌貫入試験によるS 値の変化について－人工海岸クロマツ林の根系分布調査への応用－. 日本砂丘学会誌, 48 (3), 121-128.
- 木村 陽登・藤原 多見夫 (1995) 造成樹園地の土壌の物理性改良効果持続に関与する要因の解析. 土壌の物理性, 72, 13-17.
- 気象庁 (2016) “過去の気象データ検索”, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (参照 2016-02-03).
- 国土交通省都市局 (2009) 植栽基盤整備技術マニュアル改訂 2 版, 日本緑化センター, 202pp.
- 増田 拓朗・守屋 均・梶田 嘉宣 (1991) 坂出緩衝緑地におけるクスノキの生育と土壌条件 (1) —土壌条件と根系分布—. 日本緑化工学会誌, 16 (3), 11-17.
- 森本 幸裕・増田 拓朗 (1975) 踏圧による土壌の圧密と樹木の生育状態について. 造園雑誌, 39, 34-42.
- 村上 卓也 (2015) 盛土を伴う海岸林防災林復旧工事と植栽までの手順. 日本緑化工学会誌, 41 (2), 341-343.
- 野原 咲江・高橋 孝之 (2007) 海岸保安林における湿地対策としての盛土工法の評価—クロマツ 10 年生の根系発達—. 千葉県森林研究センター研究報告, 2, 1-6.
- 日本海岸林学会 (2016) “海岸林用語集”, <http://jscf.jp/glossary/index.html>, (参照 2017-08-03).
- 日本造園学会 (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 (3), 224-241.
- 西村 拓・取手 伸夫 (1999) 土のコロイド現象の基礎と応用 (その 12) —コロイドから見た土の透水性と侵食—. 農業土木学会誌, 67 (3), 277-284.
- 大貫 靖浩・酒井 正治・稲垣 昌宏 (1999) 屋久島登山道における難透水層の形成. 地形, 20, 541-550.
- 林野庁 (2013) “平成 24 年度 森林・林業白書”, http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo_h/all/a11.html, (参照 2016-02-22).
- 坂本 知己 (2015) 津波による海岸林の被害と海岸林再生で盛土をする理由. 日本緑化工学会誌, 41 (2), 334-335.
- 魚井 夏子・渡邊 眞紀子・村田 智吉 (2013) 都市緑地における鉛直方向の土壌硬度分布と過去の土地利用, 造成手法および現在の整備形態との関係—皇居外苑北の丸地区を事例として—. 日本緑化工学会誌, 39 (3), 412-421.

The variation of hardness and permeability by deep tillage on embankment in the coastal forest restoration project

Yoshiki SHINOMIYA^{1)*}, Akihiro IMAYA²⁾ and Tomoki SAKAMOTO³⁾

Abstract

After the Great East Japan Earthquake, an embankment was built along the coast as a planting base by the Coastal Forest Restoration Project. It is feared that a rain pool and the hardness in a part of embankment inhibits the growth of planted trees. Thus, deep tillage has been conducted on the embankment. The effect of deep tillage and its sustainability were investigated in Natori city, Miyagi Prefecture, Japan. Deep tillage was carried out by an excavator with a skeleton bucket. Hardness and permeability were measured by a Hasegawa-type soil penetrometer and the constant level method, respectively. This deep tillage softened the embankment and increased its permeability. After 3 to 6 months, the embankment became hard again at a depth of 0-10 cm. In contrast, the embankment remained soft below 10 cm deep, indicating that the effects of deep tillage were sustained at that depth for 6 months.

Key words: deep tillage, embankment, coastal forest restoration, compaction

Received 15 June 2017, Accepted 29 August 2017

1) Center for Forest Restoration and Radioecology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Japan International Research Center for Agricultural Sciences

3) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI

* Center for Forest Restoration and Radioecology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail: sinomiya@affrc.go.jp