

森林総合研究所研究報告

Vol.20 No.3 (No.459)

BULLETIN

of the
Forestry and
Forest Products
Research Institute



October 2021



国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

The Chief Editor

服部 力 Tsumotomu HATTORI (Principal Research Director, FFPRI)

The Vice-Chief Editor

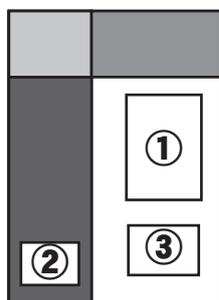
松本 麻子 Asako MATSUMOTO (Public Relations Division, FFPRI)

Editor

阿部 真 Shin ABE (Tama Forest Science Garden, FFPRI)
阿部 俊夫 Toshio ABE (Tohoku Research Center, FFPRI)
藤井 佐織 Saori FUJII (Department of Forest Entomology, FFPRI)
古澤 仁美 Hitomi FURUSAWA (Department of Forest Soils, FFPRI)
菱山 正二郎 Shojiro HISHIYAMA (Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI)
石橋 靖幸 Yasuyuki ISHIBASHI (Hokkaido Research Center, FFPRI)
小松 雅史 Masabumi KOMATSU (Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, FFPRI)
深山 貴文 Takafumi MIYAMA (Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI)
西園 朋広 Tomohiro NISHIZONO (Department of Forest Management, FFPRI)
岡 裕泰 Hiroyasu OKA (Forestry Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences)
奥田 史郎 Shiro OKUDA (Department of Plant Ecology, FFPRI)
坪村 美代子 Miyoko TSUBOMURA (Forest Tree Breeding Center, FFPRI)
上野 真義 Saneyoshi UENO (Department of Forest Molecular Genetics and Biotechnology, FFPRI)
宇京 齊一郎 Seiichiro UKYO (Department of Wood Engineering, FFPRI)
山田 利博 Toshihiro YAMADA (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)
吉田 智佳史 Chikashi YOSHIDA (Department of Forest Engineering, FFPRI)

This journal is indexed in CAB Abstracts.

表紙写真 Photographs in Cover



①ハーベスタによるスギの造材(和歌山県新宮市)

Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) processing with harvester

②クマノザクラの花(三重県熊野市)

Flowers of Kumano cherry (*Cerasus kumanoensis*) at Kumano City, Mie Prefecture

③(本文185~194ページ)

海岸林の生育基盤盛土に植栽されたクロマツと広葉樹の根系発達 一千葉県山武市小松と富津市富津における調査結果の検討一

Root system developments of *Pinus thunbergii* and broadleaf trees planted on anthropogenic growth bases with embankment in coastal forests

-A case study in Komatsu, Sanmu City and Futtsu, Futtsu City, Chiba Prefecture, Japan-

目次

特集 津波に“ねばり”強い海岸林の造成に向けて

特集号「津波に“ねばり”強い海岸林の造成に向けて」の刊行によせて
玉井幸治 …………… 147

論文

クロマツと4種の広葉樹の根系発達への土壌硬度の影響
野口宏典、小野賢二、渡部公一、新田響平 …………… 149

海岸林の生育基盤盛土への深耕が土壌の硬さとクロマツの根の発達に
与える効果
野口宏典、小野賢二、萩野裕章、鈴木覚 …………… 159

秋田県の海岸砂丘に生育するクロマツおよび植栽広葉樹数種の根系分布
新田響平、野口宏典、太田敬之、小野賢二、
萩野裕章、野口享太郎、大谷達也、宇川裕一、
小森谷あかね、谷川東子、平野恭弘、鈴木覚 …………… 169

海岸林の生育基盤盛土に植栽されたクロマツと広葉樹の根系発達
—千葉県山武市小松と富津市富津における調査結果の検討—
宇川裕一、小森谷あかね、太田敬之、小野賢二、
萩野裕章、新田響平、野口宏典 …………… 185

海岸防災林造成を目的として植栽された広葉樹とクロマツの土壌特性に
基づく成長と根系発達
太田敬之、新田響平、宇川裕一、小野賢二、萩野裕章、谷川東子、
大谷達也、平野恭弘、小森谷あかね、野口宏典 …………… 195

研究資料

東日本および東北地方の海岸防災林・海浜公園の生育基盤として整備
された造成土壌の特徴
小野賢二、野口宏典、村上尚徳、新井隆介、宇川裕一、
小森谷あかね、新田響平、福山文子、齋藤直彦、吉田俊通、
橘隆一、川東正幸、木田仁廣、渡辺名月、萩野裕章、
野口享太郎、篠宮佳樹、今矢明宏 …………… 205

CONTENTS

Special Feature

Studies for the creation of coastal forests with high tsunami resistance

Preface for the special feature

Koji TAMAI..... 147

Original article

The influence of soil hardness on the root development of *Pinus thunbergii* and four species of broadleaf trees

Hironori NOGUCHI, Kenji ONO, Koichi WATANABE and Kyohei NITTA 149

Effects of deep tillage on soil hardness of berms built as growth bases of coastal forests and growth of *Pinus thunbergii* roots planted on them

Hironori NOGUCHI, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO and Satoru SUZUKI 159

Root distribution of *Pinus thunbergii* and some broadleaved planted trees in coastal sand dunes at Akita Prefecture

Kyohei NITTA, Hironori NOGUCHI, Takayuki OTA, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO, Kyotaro NOGUCHI, Tatsuya OHTANI, Yuichi UGAWA, Akane KOMORIYA, Toko TANIKAWA, Yasuhiro HIRANO and Satoru SUZUKI..... 169

Root system developments of *Pinus thunbergii* and broadleaf trees planted on anthropogenic growth bases with embankment in coastal forests -A case study in Komatsu, Sanmu City and Futtsu, Futtsu City, Chiba Prefecture, Japan-

Yuichi UGAWA, Akane KOMORIYA, Takayuki OTA, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO, Kyohei NITTA and Hironori NOGUCHI..... 185

Trunk and root growth of planted broadleaf trees and *Pinus thunbergii* in coastal forests in relation to soil properties

Takayuki OTA, Kyohei NITTA, Yuichi UGAWA, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO, Toko TANIKAWA, Tatsuya OTANI, Yasuhiro HIRANO, Akane KOMORIYA and Hironori NOGUCHI 195

Research record

Characteristics of the anthropogenic soils in the coastal disaster prevention forests and seaside parks in north-eastern Japan

Kenji ONO, Hironori NOGUCHI, Hisanori MURAKAMI, Ryusuke ARAI, Yuichi UGAWA, Akane KOMORIYA, Kyohei NITTA, Fumiko FUKUYAMA, Naohiko SAITO, Toshimichi YOSHIDA, Ryuichi TACHIBANA, Masayuki KAWAHIGASHI, Kimihiro KIDA, Natsuki WATANABE, Hiroaki HAGINO, Kyotaro NOGUCHI, Yoshiki SHINOMIYA and Akihiro IMAYA 205

特集号「津波に“ねばり”強い海岸林の造成に向けて」の刊行によせて

玉井 幸治¹⁾

2011年3月に発生した東日本大震災では、津波により多くの人命が失われた。この津波に対し、海岸林は勢いを弱めたり、漁船などを捕捉して海から陸域への流入を防いだりなど、被害を軽減させる効果があった。その一方で海岸林自体が津波の勢いに抗しきれずに壊滅した地域も少なからずあった。特に、地下水位の浅かった海岸林では樹木根の深さ方向への発達が十分ではなかったため被害が発生しやすかったと言われている。

その教訓から海岸林を再生する際には、苗木根の深さ方向への成長を促すために盛土によって地盤を嵩上げして植林することが広く行われた。しかし造成時に重機などの締め固めにより土壌が硬化し、植栽された苗木の成長阻害が懸念されることになった。またマツ枯れ被害の甚大化により、海岸林の主要構成樹種であるクロマツに変わって海岸林を構成するのに適した広葉樹種の選定が期待されることになった。

そこで森林総合研究所では、盛土での海岸林再生技術の開発と、海岸林に適した広葉樹種の選定を目的とした交付金プロジェクト「根系成長確保による高い津波耐性を特長とする盛土を伴う海岸林造成の技術的指針の策定」を実施した。本特集号はそのプロジェクトにおいて、現段階までに一定の答えが得られた研究成果をとりまとめたものである。

野口ら 2021 a (本特集号, P.149) は、造成された盛土の硬化が苗木根の伸長を阻害している現状から、土壌硬度の異なる土壌コアにクロマツと広葉樹 4 種の苗木を植え、根の成長を比較する実験を行った、そのうちクロマツと広葉樹 3 種の根は S 値が 0.5 である極度に硬い土壌には貫入できないが、S 値が 0.7 である土壌には貫入できるという結果から、広葉樹 3 種はクロマツと同様に硬い土壌でも成長可能であると報告した。野口ら 2021b (本特集号, P.159) は、既に苗木根の成長が難しいほど硬化した盛土を深耕すると、土壌の硬化が解消されて苗木根の成長が可能となることを確認した。深耕しなかった場所では、複数の深度において S 値が 0.7 以下となる硬い層が存在したのに対し、小型バックホウによって深さ 150cm 程度まで深耕した場所では S 値が 0.7 以下であるような硬い層は 30 か月経過した後にも認められなかった。

新田ら 2021 (本特集号, P.169)、宇川ら 2021 (本特集号, P.185)、太田ら 2021 (本特集号, P.195) は、海岸林に生えている樹木根の掘り取り調査による成果である。このような調査例は非常に少ないため、これらに示されているデータと知見は非常に重要である。新田ら (本特集号, P.169) は植栽年の異なる秋田県内の 2 か所の海岸林においてクロマツと広葉樹数種の総計 17 本の掘り取り調査を行った。そして埋設物の存在や土壌中での水の停滞といった特別な悪条件が無ければ、広葉樹の根系は海岸砂丘地でも山地と同等に成長することが示唆されたと報告している。宇川ら 2021 (本特集号, P.185) は、盛土による嵩上げが実施された生育基盤に植栽された千葉県内の 2 か所の海岸林においてクロマツと広葉樹数種の総計 15 本の掘り取り調査を行った。それによって得られた根系のデータから、適度に軟らかな盛土を伴う生育基盤であれば、タブノキをはじめとした広葉樹もクロマツと同様に海岸林を構成する樹木として導入できる可能性が示唆されたとしている。太田ら 2021 (本特集号, P.195) は、新田ら 2021 (本特集号, P.169)、宇川ら 2021 (本特集号, P.185) による結果から、海岸林の立地条件と根系の関係性を 4 点に集約して示した。

小野ら 2021 (本特集号, P.205) は、東北・関東地方の太平洋と東京湾の沿岸で盛土によって造成された基盤に植栽された海岸林を対象に土壌調査を行った結果を報告した。盛土の材料は、溪流床の浚渫土砂、道路などの工事による発生土、山土、海砂など多様であった。土壌調査によって得られた情報が、51 か所すべての土壌断面写真も含めて掲載されており、非常に価値の高い資料である。

以上のように本特集号では、プロジェクトで目標とした「盛土での海岸林再生技術の開発」と「海岸林に適した広葉樹種の選定」それぞれに対して現状での答えを提示した。すなわち前者に対しては、硬化した土壌とそれによる苗木根の成長阻害が深耕によって改善した結果、及び、東日本太平洋沿岸各地に造成された生育基盤の土壌性状を示した。また後者に対しては数種の広葉樹の成長がクロマツと同程度である可能性を示した。

本特集号が日本各地の図書館などに所蔵されることに

1) 森林総合研究所 研究ディレクター

より、海岸林の再生過程での課題解決に向けての研究成果を多くの研究者、技術者や市民に向けて広く発信することができ、再生される海岸林によって津波被害が軽減させることに貢献できることを感謝します。

最後に東日本大震災による津波と、地震の揺れによる倒壊・火災、原発事故の関連などによって亡くなられた多くの方々のご冥福と、被災地の復興を心よりお祈りいたします。

論文 (Original article)

クロマツと4種の広葉樹の根系発達への土壌硬度の影響

野口 宏典^{1)*}、小野 賢二²⁾、渡部 公一³⁾、新田 響平⁴⁾

要旨

東日本大震災からの海岸林再生では、植栽木の根を深く張らせて根返りへの耐性を高めるために、厚い生育基盤の確保が盛土により図られる事例が多く見られる。しかし、盛土を伴う生育基盤の土壌は重機での締め固めにより硬くなり易く、硬い土壌による根の発達阻害が再生事業関係者に懸念されている。本研究では、日本の海岸林の代表的樹種であるクロマツと海岸林への導入が見込まれる広葉樹の根系の発達への土壌硬度の影響を調べることを目的として、土壌カラムへの植栽実験を行った。土壌カラムには、直径15 cm、高さ50 cmの塩化ビニル製円筒を筐体として用い、海砂を充填し、中層部に異なる土壌硬度を設定した厚さ4 cmの設定層を設けた。設定層には、極度に硬い層、硬い層、軟らかい層(対照層)の3つの硬さを設定し、2種の硬い層には海岸林再生地の生育基盤から採取した不攪乱土壌コアを、対照層には海砂を充填したコアを用いた。クロマツと4種の広葉樹(カシワ、ケヤキ、ミズナラ、コナラ)を対象樹種とし、コンテナ苗を設定層上方に植栽した。極度に硬い層では、カシワの根が僅かに通過しただけであった。硬い層では、カシワの根は僅かに通過しただけであったが、他の4樹種の根は対照層を通過した根と比較して断面積合計で30%程度が通過した。これらの結果から、ケヤキ、ミズナラ、コナラの根が硬い土壌を通過する能力はクロマツと同等であることが示唆された。

キーワード：海岸林、生育基盤盛土、根、土壌硬度、土壌カラム実験

1. はじめに

樹木を植栽するための生育基盤を重機等により整備することは、都市公園の造成や道路の法面緑化では一般的に行われてきたが、森林造成ではあまり行われてこなかった。しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波の被害を受けた海岸林の再生では多用されており、その規模は都市公園整備や道路法面の緑化等の生育基盤に比べて大きなものとなっている。これは、津波によって被災した海岸林で多く見られた樹木の根返り被害が深さ方向への根の発達が十分ではない樹木で発生しやすい傾向がみられた(渡部 2014)ことから、地下水位が高く、根が支障なく発達できる有効土層の厚さが不十分と判断された海岸域において、盛土により厚い生育基盤を確保して根を深く発達させ植栽木の根返りへの耐性を高めるためである。この盛土による生育基盤の確保は、林野庁が学識経験者等を集めて開催した東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012)によって海岸防災林再生の推進方向の中に盛り込まれた。しかし、盛土を伴う生育基盤は重機の踏圧による締め固めのため、従来の海岸林が成立してきた海岸砂丘等に比

べると土壌が硬くなりやすく、その硬さが植栽木の根の発達を妨げ、盛土によって確保された生育基盤の厚さが十分に活用されないことが海岸林再生事業関係者によって懸念されている(村上 2015)。

土壌の硬さが根の発達を妨げることは緑化分野において以前から認識され、日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000)は、「緑化事業における植栽基盤整備マニュアル」の中で、樹木の根の侵入の可否について土壌の硬さの判定基準を示している。また、数は限られているが、樹木と土壌の硬さについての調査事例も報告されており、長谷川ら(1984)はケヤキ、福永ら(2003)はコナラを対象として、土壌の硬さに応じて根の分布が減少していく様子が測定データから示されている。荻住(2010)は、土壌の硬さと根の発達の関係については示してはいないものの、固結した孔隙が少ない土壌に対して、根端が細い樹種は土壌への根端の貫入力弱く侵入できないが、根端が太い樹種は貫入力大きく生長・分布できるとし、多くの樹種の根端の太さを示した。

海岸林の生育基盤が盛土を伴って整備された事例は、東日本大震災以前には千葉県において低湿地対策として

原稿受付：令和2年10月12日 原稿受理：令和3年1月13日

1) 森林総合研究所 森林防災研究領域

2) 森林総合研究所 東北支所

3) 山形県森林研究研修センター

4) 秋田県林業研究研修センター

* 森林総合研究所 森林防災研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

行われたものがある程度であった。野原・高橋(2007)はそこで実施されたクロマツの根の発達と土壌の硬さに関する調査の結果から、耕起によって硬さを解消した箇所では深さ方向への根の発達がよくなっていたことを報告した。

以上のように樹木の根の発達と土壌の硬さの関係についての知見は存在するが、定量的な評価に基づくものは少なく、海岸林に用いられる樹種についてはさらに限定される。しかし、震災後の海岸林再生において整備が進められてきた盛土を伴う生育基盤での植栽木の根の発達が再生事業関係者の間で懸念されており、海岸林の樹木の根系発達と土壌の硬さについての定量的な知見が必要とされている。こうしたことから、日本の海岸林を代表する樹種であるクロマツと松枯れ対策や植生の多様性保全の観点から海岸林への導入の増加が見込まれる広葉樹を対象樹種として、根系発達に対して土壌の硬さが与える影響を評価することを本研究の目的とした。この目的のために、異なる硬さの土壌層を設定した土壌カラムを作成し、そこにクロマツと4種の広葉樹を植え、1成長期後の根系の調査結果から根系発達への土壌の硬さの影響について検討した。

2. 方法

2.1. 土壌カラム

任意の硬さの土壌層の設定が可能な「土壌硬度設定層(以下、設定層)」を有する土壌カラムを内径15 cm、高さ50 cmの塩化ビニル製の円筒の底に蓋を嵌めた筐体内に作成した(Fig. 1)。筐体内には、底から25 cmの高さまで砂を充填し、その上に設定層として、盛土を伴って整備された海岸林の生育基盤から断面積100 cm²、高さ4

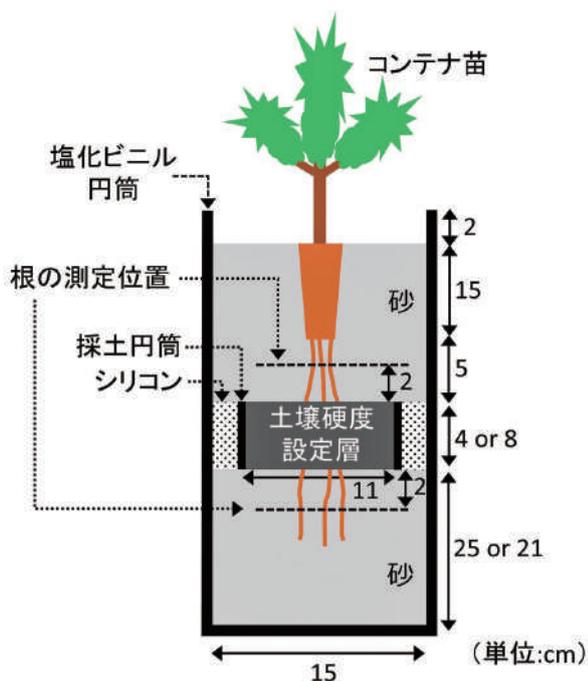


Fig. 1. 実験装置の概略

cm、容量400 mlの芝本式土壌採取用円筒(大起理化学工業株式会社 DIK-1506)で採取した不攪乱土壌コア試料1個または2個重ねたものを土壌採取用円筒ごと設置した。筐体との間にシリコンを充填することによって土壌採取用円筒を筐体に固定した。設定層の上には海砂を5 cm程度の厚さになるよう充填し、その上に対象とする樹種のコンテナ苗を置き、苗とパイプの間に海砂を充填して苗を土壌カラム内に植栽した。設定層として、日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000)が「固結、根の多くが侵入困難」とした硬さの上限値であるS値0.7を示す硬さの土層(以下、S値0.7層)と、さらに硬いS値0.5を示す硬さの土層(以下、S値0.5層)、および、硬い層との対照として砂を充填した軟らかい層(以下、対照層)の3種類の硬さの設定層を用いることとした。なお、S値はSH型貫入試験機(ダイトウテクノグリーン(株))で3 kgの重錘を高さ50 cmから落下させた1打撃あたりの先端部の貫入量(cm/drop)であり、小さいほど硬いことを表す。S値0.5層とS値0.7層には、山砂を材料とした盛土によって仙台平野に整備された海岸林の生育基盤で採取した不攪乱土壌コア試料を用いた。不攪乱土壌コア試料は、採取地周辺の土壌硬度の鉛直分布を調査し、設定層に用いる硬さ(S値0.5と0.7)の箇所を特定した後に採取した。土壌硬度の鉛直分布の調査は、穴を掘らずに実施できることから貫入試験によることとし、貫入試験にはSH型貫入試験機を用いた。対照層には、土壌採取用円筒と同サイズの塩化ビニル製円筒に海砂を充填したものを用いた。各設定層の容積重(Mg m⁻³)は、S値0.7層では1.73 ± 0.04(平均±標準偏差)、S値0.5層では1.83 ± 0.05、対照層では1.45 ± 0.02であった。

2.2. 対象樹種

日本の海岸林を代表する樹種であるクロマツ(*Pinus thunbergii*)、および、広葉樹4種(ケヤキ(*Zelkova serrata*)、カシワ(*Quercus dentata*)、ミズナラ(*Quercus crispula*)、コナラ(*Quercus serrata*)を対象樹種とした。対象とした広葉樹は、森林総合研究所(2014)による潮風や堆砂等の海岸環境への耐性の3つの区分での評価では、カシワは最も耐性が高い「(海岸林の海側)最前縁で耐性がある」に区分され、ケヤキ、ミズナラ、コナラは2番目に耐性が高い「(海岸林の海側)最前縁で耐性はないが、海側に樹木または工作物等があれば生育する」に区分されている。また、最大樹高については、カシワは15 m程度、ケヤキ、ミズナラ、コナラは20 m以上と区分されており、クロマツと同等かやや劣る程度とされている。これらから、対象とした広葉樹4種は、海岸環境への耐性が高く、ある程度の樹高まで成長して防風効果等を発揮するものと考えられるため、海岸林への導入が見込める樹種として本研究の実験に用いることとした。

クロマツは、厚さ4 cmの3つの硬さの設定層と厚さ8 cmのS値0.7設定層を、広葉樹4種は、厚さ4 cmの3

つの硬さの設定層を設定し、それぞれの設定で4個体前後ずつ土壌カラムを作成し苗を植栽した (Table 1)。クロマツのコンテナ苗は宮城県の種苗業者から購入した播種後2年が経過したものを、ケヤキのコンテナ苗は秋田市内で育苗された播種後2年が経過したものを、カシワ、ミズナラ、コナラのコンテナ苗は酒田市内で育苗された播種後1年が経過したものをを用いた。植栽時のそれぞれの樹種の地際幹直径と樹高は、クロマツが 8.0 ± 1.0 (平均値±標準偏差) mm と 37.4 ± 5.8 cm、ケヤキが 4.3 ± 0.7 mm と 41.2 ± 9.7 cm、カシワが 5.8 ± 0.9 mm と 34.3 ± 7.3 cm、ミズナラが 4.8 ± 0.5 mm と 34.4 ± 5.5 cm、コナラが 4.0 ± 0.5 mm と 36.9 ± 5.9 cm であった。ケヤキのみが播種後1年の苗であったが、播種後2年の他樹種に比べて、地際幹直径と樹高が小さいということはなかった。ケヤキは2017年5月、クロマツ、カシワ、ミズナラ、コナラは2018年5月にカラムへの苗の植栽を行った。

2.3. 樹木の測定

カラムへの苗の植栽を行った5月から1成長期が経過し、根の成長が停止していると考えられる冬季の12月に根の調査を行った。根の調査は設定層の上下で行うこととし、土壌カラムを解体して根を掘り出し、設定層の上では層の上端の2 cm 上で、設定層の下では層の下端の2 cm 下において、直径0.5 mm 以上の根を対象として直径の測定を行った (Fig. 1)。根の発達の指標として、根の直径から根の断面積合計を計算し、設定層の上下での根の断面積合計の比較によって土壌の硬さの根の発達への影響を評価した。根の調査の他に、植栽時と1成長期後に、樹高と地際での幹直径を測定した。

2.4. 実験環境

苗を植栽したカラムは、森林総合研究所東北支所 (岩手県盛岡市、北緯 $39^{\circ}46'04''$ 、東経 $141^{\circ}07'59''$) のガラス室内に設置した。ガラス室は側面と天井がガラス張り、室内には屋外と同様に日射は差し込むが、降水は遮断される。灌水は、降水量に換算して1日あたりの平均が3 mm となるように週2回の頻度で行った。室内の気温が過度に上昇せずに外気温と同程度に保たれるように、天井と側面の窓を降水が入りこまない範囲で開放し換気を図った。ガラス室内では、実験期間中の最高気温は2017年が 37.3°C 、2018年が 38.7°C 、7月～8月の平均気温は2017年が 24.5°C 、2018年が 25.2°C であった。設置場所から南南東に約8 km に位置する最寄りのアメダス観測点である盛岡では、実験期間中の最高気温は2017年が 35.1°C 、2018年が 36.3°C 、7月～8月の平均気温は2017年が 23.3°C 、2018年が 24.0°C であり (気象庁2017, 2018)、いずれの年も最高気温が 2°C 程度、平均気温が 1°C 程度、盛岡のアメダス観測点よりもガラス室内の方が高かった。

2.5. 統計解析

数値の集団の平均値に差異があるか否かの検定は、集団数が2つの場合は Student の t 検定、集団数が3つ以上の場合は Tukey の多重比較によって行った。これらの統計解析には統計解析ソフトウェア R ver. 4.0.2 (R Core Team 2020) を用いた。

3. 結果

3.1 地上部の成長

土壌カラムへの植栽から1成長期の間での樹高成長の

Table 1. 樹種、設定層の種類、設定層の厚さごとの実験個体数、植栽時の苗のサイズ、播種から植栽までの経過年数、実験実施年、苗の生育地

樹種	設定層	設定層の厚さ (cm)	個数	植栽時のサイズ (平均値±標準偏差)		播種から植栽までの経過年数	実験実施年	苗の生育地
				樹高 (cm)	地際幹直径 (mm)			
クロマツ	対照	4	5	37.4 ± 5.8	8.0 ± 1.0	2	2018	宮城県 亘理町
	S値0.7	4	4					
		8	3					
	S値0.5	4	4					
ケヤキ	対照	4	5	41.2 ± 9.7	4.3 ± 0.7	2	2017	秋田県 秋田市
	S値0.7	4	5					
	S値0.5	4	5					
カシワ	対照	4	4	34.3 ± 7.3	5.8 ± 0.9	1	2018	山形県 酒田市
	S値0.7	4	4					
	S値0.5	4	4					
ミズナラ	対照	4	3	34.4 ± 5.5	4.8 ± 0.5	1	2018	山形県 酒田市
	S値0.7	4	3					
	S値0.5	4	3					
コナラ	対照	4	3	36.9 ± 5.9	4.0 ± 0.5	1	2018	山形県 酒田市
	S値0.7	4	3					
	S値0.5	4	3					

樹種ごとの平均値は 10 ~ 20 cm 程度で、5% 水準で樹種間に差はなかった (Fig. 2)。各樹種の異なる設定層の間には、5% 水準で有意な差は表れなかった。

土壌カラムへの植栽から 1 成長期の間での地際幹直径成長の樹種ごと平均値は、クロマツだけが 1 mm 以下となり他の 4 樹種との間に 5% 水準で有意な差があった (Fig. 2)。また、カシワとミズナラの間にも 5% 水準で有意な差があり、ミズナラの方が大きかった。各樹種の異なる設定層の間には、クロマツの S 値 0.7 層の厚さ 2 倍と他の 3 つの層との間に 5% 水準で有意な差があったのみで、他の 4 樹種の異なる設定層の間には 5% 水準で有意な差はなかった。

直径の測定値から計算した 1 成長期後の地際幹の断面積の平均値は、クロマツが $6.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、カシワが $4.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、ミズナラが $4.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、ケヤキが $3.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、コナラが $3.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ であり、クロマツと他の 4 樹種それぞれとの間には 1% 水準で有意な差があった (Fig. 3)。各樹種の異なる設定層の間には 5% 水準で有意な差はなかった。

3.2 根の発達

樹種と設定層の違いが根の発達に与える影響を検討することを目的として、根の発達の指標として設定層の上と設定層の下での断面積合計を根の直径の測定値から計算し、その値から樹種と設定層の種類ごとに断面積合計

の平均値を計算した (Fig. 3)。地上部のサイズと根の発達との関係を検討するため、地際の幹の直径の測定値から幹の断面積を計算し、その値から樹種と設定層の種類ごとに平均値を求めた (Fig. 3)。設定層の上での根の断面積合計の樹種ごとの平均値は大きい方から順に、コナラが $3.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、ミズナラが $3.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、カシワが $2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ 、ケヤキが $5.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ 、クロマツが $2.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ となり、クロマツとケヤキの 2 樹種と他の 3 樹種の間には 5% 水準で有意な差があった (Fig. 3)。各樹種において、設定層の上の根の断面積と設定層の種類の間には、5% 水準で有意な差はなく、対照層の値が大きかったり、極度に硬い S 値 0.5 層の値が小さかったりなどの関係は見られなかった (Fig. 3)。地際での幹断面積に対する設定層の上での根の断面積合計の割合には樹種間で差が見られ、コナラのみで根の断面積の方が大きく、他の 4 樹種は根の断面積の方が小さく、特にケヤキとクロマツは根の断面積の方が大幅に小さかった。

対照層の下では全ての樹種の全ての個体で根の存在が確認された。対照層の下の根の断面積合計の平均値は対照層の上に比べて全樹種で減少したが、10% 水準において有意な差はなかった。対照層の上下での根の断面積合計の平均値の減少率は、カシワが最も大きく 37% であった (Fig. 3)。

S 値 0.7 層の下では、コナラは全ての個体で、クロマツ、ケヤキ、ミズナラは根が確認できない個体もあったが過

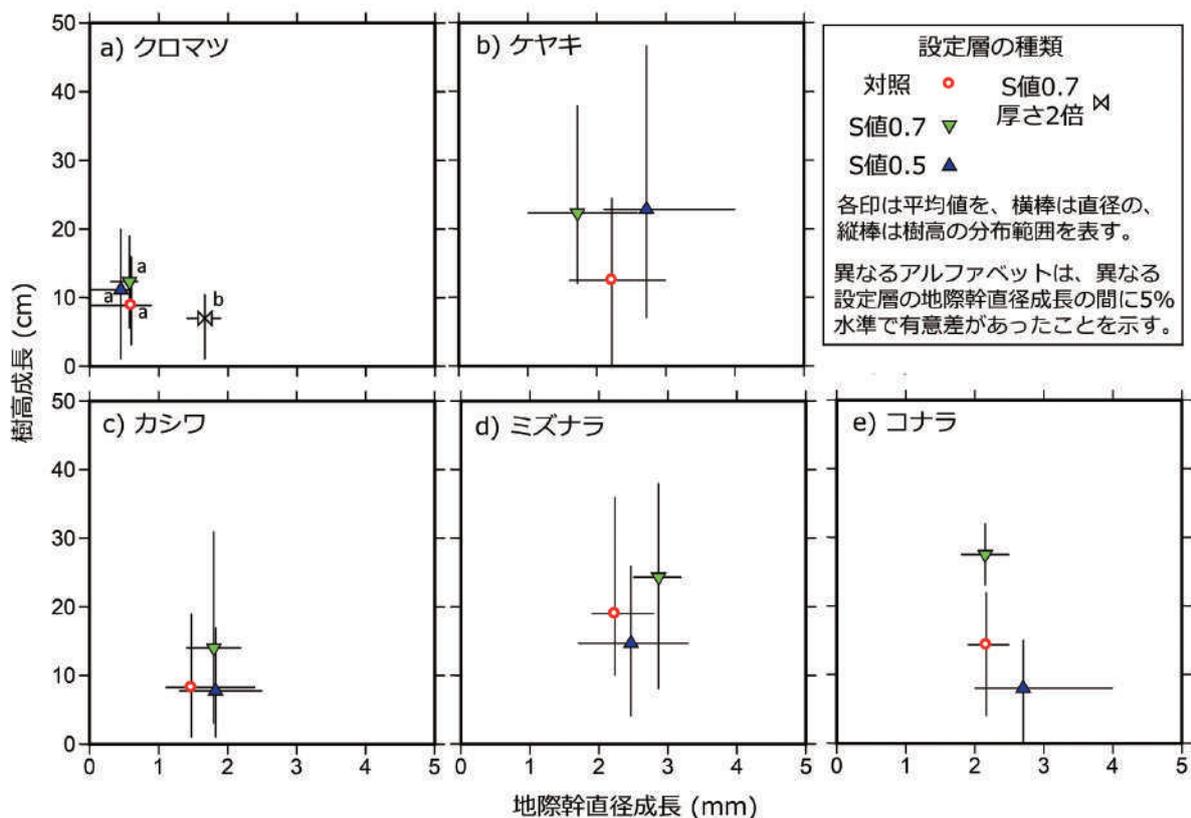


Fig. 2. 各設定層の樹高成長と地際幹直径成長の関係

半数の個体で、カシワは4個体中1個体のみで根の存在が確認された。S値0.7層の下の根の断面積合計は層の上に比べて全樹種で減少しており、樹種ごとにS値0.7層の上下での断面積合計の平均値を比較すると、カシワでは5%水準で、他の樹種では10%水準で有意な差があった。層の上下での断面積の平均値の減少率は、カシワが最も大きく99%、他の4樹種は70%程度であった。各樹種の対照層とS値0.7層の下での根の断面積合計を比較すると、クロマツでは10%水準でも有意差はないがS値0.7層の方が平均値は81%小さく、ケヤキでは5%水準で有意差がありS値0.7層の方が平均値は65%小さく、カ

シワでは5%水準で有意差がありS値0.7層の方が99%小さく、ミズナラでは10%水準で有意差があり平均値は64%小さく、コナラでは10%水準でも有意差はないがS値0.7層の方が平均値は55%小さかった。

S値0.5層の下では、根の存在が確認できたのはカシワの1個体のみで、クロマツ、ケヤキ、ミズナラ、コナラの根は確認できなかった(Fig. 3)。いずれの樹種も上から下に向かって鉛直方向に伸びてきた根はS値0.5層に達すると屈曲して水平方向に方向を変えた様子が観察された(Photo 1)。

クロマツのみで実施したS値0.7で厚さを他の2倍の8

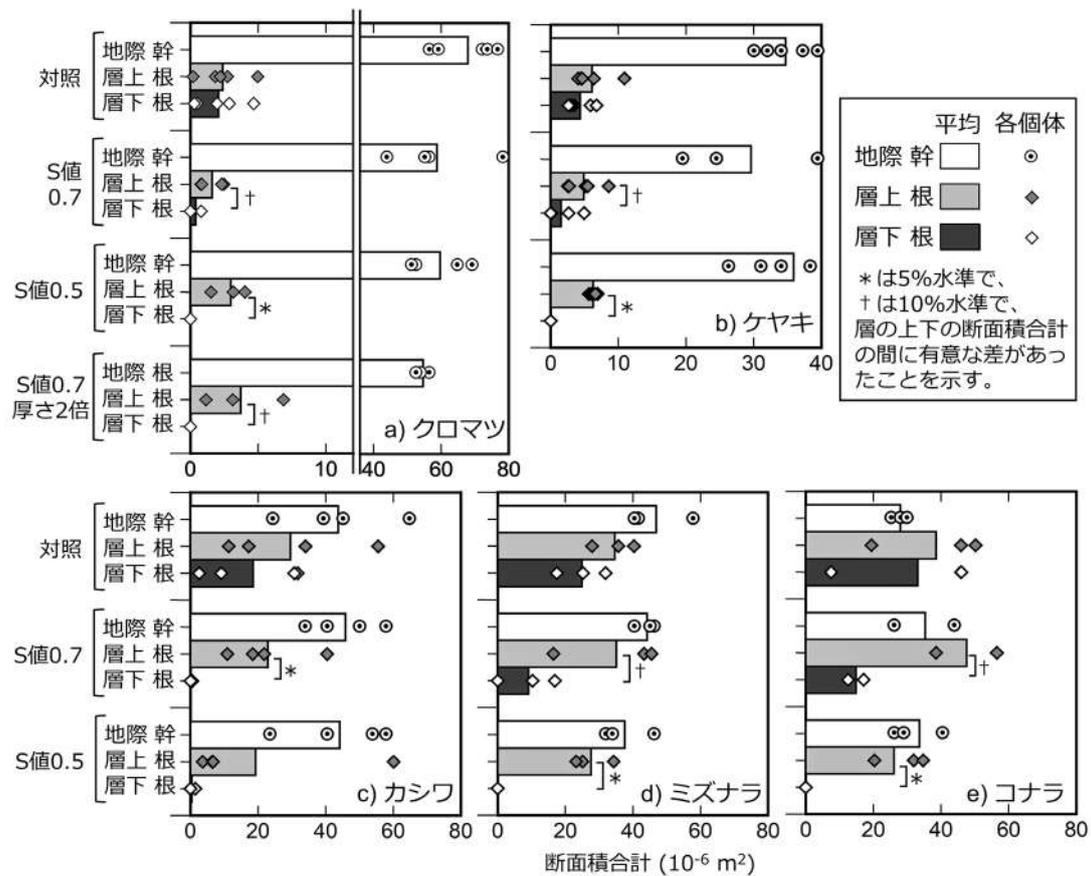


Fig. 3. 各設定層の地際幹断面積と根の断面積合計

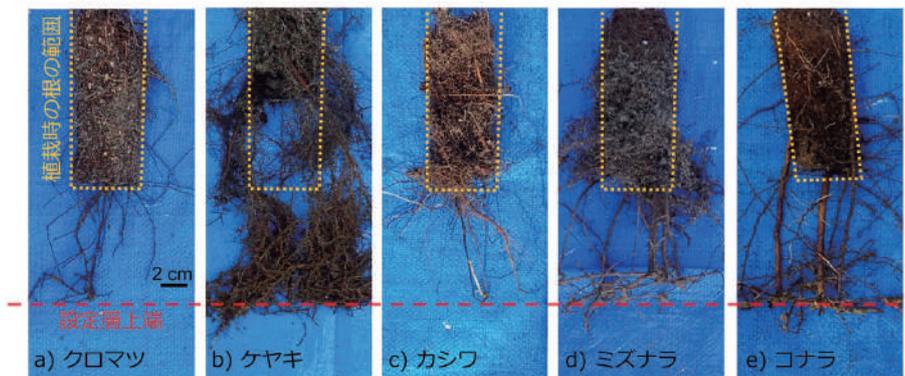


Photo 1. S値0.5層の上面で曲がった各樹種の根

cmとした設定層に対しては、層の下では根を確認できなかった (Fig. 3a)。

根の断面積合計の根の太さに対する分布を検討するため、設定層の上下での根の1 mm毎の直径階での断面積合計を樹種と設定層の種類ごとに求めた (Fig. 4)。クロマツでは、いずれの設定層の上下においても、直径2 mmを越える根は見られず、1 mm毎の直径階での断面積合計は直径1 mm以下が最も大きかった (Fig. 4a, b)。ケヤキでは、対照層の上と下でのみ直径2 mmを越える根が見られた (Fig. 4c, d)。カシワでは、対照層の上でのみ直径5 mmを越える根が見られ、対照層の下、S値0.7層の上、S値0.5層の上では直径3 mm前後の根の断面積合計が最も大きく、S値0.7層の下とS値0.5層の下では直径1mm以下の根が僅かに見られただけであった (Fig. 4e, f)。ミズナラの設定層の上では、いずれの設定層でも直径3 mmを越える根が見られた (Fig. 4g)。ミズナラの設定層の下では、対照層で直径4 mmを越える根が見られ、S値0.7層で直径3 mmを越える根が見られた (Fig. 4h)。コナラの設定層の上では、いずれの設定層でも直径4 mmを越える根が見られた (Fig. 4i)。コナラの設定層の下では、対照層で直径6 mmを越える根が見られた (Fig. 4j)。

根の断面積合計の根の直径に対する分布の中心的な直

径について検討するために、樹種と設定層の種類ごとの設定層の上下それぞれに対して根の断面積を、細い根から順に足し合わせていき、根の断面積合計の半分に達する根の直径を根の断面積分布の中心的な直径として求めた。この値は、全ての設定層の上と全ての樹種の対照層の下では、コナラが最も大きく、次いでカシワとミズナラとなり、ケヤキとクロマツは小さかった (Fig. 4)。S値0.7層の下での断面積分布の中心的な直径は、1 mm以下の根が僅かに存在しただけであったカシワを除くと、大きい方から順に、コナラが約3 mm、ミズナラが約2 mm、ケヤキとクロマツが約1 mmであった (Fig. 4)。

4. 考察

地上部の大きさを表す樹高と地際幹直径、および、設定層上での根の断面積合計には、設定層の違いによる差は表れなかった (Fig. 2, Fig. 3)。これは、コンテナ苗の根の下端と設定層との間に植栽時に5 cm程度の厚さの軟らかい土層が存在しており、硬い設定層の個体においても5 cmの深さ範囲に根を発達させることができたためだと考えられる。

長谷川ら (1984) はケヤキを、福永ら (2003) はコナラを対象として根と土壌の硬さに関する調査を行い、ケヤキとコナラの根はともに、まとまった根が存在する土層

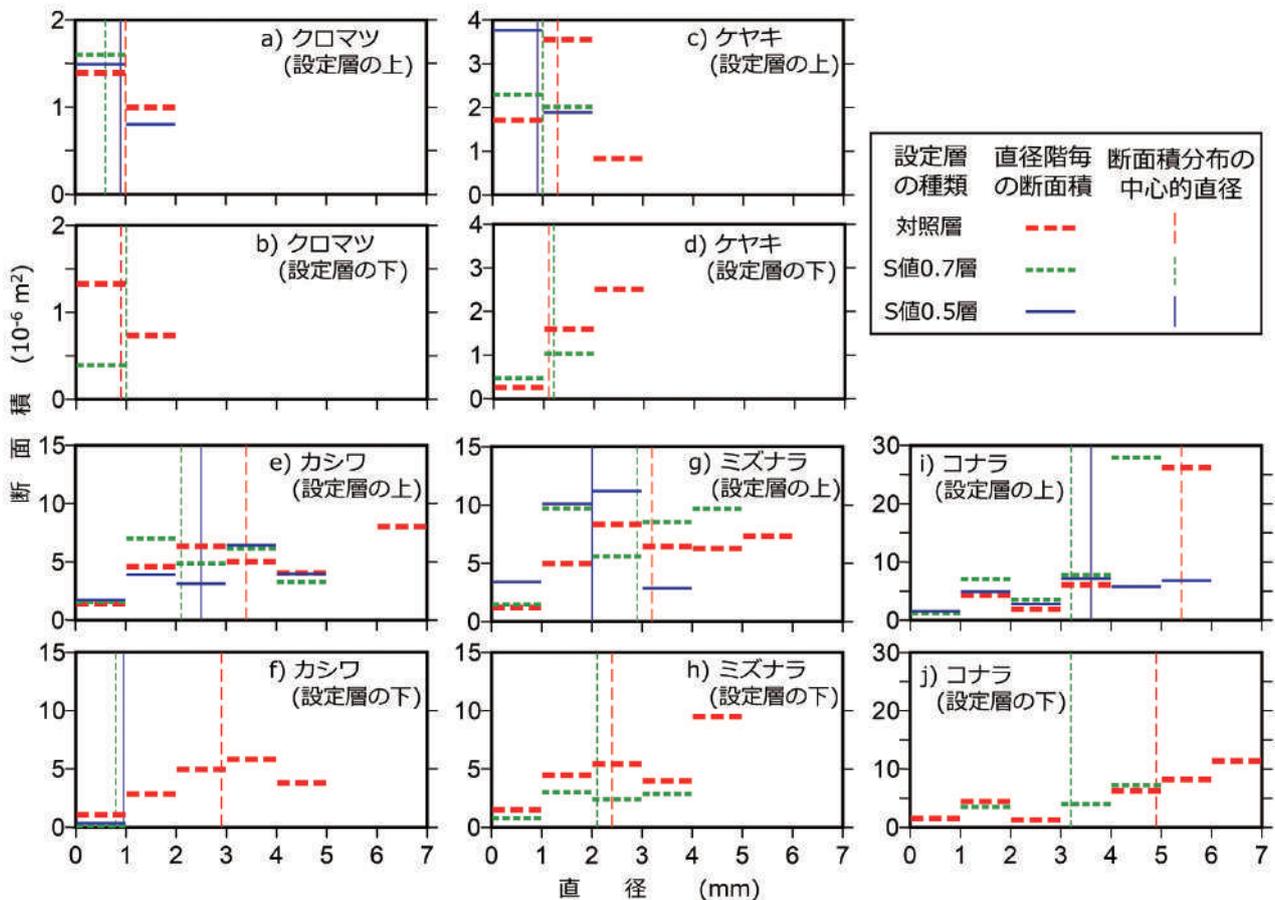


Fig. 4. 各設定層の上下での直径階ごとの根の断面積の分布、及び、断面積分布の中心的直径

はS値1.0以上に限られ、S値が1.0より小さくなっていくと根は減少し、S値0.5以下ではほとんど根が認められない土層のみであることを示した。本研究でのケヤキとコナラは、S値0.7層を通過した根は存在したが断面積合計は対照層を通過した根の半分未満となり、S値0.5層を通過した根は存在しなかった (Fig. 3b, Fig. 3e)。これらの結果は、長谷川ら (1984) や福永ら (2003) の結果を支持するものであった。

本研究での実験は苗の植栽から1成長期の間という短い期間のものであったが、S値0.7層を通過した個体がいずれの樹種でも存在した。しかし、それぞれの樹種のS値0.7層の下での根の断面積合計は、それぞれの樹種の対照層の下の値に比べて大幅に小さくなった。それぞれの樹種で、S値0.7層の上下の根の断面積合計を比較すると、下の値は大幅に小さく、層の上に対する下の値の減少率はカシワ以外の樹種は大きな差がなく概ね70%前後、カシワは99%以上であった。S値0.5層を通過した根は、カシワで僅かに見られただけであり、カシワ以外の樹種の根は通過しなかった。カシワは、S値0.7層では他の樹種より通過した根の断面積が極端に少なかった一方で、S値0.5層では根が通過した個体が見られた唯一の樹種となり、他の樹種と比べて硬い層を根が通過の可否の判断が難しい結果となった。これらの結果から、ケヤキ、ミズナラ、コナラの根の硬い土層に対する貫入能力はクロマツと同等であり、S値0.5に対しては貫入できないがS値0.7に対してはある程度は貫入できるものと考えられた。

カシワ以外の樹種間でS値0.7層の断面積合計の層の上下での減少率に顕著な差が見られなかったのに対し、根の太さに対する断面積合計の分布には差があり、S値0.7層の下の断面積分布の中心的な直径は、コナラでは約3mm、ミズナラでは約2mm、クロマツとケヤキでは約1mmであった (Fig. 4)。Misra et al. (1986) は3種類の草本植物の根の貫入力に関する実験を行い、根の伸長生長圧は草種に依らず根の直径が大きいほど大きくなることを示した。樹木の根の太さと根の貫入力については、苜住 (2010) が、固結した孔隙が少ない土壌に対して、根端が細い樹種は土壌への根端の貫入力が弱く侵入できないが、根端が太い樹種は貫入力が大きく生長・分布できるとし、数多くの樹種の根端の太さを示した。その中で本研究の対象樹種の根端の太さは、クロマツが0.5～0.7mmの肥厚型、他のケヤキ、カシワ、ミズナラ、コナラは0.1～0.2mmの繊細型と分類されている。これによると、本研究の対象樹種の中ではクロマツの貫入力が強いということになるが、本研究の結果からは、クロマツの貫入力が他樹種より強いという様子は見られなかった。また、本研究では根の太さの測定を、根端の太さではなく設定層の上下で行ったものであるが、太い根が多かったミズナラやコナラが、細い根が多かったクロマツやケヤキに比べて、S値0.7層の上下での断面積合計の減少率が顕著に小

さくなるということもなかった。

本研究の結果は植栽から1成長期後のみに測定を行ったものであり、さらに成長期が経過した後に測定を行えば、根が細かったクロマツやケヤキの根が肥大成長するなどして、硬い層への反応に差が現れる可能性が考えられる。また、硬さの設定が3つであったが、より細かく設定すれば、樹種ごとの差が現れた可能性はある。いずれにしても、S値0.7、S値0.5の硬さの設定で植栽から1成長期後において、カシワを除けば、異なる樹種の間の硬さに対する根の反応に顕著な違いは現れなかった。

苜住 (2010) は根の垂直分布を深根型、中間型、浅根型の3つに分類しており、本研究の対象樹種は、クロマツ、カシワ、ミズナラ、コナラが深根型で、ケヤキのみが浅根型に分類されている。本研究の結果では、浅根型に分類されるケヤキと深根型に分類される他の樹種との間の根の発達に顕著な違いは表れなかった。根の垂直分布の違いは、土壌の水分、通気等の様々な特性と関係したものだと考えられるが、本研究の結果からは根の垂直分布の特性と土壌の硬さとの関係は認められなかった。

クロマツを対象として異なる設定層の厚さでの根の発達を比較した結果、S値0.7で厚さ4cmの設定層に対して通過した根が見られたが、S値0.7で厚さを倍の8cmの設定層に対しては通過した根は見られなかった。硬さに加えて硬さが連続する厚さについて、日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) はS値0.7以下が5cm以上、または、S値1.0以下が10cm以上連続した場合を固結層と見なすとしている。これと同様に本研究の結果は硬さに加えて硬い層の厚さも根の侵入の可否の判定基準として重要であることを示唆している。小野ら (2016) は東日本大震災からの海岸林再生事業の初期に整備された盛土を伴う生育基盤の土壌硬度分布を調査から、S値が0.5以下の極度に硬い層が表層近くに厚さ10cm程度にわたって存在したことを示し、さらに、そうした硬さを解消するための耕起工の有効性も示した。本研究の結果から、硬い層の厚さは根の侵入の可否に対して重要であることが示唆されたことから、盛土を伴う生育基盤を整備する際には、極度に硬くならないように配慮することや硬い箇所への耕起工などが必要だと考えられる。

5. おわりに

日本の海岸林を代表する樹種であるクロマツと海岸林への導入が見込めそうな広葉樹4種 (ケヤキ、カシワ、ミズナラ、コナラ) を対象として、苗の植栽から1成長期後の根の発達への土壌の硬さの影響を樹種間で比較するための実験を実施した。その結果、ケヤキ、ミズナラ、コナラの根の硬い土層に対する貫入能力はクロマツと同等であり、S値0.5に対しては貫入できないがS値0.7に対してはある程度は貫入できるものと考えられた。これは、「S値0.7以下」を「固結、根の多くが侵入困難」とした日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) の判

定基準を支持するものであった。東日本大震災後に整備された海岸林の生育基盤へのクロマツ以外の樹種の植栽はまだほとんど見られないが、本研究の結果から、ケヤキ、ミズナラ、コナラの根は、クロマツの根が発達可能な硬さの土壌では発達が可能であると考えられる。

本研究は苗の植栽から1成長期間の根の発達に限定されているが、根の太さや幹の太さに対する根の量に樹種間の差が見られたことなどから、さらに時間が経過した後の根の発達についても調べる必要があるものと考えられる。また、設定層の硬さが3段階で、対照層とS値0.7層の間で通過する根の量が大きく変化したので、設定層の硬さをさらに細かくすることでより有用な結果が得られることが期待できる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、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の使用許可等において、森林総合研究所東北支所の萩野裕章氏、太田敬之氏、森林総合研究所の鈴木覚氏には土壌試料の採取においてご協力をいただいた。編集委員と2名の査読者から多くの有益な助言をいただいた。以上の方々に深く感謝の意を表す。本研究は(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト(課題番号201701)の研究成果である。

引用文献

- 福永 健司・石塚 望・富樫 勇介・楨島 朋子・漆崎 隆之(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(1), 261-264.
- 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として—. 造園雑誌, 48(2), 104-122.
- 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012)“今後における海岸防災林の再生について”, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/kaiganbousairinsaisyuuhoukouku.pdf>

(参照2021-01-08)

- 苅住 昇(2010)最新樹木根系図説. 誠文堂新光社, 2060pp.
- 気象庁(2017)“過去の気象データ検索”, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (参照2020-05-13).
- 気象庁(2018)“過去の気象データ検索”, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (参照2020-05-13).
- Misra, R. K., Dexter, A. R. and Alston, A. M. (1986) Maximum axial and radial growth pressure of plant roots. *Plant and Soil*, 95, 315-326.
- 村上 卓也(2015)盛土を伴う海岸防災林復旧工事と植栽までの手順. 日本緑化工学会誌, 41, 341-34.
- 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(3), 224-241.
- 野原 咲枝・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.
- 小野 賢二・今矢 明宏・高梨 清美・坂本 知己(2016)海岸防災林復旧・再生事業における生育基盤盛土の現状—事業着手初期の未耕起盛土の物理性および盛土への各種耕起工が土壌硬度鉛直分布に及ぼす効果の評価—. 森林総合研究所研究報告, 15, 65-78.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL <https://www.R-project.org/>
- 森林総合研究所(2014)クロマツ海岸林に自然侵入した広葉樹の活用法—松枯れから防災機能を守るための広葉樹林化—. 森林総合研究所多摩科学園, 45pp.
- 渡部 公一・海老名 寛・古川 和史・堀米 英明・大築 和彦・上野 満・宮下 智弘・坂本 知己(2014)2011年東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野の海岸林被害と地下水深度及び立木サイズとの関係. 海岸林学会誌, 13, 7-14.

The influence of soil hardness on the root development of *Pinus thunbergii* and four species of broadleaf trees

Hironori NOGUCHI^{1)*}, Kenji ONO²⁾, Koichi WATANABE³⁾ and Kyohei NITTA⁴⁾

Abstract

Coastal forests have been restored since the Great East Japan earthquake and tsunami; thick growth bases have been built with embankments to allow tree roots to grow deeper into the soil to prevent the trees from toppling. Because the growth bases were built by heavy machinery, their soils tend to be harder than those of sand dunes where the former coastal forests grew. As a result, there has been concern that the hard soils in the growth bases may prevent roots from extending deep into the soil. The present study aimed to investigate the root development of the coastal forest into hard soils. For this purpose, a soil column, with a 4-cm set layer whose soil hardness could be adjusted to three different levels, was constructed. The container seedlings of five tree species, *Pinus thunbergii*, *Zelkova serrata*, *Quercus dentata*, *Quercus crispula* and *Quercus serrata*, were planted above the set layer. After one growing season, the cross-section of the roots above and below the set layer was measured for each plant. In case of all five tree species, hardly any roots could penetrate the hardest set layer, whereas some roots could penetrate the second hardest set layer. Whereas the total cross-section of roots penetrated the second hardest set layer was little for *Q. dentata*, that of roots penetrated the second hardest set layer was about 30% in comparison with that of roots penetrated the softest set layer for the other four species respectively. These findings suggest the roots of *Z. serrata*, *Q. crispula* and *Q. serrata* can achieve the same level of penetration of hard soil as those of *P. thunbergii*.

Key words : coastal forest, growth base, tree root, soil hardness, soil column experiment

Received 12 October 2020, Accepted 13 January 2021

1) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Tohoku Research Center, FFPRI

3) Yamagata Prefectural, Forest Research and Instruction Center

4) Akita Forestry Research and Training Center

* Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN;
E-mail: noguh@ffpri.affrc.go.jp

論文 (Original article)

海岸林の生育基盤盛土への深耕が土壌の硬さと
クロマツの根の発達に与える効果野口 宏典^{1)*}、小野 賢二²⁾、萩野 裕章²⁾、鈴木 覚³⁾

要旨

東北地方太平洋沖地震津波で甚大な被害を受けた海岸林の再生では、植栽木の根を深く発達させて津波被害に強くすることを目的として盛土による生育基盤の嵩上げが広く用いられている。しかし、盛土を伴う生育基盤は用いられる工法によっては締め固まりやすく、その硬さが根の発達を妨げる可能性が指摘されている。盛土の硬さを解消する手段として耕起が挙げられるが、根の発達と土の硬さの関係や、耕起が土の硬さと根の発達に与える効果について検証は十分ではない。このため、これらの検証を目的として、盛土を伴い整備された海岸林の生育基盤を対象に 1.5 m 程度の深さまで耕起した深耕区と耕起しない対照区を設定してクロマツ苗を植栽し、根の発達と土の硬さに関する調査を行った。

対照区は地表付近に非常に硬い箇所がみられるなど全般的に硬かったのに対し、深耕区の耕起した深さ範囲では、耕起から 30 ヶ月後まで、根の発達を阻害するような硬さは見られなかった。植栽木の根は、対照区では植栽から 3 成長期後も植穴の外にはほとんど伸びていなかったのに対し、深耕区では 1 成長期後には 80 cm 程度の深さに達し、2 成長期後には 110 cm 程度の深さに達した。両区の根の発達の差は深耕により生育基盤の硬さが解消されたことの効果であると考えられた。また、根が侵入した深さにおける土壌硬度の分布から、クロマツの根が侵入しにくくなる土壌硬度の閾値が示された。

キーワード：海岸林、根、生育基盤盛土、土壌硬度、深耕

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震津波を受けた東日本の太平洋沿岸の多くの海岸林では樹木の根返りや幹折れ等により甚大な被害が発生した。樹木の根返りの被害は地下水位が高く、根系の深さ方向への発達が十分ではなかった箇所が多く発生した(渡部ら 2014)。このことから、地下水面が地表に接近し、根系の深さ方向への発達が見込める有効土層の厚さが十分でない場所に海岸林を再生する場合には、植栽木の根を深く発達させて根返りを起こしにくくすることを目的として、盛土による嵩上げを伴った生育基盤を整備して有効土層を厚くし、そこにクロマツが植栽される事例が多く見られるようになった。しかし、小野ら(2016)が海岸林再生事業地での調査から示したように、盛土を伴う生育基盤は重機を用いて整備されるため、重機の踏圧によって締め固まりやすく、従来の海岸林が成立してきた海岸砂丘などに比べて土壌が極度に硬くなる等、土壌の物理性が不良となる事例が多く見られた。この土壌の物理性の不良によって植栽木の根の発達が妨げられることが懸念されている(村上 2015)。

土壌の硬さが根の発達を妨げることについては、ケヤ

キ(*Zelkova serrata*)の根密度が土壌の硬さに応じて減少したこと(長谷川ら 1984)や、盛土を伴う生育基盤に列状に 1.0 m 程度の深さの深耕を施した箇所に植栽して 10 年が経過したクロマツ(*Pinus thunbergii*)の根が深耕を施さなかった箇所の根よりも深部まで発達したこと(野原・高橋 2007)などが報告されている。また、日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000)は、「緑化事業における植栽基盤整備マニュアル」の中で、樹木の根の侵入の可否について土壌の硬さの判定基準を示している。しかし、東日本大震災で被災した海岸林の再生で盛土を伴う生育基盤が広く用いられるようになる以前には、硬さが問題となるような生育基盤への樹木の植栽は、都市緑化、道路路面の緑化、低湿地対策としての生育基盤の嵩上げ等の限られた場面においてであった。このため、樹木の根の発達と土壌の硬さの関係についての知見は、前述の長谷川ら(1984)や野原・高橋(2007)によるものがあるものの事例は少ない。東日本大震災以降の海岸林再生において、盛土を伴った生育基盤の整備が盛んに行われていることから、その現場において、植栽される主要樹種であるクロマツの根の発達と土壌の硬さの関係についての実態を把握し知見を積み重ねることの必要性は高い。

原稿受付：令和 2 年 8 月 31 日 原稿受理：令和 3 年 6 月 3 日

1) 森林総合研究所 森林防災研究領域

2) 森林総合研究所 東北支所

3) 森林総合研究所 森林災害・被害研究拠点

* 森林総合研究所 森林防災研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

植栽木の根の発達を妨げることが懸念される極度に硬く整備された生育基盤を改良するための手段の一つとして耕起が挙げられる。耕起が土壌の極度な硬さを改良する効果については、耕起した箇所としていない箇所の土壌硬度の鉛直分布の比較から実証されており（長谷川・猪俣 2015, 小野ら 2016）、篠宮ら（2017）は耕起の効果が少なくとも6ヶ月まで持続したことを示した。また、野原・高橋（2007）は、耕起から10年後の盛土を伴う生育基盤を調査し、耕起による硬さの改良効果が持続していたことを示し、さらに、その生育基盤に植栽して10年が経過したクロマツの根が、耕起した箇所では無耕起の箇所よりも深い範囲に発達し、耕起が根の深さ方向への発達に効果を発揮していたことを示した。以上のように、耕起が極度に硬い生育基盤を改良する効果については一定の知見が得られているが、耕起により土壌の極度な硬さを解消することが植栽木の根の発達に与える効果については、野原・高橋（2007）の植栽から10年後のクロマツを対象としたものが見られる程度となっている。土壌の硬さと植栽木の根の発達に対する耕起の効果に関する知見を積み重ね、信頼性を高めることは、締め固まった生育基盤に対する耕起を実施するか否かの判断に役立つものと考えられる。

以上のことから、東日本大震災からの海岸林再生において広く用いられている盛土を伴う生育基盤を対象として、土壌の硬さと植栽木の根の発達の関係、及び、締め固まった生育基盤に対する耕起が土壌の硬さと植栽木の根の発達に与える効果を評価することを本研究の目的とした。これらの目的のために、盛土による嵩上げを伴って生育基盤が整備された海岸林再生地に、150 cm 程度の深さまで深耕を施した区と、深耕を施さない区からなる試験地を設定し、それぞれの区に日本の海岸林の主要構成樹種であるクロマツを植栽して3成長期後までの初期段階の根の発達と土壌の硬さの推移を調査し、その結果を解析した。

2. 方法

2.1 調査地

宮城県仙台市若林区の松林国有林内の海岸林再生地に調査地を設定した。調査地周辺の海岸林再生地は盛土による1.5 m程度の嵩上げを伴って生育基盤が整備されている。この生育基盤は内陸の丘陵地（宮城県黒川郡大和町）から採取された鮮新～中新世の海成または半海成の半固結堆積物（経済企画庁 1972）を材料として、東日本大震災後の海岸林再生事業初期の2013年春に整備が完了した（小野ら 2016）。調査地は短辺7 m、長辺15 mの長方形で、汀線から約300 m内陸、防潮堤から約200 m内陸に位置し、短辺が汀線と平行するように設定した（Fig. 1）。調査地を設定した盛土は汀線から250 m付近から350 m付近にかけて幅100 m、汀線と平行方向には600 mにわたるもので、その盛土の中で調査地は汀線と直行す

る方向に対しては中央あたりに、汀線と平行方向に対しては端から200 mの場所に位置する。調査地の汀線側の短辺の数m海側には高さ2 m程度の防風柵が汀線と平行するように設置されている。この調査地を二分し、深耕を施した区（以下、深耕区、短辺3 m、長辺15 m）と、深耕を施さない区（以下、対照区、短辺4 m、長辺15 m）を設定した。深耕区の耕起作業は、小型バックホウ（機械幅1.0 m、掘削可能深2.0 m）を用いて、元地盤が現れる深さ1.5 m程度までの土を一旦掘りだした後に、重機が載らないように留意しながら生育基盤面耕起前の高さまで埋め戻すことによって行った。埋め戻し作業は掘り出した土の一部を残して完了した。小型バックホウのバケットは、スケルトンバケット等の特殊なものでなく、容量0.06 m³の標準バケットを用いた。耕起作業は生育基盤の整備完了から4年後の2017年5月下旬に実施した。

深耕区の耕起を実施してから11日後に、播種後2年が経過したクロマツ（*Pinus thunbergii*）のコンテナ苗を深耕区に15本、対照区に25本、植栽密度が5,000本/haとなるように1.4 m間隔の格子状に植栽した。苗の植栽は、

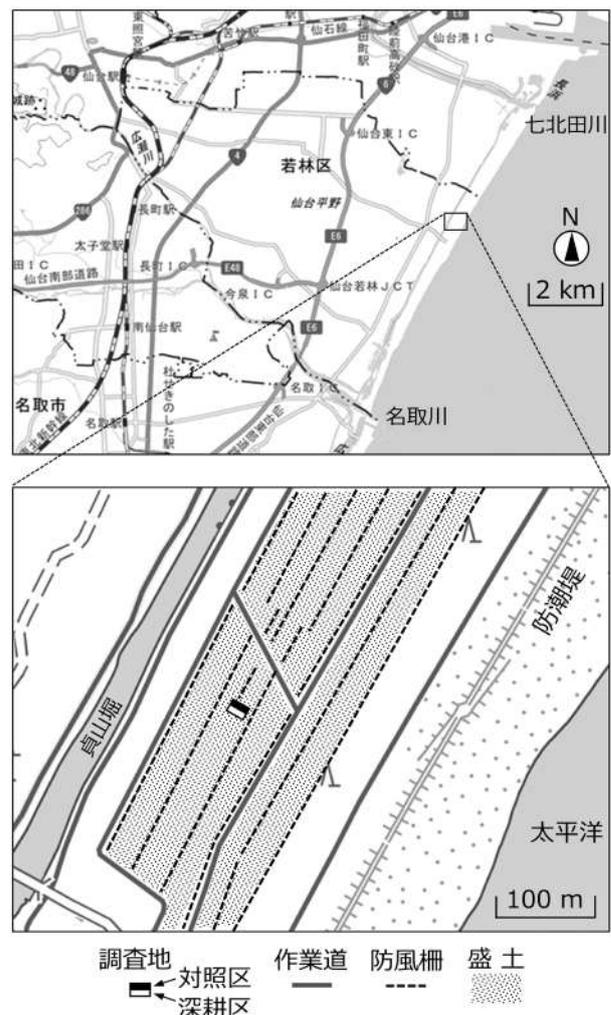


Fig. 1. 調査地位置図（地理院地図（国土地理院 2020）を加工して作成）

直径7 cm、深さ20 cm程度の植穴を掘り、そこに根鉢の直径が5 cm程度、高さが15 cm程度のコンテナ苗の根鉢を挿し込み、植穴と根鉢の間に植穴を掘った際に生じた土を充填することによって根鉢の上端が地表面と揃うように行った。

2.2 測定

2.2.1 土壌硬度鉛直分布

土壌硬度の鉛直方向の分布を調べるために、耕起から1ヶ月後、6ヶ月後、17ヶ月後、30ヶ月後に土壌貫入試験を実施した。土壌貫入試験は、耕起から1ヶ月後には深耕区と対照区の中ほどの4地点ずつで、耕起から6ヶ月後以降はそれぞれの区での後述の根系調査の実施直前に対象としたクロマツ4本それぞれの幹から約10 cm側方の1地点ずつ合計4地点でSH型貫入試験機（ダイトウテクノグリーン（株））を用いて実施した。SH型貫入試験機の先端部を土壌に貫入させるための重錘は3 kgのものを用い、重錘を高さ50 cmから落下させた1打撃ごとの先端部の貫入深を0.1 cm刻みで記録した。この値から、1打撃ごとの貫入量であるS値（cm/drop）の鉛直方向の分布を得ることができる（長谷川2006）。S値は土壌の硬さの指標として用いられ、小さいほど土壌が硬いことを意味する。日本造園学会緑化環境工学研究委員会（2000）は0.7以下のS値を示す土層を「固結」と表現し、「多くの根が侵入困難」と判定している。土壌貫入試験は、基本的には200 cm程度の深さまで実施したが、長谷川ら（1984）や福永ら（2003）等の既往の研究から根の侵入が報告されていない0.5を下回るS値が10 cm以上連続する層が出現した場合には、貫入試験機の劣化や破損を避けるために、その深さで測定を打ち切った。

2.2.2 樹木の測定

6月上旬の植栽から1成長期（5ヶ月）後、2成長期（17ヶ月）後、3成長期（30ヶ月）後に、深耕区と対照区の4本ずつのクロマツを対象として根を掘り出し、各個体の根の最大到達深、および、深さごとの根の分布量の指標として根の断面積合計を計算するために、深さ20 cmごとにその深さに存在する根の直径を測定した。各区の1成長期ごとの調査対象木には、基本的に各区の内陸側の端から隣接するクロマツ4本ずつを選んでいった。1成長期ごとの調査の度に調査地内のクロマツの本数は減ったが、3成長期後においても隣接するクロマツ同士の枝が重なり合うような状況にはなく、調査に伴うクロマツの本数の減少が残存木に及ぼす影響は小さいものと考えられる。また、深耕区においては中ほどに行くほど時間経過に伴う沈下が生じた等の場所の違いによる目立った差異は見られなかった。根の掘り出し作業は、隣接木の影響が少ない方向の対象木まで1 m程度の位置から、対象木と隣接木の根を損傷させないように対象木に向かって慎重に進め、対象木の最も深くに到達した根を掘り出し、

その根の先端の深さを対象木の最大到達深として測定した。対象木の根を掘り出す際、隣接木の周囲0.7 m以内の範囲は攪乱しないよう留意した。対象木と隣接木の根は、地表近くのわずかな水平根を除けば、それぞれの周囲0.7 mの範囲に収まっており、対象木の掘り出し作業時に隣接木の根を切断することなく、隣接木の生育基盤への影響を及ぼすこともほとんどなかった。根の最大到達深の測定後、対象木の根全体を地上に取り出し、その後、深さ20 cmごとの根の直径を測定した。また、地表付近の浅い範囲を伸びる根が存在したため、下方へ伸びた根と比較するために、深さ20 cmに到達せずに浅い範囲を側方に伸びた根を対象として、樹幹からの水平距離20 cmでの直径を測定した。直径の測定位置は根全体を地上に取り出した後に地際の幹との位置関係から決定した。このため、1 mm程度の細く軟らかい根については地中での位置関係を正確に再現できずに測定位置が数 cm程度ずれた可能性が考えられる。直径の測定は、測定位置での直径が1 mm以上の根を対象として行った。

クロマツの地上部については、植栽直後、及び、前述の根の調査実施時に、それぞれの区の全ての植栽木を対象として樹高と地際の幹直径の測定を行った。なお、それぞれの区の植栽木の中に調査期間に枯死したものはなかった。

2.3. 統計解析

2つのデータ群の平均値の間に差異があるか否かの検定は、Studentのt検定によって行った。2つのデータ群の間の相関性の検定は、Pearsonの相関係数を用いて行った。2つの回帰線の傾きの差の検定は共分散分析によって行った。これらの統計解析には統計解析ソフトウェアR ver. 4.0.2 (R Core Team 2020)を用いた。

3. 結果

3.1 土壌硬度鉛直分布

対照区と深耕区の土壌硬度の鉛直分布は大きく異なった（Fig. 2）。対照区には、いずれの調査時期、いずれの調査地点においても共通して、深さ10 cm程度から50 cm程度までの範囲と、深さ80 cm程度より深い範囲でS値が0.7を下回る硬さの層が現れた。調査時期ごとに土壌硬度分布の調査地点が異なるため厳密な時間変化ではないが、対照区の土壌硬度鉛直分布には、試験地設定時から30ヶ月後までの期間で顕著な時間変化の傾向は見られなかった。対照区で見られた土壌硬度の鉛直分布の特徴について小野ら（2016）は、その原因を、盛土の全層を一度に盛らずに、途中まで盛った後に一旦整地し、その上に土が盛られたことであると報告している。

深耕区では、耕起した深さ1.5 m程度までの範囲においてS値が0.7以下の硬さの層はほとんど見られなかった。耕起から17ヶ月後と30ヶ月後には、深さ10 cm付近の浅い箇所にS値の低下、つまり土壌の硬化が見られ、

30ヶ月後の1つの地点の10 cm ~ 30 cm 付近では0.7以下のS値が現れた。この表層の硬い箇所の上にS値0.7以下で5 cm以上の厚さを持つ層が見られたのは深さ120 cm 付近であった。

3.2 根の発達

対照区の根の最大到達深は、植栽から1成長期後から3成長期後まで、いずれも20 cm程度であった。(Fig. 2, Fig. 3)。これに対し、深耕区の根の最大到達深は、植栽から1成長期後に80 cm程度、2成長期後に110 cm程度となり、2成長期後までは1成長期ごとに1%水準で有意な差が見られたが、3成長期後は2成長期後と同程度であり、10%水準で有意な差が見られなかった。1成長期以降の両区の最大到達深を比較すると、いずれの時期も対照区より深耕区の方が大きく、1%水準で有意な差があった。

植穴の底部に相当する深さ20 cmでの対照区の根の断面積合計は、植栽から3成長期後でも植穴の底部付近までしか根が到達しなかったため、いずれの測定時期においても僅かであった(Fig. 4a)。一方、深耕区の深さ20 cmでの根の断面積合計は成長期ごとに大きくなり、その差は5%水準で有意であり、植栽から3成長期後には1個体あたりの平均値は3 cm²を超えた。1成長期以降の両区の値を比較すると、いずれの時期も5%水準で有意に差があり深耕区の方が大きく、3成長期後の対照区の値は深耕区の1%程度であった。深耕区では、直径5 mm以上の根が植栽から2成長期後には深さ20 cmで、3成長期後には深さ40 cmで、直径10 mm以上の根が3成長期後の深さ20 cmで見られるようになるなど、根が次第に太くなっていく様子が観察された(Fig. 5)。

植栽時の根鉢から側方に伸びて、深さ20 cmには到達

せずに、樹幹からの水平距離20 cmに到達して直径が1 mm以上であった根は、深耕区と対照区ともに、植栽から1成長期後にはほとんど見られなかったが、2成長期後にはそれぞれの区の根の断面積合計は1成長期後の値より大きくなり、その差は10%水準で有意であった(Fig. 4b)。3成長期後は2成長期後から平均値は大きくなったがその差は10%水準で有意でなかった。樹幹からの水平距離20 cmの根の断面積合計を両区の間で比較すると、いずれの時期においてもその差は10%水準で有意でなかった。樹幹からの水平距離20 cmでの根は、対照区では植栽から2成長期後に直径2 mm以上のものが見られたものの、3成長期後に直径5 mm以上に達したものは見られなかったのに対し、深耕区では2成長期後に直径5 mm以上のものが見られるようになった(Fig. 6)。

植栽時の根鉢から外側に伸びた根の量の目安として、深さ20 cmと樹幹からの水平距離20 cmでの根の断面積合計の合計値を計算した。対照区での1成長期ごとの差は、2成長期後までは5%水準で有意であったが、2成長期後と3成長期後の間の差は10%水準で有意でなかった(Fig. 4c)。深耕区での1成長期ごとの差は、2成長期後までは5%水準で、2成長期後と3成長期後の間には10%水準で有意であった。1成長期後以降のいずれの調査時期においても、深耕区の値は対照区よりも大きく、その差は5%水準で有意であった。この値に対する深さ20 cmの根の断面積合計の割合は、深耕区では2成長期後、3成長期後ともに80%程度であったのに対し、対照区では、2成長期後は10%程度、3成長期後は5%程度であった。

3.3 地上部の成長

樹高は、深耕区と対照区ともに、植栽から2成長期まではほとんど大きくなり、成長期の前後での差は10%

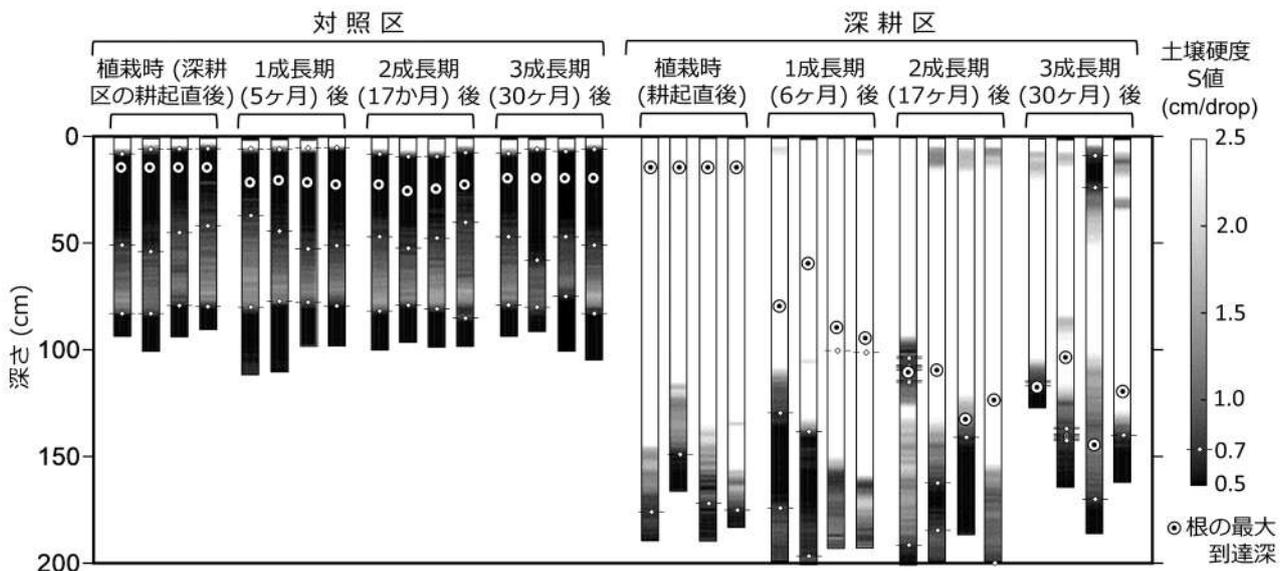


Fig. 2. 土壌硬度の鉛直分布と根の最大到達深

水準で有意でなかったが、3 成長期目には両区ともに成長が見られ、両区ともに2 成長期後と3 成長期後の差は1% 水準で有意であった (Fig. 7a)。対照区と深耕区を比較すると、1 成長期後は10% 水準で有意な差はなかったが、2 成長期後と3 成長期後は対照区より深耕区の方が大きくなり、その差は2 成長期後には10% 水準で、3 成長期後には1% 水準で有意であった。

幹直径から計算した地際での幹断面積は、深耕区と対照区ともに植栽から成長期ごとに次第に大きくなり、いずれの区のいずれの成長期においても成長期の前後の値の差は1% 水準で有意であった (Fig. 7b)。対照区と深耕区を比較すると、1 成長期後は有意水準5%、2 成長期後以降は有意水準1% で差があり、いずれも対照区より深耕区の方が大きかった。

4. 考察

4.1 土壌硬度鉛直分布

対照区ではS 値0.5 を下回るような極度な硬さの層が

盛土内に多く見られたのに対し、深耕区では耕起直後には極度な硬さは解消され、「根系の侵入が困難」とされるようなS 値0.7 以下の硬さの層は耕起した深さ範囲内に

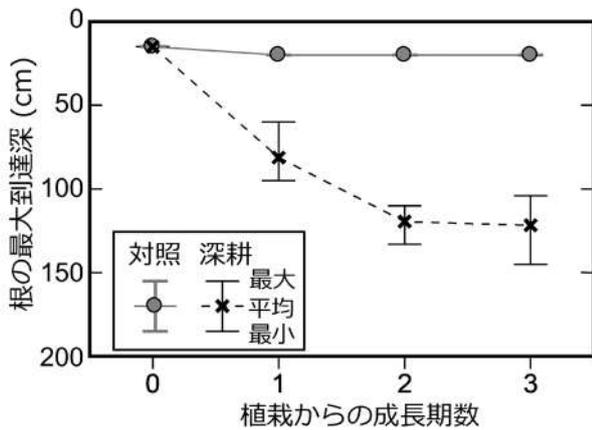


Fig. 3. 根の最大到達深の植栽からの成長期ごとの変化

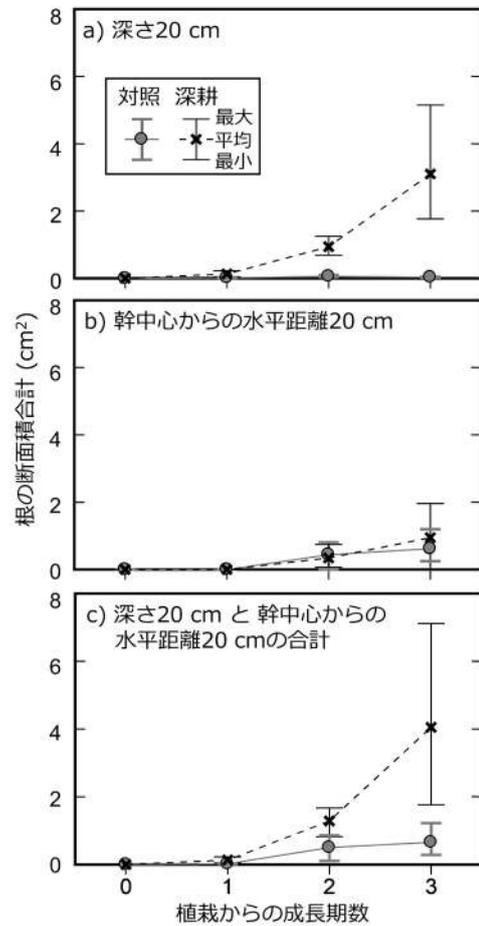


Fig. 4. それぞれの位置での根の断面積合計 ((a) 深さ20 cm、(b) 樹幹からの水平距離20 cm、(c) 深さ20 cm と樹幹からの水平距離20 cm) の植栽からの成長期ごとの変化

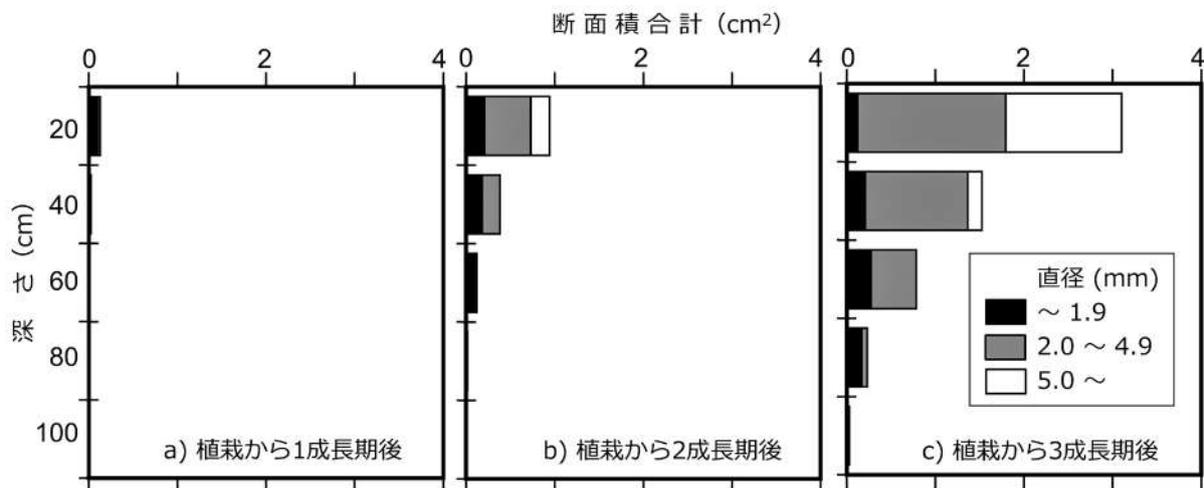


Fig. 5. 深耕区の成長期ごとの根の直径階ごとの断面積の鉛直分布

ほとんど見られなくなり、その状態は耕起から 30 ヶ月後までほぼ持続していた。耕起から 30 ヶ月後の深耕区での 1 地点のみで浅い範囲に S 値 0.7 以下の層が見られたが、これは耕起作業で掘り出した土を埋め戻す際に崩しきれなかった硬い土塊がそのまま混入した箇所を測定した可能性が考えられ、例外的な事例だと考えられる。これらの結果は、長谷川・猪俣 (2015)、小野ら (2016)、篠宮ら

(2017) が盛土を伴う生育基盤を対象とした土壌硬度鉛直分布の結果から示した極度な硬さの解消に対して耕起が有効であるとの結論を支持するものであった。

篠宮ら (2017) は、耕起後の硬さの推移から耕起から少なくとも 6 ヶ月後まで耕起の効果が持続したことを示した。本研究では 30 ヶ月後まで耕起の効果が持続することが確認された。加えて、耕起後の土壌硬度の時間変化は明らかにしていないものの、野原・高橋 (2007) が耕起から 10 年後、Ono et al. (2018) が耕起から 20 年後において、耕起された箇所がされていない箇所よりも軟らかいことが確認されている。これらのことから、極度に硬く整備された生育基盤の硬さを改良する耕起の効果は時間経過に伴ってさほど低下することなく 10 年、20 年と持続するものと考えられる。

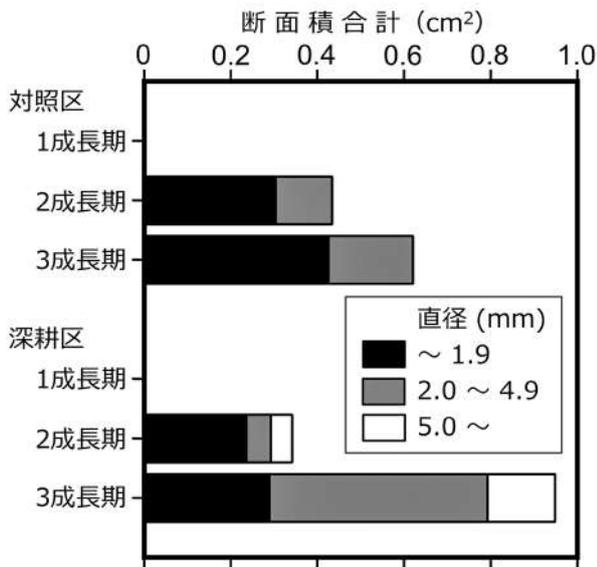


Fig. 6. 樹幹から水平距離 20 cm での根の直径階ごとの断面積

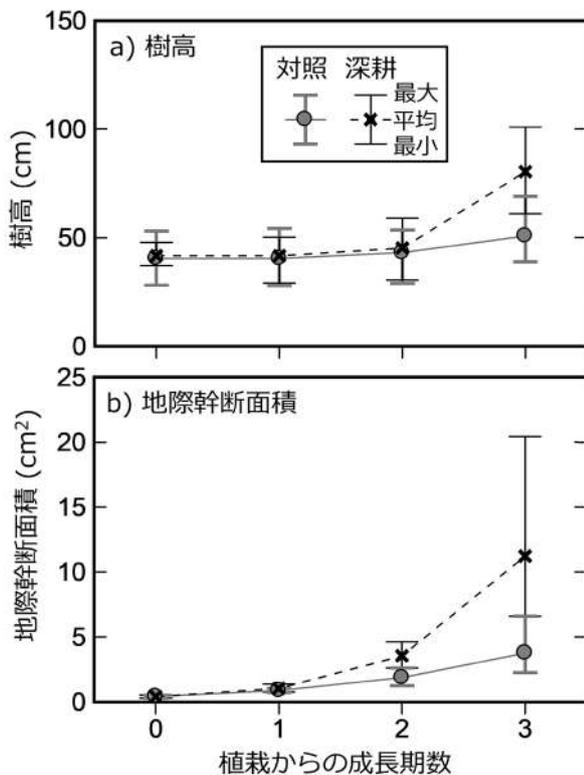


Fig. 7. 樹高 (a) と地際での幹の断面積 (b) の植栽からの成長期ごとの変化

4.2 根の発達

野原・高橋 (2007) は盛土に耕起を施さない対照区と深さ 100 cm 程度まで耕起した深耕区を設定して、そこに植栽したクロマツの 10 年経過後の根の分布と土壌硬度を調べ、対照区では根の分布は深さ 30 cm までの範囲に集中していたのに対し、深耕区では耕起が施された 100 cm 程度の深さまで根が到達したことを示した。本研究でも、対照区の根は深さ方向にほとんど発達しなかった一方で、深耕区の根は植栽から 2 成長期後に 100 cm を越える深さに到達し、両区の根の発達の違いは明瞭であった。植栽から 2 成長期後と 3 成長期後の深耕区の根の最大到達深に大きな差が見られなかったことは、2 成長期後に耕起した深さ範囲の下端付近に根が到達していると思われる個体があり (Fig. 2)、2 成長期以降は根の下方への発達が土壌硬度によって制限されたためだと考えられる。

根の太さに関して、野原・高橋 (2007) は深耕区の 10 年生のクロマツは 60 cm の深さまで大径根 (直径 20 ~ 50 mm) が分布していたことを報告している。本研究での植栽から 3 成長期後のクロマツでは、大径根はいずれの深さでも見られなかったものの、中径根 (直径 5 ~ 20 mm) が 40 cm の深さまで分布していることから、今後同様に、根はさらに太くなっていくことが期待できる。

本研究の対照区の根の最大到達深は植栽から 3 成長期までのいずれの測定時期においても 20 cm 程度であった。この深さは植穴の深さと一致しており、S 値が 0.5 程度と非常に硬い植穴底面から下方へ根が侵入できずに植穴内に止まったものと考えられる。長谷川ら (1984) はケヤキ、福永ら (2003) はコナラ (*Quercus serrata*) を対象とした根の分布と土壌の硬さの調査から、ともに、S 値が 1.0 付近の値を境にそれより硬くなると根の分布が減少し、S 値が 0.5 程度の硬さでは根はほとんど分布しなくなることを示した。本研究の対照区のクロマツの根の成長の結果から、クロマツの根もケヤキやコナラと同様に S 値 0.5 程度の硬さの土壌にはほとんど侵入できないことが示された。

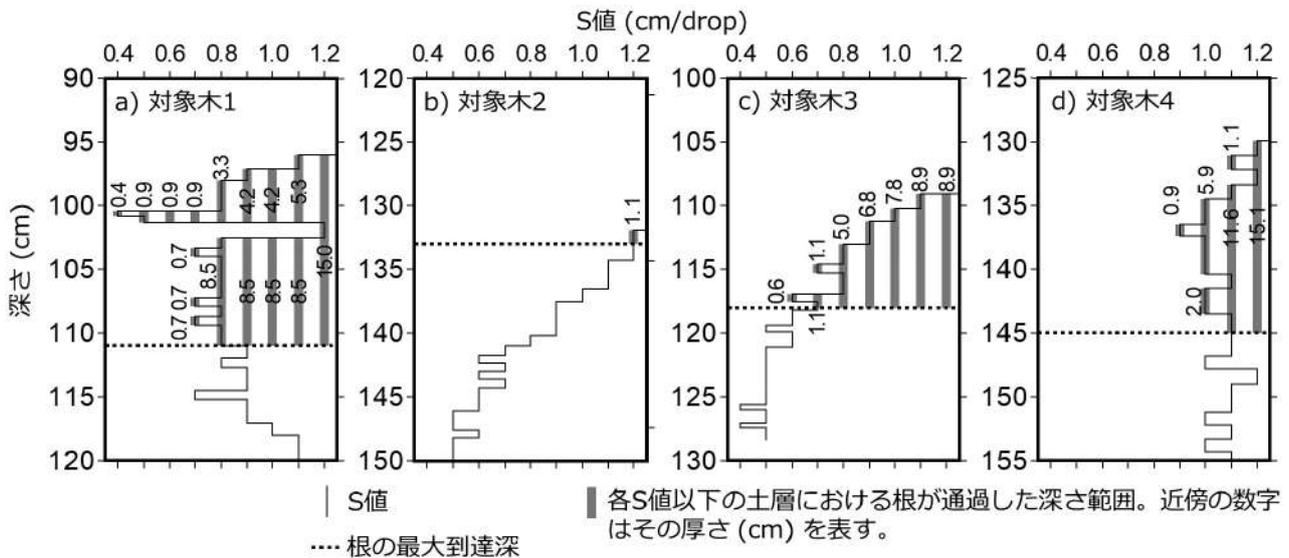
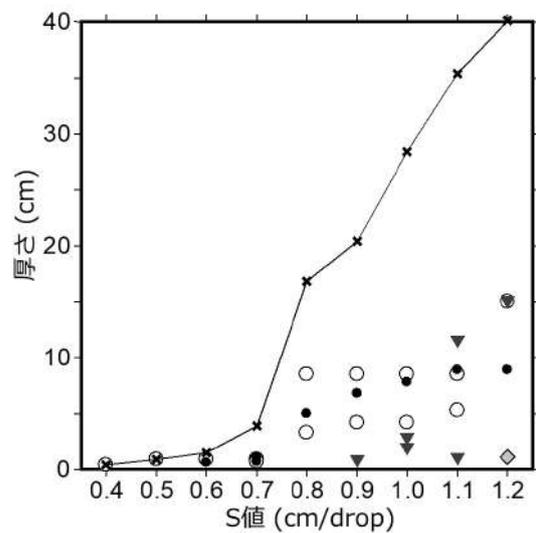


Fig. 8. 深耕区で S 値 1.2 以下の硬さを根が通過した対象木 4 本の S 値の鉛直分布、根の最大到達深、および、各 S 値以下の土層における根が通過した深さ範囲

本研究の深耕区の結果から、耕起を施した生育基盤での植栽から 3 成長期経過後までの根の下方への成長が示され、植栽から 2 成長期後以降の全ての調査対象木において最大到達深は 100 cm 以上となった。深耕区の根がどのような土壤硬度と厚さを持つ土層を通過できていたのかを検討するため、鈴木ら (2018) の方法を参考に、S 値の鉛直分布と根の最大到達深から、1.2 以下の S 値を示す土層について、0.1 刻みで区切った各 S 値以下の土層において根が通過した深さ範囲の厚さを求めた (Fig. 8)。各 S 値以下の土層とは、例えば、S 値を 0.8 とした場合には、0.8 以下の S 値が深さ方向に連続する層ということになる。S 値 1.2 以下の硬さを示した土層を根が通過した対象木は 4 本であり、これらについてこの解析を行った。3 成長期後に根を調査した対象木の一つの深さ 10 ~ 20 cm 付近に S 値 1.2 以下となる箇所があったが、これは対象木から 10 cm 程度側方での測定の結果であり、この深さ範囲は対象木の真下では植穴にあたることから根はこの硬い箇所を通過していないものと考え、この箇所は解析対象から除外した。なお、調査時期を遅らせれば根が成長を続けて最大到達深がさらに大きくなった可能性や、各 S 値以下の土層がもっと厚く分布していれば根が通過した厚さももっと厚くなった可能性が考えられる。各 S 値以下の土層における根が通過した深さ範囲の厚さは、S 値が小さくなると薄くなり、S 値が 0.8 以下では最大で 8.5 cm であり、他にも 5 cm 以上のものがあつたのに対し、S 値が 0.7 以下では最大で 1 cm 程度であり、S 値が 0.7 以下かどうかで根が通過した土層の厚さの分布に大きな差が見られた (Fig. 9)。また、各 S 値における根が通過した土層の厚さの合計値は、S 値が小さくなるほど小さくなり、隣り合う S 値の間での差は、0.7 と 0.8 の間で最も大きかった。前述の通り、根が調査後に成長して到達深がさらに

大きくなる場合や S 値の鉛直分布が異なる場合には、各 S 値に対して検出した根が通過した深さ範囲の厚さはさらに大きくなった可能性はあるが、S 値 0.7 と 0.8 の間でこの厚さの分布に大きな差が見られたことは、この付近の値が根の侵入を左右する値であることを示唆するものだと考えられる。「緑化事業における植栽基盤整備マニユ



各 S 値以下の土層における根が通過した深さ範囲の厚さ
○対象木1 ◆対象木2 ●対象木3 ▼対象木4
各 S 値以下の土層における根が通過した深さ範囲の厚さを同じ S 値で積算した値
—*

Fig. 9. 深耕区で S 値 1.2 以下の硬さを根が通過した対象木 4 本の各 S 値以下の土層における根が通過した深さ範囲の厚さ、および、その厚さの S 値ごとの積算値

アル」(日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000)では、S値0.7以下が「固結」と表現され、「多くの根が侵入困難」とされた。この硬さの判定基準と概ね一致することから、本研究で検出した根の通過した土層の硬さと厚さの分布は、妥当なものだと考えられた。この結果を対照区に当てはめると、植穴の底面より深部のS値は0.5程度であり、植穴の底面の深さ20 cmより深部へは根が侵入していなかったことが説明できると考えられる。

4.3 地上部と根の発達の関係

野原・高橋(2007)は、深耕の有無による差異が根の発達では見られたのに対し、地上部のサイズを表す樹高や胸高直径では見られなかったとしている。本研究では、根の発達においてだけでなく、樹高や地際での幹の断面積といった地上部のサイズにおいても対照区と深耕区の間に差が見られた(Fig. 7)。地上部のサイズへの深耕の有無の影響が異なった理由として、野原・高橋(2007)の対照区では深耕区よりも少ないものの側方および下方へ伸びる根が観察されたことに対し、本研究での対照区では、下方へ伸びる根は見られず浅い範囲を伸びる水平根が見られたのみで根鉢から伸びた根が深耕区よりも少なかったことが考えられる。しかし、野原・高橋(2007)が植栽から10年程度経過しているのに対し、本研究は植栽から2年半であり、今後の成長の過程で深耕の有無による地

上部のサイズの差は減少していくことも考えられ、この点についてはさらに調査事例を蓄積し、検討する必要がある。

地際での幹の断面積を地上部の成長を表す指標として、深さ20 cmおよび樹幹から水平距離20 cmでの根の断面積の合計を根の発達量を表す指標として捉え、両者の関係を調べると、それぞれの区で正比例の関係が見られた(Fig. 10)。この関係の回帰直線の傾きは対照区の方が大きく、深耕区の1.5倍程度であったが、両区の傾きの差は10%水準で有意でなかった。対照区では硬い土壌によって根の発達が制限され、その影響が地上部の発達にも表れ、結果的に地上部と根の発達のバランスには、両区の間は差は表れなかったものと考えられる。

5. おわりに

東北地方太平洋沖地震津波で被災した海岸林の再生事業初期に整備された盛土を伴う生育基盤に1.5 m程度の深さまで耕起した深耕区と耕起しない対照区を設定し、植栽から3成長期後までのクロマツの根の発達と土壌硬度の推移を調査した。その結果から、深耕は土壌の極度な硬さの解消に効果を発揮し、実施から30か月後もほぼ変わらず効果が持続したこと、クロマツの根の深さ方向への発達が対照区では植栽から3成長期後までほとんど見られなかったのに対し、深耕区では2成長期後には100 cmより深くに到達したことなど、根の発達に対する深耕の効果が明瞭に示された。また、緑化事業において用いられてきた根の侵入の可否に対する土壌の硬さの判定基準(日本造園学会緑化環境工学研究委員会2000)と一致するS値0.7前後がクロマツの根の侵入の可否に対して大きな意味を持つ値であることが示唆された。これらの本研究で得られた知見は、対象期間が植栽から3成長期後まで、樹種はクロマツのみ、調査地が1箇所のみ、深耕の深さが1段階のみ、という限定的な条件下でのものであるが、特に植栽後の初期段階での根の発達の推移に対する深耕の効果を示した点は、野原・高橋(2007)をはじめとした生育基盤に対する耕起が植栽木の根の発達に与える効果に関するこれまでの知見には見られなかったものである。本研究で得られた知見は、クロマツを植栽する海岸林の生育基盤を整備する際の土壌の締め固め限度とその根拠、および、極度に硬くなった生育基盤に対する深耕の実施の判断材料として用いられてきたこれまでの知見を補強し、信頼性を高めるものとして、盛土を伴う生育基盤を整備して海岸林を造成する際に有用であると考えられる。

謝辞

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の使用許可、設定等でご協力をいただいた。編集委員と2名の査読者から多くの有益な助言をいただいた。深く感謝の意を表します。本研究は(国研)森林研究・整

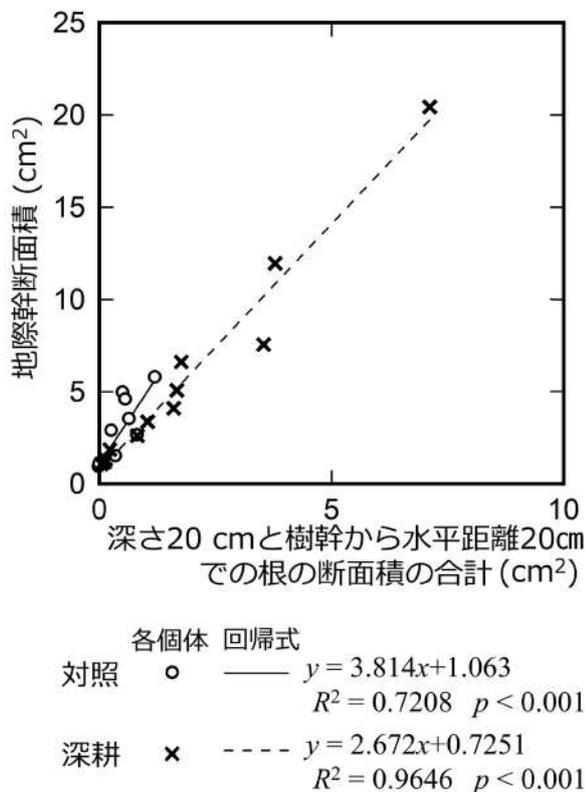


Fig. 10. 深さ20 cmと樹幹からの水平距離20 cmでの根の断面積合計と、地際幹断面積の関係

備機構森林総合研究所交付金プロジェクト（課題番号201701）の研究成果である。

引用文献

- 福永 健司・石塚 望・富樫 勇介・榎島 朋子・漆崎 隆之（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.
- 長谷川 秀三（2006）根系深さの推定手法．日本緑化工学会誌，31，346-351.
- 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として－．造園雑誌，48，104-122.
- 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．日本緑化工学会誌，41，336-340.
- 経済企画庁（1972）国土調査（宮城県）122pp.
- 国土地理院（2020）地理院地図（電子国土 Web），<https://maps.gsi.go.jp/>，（参照 2020-07-27）
- 村上 卓也（2015）盛土を伴う海岸防災林復旧工事と植栽までの手順．日本緑化工学会誌，41，341-34.
- 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.
- 野原 咲枝・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.
- 小野 賢二・今矢 明宏・高梨 清美・坂本 知己（2016）海岸防災林復旧・再生事業における生育基盤盛土の現状－事業着手初期の未耕起盛土の物理性および盛土への各種耕起工が土壌硬度鉛直分布に及ぼす効果の評価－．森林総合研究所研究報告，15，65-78.
- Ono, K., Komoriya, A., Tachibana, R., Imaya A., Suzuki, S., Noguchi, H., Noguchi, K. and Hagino, H. (2018) Effect of tillage for the growth base formed by piling up soil in damp lowlands behind coastal sand dunes to construct coastal disaster prevention forest belts on the Kujukuri coastline, Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64, 168-180.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL <https://www.R-project.org/>
- 篠宮 佳樹・今矢 明宏・坂本 知己（2017）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．森林総合研究所研究報告，16，249-256.
- 鈴木 寛・野口 宏典・小野 賢二・萩野 裕章・坂本 知己・多田 賢二（2018）根系成長を制限する土壌硬度を土壌貫入計で検出する方法の提案．第 129 回日本森林学会大会学術講演集，91.
- 渡部 公一・海老名 寛・古川 和史・堀米 英明・大築 和彦・上野 満・宮下 智弘・坂本 知己（2014）2011 年東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野の海岸林被害と地下水深度及び立木サイズとの関係．海岸林学会誌，13，7-14.

Effects of deep tillage on soil hardness of berms built as growth bases of coastal forests and growth of *Pinus thunbergii* roots planted on them

Hironori NOGUCHI^{1)*}, Kenji ONO²⁾, Hiroaki HAGINO²⁾ and Satoru SUZUKI³⁾

Abstract

In the restoration of coastal forests that suffered from the Great East Japan Earthquake Tsunami, thick growth bases have been built with embankments that let roots grow deep into soil. The growth bases are apt to have soil that is harder than the sand dunes where the former coastal forests stood. There has been some concern that the hardness of the growth bases prevents roots from growing deep into the soil. In order to elucidate the effects of soil hardness on the root development of *Pinus thunbergii*, which is the primary species in the coastal forests of Japan, we set up a deep (about 1.5 m depth) tilled area and an untilled area on a growth base with embankment, and investigated the root development of *P. thunbergii* planted on each area for 30 months. Since soils of the tilled areas were much softer than those of the untilled areas, it was confirmed that deep tillage is an effective method to soften hard soils. The roots in the untilled areas were hardly out of the planting hole after 30 months, while the roots in the deep tilled areas reached about 80 cm deep after 5 months, and about 110 cm deep after 17 months. These results confirm that the hard soil prevents roots from developing. Moreover, the vertical soil hardness profiles where the roots penetrated suggest that soil hardness limits to root penetration of *P. thunbergii*.

Key words : coastal forest, root, growth base, soil hardness, deep tillage

Received 31 August 2020, Accepted 3 June 2021

1) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Tohoku Research Center, FFPRI

3) Center for Forest Damage and Risk management, FFPRI

* Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN;

E-mail: noguh@ffpri.affrc.go.jp

論文 (Original article)

秋田県の海岸砂丘に生育するクロマツおよび植栽広葉樹数種の根系分布

新田 響平^{1)*}、野口 宏典²⁾、太田 敬之³⁾、小野 賢二³⁾、萩野 裕章³⁾、野口 享太郎³⁾、大谷 達也⁴⁾、宇川 裕一⁵⁾、小森谷 あかね⁶⁾、谷川 東子⁷⁾、平野 恭弘⁸⁾、鈴木 覚⁹⁾

要旨

津波への根返り耐性に影響する樹木の根系について、砂丘環境に植栽された広葉樹が山地と同様の根系分布を有するのかが確認するため、植栽年が異なる秋田県の2つの海岸林において、クロマツおよび広葉樹数種の根系分布を調査した。林齢16年生の調査地においては、シナノキやクロマツについては既往の研究における山地の根系分布の形態的特徴との類似が観察された。しかし、カシワの1個体やケヤキについては観察されなかった。これは隣り合う植栽木と近接していたこと、根系の成長を阻害する埋設物(肥料袋やプラスチックゴミ)が影響したと推察された。林齢43年の調査地においては、掘り取り対象としたカシワ、ケヤキ、クロマツすべての樹種で山地の根系分布との類似が観察された。両調査地において掘削した深さでは長期にわたる土壌水の停滞は確認されず、停滞水による根の成長阻害はないと推察された。また調査対象木周辺の土壌において、植物の根の侵入が困難とされる固結層は確認されないか、確認されても固結層を突き抜けて根系が伸長していた。これは両調査地が砂質土壌であり、透水性が高いことに起因していると考えられた。これらのことから、埋設物がある、土壌中での水の停滞があるといった根系成長を阻害する要因がなければ、広葉樹の根系は砂質土壌の海岸砂丘地においても山地と同等の分布や形態となることが示唆された。

キーワード：根系、広葉樹、海岸林、津波耐性

1. はじめに

総延長35,649km(環境省大臣官房環境計画企画調査室2017)におよぶ長い海岸線を持つ我が国において、海岸林は飛砂防備、防潮、防風といった防災機能の発揮を通して内陸側の生活空間を確保する重要な役割を担っている。2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波によって多くの海岸林で根返り等の被害が発生した。特に地下水深度が1.0m未満の範囲では根返りが起こりやすく、その一部は流亡した(渡部ら2014)。このことから東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012)は、地域の防災機能の確保を図る観点から、飛砂・風害の防備等の災害防止機能に加え、津波に対する被害軽減効果も考慮した海岸防災林の復旧・再生を検討していく必要があるとし、そのために津波に対して根返りしにくい林帯を造成する必要性を示している。

海岸林において、これまでクロマツ(*Pinus thunbergii*)が主要な造成樹種とされ、歴史的にも長く、広範囲にわ

たり植栽されてきた。しかし、マツバノタマバエ被害やマツ材線虫病の蔓延など、単一樹種で構成される森林は脆弱であることが指摘されている(金子・田村2007)。また東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012)は、自然条件や地域のニーズを踏まえた多様な森づくり、生物多様性の保全も求められていることから、植栽地の状況を見極めつつ、広葉樹の植栽等についても考慮することが望ましいとしている。

海岸林への広葉樹の導入について、これまで導入樹種や導入方法等の視点から研究がなされてきた。導入可能な広葉樹種については、太平洋側の林帯最前線にマサキ(*Euonymus japonicus*)、トベラ(*Pittosporum tobira*)、カシワ(*Quercus dentata*)等が、林帯後方部にアカメガシワ(*Mallotus japonicus*)、エノキ(*Celtis sinensis* var. *japonica*)、ネズミモチ(*Ligustrum japonicum*)、イボタノキ(*Ligustrum obtusifolium*)、ウバメガシ(*Quercus phillyraeoides*)、タブノキ(*Machilus thunbergii*)、コナラ(*Quercus serrata*)、エゾ

原稿受付：令和2年8月24日 原稿受理：令和3年3月15日

1) 秋田県林業研究研修センター

2) 森林総合研究所 森林防災研究領域

3) 森林総合研究所 東北支所

4) 森林総合研究所 四国支所

5) 千葉県農林総合研究センター 森林研究所

6) 千葉県中部林業事務所

7) 名古屋大学大学院生命農学研究科

8) 名古屋大学大学院環境学研究科

9) 森林総合研究所 森林災害・被害拠点

* 秋田県林業研究研修センター 〒019-2611 秋田県秋田市河辺戸島字井戸尻台47-2

イタヤ (*Acer mono* var. *glabrum*) などが有望な樹種として挙げられる (小田 1987, 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会 2012)。日本海側の例ではケヤキ (*Zelkova serrata*)、エゾイタヤ、シナノキ (*Tilia japonica*)、カシワ、アカメガシワ、コナラ、クリ (*Castanea crenata*)、エノキ等が導入広葉樹として提案されている (伊藤 2000, 金子・田村 2007)。またこれらの広葉樹の導入環境や植栽方法について小田 (1987) や金子・田村 (2007) が植栽試験により検討している。しかし、これらの既存の研究において、海岸林に植栽された広葉樹の津波耐性という視点に立って実施されたものは限定的であり、海水の侵入によって発生する塩水への浸漬に対する耐性や津波による物理的な破壊力への耐性については考慮されていない。

塩水浸漬に対する耐性については、クロマツだけでなく複数の広葉樹において、苗木における実験や津波浸水地などでの被害調査などから検証されてきた (高橋・堀江 1965, 堀江 1966, 吉崎 2011, 伊東・吉崎 2013, 岡田ら 2014, 本田・林田 2015, 井上ら 2015)。これらの先行研究によって広葉樹の塩水浸漬への耐性は解明されつつある。その一方で、津波による物理的な破壊力への耐性について研究事例が少ないのが現状である。

海岸林は、津波の波力を減衰させて流速やエネルギーを低下させ、その破壊力を弱める効果 (Inoue et al. 2007, Okada et al. 2009, 岡田ら 2012)、漂着物を捕捉し、二次的災害を軽減または防止する効果 (Sakamoto et al. 2008, 坂本ら 2012)、すがりつきの対象となる機能 (石川 1992) などを持つとされる。これらの効果・機能の発揮には、海岸林の樹木自体が津波によって根返りや流木化を起こさないことが重要である。つまり、根返り・流木化への耐性が津波による物理的な破壊力への耐性と考えることができる。根返りと根系構造は深い関係がある (田村 2012) が、これらを定量的に評価した研究は、クロマツやスギ (*Cryptomeria japonica*) などの針葉樹を対象とした事例が見られるのみであり (Coutts 1983, 野々田ら 1996, 木下ら 2013, Hirano et al. 2018, Todo et al. 2019)、広葉樹ではほとんど見られない。さらに広葉樹の根系構造等については苧住 (1979) に詳しいものの、そこで示される事例の多くが山地土壌での観察事例であるため、未熟な砂質土壌を主とする海岸砂丘地において同様の根系構造を示すかどうかは明らかではない。このような背景から、砂丘環境における広葉樹の根系分布に関する知見を蓄積する必要がある。

そこで本研究では砂丘環境においても山地と同様の根系構造を示すか検証するため、海岸砂丘上に造成された植栽年の異なる広葉樹 2 林分において、根系の三次元構造等について調査した。

2. 調査地・調査方法

2.1 調査地

2.1.1 向浜調査地

向浜調査地 (以下、向浜) は秋田県秋田市向浜地内の標

高 3.5 m、北緯 39 度 47 分 46.1 秒、東経 140 度 2 分 20.8 秒、汀線から約 200 m に位置する (Fig. 1 下)。海側に防潮堤はないが、西側に 40 m、東側に 60 m のクロマツ林帯 (樹高 7 ~ 9 m) に挟まれているため、直接的な潮風が弱められている環境にある。土壌は砂質土で構成される未熟土である (土じょう部 1976)。当該調査地は 2002 年にケヤキ、シナノキ、カシワ、エゾイタヤが各樹種ともに 10,000 本/ha 植栽された海岸広葉樹植栽試験地であり (金子・田村 2007)、植栽区画内には天然に定着したクロマツがわずかに混生する一斉林である。この植栽試験地において生存している広葉樹個体およびクロマツの天然更新個体を根系調査の対象とした。調査時 (2017 年) の広葉樹生存木は林齢 16 年生で、最大樹高 2 m 程度であった。また枝階痕から推定されたクロマツ天然更新個体の樹齢は 8 年生であった。

2.1.2 浜山調査地

浜山調査地 (以下、浜山) は秋田県潟上市天王字浜山地内の天王海岸林内の広葉樹植栽地である (Fig. 1 上)。浜山は男鹿半島の南部から秋田港にかけて南北長さ約 14 km、林帯幅 290 ~ 600 m の海岸林の一部である。標高 8 ~ 11 m、北緯 39 度 47 分 46.1 秒、東経 140 度 2 分 20.7 秒、汀線からの距離 520 ~ 560 m の砂丘背後に位置し、海側には約 500 m のクロマツ林帯が形成されている。土壌は砂質土で構成される未熟土である (土じょう部 1976)。広葉樹は 1977 ~ 1979 年に秋田県の治山事業として植栽されたものの一部で、林齢は 42 ~ 44 年生であった。植栽樹種はエゾイタヤ、ケヤキ、カシワ、ミズナラ (*Quercus crispula*)、セイヨウヤマハンノキ (*Alnus glutinosa*) であり、調査時点において樹高 18 m 前後のクロマツとともに二段林ないし混交林状の林相を呈していた。

2.2 掘り取り対象木の選木とサイズ

向浜において、地上部の生育状況および掘り取りの効率等を考慮してケヤキ 3 本、シナノキ 2 本、カシワ 2 本の 3 樹種 7 本とともに周辺で天然更新したクロマツ 2 本を掘り取り対象木として選木した。浜山においては広葉樹植栽地内に生育するカシワおよびケヤキそれぞれ 3 本を掘り取り対象木とした。またそれら対象木周辺で確認されたマツ材線虫病被害により 2018 年に枯死したため伐採されたクロマツ 2 個体の伐根も掘り取り調査の対象とした。クロマツ伐根の年輪から伐採時の年輪を読み取ったところ、樹齢はともに 47 年生であった。選木は向浜においては 2017 年の 7 月に、浜山においては 2018 年 5 月に実施した。また選木と同時に地際直径、胸高直径 (測定高 1.3 m : 以下、胸高直径の定義は同じ)、樹高を計測した。いずれの調査地においても樹高は逆目盛検測桿 (竹谷商事製) あるいはレーザー距離計 (インパルス 200, Laser Technology 社製) を用いて測定し、地際直径や胸高直径はノギスで直径を実測するか、スチールテープ (エ

ンジニアポケット、タジマ製)を用いて直径周囲長を測定し、表計算ソフトで直径に換算した。浜山のクロマツ伐根の地上部サイズについては秋田県松くい虫防除事業における毎木調査データを参照した。

2.3 調査対象木周辺の毎木調査および土壌硬度の鉛直および平面的分布の把握

根系調査に先んじて、毎木調査と周辺の土壌硬度について調査を実施した。向浜では10 m四方の調査区を1箇所設定し、同区画内に生存していた樹高1.3 m以上の植栽木を対象に毎木調査を実施した。測定項目は樹種、樹高、胸高直径である。カシワについては設定した調査区内には生存木はなく、その周辺においても選木した2本のみが生存個体であり、クロマツも孤立した天然更新木であったことから毎木調査を実施していない。また掘り取り対象木周辺における土壌の物理性を調査するため、掘り取り対象木の根元から30 cm北側で土壌硬度の測定を実施した。これらの調査は2017年の7月に実施した。

浜山においては、掘り取り対象木を中心とする半径5.0 mの円形調査区を設定し、胸高直径5 cm以上の全木本を対象に胸高直径、樹高を測定した。また掘り取り対象木を中心とし、各辺が東西南北を向く1 m四方の方形区を設定し、その4隅で土壌硬度を測定した。調査は広葉樹については2018年5月に、クロマツについては2019年5月に実施した。

2調査地の毎木調査は掘り取り対象木の選木と同様の器具により実施し、土壌硬度はSH型貫入試験機(ダイトウテクノグリーン(株)製)落錘3 kgにより実施した。土壌硬度の指標は、日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000)に準拠し、「多くの根の侵入が困難」とされるSH型貫入試験機による1打撃あたりの貫入量(以下、S値)

が0.7 cm/drop以下が5 cm以上続いた場合を固結層と定義し、初出の深さを観測点毎に記録した。浜山においては掘り取り対象木を中心に、その周辺を北東、北西、南東、南西の4区画に区分し、土壌貫入試験を実施した4点で算出した固結層の初出の深さをその区画の固結層の深さとした。

2.4 根系構造の調査

向浜においては根系構造を極力保存するよう配慮しながら、人力によって根系周囲の土壌を掘削し、完全に根系を露出させ、掘り出した。その後、実験室に持ち帰り作業架台に吊り下げて固定し、固定した状態で基準とする任意の方向を定めマーキングした。その後、根系の構造と計測点同士の関係を得るために必要な分岐や屈曲箇所の直径を計測した。また直径計測点について、地際幹中心を原点とする水平距離、垂直距離およびマーキングした方向からの水平角度による三次元座標を計測し、計測点同士のつながりを記録した。なお、対象とした根は直径1 cm以上とした。直径の測定にはノギス(プラノギスポッケ、シンワ測定株式会社製)、深さの測定には測量用ポールと水準器、角度の測定にはプロトラクター(シンワ測定株式会社製)を用いた。作業は2017年10月に実施した。

浜山においては向浜とは異なり、現地において三次元座標の計測を行った。バックホウ、エアースコップを使用して粗掘りを行った後、人力による掘削作業を通じて、根系構造を破壊しないように保存しながら一定程度掘り出した。その後は根系の自重による沈下を想定し、対象木の地際幹中心を基準点とする計測のための原点を決定した。以後は、掘削作業を継続しつつ、地際幹中心からの水平、垂直距離が50 cm、100 cm、150 cmとなる位置



Fig. 1. 調査地の位置図(地理院地図(国土地理院 2020)を加工して作成)

の根の直径と水平距離、垂直距離及び北を0°とする方位角による三次元座標を計測した。また同時に根の分岐や屈曲箇所についても直径及び三次元座標の計測を実施し、計測点同士のつながりを記録した。対象とした根は向浜同様直径1 cm以上とし、計測器具も向浜と同様の道具に加え、登山用コンパス（SILVA社製）を用いた。浜山のクロマツのうち1個体（H1）については、北西方向30°程度の範囲の根系を掘り出すことができなかったもの、それ以外の方位については根系を露出することができたことから、露出した範囲において三次元座標を計測した。またもう1個体（H2）については、作業時間の都合上、根系座標を詳細に計測できなかったことから、根系を完全に掘り出した後に根の最大到達深および最大到達幅のみを計測した。作業はカシワについては2018年9月と10月、ケヤキとクロマツについては2019年8月と9月に実施した。

向浜と浜山の計測方法が異なるため、すべての根系計測点の三次元座標値をもとに地際幹中心からの斜距離が50 cm、100 cm、150 cmとなる箇所の三次元座標を計算し、根の直径と地際幹中心からの水平を0°とする高低角を推定した。高低角は90°～60°を「下方」、60°～30°を「斜め」、30°～0°を「側方」として区分した。サイズの異なる対象

Table1. 掘り取り対象木周辺の毎木調査結果

向浜				
掘り取り対象木	樹種	立木密度 (本/ha)	樹高 (m)	胸高直径 (cm)
ケヤキ M1-3	ALL	7,300	1.8 ± 0.1	1.1 ± 0.1
シナノキ M1-2				
	ケヤキ	5,300	1.7 ± 0.0	0.9 ± 0.1
	シナノキ	2,000	2.2 ± 0.2	1.5 ± 0.2
浜山				
掘り取り対象木	樹種	立木密度 (本/ha)	樹高 (m)	胸高直径 (cm)
カシワ H1	ALL	764	6.8 ± 1.4	14.7 ± 4.0
	イタヤカエデ	255	10.3 ± 0.0	13.4 ± 1.5
	カシワ	127	9.8 ± 0.0	36.0 ± 0.0
	ケヤキ	382	3.6 ± 0.6	8.5 ± 0.7
カシワ H2	ALL	2,165	7.2 ± 0.9	11.0 ± 1.4
	カシワ	764	11.9 ± 0.6	16.8 ± 2.5
	ケヤキ	1,146	4.0 ± 0.4	8.0 ± 0.7
	ニセアカシア	255	8.4 ± 1.1	7.6 ± 0.4
カシワ H3	ALL	1,528	7.4 ± 1.4	12.9 ± 2.2
	カシワ	509	8.0 ± 1.0	12.7 ± 2.0
	クロマツ	255	15.4 ± 0.2	25.2 ± 2.1
	ケヤキ	637	3.0 ± 0.6	6.3 ± 0.3
	ミズナラ	127	11.7 ± 0.0	22.3 ± 0.0
ケヤキ H1	ALL	1,019	8.4 ± 0.6	9.3 ± 0.9
	イタヤカエデ	255	8.4 ± 0.7	11.8 ± 1.9
	カシワ	127	6.0 ± 0.0	11.4 ± 0.0
	ニセアカシア	637	9.0 ± 0.7	7.8 ± 0.6
ケヤキ H2	ALL	637	6.1 ± 1.2	7.9 ± 1.0
	カシワ	127	4.4 ± 0.0	5.5 ± 0.0
	ケヤキ	509	6.6 ± 1.4	8.5 ± 1.1
ケヤキ H3	ALL	1,019	13.0 ± 2.0	17.2 ± 2.6
	クロマツ	637	16.7 ± 1.2	22.0 ± 2.3
	ケヤキ	382	6.8 ± 1.6	9.2 ± 0.6
クロマツ H1	ALL	637	11.9 ± 3.2	15.5 ± 4.3
	クロマツ	255	19.1 ± 0.7	26.9 ± 2.2
	ケヤキ	255	6.0 ± 0.0	9.3 ± 0.2
	ヤマウルシ	127	3.6 ± 0.0	5.2 ± 0.0
クロマツ H2	ALL	891	12.8 ± 2.2	16.4 ± 3.1
	クロマツ	255	18.7 ± 1.0	26.0 ± 2.8
	ケヤキ	637	9.9 ± 2.1	12.6 ± 2.6

平均値±標準誤差

向浜におけるカシワとクロマツは設定した調査区内に生育しておらず、孤立木であったことから毎木調査を実施していない。

木の根系の分布を比較するため、斜距離および高低角区分ごとに根の断面積合計を算出し、地際幹の断面積で除した相対断面積合計を算出した。

水平方向の根系の発達に対する周辺の木本類の影響を確認するため、掘り取り対象木周辺の毎木調査に基づく立木密度と最大到達幅について Pearson の積率相関分析を実施した。なお、向浜のカシワ及びクロマツについては孤立木であったことから解析から除外した。統計解析は統計パッケージ R-ver. 4. 0. 2 (R Development Core Team 2020) を用いて実施した。

3. 結果

3.1 調査地の林相と掘り取り対象木のサイズ

向浜および浜山における掘り取り対象木周辺の毎木調査結果を Table. 1 に示す。向浜における調査区内にはケヤキとシナノキの植栽木が生存しており、その立木密度はケヤキで 5,300 本/ha、シナノキで 2,000 本/ha、合計 7,300 本/ha であり、植栽当時の密度 10,000 本/ha (金子・田村 2007) よりも減少していた。平均樹高はケヤキで 1.7 m、シナノキ 2.2 m、平均胸高直径はケヤキ 0.9 cm、シナノキ 1.5 cm であった。浜山における掘り取り対象木の周辺には 637 ~ 2,165 本/ha の木本類が生育していた。樹種は植栽木であるクロマツやイタヤカエデ、カシワ、ケヤキ、ミズナラのほかニセアカシアやヤマウルシの生育が確認された。周辺木本類の平均樹高は 6.8 ~ 13.0 m、平均胸高直径は 9.3 ~ 17.2 cm であり、掘り取り対象木毎に違いはあるものの概ねクロマツの下層に各広葉樹が生育する 2 段林の構造を呈していた。

掘り取り対象木の地上部サイズについての調査結果を Table. 2 に示す。向浜においてカシワは樹高 2.0 ~ 2.3 m、胸高直径 2.0 ~ 2.3 cm、ケヤキは樹高 1.6 ~ 1.9

m、胸高直径 0.9 ~ 1.5 cm、シナノキは樹高 2.1 ~ 2.8 m、胸高直径 1.6 ~ 2.9 cm、クロマツは樹高 1.7 ~ 3.0 m、胸高直径 1.7 ~ 4.6 cm であった。ケヤキおよびシナノキについて調査区における平均樹高と比較すると、いずれの樹種もその地上部サイズは平均と同程度かやや大きかった。浜山において、カシワは樹高 7.7 ~ 10.4 m、胸高直径 12.9 ~ 17.7 cm、ケヤキは樹高 9.0 ~ 11.8 m、胸高直径 10.6 ~ 14.9 cm であった。クロマツの地上部は伐採されていたため、秋田県の松くい防除事業実施時の調査野帳データを参照した結果、いずれも樹高 20.0 m、胸高直径 30.0 cm であった。掘り取り対象木周辺の木本類の樹高平均と比較すると、カシワ 3 本は平均値以上、ケヤキ H1、H2 については平均値以上、H3 は平均値よりも樹高が低かった。クロマツ 2 個体についてはいずれも平均値よりも樹高が高かったが、周辺のクロマツのみの平均樹高と比較すると同程度であった。

3.2 掘り取り対象木周辺の土壌硬度

各調査地における各掘り取り対象木周辺土壌の土壌硬度 (S 値) の分布を Fig. 2 に示す。浜山試験地においては対象木の地際幹中心から北に 50 cm、東に 50 cm の測定点のデータを代表として示した。

日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) によれば、S 値 ≤ 0.7 cm/drop は、「多くの根が侵入困難」な「固結」した土壌、0.7 ~ 1.0 cm/drop は「根系発達に阻害あり」な「固い」土壌、1.0 ~ 1.5 cm/drop は「根系発達が阻害される樹種あり」な「締まった」土壌と評価されている。向浜における土壌硬度はいずれの掘り取り対象木周辺も深さ 50 cm 程度までは S 値 1.5 cm/drop 以上の比較的柔軟な土壌であった。50 cm 以深では箇所ごとに異なる硬度分布を示し、カシワやシナノキ周辺は S 値 1.5 cm/drop 以下の「締まった」~「固い」・「固結」な土壌層が確認されたのに対し、ケヤキでは 100 cm 以深でも S 値 2.0 cm/drop 以上の「軟らか」~「膨軟すぎ」な土壌層が断続的に出現した。クロマツの周辺では深さ 50 ~ 100 cm では S 値 1.5 cm/drop 以上の「軟らか」~「膨軟すぎ」な土壌層が確認されたが、100 cm 以深では S 値 1.5 cm/drop 以下の「締まった」~「固い」・「固結」な土壌層が続いていた。固結層の初出の深さはカシワ M1 で 165.2 cm、シナノキ M2 で 192 cm、クロマツ M1 で 138.5 cm となっており、それ以外の掘り取り対象木周辺においては深さ 200 cm の範囲で固結層は確認されなかった。

浜山におけるカシワ 2 個体およびクロマツ 2 個体の周辺は深さ 50 cm までは S 値 1.5 cm/drop 以上の「軟らか」~「膨軟すぎ」な土壌であったものの、それ以深は徐々に固くなる傾向がみられ、カシワでは 83.7 ~ 97.1 cm、クロマツでは 101.9 ~ 136 cm で S 値 0.7 cm/drop 以下の固結層が出現した。ケヤキについては掘り取り対象木ごとにその周辺の土壌硬度分布は異なり、ケヤキ H1 では深さ 50 cm 程度までは S 値 1.5 cm/drop 以上の「軟らか」~「膨

Table2. 掘り取り対象木の地上部サイズ

調査地	樹種 + 番号	樹高 (m)	胸高直径 (cm)
向浜	カシワ M1	2.3	2.0
	カシワ M2	2.0	2.3
	ケヤキ M1	1.9	1.5
	ケヤキ M2	1.6	0.9
	ケヤキ M3	1.6	0.9
	シナノキ M1	2.8	2.9
	シナノキ M2	2.1	1.6
	クロマツ M1	1.7	1.7
	クロマツ M2	3.0	4.6
	浜山	カシワ H1	8.3
カシワ H2		7.7	17.7
カシワ H3		10.4	12.9
ケヤキ H1		9.1	10.6
ケヤキ H2		9.0	12.2
ケヤキ H3		11.8	14.9
クロマツ H1		20.0	30.0
クロマツ H2		20.0	30.0

軟すぎ」な土壌となっていたものの、それ以深は徐々に固くなり、深さ 122.2 cm で固結層が確認された。ケヤキ H2 や H3 では深さ 25 cm 程度から S 値 1.5 cm/drop 以下の「締まった」土壌が断続的に確認され、50 cm 以深は「締まった」土壌が連続して分布していた。固結層はケヤキ H2 で 98.3 cm、ケヤキ H3 で 88.2 cm の深さで確認され、ケヤキ H1 に比較して浅い土層深に形成されていた。

3.3 根系の鉛直および水平方向への分布状況

根の鉛直および水平への広がり进行を明らかにするため、

各掘り取り対象木の直径 1 cm 以上の根系における最大到達深および最大到達幅を指標として Table. 3 に示した。向浜における最大到達深はカシワで 66 ~ 78 cm、ケヤキで 32 ~ 88 cm、シナノキで 51 ~ 102 cm、クロマツで 61 ~ 85 cm となっており、樹種によって異なっただけでなく、同一樹種でも違いが見られ、特にケヤキやシナノキでは 2 倍以上の差がみられた。最大到達幅においてはカシワで 149 ~ 155 cm、ケヤキで 45 ~ 110 cm、シナノキで 166 ~ 193 cm、クロマツで 54 ~ 83 cm となっており、ケヤキにおいては最大到達深同様に個体差が大きかった。

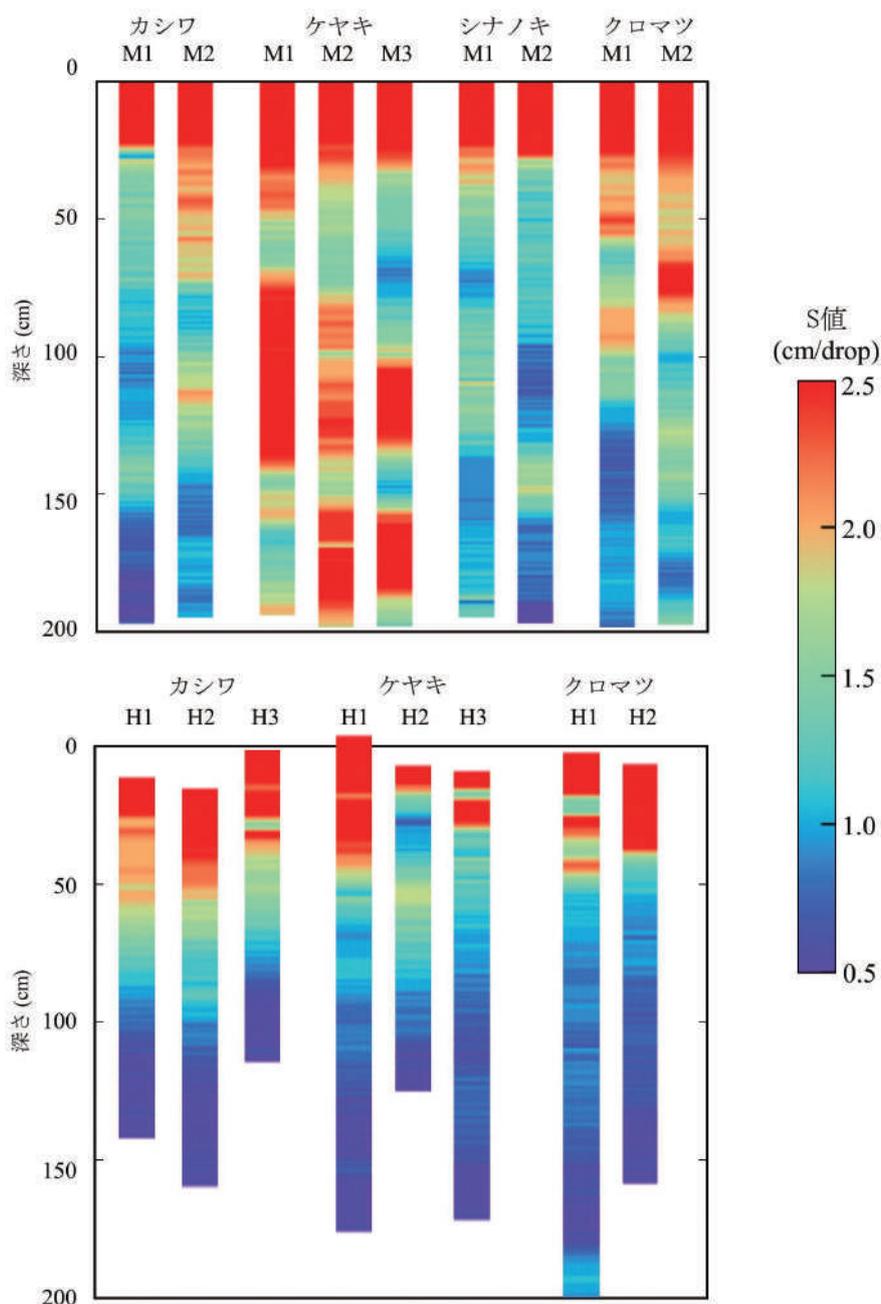


Fig. 2. 掘り取り対象木周辺の土壌硬度 (上：向浜、下：浜山)

浜山においては掘り取り対象木の幹中心から北に 50 cm、東に 50 cm の位置の土壌硬度観測点を代表として表示した。また、浜山における深さは掘り取り対象木の地際幹中心を基準としている。

浜山における根系最大到達深はカシワで 125 ~ 224 cm、ケヤキで 50 ~ 220 cm、クロマツで 260 ~ 330 cm となっており、特にケヤキにおいて個体差が大きかった。最大到達幅においてはカシワで 35 ~ 160 cm、ケヤキで 250 ~ 850 cm、クロマツで 100 ~ 150 cm となっており、ケヤキの水平方向への根系の伸長が顕著であった。カシワ、ケヤキ、クロマツについて向浜と比較すると、浜山ではより広い範囲に根系が広がっていた。

掘り取り対象木周辺の立木密度と周辺の根系最大到達幅についてピアソンの積率相関係数を計算した結果、有意な相関関係は認められなかった ($r = -0.35, p = 0.25$)。

3.4 根系の三次元分布と固結層位置との関係

計測された三次元座標値および測定部位の直径をもとに、向浜における根系の三次元分布を作成し、固結層の初出の深さとともに示した (Fig. 3)。写真 (Photo. 1) と比較すると、根系の形状は類似しており、作成された三次元分布図は代表的な根系の分布を再現していると判断

Table3. 各掘り取り対象木根系の最大到達深と最大到達幅

調査地	樹種 + 番号	最大到達深 (cm)	最大到達幅 (cm)
向浜	カシワ M1	78	149
	カシワ M2	66	155
	ケヤキ M1	88	45
	ケヤキ M2	32	49
	ケヤキ M3	78	110
	シナノキ M1	51	193
	シナノキ M2	102	166
	クロマツ M1	61	54
クロマツ M2	85	83	
浜山	カシワ H1	125	35
	カシワ H2	224	160
	カシワ H3	128	150
	ケヤキ H1	220	250
	ケヤキ H2	150	350
	ケヤキ H3	50	850
	クロマツ H1	260	150
	クロマツ H2	330	100

クロマツ H1 の最大到達幅は掘り出すことができた根系の最大値。

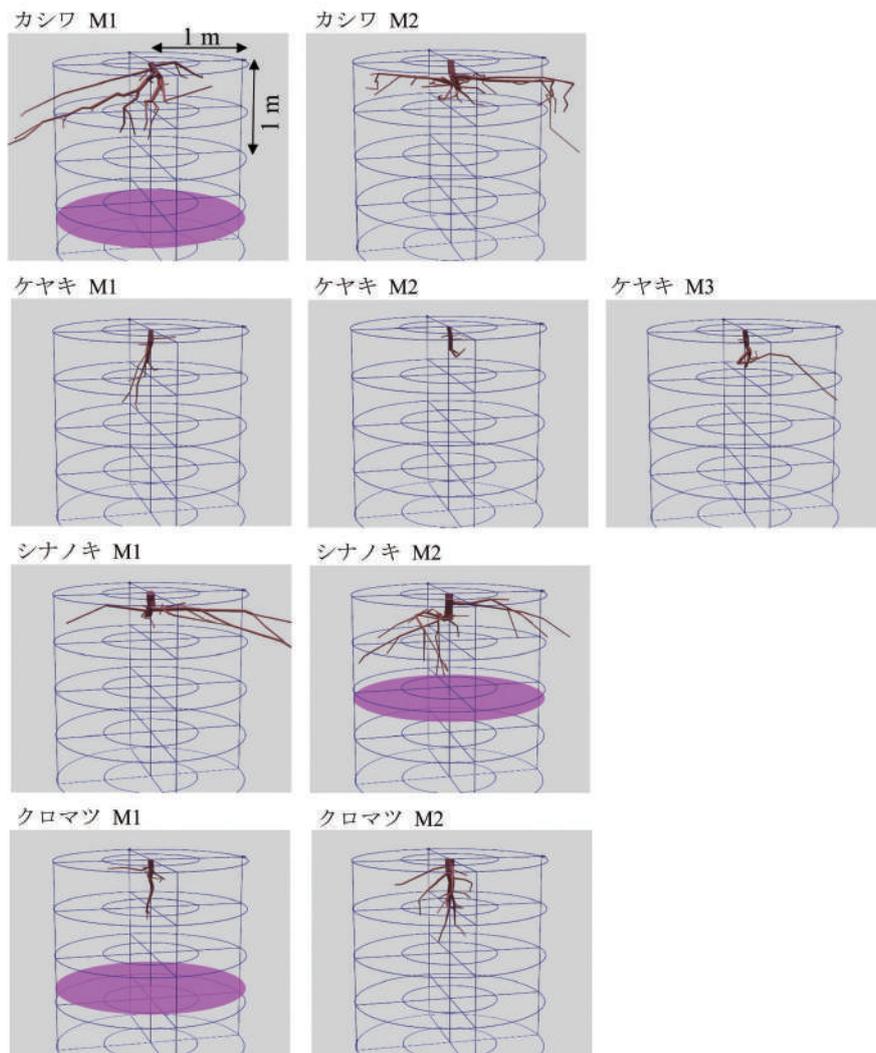


Fig. 3. 向浜における掘り取り対象木根系の三次元構造
 図中の着色面は固結層 (S 値 0.7 cm/drop 以下が 5 cm 以上) の初出の深さを示す。



Photo. 1 向浜における代表的な掘り取り対象木の根系

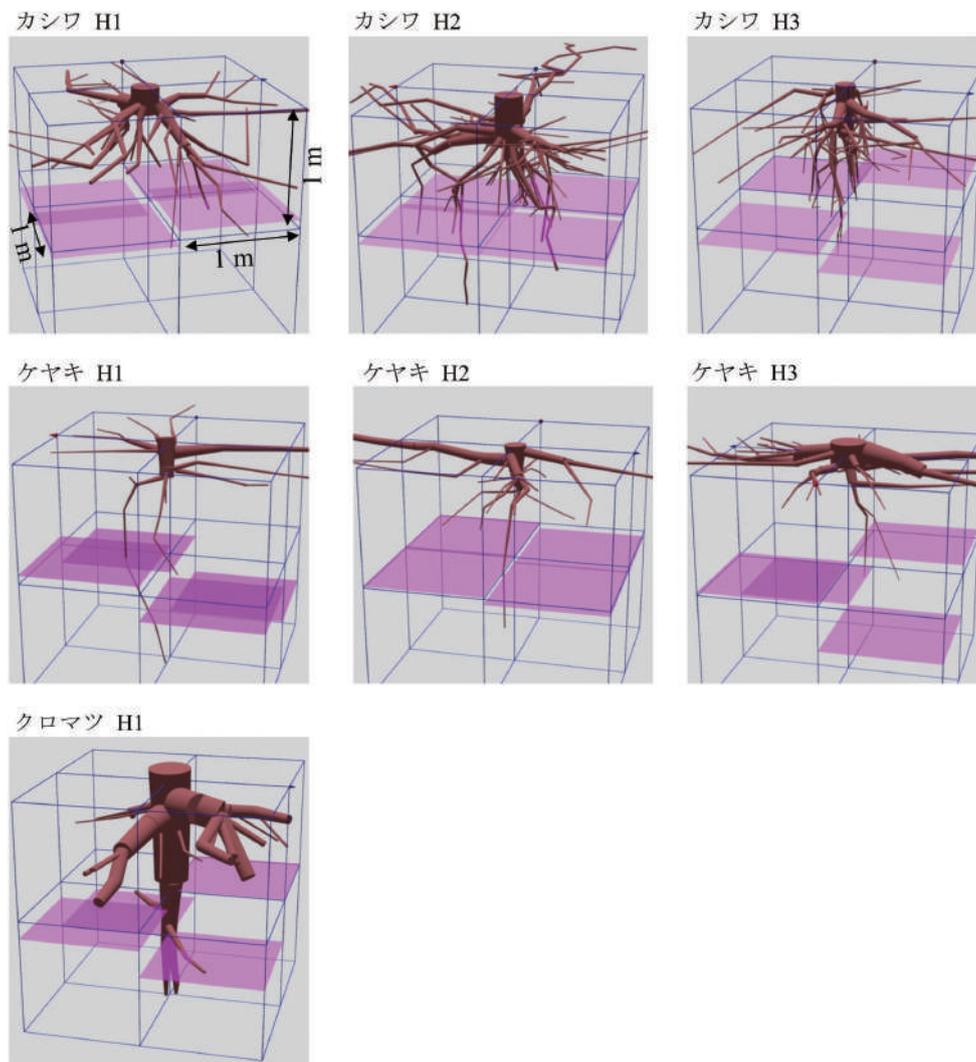


Fig. 4. 浜山における掘り取り対象木根系の三次元構造
 図中の着色面は固結層 (S 値 0.7 cm/drop 以下が 5 cm 以上) の初出の深さを示す。

された。いずれの掘り取り対象木も断面積で6割以上の根が斜距離50 cmの範囲に分布していた。カシワやシナノキでは、その範囲において多数の分岐が確認され、水平方向や斜め下方向へ伸長した根が複数確認された。一方、ケヤキやクロマツでは分岐が少なく、主根と思われる形状の根が鉛直方向へ伸長している様子が確認された。またケヤキ M2 や M3 の根系においては深さ約30 cm前後の付近で根系が急激に細り、屈曲していた。掘り取り対象木周辺の土壌の固結層は主たる根系の分布域に比較して深い位置で確認された。

同様に浜山における根系の三次元分布を作成し、4区画の固結層の初出の深さとともに示した (Fig. 4)。写真 (Photo. 2) と比較すると、作成された三次元分布図は、向浜同様おおむね根系の分布を再現していた。広葉樹2種の根系は、地際幹中心からの斜距離50 cmの範囲に断面積合計の6割以上、100 cmの範囲に8割以上が分布して

いたが、その分布構造は樹種により違いが見られた。カシワの根系は、3個体ともに地表付近で多数の分岐が確認され、水平方向だけでなく斜め下方へ伸長する根が多数確認された。一方ケヤキでは、3個体とも水平方向へ分布する根が多く、斜め下方へと伸長する根はほとんど見られなかった。またカシワに比較してケヤキの根の分岐は少なかった。カシワ・ケヤキともに垂直方向へは数本の細い根が固結層を超えた深さまで長く伸長していた。クロマツ H1 については明瞭な垂下根が確認され、固結層を超えて深さ300 cm近くに達していた。また分岐は少ないものの、垂下根の地表付近と深さ100 cm付近から水平方向へ太い根が発達していた。

3.5 距離別および高低角区分ごとの根の断面積合計

向浜における地際幹中心からの斜距離および高低角区分ごとの根の断面積合計の地際幹断面積に対する相対値



Photo. 2 浜山における代表的な掘り取り対象木の根系

を Fig. 5 に示す。カシワは2 個体ともに側方で距離 150 cm に到達した根系が観察され、直径 2 cm 以上の比較的太い根の割合が高かった。斜めについて、カシワ M1 は距離 100 cm へ到達した直径 2 cm 以上の根が確認できたものの、カシワ M2 では観察されなかった。距離 50 cm の範囲ではすべての高低角区分の根系が観察されたが、下方に比較して斜めや側方に区分される根の割合が高かった。ケヤキの根系はそのほとんどが距離 100 cm に到達しておらず、到達が確認されたわずかな根系も直径 2 cm 未満であり、相対的な根系断面積は向浜における根系サンプルの中で最も低かった。シナノキの根系は2 個体ともに側方の距離 150 cm に到達しており、特にシナノキ M1 では直径 2 cm 以上の根も確認された。一方で斜めや下方に伸長している根は側方に比較して少なかった。クロマツでは下方に伸長している根の割合が高く、クロマツ M1 では距離 50 cm まで、クロマツ M2 距離 100 cm まで分布していた。一方で側方や斜めへ伸長している根の割合は低く、直径 2 cm 未満の細い根のみが確認された。

浜山における地際幹中心からの斜距離および高低角区分ごとの根の断面積合計の地際幹断面積に対する相対値を Fig. 6 に示す。カシワについて、距離 150 cm まで到達した根は側方においては3 個体ともに確認され、カシワ H2 では直径 2 cm 以上の根が斜めや下方でも確認され

たが、主要な根は距離 50 cm の範囲に集中していた。距離 50 cm における高低角区分毎の割合は3 個体で異なり、カシワ H1 では斜めで、カシワ H2 では斜めや下方で、カシワ H3 では下方の割合が最も高かった。ケヤキについて、3 個体とも側方への根の伸長が顕著であり、距離 150 cm に到達した根も確認された。一方で斜めや下方に区分される根の割合はいずれの個体も低かった。クロマツは浜山の中で相対断面積合計が顕著に大きかった。下方においては距離 150 cm を超えて直径 5 cm 以上の根が確認され、側方に対して距離 100 cm に達していた。その一方で斜めに区分される根の割合は距離 50cm や 150 cm では側方と同程度であったが、100 cm ではほとんど確認されなかった。

4. 考察

4.1 山地森林における広葉樹の根系形態と本調査結果との比較

菊住 (1979) は様々な樹種を対象として根系の形態や分布を分類しており、本研究において対象としたクロマツ及び広葉樹数種についてもその観察事例を報告している (Fig. 7)。それによれば、クロマツは根系の形態が大径の垂下根型に分類され、「根株の下に長大な垂下根がある」、「太い水平根の基部からも垂下根が発達する」、「小・中径

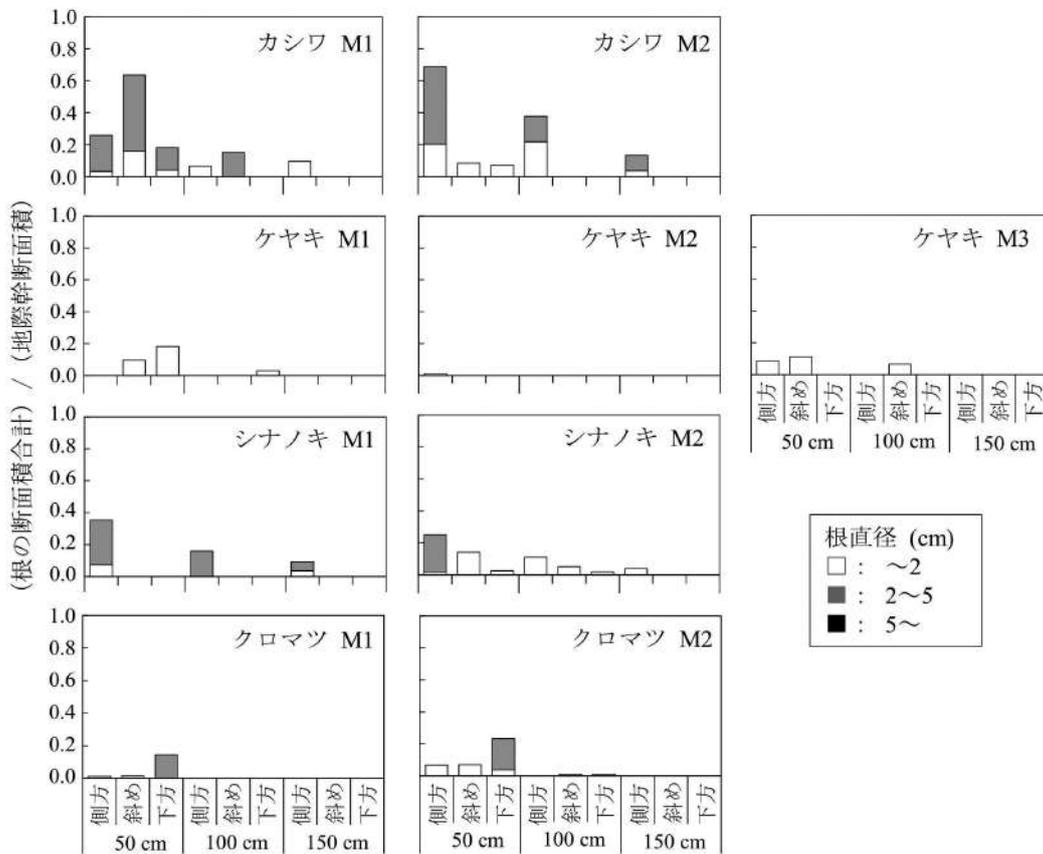


Fig. 5. 向浜における地際幹中心からの斜距離、高低角区分毎の根の断面積合計の相対値

根は表層部に集中分布する」といった特徴がその代表的なスケッチとともに記載されている。一方、海岸砂地で埋没し側根が枯死し、高い地下水で主根が腐朽したクロマツ根系の写真も掲載されており、クロマツの根系が地下水等の影響で分類とは異なる形態となることも示されている。カシワについては、中・大径の斜出根・垂下根型で、「太い斜出根と多数に分岐する小・中径根によって特徴付けられる」とされる。ケヤキは小・中径の水平根型で、「垂下根があるが発達が悪く、比較的浅い土壌層で多くの中径根に分岐し、これらの根が平板状に発達して根系を特徴付ける」とされている。シナノキは中・大径の斜出根・垂下根型に区分され、「中径根・大根が地表部を横走り、各所から垂下根を分岐して水平根を固定する」、「主根は多数の側根に分岐する」といった特徴が記載されている。クロマツについては2個体のスケッチや異なる土壌条件下での観察事例が記載されている一方で、カシワやシナノキにおいては1サンプルのスケッチしか記載されておらず、関東ロームや黒色土での観察事例に限定されている。またケヤキについても関東ロームや火山砂礫土壌における事例の記載のみで、海岸砂丘での事例はない。

秋田地方におけるミズナラを主林木とする広葉樹施業林の収穫予想表(日本林業技術協会 1990)に基づく広葉樹林の上層水平平均樹高は16年生で4.8~8.2 m、44年生で9.0~15.5 mである。これを本研究における2調査地と比較すると向浜は地位3等に大きく及ばず、浜山は地位3等相当かやや下回る生育状況であり、山地の広葉樹に比較して成長が悪いと判断された。これは2調査地が

砂質土で構成される未熟土であり、乾燥しやすく貧栄養であることが影響していると推察される。また向浜において、より樹高成長が抑制されているのは、浜山よりも汀線からの距離が近いこと、海側の海岸林帯の樹高が低く、林帯幅も狭いことで海風の影響を受けやすかったためであると考えられる。このように地上部が成長阻害を受けていることから、根系についても山地に生育する広葉樹とは異なる構造を示す可能性は十分に考えられる。

植栽された広葉樹の直径1 cm以上の根系について、最大到達深や最大到達幅について調査した結果、浜山のカシワ、ケヤキは向浜と比較して広い範囲に根系が到達している様子が観察された (Table. 3, Fig. 3 および Fig. 4)。2調査地の根系の分布範囲の違いは、林齢のほか、汀線からの距離や海側のクロマツ林帯幅、周辺の立木密度、土壌の水分や物理性といった条件が複合的に影響したと考えられる。また同一樹種でも個体差が大きく、数本だけ極端に伸長しているなどの多様な構造が観察された。

より複雑な根系構造の特徴等を評価するため、各掘り取り対象木の根系の三次元構造 (Fig. 3, 4) と距離別の相対断面積合計 (Fig. 5, 6) を作成し、苧住 (1979) の根系図 (Fig. 7) と比較した。向浜においては樹齢が低いいためか、樹種にかかわらず全体的な根系の量が苧住 (1979) に比較して少なかったものの、シナノキとクロマツについては分布形態の特長はスケッチとおおむね類似していた。すなわち、地際中心からの斜距離別の根の断面積合計の相対値 (Fig. 5) において、シナノキについては水平方向や斜め方向へ比較的太い根 (直径2~5 cm) が分布する

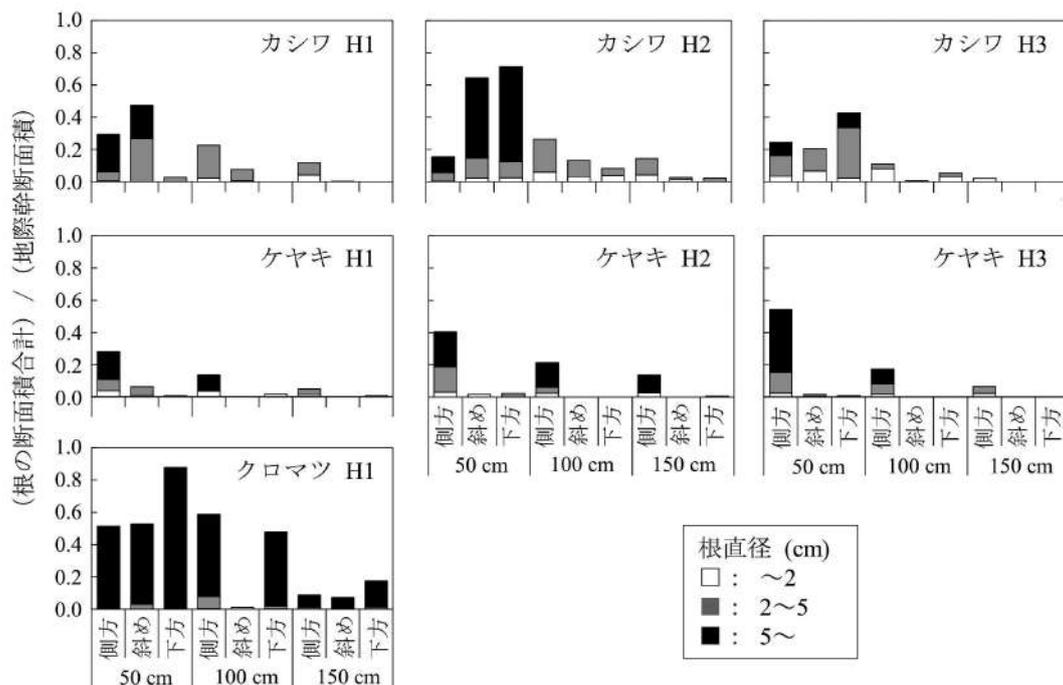


Fig. 6. 浜山における地際幹中心からの斜距離、高低角区分毎の根の断面積合計の相対値

という特長が、クロマツについては明瞭な垂下根があり、比較的分岐が少ないという特徴が一致していた。しかし、ケヤキについては水平根よりも斜めや下方へ分布する根の割合が高く (Fig. 3, 5)、根系図や小・中径の水平根型という形態区分とも類似しているとは言いがたかった。周辺の立木密度と最大到達幅の間には有意な相関は見られ

なかったが、特に向浜のシナノキ・ケヤキは調査区内に 7,300 本/ha が生存しており、対象木周辺の植栽木と競合していないということは考えづらい。小・中径の水平根型であるケヤキは、中・大径の斜出根・垂下根型であるシナノキよりも周辺の植栽木の影響を受けやすかったと推察される。カシワについてはその形態的特徴や距離別

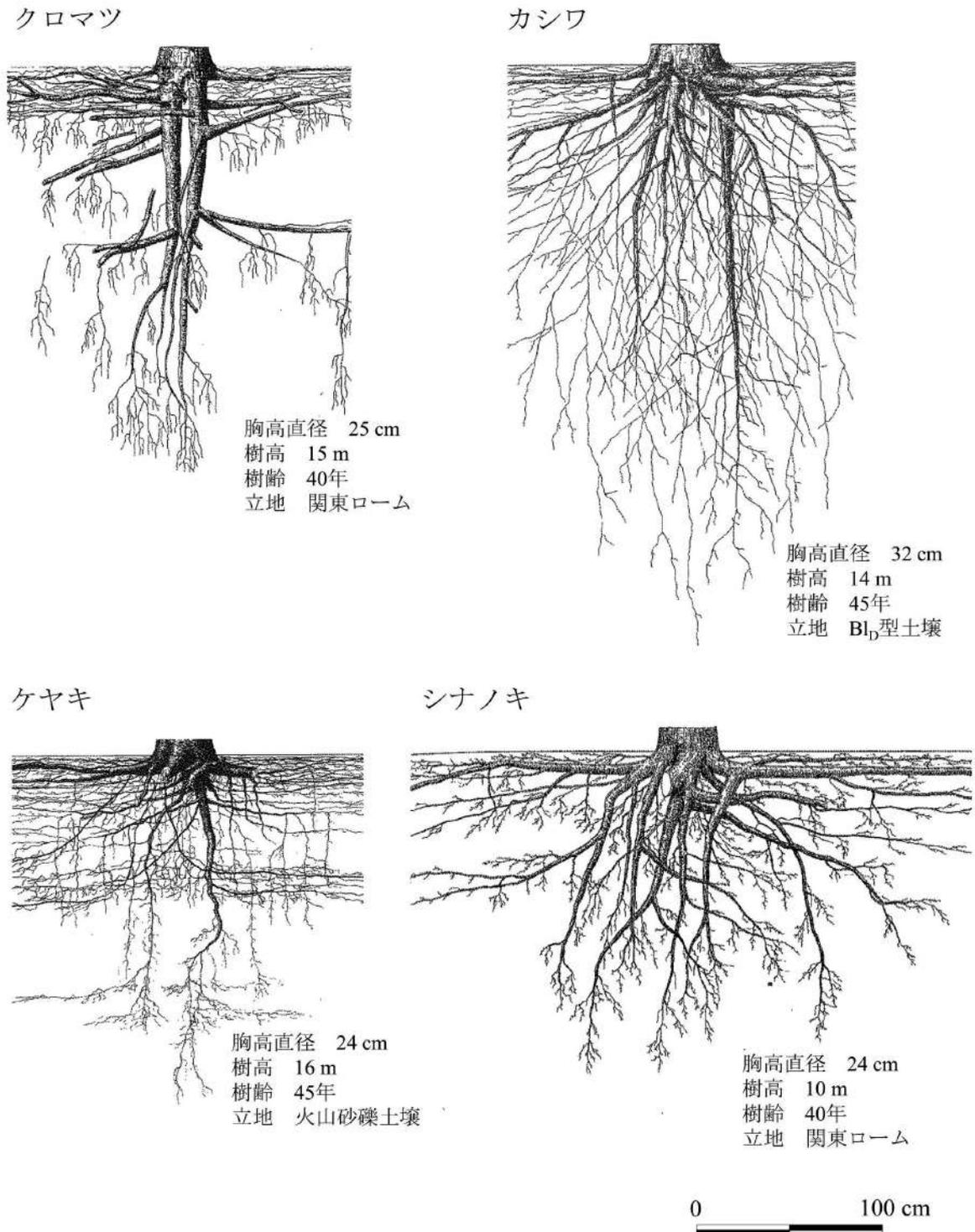


Fig. 7. 既存の研究におけるクロマツおよび広葉樹の根系図 (菊住 (1979) より抜粋)

の相対断面積合計で中・大径の斜出根・垂下根型という分布形態の表現に合致するのはカシワ M1 のみで、カシワ M2 については水平根型の分布形態を示した。カシワ M2 周辺における土壌硬度は深さ 150 cm 以降まで S 値 0.7 cm/drop 以下の固結層は確認されず、地下水が滞水した痕跡も確認できなかった。しかし根株の直下 50 cm ほどの深さに肥料袋や非分解性のプラスチックゴミが埋没していたことから、これらがカシワ M2 の垂下根の成長を阻害したものと推察された。

一方、浜山の根系について三次元構造 (Fig. 4) および距離別断面積合計 (Fig. 6) を根系図と比較した結果、向浜とは異なり、3 樹種ともに多くの形態的分布の共通点がみられた。すなわちカシワは側方に分布する水平根も多かったものの、太い斜出根と多数に分岐する小・中径根によって特徴付けられる (苧住 1979) という形態的特徴が一致していた。ケヤキは数本の根が下方へ伸長していたものの、断面積合計における根系の大半は側方に分布しており、小・中径の水平根型で、比較的浅い土壌層で多くの中径根に分岐し、これらの根が平板状に発達する (苧住 1979) とした記述によく対応していた。さらにクロマツについては極めて太い、明瞭な垂下根が確認され、大径の垂下根型というべき形態を呈していた。また、太い水平根の基部からも垂下根がでて深部に達する (苧住 1979) とされる記述と共通する特徴も観察された。これらの結果から、特に浜山の植栽広葉樹については山地と同様の根系形態および分布を示していると考えられた。

4.2 海岸砂丘地における土壌環境と根系形態の関係

根の成長には地下水 (長谷川ら 1984, 小田 2001) や植栽基盤の硬さ (長谷川ら 1984) が影響するとされる。2 調査地ともに掘削時に地下水の滲出といった現象は確認されず、土壌断面にグライ層のような滞水した痕跡も確認されなかった。このことから地下水水面は掘削深よりも深い位置にあると考えられ、高い地下水位による根の成長への影響は少なかつたものと推測される。また土壌貫入試験の結果、向浜においては主要な根系の分布する範囲に S 値 0.7 cm/drop 以下の固結層は確認されなかった。浜山においては深さ 1 m 前後の位置に固結層が出現していたが、すべての掘り取り対象木において固結層を突き抜けて根が伸長しており、固結層の出現による根系の発達阻害は観察されなかった。Ono and Imaya (2019) は宮城県仙台市の海岸域において、生育基盤盛土の土壌調査を実施しており、粘土やシルトが少ない盛土以前の海岸砂丘土壌層の透水係数が 369.4 mm/h であることを示している。日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) は透水性の判断基準として 100 mm/h で「良好」としていることから、砂丘土壌は極めて透水性が高いと考えられる。本研究における 2 調査地の土性について土壌調査ハンドブック (日本ペトロロジー学会 1997) に準じて触診にて判定した結果、土壌は粒径の細かい粘土やシルトが少ない一様

な砂質土であったことから、本研究における調査地も高い透水性を持っていると考えられる。つまり砂質土であれば S 値 0.7 以下の「固結」した土壌硬度でも孔隙が多く、滞水が発生しづらいために根の侵入には影響しない可能性がある。一方で、この透水性の高さは土壌の乾燥のしやすさとも考えることもできる。しかし、向浜のシナノキやカシワ 1 個体、浜山のカシワ、ケヤキにおいて山地と共通する特徴を持った根系構造が確認されたことから、根系の伸長に対して乾燥の影響は少なかつたと推察される。以上のことから、周辺に近接個体が多い、埋設物があるといった特異な条件がなく、地下水位の低い、一様な砂質土であれば、海岸砂丘地でも樹種特性に応じた根系の分布、形態を呈する可能性が示唆された。

4.3 広葉樹導入による高い津波耐性を有する海岸林造成の可能性

森林総合研究所東北支所 (2015) は数値シミュレーションに基づき、波力減殺効果を高めるために、クロマツの下層に広葉樹を仕立てて二段林化することを提案している。このことは海岸林への広葉樹導入についての積極的な動機付けとなる。しかし、このシミュレーションでは広葉樹の根返り耐性が考慮されていないため、実際に津波が襲来した際には広葉樹は根返り等を起こしてしまう可能性がある。この課題を解決するためには広葉樹の根返り耐性と根系構造との関係解析が不可欠である。根返り耐性について、特にクロマツにおいては地下水などの影響で垂下根型から水平根型の根系構造に変化すると根返り耐性が低下することが報告されており (Todo et al. 2019)、東日本太平洋沖地震津波におけるクロマツの被害形態からも垂下根の重要性が指摘されている (田村 2012, 林野庁 2013)。しかしこれは、広葉樹の根系についてはあてはまらない場合もある。野口ら (2014) は大径の垂下根型であるクロマツよりも水平根型のケヤキの根返り耐性が高いことを報告している。本研究の、特に浜山で観察されたように、ケヤキは水平根を長く広範囲に発達させていたことから、ケヤキは水平根によって高い根返り耐性を獲得している種であると考えられる。また野口ら (2014) は根返り耐性は樹種によって異なることを報告しており、これは体積あたりの樹木重量や根の構造等に樹種による差異があるためであると指摘している。つまり、広葉樹においては、クロマツのように垂下根型であれば根返り耐性が高いという単純な関係にはなっていないと推察される。本研究により、海岸砂丘における広葉樹の根系構造を山地と区分して改めて調査する必要性は低くなった。今後、同一個体に対する引き倒し試験と根系構造の調査事例の蓄積によって、根返り耐性と根系構造との関係について代表的な根系型だけでも明らかとなれば、苧住 (1979) を参考に、地下の根系を考慮したより高い津波耐性を持つ海岸林の造成が容易になるだろう。

5. おわりに

これまで根系の分布や構造等に関する調査方法は写真やスケッチが一般的な観察手法として用いられており、定量的な比較検討が難しい側面があった。しかしながら、本研究においては根を高低角毎に区分し、距離別の相対断面積を三次元座標とともに整理することで、異なるサイズのサンプルも定量的に比較することを可能にした。これは今後の樹木根系研究における統一的な調査手法の候補と考えられる。ただし本研究において調査した広葉樹種は3種であり、他の樹種においても同様の結果を示すかは不明である。今後、本研究で採用したような統一的な手法で砂丘環境における多様な広葉樹種の根系調査がなされる必要があろう。

一方、本研究において、固結層を突き抜けて根が伸長していた要因として、調査地が砂質土で構成されていたことを挙げた。しかし、土性と土壌硬度、根系の伸長については、これまで詳細な検討は行われておらず、さらなる知見の集積が必要である。これらの課題の解決を通して砂丘環境における広葉樹の根系分布と物理的耐性の関係解析、ひいては根返り耐性との関係解析が進展することを望む。

謝辞

本研究の遂行にあたり、数多くの方々からのご協力とご指摘を頂いた。特に猛暑の中、根系の掘削という重労働に協力していただいた共同研究者諸氏、ならびに作業をお手伝いいただいた森林総合研究所の荒井和徳氏、杉山正幸氏、秋田県林業研究研修センターの研究者諸氏及び長谷川聡氏、加利屋義広氏、大野幸氏には厚く感謝申し上げます。また本論文の執筆にあたり、2名の査読者の方からは非常に有意義なご指摘を頂いた。ここに記して感謝申し上げます。本研究は（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト（課題番号201701）による研究成果である。

引用文献

Coutts, M. P. (1983) Root architecture and tree stability. *Plant and Soil*, 71, 171-188.

土じょう部 (1976) 林野土壌の分類 (1975). 林試研報, 280, 1-28.

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として -. 造園雑誌, 48 (2), 104-122.

東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会 (2012) 今後の海岸防災林の再生について. 林野庁治山課, 22pp.

本田 詩織・林田 光祐 (2015) 三陸南部の津波浸水地における広葉樹6種のサイズと樹冠の浸水程度が個体の樹冠の衰退程度に及ぼす影響. 海岸林学会誌, 14

(1), 13-20.

Hirano, Y., Todo, C., Yamase, K., Tanikawa, T., Dannoura, M., Ohashi, M., Doi, R., Wada, R. and Ikeno, H. (2018) Quantification of the contrasting root systems of *Pinus thunbergii* in soils with different groundwater levels in a coastal forest in Japan. *Plant Soil*, 426, 327-337.

堀江 保夫 (1966) 植物の耐塩水性 (2) - 防潮林構成植物選定のための実験 -. 林試研報, 186, 113-133.

井上 美那・香口 成美・立石 麻紀子・谷口 武士・山本 福壽・山中 典和 (2015) 海水による土壌冠水が東日本太平洋沿岸域に分布する木本植物17種の生育に及ぼす影響. 日緑工誌, 41 (1), 73-78.

Inoue, S., Sakamoto, T., Hayashida, M., Kobayashi, N., Akojima, I., Ezaki, T., Okada, M. and Nakashima, Y. (2007) Tsunami Disaster in Solomon Islands in April, 2017. -Field survey on the damage reduction effect of coastal forest-. *Journal of the Japanese Society of Coastal Forest*, 7 (1), 1-6.

石川 政幸 (1992) 3. 防潮. 村井 宏・石川 政幸・遠藤 治郎・只木 良也編 “日本の海岸林”. ソフトサイエンス社, 284-300.

伊藤 聡 (2000) 山形県の海岸地帯に植栽した広葉樹の初期成長特性. 東北森林科学会誌, 5 (2), 105-109.

伊東 日向・吉崎 真司 (2013) 沿岸域に生育する常緑広葉樹を用いた塩水による生育実験. 日緑工誌, 39 (1), 117-120.

金子 智紀・田村 浩喜 (2007) 広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発. 秋田県森技研報, 17, 37-60.

苅住 昇 (1979) 樹木根系図説. 誠文堂新光社, 1121pp.

環境省大臣官房環境計画企画調査室 (2017) 平成29年度版環境統計集. 338pp.

木下 篤彦・坂井 佑介・大野 亮一・田畑 三郎・川島 正照・山崎 孝成 (2013) スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討. 砂防学会誌, 65 (5), 11-20.

国土地理院 (2020) 地理院地図 (電子国土 Web), <https://maps.gsi.go.jp/>, (参照 2020-06-25)

日本ペトロロジー学会 (1997) 土壌調査ハンドブック改訂版. 博友社, 169pp.

日本林業技術協会 (1990) 秋田地方育成天然林資源予測表作成報告書. 136pp.

日本造園学会緑化環境工学研究会 (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.

野口 宏典・鈴木 覚・南光 一樹・竹内 由香里・金子 智紀・新田 響平・渡部 公一・坂本 知己 (2014) 海岸砂丘地に植栽された広葉樹及びクロマツの倒伏抵抗特性の引き倒し試験による評価. 海岸林学会誌, 13 (2), 59-66.

野々田 稔郎・林 拙郎・川邊 洋・本多 潔・小藪

- 一志 (1996) 樹幹引き倒しによる根返りの発生機構. 日林誌, 78 (4), 390-397.
- 小田 隆則 (1987) 海岸クロマツ林への広葉樹導入試験 (I) - 現地植栽試験 8 年後の現況 -. 日林論, 98, 625-626.
- 小田 隆則 (2001) 海岸砂丘低湿地における植栽木根系の滞水反応と樹林帯造成法に関する研究. 千葉県森林研セ特研報, 3, 59-78.
- Okada, M., Sakamoto, T., Hayashida, M., Inoue, S., Yanagihara, A., Akejima, I. and Nakashima, Y. (2009) The damage caused by the 2004 Indian Ocean tsunami and the mitigating effects of the mangrove forest against the tsunami. -A case study of Medilla, southern Sri Lanka-. Journal of the Japanese Society of Coastal Forest, 7 (3), 7-13.
- 岡田 穰・野口 宏典・岡野 通明・坂本 知己 (2012) 平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波における家屋破損程度からみた海岸林の評価. 一宮城県石巻市長浜の事例一. 日本海岸林学会誌, 11 (2), 59-64.
- 岡田 穰・坂本 知己・後藤 義明・林田 光祐 (2014) 東日本大震災津波による屋敷林および社寺林の被害からみた広葉樹の耐塩水性の評価. 海岸林学会誌, 13 (1), 15-24.
- Ono, K. and Imaya, A. (2019) Soils on newly-constructed coastal berms for reforestation of coastal forests damaged by the 2011 Mega-Tsunami. Anthropogenic Soils in Japan, 59-85.
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 林野庁 (2013) 平成 24 年度森林・林業白書. 258pp. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo/190411.html> (参照 2020-06-25).
- Sakamoto, T., Inoue, S., Okada, M., Yanagihara, A., Harada, K., Hayashida, M. and Nakashima, Y. (2008) The collision mitigation function of coconut palm trees against marine debris transported by tsunami. -A case study of Tangalla on the southern Sri Lanka coast-. Journal of the Japanese Society of Coastal Forest, 7 (2), 1-6.
- 坂本 知己・新山 馨・中村 克典・小谷 英司・平井 敬三・齋藤 武史・木村 公樹・今 純一 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波における海岸林の漂流物捕捉効果. -青森県八戸市市川町の事例-. 日本海岸林学会誌, 11 (2), 65-70.
- 森林総合研究所東北支所 (2015) 津波被害軽減機能を考慮した海岸林造成の手引き. -海岸林を造成・管理する実務者のために-. 森林総合研究所第 3 期中期計画成果 24. 53pp.
- 高橋 啓二・堀江 保夫 (1965) 植物の耐塩水性 (1) - 防潮林構成植物選定のための実験 -. 林試研報, 183, 131-151.
- 田村 浩喜 (2012) 仙台平野の海岸林における根返り被害. 森林科学, 66, 3-6.
- Todo, C., Tokoro, C., Yamase, K., Tanikawa, T., Ohashi, M., Ikeno, H., Dannoura, M., Miyatani, K., Doi, R. and Hirano, Y. (2019) Stability of *Pinus thunbergii* between two contrasting stands at differing distances from the coastline. For. Ecol. Manage., 431, 44-53.
- 渡部 公一・海老名 寛・古川 和史・堀米 英明・大築 和彦・上野 満・宮下 智弘・坂本 知己 (2014) 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野の海岸林被害と地下水深度および立木サイズとの関係. 海岸林学会誌, 13 (1), 7-14.
- 吉崎 真司 (2011) 海岸林の機能と津波に対する樹木の応答について. 日緑工誌, 37 (2), 281-285.

Root distribution of *Pinus thunbergii* and some broadleaved planted trees in coastal sand dunes at Akita Prefecture

Kyohei NITTA^{1)*}, Hironori NOGUCHI²⁾, Takayuki OTA³⁾, Kenji ONO³⁾, Hiroaki HAGINO³⁾,
Kyotaro NOGUCHI³⁾, Tatsuya OHTANI⁴⁾, Yuichi UGAWA⁵⁾, Akane KOMORIYA⁶⁾,
Toko TANIKAWA⁷⁾, Yasuhiro HIRANO⁸⁾ and Satoru SUZUKI⁹⁾

Abstract

Currently there is limited information on the resilience of uprooted broadleaved trees after tsunami disasters in coastal forests. Therefore, studies must investigate the root distribution of broadleaved trees in coastal sand dunes. In this study, we measured the root morphology and three-dimensional distribution of *Pinus thunbergii* and several broadleaved tree species by excavation survey. The gathered data were then compared with previous root morphology studies at mountainous sites. Except for some excavated root samples, the roots of *P. thunbergii*, *Quercus dentata*, *Zelkova serrata*, and *Tilia japonica* generally showed similar morphology to mountainous tree roots as reported by Karizumi (1979). The roots of young *Q. dentata* and *Z. serrata* trees were concentrated in shallow soil layers (0–50 cm), probably due to a higher stand density with adjacent trees and buried plastic waste. We also hypothesized that root growth was not inhibited by groundwater and hard soil layers at coastal forests on sand dunes because no high groundwater layers in soil profiles were observed when root samples were excavated. At some excavation points, we observed hard soil pan layers, but roots had penetrated into these layers. Sandy soils exhibited considerable permeability due to their porous nature and were not tightened. These observations suggested that the root distribution of broadleaved trees in coastal sand dunes with low groundwater levels, sandy soils, no higher stand density with adjacent tree, and no buried objects were similar to the root distribution of broadleaved trees in mountainous sites.

Key words : root, broadleaved tree, coastal forest, resistant to tsunami

Received 24 August 2020, Accepted 15 March 2021

1) Akita Forestry Research and Training Center

2) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

3) Tohoku Research Center, FFPRI

4) Shikoku Research Center, FFPRI

5) Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center

6) Chiba Prefectural Chubu Forestry Administrative Office

7) Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

8) Graduate School of Environment Studies, Nagoya University

9) Center for Forest Damage and Risk management, FFPRI

* Akita Forestry Research and Training Center, 47-2 Idojiridai, Kawabe-Toshima, Akita, Akita, 019-2611 JAPAN;

E-mail: Nitta-Kyouhei@pref.akita.lg.jp

論文 (Original article)

海岸林の生育基盤盛土に植栽されたクロマツと広葉樹の根系発達 —千葉県山武市小松と富津市富津における調査結果の検討—

宇川 裕一^{1)*}、小森谷 あかね²⁾、太田 敬之³⁾、小野 賢二³⁾、萩野 裕章³⁾、
新田 響平⁴⁾、野口 宏典⁵⁾

要旨

千葉県の九十九里浜と富津岬の海岸林においては、標高が低く地下水位が高いため低湿地が多く、海岸林の主要な樹種であるクロマツが過湿害を受けないよう、約30年前から盛土によって地盤を嵩上げし、根系が発達できる生育基盤を確保した上で造林を行ってきた。しかし、盛土造成時に重機による転圧を受け、土壌硬度が高くなり、植栽木の根系が深くまで発達しない事例もみられる。またマツ材線虫病対策の一つとして、広葉樹林化も検討されている。本稿では、盛土を伴う海岸林に導入可能な樹種を明らかにするため、小松と富津の海岸林に設定した調査地において、盛土の土壌硬度と根系発達の間接関係を調査した。その結果、深さ80 cm付近に地下水位が見られた富津では、クロマツとタブノキの根の鉛直方向への発達は、固結した土壌層と地下水位によって阻害されているように見えた。地下水位が確認できなかった小松では、深さ30 cm付近に固結した土壌層が見られたが、この層を通過する直径1 cm未満の細かい根が、樹種によらず多く見られた。これらの結果から、海側林縁からある程度の距離がある海岸林内陸部の適度な軟らかさの盛土を伴う生育基盤においては、クロマツと同様に、タブノキをはじめとした広葉樹も導入できる可能性があることが示唆された。

キーワード：海岸林、低湿地、生育基盤盛土、広葉樹、根系発達、地下水位、土壌硬度

1. はじめに

千葉県は三方を海に囲まれ、1,467 haの海岸林が造成されている。このうち、1996年までの調査(千葉県1997)によると、標高が低く、地下水位が高い低湿地が235 haあり、その殆どは九十九里浜と富津岬の海岸林に見られる。低湿地に植栽され過湿害を受けたクロマツ(*Pinus thunbergii*)は、数年から数十年かけて集団的に衰退、枯死する(小田2001)。千葉県では、1990年頃から低湿地対策として、クロマツの根系が地下水の影響を受けまいよう、土壌層を厚くし、クロマツの生存のための垂直深を確保するため盛土を用いた工法が実施されてきた。しかし、盛土造成時に重機による転圧を受け、土壌硬度が高くなった盛土においては、植栽されたクロマツの根系が深くまで発達していない事例(野原・高橋2007)も報告されている。青森県から千葉県の広範囲の海岸林では、2011年3月の東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、大きな被害を受けたが、海岸林の機能の一つである津波エネルギーの減衰や漂流物の捕捉等による一定の減災効果を発揮したことが報告されている(東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会2012)。渡部ら(2014)は津波による海岸林の樹木の根返り被害は根が浅い箇所

で多くみられたことを明らかにしており、海岸林の樹木の津波への物理的耐性を高くするためには、根系を土層深部まで発達させることが有効だと考えられる。このため、東日本大震災で被災した海岸林の再生の際に、地下水面が高く、根の土層深部への発達が見込めない場所では、根の発達が見込める土壌を厚くするために、盛土による嵩上げが行われる事例が多い。しかし、前述の通り、造成時の重機による転圧で盛土の土壌は硬くなりやすく、硬い盛土に植栽された樹木の根系が深くまで発達するか懸念されている。また、千葉県の海岸林ではマツ材線虫病による被害が2008年頃から急激に増加した(千葉県2019)。マツ材線虫病対策の一つとして、クロマツ以外の樹種が生育可能な地域では、薬剤防除や伐倒防除が不要となる樹種が検討され、主に広葉樹の導入が検討されている。しかし、海岸林に導入する樹種について、土壌硬度と根系発達の関係に基づき検討された事例は限られていることから、高い津波耐性を有する海岸林の造成に適した樹種を明らかにする必要がある。

本研究では、盛土を伴う海岸林に導入可能な樹種を明らかにするため、低湿地対策として盛土により生育基盤を造成した植栽から約30年後のクロマツ、タブノキ

原稿受付：令和2年8月17日 原稿受理：令和3年6月24日

1) 千葉県農林総合研究センター森林研究所

2) 千葉県中部林業事務所

3) 森林総合研究所 東北支所

4) 秋田県林業研究研修センター

5) 森林総合研究所 森林防災研究領域

* 千葉県農林総合研究センター森林研究所 〒289-1223 千葉県山武市埴谷 1887-1

(*Machilus thunbergii*) と、植栽から 10 年後のクロマツ、ウバメガシ (*Quercus phillyraeoides*)、ヤマモモ (*Morella rubra*)、トベラ (*Pittosporum tobira*) を対象として、土壌硬度と根系発達に関する調査を行い、その関係について検討した。

2. 調査地と研究方法

2.1. 調査地

房総半島の西側に位置し、東京湾に細長く突き出た富津岬 (富津市富津地内) の海岸県有保安林 (以下、富津) (Fig. 1) と房総半島の東側に位置する九十九里浜中央部の千葉県山武市小松の海岸県有保安林 (以下、小松) (Fig. 1) に調査地を設定し、本研究の調査を行った。

富津の調査地 (北緯 35° 18' 89", 東経 139° 47' 59") は林帯幅約 200 m の海岸林の中央部に位置する植栽地で、林帯前縁部からの距離は約 70 m、汀線からの距離は約 100 m、標高は約 1.1 m である。林帯前縁部の海側には木製防風柵が築設されているが、30 年以上前に施工されたと推察され、調査時には腐朽が進んでいた。この調査地の海側はクロマツ林であるが疎林化が進行している。調査地付近の海岸林はクロマツ林であったが、過湿害により枯損や倒伏が進行したため、1990 年に盛土による生育基盤の嵩上げを約 2,300 m² の面積に対して行い、高さ約 1 m の静砂垣で 8 m × 4 m の長方形の区画に区分し、それぞれの区画内にクロマツとタブノキ、ヤブニッケイ (*Cinnamomum yabunikkei*)、アカメガシワ (*Mallotus japonicus*)、マサキ (*Euonymus japonicus*)、アキグミ (*Elaeagnus umbellata*)、イタチハギ (*Amorpha fruticosa*) の広葉樹を混植し、再造林を行った。植栽木の樹種構成は 50% をクロマツ、残りの 50% を広葉樹とされ、植栽間隔は 1 m (ha 当たり 10,000 本) とされた。なお、富津での本研究の調査は 2018 ~ 2019 年に実施し、調査時に

は、植栽された広葉樹のうちアキグミ以外の樹種については、生育が確認された。この調査地では他の樹種に比べて樹高や胸高直径が大きかったクロマツとタブノキを対象樹種として、それぞれ 2 個体ずつを調査の対象とした (Table 1, Fig. 2)。調査地付近は低湿地対策としての盛土工法の初期造成地であり、盛土による生育基盤の嵩上げ高は、地下水位から約 1 m であった (千葉県 1990)。嵩上げ高の根拠についての詳細は不明だが、造成が行われた前年の富津岬の海岸林の 30 年生のクロマツ林の調査 (斉藤・高浦 1989) から、比較的良好な地上部の成長が見られる林分の地盤高と地下水位の差が 1 m 程度であり、このことが嵩上げ高設定の根拠となっているものと考えられる。富津の調査地付近の盛土の材料の調達先は不明であるが、粒径は比較的粗く、海砂に近い土性を示した (小野ら 2021)。後述のように、もう一方の調査地である小松では盛土を整備した際の重機の踏圧の影響が土壌断面調査から見られたのに対し、富津でも重機を用いて盛土の整備が行われたものと考えられるが、重機踏圧の影響は土壌断面調査からは観察されなかった。

小松の調査地 (北緯 35° 34' 33", 東経 140° 29' 29") は林帯幅約 200 m の海岸林の中央部に位置する植栽地で、林帯前縁部からの距離は約 100 m、汀線からの距離は約 250 m、標高は約 1.6 m である。林帯前縁部の海側には標高約 5 m の砂丘がある。この海岸林はクロマツ林であったが、マツ材線虫病による被害と過湿害により枯損や倒伏が進行した。2008 年に盛土による生育基盤の嵩上げを約 13,000 m² の面積に対して行い、高さ約 1 m の静砂垣で 12 m の方形の区画に区分し、それぞれの区画内にクロマツとウバメガシ、ヤマモモ、トベラの広葉樹を混植し、再造林を行った。植栽木の樹種構成は 50% をクロマツ、残りの 50% を広葉樹とされ、植栽間隔は 1.2 m (ha 当たり約 7,000 本) とされた。小松では 2017 年に調査を実施し

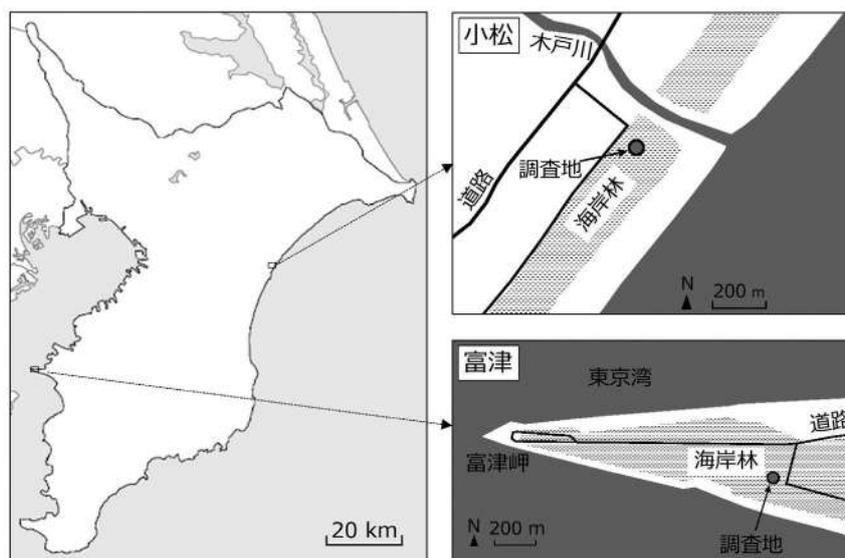


Fig. 1. 調査地位置図

た。調査時には、小松では植栽木同士が被圧しあう状況になく、樹高はどの樹種も2~3 m程度であった。植栽された各樹種、クロマツ、ウバメガシ、ヤマモモ、トベラを調査対象とし、クロマツとヤマモモは3個体、ウバメガシは4個体、トベラは1個体を対象とした (Table 2)。対象木以外の樹木のサイズは測定していないが、調査地の中で特に大きいものや、特に小さいものではないものを対象木として選定した。盛土による生育基盤の嵩上げ高は、地下水位から1.8 mであった (千葉県 2007)。盛土を行う前には地下水位は地表面から概ね0.6 m下に存在しており、地下水位から1.8 mの土壌層を確保するために、地表面から概ね1.2 mの厚さの盛土が整備された。なお、盛土厚が前述した富津と異なるのは、目標林齢に応じた盛土厚の算定方法が考案され (小田 2000)、当該地においては目標林齢を50年生とし、盛土の圧縮沈下量等も考慮し盛土厚を1.8 mとしたためである (野原・高橋 2007)。この調査地の盛土の材料は近隣地域の山腹治山工事から発生した建設発生土である。また、土壌断面調査により、深さ50 cm付近に機械的外力により形成されたと考えら

れる板状の圧密が確認された (小野ら 2021)。これは盛土を整備する際の重機による踏圧により締め固められた影響だと考えられる。調査地の海側はかつてクロマツ壮齢林であったが、マツ材線虫病による被害と2011年3月の東北地方太平洋沖地震の津波被害により、疎林化が進行した。

2.2. 研究方法

2.2.1 地上部の生育状況調査

富津では調査対象木とした選定したクロマツ2個体、タブノキ2個体の合計4個体及びそこから半径5 m以内の樹木の樹高と胸高直径と位置を測定した。小松では調査対象木として選定した、クロマツ3個体、ウバメガシ4個体、ヤマモモ3個体、トベラ1個体の合計11個体の樹高と胸高直径を測定した。地上部の調査は、富津では2018年12月に実施、小松では2017年12月に実施した。

2.2.2. 土壌硬度調査

盛土の土壌硬度の鉛直分布を把握するため、SH型貫入

Table1. 富津の調査対象木の地上部の生育状況

樹種	No.	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		形状比	
		各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均
タブノキ	1	22.5	19.6	6.4	6.3	28.4	32.8
タブノキ	2	16.7		6.2		37.1	
クロマツ	1	15.8	19.2	8.3	8.4	52.5	44.8
クロマツ	2	22.6		8.4		37.2	

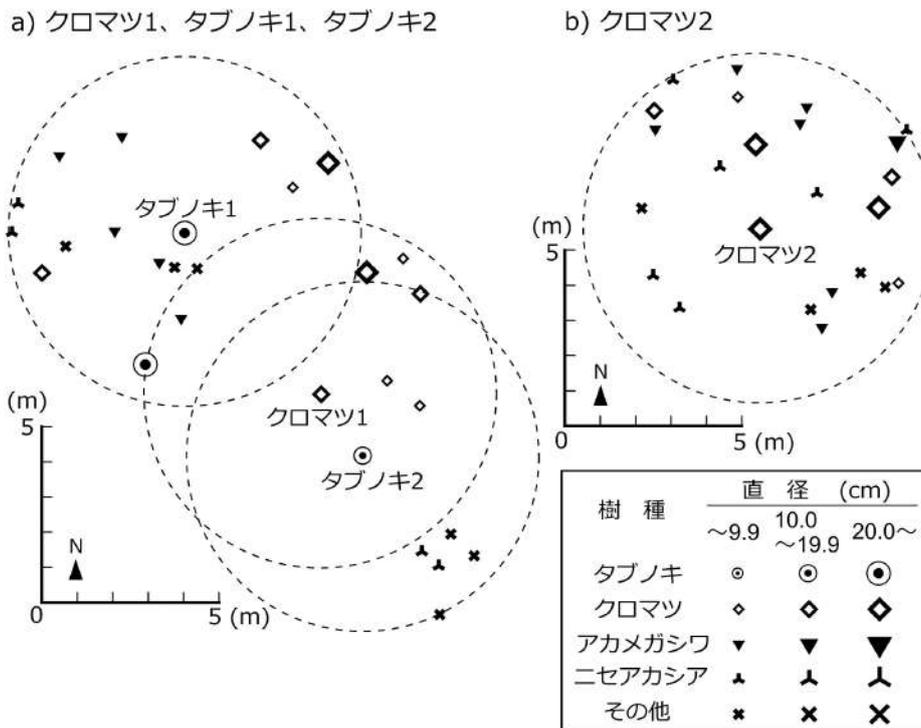


Fig. 2. 富津の対象木周辺の樹木の分布

試験機（ダイトウテクノグリーン株式会社）を用いて、3 kg の重錘を 50 cm の高さから自由落下させ 1 打撃ごとの貫入深さである軟らか度（S 値：cm / drop）を記録する土壌貫入試験を根系調査対象木周辺で実施した。なお、生育基盤の適性評価のための判断基準として、日本造園学会緑化環境工学研究委員会（2000）は、S 値 0.7 以下の土層は「多くの根が侵入困難」な「固結」としている。これは、長谷川式土壌貫入計による測定値に基づく基準であるが、表土層調査技術研究会（2015）により、SH 型貫入試験機と長谷川式土壌貫入計の測定値はほぼ同じ値となることが認められている。富津では対象木の地際の幹中心を原点とし、原点を中心とする一辺 2 m の正方形の 4 つの頂点において、小松では地際の幹の近くの 1 点において測定を行った。測定は、深さ 2 m、もしくは S 値 0.5 以下の層が現れる深さまで実施した。土壌硬度調査は、富津では 2018 年 12 月に実施、小松では 2017 年 12 月に実施した。

2.2.3. 根系調査

根系の調査は、富津では 2019 年 7 月及び 9 月に実施、小松では 2017 年 12 月に実施した。対象木の根系の発達状況を把握するため、機械（バックホウとエアスコップ）と人力（剣先スコップ等）により、対象木に向かって周囲から掘り進め、根系がある程度露出した段階で、根の主要な分岐点や屈曲点、及び、幹中心からの水平距離が 50 cm、100 cm、150 cm となる箇所、深さ 50 cm となる箇所で、直径が 1 cm 以上である根を対象として、地際での幹中心からの方位、水平距離、深さ、根の直径を測定した。それぞれの測定箇所の方位、水平距離、深さの測定値から、地際での幹中心を原点とした三次元座標を計算した。なお、富津のクロマツ及びタブノキについては、根系の水平方向への広がりが大きかったため、直径が 1 cm 以上であっても幹からの水平距離が 150 cm を超えた根は測定対象外とした。

根系の分布について、樹種及び個体間で根系発達の違いを比較するため、地際での幹中心からの斜距離 50 cm ごと（50 cm、100 cm、150 cm）となる箇所の根の断面積を、根の三次元座標と直径の測定値から計算し、サイズの異なる対象木で比較するため、地際の幹の断面積に対する比を計算した。斜距離 50 cm ごとの箇所の座標と直径は、該当箇所の両隣の測定箇所の値から、測定間の根は直線だと仮定し、直径は直線的に変化するものとして推定し、斜距離 50 cm ごとの根の断面積を計算した。さらに、側方に伸びる根が多いのか、下方へ伸びる根が多いのかを検討するために、地際での幹中心から斜距離 50 cm ごとの箇所への高低角を用いて、 -90° から -60° を「下方」、 -60° から -30° を「斜め」、 -30° から 0° を「側方」と区分した（Fig. 3）。また、直径についても、1～2 cm、2～5 cm、5 cm 以上に区分した。

2.2.4. 地下水位

調査対象木の根系調査の際に、地下水面が確認できた場合には、地表面と地下水面の間の鉛直方向の距離を地下水位として測定した。なお、野口ら（2014）や渡部ら（2014）によって、海岸地域の地下水位は潮位変動と降水量の影響を受けて数 10 cm の変動をすることが示されており、地下水位を測定する際にはその変動を測定することが望ましい。しかし、本研究では研究資源等の都合から、根系調査時のみの測定とした。

3. 結果と考察

3.1. 地上部の生育状況

富津及び小松の調査対象木の胸高直径、樹高、形状比の樹種別平均値を Table 1 及び Table 2 に示す。九十九里浜のクロマツ林の地位については、林齢 30 年の林分平均樹高で 7.2 ± 1.3m、林齢 10 年の林分平均樹高で 2.0 ± 0.5m と報告されている（小田 1975）。また、九十九里浜の白子海岸における盛土施工地に植栽した 10 年後のクロマツ（以下、白子のクロマツ林）の平均樹高が 3.7 m 程度と報告されている（野原・高橋 2007）。富津における植栽から約 30 年後のクロマツの平均樹高は 8 m 程度であり、小田（1975）による林齢 30 年の林分平均樹高と比較して高い地位にあると言える。小松における植栽 10 年後のクロマツの平均樹高は 3 m 程度であった。小松のクロマツの樹高は、白子のクロマツ林と比較するとやや低いが、小田（1975）による林齢 10 年の林分平均樹高と比較すると高かった。形状比については、富津、小松のクロマツの平均値はともに 45 程度であり、白子のクロマツ林の平均値が 65 程度（野原・高橋 2007）と比較して低かった。既往の研究によれば、林分形状比が 60 あるいは 70 以上の林分は風害を受けやすいとされており（村井ら 1992）、富津、小松ともに風害を受けやすいものと考えられた。

広葉樹の地上部の生育状況については、調査地及び周辺における広葉樹のデータはないため比較して評価できないが、富津においては、タブノキの平均樹高は 6 m 程度であり、平均樹高が 8 m 程度であったクロマツよりやや低いものの、胸高直径の平均値は同程度、形状比の平

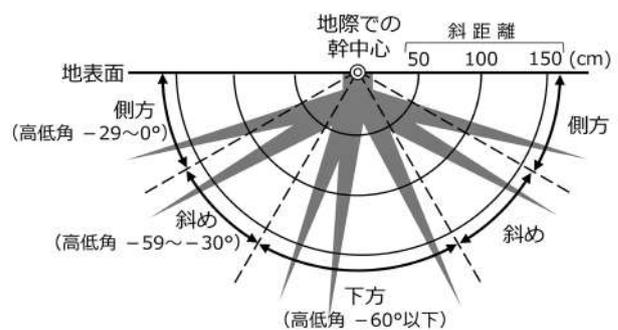


Fig. 3. 高低角による根の区分

均値は 30 程度であった。小松については、平均樹高は亜高木及び高木種のウバメガシ及びヤマモモで 2.9 m、低木種のトベラで 2.3 m であり、3 m 程度であったクロマツと同程度であった。平均胸高直径はウバメガシで 2.7 cm、ヤマモモで 2.6 cm、トベラ 3.0 cm で、7.0 cm であったクロマツと比べてかなり小さかった。形状比はウバメガシ及びヤマモモで平均 113 程度、トベラで 76 程度で、45 程度であったクロマツに比べて大きかった。

富津の根系調査対象木は、クロマツ、タブノキともに周辺の他の樹種よりサイズが大きく、周辺の樹木による被圧は受けていなかった (Fig. 2)。小松の根系調査対象木は、いずれの樹種も樹高が 2 ~ 3 m 程度であり、周囲の

樹木に被圧されている状況になかった。

3.2. 土壌硬度

土壌硬度の鉛直分布の解析では、それぞれの測定箇所での S 値 0.7 以下の硬さの層が出現した最も浅い深さに注目した。

富津において、S 値 0.7 以下の層が出現した最も浅い深さは、タブノキ 1 は 150 cm 付近、タブノキ 2 は 30 cm から 50 cm 付近、クロマツ 1 は 30 cm から 100 cm 付近、クロマツ 2 は 30 cm 及び 100 cm 付近であった (Fig. 4)。S 値 0.7 が出現した最も浅い深さには場所によってばらつきがあり、50 cm よりも浅かった箇所があった一方で、150 cm

Table2. 小松の調査対象木の地上部の生育状況

樹種	No.	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		形状比	
		各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均
クロマツ	1	7.6	7.0	3.4	3.1	44.7	45.5
クロマツ	2	4.0		2.1		52.5	
クロマツ	3	9.4		3.7		39.4	
ウバメガシ	1*	2.5	2.7	3.1	2.9	124.0	113.6
ウバメガシ	2*	2.0		2.8		140.0	
ウバメガシ	3	2.8		2.7		96.4	
ウバメガシ	4	3.3		3.1		93.9	
ヤマモモ	1	2.4	2.6	2.8	2.9	116.7	113.1
ヤマモモ	2	2.1		2.7		128.6	
ヤマモモ	3	3.3		3.1		93.9	
トベラ	1	3.0	3.0	2.3	2.3	76.7	76.7

*：根元から幹が二又に分かれており、胸高直径は太いものを表記した。

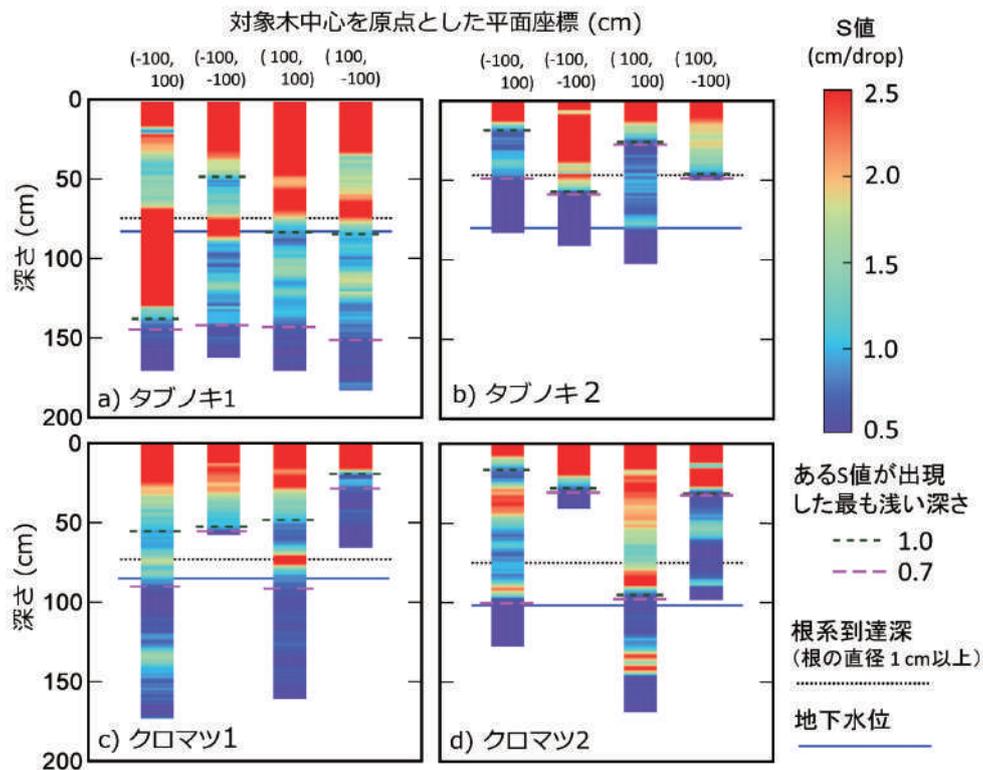


Fig. 4. 富津の調査対象木周辺の土壌硬度の鉛直分布

より深かった箇所もあった。

小松での S 値 0.7 以下の層が出現する最も浅い深さは、ウバメガシ 4、ヤマモモ 3、トベラ 1 は概ね 50 cm 程度で、他の対象木は概ね 30 cm 付近であった (Fig. 5)。いずれの箇所も S 値 0.7 以下の層が出現した深さで深においてその硬さが連続していた。

3.3. 根系の分布

3.3.1. 富津の根系

富津では、いずれの対象木においても根の掘り出し時の土壌の掘削によって、地下水位が確認できた。

タブノキは、S 値 0.7 以下が出現した深さ 150 cm 程度に比べて地下水位が深さ 83 cm と浅かったタブノキ 1 では地下水位の直ぐ上の深さ 75 cm まで根が到達した (Fig. 6a)。これに対し、地下水位 80 cm に比べて S 値 0.7 以下が出現した深さが 50 cm 程度と浅いタブノキ 2 では S 値 0.7 以下が出現した深さに近い深さ 47 cm までしか根は到達していなかった (Fig. 6b)。これらから、タブノキの根の深さ方向への発達には、地下水位と S 値 0.7 以下の層の両方から制限され、どちらかが現れる深さのうち浅い方の深さ付近までとなっていたものと考えられる。タブノキの根は水平方向への根の発達が旺盛で (Photo 1, Fig. 6)、斜距離 50 cm ほどの根の断面積を 30° ほどの高低角で区分すると、いずれの斜距離においても地表に近い方向である「側方」とした区分の値が最も大きかった (Fig. 7a, b)。

クロマツでは、クロマツ 1 において、S 値 0.7 以下が出現した深さは 30 ~ 100 cm 程度、地下水位は深さ 85 cm、根が到達した深さは 73 cm であった (Fig. 6c)。クロマツ 2 では、S 値 0.7 以下が出現した深さは 30 ~ 100 cm 程度、地下水位は深さ 102 cm、根が到達した深さは 75 cm であった (Fig. 6d)。クロマツ 1 とクロマツ 2 ではともに、それぞれの対象木周囲の 4 点の測定箇所の間での S 値 0.7 以

下が出現した深さは 30 ~ 100 cm の間となり、ばらつきが見られたのに対し、地下水位はクロマツ 1 では深さ 85 cm、クロマツ 2 では深さ 102 cm であり、根が到達した深さはともに 70 cm 程度であった。S 値 0.7 以下が出現した深さと地下水位の差は小さく、クロマツの根の発達が硬さと地下水位のどちらに阻害されているのか判断はつかないが、少なくとも地下水位より深くには根が伸びていなかった。クロマツはタブノキに比べると水平方向への根の発達が旺盛でなく (Photo 1, Fig. 6)、高低角で区分した斜距離ごとの根の断面積は、斜距離 50 cm では「側方」よりも下方に向かう「斜め」の値が最も大きかった (Fig. 7c, d)。

菊住 (2010) は根の垂直分布を、大部分の根系分布が表層土層にある「浅根型」、根系分布が堅密で深くに及ぶ「深根型」、浅根型と深根型の中間の型で根系分布が中庸の深さに及ぶ「中間型」の 3 つに分類し、タブノキは中間型、

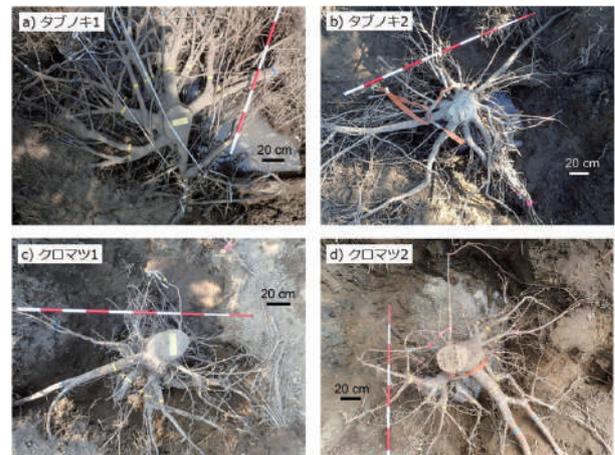


Photo. 1 露出させた富津の調査対象木の根

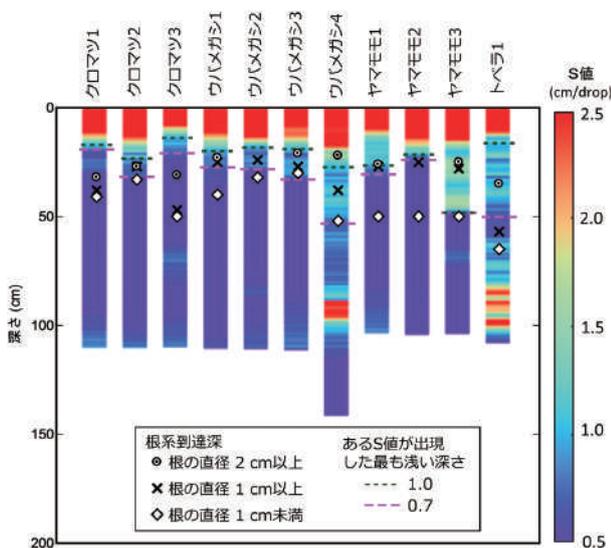


Fig. 5. 小松の調査対象木周辺の土壌硬度の鉛直分布

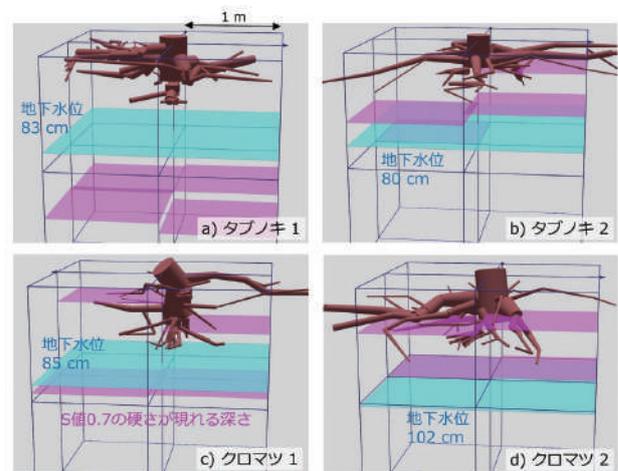


Fig. 6. 富津の根系の三次元構造と S 値 0.7 が現れる深さの関係

隣り合う根の計測点での直径と三次元座標から、隣り合う計測点間を円錐台で表現することとし、POV-Ray で描画した。

クロマツは深根型に分類されている。富津のタブノキとクロマツの垂直分布の目安として斜距離 50 cm での根の断面積を比較すると、タブノキは「側方」の値が大きく、クロマツは「斜め」の値が大きかった。地下水位の存在によって「下方」の値が小さくなった可能性が高いが、クロマツよりもタブノキの方が浅い範囲に根が多く分布する傾向が見られ、この傾向はタブノキよりもクロマツの方が根が深く発達するという苧住 (2010) の分類に合致するものだと考えられた。タブノキは、岩手県以南の海岸林に分布し、当該地以北の九十九里浜の内部においても、植生遷移の観点から目標林型を構成する高木林の主要な樹種とされている (小平 2010)。本研究の結果から、硬い層へ根を発達させる能力は、硬い層のばらつきもあり、タブノキとクロマツの優劣は明確にはならなかった。また、どちらの樹種も地下水位より深くへは根を発達させていなかった。根系の分布に関しては、クロマツに比べてタブノキの方が浅い層に集中する傾向がみられたが、斜距離 50 cm での根の断面積の合計はタブノキの方がやや大きめであった。これらのことから、海岸林の前線部を除いた内陸側の固結していない適度な軟らかさを持つ土層が存在し、地下水位まで 80 cm 程度の深さを確保された盛土においては、タブノキを導入することは可能と考えられた。

3.3.2. 小松の根系

小松では、根を掘り出していく際に根の分布範囲から 10 cm 以上深くまで掘削したが地下水位は確認されなかった。

クロマツでは、深さ 20 ~ 30 cm で S 値 0.7 以下の硬さが出現したのに対し、3 個体の内の 2 個体においてこの深さよりも直径 2 cm 以上の根が深くまで到達していた。ウバメガシでは、S 値 0.7 以下が出現した深さは 3 個体で

30 cm 付近で残り 1 個体で 50 cm であったのに対し、それぞれの個体の直径 1 cm 以上の根が到達した深さは S 値 1.0 以下が出現した深さより深く、S 値 0.7 以下が出現した深さより浅かった。直径 1 cm 未満の根は S 値 0.7 が出現した深さより深くまで到達したのもあった。ヤマモモでは、S 値 0.7 以下が出現した深さは 30 ~ 50 cm 付近であったのに対し、この深さよりも直径 1 cm 以上の根到達した深さは浅く、1 cm 未満の根が到達した深さは深かった。1 個体のみを対象としたトベラでは、深さ 50 cm 付近で S 値 0.7 以下が出現したのに対し、この深さよりも直径 1 cm 以上の根が到達した深さは深かった。

小松ではいずれの対象樹種の根も、深さ方向よりも水平方向への発達が旺盛であった (Photo 2, Fig. 8)。斜距離 50 cm での根の断面積の高低角ごとの区分では、「側方」、「斜め」の値が大きく、「下方」はクロマツの 1 個体で見られたのみであった (Fig. 9)。小松での対象樹種の根の垂直分布は、苧住 (2010) によると、クロマツは深根型、ウバメガシとヤマモモは中間型、トベラは浅根型に分類される。本研究の小松での調査結果によると、クロマツも深さへの発達は水平方向に比べると旺盛ではなかったが、他の樹種の深さ方向への発達はクロマツよりもさらに旺盛でなかった。これは、深さ 50 cm 程度までに S 値 0.7 以下の硬さが出現するようなやや厳しい環境においても、

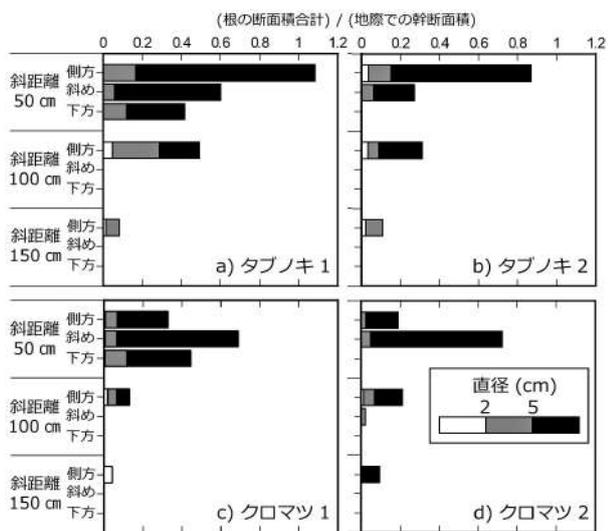


Fig. 7. 富津の斜距離、高低角ごとの根の断面積合計

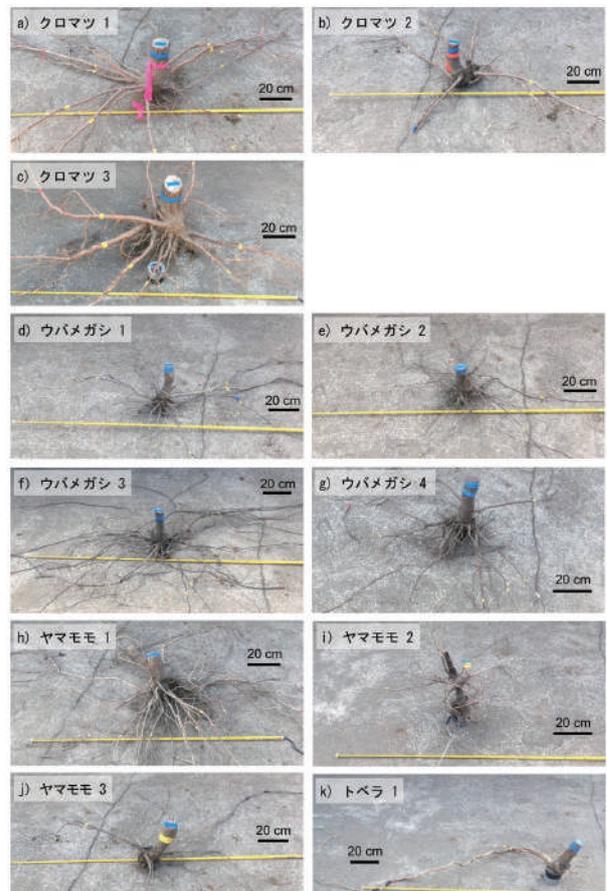


Photo. 2 露出させた小松の調査対象木の根

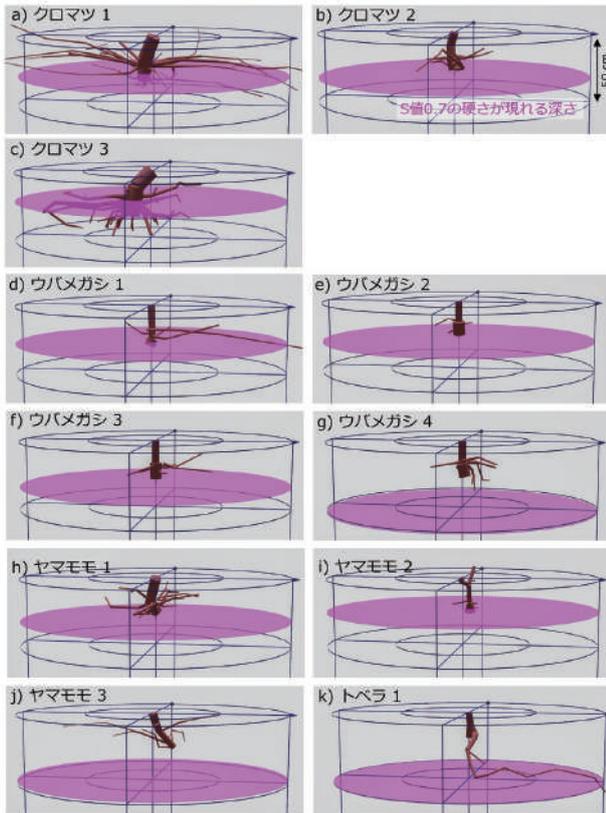


Fig. 8. 小松の根系の三次元構造とS値0.7が現れる深さの関係
Fig. 6と同様の方法で描画した。

各樹種の根の垂直分布の特性が反映されたものと考えられる。

小松での調査結果から、各樹種の硬い層での根を発達させる能力を比較すると、根が到達した深さと硬い層が出現する深さの関係には樹種間の差が明瞭ではなかったが、根の量(断面積)や形状はクロマツが他の樹種よりも発達させる能力が高いことがわかった。ヤマモモ、ウバメガシは房総半島以南、トベラは宮城県以南に分布する樹種であり、海岸林内陸部の盛土においては、根はクロマツよりも旺盛ではないがそれぞれの樹種で幹から50 cmの水平距離において根が見られる等の一定の発達をしていた。これらの樹種は盛土の硬さに留意が必要であるが導入が見込める樹種であると考えられた。

4. おわりに

本研究では、根系発達の観点から盛土を伴う海岸林に導入可能な広葉樹の樹種を明らかにするため、低湿地対策として盛土により生育基盤を造成し、再造林した地域において、2つの調査地を選定し、土壌硬度と根系発達の関係を調査した。富津の調査地では、植栽30年後のクロマツ、タブノキ、小松の調査地では、植栽10年後のクロマツ、ウバメガシ、ヤマモモ、トベラを対象に調査を行った。

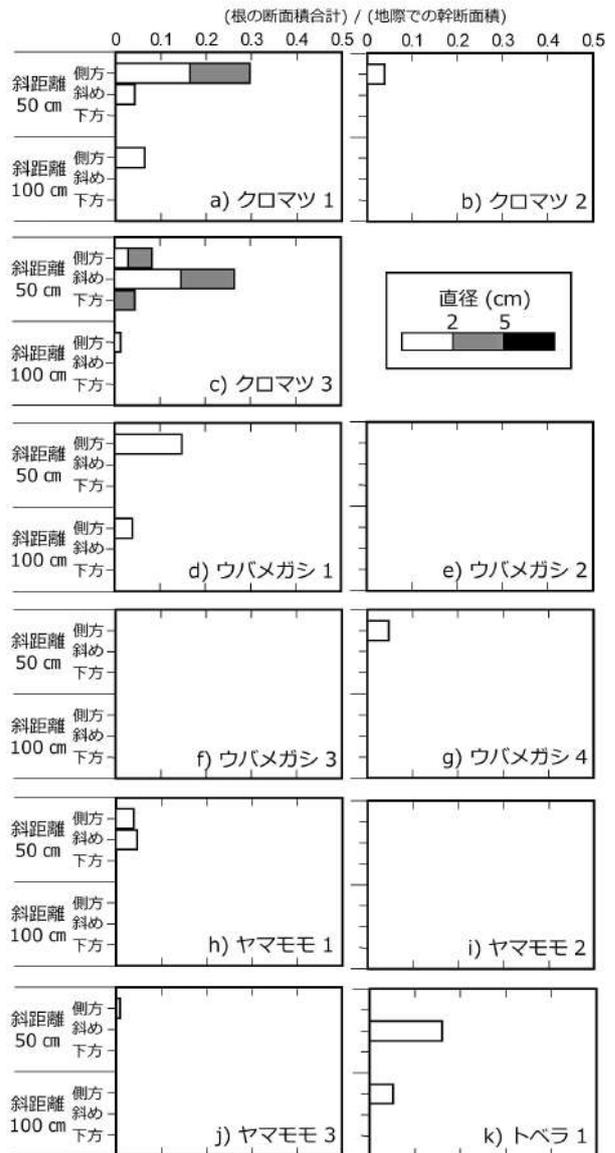


Fig. 9. 小松の斜距離、高低角ごとの根の断面積合計

調査の結果、盛土により地下水位から1 m程度嵩上げされた富津の調査地では、クロマツの根系の鉛直方向の発達は地下水位に制約されたものと考えられた。一方、タブノキの根系の鉛直方向の発達は、地下水位または固結した土壌層のいずれか浅い方の存在に制約を受けていたと考えられた。根の発達の方向は、タブノキはクロマツと比較して、鉛直方向よりも水平方向に旺盛であった。

盛土により地下水位から1.8 m程度嵩上げされた小松の調査地では、土壌硬度調査から深さ30 cm付近にS値0.7以下の層があったが、この層に対して直径2 cm以上の根については、クロマツは到達する傾向があった。一方、ウバメガシ、ヤマモモ、トベラは、到達しにくいとみられた。直径1 cm未満の根については、樹種によらず、浅い深さの固結した層を通過する個体が多く見られ、S値0.7の層が深い箇所では、垂直分布で中間型のヤマモモ、ウ

バメガシ、浅根型のトベラがクロマツに比べて鉛直方向へより深くまで到達したのが見られた。

これらの結果から、海岸林内陸部の適度な軟らかさの盛土を伴う生育基盤においては、クロマツと同様にタブノキをはじめとした広葉樹も導入できる可能性があることが示唆された。

謝辞

本研究は、(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所運営交付金プロジェクト(課題番号 201701)による研究成果である。

本研究の調査にあたり、千葉県中部林業事務所、同北部林業事務所の関係者に多大な協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

引用文献

- 千葉県(1990) 治山台帳. 千葉県中部林業事務所.
 千葉県(2007) 治山台帳. 千葉県北部林業事務所.
 千葉県(1997) 海岸保安林管理基本計画. 千葉県農林部林務課, 330pp.
 千葉県(2019) 平成30年度千葉県森林・林業統計書. 千葉県農林水産部森林課, 191pp.
 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012) 今後の海岸防災林の再生について. 林野庁治山課, 22pp.
 表土層調査技術研究会(2015) SH型貫入試験(表層構造調査用簡易貫入試験)技術・調査基準同解説8.
 苧住 昇(2010) 最新樹木根系図説. 誠文堂新光社, 2060pp.
 小平 哲夫(2010) 千葉県九十九里浜におけるマツ材線虫病により枯れが進んだクロマツ海岸防災林の目標林型の検討. 関東森林研究, 61, 223-226.
 村井 宏・石川 政幸・遠藤 治郎・只木 良也(1992) 日本の海岸林—多面的な環境機能とその活用—. ソ

フトサイエンス社, 513pp.

- 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.
 野口 正二・新山 馨・田村 浩喜・田中 三郎・久保田 多余子・安田 幸生(2014) 宮城県宮城野区海岸林における地下水位の変動. 日本森林学会誌, 96, 150-154.
 野原 咲枝・高橋 孝之(2007) 海岸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.
 小田 隆則(1975) 海岸砂防林の間伐に関する試験(Ⅱ)—間伐試験区の設定—. 千葉県林業試験場報告, 9, 45-50.
 小田 隆則(2000) 砂丘海岸林の低湿地におけるクロマツ根系の分布特性からみた必要盛土厚. 日本砂丘学会誌, 47, 102-110.
 小田 隆則(2001) 九十九里浜クロマツ林における集団枯損の立地要因. 日本砂丘学会誌, 48, 7-16.
 小野 賢二・野口 宏典・村上 尚徳・新井 隆介・宇川 裕一・小森谷 あかね・新田 響平・福山 文子・齋藤 直彦・吉田 俊通・橘 隆一・川東 正幸・木田 仁廣・渡辺 名月・萩野 裕章・野口 享太郎・篠宮 佳樹・今矢 明宏(2021) 東日本および東北地方の海岸防災林・海浜公園の生育基盤として整備された造成土壌の特徴. 森林総合研究所研究報告, 20, 205-262.
 齊藤 一廣・高浦 祐之(1989) 海岸防災林の低湿地における盛土厚. 治山研論, 241-244.
 渡部 公一・海老名 寛・古川 和史・堀米 英明・大築 和彦・上野 満・宮下 智弘・坂本 知己(2014) 2011年東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野の海岸林被害と地下水深度及び立木サイズとの関係. 海岸林学会誌, 13, 7-14.

**Root system developments of *Pinus thunbergii* and
broadleaf trees planted on anthropogenic growth bases with
embankment in coastal forests
-A case study in Komatsu, Sanmu City and Futtsu, Futtsu City,
Chiba Prefecture, Japan-**

Yuichi UGAWA^{1)*}, Akane KOMORIYA²⁾, Takayuki OTA³⁾, Kenji ONO³⁾, Hiroaki HAGINO³⁾,
Kyohei NITTA⁴⁾ and Hironori NOGUCHI⁵⁾

Abstract

There are many low-lying lands with back swamps near the coastal areas of Kujukurihama and Cape Futtsu in Chiba Prefecture, Japan. Since the 1990's, before afforestation of these areas occurred, growth bases with embankments were constructed to prevent planted tree roots from rotting due to waterlogged soil conditions. It was often observed, however, that the consolidated soil layers of growth bases built with heavy machinery suffered from obstructions to the deep development of their tree roots. In order to identify tree species whose roots can develop deep into the anthropogenic soil of these growth bases, we investigated the relationship between soil hardness and root development of *Pinus thunbergii*, which is the major tree species in the coastal forests of Japan, and some broadleaf tree species, which have the possibility to take on the role of *P. thunbergii* in case the species' pine wilt disease spreads, at 2 sites of coastal forests (Futtsu and Komatsu site) in Chiba Prefecture. At the Futtsu site where ground water levels were about 0.8 m in depth, consolidated soil layers and groundwater levels seemed to behave as barriers against the vertical root developments of *P. thunbergii* and *Machilus thunbergii*. At the Komatsu sites where ground water level could not be observed, the consolidated soil pans were observed in shallow areas (about 30 cm deep) of the growth bases. Irrespective of species, many thin roots (< 1.0 cm in diameter) of the planted trees were observed to develop to the deep layer under the consolidated pans. The findings of this study suggest that some broadleaf species, including *M. thunbergii*, could be introduced to the moderately softened, anthropogenic soils of the growth bases with embankment in inland coastal forests, as well as *P. thunbergii*.

Key words : coastal forest, low-lying lands with back swamps, embankment, broadleaf trees, root system development, groundwater level, soil hardness

Received 17 August 2020, Accepted 24 June 2021

1) Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center

2) Chiba Prefecture Chubu Forestry Administrative Office

3) Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

4) Akita Forestry Research and Training Center

5) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute

* Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, 1887-1 Haniya, Sanmu, Chiba, 289-1223 JAPAN

論文 (Original article)

海岸防災林造成を目的として植栽された広葉樹と クロマツの土壌特性に基づく成長と根系発達

太田 敬之^{1)*}、新田 響平²⁾、宇川 裕一³⁾、小野 賢二¹⁾、萩野 裕章¹⁾、谷川 東子⁴⁾、
大谷 達也⁵⁾、平野 恭弘⁶⁾、小森谷 あかね⁷⁾、野口 宏典⁸⁾

要旨

海岸に植栽された広葉樹には防風、防砂の他に津波被害の軽減の効果も期待され、太くて深い根系を持つ樹種によって構成されることが望ましい。手を加えられていない海岸砂丘と低湿地対策や津波後の海岸再生のために盛土、締め固めをした海岸では土壌の硬さが異なり、根系、地上部の成長への影響が予想されるため、植栽木の成長と土壌特性を比較した。秋田県では海岸砂丘に落葉広葉樹(カシワ、ケヤキなど)を植栽した2か所(浜山、向浜)、千葉県では盛土の上に常緑広葉樹(タブノキ、ウバメガシなど)を植栽した2か所(富津、小松)で調査を行った。すべての調査地でクロマツが植栽されている。胸高直径、樹高、土壌の硬さを測定し、樹種ごとに2~4本ずつ、根の掘り取りを行った。直径1cm以上の根の側方、下方の長さの測定を行い、固結層と根の深さを比較した。広葉樹の植栽木でクロマツの樹高を上回るものは見られず、胸高直径で富津のタブノキだけがクロマツを上回った。植栽後43年の浜山ではクロマツの直根が深さ1mの固結層より深くまで達し、カシワ、ケヤキでも一部の根の侵入が見られた。向浜では土壌は柔らかかったが、貧栄養や強風の影響で地上部の成長は悪かった。植栽後10年の小松では深さ30cmの固結層で、富津では固結層や帯水層で根の成長が止まっていた。海岸林の根の成長には土壌の硬さだけでなく、樹種特性や硬さ以外の土壌特性も影響していることが推察された。

キーワード：海岸砂丘、固結層、帯水層、盛土

1. はじめに

東日本大震災では津波により青森県から千葉県に至る本州太平洋側の海岸林が大きな被害を受け、クロマツ(*Pinus thunbergii*)を中心とした林分がほとんど消失してしまった地域も多く見られた。一方で海岸林が漁船などの大きな漂流物をせき止めたり(坂本ら2012)、津波の勢いを弱めたりした(佐藤ら2012)など、後背の住宅地、農地などへの津波の被害を軽減した事例も報告されている。従来、海岸林造成の目的は主に防砂、防風といった点が重視されてきたが、津波被害の軽減という観点からも海岸林の役割が近年注目され始めている(今井ら2009、吉崎2011、赤澤ら2012)。

海岸林では近年もう一つの問題として、クロマツの枯れ被害が指摘されている(吉田2006、吉崎2011)。そのため、クロマツの単純林から広葉樹を混交した海岸林の造成が各地で行われたり(金子2005、森林総合研究所多摩森林科学園2014)、自然に侵入してきた広葉樹を育成することが行われたりしている(中島・吉崎2016、2018)。

海岸への植栽に適した広葉樹種の選定も行われ、塩害に強いカシワ(*Quercus dentata*) (清水2005)や、千葉県の海岸林の内陸側には生態的に安定したタブノキ(*Machilus thunbergii*) (小平2010)の優位性が報告されている。広葉樹の海岸林導入に当たり、これらの樹種にもクロマツ同様の津波に対する減災機能の付与が期待されることとなるが、そのためには津波に耐えうる根系の発達が必要になると考えられる。

海岸林で植栽を行う際に、低湿地対策として植栽木が根を張らせるために盛土が行われてきた(小田2000、小田2001、野原・高橋2007、寺嶋2012)。東日本大震災で失われた海岸林を再生する際にも根系をより深く張らせるために、盛土を造成した上に植栽を行うことが多い(坂本2015)。基盤整備時に重機による締め固めが行われ、硬化した盛土に植栽された苗木は透水性の悪さも加わって成長が阻害されることが懸念される(村上2015)。締め固めをされた盛土上では土壌を再度深耕するなどの作業を行うことで成長が改善する事例も報告され(小野ら

原稿受付：令和2年8月12日 原稿受理：令和3年4月2日

1) 森林総合研究所 東北支所

2) 秋田県林業研究研修センター

3) 千葉県農林水産業研究センター森林研究所

4) 名古屋大学大学院生命農学研究科

5) 森林総合研究所 四国支所

6) 名古屋大学大学院環境学研究所

7) 千葉県中部林業事務所

8) 森林総合研究所 森林防災研究領域

* 森林総合研究所 東北支所 〒020-0123 盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25

2016)、根の発達と土壌の硬さには相関があるとされる(長谷川ら 1984) が、海岸林を構成する広葉樹について、根系発達を様々な土壌条件下で異なる樹種で比較した事例はほとんど見られない。

筆者らは海岸に植栽された広葉樹の根張りのサイズ、分布範囲などを明らかにすることを目的に調査を行った。海岸林に導入されてきた広葉樹種を対象として、それらの根系掘り取り、根の深さ、太さ、広がっている範囲などを直接観察することによって樹種ごとの根系の構造特性を把握した。また土壌硬度測定を行って土壌特性との関連を解析した。さらに各調査地で広葉樹と同年に植栽されたクロマツの根系と特性を比較した。千葉県においては盛土に植栽された常緑広葉樹について宇川ら(2021)が、秋田県では海岸砂丘に植栽された壮齢の落葉広葉樹について新田ら(2021)が報告している。樹木の根が土壌から引き抜かれる際の引き抜き抵抗力は根の直径(大谷ら 2019)、木の地際直径(阿部 1991, 山瀬ら 2015)との相関があり、太い根や幹の発達が津波に対する減災機能を発揮するのに重要であることと推察される。本報告では両者の結果を踏まえて、海岸林に植栽されたケヤキ、カシワ、タブノキなど広葉樹7種の根系発達について、クロマツとの違いや土壌硬度の影響を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地と調査方法

調査地は千葉県山武市小松海岸(以下、小松)、千葉県富津市富津海岸(以下、富津)、秋田県秋田市向浜海岸(以下、向浜)、秋田県潟上市浜山試験地(以下、浜山)の4箇所である。各調査地の諸元を Table 1 に示す。

小松と富津はクロマツと常緑広葉樹が主に植栽されており(富津では落葉広葉樹のアカメガシワも植栽)、小松は調査時10年生、富津は30年生であった。小松では地下水位から1.8mほどの高さまで盛土を行っており、土を30cmほど盛るごとに転圧をしたところに植栽が行われた。富津はもともと地下水位が高く、クロマツ林が過湿害により枯損が進行したところに約1mの盛土をして植栽を行った(宇川ら 2021)。

向浜は調査時林齢16年、浜山は林齢43年で秋田県内では最も古い海岸広葉樹植栽林とされており、いずれも締め固めや盛土の行われていない海岸砂丘である(新田ら 2021)。

向浜のように密植されているところでは10m四方、浜山のように成木が広範囲に分布しているところでは約3haの範囲内の植栽木の胸高直径、樹高の測定を行い、樹種ごとにそれらの平均を求めた。これらの測定を行ったものを以降「植栽木」と記載する。

根系の発達を調査するために植栽木の中から樹種別に数本ずつ選定し、それらを伐採し、根を掘り起こした。これらを「掘り取り木」とする。掘り取り木の周囲の土壌硬度は、SH式型貫入試験機(ダイトウテクノグリーン株式会社)を用いて、3kgの重錘を50cmの高さから自由落下させた1打撃ごとの貫入量(土壌に入っていく深さ)の鉛直分布を測定した。この測定で得られる1打撃ごとの貫入量は軟らか度S値と称される。日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000)により、S値が0.7以下は「多くの根が侵入困難」とされている。本研究ではS値が0.7以下となる厚さが5cm以上続いた層を「固結層」と呼ぶこととし、硬い土壌の指標とした。なお、掘り取り木については根系を掘り取る際に土質も観察することができたが、礫が見られることはほとんどなく、すべての調査地点において砂質の土層が深いところまで続いていた。

掘り取り木は地上部、地下部とも重量(乾燥重量)の測定を行った。根の掘り取りはサイズの小さい向浜、小松では人力で、サイズの大きな浜山、富津ではバックホウや圧縮空気による掘削機を用いて行い、根の深さ、側方への根の長さの測定を行った。掘り取り木は向浜ではケヤキ(*Zelkova serrata*)3本、カシワ2本、シナノキ(*Tilia japonica*)2本、クロマツ2本、浜山ではケヤキ3本、カシワ3本、クロマツ2本、小松ではウバメガシ(*Quercus phillyraeoides*)4本、ヤマモモ(*Morella rubra*)3本、トベラ(*Pittosporum tobira*)1本、クロマツ3本、富津ではタブノキ2本、クロマツ2本である。富津においてはクロマツは地下部の重量は30~40kg、地上部の重量は

Table1. 各調査地の植栽樹種と植栽年、最大樹高

	調査地			
	浜山 (秋田県)	富津 (千葉県)	向浜 (秋田県)	小松 (千葉県)
植栽年	1975年	1990年	2003年	2007年
広葉樹の植栽樹種	カシワ ケヤキ ミズナラ	タブノキ	カシワ ケヤキ シナノキ	ウバメガシ ヤマモモ トベラ
広葉樹の最大樹高 (樹種)	11.8m (ケヤキ)	10.4m (タブノキ)	5.0m (シナノキ)	3.1m (ウバメガシ)
クロマツの最大樹高	13.7m	8.4m	3.0m	3.7m
汀線までの距離	500m	100m	200m	250m

100 kg 前後となり、タブノキは地上部 150 kg、地下部 80 kg を越える個体がみられた。掘り取り木の根系の太さ別の根の分布などの詳細は宇川ら (2021)、新田ら (2021) を参照されたい。

向浜、小松では根の先端まで掘り取ることができたものもあったが、浜山、富津の大きな木では困難であった。そこで本報告では根の最小直径 1 cm 時の根の最大深、幹からの距離で比較を行うこととした。ただし、浜山のクロマツ、富津のクロマツ、タブノキは根系が大きいと、側方への根の長さについては根の太さが 1 cm に至る前、幹からの距離が 1.5 m 程度で根を切断し、掘り取ったものもある。

現地で掘り取り直後の生重量を測定し、サンプルを職場に持ち帰り、乾燥重量の測定を行って、各部位の推定重量を算出した。ただし、浜山で掘り取りを行ったクロマツは松枯れで調査の前年 (2018 年) に地上部を伐倒処理されたものを使用した。そのため、浜山のクロマツは地上部のサイズ、重量は不明である。

3. 結果

3.1 植栽木のサイズ構成

各調査地の植栽木の平均胸高直径と平均樹高を Fig. 1 に示す。いずれの調査区においてもクロマツの平均樹高が最も高かった。胸高直径においては富津 (30 年生) のタブノキがクロマツを上回っており、平均樹高もクロマツと大きな違いは見られなかった。小松、向浜といった林齢が比較的若い林分 (それぞれ、林齢 10 年、16 年) では前者ではヤマモモ、後者ではシナノキが樹高ではク

ロマツに近かったが、いずれも胸高直径では劣っていた。最も林齢が高い浜山ではクロマツの平均樹高は 11.2 m、ミズナラ 9.9 m、カシワ 8.5 m であったが平均胸高直径ではクロマツ 24.2 cm、ミズナラ 13.3 cm、カシワ 14.8 cm と大きな違いが見られた。

広葉樹同士を比較すると、浜山ではカシワ、ミズナラ、ケヤキがほぼ同じサイズであったのに対し、イタヤカエデが胸高直径、樹高ともこれらに劣っていた。向浜ではシナノキが最も平均サイズが大きく、次いでカシワとなり、ケヤキは胸高直径、樹高とも劣っているという結果となった。小松ではヤマモモとウバメガシが樹高、胸高直径とも大きな違いが見られなかった。

3.2 掘り取り木の地下部、地上部の重量比

掘り取り木の地下部乾燥重量 (W_u)、地上部の乾燥重量 (W_a) を比較すると向浜ではクロマツ以外の広葉樹は図中の $W_a=W_u$ の直線上付近に集中しており、地上部と地下部の重量がほぼ等しかった (Fig. 2a)。これに対し、クロマツは地下部の重量に対する地上部の重量が大きかった。また、クロマツの地下部の重量は広葉樹で最も小さかったケヤキとほぼ同じであり、生育初期にはまず地上部の成長に資源を配分していることが予想される。カシワは地上部、地下部とも平均 4 kg 程度の重量があるのに対し、ケヤキは 2 本とも 2 kg を下回っていた。

浜山では地上部がないクロマツは Fig. 2b に示されていないが、その地下部の乾燥重量は推定 110.8 kg と 93.8 kg であり、他の広葉樹の掘り取り木の 2 倍以上の値であった。ケヤキはほぼ $W_a = 2W_u$ (地上部の重さが地下の 2

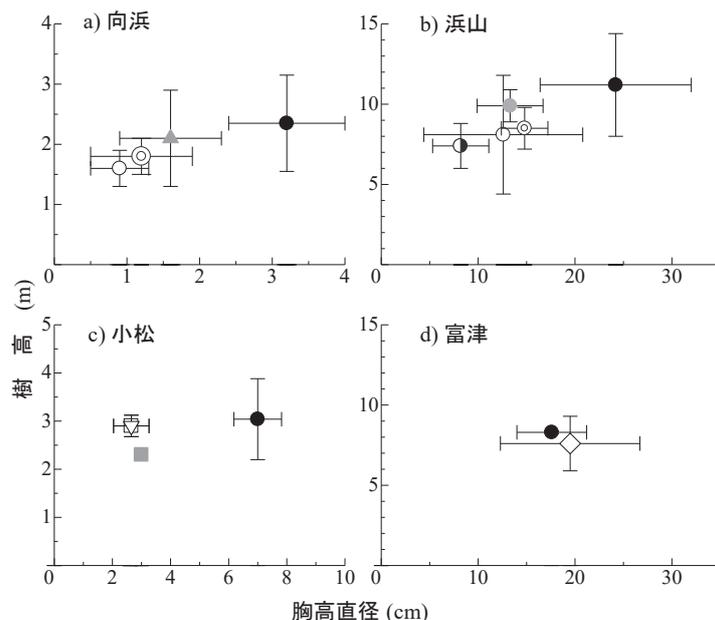


Fig. 1. 各調査地の植栽木の平均サイズ

●クロマツ ○ケヤキ ◎カシワ ▲シナノキ ●ミズナラ
 ○イタヤカエデ □ウバメガシ ▽ヤマモモ ■トベラ ◇タブノキ

倍)の線上にプロットされるのに対し、カシワはそれより上にプロットされた。つまり、浜山においてケヤキはカシワより地下部に資源を多い比率で配分していた (Fig. 2b)。向浜ではカシワとケヤキの重量には明らかな違いが見られたが、浜山ではケヤキでもカシワと同等に成長している個体も見られた。

小松ではウバメガシが $W_a=2W_u$ の線上に集まるのに対し、ヤマモモはその線より上に来る個体がほとんどであった。ヤマモモはウバメガシに対し、地下部に対する地上部の比率が高い傾向が顕著に見られた (Fig. 2c)。クロマツはウバメガシに対し、地上部、地下部とも重量が大きかったが、ヤマモモの成長の良い個体とは地上部、地下部ともほぼ同じ重量を示すこともあった。(Fig. 2d)。クロマツとタブノキの地上部と地下部の重量比はいずれも 2:1 に近い値を示した。

3.3 掘り取り木の地際直径と根の重量

根の重量と地際直径の関係について Fig. 3 に示した。浜山のクロマツでは胸高直径が得られなかったこと、向浜の広葉樹では複数の幹が発生している個体が多かったことから、各個体の固有値として地際直径を選択した。なお、根の重量は log スケールで表している。

クロマツは 4 つの調査地で唯一共通して見られる樹種である。浜山では根の重量が 100 kg を越える個体が見られるが、富津では根の重量が 30~40 kg となる。地際直径、根の重量でこの二つの試験地は明確に分かれるが、小松、

向浜ではともに地際直径が 5-10 cm、根の重量は 1-3 kg とほぼ同じ値の範疇に入った。

落葉広葉樹では向浜、浜山の 2 つの試験地でケヤキとカシワが見られる。浜山では地際直径で飛び抜けているケヤキが見られたが、根の重量では両者に大きな違いは見られなかった。一方、向浜のケヤキとカシワでは点が乖離しており、太さ、重量ともカシワはケヤキより大きいことがわかる。また、シナノキはカシワに近いサイズであった。

千葉県 の 2 箇所では常緑広葉樹では共通する樹種はないが、タブノキは地際直径、重量とも小松の両種を大きく上回った。ヤマモモとウバメガシはほぼ同じ範疇に入っていた。

いずれのグラフにおいても点はほぼ直線上に並んでいる。グラフは両対数なので地際直径の増え方に対し、根の重量は指数的に増加することを意味している。例えばクロマツでは地際直径が 10 cm から 40 cm になると根の重量が 2 kg から 100 kg に増加している。クロマツ (すべてのプロット)、落葉広葉樹 (浜山、向浜)、常緑広葉樹 (富津、小松) で地際直径 (D_0 , 単位 cm) と地下部乾重 (W_u , 単位 kg) のべき乗回帰式を作成したところ

クロマツ $W_u = 0.0046 * D_0^{2.80} R^2=0.997, P=0.047$

落葉広葉樹 $W_u = 0.0869 * D_0^{1.90} R^2=0.973, P=0.010$

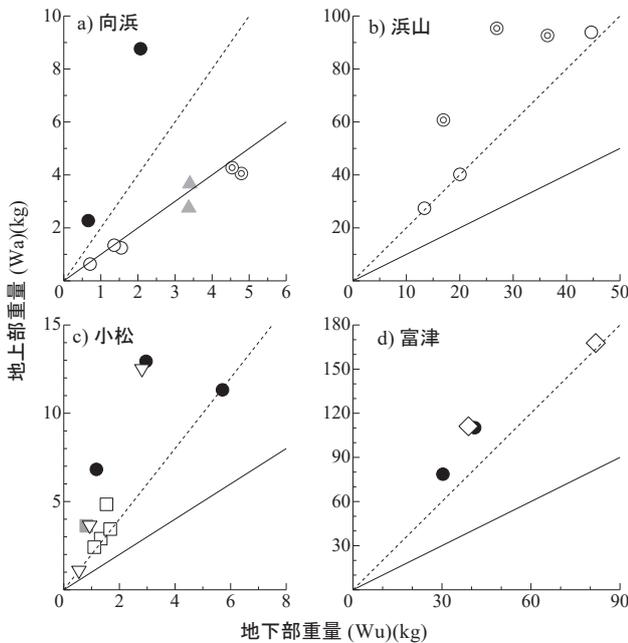


Fig. 2. 掘り取り木の地下部と地上部の重量比
 図中の直線は実線が $W_a=W_u$, 点線が $W_a=2W_u$ を示す
 ●クロマツ ○ケヤキ ◎カシワ ▲シナノキ
 □ウバメガシ ▽ヤマモモ ■トベラ ◇タブノキ

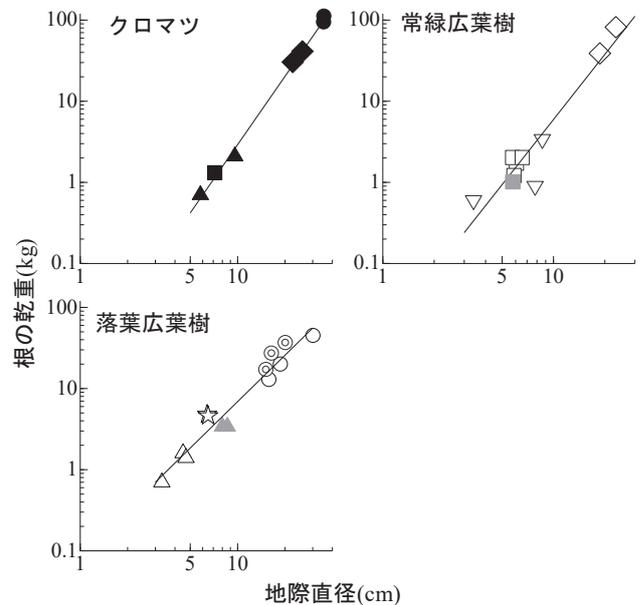


Fig. 3. 掘り取り木の地際直径と根の重量
 図中の直線は回帰式
 クロマツ ▲向浜 ●浜山 ■小松 ◆富津
 常緑広葉樹 小松 □ウバメガシ ▽ヤマモモ ■トベラ
 富津 ◇タブノキ
 落葉広葉樹 向浜 △ケヤキ ☆カシワ ▲シナノキ
 浜山 ○ケヤキ ◎カシワ

常緑広葉樹 $W_u = 0.0127 * D_0^{2.67}$ $R^2 = 0.950$, $P = 0.043$ と示された。いずれも高い相関が得られ、根の重量はクロマツ、常緑広葉樹では地際直径の約3乗に、落葉広葉樹は地際直径の約2乗に比例して増加していく関係が示された。

3.4 根系の側方と下方への伸長

掘り起こした根系がどのように広がっているか、宇川ら (2021)、新田ら (2021) が模式図を示した。本研究では樹種間の比較を行うため、直径1 cm以上の根の側方の距離と深さについて各調査地で比較を行った (Fig. 4)。

クロマツの深さと側方への伸びを4つの調査地で比較すると、浜山の深さが2本とも3mを越えており、それ以外の調査地では1m以上の深さに達している個体は見られなかった (Fig. 4 左上)。浜山ではクロマツの根は他の広葉樹 (カシワ、ケヤキ) より1m近く深いところまで根が伸びていた。向浜では胸高直径5 cmのクロマツの深さが85 cmなのに対し、富津では胸高直径22 cmのクロマツが深さ70 cmまでしか根が到達していなかった。クロマツは小松、向浜などの生育初期では広葉樹と根の下方への伸長は大きく違わないが、浜山のように年数が経つと広葉樹よりも深くまで達することができると推察される。なお、クロマツの側方へ伸びた根は浜山では

100 cm、150 cmで切断されているが、そのときの根の直径は最大でそれぞれ14.2 cm、8.8 cmであった。また、富津のクロマツも実際の側方への根の到達範囲は150 cm、300 cmでそのときの根の断面の直径は4.2 cm、3.0 cmであった。つまり実際のクロマツの根の側方への伸びはグラフよりもはるかに大きい。

落葉広葉樹は浜山と向浜で根系の発達を比較した (Fig. 4 下)。浜山では深さは50 cm程度だが、側方には8 mも伸びているケヤキが観察された。下方への伸びはこのケヤキ1本を除くとケヤキ、カシワ両樹種ともに深さは最大2 mを越えるなど大きな違いは見られない。ただし、この図は根の到達した最大値を示したものであり、実際にはケヤキが浅い地中に太い根を側方に張っているのに対し、カシワは下方に太い根を伸ばしている傾向が顕著であった (新田ら 2021)。向浜ではケヤキは側方に1 m以上根を伸ばしている個体はないが、カシワはいずれも1 mを越えていた。また浜山と同様に下方への最大値は両樹種で大きな違いは見られなかったが、根の重量ではカシワがケヤキを大きく上回った (Fig. 2)。

小松と富津では常緑広葉樹の根系の発達を比較したところ、小松では側方への伸びはウバメガシとトベラで1本ずつ1 mを越えるものがあったが、それ以外の6本は18~60 cm、下方への伸びはおおむね30~50 cm程度でとどまっていた (Fig. 4 右上)。富津では広葉樹はタブノキだけであり、側方への伸びは見られたが深さは70 cm程度でとどまっていた。なお、タブノキ2本はクロマツと同様に側根をそれぞれ150 cm、250 cmで切断しており、根の切断面の直径は3.8 cm、2.6 cmであった。

小松では植栽から10年しかたっていないこともあり、調査対象となる直径1 cm以上の根はかなり乏しく、富津では太い根がほぼ水平に発達していた (宇川ら 2021)。

3.5 根系の到達深さと固結層の深さ

根の侵入が困難とされる、 S 値 ≤ 0.7 となる土壌層の深さを固結層の深さとし、各掘り取り木の下方への根の到達した深さとの関係を調べた。Fig. 5において、黒い横棒よりも下に点があった場合には、根 (太さ1 cm以上) が固結層よりも下に到達したことを意味しており、富津においては灰色の横棒が帯水層の深さを示している。

向浜では深さ140 cmでようやく S 値 ≤ 0.7 となる箇所が確認され、掘り取り木は9本なのに対して図中の固結層の点が3つしかないのは、残りの6本は深さ2 mでも S 値が0.7に達していなかったためである。浜山では固結層の深さすべての掘り取り木でほぼ同じであり、100~125 cmくらいに見られる。小松ではウバメガシで1本、固結層の深さが100 cmを越えている以外は固結層の深さは50 cm未満であり、浅いところに固い層があることが明らかになった。富津は4本のうち、1本は固結層の深さが約150 cmだが、他3本は50~70 cm前後であった。また、帯水層は80~100 cmのところのみられた。

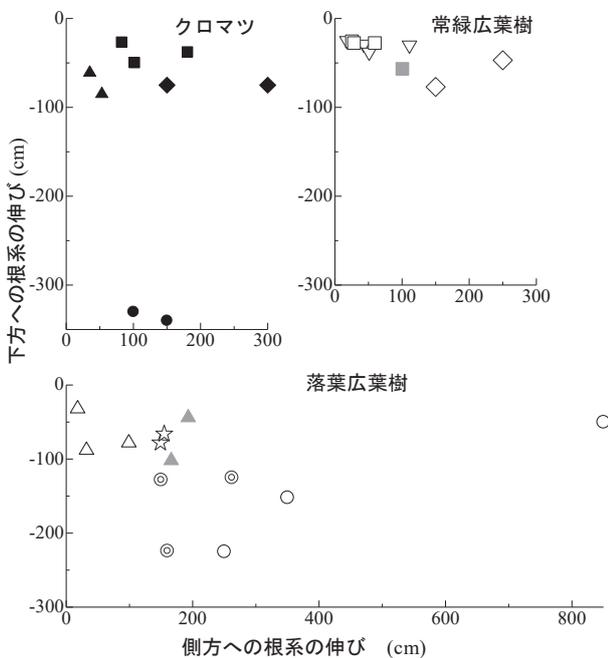


Fig. 4. 根系の下方と側方への発達状態
 クロマツ ▲向浜 ●浜山 ■小松 ◆富津
 常緑広葉樹 小松 □ウバメガシ ▽ヤマモモ ■トベラ
 富津 ◇タブノキ
 落葉広葉樹 向浜 △ケヤキ ☆カシワ ▲シナノキ
 浜山 ○ケヤキ ◎カシワ ●ミズナラ
 ●イタヤカエデ

根の到達深については、向浜では根の到達深は平均で70 cm程度であった。多くの掘り取り木が固結層に達していない。固結層の上端の深さは約200 cmになるものが見られ、他の調査地に比べて極めて柔らかい土壌であることが明らかになった。

浜山では1本を除いて根系到達深が1 mを越えており、クロマツでは2本とも3 m以上の深さまで根が達していた。根の深さが1 m以上のものはいずれも固結層より深く根が達していた。小松については根の到達深は30～50 cmであり、クロマツは固結層を通過していた。それ以外の広葉樹については固結層と根の到達深がほぼ一致していた。富津についてはクロマツ、タブノキとも根の深さはほぼ同じ深さ70 cm前後であった。富津では根系は小松に比べて太かったものの、下方への伸長は固結層と帯水層のより浅いほうでとどまる形となった。

4. 考察

4.1 根系の発達からみた海岸の植栽に適した広葉樹種

本研究では海岸砂丘と盛土に植栽された海岸林で広葉樹とクロマツの根系の調査を実施した。これらから、S値0.7を下回るような硬い土壌には樹種に関わらず根が入りにくいこと (Fig. 5) や、ケヤキは水平方向の根が多い、クロマツは直根が発達するなどの樹種ごとに根の分布の特徴が異なる様子が明らかになった (Fig. 4)。

今回調査対象とした樹種について、根の深さ方向への伸長の特徴を苅住 (2010) によって分類すると、
 深根性：クロマツ、カシワ、ミズナラ、ウバメガシ
 中間型：タブノキ、ヤマモモ

浅根性：ケヤキ、シナノキ、イタヤカエデ、トベラ
 となった。この特性は内陸の森林内で評価されたものが多いが、海岸林の土壌で生育した場合でも同様の樹種特性を示すことが本研究から明らかになった。

宮城県森林整備課 (2012) は宮城県における耐潮性に変容した樹種としてクロマツ、カシワ、タブノキ、トベラをあげている。カシワは浜山ではクロマツに次ぐ胸高直径があり (Fig. 1)、S値0.7以下の土壌深でも成長しうる根を深く張る (Fig. 4) 樹種であることが明らかになった。北海道にはカシワの天然林が海岸沿いに広がり (長谷川 1984)、秋田市にはカシワの40年生の人工林が成立するなど日本海側の海岸に適した樹種であることは明らかである。

ケヤキについては成木になったときの根の重量 (Fig. 2、Fig. 3)、根の到達深 (Fig. 4) はカシワと大きな違いは見られない。しかし、浅根性であり水平根が発達し根の大半が表層に見られる (新田ら 2021) など「深く根を張る」とは言えない。ただし、引き抜き実験ではクロマツ、タブノキなど数樹種の中で最も根回りモーメントが高い (野口ら 2014) と報告され、倒伏しにくい樹種であると言える。また、根の太さあたりの引き抜き抵抗力は多くの樹種の中で飛び抜けて大きいという報告がなされている (北原 2010)。このような倒伏抵抗力の大きい樹種は浅根性であっても海岸林の植栽に選択可能な樹種と言えるだろう。

タブノキについては地上部、地下部ともクロマツとほぼ同様の生育をしていた (Fig. 1、Fig. 2)。今回の調査では地下の停滞水があったために根系が十分な深さに達し

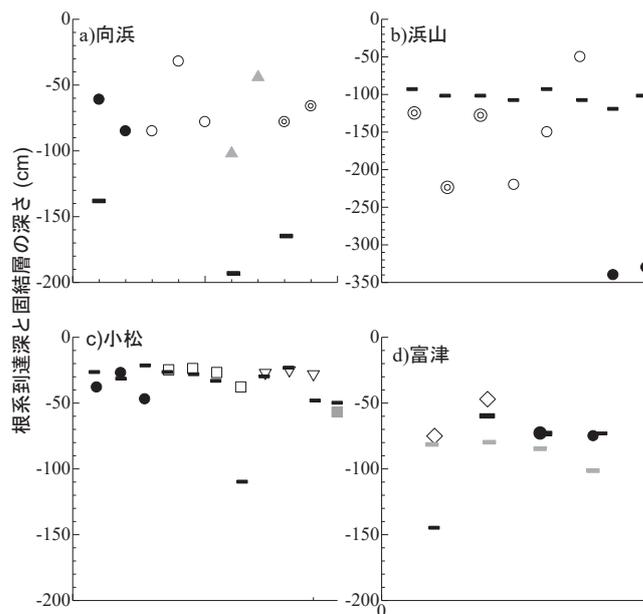


Fig. 5. 固結層、帯水層の深さと根系の到達深

いずれも直径1 cm以上の根を対象としている

— 固結層 — 帯水層 (富津のみ)

●クロマツ ○ケヤキ ◎カシワ ▲シナノキ □ウバメガシ ▽ヤマモモ ■トベラ ◇タブノキ

ていなかったが (Fig. 5)、東北地方日本海側から九州まで広く海岸沿いに分布する樹種であり、耐潮性も高いことから温度環境の適地であれば植栽木として適したものと言えよう。小松ではヤマモモとウバメガシのサイズはほぼ同じであったが (Fig. 1)、地上部重量ではヤマモモのばらつきが大きく、地上部、地下部の重量の最大値ではウバメガシを大きく上回っていた (Fig. 2)。これはヤマモモが多幹であり、直径はそのうちの 1 本の値であったためである。ヤマモモは高木種であるがウバメガシは亜高木種であるため、将来的には両者の成長には差異が生じることが予想される。

同じ調査地では掘り取り木の地上部と地下部の重量比 (TR 比) は多くの樹種でほぼ比例関係がみられた (Fig. 2)。千葉県海岸に植栽されたクロマツでは胸高直径が 2-10 cm の範囲では、根が扁平であってもサイズが大きくなっても TR 比はほぼ同じとされている (小田 2000, 2001)。一方、富津、浜山ではクロマツのサイズはそれより大きく、富津の TR 比は向浜、小松よりも小さい (Fig. 2)。クロマツにおいては根の発達に先立ち、地上部の成長を行うがサイズが大きくなるにつれて根系の発達が重要となることが予想される。一方、広葉樹においては向浜と浜山を比較すると、サイズが小さい向浜では TR 比はすべての樹種でほぼ 1 であるのに対し、浜山ではケヤキで 2、カシワではほぼ 3 となり、クロマツとは全く反対の傾向が見られた (Fig. 2)。クロマツの植栽時には盛土で深耕を行うことにより、深くまで根を張る事例が知られている (野原・高橋 2007) が、生育初期に根の比重の大きい広葉樹植栽にこうした手法がより必要となる可能性が示唆される。

4.2 根系の発達の阻害要因

富津海岸では植栽後 30 年、サイズも大きいクロマツやタブノキの根系が浜山に比べてはるかに浅いのは、深さ 70 cm 前後に帯水層があり、根がそれ以上伸長できないためである。浜山では植栽木の生育が良好で根も深くまで達していた。向浜では土層が柔らかく、固結層がとても深いために根がそこまで達していない。小松では固結層が浅く、根が固結層に達した後に広葉樹の根系はそこをなかなか通過できず、富津では植栽木の生育は良好だが固結層、もしくは帯水層のために根が深くまで達することができない状況であった (Fig. 5)。

帯水層により海岸林の植栽木 (主にクロマツ) が枯死する事例が千葉県九十九里において報告されており、植栽木の樹齢 (x 年) と生存に必要な根系の垂直深 (y cm) は $y = 2.1x + 11.6$ という関係があるとしている (小田 2000, 2001)。富津においては植栽後 30 年とすると、72 cm 程度の厚さが必要とされるが、帯水層からの厚さは約 80 cm でこの基準を現在は満たしていると考えられる。ただし、固結層が帯水層より浅い場合、根系の成長は固結層で制限されていた (Fig. 5)。

津波のときに植栽木が抜けにくいかどうか、決定づける要因として根系の深さ、重量の他に固結層の下まで根が発達しているかどうか、「根の抜けにくさ」というものがあげられる (阿部 1997)。この視点から、浜山は固結層の下まで根を発達させた典型的な事例と言える (Fig. 5)。小松では S 値 0.7 の層よりも深く達している根が一部見られたが、富津では固結層と帯水層が、小松では固結層が根の下方への伸長を阻んでいた (Fig. 5)。

向浜では土壌はきわめて柔らかく、根の到達深は 1 m になるものもあるが (Fig. 5)、植栽木、特に広葉樹の地上部サイズはきわめて小さい (Fig. 1)。この調査地では植栽時に客土、防風柵によりケヤキ、カシワの成長、生存率が改善され (金子・田村 2007)、元々は風が当たり土壌がやせていた。他の 3 つの調査地では堤防や砂丘の後背地であるため、直接の風の影響は少ないが、向浜は海に近く、現在は防風柵もなくなっており、より海風の影響が大きいと考えられる (Table 1)。根系の発達には地上部の成長が不可欠 (Fig. 2, Fig. 3) であり、土壌が柔らかい場合でも他の条件で成長が困難な場合は根系の発達が難しいことも配慮する必要がある。

5. 終わりに

本研究では海岸に植栽された広葉樹の根系の発達状態と土壌の関係について、秋田県、千葉県において調査を行ったものである。秋田県の 2 箇所は海岸砂丘に植栽された落葉広葉樹、千葉県の 2 箇所は造成された盛土の上に植栽された常緑広葉樹である。浜山では固結層まで深さが約 1 m あり、砂丘の後背地で海風があまり吹かない理想的な条件の海岸林であり、各樹種の根系が十分に発達した状態を観察することが出来た。向浜では土壌は柔らかいものの地上部の成長が極端に悪く、土壌の貧栄養化の悪影響が見られる事例と言える。富津では帯水層で根系の成長がとどまっていたが、その上の盛土では太い根が見られた。これは海岸林で植栽を行う際の盛土の有効性を示したものであろう。小松では盛土ではあるが、固結層までの深さが 30 cm 程度しかなく、転圧による締め固めが根系の発達に悪影響を与えていた。これらの結果から推察される、海岸林の立地条件と根系の関係性は以下の 4 点に集約される。

- 1) 海岸砂丘でも造成地でも固結層は根の伸長を阻害するが、土壌硬度以外の立地条件が良好であれば、壮齢になった樹木では、固結層に侵入する根が見られる。
- 2) 帯水層の存在は樹木根系の伸長にとってクリティカルな影響を及ぼすため、盛土は有効な施業のひとつである。
- 3) 海岸の中でも貧栄養もしくは風衝地に相当する森林では、地上部の成長は小さく抑えられ、地上部に対する地下部の重量割合が大きくなる。
- 4) 地際直径などを基準とした場合、クロマツに対して

広葉樹の根量は遜色があるとは言えない。

本研究の4つの調査地は立地環境が異なるため、今後、類似する立地環境をもつ複数の調査地での調査を行うことで、これらの推察が修正を施されながら証明されていくものと考えている。

また、これらの樹種の特性を生かし、時期や場所をずらしながら、最適な樹種の組み合わせを考えていくことも海岸林造成には必要である。例えば、クロマツを先行して植栽し、その後に広葉樹を植えるなど風への対策(渡部 2015)、前線に植栽する樹種、後方に植栽する樹種を変えるなどの対策が実際に行われている。日本海側の天然林ではケヤキ、シナノキは海岸最前線、一部にはカシワ林、タブノキ林が成立している(和田・白沢 1998)。一方、宮城県ではケヤキは海岸沿いではなく陸側に植栽すべきとしている(宮城県森林整備課 2012)。海岸の防災林はある程度の林帯幅を持たせる必要があり、どこに何を植えるべきかという林分配置、そして植栽の際には根系の発達を考えた際の盛土工や土壌の攪拌、静砂垣などの防風対策など多くのことを考慮することが重要と考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、浜山、富津での根の掘り起こしは森林総合研究所実験林室の荒井和徳、杉山正幸、根本和也の各氏の協力のもと行われた。調査地の使用許可には千葉県中部林業事務所、千葉県北部林業事務所、秋田県林業研究研修センターのご協力をいただいた。本研究は(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト(課題番号 201701)による研究成果である。

引用文献

- 阿部 和時(1991) 根系の引き抜き抵抗力によるセン断補強強度の推定. 日緑工誌, 16, 37-45.
- 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. 森林総研研報, 373, 105-181.
- 赤澤 史顕・佐藤 学・里深 好文(2012) 海岸林による津波減災に関する一考察. 歴史都市防災論文集, 6, 339-344.
- 長谷川 栄(1984) 北海道における天然生海岸林の保全に関する基礎的研究, 石狩海岸におけるカシワ林の構造と更新. 北大演習林研報, 41, 313-422.
- 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的活力度の関係について—高速道路植栽地を例として—. 造園雑誌, 48(2), 104-122.
- 今井 健太郎・原田 賢治・渡辺 修・江刺 拓司・島貫 直樹・八木 智義・今村 文彦(2009) 実地形における海岸林を利用した津波減勢策—仙台湾岩沼・名取海岸を例として—. 土木学会論文集 B2(海岸工学), B2-65, 1, 326-330.

- 金子 智紀(2005) 秋田県中部の海岸砂丘後背地に植栽した広葉樹混交林の成長. 東北森林科学会誌, 10, 90-94.
- 金子 智紀・田村 浩喜(2007) 広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発. 秋田県森林技術センター研究報告, 17, 37-60.
- 苅住 昇(2010) 最新樹木根系図説 各論. 誠文堂新光社 1101pp.
- 北原 曜(2010) 森林根系の崩壊防止機能. 水利科学, 311, 11-37.
- 小平 哲夫(2010) 千葉県九十九里浜におけるマツ材線虫病により枯れが進んだクロマツ海岸防災林の目標林型の検討. 関東森林研究, 61, 223-226.
- 宮城県森林整備課(2012) 海岸防災林に適した植栽樹種に関する調査報告書—宮城県における海岸防災林に適した樹種の選定と種苗の供給について—. 17pp.
- 村上 卓也(2015) 盛土を伴う海岸防災林復旧工事と植栽までの手順. 日緑工誌, 41(2), 341-343.
- 中島 有美子・吉崎 真司(2016) 愛知県渥美半島掘切海岸における広葉樹海岸林の種組成及び分布パターン. 日緑工誌, 42, 92-97.
- 中島 有美子・吉崎 真司(2018) 西南日本における温暖帯の常緑広葉樹で構成される海岸林の群落型と立地条件について. 日緑工誌, 43, 596-604.
- 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(3), 224-241.
- 新田 響平・野口 宏典・太田 敬之・小野 賢二・萩野 裕章・野口 享太郎・大谷 達也・宇川 裕一・小森谷 あかね・谷川 東子・平野 恭弘・鈴木 覚(2021) 秋田沿岸に植栽されたクロマツ及び広葉樹数種の根系分布. 森林総研研報, 20, 169-184.
- 野原 咲枝・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—. 千葉森七研報, 2, 1-6.
- 野口 宏典・鈴木 覚・南光 一樹・竹内 由香里・金子 智紀・新田 響平・渡部 公一・坂本 知己(2014) 海岸砂丘地に植栽された広葉樹およびクロマツの倒伏抵抗特性の引き倒し試験による評価. 海岸林学会誌, 13, 59-66.
- 小田 隆則(2000) 砂丘海岸林の低湿地におけるクロマツ根系の分布特性からみた必要盛土厚. 日砂丘誌, 47(2), 102-110.
- 小田 隆則(2001) 海岸砂丘低湿地における植栽木根系の滞水反応と植林帯造成法に関する研究. 千葉県森林研究センター特別研究報告, 3, 1-78.
- 小野 賢二・今矢 明宏・高梨 清美・坂本 知己(2016) 海岸防災林復旧・再生事業における生育基盤盛土の現状—事業着手初期の未耕起盛土の物理性および盛土への各種耕起工が土壌硬度鉛直分布に及ぼす効果

- の評価一. 森林総研研報, 15, 65-78.
- 大谷 達也・米田 令仁・野口 宏典 (2019) 礫浜に成立する海岸林における常緑広葉樹の根系引き抜き試験. 日林誌, 101, 168-172.
- 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. 日緑工誌, 41(2), 334-335.
- 坂本 知己・新山 馨・中村 克典・小谷 英司・平井 敬三・齋藤 武史・木村 公樹・今 純一 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波における海岸林の漂流物捕捉効果, 青森県八戸市市川町の事例. 日本海岸林学会誌, 11(2), 65-70.
- 佐藤 創・岡田 穰・野口 宏典 (2012) 海岸林が津波に耐え津波の勢いを弱めた事例—海岸林の波力減殺機能—. 森林科学, 66, 17-20.
- 清水 一 (2005) 海岸地域に適した緑化樹選び (II) —塩風で枯れやすい樹種と枯れにくい樹種—. 光珠内季報, 140, 9-13.
- 森林総合研究所多摩森林科学園編 (2014) クロマツ海岸林に自然侵入した広葉樹の活用法—松枯れから防災機能を守るための広葉樹林化—. 45 pp.
- 寺嶋 嘉春 (2012) 千葉県九十九里海岸林造成における低湿地対策の取り組み. 水利科学, 325, 30-40.
- 宇川 裕一・小森谷 あかね・野口 宏典・太田 敬之・小野 賢二 (2021) 海岸防災林の生育基盤盛土に植栽されたクロマツと広葉樹の根系成長—千葉県山武市小松と富津市富津の海岸林における事例—. 森林総研研報, 20, 185-194.
- 和田 覚・白沢 芳一 (1998) 秋田県における海岸広葉樹林の林分構造. 東北森林科学会誌, 3(2), 9-12.
- 渡部 公一 (2015) 海岸風衝地におけるクロマツと落葉広葉樹混交林の造成について. 水利科学, 346, 107-11.
- 山瀬 敬太郎・谷川 東子・池野 英利・藤堂 千景・大橋 瑞江・檀浦 正子・平野 恭弘 (2015) 異なる土壌環境下における根系構造と引き抜き抵抗力との関係. 日緑工誌, 41, 301-307.
- 吉田 成章 (2006) 研究者が取り組んだマツ枯れ防除—マツ材線虫病防除戦略の提案とその適用事例—. 日林誌, 88, 422-428.
- 吉崎 真司 (2011) 海岸林の機能と津波に対する樹木の応答について. 日緑工誌, 37(2), 281-285.

Trunk and root growth of planted broadleaf trees and *Pinus thunbergii* in coastal forests in relation to soil properties

Takayuki OTA^{1)*}, Kyohei NITTA²⁾, Yuichi UGAWA³⁾, Kenji ONO¹⁾, Hiroaki HAGINO¹⁾, Toko TANIKAWA⁴⁾, Tatsuya OTANI⁵⁾, Yasuhiro HIRANO⁶⁾, Akane KOMORIYA⁷⁾ and Hironori NOGUCHI⁸⁾

Abstract

Broadleaf trees in coastal forests are expected to reduce tsunami damage, act as windbreaks, and reduce soil erosion. Trees with strong and deep root systems are desirable for providing these ecosystem services, but root development can be affected by soil properties, especially when trees are planted on consolidated soils. We assessed the trunk and root growth of planted broadleaf trees in relation to soil properties in four plots in Akita and Chiba Prefectures, Japan. Two plots in Akita prefecture, Mukaihama and Hamayama, contained deciduous broadleaf trees (including *Quercus dentata* and *Zelkova serrata*) planted on sand dunes. The remaining two plots in Chiba prefecture, Futtsu and Komatsu, contained evergreen broadleaf trees (including *Machilus thunbergii* and *Quercus phillyraeoides*) planted on embankments of consolidated soil. *Pinus thunbergii* was planted in all plots. Diameter at breast height, tree height, and soil hardness were assessed and the roots of two to four trees of each species were excavated in each plot. The lengths of vertical and lateral roots >1 cm in diameter were measured and we compared the depth of the consolidated soil layer to root length. In Hamayama, the vertical roots of *P. thunbergii* and some roots of *Q. dentata* and *Z. serrata* extended below the consolidated soil layer, which was 1 m in depth. Although the soil was extremely soft at Mukaihama, tree growth was poor due to oligotrophic conditions and strong winds. In Komatsu, where trees had been planted a decade previously, the consolidated soil layer was found at a depth of approximately 30 cm, whereas at Futtsu it was found at depth of 70 cm because of aquifer was found at 80 to 100 cm in depth. We therefore concluded that root growth in coastal forests is affected by soil hardness as well as tree attributes and other soil properties.

Key words : aquifer, banking, consolidated soil layer, sand dunes

Received 12 August 2020, Accepted 2 April 2021

1) Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Akita Forestry Research and Training Center

3) Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center

4) Nagoya University, Graduate School of Bioagricultural Sciences

5) Shikoku Research Center, FFPRI

6) Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies

7) Chiba Prefecture Chubu Forestry Administrative Office

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

* Tohoku Research Center, FFPRI, 92-25 Nabeyashiki, Morioka, Iwate, 020-0123 Japan; E-mail: takaota@ffpri.affrc.go.jp

研究資料 (Research record)

東日本および東北地方の海岸防災林・海浜公園の生育基盤として 整備された造成土壌の特徴

小野賢二^{1)*}、野口宏典²⁾、村上尚徳³⁾、新井隆介⁴⁾、宇川裕一⁵⁾、小森谷あかね⁶⁾、
新田響平⁷⁾、福山文子⁸⁾、齋藤直彦⁹⁾、吉田俊通¹⁰⁾、橘隆一¹¹⁾、川東正幸¹²⁾、
木田仁廣¹³⁾、渡辺名月¹⁴⁾、萩野裕章¹⁾、野口享太郎¹⁾、篠宮佳樹¹⁵⁾、今矢明宏¹⁶⁾

要旨

災害復興で実施される治山工事でも、切土・盛土して生育基盤を造成し保安林を整備する事例が増え、造成土への関心は高まっている。人為は古来、主な土壌生成要因とされ、既存の土壌分類でも人為影響の強い土壌は体系化されている。近年、土壌への人為影響は増大の一途にあり、従来の分類体系の範疇を超えつつある。著者らは、東日本大震災大津波の被災海岸林再生地を中心に、海浜部の森林造成地に整備された生育基盤の土壌を調査、観察し、記載した。その結果、盛土材の違いや基盤造成法、人工物質混入等、人為が及ぼす土壌性状への影響は多様であることを示した。本稿は、強度に人為の影響を受けた土壌の管理法を検討する上で貴重な資料となる。

キーワード：造成土、防災林、海浜公園、人工物質、土壌断面形態

1. はじめに

我が国における林業、森林造成の現場では、一般的に、林業分野の土壌分類体系である「林野土壌の分類1975」(土壌学部 1976)を中心に構築された造林木の適地判定、すなわち、「適地適木」が原則とされている。すなわち、地形や母材、気象など各種立地条件から、木材など森林資源の一次生産基盤としての自然土壌を造林対象として検討し、その土壌タイプに適した樹木を選んで植栽・造林するというものである。しかし、近年、各地で頻発する豪雨や地震、津波など、さまざまな激甚災害からの復旧・復興のために実施されている治山工事では、予め切土や盛土によって生育基盤を造成したうえで、防災林などの森林を整備する事例が全国的に増えている。

地球上に人類が出現して以来、一次生産の場としての土壌に対する人間活動の影響は数千年以上にも及ぶ長い

期間継続されてきた。このことから、人為は、土壌分類学上も土壌生成要因の一つと位置付けられ、林野土壌の分類を含む国内外の多くの分類体系において、分類の基準として取り上げられている。しかし、前述のような、強度に人為攪乱を受けた改変土壌、造成土壌は、人為攪乱強度の低い一般的な土壌と比べ、詳細な一次生産基盤としての分類の必要性が低かったことから、同じ造成土壌を対象とした場合に、分類体系の間で、分類上の位置付けや定義が異なることも多く、問題が指摘されてきた(例えば、Watanabe and Kawahigashi 2019)。具体的には、林野土壌の分類では、造成など強度に人為影響を受けた土壌は、すべて未熟土群に分類され、土壌生成要因としての「人為」はその他の要因である「地形」、「母材」、「気象」、「生物」などの自然起源の「堆積」や「侵食」の影響との区別は想定されていない。一方、国内において最

原稿受付：令和2年7月29日 原稿受理：令和2年10月30日

- 1) 森林総合研究所 東北支所
- 2) 森林総合研究所 森林防災研究領域
- 3) 岩手県林業技術センター
- 4) 岩手県大船渡農林振興センター
- 5) 千葉県農林総合研究センター森林研究所
- 6) 千葉県中部林業事務所
- 7) 秋田県林業研究研修センター
- 8) 福島県森林保全課
- 9) 福島県林業研究センター
- 10) 公益財団法人オイスカ
- 11) 東京農業大学地域環境科学部
- 12) 東京都立大学都市環境学部
- 13) 森林総合研究所 立地環境研究領域
- 14) 住友林業株式会社筑波研究所
- 15) 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点
- 16) 国際農林水産業研究センター

* 森林総合研究所 東北支所 〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25

新の土壌分類体系である日本土壌分類体系（日本ペドロジー学会 2017）では、人為影響の強い土壌のうち人工物質土と盛土造成土は、人工物質による埋め立てや、自然では起こりえない大規模な客土、造成に伴う異質土壌物質の盛土など、自然状態とは著しく異なる土壌性状を重視し、造成土大群として位置づけている。このような分類間の差異は、造成土の形成に影響する「人為」の位置付け、土壌表層の定義の相違、一次生産基盤としての土壌そのものの分類体系上の考え方などが影響しているとの指摘もある（木田 2018）。

現在、地球規模で増加する気候変動リスクを鑑みると、このような強度に人為攪乱を受けた土壌を有する土地面積の増加は、今後将来にわたって避けることができない。そのため、造成土の土壌分類への位置付けや基準化をより明確することで、土壌分類上、造成土の体系化を図ることが必要であり、その土壌学的特徴に関する基礎的な知見の集積が急務である。

このような状況を踏まえて本稿では、東北地方太平洋沖地震大津波後に急増した海岸防災林の復旧事業地を中心に、海岸沿岸部への森林造成地の生育基盤において作成した土壌断面の調査結果について報告する。

2. 試験地と調査方法

2-1. 調査地

調査対象は、北日本から東日本 5 都県にまたがる太平洋沿岸 17 事業地内の、51 の土壌断面である（Fig. 1）。岩手、宮城、福島県の調査地は、平成 23 年 3 月の東北地方太平洋沖地震大津波で被災した海岸防災林復旧のために造成された生育基盤盛土工の施工地、千葉県調査地は、海拔が低く地下水位が高い箇所への海岸保安林造成のための低湿地対策として 1990 年頃より実施されてきた生育基盤盛土工の施工地、東京都調査地は、東京湾内に造成された大規模埋立人工島上の緑地公園である。いずれ

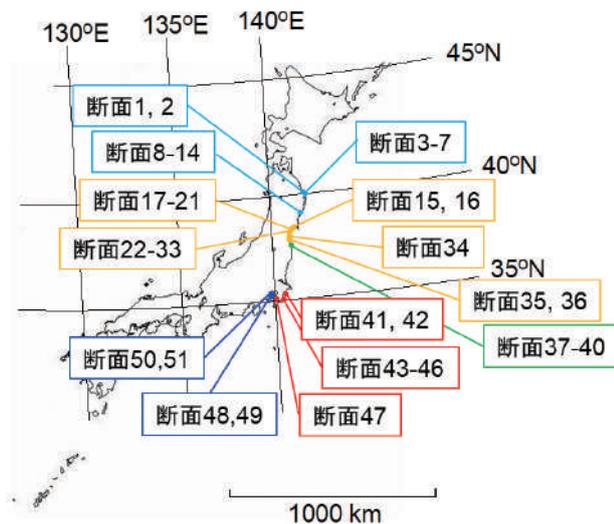


Fig. 1. 調査地の位置図
Locations of the present study sites.

の箇所の生育基盤も、植栽木の育成を目的として、盛土材料を運び込んで造成された。各調査地の概況を Table 1 に示す。

2-2. 土壌調査

土壌調査は国有林林野土壌調査方法書（林野庁林業試験場 1955）に従って実施し、土壌断面の記載は Guidelines for soil description (FAO 2006) に準じて表記した。土色は、標準土色帖（農林水産省農林水産技術会議事務局 2010）に、土性と土壌の湿潤状態は土壌調査ハンドブック（日本ペドロジー学会 1997）、孔隙率は Guidelines for soil description (FAO 2006)、堅密度の表現は真下（1973）に従った。なお、孔隙率の分類基準は、以下の通りである；空隙率 1: < 2vol%, 2: 2 ~ 5vol%, 3: 5 ~ 15vol%, 4: 15 ~ 40vol%, 5: > 40vol%。調査坑は、調査対象地の複数箇所を試坑を行い、土壌断面の代表性を確認した上で選定した。

3. 結果と考察

本研究で調査対象とした人工造成基盤を林野土壌の分類 1975（土じょう部 1976）に準じて分類したところ、すべて未熟土（Immature soils）であった。

3-1. 岩手県沿岸部海岸防災林の生育基盤の土壌

岩手県では、三陸沿岸部の久慈市、野田村、陸前高田市における 4 箇所を調査対象として選定し、14 断面で土壌調査を実施した。それぞれの土壌断面の記載と写真を Appendix Fig. 1 に示す。久慈市と野田村の事業地は岩手県北広域振興局林務部の、陸前高田市は岩手県沿岸広域振興局農林部大船渡農林振興センターの所轄である。盛土材料に関して、久慈市、野田村では、平成 28 年台風 10 号時の出水に伴う溪流床浚渫土砂や三陸沿岸道路（復興道路）工事による発生土を、陸前高田市では市内小友地区の丘陵地から採取した山土を調達、使用し、海岸防災林造成のための生育基盤整備を行ったとのことである。そのため、各土壌断面の土色や土性、土質は多様であった。施工、あるいは植栽完了からの時間経過が短いこともあり、いずれの断面においても明確な土壌構造の発達は確認されなかった。また、一部の生育基盤では、盛土造成時における重機踏圧による締め固めに起因したものと推察される、土壌の堅密度が「すこぶる堅」や「固結」と判定された土層の形成も確認された。また、降雨後には地表面に水溜まりが生じる様子が見られた箇所もあり、土層の締め固めに伴う難透水層の形成、あるいは嵩上げされた盛土層直下の、もともとの地盤の透水性不良が誘因となっている可能性が示唆される断面もみられた。しかし、ほとんどの生育基盤では、降雨後速やかに排水している様子であった。したがって、本地域での調査では、「過湿」、または「多湿」な土層を有する土壌断面は、14 断面のうち、【断面 3、6、7、14】の 4 断面に限定され、

Table 1. 調査地の概要
Summary of soil survey sites.

断面ID	断面名	市町村名	緯度	経度	標高 (m)	盛土厚	施工年度	植栽樹種	植栽年(月)	土壌調査日時	備考
	岩手県										
[断面1]	大湊1	久慈市	40°12'30"N	141°47'53"E	3	1.1 m <	F2015	クロマツ	2017.4	2017.9.27	
[断面2]	大湊2	久慈市	40°12'26"N	141°47'52"E	3	1.1 m <	F2014	クロマツ	2017.4	2017.9.27	
[断面3]	前浜1	野田村	40°6'55"N	141°49'37"E	4	1.2 m <	F2016	クロマツ	2017.11	2019.10.17	
[断面4]	前浜2	野田村	40°6'10"N	141°49'31"E	3	1.3 m <	F2018	クロマツ	2017.4	2018.10.15	
[断面5]	前浜3	野田村	40°6'14"N	141°49'31"E	4	2.3 m	F2017	クロマツ	2017.4	2018.10.16	土壌調査時は未植栽
[断面6]	前浜P-1	野田村	40°6'37"N	141°49'33"E	3	1.7 m <	F2017	クロマツ	2017.11	2019.10.16	
[断面7]	前浜P-2	野田村	40°6'38"N	141°49'34"E	4	1.7 m <	F2016	クロマツ	2017.11	2019.10.16	
[断面8]	高田松原1	陸前高田市	39°0'26"N	141°38'13"E	3~4	1.7 m	F2016	クロマツ	2017.5	2017.4.24	植栽前にリッパートナーとバックホウにより深耕
[断面9]	高田松原2	陸前高田市	39°0'26"N	141°38'12"E	3~4	2.1 m <	F2016	クロマツ	2017.5	2017.5.9	植栽前にリッパートナーとバックホウにより深耕
[断面10]	高田松原3	陸前高田市	39°0'25"N	141°38'11"E	3~4	2.5 m <	F2016	クロマツ	2017.5	2017.5.10	土壌調査時は未植栽
[断面11]	高田松原4	陸前高田市	39°0'25"N	141°38'13"E	3~4	1.5 m <	F2016	クロマツ	2016.10	2019.10.27	NPO高田松原を守る会の植栽試験地
[断面12]	小友A	陸前高田市	38°59'33"N	141°41'32"E	3	1 m	F2016	クロマツ, アカマツ	2016.5	2016.10.27	NPO高田松原を守る会の植栽試験地
[断面13]	小友B	陸前高田市	38°59'33"N	141°41'32"E	3	1 m	F2016	クロマツ, アカマツ	2016.5	2016.10.27	NPO高田松原を守る会の植栽試験地
[断面14]	小友C	陸前高田市	38°59'33"N	141°41'32"E	3	1 m	F2016	クロマツ, アカマツ	2016.5	2016.10.28	NPO高田松原を守る会の植栽試験地
	宮城県										
[断面15]	野蒜C4	東松島市	38°21'45"N	141°0'22"E	23	1 m <	F2017	クロマツ, アカマツ, トス, マカシ(シラカシ), ヤマザサ, ツバキ (ワカヤ) (柳田理希)	2018.10	2019.5.22	第二線埋戻し
[断面16]	野蒜C5	東松島市	38°21'38"N	141°0'20"E	23	1 m <	F2017	クロマツ	2015	2018.5.23	土壌調査時は未植栽, 防洲堤の堤体
[断面17]	荒浜7A	仙台市	38°13'39"N	140°59'26"E	4	1.2 m <	F2014	クロマツ	2015	2016.2.19	基盤造成後に農業用サブソイルで100 cm深程度を深耕
[断面18]	荒浜7B	仙台市	38°13'40"N	140°59'24"E	4	0.8 m <	F2014	クロマツ	2015	2016.2.19	土壌調査時は未植栽
[断面19]	荒浜8	仙台市	38°13'28"N	140°59'14"E	4	2.3 m <	F2013	クロマツ	2014.7	2014.12.2	土壌調査時は未植栽
[断面20]	荒浜10	仙台市	38°13'22"N	140°59'13"E	4	2 m <	F2013	クロマツ	2014.7	2014.6.3	土壌調査時は未植栽
[断面21]	田ノ神	仙台市	38°13'59"N	140°58'44"E	3	1 m	F2012	クロマツ	2012.2	2016.7.24	地山の海砂で高上げし、盛土した植栽試験地
[断面22]	名取1	名取市	38°9'10"N	140°56'55"E	4	1 m	F2013	クロマツ	2014.4	2018.12.18	基盤造成後にリッパートナーにより深耕
[断面23]	名取2	名取市	38°9'3"N	140°56'44"E	3	1 m	F2013	クロマツ	2014.4	2017.11.6	基盤造成後にリッパートナーにより深耕
[断面24]	名取2-8	名取市	38°9'5"N	140°56'52"E	4	1 m	F2013	クロマツ	2014.4	2018.12.17	基盤造成後にリッパートナーにより深耕
[断面25]	名取2-9	名取市	38°9'12"N	140°56'46"E	3	0.6 m <	F2013	クロマツ	2014.4	2020.2.25	2020.2.25
[断面26]	名取2-10	名取市	38°9'6"N	140°56'46"E	4	1 m <	F2013	クロマツ	2014.4	2020.2.26	2020.2.26
[断面27]	名取2-11	名取市	38°9'6"N	140°56'47"E	4	1.1 m <	F2013	クロマツ	2014.4	2020.2.26	2020.2.26
[断面28]	名取3-7	名取市	38°8'54"N	140°56'42"E	4	1.2 m <	F2013	クロマツ	2014.5	2018.11.8	植栽前に高層10 cm程度を耕起した痕跡あり
[断面29]	名取6-12	名取市	38°8'44"N	140°56'42"E	4	1 m <	F2013	クロマツ	2014.5	2020.2.25	2020.2.25
[断面30]	名取13-16	名取市	38°9'19"N	140°56'35"E	4	1.1 m <	F2015	クロマツ	2016.4	2018.11.8	2018.11.8
[断面31]	名取14-18	名取市	38°10'0"N	140°57'0"E	4	0.8 m	F2015	クロマツ	2016.4	2018.12.18	植栽前に表層15 cm程度を耕起した痕跡あり
[断面32]	名取14中	名取市	38°9'50"N	140°57'16"E	4	0.7 m <	F2017	クロマツ	2018.4	2018.12.19	植栽前に表層35 cm程度を耕起した痕跡あり
[断面33]	名取14南	名取市	38°9'46"N	140°57'12"E	4	1.2 m <	F2015	クロマツ	2017.4	2018.12.19	植栽前に表層40 cm程度を耕起した痕跡あり
[断面34]	亘理	亘理町	38°0'42"N	140°54'53"E	3	1.4 m <	F2014	クロマツ	2015	2017.11.8	農業用サブソイルおよびサブソイルにより深耕
[断面35]	山元20-1	山元町	37°58'17"N	140°54'46"E	4	1.3 m <	F2016	クロマツ	2017.4	2017.9.20	2017.9.20
[断面36]	山元20-2	山元町	37°58'15"N	140°54'46"E	4	0.8 m <	F2016	クロマツ	2017.4	2017.9.19	2017.9.19
	福島県										
[断面37]	北海岸A	南相馬市	37°43'22"N	140°0'39"E	3	0.8 m	F2015	クロマツ	2015.4	2017.10.3	
[断面38]	北海岸B	南相馬市	37°43'20"N	140°0'37"E	3	0.8 m	F2015	クロマツ	2015.4	2017.10.4	
[断面39]	北海岸C	南相馬市	37°43'22"N	140°0'39"E	3	0.8 m	F2015	クロマツ	2015.4	2017.10.5	
[断面40]	北海岸D	南相馬市	37°43'16"N	140°0'35"E	3	2 m	F2012	クロマツ	2013.4	2017.10.6	福島県林業研究センターの植栽試験地
	千葉県										
[断面41]	私小台	山武市	35°33'52"N	140°28'49"E	2.5	1.2 m	F2007	クロマツ, ヤマモモ, ムシバカシ	2007	2015.2.17	
[断面42]	小松	山武市	35°34'31"N	140°28'29"E	3	1.4 m <	F2007	クロマツ, ムシバカシ, ヤマモモ, トハラ	2008.3	2017.12.19	
[断面43]	牛込1	白子町	35°27'47"N	140°24'35"E	3	1.4 m <	F1984	クロマツ, ハマヒサカキ, マサキ, トハラ, イタチハシ	1984	2018.7.9	
[断面44]	牛込2	白子町	35°27'45"N	140°24'35"E	3	1.2 m <	F1984	クロマツ, ハマヒサカキ, マサキ, トハラ, イタチハシ	1984	2018.7.10	
[断面45]	牛込3	白子町	35°27'53"N	140°24'26"E	3	1.8 m	F1985	クロマツ, ハマヒサカキ, マサキ, トハラ, イタチハシ	1985	2018.7.11	植栽前にバックホウによる列状深耕
[断面46]	茨濱	白子町	35°28'0"N	140°24'41"E	3	1.3 m <	F1986	クロマツ, ハマヒサカキ, マサキ, トハラ	1986	2016.11.2	植栽前にバックホウによる列状深耕
[断面47]	富津	富津市	35°18'40"N	140°47'57"E	4	1.1 m	F1989	タブ, クロマツ, アカマツ, シロ	1989	2018.12.4	
	東京都										
[断面48]	海の森1	海老名市	33°36'25"N	139°48'16"E	27	0.7 m <	F2014	クロマツ, スダシイ, タブ	2014	2017.6.22	
[断面49]	海の森2	海老名市	33°36'24"N	139°48'37"E	10	0.7 m <	F2008	クロマツ, スダシイ, エノキ	2008	2017.6.23	
[断面50]	野鳥公園1	野鳥公園	35°35'0"N	139°45'46"E	10	1.2 m <	F1989	シラカシ, トハラ, マチ(ハイ, エノキ, クロマツ)	1989	2018.7.30	
[断面51]	野鳥公園2	野鳥公園	35°34'57"N	139°45'27"E	10	1 m <	F1979	ニレ, マチ(ハイ, エノキ)	1979	2019.7.29	

さらにグライ化の痕跡がみられる土層を有する土壌断面は確認されなかった。一般に、重機を用いて造成した生育基盤では、重機踏圧による土壌の締め固めとそれに起因した不良な土壌物理特性が植栽木の活着や生育に悪影響を及ぼすとされる（長谷川 1984, 森本 1985, 矢橋・金光 1985, 1987）。そのため、岩手県は、過度に締め固めることのない生育基盤盛土工を実施することを目的に、施工後において盛土がある程度沈下することを完成時に許容する施工管理基準等を策定し、平成 26 年度以降、広く「締め固めない盛土工」を実施している（小野ら 2020）。本研究における土壌調査では、その効果の一端が確認できた。

3-2. 宮城県沿岸部海岸防災林の生育基盤の土壌

宮城県においては、東松島市から山元町まで 4 市町 6 箇所を調査対象として選定し、22 断面で土壌調査を実施した。それぞれの土壌断面の記載と写真を Appendix Fig. 2 に示す。東松島市の事業地は東松島市と住友林業株式会社による植樹活動事業箇所であり、それ以外の宮城県内の調査地は林野庁直轄の海岸防災林造成事業地である。盛土材料は、【断面 15、16、21】を除く断面に関しては、基本的には事業地近隣の丘陵地から切り出した購入土である。【断面 15、16】については同市野蒜洲崎地区防潮堤の堤体上への植樹活動事業地であることから、野蒜地区集団防災移転に伴う切土による発生土である。そのため、【断面 15、16】は、巨礫が主体となって構成された生育基盤であり、その他の生育基盤と性状を異にしていた。【断面 21】についてはその場に現存した地山の海砂を集めて嵩上げして造った植栽試験地であるため、粗い砂で構成された土壌であり、同じく他の断面と性状を異にした。宮城県内における、津波被災後の復旧を目的とした海岸防災林造成に伴う生育基盤整備でも、生育基盤整備時の重機踏圧による土壌物理性の不良化が懸念されたため、平成 26 年度以降は、生育基盤の整地後に植栽面を掻き起こして土壌を柔軟にする深耕工が施されてきた。そのため、【断面 17、19】などの海岸防災林の復旧事業初期の事業地を除く、多くの断面では生育基盤整地後に実施した掻き起こしの痕跡が土壌調査時にも確認され、地表に近い土層が柔軟になっている様子が、山中式土壌硬度計による堅密度測定の結果からも確認された。しかし、掻き起こしのためのリッパーやサブソイラー、プラウなどの刃、ショベルカーのバケットが到達していない土層深部に堅密な土層が残置されている断面（【断面 25、29、31、32、33、35、36】）や、土壌の透水不良に起因した土層中での水の停滞（【断面 25、32】）、あるいは下層部の排水不良に起因した地下水面の出現（【断面 34】）、さらにはグライ化の痕跡が認められる土層を有する（【断面 19、28、30、32、33、35】）ものが散見された。このことから、植栽木の活着や生育に悪影響を及ぼさないために、重機踏圧で締め固まった生育基盤における植栽面

や表層部の土層の柔軟化への対策だけでなく、土壌全体の透水性、排水性の両面の改善にも考慮した対応が森林造成のための生育基盤を整備していく上で重要であるといえる。

3-3. 福島県沿岸部海岸防災林の生育基盤の土壌

福島県においては、福島県林業研究センターが実施している植栽試験に協働する形で、南相馬市北海老地区に設定されていた福島県相双農林事務所管内海岸防災林内の試験地において 4 断面で土壌調査を行った。それぞれの土壌断面の記載と写真を Appendix Fig. 3 に示す。盛土材料は同市鹿島区内の丘陵地より搬入した購入山土である。【断面 37、38、39】は海岸防災林造成事業地、【断面 40】は海岸防災林の造成に先立つ形で設定された小区画の生育基盤盛土上の植栽試験地である。そのため、【断面 40】は他の箇所より造成年次、植栽年次が先行していた。【断面 37、38、39】では生育基盤整地後に植栽面の深耕などの土壌改良工の実施はなかったため、土壌の堅密度がいずれも「すこぶる堅」または「固結」を示す土層を有し、緻密な生育基盤であった。一方で、【断面 40】は人力で嵩上げを行ったため、踏圧による締め固められた土層は見られず、支障なく根を張ることができる土層、すなわち、有効土層も厚かった。

3-4. 千葉県沿岸部海岸防災林の生育基盤の土壌

千葉県は、海拔が低く地下水位が高い箇所への海岸保安林造成のための湿地対策として、1990 年代に生育基盤を盛土によって嵩上げして整備した上で海岸防災林を造成することを提案し（小田 2000, 2001）、それ以降、千葉県沿岸の海浜後背部の堤間湿地においては、これに従って海岸防災林の造成工事が行われてきた。千葉県における盛土材料は、建設発生土、河口浚渫土である。千葉県においては、山武市、白子町、富津市の 3 市町 4 箇所 7 断面を調査対象として選定し、土壌調査を実施した。それぞれの土壌断面の記載と写真を Appendix Fig. 4 に示す。千葉県県有海岸防災林の生育基盤の土壌も、他と同様に、重機踏圧による締め固めの影響が確認された（【断面 41、42、43、44】）。この問題は、造成工事着手初期から提起されており、土壌改良工の試行、および植栽木の生育や根系発達に対する効果の検証が実施されてきた（野原・高橋 2007）。【断面 43、44、45】は、野原・高橋（2007）による試験地に相当している。土壌改良工として実施されたバックホウによる列状深耕は、植栽木の土壌深部への根系発達に対して有効であり、その効果は土壌改良工の実施から 20 余年が経過した本研究の調査年次においても持続していることが改めて確認され（【断面 45、46】）、【断面 46】の写真のように、列状深耕箇所にはクロマツの根系が「固結」を示す 3C 層直上（120 cm 深）付近まで達していた。ところで、本研究で土壌調査を実施した海岸防災林の生育基盤としては、富津市富津公園内の海岸防

災林（千葉県中部林業事務所管内）の造成年次が最も古く、平成元年度の施工である。過去の資料によると、ここも低湿地対策として100 cm程度の厚さの盛土を行い、生育基盤を整備し、海岸林が造成された。盛土材料の調達先は不明であるが、土壌調査では、特に、表層部のA層、AC層より下層の層位（C₁層～2C₂層）を構成していた土壌は、比較的粒径が粗く、地山の海砂に近い土性を示しており、堅密な土層を形成していないことが確認された（【断面47】）。また、地下水位は、もともとの地盤である地山表層部、すなわち2AC層直下（80 cm深付近）に確認されたものの、その上層の土壌の良好な物理特性により盛土して嵩上げた土層は有効に機能していることも確認できた。その生育基盤に植栽された30年生のタブノキやクロマツの生育状況も良好であり、富津公園における海岸林造成のための低湿地対策工は有効であると言えた。

3-5. 東京湾内の人工島上の海浜公園の生育基盤の土壌

海岸防災林造成や治山工事に伴う生育基盤盛土工のように、人為影響を強く受けた人工改変土壌へ緑化木を植栽する場面は、ニュータウン等の宅地造成や公園整備、高速道路等の交通インフラ整備など、都市工学・造園学・緑化学分野ではごく一般的な事業である。そのため、本論で既出の森林・林業分野の造成土壌に比べ、これらの分野における生育基盤の、土壌としての経過期間、すなわち、土壌生成作用の影響を受けた時間は長いと言える。戦後、東京湾には、外来の盛土材料によって多くの埋立地や人工島が造成され、それらを生育基盤として整備された緑地や公園は多数存在する。本研究では、1987年に埋立完了した海の森公園2断面、1980年に完了した東京都立東京港野鳥公園の2断面を対象に、土壌調査を実施した。海の森公園における盛土材料はバーク堆肥、土壌改良材、優良土、建設発生土を配合した土（東京都港湾局臨海開発部海上公園課2020）、野鳥公園については瓦礫、建設発生土、浚渫土（Matsudaira 2019）である。これらの4つの土壌断面の記載と写真をAppendix Fig. 5に示す。海の森公園における生育基盤の土壌においても、既述の海岸防災林の生育基盤と同様に、生育基盤の整備時の土壌締め固めの痕跡が確認された（【断面48、49】）。両方の断面とも土壌硬度が低い（堅密度が「堅」より低い）有効土層厚は20～30 cmと推察され、それより深い土層では土壌の堅密度が「すこぶる堅」または「固結」となっていた。そのため、植え穴から根が出られず根巻きしている様子（【断面48】）や垂下根が発達せず水平根が伸びている様子（【断面49】）が確認された。一方、野鳥公園では断面下層部において「すこぶる堅」を示す土層が現れたもののタブヤシ、エノキなどの樹木根が生育基盤の内部に侵入している様子が観察された。しかし「固結」を示す土層への根の侵入は確認できなかった。野鳥公園の植栽木の樹木サイズは、植栽後の経過時間も長いこと

もあり、海の森公園も含む他所に比べて大きかった。土壌の水分状態は、海の森公園、野鳥公園ともに、他県で調査した生育基盤盛土の土壌と比べて、「乾」、または「乾～潤」、あるいは「潤」の範囲にあり、一時的にも滞水や過湿が疑われる状況にはなかった。植栽面の勾配が4～16°と緩い勾配があったため、他所に比べて表面排水が促されたことが誘因となっている可能性が示唆された。

4. おわりに

これまでの日本の林業・森林造成は、「適地適木」の下で自然土壌を対象として行われてきたが、その一方で、毎年、各地で相次ぐ自然災害からの復興現場においては、切土や盛土をして森林を造成する治山工事を進める場面が全国的に増えている。さらに、現在の日本の土地利用を顧みると、農地や林地は減少の一途を辿る一方で、強度に人為攪乱の影響を受けた開発地の面積が増加傾向にある。土壌に対する人為影響は、森林造成の現場だけでなく、日本の国土全体の問題となっており、従来の（森林）土壌学の中で考慮されてきた範疇を超える状況となっている。本稿では、森林造成のため、人工的に整備された生育基盤の土壌の断面を観察、記載し、その性状を基礎情報として提示した。これらの資料は、既述のような情勢の中で、今後、強度に人為の影響を受けた土壌をどのように扱っていけば良いか、扱うべきか、検討する上で、貴重な基礎情報となり得るだろう。

謝辞

本研究では、林野庁東北森林管理局仙台森林管理署管内の国有林、岩手、宮城、福島、千葉各県の県有林、東京都港湾局管内の公園、陸前高田市、名取市の市有林、東松島市内の防潮堤を調査対象として利用させていただいた。調査地への入林、作業許可および現地調査に関して、林野庁東北森林管理局、同局仙台森林管理署、岩手県北広域振興局林務部、同県沿岸広域振興局農林部大船渡農林振興センター、宮城県水産林政部森林整備課、福島県相双林業事務所、千葉県北部林業事務所、同県中部林業事務所、住友林業株式会社サステナビリティ推進室、一般財団法人日本緑化センター、公益財団法人オイスカの関係者の方々に多大なご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。本研究は、森林総合研究所運営交付金プロジェクト2「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」（課題番号201411、課題代表者：篠宮佳樹）、森林総合研究所運営交付金プロジェクト1「根系成長確保による高い津波耐性を特長とする盛土を伴う海岸林造成の技術的指針の策定」（課題番号201701、課題代表者：野口宏典）による成果である。

引用文献

土じょう部（1976）林野土壌の分類1975. 林業試験場研究報告, 280, 1-28.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2006) *Guidelines for Soil Description. Fourth Edition.* Rome, 97 pp.
- 長谷川 秀三 (1984) 土壌貫入計による土壌改良の施工管理について. 第5回道路緑化研究発表会要旨論文集, 10-11.
- 木田 仁廣 (2018) 人工物質の影響に着目した造成土の土壌生成学的研究. 首都大学東京大学院都市環境科学研究科学位論文, 125 pp.
- 真下 育久 (1973) 硬度計による森林土壌の堅密度の区分および祖孔隙量の予知. 森林立地, 15, 22-24.
- Matsudaira, H. (2019) Soils on man-made islands in Tokyo Bay. In Watanabe, M. and Kawahigashi, M. (eds.) *"Anthropogenic soils in Japan"*. Springer Nature, Singapore, 117-133.
- 森本 幸裕 (1985) 緑地における樹木生産基盤に関する研究. 京都大学大学院農学研究科博士論文, 160 pp.
- 日本ペドロロジー学会 (1997) 土壌調査ハンドブック. 博友社, 169 pp.
- 野原 咲枝・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.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局 (2010) 新版標準土色帖. 富士平工業, 14 pp.
- 小田 隆則 (2000) 砂丘海岸林の低湿地におけるクロマツ根系の分布特性からみた必要盛土厚. 日本砂丘学会誌, 47, 201-110.
- 小田 隆則 (2001) 海岸砂丘低湿地における植栽木根系の耐水反応と樹林帯造成法に関する研究. 千葉県森林研究センター特別研究報告, 3, 1-78.
- 小野 賢二・野口 宏典・村上 尚徳 (2020) 人工生育基盤を巡るこれまでの状況と課題—津波被災海岸防災林再生の現場から—. 森林技術, 936, 10-13.
- 林野庁林業試験場 (1955) 国有林林野土壌調査方法書. 農林省林業試験場, 47 pp.
- 東京都港湾局臨海開発部海上公園課 (2020) “海の森の概要”, <https://www.kouwan.metro.tokyo.lg.jp/kanko/uminomorileaflet2018.pdf> (2020-3-13 参照)
- Watanabe, M. and Kawahigashi, M. (2019) Anthropogenic Soils in Japan. *International Perspectives in Geography*, AJG Library 9, Springer Nature Singapore Pte Ltd, 186 pp.
- 矢橋 晨吾・金光 達太郎 (1985) 特殊土の植栽基盤としての改良 I. 稲城砂の物理的性質. 千葉大学園芸学部学術報告, 35, 43-46.
- 矢橋 晨吾・金光 達太郎 (1987) 特殊土の植栽基盤としての改良 II. 稲城砂とロームの混合が締固めに及ぼす影響. 千葉大学園芸学部学術報告, 35, 69-76.

Appendix Fig. 1 土壌断面の記載と写真【岩手県】

Descriptions and photos of soil profiles in Iwate Prefecture.

【断面1】 大湊1 Im (未熟土)

盛土材料：上層：津波堆積物（表土扱い）、下層：治山工事発生土（溪流床掘土砂・溪流浚渫土）

調査地： 岩手県久慈市大湊 岩手県県有防潮林

2015年度大湊地区海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 久慈

緯度 40°12'30"N 経度 141°47'53"E

標高：3 m

土地利用：岩手県県有防潮林 生育基盤盛土

断面方位：0°N 傾斜：1°

調査土壌深：110 +cm

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：クロマツ植栽地（2017年春植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017.9.27

土壌断面の記載…

- LFH: 0 cm なし、西洋クローバが繁茂、砂利が散乱
- C₁: 0 ~ 8 cm 暗灰黄色 (2.5Y 4/2)、壤土、乾、未風化な小・中・大角礫含む、非常に弱度の中・大粒状構造、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (21.6*)、隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、次層位との層界は不規則漸変
- C₂: 8 ~ 30 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、壤土、潤、未風化な小・中・大・粗大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (22.2*)、隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、次層との層界は不規則漸変
- C₃: 30 ~ 58 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、埴壤土、潤、未風化な中・大・粗大亜角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.6*)、隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、次層との層界は平坦明瞭
- C₄: 58+ ~ cm 暗褐色 (10YR 3/4)、砂土、潤、未風化な小・中・大・粗大円礫富む、構造なし、しょう、堅 (18.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し・中根乏し

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



【断面2】大湊2 1m (未熟土)

盛土材料：購入土（採取地：久慈市小久慈町白山、粒径 50 mm ϕ 以下、盛り土材成分含量 81.5%）

調査地： 岩手県久慈市大湊 岩手県県有防潮林

2014 年度大湊地区海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 久慈

緯度 40°12'26"N 経度 141°47'52"E

標高：3 m 土地利用：岩手県県有防潮林 生育基盤盛土

断面方位：0°N 傾斜：3°

調査土壌深：85+ cm

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：クロマツ植栽地（2017 年春植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017. 9.27

土壌断面の記載 …

LFH: 0 cm なし

C₁: 0 ~ 3 cm 褐色 (10YR 4/6)、壤土、乾、未風化な中・大・粗大亜角礫乏し、非常に弱度の中粒状構造、しょう、軟 (13.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根あり、次層位との層界は平坦判然

C₂: 3 ~ 15 cm 暗褐色 (10YR 3/4)、壤土、潤、未風化な中・大・粗大亜角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根乏し・大根乏し、次層との層界は平坦漸変

C₃: 15 ~ 40 cm 暗褐色 (10YR 4/4)、埴壤土、潤、未風化な中・大・粗大亜角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根乏し、次層との層界は平坦漸変

C₄: 40 ~ 60 cm 褐色 (7.5YR 4/4)、砂質埴壤土、潤、未風化な中・大・粗大亜角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根乏し、次層との層界は平坦漸変

C₅: 60 ~ 83 cm 褐色 (7.5YR 4/6)、砂質埴壤土、潤、未風化な中・大・粗大亜角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根乏し、次層との層界は平坦明瞭

2C: 83 ~ 100+ cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、微砂質埴壤土、潤、未風化な中・大・粗大亜角礫すこぶる富む、構造なし、壊れにくい、堅 (21.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



【断面3】 前浜 A 1m (未熟土)

盛土材料：三陸復興道路建設に伴う道路工事発生土、上層部は河川浚渫土

調査地： 岩手県野田村前浜 岩手県県有防潮林

2016年度前浜地区海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 久慈

緯度 40°6'55"N 経度 141°49'37"E

標高：4 m 土地利用：岩手県県有防潮林 生育基盤盛土

断面方位：0° N 傾斜：1°

調査土壌深：120+ cm

有効土層深：40 cm

林相：クロマツ植栽地 (2017年秋植栽)

調査者氏名 小野賢二・村上尚徳

調査日 2019.10.17

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm なし

C: 0 ~ 2 cm 黒褐色 (10YR 2/3)、壤土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい・粘着性弱・可塑性なし、軟 (14.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし (この層は19年10月13日の台風19号降雨に伴う浸水で持ち込まれた土砂層)、次層位との層界は平坦判然

2C₁: 2 ~ 18 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤土、潤、未風化な中角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい・粘着性なし・可塑性なし、軟 (9.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、大・中根乏し・小根あり・細根富む、次層位との層界は平坦漸変

2C₂: 18 ~ 40 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、壤質砂土、多湿、未風化な粗大・中角礫あり・未風化な大角礫含む、構造なし、粗しょう・粘着性なし・可塑性なし、鬆 (7.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、中・小根あり・細根富む、次層との層界は平坦判然

3C₁: 40 ~ 55 (~ 70) cm 黒褐色 (2.5Y 3/2)、砂質埴土、過湿、未風化な粗大・大角礫含む、構造なし、粗しょう・粘着性なし・可塑性なし、軟 (10.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根あり、次層との層界は不規則判然

3C₂: 55 (~ 70) ~ 90 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂質埴土、多湿、未風化な粗大角礫含む、構造なし、粗しょう・粘着性なし・可塑性なし、軟 (10.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦判然

3C₃: 90+ cm ~ 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂質埴土、湿、未風化な巨角礫含む・未風化な粗大角礫富む、構造なし、非常に砕けやすい・粘着性なし・可塑性なし、(水没で測定不可*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) と周辺風景 (右)



【断面4】 前浜 D 1m (未熟土)

盛土材料：全層：河川浚渫土、最下層（基盤）部は資材置き場等としての利用履歴あり

調査地： 岩手県野田村 岩手県県有防潮林

2017年度前浜地区海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 久慈

緯度 40°6'10"N 経度 141°49'31"E

標高：3 m 土地利用：岩手県県有防潮林 生育基盤盛土

断面方位：240° N

傾斜：2°

調査土壌深：130 +cm

有効土層深：40 cm

林相：クロマツ植栽地（2018年春植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2018.10.15

土壌断面の記載…

L: 0.5 cm 雑草の枯れ草由来のリター

C₁: 0 ~ 14 cm 黒褐色 (10YR 3/1)、壤土、潤、未風化な小・中・大亜角礫乏し、非常に弱度な大粒状構造、非常に砕けやすい、堅 (17.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根含む・中根乏し、次層位との層界は平坦漸変

C₂: 14 ~ 36 cm 黒褐色 (10Y 3/1)、埴壤土、潤 (~湿)、未風化な小・中・大亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (16.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根あり・中根乏し、次層との層界は平坦漸変

C₃: 36 ~ (50 ~)60 cm 黒褐色 (2.5Y 3/1)、砂質埴壤土、潤 (~湿)、未風化な小・中・粗大亜角礫あり・未風化な大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、堅 (16.8*)、隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、腐敗した枯れ草類の塊 (河川浚渫土のためか)、次層との層界は不規則不明瞭

C₄: 60 ~ 90 cm 黒褐色 (10YR 3/1)、砂質埴壤土、潤 (~湿)、未風化な小・中亜角礫あり・未風化な大・粗大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、堅 (18.2*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし、次層との境界は不規則漸変

C₅: 90 ~ 130 cm 黒色 (10YR 2/1)、砂質埴壤土、潤 (~湿)、未風化な小・中亜角礫あり・未風化な大亜角礫含む・未風化な粗大・巨亜角礫富む、構造なし、砕けやすい、堅 (16.8*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし、次層との層界は不規則判然

2C: 130+ ~ cm 黒褐色 (2.5Y 3/2)、砂土、潤、未風化な小円礫富む・未風化な中円礫含む・未風化な大亜角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (17.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



【断面5】 野田村前浜 E 1m (未熟土)

盛土材料：道路工事発生土

調査地： 岩手県野田村 岩手県県有防潮林

2018年度前浜地区海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 久慈

緯度 40°6'14"N 経度 141°49'31"E

標高：4 m 土地利用：岩手県県有防潮林 生育基盤盛土

断面方位：0° N 傾斜：2°

調査土壌深：230+ cm

有効土層深：117+ cm

林相：クロマツ植栽地 (2018年春植栽)

調査者氏名 小野賢二

調査日 2018.10.16

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm なし

C₁: 0 ~ 2 cm にぶい黄褐色 (10YR 5/4)、砂質壤土、乾、未風化な小・中・大亜角礫乏し、弱度の中板状構造、非常に砕けやすい、堅 (17.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層位との層界は平坦判然C₂: 2 ~ 20 cm 褐色 (10YR 4/6)、砂質壤土、乾~潤、未風化な中・大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し、次層との層界は平坦漸変C₃: 20 ~ 50 cm 褐色 (10YR 4/6)、砂質壤土、乾~潤、未風化な中・大・粗大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層との層界は平坦不明瞭C₄: 50 ~ 90 cm 褐色 (10YR 4/6)、砂質壤土、潤、未風化な大・粗大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭C₅: 90 ~ 200 cm 褐色 (10YR 4/6)、砂質壤土、潤、未風化な大・粗大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦判然C₆: 200 ~ 230+ cm 黄褐色 (10YR 5/6)、砂質壤土、潤、未風化な小亜角礫あり・未風化な中・大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (9.6*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) と植栽から1成長期経過したクロマツ根系 (右)



【断面6】 前浜 P-1 1m (未熟土)

盛土材料：河川（泉沢川）浚渫土（2016年台風10号災害由来：全層に枯れ葎が混じる）

調査地： 岩手県野田村前浜 岩手県県有防潮林

2016年度前浜地区海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 陸中野田

緯度 40°6'37"N 経度 141°49'33"E

標高：3 m 土地利用：岩手県県有防潮林 生育基盤盛土

断面方位：60° N 傾斜：3°

調査土壌深：170+ cm

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

林相：2017年度クロマツ植栽予定地（調査実施日当時）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017.9.29

土壌断面の記載 …

- L: 3 cm 下層植生のイネ科雑草刈り払い跡
- C₁: 0～6 cm 黒褐色 (10YR 2/2)、砂質壤土、潤、未風化な中円礫乏し、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (10.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し・中根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭
- C₂: 6～30 cm 黒色 (10YR 2/1)、微砂質埴壤土、湿、未風化な中円礫乏し、構造なし、非常に碎けやすい、堅 (15.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し・中根乏し、次層との層界は平坦不明瞭
- C₃: 30～50 cm 黒色 (2.5Y 2/1)、微砂質埴壤土、湿、未風化な大円礫乏し・未風化な中亜角礫乏し、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (11.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し・中根乏し、次層との層界は平坦判然
- C₄: 50～80 cm 黒色 (10YR 2/1)、微砂質壤土、過湿、未風化な中亜角礫乏し、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (11.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭
- C₅: 80～100 cm 黒褐色 (2.5Y 3/1)、微砂質壤土、湿、未風化な中亜角礫乏し、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (12.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭
- C₆: 100～130 cm オリーブ黒色 (5Y 2/2)、壤土、過湿、未風化な中亜角礫乏し、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (12.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭
- C₆: 130～160 cm オリーブ黒色 (5Y 2/2)、砂質壤土、過湿、未風化な中・大亜角礫乏し、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (13.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦判然
- 2C: 160+ cm～ 黒褐色 (2.5Y 3/1)、壤質砂土、湿、未風化な大亜角礫あり、構造なし、非常に碎けやすい、堅 (15.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、瓦片などの瓦礫が混じる

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面（左：フラッシュ無し、右：フラッシュあり）



【断面7】 野田村前浜 P-2 Im (未熟土)

盛土材料：河川（久慈川）浚渫土（2016年台風10号災害由来）

調査地： 岩手県野田村 岩手県県有防潮林

2017年度前浜地区海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 久慈

緯度 40°6'39"N 経度 141°49'34"E

標高：4 m

土地利用：岩手県県有防潮林 生育基盤盛土

断面方位：60° N 傾斜：1°

調査土壌深：170+ cm

有効土層深：140+ cm

林相：クロマツ植栽地 2017年秋植栽

調査者氏名 小野賢二・村上尚徳

調査日 2019.10.16

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm なし

C: 0～2 cm 黒褐色(10YR 2/2)、微砂質埴壤土、多湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい・粘性弱・可塑性なし、軟(11.4*)、孔隙なし、孔隙率2、生根なし（この層は19年10月13日の台風19号降雨に伴う浸水で持ち込まれた土砂層）、次層位との層界は平坦明瞭

2C₁: 2～20 cm 暗オリーブ褐色(2.5Y 3/3)、微砂質壤土、潤、未風化な大角礫あり・未風化な中角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅(15.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、中根乏し・小根含む・細根富む、次層位との層界は平坦不明瞭2C₂: 20～50 cm 黒褐色(2.5Y 3/2)、砂質壤土、湿、未風化な大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅(14.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、大・中・小根乏し・細根あり、次層との層界は平坦不明瞭2C₃: 50～70 cm 黒褐色(2.5Y 3/2)、壤質砂土、湿、未風化な粗大角礫乏し・未風化な大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅(15.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、瓦礫が混じる、次層との層界は平坦不明瞭2C₄: 70～100 cm 黒褐色(10YR 3/2)、砂質埴壤土、湿、未風化な大角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅(15.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、中根乏し・細根あり、瓦礫が混じる、次層との層界は平坦不明瞭2C₅: 100～130 cm 黒褐色(2.5Y 3/2)、壤質砂土、湿、未風化な大角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅(16.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、小・細根乏し、次層との層界は平坦不明瞭2C₆: 130～170+ cm 黒褐色(10YR 3/2)、砂質壤土（塊状に基質との境界状態が漸変でコントラストが不鮮明な大斑紋（埴土：黒10Y2/1）含む）、湿、未風化な大角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟(14.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との境界は平坦明瞭

3C: 170+ cm～ 暗褐色(10YR 3/3)、埴土、潤、未風化な大角礫あり・未風化な中角礫含む・未風化な小角礫富む、構造なし、粗しょう、堅(15.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面（左）と周辺の状況（中）および最下層の状態（右）



【断面8】 高田松原1 Im(未熟土)

盛土材料：陸前高田市小友地区周辺より採取した花崗岩質山土（礫土）

調査地： 岩手県陸前高田市 高田松原地区 海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 陸前広田

緯度 39°00'26"N 経度 141°38'13"E

標高：3-4 m 土地利用：高田松原第1 および第2 堤防間の海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：240° N 傾斜：0°

調査土壌深：170 cm+

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

林相：クロマツ・アカマツコンテナ苗植栽地

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017.4.24

土壌断面の記載 …

L, F, H: 0 cm リター無し

C₁: 0 ~ 8 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、乾、風化した中・大亜角礫あり、構造なし、非常に碎けやすい、しょう (7.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層位との層界は平坦不明瞭

C₂: 8 ~ 35 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、風化した大・粗大・巨角礫あり、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (11.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₃: 35 ~ 60 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、風化した大・粗大・巨角礫含む、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (10.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は不規則漸変

C₄: 60 ~ 80 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、潤、風化した粗大亜角礫含む、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (10.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₅: 80 ~ 100 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、潤、風化した大・粗大亜角礫含む、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (10.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は不規則判然

C₆: 100 ~ 120 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、潤、風化した粗大亜角礫含む、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (13.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₇: 120 ~ 140 cm 暗オリーブ色 (5Y 4/3)、砂質埴壤土、潤、風化した粗大・巨亜角礫含む、構造なし、粗しょう、軟 (13.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₈: 140 ~ 170 cm 暗オリーブ色 (5Y 4/3)、砂質壤土、湿、風化した粗大・巨亜角礫含む、構造なし、粗しょう、しょう (6.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦明瞭

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



【断面9】 高田松原2 1m(未熟土)

盛土材料：陸前高田市小友地区周辺より採取した花崗岩質山土（礫土）

調査地： 岩手県陸前高田市 高田松原地区 海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 陸前広田

緯度 39°00'26"N 経度 141°38'12"E

標高：3-4 m 土地利用：高田松原第1 および第2 堤防間の海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：105° N 傾斜：0°

調査土壌深：210 cm+

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

林相：クロマツ・アカマツコンテナ苗植栽地

調査者氏名 小野賢二・野口宏典

調査日 2017.5.9

土壌断面の記載…

L, F, H: 0 cm リター無し

C₁: 0 ~ 25 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、壤土、乾、風化した中・大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (9.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭C₂: 25 ~ 55 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、乾、風化した大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (8.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭C₃: 55 ~ 73 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、風化した大亜角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₄: 73 ~ 97 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、風化した大亜角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₅: 97 ~ 140 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤土、潤、風化した大亜角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦判然C₆: 140 ~ 170 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴土、潤、未風化な粗大・巨・大巨亜角礫富む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (14.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₇: 170 ~ 200 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、砂質壤土、潤、未風化な粗大・巨・大巨亜角礫富む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦明瞭C₈: 200 cm+ 暗オリーブ色 (2.5Y 3/2)、壤土、潤、未風化な中・大亜角すこぶる富む、構造なし、砕けやすい、生根なし

* 山中式硬度計の測定したものの平均値 (mm)

土壌断面写真



【断面10】 高田松原3 Im (未熟土)

盛土材料：陸前高田市小友地区周辺より採取した花崗岩質山土（礫土）

調査地： 岩手県陸前高田市 高田松原地区 海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 陸前広田

緯度 39°00'25"N 経度 141°38'11"E

標高：3-4 m 土地利用：高田松原第1 および第2 堤防間の海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：70° N 傾斜：0°

調査土壌深：250 cm+

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

林相：クロマツ・アカマツコンテナ苗植栽地

調査者氏名 小野賢二・野口宏典

調査日 2017.5.10

土壌断面の記載…

L, F, H: 0 cm リター無し

C₁: 0 ~ 25 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、未風化な中・大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (9.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層位との層界は平坦不明瞭

C₂: 25 ~ 50 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、未風化な中・大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦判然

C₃: 50 ~ 85 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、未風化な大・粗大亜角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (17.0*)、隙間孔隙 (亀裂もあり)、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦漸変

C₄: 85 ~ 105 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、砂質壤土、潤、未風化な中・大・粗大亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (16.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦漸変

C₅: 105 ~ 130 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、未風化な大・粗大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、堅 (15.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦漸変

C₆: 130 ~ 160 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤土、潤、未風化な大・粗大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、堅 (20.0*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₇: 160 ~ 180 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤土、潤、未風化な大・粗大・巨亜角礫富む、構造なし、砕けやすい、堅 (18.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦漸変

C₈: 180 ~ 200 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、潤、未風化な大・粗大・巨亜角富む、構造なし、砕けやすい、生根なし、次層との層界は平坦漸変

C₉: 200 ~ 250 cm+

* 山中式硬度計の測定したものの平均値 (mm)

土壌断面写真



【断面11】 高田松原 4 1m (未熟土)

盛土材料：陸前高田市小友地区周辺より採取した花崗岩質山土（礫土）

調査地： 岩手県陸前高田市 高田松原地区 海岸防災林造成工事施工地（高田松原を守る会植栽試験地）

地形図図幅：1:25,000 陸前広田

緯度 39°00'25"N 経度 141°38'13"E

標高：3-4 m 土地利用：高田松原第1 および第2 堤防間の海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：240° N 傾斜：3°

調査土壌深：150 cm+

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

林相：クロマツ・アカマツコンテナ苗植栽地

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017.11.21

土壌断面の記載 …

L, F, H: 0 cm リター層無し

C₁: 0 ~ 5 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、壤質砂土、潤、風化した小・中・大円礫あり、根の周りに非常に弱度な細塊状構造、非常に砕けやすい、軟 (12.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層位との層界は平坦漸変C₂: 5 ~ 20 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤土、潤、風化した小・中・大円礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し、次層との層界は平坦漸変C₃: 20 ~ 50 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4-6)、砂質壤土、潤、風化した小・中・大円礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層との層界は平坦漸変C₄: 50 ~ 80 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、未風化な小・中・大・粗大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層との層界は平坦判然C₅: 80 ~ 105 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤土、潤、未風化な小・中・大・粗大角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層との層界は平坦判然C₆: 105 ~ 130 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、微砂質壤土、潤 (~湿)、未風化な中・大垂角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.4*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし、次層との層界は平坦判然C₇: 130+cm ~ 黒褐色 (10YR 3/2)、微砂質壤土、潤 (~湿)、未風化な中・大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.0*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし

* 山中式硬度計の測定したものの平均値 (mm)

土壌断面写真



【断面12】 小友 A Im (未熟土)

盛土材料：陸前高田市広田半島周辺より採取した山土（礫土）

調査地： 岩手県陸前高田市小友 NPO 法人高田松原を守る会 植栽試験地

地形図図幅：1:25,000 陸前広田 緯度 38°59'33"N 経度 141°41'32"E

標高：3 m 土地利用：畑地上に造成した生育基盤盛土

断面方位：200° N 傾斜：0° 調査土壌深：70 cm+

有効土層深：20 cm（植栽木の根は植え穴から下に伸びていない）

林相：クロマツ・アカマツコンテナ苗植栽（NPO 法人高田松原を守る会試験植栽地）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2016.10.27

土壌断面の記載 …

L, F, H: 0 cm リター無し。一部、枯れ草が地表を被覆。

C₁: 0 ~ 12 cm 暗オリーブ色 (5Y 4/3)、砂質埴壤土、乾、未風化な中・大亜角礫または角礫あり、構造なし、堅 (19.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、草本の枯死根表面に菌糸発生、次層位との層界は平坦不明瞭

C₂: 12 ~ 34 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、砂質埴壤土、潤、未風化な大・粗大・巨角礫含む、構造無し、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (25.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は不規則不明瞭

C₃: 34 ~ 56 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、潤、未風化の大・粗大・巨角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (21.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は不規則不明瞭

C₄: 56 ~ 70+ cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質埴壤土、潤、未風化の粗大・巨・大巨角礫すこぶる富む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.8*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面13】 小友B Im(未熟土)

盛土材料：陸前高田市広田半島周辺より採取した山土（礫土）

調査地： 岩手県陸前高田市小友 NPO 法人高田松原を守る会 植栽試験地

地形図図幅：1:25,000 陸前広田 緯度 38°59'33" 経度 141°41'32"

標高：3 m 土地利用：畑地上に造成した生育基盤盛土

断面方位：200° N 傾斜：0° 調査土壌深：75 cm+

有効土層深：35 cm

林相：クロマツ・アカマツコンテナ苗植栽（NPO 法人高田松原を守る会試験植栽地）

調査者氏名 小野賢二 調査日 2016.10.27

土壌断面の記載 …

L, F, H: 0 cm リター無し。一部、枯れ草が地表を被覆。

C₁: 0 ~ 17 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、潤、未風化の中・大角礫あり、構造なし、堅 (18.4*)、隙間孔隙、孔隙率2、細・小根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭

C₂: 17 ~ 35 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質埴壤土、湿、未風化の大・粗大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.4*)、隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、次層との層界は不規則不明瞭

C₃: 35 ~ 60 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質埴壤土、湿、未風化の大・粗大・巨角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (15.0*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし、次層との層界は不規則漸変

C₄: 60 ~ 75+ cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、湿、未風化の大・粗大・巨角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (21.0*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 14】 小友 C Im (未熟土)

盛土材料：陸前高田市小友地区周辺より採取した山土（礫土）

調査地： 岩手県陸前高田市小友

地形図図幅：1:25,000 陸前広田

緯度 38°59'33"N 経度 141°41'32"E

標高：3 m 土地利用：畑地上に造成した生育基盤盛土

断面方位：200° N

傾斜：0°

調査土壌深：115 cm+

有効土層深：60 cm

林相：クロマツ・アカマツコンテナ苗植栽（NPO 法人高田松原を守る会試験植栽地）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2016.10.28

土壌断面の記載 …

L, F, H: 0 cm リター無し。一部、枯れ草が地表を被覆。

C₁: 0 ~ 13 cm 暗オリーブ褐~オリーブ褐色 (2.5Y 3 ~ 4/3)、砂質壤土、潤、未風化の小・中・大角礫乏し、構造なし、堅 (17.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭C₂: 13 ~ 30 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質埴壤土、潤、未風化の中・大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (13.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦不明瞭C₃: 30 ~ 52 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質埴壤土、湿、未風化の中・大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦判然C₄: 52 ~ 90 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、過湿、未風化の中・大・粗大角礫含む、構造なし、しょう (計測不可*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は不規則漸変C₅: 90 ~ 105 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、過湿、未風化の大・粗大角礫富む、構造なし、しょう (計測不可*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦明瞭

2C: 105 ~ 115+cmにぶい黄褐色 (10YR 4/4)、砂質埴土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



Appendix Fig. 2 土壌断面の記載と写真【宮城県】

Descriptions and photos of soil profiles in Miyagi Prefecture.

【断面15】 野蒜 G4 Im (未熟土)

母材 野蒜地区集団防災移転地造成切土による建設発生土(下層に大礫混じる)

調査地 宮城県東松島市洲崎 野蒜海岸 防潮第二線堤施工地

図幅 1:25,000 小野

緯度 38°21'45"N

経度 141°9'22"E

標高 23 m 程度

地形

宮城県東松島市有地 防潮第2線堤上 法面斜面上部

断面方位: 0° N 傾斜: 1°

調査土壌深 70+ cm

有効土層深: 30 cm+

植生: アカマツ、アカメガシワなど

調査者氏名 小野賢二・渡辺名月・長塚英樹 調査日 2019.5.22

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm なし、クズなど若干の草本、クロマツ苗木留め植栽箇所下部

C₁: 0 ~ 10 cm 褐色(10YR 4/6)、埴質壤土、未風化の大角礫含む・未風化の中角礫あり、非常に弱度の小粒状構造、粗しよう、軟(12.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、大・中根乏し・小根含む・細根富む、次層位との層界は平坦不明瞭C₂: 10 ~ 30 cm 褐色(10YR 4/6)、埴質壤土、未風化の巨角礫富む・未風化の粗大・大角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟(12.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、小・細根含む、次層との層界は平坦不明瞭C₃: 30 ~ 50+ cm 褐色(10YR 4/6)、埴質壤土、未風化の巨角礫富む・未風化の粗大・大角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、堅(17.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、小・細根乏し

* 山中式硬度計の測定したものの平均値 (mm)

土壌断面写真



【断面16】 野蒜 C400 1m (未熟土)

盛土材料：野蒜地区集団防災移転に伴う切土による発生土

調査地：宮城県東松島市洲崎 野蒜海岸 防潮第二線堤施工地

地形図図幅：1:25,000 小野

緯度 38°21'38"N

経度 141°9'20"E

標高：23 m 土地利用：宮城県東松島市有地 防潮第2線堤上 法面斜面中部

断面方位：120° N 傾斜：13°

調査土壌深：130 cm

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

植生：クズ、アカマツ、ヨシなど

調査者氏名 小野賢二・渡辺名月・渡辺晋二・長塚英樹 調査日 2018.5.23

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm 枯れたクズの茎、石礫が点在

C₁: 0～2 cm 黄褐色 (10YR 5/6)、壤土、乾、風化した中・小・細亜角礫乏し、中度の小粒状構造、粗しょう、軟 (10.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層位との層界は平坦判然

C₂: 2～14 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、埴質壤土、潤、風化した大・中亜角礫あり・風化した小亜角礫乏し、非常に弱度の中塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (20.2*)、隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、次層との層界は平坦漸変

C₃: 14～33 cm 黄褐色 (10YR 4/6)、砂質埴土、潤、風化した中・小亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (20.2*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし、次層との層界は平坦漸変

C₄: 33～70 cm 黄褐色 (10YR 4/6)、砂質埴土、潤、未風化な大角礫含む・風化した中・小亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (22.2*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし、次層との層界は平坦判然

C₅: 70～115 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂質埴壤土、湿、風化した粗大・中・小亜角礫あり・風化した大亜角礫含む、構造なし、しょう、堅 (19.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、生根なし、次層との層界は平坦判然

C₆: 115～cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、砂質埴土、粗大角礫富む (礫層)

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) と掘り上げた土壌基質の状態 (右)



【断面 17】 荒浜 7A Im (未熟土)

盛土材料：中新世の海成または非海成堆積岩類（大郷町より採取、搬入）

調査地：宮城県仙台市若林区井土須賀地内 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 仙台7工区 松林国有林内

地形図図幅：1:25,000 荒浜

緯度 38°13'38.8"

経度 140°59'26.0"

標高：4 m

土地利用：海岸後浜 生育基盤盛土（汀線よ 300 m 内陸）

断面方位：330° N 傾斜：0°

調査土壌深：125 cm+

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：クロマツ（コンテナ苗植栽地）

調査者氏名 小野賢二・野口宏典

調査日 2016.2.19

土壌断面の記載 …

L, F, H: 0 cm

C₁: 0 ~ 10 cm にぶい黄橙色 (10YR 6/4)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (6.0*)、隙間孔隙、細根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭

C₂: 10 ~ 30 cm にぶい黄橙色 (10YR 6/3)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.6*)、隙間孔隙、細根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭

C₃: 30 ~ 50 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.2*)、隙間孔隙、細根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭

C₄: 50 ~ 75 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、潤~湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.6*)、隙間孔隙、細根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭

C₅: 75 ~ 100 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、潤~湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.4*)、隙間孔隙、根なし、次層位との層界平坦判然

C₆: 100 ~ 110 cm にぶい黄褐色 (2.5Y 6/4)、壤質砂土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.8*)、隙間孔隙、孔隙率 1、根なし、次層位との層界平坦判然

C₇: 110 ~ 120+cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質埴壤土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.2*)、隙間孔隙、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面18】 荒浜 7B 1m (未熟土)

盛土材料：山砂 中新世の海成または非海成堆積岩類（大和町・大郷町・利府町より搬入）

調査地： 宮城県仙台市若林区井土須賀地内 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 仙台7工区 松林国有林内

地形図図幅：1:25,000 荒浜

緯度 38°13'39.6"

経度 140°59'24.2"

標高：4 m

土地利用：海岸後浜 生育基盤盛土（汀線より 300 m 内陸）

断面方位：330° N 傾斜：0°

調査土壌深：60 cm+

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：クロマツ（コンテナ苗植栽地）

調査者氏名 小野賢二・野口宏典

調査日 2016.2.19

土壌断面の記載…

L, F, H: 0 cm

C₁: 0 ~ 10 cm にぶい黄褐色 (10YR 5/4)、壤質砂土、乾～潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.4*)、隙間孔隙、細根・小根乏し、次層位との層界は平坦漸変

C₂: 10 ~ 20 cm オリーブ褐色 (10YR 4/4)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.6*)、隙間孔隙、根なし、次層位との層界は平坦判然

C₃: 20 ~ 38 cm 黄灰色 (2.5Y 4/1)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.0*)、隙間孔隙、根なし、次層位との層界は平坦不明瞭

C₄: 38 ~ 60 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.8*)、隙間孔隙、細根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭

C₅: 60+ ~ cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、潤～湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.4*)、隙間孔隙、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 19】 荒浜 8 Im (未熟土)

盛土材料：中新世の海成または非海成堆積岩類（大郷町より採取、搬入）

調査地：宮城県仙台市若林区荒浜 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 仙台 8 工区 松林国有林内

地形図図幅：1:25,000 荒浜

緯度 38°13'28" 経度 140°59'14"

標高：4 m

土地利用：海岸後浜 生育基盤盛土（汀線より 250 m 内陸）

方位 132°N 傾斜：0°

調査土壌深：140 cm

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

林相：無植生

調査者氏名 小野賢二

調査日 2014.12.2

土壌断面の記載 …

L： 15 cm 津波被災木のチップ片

G₁： 0～17 cm オリーブ灰～緑灰色 (5～7.5GY 5/1)、砂土、潤、風化した小亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、堅 (上 0-5cm, 15.0*、下 5-17cm, 19.6*)、孔隙なし、孔隙率 1、根無し、チップ層との境界からの水の流入有り、次層位との層界は平坦漸変

G₂： 17～40 cm オリーブ灰色 (2.5Y 4/3)、砂土、潤、風化した小亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (24.4*)、孔隙なし、孔隙率 1、根なし、次層位との層界は平坦判然

C₁： 40～60 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂土、潤、風化した小亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (23.0*)、孔隙なし、孔隙率 1、根なし、次層との層界は平坦漸変

C₂： 60～90 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、潤、風化した小亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (23.0*)、孔隙なし、孔隙率 1、根なし、次層位との層界平坦漸変

C₃： 90～120cm にぶい黄褐色 (10YR5/4)、砂土、潤、風化した小亜角礫含む、レキ構造、砕けやすい、堅 (17.8*)、孔隙なし、孔隙率 1、次層位との層界平坦明瞭

2G： 120～122cm 緑灰色 (10GY 5/1)、砂土、過湿、石礫なし、構造無し、軟 (13.0*)、孔隙なし、孔隙率 1、同層位からの水の流入有り、次層位との層界平坦明瞭

2C： 122～235cm+ 黒色 (N1.5/0)、砂質壤土、潤、石礫なし、構造無し、2G 層との境界からの停滞水流入有り、堅 (16.2*)

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) および調査箇所風景 (右)



【断面 20】 荒浜 10 Im (未熟土)

盛土材料：中新世の海成または非海成堆積岩類（大郷町より採取、搬入）

調査地： 宮城県仙台市若林区荒浜 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 仙台 10 工区 松林国有林内

地形図図幅：1:25,000 荒浜

緯度 38°13'22" 経度 140°59'13"

標高：4 m 土地利用：海岸後浜 生育基盤盛土（汀線より 250 m 内陸）

断面方位：225°N 傾斜：0°

調査土壌深：190 cm

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：無植生（クロマツ植栽予定）

調査者氏名 小野賢二・篠宮佳樹・金子真司・平井敬三 調査日 2014.6.3

土壌断面の記載…

L: 5 cm 津波比碎木のチップ片

C₁: 0 ~ 8cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、壤質砂土、礫なし、構造なし、とても砕けやすい、鬆（しょう）(5.8*)、孔隙なし、孔隙率 1、根なし、次層位との層界は平坦漸変

C₂: 8 ~ 25 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、壤質砂土、層界が明瞭で鮮明な中及び小斑紋あり（明褐色 :7.5YR 5/8）、礫なし、構造なし、とても砕けやすい、堅 (15.0*)、孔隙なし、孔隙率 1、根無し、次層位との層界は平坦漸変

C₃: 25 ~ 70 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、壤質砂土、層界が明瞭で鮮明な小斑紋あり（明褐色 :7.5YR 5/6）、礫なし、構造なし、とても砕けやすい、軟 (13.2*)、孔隙なし、孔隙率 1、根無し、次層位との層界は不規則明瞭

C₄: 70 ~ 90cm にぶい黄色 (2.5Y 6/3)、壤質砂土、もともとの海砂がところどころに混じる、礫なし、構造なし、とても砕けやすい、軟 (11.6*)、孔隙なし、孔隙率 1、根無し、次層位との層界は不規則明瞭

C₅: 80 ~ 130cm にぶい褐色 (10YR 5/4)、砂質壤土、層界が明瞭で鮮明な中斑紋あり（明赤褐色 :5YR 5/8）、礫なし、構造なし、とても砕けやすい、軟 (11.4*)、孔隙なし、孔隙率 1、根無し、次層位との層界は不規則明瞭

C₆: (80 ~) 黄褐色 (2.5Y 5/4)、壤質砂土、中角礫（震災関連の瓦礫と思われる）乏し、構造なし、とても砕けやすい、

140 ~ 190+cm 鬆（しょう）(9.2*)、孔隙なし、孔隙率 1、根無し、津波被災クロマツの埋没幹出現

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 21】 田ノ神 1m (未熟土)

盛土材料：海砂 (地山の土)

調査地：宮城県仙台市若林区荒浜

仙台森林管理署管内 海岸防災林 田ノ神国有林 88 林班

地形図図幅：1:25,000 荒浜 緯度 38°13'9" 経度 140°58'44"

標高：3 m 土地利用：海岸後浜 生育基盤盛土 (汀線より 600 m 内陸)

断面方位：270° N 傾斜：0° 調査土壌深：150 cm+

有効土層深：200 cm+

林相：クロマツ (試験植栽地)

調査者 小野賢二・野口宏典

調査日 2016.7.24

土壌断面の記載 …

L, F, H: 0 cm リターなし

C₁: 0 ~ 15 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、乾、コントラスト明瞭かつ基質との境界が鮮明な中斑紋乏し (暗黄褐色 :5YR3/6)、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶるしょう (1.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小根含む、次層位との層界は波状判然

C₂: 15 ~ 55 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小・中根乏し、次層との境界は不規則明瞭

C₃: 55 ~ 80 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (9.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小根乏し、次層との層界は平坦明瞭

2C: 80 ~ 100cm オリーブ黒色 (5Y 3/1)、埴土、潤、コントラスト明瞭かつ基質との境界が鮮明な中斑紋あり (暗黄褐色 :5YR3/6)、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.2*)、孔隙なし、孔隙率 1、細根乏し、埋没腐朽根あり、次層位との層界不規則明瞭

3C:100 ~ 150+cm 褐色 (10YR 4/4)、砂土、潤~湿 (地下水面、地表面から 180 cm 下)、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.1*)、隙間孔隙、孔隙率 2

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 22】 名取 1 Im (未熟土)

盛土材料：購入山砂・礫土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 1 工区

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.8 北

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'10"N 経度 140°56'55"E

標高：4 m 土地利用：宮城県名取市市有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：125° N 傾斜：2° 調査土壌深：125 cm

有効土層深：110+ cm（垂下根深度はさらに深い）

林相：クロマツ精英樹裸苗植栽地（2014年4月植栽）

調査者氏名 小野賢二・吉田俊通

調査日 2018.12.18

土壌断面の記載…

L: 0～2.4 cm 津波比碎木のチップ片とクロマツ落葉

AC: 0～3 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、砂質壤土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小・中根乏し、ウッドチップ混じる（AC層およびC₁層は、生育基盤盛土造成時に最後に盛り足した層と思われる）、次層位との層界は平坦判然

C₁: 3～18 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂質壤土、乾（～潤）、風化した中亜角礫あり・風化した大亜角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根あり・中・大根乏し、次層位との層界は平坦判然

C₂: 18～30 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、砂質壤土、潤、風化した大亜角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小・中根乏し、ウッドチップ混じる（盛土造成時の最初の表層部の痕跡と推察）、次層との層界は平坦判然

C₃: 30～50 cm にぶい黄色 (2.5Y 6/4)、壤質砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し、次層との層界は平坦不明瞭

C₄: 50～85 cm にぶい黄色 (2.5Y 6/4)、壤質砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し、次層との層界は平坦明瞭

C₅: 85～100 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂質壤土、乾（～潤）、風化した中亜角礫あり・風化した大・粗大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (22.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し、次層との層界は平坦明瞭

C₆: 100～125+ cm 黄褐色 (10YR 5/6)、微砂質埴壤土、乾（～潤）、風化した中・大・粗大・巨亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (22.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 23】 名取 2 Im (未熟土)

盛土材料：山砂（採取地：小野ら 2016 森林総研研究報告 No.439 p65-78 参照）

調査地：宮城県名取市下増田

林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 2 工区（第一回名取市民の森植樹祭記念碑周辺）

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.10

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'3"N 経度 140°56'44"E

標高：3 m 土地利用：台国有林内 生育基盤盛土

断面方位：30° N 傾斜：0～2°

調査土壌深：125+ cm

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2014年5月植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017. 11.6

土壌断面の記載…

L: 0～(1～)2 cm

C₁: 0～15 cm にぶい黄褐色(10YR 5/4)、砂土、乾～潤、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟(13.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根乏し、次層位との層界は不規則判然C₂: 15～22 cm にぶい黄色(2.5Y 6/4)、砂土、乾～潤、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟(12.4*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根乏し、次層との層界は平坦漸変C₃: 22～40 cm 黄褐色(2.5Y 5/4)、砂土、潤、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟(14.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、小根乏し、次層との層界は平坦不明瞭C₄: 40～65 cm 黄褐色(2.5Y 5/4)、砂土、潤、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟(13.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし、次層との層界は平坦不明瞭C₅: 65～90 cm 明黄褐色(2.5Y 6/6)、砂土、潤、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟(12.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし、次層との層界は平坦不明瞭C₆: 90～125 cm 黄褐色(2.5Y 5/3)、砂土、潤、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟(10.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし、次層との層界は平坦明瞭

2C: 125～130+cm 黄褐色(2.5Y 5/6)、砂土、乾～潤、未風化な大亜角・角礫富む、構造なし、非常に碎けやすい、固結(27.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均(mm)

土壌断面



【断面 24】 名取 2-8 Im (未熟土)

盛土材料：上層：購入山砂（亘理町、山元町、角田市周辺より採取），下層：地山（海砂）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 2 工区，

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.8 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'5"N 経度 140°56'52"E

標高：4 m 土地利用：宮城県名取市市有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：335° N 傾斜：1° 調査土壌深：140 cm

有効土層深：95+ cm (95cm 以深は地山)

林相：クロマツ精英樹裸植栽地（2014 年 4 月植栽）

調査者氏名 小野賢二・吉田俊通 調査日 2018 12.17

土壌断面の記載 …

L: 0 ~ 1-2 cm 津波被災木チップ片とマツ落葉

AC: 0~2(~5) cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、壤質砂土、(乾~) 潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶるしょう (3.0*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根あり・中・大根乏し、次層位との層界は不規則判然

CA: 2(~5) ~ 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、(乾~) 潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (9.0*)、

10(~15) cm 隙間孔隙、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、次層位との層界は不規則漸変

C₁: 10(~15) ~ 40 cm オリーブ黄色 (5Y 6/3)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.0*)、

隙間孔隙、孔隙率 3、小根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭

C₂: 40 ~ 75 cm オリーブ黄色 (5Y 6/4)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、小根乏し、次層との層界は平坦明瞭

2C: 75 ~ 95 cm にぶい黄色 (2.5Y 6/4)、砂土、潤、風化した中・大亜角礫含む・風化した粗大亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (21.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、根なし、次層との層界は平坦明瞭

3C: 95~140+ cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3) と暗灰黄色 (2.5Y 5/2) の混じり、砂土、(乾~) 潤、石礫なし、構造なし、砕けやすい、しょう (8.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 25】 名取 2-9 1m (未熟土)

盛土材料：上層：購入土砂（亙理町、山元町、角田市周辺より採取）；下層：礫土

調査地： 宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 1 4 工区 台国有林内

公益財団法人オイスカ 植栽後モニタリングプロット No.9 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'12"N 経度 140°56'46"E

標高：3 m 土地利用：台国有林内 海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：30° N 傾斜：0° 調査土壌深：55 cm

有効土層深：30 cm

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2014年5月植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2020.2.25

土壌断面の記載 …

L: 0.5 cm クロマツ落葉と枯れ草が少々

C₁: 0 ~ 12 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、壤質砂土、潤、風化した大・中角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (17.0*)、隙間孔隙、大・中・小根乏し・細根あり、次層位との層界は不規則明瞭

C₂: 12 ~ 22 cm にぶい黄色 (2.5Y 6/4)、壤質砂土、湿、基質との境界が漸変でコントラストは不鮮明な大斑紋（斑状のグライ痕）含む（灰オリーブ色 :5Y 5/3）、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (19.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、被災木のチップが混じる、次層との層界は平坦明瞭

C₃: 22 ~ 36 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、湿、風化した大・中角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (17.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根乏（クロマツの生根のようだが、強度がすごく弱く、脆い）、停滞水が湧水、次層との層界は不規則明瞭

C₄: 36 ~ 55 cm 明黄褐色 (2.5Y 6/6)、砂土、湿~多湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (15.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との層界は平坦明瞭

C₅: 55+ cm ~ オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤砂土、湿、石礫なし、構造なし、壊れにくい、固結 (29.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面（左）とその周辺（右）



【断面 26】 名取 2-10 1m (未熟土)

盛土材料：購入山砂・礫土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 2 工区、

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.10 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'6"N 経度 140°56'46"E

標高：4 m 土地利用：台国有林内 海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：210° N 傾斜：0° 調査土壌深：115 cm

有効土層深：52 cm

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2014 年 5 月 植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2020.2.26

土壌断面の記載 …

LF: 0～2 cm 僅かなクロマツ落葉と半腐朽状態の木材チップ片

C₁: 0～8 cm にぶい黄褐色 (10YR 4/3)、砂土、潤（～湿）、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (7.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、中・小・細根乏し、次層位との層界は不規則漸変

C₂: 8～18 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4) と褐色 (10YR 4/4) の混じり（盛土整地後の土壌改良（耕起）の名残り）、壤質砂土、潤～湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、小・細根乏し、木材チップ混じる、次層との層界は不規則判然

C₃: 18～50 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、中・小根乏し、次層との層界は不連続不明瞭

C₄: 50～80 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、湿、未風化の粗大角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は不連続不明瞭

C₅: 80～100 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦判然

2C: 100 cm+ 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂質壤土、湿、未風化な粗大・大角礫含む、構造なし、鬆～非常に砕けやすい、軟 (13.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面（左）とその周辺（右）



【断面 27】 名取 2-11 1m (未熟土)

盛土材料：購入山砂・礫土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 2 工区、

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.11 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'6"N 経度 140°56'47"E

標高：4 m 土地利用：台国有林内 海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：220° N 傾斜：0° 調査土壌深：105 cm

有効土層深：95cm+

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2014 年 5 月植栽）

調査者氏名 小野賢二

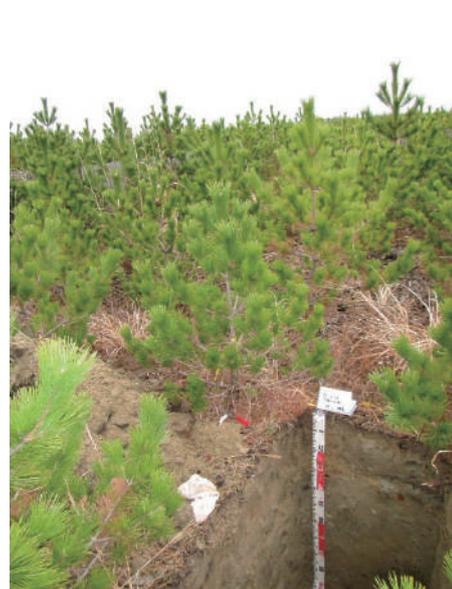
調査日 2020.2.26

土壌断面の記載 …

- L: 1 cm クロマツ落葉と小さな木材チップ片、チップ下の鉍質土層との境界部に菌糸網膜あり
- AC: 0 ~ 2 cm 暗オリーブ色 (2.5Y 3/3)、砂土、乾 (~湿)、石礫なし、非常に砕けやすい、軟 (10.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦漸変
- C₁: 2 ~ 10 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、湿、風化した粗大・大角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (10.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、中・小・細根乏し、次層位との層界は平坦漸変
- C₂: 10 ~ 25 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、砂土、多湿、風化した大・中角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、小・細根乏し、次層との層界は不規則判然
- C₃: 25 ~ 32 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、砂土（一部グライ化した土塊（砂土：暗オリーブ灰色 2.5GY 4/1）混じる）、(乾~) 湿、風化した大・中角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (15.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、小根乏し、次層との層界は不規則判然
- C₄: 32 ~ 50 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、湿、風化した大角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (19.8*)、隙間孔隙、孔隙率 2、中・小根乏し、次層との層界は平坦不明瞭
- C₅: 50 ~ 80 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、湿、風化した大角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.8*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦判然
- C₆: 80 ~ 100 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、湿~多湿、風化した大角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦明瞭
- 2C: 100 ~ 105+cm にぶい黄褐色 (10YR 5/4)、壤質砂土、潤、未風化な粗大・中角礫含む・未風化な大角礫富む、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (25.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) とその周辺 (右) (撮影：小野賢二)



【断面 28】 名取 3-7 Im (未熟土)

盛土材料：購入山土・礫土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 3 工区、

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.7 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港

緯度 38°8'54"N 経度 140°56'42"E

標高：4 m 土地利用：宮城県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：120° N 傾斜：2° 調査土壌深：120 +cm

有効土層深：15 cm

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2014 年 5 月植栽）＋ススキ

調査者氏名 小野賢二・吉田俊通

調査日 2018.11.8

土壌断面の記載 …

L: 0～0.5～1 cm 津波被災木のチップ片

C₁: 0～8 cm 黄褐色 (10YR 5/6)、埴土、潤、新鮮または風化した小角礫乏し・新鮮または風化した中角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (18.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根あり・小根乏し、ワラジムシが生息・コガネムシ幼虫が生息、次層位との層界部に木材チップ混じる・その層界は平坦漸変

C₂: 8～13 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、砂質埴土、潤、礫なし、構造なし、砕けやすい、堅 (16.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦判然

C₃: 13～20 cm にぶい黄色 (2.5Y 6/3)、砂土、乾（～潤）、礫なし、構造なし、粗しょう、堅 (16.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根乏し、次層との層界は平坦判然

C₄: 20～40 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂質埴土、潤、強度に風化した大亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (17.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との層界は平坦不明瞭

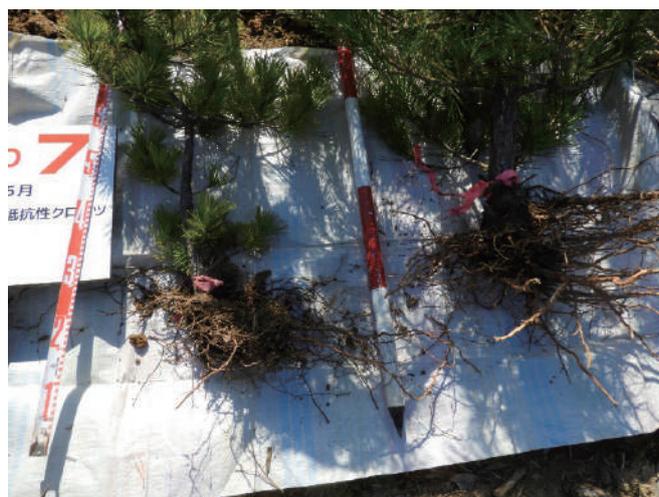
C₅: 40～60 cm 褐色 (7.5YR 4/6)、埴土、潤（～湿）、風化した大・粗大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、堅 (16.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₆: 60～100 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、砂質埴土、潤、風化した大亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (18.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、根なし、次層との層界は平坦判然

C₇: 100 +cm～ 明褐色 (7.5YR 5/6)、埴土（グライ化している箇所は緑灰色 (7.5GY 5/1) で埴土）、潤、風化した大亜角礫乏し、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (23.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) と植栽木根系状況 (右：撮影者 吉田俊通)



【断面 29】 名取 6-12 1m (未熟土)

盛土材料：上層：購入山土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 6 工区、

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.12 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°8'44"N 経度 140°56'42"E

標高：3 m 土地利用：台国有林内 海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：30° N 傾斜：0° 調査土壌深：90 cm

有効土層深：80 cm+

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2014 年 10 月植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2020.2.25

土壌断面の記載 …

- L: 1 cm クロマツ落葉と枯れ草が少々
- AC: 0 ~ 4 cm オリーブ褐色 (2.5Y4/3)、砂質壤土、乾、風化した中角礫乏し、非常に砕けやすい、軟 (14.0*)、隙間孔隙、大根乏し・小・細根あり、土塊の亀裂に数層の膜状の菌糸あり、次層との層界は平坦判然
- C₁: 4 ~ 10 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、壤質砂土、乾、風化した中角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.0*)、隙間孔隙、大・小根乏し、次層位との層界は平坦明瞭
- C₂: 10 ~ 20 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、壤土、乾~潤、風化した大・中角礫乏し、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (24.8*)、隙間孔隙、大・小根乏し、次層との層界は不規則判然
- C₃: 20 ~ 40 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、壤土、乾、風化した大・中角礫あり、構造なし、砕けやすい、固結 (26.2*)、隙間孔隙、大・小根乏し、次層との層界は不規則漸変
- C₄: 40 ~ 60 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、壤土、乾、風化した粗大・大・中角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (25.8*)、隙間孔隙、大・小根乏し、次層との層界は不規則判然
- C₅: 60 ~ 82 cm 褐色 (10YR 4/4)、埴土、潤、風化した粗大・大角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (25.2*)、隙間孔隙、大・小根乏し、次層との層界は不規則判然
- C₆: 82+ cm ~ 褐色 (10YR 4/4)、埴土、潤、風化した粗大・大・中角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (22.4*)、隙間孔隙、大根乏し

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左)、その周辺 (中) と 80 cm 深に達した垂下根 (右)



【断面30】 名取13-16 1m (未熟土)

盛土材料：上層：購入山土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地： 宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取13工区、

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.16 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'19"N 経度 140°56'38"E

標高：4 m 土地利用：宮城県名取市市有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：30° N 傾斜：1° 調査土壌深：110+ cm

有効土層深：20 cm

林相：クロマツ精鋭樹コンテナ苗植栽地（2016年4月植栽）

調査者氏名 小野賢二・吉田俊通 調査日 2018.11.8

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm なし

C₁: 0～12 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、粗しょう、堅 (17.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細根あり・小根乏し、次層位との層界は平坦判然

C₂: 12～ 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、砕けやすい、堅 (20.1*)、

25(～60) cm 隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、次層との層界は不規則漸変

C₃: 25(～60) 暗灰黄色 (2.5Y 5/2)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、

～65 cm 軟 (13.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし、次層との層界は不規則漸変

C₃': 40～60 cm 暗灰黄色 (2.5Y 4/2)、壤質砂土、潤(～湿)、未風化な中角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (16.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし、次層との層界は不規則漸変

C₄: 65～90 cm 暗オリーブ灰色 (2.5GY 4/1)、砂土、湿(～多湿)、石礫なし、構造なし、砕けやすい、堅 (18.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし、次層との層界は平坦明瞭

C₅: 90～110+ cm 黒色 (10YR 1.7/1)、砂質壤土、多湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) と植栽木根系状況 (右: 撮影者 吉田俊通)



【断面 31】 名取 14-18 1m (未熟土)

盛土材料：上層：購入山砂（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）；下層：地山（海砂）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 1 4 工区、

公益財団法人オイスカ モニタリングプロット No.18 付近

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°10'10"N 経度 140°57'30"E

標高：4 m 土地利用：宮城県名取市市有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：50° N 傾斜：2° 調査土壌深：115 cm

有効土層深：15 cm

林相：クロマツ精鋭樹コンテナ苗植栽地（2016年4月植栽）

調査者氏名 小野賢二・吉田俊通 調査日 2018.12.18

土壌断面の記載…

L: 0～0.5 cm 枯れ草とクロマツ落葉が少々

C₁: 0～15 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、壤質砂土、乾～潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (6.3*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根乏し、次層位との層界は平坦判然

C₂: 15～35 cm にぶい黄色 (2.5Y 6/4)、砂土、乾～潤、風化した小・中・大垂角礫あり、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (24.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₃: 35～55 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、潤、風化した小・中・大垂角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (22.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との層界は平坦不明瞭

C₄: 55～75 cm オリーブ黄色 (5Y 6/4)、砂土、潤（～湿）、風化した小・中・大垂角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (19.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との層界は不規則明瞭

2C: 75～115+ cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂土、湿、風化した大円礫乏し、構造なし、粗しょう、しょう (9.6*)、隙間孔隙、孔隙率 4、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 32】 名取 14 中 1m (未熟土)

盛土材料：上層：購入山砂（亙理町、山元町、角田市周辺より採取）、

下層：がれき置き場利用時の痕跡によるものか、とても堅い

調査地： 宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 1 4 工区

公益財団法人オイスカ植栽地 閑上東西道北側

地形図図幅：1:25,000 仙台空港

緯度 38°9'50"N 経度 140°57'16"E

標高：4 m

土地利用：宮城県名取市市有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：20° N

傾斜：1°

調査土壌深：70 cm

有効土層深：25 cm

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2018 年 4 月植栽）

調査者氏名 小野賢二・吉田俊通

調査日 2018 12.19

土壌断面の記載 …

L: 0～1 cm 枯れ草が少々

C₁: 0～12 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、壤質砂土、湿、石礫なし、構造なし、粗しょう、すこぶるしょう (2.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根（クローバーの根）含む、次層位との層界は平坦漸変

C₂: 12～30 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、壤質砂土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根あり、次層との層界は平坦明瞭

C₃: 30～35 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、砂土、湿、石礫なし、構造なし、粗しょう、軟 (11.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、根なし、次層との層界は平坦判然

C₄: 35～50 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、壤質砂土、湿、石礫なし、構造なし、砕けやすい、堅 (18.8*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との層界は平坦明瞭

G: 50～58 cm 黒褐色 (2.5Y 3/1)、壤質砂土、過湿、石礫なし、構造なし、砕けやすい、堅 (19.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、根なし、次層との境界は平坦明瞭

C₅: 58～70+ cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、壤質砂土、潤、風化した小・中・大亜角礫含む、構造なし、壊れにくい、固結 (27.4*)、隙間孔隙、孔隙率 1、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面（左：停滞水湧水後；右：停滞水湧水前（土壌断面作成直後））



【断面 33】 名取 14 南 1m (未熟土)

盛土材料：上層：購入山砂（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県名取市下増田 林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 名取 1 4 工区

公益財団法人オイスカ植栽地 遊水池北側東脇

地形図図幅：1:25,000 仙台空港 緯度 38°9'46"N 経度 140°57'12"E

標高：4 m 土地利用：宮城県名取市市有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：20° N 傾斜：2° 調査土壌深：125 cm

有効土層深：40 cm

林相：抵抗性クロマツコンテナ苗植栽地（2017年5月植栽）

調査者氏名 小野賢二・吉田俊通 調査日 2018.12.19

土壌断面の記載…

FH: 0～1 cm 枯れたクローバ

C₁: 0～15 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、砂質壤土、潤、風化した大亜角礫あり、非常に弱度な中亜角塊状構造、非常に砕けやすい、しょう (9.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根あり、次層位との層界は平坦判然C₂: 15～40 cm オリーブ黄色 (2.5Y 4/6)、壤質砂土、過湿、風化した中亜角礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根あり、次層との層界は平坦判然C₃: 40～70 cm にぶい黄褐色 (10YR 5/6)、壤質砂土、潤、風化した小亜角礫含む・風化した大亜角礫あり、構造なし、壊れにくい、固結 (28.6*)、隙間なし、孔隙率 1、根なし、次層との層界は平坦判然G₁: 70～90 cm 灰オリーブ色 (7.5Y 5/3)、砂土、湿、強度に風化した大亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、堅 (17.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、根なし、次層との層界は平坦不明瞭G₂: 90～110 cm 緑灰色 (7.5GY 5/1)、砂土、湿（～過湿）、強度に風化した大亜角礫あり、構造なし、砕けやすい、軟 (11.0*)、隙間孔隙、孔隙率 3、根なし、次層との層界は平坦明瞭

2C: 110～125+cm 黒色 (2.5Y 2/1)、砂質壤土、過湿、礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 34】 亶理 1m (未熟土)

盛土材料：購入山砂（採取地：小野ら 2016 森林総研研究報告 No.439 p65-78 参照）

調査地： 宮城県亶理町吉田浜

林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 亶理地区第五治山工事（5工区）

地形図図幅：1:25,000 荒浜

緯度 38°0'42"N 経度 140°54'53"E

標高：3 m 土地利用：宮城県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：7° N 傾斜：2°

調査土壌深：140 +cm

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：クロマツ植栽地（2015年植栽）

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017.11.8

土壌断面の記載 …

- L: 0 cm リター層なし、一部にクローバなどの草本が地表を被覆
- C₁: 0 ~ 20 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂質壤土、乾~潤、未風化な中亜角礫乏し、構造なし、碎けやすい、堅 (15.0*)、細・小根乏し・中根乏し、次層位との層界は不規則明瞭
- C₂: 20 ~ 30 cm 明褐色 (2.5Y 6/6)、壤土、乾~潤、風化した中亜角礫乏し、構造なし、壊れにくい、すこぶる堅 (25.6*)、生根なし、次層との層界は不規則明瞭
- C₃: 30 (~ 60) 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂質壤土、潤、未風化な中亜角礫乏し・風化した中・大亜角礫あり、構造なし、非常に碎けやすい、堅 (20.0*)、生根なし、塩ビ破片混じる、次層との層界は不規則明瞭
- C₄: 60 (~ 75) にぶい黄色 (2.5Y 6/4)、砂質壤土、潤、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (14.8*)、生根なし、次層との層界は平坦明瞭
- C₅: 90 ~ 125 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、砂質壤土、湿、礫なし、構造なし、非常に碎けやすい、軟 (12.8*)、生根なし、次層との層界は平坦判然
- C₆: 125 ~ 140 cm 明褐色 (2.5Y 7/6)、砂質壤土、過湿~多湿、礫なし、構造なし、粗しょう、しょう (7.8*)、生根なし、次層との層界は平坦明瞭
- 2C: 140 cm+ ~ 明褐色 (2.5Y 7/6)、砂質壤土、未風化な巨大平礫すこぶる富む、岩石構造、極めて壊れにくい、固結 (30.0*)、生根なし、最下層は板状の岩（コンクリートの可能性）あり

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 35】 山元 20-1 1m (未熟土)

盛土材料：購入土；上層：山砂，下層：礫土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県山元町

林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 山元地区第二十治山工事（20 工区）

地形図図幅：1:25,000 山下

緯度 37°58'17"N

経度 140°54'46"E

標高：4 m

土地利用：宮城県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：0° N 傾斜：0°

調査土壌深：70 cm

有効土層深：樹木植栽からの経過年が浅く、不明

林相：クロマツ植栽地（2017 年植栽） 土壌調査時は未植栽

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017.9.20

土壌断面の記載 …

L: 0 cm リター層なし

C₁: 0～5 cm 明黄褐色 (2.5Y 6/6)、壤土、乾、石礫なし、非常に弱度の細粒状構造、粗しょう、しょう (6.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層位との層界は不規則判然C₂: 5～23 cm 明黄褐色 (2.5Y 6/6)、砂質埴壤土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₃: 23～50 cm 黄褐色 (2.5Y 5/6)、砂質埴壤土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₄: 50～65 cm 明黄褐色 (10YR 6/6)、砂質埴壤土、潤、基質との境界が漸変でコントラストが不鮮明な中・大斑紋あり：明褐色 (7.5YR 5/8)、石礫なし、構造なし、粗しょう、堅 (17.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は不規則明瞭

G: 65～70 cm 灰黄褐色 (10YR 6/2)、砂質埴壤土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は不規則明瞭

2C: 70～74 cm 黒褐色 (10YR 2/3)、層状の津波被災木のチップ片、過湿、石礫なし、構造なし、—、軟 (10.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との層界は平坦明瞭

3C: 74～100 cm+ 灰色 (5Y 4/1)、壤土、潤、未風化な大・中角礫すこぶる富む、岩石構造、極めて壊れにくい、固結 (32.0*)、隙間孔隙、孔隙率 1、生根なし、次層との層界は不規則漸変

4C: 100 cm+～ 褐灰色 (10YR 4/1)、微砂質壤土、過湿、未風化な粗大・大・中亜角礫富む、構造なし、壊れにくい、堅 (21.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面写真



【断面36】 山元 20-2 1m (未熟土)

盛土材料：購入土；上層：山砂，下層：礫土（亘理町、山元町、角田市周辺より採取）

調査地：宮城県山元町

林野庁直轄 海岸防災林造成工事施工地

仙台森林管理署管内 山元地区第二十治山工事（20 工区）

地形図図幅：1:25,000 山下

緯度 37°58'15"N

経度 140°54'46"E

標高：4 m

土地利用：宮城県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：0° N 傾斜：0°

調査土壌深：82 cm

有効土層深：樹木植栽前だったため不明

林相：クロマツ植栽地（2017 年植栽）：土壌調査時は未植栽

調査者氏名 小野賢二

調査日 2017.9.19

土壌断面の記載 …

L: 0 cm リター層なし

C₁: 0 ~ 2 cm 明黄褐色 (2.5Y 6/6)、砂質壤土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (19.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層位との層界は平坦判然C₂: 2 ~ 13 cm 黄褐色 (10YR 5/6)、砂質壤土、湿、未風化の大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₃: 13 ~ 30 cm 褐色 (10YR 4/6)、砂質壤土、湿、風化した大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (22.6*)、隙間孔隙、孔隙率 1、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₄: 30 ~ 40 (~ 60) cm 黄褐色 (10YR 5/6)、砂質壤土、湿、風化した大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は不規則漸変C₅: 40(~ 60) ~ 52(~ 65) cm 明黄褐色 (2.5Y 6/6)、埴土、湿、基質との層界が漸変でコントラストが不鮮明な中斑紋あり：明黄褐色 (10YR 6/8)、風化した大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (17.0*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は不規則漸変C₅: 52(~ 65) ~ 82 cm 明黄褐色 (2.5Y 6/6)、埴土、湿、基質との層界が漸変でコントラストが不鮮明な中斑紋あり：黄褐色 (10YR 5/8)、風化した大亜角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (15.2*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦明瞭

2C: 82 cm+ ~ 灰オリーブ色 (5Y 4/2)、砂質埴土、湿、未風化な大角礫富む、構造なし、砕けやすい、堅 (18.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) とその周辺 (右)



Appendix Fig. 3 土壌断面の記載と写真【福島県】

Descriptions and photos of soil profiles in Fukushima Prefecture.

【断面 37】 北海老 A 1m (未熟土)

盛土材料：上層：山砂、下層：浚渫土、最下層：地山の砂土（海砂）

調査地：福島県南相馬市鹿島区北海老地内 福島県有海岸防災林

2015 年度海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 北海老

緯度 37°43'22"N 経度 141°0'39"E

標高：3 m 土地利用：福島県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：0° N 傾斜：0°

調査土壌深：80 cm

有効土層深：40 cm

林相：クロマツ植栽地（2015 年春植栽）

調査者氏名 小野賢二・福山文子・野口享太郎

調査日 2017.10.3

土壌断面の記載 …

LFH: 0 cm なし、若干の草本が繁る

C₁: 0 ~ 7 cm にぶい黄色 (2.5Y 6/4)、砂質壤土、乾、石礫なし、構造なし、砕けやすい、軟 (14.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小根乏し、次層位との層界は平坦漸変C₂: 7 ~ 16 cm 明褐色 (7.5YR 5/6)、砂土、潤、風化した中円礫乏し、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (22.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦漸変C₃: 16 ~ 33 cm 褐色 (7.5YR 4/6)、砂土、潤、風化した中円礫乏し、構造なし、砕けやすい、堅 (21.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦漸変C₄: 33 ~ 40 cm 明褐色 (7.5YR 5/8)、砂土、潤、風化した中円礫乏し、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (23.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦明瞭

2C: 40 ~ 60 cm オリーブ黒色 (7.5Y 3/2)、微砂質壤土、乾、新鮮な大・粗大亜円礫含む、構造なし、非常に壊れにくい、固結 (30.2*)、孔隙なし、孔隙率 1、生根なし、次層との層界は不規則明瞭

3C: 60 cm ~ 暗灰黄色 (2.5Y 5/2)、砂土、乾、新鮮な粗大亜円礫含む、構造なし、しょう、軟 (10.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3 ~ 4、生根なし

* 山中式硬度計の測定したものの平均値 (mm)

土壌断面



【断面38】 北海老 B 1m (未熟土)

盛土材料：山砂

調査地：福島県南相馬市鹿島区北海老地内 福島県有海岸防災林

2015年度海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 北海老

緯度 37°43'20"N 経度 141°0'37"E

標高：3 m 土地利用：福島県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位 90° N 傾斜：0°

調査土壌深：140 cm

有効土層深：38cm

林相：クロマツ植栽地 (2015年春植栽)

調査者氏名 福山文子・野口享太郎・小野賢二

調査日 2017.10.4

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm なし、若干の草本が繁る

C₁: 0 ~ 5 cm 黄褐色 (10YR 5/6)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (21.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根乏し、次層位との層界は平坦不明瞭C₂: 5 ~ 38 cm 黄褐色 (10YR 5/8)、砂土、潤、強風化した粗大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (23.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細根乏し、次層との層界は平坦不明瞭C₃: 38 ~ 70 cm 赤褐色 (2.5YR 4/6)、砂土、潤、強風化した粗大円礫乏し、構造なし、砕けやすい、固結 (28*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし (盛土資材に混じる枯死根有り)、次層との層界は平坦不明瞭C₄: 70 ~ 100 cm にぶい赤褐色 (2.5YR 4/3)、砂土、潤、強風化した粗大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (24.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし (盛土資材に混じる枯死根有り)、次層との層界は平坦漸変C₅: 100 ~ 120 cm 褐色 (10Y 4/6)、砂土 (LS)、潤、強風化した粗大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (25.8*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし (盛土資材に混じる枯死根有り)、次層との層界は平坦不明瞭C₆: 120 ~ cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土 (LS)、潤、強風化した粗大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (22.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし (盛土資材に混じる枯死根有り)

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面39】 北海老 C 1m (未熟土)

盛土材料：山砂

調査地：福島県南相馬市鹿島区北海老地内 福島県有海岸防災林

2015年度海岸防災林造成工事施工地

地形図図幅：1:25,000 北海老

緯度 37°43'22"N 経度 141°0'39"E

標高：3m 土地利用：福島県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：45° W

傾斜：0°

調査土壌深：120 cm

有効土層深：60cm

林相：クロマツ植栽地 (2015年植栽)

調査者氏名 福山文子・野口享太郎・小野賢二

調査日 2017.10.5

土壌断面の記載…

LFH: 0 cm なし、若干の草本が繁る

C₁: 0 ~ 5 cm 黄褐色 (10 YR 5/6)、砂質壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の小・中亜角塊構造、非常に砕けやすい、しょう (4.6*)、空隙なし、小根乏し、次層位との層界は波状漸変C₂: 5 ~ 25 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂質壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の小・中亜角塊構造、非常に砕けやすい、堅 (16.8*)、空隙なし、小根乏し、次層との層界は波状不明瞭C₃: 25 ~ 40 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂質壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の中亜角塊構造、非常に砕けやすい、軟 (14.2*)、空隙なし、生根なし、次層との層界は波状不明瞭C₄: 40 ~ 60 cm オリーブ褐色 (2.5YR 4/3)、砂質壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の中亜角塊構造、非常に砕けやすい、堅 (19*)、空隙なし、生根なし、次層との層界は波状不明瞭2C₁: 60 ~ 80 cm 灰オリーブ色 (5Y 4/2)、砂質壤土、潤、石礫なし、非常に弱度の大・中亜角塊構造、非常に砕けやすい、堅 (21.2*)、空隙なし、生根なし、次層との層界は波状不明瞭2C₂: 80 ~ 103 cm 灰オリーブ色 (5Y 5/2)、微砂質壤土、潤、風化した粗大・巨円礫富む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (21.2*)、空隙なし、生根なし、次層との層界は波状不明瞭2C₃: 103 ~ cm オリーブ黒色 (5Y 3/2)、微砂質壤土、潤、風化した粗大・巨円礫含む、構造なし、極めて壊れにくい、すこぶる堅 (23.2*)、空隙なし、生根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 40】 北海老 D 1m (未熟土)

盛土材料：山砂

調査地：福島県南相馬市鹿島区北海老地内

2012 年度林地荒廃防止施設災害復旧工事

地形図図幅：1:25,000 北海老

緯度 37° 43'16"N 経度 140° 0'35"E

標高：2.8m 土地利用：福島県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：0° N 傾斜：0°

調査土壌深：150 cm

有効土層深：130 cm+

林相：クロマツ植栽地 (2013 年春植栽)

調査者氏名 福山文子・野口享太郎・小野賢二

調査日 2017.10.6

土壌断面の記載 …

LFH: 0 cm なし、若干の草本が繁る

C₁: 0 ~ 5 cm 黄褐色 (10 YR 5/6)、砂土、潤、新鮮な小亜円礫乏し、非常に弱度の微粒状構造・小亜角塊構造、非常に砕けやすい、堅 (15.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細小根乏し、次層位との層界は平坦漸変C₂: 5 ~ 30 cm 黄褐色 (10 YR 5/6)、砂土、潤、風化した大亜円礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.8*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細小根乏し、次層との層界は平坦漸変C₃: 30 ~ 60 cm 黄褐色 (10 YR 5/6)、砂土、潤、風化した大亜円礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細小根乏し、次層との層界は平坦漸変C₄: 60 ~ 100 cm 黄褐色 (10 YR 5/6)、砂質壤土、潤、風化した巨・大亜円礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₅: 100 ~ 130cm 黄褐色 (10 YR 5/6)、微砂質壤土、潤、風化した大亜円礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層との層界は平坦漸変C₆: 130 ~ cm 黄褐色 (2.5Y5/4)、砂質壤土、潤、風化した粗大・巨亜円礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



Appendix Fig. 4 土壌断面の記載と写真【千葉県】

Descriptions and photos of soil profiles in Chiba Prefecture.

【断面 41】 松ヶ谷 Im (未熟土)

盛土材料：山砂（圏央道・長生グリーンライン造成切土、九十九里町作田河川改修残土）

採取地：千葉県山武市松ヶ谷 千葉県有海岸保安林

地形図図幅：1:25,000 常総片貝

緯度 35°33'52" 経度 140°28'49"

標高：2.5 m

土地利用：低湿地箇所の生育基盤盛土（汀線より 300 m 内陸）

方位：135°N

傾斜：0°

調査土壌深：120 cm+

有効土層深：50 cm

林相：クロマツ・常緑広葉樹（ヤマモモ・ウバメガシ）植栽地

調査者氏名 小野賢二・今矢明宏・篠宮佳樹・坂本知己・小森谷あかね

調査日 2015.2.17

土壌断面の記載 …

L： 2-4 cm ヤマモモ、クロマツの落葉

FH： 0.5 cm

M： 0.5 cm 腐朽したクロマツ落葉の表面に菌糸網層

AC：0～2-3 cm 灰黄褐色 (10YR 4/2)、微砂質壤土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (9.2*)、孔隙なし、小根あり、1 mm φ以下の炭粒子多数混じる、次層位との層界は平坦明瞭

C₁：2-3～25 cm 暗灰黄色 (2.5Y 5/2)、微砂質壤土、鮮明なコントラストおよび境界層を示す糸状の細斑紋（褐色 7.5YR4/4）あり、潤、強風化亜円粗大礫乏し、構造なし、砕けやすい、固結 (29.8*)、孔隙なし、細・小根あり・大・中根乏し、腐朽礫塊境界面に菌根菌糸網あり、1 mm φ以下の炭粒子多数混じる、次層位との層界は不規則漸変

C₂：25～40 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、微砂質壤土、非常に鮮明なコントラストおよび鮮明な境界層を示す糸状の細斑紋（褐色 7.5YR4/6）乏し、潤、強風化粗大亜円礫乏し・未風化中角礫乏し、構造なし、砕けやすい、固結 (28.0*)、孔隙なし、細根乏し、1 mm φ以下の炭粒子多数混じる、次層との層界は平坦判然（断面左側の柔らかな土壌部分）土性・土色共通、堅 (19.6*)、細・小・中根乏し

C₃：40～55 cm 灰黄色 (2.5Y 6/2)、微砂質壤土、鮮明なコントラストおよび明瞭な層界を示す糸状の細斑紋あり：暗赤褐色 (5YR3/6)、潤、強風化粗大亜円礫乏し、構造なし、砕けやすい、固結 (25.2*)、孔隙なし、細根乏し、1 mm φ以下の炭粒子多数混じる、タイル等瓦礫混じる、次層位との層界は不規則～平坦明瞭

C₄：55～65 cm 暗オリーブ灰色 (2.5GY4/1)、微砂質壤土、鮮明なコントラストおよび明瞭な層界を示す糸状の細斑紋あり：褐色 (7.5YR4/4)、潤、石礫なし、構造なし、砕けやすい、固結 (26.2*)、孔隙なし、細根乏し、次層位との層界は不規則～平坦で明瞭

C₅：65 暗灰黄色 (2.5Y 4/2)、微砂質壤土、鮮明なコントラストおよび明瞭な層

～90(～100) cm 界を示す糸状の細斑紋あり：褐色 (7.5YR4/4)、湿～潤、強風化粗大亜円礫乏し、構造なし、すこぶる堅 (22.2*)、孔隙なし、細根乏し、次層位との層界不規則不明瞭

C₆：90-100～120cm+ 暗灰黄色 (2.5Y 5/2)、微砂質壤土、鮮明なコントラストおよび明瞭な境界層を示す糸状の細斑紋（褐色 7.5YR4/4）あり、潤、強風化粗大亜円礫含む、構造なし、壊れにくい～砕けやすい、固結 (25.6*)、死根あり

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) とその周辺 (右)



【断面 42】 小松 1m (未熟土)

盛土材料：上層 (0-40cm)：砂、中層 (40-60cm)：シルト (浚渫土か)、最下層 (90cm ~)：地山の砂土 (海砂)

調査地：千葉県山武市小松 千葉県有海岸防災林 2007 年度造成地

地形図図幅：1:25,000 常総片貝

緯度 35°34'31"N 経度 140°29'29"E

標高：3 m

土地利用：千葉県有海岸防災林 生育基盤盛土

断面方位：102° N

傾斜：2°

調査土壌深：140 cm

有効土層深：40 +cm

林相：クロマツ・ウバメガシ・ヤマモモ・トベラ植栽地 (2008 年 3 月植栽)

調査者氏名

小野賢二・小森谷あかね

調査日 2017. 12.19

土壌断面の記載 …

L: 1 ~ 5 cm チガヤとクロマツ針葉落葉

C₁: 0 ~ 10 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、乾~潤、石礫なし、構造なし、粗しょう (そしょう)、しょう (6.8*)、隙間孔隙、細・小根乏し・大根あり、次層位との層界は平坦判然

C₂: 10 ~ 25 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質壤土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (15.0*)、隙間孔隙、細・小根含む・大根あり、次層との層界は平坦漸変

C₃: 25 ~ 40 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂質埴壤土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.8*)、隙間孔隙、細・小根あり・大根乏し、次層との層界は平坦明瞭

2C₁: 40 ~ 60 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、微砂質埴壤土、潤、風化した中亜円礫あり、構造なし、非常に堅い、固堅 (26.4*)、隙間孔隙、機械的外力により形成された連続した板状の強膠結 (圧密) 確認、細根乏し・小・大根あり (大根はチガヤ)、次層との層界は平坦漸変

2C₂: 60 ~ 70 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、砂土、乾、風化した中亜円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.0*)、隙間孔隙、生根なし、次層との層界は不規則漸変

2C₃: 70 ~ 85 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.8*)、隙間孔隙、生根なし、次層との層界は不規則判然

3C₁: 85 ~ 105 cm オリーブ黒色 (5Y 3/1)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.0*)、隙間孔隙、生根なし、元々の植生由来の埋没枯死木あり、次層との層界は平坦漸変

3C₂: 105 ~ 115cm 灰色 (5Y 4/1)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.6*)、隙間孔隙、生根なし、次層との層界は平坦明瞭

3C₃: 105 ~ 120 cm 黒色 (10YR 1.7/1)、壤土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.4*)、隙間孔隙、生根なし、枯死根あり (元植生のルートマット痕)、次層との層界は平坦明瞭

3C₄: 120 ~ 140+cm オリーブ黒色 (5Y 3/2)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.6*)、隙間孔隙、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 43】 牛込 1 Im (未熟土)

盛土材料：上層：購入山砂 (出典：野原・高橋 2007 千葉県森セ研報)、(下層：泥岩質建設発生土)

調査地：千葉県白子町牛込 1994 年施工地

地形図図幅：1:25,000 四天木

緯度 35°27'47" 経度 140°24'35"

標高：3 m 土地利用：千葉県県有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位 200° 傾斜：0°

調査土壌深：140cm

有効土層深：50 cm+

林相：海岸防災林 (クロマツ・ハマヒサカキ・マサキ・トベラ・イタチハギ) 1994 年植栽

調査者氏名 小野賢二

調査日 2018.7.9

土壌断面の記載 …

L: 0.5 cm 枯れ草の葉

C: 0 ~ 3 cm 灰黄褐色および黒褐色 (10YR 5/2 および 10YR 3/1、黒と白の砂粒が混じり合わず、別々に土色を記載)、砂土、乾、石礫なし、非常に弱度な細粒状構造、粗しょう、しょう (9.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根富む・小根含む・中・大根乏し、次層位との層界は平坦判然

2C₁: 3 ~ 12 cm 褐色 (10YR 4/6)、砂土、乾、石礫なし、非常に弱度な小・中粒状構造、粗しょう、軟 (11.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根富む・小・中・大根含む、クロマツ枯死水平根あり、次層との境界は平坦漸変

2C₂: 12 ~ 22 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂土、乾 (~ 潤)、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (19.0*)、孔隙なし、孔隙率 2、細・小根あり・大根乏し、クロマツ枯死水平根あり、次層との境界は平坦漸変

2C₃: 22 ~ 42 cm 褐色 (7.5YR 4/4)、砂土、乾 (~ 潤)、強度に風化した中円礫または亜円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (23.0*)、植え穴部：堅 (17.0)、孔隙なし、孔隙率 2、小根乏し、クロマツ枯死水平根あり、次層との境界は平坦判然

2C₄: 42 ~ 75 cm 黄褐色 (10YR 5/6)、砂土、潤、強度に風化した中・大円礫または亜円礫あり、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (23.2*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、次層との境界は平坦判然

2C₅: 75 ~ 100 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂土、潤、強度に風化した中円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.8*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、次層との境界は平坦判然

2C₆: 100 ~ 110 にぶい黄褐色 (10YR 5/4)、砂質壤土、潤、強度に風化した中・大・粗・

(~ 120 cm) 巨大円礫富む、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (21.6*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、次層との境界は不規則漸変

2C₇: 110(-120)+cm にぶい黄褐色 (10YR 4/3)、砂土、潤、強度に風化した中円礫または亜円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (20.4*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 44】 牛込 2 1m (未熟土)

盛土材料：上層：購入山砂 (出典：野原・高橋 2007 千葉県森セ研報)、下層：泥岩質建設発生土

調査地：千葉県白子町牛込 1994 年施工地 千葉県有海岸県有保安林

地形図図幅：1:25,000 四天木

緯度 35°27'45" 経度 140°24'35"

標高：3 m

土地利用：海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：43° 傾斜：0°

調査土壌深：125 cm

有効土層深：50 cm+

林相：海岸防災林 (クロマツ・ハマヒサカキ・マサキ・トベラ・イタチハギ) 1994 年植栽

調査者氏名 小野賢二

調査日 2018.7.10

土壌断面の記載 …

- L: 1-2 cm 枯れ草の葉
- C: 0 ~ 4 cm 黄灰色 (2.5Y 5/1)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、粗しょう、しょう (9.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層位との層界は平坦明瞭
- 2A: 4 ~ 8 cm 黒色 (7.5YR 2/1)、壤質砂土、(乾~) 潤、強度に風化した中円礫乏し、非常に弱度な小粒状構造、非常に砕けやすい、軟 (11.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根あり・中・大根乏し、次層との境界は平坦判然
- 2C₁: 8 ~ 20 cm 褐色 (10YR 4/4)、微砂質壤土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (13.5*)、孔隙なし、孔隙率 2、細・小根あり・中根乏し、次層との境界は不規則判然
- 2C₂: 20 ~ 50 cm 褐色 (10YR 4/6)、微砂質壤土、乾、強度に風化した中・大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (24.6*)、孔隙なし、孔隙率 2、細・小根乏し、次層との境界は平坦漸変
- 2C₃: 50 ~ 80 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂土、潤、強度に風化した中・大・巨大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、固結 (26.4*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、次層との境界は平坦漸変
- 2C₄: 80 ~ 95 cm 褐色 (10YR 4/4)、砂土、潤、コントラスト明瞭かつ基質との境界が鮮明な点状の中斑紋乏し (黒褐色 : 10YR 2/3)、強度に風化した中・大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、固結 (27.2*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、枯死小根あり、次層との境界は平坦明瞭
- 2G: 95 ~ 125+ cm 暗オリーブ灰色 (5GY 4/1)、砂土、潤、強度に風化した大・粗大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、固結 (26.2*)、孔隙なし、孔隙率 2、生根なし、枯死小根あり、

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 45】 牛込 3 Im (未熟土)

盛土材料：上層：購入山砂 (出典：野原・高橋 2007 千葉県森セ研報)、下層：泥岩質建設発生土

調査地：千葉県白子町牛込 1995 年施工地 (トベラ (株立) 根元 18 年生くらい)

地形図図幅：1:25,000 四天木 緯度 35°27'53" 経度 140°24'26"

標高：3 m 土地利用：海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：240° 傾斜：0° 調査土壌深：175 cm

有効土層深：100 cm+

林相：海岸防災林 (クロマツ・ハマヒサカキ・マサキ・トベラ・イタチハギ植栽)

調査者氏名 小野賢二

調査日 2018.07.11

土壌断面の記載 …

- L: 1 cm 枯れ草の葉
- A: 0 ~ 6 cm 黒褐色 (10YR 2/3)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、粗鬆、しょう (8.0*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根含む・小根あり・中・大根乏し、次層位との層界は平坦判然
- C₁: 6 ~ 15 cm 黄褐色 (2.5Y 5/4)、砂土、乾、石礫なし、非常に弱な小粒状構造、非常に砕けやすい、しょう (8.2*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、次層との境界は不規則漸変
- C₂: 15 ~ 40 (~ 50) cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂土、乾、コントラスト明瞭かつ基質との境界が鮮明な点状の小斑紋乏し (暗褐色 :10YR3/3 および暗赤褐色 :5YR3/6)、風化した大垂円礫乏し、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (20.0*)、孔隙なし、孔隙率 2、細・小・中根乏し、次層との境界は不規則漸変
- C₃: 40 (~ 50) ~ 60 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂土、乾 (~ 潤)、コントラスト明瞭かつ基質との境界が鮮明な点状の小斑紋乏し (暗褐色 :10YR3/3 および暗赤褐色 :5YR3/6)、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (18.0*)、孔隙なし、孔隙率 2、細・小根乏し、次層との境界は平坦明瞭
- C₄: 60 ~ 90 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂土、(乾~) 潤、コントラスト明瞭かつ基質との境界が鮮明な点状の小斑紋乏し (暗赤褐色 :5YR3/6)、風化した巨垂円礫乏し、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (15.2*)、孔隙なし、孔隙率 3、細・小根乏し、マツの枯死中根あり、次層との境界は平坦漸変
- C₅: 90 ~ 110 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂土、潤、風化した巨垂円礫乏し、壁状構造、非常に砕けやすい、軟 (14.2*)、孔隙なし、孔隙率 3、根なし、次層との層界は平坦明瞭
- C₆: 110 ~ 147 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、砂土、湿、石礫なし、壁状構造、非常に砕けやすい、堅 (18.4*)、孔隙なし、孔隙率 3、根なし、次層との層界は平坦判然
- C₇: 147 ~ 175+ cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、砂土、多湿 (水が滲み、流れ出る)、石礫なし、構造なし、粗鬆、山中式硬度計での計測不可 (—*)、孔隙の種類は不明、孔隙率 4、根なし、次層との層界は不規則明瞭
- G: 175+ cm ~ 灰色 (7.5Y 4/1)、微砂質壤土、潤、石礫なし、壁状構造、堅い、すこぶる堅 (25.0*)、孔隙なし、孔隙率 1、根なし

* 山中式硬度計の測定したものの平均値

断面写真



【断面 46】 浜宿 1m (未熟土)

盛土材料：表土：購入山砂 (出典：野原・高橋 2007 千葉県森セ研報)、下層：泥岩質建設発生土

調査地 千葉県白子町浜宿 1996 年施工地

地形図図幅：1:25,000 四天木

緯度 35°28'00" 経度 140°24'41"

標高：3 m 土地利用：千葉県県有海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：170° 傾斜：0°

調査土壌深：130 cm

有効土層深：130 cm

林相：海岸防災林 (クロマツ・ハマヒサカキ・マサキ・トベラ) 1996 年植栽

調査者氏名 小野賢二・野口宏典・萩野裕章・小森谷あかね

調査日 2016.11.2

土壌断面の記載 …

- L: 3 cm クロマツ落葉由来リターが被覆
- C₁: 0 ~ 4 cm 黒褐色 (2.5Y 3/2)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶるしょう (1.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、生根なし、次層位との層界は平坦判然
- 2A: 4 ~ 8 cm 黒色 (5Y 2/1)、微砂質壤土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (5.6*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小根含む、次層との層界は平坦判然
- 2C₁: 8 ~ 35 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂土、乾~潤、強度に風化した垂角大礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (16.8*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小・中・大根乏し、次層との境界は平坦漸変
- 2C₂: 35 ~ 60 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、砂土、乾~潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (18.0*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小・中・大根乏し、次層との境界は平坦漸変
- 2C₃: 60 ~ 85 cm オリーブ褐色 (2.5YR 4/6)、砂土、乾~潤、風化した巨大円礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (17.2*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小・中・大根乏し、次層との境界は不規則不明瞭
- 2C₄: 85 ~ 120 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/6)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (17.4*)、隙間孔隙、孔隙率 2、細・小・中・大根乏し、次層との境界は不規則明瞭
- 3C: 120 ~ 124 cm 黄褐色 (2.5Y 5/3)、埴壤土、乾~潤、石礫なし、構造なし、堅い、固結 (29.2*)、隙間孔隙、孔隙率 1、生根なし、次層との境界は不規則明瞭
- 3G: 124cm+ ~ 灰色 (10Y 4/1)、埴壤土、潤、石礫なし、構造なし、堅い、固結 (29.2*)、隙間孔隙、孔隙率 1、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面



【断面 47】 富津 1m (未熟土)

盛土材料：購入山砂（富津市近郊で調達と推察）

調査地：千葉県富津市 千葉県有海岸防災林 1989年施工地 中部林業事務所管内

地形図図幅：1:25,000 富津

緯度 35°18'40"N 経度 139°47'57"E

標高：4 m

土地利用：海岸防災林生育基盤盛土

断面方位：240° N

傾斜：0°

調査土壌深：112 +cm

有効土層深：83 cm

林相：タブ・クロマツ・アカメガシワ 1989年植栽 林床 ササ

調査者氏名 小野賢二・萩野裕章

調査日 2018.12.4

土壌断面の記載…

L: 0～1～2 cm タブ・クロマツ・ササの落葉

A: 0～5 cm 黒色 (7.5YR 1.7/1)、砂質壤土、乾（～潤）、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (4.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根含む・小根あり、次層との層界は平坦判然

AC: 5～15 cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、壤質砂土、乾（～潤）、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、しょう (8.0*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根含む・小根あり、次層との層界は不規則不明瞭

C₁: 15～35 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/4)、壤質砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小・中根あり・大根乏し、次層との層界は平坦不明瞭C₂: 35～55 cm オリーブ褐色 (2.5Y 4/3)、砂土、乾、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅 (15.4*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、次層との層界は平坦不明瞭C₃: 55～75 cm オリーブ褐色 (2.5YR 4/3)、砂土、潤、強度に風化した大垂角礫乏し、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (14.0*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、次層との層界は平坦判然

2AC: 75～83 cm 黒褐色 (10YR 2/2)、砂質埴土、湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (12.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根乏し、次層との層界は平坦判然

2C₁: 83～100 cm 黒褐色 (2.5Y 3/2)、砂土、潤、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、軟 (11.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし、次層との境界は平坦漸変2C₂: 100～112+ cm 暗オリーブ褐色 (2.5Y 3/3)、砂土、多湿～過湿、石礫なし、構造なし、非常に砕けやすい・粘着性なし・可塑性なし、しょう (8.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、生根なし

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) とその周辺 (右)



Appendix Fig. 5 土壌断面の記載と写真【東京都】

Descriptions and photos of soil profiles in Tokyo Metropolitan.

【断面48】 海の森1 Im (未熟土)

盛土材料：バーク堆肥、土壌改良材、優良土、建設発生土を配合した土（ $C_1 \sim C_3$ 層はローム層由来の建設発生土、 $2C_1$ 層以深は浚渫土由来の発生土と推察される）

調査地：東京都港湾局臨海開発部海上公園課管内 海の森公園予定地

調査木サイズ：樹高 1.57 m、地際直径 4.2 cm、根系到達深 15 cm

地形図図幅：1:25,000 東京南部

緯度 35°36'25"N 経度 139°48'16"E

標高：27 m 土地利用：埋立地（台地頂部）上の海上公園生育基盤盛土

断面方位：310° N 傾斜：8° 調査土壌深：65 cm+

有効土層深：20 cm

林相：クロマツ・スダジイ・タブ・オオシマザクラなどの植栽地（2014年植栽）

調査者氏名 小野賢二・川東正幸・木田仁廣 調査日 2017.6.22

土壌断面の記載…

- L: 1 cm バーク片、草本の枯れた茎
- A: 0～3 cm 黒色 (7.5YR 2/1)、微砂質壤土、潤、石礫なし、弱度の細粒状構造、粗しょう、しょう (3.8*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根あり、アリの巣あり、菌糸あり、バーク片混じる、次層位との層界は平坦判然
- C_1 : 3～7 cm 褐色 (7.5YR 4/4)、微砂質埴壤土、潤、石礫なし、中度的中塊状構造、非常に砕けやすい、堅 (15.2*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし、バーク片混じる、次層との層界は平坦漸変
- C_2 : 7～20 cm 褐色 (7.5YR 4/6)、埴壤土、潤、石礫なし、構造なし、砕けやすい、固結 (26.4*)、孔隙なし、孔隙率1、生根なし、バーク片混じる、次層との層界は平坦漸変
- C_3 : 20～40 cm 暗褐色 (10YR 3/4)、埴土、潤、石礫なし、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (24.2*)、孔隙なし、孔隙率1、生根なし、バーク片混じる、次層との層界は平坦判然
- $2C_1$: 40～47 cm 黒褐色 (10YR 3/2)、埴壤土、潤、風化した中・大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅 (25.2*)、孔隙なし、孔隙率1、生根なし、バーク片混じる、次層との層界は平坦漸変
- $2C_2$: 47～65 cm+ 黒色 (5Y 2/1)、砂質壤土、潤、風化した中・大・粗大亜角礫含む、構造なし、砕けやすい、固結 (27.6*)、孔隙なし、孔隙率1、生根なし、バーク片混じる

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面（上）、その周辺（左下）と植栽木の根系状況（右下2枚）



【断面49】 海の森2 1m (未熟土)

盛土材料：パーク堆肥、土壌改良材、優良土、建設発生土を配合した土（AC～2C層までは礫まじり廃土+浚渫土の混合土と推察される）

調査地：東京都港湾局臨海開発部海上公園課管内 海の森公園予定地

調査木サイズ： ①樹高 6.00 m、胸高直径 8.8cm、地際直径 9.6cm、根系到達深 26cm
 ②樹高 5.05 m、胸高直径 6.0cm、地際直径 9.0cm、根系到達深 23cm
 平均樹高 5.09 m、平均 DBH 6.50 cm、平均 D0 10.70 cm

地形図図幅：1:25,000 東京南部 緯度 35°36'24"N 経度 139°48'37"E

標高：10 m 土地利用：埋立地（台地斜面）上の海上公園生育基盤盛土

断面方位：125° N 傾斜：10° 調査土壌深：65 cm+
 有効土層深：23 cm

林相：クロマツ・スダジイ・ヒサカキ・エノキなどの植栽地（2008年植栽）

調査者氏名 小野賢二・木田仁廣 調査日 2017.6.23

土壌断面の記載…

L: 3-5 cm クロマツの針葉由来のリターが主体

F: 1-2 cm 同上

A: 0～6 cm 黒色 (2.5Y 2/1)、微砂質壤土、乾、未風化な中・大亜角礫あり、中度の小塊状構造、非常に碎けやすい、しょう (5.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、細・小根あり・中・大根乏し、菌糸あり、次層位との層界は平坦明瞭

AC: 6～20 cm オリーブ黒色 (7.5Y 3/1)、壤土、乾、未風化な中・大亜角礫あり、構造なし、碎けやすい、堅 (20.8*)、隙間孔隙、孔隙率2、細・小根あり・中・大根乏し、菌糸あり、次層との層界は平坦判然

C₁: 20～35 cm 黒褐色 (10YR 3/1)、壤土、乾、未風化な大・粗大亜角礫含む、構造なし、碎けやすい、すこぶる堅 (24.0*)、隙間孔隙、孔隙率2、細・小・中・大根乏し、次層との層界は平坦漸変

C₂: 35～58 cm 黒褐色 (7.5YR 3/1)、砂質壤土、乾、未風化な大亜角礫あり、構造なし、碎けやすい、固結 (27.6*)、隙間孔隙、孔隙率2、細根乏し、次層との層界は平坦明瞭

2C: 58～65 cm+ オリーブ黒色 (5Y 3/1)、砂質壤土、乾、未風化な大・粗大亜角礫含む、構造なし、碎けやすい、すこぶる堅 (22.6*)、隙間孔隙、孔隙率2、生根なし

* 山中式土壌硬度計による5点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) と植栽木の根系状況 (右)



【断面 50】野鳥公園 1 Im (未熟土)

盛土材料：瓦礫+建設発生土（上層）、浚渫土（下層）

調査地：東京都立東京港野鳥公園内 保護区域 1989年施工地

調査木サイズ：

シラカシ 樹高 15.7 m、胸高直径 33.7 cm。根系到達深 100 cm+

トベラ 樹高 5.3 m、胸高直径 8.1 cm

地形図図幅：1:25,000 東京南部

緯度 35°35'00"N 経度 139°45'46"E

標高：10 m 土地利用：埋立地（台地斜面）上の海上公園生育基盤盛土 管理道近傍地

断面方位：310° N

傾斜：4°

調査土壌深：115 cm

有効土層深：100 cm+

林相：シラカシ、トベラ、マテバシイ、クロマツなどの植栽地（1989年頃の植栽）

調査者氏名 小野賢二・川東正幸・木田仁廣

調査日 2018.7.30

土壌断面の記載…

L: 1-2 cm シラカシ落葉リターなど

A1: 0 ~ 10 cm 極暗褐色 (7.5YR 2/3)、壤土、乾 (~潤)、石礫なし、弱度の小・中粒状構造、非常に砕けやすい、軟 (9.8*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細・小根あり・中・大根乏し、土中にコンクリートガラ、瓦礫混じる、次層位との層界は平坦判然

A2: 10 ~ 18 cm 暗褐色 (7.5YR 3/3)、埴壤土、乾 (~潤)、未風化な大亜角礫乏し、弱度の小・中粒状構造、非常に砕けやすい、軟 (14.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、細根含む・小・中・大根乏し、土中にコンクリートガラ、瓦礫混じる、次層との層界は平坦漸変

AC: 18 ~ 30 (~ 42) cm にぶい赤褐色 (5YR 4/4)、埴壤土、乾 (~潤)、未風化な大亜角礫あり、弱度の塊状構造、堅 (20.6*)、非常に砕けやすい、隙間孔隙および細導管孔隙あり、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、土中にコンクリートガラ、瓦礫混じる、次層との層界は不規則漸変

C₁: 30 (~ 40) ~ 褐色 (7.5YR 4/3)、微砂質壤土、乾、未風化な大亜角礫あり、弱-中度の大塊状構造、砕けやすい、すこぶる堅 (23.2*)、隙間孔隙および細小泡孔隙あり、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、土中にコンクリートガラ、瓦礫混じる、次層との層界は不規則漸変C₂: 50 (~ 60) ~ 暗褐色 (10YR 3/4)、微砂質壤土、乾、未風化な大・巨亜角礫含む、弱-中度の大塊状構造、壊れにくい、すこぶる堅 (25.2*)、隙間孔隙および細小泡孔隙乏し、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、土中にコンクリートガラ、瓦礫混じる、次層との層界は平坦漸変C₃: 80 ~ 106 cm 暗褐色 (10YR 3/4)、微砂質壤土、乾、未風化な大・巨亜角礫含む、弱-中度の大塊状構造、壊れにくい、すこぶる堅 (23.8*)、隙間孔隙および細小泡孔隙乏し、孔隙率 3、細・小・中・大根乏し、土中にコンクリートガラ、瓦礫混じる、次層との層界は平坦明瞭

2C: 106 ~ 115 cm+ 灰オリーブ色 (5Y 4/2)、壤質砂土、乾、未風化な大・粗大角礫含む、構造なし、非常に砕けやすい、すこぶる堅 (24.6*)、隙間孔隙、孔隙率 3、小・中根乏し（検土杖にて、さらに 25 cm 厚にわたり同質の層位が存在することを確認。下層は礫当たりに付き、確認不能）

* 山中式土壌硬度計による 5 点の測定値の平均 (mm)

土壌断面 (左) と林況 (右)



【断面 51】 野鳥公園 2 Im (未熟土)

盛土材料：瓦礫+建設発生土（ローム土）（上層）、浚渫土か（下層）

調査地：東京都立東京港野鳥公園内 保護区域 1979年施工地

植栽木：ニレ、マテバシイ、エノキなど常緑広葉樹（40年生）

地形図図幅：1:25,000 東京南部 緯度 35°34'57"N 経度 139°45'27"E

標高：10 m 土地利用：埋立地（台地上部）上の海上公園生育基盤盛土 管理道脇

断面方位：165° N 傾斜：16° 調査土壌深：85 cm

有効土層深：85 cm

調査者氏名 小野賢二・川東正幸 調査日 2019.7.29

土壌断面の記載…

L: 0.5～2 cm シイヤトベラなど落葉リターや、小枝、リター直下に虫糞が厚く堆積

A: 0～8(～15) cm 黒褐色(5YR 2/2)、微砂質壤土、乾、未風化の中円礫乏し、非常に弱度の小粒状構造、粗しょう、しょう(7.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、大・小・細根乏し、土中に瓦片(3～5 cm 混じる)、活性アルミテスト+、次層位との層界は不規則判然

C₁: 8(～15)～40 cm 黒褐色(7.5YR 2/2)、微砂質壤土(塊状に微砂質埴壤土(暗褐色 10YR3/3)が混じる)、乾(～潤)、石礫なし、弱度の中・小粒状構造、砕けやすい、堅(20.2*)、隙間孔隙、孔隙率3、大・中根乏し・小・細根あり、活性アルミテスト+++、甲虫の幼虫が生息、次層との層界は不規則漸変

C₂: 40～65 cm 黒褐色(10YR 2/3)、微砂質壤土、乾、石礫なし、弱度の中塊状構造、砕けやすい、堅(19.6*)、隙間孔隙、孔隙率3、大・中・小根乏し・細根あり、活性アルミテスト+++、次層との層界は平坦判然

C₃: 65～84 cm 黒褐色(7.5YR 2/2)、微砂質埴壤土、(乾～)潤、石礫なし、弱度の中塊状構造、砕けやすい、堅(18.0*)、隙間孔隙、孔隙率3、大・中・小・細根乏し、活性アルミテスト+++、次層との層界は平坦明瞭

2C: 84 cm+～ 黒褐色(2.5Y 3/2)、微砂、乾(～潤)、石礫なし、中～強度の大板状構造、壊れにくい、固結(28.4*)、孔隙なし、孔隙率1、機械的外力による連続した板状の強膠結、生根なし

* 山中式硬度計の測定したものの平均値 (mm)

断面写真



Characteristics of the anthropogenic soils in the coastal disaster prevention forests and seaside parks in north-eastern Japan.

Kenji ONO^{1)*}, Hironori NOGUCHI²⁾, Hisanori MURAKAMI³⁾, Ryusuke ARAI⁴⁾, Yuichi UGAWA⁵⁾,
Akane KOMORIYA⁶⁾, Kyohei NITTA⁷⁾, Fumiko FUKUYAMA⁸⁾, Naohiko SAITO⁹⁾,
Toshimichi YOSHIDA¹⁰⁾, Ryuichi TACHIBANA¹¹⁾, Masayuki KAWAHIGASHI¹²⁾,
Kimihiko KIDA¹³⁾, Natsuki WATANABE¹⁴⁾, Hiroaki HAGINO¹⁾, Kyotaro NOGUCHI¹⁾,
Yoshiki SHINOMIYA¹⁵⁾ and Akihiro IMAYA¹⁶⁾

Abstract

In recent years, anthropogenic soils in forested lands have been of great interest. This is because the intensity of human influences for natural soil with forested lands is continuously increasing due to better land management, urban and industrial developments, and recovery works from several disasters with devastating damages. Human impacts have been considered a great factor for the formation of soil. Regarding the soil classification systems of natural soil with forested lands in Japan, there are two categories of soils, namely Immature Soils (Immature Soil) and Immature Soils (Eroded Soil). In this paper, we investigate and present the survey results of anthropogenic soils in the coastal disaster prevention forests and seaside parks in north-eastern Japan. We realized that the impacts of human influence like soil materials, construction methods, and contamination of some exotic artefacts for anthropogenic soil morphology were varied. The soil morphological information is useful for evaluating soil function and considering soil geneses in heavily anthropogenic environments.

Key words : Man-made soils, coastal disaster prevention forests, sea-side greenery park, artefacts, soil morphology

Received 29 July 2020, Accepted 30 October 2020

1) Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

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

3) Iwate Prefectural Forestry Technology Center

4) Iwate Prefectural Office

5) Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center

6) Chiba Prefecture Chubu Forestry Administrative Office

7) Akita Forest Research and Training Center

8) Fukushima Prefectural Office

9) Fukushima Prefectural Forestry Research Center

10) OISCA international

11) Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

12) Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

13) Department of Forest Soils, FFPRI

14) Tsukuba Research Institute, Sumitomo Forestry Co., Ltd.

15) Center for Forest Restoration and Radioecology, FFPRI

16) Japan International Research Center of Agricultural Sciences

* Tohoku Research Center, FFPRI, 92-25 Nabeyashiki, Morioka, Iwate, 020-0123 Japan; E-mail : don@ffpri.affrc.go.jp

担当者 様
To the person concerned

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所研究報告を送付させていただきますのでお受け取り下さい。
貴刊行物と交換願えれば幸いです。なお、貴研究所の名称、住所などを変更
された場合は、下記まで連絡を御願ひ致します。

Please, find an enclosed Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute.
We greatly appreciate receiving any relevant publications in exchange.
Let us know when the name of your institution and mailing address are changed.

Officer in charge at publication section
Forestry and Forest Products Research Institute
1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 Japan
Tel : + 81-29-829-8373 Fax : + 81-29-873-0844
e-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

2021年10月 発行 森林総合研究所研究報告 第20巻3号 (通巻459号)

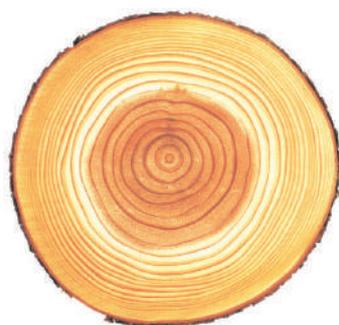
編 集 人 森林総合研究所研究報告編集委員会

発 行 人 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地
電話 : 029-829-8373 Fax : 029-873-0844

製 版・印 刷 朝日印刷株式会社 つくば支社
〒305-0046 茨城県つくば市東2-11-15
電話 : 029-851-1188 Fax : 029-856-5009

©2021 Forestry and Forest Products Research Institute

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。



特集 津波に“ねばり”強い海岸林の造成に向けて

Special Feature Studies for the creation of coastal forests with high tsunami resistance

page147

特集号「津波に“ねばり”強い海岸林の造成に向けて」の刊行によせて

:玉井 幸治

Preface for the special feature

Koji TAMAI

page149

クロマツと4種の広葉樹の根系発達への土壌硬度の影響

:野口 宏典、小野 賢二、渡部 公一、新田 響平

The influence of soil hardness on the root development of *Pinus thunbergii* and four species of broadleaf trees

Hironori NOGUCHI, Kenji ONO, Koichi WATANABE and Kyohei NITTA

page159

海岸林の生育基盤盛土への深耕が土壌の硬さとクロマツの根の発達に与える効果

:野口 宏典、小野 賢二、萩野 裕章、鈴木 覚

Effects of deep tillage on soil hardness of berms built as growth bases of coastal forests and growth of *Pinus thunbergii* roots planted on them

Hironori NOGUCHI, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO and Satoru SUZUKI

page169

秋田県の海岸砂丘に生育するクロマツおよび植栽広葉樹数種の根系分布

:新田 響平、野口 宏典、太田 敬之、小野 賢二、萩野 裕章、野口 享太郎、大谷 達也、宇川 裕一、小森谷 あかね、谷川 東子、平野 恭弘、鈴木 覚

Root distribution of *Pinus thunbergii* and some broadleaved planted trees in coastal sand dunes at Akita Prefecture
Kyohei NITTA, Hironori NOGUCHI, Takayuki OTA, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO, Kyotaro NOGUCHI, Tatsuya OHTANI, Yuichi UGAWA, Akane KOMORIYA, Toko TANIKAWA, Yasuhiro HIRANO and Satoru SUZUKI

page185

海岸林の生育基盤盛土に植栽されたクロマツと広葉樹の根系発達

—千葉県山武市小松と富津市富津における調査結果の検討—

:宇川 裕一、小森谷 あかね、太田 敬之、小野 賢二、萩野 裕章、新田 響平、野口 宏典

Root system developments of *Pinus thunbergii* and broadleaf trees planted on anthropogenic growth bases with embankment in coastal forests -A case study in Komatsu, Sanmu City and Futtsu, Futtsu City, Chiba Prefecture, Japan-
Yuichi UGAWA, Akane KOMORIYA, Takayuki OTA, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO, Kyohei NITTA and Hironori NOGUCHI

page195

海岸防災林造成を目的として植栽された広葉樹とクロマツの土壌特性に基づく成長と根系発達

:太田 敬之、新田 響平、宇川 裕一、小野 賢二、萩野 裕章、谷川 東子、大谷 達也、平野 恭弘、小森谷 あかね、野口 宏典

Trunk and root growth of planted broadleaf trees and *Pinus thunbergii* in coastal forests in relation to soil properties
Takayuki OTA, Kyohei NITTA, Yuichi UGAWA, Kenji ONO, Hiroaki HAGINO, Toko TANIKAWA, Tatsuya OTANI, Yasuhiro HIRANO, Akane KOMORIYA and Hironori NOGUCHI

page205

東日本および東北地方の海岸防災林・海浜公園の生育基盤として整備された造成土壌の特徴

:小野 賢二、野口 宏典、村上 尚徳、新井 隆介、宇川 裕一、小森谷 あかね、新田 響平、福山 文子、齋藤 直彦、吉田 俊通、橘 隆一、川東 正幸、木田 仁廣、渡辺 名月、萩野 裕章、野口 享太郎、篠宮 佳樹、今夕 明宏

Characteristics of the anthropogenic soils in the coastal disaster prevention forests and seaside parks in north-eastern Japan
Kenji ONO, Hironori NOGUCHI, Hisanori MURAKAMI, Ryusuke ARAI, Yuichi UGAWA, Akane KOMORIYA, Kyohei NITTA, Fumiko FUKUYAMA, Naohiko SAITO, Toshimichi YOSHIDA, Ryuichi TACHIBANA, Masayuki KAWAHIGASHI, Kimihiro KIDA, Natsuki WATANABE, Hiroaki HAGINO, Kyotaro NOGUCHI, Yoshiki SHINOMIYA and Akihiro IMAYA