

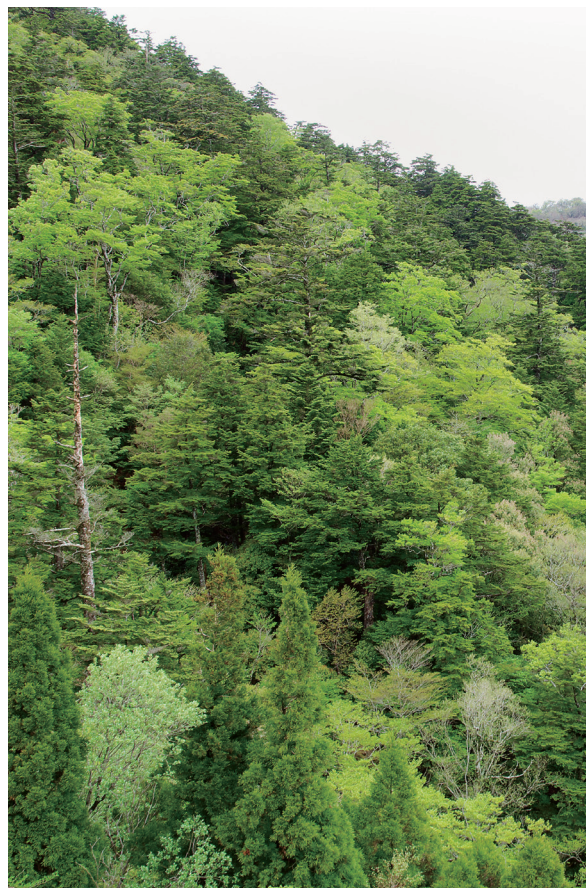
PRINT ISSN 0916-4405
ONLINE ISSN 2189-9363

森林総合研究所研究報告

Vol.15 No.3 (No.439)

BULLETIN

of the
Forestry and
Forest Products
Research Institute



September 2016

国立研究開発法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

目 次

論 文

CLT用スギフィンガージョイントラミナの加力方向による曲げ強度
性能の違い

小木曾 純子、井道 裕史、長尾 博文、原田 真樹、
加藤 英雄、宮武 敦、平松 靖 59

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—

小野 賢二、今矢 明宏、高梨 清美、坂本 知己 65

ノ ー ト

サーモグラフィーを用いたコガタスズメバチ創設女王による
抱卵行動の観察(英文)

牧野 俊一 79

研究資料

現存する「立田山ヤエクチナシ」の由来および特徴

宮崎 寛、金谷 整一、河原畑 濃、松永 順、
松永 道雄 81

CONTENTS

Original article

- Difference of bending performance by loading directions using sugi finger-jointed laminae for Cross Laminated Timber
Junko OGISO, Hirofumi IDO, Hirofumi NAGAO,
Masaki HARADA, Hideo KATO, Atsushi MIYATAKE
and Yasushi HIRAMATSU 59

- Evaluation of the berms built on the Restoration of the Mega-Tsunami-Damaged Coastal Forests—Comparison with the effects of soil-scratching as a soil physical correction method among the various types of machinery.
Kenji ONO, Akihiro IMAYA, Kiyomi TAKANASHI
and Tomoki SAKAMOTO 65

Note

- Observation of egg incubation by a founding queen of the hornet *Vespa analis* (Hymenoptera, Vespidae) with thermography
Shun'ichi MAKINO 79

Research record

- Provenance and flowering characteristics of surviving “Tatsuda-yama Yae-kuchinashi”, *Gardenia jasminoides* form. *ovalifolia*, trees found around Mt. Tatsuda-yama, Kumamoto city, southwestern Japan
Hiroshi MIYAZAKI, Seiichi KANETANI, Atsushi KAWARABATA,
Jun MATSUNAGA and Michio MATSUNAGA 81

論文 (Original article)

CLT 用スギフィンガージョイントラミナの加力方向による 曲げ強度性能の違い

小木曾 純子¹⁾、井道 裕史²⁾、長尾 博文^{2)*}、原田 真樹²⁾、
加藤 英雄²⁾、宮武 敦³⁾、平松 靖³⁾

要旨

「直交集成板の日本農林規格」では、ラミナの曲げヤング係数やたて継ぎラミナの曲げ強度は、平使いの曲げ試験によって格付け検査が実施されている。しかし、ラミナへ負荷される方向でみたとき、CLT の曲げ性能のうち面外曲げには一致するものの、ラミナが縦使い方向で負荷される面内曲げとは一致していない。本研究では、ラミナの強度特性値から推定される CLT の面内曲げ強度の精度向上を目指し、スギフィンガージョイントラミナの曲げ強度性能について平使い方向と縦使い方向とで比較した。その結果、縦使い方向の曲げヤング係数の平均値が平使い方向のそれに比べて約 7% 高く、曲げ強度の平均値は、平使い方向の方が 20% 程度高いことがわかった。そこで、ラミナの平使い方向の曲げヤング係数及び曲げ強度を用いた CLT の面内曲げヤング係数及び曲げ強度推定式を作成し、その検証を行った。その結果、曲げヤング係数、曲げ強度の推定値と実測値がほぼ一致し、本推定法の妥当性が実証された。

キーワード：直交集成板、スギ、フィンガージョイントラミナ、加力方向、面内、曲げ

1. はじめに

クロス・ラミネイティド・ティンバー（直交集成板：以下、CLT）は、国産材の利用拡大が期待できる新たな木材製品として、その利用技術の開発や供給体制の整備などが急速に推進されている。材料強度については、平成 25 年末に制定された「直交集成板の日本農林規格（平成 25 年 12 月 20 日、農林水産省告示第 3079 号）」（農林水産省 2013）（以下、JAS 規格）の CLT の各等級及び構成に対応した基準強度の設定を目的に、現在、様々な強度試験（面外曲げ、面内曲げ、引張り、圧縮、せん断等）が森林総合研究所を中心に大学や公立試験研究機関によって実施されている（森林総合研究所ほか 2016）。その際、特に CLT の曲げ・引張り・圧縮強度については、現行の集成材の基準強度と同様、CLT を構成するラミナ等級の強度特性値から CLT の各強度を推定する方法が提案され、平成 28 年 3 月 31 日に国土交通省から一部の等級及び構成について CLT の基準強度の告示が出された（国土交通省 2016）。

一方、CLT の曲げ性能については、ラミナの積層面に直交して加力する面外曲げ（以下、面外曲げ）、及びラミナの積層面に平行して加力する面内曲げ（以下、面内曲げ）の 2 種類がある。CLT を用いた建築物においては使用される部位によって曲げ荷重が負荷される方向が異なるため、面外曲げ及び面内曲げのい

ずれの強度も構造計算では必要とされる。しかしながら、JAS 規格の格付け検査方法において、ラミナの曲げヤング係数は B 試験、たて継ぎラミナの曲げ強度は C 試験、すなわちいずれの試験方法も平使い方向に負荷されるように規定されており、ラミナへ負荷される方向でみたとき、CLT の曲げ性能のうち面外曲げには一致するものの、ラミナが縦使い方向で負荷される面内曲げとは一致していない。また、一般にラミナは節などの欠点除去や曲がり等の矯正による歩留り向上の目的（森林総合研究所 2004）からフィンガージョイント（以下、FJ）等のたて継ぎを施される場合が多いが、たて継ぎ材のフィンガー形状（垂直型、水平型）による曲げ強度の違いについてはいくつか研究報告（例えば、星・千葉 1973）がみられるものの、たて継ぎラミナそのものについて曲げ強度に関する加力方向の違いの影響を検討した研究報告は見当たらない。

本研究では、ラミナの強度特性値から推定される CLT の強度の精度向上を目指し、CLT 用のスギの FJ ラミナの加力方向による曲げ強度性能の違いについて比較を行った。また、これらの結果からラミナの平使いの曲げ強度特性値から CLT の面内曲げ性能の推定式を作成し、CLT の面内曲げ性能についての既報のデータと比較し、その妥当性について検証した。

原稿受付：平成 28 年 5 月 17 日 原稿受理：平成 28 年 7 月 14 日

1) 林野庁林政部木材利用課（元森林総合研究所）

2) 森林総合研究所構造利用研究領域

3) 森林総合研究所複合材料研究領域

* 森林総合研究所構造利用研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

2. 実験

2.1 試験体の採取

本試験は人工乾燥・モルダー加工されたスギラミナを対象とし、JAS 規格にしたがって、機械等級によって M30（曲げヤング係数 $3.0 \sim 6.0 \text{ kN/mm}^2$ ）及び M60（同 $6.0 \sim 9.0 \text{ kN/mm}^2$ ）に区分してたて継ぎされたラミナ（断面寸法 $30 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}$ 、材長 4000 mm ）について、それぞれ 30 体及び 54 体を供試材とした。たて継ぎはフィンガー長 15.0 mm の垂直型 FJ で、接着剤は水性高分子ーイソシアネート系樹脂であった。すべてのラミナから、荷重点間に FJ が含まれるように材長を材せいの 23 倍（縦使い試験体（以下、EW 試験体）: 2415 mm 、平使い試験体（以下、FW 試験体）: 690 mm ）とした EW 試験体及び FW 試験体をそれぞれ 1 体ずつ切り出した。すなわち、EW 試験体、FW 試験体のいずれも、試験体数は M30 および M60 について、それぞれ 30 体、54 体であった。

2.2 試験方法

曲げ試験に先立ち、すべての試験体について密度及び縦振動法によるヤング係数を測定した。曲げ試験は、Fig.1 に示したように、JAS 規格にしたがって支点間距離を材せいの 21 倍（EW: 2205 mm 、FW: 630 mm ）とした 3 等分点 4 点荷重方式で実施し、比例限区間における荷重及び試験体中央部のたわみ量からみかけの曲げヤング係数（以下、曲げヤング係数）、最大荷重から曲げ強度を算出した。曲げ試験には、最大容量が 100 kN の材料試験機（ミネベア株式会社製、TCM-10000）を用い、クロスヘッドスピードを $7 \sim 10 \text{ mm/min}$ として载荷した。なお、EW 試験体の曲げ試験には、曲げ载荷時に試験体の横座屈を防止する目的でラテラルサポート（横座屈防止治具）を設置した。試験終了後、すべての試験体について、破壊部近傍から長さ約 20 mm の含水率測定用の試験体を採取し、全乾法により含水率を測定した。

3. 結果と考察

3.1 試験結果

EW 試験体及び FW 試験体の曲げ試験の結果を Table 1 及び Table 2 に、それぞれの試験体について曲げヤング係数と曲げ強度との関係を Fig. 2 に示した。それぞれの試験体間において、縦振動法によるヤング係数の平均値はほぼ等しいにもかかわらず、曲げヤング係数は EW 試験体の平均値が FW 試験体のそれに比べて約 7% 高い結果となった。一般的な木取り方法で採材されるラミナは板目板となる場合が多く、長辺方向でみたとき、両材縁部はラミナ中心部に比べて髄からの距離が長いいためヤング係数がやや高い傾向がある。したがって、ラミナの長辺方向と加力方向とが直交する FW 試験体が髄から材縁部までが一樣に曲げ応力が負荷されるのに対して、長辺方向に沿って負荷される EW 試験体ではその両材縁部が曲げ試験時に最大の引張り応力及び圧縮応力が生じる位置と一致し、FW 試験体よりも曲げヤング係数が高くなった（田中ら 2005）と推察される。一方、曲げ強度は、FW 試験体の平均値が EW 試験体のそれに比べて 20% 程度高い結果となった。この結果は、枠組壁工法構造用たて継ぎ材（206 材、断面寸法: $38 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ ）を対象として曲げ試験を実施した報告（全国木材協同組合連合会 2011）とほぼ同様の結果であり、FJ の形状に対する加力方向の違い（滝本ら 2015）や FW 試験体が EW 試験体よりも材せいが小さいことによる寸法効果などが影響しているものと推察される。また、試験体数として十分とは言えないものの、それぞれの等級及び試験条件下での曲げ強度について確率分布（正規分布、対数正規分布）によるパラメータ及びノンパラメトリック手法により 75% 信頼水準における 95% 下側許容限界値（下限値）を算出した。それぞれの試験体の正規分布による曲げ強度下限値を等級ごとに比較すると、FW 試験体の曲げ強度に対する EW 試験体のその比率（EW / FW）は M30、M60 でそれぞれ 0.78、0.73 となり、平均値の違い（それぞれ 0.81、0.84）以上に大きな差異が認められた。

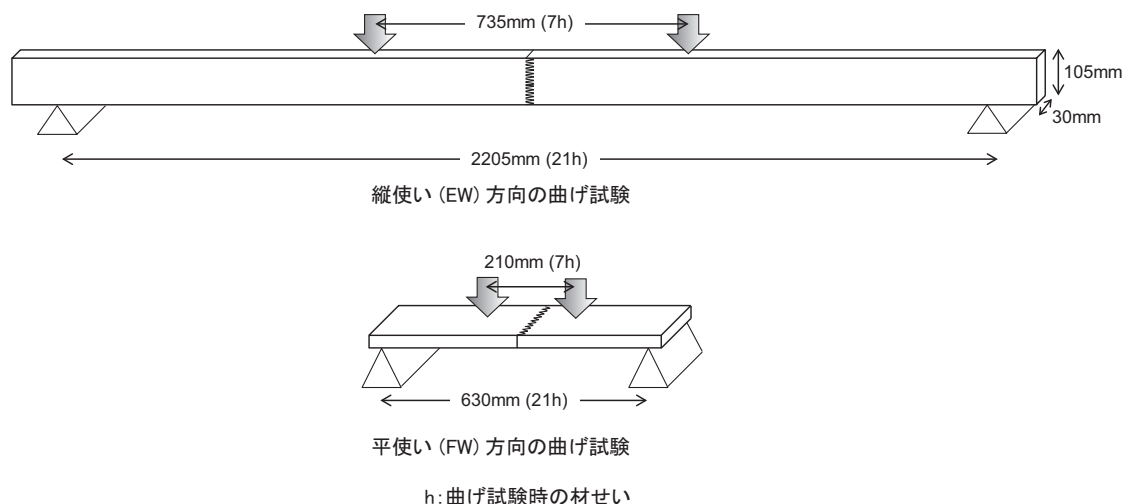


Fig. 1. ラミナの曲げ試験方法

Table 1. EW 試験体の曲げ試験結果

ラミナ種類	試験体数	項目	含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法によるヤング係数 (kN/mm ²)	みかけの曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ強度下限値※ (N/mm ²)
M30	30	平均値	9.15	384	6.79	6.43	26.8	正規 17.4
		最小値	7.97	334	5.16	5.20	16.1	対数 18.3
		最大値	12.1	441	8.27	7.90	41.4	NPE 16.2
		変動係数(%)	8.97	6.82	12.0	11.4	18.8	
M60	54	平均値	9.58	428	9.00	8.51	35.9	正規 23.7
		最小値	7.96	385	6.99	6.43	18.5	対数 24.8
		最大値	15.2	491	10.7	10.2	55.1	NPE 26.4
		変動係数(%)	11.8	6.15	9.24	10.1	18.9	

※正規: 正規分布による下限値(75%信頼水準における95%下側許容限界値)

対数: 対数正規分布による下限値(75%信頼水準における95%下側許容限界値)

NPE: ノンパラメトリック法による下限値(75%信頼水準における95%下側許容限界値)

Table 2. FW 試験体の曲げ試験結果

ラミナ種類	試験体数	項目	含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法によるヤング係数 (kN/mm ²)	みかけの曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げ強度下限値※ (N/mm ²)
M30	30	平均値	8.97	373	6.72	5.98	33.2	正規 22.4
		最小値	7.61	311	5.64	4.70	24.6	対数 24.1
		最大値	12.0	458	8.00	7.86	48.4	NPE 24.7
		変動係数(%)	10.9	8.97	11.1	13.1	17.4	JAS 14.5
M60	54	平均値	9.18	416	8.88	7.97	42.5	正規 32.6
		最小値	7.67	371	7.21	6.18	31.5	対数 33.3
		最大値	11.0	489	10.2	10.6	53.9	NPE 32.4
		変動係数(%)	9.43	6.03	7.57	10.6	12.9	JAS 20.0

※正規: 正規分布による下限値(75%信頼水準における95%下側許容限界値)

対数: 対数正規分布による下限値(75%信頼水準における95%下側許容限界値)

NPE: ノンパラメトリック法による下限値(75%信頼水準における95%下側許容限界値)

JAS: JAS規格に規定された下限値

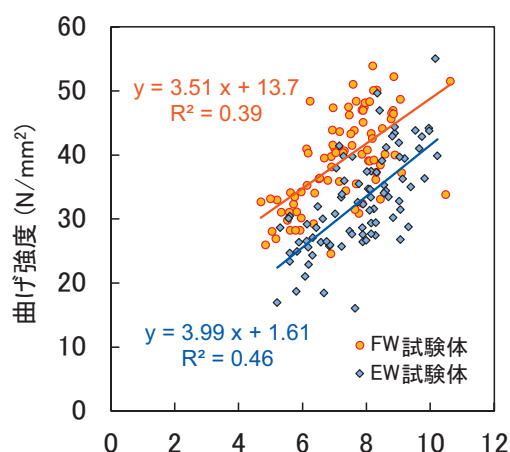


Fig.2. EW 試験体及びFW 試験体の曲げヤング係数と曲げ強度との関係

3.2 CLT 面内曲げ性能の推定

既述したように、JAS 規格における 2 種類のラミナの曲げ試験ではいずれも平使用による試験が採用され、それぞれ基準値が規定されている。そこで、平使用の曲げ強度性能から、ラミナが縦使用される CLT の面内曲げ性能を推定することを試みた。具体的には、3.1 で得られたラミナの FW 試験体の曲げヤング係数及び曲げ強度の M30 と M60 のデータをまとめた平均値に対する EW 試験体の平均値の比 (EW/FW)、すなわち 1.07、0.83 を用いて、その値から CLT の曲げヤング係数及び曲げ強度を推定する式を作成し、その検証を行った。

強軸方向ラミナを m プライ、弱軸方向ラミナを n プライで構成される CLT の面内方向における曲げヤング係数及び曲げ強度を推定するための算出式を式 (1) 及び式 (3) に示した。なお、ラミナの繊維に直交方向の曲げヤング係数は、CLT Handbook (FPInnovations 2011) にしたがって繊維に平行方向の曲げヤング係数の 1/30 とした。また、CLT の面内曲げ試験において荷重たわみ曲線が試験開始から破壊するまでほぼ直線的

であったこと、及び弱軸方向ラミナが CLT の変形に対して寄与するか否かに関わらず破壊たわみは同じであると仮定し、CLT の面内方向における曲げ強度は、強軸方向ラミナのみ強度から算出した曲げ強度に、強軸方向ラミナのみ曲げヤング係数より算出した CLT の曲げヤング係数推定値 (式 (2)) に対する、弱軸方向ラミナの曲げヤング係数も考慮した CLT の曲げヤング係数推定値 (式 (1)) の比率 ($\frac{E_{CLT}}{E'_{CLT}}$) を乗じた値 (式 (3)) とした。

$$E_{CLT} = \sum_{i=1}^m (E_{lama_i} \times 1.07 \times A_{lama_i}) + \sum_{j=1}^n (E_{lami_j} \times 1.07 \times 1/30 \times A_{lami_j}) \dots \dots \dots (1)$$

$$E'_{CLT} = \sum_{i=1}^m (E_{lama_i} \times 1.07 \times A_{lama_i}) \dots \dots \dots (2)$$

$$\sigma_{bCLT} = \sum_{i=1}^m (\sigma_{blama_i} \times 0.83 \times A_{lama_i}) \times \frac{E_{CLT}}{E'_{CLT}} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、

E_{lama} : 強軸方向ラミナの曲げヤング係数 (平使い・強軸方向の曲げヤング係数)

E_{lami} : 弱軸方向ラミナの曲げヤング係数 (平使い・強軸方向の曲げヤング係数)

A_{lama} : CLT の全断面積に対する強軸方向ラミナの断面積割合

A_{lami} : CLT の全断面積に対する弱軸方向ラミナの断面積割合

σ_{blama} : 強軸方向ラミナの曲げ強度 (平使い・強軸方向の曲げ強度)

1.07: ラミナの曲げヤング係数の EW/FW 比

0.83: ラミナの曲げ強度の EW/FW 比

E_{CLT} : 強軸及び弱軸方向ラミナの曲げヤング係数より算出した CLT の面内方向における曲げヤング係数の推定値

E'_{CLT} : 強軸方向ラミナのみ曲げヤング係数より算出した CLT の面内曲げ方向における曲げヤング係数の推定値

σ_{bCLT} : CLT の面内方向における曲げ強度の推定値

提案式の適合性を検証するため、既報 (森林総合研究所ほか 2015) の結果によって得られたラミナの平使い方向の曲げ試験結果 (M30、M60 の曲げヤング係数の平均値: 5.58 kN/mm²、7.09 kN/mm²、M30、M60 の曲げ強度の平均値: 31.1 N/mm²、38.4 N/mm²) を用いて、スギ FJ ラミナで構成された CLT の面内方向における曲げヤング係数及び曲げ強度の推定を行った。なお、本検証に使用した CLT の強度等級は Mx60、ラミナは幅はぎ未接着、ラミナ構成は 3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ、7 層 7 プライの 5 種類、面内曲げの加力は強軸及び弱軸方向の 2 種類であった (森林総合研究所ら 2015)。CLT の面内方向に

おける曲げヤング係数及び曲げ強度について、推定値と実測された平均値との関係をそれぞれ Fig.3、Fig.4 に示した。曲げヤング係数、曲げ強度のいずれにおいても推定値と実測値がほぼ一致しており、本推定法の妥当性が実証された。

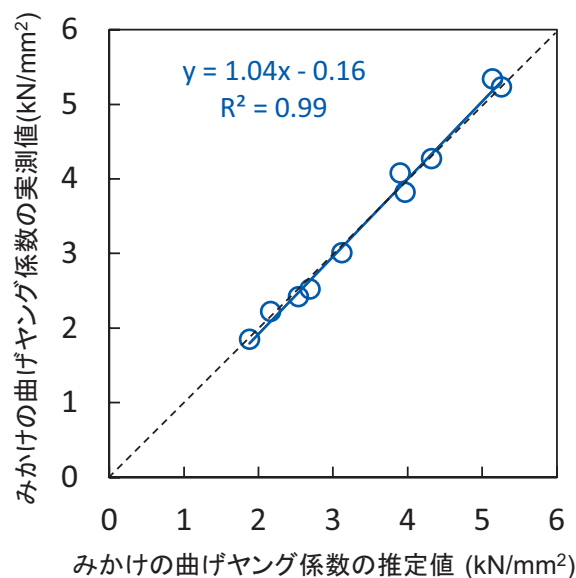


Fig.3. CLT の面内曲げにおける曲げヤング係数の推定値と実測値との比較

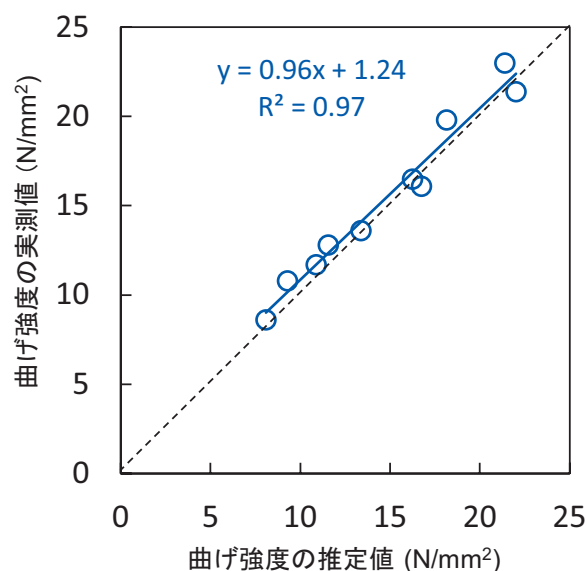


Fig.4. CLT の面内曲げにおける曲げ強度の推定値と実測値との比較

4. おわりに

本研究では、ラミナの強度特性値から推定される CLT 強度の精度向上を目指し、CLT 用スギのフィンガージョイントラミナの加力方向による曲げ強度性能の違いを明らかにした。さらに、これらの結果に基づいて、ラミナの平使いの曲げ特性値を用いた CLT の面内曲げ性能の推定式を作成し、CLT の面内曲げ性能についての既報のデータと比較し、その妥当性について検証を行った。以下のことが明らかになった。

(1) スギ FJ ラミナの曲げ強度性能について平使い方向と縦使い方向とで比較した結果、縦使い方向の曲げヤング係数の平均値が平使い方向のそれに比べて約 7% 高い結果となった。一方、曲げ強度の平均値は、平使い方向の方が 20% 程度高い結果となった。

(2) ラミナの平使い方向の曲げヤング係数及び曲げ強度を用いた CLT の面内方向の曲げヤング係数及び曲げ強度推定式を作成し、その検証を行った。その結果、曲げヤング係数、曲げ強度の推定値と実測値がほぼ一致しており、本推定法の妥当性が実証された。

なお、今回 3.1 で得られた FJ ラミナの FW 試験体の曲げヤング係数及び曲げ強度に対する EW 試験体のそれぞれの比 (EW/FW) はラミナの樹種・寸法形状 (幅/厚さ比) や FJ 形状等に影響されると推察される。また、推定式の適合性の検証に用いた試験データは幅はぎ未接着のラミナから構成された CLT 試験体による試験結果であり、今後、条件の異なるラミナ試験体によるデータ収集や幅はぎ接着ラミナを使用した CLT への適合性について検証していく必要がある。

謝辞

本研究は平成 26 年度林野庁委託事業「CLT 等新たな製品・技術の開発促進事業のうち中高層建築物等に係る技術開発等の促進」により実施した。また、本実験作業に協力いただいた岩手県林業技術センター後藤幸広氏に感謝する。

引用文献

- FPInnovations (2011) “CLT Handbook (3) Structural”, 62.
- 星 通・千葉 保人 (1973) ミニフィンガージョイントの形状と性能. 木材工業, 28(8), 23-25.
- 国土交通省 (2016) “建築基準法施行令第 94 条及び 99 条に基づき、特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件 (平成 13 年国土交通省告示第 1024 号) の一部改正”. 平成 28 年 3 月 31 日国土交通省告示第 562 号.
- 農林水産省 (2013) “直交集成板の日本農林規格”. 平成 25 年 12 月 20 日農林水産省告示第 3079 号.
- 森林総合研究所 (2004) たて継ぎ加工. “改訂 4 版 木材工業ハンドブック”. 森林総合研究所編, 丸善, 442.
- 森林総合研究所・北海道立総合研究機構・日本 CLT 協会 (2015) “平成 25 年度補正林野庁委託事業「CLT 等新製品・新技術利用促進事業のうち CLT 実用化促進 (強度データの収集・分析)」成果報告書”. 19-27, 112-114.
- 森林総合研究所・秋田県立大学・北海道立総合研究機構・日本 CLT 協会・日本木材加工技術協会 (2016) “平成 27 年度林野庁委託事業「CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業 (強度データ収集)」成果報告書”, 175pp.
- 滝本 裕美・松元 浩・石田 洋二 (2015) フィンガージョイントでたて継ぎした石川県産スギ接着重ね梁の製造と曲げ強度性能. 第 65 回日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), D17-P-S11.
- 田中 洋・大熊 幹章・有馬 孝禮 (2005) スギ厚板を木ダボで接合した合わせ材の力学的性能 (第 1 報). 木材学会誌, 51 (4), 249-256.
- 全国木材協同組合連合会 (2011) “平成 21 年度林野庁補助事業「2 × 4 住宅部材の開発事業」成果報告書”, 343-390.

Difference of bending performance by loading directions using sugi finger-jointed laminae for Cross Laminated Timber

Junko OGISO¹⁾, Hirofumi IDO²⁾, Hirofumi NAGAO^{2)*}, Masaki HARADA²⁾,
Hideo KATO²⁾, Atsushi MIYATAKE³⁾ and Yasushi HIRAMATSU³⁾

Abstract

In accordance with the “Japanese Agricultural Standard for Cross Laminated Timber,” the bending Young’s modulus of laminae and the bending strength of finger-jointed laminae are graded by a bending test in a flat-wise direction. When a Cross Laminated Timber (CLT) was loaded in an out-of-plane direction, laminae in the CLT are loaded in a flat-wise direction and this direction matches with the direction of the bending test for the laminae. In contrast, when a CLT was loaded in an in-plane direction, laminae in the CLT are loaded in an edge-wise direction and this direction does not match with the direction of the bending test for the laminae. This study assessed the improvement in the accuracy of in-plane bending strength of CLT and compared the bending strength in flat- and edge-wise directions. The results showed that the average of Young’s modulus of sugi finger-jointed laminae in the edge-wise direction was 7% higher than that in the flat-wise direction, while the average of the bending strength of sugi finger-jointed laminae in the flat-wise direction was 20% higher than that in the edge-wise direction. Using bending Young’s modulus and bending strength of laminae in the flat-wise direction, an equation for bending Young’s modulus and bending strength of CLTs was derived and verified. Consequently, the estimated value of bending Young’s modulus and bending strength was well fitted with that of the measured value, and this estimation was also validated.

Key words : Cross laminated timber, sugi, finger-jointed lamina, loading direction, in-plane, bending

Received 17 May 2016, Accepted 14 July 2016

1) Wood Utilization Division, Forest Policy Planning Department, Forestry Agency(Former Forestry and Forest Products Research Institute)

2) Department of Wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

3) Department of Wood-based Materials, FFPRI

* Department of Wood Engineering, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: hn0829@affrc.go.jp

論文 (Original article)

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—

小野 賢二^{1)*}、今矢 明宏²⁾³⁾、高梨 清美⁴⁾、坂本 知己¹⁾

要旨

大津波で被災した仙台平野の海岸防災林再生現場では、事業初期段階に生育基盤として造成された盛土に部分的な水溜まりが発生している所がある。この状態はクロマツ苗に悪影響を与える。本論では、こうした盛土の状態を把握し、対策法としての盛土の耕起による物理矯正効果を評価した。水溜まりが生じる盛土は全般に堅密で、土壌構造は未発達だったが、地表部では滞水に由来するグライ層の形成が確認された。盛土の全孔隙率は低い傾向を示し、特に0～50 cm深で低かった。全孔隙に対して粗孔隙が少ないものは特に透水係数が低く、締固めによる孔隙の縮小や減少が透水性不良の原因となったと推察された。海砂に比べて盛土はシルトや粘土の含有率が高く、粒度に幅があった。そのため、盛土は海砂に比べ締固まりやすいと考えられる。この盛土材料そのものの特性に加えて盛土造成時の重機走行による締固めが盛土に水溜まりが生じた原因と考えられた。仙台森林管理署では盛土への水溜まりの発生解消と硬盤層破碎を目的とし盛土の耕起を行っている。そこで耕起後の盛土に対し工法ごとに土壌硬度鉛直分布を測定した。その結果、スケルトン式バックホウ、リッパードーザ、プラウとサブソイラを用いた耕起工では、いずれも刃の到達深度まで十分な物理矯正効果が認められたため、耕起工は土壌物理性改善に効果的であることが分かった。また、事業着手初期に造成された未耕起盛土で認められるような長期にわたる水溜まりの発生も認められなかった。以上から、いずれの工法も耕起完了から1～20ヶ月が経過していたが、物理矯正効果は時間が経過しても持続していたことが示された。

キーワード：生育基盤盛土、海岸防災林再生、土壌硬度鉛直分布、耕起工、物理矯正効果、東北地方太平洋沖地震大津波

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震から5年半が経過した。この地震による大津波では、青森県から千葉県にかけての太平洋沿岸部約140 kmにおいて、海岸防災林の浸水被害が約3,660 haにも及んだ(東北地方太平洋沖地震に係る海岸防災林の再生に関する検討会 2012)。地震と津波が絡んだ複合的な災害によって沿岸各地で防潮・防波堤の損壊や海岸防災林地盤の沈下、流失が発生し、海岸防災林を構成していた多数の樹木も倒伏、折損、流亡等の甚大な被害を被った(森林総合研究所 2011, 中村ら 2012, 星野 2012, 林野庁 2015a)。これらの海岸防災林が被った倒伏、流亡の被害要因には、次の2つが考えられている。1つは、海岸防災林の立地する海岸沿岸部の多くが浜堤部に位置し、それらは砂の堆積物で構成されることから地盤が軟弱な上に地下水位が比較的高かったため。もう1つは、その地下水の影響で樹木の根張りが地下方向に不十分であり、津波の浸入による水平方向に対する抗力が弱かったため、とされている(伊藤 2015, 村上 2015, 坂本 2015)。

林野庁は2011年5月から学識経験者等で構成された「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」を開催し、2012年2月に「今後における海岸防災林の再生について」を取りまとめ(東北地方太平洋沖地震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の方針を示した。同方針には、海岸防災林の復旧・再生にあたり留意すべき事項として、根系の健全な成長のための生育基盤の造成、背後の林帯を保護する人工盛土の造成等、津波に対する減災、防災の観点から生育基盤造成について具体的な内容が書き込まれた(林野庁 2015a)。仙台湾沿岸の海岸防災林復旧・再生の現場では、この方針を踏まえて、地下水位を測定し、根系が100年成長できる深さを小田(2000)に準じて考慮し、地下水位から2.4 mほど高く盛土して生育基盤を造成し、クロマツ苗の植栽が実施されている(伊藤 2015, 村上 2015)。仙台湾沿岸の海岸防災林復旧・再生現場においては、生育基盤となる盛土材には、海岸から10～30 km離れた丘陵地帯から採取した「山砂」が用いられている。山砂は、土の粒度試験結果や土壌pH、電気伝導度、透水性、

原稿受付：平成28年6月3日 原稿受理：平成28年9月29日

1) 森林総合研究所東北支所

2) 森林総合研究所立地環境研究領域

3) 国際農林水産業研究センター林業領域

4) 農林水産省林野庁東北森林管理局仙台森林管理署

* 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

礫含有量などの土壤理化学特性値が治山工事標準仕様書（林野庁 2015b）に示された基準を満たしているものである（伊藤 2015, 村上 2015）。

しかしながら、事業開始初期に施工した生育基盤では、この山砂を用いて造成した盛土において、造成後、時間が経過すると、次第に盛土が硬化して、さらに水はけも悪くなり、地表に水溜まりが発生する事例が報告されている（伊藤 2015, 村上 2015, 太田 2015, 朝日新聞社 2015）。地表面への水溜まりが発生する要因として、一般に、①盛土造成時における重機走行による踏圧に起因した土層内への難透水層の形成（長谷川ら 1984）や、②盛土造成後の降雨による土粒子の分散と孔隙の目詰まりに起因する土壤クラスト（土膜）の形成（土壤物理学会 2002, 伊藤 2015）が考えられる。こうした水溜まりが生じる状態では植栽したクロマツ苗の生育に悪影響を与える可能性が懸念される（伊藤 2015, 村上 2015）。そのため、東北森林管理局仙台森林管理署では、盛土地表面の水溜まり発生状況の改善と盛土内に形成された硬盤層の破碎を目的として、リッパードーザやスケルトンバケット式バックホウ、あるいは農業用プラウと農業用サブソイラの併用等で、それぞれの現場の実情にあわせた耕起工を実施している。リッパードーザについては盛土上を往復して地表

面を掻き起こすことにより、盛土内の硬盤層が破碎され、植栽面を柔軟にすることに成功したとの報告もある（伊藤 2015, 村上 2015）。しかしながら、現状では各種耕起工が盛土内の土壤硬度分布にどのような効果をもたらし、土壤物理性の改善にどう寄与しているのかは未解明であり、耕起を施工した箇所と未施工の箇所における盛土内の土壤硬度に関して鉛直二次元的な分布は不明な状況である。

そこで、本研究では、水溜まりが発生する盛土内における土壤硬度分布の把握と、盛土に対する耕起工が盛土内の土壤硬度鉛直分布に及ぼす効果の評価を目的として、宮城県内の海岸防災林復旧・再生事業地 3 箇所 4 工区で調査ラインを設定し、長谷川式土壤貫入計による土壤硬度測定をライントランセクト法に準じて行うこととした。本論文では、この調査によって得られた土壤硬度データを用いて、盛土への耕起のために使用した機材の違いが盛土内部の土壤硬度分布に及ぼす改善効果を二次元的に検討し、その有効性を評価した。また、降雨時に形成された土壤クラストによる水溜まり発生への影響を検討するため、土粒子の分散性を表層土壌について評価したので、それらの結果を報告する。



Fig. 1. 調査位置図と調査ライン
Studying sites and lines in the present study.

2. 調査地および方法

2.1 調査地の概要

調査位置図を Fig.1 に、調査地の概況を Table 1 に示した。事業初期に着手され、未耕起のため部分的に水溜まりが発生する盛土内における土壌硬度分布を把握するための試験地を、宮城県仙台市若林区荒浜地内松林国有林 87 林班 海岸防災林仙台地区第五治山工事（荒浜 8 工区）（北緯 38°13.5′、東経 140°59.3′）に設定した（Fig.1a）。また、盛土に対する各種耕起工が盛土内の土壌硬度の鉛直分布に及ぼす効果を評価するための試験地を、スケルトンバケット式バックホウを用いた耕起工処理区として同県名取市下増田地内台林国有林 89 林班 海岸防災林名取地区（名取 10 工区）（北緯 38°9.2′、東経 140°56.8′）に、リッパードーザを用いた耕起工処理区として同県名取市下増田地内台林国有林 89 林班 海岸防災林名取地区（名取 2 工区）（北緯 38°9.1′、東経 140°56.8′）に、農業用プラウと農業用サブソイラを併用した耕起工処理区として同県亶理町吉田浜の民有林海岸防災林 亶理地区第五治山工事（亶理 5 工区）（北緯 38°0.6′、東経 140°54.9′）に設定した（Fig.1b, c, d）。耕起工処理に関しては、スケルトンバケット式バックホウでは、耕起箇所を踏んで再度

締め固まらないよう後退しながら耕起し、リッパードーザについてはリッパのブレード間の幅が 90 cm であるので、往路と復路で爪の間に爪が入るよう車両位置をずらして耕起間隔がほしい 50 cm 間隔となるよう往復して耕起した（仙台森林管理署、私信）。盛土工完了時期（耕起工実施区については耕起完了時期）は、荒浜 8 工区で 2013 年 3 月、名取 2 工区で 2014 年 3 月、名取 10 工区で 2015 年 3 月、亶理 5 工区で 2014 年 4 月であった。いずれの試験地も、林野土壌の分類（土じょう部 1976）では未熟土に分類される。盛土の材料は荒浜 8 工区では主に宮城県大和町から採取した、鮮新～中新世の海成または非海成の半固結堆積物（経済企画庁 1972）、名取 2、10 工区、亶理 5 工区では同県亶理町、山元町等から採取した鮮新～中新世の海成または非海成の半固結堆積物（経済企画庁 1972）である。これらは、一般に「山砂」と呼ばれている。本研究の試験地すべてにおいて、東北地方太平洋沖地震大津波では海水が浸入して浸漬したが、いずれの試験地でも山砂による盛土を施工したため、調査時においては土壌自体には津波侵入、海水浸漬の影響はないと考えられる。調査地の様子を Fig.2 に示した。荒浜 8 工区、名取 2 工区は盛土造成後に津波被災木の木材チップを

Table 1. 試験地の概要および土壌貫入試験の調査ラインの設定方法、調査間隔
Summary of study sites and study designs.

調査地名	原土採取地	盛土造成完了年月*	掻き起こし工法	植栽樹種	植栽年月	土壌貫入試験の調査ライン長、間隔など	貫入試験実施日	盛土造成後～試験実施日の経過月数
荒浜8工区	宮城県大和町・大郷町・富谷町	2013年3月	無	クロマツ	2013年5月	2.00 m長ラインを3本、全てのラインを25 cm間隔で。	2015年11月13日	32ヶ月
名取10工区	宮城県岩沼市・山元町	2015年3月	スケルトンバケット式バックホウ	アカマツ	2015年6月	13.25 m長ラインを1本、うち11.25 mを25 cm間隔で。	2015年4月3日	1ヶ月未満
名取2工区	宮城県亶理町・大和町	2014年3月	リッパードーザ	クロマツ	2014年5月	10.50 m長ラインを1本、うち9.00 mを50 cm間隔で。さらに4.00 mを25 cm間隔で。	2015年2月3日	10ヶ月
亶理5工区	宮城県角田市・山元町	2014年4月	農業用プラウ＋サブソイラ	クロマツ	2014年5月	8.00 m長ラインを1本、ライン全長を25 cm間隔で。	2015年11月12日	20ヶ月

*盛土造成完了年月には、耕起を実施した工区に関しては、掻き起こし工の完了までを含んだ完了年月を示した。



Fig. 2. 試験地概況

The berms along the coast in the damaged forest areas.

地表面に敷設した (Fig.2a, c)。荒浜 8 工区では耕起工がなされていないこともあり、降雨に見舞われると地表面に水溜まりが発生しやすい。名取 10 工区、亘理 5 工区は木材チップの敷設はなされていない (Fig.2b, d)。これらの試験地は、クロマツ苗、またはアカマツ苗が植栽されている (Table 1)。

2.2 盛土土壌における土壌断面観察および各層位の一般理化学性分析

水溜まりが発生する未耕起の盛土および耕起工を施した盛土内における土壌の一般理化学的特性を把握するために、耕起していない荒浜 8 工区内と、スケルトンバケット式バックホウによって耕起された名取 10 工区内において土壌断面調査を行い、Guidelines for soil description (FAO 2006) に準じて、土壌断面情報を記載した。土壌断面調査では、試坑を行い、土壌断面の代表性を確認している。盛土土壌の一般理化学性分析に供するため、芝本式土壌採取用円筒 (大起理化学工業 400 ml 容) にて不攪乱土壌コアを層位ごとに 1 個採取した。荒浜 8 工区の土壌断面における層厚が薄かった 2A 層は、理化学性分析試料は採取出来なかった。採取した不攪乱土壌コア試料は、河田・小島 (1976) に準じて、一般理化学性分析、透水性試験、加圧板法による孔隙組成分析、粒径組成分析に供した。荒浜 8 工区の土壌断面における C5 層は、400 ml 容円筒では試料が採取出来なかったため、100 ml 容の採土円筒 (大起理化学工業) で不攪乱土壌コアを採取し、容積重、孔隙量、三相組成、採取時含水量のみ測定した。さらに荒浜 8 工区の土壌断面における 2C 層は、津波浸漬前の海浜の砂で構成されていたことから、円筒の網蓋から砂が

漏れ、飽水処理や透水性試験が実施出来ないことから、400 ml 容円筒で試料は採取したものの、容積重、孔隙量、三相組成、採取時含水量のみの測定とした。また、土壌クラスト (土膜) が盛土表面の水溜まり発生に及ぼす影響の有無について検討するため、盛土表層部での粘土や微砂を含む細粒成分 (粒径 0.02 mm 未満の成分) の分散率について、種田 (1975) に準じて測定した。得られた結果を解析し、盛土表面に水溜まりが発生する原因を検討した。なお、粒径分析については、海砂由来の土砂と比較するため、近隣の貞山堀土手の 0 ~ 30 cm 深の範囲から土砂を採取して分析に供した。

2.3 土壌硬度測定および盛土内の土壌硬度分布の評価

本研究では、盛土内部の土壌硬度の垂直的变化を連続的にかつ盛土区画に対して掘りを持って把握するために、長谷川式土壌貫入計 (ダイトウテクノグリーン株式会社製; 形式: H-100SE, 長谷川ら 1984) を用いて、ライントランセクト法によって土壌硬度を測定し、各種耕起工を施した盛土について、生育基盤としての土壌硬度の分布状況を把握した。盛土の土壌硬度を表す値として、長谷川 (2008) に準じ、S 値 (cm/drop) を用いた。この S 値とは、長谷川式土壌貫入計において 2 kg の重錘を 50 cm の高さから落下させたときの一打撃あたりの貫入計先端の直径 20 mm のコーンの土壌中への貫入量 (cm) である (長谷川 2008)。S 値は小さいほど硬い土壌であることを示している。長谷川式貫入計による軟らかさ (硬さ) の評価は、日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) の基準に準じ、以下の 5 段階で表現した: 固結 ($S \leq 0.7$ cm/drop), 硬い ($0.7 < S \leq 1.0$), 締まった ($1.0 < S \leq$



Fig. 3. 植栽基盤盛土の掻き起こしに用いた機械類 (写真提供: 仙台森林管理局)
Machinery used for tikkages in berms.

調査ラインの設定は、荒浜 8 工区については、盛土内の土壌硬度の不均一性を把握するため 2 m 長のライン①～③の三本を設定した (Fig.1a)。また、盛土造成後に耕起工を実施した名取 2、10 工区、亘理 5 工区に関しては、耕起に使用したバケットのサイズ (幅や深さ) (Fig.3a)、リッパ・サブソイラ・プラウのブレードの間隔や掘削深度 (Fig.3b, c, d) を考慮し、10 ～ 15 m 長のラインをそれぞれ 1 本設定した。その上で、各調査ラインの中で盛土内の耕起効果や土壌硬度分布の不均一性が捉えられるよう、25 cm または 50 cm 間隔で (名取 2、10 工区の一部では各 1 点 150 cm 間隔の調査点箇所あり)、土壌深度約 100 cm に達するまで、土壌硬度分布を測定する貫入試験を実施した (Fig.1b, c, d)。貫入試験は、荒浜 8 工区が 2015 年 11 月 13 日、名取 2 工区が同年 2 月 3 日、名取 10 工区が同年 4 月 3 日、亘理 5 工区が同年 11 月 12 日に実施した (Table 1)。盛土内鉛直面における土壌硬度の分布を視覚的に把握して、評価・比較するため、各調査ラインにおける長

3. 結果

荒浜 8 工区に設定した 3 本の調査ライン①～③において実施した土壌貫入試験の結果から作成した盛土の土壌硬度分布を Fig.4 に示した。いずれの調査ラインにおいても、S 値の鉛直断面分布は概ね類似した傾向を示した。すなわち、土壌表層部（0 ～ 10 cm 深）では S 値 > 1.0 cm/drop を示し、「締まった」～「軟らか」な土壌硬度分布を示していたものの、その下の 10 ～ 40 cm 深では S 値 ≤ 1.0 cm/drop で、「硬い」土壌が分布し、さらに 10 ～ 20 cm 深においては、S 値 ≤ 0.5 cm/drop を示す、「固結」した層状の土層、すなわち硬盤

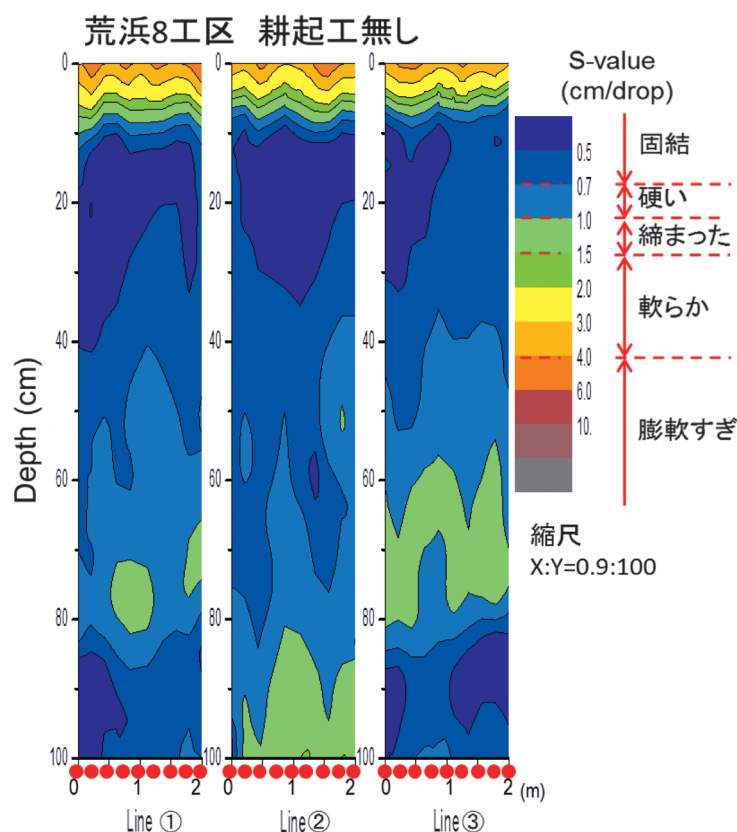


Fig. 4. 未耕起盛土の鉛直断面内の土壌硬度分布
X 軸下の赤点は貫入試験箇所を示す
Vertical distribution of soil hardness in non-tilled berm.

が存在した。その下の 60～80 cm 深（ライン②では 80～100 cm 深）には、S 値 > 1.0 cm/drop である「締まった」土壌が層状に存在していたが、その下 80 cm 以深には再び S 値 ≤ 0.7 cm/drop を示す「固結」した土壌が層状に存在していた（除、ライン②）。以上の結果から、荒浜 8 工区の耕起工未施工の盛土では、土壌深 10cm 以深に比較的厚い堅密な土層が分布し、それは 100 cm 深部まで不均質に存在していることが明らかとなった。こうした傾向は、①～③の 3 本の調査ラインで同様であったことから、盛土内部における硬盤（「固結」した土層）、締まった層の垂直分布位置にいくぶんのズレはあるものの、荒浜 8 工区においては、深さ 8 cm 以深では全般に「硬い」～「固結」した土層が広く分布していると推察された。

3.2 水溜まりが発生する未耕起盛土の土壌断面の性状と一般理学的特性

荒浜 8 工区の土壌断面調査時における断面情報を Table 2 に、一般理化学特性データを Table 3、粒径組成分析の結果を Fig.5 に示した。造成された盛土の土性は壤質砂土であり（Table 2）、盛土工を施した層の土壌は 7 割程度が砂で、残りの 3 割は細砂以下（粒径 0.2 mm 未満）の粒径成分で構成されていた（Fig.5）。近隣の貞山堀土手から採取した海砂由来の土砂の粒径

組成と比較すると組成が大きく異なることが明らかとなった（Fig.5）。

土壌断面の観察から、土層全体において土壌構造の発達や明瞭な層位分化は認められなかったが、C2 層において青灰色の土壌が層状に観察され、これは滞水による嫌気環境とその嫌気環境下で土壌微生物が盛土地表面上の木材チップから供給された溶存有機物を分解する際に同時平行して起こる土壌鉱物中の酸化鉄の還元反応に起因したグライ化によるとみられた（Table 2）。各土層の土壌硬度は堅～すこぶる堅（山中式土壌硬度計読み値で 15～24 mm）を示し、長谷川式土壌貫入計における結果と同様の傾向が観察された。一方、実際に土層から土塊を採取し手で砕いてみると比較的脆く、砕けやすい性状を持つことが確認された（Table 2）。植生由来の生根の存在は断面内に認められなかった。一方で、盛土造成時に除去しきれなかった被災木枯死根や大量に発生した被災枯死木を碎片化して敷設した木材チップが土壌表層部に混入している様子が断面内に観察された（Table 2）。盛土の地表面に敷設された木材チップ下の土壌深 0～5 cm 深では、板状の構造がみられ、その板状構造面の亀裂には Fe^{3+} の集積による膠結が層状に形成されていた（Table 2）。この構造は重機走行による盛土材料の敷き均しの痕跡と推察される。盛土内に明瞭な細粒成分の移動集積は観

Table 2. 荒浜 8 工区の植栽基盤盛土（造成後 13 ヶ月未耕起）における土壌断面情報と断面写真
Descriptions and photos of soil profile in non-tilled berm at Arahama 8 district

層位	層深/層厚 (cm)	断面の記載
L	12	津波被災木のウッドチップ敷設
C1	0～	8 にぶい黄褐色(10YR 4/3)、壤質砂土、潤、腐朽小円礫あり、中度の板状構造、砕けやすい、堅(15.4*)、隙間孔隙あり、孔隙率**1、板状構造水平面に粘土由来の非常に薄い明瞭な膠結層(コントラスト<1 mm)5層程度あり、根無し、ウッドチップあり、次層位との層界は不規則漸変
C2	～	25 暗オリーブ灰色(2.5GY 4/1)、壤質砂土、潤、腐朽小円礫含む、構造なし、砕けやすい、すこぶる堅(23.8*)、孔隙なし、孔隙率**1、根なし、次層位との層界は不規則漸変
C3	～	60 褐色(10YR 4/4)、壤質砂土、潤、腐朽小円礫乏し、構造なし、砕けやすい、堅(17.5*)、隙間孔隙あり、孔隙率**2、細・小・中根乏し、次層位との層界は不規則漸変
C4	～	93 暗灰黄色(2.5Y 4/4)、壤質砂土、潤、礫なし、構造なし、砕けやすい、堅(20.2*)、隙間孔隙あり、孔隙率**2、根なし、次層位との層界不規則明瞭
C5	～	98 暗オリーブ灰色(5GY 4/1)、壤質砂土、潤、礫なし、構造なし、砕けやすい、堅(16.2*)、隙間孔隙あり、孔隙率**2、被災埋没木(根株)あり、次層位との層界不規則明瞭
2A	～	100 黒色(7.5YR 1.7/1)、壤土、潤、礫なし、構造なし、砕けやすい、堅(15.2*)、隙間孔隙あり、孔隙率**2、被災埋没木あり、被災木枯死小根多数、次層位との層界不規則明瞭
2C	100+～	暗灰黄色(2.5Y5/2)、砂土、潤～乾、礫無し、構造なし、鬆(しょう)(7.4*)、被災クロマツ埋没根あり

*山中式硬度計で5回測定したものの平均値

**孔隙率とは、全ての大きさの空隙の総体積を意味し、単位面積あたりに占める孔隙面積の割合(%)を目視で判断し記録する。孔隙率1: <2%, 孔隙率2: 2～5%, 孔隙率3: 5～15%, 孔隙率4: 15～40%(Guidelines for soil description (FAO 2006)参照)。

調査地: 宮城県仙台市若林区荒浜 海岸防災林 第8工区
緯度: 38°13'29", 経度: 140°59'16", 標高: 4 m asl.
地形: 海岸後浜 盛土工施工地, 汀線より250 mほど内陸部
調査日: 2014年4月28日, 調査者: 小野賢二

<土壌断面の様子>



<板状の構造面に生成した膠結>



Table 3. 荒浜 8 工区の植栽基盤盛土における土壌の一般理学的特性
Soil physical characteristics of non-tilled berm at Arahama 8 district.

層位	透水性*			飽和透水係数 (mm/h)	容積重 (Mg/m ³)	孔隙率**			三相組成			最大容水量 (vol%)	最小容水量 (vol%)	採取時含水量	
	5分後 (ml/min)	15分後 (ml/min)	平均 (ml/min)			全孔隙 (vol%)	細孔隙 (vol%)	粗孔隙 (vol%)	固相 (vol%)	液相 (vol%)	気相 (vol%)			(wt%)	(vol%)
C1	24.6	22.5	23.5	113.0	1.62	37.9	30.5	7.4	62.1	32.3	5.6	39.4	-1.5	20.3	32.0
C2	36.7	32.8	34.7	166.6	1.60	40.1	30.3	9.8	59.9	32.6	7.5	40.5	-0.3	21.0	32.6
C2(青灰色部分)	3.4	3.0	3.2	15.2	1.62	39.9	31.2	8.7	60.1	31.5	8.4	40.8	-0.9	20.0	31.5
C3上	5.0	4.6	4.8	23.0	1.50	44.3	27.1	17.2	55.7	32.0	12.3	38.7	5.6	21.9	32.0
C3下	35.4	30.8	33.1	158.9	1.49	44.4	28.2	16.2	55.6	32.8	11.6	47.2	-2.8	22.6	32.8
C4	51.8	46.9	49.4	237.1	1.37	49.0	28.4	20.6	51.0	30.2	18.8	49.3	-0.3	22.6	30.2
C5***	n.d.****	n.d.	n.d.	n.d.	1.36	49.5	n.d.	n.d.	50.5	7.5	41.9	n.d.	n.d.	23.2	30.1
2C****	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.37	48.5	n.d.	n.d.	51.5	9.6	38.8	n.d.	n.d.	7.1	9.5

*透水性のデータは、透水試験開始5分後と15分後の透水量およびその平均値で示した。

**本Tableにおける全孔隙率(全孔隙、細孔隙、粗孔隙)の数値は、素焼き板法による測定値を示した。

***C5層は、層厚が薄く、被災クロマツ埋没根があったため、100 ml円筒を採取し、容積重、孔隙率、三相組成、採取時含水量のみ測定した。

****not determined(未計測)。

*****2C層は、もともとの海浜の砂であったので、400 ml円筒の網蓋の隙間から、砂が漏れ落ちてしまうため、飽水処理、透水性試験が行えないため、容積重、孔隙率、三相組成、採取時含水量のみを測定した。また、層厚が薄い2A層の物理性分析用試料は採取していない。

察されなかった。一方で、盛土中に含まれる微砂や粘土などの細粒成分(粒径 0.02 mm 未満)の分散性を分析した結果、水への浸漬の有無で細粒成分の分散量が異なる(水への浸漬なし 0.0 ~ 1.0wt%、水への浸漬あり 0.9 ~ 8.5wt%) こと、水に浸漬した場合には細粒成分の分散率が大幅に増加することが明らかとなった(Table 4)。さらに水への浸漬がない場合では粘土採取時に懸濁水の上澄みにほとんど濁りが見られなかったものが、水への浸漬によっていずれの試料の上澄みにも濁りが確認された。但し、既述した細粒成分の分散率と比べると、粘土の分散率(0 ~ 42%)に関しては水に浸漬した効果はそれほど明確には表れなかった(Table 4)。

盛土土壌の一般理学的特性に関しては、滞水が疑われたC2層のうち、青灰色を呈していた土層部分とその下層に位置するC3層上部は、飽和透水係数がそれぞれ15、および23 mm/hであり、透水性が低かった(Table 3)。容積重は、C1 ~ C4層で1.5 Mg/m³以上の値を示し、特にC1、C2層では1.6 Mg/m³以上と著しく高かった(Table 3)。盛土の全孔隙率は38 ~ 50

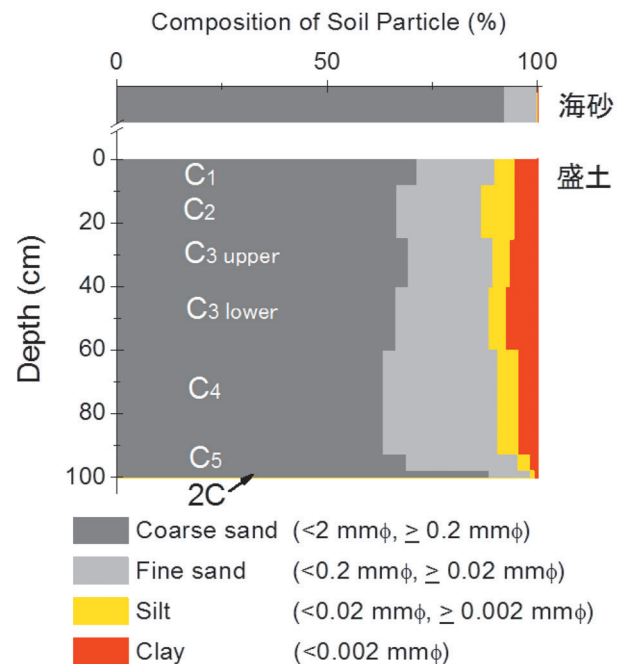


Fig. 5. 荒浜 8 工区の盛土の層位ごとの粒径組成
海砂は同試験地近隣の貞山堀脇土手の元地盤より採取した。
Soil profile of particle size compositions in berm at Arahama 8 district.

Table 4. 荒浜 8 工区の植栽基盤盛土における表土の微砂および粘土の分散性*1
Dispersibility of fine soil particles in topsoils in non-tilled berm at Arahama 8 district.

層位	採取深度 (cm)	完全分散*2			水分散*3				分散率*4			
		微砂 (wt%)	粘土 (wt%)	細粒成分*5 (wt%)	a)水への浸漬無し		b)水への浸漬有り		a)水への浸漬無し		b)水への浸漬有り	
					細粒成分*5 (wt%)	粘土 (wt%)	細粒成分*5 (wt%)	粘土 (wt%)	細粒成分*5 (%)	粘土 (%)	細粒成分*5 (%)	粘土 (%)
C1	0~2	4.0	9.0	13.0	0.9	0.0	8.5	0.9	7.3	0.0	65.5	10.5
	2~6	4.8	8.7	13.5	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	42.7	0.0
	6	2.0	3.0	5.0	1.0	0.0	4.8	1.0	19.2	0.0	96.2	32.1
	6~11	2.9	1.0	3.9	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	24.2	0.0
	11	6.9	4.0	10.9	0.0	0.0	6.8	1.0	0.0	0.0	62.6	24.6
C2	20	3.9	6.8	10.6	0.0	0.0	6.7	2.9	0.0	0.0	62.7	42.2
	30	4.8	5.7	10.5	1.0	0.0	5.8	0.0	9.1	0.0	54.8	0.0

*1分散率の測定については、種田(1975)に準じた。

*2完全分散では、過酸化水素水処理(ホットプレートでの加熱を含む)後、超音波処理15分を行い、一晚回転振盪して測定した。

*3水分散に関して、<a>水への浸漬無しでは風乾試料10 gに蒸留水1000 mlを加え、直ちに手で30秒間振盪したものを測定した。水への浸漬有りでは前述のa)の測定後、一昼夜放置し、その後更に一晚回転振盪して測定した。

*4分散率は、完全分散した各成分量を100とした場合の、水分散量の割合(%)で表した。

*5細粒成分は、粒径0.02mm以下の微砂と粘土を合わせたものとした。水分散の細粒成分含量には、粘土が凝集した状態のものを含む。

vol% の範囲にあったが 細孔隙量に対して粗孔隙量は全般に少なかった。特に、C1、C2 層では粗孔隙量が 10vol% 以下であり、著しく低かった (Table 3)。こうした孔隙組成を背景として、盛土の三相組成は固相率が 50vol% 以上であり、土壌が密に詰まっていることが示された (Table 3)。最大容水量は C3 層上部を除いてほぼ全孔隙量に匹敵した。最小容気量はマイナス値を示していたが、いずれもほぼゼロ付近の値を示した。最小容気量が多少なりともマイナス値を示したのは、飽水処理によって盛土土壌が膨潤したことに起因した結果と推察された。特に容積重が高く、土壌が著しく密に詰まっていた C1～C4 層について、加圧板法によって作成した pF－水分曲線を Fig. 6 に示す。素焼き板処理において粗孔隙とされる孔隙の吸引圧は pF 2.7 以下であるが、加圧板法により求められた pF 2.7 以下に相当する粗孔隙量は 7～14vol% と算出された。また、重力水に相当する pF 1.8 以下 (日本土壌肥科学会 土壌標準分析・測定法委員会, 2004) の孔隙量は 5～12vol% と算出された。pF 1.8 以下、および 2.7 以下に相当する孔隙量は、特に C1、C2 層で、それぞれ 5.6、5.4vol%、および 10.6、7.2vol% を示し、著しく低かった (Fig. 6)。

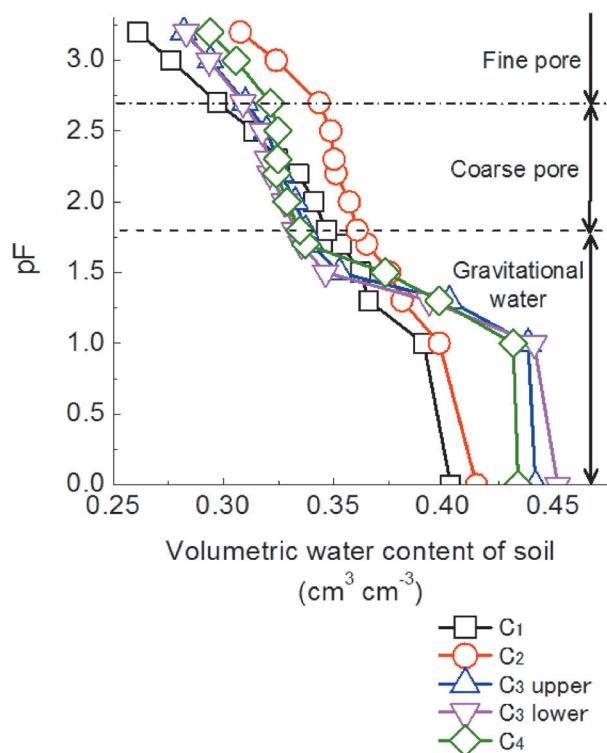


Fig. 6. 荒浜 8 工区の盛土の pF－水分曲線
Soil water content characteristic curves in berm at Arahama 8 district

3.3 各種耕起工を実施した盛土の鉛直断面内における土壌硬度分布

海岸防災林の生育基盤として盛土を造成した後、スケルトンバケット式バックホウ、リッパードーザ、および農業用プラウとサブソイラを用いた耕起工を実施した盛土の鉛直断面内における土壌硬度分布を Fig. 7 に示した。貫入試験の結果から、耕起工を実施したいずれの盛土においても、断面内で S 値 ≤ 1.0 cm/drop が 10 cm 以上の厚さで、鉛直方向に連続する箇所が存在している様子が捉えられた。名取 10 工区の 11～13 m 地点の深さ 10～50 cm 深でみられる S 値 ≤ 0.7 cm/drop を示した「固結」部分は、木材チップが地表面に仮置きされていた箇所に相当し、耕起未施工箇所を示している (Fig. 7a)。また、名取 2 工区、亘理 5 工区の盛土内には、S 値 ≤ 1.0 cm/drop を示す、細い筋状の「硬い」～「固結」箇所が認められた (Fig. 7b, c)。これは、リッパやサブソイラのブレードが引っ掻き残した痕跡と考えられる。その一方で、いずれの耕起工施工盛土においても、土壌断面内のかなりの面積を占める箇所が「軟らか」と判定され、スケルトンバケットやリッパ、農業用プラウ、サブソイラなどのブレードによって盛土断面内が掻き起こされ、柔軟化した様子が確認された。さらに、いずれの耕起工施工箇所においても、耕起完了から 1～20 ケ月を経過していたにもかかわらず、盛土断面の多くの部分が「軟らか」と判定され、それが調査実施時においても持続されている様子が捉えられた。また、事業着手初期に造成された未耕起盛土で発生しているような長期にわたる水溜まりの存在も認められなかった。各耕起工による最大掘削深度は、盛土鉛直断面内における土壌硬度分布の様子 (Fig. 7) から鑑みて、それぞれ、スケルトンバケット式バックホウで 70 cm、リッパードーザで 60 cm、農業用プラウとサブソイラの併用で 55 cm 程度と推定された。ここで推定された最大掘削深度は各種機材のバケット長およびブレードの掘削深 (Fig. 3) と良く対応していた。

スケルトンバケット式バックホウによる耕起工では、耕起が施工された箇所の盛土内部のほぼ全面で S 値 ≥ 1.0 cm/drop となり、耕起された盛土全体が概ね柔軟に耕起されていることが確認された (Fig. 7a)。一方、木材チップの仮置き場となって耕起工の未実施箇所となった調査ライン 11～13 m 地点の 10～60 cm 深における土壌硬度は S 値 ≤ 0.5 cm/drop であった。さらに掻き起こされた盛土内にも S 値 ≤ 1.0 cm/drop を示す箇所が散見され、スケルトンバケットで崩しきれなかった土塊が残っていること、それらの土塊の間に耕起工によって生じた亀裂や隙間が存在している実態が推察できた (Fig. 7a)。例えば、ライン 3～4 m 地点の深さ 40 cm や深さ 70 cm の「硬い」～「固結」のブロック塊は、バケットで崩しきれなかった土塊と考えら

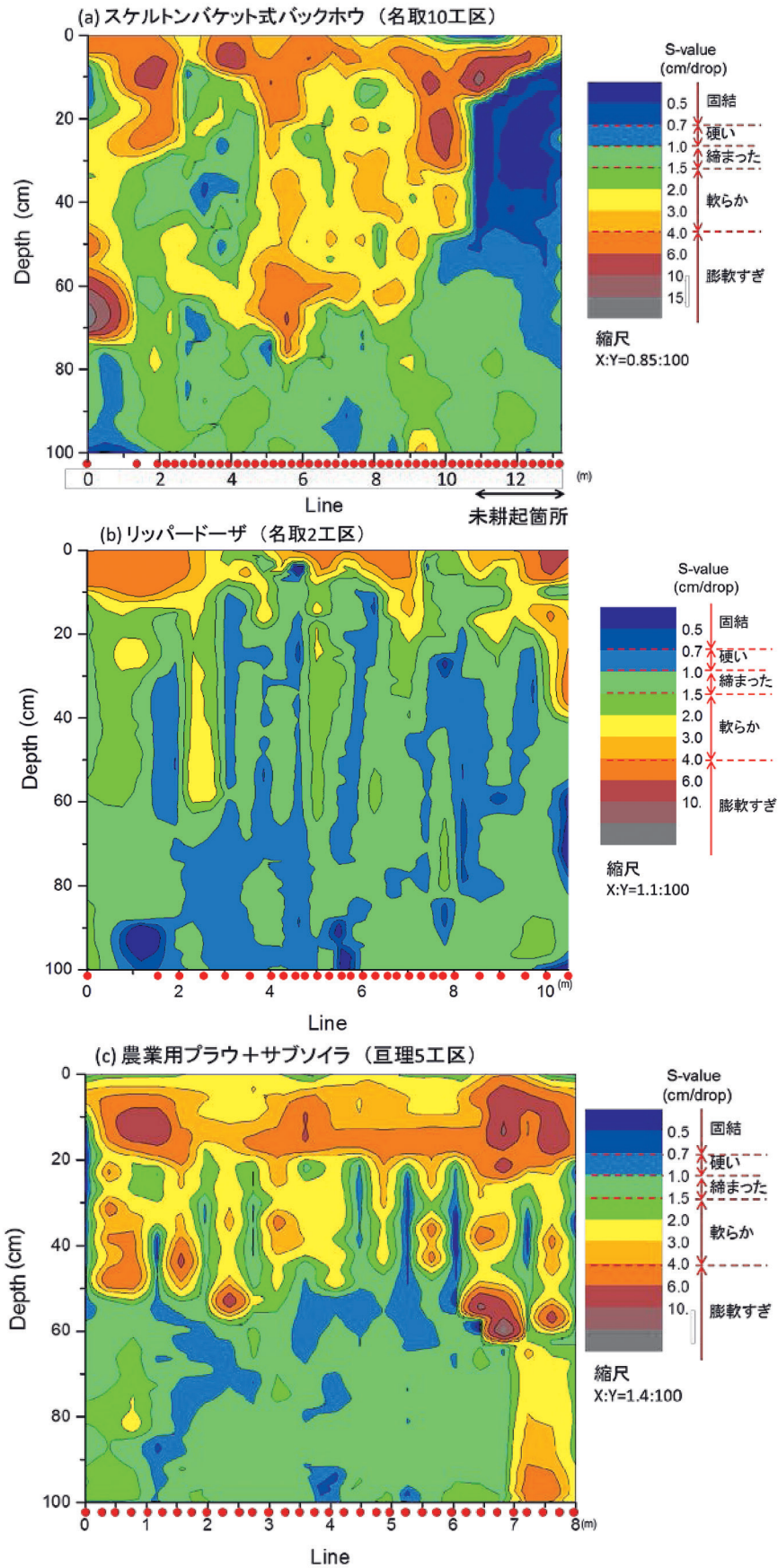


Fig. 7. 各種耕起施工後の盛土の鉛直断面内の土壌硬度分布
X 軸下の赤点は貫入試験箇所を示す。
Vertical distribution of soil hardness in berm tilled by various machhinary.

Table 5. 名取 10 工区の植栽基盤盛土（掻き起こし工実施後 3 ヶ月）における土壌断面情報と断面写真
Descriptions and photos of soil profile in tilled berm at Natori 10 district

			＜土壌断面の様子＞	
層位	層深 (cm)	断面の記載		
A0		無し		
C1	0～	2 黄褐色(10YR 5/8)、砂質壤土、潤、腐朽小円礫乏し、非常に弱度な塊状構造、粗鬆～非常に砕けやすい、軟(10.8*)、隙間孔隙あり、孔隙率**3、根なし、次層位との層界は平坦判然		
C2	～ 20	黄褐色(10YR 5/6)、砂土(～砂質壤土)、潤、腐朽小・中円礫乏し、非常に弱度な塊状構造、砕けやすい、堅(20.0*)、隙間孔隙あり、孔隙率**1、根なし、炭あり、次層位との層界は不規則漸変		
C2-1	～ 50	にぶい黄褐色(10YR 4/6)、埴土、潤、腐朽小円礫乏し、構造なし、砕けやすい、堅(21.4*)、隙間孔隙あり、孔隙率1、根なし、炭あり、次層位との層界は不規則漸変		
C3	～ 60	明褐～黄褐色(7.5～10YR 5/6)、砂質埴壤土、潤、腐朽小垂角礫乏し、非常に弱度な塊状構造、非常に砕けやすい、軟(14.4*)、隙間孔隙あり、孔隙率**2、根なし、次層との層界は不規則判然		
C4	～ 80	明褐色(7.5Y 5/6)、砂質埴壤土、潤、腐朽小垂角礫乏し(砂礫部 2.5YR 5/3 色)、構造なし、非常に砕けやすい、堅(18.0*)、隙間孔隙あり、孔隙率**2、根なし、次層位との層界不規則漸変		
C5	～ 110	明褐色(7.5YR 5/8)、埴土、潤、礫なし、構造なし、非常に砕けやすい、堅(16.4*)、孔隙なし、孔隙率**1、次層位との層界平坦漸変瞭		
C6	～ 130+	明黄褐色(10YR 6/6)、砂土、潤、礫なし、構造なし、堅(15.6*)		

*山中式硬度計で5回測定したものの平均値

**孔隙率とは、全ての大きさの空隙の総体積を意味し、単位面積あたりに占める孔隙面積の割合(%)を目視で判断し記録する。孔隙率1: <2%, 孔隙率2: 2～5%, 孔隙率3: 5～15%, 孔隙率4: 15～40%(Guidelines for soil description (FAO 2006) 参照)。

調査地: 宮城県名取市下増田 海岸防災林 名取第10工区

緯度: 38°09'18", 経度: 140°56'49", 標高: 3 m asl.

地形: 海岸後浜 盛土工施工地、汀線より300 m内陸部

調査日: 2015年7月9日, 調査者: 小野賢二

れ、その間の 50 ～ 60 cm 深の「軟らか」に準ずる部分は、土塊間の隙間と推察される。ブロック状の土塊の間に亀裂状の孔隙が散見する様子は、土壌調査の際に作成した調査坑断面でも、明瞭に観察することが出来た (Table 5)。リッパードーズによる耕起工では、リッパのブレード長が 90 cm で、実測の掘削深度が 60 cm であることから、耕起は比較的深部まで達しているようすが見られたが、一方でブレードの間隔が 90 cm と比較的広いこと、ブレード幅 (厚さ) も 10 cm であることから、往路と復路で爪の間に爪が入るよう層耕箇所をずらし往復して盛土を耕起しても引っ掻き残された箇所が盛土内で筋状に残る様子が捉えられた (Fig. 7b)。

農業用プラウとサブソイラによる耕起工では耕起残しの痕跡が筋状に確認出来た。また、農業用の機械であることから耕起の有効深度がほかの工法に比べて浅い傾向が確認されたが、一方で表層部 (深さ 0 ～ 20 cm) は他の工法に比べて満遍なく軟らかとなっていた (Fig. 7c)。

4. 考察

4.1 生育基盤盛土工施工上の問題点

海岸防災林の復旧にあたり、林野庁では、沿岸域の

防災機能の確保を図る観点から、従来から海岸防災林が果たしてきた保安林としての災害防止機能 (飛砂防止、防風、潮害防備、防霧など) に加え、津波に対する被害軽減効果も考慮して、復旧、再生が実施されている (仙台森林管理署 2014)。この海岸防災林の復旧、再生は、被災した林帯をできるだけ可能な範囲で原形復旧することを基本として進められている。しかし、復旧事業地の一部、具体的には防潮堤の後背地などの地盤高が低く相対的に地下水面が高い箇所や津波によって地盤そのものが流亡してしまった箇所、地震によって地盤沈下した箇所では、地下水の影響を除去するために盛土して嵩上げする必要がある。そうした箇所では、海岸防災林の生育基盤として盛土工を実施し、植栽がなされている (林野庁 2015a)。この生育基盤の造成は運土、搬入、盛土、土寄せ、敷き均し、整地などの作業から構成され、ダンプトラックやバックホウ、ブルドーザなどが用いられる。このような土木的観点から造成された生育基盤は、樹木の生育にとって、土壌の固結や透水通気不良などの極めて不良な土壌物理環境となることが多い (長谷川 1985)。本研究で調査対象とした荒浜 8 工区も例外では無く、生育基盤内部には S 値が 1.0 cm/drop 以下の硬い土層が土壌断面に広

範に存在した (Fig. 4)。更には 10 ~ 30 cm の深さ、および Line ①、③には 80 cm 以深に 0.7 cm/drop 以下の「固結」した硬盤が層状に存在することも確認された (Fig. 4)。このような「固結」した層 (C2、C3 層上部に相当) では、全孔隙量に対して粗孔隙量が低い傾向を示し (Table 3、Fig. 6)、透水係数も低い傾向にあった (Table 3)。長谷川 (1985) は、こうした固結層の形成は、低接地圧のブルドーザで繰り返し整地された箇所で見られる現象としている。また、80 ~ 100 cm 深の深部にみられた固結層は、運土～整地の作業が何回か (本調査における固結層の観察結果からは、地表から 100 cm 深までの造成では少なくとも 2 回) に分けて行われたことを示唆しており、各作業時におけるその時の盛土地表面において、その都度「固結」した層が形成されたものと考えられる。以上から荒浜 8 工区における堅密でかつ透水不良な土層の存在は、締め固めによる土壌孔隙の縮小化、そしてその量の減少に起因した可能性が示唆された。このような土地造成における生育基盤の土壌物理性の不良化は、多摩ニュータウンの建設や大阪万博跡地開発において指摘されてきた (森本 1985, 矢橋・金光 1985, 1987)。今回のような大規模な造成によって造られた生育基盤における土壌物理性は、植栽木の根系発達や活着、生育に影響を与えるものであることから、生育基盤盛土工の施工においては盛土そのものを締め固めないように留意し、盛土上面には重機を乗せずにバックホウのバケットで盛土表面の地均しを行うだけにするなど、盛土造成の仕方に工夫を加える必要がある。

なお、海水に浸漬した土壌では、過剰な Na イオンが付加されることで、土壌内の粘土中の陽イオンが Na イオンと交換することで、分散しやすくなり (取出・中野 1991)、それらが下層土へと移動して集積することで、土壌孔隙の目詰まりを誘引し、土壌の透水性を著しく低下させることが知られている (Donald 2003)。本研究対象地の荒浜 8 工区では、盛土内に細粒成分 (粒径 0.02 mm 未満の微砂や粘土) の移動集積は観察されなかった。盛土土壌の土壌 EC および Na 飽和度は塩類土壌化が問題となるレベルにはなく (データ未公表)、粘土の分散性が増すほどの Na 付加はない。そのため Na 付加により粘土が分散しやすくなったことによる目詰まりは透水性低下要因ではないと考えられた。ただし、完全分散させた時の分散率を 100% とし、それを基準とした水に対する細粒成分の分散率は浸漬後において 25 ~ 96% で、高い分散性を示した (Table 4)。この結果は、雨水などの浸入によって盛土内の土粒子の分散性が時間経過とともに増加することを示唆し、その高い土粒子の分散性が盛土表面への湛水発生に強く影響している可能性があることを示している。本件に関して本研究では明確な結論を導くことが出来ず、依然として、盛土表面における水溜まりの発生には Na

粘土化に因らずとも降雨により分散した細粒成分が土壌孔隙を埋めたことが原因である可能性が課題として残った。今後、他の土壌の分散性との比較や盛土地表層における土粒子の微細な集積痕をもっと詳細に捉えられるような試料採取、調査、分析を実施して継続して検討することが必要となると考えている。

4.2 耕起による土壌改良工が盛土内の土壌硬度鉛直分布に及ぼす効果とその有効性

生育基盤盛土における土壌硬化や緻密化、地表面への水溜まりの発生は、圧密による土壌の液相・気相、すなわち、孔隙割合の減少と、それに伴う固相割合の増加、さらに透水性が低くグライ化が生じるような土層の存在に起因しているものと考えられた (Table 3)。よって、これらの解消には土壌の物理矯正が基本となる。つまり、水溜まりの解消には、土壌の孔隙率の増加や亀裂の作成により、圧密を解消し、より高い透水性を確保するための作業が有効である。仙台森林管理署は、各現場の状況や各工区の施工者の実情に合わせて、スケルトンバケット式バックホウやリッパードーザ、あるいは農業用機材を活用して、硬く締め固まった生育基盤盛土に対して耕起工を実施し (Fig. 3)、生育基盤の水溜まりの解消や植栽面の柔軟化を図っている (伊藤 2015, 村上 2015)。

土壌物理性の矯正作業、すなわち、生育基盤の土壌改良として行われる耕起工には、一般に普通耕、深耕、混層耕がある (国土交通省都市局公園緑地・景観課緑地環境室 1999)。普通耕は農業用トラクタにアタッチメントを付けて行われるもので、耕耘深度は 30 ~ 50 cm 程度と比較的浅めとなる。本研究では、農業用プラウやサブソイラを用いた耕起工が相当する。深耕は固結した下層土を破碎してブロック状の土塊にして土壌孔隙を造り、透水通気性を改善するもので、本研究ではスケルトンバケット式バックホウやリッパードーザによる耕起工が相当する。混層耕は、深耕によって出来た大小ブロック状の土塊を更に細かくする作業を言い、これにより吸収根の発達域を拡大し、また表層と下層の土壌の連続性を高めることを目的として実施されるものである。

本研究では、スケルトンバケット式バックホウやリッパードーザ、農業用プラウおよびサブソイラをそれぞれに用いた耕起工処理により、いずれの盛土も、各機材のバケットおよびブレードが及んだ深度において固結層が破碎されて、軟らかくなったことを確認した (Fig. 7)。スケルトンバケットは、バックホウのアーム先端部に取り付けるバケットの底部が粗い網目状になっており、土塊の破碎や石礫の篩別に有効とされている。名取 10 工区におけるスケルトンバケット式バックホウによる耕起では、未耕起箇所 (調査ライン 11 ~ 13 m 地点) を除いて深さ約 70 cm までの盛土

内部の全面が深耕された (Fig. 7a)。未耕起箇所では、「固結」した土層が 10 ~ 60 cm 深に 50 cm の厚さで存在していることが確認出来たこと (Fig. 7a) から、耕起による改善工の前は、荒浜 8 工区と同様に、盛土造成の最終段階においてブルドーザなどによる地均し作業が実施されたことが類推された。また 80 cm 以深では、耕起箇所、未耕起箇所ともに S 値 1.0 cm/drop 程度であること (Fig. 7a) から、地均しによる転圧は上層部にのみ限定されるものと推察された。あるいは、名取 10 工区における盛り土造成においては、深部では一回の盛土材料の搬入~整地にかかる盛土の敷厚が 100 cm の厚さに至るほどの厚さで行われたため、「固結」した層が形成されず、一方、浅部では敷厚が薄く、形を整えながらの作業を実施したため、地表面においてはより締固まりやすい傾向が盛土断面に表れた可能性が考えられた。これらのことから、名取 10 工区においてはスケルトンバックホウを用いた深耕による土壌の物理矯正効果は概ね 60 ~ 70 cm 深であることが確認できた。リッパードーザは、ブルドーザ後部にツメ状のアタッチメントを装着したもので、土壌改良においては心土破砕に用いられる。名取 2 工区で用いられたリッパードーザによる耕起工も深部 (60 ~ 70 cm 深) まで深耕された (Fig. 7b)。リッパのブレード間の隙間による引っ掻き残しの筋状痕跡も確認できた (Fig. 7b) が、これは日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) の基準に照らし合わせると、S 値 0.7 cm/drop 以下が 5 cm 以上、あるいは 1.0 cm/drop 以下が 10 cm 以上の土層が連続的に層状となって存在するわけでないことから、生育基盤としては問題のないレベルであると考えられる。このことから、往復して耕起することで、名取 2 工区における深耕の効果は、リッパのブレードが届いた深度に関しては十分であることが示された。亘理 5 工区の農業用プラウおよびサブソイラによる耕起工も盛土内の 50 ~ 60 cm 深まで軟らかくなっていることが確認された (Fig. 7c)。サブソイラの効果として、土壌表層から 50 cm 深までは S 値 ≥ 2.0 を連続して示す垂直方向の亀裂が確認され、その亀裂の先端部に当たる 50 ~ 60 cm 深の部分には、S 値 ≥ 2.0 を示す、孔隙径 10 cm 程度の管状孔隙が形成されているようすも散見された (Fig. 7c.; 例えば、1.5、2.5、6.5、7.5 m 地点などの 50 ~ 60 cm 深の部分)。亘理 5 工区では農業用プラウ+サブソイラの施工方向に対し、直交するライン方向で土壌硬度測定線を設定したことから、既述の管状孔隙は水平方向に伸びていることが推察され、これらは暗渠の役割を果たすことが推測される。以上より、サブソイラの効果が及んだ土壌深度は 50 ~ 60 cm 深とみられた。プラウによる効果は 0 ~ 20 cm 深における S 値 4.0 以上の膨軟な性状を示している土層部で認められた (Fig. 7c)。これはプラウによって 20 cm 厚の表土が掻き起こされて、反転

された結果である。表層の耕起箇所はプラウによって細かく碎土されたことが推察される (Fig. 7c) ため、工事直後は軟らかすぎる (国土交通省都市局公園緑地・景観課緑地環境室 1999) ので、特に降雨後の立ち入りは困難となることに留意しなければならない。

以上から、生育基盤として求められる有効土層深にもよるが、50 ~ 90 cm 深を対象とした物理矯正法として、仙台森林管理署が実施しているスケルトンバケット式バックホウやリッパードーザ、あるいは農業用機材を活用した耕起工は、生育基盤の水溜まり発生の解消や植栽面の柔軟化を図るのに、効果的であることが明らかとなった。また、いずれの耕起工も、耕起工完了から 1 ~ 20 ヶ月を経過していたにもかかわらず、盛土が軟らかであることが確認され、耕起工の効果が持続していることも明らかとなった。

5. おわりに

東日本大震災大津波で被災した海岸防災林に対する復旧・再生事業は、平成 23 年 7 月に政府により策定された「東日本大震災からの復興の基本方針」に基づいて取り組まれている。この大津波では海岸防災林が一定の津波被害の軽減効果を発揮したことが確認されたことを踏まえ、海岸防災林の整備は津波に対するハード・ソフト施策を組み合わせた「多重防御」の一つとして位置付けられている。そのため、海岸防災林の再生には、被災前から具備した機能を強化する形で、津波に対して耐性があり効果的な新世代の海岸防災林としての期待が込められている。

本研究により、再生事業の中で造成された生育基盤盛土における水溜まりの発生原因が類推され、さらにその土壌物理矯正法としての耕起工の有効性が示された。この成果は、生育基盤としての盛土工を伴う再生を技術的により確実にする成果の一部となるものであり、政府による「東日本大震災からの復興の基本方針」および「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」報告書における今後の再生の方針に応えることが可能になるものと考えられる。さらに、林野庁の復興事業の促進にも貢献しうるだろう。

謝辞

本研究の遂行や本報文の取り纏めにあたり、国立研究開発法人森林総合研究所東北支所 澤井恵子氏には本研究における試料調製、実験補助などにおいて多大なるご協力を、また、同支所長 駒木貴彰氏、同森林環境研究グループ長 篠宮佳樹氏には懇切なご助言、ご指導を頂いた。本研究の実施にあたり、東北森林管理局および仙台森林管理署には試験地の提供、研究協定締結、海岸防災林再生事業に係る情報提供等でご協力頂いた。これらの方々に深く感謝の意を表する。

本研究は、森林総合研究所運営費交付金「F 2 1 S

26:再生における盛土土壌の湛水原因の解明と改善策の提案」によって行われたものである。

引用文献

- 朝日新聞社 (2015) 朝日新聞朝刊記事 38pp, 2015 年 12 月 12 日
- 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.
- 土壌物理学会 (2002) 土壌物理用語辞典. 養賢堂. 183pp.
- Donald L.S. (2003) Environmental Soil Chemistry. Second edition. Academic press. Amsterdam. Netherlands. 352pp.
- FAO (2006) Guidelines for soil description. Fourth edition. 97pp.
- 長谷川 秀三 (1985) 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.
- 長谷川 秀三 (2008) 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) 土壌貫入計による緑化地土壌の三次元の把握法 造園雑誌 47:85-88.
- 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.
- 星野 大介 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波による岩手県沿岸のと集落の被害状況. 日本森林学会誌, 94: 243-246.
- 伊藤 智弥 (2015) 盛土を伴う海岸防災林復旧工事と植栽までの手順. 第 54 回治山研究発表会論文集. 治山研究会編 83-89.
- 河田 弘・小島 俊郎 (1976) 環境測定法 IV — 森林土壌 — 共立出版 190 pp.
- 経済企画庁 (1972) 国土調査 (宮城県) 122pp
- 国土交通省都市局公園緑地・景観課緑地環境室 (1999) 植栽基盤整備技術マニュアル 一般財団法人日本緑化センター 169pp
- 森本 幸裕 (1985) 緑地における樹木生育基盤に関する研究 京都大学学術情報リポジトリ <http://dx.doi.org/10.14989/doctor.r5589>(参照 2016-04-16)
- 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 41:341-343.
- 中村 克典・小谷 英二・小野 賢二 (2012) 津波被害を受けたにおける樹木の衰弱・枯死 森林科学 66:7-12.
- 日本土壌肥料学会 土壌標準分析・測定法委員会 (2004) 土壌標準分析・測定法. 博友社. 354pp.
- 日本造園学会緑化環境工学研究委員会 (2000) 緑化事業における生育基盤整備マニュアル ランドスケープ研究 63:224-241.
- 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
- 太田 猛彦 (2015) 海岸林の現状と将来像. 日本緑化工学会誌 41:332-333
- OriginLab Corporation (2010) OriginPro 8.5.0J SR1
- 林野庁 (2015a) 平成 26 年森林・林業白書 225pp.
- 林野庁 (2015b) 治山工事標準仕様書 156pp.
- 坂本 知己 (2015) 津波による海岸林の被害と海岸林再生で盛土をする理由. 日本緑化工学会誌 41:334-335.
- 仙台森林管理署 (2014) 海岸防災林の復旧 <http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/koho/saigaijoho/pdf/sendai.pdf> (参照 2016-04-23)
- 森林総合研究所 (2011) 林野庁平成 23 年度震災復旧対策緊急調査「海岸防災林による津波被害軽減効果検討調査」報告書 CD-ROM
- 種田 行男 (1975) 侵食率・分散率 農業土木学会誌 43:814.
- 東北地方太平洋沖地震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 <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/kaiganbousairinsaisyuuhokoku.pdf> (参照 2016-04-23)
- 矢橋 晨吾・金光 達太郎 (1985) 特殊土の生育基盤としての改良 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) 特殊土の生育基盤としての改良 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, 39: 69-76.

Evaluation of the berms built on the Restoration of the Mega-Tsunami-Damaged Coastal Forests

—Comparison with the effects of soil-scratching as a soil physical correction method among the various types of machinery.

Kenji ONO^{1)*}, Akihiro IMAYA²⁾³⁾, Kiyomi TAKANASHI⁴⁾ and Tomoki SAKAMOTO¹⁾

Abstract

To restore coastal forests heavily damaged by the tsunami following the Great East Japan Earthquake of March 2011, the Forestry Agency of Japan has been building berms along the coast in the damaged areas. These berms use sand (loamy sand) brought from adjacent hill areas as a growth base in which the seedlings of domestic tree species are planted. However, in these growth bases, soil surfaces are often covered with water because bulldozing and other heavy machinery has caused compaction of the soil, leaving it susceptible to submersion. The submersion of soils in water is problematic because of the potential for these conditions to interfere with the restoration of coastal forests. The aims of this research are to elucidate the cause of water stagnation in berms, and to evaluate the efficacy of countermeasures to combat water stagnation in these soils. Soils in berms at reforestation areas in Sendai are generally quite hard and dense, having no (massive) structure where the entire soil horizon appears cemented and very low water permeability. Some profiles have gley horizons in topsoil, caused by the reduction of Fe^{3+} under anaerobic conditions. We compared the effects of countermeasures on berms in these areas among the several types of tillage carried out using following machinery; the backhoe with a skelton-bucket, ripper-dozer, and plow/subsoiler. Soil hardness on berms decreased in all cases, although the passage times after execution of tillage were different (1- to 20-months). These findings indicate that the tillage for berms as a growth base were quite effective countermeasure at the depth of cultivated-soils and that the effects of them were kept up for at least 20-months.

Key words : berm building, restoration of damaged coastal forests, vertical distribution of soil hardness, soil-scratching, physical correction effect, the tsunami following the Great East Japan Earthquake of March 2011

Received 3 June 2016, Accepted 29 September 2016

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

2) Forest Soil Department, FFPRI

3) Forestry Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences

4) Sendai District Forest Office, Tohoku Regional National Forest Office, Forest Agency

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

ノート (Note)

Observation of egg incubation by a founding queen of the hornet *Vespa analis* (Hymenoptera, Vespidae) with thermographyShun'ichi MAKINO^{1)*}**Key words:** social wasp, embryo nest, thermoregulation, heat production, pre-emergence stage

Social wasps, particularly of the subfamily Vespinae (hornets and yellow jackets), often cause sting incidents among people engaged in forestry or recreation activities in the forests. However, vespine wasps are important predators of insects, including forest or agricultural pests (Edwards 1980, Matsuura and Yamane 1990). Therefore, information on their biologies is indispensable to assess their negative and positive effects on ecosystem services.

Nests of temperate vespine species are initiated in the spring by single mated queens (founding queens). It takes 30–50 days from nest initiation to the emergence of the first batch of workers in the Japanese species (Matsuura and Yamane 1990). This period, known as “pre-emergence stage,” is critical for the reproductive success of the founding queen, because approximately 50% of the initiated nests are abandoned or destroyed during this stage for various reasons (Matsuura and Yamane 1990). Therefore, it would be advantageous to the founding queen if she could shorten the duration of the pre-emergence stage by accelerating the hatching of eggs that produce workers.

One possible way for the founding queen to accelerate the hatching of eggs is to produce heat and warm the eggs. The founding queens of *Vespa simillima* and *Dolichovespula maculata* have been demonstrated to produce heat by studies in which temperatures inside pre-emergence nests were measured with thermistor thermometers (Makino and Yamane 1980, Stein and Fell 1994). Furthermore, Makino and Yamane (1980) found that temperatures of cell walls, to which the eggs were attached, increased by 2.5–4.0°C when a *V. simillima* founding queen coiled herself around the pedicel of the comb (Fig. 1). This behavior, or “curling” (Makino and Yamane 1980), has been recorded among

various vespine species. The above observations strongly suggest that vespine founding queens incubate eggs by transmitting the heat that they produce. However, it remains unclear whether the eggs are really warmed, because the eggs are so small and fragile to measure their temperatures using a contact thermometer. In addition, the body parts responsible for heat production remain to be determined in vespine queens, although the mesosoma that contains strong flight muscles is the most probable heat source as demonstrated in bumblebee queens that also produce heat in early nests (Heinrich 1972).

Thermography would show the heat distribution in the nest including the eggs and the founding queen without using a contact thermometer. Therefore, using thermography, I observed the temperatures of the body surfaces of the founding queen and how those of the cell walls and eggs changed with her behavior in a pre-emergence nest (i.e., the nest before worker emergence) of the hornet *V. analis*.

I selected an early pre-emergence nest for the thermographic observation in the arboretum of Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (HRC, FFPRI: 43.0°N, 141.4°E), in Sapporo, Japan, in June 2013. Pre-emergence nests of *V. analis* are composed of a single small comb and a single envelope sheet which is flask-shaped when completed (Matsuura and Yamane 1990). The nest used for the study was made on a twig of shrub at a height of 60 cm above the ground covered with short herbaceous plants; the envelope sheet was still incomplete so that the comb was visible through the large opening (entrance). The thermographic images of the founding

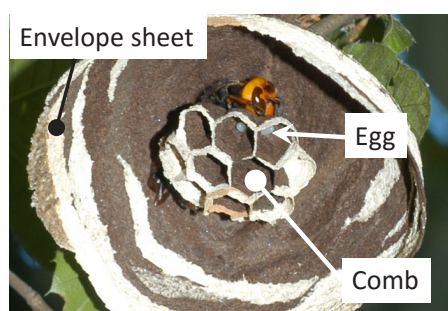


Fig. 1. A nest of *Vespa analis* in the pre-emergence stage. The founding queen is curling herself in the roof of comb. Envelope is partly removed to show the interior.

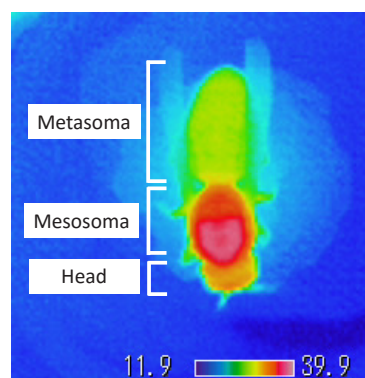


Fig. 2. Thermographic image of the founding queen of *Vespa analis* walking on the comb.

サーモグラフィーを用いたコガタスズメバチ創設女王による抱卵行動の観察
牧野俊一^{1)*}

Received 30 May 2016, Accepted 9 August 2016

¹⁾ Center of Biodiversity Study, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Center of Biodiversity Study, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, Japan; e-mail: makino@ffpri.affrc.go.jp
森林総合研究所生物多様性拠点 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

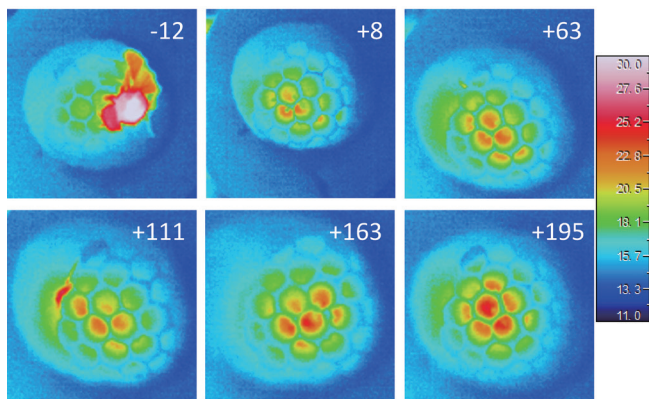


Fig. 3. Sequential thermographic images of the comb (19:58–20:02, June 21). Numbers in the images show elapsed time in seconds from the beginning of the curling behavior of the queen. Air temperature was 12.6 °C at 20:00.

queen and nest were obtained on June 20 (19:00–20:00), 21 (19:50–20:10), and 22 (16:00–18:00) with Thermoshot F30 (NEC Avio). The thermographic camera was placed under the nest, and images inside the nests were taken through the nest entrance that opened downward. Surface temperatures of cells, eggs, and the founding queen were determined from the obtained images using the software “NS9200LT” that came with the camera. The nest had 21 cells on June 20 and 21, and 22 cells on June 22; all immatures in the nest were eggs on June 20 and 21, while first instar larvae appeared in the central three cells on June 22. Air temperatures at a height of 1.5 m above the ground were also recorded every hour by a meteorological observation system near the arboretum.

Temperatures of the body surfaces of the founding queen constructing the nest envelope or walking on the comb were highest on the mesosoma (Fig. 2): 30.8–35.4°C (air temperatures: 13.7–14.1°C) and 28.3–34.1°C (air temperatures: 12.5–15.0°C) on June 20 and 22, respectively. While the temperatures of the head and metasoma were also higher than air temperatures, they were always lower than those of the mesosoma by approximately 6–10°C. This demonstrates that the mesosoma is the primary

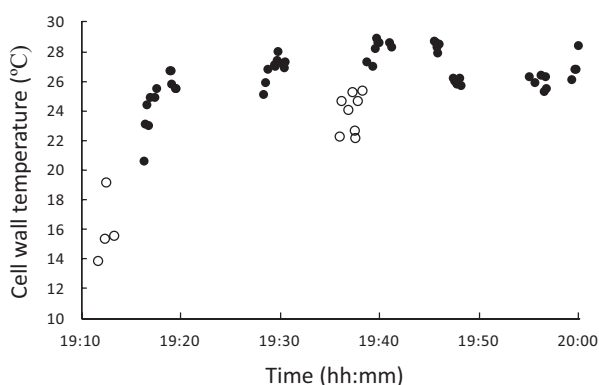


Fig. 4. Changes in the temperature of a point on a cell wall in the center of comb read from thermographic images (June 20). Air temperature was 14.1°C at 19:00 and 13.7°C at 20:00. Solid and open circles show temperatures when the queen was performing curling behavior and those when she was walking or staying on the comb, respectively.

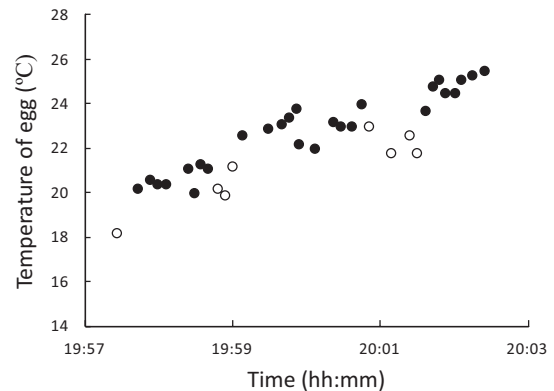


Fig. 5. Changes in the surface temperature of an egg in a central cell read from thermographic images (June 21). Air temperature was 12.6°C at 20:00. Solid and open circles are as in Fig. 4.

source of heat as expected.

Sequential images in Fig. 3 show how the temperatures of cell walls changed with the behavior of the founding queen. Temperatures of the cell walls of central cells, but not of peripheral ones, immediately began to rise when the founding queen moved to the roof of the comb and curled herself around the pedicel. Fig. 4 shows the changes in the temperature of a cell wall in the central part of the comb; it began to rise when the queen moved from the undersurface of the comb to its roof and was maintained between 28°C and 29°C, while she was performing “curling,” whereas it soon declined when she quit the behavior and descended from the comb roof. Temperatures of the egg surface also increased when the queen performed “curling” (Fig. 5).

These observations with thermography clearly demonstrate that the founding queen of *V. analis* warms eggs, at least those in the central cells, by transmitting the heat produced in the mesosoma in the early stage of nesting. Further study is warranted to understand to what extent the incubation period of eggs is shortened by this behavior.

I thank Hirofumi Hirakawa and Katsuhiko Sayama of HRC, FFPRI for their help in the study.

References

- Edwards, R. (1980) *Social Wasps. Their Biology and Control*. Rentokil Ltd., East Grinstead, 398pp.
- Heinrich, B. (1972) Physiology of brood incubation in the bumblebee queen, *Bombus vosnesenskii*. *Nature*, 239, 223–225.
- Makino, S. and Yamane, Sk. (1980) Heat production by the foundress of *Vespa simillima*, with description of its embryo nest (Hymenoptera: Vespidae). *Insecta matsumurana*, n.s., 19, 89–101.
- Matsuura, M. and Yamane, Sk. (1990) *Biology of the Vespine Wasps*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, xix+323pp.
- Stein, K. J. and Fell, R. D. (1994) Egg weights, energy reserves, and internal nest temperatures in embryo nests of *Dolichovespula maculata* (Hymenoptera: Vespidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 87, 554–561.

研究資料 (Research record)

現存する「立田山ヤエクチナシ」の由来および特徴

宮崎 寛¹⁾、金谷 整一²⁾ *、河原畑 濃¹⁾、松永 順²⁾、松永 道雄²⁾

要旨

1920～1929年に熊本市の立田山で9個体の八重咲きのクチナシ「ヤエクチナシ」が発見された。この自生地の一部は、1929年に国指定天然記念物「立田山ヤエクチナシ自生地」とされており、現在では森林総合研究所九州支所の立田山実験林に含まれる。戦後、ヤエクチナシは伐採や盗掘等で絶滅したと考えられていたが、1969年に1個体が再発見された。しかし、この個体も数年後に消失した一方で、発見者あるいは発見場所にちなんだ「浅井系」、「西岡系」および「拝聖院系」が生息地（自生地）外で保全されている。今後の遺伝資源保全の観点から、これら3系統について配布先および現状、形態的特徴等を整理するため、聞き取り調査および文献調査を実施した。その結果、いずれの系統も、複数の配布先が確認され、多くのヤエクチナシは立田山周辺に植栽されていた。また、花冠の形状および開花期は、「浅井系」と「西岡系」は類似したが、「拝聖院系」は異なっていた。今後は遺伝解析を実施し、各系統の整理および自生地に生残しているかもしれない個体の探索を進めていくことが重要であることを指摘した。

キーワード：立田山、ヤエクチナシ、生息地（自生地）外保全、国指定天然記念物、森林総合研究所九州支所

1. はじめに

1920（大正9）年7月、第五高等学校（現：熊本大学）植物学研究室教授の浅井東一博士は、研究室に持ち込まれた立田山に自生するクチナシ（*Gardenia jasminoides*）の切り花に混じっていた八重咲きの花を目にして、自然発生した野生の八重咲き個体かもしれないとの想いをいだき、10年におよぶ現地調査の末に八重咲きの9個体（一部は果実を付ける）の存在を明らかにした（Asai 1929, 吉岡ら 2013）。この八重咲きのクチナシは「ヤエクチナシ（*G. jasminoides* var. *ovalifolia*）（原文ひらがな表記、以下「ヤエクチナシ）」として公表された（中井・小泉 1927）。和名および学名については、「ヤエクチナシ（ハナクチナシ）（*G. jasminoides* form. *ovalifolia*）（原 1952）」、あるいは「ヒゴヤエクチナシ（*G. jasminoides* form. *asaiana*）（原文ローマ字表記）（Maeda 1955）」との記載もあるが、本報告では原（1952）にしたがった。なお、地元の熊本では「立田山ヤエクチナシ」の呼び名で市民に親しまれている。

ところで、クチナシは、本州（静岡県以西）から沖縄、中国、インドに分布するアカネ科クチナシ属の常緑低木であり、花冠は普通6裂（ときに5～7裂）し一重である（佐竹ら 1989）。葉および花が小さいものをコリンクチナシとすることもあるが、明瞭な差異はない（佐竹ら 1989）。わが国のクチナシ属には、小笠原に自生するオガサワラクチナシ（*G. boninensis*）があるが八重咲きではない。わが国で一般に植栽されている八重咲きのクチ

ナシは、中国原産で全体的に葉や花が小さいコクチナシ（*G. jasminoides* var. *radicans*）や、中国産のクチナシがヨーロッパに渡って改良され、大きな花をつけるオオヤエクチナシ（セイヨウヤエザキクチナシあるいはセイヨウクチナシとも呼ばれる）である（佐竹ら 1989）。したがって、わが国特産の八重咲きのクチナシは、ヤエクチナシ以外にはない。

ヤエクチナシは、立田山における野生のクチナシ（一重）の少数の個体の突然変異により発生し、八重咲きの形質が受け継がれたものと考えられているが、発見されたヤエクチナシの開花個体から採取された種子は、クチナシとの交配によるものかどうかは明らかではない（Asai 1929, 吉岡ら 2013）。このような突然変異を生ずる環境の保全を図るべく、1929（昭和4）年に「立田山ヤエクチナシ自生地（面積：0.54ha）」として国指定天然記念物とされた（三好 1929, 熊本県教育委員会 1960）。天然記念物指定後のヤエクチナシについては、熊本大学理学部の浅井研究室で助手を務めた前田が1949（昭和24）年にAsai（1929）が発見した同じ場所で八重咲きのクチナシを採取したとの報告があるが（Maeda 1955）、一般的には第二次世界大戦中の全山伐採により、自生地では絶滅したとみられている（熊本県教育委員会 1960, 熊本記念植物採集会 1969）。1969（昭和44）年の調査で1個体が再発見されたが（詳細は後述）、この個体も数年後には消失しており、自生地では、再び絶滅したと考えられている（農林省林業試験場九州支場 1977）。現

原稿受付：平成28年6月20日 原稿受理：平成28年9月23日

1) 立田山ヤエクチナシ井戸端会議

2) 森林総合研究所九州支所

* 森林総合研究所九州支所 〒860-0862 熊本市中央区黒髪 4-11-16

在では、ヤエクチナシが自生地に生残しているかもしれない可能性を信じ、毎年、開花期（6～7月）に開花調査が継続して行われているが再々発見には至っていない（金谷ほか 2013）。このことは、林床の光環境の悪化が一因とも考えられている（佐藤 2005）。

一方で、Asai (1929) の発見および 1969 年の再発見以降、ヤエクチナシは自生地外の各所で植栽されている。これらは発見時における自生個体の遺伝子を引き継ぐ遺伝資源として貴重であり保全すべき対象であるとともに、これらに関する各種情報を整理しておくことは、今後の自生地外保全に向け重要かつ不可欠な作業である。

Asai (1929) によれば、自生地で確認した個体よりさし木および実生によって育苗ならびに配布された事が明らかであるが、それらと現存するヤエクチナシとの関わりを説明する記録および報告はみられない（吉岡ら 2013）。そこでヤエクチナシの自生地内での再発見と自生地外での保全を目的に 2010（平成 22）年より活動している有志の団体「立田山ヤエクチナシ井戸端会議」では、過去 2 年に渡って現存する立田山ヤエクチナシの各系統の保全に関わった方々を探し出すとともに、既知情報の確認および埋没情報の掘り起こしを行い、生存が確認できた個体についてその由来（配布ルート）を明らかにした。ここに報告することで、情報共有ならびにヤエクチナシのパブリシティ向上の一助としたい。

2. 調査地および調査方法

2.1 調査地

立田山（32°49'37"N, 130°43'56"E, 標高:151.72 m）は、熊本市中心部より北東約 3 km に位置し、東西 1.5 km、南北 1.1 km、周囲 5.8 km、面積 2 km² の山体である。現在、その周辺は住宅地や商業地等の開発が進み、近隣（周囲およそ 9 km 以内）に山地はなく、立田山には分断（孤立）化した森林が残り、自然公園として市民の憩いの森として多くの住民が散策に訪れている。

この立田山の南斜面に位置する東西約 700 m、南北約 1,000 m の範囲に森林総合研究所九州支所の立田山実験林（28.43 ha）がある。ヤエクチナシの発見当時、立田山は元肥後藩主細川家（侯爵）の所有であったが、現在、天然記念物に指定されている自生地は、森林総合研究所九州支所実験林内に含まれている（農林省林業試験場九州支場 1977）。

発見当時の立田山の植生は、北側の一部にスギ（*Cryptomeria japonica*）とヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）の人工林があった以外は、コジイ（*Custanopsis cuspidata*）とアカマツ（*Pinus densiflora*）が林冠層を優占し、その林床には、樹高が 2 m を超えない程度に、アラカシ（*Quercus glauca*）、ナナミノキ（*Ilex chinensis*）、ヒサカキ（*Eurya japonica*）、シャシャンボ（*Vaccinium bracteatum*）およびクチナシ等が密生していた（Asai 1929, 吉岡ら 2013）。クチナシは、平均して 10 m 四方に

20～30 個体が分布した（Asai 1929, 吉岡ら 2013）。

現在の立田山実験林の植生は、1955（昭和 30）年頃から植栽されたスギ、ヒノキおよびクヌギ（*Q. acutissima*）等の国内産の針葉樹や広葉樹に加え、テーダマツ（*P. taeda*）、リギダマツ（*P. rigida*）およびユリノキ（*Liriodendron tulipifera*）等の外国産の針葉樹や広葉樹の人工林である。植栽樹種以外では、アカマツ、コジイ、アラカシ、コナラ（*Q. serrata*）およびクヌギ等の高木種が分布し林冠層を形成している。それらの林床には、ボロボロノキ（*Schoepfia jasminodora*）、ナナミノキ、クロキ（*Symplocos lucida*）およびヒサカキ等が分布しており、クチナシも普通にみられその密度は非常に高い（農林省林業試験場九州支場 1977）。

2.2 調査方法

自生地外におけるヤエクチナシの保全状況についての記録は非常に乏しいことから、各系統の保存に携わった方々への聞き取りを行うとともに、各機関への問い合わせおよびヤエクチナシの記載がある文献資料の調査を実施し、系統別に拡散ルートならびに花冠の形態的特徴等について整理した。

3. 結果と考察

3.1.1 ヤエクチナシのルーツ

ヤエクチナシが自生していたとされる場所は、（1）浅井博士および熊本市立博物館の調査隊が発見した国の天然記念物に指定されている自生地、（2）その自生地から北東に 400 m 離れた浅井博士が 5 個体を発見した場所、（3）天然記念物指定の自生地から北西に 900 m 離れた立田山の山裾にある拝聖院（熊本市北区室園町）の計 3 ヶ所である（図 1）。

現在、自生地外に植栽されているヤエクチナシは、発見者および発見場所にちなんで、浅井博士が上記自生地（1）および（2）で発見した個体由来の「浅井系」、戦後に搜索を行った熊本市立博物館（熊本市中央区古京町）の調査隊（西岡鐵夫 隊長）が自生地（2）で再発見した 1 個体由来の「西岡系」、（3）に自生と伝承される個体が存在する拝聖院由来の「拝聖院系」の 3 系統に集約される（表 1）。

クチナシ類はさし木が容易であり（森下・大山 1972）、種子による拡散に比較してさし穂での譲渡（拡散）数が多いとみられる。「浅井系」については、自生の 9 個体の全てまたはその一部がさし穂に選ばれた可能性が有る。一方、「西岡系」のさし穂親は発見された 1 個体のみであり、「拝聖院系」も境内中央にある最大の個体のみがさし穂親とされてきた。したがって、現在各地に拡散しているヤエクチナシは、「浅井系」はマルチソース、「西岡系」および「拝聖院系」はシングルソースとみなせる。

なお、上記の 3 系統以外に、盗掘株由来の個体もある

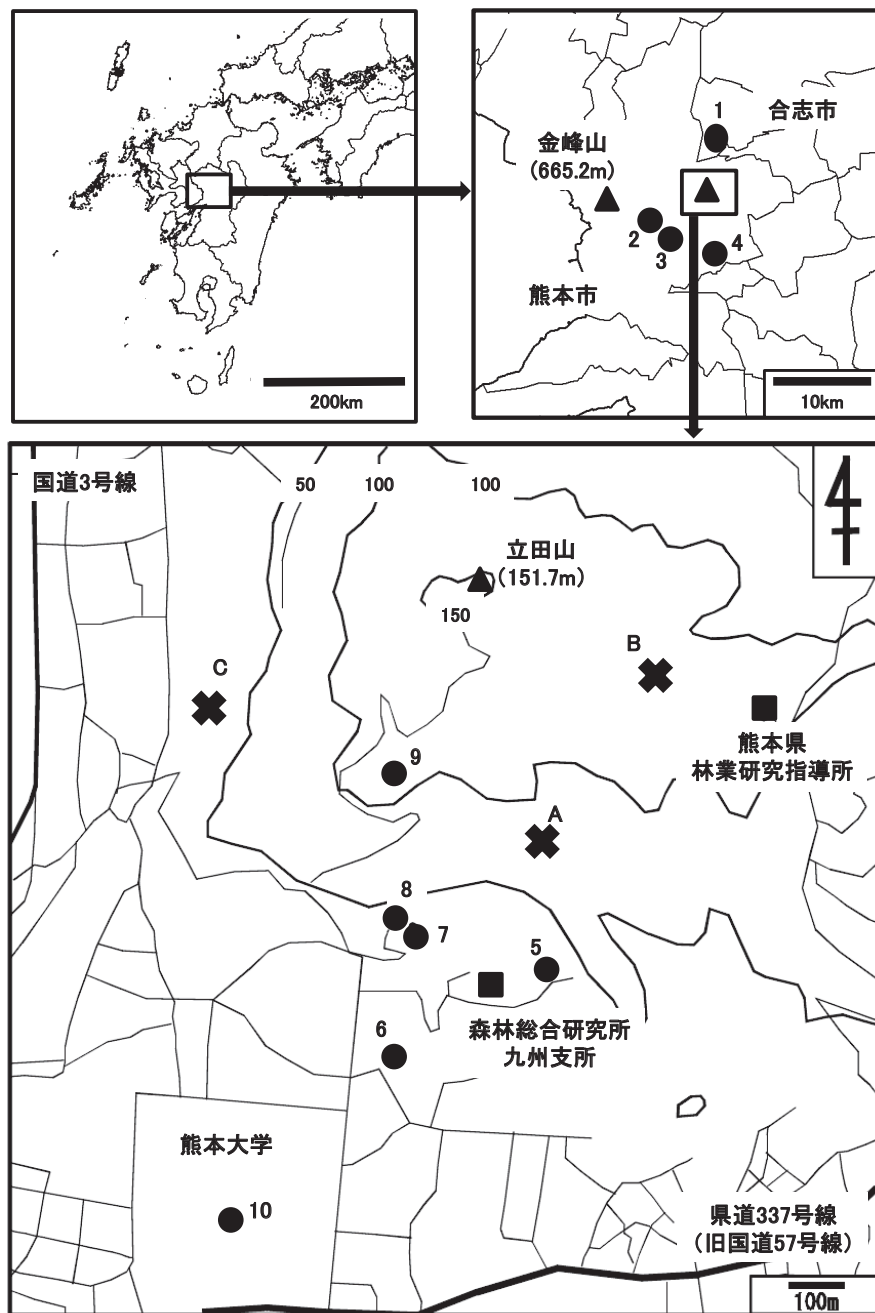


Fig. 1. ヤエクチナシの発見（確認）場所および保全（植栽）場所（×：発見（確認）場所、●：過去および現在ヤエクチナシの保全（植栽）が確認されている場所）

A：1920～1929年の「浅井系」および1969年の「西岡系」の発見場所（国指定天然記念物「立田山ヤエクチナシ自生地」）、B：1920～1929年の「浅井系」の発見場所、C：拝聖院、1：森林総合研究所林木育種センター九州育種場、2：監物台樹木園、3：熊本大学薬学部附属薬用資源エコフロンティアセンター、4：熊本市動植物園、5：森林総合研究所九州支所実験林、6：リデル・ライト両女史記念館、7：細川邸、8：立田自然公園（泰勝寺跡）、9：立田山豊国台公園、10：五高植物園（現：熊本大学黒髪キャンパス）

Table 1. 保存されているヤエクチナシ各系統の特徴

	浅井系	西岡系	拝聖院系
発見(確認)年	1920～1929年	1969年	1960年
発見(確認)場所	立田山 (熊本市中央区黒髪)	立田山 (熊本市中央区黒髪)	拝聖院 (熊本市北区室園町)
発見(確認)時の個体数	9	1	3
花冠	四重 (三重～六重)	四重 (三重～六重)	三重 (二重～五重)
開花期	拝聖院系より 2週間ほど遅い	拝聖院系より 2週間ほど遅い	立田山に自生するクチナシ より1週間ほど遅い
種子の結実	田中株および河原畑株では確認	確認できず	確認
種子の発芽率	河原畑株:33%(2014年調査) 河原畑株:12%(2015年調査)	結実がないので確認できず	12%(2011年調査)
備考	Asai (1929)	-	-

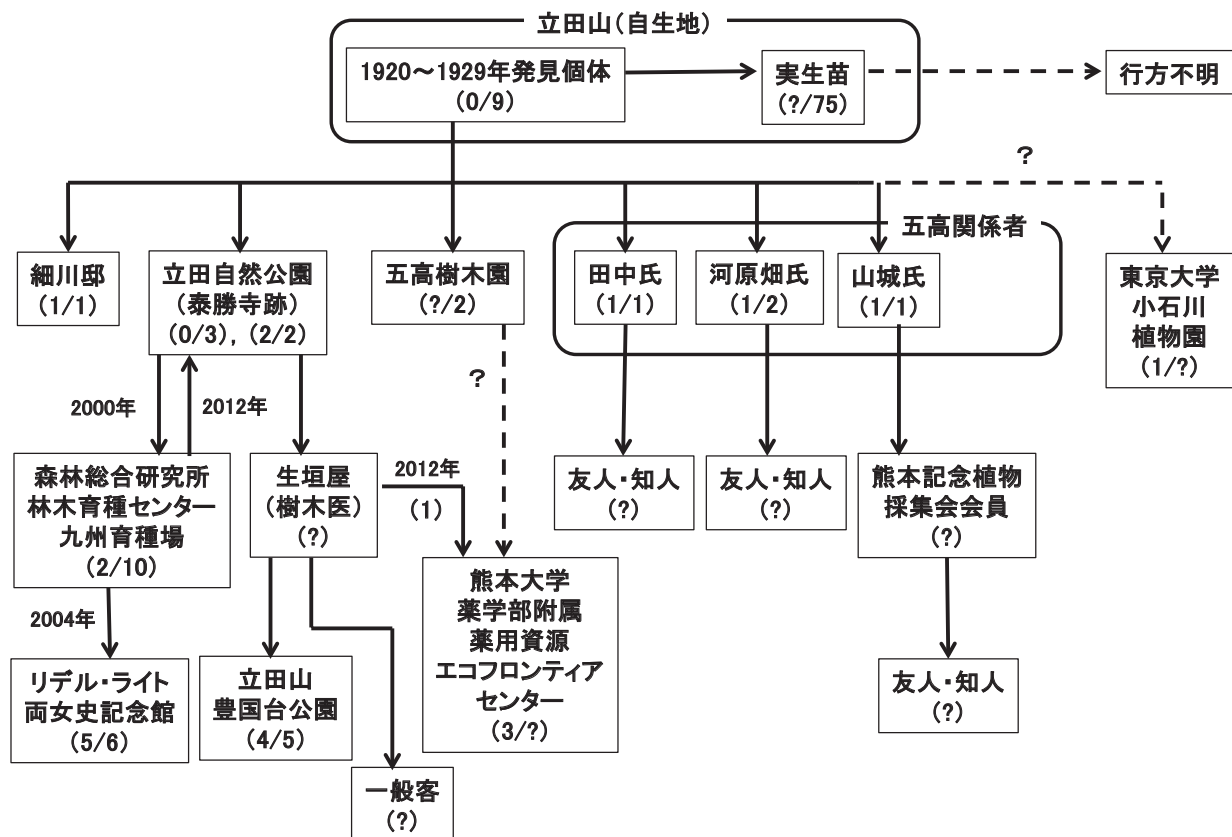


Fig. 2. 浅井系ヤエクチナシの配布先

実線は配布ルートおよび破線は確認ができなかった配布ルートを示す。また、カッコ内は現在生残している個体数(左)および配布された個体数(右)、年数は確認できた配布年を示す。「立田山自然公園(泰勝寺跡)」において、「(0/3)」は「1920～1929年発見個体」からの配布分および「(2/2)」は「林木育種センター九州育種場」からの移植(里帰り事業)分を示す。

と思われるが、それらの存在が公になるはずもないことから、今回の調査では把握できなかった。

3.1.2 浅井系

1920年から1929年までに浅井博士によって発見・記録された自生のヤエクチナシは9個体である(Asai 1929, 吉岡ら 2013)。発見当時、ヤエクチナシの種子は稔性を有していたので、野鳥等による種子拡散で生息範囲を僅かに広げた段階であったように考えられている(Asai 1929, 吉岡ら 2013)。浅井博士が発見したどの個体由来かは不明であるが、果実2個から75の実生が得られている(Asai 1929, 吉岡ら 2013)。現在、これらの実生は樹齢90年程と推測できるが、その後を辿る情報がなく消息不明となっている(図2)。

浅井系のさし木は、立田山の南西斜面下部に位置する細川邸(自生地はかつて細川家の領地であったことにちなんで、熊本市中央区黒髪)、立田自然公園(細川家の菩提寺である泰勝寺跡、熊本市中央区黒髪)、五高植物園(現:熊本大学黒髪キャンパス内、熊本市中央区黒髪)および浅井博士の五高における複数の関係者(同僚および研究室の助手)等に託された(図2)。

これらの中でも立田自然公園に浅井博士が自ら植栽した3個体は、樹高2m以上に成長し多くの花をつけ、市民や来園者に親しまれていた。しかしながら、周囲の木々の成長に伴って年々林内の光環境が悪化したためか樹勢を失い、2004(平成16)年頃からは着花がみられなくなり、2010年までに順次枯死してしまった。そうした中、森林総合研究所林木育種センター九州育種場(熊本県合志市須屋)が、「林木のジーンバンク事業」の一環として2000(平成12)年に立田自然公園の2個体より採取した小枝を基に10株のさし木苗を育成した。このうち6株のさし木苗は、熊本市教育委員会の指示により、2004年に「里帰り事業」で森林総合研究所九州支所に隣接するリデル・ライト両女史記念館(熊本市中央区黒髪)の前庭に植栽された(林木育種センター九州育種場 2005)。また、2012(平成24)年には、立田自然公園に植栽されていた2個体由来のさし木の各1株ずつを「里帰り事業」で移植した(熊本日日新聞 2012)。

これら以外にも、立田自然公園の個体由来のさし木が、生垣屋(樹木医)から寄贈を受け立田山豊国台公園(熊本市中央区黒髪)における「立田山ヤエクチナシ石碑」横に植栽されているが、いずれも幼木で樹高および樹冠幅とも小さい。

浅井博士が自生地外保全の目的で、五高の同僚や研究室の助手の方々に託されたと考えられる3個体(河原畑株、田中株、山城株)が立田山周辺にある各個人のご自宅で確認された(図2)。その中には、後に熊本記念植物採集会の会長を務められた山城孝氏(元:浅井研究室の助手)の持ち株から、同会会員へさし穂やさし木苗が提供されている(高橋 2011)。

学術研究用に五高植物園へ植栽された個体については、熊本大学薬学部附属植物園(現:熊本大学薬学部附属薬用資源エコフロンティアセンター、熊本市中央区大江本町)へ移管されたとと思われるが、関係する資料が残されておらず詳細は不明である。2016(平成28)年4月現在、当該センター内には4個体の分布が確認され、うち2個体は資料が残っておらず由来不明であるが、樹高が1.5mを越え樹冠幅も広いことから、比較的樹齢が高いものと考えられ、五高植物園由来の可能性はある。残りの2個体は、2012年頃に立田自然公園および拝聖院由来のさし木苗を市内の生垣屋(樹木医)より寄贈されたものであった。

浅井博士は、東京帝国大学理学部附属植物園(現:東京大学大学院理学系研究科附属植物園、通称:小石川植物園、東京都文京区白山)にも配布したとされるが、詳細は不明である(図2)。なお現在、園内にはヤエクチナシ1個体が植栽されているが、園に保管されている資料によるとこの個体については、「1971(昭和46)年に原産地で採取」とあり、後述する西岡系あるいは立田山周辺で保全されていた個体から採取したさし木苗ではないかと推察される。

3.1.3 西岡系

第二次世界大戦中、立田山でも全山(天然記念物「立田山ヤエクチナシ自生地」を含む)で松根油および軍需物資徴用のため、アカマツの伐採が行われ禿げ山と化した。戦後は、地権者が細川家から熊本県、林業試験場九州支場(現:森林総合研究所九州支所)と移る間に自生地の存在すらも半ば忘れられていたようで、1960(昭和35)年には自生地で絶滅したとも報告されている(熊本県教育委員会 1960)。その後、1965(昭和40)年頃に林業試験場九州支場が実験林内に国指定天然記念物の自生地が含まれている事を知り、2年後の1967(昭和42)年に熊本市立博物館が組織した調査隊と合同で開花期にヤエクチナシの搜索を開始した(熊本日日新聞 1967, 1968)。その結果、さらに2年後の1969年6月15日、調査隊は自生地付近に八重咲きの花冠を付けた個体を発見した(熊本日日新聞 1969)。この貴重な個体を盗掘から守るため、保護柵が設置されるとともに(熊本日日新聞 1970, 佐藤 2005)、再発見された事以外は公表を控え、花期には摘蕾して花を見せないようにした。これらと併せて、林業試験場九州支場内にさし木クローンを確保して育苗する等して自生地内外での保全がはかられた。しかしながら再発見個体は、1975(昭和50)年頃までは自生地での分布が確認されているが、その数年後には消失してしまった。西岡系とは、この自生地でヤエクチナシを確認できた最後の1個体由来のものである。

その個体の消失後、現在まで熊本市教育委員会から委託を受けた林業試験場九州支場(後に森林総合研究所九州支所に引き継がれる)および林業科学技術振興所九州

事務所（2008（平成 20）年に閉鎖）が、開花期にあたる毎年 6～7 月に自生地内に分布するクチナシの開花調査を実施しているが、未だ再々発見には至っていない（金谷ら 2013）。なお 1965 年から 1972（昭和 47）年まで同支場の有志プロジェクトチームが随時、開催した勉強会には、浅井系を知る山城学氏がアドバイザーとして参加しており、浅井系および西岡系を知る関係者間で情報の共有がなされたと考えられる。

現在、森林総合研究所九州支所内には、再発見個体由来のさし木（第一世代）が 1972 年に 5 個体が植栽された。これら第一世代をさし穂親としたさし木（第二世代）が 1978（昭和 53）年までに 7 個体（2016 年 4 月時点で 2 個体枯死）が植栽されている（図 3）。これら以外にも所内には、第一世代由来のさし木が数個体ある。また、第一世代由来のさし木 1 個体が、森林総合研究所（茨城県つくば市松の里）の創立 100 周年記念事業に提供され、2005（平成 17）年に所内に植栽されたが、その後に枯死した。

西岡系についても、記念配布を受けたプロジェクト関係者の人脈を通じてさし木苗が多くの方々に渡っている。このうち、発見当時にプロジェクトに関係した林業試験場九州支場職員の家族から 1 個体（第一世代）が 2007（平成 19）年に返還（寄贈）され、森林総合研究所九州支所の「森の展示館」の前庭に植栽されており、一般市民でも観察することができる。

3.1.4 拝聖院系

拝聖院とは、西南戦争時、鳩野宗巴（はとのそうは：1844～1917 年）が熊本での戦闘において負傷した薩軍および政府軍の負傷者を分け隔てなく治療した場所として知られており、「日本における赤十字活動発祥の地」とされている（熊本県 2010）。

この拝聖院には、樹齢 100 年を超えると考えられる比較的大きなサイズのヤエクチナシが 3 個体ある。これらは、代々「境内の自生」と言われているが、天然記念物に指定された自生地等から種子散布によって更新した自生個体なのか、過去に檀家など人手によってさし木または移植されたのかは明らかではない。拝聖院は浅井博士の調査対象とした立田山の区域外に位置することから、存在が気付かれなかったためか、その報告に分布の記載はない（Asai 1929, 吉岡ら 2013）。拝聖院における分布が公になったのは、1960 年の熊本国体の際、来熊された昭和天皇がヤエクチナシの事をお尋ねになり、「自生のものは絶滅したとお答えした」、との報道を耳にした先代住職が、「境内に自生株が有ります」と熊本県庁に名乗り出たためとされる。その直後に、熊本県庁森林課（当時）がさし穂の提供を要請し、そのさし木苗が立田自然公園内の苔園周辺に植栽され、現在でも生残している（図 4）。

拝聖院境内中央にある最大の個体は、樹高 2.4 m（2016 年 4 月測定）と浅井系および西岡系も含め一般公開され

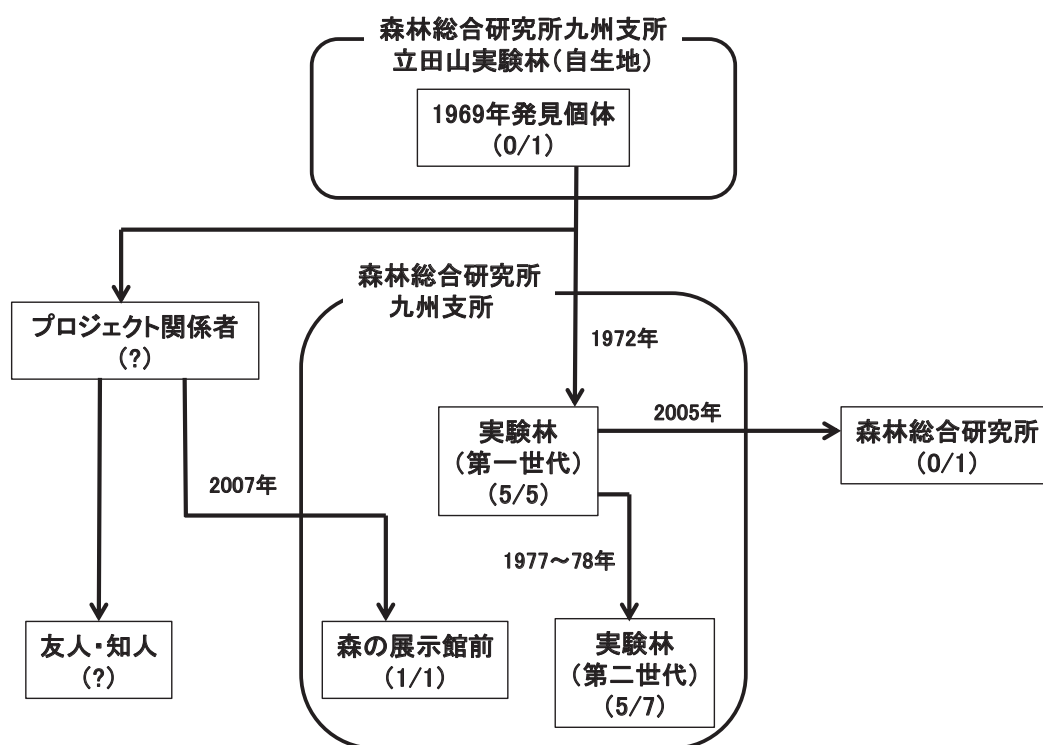


Fig. 3. 西岡系ヤエクチナシの配布先
実線は配布ルート、カッコ内は現在生残している個体数（左）および配布された個体数（右）、
年数は確認できた配布年を示す。

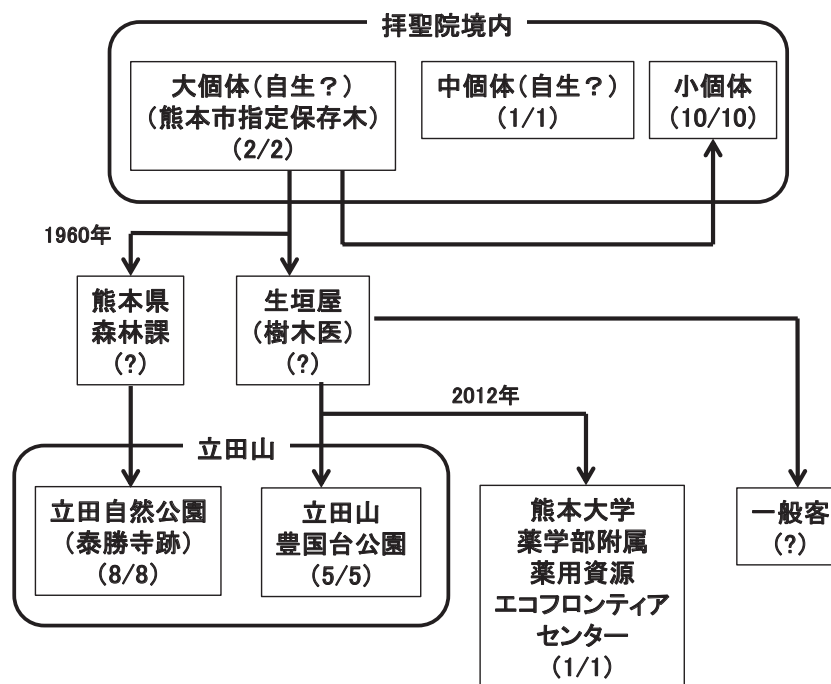


Fig. 4. 拝聖院系ヤエクチナシの配布先

実線は配布ルート、カッコ内は現在生残している個体数（左）および配布された個体数（右）、年数は確認できた配布年を示す。

ているヤエクチナシの中で最も高く、また樹齢も最高齢であると推察される。この最大個体および2番目にサイズの大きな個体の2個体が、2012年に熊本市の指定保存樹木に指定された。拝聖院系の全てのさし木は、指定保存樹木となった最大個体由来であり、境内（上記の3個体以外に、10個体程の分布を2016年4月に確認）を含めて立田自然公園および立田山豊国台公園で一般に観察することができる（図4）。

3.1.5 その他

上述した主要な3系統以外に、Maeda（1955）の報告した際に採取した個体があるが、これらの個体ならびにさし木等による次世代の存在は確認できていない。

林木育種センター九州育種場には、先述した浅井系の立田自然公園由来の2個体以外に、由来不明の1個体（樹高1m以上）が遺伝資源保存園に植栽されている。

これら以外にも熊本市内には、林野庁九州森林管理局が管理する堅物台樹木園（熊本市中央区二の丸）および熊本市動植物園（熊本市東区健軍）にも「ヤエクチナシ」と表記される個体が複数分布しているが、自生地である立田山由来のヤエクチナシであるかどうか、あるいはどの系統の由来であるかは確認できなかった。

3.2 形態的特徴

Asai（1929）によれば、立田山に自生したヤエクチナシの花冠は二重、三重および千重（四重以上）を含む混

合咲きと記されている（吉岡ら 2013）。現在、保存されている「浅井系」の花冠は、四重が主体の三重～六重の混合咲きであり（表1、図5）、他の系統に比較して花卉輪節の段数が多い方に偏っている特徴がある（表1）。これには浅井博士が、関係者に託す際、「より見栄えの良い八重咲きが良いだろう」との観点でさし穂親を選定したからではないかと考えられる。開花期は、「拝聖院系」より2週間ほど遅い。種子の結実率は、五高同僚の田中氏および河原畑氏に託された2株について確認出来ているが、個体あたりの数は「拝聖院系」に比べ格段に少ない。種子の発芽率は、河原畑株でのみの観察ではあるが、2013（平成25）年採取分で33%（2014（平成26）年調査）、2014年採取分で12%（2015年調査）であった（表1）。

「西岡系」の花冠は、「浅井系」と同様に、四重が主体の三重～六重の混合咲きである（表1）。開花期も、発見場所が同じであったためか、「浅井系」とほぼ同じである。しかしながら、さし木で増殖された個体は今だに結実が確認されてないため、種子発芽率の程度は不明である（表1）。

「拝聖院系」の花冠は、三重が主体の二重～五重の混合咲きで花卉輪節の段数が少なく、他の2系統とは異なる（表1）。著者らが開花観察を開始した2010年以降、「拝聖院系」では、「浅井系」および「西岡系」では未だ確認されていない二重花冠がみられる（図5）。開花期は、立田山に自生するクチナシに遅れること約1週間、「浅井系」および「西岡系」より2週間ほど早く、2010年

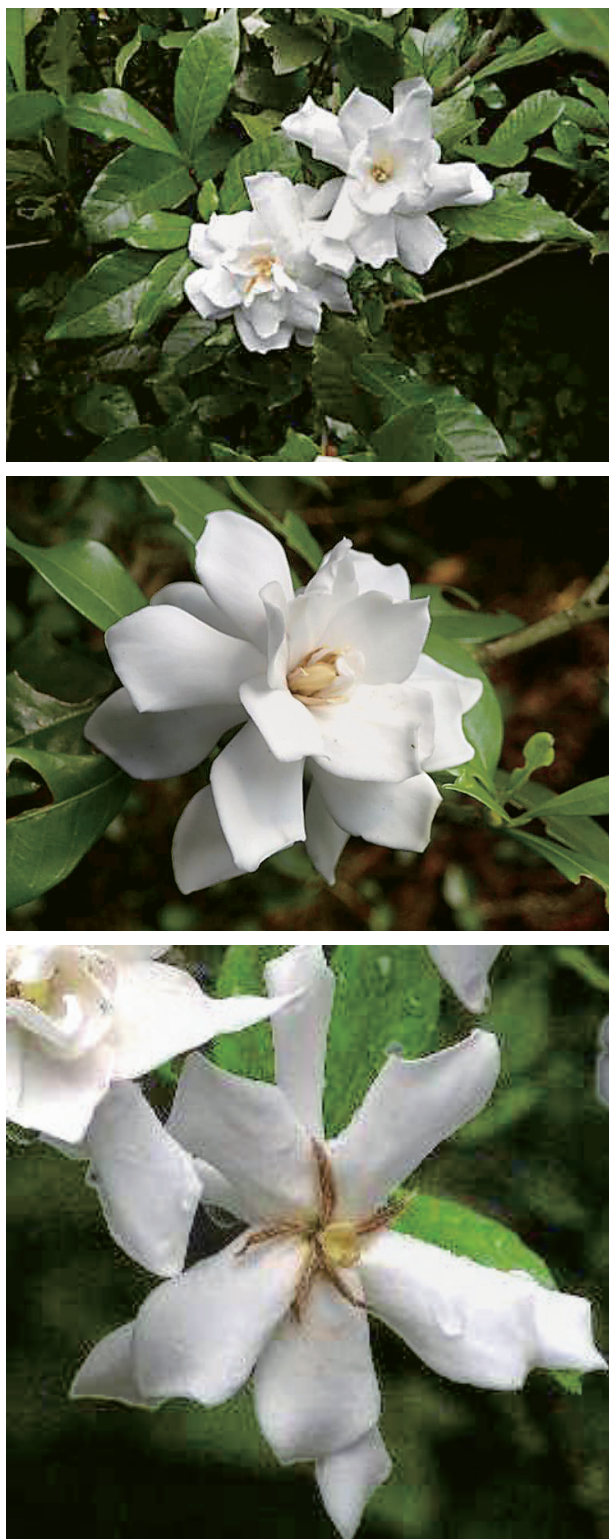


Fig. 5. 各系統のヤエクチナシの花冠
上：浅井系、中：西岡系、下：拝聖院系

に大個体から採取した種子の発芽率は、12%（2011（平成23）年調査）であった（表1）。

以上のことを整理すると、花冠の形状および開花期の違いから「拝聖院系」は、「浅井系」と「西岡系」とは異なると言える。「浅井系」と「西岡系」の花冠の形状および開花期が類似することは、発見された年代は異なるが、発見場所が国指定天然記念物の自生地とほぼ同じであったためと考えられることから、両系統は何らかの関係があると推察される。

なお、葉の形態的特徴として、立田山に自生する普通（一重）のクチナシより小さく、コクチナシよりは大きいとされている（Asai 1929, 高橋 2011, 吉岡ら 2013）。ただし、これらの報告では、どの部位で採取した葉を計測に用いたかは不明である。また、各系統間で葉の形態の差異は検討されていないことから、今後は形態的特徴の計測を実施することが必要であろう。

4. おわりに

現在、自生地にヤエクチナシが生残しているか否かは不明であるが、かつての自生株を母樹とするさし木が多数保全されていることから、「ヤエクチナシ」という種（品種）自体の絶滅の恐れはないと考えている。しかしながら、今回の報告から、これまで整理されていなかった自生地外で保全されているヤエクチナシ各系統の個体について、情報管理（データベース化）および追跡調査が急務かつ重要であることが示唆された。一方、オオスカシバ（*Cephonodes hylas*）の幼虫による葉の食害により、自生地内に生残しているかもしれないヤエクチナシ、および自生地外で植栽されている個体への被害が懸念されており（金谷ら 2013, 2015）、今後は適切な対策を実施することが必要であろう。

著者らが主催する「立田山ヤエクチナシ井戸端会議」では、設立当初の目標であった「ヤエクチナシの特徴と現存個体およびその由来の把握」に引き続いて、「ヤエクチナシのメッカ（立田山豊国台公園）の整備」を行ってきた。今後は、遺伝解析を実施し（金谷ら 2016）、各地に拡散している各系統の整理および自生地に生残しているかもしれない個体の探索を進めていきたいと考えている。

謝辞

本報告における調査を行うにあたり、ヤエクチナシの各系統の所有者および関係者、元森林総合研究所九州支所の長友安男氏、森林総合研究所九州支所の猪飼祐二氏、森林総合研究所実験林の細谷芳正氏、森林総合研究所林木育種センター九州育種場の佐藤省治氏ならびに佐藤新一氏、拝聖院の佐藤法道氏、熊本大学薬学部附属薬用資源エコフロンティアセンター（薬用植物園）の渡辺将人氏、東京大学大学院理学系研究科附属植物園にはヤエクチナシに関する情報をいただいた。また、本稿をま

とめるにあたり、森林総合研究所九州支所支所長の森貞和仁博士ならびに立田山ヤエクチナシ井戸端会議の河原畑勇博士には有益な助言をいただいた。なお本報告は、熊本市による受託研究「立田山ヤエクチナシの保全に関する研究（平成25～27年度）」の助成の一部により実施された。ここに謝意を表する。

引用文献

- Asai, T. (1929) Über die wildwachsenden gefülltblütigen Stöcke von *Gardenia jasminoides*, Ellis. Jap. J. Bot., 4, 335-344.
- 原 寛 (1952) 日本種子植物集覧 第二冊. 岩波書店, 280pp.
- 金谷 整一・上野 真義・江野 優里子・下村 莊乃・西田 奈央・福島 裕基・田嶋 隆文・瀬上 眞由美・河原畑 濃・宮崎 寛・長友 安男・松永道雄 (2016) マイクロサテライトマーカーを用いた立田山ヤエクチナシの遺伝解析の試み. 九州森林研究, 69, 127-129.
- 金谷 整一・長友 安男・中島 清・山本 健一・松永道雄 (2013) 立田山実験林に自生するクチナシの開花状況. 九州森林研究, 66, 67-70.
- 金谷 整一・上田 明良・上田 夏也・井上 和久・塚原 由裕・村上 大成・田嶋 隆文・瀬上 眞由美・中島 清・松永 道雄 (2015) オオスカシバ(鱗翅目: スズメガ科) のヤエクチナシに対する産卵選好性. 九州森林研究, 68, 121-125.
- 熊本記念植物採集会 (1969) 熊本県植物誌. 長崎書店, 436pp.
- 熊本県 (2010) “拝聖院(はいしょういん) 熊本市”, http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_8021.html, (参照2016-05-25).
- 熊本県教育委員会 (1960) 熊本県の文化財. 熊本県教育委員会, 87pp.
- 熊本日日新聞 (1967) 八重クチナシ 自生地の保護へ 市教委 立田山を現地調査, 昭和42年2月23日.
- 熊本日日新聞 (1968) 今年も立田山を調査 自生地求めて 幻のヤエクチナシ, 昭和43年6月30日.
- 熊本日日新聞 (1969) 立田山自生のヤエクチナシ みごとな花をつける, 昭和44年7月9日.
- 熊本日日新聞 (1970) 自生地に保護柵 立田山のヤエクチナシ 予算もついて, 昭和45年7月10日.
- 熊本日日新聞 (2012) 立田山ヤエクチナシ かれんな八重咲き復活 枯死の珍木挿し木で, 平成24年7月10日 夕刊.
- Maeda, M. (1955) New plants of double flowers. Kumamoto J. Sci. Ser. B. Sect. 2 Biology, 89-95.
- 三好 学 (1929) 天然記念物調査報告 熊本縣 立田山やへくちなし自生地, 天然記念物調査報告 植物之部 第9輯, 文部省, 87pp.
- 森下 義郎・大山 浪雄 (1972) 造園木の手引 さし木の理論と実際. 地球出版, 367pp.
- 中井 猛之進・小泉 源一 (1927) 大日本樹木誌 巻之一. 成美堂, 714pp.
- 農林省林業試験場九州支場 (1977) 三十年のあゆみ. 農林省林業試験場九州支場, 242pp.
- 林木育種センター九州育種場 (2005) 天然記念物等の里帰り 4 立田山ヤエクチナシ自生地 (国指定天然記念物). 九州育種場だより, 9, 5.
- 佐竹 義輔・原 寛・亘理 俊次・富成 忠夫 (1989) 日本の野生植物 木本 II. 平凡社, 305pp.
- 佐藤 保 (2005) 花にも過保護はいけません - ヤエクチナシ. 日本森林技術協会 編 “森の花を楽しむ 101 のヒント”. 東京書籍, 142-143.
- 高橋 泉 (2011) 我が家の立田山ヤエクチナシについて. 熊本記念植物採集会会誌 BOTANY, 61, 54-55.
- 吉岡 理郎・河原畑 勇・河原畑 濃・宮崎 寛 (2013) 立田山ヤエクチナシの浅井論文(独語)の完全和訳. 熊本記念植物採集会会誌 BOTANY, 63, 40-53.

Provenance and flowering characteristics of surviving “Tatsuda-yama Yae-kuchinashi”, *Gardenia jasminoides* form. *ovalifolia*, trees found around Mt. Tatsuda-yama, Kumamoto city, southwestern Japan

Hiroshi MIYAZAKI ¹⁾, Seiichi KANETANI ^{2)*}, Atsushi KAWARABATA ¹⁾,
Jun MATSUNAGA ²⁾ and Michio MATSUNAGA ²⁾

Abstract

In the 1920's, nine Japanese Double Gardenia, *Gardenia jasminoides* form. *ovalifolia*, trees were discovered at Tatsuda-yama in Kumamoto Prefecture. In 1929, a section of the species habitat was designated a Japanese Natural Monument, the 'Natural Habitat of Tatsuda-yama Yae-kuchinashi (Double Gardenia)'. However, after World War II, Double Gardenia was considered to have become extinct due to cutting and illegal collecting. Subsequently, in 1969, one Double Gardenia was found in the Monument area, part of the experimental forest of the Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, but it disappeared within a few years. However, three Double Gardenia clones, “Asai”, “Nishioka”, and “Haishou-in”, derived from the original population were conserved. With the goal being to conserve genetic resources of the Double Gardenia, this report assesses the current status and distribution of the three clones by field surveys, consultation with experts and the literature, while morphological characteristics of the three Double Gardenia clones are also examined. Several distributions were confirmed with most having likely been planted around Mt. Tatsuda-yama. The “Haishou-in” was found to differ from the other two morphologically similar clones in terms of petal characteristics and flowering period. Further research will use genetic analysis to search for individuals that may be remnants of the original natural population and to clarify the relationships between each clone which will inform their conservation management into the future.

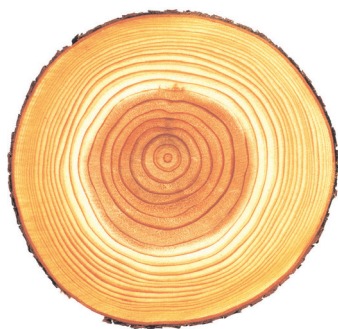
Key words : Mt. Tatsuda-yama, *Gardenia jasminoides* form. *ovalifolia*, *ex situ* conservation, Japanese Natural Monument, Kyushu Research Center Forestry and Forest Products Research Institute

Received 20 June 2016, Accepted 23 September 2016

1) Tatsudayama Yaekuchinashi Association

2) Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Kyushu Research Center, FFPRI, 4-11-16 Kurokami, Chuo, Kumamoto, Kumamoto, 860-0862 JAPAN; e-mail: kanekane@affrc.go.jp



page59

CLT用スギフィンガージョイントラミナの加力方向による曲げ強度性能の違い
：小木曾 純子、井道 裕史、長尾 博文、原田 真樹、加藤 英雄、宮武 敦、平松 靖
Difference of bending performance by loading directions using sugi finger-jointed laminae
for Cross Laminated Timber
by Junko OGISO, Hirofumi IDO, Hirofumi NAGAO, Masaki HARADA, Hideo KATO,
Atsushi MIYATAKE and Yasushi HIRAMATSU

page65

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—
：小野 賢二、今矢 明宏、高梨 清美、坂本 知己
Evaluation of the berms built on the Restoration of the Mega-Tsunami-Damaged Coastal Forests
—Comparison with the effects of soil-scratching as a soil physical correction method among the
various types of machinery.
by Kenji ONO, Akihiro IMAYA, Kiyomi TAKANASHI and Tomoki SAKAMOTO

page79

サーモグラフィーを用いたコガタスズメバチ創設女王による抱卵行動の観察 (英文)
：牧野 俊一
Observation of egg incubation by a founding queen of the hornet *Vespa analis*
(Hymenoptera, Vespidae) with thermography
by Shun'ichi MAKINO

page81

現存する「立田山ヤエクチナシ」の由来および特徴
：宮崎 寛、金谷 整一、河原畑 濃、松永 順、松永 道雄
Provenance and flowering characteristics of surviving “Tatsuda-yama Yae-kuchinashi”,
Gardenia jasminoides form. *ovalifolia*, trees found around Mt. Tatsuda-yama, Kumamoto city,
southwestern Japan
by Hiroshi MIYAZAKI, Seiichi KANETANI, Atsushi KAWARABATA, Jun MATSUNAGA
and Michio MATSUNAGA