

ISSN 2185-9167

林業技術総合センター研究報告

第29号

令和3年11月

宮城県林業技術総合センター

目 次

- 1 県産スギ材でのツーバイフォー部材化に向けた研究・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 2 ニホンジカの強度採食圧を受けた未植栽地における森林の
復元に関する調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19

県産スギ材でのツーバイフォー部材化に向けた研究

大西 裕二

要 旨

宮城県産スギ中目材からツーバイフォー材を製造し、歩留りや、品質、強度性能を調査した。乾燥に伴う収縮、変形量を調査し適正な製材歩増し量を求め、歩留りよく製造できる丸太径級を求めた。枠組壁工法製材の日本農林規格に基づく目視等級区分、機械等級区分を行った後、枠組壁工法建築物構造用計算指針に基づく曲げ、引張、縦圧縮能試験を行い、県産スギツーバイフォー材の強度性能を調査した。

キーワード：スギ、ツーバイフォー、枠組壁工法構造用製材

1 はじめに

本県の民有林の人工林面積の齢級構成のピークは11齢級（51～55年生）になっており（宮城県水産林政部，2020），収穫の目安となる41年生以上が約7割を占め，年間100万 m^3 の新たな生長量が毎年ストックされるなど，本格的な利用が可能な段階となっている（宮城県水産林政部，2018）。本県の平成30年の木材需給は合板用需要が997千 m^3 とパルプチップを含めた自県材供給量584千 m^3 を上回り（宮城県水産林政部林業振興課，2020），合板へ供給するならば新たな利用拡大を図る必要はない。しかし，平成30年丸太価格では製材用スギ中丸太が11,800～13,200円/ m^3 ，合板用スギ丸太11,000～11,400円/ m^3 で推移し（農林水産省，2020），製材用への販売が有利であり，また，県産材を加工する製材工場を含めた川上から川下の地域林業活性化のため，製材品への県産材需要を図る意義があると考えられる。

本県の木造住宅新設着工戸数（国土交通省，2019）の工法別のシェアはツーバイフォー工法が25%と高位にあるが，使用される枠組材は北米からの輸入材が主であり，県産材の利用はなされていない。国の森林・林業基本計画では木材産業の競争力強化として，枠組壁工法（ツーバイフォー工法）用部材の生産体制の強化に取り組むとしている（林野庁，2016）。また，平成27年には枠組壁工法製材の日本農林規格（以下「枠組JAS」という。）の改正により国産樹種が追加され（農林水産省，2015），同年，国土交通省告示により，国産樹種の枠組壁工法製材の基準強度が設定された（国土交通省，2015）。この設定については，国産材ツーバイフォー材の強度性能データ（全国木材協同組合連合会，2011）が活用されている（井道，2018）。

県内の製材工場ではツーバイフォー材の製造はなされておらず，サイズが従来の在来軸組構法に対応した製材品と異なり，一定の品質を歩留りよく効率的に製造できるのか調査されていない。また，これにより製造されたツーバイフォー材は，前述の全国的なデータに本県が反映されておらず，これから導かれた基準強度を県産スギ材に適用できるのか検証しなければならない。

そのため，本研究は，県内の森林資源から産出されるスギ中目材から，ツーバイフォー材を製造し，一定の品質を確保し歩留りのよい効率的製造方法を示すことと，製造された県産ツーバイフォー材が，強度性能において利用可能であるのか研究を行ったものである。具体的には県産スギ中目材から204材を製造し，収縮，変形を見込んだ製材歩増し量を求め，歩留りのよく利用できる最適径級を明らかにし，また，枠組JASによる甲種枠組材としての等級区分を行い，その利用歩留りを求めた。強度性能においては，枠組JASによる目視等級区分，機械等級区分を行い，これらを枠組壁工法建築物構造計算指針（日本ツーバイフォー建築協会，2018）に基づ

く曲げ、引張、圧縮試験を行い、等級ごとの基準強度と比較し、評価を行った。

2 スギ丸太からの効率的製造方法

2. 1 材料及び方法

2. 1. 1 丸太及び製材

登米市産スギ丸太（長さ 3m、末口径級 24~28cm）20 本を供試材とした。丸太の長さ、元口・中央・末口直径を測定し、区分求積法による材積及び 2 cm 括約による径級の末口二乗法による材積を求めた。これらを粗挽断面寸法 99×44mm として、県内製材工場の送材車付き帯鋸盤で図-1 の木取りにより製材を行った。製材順序は側板部を落とし、タイコ材の外層から順に 2 枚を採った後、タイコ材を回し、同様に 2 枚採り、随を含まないようにした。側板部からは随に近い方の面を基準に採材した。

2. 1. 2 乾燥及び仕上げ

乾燥前の状態で、幅、厚さの表裏を長手方向に末・中・元 3 か所（末、元は材端から 500mm）計 12 か所をノギスで測定した。これらを人工乾燥（最高乾球温度 70℃、最高乾湿球差 20℃で 7~8 日間）を行った。乾燥後に、同様に幅、厚さと枠組 JAS に示す方法により反り、曲がり、幅反り、ねじれ等の変形量を測定した。その後、モルダー加工を施し所定の断面寸法（89mm×38mm）に仕上げ、120 本のツーバイフォー材を得た。

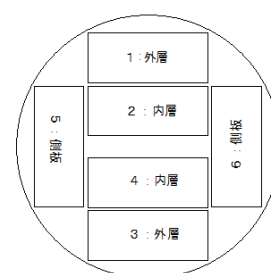


図-1 製材木取り

2. 1. 3 欠点調査（目視等級区分）

枠組 JAS に基づく目視等級区分を行うため、節、腐れ等の欠点、また、反り、曲り、幅反り、ねじれ等の変形量を測定した。なお、仕上げにおける削り残し等の加工上の欠点は目視等級の決定要因とはしなかった。

2. 2 試験の結果

2. 2. 1 丸太及び製材

丸太の測定の結果を表-1 に示す。3 m 材とした仕上がり寸法に対する歩留りは丸太実測（区分求積法）29.9%、径級の末口二乗法による材積で 34.0%であった。径級ごとの歩留りは 24cm が 35.2%、26cm が 30.0%、28cm が 25.9%であり、径が小さいほど歩留りはよく、径級 22cm で同様に 6 枚採材できればさらに歩留りは上がる。

表-1 丸太測定結果

	材長 (mm)	元口径 (cm)	中央直径 (cm)	末口径 (cm)	材積(m ³)		末口年輪数
					区分求積法	末口二乗法	
平均値	3105	30.6	28.9	27.2	0.205	0.180	51
最大値	3125	33.3	31.4	28.8	0.235	0.235	62
最小値	3079	28.0	26.7	25.4	0.176	0.173	36

2. 2. 2 乾燥及び仕上げ

乾燥による収縮を見込んだ製材歩増し量を求めるため、収縮量を長手方向ごとに調査した。長手方向の末・中・元ごとの幅の収縮量・収縮率を表-2、厚さの収縮量・収縮率を表-3 に示す。乾燥に伴う収縮は接線方向（本試験の幅方向）>半径方向（厚さ方向）であることが知られているが（例えば渡部治人，1978）。本試験でも収縮率の平均の幅方向/厚さ方向は 1.4 倍であり、断面寸法が幅>厚さであることから、さらに収縮量は幅方向が大きい。仕上がり寸法に対する収縮を見込んだ製材歩増し量は幅で元口の収縮量の最大値 4.34mm 以上、

厚さで最大値の 1.89mm 以上が必要であり、幅 5 mm、厚さで 2 mm を見ればよいことが分かった。

表一 2 長手方向ごとの幅の収縮量・収縮率

	収縮量(mm)			収縮率(%)		
	末	中	元	末	中	元
平均値	2.66	2.88	3.20	2.68	2.90	3.21
最大値	4.28	4.18	4.34	4.27	4.20	4.33
最小値	0.57	1.38	1.83	0.59	1.37	1.86
変動係数(%)	29.9	19.9	17.8	29.6	19.9	17.6

表一 3 長手方向ごとの厚さの収縮量・収縮率

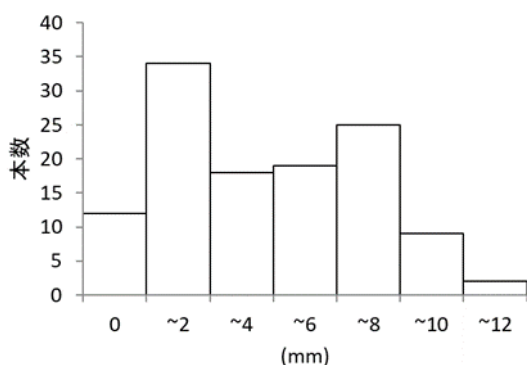
	収縮量(mm)			収縮率(%)		
	末	中	元	末	中	元
平均値	0.97	0.94	0.92	2.14	2.07	2.03
最大値	1.68	1.61	1.89	3.71	3.53	4.13
最小値	0.40	0.48	0.38	0.88	1.08	0.86
変動係数(%)	29.4	28.5	29.0	29.4	28.4	28.5

乾燥に伴う変形は、幅反りはすべての試験体で 1 mm 未満であり、ねじれは 6 mm、3 mm、2 mm が各 1 体で、枠組 J A S 甲種の 3 m 長さにおける変形の規定 (表一 4) 未満であった。反りについては、最大値 12mm、曲がりについては最大値 12mm であり、その分布は図一 2、3 のとおりである。

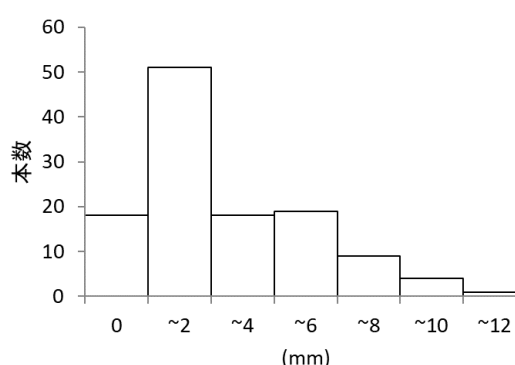
表一 4 枠組 J A S に定める変形の規定

	甲種	特級	1級	2級	3級
曲がり	長さ比	0.2%以下	0.2%以下	0.5%以下	0.5%以下
	矢高(mm)	6	6	15	15
反り	矢高(mm)	10	10	13	13
幅反り	矢高(mm)	1	1	1	2
ねじれ	矢高(mm)	11	11	16	22

矢高は曲がりは長さ3.0mとして算出、反り・ねじれは長さ3.0mの値を適用



図一 2 反り量の分布



図一 3 曲がり量の分布

これらを、枠組 J A S の甲種特級・1 級の反り・曲がりの規定に入るよう、修正削りすることを考える。枠組 J A S の今回の試験条件での許容値は表-4 のとおり反りで 10mm, 曲がりで 6mm であり、反りは 95% が既に許容量内である。曲がりは 95% が許容量内にするには 2mm の幅方向の削り量が必要である。モルダの表面仕上げに必要な削り量を表裏、側面で 5mm とすると幅方向で (収縮) 5mm+ (矯正) 2mm+ (仕上げ) 5mm=12mm, 厚さ方向で (収縮) 2mm+ (矯正) 0mm+ (仕上げ) 5mm=7mm である。これから、89×38mm 断面を得るための製材歩増し量は幅で 89+12=101mm, 厚さで 38+7=45mm で、断面 101×45mm である。鋸による目減りを 3mm とし、この寸法を 6 枚とることができる径級は 22cm では採材できず (図-4), 必要最低限の歩留りの良い径級は 24cm であった。(図-5)。

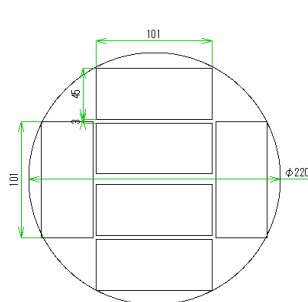


図-4 木取り 直径 22c

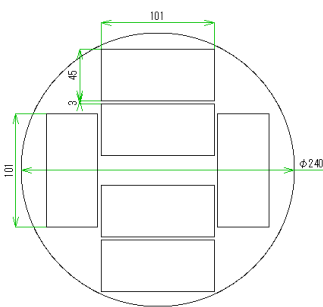


図-5 木取り 直径 24cm

2. 2. 3 欠点調査 (目視等級区分)

枠組 J A S の甲種枠組材の目視等級区分による決定要因は節, 反りであった。採材部位ごとの各等級とその決定要因の枚数を表-5 に示す。53% が特級, 24% が 1 級, 21% が 2 級に区分された。3 級は 3 枚, 格外は 1 枚に留まり, 県産スギ中目材から採材したツーバイフォー材は枠組 J A S 目視等級区分材として歩留りよく利用可能であることが明らかになった。

表-5 目視等級区分

等級	枚数	決定要因						
		反り	曲がり	幅反り	ねじれ	腐れ	繊維傾斜	節
特級	70	0	0	0	0	0	0	0
1 級	32	0	0	0	0	0	0	32
2 級	14	2	0	0	0	0	0	12
3 級	3	1	0	0	0	0	0	2
格外	1	1	0	0	0	0	0	0

2. 2. 4 製造における材料費

製造における材料費を求めることとし, スギ丸太価格は木材価格 (農林水産省, 2020) を参考に長さ 3m×径級 20~30cm 12,500 円/m³ とする。3m の原木からツーバイフォー 204 材 (89mm×38mm) を生産するとことし, 24cm の丸太からツーバイフォー材 6 本を製造するのが歩留りよく

$$3\text{m} \times 24\text{cm 丸太の材積} : 3 \times (0.24)^2 = 0.1728\text{m}^3 \quad (\text{末口二乗法})$$

$$\text{これから採れる } 3\text{m の製品の材積} : 6 \times (3 \times 0.089 \times 0.038) = 0.06156\text{m}^3$$

であり, その歩留りは製品材積/丸太材積で 35.2% である。これを, ツーバイフォー材の長さを 2336mm では

製品材積 $6 \times (2.336 \times 0.089 \times 0.038) = 0.04740 \text{m}^3$

であり、歩留りは 27.4%と低下する。

3 m サイズの製品 1 m³に必要な丸太材積は $1 / 0.352 = 2.841 \text{m}^3$ であり、その材料費 35,500 円（有効数字 3 桁、以下同じ）である。これを 2336mm サイズとすると必要な丸太材積は $1 / 0.274 = 3.650 \text{m}^3$ であり、その材料費は 45,600 円である。製造においては残部の有効利用により、トータルコストの削減が求められる。

3 県産スギツーバイフォー材の強度性能

3. 1. 方法

3. 1. 1 非破壊強度測定

全てのツーバイフォー材を構造用集成材の適正製造基準（合板検査会，2000）に基づき、スパンを 2850mm として、スパンの中央部に初期荷重 5kg，最終荷重 10kg を与え、たわみ量を変位計（共和電業 CDP-50）で測定し、死荷重による曲げヤング係数を求めた。また、寸法、重量を測定し密度を求めるとともに、FFT アナライザー（小野測器 CF-350）により固有振動数を測定し、縦振動ヤング係数を求めた。さらには、枠組 JAS に基づく MSR 枠組材として等級区分を行うため、連続送り式グレーディングマシン（飯田工業 MGFE-251）によるヤング係数を測定した。グレーディングマシンは、材を連続的に送りながら曲げ荷重を与え、曲げヤング係数を多点測定する。なお、グレーディングマシンは福島県林業研究センターの機械を用いた。

3. 1. 2 破壊試験試料材

ツーバイフォー材 120 本から破壊試験を行うため、それぞれ A（曲げ試験用）・B（引張・圧縮試験用）・C（それ以外）の 3 グループに区分した。A・B グループ各 45 本，C グループ 30 本として、測定した縦振動ヤング係数で平均値・分散が等しくなるよう割り振りし、それぞれ試験体を採取した（図—6）。



図—6 破壊試験試料材採取方法

3. 1. 3 曲げ試験

枠組壁工法建築物構造用計算指針に基づき、狭い面を荷重方向とするエッジワイズ、スパンを試験体の高さ 89mm の 21 倍の 1869mm とし、3 等分点 4 点荷重法により曲げ試験を行い、曲げ強さ、曲げヤング係数を求めた。試験は実大試験機（東京衡機製，容量 1000kN）を用い、変位量は試験体中央部下部に設置した変位計（共和電業 CDP-50）を用いて測定した。

3. 1. 4 引張試験

枠組壁工法建築物構造用計算指針に基づき、試験体の両端をそれぞれ 600mm ずつチャックで掴み、チャック間距離を 800mm とし、引張方向に単調荷重を与え引張試験を行い、破壊した最大荷重から引張強さを求めた。試験は引張試験機（前川試験機製，容量 700kN）を用いて測定した。

3. 1. 5 縦圧縮試験

枠組壁工法建築物構造用計算指針に基づき、試験体の長さを 225mm として、破壊した最大荷重から圧縮強さを求めた。試験は実大試験機（東京衡機製、容量 1000kN）を用いて測定した。

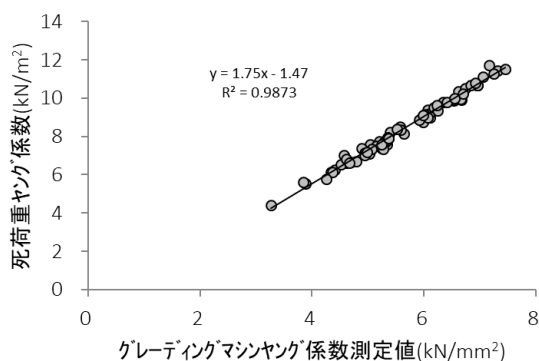
3. 2. 試験の結果

3. 2. 1 非破壊強度測定

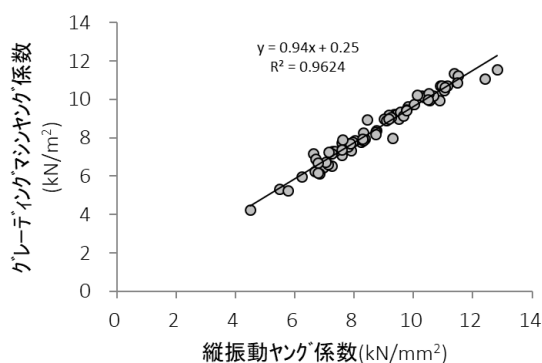
連続送り式グレーディングマシンによるヤング係数は、多点測定した平均値と死荷重によるヤング係数との関係を調べ、その回帰式の係数を補正值として求めることとする（橋爪ら、1997）。両者の関係は図—7のとおりであり、その係数 1.75、定数-1.47 としてグレーディングマシンのヤング係数を求めた。非破壊による強度測定は表—6のとおりである。連続送り式グレーディングマシンによるヤング係数と縦振動法によるヤング係数は高い相関が見られた（図—8）。枠組 J A S の機械等級区分は M S R 枠組材としてグレーディングマシンによるヤング係数による区分しか認められていないが、縦振動法ヤング係数による機械等級区分の適用が考えられる。全ての試料材の縦振動ヤング係数の分布とグループ分けした試料材を縦振動ヤング係数の順位で並べたものが図—9である。破壊試験のサンプリングとしてグループ分けは適当と思われる。

表—6 非破壊測定結果

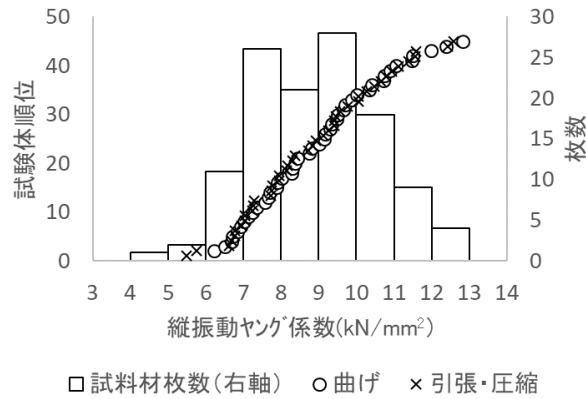
	密度 (kg/m ³)	死荷重ヤング係数 (kN/mm ²)	縦振動ヤング係数 (kN/mm ²)	グレーディングマシンヤング係数 (kN/mm ²)
最大値	414	8.66	8.91	8.66
平均値	507	12.53	12.82	12.46
最小値	300	4.40	4.50	4.24
試験体数	120	120	120	120
変動係数	11.1%	18.6%	18.4%	18.5%



図—7 グレーディングマシン・死荷重ヤング係数の関係



図—8 縦振動・グレーディングマシンヤング係数の関係



図—9 試料材縦振動ヤング係数分布と試験体採取

3. 2. 2 破壊試験

曲げ・引張・縦圧縮試験はすべての試験体の破壊近傍から試験片を採取し、全乾法により含水率を求め、曲げ・引張・縦圧縮の各強度及び曲げヤング係数をASTMD1990-07 (ASTM International, 2016) に従って含水率15%の値に調整した。なお、試験体の含水率は10.7~13.9%の範囲であった。

3. 2. 3 曲げ試験

全ての試験体の結果は表—7のとおりである。破壊は、ほとんどが荷重点間の引張側の節、目切れを基点としており、特に荷重点間の材縁部の節から破壊した。枠組JASの目視等級区分甲種各等級に区分した試験体の曲げ強度の平均値と最小値、国土交通省告示の基準強度を表—8に、甲種等級ごとの曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図—10に示す。国土交通省告示の基準強度との比較では曲げ強さの最小値は甲種特級、1級で基準強度を下回った。特級においてヤング係数が中位にもかかわらず基準強度を下回っていた1体の破壊は荷重点間の材縁部の節であった。

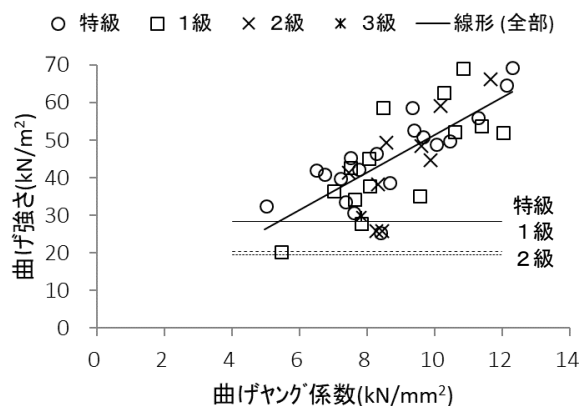
表—7 曲げ試験結果

	密度 (kg/m ³)	平均年輪幅 (mm)	最大節径比(%)		曲げ強さ (N/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	含水率 (%)
			材縁部	中央部			
平均値	419	3.4	15.6	18.6	44.9	8.81	11.9
最大値	503	8.0	46.6	33.9	69.3	12.30	12.7
最小値	333	1.4	0.0	6.8	20.3	5.02	10.7
試験体数	44	44	44	44	44	44	44
変動係数(%)	10.3	47.9	71.0	37.5	27.4	19.7	3.4

表—8 各等級の曲げ強さと基準強度

	特級	1級	2級	3級
試験体数	19	14	9	1
平均値	45.7	44.8	44.3	29.7
最小値	25.4	20.3	25.7	29.7
基準強度	28.4	20.4	19.5	11.3

単位:N/mm²



図—10 各等級の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

3. 2. 4 引張試験

全ての試験体の結果は表-9のとおり。主な破壊要因は、節、目切れ、軽度な腐れであった。枠組JASの目視等級区分甲種各等級の引張強さの平均値と最小値、国土交通省告示の基準強度を表-10に、各等級の引張強さを全ての順位で並べたものと基準強度を図-11に示す。国土交通省告示の基準強度との比較では引張強さの最小値は特級、1級では基準強度を上回った。2級において、基準強度を下回った2体の破壊要因は軽微な腐れと節であった。

表-9 引張試験結果

	密度 (kg/m ³)	平均年輪幅 (mm)	最大節径比(%)		引張強さ (N/mm ²)	含水率 (%)
			材縁部	中央部		
平均値	426	3.4	17.1	20.4	27.5	12.5
最大値	536	7.3	34.9	40.6	57.1	13.9
最小値	333	1.4	4.5	9.0	6.9	11.7
試験体数	44	44	44	44	44	44
変動係数(%)	11.4	37.6	45.9	38.3	36.2	3.3

表-10 各等級の引張強さと基準強度

	特級	1級	2級	3級
試験体数	21	14	10	1
平均値	33.3	23.5	19.9	29.9
最小値	18.0	17.9	6.9	29.9
基準強度	16.0	12.2	12.2	7.1

単位:N/mm²

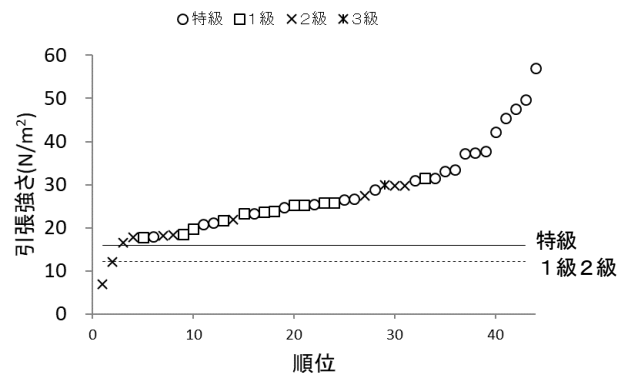


図-11 引張強さの順位と基準強度

3. 2. 5 縦圧縮試験

全ての試験体の結果は表-11のとおり。破壊は一部で節の影響が見られ、繊維方向と直交あるいは傾斜した面に破壊が生じた。枠組JASの目視等級区分甲種各等級の圧縮強さの平均値と最小値、国土交通省告示の基準強度を表-12に、各等級の圧縮強さを全ての順位で並べたものを図-12に示す。国土交通省告示の基準強度との比較では全ての等級で最小値は基準強度を上回り、特級、1級では50%以上、上回った。

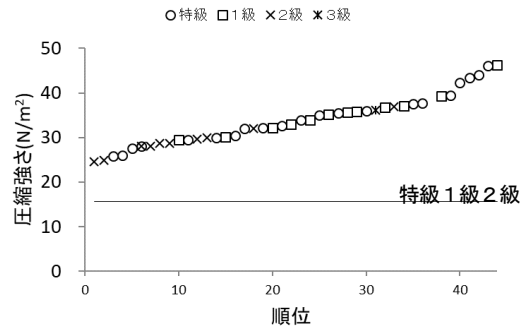
表-11 縦圧縮試験結果

	密度 (kg/m ³)	平均年輪幅 (mm)	最大節径比(%)		圧縮強さ (N/mm ²)	含水率 (%)
			材縁部	中央部		
平均値	416	3.5	2.9	3.6	33.8	13.1
最大値	491	6.8	24.8	15.8	46.2	13.8
最小値	330	1.4	0.0	0.0	24.6	12.2
試験体数	44	44	44	44	44	44
変動係数(%)	10.4	40.1	200.5	151.2	16.1	2.9

表—12 各等級の縦圧縮強さと基準強度

	特級	1級	2級	3級
試験体数	21	12	10	1
平均値	35.0	35.4	29.1	36.1
最小値	25.8	29.5	24.6	36.1
基準強度	15.7	15.7	15.7	9.1

単位:N/mm²



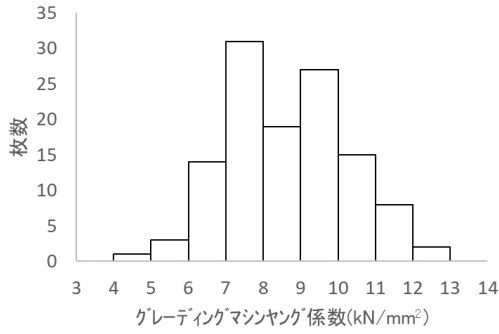
図—12 圧縮強さの順位と基準強度

3. 2. 6 目視等級区分ツーバイフォー材

枠組 J A S 甲種特級, 1 級は, 一部の試験体で曲げ基準強度を下回ったが, 引張基準強度, 圧縮基準強度は全ての試験体で上回った。技術基準 (国土交通省, 2001) では, 上枠, 下枠では甲種特級, 1 級, 2 級の利用が定められ, 鉛直材ではそれらに加え甲種 3 級, 乙種コンストラクション, スタンドアートの利用が定められている。現状利用されている北米産 S P F (スプルース, パイン, フェアの総称) の基準圧縮強度は甲種特級 24.0N/mm², 1 級 20.4N/mm², 2 級 18.6N/mm² である。「枠組壁工法建築物設計の手引き」(日本ツーバイフォー建築協会, 2018) では, 鉛直荷重支持機能を担う壁構面の耐荷能力は 3 つの耐力に支配され, そのひとつにたて枠の座屈耐力があり, これは, 材料の縦圧縮応力に関わっている。今回の試験では全ての試験体で, スギの甲種特級の基準圧縮強度を上回っただけでなく, S P F の甲種 1 級の基準圧縮強度を上回り, たて枠として現行の北米産 S P F と同等以上に利用可能であることが明らかになった。

3. 2. 7 機械等級区分ツーバイフォー材

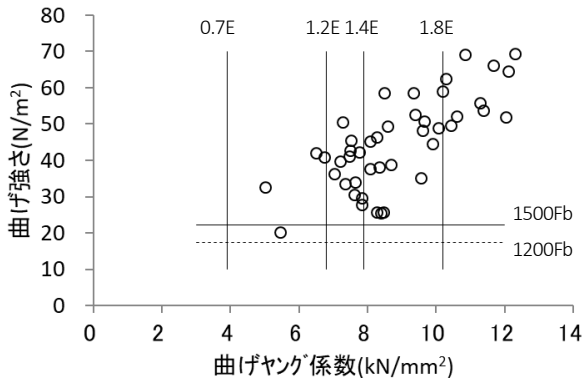
グレーディングマシンで測定した平均値のヤング係数の分布は図—13 のとおりであった。枠組 J A S の機械等級は曲げ応力ごとにヤング係数により区分される。曲げ試験による曲げヤング係数と曲げ強さの関係と枠組 J A S の曲げ応力等級と各ヤング係数の等級を図—14 に示す。各等級に定める曲げ強度, 曲げヤング係数を上回り枠組 J A S に定める機械等級をなるべく高位等級とし, 歩留りよく利用するよう 1200Fb-0.7E, 1500Fb-1.2E, 1.4E, 1.8E と区分することとし, 枠組 J A S で規定する曲げヤング係数, 曲げ強度の下限値及び等級ごとの枚数は表—13 のとおりである。MS R 枠組材の区分した等級ごとの平均値, 最小値, 1500Fb の 5% 下限値と各基準強度を表—14 に示す。なお, 5% 下限値は解析シート mini (堀江和美, 1997) を用いて算出した。1200Fb-0.7E では引張強度の最小値が基準強度を下回った。1500Fb の各等級では 5% 下限値は各基準強度を上回り, 今回の試験では 1500Fb-E1.2 以上に区分したスギツーバイフォー材は機械等級区分材として利用可能であることが分かった。グレーディングマシン及び縦振動ヤング係数と曲げ強さとの関係を図—15 に, 引張強さとの関係を図—16 に, 圧縮強さとの関係を図—17 に示す。縦振動ヤング係数により各等級と同様に区分され, 現行の等級区分を適用すれば同様に基準強度に適合し, 縦振動ヤング係数による等級区分でも強度が担保できた。



表—13 グレーディングマシンで区分した各等級の枚数

応力等級	曲げ強度 (N/mm ²)	0.7E	1.2E	1.4E	1.8E
		曲げヤング係数(kN/mm ²)下限値			
1200Fb	17.4	3.9	6.8	7.9	10.2
1500Fb	22.2	-	50	52	23

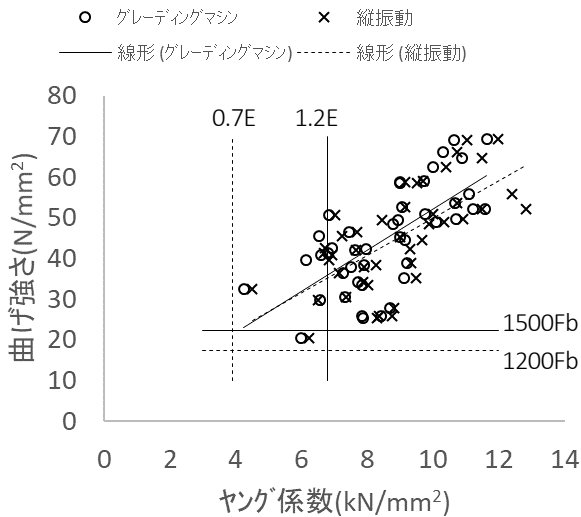
図—13 グレーディングマシンヤング係数分布



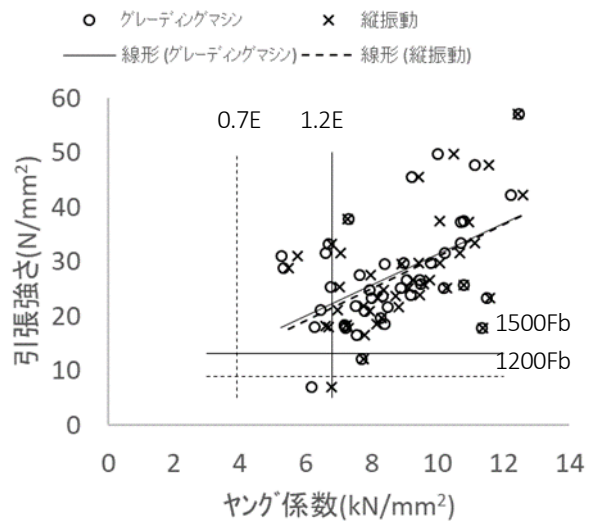
表—14 MSR各等級と各試験値

種別		曲げ強さ (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	圧縮強さ (N/mm ²)
1200Fb-0.7E	試験体数	6	8	8
	平均値	36.2	24.5	28.5
	最小値	20.3	6.9	24.9
	基準強度	12.6	9.0	17.4
1500Fb- 1.2E,1.4E,1.8E	試験体数	37	36	36
	平均値	69.3	28.2	35.0
	最小値	25.4	12.1	24.6
	5%下限値	23.8	14.0	25.2
	基準強度	22.2	13.2	15.6

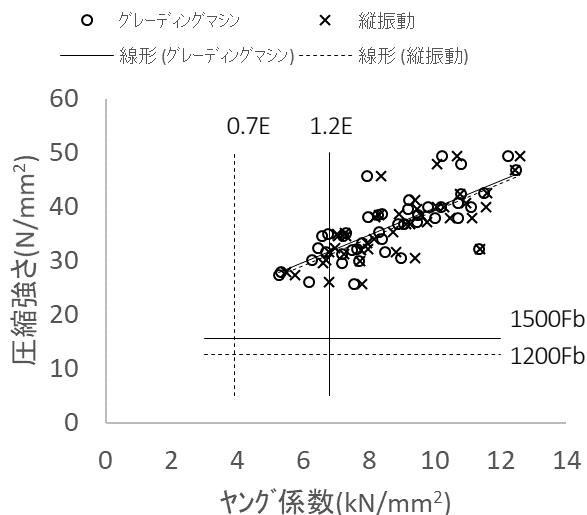
図—14 曲げヤング係数と曲げ強さとMSR枠組材の下限値



図—15 グレーディングマシン・縦振動ヤング係数と曲げ強さ



図—16 グレーディングマシン・縦振動ヤング係数と引張強さ



図—17 グレーディングマシン・縦振動ヤング係数と圧縮強さ

おわりに

県産スギ中目材からツーバイフォー材を製造し、乾燥に伴う収縮、変形を調査し、適正な製材歩増し量を求め、歩留りのよい径級は末口直径 24cm であった。また、枠組 J A S に基づく目視等級区分を行ったところ、ほぼすべてのツーバイフォー材が利用できることが分かった。強度性能においては、枠組 J A S 目視等級区分で甲種特級、1 級、2 級、3 級に区分された県産スギツーバイフォー材は、現行利用されている北米産 S P F の国土交通省の基準圧縮強度をよく上回り、たて枠として現行の北米産 S P F と同等以上に利用可能であることが明らかになった。また、グレーディングマシンにより M S R 区分された県産スギツーバイフォー材は高位等級において、国土交通省基準の各強度に適合し、機械等級区分材として利用可能であることが分かった。また、枠組 J A S で認められていない縦振動によるヤング係数による等級区分で強度が担保できた。

参考文献

ASTM International(2016)ASTM D1990-14 Standard practice for establishing allowable properties for visually graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens

橋爪丈夫, 斉藤健, 野田道雄, 石原茂久(1997)連続送り式グレーディングマシンの特性とその調整 木材学会誌 Vol.43 No.2

堀江和美(1997)木材強度データの確率・統計手法

井道裕史(2018)我が国の製材規格と許容応力度の変遷 森林総合研究所研究報告

国土交通省(2015)木材の基準強度を F_c , F_t , F_b 及び F_s を定める件 国土交通省告示

国土交通省(2001)枠組壁工法又は木質プレハブ工法を用いた建築物又は建築物の構造部分の構造方法に関する安全上必要な技術基準を定める件

国土交通省(2020)住宅着工統計

宮城県水産林政部(2018)みやぎ森と緑の県民条例基本計画

宮城県水産林政部(2020)みやぎの森林・林業のすがた

宮城県水産林政部林業振興課(2020)宮城県の木材需給とその動向

日本合板検査会：平成7年度食品等適正基準作成事業報告書・構造用集成材(2000)
日本ツーバイフォー建築協会(2018)枠組壁工法建築物構造用計算指針
日本ツーバイフォー建築協会(2018)枠組壁工法建築物設計の手引
農林水産省(2015)枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格
農林水産省(2019)木材需給報告書
農林水産省(2020)木材価格統計調査
林野庁(2016)森林・林業基本計画
渡辺治人(1978)木材理学総論
山下香菜, 平川泰彦, 中谷浩, 池田元吉(2012)品種や樹幹内部位によって異なるスギの収縮特性 森林総合研究
所平成22年版研究成果選集
全国木材協同組合連合会(2011)2×4住宅部材の開発事業成果報告書

丸太測定結果

No.	材長 mm	直径元 cm	直径中 cm	直径末 cm	区分求積法材積 m ³	径級 cm	末口二乘法材積 m ³	末口年輪数
1	3103	30.2	28.9	27.8	0.204	24	0.173	50
2	3115	31.9	28.1	26.5	0.202	24	0.173	57
3	3109	29.5	28.3	27.2	0.196	24	0.173	49
4	3114	28.3	26.7	25.5	0.176	24	0.173	51
5	3111	30.7	28.7	27.0	0.203	24	0.173	62
6	3116	32.2	31.4	28.8	0.235	26	0.203	56
7	3085	29.3	28.6	26.4	0.194	24	0.173	47
8	3112	32.5	30.4	28.3	0.227	26	0.203	42
9	3088	28.0	27.3	25.4	0.178	24	0.173	50
10	3119	32.7	30.1	27.9	0.224	24	0.173	36
11	3117	29.3	28.2	26.8	0.194	24	0.173	45
12	3111	31.0	30.2	28.3	0.219	26	0.203	36
13	3119	29.3	27.1	25.4	0.182	24	0.173	45
14	3125	30.4	28.7	27.2	0.203	24	0.173	62
15	3079	30.0	28.6	27.7	0.200	24	0.173	58
16	3115	33.3	30.5	28.7	0.232	28	0.235	57
17	3079	31.7	28.8	27.0	0.205	24	0.173	44
18	3117	31.5	29.4	27.8	0.214	24	0.173	62
19	3080	29.5	28.5	27.3	0.196	24	0.173	51
20	3099	30.5	29.9	27.4	0.211	24	0.173	54
平均值	3105	30.6	28.9	27.2	0.205	25	0.18	51
最大値	3125	33.3	31.4	28.8	0.235	28	0.24	62
最小値	3079	28.0	26.7	25.4	0.176	24	0.17	36
試験体数	20	20	20	20	20	20	20	20
変動係数(%)	0.5%	4.7%	4.1%	3.6%	8.0%	4.4%	9.1%	15.2%

非破壊調査

番	号	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	重量 g	密度 kg/m ³	縦振動ヤング kN/mm ²	ゲ kN/mm ²	MGヤング kN/mm ²	曲がり mm	反り mm	幅反り mm	ねじれ mm	幅 mm	斜 %	れ %	材線径比 %	比 %	甲種 級
1	1	3000.8	86.20	38.10	4435.2	450	12.39	11.71	11.08	0	0	0	0	2.8	2	0	12.8	17.4	0
1	2	3001.0	87.94	38.34	4735.8	468	8.37	7.91	7.93	3	1	0	0	3.8	5	0	15.9	15.9	0
1	3	3000.5	88.30	38.34	4708.2	464	11.38	11.43	11.34	1	1	0	0	2.3	5	0	19.3	27.2	1
1	4	3000.7	88.42	38.28	4496.1	443	7.66	7.74	7.64	1	0	0	2	5.6	15	0	9.0	11.3	0
1	5	3000.7	88.26	38.28	4832.7	477	10.87	9.86	9.96	2	2	0	0	2.2	15	0	9.1	17.0	0
1	6	3000.6	88.53	38.24	4198.7	413	10.53	9.92	9.96	0	3	0	0	2.5	18	0	10.2	14.7	0
2	1	3000.7	88.96	38.35	3810.0	372	9.35	9.18	9.21	0	0	0	0	2.5	14	0	0.0	13.5	0
2	2	3000.6	88.35	38.35	3898.1	383	7.27	7.19	7.30	0	0	0	0	4.0	10	0	7.9	9.1	0
2	3	3001.1	88.86	38.33	3959.3	387	9.41	8.98	9.21	0	0	0	0	2.6	5	0	8.4	9.0	0
2	4	3000.8	88.03	38.31	3976.7	393	7.05	6.69	6.59	0	0	0	0	5.6	4	0	17.6	12.5	0
2	5	3001.0	88.70	38.28	3912.0	384	9.16	9.01	9.05	0	2	0	0	2.7	5	0	5.1	9.0	0
2	6	3001.3	83.72	38.15	3925.1	409	7.24	7.01	6.53	4	0	0	0	2.0	14	0	15.5	8.4	0
3	1	3000.7	88.93	38.28	4733.9	463	8.44	8.96	8.95	0	0	0	0	3.0	18	0	30.4	27.6	2
3	2	3001.0	88.96	38.28	5019.9	491	9.19	9.38	9.16	0	0	0	0	3.4	17	0	14.6	21.4	0
3	3	3000.8	88.91	38.30	4989.5	488	12.82	11.50	11.57	0	0	0	0	2.7	8	0	22.5	21.4	1
3	4	3000.7	88.93	38.33	5065.6	495	10.66	9.93	10.21	2	0	0	0	3.9	12	0	12.4	24.7	1
3	5	3000.9	88.87	38.31	4691.5	459	10.90	10.68	10.71	3	0	0	0	2.3	14	0	7.9	16.9	0
3	6	3001.3	88.87	38.34	4826.3	472	11.49	11.26	11.22	0	0	0	6	2.2	12	0	6.8	27.0	1
4	1	3000.8	88.62	38.24	3442.2	339	6.94	6.62	6.60	0	0	0	0	2.1	10	0	0.0	11.3	0
4	2	3000.6	88.50	38.24	3664.0	361	6.68	6.27	6.25	0	0	0	0	6.5	5	0	7.9	13.6	0
4	3	3000.4	88.47	38.30	3084.6	307	7.89	7.57	7.34	0	0	0	0	2.7	10	0	0.0	10.2	0
4	4	3000.7	88.35	38.22	3438.3	339	6.96	6.55	6.45	0	0	0	0	4.0	8	0	9.1	9.1	0
4	5	3001.0	88.44	38.21	3135.7	309	7.11	6.84	6.60	0	0	0	0	2.4	12	0	13.6	22.6	0
4	6	3000.9	88.51	38.23	3045.7	300	7.59	7.37	7.09	0	3	0	0	2.2	2	0	0.0	6.8	0
5	1	3000.4	88.47	38.25	3938.5	388	9.29	8.23	7.97	0	0	0	0	1.9	7	0	11.3	11.3	0
5	2	3000.3	88.49	38.24	3401.7	335	5.49	5.52	5.33	0	0	0	0	6.7	8	0	19.2	13.6	0
5	3	3000.2	88.92	38.25	3726.6	365	8.23	7.63	7.78	0	0	0	0	1.6	15	0	10.1	19.1	0
5	4	3000.4	88.13	38.16	3373.3	334	4.50	4.40	4.24	0	0	0	0	8.0	0	0	7.9	17.0	0
5	5	3000.7	88.78	38.28	3571.4	350	7.04	6.68	6.74	0	0	0	0	2.1	11	0	12.4	14.6	0
5	6	3000.5	88.52	38.23	3600.2	355	6.84	6.14	6.13	0	0	0	0	2.0	10	0	14.7	20.3	0
6	1	3000.3	88.39	38.28	4753.3	468	8.28	7.93	7.90	0	0	0	0	3.0	20	0	29.4	33.9	2
6	2	3000.2	88.23	38.30	4737.5	467	8.30	7.59	7.88	0	3	0	0	5.8	23	0	14.7	21.5	0
6	3	3000.7	88.39	38.30	4058.6	400	9.15	9.19	9.19	0	0	0	0	2.9	7	0	13.6	20.4	0
6	4	3000.7	88.44	38.32	4284.1	421	8.75	8.16	8.41	0	0	0	0	3.4	8	0	28.3	21.5	2
6	5	3000.5	88.44	38.34	4415.7	434	10.27	9.93	10.19	0	0	0	0	2.5	18	0	19.2	29.4	1
6	6	3000.2	88.21	38.28	4383.9	433	9.51	8.88	9.00	0	0	0	0	4.6	23	0	23.8	19.3	1
7	1	3000.9	88.89	38.30	4197.3	411	7.74	7.37	7.71	0	0	0	0	1.4	1	0	28.1	28.1	2
7	2	3001.2	88.85	38.34	4276.6	418	7.35	7.10	7.32	0	2	0	0	3.6	4	0	16.9	13.5	0
7	3	3000.0	88.91	38.32	3632.7	355	9.55	9.50	9.33	0	0	0	0	4.5	8	0	10.1	0.0	0
7	4	3000.7	88.79	38.32	3874.5	380	9.25	9.16	9.05	0	1	0	0	5.4	10	0	4.5	21.4	0
7	5	3000.8	86.61	38.10	4144.5	419	8.31	8.49	8.28	2	2	0	0	4.6	6	0	21.9	26.6	1
7	6	3000.2	88.82	38.33	3807.4	373	9.81	9.80	9.63	0	0	0	0	4.0	8	0	19.1	12.4	0
8	1	3000.4	88.85	38.31	3812.2	373	6.61	7.16	7.18	1	0	0	0	5.0	2	0	32.6	34.9	2
8	2	2999.8	88.79	38.27	3857.0	378	6.71	6.69	6.92	0	0	0	3	8.0	10	0	27.0	27.0	1
8	3	3000.4	88.92	38.31	3651.0	357	8.72	8.35	8.32	0	0	0	0	2.8	7	0	16.9	31.5	1
8	4	3000.9	88.72	38.32	3973.8	390	6.78	6.13	6.17	0	2	0	0	3.6	7	0	21.4	40.6	1
8	5	3000.6	88.91	38.30	3777.8	370	7.78	7.50	7.53	0	0	0	0	2.7	0	0	32.6	31.5	2
8	6	3000.9	89.06	38.32	4214.8	412	6.23	5.79	5.97	0	4	0	0	3.4	4	0	23.6	22.5	1
9	1	3000.3	88.99	38.30	4240.8	415	11.12	10.69	10.70	0	0	0	0	2.0	9	0	12.4	14.6	0
9	2	3000.9	88.58	38.33	4757.9	467	7.58	7.33	7.76	0	2	0	0	4.6	9	0	14.7	11.3	0
9	3	3000.4	88.31	38.25	3765.1	372	10.34	10.36	10.10	0	0	0	0	2.5	4	0	0.0	6.8	0
9	4	3000.2	88.29	38.30	4264.7	420	9.76	9.35	9.45	0	0	0	0	2.6	0	0	11.3	14.7	0
9	5	3000.5	88.96	38.33	4230.8	414	10.95	10.69	10.71	0	2	0	0	1.6	2	0	15.7	14.6	0
9	6	3000.3	88.80	38.30	4089.0	401	10.50	10.52	10.33	0	2	0	0	2.0	6	0	11.3	16.9	0
10	1	3000.8	88.78	38.28	3670.6	360	7.59	7.36	7.39	0	0	0	0	3.9	15	0	22.5	31.5	1
10	2	3001.0	88.82	38.25	4208.9	413	8.02	7.73	7.85	0	0	0	0	5.4	13	0	19.1	19.1	0
10	3	3000.8	88.73	38.30	3933.0	386	7.24	7.04	7.18	0	0	0	0	3.0	8	0	34.9	33.8	2
10	4	3000.6	88.75	38.33	4288.9	420	7.94	7.71	7.78	0	3	0	0	5.6	7	0	14.6	19.2	0
10	5	3001.0	88.81	38.30	4102.8	402	7.13	7.16	7.25	0	3	0	0	4.5	14	0	23.6	23.6	1
10	6	3001.0	88.80	38.32	3936.8	386	7.88	7.58	7.71	0	5	0	0	3.4	8	0	21.4	23.6	1
11	1	3000.6	88.87	38.29	3775.3	370	10.01	9.81	9.75	0	0	0	0	2.3	8	0	2.3	9.0	0
11	2	3000.9	88.64	38.30	4401.8	432	9.00	8.75	9.00	0	0	0	0	3.3	5	0	21.4	11.3	1
11	3	3001.2	87.16	38.19	4138.0	414	11.48	11.11	10.89	0	2	0	0	1.8	14	0	0.0	24.1	0
11	4	3000.5	88.79	38.32	5020.4	492	8.72	8.37	8.20	0	0	0	0	3.7	10	0	6.8	18.0	0
11	5	3000.5	88.91	38.27	4592.0	450	9.65	8.98	9.16	0	0	0	0	1.9	4	0	32.6	20.2	2
11	6	3000.6	88.83	38.32	4023.0	394	9.09	8.86	8.90	0	0	0	0	3.4	1	0	15.8	7.9	0
12	1	3000.5	88.33	38.32	4021.4	396	11.03	10.67	10.49	0	0	0	0	3.3	6	0	0.0	10.2	0
12	2	3000.8	87.90	38.31	4330.0	428	9.15	9.11	9.00	5	0	0	0	6.4	11	0	6.8	10.2	0
12	3	3000.6	88.25	38.28	4240.1	418	11.05	10.78	10.63	0	0	0	0	2.5	15	0	3.4	24.9	1
12	4	3001.0	88.45	38.32	4425.5	435	10.11	10.22	10.24	0	0	0	0	4.0	12	0	15.3	19.2	0
12	5	3001.2	88.33	38.32	4287.4	422	10.47	10.00	10.00	0	0	0	0	2.7	11	0	12.5	21.5	0
12	6	3001.2	87.88	38.33	4124.1	408	9.75	9.62	9.44	0	3	0	0	4.5	9	0	0.0	12.5	0
13	1	3000.6	88.46	38.20	3595.6	355	7.61	7.95	7.90	0	0	0	0	3.9	4	0	0.0	9.0	0
13	2	3000.8	88.58	38.28	3911.4	384	6.77	6.63	6.69	0	0	0	0	4.0	4	0	11.9	21.4	0

非破壊調査

番号	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	重量 g	密度 kg/m ³	縦振動ヤング kN/mm ²	ゲ kN/mm ²	MGヤング kN/mm ²	曲がり mm	反り mm	幅反り mm	ねじれ mm	幅 mm	斜 %	れ %	材縁節径比 %	比 %	甲種 級	
19	5	3000.9	88.78	38.30	4300.6	421	7.98	7.82	8.06	0	0	0	0	3.1	11	0	22.5	32.7	1
19	6	3000.8	88.76	38.32	4373.0	428	8.15	8.24	8.39	0	0	0	0	4.3	10	0	24.8	25.9	1
20	1	3001.6	88.66	38.32	4312.2	423	10.06	9.72	9.79	0	0	0	0	2.9	5	7.4	15.2	21.4	0
20	2	3001.7	88.32	38.30	4356.4	429	7.75	7.35	7.50	0	0	0	0	4.7	12	3	19.2	20.4	0
20	3	3000.7	88.62	38.24	4531.7	446	10.74	10.49	10.31	0	0	0	0	2.6	6	0	33.9	33.9	2
20	4	3000.5	88.35	38.26	4450.3	439	7.29	7.11	7.22	0	0	0	0	4.5	12	0	29.4	26.0	2
20	5	3000.6	88.57	38.29	4567.7	449	9.57	9.34	9.49	0	0	0	0	2.6	20	0	26.0	26.0	1
20	6	3001.7	88.52	38.28	4508.0	443	9.12	8.77	8.88	0	0	0	0	3.2	15	0	23.7	15.8	1
平均値		3000.7	88.51	38.29		414	8.91	8.66	8.66					3.4	9.8	0.6	15.5	19.1	
最大値		3001.7	89.11	38.38		507	12.82	12.53	12.46					8.0	32.0	8.9	46.6	40.6	
最小値		2999.7	83.72	38.10		300	4.50	4.40	4.24					1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	
試験体数		120	120	120		120	120	120	120					120	120	120	120	120	
変動係数(%)		0.0%	0.7%	0.1%		11.1%	18.4%	18.6%	18.5%					40.9%	58.6%	342.4%	64.1%	40.4%	

番号	甲種級	長さ mm	幅 mm	厚 mm	平均年輪幅 mm	材縁節径比 %	中央節径比 %	密度 kg/m ³	縦振動ヤング kN/mm ²	曲げ強さ N/mm ²	曲げヤング kN/mm ²	含水率 %	
1	1	0	2042.4	85.28	37.79	2.8	12.8	17.4	456	12.20	55.9	11.28	11.7
1	4	0	2042.1	88.25	38.12	5.6	9.0	11.3	439	7.87	42.0	6.50	12.3
2	1	0	2040.2	88.30	38.03	2.5	0.0	13.5	372	9.38	38.8	8.67	11.1
2	5	0	2043.8	88.35	38.03	2.7	5.1	9.0	383	9.12	52.6	9.39	11.5
2	6	0	2040.2	80.72	37.70	2.0	15.5	8.4	424	7.37	45.4	7.51	11.7
3	1	2	2040.6	88.44	38.09	3.0	30.4	27.6	459	8.24	49.4	8.57	12.2
3	3	1	2041.1	88.56	38.05	2.7	22.5	21.4	457	11.52	52.2	10.60	12.1
3	5	0	2043.3	88.57	38.07	2.3	7.9	16.9	459	10.54	49.7	10.43	12.5
3	6	1	2043.1	88.37	38.02	2.2	6.8	27.0	474	11.39	52.0	12.03	11.6
4	1	0	2040.2	88.30	38.02	2.1	0.0	11.3	339	6.77	40.8	6.74	11.3
5	1	0	2041.9	88.23	37.92	1.9	11.3	11.3	347	8.38	42.3	7.75	11.6
5	4	0	2039.3	87.72	37.84	8.0	7.9	17.0	333	4.47	32.6	5.02	10.7
5	6	0	2040.1	88.44	38.01	2.0	14.7	20.3	355	6.84	39.7	7.20	11.3
6	1	2	2041.2	88.22	38.16	3.0	29.4	33.9	477	8.18	38.3	8.33	12.2
6	2	0	2042.3	87.57	38.05	5.8	14.7	21.5	485	7.89	25.4	8.40	12.1
6	4	2	2043.4	88.41	38.08	3.4	28.3	21.5	430	8.32	25.7	8.45	11.5
6	6	1	2043.3	87.73	38.09	4.6	23.8	19.3	440	9.32	58.6	8.48	11.7
7	2	0	2041.9	88.59	38.01	3.6	16.9	13.5	422	7.60	30.6	7.61	11.6
8	2	1	2043.7	88.38	38.01	8.0	27.0	27.0	374	6.66	42.6	7.50	11.7
8	6	1	2043.0	88.64	38.04	3.4	23.6	22.5	422	6.01	20.3	5.45	12.2
9	3	0	2043.0	88.09	37.98	2.5	0.0	6.8	371	10.18	49.0	10.06	11.8
10	2	0	2044.3	88.40	38.10	5.4	19.1	19.1	414	7.72	33.6	7.35	11.1
10	5	1	2044.1	88.21	38.06	4.5	23.6	23.6	405	6.94	36.4	7.02	11.2
10	6	1	2043.5	88.53	38.11	3.4	21.4	23.6	382	7.90	34.1	7.62	11.8
11	1	0	2046.2	88.43	38.02	2.3	2.3	9.0	373	9.91	50.9	9.65	12.6
11	2	1	2043.9	88.24	38.00	3.3	21.4	11.3	437	8.77	45.2	8.06	12.6
11	3	0	2045.4	86.70	37.83	1.8	0.0	24.1	422	11.38	64.7	12.11	12.5
11	5	2	2040.2	88.34	38.03	1.9	32.6	20.2	460	9.37	44.6	9.89	12.7
12	2	0	2046.4	87.43	38.05	6.4	6.8	10.2	436	9.00	58.7	9.34	11.9
12	3	1	2042.4	87.88	38.08	2.5	3.4	24.9	412	10.88	69.1	10.84	12.3
14	1	0	2042.9	88.48	38.01	1.8	4.5	10.1	389	9.97	59.0	10.18	12.1
14	3	4	2043.0	86.27	37.93	2.8	0.0	8.0	399	7.03	50.5	7.27	12.1
14	5	0	2040.8	88.28	38.05	1.4	6.7	13.5	442	9.63	48.3	9.61	11.7
15	3	0	2045.2	88.50	38.01	1.7	0.0	9.0	430	11.83	69.3	12.30	12.1
16	2	0	2044.1	88.55	38.00	6.0	19.1	18.0	369	6.85	41.3	7.45	12.0
16	4	3	2041.5	87.14	38.04	3.9	46.6	20.5	393	6.35	29.7	7.83	11.9
16	5	0	2042.8	88.48	38.01	2.2	11.3	19.1	398	7.98	25.8	8.28	12.6
16	6	0	2043.6	88.22	38.04	2.5	11.3	21.4	359	7.79	46.4	8.26	11.9
17	2	1	2042.9	87.73	37.99	4.4	22.7	22.7	494	9.31	35.2	9.56	11.4
17	6	1	2040.7	88.16	38.00	3.1	20.4	30.6	438	8.36	27.7	7.83	11.4
18	2	1	2042.2	88.15	38.12	3.4	21.5	23.8	503	10.26	62.5	10.28	12.4
18	6	1	2042.5	88.18	38.08	2.6	25.9	21.4	471	10.70	53.7	11.38	12.1
19	4	1	2042.3	88.25	38.11	6.0	22.5	21.4	462	7.73	37.8	8.08	11.9
20	3	2	2043.8	88.38	38.10	2.6	33.9	33.9	437	10.88	66.2	11.65	11.7
平均値						3.4	15.6	18.6	419	8.75	44.9	8.81	11.9
最大値						8.0	46.6	33.9	503	12.20	69.3	12.30	12.7
最小値						1.4	0.0	6.8	333	4.47	20.3	5.02	10.7
試験体数						44	44	44	44	44	44	44	44
変動係数(%)						47.9%	71.0%	37.5%	10.3%	19.8%	27.4%	19.7%	3.4%

引張試験

番号	甲種級	長さ mm	幅 mm	厚 mm	平均年輪幅 mm	材縁節径比 %	中央節径比 %	密度 kg/m ³	縦振動ヤング kN/mm ²	引張強さ N/mm ²	含水率 %	
1	2	0	2199.7	87.34	37.98	5.2	15.9	15.9	474	8.35	24.8	12.9
1	3	1	2199.4	87.80	37.91	2.3	19.3	27.2	468	11.64	17.9	12.5
2	2	0	2119.1	88.05	38.08	4.0	7.9	9.1	396	7.11	37.7	12.5
2	3	0	2200.0	88.38	37.97	2.6	8.4	9.0	393	9.48	45.5	11.9
2	4	0	2200.2	87.41	37.94	4.0	17.6	12.5	400	7.08	31.5	12.1
3	4	1	2199.2	88.47	37.99	4.1	12.4	24.7	505	10.21	31.5	13.1
4	2	0	2199.8	88.16	37.91	5.3	7.9	13.6	370	6.48	18.0	11.8
4	4	0	2199.1	87.94	37.92	4.1	9.1	9.1	342	6.94	21.1	11.7
5	2	0	2200.0	88.38	38.05	6.1	19.2	13.6	333	5.56	28.9	12.0
5	5	0	2200.4	88.42	38.08	2.3	12.4	14.6	351	7.05	25.4	11.9
6	5	1	2199.7	88.33	38.01	2.5	19.2	29.4	443	10.21	25.2	12.9
7	1	2	2197.9	88.55	38.02	3.9	28.1	28.1	417	7.53	12.1	12.4
7	4	0	2200.0	88.29	38.07	5.4	4.5	21.4	381	9.32	26.7	12.1
7	5	1	2197.6	85.04	37.97	4.2	21.9	26.6	422	8.48	19.7	12.9
8	1	2	2119.9	88.50	38.03	3.0	32.6	34.9	387	6.87	18.2	12.7
8	3	1	2200.1	88.39	37.92	2.8	16.9	31.5	363	8.88	23.7	12.5
8	4	1	2198.8	88.32	38.01	3.6	21.4	40.6	393	6.69	6.9	13.9
8	5	2	2119.8	88.64	38.01	2.3	32.6	31.5	386	7.04	16.5	12.7
9	1	0	2199.3	88.50	37.98	2.0	12.4	14.6	416	11.10	33.4	12.8
9	4	0	2200.0	88.06	38.00	2.9	11.3	14.7	419	9.67	26.5	12.4
9	5	0	2199.8	88.39	38.06	1.7	15.7	14.6	415	10.73	37.2	12.4
10	3	2	2118.9	88.39	38.09	3.0	34.9	33.8	397	6.90	18.3	11.9
10	4	0	2199.2	88.23	38.03	5.6	14.6	19.2	422	7.96	20.9	11.8
12	5	0	2119.9	87.78	38.01	2.7	12.5	21.5	439	9.97	49.7	12.5
13	2	0	2119.1	88.47	38.14	3.9	11.9	21.4	397	6.51	33.2	12.5
13	4	0	2200.4	88.46	38.08	4.2	10.2	9.0	421	5.76	31.1	12.7
14	2	2	2199.5	88.88	38.01	3.7	12.3	13.5	392	8.01	27.5	12.3
14	4	3	2119.1	88.39	38.09	1.4	5.1	15.8	437	8.62	29.6	12.7
15	1	0	2119.6	88.44	38.10	2.5	6.7	20.2	479	12.02	57.1	12.5
15	2	0	2119.1	88.40	38.08	2.6	19.1	16.9	536	9.70	37.4	12.9
15	4	0	2199.3	88.38	38.01	2.7	13.5	22.5	500	12.62	42.2	12.8
15	5	1	2199.6	88.43	37.98	2.7	24.7	12.4	451	10.72	25.7	12.5
15	6	0	2199.6	88.36	37.96	2.4	7.9	23.6	477	11.59	23.4	12.5
16	1	0	2200.5	88.46	37.98	1.6	5.6	10.1	361	9.61	29.8	12.0
16	3	1	2119.7	86.35	37.94	2.3	25.3	11.5	388	8.52	21.7	12.7
17	4	1	2119.8	87.87	38.08	4.0	18.1	27.2	529	7.80	23.3	12.5
17	5	1	2200.2	88.37	38.00	3.5	25.9	29.3	471	9.56	23.9	12.4
18	4	0	2114.2	88.41	38.06	2.0	19.1	19.1	512	11.08	47.7	12.9
19	6	1	2198.0	88.26	38.05	3.7	24.8	25.9	436	8.19	18.6	12.7
20	1	0	2200.4	88.13	38.05	2.9	15.2	21.4	426	9.90	29.8	12.6
20	2	0	2200.2	87.81	38.11	5.3	19.2	20.4	432	7.83	21.8	12.5
20	4	2	2200.0	87.93	38.01	7.3	29.4	26.0	438	7.37	17.8	12.3
20	5	1	2119.4	88.34	37.94	2.4	26.0	26.0	471	9.27	25.9	12.4
20	6	1	2200.1	88.20	37.96	4.5	23.7	15.8	444	9.37	25.2	12.2
平均値						3.4	17.1	20.4	426	8.76	27.5	12.5
最大値						7.3	34.9	40.6	536	12.62	57.1	13.9
最小値						1.4	4.5	9.0	333	5.56	6.9	11.7
試験体数						44	44	44	44	44	44	44
変動係数(%)						37.6%	45.9%	38.3%	11.4%	20.0%	36.2%	3.3%

縦圧縮試験

番号	甲種級	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	平均年輪幅 mm	密度 kg/m ³	材縁節径比 %	中央節径比 %	圧縮強さ N/mm ²	含水率 %	
1	2	0	224.12	87.28	37.91	2.2	476	10.3	0.0	42.3	13.0
1	3	1	224.14	88.63	38.05	3.2	483	0.0	11.3	30.1	13.2
2	2	0	223.95	88.26	38.26	4.3	397	0.0	6.8	32.7	13.0
2	3	0	224.15	88.59	37.97	2.0	397	0.0	0.0	37.5	12.5
2	4	0	224.21	86.42	38.18	2.4	394	0.0	0.0	32.0	12.8
3	4	1	223.93	88.81	38.16	2.6	480	0.0	0.0	46.2	13.4
4	2	0	224.25	88.37	37.96	4.3	347	0.0	0.0	27.5	12.2
4	4	0	223.78	88.69	38.07	4.1	330	0.0	0.0	29.5	12.4
5	2	0	223.77	88.66	38.12	2.5	346	0.0	9.0	26.0	12.7
5	5	0	223.76	88.71	38.13	3.1	355	0.0	0.0	32.2	12.6
6	5	1	223.74	88.40	38.00	4.2	403	0.0	0.0	37.2	13.1
7	1	2	223.84	88.92	38.12	1.8	391	0.0	9.0	28.7	13.7
7	4	0	223.85	88.76	38.06	4.0	372	0.0	5.6	33.9	12.8
7	5	1	223.84	87.62	38.13	3.1	406	0.0	3.4	35.9	13.2
8	1	2	223.93	88.54	38.11	1.4	368	0.0	0.0	28.1	13.6
8	3	1	223.79	88.61	38.06	6.8	354	0.0	0.0	33.0	13.2
8	4	1	224.11	88.67	38.17	4.1	376	10.1	0.0	24.9	13.5
8	5	2	223.90	88.84	38.16	4.2	390	24.8	0.0	24.6	13.6
9	1	0	224.12	88.95	38.02	1.8	438	0.0	14.6	36.0	13.6
9	4	0	224.17	88.69	38.12	4.0	449	0.0	13.5	35.0	13.5
9	5	0	223.86	88.59	38.10	3.1	420	0.0	0.0	37.6	13.0
10	3	2	223.81	88.72	38.12	6.8	389	21.4	0.0	28.7	12.5
10	4	0	213.18	88.67	38.01	4.1	409	0.0	15.8	30.5	12.5
12	5	0	224.11	88.68	38.09	2.7	454	0.0	12.4	35.5	13.2
13	2	0	223.81	88.67	38.04	1.6	418	0.0	11.3	30.0	13.5
13	4	0	224.25	88.95	38.00	2.0	422	10.1	7.9	25.8	13.4
14	2	2	223.88	89.08	38.07	5.0	414	0.0	7.9	29.9	12.9
14	4	3	223.76	88.57	38.02	5.4	450	7.9	0.0	36.1	13.2
15	1	0	223.76	88.85	38.07	3.0	454	0.0	0.0	43.4	13.1
15	2	0	224.15	88.86	38.13	1.6	491	0.0	0.0	44.0	12.9
15	4	0	224.12	88.74	38.19	2.0	483	0.0	0.0	46.1	13.3
15	5	1	224.31	88.56	38.07	2.7	440	0.0	0.0	39.2	13.0
15	6	0	224.15	88.66	38.13	3.6	453	0.0	12.4	39.5	13.1
16	1	0	200.54	89.03	38.09	2.8	357	0.0	0.0	28.1	12.5
16	3	1	223.71	88.01	38.07	6.8	357	0.0	0.0	29.5	12.9
17	4	1	223.76	88.63	37.99	2.0	474	0.0	0.0	35.1	12.8
17	5	1	223.98	88.73	38.11	2.7	413	0.0	0.0	36.8	13.1
18	4	0	223.84	88.80	38.13	5.4	484	3.4	0.0	38.2	13.8
19	6	1	223.75	88.73	38.19	5.6	412	0.0	0.0	32.2	13.5
20	1	0	223.56	88.66	38.08	2.6	419	9.0	0.0	36.9	12.9
20	2	0	223.37	88.63	38.16	5.0	428	12.4	0.0	29.7	12.9
20	4	2	224.03	88.73	38.11	5.4	434	6.8	0.0	32.0	12.8
20	5	1	223.83	88.63	38.02	1.4	467	13.5	15.8	35.7	13.0
20	6	1	223.89	88.66	38.05	2.5	426	0.0	0.0	34.0	12.8
平均値						3.5	416	2.9	3.6	33.8	13.1
最大値						6.8	491	24.8	15.8	46.2	13.8
最小値						1.4	330	0.0	0.0	24.6	12.2
試験体数						44	44	44	44	44	44
変動係数(%)						42.9%	10.4%	200.5%	151.2%	16.1%	2.9%

ニホンジカの強度採食圧を受けた未植栽地における森林の復元に関する調査

長田萌^{*1}・佐々木智恵^{*2}

要 旨

ニホンジカ（以下、シカ）が高密度に生息する地域における皆伐後の未植栽地では、強度採食圧により天然更新が阻害され、採食圧に強い植物や不嗜好性植物だけが生育する荒廃地となっている。低コストで確実に森林を更新させるため、シカ生息地における伐採跡地の森林更新状況を把握するとともに、防鹿柵の設置や植栽を実施しながら天然更新も活用した森林の復元手法を検討した。その結果、牡鹿半島内の未植栽地では、伐採後5年が経過しても森林に更新していない状況が確認された。また、防鹿柵を設置した場合でも、急峻な地形の場所では種子が地面に留まらず、実生が発生しても柵内で最初に繁茂するバラ科植物に被圧されて消失してしまう可能性が高かった。防鹿柵内への植栽については、2年経過後の生存率は高く、下刈の有無により生存率に差は生じないが、植栽から2年目になるとサクラでは樹高の、クリでは根元径の生長に差が生じた。また、下層植生が回復したことで小動物が柵内で生息するようになり、播種や植栽する場合には、複数種の動物による被害の対策を講じる必要があることが分かった。

キーワード：ニホンジカ、採食圧、防鹿柵、森林の更新

1 はじめに

近年では、林業採算性の悪化から皆伐後の再造林が進まず、伐採跡地が増加しており、このような森林は通常は植栽しなくても天然更新により広葉樹林等へ更新していくことが予想される。しかし、牡鹿半島のようなシカが高密度に生息する地域では、強度採食圧により天然更新が阻害され、採食圧に強い植物や不嗜好性植物が繁茂した荒地が維持されており森林には戻っていない。特に、急傾斜地や尾根筋では植生の減少により土壌が流出している箇所も確認されており、林床植生が消失し裸地化してしまう前に森林へ復元することが急務となっている。さらに伐採跡地は、シカの好適な採食環境となり、高密度状態を維持する要因ともなっているため、シカの生息地管理を早急に実施する必要がある。

このようなシカによる強度採食圧を受けた伐採跡地は、防鹿柵の設置により採食を防止しても埋土種子や萌芽による更新木はシカに採食されて消失しており、土壌が流失している林地では地力が低下し、通常の植栽では生長が見込まれない可能性も高く、森林に復元させるためには、適した植栽木を選定するとともに、天然更新も活用して低コストで確実な復元手法が求められる。

本研究では、シカ高密度生息地域の伐採跡地追跡調査を実施し森林の更新状況を把握するとともに、採食圧を受けている森林において植栽・播種、柵内外での天然更新木発生状況調査、天然更新補助作業の検討を行ったので報告する。

2 調査方法

調査地は、伐採跡地追跡調査を牡鹿半島内の民有林に設定し、植栽・播種、天然更新木発生状況調査、天然更新補助作業の検討については女川町女川浜字日蕨の町有林に防鹿柵を設置して調査区域を設定した。女川町に設置した防鹿柵の仕様を図-1に、防鹿柵内外の調査区域を図-2に示す。

^{*1} 退職（令和3年3月31日） ^{*2} 北部地方振興事務所

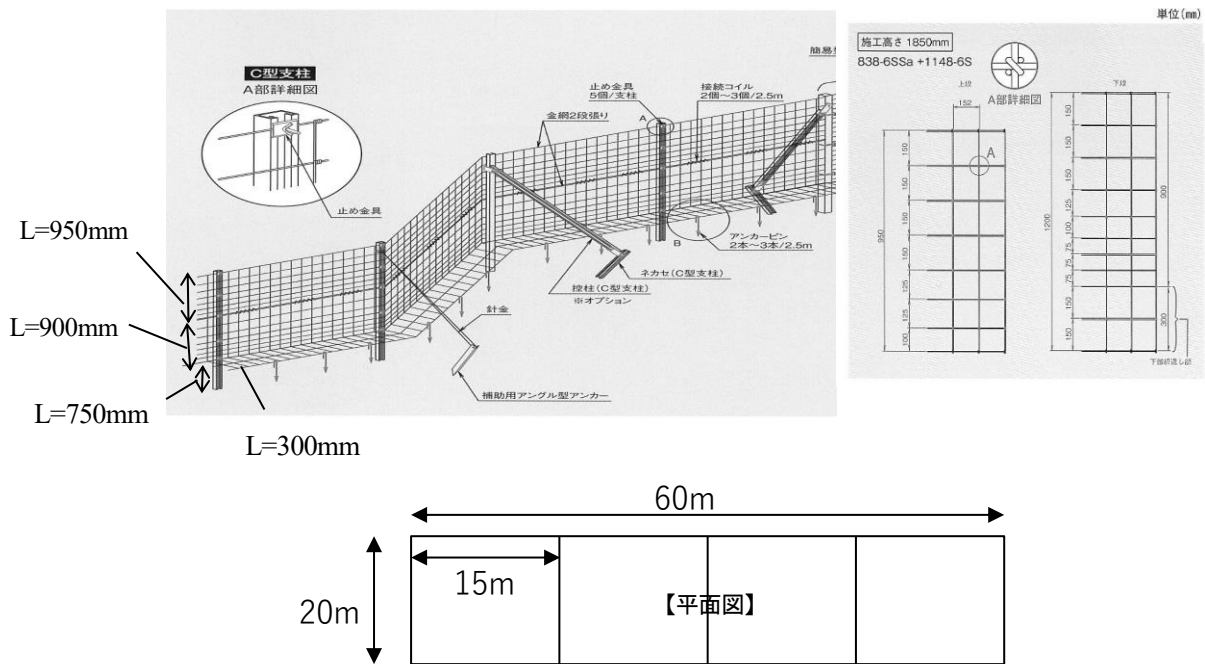
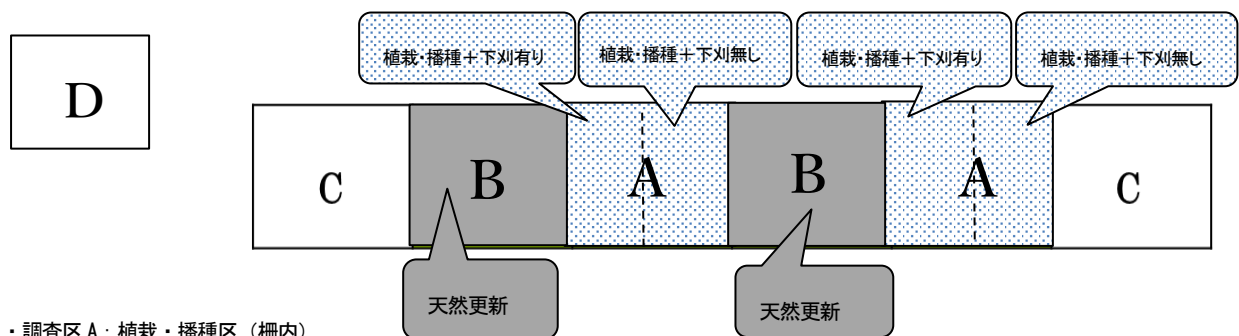


図-1 防鹿柵仕様



・調査区A：植栽・播種区（柵内）

広葉樹を植栽し、生長量を調査する。植栽木にはマーキングと判別柱を設置。

・調査区B：天然更新区（柵内）

調査区内に2×2mのコドラートを2箇所設置（うち2箇所はかき起こし区域）。高木性稚樹の発生本数や消長を把握。

・調査区C：天然更新阻害区（柵外）

調査区内に2×2mのコドラートを2箇所設置。高木性稚樹の発生本数や消長を把握。

・調査区D：かき起こし実施区（柵外）

調査区内に2×2mのコドラートを2箇所設置。

図-2 防鹿柵内外調査区

2. 1 伐採跡地追跡調査

2018年および2020年に、牡鹿半島内の伐採後5年を経過した伐採跡地について森林簿データで検索し、1か所当たりの伐採面積、伐採からの経過年数、前生樹種、更新木の消失程度、植生の減少程度、不嗜好性植物の繁茂状況、土壌の流出状況等を調査した。調査方法については、宮城県の天然更新完了基準（平成19年6月12日付け農林水産部長通知）の更新調査に基づいて行った。

2. 2 天然更新を活用した森林の復元調査

シカによる強度な採食圧を受けている伐採跡地を森林へ復元させるため、2018年に伐採跡地に防鹿柵を設置し、調査区を設定して植栽及び天然更新により更新を目指す試験を行った。

2. 2. 1 林地状況調査

防鹿柵設置箇所周辺の林地状況（土壌条件、周辺のシカ不嗜好性植物の繁茂状況、種子供給源となり得る母樹林等）を調査した。

2. 2. 2 植栽木の生長量調査

防鹿柵内に 15m×20mの区域を2つ設定して植栽区（A）とし、広葉樹を植栽して生長量を調査した。本調査では経営林としてスギ等を植栽しない森林の更新を目的としており、天然更新を促進し公益的機能を維持するのに適した樹種として、鳥による種子散布が期待できるヤマザクラと、深根性で土壌保持力が高いと想定されたクリを選定した。植栽区の概要を図-3に示す。苗木は林業技術総合センターで育苗したコンテナ苗を用いた。植栽した苗木の規格等を表-1に示す。植栽は2018年10月に行った。また、苗木を育成して植栽しなくても播種による育成が可能であるコナラの種子も播種した。コナラの種子は林業技術総合センター内および大衡村万葉の森から採集したものを水に漬けてシイナと分け、発芽可能性のあるものを選定して使用した（写真-1）。播種は2018、2019年の10月、11月に行った。また、植栽木に対して、下刈りを行う「下刈り有り区」と下刈りを行わない「下刈り無し区」を設定し、下刈り有り区については坪刈りを実施した。

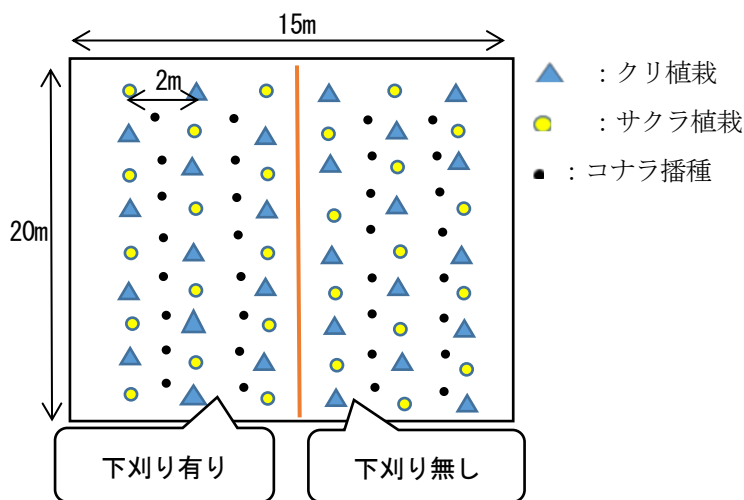


図-3 防鹿柵内植栽区の概要



写真-1 水漬けたコナラ種子

表-1 植栽木の規格等

樹種	規格	本数 (本)	樹高平均 (cm)	根元径平均 (mm)
ヤマザクラ	300cc コンテナ苗 (2年生)	54	58.35	7.26
クリ	300cc コンテナ苗 (2年生)	54	87.65	7.91

2. 2. 3 天然更新木発生・消長調査

防鹿柵内に天然更新区（B）と柵外に天然更新阻害区（C, D）を設定し、2m×2mのコドラートを複数設置して、発生した高木性稚樹の種類と発生本数を調査した（写真-2, 3）。



写真-2 柵内のコドラート



写真-3 柵外のコドラート

2. 2. 4 天然更新補助作業の効果検証

天然更新補助作業として、柵内外に2m×2mのプロットを2箇所ずつ設置して、かき起こしを実施し効果を検証した。かき起こしは、鍬と手鎌により人力で行った（写真-4, 5）。



写真-4 かき起こし作業の様子（柵内）



写真-5 かき起こし後の様子（柵外）

3 調査結果及び考察

3. 1 伐採跡地追跡調査

伐採跡地追跡調査の結果を表-2に示す。草丈を超える後継樹の被覆面積は25%未満となり、宮城県の天然更新完了基準で完了の基準とされる被覆面積割合60%以上に達しておらず、植栽や天然更新補助作業が必要であることが分かった。また、調査区内で確認できた高木性稚樹の種類を表-3に、シカ不嗜好性植物の優占度を表-4に示す。調査区で確認された高木性稚樹はアカマツが最も多く、広葉樹についてはわずかであった。シカ不嗜好性植物では、サンショウ属、シダ類、キイチゴ属が多かった。

表-2 調査地の概要

番号	調査地	面積 (ha)	伐後年数 (年)	前生樹	草丈を超える後継樹の 被覆面積割合 (%)	不嗜好性植物 の優占度※	裸地化面積割合 (%)
1	小網倉	2.03	8~10	人工林	10	5	15
2	鮎川浜	1.3	9	人工林	24	4	2
3	高白浜	4.24	7	人工林	1	5	15
4	高白浜	4.64	7~12	人工林	1	5	1
5	高白浜	2.94	7~12	人工林	2	4	2
6	高白浜	3.31	7~12	人工林	2	3	7
7	小乗浜	1.4	11	人工林	11	4	0
8	小乗浜	4.17	11	人工林	16	4	20

表-3 調査区別種組成 (高木性稚樹)

No.	種名	調査区									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	アカマツ			○	○	○	○	○	○		
2	アカマツ (萌芽)	○									
3	アオハダ					○	○				
4	チドリノキ									○	○
5	イヌシデ				○						
6	クリ					○					
7	スギ								○		
8	クルミ								○		
9	リョウブ					○					

○は出現したもの

表-4 シカ不嗜好性植物の優占度※

No.	種名	調査区									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	サンショウ sp.	2	4	r	+	1	r	+	+	2	r
2	シダ sp.	5		3	3	2	3	3	3	2	3
3	イチゴ sp.			+	1	1	r	r	+	2	3
4	ツツジ sp.	+	2	+	r	+	r				3
5	ベニバナボロギク			3	2	1	3	3	r		
6	アザミ				r				r	2	
7	メギ				r	r					

※Braun-Blanquet の優占度

r : 孤立して生育

+: 僅かな被度を持ち少数

1: 個体数は多いが被度は低い

または割合少数であるが被度は高い

2: 非常に多数または被度 10-25%

3: 被度 25-50%

4: 被度 50-75%

5: 被度 75-100%

3. 2 天然更新を活用した森林の復元調査

3. 2. 1 林地状況調査

調査地は、スギ伐採（2015年12月完了）後未植栽地となっていた場所であった。シカの高密度生息地域で伐採跡地は高木性の樹種が生育せず、シカ不嗜好性と言われるイワヒメワラビ等のシダ類やクマイチゴ等のバラ科植物が多く繁茂しているが、土壌の流失はなく、尾根部にはアカマツや広葉樹が生育しており、防鹿柵によりニホンジカの食害を排除できれば天然更新が期待できる状況であった（写真－6～8）。散布種子は母樹林から100mまでは散布される可能性が高いと考えられるため、設置した防鹿柵の50m上方に存在したアカマツ・広葉樹林から柵内に種子が散布される可能性を考え、20m×20mのプロットを設定して母樹となる可能性のある樹種を調査した。調査した結果を表－5、6に示す。



写真－6 イワヒメワラビ



写真－7 防鹿柵周辺の概況



写真－8 母樹林内の状況

表－5 母樹調査結果（樹高200cmを越えるもの）

樹種	生活形	本数	平均胸高直径 (cm)	相対優先度 (%)	シカ被害 (被害本数/立木総数)
アカマツ	高木	9	27.88	13	1/1
ミズキ	高木	7	11.70	10	6/7
クリ	高木	6	7.92	9	1/6
サクラ sp.	高木	4	10.75	6	1/4
ホオノキ	高木	2	16.10	3	1/2
コナラ	高木	2	7.25	3	無
ケヤキ	高木	1	5.80	1	1/1
ネコシデ	高木	1	4.90	1	1/1
イヌシデ	高木	1	2.20	1	1/1
アオハダ	亜高木	11	3.18	16	2/11
アオダモ sp.	亜高木	1	5.00	1	無
サワフタギ	低木	13	4.68	19	2/13
クロモジ	低木	5	2.00	7	5/5
ガマズミ sp.	低木	4	2.70	6	4/4
合計		67		100	

表－6 母樹調査結果（樹高 200cm 以下のもの）

樹種	生活形	本数（本）	平均樹高（cm）	平均根元径（mm）	シカ被害（被害本数/立木総数）
アオハダ	亜高木	2	157.17	23.39	無
ガズミ	低木	6	185.00	20.00	4/6
合計		8			

3. 2. 2 植栽木の生長量調査

3. 2. 2-1 生長量

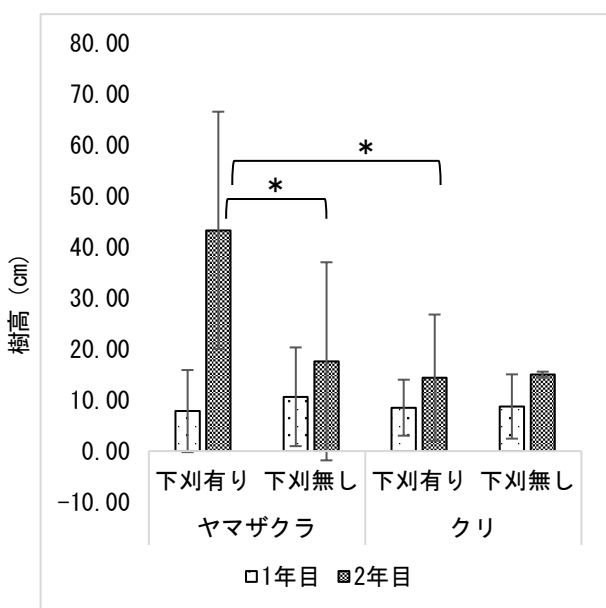
植栽木生長量調査結果は表－7に示すとおり。

樹高生長は、植栽から2年目を見ると、ヤマザクラでは下刈有りの方が下刈無しの場合の2倍の生長を示したがクリでは下刈の有無によって差は見られなかった（図－4）。また、樹種別では、植栽から2年目に、下刈有りの場合にクリに比べてヤマザクラの方が生長は大きかった。

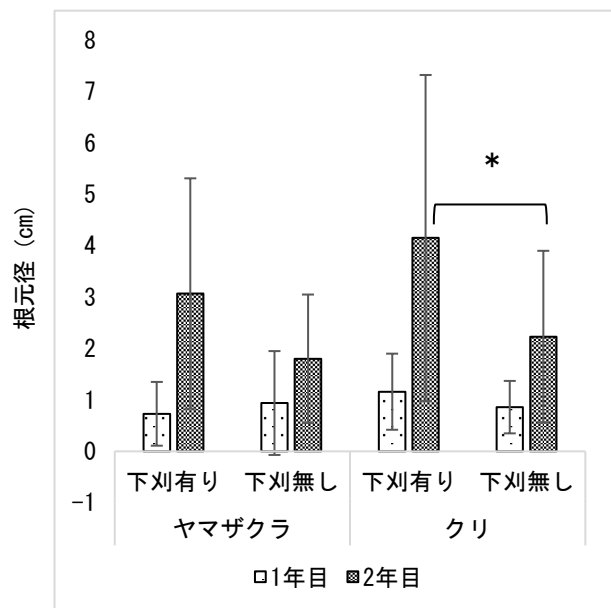
根元径生長は、2年目を見ると、クリだと下刈有りの方が生長量は大きく、ヤマザクラも下刈有りの方が生長量は大きい傾向が見られた（図－5）。樹種別では差が見られなかった。

表－7 植栽木生長量調査結果

樹種	作業	樹高生長量平均（cm）				根元径生長量平均（mm）			
		n	1年目	n	2年目	n	1年目	n	2年目
ヤマザクラ	下刈有り	26	7.85±8.06	19	43.32±23.29	26	0.73±0.62	19	3.07±2.24
	下刈無し	22	10.66±9.69	17	17.62±19.44	22	0.94±1.01	17	1.80±1.25
クリ	下刈有り	23	8.52±5.49	22	14.41±12.39	23	1.16±0.74	22	4.15±3.17
	下刈無し	24	8.75±6.31	20	15.03±0.56	24	0.86±0.51	20	2.23±1.67



図－4 作業種別・樹種別の樹高生長量



図－5 作業種別・樹種別の根元径生長量

（エラーバーは標準偏差を表す，*は有意差を表す，t検定 p<0.05）

3. 2. 2-2 発芽・植栽木の生存率

下刈有無別、樹種別の生存率を表-8に示す。植栽から2年目までの状況について、下刈有無および樹種による生存率の明瞭な違いは確認されなかった。

また、コナラ種子を播種しても発芽しないことから自動撮影カメラによる小動物の生息状況調査を実施した。コナラの種子をアルミカップの中およびアルミカップの周辺に置き、自動撮影カメラ（TREL10-JD）を設置して動画を撮影した（写真-9）。動画からは、ネズミがコナラ種子を持ち去る様子が確認された（写真-10）。同時に、柵内に繁茂したバラ科植物を伝ってネズミが移動している様子も確認され、バラ科植物に引っかかった種子もネズミに食べられて地面に到達しない可能性が考えられた。柵を設置したことで、柵内の植物量が多くなり、ネズミの生息地として利用できることになるため（田中，2006）、種子類が持ち去られる可能性が高くなったことが考えられ、播種を行うためにはネズミによる持ち去りを考慮する必要がある。試験的に、クリアファイル丸めて筒状にしたものをネズミ除けとして地面に差し込み、その中へコナラ種子を播種したところ、種子が持ち去られることはなく、翌春にも現存していることが確認された（写真-11）。

表-8 下刈有無別の生存率

	樹種	n	生存率 (%)		植栽・播種年月
			1年目	2年目	
下刈有り	ヤマザクラ	27	100	89	2018年10月
	クリ	26	100	96	2018年10月
	コナラ	16	0	0	2018年10月, 2019年10月
下刈無し	ヤマザクラ	26	100	85	2018年10月
	クリ	27	100	96	2018年10月
	コナラ	16	0	0	2018年10月, 2019年10月



写真-9 コナラ種子を入れたアルミカップ



写真-10 バラ科植物の上を歩くネズミ類



写真-11 ネズミ除け

3. 2. 2-3 食害状況

植栽から2年目の冬にウサギによる食害が確認された。植栽区を防鹿柵で仕切り2つの区域に分けていたうちの1箇所が被害に遭い、被害の種類は樹皮食いと主軸の切断で、ほとんどが主軸の切断であった(写真-12)。表-9に被害本数を示す。作業区域別では下刈り有り区で14本、下刈り無し区で4本が被害にあり、下刈りの有無別で被害の大きさに差が生じた。

ウサギによる被害は、植栽後2年間は確認されていなかった。図-6に植栽をしてからのアメダスにおける降雪・積雪深の推移を、図-7に2020年11月から2月までの降雪深と積雪深さ日ごとの推移を示す。2020年度は累計積雪量が植栽後最も多くなっていることと、12月半ばから1月半ばまでの間に頻繁に降雪があったことが分かり、苗木が雪上に露出していた可能性が考えられた。

表-9 ウサギによる食害本数

食害の有無	本数(本)	割合(%)	区域	本数(本)	割合(%)
有	22	41	下刈り有り区	18	82
			下刈り無し区	4	18
無	32	59			



写真-12 ウサギによる主軸の切断と樹皮剥ぎ

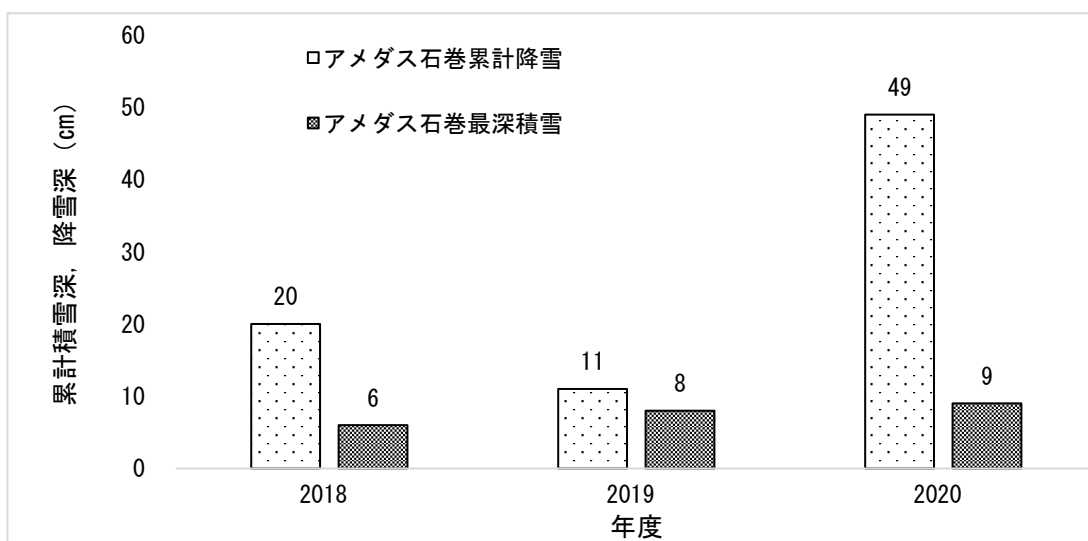
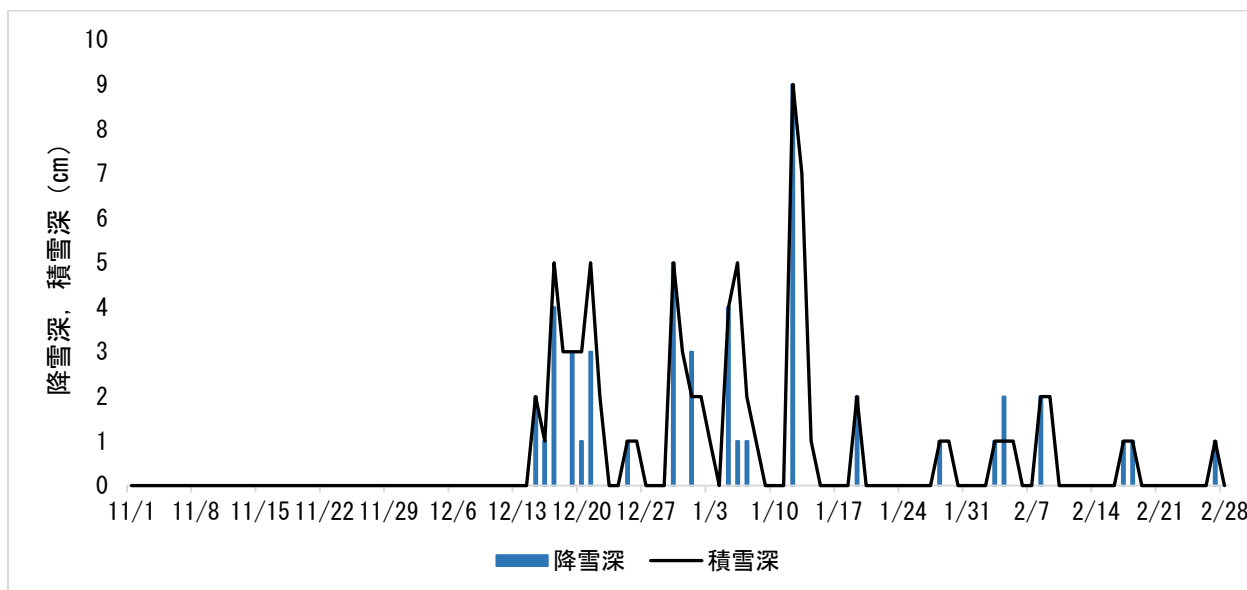


図-6 植栽後のアメダス石巻累計降雪および最深積雪の推移



※各年度とも冬期（11月～2月）の降雪・最深積雪を集計している。

図ー7 2020年11月～2021年2月までの降雪深と積雪深の日ごとの推移

3. 2. 3 天然更新木発生・消長調査

年度毎の高木性稚樹発生本数を表-10に、1コドラート当たり高木性稚樹発生本数を図-8に示す。柵外に比べて柵内の方が高木性稚樹の発生本数は多いものの、1コドラート当たりの発生本数は1本に満たず、ほとんど発生せず、発生した個体も翌年に消失しているものが多かった。発生が確認できた樹種は、アカマツとクマノミズキであり、母樹調査で確認できた樹種のほとんどが発生しなかった。一方で、バラ科植物、ヒメコウゾ、タラノキ、ガマズミ等の低木は多く発生・生長していた。特にモミジイチゴやクマイチゴ等のバラ科植物が多く繁茂しており、発生した高木性稚樹を被圧している可能性も考えられた。草本類も、柵外の状況に比べて多様性が高くなっており、ホタルブクロやオカトラノオ等のシカ採食植物の繁茂状況が確認され、高木性の樹種は少ないものの、柵内部の草本や低木については植生の回復が見られた（写真-13～16）。

表-10 柵内外の高木性稚樹発生本数

年度	2018		2019		2020		
	調査区	コドラート数	高木性稚樹の本数(本)	調査区	コドラート数	高木性稚樹の本数(本)	
柵内		6	5	14	3	14	5
柵外		4	0	9	1	9	2

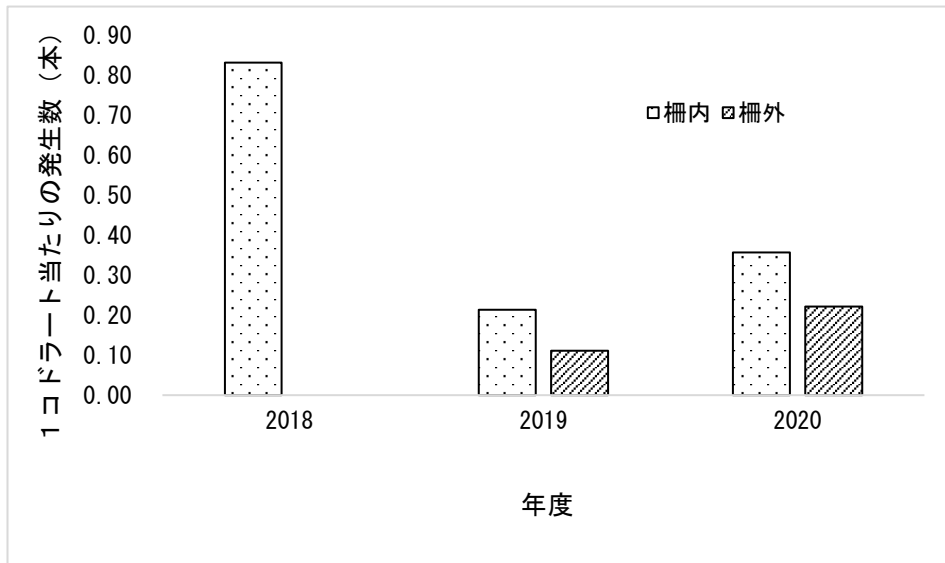


図-8 柵内外の高木性稚樹発生本数の推移



写真-13 柵内外の植生状況



写真-14 柵内の植生



写真-15 柵内に発生したホタルブクロ



写真-16 柵内に発生したオカトラノオ

3. 2. 4 天然更新補助作業の検討

3. 2. 4-1 かき起こしと刈出し

天然更新補助作業として、2018年と2019年にかき起こしを行った結果を表-11に示す。柵内と柵外で2箇所ずつかき起こしを行ったところ、高木性稚樹はほとんど発生せず、かき起こしの効果は現れなかった。また、柵内はバラ科植物が繁茂し、風散布等が入り込む種子を阻害している可能性があったため、バ

ラ科植物のみを刈り払う刈出し作業を行った。特に岐阜県では天然更新補助作業の一つとして、更新樹種を被圧している競合植物を除去し、高木性稚樹の生長を手助けする刈出しの重要性を示している（久田，2019）。刈出しによる効果は今後継続調査の中で効果を検証する。

表-11 かき起こしによる高木性稚樹の発生本数

調査区	高木性稚樹の発生本数（本）	
	2018年実施	2019年実施
柵内	0	0
柵外	0	1

3. 2. 4-2 埋土種子調査

柵内から発生する高木性稚樹が少ないため、埋土種子がどの位あるか調査した。柵内Bの区域で、図-9に示すとおり、1m×1mのプロットを3つ設定し、右半分に20cm×30cmの小動物除け金網を設置し、左半分から20cm×30cm×深さ10cm分の土壌を採取した（写真-17，18）。採取した土壌は林業技術総合センターへ持ち帰り、育苗箱の底へ軽石（日向乾燥石）を敷き、その上に採取した土壌をサンプル毎に入れて細根を取り除き均等に広げ、5～7月の間ハウス内で発芽状況を調査した（写真-19）。なお、土壌の採取と発芽の確認にあたっては、酒井敦氏（森林総合研究所）の「埋土種子組成の調べ方」を参考にした。

柵内Bの区域で小動物除けを設置した場所からも、採取してきた土壌からも高木性稚樹は発生しなかった。高木性稚樹以外では、ベニバナボロギク、バラ科植物、オカトラノオ、タケニグサ、ヨモギ、イネ科植物、マメ科植物が発生した（写真-20）。発生した植物を地際から刈り取り、絶乾重量を計測した。（絶乾温度は80度，48時間タイマー）計測結果を表に示す。現地で発生した植物量と採取土壌から発生した植物量を比較すると、現地で発生した植物量が少なく、現地は種子が留まれる状況ではない可能性が考えられた（表-12）。

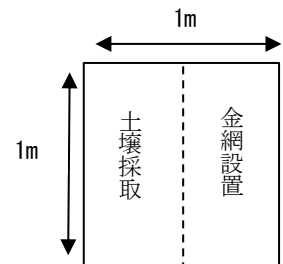


図-9 プロット概況

表-12 金網内から発生した植物量と採取土壌から発生した植物量の重量比較

	生重量(g)	袋重量除く(g)	乾重量(g)	袋重量除く(g)	平均(g)
金網内①	0.00	0.00	0.00	0.00	
金網内②	48.08	4.52	15.38	1.04	0.93
金網内③	21.57	7.23	16.10	1.76	
採取①	92.21	77.87	21.53	7.19	
採取②	54.11	39.77	18.66	4.32	4.660
採取③	37.04	22.70	16.83	2.49	



写真-17 土壌採取（左）と金網設置（右）の状況



写真-18 土壌の掘り取り



写真-19 採取土壌を育苗箱へ移す様子



写真-20 採取土壌の発芽状況

4 まとめ

- (1) 牡鹿半島内でシカの強度な採食圧を受けた未植栽地では伐採後5年を経過しても森林に更新しておらず、防鹿柵を張った場所でも柵が破られてしまっていた。また、土壌が流出している場所での天然更新は見込まれなかった。柵を強度な仕様にすることや見回りを定期的に行うこと、土壌が流れてしまっている箇所では客土等の工事が必要である。
- (2) 柵で未植栽地を囲っても、急峻な地形の場所では埋土種子や散布種子も地面に留まらず、実生が発生しても柵内で最初に繁茂するバラ科植物に被圧されて消失してしまう可能性が高い。また、かき起こしの効果も現れなかった。一方で、低木は生長することができ、柵の設置により草本・低木の回復が見られた。
- (3) 柵内に植栽後、2年経過後の生存率は90%以上で、下刈の有無により差は生じないが、植栽から2年目になるとヤマザクラでは樹高の、クリでは根元径の生長に差が生じた。早急な復元は、植栽（ヤマザクラ、クリ）によれば可能性があり、下刈をしなくても生長することができた。
- (4) 柵を張り、下層植生が回復したことで小動物が柵内で生息するようになり散布種子や播種した種は持ち去られてしまう可能性が高く、播種をする場合には小動物対策が必要となる。
- (5) 植栽をする場合にはウサギによる苗木への食害も考慮しなければならず、柵の仕様をウサギが通れない大きさにする等の対策を講じる必要がある。

5 おわりに

本研究では、シカの強度採食圧を受けた未植栽地における被害状況を確認するとともに、強度採食圧を受けた森林の復元手法として、植栽・播種試験や天然更新補助作業の検討を行ってきたが、シカの影響を除外しても小動物による更新阻害という問題が生じたため、複数種の獣害対策を考慮した作業を行う必要がある。今後は植栽地の追跡調査を継続するとともに総合的な獣害対策の検討を行っていく。また、全国的にも過密度化したシカの影響による広葉樹林の植生の衰退が問題になっており、シカの強度採食圧等により既に土壌が流出してしまっている森林を復元させることは難しくなるため、そのような被害を未然に

防げるよう、特に牡鹿半島基部から内陸側での植生の衰退状況についても調査を行い、植生の衰退状況の現状把握と林地保全の観点から捕獲圧をかけるべき地域の選定のための資料作成を検討していく。

引用・参考文献

気象庁 各種データ・資料

<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html> (2021年3月12日閲覧)

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 酒井敦：埋土種子組成の調べ方

<http://www.ffpri-skk.affrc.go.jp/mebaezukan/shirabekata.html> (2021年3月12日閲覧)

橋本佳延・藤木大介：日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト 人と自然 Humans and Nature25:133-160 2014

森林立地調査法編集委員会：森林立地調査法 森の環境を測る 博友社 1999

宮城県(2007) 平成19年6月12日付け宮城県農林水産部長通知「天然更新完了基準」

岐阜森林研究所 ぎふ森林研究情報 No.88 久田善純：天然更新における「更新補助作業」の重要性について <https://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/rd.html> (2021年3月12日閲覧)

日本造林協会：造林技術基準解説 協文社 2001年

田中美江・斉藤麻衣子・大井圭志・福田秀志・柴田叡弍：大台ヶ原におけるササの繁殖とネズミ類の生息状況—特に防鹿柵の設置と関連づけて— 日本森林学会誌 88(5) 348-353 2006

寺井裕美・柴田昌三・日野輝明：草食性哺乳類がミヤコザサの地上部と地下部に与える影響—採食排除後4年目の調査から— 日本緑化工学会誌 34(3) 516-523 2009

林田光祐・五十嵐恒夫：かき起こし後の林床における野ネズミによる種子の補食 日本林學會誌 77(5) 474-479 1995

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 広葉樹林化研究プロジェクトチーム 「広葉樹林化ハンドブック 2010—人工林を広葉樹林へと誘導するために—」(2010)

令和3年度
林業技術総合センター研究報告
第29号

令和3年11月発行

宮城県林業技術総合センター

〒981-3602 宮城県黒川郡大衡村大衡字^{おおひら}楓木^{はぬき}14
電 話 022-345-2816
F A X 022-345-5377
E-mail stsc@pref.miyagi.lg.jp