

小課題2：成長に優れた苗木による施業モデルの構築（木材強度評価を含む）

2B-1 目的（木材強度評価）

次世代スギ精英樹の6クローンについては選抜の過程で、概ね20年生時にFAKOPPによる立木状態での強度評価がなされているが、丸太及び製材品の強度特性との関係は明らかになっていない。

そこで、県内に設定しているF1選抜クローン試験林7箇所のうち4箇所（九佐10号検定林、九佐13号検定林、九佐15号検定林、九佐16号検定林）から次世代スギ精英樹4クローン（B-16, B-61, B-74, 脊振F1-15）を令和元年度から令和3年度にかけて伐採・搬出し、立木・丸太・製材の各段階における強度特性を調査することとした。また、次世代スギ精英樹以外のF1品種及び従来のスギ精英樹品種についても、併せて調査を実施した。

前年度は九佐15号検定林の結果について報告したところであるが、今年度は九佐10号及び九佐13号検定林の試験結果と、九佐16号検定林の試験の途中経過を追加して報告する。

2B-2 試験の概要

F1選抜クローン試験林から、次世代スギ精英樹及びF1品種、従来のスギ精英樹品種について、立木段階で胸高直径及び応力波伝播速度測定後、地上高30cmの位置で伐倒し、長さ2mに玉切りした丸太を本試験場内に運搬した。

場内で丸太段階での調査後、1番玉について県内製材所にて髓を対称とし、50mm×104mmの角材を採取可能な限り製材した。製材後、蒸気式乾燥機を用いて人工乾燥を実施した。その後、38mm×89mmに修正挽きを行い、曲げ破壊試験を実施することとした。

なお、各段階の調査項目は次のとおりとした。

立木段階：胸高直径、応力波伝播速度

丸太段階：長さ、重量、末口、中央、元口径、固有振動周波数

製材段階（乾燥前）：長さ、重量、材中央の厚み・幅、固有振動周波数、年輪数、年輪幅、個体コード貼り付け

製材段階（乾燥後）：長さ、重量、材中央の厚み・幅、固有振動周波数

製材段階（修正挽き後の曲げ破壊試験直前）：長さ、重量、材中央の厚み・幅、固有振動周波数、曲がり、反り、節・材面割れ等の欠点調査、年輪幅（末口・元口）、全乾法による含水率測定

表-1-1 試験体概要

実施年度	検定林	場所	林齢	伐倒本数	丸太数	製材数	次世代スギ精英樹	他F1品種	従来精英樹	人工乾燥方法
R1	九佐15号検定林	佐賀市富士町	31	80	240	293	B-74	13クローン	8クローン	中温乾燥（※1）
R1~R2	九佐10号検定林	唐津市七山	37	81	243	344	脊振F1-15	7クローン	14クローン	中温乾燥（※2）
R2	九佐13号検定林	伊万里市二里町	31・33	88	264	244	B-74	12クローン	10クローン	中温乾燥（※2）
R2~R3	九佐16号検定林	佐賀市三瀬村	31	70	209	246	B-16, B-61, B-74	6クローン	9クローン	中温乾燥（※2）

（※1）乾球温度90℃、湿球温度65℃で5日間 （※2）乾球温度90℃、湿球温度65℃で3日間

表-1-2 試験体概要

品種	検定林	平均DBH(cm) ±SD	平均樹高(m) ±SD	伐倒数	採材数	平均含水率(%) ±SD
A-12	富士	27.9±2.5	21.2±0.7	4	16	8.0±0.3
A-20	富士	25.8±3.9	22.4±1.1	4	14	7.9±0.2
A-21	富士	25.3±3.4	21.8±1.9	4	13	7.5±0.2
A-37	富士	27.6±4.0	21.0±1.5	4	15	8.0±0.3
A-40	伊万里	25.1±1.2	19.7±0.3	4	11	16.2±0.9
A-48	富士	26.5±6.8	20.6±1.9	3	9	7.7±0.2
A-66	伊万里	23.2±1.9	20.1±0.7	4	11	10.5±0.9
A-71	富士	27.7±3.1	22.1±0.5	3	12	8.2±0.4
B-10	富士	24.2±3.7	22.4±0.8	4	12	8.8±0.4
B-14	三瀬	24.0±1.5	19.3±0.8	4	10	
B-16	三瀬	31.0±3.2	21.4±1.7	2	8	
B-18	三瀬	28.8±1.4	20.4±1.6	4	16	
B-20	伊万里	28.5±1.6	21.6±0.1	4	14	15.2±3.8
	富士	30.9±2.0	25.0±2.0	4	18	8.0±0.3
B-22	三瀬	25.8±2.0	21.1±1.6	4	13	
B-27	三瀬	22.7±1.0	19.0±1.4	4	9	
B-40	三瀬	33.3±4.8	20.6±0.5	4	18	
B-54	伊万里	28.5±2.6	21.8±0.6	4	14	16.8±1.9
	富士	28.0±3.3	23.5±1.1	4	15	8.5±0.4
B-56	三瀬	28.7±1.0	21.6±0.3	4	16	
B-59	富士	30.3±4.2	21.8±1.7	4	18	8.2±0.3
B-61	三瀬	30.8±2.1	22.1±0.7	4	17	
B-65	伊万里	33.7±3.0	23.2±0.3	3	14	13.6±1.9
	富士	32.8±5.1	23.4±0.6	3	13	8.6±0.3
B-74	伊万里	33.1±2.0	22.1±0.9	5	22	11.0±0.8
	三瀬	34.6±2.7	21.7±0.4	4	18	
	富士	25.7±3.1	21.7±0.7	7	23	8.0±0.3
B-82	伊万里	23.9±1.8	20.8±1.0	3	7	13.7±1.8
B-93	富士	25.8±1.5	22.3±0.9	4	14	7.9±0.2
B-94	伊万里	28.1±3.8	21.5±1.4	4	11	11.5±1.1
	富士	27.5±3.5	22.6±1.0	3	13	8.1±0.3
伊万里F1-2	七山	32.1±2.3	20.3±2.7	4	18	11.0±0.6
伊万里F1-6	七山	35.4±3.5	20.6±2.1	5	24	10.8±0.9
伊万里F1-7	七山	34.1±1.6	23.1±0.4	4	18	12.3±1.7
伊万里F1-8	七山	30.9±1.7	22.1±1.8	3	12	12.5±1.7
伊万里F1-10	七山	29.7±3.5	21.3±1.9	4	17	13.1±1.6
脊振F1-1	七山	29.0±2.8	21.2±0.4	4	17	11.1±0.7
脊振F1-3	七山	40.4±2.8	24.2±1.0	3	18	10.5±0.8
脊振F1-4	七山	39.7±4.2	23.2±1.9	3	17	11.9±0.7
脊振F1-6	七山	40.3±0.0	24.0±0.0	1	6	11.7±0.6
脊振F1-9	七山	33.4±4.0	21.8±1.8	5	22	12.5±1.2
脊振F1-11	七山	41.7±4.5	22.5±0.6	4	24	11.1±0.6
脊振F1-12	七山	33.6±0.8	20.1±0.3	4	19	10.6±0.6
脊振F1-15	七山	33.1±3.7	20.9±1.2	4	18	12.2±1.3

品種	検定林	平均DBH(cm) ±SD	平均樹高(m) ±SD	伐倒数	採材数	平均含水率(%) ±SD
佐賀3号	伊万里	22.5±1.4	15.6±0.3	4	8	11.7±1.6
	三瀬	31.1±2.9	20.3±0.6	4	16	
	七山	27.9±3.5	20.4±1.6	3	10	12.3±1.2
	富士	30.8±5.1	22.3±1.0	4	16	8.3±0.4
藤津1号	伊万里	23.5±0.9	16.9±0.3	4	9	10.3±1.2
藤津2号	伊万里	22.7±1.9	16.4±0.0	4	9	13.0±1.9
藤津5号	伊万里	25.4±2.9	18.8±1.0	4	10	13.9±2.3
	三瀬	29.8±1.5	21.7±0.9	4	17	
藤津10号	三瀬	32.4±1.8	22.0±0.6	4	17	
	伊万里	28.9±2.6	19.5±0.2	4	15	9.7±0.7
	七山	36.8±2.8	21.4±1.2	4	21	10.7±0.5
藤津14号	富士	19.2±0.5	15.8±0.2	2	4	8.8±0.1
	伊万里	21.4±0.4	16.0±0.4	4	7	10.9±0.5
	三瀬	20.9±0.8	15.7±0.4	4	8	
	七山	20.1±2.7	13.1±1.1	4	8	12.8±0.8
藤津17号	伊万里	24.2±2.1	16.1±0.5	4	9	13.9±2.1
	七山	31.0±0.0	19.7±0.0	1	4	14.3±1.7
藤津25号	伊万里	20.4±1.3	16.1±0.5	4	8	18.2±1.8
	三瀬	26.3±1.9	20.7±1.2	4	15	
藤津28号	富士	27.9±3.5	22.4±1.1	2	7	7.8±0.3
藤津29号	伊万里	28.6±4.8	18.8±0.3	4	12	13.9±1.6
伊万里1号	伊万里	23.9±1.7	19.0±0.4	4	9	15.1±1.2
	三瀬	26.6±2.1	20.5±0.5	4	14	
	七山	29.6±2.6	20.1±0.6	4	16	13.1±1.0
	富士	29.6±3.6	23.9±1.4	3	12	8.1±0.3
伊万里2号	七山	30.2±2.6	17.9±0.2	4	17	11.2±1.2
神埼1号	七山	27.7±1.5	18.4±1.8	4	16	13.0±1.3
	富士	29.7±3.4	21.7±1.0	4	17	8.3±0.3
神埼2号	七山	38.0±3.2	22.0±0.9	4	21	11.8±1.3
神埼4号	富士	28.0±2.5	23.4±0.2	2	7	8.1±0.2
唐津1号	三瀬	21.6±1.4	17.1±0.3	4	9	
	伊万里	24.3±3.4	19.3±0.3	4	10	14.2±3.0
唐津4号	三瀬	27.2±2.1	18.6±1.5	4	15	
唐津6号	伊万里	24.0±1.7	17.5±0.2	4	9	10.6±0.7
	七山	23.1±4.4	17.1±2.1	3	8	11.6±0.5
	富士	19.3±0.1	17.1±0.2	2	4	8.4±0.2
唐津7号	伊万里	28.8±2.9	19.5±0.8	4	14	10.5±1.2
	七山	26.8±0.0	18.0±0.0	1	4	13.8±1.7
唐津8号	三瀬	25.4±3.1	16.8±0.6	4	10	
杵島1号	伊万里	22.4±2.2	17.0±0.7	4	8	10.0±0.5
	富士	28.1±4.0	22.6±0.8	4	13	8.4±0.2

※平均DBHと平均樹高は、伐倒木の平均値
 ※含水率は曲げ試験実施時の値

2B-3 調査結果

【立木段階】

伐倒する立木について、ツリーソニック (TS) により応力波伝播速度を測定した。結果については図-1 に示す。

全体の平均値は 3,445m/s であり、次世代スギ精英樹 (B-16, B-61, B-74, 脊振 F1-15) については、概ねそれ以上の値であった。他の F1 品種や従来のスギ精英樹にも高い値を示すものが見られた。

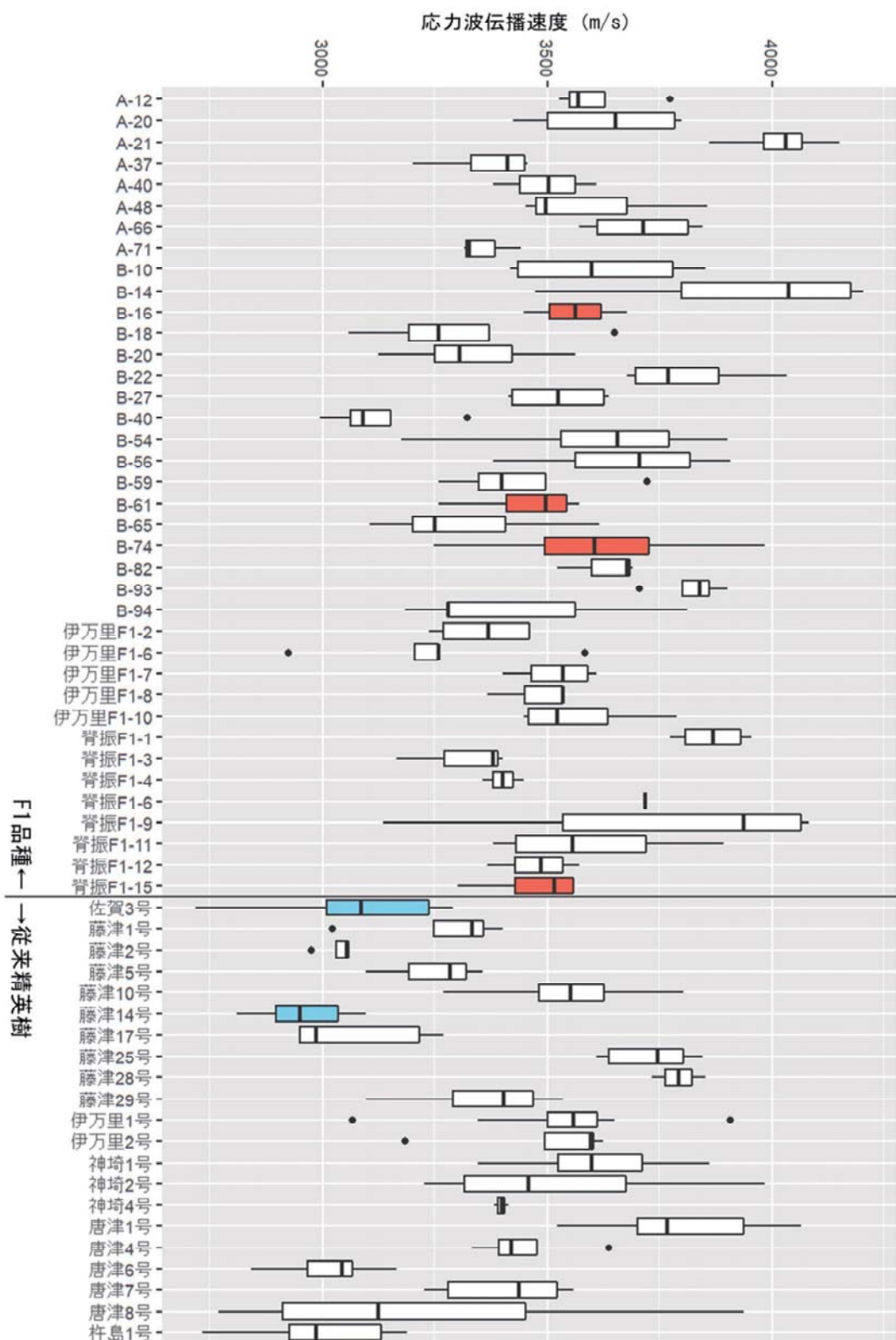


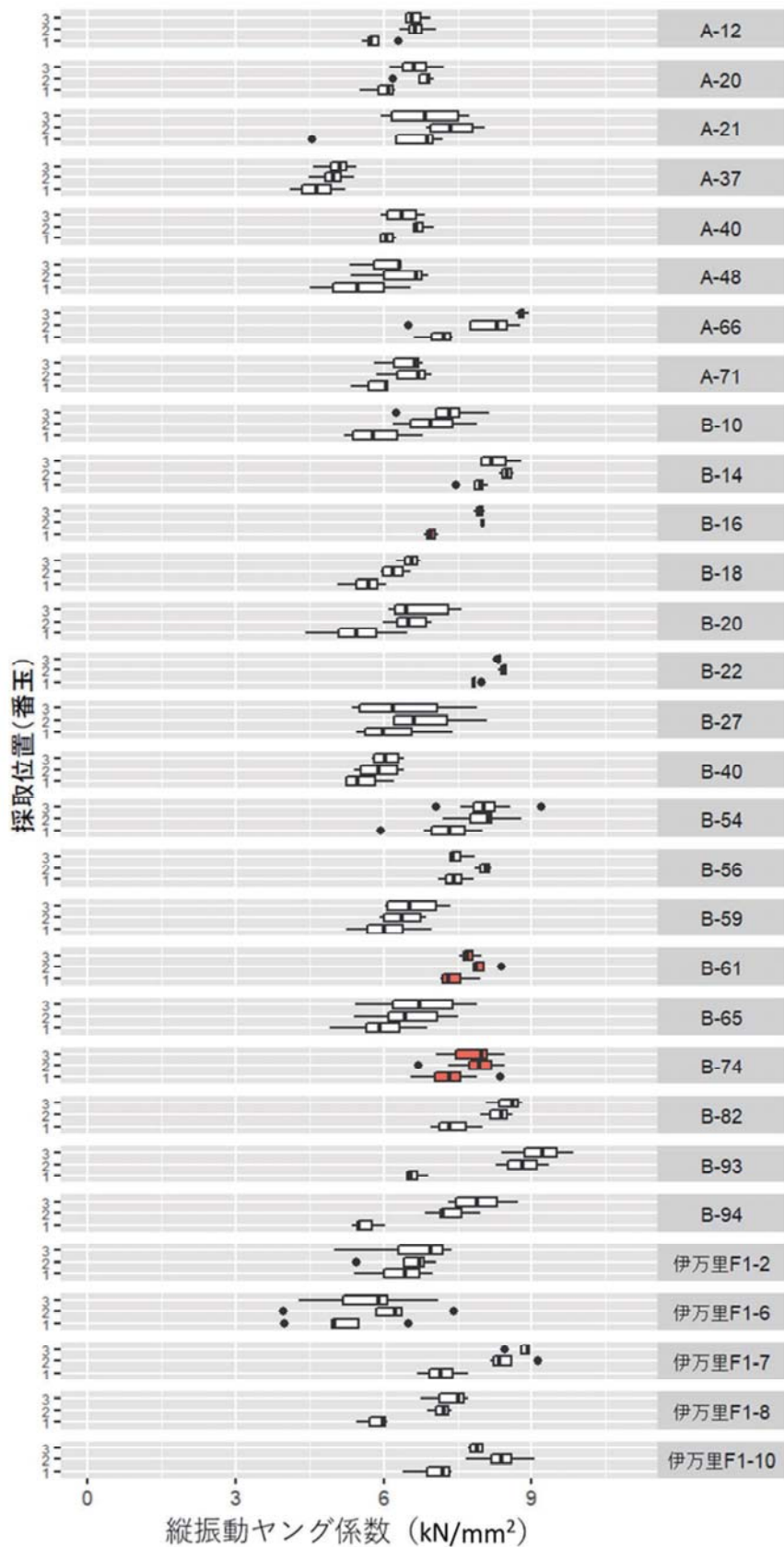
図-1 クローン品種別応力波伝播速度

【丸太段階】

根元（山側）から地上高 30cm の位置で伐倒後、地上高 0.4～2.4m の丸太を 1 番玉、地上高 4.4～6.4m の丸太を 2 番玉、地上高 8.4～10.4m の丸太を 3 番玉として玉切りし、本試験場内に運搬後、各種調査を実施した。各クローンの番玉別の縦振動ヤング係数の調査結果について、図-2 に示す。

調査の結果、全体的な傾向として、樹幹内の未成熟材部の占める割合が多いとされる 1 番玉の値が低く、1 番玉より未成熟材部の占める割合の少ない 2 番玉、3 番玉と樹高方向に上がるにつれてヤング係数が高くなるという一般的な傾向が概ねみられた。

B-61 及び B-74、脊振 F1-15 については 1 番玉と 2、3 番玉の間にもヤング係数に大きな差はみられず、どの番玉においても高い値となった。



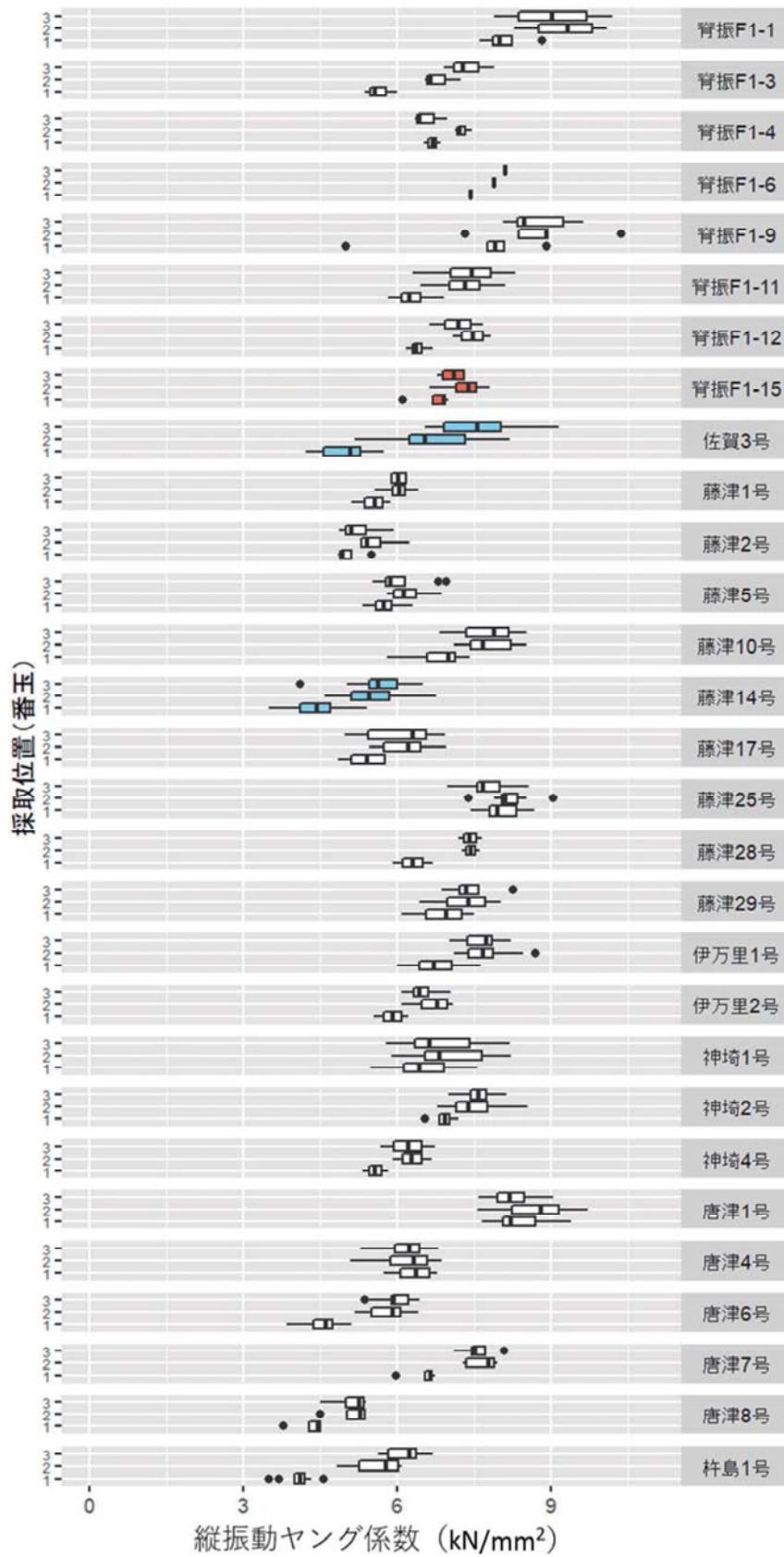


図-2 クローン品種の番玉別縦振動ヤング係数

【製材段階】

調査した丸太のうち、各クローンで最も強度特性が低いと考えられる1番玉から髓を対称として、図-3のような木取りで採取可能な限り試験体を作製した。

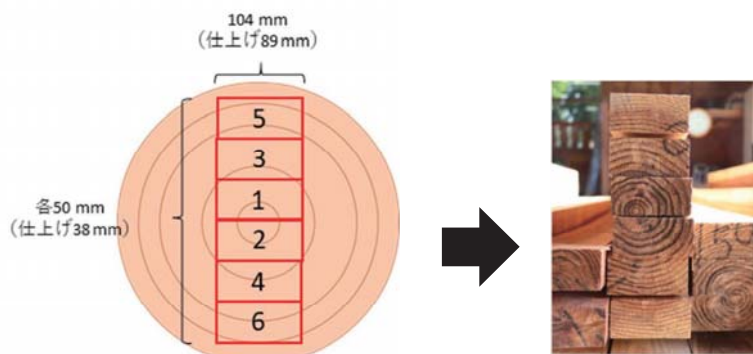


図-3 試験体製材木取り

全試験体の強度試験及び直前の各種測定結果について、図-5から図-10に示す。

曲げヤング係数と曲げ強度の間に正の相関が見られたが、曲げヤング係数に対し極端に曲げ強度が劣るものも見られた。これは、九佐15号検定林の試験体において、人工乾燥の過程で過乾燥による材割れなどが発生したことが要因として考えられる。

立木の応力波伝播速度や丸太の縦振動ヤング係数、製材の縦振動ヤング係数は曲げヤング係数との間にそれぞれ正の相関が見られ、曲げヤング係数と製材の縦振動ヤング係数の間の相関が最も高かった。立木の応力波伝播速度や丸太の縦振動ヤング係数については、採材箇所等も踏まえた曲げヤング係数との関係を今後精査したい。

また、平均年輪幅と曲げヤング係数及び曲げ強度の間に負の相関がみられた。このため、全体的の傾向として、平均年輪幅の大きい個体ほど、材の強度特性が低いものと推測される。

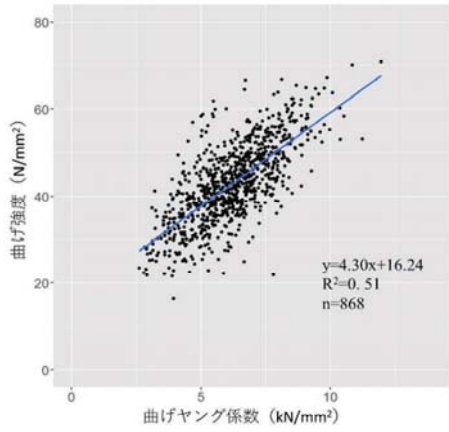


図-5 製材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係

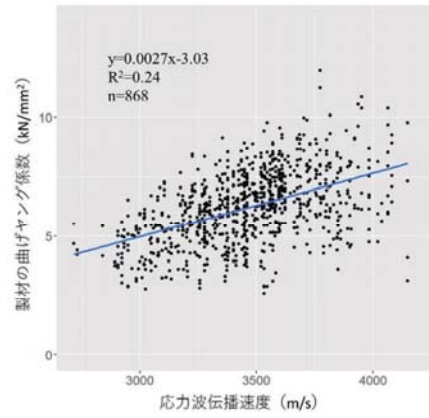


図-6 立木の応力波伝播速度と製材の曲げヤング係数の関係

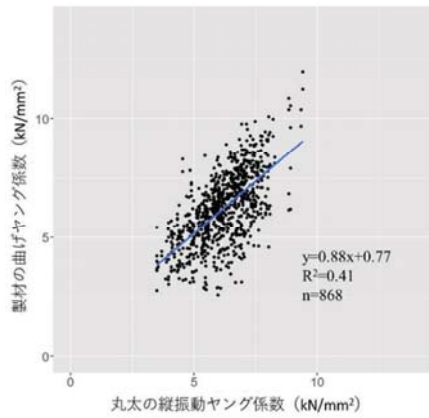


図-7 丸太の縦振動ヤング係数と製材の曲げヤング係数

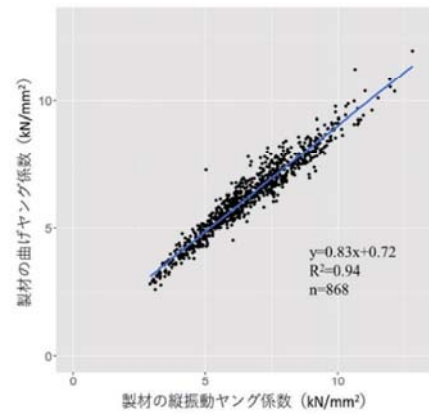


図-8 製材の縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の関係

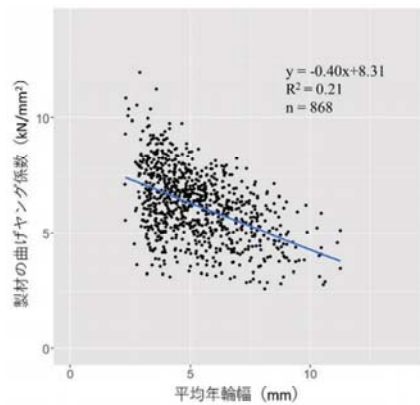


図-9 製材の年輪幅と曲げヤング係数の関係

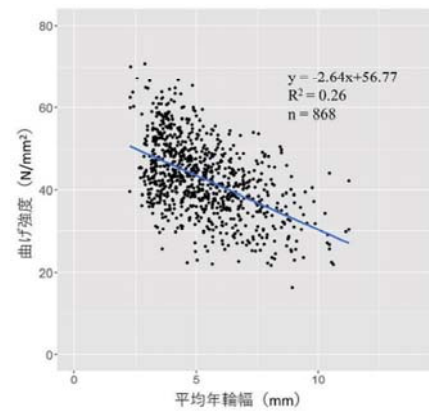


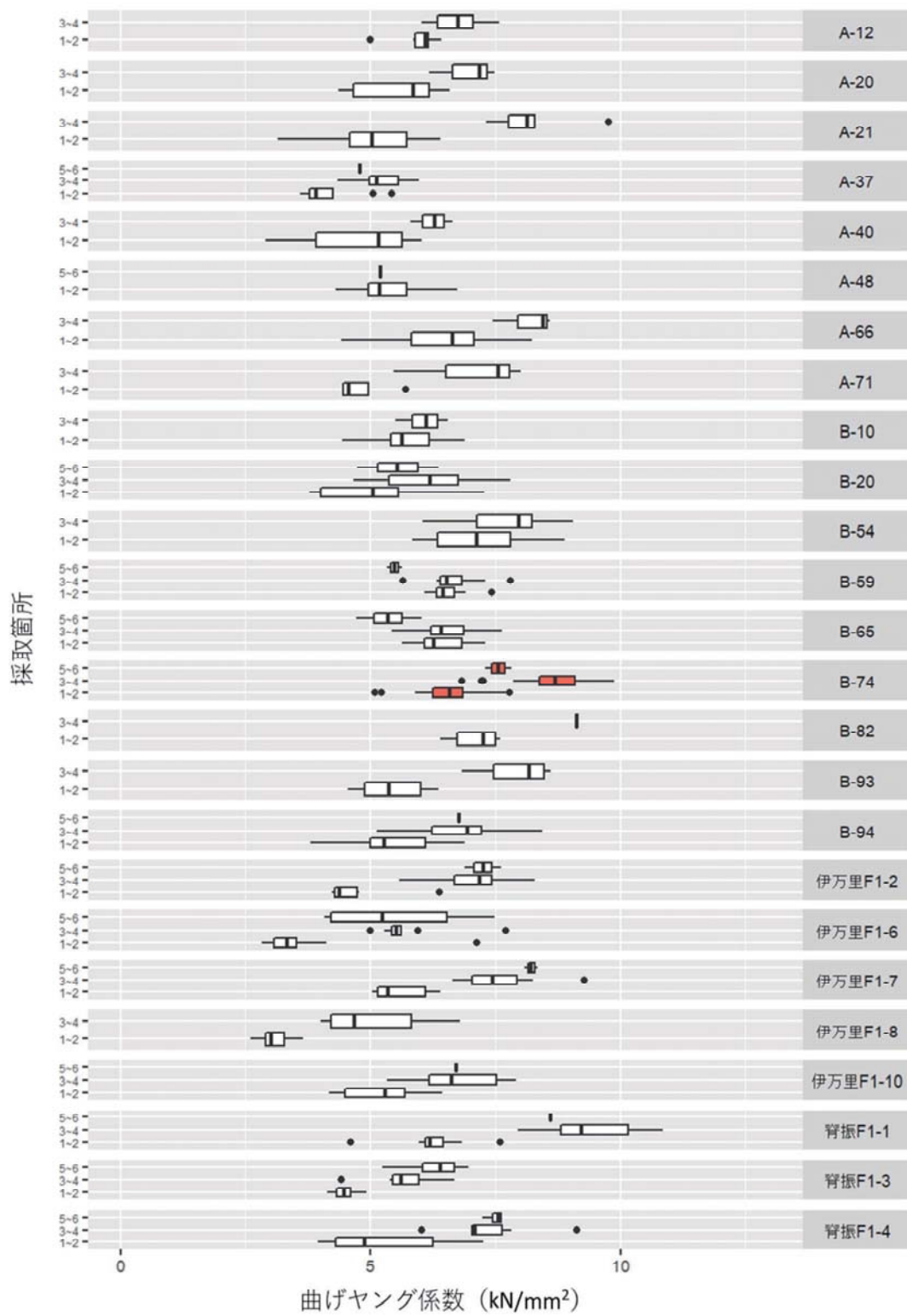
図-10 製材の年輪幅と曲げ強度の関係

クローン別の採取箇所別の曲げヤング係数測定結果について図-11 に、年輪幅と曲げヤング係数の関係について図-12 に示す。

全体的な傾向として、採取箇所 1～2 よりも採取箇所 3～4 の方が高い値となった。採取箇所 3～4 よりも採取箇所 5～6 が低い値となっているものが見られた点については、丸太段階の径級の違いによる試験体の採取数や採取位置等も踏まえ、今後精査したい。

一般的に心材側については、未成熟部の占める割合が多いため、ヤング係数は低く、髄から半径方向に行くに従って強度特性は向上すると考えられており、今回の調査についても、同様の傾向がみられた。しかし、B-74 などは心材側でも従来品種の辺材側と比較しても遜色のない高い値を示す F1 クローンもみられている。

年輪幅と曲げヤング係数の間には負の相関がみられたが、クローン毎にその傾きは異なっている。このため、年輪幅の違いだけが曲げヤング係数に影響している訳ではなく、クローン毎の特性が曲げヤング係数に大きな影響を与えているものと考えられる。



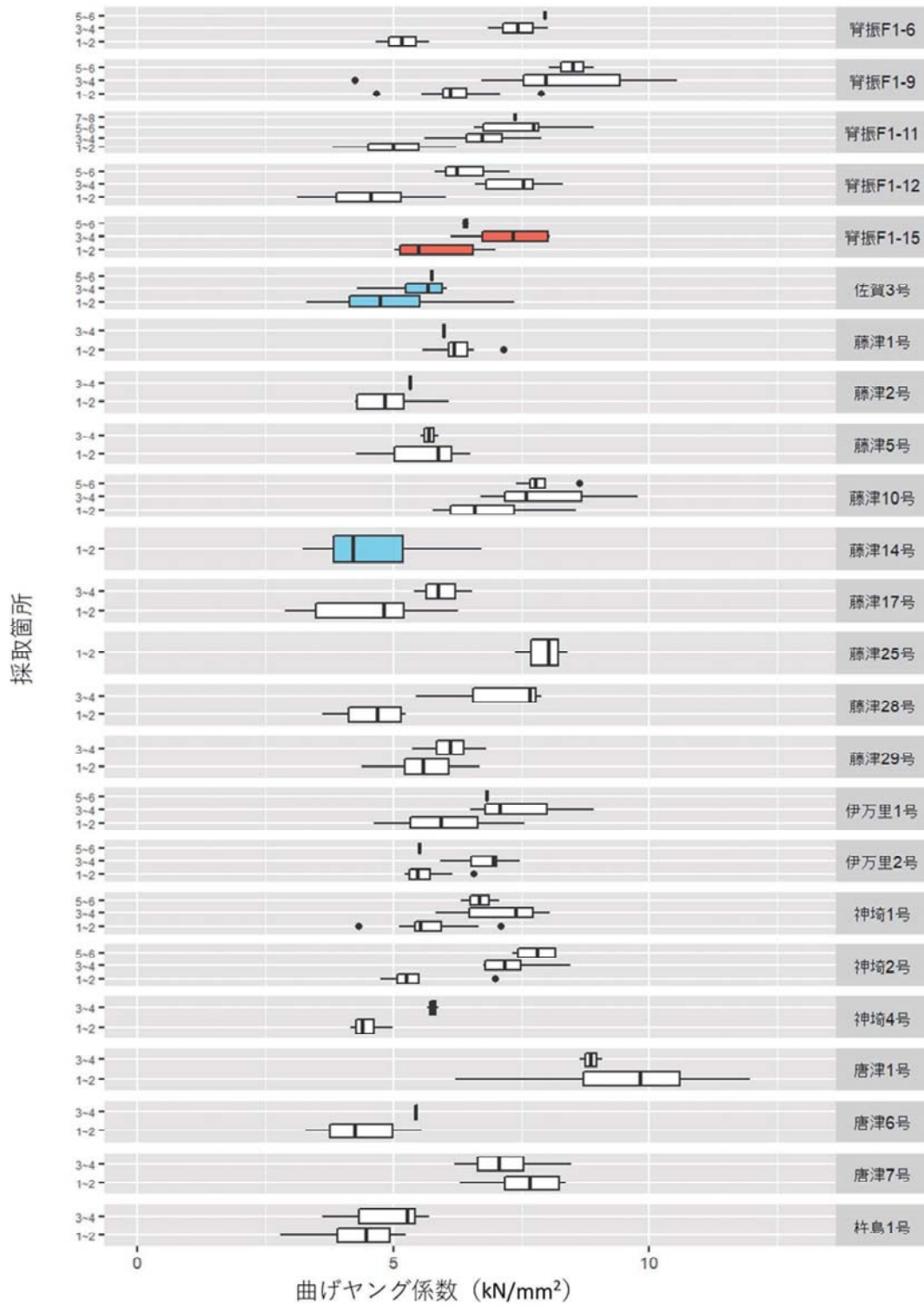


図-11 クローン別採取箇所別の曲げヤング係数

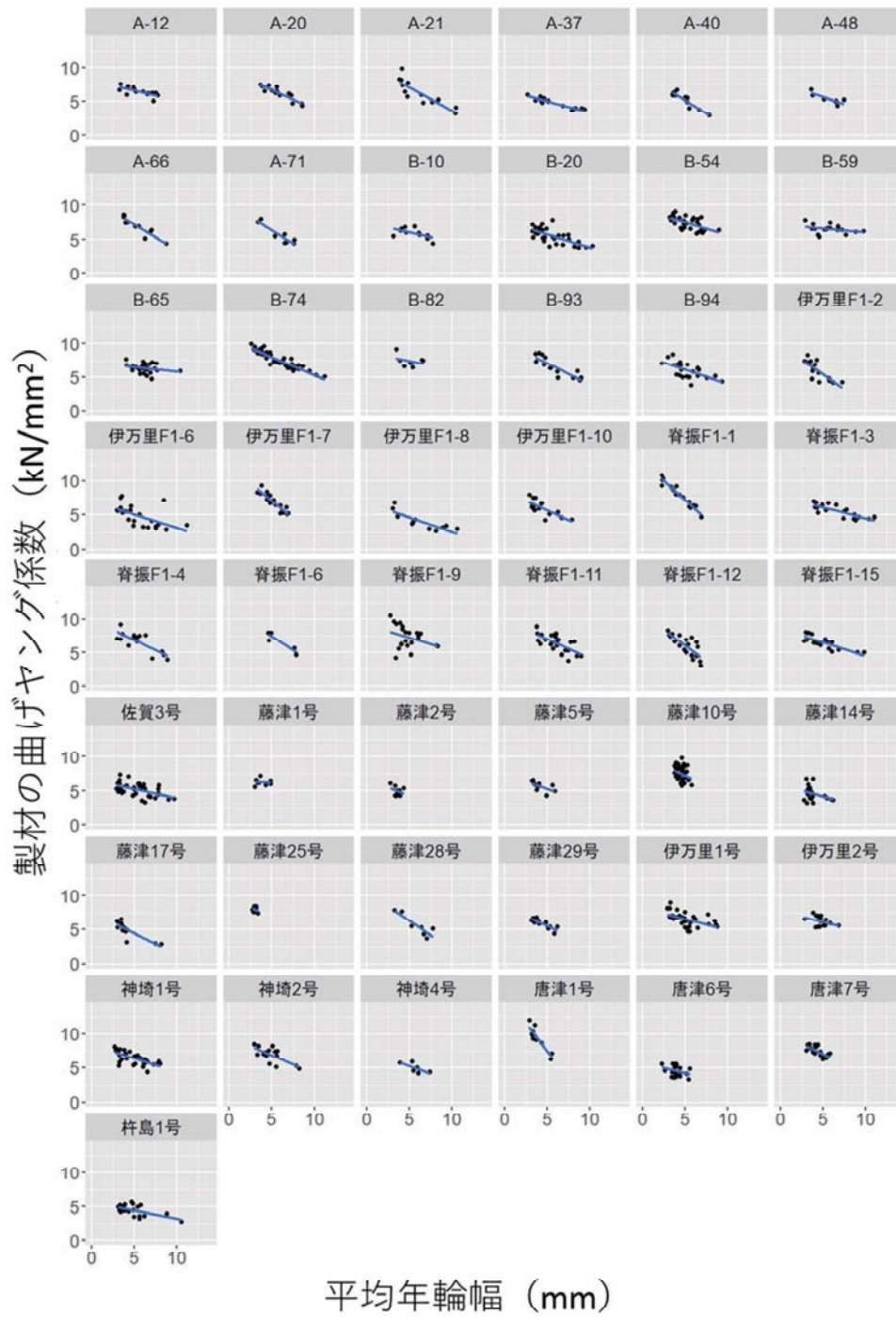


図-12 クローン別の年輪幅と製材の曲げヤング係数

2B-4 考察及び今後の計画

立木・丸太・製材の各段階における調査の結果、B-74は高い強度特性を持ち、心材側の年輪幅が大きい部分でも比較的強度が期待できることが示唆された。今後もさらなるデータ蓄積を行っていききたい。

また、B-59やB-65のように、心材側においても辺材側と変わらない強度特性を持つクローンもみられているため、その要因について明らかにする必要があると考える。

今回調査したクローン品種間では、年輪幅に差はなくとも、強度特性に大きな差が生じていた。そのため、年輪幅だけではない別の要素（例えば、マイクロフィブリル等の組織）が強度特性の決定に関与しているものと考えられる。

成長の優れた苗木（エリートツリーや次世代スギ精英樹）の活用に向けては、年輪幅が大きくなることなどによる強度特性への影響が危惧されていることから、クローン品種の成長量や強度特性の下限値を把握するため、木材強度の評価に引き続き取り組んでいきたい。