

トドマツ水食い材の観察と強度

吉本昌朗^{*1}・信田 聡^{*2}

Observation and Mechanical Properties of Wetwood in Todomatsu (*Abies Sachalinensis* Mast.)

Masaaki YOSHIMOTO^{*1} and Satoshi SHIDA^{*2}

目 次

1. 序論	92
1.1 北方林の重要性	92
1.2 北方林の面積	93
1.3 二酸化炭素の固定・保持	93
1.4 その他の機能	94
1.5 北方林におけるトドマツの位置付け	94
1.6 用材としてのトドマツ	96
1.7 トドマツ水食い	96
1.8 トドマツ水食い材の使われ方	97
1.9 水食い材に関する既往の研究	97
1.10 本研究の目的	98
2. 水食いの観察	99
2.1 供試研木と試験体の調整	99
2.1.1 供試研木の履歴	99
2.1.2 試験材の調整	100
2.2 観察結果	102
2.2.1 供試木1について	102
2.2.2 供試木2について	105
2.2.3 供試木3について	105
2.3 まとめ	109
3. トドマツ水食い材と正常材の強度比較	109
3.1 はじめに	109
3.2 曲げ試験	109
3.2.1 実験方法	109

^{*1} 東京大学農学部 (現 農林水産省林野庁)

^{*1} Faculty of Agriculture, The University of Tokyo (Present address: Forestry Agency, The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan).

^{*2} 東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻

^{*2} Department of Biomaterial Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

3.2.2 結果・考察	113
3.2.3 まとめ	130
3.3 縦圧縮試験	130
3.3.1 実験方法	130
3.3.2 結果・考察	131
3.3.3. まとめ	133
3.4 せん断試験	134
3.4.1 実験方法	134
3.4.2 結果・考察	134
3.4.2 まとめ	136
4. 結論	136
謝辞	137
要旨	137
引用文献	138
Summary	138

1. 序 論

1.1 北方林の重要性

森林は用材生産、二酸化炭素の固定、水源涵養、国土保全、遺伝資源の保存、保健レクリエーション等多くの人にとって有益な機能を有している。中でも二酸化炭素に関して森林は、固定作用、森林としての炭素源の保持、生産した用材としての炭素源保持といった機能を有している。近年、熱帯林の減少や化石燃料の大量消費に伴う二酸化炭素の増加が問題とされている。二酸化炭素の増加は、その温室効果により地球温暖化を引き起こす原因となるとされている。地球温暖化は異常気象による水害や旱魃、海水面の上昇に伴う低海拔地域の水没などはもちろん、気候の変動に伴う植生の変化にもつながりかねず、これらにより森林破壊が起こると、さらに二酸化炭素が増加するという悪循環となってしまう。森林の存在は二酸化炭素固定機能により、このようなことが起こるのを防いでいるといえよう。また、これ以外にも、森林の有する機能は多々ある。森林の生産する木材は古来よりさまざまな用途に使われてきており、今日でも不可欠なものとして利用されるのみならず、再生産が可能な天然資源としてより一層の注目をあびつつある。木材の利用に際して森林は、伐採、製材等の加工、運搬などを通し、それらに従事する多くの人々を養ってきた。森林は蒸散により水分を使う一方で、水分を多量に保持できる土壌の形成、維持機能を発揮している。森林はその他の土地利用区分に比べ、生物学的に複雑な構成をしており、その内には多くの動植物が生息している。これは、森林がそれだけ豊富な遺伝子資源を有していることを意味している。さらに、今日のストレス社会の中で、森林は憩いの場として大きな役割を担っている。

このように、森林の存在はそれ自体大きな意味を有しているが、北方林に寄せられる関心は熱帯林の破壊に寄せられる関心に比べて必ずしも大きくはない。しかし、北方林は熱帯林と同様、非常に重要な存在であるとともに、少なからぬ破壊を受けている。特に、ロシア連邦のタイガ地

帯では不可逆的伐採が危惧される。熱帯林のみではなく、北方林に対しても関心を持つことが重要である。以下に日本の北方林として、北海道の森林の機能、特に二酸化炭素の固定、保持機能について簡単に述べてゆく。

1.2 北方林の面積

全国の森林面積は2,514万6千ha、その内、22.2%にあたる557万8千haが北海道の森林面積である¹⁾。森林そのものの持つ有用性を考えると、日本の森林の約2割強を北方林が占めているということ自身、北方林の重要性につながるであろう。

1.3 二酸化炭素の固定・保持

北方林の持つ二酸化炭素の固定及び保持機能は熱帯林や温帯林に比べてどうなのであろうか。

まず、二酸化炭素の固定機能についてであるが、熱帯多雨林（西マレーシア）、照葉樹林（大隈半島）、ヒノキ人工林（滋賀県日野）、ブナ二次林（新潟二王寺岳）、トドマツ林（北海道北見）の総生産量、純生産量について比較してみた（表-1²⁾）。総生産量は熱帯多雨林>照葉樹林>トドマツ林>ヒノキ人工林>ブナ二次林の順に、純生産量は熱帯多雨林>トドマツ林>照葉樹林>ヒノキ人工林>ブナ二次林の順に大きかった。この結果からでも北方林の総生産量、純生産量は温帯林には遜色のないことがいえる。さらに、各群落の存在する緯度から、緯度0°の土地1haが受ける日射量と同じだけの日射量を受ける土地の面積を求め、その面積あたりの総生産量、純生産量を日射量換算の総生産量、純生産量として求めてみた（例、北緯31°の場合、緯度0°の土地1haが受ける日射量と同じだけの日射量を受ける土地の面積は $1/\cos 31^\circ$ ha）。すると、総生産量は照葉樹林>熱帯多雨林>トドマツ林>ヒノキ人工林>ブナ二次林の順に、純生産量はトドマツ林>熱帯多雨林>照葉樹林>ヒノキ人工林>ブナ二次林の順に大きかった。このように日射量換算で生産量を考えると、北方林の二酸化炭素固定機能は熱帯林と比べても決して遜色のないものであることがわかる。

次に、炭素の保持機能について考えてみる。炭素は森林では樹幹として保持されるだけではない。樹木から土壤に供給されるリターフォール（樹木の落枝、落葉）も重要な炭素源である。水分条件や各種の化学的要素も関係するため一概にいうことはできないが、低温の方が有機物の分解速度は遅いため、土壤に保持されている炭素源は北方林の方が多いことが予想できる。有機炭

表-1 陸上植物群落の総生産量および純生産量の測定例²⁾

Table 1. Measuring example of the total production and the pure production of land plant community²⁾

群落の種類 (文献番号)		緯度 (°)	林齢	純生産量 (t/ha・年)	総生産量 (t/ha・年)	日射量換算 の純生産量	日射量換算 の総生産量
熱帯多雨林	西マレーシア	5	成熟林	27.2	77.7	27.3	78.0
照葉樹林	大隈半島	31	成熟林	20.6	73.0	24.0	85.2
ヒノキ人工林	滋賀県日野	35	40	17.1	29.0	20.9	35.4
ブナ二次林	新潟二王寺岳	38	30~70	15.3	27.5	19.4	34.9
トドマツ林	北海道北見	44	35~40	23.8	50.2	33.1	69.8

日射量換算の値については緯度を用いて求めたもので元の文献には示されていない。

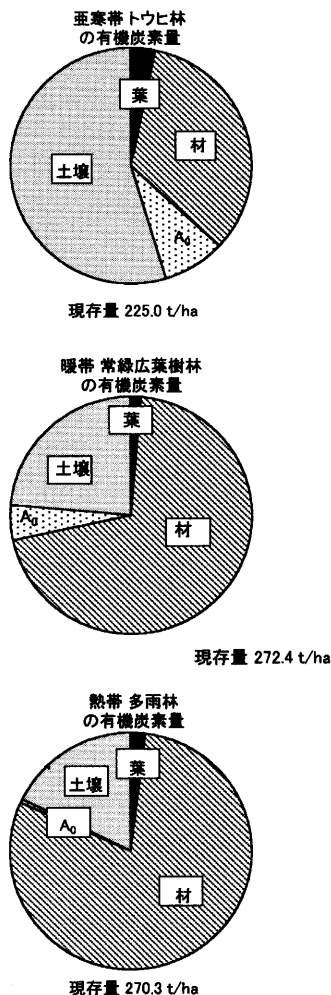


図-1 温度状態の異なる森林生態系の炭素集積状態の比較³⁾

現存量は土壤中と植物体中の両者を加えた生態系全体の蓄積量

A₀: 土壌の表層で、主に落葉・落ち枝やそれらの分解物などで構成されている層

Fig. 1. Comparison of the carbon accumulation in the forest ecosystems that have different temperature conditions.

The existence quantity is the accumulation quantity in which the carbon in plant and in soil are added.

A₀: Surface layer of soil which is consisted of fall leaves, fall blanches, and those fragments.

素の量を亜寒帯のトウヒ林、暖帯の常緑広葉樹林、熱帯多雨林と比較してみると、図-1³⁾のようになった。亜寒帯トウヒ林では暖帯常緑広葉樹林や熱帯多雨林に比べ、材に含まれる炭素量は少ないが、土壌中に大量の有機炭素源を含んでいる。有機炭素の現存量に関しても、亜寒帯トウヒ林は面積換算では暖帯の常緑広葉樹林、熱帯多雨林に比べ小さい値となっているが、日射量に換算すると、これも遜色のない値となっている。

このように、北方林の二酸化炭素固定機能や炭素保持機能は日本における他の地域の森林や熱帯林などくらべても、決して引けを取らないものであることがわかる。

1.4 その他の機能

炭素源の固定及び保持機能のほかにも、北方林は日本国内の他の森林同様多くの機能を有している。特に北方林のみが有する機能としては、北方林に特有の遺伝子資源の保存であろう。

1.5 北方林におけるトドマツの位置付け

森林の構成要素としてのトドマツ

北海道の森林の中でトドマツは主要な樹種となっている。トドマツは針広混交林である天然林において主要な樹種であるばかりか、人工林としても造林され続けてきている。北海道内の人工林面積は針葉樹が147万567 ha、広葉樹が4万5,474 haである¹⁾。トドマツ人工林は79万209 haであり、これは北海道内の針葉樹人工林面積の53.7%であり半分を超えている¹⁾。また齢級別に面積を見ても(表-2⁴⁾、10齢級以上の成熟している、あるいは成熟しつつある人工林の面積は決して多くはなく、今後数十年間の間に人工林から生産されるトドマツ人工林材の量が一段と増えていくと推測される。次に、天然林も含めたトドマツ全体の蓄積量で見ると、北海道における全森林蓄積量の6

表-2 トドマツ人工林の齢級別面積⁴⁾

Table 2. The planting area and ratio according to the age class of the plantation-grown todomatsu forest

	全体	1 齢級	2 齢級	3 齢級	4 齢級	5 齢級	6 齢級	7 齢級	8 齢級	9 齢級	10 齢級
針葉樹全体の面積(×1,000 ha)	1470.6	35.5	54.1	96.8	154.8	214.0	292.6	249.9	197.7	105.3	27.2
トドマツ林の面積(×1,000 ha)	790.2	9.3	23.3	62.8	107.8	140.8	152.9	126.0	91.5	43.5	9.4
トドマツの割合(%)	53.7	26.1	43.1	64.9	69.6	65.8	52.2	50.4	46.3	41.3	34.5
トドマツ全体に占めるその齢級の割合(%)	100.0	1.2	2.9	7.9	13.6	17.8	19.3	15.9	11.6	5.5	1.2
カラマツ類の林の面積(×1,000 ha)	466.2	10.7	13.5	12.5	17.5	43.8	104.5	96.7	89.0	54.3	15.9
エゾマツ林の面積(×1,000 ha) (アカエゾマツを含む)	145.4	14.0	15.4	19.6	26.8	22.7	20.4	9.1	8.9	2.9	0.6
	11 齢級	12 齢級	13 齢級	14 齢級	15 齢級	16 齢級	17 齢級	18 齢級	19 齢級	20 齢級	21 齢級以上
針葉樹全体の面積(×1,000 ha)	11.4	10.6	8.8	6.8	3.2	1.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0
トドマツ林の面積(×1000 ha)	5.5	6.0	5.4	4.0	1.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
トドマツの割合(%)	48.6	56.4	61.5	58.6	48.3	35.5	5.2	11.9	0.0	0.0	84.6
トドマツ全体に占めるその齢級の割合(%)	0.7	0.8	0.7	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
カラマツ類の林の面積(×1,000 ha)	3.9	2.2	0.5	0.4	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
エゾマツ林の面積(×1,000 ha) (アカエゾマツを含む)	0.7	0.9	1.4	1.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

各面積の表示は 1,000 ha 未満を四捨五入した。

億 731 万 9 千 m³ のうち 22.76% にあたる 1 億 3,823 万 2 千 m³ がトドマツの蓄積量である。これは樹種別ではカラマツ類の蓄積量 8,274 万 m³, エゾマツ (アカエゾマツを含む) の蓄積量 5,438 万 9 千 m³ を抜き最大の蓄積量である⁴⁾。このように、トドマツは北方林の主要な構成要素となっている。

1.6 用材としてのトドマツ

トドマツの用途は建築全般、土木、家具、器具等、多岐にわたる⁵⁾。トドマツは北海道では開拓時代より構造用材として使用されてきたが、近年では構造用材としてトドマツよりもエゾマツが好まれる傾向がみられる。しかし、トドマツもいまだ建築関係の用途に広く使用されているのは事実であるし、トドマツのほうが耐久性ではエゾマツよりも優れており⁶⁾、エゾマツよりもトドマツのほうが構造用材としてはふさわしい。

平成9年度の北海道における林野庁所管国有林での伐採量（十勝支庁、釧路支庁、根室支庁を除く）は155万1,567 m³であった。このうち、トドマツの伐採量は65万709 m³であり、全伐採量の約42%を占めた⁷⁻¹⁰⁾。平成9年度に供給された道産材は約400万m³であり、内訳としては製材用、パルプ用ともに約200万m³となる。トドマツは全伐採量の42%を占めるので、単純にこのうちの42%がトドマツであったとすると、製材用、パルプ用として用いられるトドマツ材は84万m³ずつと推測できる。また、製材の歩留まりを66%とすると、この数値よりトドマツ製材品は55万4,400 m³、トドマツのチップは112万5,600 m³（材積は大目にだされるため、実際のチップの量はこれよりも少ないと考えられる）生産されたことになる。トドマツの素材単価は径が30～38 cmのもので1 m³あたり約2万円であるので、パルプ用材を抜かしても、北海道産トドマツの素材取引において84万m³×2万円＝168億円のお金が動いたことが試算できる。また、製材品ではトドマツ正角材は1 m³あたり約5万3,000円、トドマツ板類は1 m³あたり約5万円であるので、製材品として正角材および板類が半分ずつとれると仮定すると、55万4,400 m³×（5万3,000円＋5万円）÷2＝285億5,160万円分の製材品が生産されたと試算できる。これに、針葉樹チップの価格は1 m³あたり6,200円であるので112万5,600 m³×6,200円＝69億7,872万円が加わる¹¹⁾。ここまで行った試算はかなり乱暴なものであるが、北海道で生産された素材はほとんど北海道内で加工されるので、トドマツの素材から製品加工に関連しておおよそこのような額のお金が動くということは、トドマツが北海道の地域経済に果たす役割の大きさを物語るであろう。

1.7 トドマツ水食い

トドマツ水食いの説明

本研究で取り上げているトドマツの水食いとは、本来含水率の低いはずであるトドマツの心材が、含水率が異常に増加してしまう現象のことである。通常トドマツの心材は30～50%の含水率を示すが、水食いを起こしている部分では100%あるいは200%を超えることが普通である。水食いを起こしている部分はアメ色にぬれており、視覚的に辺材部と同様の様相を呈する（図-2）。一般的に北海道での造材作業は冬期間に行われることが多い。これは、作業効率を上げるということのほか、冬期間は樹木内の水分が少なく含水率が低くなっているということも理由の一つとなっている。しかし、水食いの起こっているトドマツでは、冬になっても水食い部の水が引かず、水食いの生じている心材の含水率が高いままとなっており、凍裂の原因となる¹²⁾。水食い現象の起こるのはトドマツの場合が多く、他の針葉樹では類似の現象はあまり聞かれない。ほかに広葉樹ではアメリカニレ (*Ulmus americana*) の水食いが有名である。



図-2 トドマツ水食い

Fig. 2. Wetwood of todomatsu.

1.8 トドマツ水食い材の使われ方

トドマツ水食い材は製材品とはならず、パルプ材としてチップとなることが多い。一部の製材工場では水食いを含んだトドマツ丸太をB材（低級材）として引き取り、水食いを含まない部分から製材品をとり、水食いを含んだ部分から工事用の土留め板などをとる場合もあるが、普通の製材工場は一般材しか引き取らない。

ここで使っている、一般材、B材という区分はJASで定められている等級区分ではなく、北海道富良野地区において、地元木材業者間での取引の際に使われる区分である。JASの規格では中の素材については1～3等まで、大の素材については1～4等まで定められている⁵⁾。北海道富良野地区で行われている区分はJASによる規格のように細分化せず、製材品のとれる素材を一般材、とれない素材をパルプ材、パルプ材とするにはもったいないが十分な製材品はとれない素材をB材としている。

1.9 水食い材に関する既往の研究

水食い材の成因に関する研究

水食い材に関しては多くの研究がなされてきている。最初に wetwood という用語を用いた LAGERBERG¹³⁾ によれば、水食い材は大きくわけて二つの型があるとされ、心材内部の異常水分が根から入ってくるものを根水食い材 (Root wetwood)、枝から入ってくるものを枝水食い材 (Branch-born wetwood) とした。このように LAGERBERG によると、水食い材は雨水など外部の水が浸入したものとされている。しかし、このような説のほかにも、SCHINK¹⁴⁾ らや TIEDEMANN¹⁵⁾ らは *Ulmus* や *Populus* の水食い材は細菌の活動によって生ずるとしている。一方、WILCOX と SCHLINK¹⁶⁾ は white fir の観察では細菌は水食い材の発生に寄与を示す兆候がなかったとしている。ほかにも、滝沢ら¹⁷⁾ はトドマツ水食い材の観察を行い、水食い材部の放射線細胞中に核が存在することから、水食い材部の放射組織が何らかの生活機能を有していると考え

た。このことから、水食い材の存在する部分では心材化が遅れて起こる、すなわち、辺材がとりのこされていると考えるにいたった。

このように、水食い材の成因については種種の説が存在するが、石井ら¹⁸⁾によればトドマツ水食い材中の水分は、雨水に起因するものではないことが明らかにされており、水食い材を引き起こす直接的な要因として心材中に無機成分が集積することによる浸透圧の差が、水食い材発生の直接の原動力となっていると推測している。水食い材部の浸透圧が上昇しているということは *Ulmus americana* においても MURDOCH¹⁹⁾ らによって指摘されている。現時点では、水食い材部の浸透圧上昇が水食い材を引き起こしているということまでは推測が可能であるが、水食い材部の浸透圧上昇がどのようにして起こっているのかということに関しては確定的ではない。

凍裂についての研究

凍裂とは厳寒時に林木が凍り、樹皮より材部に向かって割れ目を生ずる現象のことである。石田¹²⁾によると、トドマツには非常にしばしば水食い材が出現し、また、凍裂も多いが、エゾマツには水食い材は稀にしか出現せず、また、凍裂ははなはだ少ない。これに加えて、トドマツの樹幹横断面積に対する水食い材面積の比が増せば増すほど凍裂の発生する頻度が高くなる傾向がみられる、とされており、水食い材の存在、その凍結ということが凍裂の発生に決定的に重要な意味を持つ、と結論されている。さらに、凍裂の発生する状況では、幹材部に無数の割れ目が内在することが指摘されている。

水食い材の乾燥についての研究

トドマツ水食い材の乾燥については信田ら²⁰⁻²⁶⁾によって研究がなされた。トドマツ人工林材の正角材について天然乾燥、中温乾燥、高温乾燥を行い、仕上がり含水率、木口割れ、表面割れ、ねじれ、まがりについて水食いの有無による比較を行った。また、100℃試験法を用い水食い材に適した乾燥スケジュールを推定した。これらの結果としては、水食い材の乾燥には非水食い材より時間がかかること、木口割れ、表面割れ、ねじれ、まがりについては、高温乾燥では表面割れについて水食い材、非水食い材間に差がみられることがあるが、天然乾燥、中温乾燥では両者に顕著な差が生じないことが示された。この結果に基づき、水食い材の乾燥性について研究が進められ、水食い材の乾燥性は水食い材に高い頻度で含まれる節、樹脂条等の欠点が水分の移動を妨げるために起こる、と結論された。

1.10 本研究の目的

これまで北方林の重要性および北方林に占めるトドマツの位置について説明してきた。トドマツは北方林において重要な位置を占めており、産業的にも北海道経済に重要な影響を与えうる。トドマツ水食い材の存在は先に述べた通り、トドマツの素材的価値を大幅に減じさせる。製材用の素材価格は1 m³あたり約2万円であるのに対し、チップの価格は1 m³あたり約6,200円である¹¹⁾。また、仮に製材品として使用の可能な素材を、パルプ用としてチップにしてしまうことは、エコマテリアルとしての木材にそぐわないこととなる²⁷⁾。しかしながら、これまで水食い材そのものの強度に着目した研究はなされていなかった。

そこで、本研究では、水食いを起こした木の観察、強度試験を通して水食い材の強度特性を知り、水食い材の有効利用を目指すことを最終的な目的とした。

2. 水食いの観察

2.1 供試木と試験体の調整

2.1.1 供試木の履歴

供試木 1; トドマツ天然木 (*Abies sachalinensis* (Friedr. Schmidt) M. T. Mast.) であり, 元口



図-3 トドマツ天然木 (北海道演習林にて伐採)

Fig. 3. A natural-grown todomatsu log obtained in the Hokkaido forest of Tokyo University.



図-4 供試トドマツの切り株 (東京大学北海道演習林)

Fig. 4. The stump of todomatsu in the Hokkaido forest of Tokyo University.

の年輪数は75本、材長365 cm、末口径30 cm、国有林(旭川)356林班た小班にて1999年3月15日に伐採した。

供試木2; トドマツ造林木 (*Abies sachalinensis* (Friedr. Schmidt) M. T. Mast.) であり、元口の年輪数は78本、材長365 cm、末口径24 cm、国有林(旭川)356林班い小班にて同年同月同日に伐採した。

供試木3; トドマツ天然木 (*Abies sachalinensis* (Friedr. Schmidt) M. T. Mast.) であり、元口の年輪数は116本、材長300 cm、末口径50 cm、東京大学付属北海道演習林15林班にて同年4月30日に伐採した(図-3, 図-4)。

2.1.2 試験材の調整

これらの供試木は伐採後、土場にて保管した後、1999年5月25, 26日に北海道立林産試験場にて製材を行った。製材前の木口の様子を図-5, 図-6, 図-7に示す。製材の前に、サイズ、重量

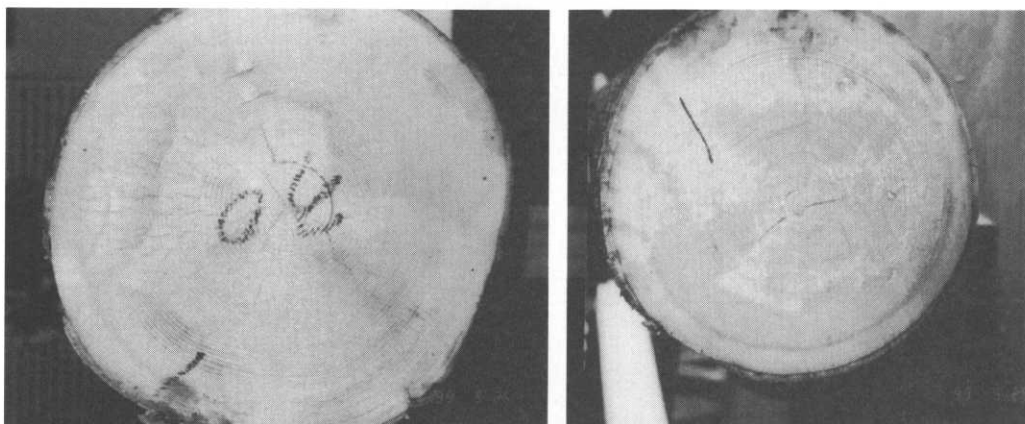


図-5 供試木1の木口断面(左: 末口, 右: 元口)

Fig. 5. Cross section of todomatsu log, No. 1. (left: top end, right: butt end)

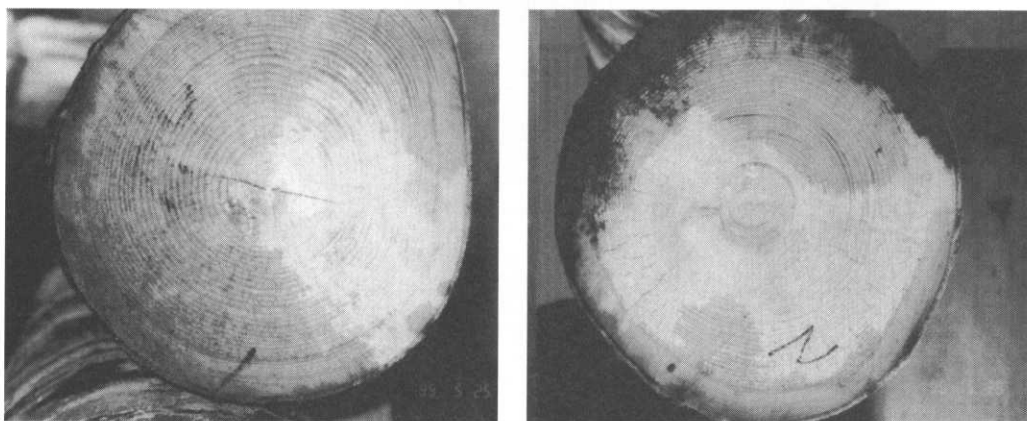


図-6 供試木2の木口断面(左: 末口, 右: 元口)

Fig. 6. Cross section of todomatsu log, No. 2. (left: top end, right: butt end)

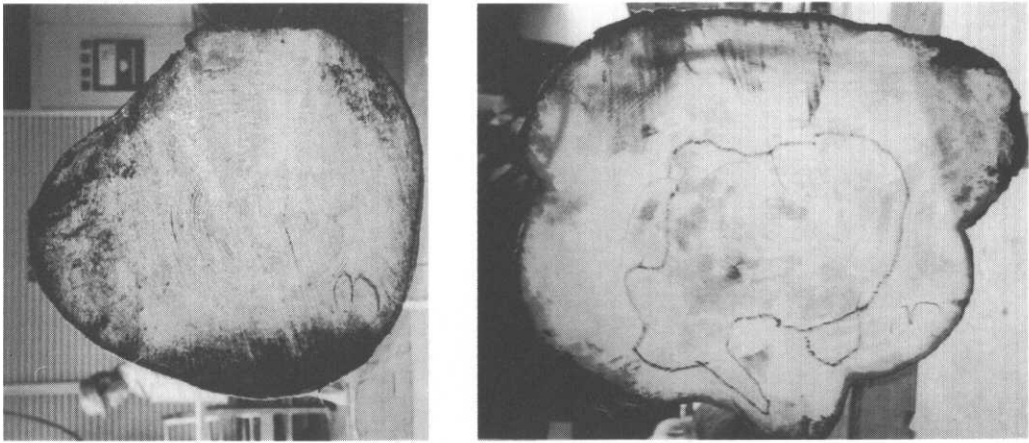


図-7 供試木3の木口断面（左：末口，右：元口）

Fig. 7. Cross section of todomatsu log, No. 3. (left: top end, right: butt end)

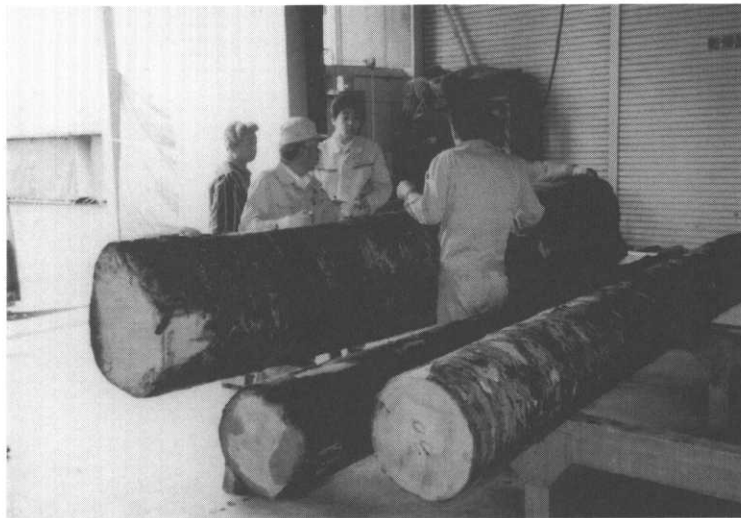


図-8 製材前の寸法測定

Fig. 8. Measurement of log sizes before sawing.

を測定した（図-8）。その後、両木口を切り落とした（図-9）上で、マイクログフォン付きFFTアナライザを用いて、供試木1と2については木口中央部の、供試木3については木口の正角採材部の縦振動における固有振動数を求めた。各供試木は次のように製材した。供試木1は製材機（図-10）により3 cm 厚さに、だら挽き（丸太を一定厚さですべて板に挽くこと）し、板を9枚得た。その後、軸方向にほぼ均等に3つに切り分け（図-11）、それぞれの重量を測った。供試木2は3 cm にだら挽きし、板を7枚得た。その後、7枚の板すべてを $3 \times 3 \times 30$ cm に加工した（図-12）。供試木3は途中まで3 cm の板に挽き、板を5枚得た。その後、残りの部分から正角材を4本とった（図-13, 図-14）。正角材はマイクログフォン付きFFTアナライザを用いて固有振動



図-9 供試木の両木口の切断

Fig. 9. Cutting off both ends of a log.

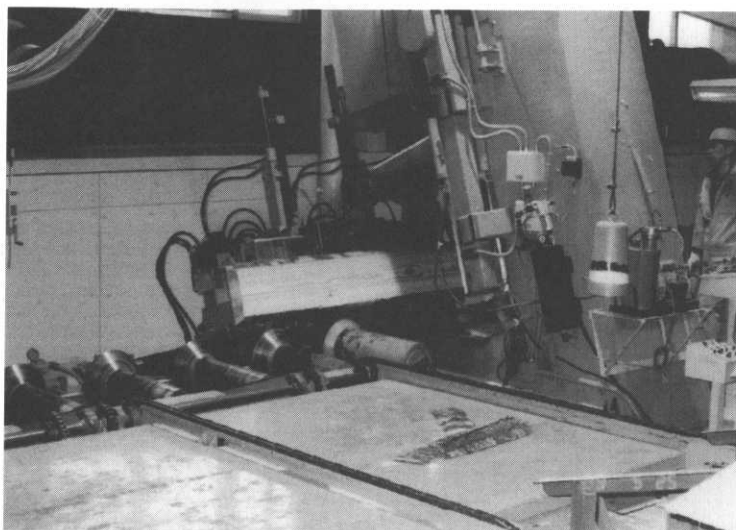


図-10 丸太から板材を製材する（北海道立林産試験場にて）

Fig. 10. A log is sawn into lumbers at Hokkaido Forest Products Research Institute.

数を求めたのち、長さ方向にほぼ均等に3本に切り分けた。これらの試験体と両木口は製材後ビニールでくるみ、含水率の減少をおさえた状態で北海道から東京の実験室に送った。

2.2 観察結果

2.2.1 供試木1について

だら挽きを終えた段階で一度写真を撮影した（図-15）。図-15では、水食い材部を油性マー

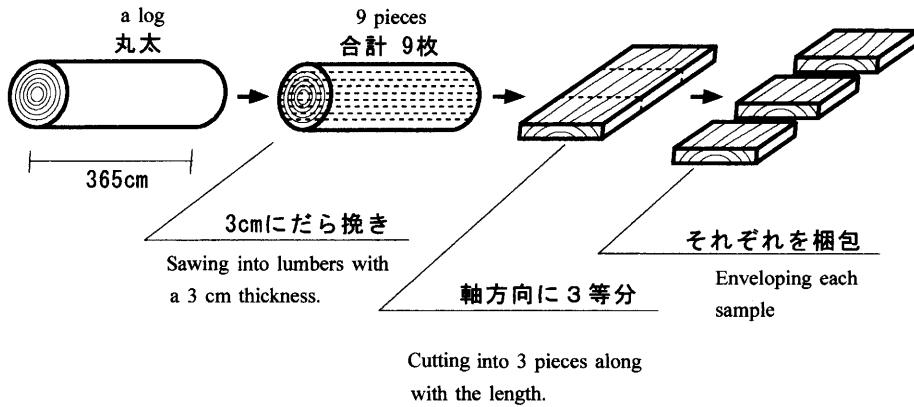


図-11 供試木 1 の製材の様子

Fig. 11. Sawing pattern of the test log, No. 1.

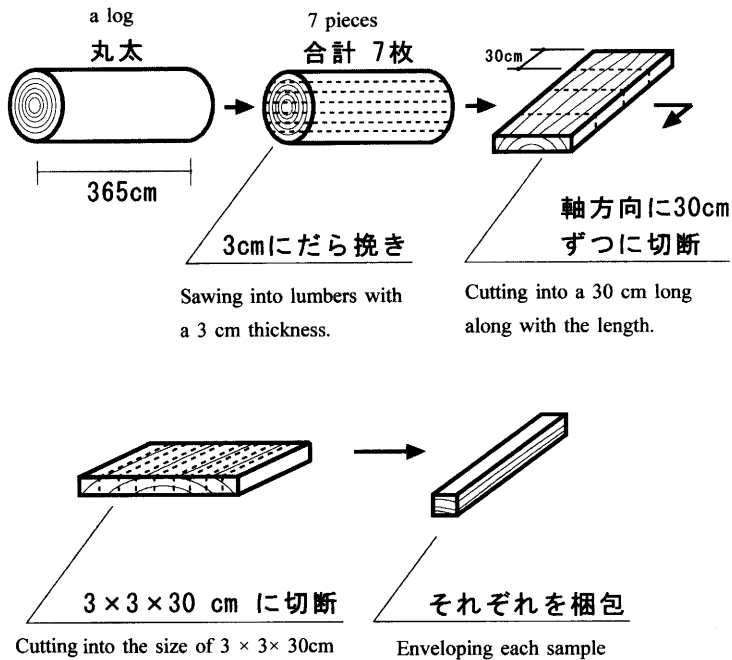


図-12 供試木 2 の製材の様子

Fig. 12. Sawing pattern of the test log, No. 2.

カーで囲んである。この図から供試木 1 における水食い材は、不定形の水食い材が立体的に散在していることがわかる。このような水食い材は LAGERBERG¹³⁾ による型で区分すると枝水食い材 (Branch-born wetwood) となる。

だら挽きを終え、ほぼ 3 等分したものについて、木表側、木裏側の両側から写真を撮影した (図-16, 図-17, 図-18)。板番号については、だら挽きによって得た板に片側から便宜的に 1~8

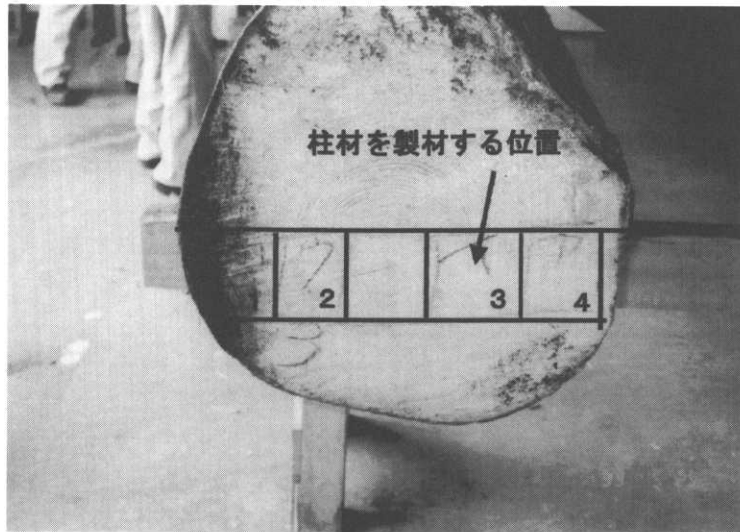


図-13 柱材の製材木取り

Fig. 13. Sawing pattern of column.

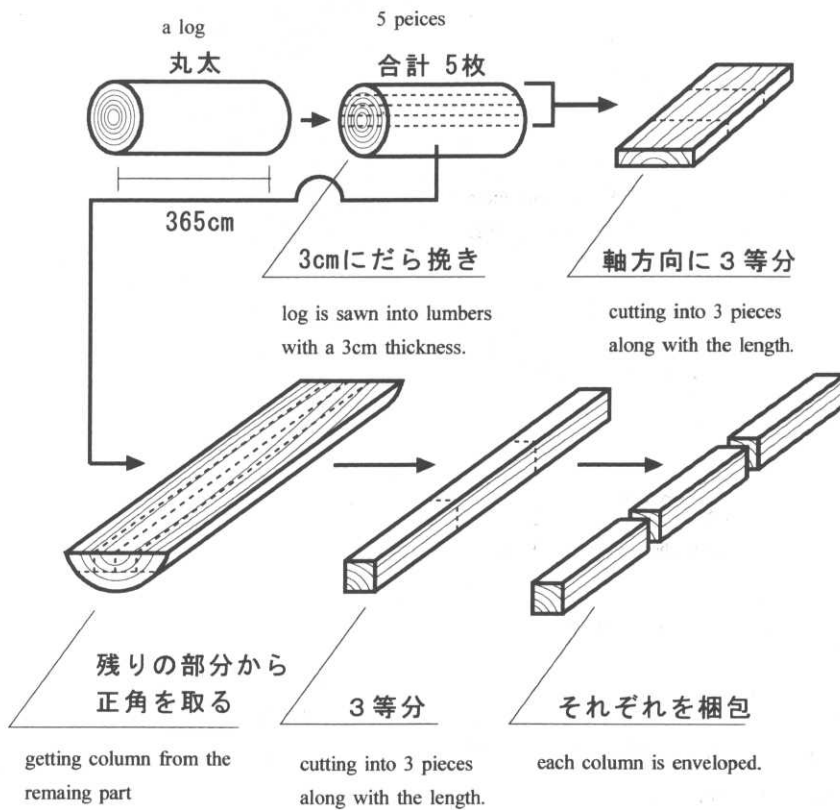


図-14 供試木 3 の製材の様子

Fig. 14. Sawing pattern of the test log, No. 3.

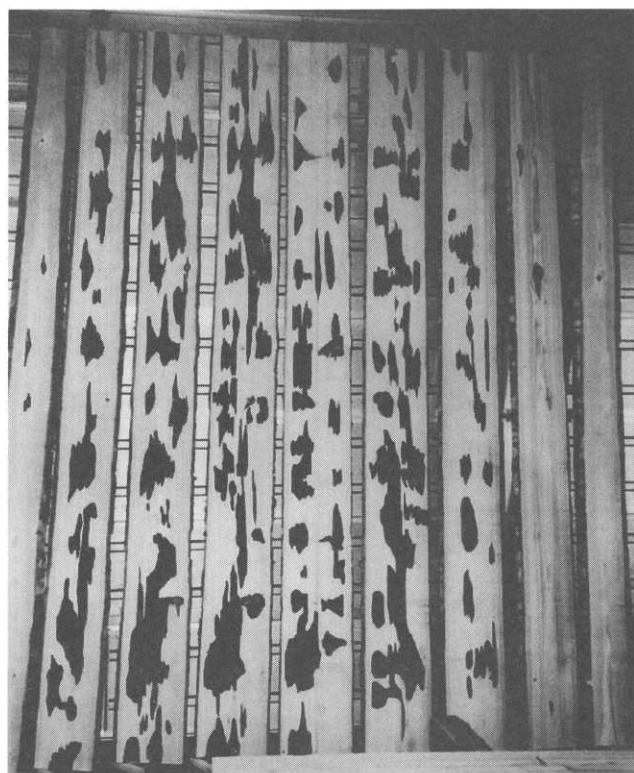


図-15 供試木 1 を製材して得られた板材表面における水食い（黒マーク部）の分布

Fig. 15. Wetwood distribution on the surfaces of lumbars that were sawn from a log, No. 1.

の番号をつけた。さらに、軸方向に 3 等分した板について、末口側の板を 1、元口側 3、その間の板を 2 とした。例として板番号 1-3-1 をあげると供試木 1—片側から 3 枚目の板—軸方向に 3 等分した内の末口側の板、ということになる。中心に引いてある直線には 3 cm ごとに目盛りをつけた。また、長方形で囲ってある部分から試験体を採取した。水食い材と正常材の各試験体のマッチングについては後述する。

木表、木裏に出現している欠点（節、樹脂条、入り皮などのその他の異常組織）の数を数え、それらの欠点で水食い材部に含まれているものを数えた。結果は表-3 のようになった。

水食い材の多くが節付近に広がりを持って生じており、同時に樹脂条やその他の異常組織が生じている（図-19）場合も少なくなかった。このような、水食い材と節、樹脂条等の欠点との関係については信田ら²⁶⁾によっても両者の密接な関連性が指摘されている。

2.2.2 供試木 2 について

だら挽きを終えた段階で、水食い材の分布について観察した。水食い材のほとんどが節を中心として円盤状に生じていた（図-20）。

2.2.3 供試木 3 について

だら挽きを終えた段階で一度写真を撮影した（図-21、図-22）。図-21 では木表側から、図-22 では木裏側から撮影した。これらの写真においても水食い材部を油性マーカーで囲んである。そ



図-16 供試木 1 から得られた板材 (No. 1-No. 3) 内の水食いの状態

Fig. 16. Wetwood distribution in todomatsu lumbers (No. 1-No. 3) that were sawn from a log, No. 1.



図-17 供試木 1 から得られた板材 (No. 4-No. 6) 内の水食いの状態

Fig. 17. Wetwood distribution in todomatsu lumbers (No. 4-No. 6) that were sawn from a log, No. 1.

の後、正角材を 3 等分したものについて写真を撮影した (図-23, 図-24)。これらの写真からは、入り皮から垂直方向に下がるように分布する水食い材が見られた。また、供試木 3 については、水くい材部の色が赤味がかっているという特徴が見られた。このような水食い材は LAGERBERG¹²⁾ による型で区分すると根水食い材 (Root wetwood) となる。

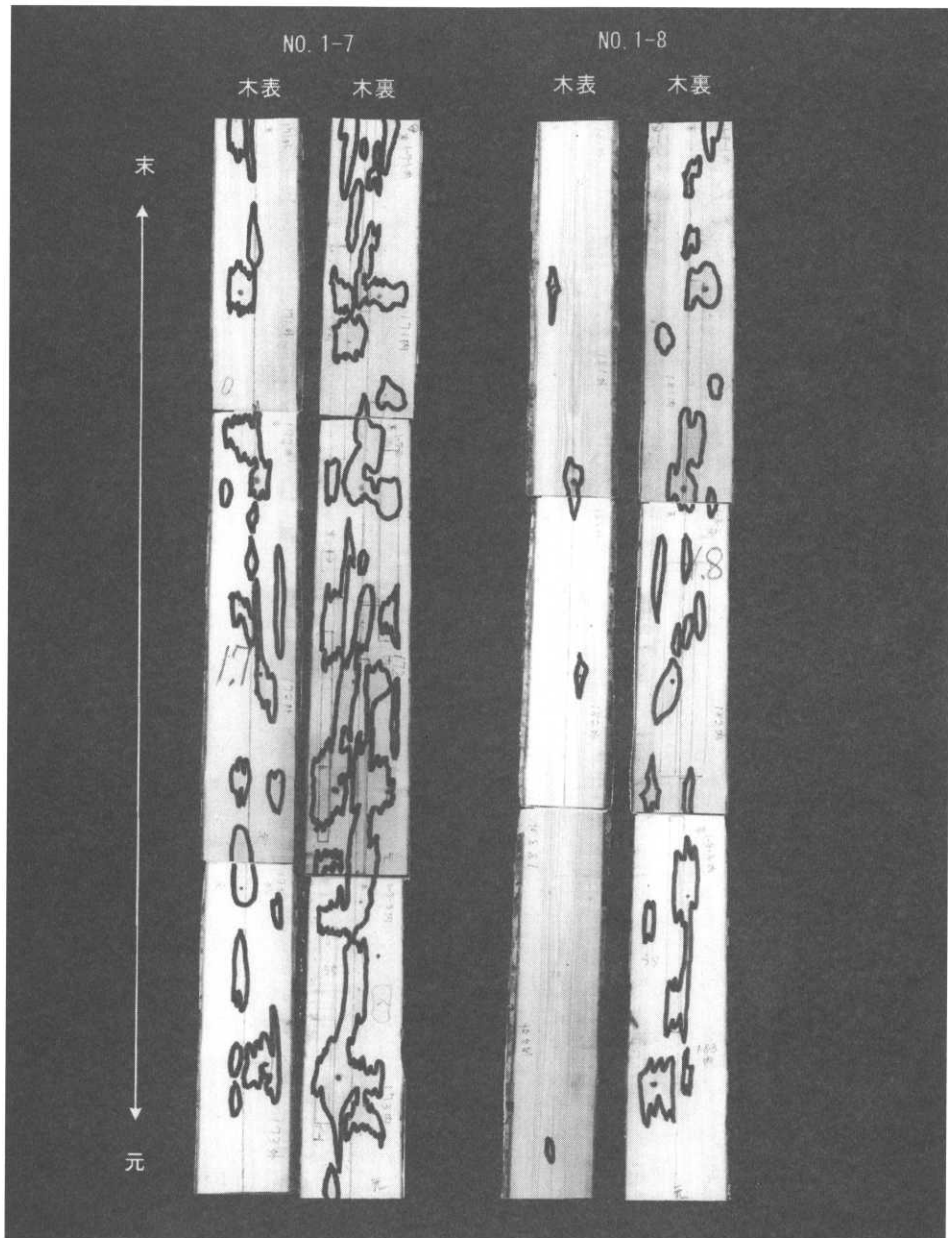


図-18 供試木 1 から得られた板材 (No. 7-No. 8) 内の水食いの状態

Fig. 18. Wetwood distribution in todomatsu lumbars (No. 7-No. 8) that were sawn from a log, No. 1.

表-3 供試木 1 における水食いと節，樹脂条（やにすじ），他の異常組織との関係

Table 3. Relationship among wetwood and knots, pitch streak, other abnormal tissues

出現数と率	節	やにすじ	異常組織	総数
現れた総数（個）	375	220	14	609
水食い内に存在した数（個）	293	161	13	467
水食い内に存在した割合（％）	78.1	73.2	92.3	76.7

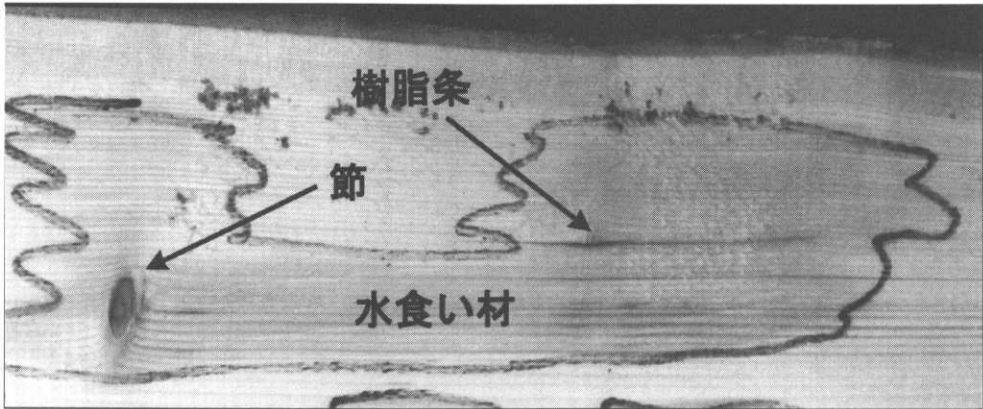


図-19 供試木 1 の水食い材とそれに含まれる欠点

Fig. 19. Defects in wetwood of todomatsu lumber from log, No. 1.

2.3 まとめ

製材途中，製材後の供試木について観察を行なった。水食い材は節，樹脂条，入り皮など，なんらかの欠点とともに現れることが多かった。これから，石井ら¹⁷⁾の指摘しているように，水食い材では節，樹脂条，入り皮など，なんらかの欠点のもとで無機塩類や有機酸が集積し浸透圧が上昇することで含水率が高くなっているということが考えられた。特に，樹脂条が節に近い年輪界に多く生じ，そのような個所で水食い材の発生が顕著であった。このことから，風や雪，択伐の際に枝にかかる応力により年輪界にずれが生じ，そのような個所に樹脂条が形成される際に無機塩類や有機酸の集積がおこり，浸透圧が上昇するのではないかと推測した。

3. トドマツ水食い材と正常材との強度比較

3.1 はじめに

本章ではトドマツ水食い部から採取した試験体と正常部から採取した試験体との強度について比較を行った。

3.2 曲げ試験

3.2.1 実験方法

(1) 試験体

供試木 1 と 2 から試験体を用意した（2.1 供試木と試験材の調整を参照）。

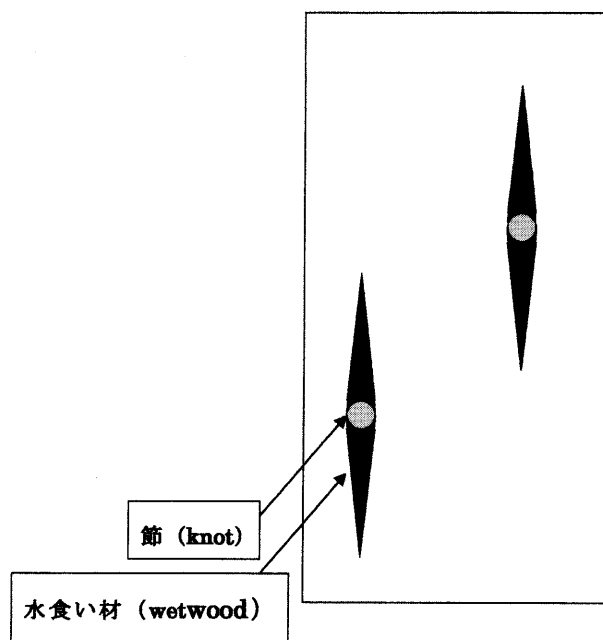


図-20 供試木 2 から得た板材の板目面での水食い材の形

Fig. 20. Schematic shape of wetwood on the LT surface of the lumber sawn from No. 2 sample log.

供試木 1 については、水食い試験体と非水食い試験体が同一の年輪を含むようにマッチングした (図-25)。しかし、供試木 1 の年輪は丸太の髓の方向に $1/80$ rad ほど傾いていたため、同一の年輪を含むように作成した試験体であっても、全て同一の年輪からは構成されていないこととなった。

水食い試験体と非水食い試験体の定義は、材面の水食い部の面積から定めた。すなわち、材面に水食いを含まないか、水食い部が 20% 以下のものを非水食い試験体、材面の水食い部が中央を含む 50% 以上のものを水食い試験体とした (図-26)。試験体は生材試験体 (ビニールでくるみ、冷蔵庫で保管) のものと気乾試験体 (20°C , 65% RH で平衡含水率に達したもの) それぞれについて $2 \times 2 \times 30$ cm に仕上げた。気乾で $2 \times 2 \times 30$ cm の試験体は 48 体、生材で $2 \times 2 \times 30$ cm の試験体は 44 体用意した。これらの試験体では曲げ試験を行った後、状態の良いところを選び、 $1 \times 1 \times 15$ cm の試験体を再度切り出した。気乾で $1 \times 1 \times 15$ cm の試験体は 48 体、生材で $1 \times 1 \times 15$ cm の試験体は 29 体用意した。

供試木 2 については、だら挽きしてできた板のうち 4 枚目にあたる板から試験体を作成した。あらかじめ $3 \times 3 \times 30$ cm に加工しておいた試験体を、 20°C , 65% RH で平衡含水率に達させた後、 $2 \times 2 \times 30$ cm に仕上げた。供試木 2 については水食い、非水食いのマッチングは特に行わず、気乾で $2 \times 2 \times 30$ cm の試験体を 40 体用意した。また、供試木 2 についても供試木 1 と同様に、曲げ試験を行った後、状態の良いところを選び、 $1 \times 1 \times 15$ cm の試験体を切り出した。気乾で $1 \times 1 \times 15$ cm の試験体は 38 体用意した。

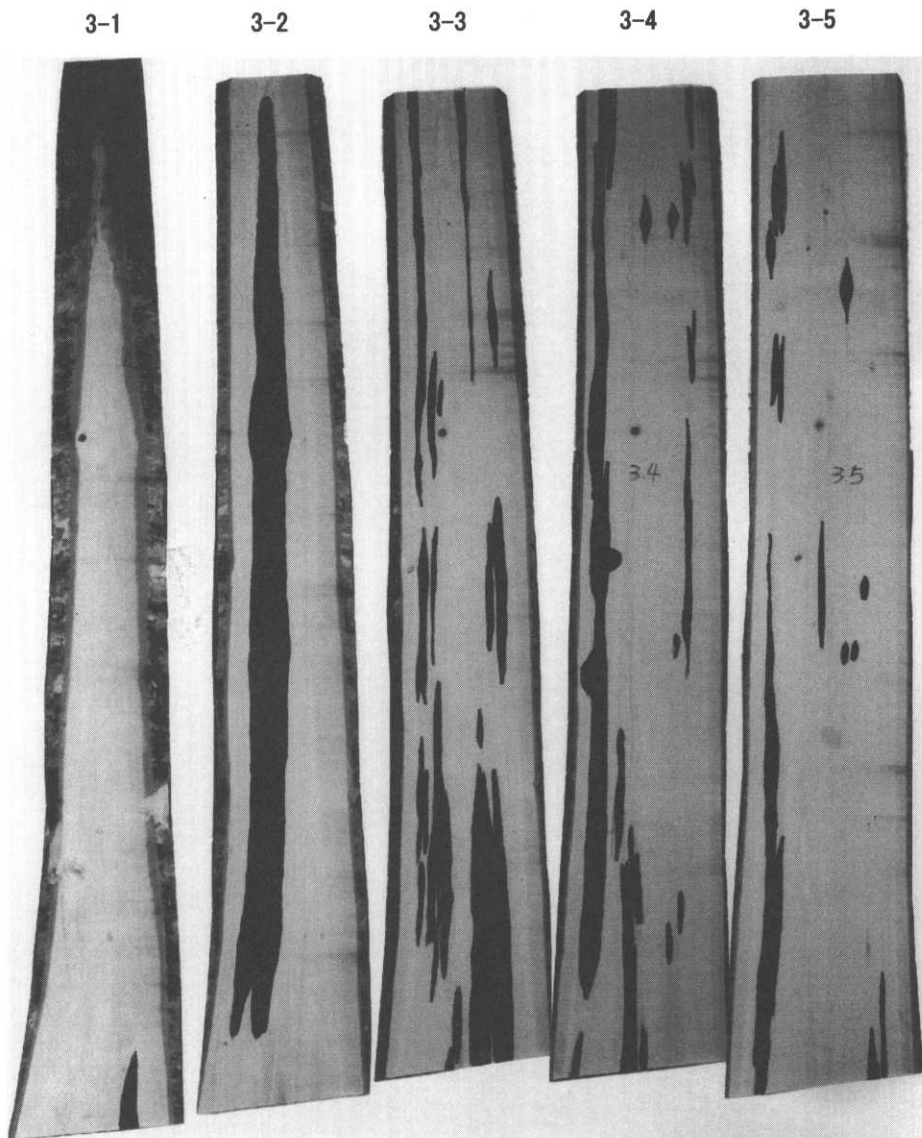


図-21 供試木 3 から得た板材の木表側表面における水食いの分布

Fig. 21. Wetwood distribution on the bark-side surfaces of lumbers sawed from a todomatsu log, No. 3.

(2) 方法

曲げ試験は JIS Z 2101-1994 に準拠して、万能試験機 (INSTRON 4204) を用い、クロスヘッドスピード 2 mm/min、スパン長は断面寸法の 14 倍 (=14 cm または 28 cm) で行なった。各々の試験体から試験時の密度、曲げ強さ、曲げ比例限度力、曲げヤング係数を求めた。1×1×15 cm の試験体からはさらに、試験時の含水率、全乾密度も求めた。

曲げヤング係数、曲げ比例限度、曲げ強さは次の (1)~(3) 式によって算出し、有効数字 3 けた

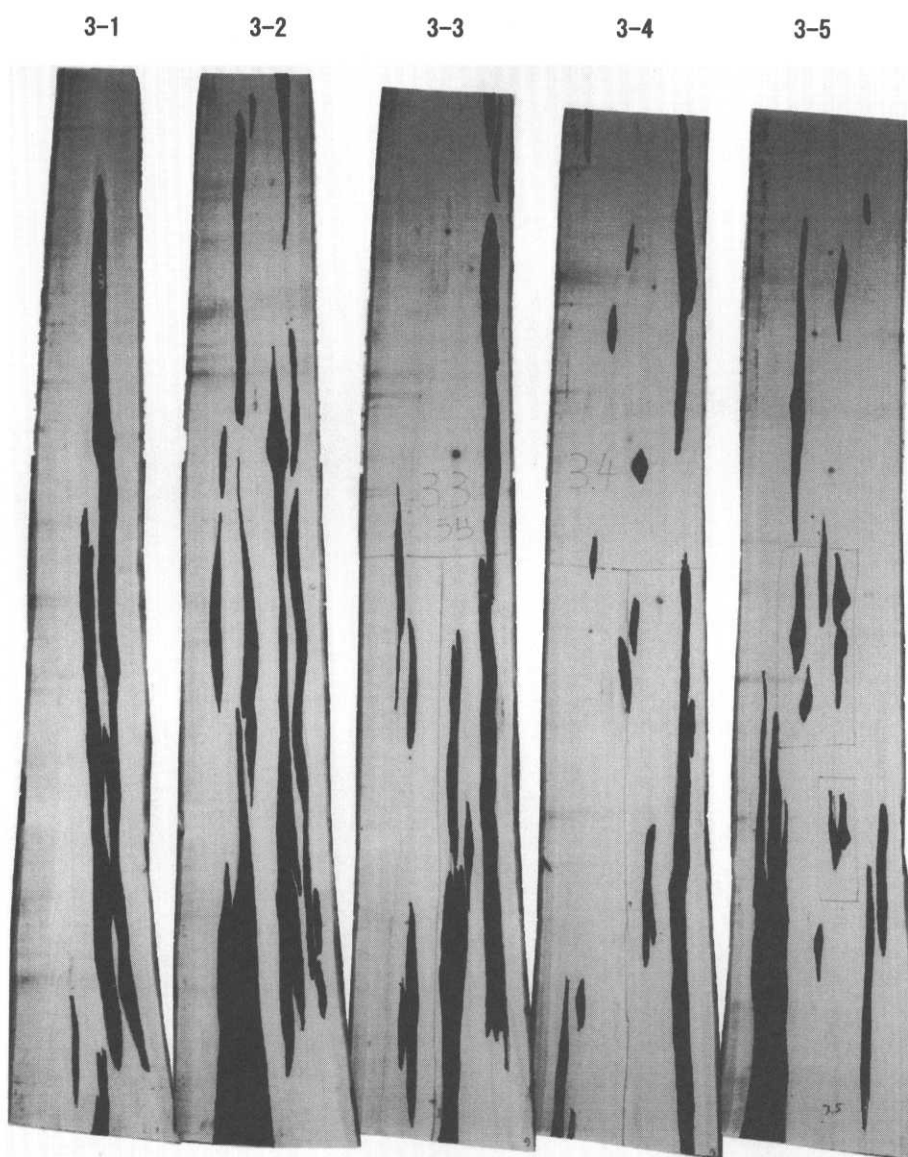


図-22 供試木 3 から得た板材の木裏側表面における水食いの分布

Fig. 22. Wetwood distribution on the pith-side surfaces of lumbars sawed from a todomatsu log, No. 3.

まで求めた。

$$E_b = \Delta P l^3 / 48 I \Delta y \quad (1)$$

$$\sigma_{bp} = P_p l / 4Z \quad (2)$$

$$\sigma_b = P_m l / 4Z \quad (3)$$

ここに、 E_b : 曲げヤング係数 (kgf/cm²), σ_{bp} : 曲げ比例限度 (kgf/cm²), σ_b : 曲げ強さ (kgf/

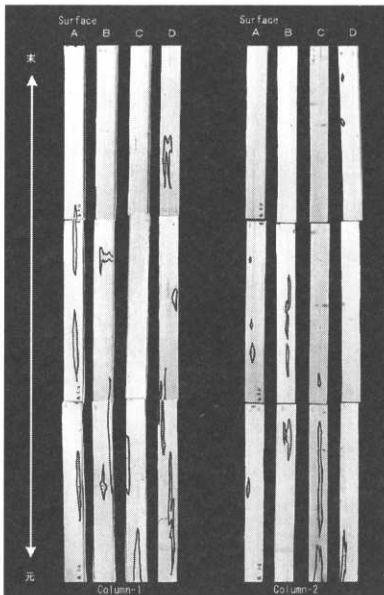


図-23 供試木 3 から得た柱材 (column-1, column-2) の各面における水食いの分布

Fig. 23. Wetwood distribution on each surface of column sawed from a todomatsu log, No. 3.

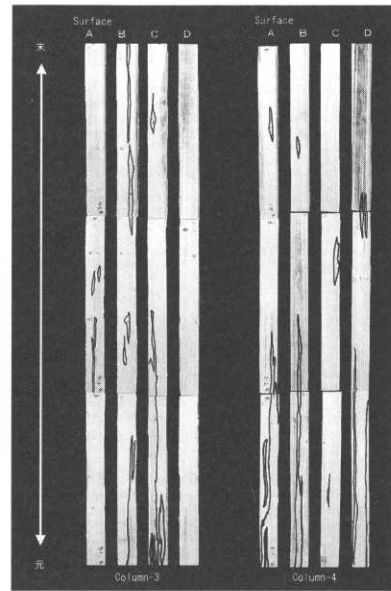


図-24 供試木 3 から得た柱材 (column-3, column-4) の各面における水食いの分布

Fig. 24. Wetwood distribution on each surface of column sawed from a todomatsu log, No. 3.

cm^2 , ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重との差 (kgf), Δy : $\Delta P \Delta$ に対応するスパン中央のたわみ (mm), I : 断面二次モーメント ($I = bh^3/12$), l : スパン (mm), b : 試験体の幅 (mm), h : 試験体の高さ (mm), Z : 断面係数 ($Z = bh^2/6$), P_v : 比例限度荷重 (kgf), P_m : 最大荷重 (kgf)。

供試木 1 の試験結果の分析では、水食い試験体と非水食い試験体間で曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数を比較、検討した。

供試木 2 の試験結果の分析では、 $2 \times 2 \times 30 \text{ cm}$ の試験体と $1 \times 1 \times 15 \text{ cm}$ の試験体間で曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数を比較、検討した。

3.2.2 結果・考察

(1) 供試木 2 の結果

供試木 2 の $2 \times 2 \times 30 \text{ cm}$ の試験体は、無欠点のものが 10 体、節を含むものが 20 体、辺材から成るものが 10 体であり、供試木 2 の $1 \times 1 \times 15 \text{ cm}$ の試験体は、無欠点のものが 10 体、節を含むものが 18 体、辺材から成るものが 10 体であった。

これらの試験体における試験結果は表-4、表-5 に示す通りである。表-4 より、 $2 \times 2 \times 30 \text{ cm}$ の試験体では、曲げ強さ、曲げヤング係数では辺材試験体の平均が最大であり、曲げ比例限度では無欠点試験体の平均が最大であった。曲げ強さ、曲げヤング係数で辺材試験体の平均値が最大であったことと、平均年輪幅においては、無欠点試験体より辺材試験体の平均年輪幅が細かいのに、試験時の密度においては、辺材試験体の平均より無欠点試験体の平均の方が大きかったことから、無欠点試験体としたものの内には、材の内側に、材面に現れていない密度の高い節などの

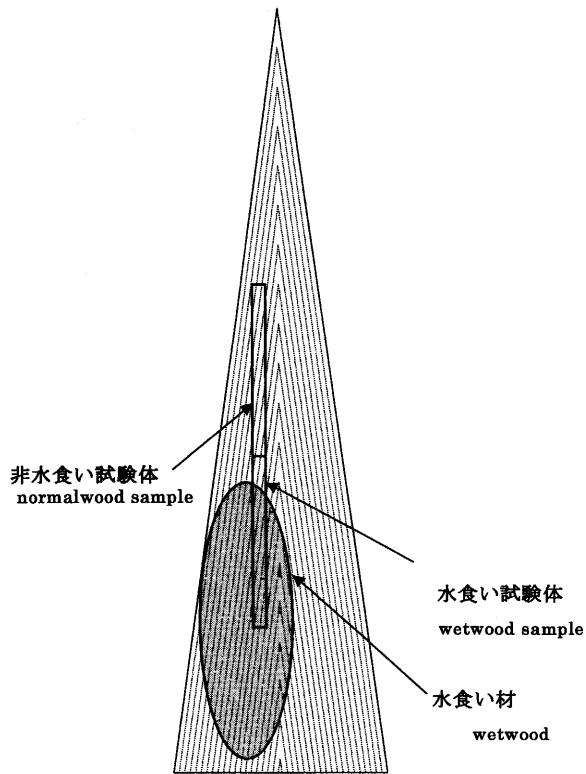
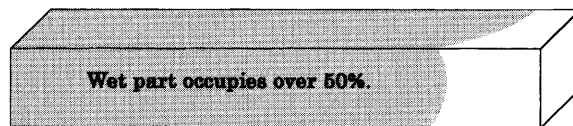


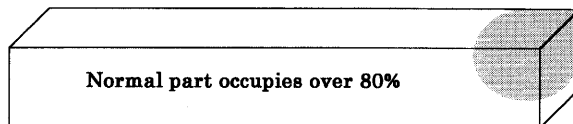
図-25 マッチングの様子

Fig. 25. Sampling method of test samples of both wetwood and normal wood.



水食い試験体

Wetwood sample



非水食い試験体

Normal wood sample

図-26 水食い・非水食い試験体の定義

Fig. 26. Definition of wetwood and normal wood sample.

表-4 供試木 2: 気乾試験体 (2×2×30 cm) の曲げ試験結果

Table 4. Results of bending test of the air-dried samples (2×2×30 cm) obtained from a todomatsu log, No. 2

	試験時の密度 (g/cm ³)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げ比例限度 (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (kgf/cm ²)	平均年輪幅 (mm)
全試験体	0.372	539	252	7.07×10 ⁴	3.13
(40 体) の平均	(0.0276)	(82.6)	(58.7)	(1.18×10 ⁴)	(0.980)
無欠点試験体	0.381	554	259	7.38×10 ⁴	3.24
(10 体) の平均	(0.0254)	(74.3)	(53.6)	(9.67×10 ³)	(0.495)
節を含んだ試験体	0.372	513	251	6.47×10 ⁴	3.51
(20 体) の平均	(0.0337)	(98.1)	(69.5)	(1.22×10 ⁴)	(1.13)
辺材試験体	0.363	574	248	7.98×10 ⁴	2.29
(10 体) の平均	(0.0132)	(36.1)	(46.7)	(5.23×10 ³)	(0.376)

括弧内の数値は標準偏差。

表-5 供試木 2: 気乾試験体 (1×1×15 cm) の曲げ試験結果

Table 5. Results of bending test of the air-dried samples (1×1×15 cm) obtained from a todomatsu log, No. 2

	試験時の密度 (g/cm ³)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げ比例限度 (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (kgf/cm ²)	含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)
全試験体	0.358	603	297	7.72×10 ⁴	11.1	0.322
(38 体) の平均	(0.0278)	(77.5)	(47.9)	(1.24×10 ⁴)	(0.715)	(0.0247)
無欠点試験体	0.366	646	292	8.44×10 ⁴	11.5	0.328
(10 体) の平均	(0.0191)	(54.1)	(24.8)	(7.76×10 ³)	(0.146)	(0.0172)
節を含んだ試験体	0.354	577	280	7.11×10 ⁴	10.9	0.319
(18 体) の平均	(0.0335)	(92.2)	(46.8)	(1.45×10 ⁴)	(0.971)	(0.0296)
辺材試験体	0.357	606	335	8.11×10 ⁴	11.0	0.322
(10 体) の平均	(0.0238)	(47.7)	(49.2)	(4.81×10 ³)	(0.270)	(0.0221)

括弧内の数値は標準偏差。

表-6 基準強度値²⁴⁾と下限品質値¹⁾

Table 6. Standard strength values and those lower limits

	曲げヤング係数	曲げ強さ	縦圧縮強さ	せん断強さ
基準強度値 (kgf/cm ²)	70,000	650	350	70
下限品質値 (kgf/cm ²)	60,000	450	250	45

欠点が含まれていることが推測できる。

表-5 の 1×1×15 cm の試験体では、曲げ強さ、曲げヤング係数では無欠点試験体の平均値が最大であり、曲げ比例限度では辺材試験体の平均値が最大であった。無欠点試験体の平均値において試験時の密度が下がったこと、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数の値が飛躍的に上昇したことから、2×2×30 cm の試験体で無欠点試験体としていたものに含まれていたと考えられる材面に現れていない欠点が 1×1×15 cm のサイズにトリミングする際に取り除かれたということが推測できる。

曲げ強さ、曲げヤング係数の結果では、両試験体サイズとも曲げヤング係数については基準強

表-7 供試木 2: 気乾試験体 (2×2×30 cm) の曲げ試験結果の試験体別の有意差の有無

Table 7. Statistic significances of the results of bending tests with the different air-dried samples (2×2×30 cm) from a todomatsu log, No. 2

	試験時の比重	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数
無欠点×節	—	—	—	—
無欠点×辺材	—	—	—	—
節×辺材	—	—	—	**

—は有意差なし, *は有意水準 5% で有意差あり, **は有意水準 1% で有意差あり。

表-8 供試木 2: 気乾試験体 (1×1×15 cm) の曲げ試験における試験体別の有意差の有無

Table 8. Statistic significances of the results of bending tests with the different air-dried samples (1×1×15 cm) from a todomatsu log, No. 2

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	含水率	全乾密度
無欠点×節	—	*	—	*	—	—
無欠点×辺材	—	—	*	—	**	—
節×辺材	—	—	**	*	—	—

—は有意差なし, *は有意水準 5% で有意差あり, **は有意水準 1% で有意差あり。

度値²⁸⁾ 70,000 kgf/cm² (表-6) を満たしていたが、曲げ強さについては、基準強度値 650 kgf/cm² を満たしておらず、下限品質値¹⁾ 450 kgf/cm² を満たすにすぎなかった。基準強度値は木質構造設計基準にさだめられている値であり、木質構造の設計の際に基準耐力を算出するために用いる値である。

無欠点試験体、節を含んだ試験体、辺材試験体、から求めた各種の平均値は、ほとんどが有効数字二桁目で違いがみられた。この違いに有意な差があるかどうか、*t* 検定を行って調べてみたところ、結果は表-7、表-8 の通りとなった。2×2×30 cm の試験体では、節を含んだ試験体と辺材試験体の曲げヤング係数に、有意水準 1% で有意差があるのみであった。一方で、1×1×15 cm の試験体では無欠点試験体と節を含んだ試験体の曲げ強さと曲げヤング係数、また、無欠点試験体と辺材試験体の曲げ比例限度、節を含んだ試験体と辺材試験体の曲げヤング係数に、有意水準 5% で有意差が見られ、節を含んだ試験体と辺材試験体の曲げ比例限度、無欠点試験体と辺材試験体の含水率に、有意水準 1% で有意差が見られた。このように、1×1×15 cm の試験体で有意差の見られる組み合わせが多かったことは、無欠点試験体では 2×2×30 cm の試験体から 1×1×15 cm の試験体へのトリミングの際に効果的に欠点が除去された一方で、節を含んだ試験体では 2×2×30 cm の試験体から 1×1×15 cm の試験体へのトリミングの際、無欠点試験体ほど欠点除去されなかったことを表していると考えられる。

2×2×30 cm の試験体と 1×1×15 cm の試験体間における、試験時の密度、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数の有意差の有無について *t* 検定を行って調べたところ、結果は表-9 の通りとなった。各サイズの全試験体どうしでの試験時の密度、曲げヤング係数、及び、無欠点試験体どうしの曲げヤング係数、節を含んだ試験体どうしの曲げ強さに、有意水準 5% で有意差が見られた。また、各サイズの全試験体どうしでの曲げ強さ、曲げ比例限度、及び、無欠点試験体どうしの曲げ強さ、辺材試験体どうしの曲げ比例限度に、有意水準 1% で有意差が見られた。

表-9 供試木 2: 曲げ試験における試験体サイズ別の有意差の有無

Table 9. Statistic significance of the results of bending tests by the difference of sample sizes that were obtained from a todomatsu log, No. 2

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数
全試験体	*	**	**	*
無欠点試験体	—	**	—	*
節を含んだ試験体	—	*	—	—
辺材試験体	—	—	**	—

—は有意差なし, *は有意水準 5% で有意差あり, **は有意水準 1% で有意差あり。

試験時の密度は $1 \times 1 \times 15$ cm の試験体の方が全体として低い値を示した。これは、トリミングによる節など密度の高い欠点の除去が、全体として両サイズの試験体間に有意差を持たせることになったと考えられる。先の考察において、無欠点試験体の材面に現れていない欠点の、トリミングによる除去の可能性を示唆したが、曲げ強さ、曲げヤング係数において無欠点試験体の試験体サイズ間に強い有意差が存したことから、あらためて無欠点試験体の材面に現れていない欠点、トリミングによって除去されたと考えることができる。ただ、曲げ比例限度については、無欠点試験体、節を含んだ試験体では試験体サイズ間に有意差が存さず、辺材試験体の試験体サイズ間に強い有意差が存した。これは、試験体サイズが小さくなると、必然的に荷重も小さくなるために生じたのだと考えられる。ヤング係数や曲げ強さなどは最大荷重が小さくなっているにもかかわらず試験体の断面積の値によって試験体のサイズの差は関係がなくなるが、曲げ比例限度のように、ある傾きから外れた時点での荷重から求めるものには、実験器具の検出限界が影響していると考えられる。つまり、実際にはチャートのペン先の太さがあるため、ある傾きから外れた時点での荷重を求める際に、正確に試験体が大きかったときと同じ条件で求めることができなかったため、曲げ比例限度については、無欠点試験体、節を含んだ試験体では試験体サイズ間に有意差が存さず、辺材試験体の試験体サイズ間に強い有意差が存する、という、曲げ強さや曲げヤング係数とは違った結果がでたのだと考えられる。

(2) 供試木 1 の結果

① 気乾試験体 $2 \times 2 \times 30$ cm

供試木 1 の $2 \times 2 \times 30$ cm の気乾試験体は全体で 48 体のうち、水食い試験体が 18 体、非水食い試験体が 17 体、同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は 11 対 (22 体) 得ることができた。これらの試験体における試験結果は表-10 に示す通りである。

水食いの強度に与える影響を考えるためには、他の要素が強度に与える影響を排さなければならない。強度に影響を与える要素としては、(水食い以外の) 欠点、含水率、全乾密度、平均年輪幅等が考えられる。これらの水食い以外の欠点については、試験体に含まれないように工夫してマッチングし、試験体を切り出した。含水率については、恒温恒湿条件下にて平衡状態に達させているため一定である。平均年輪幅については、水食い、非水食い両試験体間に差が無いことが、 t 検定で有意差が認められなかったことから示されている (表-11)。全乾密度についても、これらの試験体は平衡状態としてあるので、試験時の密度、すなわち気乾密度で代用すると、 t 検定で有意差が認められなかったことから、両試験体に差が無いことが示される。

表-10 より、水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲

表-10 供試木 1: 気乾試験体 (2×2×30 cm) の曲げ試験結果

Table 10. Results of bending tests for the air-dried samples (2×2×30 cm) obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度 (g/cm ³)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げ比例限度 (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (kgf/cm ²)	平均年輪幅 (mm)
全試験体	0.412	576	222	8.35×10^4	2.39
(48 体) の平均	(0.0181)	(61.5)	(34.8)	(8.47×10^3)	(0.378)
水食い試験体全体	0.415	547	215	8.13×10^4	2.44
(18 体) の平均	(0.0144)	(66.5)	(35.5)	(9.69×10^3)	(0.349)
非水食い試験体全体	0.410	589	220	8.57×10^4	2.35
(17 体) の平均	(0.0202)	(60.7)	(33.6)	(7.92×10^3)	(0.376)
対になった水食い試験体	0.417	551	210	8.22×10^4	2.39
(11 体) の平均	(0.0164)	(66.5)	(35.1)	(8.54×10^3)	(0.360)
対になった非水食い試験体	0.412	594	217	8.71×10^4	2.50
(11 体) の平均	(0.0226)	(72.0)	(33.6)	(8.70×10^3)	(0.331)

括弧内の数値は標準偏差。

表-11 供試木 1: 気乾試験体 (2×2×30 cm) の曲げ試験における水食い、非水食いの違いによる有意差の有無

Table 11. Statistic significance of the results of bending test with the difference between wetwood and normal wood

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅
水食い全体× 非水食い全体	—	—	—	—	—
対になった 水食い×非水食い	—	—	—	—	—

—は有意差なし, *は有意水準 5% で有意差あり, **は有意水準 1% で有意差あり。

表-12 供試木 1: 気乾試験体 (2×2×30 cm) の曲げ試験における水食い、非水食いの相関

Table 12. Correlationship of the results of bending tests between wetwood and normal wood

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅
相 関 係 数	0.944	0.772	0.768	0.661	0.864
相関の有無	**	**	**	*	**

—は相関なし, *は有意水準 5% で相関あり, **は有意水準 1% で相関あり。

げヤング係数について比べてみると、いずれも非水食い試験体のほうが大きい値を示した。また、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数の標準偏差については、対になった非水食い試験体の曲げ強さと曲げヤング係数を除いては、いずれも水食い試験体の方が大きかった。また、曲げヤング係数については水食い試験体、非水食い試験体いずれも基準強度値²⁸⁾である 70,000 kgf/cm²を満たしていたが、曲げ強さについては水食い試験体、非水食い試験体いずれも下限品質値⁵⁾である 450 kgf/cm²を満たすにすぎなかった。

水食い試験体、非水食い試験体の曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数、試験時の密度、平均年輪幅の平均値の差について *t* 検定を行い、両者の差が有意なものであるかどうか調べた。

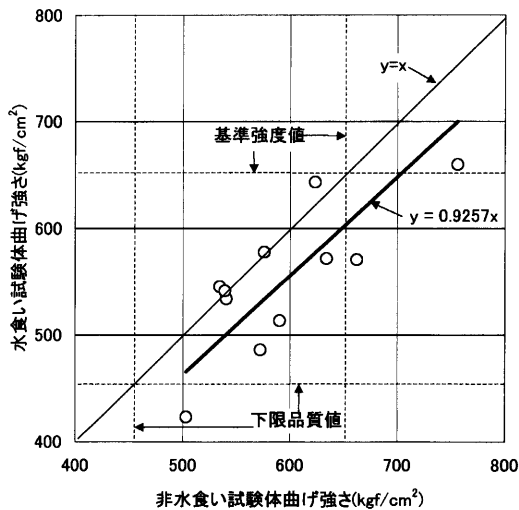


図-27 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ強さの相関（気乾材，断面寸法 2×2 cm） $r=0.772(**)$

Fig. 27. Relationship of bending strength between those of wetwood and of normal wood. (Sample condition; air dried, 2×2 cm dimension)

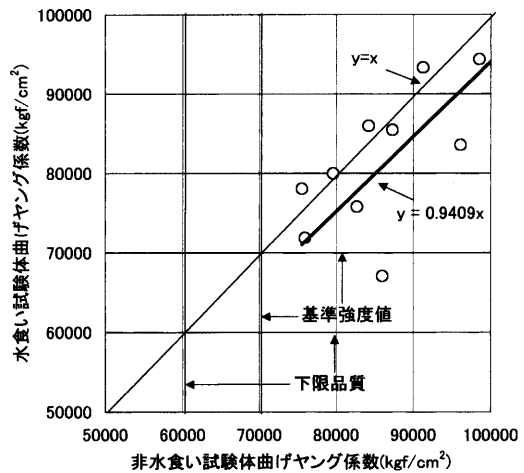


図-28 水食い試験体と非水食い試験体の曲げヤング係数の相関（気乾材，断面寸法 2×2 cm） $r=0.661(*)$

Fig. 28. Relationship of modulus of elasticity between those of wetwood and of normal wood. (Sample condition; air dried, 2×2 cm dimension)

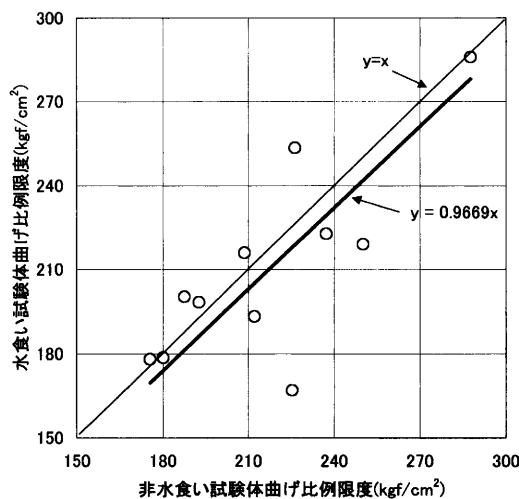


図-29 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ比例限度の相関（気乾材，断面寸法 2×2 cm） $r=0.768(**)$

Fig. 29. Relationship of modulus of elasticity between those of wetwood and of normal wood. (Sample condition; air dried, 2×2 cm dimension)

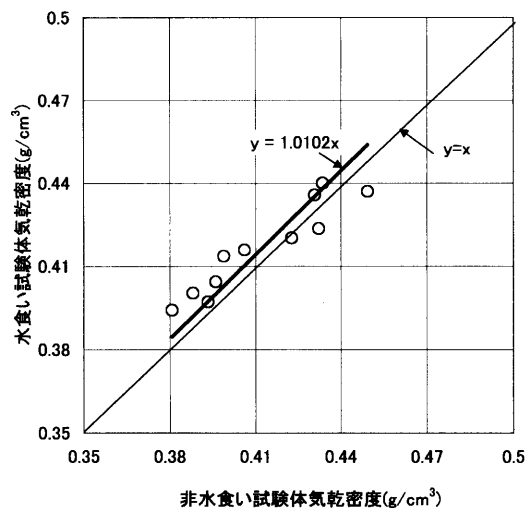


図-30 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ比例限度の相関（気乾材，断面寸法 2×2 cm） $r=0.944(**)$

Fig. 30. Relationship of modulus of elasticity between those of wetwood and of normal wood. (Sample condition; air dried, 2×2 cm dimension)

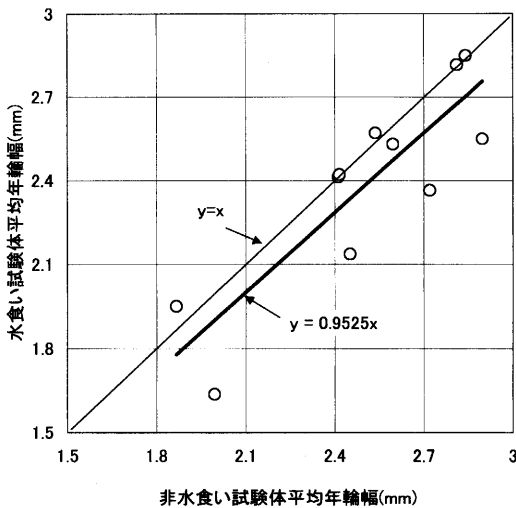


図-31 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ比例限度の相関（気乾材，断面寸法 2×2 cm） $r=0.864(**)$

Fig. 31. Relationship of modulus of elasticity between those of wetwood and of normal wood. (Sample condition; air dried, 2×2 cm dimension)

結果は表-11の通りであり，水食い試験体と非水食い試験体の間に有意差は無かった。

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関をとり，相関の有無，相関係数および近似直線の傾きを調べてみた（表-12，図-27～図-31）。表-12より，対になった水食い試験体と非水食い試験体の相関係数は，曲げヤング係数が有意水準5%で有意な相関であった以外は，試験時の密度，曲げ強さ，曲げ比例限度，平均年輪幅の全てにおいて有意水準1%で有意な相関が認められた。また，試験時の密度を除く，曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数，平均年輪幅の近似直線の傾きはすべて1以下の値となった。

これらの結果から，この試験体における，水食いの強度に与える影響について考察してみる。まず，平均値については，曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数，いずれも非水食い試験体のほうが水食い試験体の平均より高い値を示している。また，非水食い試験体と水食い

試験体の相関図においては，近似直線の傾きが，曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数，いずれも1以下となっている。非水食い試験体の曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数を横軸，水食い試験体の曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数を縦軸とした相関図において，近似直線の傾きが1以下となっていることは，水食い試験体の曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数が非水食い試験体に比べて小さいということにほかならない。しかし，非水食い試験体の曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数の平均と水食い試験体の曲げ強さ，曲げ比例限度，曲げヤング係数の平均値を t 検定により調べてみると，両者に違いは無いという結果となっている。これらのことから，この試験体における水食いの強度に与える影響は完全には否定できないものの，影響が存在したとしても非水食い試験体と水食い試験体の間に有意差を生じさせない程度の弱い影響であるということが推測できる。

② 気乾試験体 $1 \times 1 \times 15$ cm

供試木1の $1 \times 1 \times 15$ cmの気乾試験体は全体で48体のうち，水食い試験体が13体，非水食い試験体が16体，同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は7対（14体）得ることができた。これらの試験体における試験結果は表-13に示す通りである。

強度に影響を与える要素としては，（水食い以外の）欠点，含水率，全乾密度，平均年輪幅等が考えられる。水食い以外の欠点については，試験体に含まれないように注意してマッチングし，試験体を切り出した。 $1 \times 1 \times 15$ cmの試験体は， $2 \times 2 \times 30$ cmの試験体から試験後に破壊しなかった個所から切り出しているため， $2 \times 2 \times 30$ cmの試験体より，さらに欠点を含んでいないと考えられる。含水率，全乾密度，平均年輪幅については，水食い，非水食い両試験体間に差が無

いことが、 t 検定で有意差が認められなかったことから示されている（表-14）。

表-13 より、水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数について比べてみると、いずれも非水食い試験体のほうが大きい値を示した。また、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数の標準偏差については、水食い、非水食い全体では水食い試験体の方が大きく、水食い、非水食いが対になったものでは非水食い試験体のほうが大きかった。また、曲げヤング係数については水食い試験体、非水食い試験体いずれもトドマツの基準強度値²⁸⁾である $70,000 \text{ kgf/cm}^2$ を満たしていた。しかし、曲げ強さについては非水食い試験体では基準強度値²⁸⁾である 650 kgf/cm^2 を満たしていたが、水食い試験体では下限品質値⁵⁾である 450 kgf/cm^2 を満たすにすぎなかった。

水食い試験体、非水食い試験体の曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数、試験時の密度、平均年輪幅、含水率、全乾密度の平均値の差について t 検定を行い、両者の差が有意なものであるかどうか調べた。結果は表-14 の通りであり、水食い試験体と非水食い試験体の間に有意差は無かった。

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関をとり、相関の有無、相関係数および近似直線の傾きを調べた（表-15、図-32～図-38）。表-15 より、対になった水食い試験体と非水食い試験体の相関係数は、試験時の密度、平均年輪幅では有意水準 1% で有意な相関であったが、含

表-13 供試木 1: 気乾試験体 ($1 \times 1 \times 15 \text{ cm}$) の曲げ試験結果

Table 13. Results of bending test of air-dried samples ($1 \times 1 \times 15 \text{ cm}$) obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度 (g/cm^3)	曲げ強さ (kgf/cm^2)	曲げ比例限度 (kgf/cm^2)	曲げヤング係数 (kgf/cm^2)	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)	全乾密度 (g/cm^3)
全試験体	0.400	665	326	8.87×10^4	2.39	11.4	0.359
(48体)の平均	(0.0201)	(106)	(62.0)	(1.30×10^4)	(0.378)	(0.595)	(0.0177)
水食い試験体全体	0.402	619	299	8.58×10^4	2.41	11.2	0.361
(13本)の平均	(0.0156)	(173)	(90.1)	(1.99×10^4)	(0.372)	(0.835)	(0.0999)
非水食い試験体全体	0.391	662	317	8.71×10^4	2.32	11.4	0.351
(16体)の平均	(0.0213)	(47.4)	(35.0)	(1.02×10^4)	(0.429)	(0.686)	(0.0186)
対になった水食い試験体(7体)の平均	0.405 (0.0177)	646 (76.4)	322 (46.4)	8.99×10^4 (1.09×10^4)	2.36 (0.422)	11.4 (0.209)	0.364 (0.0155)
対になった非水食い試験体(7体)の平均	0.411 (0.0241)	694 (93.6)	324 (49.1)	9.36×10^4 (1.29×10^4)	2.44 (0.368)	11.5 (0.160)	0.368 (0.0216)

括弧内の数値は標準偏差。

表-14 供試木 1: 気乾試験体 ($1 \times 1 \times 15 \text{ cm}$) の曲げ試験における水食い、非水食いの有意差の有無

Table 14. Statistic significance of the results of bending tests with the different air-dried samples ($1 \times 1 \times 15 \text{ cm}$) from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅	含水率	全乾密度
水食い全体× 非水食い全体	—	—	—	—	—	—	—
対になった水 食い×非水食い	—	—	—	—	—	—	—

—は有意差なし、*は有意水準 5% で有意差あり、**は有意水準 1% で有意差あり。

表-15 供試木 1: 気乾試験体 (1×1×15 cm) の曲げ試験における水食い、非水食いの相関

Table 15. Correlationship of the results of bending tests between wetwood and normal wood

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅	含水率	全乾密度
相関係数	0.878	0.721	0.728	0.754	0.929	0.773	0.873
相関の有無	**	—	—	—	**	*	*

—は相関なし, * は有意水準 5% で相関あり, ** は有意水準 1% で相関あり。

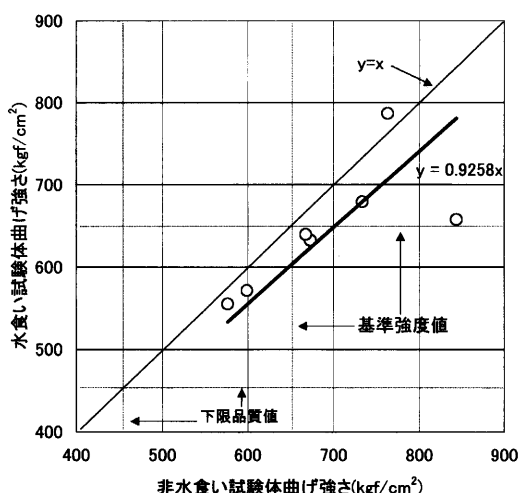


図-32 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ強さの相関 (気乾材, 断面寸法: 1×1 cm) $r=0.721$

Fig. 32. Correlationship of bending strength between those of wetwood and of normal wood. (air dried, 1×1 cm dimension)

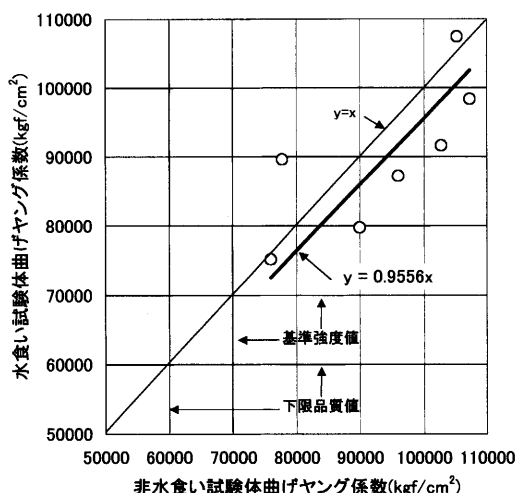


図-33 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ強さの相関 (気乾材, 断面寸法: 1×1 cm) $r=0.754$

Fig. 33. Correlationship of modulus of elasticity between those of wetwood and of normal wood. (air dried, 1×1 cm dimension)

水率, 全乾密度では有意水準 5% で有意な相関, 曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数では有意な相関はなかった。また, 曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数, 試験時の密度, 平均年輪幅, 含水率, 全乾密度の近似直線の傾きはすべて 1 以下の値となった。

これらの結果から, この試験体における, 水食いの強度に与える影響について考察してみる。まず, 気乾で 2×2×30 cm の試験体と異なる点は, 対になった水食い, 非水食い試験体間に有意な相関がないことであるが, 有意水準を 10% にすればいずれも有意な相関を有していた。平均値については, 曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数, いずれも非水食い試験体のほうが水食い試験体の平均より高い値を示している。また, 非水食い試験体と水食い試験体の相関図においては, 近似直線の傾きが, 曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数, いずれも 1 以下となっている。非水食い試験体の曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数を横軸, 水食い試験体の曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数を縦軸とした相関図において, 近似直線の傾きが 1 以下となっていることは, 水食い試験体の曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数が非水食い試験体に比べて小さいということにほかならない。しかし, 非水食い試験体の曲げ強さ, 曲げ比例限

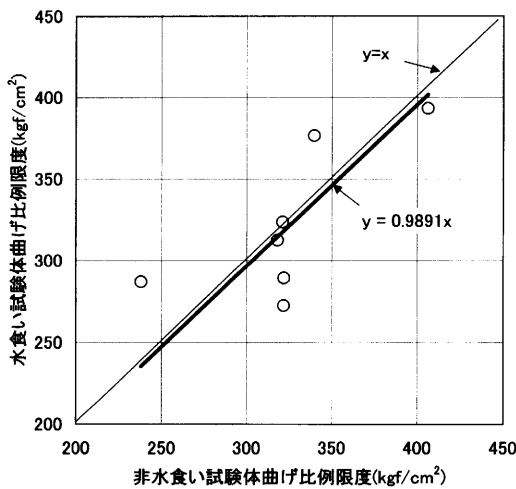


図-34 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ比例限度の相関（気乾材，断面寸法：1×1 cm） $r=0.728$

Fig. 34. Correlation of proportional limit in bending between those of wetwood and of normal wood. (air dried, 1×1 cm dimension)

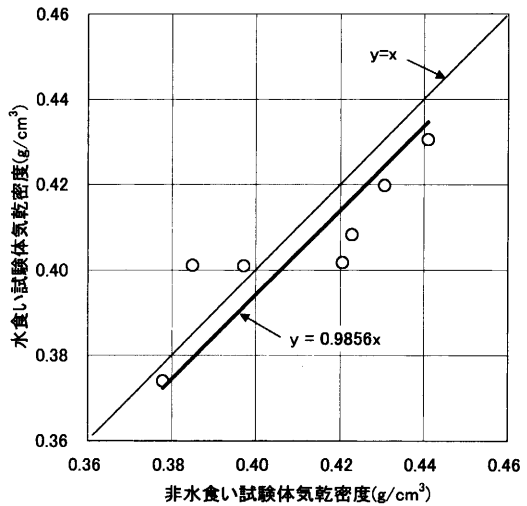


図-35 水食い試験体と非水食い試験体の気乾密度の相関（気乾材，断面寸法：1×1 cm） $r=0.878(**)$

Fig. 35. Correlation of the air-dried density between those of wetwood and of normal wood. (air dried, 1×1 cm dimension)

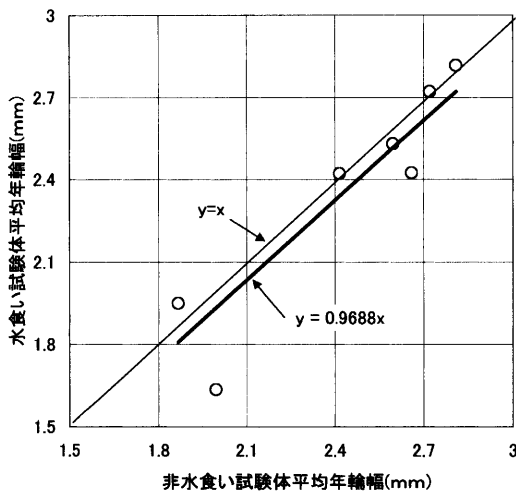


図-36 水食い試験体と非水食い試験体の平均年輪幅の相関（気乾材，断面寸法：1×1 cm） $r=0.929(**)$

Fig. 36. Correlation of the width of average annual ring between those of wetwood and of normal wood. (air dried, 1×1 cm dimension)

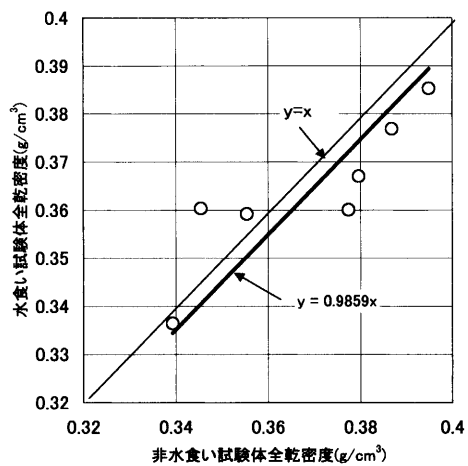


図-37 水食い試験体と非水食い試験体の全乾密度の相関（断面寸法：1×1 cm） $r=0.873(*)$

Fig. 37. Correlation of the oven-dried density between those of wetwood and of normal wood. (1×1 cm dimension)

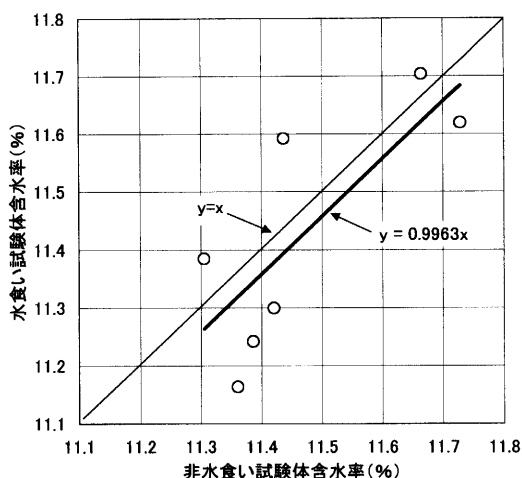


図-38 水食い試験体と非水食い試験体の含水率の相関(気乾材, 断面寸法: 1×1 cm) $r=0.773(*)$

Fig. 38. Correlationship of moisture contents between those of wetwood and of normal wood. (air dried, 1×1 cm dimension)

度, 曲げヤング係数の平均と水食い試験体の曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数の平均を t 検定により調べてみると, 両者に違いは無いという結果となっている。これらのことから, この試験体における水食いの強度に与える影響は $2 \times 2 \times 30$ cm の試験体と同様, 完全には否定できないものの, 影響が存在したとしても非水食い試験体と水食い試験体の間に有意差を生じさせない程度の弱い影響であるということが推測できる。

③ 生材試験体 $2 \times 2 \times 30$ cm

供試木 1 の $2 \times 2 \times 30$ cm の生材試験体は全体で 44 体採取した。そのうち, 水食い試験体が 11 体, 非水食い試験体が 13 体, 同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は 9 対 (18 体) 得ることができた。これらの試験体における試験結果は表-16 に示す通りである。水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を, 曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数について比べてみると, 対になった非水食い試験体の曲げ強さを除くと, いずれも水食い試験体のほうが大きい値を示した。また, 曲げ強さ, 曲げヤング係数の標準偏差については水食い試験体の方が, 曲げ比例限度の標準偏差については非水食い試験体の方が大きかった。

水食い試験体, 非水食い試験体の曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数, 試験時の密度, 平均年輪幅の平均値の差について t 検定を行い, 両者の差が有意なものであるかどうか調べた。結果は表-17 の通りであり, 試験時の密度が有意水準 1% で差が認められた。これは含まれる水

表-16 供試木 1: 生材試験体 ($2 \times 2 \times 30$ cm) の曲げ試験結果

Table 16. Results of bending test of green samples ($2 \times 2 \times 30$ cm) obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度 (g/cm^3)	曲げ強さ (kgf/cm^2)	曲げ比例限度 (kgf/cm^2)	曲げヤング係数 (kgf/cm^2)	平均年輪幅 (mm)
全試験体 (44 体) の平均	0.763 (0.122)	303 (38.2)	107 (33.3)	4.36×10^4 (1.00×10^4)	2.42 (0.310)
水食い試験体全体 (11 体) の平均	0.893 (0.0356)	304 (42.0)	112 (21.0)	4.64×10^4 (9.47×10^3)	2.40 (0.347)
非水食い試験体全体 (13 体) の平均	0.686 (0.0836)	304 (32.5)	86.7 (22.3)	4.43×10^4 (8.00×10^3)	2.50 (0.264)
対になった水食い試験体 (9 体) の平均	0.905 (0.0256)	299 (44.8)	107 (16.5)	4.52×10^4 (9.44×10^3)	2.46 (0.294)
対になった水食い試験体 (9 体) の平均	0.692 (0.0940)	304 (29.9)	79.6 (20.7)	4.41×10^4 (6.87×10^3)	2.48 (0.262)

括弧内の数値は標準偏差。

表-17 供試木 1: 生材試験体 (2×2×30 cm) の曲げ試験における水食い、非水食いの有意差の有無
Table 17. Statistic significance of the results of bending tests for different green samples (2×2×30 cm) between wetwood and normal wood that were from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅
水食い全体× 非水食い全体	**	—	*	—	—
対になった 水食い×非水食い	**	—	—	—	—

—は有意差なし, *は有意水準 5% で有意差あり, **は有意水準 1% で有意差あり。

表-18 供試木 1: 生材試験体 (2×2×30 cm) の曲げ試験結果における水食い、非水食いの相関
Table 18. Correlationship of the results of bending tests for green samples (2×2×30 cm) between wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅
相 関 係 数	-0.226	0.848	0.107	0.982	0.868
相関の有無	—	**	—	**	**

—は相関なし, *は有意水準 5% で相関あり, **は有意水準 1% で相関あり。

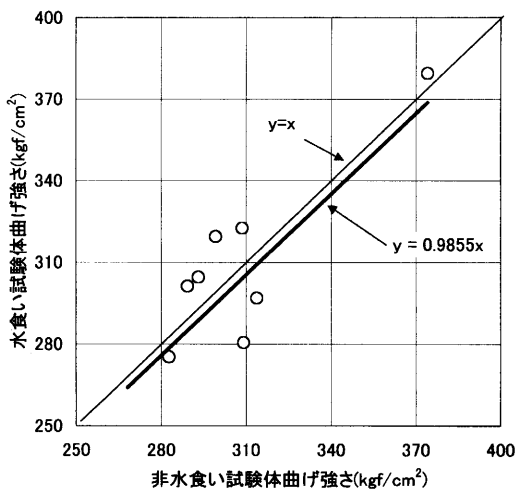


図-39 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ強さの相関 (生材, 断面寸法: 2×2 cm) $r=0.848(**)$

Fig. 39. Correlationship of bending strength between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 2×2 cm dimension)

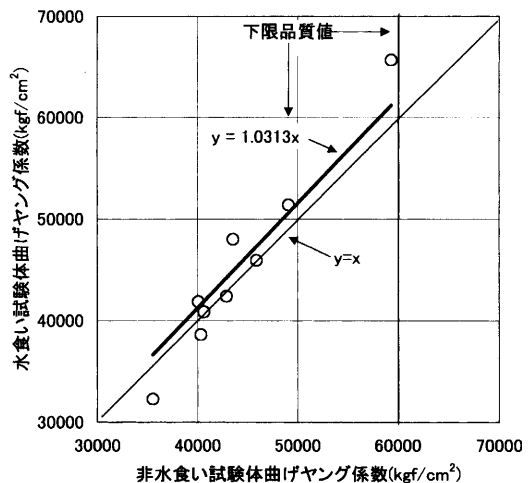


図-40 水食い試験体と非水食い試験体の曲げヤング係数の相関 (生材, 断面寸法: 2×2 cm) $r=0.982(**)$

Fig. 40. Correlationship of modulus of elasticity in bending between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 2×2 cm dimension)

分の影響によるものである。しかし、水食い試験体全体の平均値と非水食い試験体全体の平均値において曲げ比例限度が有意水準 5% で有意差が認められる以外は、水食い試験体と非水食い試験体の間に強度面での有意差は無かった。

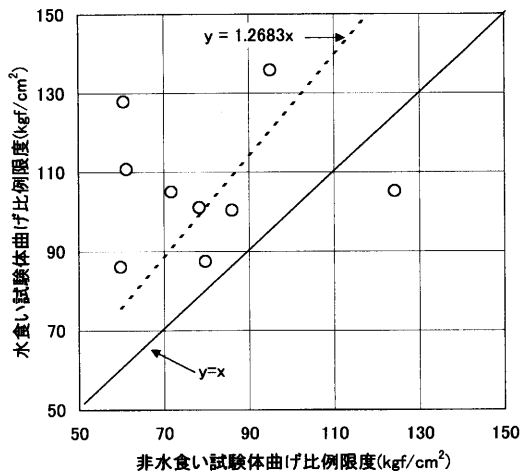


図-41 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ比例限度の相関 (生材, 断面寸法: 2×2 cm) $r=0.107$

Fig. 41. Correlation of proportional limit in bending between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 2×2 cm dimension)

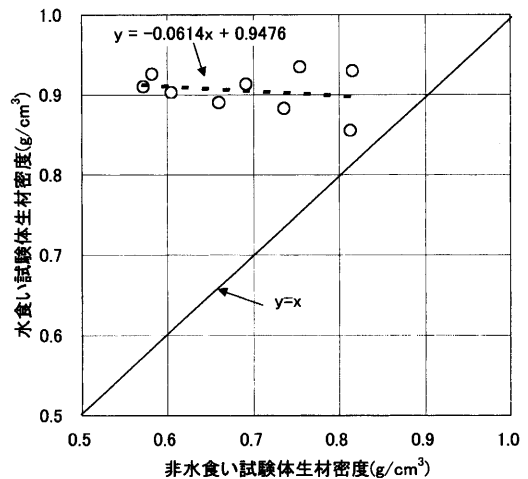


図-42 水食い試験体と非水食い試験体の生材密度の相関 (生材, 断面寸法: 2×2 cm) $r=-0.226$

Fig. 42. Correlation of green density of samples between wetwood and normal wood. (green condition, 2×2 cm dimension)

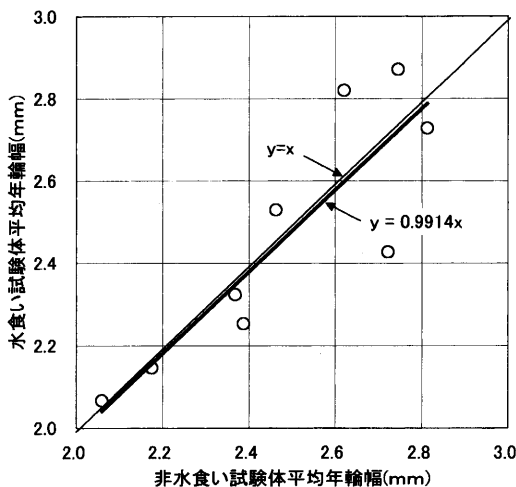


図-43 水食い試験体と非水食い試験体の平均年輪幅の相関 (生材, 断面寸法: 2×2 cm) $r=0.868(**)$

Fig. 43. Correlation of the width of average annual ring between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 2×2 cm dimension)

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関をとり、相関係数および近似直線の傾きを調べてみた (表-18, 図-39～図-43)。表-18より、対になった水食い試験体と非水食い試験体の相関係数は、試験時の密度、曲げヤング係数で有意な相関が認められなかった以外は、曲げ強さ、曲げ比例限度、平均年輪幅において有意水準 1% で有意な相関が認められた。また、相関係数が負の値となった試験時の密度を除くと、曲げ強さ、平均年輪幅の近似直線の傾きは 1 以下、曲げ比例限度、曲げヤング係数のそれは 1 以上の値となった。

生材試験体においては含水率の違いが強度に影響を与えることが考えられるが、水食い試験体、非水食い試験体ともに全乾密度を 0.4 g/cm^3 としても試験時の密度では繊維飽和点を超えているため、影響は小さいと推測される。

気乾試験体では水食い、非水食い試験体間に有意な差こそ認められなかったものの、平均値

や相関図では非水食い試験体のほうが曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数については高い値を示す傾向が見られたが、生材試験体ではそのような傾向がみられないばかりか、水食い試験体の方が非水食い試験体よりも高い値を示す傾向まで見られた。また、生材試験体では曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数といった値が気乾試験体に比べ全体的に激減していた。これらのことから、この試験体では水食いの強度に与える影響は認められないが、高含水率であることにより強度が激減していることがわかる。

④ 生材試験体 1×1×15 cm

供試木 1 の 1×1×15 cm の生材試験体は全体で 29 体のうち、水食い試験体が 12 体、非水食

表-19 供試木 1: 生材試験体 (1×1×15 cm) の曲げ試験結果

Table 19. Results of bending test for green samples (1×1×15 cm) obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度 (g/cm ³)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	曲げ比例限度 (kgf/cm ²)	曲げヤング係数 (kgf/cm ²)	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)
全試験体	0.757	373	153	6.39×10 ⁴	2.43	132	0.327
(29 体)の平均	(0.208)	(31.3)	(32.6)	(8.38×10 ³)	(0.308)	(64.7)	(0.0167)
水食い試験体全体	0.971	374	163	6.35×10 ⁴	2.31	200	0.324
(12 体)の平均	(0.0811)	(36.1)	(37.2)	(8.43×10 ³)	(0.299)	(27.0)	(0.0125)
非水食い試験体全体	0.565	369	145	6.27×10 ⁴	2.52	73.0	0.327
(14 体)の平均	(0.0670)	(28.8)	(29.1)	(8.31×10 ³)	(0.291)	(19.6)	(0.0191)
対になった水食い 試験体(6 体)の平均	0.997	363	163	6.05×10 ⁴	2.39	208	0.324
	(0.0717)	(34.8)	(44.5)	(8.92×10 ³)	(0.401)	(25.8)	(0.0130)
対になった非水食い 試験体(6 体)の平均	0.532	370	154	5.90×10 ⁴	2.41	70.2	0.313
	(0.0316)	(33.8)	(27.8)	(5.32×10 ³)	(0.337)	(12.3)	(0.0107)

括弧内の数値は標準偏差。

表-20 供試木 1: 生材試験体 (1×1×15 cm) の曲げ試験における水食い、非水食いの有意差の有無

Table 20. Statistic significance of the results of bending tests for green samples (1×1×15 cm) between wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅	含水率	全乾密度
水食い全体× 非水食い全体	**	—	—	—	—	**	—
対になった水 食い×非水食い	**	—	—	—	—	**	—

—は有意差なし、*は有意水準 5% で有意差あり、**は有意水準 1% で有意差あり。

表-21 供試木 1: 生材試験体 (1×1×15 cm) の曲げ試験における水食い、非水食いの相関

Table 21. Correrationship of the results of bending tests using green samples (1×1×15 cm) between wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	曲げ強さ	曲げ比例限度	曲げヤング係数	平均年輪幅	含水率	全乾密度
相 関 係 数	0.867	0.730	0.855	0.949	0.956	0.845	0.839
相関の有無	*	—	*	**	**	*	*

—は相関なし、*は有意水準 5% で相関あり、**は有意水準 1% で相関あり。

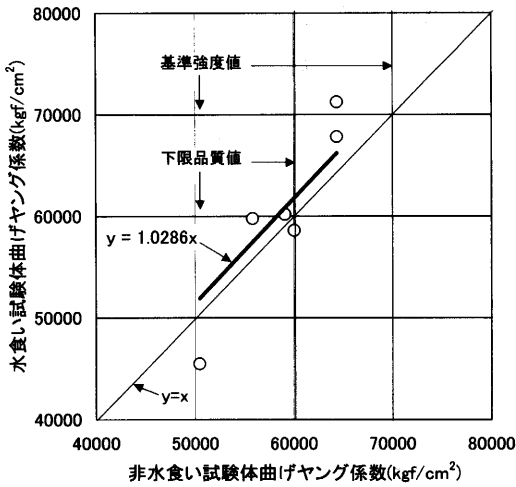


図-44 水食い試験体と非水食い試験体の曲げヤング係数の相関 (生材, 断面寸法: 1×1 cm) $r=0.949(**)$

Fig. 44. Correlation of modulus of elasticity in bending between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 1×1 cm dimension)

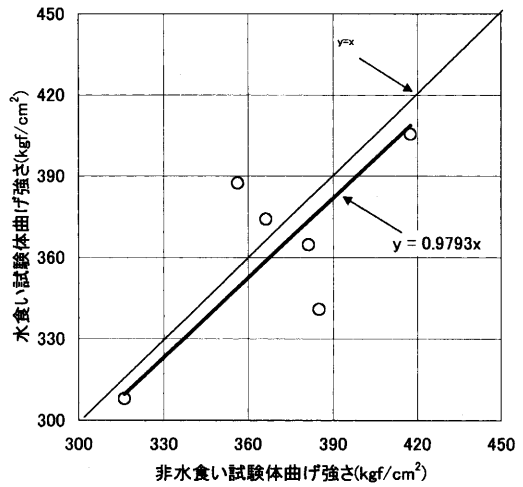


図-45 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ強さの相関 (生材, 断面寸法: 1×1 cm) $r=0.730$

Fig. 45. Correlation of modulus of rupture in bending between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 1×1 cm dimension)

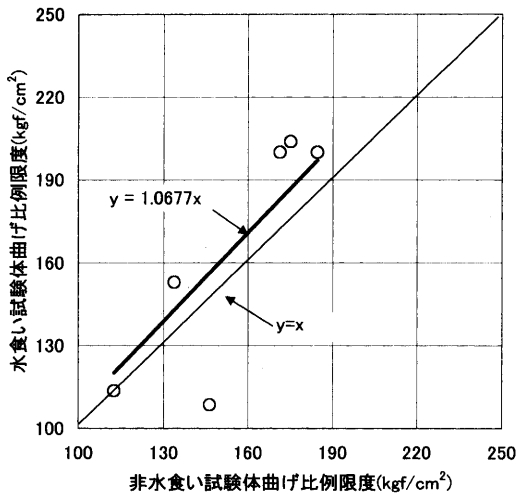


図-46 水食い試験体と非水食い試験体の曲げ比例限度の相関 (生材, 断面寸法: 1×1 cm)

Fig. 46. Correlation of proportional limit in bending between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 1×1 cm dimension) $r=0.855(*)$

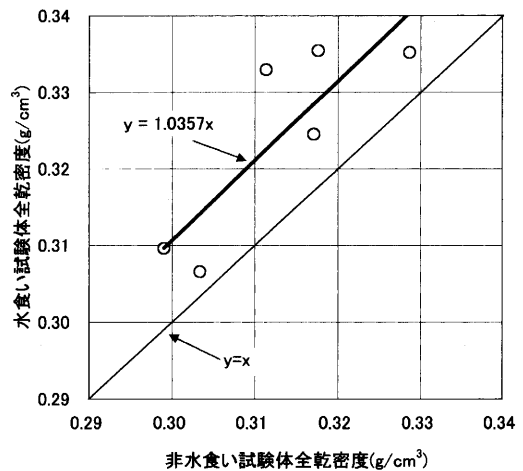


図-47 水食い試験体と非水食い試験体の全乾密度の相関 (生材, 断面寸法: 1×1 cm) $r=0.839(*)$

Fig. 47. Correlation of oven-dry density between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 1×1 cm dimension)

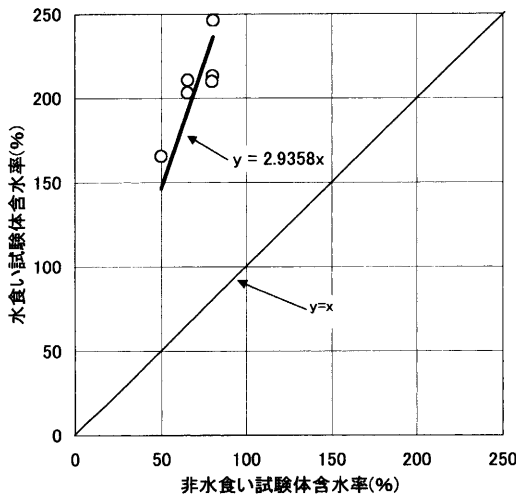


図-48 水食い試験体と非水食い試験体の含水率の相関 (生材, 断面寸法: 1×1 cm)
 $r = 0.845(*)$

Fig. 48. Correlation of moisture contents between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 1×1 cm dimension)

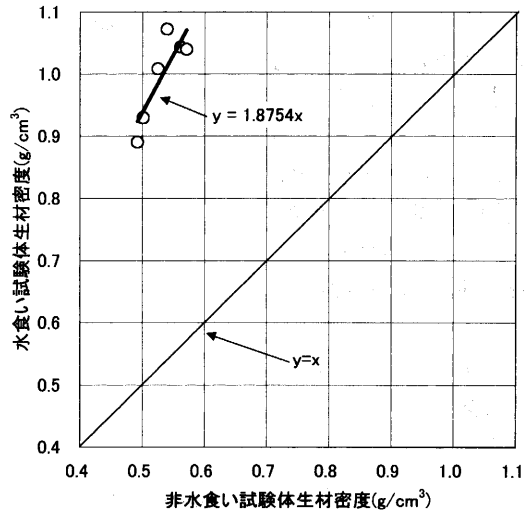


図-49 水食い試験体と非水食い試験体の含水率の相関 (生材, 断面寸法: 1×1 cm)
 $r = 0.867(*)$

Fig. 49. Correlation of green density between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 1×1 cm dimension)

い試験体が 14 体, 同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は 6 対 (12 体) 得ることができた。これらの試験体における試験結果は表-19 に示す通りである。

水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を, 曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数について比べてみると, 対になった非水食い試験体の曲げ強さを除くと, いずれも水食い試験体のほうが大きい値を示した。また, 標準偏差については水食い試験体の方が大きかった。

水食い試験体, 非水食い試験体の曲げ強さ, 曲げ比例限度, 曲げヤング係数, 試験時の密度, 平均年輪幅, 含水率, 全乾密度の平均値の差について t 検定を行い, 両者の差が有意なものであるかどうか調べた。結果は表-20 の通りであり, 試験時の密度, 含水率を除いては水食い試験体と非水食い試験体の間に有意差は無かった。

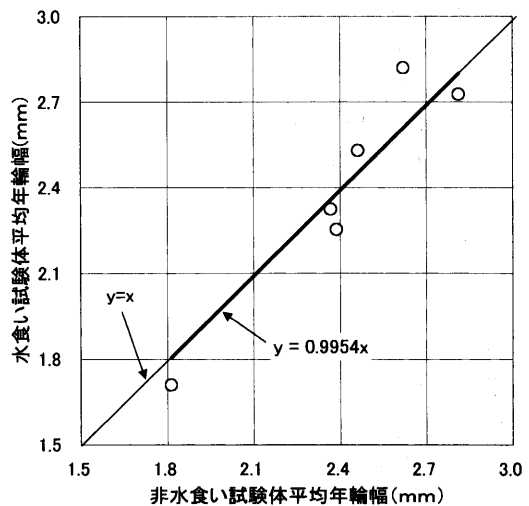


図-50 水食い試験体と非水食い試験体の平均年輪幅の相関 (生材, 断面寸法: 1×1 cm) $r = 0.899(*)$

Fig. 50. Correlation of the width of average annual ring between those of wetwood and of normal wood. (green condition, 1×1 cm dimension)

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関をとり、相関係数および近似直線の傾きを調べてみた（表-21、図-44～図-50）。表-21より、対になった水食い試験体と非水食い試験体の相関係数は、曲げ強さで有意な相関が認められなかった以外は、曲げヤング係数、平均年輪幅においては有意水準1%で、試験時の密度、曲げ比例限度、含水率、絶乾密度においては有意水準5%で有意な相関が認められた。また、曲げ強さ、平均年輪幅の近似直線の傾きは1以下、曲げ比例限度、曲げヤング係数、含水率、試験時の密度、全乾密度のそれは1以上の値となった。

生材試験体においては含水率の違いが強度に影響を与えることが考えられるが、水食い試験体、非水食い試験体ともに全試験体とも含水率は繊維飽和点である30%を超えており、影響は小さいと推測される。

気乾試験体では水食い、非水食い試験体間に有意な差こそ認められなかったものの、平均値や相関図では非水水食い試験体のほうが曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数については高い値を示す傾向が見られたが、生材試験体ではそのような傾向がみられないばかりか、水食い試験体の方が非水食い試験体よりも高い値を示す傾向まで見られた。また、生材試験体では曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数といった値が気乾試験体に比べ全体的に激減していた。これらのことから、この試験体では $2 \times 2 \times 30$ cmの試験体と同様、水食いの強度に与える影響は認められないが、高含水率であることにより強度が激減していることがわかる。

3.2.3 まとめ

トドマツの気乾試験体、生材試験体について JIS Z 2101-1994 に準拠した曲げ試験を行い、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数が水食いの存非により影響を受けるか否かについて調べた。結果は気乾試験体では曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数といった値は非水食い試験体の方が大きい傾向があったが、統計的な差は存在しなかった。

生材試験体では曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数といった値は全体的に著しく減少しており、水食い試験体と非水食い試験体の比較では気乾試験体とは逆に、水食い試験体の方が大きい傾向があった。しかし、これにも統計的な差は存在しなかった。

3.3 縦圧縮試験

3.3.1 実験方法

(1) 試験体

供試木1から試験体を用意した。

供試木1について、縦圧縮試験体は試験を終えた曲げ試験体から切り出した。曲げ試験体は水食い試験体と非水食い試験体が同一の年輪を含むようにマッチングしてあるので、縦圧縮試験体も水食い試験体と非水食い試験体が同一の年輪を含むようになっている。しかし、供試木1の年輪は丸太の髄の方向に $1/80$ radほど傾いていたため、縦圧縮試験体についても、同一の年輪を含むように作成していても、全く同一の年輪から構成されてはいないこととなった。

縦圧縮試験体においても水食い試験体と非水食い試験体の定義は、材面の水食い部の面積から定めた。すなわち、材面に水食いを含まないか、水食い部が20%以下のものを非水食い試験体、材面の水食い部が中央を含む50%以上のものを水食い試験体とした。試験体は生材試験体および気乾試験体それぞれについて $2 \times 2 \times 3$ cmに仕上げた。気乾試験体は48体、生材試験体は30体用意した。

(2) 方法

縦圧縮試験は JIS Z 2101-1994 に準拠して、万能試験機 (INSTRON 4204) を用い、クロスヘッドスピード 0.2 mm/min で行った。各々の試験体から試験時の密度、圧縮強さ、試験時の含水率、全乾密度を求めた。

縦圧縮試験結果は次の (4)~(6) 式によって算出し、有効数字 3 けたまで求めた。

$$\text{縦圧縮ヤング係数: } E_c = \Delta P / \Delta L / A \quad (4)$$

$$\text{縦圧縮比例限度: } \sigma_{cp} = P_v / A \quad (5)$$

$$\text{縦圧縮強さ: } \sigma_c = P_m / A \quad (6)$$

試験結果の分析では、水食い試験体と非水食い試験体間で縦圧縮強さを比較、検討した。

3.3.2 結果・考察

(1) 気乾試験体の結果

供試木 1 の気乾試験体は全体で 48 体のうち、水食い試験体が 20 体、非水食い試験体が 23

表-22 供試木 1: 気乾試験体の縦圧縮試験結果

Table 22. Results of compression parallel to grain test for air-dried samples

	試験時の密度 (g/cm ³)	縦圧縮強さ (kgf/cm ²)	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)
水食い試験体全体	0.396	384	2.36	9.4
(20 体) の平均	(0.0284)	(45.1)	(0.358)	(0.589)
非水食い試験体全体	0.387	405	2.41	9.5
(23 体) の平均	(0.0172)	(30.9)	(0.376)	(0.418)
対になった水食い試験体	0.393	400	2.34	9.4
(14 体) の平均	(0.0166)	(39.1)	(0.391)	(0.671)
対になった非水食い試験体	0.391	408	2.34	9.4
(14 体) の平均	(0.0153)	(35.9)	(0.451)	(0.415)

括弧内の数値は標準偏差。

表-23 供試木 1: 気乾試験体の縦圧縮試験における水食い、非水食いの有意差の有無

Table 23. Statistic significance of the results of compression parallel to grain test between air-dried wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	縦圧縮強さ	平均年輪幅	含水率
水食い全体×非水食い全体	—	—	—	—
対になった水食い×非水食い	—	—	—	—

—は有意差なし、*は有意水準 5% で有意差あり、**は有意水準 1% で有意差あり。

表-24 供試木 1: 気乾試験体の縦圧縮試験における水食い、非水食いの相関

Table 24. Correlationship of the results of compression parallel to grain between air-dried wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	縦圧縮強さ	平均年輪幅	含水率
相 関 係 数	0.794	0.312	0.891	0.670
相関の有無	**	—	**	**

—は相関なし、*は有意水準 5% で相関あり、**は有意水準 1% で相関あり。

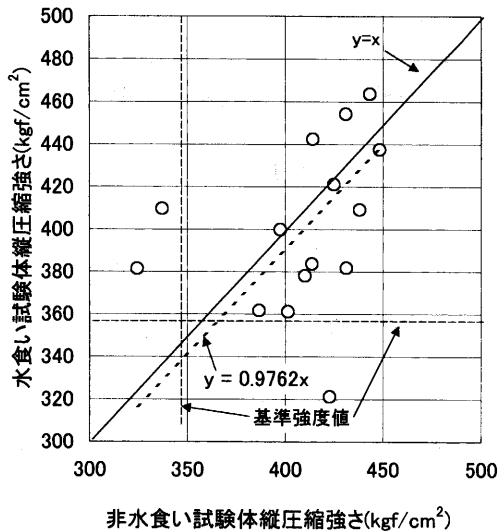


図-51 縦圧縮試験における気乾水食い試験体と非水食い試験体の相関

Fig. 51. Correlation of the results of compression parallel to grain test between air-dried wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1. $r=0.501$

なものであるかどうか調べた。結果は表-23の通りであり、水食い試験体と非水食い試験体の間に有意差は無かった。

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関をとり、相関の有無、相関係数および近似直線の傾きを調べた(表-24, 図-51)。表-24より、対になった水食い試験体と非水食い試験体の相関係数は、縦圧縮強さに関しては有意な相関が見られなかった。また、図-51より、縦圧縮強さの近似直線の傾きは1以下の値となった。

表-25 供試木1: 生材試験体の縦圧縮試験結果

Table 25. Results of compression parallel to grain test for green samples obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度 (g/cm^3)	縦圧縮強さ (kgf/cm^2)	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)
水食い試験体全体 (9体)の平均	0.911 (0.125)	166 (10.5)	2.28 (0.367)	176 (33.8)
非水食い試験体全体 (14体)の平均	0.510 (0.0469)	155 (23.2)	2.47 (0.271)	59.2 (15.1)
対になった水食い試験体 (7体)の平均	0.906 (0.166)	167 (19.1)	2.43 (0.391)	173 (36.7)
対になった非水食い試験体 (7体)の平均	0.509 (0.0453)	160 (15.9)	2.47 (0.451)	58.6 (14.5)

括弧内の数値は標準偏差。

体、同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は14対(28体)得ることができた。これらの試験体における試験結果は表-22に示す通りであった。

水食いの強度に与える影響を考えるため、水食い以外の欠点については、試験体に含まれないように注意してマッチングし、試験体を切り出した。含水率については、恒温恒湿条件下にて平衡状態に達しさせているため一定である。平均年輪幅については、水食い、非水食い両試験体間に差が無いことが、 t 検定で有意差が認められなかった。全乾密度についても、両試験体に差は無かった。

表-22より、水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を、縦圧縮強さについて比べてみると、非水食い試験体のほうが大きい値を示した。

水食い試験体、非水食い試験体の縦圧縮強さ、含水率、試験時の密度、平均年輪幅の平均値の差について t 検定を行い、両者の差が有意

(2) 生材試験体の結果

供試木 1 の生材試験体は全体で 30 体のうち、水食い試験体が 9 体、非水食い試験体が 14 体、同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は 7 対 (14 体) 得ることができた。これらの試験体における試験結果は表-25 に示す通りであった。

水食い以外の欠点については、試験体に含まれないように工夫してマッチングし、試験体を切り出した。含水率については、恒温恒湿条件下にて平衡状態に達させているため一定である。平均年輪幅については、水食い、非水食い両試験体間に差が無いことが、 t 検定で有意差が認められなかった。全乾密度についても、両試験体に差は無かった。

表-25 より、水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を、縦圧縮強さについて比べてみると、水食い試験体のほうが大きい値を示した。

水食い試験体、非水食い試験体の圧縮強さ、含水率、試験時の密度、平均年輪幅の平均値の差について t 検定を行い、両者の差が有意なものであるかどうか調べた。結果は表-26 の通りであり、水食い試験体と非水食い試験体の間に統計的な有意差は無かった。

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関をとり、相関の有無、相関係数および近似直線の傾きを調べた (表-27、図-52)。表-27 より、対になった水食い試験体と非水食い試験体の縦圧縮強さの相関が認められなかった。また、図-52 から縦圧縮強さの近似直線の傾きは 1 以下の値となった。

3.3.3 まとめ

トドマツの気乾試験体、生材試験体について JIS Z 2101-1994 に従った。縦圧縮試験を行い縦圧縮強さが水食いの存非により影響を受けるか否かについて調べた。結果は、統計的に有意な差は存在しなかった。

表-26 供試木 1: 生材試験体の縦圧縮試験における水食い、非水食いの有意差の有無

Table 26. Statistic significance of results of compression parallel to grain test between green wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	縦圧縮強さ	平均年輪幅	含水率
水食い全体×非水食い全体	**	—	—	**
対になった水食い×非水食い	**	—	—	**

—は有意差なし、*は有意水準 5% で有意差あり、**は有意水準 1% で有意差あり。

表-27 供試木 1: 生材試験体の縦圧縮試験における水食い、非水食いの相関

Table 27. Correlationship of results of compression parallel to grain test between green wetwood and normal wood obtained from a todomatsu log, No. 1

	試験時の密度	縦圧縮強さ	平均年輪幅	含水率
相 関 係 数	-0.134	0.69	0.80	0.331
相関の有無	—	—	*	—

—は相関なし、*は有意水準 5% で相関あり、**は有意水準 1% で相関あり。

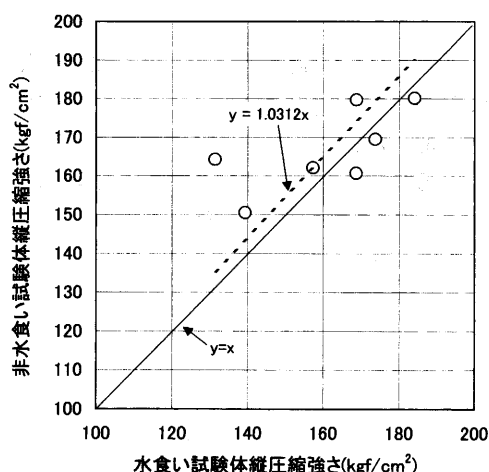


図-52 水食い試験体および非水食い試験体の縦圧縮強さの相関（生材試験体）

Fig. 52. Correlationship of compressive strength parallel to grain between green wet wood samples and normal wood samples. $r=0.69$

3.4 せん断試験

3.4.1 実験方法

(1) 試験体

供試木 1 から試験体を用意した。せん断試験体は試験を終えた曲げ試験体から切り出した。曲げ試験体は水食い試験体と非水食い試験体が同一の年輪を含むようにマッチングしてあるので、せん断試験体も水食い試験体と非水食い試験体が同一の年輪を含むようになっている。しかし、供試木 1 の年輪は丸太の髓の方向に $1/80$ rad ほど傾いていたため、せん断試験体についても、同一の年輪を含むように作成していても、全く同一の年輪からは構成されていないこととなった。

せん断試験体においても水食い試験体と非水食い試験体の定義は、材面の水食い部の面積から定めた。すなわち、材面に水食いを含まないか、水食い部が 20% 以下のものを非水食い試験体

とした。試験体は生材試験体および気乾試験体それぞれについて $2 \times 2 \times 3$ cm に 1×1 cm の切れ込みが入るように仕上げた。気乾試験体は 48 体、生材試験体は 32 体用意した。

(2) 方法

せん断試験は JIS Z 2101-1994 に準拠して、万能試験機 (INSTRON 4204) を用い、クロスヘッドスピード 0.4 mm/min で行った。各々の試験体から試験時の密度、せん断強さ、試験時の含水率、全乾密度を求めた。

せん断強さは次の (7) 式によって算出し、有効数字 3 けたまで求めた。

$$\tau = P_m / A \quad (7)$$

ここに、 τ : せん断強さ (kgf/cm^2), P_m : 最大荷重 (kgf), A : せん断面積 (cm^2)

試験結果の分析では、水食い試験体と非水食い試験体間でせん断強さを比較、検討した。

3.4.2 結果・考察

(1) 気乾試験体の結果

供試木 1 の気乾試験体は全体で 48 体のうち、水食い試験体が 20 体、非水食い試験体が 23 体、同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は 14 対 (28 体) 得ることができた。これらの試験体における試験結果を表-28 に示す。

水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を、せん断強さについて比べてみると、水食い試験体のほうが大きい値を示した。

水食い試験体、非水食い試験体のせん断強さ、含水率、試験時の密度、平均年輪幅の平均値の差について t 検定を行い、両者の差が有意なものであるかどうか調べた。結果は表-28 の下段に示した通りであり、水食い試験体と非水食い試験体の間に有意差は無かった。

表-28 水食い試験体と非水食い試験体のせん断強さ比較（気乾状態）

Table 28. Comparisons of shear strength between wetwood and normal wood in air-dried condition

	せん断強さ (kgf/cm ²)	気乾密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
水 食 い	70.9 (13.0)	0.404 (0.0181)	10.4 (0.104)
非水食い	69.5 (13.6)	0.391 (0.0176)	10.4 (0.694)
有 無 差	無し	無し	無し

() 内は標準偏差。

表-29 水食い試験体と非水食い試験体のせん断強さの比較（生材時）

Table 29. Comparison of shear strength between wetwood and normal wood in green condition

	せん断強さ (kgf/cm ²)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
水 食 い	46.3 (7.5)	0.875 (0.156)	168 (49.8)
非水食い	46.7 (6.16)	0.549 (0.07)	71.9 (26.8)
有 意 差	無し	1%の危険率で有意差有り	1%の危険率で有意差有り

() 内は標準偏差。

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関を調べた（表-23と同じ、図-53）。表-23にあるように、対になった水食い試験体と非水食い試験体の相関係数は、有意な相関が見られなかった。図-53より、両者の相関は認められなかった。

(2) 生材試験体の結果

供試木1の気乾試験体は全体で32体のうち、水食い試験体が9体、非水食い試験体が14体、同一の年輪を含む対になった水食い試験体と非水食い試験体は7対（14体）得ることができた。これらの試験体における試験結果は表-29に示す通りであった。水食い試験体の平均値と非水食い試験体の平均値を、せん断強さについて比べてみると、ほとんど等しい値を示した。

水食い試験体、非水食い試験体のせん断強さ、含水率、試験時の密度、平均年輪幅の平均値の差について t 検定を行い、両者の差が有意なものであるかどうか調べた。結果は表-29の下段の通りであり、せん断強さに関しては水食い試験体と非水食い試験体の間に有意差は無かった。

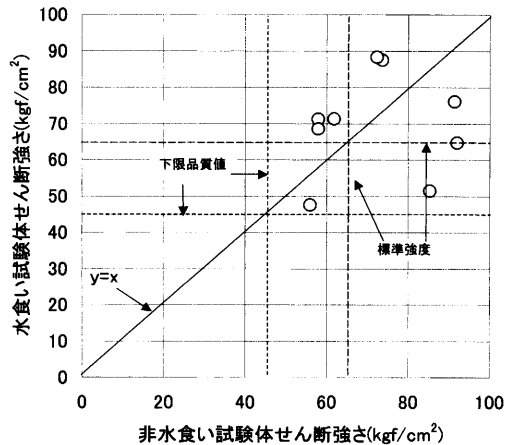


図-53 水食い試験体と非水食い試験体のせん断強さの相関（気乾試験体）

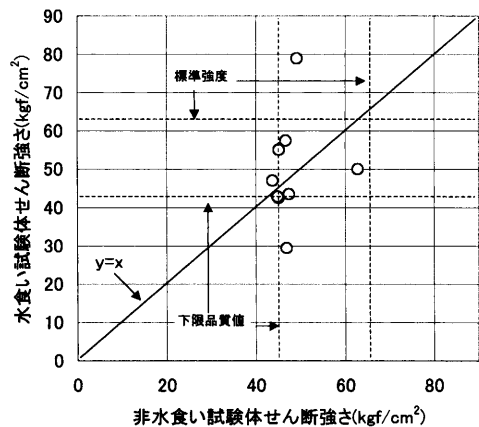
Fig. 53. Correlation of shear strength between wetwood and normal wood in air dried condition. $r=0.089$ 

図-54 水食い試験体と非水食い試験体のせん断強さの相関（生材試験体）

Fig. 54. Correlation of shear strength between wetwood and normal wood in green condition. $r=0.149$

対になった水食い試験体と非水食い試験体との相関を調べた(図-54)。対になった水食い試験体と非水食い試験体の相関は認められなかった。

3.4.3 まとめ

トドマツの気乾試験体、生材試験体について JIS Z 2101-1994 に従った、せん断試験を行いせん断強さが水食いの存非により影響を受けるか否かについて調べた。結果は、統計的に有意な差は存在しなかった。

4. 結 論

トドマツ天然木の水食い材について観察と強度試験を行った。得られた知見を総括すると、

(1) トドマツ天然木の材面を観察したところ、水食い材は節、樹脂条等の欠点と同時に現れることが多いことが確認された。

(2) トドマツ天然木の生材と気乾材から切り出した小試験体について JIS Z 2101-1994 に準拠して曲げ試験、縦圧縮試験、せん断試験を行い、水食い材と正常材の強度の差を比較した。生材と気乾材の間には強度に大きな差があったが、水食い材と正常材の平均値について t 検定を行っても有意な差は存在しなかった。

(3) 節や割れなどの欠点を含まない小試験体では、水食い材と非水食い材の強度差はごく小さいものであり、両者の間に有意差は認められない。

(4) 水食い材と同時に節、樹脂条などの欠点が存する傾向が強いため、実際の水食い材の使用に際しては、欠点による強度の低下も考慮に入れなければならない。

(5) 水食い材が節と樹脂条が同時に存在している個所を中心として存在していることが多かったことから、水食い材の形成について次のような推測をおこなうことができた。節の部分からは枝が突き出ているため、枝に雪や風、または森林施業などを通じて人為的な力がかかりやすい。このような、ところに外力がかかると、幹内部の節の周辺において年輪界にずれ(もめ)が生じるような場合が起こりうる。このような年輪界にずれの生じた個所では、トドマツの自己防御機能から樹脂条などがかたち作られるが、このときのトドマツ自身の生理的機能に伴って溶質となるような物質が集積し、浸透圧が増加する。この浸透圧の増加により水分の集積した状態が水食い材なのではなかろうかとの推測ができた。

(6) 曲げ試験、圧縮試験、せん断試験を行い、曲げ強さ、曲げヤング係数、圧縮強さ、せん断強さに水食い試験体、非水食い試験体の間では有意差が存在しないことがわかった。また、気乾試験体に比べて、生材試験体は強度が小さいことが確認できた。このようなことから、水食い材は水食い材そのものの強度低下よりも、含水率が高いことによる乾燥の不十分さのほうが問題であることがわかった。

(7) 水食い材、非水食い試験体の間に強度の有意差が存在しなかったということは、水食い材であっても、乾燥に十分気をつければ、非水食い材と同様の使用が可能であることを示唆している。現在の状況では水食い材は製材用とはならず、パルプ用としてチップとなるのが普通である。一部の製材工場では水食い材からでも構造用材ではないが、建築用材として土留め板などを採材しているところもあるが、あくまで一部の工場でしかない。今回、水食い材であっても、非水食い材に比べ、強度の低下が存在しないか、存在したとしても小さいものであることがわかり、構造用材などとしての水食い材の有効な利用を目指すことができる。

謝 辞

本研究にあたっては、多くの方たちに大変お世話になりました。まず、トドマツ丸太の製材から保管・梱包・発送および諸測定まで一緒に行っていた、北海道立林産試験場製材乾燥科の中嶋 厚科長、大崎 久氏はかの研究員、技能員の方たちにお礼を申し上げます。また、トドマツ天然木をいただいた東京大学付属北海道演習林の林長（当時）梶 幹男教授をはじめとする教職員のみなさまにお礼を申し上げます。今回の実験では執筆者、吉本昌朗の父であり、東京大学付属北海道演習林の指名業者である、吉本隆雄氏にいろいろとお世話になりました。また、工場などの取材や供試木の入手に際し多くの方たちにお世話になりました。お礼を申し上げます。

要 旨

トドマツ水食いについて、製材途中、製材後の供試木について観察をおこなった。水食い材は節、樹脂条、入り皮など、なんらかの欠点とともに現れることが多かった。これから、石井ら¹⁷⁾の指摘しているように、水食い材では節、樹脂条、入り皮など、なんらかの欠点がもとで無機塩類や有機酸が集積し浸透圧が上昇することで含水率が高くなっているということが考えられた。特に、樹脂条が節に近い年輪界に多く生じ、そのような個所で水食い材の発生が顕著であった。このことから、風や雪、択伐の際に枝にかかる応力により年輪の夏材部と春材部の間に沿って破壊によるずれが生じ、そのような個所に樹脂条が形成される際に無機塩類や有機酸の集積がおこり、浸透圧が上昇するのではないかと推測した。

トドマツの気乾試験体、生材試験体について JIS Z 2101-1994 に準拠した、曲げ試験を行い、曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数が水食いの存非により影響を受けるか否かについて調べた。結果は気乾試験体では曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数といった値は非水食い試験体の方が大きい傾向があったが、統計的な差は存在しなかった。生材試験体では曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数といった値は全体的に著しく減少しており、水食い試験体と非水食い試験体の比較では気乾試験体とは逆に、水食い試験体の方が大きい傾向があった。しかし、これにも統計的な差は存在しなかった。

トドマツの気乾試験体、生材試験体について JIS Z 2101-1994 に従った、縦圧縮試験を行い縦圧縮強さが水食いの存非により影響を受けるか否かについて調べた。結果は、統計的に有意な差は存在しなかった。

トドマツの気乾試験体、生材試験体について JIS Z 2101-1994 に従った、せん断試験を行いせん断強さが水食いの存非により影響を受けるか否かについて調べた。結果は、統計的に有意な差は存在しなかった。

水食い材、非水食い試験体の間に強度の有意差が存在しなかったということは、水食い材であっても、乾燥に十分気をつければ、非水食い材と同様の使用が可能であることを示唆している。現在の状況では水食い材は製材用とはならず、パルプ用としてチップとなるのが普通である。一部の製材工場では水食い材からでも構造用材ではないが、建築用材として土留め板などを採材しているところもあるが、あくまで一部の工場でしかない。今回、水食い材は、非水食い材に比べ、強度の低下が存在しないか、存在したとしても小さいものであることがわかった。したがって水食い材は構造用材などとして有効な利用を目指すことができる。

キーワード：トドマツ、水食い材、曲げ強度、縦圧縮強度、せん断強度

引用文献

- 1) 平成10年度北海道林業統計, (1999), 北海道, 2-11, 114-120.
- 2) 吉良竜夫 (1977): “生態学講座 2 陸上生態系”, 共立出版株式会社, 114.
- 3) YODA, K., KIRA, T. (1969): Nature and Life in SE-Asia, 6, 83-112.
- 4) 平成9年度北海道林業統計, (1999), 北海道, 2-11, 116-121. 林業試験場監修 (1982): “改訂3版木材工業ハンドブック”, 丸善株式会社, 989-992.
- 5) 日本建築学会編 (1993): “建築学用語辞典”.
- 6) 平成10年北海道営林局事業統計書 (直轄) (1998), 北海道営林局, 48-49.
- 7) 平成10年旭川営林支局事業統計書 (1998), 旭川営林支局, 50-51.
- 8) 平成10年北見営林支局事業統計書 (1998), 北見営林支局, 44-45.
- 9) 平成10年函館営林支局事業統計書 (1998), 函館営林支局, 40-41.
- 10) 平成9年木材需給報告書 (1998), 農林水産省統計情報部, 26-31, 44-49, 178-184.
- 11) 石田茂雄 (1963): トドマツ樹幹の凍裂の発生機構, とくにその水食い材との関係について: 北大農学部演習林報告, 22(2), 275-374.
- 12) LAGERBERG, T. (1935): Barrtradens vattved. Svenska Skogsvardsforeningens Tidskrift.
- 13) SCHINK, B., WARD, J. G., ZEIKUS, J. G. (1981): Microbiology of wetwood; Importance of pectin degradation and *Clostridium* species in living trees: Apple. Environ. Microbiol., 42(3), 526-532.
- 14) TIEDEMANN, G., BAUCH, J., BOCK, E. (1977): Occurrence and significance of bacteria in living trees of *Populus nigra* L.: European. J. For. Path., 7, 364-374.
- 15) WILCOX, W. W., SCHLINK, C. G. R. (1971): Absorptivity and structure as related to wetwood in white fir: Wood and Fiber, 2(4), 373-379.
- 16) 滝沢忠昭, 川口信隆, 高橋政治, 山本 宏 (1976): トドマツ水食い材の観察: 林産試月報, (7), 6-11.
- 17) 石井哲男, 深沢和三 (1987): トドマツ水食い材の水分移動に関する研究: 北大農学部演習林報告, 44(4), 1277-1305.
- 18) MURDOCH, C. W., CAMPANA, R. J., BIERMANN, C. J. (1987): Physical and chemical properties of wetwood in American elm (*Ulmus americana*): CANADIAN JOURNAL OF PLANT PATHOLOGY, 9, 20-23.
- 19) 信田 聡, 中嶋 厚, 千葉宗昭, 奈良直哉 (1984): トドマツ人工林材の乾燥試験 (第1報)—正角材の天然乾燥—: 林産試月報, 392.
- 20) 信田 聡, 中嶋 厚, 千葉宗昭, 奈良直哉: トドマツ人工林材の乾燥試験 (第2報) (1984)—正角材の中温スケジュールによる人工乾燥—: 林産試月報, 394.
- 21) 信田 聡, 中嶋 厚, 千葉宗昭, 奈良直哉 (1985): トドマツ人工林材の乾燥試験 (第3報)—正角材の高温乾燥—: 林産試月報, 399.
- 22) 信田 聡, 千葉宗昭, 奈良直哉: トドマツ人工林材の乾燥試験 (第4報)—水食い材の100℃試験法による乾燥スケジュールの推定—(1985): 林産試月報, 400.
- 23) 信田 聡, 千葉宗昭, 奈良直哉: トドマツ人工林材の乾燥試験 (第7報)—水食い材の乾燥性(1)—(1985): 林産試月報, 404.
- 24) 信田 聡, 千葉宗昭, 奈良直哉: トドマツ人工林材の乾燥試験 (第9報)—水食い材の乾燥性(2)—(1986): 林産試月報, 410.
- 25) 信田 聡, 千葉宗昭, 奈良直哉: トドマツ人工林材の乾燥試験 (第11報)—水食い材の乾燥性(3)—(1986): 林産試月報, 413.
- 26) 有馬孝禮 (1994): “エコマテリアルとしての木材” 社団法人全日本建築士会.
- 27) 日本建築学会 (1995): “木質構造設計規準・同解説” 社団法人日本建築学会.

(2001年 8月3日受付)

(2001年 11月5日受理)

Summary

Observation and comparisons of mechanical properties such as bending, shearing, and compressive strength, between wetwood and normal wood of todomatsu (*Abies sachalinensis* Mast.) were examined. Obtained results are summarized as follows:

1. The wetwood often appeared with defects such as pitch streak and knot, when the lumbers sawed from todomatsu natural trees were observed.
2. Bending, compressive, and shearing tests were carried out with the conformity to JIS Z 2101-1994, and the difference of each strength between the wetwood and the normal wood was compared. Though there was a large difference in the strength between green wood and air-dried wood, the significant difference did not exist even if *t*-test was done on the mean value of the wetwood and the normal wood.
3. In the small test specimen without defects such as checks or knots, the difference of strength is very small between wetwood and normal wood, and the significance is not accepted between wetwood and normal wood.
4. The decrease of the strength by the defects must be also taken into consideration in the use of the actual lumber containing wetwood, since the tendency is strong that the defects such as pitch streak and knot exist with the wetwood.
5. The following hypothesis could be suggested on the formation of the wetwood. Snow force, wind force, and the artificial force by the forest undertaking are easy to add to a branch projected from the knot. These forces cause the slip around the knot in the annual ring field. The pitch streak as an injury organization for the self-defense of a tree was formed at the point in which the slip produced. This time, the physiological function of *Abies sachalinensis* works, and the solution accumulates in wood, and it increases osmotic pressure. It was guessed that the condition that the accumulated water by the increase in this osmotic pressure formed the wetwood.
6. Bending test, compression test, and shearing test were carried out, and it was proven that the significance did not exist for bending strength, bending modulus of elasticity, compressive strength, and shearing strength between wetwood specimen and normal wood specimen. And, it can be confirmed that the strength was small for green wood specimen in comparison with the air-dried specimen. In the wetwood, from such fact, that moisture content is high, in other words, the inadequate drying is the further problem than the strength degradation caused by wetwood itself.
7. It is indicated that the utilization equal to the normal wood is possible for the wet wood if the careful drying is made for the wetwood because the significance of the strength did not exist between wetwood and normal wood.
8. From the above results, it is possible that the lumber with wetwood aims at the effective utilization as a structural material.

Key words: *Abies sachalinensis*, wetwood, bending strength, compressive strength, shear strength

Quantitative Comparison of Geomorphological Features among The Tokyo University Forests in Hokkaido, Chichibu, Chiba and Aichi Using a 50 m Mesh Digital Elevation Model

Atsushi SATO and Masakazu SUZUKI

Digital Elevation Model (DEM) is able to calculate geomorphological parameters like gradient or laplacian easily. These parameters are useful to analyze numerical geomorphological characteristics. This study intended to show the quantitative geomorphological differences among The Tokyo University Forests in Hokkaido, Chichibu, Chiba and Aichi, which were somewhat recognized so far, using 50 m mesh DEM. A classification with 1 km-grid gradient operations that pick up large-scale geomorphological features of slope and 50 m-grid laplacian operations that show unevenness of land surface clarified quantitative differences of geomorphological characteristics among the four Tokyo University Forests.

Observation and Mechanical Properties of Wetwood in Todomatsu (*Abies Sachalinensis* Mast.)

Masaaki YOSHIMOTO and Satoshi SHIDA

Observation and comparison of mechanical properties between wet wood and normal wood of todomatsu (*Abies sachalinensis*) were examined. When the surface of todomatsu lumber was observed, the wetwood often appeared with defects such as pitch streak and knots. On the green and air-dried small specimen obtained from todomatsu natural logs, the significant difference did not exist statistically between the mean values of the strength of both wetwood and normal wood. However, when a sample size becomes large as a level of the full-scale lumber, the decrease of the strength by those defects must be considered because the wetwood is often accompanied by various defects. It is clear that wetwood can be used as construction members if the wetwood is fully dried, because the influence of moisture content to mechanical properties of todomatsu lumber is larger than the difference whether the lumber is wetwood or not.