

## 速報

## 大分県におけるスギ小径木丸太の耐久性試験結果（Ⅱ）\*1

## － 4年経過時の状況と強度性能－

河津 渉\*2 · 津島俊治\*2 · 城井秀幸\*2 · 増田隆哉\*3

キーワード：強度性能，耐久性，スギ，土木資材，小径木

## Ⅰ. はじめに

近年、循環型資源である木材の利用促進をはじめ、間伐材の利用推進、環境や自然景観への配慮などの理由から、林業分野を中心として、土木事業での木材の使用量が増加している(1)。また、木材が使用される工種も、従来から使用されている柵工等に加え、長期間強度を必要とする土留工や木製ガードレール工等にも使用され、多様化している(2)(3)。

しかし、長期間強度性能を必要とする工種について、木材の残存強度の測定手法の確立が必要であるが、現状では簡易な測定方法がないため、適切に管理されていない。

そこで、残存強度を管理基準として使用するため、劣化程度と強度性能の関係を明らかにする必要があると考えた。

今回、スギ小径木丸太の耐久性試験において4年経過した試験材を用いて、木材の劣化と強度性能の相関関係を検討したので報告する。

## Ⅱ. 調査方法

供試材は、平成12年3月9日に当該試験場内に暴露した直径10cm、長さ2.0mのスギの小径木丸太をCUAZ加圧減圧注入、AAC加圧減圧注入、クレオソートどぶ漬処理、くん煙処理、湯がき処理及び無処理の6区分でそれぞれ20本処理し、内10本をスギ20年生の林内に、10本を隣接した林外に設置した、合計120本を用いた(4)。

暴露開始後の4年目の平成16年3月に重量、動的ヤング係数(以下Efr)、及びピロディン貫入深さ(以下Pdr)を測定した。

次に、この供試材を処理区分毎、設置場所毎に半数の5本ずつ計60本を2ヶ月間自然乾燥させた後に、鳥津製作所製強度試験機AG-10TAを用い、スパン長180cm、ストローク10mm/min、中央集中荷重で曲げ試験を行った。

その後、曲げ試験体の非破壊部から圧縮試験用として長さ30cmのA試験体と厚さ約3cmの円盤(B試験体)を、丸太1本から

各1個ずつ切り出した。

圧縮試験は鳥津製作所製の実大強度試験機を用い、ストローク1mm/minで行った。

また、A試験体の両木口の写真を撮影し、これを用い木口の劣化状況の観察を目視で行い、次に心材面積及び劣化面積をプランメーターを用いて測定した。次に、B試験体を用いて全乾法で含水率を測定した。

## Ⅲ. 結果及び考察

## 1. 4年経過時の状況

## ①. 強度等の変化の推移

Efrの平均値の設置時に対する割合を図-1に、Pdrについて図-2に示した。

処理区分毎の設置時のEfrの平均値に対する4年経過時のEfrの平均値の割合は、CUAZ処理92.5%、AAC処理68.8%、クレオソート処理87.1%、湯がき処理33.5%、燻煙処理35.4%、無処理材52.5%となり、無処理と比較するとCUAZ処理など薬剤処理の方が高く、湯がき、燻煙処理の方が低かった。

また、PdrでCUAZ処理92.7%、AAC処理142.0%、クレオソ

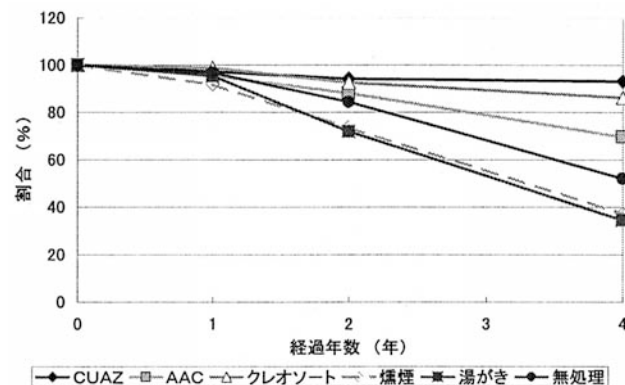


図-1. Efr 平均値の設置時に対する割合

\*1 Kawadu,W.,Tsushima,S., and Kii,H. : Effect of endurance test on Sugi small logs in Oita Prefecture (second)

\*2 大分県林業試験場 Oita Pref. Forest Exp. Stn., Hita, Oita 877-1363

\*3 元大分県林業試験場 Oita Pref. Forest Exp. Stn., Hita, Oita 877-1363

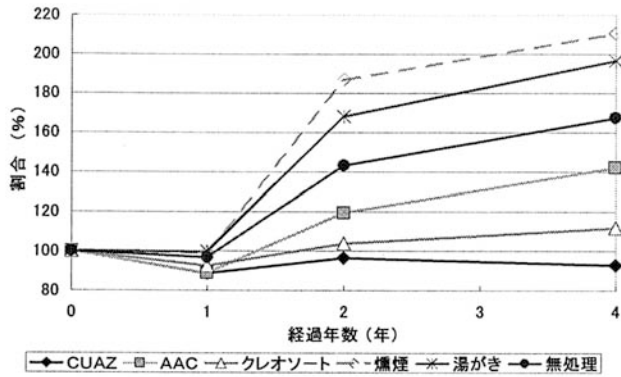


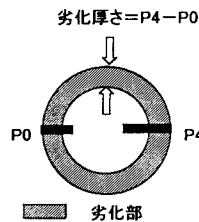
図-2. Pdr 平均値の設置時に対する割合

ト処理111.7%, 湯がき処理196.4%, 燻煙処理210.5%, 無処理材167.2%となり, 無処理と比較すると, CUAZ 処理など薬剤処理の方が低く, 湯がき, 燻煙処理の方が高かった。

②. Pdr と Efr の低下割合

設置時の Pdr を P0, 4 年経過後の Pdr を P4 とし, 丸太の半径 r とすると丸太全体に対する劣化面積の割合 (以下 Pdar) は次式で示される。

$$Pdar(\%) = (\pi r^2 - \pi \times (r - (P4 - P0))^2) / \pi r^2 \times 100$$



また, 設置時の Efr を E0, 4 年経過時の Efr を E4 とすると Efr の低下割合は次式で示される。

$$Efr \text{ 低下割合 } (\%) = (E0 - E4) / E0 \times 100$$

両者の関係を図-3 に示した。

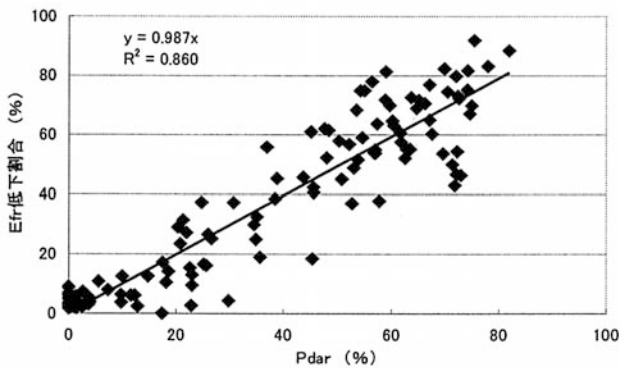


図-3. Pdar と Efr 低下割合の関係

この図から, 両者におおむね x = y の正の相関関係が認められ, このことは Efr の低下割合が劣化面積の割合と関連があることを示唆するものである。

③. 劣化状況

次に劣化状況について, 木口毎に劣化部位 (心材, 辺材) と劣化原因の出現頻度を表-1 に, また, 処理区分毎の写真から測定した木口の劣化面積率 (以下 Tdar) の平均的な断面の状況を写真-1 に示す。

表-2 から, 4 年経過時の暴露材の劣化は辺材部の腐朽によるものが主であり, シロアリの食害は見受けられなかった。また, 湯がき処理及び燻煙処理では一部心材部の劣化も生じていた。

表-1. 部位別の劣化原因の出現頻度 (%)

処理条件	木口数	辺材部			心材部		
		腐 朽	虫 害		腐 朽	虫 害	
			白アリ	その他		白アリ	その他
CUAZ	20	0	0	0	0	0	
AAC	20	90	0	0	0	0	
クレオソート	20	65	0	0	0	0	
燻煙	20	100	0	25	55	0	
湯がき	20	100	0	0	35	0	
無処理	20	95	0	20	0	0	

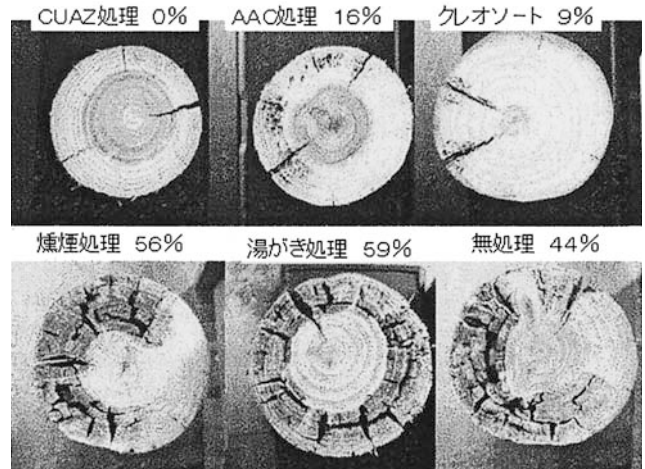


写真-1. 処理区分毎の平均的な劣化断面写真 (数字は Tdar を示す)

般的にスギの劣化は辺材から進行するとされており (6), 湯がき処理及び燻煙処理は腐朽の範囲が心材にまで及んでいるところから, 他の処理に比べて劣化の進行が早いといえる。

次に, CUAZ 処理では劣化は確認できず (写真-1 参照), AAC 処理及びクレオソート処理材では辺材であっても材表面から浅い部分には劣化は見られず, 辺材中央部や, 割れ周辺で腐朽が見られた。これは, 使用薬剤の効果によるものと考えられ, 木製ガードレールについて調査を行った既報 (2) と同様の結果であった。

また, 処理方法にかかわらず, 劣化した材表面に数ミリ程度の未劣化部があり, その厚みは林内設置より林外設置の方が厚かった。林外設置では夏期に直射日光を受けることにより材表面の温度が50度を超え, 腐朽菌の生育が阻害されるためだと考えられる。

次に, 処理区分毎に, Tdar を, 林内設置, 林外設置に分けて図-4 に示した。両者の Tdar に有意な差はないものの, 林内設置

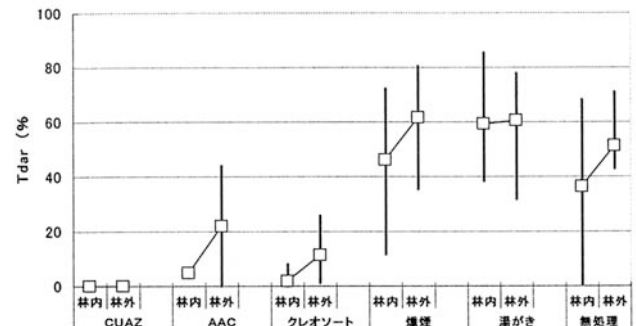


図-4. 林内, 林外の Tdar (%)

より林外設置の方がFdarが高い傾向にあった。また、Efrの設置時に対する割合も林外設置の方が低い傾向を示し、Pdrでは林外設置の方が高い傾向を示した。

これらから、劣化状況は処理の影響を強く受け、設置環境によっても差が生じると考えられた。

## 2. 曲げ強さ及び圧縮強さ

### ①. 処理条件ごとの強さ

曲げ試験及び圧縮試験の結果及びFda等の調査結果を表-2に示した。

表-2. 曲げ試験及び圧縮試験等の結果

処理条件	本数	項目	含水率 (%)	Tdar (%)	心材率 (%)	曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>
CUAZ	10	ave	16.0	0.0	40.5	44.3	27.1
		max	17.1	0.0	67.2	61.4	33.5
		min	15.4	0.0	23.9	27.2	23.5
		sd	0.5	0.0	12.5	11.0	2.9
AAC	10	ave	16.1	13.3	32.0	25.6	20.2
		max	17.2	44.0	72.6	44.0	28.5
		min	15.4	0.0	17.9	10.4	10.2
		sd	0.6	14.8	15.0	11.7	5.9
クレオソート	10	ave	15.4	6.5	38.4	43.8	28.7
		max	16.4	25.7	60.4	72.6	44.3
		min	14.6	0.0	6.7	9.5	19.7
		sd	0.5	10.2	19.0	18.5	7.5
燻煙	10	ave	10.0	53.8	27.0	6.2	10.3
		max	15.0	80.4	43.3	15.4	20.7
		min	5.8	11.7	21.5	1.2	1.1
		sd	3.2	24.9	6.7	4.1	5.5
湯がき	10	ave	8.4	59.9	29.8	6.4	9.5
		max	11.9	85.3	40.8	12.4	15.0
		min	5.2	31.7	20.8	3.3	3.4
		sd	2.3	16.5	6.2	3.0	3.7
無処理	10	ave	9.3	43.8	31.8	11.7	14.4
		max	10.7	71.0	43.0	29.7	28.3
		min	5.8	0.5	20.3	2.8	3.6
		sd	1.4	20.4	6.8	9.3	7.3

表から、無処理材と比較すると曲げ強さ、圧縮強さともCUAZ, AAC, クレオソートの各処理の方が高く、燻煙処理、湯がき処理の方が低かった。

### ②. 強さと諸因子との関係

強さと諸因子との関係を見るために、強さと測定した諸因子との相関分析結果を表-3に示す。

表-3. 強度と諸因子との相関

因子	曲げ強さ N/mm <sup>2</sup>	圧縮強さ N/mm <sup>2</sup>	P4	Tdar	E4
曲げ強さ N/mm <sup>2</sup>	-	**	**	**	**
圧縮強さ N/mm <sup>2</sup>	1.0000	-	**	**	**
因子	処理	心材率	E0	密度	林内 林外
曲げ強さ N/mm <sup>2</sup>	**	**	-0.1053	0.2171	-0.1034
圧縮強さ N/mm <sup>2</sup>	**	**	-0.0501	0.2008	-0.1598
無相関の検定	*: 5% **: 1%				

なお、設置場所は林内を1、林外を2とし、処理は、Efrの減少割合の大きい方から順に1から6まで整数を付けて分析した。

表-3から、曲げ強さ、圧縮強さともP4, Tdar, E4, 処理、心材率との間に有意な相関が認められた。しかし、E0, 密度、林内、林外との間には有意な相関は認められなかった。

これらのことからPdrを測定することにより、曲げ強さ及び圧縮強さを推定できると考えられた。

### ③. 強さとEfr

強さとE4との関係について図-5に示す。

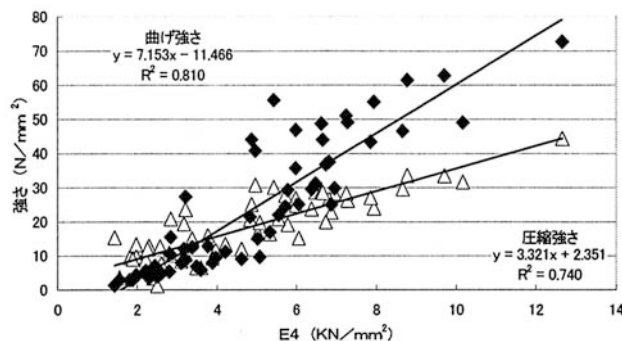


図-5. 強さとE4の関係

図から、劣化した木材の曲げ強さ及び圧縮強さとEfrとの間には正の相関関係があった。このことは、Efrの測定から強さが推定できることを示唆するものである。

## 3. Pdrと強度性能の推定

### ①. EfrとPdrの関係

劣化が進行した4年経過時の両者の関係を図-6に示した。

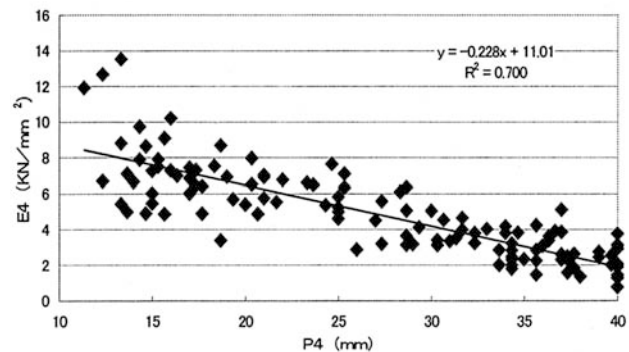


図-6. P4とE4の関係

図-7からE4とP4の間には強い負の相関関係が認められた。このことから、ある程度劣化が進行した時点では、Pdrの測定によりEfrが推定できると考えられた。

### ②. 強さとPdrとの関係

断面の観察や強度試験の状況から劣化した小径木丸太の最大荷重Pmaxは丸太中心部の未劣化部の大きさによって決まると考えられた。そこで、曲げ強さの測定値をQ、スパン長をL、断面係数をZ、未劣化部の曲げ強さをQ'、未劣化部の断面係数をZ'とすると次式が成立すると考えられる。

$$P_{max} = Q \times Z \times 4/L = Q' \times Z' \times 4/L \quad \text{①}$$

①の式から曲げ強さQを求めると次式となる。

$$Q = (Q' / Z) \times Z' \quad \text{②}$$

Z及びQ'は丸太固有の値であるから、曲げ強さの測定値Qは、

未劣化部の断面係数に比例すると考えられる。

また、Pdr を  $x$ 、丸太の半径を  $r$  とすると、健全材の Pdr の平均値は18mm (5) であるから、未劣化部の断面係数は  $Z'$  は次式となる。

$$Z' = \pi \times (r - (x-18))^2 / 4 \dots \textcircled{3}$$

③の式から曲げ強さは Pdr の 3 乗の式となると考えられるので、 $x$  の 3 乗の式で回帰式を求めた。

また、同様に圧縮強さは Pdr の 2 乗の式となるので、 $x$  の 2 乗で回帰式を求め、図-7 に示した。

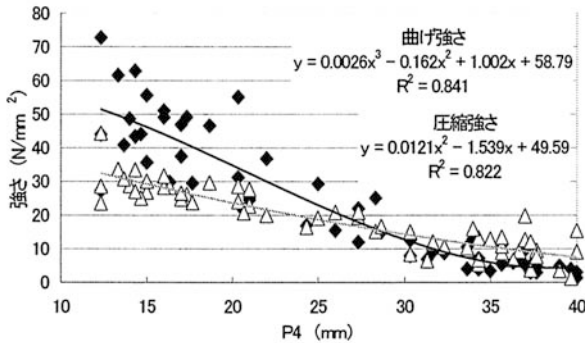


図-7. P4 と強さの関係

図から、両者には強い負の相関関係が認められた。

また、上記の回帰式から、健全材の Pdr の平均値18mm の場合、曲げ強さは39.7N/mm<sup>2</sup>、圧縮強さは25.8N/mm<sup>2</sup>となる。仮に耐用限界をこの半減値とし、これに対応する Pdr を回帰式から求めると、曲げ強さで26.7mm、圧縮強さで31.7mm となった。

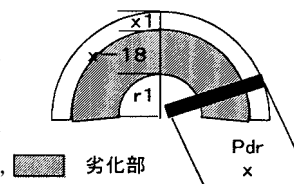
また、この値を、曲げ強さでは断面係数の半減値を示す劣化深さ10.3mm に健全材の Pdr の平均値18mm を足した値28.3mm と、圧縮強さでは断面積の半減値を示す劣化深さ14.6mm に上記の18mm を足した値32.6mm と比較すると、おおむね近い値であった。

しかし、実際には、材表面に未劣化部があることから、この厚さを  $x_1$  とし、Pdr の測定値を  $x$  とすると、未劣化部の半径  $r_1$  は次式となると考えられる。

$$r_1 = r - (x - 18) - x_1 \dots \textcircled{4}$$

④の式から  $x_1$  が厚いほど  $r_1$  が小さくなり、強さの推定に影響を与えるものと考えられる。

これらの結果から、Pdr は残存する強度性能と相関があり、また、



設置場所の環境や処理方法による劣化状況を把握することにより、正確な強度性能の推定が可能になると考えられた。

#### IV. まとめ,

大分県におけるスギ小径木丸太の暴露材の耐久性試験において、4年経過後の状況及び強度試験結果は以下のとおりであった。

- 1) 4年経過後は2年経過後より劣化が進行しており、耐久性性能では無処理材比べてCUAZ処理、AAC処理及びクレオソート処理は高く、湯がき処理及び燻煙処理は低かった。
- 2) 暴露材の劣化は腐朽が主な原因であり、処理区分や設置環境により、腐朽する部位や進行に差があった。
- 3) 曲げ強さ、圧縮強さとも、無処理材と比較するとCUAZ処理、AAC処理及びクレオソート処理は高く、湯がき処理及び燻煙処理は低い値を示した。
- 4) Pdr と Efr、曲げ強さ、圧縮強さとの間には相関関係が認められ、強度性能を推定することが出来る可能性が示唆された。

これらの結果から、簡易な非破壊試験器であるピロディンで測定を行うことにより、劣化した状態での残存の強度性能を推定が可能であり、維持管理の基準とすることが出来ると考えられた。

しかし、木材の劣化は同じ処理区分や同じ環境でも差があるので、長期間構造物の安全性を確保するためには定期的に調査を行ったうえで、取り替えなど適切な処理を行うことが、最も重要であると考えられる。

#### 引用文献

- (1) 河津渉 (2003) 九州森林研究 : 153-156.
- (2) 津島俊治 (2003) 大分県林試研報第15号 : 11-15.
- (3) 津島俊治 (2002) 木科学情報 9 (1) : 37-38.
- (4) 津島俊治 (2003) 九州森林研究 : 270-273.
- (5) 津島俊治 (2002) 九州森林研究 : 192-195.
- (6) 松岡昭四郎林試研報232 : 109-135.

(2004年11月8日 受付; 2005年1月14日 受理)