

富山県における治山木杭の耐久性（第2報） 皮付きと皮剥ぎ-塗布防腐処理スギ小丸太の耐用年数

長谷川益夫

Durability of Round Wood Posts for Erosion Control Projects in Toyama Prefecture II.* Service Lives of Sugi with Bark and Peeled & Coating Preserved Small Log

Masuo HASEGAWA**

スギは、富山県において民有林造林面積の約93%を占める。そのため、スギ造林地付近で治山施工を行うことがある。施工には木杭がしばしば用いられるが、この低コスト材料として、支障木などを皮付きのままあるいは剥皮して簡易に防腐処理しての使用が合理的である。このためには、耐久設計の観点から、これらの耐朽性を調べておく必要がある。そこで、富山県産ボカスギ小丸太（直径約10cm）を、皮付き、皮剥ぎ-塗布防腐処理、および皮剥ぎの3つの処理区に分け、野外地暴露試験によって被害度の経年変化を調べた。被害度と暴露期間の関係は、成長関数回帰を行い、被害度2.5および折損率10%を耐用限界とした耐用年数を求めた。その結果、それぞれの耐用限界について地際部では、皮付き小丸太は4.9年および6.0年、皮剥ぎ-塗布防腐処理小丸太は6.5年および6.7年、皮剥ぎ小丸太は6.2年および7.6年の耐用年数が得られた。皮付きのまま接地使用すると皮剥ぎに比べておよそ1年あまり耐用年数が短くなることがわかった。

1. はじめに

富山県において、スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) は太宗を占める植栽樹種であり、民有人工林でも約93%がこれで造林されている。このため、治山施工を行う場合、施工地や隣接地にスギ造林地が存在する。したがって、運材や加工の手間を省き、施工に必要な木杭材料として、手近から得られる梢端材を含むスギ小丸太材を現場で加工利用することは、省コストな材料調達法といえる。県内でも、柵工（写真-1）だけでなく伏工、流路工のごく一部にその例がすでに見られる。

このようにして加工された木杭を耐久設計に組込むには、接地条件下での耐用年数が必要である。しかし、この資料や文献が見あたらないので、野外地暴露試験を行い、被害度の経年変化から耐用年数を推定した結果を報告する。

ここで、耐用限界として、一般的な被害度2.5、さらに地際部では折損率10%および折損率10%に相当する被害度3.4（第1報¹⁾）の3つの基準を採った。



写真-1 スギ皮付き小丸太を使用した施工例(柵工)

* 木材保存, 19(1), 13-22(1993)を第1報とする。一部は、日本木材学会第50回大会(2000)において発表した。

** 木材試験場

2. 試験方法

2.1 供試材料と塗布防腐処理

供試したスギ小丸太は、富山県産ボカスギの梢端材（小矢部市城山地内ボカスギ間伐展示林，1987年7月伐採，長さ3m）である。これらを1mの長さに切断し，ランダムイズしながら皮付き，皮剥ぎ-塗布防腐処理および皮剥ぎの3処理区用に分けた。各処理区の小丸太試片本数は12本とした。皮付き区以外の小丸太を皮剥ぎし，皮付き小丸太とともに合成樹脂シート下で2週間天然乾燥した。処理区別の材質を表-1に示す。含水率の測定には，ポータブル型電気抵抗式含水率計（ケット科学製）を用いた。

表-1 供試スギ小丸太の材質

処理区	末口直径 (cm)	細り率 (cm/m)	含水率 (%)	容積密度
	最小値 平均値 最大値		最小値 中央値 最大値	最小値 平均値 最大値
皮付き	6.2 9.0 11.7	1.5	> 30 > 30 > 30	0.64 0.80 1.03
皮剥ぎ- 塗布防腐 処理	6.8 9.3 12.3	1.7	24 > 30 > 30	0.55 0.64 0.72
皮剥ぎ	6.3 8.8 12.5	1.5	25 > 30 > 30	0.47 0.65 0.80

塗布処理用防腐剤には，ナフテン酸銅系油剤防腐防蟻剤（山陽木材防腐(株) 現(株)ザイエンス製，サンブレザ-OGRグリーン）を用いた。塗布法は，刷毛を用いた1回塗りで，木口面は十分に吸収させるようにした。塗布前後の秤量によって求めた塗布量は，最小163 g/m²～平均221 g/m²～最大283 g/m²となり，ほぼ塗布仕様（200 g/m²以上²⁾に沿った値となった。ただし，容積密度がやや大きかったことから，油剤塗布前としてはまだ乾燥が不十分で，試片中央部（地際部）の塗布量に不足があったことが窺える。

2.2 暴露条件

小丸太試片は，木材試験場構内の杭試験地の一区画（広さ：2×18m，土壌：一部粘土混じりの褐色森林土，位置：東経137.102°，北緯36.703°，標高14m）において，1987年9月29日から2003年10月17日まで野外接地暴露した。ただし暴露地は，1990年8月の試験地移設に伴い同標高，西約200mの地点から移動した。小丸太試片は，処理区をランダムイズして，間隔1mで，長さの半分50cmまで地中に埋めて設置した。試験地の様子を写真-2に示す。

暴露期間中の気候環境条件を，年平均気温，年降水量，日降水量1mm以上の年降水日数，および修正クライメート・インデックス（CI'；式（1）³⁾）を試験地近傍のAMe DAS 気象観測点4箇所（富山，伏木，八尾，砺波）のデータをもとに求めた。

$$CI' = \sum_{1月}^{12月} \frac{d'(t-2)}{16.7} \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここで， d' ：日降水量1mm以上の月降水日数
 t ：月平均気温

2.3 被害度評価と解析の方法

小丸太試片の被害（腐朽あるいは虫害）は，ほぼ1年毎に頂部，地際部，底部について森林総合研究所の評価体系（表-2）⁴⁾に準拠して評価した。評価は，目視によって行ったが，内部の被害状態が判然としない場合は，千枚通しを使用し劣化部分を判別した。評価に迷う場合，劣化部分の断面に対する比率により0.5（10%）刻みの被害度（断面欠損率）を与えた。そして，各処理区12本の平均被害度を算出した。

暴露期間（ t ；年）と平均被害度（ D ）についてRichardsの成長関数回帰分析^{5,6)}を行った。回帰に使用したRichardsの成長関数を式（2）に示す。分析は，統計解析ソフトSTATISTICA Pro03Jの非線形回帰分析を用いた。回帰にあたって一段⁷⁾では寄与率がやや低かったので，前段と後段の2段階に分け，両回帰式を結合した。また，地際部では，被害度5に達した本数割合を折損率（ B ；%）として，その経時変化について成長関数回帰（一段）を行った。



写真－2 暴露試験地の様子
 上：1987年9月29日の埋設直後
 下：1999年1月25日の中間調査時

得られた回帰式に一般的な耐用限界とされる平均被害度 2.5⁴⁾、折損率 10 % および折損率 10 % に相当する平均被害度 3.4¹⁾を代入して暴露期間を求めた。これらをそれぞれ、耐用年数 $L_{D2.5}$ 、 $L_{B10\%}$ 、 $L_{D3.4}$ とした。

$$D = A (1 - e^{-kt})^{1/(1-m)} \quad \dots \text{式 (2)}$$

- ここで、 D ：平均被害度
 A ：最終到達被害度（理論的には 5）
 e ：自然対数の底（ ≈ 2.718 ）
 k ：被害度進行速度
 t ：暴露期間
 m ：被害度進行速度の変化パラメータ

表－2 被害度の表し方⁴⁾

被害度	観 察 状 態
0	健全
1	部分的に軽度の虫害または腐朽
2	全面的に軽度の虫害または腐朽
3	2の状態のうえに部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい虫害または腐朽
5	虫害または腐朽により形がくずれる

3. 結果と考察

3.1 試験地の環境

試験地の生物環境は、小丸太の被害状況から間接的に推定できる。ヤマトシロアリの生物被害が一時期一部にみられた。すなわち、調査時で 1 年 3 ヶ月後には皮付き区に、2 年後には皮付き区と皮剥ぎ区に、3 年後には 3 処理区ともにシロアリが認められた。その後の調査時点ではシロアリは認められなかった。

腐朽菌害では、子実体が 1 年 3 ヶ月後の調査時点で皮付き区に認められた。全体としては、褐色腐朽が主であったが、一部には白色腐朽と水はけが悪い位置では軟腐朽もみられた。

気候環境は、表－3 に暴露経過 1 年ごとの年平均気温、年降水量、降水日数、修正木材腐朽気候指数 CI' の値を示す。試験期間をとおしての平均値は、それぞれ 13.8°C、2296 mm、187 日、112 で、これらに対応する AMeDAS の国内平均値（1977～1998、約 900 地点）⁸⁾ は、それぞれ 12.0°C（標準偏差 4.0°C）、1626 mm（545 mm）、139 日（30 日）、85（27）であった。

表-3 試験地の気候環境 (1987.10 ~ 2003.9)

年 [期 間]	平均気温 (°C)	降 水 量 (mm)	降 水 日 数	CI'
1988 [87.10~88.9]	13.2	2279	193	114
1989 [88.10~89.9]	13.4	2478	182	111
1990 [89.10~90.9]	14.2	1922	177	109
1991 [90.10~91.9]	13.9	2474	195	124
1992 [91.10~92.9]	13.6	2057	180	106
1993 [92.10~93.9]	13.0	2557	198	120
1994 [93.10~94.9]	14.0	1550	167	90
1995 [94.10~95.9]	13.8	2416	197	119
1996 [95.10~96.9]	13.1	2059	173	88
1997 [96.10~97.9]	13.8	2337	195	122
1998 [97.10~98.9]	14.3	2708	186	127
1999 [98.10~99.9]	14.3	2426	195	124
2000 [99.10~00.9]	14.1	2197	181	96
2001 [00.10~01.9]	13.9	2238	190	114
2002 [01.10~02.9]	14.2	2438	188	117
2003 [02.10~03.9]	13.3	2608	192	114
平 均	13.8	2296	187	112
標準偏差	0.5	292	9	12

これらのことから、試験地は、全国の平均的気候値と比べて、気温はわずかに高めで、降水量が多く高頻度降水の多雨な気候環境といえる。また、CI'がちょうど全国平均+1標準偏差で、木材にとっては全国平均より腐朽しやすい環境といえる。

3.2 被害度の回帰分析と耐用年数の算出

劣化部分は加害生物種を区別せずに被害度評価を行った。ボカスギ小丸太の皮付き、皮剥ぎ-塗布防腐および皮剥ぎ処理の3処理区の被害度の経時変化を、評価部位別に図-1に示す。図中には、成長関数回帰分析の結果得られた式の曲線を描いた。また表-4に、それぞれの回帰式の回帰係数を示した。

まず、図-1の被害度進行の状態では、地際部に

において、皮剥ぎ塗布防腐区は平均被害度2をわずかに下回るところで、皮剥ぎ区と皮付き区では2を越えるところで、緩やかになる時期が認められた。これは、被害が早く進む辺材部、遅く進む心材部や防腐薬剤浸潤部が断面内に混在するためと考えられ、未処理辺材部の腐朽菌とシロアリによる急速な被害進行が収束したためと推定する。

ばらつきを示す±1標準偏差区間を比較すると、皮剥ぎ処理区は他の2処理区と比べて狭くなっており、皮剥ぎに被害度のばらつきを抑制する効果が認められた。

部位別では、いずれの処理区でも地際部で最も速い被害度進行が認められ、ついで頂部、底部の順になった。

表-5には、処理区別に頂部と底部には耐用年数 $L_{D2.5}$ を、地際部にはさらに耐用年数 $L_{B10\%}$ 、 $L_{D3.4}$ を示す。

地際部の $L_{D2.5}$ では、皮付きと比べて、皮剥ぎが1.3年長く、皮剥ぎ-塗布防腐処理が1.6年長くなった。 $L_{B10\%}$ では、同じく皮付きと比べて、皮剥ぎが0.6年長く、皮剥ぎ-塗布防腐処理が0.7年長くなった。

$L_{D3.4}$ では、皮付きと比べて、皮剥ぎが1.1年長く、皮剥ぎ-塗布防腐処理が1.4年長くなった。このように、皮付きと比べて、皮剥ぎ、皮剥ぎ-塗布防腐処理の耐用年数は若干長くなり、一定の保存効果が認められた。

折損率10%に到るまでの耐用年数 $L_{B10\%}$ (図-2)は、被害度を基準とした折損率10%に到るまでの耐用年数 $L_{D3.4}$ と比べて0.5~1.2年短く計算された。これは、今回は被害のばらつきが大きく、被害度3.4に到る前に被害度5(折損)に達する比率が10%を越えたためであろう。

また、皮剥ぎ丸太について、その塗布防腐処理は、頂部や底部で耐用年数延長効果が認められたが、地際部ではほとんど認められなかった(図-1, 表-5)。これは、薬剤が油剤であり、供試小丸太の中央部表層への浸潤が不十分であったためと推定される。したがって、伐倒後できるだけ早く皮剥ぎして乾燥期間を長くし、含水率の低下を図ることが必要である。また、地際部分へのインサイジングを施し、防腐剤の浸潤度を向上させる方法も有効と考えられる。

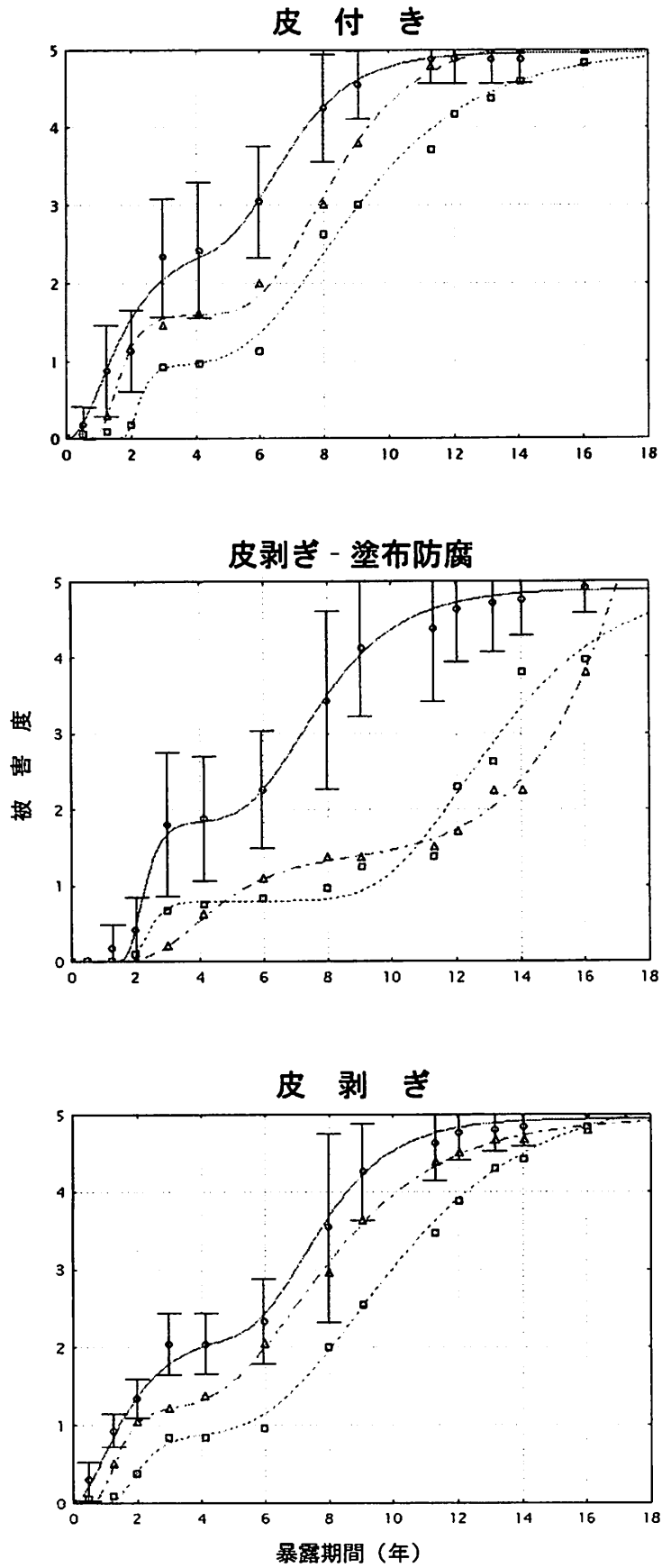


図-1 スギ小丸太の平均被害度の経年変化

△ — 頂部 ○ — 地際部 □ — 底部

注) 地際部の被害度については、平均±標準偏差の範囲を線分で示した。

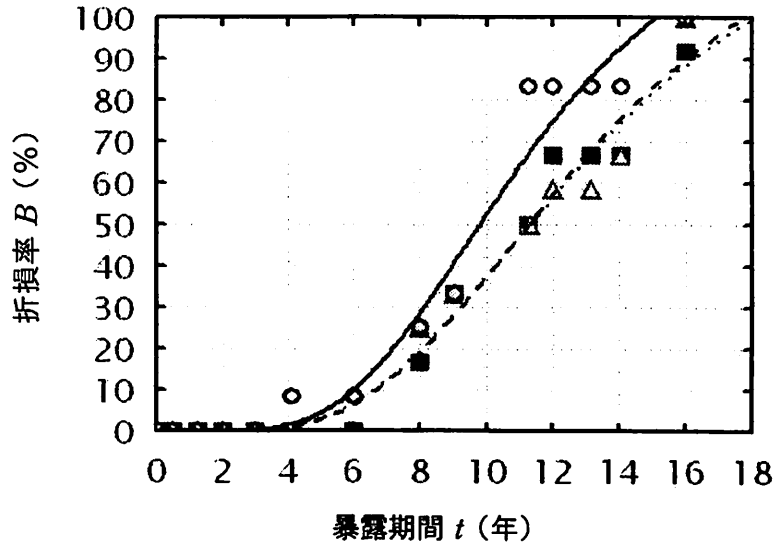


図-2 スギ小丸太の折損率の経年変化

皮付き ○ ——— $B = 130(1 - e^{-0.236t})^{1/(1-0.891)}$
 皮剥ぎ-塗布防腐 ■ - - - - - $B = 130(1 - e^{-0.193t})^{1/(1-0.874)}$
 皮剥ぎ △ ······ $B = 130(1 - e^{-0.186t})^{1/(1-0.865)}$

表-4 スギ小丸太の被害度経時変化の Richards 成長関数回帰分析結果

処 理 区	部 位	前・後段の別	A	k	m	備 考
皮付き	頂 部	前 段	1.60	2.220	0.963	結 合
		後 段	3.55	0.564	0.987	
	地 際 部	前 段	2.50	0.850	0.586	結 合
		後 段	2.47	0.715	0.990	
	底 部	前 段	0.95	3.580	0.99955	結 合
		後 段	4.05	0.379	0.9522	
皮剥ぎ-塗布防腐	頂 部	前 段	1.40	0.655	0.920	結 合
		後 段	8260.00	0.0295	0.880	
	地 際 部	前 段	1.85	2.750	0.9970	結 合
		後 段	3.05	0.579	0.984	
	底 部	前 段	0.80	2.810	0.9983	結 合
		後 段	4.20	0.385	0.9910	
皮剥ぎ	頂 部	前 段	1.23	2.180	0.928	結 合
		後 段	3.73	0.394	0.937	
	地 際 部	前 段	2.20	0.775	0.493	結 合
		後 段	2.75	0.655	0.9913	
	底 部	前 段	0.88	1.870	0.969	結 合
		後 段	4.38	0.324	0.944	

注) カワイダニスギ梢端材の野外接地暴露試験 (1987.9~2003.10) にもとづく

表-5 スギ小丸太の耐用年数

(単位:年)

処 理 区	頂 部	地 際 部			底 部
	$L_{D2.5}$	$L_{D2.5}$	$L_{B10\%}$	$L_{D3.4}$	$L_{D2.5}$
皮付き	7.2	4.9	6.0	6.5	8.2
皮剥ぎ-塗布防腐	14.3	6.5	6.7	7.9	12.5
皮剥ぎ	7.0	6.2	6.6	7.6	9.0

注) カワイダニスギ梢端材の野外接地暴露試験 (1987.9~2003.10) にもとづく

4. まとめ

ボカスギ梢端小丸太（直径約10cm）を、皮付き、皮剥ぎ-塗布防腐処理および皮剥ぎの3つの処理区に分け、野外接地暴露試験を行った。被害度および折損率の経年変化は、成長関数回帰を行い、回帰式を求めた。得られた回帰式から、耐用年数を求めた。結果は以下のとおりであった。

1) 地際部において、被害度2.5および折損率10%を耐用限界とした耐用年数は、皮付き小丸太は4.9年と6.0年、皮剥ぎ-塗布防腐処理小丸太は6.5年と6.7年、皮剥ぎ小丸太は6.2年と6.6年の耐用年数が得られた。

2) 剥皮-塗布防腐処理スギ小丸太の耐用年数は、皮剥ぎに比べて地際部の延長効果は小さかったが、頂部や底部ではかなりの延長効果が認められた。

謝 辞

試験に協力いただいた治山課（現森林政策課）をはじめ関係の方々に感謝する。

文 献

1) 長谷川益夫ほか8名：富山県における治山木杭の耐久性（第1報）柵工におけるスギ及びカラマツ木杭の耐用年数について，木材保存，19（1），

13-22（1993）。

- 2) 山陽木材防腐㈱：製品資料“サンプルザーOGRグリーン”，1982。
- 3) Masuo Hasegawa：Climate Index of Wood Decay in Japan and Toyama Prefecture, High-Performance Utilization of Wood for Outdoor Uses (Report on Research Project, Grand-in-Aid for Scientific Research), 2001, p.15-25.
- 4) 例えば；松岡昭四郎ほか5名：浅川実験林苗畑の杭試験（3）各樹種の野外試験による耐朽性調査結果，林業試験場研究報告，232，109-135（1970）。
- 5) F. J. Richards：A Flexible Growth Function for Empirical Use, Jour. Exp. Bot., 10, 290-300（1959）。
- 6) 大隅慎一，石川善朗：RICHARDSの生長関数をあてはめるためのコンピュータープログラムの作成，京都府立大学演習林報告，24，6488（1980）。
- 7) 長谷川益夫：富山県における治山木杭の耐久性—皮付きと皮剥ぎスギ小丸太の耐用年数—，日本木材学会大会研究発表要旨集（京都），466（2000）。
- 8) 長谷川益夫：未発表。

Summary

Sugi (*Cryptomeria japonica*; Japanese cedar) is the most important planting species which occupies about 93% of the afforestation area of the private forests in Toyama prefecture. Therefore, forestry conservation construction may be executed near the plantations. The wood pile is often used in the construction, and logs with bark or logs which are simply preserved by a coating treatment are rational low-cost material in respect of the fallen trees that are obstacles or from the nearby forest. For this reason, this bio resistance must be examined from the viewpoint of design of durability. Boka-sugi small logs (diameter about 10cm) was divided from trunks in the crown and was prepared into three process treatments of logs with bark, peeled & coating preserved logs and peeled logs. Then, the secular change of damage rate was examined by field earth contact exposure test. The growth function regression analysis was carried out on relationship between damage rate or breakage rate and exposure duration were calculated. As the result, in the ground line position, respective service lives were as follows; 4.9, 6.0 years for logs with bark, 6.5, 6.7 years for peeled & coating preserved logs and 6.2, 6.6 years for peeled logs. In condition of earth contact, it was proven that the service life of logs with bark was shorter than that of peeled logs by about 1.3 years.