

間伐材の利用促進を図るための新たな仕様基準の開発

—屋外使用条件別劣化過程の把握と各仕様基準の開発—

吉野 安里・柴田 直明

カラマツ間伐材を主に、土木用構造物等への利用を図るための仕様基準の開発・検討を行った。本研究では、屋外における丸太等の材料強度と劣化過程の把握、高耐久性仕様の検討、劣化の診断技術等の検討を行った。成果の一部は、木製ガードレール開発の基礎データや木橋の設計に活用された。また、診断技術等についてはマニュアル化を図ったほか、講習会を開催し現場への普及を目指した。

キーワード：円柱加工材，土木用構造物，劣化

1 緒言

土木用への木材利用は、まとまった量でかつ継続的な需要が期待できる。しかも、住宅用には不向きな中小径材や曲がりやを有する材、あるいは風倒木や工事現場からの支障木などの利用も可能である。また、剥皮や簡易製材などの低次加工のみでも十分に利用可能である。

木材は腐朽するという特性を有するために、その特性を活かした非構造的な土木用途への利用も検討されている。一方、構造的な利用では、現場における耐用年数の明示や診断技術の確立などについては使用者側からの要求がある。

本報告は、国庫補助「農林水産新技術実用化型先端技術等地域実用化研究推進事業」〔平成13(2001)～15(2003)年度〕、において「間伐材の利用促進を図るための新たな仕様基準の開発（屋外使用条件別劣化過程の把握と各仕様基準の開発）」として実施した研究内容をまとめたものである。本県において土木用構造物等屋外利用に関する研究は緒についたところであるが、ここでは当該事業の期間内において得られた成果をまとめた。

1.1 研究の目的

カラマツは長野県の人工林面積の50%強を占める。製材品販売量81千 m^3 〔平成10(1998)年〕の51%は土木用材で、かつほとんどが間伐材である。土木用材の2/3強は県外へ出荷し、県内における公共事業使用実績は年間約10千 m^3 であった〔平成10(1998)～12(2000)年度〕。カラマツ材を土木用途に利用する上で、仕様や耐用年数などは主として経験に基づいていたが、データに根拠を求められている。そこで、劣化過程を解明し、デ

ータに裏付けられた工法・仕様基準を開発する。

1.2 本研究の構成

本研究においてとりあげた項目は下記のとおりである（括弧内は、本報告における章を示す）。

(2) 丸太等の材料強度と劣化過程の把握

(2.1) カラマツ円柱加工材の材料強度の把握

(2.2) 暗渠工のフィルタ材として使用しているスギ・ヒノキの劣化過程の調査

(3) 高耐久性工法・標準仕様の確立

・防腐処理と木材保護塗装による高耐久性仕様の検討

(4) 劣化の診断・メンテナンス技術の確立

(4.1) 非破壊検査法の検討

(4.2) 木製構造物の腐朽と植生の回復状況

(5) 成果の発表、活用

(6) 成果の取り扱い

なお(2.2)暗渠工のフィルタ材として使用しているスギ・ヒノキの劣化過程の調査については、入野輝氏（下伊那地方事務所*）に協力して実施した。

(4.2)木製構造物の腐朽と植生の回復状況については、前澤まゆみ氏（上伊那地方事務所*）、丸山文彦氏（長野県林業コンサルタント協会）らとの共同で実施した。

注：*はいずれも当時の所属

2 丸太等の材料強度と劣化過程の把握

2.1 カラマツ円柱加工材の材料強度の把握

カラマツ等の間伐材は、かなりの量が土木用材等として屋外で用いられており、今後もそれらの分野への使用量が増大する情勢にある。そこで、屋外で使用される丸太等の材料強度を把握し、新たな仕様基準を作成する上での基礎データとする。

2.1.1 試験体の作製方法と養生方法

末口径 14~18cm のカラマツ丸太 (長さ 4m) から直径 12cm・長さ 2m の円柱加工材 102 本を作製し、試験体とした。これらの円柱加工は、平成 14(2002)年 1 月上旬に行われた。

円柱加工後 2 週間以内に、すべての試験体について中央直径 (直径巻尺を使用)・長さ・重量・縦振動法による共振周波数を測定し、常法により各試験体の動的ヤング係数を求めた。

次いで、動的ヤング係数の降順に No. を付け、奇数 No. は未乾燥状態における強度試験 [未乾燥試験] 用、偶数 No. は乾燥後における強度試験 [乾燥後試験] 用として、2 グループに仕分けた。

「未乾燥試験」用の試験体 51 本は、円柱加工後 1 ヶ月以内に曲げ強度試験に供した。

「乾燥後試験」用の円柱加工材は平成 14(2002)年 4 月まで実験棟内で保管した。4~12 月には、当センター敷地内において、写真-1 の方式で天然乾燥 (屋外暴露) を実施した。7 月には各円柱加工材を天地返しし、全面に日光・雨水が直接当るようにした。12 月以降は 13℃程度に暖房した実験棟内に積み重ねて保管し、平成 15(2003)年 2 月に下記 2.1.2 の強度試験等に供した。

2.1.2 強度試験等の方法

試験条件は、下部支点間距離を 180cm とした 3 等分点 4 点荷重方式とした。試験結果は、次式により評価した。

曲げヤング係数

$$E = \frac{2(L-S)(2L^2 + 2LS - S^2)\Delta P}{(3\pi d^4\Delta Y)} \quad (\text{kN/mm}^2)$$

曲げ強さ

$$\sigma = \frac{8(L-S)P}{(\pi d^3)} \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここで、

L : 下部支点間距離 (mm)

S : 上部荷重点間距離 (mm)

ΔP : 最大荷重の約 10% と約 40% とにおける荷重差 (kN)

ΔY : ΔP に対応する全スパンたわみ (mm)

P : 最大荷重 (N)

d : 試験体直径 (mm)

曲げ試験後、上部荷重点間近くの非破壊部から長さ方向が 3 cm 程度の円板を 1 枚ずつ切り出し、平均年輪幅と全乾法による含水率を測定した。

2.1.3 未乾燥状態における強度試験の結果と考察

未乾燥試験用の試験体 51 本の試験結果を、表-1 および図-1~3 に示す。

表-1 において、密度の値は全般に大きめで、かつバラツキが大きかった。これは、主として含水率が高く、かつそのバラツキが大きかったためであると考えられる。試験体 51 本中 14 本は辺材を含まなかったが、これらの含水率は比較的低かった。

図-1 では、未乾燥状態における円柱加工材の全数 (102 本) について、密度と動的ヤング係数の分布を示した。乾燥後試験用試験体の密度の平均値は 0.60 g/cm³、動的ヤング係数の平均値は 10.2 kN/mm² であった。動的ヤング係数のバラツキも大きく、密度とは正の相関が認められた。

図-2 では、未乾燥試験体での「縦振動法による動的ヤング係数」と「曲げ試験による曲げヤング係数」との関係を示した。全般に、曲げヤング係数の方が小さめの値を示した。

なお、例えば矢印を付けた 3 では、曲げ試験時の荷重-たわみ曲線において直線域がほとんどなかったため (比例限度荷重が最大荷重の 40% 以下であったため)、上記の式では実際より小さな値が算出されたものと考えられる。含水率と比例限度荷重との関係等についても、今後検討を進めていく必要があると思われる。

図-3 では、未乾燥試験体で実施した曲げ試験における曲げヤング係数と曲げ強さとの関係を示した。両者には正の相関が認められ、曲げ強さの平均値は大きかったが (表-1)、ともに分布の幅が広がった。

ここで、曲げ強さが 35 N/mm² 以下であった 4 試験体について外見上の特徴を見ると、3 体は曲が

り材を加工したものであり、また3体には直径2cm以上の大径節が存在した。よって、強度性能の劣る材は、目視によってもある程度の選別は可能であるかとも思われる。

円柱加工材の場合、曲げ強さの平均値はかなり大きかった。従って、動的ヤング係数による仕分け法等も含め、何らかの方法でその強度性能を推定して区分することが可能となれば、信頼性の高い優れた部材として利用できるものとなるものと期待される。

2.1.4 乾燥後における強度試験の結果と考察

乾燥後試験体について、未乾燥時（平成14(2002)年1月）と乾燥後（平成15(2003)年2月）における各種の測定結果を、表-2に示す。乾燥後試験体における未乾燥時の平均直径は、前項

2.1.3の未乾燥試験体の値と等しかった。また、未乾燥時の密度と動的ヤング係数の平均値および標準偏差も、未乾燥試験体の値とほぼ同様であった。

乾燥後試験体には、天然乾燥処理の途中である平成14(2002)年7月の時点で、既にかかなりの干割れが発生していた。最終的な曲げ試験時の含水率（全乾法）は気乾状態よりやや低く、含水率のバラツキも小さかった。曲げ試験時の直径は、乾燥に伴い、4mm減少していた。直径の減少率を考慮に入れると、平均年輪幅についても、表-1の試験体の値と大差ないと判断できる。

乾燥後試験体について、未乾燥時の動的ヤング係数と乾燥後の曲げヤング係数との関係を、図-4に示す。乾燥後試験体の近似直線（太い実線、

表-1 未乾燥試験体の各種測定値 (n=51)

測定項目	(単位)	最小-平均-最大	標準偏差
密度	(g/cm ³)	0.47-0.59-0.79	0.075
含水率	(%)	25.5-33.5-65.9	8.5
平均年輪幅	(mm)	2.7-4.0-6.4	0.8
動的ヤング係数	(kN/mm ²)	5.62-10.3-15.4	1.80
曲げヤング係数	(kN/mm ²)	4.74-8.91-12.8	1.60
最大荷重	(kN)	12.5-32.0-43.1	7.0
曲げ強さ	(N/mm ²)	21.0-52.7-70.8	11.3

(参考) x (kN/mm²) = 10.2 x (tf/cm²)
 x (kN) = 0.102 x (tf)
 x (N/mm²) = 10.2 x (kgf/cm²)

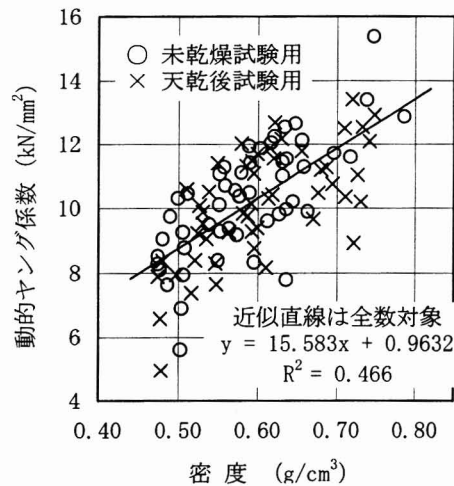


図-1 未乾燥状態の円柱加工材全数における密度と動的ヤング係数 (n=102)

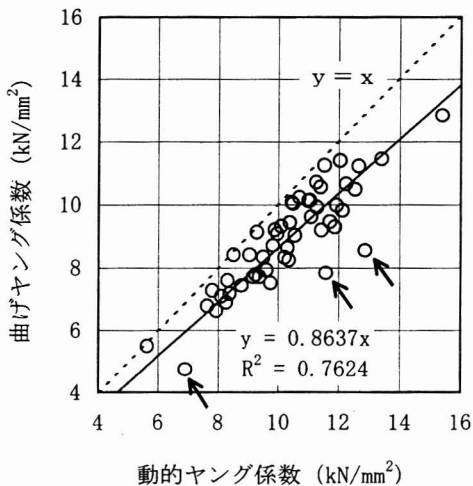


図-2 未乾燥試験体における動的ヤング係数と曲げヤング係数 (n=51)

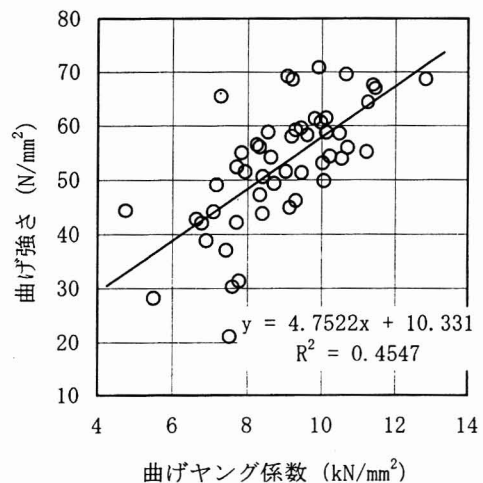


図-3 未乾燥試験体における曲げヤング係数と曲げ強さ (n=51)

$y=1.0631x$) は、2.1.3の未乾燥試験体の近似直線(破線、 $y=0.8637x$)より傾きが大きかった。そして、直線 $y = x$ よりもさらに上方にあった。これらのことは、試験体の乾燥に伴い、ヤング係数が大幅に上昇したことを示す。なお、表-2の乾燥後の曲げヤング係数平均値(10.8 kN/mm²)を基準にして、表-1の未乾燥時における同値(8.91 kN/mm²)の百分率を求めると、82.5%となる。このことから、「繊維飽和点以下の気乾材では、含水率が1%増加するとヤング係数は約1%減少する」という関係が示唆される。

次に、乾燥後試験体の曲げ強さを見ると(表-2)、最小でも 30 N/mm² 以上で、平均値では 63 N/mm² となった。これらの値は、2.1.3の未乾燥時の値より、さらに大きくなっている。乾燥後試験体の

曲げ強さの平均値は、カラマツ実大材の値としては極めて大きいものであり、材縁部のない円柱加工材の特徴かとも思われる。

乾燥後試験体における曲げヤング係数と曲げ強さとの関係を、図-5に示す。参考までに、2.1.3の近似直線を破線で示した。

曲げヤング係数の平均値は2.1.3の8.91 kN/mm²から 10.8 kN/mm²へ、曲げ強さの平均値は同様に 52.7 N/mm²から 63.1 N/mm²へと上昇しているので、図上のプロット全体は右上方へ移動している。

曲げ強さの小さいもののみを簡便な方法で選別して造作用等に振り向けることが可能になれば、残りの円柱加工材はより信頼性の高い高強度構造材として利用できるようになるものと思われる。

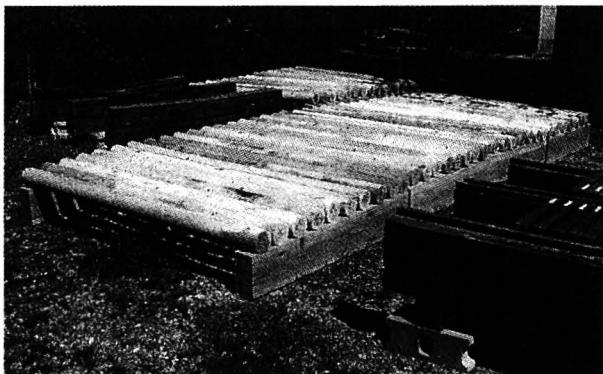


写真-1 天然乾燥（屋外暴露）風景

表-2 乾燥後試験体の各種測定値(n=51)

測定項目	(単位)	最小-平均-最大	標準偏差
《未乾燥時》			
直径	(mm)	122-123-124	0.6
密度	(g/cm ³)	0.47-0.60-0.75	0.08
動的ヤング係数(kN/mm ²)		4.96-10.2-13.4	1.75
《乾燥後》			
直径	(mm)	118-119-120	0.6
含水率	(%)	12.1-13.2-14.1	0.5
平均年輪幅	(mm)	2.8-3.8-5.9	0.7
曲げヤング係数(kN/mm ²)		5.71-10.8-14.3	1.81
最大荷重	(kN)	17.0-35.0-47.6	8.0
曲げ強さ	(N/mm ²)	30.9-63.1-84.2	14.3

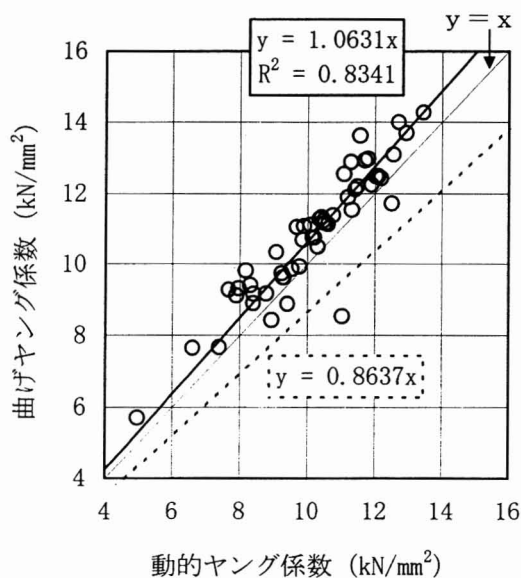


図-4 未乾燥時の動的ヤング係数と乾燥後の曲げヤング係数 (n=51)

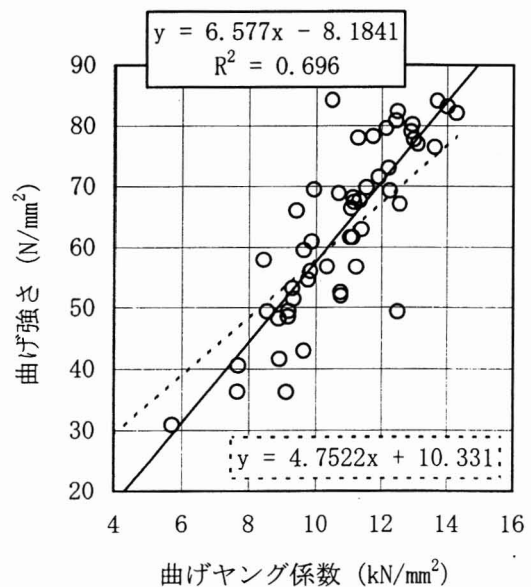


図-5 乾燥後試験体における曲げヤング係数と曲げ強さ (n=51)

2.2 暗渠工のフィルタ材として使用しているスギ・ヒノキチップの劣化過程の調査

下伊那地方事務所林務課では、平成10(1998)年1月の雪害木(主としてスギ・ヒノキ)の有効利用法として、チップ化した上で暗渠工のフィルタ材として使用することを試みた。工期は平成10(1998)年9月21日～平成11(1999)年1月14日で、施工地は飯田市字臼井原であった。

同課では平成13(2001)年8月に、施工後2年半の時点における同暗渠工の調査を実施した。その際、暗渠工の下流側から上流側に向かってP1、P2、P3の3地点を選び、それぞれの上部と下部から木材チップを採取した。当所ではこれらの採取チップの密度測定と劣化調査に協力したので、ここではその概要を報告する。

2.2.1 チップの全乾密度の測定

P1上・下、P2上・下、P3上・下の6採取位置について、それぞれ7～10個のチップを選んで水洗した。次いで、105℃にセットした恒温乾燥器内で24時間乾燥させ、全乾重量を測定した。

全乾重量測定後のチップは、直ちにその全面にラッカースプレーを多量に吹き付けてシールした。約0.5～1時間かけて塗料を乾燥させた後、それぞれのチップを図-6のように水に浸け、その際の重量増x(g)を測定した。全乾体積は、xの値をそのまま用い、x(cm³)とみなした。

2.2.2 チップの劣化状態等の調査

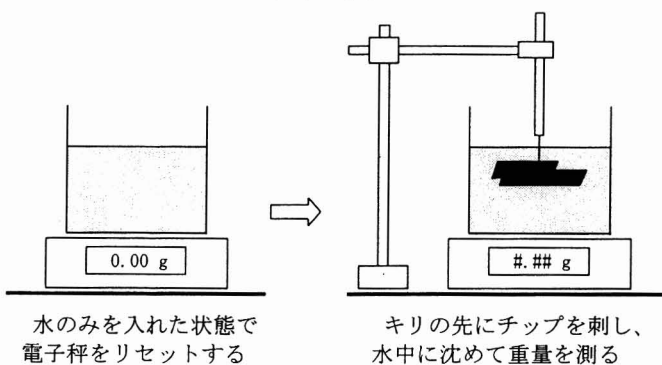


図-6 全乾体積の測定方法

表-3 一般的な密度 (g/cm³)

		気乾 ¹⁾	全乾 ²⁾
スギ	最大	0.45	0.41
	平均	0.38	0.34
	最小	0.30	0.27
ヒノキ	最大	0.54	0.50
	平均	0.44	0.40
	最小	0.34	0.31

1) 林業試験場監修「木材工業ハンドブック改訂3版」(丸善) P.186 による。

2) 次式による。 $r_0 = 100ru / (100 + u(1 - 0.84ru))$

ここで、r₀: 全乾密度

u: 含水率(%)

ru: 含水率u%の時の密度

各チップはチップソーを用い、長さ方向の中央付近で、繊維方向に垂直に鋸断した。そして、その鋸断面(木口面)を目視および小型実体顕微鏡で観察し、劣化状態等を調査した。

なお、スギ・ヒノキは原則として仮道管・軸方向柔細胞・放射柔細胞の3要素のみから構成されているので、他樹種の混入を避けるため、垂直樹脂道等を含むチップは除外した。

2.2.3 試験の結果と考察

本試験で測定したスギ・ヒノキチップの全乾密度を、図-7に示す。この図では同一採取位置におけるマークがかなり重なってしまうため、左右2列に分けて表示した。また、小型実体顕微鏡ではスギとヒノキの識別が困難であったため、同図では原則として樹種区分をせずに表示した。

一般に、スギ・ヒノキの気乾・全乾密度は、表-3の程度である。なお、全乾密度が高くほとんど劣化の認められないチップ3個(図-7の●印)、全乾密度が中程度で部分的に劣化(空洞化)の認められるチップ3個(◆印)、全乾密度が比較的低く内部の劣化が進んだチップ3個(▲印)の計9個については、(独)森林総合研究所木材特性研究領域において、「スギかヒノキか」という二者択一の識別をしていただいた。図-7では、「どちらかと言えばスギ(またはヒノキ)」というものも、スギ(またはヒノキ)として表示した。

また、チップ内部の劣化が進んだ部分では、晩

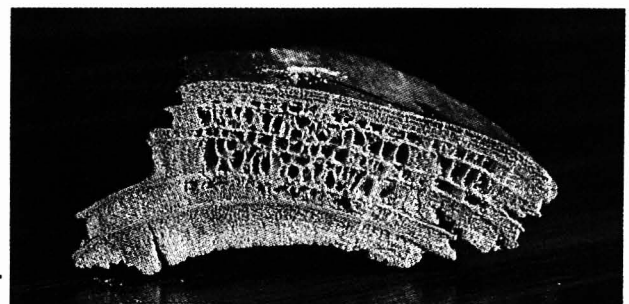


写真-2 内部の劣化が進んだチップの断面

材部と放射組織と思われるものの一部のみが残っていた(写真-2)。このようなチップを(独)森林総合研究所木材改質研究領域において見ていただいたところ、「この劣化は、白色腐朽である。このような腐朽形態は、同腐朽でしばしば観察されるものである」とのことであった。木材特性研究領域からは、「周辺部に残存している仮道管には、軟腐朽の形跡も認められた」との報告もいただいた。

以上より、図-7において全乾密度が0.40(g/cm³)前後のチップは、ほぼ健全なヒノキである可能性が高かった。0.30~0.35(g/cm³)あたりでは、スギ・ヒノキのほぼ健全材から比較的軽度の腐朽材までが混在しているものと思われた。0.25(g/cm³)以下では内部の腐朽が進んだものが多く、スギ材の比率が高いものと思われた。

なお、暗渠工の上流側(P3上・下)や中央上部(P2上)など、適度な水と空気が供給されていたと思われる位置では、やや腐朽が早く進んでいるようにも思われた。

また、ヒノキよりもスギ、心材部よりも辺材部が、より早く腐朽される傾向も見受けられた。

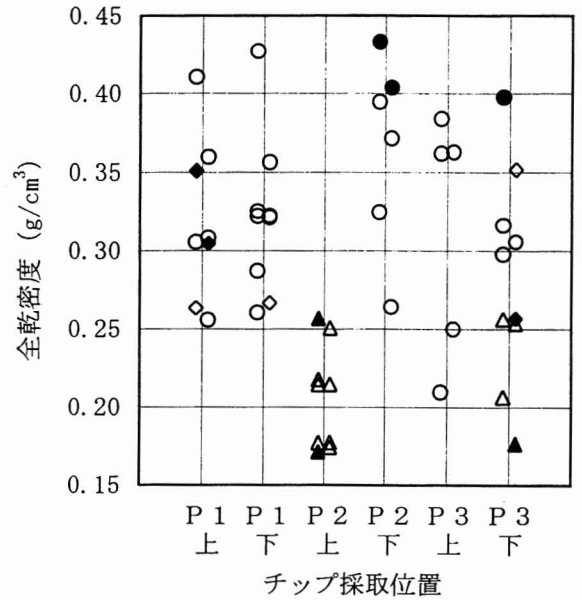


図-7 採取位置別のチップ全乾密度

《図-7の凡例》

- 目視によるチップ内部の劣化(空洞化)
- : 認められない(スギまたはヒノキ)
 - : " (ヒノキ)
 - ◇: 部分的に認められる(スギまたはヒノキ)
 - ◆: " " (ヒノキ)
 - △: 広範囲に認められる(スギまたはヒノキ)
 - ▲: " " (スギ)

3 高耐久性工法・標準仕様の確立

屋外で木材を使う場合、耐久性を高める手立てが必要である。生物劣化に対しては下地に防腐処理を、日光や雨水による劣化に対してはその上に木材保護塗装を施すという仕様が考えられる。

本試験では、一般的な防腐処理と市販の木材保護塗料とによる部材を想定し、1999年11月からの試験を継続して、塗膜の剥離と寸法安定性の経年変化からみた部材の劣化について検討した。

3.1 試験の方法

試験片の仕様、暴露条件の概要は下記のとおりである。

- ・試験片：カラマツ心材板目板（人工乾燥材）を使い、寸法は130(T)×25(R)×250(L)mmとした。
- ・下地（防腐）処理：AAC、ACQおよびフェノール樹脂（リグナイト（株）製LK-82）の3種類の処理に無処理（CONT、対照用）を加えた計4条件とした。
- ・処理方法：AACおよびACQは減圧加圧注入した。フェノール樹脂液は減圧加圧注入後に1週間風乾し、重合は130℃で2時間おこなった。

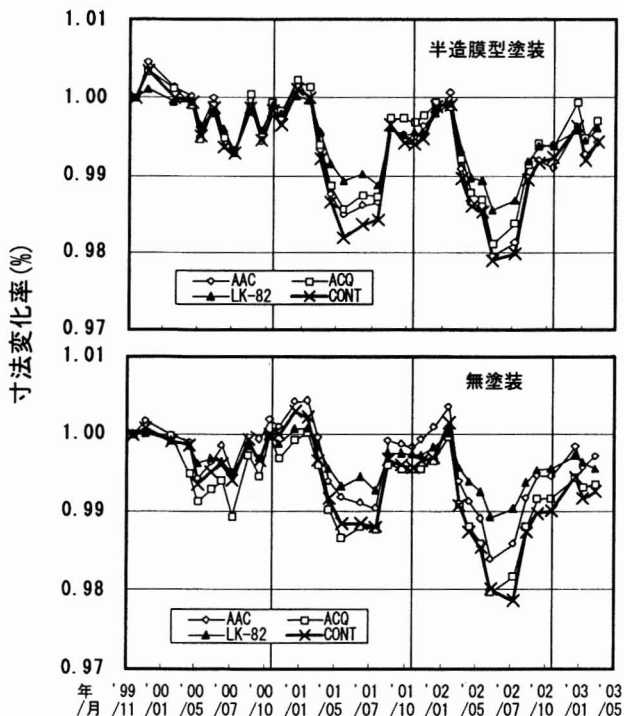


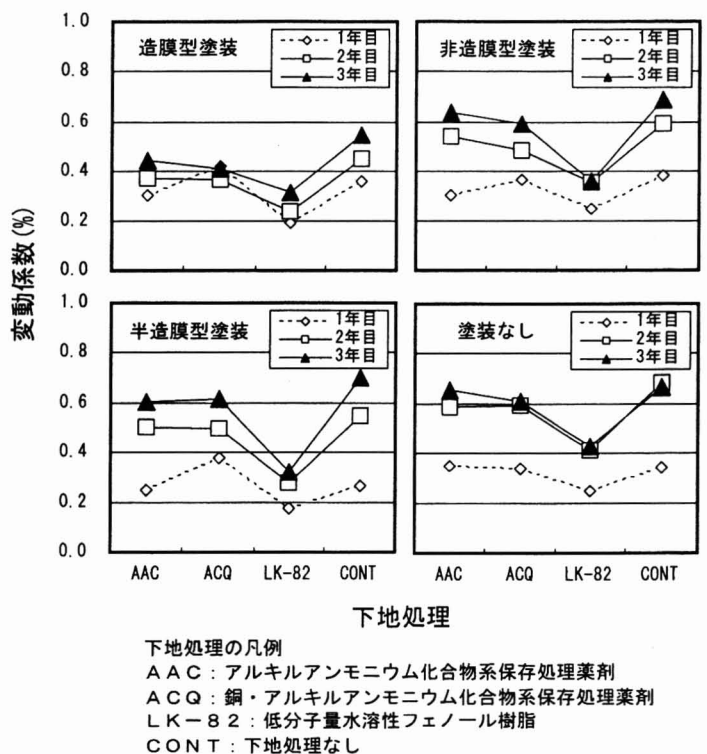
図-8 板幅（T方向）の寸法変化の例

- ・塗装：市販の木材保護塗料（濃茶色系）非造膜型、造膜型、半造膜型の計3種の刷毛塗りおよび無塗装（対照用）とした。
- ・屋外暴露試験：長野県塩尻市片丘（標高850m）にて角度0度（水平）で露暴した。なお試験片は、下地処理終了後（下地処理なしはそのまま）約6ヶ月室内で養生させた後に、両木口面をアルミニウム箔でシールした。塗装は、約1ヶ月おきに2回おこない（無塗装材はそのまま室内にて保管し）、さらに塗装後約2ヶ月室内で養生させてから屋外暴露に供した。

3.2 試験の結果と考察

暴露試験開始（1999年11月）から約1年間までは、試験片が室内で製作・保管されていた環境から外の環境に順応してゆく過渡期にあると考えられる。2年目以降はおおむね周期的な変化を繰り返している（図-8）。すなわち気候の変化に従っている。

寸法安定性の経年変化を、1年ごとに寸法の変動係数で評価した（図-9）。最初の1年目は、結果として変動係数が小さかった。前述したように過



下地処理の凡例

- AAC：アルキルアンモニウム化合物系保存処理薬剤
- ACQ：銅・アルキルアンモニウム化合物系保存処理薬剤
- LK-82：低分子量水溶性フェノール樹脂
- CONT：下地処理なし

図-9 板幅（T方向）の寸法の変動係数

図の注釈

- 1) T方向：板目板の板幅は、丸太の接線方向に相当する。T方向とは接線方向を意味している。

渡的な時期にあたるので寸法安定性を経時的に評価することは適当ではないと考えられる。下地無処理(CONT)・無塗装について2年目と3年目とを比較した結果、変動係数に大差がないことから、ほぼ同じ屋外暴露環境が繰り返されたものと見なすことができる。半造膜型塗装の例では、年数の経過とともに変動係数は大きくなり、明らかに寸法安定性は低下していた。2、3年目では塗膜の剥離が著しかったという外観上の観察の結果から(図-10)、塗装による吸放湿を抑制する能力が低下したためと判断できる。またフェノール樹脂

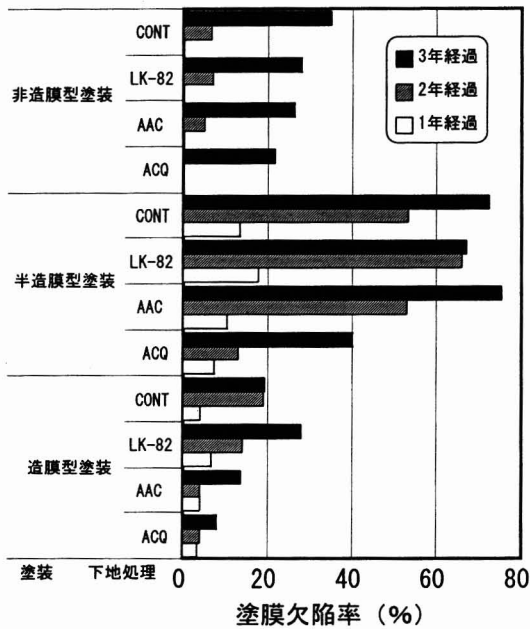


図-10 塗膜欠陥率

(LK-82)による下地処理は寸法安定性に改善効果があり、3年経過時点でもその性能は維持されていた(図-11)。

本実験の結果から、1)フェノール樹脂は寸法安定性の改善効果があるが、塗膜の固着性に欠ける(塗膜の剥離がすすむ)傾向がある、2)ACQやAACなどの防腐処理によって、塗膜が剥離しやすくなるとはいえない、ことがわかった。実験には市場シェアの高い塗料を使用した。他の塗料と下地処理と組み合わせを適用する場合、耐候性を見極める必要はあると考えられる。

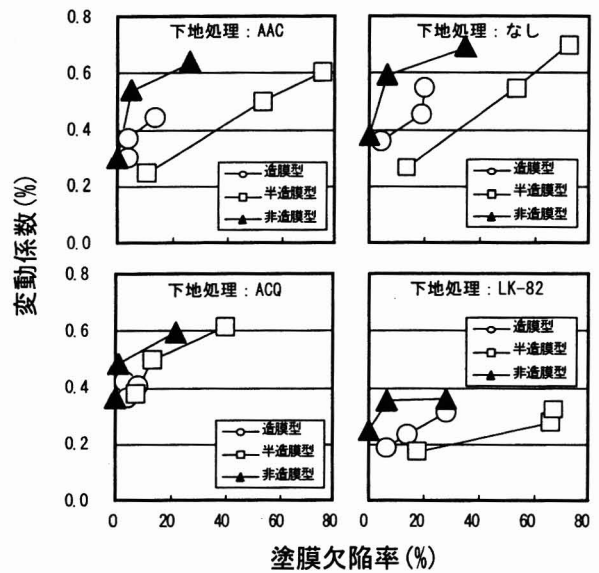


図-11 塗膜欠陥率と板幅(T方向)の寸法の変動係数

図の注釈

- 1) T方向: 板目板の板幅は、丸太の接線方向に相当する。T方向とは接線方向を意味している。
- 2) 図-10 塗膜欠陥率: 非造膜型塗装は、塗膜を形成しないものであるが、塗料の脱落によって木地が露出したものを塗膜の欠陥とみなした。

4 劣化の診断・メンテナンス技術の確立

カラマツ等の間伐材は、多くの量が土木用材等として屋外で用いられており、今後もそれらの分野への使用量が増大する情勢にある。そこで、屋外で使用されている木材の劣化を非破壊検査法によって診断（または予測）することを目標に、種々の測定機器による実測データを蓄積した。

木材の劣化を診断（予測）するための非破壊検査法としては、高周波式含水率計・ピロディン・振子式P型シュミットハンマ・パンジットの検討を進めた。その結果、各機器とも測定上の留意事項等をまとめる必要があると思われた。

さらにピロディンおよび目視による劣化の診断技術について、治山丸太筋工における事例で検証を行った。

4.1 非破壊検査法の検討

4.1.1 試験の方法

試験体は、室内でほぼ平衡含水率に達した、健全なカラマツ気乾材（板材、正角、集成材）とした。非破壊検査用の測定機器としては、13年度は高周波式含水率計（MOCO-2）、ピロディン（6J Forest）、振子式P型シュミットハンマ（低強度コンクリート用）およびパンジット（超音波パルス速度測定器）の4種を検討の対象とした。なお、パンジットは（財）林業土木コンサルタント技術研究所（高崎市）のご高配により、（財）林業土木コンサルタント長野支所との共同測定の際に使用させていただいた。

4.1.2 試験の結果と考察

ア) 高周波式含水率計による測定

高周波式含水率計（MOCO-2、写真-3）を用い、気乾状態のカラマツ健全材を種々の方法で測定したところ、次の結果を得た。なお、含水率計の設定は、全乾密度（比重）：0.49、水分補正：0%、温度補正：AUTOとした。

構造用集成材（対称異等級構成）の最外層の場合
 …………… 3%前後高めに表示される
 繊維方向に垂直に当てた場合

…………… 2%前後高めに表示される
 木口面に当てた場合

…………… 0～数%程度高めに表示される
 試験体（特に薄い板）の裏面に手等を当てた場合

…………… 1～10%以上高めに表示される
 含水率計の近く（特に右側）に手や足を置いた場合
 …………… 数～10%以上高めに表示される
 含水率計から手を離れた場合

…………… 2%前後低めに表示される
 材表面に凹凸や溝加工がある場合（風化した状態を含む）
 …………… 3%前後低めに表示される
 試験体の右端で測定した場合

…………… 2%前後低めに表示される

以上のことから、含水率計による測定の場合でも、マニュアルを作って確実な測定をしてもらうことの必要性が認められた。また、現場での測定では、やむを得ず、繊維方向に垂直に当てたり、木口面に当てたりせざるを得ないこともある。このような場合には、測定方法をメモするように徹底することも必要であった。

イ) ピロディンによる測定

ピロディン（6J Forest、写真-4）を用い、気乾状態のカラマツ健全材を種々の方法で測定したところ、次の結果を得た。

板目面～追証面における打ち込み深さ
 …………… 15±3 mm 程度

木口面における早材部の打ち込み深さ
 …………… 22±5 mm 程度

木口面における晩材部を中心とした打ち込み深さ
 …………… 13±3 mm 程度

現場での測定では、やむを得ず、木口面で測定せざるを得ないこともある。カラマツ材の場合は



写真-3
高周波式含水率計



写真-4
ピロディン



写真-5
振子式P型シュミットハンマ

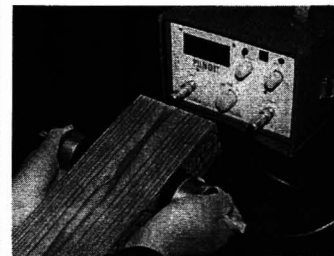


写真-6
パンジット

早晚材の差が大きいので、「木口面では必ず早材部に打込む」等の制限をつける必要があると思われた。

ウ) 振子式P型シュミットハンマによる測定

振子式P型シュミットハンマ (低強度コンクリート用、写真-5) を用い、気乾状態のカラマツ健全材を種々の方法で測定したところ、次の結果を得た。

正角・集成材等の板目面における反発度数 (R)
…………… 45±15 程度

正角・集成材等の木口面における反発度数 (R)
…………… 60±15 程度

木橋の床板や高欄の笠木等、たわみ振動を生じる部材の反発度数 (R) …………… 0～30 程度

エ) パンジットによる測定

パンジット (超音波パルス速度測定器、写真-6) を用い、気乾状態のカラマツ健全材を種々の方法で測定したところ、次の結果を得た。なお、本試験では試験体にグリスを付けるのを避けるため、発・受信子にグリスを塗った上で保護キャップをかぶせる方法を試みたが、十分に測定可能であった。

繊維方向の超音波パルス伝播速度 (対面測定法)

…………… 4.9±0.6 km/s 程度
繊維に直交する方向の超音波パルス伝播速度 (対面測定法：写真-6) …………… 2.1±0.3 km/s 程度

なお、カラマツ心材の場合は、20℃の水中に26時間浸漬した後でも、伝播速度に大差はなかった。また、同一材面上に発・受信子を当てる表面測定法も可能であった。ただし、板目板において繊維に直交する方向の伝播速度を測定すると、発・受信子を木裏側に当てた方が、木表側に当てた場合よりも遅くなった。さらに、試験体に穿孔や溝加工をした上で測定をしてみたところ、それらを挟んだ近傍に発・受信子を当てない限り、伝播速度に明らかな差は認められなかった。発・受信子を当てる位置を決める際には、伝播距離に明らかな差が生じるように配慮する必要がある。

以上、本報では基礎的な試験結果の一例のみを記した。これらの成果を基に、次の測定マニュアルを作成し、実用に供した。

- ・高周波式含水率計 (MOCO-2) の使い方 (A4 で全3頁)
- ・ピロディンの使い方 (A4 で全4頁)
- ・振子式シュミットハンマの使い方 (A4 で全3頁)

4.2 木製構造物の腐朽と植生の回復状況

山腹工の施工地では、木製構造物にカラマツ等の間伐材が広く用いられてきた（写真-7、8）。特に治山丸太筋工には多くの使用実績例がある。本工法は、崩落した山腹に丸太あるいは円柱加工材を柵状に配置し、植生の回復を図るというものである。部材には、木本類の植生回復がなされる間の構造的な強度が期待されている。調査した現場では直径 12cm 程度の剥皮丸太あるいは円柱加工材を用い、防腐処理はほとんど行われていないと考えられる。そこで、丸太筋工部材の横杭について目視およびピロディンによる腐朽度の調査を行い、併せて本工法の目的とする植生の回復状況も検証した。さらに施工された部材の一部を抜き出して曲げ強度試験を実施した。

4.2.1 試験の方法

ア) 現地調査

調査地：長野県上伊那郡地域の丸太筋工箇所
 (竣工後 2～19 年経過・計 19 箇所)

調査方法：目視評価（森林総合研究所の目視評価法、表-4）およびピロディン貫入値の測定

イ) 曲げ強度試験

試験材：現場からサンプリングした部材

(直径約 120mm、長さ 2m、計 14 本)

試験条件：全スパン 1,800mm、3 等分点 4 点荷重による曲げ強度試験 (図-12、写真-9)

4.2.2 試験の結果と考察

経過年数ごとの目視による判定区分の構成率を示す (図-13)。経過年数 5 年までは、部分的な腐朽にとどまっているが、おおむね 10 年を経過すると激しい腐朽を伴うようになり、今回の調査事例ではさらに 16 年を超えると全体が腐朽しているか原形をとどめないものも多かった。耐力的には機能し得ないのは明らかであった。一方、ピロディン貫入値 (以下本文中 Pe 値と記す) についても、年数の経過につれて数値の高いものの割合が増加していて、おおむね 10 年を経過すると、半数は 40mm よりも大きな断面欠損を生じていることがわかった (図-14)。なおピロディンは最大 40mm までの貫入値しか測定できない。

目視判定と Pe 値との関係を表-5 にしめす。目視判定で被害度 1 の部材の 75% は Pe 値 25mm 以下



写真-7 現場の例 (17 年経過)



写真-8 現場の例 (9 年経過)

表-4 森林総合研究所の目視評価法

被害度	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。

部材：カラマツ剥皮丸太
 使用箇所：丸太筋工の横柵材
 直径：12±2cm
 材長：2m
 経過年数：3～12年

3等分点 4点荷重
 曲げ強度試験

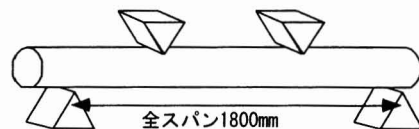


図-12 曲げ試験の条件



写真-9 曲げ試験風景

であった。しかし被害度2ではPe値は広い範囲に
ちらばり、約40%はPe値25mm以下であったが、
約20%は測定限界であるPe値40mmを超えていた。
さらに被害度3では約30%は測定限界を超えて
いた。

さらに現場の部材について曲げ強度試験を実施
した。各現場の「平均的な」素性のもの1本を選
び、経過年数の異なる14ヶ所から抽出を行った。
一般に曲げ強度は部材断面の単位面積あたりの曲
げ強度(材料強度値)であらわす。本試験では、
現場において当該部材がどの程度の力に耐えるか
に注目し、スパン1,800mmにおける破壊荷重値で
あらわした。腐朽を受けていない状態でも、ピロ
ディン貫入値は10mm程度である。丸太の直径は、
設計上では12cmであり、サンプルでは12cm中心
に±2cmの範囲であった。

屋外に設置する前の破壊荷重値は、本サンプル
調査ではわからない。しかし、同一曲げ試験条件
下で実施した「未乾燥状態における円柱加工材」
の場合(前2.2.1項参照)では、破壊荷重値の平
均値は約38kN(材料強度値では63.1kN/mm²)であ
り、この値を設置前の破壊荷重の平均値とみなし
た。そこで破壊荷重値がほぼ半減して20kNとな
ったと仮定した場合、対応するPe値はおよそ25mm
であり、経過年数6~7年であった(図-15、16)。

本調査地では、おおむね10年経過後には植生回
復は果たされており、本工法において(カラマツ間
伐材の)円柱加工材は、十分に機能しているといえ
る(図-17)。

以上のことを、本調査地の丸太筋工横柵につい
てまとめると以下のとおりである。

1)部材は、直径12cmスパン長2mの丸太あるい
は円柱加工材である。

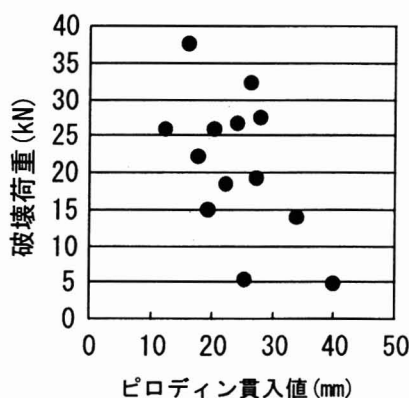


図-15 ピロディン貫入値と破壊荷重

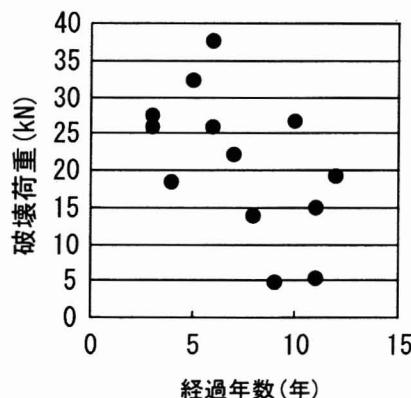


図-16 経過年数と破壊荷重

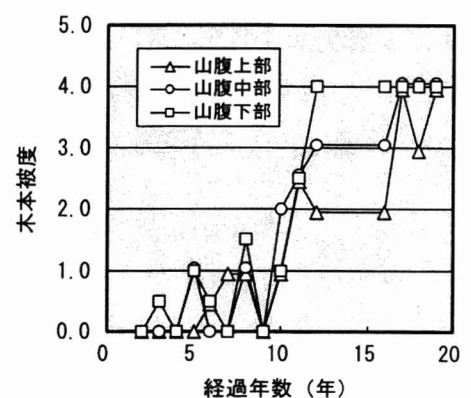


図-17 植生の回復状況(木本被度)

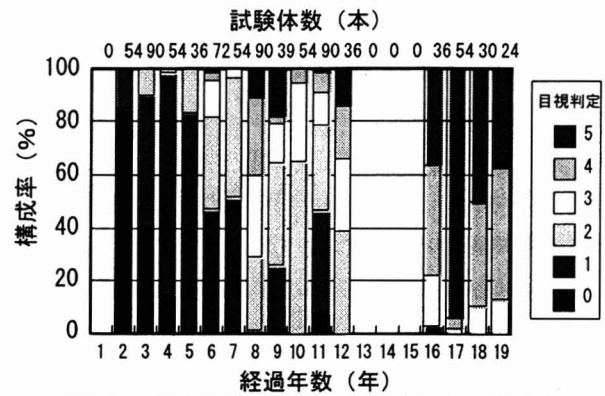


図-13 経過年数ごとの目視判定区分の構成率

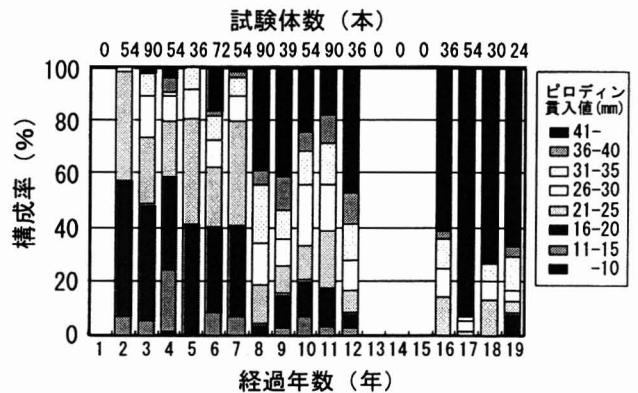


図-14 経過年数ごとのピロディン貫入値の構成率

表-5 目視判定区分ごとのピロディン貫入値の構成区分

目視判定	ピロディン貫入値 (mm)								%	実例数	現場数
	~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	41~			
0	1	11	48	29	5	4	1	1	100	98	5
1	-	8	37	30	12	6	3	4	100	236	13
2	-	5	17	17	16	14	8	22	100	183	12
3	-	-	6	14	16	25	7	31	100	97	12
4	-	-	2	20	13	15	5	46	100	87	11
5	-	-	-	2	4	2	-	93	100	112	10

2)まず目視判定で被害度2以上のものは、もし
耐力的な要求があり、部材の交換を見定める目的
であればピロディンで調査をした方がよいといえ
る。

3)設置前の破壊荷重値の平均値を38kN程度と
し、それが半減するときのPe値はおよそ25mmで
あり、経過年数6~7年であった。

5 参考資料

(1) 丸太等の材料強度と劣化過程の把握

1) 丸太等の材料強度の把握

- ・柴田直明、吉野安里、伊東嘉文、橋爪丈夫、(2002) カラマツ円柱加工材の材料強度の把握(その1)、長野林総セ業務報告、62-63
- ・柴田直明、吉野安里、伊東嘉文、橋爪丈夫、(2003) カラマツ円柱加工材の材料強度の把握(その2)、長野林総セ業務報告、72-73
- ・柴田直明、吉野安里、伊東嘉文、橋爪丈夫、(2003) カラマツ円柱加工材の強度特性、日本木材学会中部支部大会講演要旨集、26-27
- ・カラマツ丸太・太鼓材・円柱加工材・正角の強度特性を試験中

2) 劣化過程の把握

- ・柴田直明、吉野安里、(2002) 暗渠工のフィルタ材として使用しているスギ・ヒノキチップの劣化調査、長野林総セ業務報告、64-65
- ・入野輝、(2002) 木材チップ暗渠工の施工事例について、関東・中部地区治山林道研究発表会論文集、78-91
- ・前沢まゆみ、丸山文彦、吉野安里、(2003) 木製構造物の腐朽と植生の回復状況、第43回治山研究発表会要旨集

(2) 高耐久性工法・標準仕様の確立

- ・吉野安里、柴田直明、(2001) 屋外用部材の耐候性試験、長野林総セ業務報告、64-65
- ・吉野安里、柴田直明、(2002) 木材保護塗料の耐候性に及ぼす下地処理の効果、長野林総セ業務報告、66-67
- ・吉野安里、柴田直明、(2003) 寸法安定性の経年変化、長野林総セ業務報告、71-72
- ・吉野安里、柴田直明、(2001) エクステリア用部材の耐候性(I) —フェノール樹脂下地処理の効果—、日本木材学会大会研究発表要旨集、411
- ・吉野安里、柴田直明、(2002) エクステリア用部材の耐候性(II) —部材表面の劣化について—、日本木材学会大会研究発表要旨集、393
- ・吉野安里、柴田直明、(2003) エクステリア用部材の耐候性(III) —寸法安定性の経年変化からみた部材の劣化について—、日本木材学会大会研究発表要旨集、441
- ・吉野安里、柴田直明、(2003) エクステリア用部

材の耐候性 —防腐処理の耐候性への影響—、(社)日本木材加工技術協会年次大会研究発表要旨集

- ・柴田直明、吉野安里、(2003) 信州型木製ガードレール開発事業の材料試験(基礎的な試験方法について)、同事業の企業説明資料、全5ページ
- ### (3) 劣化の診断・メンテナンス技術の確立

- ・柴田直明、吉野安里、(2002) 木材の劣化診断のための非破壊検査法の検討(その1)、長野林総セ業務報告、68-69
- ・各種の非破壊検査法について、多少の未発表データ有り
- ・現場の管理者を対象として、ピロディンおよび含水率計等による実地における検査・診断方法の講習を実施した。
- ・吉野安里、柴田直明、前沢まゆみ、丸山文彦、(2004) 治山丸太筋工における木製構造物の経年変化、日本木材学会大会研究発表要旨集、409
- ・吉野安里、柴田直明、前沢まゆみ、丸山文彦、(2005) 治山丸太筋工における木製構造物の経年変化(II)、日本木材学会大会研究発表要旨集、139

(4) 仕様基準・維持管理マニュアルの作成

1) 本課題内

- ・柴田直明、吉野安里、(2002) 高周波式含水率計(MOCO-2)の使い方、普及用技術マニュアル、全3ページ
- ・柴田直明、吉野安里、(2002) ピロディンの使い方、普及用技術マニュアル、全4ページ
- ・柴田直明、吉野安里、(2002) 振り子式P型シュミットハンマの使い方、普及用技術マニュアル、全3ページ

2) 林道木橋関係(長野県林道木橋技術検討委員として)

- ・長野県林務部、(2001) 長野県林道木橋メンテナンスマニュアル(案)、全70ページ
- ・中村勤、三井康司、(2001) 長野県林道木橋メンテナンスマニュアルについて、木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、29-32
- ・長野県林務部、(2002) 長野県林道木橋標準設計[解説書]、全87ページ
- ・長野県林務部、(2002) 長野県林道木橋標準設計[設計図集]、全91ページ

- ・柴田直明、(2002) 林道木橋の長野モデルー木製車道橋の標準設計ー、長野林総セ技術情報、No. 111、4-5
- ・齋藤潔、齋藤健、坂田典之、久保田努、荒木昇吾、渡辺浩志、柴田直明、(2003) コンクリート・集成材・P C鋼材による単純合成桁橋(車道橋)の架設ー林道木橋の長野モデルの確立(標準設計化)と実用化ー、日本木材学会大会研究発表要旨集、607
- ・渡辺浩志、久保田努、柴田直明、(2003) 集成材桁とコンクリート床版との合成効果確認試験、木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、107-112
- ・渡辺浩志、久保田努、齋藤潔、柴田直明、(2003) 日影入線木橋(長野県林道木橋標準設計)の施工、木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、41-45

- 3) 木製ガードレール関係(信州型木製ガードレール研究会メンバー、技術審査委員として)
- ・信州型木製ガードレール認定仕様書(2004. 3)

6 成果の取り扱い

- ・「信州型木製ガードレール開発事業」(15年度)に円柱加工材等の強度データを活用し、国交省認定を得た(県内3企業グループ)。
- ・ピロディン等の使用マニュアルを作成し、現場での診断技術に活用できる体制となった。
- ・長野県林道木橋メンテナンスマニュアル、同標準設計を共同で作成した(新仕様実績:14年度に2橋)。
- ・治山現場(丸太筋工など)の診断と部材抜き取りによる強度を検討し、現行の仕様の有効性を明らかにできた。
- ・高耐候性工法が設計仕様に活用された。