

木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発

- 信州型木製ガードレールの経年劣化 -

戸田堅一郎・柴田直明・吉野安里

信州型木製ガードレールの腐朽過程を把握するため、現地調査と残存強度試験を行った。現地調査では一部の横梁に木材腐朽菌の子実体(きのこ)が発生していた。子実体の発生は、温暖・高湿度の環境下で多い傾向であった。静的曲げ試験による残存強度の調査では、腐朽による強度の低下が認められた。試験後に断面観察を行ったところ、子実体発生位置は設置時の上部に多い傾向にあった。

キーワード：木製ガードレール，腐朽，劣化，残存強度

1 緒言

長野県では、2003年度に「信州型木製ガードレール開発事業」による実車衝突試験を実施した。試験に合格した1号型、2号型、3号型の3タイプを信州型木製ガードレールとして長野県が認証し、2004年度から国県道等の車道での設置が始まった。また、それ以前には未認証タイプとして市町村道や林道を中心に木製ガードレールを設置してきた実績がある。2007年度末現在では、県内において、国県道、市町村道、林道あわせて約24kmの木製ガードレール設置実績がある。

木製ガードレールは、開発時には製造時点での性能試験を行っているが、設置環境での経年による劣化過程は明らかになっていない。今後、信州型木製ガードレールの需要を定着・拡大させるには、耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発が急務であり、既設木製ガードレールの取り替え時期を含めた維持管理方法の確立が重要課題になっている。

本研究では、上記の技術開発に資することを目的に、既設の信州型木製ガードレールを中心に、設置環境での劣化度の現地調査、及び静的曲げ試験による残存強度等の調査を実施した。

なお、本研究は先端技術を活用した農林水産研究高度化事業(2004～2008年度)の一部として実施した。事業の中核機関は(独)森林総合研究所で、共同機関として宮崎県木材利用技術センター、群馬県林業試験場、和光コンクリート工業(株)及び当センターが参画している。

2 調査・試験の方法

2.1 現地調査

信州型木製ガードレール1～3号型と、2004年以前に設置された未認証タイプの木製ガードレールを調査対象とした。2008年5月から8月にかけて徒歩での目視調査を行い、子実体発生の有無を記録して、設置から調査実施日までの経過月数、1～3号型等のビーム仕様の別、標高などの環境条件別に、子実体発生率を集計した。現地調査にはハンディGPSを携帯し、設置位置の起点・終点と子実体の発生位置を測定した。測定した位置や現地で撮影した写真等の情報は、コンピュータで地図上にプロットしてマッピングを行った。

なお、位置測定に使用したハンディGPSは(米国)GARMIN社製GPSmap60CSxで、平地などの好条件下では誤差精度 $\pm 3m$ 程度で測位が可能である。また、マッピングにはフリーソフトのカシミール3D ver.8.8.1を使用した。

2.2 強度試験

1～3号型の横梁を静的曲げ試験の試験体とし、写真-1～3に試験体採取場所の状況を、図-1～3にビームの構造を示した。採取した試験体の内訳は下記のとおりである。

1号型：

<1 a> 比較対象用として新品のビーム10本を購入した。1号型は長さが4.0mであるため、他の型と試験条件を揃えるために左右2.0mずつに鋸断し20体の試験体とした。使用樹種はスギ材であった。

<1 b> 安曇野市の国道から子実体の発生が見ら



写真1 1号型の設置状況



写真2 2号型の設置状況



写真3 3号型の設置状況

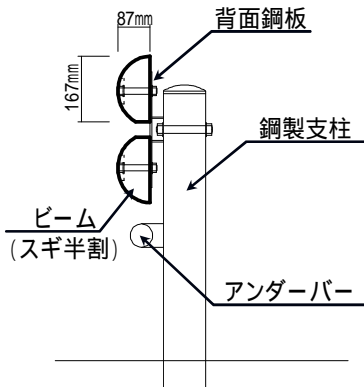


図-1 1号型の構造図

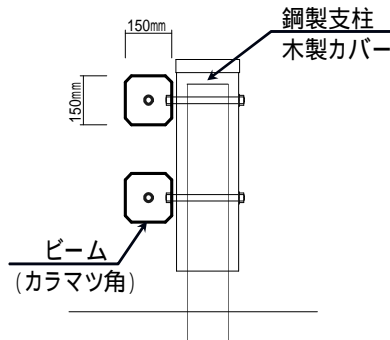


図-2 2号型の構造図

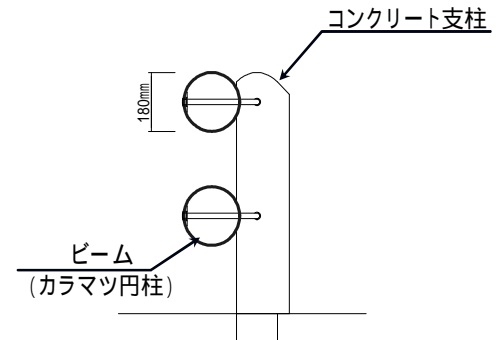


図-3 3号型の構造図

れた8本のビームを採取した。うち7本は長さが4.0mであったため、鋸断して計15体の試験体とした。鋸断により、子実体発生のある試験体は10体となった。試験体採取時の設置月数は35ヶ月、現地調査時の周辺の子実体発生率は9%であった。使用樹種はスギ材であった。

2号型：

< 2 a > 諏訪市霧ヶ峰の県道で連続する5スパンから10本の試験体を採取した。採取時の設置月数は50ヶ月、現地調査時の周辺の子実体発生率は0%であった。使用樹種はカラマツ材であった。

3号型：

< 3 a > 比較対象用にカラマツ材の新品12本を試験体とした。

< 3 b > 木曽郡南木曽町の国道から子実体の発生が見られた10本の試験体を採取した。採取時の設置月数は34ヶ月、現地調査時の周辺の子実体発生率は33%であった。使用樹種はカラマツ材であった。

< 3 c > 上田市丸子の市道で連続する4スパンから8本の試験体を採取した。うち6本に子実体の発生があった。採取時の設置月数は44ヶ月、現地調査時の周辺の子実体発生率は13%であった。使用樹種はカラマツ材であった。

(3 d) 同じく上田市丸子の市道で連続する4スパンから8本の試験体を採取した。うち5本に子実体の発生があった。採取時の設置月数は58ヶ月、現地調査時の周辺の子実体発生率は34%であった。使用樹種はスギ材であった。

なお、各試験体とも防腐処理は行われていない。

静的曲げ試験は、長野県林業総合センターの実大材曲げ試験機UH-1000KNAを用い、スパン1,800mmの3点曲げ(中央集中荷重)方式で、設置時の車道側から載荷した。荷重速度は原則として15mm/minとした。中央たわみは荷重点部分などのめり込み変位が含まれないよう、ヨークに変位計を付けて測定した。

2.3 腐朽度の観察

曲げ試験に供する試験体は、試験前に試験体毎の子実体発生位置と大きさを記録した。曲げ試験後に、非破壊部分を鋸断して切断面の腐朽範囲を観察した。また、(英国)Sibert社製デジタルマイクロプローブ(以下DmP)により穿孔調査を実施し、得られたグラフと切断面との対比を行った。なお、DmPは直径0.9mm(刃端1.7mm)のプローブを回転させながら穿孔させ、穿孔深さ毎に抵抗力と回転数を計測することができる。本研究では(回

転数) × (抵抗力) / (穿孔深さ) を DmP 測定値とした。

3 結果と考察

3.1 現地調査の結果

総延長約 14 km (11,538 本) について調査した。木材腐朽菌の子実体(きのこ)が発見されたビーム数は 321 本(2.8%)で、キカイガラタケ、キチリメンタケ、スエヒロタケ、ツノマタタケの 4 種が確認された(写真-4)。ビームの仕様別では、1号型、3号型に子実体が発生し、2号型では子実体の発生は確認されなかったが、設置場所の標高等、環境が異なるため一概に比較することは出来なかった。上下段ビームの別では、上段:下段 3:1 で上段の方が多かった。設置後経過月数別では 40 ヶ月程度経過すると子実体の発生率が高くなる傾向があった(図-4)。標高別では、標高が低い場所で子実体の発生率が高かった(図-5)。周囲の河川や用水路の有無により比較すると、河川等有る場合の方が発生率は高く、温暖・高湿度の環境下で多い傾向にあった。また、防腐処理を実施した箇所では子実体の発生は極めて少なかった。未認証タイプは全て防腐処理を実施しており、設置後 10 年以上が経過しているにもかかわらず表面の子実体の発生数は少なかった(未認証タイプは全て図-4 の 51 ヶ月以上に属する)。しかし、一部では内部の腐朽が進んでおり心材部の脆弱化が認められた。

一般に木材腐朽菌の生育好適環境は温暖・高湿度と言われているが、今回の調査結果もこれに一致する結果となった。木材腐朽菌が好む環境下

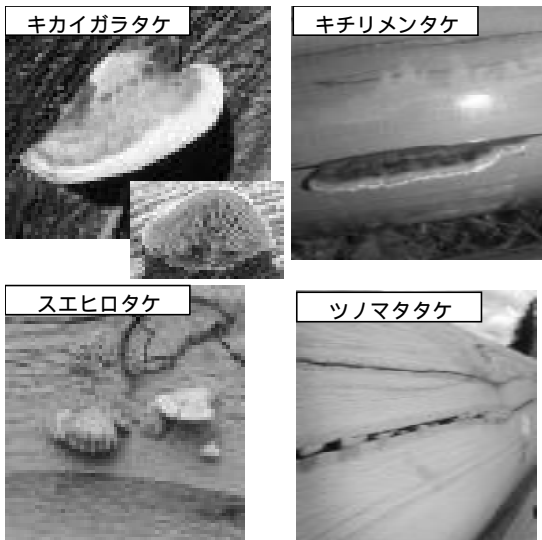


写真-4 木製ガードレールにみられた子実体

に木製ガードレールを設置する場合には、子実体の発生を抑えるために防腐処理を施すか、交換サイクルを短くするなどの対策が必要であると考えられる。

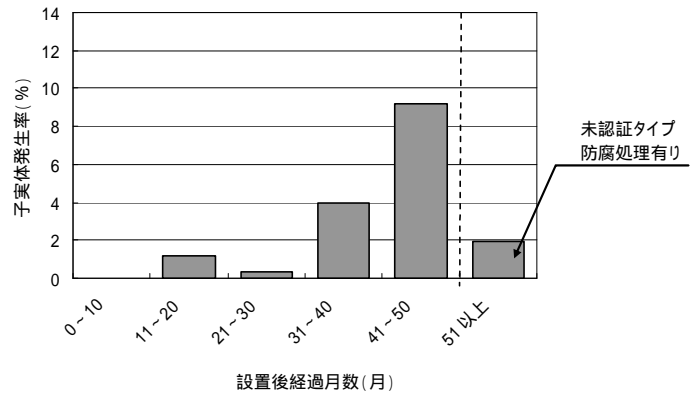


図-4 設置後経過月数と子実体発生率

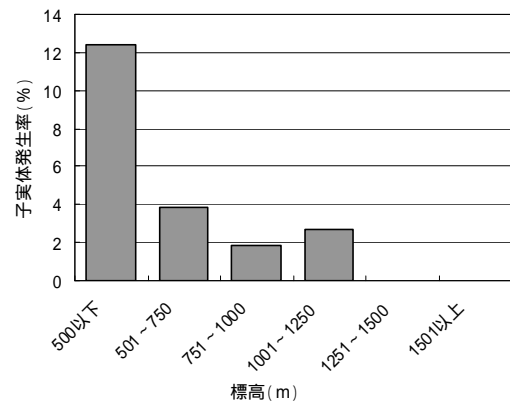


図-5 設置場所の標高と子実体発生率

3.2 強度試験の結果

静的曲げ試験結果を図-6 及び表-1 に示した。図-6のうち、同型・同樹種で新品と設置品の対比が可能で、1号型と3号型(カラマツ)で比較した。1 a (新品)に比べ1 b (子実体の有り無し混在)は、バラツキが大きく、最大荷重(Pmax)の値が低い傾向にあった。3 a (新品)に比べ3 b (全て子実体有り)はバラツキが大きかった。最大荷重(Pmax)の値は全体的に低く、Pmax 時の中央たわみ量も小さい傾向があった。一方、3 c (子実体の有り無し混在)は、バラツキが大きく、Pmax の値は3 a より大きい値もあった。これは、連続するスパンから試験体を採取したため、設置からの経年により腐朽が進んだ試験体と、健全な状態の試験体が混在していたためと考えられる。

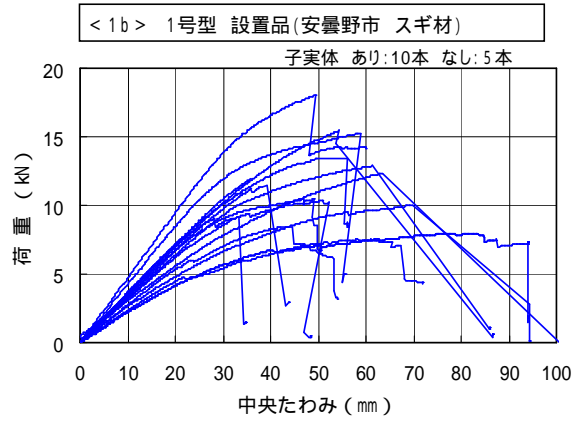
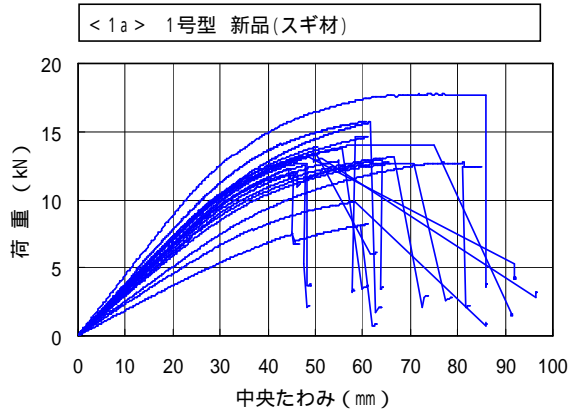
表1 横梁（木部）の曲げ強度特性等

タイプ別	記号 (樹種)	新品・使用品 試験体数 (うち子実体発生数)	設置場所 経過月数 周辺の子実体発生率	密度 kg/m ³	Efr KN/mm ²	MOE KN/mm ²	Pmax KN	MOR N/mm ²	仕事量 KN・mm
1号型*	1a (スギ)	新品	-	平均	7.24	6.35	13.16	35.1	518
		20体	-	最大	9.59	8.65	17.76	47.4	969
		-	-	最小	4.18	3.56	8.19	21.9	302
2号型	1b (スギ)	設置品	安曇野市	平均	6.93	6.23	11.65	31.1	387
		15体 (10体)	35ヶ月 9%	最大	9.80	8.98	18.06	48.2	591
		-	-	最小	5.10	4.20	7.53	20.1	165
3号型	2a (カラマツ)	設置品	諏訪市	平均	10.49	8.53	51.78	44.0	655
		10体 (0体)	50ヶ月 0%	最大	13.48	10.62	69.21	58.6	1,259
		-	-	最小	7.71	6.62	32.52	27.6	288
3号型	3a (カラマツ)	新品	-	平均	11.91	9.68	73.86	58.0	1,979
		12体	-	最大	13.28	10.96	85.86	67.5	4,057
		-	-	最小	10.27	8.29	54.39	42.7	536
3号型	3b (カラマツ)	設置品	南木曾町	平均	9.39	7.85	53.43	42.0	861
		10体 (10体)	34ヶ月 33%	最大	12.64	10.32	76.68	60.3	1,871
		-	-	最小	7.30	6.29	34.57	27.2	276
3号型	3c (カラマツ)	設置品	上田市	平均	12.10	7.58	79.24	62.3	1,746
		8体 (6体)	44ヶ月 13%	最大	15.30	9.08	97.69	76.8	2,922
		-	-	最小	9.38	5.09	41.99	33.0	541
3号型	3d (スギ)	設置品	上田市	平均	7.24	6.49	40.57	31.9	532
		8体 (5体)	58ヶ月 34%	最大	9.47	9.73	63.25	49.7	859
		-	-	最小	6.15	3.75	22.61	17.8	92

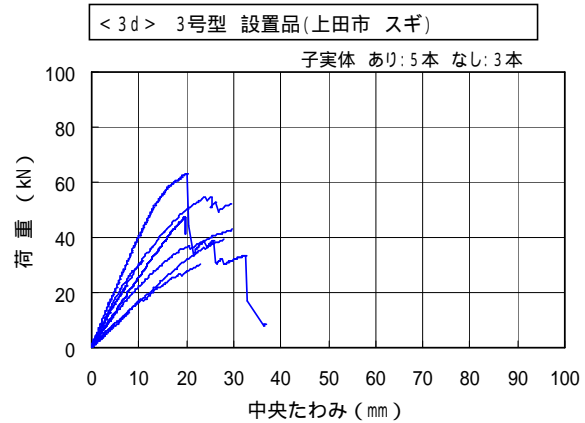
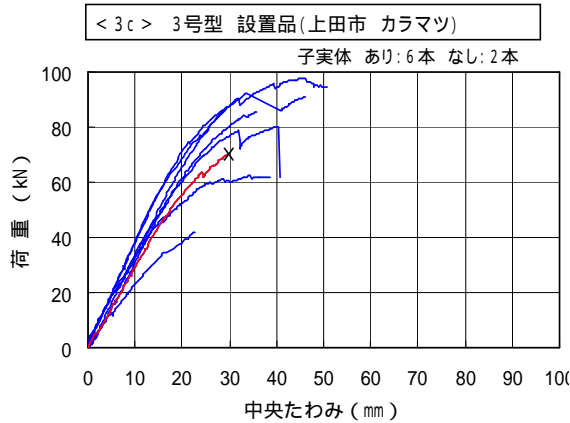
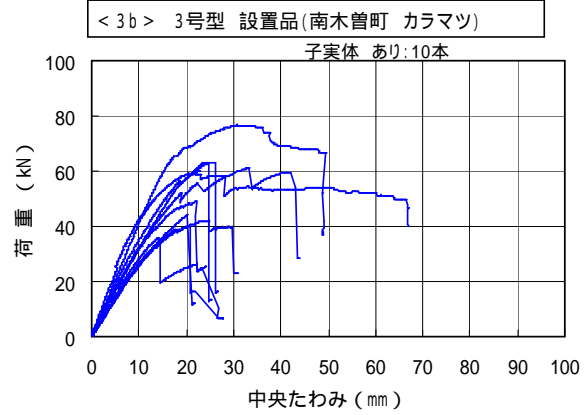
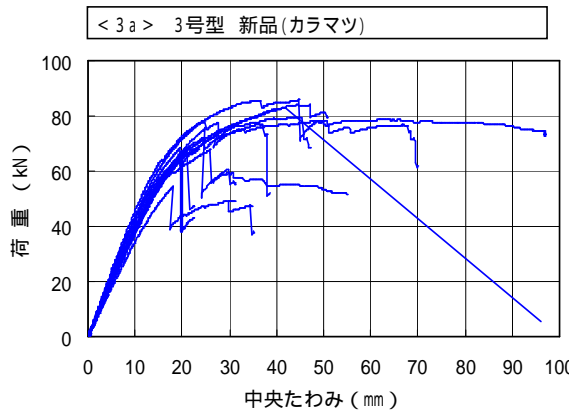
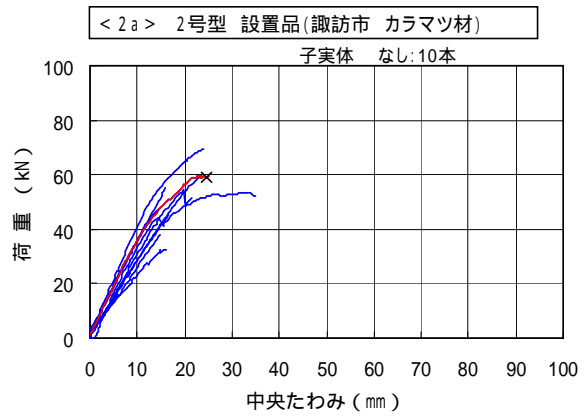
< 記号の説明 > Efr : 縦振動法による動的ヤング係数
 MOE : 静的曲げヤング係数
 Pmax : 最大荷重
 MOR : 曲げ強さ

*

1号型はすべて2mに鋸断した状態での数量



2号型新品は、試験体なし



注) ×印は、最大荷重に達する前に変位計がはずれたため、以降の中央たわみ値が欠測。

図-6 静的曲げ試験における荷重 - たわみ曲線

表-1の平均値を項目別に見ると、1号型と3号型（カラマツ）の腐朽による強度の低下率は、仕事量 > 曲げ強さ（MOR） > 静的曲げヤング係数（MOE）の順となっていた。また、縦振動法による動的ヤング係数（Efr）は静的曲げヤング係数（MOE）とほぼ同じ傾向にあった。この結果から、腐朽したビームにおいては、非破壊試験で得ることができるEfrやMOEにより残存強度を推定する場合、健全材時と同じ関係式を用いると、実際の値に対して過大となる可能性が示唆される。

なお、仕事量は最大荷重（Pmax）までの荷重の積分で表し、計測可能であった試験体みのみの比較である。

3.3 腐朽度の観察結果

1号型と3号型における子実体の天頂からの角度別発生頻度を図7に示した。子実体の発生位置は、設置時の上部に多い傾向があった。また、曲げ試験後の鋸断面を写真-5に示した。腐朽および腐朽による変色も上部から進んでおり、特に辺材部分で顕著であった。なお、2号型では子実体の発生は見られなかったが、鋸断したところ、一部の試験体では、両端の支柱との接続部分において木材腐朽菌によるものと思われる変色が見られた。

DmPによる穿孔調査結果を図-8に示した。DmP測定値は切断面の腐朽状況と一致しており、今後の非破壊調査への応用の可能性が示唆された。

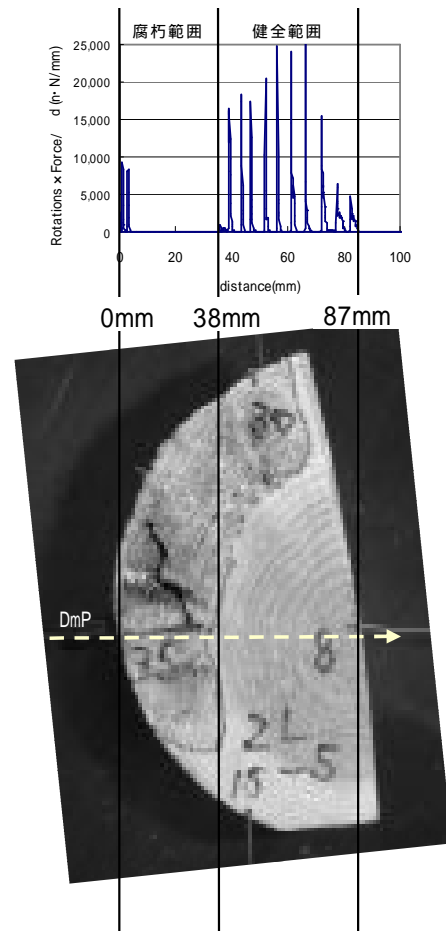


図8 DmPによる穿孔試験結果と断面写真（1号型横梁の例）

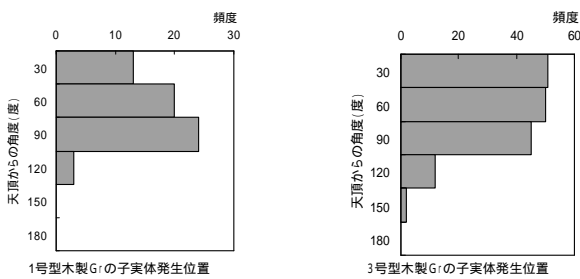


図-7 子実体の発生位置

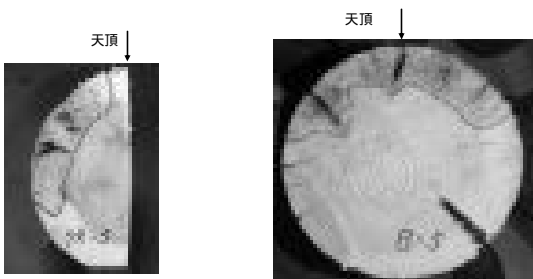


写真-5 ビーム断面（左：1号型 右：3号型）

4 結言

木製ガードレール設置後の現地調査では一部の横梁に木材腐朽菌の子実体（きのこ）が発生していた。子実体の発生は、低標高地、河川の近く等の温暖・高湿度の環境下で多い傾向があり、設置期間が長くなるほど発生率が高かった。

静的曲げ試験による残存強度の調査では、腐朽による強度の低下が認められ、低下率は、仕事量 > 曲げ強さ（MOR） > 静的曲げヤング係数（MOE）の順となっていた。また、子実体発生位置は設置時の上部に多く、試験後に行った断面観察では、腐朽も上部の辺材部から進んでいた。

5 謝辞

現地調査にあたりご協力頂いた長野県建設部道路管理課、林務課信州の木振興課林道係、佐久地方事務所林務課林道係、上伊那地方事務所林務課

林道係，研究を進めるにあたりご指導ご助言を頂いた（独）森林総合研究所の皆様，和光コンクリート工業(株)の皆様，および本研究に関係した全ての皆様に感謝します。

参考文献

戸田堅一郎・吉野安里・柴田直明（2008） 信州型木製ガードレールの劣化過程解明に向けた現地調査の報告．日本木材学会中部支部大会講演要旨集 第18号：4-5

戸田堅一郎・吉野安里・柴田直明（2009） 信州型木製ガードレールの劣化過程解明に向けて - 3年経過ビームの強度特性 - ．日本木材学会大会要旨集 第59回：CD-ROM版 PN014

戸田堅一郎・吉野安里・柴田直明（2009） 木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発 - 長野県における木製道路施設の調査(5) - ．長野県林業総合センター業務報告 20：100-101