

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設置初期に認められた劣化・変形等の諸現象と対策—

柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫・戸田堅一郎

「防護柵設置基準」に定める車両用防護柵の実車衝突試験（路側用C種，支柱：土中埋込型）に合格した信州型木製ガードレール1～3号型について，設置初期に認められた劣化・変形等の諸現象を調査し，次の結果及び成果を得た。(1)材面割れの発生・透明塗装の塗膜剥離等，設置初期の課題を明らかにし，対処可能なものについては標準仕様の変更等に反映させた。(2)木製横梁の長所として，自動車の接触痕が認められた横梁の内，交換が必要な率は1～2割と小さいことを明らかにした。(3)横梁の標準仕様や設置環境と木材腐朽菌の子実体発生との関係を検討し，今後は防腐剤の加圧注入を標準仕様とすべく調整を始めた。(4)現地で簡便に行える非破壊検査手法を検討し，長野県土木部（現 建設部）が中心になってとりまとめた「信州型木製ガードレール維持管理マニュアル」に反映させ，管理者に普及させた。

キーワード：木製ガードレール，横梁，初期劣化，曲げ破壊，維持管理

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」を実施し，県内を中心とした民間企業（企業グループを含む）の開発を支援した。その結果，3タイプが「防護柵設置基準」に定める車両用防護柵の実車衝突試験（路側用C種，支柱：土中埋込型）に合格し，信州型木製ガードレール1～3号型として認定された¹⁾⁷⁾。

2004年度からは県道等への設置が進み，2008年度末現在で総延長が20 km余りとなっている。

今回，これらの信州型木製ガードレールの設置初期に認められた劣化・変形等の諸現象を調査したので，その結果と対策を報告する。

2 設置初期に認められた諸現象と対策⁸⁻²⁴⁾

2.1 調査の方法

2.1.1 調査対象

調査対象とした信州型木製ガードレール1～3号型（写真-1）について，本施工当初（2004年度の秋～冬）の標準仕様を示す。

1号型 横梁：φ180 mm スギ円柱加工材の半割りを上下に2本，木材保護塗料（水性）塗布，裏面を断面300×3.2 mmの鋼板で補強，その下に鋼管を配置。

支柱：C種用鋼管，スパン4.0 m

2号型 横梁：カラマツ150 mm 正角（面取り）を上下に2本，外部用水性塗料（透明）塗布，各中央に丸鋼を通して補強。

支柱：C種用鋼管，地上部をカラマツ200 mm



写真-1 信州型木製ガードレール
（上から1，2，3号型）

正角で被覆，スパン2.0 m

3号型 横梁：φ180 mm カラマツ円柱加工材（斜

め下方に背割り)を上下に2本(純木製)、木材保護塗料(油性)塗布。(2004年夏の試験施工時には、AAC加圧注入+外部用水性塗料(透明)塗布)

支柱:鉄筋コンクリート柱、スパン2.0 m

なお、1号型の半割り円柱加工材を含め、いずれの木製部材も間伐材を利用しているため、心持ち材であった。

2.1.2 調査方法

目視調査を中心に、主として施工後2年間の経時変化を観察した。また、何らかの劣化・変形等の現象が報告された場合には、関係者ととも現地調査や検討会を実施した。

2.2 結果と考察

施工後約2年間に認められた、横梁木部における劣化・変形等の諸現象とその対策(調査・検討結果)について、主たるものを以下に報告する。

(1) 材面割れの発生

2号型の横梁では、その製造過程において、ある程度の人工乾燥(高温処理)を実施している。また、3号型の横梁には背割りが入れている。しかし、1~3号型のすべての横梁において、多くの材面割れが発生した。

間伐材を心持ち材の状態です屋外使用に供する以上、やむを得ない現象かとも思われる。

なお、後述(8)の木材腐朽菌の子実体は、主としてこの材面割れから発生した。

(2) カラマツ材からのヤニの滲出

カラマツ製の横梁では、主として水平樹脂道から材表面へのヤニの滲出が認められた。滲出数は、製造過程に人工乾燥工程を伴わない3号型において、やや多いようであった。

観光客が腰掛けたりする駐車場周辺等の横梁については、ヤニの滲出防止のため、製造段階における蒸煮処理等の追加も今後は検討することにした。

(3) 鋼板の膨れ

1号型の横梁では、一部の路線において、裏面の鋼板(2,320 mm長)が外側へ膨らみ、木材との間に最大で数 cm 程の隙間が発生する例が散見された(写真-2、ボルト間隔:1,600または1,800 mm)。この膨らみは、主として鋼板同士を固定するボルト

を緩めた段階でほぼ解消された。

1号型の鋼板のボルト穴は、微調整ができるように、横長に加工されていた。木材と鋼材では膨張・収縮が同調しないため、この穴の部分で有効な調整ができるよう、ボルト基部の形状と締め加減を変更した。その結果、同様の膨らみは大幅に減少した。



写真-2 鋼板の膨れ(応急処置として上下にビニールホースが付けてある)

(4) 透明塗装の塗膜剥離等

高原等、日差しの強い所に設置された木製横梁では、設置後半年前後から上部の水平面等で塗膜の劣化(剥離等)が認められるようになった。

現状では低コストの高耐候性透明塗装仕上げは困難であると思われることから、これらの横梁では標準仕様を木材保護塗料(油性)の塗布に切り替えて対応することにした。

なお、木材保護塗料による仕上げ材においても、一部に軽微な塗装の劣化が認められるようになった。塗り替えの必要性の検討も含め、今後とも観察を続けることにした。

(5) カラマツ透明塗装材における暗黒色の斑点の発生

設置後半年以内に、暗黒色の斑点が材表面に散在するようになった。この部分を削り取って実体顕微鏡で観察したところ、表面には菌糸状のものや土粒子の付着が認められた。また、一部の裏面には水平樹脂道の存在も確認された。これらの小

片を(独)森林総合研究所へ送付して調査を依頼したところ、カビの可能性が高い、との結論に至った。

この斑点は透明塗装材にのみ認められたものであり、上記(4)によって標準仕様を変更したところ、その後は認められていない。

(6) 乾燥に伴う断面収縮

木製横梁の標準仕様では、一定の許容範囲を示した上で、製造時の断面寸法を規定している。

製造後1～2ヶ月程度で納品している場合には特に問題にならなかったが、半年ほど保管したところ、一部に標準仕様の断面寸法許容範囲以下までの収縮が発生した。

筆者らの別の試験では、未乾燥時にφ120mmに

仕上げたカラマツ円柱加工材を含水率13%程度にまで乾燥させたところ、直径が約4mm収縮した²⁵⁾。よって、納品先とのトラブルを避けるため、標準仕様の記載方法についても検討が必要であると思われる。

(7) 自動車の接触痕と横梁の破損

2008年度までに自動車の接触痕が認められた箇所は、既に数十箇所を数えた。この中で、曲げ破壊が認められた横梁は、目視調査で確認したもの(写真-3)と報告を受けたものを合わせても、1～2割程度であった。その他はタイヤの接触した黒い跡等が残っていたのみで、強度性能の観点からは交換を要しないものと判断された。

今後さらに調査事例を増やす必要はあるが、自



写真-3 木製横梁への自動車の接触痕と、曲げ破壊による亀裂(矢印)



写真-4 木製横梁に観察され始めた子実体

動車が接触しても交換が必要となる横梁は2割以下であったという今回の結果は、木製ガードレールの長所として強調できるものと思われる。

(8) 木材腐朽菌の子実体の発生

設置後2年目から、木材腐朽菌の子実体の発生が確認されるようになった。これらの子実体の写真（一部は実物）を(独)森林総合研究所へ送付して鑑定を依頼したところ、次の5種であった。

- (a) ツノマタタケ、 (b) キチリメンタケ、
- (c) キカイガラタケ、 (d) スエヒロタケ、
- (e) アラゲカワラタケ

複数の横梁に観察された(a)～(d)を、写真-4に示す。

横梁の仕様別では、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ていない。2号型はその形状から腐朽しやすい辺材部が少ないため、子実体の発生が遅れているとも考えられる。しかし、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できない。今後、更なる調査の継続が必要である。

なお、防腐処理を実施した箇所では、子実体の発生が極めて少なかった。

3 非破壊検査の可能性^{9, 14, 26, 27)}

3.1 試験の方法

非破壊検査用の機器として、高周波式含水率計(MOCO-2)、ピロディン、デジタルマイクロプローブ、ハンディグレーダ(以下、HG)、FFTアナライザ(以下、FFT)、異音解析装置(以下、異音解析)及びパンジットを試みた。

なお、これらの機器の内、FFT、異音解析及びパンジットは(独)森林総合研究所所有のものであり、同研究所の担当者と共同で測定した。

本報では、主としてHG・FFT・異音解析によるたわみ振動数と、パンジットによる超音波伝播時間の測定について報告する。

たわみ振動数の測定では、まず横梁の構造(純木製または鋼材との複合体)の影響を検討した。

次いで、たわみ振動数の測定が可能な3号型横梁について、横梁を支柱から取りはずし、支点の位置とたわみ振動数との関係を調べた(図-1)。また、同横梁について、支柱へ取り付けけるボルトの締め付け程度とたわみ振動数との関係を調査した。

ここでは、HG(HG2001)の設定を丸太、2群(ヒキ)、φ180mm、長1,990mm、比重0.500、FFTの設定をFREQ 5kHz、PKFITとした。

超音波伝播時間の測定でも、まず横梁の構造の影響を検討した。次いで、超音波伝播時間の測定が可能な横梁について、測定方向と伝播時間との関係等を調査した(図-2)。

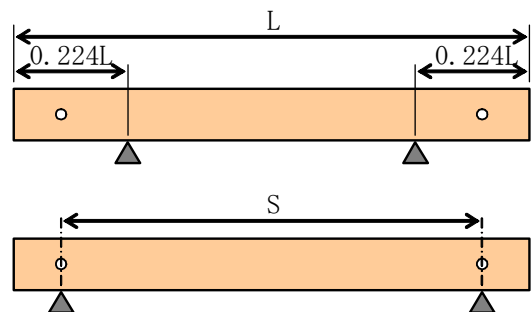


図-1 たわみ振動数の測定方法

上：正規の方法，下：支柱固定部間での測定

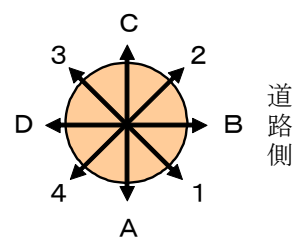


図-2 超音波伝播時間の測定方法
(横梁の断面図)

表-1 支点の位置とたわみ振動数(Hz)^{*}

測定条件	HG	FFT
正規のたわみ振動法 (図1上, L:1,990mm)	756	758
	761	757
	761	757
正規のたわみ振動法 (図1上, L:1,990mm) (支点を紐で吊るす)	—	757
	—	757
	—	757
ボルト固定部での たわみ振動法 (図1下, S:1,580mm)	761	756
	761	756
	761	756
縦振動法	1254	1256
	1259	1256
	1259	1256

※ 試験体：横梁1本，測定数：3回

表-2 横梁の固定状態とたわみ振動数 (Hz) (測定数：原則 2 回)

固定状態	横梁 No. 2-1			横梁 No. 2-2		
	HG	FFT	異音解析	HG	FFT	異音解析
設置状態のまま (ナット固定状態)	791	794	794	781	781	781
	800		794	791		781
ナットを 3 回転分 緩める	781	780	781	776	770	781
	781	781	781	786	770	781
ナットをはずす	776	770	769	771	768	769
	776	770	769	771	767	769
ナットを手で きつく締める	810	807	806	791	783	794
	815	807	806	795	782	794

3.2 結果と考察

非破壊検査機器として、高周波式含水率計 (MOCO-2)、ピロディン及びデジタルマイクロプローブは、信州型木製ガードレール 1～3 号型のすべての横梁木部に使用可能であった。

(1) たわみ振動数による点検の可能性

横梁を対象とした HG・FFT・異音解析によるたわみ振動数の測定では、純木製の 3 号型でのみ、安定した結果が得られた。鋼材との複合型となる 2 号型横梁では、測定値が大きくばらついた (1 号型では測定不可)。そこで、3 号型の横梁を対象にして、さらに詳細な検討を行った。

主たるたわみ振動数について支点の位置とたわみ振動数との関係を調べたところ、表-1 の結果を得た (参考までに、縦振動法の結果も添付)。たわみ振動法では、スパンを正規の寸法にした場合とボルト固定部間とした場合で、振動数に大差はなかった。従って、たわみ振動数の測定は、横梁を支柱に固定したままでも実施可能であると考えられる。

次いで、3 号型横梁を支柱に取り付けた状態のまま、固定部のナットの締め具合を変えて測定したところ、表-2 の結果を得た。ナットの締め具合によってたわみ振動数が変わるため、一定の強さに締めた上で測定する必要が確認された。

なお、表-1 と表-2 には各測定機器において明確なピークが見られたたわみ振動数を示した。詳細な測定によると 1 次の振動数は 190 Hz 程度で、表中の数値は 3 次の振動数と思われる。

HG (HG2001) の場合は縦振動数の測定を前提

表-3 木製横梁単独 (鋼材なし) の測定結果 ※

号型 (n)	密度 kg/m ³	含水率 %	Ef kN/mm ²	Efh kN/mm ²	ピロディン mm	
1 (16)	最大	699	51.5	11.04	—	24
	平均	479	31.3	7.93	—	20
	最小	378	19.2	5.57	—	16
2 (22)	最大	642	34.7	14.61	14.13	17
	平均	564	22.2	11.84	10.92	14
	最小	452	11.3	9.26	8.14	10
3 (20)	最大	640	37.2	14.32	12.98	17
	平均	543	27.0	11.35	10.07	14
	最小	450	23.5	9.11	8.39	11

※ 密度以外は、横梁 1 本当たり 3 回の測定値の平均。ただし、1 号型のピロディンは 6 回の平均。いずれも、当センター構内への設置直前に測定
含水率：MOCO-2 による測定値
Ef：縦振動法による動的ヤング係数
Efh：たわみ振動法による動的ヤング係数
ピロディン：6J Forest による打ち込み深さ

表-4 超音波伝播時間 ※

	横梁断面における測定方向			
	A-C	B-D	1-3	2-4
平均 (μs)	86	86	85	88
変動係数 (%)	7.9	6.2	5.8	8.4

※ 測定数：12 スパン×2 本×3 ヶ所=72 ヶ所

に設計されているため、例えば 3 号型横梁において 190 Hz 程度のたわみ振動数を測定したい場合には、HG への材長の入力値を実寸法の 1,990mm から 9,990 mm に変更する等の工夫が必要であった。材長を 9,900 mm にして測定した例を、表-3 に示す。

(2) 超音波伝播時間による点検の可能性

横梁を対象としたパンジットによる超音波伝播時間の測定でも、純木製の 3 号型でのみ、安定し

表-5 信州型木製ガードレールにおける木製横梁の日常（簡易）点検方法 《原案》

診断方法	診断項目	判定*		
		○	△	×
(1) 目視	車の接触等による破損・変形の有無	なし（深さ5mm以内の削れのみを含む）	深さ5～10mmの削れのみあり	折れ・曲りあり。または、深さ10mm以上の削れあり
(2) 目視・触診	劣化による断面欠損の有無（触診時の剥落を含む）	なし（深さ5mm以内の剥落を含む）	深さ5～10mmの剥落あり	深さ10mm以上の剥落あり
(3) 目視	菌糸・きのこの有無（触診時の剥落部を含む）	なし	存在の疑いあり	あり
(4) 目視	シロアリ・アリの存在（触診時の剥落部を含む）	居ない	居た可能性あり	居る
(5) 目視	蟻道（土のトンネル）の有無	なし	痕跡のみあり	あり
(6) 目視	虫穴の有無	なし	あり（9箇所以内）	あり（10箇所以上）
(7) 打診	内部空隙の有無（ゴムハンマの打音で判断）	なし	存在の疑いあり	あり
その他	必要に応じ、塗装の剥落、ヤニのしみ出し（カラマツ材）等もチェックする			

※ 個々の横梁において、全長の一部にでも該当する部分があれば、「あり」とする。

総合判定	×がある	交換の必要性大（直ちに詳細点検を実施）
	×はないが、△がある	交換の必要性中（直ちに詳細点検を実施）
	すべて○	現状では、そのまま使用可能

た結果が得られた（表-4）。複合型となる1・2号型横梁では、測定値が大きくばらついた。

なお、3号型横梁においても材面割れが増えるのと超音波伝播時間が増大するとともに、バラツキが大きくなる傾向が見られた。

(3) 「信州型木製ガードレールの維持管理マニュアル」²⁸⁾への反映

上記の結果から、現場の管理者に普及可能な非破壊検査方法としては、目視・触診・打診やピロディンによる調査が適当であると思われた。

そこで、2005年度に長野県土木部（現 建設部）が中心になって上記のマニュアルをとりまとめた際に、本研究の成果を提供して、同マニュアルに反映させた。

当時の成果を基に、当面の「目視・触診・打診」のたたき台として提示した原案¹⁴⁾を、表-5に示す。

4 結言

設置初期に認められた劣化・変形等の諸現象の内、透明塗装の塗膜剝離等は標準仕様の見直しで、鋼鈑の膨れ等は維持管理方法の見直しで対応できた。また、木製横梁の長所として、自動車が接触しても横梁が破損しにくいことを明らかにした。木製横梁の腐朽と交換時期の判定方法等については、長野県建設部との技術協力等として、今後も継続的に調査を進める体制が構築できた。

非破壊検査方法については、目視・触診・打診やピロディンによる測定が現場へ導入しやすいことを明らかにし、長野県土木部（現 建設部）が中心になってとりまとめた「信州型木製ガードレールの維持管理マニュアル」に反映させた。また、このマニュアルに沿った調査方法については、道路管理者への講習会や現地での共同調査によって普及させた。

謝辞

本研究は、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「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」（2004～2008年度）の一部として実施された。本事業の中核機関は（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㈱及び当センターが参画した。

（独）森林総合研究所の本事業担当者各位には、現地調査等において指導・協力を得た。子実体の鑑定に際しては、同研究所 微生物生態研究室の服部力氏からも協力を得た。

現地調査等に当っては、信州型木製ガードレール1～3号型の開発・施工企業をはじめ、長野県土木部（現 建設部）・林務部、各地の建設事務所等の担当者各位にも協力を得た。

関係各位に対し、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 柴田直明・吉野安里 (2004) 信州型木製ガードレール開発事業 (1) - 横梁の静的載荷試験 (曲げ試験) -, 長野県林業総合センター 平成 15 年度 業務報告, 106-109
- 2) 柴田直明・吉野安里 (2004) 信州型木製ガードレール開発事業 (2) - 横梁継手部と支柱の静的載荷試験 (引張試験) -, 長野県林業総合センター 平成 15 年度 業務報告, 110-111
- 3) 柴田直明 (2004) 信州型木製ガードレールの開発, 木材保存, **30**(4), 168-173
- 4) 柴田直明 (2004) 信州型木製ガードレールの設置始まる, 長野県林業総合センター技術情報, No. 118, 4-5
- 5) 柴田直明・吉野安里 (2004) 木製ガードレール用部材の各種材料試験, 日本木材加工技術協会 第 22 回 年次大会 講演要旨集, 37-38
- 6) 久保田努・戸津勝彦・松葉美晴・柴田直明・佐藤信二・安藤和彦 (2004) 木製防護柵の開発および実車衝突試験, 土木学会 第 7 回 建造物の衝撃問題に関するシンポジウム論文集, 153-158
- 7) 柴田直明 (2005) 信州型木製ガードレールの開発について, 長野県林業総合センター技術情報 カラマツ林業研究会特集, No. 120, 18-21
- 8) 柴田直明・吉野安里 (2005) 信州型木製ガードレールの開発, 公立林業試験研究機関 研究成果選集, No. 2, 73-74
- 9) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫 (2005) 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 -, 長野県林業総合センター 平成 16 年度 業務報告, 98-101
- 10) 柴田直明 (2005) 間伐材の新たな用途開発の試み 他材料との複合化による高性能・高付加価値化事例, 第 38 回 林業技術シンポジウム報告集, 29-39
- 11) 柴田直明 (2005) 間伐材の新たな用途開発, 長野県林業総合センター研究成果発表会要旨集, 6
- 12) 柴田直明 (2005) 間伐材の新たな用途開発の試み 他材料との複合化による高性能・高付加価値化事例, 山林, 第 1456 号, 32-41
- 13) 柴田直明・吉野安里 (2005) 信州型木製ガードレールの開発, 名古屋国際木工機械展ガイドブック, 237
- 14) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫 (2006) 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 (2) -, 長野県林業総合センター 平成 17 年度 業務報告, 108-111
- 15) 柴田直明 (2006) 他材料との複合化による間伐材の新用途開発と実用化, 森林技術, No. 772, 34-35
- 16) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫 (2006) 信州型木製ガードレールに認められた設置初期の現象とその対策, 日本木材学会 中部支部大会 講演要旨集, 16-17
- 17) 柴田直明 (2006) 信州型木製ガードレールの開発と県道等への設置 - 間伐材の利用促進と景観改善等を目指して -, 木材工業, **61**(12), 604-607
- 18) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫 (2007) 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 (3) -, 長野県林業総合センター 平成 18 年度 業務報告, 98-101
- 19) 柴田直明 (2007) 信州型木製ガードレールの開発と県道等への設置 - 間伐材の利用促進と景観改善等を目指して -, サンケイタイムズ (発行: 小島工業株), 平成 19 年夏季号 (第 471 号), 4-5
- 20) 柴田直明 (2007) 信州型木製ガードレールの開発と県道等への設置 - 産・学・官の連携が成功へ -, サンケイタイムズ (発行: 小島工業株), 平成 19 年秋季号 (第 472 号), 2-3
- 21) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫 (2007) 信州型木製ガードレールに認められた車の接触痕と子実体, 日本木材学会 中部支部大会 講演要旨集, 20-21
- 22) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫 (2008) 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 (4) -, 長野県林業総合センター 平成 19 年度 業務報告, 110-111
- 23) 柴田直明 (2008) 地域の産学官連携による間伐材の屋外新用途の開発と普及, 日本木材学会

ウッドイエンス・メールマガジン, No. 8

- 24) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫・戸田堅一郎・山内仁人 (2009) 土木における長野県産材の利用拡大事例, 第4回 木質科学シンポジウム「土木における木材利用の復興」, 50-51
- 25) 柴田直明・吉野安里・伊東嘉文・橋爪丈夫 (2003) 間伐材の利用促進を図るための新たな仕様基準の開発 -カラマツ円柱加工材の材料強度の把握 (その2) -, 長野県林業総合センター 平成14年度 業務報告, 73-74
- 26) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫・桃原郁夫・大村和香子・加藤英雄 (2005) 信州型木製ガードレール設置初年度における各種調査・測定結果, 日本木材学会大会 研究発表要旨集, 139
- 27) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫・加藤英雄・井道裕史・久保島吉貴・長尾博文 (2006) 信州型木製ガードレール横梁の非破壊検査の可能性, 日本木材加工技術協会 第24回 年次大会 講演要旨集, 71-72
- 28) 長野県土木部 (2006) 信州型木製ガードレール維持管理マニュアル