

県産材による高性能・低コスト木製遮音板の開発

－カラマツの反射タイプ2種類及びスギの吸音タイプ2種類－

奥原祐司・柴田直明^{*1}・今井信・吉田孝久・田端衛^{*1}・山内仁人^{*2}

2013から14年度において信州の木先進的利用加速化事業の中でカラマツ及びスギによる木製遮音板の開発に協力し、音響性能試験、曲げ強度試験、反狂性試験等を行った。その結果、中日本高速道路(株)が定める音響性能や風荷重(150kgf/m²)の基準値をカラマツ製の遮音タイプ2仕様とスギ製の吸音タイプ2仕様を満たした。また、蒸気・圧力併用型木材乾燥機を使用して反狂性試験を実施したところ4仕様とも所定の乾湿繰り返し処理を実施しても、有害な狂い等は発生しなかった。さらに納品する遮音板(4仕様)の保存処理前の含水率及び薬液注入量と保存処理後の寸法及び含水率等を測定した結果、中日本高速道路(株)の基準に合致した。その後、4仕様の遮音板が中央自動車道の伊那ICランプ外周に計64m試験施工された。2015年度には改良型の音響性能試験を実施し遮音タイプの3仕様が基準を満たした。

キーワード：カラマツ、スギ、遮音吸音、音響性能、強度試験、

1 緒言 (はじめに)

当センターでは、林業指導所時代に大プロ「農林水産業用資材等農山漁村地域における国産材の需要開発に関する総合研究」(1984～1988)の一部として日本道路公団(現中日本高速道路(株))が定めた遮音性能等を満たすカラマツ製遮音板を開発した^{1,2)}。そして、1985年度末には、飯田IC南の中央自動車道沿いに延長200mの試験施工を行った。この遮音壁は、わが国の高速道路に設置された木製遮音壁の第1号であり、30年以上経過しているが現在も供用されている。その後、しばらくの間、長野県内では木製遮音壁の新設がなかったが「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(2010年10月施行)等を受け、2012年度には中日本高速道路(株)により再びカラマツ製遮音壁が設置された。そこで、2013～15年度には、必要な諸性能(吸音性能を含む)を長期間にわたって維持できる仕様で、かつ、低コストの木製遮音板の開発に取り組んだ。本研究は、信州の木先進的利用加速化事業「県産材による高性能・低コスト木製遮音板開発事業」(事業実施主体:県産材販路開拓協議会)として実施された。当センターは、同事業の開発検討委員会に委員等として参画するとともに、県産材販路開拓協議会との技術協力として開発に取り組んだ。

2 遮音及び吸音タイプの概要

2.1 目的

木製遮音板は、設置距離当たりの木材使用量(炭素固定量)が他の材質の遮音板と比較して多く、強度的に高い安全率を有している。また、設置環境が比較的良好なため耐用年数が長く、融雪剤等による塩害にはコンクリート板より強い。更に住民や通行者等から見て景観的に優れており、遮音板前背面への植栽を省略すれば、維持管理費も軽減できる。よって、土木関連では有望な用途の一つと考えられることから試験を行った。

2.2 カラマツ2種類(遮音タイプ)

遮音タイプの木製遮音板は、カラマツ製とし、その構成要素は、予備的な曲げ強度試験の結果を踏まえて、円柱材(φ120mm,仕様E)と角材(75mm厚,仕様K)の2種類とした(図-1,いずれも心持ち材)。人工乾燥後、モルダーで所定の断面形状に仕上げ、5本を積み重ねて遮音板とした(図-2)。構成要素間の隙間にはすべてに発泡性シーリング材を挿入し、ボルトで緊結した。なお、図-2の長さ3,960mmは、製品版の寸法である。

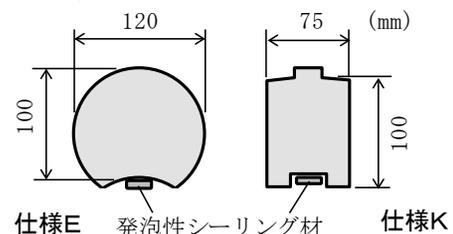
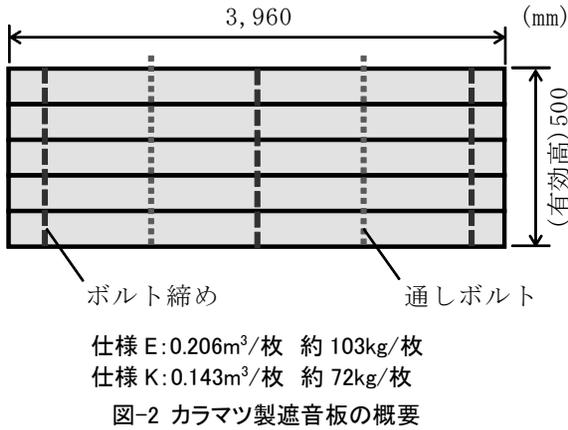


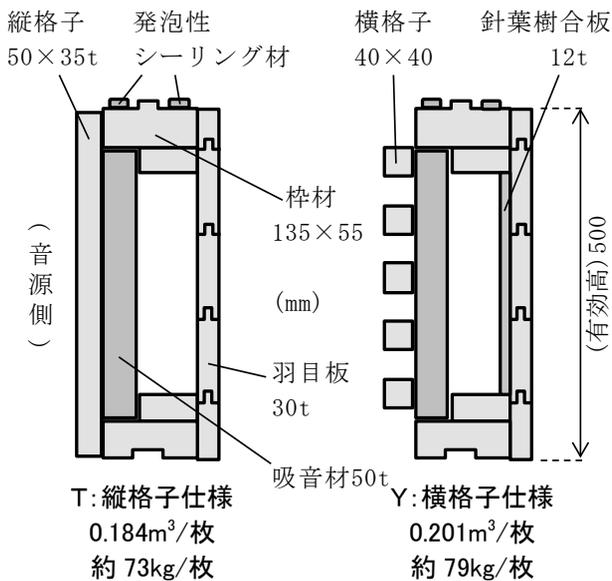
図-1 カラマツ製遮音板の構成要素(断面図)

*1元林業総合センター木材部*2現上伊那地域振興局林務課



2.3 スギ2種類 (反射タイプ)

吸音タイプの木製遮音板は種々の仕様で音響性能試験を受けたが、最終的な断面構成を図-3に示す。製品版の長さは、図-2と同様、3,960mmとした。吸音タイプの場合は側面からの風荷重を上下の枠材2本で支える必要があるため、木材保存処理(加圧注入)の比較的容易なスギ材を選んだ。吸音材には、50mm厚のグラスウールシート及びポリエステル繊維シートを用いた。



3 試験の方法

3.1 音響性能

音響性能試験は、建材試験センター中央試験所第1音響試験棟(草加市)で実施した。遮音タイプは遮音性能試験(JIS A 1416(2000))のみを、吸音タイプは遮音性能試験と吸音性能試験(JIS A 1409(1998))の双方を行った。木製遮音板の試験体長は、遮音性能試験装置(図-4及び写真-1)の

開口部(幅3,680×高2,730mm)に合わせ、すべて3,600mmとした。遮音性能試験では遮音板5枚を、吸音性能試験では遮音板6枚を通しボルトで緊結して、供試体とした。供試体数は、各仕様とも1体とした。

なお、中日本高速道路(株)が定める音響性能の基準値は、次の通りである³⁾。

遮音性能: JIS A 1416に基づく音響透過損失が、400Hzで25dB以上、1000Hzで30dB以上

吸音性能: JIS A 1409に基づく残響室法吸音率が、400Hzで0.70以上、1000Hzで0.80以上

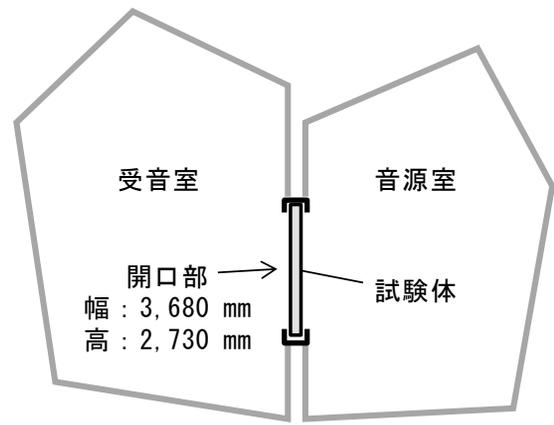


写真-1 音源室側から見たカラマツ製試験体

3.2 曲げ強度性能

曲げ強度試験は、これらの遮音板1体ずつを試験体とし、現場施工時の側方(風荷重の方向)から载荷した。仕様Eを例に、曲げ強度試験の具体的な方法を図-5に示す。

曲げ試験機への試験体のセット方法は、次のようにした。

仕様E: H形鋼へ落とし込む部分の切欠きを

200mmに延長し、4体とも切欠き部を下にしてセット

仕様K：この仕様のみ表裏がないので、4体とも無作為にセット

仕様T・Y：高速道路側となる格子を、2体は上に、残り2体は下にセット（仕様Eと同様に端部の切欠きを200mmに延長。仕様Yにおいて横格子が上になる場合のみ、格子を外す）

曲げ強度試験の条件は、支柱のH形鋼（H-150×150等）を4,000mmスパンで設置することを想定し、下部支点間距離（スパン）3,850mm、上部载荷点間距離約1,283mmの3等分点4点荷重方式とした。また、载荷速度は20mm/minとした。たわみは、100mm変位計を用い、試験体中央部の両サイドで測定した。

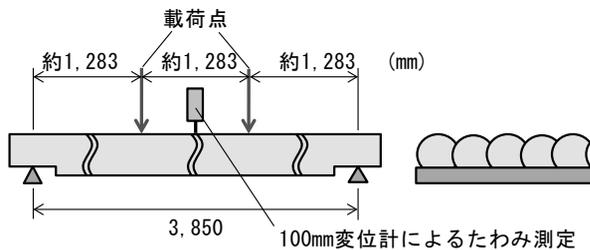


図-5 曲げ強度試験の方法

3.3 反狂性

音響性能試験に合格した木製遮音板4仕様を供試体とし反狂性試験（写真-2）を実施した。この試験は、（40℃・湿度30%・12時間+40℃・湿度90%・12時間）×9サイクル【以下、条件1という】の乾湿繰り返し処理により、実大の木製遮音板に有害な狂い等が生じるか否かを確認するものである。

条件1の実施方法は、蒸気・圧力併用型木材乾燥機により、乾球温度と湿球温度で制御される。条件1の場合、乾球温度は常時40℃に設定し、湿球温度は低湿時に約25℃、高湿時に約38℃にセットすることになる。しかし、試験の実施時期が5月下旬となったため、低湿時の湿球温度25℃を確保するのは困難かと思われた。

そこで、乾球温度を50℃に上げ、低湿・多湿時における木材の平衡含水率とその振れ幅が条件1とほぼ同程度になるように、湿球温度を調整した。実際にセットした乾湿球温度（T）を、図-6に示

す。湿球温度は低湿時に32℃弱、高湿時に48℃強となるよう、表-1の設定で微調整した。

なお、図-6と表-1では、第2サイクルまでを表示した。表-1のT、T_{on}及びT_{off}は図-7による。第3～9サイクルは、第2サイクル（C2）の繰り返しとした。

また、予備試験の結果を踏まえ、ヒーター用の蒸気圧は0.10MPaに、スプレー用の蒸気圧は0.06MPaに設定した。乾燥機内の風速は常時「弱」（30Hz）とし、午後4時から試験を開始した。

試験体は木製遮音板4仕様の各1体とし、乾湿繰り返し処理の前後に次の測定をした（図-8）。

長さ：反射（遮音）タイプは①②③の平均、吸音タイプは上下端の平均、高さ：④⑤⑥の平均、反り（No.記入面で凹が+）：水平方向は①②③の最大矢高の平均、垂直方向は上（下）端の最大矢高、部材間の隙間：反射タイプは両端計8箇所、吸音タイプは羽目板の4×3=12箇所の平均、有害な狂い：サネ部のかみ合せ等を目視で確認した。

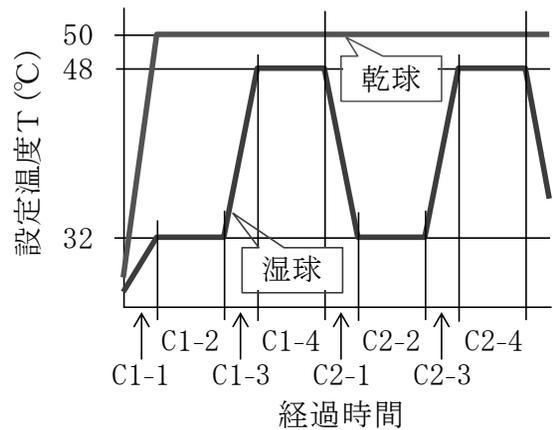


図-6 各ステップの設定（2サイクル分）

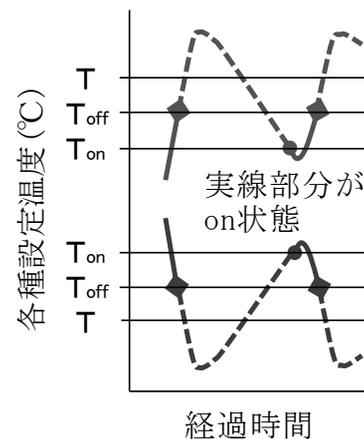


図-7 on/off 設定

表-1 各ステップの時間と Ton-T 及び[ABS(Ton-TOFF)]

ステップ	時間 (hr)	ヒーター(°C) (図7の上段)	スプレー(°C) (図7の上段)	真空ポンプ(°C) (図7の下段)
C1-1	0.4	-1.0 [0.5]	-10.0 [0.5]	2.0 [1.0]
C1-2	11.6	-0.3 [0.2]	-1.2 [0.2]	0.2 [0.5]
C1-3	0.3	-0.5 [0.2]	-1.0 [0.4]	5.0 [0.5]
C1-4	11.7	-0.5 [0.2]	-0.4 [0.2]	3.0 [0.5]
C2-1	0.5	-0.4 [0.2]	-3.0 [0.3]	0.5 [2.0]
C2-2	11.5	-0.3 [0.2]	-1.2 [0.2]	0.2 [0.5]
C2-3	0.3	-0.5 [0.2]	-1.0 [0.4]	5.0 [0.5]
C2-4	11.7	-0.5 [0.2]	-0.4 [0.2]	3.0 [0.5]

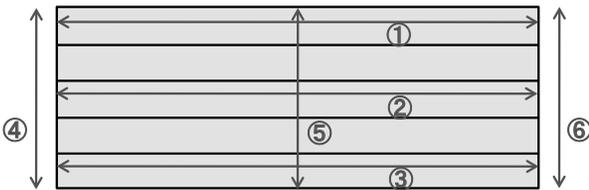


図-8 実大試験体における寸法・反り等の測定箇所



写真-2 実大試験体の反狂性試験

3.4 防腐処理時の各試験

3.4.1 供試体

試験体は、4 仕様としカラマツ製部材のみ、インサイジング加工を行った。

試験施工には各仕様とも遮音板 16 体を使用することから、4 仕様とも (16+α) 体を準備した。

3.4.2 含水率と薬液注入量の測定

測定対象とする遮音板は、4 仕様とも 4 体とした。ただし、保存処理時のスギ製遮音板は格子・吸音材・合板を除く枠体状態であり、同一構造であったので、計 8 体をまとめて測定・集計した。

保存処理前の含水率は、高周波式含水率計 (moco-2) により測定した。カラマツ製遮音板の含水率は、ボルトで仮止めした遮音板の中央付近で部材 5 本の含水率を 1 箇所ずつ測定し、その平

均とした。スギ製遮音板の含水率は、上下の枠材と背面の羽目板を測定対象とした。上下の枠材は 2 箇所ずつの計 4 箇所、背面の羽目板は上下端を除く 3 枚について 2 箇所ずつの計 6 箇所を測定し、それぞれを平均した。

保存処理は、5 月の連休明けに実施した。カラマツ製遮音板には CUAZ を、スギ製遮音板には ACQ を加圧注入した。薬液 (K4 用) の注入量は、注入処理前後の試験体重量から算出した。

3.4.3 防腐処理後の乾燥

注入・養生後の試験体は積積み状態にし、暫くは雨のかからない場所で天然乾燥させた。

カラマツ製遮音板は途中から 50mm 角の積木に交換し、最後まで天然乾燥とした。

スギ製遮音板は 1 カ月余の天然乾燥後、格子と吸音材を付けない状態で人工乾燥を行った。この乾燥には、当センターの蒸気式高温乾燥機と蒸気・圧力併用型乾燥機を貸与した。乾燥条件は、保存処理薬剤の性能を維持するため、乾球温度を 60°C に固定し、湿球温度を 53°C 前後とした。

いずれの遮音板も、高周波式含水率計 (moco-2) による測定を随時行い、基準に定められた含水率 (20%) 以下になるまで乾燥を継続した。

3.4.4 納品時の測定と試験施工

試験施工に使う木製遮音板の納品時には、遮音板の寸法 (写真-3) と含水率 (写真-4) を全数検査した。検査した遮音板は、16 体×4 仕様=64 体であった。含水率の測定は上記 3.4.2 と同様とし、仕様 T と Y も別々に集計した。試験施工は、平成 26 年 7 月に、中央自動車道の伊那 IC ランプ部において実施された。



写真-3 納品時の寸法測定



写真-4 納品時の含水率測定

4 試験の結果

4.1 音響性能

遮音タイプのカラマツ製遮音板は、図-1の仕様E・Kとも、JIS A 1416(2000)による遮音性能の基準値を満たした(図-9)。

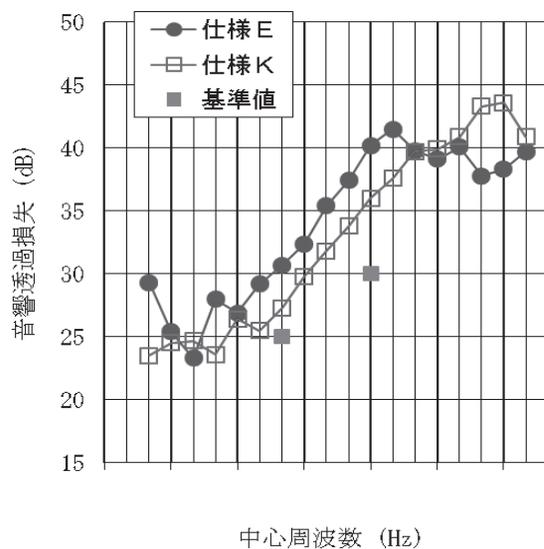


図-9 仕様E及びKの遮音性能

吸音タイプのスギ製遮音板は、図-3の仕様T・Yとも、JIS A 1416(2000)及びJIS A 1409(1998)による吸音性能及び遮音性能に合格したのは、次の2仕様であった⁴⁾。

仕様T: 吸音材はグラスウールシート(袋入り)(図-3左, 図-10及び11)

仕様Y: 吸音材はポリエステル繊維シート(背面にポリエチレンシート添付)(図-3右, 図-10及び11)

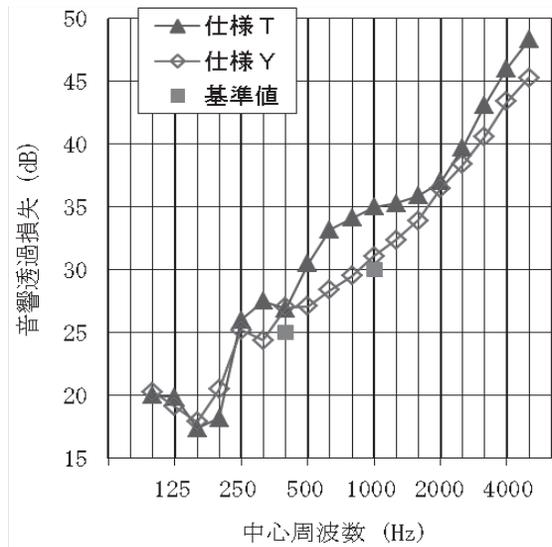


図-10 仕様T及びYの遮音性能

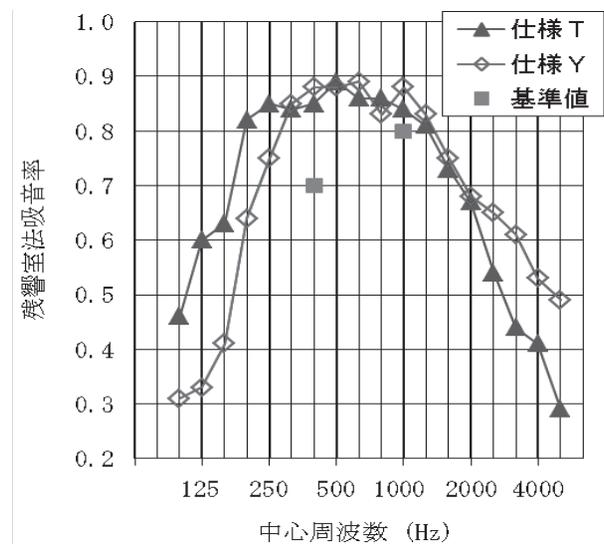


図-11 仕様T及びYの吸音性能

4.2 曲げ強度性能

本試験では、多くの試験体において、変位計の計測範囲である100mmを越えるたわみが発生した。そこで、荷重と変位の関係は、荷重と载荷開始後の载荷点下降量(ストローク)の関係として、図-12に示す。

仕様E・T・Yとも、最大荷重に至るまで、端部の切欠き部から割裂することはなかった。また、仕様T・Yとも、最大荷重に至るまで、格子や背面の羽目板が剥がれることもなかった。

木製遮音板の重量と曲げ強度試験における最大荷重を、仕様別に表-2に示す。最大荷重が最も

小さかった仕様Kでも最小値は 11.6kN であり、風荷重に相当する 3kN の 4 倍近くあった。従って、木製遮音板が腐朽等で多少劣化したとしても、直ちに破損する危険性はないことが確認された。

また、変位計で測定した試験体中央部のたわみは図-12 の載荷点下降量よりも若干大きかったが、荷重 3kN 時のたわみは最大でも 25mm 程度(仕様K)であった。従って、木製遮音板が風荷重によってたわんでも、支柱のH形鋼から逸脱する危険性はないことも確認された⁵⁾。

表-2 木製遮音板の重量と最大荷重

遮音板 仕様	重量(kg)	最大荷重(kN)	
	平均	平均	最小
E	107.7	31.8	28.1
K	74.1	15.7	11.6
T	76.0	19.8	15.7
Y	83.9	23.8	18.4

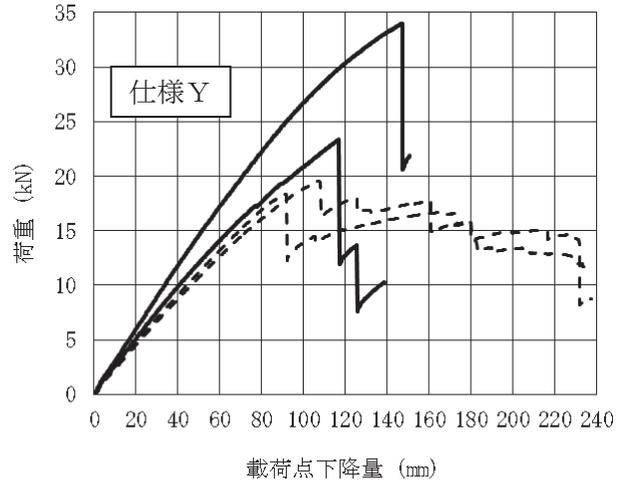


図-12 木製遮音板の曲げ強度試験における荷重と載荷点降下量の関係
(実線:格子下, 破線:格子上)

4.3 反狂性

蒸気・圧力併用型乾燥機によって 30 秒ごとに記録された乾球・湿球温度を、図-13 及び図-14 に示す。図-13 は最初の 72hr のみの表示とし、温湿度データロガー「おんどとり」による測定値(10 分間隔)も添付した。

乾球温度と湿球温度の昇降はかなり連動していたので(図-14)、乾湿球温度差のバラツキは予想よりも小さかった(図-15, 16 平均温度と標準偏差 [() 内] も付記した)。

以上より、本乾燥機を用いれば、実大材の乾湿繰返し試験も実施可能であった。蒸気圧や表-1 の設定をさらに検討すれば、より高精度の制御も可能であると考えられる。冬期に実施すれば、乾球温度 40℃等での試験も可能と思われる。

反狂性試験の結果(表-3)には、特に問題はなかった⁶⁾。

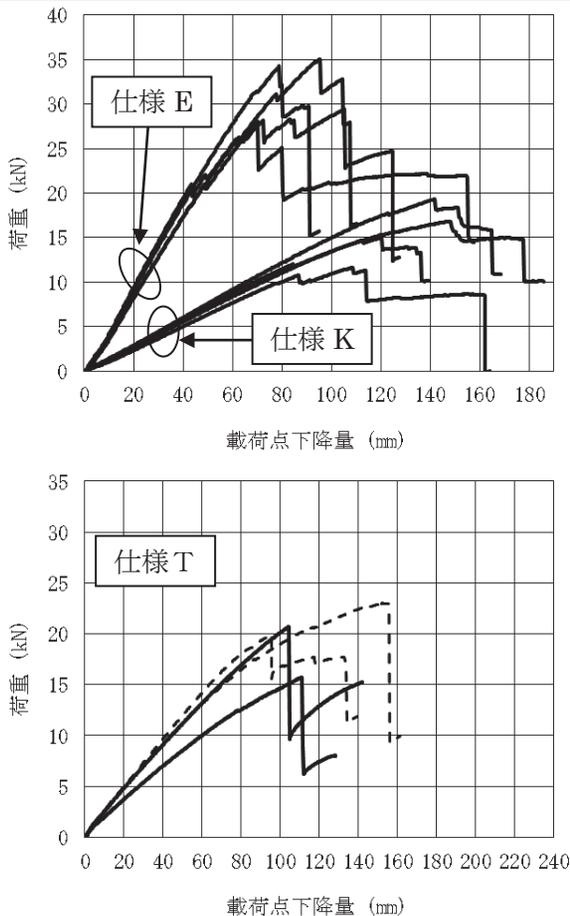


図-12 木製遮音板の曲げ強度試験における荷重と載荷点降下量の関係
(実線:格子下, 破線:格子上)

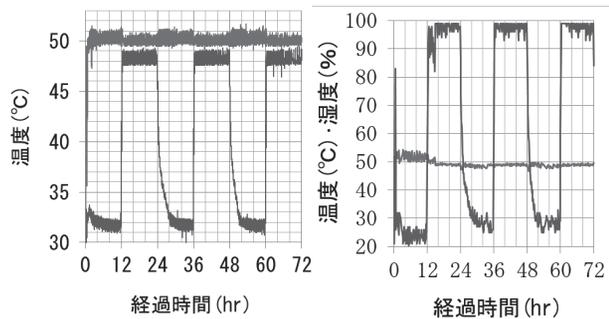


図-13 乾湿球測定値(左)とおんどりの測定値(右)

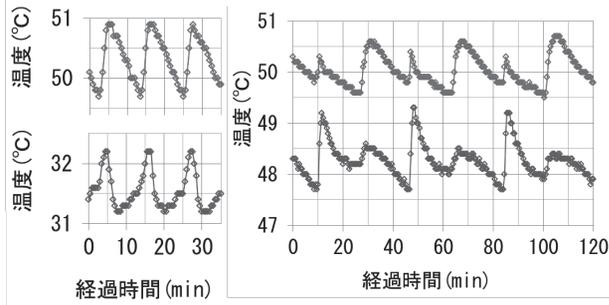


図-14 低湿(左)高湿(右)時の乾(上)湿(下)球温度

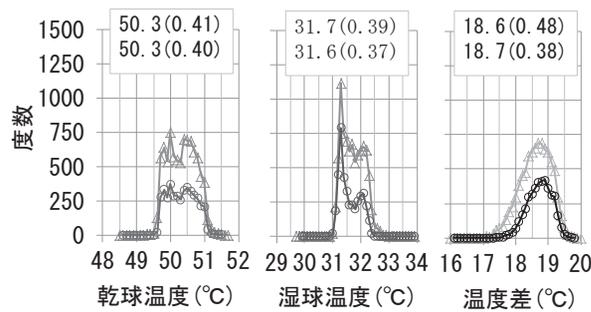


図-15 低湿時の乾球・湿球温度と同温度差の分布

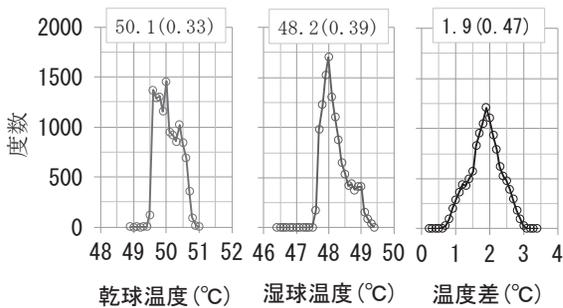


図-16 高湿時の乾球・湿球温度と同温度差の分布

表-3 反狂性試験による寸法等の変化(mm)

測定項目	カラマツ製反射タイプ [°]		スギ製吸音タイプ [°]	
	仕様E	仕様K	仕様T	仕様Y
長さ	0.0	-0.3	0.5	0.0
高さ	-0.7	0.0	1.0	0.0
水平方向の反り	1.0	8.3 [*]	4.0	2.3
垂直方向の反り	0.0	-1.0	-1.0	0.0
部材間の隙間	-0.1	0.1	0.0	0.0
有害な狂い	なし	なし	なし	なし

※ -4.0 から +4.3 に変形(サネ部の寸法のゆとりで対処)

低かった(表-4)。これは、成形後に乾燥が進んで大きな変形が発生しないよう、部材の人工乾燥を確実に実施したためである。

薬液の注入量は、すべてが基準となる 200kg/m³ を超えた(表-5)。カラマツ製遮音板はほとんどが心材であったが、インサイジング加工の効果があったものと思われる。(写真-5-1) スギ製部材は、呈色液による浸潤度試験(写真-5-2)において、製材の JAS の K4 基準も満たした⁷⁾。

表-4 保存処理前の含水率(%)

遮音板	カラマツ製		スギ製	
	仕様E	仕様K	枠材	羽目板
最大	8.5	13.2	13.0	15.5
平均	7.6	11.4	12.1	13.8
最小	6.6	7.5	11.3	11.7

表-5 薬液の注入量(Kg/m³)

遮音板	カラマツ製		スギ製
	仕様E	仕様K	
最大	264	289	631
平均	249	282	590
最小	224	271	565

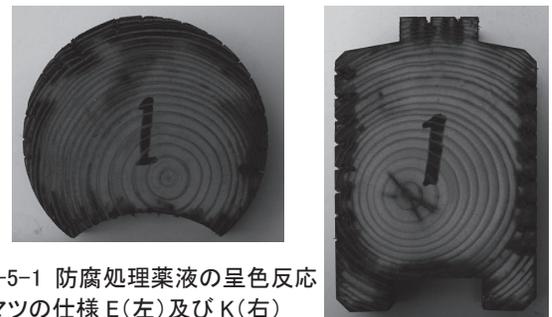


写真-5-1 防腐処理薬液の呈色反応
カラマツの仕様E(左)及びK(右)

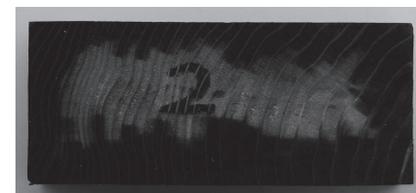


写真-5-2 防腐処理薬液の呈色反応
スギの枠材(下)と羽目板(上)

4.4 防腐処理時の各試験結果

4.4.1 保存処理前の含水率と薬液注入量

保存処理前の含水率は、基準の 20% より大幅に

4.4.2 保存処理後の乾燥

カラマツ製遮音板は 30～40 日間の天然乾燥のみで、含水率が基準の 20%以下まで下がった。

スギ製遮音板は、納期に合わせるには、人工乾燥が必要であった。13 日前後の人工乾燥を追加することにより、7 月初めまでに含水率を 20%以下まで下げることができた。

4.4.3 納品時の測定と試験施工

納品時の遮音板寸法は、64 体すべてにおいて、設計寸法に対して長さが高さが±5mm、厚さが±3mm の範囲内にあり、基準を満たした。含水率も、すべてが基準の 20%以下であった (表-6)。

試験施工の場所を、図-17 に示す。各仕様とも遮音板 4 段×4 スパンの施工で、総延長は 64m であった (写真-6～10)。なお、試験施工後、一部の開発メンバーの敷地内にも、簡単な展示施工を行った。

表-6 納品時の含水率(%)

遮音板	カラマツ製		スギ製・仕様 T		スギ製・仕様 Y	
	仕様 E	仕様 K	枠材	羽目板	枠材	羽目板
最大	19.1	19.9	19.6	15.9	19.4	17.3
平均	16.2	18.2	18.3	12.5	17.4	14.3
最小	14.8	16.0	15.8	10.7	13.9	11.7

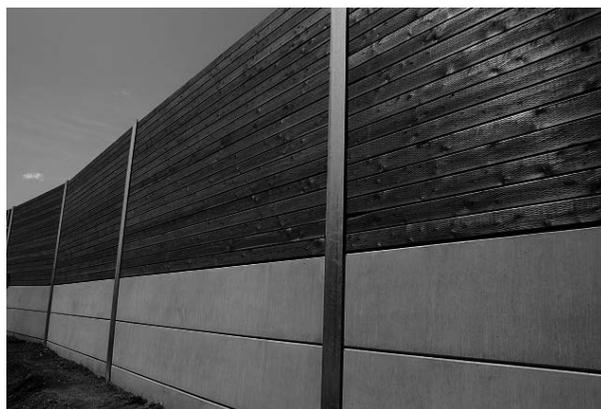


写真-6 中央自動車道伊那 IC ランプへの試験施工
(カラマツ製遮音板仕様 K)

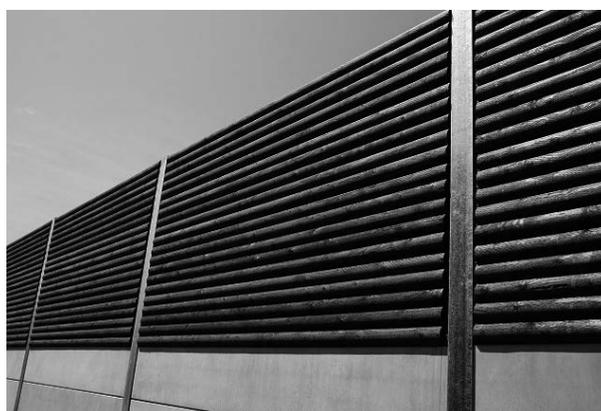


写真-7 中央自動車道伊那 IC ランプへの試験施工
(カラマツ製遮音板仕様 E)

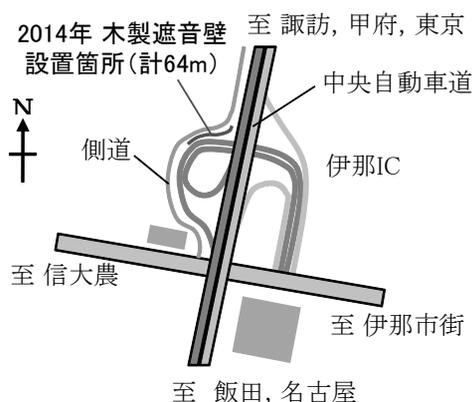


図-17 2014 年の木製遮音壁設置箇所



写真-8 中央自動車道伊那 IC ランプへの試験施工
(スギ製遮音板仕様 T)



写真-9 中央自動車道伊那ICランプへの試験施工
(スギ製遮音板仕様 Y)



写真-11 一体化した遮音板(5枚の遮音板)



写真-10 中央自動車道伊那ICランプへの試験施工
(全景)

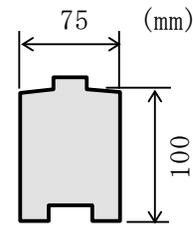


図-18 改良型仕様K及び
改良型仕様 SK75 断面図

5 改良型（遮音タイプ）の概要

5.1 目的

2015年度には、更なる低コスト化を図るため、2014年度までに開発した遮音板の施工性の改良や樹種・断面形状を変更しても音響性能の基準値を満足できるか試験を実施した。

5.2 改良型カラマツ1種類（遮音タイプ）

既に開発した遮音タイプの施工性を高めるため、発砲性シーリング材を挿入しない仕様で、かつ、コンクリート製の遮音板と比較すると木材は軽量であることから、通常の施工は1枚ずつ遮音板を設置するところ5枚の遮音板を一体型（写真-11）に施工することを検討した。なお、カラマツ製の角型（75mm厚）仕様Kに発砲性シーリング材が挿入されていないこと以外は全て同じ仕様であり、この遮音タイプを改良型仕様Kとし、断面寸法については図-18のとおりである。

5.3 改良型スギ3種類（遮音タイプ）

5.3.1 改良型仕様 SK75（遮音タイプ）

スギの反射タイプについて検討し、改良型仕様K（カラマツ製の角材75mm厚）の樹種をスギに置き換えて改良型仕様SK75とし、断面寸法は、図-18のとおりである。

5.3.2 改良型仕様 SK90（遮音タイプ）

カラマツよりもスギの密度が低いことを考慮し、改良型仕様SK75の幅を75から90ミリに変更したものを改良型仕様SK90とし、断面寸法については図-19のとおりである。

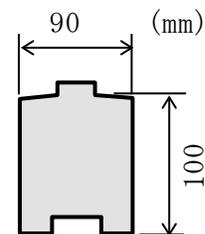


図-19 改良型仕様 SK90 断面図

5.3.3 改良型仕様 SE (遮音タイプ)

既に関発したカラマツ製の円柱材 (φ120mm) 仕様Eの樹種をスギに置き換えて、さらに発砲性シーリング材が挿入されていないこと以外は全て同じ仕様あり、この遮音タイプを改良型仕様 SE とし、断面寸法は、図-20 のとおりである。

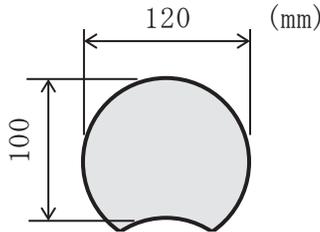


図-20 改良型仕様 SE 断面図

6 音響性能試験の方法

音響性能試験は、建材試験センター中央試験所 (草加市) において、遮音性能試験 (JIS A 1416(2000)) を実施した。なお、試験方法は、3.1 音響性能と同じであり、中日本高速道路(株)が定める音響性能の基準値は、音響透過損失が、400Hz で 25dB 以上、1000Hz で 30dB 以上である。

7 音響性能試験の結果

遮音タイプの改良型仕様K及びSK90並びにSEは、JIS A 1416(2000)による遮音性能の基準値を満たした。しかし、改良型SK75は、カラマツとスギの密度の違いから幅が 75 mmでは基準を満たすことはできなかった (図-21)。

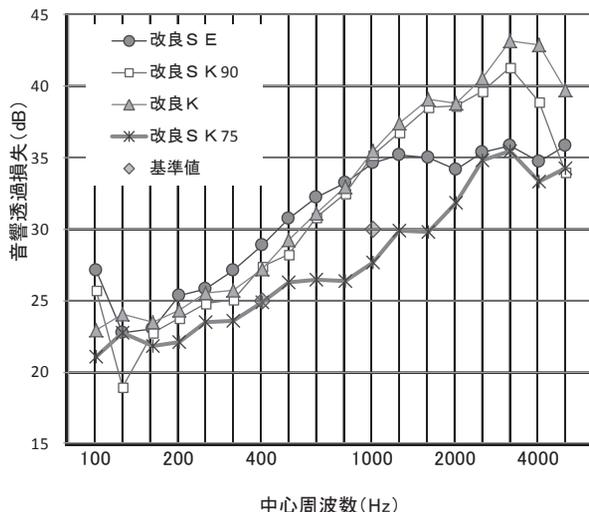


図-20 改良型の音響性能

また、改良型は、全て発砲性シーリング材が挿

入されていないが、発砲性シーリング材を施工するコストと経年による部材間の隙間を通しボルトで締め直すコストの比較は実施していないため、今後はどちらが有利なのか検討する必要がある。

8 結言

木製遮音板は、高速道路等の利用者のみでなく、周辺住民等にとっても景観的に優れた構造物であり、要求される強度性能が比較的小さいので、多少の劣化は問題とならず、長期間にわたって安心して使える構造物でもある。

近年は、本研究も含め、吸音タイプの木製遮音板も開発されつつあるので、その設置可能個所はさらに増大している。

長野県内には、冒頭に記載したように、30年近く供用されているカラマツ製遮音板が存在する。融雪剤を多用する地域等ではコンクリート製遮音板の劣化も若干早まるので、耐用年数においては、木製遮音板も必ずしも不利にはならない。

また、木製遮音板はコンクリート製遮音板と比較すると軽いので、運搬や種々の取扱い時には有利となる。木製遮音板は設置距離当たりの木材使用量が多く、かつ耐用年数が比較的長いので、CO₂の固定効果の観点からも高く評価できる。

謝辞

本研究は、信州の木先進的利用加速化事業「県産材による高性能・低コスト木製遮音板開発事業」(2013年度、事業実施主体：県産材販路開拓協議会)の一部として実施した。東京農工大学名誉教授喜多山繁先生には、本事業のアドバイザーとして種々のご指導をいただきました。

音響性能試験では、一般財団法人建材試験センター中央試験所環境グループの鶴澤久雄氏をはじめとする各氏にご高配を賜った。関係各位に、厚く御礼を申し上げます。

また、2014年7月には中日本高速道路(株)御中のご理解とご協力を得て、これら4仕様の木製遮音板が中央自動車道の伊那ICランプに試験施工されましたことに、厚く御礼を申し上げます。

さらにヒルデブランド(株)の印出晃氏と沢田満氏から多くのご助言をいただき、厚く御礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 武井富喜雄・吉田孝久・橋爪丈夫・吉野安里・三村典彦・奥村俊介(1989)：木製防音壁の試作と性能評価, 長野県林業総合センター研究報告, 第5号, pp. 39-59
- 2) 武井富喜雄・吉田孝久・橋爪丈夫・吉野安里・三村典彦・奥村俊介(1991) 木製防音壁の試作と性能評価, 木材工業 46(1), pp. 17-22
- 3) 中日本高速道路：木製遮音壁技術指針(案), pp. 1-2, 2005. 10
- 4) 柴田直明・山内仁人・吉田孝久・今井信(2014)：県産材による高性能・低コスト木製遮音板の開発(1)－遮音及び吸音タイプ木製遮音板の概要と音響性能－, 長野県林業総合センター平成25年度業務報告, pp. 112-113
- 5) 柴田直明・山内仁人・吉田孝久・今井信(2014)：県産材による高性能・低コスト木製遮音板の開発(2)－遮音及び吸音タイプ木製遮音板の曲げ強度性能－, 長野県林業総合センター平成25年度業務報告, pp. 114-115
- 6) 柴田直明・今井信・山内仁人・田畑衛・吉田孝久(2015)：県産材による高性能・低コスト木製遮音板の開発(1)－蒸気・圧力併用型木材乾燥機を用いた実大試験体の反狂性試験－, 長野県林業総合センター平成26年度業務報告, 106-107
- 7) 柴田直明・今井信・山内仁人・田畑衛・吉田孝久(2015)：県産材による高性能・低コスト木製遮音板の開発(2)－保存処理に伴う各種試験・測定と試験施工－, 長野県林業総合センター平成26年度業務報告, pp. 108-109
- 8) 柴田直明(2014)：優れた吸音性能を有する木製遮音板の開発, 公立林業試験研究機関研究成果選集 No. 12
- 9) 柴田直明(2014)：優れた吸音性能を有する木製遮音板の開発, 第13回木材利用研究発表会
- 10) 柴田直明・山内仁人・宮崎正毅・井上巖・藤本隆史・山本洋敬(2014)：新たなカラマツ製遮音板の開発, 土木学会平成26年度全国大会
- 11) 柴田直明・山内仁人・手塚義明・藤本隆史・宮崎正毅・井上巖・山本洋敬(2015)：遮音及び吸音タイプの新しい木製遮音板4仕様の開発－保存処理に伴う各種測定・試験結果－, 第65回日本木材学会大会
- 12) 柴田直明(2015)：長野県内における木製遮音壁の開発と施工, カラマツ林業研究発表会
- 13) 山内仁人(2015)：県産材による木製遮音壁の開発, 平成27年度長野県林業総合センター研究発表会
- 14) 野田龍・加用千裕・山内仁人・柴田直明(2015)：長野県における木製ガードレールのライフサイクルアセスメント, 土木学会木材工学委員会 木材利用研究発表論文集 14, pp. 63-68
- 15) 山内仁人(2016)：長野県における木材の土木利用と維持管理の取り組み, 木材保存 42(2), pp. 106-111
- 16) 柴田直明(2016)：長野県林業総合センター技術情報 151, pp. 20-27
- 17) 野田龍・加用千裕・山内仁人・柴田直明(2017)：長野県における木製遮音壁のライフサイクル GHG 排出量, 木材学会誌 63 巻 1 号 pp. 41-53
- 18) 加用千裕・野田龍・山内仁人・柴田直明(2017)：木材および森林の炭素貯蔵量を考慮した木製遮音壁の温室効果ガス収支, 木材利用研究論文報告集 16, pp. 31-38
- 19) 木製遮音壁のホームページ及びパンフレット, <http://naganowood.com/syaonheki/>, (2018年1月30日閲覧)

参考文献及び Web サイト等

- 1) 柴田直明・山内仁人・山本洋敬(2013)：長野県内における木製遮音壁の新設, 木材利用研究論文報告集 12,
- 2) 柴田直明(2013)：長野県内における木製遮音壁の開発と施工, 長野県林業総合センター技術情報 No. 151, pp. 20-27
- 3) 柴田直明(2014)：優れた吸音性能を有する新たな木製遮音壁の新設, 木材利用研究論文報告集 13,
- 4) 柴田直明・山内仁人・今井信・吉田孝久・田

