

平成15年度 林野庁補助事業

人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業 成果報告書

平成16年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

社団法人 日本木材加工技術協会

林野庁補助事業
「人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業」
平成15年度委員会委員

本委員会

委員長 喜多山 繁 喜多山技術士事務所
委員 阿部 庄吾 (社) 全国木材組合連合会
安藤 和彦 国土技術政策総合研究所道路空間高度化研究室
石田 英生 日本木材防腐工業組合
近藤 敏夫 全国森林組合連合会系統事業部
神谷 文夫 森林総合研究所構造利用研究領域
鈴木憲太郎 森林総合研究所複合材料研究領域
糸島 史浩 日本道路公団技術部技術企画課
上杉 三郎 森林総合研究所木材保存研究室
鷲見 博史 (社) 日本木材加工技術協会

木製歩行者自転車用柵委員会

委員長 鈴木憲太郎 森林総合研究所複合材料研究領域
委員 石田 英生 (株) ザイエンス関東工場
稲井 淳文 越井木材工業 (株) 企画開発室
手塚 大介 兼松日産農林 (株) 開発研究課
蒔田 章 大日本木材防腐 (株) 研究開発部

木製車両用防護柵委員会

委員長 神谷 文夫 森林総合研究所構造利用研究領域
委員 安藤 和彦 国土技術政策総合研究所道路空間高度化研究室
末成 健夫 日鐵建材工業 (株) 景観エンジニアリング商品部
斉藤 文孝 八千代エンジニアリング (株) 東京事業部
梶 聡 日鐵建材工業 (株) 商品開発グループ

木製遮音壁委員会

委員長 喜多山 繁 喜多山技術士事務所
委員 上杉 三郎 森林総合研究所木材保存研究室
石田 英生 (株) ザイエンス関東工場
安藤 恵介 東京農工大学農学部環境資源科学科

林野庁補助事業
「人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業」

平成15年度成果報告書

目次

第1部 平成15年度の成果

I. 技術開発の要旨	1
II. 技術開発の内容	
1. 木製歩行者自転車用柵	3
2. 木製車両用防護柵	5
3. 木製遮音壁	19
1) 音響実験及び劣化調査	19
2) 燃焼試験	23

第2部 木製歩行者自転車用柵・木製車両用防護柵・木製遮音壁
の設計指針

I. 木製歩行者自転車用柵

1. 概要	29
2. 性能試験	29
3. 設計・製造・施工	29

II. 木製車両用防護柵

1. 概要	33
2. 性能試験	34
3. 設計・製造・施工	34

III. 木製遮音壁

1. 概要	55
2. 性能試験	57
3. 設計・製造・施工	67
4. 開発した木製遮音壁の作成と設置	73
5. 今後の問題点	83

IV. 耐久設計と維持管理指針

1. 耐久性	87
2. 木製遮音壁の火災安全性	97

第1部 平成15年度の成果

I 技術開発の要旨

公共利用に供する木質資材を開発するに当たり、木材の長所を活かすだけでなく、耐久性や強度性能等の安全性を確保し、目的ごとの性能を利用者に認知してもらうことが重要である。

平成11年から平成15年まで、林野庁補助事業「人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業」では、木製歩行者自転車用柵、木製車両用防護柵 B 種及び木製遮音壁の開発を行った。

木製歩行者自転車用柵については、高耐久性確保を目的とした薬剤処理法と施工法を開発するため、平成11年度と12年度に（独）森林総合研究所多摩森林科学園内に種々工夫を凝らした柵試験体を約170メートルにわたって設置し、実用を兼ねた屋外耐久性試験を開始した。柵試験体の設計及び薬剤処理は日本木材防腐工業組合傘下の企業が技術を集結して行った。多くの企業が同じ環境で同時に耐久性試験を開始した例は少ない。現時点では柵試験体に顕著な劣化は認められていないが、数年先に貴重な資料が得られるであろう。

木製車両用防護柵 B 種を開発するに当たり、防護柵の強度性能について、理論的な検討及び車両衝突シミュレーションによる基礎的な検討を重ねて設計案を作成し、これを静荷重試験によって確定した。この防護柵について、主として強度性能を確認するための大型貨物車による衝突実験、および主として乗員の安全性を確認するための乗用車による衝突実験を国土交通省国土技術政策総合研究所の衝突実験施設において行い、車両用防護柵 B 種としての必要な性能をすべて満たしていることが確認された。

木製遮音壁については、吸音理論の実用化を小試験体で試みて効果を確認し、加工性や施工性についても試験壁を作成して検討し、さらに加工や廃棄の容易さにも配慮して吸音タイプの木製遮音壁の設計案を絞り込んだ。開発した遮音壁を平成14年に大分県東九州自動車道臼杵インターチェンジへの取付区間に42メートルにわたって設置し、実用に供するとともに現場における遮音効果を測定している。

本事業も平成15年度をもって終了することとなるが、開発した製品の真価が問われるのはこれからである。平成16年3月に国土交通省が策定した「景観に配慮した防護柵の整備ガイドライン」の中では木製防護柵が数カ所で言及され、また平成15年2月にはJH日本道路公団から「木製遮音壁技術指針」が発行されていることからみても、これからも木製品への期待に反することのなきよう留意していかなければならない。

本報告書は第1部に「平成15年度の成果報告」を、第2部に「木製歩行者自転車用柵・木製車両用防護柵・木製遮音壁の設計指針」を掲載した。

文末ではあるが、本事業で頂いた多くの方々のご支援に対し深い感謝の意を表するものである。

Ⅱ. 技術開発の内容

1. 木製歩行者自転車用柵

木製歩行者自転車用柵は、平成12年3月及び平成13年3月の2回に分けて八王子の多摩森林科学園の敷地内に試験施工を行った。

平成15年9月に、劣化状況の視察を行ったが、その結果の概要は次のとおり。

- (1)薬剤処理を行ったものは、いずれも生物劣化は見られなかったが、同時に施工した無処理材の部分は、干割れの部分から担子菌の子実体の発生が見られ、明らかに腐朽が進行している。
- (2)接合部の水はけのよくない部分や、トップの保護されていない面の平坦部に劣化が見られる。
- (3)表面塗装を行わないものは、かなり風化による灰色への変色が見られる。塗装を行ったものでも、特に造膜型の塗料については剥離による外観劣化が顕著である。
- (4)以上のことから、耐久性上ポイントとして①薬剤処理は不可欠であること②接合部の設計にあたっては、水はけに留意すること③柱頂部の保護又は水はけ加工が必要④適切な塗料の選定、が重要であることが示唆される。



写真1-1 柱頂部の劣化



写真1-3 干割れ部分からの子実体の発生



写真1-2 水はけの割部分の劣化



写真1-4 塗料の劣化

2. 木製車両用防護柵

1) 部材の設計

昨年度行った大型貨物車衝突実験に続いて、本年度は乗用車衝突実験を行った。乗用車衝突実験用の木製防護柵は、大型貨物車衝突実験用と同様に設計した(図2-1)。ただし、組み立てた防護柵の全長は、大型貨物車衝突実験用が26mであったのに対し、16mである。横梁に使用したスギの縦振動弾性係数は表2-1に示すとおりである。縦振動弾性係数の平均値は $6.25(\text{kN}/\text{mm}^2)$ 、スギの平均密度は0.56である。

表2-1 スギの縦振動弾性係数 (kN/mm^2) →車両進行方向

横梁 No	1	2	3	4	5	6	7	8
上段	5.31	5.99	8.20	6.46	5.64	4.62	6.50	6.17
下段	6.48	6.12	7.88	6.59	5.28	7.03	7.38	4.33

2) 乗用車衝突実験

(1) 衝突実験の目的

「防護柵設置基準・同解説」(平成10年11月(社)日本道路協会)に示されている衝突条件Bで衝突実験を行い、諸性能を検証することを目的とする。防護柵の区分・種別と実験条件はそれぞれ表2-2及び表2-3のとおりである。

表2-2 防護柵の区分・種別

区 分	車両用防護柵
設置場所	路側用
種 別	B種
強 度	60kJ以上
種 類	たわみ性防護柵

表2-3 実験条件

衝突車両	車両質量(t)	衝突速度(km/h)	衝突角度(度)
乗用車	1.0	60以上	20

性能確認項目はつぎのとおりである。

①乗員の安全性能

車両重心加速度：90m/s²/10ms 未満

②車両の誘導性能

- a 車両は防護柵衝突後に横転など生じない
- b 車両の離脱速度は、36.0km/h 以上
- c 車両の離脱角度は、12 度以下

③構成部材の飛散防止性能

車両衝突時に構成部材が大きく飛散しない

(2) 実験方法

実験は大型貨物車の場合と同じ、国土交通省国土技術政策総合研究所内の衝突実験施設において行った。防護柵の設置状況を図 2-2 に示す。車両は衝突後の接触跡を見るため、実験直前に車体前部区間に緑、車両後部区間に青、また前輪に黄、後輪に赤のペイントが塗布されている。加速度計は車両重心部に取り付けられている（写真 2-2）。

(3) 実験結果

乗用車衝突実験は平成 15 年 8 月 28 日に行った。衝突実験の測定項目と実験結果を表 2-4 に、実験結果の総括表を表 2-5 に示す。乗員の安全性に関し、性能規定は、車両の重心加速度が 90m/s²/10ms 未満であることである。実験の結果、車両の受けた最大加速値は、X 方向が 73.4m/s²/10ms、Y 方向が 66.0m/s²/10ms（参考、XY 合成値：79.0m/s²/10m）であり、規定を満足している。車両の誘導性のうち、車両の挙動に関しては、衝突車両は防護柵衝突後に転倒などを生じてはならないことである。実験では、衝突車両の重心位置での最大傾角は道路側へ 8.5 度、車輪の最大浮き上がり量は左側前輪が 31cm、後輪が 36.2cm であり、転倒の指標となる最大傾角 45 度以内で、衝突後の挙動は、車両は進行角と姿勢角が多少異なっていたものの、防護柵に沿って進行方向へ転倒・転覆することなく誘導され（写真 2-4）、性能規定を満足している。離脱速度及び離脱角度に関し、離脱速度は衝突速度（60.3km/h）の 6 割（36.2km/h）以上、離脱角度は衝突角度（20.8 度）の 6 割（12.48 度）以下であることである。実験では、離脱速度は 36.4km/h、離脱角度は 0 度であり性能規定を満足している。構成部材の飛散防止性能に関しては、性能規定は車両衝突時に構成部材が大きく飛散しないことである。実験では、衝突付近の横梁の一部に表面のめくれ、下段横梁に前輪の乗り上げによるブラケット部の捻れによる塑性変形が見られたものの、主要構成部材の取り外れなどなく一体構成を保持しており（写真 2-6、2-7）、性能規定を満足している。

表 2 - 4 衝突実験の測定項目と実験結果

測定項目		規定	実験結果	判定
車両の安全性	車両重心 加速度	10ms 移動平均値が 90m/s ² /10ms 未満で ある	X:73.4m/s ² /10ms Y:66.0m/s ² /10ms (参考 XY:79.0m/s ² /10ms)	OK
	車両の挙 動	車両は衝突後、転倒 などを生じない	車両は防護柵衝突後、横転 ・転覆することなく誘導され ている	OK
車両の誘導性 能	離脱速度	離脱速度は衝突速度 の 6 割以下である	衝突度の 60.4%(36.4km/h)	OK
	離脱角度	離脱角度は衝突角度 の 6 割以下である	衝突角度の 0%(0 度)	OK
構成部材の飛 散防止性能	部材の飛 散状況	車両衝突時に防護柵 構成部材の飛散が見 られない	構成部材の一部に損傷また は塑性変形が見られたもの の、取外れ、飛散などはな し、一体構造を保持してい る。	OK

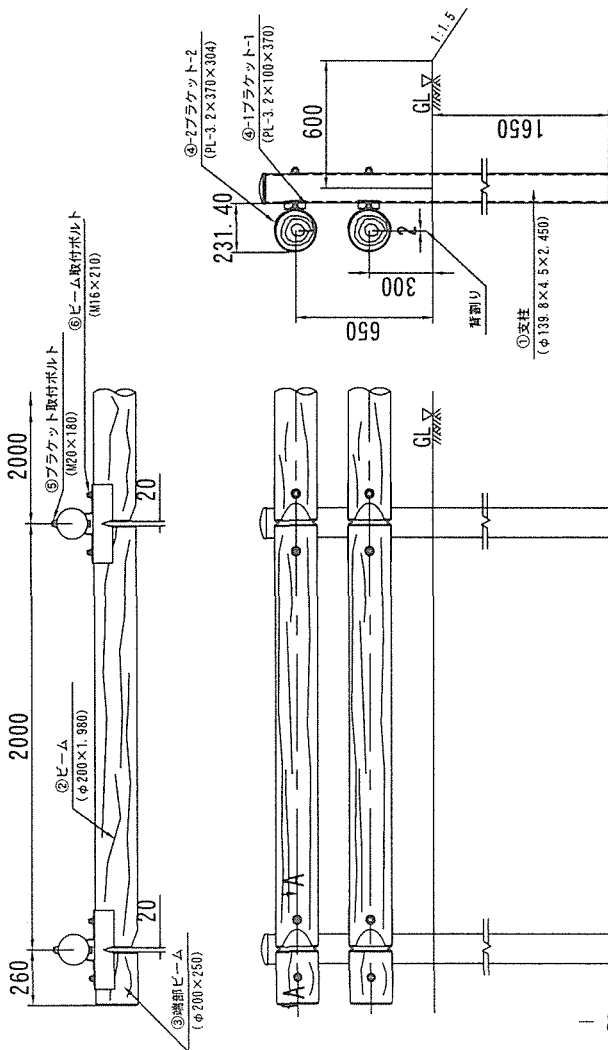
以上のように乗用車衝突実験（衝突条件 B）では、すべて性能規定を満足している事が判明し、15 年 3 月に行った大型貨物車の衝突実験（衝突条件 A）結果とあわせて、木製車両用防護柵 B 種は必要な性能の各号を満足することとなった。表 2 - 6 に衝突条件 A と B を合わせた実験条件を、また表 2 - 7 に財団法人土木研究センターが発行した総括表を示す。

(今村浩人)

部材一覧表

大型貨物車 26 m							
番号	部材名	形状寸法	材質	数量	質量(kg)	表面処理	備考
①	支柱	φ139.8x2450	STK400	14	514.5	塗装(白)	
②	ビーム	φ200x1980	木製(杉・間伐材)	26	549.9		
③	ブレース	φ200x250	木製(杉・間伐材)	4	10.68		
④-1	ブラケット-A	PL-3.2x100x370	SS400orSGH400	28	29.12	塗装(白)	
④-2	ブラケット-B	PL-3.2x370x304	SS400orSGH400	28	75.6	塗装(白)	
⑤	ブラケット取付ボルト	M20x180(B,N,2W)	強度区分4.6	0.68	28	19.04	未処理
⑥	ビーム取付ボルト	M16x210(B,N,2W)	強度区分4.6	0.4	56	22.4	未処理
				合計(kg)	1221.24		

専用車 16 m							
番号	部材名	形状寸法	材質	数量	質量(kg)	表面処理	備考
①	支柱	φ139.8x2450	STK400	9	331	塗装(白)	
②	ビーム	φ200x1980	木製(杉・間伐材)	16	338.4		
③	ブレース	φ200x250	木製(杉・間伐材)	4	10.68		
④-1	ブラケット-A	PL-3.2x100x370	SS400	18	18.72	塗装(白)	
④-2	ブラケット-B	PL-3.2x370x304	SS400	2.7	18	48.6	塗装(白)
⑤	ブラケット取付ボルト	M20x180(B,N,2W)	強度区分4.6	0.68	18	12.24	未処理
⑥	ビーム取付ボルト	M16x210(B,N,2W)	強度区分4.6	0.4	36	14.4	未処理
				合計(kg)	773.79		



(注記) ・木製密度と仮定
0.34g/cm³

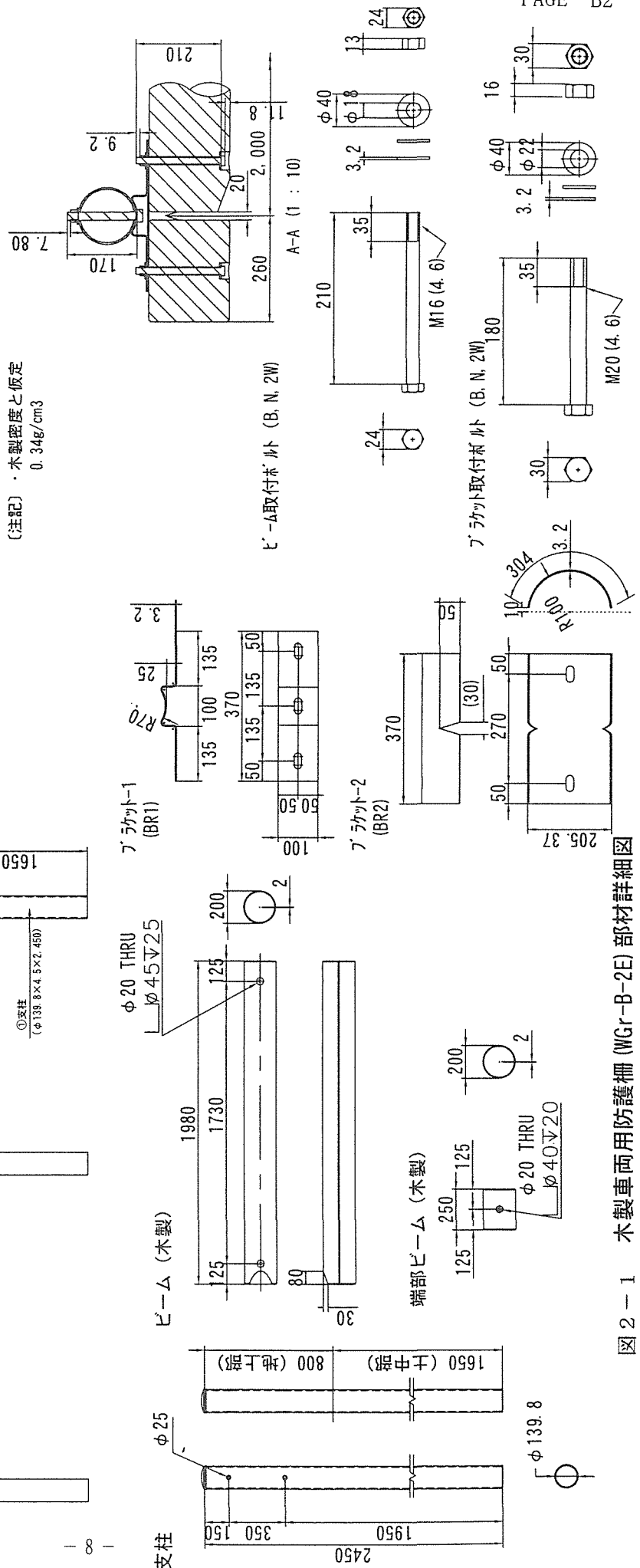


図2-1 木製車両用防護柵 (WGr-B-2E) 部材詳細図

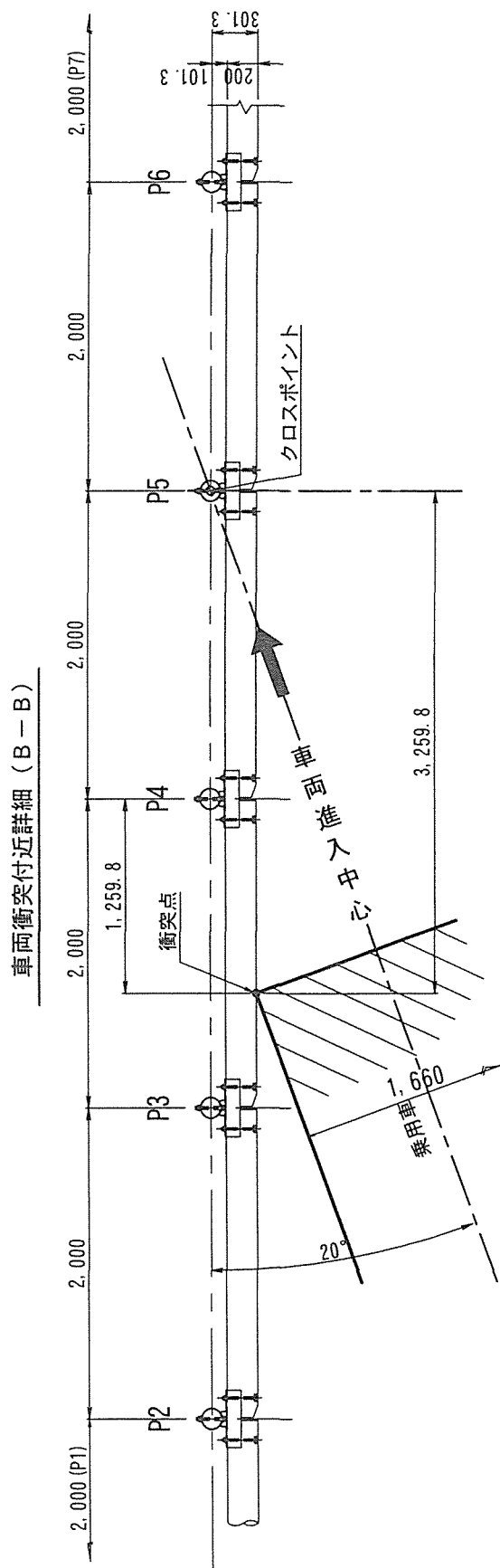
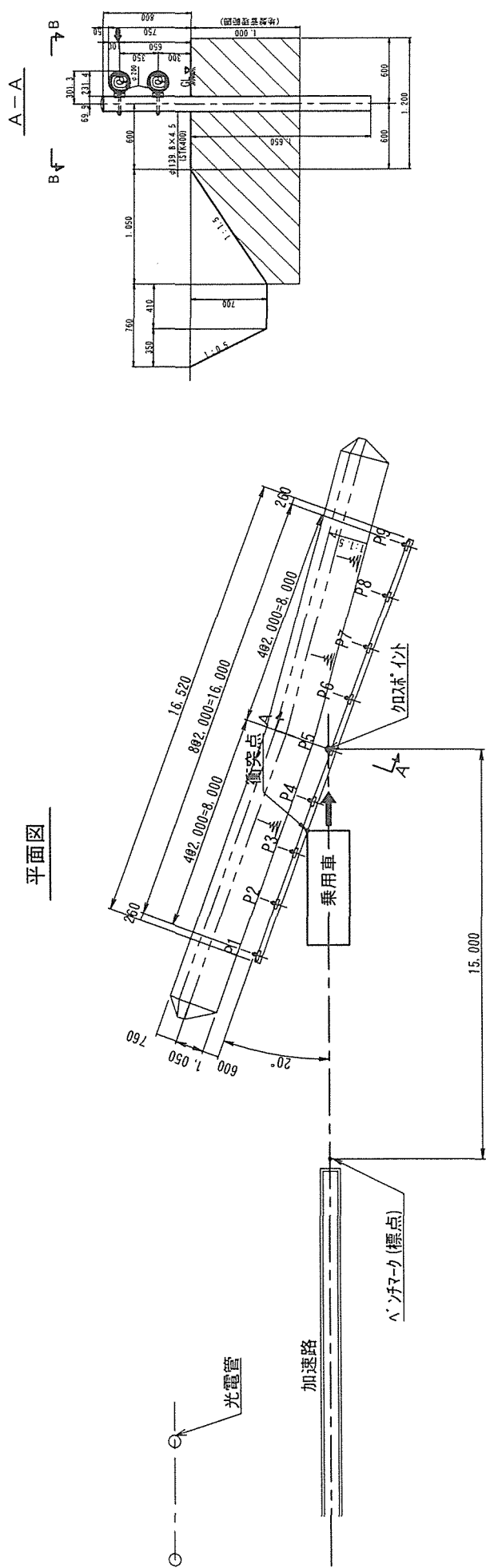
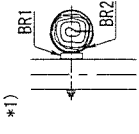


図 2 - 2 防護柵の設置状況

表 2 - 5 実験結果総括一覧表

実験番号 防護槽型式	実験条件及び結果			離脱角度 (度) 離脱速度 (km/h)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝突速度 (KJ)	衝突条件及び結果	新突車両の最大傾斜角及び車輪浮き上がり量 (度)(+)	防護槽全長 (mm)	最大進入行程 (mm)	車両重心加速度 (SP:0.5msec)	防護槽の最大残留変位 (mm) (傾直方向: Y)	損傷状況																														
	質量 (t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)											衝撃度	防護槽	車両																												
実験2 木製車両用防護槽 (WG-B-2E) 乗用車 土研 〆 衝 03-1 H15.8.28(木) 気温: 28°C 曇り	1.0 (1.029)	60.0 (60.3)	20 (20.8)	16.25 (18.20)	0度	0度	0	<p>* 道路側へ</p> <table border="1"> <tr> <td>前 端</td> <td>+ 10.6</td> </tr> <tr> <td>後 端</td> <td>+ 10.6</td> </tr> <tr> <td>重心位置</td> <td>+ 8.5</td> </tr> <tr> <td>重心位置</td> <td>0</td> </tr> </table> <p>*高速写真で解析 道路間が (+)</p> <table border="1"> <tr> <td>車輪浮き上り量</td> <td>左</td> <td>右</td> </tr> <tr> <td>前 輪</td> <td>31.0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>後 輪</td> <td>36.2</td> <td>0</td> </tr> </table> <p>*ビデオおよび高速写真で解析</p>	前 端	+ 10.6	後 端	+ 10.6	重心位置	+ 8.5	重心位置	0	車輪浮き上り量	左	右	前 輪	31.0	0	後 輪	36.2	0	<p>① 原波形 (m/s²)</p> <table border="1"> <tr> <td>X</td> <td>219.2</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>262.5</td> </tr> <tr> <td>Z</td> <td>206.8</td> </tr> <tr> <td>合 成</td> <td>278.5</td> </tr> </table> <p>② 分析波形 (m/s²/10ms)</p> <table border="1"> <tr> <td>X</td> <td>73.4</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>66.0</td> </tr> <tr> <td>Z</td> <td>39.0</td> </tr> <tr> <td>合 成</td> <td>79.0</td> </tr> </table>	X	219.2	Y	262.5	Z	206.8	合 成	278.5	X	73.4	Y	66.0	Z	39.0	合 成	79.0	<p>(支柱)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接触直: 左前車体接触有り (P4: 横梁 上下段間) ・路肩表面2箇所 (P3, P4) に地盤の盛り上がりおよび教条のひびわれ有りも曲がりなし (横 梁) ・上下段接触直によるめくれそれぞれ箇所宛有るもひびわれなし 上段: 範囲: 200mm (P3+700mm~900mm), 巾及び深さ: 15mm/7mm 下段: 範囲: 900mm (P3+350mm~1,250mm), 巾及び深さ: 140mm/7mm ・下段横梁 (B3') のめくれ有るもブラケットからの取り外れなし 車輪の乗り上げによる時計廻りの捻れ (90度) による腐損有り ・下段ブラケット (BR2) の端部変形による、下段横梁の損傷有るもひびわれおよび欠損なし ブラケットの端部への食い込み (R3' (P4左)): 深さ 10mm 局部表面めくれ範囲: 350mm (P4+0mm~350mm) 巾及び深さ: 70mm/7mm (B4 (P4右)) ・横梁取付ボルト部欠、変形有るもボルトの引き抜け、穴のはしあき部のひびわれなし ボルトの頭部の食い込み (B3') P3側: 12mm, P4側: 7mm ブラケット側 (横梁背面) ボルト側面の食い込み P3側: 始点側に10mm, P4側終点側に: 4mm ・上下段間、下段横梁に段差 (箇所 (Y方向) など有るも、取り外れなし 開き範囲: 6mm (P2~P5)、最大傾: 上段: 45mm (P4右)、下段: 122mm (P4左)、段差量: 158mm (R2' と B3' 間) (ブラケット (BR)) ・2箇所 (P3, P4) 残留変形有るも千切れ、取り外れなし RR2、上下両端部最大開き 横 上段横梁 P3: 8mm (左上), P4: 15mm (右上) 下段横梁 P4: 40mm (右上) BR1、下段横梁右上側角部に1箇所 (P3) 切り欠け (30mm) 有り 塑性変形が最も大きい箇所 (P4 下段) には切り欠けなし ・RR1とBR2の相対ズレは2箇所有るも部材に欠損なし 最大損材ズレ値、P3 下段: 20mm、P4 上段: 8mm (BR2が進行方向へズレ) (部材取付ボルト) ・横梁取付ボルト2箇所 (B3' の左右) 変形有るも破断なし ・B3' のP3側が始点側へ、P4側が終点側へ多少の曲がり有り (地 盤) ・支柱路肩背面に2箇所 (P3, P4) 地盤の盛り上がりおよび教条のひびわれ有り ・最大ひびわれ長さ (P4): 支柱横方向 300mm、背面方向 250mm 	<p>(外廻り)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スカート: 損傷断 (中心より 600mm) するも飛散なし、バンパー: 損傷軽微 ・フェンダー: 左前部から左側ドア先端まで凹み、一部後部へめくれ (巾: 100mm、長さ: 500mm) 有るも取り外れ飛散なし フェンダー: 損傷位置中心から左側へ 350mm くらい曲がり、最大凹み深: 230mm 凹み深さ: GL+550mm~700mm ・ボンネット左先端内側へ局所的まくれ有り (車体方向: 100mm、直角方向 200mm) ・左側ヘッドランプ、ウインカーランプ破損 (足廻り) ・左前輪後方へ変形 185mm (2, 430mm~2, 245mm) ・左前輪タイヤに3箇所縦方向 (間隔: 50mm) 最大長さ: 70mm の裂け傷有り ・タイヤホイールより取り外れ ・ホイール外端外側にまくれ (L=200mm、凹み深: 70mm) ・停車時左前輪のみに "ハ" の字形状の状態で停車 ・左前輪サスペンションの変形 (車室内) ・変形、損傷なし (自力走行) ・停車時エンジン作動不可、サスペンション変形のため走行不可
前 端	+ 10.6																																											
後 端	+ 10.6																																											
重心位置	+ 8.5																																											
重心位置	0																																											
車輪浮き上り量	左	右																																										
前 輪	31.0	0																																										
後 輪	36.2	0																																										
X	219.2																																											
Y	262.5																																											
Z	206.8																																											
合 成	278.5																																											
X	73.4																																											
Y	66.0																																											
Z	39.0																																											
合 成	79.0																																											



1. 実験条件の項の () 内は結果を示す
2. X、Y方向はそれぞれ防護槽延長方向、直角方向を示す


表 2 - 6 車両用防護柵性能評価衝突試験結果総括表

作成 平成 15 年 12 月 10 日

防護柵の名称	木製車両用防護柵 B 種		申請者名	(社) 日本木材加工技術協会			
防護柵諸元							
種類	たわみ性防護柵	種別	B	適用箇所	路側用		
高さ	0.650m(上段横梁中心) 上下段横梁間隔:0.350m	材料	支柱:鋼管(STK400)、横梁:スギ(間伐材/群馬産) 上下段φ200 ブラケット(SS400)、ブラケット取付ボルトM20(区分:4・6) 横梁取付ボルトM16(区分:4・6)				
基本形式	ビーム型防護柵	最小設置長	衝突条件A:20m 衝突条件B:16m (誘導機能も考慮)	地盤条件	地盤強度:標準地盤		
備考	法肩距離:600mm、支柱埋込長さ:1,650mm 法勾配1:1.5 法高:0.70m						
衝突試験結果							
実施機関名	財団法人 土木研究センター	試験施設名	国土交通省 国土技術政策総合研究所 衝突実験施設	試験番号	土研七衝 A:02-10(実験1) B:03-1(実験2)		
1. 試験条件							
衝突条件A(実験1) <試験日 平成15年3月27日>				衝突条件B(実験2) <試験日 平成15年8月28日>			
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (KJ)	車両重心 高さ(m)	試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)
20.0 (20.0)	35.0 (35.1)	15.0 (15.7)	63.3 (69.6)	1.40 (車両総重量時)	1.0 (1.029)	60 (60.3)	20 (20.8)
地盤条件	衝突条件A:Nd値:平均18.0 (GL-0.1m~-1.7m) 衝突条件B:Nd値:平均23.5 (GL-0.1m~-1.7m)			基礎形式	支柱基礎(直接打ち込み)		
供試体長	衝突条件A:26m 衝突条件B:16m			施工方法	従来と同じ (杭打ち機で所定位置まで打設)		
備考	()内は実験結果を示す 仕様記号:WGr-B-2E						

表 2-7 車両用防護柵性能評価試験結果総括表

作成 平成 15 年 12 月 10 日

防護柵の名称	木製車両用防護柵 B 種	申請者名	社団法人 日本木材加工技術協会
防護柵諸元	種別	適用箇所	路側用
高さ	たわみ性防護柵 0.650m(上段横梁中心) 上下段横梁間隔： 0.350m	支柱：鋼管(STK400)、横梁：スギ(間伐材(群馬産))上下段φ200 ブラケット(SS400)、ブラケット取付ボルト M20(区分4・6) 横梁取付ボルト M16(区分4・6)	
基本形式	ピー△型防護柵	最小設置長	地盤強度：標準地盤
備考	法肩距離：600mm、支柱埋込長さ：1,650mm 法勾配 1：1.5 法高：0.70m	衝突条件 A：20m 衝突条件 B：16m (誘導機能も考慮)	
衝突試験結果			
実施機関名		試験施設名	国土交通省 国土技術政策総合研究所 衝突実験施設
		試験番号	A:02-10(実験1) B:03-1(実験2)
1. 試験条件			
試験車両	衝突条件 A(実験1) <試験日 平成 15 年 3 月 27 日 >	衝突条件 B(実験2) <試験日 平成 15 年 8 月 28 日 >	
質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝突速度 (km/h)
20.0 (20.0)	35.0 (35.1)	15.0 (15.7)	60 (60.3)
	衝突条件 A：Nd 値：平均 18.0 (GL-0.1m~-1.7m)	基礎形式	支柱基礎(直接打ち込み)
	衝突条件 B：Nd 値：平均 23.5 (GL-0.1m~-1.7m)	施工方法	従来と同じ (杭打ち機で所定位置まで打設)
供試体長	衝突条件 A：26m 衝突条件 B：16m		
備考	()内は実験結果を示す 仕様記号：WGr-B-2E		

2. 試験結果			
測定項目	条件区分	計測項目	試験結果
車両の逸脱防止性能	A	防護柵の損傷	○ 大型貨物車が突破しない強度を有する。 ・ 横梁表面上のめくれ、支柱およびブラケットの一部に塑性変形が見られたものの、主要構成部材間の取り外れ等は全く連結保持されている。 防護柵の最大変位量は 292.6mm(最大残留変位量：228mm)である。
		最大進入行程	○ 車両の進入行程が 1.10m 以下である。 ・ 最大進入行程は-94mm(車輪外側最大進入量よりタイヤ巾が大きいため)「性能規定値」以下である。
車両の安全性	B	車両重心加速度	○ 10ms 移動平均値が 90m/s ² /10ms 未満である。 X：73.4m/s ² /10ms Y：66.0m/s ² /10ms (参考 XY：79.0m/s ² /10ms)
車両の誘導性能	共通	車両の挙動	○ 車両は防護柵に衝突後、横転などを生じない。 ・ 車両は防護柵衝突後、横転・転覆することなく誘導されている。
	共通	離脱速度	○ 離脱速度は衝突速度の 6 割以上である。 ・ 衝突条件 A：衝突速度の 75.5%(26.5km/h) ・ 衝突条件 B：衝突速度の 60.4%(36.4km/h)
	共通	離脱角度	○ 離脱角度は衝突角度の 6 割以下である。 ・ 衝突条件 A：衝突角度の 0%(0 度) ・ 衝突条件 B：衝突角度の 0%(0 度)
構成部材の飛散防止性能	共通	部材の飛散状況	○ 車両衝突時に防護柵構成部材の飛散が見られない。 ・ 構成部材の一部に損傷または塑性変形が見られたものの、取外れ、飛散などはなし、一体構造を保持している。
備考			



写真 2-1 車両走行方向から見た防護柵



写真 2-2
乗用車に取り付けられた加速度測定センサー



写真 2-3 防護柵取り付け風景

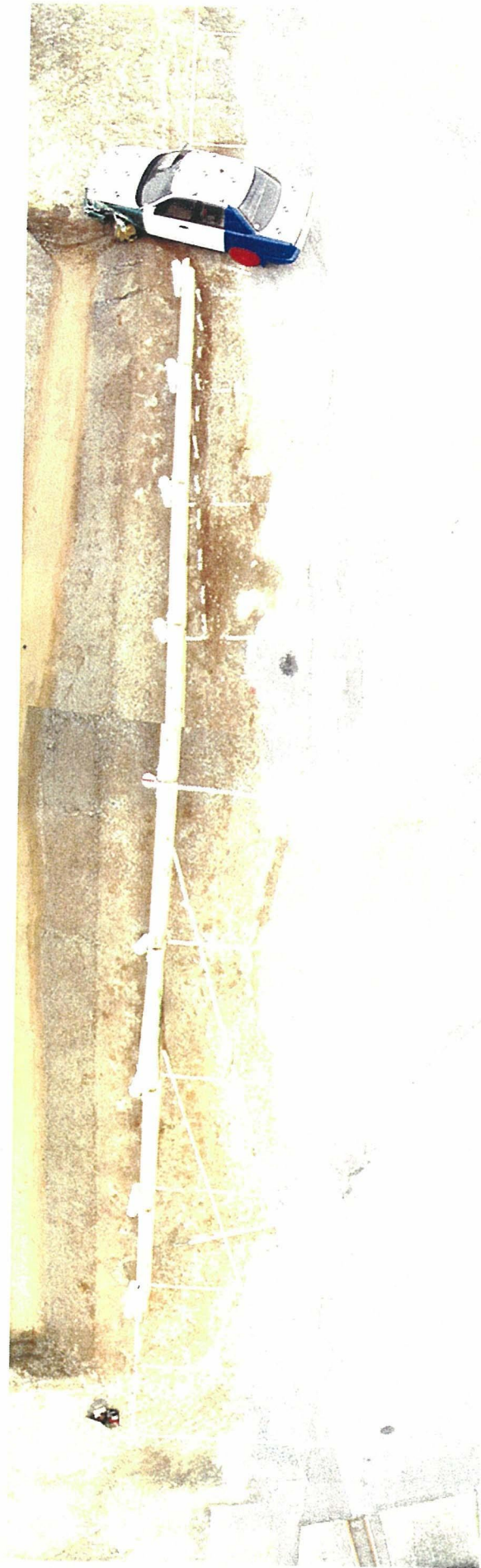


写真2-4 車両の軌跡



写真 2 - 5
衝突前の防護柵



写真 2 - 6
衝突後の防護柵 (1)



写真 2 - 7
衝突後の防護柵 (2)



写真 2 - 8 車両の損傷状況 (1)



写真 2 - 9 車両の損傷状況 (2)



写真 2 - 1 0 車両の損傷状況 (3)

日本木材加工技術協会

製木で実験衝突車両 防護柵の安全性確認

新たな木材需要拡大へ

は、このほど茨城県つくば
日本木材加工技術協会



市の国土技術政策総合研究所で木製防護柵の衝突実験（写真）を実施、安全性の確認を行い、車両衝突実験

の結果、すべての安全基準を満たしていることを確認した。

◇ この実験はさきごろ、国土技術政策総合研究所で実施されたもの。B種（自動車道）の防護柵（ガードレール）としての安全性を確認するため、乗用車を速度60^{km/h}、角度20度で防護柵に衝突させた際の乗務員の安全性能として「車両

の受ける加速度が90 m/s、10 m/s未満であること」などの基準をクリアしていることを確認した。これにより、自動車道での木製防護柵の設置が可能になり、新たな木材需要の拡大につながるものと期待される。大型貨物車の衝突実験は3月に実施済みで安全性を確認している。

今回確認された木製防護柵の仕様は、直径200^{mm}の杉材で丸太を加工したものの。支柱は鋼製と同様、接着部、部品等は、加工技術協会の小委員会（委員長・神谷文夫森林総研構造利用領域長）が作成した。

3. 木製遮音壁

1) 音響実験及び劣化調査

(1) 実施内容

本年度の木製遮音壁に関する活動は、平成13年度に作成・設置した大分県臼杵市の遮音壁の騒音測定・劣化調査（設置後1年6ヶ月）およびその同型パネルに吸音材を挿入し吸音率の測定を行った。

1) 大分県臼杵市の遮音壁の騒音測定及び劣化調査

大分県臼杵市の東九州自動車道臼杵インターチェンジへの取付区間に設置した42mの木製遮音壁において、設置から1年6ヶ月後（平成14年2月設置）である平成15年9月12日に騒音測定および腐朽、虫害、変色、変形に関して目視による調査を行った。

2) ウレタンフォーム挿入パネルの吸音率測定

大分県臼杵市に設置した物と同型のパネルにおいて、背後空気層部にウレタンフォームを挿入し、株式会社小野測器にて残響室法吸音率を測定した。

(2) 結果及び考察

1) 大分県臼杵市の遮音壁の騒音測定および劣化調査

騒音測定の結果を表3-1～表3-3に示した。騒音レベルは得られた測定値をJIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法に従って統計処理を行い、騒音レベルの中央値、90%レンジの下端と上端を算出し、これまでの測定結果も併せて示した。図3-1には遮音壁のあるところとないところでの騒音レベルの累積度数曲線を示した。この結果これまでの測定結果と比較して、大きな差は認められなかった。また、遮音壁なしの地点と遮音壁直後の地点とで比較して、騒音レベルの中央値と90%レンジの下端で約5dB、騒音レベル90%レンジの上端と等価騒音レベル、最大騒音レベルで約10dB減少しており、遮音性能は良好であった。

表3-1 遮音壁直後での騒音レベル

測定日	騒音レベル	等価騒音レベル (5分)	最大騒音レベル (5分)	交通量 (台/5分)
H14年 3月 8日	48(44, 53)	52.2	62.6	13
H14年11月 6日	42(37, 54)	49.1	61.6	10
H15年 9月12日	50(46, 56)	52.2	61.9	6

表3-2 遮音壁から6.5mでの騒音レベル

測定日	騒音レベル	等価騒音レベル (5分)	最大騒音レベル (5分)	交通量 (台/5分)
H14年 3月 8日	45(40, 51)	47.6	58.3	10
H14年11月 6日	40(35, 48)	44.9	67.9	13
H15年 9月12日	56(54, 61)	56.6	64.0	10

表3-3 遮音壁の無い場所での騒音レベル

測定日	騒音レベル	等価騒音レベル (5分)	最大騒音レベル (5分)	交通量 (台/5分)
H14年11月 6日	55(51, 69)	61.3	74.6	19

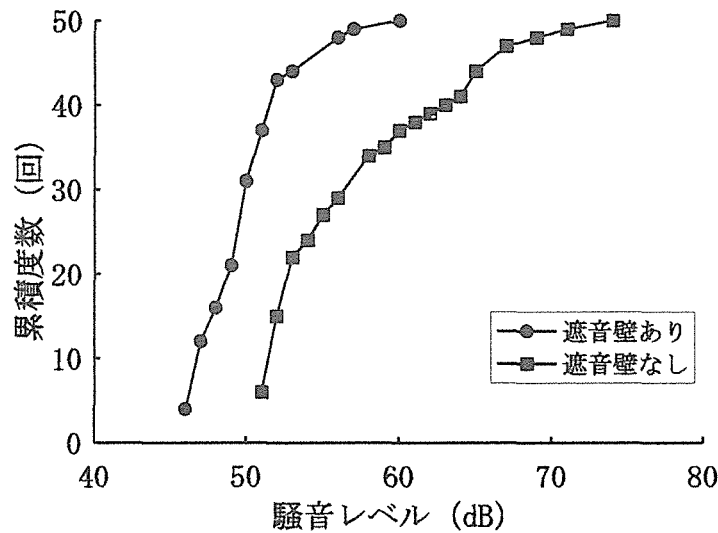


図3-1 遮音壁の効果

前面、背面ともに紫外線による変色、経年変化による色落ちが見られ、設置直後と比較すると全体的につやが落ち、白っぽくなっていることが認められた(写真3-1)。また、変色菌によるものと思われる黒ずんだ変色が遮音壁下部に認められた。遮音壁下部は雨が降った際、上部と比較して乾きにくいことからこれらの変色が起きたと考えられる。腐朽、虫害、反りやねじれ等の変形は認められなかったが、下部に割れが認められた。これは材料の乾燥によるものと考えられる。そのほか収縮によると思われる隙間が認められた。



写真3-1 遮音壁の外観

パネル2枚（パネル1枚あたりのスリット個数は400Hz対応が9個、1000Hz対応が10個）の前面のスリット幅をメンテナンスの前と後にノギスを用いて測定し、測定値の平均値を求めた結果を平成14年の測定と併せて表3-4に示した（表の括弧中にはスリット幅の最小値，最大値）。前回測定値と比較して大きな差は見られなかった。しかし、設計値より約1mm広がっていることがわかる。これは材料の乾燥に伴う収縮のためと考えられる。スリット幅が1mm大きくなると、計算上、吸音周波数は400Hz、1000Hzともに約50Hz上がることになる。現時点では大きな影響はないと考えられるが、今後さらに材料が乾燥しスリット幅が広がる可能性はある。よって今後の対策としては、材料の収縮によるスリット幅の広がりを考慮に入れて、設計を行う必要がある。

表3-4 遮音壁のスリット幅の変化

	400Hzスリット	1000Hzスリット
設計	4	10
H14年11月 6日	5.1 (4.2, 6.3)	11.3 (10.4, 12.3)
H15年 9月12日	4.6 (3.9, 5.5)	11.3 (10.3, 13.4)

単位 mm

さらに、腐朽を防ぐ方法として、遮音壁天端部に笠木とよばれる壁体保護物を取り付ける方法があり、笠木を取り付けることで雨よけとなり耐久性の向上につながり、また遮音性能も向上できると考えられるので、検討の必要がある。

2) ウレタンフォーム挿入パネルの吸音率測定

臼杵型パネルに吸音材を挿入することで全体的に吸音率は上昇し、特に1000Hzでは吸音材の効果が顕著に表れた。これは今回使用したウレタンフォームが1000Hz以上の範囲で高い吸音特性がある、という特徴を持っているためと考えられる。しかし、道路公団の基準には吸音性能が未だ少し不足しており、吸音構造の密度の検討や高性能の吸音材料の使用などさらなる改良が必要である。

(安藤恵介)

2) 燃焼試験

(1) 目的

道路施設として設置されるが、道路のり面の火災（低木や雑草の火災）に対して火災を助長することの無いような性能を有するか否かを明らかにするもので、車両火災、建築物火災に伴う影響は評価しない。日本道路公団の木製遮音壁技術指針（平成 15 年）に「耐火性については、試験施工において耐火試験を行った結果、100mm 程度の厚さがあれば一定の耐火性を確保できることが確認されている。」とあるが、性能試験方法、評価方法、評価基準の記載は無い。

(2) 試験方法および試験体

群馬県（林業振興課、林業試験場）が実施した旧西ドイツの燃焼試験（道路遮音壁導入指針（ZTV-Lsw88）：1988）に準拠した。

火源（燃料）は鉄カゴ（縦横 300×幅 200mm）に入れたヨーロッパトウヒ 600g のカンナ屑（くず）および鉄カゴ下にメチルアルコール 50ml を含んだ繊維版（JIS A5905 相当品、10×10×300mm）3本で、これに点火した（写真3-2）。試験体の重ね合わせ部分に熱電対を挿入し表面での火炎の延焼時間、燃焼時間などを計測した。試験体の樹種はスギ（表3-5）、断面 100×100 mmの角材 20本を縦 2,000 mm高さに横積みし壁を構成した。固定用に径 10 mmの通しボルト2本、両側面は木材で固定した。温度計測位置は横方向に重ね合わせた材の接合部に熱電対（JIS C1602 のkタイプ）を裏面から挿入し加熱側表面の温度変化（火炎伝播）を計測した（図3-8）。

(3) 評価項目

評価は旧西ドイツ試験では、燃料の燃焼終了後2分以内に試験材での火炎が消えること、火炎の貫通がないこと、であるが、ここでは裏面への燃え抜け、燃料燃焼終了後の火災継続の有無および発熱量について値を得た。

(4) 考察

無加工材では最下層材の最高温度が 700℃近くであるが、順次上方の温度は低くなる。また、無加工材の最下層では燃焼継続が 13 分間、火炎は表面に沿って上方に展開するが火源の燃焼時間に一致していることから、燃焼拡大は表層だけに限定したことが判断できる。炭化層も温度上昇した部位に一致して形成される。材の接する部分の燃え込みが確認できる高さは 500 mmで、それ以上は認められない（図3-2）。

溝加工材は最下層材の溝内部温度が上昇し継続することから、火源からの燃焼は溝の横方向に進展し燃焼が長くなっている。これら最下層の溝内部の燃焼時間が長いことから火

炎の影響による炭化層は上方に 700 mm高さへ及ぶことが明らかとなったが、上方の溝内部燃焼を助長することはない。また、溝内部の炭化層は7mmで溝内部での燃焼時間が長いことを裏付けている（図3-3、図3-4、写真3-3、図3-8）。

燃焼継続時間と燃焼拡大の判断に関して、図3-5、3-6、3-7、表3-6に示す総発熱量(MJ)、発熱速度(KW)は約20分間で火源の有炎燃焼が終了したことを示し、遮音壁の燃焼を継続しないことを示している。火源単独では15分間の燃焼であるが、遮音壁への着火があるために5分間の延長であったことを示している。

(5) 結論

表面無加工材では火炎は壁面に沿って上昇するが焼損は小さく火災を助長することはない。溝加工材は溝内での炭化焼損はあるが、火炎は溝に沿って横方向に拡大するために上方への影響は小さく、火災の助長はない。また、裏面への影響は全く無い。

スギ試験材の含水率の影響（含水率の高い天然乾燥（自然乾燥）材と低い人工乾燥材）は無く、いずれも火炎は自消し、火災拡大（遮音壁面での展炎、燃焼持続）に影響することはない。
(上杉三郎)

表3-5 スギの表面平均含水率（%）

スギ	No.1 無加工材	38.6%（自然乾燥）
	No.2 溝加工材	39.0%（自然乾燥）
	No.3 溝加工材	12.5%（人工乾燥）

表3-6 燃焼継続時間、総発熱量、残炎時間

	燃焼時間 ¹⁾	総発熱量 ²⁾	最大発熱速度 ³⁾	残炎残存 ¹⁾	最高温度 ⁴⁾
メチルアルコール	10	31.7	70.2 (5.2) ¹⁾	0	…
火源	15	8.6	32.0 (3.4) ¹⁾	0	…
No.1 無加工材	24	18.6	27.8 (1.6) ¹⁾	28	678(10.0) ¹⁾
No.2 溝加工材	26	15.9	25.8 (4.0) ¹⁾	30	456(25.5) ¹⁾
No.3 溝加工材	33	14.5	22.7 (6.6) ¹⁾	40	371(26.0) ¹⁾

1) : 分、2) : MJ、3) : KW、4) : °C

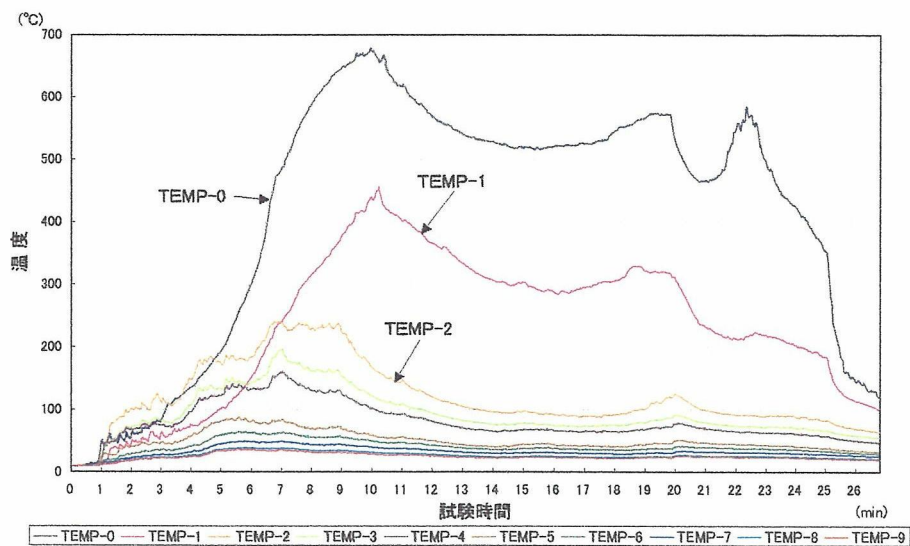


图 3-2 表面温度性状 (No.1 無加工壁)

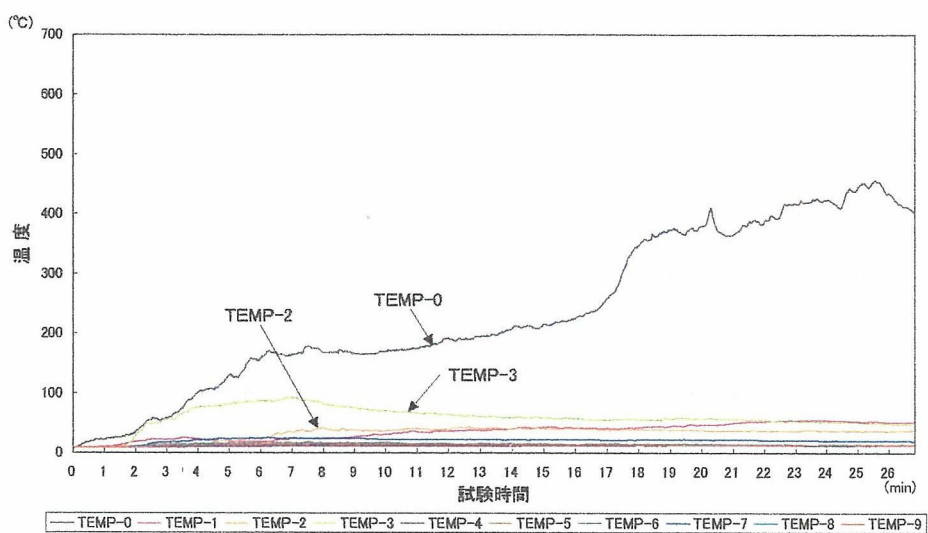


图 3-3 表面温度性状 (No.2 溝加工壁)

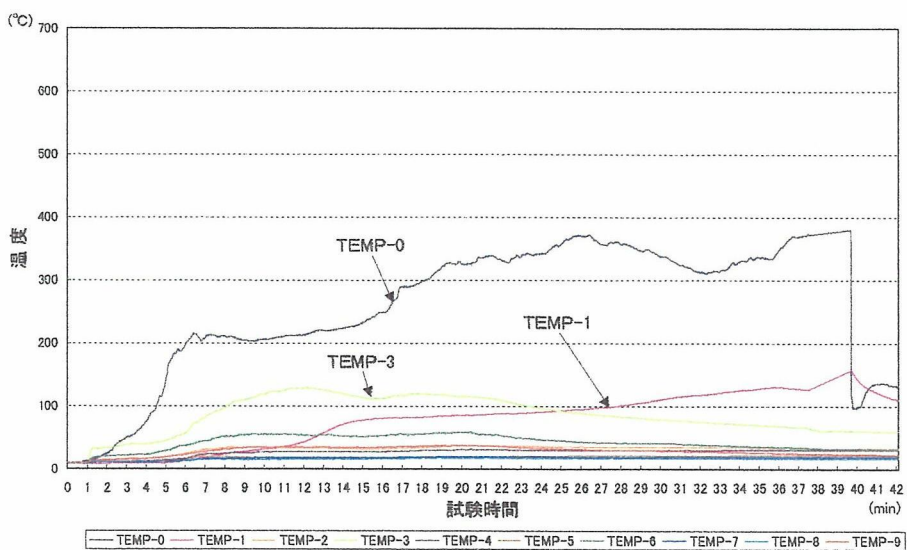


图 3-4 表面温度性状 (No.3 溝加工壁)

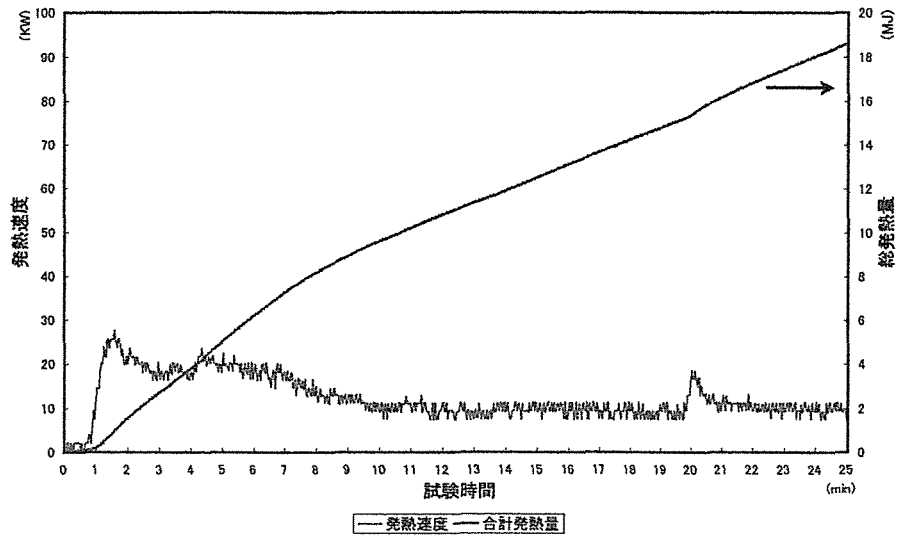


図 3-5 発熱量 (No.1 無加工壁) グラフ

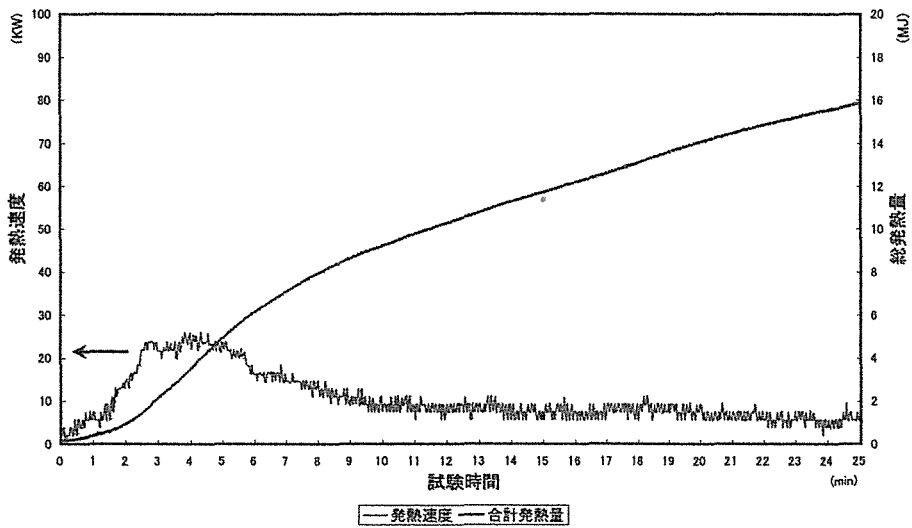


図 3-6 発熱量 (No.2 溝加工壁) グラフ

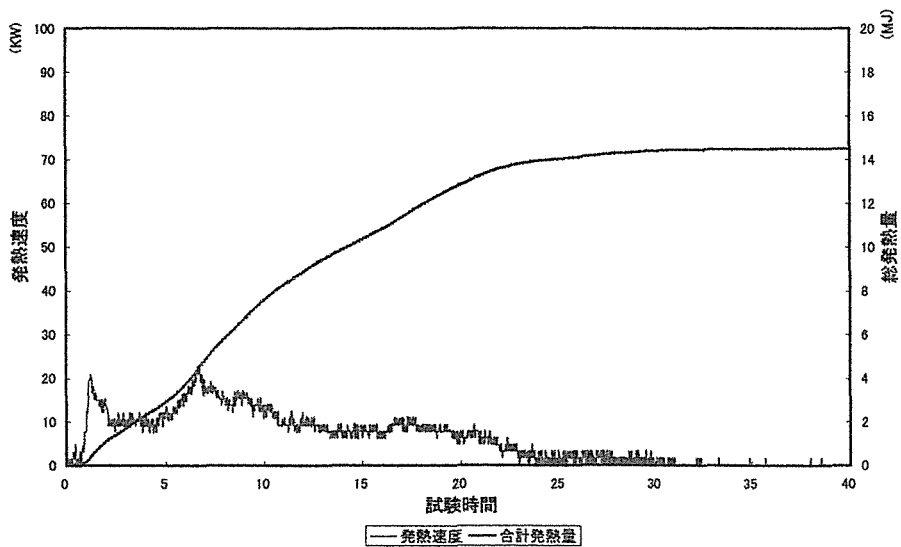


図 3-7 発熱量 (No.3 溝加工) グラフ

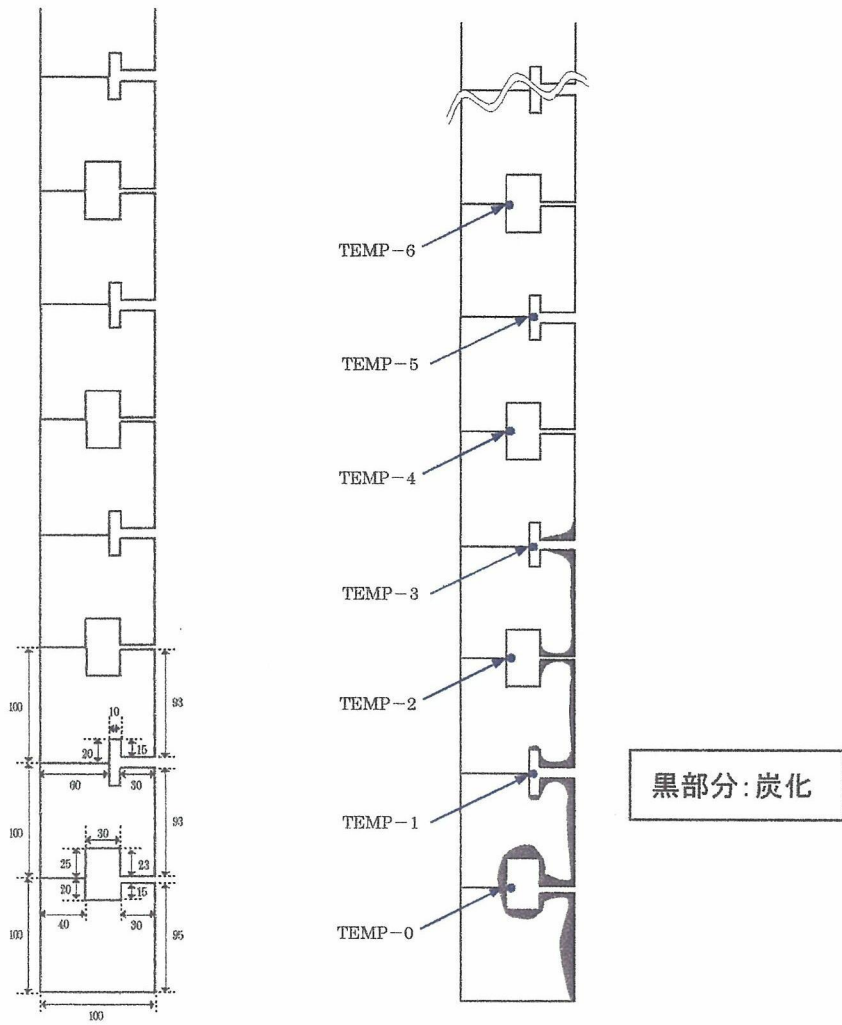


図 3 - 8 試験体 (横断面)



写真3-2 燃焼試験(1)



写真3-3 燃焼試験(2)

第2部 木製歩行者自転車用柵・木製車両用防護柵・木製遮音壁の設計指針

I. 木製歩行者自転車用柵

1. 概要

歩行者自転車用柵は、歩行者が車道を横断することを防止する目的（横断防止柵）、又は歩行者が路外の危険な場所へ転落することを防止するために設置する。したがって、強度計算上は車両が衝突することを想定したものではなく、人が腰掛ける場合や自転車が衝突する場合を基準として設定される。

また、耐久性上は、木材にとって劣化環境が極めて厳しいことから、構造上の配慮のほか薬剤による保存処理が不可欠となる。

なお、ここで定める内容は、日本道路協会が制定した「防護柵の設置基準」に準拠する。

2. 性能試験

木製歩行者自転車用柵の性能は、構造上の強度は、構造計算によって求めることができるので、耐久性試験が最も重要な項目となる。耐久性については、今回の試験の結果及び従来知見から構造上の配慮及び薬品処理の要求品質を定めることになる。これについての詳細は、IV耐久設計で記述する。

3. 設計・製造・施工

3.1 設計

3.1.1 強度

設計強度は、「防護柵の設置基準」のP種による。同規準では、表I-1のように規定されている。

表 I-1 歩行者自転車用柵の強度

種別	設計強度	設置目的	備考
P種	垂直荷重 590N/m(60kgf/m)以上	転落防止	荷重は、防護柵の最上部に作用するものとし、部材の耐力を許容限度として設計することができる。
	水平荷重 390N/m(40kgf/m)以上	横断防止	

このときの、木材の各樹種ごとの基準強度は、建築基準法施行令に定める許容応力度を用いる。

3.1.2 構造及び材料

3.1.2.1 防護柵高さ

- 1) 歩行者等の転落防止を目的として設置する柵の路面から柵面の上端までの高さは 110cm を標準とする。
- 2) 歩行者等の横断防止などを目的として設置する柵の路面から柵面の上端までの高さは 70 から 80cm を標準とする。

3.1.2.2 形状

歩行者自転車用防護柵は、ボルトなどの突起物、部材の継ぎ目などにより歩行者等に危害を及ぼすことのない形状とするなど、歩行者等に配慮した形状を有していること。

3.1.2.3 材料

木材の品質は、特に指定するほかは、針葉樹の構造用製材の日本農林規格に定める 2 級以上とする。

3.2 製造

3.2.1 接合部の加工

接合部の加工は、組み立て後がたつきのないように適正な精度を保つように加工すること。

3.2.2 面取り

支柱の頭部には、適当な大きさの面取りを行う。

3.2.3 背割り

- 1) 原則として、全ての部材に背割りを施す。
- 2) 設置後、人が直接接触する可能性のある用途については、危険回避のために背割り部分にはカバーなどで保護をするか、面取りを施すこと。
- 3) 横架材の背割りは、設置したときに下面になるように加工する。
- 4) 支柱の背割りは、設置したときに後ろ側概ね 45 度の位置に加工する。但し、車道と歩道の境界に設置する場合は、背割りの位置が車道側になるように加工する。

3.2.4 表面の仕上げ

材料の表面は、人が直接接触した場合にトゲなどが刺さらないように平滑な仕上げとする。

3.2.5 塗装

必要に応じて、塗装を行う。塗料は、屋外用木材専用の浸透性タイプを使用することが望ましい。

3.3 施工

3.3.1 施工の精度

仕上がり高さは、各々の設計図書又は仕様書に示される高さの+3cm～-2cmの範囲内が確保されるようにすること。

3.3.2 基礎

- 1) 土工区間に設置する場合は、設置する地盤の形状、土質条件などを十分に調査した上で設置する。
- 2) 橋梁、高架などの構造物上に設置する場合は、設置する構造物の耐力を十分に調査した上で設置する。

3.3.3 柵間のすり抜け防止

- 1) 転落防止を目的として同一種別の防護柵を設置する場合は、原則として連続して設置する。
- 2) 異なる種別の柵を設置する必要がある場合は、柵と柵との間から歩行者等が容易にすり抜けないように、柵相互の間隔に留意して設置する。

3.3.4 合流部などの視認性確保

道路の合流部又は交差点などに設置する場合は、運転者が道路及び交通の状況を適切に確認できるよう、視線の妨げとならない設置を行う。

3.3.5 色彩

防護柵の色彩は、良好な景観形成に配慮した色彩とする。

3.3.6 積雪地域における対応

積雪地域において防護柵を設置する場合は、必要に応じて積雪による荷重を考慮して設置する。
(石田英生)

II. 木製車両用防護柵

1. 概要

1.1 木製車両用防護柵の設置基準と要求性能

旧建設省より道路局長通達により出されている日本道路協会編「防護柵の設置基準」は、道路管理者等（国、県、市町村、公団等）を対象に、防護柵を適正に設置するための技術的基準を示したものである。設置基準によると、「車両用防護柵」は2つの衝突試験により（ただし、鋼製防護柵のように性能が確認されている仕様の場合は部材試験に代えられる）、性能を確認することとなっている。

車両用防護柵には、用途によって路側用、分離帯用、歩車道境界用の種別があり、それぞれには、さらに強度（道路の種類や設置場所による）の種別がある。現在開発が行われている木製防護柵には、高速道路と自転車専用道路以外の道路（いわゆる一般道）の路側用で設計速度 60km/h 以上の B 種（一般に国道用）と、50km/h 以下の C 種（一般に県道用）の2つがあり、本事業では B 種を開発の対象とした。

合格すべき衝突試験は、表 II-1 に示すように、強度を確かめるために 25 トントラックを衝突させる条件 A 試験と、乗員の安全性を確かめるために 1 トン乗用車を衝突させる条件 B 試験である。

表 II-1 衝突条件と要求性能

衝突条件					要求性能		
条件	方法	防護柵種別	衝突速度 (km/h)	強度 (kJ)	各条件に対する要求性能 注)		条件A、Bに共通の要求性能
					支柱を土中に埋め込む場合	支柱をコンクリートに埋め込む場合	
条件 A	25トントラックを角度15度で衝突させる	B種	30以上	60以上	最大進入行程が1.1m以下	最大進入行程が0.3m以下	<ul style="list-style-type: none"> ・車両は横転しないこと ・強度速度は衝突速度の6割以上 ・離脱角度は衝突角度の6割以下 ・構成部材が大きく飛散しないこと
		C種	26以上	45以上			
条件 B	1トン乗用車を角度20度で衝突させる	B種及びC種	60		車両の受ける加速度が90m/sec ² 以下	車両の受ける加速度が120m/sec ² 以下	

注) たわみ性防護柵の場合

1.2 開発の方法

支柱は鋼製、横梁はスギ丸太とし、コンピュータシミュレーションにより、横梁の断面と弾性係数、接合部の剛性（横梁軸方向）、スパン（支柱間隔）などを変えてその影響

を調べながら、使用を決定した。また、接合部については、いくつかのディテール案を作成し、接合部分の静加力実験を行って、車両衝突時の接合部変形の様子から、段差などが小さく最も支障がないと考えられるものを採用した。

1.3 開発した木製車両用防護柵の概容

開発した防護柵は、一般的な鋼管支柱（間隔 2m）とスギ丸棒（直径 200mm）二本の横梁からなる防護柵である（図 II-1、2）。

2. 性能試験

試験結果を表 II-2~4、写真 II-1~6 に示す。

2.1 大型貨物車衝突試験（条件 A）の結果

1) 防護柵の損傷、車両の挙動、部材の飛散

大型貨物車が突破されない強度を有した。最大変位量は 292.6mm、残留変位量は 228mm であった。車両は横転、転覆することなく誘導された。部材の飛散はなかった。

2) 最大進入行程

最大進入行程は 34mm（車輪外側最大進入量よりタイヤ幅の方が大きいため）で、規定の「1.10m 以下」を満足した。

3) 離脱速度

衝突速度の 75.6% で、規定の「60% 以上」を満足した。

4) 離脱角度

衝突角度の 0% で、規定の「60% 以下」を満足した。

2.2 乗用車衝突試験（条件 B）の結果

1) 車両の挙動、部材の飛散

車両は横転、転覆することなく誘導された。部材の飛散はなかった。

2) 車両重心か速度

X、Y 方向それぞれ $73.4\text{m/s}^2/10\text{msec}$ 、 $66.0\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 、X、Y 合成 $79.0\text{m/s}^2/10\text{ms}$ で、規定の「 $90\text{m/s}^2/10\text{ms}$ 以下」を満足した。

3) 離脱速度

衝突速度の 60.4% で、規定の「60% 以上」を満足した。

4) 離脱角度

衝突角度の 0% で、規定の「60% 以下」を満足した。

3. 設計・製造・施工

3.1 本事業におけるコンピュータシミュレーションによる基本設計の経過

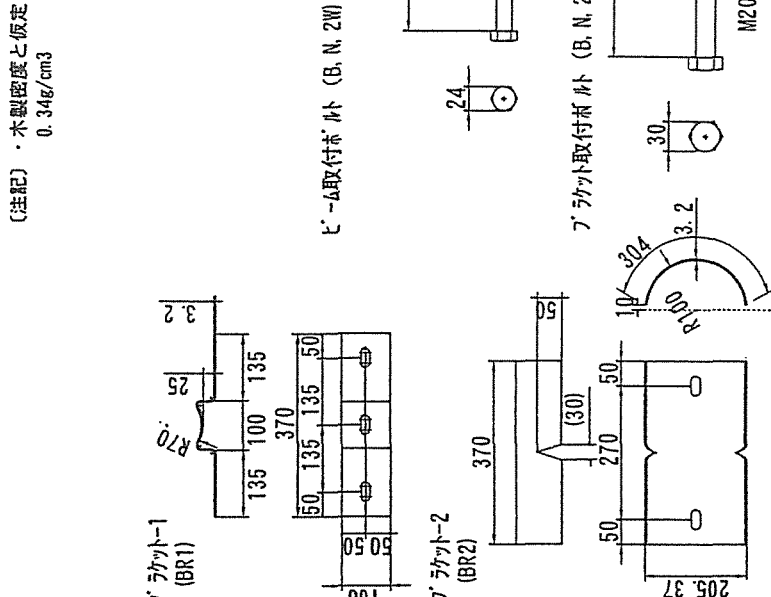
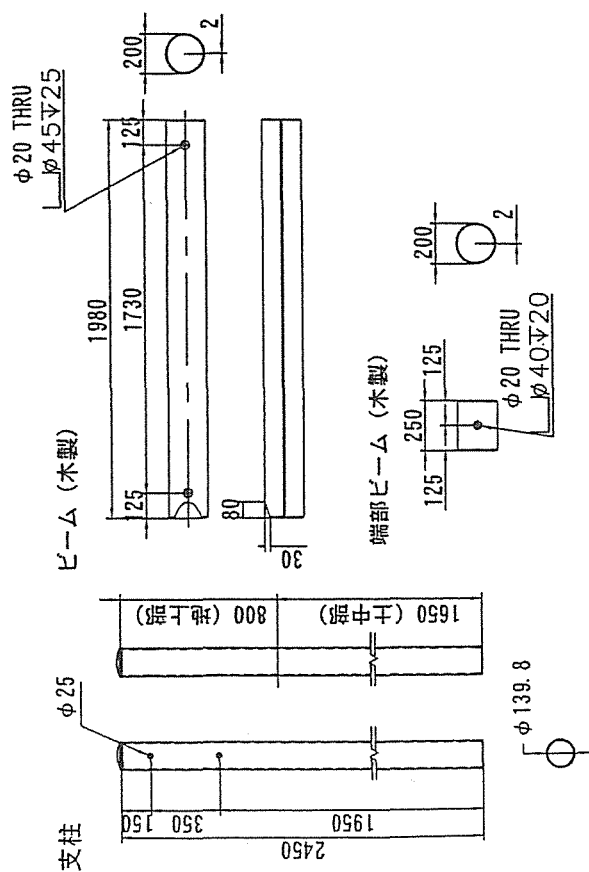
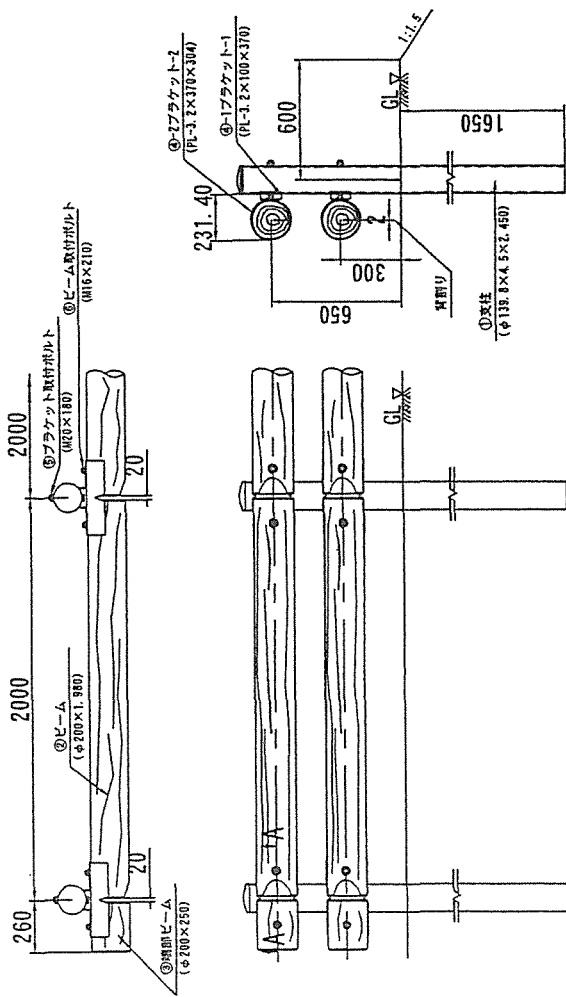
新たに木製車両用製防護柵を設計する場合に資するため、以下に、本事業で行ったコンピュータシミュレーションによる基本設計の方法、解析結果と実験結果の比較の概要を述べる。

部材一覧表

大梁(車)			28 m				
番号	部材名	形状寸法	材質	数量	質量(kg)	表面処理	備考
①	支柱	φ139.8×2450	STK400	36.75	14	514.5	塗装(白)
②	ビーム	φ200×1980	木製(杉・面伐材)	2	549.9		
③	ブランチ	φ200×230	木製(杉・面伐材)	4	10.08		
④-1	フック-1(BR1)	PL-3.2×100×370	SS400	2	29.12		塗装(白)
④-2	フック-2(BR2)	PL-3.2×370×304	SS400	2	75.9		塗装(白)
⑤	フック取付ボルト	M20×180(B,N,2W)	強度区分4.6	28	19.04		
⑥	ビーム取付ボルト	M16×210(B,N,2W)	強度区分4.6	56	22.4		
					合計(kg)	1221.24	

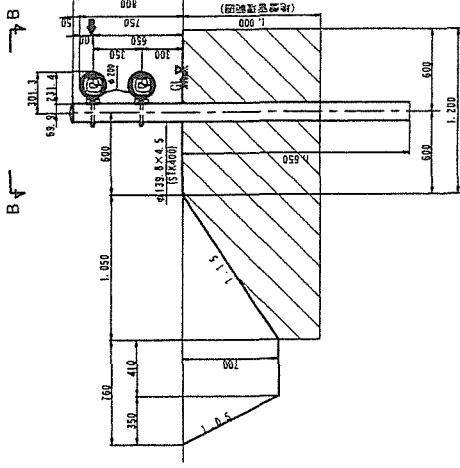
梁用爪			18 m					
番号	部材名	形状寸法	材質	数量	質量(kg)	表面処理	備考	
①	支柱	φ139.8×2450	STK400	9	36.75	9	331	塗装(白)
②	ビーム	φ200×1980	木製(杉・面伐材)	16	398.4			
③	ブランチ	φ200×230	木製(杉・面伐材)	4	10.08			
④-1	フック-1(BR1)	PL-3.2×100×370	SS400	18	18.72		塗装(白)	
④-2	フック-2(BR2)	PL-3.2×370×304	SS400	2.7	48.6		塗装(白)	
⑤	フック取付ボルト	M20×180(B,N,2W)	強度区分4.6	18	12.24			
⑥	ビーム取付ボルト	M16×210(B,N,2W)	強度区分4.6	36	14.4			
					合計(kg)	773.79		

(注記) ・木製密度と仮定
0.34g/cm³

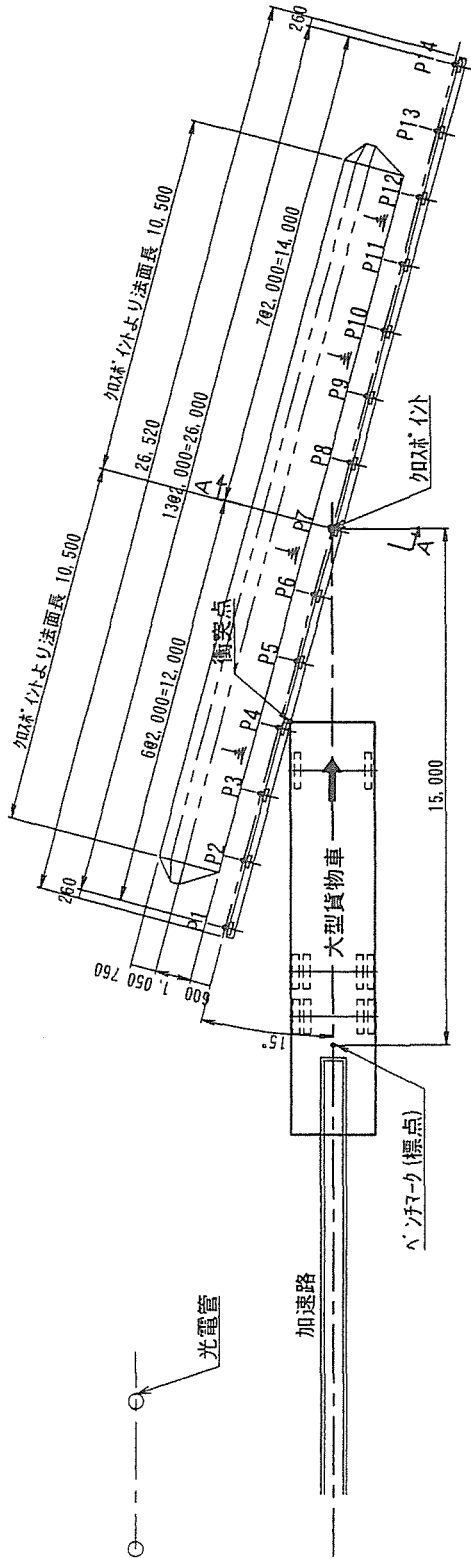


図II-1 開発した車両用防護柵

A-A



平面図



車両衝突付近詳細 (B-B)

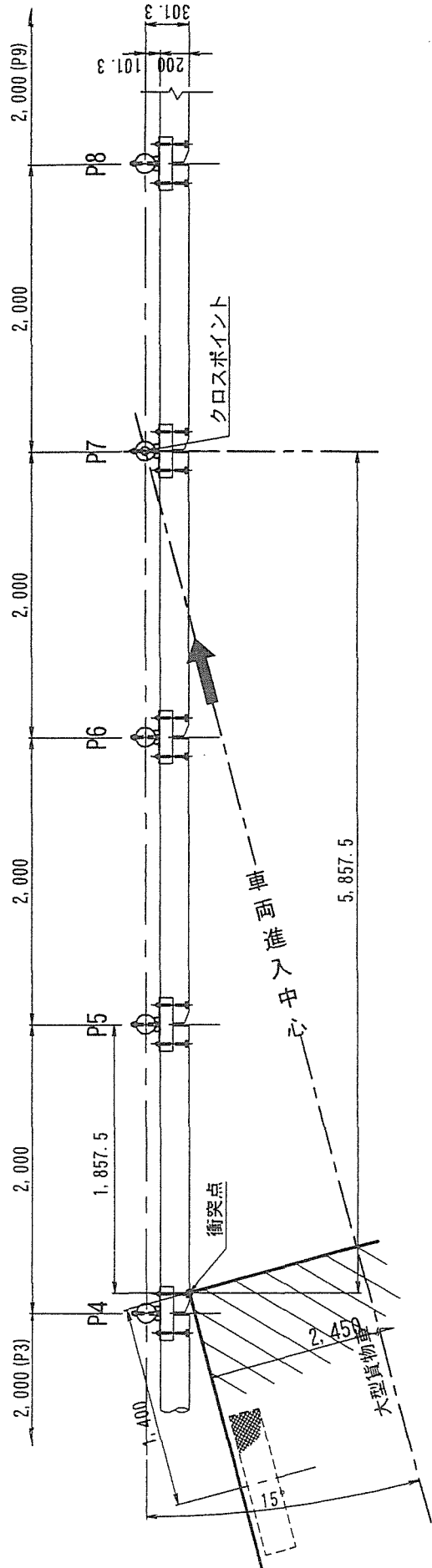


図 II-2 車両用防護柵の試験体設置状況

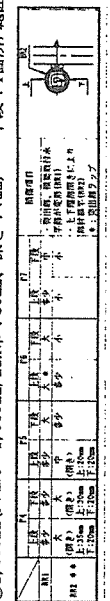
表II-2 車両用防護柵性能評価衝突試験条件

作成 平成15年12月10日

防護柵の名称	木製車両用防護柵B種			申請者名	(社)日本木材加工技術協会		
防護柵諸元							
種類	たわみ性防護柵	種別	B	適用箇所	路側用		
高さ	0.650m(上段横梁中心) 上下段横梁間隔:0.350m	材料	支柱:鋼管(STK400)、横梁:スギ(間伐材/群馬産) 上下段φ200 ブラケット(SS400)、ブラケット取付ボルトM20(区分:4・6) 横梁取付ボルトM16(区分:4・6)				
基本形式	ビーム型防護柵	最小設置長	衝突条件A:20m 衝突条件B:16m (誘導機能も考慮)	地盤条件	地盤強度:標準地盤		
備考	法肩距離:600mm、支柱埋込長さ:1,650mm 法勾配1:1.5 法高:0.70m						
衝突試験結果							
実施機関名	財団法人 土木研究センター	試験施設名	国土交通省 国土技術政策総合研究所 衝突実験施設	試験番号	土研セ衝 A:02-10(実験1) B:03-1(実験2)		
1. 試験条件							
衝突条件A(実験1) <試験日 平成15年3月27日>				衝突条件B(実験2) <試験日 平成15年8月28日>			
試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝撃度 (KJ)	車両重心 高さ(m)	試験車両 質量(t)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)
20.0 (20.0)	35.0 (35.1)	15.0 (15.7)	63.3 (69.6)	1.40 (車両総重量時)	1.0 (1.029)	60 (60.3)	20 (20.8)
地盤条件	衝突条件A:Nd値:平均18.0 (GL-0.1m~-1.7m) 衝突条件B:Nd値:平均23.5 (GL-0.1m~-1.7m)			基礎形式	支柱基礎(直接打ち込み)		
供試体長	衝突条件A:26m 衝突条件B:16m			施工方法	従来と同じ (杭打ち機で所定位置まで打設)		
備考	()内は実験結果を示す 仕様記号:WGr-B-2E						

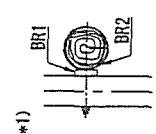
表 II-3 実験結果の総括 1/2 (大型貨物車)

実験番号 防護欄型式	実験条件及び結果		離脱角度 (度)	離脱速度 (km/h)	衝突速度 (km/h)	衝突角度 (度)	衝突度 (kJ)	衝突角及び 真輪浮き上がり量 (度)(+)	衝突車の最大 傾斜角及び 真輪浮き上がり量 (度)(+)	最大進入行程 及び 防護欄接触長 (mm)	防護欄の最大変位量 (mm)		支柱の最大 変位量 (Y方向) (mm)	防護欄最大応力											
	質量 (t)	衝突速度 (km/h)									衝突角度 (度)	衝突度 (kJ)		Y方向	X方向	Y方向	Y方向	上段(斜45度) 前面	下段(斜45度) 前面	上段(斜45度) 後面	下段(斜45度) 後面	上部 (F1)	下部-上部 (F2)	下部 (ΣF)	
実験1 木製車両用防護欄 (WR-B-2E) 大型貨物車 土研と節 02-10 H15.3.27(木) 気温: 12°C 晴れ	20.0 (20.0)	35.0 (35.1)	15 (15.7)	63.3 (69.6)	0度 (防護欄に 当たって離脱)	0度	0	前 +6.2 後 -10.6	車輪外側 最大進入量 (上段損傷、 前面より) 前輪: 181 (P5) 後輪: 0 重心位置 -4.0 車輪浮き上り量 * * * (cm) 左 右 前輪 -0 後輪 -0 後輪 -0	269 (P5) 33 (P5)	上段 228 (P5) 下段 160 (P5)	※ DF1 152 (P4)	MT1-1 (B4) 2,474μ ★ -1,846μ (0.2600sec) (Max直前) (-1,980μ)	MT1-2 (B4) 2,479μ (-148μ) (151μ)	MB1-1 (B4) 2,479μ (-148μ)	MB1-2 (B4) -2,618μ (151μ)	RI-1 (P4) 816μ [29.6 kN]	RI (P4) -252μ [-9.15 kN]	RI-2 (P4) 938μ [34.1 kN]	R2-1 (P5) 791μ [28.7 kN]	R2 (P5) 1,087μ [39.5 kN]	R2-2 (P5) 1,579μ [57.4 kN]	R3-1 (P6) 777μ [28.2 kN]	R3 (P6) 417μ [15.1 kN]	R3-2 (P6) 1,016μ [36.9 kN]
損傷 状況	<p>(外廻り) ・バンパー: 中心から左へ250mmの位置から端部背面へ350mm曲がり有り、破断なし ・フロン(ガラス) - 破断なし ・その他: 左ヘッドライト、ウインドウ破損、およびガラス変形</p> <p>(足廻り) ・左前輪: ステアリング内側へ潰れ(全周)ノボリにあり(8/8本)、内5/8本に木片付着/ノボリにあり(1/2L)有り、変形なし ・左後輪: 後前輪付回面に接触(対面に2箇所... 2本接触)有り、木片に接触なし ・前後輪: ノボリなし ・接触なし</p> <p>(荷台内) ・損傷なし</p> <p>(自力走行) ・停車時エンジン作動状況に有り</p> <p>(支柱) ・接触部: 頂部左前車体接触1箇所(P6: 前面から背面へ40mm)有り ・地盤部: 支柱背面部に3箇所(P4~P6)破り上がりおよび鉄条のひびわれ有り、max: P5、ひびわれ鉄条8本/長さ: 左右500mm程度/背面: 600(総厚)+250mm(法面) ・地盤内の曲がり3本(P4~P6)有り、max(P5) 折れ点: GL-380mm/折れ角: 10.4度/折れ点 平均値: 330mm(GL-229~GL-390mm)</p> <p>(横梁) ・可視的残存変形区画8a(T、Z方向): P3~P7有り ・最大変位量 Y方向: 228mm(P5) Z方向上段: 40mm(P4上上がり)、下段: -112mm(P5下がり) ・上下段に「まくれ」または「めくれ」有り、破断なし ・上段: 5箇所/幅面①330mm(P4+1,470~1,800mm/max巾: 60mm、深さ: 4mm)、②1,700mm(P4±0~1,700mm/max巾: 70mm、深さ: 6mm)、 ③2,000mm(P5±0~P6±0/max巾: 60mm、深さ: 8mm)、④2,000mm(P6±0~P7±0/max巾: 50mm、深さ: 6mm)、⑤1,000mm(P7±0~1,000mm/max巾: 30mm、深さ: 7mm) 下段: 1箇所/幅面①1,170mm(P4+500~1,670mm/max巾: 50mm、深さ: 5mm) ・継手部段差2箇所(P4、P7)有り ・継手部段差2箇所(P4~P7)有り、破断なし ・上下段変形箇所(P4~P7)有り、破断なし ・継手部、横梁切欠け端部曲がり、欠損なし</p>																								
備考	<p>1. 実験条件の項の () 内は結果を示す</p> <p>2. X、Y方向はそれぞれ防護欄延長方向、直角方向を示す</p> <p>3. ★印: ひずみゲージ破断、() 内は前後面のひずみの相関より参考推定値 (8. 2項の防護欄に作用した最大応力を参照)</p> <p>4. 支柱(せん断力)部位は各損傷からの水平力(せん断力)を示す: 上段(F1)、下段(F2)、上下段の合計(ΣF)、ただしせん断力(F2)、即ちせん断力(F2)を示す。 [] 内はせん断力を示す。校正係数: 36.321 (N/μ)</p>																								



表II-3 実験結果の総括 2/2 (乗用車)

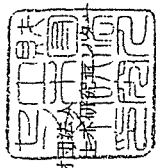
実験番号 防護箱型式	実験条件及び結果		離脱角度 (度)	離脱速度 (km/h)	衝突車両の最大 傾斜角及び 車輪浮き上がり量	防護箱接触長 (mm)	最大進入行程 (mm)	車両重心加速度 (SP:0.5ms ²)	防護箱の 最大飛置変位 (mm)	損傷状況	
	質量 (t)	衝突速度 (km/h)								衝突角度 (度)	衝突速度 (km/h)
実験2 木製車両用防護箱 (N01-B-2E)	1.0 (1.029)	60.0 (60.3)	20 (20.8)	16.25 (18.20)	* 道路側へ (度)(+) 前 端 + 10.6 後 端 0 重心位置 + 8.5 * 高速写真で解析 道路傾斜が(+)	3,875mm { P3+200~ P5+75 }	車輪外側 最大進入量 (主要構梁、前面 より)	① 原波形 (m/s ²) X 219.2 Y 262.5 Z 206.8 合成 278.5 ② 分析波形 (m/s ² /10ms) X 73.4 Y 66.0 Z 39.0 合成 79.0	(支柱) ・接触面2箇所(P3,P4)に地盤の硬り上がりおよび載荷のひびわれ有りなし (鋼梁) ・上下段接触面によるめくれそれぞれ箇所坑有るもひびわれなし 上段、幅員:200mm (P3+700mm~900mm)、巾及び深さ:15mm/7mm 下段、幅員:900mm (P3+350mm~1,250mm)、巾及び深さ:140mm/7mm ・下段鋼梁(R3')のねれ有るもブラケットからの取り外れなし 車輪の乗り上げによる時計廻りの捻れ(90度)による箇所有り ・下段ブラケット(RH2)の端部変形による、下段鋼梁の損傷有るもひびわれおよび欠損なし ブラケットの端部への食い込み[R3' (P4左)]:深さ10mm 高部表面めくれ幅員:350mm (P4+0mm~350mm)巾及び深さ:70mm/7mm [R4' (P4右)] ・損傷取付ボルト部穴、変形有るもボルトの引き抜け、穴のほしあき部のひびわれも認められなし ボルトの頭部の食い込み[R3' (P3)]:12mm、P4側:7mm ブラケット側(鋼梁背面)ボルト側面の食い込み P3側:結点側に10mm、P4側結点側に:4mm ・上下段間、下段鋼梁に段差1箇所(Y方向)など有るも、取り外れなし 加え幅員:6mm (P2~P5)、最大値:上段:45mm (P4右)、下段:122mm (P4左)、段差重:166mm (R2とR3'間) (ブラケット(RR))	(外周) ・スカート一部破断(中心より60mm)するも飛散なし、パンパ―損傷軽微 ・フェンダー左側から左側ドア先端まで削み、一部後部へめくれ(巾:100mm、長さ:500mm)有るも取り外れ飛散なし フェンダー折損位置中心から左側へ350mmから曲がり、最大凹み深さ:230mm 凹み高さ:6L+550mm~700mm ・ボンネット左先端部内側へ向斜めまくれ有り(車体方向:100mm、直角方向200mm) ・左側ヘッドランプ、ウインカーランプ破損(足廻り) ・左前輪後方へ変形165mm(2,430mm→2,245mm) ・左前輪タイヤに3箇所縦方向(間隔:50mm/度)大長さ:70mm)の割け有り ・タイヤホイールより取り外れ ・ホイール外端外側にまくれ(L=200mm、凹み重:70mm) ・停車時左前輪のみ逆"ハ"の字形の状態で停車 ・左前輪サスペンションの変形(車室内) ・変形、損傷なし (自力走行) ・停車時エンジン作動不可、サスペンション変形のため走行不可	
乗用車 土研ト野 03-1 H15.8.28(木) 気温:28℃ 曇り				36.4km/h *高速写真で解析 道路傾斜が(+)	車輪浮き上がり量 ** (cm) 左 右 前 輪 31.0 0 後 輪 36.2 0 **ビデオおよび 高速写真で解析		最大進入行程 前 輪 -13.6 (P3+1,000mm)	(下段鋼梁) 149 (P3)	(支柱) ・2箇所(P3、P4)残留変形有るも平切れ、取り外れなし RH2、上下両端部最大凹み重 上段鋼梁 P3:8mm(左上)、P4:15mm(右上) 下段鋼梁 P4:40mm(右上) RH1、下段鋼梁右上側角部に1箇所(P3)切り欠け(30mm)有り 塑性変形が最も大きい箇所(P4下段)には切り欠けなし RH1とRH2の相対ズレは2箇所有るも鋼材に欠損なし 最大相対ズレ幅、P3下段:20mm、P4上段:8mm (RH2が進行方向へズレ) (部材取付ボルト) ・損傷取付ボルト2箇所(RH3'の左右)変形有るも破断なし ・RH3'のP3側が結点側へ、P4側が結点側へ多少の曲がり有り (他 装) ・支柱路肩背面に2箇所(P3、P4)地盤の盛り上がりおよび鉄条のひびわれ有り ・最大ひびわれ長さ(P4):支柱横方向300mm、背面方向250mm		



備考
1. 実験条件の()内は結果を示す
2. X、Y方向はそれぞれ防護箱延長方向、直角方向を示す

表Ⅱ-4 車両用防護柵性能評価試験結果総括表

作成 平成 15 年 12 月 10 日

防護柵の名称	木製車両用防護柵B種	申請者名	社団法人 日本木材加工技術協会
防護柵諸元	種別	適用箇所	路側用
高さ	たわみ性防護柵 0.650m(上段横梁中心) 上下段横梁間隔: 0.350m	支柱:鋼管(STK400)、横梁:スギ(間伐材(群馬産))上下 径φ200 ブラケット(SS400)、ブラケット取付ボルト M20(区 分:4・6) 横梁取付ボルト M16(区分:4・6)	
基本形式	ビーム型防護柵	最小設置長	地盤強度:標準地盤
備考	法厚距離:600mm、支柱埋込長さ:1,650mm 法勾配 1:1.5 法幅:0.70m	衝突条件 A:20m (誘導機能も考慮)	
衝突試験結果			
実施機関名		試験施設名	国土交通省 国土技術政策総合研究所 衝突実験施設
		試験番号	土研セ衝 A:02-10(実験1) B:03-1(実験2)
1. 試験条件			
	衝突条件 A(実験1) <試験日 平成 15 年 3 月 27 日 >	衝突条件 B(実験2) <試験日 平成 15 年 8 月 28 日 >	
試験車両 質量(t) 20.0 (20.0)	衝突速度 (km/h) 35.0 (35.1)	衝突角度 (度) 15.0 (15.7)	衝突速度 (km/h) 60 (60.3)
地盤条件	衝突条件 A: Nd 値: 平均 18.0 (GL-0.1m~1.7m)	衝突条件 B: Nd 値: 平均 23.5 (GL-0.1m~1.7m)	衝突角度 (度) 20 (20.8)
供試体長	衝突条件 A: 26m 衝突条件 B: 16m	基礎形式	支柱基礎(直打ち込み)
備考	()内は実験結果を示す 仕線記号: WGr-B-2E	施工方法	従来と同じ (杭打ち機で所定位置まで打設)

2. 試験結果		試験結果
測定項目	条件区分	計測項目
防護柵の強度性能	A	防護柵の損傷
車両の逸脱防止性能	A	最大進入行程
車両の安全性	B	車両重心加速度
車両の誘導性能	共通	車両の挙動
	共通	離脱速度
	共通	離脱角度
構成部材の飛散防止性能	共通	部材の飛散状況
備考		

試験結果

- 大型貨物車が突破しない強度を有する。
 - ・ 横梁表面上のめくれ、支柱およびブラケットの一部に塑性変形が見られたものの、主要構成部材間の取り外れ等はなく連結保持されている。
 - ・ 防護柵の最大変位量は 292.6mm(最大殘留変位量: 228mm)である。
- 車両の進入行程が 1.10m 以下である。
 - ・ 最大進入行程は 34mm(車輪外側最大進入量よりタイヤ巾が大きい)で「性能規定値」以下である。
- 10ms 移動平均値が 90m/s²/10ms 未満である。
 - X: 73.4m/s²/10ms
 - Y: 66.0m/s²/10ms
 - (参考 XY: 79.0m/s²/10ms)
- 車両は防護柵に衝突後、横転などを生じない。
 - ・ 車両は防護柵衝突後、横転・転覆することなく誘導されている。
- 離脱速度は衝突速度の 6 割以上である。
 - ・ 衝突条件 A: 衝突速度の 75.5% (26.5km/h)
 - ・ 衝突条件 B: 衝突速度の 60.4% (36.4km/h)
- 離脱角度は衝突角度の 6 割以下である。
 - ・ 衝突条件 A: 衝突角度の 0% (0 度)
 - ・ 衝突条件 B: 衝突角度の 0% (0 度)
- 車両衝突時に防護柵構成部材の飛散が見られない。
 - ・ 構成部材の一部に損傷または塑性変形が見られたものの、取外れ、飛散などはなし、一体構造を保持している。



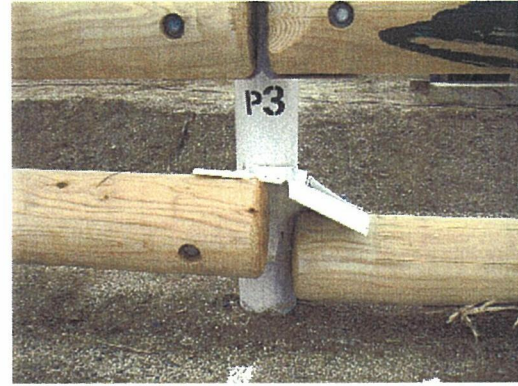
写真II-1 大型貨物衝突実験
(遠景 B3-B5に衝突)



写真II-4 乗用車衝突実験
(遠景 B3に衝突)



写真II-2 大型貨物衝突実験
(B3-B5衝突部分)



写真II-5 乗用車衝突実験
(B3 下段横梁左側が押し下げられる)



写真II-3 大型貨物衝突実験
(B4のクローズアップ)



写真II-6 乗用車衝突実験
(B3 下段横梁右側が押し下げられる)

1) 解析における仮定・条件

(1) 車両

- ・車両の運動は自由度3の平面運動（水平2方向および回転運動）のみとする。
- ・車両に作用する外力は、防護柵から受ける力とタイヤのコーナリングフォースのみとする。
- ・車両は防護柵の衝突により変形し、変形と力との関係は比例関係にあるものとする。ただし、力が減少しても変形は回復しないものとする（右図参照）。力が生じる部分は、車体前面および側面とする。

(2) 支柱

- ・支柱は、横梁方向には抵抗なく変位するものとする。
- ・支柱は、横梁に直角方向に変位する場合に抵抗し、その荷重-変位関係は残留変位を考慮したテトラリニアとする。

(3) 横梁

- ・横梁は支柱位置でピン支持された梁とし、曲げと引張りが生じるものとする。従って、力が加わっている横梁には曲げと引張り応力が、その他の横梁には引張り応力が作用する。
- ・横梁に圧縮力は生じないものとする（横梁の軸方向力は、幾何学的非線形による引張りのみを考慮しているため）。
- ・横梁の荷重-変形関係はバイリニアとする。
- ・ピンで連結された横梁の両端部はピン支持されているものとする。
- ・横梁は1段とする（平面プログラムのため2段は考慮できない）。

(4) 接合部

- ・本プログラムは接合部要素を持ち合わせていない。そのため、横梁方向の接合部変形を、横梁の軸方向剛性を低減し、接合部変形を含む等価な値に置き換えることによって考慮する。
- ・横梁に直角方向の接合部変形は考慮しない。（支柱の荷重-変形関係を、接合部変形を考慮した等価な関係に置き換えることによって考慮できるが、接合部変形は相対的に小さいので無視する）。

(5) 防護柵の主要入力データ

- ①支柱の荷重-変位関係
- ②横梁の曲げ剛性・降伏曲げモーメント
- ③横梁（継手を含む）の軸方向剛性・破断張力

2) 大型貨物車衝突シミュレーションによる数値実験

支柱剛性（地盤へのめりこみ）、支柱間隔、横梁継手の剛性、横梁のヤング係数（MOE）、横梁の断面（A、Z、I）を変えた数値実験により、上記パラメータの影響を調べ、基本設計に資した。

数値実験の結果の概略を表Ⅱ-5に示す。

表II-5 パラメータ影響解析

パラメータ	横梁曲げ荷重	横梁軸力	支柱変位	車両加速度
支柱剛性が低いと 1.0→0.8 (比率)	小 0.95	大 1.09	大 1.08	影響なし —
支柱間隔が狭いと 2.0m→1.5m	大 1.10	小 0.90	小 0.90	大 1.09
接合部バネ定数が低いと 1000tf/m→300tf/m	小 0.90	小 0.49	大 1.19	小 0.87
横ばりMOE	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし
横ばりA、Z、I	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし

(1) 支柱剛性の影響

支柱剛性が低いと横梁に作用する曲げ荷重は減少する。木製の横梁は曲げが主となるので、支柱は過度に太くせず、土中に支持するのがよいことが分った。コンクリートに埋め込む場合は、支柱が土中に埋め込む場合と同様な変形をするような対策が必要であろう。なお、支柱剛性が低いと軸力は増加するが、木製横梁は軸力に対しては余裕があること、また、後述のように軸力を減少させるには接合部バネ定数を小さくすることが有効であることから、その影響はさほど重要ではないと考えられる。

(2) 支柱間隔

支柱間隔が狭いと横梁の曲げ荷重は増大するが、それよりモーメントの減少効果の方が大きい。それより、車両加速度が増加することが問題であるかもしれない。

(3) 接合部バネ定数

横梁継手のバネ定数を小さくすると横梁軸力と車両加速度を減少させる効果がある。このことから、継手の設計では、横梁の曲げに対して脱落せず、軸力に対しては変形しやすい構造とすることが有効であることが分った。

(4) 横梁の曲げヤング係数と横ばり断面

いずれも影響はほとんどない。曲げヤング係数の影響がないことは、強度はあるものの曲げヤング係数の低い材が多く出現するスギの利用にとって非常に有利である。

3) 大型貨物車衝突の本解析に使用した条件

(1) 支柱の荷重—変位関係

実験前の解析で用いた荷重—変形関係は図II-3、4 (予備解析時のモデルとあるもの) の通りである。

このモデルはA種構成防護柵の動的試験結果を基に作成したもので、その降伏耐力は36kNであるが、実験で観測された支柱せん断力の最大値はP5で57.4kNであったため、当初モデルの耐力を1.5倍したモデル (今回追加解析モデルとあるもの) についても解析を行った。なお、図中のP4~P6のプロットは、実験における各支柱 (P4~P6) の最大変位量と残留変位量を結んだものである。

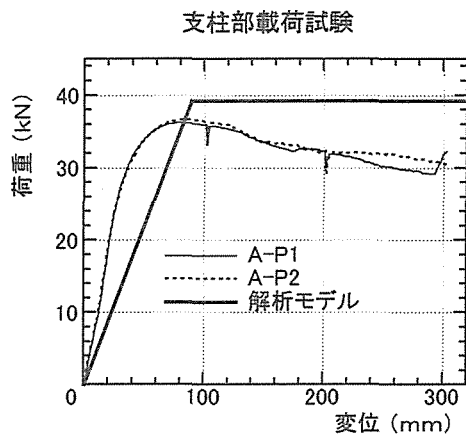


図 II-3 当初の支柱の荷重—変形関係

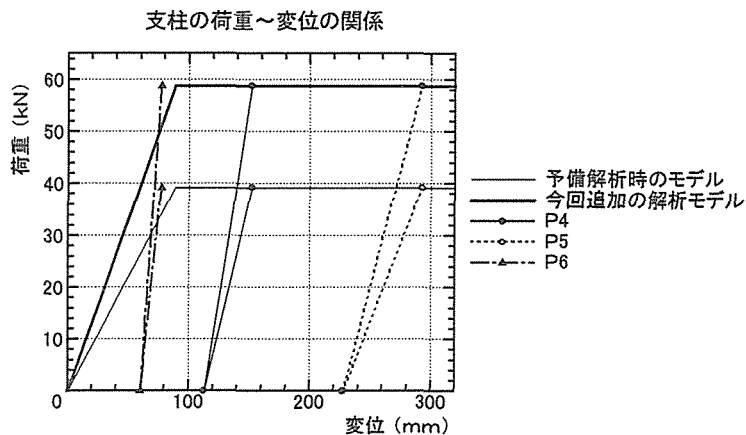


図 II-4 実験後に追加した荷重—変形関係

(2) 横梁の特性値

解析に用いた横梁の特性値を表 II-6 に示す。予備解析時の値は、他の実験を元にした値、今回追加の値は、本実験における実測値である。

表 II-6 横梁の諸数値

使用場面	直径 (cm)	強度 (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	L (cm)	I (cm ⁴)	A (cm ²)	Z (cm ³)	EI (kgf·cm ²)	M _{max} (tfm)	P _{max} (tf)	δ _{max} (cm)
予備解析時	20	455	70000	200	7854	314.2	785.4	54.978	3.57	7.15	2.17
追加	20	455	70000	200	7854	314.2	785.4	60.947	3.39	6.79	1.86

注) M_{max}、P_{max}、δ_{max} は、それぞれ降伏時のモーメント、中央集中荷重を仮定した場合の荷重とたわみ

(3) 横梁のバネ定数

横梁の接合部の変形を考慮するため、横梁の軸方向剛性を変えて、表 II-7 に示す 21~24 の 4 つのケースについて解析を行った。横梁の長さを 4m、接合部の引張り応力を 2tf 程度とすると、継手一カ所あたりの変形は、軸方向バネ 20、100、1000tf/m の場合、それぞれ 10、2、0.2cm となる。

表 II-7 解析 Case

Case	軸方向バネ (tf/m)	張力	横梁モデル	支柱モデル
Case21	20	変化させる	予備解析モデル	予備解析モデル
Case22	20	変化させる	今回モデル	今回モデル
Case23	100	変化させる	今回モデル	今回モデル
Case24	1000	変化させる	今回モデル	今回モデル

注) 張力は横梁軸方向バネと支柱バネの比の関数として定義

4) 大型貨物車衝突解析結果と実験値との比較

支柱の変位、横梁の張力と荷重（中央集中荷重に仮定した場合の値）の最大応答値の解析結果と実験結果を表II-8に示す。

表II-8 大型貨物車両衝突時の最大応答値の解析結果と実験果

	車両加速度 (G)	支柱変位 (m)	横梁張力 (tf)	横梁載荷荷重 (tf)	
				梁歪みより	支柱歪みより
実験		0.293	6.30	上段： 4.22 下段： -4.83	上段： 4.24 下段： 1.97
Case21	1.13	0.396	0.88	7.11	
Case22	1.31	0.276	0.55	8.03	
Case23	1.34	0.271	1.49	8.04	
Case24	1.38	0.259	3.47	8.26	

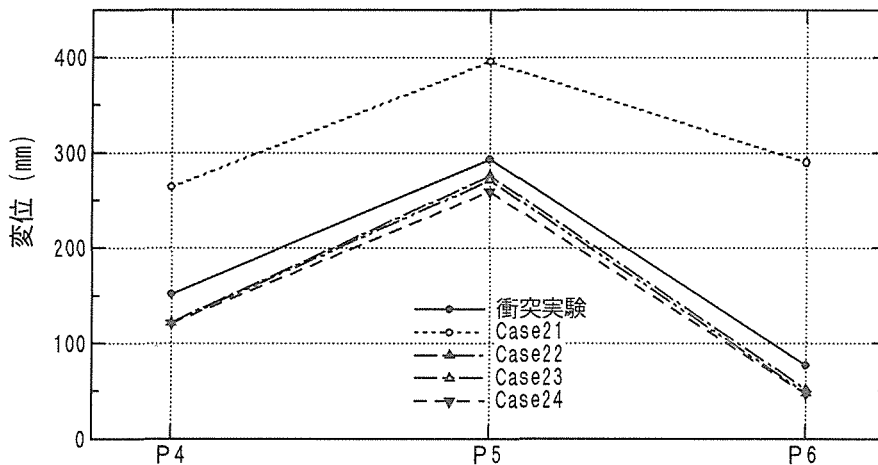
注 1) 横梁載荷荷重の実験値（梁歪みより）は、同時刻において、中央集中荷重を仮定して横梁歪より求めた値。下段は車輪から下方向への作用力 が加わったため参考値

注 2) 横梁載荷荷重の実験値（支柱歪みより）は、支柱歪みより求めた値で、上・下段で時刻が異なる。

(1) 支柱変位と支柱せん断力

支柱耐力を実験結果に合わせた場合（Case22～24）の支柱変位の解析結果 0.259～0.276cm は、実験値の 0.293cm と比較的よく合致している（表II-8、図II-5）。ただし、実験の支柱最大せん断力は P5 では 57.4kN と一致する（合わせたため）が、P4、P6 では、支柱変位の実験値が 152mm、77mm、でありながら支柱せん断力実験値は 34.1kN、36.9kN であり、モデルと合わない。すなわち、仮に P6 の実験値に合わせて支柱のモデルを決めると（Case21 と近くなる）、最大応答を示した P5 の実験結果が得られないということになる。

支柱の最大変位分布



図II-5 支柱の最大変位（実験値と解析値）

(2) 横梁の張力

実験値 6.3tf に対して、解析値は横梁の軸方向剛性(接合部バネ定数により 0.55 (バネ定数が小さい場合) ~3.47tf (同、大きい場合) で、小さめである (表II-8)。

実験値の張力は 2 枚の歪みゲージで測ったもので、歪みの値-1979 μ 、2474 μ の平均値 248 μ に横梁の断面と曲げヤング係数 7.54kN/mm² 乗じて求めている。しかしながら、測定誤差や、丸棒製材の軸方向ヤング係数は曲げヤング係数より低いことを考慮すると、解析値と実験値は必ずしも大きく異なっているわけではない。

なにより重要なことは、この軸力による横梁応力は実験値で約 20kgf/cm² であり、横梁の破壊に対する影響は小さいということである。

(3) 横梁の載荷荷重

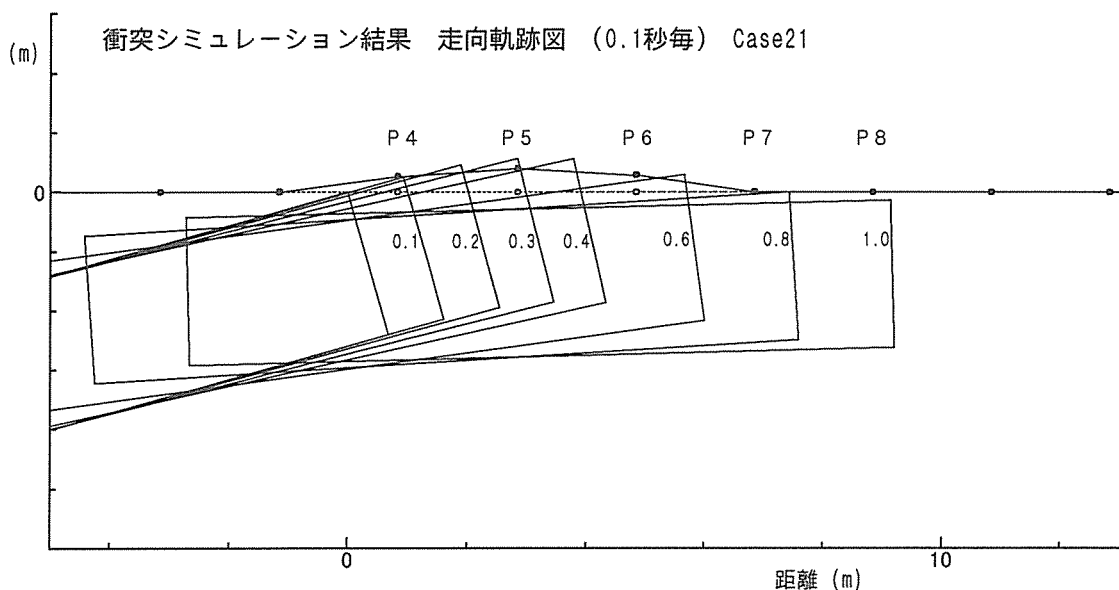
横梁の載荷荷重の実験値は解析値の半分程度であった (表II-8)。なお、解析値は分布荷重の合計であり、実験値は便宜的に中央集中荷重を仮定して集中力に換算した値であるため、例えば実験と解析が一致していても、実験値は場合によって解析値の 1/2 程度になることに留意する必要がある。

また、実験では、下段の横梁がタイヤから下方の力が加わったため、表の実験値 (横梁断面の水平方向に対して 45 度傾斜した位置での歪みを $\sqrt{2}$ 倍して求めている) は正しい曲げ荷重を表していないことに留意する必要がある。

なお、支柱のせん断歪みから、曲げ応力が大きかったのは横梁 B4 では上段、横梁 B5 では下段であることが分っている。

(4) 衝突後の車両位置

走向軌跡をわかりやすく衝突後 1 秒までのものも示したが、実験結果とよく合致している。



図II-6 走行軌跡の解析結果

5) 乗用車衝突の解析に使用した条件

防護柵の諸元は、大型貨物車衝突シミュレーション (Case22~Case24) と同一のものをを用いた。

(1) 車両および衝突条件（実験時の測定値より）

- ・車両質量：1.03 t
- ・衝突速度：60.3 km/h
- ・衝突角度：20.8 度
- ・衝突位置：P4 支柱の手前 1.80m

(2) 解析ケース

解析ケースを表II-9に示す。

表II-9 乗用車衝突解析 Case

Case	軸方向バネ (tf/m)	張力	横梁モデル	支柱モデル
Case31	100	変化させる	今回追加モデル	今回追加モデル
Case32	1000	変化させる	今回追加モデル	今回追加モデル

注) 張力は横梁軸方向バネと支柱バネの比の関数として定義

今回塚モデルについては表II-6を参照

6) 乗用車衝突解析結果と実験値との比較

解析結果の最大応答値一覧を表II-10に示す。

表II-10 乗用車衝突最大応答値の解析結果と実験結果

	車両加速度 (m/s ² /10ms)			支柱変位 (m)	横梁張力 (tf)	横梁荷重 j 荷重 (tf)
	X	Y	XY 合成			
実験	73.40	66.00	79.00			
Case31	63.00	77.10	99.60	0.069	0.11	6.98
Case32	63.00	77.10	99.70	0.069	0.30	6.98

(1) 車両の重心加速度

実験と解析を比較した場合、X方向ではやや実験値が大きく、Y方向ではやや解析値が大きくなっているが、比較的良好に合っていると見えよう（表II-10、図II-7）。

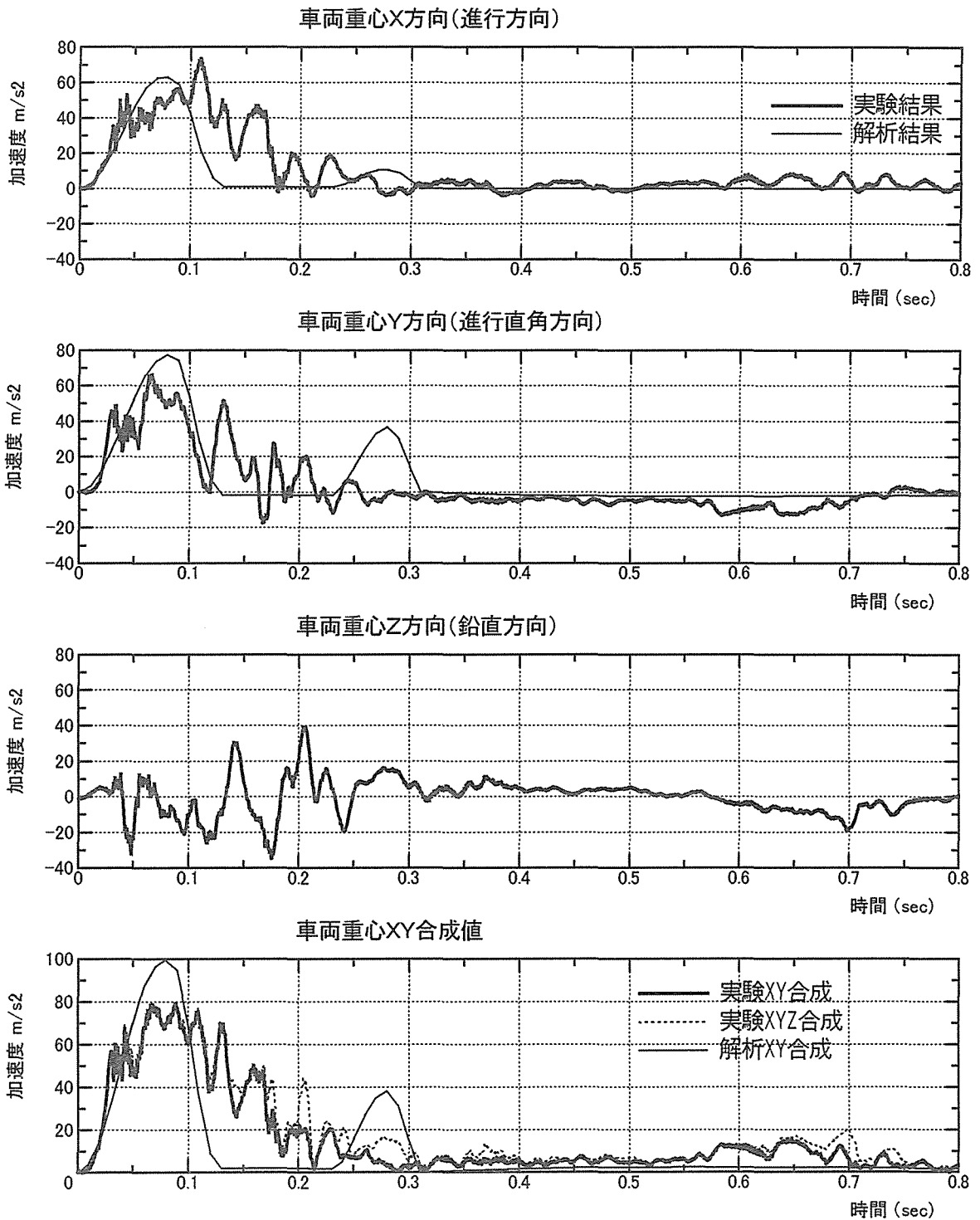
解析では、衝突のイベント時間が0.12秒間程度となっているが、実験では0.18秒間程度と

やや長くなっている。ただし、Y方向の加速度の実験結果は、0.12秒間程度で1つのイベントが終わり、その後もう1つのイベントが生じたような波形になっている。もう1つのイベントとして、時刻0.11~0.18秒は、下段横梁に、車輪のホイールが乗りかかろうとしたイベントが考えられる。このため、実験時の衝突時間が長くなったものと思われる。

既往の3例の実験結果でも、このような現象が生じたときは、衝突時間が長くなり、離脱速度が小さく（衝突時の6割）になっている。このような現象が生じない場合は、衝突時間は、解析と同様、0.12秒間程度であり、離脱速度も衝突時の7割程度になっている。

実験では、継手部の塑性変形が大きく、この部分でのエネルギー吸収が大きかったことが想定される。

車両重心加速度の比較



注) 衝突実験結果は、10msec移動平均加速度を表示。
 解析結果(Case31)は、実験結果と比較しやすいように、符号を逆にして表示。

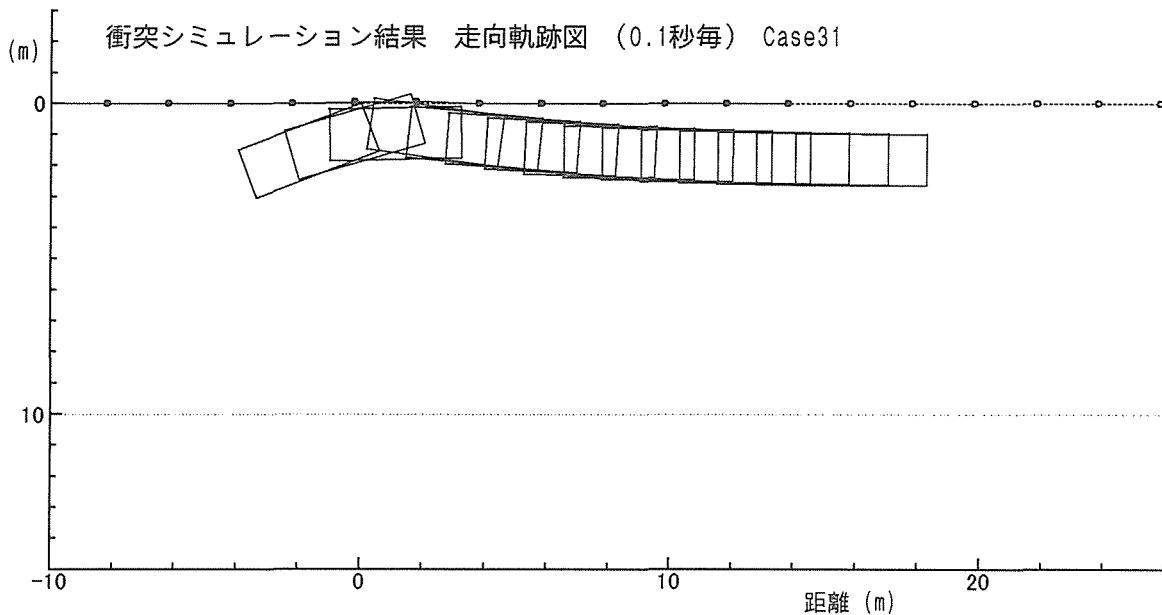
図 II - 7 乗用車時系列加速度の解析結果と実験結果

(2) 走向軌跡

今回の実験では、タイヤのバンクにより離脱角が0度程度になった。既往の実験では、解析(図II-7)のように数度の離脱角をとることが多い。(既往の3例の実験結果は、5.4度、9.1度、10.8度となっている。)

(3) 支柱変位

支柱変位は、実験では変位計で測定しておらず、残留変位がP4支柱で2.1cmであった。解析では最大変位は7cm程度で、モデル上は弾性範囲内であるため、残留変位の解析結果はゼロである。



図II-8 走行軌跡の解析結果

3.2 本事業における接合部ディテールの決定方法

1) 接合部の問題点

接合部のディテールを決定するにあたり、以下の事項を考慮した。

- ・支柱断面が円形であることと、横梁端部が支柱中心に届いていないことから、衝突時の支柱の倒れ込み等により支柱間隔が広がったとき、接合部がせん断力を伝達できずに変形し横梁が脱落する可能性。
- ・接合部の変形により乗用車衝突時の加速度の減少に寄与できること。
- ・車両衝突時に接合部に段差が生じて、車両の部分が突っかかる可能性があるができるだけ少ないこと。
- ・コスト

2) 接合部の静加力試験

そのため、各委員よりディテール案(表II-11)を出し、静加力実験を行って、その結果から上記の事項にできるだけ合致するものを選択することとした。支柱は固定支持し、

土中に埋め込まれたときの降伏性状を持つように支持部を設計した。加力方法は、図Ⅱ-9に示すように2種類で、力を横梁中央に加える方式と、横梁継手部に加える方式とした。

3) 接合部の静加力試験の結果とディテールの決定

実験の結果、横梁の支柱からの脱落は生じないものの、接合金物の剛性が大きいと、図Ⅱ-10のように、横梁間の段差が大きくなることが分った。結論として、Type-Aを採用することとした。

3.3 設計方法のまとめ

1) コンピュータシミュレーションと継ぎ手の実験から得られた知見等

(1) コンピュータシミュレーションはそれなりに有効である。ただし、合格ぎりぎりの設計に使用できるほどの精度はない。

(2) 木製防護柵は、横梁に関しては剛性防護柵に近く、横梁には曲げ強度が要求される。

(3) 木製防護柵の大型貨物車両衝突時のエネルギー吸収は、支柱の地盤への横方向のめりこみが主である。この点では、木製防護柵はたわみ性防護柵に近いかも知れない。乗用車衝突時の加速度に関しては接合部の変形によるエネルギー吸収も寄与する。靱性が特に高い横梁を使用する場合を除いて、一般に横梁の変形によるエネルギー吸収はないと考えた方が無難である。

(4) コンピュータシミュレーションでは考慮できない事柄がいくつかあるので、それらについて別途十分に考慮する必要がある。すなわち、

- ・横梁を複数本使用する場合の有効本数（支柱が倒れ込むことにより車両との接触状態が変る。場合によるが、2本使用の場合には有効は1.5本程度と考えられる。

- ・接合部の変形と支持能力（必要に応じて実験する）。

- ・車両の部分的な突っかかり、タイヤの乗り上げ、潜り込み等による応力。

(5) 横梁の曲げ反力は支柱の横方向抵抗力を超えないことから、横梁の必要曲げ強度（断面等）を決めることができる。

(6) ただし、上記(5)は防護柵全体のシステムの中で必要なエネルギー吸収が行われることが前提である。

(7) 従って、支柱をコンクリートに埋め込め場合や、性能評価試験より特に固い地盤に設置する場合は、支柱の抵抗力の増大や、支持地盤の変形によるエネルギー吸収の減少により、所定の性能が発揮できない可能性がある。

(8) そのためこのような場合は、土中に埋め込んだ場合と同等の強度とエネルギー吸収性を持たせるような支持方法の工夫が必要と考えられる。

(9) 横梁に発生する軸力は、横梁を鋼材とのハイブリッドとし鋼材同士を接合する場合を除いて、一般に小さい。

(10) 従って、横梁の継ぎ手の必要強度は、自動車衝突時に水平あるいは垂直方向に脱落しない程度でよい。

(11) ただし、継ぎ手は変形によって横梁間に段差が生じない構造とする必要がある。

3.4 車両用木製防護柵に使用する木材についての留意事項

今日の建築構造は、荷重・外力と構造物の強度をあるバラツキを持った不確定性のものとして捉え、統計・確率論、あるいは信頼性工学理論に基づいて設計される。木構造では、木材、木質材料の強度的性質は、一定のバラツキを持った不確定性のものとして捉え、構造物の強度的性質の分布は、それらを基に理論あるいは実験（統計処理に耐える複数の部材実験）により計算される。しかしながら、車両用防護柵については、車両の衝突が複雑であること、実験費用が高額なために複数の繰り返し実験を実施することができないことから、統計・確立論的な性能評価ができない状況にある。

従って、車両用木製防護柵の設置に当たっては、性能試験に用いた材料の品質（特に曲げ強さ）と、防護柵が持つ強度の余裕度を考慮して、材料の選別（具体的には JAS 等と同様な目視区分方法や、超音波等の物理的非破評価手法による不適合材の除去）を行うことが肝要である。

3.5 今後の課題

1) 新しい材料の利用

車両用木製防護柵の材料として、次のような材料が可能と考えられる。

支柱： 鋼管、コンクリート、製材、製材+鋼材のハイブリッド

横梁： 丸棒、集成材、LVL、木+鋼材（形鋼、板、鋼管）

集成材や LVL は住宅用が利用できれば、価格的に必ずしも高価ではない。これらの材料は加工前のラミナ（挽き板）やベニヤ（単板）で十分に人工乾燥ができることから、防腐・防虫処理の確実性が高いこと、あるいは、ラミナやベニヤの段階での防腐・防虫処理により、処理効果が高くなることから、耐用年数が向上し、コスト/パフォーマンスで製材を上回る可能性もある。

2) 樹種の扱い

異なる樹種の扱いは大きな問題である。現実的には、大型貨物車両に対しては、衝突実験時以上の強度を有する材料が使用可能と推定されるが、衝突が単なる静的強度だけではなくエネルギー吸収性に関係する現象であるため、理論だけで証明することはできない。

また、乗用車に生じる加速度については、曲げ剛性が高い材料ほど不利になるため、大型貨物車両の場合と相矛盾することとなる。

現実的には、設計に余裕があれば、いかなる樹種でも使用可能であるはずであり、また、本事業で開発した防護柵のように、エネルギー吸収の大部分が支柱によるメカニズムであれば、樹種による差異は少ないと推定される。

しかしながら、この問題は、理論だけでなく設置基準のフィロソフィーに係わる問題であるので、理論的解析、車両衝突実験、部分的な強度実験などのデータを蓄積することによって解決を目指す必要がある。（神谷文夫）

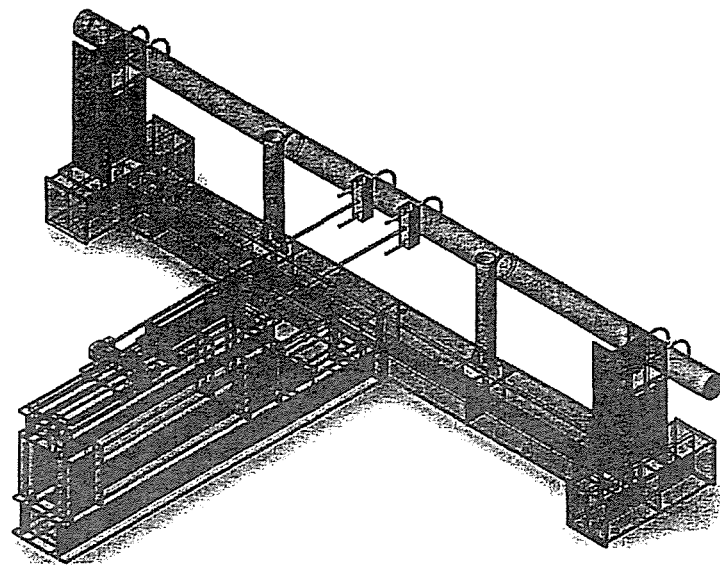
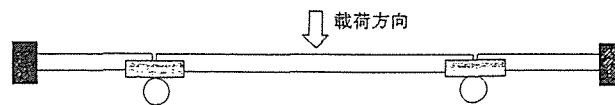
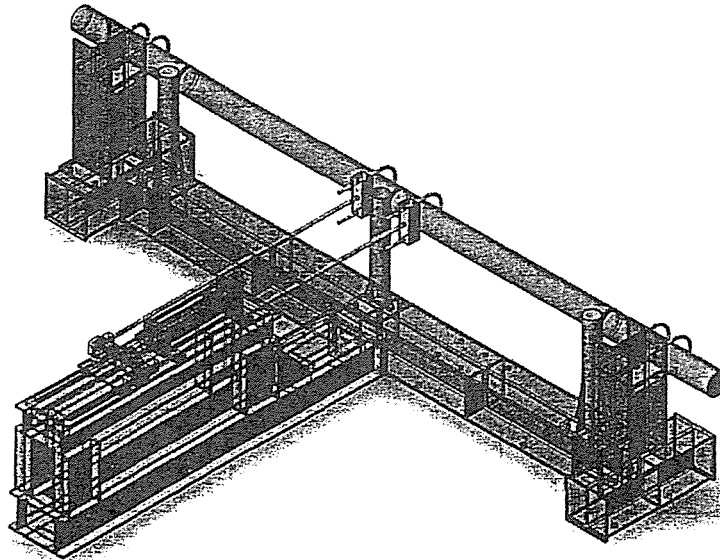
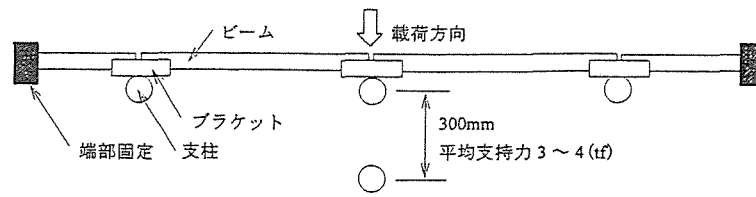
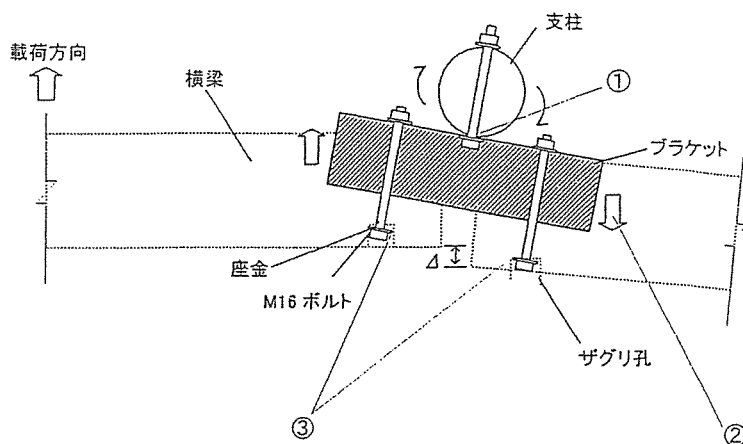


図 II - 9 接合部の静加力試験の方法

表 II-11 静加力実験を行った接合部のディテール

供試体	特徴	概要図	載荷位置
TYPE-K1	コ字型 (C-185)		支柱
			横梁
TYPE-K2	コ字型 (C-200)		支柱
			横梁
TYPE-A	半円複合型		支柱
			横梁
TYPE-Y	半円型		支柱
			横梁
TYPE-N	半円型ブラケット付き		支柱
			横梁



①支柱と継手の拘束条件 ②ブラケットの回転 ③ザグリ孔にめり込むボルト

図 II-10 接合部の変形とともに生じる横梁の段差

Ⅲ 木製遮音壁

1. 概要

1.1 木製遮音壁の特徴

木製遮音壁は、道路環境のアメニティー改善に寄与することが期待される。木材素材による親近性と加工しやすい材料であることから、多様なデザインのものを作り出すことが可能である。よく知られているように、欧米では多種多様な木製遮音壁が設置されていて、付近の景観と調和した快適な道路環境を作り出している。日本の風土に適した日本独特の木製遮音壁が開発されねばならないし、その普及には大きな可能性があると考えられる。

日本の遮音壁の総延長は平成 10 年の統計であるが、高速自動車国道の総延長 6,395km に対して 2,270km といわれている。一般国道などその他の道路分を含めるともっと長くなるだろうが、そのうち木製遮音壁は 10 数ヶ所で、総延長はわずか 8km 弱に過ぎない。初期のものとして、1986 年の中央道飯田におけるカラマツ遮音壁（約 200m）がある。最近では 2001 年北関東道高崎でのスギ遮音壁（約 4,000m）、同じく 2003 年伊勢崎（約 1,000m）のものなどがあるが、大半は長さ 100m にも満たない小規模のものが多く、木材資源利用のための補助を受けて設置されたものがほとんどである。日本の木製遮音壁は、最初の設置から約 20 年が経過し、徐々に普及し始めているとはいえ絶対的な長さはまだまだ短く、後述するところであるが、設置されたものはすべてコンクリートの代替である反射性（遮蔽タイプ）の遮音壁である。音響性能が高く、市場規模の大きい吸音性の木製遮音壁を、適正な価格で製造できるよう技術開発することが急務である。

1.2 木製遮音壁の環境適合性

遮音壁は、道路を走行する車に乗っている人にとって快適に感じることも重要であるが、むしろ周辺住民の要求と感覚に合うものでなければならない。各地の木製遮音壁付近住民の聞き取り調査では木製のものに対して好評であったし、このプロジェクトで設置した大分県臼杵地区の住民は、テレビのインタビューに対して木製遮音壁に高い評価を与えてくれた。四六時中、目の前の存在する壁が無機的なものであるよりは、木質的なものの方が心休まるものがあるだろう。日本における木製遮音壁の普及は遅々としているが、設置されているところでの周辺住民の評価は高いといえる。このことは欧米でも同様であるようで、パリやロンドン近郊の遮音壁は、ほとんどが木製か数種の混在した材料でできていて、多種多様なデザインがみられ、日本のように画一的ではない。また吸音性を持たせた木製遮音壁も多い。

木製遮音壁はまた、木材の需要拡大につながる。地域材、特に中小間伐材から価値のある材料への変換は、日本林業の活性化にとってきわめて重要である。木製遮音壁は、1ヶ所の設置だけでも、かなりまとまった木材需要が期待できる。また、遮音壁の強度は基本的には鋼材で支えられるから、木材は規格以上の強度があれば問題はない。腐朽や劣化に対する耐久性が信頼できるものになれば、材料として有望である。

また近年、製品の地球環境への負荷がとりわけ重要視されるようになってきた。製品製造時の環境への負荷はもちろん、使用限度が過ぎた後にリサイクルやリユースが容易であ

るか、廃棄時に環境への過度な負荷がないかなどが問題とされる。いわゆるライフサイクル的視点が重要となる。この点において、木製遮音壁は他の無機的な遮音壁に比べて格段の優位性を示す。木質製品はリサイクルやリユースがきわめて容易であり、廃棄するとしても、パルプやパーティクルボードの原料として、あるいはバイオマスエネルギーとして利用できる。木質製品は製造時における消費エネルギーも少ないし、炭素のストックとしての役割を持ち、地球温暖化防止にも少なからず寄与する。このように木製遮音壁は、人に優しいのみならず、地球環境にも優しいものであるといえることができる。

1.3 遮音壁の種類と材料

遮音壁の種類として、大きくは吸音型のものと反射型のものに分けられる。次項に示すように、反射型のものは透過損失が性能基準とされるが、吸音型のものは透過損失に加えて高い吸音率を保持していなければならない。狭い国土で道の両側に居住建築物が多い我が国では、吸音型が一般的である。反射型は面密度で透過損失が決まるから、密度の大きい材料であればよいわけで、コンクリート製が多い。木材は素材のままでは吸音率が低いので、木製遮音壁は現在のところ反射型の範疇に入れられている。これまでの我が国で実際に設置された木製遮音壁はほとんどすべてコンクリート遮音壁の代替であり、吸音性を標榜する木製遮音壁はほとんどない。

遮音壁の種別、素材と音響規格を表Ⅲ-1に示す。

表Ⅲ-1 遮音壁の種別、素材と音響規格

種別	素材	音響規格
反射性遮音壁 (遮蔽型)	コンクリート	音響透過損失 400Hz に対して 25dB 以上 1,000Hz に対して 30dB 以上
	木材	
吸音性遮音壁	金属板 (内部に吸音材)	音響透過損失 400Hz に対して 25dB 以上 1,000Hz に対して 30dB 以上
	塩化ビニル樹脂板 (内部に吸音材)	
	アルミニウム (多孔質)	吸音率 400Hz に対して 70%以上 1,000Hz に対して 80%以上
	セラミックス (多孔質)	
	発泡コンクリート	
	(木材)	
透光性遮音壁 (反射性)	ポリカーボネート	音響透過損失 400Hz に対して 20dB 以上 1,000Hz に対して 25dB 以上
	アクリル	
	ガラス	

吸音型遮音壁、反射型遮音壁の他に、透光型遮音壁と呼ばれる外部の景色の見られる遮音壁もある。これは反射型の範疇にはいるが、性能基準は反射型より緩い。環境適合性にあわせて、基準も適宜変更されるということであろう。

さらに最近では新型遮音壁と称して、遮音壁上端に円筒形状などのものを付加して、形

状の効果と先端部での吸音により回折を抑えて、遮音壁を高くした効果を求めるようにしたものもある。木製遮音壁の場合、笠木がこの新型遮音壁のような性能を持ったものに設計できれば、耐久性の向上と音響性能の向上により効果を発揮するであろう。

2. 性能試験

2.1 遮音壁の性能基準

日本で適用される遮音壁の性能基準は、日本道路公団が建設あるいは管理する高速自動車国道及び自動車専用道路に設置する遮音壁に対して、同公団が制定した遮音壁設計要領のなかに示されている。また平成 15 年 2 月には同要領に準拠して、木製遮音壁技術指針が出されている。同指針では、周辺環境に対し特段の配慮が必要な場合に、木製遮音壁は有効な手段の一つになりうるが、同時に十分な遮音性と耐久性を確保することが重要であるとしている。

音響性能では、同指針において木製遮音壁は反射性遮音壁のみとされているため、上記の音響透過損失のみを基準としている。多くの研究結果はスギやカラマツの 10cm 角材で作ったパネルは十分この基準を満足することを示している。

音響基準の他、強度基準、耐火性基準などがある。強度基準は、風荷重に対して十分な強度を有することが必要であり、土工部設置で 150kgf/m^2 以上、橋梁部設置で 200kgf/m^2 以上としている。また橋梁部では車両衝突などにより遮音板が落下しないよう落下防止対策が必要とされる。ただ同指針では、橋梁部で木製遮音壁を設置することを想定していないので、ここでも木製遮音壁の橋梁部における強度基準は示されていない。

耐火性については明確に規定されていないが、妥当な試験方法による耐火性を確認する必要があるとされている。木材の場合、ドイツの ZTV-Lsw88（道路遮音壁導入指針）のなかの燃焼試験で準拠されることが多い。

日本道路公団の木製遮音壁技術指針では、木製遮音壁の材料はスギ材またはスギ材と同等以上の性能を有する木材を使用するものとし、木材の乾燥、加工、防腐処理等を行うことにより長期間の耐久性を確保するものとしている。木材の含水率は 20%以下とし、心材主体の木取りをし、背割りを入れ、防腐薬剤は銅・アルキルアンモニウム化合物(ACQ)、ナフテン酸銅(NCU)、アルキルアンモニウム化合物(AAC)のいずれかあるいは同等以上のものを使うとしている。これらは現在の木材加工の一般的な技術水準ですべてクリアできるものであるといえるが、木製遮音壁に使用される木材に対する加工処理方法は木材サイドからもっと検討が加えられ、合理的で効率的な加工方法が明示されるべきであろう。

2.2 遮音壁の性能試験方法

1) 透過損失について

a 規格

透過損失は JIS A 1416「実験室における音響透過損失測定方法」に規定されている。

b 測定の原理

透過損失は、音の入射条件によって変化するが、一般の音響設計ではランダム入射の時の値を用いる。図 III-1 はその測定方法を示したもので、2つの残響室の間に試料（面

積 S_m) を設置し、バンドノイズを音源として音源室内の平均音圧レベル (\bar{L}_1) と受音室内の平均音圧レベル (\bar{L}_2)、および受音室内 (容積 V_2) の残響時間 (T_2) を測定し、次式によって TL を計算する。

$$TL = (\bar{L}_1 - \bar{L}_2) + 10 \log_{10}(S_m / A_2) \quad (\text{III}-1)$$

ただし、 $A_2 = 0.16 (V_2 / T_2)$ (受音室内の吸音力)

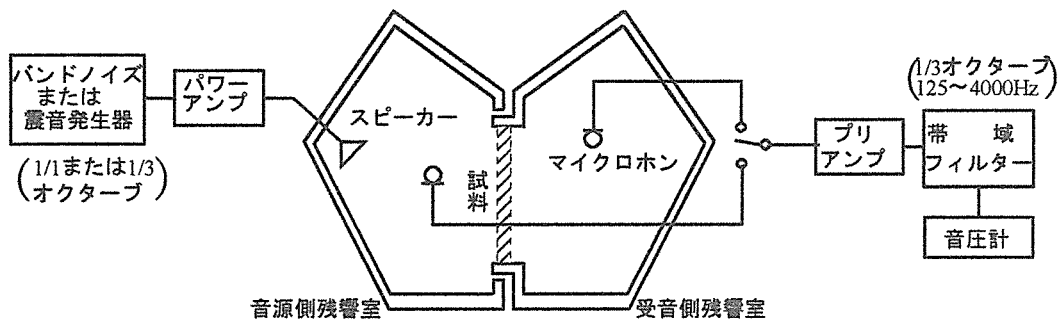


図 III-1 音響透過損失の測定方法 (JIS A 1416)

c 遮音の定義

図 III-1 に示される条件で入射音エネルギー E_i に対する透過音エネルギー E_t の割合を透過率 τ 、さらにその逆数を常用対数にとって 10 倍した値を透過損失 TL (Transmission Loss) と呼び、材料の遮音性能の表示量としている。 τ が小さいほど、あるいは TL が大きいほど遮音性能が高いことを意味する。

$$\tau = E_t / E_i \quad (\text{III}-2)$$

$$TL = 10 \log_{10}(1/\tau) \quad (\text{dB}) \quad (\text{III}-3)$$

d 遮音効果

遮音材料として要求される性能と理由を挙げると、

- (1) すき間や通気性が無い材料、構造であること

非通気性は遮音材料としては不可欠な条件であり、この点は吸音材料と明確に区別する必要がある。

- (2) 重量 (面密度 kg/m^2) が大きい材料

単板の透過損失はほぼ質量則にしたがうから、重量 (面密度) が遮音能力を規定する重要な要素である。この法則によって、ある一定の周波数については、その壁の面密度がきまれば、材料に関係なく遮音効果がほぼ決まる。

e 透過損失に関する質量則

遮音層が緻密で一体の構造をもっている場合には音波が入射したとき、主としてその慣性によって対抗し、したがってその透過損失値は、その遮音層の面密度に依存する。この性質を表す関係式を質量則と呼んでいる。

$$\text{垂直入射透過損失 } R_0 \approx 20 \log_{10} (\text{周波数} \times \text{面密度}) - 43 \quad (\text{dB}) \quad (\text{III}-4)$$

となって、周波数と面密度の対数に比例する。壁の重量または周波数が2倍になれば、 R_0 は6dB増加する関係である。

Ⅲ-4式は、音波が壁に垂直に入射する場合のものである。実際の音場では、(Ⅲ-5)式で近似した音場入射質量則が現実に近いことが認められている。

$$\text{音場入射質量則 } R_m \cong R_0 - 5dB \quad (\text{Ⅲ-5})$$

e コインシデンス効果

質量則は壁が一様にピストン運動すると仮定して導かれた。しかし平板は屈曲振動を伴うので、透過損失が質量則の値よりも低下する原因となる。

図Ⅲ-2に示すように入射角 θ で波長 λ の平面波が壁体に入射すると、壁面上では、

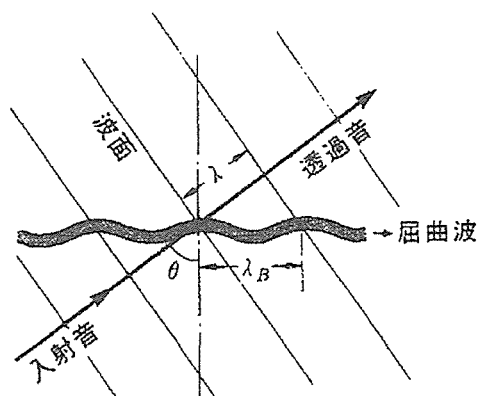
$$\lambda_B = \lambda / \sin \theta \quad (\text{Ⅲ-6})$$

を波長とする音圧の強弱の縞目が壁面に沿って移動するから、壁体は屈曲振動を強制されその屈曲波が壁体を伝搬することになる。壁体の屈曲波の振幅は入射する音波の振幅と同じくらいに激しく振動して、遮音性能が著しく低下する。このような現象を共振と区別してコインシデンス効果とよぶ。高音域ではコインシデンス効果により限界周波数 f_c 以上で透過損失の低下が生じる。 f_c は近似的にⅢ-7式で求められる。

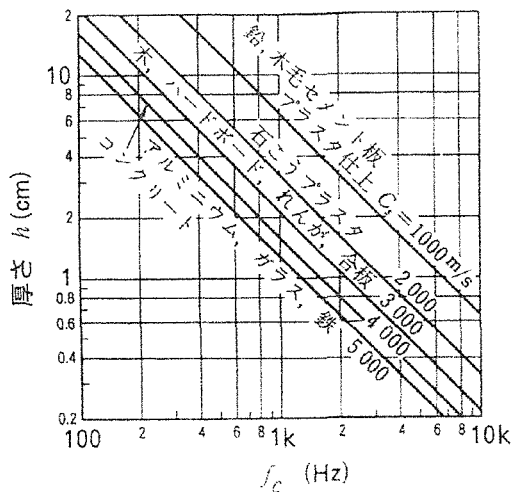
$$f_c \cong c^2 / 1.8tc_s \quad (\text{Ⅲ-7})$$

c : 音速 (m/s), t : 板厚 (m), c_s : 材料中の音速 (m/s)

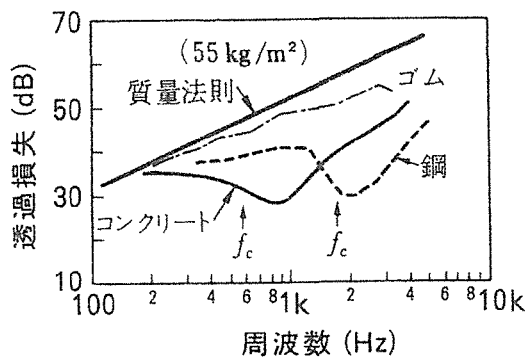
木質材料の c_s は、木板、ハードボード、合板が3,000m/s、木毛セメント板では1,000m/sである。



図Ⅲ-2 コインシデンス効果



図Ⅲ-3 材料の厚さ h と f_c の関係



図Ⅲ-4 同じ面密度で異なる材料のコインシデンス効果

図Ⅲ-3には各材料の厚さと f_c の関係を示す。厚さ h が小さければ f_c は高く影響は小さいが、 h が大きくなると f_c は遮音に重要な中低音域まで下がり、透過損失を著しく低下させる恐れがある。図Ⅲ-4はその実例で、面密度の同じ壁体でも材質により f_c の異なることを示す。

コインシデンス効果による透過損失の低下量は、材料の内部損失などが関係するので、予測することはかなり難しく、個々の材料について実際に測定を行う必要がある。

2) 吸音率について

a 垂直入射吸音率の規格と定義

JIS A 1405 「音響 - インピーダンス管による吸音率及びインピーダンスの測定 - 一定在波比法」で垂直入射吸音率が規格されている。

吸音材料の面に音波が垂直に入射する時の吸音率を垂直入射吸音率といい、垂直入射吸音率は物理的な意味が明確であり、しかも少量の試料で精度よく測定されるので、材料の吸音特性の基礎的な研究や工場における品質管理などの対象として有用なことが多い。記

号には α_0 を用いる。

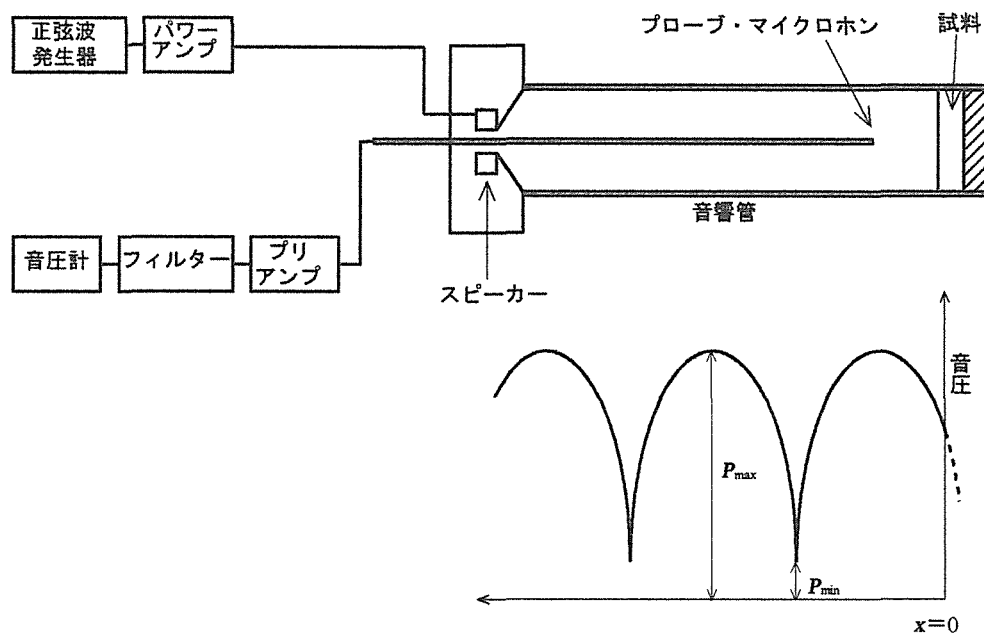
b 測定の原理

図Ⅲ-5に示すように直径が音の波長に比べて十分小さな管（音響管）を用いて平面波入射の条件をつくり、入射波と試料面からの反射波による干渉（定在波）による音圧の極大値（ P_{max} ）と極小値（ P_{min} ）を測定して次式によって α_0 を求める。

$$\alpha_0 = 1 - \frac{(1-n)^2}{(1+n)^2} \quad (Ⅲ-8)$$

ただし、 $n = P_{max} / P_{min}$

c 測定装置



図Ⅲ-5 垂直入射吸音率の測定方法（定在波法）

d 残響室法吸音率の規格と定義

残響室とは、壁面での音の反射率をできるだけ大きくして、拡散音場が得られるように造られた室で、音響実験に使用する室である。JIS A 1409 で残響室法吸音率測定方法が規定されている。

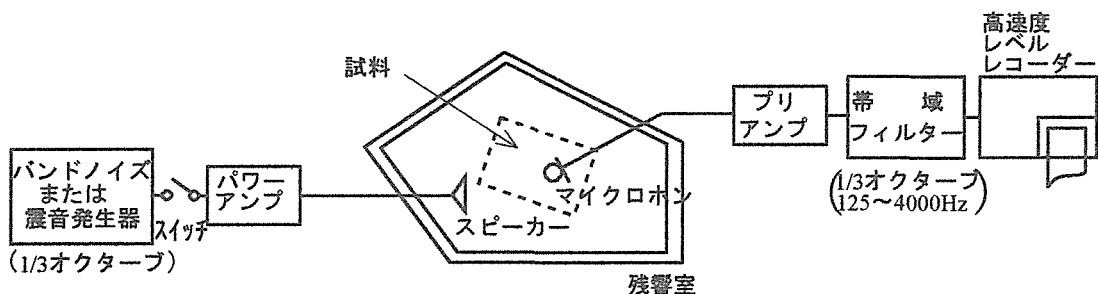
残響室法吸音率は材料面に対して、全ての方向から等しい確率で音が入射する時の吸音率であるランダム入射吸音率を実験的に求めた吸音率である。残響室法吸音率は実用的に最も重要な量である。

e 残響室法吸音率の測定の原理

図Ⅲ－6 は残響室法吸音率の測定法を示したもので、残響室（容積 V_0 ）を用いてその空室時の残響時間（ T_0 ）と測定試料（面積 S_m ）を設置したときの残響時間（ T_m ）をそれぞれ測定し、その結果から次式によって吸音率 α_r を求める。

$$\alpha_r = \frac{KV_0}{S_m} \left[\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_0} \right] \quad (\text{Ⅲ-9})$$

ただし、 $K \approx 0.16$ （常温）



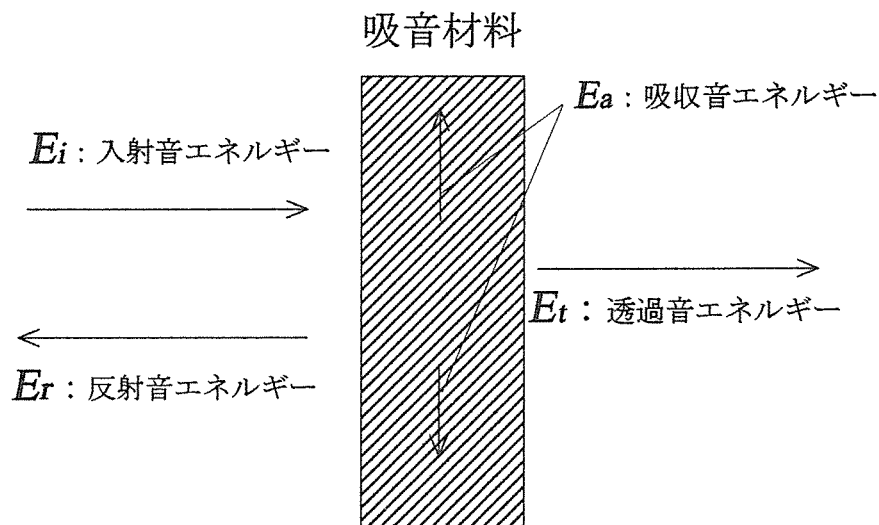
図Ⅲ－6 残響室法吸音率の測定方法（JIS A 1409）

f 吸音の定義

吸音とは、音のエネルギーが材料内で熱エネルギーに変換される現象である。その過程を大別すると以下の3つになる。

- (1) 熱による減衰
- (2) 空気の粘性による減衰
- (3) 材料の機械振動による減衰

現在、吸音材料の性能表示に実用的で最も一般的に使われているのは、吸音率である。これは、図Ⅲ－7 に示される条件で（Ⅲ－10）式で定義される。



図Ⅲ-7 音の入射・反射・吸収・透過

$$\text{吸音率} \quad \alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} = \frac{E_i - E_r}{E_i} = \frac{E_a + E_t}{E_i} \quad (\text{Ⅲ-10})$$

入射音エネルギーに対する反射音エネルギーの比を反射率というが、1からこれを引いたものが吸音率である。開放した窓は音が入射しても全く反射しないので、吸音率は1であるが、全て外へ透過してしまうので透過率も1である。

g 吸音材料の種類と特性

(1) 多孔質型吸音

グラスウールやロックウールなど鉱物・植物繊維類のように毛细管を持つ材料や、ウレタンフォームなど連続気泡を持つ材料に音が入射すると、音波はその細孔中で、周壁との摩擦や粘性抵抗および材料小繊維の振動などによって、音のエネルギーの一部が熱エネルギーとして消費される。その吸音特性は一般に低音で小さく高音域で大きい。

(2) 板振動型吸音・膜振動型吸音

薄い合板やキャンバスのような気密な材料に音が当たると、板振動や膜振動をし、音のエネルギーの一部はその振動系内部の損失によって消費される。その吸音特性は低音域の共振周波数で山を作るが、背後に吸音材を入れない限り、吸音率は一般にそれほど大きくない。

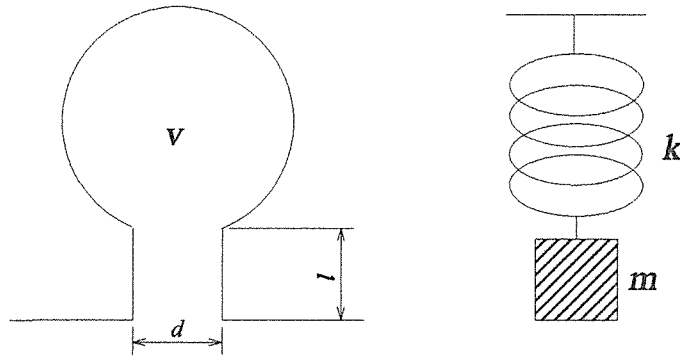
(3) 共鳴器型吸音

空洞に孔があいた形の共鳴器に音が当たると、共鳴周波数の近くで穴の部分の空気が激しく振動し、周辺との摩擦熱として音のエネルギーが消費される。吸音特性はその共鳴周波数で非常に大きな値になる。

① 単一共鳴器の吸音特性

波長に比べて寸法の小さい空洞は、中の空気がバネとして働く。その空洞に小さな開孔があって外に通じていると、その開孔あるいは頸部 (neck) の空気は一つの塊 (mass) と

して運動するため、図Ⅲ-8のように、機械的にはバネに錘をつるした単一共振系と同様の運動をする。これをヘルムホルツ (Helmholz) の共鳴器という。その共鳴周波数は(Ⅲ-11)式のようになる。



図Ⅲ-8 単一共鳴器

$$\text{共鳴周波数} \quad f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{G}{V}} \quad (\text{Ⅲ-11})$$

ここで、 c : 音速, G : 孔の部分の空気の動きやすさ, V : 空洞容積, となり

$$G = s/l_e \quad (\text{Ⅲ-12})$$

ここで、 s : 開孔断面積, l_e : ネックの実効長さ

これは、ネックの空気が1つの mass として運動する時に実長 l に含まれる空気だけでなく、その前後に一緒に動かされる部分があり、それを付加質量といって、計算には実長 l ではなく、 $l + \delta = l_e$ を用いる。この δ は管端補正とよばれる。

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{V(l+\delta)}} \text{ (Hz)} \quad (\text{Ⅲ-13})$$

円孔の場合は、直径を d として、 $\delta \doteq 0.8d$ で近似される。

② 穿孔板による共鳴周波数

穿孔板を剛壁から離して取り付け、空気層をもたせた場合、図Ⅲ-9のように孔の数だけ単一共鳴器が並んだものと考えられる。従って、その共鳴周波数は、(Ⅲ-11) ~ (Ⅲ-13) 式で計算できる。

開孔率 $P = \text{孔面積合計} / \text{板全面積}$ の穿孔板が壁から L (m) 離れていて、単位面積当たりに面積 s の孔が n 個あると

$$P = ns \quad \text{よって、} \quad s = P/n$$

また、単位面積当たりの空洞容積は L になるから、孔1個当たりの容積は

$$V = L/n$$

これらを(Ⅲ-13)式に入れ

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L(\ell + \delta)}} \quad (\text{Hz}) \quad (\text{III-14})$$

ここで孔が円形の場合は、 $\delta \approx 0.8d$ である。

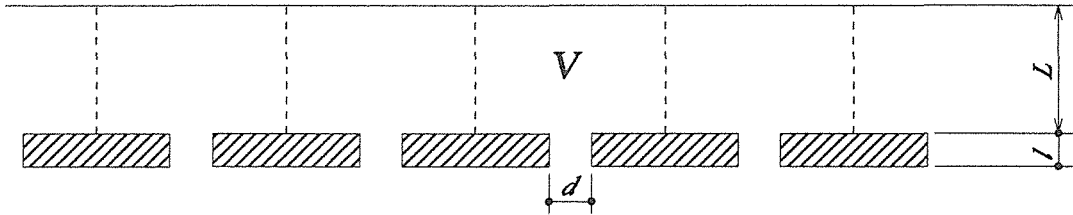


図 III-9 穿孔板吸音構造

③ スリットによる共鳴周波数

スリットの場合も (III-14) 式が成立するが、 δ の値だけが異なる。スリットの幅を b とし

$$\delta = Kb \quad (\text{III-15})$$

の形で整理すると、

- A. 有限長スリット
長さ a の場合

$$K = \frac{1}{\pi} + \frac{2}{\pi} \log_e \frac{2a}{b} \quad (\text{III-16})$$

となり、 K は a/b の値から図 III-10 により求まる。

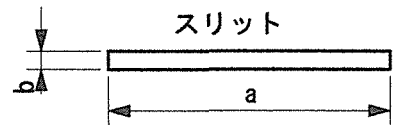
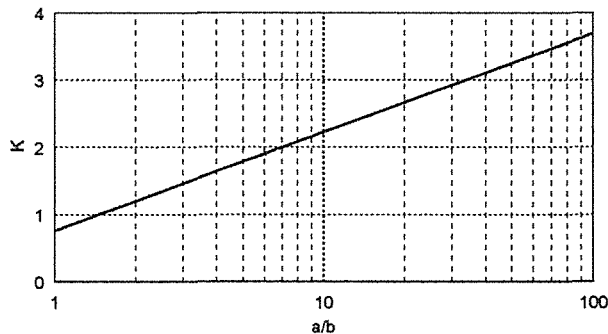


図 III-10 有限長スリットの end correction の係数

- B. 無限長スリット

羽目板をすき間をあけて張ったり、リブを並べて仕上げたような場合は

$$K = \frac{2}{\pi} \log_e \left(\operatorname{cosec} \frac{\pi P}{2} \right) \quad (\text{III-17})$$

ただし、開孔率 $P = b/B$ 、 B はスリット間隔となり、図 III-11 から求められる。

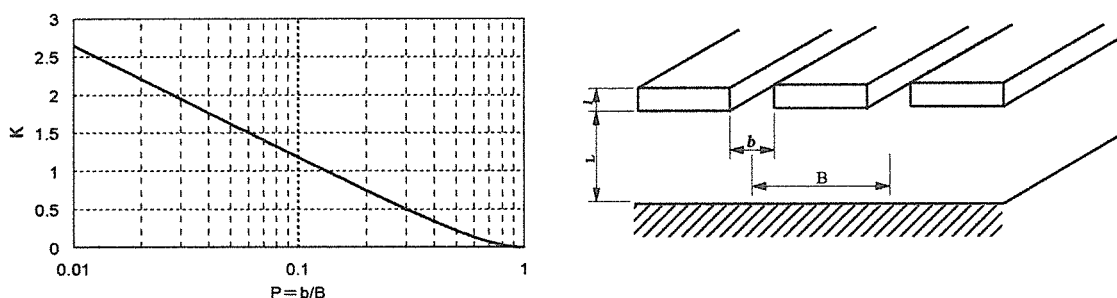


図 III-11 無限長スリットの end correction の係数

したがって、共鳴周波数はいずれも (III-18) 式で計算できる。

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L(\ell + Kb)}} \quad (\text{III-18})$$

3) 材料強度

遮音板の風荷重に対する強度確認のため、構造用製材 JAS 規格に規定する「曲げ性能試験」の载荷方法等を参考にして曲げ強度試験を行う。ただし、過去に同一構造かつ同一材料の遮音板で試験を行い、強度が確認されている場合には、その試験結果をもってこれに代えることができるものとしている。

4) その他

その他反狂性試験や劣化度とメンテナンスについての検討があるが、劣化度とメンテナンスについては IV 章において述べる。

反狂性試験は、寸法の変化、反りの量及び隙間の量を測定し、有害な狂いが生じないことを確認する。ただし、過去に同一構造かつ同一材料の遮音板で試験を行い、有害な狂いが生じないことを確認している場合には、その試験結果をもってこれに代えることができるものとしている。

3. 設計・製造・施工

3.1 木製遮音壁の設計・製造・施工の基本

木製遮音壁の一般的構造、取付方法などは木製遮音壁技術指針の該当部分を引用する。詳しくは同指針を参照されたい。

1) 基本構造

(1) 遮音板の形式等

遮音板は、木材を横積み型にパネル化するとともに、パネル形状は、ログタイプを基本に選定する。

(2) 遮音板 1 枚あたりの基本寸法

長さ 3,960mm、高さ 500mm ～ 2,000mm (500mm 単位で設定)、厚さ 100mm 程度。

(3) 遮音板最下段部の構造

遮音壁の最下段部には、木製遮音壁が地面に接しないよう、土留板（コンクリート板）を設置する。

2) 遮音板の構造細目

(1) 遮音板の製作方法

遮音板は、接着工法または、ボルト締工法により製作することを基本とする。

(2) 遮音板接続部の形状

遮音板の防音性能確保、施工精度の向上を目的として、遮音板の上下接続部には矢羽加工を施すものとする。

3) 遮音板の取付方法

(1) 遮音板の固定

遮音板は、支圧板を用いて固定することを基本とする。

(2) シーリング材の設置

遮音板のH鋼支柱本線側取付部および、最下段部の土留板（コンクリート板）接合部には、防音性能を確保するためシーリング材を設置する。シーリング材は、エチレンプロピレンゴムの7倍発泡体、またはこれと同等以上の性能を有するものを使用する。

4) 付属物

(1) 笠木

木製遮音壁には、耐久性のさらなる向上のため、笠木を設置することを基本とする。

(2) 支柱隠蔽

周辺景観との調和に特段の配慮が必要な場合は、支柱隠蔽処理を行うものとする。

このように規定しているが性能的に問題がなければ、縦積みや 2,000mm モジュールのもの、3,000mm 高さのものも許容されよう。

さらに同指針では、品質管理、施工管理、追跡調査も規定している。この指針とは別に、平成6年3月に（財）日本住宅・木材技術センターは「木製遮音壁設計施工の手引き」を刊行している。これは前記の性能、施工に加えて、メンテナンスを詳説し、さらに具体的な設計例を多く含んでいるので参考になろう。

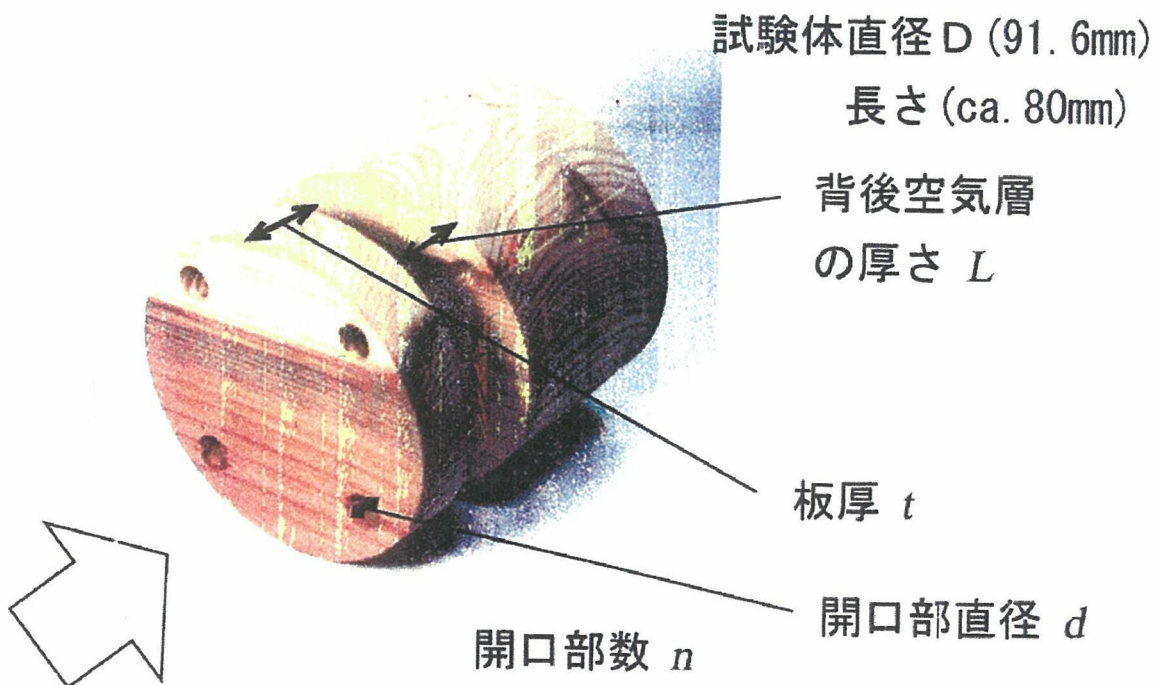
3.2 本事業で開発した吸音性木製遮音壁

1) 小型円筒型試験体による垂直入射吸音率の測定

木材中にヘルムホルツの共鳴理論による吸音構造の設計に基づく加工をし、その吸音効果を円筒型試験体による垂直入射吸音率の測定によって確認した。ヘルムホルツの共鳴吸音理論は図Ⅲ-8に図示しているが、首部と内部空気層によって、質量の機械的支持におけるバネとダンパーの関係に類似して、Ⅲ-11式示されたような周波数が共鳴吸収される。

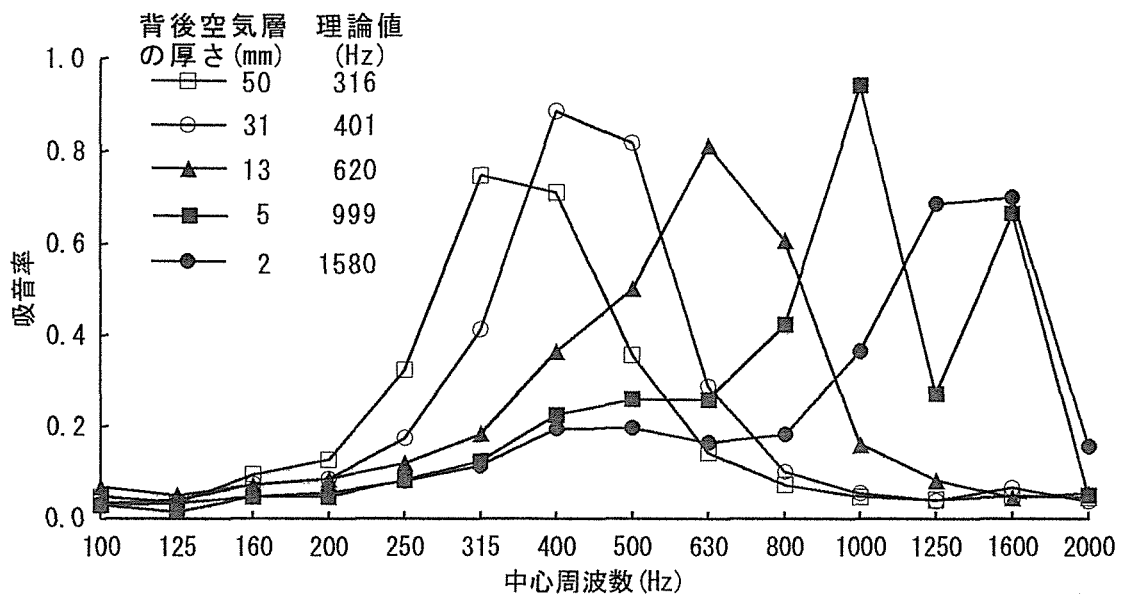
図Ⅲ-12に示すような円筒型試験体を作成し、これを垂直入射吸音率測定装置の円柱測定部に挿入して吸音周波数と吸音率を測定したが、図に示すように背後空気層部分を可変できるようにし、それをパラメーターとして理論値と実験値の対応を見たのが図Ⅲ-13と図Ⅲ-14である。

これらのグラフに示されるように、この構造は高い吸音率を有し、理論値と実測値とは見事に一致した。木材内に吸音構造を作ることにより、高い吸音率でもって、吸音周波数を正確に制御できることがわかった。



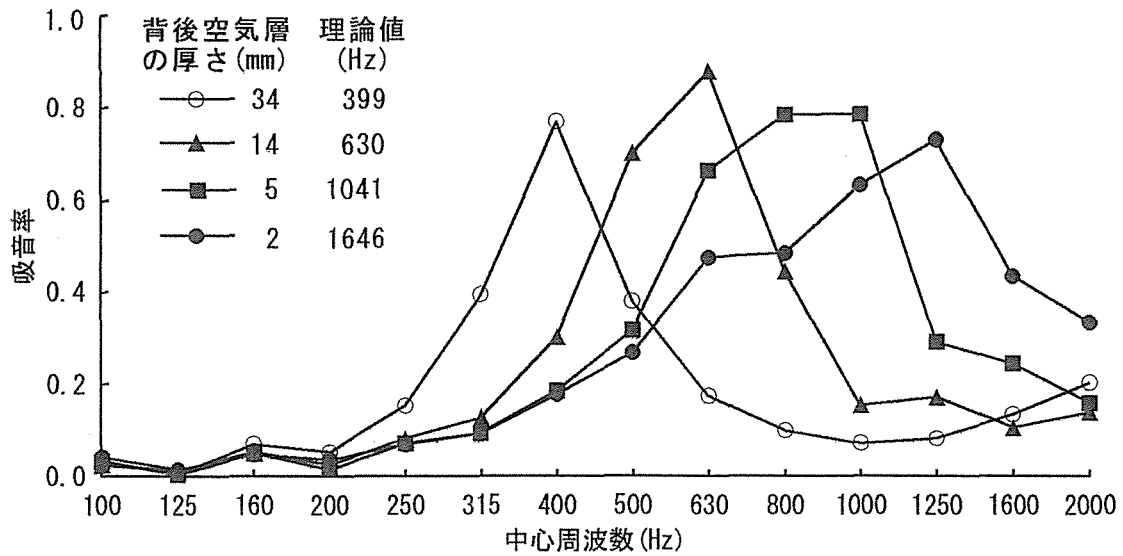
$$\text{吸音周波数 } f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{n \times \pi \times (a/2)^2}{(t + 0.8d) \times L \times \pi \times (D/2)^2}}$$

図Ⅲ-12 円筒型試験体とその吸音周波数



図III-13 背後空気層による影響

(孔4個、孔直径10mm、板厚20mm、開口率0.05)

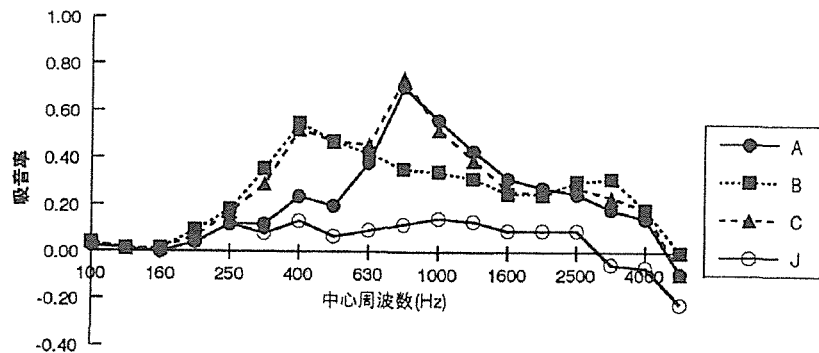


図III-14 背後空気層による影響

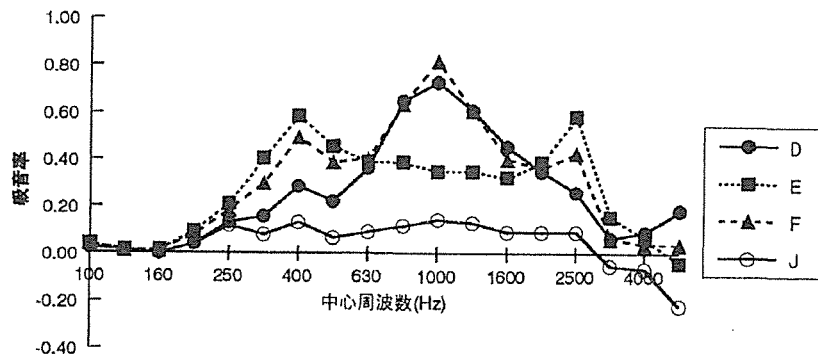
(孔9個、孔直径10mm、板厚50mm、開口率0.11)

2) 内部に吸音構造を加工した角材パネル

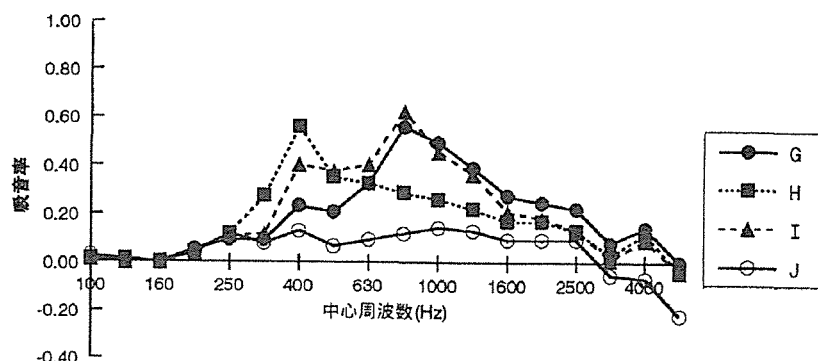
上に述べた吸音構造を応用して、穴一穴型、スリット一穴型、スリット一スリット型と名付けた3種の加工を100mm角長さ1980mmのスギ角材に施した。それぞれの種類の10本の角材を平面にボルト結束して、約1m x 2m幅、厚さ10cmのパネルを作り、それらの音響性能を残響室で測定した。無加工のパネルは全周波数域にわたって、吸音率は0.1以下であるが、加工したものは若干設定周波数にずれのあるものもあったが、1/3オクターブバンド周波数400Hzと1000Hzにおいて、0.6から0.8の吸音率があった。これらのパネルの残響室法吸音率の測定結果を図III-15に示す。



スリット一穴型パネルの吸音特性



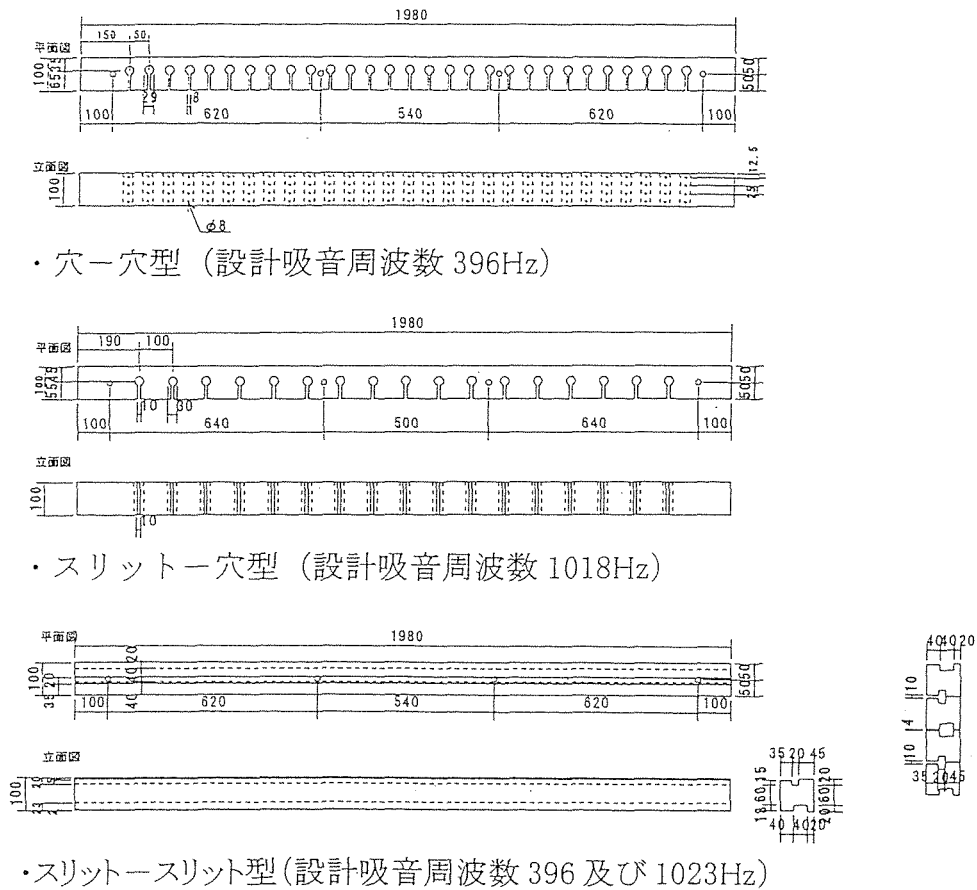
穴一穴型パネルの吸音特性



スリット一スリット型パネルの吸音特性

図III-15 各パネルの吸音特性

加工角材の例を図Ⅲ-16に示す。理論吸音周波数 396Hz の穴一穴型、同 1,018Hz のスリット一穴型（これはスリットがパネル前面にくる）、それと同 1,013Hz と 399Hz の混合型のスリットスリット型である。このタイプはモルダー加工した角材の組み合わせで吸音構造を作るものであり、製造がしやすく、コスト的には有利なので、白杵に設置した遮音壁はスリットスリット型である。



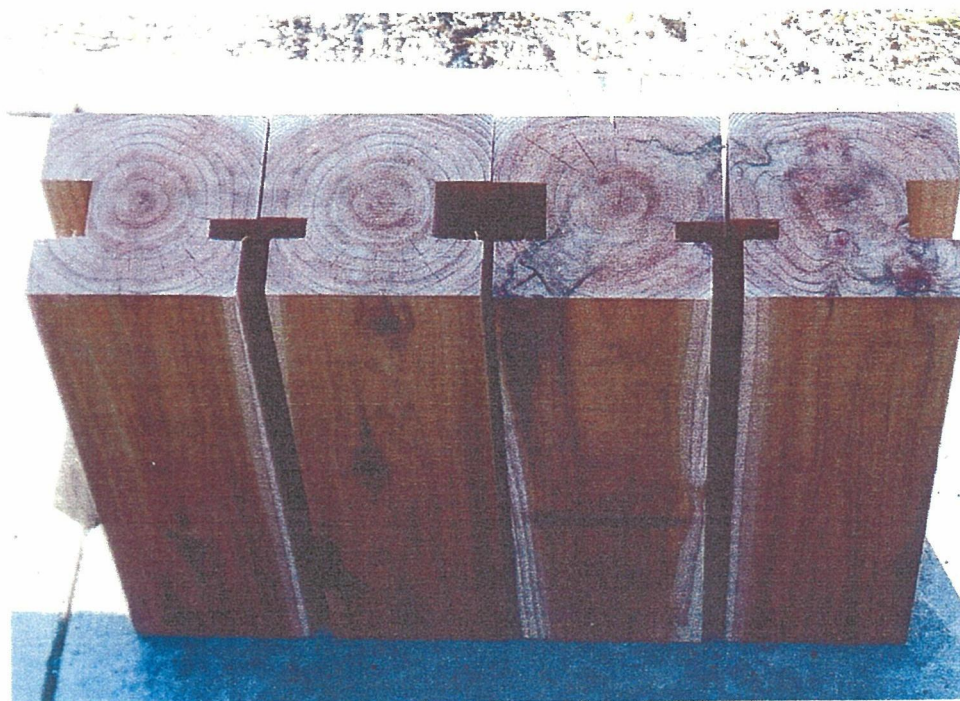
図Ⅲ-16 角材への吸音構造加工例

4. 開発した木製遮音壁の作成と設置

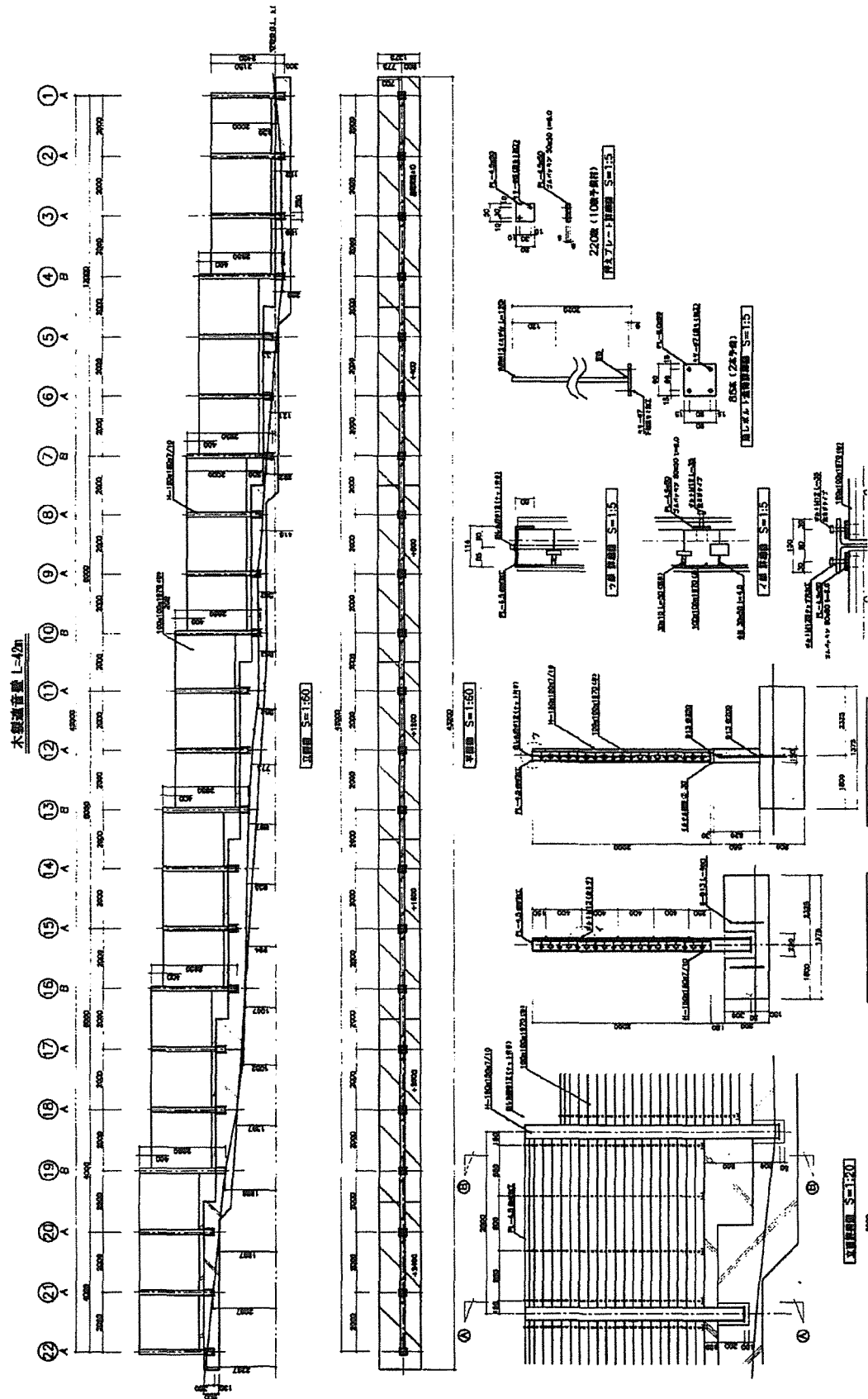
4.1 遮音パネルの製作と据え付け

材料として100mm角、長さ2mの大分県産スギ材を用いた。上述のスリットースリット型を基本にして加工を施した2種類の角材で、遮音パネルを作った。写真Ⅲ-1の断面図に見られる比較的大きな空洞部が400Hzの吸音を、小さな空洞部が1,000Hzの吸音をする役割を果たす。角材には、JIS K 1570 に規定するAAC系の木材防腐剤を加圧注入し、さらに表面にアルキッド系塗料を塗布した。遮音パネルはコンクリート基礎の上に2mおきに立てられたH型鋼にはめられ、ボルトで固定されて、木製遮音壁となった。写真Ⅲ-2は遮音壁設置前、写真Ⅲ-3は遮音壁設置後である。写真Ⅲ-4は道路側の遮音壁の前面(道路側)を、写真Ⅲ-5は木製遮音壁設置全景を示す。また写真Ⅲ-6はパネルの落とし込み作業を示している。

遮音壁の設置場所は、大分県臼杵市の野田地区で東九州自動車道の臼杵インターチェンジへの取付区間である。発注者は社団法人日本木材加工技術協会、施工者は株式会社ザイエンス、小代築炉工業株式会社である。



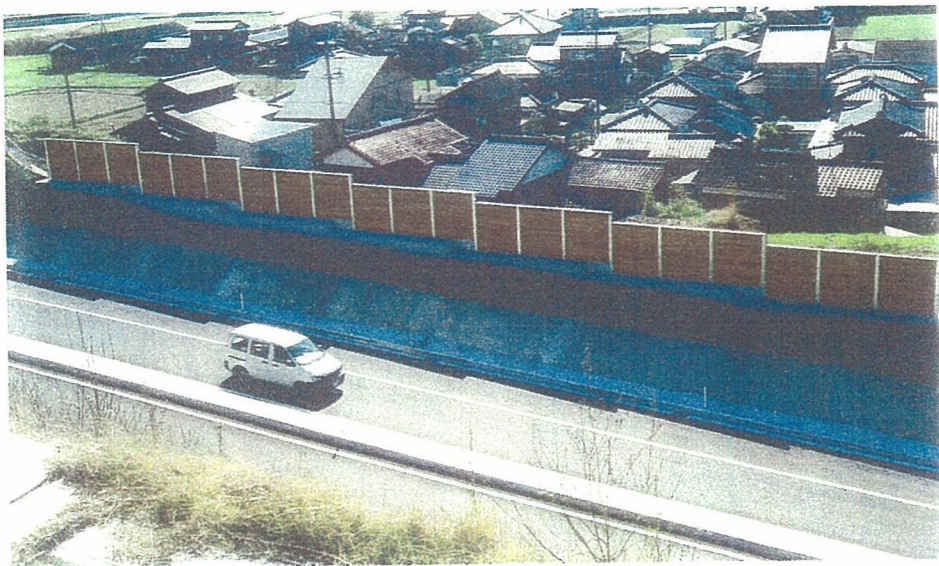
写真Ⅲ-1 遮音壁の断面形状



図III-1.7 木製遮音壁設置の設計図



写真Ⅲー2 遮音壁設置前の臼杵市野田地区



写真Ⅲー3 設置した遮音壁

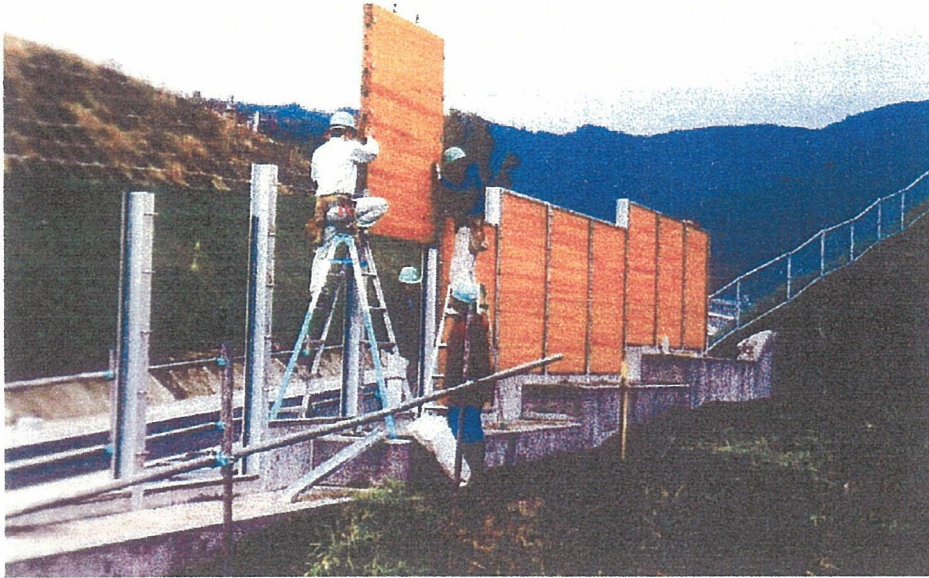


写真Ⅲ-4 設置遮音壁の前面（道路側）



写真Ⅲ-5 設置遮音壁の背面（住宅側）

風圧から設計した布基礎に2m間隔で22本の高さ2mのH鋼を立て、その間に加工した木材をはめ込んだ。設置延長は42メートルである。図Ⅲ-18から図Ⅲ-20に構造を示した。



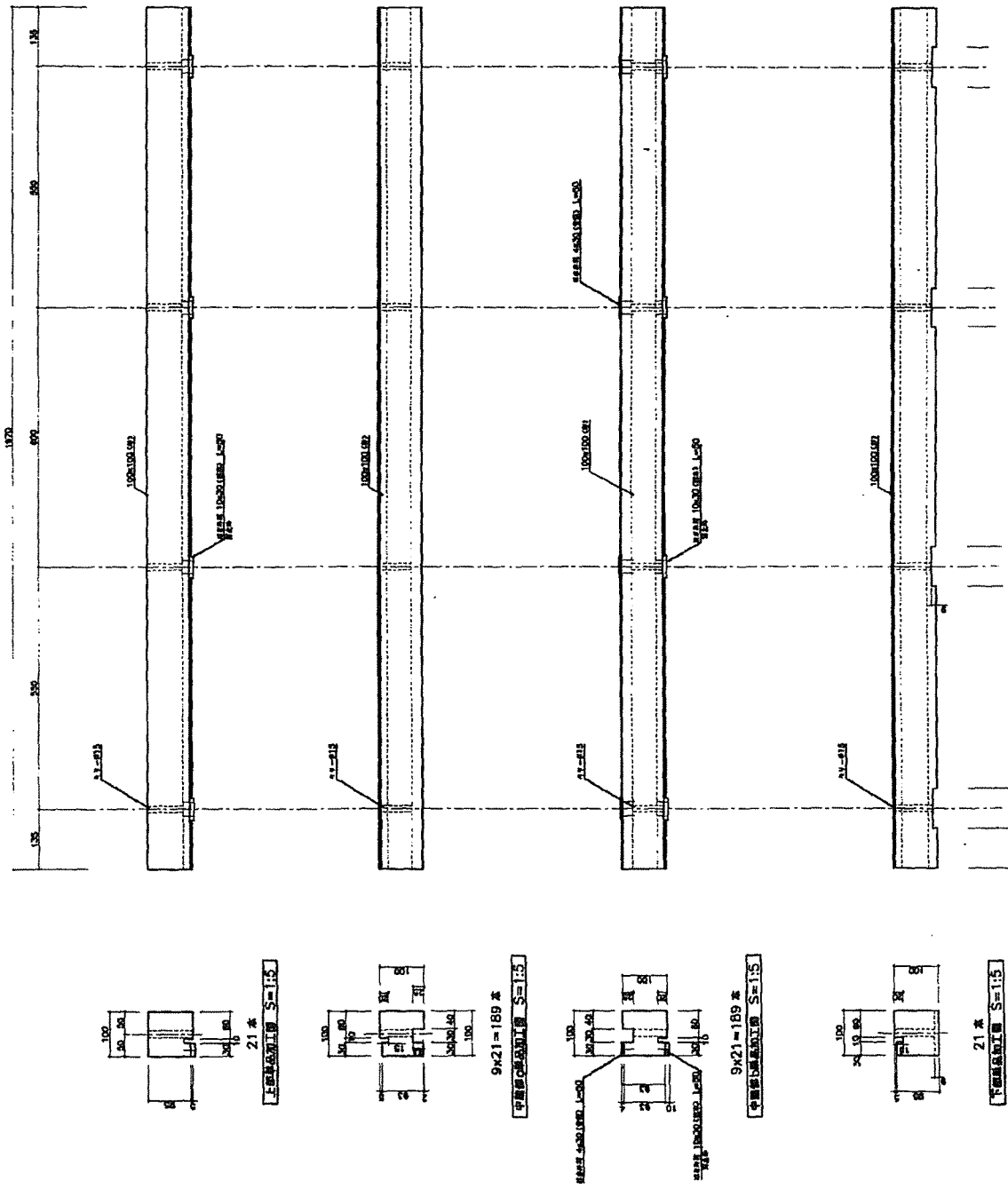
写真Ⅲ－6 パネルの据え付け

4.2 遮音パネルの音響性能

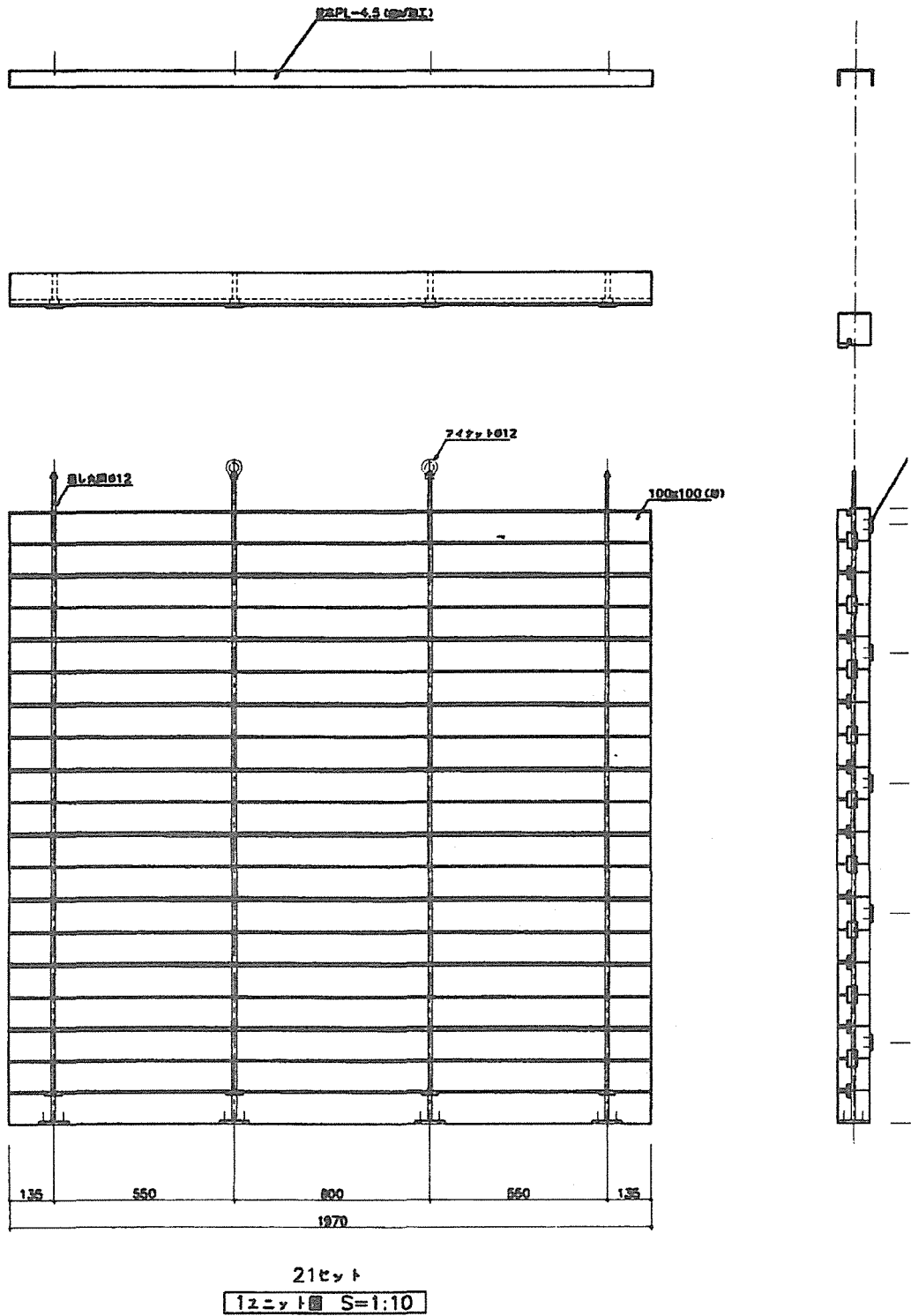
製作した遮音パネルについて、神奈川県横浜市の株式会社小野測器 音響試験室において、音響性能評価を行った。

遮音性能については、JIS A1416「実験室における音響透過損失測定方法」により行った。結果を図Ⅲ－21に示す。日本道路公団で定める基準は満足している。

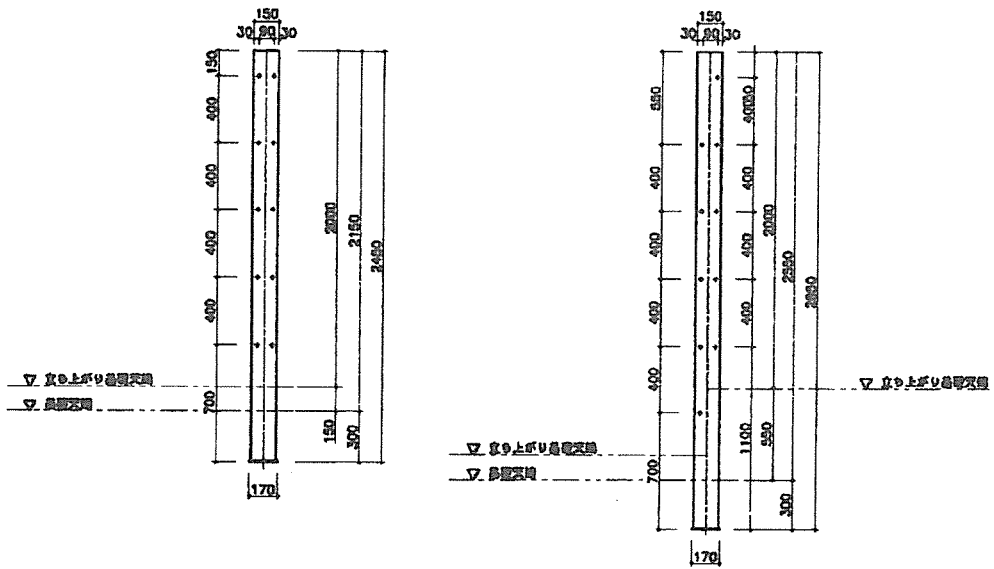
吸音性能については、JIS A1409「残響室法吸音率測定方法」により行った。各種パネルの吸音率測定結果は図Ⅲ－15に示している。日本道路公団で定める基準を満たしていないが、前節で述べたように、垂直入射吸音率では十分な吸音性能を備えており、吸音構造や密度の検討、パネル周囲の密閉化など、今後の改良によって基準値を上回ることが可能と考えている。



図III-18 スギ角材への吸音構造の加工

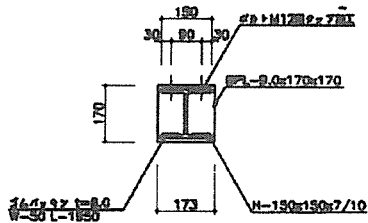


図III-19 加工された角材による遮音パネル

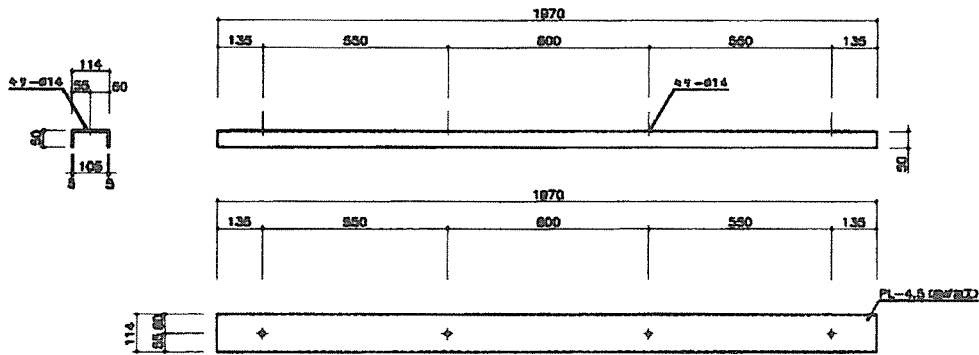


16本
AタイプH鋼加工目 S=1:20

④ ⑦ ⑩ ⑬ ⑯ ⑲
6本
BタイプH鋼加工目 S=1:20



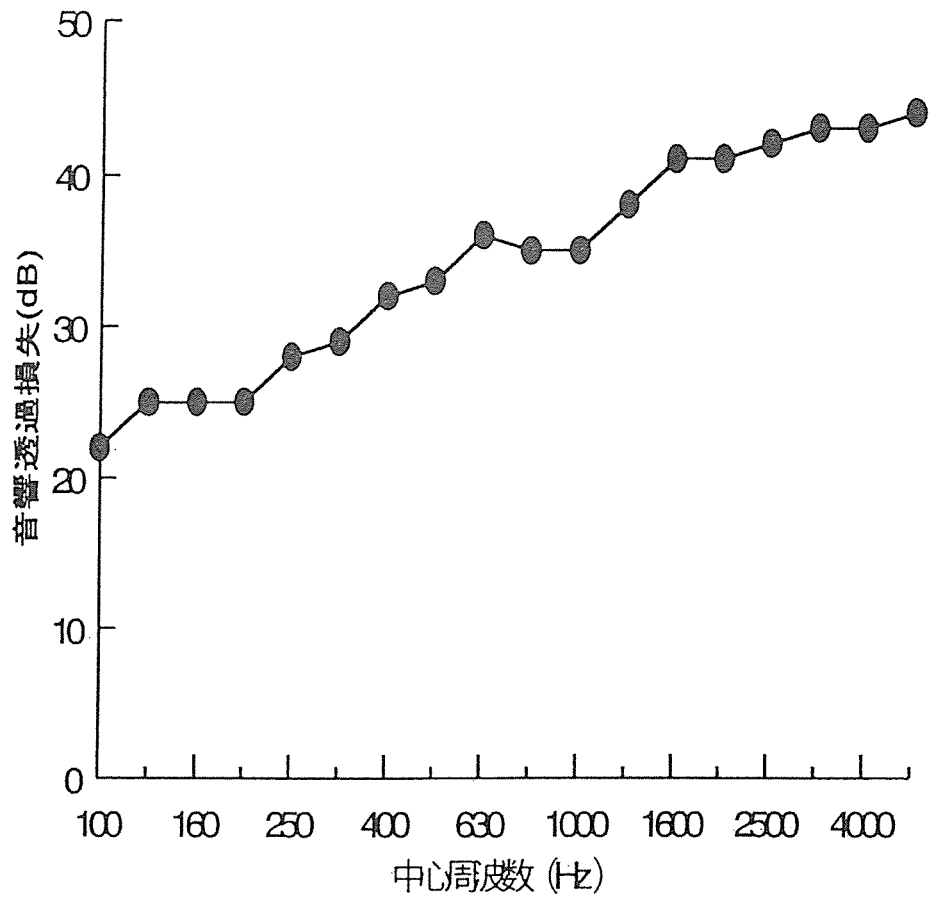
H鋼足元加工目 S=1:10



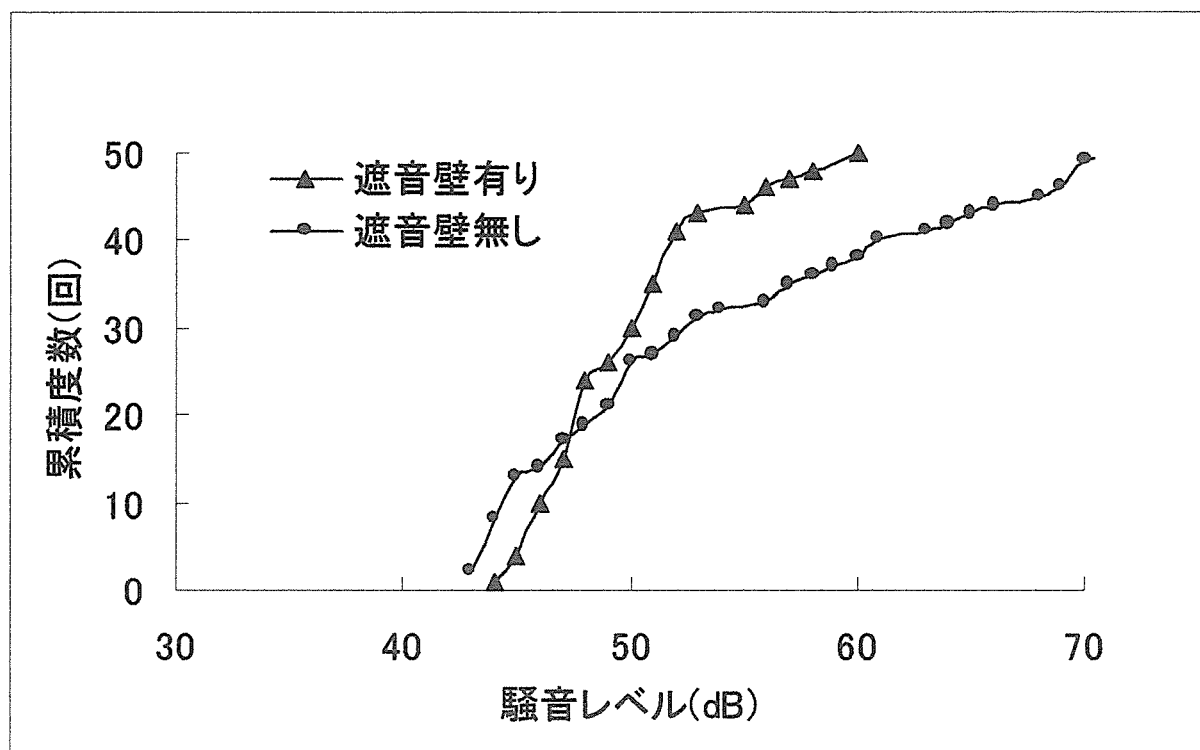
通貫部

21本
鉄木金物目 S=1:10

図III-20 パネルの緊結



図Ⅲ-21 設置パネルの音響透過損失



図Ⅲ－22 遮音壁設置の効果（測定日 2002.3.8）

4.3 設置現場における測定と評価

設置現場において騒音測定を行った。遮音壁のあるところとないところでの、騒音の比較をしたものが、図Ⅲ－22である。10秒ごとの測定値50回の累積値を示している。走行する車両が平均1分に1～2台と大変少ないので統計的処理をすることはできなかったが、路端で50数dB以上の騒音を発する車両通過時には、20dB以上の減少を示す。

この遮音壁について、大分朝日放送が取材を行い、平成14年3月14日にOABプライムニュースで放映している。遮音壁の効果と木材需要への期待を報道しているだけでなく、無機質な遮音壁よりも木材遮音壁の方がはるかによいとする付近住民の好意的な声も伝えている。

5. 今後の問題点

音響性能の向上

木材は10cm程度の厚さがあれば、道路公団の基準値を満足する遮音性を有している。これはこれまでの多くの木製遮音壁で実証されている。吸音性については、今回のプロジェクトによって、基準にかなり近い吸音性能を持つものが開発できた。今後さらに、吸音構造を工夫、開発をしていくことによってさらに音響性能に優れたものが開発されるだろう。

製造コストの低減

100mm厚さの木製遮音壁は m^2 当たり $0.1m^3$ の木材を使う。歩留まりを考慮し、加工費とボルトなどの費用をあわせると、 m^2 当たり1万円は優に超えるであろう。コスト的には反射型の代替としてコンクリートに勝つことはかなわない。このため、音響性能を付加して、吸音型として高付加価値化を図ろうとするのがこのプロジェクトの目的である。

加工法の工夫や間伐材などを利用することによって製造コストの低減を図ることができる。またこれまでの木製遮音壁は比較的短距離で、諸試験の実施が必要なことなどもあって、初期投資および固定費が相対的に高く、製造コストを押し上げていたといえる。長距離の大規模な木製遮音壁の設置により、製造コストは相対的に相当下がるのが期待できる。

また、今回のプロジェクトではスギ角材による吸音遮音パネルを作成しているが、合板などの木質ボードや集成材の利用によって、さらに機能性が高く、コストの安い遮音壁の開発も十分考えられよう。

補修を少なくすること

完全にメンテナンスフリーにすることは木製遮音壁では困難といえる。長期間、機能性を損なわず使用していくためには適切な補修は必要である。このためのコストは加算が必要である。しかし、近年の木材耐久性向上技術は素晴らしいものがあり、防腐、寸法安定、変色防止等の機能維持のための補修はかなり少なくすむと考えられ、10年間程度のメンテナンスフリーなら達成可能と思われる。

近年、積極的に木材を利用することが環境改善に寄与するという認識が進むようになった。また木材は廃棄時の再利用や処理が、金属材料や無機材料よりはるかに簡単に行えるし、あるいはバイオマスエネルギーとしても再利用できることが注目されてきた。このようにライフサイクル的に見ても、木材利用は再評価されつつある。

このような特質を生かすためにも木材を遮音壁に積極的に使用することは意義があると考えている。

今後解決されるべきの問題点としては、さらに製造コストを下げること、耐久性を向上させ長期間の使用に耐えうるものにする、さらに音響性能を高めること、親しみやすい美しいデザインのものを作ること、耐久性と音響性能を高める遮音壁の頭頂部形状の改良などがあげられる。

一昨年、パリおよびロンドン近郊で設置されている木製遮音壁や木製ガードレールを調査する機会があった。両都市近郊の高速道路で設置されている遮音壁はほとんど木製であり、フランスでは木製ガードレールが3,000kmにも及んでいる。日本ではほとんど使われ

ていないこのような木製外構材がかくも多用される理由はなにか、木製の方がコストは高くつかないか、という我々の質問に対するパリの木製外構材製造業者Tertu社のPhilippe Giacometti氏の「デザインの的にも機能的にも優れた木製の製品は使うのは当然のことである。フランスでは、木製のものを使うことが、環境の面を含めていろいろな面で有利であることが、社会的にも認容されており、3、4割コストが高くて、木製のものを使うことがあたりまえとされている。」という答えはまことに印象的であった。

参考及び引用文献

(規格、指針、手引き、報告書等)

- 1) 遮音壁設計要領：日本道路公団、
 - 2) 遮音壁標準設計図集：日本道路公団、1989
 - 3) 木製遮音壁技術指針：JH日本道路公団、2003
 - 4) 木製遮音壁設計施工の手引き：財団法人日本住宅・木材技術センター、1994
 - 5) Empfehlungen für die Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Strassen: Forschungsgesellschaft für Strassen-und Verkehrswesen, 1985 (道路遮音施設の景観設計参考資料、道路交通研究会 1985年版、ドイツ)
 - 6) Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verkehrslärmschutzverordnung, 1990 (連邦侵害防止法 16章による交通騒音防止規則、ドイツ)
 - 7) Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Strassen (ZTV-Lsw 88), 1988 (追加技術指針 道路遮音壁導入指針、ドイツ)
 - 8) JIS A 1405 音響インピーダンス管による吸音率及びインピーダンスの測定一定在波比法：日本規格協会
 - 9) JIS A 1416 実験室における音響透過損失測定方法：日本規格協会
 - 10) JIS A 1409 残響室法吸音率測定方法：日本規格協会
 - 11) 針葉樹の構造用製材の日本農林規格：平成 6 年農林水産省告示第 1627 号 1994、平成 13 年第 2 次改正 2001
 - 12) 平成 11 年度 人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業成果報告書：(社) 日本木材加工技術協会、2000 年 3 月
 - 13) 平成 12 年度 人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業成果報告書：(社) 日本木材加工技術協会、2001 年 3 月
 - 14) 平成 13 年度 人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業成果報告書：(社) 日本木材加工技術協会、2002 年 3 月
 - 15) 平成 14 年度 人に優しい木質資材公共利用促進技術開発事業成果報告書：(社) 日本木材加工技術協会、2003 年 3 月
- (論文、解説書等)
- 16) 安全工学協会編、安全工学講座 9 騒音・振動：海文堂出版、1982
 - 17) 日本音響材料協会編、騒音・振動対策ハンドブック：技報堂出版、1982
 - 18) 武井富喜雄、吉田孝久、橋爪丈夫他：木製防音壁の試作と性能評価、長野県林総研究

報告第5号、39-59、1990

- 19) Ise, S., Yano, H., Tachibana, H.: Basic study on active noise barrier, J Acoust. Soc. Jpn, Vol.12, No.6, 299-306, 1991
- 20) 庄野豊、吉田幸信他：道路遮音壁先端に設置する騒音低減装置の開発、土木学会論文集、504(25)、81-89、1994
- 21) Hasebe, M.: Sound reduction by T-profile noise barrier, J Acoust. Soc. Jpn, Vol.16, No.3, 173-179, 1995
- 22) 山下晶平、櫻川智史、遠藤恭延他：県産スギ材を用いた耐久性遮音壁の開発、静岡県工技センター研究報告、第41号、11-14、1996
- 23) 島広志、渡辺敏幸：最近の遮音壁の騒音低減効果、騒音制御、21巻、3号、170-174、1997
- 24) 山下晶平、櫻川智史、遠藤恭延他：県産スギ材を用いた耐久性遮音壁の開発(第2報)、静岡県工技センター研究報告、第42号、11-15、1997
- 25) 山本貢平：新型の道路用遮音について、日本音響学会誌、54巻4号、327-332、1998
- 26) 騒音・振動研究委員会：新型遮音壁の音響効果の評価方法について、日本音響学会誌、54巻4号、333-338、1998
- 27) 大西慶三、西村正治：アクティブ・ノイズ・コントロールによる道路交通騒音対策の実状、騒音制御、23巻、3号、153-159、1999
- 28) 渡久地政樹：騒音に係る新環境基準、ハイウエイ技術、No.14、16-19、1999
- 29) 三山敬：種々の材料を用いた遮音壁の実施例、騒音制御、23巻、3号、160-164、1999
- 30) 井堀秀雄、安藤恵介他：木製遮音壁の開発—種々の構造における垂直入射吸音率特性—、第50回日本木材学会大会研究発表要旨集、732、2000
- 31) 木製遮音壁性能試験の結果について：群馬県林業振興課資料、2000年
- 32) 喜多山繁、石田英生他：高い吸音性能を持つ木材遮音壁の開発、日本木材加工技術協会第19回年次大会要旨集、46-47、2001
- 33) 藤原恭司、尾本章他：ソフトな円筒状エッジを持つ実物大防音壁の遮音性能、騒音制御、25巻、6号、400-406、2001
- 34) 前川純一、森本政之、阪上公博：建築・環境音響学 第2版、共立出版、2001
- 35) 杉江聡、吉村純一、小川博正：間伐材を用いた木製吸音パネルの吸音性能について、日本音響学会講演論文集、801-802、2001
- 36) 網野廣之、後藤久慶、呂言他：スギ間伐材の六角柱圧縮加工と木製遮音壁等への応用事例、日本塑性加工学会第12回フォーラム要旨集、9-14、2001
- 37) Kitayama, S.: Development of Wood Soundproof Walls with High Sound-Absorbing Efficiency, 56th Annual Meeting of Forest Products Society, Madison, WI, USA, June 2002
- 38) Kitayama, S.: Control of Absorbing Frequency of Wood Panel by Processing Sound Absorbing Structure in Timber, The 3rd International Science Conference of Chip and Chipless Woodworking Processes, Stary Smokovec-Tatry, Slovakia, October 2002
- 39) 井堀秀雄：高い吸音性能を持つ木製遮音壁の開発、東京農工大学大学院農学研究科修士論文、2002
- 40) 守田龍人：音響的に優れた木製遮音壁の開発、東京農工大学大学院農学研究科修士論文、2003

41) 喜多山繁：高い遮音性、吸音性を持つ木製遮音壁の開発、フォレストコンサル、
No.92,803-808, 2003

(喜多山繁)

IV. 耐久設計と維持管理指針

1. 耐久性

1.1 概要

木製品を土木資材等屋外に使用する場合は、木材の耐久性にとっては極めて過酷な条件に曝される。したがって、長期の耐久性を期待する場合には①物理的対策②保存処理③維持管理、などの対策を総合して講じる必要がある。これらの対策は、木製防護柵、木製遮音壁に共通することが多いので、ここでは併せて記述することにする。

1.2 物理的対策

加工上の注意など物理的な対策は、木材に対する水の影響を排除するかが要点になる。

1.2.1 背割り

丸太、角材には背割りを施すこと。背割りを施す場合には、次の点に留意すること。

- 1) 背割りは材料の側面から中心部に向かって中心の深さまでを標準とする。
- 2) 横架材の場合の背割りは、設置した場合に下面になる位置に施すこと。
- 3) 設置後、人が直接接触する可能性のある用途については、危険回避のために背割り部分にカバーなどの保護をすること。
- 4) 背割りは、薬剤による保存処理を行う前に行うこと。

1.2.2 柱頂部

木材の柱頂部は、ヘッドキャップを付けるか、断面に傾斜を付けるなど柱頂部に水が滞留しないように配慮すること。

1.2.3 水抜き

使用時に水が滞留しないよう構造上の配慮を行うこと。構造上やむを得ず水が浸入する部分については、水はけの穴を設けるなどの工夫を行うこと。

1.2.4 塗装

塗装は、美観上の保護と同時に耐朽性の向上にも寄与する。とくに、保存処理した後の表面塗装は、薬剤の流脱を防止する効果がある。しかし、塗料の耐久性は現在の技術では、それほど長くは期待できないため、定期的（3～5年ごとに）に再塗装することが望ましい。

1.2.5 増し締め

木製遮音壁にあっては、施工後に壁体上下の増し締めが容易に行うことができる構造とすること。

1.2.6 笠木

木製遮音壁にあっては、壁面の最上部には雨水の侵入を避けるため、笠木を設けること。

1.3 保存処理

木材を屋外で使用する場合には、耐久性上薬剤による保存処理が不可欠である。保存処理の方法には、多くの方法があるが屋外で使用する場合は、加圧注入法による保存処理が最も信頼性が高い。したがって、ここでは、加圧注入法に限定して述べる。

加圧注入法は、JIS A 9002「木質材料の加圧式保存処理方法」に規定する方法で行うが、具体的条件は次による。

1.3.1 保存処理方法

1.3.1.1 注入処理前の含水率

注入処理前の木材の含水率は、平均 30%以下とする。この場合の含水率の測定は、(財)日本住宅・木材技術センターが認定する高周波式木材水分計で行う。

1.3.1.2 インサイジング

木材には、必要に応じてインサイジングを施す。インサイジングによる傷は、木材の欠点とはみなさない。インサイジングによる木材の曲げ強さ及びヤング係数の低下は、10%以下とする。

1.3.1.3 材料の加工

注入処理する材料は、必要な機械加工は全て保存処理の前に行ない、原則として処理後の加工は行わない。

1.3.1.3 加圧注入処理の条件

加圧注入処理の条件は、JIS A 9002 の規定にかかわらず表IV-1による。

表 IV-1 注入処理の条件		単位 MPa
前排気	加圧	後排気
減圧 0.08 以上	1.2~1.5	減圧 0.08 以上

備考

- (1) 表中の減圧度及び圧力は、いずれもゲージ圧で示す。
- (2) クレオソート油を使用する場合の注薬缶内のクレオソート油の温度は 60℃以上とする。
- (3) 加圧操作を終了し、注薬缶内の薬液を回収した後、注薬缶内で一定時間放置して後排気と同じ効果が得られる場合は、後排気を行わなくてもよい。

この場合、圧入量がほぼ平衡に達するまで**加圧を持続すること。

注** 圧入量が平衡に達したと判断する目安は、加圧時間の最終段階の 30 分間の圧入量が全累積圧入量の 2%以下になった時点とする。

1.3.1.4 注入量

注入量は、製品基準に規定する浸潤度及び吸収量を得るに必要な注入量を達成しなければならない。この場合の注入量は、次の(1)、(2)いずれかによって算出する。

$$(1) \quad R = \frac{m_2 - m_1}{V_1}$$

ここに、
R：注入量 (kg/m³)
m₂：注入処理前の木材の質量 (kg)
m₁：注入処理後の木材の質量 (kg)
V₁：注入処理前の木材の体積 (m³)

(2) 単一のロットを同一注薬缶で一度に処理する場合には、式中の“m₂-m₁”の代わりに木質材料中に注入された薬液の全容量を質量に換算したものをを用いる。

1.3.1.5 養生

- 1) 水溶性又は乳化性木材保存剤で注入処理した場合は、処理材の取扱いに支障がないようになるまで乾燥させるか、又は木材保存剤の成分が定着するまで保管する。
- 2) 油性及び油溶性木材保存剤で注入処理した場合は、処理材の取扱いに支障がないようになるまで保管する。

1.3.2 保存処理用薬剤

加圧注入用の保存処理用薬剤は、JIS K 1570「木材保存剤」に規定されたもの又は(社)日本木材保存協会認定の加圧処理用薬剤を使用する。JIS K 1570 に規定される薬剤を表IV-2に示す。また、参考として、それぞれの薬剤についての概要を表IV-3に示す。

これらの薬剤は、指定濃度*に水その他の溶剤に希釈されて使用される。

木材保存剤は、その種類によっては、部品として使用する金具を腐食するものもあるので、木材保存剤あるいは部品の材質を適切に選定すること**。

注*：指定濃度：それぞれの処理製品の製品基準に応じた吸収量を、確保するために必要な薬液の濃度。屋外製品部材の場合の吸収量は、JAS 及び AQ で規定される。

**：例えば、銅化合物を含む薬剤で処理した木材が、亜鉛メッキした金具と接触した場合は、電食を起こす可能性がある。

表IV-2 木材保存剤の種類

区 分	種 類		種 類 の 記号
水溶性 木材保存剤	第四級アンモニウム化合物系	1号	AAC-1
		2号	AAC-2
	銅・第四級アンモニウム化合物系	1号	ACQ-1
		2号	ACQ-2
	銅・アゾール化合物	1号	CUAZ-1
		2号	CUAZ-2
		3号	CUAZ-3
ほう素・第四級アンモニウム化合物系		BAAC	
第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系		SAAC	
アゾール・第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系		AZAAC	
乳化性 木材保存剤	脂肪酸金属塩	1号	NCU-E
		2号	NZN-E
		3号	VZN-E
油溶性 木材保存剤	ナフテン酸金属塩系	1号	NCU-O
		2号	NZN-O
	アゾール・ネオニコチノイド化合物系		AZN
油性 木材保存剤	クレオソート油		A

表IV-3 主な加圧注入用薬剤の概要

分類	薬剤の種類	概要
水溶性薬剤 (水に溶かして用いる薬剤)	第四級アンモニウム化合物系薬剤 (AAC)	AAC-1 は、DDAC (ジデシルジメチルアンモニウムクロリド) を有効成分とする薬剤。AAC-2 は、DMPAP(N,N-ジデシル-N-メチル-(ポリオキシエチル)アンモニウムプロピオネート)を有効成分とする薬剤でハロゲンを含まないのが特長。処理材の外観は、無処理材と変わらない。いずれも処理材の外観は無処理材と変わらない。
	銅・第四級アンモニウム化合物系薬剤 (ACQ)	銅化合物と第四級アンモニウム化合物ををアンモニア又はアミンを用いて水に溶解するように製剤化した薬剤。処理材の外観は、緑色～淡褐色 第四級アンモニウム化合物の種類によって1号と2号とがある。
	銅・アゾール系 (CUAZ)	銅とアゾール化合物をアミン類、界面活性剤を用いて水に可溶化させた薬剤。1号は、ほう素を含み、アゾール化合物としてはテブコナゾールを用いる。2,3号は、ほう素化合物を含まず、アゾール化合物としてはシプロコナゾールを用いる。3号には、有効成分のほか定着材としてリグニンスルホン産を含む。処理材の外観はいずれも淡緑色～淡褐色。
	ほう素・第四級アンモニウム化合物系薬剤 (BAAC)	ほう素化合物と、DDAC を有効成分とする薬剤。処理材の外観は、無処理材と変わらない。
	第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド系薬剤 (SAAC)	DMPAP とシラフルオフェンを有効成分とする薬剤。処理材の外観は、無処理材と変わらない。
	アゾール・第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド系薬剤 (AZAAC)	DMPAP とシプロコナゾール及びエトフェンプロックスを有効成分とする薬剤。処理材の外観は、無処理材と変わらない。
乳化性薬剤	ナフテン酸銅系 (NZN-E)	ナフテン酸(石油中の酸性物質)に銅が5～10%結合したもので、多くの有機溶剤に溶ける。界面活性剤を用いて水に乳化させて加圧注入する。処理材の外観は、緑色。
	ナフテン酸亜鉛系 (NCU-E)	ナフテン酸(石油中の酸性物質)に亜鉛が4～16%結合したもので、多くの有機溶剤に溶ける。界面活性剤を用いて水に乳化させて加圧注入する。処理材の外観は、通常の本材と変わらない。
	バーサチック酸亜鉛・ピレスロイド系 (VZN-E)	バーサチック酸(合成酸)亜鉛に防蟻成分としてパーメスリンを加えたもの。乳化性として加圧注入する。処理材の外観は、通常の本材と変わらない。

	ナフテン酸亜鉛 (NZN-O)	ナフテン酸(石油中の酸性物質)に亜鉛が 4~16% 結合したもので、多くの有機溶剤に溶ける。石油系の有機溶剤などに溶かして加圧注入する。処理材の外観は、通常の木材と変わらない。
	ニコチニル・アゾール化合物系 (AZN)	防腐成分としてシプロコナゾール，防蟻成分としてイミダクロプリドを組み合わせた製剤。溶剤回収法で用いられる。処理材の外観は、通常の木材と変わらない。
油性薬剤 (原液のまま で用いる油状 の薬剤)	クレオソート 油 (A)	石炭の高温乾留によって得られるコールタールを蒸留して得られる油で、ナフタリン，フェノール類，アンスラセンなど多くの化合物の混合物。これらの総合的な効果によって優れた防腐効力を示す。処理材の外観は黒色。

1.3.3 品質基準

1.3.3.1. 浸潤度

1) 製材及び丸棒の場合の浸潤度は、表IV-4による。

表IV-4 浸潤度の基準

区分 1)	樹種	浸潤度
I 心材の耐朽 性が大のもの	ヒノキ，ヒバ，ケヤキ，クリ，ベイヒ，ベイスギ，ベイヒバ，レッドウッド，バンキライ，バラウ，カプール，セラガンバツ	製材品：辺材部の 80%以上 丸太：辺材部の 80%以上
II 心材の耐朽 性が中のもの	スギ，カラマツ，クヌギ，ミズナラ，ベイマツ，ダフリカカラマツ，ライトレッドメランチ，イエロウメランチ，クルイン，ケンパス	製材品：辺材の 80%以上，及び表面から 10mm 以内に存在する心材の 80%以上 丸太：辺材部の 80%以上及び表面から 10mm 以内に存在する心材の 80%以上
III 心材の耐朽 性が小のもの	アカマツ，クロマツ，トドマツ，エゾマツ，ベイモミ，ベイツガ，ラジアタマツ，スプルス，ターミナリア，レッドラワン，アルストニア，プライ，ラミン	製材品： ①狭い材面が 50mm 以下の製材 木裏から 10mm の 80%以上，木表から材の厚さの 1/2 の 80%以上 ②狭い材面が 50mm を超え 75mm 以下の製材 木裏から 15mm の 80%以上，木表から材の厚さの 1/2 の 80%以上 ③狭い材面が 75mm を超える製材 木裏から 20mm の 80%以上，木表から材の厚さの 1/2 の 80%以上 丸太 2)：材面から 30mm の 80%以上

注 1) 新しい樹種については、耐朽性試験の結果に基づきそれぞれ区分する。

2) 丸棒を含む。

2) 集成材の場合の浸潤度の基準は次による。

集成材の表面から 10mm までの部分の 80% 以上及び全断面の 80% 以上

1.3.3.2. 吸収量

吸収量は、表IV-5による。

表IV-5 吸収量の基準

単位：kg/m³

薬剤の種類*	記号	吸収量
第四級アンモニウム化合物系薬剤 (AAC)	AAC-1	9.0 以上
	AAC-2	9.0 以上
銅・第四級アンモニウム化合物系薬剤(ACQ)	ACQ-1	5.2 以上
	ACQ-2	5.2 以上
銅・アゾール系 (CUAZ)	CUAZ-1	5.2 以上
	CUAZ-2	2.0 以上
	CUAZ-3	2.0 以上
ほう素・第四級アンモニウム化合物系薬剤(BAAC)	BAAC	6.4 以上
第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド系薬剤 (SAAC)	SAAC	5.0 以上
アゾール・第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド系薬剤 (AZAAC)	AZAAC	5.0 以上
ナフテン酸銅系 (NCU-E)	NCU-E	1.5 以上
ナフテン酸亜鉛系 (NCU-E)	NCU-E	4.0 以上
パーサチック酸亜鉛・ピレスロイド系 (VZN-E)	VZN-E	5.2 以上
ナフテン酸銅系 (NCU-O)	NCU-O	1.2 以上
ナフテン酸亜鉛 (NZN-O)	NZN-O	3.2 以上
ニコチニル・アゾール化合物系 (AZN)	AZN	0.3 以上
クレオソート油	A	80 以上

注* この表に規定されない薬剤で、AQ 認証として認められた薬剤については、その薬剤の AQ 外製品部材 1 種の吸収量を適用する。

1.3.4 製品検査

1.3.4.1 試料の採取方法

製品検査用試料の採取は、切断又は成長錐でのボーリングによる。試料の抜き取り本数は、表IV-6による。

IV-6 試料の抜き取り本数

ロットの大きさ (本)	切断による試験の場合の抜き取り本数	ボーリングによる試験の場合の抜き取り本数
1,000 以下	2	8
1,001 以上 2,000 以下	3	12
2,001 以上 3,000 以下	4	16
3,000 以上	5	20

1.3.4.1 浸潤度の測定方法

浸潤度の測定は、試料の切断面（ボーリングによる場合は、ボーリングによる試験片の側面）に各薬剤指定の指示薬を塗布してして薬剤の浸潤部分を呈色させ浸潤長をはかり、その浸潤長から浸潤度を求める。

1.3.4.2 吸収量の測定方法

吸収量の測定は、浸潤度試験に用いた試料から、吸収量試験用試験片を採取して、各薬剤指定の定量方法によって薬剤の含有量を定量し、吸収量を求める。

なお、あらかじめ作業液の濃度と吸収量の関係が明らかになっている場合は、作業液の濃度の測定結果を用いて判定してもよい。

1.3.5 その他

製品には、使用した木材保存剤の種類の記事を表示すること。

1.4 維持管理

1.4.1 劣化診断の方法

劣化診断の方法には、大きく分けて次の3種類がある。

1.4.1.1 一次診断

一次診断は、木材を目視によって劣化を判断する方法。特別な点検時だけでなく日常の巡回時などにも実行することができる。この方法の要点は、次のとおり。

- 1) 水の最も影響を受けやすい①地際部分②割れの部分③切欠きなどの加工部分④金具などとの接触部分を重点的に観察する。
- 2) 劣化した部分は、①健全な部分に比べて変色している②キノコの子実体が発生している③不自然な部分に土が付着している（シロアリによる被害の疑い）などによって判断する。疑わしい部分については、次の二次診断によってより正確な診断を行う。

1.4.1.2 二次診断

二次診断は、触診や、ハンマーなど簡易な道具を用いて行う方法。この方法は、ある程度の経験を要するが、一次診断に比べてより正確に診断ができる。具体的な方法は、次のとおり。

- 1) 触診 普及した木材は、周辺より軟らかくなっている。手で触って明らかに軟らか

くなっている場合は、腐朽が進行していると判断してよい。

- 2) 刺診 ドライバーやアイスピックなど先が尖ったもので突き刺して診断する方法。一次診断で劣化の疑いがある部分に突き刺して行う。劣化している部分は、軟らかくなっているので、道具の先端が周辺より深く進入する。
- 3) 打音診断 木材をハンマーなどで叩いて、その音で診断する方法。木材を叩いた場合、健全材では硬い音になるが、腐朽や、蟻害が内部に進行している場合は、濁った音、空洞音など健全部とは、異なった音になるので、これによって診断する。

1.4.1.3 三次診断

三次診断は、専門の機器などを用いて行う方法である。劣化診断のための専門の機器としてはピロディン（商品名）、超音波診断装置などがあるが、いずれも専門家が使用する道具であり、日常的ではない。通常の劣化診断は一次、二次診断によって行われる。

1.4.2. 補修の方法

補修の方法は、劣化の程度、部材の種類などによって異なるが、概略表IV-7 に示す方法によって行う。

表IV-7 補修の方法

劣化の種類	補修の方法
腐朽	保存薬剤の塗布、部材交換
蟻害	保存薬剤の塗布、部材交換
大きな割れ	保存薬剤の割れ部分への注入、充填材での充填
接着剥離	接着剤の充填、金具での補強
接合の不具合	増し締め、接合金物の交換、部材交換
隙間・ガタツキ	増し締め、樹脂充填
欠損・摩滅	樹脂充填、当て木
変形	矯正、部材交換
折損	部材交換
ぐらつき	増し締め
ささくれ	表面研磨、塗装
塗装の劣化	再塗装
変色	漂白剤の塗布、塗装

「木製外構材のメンテナンスマニュアル」（社）日本木材保存協会編から引用
（石田英生）

2. 木製遮音壁の火災安全性

遮音壁は、日本道路公団によって性能が規定されているが、遮音壁の構成材料は金属系、セメント系が中心で、木質系材料の例は少ない。不燃系材料で構成されるのが通例となっていることから遮音壁の火災安全性に関わる規定はなく、したがって試験方法もない。しかし、平成 15 年度木製遮音壁技術指針には、遮音壁を構成する木製材料の断面が 100mm 程度の厚さがあれば一定の耐火性を確保できるとある。

これらのことから、火災安全性は構成材料の断面の最小値（製品の最小値）が 100mm 以上であるか、既に行われている試験方法で確認する必要がある。また、火災安全性を維持するには、壁構成材料は上下または左右に緊結された状態が不可欠で、貫通部分は不可である。このことは、点検時の要点である。

「耐火性能」の定義は建築関連法規にあるが、上記の技術指針に記載ある性能は明確でないが、ここでは他からの火災、例えば野火や飛び火によって木製遮音壁に着火し、そのまま燃焼を持続することの無い性能、と解すれば、下記試験によって火源の燃料が燃え尽きた後に、遮音壁上の火災が消失し、火災を助長しない性能を指す。

現在、欧米において遮音壁の防火性能を求める規制は見当たらないが、これまでに、旧西ドイツでは試験法*定められている。群馬県、森林総合研究所が行った試験方法**は旧西ドイツの試験方法に準拠している。また、静岡県でも試験***が行われている。

*旧西ドイツ試験方法：(現在運用されているか不明、道路遮音壁導入指針、ZTV-Lsw88 : 1988 年版、旧西ドイツ交通省道路建設部門発行追加技術指針)

試験材の標準寸法が長さ 3,960mm、高さ 1,500mm の大きさで、20±5℃室内で行う。木製材料の含水率は 18%以内で、そのための乾燥法も DIN52183 と定めている。燃料は鉄カゴ（縦横 300×幅 200mm）の中に入れた木毛（DIN4077 にある 2mm 幅のドイツ トウヒ NO.20）である。この木毛は DIN50014 の 2/55-2 にしたがって一定重量にした材料である。これらを詰め込んだ二つの鉄カゴに同時に点火し、燃焼性状から評価する方法である。評価は、試験材に燃え広がりが無いこと、20cm 以上の展炎が無いこと、または木毛の燃焼終了後 2 分以内に火災が消えること、くすぶりがあっても他に影響を及ぼさないこと、火災の貫通が無いこと、などである。

**群馬県及び森林総合研究所の試験方法

試験材の寸法は高さ 2,000mm、幅 1,500mm の大きさ、燃料は鉄カゴに入れた 600g のスギのカンナくずとした。なお点火は鉄カゴ下部にメチルアルコール 50ml を含んだ繊維版（JIS A5905 相当品、10×10×300mm）3本を入れて、火災の大きさ、火災助長の有

無を判断基準とした。

***静岡県工業技術センターの試験方法

A. 旧西ドイツの試験方法

B. 屋外燃焼試験方法：試験材の寸法は高さ 2,000mm、幅 6,000mm、前面にガソリン 40 リットルを受け皿に入れ燃料とする。

文献：

1) 諸外国における高規格道路事業に関する研究：特定課題 道路環境（ドイツ）

平成 4 年 2 月から日本語訳抜粋：日本道路公団、(財) 高速道路調査会編

2) 静岡県工業技術センター研究報告 4 1 号 p.11-14 (1996)

3) 群馬県林業振興課：木製遮音壁性能試験結果について（第一報）より抜粋

(上杉三郎)