

## 平成 24 年度

### 地域材供給倍増事業

木造住宅・木造公共建築物等の構造部材開発等支援事業

(内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業)

【防腐合板遮音壁の開発・普及について】

## 事業報告書

平成 25 年 3 月

日本合板工業組合連合会

防腐合板推進協議会



# 目 次

## 防腐合板遮音壁の開発・普及について

はじめに	1
1. 事業計画	3
1. 1 目的	3
1. 2 事業実施体制	3
1. 3 事業内容	3
1. 3. 1 「防腐合板遮音壁開発委員会」の開催	3
1. 3. 2 部材開発の方法	4
1. 3. 3 成果のとりまとめ、普及方法	4
2. 合板遮音壁の強度設計と曲げ強度試験による安全性の確認	4
2. 1 強度設計	4
2. 1. 1 設計荷重	4
2. 1. 2 基本設計	4
2. 1. 3 計算	5
2. 1. 4 計算結果	6
2. 2 部材開発の方法曲げ強度試験	8
2. 2. 1 試験体	8
2. 2. 2 加力・測定方法	8
2. 2. 3 試験結果	8
2. 3 結論	12
3. 防腐合板遮音壁の音響性能ならびにモデル設置	13
3. 1 開発した木製遮音壁のモデル設置	13
3. 2 要約	13
3. 3 立地条件	13
3. 4 施工図	14
3. 5 基礎	16
3. 6 木製パネル設置施工	17
3. 7 施工後	20
3. 8 効果の確認	20
3. 8. 1 開発した遮音壁室内試験	20
3. 8. 1. 1 音響透過損失	20

3. 8. 1. 2 吸音率	23
3. 8. 2 現場での騒音の測定	25
3. 9 木製遮音壁の対する感想	28
3. 9. 1 現場施行者の感想	28
3. 9. 2 地域住民の感想	28
3. 10 事業の成果と今後の課題	28
3. 10. 1 デザイン性	28
3. 10. 2 施工性	29
3. 10. 3 コスト	29
3. 10. 4 遮音・吸音性能	30
3. 10. 5 その他の課題	31
謝辞	31
添付資料	32
資料1： 木製遮音壁構造計算書	32

## はじめに

本報告書は平成24年度林野庁補助事業「内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業(防腐合板遮音壁の開発)」によって行われた木製遮音壁開発の成果について報告するものである。

地球温暖化の防止や循環型社会の形成のためにも、再生産が可能で人や環境に優しい循環型の自然素材である木材の利用拡大を図っていくことが必要である。そのためには、住宅など建築関連分野の木材利用を推進するのみならず、公共土木資材や道路関連設備などの外構材としての木材の利用をも推進する必要がある。

木製遮音壁は、道路環境のアメニティーの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。

日本の道路における木製遮音壁は現在のところ、総延長はわずか数kmに過ぎない。木製遮音壁が我が国で普及が進まないのは、コストの高いこと、耐久性に対する信頼性が低いこと、吸音性能など音響性能が低いこと、2mスパンの長さのパネルしか作れず基礎工事に相対的に高い費用が掛かることや既存の遮音壁パネルの代替に使えないことなどがあげられる。

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、また周辺住民の要求と感覚に合うものでなければならない。各地の木製遮音壁設置付近住民に対する聞き取り調査では木製のものに対して好評であったし、かつて日本木材加工技術協会プロジェクトとして技術開発し、木製遮音壁を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た。四六時中、目の前の存在する壁が無機質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。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。木製遮音壁の普及は大きな可能性を秘めていると考えられる。

今回のプロジェクトで開発された防腐合板遮音壁は、木製遮音壁の普及を妨げてきたいくつかのハードルをおおむねクリアするものとなった。すなわち、

- ・防腐合板を用いることによって耐久性に対する信頼性を上げ、かつコストの低減にも寄与できた。
- ・木製材と合板によって十分な強度を持つ4mスパンの長さのパネルを作ることができ、基礎工事の費用を低減し、かつ従来の無機質遮音壁更新の際の代替も可能になった。
- ・高性能の吸音材料を内部に装填することにより、吸音性遮音壁としての性能を発揮することができた。

・車道側は千本格子を思わせる動的で斬新なデザインに、住民側は木材の肌目面をみせる形状のものに仕上げることができた。

ことなどである。

設置した福島県の住民の方の評価もなかなか高いようであったし、現地での音響試験でも満足する結果を得た。

さらにコスト低減や信頼性の向上のための不断の技術開発が必要であるが、今回開発した防腐合板遮音壁が我が国の木製遮音壁の普及に貢献することを期待したい。

平成25年3月

防腐合板遮音壁開発委員会委員長

喜多山 繁

## 1. 事業計画

### 1. 1 目的

これまで、木製遮音壁の普及しにくい理由として、コスト面、デザイン性が挙げられていたが、国産スギ合板を利用した木製遮音壁の開発で目標はクリアできた。

しかし、現状の遮音壁は金属製が多く使用され、遮音壁パネルの長さは、4mを基本としている。上記の防腐合板遮音壁は、2m長さを基本としていた。そこで、今回、防腐合板遮音壁の4m長さを開発することを目的とした。この成果により、遮音壁の工事価格の大半を占める支柱設置費用が削減され、また既存の金属製遮音壁との互換性が生じ、新設工事だけでなく、リニューアル工事へも木製遮音壁が対応できるようになる。

### 1. 2 事業実施体制

学識経験者、建設・土木企業、日本合板工業組合連合会会員、防腐合板推進協議会会員等の関係者からなる「防腐合板遮音壁開発委員会」を開催し、事業の対象とする①合板遮音壁の強度試験による安全性の確認、②防腐合板遮音壁の音響性能試験ならびにモデル設置を行い、その成果の普及を図る。

### 1. 3 事業内容

#### 1. 3. 1 「防腐合板遮音壁開発委員会」の開催（3回）

委員長	喜多山 繁	東京農工大学名誉教授
委員	神谷 文夫	セイホク株式会社 技師長（CTO）
委員	松本 義勝	越井木材工業株式会社
委員	山口 秋生	越井木材工業株式会社
委員	駒木根 悟吾	越井木材工業株式会社
委員	蒔田 章	大日本木材防腐株式会社
委員	赤堀 裕一	大日本木材防腐株式会社
委員	手塚 大介	兼松日産農林株式会社
委員	森若 専太	兼松日産農林株式会社
委員	吉岡 寛	株式会社 紅中
委員	三輪 滋	飛島建設株式会社
委員	成田 敏基	株式会社 キーテック

事務局長	川喜多 進	日本合板工業組合連合会
事務局	徳山 勝義	〃
	〃 宮本 友子	〃
	〃 寺田 茂雄	東京・東北合板工業組合
	〃 佐々木祐子	東京・東北合板工業組合

（敬称略・順不同）

### 1. 3. 2 部材開発等の方法

- ① 4 m スパン対応の木製遮音壁の構造仕様の検討と試作
- ② 音響性能試験実施
- ③ モデル施工と現場での音響性能検証
- ④ 付近の住民へのアンケート調査

### 1. 3. 3 成果の取りまとめ、普及方法

- ① 道路発注管理者、街作り担当者を対象にした報告会を開催
- ② ホームページへの掲載

## 2. 合板遮音壁の強度設計と曲げ強度試験による安全性の確認

### 2. 1 強度設計

#### 2. 1. 1 設計荷重

設計荷重は風圧力として  $1.5\text{kN/m}^2$  とする。

遮音壁パネル1枚の幅を  $910\text{mm}$  とすると、設計荷重は等分布荷重、 $w$  として、パネルの単位長さあたり、

$$w = 1500 \times 0.91 / 1000 = 1.365\text{N/mm}$$

#### 2. 1. 2 基本構造

土台用として流通しているベイツガ製材2本を梁とし、これに厚さ  $24\text{mm}$  のオールスギ構造用合板を張って構成する。

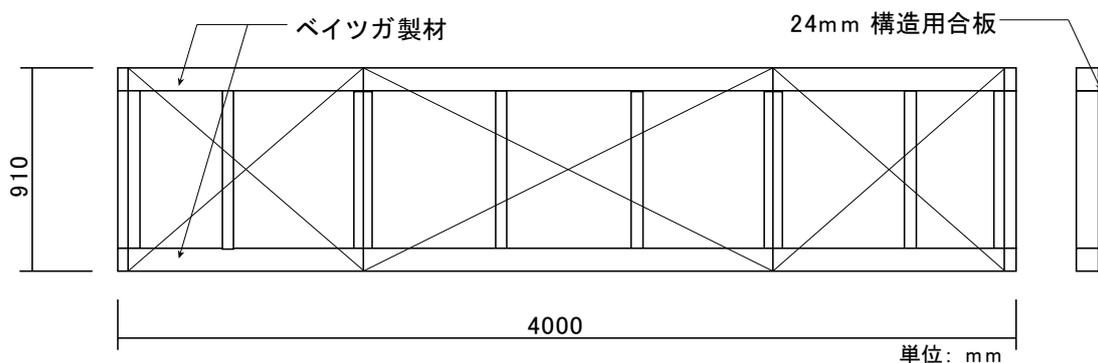


図1. 合板遮音壁の基本構造

製材の断面を決定するため、製材の断面（ $90\text{mm}$  角または  $105\text{mm}$  角）及び合板の留め方（接着、釘留め、ビス留め）をパラメータとして強度計算を行った。また参考の

ために、合板の厚さ（12、15、18、24mm）を変えた場合についても計算を行った。

## 2. 1. 3 計算

### ① 風圧力による合板の面外曲げ応力度チェック

風圧力は、まず合板が受けて梁に伝達される。そこで、合板の曲げ強度について検討を行った。

合板の断面係数（幅 1000mm とする）、 $Z=1000 \times 24^2 / 6 = 96000 \text{mm}^3$

合板の曲げ応力度（合板の短手方向）＝

$$M/Z = wL^2 / (8Z) = (1500/1000 \times 910^2) / (8 \times 96000) = 1.62 \text{N/mm}^2$$

ただし、M は曲げモーメント、L はスパンで 9100mm。

構造用合板の短手方向の短期許容曲げ応力度は、建築学会「木質構造設計基準・同解説」によると、 $0.8 \times 2 = 1.6 \text{N/mm}^2$  であり NG となるが、この許容応力度は JAS 規格に沿って最も弱い合板を製造した場合の値であって、製造実態にはそぐわない。厚さ 24mm の構造用合板については、日本合板工業組合連合会の調査実験等により、製造実態に沿った値が提案されている。それによると、短手方向の短期許容曲げ応力度は  $5.0 \text{N/mm}^2$  であり、OK となる。

### ② パネルの強度とたわみのチェック

次にパネルのスパン方向の計算を行う。このような組立パネルでは、合板の応力は幅方向に等分に分布しないため、その全幅が有効に働かないことが解っている。合板の応力が等分に分布するとみなした時の力学的に等価な幅は有効幅と言われる。有効幅は合板の弾性係数（ヤング係数、せん断弾性係数等）と荷重形式に応じて求められるが、荷重形式の影響はさほど大きくないことが知られているので、ここでは、建築学会編「木質構造設計基準・同解説」を参考に、有効幅は実幅の 60%、すなわち  $910 \times 0.6 = 546 \text{mm}$  と仮定した。

釘留めやビス留めの場合、合板と製材との接合部はずれ（スリップ）を生じる。スリップを考慮したパネルの応力とたわみを解析する式がいくつか提案されている。ここでは、その中の一つである下記の文献にある簡略式を用いた。

- ・ 神谷文夫：木質釘着パネルの非線形曲げ解析 第 1 報、基本モデルとしての釘着梁の解析、Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No. 329, 1984、pp 121-142
- ・ 神谷文夫：木質釘着パネルの非線形曲げ解析 第 2 報、釘着梁理論の釘着パネルへの適用、Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No. 329, 1984、pp143-165

釘留めとビス留めの荷重—スリップデータは実験より求めた。なお、ビスの初期剛性はCN75と同程度であるが、最大耐力は120kg/本 (φ4.1)、90kg/本 (φ3.8) とCN75の0.6～0.45倍である。

ベイツガ製材の曲げヤング係数を9.31kN/mm<sup>2</sup> (95000kgf/cm<sup>2</sup>)、の合板の長軸方向曲げヤング係数は2.94kN/mm<sup>2</sup> (3000kgf/cm<sup>2</sup>)、厚さ24mmの合板の曲げヤング係数は3.92kN/mm<sup>2</sup> (4000kgf/cm<sup>2</sup>) と仮定した。

## 2. 1. 4 計算結果

計算結果を表1～3に示す。計算結果をまとめると以下のようなになる。

・強度に関しては、合板がなくても、2本の正角材 (105角、または90角) だけでも十分である。

(ベイツガ無等級材基準強度 = : 25.2N/mm<sup>2</sup> → 短期許容応力度 = 16.8N/mm<sup>2</sup>)

- ・従って、断面構成は、たわみ変形から決定することになる。
- ・合板がない場合のたわみは、90角では45mm、105角では24mmとなる。
- ・24mm合板を接着する場合のたわみは、105角では14mm (スパンの1/286)、90角では22.4mm (スパンの1/179) となる。
- ・合板を釘打ちまたはビス留めすれば、合板の複合効果により、たわみは2～3mm程度 (105角)、9mm程度 (90角) 減少する。

表1. 接着または接着しない場合の計算結果 (荷重=1.5kN/m<sup>2</sup>)

製材			合板			たわみ	応力度	
厚さ (mm)	幅 (mm)	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	有効幅率 (-)	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	(mm)	製材 (N/mm <sup>2</sup> )	合板 (N/mm <sup>2</sup> )
105mm角2本使用 合板片面接着								
105	105	9.31	24	.60	2.94	14.0	4.84	1.64
105	105	9.31	18	.60	2.94	15.9	5.35	1.77
105	105	9.31	15	.60	2.94	17.1	5.61	1.84
105	105	9.31	12	.60	2.94	18.3	5.82	1.90
90mm角2本使用 合板片面接着								
90	90	9.31	24	.60	2.94	22.4	7.07	2.07
90	90	9.31	18	.60	2.94	26.2	7.87	2.52
90	90	9.31	15	.60	2.94	28.5	8.32	2.66

90	90	9.31	12	.60	2.94	31.0	8.81	2.80
105mm または 90mm 角 2 本使用 合板留めず								
105	105	9.31	24	1.0	3.92	23.6	6.92	0.67
90	90	9.31	24	1.9	3.92	42.9	10.79	1.21
105mm または 90mm 角 2 本使用 合板なし								
105	105	9.31	-	-	-	24.1	7.07	-
90	90	9.31	-	-	-	44.7	11.23	-

表 2. 合板片面釘留めの場合の計算結果 (荷重=1.5kN/m<sup>2</sup>) 釘: CN75

製材		釘間隔 (mm)	端部の釘		たわみ (mm)
厚さ (mm)	幅 (mm)		スリップ (mm)	応力 (N/本)	
105	105	100	0.06	277	20.1
105	105	200	0.15	443	20.9
90	90	100	0.10	361	35.4
90	90	200	0.23	595	37.0

表 3. 合板片面ビス留めの場合の計算結果 (荷重=1.5kN/m<sup>2</sup>)

製材		ビス (φ)	ビス間隔 (mm)	端部のビス		たわみ (mm)
厚さ (mm)	幅 (mm)			スリップ (mm)	応力 (N/本)	
105	105	φ4.1 L50	100	0.04	278	19.9
105	105	φ4.1 L50	200	0.16	423	21.0
105	105	φ3.8 L45	100	0.05	271	20.0
105	105	φ3.8 L45	200	0.18	412	21.2

以上の結果を参考に、たわみは 20~25mm 程度に収めたいこと、施工性の点では接着剤や釘留めよりビス留めの方が優れていること、耐久性の点で合板の厚さは 24mm が最も信頼性があること等を勘案し、はりには 105mm 角を使用し、24mm 合板をビス留め(φ4.1@200mm) とすることとした。

## 2. 2 部材開発等の方法曲げ強度試験

### 2. 2. 1 試験体

試験体は構造部分(105mm 角のベイツガ角材を主とする枠組みと厚さ 24mm のオールすぎ構造用合板)のみとした。吸音材と仕上げ用(装飾用)合板は張らない。試験体数は 3 体である。

### 2. 2. 2 加力・測定方法

荷重方式はスパン 3840mm の 4 等分点荷重とし、荷重は梁または梁上の合板に加えた。まず、合板との複合効果がない状態での剛性試験として、24mm 合板をビス留めしないで枠組みに単に重ねただけの状態での設計荷重をやや超える荷重を加えてたわみを測定した。荷重方向は、全試験体とも合板側が凹になる方向とした

次に、徐荷後、合板をビス留めし、完成した状態で破壊まで荷重をかけた。荷重方向は、No.1、3 は合板側が凹になる方向、No.2 は凸になる方向とした。

荷重は油圧セルにて測定し、たわみは 2 本のはりの中央に巻き取り式変位計を取り付けて測定した。

### 2. 2. 3 試験結果

すべての試験体の破壊モードは、はりの曲げ破壊であった。

実際の施工では、150H の形鋼で支持するため、そのフランジのエッジで支えられるとすればスパンは 3850mm となり、試験のスパンとほぼ同じである。最大モーメントは実施工時(等分布荷重： $wL^2/8=PL/8$ )と、試験(4 等分点荷重： $PL/8$ )では同じであるから、試験の加力方式においても設計荷重(総荷重=5.46kN)は同じと見て良い。

ただし、たわみについては、

$$\text{実施工時(等分布荷重)} : \delta = 5wL^4/384EI = 5PL^4/384EI$$

$$\text{試験時(4 等分点荷重)} : \delta = 11PL^3/768EI$$

ここで、 $w=1.365\text{N/mm}$ 、 $L$ =スパン、 $wL=P=5.46\text{kN}$ (総荷重)、 $EI$ =見かけの曲げ剛性

であるから、同じ総荷重に対する試験のたわみは、実施工時の  $(11/768) / (5/384) = 1.10$  倍となる。従って、当試験条件では、設計荷重 (5.46kN) の 1.10 倍である 6.01kN 時のたわみが設計荷重時のたわみに相当する。まとめると、設計荷重と計算による予測たわみは以下となる。

設計荷重=5.46kN

設計荷重時のたわみ=本試験では 6.01kN 時のたわみ=21.0mm

試験結果を表 4 にまとめた。

表 4. 試験結果のまとめ

試験体 No.	荷重 (kN)			設計荷重時のたわみ (mm)		
	設計荷重	最大荷重	最大荷重/設計荷重	計算	実験	実験/計算
1	5.46	34.8	6.4	21.0	22.1	1.05
2		31.6	5.8		22.0	1.05
3		34.9	6.4		18.0	0.86
(平均)		33.8	6.2		20.7	0.99



図 2. 加力方法



図 3. 加力ポンプと測定用 PC



図 4. 試験体 No.1 の破壊時の様子



図 5. 試験体 No.1 の破壊時の様子 (続き)



図 6. 試験体 No.2 の破壊時の様子



図 7. 試験体 No.2 の破壊時の様子 (続き)



図 8. 試験体 No.3 の破壊時の様子

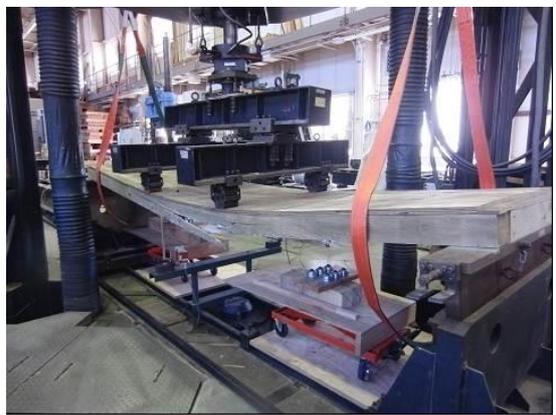


図 9. 試験体 No.3 の破壊時の様子 (続き)

図 10.  
No. 1 の荷重たわみ関係

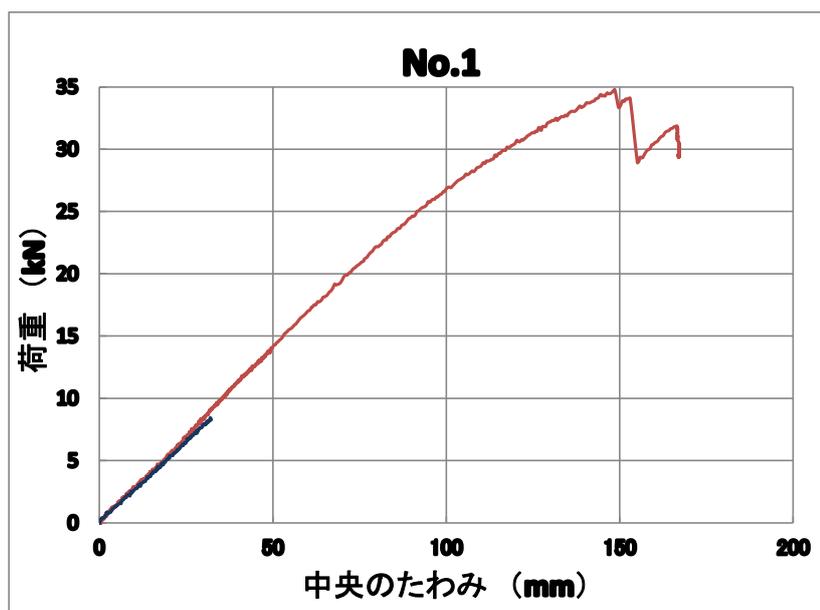


図 11.  
No. 2 の荷重たわみ関係

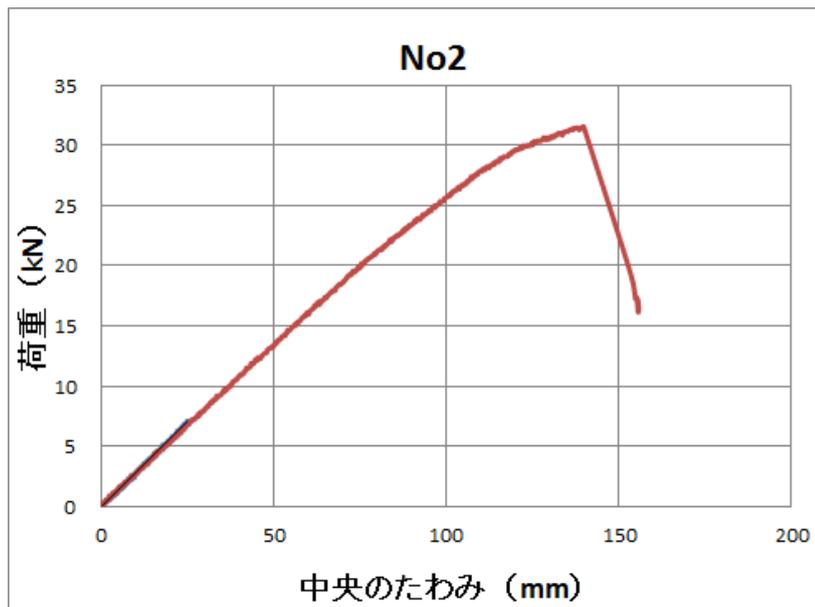
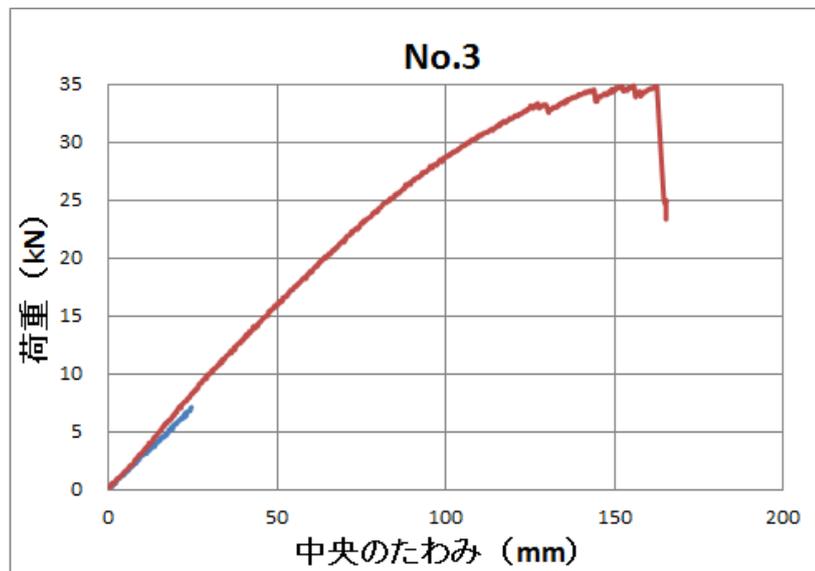


図 12.  
No. 3 の荷重たわみ関係



試験結果をまとめると以下のようなだろう。

- 曲げ強度は設計荷重の 5.8~6.2 倍で十分な安全率がある。なお、木材の強度は含水率の上昇によって低下する。低下率を 2/3 としても 4 倍程度の安全率がある。
- 設計荷重時のたわみは 18~22mm で、この値はスパンのおよそ 1/200 であり、安全性に問題はないと考えられる。
- 設計荷重時のたわみの平均値は計算値の 0.99 倍であり、良く予測されている。
- 最大荷重時のたわみは平均で 150mm 程度であった。これはスパンの 1/27 であり、この程度のたわみであれば、パネルがサポートの H 形鋼から脱落することはなかろう。
- 試験体 No.1 と No.2 では、合板をビス留めしない時と比べて、ビス留めした時のたわみは、0.8、3.2mm 小さい。No.2 では逆に合板をビス留めするとたわみは 0.5mm 大きくなってお

り理に合わない。これは、No.2 では、合板を留めつけた後、試験体の上下をひっくり返しており（荷重方向は合板側が凸になる方向）、このことが原因になっていると推察される。

### 2. 3 結論

合板遮音壁の構造設計を行い、曲げ強度試験を行った。その結果、最大荷重は設計荷重（ $1.5\text{kN/m}^2$ ）のおよそ 6 倍、設計荷重時のたわみは約 21mm（スパンの 1/190）であり、安全性が検証された。

### 3 防腐合板遮音壁の音響性能ならびにモデル設置

#### 3. 1 開発した木製遮音壁のモデル設置

木製遮音壁の良さをアピールするとともに、デザイン性・施工性等の改良点及び遮音性能・吸音性能を確認するために福島県石川郡古殿町の国道 349 号沿いに遮音壁を設置した。

#### 3. 2 要約

開発した木製遮音壁のモデル設置を、福島県石川郡古殿町の国道 349 号沿いに施工し、デザイン性・施工性等の確認と、実際の遮音・吸音効果について測定を行った。

#### 3. 3 立地条件

下記に木製遮音壁を設置した立地条件を示す（図 1 3～1 5）

路線名 : 国道 349 号線

地名 : 福島県石川郡古殿町山上浪滝 1 0 6 番地

交通量 : 91 台/2h

施工延長 : 20m

地質 : レキ質土



図 1 3. 設置場所地図



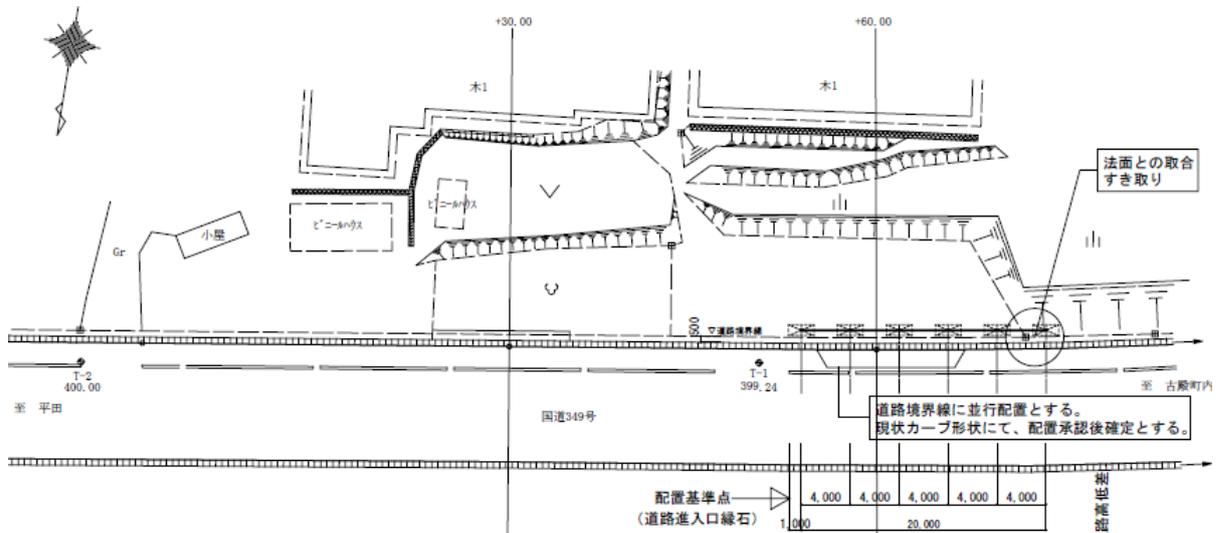
図14. 設置場所で打合せ



図15. 設置場所全景

### 3.4 施工図

木製遮音壁の現場施工の平面図、断面図を図16、17に示す。



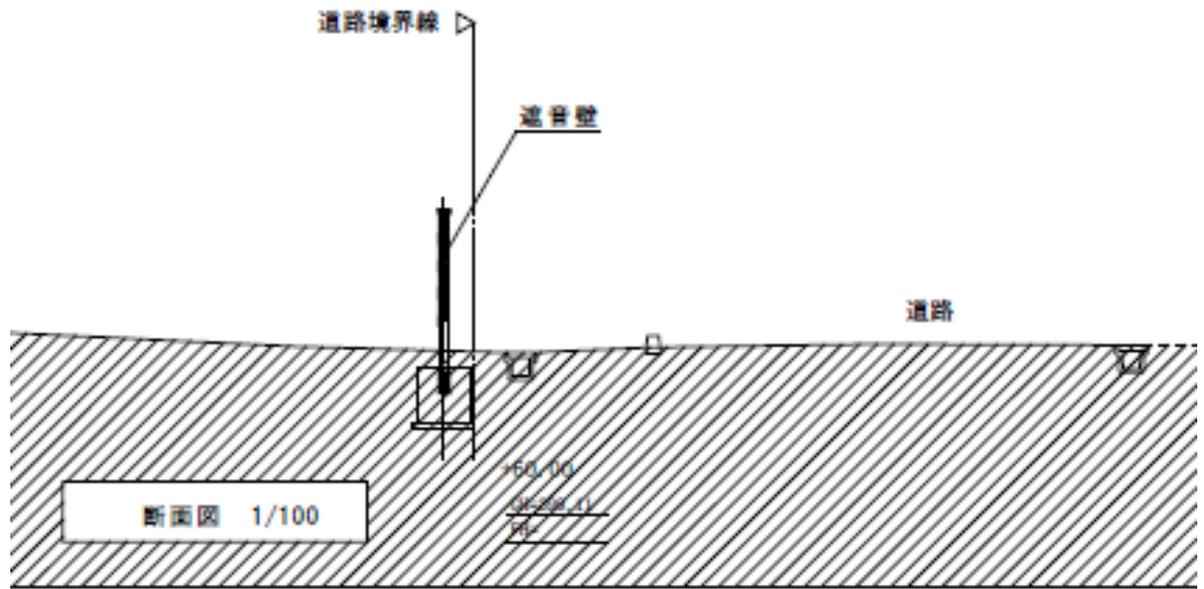


图 1 7. 断面图

### 3. 5 基礎

設置箇所の土質調査・風耐圧計算を行い、必要な基礎を設定した。(添付資料1)

基礎は、直径 2,100mm、深さ 900mm のコンクリート基礎を使用した。コンクリート基礎に H 型鋼を 400mm の長さを差し込み、スパイラル鉄筋にて根巻きした (図 18)。

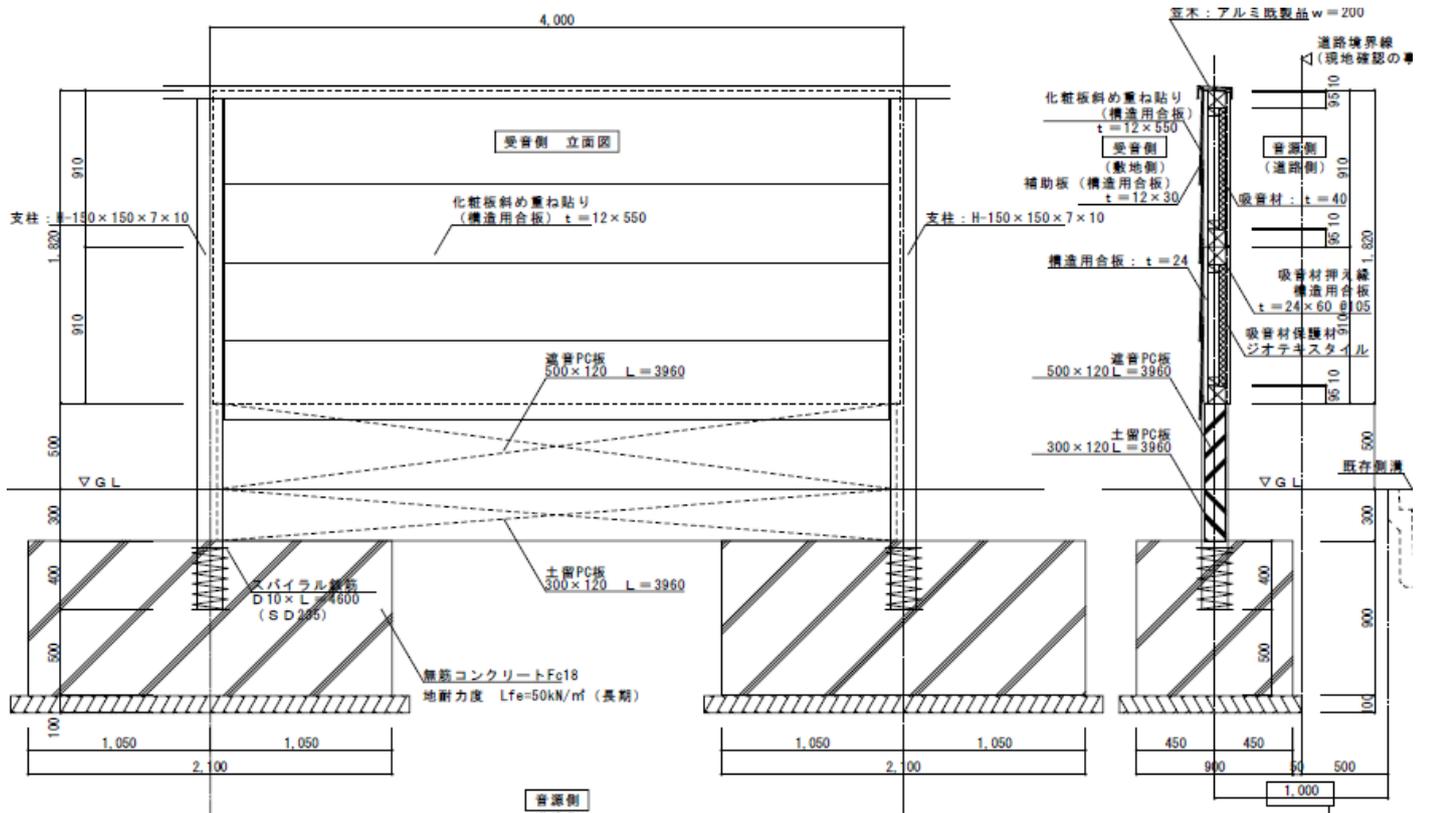


図 18. パネル図

### 3. 6 木製パネル設置施工

木製パネルのサイズならびに使用材料を表 1 に示す。合板は JAS 性能区分 K4 相当の加圧式防腐防蟻処理した合板を使用した。また、枠材・中間角材も同じように JAS 性能区分 K4 の加圧式防腐防蟻処理した木材を使用した。今回使用の保存剤加圧式防腐防蟻木材は、15 年以上の耐久年数があるという報告がある。(日本木材防腐工業組合発行 加圧式保存処理木材の手引き)

表 5. 木製パネルの規格表

サイズ(mm)	厚み 178 x 高さ 910 x 長さ 3959
使用材料	表裏面材 24mm 加圧式防腐処理合板(JAS K4)
	化粧材 12mm 加圧式防腐処理合板(JAS K4)
	枠材 加圧処理木材(JAS K4)
	枠材 105 x 105mm
	中間各材 65 x 90mm、65×45mm
吸音材	ロックウール 100kg/ m <sup>3</sup>

構造計算されたコンクリート基礎ならびに H 鋼を施工後、木製パネルをはめ込んだ。

本来はコストを抑える為、基礎は 3m 程度の鋼管杭打込みの方式としたかったが「GL から 2m 程度で固い岩盤が出る地域なので鋼管杭打込みは難しい」との地元の現場施工業者示唆あり、重量コンクリート基礎の方式とした(図 1 9～2 1)。

コンクリート基礎に根巻きの為にスパイラル鉄筋を取り付け、H 型鋼を深さ 400mm のまで差し込んで固定した後(図 2 2、2 3)、木製パネルを基礎に立てた H 型鋼の間に落とし込んでのはめ込んだ。パネルのはめ込みはパネル 1 枚が推定重量 220kg と軽量な為、クレーンの様な大型重機は不要で、バックホウのバケット部からワイヤーを垂らし、これにて吊上げ・落とし込み作業行った(図 2 4)。

落とし込み後の位置微調整はバックホウを用いず、人力でも容易に調整を行うことが出来た。加工が容易で軽量と言われる木材の特徴が実際の現場にて発揮された。

今回、高さ 2.3m 長さ 20m の木製遮音壁設置に要した日数を表 6 に示す。

表 6. 現場施工日数

工種	日数	備考 (施工 m/日)
基礎用コンクリート穴掘削・転圧	2	10
捨コン打設・型枠組・基礎コン打設	3	6.7
型枠外し・H鋼建込み	1	20
木製遮音パネル落とし込み	1	20
アルミ製笠木取付	1	20
合計 (コンクリート養生日数除く)	8	4



図 19. 掘削



図 20. 基礎用型枠組



図 21. 基礎完成



図 22. H鋼立て



図 2 3 . 木製パネル設置前



図 2 4 . パネル吊下げ



図 2 5 . 笠木取り付け

### 3. 7 施工後

施工された木製遮音壁の写真を（図 2 6）に示す。上部には雨水が木部に直接溜まらぬようにアルミ製笠木を設置し、耐久性に配慮した



図 2 6. 完成した遮音壁前

### 3. 8 効果の確認

#### 3. 8. 1 開発した遮音壁室内試験

今回開発した防腐合板遮音壁が NEXCO により定められた音響性能をクリアするかを確認するために、日本建築総合試験所にて音響透過損失試験と吸音率試験を行った。

##### 3. 8. 1. 1 音響透過損失

###### ①試験体

試験体は、表 7 に示した材料規格の木製パネルを用いた。表裏面に加圧式防腐処理合板、枠材に加圧式防腐処理木材で構成された木質パネルを試験体とした。試験体の構成図を図 2 7、写真を図 2 8 に示す。

表 7. 試験体の材料規格

使用材料	表裏面材 化粧材 枠材 中間角材 吸音材	24mm加圧式防腐処理合板(国産針葉樹使用) 12mm加圧式防腐処理合板(国産針葉樹使用) 105mm角加圧式防腐処理合板 65×90、65×45mm加圧式防腐処理木材 ロックウール 100Kg/m <sup>3</sup>
------	----------------------------------	--

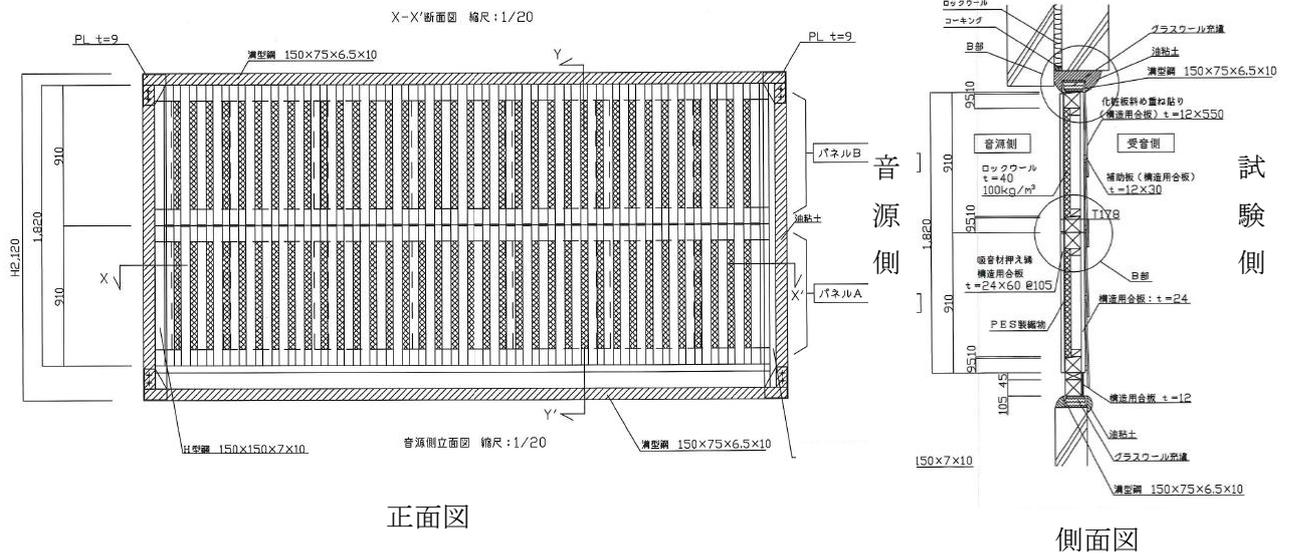


図 2 7 . 試験体の全体構成図



図 2 8 . 試験体写真

## ②試験方法

隣り合う2つの残響室の間に試験体を取り付け、一方を音源室、他方を受音室として両室の音圧レベルを測定し、試験体に入射する音響パワーと透過する音響パワーの比を求めて音響透過損失を算出した。

試験体寸法 幅 4,150×高さ 2,120×厚さ 178 (mm)

試験規格 JIS A 1416、ISO 140-3、ASTME 50 (国土交通大臣認定への申請に対応)  
JIS A 1428、ISO 140-10

## ③試験結果

各周波数ごとの音響透過損失のグラフを図29に示す。

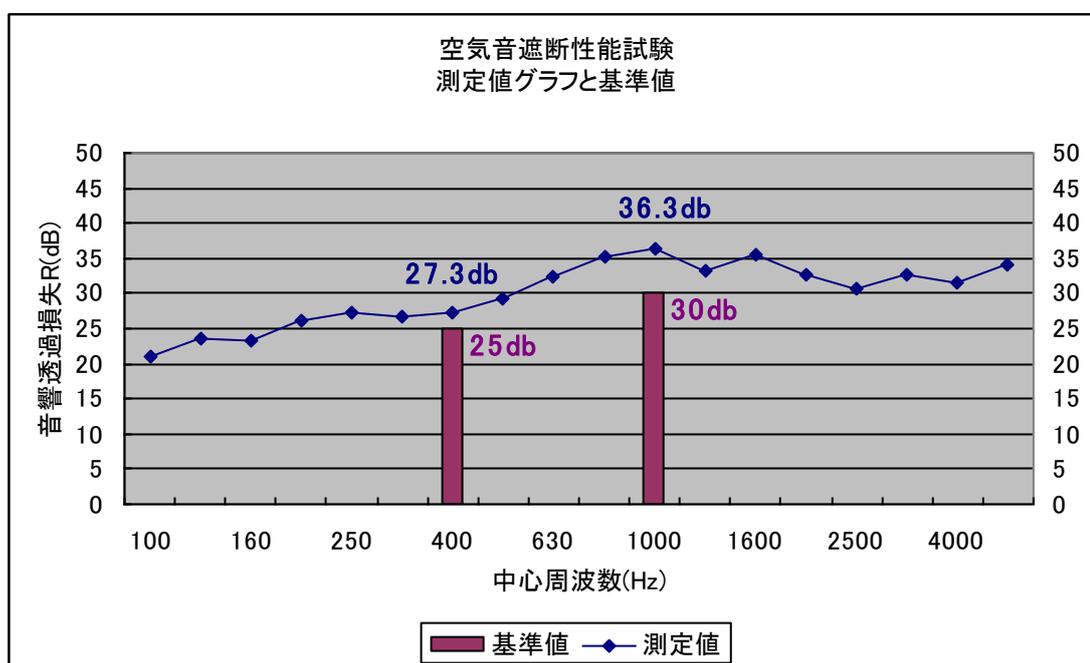


図29. 周波数毎の1/3オクターブによる音響透過損失

今回の試験体は実際のパネルサイズ 4000mm×1970mm(2枚積み)で行った。旧道路公団の遮音壁の音響性能として音響透過損失は周波数 400Hz で 25db 以上、周波数 1000Hz で 30db 以上を規定している。図30に示すように、400Hz、1000Hz のいずれにおいても、基準値をクリアしていることが確認できた。

### 3. 8. 1. 2 吸音率

#### ① 試験体

試験体は、音響透過損失と同様、表7に示した材料規格の木製パネルを用いた。ただし吸音率の試験体には設置方法により歩道側の飾り板を省いた。試験体の写真を図30、構成図を図31に示す。



図30. 試験体写真

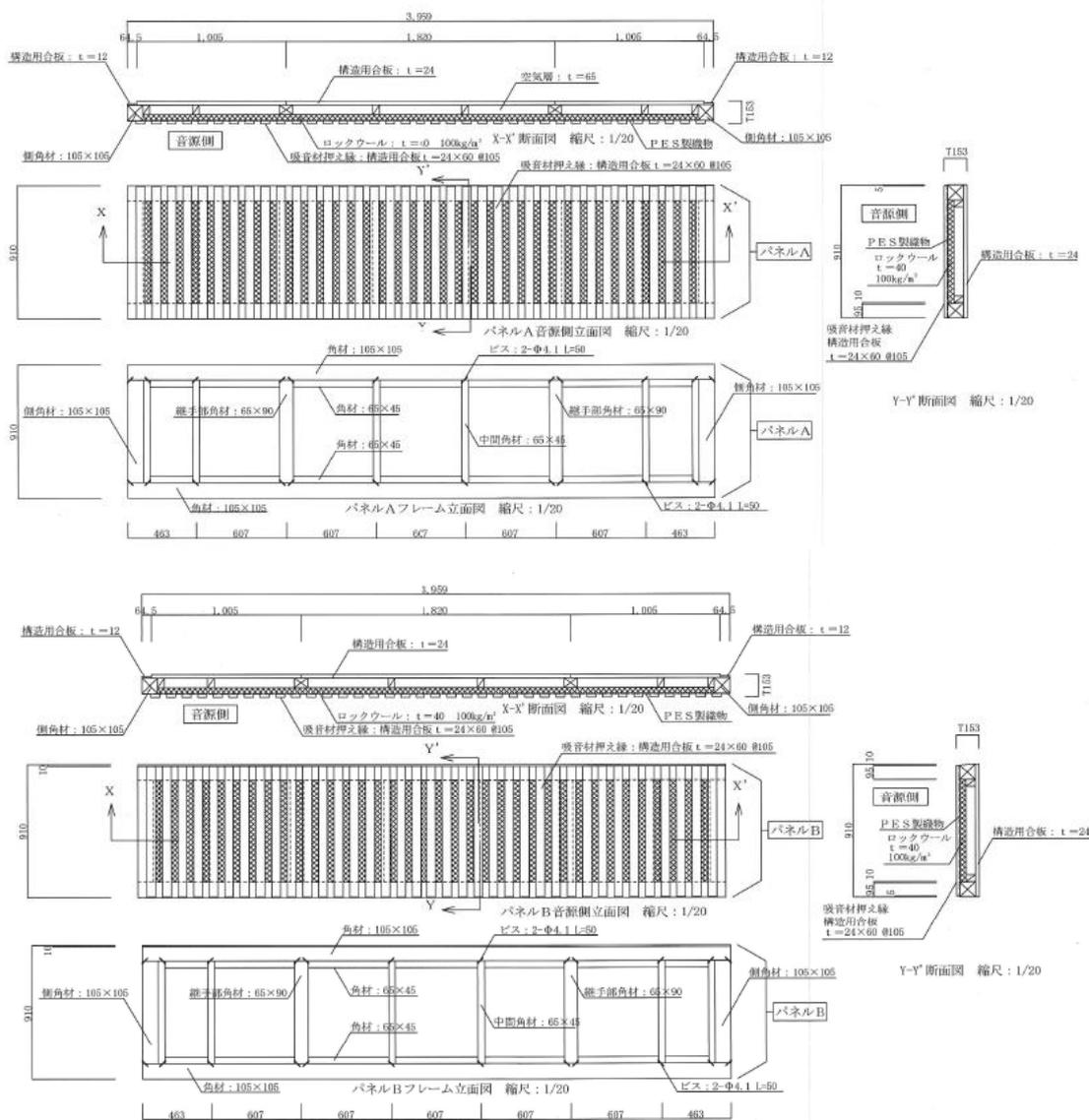


図31. 試験体の全体構成図

## ②試験方法

残響室内に試験体を設置し、試験体の有無での残響時間の比を求めて、試験体の吸音性能を算出した。

試験規格 JIS A 1409 : 1998

試験寸法 幅 3,640mm×長さ 3,959mm

## ③試験結果

周波数ごとの吸音率のグラフを図 3 2 に示す。

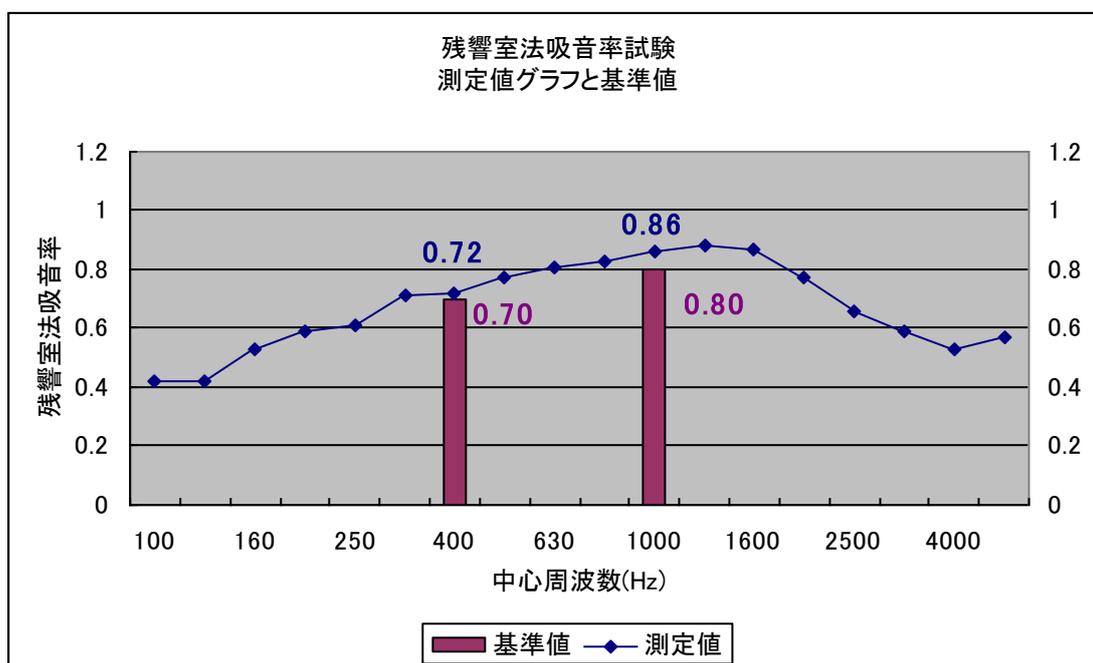


図 3 2. 周波数毎の残響室法吸音率 (1/3 オクターブバンド)

今回の試験体は実際のパネル 4 枚を合わせ、全体寸法にして幅 3,640mm×長さ 3,959mmで行った。旧道路公団の遮音壁の音響性能として吸音率は周波数 400Hz で 0.70 以上、周波数 1000Hz で 0.80 以上を規定している。図 3 2 に示すように、400Hz、1000Hz のいずれにおいても、基準値をクリアしていることが確認できた。

### 3. 8. 2 現場での騒音の測定

木製遮音壁設置に伴う騒音測定を行った。

測定は、平成24年2月14日に遮音壁を設置した位置と、設置していない箇所でも14時から16時の測定時間帯で測定した。測定項目は、騒音、交通量、平均走行速度とし、騒音は、「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」及びJIS Z-8731の測定方法に従った。

騒音測定地点を図33に示す。木製遮音壁設置総延長の中間部で、木製遮音壁から1.5m離れた地点と、6m離れた地点、木製遮音壁を設置していない箇所で、道路からの距離が木製遮音壁の測定箇所と同じになる2箇所、計4箇所でも測定した。

測定結果を図34と表8に示す。1.5m地点と6.0m地点での $L_{Aeq}$ （等価騒音レベル）は、遮音壁を設置していない箇所では52.5db、48.0dbであったが、設置箇所では42.4dbと42.1dbと、-10.1db、-5.9dbの遮音効果が見られた。

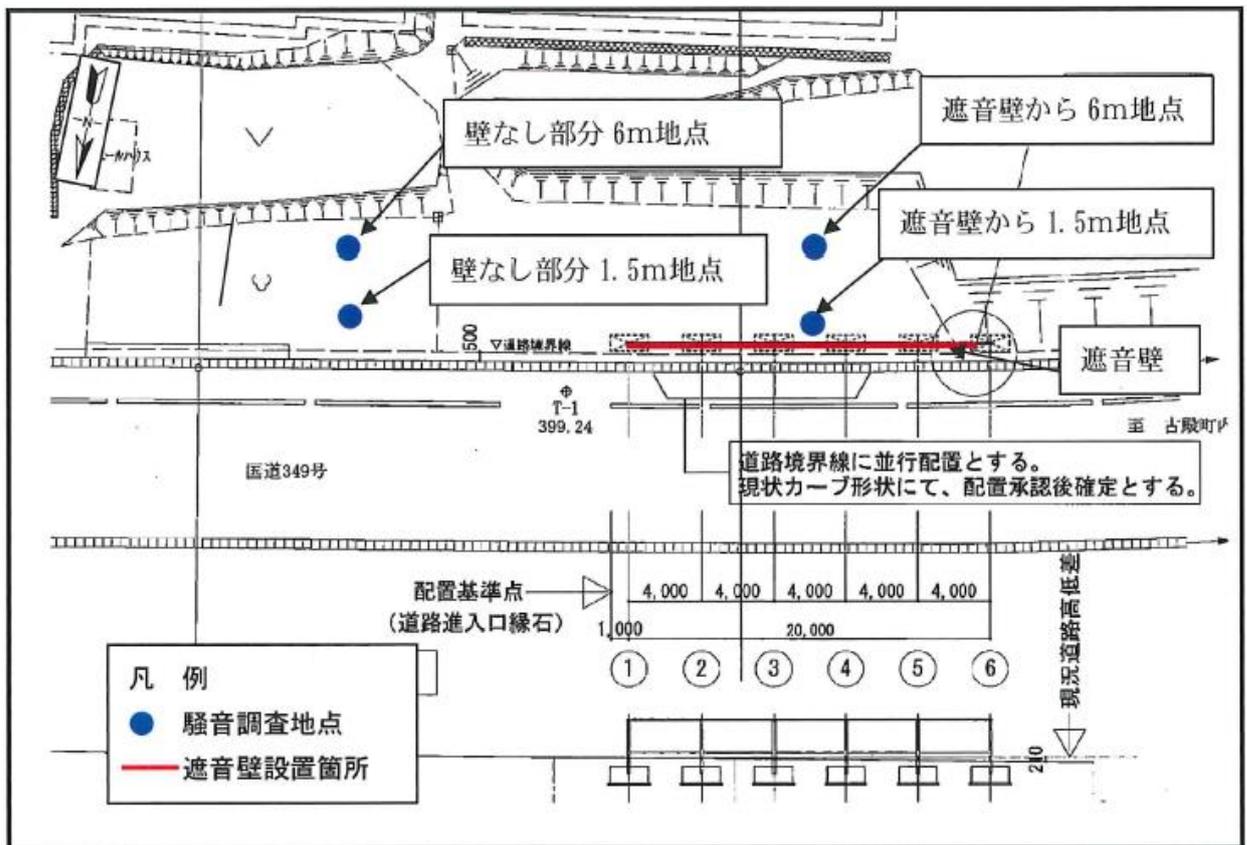


図33. 騒音調査地点

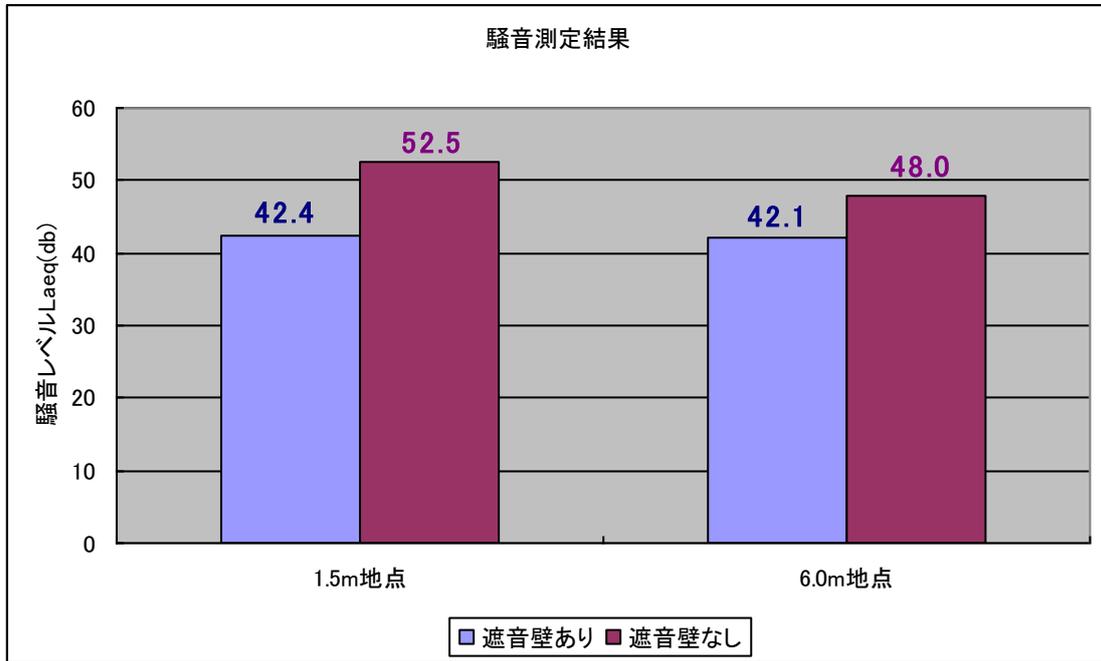


図 3 4. 騒音調査結果

表 8. 現地測定結果

調査年月日：平成25年 2月14日(木)

測定時間	1.5m地点 騒音レベル (dB)								レベル差 (dB) L <sub>Aeq</sub>	備考
	遮音壁あり				遮音壁なし					
	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>A5</sub>	L <sub>A50</sub>	L <sub>A95</sub>	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>A5</sub>	L <sub>A50</sub>	L <sub>A95</sub>		
14:00	42.9	45	34	33	62.5	64	36	34	-19.6	鳥の声の影響あり
14:10	49.8	53	35	32	61.9	58	36	34	-12.1	鳥の声の影響あり
14:20	42.4	50	34	33	50.1	53	36	34	-7.7	鳥の声の影響あり
14:30	46.4	53	35	33	54.2	58	36	34	-7.8	鳥の声の影響あり
14:40	48.6	56	35	33	58.2	64	37	34	-9.6	鳥の声の影響あり
14:50	43.9	51	36	33	53.5	61	37	34	-9.6	鳥の声の影響あり
15:00	46.9	53	37	33	56.5	61	39	34	-9.6	鳥の声の影響あり
15:10	44.8	52	35	33	55.0	62	37	34	-10.2	鳥の声の影響あり
15:20	51.3	55	34	33	65.1	63	36	35	-13.8	鳥の声の影響あり
15:30	42.6	50	34	33	53.0	58	36	34	-10.4	
15:40	42.0	48	34	33	51.9	53	36	34	-9.9	
15:50	42.7	51	33	32	52.5	58	35	34	-9.8	
14:00平均値	46.6	51	35	33	58.8	60	36	34	-12.2	
15:00平均値	46.5	52	35	33	58.8	59	37	34	-12.3	
鳥の声の影響のない時間の平均値	42.4	50	34	33	52.5	56	36	34	-10.1	15:30~16:00の平均値

測定時間	6m地点 騒音レベル (dB)								レベル差 (dB) L <sub>Aeq</sub>	備考
	遮音壁あり				遮音壁なし					
	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>A5</sub>	L <sub>A50</sub>	L <sub>A95</sub>	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>A5</sub>	L <sub>A50</sub>	L <sub>A95</sub>		
14:00	43.3	44	33	31	49.2	52	34	32	-5.9	鳥の声の影響あり
14:10	50.5	51	34	31	58.9	53	34	32	-8.4	鳥の声の影響あり
14:20	40.9	48	33	31	45.5	48	33	32	-4.6	鳥の声の影響あり
14:30	45.7	51	33	31	49.9	53	34	32	-4.2	鳥の声の影響あり
14:40	48.5	55	34	31	53.8	59	34	32	-5.3	鳥の声の影響あり
14:50	43.4	51	34	31	49.0	56	34	31	-5.6	鳥の声の影響あり
15:00	46.8	52	37	31	52.2	56	37	32	-5.4	鳥の声の影響あり
15:10	44.4	52	34	31	50.3	58	34	31	-5.9	鳥の声の影響あり
15:20	51.9	54	33	31	59.5	59	34	32	-7.6	鳥の声の影響あり
15:30	42.5	50	33	31	48.3	53	34	32	-5.8	
15:40	41.8	45	32	31	47.8	48	33	32	-6.0	
15:50	42.1	50	32	30	47.9	52	32	31	-5.8	
14:00平均値	46.6	50	34	31	53.4	54	34	32	-6.8	
15:00平均値	46.7	51	34	31	53.5	54	34	32	-6.8	
鳥の声の影響のない時間の平均値	42.1	48	32	31	48.0	51	33	32	-5.9	15:30~16:00の平均値

測定時間	東行き				西行き				断面合計			
	大型車	小型車	二輪車	合計	大型車	小型車	二輪車	合計	大型車	小型車	二輪車	合計
14:00	0	0	1	1	3	0	0	3	3	0	1	4
14:10	1	4	0	5	0	1	0	1	1	5	0	6
14:20	0	3	0	3	0	3	0	3	0	6	0	6
14:30	2	2	0	4	1	1	0	2	3	3	0	6
14:40	0	4	0	4	3	2	0	5	3	6	0	9
14:50	1	6	0	7	0	4	1	5	1	10	1	12
15:00	0	5	0	5	2	1	0	3	2	6	0	8
15:10	0	8	0	8	1	4	0	5	1	12	0	13
15:20	0	1	0	1	1	5	0	6	1	6	0	7
15:30	0	5	0	5	1	1	0	2	1	6	0	7
15:40	2	0	0	2	0	2	0	2	2	2	0	4
15:50	0	4	0	4	0	5	0	5	0	9	0	9
14:00合計	4	19	1	24	7	11	1	19	11	30	2	43
15:00合計	2	23	0	25	5	18	0	23	7	41	0	48

平均走行速度 単位：km/h

測定時間	南行き	北行き	平均
14:00	56	53	54
15:00	56	57	57

### 3. 9 木製遮音壁に対する感想

#### 3. 9. 1 現場施工者の感想

今回の現場施工者の有限会社トーホクオカベから、施工工事終了後、下記の感想があった。

- ・ パネルの精度が非常に高く、設置時 H 型鋼への収まりが非常に良かった。
- ・ 上下パネルの押縁材（24 mm合板を 60 mmに割って取り付けたもの）の位置も正確に合っていたので設置しやすかった。
- ・ パネルが軽量の為、施工性が良かった。
- ・ パネル前面で会話をしていると、パネルが音を吸収していることが実感でき、感心した。
- ・ 木製である為に景観的にも周囲の風景と合い、暖かみがある。
- ・ 一見では遮音壁と思われず、コンクリート構造物と違い地域住民の印象も良かった。

#### 3. 9. 2 地域住民の感想

木製遮音壁設置後の近隣住民からの下記の感想があった。

- ・ 特に夜間に静かになったことが実感できた。
- ・ 遮音壁を設置すると聞いていたのでコンクリート製の冷たい遮音壁イメージを持っていたが、木製だったので暖かみがあり好印象を持った。
- ・ 遮音壁だと聞くまでは「塀」を設置したのかと思った。木製でしかもデザイン性がある遮音壁もあるものだなあと感心した。
- ・ 周囲が山あいの地区の為に木製だと自然と調和し、いい製品だと思う。

### 3. 10 事業の成果と今後の課題

今回の防腐合板を用い木製遮音壁の開発事業の成果と今後の課題は以下の通りである。

#### 3. 10. 1 デザイン性

##### ① 成果

デザインの検討にあたっては、できる限りシンプルで、合板を全面に貼った場合の「のっぺり」とした表情に、いかに変化を与えることができるかに主眼を置いて、デザインの検討を行った。

その結果、車道と反対側の面は、日本の伝統的な板張りのデザインである下見板張りを採用した。車道側は、面が視覚的に分割されリズム感が感じられるように、24 mm合板を 60 mmに割いて 105 mm m ピッチで貼り付け、吸音材の抑えとして使うと共に、日本家屋でいう

ところの千本格子の様な風情にした。この効果により、リズム感のある表情豊かな木製遮音壁が完成した。

#### ②今後の課題

木製遮音壁の設置場所としては、高速道路、都市部道路、鉄道、24時間営業店舗などが候補となる。従い、今回は1パターンのみでの設置であるが、あらゆる場所で魅力の感じられる木製遮音壁を設置するために、さらにデザインのパターンを増やしていきたい。

### 3. 10. 2 施工性

#### ① 成果

これまでの木製遮音壁は、角材などの製材品を利用したものが多かった。しかし住宅分野、建築業界では、木製面材としては圧倒的に合板が多く使用されている。合板は、木材に比し入手性、品質の均一性、加工性から木質工業材料の観点にて相対的に優れている。

この合板を面材とし、かつパネル中空部にはグラスウール製の吸音材を装填する木質パネル工法を採用した。従来からある無垢の木材をPC（プレストレスト コンクリート）板上に積み上げただけ、あるいは無垢材を立てて並べるだけの木製遮音壁と違い、軽量化ならびに現場施工時の設置作業が大幅に軽減された。

#### ②今後の課題

今回の現場施工において、木製遮音壁パネルの落とし込みは、換算上1日当たり60mの施工スピードであった。(条件=高さ0.91mのパネルを1スパンあたり2段重ねで施工。尚、実際の現場は5スパン=20m。 アルミ製笠木設置の時間は含まず。)

### 3. 10. 3 コスト

#### ① 成果

既存製品である金属製遮音壁やPC板遮音壁に対抗しうるコストを設定していた。表5に比較表を示す。金属製遮音壁パネル価格が10,000円/m<sup>2</sup>に対して、今回の防腐蚀合板を利用した木製遮音壁パネル価格は吸音性能を持たせたことから、従来の木製遮音壁よりも単価は抑えられた。

表9. 遮音壁パネル比較

種類	単価 (円/m <sup>2</sup> )
金属製遮音壁	10,000
従来の木製遮音壁	20,000
防腐蚀合板木製遮音壁	19,000

金属製遮音壁パネルの価格までには及ばなかった。理由として以下があげられる。

- A. 充填部寸法に合わせた結果、断熱材の歩留まりが 62%であった。
- B. 水切り機能を持たせるため、105 mm角材をテーパ加工したことで、間柱仕口も斜めにカットする必要があり手間が増えた。
- C. 10 枚だけの製作だったので加工業者に、小ロット前提の割高な加工費となった。

このことより断熱材の歩留まりを 100%にしたときは¥760/m<sup>2</sup>、抑え縁の間隔を今の 2 倍にすることで¥690/m<sup>2</sup>、抑え縁を少なくすることでカット賃 1 カットあたり 30 円として¥540/m<sup>2</sup>、約¥17,000/m<sup>2</sup>まで、大量生産による効率化でおおよそ¥15,000/m<sup>2</sup>までコストダウンが出来ると考える。

#### ②今後の課題

サイズや構造を改定、またパネル製作工程の標準化などにより、さらにコストダウンを図っていく余地は十分にある。よりコストダウンを検討するために、部材の単純化、構成による加工の省力化が課題として挙げられる。

### 3. 10. 4 遮音・吸音性能

#### ①成果

今回開発された木製遮音壁を、日本建築総合試験所にて、音響透過損失試験をおこなった。旧日本道路公団が定めた透過損失の基準値が周波数 400Hz の時には 25db 周波数 1000Hz の時、30db 以上であるのに対し、今回の木製遮音壁では、400Hz の時 27.3db、1000Hz の時、36.3db と基準値を上回る結果が得られた。

同様に日本建築総合試験所にて残響室法吸音率試験をおこなった。旧道路公団の遮音壁の音響性能として吸音率は周波数 400Hz で 0.70 以上、周波数 1000Hz で 0.80 以上を規定している。今回の木製遮音壁では 400Hz の時 0.72、1000Hz の時 0.86 とのいずれにおいても、基準値をクリアしていることが確認できた。

また、国道 349 号線の福島県石川郡古殿町山上浪滝 106 番地に設置された木製遮音壁の騒音測定においては、設置前と比較して、木製遮音壁より 1.5m の地点では、約 10db、6m の地点では約 6db と低下し、木製遮音壁設置の効果が確認できた。

#### ②今後の課題

躯体の生産性・現場設置における作業性に対し、効率的な部材構成（例えば更なる既成サイズの使用）、形状（玉掛け用アイボルト装着部の追加、運搬時での鎧張りの斜角の対応、変更）の検討を進め、現在の遮音性能、吸音性能を維持することが課題として挙げられる。

### 3. 10. 5 その他の課題

#### ① 木製遮音壁のPR

今回の事業では以上の成果をあげたが、今後はこの成果を武器に木製遮音壁を市場に多く提供することが求められている。平成 22 年 10 月に施行された公共建築物等における木材利用促進法でも、道路施設における木製品として木製遮音壁が取り上げられている。

しかし、現状は、木製遮音壁の普及はほとんど進んでいない。従来は、普及しにくい面として、コスト面があげられていたが、今回の防腐合板使用木製遮音壁では、コスト面からのアプローチもしやすくなったので、木製遮音壁の普及に拍車がかかれるようになった。

今回の成果を木製遮音壁の発注者である、国道、都道府県道、市町村道の管理者、高速道路管理者に理解していただき、木製遮音壁の普及促進につなげていきたい。

#### ② 耐久性の追跡調査

二酸化炭素を吸収して育った樹木から生産された木製品を次世代の樹木が生長するまでの期間、木製品を使用しつづけることが、地球温暖化対策に結びつくことになる。木製品に耐久性を付与する方法として、保存剤を加圧注入する方法一番信頼される処理方法である。本事業では、工業資材として優れている合板を、加圧注入して耐久性を付与した、防腐合板を使用した。また、今回使用した防腐剤で加圧処理された木材の耐用年数は 15 年以上と報告されている。

今後は、1 年に 1 回、腐朽の有無、強度などを測定項目として、今回の木製遮音壁を点検して、今後の耐久性知見の収集に努めていく計画である。

#### 謝辞

今回の福島県石川郡古殿町遮音壁設置において、林野庁、土地の提供をご承認下さった岡部光徳古殿町長はじめ関係諸氏に深く感謝申し上げます。

## 添付資料

資料 1 : 木製遮音壁構造計算書

防腐合板遮音壁

基礎構造計算書

一級建築士事務所

諏訪設計事務所

SUWA Architect CO., LTD.

一級建築士 諏訪 勝志

大臣登録番号 第203651号

1. 一般事項

1.1 建物概要

(1) 建設場所

福島県石川郡古殿町山上浪滝付近(国道349号線)地内

(2) 建設地設計条件

基準風速 $V_0$ (m/s)	地震地域係数 $Z$	$C_0$
45	1.0	0.2

1.2 仕様概要

- (1) 遮音壁の高さ: 2.32m (GLより)
- (2) 遮音壁: 木造下地の上、防腐合板張
- (3) 遮音PC板: 500\*120
- (4) 土留PC板: 300\*120
- (5) 支柱間隔: 4.00m
- (6) 支柱断面: H-150\*150\*7\*10
- (7) 基礎形状: 無筋コンクリート独立基礎

1.3 使用材料及び許容応力度

1) コンクリートの許容応力度(N/mm<sup>2</sup>)

種類	Fc	長期		短期	
		圧縮	せん断	圧縮	せん断
普通	18	5.88	0.59	11.77	0.88

2) コンクリートの許容付着応力度(N/mm<sup>2</sup>)

種類	Fc	異形鉄筋			
		長期		短期	
		上端筋	その他	上端筋	その他
普通	18	0.71	1.06	1.06	1.59

3) 鋼材の許容応力度(SS400、STKR400 板厚40mm以下)(N/mm<sup>2</sup>)

	引張	圧縮	曲げ	せん断	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
長期	157	157	157	91	
短期	235	235	235	136	

4) 鉄筋の許容応力度(N/mm<sup>2</sup>)

種類	長期		短期	
	引張及び圧縮	せん断	引張及び圧縮	せん断
SR235	157	157	235	235
SD295A	196	196	294	294

5) 地盤の許容応力度(KN/m<sup>2</sup>)

長期	短期
50	100

2. 死荷重

部位		単位重量	
支柱	H-150*150*7*10	0.3048	(KN/m)
遮音壁(木造)	木造下地の上、合板張	0.60	(KN/m <sup>2</sup> )
遮音PC板	t = 120	2.25	(KN/m <sup>2</sup> )
土留PC板	t = 120	2.25	(KN/m <sup>2</sup> )

3. 風圧力の算定

3.1 基準風速

基準風速Vo(m/s)
45

3.2 風力係数

Cp
1.2

3.3 遮へい率

1.0

3.4 空気密度

(N*S <sup>2</sup> /m)
1.23

3.5 速度圧

$q = (1/2) * \rho * V^2$
1245.38

3.6 風圧力

$P = q * Cp *$
1494.45

(N/m<sup>2</sup>) = 1.4945 (KN/m<sup>2</sup>)

3.7 風荷重

$W = P * @$
5.9778

(@: 4 m)

(KN/m)

4. 地震力の算定

4.1 遮音壁重量

項目	単位重量	長さ又は面積又は個数			Wo	W
		(m)	(m <sup>2</sup> )		(KN)	(KN)
遮音壁	0.60	3.960	*	1.160	2.75616	
支柱	0.3048	2.320	*	0.5	0.353568	3.10973

4.2 地震力の算定

Wi	ai	Ai	Ci	Z	eQi
(KN)					(KN)
3.10973	1	1	1	0.2	0.621946

5. 上部荷重の算定

項目	単位重量	長さ又は面積又は個数			Wo	W
		(m)	(m <sup>2</sup> )		(KN)	(KN)
遮音壁	0.60	3.960	*	1.820	4.32432	
支柱	0.3048	2.620	*	1	0.798576	
遮音PC	2.25	3.960	*	0.500	4.45500	
遮音PC	2.25	3.960	*	0.300	2.67300	10.5813

6. 支柱の設計

6.1 応力の算定

曲げモーメント

$Ma = W * H^2 / 2 =$

$= \frac{5.9778}{20.51701} * 2.62^2 / 2$  (KN\*m)

せん断力

$Qa = W * H =$

$= \frac{5.9778}{15.66184} * 2.62$  (KN)

6.2 断面性能

H-150*150*7*10	ウェブ断面積
断面係数Zx(mm)	Aw(mm)
216000	1050

6.3 断面検定

曲げ応力度  $b=Ma/Zx=$   $\frac{20517005}{94.98614} < \frac{216000}{235}$  (N/mm<sup>2</sup>) OK  
 せん断応力度  $s=Qa/Aw=$   $\frac{15661.84}{14.91603} < \frac{1050}{136}$  (N/mm<sup>2</sup>) OK  
 合成応力度  $= (b^2+3s^2)^{1/2}= 98.43693 < \frac{sft}{235}$  (N/mm<sup>2</sup>) OK

7. 支柱脚部の設計

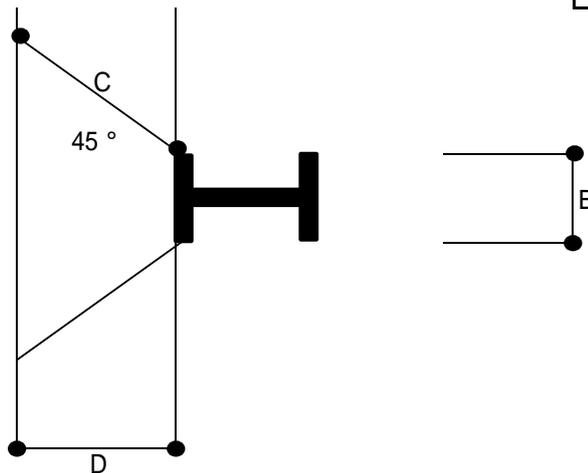
7.1 圧縮応力度に対する検討

支柱埋込長さ  $L= 400$  (mm)  
 埋込中間部の曲げモーメント  $M_c = M_a + Q_a \cdot L/2 = \frac{20.517005}{2} + \frac{15.6618}{23.64937236} \cdot 0.4$  (KN\*m)  
 埋込部コンクリートの最大圧縮応力度  $c=(Q_a/(B \cdot L))+((6 \cdot M_c)/(B \cdot L^2))= 6.17 < \frac{sfc}{11.77}$  (N/mm<sup>2</sup>) OK

Q <sub>a</sub> =	15661.836	(N)
M <sub>c</sub> =	23649372.36	(N*mm)
B=	150	(mm)
L=	400	(mm)

7.2 へりあき、に対する検討

せん断面の長さ  $C=D/\cos 45^\circ = \frac{375}{\cos 45^\circ} = 530.4101839$  (mm)  
 せん断応力度  $= c \cdot B/(2 \cdot C) = 0.87291504 < \frac{sfs}{0.88}$  (N/mm<sup>2</sup>) OK

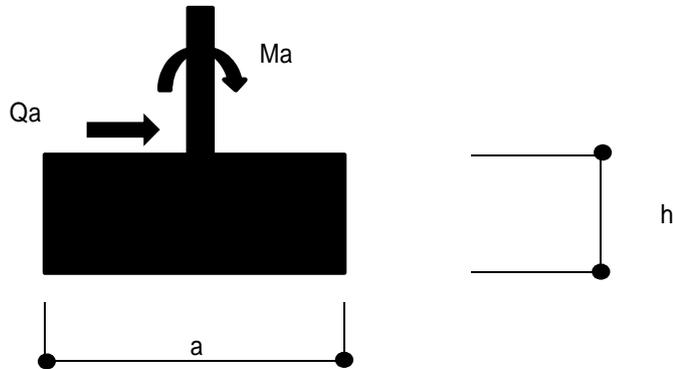


8. 基礎の設計

8.1 転倒に対する安定

(1) 転倒モーメント  $M_e$

$$M_e = M_a + Q_a \cdot h = \frac{20.517005}{34.61265756} + \frac{15.6618}{(KN \cdot m)} \cdot 0.9$$



(2) 抵抗モーメント  $M_r$

(2) - 1 基礎自重による抵抗モーメント

上部荷重 ( $W_s$ ) = 10.5813 (KN)

基礎コンクリート重量 ( $W_c$ ) =  $a \cdot b \cdot h \cdot c = 39.123$  (KN)

a	0.9	(m)
b	2.1	(m)
h	0.9	(m)
c	23	コンクリート単位重量

総重量 ( $W$ ) =  $W_s + W_c = 49.7043$  (KN)

重量による抵抗モーメント ( $M_{r1}$ ) =  $W_c \cdot a/2 + W_s \cdot a' = 22.36693$  (KN\*m)

$a' = 0.45$  (m)

(2) - 2 土圧抵抗による抵抗モーメント

受働土圧 ( $P_p$ ) =  $K_p \cdot h^2/2 \cdot b = 65.4919$  (KN)

$K_p$	4.14	受働土圧係数 30°
	18.6	土の密度 (KN/m³)

受働土圧による抵抗モーメント ( $M_{r2}$ ) =  $P_p \cdot h/3 = 19.64757$  (KN\*m)

側面の摩擦力 ( $P_f$ ) =  $K_o \cdot h^2 \cdot a = 2.714592$  (KN)

	0.364	摩擦係数
$K_o$	0.55	静止土圧係数

側面の摩擦力による抵抗モーメント ( $M_{r3}$ ) =  $P_f \cdot a/2 = 1.221566$  (KN\*m)

抵抗モーメントの合計 ( $M_r$ ) =  $M_{r1} + M_{r2} + M_{r3} = 43.23607$  (KN\*m)

$M_r/M_e = 43.23607 / 34.61266 = 1.24914$   
 $> F_s = 1.20$  (安全率) (N/mm²)  
 OK

8.2 地耐力に対する安定

短期地耐力度  $sFe = \boxed{100}$  (KN/m<sup>2</sup>)

基礎底面に作用する曲げモーメント

$Md = Me - (Mr2 + Mr3) = \boxed{13.74352}$  (KN\*m)

基礎底面での最大圧縮応力度

$c = (W / (a * b)) + (6 * Md) / (a^2 * b) = \boxed{74.7766}$  (KN/m<sup>2</sup>)

$sFe / c = \boxed{1.337316802}$  >

$F_s$	安全率
1.20	

OK

8.3 滑動に対する安定

基礎底面のせん断抵抗力

$Hu = C * A + W * \tan = \boxed{28.67938}$  (KN)

C	0	基礎底面と土の粘着力 (KN/m <sup>2</sup> )
A	1.9	基礎底面積 (m <sup>2</sup> )
	30	底面と土の摩擦角

$Hu / Qa = \boxed{28.67938} / \boxed{15.6618} = \boxed{1.831163}$

>

$F_s$	安全率
1.20	

OK

