

制振および吸音分野への多孔質鋳鉄の適用

関西大学 津田昌利

学振第 24 委員会鋳鉄分科会資料 N0166 昭和 61 年 12 月 10 日




文中の「多孔質鋳鉄(PCI)」は、「鋳鉄ラスク」のことです。

1. 緒言

多孔質金属の性質は、連続相の金属的性質(強度、靱性、耐熱性、伝熱性など)と分散相の気孔特有の性質(軽量化、振動吸収性、吸音性、断熱性など)とのいわゆる複合材料と考えられ、フィルター、熱交換器、衝撃吸収材あるいは吸音材料など多くの用途に対応できる先端材料としてその開発の気運が著しい。

鋳鉄の切削屑を原料として特殊な圧搾成形¹⁾²⁾によって製造した多孔質鋳鉄 (Porous Cast Iron: PCI) は、その多孔質構造と立体架橋構造からきわめて大きな制振性と吸音性を発揮し、特に低周波領域に対しても従来にみられない顕著な効果を示すことを認めた。その基礎的研究および中間工業試験結果については既に報告した³⁾⁴⁾。騒音公害に対する社会的関心は日増しに高まり、船舶、車両、重機などの騒音に関する法的規制も強化されている。また、労働環境の改善と機器類の高付加価値化の面から制振ならびに吸音対策は不可欠の技術課題となってきた。そこで、PCIをこれらの分野に実際に適用した結果、きわめて有効な成果が収められたので本報告ではその結果について述べる。

2. 制振材としての PCI の基本特性

PCIは、一般的な粉末焼成による多孔質金属と異なり、1(a)のようにその表面は微細で不規則なスリットで構成され、断面表層部(b)においては切削屑が持つ複雑で鋭利な形状が損なわれないよう互いに点接触で結合された立体架橋構造になっており、大きさと傾斜角が異なった無数のパンタグラフが乱立した気孔率の大きいゾーンを形成している。一方、中心部では(c)のように接合度が高く板構造の軸面として安定した強度を引き出している。このことは、2に示したPCIの圧縮試験にみられるバネ定数の変化からも推定することができる。すなわち、荷重の小さい領域ではPCI表層部が主として関与し、高荷重下ではPCI中心部の高密度面が対応して大きなバネ定数をしめすことになる。このような幅広いバネ定数と表層部での大きいポアソン比(0.35 ~ 0.55)が様々な大きさと方向の異なる微振動に対し、比較的薄い層で縦横両方向に変位を吸収し、共振現象を起こさないという効果をもたらしている。PCI板の断面において疎-密-疎の密度構成が連続的に変化していることが、微振動から重振動に至る幅広い制振性能に対してきわめて有利に作用している。各種金属材料の減衰特性をマクロ的に見ると3からも明らかのように、材料の強度に反比例する⁵⁾ことがわかる。この傾向は非

金属材においてもみられ、**図4**のようにその減衰率は剛性にほぼ反比例の関係を示している。PCIはゴムやポリカーボネイトなどに匹敵する高減衰率を有する一方、比較的大きな剛性を示すことから適用範囲の広い振動吸収材であることがわかる。

3. 微振動の制振

高精度製品製造に対する外部からの微振動の影響を考えると、例えば半導体素子製造プロセスが設置されるクリーンルーム基礎における振動許容値は、変位振幅 $1\ \mu\text{m}$ 以下、振動加速度においても $0.1\sim 1\text{gal}$ といった非常に小さいレベルの振動が有害として問題視されている。

音響分野における革命的な変化はコンパクトディスク(CD)の適用である。CDは、レーザーピックアップによる信号検出であるためS/N比が90dB以上と非常に優れているが、**図5**に示すようにデジタル信号がインプットされる溝幅が $0.5\ \mu\text{m}$ と微小なため、外部からの微振動に対する制振が必要である。PCI板をインシュレーターとしてCDプレーヤーに適用することによってS/N比が著しく向上することが認められた。また、光音響スペクトル(Photoacoustic Spectrometer)は、物質にレーザービームをあて、エネルギー損失の際に生じる光分子振動を音に変換することによって分子のメカニズムや量などの情報を解析する装置であって微振動対策が不可欠であるとされている。**図6**に示すように、本体のPAセルの筐体にPCIを適用するとS/N比が10以下であった測定条件が、50以上になってスペクトル分析の信頼度が著しく向上したことが報告されている⁶⁾。

4. 重振動の制振

公害振動の振動源は主として屋外にあり機械振動、交通振動、工事振動などによって住宅が振動して問題がおきる。公害の対象となる外部振動源の振動レベルはおよそ60~80dB、周波数は1~90Hz位とされている。鋳物工場でのスクラップ破砕時に生じる重振動が周辺民家に公害振動をもたらすケースがあって、その対策にPCIが適用された。**図7**および**8**は振動測定位置と解析結果を示したものである。スクラップ破砕時の振動レベルは80~90dBで、8Hzの低周波成分が50m離れた民家に対して70dB以上の振動を与え、より近い所を通過する新幹線(約65dB)より大きな影響をおよぼしていることが知られた。破砕ヤードの鋳鉄台床下にレジン被覆したPCI(300×500×25)15枚を防振ゴムとの複合構造で適用した場合、民家前道路の振動レベルが58dB以下に低下し、新幹線道床振動の影響より小さいものとすることができた。鋳鉄スクラップの破砕時における振動は5~10Hzの超低周波振動であり、この種の公害振動に対しては低周波振動に対する制振材を適用する必要を認めた。

次に499G/T型貨物船のエンジン系ならびにプロペラ系が船体におよぼす振動状況を解析する一方、制振対策実験として船尾部甲板背面へPCI板が取り付けられた。**図9**に示すごとく、エンジンおよびプロペラの加振はそれぞれ19.5Hzと16.4Hzであるが、船尾甲板への固体伝搬によって影響をおよぼすのは1~10Hzおよび50~100Hzの低周波域であることがわかる。PCIの取り付け面積は船尾甲板面積に対して数%程度にすぎないが、PCIの面積が増大するにしたがって超低周波成分の制振効果が著しく、加速度レベルで約20dBの低減が得られた。

5. 壁防音(超高音圧防音)

火薬の爆発音は、落雷や破裂音と同様に広帯域にわたって高い音圧を出すので、均質(一体構造)パネル壁で生じる材料の曲げ振動による共鳴(コインシデンス)現象での性能劣化が顕著に現れる。これを緩和させるために、従来から中間に空気層をもつ中空パネル構造にし、2枚のパネルの剛性を変え、さらに吸音材を入れて空気層の空気粒子のもつ運動エネルギーを熱エネルギーに変換させて透過音を減衰することによって壁防音対策としている。図10は、140ホン(dBA)の超高音圧を出す爆着溶射キュービクルの防音対策として採用されたPCI壁構造を示したものである。従来の壁厚さより薄い構造であるがPCI板を中空部に設置することによって、図11にみられるように壁外近傍で78ホンまで音圧が低下している。これは、PCIを入れることにより封入空気層の中に蓄圧層が形成された状態となって、明確な固有振動を示さないのを見かけ上大きな空間を設けたことになる。したがって、2枚のパネルの独立した性能を発揮させることができ、総合的な遮音性能が大幅に向上する。特に低音域に対しては従来にない好結果が得られた。

6. 床防音

床の軽衝撃音(タッピングマシン音)の直下室への透過を少なくするためには次の条件が要求される。(1)床表面で大きな音を発生させない材料があること、(2)下地材料が振動音を出しにくい構造体であること、(3)緩衝構造が振動音を吸収し、固体伝搬させないこと、(4)スラブ構造に十分な剛性をもたせ透過損失を大きくとること。(4)の条件を180mmコンクリートスラブとし、(1)~(3)を種々変化させた場合の床遮音性能を実際の高層ビルで測定した結果について図12に示した。下地材とクッション材にPCIとグラスウールを組み合わせた複合板構造とすることによってダンピング効果が生まれ、振動音をおさえて底から放射される音圧が低下する。また、図13からは複合吸音構造が広い周波数帯域にわたって平均化された吸音効果を発揮してスラブ上面への音圧を一段と低下させることが知られた。

7. 機械音防音

軌道モーターカーは、軌道工事の性質上深夜に稼動することが多く、そのエンジン騒音対策には厳しい規制があってグラスウールと鉄板構造の現使用では十分な防音が達成されていない。そこでTMC-201Cモーターカーのエンジンカバー内面にPCIを貼り付け施工し、前方並びに左右三方向の25mまでの各地点における騒音レベルの測定を行った。図14にみられるように、音源から25mはなれた(A)、(B)、(C)いずれの方向においても騒音レベルが70ホン以下になっていることから規制値をクリアしたことになる。音源から離れるにしたがって騒音レベルの低下が大きいのは低周波領域における音圧低下に基因するもので、PCIの低音域吸音効果が発揮されたことは図15からも明らかである。

8. その他の特性

8-1. 電磁シールド性

電磁シールド性とは、外部からの電磁波をシールドバリアーによって反射吸収させ、室内に透過する電磁波を減衰させることをいい、図16に示すごとくシールド効果(SE)は、反射損失(R)と吸収損失(A)および内部反射損失(B)のトータルdBで表示される。材料的な面から言えば、シールド効果は導電率と透磁率の関数として表され、導電率に優れたアルミニウムや鉄などの金属材料は非常に良好なシールド材と云える。しかし、実際面からすると室内を金属板で完全密閉されることはなく、かなりの部分で開口部(ドア、窓)や隙間(電源線、信号線、給配水管)があってこれらは電磁波にとって大きな漏洩パスとなる。図17および図18は、細隙や有孔材料の

電磁シールド効果を示したものである。隙間のない導電性のジョイントシールド施工を行うと 80dB 以上のシールド効果が得られるが、20 μ m 程度の細隙であってもシールド板が薄く、隙間距離が大きいとシールド効果が著しく低下することがわかる。また、200 \times 200mm の開口部がある室内では、500MHz 以上の高周波帯域でのシールド効果はほとんどゼロとなる。通常、開口部のシールド補強材料としてエキスパンドメタルや金属メッシュなどが用いられ、約 60dB のシールド効果が得られている。

同軸線内電磁気挿入損失測定法によって PCI の電磁シールド性を測定し、その結果を表 1 に示した。これによると 50MHz 以下では 70dB 以上、500MHz の高周波帯域においても 60dB 以上の良好なシールド効果を有していることが知られた。PCI は振動吸収と吸音性能に優れていることと関連して、シールド効果の要素のうち吸収損失と内部反射損失が大きい場合も考えられ、従来のシールド特性と異なるレベルでのシールド材としての適用が期待される。

8-2. 熱特性

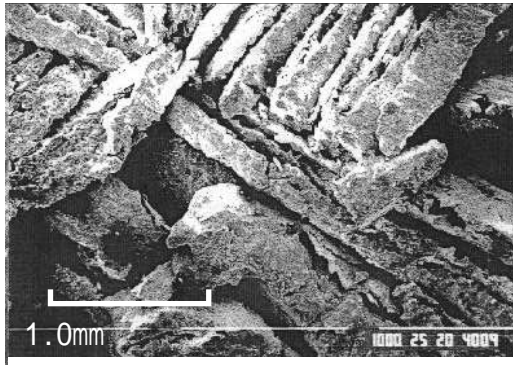
450 \times 450 \times 10mm の PCI 板を用いて、ASTM-C236-66 法による熱伝導度を測定した結果、0.19Kcal/mh の値が得られた。表 2 は各種材料の熱伝導率を示したものであるが、PCI の熱伝導率は原料である鋳鉄の 1/200 以下であって、石綿や紙に匹敵する断熱特性を有していることが知られた。さらに、PCI の太陽熱吸収力を太陽光線入射 Devics & Services Alphanometer 1A を用いて測定した結果、表面輻射放射率は 0.97 であった。各種材料の放射率と比較すると表 3 にみられるように、PCI は金属材料より大きい放射率を有し、白金黒や暗黒塗装面と同等の太陽熱吸収性能を備えていることがわかる。このように PCI は素材が金属でありながらその構成状態から吸熱性と断熱性を兼ね備えた材料であって、特殊な熱特性が要求される分野への適用も考えられるところである。

9. 結び

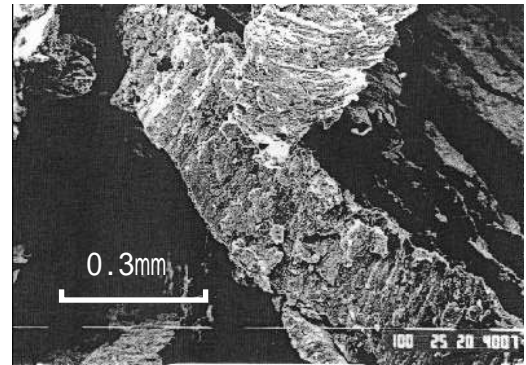
以上に示した PCI の適用例は、微振動、重振動、超高音圧吸音、遮音などの各分野における一例であり、この他にも道路防音壁、軌道振動制御、空調機騒音、特殊冷凍機システムの制振などの対策にも適用され優れた成果を収めている。これらはいずれの場合も PCI の材質と構造に基づく制振と吸音の相乗効果ならびに他の材料との複合効果によるもので、特に低周波域の制振と吸音性能がその対策を可能にしたものといえる。

文献

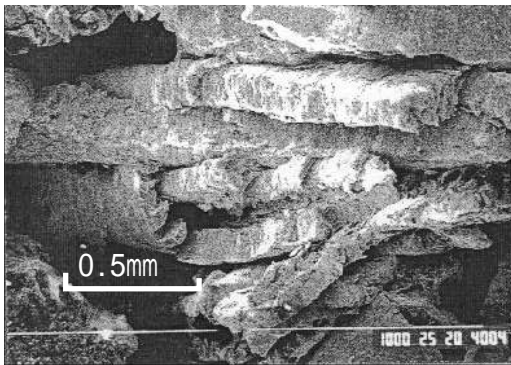
- 1) 沢村、津田; 鋳物 20(1948)7 ~ 8
- 2) 津田、小林、権谷; 鋳物、94 講演概要集(1978)
- 3) 津田; 金属 12(1980)65
- 4) 津田、小林、江川; 学振第 24 委員会、鋳鉄分科会資料 No.157(1985)
- 5) 津田、小林、江川; 学振第 24 委員会、鋳鉄分科会資料 No.163(1986)
- 6) 杉本; 日本金属学会会報 14(1975)
- 7) T.Ogawa T.Arai; Journal of The Physical Society of Japan 52(1983)



(a)表面



(b)断面表層近傍



(c)断面中心部

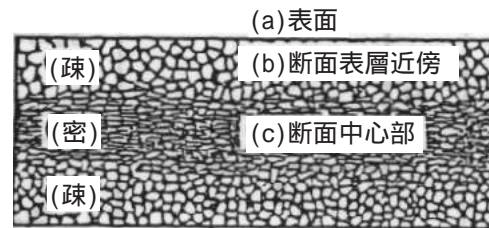


図1 PCI板の構造と組織(SEM)

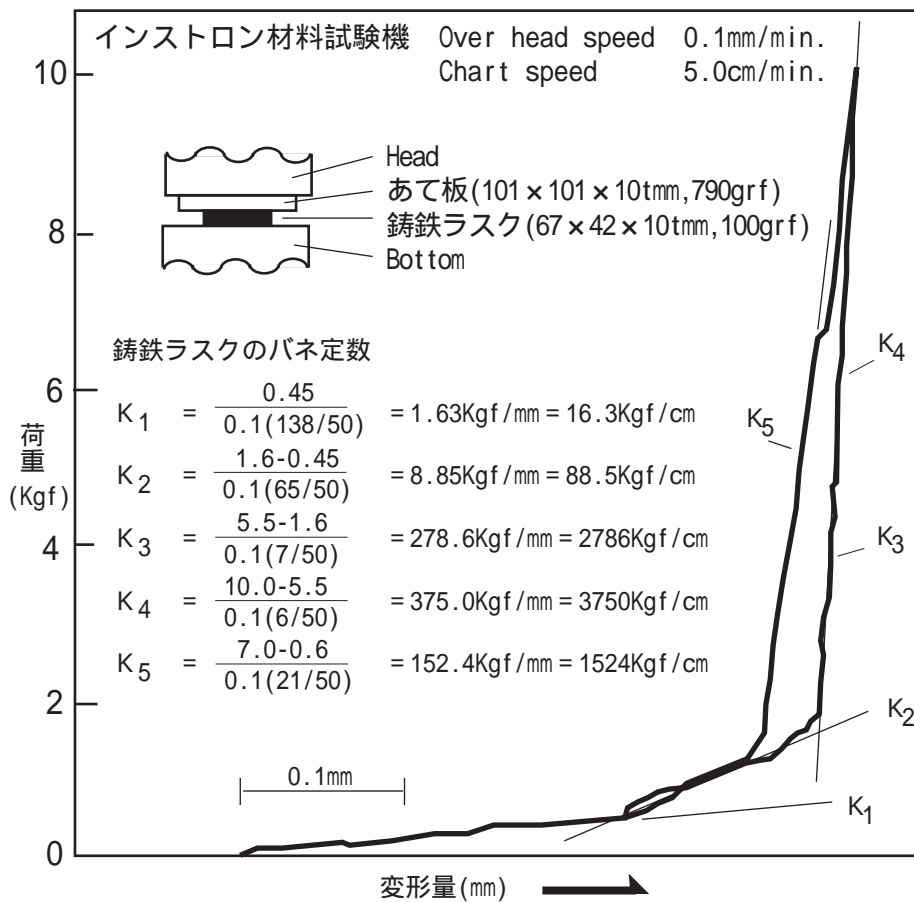


図2 PCIの圧縮試験

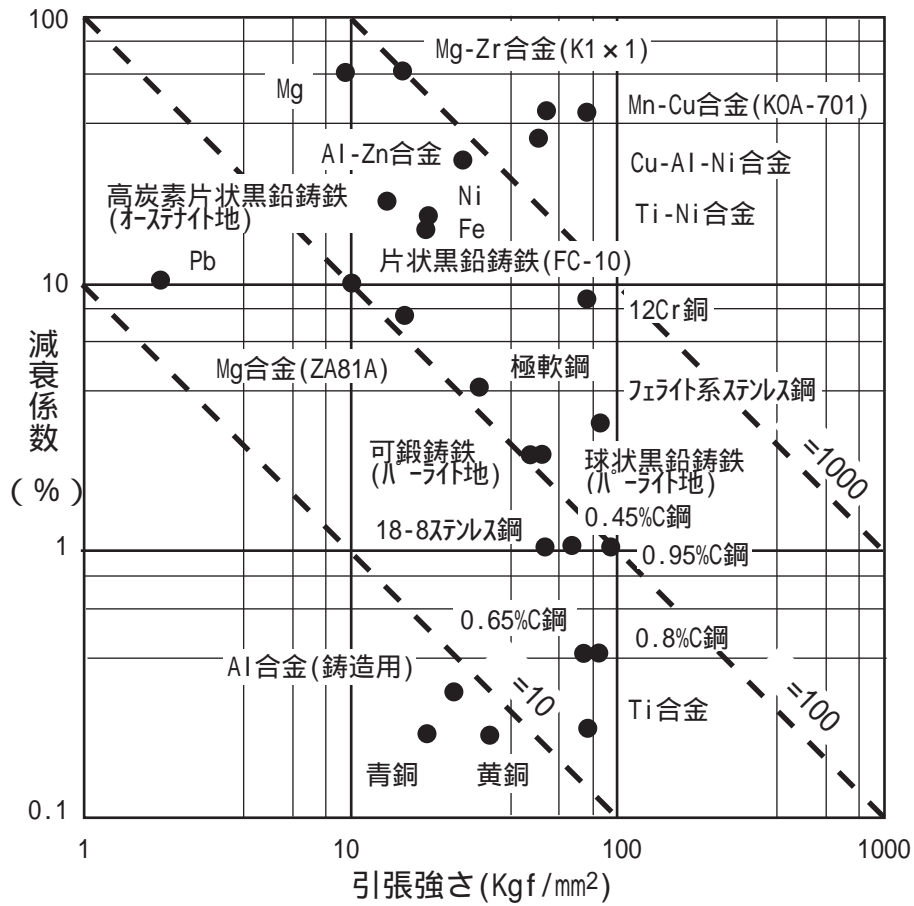


図3 各種金属材料の強度と減衰係数

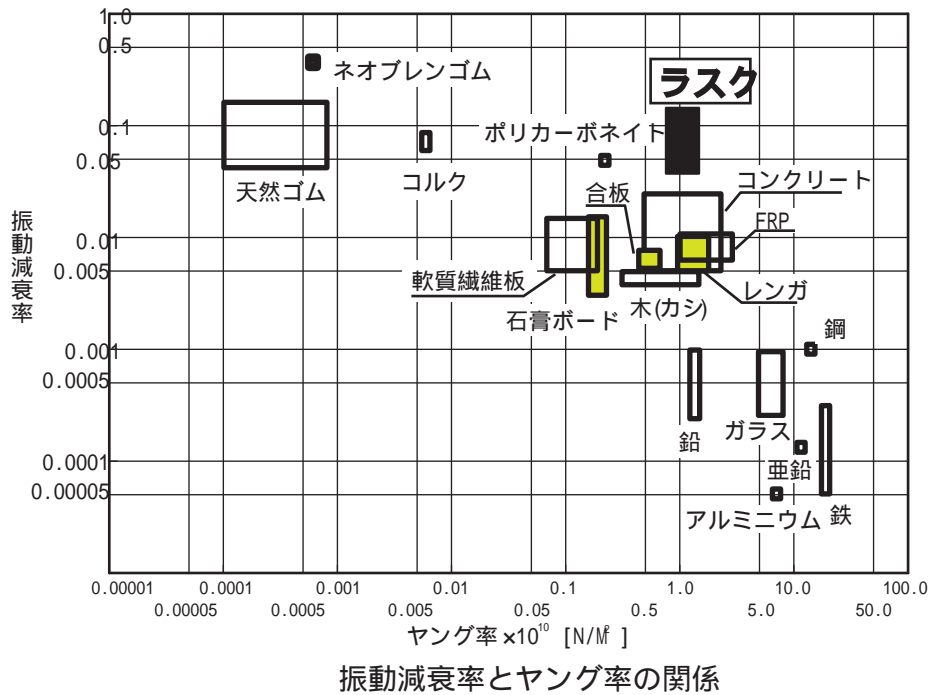


図4 振動減衰率とヤング率との関係

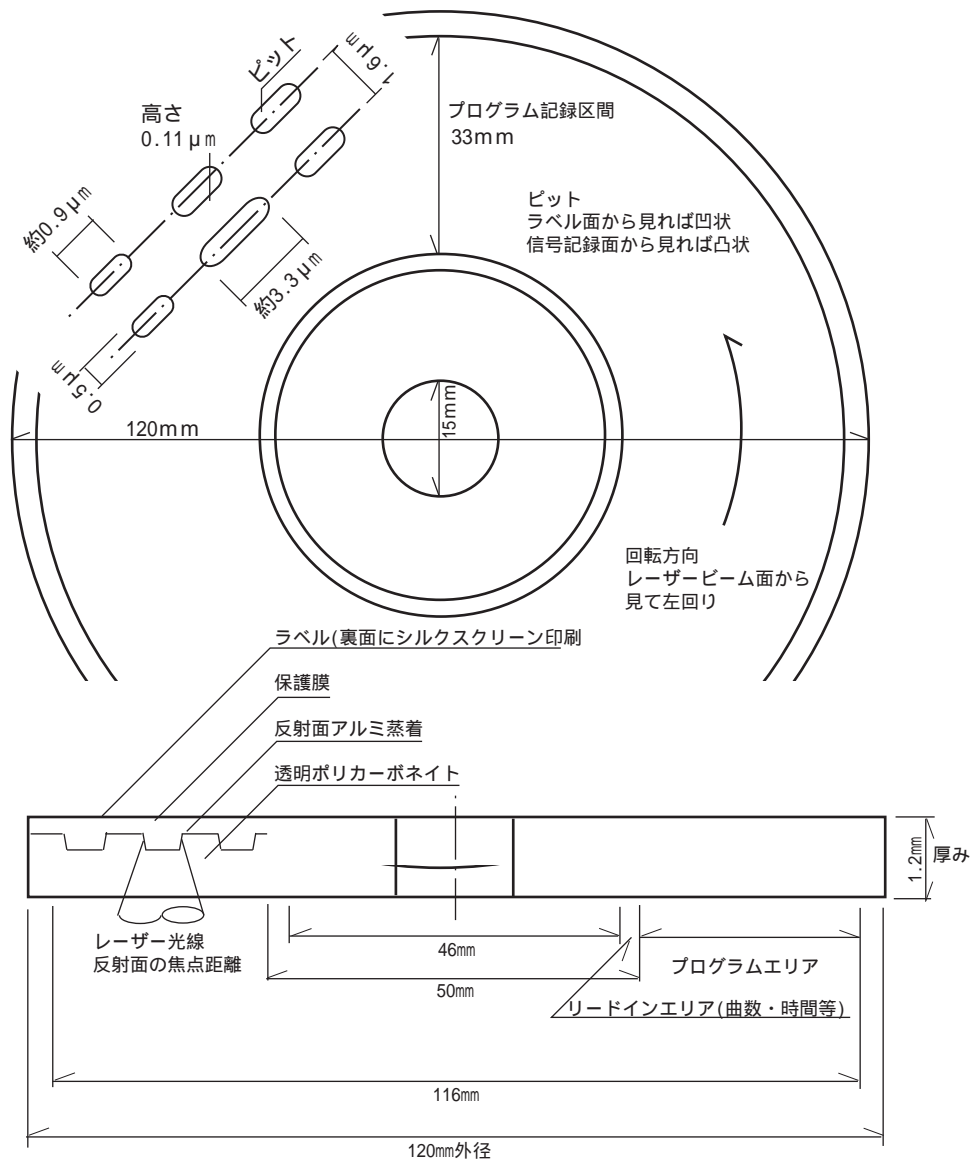


図5 コンパクトディスクの構造

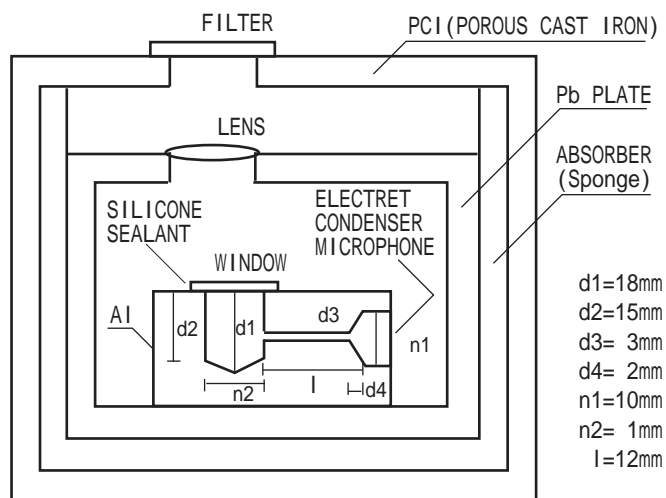


図6 PAセルの構造図

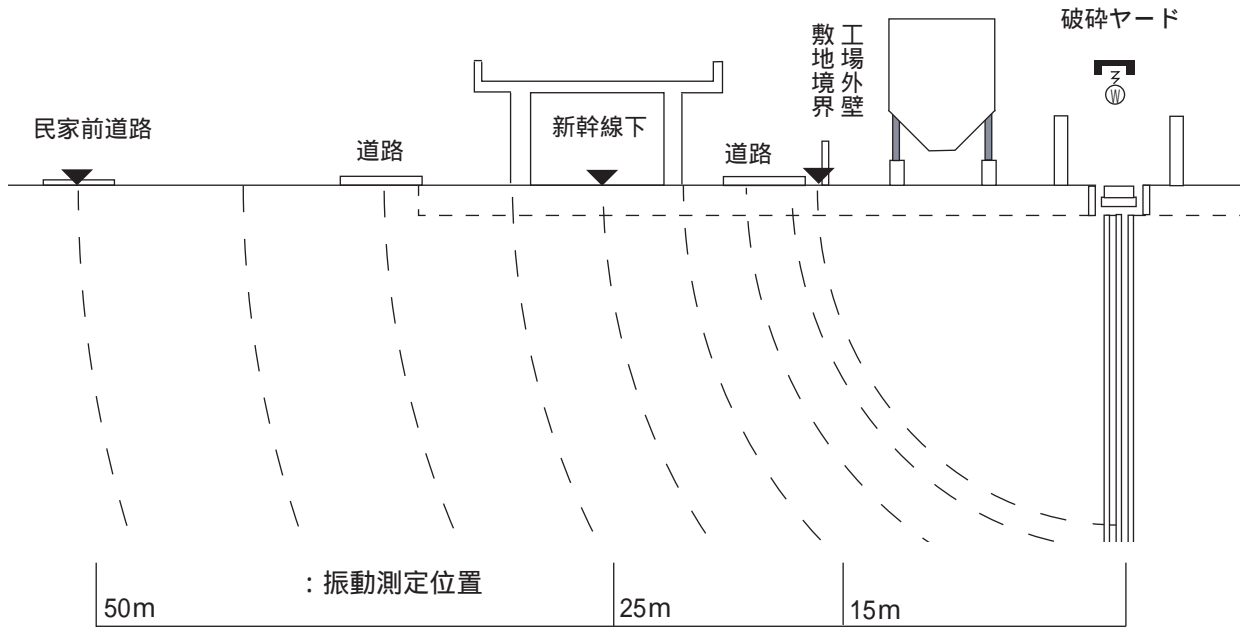


図7 鋳物スクラップ破碎時の振動測定位置

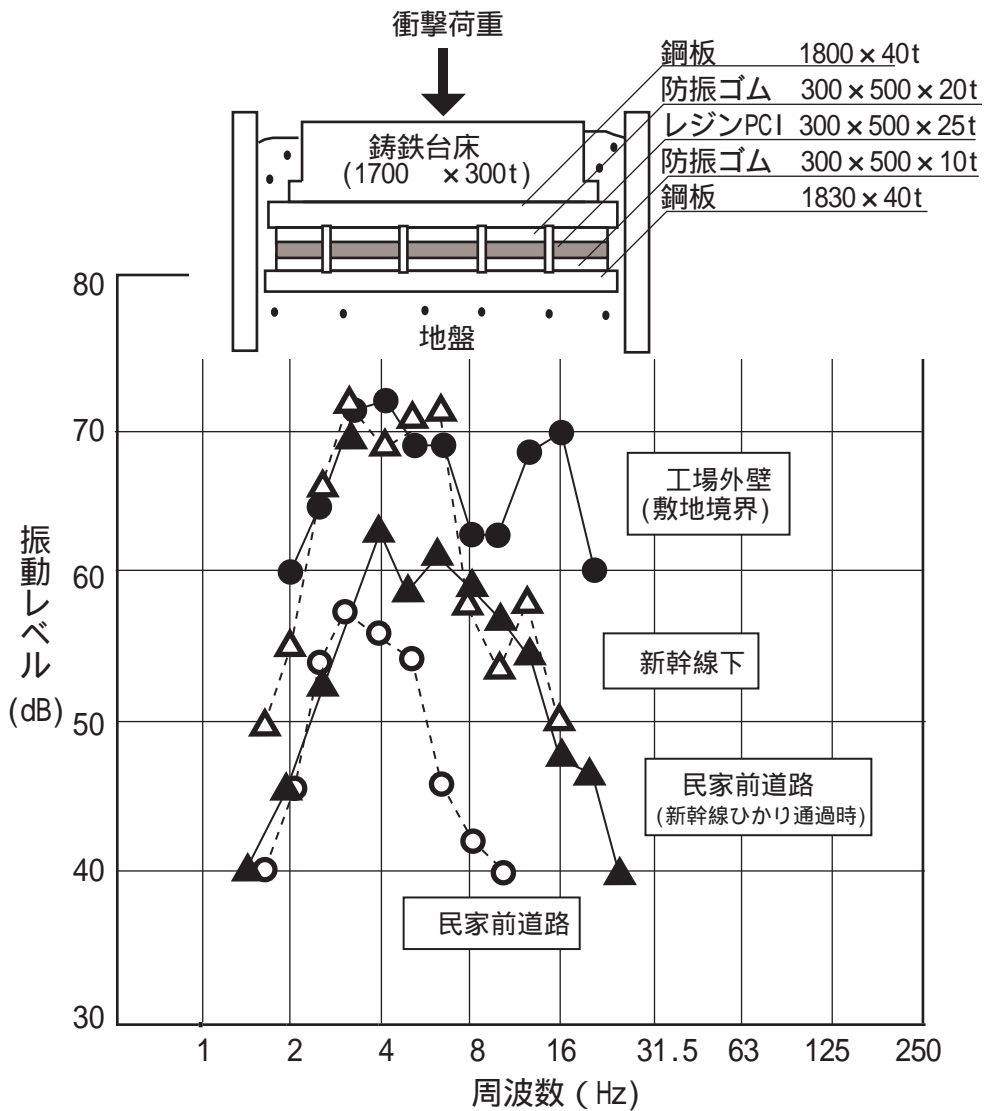
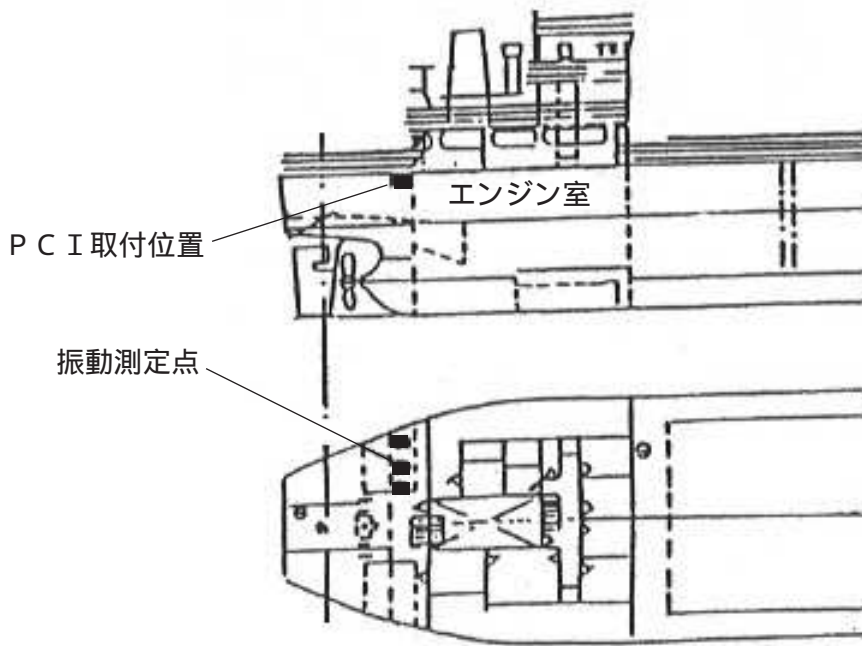


図8 鋳物スクラップ破碎振動の制振効果と周波数解析



499G/T貨物船船尾部

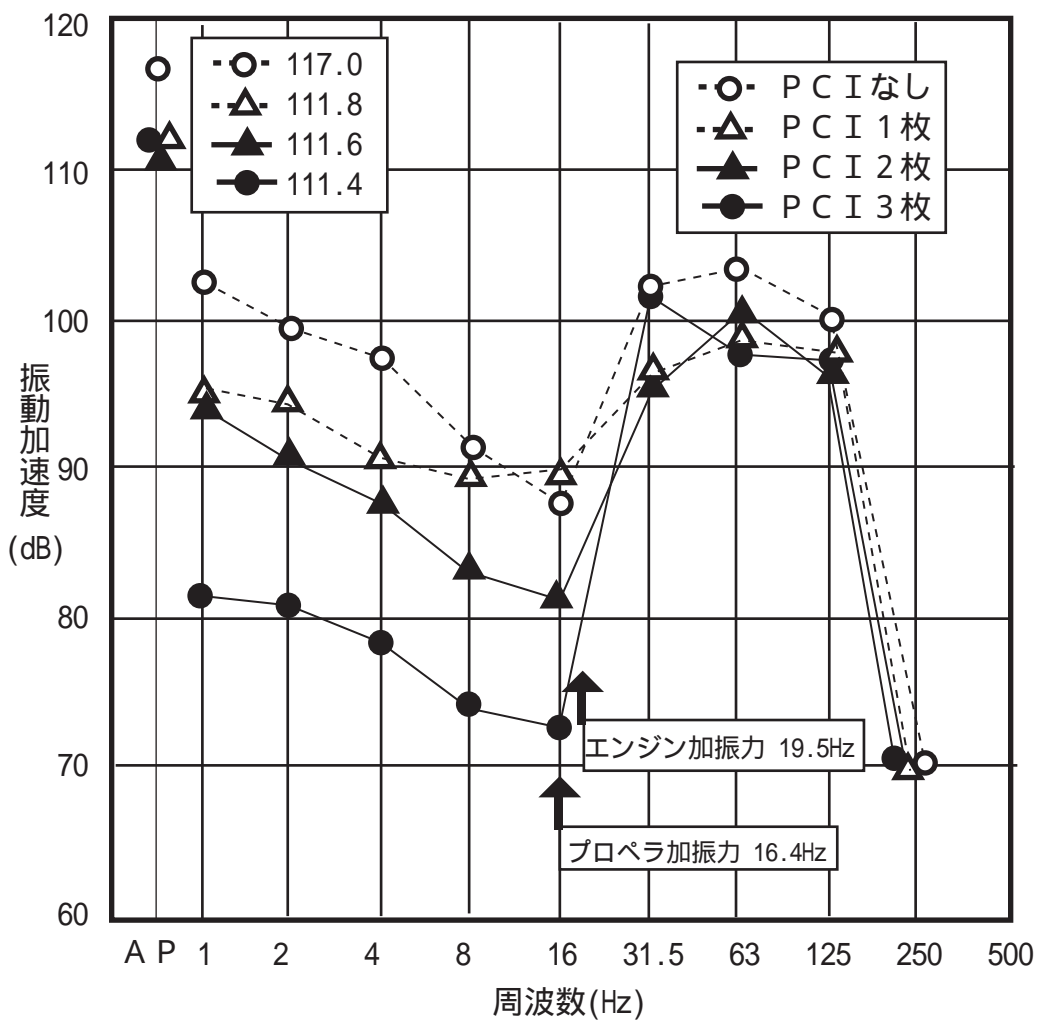


図9 船尾甲板における振動測定

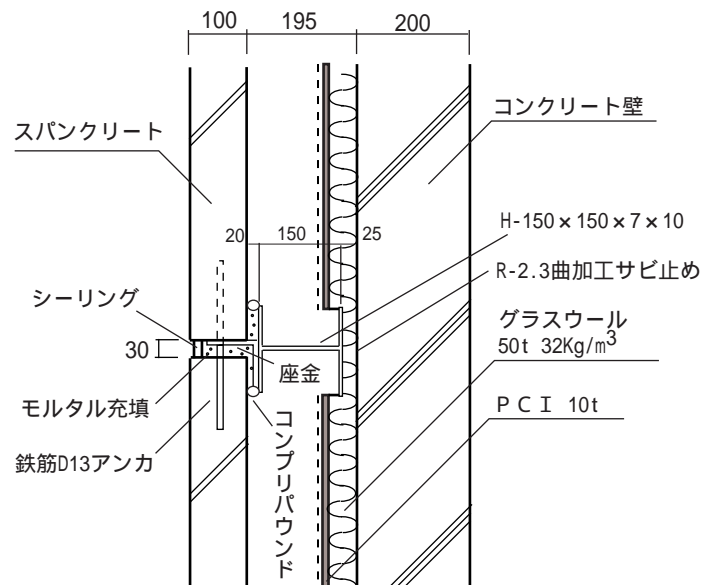


図10 高音圧遮音P C I壁構造

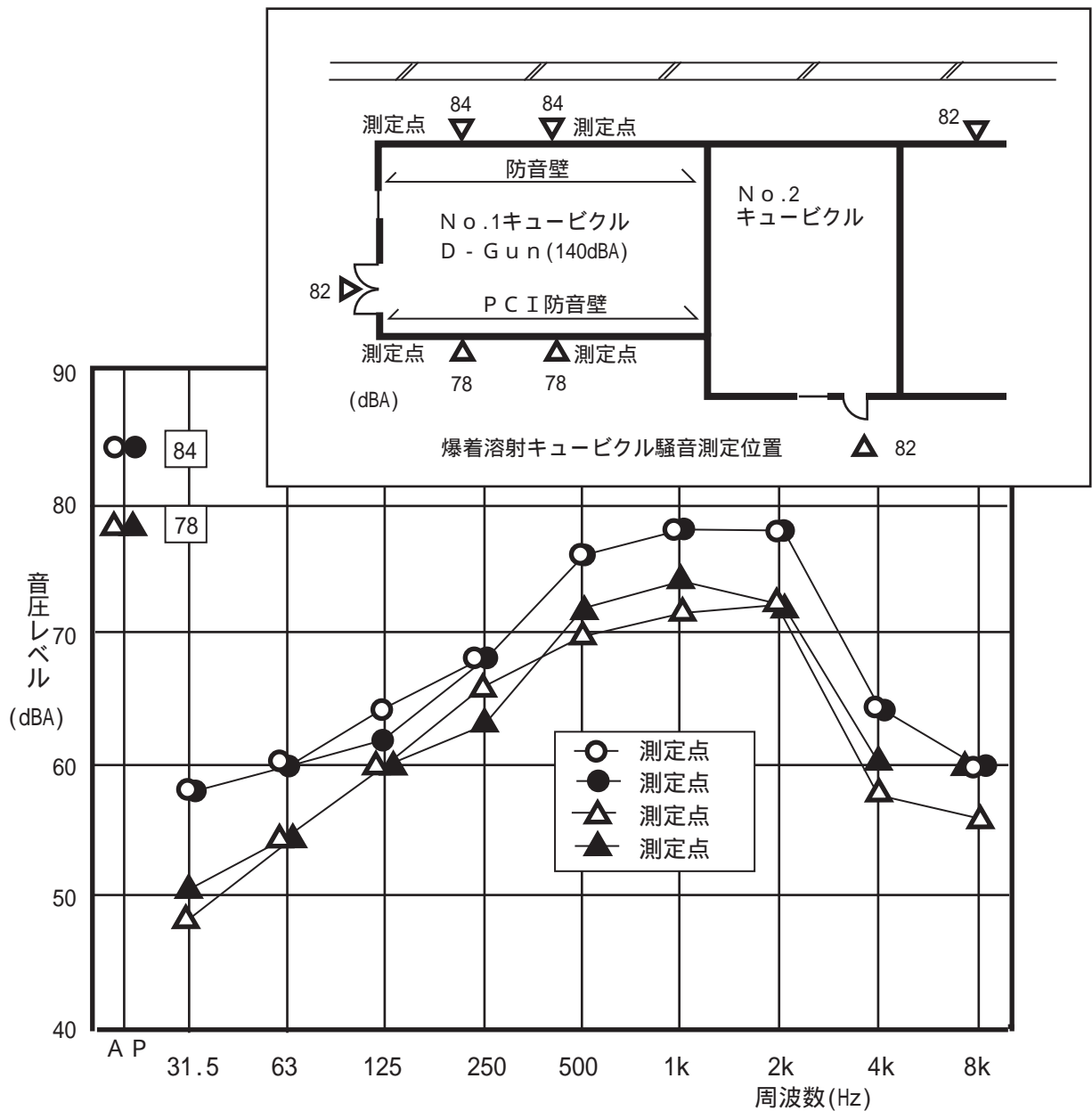
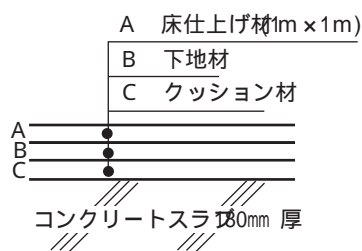


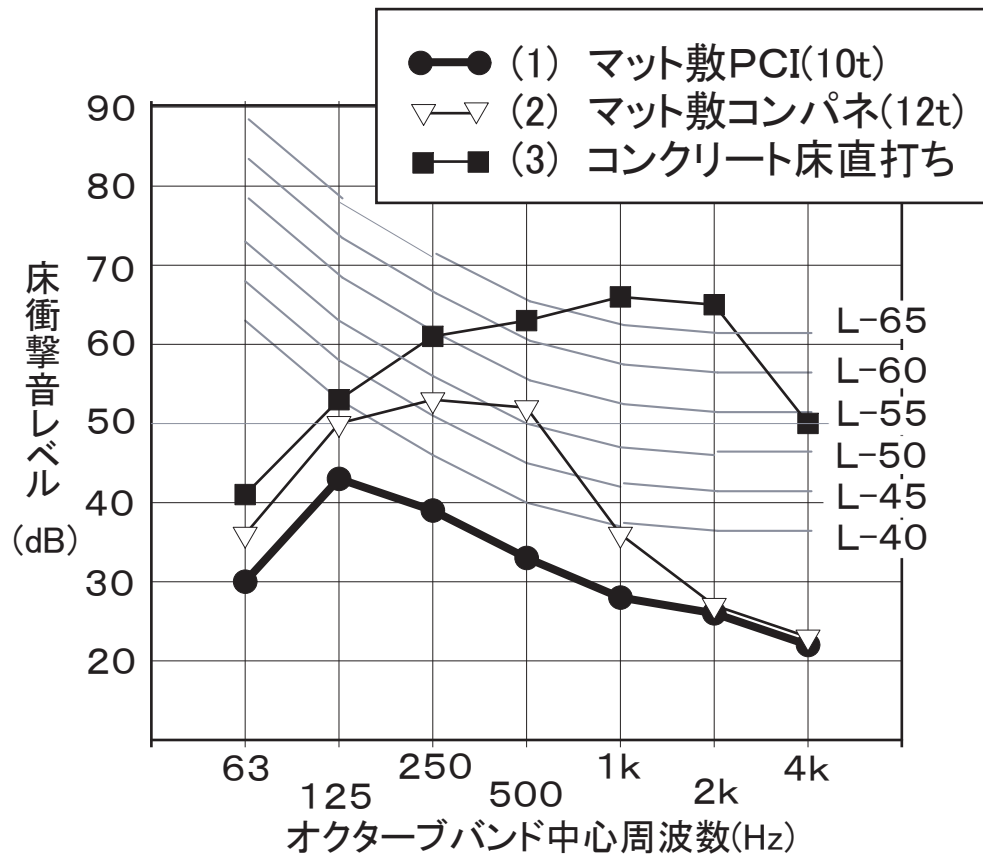
図11 コ音圧キュービクル遮音効果測定結果



床仕上げ構成	足衝撃音						タッピングマシン						dB (A)			
	45	50	55	60	65	70	45	50	55	60	65	70				
1. ベニヤ(6mm) P C I (10mm) G W (25mm)									■							
2. ベニヤ(6mm) P C I (10mm) 20% G W (25mm)									■							
3. ベニヤ(6mm) P C I (10mm) 30% G W (25mm)									■							
4. ベニヤ(6mm) P C I (10mm) 30% フリックマット(10mm)																
5. フロリング* (15mm) シーシクホート (9mm) ホリエレン(10mm)																
6. フロリング* (15mm) ハテイクルホート (9mm) フリックマット(7mm)																
7. フロリング* (15mm) ハテイクルホート (9mm) フリックマット(10mm)																
8. フロリング* (15mm) ハテイクルホート (9mm) フリックマット(18mm)																
9. フロリング* (15mm) ハテイクルホート (9mm) G W (25mm)																
10. フロリング* (15mm) カーペット(7mm) 防音カーペット																
11. 防音カーペット																
12. コンクリート																

PCI : 多孔質鋳鉄 GW : グラスウール t : 厚さ

図 1 2 各種床材の床遮音性能測定結果



生活実感		
床衝撃音等級	走り回り、足音など	物の落下音など
L-65	よく聞こえ気になる	10円玉でも聞こえる
L-60	やや気になる	箸を落とすと聞こえる
L-55	少し気になる	スリッパでも聞こえる
L-50	殆ど気にならない	ナイフなどは聞こえる
L-45	聞こえるが気にならない	サンダル音は聞こえる
L-40	遠くから聞こえる感じ	殆ど聞こえない
L-35	静かな時に聞こえる	まず聞こえない
L-30	殆ど聞こえない	全く聞こえない

図13 床衝撃音の遮音等級とPCIの遮音性能

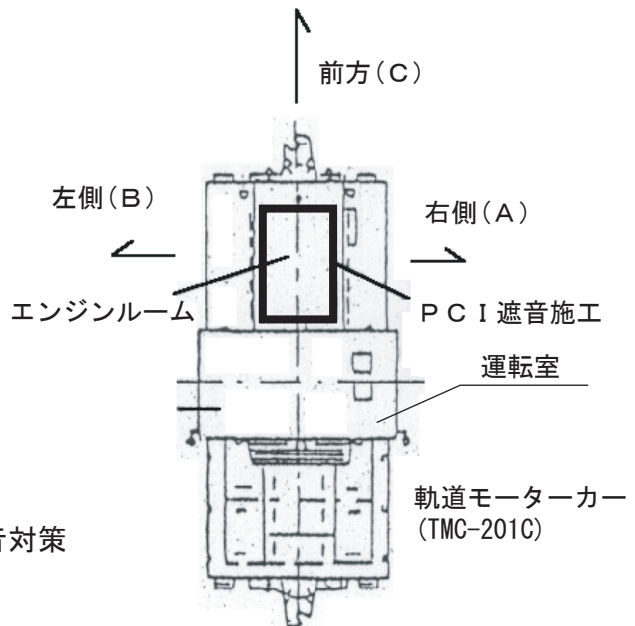
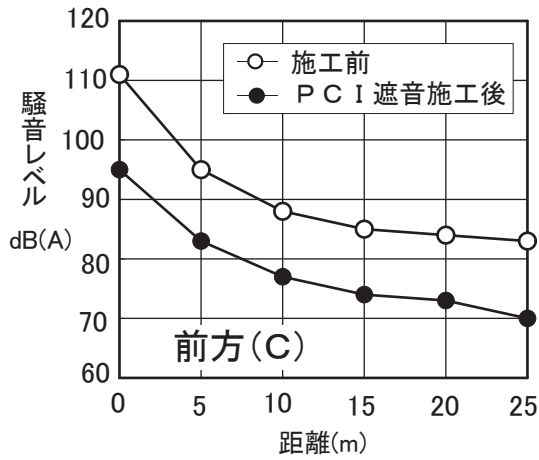
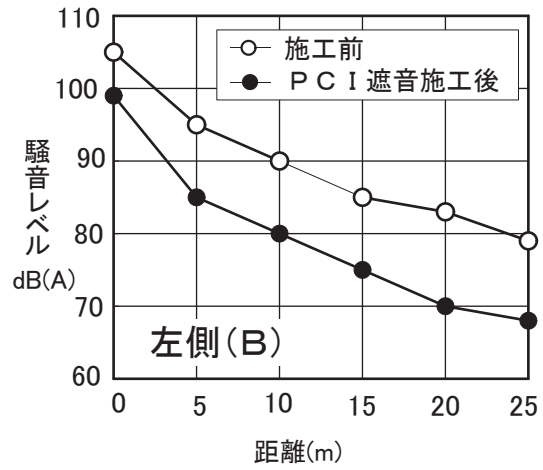
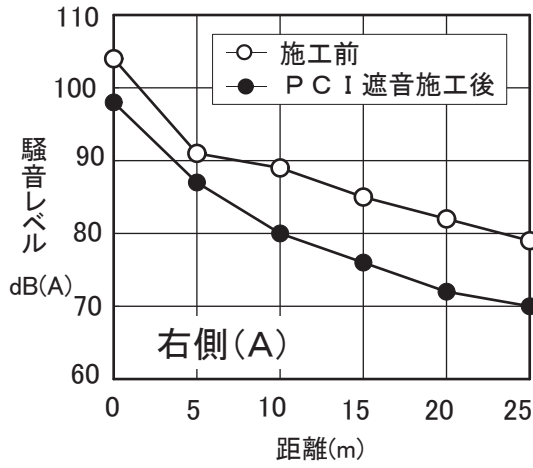


図14 軌道モーターカーのエンジン騒音対策

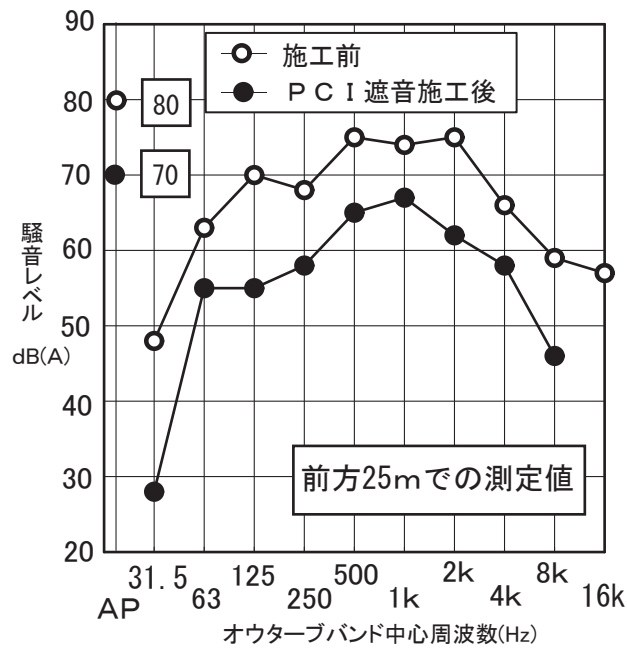


図15 軌道モーターカー騒音対策、前方(C)方向 25m地点における音圧の周波数解析

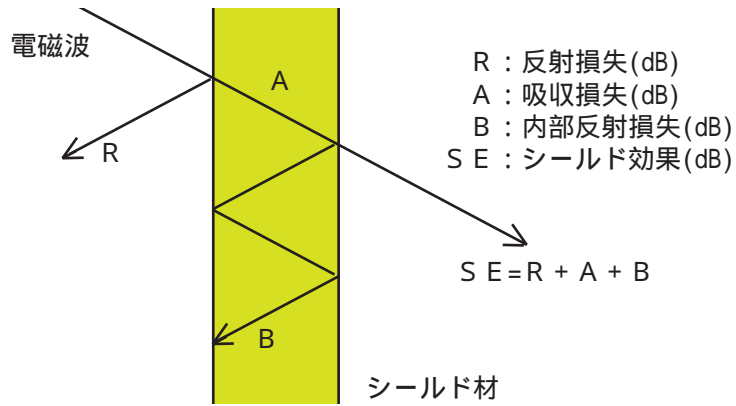


図 1 6 電磁波シールドの基本メカニズム

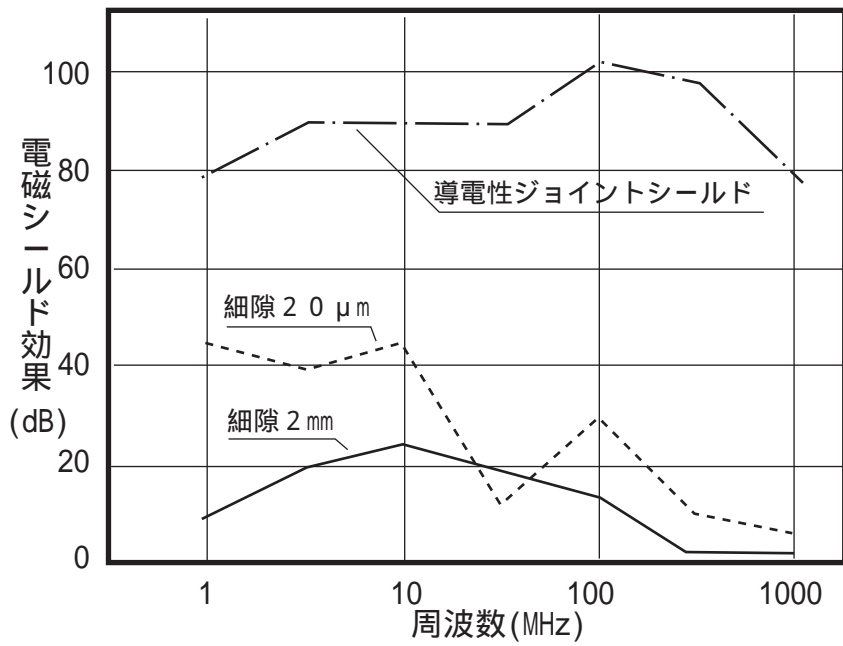


図 1 7 細隙部の電磁シールド効果

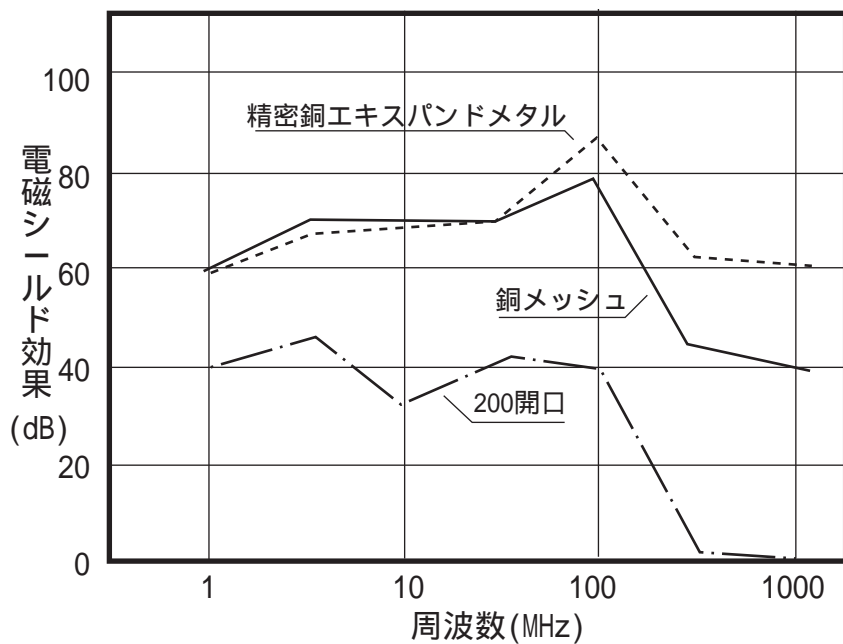


図 1 8 有孔材料の電磁シールド効果

表 1 電磁シールド特性

	周波数 (MHz)							
	0.5	1.5	5	15	50	250	500	1000
シールド効果 (dB)	7 6	7 8	7 7	7 5	7 4	6 7	6 4	5 7

表 2 各種材料の熱伝導率

材料の種類	熱伝導率 (Kcal/mh°C)
鋳 鉄	4 5
アルミニウム	1 9 6
銅	3 3 2
銀	3 6 0
紙	0. 1 8
石 綿	0. 1 3
ゴム、アスファルトルーフィング	0. 1 1
ロックウール、綿、布	0. 0 5 ~ 0. 0 8
コルク、絹、羊毛	0. 0 3 ~ 0. 0 4
コンクリート	0. 7 ~ 1. 2
珪石レンガ	0. 9 5
木 材	0. 0 9
空 気	0. 0 2 (0°C) ~ 0. 0 5 (600°C)
※ 多孔質鋳鉄 (P C I)	0. 1 9

表 3 表面輻射放射率

材料の種類	表面輻射放射率 (ϵ)
平滑なゴム	0. 9 7
硬質ゴム	0. 9 5 ~ 0. 8 6
木、紙、ガラス	0. 9 1 ~ 0. 8 8
暗黒塗装面	0. 9 5
白金黒・ランプブラック	0. 9 7 (常温~1650°C)
鋳鉄(黒皮)	0. 7 ~ 0. 8
鉄、鋳鋼(研磨)	0. 0 6 ~ 0. 0 7
アルミニウム塗料	0. 4 ~ 0. 7
※ 多孔質鋳鉄 (P C I)	0. 9 1