



制振鋼板の現状

千葉 範 夫*

Current Status of Vibration Damping Laminated Steel Sheets

Norio CHIBA

1. はじめに

環境重視の時代を迎えて、最近、騒音防止のための材料開発が盛んである。二枚の薄鋼板の間に樹脂層を持つラミネート型制振鋼板（以下制振鋼板と呼称）もその一つと言えよう。これは振動時に中間樹脂層が曲げ変形によつてせん断ずれを起し、振動エネルギーを熱エネルギーに変換することによつて薄鋼板の振動を減衰させるものである。

制振鋼板のプライマリーイノベーションは、20年ほど前米国において発表されたアルミ板と樹脂のサンドイッチ板から発していると言われる¹⁾。実用化も、米国のゼータス社やスウェーデンのアンチホン社等で早くから進められている。我が国での開発は昭和40年代の末から各種防音カバー等加工の軽微なものを手始めに、橋梁²⁾、造船³⁾等の構造物へと進められてきたが、昭和54年の自動車加速走行騒音規制⁴⁾の実施等によつて自動車業界の高いニーズを得、現在、開発も高炉メーカーすべての参画するところとなり、最近俄かに紙上を賑わすようになって来たものである。

現在、制振鋼板の開発には次の二つの流れがあると思われる。一つは自動車部品等に見られる騒音対策としての薄鋼板の持つ共振性の改善である。振動を受ける主として駆動系の用途に供せられる自動車、電気、機械分野における従来の薄鋼板の需要分野を対象としたもので、すべての鉄鋼メーカーが製品および需要開発を薄板技術部門を主体に行っていることから現在の制振鋼板の流れを支配しているものと言えよう。

もう一つの流れは、制振鋼板の普及と共に一般の市民の生活関連の用途分野から芽生えているものである。制振鋼板は図1に見るように強度と振動の吸収能を示す損失係数⁵⁾の物性面から見た場合、鋼の特長としての高い強度や優れた加工性に加えて、木の感触あるいはもつと重厚な石や陶磁器、さらには鉄系系の質感をも期待できる新しい複合素材の出現と見る事ができる。したがつてこの場合の用途分野は木材、プラスチックあるいはコ

ンクリート等の分野となる。この分野は薄鋼板が工業材料として優れた特性を持ち、美しい表面処理技術の開発にもかかわらず、薄鋼板特有の軽薄な金属音によつて長い間使用を拒まれて来た分野でもある。

制振鋼板の技術は、このほか、各種の製品に拡大することができる。例えば樹脂層にポリプロピレンやナイロンのような硬質樹脂を厚くして使用した場合は、同一剛性に対して鋼板を薄くできるいわゆる軽量化ラミネート鋼板が可能となる。これも現在、軽量化のニーズの高い自動車メーカーで検討が進められており一部実用化も行われている。また、片面にステンレスや銅板を用いることによつて意匠性や耐食性に富んだ各種ラミネート鋼板の製造も可能である。

このように見てくると制振鋼板は、従来の鋼板の欠点である共振性を改善するばかりではなく、鉄の持つ“重い”“錆びる”“意匠性に乏しい”等の宿命的な欠陥の改善にかかわる開発と見る事ができる。

最近、各鉄鋼メーカー共、新素材部門を新設し、素材の総合メーカーを志向しているが、制振鋼板はこの意味では、鉄とこの新素材の間に位置する複合素材であり、鉄鋼メーカーの中から当然、生まれるべくして生まれてきた製品と言えよう。

今後この制振鋼板が、単なる防音対策材としての位置付けで定着するのか、新しい複合素材として広く生活の

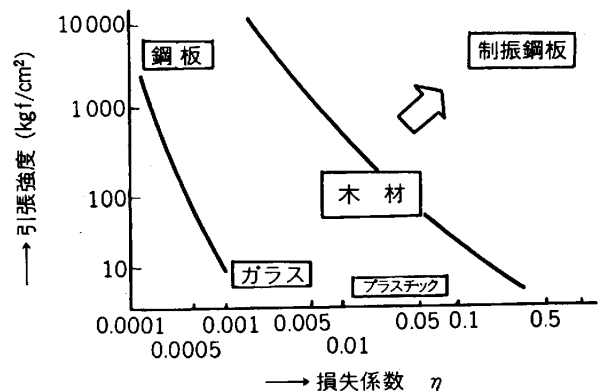


図1 各種材料の制振性能

昭和60年2月20日受付 (Received Feb. 20, 1985) (依頼解説)

* 日本鋼管(株)薄板技術部 (Sheet & Strip Technology Department, Nippon Kokan K. K., 1-1-2 Marunouchi Chiyoda-ku, Tokyo 100)

中に浸透していくのかをまさぐりながら、若干の展望を加え、ここに、最近の制振鋼板の状況について概観して見た。

2. 制振鋼板の現状

2.1 製品の種類と範囲

制振鋼板はその使用温度によつて種類が分けられる⁶⁾~⁸⁾。使用されている粘弾性高分子材料（以下樹脂と呼ぶ）は、低温ではガラス状であり、温度の上昇と共に皮革状になり、さらにゴム状から液状へとヤング率が変化するが、ちょうど皮革状の時に最も高いエネルギー吸収を示す⁹⁾。

すなわち、このピーク温度を高温において自動車のエンジン回り部品等を対象にした高温用と、これを常温において建材や防音カバー等を対象とした常温用である。

高温用は、損失係数のピーク温度をほぼ 80°C から 100°C、常温用は 10°C から 40°C においている。なお、メーカーによつてはこの間に中温用あるいは中高温用等を設け数種類としているところもある⁹⁾¹⁰⁾。

使用する原板は冷延鋼板のほかに酸洗板、亜鉛めつき鋼板、カラー鋼板等すべての鋼板が可能であると言つて良い。このほかステンレスや銅板等を貼り合わせることも可能である。樹脂の厚みは常温用では 50 μm~500 μm、高温用では 50 μm~100 μm がほぼ標準となつている。原板の厚みは 0.25 mm が最少でかなり厚い鋼板まで可能であるが、実績としては 2~3 mm で総厚 5~6 mm までの使用が現状であろう。製品の大きさは、3'×6'、4'×8' が標準的なサイズである。

2.2 製造方法¹¹⁾

製造方法は樹脂の供給方式によりフィルムフィード方式とコーター方式に大別される。樹脂フィルムを2枚の鋼板の間に挟み込むフィルムフィード方式は接着方法に樹脂自身の接着性を利用するものと接着剤を利用するものがある。熱による自己接着型の樹脂フィルムを使用した製造方式は比較的高い密着力が得られ、オイルパンのような厳しい成形性を要求されるものに適しており¹²⁾最近高温用にこの方式を採用するメーカーが増えている。写真1にその一例を示す。鋼板の上に樹脂を塗布しその上にもう一枚の鋼板を重ねるコーター方式には塗布方法によりロールコート方式とフローコート方式がある。常温用でこの方式を採用しているメーカーが多い。現在、原板、製品共に切り板により行われているが、コイルによつて行う方式も各メーカーで検討が進められており、すでに実施に移しているメーカーもある。

2.3 製品の物性

2.3.1 制振性能と密着力

現行の制振鋼板の損失係数は平板状態でピーク値が 0.1~0.5（半値幅法）程度と推定される。剪断密着力は常温用がコーター方式で数 kgf/cm²、フィルムフィー

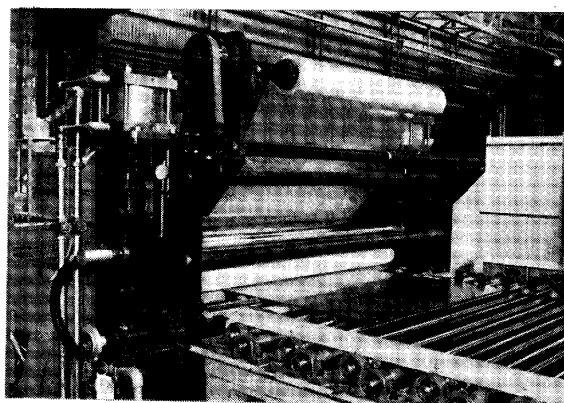


写真1 フィルム・ラミネート設備

ド方式で 80 kgf/cm² 前後、高温用では 80~160 kgf/cm² 程度のレベルにある。

制振性能は一般に密着力と逆相関の関係¹⁴⁾にあり、密着力は成形性に相関¹⁵⁾していることから各社共対象用途によつて品質設計上の損失係数と剪断密着力の位置付けを行つている。しかし実際には平板の状態で使用されるケースは少なく、多かれ少なかれ何らかの加工を受ける。この場合加工時の衝撃によつて密着力の低下を起こすことが知られており⁸⁾また加工による歪みによつても損失係数は変化する¹⁶⁾。その他形状による構造減衰の影響や取付部品の剛性あるいは接合方式によつても影響を受ける。そしてこれらの損失係数の変化の度合いは樹脂の種類によつても微妙に異なる¹⁷⁾。したがつて実際の部品に適用した場合の評価については試作によりできるだけ実際の状態に近付けて騒音を測定し、最終的には実績により確認する方法がとられている^{17)~19)}。

2.3.2 成形性

成形性におよぼす要因として樹脂の剪断剛性率および

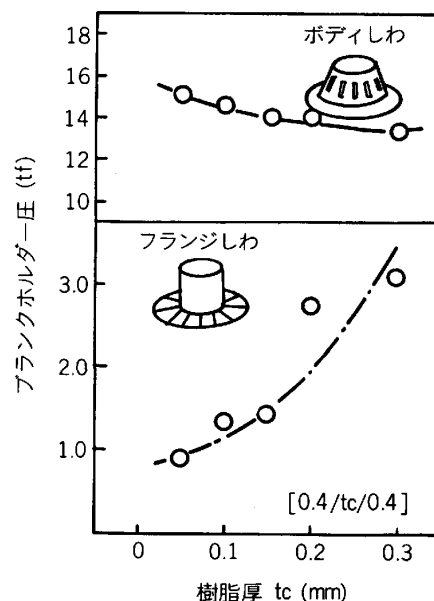


図2 耐しわ性試験

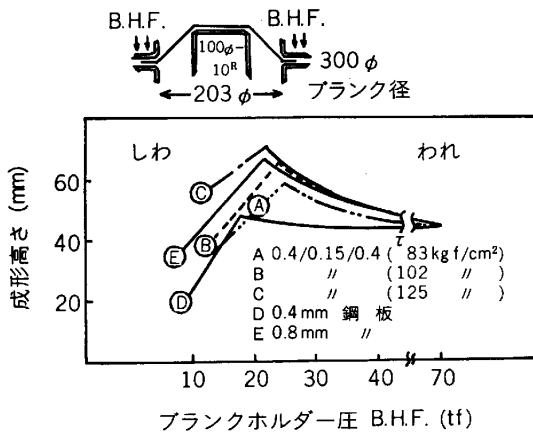


図 3 円錐台成形試験¹⁵⁾

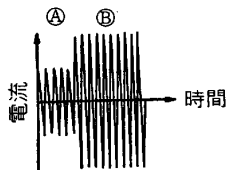
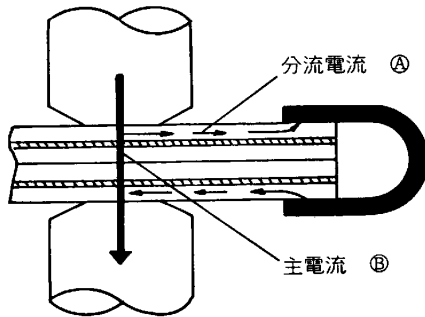


図 4 制振鋼板のスポット溶接法の原理

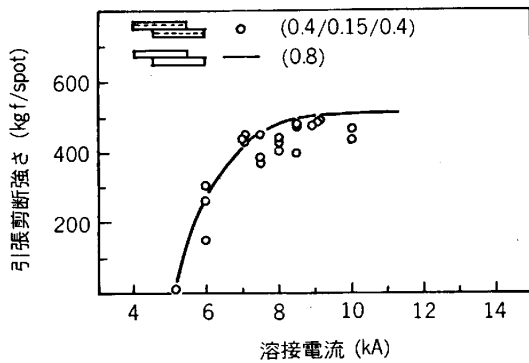


図 5 引張剪断強さ

密着力、樹脂の厚み、原板の厚みおよび材質等が挙げられる。図 2 に樹脂厚と耐しわ性との関係をしらべた試験の例を示す。この結果ではフランジしわの場合は樹脂厚が厚くなるほどしわが発生しやすくなるのに対してボディしわの場合は逆に厚くなるほど抑制される²⁰⁾。次に図 3 に 3 種の密着力を持つ制振鋼板と原板および原板の倍厚の単層鋼板の円錐台成形におけるしわおよび破断限界曲線を示す。この結果制振鋼板は原板 1 枚の単層鋼板よ

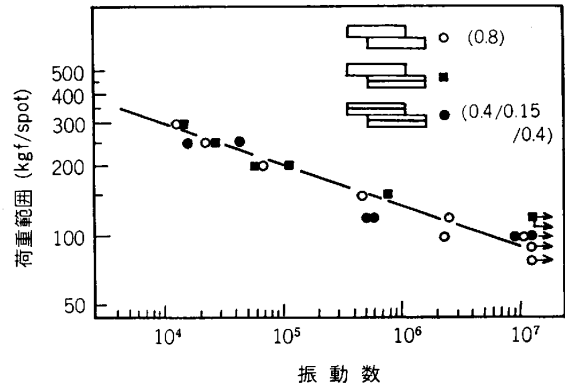


図 6 引張剪断疲労強度

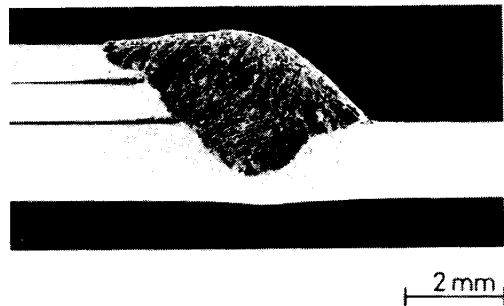


写真 2 重ね隅肉溶接・ビード

りは成形性がよく、また密着力の高いほど成形限界が広がることからわかる¹⁶⁾。さらに原板の倍厚の単層鋼板と同等以上にするためには鋼板の絞り性のグレードを上げて行く必要がある。現在、JIS の SPCEN より上ランクの超深絞り用鋼板が開発されており、この鋼板の使用によつてほとんどの従来品の成形が可能になっていると見てよい。

2.3.3 溶接性²¹⁾

制振鋼板は中間に絶縁層を持っていることから通常の鋼板と同一の要領では溶接できない。このため一般には分流法²²⁾(図 4)と呼ばれる方法がとられている。この方法による実際の強度を冷延鋼板の場合と比較したものととして図 5 に引張剪断強さの例を、図 6 に引張剪断疲労強度の例を示す。いずれもほぼ同等の強度が得られている。

制振鋼板にアーク溶接を行うとしばしば (1) アーク維持の困難、(2) アーク発生点の不安定、(3) 溶接ビードの不連続、(4) 溶け込みの不十分などの問題が生ずる。これは溶接入熱により樹脂の一部が分解ガス化しアーク近傍で噴出しアークの不安定およびビードの不連続を起し、また樹脂層によつて熱伝導が阻害され下側の鋼板までの溶け込みを困難にしているためと思われる。この問題を回避するために重ね隅肉溶接が提案されている。これは端面の板厚方向に同時に入熱を与えることができかつ分解ガスが自由空間に放出されやすいためである。ビードを写真 2 に示す。したがつてこれを実際面に

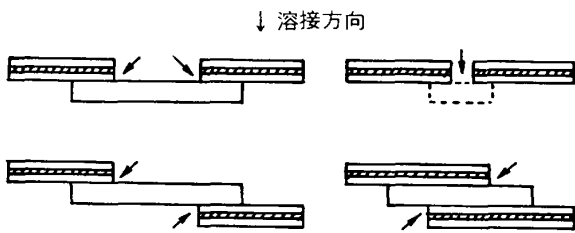


図 7 適用可能な継手溶接

表 1 オイルパンに要求される主な耐久性

調査項目	ね ら い	評 価 項 目
耐 熱 性	焼付塗装時の変質 温度と時間による変質 極低温時の変質 高温と常温(低温)の くり返しによる変質等	密着力の変化 制振性能の変化
耐 食 性 (水, 塩水, 油, オゾン等)	端面からの腐食及び剥 離	密着力の変化 制振性能の変化 端面からの剥離状況
疲労強度	振動による疲労	材料強度の低下 密着力の変化 制振性能の変化
トルク・ダウン	樹脂のクリープによる ボルトのゆるみ	残存トルク値

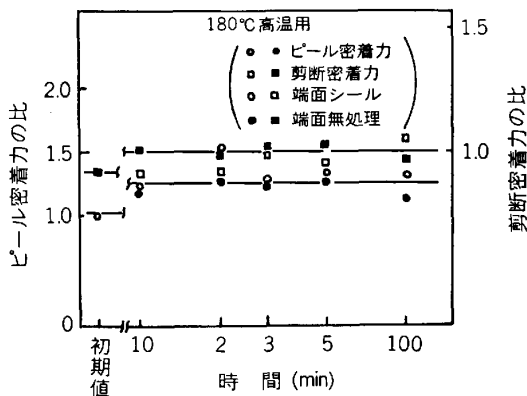


図 8 密着力の熱老化試験結果

応用する方法として図7のような継手設計法が提案されている。

2.3.4 耐久性

現状の代表的用途であるオイルパンは自動車部品の中では保安部品に属するものであり採用に当たっては厳しい耐久性が要求される。その主な項目を表1に示す。図8, 9に耐久試験の例を示す。図8は焼付塗装時を想定したもので180°Cにある時間加熱し、その後常温に戻し密着力を調べたものであるが、100minまで行っても劣化はほとんど見られない⁸⁾。図9は機械油への浸漬結果を示したものである。25mm×300mmの短冊サンプルを室温における機械油に長時間浸漬させこれを取り出して密着力を測定したものであるが2000hまで測定

を行つた結果ほとんど低下は認められなかつた²⁰⁾。

2.4 用途開発

2.4.1 自動車分野

自動車の加速走行時の音源寄与率を見た場合、エンジン音が40%と最も高く、エンジン音源寄与率の中でもオイルパンによる寄与率がその約27%を占める²³⁾。このことから現在自動車メーカーはオイルパンに主力を置いて制振鋼板の適用を進めている。54年規制対策として当初とられた防音方式はオイルパンの上にもう一枚の鋼板でカバーを覆い内部に吸音材を取り付け騒音のエネルギーを吸収する方式であつた。しかしこの方式では重量増のほか、昇温防止策の対応や、整備の手間を要すること等から、制振鋼板の検討が積極的に進められたものである。図10, 11, 12に自動車メーカーの制振鋼板を採用しての評価の例を示す。これらの評価によると、オイルパンその1：今回採用の制振鋼板は耐熱性があり単一鋼板に匹敵する強度を持ち、図10のように高い制振性能を示した¹⁷⁾。オイルパンその2：フローティングによる振動遮断方式と制振鋼板化による振動減衰を比較検討した。図11に示すようにその結果はほぼ同等でありシリンダーブロックとのシール機能上有利な制振鋼板を採用した。なお制振鋼板はその種類によつてオイルパンに成形した場合に図12に示すようにながりの差異が見られた¹⁸⁾。オイルパンその3：制振鋼板を採用した結果、図13に示す優れた騒音低減効果によつて従来の騒音対策で用いる2重カバー方式の欠点である整備性の悪化等すべてを解決することができた¹⁹⁾。オイルパンのほかにはシリンダーヘッドカバー、タイミングギヤカバー、タイミングベルトカバー、タイマーカバー、ファンモーターキャップ等のエンジン廻り部品に使用されているが、フロアパネル、ダッシュパネル、ルーフ、ドア等でもある程度の効果が期待できるものと思われる。

2.4.2 電機・機械分野

発電機、モーター、プロアー、コンプレッサー等のカバーとして使用されている場合が多い。図14に高周波発電機カバーでの減音効果を示す。ほぼ7dB(A)の効果を得られている²⁵⁾。また最近カラーフルなボディカバーに制振鋼板を採用したレジャー用等に使われる携帯用

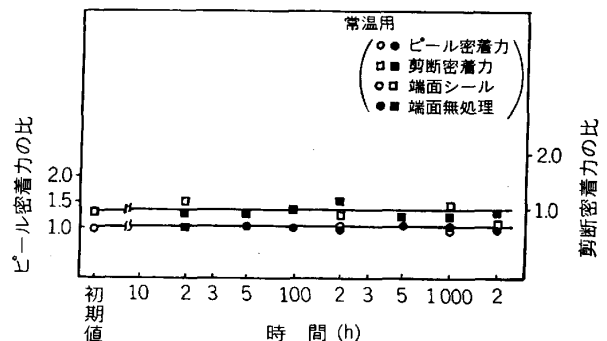


図 9 機械油浸漬による密着力試験結果

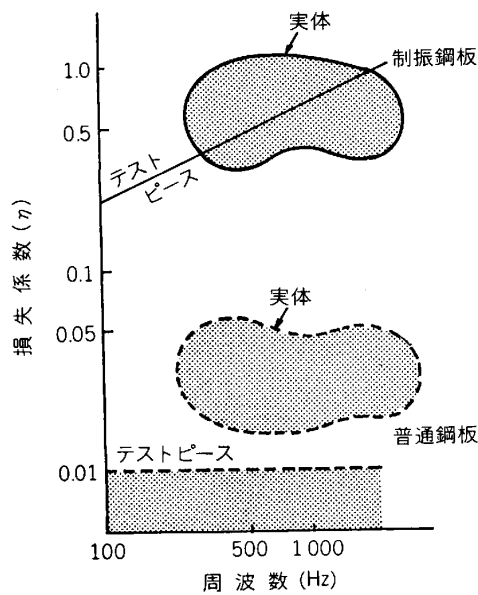


図10 オイルパンの制振性能¹⁷⁾

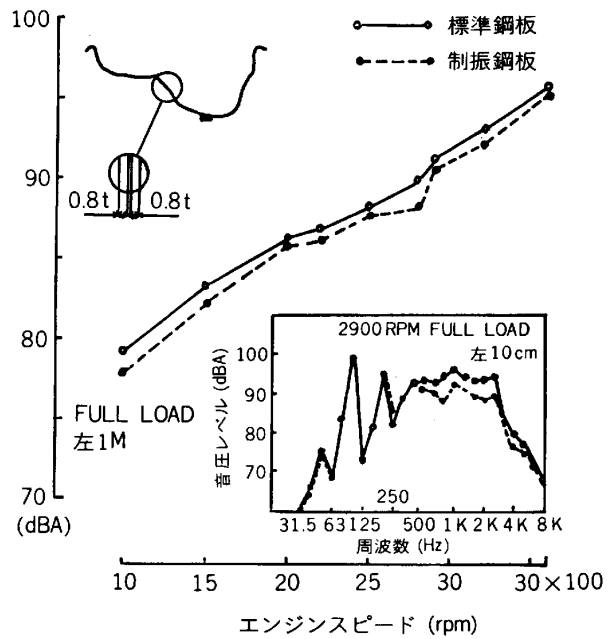


図13 制振鋼板のオイルパンの効果¹⁹⁾

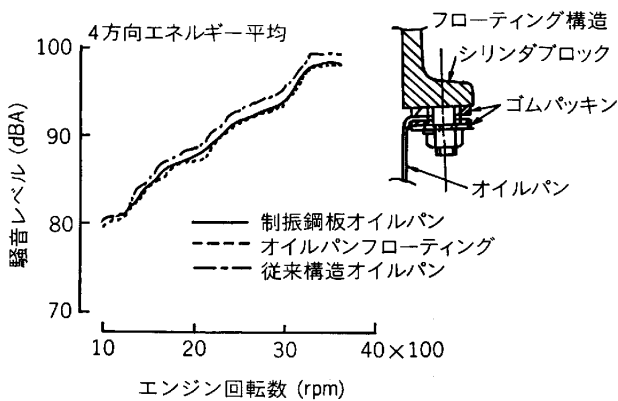


図11 オイルパン騒音の比較¹⁸⁾

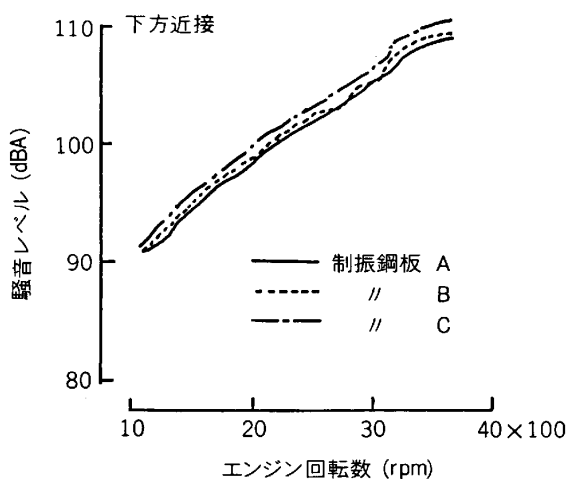


図12 制振鋼板種類差¹⁸⁾

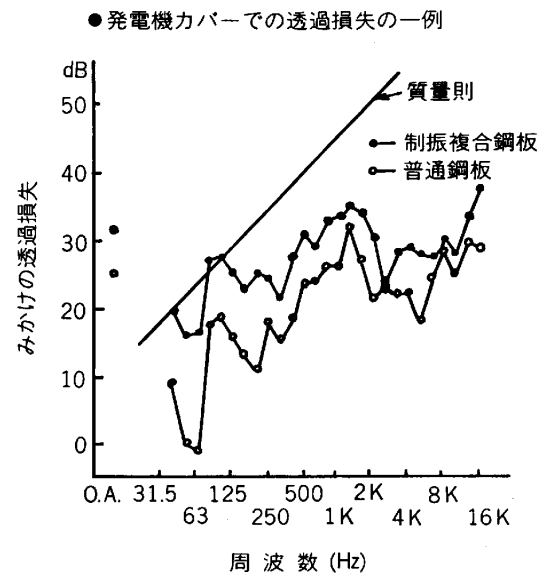


図14 高周波発電機カバー騒音周波数分析²⁵⁾

の低減と早期減衰および床の一体化による施工の迅速化である。その背景には最近の体育館における複層化と多目的使用がある。図15に構造概要を、図16に床衝撃遮音試験およびその効果を示す²⁷⁾。

2) 屋根材:

雨音が小さくなることから金属瓦に使用された例についてその効果および実施例を図17と写真3, 4に示す。

3) ドア

最近、オーディオの月刊誌に防音壁の面材に制振鋼板を使用した例が発表されている²⁸⁾。その効果を図18に示す。筆者はこのレポートの中でさらにオーディオ用と

発電機が発売されるようになった²⁶⁾。

2.4.3 建材分野

1) 床材: 最近建材メーカーから制振鋼板による体育館の床下地材が開発され発売された。ねらいは床衝撃音

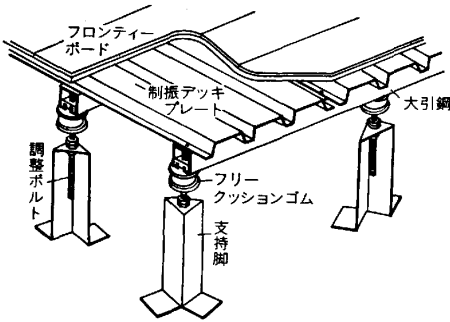


図15 制振鋼板による体育館床構造

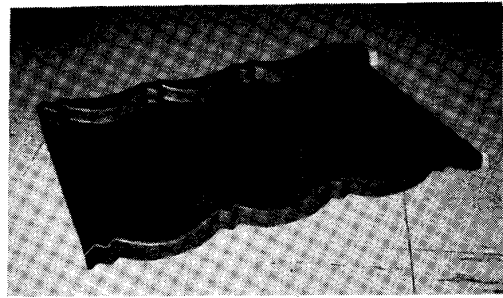


写真3 制振鋼板による金属瓦

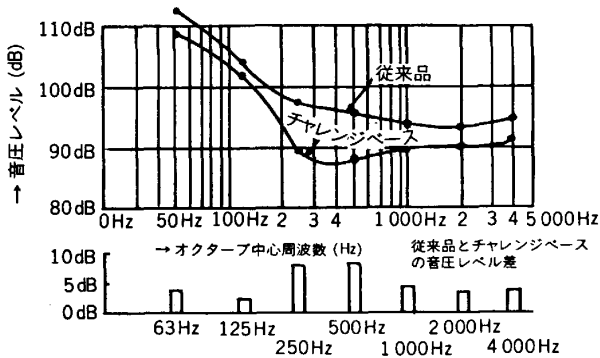


図16 床衝撃音遮断試験²⁷⁾

効果発生する騒音レベルの差約 8dB

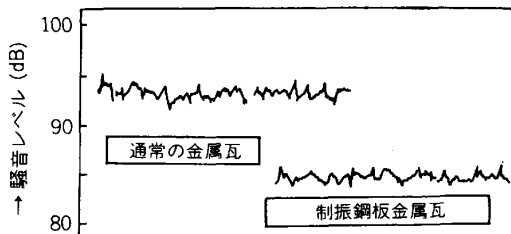


図17 金属瓦における雨音の低減効果

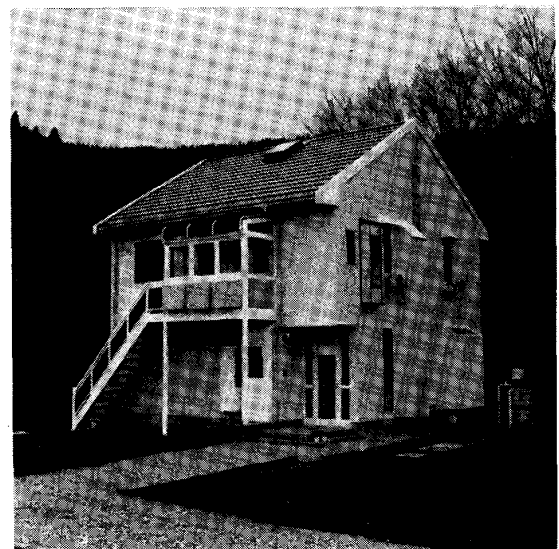


写真4 試作例：通産省可変住空間システムパイロット・プラント

して、ラック系、シャーシ系、エンクロージャー、遮音等応用範囲は広いとしている。

4) その他

その他種々の分野で試みられているものの中からいくつかを紹介すると、まず鋼製家具分野がある。制振鋼板を使用することによって高級な木目仕上げに見合う質感の大幅な向上が見られる。

容器類で試作されたものでは医療用の皿がある。ステンレスを貼り合わせたものであるが、各種器具がの上で取り扱われる時に発する冷たくとげとげしい患者に不快感を与える音はかなり緩和される。また制振鋼板により作られた灰皿は、誤つて床に落としてもあのけたたましい金属音はなくプラスチックのような軽い音に変わる。巧みなへら紋りによつて作られた碁笥はプラスチック製等よりは、重厚感があり、使用した感じも碁仲間の間ではきわめて好評である。写真5にこれらの試作例を示す。

3. 今後の課題と展望

3.1 製造技術

現在、供給体勢は自動車分野で採用が始まったことによつてようやく試験製造設備から実生産ラインへの移行を始めたばかりである。またその規模も兼用ラインや高炉メーカーの設備としては比較的小規模なものが多い。したがつてコストも高く、費用対効果の上で用途も限定されているのが現状であろう。すべての高炉メーカーが参画して開発がスタートした以上制振鋼板は汎用性の高い工業材料を指向したものと考えられるが、これを実現するためには現行の価格(通常鋼板の2倍と言われている。)をまず下げる必要がある。そのために必要な製造技術は連続生産技術であろう。樹脂メーカーからの樹脂フィルムの供給を受けコイル化を行う方式については、現在開発が進められており、一部実施されていることは前述のとおりであるが、さらにコストダウンを図るためには、鉄鋼メーカー自ら樹脂層形成のプロセスについての研究開発を進め、コイルとペレットからの樹脂ラミネ

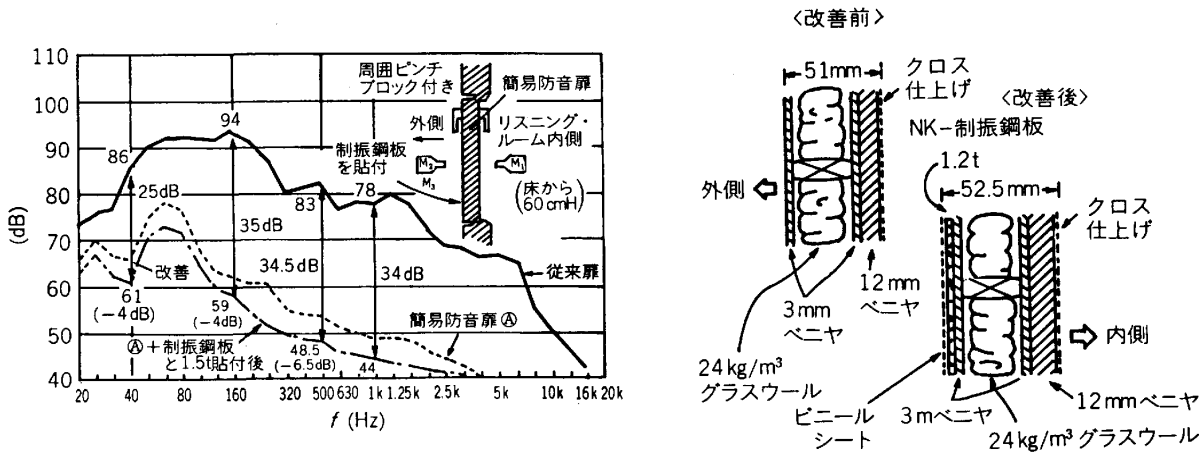


図18 防音扉における遮音改善効果²⁸⁾
(無線と実験 別冊(1984.12) p.16)

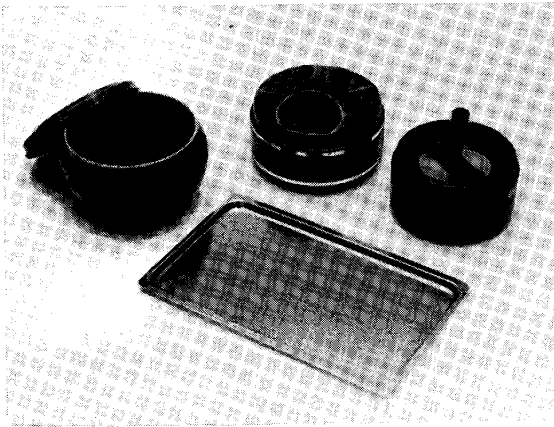


写真 5 制振鋼板による各種試作品

ート鋼板独自の一貫生産ラインの確立を図る必要がある。

制振鋼板は使用温度によつて何種類かに分けられ、これに鋼板の幅、厚み、材質の組合せによつて相当の種類になる。さらに製品開発の進展によつては軽量化ラミネート鋼板や異種材料による各種接着クラッド鋼板の生産も同時に行われることになる。したがつて制振鋼板の製造技術の中には連続生産と同時に多品種対応が要求されてこよう。

3.2 品質特性

3.2.1 制振性能と密着性

制振材料の振動減衰のメカニズムに関する理論解析は H. OBERST³²⁾、E. M. KERWIN³³⁾の一般式による解析例があり、拘束する両側の材料を鋼板として数式を整理すると制振性能を高めるためには粘弾性体に要求される物性は 1) 動的粘性率に寄与する機械損失係数が高いこと、2) ヤング率が高いことが挙げられる。一方、プレス型によつて絞り込み、張り出し、伸びなどの複合的な

変形を伴つて所定の形状に成形される時、材料の剝離、しわ、破断が発生しないためには 1) 鋼板との密着力が高いこと、2) ヤング率と伸びが大きいことが必要条件となる。しかし通常の高分子粘弾性体はこれらの条件に対してヤング率の高いものは機械損失係数が小さく、機械損失係数の大きいものはヤング率が小さくなるという相矛盾する関係にある。今後、樹脂の開発方向としてこの相矛盾する性能の改善もなされると思われるが、用途に合った成形性に見合う最適の樹脂を数多く揃え、その都度、選択していく方向も考えられる。騒音振動防止対策は学問的歴史の浅いこともあつて大部分の需要部門において制振鋼板についての評価基準は確立されていない。またメーカー側での評価方式も統一されていないのが現状である。一般に制振鋼板による効果は自励振動か強制振動によるかの拘束条件や振動面が機械的に点加振されているのかあるいは衝撃的定常的加振による共振状態で振動を発生しているかの加振条件等によつて制振性能寄与率が異なつてくる³⁵⁾。制振性能を示す損失係数の測定法もいくつかの方法²⁰⁾³⁶⁾の中から上記の振動の状況と合った測定方法を選定しているが、実際にはどの方法をとるかによつて同一の振動に対しても評価は若干異なる²⁰⁾。このような評価試験については、制振鋼板の普及のためにも鉄鋼メーカー間でいづれ共通の場を設け制振性能のみならず密着力や各種の耐久性等について方法や条件を最終的には JIS 化の方向で統一する必要がある。

3.2.2 曲げ加工性³⁷⁾

制振鋼板をVプレス曲げ加工すると本来真直であるべきフランジが“かもめ”状に折れ曲がる。その状況を写真 6, 7, 8 に示す。単層鋼板あるいは単純重ね合わせ板では発生せず制振鋼板特有の現象であることがわかる。この現象を鋼板の厚み、樹脂の剪断密着力 τ 、樹脂の厚みをパラメーターとして調べて見ると鋼板が厚いほ

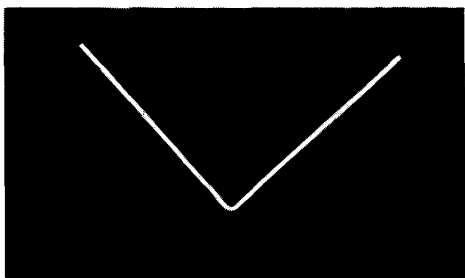


写真 6 鋼板Vプレス曲げ加工

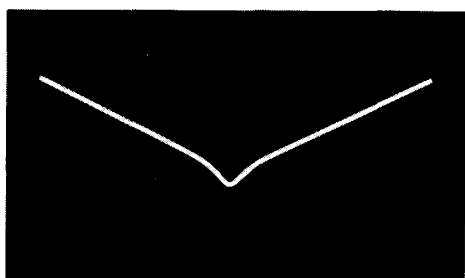


写真 7 制振鋼板Vプレス曲げ加工

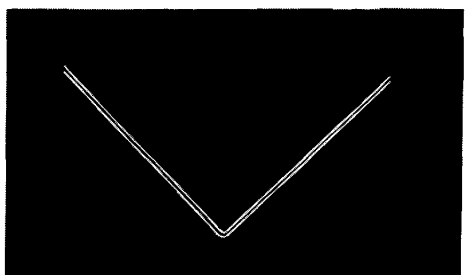


写真 8 2枚重ね鋼板Vプレス曲げ加工

ど、 τ が低いほど、そして同一鋼板厚みの場合は樹脂が厚くなるほど折れ曲がり角が大きくなることが確認されている。この原因としては表皮に対して中間層の変形抵抗が小さすぎるため曲げ変形時に中立軸が複数個生じることにより曲げ変形部に線長差が生ずるためであると言われている。これを解消する方法として上下鋼板の降伏強度と板厚に差を与えて非対称形にすることが提案されている。また等厚のままで行う方法としては、図 19 に示すように曲げる板の幅を広くとっておく方法や図 20、図 21 に示すように溝切りを方法及びポンチで切れ目を入れて曲げる方法等が提案されている。

3.2.3 溶接性の改善

前述のように制振鋼板の溶接は分流法を採用することによつて可能であるが、従来の薄鋼板に比較すれば能率の低下は免れ得ない。また部位の位置によつては分流をとる方法が困難な場合もある。したがつてできれば短絡なしで溶接できる方が望ましい。最近このニーズに対して粘弾性体の中に導電性粒子としてグラファイト粉を添加し短絡なしでスポット溶接を可能とした制振鋼板が発

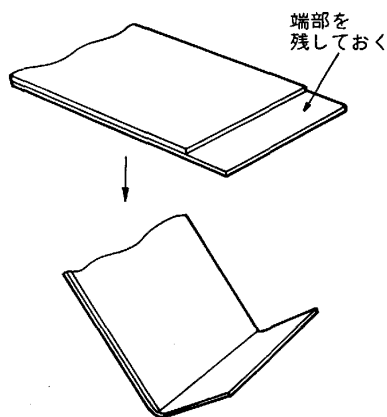


図19 差幅方式による曲げ加工

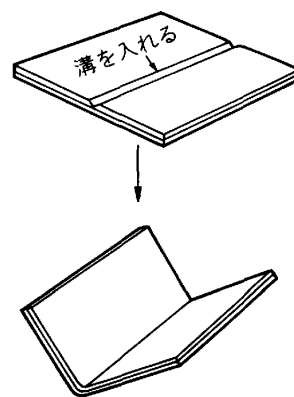


図20 溝切りによる曲げ加工

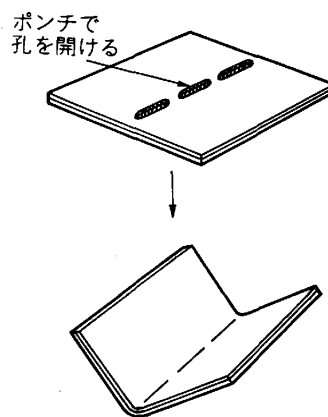


図21 ポンチ孔による曲げ加工

表されている³⁸⁾。溶接性は自動車部品のほかにも鋼製家具やドア等きわめてニーズが高いことから今後各種の方法による開発が展開されていくものと思われる。

3.3 用途開発

現在自動車分野を主眼においた騒音対策材としての需要開発はオイルパン等を対象として一応成果を上げつつあり、さらに性能改善とコイル化等による供給体勢の整備によつていずれ定着していくものと思われる。しかしその需要量を見た場合は、当分騒音寄与率の高い部品で

の段階が続くものと思われ、大量需要のボディやフロア等のパネルに使用されるまでにはなお時間を要するものと考えられる。今後の需要開拓分野としては鋼の強さと木の柔らかさを持った材料とも言うべき新しい複合素材としての使用分野における開発があろう。前述のようにこの分野でのニーズもすでに実例として顕在化しつつある。

例えば現在コンクリート床の型枠として使用されているデッキプレートの昭和 30 年代開発当初の主旨は木造の床をイメージしたもので無数の根太と縁甲板を釘止めていく在来の工法を一体で実現する省力化を狙いとしたものであるが、実際には木造分野に入り込むことなく現在に至っている。これは鋼である事の現場加工の難しさもあるが床材としての衝撃音に対する共振性や、木材の感触とはほど遠い冷たく固い感じが大工になじめなかつたと見ることもできる。今度体育館で使用された制振鋼板の床は、この意味から制振鋼板にする事によって初めて鋼板が木造分野に使用可能になったものと言えよう。今後さらに既存のデッキプレートの形状にこだわらず幅広い周波数領域に寄与できる形状や、仕上げ、断熱材との組合せによるパネル化や工法開発等の進展によつて住宅の床等の分野へも十分開拓が可能なものと考えられる。また鋼製家具分野においても優れた表面処理技術に見合った高級な質感を出すことも可能である。カウンター等でも他の場所の振動伝播を受けるものであり、扉も開発時の衝撃音を発生することから制振鋼板の利用は効果的であろう。その他各種容器類や生活用品等に使用することによつて従来薄鋼板の入り込めなかった用途や、比較的普及品段階に限られていたものがより高級用途にまで使用される等の効果が期待できよう。

4. おわりに

鉄は優れた工業材料として今日の繁栄に大きな貢献を果たしてきた。時代も移り重重大から軽薄短小へと時代のニーズに対応し、新素材も開発され、従来の鉄の分野がおき替わりつつあり、鉄は守りの時代へ入つたとも言われる昨今である。しかし、この大量の供給力を持ち強くて加工性に富んだ鉄を今までに利用する技術を十分出しつくしたのであろうかと考える時、長い人類の歴史の中においては、今までの技術は、まだほんの一コマと言えるのかも知れない。ここに樹脂とのラミネート化によつて他の材料の特性を鉄の中にとり入れる技術が開発された訳であり、この新しい複合化技術によつて鉄が新しい時代の要請に応え得る新しい工業材料への段階を迎えたと考える事ができる。業界の今後の更に意欲的な開発を期待するゆえんである。

最後に本稿を作成するに当たり、各鉄鋼メーカー、需要家の方々へ資料のご提供をお願いしたところ大変貴重な資料を数多くご提供いただきましたことを紙上にて大

変恐縮ながらお礼を申し上げる次第である。

文 献

- 1) 清水 明: プラスチックス, 33 (1982) 3, p. 18
- 2) 界 健二, 藤原治生: プラスチックス, 33(1982) 3, p. 40
- 3) 池内敏隆, 真田政信, 田辺修吾, 小林栄治, 宮本孝夫, 中瀬 薫: 日本鋼管技報 (1981) 91, p. 71
- 4) 中央公害対策審議会答申, 「自動車騒音の許容限度の長期的設定方策について (1976. 6) (昭和 54 年実施の目標値を設定)
- 5) 栗原孝雄: 特殊鋼, 32 (1983) 1, p. 61
- 6) 新日本製鉄(株)技術資料「新日鉄の制振鋼板バイブレス」
- 7) (株)神戸製鋼所 カタログ“ダンプレー”
- 8) 日本鋼管技報 (1984) 105, p. 116 「NK-制振鋼板・タイプ B」
- 9) 川崎製鉄(株)技術資料“NONVIVRA”
- 10) 住友化学: 自動車材料ニュース No. 27 (1984. 12), p. 23
- 11) 谷餘土雄, 藤原治生: 自動車技術, 33 (1979) 12, p. 1030
- 12) 神戸製鋼技報, 35 (1985) 1, p. 91
- 13) 日経産業新聞, 昭和 59. 12. 22
- 14) 佐々木雄貞: 日本機械学会第 563 回講習会資料 p. 15
- 15) 由田征史, 下村隆良: 鉄と鋼, 70 (1984), S 337
- 16) 佐々木雄貞, 遠藤 紘, 本田忠史, 座間芳正: 鉄と鋼, 64 (1978), p. 1226
- 17) 紺野幸夫: 日産ディーゼル技報, (1983) 46, p. 72
- 18) 大島耕治, 村上亘可, 渡辺 昇, 斉木敬治: 自動車技術, 38 (1984) 9, p. 1128
- 19) 久保田公, 小永井正夫: いすゞ技報 (1984) 73, p. 31
- 20) 日本鋼管(株)技術資料「NK-制振鋼板タイプ B」
- 21) 樺沢真事, 田中甚吉: 鉄と鋼, 70 (1984), S 338
- 22) 日本溶接学会, WE S7301-1979
- 23) 宮下直也, 岡村 宏: 三菱重工技報, 19 (1982) 1, p. 35
- 24) 運輸省令による告示 60 年規制 (1983. 10), (実施時期の指定)
- 25) 界 健二, 藤原治生: 日本接着学会誌, 17(1981) 9, p. 25
- 26) 静岡新聞, 1984. 2. 16, “ホンダ EX 550”
- 27) (株)サンゴ, 技術資料. “チャレンジベース”
- 28) 大山龍一, 無線と実験別冊 (1984. 12), p. 74
- 29) 日刊金属特報, 1985. 2. 7
- 30) 日産自動車(株)広報資料, 新素材と自動車(1984. 11), p. 16
- 31) 日刊金属特報 1984. 9. 5
- 32) H. OBERT: Acustica 2, Akus. Beih No. 4, (1952), p. 181
- 33) E. M. KERWIN, Jr.: J. Acoust. Soc. Am, 31 (1959), p. 952
- 34) 長井弘行, 西原 実, 白山健三, 奥村拓三, 田所義雄, 戸谷博雄: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 1117
- 35) 佐々木雄貞, 遠藤 紘, 本田忠史, 座間芳正: 鉄と鋼, 64 (1978), p. 1226
- 36) 新日本製鉄(株)技術資料, 制振材料, p. 7
- 37) 由田征史: 日本塑性加工学会, 昭和 59 年度春季講演会資料, p. 433
- 38) 松本義裕, 篠崎正利, 西田 稔: 鉄と鋼, 69 (1983), p. 1467