
制振鋼板の加工性とその適用例

Formability of Composite-Type Vibration Damping Steel Sheets and Their Application

松本 義裕(Yoshihiro Matsumoto) 篠崎 正利(Masatoshi Shinozaki) 角山 浩三(Kozo Tsunoyama) 恒川 裕志(Hiroshi Tsunekawa)

要旨：

接着力の異なる 4 種類の複合型制振鋼板の加工性を調査した。接着力は引張剪断強度 (TSS) で評価した。制振鋼板の加工性は TSS と密接な関係があり、TSS が 120kgf/cm² 以上になると、加工性は通常鋼板に近くなる。これは TSS と曲げ剛性に密接な正の相関があり、曲げ剛性が高くなるほど、座屈、しわ、剥離およびずれが発生しにくくなるためである。実部品に制振鋼板を試作する際には TSS が高くても、塗装焼付け時の熱により剥離が発生することがあり、このような時には板厚構成の見直しが有効である。また、ディーゼルエンジンのオイルパンに制振鋼板を適用することでとくに 1000Hz 以上の高周波数減で騒音を低減できることが判明した。

Synopsis：

Effect of adhesion strength on the formability has been studied in four types of composite-type vibration-damping steel sheets. Tensile shear strength(TSS) was used to evaluate the adhesion strength. The formability of the damping steel is closely related to their TSS, and when TSS is higher than 120kgf/cm², the formability is close to that of conventional steels. This results from the fact that TSS has a normal correlation to the flexural rigidity. The higher the flexural rigidity, the higher the resistance to buckling, wrinkles, peeling-off and discrepancy at press-forming. When the damping steel is applied to actual parts of machines, the peeling-off of resin from steel sometimes occurs at the edge of pressed parts due to the heat of painting and baking even if TSS is high enough to give good formability. In such a case, it is effective to alter the plate-thickness constitution of the damping steel. Further, it has been shown that in applying the damping steel to the oil-pan of a diesel engine, the noise is distinctly cut down especially in the high frequency region of more than 1000Hz.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Formability of Composite-Type Vibration Damping Steel Sheets and Their Application



松本 義裕
Yoshihiro Matsumoto
鉄鋼研究所 表面処理
研究部被覆複合材料研
究室



篠崎 正利
Masatoshi Shinozaki
鉄鋼研究所 薄板研究
部 薄板研究室 主任研
究員(課長)



角山 浩三
Kozo Tsunoyama
鉄鋼研究所 薄板研究
部 薄板研究室 室長(部
長補)・工博



恒川 裕志
Hiroshi Tsunekawa
千葉製鉄所 管理部表
面処理管理室

1 緒 言

近年、複合材料の開発研究が盛んである¹⁾。その中でもサンドイッチ構造の複合型制振鋼板が大きな関心を集めている。それは複合型制振鋼板(以下、制振鋼板という)が2枚の鋼板(スキン鋼板)と制振性のある樹脂から構成されており、良好な制振効果と良好な加工性を有しているためである。

実際にディーゼルトラックのオイルパンのように実部品として採用され、騒音規制に貢献しているものもあるが、制振鋼板を採用することにより騒音や振動が低減すると思われる部材は自動車にかぎらず、電機、建材など多くの分野にわたって、数多く考えられる²⁾。現在、多くの部材で試作が進められているが、しかし、試作の件数のわりに採用の件数が少ないのが現状である。その原因の一つとして、成形性に関する問題がある。すなわち制振鋼板は上述したように2枚の鋼板を樹脂の接着力でつないで1枚の鋼板としているために、通常鋼板とは異なる挙動を示す³⁻⁶⁾。そして、この挙動は樹脂

要旨

接着力の異なる4種類の複合型制振鋼板の加工性を調査した。接着力は引張剪断強度(TSS)で評価した。制振鋼板の加工性はTSSと密接な関係があり、TSSが120 kgf/cm²以上になると、加工性は通常鋼板に近くなる。これはTSSと曲げ剛性に密接な正の相関があり、曲げ剛性が高くなるほど、座屈、しわ、剝離およびずれが発生しにくくなるためである。実部品に制振鋼板を試作する際にはTSSが高くても、塗装焼付け時の熱により剝離が発生することがあり、このような時には板厚構成の見直しが有効である。また、ディーゼルエンジンのオイルパンに制振鋼板を適用することでとくに1000 Hz以上の高周波数減で騒音を低減できることが判明した。

Synopsis:

Effect of adhesion strength on the formability has been studied in four types of composite-type vibration-damping steel sheets. Tensile shear strength(TSS) was used to evaluate the adhesion strength. The formability of the damping steel is closely related to their TSS, and when TSS is higher than 120 kgf/cm², the formability is close to that of conventional steels. This results from the fact that TSS has a normal correlation to the flexural rigidity. The higher the flexural rigidity, the higher the resistance to buckling, wrinkles, peeling-off and discrepancy at press-forming. When the damping steel is applied to actual parts of machines, the peeling-off of resin from steel sometimes occurs at the edge of pressed parts due to the heat of painting and baking even if TSS is high enough to give good formability. In such a case, it is effective to alter the plate-thickness constitution of the damping steel. Further, it has been shown that in applying the damping steel to the oil-pan of a diesel engine, the noise is distinctly cut down especially in the high frequency region of more than 1000 Hz.

の特性によっても大きく変化する。たとえば、使用鋼板や樹脂の特性を考慮することで、制振鋼板はオイルパンのように厳しい深絞り成形を受ける部材にも適用が可能である。しかし、加工方法としては最も単純な曲げ加工が主体となる部材には逆に問題が発生しやすい。なぜなら、スキン鋼板間にずれが発生しやすく、制振鋼板の構成上根本的な問題であるからである。

そこで、本報告では制振鋼板が実用化されるうえで、問題となっている加工性を取り上げ、それに及ぼす接着力の影響について報告するとともに、実部品への適用例について報告する。

2 制振鋼板の加工性調査

4種類の接着強度の異なる制振鋼板を用いて、接着強度の深絞り

* 昭和62年10月5日原稿受付

成形および曲げ成形に及ぼす影響について調査した。

2.1 供試材

制振鋼板の加工性に及ぼす接着力の影響を調べるのに使用した供試材を **Table 1** に示す。スキン鋼板としては 0.7 mm 厚の極低炭超深絞り用冷延鋼板 (KTU-X)⁷⁾ を使用した。この鋼板と貼合わせる粒弾性樹脂としては、ポリビニルブチラール系の樹脂を使用し、0.1 mm 厚のフィルムとした。制振性のピーク温度と接着力は 4 種類である。なお、加工性に及ぼす接着力の影響を調査するために、同一樹脂の特性を変えることで接着力を変えた。**Table 2** に引張特性と接着力を示す。スキン鋼板は同じであり、樹脂厚も同じ構成であるために芯材樹脂の種類によらずほぼ同じ引張特性が得られている。引張剪断強度 (TSS) は H が最も高く約 150 kgf/cm² で以下、M が 130 kgf、L が 60 kgf で LL がほとんど接着力がない 6 kgf である。なお、引張特性の測定には JIS 5 号試験を用い、鋼板と樹脂の接着力の測定は JIS K6850 にしたがった。

Table 1 Material used for the tests

Material	Characteristics
Steel sheets	KTU-X Extra low carbon steel Extra deep drawing quality Thickness=0.7 mm
Resin	PVB Thickness=0.1 mm

Table 2 Mechanical properties and TSS of specimens (L-direction)

Steel	Thickness (mm)	YS (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	El (%)	r-value	TSS* (kgf/cm ²)
H	0.7/0.1/0.7	13	28	53	2.29	148
M	0.7/0.1/0.7	14	29	53	2.28	126
L	0.7/0.1/0.7	14	28	52	2.28	61
LL	0.7/0.1/0.7	14	28	52	2.24	6
Skin	0.7	17	28	52	2.24	—

JIS No. 5 (GL=50 mm) * Tensile shear strength

2.2 実験条件

制振鋼板の加工性のテスト条件を **Table 3** に示す。曲げ試験は U 曲げと 90 度曲げの 2 通りを行った。曲げ試験装置を **Fig. 1** と **2** に示す。**Fig. 1** に示すように、U 曲げは幅 40 mm 横 60 mm 試験片のセンターを、半径 6 mm ポンチで押して U 字型に曲げた。曲げ加工後、スキン鋼板のズレの測定および外観の観察を行った。90 度曲げは幅 40 mm 横 150 mm 試験片の中央部を 4 種類のポンチで押し曲げた (**Fig. 2**)。なお、ポンチとダイスの先端半径は同じとした。そして、U 曲げ同様にスキン鋼板のずれ、外観観察と曲げ角度の測定を行った。ずれの測定は試験前に 1 mm 間隔でけがき線を入れ、曲げ加工後、このけがき線のずれを顕微鏡で測定した。深絞り試験はエリクセン成形性試験を用いてカップ絞りを行い、2 種のしわ押え力 (BHF) の時の最大加工絞り比 (Maximum drawing ratio) を求めた。

Table 3 Forming test conditions

Test item	Test condition	Measurement and Evaluation
U-bend	Specimen $t \times 40 \times 60$ (mm), bending radius 6 mm	Discrepancy
90°-bend	Specimen $t \times 40 \times 150$ (mm), bending radius 1.5, 3, 5, 8 (mm)	Discrepancy Spring back
Deep drawing	Erichsen cup tester, punch Dia. 33 mm ϕ , Press oil G#790, BHF 500, 1 000 kgf	Maximum drawing ratio

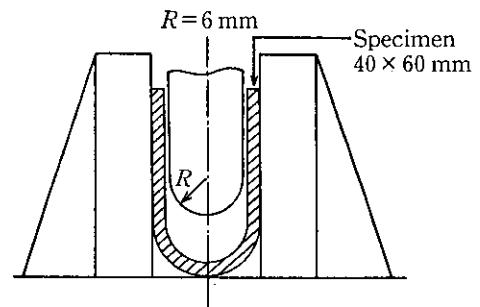


Fig. 1 Equipment of U-bend test

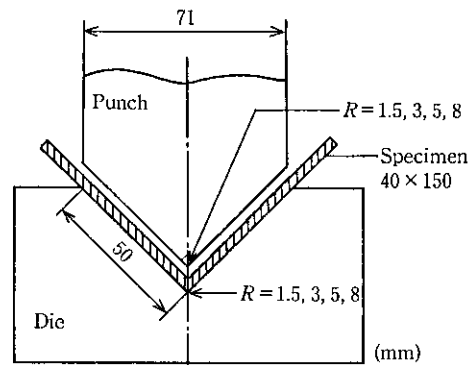


Fig. 2 Equipment of 90°-bend test

2.3 実験結果

2.3.1 深絞り試験結果

TSS と MDR の関係を **Fig. 3** に示す。TSS が 60 kgf/cm² 以上となると、絞り比はスキン鋼板とおなじ値となった。一方、TSS が 6 kgf/cm² (鋼板 LL) は、他の供試材よりも、明らかに深絞り加工性が劣り、MDR で約 0.3 の差がでた。この差は他の 3 者と比べて接着力が低いので、加工中の曲げもどしにより鋼板と樹脂が剥離しやすいと思われる。また、L、M および H の鋼板は接着力に差があるにもかかわらず成形性にそれほど差がないのは、加工時に鋼板が金型で拘束されているので、剥離が発生しにくいと思われる。よって、絞り加工は TSS が 60 kgf/cm² 以上であれば十分可能であり、制振鋼板の加工方法としては適しているといえる。

2.3.2 U 曲げ試験結果

U 曲げ試験片の外観写真を **Photo 1** に示す。接着力の高い鋼板 M と H はほぼ希望とする形となり、端部でのズレもない。TSS が 6 kgf の鋼板 LL はスプリングバックが大きく試験片形状が悪く、さらに試験片の端では 2 枚のスキン鋼板にずれが発生している。鋼板 L も形状が悪く、一部折れ曲りが認められる。**Fig. 4** に U 曲げ

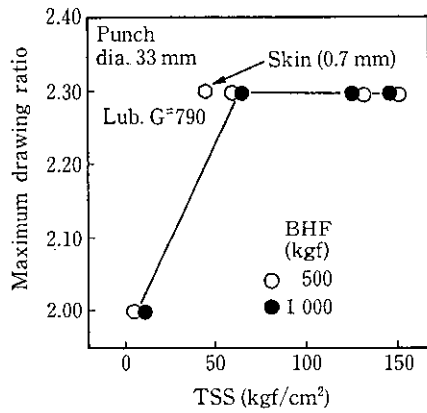
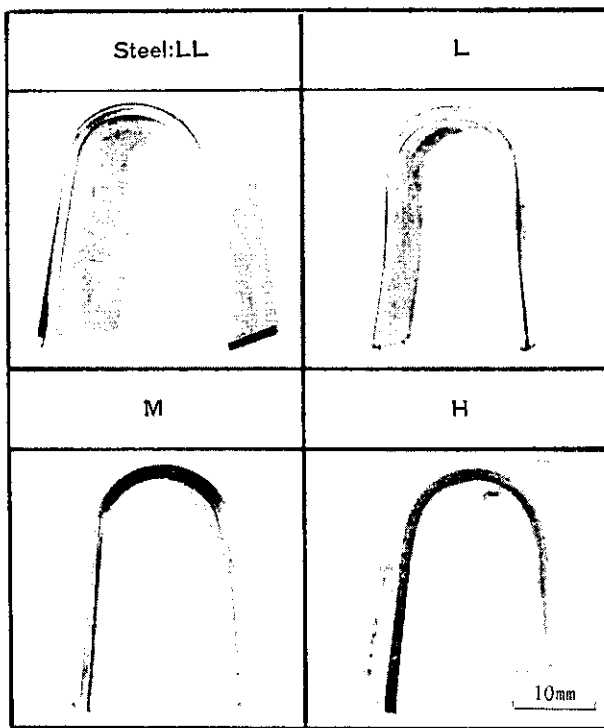


Fig. 3 Effect of TSS of damping steel sheets on maximum drawing ratio



(Bending radius=6mm)

Photo 1 Appearance of U-bend test pieces

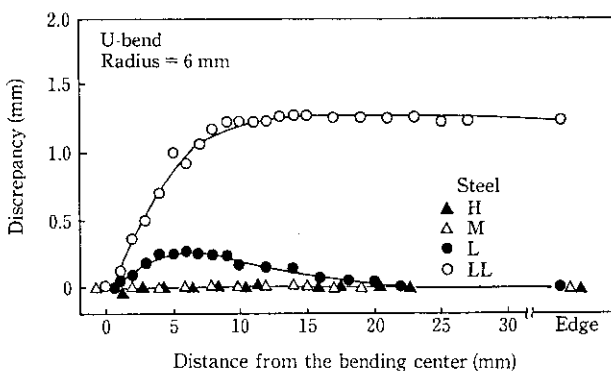


Fig. 4 Comparison of the discrepancies of damping steel sheets in U-bend tests

試験片に発生したずれ量と中心からの距離の関係を示す。鋼板 LL は曲げ中心からほぼ 7 mm の点でずれが最大となった。このずれ量は試験片の端まで続き、端部でのずれとなって残った。このずれが Photo 1 で観察されたものである。鋼板 L も曲げ中心から約 7 mm の点で最も大きなずれが生じたが、しかし、このずれはやがて吸収されて、端部でのずれは認められない。一方、TSS が 120 kgf/cm² 以上である M と H には全くずれが生じなかった。

2.3.3 90 度曲げ試験結果

Photo 2 にポンチ先端 $R=1.5$ mm で曲げた試験片の外観写真を示す。いずれの試験片でも、制振鋼板を曲げた時によく問題にされるかめ状の折れ曲りの現象は認められない³⁾。つぎに、Fig. 5 に 1.5 R の曲げ半径で曲げた時のスキン鋼板のずれを示す。U 曲げと異なり、すべての供試材が曲げ中心から約 5 mm のところで最大のずれ量を示した。接着力が最も低い鋼板 LL は U 曲げ試験同様に、最も大きなずれを示すとともに、このずれが吸収されることなく、

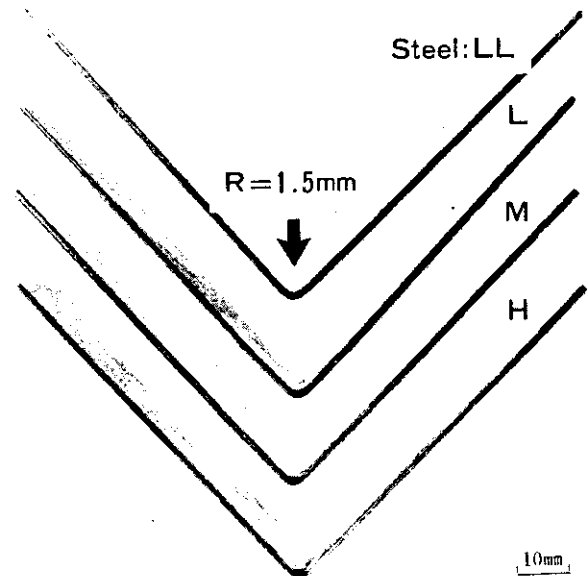


Photo 2 Appearance of 90°-bend test pieces

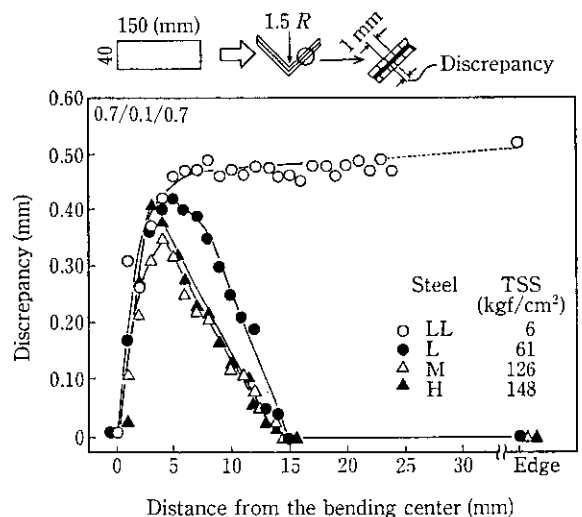


Fig. 5 Comparison of the discrepancies of damping steel sheets in 90°-bend tests

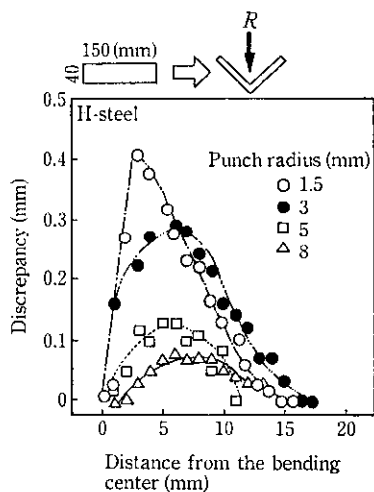


Fig. 6 Comparison of the discrepancies of damping steel sheets with punch radii in 90°-bend test

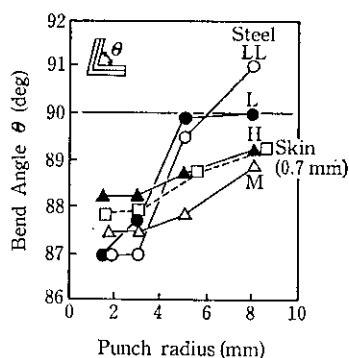


Fig. 7 Relationship between punch radius and bend angle in 90°-bend test

端部でのずれとなつて残った。しかし、ずれの絶対量はU曲げと90度曲げ試験の加工度の違いから、U曲げの半分以下であった。なお、LL以外のサンプルはほぼ同じ挙動を示した。すなわち、曲げ中心から約5 mmの点で最大ずれを生じた後、ずれの量は減少し15 mmの点でゼロとなった。Fig. 6に鋼板Hを用いて調べたずれとポンチ先端 R との関係を示す。この場合では R が小さくなるにしたがい、ずれの量は大きくなる。これは R が小さくなるほど局所的な加工が大きくなるために、部分的なずれが大きくなるためと思われる。 R が大きくなるにしたがいずれの量は減少した。これは R が大きくなるにしたがい、加工が広い範囲に分散されるためにずれも広い範囲で生じ、ずれの程度も小さくなるためと考えられる。Fig. 7にポンチ先端 R と90度曲げ試験片の曲げ角度との関係を示す。破線は通常鋼板の挙動を示す。ここで接着力の高い鋼板MとHはほぼスキン鋼板と同じ挙動を示した。しかし、接着力が低い鋼板Lと鋼板LLは、ポンチ R が大きいときは通常鋼板より大きい角度で曲るが、 R が小さくなると、こんどは、通常鋼板よりも小さい角度で曲り、通常鋼板や高接着力の制振鋼板とは異なる挙動を示した。

2.4 考察

2.4.1 深絞り加工性

2.3.1の深絞り性と接着力の関係より、絞り加工は制振鋼板に適した加工方法であることは前に述べた。しかし、制振鋼板はその構成上、1枚の鋼板を2枚に分けることになり、鋼板自体の剛性は大

Table 4 Flexural rigidity

Configuration (mm)	Steel grade	Flexural rigidity (kgf/mm ²)
0.7/0.1/0.7 (steel/resin/steel)	H	17 840 (85%)
	M	17 760 (85%)
	L	11 460 (55%)
	LL	4 400 (21%)
1.5 (steel)	Conventional	21 000 (100%)

きく低下するため、そこで絞り加工時の曲げ戻しにより鋼板が座屈してしわが発生しやすくなる⁸⁾。そこで通常鋼板の場合よりしわ押えを大きくしてしわの発生を防いでいる⁹⁾。しかし、しわ押え力を高くすると割れが発生しやすくなる。とくに、制振鋼板の場合にはスキン鋼板厚が薄いことから割れも発生しやすい。そこで、2枚の鋼板をつなぐ樹脂の接着力が重要になる。TSSが高いことは、樹脂が硬いことであり、また2枚のスキン鋼板にずれを出すには大きな力があることでもある。そこで、供試材4種の曲げ弾性率をJIS K7203にしたがって測定した。測定結果をTable 4に示す。高TSSを持つ鋼板HとMはほぼ通常鋼板なみの剛性を示したが、TSSの低い鋼板LとLLは通常鋼板に較べて55%および21%と、曲げ剛性が低下している。すなわち、LとLLは小さな力で曲り、剛性不足による座屈も早く起きると考えられる。座屈が発生するとしわのみならず、スキン鋼板と樹脂の剝離が生じ、剝離後は薄いスキン鋼板のみの加工性となり割れが発生する。しかし絞り加工は金型で拘束されるために、鋼板と樹脂の剝離が押えられ、曲げ剛性が通常鋼板の55%しかない鋼板LでもFig. 3に示したように、通常鋼板並の成形性が得られたものと思われる。

2.4.2 曲げ加工

曲げ加工においてはTSSが120 kgf/cm²以上の鋼板HとMはU曲げや90度曲げの両方において、良好な曲げ加工性を示し、接着力の影響が非常に大きいことがわかった。なお、2.4.1の項でも述べたように、TSSが高くなるほど樹脂の剪断抵抗は大きくなり、加工時にスキン鋼板間にずれを生じにくくなる。そして、Table 4にも示したように、TSSが高い制振鋼板は硬くて曲げ剛性も大きい。よって、制振鋼板の曲げ加工性も曲げ剛性で評価できると考えられる。鋼板HとMはほぼ通常鋼板並の曲げ弾性率を持ち、Fig. 7の90度曲げでも通常鋼板と似た挙動を示した。さらに、HとMはそれらの高い弾性率により、容易に曲らないために、ずれも発生しにくい。一方、LとLLは曲げ剛性が低いために簡単に曲げられ、そして大きなずれが発生する。なお、曲げポンチの半径が小さいときには、曲げ荷重は集中的に掛かるために、LLとLの曲げ角度は通常鋼板より小さくなり、反対に、ポンチ半径が大きいときには、鋼板LLとLの曲げ角度は通常鋼板のそれよりも大きくなる。これは軟らかい樹脂によって、曲げ荷重が分散されるためである。よって、制振鋼板の曲げ加工性はTSSによって決定されるといえる。なお、90度曲げ加工時に発生するかもめ状の欠陥の発生を防止するには、加工曲げ治具の改善と高接着力の制振鋼板の採用が必要と言える。具体的には、Fig. 5に示したずれがもっとも大きい位置を金型で拘束することが有効と思われる。なお、接着力の低い制振鋼板(鋼板Lなど)では金型で拘束すると端部では非常に大きいずれが発生すると考えられる。よって低接着力の制振鋼板では2枚のスキン鋼板の厚みが異なる差厚構成にして、曲げ加工時のひずみを、加工されやすい薄い方の鋼板の変形で吸収して、ずれを押えるなどの手段を考慮することが必要であろう。

3 制振鋼板の適用例

制振鋼板を採用して騒音を低減させる試みが、さまざまな分野で行われている。その例として、本章ではモーターのファンカバーへの適用例およびオイルパンへの適用例を紹介する。

3.1 モーターファンカバーへの適用例

外扇カバーの外観写真を **Photo 3** に示す。ファンカバーはモーター本体に取り付けてある冷却用ファンのカバーである。制振鋼板でこのカバーを製作したのは、モーターの振動にともなうカバー自身の共振を押えるのが狙いである。モーターのみであれば、異常音は発生しないが、ポンプなどのほかの機器とモーターをつなぐと異常音が発生して問題となる場合がある。このためカバーとモーターとの間にゴムパッキンなどの緩衝材を入れても共振周波数が移動するだけで、異常音を完全になくすことはできない。ファンカバーは通風用のスリットを打ち抜いた後、絞り加工により成形される。**Photo 3** から分かるように、円筒の一部に平坦部があるが、加工自体は打抜きと絞りだけであり、制振鋼板には適した部品と言える。

塗装は下地処理後、塗装液どぶ漬け、140°C オープン中での焼付けである。なお、モーターが回転中はカバーの温度は最高 40°C 近くまで上昇するために、制振特性は室温近傍から 40°C 前後まで変化しないことが好ましい。芯材のほかの特性として、接着力は打抜き性や成形品のしわ等の欠陥を防止するために高いことが必要であ

り、しかも、焼付塗装時に樹脂の溶け出しや鋼板との剥離を防止するために耐熱性に優れることも必要である。

そこで、制振特性がブロードであり、なおかつ接着力が高い新芯材を開発して試作を試みた。機械インピーダンス法¹⁰⁾で測定した制振特性を **Fig. 8** に、そして引張特性と TSS を **Table 5** に示す。制振性は 10°C~80°C の間で、 $Q^{-1} > 0.1$ 以上であり広温度域タイプである。また、TSS も 80 kgf/cm² 以上である。しかし、試作の結果、プレスそのものは良好で、割れやしわはなかったが、塗装焼付け後、平坦部に剥離が発生した。剥離は平坦部の内側鋼板が脹らむ形で発生している。この原因としては、塗装焼付け時の熱より樹脂が軟化して、接着力が低下したと、平坦部は円周部に較べて鋼板の曲げ剛性が低いために、内側の鋼板が周囲から圧縮されて内側に脹らんだものと思われた。

そこで、この剥離を防止するために制振鋼板の構成を見直した。構成を検討するための供試材を **Table 6** に示す。供試材は 3 種類で、そのうち 2 種はスキン鋼板の板厚が異なる差厚構成である。プレスおよび塗装焼付け結果を **Table 7** に示す。結果は外側が薄く、内側が厚い差厚構成材だけが良好であった。これは塗装時の熱によって接着力が低下しても、内側の鋼板が厚く、剛性が高いために、内側に脹らみにくく、その結果剥離を防止したと思われる。

従来材と制振鋼板製ファンカバーを加振機に取り付け、機械インピーダンス法でその損失係数を測定した。そのチャートを図 **Fig. 9** に示す。従来材は制振材よりも剛性が高いために共振周波数が若干高く、そして制振性に劣るために非常に鋭い共振であるのが分かる。また、その損失係数も制振材が 0.052 であるのに対して 0.008 と大きな違いが認められた。なお、実部品での測定ではオーバーオール

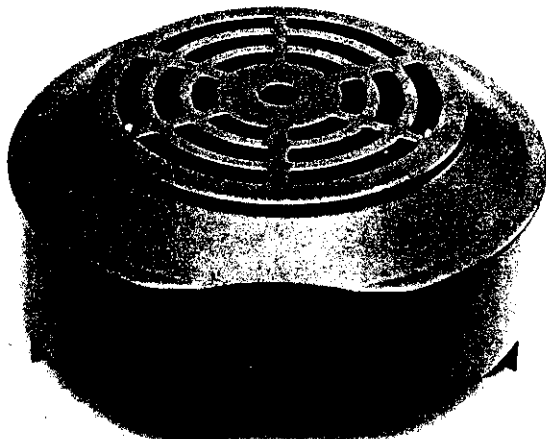


Photo 3 Appearance of a motor cover after painting

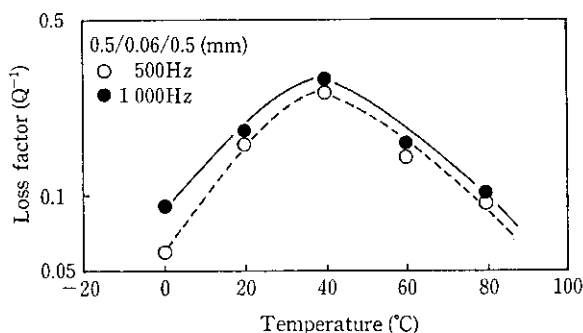


Fig. 8 Damping quality of a newly developed damping steel for a motor cover

Table 5 Mechanical properties and TSS of a damping steel sheet using a new type resin for motor covers

Configuration (mm)	Direction	YS (kgf/mm ²)	TS (kgf/mm ²)	El (%)	$\bar{r}$	TSS (kgf/cm ²)
0.5/0.06/0.5 (Steel/resin/steel)	L	14	26	49	2.46	80
	C	15	26	51		
	D	15	26	50		

JIS No. 5 (GL=50 mm)

Table 6 Configuration and skin steel grade of damping steel sheets for motor covers

Steel	Configuration (mm)	Skin steel grade
A	0.5/0.06/0.5	EDDQ
B	0.4/0.06/0.6*	SPCE/EDDQ
C	0.6/0.06/0.4*	EDDQ/SPCE

* Inner side in press forming

Table 7 Results of trial production

Steel	Press forming	Paint and baking	Problem
A	Good	No good	Opening at edge portion
B	Good	No good	
C	Good	Good	No-problem

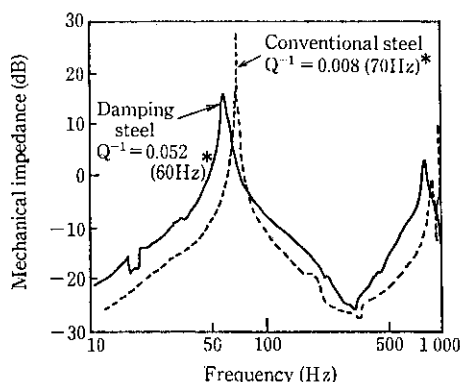


Fig. 9 Comparison of mechanical impedance curves of motor covers made by a damping steel and a conventional steel (*): Resonance frequency)

の状態では騒音が数ホン低下した。

このように、部品自身の共振やほかの機器からの振動や騒音を遮断する必要がある部材には制振鋼板の適用が効果的である。

3.2 オイルパンへの適用

制振鋼板がディーゼルエンジンのオイルパンに採用されて久しいが、その騒音に関するデータはあまり公開されていない。そこで、制振鋼板製と従来鋼板のオイルパンを試作し、実際のエンジンに取り付けて、その騒音を測定した。使用した制振鋼板はスキン鋼板厚が0.8 mm厚で芯材厚が0.1 mm、制振特性は $Q^{-1} \max$ が80°Cで0.5のものである。なお、通常鋼板、制振鋼板とも鋼板は極低炭素の超深絞り用鋼板 KTU-X を使用した。

3.2.1 オイルパンへの加工

オイルパンはエンジン部品の中でも、薄鋼板で成形加工される数少ない部品の一つであり、形はエンジンが搭載される時に残っている空間に合わせるために、複雑な形をしている。そのために、通常鋼板でも加工が難しい部品の一つである。そこで、制振鋼板をオイルパンに加工するためには、まず超深絞り用鋼板をスキン鋼板として使用し、芯材には高い接着力が得られるものを採用することが必要である。つぎにプレス条件はBHFを高くしてしわの発生を抑えるとともに、材料の流れ込みを均等にするために、鋼板のトリミングの検討や表面潤滑方法、例えば鋼板の表面処理や潤滑材の塗布などが有効である。

以上の点を考慮することで、通常鋼板のプレス金型でオイルパンへの加工が可能になった。なお、上述した項目のほかに、オイルパン材料としては、エンジンオイルの揺れを防止する仕切板をスポット溶接するために、制振鋼板にはダイレクトスポット溶接性が必要である^{11,14)}。また、耐久性から制振芯材には接着力のほかに耐油性や耐熱性が要求される¹²⁾。

3.2.2 伝達関数の比較

まずオイルパンそのものの制振性を示す伝達関数の測定方法¹³⁾をTable 8に示す。まず、オイルパンを恒温槽にいれ、温度を変えながらハンマリングで入力を与え、オイルパンに取り付けた加速度センサーで信号を取り込む。これらの信号を高速フーリエ解析装置(FFT)に送る。FFTで解析したデータを計算機に送り、入力と出力の比の関数(伝達関数)を求める。伝達関数からはプレス品の固有振動数とその時のエネルギーが分かる。制振性の高いものは、共振点の数が少なくしかもそれらのエネルギーが低いために、凹凸の少ないグラフとなる。従来材と制振鋼板製オイルパンの伝達関数をFig. 10に示す。制振鋼板製オイルパンの伝達関数は通常材

Table 8 Transfer function measuring method

Item	Method
Transfer function	Mechanical impedance method, YHP model-1 program
Impact	Hammering
Averaging	16 times

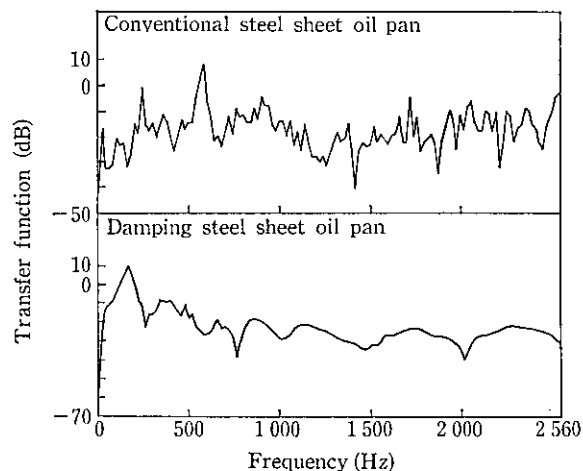


Fig. 10 Comparison of transfer functions of oil-pans produced by a damping steel and a conventional steel (at 80°C)

に較べて、明らかに共振点の数が少なく、しかもそれぞれの点のカーブが非常になだらかである。最大共振周波数は通常材が約500 Hzにたいして、制振鋼板のそれは200 Hzと低くなって、制振性が向上した。

3.2.3 騒音測定結果

騒音測定条件をTable 9に示す。2200 ccクラスのディーゼルエンジンにオイルパンを取付け、負荷を掛けた状態でエンジン回転数を1000から4000 rpmまで回し、1/3オクターブの幅で騒音を測定した。なお、マイクはエンジン左側でオイルパンから1000 mm離して設置した。マイクより取った音を騒音計に入れ、その音を周波数解析装置で分離した。1500と4000 rpmのときの騒音の測定結果をFig. 11に示す。1500 rpmのときには通常材が100 Hz近傍で制振製よりも騒音が低くなるだけで、その他の領域周波数では制振鋼板製オイルパンのほうが騒音が低く、効果が認められた。とくに、1000 Hz以上では約20 dBの効果が認められた。一方、4000 rpmになると、制振鋼板製の方も騒音が大きくなり、通常材との差が小さくなるが、1000 Hz以上ではまだ約10 dBの制振効果が認められ

Table 9 Noise measuring conditions

Item	Condition
Engine	2200 cc diesel engine
Load	ON (4/4) mode
Measuring system	Microphone → Noise meter → Frequency analyzer → Recorder
Frequency	20 ~ 10 kHz (1/3 octave band)
Microphone position	1000 mm away from oil pan
Revolution of engine	1000 ~ 4000 rpm

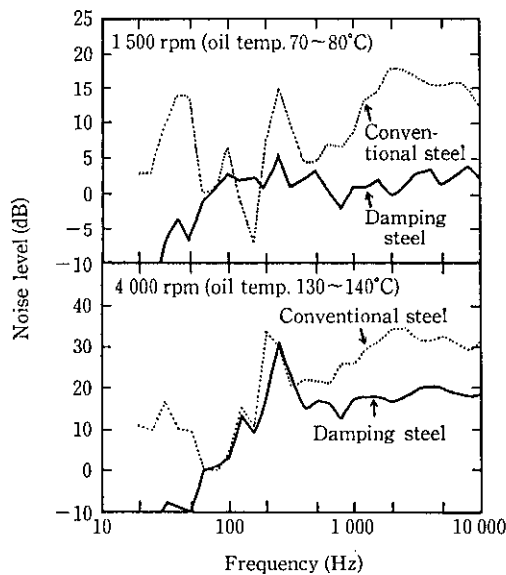


Fig. 11 Comparison of noise level of oil-pans produced by a damping steel and a conventional steel

た。このようにディーゼルエンジンのオイルパンとして制振鋼板を使用することは騒音低減に効果があり、とくに1000 Hz以上の周波数で効果が大きい。

4 結 言

接着力の異なる4種類の制振鋼板を用いて、接着力の加工性に及ぼす影響を調査した結果以下のことが判明した。

- (1) TSSが120 kgf/cm²以上の高接着力の制振鋼板は曲げ性および深絞り性とも良好である。
- (2) 制振鋼板のTSSと曲げ剛性とは密接な関係があり、TSSが高いほど曲げ剛性も通常鋼板のそれに近くなり、加工性も通常鋼板並みになる。
- (3) 接着力は高くても熱処理による剥離などの問題が発生する場合があり、そのためには制振鋼板の構成を変更したり、そのための利用技術の開発が必要となる。
- (4) モーターカバーに制振鋼板を採用することで、モーターとほかの機器を結合したときに問題となる異常音がなくなり、騒音を低減することができた。
- (5) ディーゼルエンジンに制振鋼板製オイルパンを取り付けることで、運転時の騒音を下げることができ、その効果は高周波数域でより大きいことが分かった。

なお、制振鋼板の実用化はこのような利用技術を含めた研究を経て初めて、進展するものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 郡田和彦:「複合鋼板の製造技術と特性」, 第106回西山記念講座, (1985), 243-272
- 2) 千葉範夫:「制振鋼板の現状」, 鉄と鋼, 71 (1985) 15, 32-40
- 3) 由田征史:「制振鋼板のプレス加工性」, 塑成と加工, 26 (1985) 291, 394-399
- 4) 林 豊:「サンドイッチ鋼板の成形性」, プレス技術, 22 (1983) 4, 47-51
- 5) 木野信幸, 堀田 孝, 岡 賢:「常温用制振鋼板のプレス成形特性」, 鉄と鋼, 73 (1987) 13, S653
- 6) 松本義裕, 篠崎正利, 角山浩三:「制振鋼板の加工性に及ぼす接着強度」, 鉄と鋼, 71 (1985) 13, S1578
- 7) 川崎製鉄カタログ:「川鉄の超深絞り用冷延鋼板“KTU-X”」
- 8) 羽田隆司, 徳永良邦:「薄板の新しい動向と展望」, 塑成と加工, 26 (1985) 291, 343-348
- 9) 江嶋瑞男, 本田忠史:「制振鋼板の成形性に及ぼす接着強度の影響」, 鉄と鋼, 72 (1986) 13, S1621
- 10) 白本万博:「振動解析とデータ処理の現状」, 機械設計, 18 (1974) 10, 10-19
- 11) 篠崎正利, 松本義裕, 西田 稔, 入江敏夫, 古川幸夫, 高崎順介:「スポット溶接の可能な複合型制振鋼板“ノンビブラ”」, 川崎製鉄技報, 16 (1984) 4, 56-63
- 12) 篠崎正利, 松本義裕, 角山浩三:「複合型制振鋼板の接着耐久性」, 鉄と鋼, 73 (1987) 1, 137-143
- 13) 「機械的構造物の動特性測定と解析——モーダル解析」 横河・ヒューレット・パッカード(株) アプリケーション・ノート, モーダル-OJ
- 14) Y. Matsumoto, M. Shinozaki, and K. Tsunoyama: “Development of Composite Vibration Damping Steel Sheet Direct-Spot-Weldable without Bypass Circuit”, Resistance welding and related welding process, July (1986), Osaka (Japan), 98-102