

樹脂ラミネート制振鋼板の疲労強度

技術報告

香川 裕之*・栗原 正好*・渡辺 裕吉*²

Fatigue Properties of Vibration Damping Steel Sheets

Hiroyuki KAGAWA, Masayoshi KURIHARA and Yuukichi WATANABE

Synopsis:

Fatigue properties of vibration damping sheets of steel-resin lamination type were studied in connection with the effects of shear adhesion strength, tensile strength of steel sheets and thickness of vibration damping sheets. Fatigue tests were carried out under the conditions of shear by tension loading and out-of-plane bending.

Principal results obtained in this study are as follows:

(1) Fatigue strength in shear by tension loading increased in proportion to the increase in shear adhesion strength.

(2) Fatigue strength in out-of-plane bending showed a tendency to increase with increases in shear adhesion strength, tensile strength of steel sheets, and to increase with a decrease in thickness of vibration damping sheets.

(3) Separation life under out-of-plane bending condition was estimated using fatigue test data under shear by tension loading. The estimated separation life showed a good agreement with the experimental result.

(4) An analytical method to estimate fatigue failure modes under out-of-plane bending condition, i.e. ① fractured, ② separated, and ③ not fractured nor separated, was proposed.

Key words: fatigue; vibration damping sheet; shear by tension; out-of-plane bending; shear adhesion strength; separation.

1. 緒 言

騒音対策の観点から、2枚の薄鋼板と中間ダンパー材より成るサンドイッチ構造の樹脂ラミネート鋼板が開発された^{1)~7)}。樹脂ラミネート制振鋼板は、自動車を中心として橋梁、船舶、建材などへの幅広い適用が検討されており、トラックのオイルパン等一部の部材に関してはすでに実用化段階に入っている⁸⁾。

制振鋼板は振動を受ける部材に使用されるため、疲労強度の把握が重要な課題となる。そこで、5種類の樹脂ラミネート制振鋼板の疲労試験を実施し、その疲労強度を通常の薄鋼板の疲労強度と比較するとともに、剪断密着力や板厚が疲労強度に及ぼす影響について検討を加えた。次に、曲げ負荷により接着面上に発生する剪断応力に着目し、曲げ疲労負荷による樹脂ラミネート制振鋼板のはく離寿命の推定を試みた。最後に、板厚、剪断密着力、鋼板の引張強さから樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労破壊の形態①鋼板破断、②はく離のみ発生、③破断もはく離もしない、を推定する簡便な方法を提案し、そ

の推定精度について検討を加えた。

2. 供試材と試験方法

供試した樹脂ラミネート制振鋼板の特性を Table 1 (Type A~E) に示す。剪断密着力は、Fig. 1(1) に示す試験片を一定変位速度で引張負荷した時の破断荷重を試験片斜線部の面積で除した値であり、単位接着面積あたりに支え得る剪断引張荷重を意味している。また

Table 1. Properties of tested sheets.

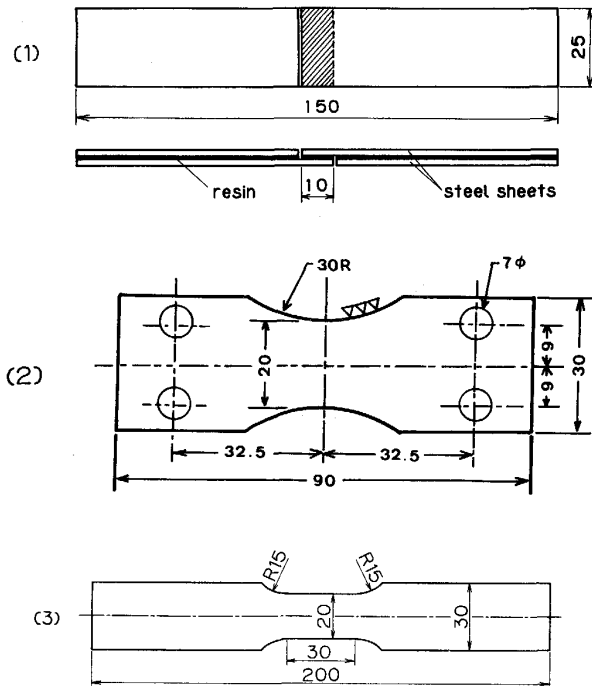
Type	Construction (mm) Steel/Resin/Steel	Tensile strength of steel sheets (kgf/mm ²)	Shear adhesion strength (kgf/mm ²)	
			R. T.	90°C
A	0.8/0.15/0.8	29	1.02	Not tested
B	0.8/0.15/0.8	29	1.47	0.30
C	0.8/0.1 / 0.8	29	1.58	0.64
D	0.8/0.1 / 0.8	29	1.47	0.30
E	3.2/0.1 / 3.2	60	1.02	Not tested

Type	Sheet thickness (mm)	Tensile strength (kgf/mm ²)
S	1.6	27
N	2.6	65

昭和 60 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 61 年 12 月 24 日受付 (Received Dec. 24, 1986)

* 日本鋼管(株)鉄鋼研究所 工博 (Steel Research Center, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

*² 日本鋼管(株)鉄鋼研究所 (Steel Research Center, Nippon Kokan K. K.)



(1) Shear by tension loading (2) Plane bending (type A, B, C sheets) (3) Plane bending (type E sheet)

Fig. 1. Specimen configurations.

Table 1 に、比較材として用いた通常の薄鋼板 (Type S, N) の板厚と引張強度もあわせて示した。

疲労試験は、剪断引張負荷と平面曲げ負荷で実施した。剪断引張疲労試験は、B・D 材を供試材として、Fig. 1(1) に示す試験片を用い、これに片振引張荷重 (最小荷重 0 kgf) を繰り返し速度 10 Hz で負荷することにより実施した。平面曲げ疲労試験はすべて両振負荷 (平均荷重 0 kgf) で行い、①A・B・C・S 材では Fig. 1(2) に示す試験片形状で繰り返し曲げモーメントを 25 Hz で負荷することにより、②E 材では Fig. 1(3) に示す試験片形状で繰り返し 4 点曲げ荷重 (外スパン 150 mm, 内スパン 58 mm) を 5 Hz で負荷することによりそれぞれ実施した。剪断引張疲労試験・平面曲げ疲労試験とも、試験温度は室温と 90°C とした。

3. 試験結果

3.1 剪断引張疲労強度

B・D 材の剪断引張疲労試験の結果を、剪断応力振幅と疲労寿命の関係で Fig. 2 に示す。ここで、剪断応力振幅は荷重振幅 (最大荷重の 1/2) を Fig. 1(1) の試験片斜線部の面積で除した値である。試験片の疲労破断は、斜線部の接着面が鋼板と樹脂の境界面ではなく離すことにより生じた。B 材と D 材は鋼板材質と樹脂材質が同じで樹脂厚さのみ異なる材料であるが、両者の室温での剪

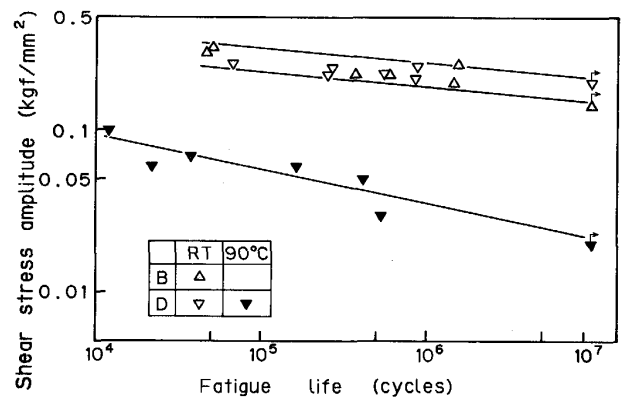


Fig. 2. Relationship between shear stress amplitude and fatigue life of type B, D sheets in shear by tension loading.

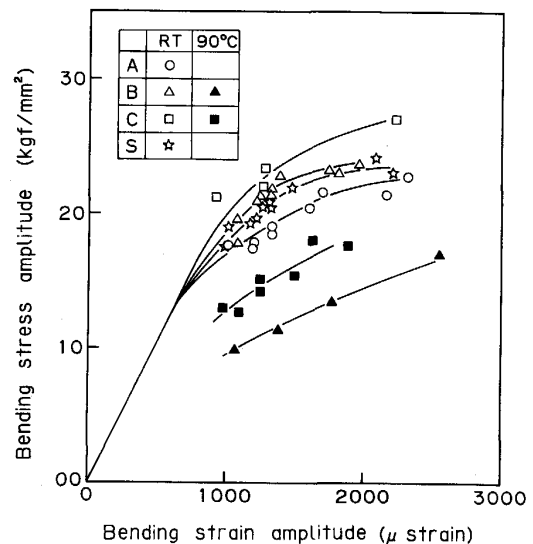


Fig. 3. Relationship between bending stress amplitude and bending strain amplitude of type A, B, C sheets under plane bending condition.

断引張疲労強度に有意差は認められなかった。また、90°Cでの剪断引張疲労強度は、室温に比較して約 1/5 に低下した。

3.2 平面曲げ疲労強度 (A・B・C 材)

A・B・C 材の繰り返し曲げ剛性を、曲げ応力振幅と歪み振幅の関係で Fig. 3 に示す。曲げ応力振幅は曲げモーメント振幅から弾性はり計算により求めた試験片中央部板表面での値であり、歪み振幅は試験片中央部板表面に貼付した歪みゲージにより測定した値である。疲労試験中、歪み振幅はほぼ一定値を保っていた。室温での B・C 材の繰り返し曲げ剛性は、S 材と同等以上 (B・C 材に使用した鋼板の方が S 材より引張強度が若干高いため、繰り返し曲げ剛性も B・C 材の方がやや高めとなった。) であつたが、A 材では他に比較して若干低めであつた。

一方、90°CでのB・C材の繰返し曲げ剛性は、室温と比較して30~50%低下した。

疲労試験結果を、曲げ応力振幅と疲労寿命の関係でFig. 4に示す。試験片の疲労破壊は、試験片中央部にき裂が発生し鋼板が破断することにより生じた。室温でのB・C材の疲労強度はS材と同等以上であったが、A材では他に比較して若干低めであった。また、90°CでのB・C材の疲労強度は、室温と比較して30~50%低下した。これらの疲労強度の差異は、Fig. 3に示す繰返し曲げ剛性の差異に起因している。

Fig. 4に示したのと同じ疲労試験結果を、歪み振幅と疲労寿命の関係でFig. 5に示す。歪み振幅で疲労強度を評価すると、全データが一つのバンド内にプロットされる。従って、発生歪みが直接把握できれば、樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労寿命は通常薄鋼板の疲労データから推定可能である。

A・B・C材は、試験片が破断した後も鋼板と鋼板とは

二枚にはがれていなかった。しかしながら、90°CでのB・C材や室温でのA材は、繰返し曲げ剛性が低かつた結果から、疲労試験中鋼板と鋼板とが樹脂を介して多少相対的にすべっていたと考えられる。

3.3 平面曲げ疲労強度 (E材)

E材の室温での両振4点曲げ疲労試験中の歪み振幅の変化をFig. 6に示す。図中の ΔP は、試験片に負荷した荷重振幅を表している。歪み振幅値は、試験片中央部板表面に貼付した歪みゲージにより測定した。室温で供試したすべての試験片において、最終的に鋼板が破断する寿命の約1/10の繰返し数で、歪み振幅値が1.6~1.7倍に急激に増加した。弾性は計算によれば、鋼板と鋼板とが完全にはがれて無抵抗にすべっている場合には、完全に接着している場合に比較して、同じ曲げ荷重が負荷されたとき板表面に2倍の応力と歪みを発生する。従って、Fig. 6に示す歪み振幅の急激な増加は、鋼板と鋼板とが接着面のかなり大きな範囲にわたってすべり始

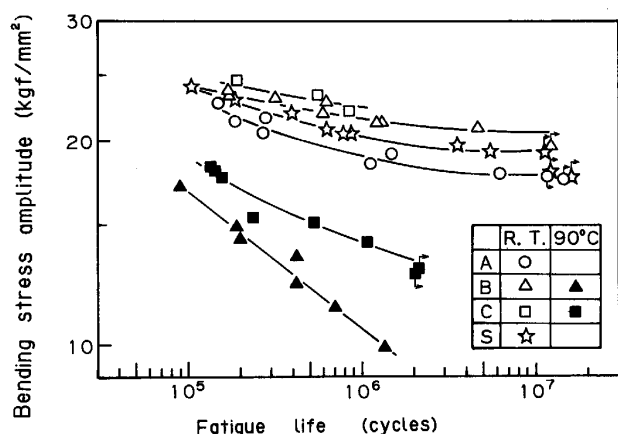


Fig. 4. Relationship between bending stress amplitude and fatigue life of type A, B, C sheets under plane bending condition.

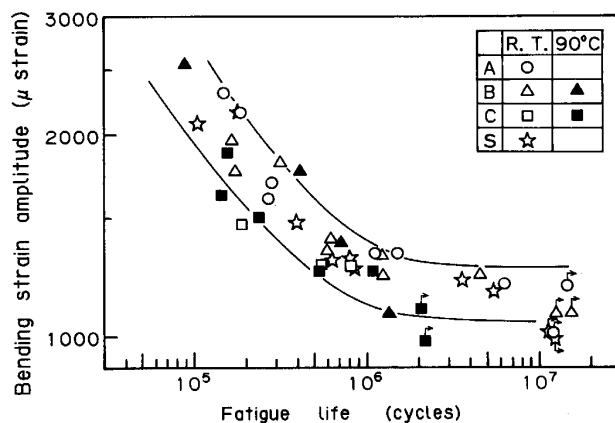


Fig. 5. Relationship between bending strain amplitude and fatigue life of type A, B, C sheets under plane bending condition.

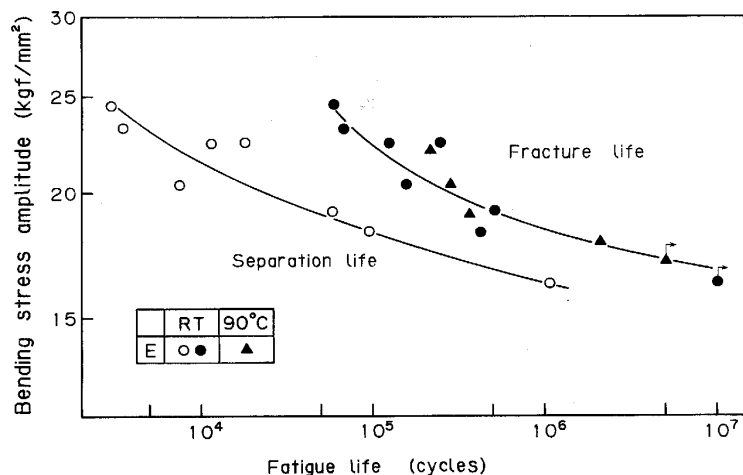


Fig. 6. Change of bending strain amplitude of type E sheet during plane bending fatigue test.

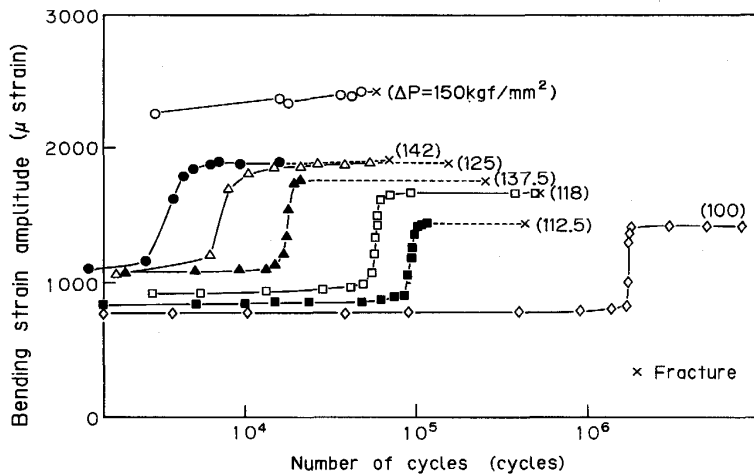


Fig. 7. Relationship between bending strain amplitude and fatigue life of type E sheet under plane bending condition.

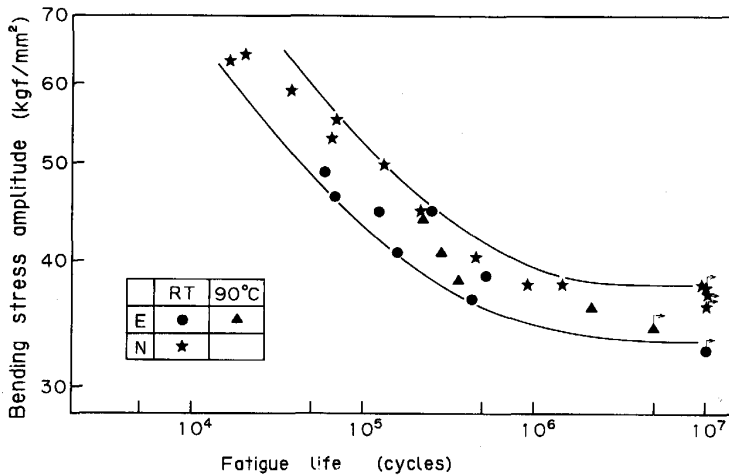


Fig. 8. Comparison of fatigue strength between type E sheet and type N steel. Bending stress amplitude of type E sheet was calculated assuming that two steel sheets were separated completely.

めたことに起因すると考えられる。一方90°Cの場合、疲労試験開始直後に測定した歪み振幅値がすでに、室温において急激に増加した後の歪み振幅値に相当する大きな値を示していた。従つて、90°Cでは試験開始直後すでに鋼板と鋼板とが相対的にすべつていたと考えられる。

疲労試験結果を、曲げ応力振幅と疲労寿命の関係で Fig. 7 に示す。曲げ応力振幅は、鋼板と鋼板とが完全に接着していると仮定して、曲げ荷重振幅から弾性は計算により求めた値である。図中、○印は室温で歪み振幅値が急激に増加したときの繰返し数(はく離寿命)、●印は室温で鋼板が破断したときの繰返し数(破断寿命)をそれぞれ示し、▲印は90°Cでの破断寿命を示している。室温と90°Cとで、破断寿命に有意差は認められなかった。

E材の鋼板と鋼板とが完全にはがれて無抵抗にすべつてしていると仮定して計算した曲げ応力振幅と破断寿命の関係を、Fig. 8 に示す。この場合、曲げ応力振幅は Fig. 7 に示した値の2倍となる。E材の破断寿命は同等材質の通常鋼板N材⁹⁾と同レベルに評価され、E材では、室

温で破断寿命の約1/10の繰返し数からまた90°Cでは試験開始直後から、鋼板と鋼板とがほぼ無抵抗にすべつていたことが明らかとなった。

試験片の破断状況を観察した結果、室温で供試した試験片はすべて一部分鋼板と樹脂の境界面で2枚にはがれていた。一方90°Cで供試した試験片は、2枚にはがれてはいなかったが、鋼板と鋼板とに相対的なずれが生じていた。この観察結果より、疲労試験中の鋼板と鋼板とのすべりが、室温では鋼板と鋼板とがはく離したことに、90°Cでは樹脂が粘性的挙動を示したことに、それぞれ起因すると考えられる。なお鋼板の破断は、室温・90°Cいずれの場合にも、試験片のR部つけ根で生じていた。

4. 考 察

4.1 疲労強度と剪断密着力の関係

D材の剪断引張疲労強度と剪断密着力との関係を Fig. 9 に示す。縦軸は10⁵回および10⁷回疲労寿命に対応する剪断応力振幅であり、横軸は疲労試験実施温度での剪断密着力である。図中、▽印が室温▼印が90°Cで

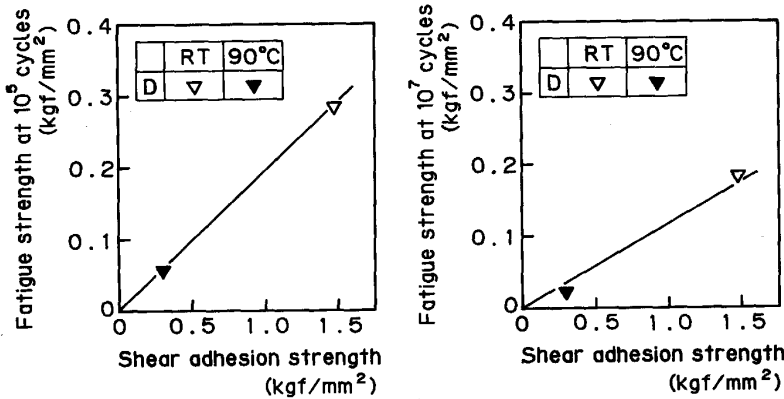


Fig. 9. Relationship between fatigue strength in shear by tension loading and shear adhesion strength of type D sheet.

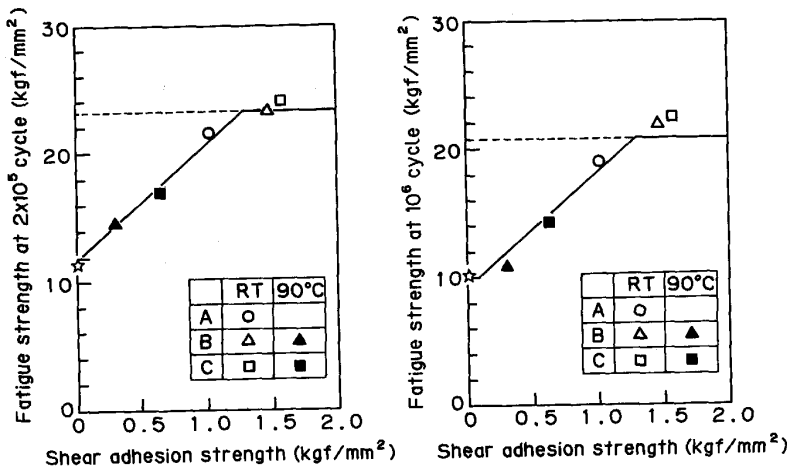


Fig. 10. Relationship between fatigue strength under plane bending condition and shear adhesion strength of type A, B, C sheets.

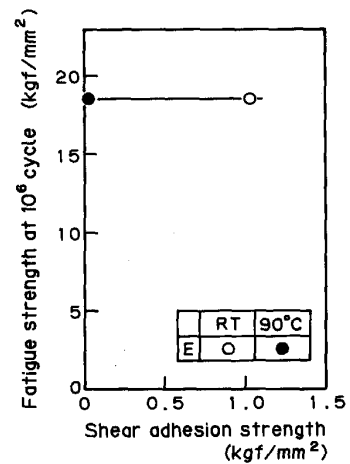


Fig. 11. Relationship between fatigue strength under plane bending condition and shear adhesion strength of type E sheet.

のデータである。データ数が少ないので明確ではないが、剪断引張疲労強度は剪断密着力と比例関係にプロットされる。

A・B・C材の曲げ疲労強度と剪断密着力との関係を Fig. 10 に示す。図中、破線はS材 (1.6 mm 厚さ) の疲労強度を示しており、剪断密着力が極めて高いラミネート鋼板に対応している。また☆印は、S材の疲労データをもとに、0.8 mm 厚さの鋼板を単に2枚重ねた場合の疲労強度を弾性はり計算により推定した結果であり、剪断密着力 0 kgf/mm² のラミネート鋼板に対応している。A・B・C材に相当する樹脂ラミネート鋼板の疲労強度は、剪断密着力 1.3 kgf/mm² 程度で通常薄鋼板と同等の強度を示しており、0~1.3 kgf/mm² の範囲で剪断密着力の増加に伴い直線的に増加する。剪断密着力 1.3 kgf/mm² 以上では、疲労試験中鋼板と鋼板とが完全に接着した一枚板としての状態を保つため、剪断密着力にかかわらず通常薄鋼板と同じ一定の疲労強度を示すと考えられる。

E材の曲げ疲労強度と剪断密着力との関係を Fig. 11

に示す。縦軸は 10⁶ 回破断寿命に対応する曲げ応力振幅 (鋼板と鋼板とは完全に接着していると仮定して計算) であり、横軸は疲労試験実施温度での剪断密着力である。

E材の疲労破断強度は、室温と 90°C とでほぼ同じ強度を示し、剪断密着力の影響は認められなかった。これは、E材では室温、90°C いずれの場合にも、鋼板と鋼板とが無抵抗にすべり二枚板として挙動していた期間 (この間剪断密着力はほとんど 0 kgf/mm² になっている) が、破断寿命の大部分を占めていたためである。

4.2 曲げ疲労強度に及ぼす板厚・剪断密着力・鋼板の引張強さの影響

鋼板に曲げ負荷を加えると、Fig. 12 に示す曲げ応力分布 σ と剪断応力振幅 τ を生じる。曲げ応力は板厚表面で、剪断応力は板厚中央でそれぞれ最大値を示す。繰返し曲げ負荷されたときの曲げ応力振幅と剪断応力振幅の最大値は、それぞれ次式で与えられる。

$$\sigma_a = 6M_a / (bt^2) \cdots (1) \quad \tau_a = 3F_a / (2bt) \cdots (2)$$

ここで M_a は曲げモーメント振幅、 F_a は剪断荷重振幅、

b は板幅, t は板厚である。樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労試験中の鋼板と鋼板とのすべりは、剪断密着力と板厚中央に発生する剪断応力振幅との関係に支配されると考えられる。一方鋼板自体の疲労破断は、鋼板の強度と板厚表面に発生する曲げ応力振幅との関係で支配される。同じ曲げ負荷形式の場合、剪断応力振幅と曲げ応力振幅の比 τ_a/σ_a は板厚が厚いほど大きくなる。

樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労強度に及ぼす板厚・剪断密着力・鋼板の強度の影響を Fig. 13 に模式的に示す。縦軸の曲げ疲労強度は、ある一定の破断寿命に対応する曲げ応力振幅（鋼板と鋼板とは完全に接着していると仮定して計算）を意味している。板厚が厚い場合 τ_a/σ_a が大きく、疲労試験中鋼板が破断する前に鋼板と鋼板とがすべり、単に 2 枚の板を重ねたのと同じ状態になるため、板厚によらない一定の低い曲げ疲労強度を示す (Fig. 13 中の領域 I)。一方、板厚が薄い場合 τ_a/σ_a が小さく、疲労試験中鋼板と鋼板とのすべりがなくほぼ一枚板としての状態を保つため、板厚によらない一定の高い曲げ疲労強度を示す (Fig. 13 中の領域 III)。中間の板厚の場合、曲げ応力振幅と剪断応力振幅の両者が曲げ疲労強度を支配し、板厚が薄くなり τ_a/σ_a が小さくなるに従って一枚板としての状態に近づくため、曲げ疲労

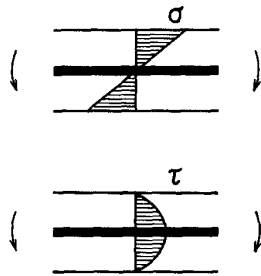


Fig. 12. Bending stress distribution σ and shear stress distribution τ caused by plane bending.

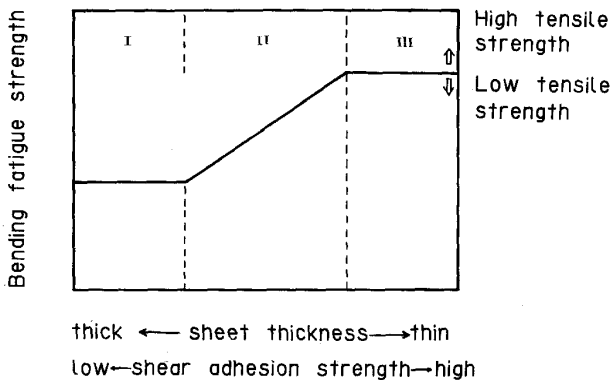


Fig. 13. Effects of sheet thickness, shear adhesion strength and tensile strength on bending fatigue strength of vibration damping sheet.

強度も上昇する (Fig. 13 中の領域 II)。次に剪断密着力に着目すると、剪断密着力が低い場合には二枚板としての状態になるため低いレベルで一定の曲げ疲労強度を示し (領域 I)、剪断密着力が高いと一枚板としての状態を保つため高いレベルで一定の曲げ疲労強度を示す (領域 III)。中間の剪断密着力の場合、剪断密着力の増大に伴い一枚板としての状態に近づくため、曲げ疲労強度も上昇する (領域 II)。また鋼板の強度に着目すると、強度が高い場合には Fig. 13 に示す曲げ疲労強度がほぼ一律に上昇し、強度が低い場合には一律に低下すると考えられる。

A・B・C 材は比較的板厚が薄く、Fig. 10 は Fig. 13 中の領域 II・III に対応していると考えられる。一方 E 材は板厚が厚く、Fig. 11 は Fig. 13 の領域 I に対応していると考えられる。また、E 材は A・B・C 材よりも鋼板の強度が高いため、領域 I での曲げ疲労強度を比較すると、E 材 (Fig. 11 参照) の方が A・B・C 材 (Fig. 10 参照) よりも高くなっている。

4.3 曲げ疲労負荷によるはく離寿命の推定

剪断引張疲労試験における剪断応力振幅 τ_a とはく離寿命 N_s との関係は、Fig. 2 に示す結果より、 $A \cdot m$ を定数とする次式の指数関係で表される。

$$\tau_a = A \cdot N_s^m \dots\dots\dots (3)$$

また、剪断引張疲労強度は、Fig. 9 に示すように剪断密着力に比例する。10⁵ 回および 10⁷ 回はく離寿命に対応する剪断応力振幅を $\tau_a(5) \cdot \tau_a(7)$ とし剪断密着力を S とすると、Fig. 9 より次式が得られる。

$$\tau_a(5) = 0.194S, \quad \tau_a(7) = 0.118S \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式を (3) 式に代入して $A \cdot m$ を消去すると、剪断応力振幅とはく離寿命の関係として次式が得られる。

$$\tau_a = 0.68 \cdot S \cdot N_s^{0.109} \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式は B・D 材から得られた関係式であるが、A・C・E 材も B・D 材とはほぼ同程度の剪断密着力を有しているため、(5) 式は A~E 材すべてに適用できると考え、以降のはく離寿命の推定に (5) 式を用いることとした。

鋼板に 4 点曲げ負荷を加えると、Fig. 14 に示す剪断荷重分布と曲げモーメント分布を生じる。鋼板の板厚中央に発生する剪断応力振幅は Fig. 14 (2) に示す②部では (2) 式より、

$$\tau_{2a} = 3F_a / (2bt) = 3M_a / (2l_2bt) \dots\dots\dots (6)$$

で与えられ、①③部では $\tau_{1a} \cdot \tau_{2a}$ は 0 kgf/mm² である。

ここで、樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労負荷によるはく離が、接着面に発生する剪断応力 (絶対値) の試験片全面での平均値に支配されると仮定する。Fig. 14 (2) に示す①②③部の面積を $A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$ とすると、平

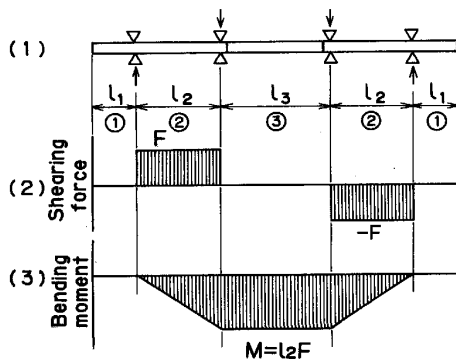


Fig. 14. Shearing force distribution and bending moment distribution caused by 4-point-bending.

均剪断応力振幅 τ_a は次式で与えられる。

$$\tau_a = \frac{3M_a}{2l_2bt} \cdot \frac{A_2}{A_1+A_2+A_3} \quad \dots\dots\dots (7)$$

(1)式と(7)式より M_a を消去すると、曲げ応力振幅 σ_a と平均剪断応力振幅 τ_a との関係式(8)が得られる。

$$\tau_a = \frac{t}{\Delta l_2} \cdot \frac{A_2}{A_1+A_2+A_3} \cdot \sigma_a \quad \dots\dots\dots (8)$$

(8)式を(5)式に代入すると、両振4点曲げ疲労試験における曲げ応力振幅 σ_a とはく離寿命 N_s の関係式(9)が得られる。

$$\sigma_a = \frac{2.72l_2}{t} \cdot \frac{A_1+A_2+A_3}{A_2} \cdot S \cdot N_s^{-0.109} \quad \dots\dots (9)$$

E材の室温での両振4点曲げ疲労試験におけるはく離寿命を、(9)式に $t \cdot l_2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot S$ の各値を代入して推定した結果を Fig. 15 に実線で示す。図中のプロットは疲労試験中歪み振幅の値が急激に増加したときの繰返し数 (Fig. 6 中の○印と同じ) である。はく離寿命の推定結果と実験結果とは良い一致を示した。

4.4 樹脂ラミネート制振鋼板の疲労破壊推定法

樹脂ラミネート制振鋼板に任意の形式の曲げ疲労負荷が加えられている場合を考え、単位板幅あたりに作用する曲げモーメント振幅と平均剪断荷重振幅をそれぞれ $M_{0a} \cdot F_{0a}$ とする。このとき、鋼板表面に発生する曲げ応力振幅 σ_a と板厚中央に発生する平均剪断応力振幅 τ_a は、(1)(2)式に $b=1$ を代入して次式で与えられる。

$$\sigma_a = 6M_{0a}/t^2 \quad \dots\dots(10) \quad \tau_a = 3F_{0a}/(2t) \quad \dots\dots (11)$$

また、樹脂ラミネート制振鋼板が完全にはがれて、板厚 $t/2$ の鋼板を単に2枚重ねたものと同じ状態になったときの曲げ応力振幅 σ'_a は次式で与えられる。

$$\sigma'_a = 2\sigma_a = 12M_{0a}/t^2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

剪断応力によるはく離の疲労限 $(\tau_a)_L$ を 10^7 回はく離寿命に対応する平均剪断応力振幅とすると、 $(\tau_a)_L$ は(4)式の $\tau_a(7)$ で与えられる。すなわち、

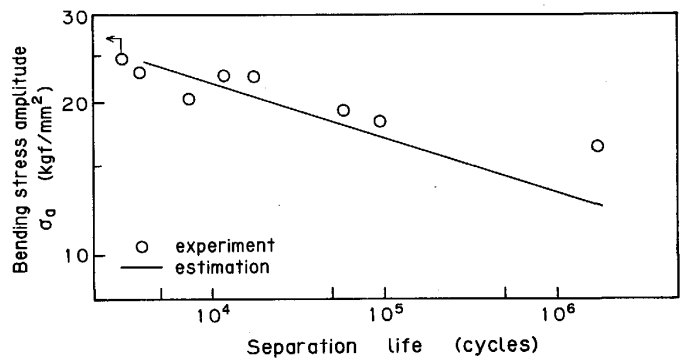


Fig. 15. Comparison between estimated separation life and experimental separation life of type E sheet.

$$(\tau_a)_L = 0.118S \quad \dots\dots\dots (13)$$

一方、通常薄鋼板の曲げ疲労負荷による疲労限 (10^7 回破断寿命) は、引張強さ 65 kgf/mm^2 以下の鋼板では、引張強さの増加に伴い直線的に上昇することが報告されている⁹⁾。これらのデータをまとめると、疲労限 $(\sigma_a)_L$ と引張強さ σ_u との間には次式が成立する。

$$(\sigma_a)_L = 0.436\sigma_u + 5.21 \quad 30 \leq \sigma_u \leq 65 \quad \dots\dots\dots (14)$$

樹脂ラミネート制振鋼板のはく離の疲労限を与える単位板幅あたりの平均剪断荷重振幅 $(F_{0a})_L$ は、(11)(13)式より(15)式で与えられる。

$$(F_{0a})_L = 0.079tS \quad \dots\dots\dots (15)$$

一方、曲げ応力による鋼板破断の疲労限を与える単位板幅あたりの曲げモーメント振幅 $(M_{0a})_L$ は、(10)(14)式より(16)式で表される。

$$(M_{0a})_L = t^2(0.073\sigma_u + 0.87) \quad 30 \leq \sigma_u \leq 65 \quad \dots\dots (16)$$

また、樹脂ラミネート制振鋼板が完全にはがれた後の鋼板破断の疲労限を与える単位板幅あたりの曲げモーメント振幅 $(M_{0a})'_L$ は、(12)(14)式より(17)式で表される。

$$(M_{0a})'_L = 1/2(M_{0a})_L = t^2(0.036\sigma_u + 0.43) \quad 30 \leq \sigma_u \leq 65 \quad \dots\dots\dots (17)$$

(15)(16)(17)式で表される各疲労限を、縦軸に

$$\xi = \frac{M_{0a}}{t^2(0.073\sigma_u + 0.87)}, \quad \text{横軸に} \quad \eta = \frac{F_{0a}}{0.079tS}$$

をそれぞれとつて、Fig. 16 に示す。すなわち、(16)式より ξ が1以上では鋼板が疲労破断する。また(15)式より η が1以上では疲労はく離を生じ、このうち ξ が0.5以上 ((17)式参照) の場合には最終的に鋼板が疲労破断し、0.5以下でははく離のみ生じて鋼板破断には至らない。 ξ も η も1以下の場合には、はく離も破断も生じない。Fig. 16 の推定に必要なパラメーターは、板厚 t ・鋼板の引張強さ σ_u ・剪断密着力 S ・単位板幅あたりの曲げモーメント振幅 M_{0a} ・単位板幅あたりの平均剪断荷重振幅 F_{0a} の計5個である。このうち、 $t \cdot \sigma_u \cdot S$ は樹脂ラミ

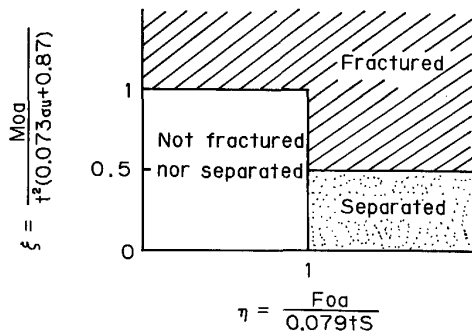
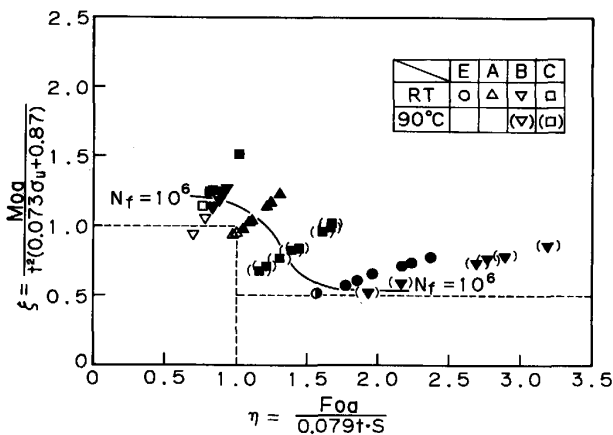


Fig. 16. Fatigue failure mode diagram of vibration damping sheet.



Solid: Fractured Half solid: Separated Open: Not fractured nor separated)

Fig. 17. Estimation of fatigue failure mode of vibration damping sheet.

ネート制振鋼板の基本特性であり、 $M_{0a} \cdot F_{0a}$ は適用部材に加わる曲げ負荷から計算される値である。

Fig. 17に、本報で実施した曲げ疲労データを $\xi - \eta$ 関係上にプロットした。図中、黒印は鋼板破断したデータ、半黒印ははく離のみ発生したデータ、白印ははく離も破断も生じなかつたデータである。また図中の実線は、 10^6 回破断寿命の試験データをなめらかに結んだ線である。試験結果はFig. 16に示した予測に従う傾向を示しており、 ξ と η の2個のパラメーターにより、樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労破壊の形態①鋼板破断・②はく離のみ発生・③破断もはく離もしない、がほぼ推定できることが示唆された。

パラメーター ξ 中の定数0.073と0.87は、24種類の薄鋼板の疲労データから最小二乗近似により求めた値であり、引張強さ30~65 kgf/mm²の範囲内では鋼種に関係なく適用できると考えられる。一方、パラメーター η 中の定数0.079は、本試験において剪断密着力1.5 kgf/mm²以下の範囲内で求めた値である。剪断密着力が

大きく異なる場合には、(4)式が成立しなくなり定数0.079が適用できなくなる可能性があるが、この場合においても、剪断引張疲労試験を実施するだけで簡便に定数値を求めることができる。

5. 結 言

鋼板材質、樹脂材質や板厚の異なる5種類の樹脂ラミネート制振鋼板の疲労試験を実施し、その疲労強度を把握した。得られたデータを解析し、鋼板の引張強さ29~60 kgf/mm²、剪断密着力1.5 kgf/mm²以下、板厚1.7~6.5 mmの範囲内で以下の結論を得た。

(1) 剪断引張疲労強度は、疲労試験実施温度での剪断密着力に比例する。

(2) 曲げ疲労強度は、板厚・剪断密着力・鋼板の引張強さに依存し、板厚が薄いほどまた剪断密着力や鋼板の引張強さが高いほど、曲げ疲労強度が高い傾向を示す。

(3) 鋼板の引張強さ29 kgf/mm²・板厚1.7~1.75 mmの樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労強度は、剪断密着力1.3 kgf/mm²以上では通常薄鋼板と同等の一定値を示し、1.3 kgf/mm²以下では剪断密着力の低下とともに減少する。

(4) 鋼板の引張強さ60 kgf/mm²・板厚6.5 mmの樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労強度は、剪断密着力0~1 kgf/mm²の範囲内で一定値を示す。この疲労強度は、3.2 mm厚さの鋼板を単に2枚重ねた場合の疲労強度とほぼ同等である。

(5) 曲げ疲労負荷によるはく離寿命を、板厚中央に発生する剪断応力に着目した弾性はり計算により推定し、はく離寿命の推定結果と試験結果とに良い一致を得た。

(6) 板厚・剪断密着力・鋼板の引張強さから簡単に計算できるパラメーターを用いて、樹脂ラミネート制振鋼板の曲げ疲労破壊の形態①鋼板破断・②はく離のみ発生・③破断もはく離もしない、を推定する簡便な方法を提案し、推定結果と試験結果とに良い一致を得た。

文 献

- 1) 藤原芳明, 田辺修吾, 渡辺裕吉, 武田 孝, 原 富啓: 鉄と鋼, **70** (1984), S 336
- 2) 由田征史, 下村隆良: 鉄と鋼, **70** (1984), S 337
- 3) 樺沢真事, 田中甚吉: 鉄と鋼, **70** (1984), S 338
- 4) 香川裕之, 栗原正好: 鉄と鋼, **71** (1985), S 778
- 5) 関塚典弘, 渡辺裕吉, 武田 孝, 原 富啓: 鉄と鋼, **71** (1985), S 1574
- 6) 香川裕之, 栗原正好: 鉄と鋼, **71** (1985), S 1575
- 7) 吉沢一成, 渡辺裕吉, 郡司直樹, 苗村 博, 樺沢真事: 鉄と鋼, **72** (1986), S 1622
- 8) 千葉範夫: 鉄と鋼, **71** (1985), p. 620
- 9) 長江守康, 加藤昭彦, 香川裕之, 栗原正好, 岩崎紀夫, 稲垣裕輔: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 1430