

116 一方向 CFRP 積層板の損失係数に及ぼす境界条件の影響

Influence of boundary condition on loss factor of unidirectional CFRP laminate

正 西脇 剛史 ((株) アシックス)

Tsuyoshi NISHIWAKI ASICS Corp. 6-2-1 Takatsukadai, Nishi-ku, KOBE, 651-2271

In case that composite structures are designed, dynamic properties such as resonance frequency and loss factor as well as the conventional static properties such as strength and elastic modulus must be evaluated. It has been said that the loss factor measurement is very difficult and various experimental conditions make a great influence on the loss factor. Canti-levered beam method is the most popular measurement method of loss factor. In this study the clamping stress is directly measured in this method, the influence of the clamping stress upon the loss factors in unidirectional CFRP laminae with 0deg. and 90 deg. fiber orientation angles are checked. Moreover the difference of influences in these laminae are discussed by using the 2-dimensional finite element analyses.

Key words : loss factor, canti-levered beam method, clamping stress, unidirectional CFRP

1. はじめに

近年、繊維強化プラスチック(FRP)などの複合材料を用いて構造物を設計する場合、従来の強度や剛性といった静的荷重条件下における特性だけでなく、振動減衰や衝撃応答強度などの動的荷重下における要求特性も多くなってきている。特に、振動減衰特性については、Amenityという人への影響を考慮する場合、不快な振動を如何に軽減するかということは、極めて重要な問題と言えよう。FRP 構造物において、強度や剛性は強化繊維によって設計可能である上に、母材が強化材に比べきわめて高い減衰係数を有するプラスチックであることから、強度や剛性と独立して、対数減衰率や損失係数に代表される動的特性設計が可能である。換言すれば、金属などの均質材料に比べ、不均質な複合材料構造物の実設計において、静的特性と共に損失係数をも同時に設計パラメータとなしうる。しかしながら、構造物全体といった巨視的なレベルはもとより、積層板レベルにおいても、減衰特性の測定法は確立しているとはいえないのが現状である。さらに、減衰特性は構造物の形状、

境界条件などの実験条件の影響に対して感度が高く、精度良く算出するために解決しなければならない問題点も数多い。

振動リード法は減衰特性を評価する一般的手法であり、幅広い分野において適用されている。しかしながら、試験片の固定状態の違いにより算出される減衰特性に誤差が生じるという問題もあるため、統一的な議論ができていないのも事実である。

本研究では、振動特性評価として汎用的な振動リード法を用い、一方向 FRP 積層板の一次曲げモード励起時における損失係数測定を行なった。その際、境界条件の一つである clamp 部内での圧縮応力(clamping stress)を定量化する手法を提案し、様々な clamping stress 下において損失係数を測定し、clamp 部内での圧縮応力圧縮応力が共振周波数および損失係数に及ぼす影響を体系的にまとめた。

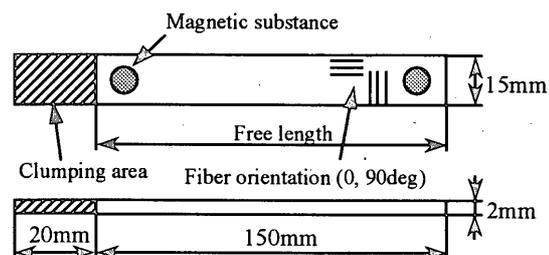


Fig.1 Geometry of test specimens used

2. 試験片及び実験方法

本研究で用いた試験片は、真空バグ法にて成形された

一方向 CFRP 積層板である。強化繊維には PAN 系炭素繊維 (HTA7、東邦レーヨン (株))、マトリックスにはビスフェノール A 型+アミン系硬化剤を配合したエポキシ樹脂を用いた。繊維体積含有率は 60% である。作製された積層板はダイヤモンドカッターにより Fig.1 に示す形状に切り出した。尚、繊維配向角は、0 度、90 度の二種類とした。

振動リード法の実験概略を Fig.2 に示す。測定装置 (ME-3930、B&K) から試験片表面に貼り付けた磁性体 (High- μ -Disk) に強制振動を与え、Fig.3 に示すような各周波数に対する振動変位量の関係を得た。この時、減衰特性に対する clamping stress の影響を調査するため、厚さ方向にひずみゲージを貼り付けた 22mm \times 15mm \times 9mm のアルミブロックを試験片とチャック間に挿入し、締め付け時に生じたひずみから clamping stress を定量化するとともに、一次の共振周波数 f_0 と損失係数を測定した。尚、損失係数は得られた共振曲線から以下の式で与えられる。

$$\eta = \frac{\Delta f}{f_0} \quad (1)$$

ここで、 Δf は共振周波数前後においてたわみ振幅が、共振振幅の $1/\sqrt{2}$ となる 2 点の振動周波数差である。

3. 実験結果

繊維配向角が 0 度と 90 度の場合における clamping stress と一次の共振周波数の関係、および、clamping stress と損失係数の関係を、それぞれ Fig.4、5 に示す。尚、実験後 アルミブロックの塑性変形は確認されなかった。

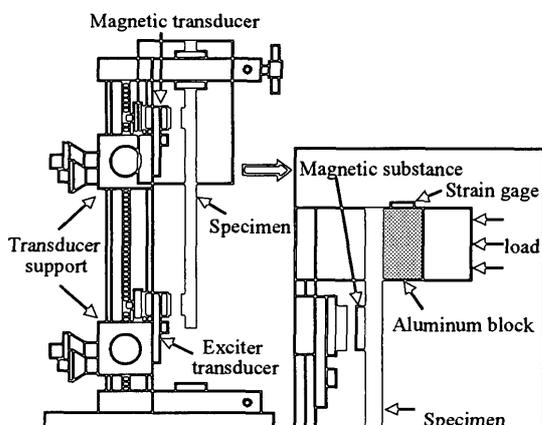


Fig.2 Schematic illustration of cantilevered beam method

両図から、一次の共振周波数は、何れの供試材においても clamping stress に依存せず一定となるものの、損失係数の値については、0 度材では 0.008-0.002 まで、一方 90 度材では 0.03-0.01 と何れにおいても clamping stress の増加とともに減少していくことが確認された。また

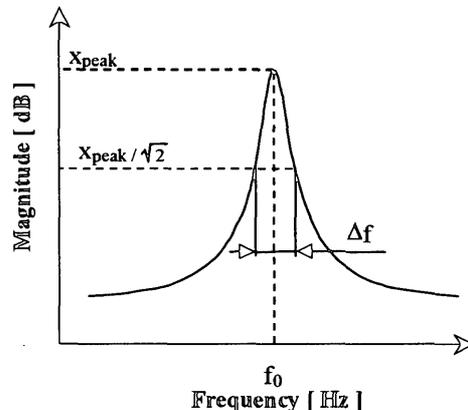


Fig.3 Frequency domain curve obtained

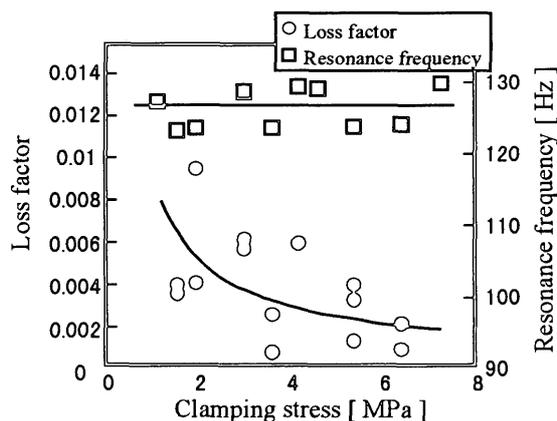


Fig.4 Relationship between clamping stress and vibration properties in 0 degree CFRP laminae

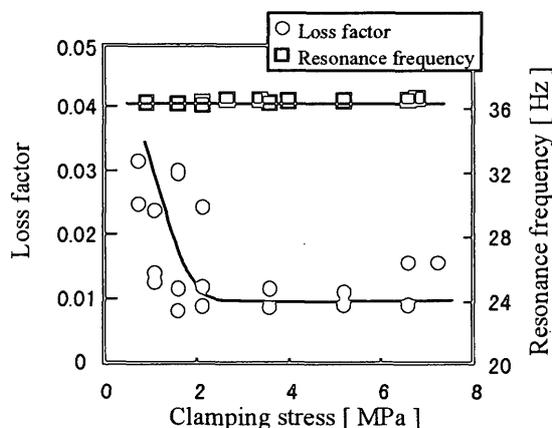


Fig.5 Relationship between clamping stress and vibration properties in 90 degree CFRP laminae

後者においては、今回の clamping stress 内に於いて、一定の値に収束することが確認できた。

4. 考察

4.1 損失係数の減少挙動

先に述べたように、一次の共振周波数は clamping stress に依存しないが、損失係数の値は clamping stress が増加するにつれ減少する傾向にある。これは、振動リード法を用いた材料減衰特性の評価が clump 部の拘束条件に大きく依存していることを示唆するものである。さらに、clamping stress が損失係数に及ぼす影響は、繊維配向角度によって大きく異なることが確認された。つまり、0 度材が発現させる損失係数は、clamping stress が 6MPa 程度まで減少し続けるのに対し、90 度材のそれは、clamping stress が 2MPa 程度で一定となることが確認された。

4.2 繊維配向角度による減少挙動の相違

構造物の減衰特性は、一般的に構造物内部のせん断ひずみの影響を大きく受けることが知られている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。Fig.4、5 により示された繊維配向角毎に見られる損失係数の減少傾向の相違を検討するために、二次元有限要素解析による積層板内部のせん断ひずみ分布の検証を行った。Fig.6 に用いたモデルを示す。解析対象である一方向 CFRP の繊維配向角が 0 度、90 度であることから、平面ひずみ要素によるモデル化を行った。アルミブロックは熱弾性材として線膨張係数を与え、熱荷重によるアルミブロックの膨張により clamping stress を表現した。ま

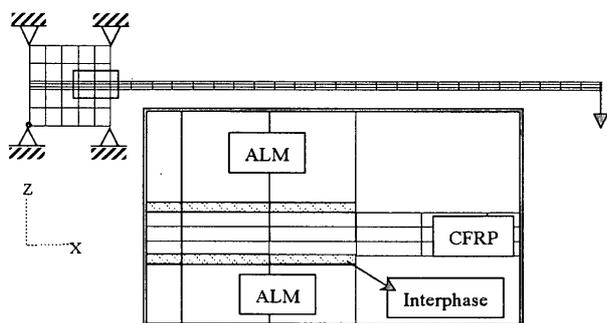


Fig.6 Finite element model used.

た、アルミブロックと測定対象である CFRP の間には弾性率を 10MPa とした厚さ 1mm の界面相を擬似的にモデル化し、両者間のすべりを考慮できるようにした。さらに振動リード法での荷重条件に対応させるべく CFRP の

端部に面外荷重を与えた。本解析手法を用い、0 度材と 90 度材において、損失係数に影響を及ぼすせん断ひずみ分布を、様々に変化させた熱荷重下において比較検討した。0 度材において、clamping stress を様々に変化させた場合、解析により得られた FRP 内部でのせん断ひずみ分布に差異は見られなかった。また、90 度材においても同様の結果が得られた。一方、clamping stress = 6.0MPa とした場合における 0 度材、90 度材でのせん断ひずみ分布を Fig.7(a)、(b)にそれぞれ示す。両者を比較した場合、0 度材は 90 度材に比べて、界面層に大きなひずみとその領域が確認された。また、0 度材において clamping stress を変化させることによって、界面相内のひずみ分布に変化が見られたものの、90 度材では、その変化はほとんど見られなかった。これは両者の長手方向弾性率の違いに依存するものである。

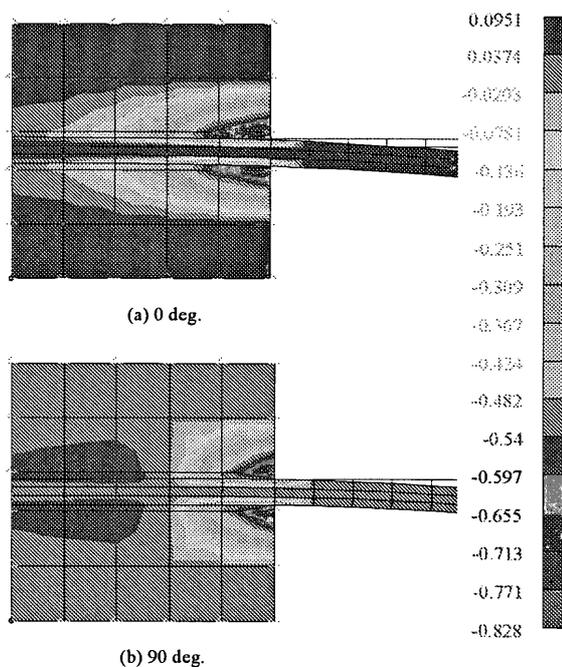


Fig.7 Shear strain distributions obtained from the 2-dimensional FE analyses considered slipping between ALM and CFRP.

本解析結果を基に、Fig.8 に clamping stress の増加に伴う、測定中の試験片の状態を模式的に示す。振動リード法において、一次曲げモードが励起された時の変形状態は、曲げ弾性率の違いにより 0 度材と 90 度材とでは大きく異なる。0 度材においては、Fig.8 に示すように、共振時の曲率は小さく、その変形は試験片全体に及ぶため、拘束部内での滑りは大きい。clamping stress の増加に伴い、その滑りは徐々に減少することから、得られる損失係数

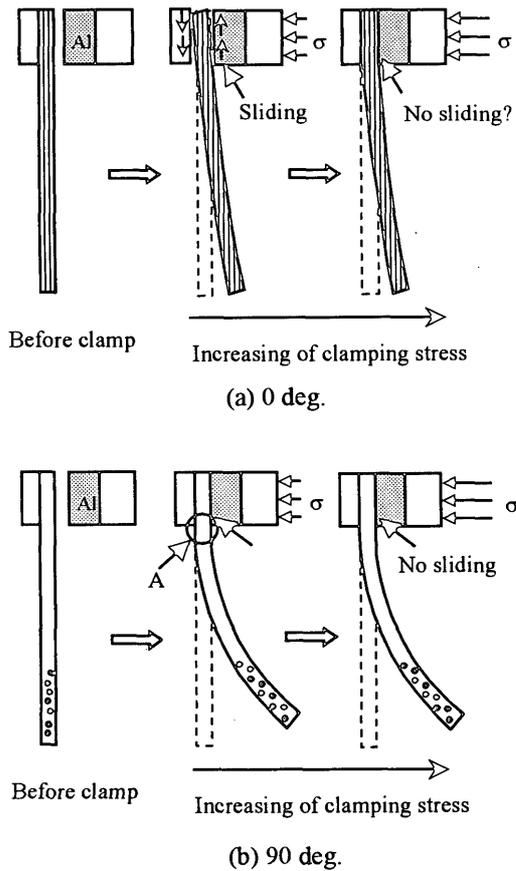


Fig.8 Difference of mechanical behaviors between 0 and 90 degree CFRP laminae in the canti-levered beam method.

の値も減少していく。しかしながら、clamping stress =6.0MPa 程度では拘束部内の滑りを完全に解消することは困難であると推察される。一方、90度材の場合は、共振時の曲率は大きいものの、その弾性率が0度に比べ十

分に小さいことから拘束部端部 (Fig.8 中 A 点) で十分な片持ち状態となるため、clamping stress =2.0MPa 程度で部内における滑りの抑制が十分可能となり、さらに clamping stress を増加させても、損失係数は一定値になると考えられる。

5. まとめ

様々な測定条件の影響を受けるとされる損失係数測定において、最も汎用的な振動リード法を用い、clamping stress が損失係数に与える影響を、一方向 CFRP 積層板を対象に検討を施した。その結果、高弾性な0度材においては、clamping stress の影響を大きく受け、clamping stress が増加するに伴い、損失係数が減少していくことが確認できた。一方、低弾性な90度材においても、clamping stress 増加に伴う損失係数の低下は見られたものの、clamping stress =2MPa 以上において、測定された損失係数は一定の値を取ることが確認された。

今後は、同一測定対象において、モーダル解析法、スペクトルメータを用いた測定法など異なる測定法から得られた減衰能を比較検討することにより、統一的な評価が行なえるような検討が必要と思われる。

文献

- (1) Haim A., *Compos. Struct.*, **20**, (1993), pp.165-173.
- (2) Lee T.H. et.al., *Comp.Sci. & Tech.*, **49**, (1993), pp.217-223.
- (3) R.D.Adams & M.R.Maheri, *Comp.Sci. & Tech.*, **47**, (1993), pp.15-23.