

749 衝撃荷重を受ける積層材料棒の動的挙動

Dynamic Behavior of Laminated Bars Subjected to Impulsive Load

○正 小田美紀男 (鹿児島大学)

正 有富 正男 (鹿児島大学)

正 戸谷 真之 (鹿児島大学)

Mikio ODA, Kagoshima University, 1-21-40 Korimoto Kagoshima

Masayuki TOYA, Masao ARITOMI, Kagoshima University

In this present study, dynamic behavior of laminated bars subjected to impulsive load is investigated by dynamic experiments, dynamic finite element method and the theory of one dimensional elastic wave propagation. Specimens consist of three layers, and the upper layer and the lower layer are same material and thickness. Dynamic Experiments are performed with laminated bars of several volume ration of an aluminum alloy and a PMMA. Numerical analysis are carried out based on a dynamic finite element method using the Newmark- β method. Propagation speed, coefficient of reflection in a boundary and dispersion of elastic waves on laminated bars are discussed.

Key Word: Elasticity, Stress Wave, Laminated Bars, F inite Element

1. 緒言

本論文では、アルミ合金とアクリル材で構成される積層材料棒が縦衝撃荷重を受ける場合、棒内を伝播する応力波の伝播挙動について調べている。試験片は三層構造で、上下層の材料および厚さを等しくし、上下対称となっている。試験片を構成する材料の体積割合を変化させ、その違いによる弾性波の伝播挙動の変化を調べるため、実験並び解析を行う。実験ならびに数値解析結果より、積層材料棒の伝播速度、不連続面での反射率および周期の小さな入射荷重を与えた場合の波の分散について検討を行う。

2. 実験

2.1 試験片 試験片は、Fig.1に示すような三層構造である。上下層の材料および厚さが等しく、中間層の厚さ h_1 、上下層の厚さの合計が h_2 で、全ての厚さが10mmとなる試験片を用いる。また、試験片の幅20mm、長さ1mの角棒試験片である。本研究では、中間層の厚さを $h_1=10, 8, 6, 4, 2, 0$ mmを用いる。中間層がアルミ合金の場合、 $h_1=10$ mmはアルミ合金棒、 $h_1=0$ mmはアクリル棒である。そして、試験片には、応力波の伝播を調べるために、衝撃端から250、500、750mmの位置にひずみゲージを貼付している。

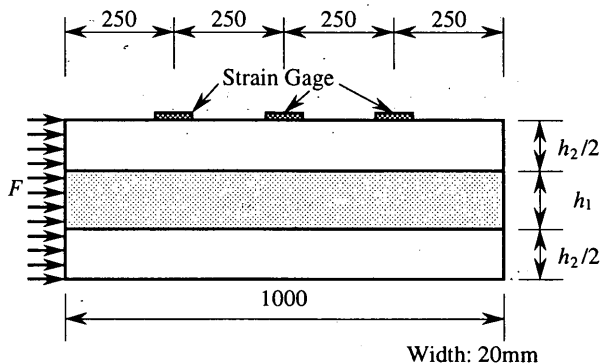


Fig.1 Specimen

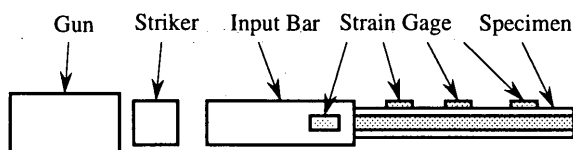


Fig.2 Experimental setup for dynamic test

本研究では、二つの材料から構成される積層材料棒を単一材料棒として扱うために、体積割合で積層材料棒の縦弾性係数 E^* および密度 ρ^* を算出する。そして、その物性値を用いて、次元弾性波伝播理論による解析を行う。

2.2 実験装置

Fig.2に動的実験装置の概要を示す。この装置は、空気銃で衝撃棒を加速し、衝撃棒を入力棒に衝突させ、その衝突で発生した応力波を入力棒を通して試験片に与える。衝撃棒と入力棒はステンレス製で、直径は20mm、長さはそれぞれ400mm、1.5mのものを使用している。また、入力棒には、試験片と接触している端面から200mmの位置にひずみゲージを貼付し、試験片への入射応力波を測定する。

3. 数値解析

Fig.3に有限要素法解析に用いたモデルを示す。本研究で使用する試験片は、上下層の厚さが等しいので、上下対称になる。従って、上半分だけを解析対象とし、平面応力状態を仮定して解析を行っている。そして、Fig.4に入射応力面での境界条件を示す。衝撃棒と入力棒の衝突に際に発生する応力波が台形状になるため、Fig.4(a)に示すような速度を使用する。本研究では、実験により測定した入射応力より、 $T_u=60\mu s$ 、 $T_p=220\mu s$ とした。積層棒の入射応力の衝撃持続時間影響を調べるため、Fig.4(b)に示すような速度を使用する。

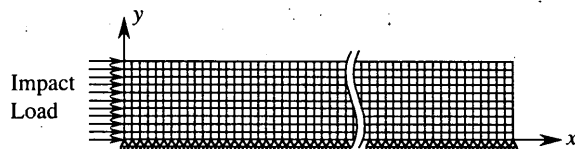


Fig.3 FEM Model

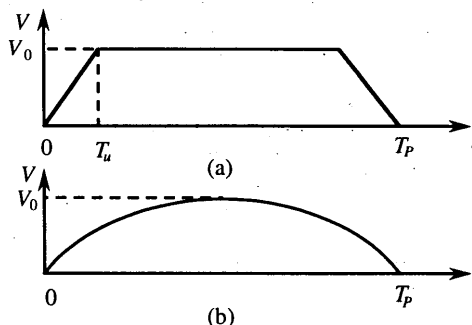


Fig.4 Boundary condition on the impact end

4. 実験および解析結果

Fig.5は、実験により測定された各測定位置におけるパルスの到着時間と測定位置の関係を示す。その結果を用いて、最小二乗法により伝播距離と時間の傾きを求め、伝播速度を求めている。この図より、アルミ合金の体積割合 R_V が小さくなるほど、傾きが小さくなることがわかり、伝播速度が遅くなっていることがわかる。

Fig.6は、アルミ合金の体積割合 R_V と伝播速度 C_0 を示す。体積割合が1のときは、アルミ合金のみを意味し、体積割合が0のときは、アクリルのみを意味する。また、実線は一次元弾性波伝播理論、○は有限要素法、△は実験値を示す。この結果より、理論値、数値解析結果、実験結果はよく一致しており、積層材料を構成する材料の体積割合によって算出される伝播速度は有効であることがわかる。

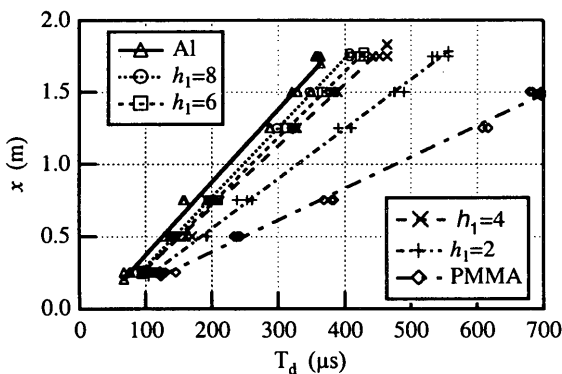


Fig.5 Relation of measurement points and arrival time of a wave, by experiment

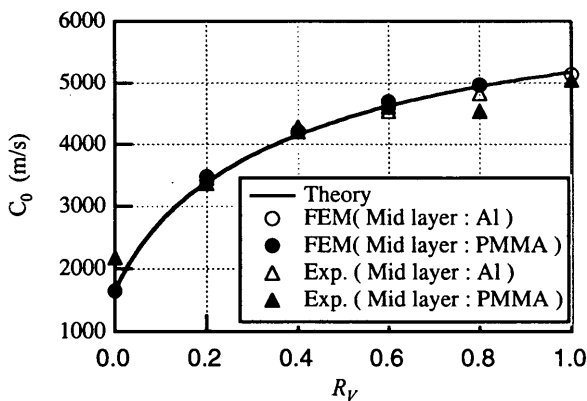


Fig.6 Propagation speed

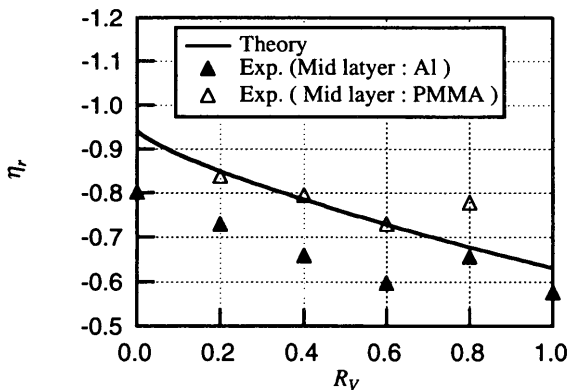


Fig.7 Coefficient of reflection

Fig.7は、衝撃棒と入力伝達棒の衝突の際に発生した応力波が、入力伝達棒内を通り、試験片接触端面で応力波が反射する時の割合である反射率 η_r と試験片中のアルミ合金の体積割合との関係を示す。図中の実線は、一次元弾性波伝播理論から求めた解で、▲は中間層がアルミ合金、△は中間層がアクリル材のときのものである。この図より、中間層がアクリル材の場合は、 $R_V=0.8$ を除いて、理論値とよく一致している。逆に、中間層がアルミ合金の場合は、 $R_V=0.8$ の時だけ理論値と一致している。また、 $R_V=1.0$ および $R_V=0.0$ は、アルミ合金のみあるいはアクリル材のみであり、実際上、この2つの材料は理論値と一致しなければならない。この原因は、まだ、分かっていませんが、ひずみゲージがアルミ合金に貼付している方が良く一致している。

Fig.8は、ハーフサインの入射荷重を与えた場合の数値解析結果である。解析時間は弾性波が一往復する時間である。入射パルスの衝撃持続時間 $T_p=16\mu s$ である。 ϵ_{max} は最大ひずみであり、 ϵ_0 は $x=0$ での最大ひずみである。そして、 T は位置 x をパルスが通過するときのそのパルスの周期である。これらの図より、 $\epsilon_{max}/\epsilon_0$ は R_V が小さくなるにつれて小さくなる傾向にある。しかし、 $R_V=0.0$ では $R_V=0.2$ より大きな値になっている。次に、周期 T は R_V が小さくなるにつれて大きくなる傾向にある。しかし、 $R_V=0.0$ では $R_V=0.2, 0.4$ より大きな値になっている。よって、 R_V が小さくなるにつれて、応力波は分散する傾向にある事がわかる。

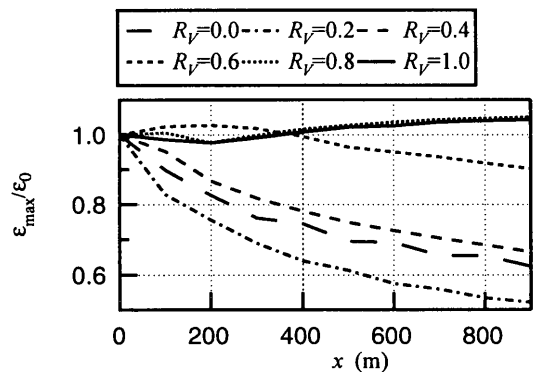
4. 結 言

積層材料を構成する材料の体積割合による縦弾性係数および密度を用いて計算した伝播速度は、実験および数値解析結果とよく一致し、簡単な計算で積層材料棒の伝播速度が計算できる。

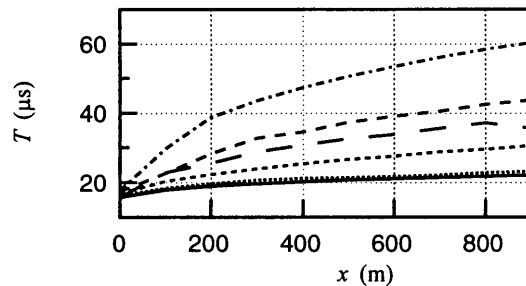
周期の小さな入射パルスを積層材料に与えた場合、 R_V が小さくなるにつれて、応力波は分散する傾向にある。

参考文献

- (1) 前川ら、衝撃工学、(1990)、日本機械学会



(a) Maximum Strain



(b) Period

Fig.8 Analytical results