

# 粘弾性SHB法の適用条件について

機械工学科 玉男木隆之

## 1. 緒言

軽量性や防振性の特徴を持つ高分子材料や複合材料は、我々の生活に欠かせないものとなっている。これらの材料に衝撃などの動的荷重が作用する場合は、粘弾性挙動を示すことが知られている。粘弾性材料の衝撃特性の測定法として、粘弾性SHB法<sup>1),2)</sup>が広く用いられている。しかし、この測定法は、様々な問題が存在し、実験条件によっては正しく試料の動的特性を評価できない場合がある。本研究では、一次元波動伝ば理論を用いて応力棒と試料の境界面およびゲージ位置での波形を解析し、粘弾性SHB法の妥当な実験条件の検討を行った。

## 2. 粘弾性SHB法による試料応力、試料ひずみ、および試料の複素コンプライアンスの評価

Fig.1に粘弾性SHB法の実験装置を示す。エアーコンプレッサで加圧したストライカによって入力棒の一端に衝撃が加えられ、ゲージ①で入射波  $\varepsilon_i^{\textcircled{1}}(t)$ 、反射波  $\varepsilon_r^{\textcircled{1}}(t)$  を、ゲージ②で透過波  $\varepsilon_t^{\textcircled{2}}(t)$  が測定される。これらの波形を試料の両境界面A、Bに補正を行った後の周波数領域におけるひずみをそれぞれ  $\bar{\varepsilon}_i^{\text{A}}(\omega)$ 、 $\bar{\varepsilon}_r^{\text{A}}(\omega)$ 、 $\bar{\varepsilon}_t^{\text{B}}(\omega)$  とすれば、試料応力  $\bar{\sigma}_s(\omega)$ 、試料ひずみ  $\bar{\varepsilon}_s(\omega)$ 、および試料の複素コンプライアンス  $J_s^*(\omega)$  は、以下のように求められる<sup>1)</sup>。ここで、 $A$ 、 $A_s$  はそれぞれ応力棒、試料の断面積、 $\alpha$ 、 $k$  はそれぞれ減衰係数、波数である。

$$\bar{\sigma}_s(\omega) = \frac{A[\bar{\varepsilon}_i^{\text{A}}(\omega) + \bar{\varepsilon}_r^{\text{A}}(\omega) + \bar{\varepsilon}_t^{\text{B}}(\omega)]}{2A_s J_s^*(\omega)} \quad (1)$$

$$\bar{\varepsilon}_s(\omega) = \frac{\bar{\varepsilon}_i^{\text{A}}(\omega) - \bar{\varepsilon}_r^{\text{A}}(\omega) - \bar{\varepsilon}_t^{\text{B}}(\omega)}{(\alpha + ik)l_s} \quad (2)$$

$$J_s^*(\omega) = J_{s1}^*(\omega) - iJ_{s2}^*(\omega) = \frac{\bar{\varepsilon}_s(\omega)}{\bar{\sigma}_s(\omega)} \quad (3)$$

## 3. 一次元波動伝ば解析による粘弾性SHB実験の予測波形

ひずみ波が応力棒から試料に伝ばしたときの反射率と透過率をそれぞれ  $R$ 、 $T$ 、試料から応力棒に伝ばしたときの反射率と透過率をそれぞれ  $R'$ 、 $T'$  とする<sup>3)</sup>。また、端面Aからゲージ①までの距離を  $l_1$ 、端面Bからゲージ②までの距離を  $l_2$ 、試料長さを  $l_s$  とし、それぞれの距離をひずみ波が伝ばしたときの減衰、分散を  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_s$  とする。ゲージ①での入射波  $\bar{\varepsilon}_i^{\textcircled{1}}(\omega)$  を初期条件とすれば、十分伝ばした後のゲージ①で測定される反射波  $\bar{\varepsilon}_r^{\textcircled{1}}(\omega)$ 、およびゲージ②で測定される透過波  $\bar{\varepsilon}_t^{\textcircled{2}}(\omega)$  を計算によって次のように求めることができる。

$$\bar{\varepsilon}_r^{\textcircled{1}}(\omega) = -RB_1^2 \bar{\varepsilon}_i^{\textcircled{1}}(\omega) \sum_{m=1}^{\infty} (1 + TT'R^{2(m-1)}) B_s^{2m} \quad (4)$$

$$\bar{\varepsilon}_t^{\textcircled{2}}(\omega) = TT'B_1 B_2 B_s \bar{\varepsilon}_i^{\textcircled{1}}(\omega) \sum_{m=1}^{\infty} \{1 + (RB_s)^{2m}\} \quad (5)$$

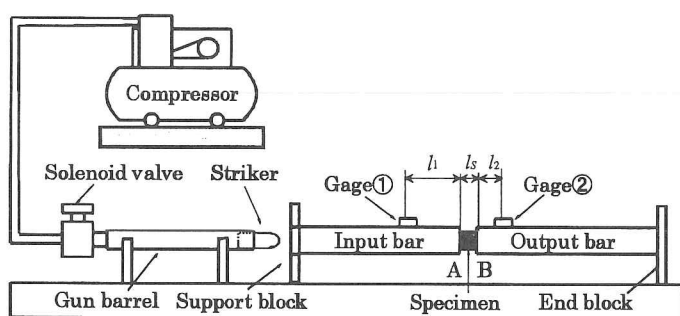


Fig.1 Experimental arrangement of Viscoelastic SHPB test

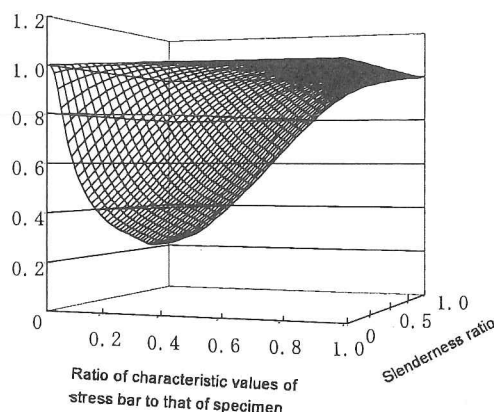


Fig.2 Proportion of stress at interface A and B

#### 4. 試料両端面の応力と反射

応力棒には、PMMA(polymethyl methacrylate)材を仮定し、径は20mm、 $l_1=700\text{mm}$ 、 $l_2=50\text{mm}$ とする。試料の径も20mmとする。3節を元に、試料の動的特性および、試料長さを変化させ、試料両端面の応力、および反射を調べた。試料両端面の応力をみるため、Fig.2に試料の特性値を変化させたときにおける端面Aの応力 $\sigma^A$ と端面Bの応力 $\sigma^B$ のピーク値の比、 $\sigma^B/\sigma^A$ の変化を示す。応力棒と試料の音響インピーダンスが離れるほど $\sigma^B/\sigma^A$ は大きくなる、つまり試料の音響インピーダンスが低いほど試料両端面の荷重に差異が生じ、試料に様な変形がもたらされないことがわかる。また試料長さが長くなるにつれ、試料両端面の荷重の差は大きくなっていく。したがって試料を一樣に変形させるためには音響インピーダンスが高く、短い試料を用いなければならないことがわかる。試料両端面での反射の図は、紙面の都合上、割愛して結果のみ述べる。大きな反射波を測定するには、音響インピーダンスの低く、長い試料を用いればよいという結果が得られた。粘弾性SHB法では、試料を一樣に変形させ、透過率が大きく、かつ適度な大きさの反射波を得るような応力棒と試料を用いる必要がある。Fig.2において $l_s/d_s=0.5$ のとき、応力棒と試料の音響インピーダンス比が15%付近のとき $\sigma^B/\sigma^A \cong 0.995$ であり誤差は0.5%程度である。音響インピーダンス比が10%近くからそれ以下になると、誤差1%程度から急激に離れ、試料両端面の荷重に差異が生じる。また、試料両端面での反射の結果から、 $l_s/d_s=0.25$ のとき、応力棒と試料の音響インピーダンス比が20%のとき $\epsilon_r^{(1)}/\epsilon_i^{(1)} \cong 0.03$ であり、20%以下から徐々に $\epsilon_r^{(1)}/\epsilon_i^{(1)}$ の値が大きくなっていき、より大きな反射波を得ることができるようになる。したがって、応力棒にPMMA材を用いた粘弾性SHB法において望ましいとされる実験条件は、応力棒と試料の音響インピーダンス比が15~20%程度のときが適当であるといえる。

#### 5. 結言

粘弾性SHB法では適度な大きさの反射波、透過波を測定し、試料両端面の荷重がほぼ同じである必要がある。試料の径と長さの比が $l_s/d_s=0.25\sim 0.5$ の範囲において、応力棒と試料の音響インピーダンス比が15~20%程度のときこれらの条件を満たし、より精度よく粘弾性材料の特性を求めることができる。

#### 6. 参考文献

- 1) Sogabe, Y.: Yokoyama, T., Yokoyama, T., Nakano, M. and Kishida, K.: A Split Hopkinson Bar Method for Testing Materials with Low Characteristic Impedance, *Dynamic Fracture*, PVP-Vol. 300, ASME, pp.137-143, 1995.
- 2) Bacon, C.: An Experimental Method for Considering Dispersion and Attenuation in a Viscoelastic Hopkinson Bar, *Experimental Mechanics*, 38-4, pp.242-249, 1998.
- 3) Hayashi, T. and Tanaka, K.: *Impact Engineering* (in Japanese), Nikkan Kougyo Shinbunsha, pp.11-12, 1988.