706 繰り返し荷重を受けた材料の衝撃音による弾性係数値の測定

Measurement of Elastic Constants by Impact Sound Test for Material Damaged by Repeated Load

○吉田 勉 (拓大工) 星野 光男 (拓大工)

Tsutomu Yoshida, Takushoku University, Tatemachi 815-1, Hachioji, Tokyo
Mitsuo Hoshino, Takushoku University

Key Words: Elastic Constant, Natural Frequency, Impact Sound, Fatigue, Damage, Optimization

1. 緒言

図1には高温炉内に吊り下げた角棒状の試験片に小球をぶつけて衝撃を与え、発生する衝撃音を高温炉外部に設置したマイクロフォンにより計測し、衝撃音に対して周波数分析を行う装置⁽¹⁾を示した。筆者らは本装置により得られる角棒状試験片の低次の変形モードに対応する固有周期を用いて、曲げ振動に対してはチモシェンコの理論、ねじり振動に対してはサンブナンの理論を適用することにより、広い温度範囲における材料の縦および横弾性係数とポアソン比を簡便かつ迅速に計測する方法を提案し、異方性材料の弾性定数の計測にも拡張した⁽²⁾。

衝撃音を測定する角棒状試験片を対象として、縦弾性係数値および横弾性係数値を簡便に測定する曲げ試験装置およびねじり試験装置を設計製作し、それらの測定装置によって得られる弾性係数値と衝撃音を用いて評価される弾性係数値とを比較検討し、直交異方性材料の弾性係数値の測定に対して本測定システムが有効であることを示した⁽³⁾。

本測定システムを用いて、小さな試験片により精度よく材料の弾性係数値を測定できる。そこで、本研究では繰り返し荷重により損傷を受けた材料の弾性係数値を本試験装置により測定し、作用応力の大きさおよびその繰り返し回数と得られた弾性係数値との関係について調べた。繰り返し荷重により損傷を受けた材料の弾性係数値と作用応力との間の関係が明らかになれば、本測定システムを用いて簡便に材料の損傷を評価出きることが期待される。

2. 試験装置

支点の配置が対称な図2に示す4点曲げ試験を行う装置を設計製作した。製作した装置を用いて、同じ大きさの繰り返し荷重をそれぞれ25万回、50万回、75万回および100万回与えた疲労試験片を作製した。試験片の板厚が5mm程度と薄いので、荷重が試験片の高さ方向と平行に加わるように試験片の倒れを防ぐピンを試験装置に設けた。

図2に示す4点曲げ試験において、A-Aの支点間には一定の曲げモーメントが作用する。したがって、この支点間の材料には、支点を結ぶ方向には一定であるが、その高さ方向(z方向)にはその大きさが直線的に変化する曲げ応力が作用する。材料に生じる損傷が曲げ応力の大きさに比例するものとすれば、材料の損傷は試験片の高さ方向に直線的に分布する。4点曲げ試験片の下側の面には引張り側の片振り曲げ応力(+220±220 MPa)、上側の面には圧縮側の片振り曲げ応力(-220±220 MPa)が発生する荷重を4点曲げ試験片に与えた。

上記の荷重をそれぞれの4点曲げ試験片ごとに所定の繰り返し回数を加えた後、曲げ荷重以外による損傷を与えないようにワイヤーカット装置を用いて、4点曲げ試験片から衝撃音の測定に用いる試験片を切り出した。図2中には

Fig.1 Experimental apparatus and instrumentation system

ワイヤーカットにより衝撃音試験片として切り出した加工位置を破線で示した。4点曲げ試験片から衝撃音試験片を切り出す際、衝撃音試験片の幅 L を個々の試験片毎に変え、4点曲げ試験片のどの部分から衝撃音試験片を切り出したかが区別できるように配慮した。

供試材料には板厚9.5mm、幅65mmのS50C平板を用いた。供試材料の平板を4点曲げ試験片形状に加工した後、800℃に1時間保持し、炉冷処理した。熱処理を行い、繰り返し荷重を与えていない4点曲げ試験片からも衝撃音用の試験片を切り出してその

Fig.2 4-point bending test configuration

縦弾性係数値を測定した。

4点曲げ試験に際しては、試験片の上下の端面にひずみゲージを貼付して発生応力値を測定した。

本測定システムでは、弾性係数値の評価に最適値の探索手法を用いている。探索を始める初期値は全ての探索において縦弾性係数を 200 GPa、横弾性係数値を 60 GPa とした。材料は等方性を仮定し、ポアソン比を 0.3 とした。材料の弾性係数値は衝撃音の測定から得られる固有周期値と振動理論から計算される固有周期値とが一致する値として探索する。一致させる固有周期値は曲げおよびねじりの2次モードまでとした。

(a) Left-hand 48 mm specimen

(b) Right-hand 52 mm specimen

Fig.3 Relation between Young's modulus and damage

3. 測定結果

4点曲げ試験片の上下の端面に貼付したひずみゲージの測定では符号の反転したほぼ同じ大きさの曲げ応力が得られた。

衝撃音の測定による固有周期値と探索により評価された固有周期値はほぼ 0.2 % 以下の範囲内で一致している。

図3は繰り返し荷重の回数をパラメータとして、本測定システムから得られた縦弾性係数を縦軸に、4点曲げ試験片から衝撃音試験片を切り出した際の4点曲げ試験片における高さ方向の距離 z を横軸として示した結果である。横軸の原点は $z=0$ の4点曲げ試験片の上側の面とした。

図3 (a) は図2に示す4点曲げ試験片の左半分の試験片から切り出した長さ 48 mm の衝撃音試験片から得られた結果であり、図3 (b) は4点曲げ試験片の右半分の試験片から切り出した長さ 52 mm の衝撃音試験片から得られた結果である。

図3では、曲げ応力の中立軸は $z=25$ mm に位置している。 $z=0\sim 25$ mm の範囲は中立軸より上側の材料となるので圧縮側の片振り曲げ応力を、 z が 25 mm より大きい範囲の材料は引張りの片振り曲げ応力を受けている。

図3 (a) では、小さな曲げ応力しか作用しない中立軸上を含む材料の縦弾性係数値は 211 GPa 程度となっている。図3中には、熱処理後、繰り返し荷重を与えていない材料の縦弾性係数値を◆により示した。中立軸上の縦弾性係数値と荷重を与えなかった材料の縦弾性係数値はほぼ一致する結果となっている。

$z=0\sim 25$ mm の範囲では圧縮の曲げ応力が大きくなるにつれて縦弾性係数値が低下する傾向が見受けられる。その低下率は繰り返し荷重の回数とは比例していない。

z が 25 mm 以上の範囲では引張りの曲げ応力が大きくなるにつれて、縦弾性係数値は低下する傾向が見受けられるが、さらに大きな曲げ応力の作用を受けた材料の縦弾性係数値は上昇した。

図3 (b) の縦弾性係数値についても、図3 (a) と同様な傾向が見られるが、縦弾性係数値は図3 (a) の結果に比べてばらつく結果となった。また、75万回の繰り返し荷重を与えた試験片の縦弾性係数値は他の回数の試験片に比べて全般的に小さな縦弾性係数値となっている。

4点曲げ試験後の引張り側の試験片側面にはいずれの試験片についても目視ではき裂は見られなかった。

Fig.4 Relation between shear modulus and damage

図4には縦弾性係数値とともに探索した横弾性係数値の結果を図3 (a) に対応する長さ 48 mm の衝撃音試験片について示した。 G の値は圧縮の曲げ応力側で低下し、引張りの曲げ応力側で上昇する結果となった。

4. 結言

本研究では、大きさの異なる曲げ応力とその繰り返しにより損傷を与えた材料について、衝撃音を用いる弾性定数測定システムを用いて、その弾性係数値を測定し、作用応力と材料の弾性係数値間の関係について調べた。

圧縮応力が作用した材料の縦弾性係数値は低下する結果となった。引張り応力が作用した材料も縦弾性係数値は低下する傾向が見られたが、引張り応力がさらに大きく作用した材料では縦弾性係数値が上昇した。

文献

- (1) 坂田・他2名, 機講論(A), No. 900-14 (1990), 134.
- (2) 吉田・他2名, 機論, A69-681, (2003) 840-845.
- (3) 吉田・他3名, 機論, A70-691, (2004) 472-478.