21407 整列された鋼球を含むエポキシ平板の強度

Strength of Epoxy Plates Including an Array of Steel Balls

○正 稲村 栄次郎 (産技高専)

Eijiro INAMURA, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, 1-10-40 Higashi-ohi, Shinagawa-ku, Tokyo

Particles in particle dispersed composite materials are randomly distributed in generally and then it is difficult to accurately evaluate the properties. In the present paper, Plates including an array of particles are dealt with and the strength of the plates is discussed. In the tensile test, it is obtained the stress-strain curve of the plate different ball volume fraction. From the result of the tensile test, the influence of the ball volume fraction on the strength of the plates is obvious. In addition, the unit cells of the plates are numerically analyzed by the finite element method and the change of the maximum value of equivalent stress in the epoxy and the balls is obtained.

Key Words: Composite Material, Functionally Gradient Materials, Tencile Test, Epoxy, Steel, FEM

1. 緒言

傾斜機能材料は、積層材料のように異なる材料を張り合わせるのではなく、材料の明確な境界をなくすように連続的に異なる材料を混ぜ合わせたものであり、その特性を活かして様々な分野への応用が期待されている⁽¹⁾。その傾斜機能材料の一つである粒子分散型複合材料は、様々な製作方法が提案されているが⁽²⁾⁽³⁾、一般に粒子がランダムに分布しており、正確に材料特性を調整することが難しい。

そこで本研究では、母相の中に同径の球状粒子が規則的に配列された複合材料を取り扱い、複合材料の力学的特性を容易に調整できる方法を提案することを目的とする。そのために、球状粒子として鋼球、母相としてエポキシ樹脂からなる平板を作成し、その引張試験の結果から鋼球の割合による応力とひずみの関係への影響について調べた。また、整列された球状粒子を含む平板に引張変形を与えて内部に生じる応力を弾性解析し、球状粒子の間隔を変化させて応力への影響を調べた。

2. 整列された球状粒子を含む平板

本研究では、立方体の中心に球状粒子が位置するものを平面状に並べてつくられた平板を考える。これによって粒子は母相内に規則正しく整列されることになる。立方体の一辺の長さを a 、球状粒子の直径を d で表わす。

3. 試験片および引張試験

球状粒子として鋼球、母相としてエポキシ樹脂からなる平板状の試験片を製作し、引張試験を行った。例として、 $a = 2.5$ mm および $d = 2$ mm の場合の試験片 C を図 1 に示す。上側に立方体の拡大図を、下側に試験片全体の形状を図示する。

Fig. 1 Shape of Specimen C

これは立方体に対する鋼球の体積分率が 26.8%である。その他に、鋼球を含まない試験片 A, $a = 3$ mm および $d = 2$ mm の試験片 B, $a = 3$ mm および $d = 3$ mm の試験片 D を用意した。試験片 B および D における鋼球の体積分率はそれぞれ 15.5% および 52.4% である。引張試験には島津製作所株式会社製 25tf 万能試験機オートグラフ AG-25TB および標点距離 50mm の伸び計を使用した。

4. 数値解析

有限要素法に基づく数値解析では、球状粒子と母相の領域をメッシュ分割し、球状粒子の体積分率に応じた弾性応力解析を行った。解析モデルとして、図 2 のように図 1 で示した球状粒子を含む立方体を 1/8 にしたものをを用いる。平板の表面に相当する平面 ABCD は自由表面とする。まず、モデルの平面 DHGC に y 軸方向の上向きに強制変位 u_y (引張り) を与える。その他の平面はその平面に対する垂直変位を拘束する。これらの各面より得られた反力を合せ、それを断面積で除することによって平均応力を求める。求めた応力の x 方向成分を σ_x 、 y 方向成分を σ_y 、ひずみの y 方向成分を $\epsilon_y = u_y / (a/2)$ とすると、平面応力状態のフックの法則とモデルの境界条件より、平板の縦弾性係数 E およびポアソン比 ν は次式より得られる。

$$E = \left(\sigma_y - \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y} \right) / \epsilon_y \quad (1)$$

$$\nu = \sigma_x / \sigma_y \quad (2)$$

得られた ν を用い、強制変位 u_y と合わせて平面 AEHD に強制変位 $u_x = \nu u_y$ を与える。これによって平板を単軸応力状態にする。なお、解析で使用したエポキシ樹脂および鋼球の縦弾性係数はそれぞれ 2.76 GPa および 206 GPa、ポアソン比はそれぞれ 0.35 および 0.29 である。

Fig. 2 Model of the unit cell

Fig. 3 Stress-strain curves of Specimen A

Fig. 4 Stress-strain curves of Specimen C

Fig. 5 Stress-strain curves of Specimen D

5. 結果および考察

図3, 4, 5は、それぞれの試験片A(5本), C(4本), D(1本)の実験結果から求めた応力とひずみの関係を表したものである。試験片Aは $\varepsilon = 1.5\%$ 程度まではほぼ直線的に変化している。その後は、応力増加中に破断するものもあれば、極大値を示した後、応力が下がり破断するものもある。これらの最大値は54 MPaである。試験片Cは $\sigma = 5$ MPa付近で若干傾きが変わり、その後応力は単調に増加する。極大値を示す試験片はなく、応力増加中に破断する。試験片Dは $\sigma = 5$ MPa付近までの傾きが比較的大きい。その後傾きが変わり、極大値を示さず、応力増加中に破断する。

図6は、各試験片の最大応力 $\sigma_{\max}$ と鋼球の体積分率 V_p の関係を示したものである。同じ体積分率 V_p をもつ試験片においても結果にばらつきが見られる。試験片B($V_p = 15.5$

Fig. 6 Change of maximum stresses with V_p

Fig. 7 Variation of $\bar{\sigma}_{\max}$ with V_p

%)と試験片C($V_p = 26.8\%$)では同程度の値を示したが、鋼球の体積分率 V_p の増加とともに、最大応力 $\sigma_{\max}$ は減少しているといえる。

図7は、各試験片に等しいひずみを与えたときのエポキシ樹脂および鋼球に生じる最大相当応力 $\bar{\sigma}_{\max}$ と鋼球の体積分率 V_p の関係を数値計算により求めたものである。縦軸は試験片Aの応力 σ_m の値で無次元した。白丸○がエポキシ樹脂の値であり、黒丸●が鋼球の値を示す。両者とも V_p とともに値は増加しており、エポキシ樹脂より鋼球のほうが大きな値を示した。特に、 $V_p = 52.4\%$ では値が大きく、非常に大きな応力が生じる。そのため、エポキシ樹脂が降伏したり、鋼球とのはく離が生じたりすることが、図6でみられる最大応力の減少の原因となると考えられる。

6. 結 言

実験結果から鋼球の体積分率 V_p の増加に伴って引張りに対する平板の最大応力が減少することがわかった。また、弾性解析によりエポキシ樹脂および鋼球に生じる最大相当応力を求め、体積分率 V_p の増加に伴ってその値も増加することがわかった。

< 文 献 >

- (1) 未踏科技術協会・傾斜機能材料研究会, 傾斜機能材料, 工業調査会, 1993.
- (2) 斉藤隆芳・渡辺義見・三浦誠司・三浦博己, 遠心力固相法によるチタン粒子分散マグネシウム基傾斜機能材料の開発, 軽金属, 2004, 54-11, 522-526.
- (3) 早稲田一嘉・伊藤寛和, インクジェット技術を用いた傾斜機能材料の開発, 日本高専学会誌, 2007, 12-2, No.46, pp.63-68.