

シナジー研 ○坂井田喜久, 佐藤功二
シナジー研 曹 剣武

名大工 秋庭義明
名大工 田中啓介

1. 緒言

近年, 積極的な微構造制御によってセラミックスの高靱化を試みる材料開発が盛んだが¹⁾, このような材料開発ではマクロな機械的性質や破壊特性と微構造の関係を把握することが重要である. しかし, 微構造を直接取込んだ応力解析や破壊評価手法^{2,3)}は未だ確立されていない. 本研究では, 微構造を直接考慮した応力解析の第1歩として, セラミックスの微構造を性質の異なる結晶粒の集合体として有限要素法上でモデル化することにより, 微構造寸法がマクロな弾性率に及ぼす影響を検討した. また, 超音波パルス法による実測値と解析結果を比較し, マクロな機械的性質を表現する最小微構造寸法について検討した.

2. 実験及び解析方法

2.1 供試材及び微視モデル組織 供試材は, Al_2O_3 , ZrO_2 の多結晶体と Al_2O_3 -10vol% ZrO_2 の粒子分散材で, ZrO_2 には Y_2O_3 を 8mol% 添加した安定化ジルコニア粉末を用いた. 本研究では, 供試材の微構造写真から任意の2次元組織を切出し, モデル組織とした. 図1は多結晶 ZrO_2 から切出したモデル組織で, 外形寸法は $\square 200 \times 150 \mu\text{m}$ である.

2.2 解析条件 図1のモデル組織から縦横比が3:4になるような任意寸法の領域を切出し, 各結晶粒を三角形要素で要素分割した. なお, 各粒の結晶方位はランダムに与え, 方位に依存した弾性定数 c_{ij} に変換した. 表1は, 計算に用いた単結晶 Al_2O_3 ⁴⁾ と立方晶 ZrO_2 の弾性定数を示す. 解析は, 上下または左右方向に強制変位を与えたときの境界面の反力や変位量から見かけのヤング率とポアソン比を求めた. ただし, 強制変位幅方向の境界面の節点変位は等しいとした. また, 上下面または左右

面にせん断変形を与え, 平均的な剛性率を求めた. なお, 有限要素法はAnsys 55を用いた.

2.3 弾性率の測定 供試材から $10 \times 10 \times 10 \text{mm}$ の直方体を切出し, 超音波パルス法 (JIS R 1602)^{5,6)} によりヤング率, ポアソン比および剛性率を測定した.

3. 結果及び考察

3.1 供試材の微構造 図2に供試材の主な微構造を示す. 各供試材の平均粒径は, (a) $10 \mu\text{m}$, (b) $7.6 \mu\text{m}$, (c) Al_2O_3 粒子: $2.3 \mu\text{m}$, ZrO_2 粒子: $0.98 \mu\text{m}$ であり, 図2(c)の白い粒子がジルコニアである. なお, X線回折の結果, ZrO_2 粒子の結晶構造は立方晶であった.

4.2 微構造寸法と弾性率の関係 単結晶アルミナの結晶構造は三方晶であり, 表1のような弾性異方性が存在する. そこで, まず多結晶 Al_2O_3 の解析を行った. 図3と図4は, 各結晶粒に与える結晶方位と切出し寸法を変化させたときの解析対象の面積に対する見かけのヤング率とポアソン比の関係を示す. なお, 横軸の解析対象の面積は平均粒径 d_{avr} の二乗で規格化した. 図より, 微構造寸法が小さくなるにつれて結晶粒個々の弾性異方性の影響を受けて見かけのヤング率やポアソン比が大きくなるようになることがわかる. 横軸の最大値は $A/d_{avr}^2 = 514$ であり, 正方形の微構造に換算すると, 1辺あたり平均粒径の23個分に相当する. このときの見かけ

Table 1. Stiffnesses of single crystal sapphire and cubic-zirconia.

Stiffness c_{ij} , GPa	c_{11}	c_{12}	c_{13}	c_{14}	c_{33}	c_{44}
Al_2O_3	496.8	163.6	110.9	-23.5	498.1	147.4
ZrO_2	300.5	141.4				79.5

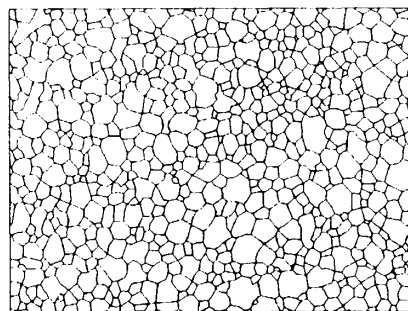
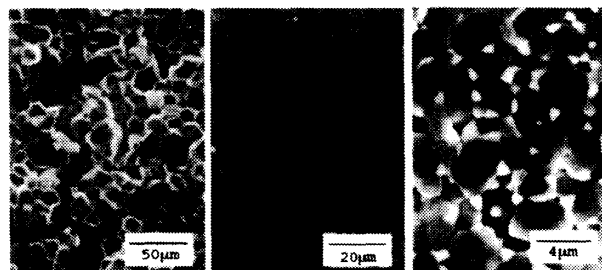


Fig. 1 Microstructural model used in this simulation.



(a) Al_2O_3 (b) ZrO_2 (c) Al_2O_3 -10vol% ZrO_2

Fig. 2 Microstructure of specimens used in this study.

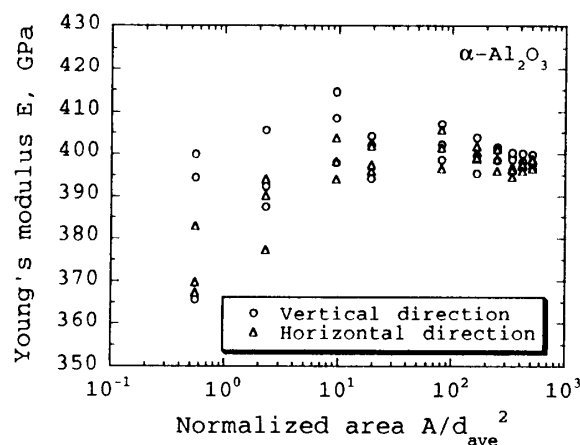


Fig. 3 Relationship between Young's modulus, E , and normalized area, A/d_{ave}^2 , for polycrystalline alumina.

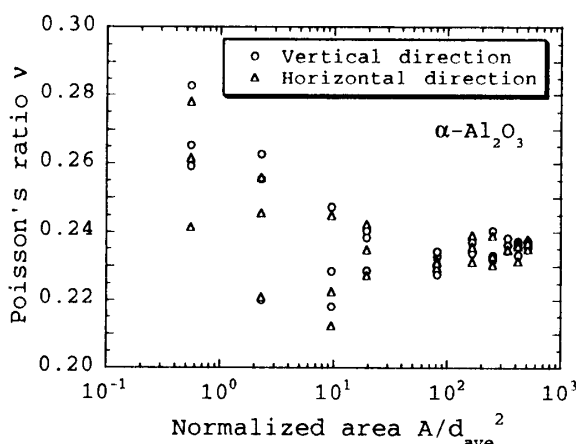


Fig. 4 Relationship between Poisson's ratio, v , and normalized area, A/d_{ave}^2 , for polycrystalline alumina.

の弾性率がマクロな機械的性質を表現していると仮定すると、マクロ弾性率のばらつきが平均値の1%以内となるのは $A/d_{ave}^2 \geq 250$ の領域である。よって、このときの最小領域をマクロな機械的性質を表現する最小微構造寸法と考えると、1辺あたり平均粒径の16倍程度の寸法が必要であることがわかる。

次に、図5と図6は $Al_2O_3-10vol\%ZrO_2$ の結果を示す。多結晶アルミナの場合と同様に、微構造寸法が小さくなるにつれて見かけの弾性率が大きくばらつくことがわかる。粒子分散材についても多結晶セラミックスと同様の最小微構造寸法を定義すると、1辺あたりアルミナの平均粒径の14~17倍程度の寸法が必要であり、弾性異方性を有する粒子は多結晶セラミックスの場合とほぼ同じ数だけ最小微構造寸法内に必要であることがわかる。

3.3 実験結果との比較 図7は、超音波パルス法で測定した供試材の弾性率と前節で定義した最小微構造寸法のモデル組織から計算した見かけの弾性率をあわせて示した。表1の ZrO_2 の弾性定数 c_{ij} から計算される多結晶体のポアソン比は0.32であり、実験値より若干高い。そのため、有限要素法による計算

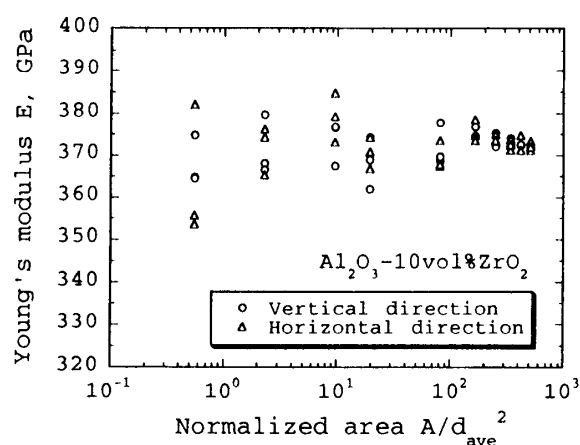


Fig. 5 Relationship between Young's modulus, E , and normalized area, A/d_{ave}^2 , for $Al_2O_3-10vol\%ZrO_2$.

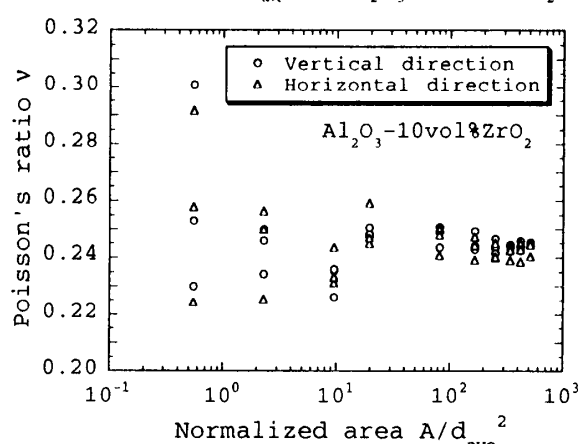


Fig. 6 Relationship between Poisson's ratio, v , and normalized area, A/d_{ave}^2 , for $Al_2O_3-10vol\%ZrO_2$.

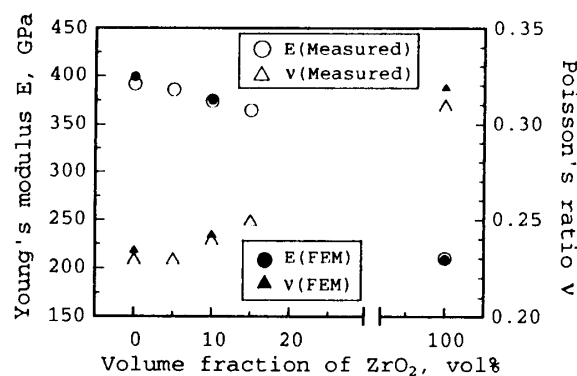


Fig. 7 Young's modulus and Poisson's ratio measured by pulse echo method compared with FEM.

結果はポアソン比の値が若干高いが、ほぼ実験結果と良く一致し、最小微構造寸法で評価した見かけの弾性率はマクロな機械的性質をよく表現していることがわかる。

4. 結言及び参考文献 省略

謝辞 本研究は工業技術院産業科学技術研究開発制度「シナジーセラミックスの研究開発」の一環としてNEDOの委託を受けて行なわれたものである。ここに謝意を表す。