

愛媛大学[院]

○井上正貴

愛媛大学

岡部永年

愛媛大学

堤三佳

1 緒 言

現在自動車から出る排気ガス、特にディーゼルエンジンの排気ガスによる大気汚染が大きな問題となっている。そこで、耐熱性、耐食性に優れた性質を持つセラミックスを母材とした多孔質材料を焼成し、高温用フィルターや断熱材へ応用する研究が進められている。緻密質セラミックスの諸特性については JIS 規格が制定され、活用されてきた。しかしながらそれらの評価が多孔質セラミックスにそのまま当てはまる例は少なく、多孔体独自の評価法を開発する必要がある。

本研究では、ガスタービン方式の実験装置を用いて、ガス流吹付けによる熱衝撃実験を行い、多孔質セラミックスの耐熱衝撃性および損傷許容性について検討した。

2 実験方法

2.1 供試材 供試材は、独シュエマッハ社製多孔質基材の SL#5 (炭化ケイ素), KD#10 (ムライト), KD#40 (ムライト) を用いる。試験片の形状は 20×20×10mm の平板であり気孔率及び平均粒子径は Table I の通りである。

Table I Test piece property

	Material	Porosity (%)	Average grain size (μm)
SL#5	Silicon Carbide	35	10
KD#10	Mullite	40	18
KD#40	Mullite	40	90

2.2 実験装置 実際の熱衝撃環境を模擬するため、自動車のターボロータを用いた二段燃焼式熱衝撃発生装置を製作した。この装置は初段燃焼装置により 500℃に加熱された燃焼ガスを二段目燃焼装置で 1100℃まで上昇させることができる。この二段目燃焼装置の点火、消火の繰り返しによって試験片に熱衝撃を加えた。

2.3 熱衝撃実験 各試験片を初段燃焼装置によって 500℃で加熱・保持後、二段目燃焼装置点火により 1000℃で 5 分間加熱、次いで二段目燃焼装置を消火し 5 分間 500℃で過熱・保持後、再度繰り返すことにより、試験片に熱衝撃サイクルを与えた。本実験では、熱衝撃を 5 サイクル及び 20 サイクル付加する 2 種類の条件で実験を行った。実験中の条件や試験片の状態を知るために、Fig.1 のように燃焼ガス温度及び試験片表面と内部の温度を熱電対で測定しデータログに記録した。

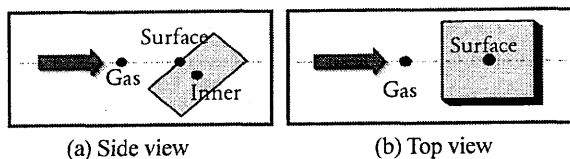


Fig.1 Installation place of Thermo couple

2.4 残存強度試験 熱衝撃を付加した試験片の残存強度を調べるために、直径 1/2 inch のサイアロン球を用いてクロスヘッド速度 0.5mm/min で球押し込み試験を行い破断荷重と破断変位を測定した。

3 実験結果

3.1 熱衝撃実験結果 KD#40 について熱衝撃実験中に測定した試験片の温度を Fig. 2 に示す。また Table II に熱衝撃サイクル付加時の各試験片における表面温度と内部温度の差の最大値を示す。この実験結果から KD#40 は他の試験片より、急加熱及び急冷却時の試験片表面と内部における温度差が大きいことが確認できた。

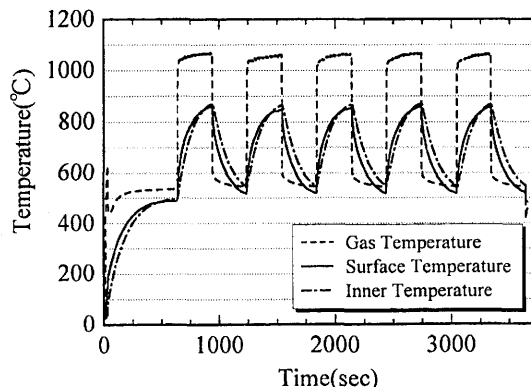


Fig.2 Relationship between Temperature of test piece and Time

Table II Difference between Surface temperature and Inner temperature

Material	SL#5	KD#10	KD#40
Surface temperature (K)	796.4	638.5	704.4
Inner temperature (K)	839.8	558.4	797.5
Temperature difference (K)	43.4	80.1	93.1

3.2 残存強度試験結果 Fig.3, Fig.5, Fig.7 に熱衝撃付加後の各試験片の残存強度試験結果を押し込み深さと荷重の関係として示す。また、破壊エネルギーを押し込み時の仕事として荷重-押し込み深さ変位の関係から算出し、Fig.4, Fig.6, Fig.8 に示した。試験片破壊時の荷重と押し込み深さをそれぞれ許容荷重、許容変形量とすると、SL#5 は許容変形量が低下しているが許容荷重の低下は見られない。KD#10 は許容変形量が増加しているが許容荷重の低下は見られない。KD#40 は許容変形量、許容荷重ともに低下している。そこで、許容荷重を損傷許容評価のパラメータとして定義すると、SL#5, KD#10 の強度の低下は見られないが、KD#40 の強度低下が確認できた。

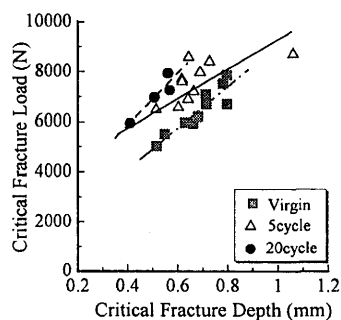


Fig.3 Relationship between Fracture Load and Fracture Depth in SL#5

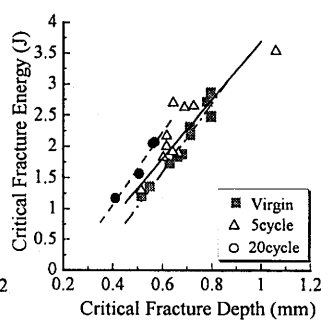


Fig.4 Relationship between Fracture Energy and Fracture Depth in SL#5

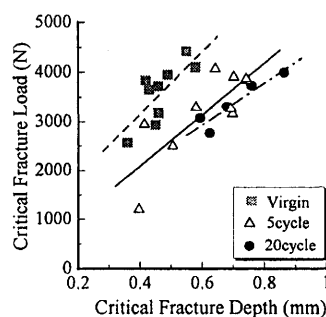


Fig.5 Relationship between Fracture Load and Fracture Depth in KD#10

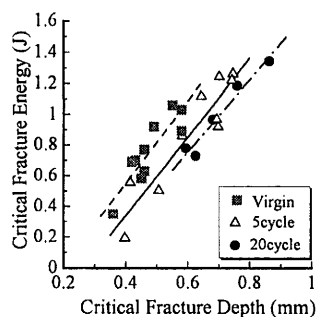


Fig.6 Relationship between Fracture Energy and Fracture Depth in KD#10

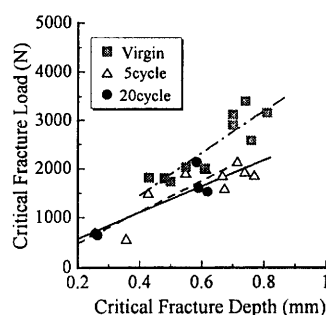


Fig.7 Relationship between Fracture Load and Fracture Depth in KD#40

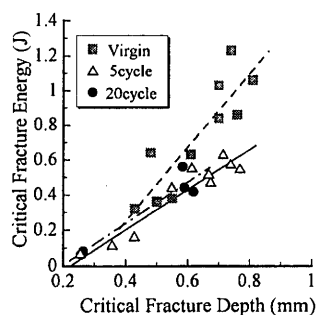


Fig.8 Relationship between Fracture Energy and Fracture Depth in KD#40

4 考察

残存強度試験を行うことにより、温度差 $\Delta T=500K$ の熱衝撃条件では SL#5, KD#10 は強度が低下せず、KD#40 は強度が低下することが分かった。そこで、FEM 解析を用いて Fig.2 のような熱衝撃実験中の試験片の温度履歴をもとに各試験片の熱伝導率を逆解析して求め、熱衝撃付加時の試験片に生じる熱応力を算出する。その結果より、各試験片の比較及び検討を行った。

4.1 FEM 解析 本解析では、直径 20mm、厚さ 10mm の円盤として Fig.9 のような熱衝撃解析モデルを作成し軸対称問題として考えた。また実際の試験片には気孔が存在するが今

回の解析では連続体とし、また解析に用いる試験片の温度履歴は 1 サイクル分のみとした。解析モデルの燃焼ガス吹き付け面に実験で測定した表面温度を入力し、試験片内部の温度分布と一致するように熱伝導率を調整した。そして、得られた熱伝導率を用いて急加熱時及び急冷却時の試験片の熱応力を算出した。

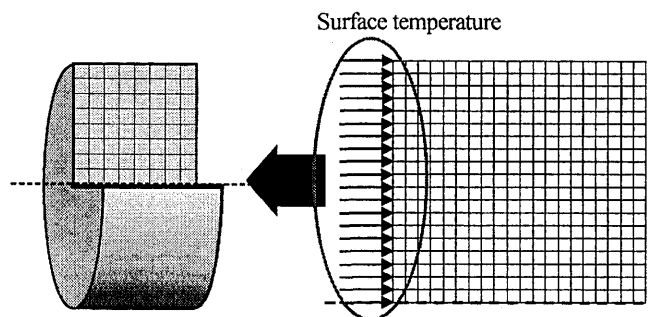


Fig.9 Analysis model

4.2 解析結果 FEM 解析によって熱衝撃実験中の試験片に生じる熱応力を求めた結果、急冷却時に試験片表面で最も大きな引張り応力が生じていた。そこで、各試験片の急冷却時に試験片表面に生じる熱応力の比較を行った。Table II に解析によって得られた熱伝導率と熱応力を示す。また、各試験片の熱衝撃により生じた熱応力 σ を曲げ強度 σ_{max} で除して基準化した結果も同時に示す。

Table III Result of analysis and Result of making Thermal stress σ Standard by Bending strength σ_{max}

	Thermal conductivity (W/m · K)	Thermal stress σ (MPa)	Bending strength σ_{max} (MPa)	σ / σ_{max} (%)
SL#5	4.0	3.11	47.3	6.58
KD#10	3.0	0.64	14.6	4.38
KD#40	1.8	0.76	7.4	10.27

解析結果より、KD#40 は他の試験片よりも熱伝導率が低く熱応力が発生しやすいことが分かった。さらに KD#40 は $\Delta T=500K$ の熱衝撃によって発生した熱応力による損傷が他の試験片に比べて大きいことが分かった。その理由としては、材質として比較すると炭化ケイ素の方がムライトに比べて熱伝導率が高いこと、KD#10 と KD#40 として比較すると KD#10 の方が気孔率は同じでも粒子径が小さいため気孔が小さくなり熱伝導率が大きくなることが挙げられる。よって KD#40 は他の試験片に比べて熱伝導率が小さく温度が伝わり難いため熱応力による損傷を受けやすいと考えられる。

これらのことから、KD#40 は SL#5, KD#10 に比べて熱衝撃による損傷を受けやすい材料であることが分かった。

5 結言

燃焼ガス吹き付けという実際の熱衝撃環境を考慮した熱衝撃実験及び残存強度試験を行うことにより、材質や気孔率の異なる材料間での性質の違いを確認することができた。