102 ゴム粒子分散PMMAの材料特性に関するFEM解析と実験

FEM analyses and experiments of behavior of material properties of rubber toughened PMMA

正 萩原 世也(佐賀大) ○太田 昇(佐賀大院)
正 東藤 貢(九大)

Seiya HAGIHARA, Saga University
Noboru Oota, Graduate student Saga University
Mitsugu Todou, Kyushu University

1. 緒言

代表的な高分子材料であるエポキシ樹脂とポリメタクリル酸メチル(PMMA)は、現在様々な用途に幅広く用いられている。

PMMAは、透明性に優れ、自動車や航空機などの部品、光学部品、建築用材などに利用されている。しかし常温においては、硬くて脆いという欠点を持っている。そのため、その脆さを改良し強靱化する方法が様々に研究されている。しかし、二つの高分子材共にゴム粒子を分散させる事により、破壊靱性が著しく改善できることが知られている。

しかし、その材料挙動については定量的に不明な点が多く、特に塑性領域ではモデル化が非常に難しい。本研究では、高分子材料の破壊靱性を向上させるためにゴム粒子を分散させたゴム強化PMMA(以下RT-PMMAと呼ぶ、Rubber Toughened PMMA)について、材料挙動のモデリングを行い、実験と解析両面から定量的な評価を行うことを目的としている。

2. 実験

2.1 実験材料

Fig.1 Stress-strain curve under repeated loading for EM20

Table 1 Comparison of RT=PMMA Young's modulus obtained from experiment

	EM20	PM40
	E [GPa]	
First load	2.138387	1.741323
Second load	2.114173	1.672391
Third load	2.098319	1.640586
Fourth load	1.952529	1.523449
Fifth load	1.870058	-
Six load	1.853564	-

・ゴム強化PMMA (RT-PMMA)

押し出し成形により加工され、ゴム粒子として重量含有率で20wt%のブチルアクリレート/スチレン共重合体を含む材料(EM20: extruded modified, 20wt%), 及びプレス成形により加工され、40wt%のブチルアクリレート/スチレン共重合体を含む材料(PM40: press modified, 40wt%)の2種。()内は略記とし、以後略記で示す。

2.2 試験片

単軸引張試験で使用する試験片は、JIS K 7115による2号形試験片に準じて加工を行った。

2.3 引張試験

RT-PMMAの常温下での材料特性を解析的にモデリングするため、必要な実験値取得のため繰り返し負荷による単軸引張り試験を行った。

3. 実験結果

Fig.1に示す負荷-除荷繰り返し引張試験によるヤング率の低下に着目すると、Table.1より分かるように、徐々にではあるがEM20, PM40共にヤング率の低下が見られる。これは試験の過程で試験片に白化現象が見られた事より、ゴム粒子間にクレージング、はく離およびキャビテーションの発生による透明性の欠如、並びに靱性値の低下が起きた可能性が考えられる。

4. 有限要素法による単軸引張モデル解析

Fig.2 FE Analysis model of rubber modified polymer alloy

ゴム粒子を分散させた高分子材料は、規則的に粒子は配置されると考える Fig.2(a)および Fig.2(b)が考えられる。しかしこれらのモデルでは等方性の性質が得られないことが知られている。したがって、平板に不規則に粒子が配列された状態である、Fig.2(c)のように不規則に粒子を配置したモデルを作成した。このモデルの解析を行うにあたり、マクロ的な変位挙動を想定するため、X、Y方向の変位が一樣になる拘束を行った。

解析を行う際に使用した PMMA のヤング率、ポアソン比は、単軸引張試験により得られたデータをもとに、 $E=3.20\text{GPa}$ 、 $\nu=0.35$ と決定した。また、解析は汎用有限要素法コード MSC/NASTRAN により行った。

5. 解析結果及び考察

粒子はく離現象がヤング率に与える影響を解析するために、Fig.3に示すようにゴム粒子分散型モデルと、ゴム粒子分散型モデルとしてはく離のもっとも進んだ形のモデルとして空孔分散モデルの解析を行った。Fig.3で示すように、(a)は平面応力解析を 438 要素で、(b)は 2602 要素で、(d)は 550 要素で、(e)は 3261 要素で行った。(c)は平面ひずみ解析を 2602 要素で、(f)は 3261 要素で行った。(a)と(d)は(b)と(e)に比べて明らかに応力分布に差があることがわかる。次に、(b)と(c)、(e)と(f)をそれぞれ比較してみる。それぞれの組は要素数は同じであるが、(b)と(e)は平面応力解析、(c)と(f)は平面ひずみ解析を行っている。平面応力解析と平面ひずみ解析での応力分布に大きな差異は見られなかった。また、要素数の多い(b)と(e)を比較してみると応力分布はほとんど変わらない。

Table.2 および Table.3 の解析で得られたヤング率と、RT-PMMA の単軸引張試験より得られたヤング率とを比較から、

EM20 は実験値と解析値がほぼ近似した値を示した。PM40 は、実験値と解析値が異なる結果を示した。これは PM40 の PMMA の物性に押し出し成形法による PMMA の物性を用いたため、PM40 の PMMA との成形法の違いによる材料特性の違いではないかと考えられる。また、ゴム粒子分散モデルと空孔分散モデルのヤング率の差がほとんど見られないことから、実験で見られたヤング率の低下は、ゴム粒子のはく離による生じたものでないことが考えられる。

6. 結言

本研究ではゴム粒子分散ポリマーアロイの実験、及び解析から白化現象に伴うヤング率の変化を求め、以下のような結果が得られた。

1. ゴム粒子分散PMMAはゴム粒子を分散させる事によるヤング率の変化はほとんど見られない。
2. ゴム粒子分散-PMMAの白化現象にともなうヤング率の低下は、ゴム粒子のはく離ではなく、クレーズ発生等の影響により生じた可能性が大きいと考えられる。

7. 参考文献 省略

Table 2 Young's modulus of EM20 (Plane stress)

	X - direction	Y - direction	Experimental data
	E [GPa]		
rubber	1.789	1.757	1.853-2.138
hole	1.802	1.756	-

Table 3 Young's modulus of PM40 (Plane stress)

	X - direction	Y - direction	Experimental data
	E [GPa]		
rubber	1.0067	1.0131	1.523-1.741
hole	1.0048	1.0117	-

Fig.3 Distribution of Von mises stress of EM20 for FEM analysis