

## 1. 緒言

高分子材料の成型品であるプラスチックは、耐摩耗性、耐食性に優れ、しかも低コストで軽量であるために、工業製品として広く利用されている。とくに強度と耐衝撃性に優れた工業用プラスチック（通称エンプラ）は、自動車用部品としても使用されているが、その衝撃特性としてはシャルピー衝撃値を除いてあまり報告されていない。その理由としては、高分子材料の衝撃試験法が確立されていないこと、高分子材料に特有な性質である音響インピーダンス ( $\rho c = \sqrt{\rho E}$ ) が小さい(低質量密度でかつ低剛性)ことが挙げられる。今までに報告されたいくつかの工業用プラスチックの衝撃強度特性を分類すると、以下のようになる。

- (1) 衝撃圧縮応力—ひずみ特性<sup>1)</sup>
- (2) 衝撃ねじりせん断応力—ひずみ特性<sup>2)</sup>
- (3) 衝撃引張応力—ひずみ特性<sup>3)</sup>

衝撃試験法としては、ホプキンソン棒法が多く採用されているが、先に述べたプラスチックの低音響インピーダンス特性のため、特別な工夫が必要となる。そのため、金属材料と比較すると、工業用プラスチックの衝撃強度評価に関する研究例は少ない。本報告では、5種類の工業用プラスチック (ABS, PA6, PC, POM, PVC) の高ひずみ速度 (最大  $\dot{\epsilon} = 600/s$ ) 下での圧縮応力—ひずみ特性をホプキンソン棒法を使用して測定した。同時に、インストロン試験機により静的圧縮応力—ひずみ特性を決定して、両者を比較することにより、ひずみ速度が圧縮特性に及ぼす影響について明らかにした。

## 2. 供試材と圧縮試験片の準備

供試材は、5種類の工業用プラスチック (ABS, PA6, PC, POM, PVC) の丸棒 (直径=15~17mm) である。これらの丸棒から ASTM-E9-89a 規格<sup>4)</sup>で推奨されている円柱状の静的圧縮試験片の細長比 (=長さ/直径) = 1.5 となるように長さを決定した。一方、衝撃圧縮試験片は、ホプキンソン棒法での理論的に最適な細長比=0.5<sup>5)</sup>となるように長さを決定した。

## 3. 試験装置と試験方法

## 3.1 静的圧縮試験

静的圧縮試験は、インストロン試験機により、2 mm/min, 100 mm/min の一定クロスヘッド速度で室温にて行った。試験したひずみの範囲内では、すべての工業用プラスチックは破壊しなかった。

## 3.2 ホプキンソン棒法による衝撃圧縮試験

衝撃圧縮試験に使用したホプキンソン棒装置は試験片の低音響インピーダンス特性を考慮して高強度アルミ合金製の入出力棒 (7075-T6) と打出し棒 (7075-T6) を使用した。入出力棒の形状寸法は、直径 25mm、長さ 2000mm である。装置と試験手順の説明は紙面の都合により省略する。

## 4. 試験結果と考察

## 4.1 静的圧縮試験結果

一例として ABS (アクリロニトリルブタジエンスチレン) の静的圧縮応力—ひずみ関係を Fig.1 に示す。ひずみが約 4% で最大応力 (極限圧縮強度) となり、それ以降はひずみの増大と共に応力は徐々に減少して行く傾向がみられる。他の4種類の工業用プラスチックについても同様に静的圧縮試験を行い、決定したそれらの機械的特性を Table I にまとめて示す。PA6 (ポリアミド 6) と POM (ポリアセタール) については、試験したひずみ範囲 (20%程度) までは、ゆるやかに応力が上昇しつづけるため、極限圧縮強度とそれに対応する一様ひずみを決定することができなかった。

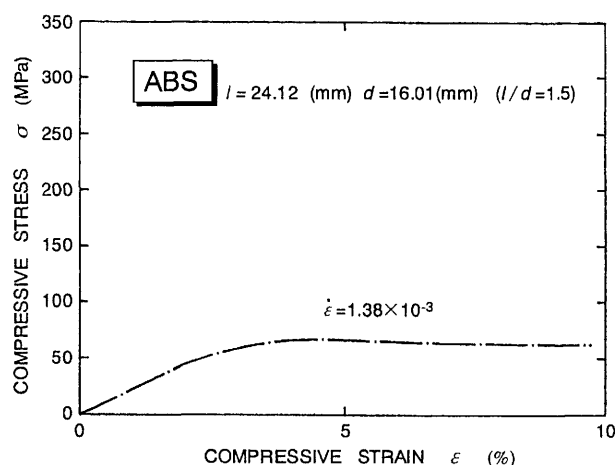


Fig.1 Static compressive stress-strain relation for ABS.

Table I Compressive and physical properties of engineering plastics.

Engineering plastics	Young's modulus $E$ (GPa)	Proof strength $\sigma_{0.2}$ (MPa)	Compressive strength $\sigma_c$ (MPa)	Uniform strain $\epsilon_u$ (%)	Mass density $\rho$ ( $kg/m^3$ )
ABS	2.33	53	66	4.3	1030
PA-6	1.93	26	—	—	1130
PC	2.23	41	80	7.8	1200
POM	3.16	45	—	—	1410
PVC	3.18	68	83	4.8	1420

Table I から試験した工業用プラスチックの中では、PVC (ポリ塩化ビニル) のヤング率、極限圧縮強度が最も高い事がわかる。

4.2 衝撃圧縮試験結果

ABS (アクリロニトリルブタジエンスチレン) の衝撃 (実線) 及び静的圧縮応力-ひずみ関係 (一点鎖線) を Fig.2 に示す。図中に表示した衝撃試験でのひずみ速度は、負荷過程の平均値である。実際にはひずみ速度 (破線) はひずみの増大とともに当初は増大するが、その後少し低下し続け、ひずみの最大点で 0 になり、それ以後の除荷過程では負(引張)になることに注意されたい。Fig.2 に示すように負荷過程と除荷過程が大きく異なり、ヒステリシス・ループを描いていることが工業用プラスチックの大きな特徴である。また、静的圧縮応力-ひずみ関係においてヒステリシス・ループを示していないのは、本実験で使用したインストロン 4505 試験機では応力-ひずみ関係の除荷過程が計測できないためである。

4.3  $\epsilon = 3\%$ での圧縮強度と散逸エネルギー

試験した工業用プラスチックの圧縮強度 ( $\epsilon = 3\%$ ) ・散逸エネルギーに及ぼすひずみ速度の影響を Fig.3 と Fig.4 に示す。図中の○□△×◇がインストロン試験機による静的試験結果、●■▲×◆がホプキンソン棒装置による衝撃試験結果である。Fig.3 からすべての工業用プラスチックの圧縮強度 ( $\epsilon = 3\%$ ) が、ひずみ速度の上昇と共に高くなっていることがわかる。特に PA6 (ポリアミド 6) の上昇が著しい。衝撃圧縮下での散逸エネルギーは、ヒステリシスループの中の面積を数値積分して求めた。また、これが熱となって散逸するエネルギーである。圧縮強度 ( $\epsilon = 3\%$ ) が最も高い PVC (ポリ塩化ビニル) は、逆に散逸エネルギーが低くなっていることがわかる。

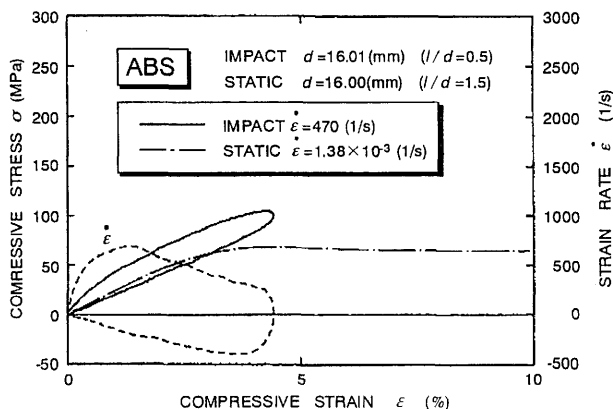


Fig.2 Static and impact compressive stress-strain curves for ABS.

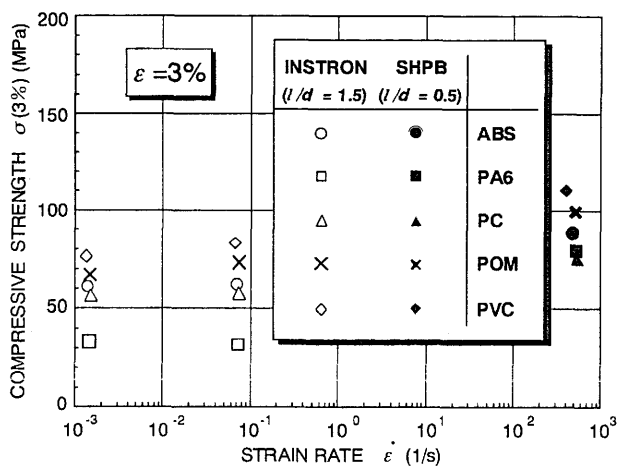


Fig.3 Effect of strain rate on compressive strength ( $\epsilon = 3\%$ ) for five engineering plastics tested.

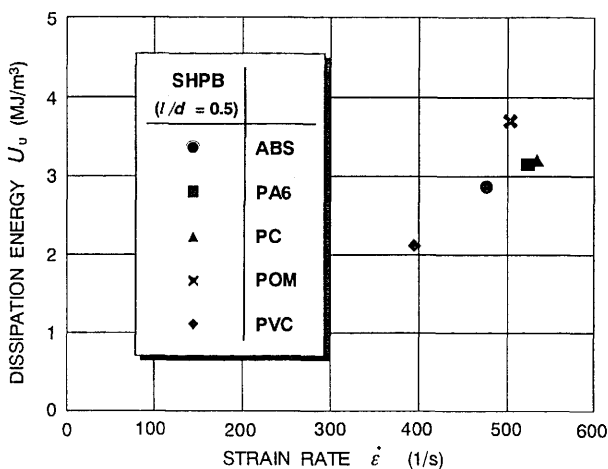


Fig.4 Effect of strain rate on dissipation energy for five engineering plastics tested.

5. 結論

- (1) 試験したすべてのプラスチックの圧縮変形応力は、ひずみ速度と共に大きく上昇する。
- (2) 試験したプラスチックの高ひずみ速度圧縮下での散逸エネルギーの大小関係は、つぎようになる。

$$POM > PC > PA-6 > ABS > PVC$$

参考文献

- 1) E.D.H. Davies and S.C. Hunter, *J. Mech. Phys. Solids*, **11**, 155 (1963).
- 2) N.A. Fleck, W.J. Stronge and J. H.Liu, *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A429**, 459 (1990).
- 3) W. Chen, F. Lu and M. Cheng, *Polymer Testing*, **21**, 113 (2002).
- 4) ASTM E9-89a, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol.03.01, ASTM, 101(1995).