

1. はじめに

極低温環境下におけるプラスチック材料の機械的特性評価法の確立のため、6種類の市販のプラスチック材料を対象に室温から液体窒素(LN₂)温度程度までの引張、曲げおよび衝撃に関する機械的特性に関して検討を行った。低温下、特に極低温下においては材料の脆化や空気中の水分および油分の凍結などの影響により通常の室温下では生じない不具合が発生する。これらの改善法を提案し、その際の測定結果について報告する。

2. 試験方法

2・1 供試材 厚さ4mmの6種類の市販プラスチック板を用いた。それぞれは塩化ビニル(PVC)、メタアクリル樹脂(PMMA)、ABS樹脂(ABS)、非晶性ポリエステル(PET)、高密度ポリエチレン(HPE)および超高分子量ポリエチレン(SPE)である。

2・2 試験方法 静的試験として、材料試験機(Instron 1125)および恒温槽(Instron 3119)を用いて引張試験および曲げ試験を行った。試験温度は23℃(室温)、-50℃、-100℃、-162℃の4温度とした。

引張試験では図1に示すようなT字型引っかけ式引張試験片を用いた。負荷部は半径5mmでその間隔は100mmである。平行部とそれにつながる肩部はJIS1号試験片の1/2スケールとし、平行部の幅5mm、長さ30mmとした。試験速度は2mm/minで、以下の式を用いて応力 σ および見かけのひずみ ϵ_a を求めた。

$$\sigma = W/bh, \quad \epsilon_a = \delta/L_0$$

Wは荷重、bは試験片幅、hは試験片厚さ、 δ は負荷点の変位、 L_0 は代表長さで今回は負荷部間隔

の100mmを用いた。

曲げ試験では幅10mmの短冊試験片を用い、支点間距離を厚さの16±1倍とした。圧子半径、支点半径はともに5mm、試験速度は5mm/minで、応力 σ およびひずみ ϵ は以下の弾性式によって求めた。

$$\sigma = 3WL/2bh^2, \quad \epsilon = 6h\delta/L^2$$

Lは支点間距離である。上式は微小たわみ時の式であるが今回は大たわみ時も含めて適用した。

動的試験の衝撃では、試作の計装化シャルピー試験機(Zwick)を用いて行った。試験温度は図2に示すように、LN₂への浸漬後の室温中での試験片温度の時間変化を実測し室温中の放置時間から試験温度を設定した。衝撃では先の4温度以外に、規格に基づきLN₂への浸漬後5秒以内の試験を行いLN₂温度下(実測値-193℃)の測定も行った。試験片は曲げと同じ短冊試験片を用い、支点間距離は曲げと同じとし切り欠き無しで行った。オーバーハングの影響を考慮して試験片長さを80mmとした。圧子半径は2mm、支点半径は1mmで、打撃速度は3.85m/sである。測定した荷重からハンマーの角加速度を求め、積分によって変位を求めた。応力およびひずみは先の曲げの式を用いた。

上記3種類の試験すべてにおいて、試験片寸法は室温の値を用いた。

2・3 極低温試験時の問題点と改善 低温下、特に極低温下においては種々の影響により通常の室温下では生じない不具合が発生する。

引張試験では-162℃で通常のくさび式つかみ具において、つかみ具と材料の収縮率の違いやくさびが滑りにくくなるため、試験片がつかみ具内で滑りやすく正常な試験が難しかった。また、材料の脆

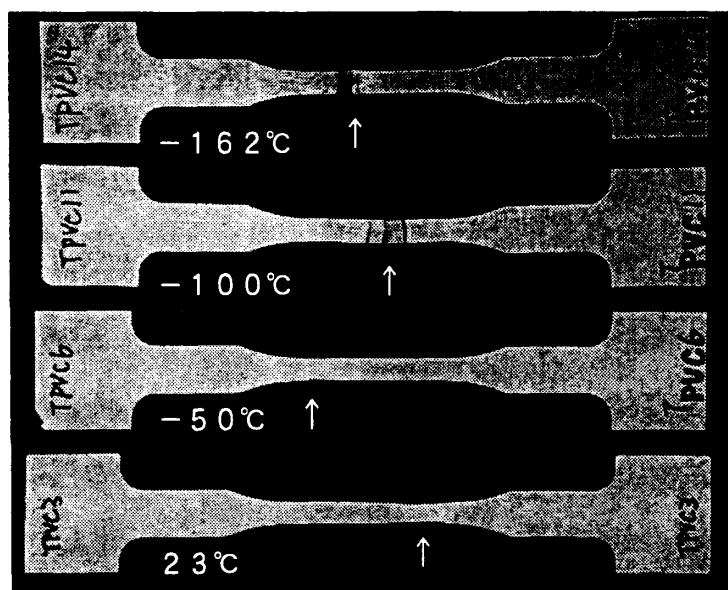


図1 各温度でのT字型引張試験片の破壊様相(PVC)

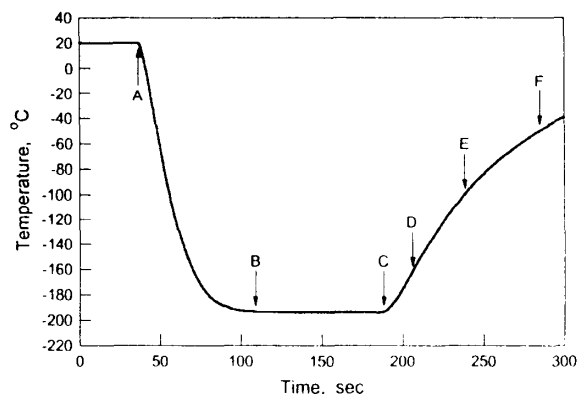


図2 液体窒素への浸漬時および室温放置時の試験片の温度変化(PVC, A: 23℃, B, C: -193℃(LN₂), D: -162℃, E: -100℃, F: -50℃)

化のため荷重軸の調整の精度が必要とされ、作業効率においても -162°C での試験片交換はネジ部の凍結により困難であった。今回用いたT字型試験片では荷重軸調整はまだ多少必要とされるが、滑りはなく試験片交換可能で極めて効率的であった。また、6種類の材料すべて図1のように4温度下において平行部で降伏または破断し、広い温度領域で適正な試験が可能であった。

曲げ試験では -162°C で支点において摩擦の増大または凍結が考えられた。図3に示すように一体型支点と回転可能なピン型支点を比較すると、一体型ではスティックスリップと考えられる段差が生じた。このような段差はたわみが大きくなる程数多くなりデータ整理において不具合であることから、今回はピン型支点を用いた。

3. 試験結果と考察

試験結果の代表例として、図4に各種試験におけるPETの応力-ひずみ曲線を示す。これらの試験結果から脆性破壊時は破断点での、延性破壊時は降伏に関連する極大点での各特性値を求め、それぞれの特性の温度変化を調べた。脆性と延性の区別としては、最初の極大点が最大応力点であり破断点であることを脆性の基準とした。また、衝撃においては両振りの振動が重畳することから、その周期に対応する個数で移動平均を行い図5のようにスムージングし各値を求めた。

代表例として、図6にPETの引張と曲げの結果

を示す。温度による特性変化は応力、ひずみともに絶対値は異なるがほぼ同じ傾向であった。図7にPETの曲げと衝撃の結果を示す。図中では衝撃の結果を温度軸に沿って平行移動(図中では -30°C 移動)させてプロットしており、曲げの特性変化にほぼ一致することから衝撃試験は温度を数十度下げる効果があると考えられた。また、延性破壊から脆性破壊への移行域で体積当たりのエネルギーおよびひずみがPETでは最大になることが分かった。

他の材料の結果については発表当日に報告する。

最後に、本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構の新規産業創造型提案公募事業の援助を受けて行われたものであり、ここに謝意を表す。

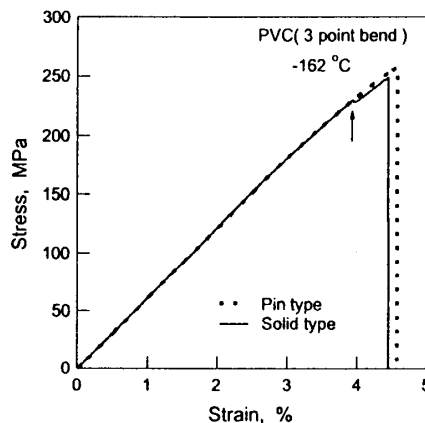


図3 -162°C での曲げ支点による相違 (PVC)

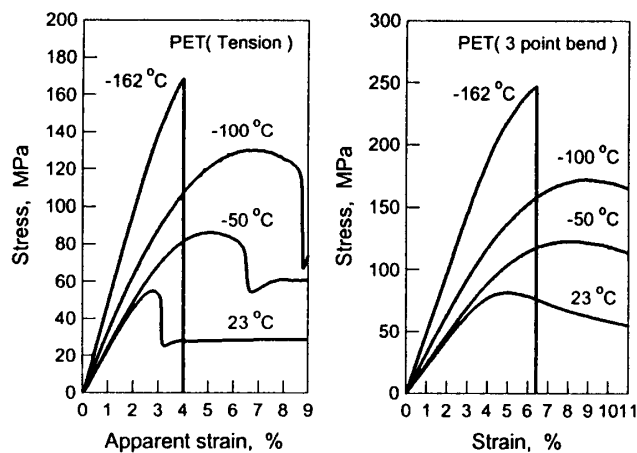


図4 各試験時の応力-ひずみ曲線 (PET)

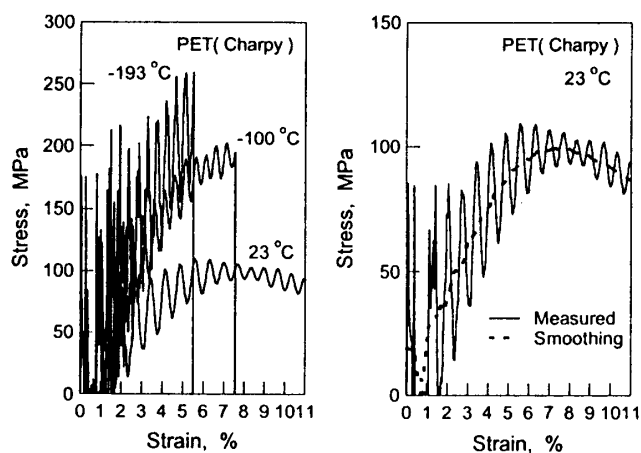


図5 衝撃曲線のスムージング

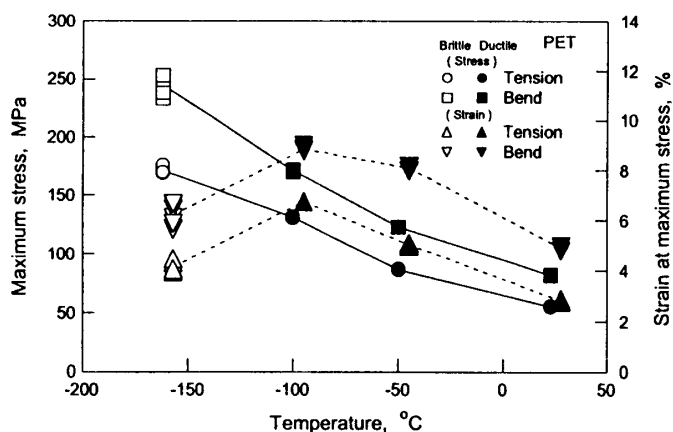


図6 温度による引張および曲げ特性の変化 (PET)

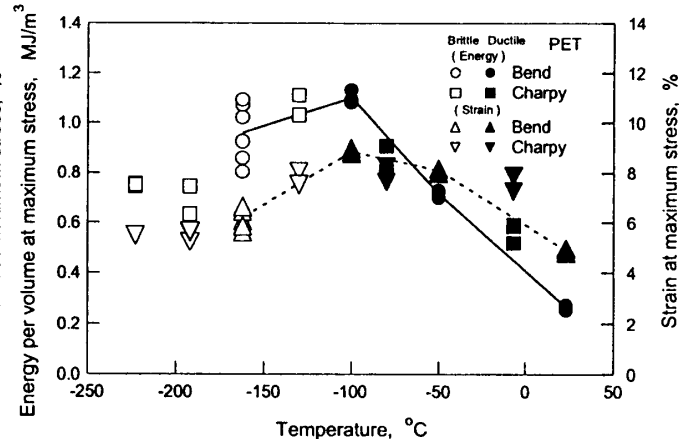


図7 温度による曲げおよび衝撃特性の変化 (PET)