

1 緒 言

高分子材料は、押出（1軸延伸）するだけで、高分子鎖が配向するだけではなく、結晶性高分子では高次構造の著しい変化を生じる¹⁾。このため、弾性率や強度などの力学物性が押出方向に向上し、大きな異方性を生じる。また、高分子押出材料の力学物性は、成形加工条件の影響を受ける²⁾。

本研究では、高分子押出材料の力学物性が MOR 値と複屈折によってほぼ表現できることを示す。

2 供試材料と実験方法

2.1 供試材料

高密度ポリエチレン HDPE、ポリプロピレン PP ならびにポリカーボネート PC を用いる。結晶性材料である HDPE と PP は、直径 32mm の溶融押出丸棒を成形後、長さ 60mm に旋削してビレットとした。非晶性材料である PC は、市販丸棒（直径 16mm）を素材とする。これを直径 15.8mm、長さ 50mm に旋削してビレットとした。HDPE と PP の融点 T_m は、それぞれ 134℃ ならびに 168℃ である。PC のガラス転移点 T_g は、150℃ である。

2.2 ラム押出加工

種々の押出温度 T_E と押出比 R_A でラム押出しを行い、押出材料を成形した。押出装置と押出方法の詳細は、文献を参照されたい²³⁾。なお押出成形は、押出ダイ内径 d_D とサイジングダイ内径 d_S が同一の場合と押出ダイ径よりも十分に大きなサイジングダイ径 ($d_D \ll d_S$) でのラム押出しを行った。にして押出した。押出比 R_A と公称押出比 R_N は、それぞれ $R_A = (d_D/d_E)^2$ ならびに $R_N = (d_D/d_D)^2$ で定義する。ここで d_B と d_E は、それぞれビレットと押出材の直径を表す。

2.3 引張試験と圧縮試験

押出材料は、引張試験片（平行部直径 8mm、標線距離 10mm、肩半径 20mm）と圧縮試験片（直径 10mm、高さ 10mm）に旋削した。変形速度 0.5mm/min、室温で試験を行った。

2.4 マイクロ波分子配向計による分子配向の評価

分子配向の測定には、王子計測機器(株)製分子配向計 (MOA-3020A) を用いた。押出方向に 1mm の厚さに切り出し測定した。なお使用したマイクロ波周波数は、19.5GHz である。

2.5 複屈折の測定

押出方向と平行に薄板を切出した後、両面を研磨して 170 μ m の板厚に加工した。また、干渉次数を確認するため端面を斜めに切断した。この試料で偏光顕微鏡にコンペンセータ（補償子）を付与して測定した。なお、測定波長は 589nm である。

3 実験結果

3.1 引張り挙動と圧縮挙動の比較

高分子材料の力学的挙動は、静水圧に依存する。この効果を明らかにするために、拘束押出材の引張り挙動と圧縮挙動を比較した。Fig.1 は引張りと圧縮の応力-ひずみ曲線を示す。

図に見られるように、引張りのヤング率と強度は押出比の増加に伴って増加するが、圧縮での強度は、特に高押出比ではほぼ一定となる。

Fig.2 は、押出比の関数であるヤング率を示す。引張りと圧縮のもとでのヤング率は、押出比と直線的な関係にある。押出比が同じとき、圧縮のヤング率は引張りとは比べて小さくなる。引張りと圧縮のヤング率の差は、押出比が大きくなるにしたがって大きくなる。

3.2 分子配向

Fig.3 は、MOR 値が押出比と直線関係にあることを示す。MOR 値が 1 のとき、分子配向はランダムであることを示し、それ以上の値は配向の程度が増加することを意味する。Fig.2 と Fig.3 から、材料の物性が MOR 値で表現できることがわかる。

3.3 力学的挙動に及ぼす押出比の影響

Fig.4 は、押出温度 $T_E = 135^\circ\text{C}$ を一定にして種々の押出比で押出した PC の応力-ひずみ曲線を示す。いずれの押出材も拘束冷却 ($d_D = d_S$) を行った。図から押出材の応力-ひずみ曲線は、押出比によって著しく変化することがわかる。すなわち、押出比の増加に伴って強度が増加し、延性が低下する。また素材では、くびれの伝播後破断したにもかかわらず、押出材では平行部がくびれることなく破断した。

3.4 力学的挙動に及ぼす拘束冷却の影響

Fig.5 は、 $T_E = 135^\circ\text{C}$ を一定にして拘束冷却条件を変えて押出した PC の応力-ひずみ曲線を示す。図中の実線と点線は、それぞれ完全な拘束冷却 ($d_D = d_S$) および緩やかな拘束冷却 ($d_D \ll d_S$) における押出材を表す。図から押出比はほぼ同一の材料にもかかわらず拘束冷却条件によって応力-ひずみ曲線が変化することがわかる。また、緩やかな拘束冷却によって、素材と同様にくびれの発生と伝播が観察された。

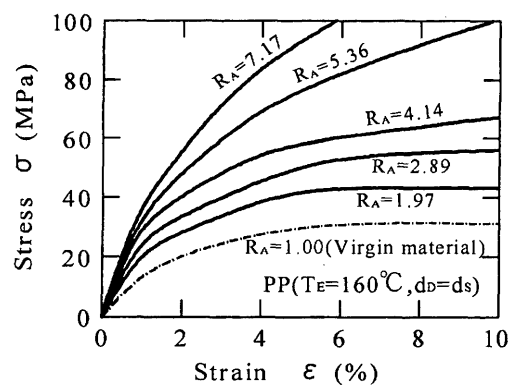
Fig.6 は、縦弾性係数に及ぼす拘束冷却条件の影響を示す。図中の各記号 ($\square$: $d_D = d_S$, $\blacksquare$: $d_D \ll d_S$) は、実験結果を表す。拘束冷却条件によって、その影響が異なり、押出比だけで記述できない。このような強度に及ぼす拘束冷却条件の影響は、 $T_E = 135^\circ\text{C}$ のときが最も大きい。

3.5 複屈折

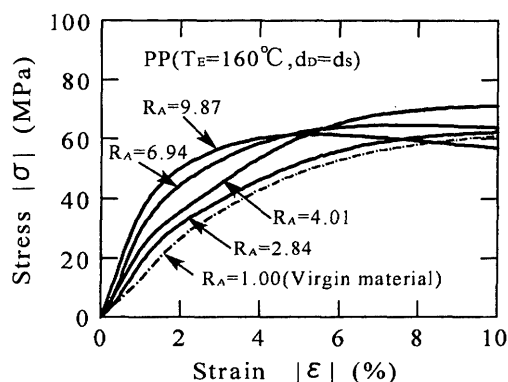
完全拘束冷却 ($d_D = d_S$) ならびに緩やかな拘束冷却 ($d_D \ll d_S$) した押出材の複屈折を測定した。Fig.7 は、縦弾性係数と引張強さを複屈折で整理した結果である。拘束冷却条件にかかわらず、その力学的性質が複屈折とほぼ直線関係にあることがわかる。したがって、拘束冷却条件が分子配向に影響していたことがわかる。

参考文献

- 1) 中山和郎, 海籐彰, 高分子をならべる, 9 (1993), 共立出版.
- 2) 佐野村幸夫, 成形加工, 12, 736 (2000).
- 3) 佐野村幸夫, 日本複合材料学会誌, 27, 161 (2001).



(a) Tension



(b) Compression

Fig.1 Stress-strain curves of PP extruded at various extrusion ratio.

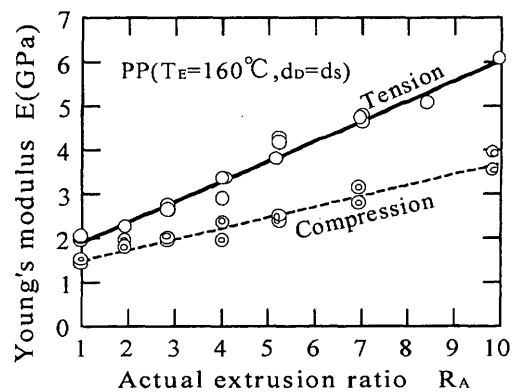


Fig.2 Variation of Young's modulus with actual extrusion ratio.

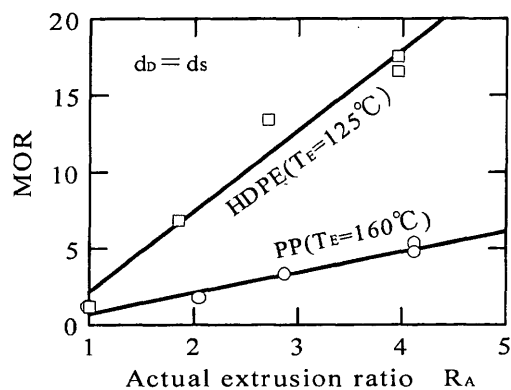


Fig.3 Changes of molecular orientation ratio (MOR) as a function of actual extrusion ratio.

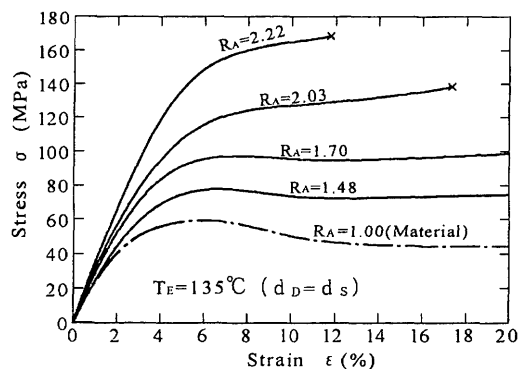


Fig.4 Stress-strain curves of PC extruded at various extrusion ratio ($T_E=135^\circ\text{C}$).

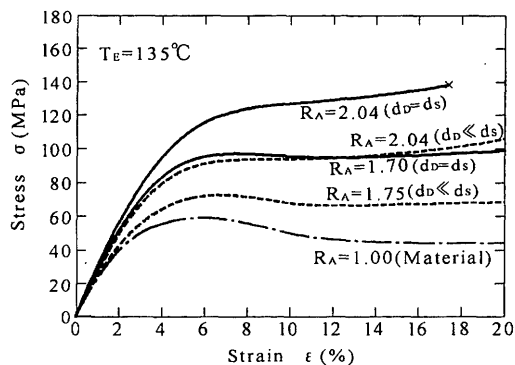


Fig.5 Stress-strain curves of PC extruded under constrained and free strain recovery ($T_E=135^\circ\text{C}$).

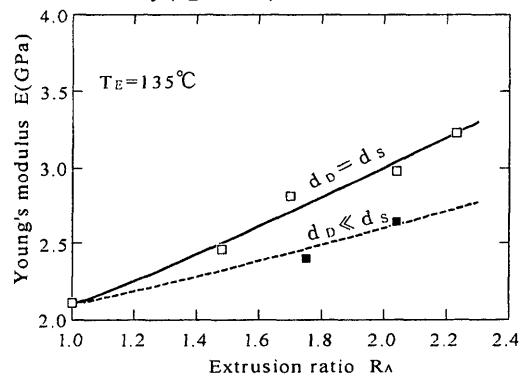


Fig.6 Relationships between Young's modulus and actual extrusion ratio of PC extruded under constrained and free strain recovery ($T_E=135^\circ\text{C}$).

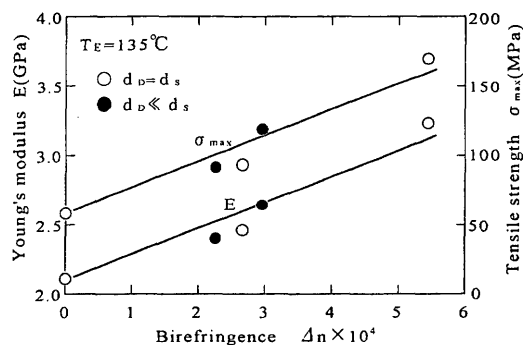


Fig.7 Variation of Young's modulus and tensile strength with birefringence for PC extruded under constrained and free strain recovery ($T_E=135^\circ\text{C}$).