プラスチック材料の引張試験及びその破面

荒木　真由美（化学技術部　環境安全グループ）
栃木　勲（川崎技術支援部　材料解析グループ）
羽田　孔明（化学技術部　材料化学グループ）
中島　岳彦（情報・生産技術部　試作加工グループ）
田中　聡美（化学技術部　環境安全グループ）

１．　はじめに

プラスチック材料は、軽量性・成型性をはじめとする優位性から、金属材料からの代替が進んでいるが、破損トラブルも絶えない。破断面の形状観察から破損に至る経緯を推察する破面解析が、トラブル対策手段として期待されている。一方で、プラスチック材料の破面解析は、金属材料にくらべて歴史が浅い上、メーカーのノウハウとして蓄積されていることが多く、公開されている情報が少ない。本研究では、汎用エンジニアリングプラスチック材料の一つであるポリカーボネートについて、引張応力による破壊現象を再現することを目的として、引張試験により得られた破断面の特徴を観察し、破壊様式と破断面形状との対応関係について検討した。

２．　実験

市販のポリカーボネート（PCET1600，タキロンポリマー㈱）の押出成形板から、JIS K7139 に記載されている多目的試験片タイプ A2 について厚さを 5mm に変更したダンベル試験片を切削加工により作製した。引張試験は、5565 型 5KN 容量万能材料試験機（インストロン・ジャパン㈱）を用い、引張速度 1 mm/min、10 mm/min 及び 100 mm/min、試験数各 n=10 で実施した。得た破断面について、実体顕微鏡（Discovery V2.0 SteREO，カールツァイス㈱）による観察を行った。

３．　結果及び考察

図 1 に引張試験により得られた応力-ひずみ曲線、表 1 に応力-ひずみ曲線から得られた降伏点および破断点におけるひずみと応力の平均値と標準偏差を示す。ポリカーボネートは延性材料のため、降伏現象を経た後、破断に至る。表 1 に示すように、引張速度が大きくなるほど、降伏ひずみ、ならびに降伏応力は大きくなった。引張速度の増大は、材料の変形に対する抵抗を大きくするため、降伏ひずみならびに降伏応力が速度の増大により上昇したと考えられる。破断ひずみ及び破断応力については、速度との相関が認められなかった。樹脂の破断は、表面の細かいキズや、内部の空隙（ボイド）の存在が影響する。今回、市販品を切削加工したものを引張試験片として用いたため、試験片の個体差や表面の加工キズが破断の特性値に大きく影響し、速度依存性がみられなかったものと推察される。

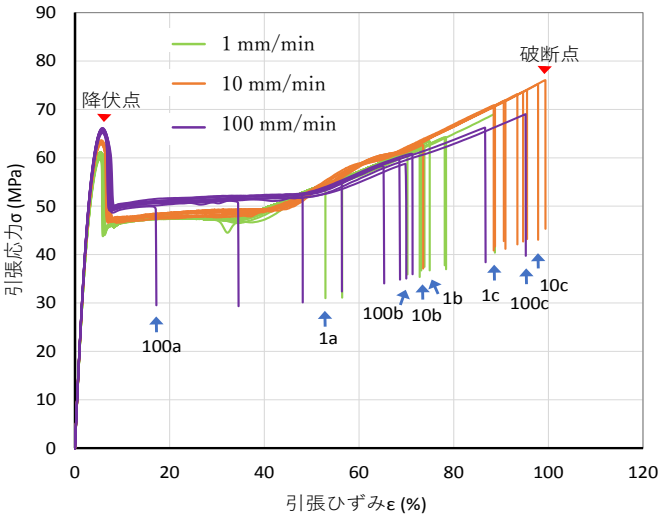
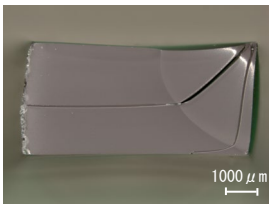
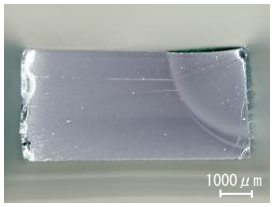
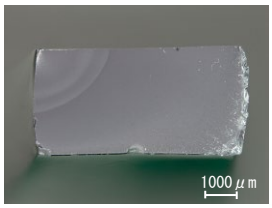
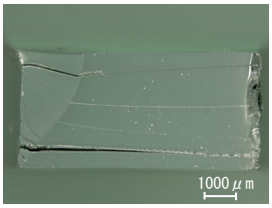
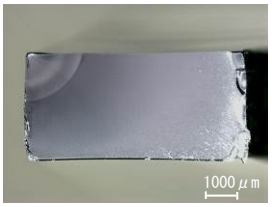
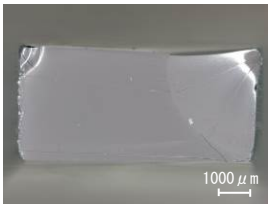
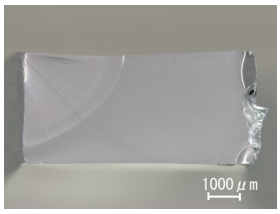
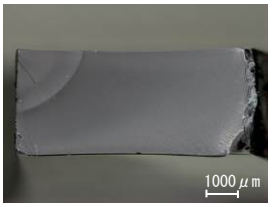


図 1.　応力-ひずみ曲線

表 1.　降伏点および破断点におけるひずみと応力

	引張速度					
	1 mm/min		10 mm/min		100 mm/min	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
降伏ひずみ [%]	5.3	0.1	5.5	0.1	5.8	0.1
降伏応力 [MPa]	60.5	0.8	63.2	0.3	65.7	0.3
破断ひずみ[%]	71.9	9.9	89.8	8.1	61.2	22.1
破断応力[MPa]	61.6	4.3	71.2	4.2	57.9	6.2

表 2.　引張試験破断面

破断ひずみ / 引張速度	0 ～ 60 %	60 ～ 80 %	80 ～ 100 %
1 mm/min	1a （52.9, 53.4） 	1b（74.9, 63.1） 	1c（88.7, 69.1） 
10 mm/min		10b（73.4, 62.6） 	10c（97.8, 75.2） 
100 mm/min	100a（17.1, 49.4） 	100b（68.4, 59.9） 	100c（95.2, 69.0） 

※ 試料 No.（破断ひずみ, 破断応力）

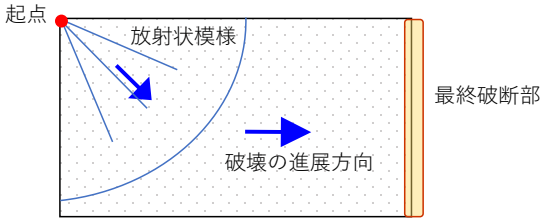


図 2.　破面の模式図

引張試験により得られた破断面について、破断ひずみや引張速度の大小によって分類したものを表 2 に示す。いずれの破断面とも、図 2 の模式図のように、端部を起点とし、段差模様（ラチェットマーク）が放射状に広がっていることが確認できた。なお、段差模様は、亀裂進展が速く、亀裂が連続的につながった模様と定義される。一般的に、角や表面のキズ、微小な欠陥に応力が集中し、その場所を起点として亀裂が生じる。端部から広がる円弧部分は、塑性変形を伴って亀裂進展が進んだ特徴を表し、円弧の中心が破壊の起点を示していると考えられる。円弧を呈しながら亀裂が急速に進展した後は、一方向の引張応力により、脆性的に最終破断に至ったと推測される。

破断ひずみが小さい破断面については、塑性変形や段差模様が顕著に現れ、放射状模様の半径が大きい傾向が見られた。キズや欠陥が大きいものほど、起点から段差模様が大きく入り、放射状模様が広がり、残りの部分が応力に耐えられず容易に破断した可能性がある。この事象のメカニズムについては、切り欠きを入れた試験片について、引張試験による破断面観察を行うなど、さらなる検討が必要と考えられる。

4．まとめ及び今後の展開

ポリカーボネート板のダンベル型試験片を用いた引張試験により、樹脂板が引張応力を受けた場合を想定した破断面を観察し、破壊様式と破断ひずみとの相関を示すことができた。

これらの情報は、今後、依頼される破断面の解析に有効な基礎データとすることができる。今後、試料の種類や破壊応力の様式を変えて、付加される応力と破面の関係を整理し、樹脂の破面解析の基礎データの蓄積を進める。

【参考文献】

1. 藤木榮、萩原利哉「プラスチック材料の破壊・破断面の見方」日刊工業新聞社（2015）.