

ポリカーボネート樹脂等の機械部品用樹脂に対する 劣化評価技術の開発

坂之上 悦 典*¹

三 田 好 明*²

上 原 忍*²

【要 旨】

機械部品としてよく用いられる代表的な 5 種類の樹脂（ポリカーボネート、ポリプロピレン、ポリアセタール、ポリテトラフルオロエチレン、ポリメタクリル酸メチル樹脂）について曝露試験を行い、強度上の劣化が進んでいるかの評価を行った。ポリカーボネート樹脂においては未曝露試験片と曝露試験片の間に強度的に差が見られ、曝露時間の長さにより、破断強度の低下がみられた。

1 はじめに

機械部品は、耐久性、寸法安定性、加工のしやすさなどの観点から金属が多用されてきた。近年に至り、海外製品との価格競争による低価格化、製品モデルの短命化、ユーザサイドからの製品軽量化要求などの要因から、樹脂による代替が進んでいる。一方、樹脂部品の製造者側では10年を超えるような長期にわたり使用されることを想定し樹脂選定を行っているとは言い難い。そのため、長期の使用後の樹脂破損が相談に持ち込まれることが増えてきた。これに対し、公設試験研究機関としても樹脂強度を評価する際の十分なデータ^{1)~6)}を持ち合わせているとは言い難い。

そこで、現在部品用材料として市中に流通するポリカーボネートなど代表的な5種類の樹脂種に対して、劣化促進試験を実施し強度評価を試みたので報告する。

2 実験方法

2.1 供試材

試験に用いた材料は、ポリカーボネート（表記：PC）、ポリプロピレン（PP）、ポリアセタール（POM）、フッ素樹脂であるポリテトラフルオロエチレン（PTFE）、ポリメタクリル酸メチル樹脂（AC）の5種類とした。製造者の公表する各種材料特性を表1に示す。

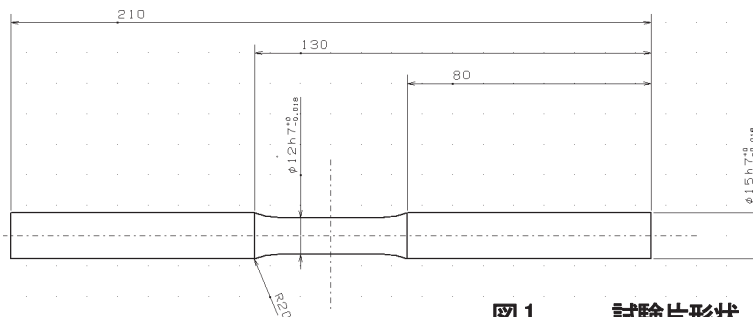


図1 試験片形状

* 1 中丹技術支援室 室長

* 2 中丹技術支援室 主任研究員

評価試験に用いた材料形状を図1に示す。いずれの素材においても、旋盤を用いた切削加工により成形した。

表1 試験に用いた材料の特性

括弧内の値は一般的な特性

種類	ポリカーボネート	ポリプロピレン	四フッ化エチレン	ポリメタクリル酸メチル	ポリアセタール
表記	PC	PP	PTFE	AC	POM
比重	1.2	0.9	2.1~2.2	1.2	1.4
引張強さ(MPa)	62	30	21.4~35.7	79	60
ガラス転移点 T _g (°C)	150	- (0)	- (126)	- (90)	-60

表2 各試験の評価条件

試験区分	材料強度試験		回転疲労曲げ試験		促進曝露試験		屋外曝露試験		変性評価試験			
運転条件	引張速度	10mm/min	応力振幅	15.1MPa	曝露時間	0h	設置	屋上(写真1)	昇温速度	10°C/分		
				23.1MPa		24h(一部)		位置		E 135° .17'	温度範囲	40~400°C
				応力比		-1				72h(一部)		N 35° 15'
	温度	常温	温度	常温	144h	320h	方位	南	期間	流量	200ml/分	
					520h	520h		角度				90度
					照射強度	155W/m ²						3ヶ月
					温度条件	63°C		7ヶ月				
降雨条件	連続	ブラックパネル温度										
試験機	AG-250KNIS MO		H5型		WEL-SUN-DCH-B型		太陽光		DSC-60A			
試験機メーカー	(株)島津製作所		(株)島津製作所		スガ試験機(株)		太陽光		(株)島津製作所			



写真1 試料の屋上設置状況 (樹種: POM)

写真1参照)と促進曝露試験としてカーボンアーク式促進耐候性試験機(WEL-SUN-DCH-B型スガ試験機(株))、樹脂の結晶性の変性具合を評価するために示差走査熱量測定装置(DSC-60A(株)島津製作所)を用いた。個々の試験における評価条件を表2に示す。アーク式促進耐候性試験機(WEL-SUN-DCH-B型スガ試験機(株))、樹脂の結晶性の変性具合を評価するために示差走査熱量測定装置(DSC-60A(株)島津製作所)を用いた。

2.2 評価試験機

引張強度評価として万能材料試験機(AG-250KNIS MO(株)島津製作所)、疲労強度評価として小野式回転疲労曲げ試験機(H5型(株)島津製作所)、耐候性を評価のうち屋外曝露試験として試料の屋上設置(設置場所:綾部市、

3 試験結果および考察

3.1 引張強度試験

未曝露の試験片と屋外曝露および促進曝露試験後の試験片について引張強度試験を実施した。対象材料PC、PP、POM、PTFE、ACの強度試験結果を、図2(a)~(e)に示す。未曝露試料と曝露試料を比較した場合、①型:未曝露試験片

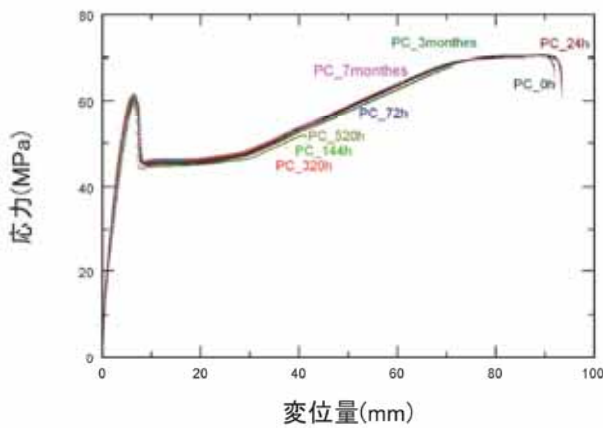


図2(a) 曝露試験片の応力-変位量の関係(PC)

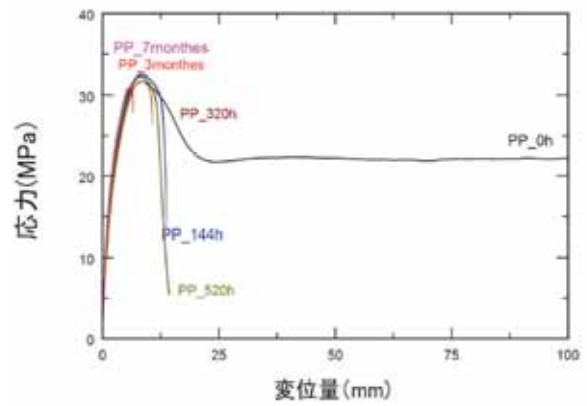


図2(b) 曝露試験片の応力-変位量の関係(PP)

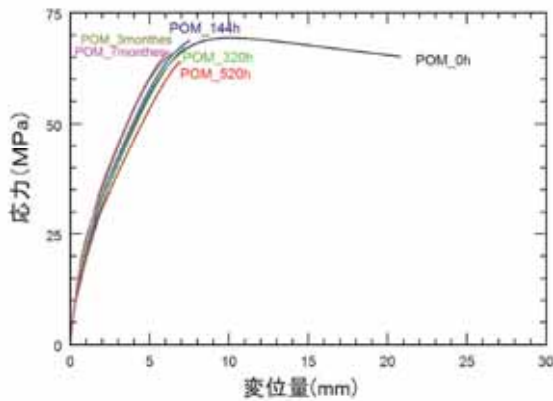


図2(c) 曝露試験片における応力-変位量の関係(POM)

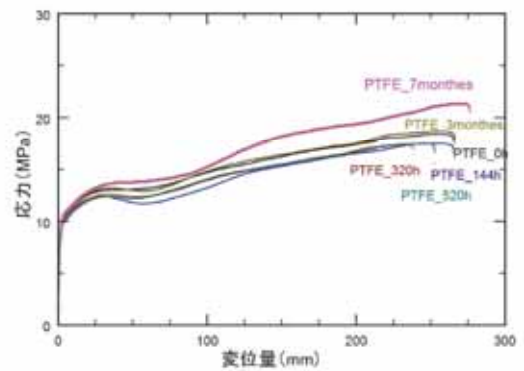


図2(d) 曝露試験片の応力-変位量の関係(PTFE)

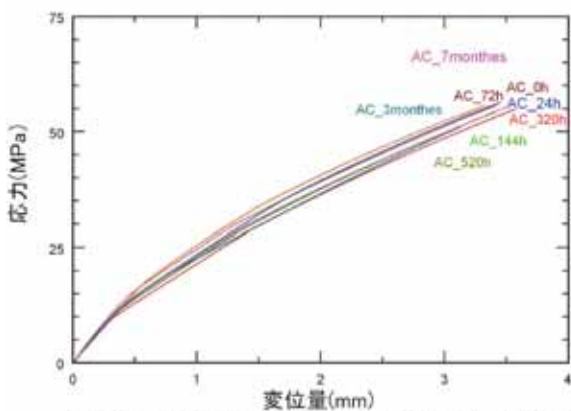


図2(e) 曝露試験片の応力-変位量の関係(AC)

と曝露試験片の間に強度的に差が見られないもの (AC) (PTFE)、②型：未曝露試験片と曝露試験片の間に強度的に差が見られるが、曝露時間の長短による強度差が見いだせないもの (PP) (POM)、③型：未曝露試験片と曝露試験片の間に強度的に差が見られ、曝露時間の長さにより、破断強度の低下がみられるもの (PC) の 3 タイプに分類できる。

①型は、従来より構造上の配列から化学的安定性が良いとされてきたが、それが確認された結果となった。②型は、紫外線と水分にさらされると引張強さには影響しない、もしくは影響が少ない

が変位量（材料の伸び）が大きく低下している。屋内においても、蛍光灯などの紫外線、湿気などの水分にさらされることから、機械用部品として使用する場合、材料強度を目安とするだけでなく使用条件における想定伸び量についても検討する必要がある。③型は、硬鋼のような上降伏点、下降伏点が存在する応力-変位量の関係が得られている。紫外線と水分が存在する場合、塑性変形領域が大幅に縮まっている。これは経年変化を受けたポリカーボネート板が割れやすい、という事象に合致する。今回測定対象とした樹脂の中で最も強度のある素材であるが、素材の保管方法、使用環境に注意を要する素材であるといえる。

また、強度の観点からのPC樹脂に対する曝露試験結果における屋外曝露試験片と促進曝露試験（連続降雨条件 ブラックパネル温度 63°C、連続照射 平均照射強度 155W/m²）の比較において、3ヶ月及び7ヶ月屋外曝露試験片（PC_3months、PC_7months）の強度と変位量の関係は、24~72時間の促進曝露試験片と同等の劣化がみられる。

3.2 回転疲労曲げ試験

促進曝露試験において強度変化が認められなかった①型のAC樹脂と強度が促進曝露試験時間に依存した③型のPC樹脂について、応力振幅 $\sigma_a = 15.1\text{MPa}$ と $\sigma_a = 23.1\text{MPa}$ の2水準で疲労試験

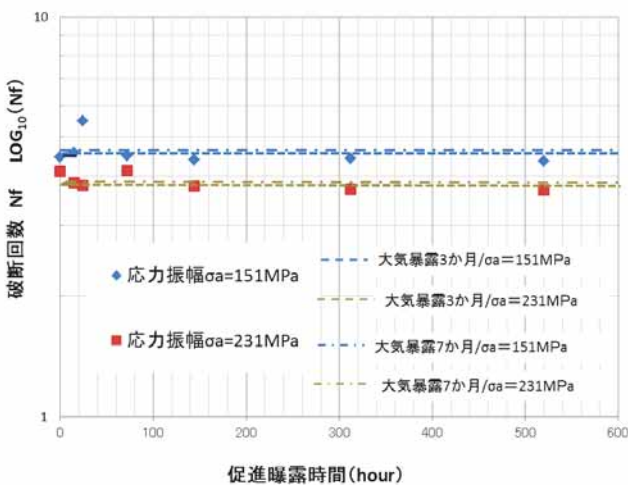


図3 破断回数と曝露時間の関係（樹脂：AC）

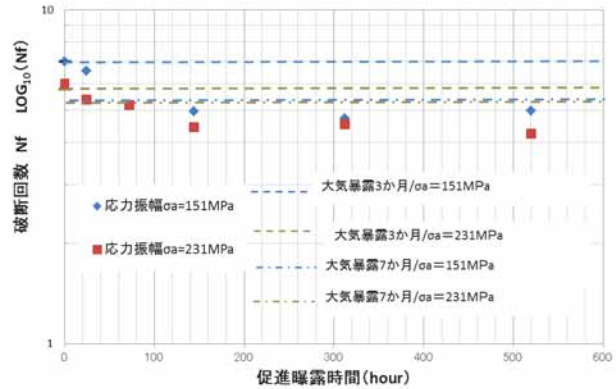


図4 破断回数と曝露時間の関係（樹脂：PC）

を行った。破断回数と曝露時間との関係をAC樹脂については図3に、PC樹脂については図4に示す。①型AC樹脂の場合は、引張強度の場合と同様、促進曝露試験時間の相違による破断回数の変化は認められなかった。また、屋外曝露試験による破断回数変化も認められなかった。

一方、③型の場合は、促進曝露試験時間が144時間程度までは、2水準の応力振幅において破断回数の低下がみられた。

その後、曝露時間の増大にかかわらず、各応力振幅における破断回数に変化が見られなくなった。これは、樹脂の特性変化が表面から発生しているため、ある一定量特性変化が内部に向かって進むと、内部の劣化していない部分のき裂進展に対する抵抗は、高応力下となるため、相違がなくなると思われる。

3.3 変性評価試験（示差走査熱量分析）

樹脂の変性具合を評価するために、③型のPC樹脂の曝露試験片におけるガラス転移温度（Tg）を示差走査熱量測定装置を用いて測定した。計測に用いた試料は、曝露試験片の表面0.1mm厚程度の深さまでカッターナイフでそぎ取り、試料重量を約2.0mg程度とした。測定結果を図5に示す。曝露促進時間の増大とともに、Tgは低下している。3ヶ月及び7ヶ月の屋外曝露試験片におけるTgは、

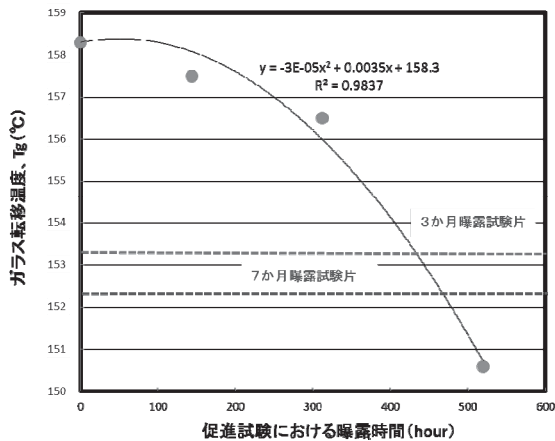


図5 曝露試験片とガラス転移温度の関係

促進曝露試験片における 320~520 時間の値に相当している。一方、強度試験や回転疲労曲げ試験における強度からは、3ヶ月及び7ヶ月の屋外曝露試験片における強度低下は促進時間が 72 時間以内の強度低下に相当しているに過ぎない (図 2 (a)、図 4 参照)。これは、示差走査熱量測定のための試料が試験片の極表面だけを計測しているため、より劣化の著しいところだけを計測しているためと考えられる。言い換えれば、表面だけの試料サンプリングで劣化診断をすると、劣化度合いを過大に見積もっていることを示し、全体劣化評価をするためには、適正な位置を試験片サイズで切り出し、引張強度試験や疲労試験を実施することが求められると考える。

4 まとめ

機械部品としてよく用いられる代表的な 5 種類の樹脂 (ポリカーボネート (PC)、ポリプロピレン (PP)、ポリアセタール (POM)、フッ素樹脂であるポリテトラフルオロエチレン (PTFE)、ポリメタクリル酸メチル樹脂 (AC)) について曝露試験を行い、強度上の劣化が進んでいるかの評価を行った。得られた結論をまとめる。

- 1) 各樹脂に対する劣化環境として、屋外曝露試験とカーボンアーク式耐候性促進試験 (連続

降雨条件 ブラックパネル温度 63°C、連続照射 平均照射強度 155W/m²) を 2 水準行った。

- 2) 曝露した各樹脂に対し強度試験を実施したところ、強度低下の観点から、①型：未曝露試験片と曝露試験片の間に強度的に差が見られないもの (AC) (PTFE)、②型：未曝露試験片と曝露試験片の間に強度的に差が見られるが、曝露時間の長短による強度差が見いだせないもの (PP) (POM)、③型：未曝露試験片と曝露試験片の間に強度的に差が見られ、曝露時間の長さにより、破断強度の低下がみられるもの (PC) の 3 タイプに分類できた。
- 3) 促進曝露試験において強度変化が認められなかった①型の AC 樹脂と強度が促進曝露試験時間に依存した③型の PC 樹脂について、応力振幅 $\sigma_a = 15.1\text{MPa}$ と $\sigma_a = 23.1\text{MPa}$ の 2 水準で疲労試験を行ったところ、①型 AC 樹脂の場合は、促進曝露試験時間の相違による破断回数の変化は認められなかったが、③型の場合は、促進曝露試験時間が 144 時間程度までは、2 水準の応力振幅において破断回数の低下がみられた。
- 4) ③型の PC 樹脂の曝露試験片におけるガラス転移温度 (Tg) を示差走査熱量測定装置を用いて測定したところ、未曝露試料に対して、屋外曝露試料、促進曝露試料とも、ガラス転移温度 (Tg) の変化が認められた。

(参考文献)

- 1) "高分子材料の耐久性に関する研究", 北海道工業開発試験所報告, 第 24 号 (1981)
- 2) 促進曝露ハンドブック, (財) 日本ウエザリングテストセンター(2009)
- 3) 金野ほか、北海道立工業試験場報告, No.304, p63-69 (2005)

- 4) 清水ほか、東京都立産業技術研究センター研究報告,第6号,p102-103(2011)
- 5) 舟木、三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告,No.30, p103-106(2006)
- 6) 三神ほか、山梨県工業技術センター研究報告,No.17,(2003)