

高分子材料の耐久性予測法

(財) 鉄道総合技術研究所

大石不二夫

1. ユーザーの要求

“耐久性”は主として材料のユーザー側の課題であるようであるが、材料メーカーもモールダーあるいはディーラーにあっても重要視せねばならぬ問題である。なぜならば、その材料の耐久性すなわち“いつまでもって、どのように変状し、いかなるタイプの破壊にいたるか?”ということが不明では、安心して供給できないし、大体の場合、トラブルが生じたとき責任が、材料の供給側へ向けられることが少なくないことからも、重大な関心がもたれるはずである。

一方、材料のユーザーにとっての耐久性の関心事としてとくに次の項目があげられる。

1) その材料が使用条件の下でどんな経年変化をたどるか?(例えば破壊に至らなくても剛性低下が限度を越えたら使用限界)

2) 予測される寿命は?

3) どの位の耐用期間が保証されるか?

4) 破壊をどう予知できるか? どんなタイプの破壊にいたるか?

なお、材料の寿命予測については、要請は強い反面極めて困難である。その難しさの理由としては、次の七つの差異が混在して、一般化を至難にしている。

- (1) 材料の差異(材種、等級、品番等)
- (2) 成形の差異(方法、条件、金型等)
- (3) 形状の差異(寸法とくに厚み、内部歪等)
- (4) 環境条件の差異(温度、湿度、活性環境等)
- (5) 使用条件の差異(荷重、変形、振動、衝撃等)
- (6) 要求性能の差異(必要とされる機能、要求精度等)
- (7) 保守状態の差異(メンテナンスの状況等)

ちょうど、人間の寿命を予測し難いのと同様に、材料の寿命を定量的に予測することは極めて難しい。

2. プラスチックの新しい暴露法の提案

屋外暴露試験は長期間を要するため、その促進法も試みられている。例えば気象条件のとくにきびしい地域アリゾナとフロリダに標準暴露場を設けているし、レンズ等を用いて日光を集中させた例もある。また太陽を追って、昼間の陽射しを受光しつづける追跡装置もスガ試験機等において試みられている。

ここで提示するのは、われわれが考案したC形法による変形状態での暴露試験とその評価法の提案である。

このC形法と名づけた新しい方法の概略を次に示す。

まずこの方法は、割り円環状試験片(その形からC形試片と略称)を着想したことに基づいている。

図1(1)に示すような寸法のものが、標準C形試片であり、射出成形でも板や実物部材からの切削加工によつても比較的容易に作成することができる。

このC形試片の特徴を次に列挙する。

1) 両端の孔部分に外力 P を与えると、その P に正比例して、試片の中央部で最大となる応力分布を発生させることができる。

そのため、試片につかみ部や切欠きなどを設ける必要がなく、射出成形や切削加工が容易である。

2) 両端の孔部分に、図1(3)に示す変形用プレート(孔間距離は自由に選べる)をビス止めすることにより、試片に任意の変形を容易に与えることができる。

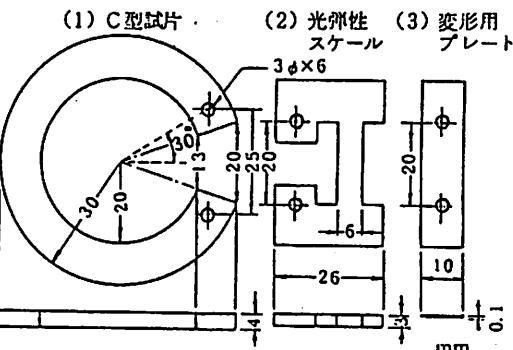


図1 試片・スケール・プレートの寸法

そのため、試片を変形状態に保ったまま、暴露試験や促進劣化試験を容易に行なうことができる。とくに試片中央部を薬液等に浸漬するのみで、チャックを侵す必要がないため便利である。

3) 両端の孔部分に、図1(2)に示す光弾性スケールと名づけた測力具を取りつけ、簡易偏光装置を用いて、スケールの平行部に生じる光弾性じまの数 N を数えることにより、試片の剛性が簡単に求まる。

そのため、暴露試験や促進劣化試験による試料の変化例えは変質やき裂の生長によるみかけの弾性率変化を、非破壊試験的に追跡することができる。

ここで提案する“C形変形暴露法”は、上記特徴の1), 2), 3)を活用したものであり、その要点は次の通りである。

(1) 目的：プラスチック等の屋外暴露試験を変形下で促進させ試験期間の短縮をはかる。あわせて天候劣化に対する変形状態の影響(実用上はかなりの用途で問題となる)を定量的に把握する。

(2) 試験片：標準C形試片(試料の硬軟により厚みは選択)とし、射出成形ないし切削加工により作成する。

(3) 暴露方法：変形用プレート(ステンレス鋼板より切削加工)を取り付け、C形試片に所定の変形を与えて、試片中央部(最大応力部)を南面に向けて暴露する。

(4) 劣化度評価方法：各調査時点に暴露個所において簡易偏光装置等を用いて、試片の剛性変化を光弾性スケールで測定する。終了後、再び変形用プレートを取り付け暴露を継続する。

3. 鉄研における屋外暴露試験例

C形変形暴露試験法の実施例を、表1、図2に掲げる。

表1 変形状態での暴露による剛性の保持率
(関門トンネル内)

材 種	変形量	暴 露 月 数				
		6	13	25	39	74
ポリアミド(A)	無 N	38	39	31	36	31
	小 S	34	34	28	33	30
	大 L	23	20	17	22	17
微結晶 ポリアミド(M)	無 N	39	38	30	36	32
	小 S	33	36	29	32	30
	大 L	21	23	15	20	15
ポリカーボ ネート(C)	無 N	101	105	102	101	100
	小 S	94	98	90	96	96
	大 L	61	78	72	71	70
ポリエチレン入り ポリカーボネート (E)	無 N	99	101	92	101	101
	小 S	93	98	99	93	96
	大 L	63	78	70	73	65

(注) 保持率は暴露前の測定値に対する暴露後の百分率で示す。
C形試片の孔間距離: 25mm, 板厚: 3mm
変形保持板: N=25, S=23, L=20mm
試験片の成形後の調湿処理は行なっていない。

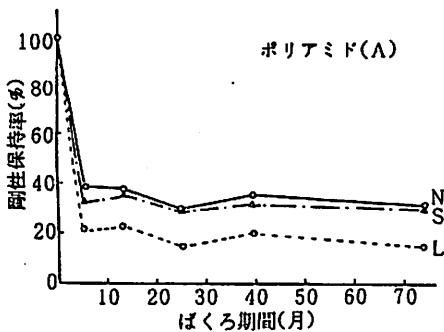


図2 変形暴露による剛性の変化

これは、海底トンネル内で使用される部品へ、プラスチックの適正材種を選定するために行なった暴露試験(関門トンネル内)の結果である。トンネル内で紫外線がないにもかかわらず、ナイロン系のものは吸水等により剛性がかなり低下し、かつ変形を与える時とくに低下が顕著であることがわかる。

次に、数多く実施された屋外暴露試験例から、プラスチック4種を、金属材料・塗料などと同時に、全国8ヶ所(北海道朝里～鹿児島牛ノ浜)で暴露した例を引用して掲げる。この例では変形は与えず、暴露試験作業の簡略化をはかるため、試験片を板に釘づけして固定している。そのため試験片の収縮や膨張を拘束する結果となっている。

表2に牛ノ浜のデータ例を掲げ、全国の結果(23ヶ月後)の集計を図3と図4に示す。

データに地域差は見られるが、南北差や環境区分との相関は単純ではないことがわかる。

以上で、ユーザーの立場からのウェザリングの評価について、主として鉄研における検討を中心に述べてみたが、繊維学会においてもウェザリングについて関心が高まってきたことは歓迎したい。

ただ今後、組織的にウェザリングの研究を進めてゆくとともに、意義は深いが多難であるといわざるを得ない。その困難を突破するには、長期間の粘りと財政的バックアップや公的機関の動員なども必要となろう。

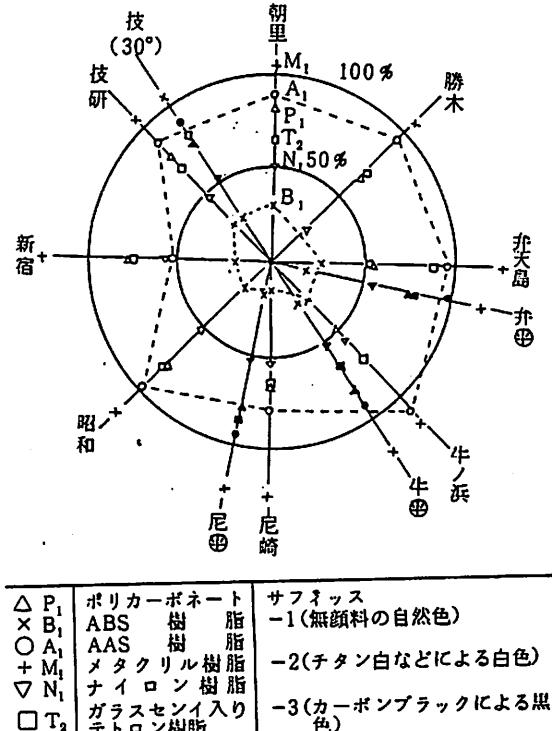


図3 引張強度の保持率(23ヶ月)

1 場 所	牛ノ浜(鹿児島本線、門司港起点 326.0 km)	実験者	大石不二夫、小林隆、吉川高雄 沢田豊衛	作成者	吉川高雄
2 暴露方法	I 直立 II 水平 III 南面30度 IV 南面45度 V 南面緯度	6 結 果			
3 環境区分	I 都市 II 郊外 III 工場 IV 海岸 V () 地区				
4 期 間	S 46年1月～47年12月(23カ月)				
5 目 的	信号機器類の適正材質選定の一環としての、天候劣化に対する顔料の効果測定				
6 材 質	PC, ABS, AAS, PMMA の顔料無添加による原色、チタン白などによる白色、カーボンブラックによる黒色の3顔料による試験片				
7 試 片 形 状 評価方法	引張試験片(JIS K7113 1号形) 試験速度 10mm/minにおける破断強度と伸び 曲げ試験片(JIS K6911 5.17に示す試験片) 試験速度 3mm/min, ばくろ面を下にした2点支持中点曲げ方式 治具のR=3mmによる破断強度とたわみ量				
8 参 考	文献2)				

図18 劣化に対する顔料の効果(牛ノ浜23カ月暴露)

引張強度(保持率) %

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

ポリカーボネート ABS AAS メタクリル

原白黒 原白黒 原白黒 原白黒

色 色 色 色

部に最大の引張・圧縮応力が生じ、両端のチャック部には応力がかからない。そこで、中央部のみを薬液に浸漬したり、日光や紫外線へかざして劣化の実験をすることができる。こうして変形状態における促進劣化実験や屋外暴露試験を行ない、 N の変化を時々測ることにより、劣化度の定量的追跡を簡便かつ非破壊的に行なうことが可能となった。

$$E/E_0 = N/N_0$$

ここでサフィックス 0 は初期値を示す。この C 形簡便法による促進暴露データは文献 にある。

こうして、プラスチックの光劣化・熱劣化・薬液劣化・環境応力き裂・疲労劣化・天候劣化などを促進的に簡便に追跡し、しかも応力の効果を調べることが容易となった。

次にこの C 形簡便法を拡張し、装置化することにより C 形試片の剛性変化を連続的に自動計測することを試み、“C 形劣化追跡装置”を試作した。

この装置を用いると、各種温度において試料の剛性(みかけのヤング率)・光弾性特性がわかると共に、薬液中での応力緩和やクリープが追跡でき、応力下での熱劣化・光劣化・薬液劣化を定量的に知ることができる。さらにこの装置に動電型加振器と加速度計を付加した“C 形振動劣化装置”を試作し、劣化に対する振動荷重の影響も調べられるようにした。この C 形

劣化追跡装置を活用し、環境応力き裂のグレードによる差を調べた。これらの応力緩和によるき裂生長の追跡を発展させて、図 5 に示すように C 形 S.S.C. インデックスと名付けた耐久性予測の指標を提案した。

このインデックス値と最長 12 年にわたる鉄道軌道におけるフィールドテスト十数例における損傷率とを対比させることにより、図 6 に示す相関関係を得た。

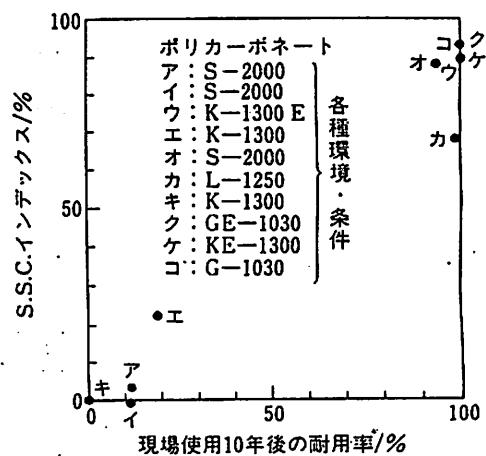
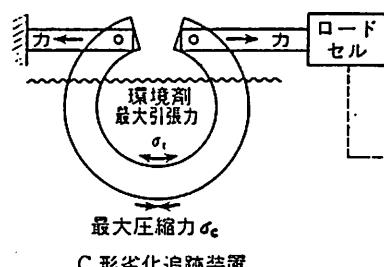
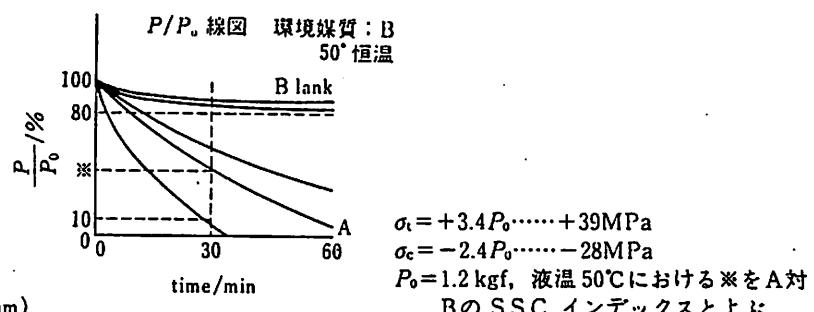


図 6 実用状態における耐用率と S.S.C. インデックス



C 形標準試験片の場合 (内径20, 外径30mm)

図 5 C 形法による S.S.C. インデックスの求め方



文献 (筆者の報文のうち、C 形法・耐候性関連の主なもの)

- 大石不二夫: 高分子, 20, 822 (1971)
- F. Ohishi, *J. Appl. Polym. Sci.*, 14, 2225 (1970)
- F. Ohishi: *ibid.*, 15, 381 (1981)
- F. Ohishi et al.: *ibid.*, 20, 79 (1976)
- 大石不二夫: 鉄研報告, No.1245 (1983)
- 大石不二夫: 高分子, 35, (7) (1986)
- 大石不二夫: 「プラスチックの耐久性」 工業調査会 (1975)
- 大石不二夫, 他: 「工業材料の耐候性」 日刊工業新聞社, (1985)
- 大石不二夫, 成沢郁夫; 「プラスチック材料の寿命」, 日刊工業新聞社 (1987)
- 大石不二夫: 材料技術, 2, 3 (1984)
- 大石不二夫: 繊維学会誌, 40, 7 (1984)
- 大石不二夫, 他: 「エンジニアリングプラスチック活用マニュアル」 オーム社, (1985)