硬質プラスチックの疲労強度に及ぼす試験条件の影響*

島 村 昭 治** 榎 本 信 助*** 古 江 治 美****
小 牧 和 夫***** 中 村 晴 雄*****

An Effect of Testing Conditions on Fatigue Strength of Selected Rigid Plastics

by

Shoji SHIMAMURA

(Mechanical Engineering Laboratory, Tokyo)

Nobusuke ENOMOTO

(College of Technology, Seikei University, Tokyo)

Harumi FURUE

(Mechanical Engineering Laboratory, Tokyo)

Kazuo KOMAKI

(Government Industrial Research Institute, Osaka, Ikeda)

and Haruo NAKAMURA

(Musashino Electrical Communication Laboratory, Musashino)

Three selected rigid plastics, namely polymethyl-methacrylate, polyvinyl chloride and glass-cloth reinforced polyester, were subjected to fatigue tests with four different fatigue testing machines. The results showed the following effect of the fatigue tester on the fatigue strengths of these materials.

(1) The effect of testing machine on the fatigue strength is appreciable. Therefore, a careful comparison of fatigue data resulting from the tests with different fatigue testers is necessary.

(2) The difference in the type of fatigue testing machines employed (constant stress-amplitude or constant strain-amplitude) as well as the difference in the method of holding specimens may affect the fatigue strength.

(Received Apr. 16, 1974)

1 はじめに

一般に材料の耐疲労性は、構造敏感な特性であり、したがって引張強度などの静的強度特性と異なり、ばらつきが大きいことは良く知られている。硬質プラスチックの静的強度特性に及ぼす試験条件の影響については、すでにかかなりの試験研究があるが、疲労強度については、内外共にほとんど報告されていない。

そこで、数種類の硬質プラスチックの平面曲げ疲労に及ぼす試験機の種類の影響について、一連の実験を行ない、興味ある結果を得たので、以下にその概要を報告する。

2 試験材料

試験は、Table I に示すとき、3種類の材料につ

いて行なった。いずれも硬質プラスチックに属するが、ポリメチルメタクリレート (PMMA と略す) は、熱可塑性プラスチックの中でも、ぜい性的な材料であり、一方、硬質塩化ビニル (PVC と略す) は、熱可塑性プラスチックの中でも、中程度の延性を有する材料として、それぞれ選んだ。残りの平織ガラスクロス・ポリエステル積層板 (UP-PWC と略す) は、いわゆるFRP の代表として選んだものである。これら3種類の材料のグレードならびに力学的特性を Table I にまとめて示す。

3 試験機と試験条件

試験機としては、Table II に示すごとく3種類、4台の試験機を、4機関が1台ずつ使用した。Table II の No.1 と No.4 は試験機としては、同形式のものである。No.3 のシェンク形の疲労試験機は、変形一定形の試験機であるが、試験中に、外部より荷重を変えられるようになっており、試験中に試験片の剛性

* 原稿受理 昭和49年4月16日
** 正 会 員 機械技術研究所 東京都杉並区井草
*** 正 会 員 成蹊大学 武蔵野市吉祥寺北町
**** 機械技術研究所 東京都杉並区井草
***** 正 会 員 大阪工業技術試験所 池田市緑ヶ丘
***** 武蔵野電気通信研究所 武蔵野市緑町

Table I. Mechanical properties of materials.

A. Tensile properties

Material	Thickness (mm)	Proportional limit (kg/mm ²)			Tensile strength** (kg/mm ²)			Elongation** (%)			Young's modulus (kg/mm ²)		
		$\bar{X}$	σ	$\sigma/\bar{X}$	$\bar{X}$	σ	$\sigma/\bar{X}$	$\bar{X}$	σ	$\sigma/\bar{X}$	$\bar{X}$	σ	$\sigma/\bar{X}$
PMMA	3.06	—	—	—	6.49	0.36	0.055	4.2	1.09	0.26	280	11.5	0.04
PVC	3.40	2.98	1.07	0.36	4.54	0.16	0.036	3.3	0.274	0.084	230	7.35	0.03
UP-PWC	3.3	7.20	1.44	0.20	29.8	1.42	0.048	2.1	0.09	0.043	1930	143	0.07

** For PVC, the values of these properties are yield point and elongation at yield point, respectively.

B. Flexural properties

Material	Thickness (mm)	Proportional limit (kg/mm ²)			Flexural strength** (kg/mm ²)			Modulus of elasticity (kg/mm ²)		
		$\bar{X}$	σ	$\sigma/\bar{X}$	$\bar{X}$	σ	$\sigma/\bar{X}$	$\bar{X}$	σ	$\sigma/\bar{X}$
PMMA	3.06	3.5	0.43	0.12	11.9	0.28	0.02	300	5.63	0.02
PVC	3.40	4.5	0.46	0.10	9.8	0.14	0.01	230	4.85	0.02
UP-PWC	3.3	13.6	2.25	0.165	46.5	2.34	0.05	1860	72.9	0.04

** For PVC, the value of this property is yield point.

$\bar{X}$: Mean value, σ : Standard deviation

Table II. Fatigue testing machine.

No.	Type of testing machine	Speed of testing (rpm)	Specimen	Laboratory
1	Baldwin type SF-01	1800	Fig 1 (a)	A
2	" SF-2	"	" (b)**	B
3	Schenck type* (4 kg-m)	"	" (c)	C
4	Baldwin type SF-01	"	" (a)	D

* Modified type (manually-controlled constant stress-amplitude)

** ASTM D 671-63T Method B, Type II

Fig. 1. Dimensions of specimens.

低下により、荷重が低下した場合は、これを補整して、一定荷重振幅で疲労試験を行なうよう努めた。したがって、4 台共、荷重一定形の疲労試験が行なわれたと考えてよい。

Fig. 1 は、各試験機に用いた試験片の形状寸法である。試験片は、すべて Table I の材料の平板より、機械加工により製作した。

試験は、本研究実施当時は未制定であったが、最近制定された JIS K7118「硬質プラスチックの疲れ試験方法通則」および JIS K7119「硬質プラスチック平板の平面曲げ疲れ試験方法」にほぼ準じて行なわれたので、試験方法の詳細については略する。

4 実験結果とその考察

4.1 S-N 曲線

まず、各材料について、4 台の疲労試験機により、ふつうの疲労試験を行ない、S-N 曲線を求めた。Fig. 2~4 は、それぞれ PMMA, PVC および UP-PWC の S-N 曲線を示す。これは 4 台の試験機の結果を、同一 S-N 線図上にプロットし、ばらつきの上下限を、ほぼ表わす曲線を引いたものである。

これから、次のことがわかる。

(1) 疲労強度は、同一ロットの材料でも、試験機により、かなり異なった値が得られる。すなわち機差がある。

(2) Fig. 2~4 を通覧した結果では、この機差による影響は、UP-PWC が最も少なく、PMMA が最も大きく、PVC がその中間に属するように思われる。

4.2 疲労寿命試験

前節の実験結果より、機差が認められたので、さらに定量的な評価を行なうため、以下のごとき疲労寿命

Fig. 2. S-N curves (PMMA).

Fig. 3. S-N curves (PVC).

Fig. 4. S-N curves (UP-PWC).

試験を行なった。

すなわち、Table I の 3 材料について、PMMA は 3.0 kg/mm^2 、PVC は 2 kg/mm^2 、UP-PWC は 9.5 kg/mm^2 の応力振幅で、Table II の各試験機により、それぞれ約 10 個の試験片の疲労試験を行ない、各寿命を順序統計法により、 P - N 線図に描くと、Fig. 5 (PVC および UP-PWC) および Fig. 6 (PMMA) のごとくなる。これらを良く行なわれているように対数正規分布と仮定して、ASTM の方法により、機差の検定を行なうと、Table III (PVC と UP-PWC) および Table IV (PMMA) のごとくなる。なお試験

Fig. 5. P - N curves (UP-PWC, PVC). Fig. 6. P - N curves (PMMA).

機 4 台を総合的に評価するため、試験機を 4 水準とする 1 元配置により分散分析を行なった結果が Table V である。

4・3 結果の考察

以上の実験結果から、次のようなことがわかる。

(1) Table III および IV より、まず寿命の分散 s^2 に及ぼす機差の影響は、UP-PWC では①と②、PVC では①と③および②と③の間で、5%の危険率で有意であったが、その他については有意でなかった。なお PMMA では、危険率10%で、②と④との間に有意差がある (Table IV)。これをさらに検討してみると、次のごとく考えられる。

① ①—②、②—④間で有意ということは、①、②、④の試験機は、いずれも米国製の Baldwin SF 形の疲労試験機であるが、①と④が両持ち曲げであるのに対し、②は片持ち曲げであり、かつ Fig. 1 に示すごとくテーパ形の試験片を使用している。すなわち、同形式（この場合は不平衡質量回転形の試験機）でも、試験片の支持ならびに荷方式および試験片の形状が変わると、分散に差を生ずる。

② ①—③、②—③の間で機差があるのは、上述のごとく、①および②は Baldwin 形すなわち荷重一定形であるのに、③はシェンク形すなわち変形一定形であり、③にのべたごとく、外部より剛性低下に伴う荷重低下を補整しているが、結局、疲労試験機の形式によって疲労寿命の分散に差を生じたものといえる。

Table III. Test for difference of machine (UP-PWC, PVC).

Test for variance of fatigue life							Test for mean value of fatigue life										
Machine	Number of specimens	$\overline{X} = \log \overline{N}$	$\overline{N} \times 10^3$ anti $\log \overline{X}$	Variance for X S^2	S	Test for difference of ratio				Method of test	S'^2	t'	t''	$d.f.$	t value & test		
						$V = S_1^2 / S_2^2$	F value & test		$\alpha = 0.10$						$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
UP-PWC $\sigma = 9.5 \text{ kg/mm}^2$																	
1	10	6.39253	2 469	0.0123	0.111	1&2	6.08	3.18 ⁺	4.03	b			3.56	11	2.20*	3.11**	
						1&3	2.28	3.18	4.03	a	0.0202	5.97		18	2.10*	2.88**	
2	10	6.06123	1 151	0.0745	0.273	1&4	1.65	3.29	4.20	a	0.0158	4.76		16	2.12*	2.92**	
						2&3	2.65	3.18	4.03	a	0.0513	7.00		18	2.10*	2.88**	
3	10	6.77142	5 908	0.0281	0.168	2&4	3.67	3.68	4.82	a	0.0508	5.74		16	2.12*	2.92**	
						3&4	1.38	3.68	4.82	a	0.0247	1.27		16	2.12	2.92	
4	8	6.67716	4 755	0.0208	0.143												
PVC $\sigma = 2 \text{ kg/mm}^2$																	
1	9	5.04559	111.1	0.0088	0.094	1&2	1.01	3.23	4.10	a	0.0087	4.62		17	2.11*	2.90**	
						1&3	11.4	3.39 ⁺	4.36 ⁺	b			5.05	10	2.23*	3.17**	
2	10	5.24320	175.2	0.0087	0.093	1&4	2.18	3.84	5.05	a	0.0123	3.07		17	2.18*	3.60**	
						2&3	11.4	3.18 ⁺	4.03 ⁺	b			3.18	10	2.23*	3.17**	
3	10	5.57431	375.3	0.0999	0.316	2&4	2.21	3.63	4.72	a	0.0119	0.171		13	2.16	3.01	
						3&4	5.20	6.00	8.90	a	0.0750	2.27		13	2.16*	3.01	
4	5	5.23299	171.0	0.0192	0.139												
+ Significance in $\alpha = 0.10$ * " " $\alpha = 0.05$ ** " " $\alpha = 0.01$ "a": Non significant in variance "b": Significant in variance																	

Table IV. Test for difference of machine (PMMA).

Test for variance of fatigue life										Test for mean value of fatigue life							
Machine	Number of specimens	$\overline{X}=\log \overline{N}$	$\overline{N} \times 10^3$ anti $\log \overline{X}$	Variance for X S^2	S	Test for difference of ratio				Method of test	S'^2	t'	t''	$d.f.$	t value & test		
						$V=\frac{S_1^2}{S_2^2}$	F value & test		$\alpha=0.10$						$\alpha=0.05$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
PMMA $\sigma=3.0 \text{ kg/mm}^2$																	
1	10	4.240	17.38	0.0361	0.190	1&2	1.57	3.29	4.20	a	0.0309	2.49		16	2.12*	2.92	
2	8	4.446	27.94	0.0230	0.152	1&4	2.67	3.18	4.03	a	0.0663	0.339		18	2.10	2.88	
4	10	4.279	19.01	0.0965	0.311	2&4	4.19	3.68 ⁺	4.82	b			1.85	15	2.13	2.95	
+ Significance in $\alpha=0.10$ * " " $\alpha=0.05$ "a": Non significant in variance "b": Significant in variance																	

Table V. Table of analysis of variance.

							PVC $\sigma=2 \text{ kg/mm}^2$						
Variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	Ratio	F value & test		Between class	1.394	3	0.465	12.8	2.92*	4.51**
					$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$							
UP-PWC $\sigma=9.5 \text{ kg/mm}^2$													
Between class	2.985	3	0.996	28.8	2.88*	4.42**	Within class	1.089	30	0.0363			
Within class	1.176	34	0.0346				Total	2.483	33				
Total	4.160	37					PMMA $\sigma=3 \text{ kg/mm}^2$						
Between class	0.209	2	0.154	2.85	3.39	5.57	Within class	1.354	25	0.0547			
Within class	1.354	25	0.0547				Total	1.563	27				
Total	1.563	27											
* Significance in $\alpha=0.05$													
** " " $\alpha=0.01$													

(2) 寿命平均値については、UP-PWC の③と④の間、PVC の②と④の間を除き、UP-PWC と PVC の疲労強度は5%の危険率で有意であった。予想されたごとく、疲労強度は試験機の影響を著しく受けるので、異なる試験機間のデータの比較には、充分注意を払う必要がある。とくに、①と④は全く同形式の試験機で、製造時期に数年の差があり(④の方が古い)、かつその間にメーカーが変わっている(Baldwin から Wiedemann へ)。けれども、まず同じ形式の試験機と考えてよい。しかも、寿命平均値に有意差が出るのは、いわゆる個人差(実験技術の差)も無視できないことを示している。

(3) PMMA は、結果そのものは、大きなばらつきを示しているにもかかわらず(Fig. 2, 6)、寿命平均値に及ぼす試験機間の有意差は少なかった(Table IV, V)。これは、試験機③のデータが正規分布と見なしにくいので、検定から省いたこと、およびつごうにより PMMA に限り、①の試験機で④も代行したことなど、実験としてやや不十分であり、ここでは上記の理由等についての断定は避ける。PMMA の疲労については、すでに幾つかの報告があるが³⁾⁴⁾、この材料はかなりもろく、したがって構造敏感性も強いので、ここでのべたような機差検定を行なうには、充分な試験片個数(50本程度)を用い、かつ応力振幅値も、 $S-N$ 曲線の折れ点³⁾(2.5~3.0 kg/mm²)を避けて設定する必要がある。これらは今後の研究課題である。

5 む す び

3種類の硬質プラスチックについて、4台の疲労試験機を用いて疲労試験を行ない、疲労寿命およびその分散に及ぼす機差の影響について検討した結果、(1)機

差の影響は少なくなく、したがって同じ応力系(たとえば平面曲げ)でも、機種や試験場所の異なるデータの比較は充分注意して行なわなければならないこと、および(2)試験機の負荷形式(定応力形か定ひずみ形か)、および試験片の支持方式などが異なると、機差の原因となりやすいことが明らかとなった。

ただし一言付言しておかなければならないのは、本実験では、試験機ごとに試験片の寸法が、変わっていることである。したがってここで得られた結果には、寸法効果も含まれている可能性がある。しかし、この程度の寸法差では、寸法効果は少ないと考えられるし、また疲労試験では試験機により試験片の形状寸法はほぼきめられてしまうので、機差の中に試験片の効果を含めても妥当性を損なわないと考える。

なお、これに引続き3台の機種は異なるが、同一負荷形式(定ひずみ形)の、容量のほぼ等しい疲労試験機により、本報告と同じ3種類のプラスチックについて、試験速度の因子も加えて、同様の実験を行なった。^{*1}これについてはつぎの機会に発表したい。

本実験は、プラスチック標準試験方法研究会疲労試験分科会の作業として行なわれたもので、当時の関係者各位に改めてお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) たとえば、“プラスチック試験ハンドブック”(1969)日刊工業新聞社に多くのデータが載せられている。
- 2) ASTM, STP No. 91-A, “A Guide for Fatigue Testing and the Statistical Analysis of Fatigue Data”(1963).
- 3) Shimamura, S., *et al.*, Proc. JCTM, 5, 136 (1962).
- 4) Shimamura, S., *et al.*, Proc. JCTM, 6, 134 (1963).

*1 未発表、島村昭治、宮入裕夫。