落球試験法によるプラスチックの衝撃強度に 及ぼす試験条件の影響について*

山口章三郎** 大柳 康**
村本幸保*** 近藤和為***

Effects of Test Conditions on the Impact Resistance of Plastics by the Free Falling Ball Method

by

Yukisaburo YAMAGUCHI, Ko OYANAGI, Yukiyasu MURAMOTO
and Kazutame KONDO

(Kōgakuin University, Tokyo)

The present study has been made to inquire experimentally into the effect of testing conditions, such as the gripping pressure on the specimen, the size of the specimen and the weight of the ball, upon the impact resistance of some plastics in the experiment worked by the falling ball method.

The results obtained are as follows;

(1) The gripping pressure has the greatest influence on the impact resistance, and the greater the pressure is, the less the impact resistance is.

(2) The impact resistance increases with the increment of its supporting distance and the thickness of the specimen, but generally it does not increase with the increment of the breadth of the specimen.

(3) The required falling height H to break the specimen is lowered by the increment of the weight W or the size of the falling ball, but the energy WH to break the specimen is little affected by that.

(Received Sep. 18, 1967)

1 結 言

プラスチックの落球衝撃試験法については ASTM^{*1}, BS^{*2} および JIS^{*3} にその 1 部がそれぞれ規格化されているが、他の衝撃試験法のように一般的に用いられていない。この方法は実際の衝撃荷重に対する具体的な強度を測定できて、設計の基礎資料となる点では、振り型衝撃試験法では得られない利点をもっている。

本研究では、落球衝撃試験法によって、どの程度のプラスチックが衝撃強度測定に適用できるかについてまず実験的に検討し、次いで適用できるプラスチックについて各種試験条件すなわち試片つかみ圧力、試片支点間距離、試片の幅と厚さおよび落球の重量と大きさなどによって衝撃強度がどの程度影響されるかについて実験的に明らかにして、この種試験法における標

準試験法を定める基礎を求めようとした。なお、引張衝撃試験による衝撃強度と本法によるものとの関連についても少々実験的に検討した。

2 実験の方法

2・1 試験装置

実験に用いた落球衝撃試験装置は、Fig. 1 に示す上島製作所製のもので、試験片はその両端面を支持板間にはさまれ、締付ボルトによって加圧固持するもので、上部ビームに電磁石によって保持されている鋼球ハンマが、電源を切られることによって試片中央に垂直に落下する。ハンマの高さは左右両端の支柱にささえられ上下にスライドするビームの位置によって種々に変えられる。本実験では、所定の高さより高いところま

* 原稿受理 昭和42年 9月18日

** 正 会 員 工学院大学 東京都新宿区角管 2 丁目

*** 工学院大学 東京都新宿区角管 2 丁目

*1 ASTM (D1709-62T)

*2 BS 306B

*3 JIS K 6745 (1963) および同6718 (1959)

Fig. 1. Test apparatus.

で測定できるように支柱の長さを3 mまで延長して実験した。

試験片の支点間距離は規定の100 mm 以外の長さにするためには、締付ボルト台を左右に移動することによって調節することができる。

2・2 試験片

実験に用いた材料はTable I に示すフェノール積層板、メチルメタクリレート（以下アクリルと略称する）、ABS 樹脂、塩化ビニルおよびソーダガラスの5種で、それぞれ板状の既製品を切断加工によって作成

Table I. Materials of specimen.

Materials	Details	Note
1 Phenolics laminate	"Sumilite": PL-FLE-2 (Sumitomo Bake Co.)	JIS K 6912 3×1 000×1 000 mm plate
2 Acrylics	"Acrylite-100A" M.M.A. (Toyo Rayon Co.)	3×1 000×2 000 mm plate
3 ABS resin	"Styrac-200" (Asai Daw Co.)	(1~3)×1 000×2 000 mm plate
4 PVC	Hard PVC (Takiron Chem. Co.)	(1~3)×1 000×2 000 mm plate
5 Glass	Soda glass	(1~6) mm thickness

Table II. Test Conditions.

1	Pressure on specimen fixed	Twisting moment applied to bolt T (kg-cm)	0, 50, 150, 280
		Mean pressure p (kg-cm ²)	0, 12, 36, 67
2	Distance between fixed points l (mm)		75, 100, 125, 150
3	Breadth of specimen b (mm)		37.5, 50, 75, 100
4	Thickness of specimen t (mm)		1, 2, 3, 5, 6
5	Falling ball	Weight (Equal size) W (kg)	0.6, 1, 1.2, 1.44 (63φ)
		Size (Solid ball), D (mm)	36~71.6

した。なお、引張衝撃試験片は打抜加工によって所定の寸法にした。

2・3 試験条件

落球衝撃試験の試験条件として、Table II に示す次の六つについて検討した。

2・3・1 試験片押え平均圧力 試験片の両端面を加圧固持するときの端面にかかる平均圧力 p は、締付ボルトにかけるねじりモーメント T による締付力 Q と固持端面積を A とすると、 $p=Q/A$ (kg/cm²)によって表わされる。試験に用いた T および p はTable II に示す5種とした。

2・3・2 支点間の距離 試験片固持端面間の距離 l を試験片支点間距離として、試験片の長さおよび締付ボルト台の位置を変えることによって、Table II に示すように4種に変えた。

2・3・3 試験片の幅 支点間距離に直角方向の試験片の長さを試験片の幅とし、この寸法は標準では50 mm とされているが、Table II に示すように37.5~100 mm の範囲で4種にして試験した。

2・3・4 試験片の厚さ 試験片の厚さは既製品に制限され、いずれの材料にも、Table II に示す1~6 mm の範囲のどの寸法のものもすべて準備することはできなかった。

2・3・5 落球(ハンマ)の重量 ハンマの外径を同じくして、中空、中実、中空部に鉛または水銀を入れて重量だけをTable II に示すように、0.6~1.44 kg の範囲で4種に変えた。

2・3・6 落球(ハンマ)の大きさ ハンマはすべて中実鋼球で外径すなわち重量ともTable II に示すように36~69.8φ (重量100~1 500 g) の範囲に、種々変えた。

2・4 試験の方法

落球衝撃試験方法は同一条件で一定の高さから試験片5枚について落球衝撃を与え、破壊した試験片数の5枚に対する比率を破壊率とした。この場合の破壊とは破断したものおよびクラックの生じたものをいう。落球衝撃値は50%破壊するに要する高さまたは、高さと重量との積の破壊落球エネルギーで表わすことができるので、縦軸を落球高さ、横軸を破壊率とするFig. 2のような関係線図を求め、この関係線ABと50%破壊率を表わす直線との交点 H が落球衝撃高さであり、これにハンマの重量 W を乗じた WH が落球衝撃値 U kg-cm とすることができる。なお、 H の値は破壊率0%の最大高さ H_1 と破壊率100%の最低高さ H_2 が求められると次式で表わされる。

*4 BS 50φmm*2

Fig. 2. Method to obtain H .

Fig. 3. Tension impact specimen.

Fig. 4. Tension impact machine (Schematic).

$$H = H_1 + \frac{H_2 - H_1}{2} = \frac{H_2 + H_1}{2} \quad (1)$$

また、引張衝撃試験法は、ASTM^{*5}による方法で、容量30kg-cmの振り形衝撃試験機の衝撃速度3.3m/secでFig. 3に示す試験片をFig. 4に示す衝撃部の装置で引張衝撃試験を行ない、破壊に要したエネルギー E (kg-cm)を断面積 A で割った値 U 、すなわち $U = E/A$ (kg-cm/cm²)をもって引張衝撃強度とした。

なお、両衝撃試験とも試験環境は室温 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 15\%\text{RH}$ の状態とした。

3 実験の結果と考察

3・1 材料による落球衝撃法の適否

Table Iに示す4種のプラスチックとガラスの中で、標準ハンマ1kgで高さ3m以内で破壊するものはフェノール積層板、アクリルおよびガラスの3種でABS樹脂と塩化ビニルは引張衝撃強度は求められるが、落球衝撃によっては明りょうな破壊を生じないため、その衝撃強度も求めることができない。これらより強い衝撃強度をもつポリカーボネート、ナイロン6、ポリアセタールおよびポリプロピレンなどの熱可塑性プラスチックも同様に、この程度の容量の試験装置で破壊が生じないため測定不可能である。すなわち、現用の落球衝撃試験機は板状の熱硬化性プラスチックと、比

較的もろい熱可塑性プラスチックの1部についてのみ適用できるもので、すべてのプラスチックには適用できない。

3・2 試験片押え圧力の影響

試験片の寸法を $150 \times 50 \times 2$ (アクリルは5) mm、支点間距離を100mm、ハンマを63 ϕ mm, 1kg (フェノールに対しては0.5kg)のそれぞれ一定条件として、試験片押え平均圧力を0, 12, 36および67kg/cm²とした場合の落球衝撃破壊高さ H と破壊率との関係を求めると、フェノールに対してはFig. 5、アクリルに対してはFig. 6となる。

これらの図から各試験片押え圧力 p に対する落球破壊

(Size : $150 \times 50 \times 5\text{mm}$, W : 1kg (63 ϕ), l : 100mm)

Fig. 5. Relations between H and breaking percentage for various pressures p in acrylics.

(Size : $150 \times 50 \times 2\text{mm}$, W : 0.5kg, l : 100mm)

Fig. 6. Relations between H and breaking percentage for various pressures p in phenolics.

*5 ASTM D 1822-61T

Fig. 7. Relations between falling impact value WH and pressure p for acrylics and phenolics.

Fig. 10. Relations between falling impact value WH and supporting distance l in acrylics, phenolics and glass.

Fig. 8. In phenolics.

Fig. 9. In acrylics.

Figs. 8, 9. Relations between H and breaking percentage for various supporting distances l .

高さ H_1 , H_2 および H から, WH_1 , WH_2 および WH との関係を図示すると, Fig. 7 となる. 図から明らかなように, いずれのプラスチックも試片押え圧力が大きくなるほど落球衝撃強度 $U(=WH)$ kg-cm は低下し, 特に押え圧力 p が 12 kg/cm² 以下の範囲においてこの傾向が著しい.

3・3 支点間距離の影響

試験片の幅と厚みを一定とし, 試片押え平均圧力を 12 kg/cm², ハンマ重量を 1 kg (フェノールは 0.5 kg) とし, 試験片の支点間距離を Table II に示すように種々に変えて, 落球衝撃試験を行なった結果を, 各支点間距離について落下高さと破壊率との関係で示すと, フェノールは Fig. 8, アクリルは Fig. 9 となる. これらの図から, 前記同様にして落球衝撃強度 WH_1 , WH_2 , WH と支点間距離との関係を示すと, Fig. 10 となる. 図はフェノールおよびアクリルとこれらと同じようにして求めたガラスにおける関係を示している. 図から明らかなように, 両プラスチックにおいては, 支点間距離にほぼ正比例して衝撃強度は大きくなる. しかし, ガラスにおいては支点間の距離の影響がほとんど現われない.

3・4 試験片の幅と厚さの影響

フェノールに対しては試片押え圧力 12 kg/cm², ハンマ重量 0.5 kg, 試片厚み 2 mm, アクリルに対しては試片押え圧力 12 kg/cm², ハンマ重量 1 kg, 試片厚み 5 mm, ガラスに対しては試片押え圧力 0 kg/cm², ハンマ重量 0.3 kg, 試片厚み 5 mm とし, いずれも支点間距離を 100 mm として, 試片の幅を 40, 50, 80 および 100 mm の 4 種に変えて落球試験を行ない, それぞれの落球衝撃強度 WH_1 , WH_2 および WH (kg-cm)

と試片幅との関係を示すと, Fig. 11となる.

図から明らかなように, フェノールでは幅50mmで衝撃強度は最大となり, それ以上の幅になるとかえってこの値が低くなり, アクリルではこの範囲における幅では, 幅が大きくなるほど衝撃強度が少し低下するが, ガラスにおいては, これと反対に幅が増すほど衝撃強度は大きくなる.

次いで, 前記同様の条件で, 試片の幅を50mmの一定として, 厚みを2~10mmの範囲で変えた場合の落球衝撃強度 WH と試片厚みとの関係を示すと, Fig. 12となる. 図で明らかなように, いずれの材料も厚みが増すほど衝撃強度 $U(=WH)$ は大きくなる. 実験デ

Fig. 11. Relations between falling impact value WH and breadth b of specimen in acrylics, phenolics and glass.

Fig. 12. Relations between falling impact value WH and thickness t of specimen in acrylics, phenolics and glass.

ータが少ないので厳密性を欠くが, これらの関係線から衝撃強度 U と厚み t との関係は次式で表わされる.

$$U = ct^n \quad (2)$$

ここで c, n は材料による定数で n の値はフェノールおよびガラスに対しては約1, アクリルに対しては約1.5となる.

3・5 ハンマの重量と大きさの影響

150×50×5 (フェノールは2) mmの標準寸法の試験片で, 支点間距離を100mm, 試片押え圧力12kg/cm²として, ハンマの外径は63φmmの一定とし, 重量を0.6, 1, 1.2および1.4kgとした場合, フェノールおよびアクリルに対する落球衝撃破壊高さ H と, ハンマの重量との関係を示すとFig. 13となり, 重量が

Acrylics : p : 12 kg/cm², size : 150×50×5mm, l : 100mm
 Phenolics : " , " 150×50×2mm, "
 Glass : p : 0 kg/cm², " 150×50×5mm, "

Fig. 13. Relations between H or falling impact value WH and weight W of hammer for various materials.

大きくなるほど H は小さくなる. しかし, 落球衝撃強度 $U(=WH)$ と重量との関係は同図の点線で示すように, 重量に関係なく WH はほぼ一定となる. なお, ガラスにおいてはハンマ径を小さくして重量を変えた場合も, ある程度のばらつきはあるが前記のプラスチックと同様に, 重量が大きくなるほど破壊落下高さ H は小さくなるが, 衝撃強度 WH はほぼ一定である.

前記と同じような条件で, ハンマを無空で直径を50.8φ(0.5kg), 63φ(1kg), および69.8φ(1.5kg)mmとした場合の破壊落下高さ H と球の径 D との関係を示すと, Fig. 14 となる. 図から明らかなように, ハンマの外径すなわち重量が大きくなるほど破壊落下高さ H は小さくなるが, 落球衝撃強度 WH の大きさはあまり影響されない. 厳密には, アクリルにおいて球が

Acrylics : Size ; $150 \times 50 \times 5$ mm, ρ : 12 kg/cm^3 , l : 100mm
 Phenolics : Size ; $150 \times 50 \times 2$ mm, " , "

Fig. 14. Relations between H or WH and diameter D of ball hammer for various materials.

大きくなるほどわずかに WH の値は大きくなるが、フェノールにおいては明らかな傾向は認められない。

3・6 引張衝撃値と落球衝撃値との関係

プラスチックの落球衝撃強度を試片の寸法に関係なく表わす方法として、落球比衝撃強度 U_s という概念をかりに考える。すなわち落球衝撃強度に対する試片の幅の影響は割合少ないのでこれを無視し、試片の厚みの影響は(2)式に示したように、その1～1.5乗に比例するので、ここでは簡単のため厚み t に比例すると考えて、支点間距離100mmにおいて単位厚さ(cm)あたりの落球衝撃強度を落球比衝撃強度 $\{U_s (=WH/t), \text{kg-cm/cm}\}$ とする。したがって Fig. 12から厚さ2mmのフェノールの落球衝撃強度 $U (=WH)$ は 13 kg-cm であるから、その落球比衝撃強度 U_s は U/t すなわち 65 kg-cm/cm となり、同様にアクリルに対するこの値は 52 kg-cm/cm となる。

Fig. 3 に示した試片による引張衝撃値 E_t は、フェノール34.6、アクリル29.3、ABS樹脂40.4、塩化ビニル26.9 kg-cm/cm^2 である。

いま、 U_s と E_t との関係をグラフで示すと Fig. 15 となり、フェノールとアクリルにおいては両衝撃強度の値はほぼ正比例関係にあるが、現用の落球衝撃試験で破壊しなかった、すなわちスケールアウトしたABS

Fig. 15. Relations between specific falling impact strength and tension impact strength.

と塩化ビニルはこの関係線から著しくはずれると考えられる。したがって、この両衝撃強度はアクリルとフェノールなどのように直線OAで表わされる相関性のあるものもあり、またPVCとABS樹脂のように落球衝撃値が著しく高く、上記の相関線からはずれるものもあると考えられる。

4 結 論

以上の実験結果を要約して、次の結論が得られる。

- (1) 現用の落球衝撃試験では、比較的もろい熱硬化性プラスチックと一部の熱可塑性プラスチックのみしか測定できない。
- (2) 試験片押え圧力が大きくなるほど落球衝撃強度は低くなる。
- (3) 試験片の支点間距離が大きくなるほど、落球衝撃強度は大きくなる。
- (4) 落球衝撃強度は試験片の厚みの1～1.5乗に比例する。
- (5) 落球衝撃強度は試験片の幅が大きくなると少し低下する傾向がある。
- (6) ハンマの重量または大きさが大きくなると、落球破壊高さは低下するが、破壊に要するエネルギーすなわち落球衝撃強度 WH はほとんど一定である。
- (7) 落球衝撃強度と引張衝撃強度は材料の種類によってはその相関値が著しく異なる。

(昭和42年5月22日 日本材料学会第16期総会講演会にて講演)