

# 計装化衝撃試験機のデータのまとめ方

プラスチック製品は壊れます。プラスチック製品に限らず、モノはいつか壊れます。モノが壊れるときには、必ず何らかの力がかかっています。今回は、瞬間的な力(=衝撃)がかかったときの破壊について、計装化衝撃試験機から得られたデータのまとめ方について解説します。

## はじめに

金属、ガラス、プラスチックに限らずに壊れないモノはありません。製品にどのくらいの力がかかると壊れるのか？一定の力を加えたときにどのくらいの期間で壊れるのか？とさまざまな問題があり、それぞれの試験方法があります。

ここでは、計装化衝撃試験機を用いて、プラスチックに瞬間的な力(衝撃)を加えたときのデータとそのまとめ方について解説を行います。

## 実験装置および考え方

図1に実験装置を示します。この装置は、シャルピー衝撃試験機のハンマ部にストレインゲージがついており、ストレインゲージにより力を測定するものです。衝撃試験には、アイソット衝撃試験もありますが、計装化という点でシャルピーのほうが機構的に容易です<sup>1)</sup>。シャルピー型もアイソット型も同じようにエネルギーを読み取る方式です。ハンマ(容量7.5 J)の打撃により、試験片を破壊させ、そのときのエネルギーを読み取る方式です。この装置は、振り子のように単純にハンマを振り下ろし、振り下ろす前の角度と振り下ろした後の角度から位置エネルギーの減少量が衝撃値となります。このとき、エネルギーの減少の要因は試験片によるものと機械的なものが存在します。機械的原因によるエネルギーの減少量は、空振り時のエネルギーの減少量を測定することで既知とします。このハンマ型の衝撃において、打撃前後の位置エネルギー差は、式(1)のように表されます。

$$\Delta U = Mg(h - h') \quad (1)$$

ここで、 $\Delta U$ はエネルギー差、 $M$ はハンマ質量、

$g$ は重力加速度、 $h$ 、 $h'$ は打撃前後のハンマの高さです。通常、製品の破壊防止の設計に必要なとなるのは破壊エネルギーではなく、破壊応力です。(有限要素法を用いた構造解析などにおいても力の条件は入力可能である。) 衝撃試験で与えられる瞬間的な力( $F$ )を知ることは重要です。そこで解析には、エネルギーと力の関係を導かなければなりません。式(1)のエネルギー差を打撃前後の速度変化で表します(式(2))。

$$\Delta U = M \frac{V_0^2 - V_1^2}{2} \quad (2)$$

ここで、 $V_0$ 、 $V_1$ は打撃前後のハンマの速度です。式(2)は、エネルギー保存則から求めました。式(3)のように運動量保存則から表すことができます。

$$\int_0^r F dt = M(V_0 - V_1) \quad (3)$$

式(2)、(3)をまとめて整理する<sup>1)</sup>とエネルギー差、変位が式(4)、(5)のように表されます。

$$\Delta U = V_0^2 \int_0^r F dt \left[ \frac{1}{V_0} - \int_0^r \frac{F dt}{4E_0} \right] \quad (4)$$

$$D = V_0 t - \int_0^r \int_0^r \frac{F dt}{M} \quad (5)$$

ここで、 $D$ は変位であり、 $E_0$ はハンマの初期エネルギー  $MV_0^2/2$ です。



(a)全体 (b)ハンマ部

## 図1 計装化衝撃試験機

振り子の原理でハンマを振り下ろすことにより、試験片を一瞬のうちに衝撃破壊する装置です。持ち上げ角度(既知)と振り上げ角度(試験値)の関係から、ハンマの損失エネルギー=試験片の破壊エネルギーがわかります。ハンマの先端にあるストレインゲージで力の大きさとその時間変化を測定します。データのサンプリングレートは最大100kHzです

## 実験データ

この計装化衝撃試験機を用いて試験を行うと、打撃後のハンマーの振り上げ角度から破壊の衝撃値が得られ、また、ストレインゲージから力(F)と時間(t)の曲線が得られます。

ポリプロピレン樹脂(以下、PPと略す)の試験例を示します。試験片の形状は、JIS K7111(1996)の標準試験片で、幅4.0 mm、厚み10.0 mm、ノッチ深さ2.0 mm、ノッチ形状Aです。

振り上げ角度から求めたハンマーの損失エネルギーは、0.04 Jとなり、衝撃値は1.3 kJ/mm<sup>2</sup>となります。表1にストレインゲージから得られた力(F)と時間(t)のデータの一部を示します。

表1 データの一部(例)

時間 (s)	力 (N)	$(F_i+F_{i-1})\Delta t/2$
0	0.48679	
0.00001	0.859042	1.42e-05
:	:	:
:	:	:
0.00048	0	1.14e-6

3列目の値  $(F_i+F_{i-1})\Delta t/2$ は、計測したFとtから計算した値で、 $\Delta t$ ごとの台形の面積です。

この台形の面積を使うと、式(4)から破壊による損失エネルギーを求めることができます。

式(4)の $V_0$ 、 $F$ 、 $E_0$ は既知の値ですが、積分項 $\int_0^t F dt$ が存在します。この積分項を解くためには、台形公式、シブソン公式が一般に用いられますが、ここでは台形公式を用いました。

台形公式は、微小時間 $\Delta t$ ごとの台形を足し合わせていくもので、積分項は式(6)のようになります。

$$\int_0^t F dt = \sum \frac{F_i + F_{i-1}}{2} \Delta t \quad (6)$$

このような式(6)を用いることにより、式(4)から計算される損失エネルギーは、 $\Delta U=0.04J$ となります。この値はハンマーの振り上げ角度から得られた損失エネルギーと同じ値になりました。

また、式(5)を用いると、F、tの値から、変位Dを求めることができ、力と変位の関係がわかります。

図2にぜい性破壊するポリスチレン(以下、PSと略す)とPPを衝撃試験したときの力と変位の関係を示します。PSでは一つの山、PPでは二つの山となります。一般には、力の最大値である山の頂上に至る左半分が「曲げ変形を伴うクラックの成長過程」とされ、頂上の右半分が「破壊の進展過程」とされています。

脆性破壊をするといわれているPSにおいても、力が急激に小さくなることはなく、時間とともに穏やかに減少することがわかります。

また、延性破壊を含むとされるPPにおいては、頂上が二つあり、延性破壊の影響が大きく出現していると考えられます。

また、このPPをガラス転移点以下の温度である-40℃に2時間程度冷却した後、直ちに本試験をおこなうとPSと同じように一つの山となります。このことから、プラスチックの衝撃特性は、ガラス転移点の以上の温度とそれ以下の温度で大きく異なることがわかります<sup>2)</sup>。

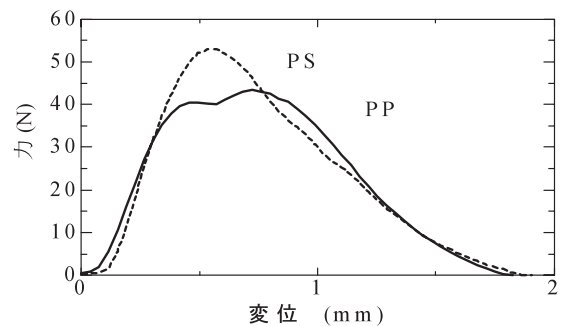


図2 衝撃試験における力と変位の関係

以上、簡単に計装化衝撃試験のデータのまとめ方を紹介しました。

よいデータを取得し、それを正しくまとめるためには、試験機の特徴や試験方法をきちんと理解することが大事です。

参考文献

- 1) プラスチックの耐衝撃性、成澤郁夫著、シグマ出版
- 2) わかりやすい高分子化学、荒井健一郎ほか著、三共出版

研究開発部第二部 材料グループ<西が丘本部>

安田 健 TEL 03-3909-2151 内線337