硬質塩化ビニル板のシャルピー衝撃破面について*

林 英 雄** 植 村 幸 生**

Fracture Surface of Charpy Impacted Rigid PVC Plate Specimens

by

Hideo HAYASHI and Yukio UEMURA

(Government Industrial Research Institute, Osaka)

The Charpy impact value of plastics is greatly influenced by the notch shape of test specimens. And there exists a close correlation between the Charpy impact value and the appearance of the fracture surface. In this paper, the relation between the notch shape and the appearance of the fracture surface of rigid PVC plates was studied.

The results obtained are summarized as follows:

- (1) The fracture of the Charpy impact test specimens did not originate from the surface of notch root, but starts from the inside below the notch root.
- (2) The distance between the notch root and the fracture origin increased with the radius of notch root, but it was not affected by the notch depth.
- (3) In the case of U notch ($r=1.0$ mm, $d=2.0$ mm), the surrounding neighborhood of the fracture origin formed a sphere-like or disk-like void of about $50\text{ }\mu\text{m}$ in diameter.

(Received June 11, 1977)

キー・ワード：シャルピー衝撃試験，硬質塩化ビニル板，衝撃破面

1 ま え が き

プラスチック材料の場合，試験片の切欠き形状がシャルピー衝撃値に非常に大きな影響を及ぼすこと，そして衝撃値の大きさと試験片の破断面の状態との間には密接な関連のあることについては，すでに筆者のうちの一人が報告した。^{1)~3)}

本報では，硬質塩化ビニル板のシャルピー衝撃値に及ぼす切欠き形状の影響を求める実験に用いた試験片の破面観察，とくに SEM 観察によって得られた知見について報告する。

2 試料およびシャルピー衝撃試験条件

使用した硬質塩化ビニル板は，JIS 1 種 1 号で，カレンダーシートからのプレス成形板，外観はグレー，板厚約 5 mm のものである。シャルピー衝撃試験条件の詳細は既報のとおりであるが，主要事項は次のようである。用いた試験片形状を Fig. 1 に示す。その V 形切欠きの先端半径 r を 0~2.0 mm の範囲で，また切欠き深さ d を 0.1~5.0 mm の範囲でそれぞれ変化させた。さらに $r=1.0$ mm の U 形切欠き試験片について

Fig. 1. Shape of test specimen.

でも同様の実験をした。打撃速度は 2.9 m/s，試験温度は 20℃である。

3 破 面 観 察

破面観察は 2 項で述べた試験片（試料 I）の破断片の破断面を中心に行ったが，補足的に他の同様な実験に用いたほぼ同品質の硬質塩化ビニル板製試験片（試料 II）の破断片のそれについても行った。

3・1 巨視的（肉眼的）観察

試験片の破断面の代表例を Fig. 2 に示す。(a)は破断側面で，(b)，(c)は相対する破断面である。^{1)~3)}

既報でも述べたように，一般にシャルピー衝撃値が大きくなるほど破断面の荒れ具合はひどくなる。ところで，その破断面を子細に観察すると，Fig. 2 (b)，(c)のように，破壊は切欠き底から始まっているのではなく，切欠き底よりやや内側へ入ったところから始まっ

* 原稿受理 昭和52年6月11日

** 正 会 員 工業技術院大阪工業技術試験所 池田市緑丘

(a) Side view of fractured specimen.
(b) and (c) Matching fracture surfaces.
Slender arrow, in Figs. 2, 5, 7, 8, 9 and 11,
shows striking direction.

Fig. 2. A typical fracture surface, U notch ($r=1.0$ mm, $d=2.0$ mm), sample I.

Fig. 3. Relation between notch depth, d , and the distance, D , from notch root to fracture origin.

ていると判断するほうが妥当なようである。そのところを仮に「破壊開始点」と名付ける。切欠き底から破壊開始点までの距離と、切欠き形状との関係を Fig. 3 および 4 に示す。この距離は、切欠き先端半径 r の増加とともに増加するが、切欠き深さ d の影響はほとんど受けないようである。

Fig. 4. Relation between radius of notch root, r , and the distance, D , from notch root to fracture origin.

3・2 微視的 (SEM) 観察

破壊開始点が切欠き底ではなく、そこより内側に入った位置にあると考えることの妥当性を確認するため、破壊開始点付近の破面の様子を SEM を用いた立体写真法により観察した。ここでは代表例として、慣用の U 形切欠き ($r=1.0$ mm, $d=2.0$ mm) および JIS 規定の V 形切欠き ($r=0.25$ mm, $d=1.0$ mm) の場合について述べる。^{*1}

3・2・1 U 形切欠き Fig. 5 に U 形切欠きの場合の破壊開始点付近の典型例 (試料 II) を示す。Fig. 5 はステレオ・マッチング写真で、これから破壊開始点付近の中心には、ほぼ球形状の中空のくぼみを生じていることがわかる。そしてそのくぼみの内面には微粒が一面に付着している。

そこで、なぜ破壊開始点付近の中心にこのような中空のくぼみを生じるのか考えてみる。Fig. 6 (a) のような切欠き部に引張力が作用すると、切欠き部近傍は σ_x , σ_y および σ_z の作用する複雑な 3 軸応力状態になり、平均応力 $1/3(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ を生じるが、この平均応力が最大になる位置は切欠き底ではなく、切欠き底よりいくらか内側のところであるとされている。⁵⁾⁶⁾ このことを考慮して判断すると、上記破壊開始点付近は平均応力が最大になる場所に対応し、その付近に存在する添加材のところから破壊が開始したものと考えられることができる。^{*2}

^{*1} 用いた硬質塩化ビニル板の場合、これらの切欠き形状では、破断片をつなぎ合わせると完全に元どりの形状になり、巨視的な塑性変形は認められず、完全ぜい性破断している⁹⁾。

^{*2} 用いた硬質塩化ビニル板の組成、性質などはおおよそ次のようである。

(1) 添加材増材：～0.5%，着色材：～3%，安定材：～2%，紫外線安定材と劣化防止材：1%以下。
(2) 熱的性質 JIS 軟化点温度：約 75℃，約 300℃ 以上で分解し、HCl ガスを発生。

Fig. 5. SEM stereo matching pair micrograph (5° tilt) of fracture origin, U notch ($r=1.0$ mm, $d=2.0$ mm), sample II.

Fig. 7. SEM matching pair micrograph of fracture origin, U notch ($r=1.0$ mm, $d=2.0$ mm), sample I. Notice that additives are not dispersed.

Fig. 6. Schematic stress distribution at notch root.

にあるため^{*3}、内部摩擦による発熱を生じ、試験片のごく一部では軟化するだけでなく、さらに分解・気化も起りうると考えられる。破壊開始点の中心部にみられ

*3 上述のV形およびU形切欠きの場合、打撃から破断までの時間は約1ms前後である⁴⁾。

る上記中空のくぼみはこうして生じ、ここを中心に放射状に破壊が進行し、試験片は破断したものと判断される。

Fig.5のくぼみの内面にみられる微粒は、破壊開始点の中心付近ではとくに発熱が著しいので、軟化した部分が引張力を受け、あたかも水飴状に糸を引いたように引張られ、この糸が破断し凝固する際表面張力により丸くなり、くぼみの内面に付着したのと考えられる。

破壊開始点がこうして生じるとして、Fig.3および4の実験結果、すなわち切欠き底から破壊開始点までの距離は、先端半径 r とともに増加するが、切欠き深さ d の影響はほとんど受けないことについて考察してみる。シャルビー衝撃試験片の3点曲げのよう

Fig. 8. SEM stereo pair micrograph (5° tilt) of fracture origin. This fracture origin is located on the fracture surface presented in Fig. 2 (c). Solid arrow indicates area presented in Fig. 9.

Fig. 9. Detailed view of fracture origin, matching pair micrograph, presented in Fig. 8.

な場合の切欠き部の応力分布状態は定量的にはまだほとんど解明されていないので、U形切欠きをもつ半無限板に引張力が作用したときの応力分布状態を参考にし定性的に考える。模式的に書けば切欠き底近傍の σ_x , σ_y の分布は Fig. 6 (b) のようになる。この σ_y 最大の位置は、 r/d の値が小さいときには切欠き底に接近するが、一般的には切欠き底より約 $0.5r$ の位置にある。すなわち、 σ_y 最大の位置は切欠き深さ d よりも先端半径 r に強く依存する。このことはまた、切欠き底近傍の応力分布状態の特徴は深さ d よりも先端半径 r に強く支配されることを意味する。これらの特徴は曲げを受ける切欠きの場合でも、ほぼ同様と考えられる。応力分布状態の特徴から、平均応力の最大値は σ_y の最大値付近に生じるものと考えられるので、破壊開始点の位置は先端半径 r の影響を強く受けるが、深さ d にはあまり関係しないことになると思われる。

最も典型的なくぼみが Fig. 5 であるが、この外にも Fig. 7 あるいは 8 (いずれも試料 I) のようなものがみられる。いずれの場合も、平均応力が最大になる付近にたまたま前述の添加材のかたまりがあり、そこから破壊が始まったものと考えられる。両者の破面状態がやや異なるのは、添加材の性質の差によるものである。

Fig. 10. Schematic diagram of fracture origin presented in Fig. 8.

すなわち、一方が硬ぜい質 (Fig. 7 の場合) であるのに対し、他方がモルタル状質 (Fig. 8 の場合) であるためである。Fig. 8 は Fig. 2 (C) に示した破断面のもので、Fig. 9 はその一部を拡大したもの、また Fig. 10 はその模式図で、破壊開始点付近の中心部はほぼ円板状の中空のくぼみになっている。(B)部には放射状にかなり大きなディンプルがみられ、(C)部には(B)部に比べ

Fig. 11. SEM matching pair micrograph of fracture origin, V notch, ($r=0.25$ mm, $d=1.0$ mm), sample I.

密なディンプルが存在する。Fig. 8 のくぼみの場合、Fig. 5 の場合と異り、Fig. 10 で表されるようなくぼみになったのは、次のように考えられる。破壊の開始点が添加材のかなり大きなかたまりの部分であったため、Fig. 5 のくぼみのような微粒を伴う破断をするほど温度上昇はしないが、かなりの発熱を伴うため軟化点前後までは温度上昇する。このため(B)部には大きなディンプルが発生するし、その破断面はかなり滑らかなものとなる。(C)部になると温度上昇が少いので軟化点より低く、塑性変形はしやすくなってはいるものの(B)部ほど大きな変形はしないため、密なディンプルを多数発生したものと考えられる。

以上のように破壊開始点付近には、中空の球形状あるいは円板状のくぼみを生じているが、いずれもその直径は約 $50\ \mu\text{m}$ 程度ではほぼ一致した大きさである。また、これらのくぼみはいずれも切欠き底から約 $1\ \text{mm}$ 前後のところにある。

3.2.2 V形切欠き(試料I) V形切欠きの場合、上述したU形切欠きの場合に比べ、破断寸前のたわみが少く、吸収エネルギーも少く、したがって破断時の発生熱量も少いので、Fig. 11 に示したように、添加材個々のところでディンプル状のものが多数発生しただけで、前述のような空孔の発生にまではいたらず、この付近を中心にして四方へ破壊が進行していき、破断したものと考えられる。

4 む す び

硬質塩化ビニル板のシャルピー衝撃試験片の破壊用

始点は、切欠き底ではなく、破壊は切欠き底より内側に入ったところから発生していること、そして切欠き底より破壊開始点までの距離は、切欠き先端半径とともに増大するが、切欠き深さの影響はほとんど受けないことを明らかにした。またU形切欠き($r=1.0\ \text{mm}$, $d=2.0\ \text{mm}$) の場合には、破壊開始点の中心部に、直径およそ $50\ \mu\text{m}$ 程度の球形状または円板状の空孔を生じていることを見いだした。

本研究をすすめるにあたって、いろいろとご教示、ごべんたつをいただいた大阪大学工学部中川憲治教授、東京大学生産技術研究所北川英夫教授、大阪大学基礎工学部小寺沢良一助教授および茨城大学工学部増田雄市郎氏に厚くお礼申し上げます。

(昭和52年5月26日 日本材料学会第1回フラクトグラフィシンポジウムにて講演)

参 考 文 献

- 1) 植村幸生, 日本機械学会論文集, **39**, 1203 (1973).
- 2) 植村幸生, 日本機械学会論文集, **39**, 2975 (1973).
- 3) 植村幸生, 日本機械学会論文集, **40**, 2161 (1974).
- 4) 植村幸生, 日本機械学会講演論文集, **773-1**, 40 (1977).
- 5) Boyd, G. M., Engineering Fracture Mechanics, **4**, 459 (1972).
- 6) 中沢 一, 小林英男, “固体の強度”, p.183 (1976) 共立出版
- 7) 西田正孝, “応力集中”, p.586 (1967) 森北出版