

© 1982 ISIJ

寄 書

計装化シャルピー試験による動的破壊靱性
 J_{Id} の測定法小林 俊郎*・松原 等*²・藤井 斎*³・上田 倅完*Measurement of Dynamic Fracture Toughness, J_{Id} , by Instrumented Charpy Test

Toshiro KOBAYASHI, Hitoshi MATSUBARA, Hitoshi FUJII, and Yoshisada UEDA

Synopsis :

Dynamic fracture toughness, J_{Id} , can be measured in a very convenient procedure by instrumented Charpy test. The crack initiation point of the pre-cracked Charpy type specimen of SS41 Steel, Al-Mg-Mn and Al-Zn-Mg-Cu alloys is determined by using a block to stop the hammer.

1. 緒 言

弾塑性破壊力学に基づく J 積分の概念を低中強度鋼の靱性評価に導入しようとする試みは、早くから行われてきている。現在提案されている J_{IC} 試験法には、R 曲線法、ストレッチゾーン法、電位差法、AE 法等があり、主に静的試験においてそれぞれの有効性が示されている。しかし、材料の現実の使用状態を考慮するならば、 J_{IC} の動的特性 (J_{Id}) を求めることも極めて重要であり、 J_{Id} 試験法の確立も同時に進められるべきであろう。すでに ASTM E 24 委員会より動的引張試験法で J_{Id} を求める方法が近々に規格化されるといわれている。

著者らは、計装化シャルピー試験により簡便に J_{Id} を求める方法について、一連の研究を行つている¹⁾²⁾。 J_{Id} 試験における動的な安定き裂開始点の検出は、静的試験のそれと比べて更に困難であり、解決すべき問題点も多い。前報では²⁾、計装化シャルピー試験 (low blow test) およびフラクトグラフィ法により、A533 B 鋼の動的き裂開始点を求めた結果について報告した。本研究では、その方法を更に進め、ハンマーを任意の位置で強制的に停止させる装置を試作し、これを用いてき裂の動的な進展挙動を簡便に検出することに成功したので、この結果について報告する。

2. 実験方法

本研究には、SS 41 鋼ならびに比較のためアルミニウム合金 5083-0 および 7075-T6 を用いた。Table 1 に化学成分を示す。 J_{Id} 試験用として標準シャルピーサイ

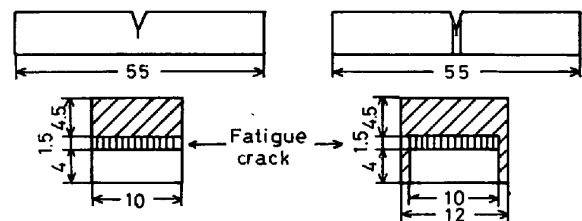
ズの疲労予き裂付深切り欠き試験片 (切り欠き深さ比 $a/W \approx 0.6$; a は切り欠き深さ、 W は試験片幅) および更にサイドグループのある試験片 (ネット面積は同一; Fig. 1 参照) を LT (試験片長手方向が圧延方向で、き裂進行方向が板幅方向に対応する) 方向に採取した。疲労予き裂付加に際しては、ループ型き裂発生試験機を用いて ASTM E399 に準拠して行い、き裂長さが一定となるように注意を払つた。

本研究で使用した計装化シャルピー試験装置 (容量

Table 1. Chemical composition of materials (in wt%).

	C	Si	Mn	P	S
SS41	0.20	0.01	0.74	0.028	0.026

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
5083	0.09	0.19	0.03	0.56	4.69	0.09	0.01	0.03
7075	0.12	0.76	1.52	0.07	2.37	0.22	5.28	0.04



(a) Deep notch-fatigue cracked specimen (b) Side groove-fatigue cracked specimen
Fig. 1. J integral test specimen geometries (mm).

昭和 56 年 10 月 28 日受付 (Received Oct. 28, 1981)

* 名古屋大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Nagoya University, Furo-cho Chikusa-ku Nagoya 464)

*² 名古屋大学大学院 (現: 恩田特許事務所) (Graduate School, Nagoya University, Now Onda Patent Attorney's Office)

*³ 名古屋大学工学部 (現: 新東工業(株)) (Faculty of Engineering, Nagoya University, Now Sinto Co., Ltd)

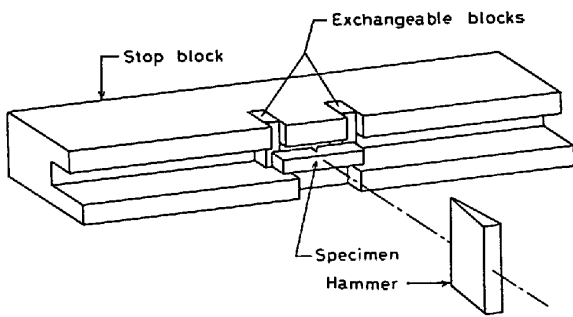


Fig. 2. Appearance of stop block.

490 J) は、マイクロコンピュータによるデータのオンライン処理が可能であり²⁾、アンビル部分の交換等により汎用性を有するものである。き裂開始点を検出するために試作したハンマー停止装置を Fig. 2 に示す。試験片の最大変位量は、支点となるブロックを交換することにより、0~10 mm の間で任意に設定できる。本装置をアンビル部分に装着し、その背後に余剰エネルギーのアップパーとして硬質ゴムを設置しておき、衝撃速度 1 m/s で試験片を打撃した。試験温度は、5083 および 7075 材については室温で、また SS41 材についてはぜい性破面の現れない 60°C にて行い、それぞれ荷重-変位曲線を記録した。なお、変位はハンマー回転角をポテンシオメータで検出することにより求めていることから、試験片の荷重点変位のみならず試験機の弾性変形も重畳して計測される。そこで、試験片および試験機の弾性コンプライアンス値を用いて試験片の真の荷重点変位に補正した²⁾。

打撃後、試験片を疲労破壊させるかまたは液体窒素に浸漬してからぜい性破壊させて破面を現出し、走査電顕を用いてストレッチゾーン幅 (SZW) およびき裂進展量 (SZW も含む) を測定した。J 積分値は、次の RICE ら³⁾ の簡便式により算出した。

$$J = 2A/B(W-a) \dots\dots\dots (1)$$

ここで A : 荷重-変位曲線下の面積 (補正值), B : 試験片厚さ, W : 試験片幅, a : き裂長さである。

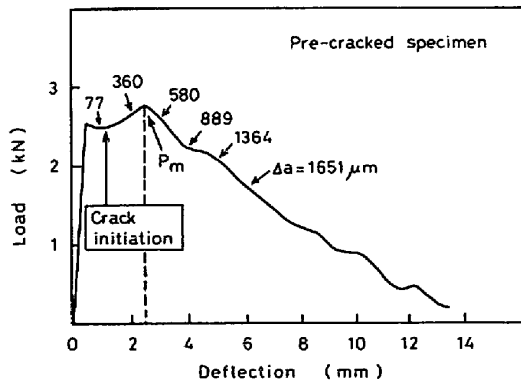


Fig. 3. Crack initiation and propagation aspect in the load-deflection curve of SS41 steel.

3. 実験結果

SS 41 試験片におけるき裂の進展挙動を調べた結果を Fig. 3 に示す。これは、通常の計装化シャルピー試験 (衝撃速度は 1 m/s) で破断したときの荷重-変位曲線上に、停止装置を用いて求めたき裂進展量 Δa と変位との関係に対応させて示したものである。 P_m で既にかんりのき裂進展がみられた。限界 SZW に達するときのき裂進展量 $\Delta a_c = 94 \mu$ であり、このときの変位を Δa と変位との関係から外挿して求め (1.1 mm), Fig. 3 の荷重-変位曲線上に示した。

いま、最大荷重点エネルギー E_i を、き裂開始点までに吸収および貯えられるエネルギー $E_{\Delta a}$ とそれ以後の $E_{\Delta c}$ に分けて考える。

$$E_i = E_{\Delta a} + E_{\Delta c} \dots\dots\dots (2)$$

$E_{\Delta a}$ より、本材料では $J_{Ia} = 112 \text{ kJ/m}^2$ である (J_{Ic} の valid 基準, $a, B, W-a \geq 25 (J/\sigma_{flow})$ を満足した。ここで B は試験片板厚, σ_{flow} は材料の引張強さと降伏強さの相加平均値である)。また $E_{\Delta a}/E_i = 0.42$ であることより、 E_i からそのまま J_{Ia} を推測することは誤差が大きく危険であることがわかる。従来より切り欠き曲げ試験の最高荷重点を便宜上き裂発生点と見なす例が多いが、大いに再考すべき重要点といえる。もつとも、後述のアルミニウム合金あるいは前報²⁾ の A533 B 鋼 ($E_{\Delta a}/E_i \approx 0.8$) に示されるように、この $E_{\Delta a}/E_i$ 比は材料により全く異なるものである。

Fig. 4 に、5083 材について同様に試験を行った結果を示す。この材料では $E_{\Delta a}/E_i = 0.54$, $J_0 = 110 \text{ kJ/m}^2$ であり (J_0 は J 積分における臨界の暫定値)、サイドグループ付試験片の場合 $E_{\Delta a}/E_i = 0.59$, $J_0 = 118 \text{ kJ/m}^2$ であつた (上記の valid 基準を満足しない)。サイドグループの追加によるき裂開始点と最大荷重点との接近が示

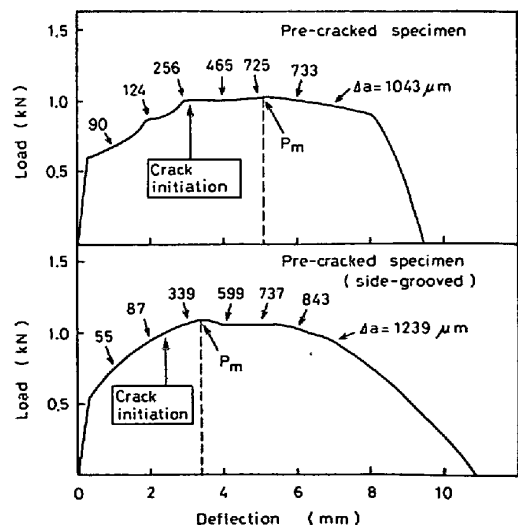


Fig. 4. Crack initiation and propagation aspect in the load-deflection curve of 5083.

されているが、これは当試験片サイズでは平面歪み条件を満足しないことによる影響が大きいように思われる。より大型の試験片を用いれば、サイドグループの影響も小さいであろう。その場合でも、き裂開始点と最大荷重点とが一致するとは考え難い。

Fig. 5 は、7075 材における結果である。この材料では、わずかの変位でき裂が進展するため、き裂開始点の

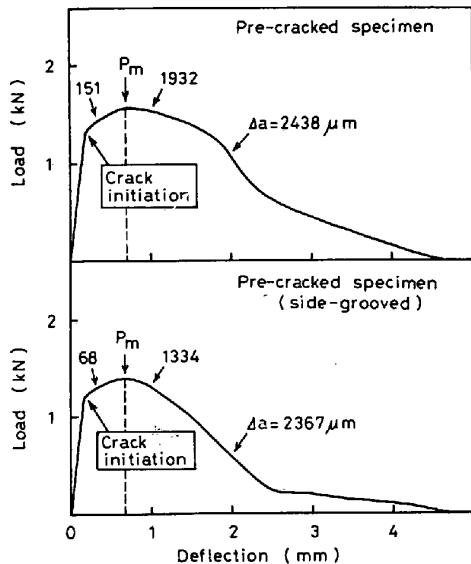


Fig. 5. Crack initiation and propagation aspect in the load-deflection curve of 7075.

検出は困難であつた。ストレッチゾーンはほとんど現れなかつたことから、外挿法によれば降伏点直後にき裂開始点があると考えられる。したがつて $E_{4a}/E_1 < 0.2$ と推定され、またサイドグループの影響もあまりみられない。

以上、計装化シャルピー試験による J_{1d} 試験において、まず荷重-変位曲線上のき裂開始点を明らかにする試みについて述べてきた。本法はフラクトグラフィ法に基づいており、R曲線法あるいはストレッチゾーン法に適用することができる。R曲線法については、前報²⁾で示したように鈍化曲線の検証が必要である。いずれにしても、現段階では種々の材料におけるデータの蓄積が必要である。また、今後一本の試験片により更に簡便に測定を行うため、電位差法の適用、破壊歪みの解析によるき裂開始点の推定、あるいはVノッチシャルピー試験との相関等について検討していく必要があると考えている。

最後に、実験装置の作製にあたり御尽力いただいた(株)東京試験機製作所に対し、深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 小林俊郎: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 1460
- 2) 小林俊郎, 松原 等, 上田徹完: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 2216
- 3) J. R. RICE, P. C. PARIS, and J. G. MERKLE: ASTM STP 536 (1973), p. 231

コ ラ ム

ハンプティ・ダンプティ

Humpty Dumpty sat on a wall,
Humpty Dumpty had a great fall,
All the king's horses,
And all the king's men,
Couldn't put Humpty together again.

マザー・グースの唄の中でこの唄はなぞなぞのカテゴリに入るものである。ハンプティ・ダンプティは卵である。“下に落ちて割れてしまつたら、いくら王様の力をもつて持てるすべての馬を投入し、家来を総動員してももとは戻らないものはなんだろう”。というクイズの唄である。平野敬一氏の著によればいつたん割れてしまつたらもとへは戻らないという卵の特性を擬人化した唄はこれだけではなくヨーロッパ各地に古くから語り・唄いつがれており、このモチーフは人類の歴史・文明とともにあるということである。取り返しがつかないということに人々は不思議さを感じ、また畏敬の念を持つていたものと思われる。

このような歴史と解釈とは別に私はこの唄を読むたびに熱力学第二法則を思い出し、また熱力学を習つた

ときにこの唄を思い出していた。熱力学第2法則には様々な表現があり、一つを真と認めれば他が導かれることはよく知られている。Kelvinの原理“ある一定の温度にある熱源から正の熱を取り出し、これに相当する正の仕事を外に向かつて行うようなサイクルは存在しない。” Clausiusの原理“一つの体系がサイクルを行つて、低温の物体から熱を受け取り、高温の物体にこれを与える以外何の変化も残さないようにすることはできない。” Ostwaldの原理“第2種の永久機関は存在しない。”等々、分子論的に考えれば空間内の位置・配置についてもまたエネルギーの分布のような運動状態でも体系は秩序から無秩序へ移る傾向を示す傾向のあることを第2法則は表現している。熱力学的にはエントロピーという一つの状態量を考え、現象進行の方向を決める法則である。

格言や諺にも不可逆性を示したものは多いように思うが今それほど多くのものを思い出せない。“朱に交われば赤くなる”や覆水盆にかえらず”は明らかに第2法則を述べているのではないだろうか。その他の表現があれば御教示願いたい。

(東京工業大学精密工学研究所 鈴木朝夫)