

論文

AE 周波数解析による Cr-Mo-V 鋼の
ポップイン型粒界割れの検知下村 慶一*・庄子 哲雄*²・高橋 秀明*²Detection of Intergranular Pop-in Cracking during Elastic-Plastic
Fracture Toughness Test of Cr-Mo-V Steel by Frequency Analysis
of Acoustic Emission

Keiichi SHIMOMURA, Tetsuo SHOJI, and Hideaki TAKAHASHI

Synopsis :

The feasibility of using acoustic-emission techniques for elastic-plastic fracture toughness test of a Cr-Mo-V steel at a high temperature has been examined. Fractographic study and frequency analysis characterization of AE behavior have been carried out. AE signals observed during the test can be classified into three groups: Type I, II, III, and three different types of fracture surfaces are observed. Some interruption tests reveal that Type I AE is generated from the micro-cracking due to decohesion of MnS inclusions or coalescence between main crack and voids nucleated by decohesion of MnS inclusions, Type II AE having the largest amplitude from the intergranular pop-in cracking, and Type III AE from the formation of intergranular dimple facet, respectively. J_{IAE} denoted by an abrupt increase of $\Sigma E_{AE}-J$ correlation is proposed as a conservative fracture toughness characterizing the intergranular cleavage cracking.

1. 序 言

近年, 化学プラントあるいは原子力・火力プラントの大型機器・構造物の安全設計基準¹⁾, 定期点検時の寿命評価手法²⁾として, 線形破壊力学の概念がとり入れられている. この基準に従い各構造物の安全性評価を行う基礎として, それぞれの構造材料の破壊靱性値 (K_{IC}) を知ることは不可欠である. 現在, この破壊靱性測定法として平面ひずみ破壊靱性試験法³⁾ (K_{IC} 試験法) があり, 低靱性材料の靱性評価に有効に使われている. しかし, 現実の多くの構造物に使われる高靱性材料に対しては, 大きな塑性変形能のために適用が困難な場合が多い. 最近, 大規模降伏状態における破壊靱性評価法として, 米国材料試験協会 (ASTM) および日本機械学会 (JSME) において弾塑性破壊靱性試験法⁴⁾⁵⁾ (J_{IC} 試験法) が制定された. ところが, J_{IC} 試験法においても, 例えば破壊靱性の温度依存性の評価を行う場合には多数の試験片を要すること, あるいは詳細な破面観察を実施しなければならないなどの問題を抱えており, 一本の試験片で J_{IC} を得られる方法が求められている. 単一試験片で J_{IC} を求めるためには, き裂の初生を検知する方法の確立が最も重要な課題であり, 現在は AE 法, 超音波法あるいは

電位差法が盛んに試みられている.

最近, AE 法を用いた K_{IC} 試験, J_{IC} 試験が種々の材料について実施され, AE 放出特性の解析および破面観察両面からの研究により, へき開破壊・延性引裂型破壊 (ディンプル破壊) の微視破壊過程の検討を行い AE 法の有用性が指適されている^{6)~9)}.

また, AE 法による微視破壊過程に注目した弾塑性破壊靱性 (J_{IAE}) を評価する方法も提案されており, 巨視量としての弾塑性破壊靱性と AE で検知された微視破壊の相関性が明らかにされている¹⁰⁾¹¹⁾.

本研究においては, 粒界へき開ポップイン破壊が観察されるクロム・モリブデン・バナジウム鋼について, AE 法を用いて比較的高温域における弾塑性破壊靱性試験を実施した一例を紹介し, 現行の J_{IC} 試験法の問題点についても言及する.

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材と J_{IC} 試験

本研究に供試した材料は, クロム・モリブデン・バナジウム鋼であり, その化学組成を Table 1 に示す.

J_{IC} 試験は, ASTM-E813-81⁴⁾ に示される複数試験片法に準拠し, インストロン型万能試験機を用い試験温

昭和 57 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 57 年 11 月 29 日受付 (Received Nov. 29, 1982)

* 東北大学工学部 (Faculty of Engineering, Tohoku University, Aza-Aoba Aramaki Sendai 980)

*² 東北大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Tohoku University)

Table 1. Chemical composition (wt%) and mechanical properties.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
0.35	0.34	0.78	0.019	0.026	0.44	1.03	1.08	0.22
σ_y : 451MPa σ_{urs} : 602MPa ϵ_f : 13.9% at 200°C σ_y : 490MPa σ_{urs} : 671MPa ϵ_f : 12.2% at Room Temp.								

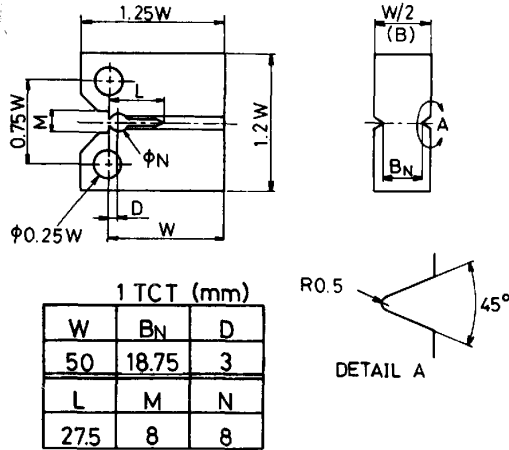


Fig. 1. Specimen geometry.

度 200°C で実施した。Table 1 には、供試材の常温および 200°C における機械的性質も合わせ示した。

J_{IC} 試験片形状は Fig. 1 に示す板厚 25 mm コンパクトテンション試験片 (1TCT) を用意し、そのき裂面方向は ASTM・E399-78⁹⁾ に示される C-R とした。き裂長さは、試験片の機械加工後疲労予き裂を入れ、き裂長さ a と板幅 W の比 a/W を 0.6 とし実験に供した。なお、いくつかの試験片については 25% サイドグループを施したものを用意した。

実験終了後、J 積分の算定およびき裂長さの測定を行ったが、その方法を次に示す。

(1) J 積分の計算式

J 積分は、J_{IC} 試験より得られる荷重-荷重点変位線図から次式に従い計算される。

$$J_{i+1} = \left[J_1 + \left(\frac{f(a/W)}{b} \right)_i \frac{A_{i,i+1}}{B} \right] \times \left\{ 1 - \left(\frac{\gamma}{b} \right)_i \left[(a_p)_{i+1} - (a_p)_i \right] \right\} \dots (1)$$

ここで、 A : 荷重-荷重点変位線図下の面積、 B : 試験片厚さ、 b : $W - a$ 、リガメント長さ、 W : 試験片幅、 a_p : $a_0 + \Delta a$ 、き裂長さ、 $f(a/W)$: 試験の幾何学的形状で定められる係数、 $\gamma = 1 + 0.76(b/W)$ 、 $i, i+1$: き裂進展のステップに対応

(2) き裂進展量の測定

ASTM あるいは JSME の推奨する方法があり、ASTM, E-813⁴⁾ では板厚方向を 8 等分したそれぞれの Δa

の平均値、JSME, S001-1981⁵⁾ による方法においては板厚の 3/8, 4/8, 5/8 の位置の 3 点平均を Δa としている。しかし、破面上に局所的にポップイン破面が現れる場合には、上記の方法ではばらつきのある数値となり不相当である。

本研究では、試験終了後試験片を疲労破壊させ、その破面よりき裂の伝播面積 ΔA の測定を行い、その値を板厚 B で除した平均き裂進展長さ $\Delta a (= \Delta A/B)$ を求めた。

2.2 AE 計測系とデータ処理

Fig. 2 に AE 計測系の概略¹²⁾を示す。図中に示すように、温度 200°C の条件で実験を実施するために AE センサ (NF, AE 905 S) は、試験片に溶接固定されたウェーブガイド (寸法: 直径 4 mm, 長さ 150 mm) に装着され、2kHz-1MHz の AE 信号を VTR 型データレコーダ (SONY, AV 8750) に記録した。実験時に計測される AE 信号の振幅ピーク値は、同時に記録計でモニターされた。

データレコーダに記録された AE イベントについて、試験終了後にそのエネルギーの 2 乗演算-積分法¹³⁾による算出および周波数解析を実施し、破面との対比を行い微視破壊過程の検討に供した。

3. 実験結果および考察

3.1 J_{IC} 試験結果

Fig. 3 は ASTM 法⁴⁾ に準拠して得られた R 曲線を示す。図に示される R 曲線は、破線で表される $\Delta a = 0.15$ mm および $\Delta a = 1.5$ mm オフセット線の間であり、しかも次に示す条件を満足する有効データについて最小二乗法により決定したものである。

$$B, W - a > 15(J/\sigma_Y) \dots (3)$$

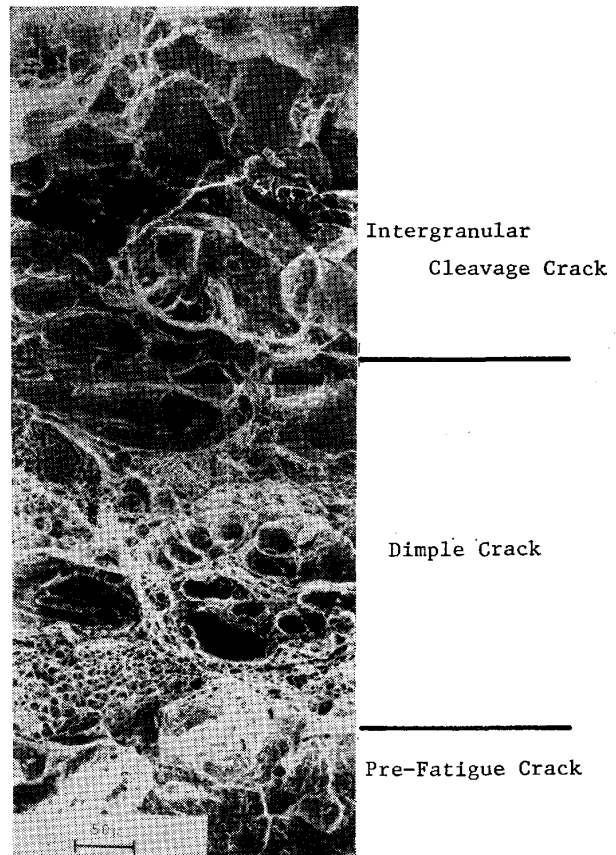
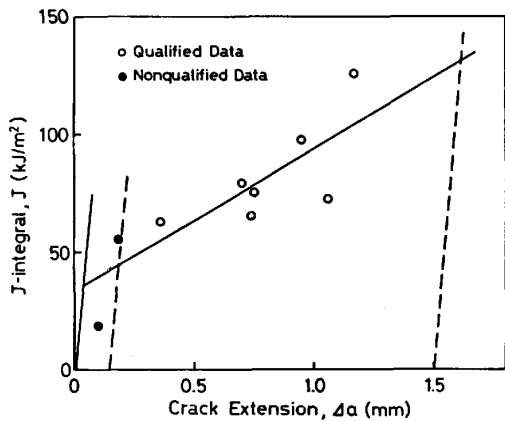
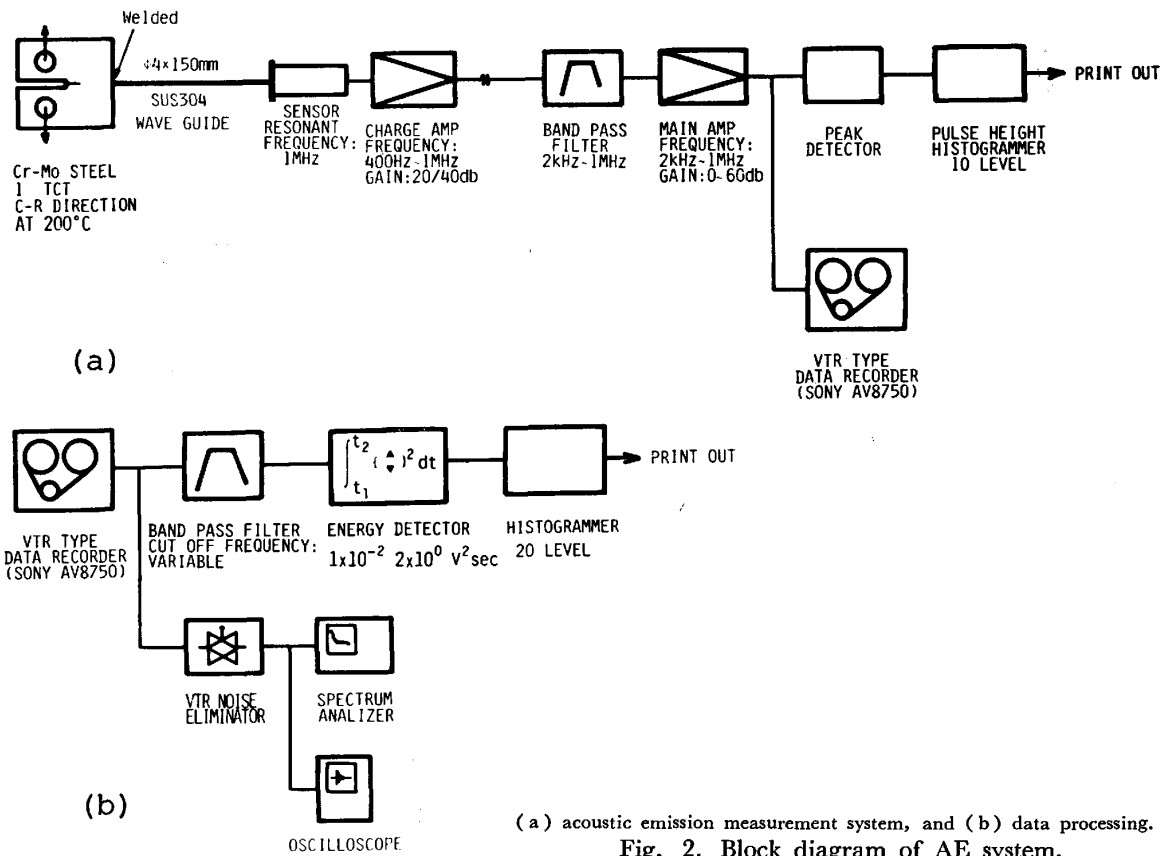
ここで、 $\sigma_Y = (\sigma_{ys} + \sigma_{UTS})/2$: 有効降伏強度

同図より、さきに求めた R 曲線と ASTM・E813 に従って $a_B = J/2\sigma_Y$ で表される鈍化直線 (き裂端の塑性鈍化に対応するき裂進展量を表す) との交点より得られる J_Q 、すなわち破壊開始点を定義する弾塑性破壊靱性値は 36 kJ/m² であった。ここで得られる J_Q は、次に示す条件式を満たす場合に有効な弾塑性破壊靱性値 J_{IC} となる。

$$B, a, W - a \geq 25(J_Q/\sigma_Y) \dots (4)$$

本実験で得られた J_Q は、式 (4) を十分満足しており、Fig. 3 に式 (4) の判定条件を適用する限りは $J_Q \equiv J_{IC}$ と見なすことができる。

しかし、Photo. 1 に示される本実験で観察された代表的な破壊形態の一例では、粒界へき開破壊が卓越して



おり単純に $J_Q \equiv J_{IC}$ とすることはできない。写真より明らかなように、疲労予き裂先端のディンプル破面とそれに続いて粒界へき開破面が混在している。また、疲労予き裂先端に接して粒界へき開破面が見られる場合もいくつか観察された。

これまでのいくつかの研究で¹⁴⁾¹⁵⁾、破面がへき開破壊に遷移する場合に得られる J_c は、試験片寸法依存性を示すことが知られており、現在の ASTM 法⁴⁾ および JSME 法⁵⁾ の両試験法においても破壊対象を延性引裂型破壊のみに限定している。したがって本研究で得られた

J_Q は、有効な弾塑性破壊靱性値 J_{IC} となり得ず、本材料の弾塑性破壊靱性を定義するためには、予き裂先端の延性あるいは粒界へき開それぞれの微視破壊過程を適確に捉えなければならない。

3.2 AE 法による弾塑性破壊靱性評価

Fig. 4 は AE 法を併用した J_{IC} 試験で得られた荷

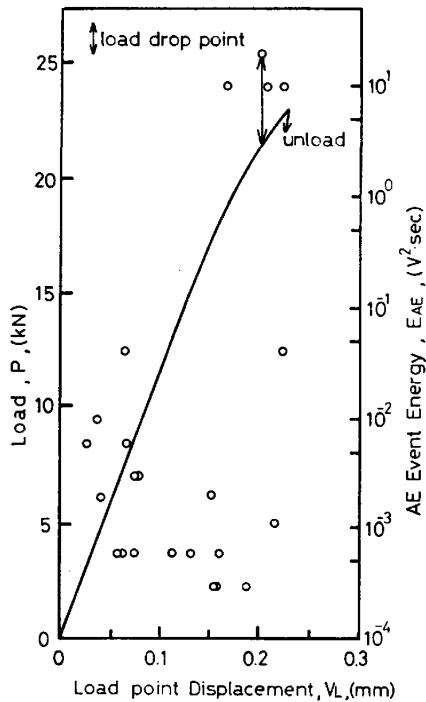


Fig. 4. Typical example of Load-displacement curve and AE event energy.

重-荷重点変位線図の一例を示す。図中に示される○印は計測された AE イベントエネルギーとその負荷レベルを表したものである。なお、エネルギー算出は Fig. 2 に示すエネルギー回路にて増幅度 40 および 60 dB の両データについて実施した。Fig. 4 には、両データを整理し 40 dB 換算値 (算出能力 $1 \times 10^{-4} V^2 \cdot s$ 以上) の結果を示した。本実験では $3 \times 10^{-4} V^2 \cdot s$ 以上のエネルギーを持つ信号が 23 個観察された。試験は $10 V^2 \cdot s$ 以上 (on line 振幅ピーク値 2V 以上) のエネルギーを持つ AE 事象が 4 個計測された負荷レベルで負荷を中断・除荷し、試験片は疲労破壊後 SEM 観察に供した。なお、図中矢

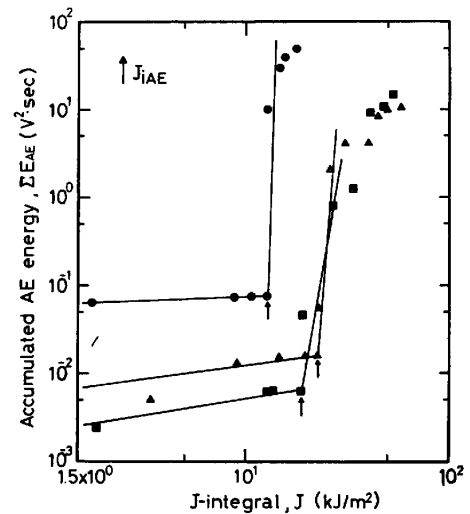
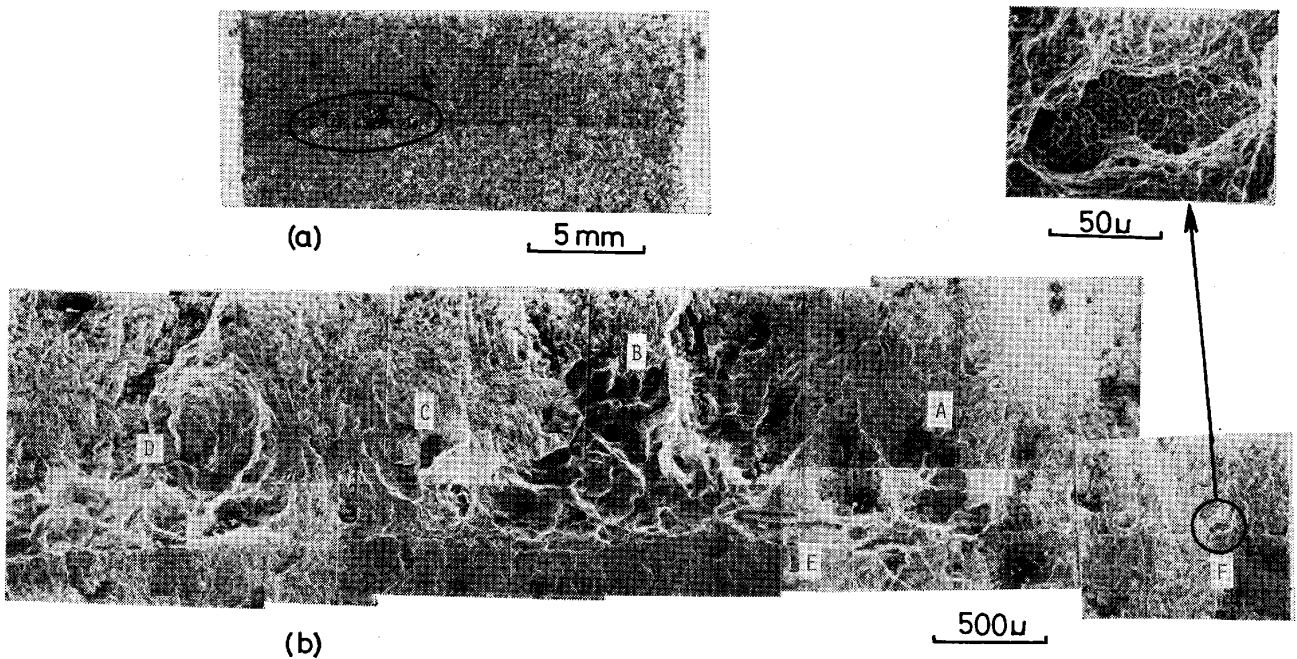
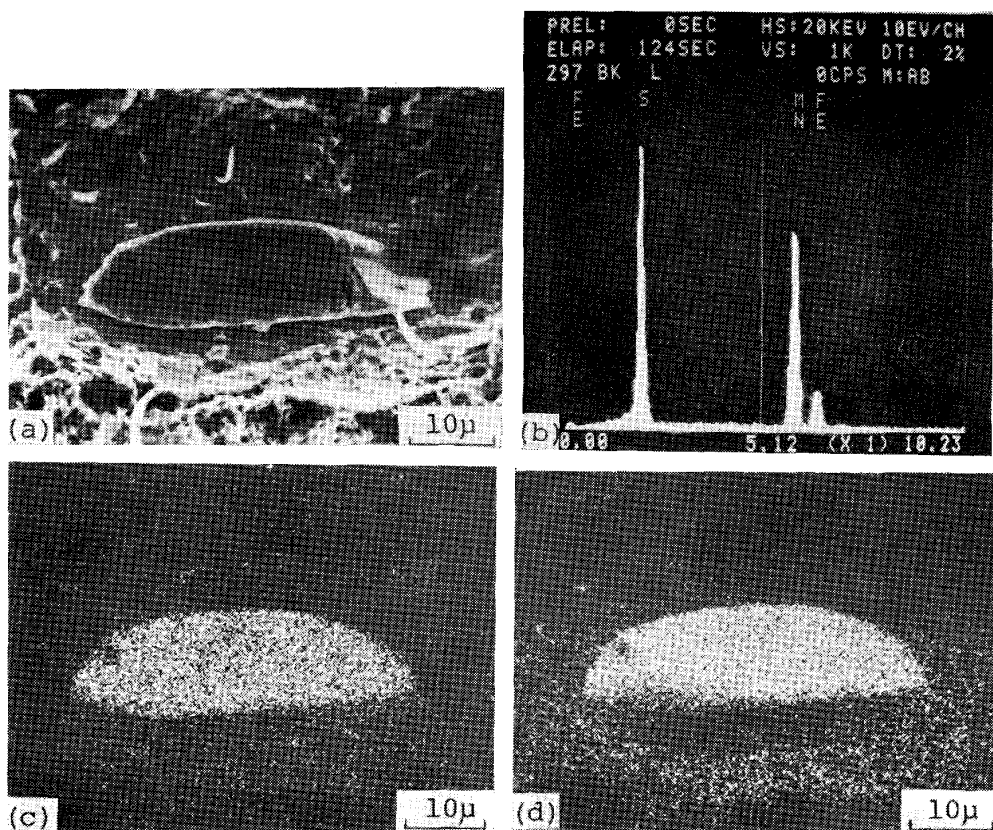


Fig. 5. Accumulated AE energy plotted as a function J .



(a) Location of pop-in cracking, and (b) Enlarged fractograph.
Photo. 2. Fractographs of intergranular cleavage pop-in cracking.



(a) SEM image of non-metallic inclusion, (b) result of EPMA analysis, and X-ray distribution images, (c) Mn, (d) S.

Photo. 3. Results of EPMA analysis of non-metallic inclusion.

印で示した負荷レベルでは、 $20V^2 \cdot s$ 以上のエネルギーを持つ AE 事象が計測され、同時に約 0.05 kN の荷重落下が記録された。したがって、本事象が生じた負荷レベルでポップインキ裂伝播が生じたことが十分推測される。

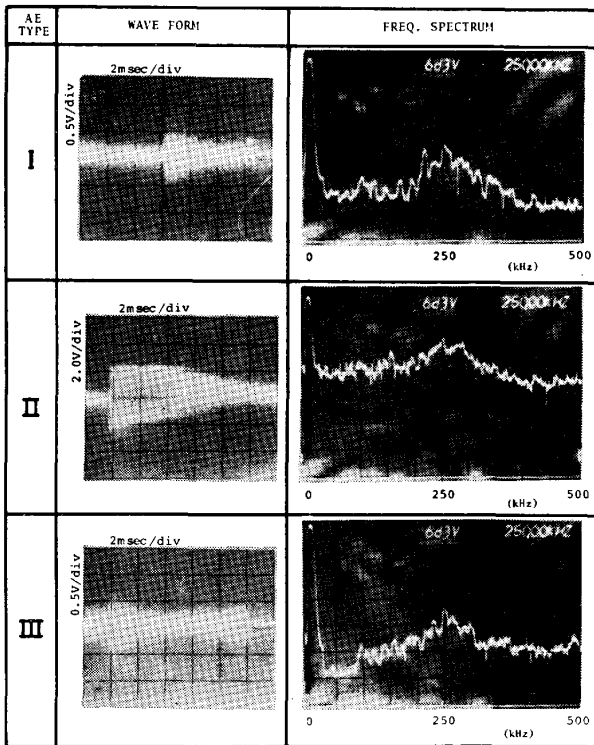
これまでの AE 法を併用した材料の破壊靱性評価法⁷⁾⁹⁾に従って得られる AE イベントエネルギー累積和-J 積分の関係を図 5 に示す。図より $\log \Sigma E_{AE} - \log J$ 線図は 2 直線近似で表され、その交点より定められる J_{IAE} はそれぞれの試験片について、13 kJ/m², 19 kJ/m², 23 kJ/m² と得られた。この J_{IAE} は前述の J_Q と比較すると約 40~60% 程度に低い値となる。

3.3 粒界へき開ポップインキ裂と AE 放出特性

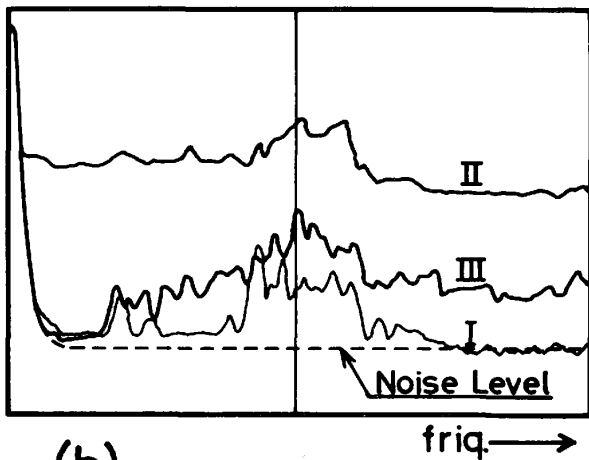
Photo. 2 は、Fig. 4 の実験で得られた巨視破面およびその SEM 観察結果を示す。ポップインキ裂は、疲労予き裂先端に沿って幅約 6.5 mm、最大進展距離約 1 mm の領域に局在して伝播していた。さらに、その破面形態は Photo. 2(b) の SEM 拡大写真に示されるように 3 種類より成っている。一つは粒界へき開破面 (写真中 A, B, C, D で示す) であり、もう一つは主き裂先端に局在する大きな非金属介在物の割れとその合体・ポイド成長により形成された破面 (E) である。残る破面形態は粒界ディンプル破面 (F) である。Photo. 3 は

破面 E で観察される非金属介在物の拡大 SEM 像およびその EPMA 分析結果を示す。Photo. 3 (a) に示す介在物について、点分析および面分析を行い、含有元素とその分布状態をそれぞれ Photo. 3 (b) (c) (d) に示す。この分析結果より、この非金属介在物は MnS であることが明らかである。これまでの AE を用いたき裂伝播挙動の解析によれば⁹⁾、Photo. 2 に示されるき裂も疲労予き裂前面の非金属介在物を起点とし、延性ならびに粒界ポップインキ裂として伝播したと考えられる。

本実験で計測された前述の $3 \times 10^{-4} V^2 \cdot s$ 以上のエネルギーを持つ 23 個の全 AE 事象について周波数解析を実施した。その周波数スペクトラムから 3 種類のタイプに分類することができた。Fig. 6 にその代表的波形と周波数スペクトラムを示し、同時にその AE 信号のタイプ分類模式図を示す。タイプ分類模式図中に示す破線は、AE 信号が計測される前後のバックグラウンドノイズの周波数特性を示しており、各 AE 信号の周波数特性はこのバックグラウンドノイズと比較し、卓越する周波数成分の違いで分類される。以上の分類法に従えば、エネルギーが小さくタイプ I に分類される信号は、250 kHz 付近のみにピークを示し負荷レベルの低い段階、すなわち全断面降伏する以前に多く観察された。これに対して、エネ



(a)



(b)

(a) Typical waveform and frequency spectrum of three AE groups, and (b) Schematic classification.

Fig. 6. Results of spectrum analysis.

ルギーの大きいタイプIIは 2 kHz-500 kHz の広い帯域に渡る成分を持つており、最大負荷付近で試験終了までに 4 個計測された。残るタイプIIIの信号は、250 kHz 以上の周波数成分が卓越しており、試験中断直前に 1 個のみ計測された。

Fig. 7 は、前述の各タイプの信号の発生状況を示すイベントエネルギー/荷重-荷重点変位線図である。図に示されるように、タイプIの信号は低負荷レベルから多く観察されエネルギーも小さく、破面との対応より非金

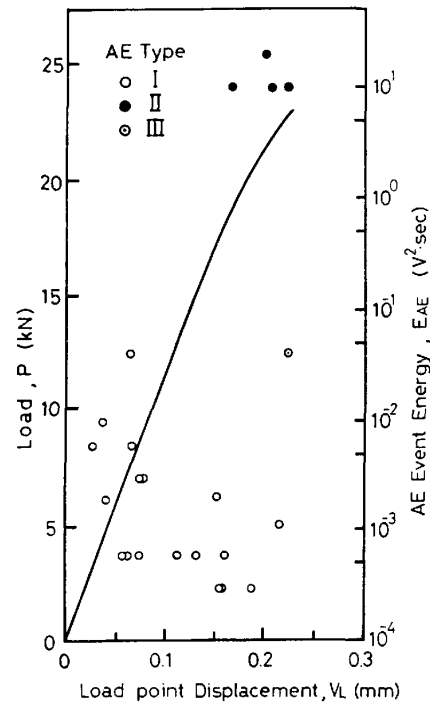


Fig. 7. Load-displacement curve and AE event energy of three types.

属介在物 (MnS) の割れおよびその合体・成長(破面E)によるものと推定される。介在物とき裂の合体が生じた時には、タイプIに分類される比較的大きなエネルギーを持つ信号が計測されると判断できる。タイプIIの信号は負荷最終段階に 4 個計測され、そのエネルギーも大きい。しかもその信号の 1 個は、荷重落下を伴う事象であった。Photo. 2 に示す破面では、4 か所の粒界へき開破面が観察され、その破面の面積は他の破壊形態に比較して大きく、破面が形成される時に解放されるエネルギーも大きいと考えられる。TAKAHASHI⁹⁾ らは、ディンプル型のポップインき裂伝播面積 ($4A$) と AE イベントエネルギー (E_{AE}) が一対一に対応することを見出しており、本実験で計測されたタイプIIの信号は粒界へき開割れに対応するものとみなすことができる。したがって、 $20V^2 \cdot s$ と大きいエネルギーを持ち、荷重落下を伴った信号は Photo. 2 の SEM 拡大写真に見られる最も面積の大きい破面Bの割れに対応しているものと考えてよい。残るタイプIIIの信号は計測された 23 個の信号のうち 1 個だけ特徴ある周波数特性を持ち、破面との対応を考えると、1 か所にのみ観察された破面Fの粒界ディンプル割れに伴うものと考えられる。以上のように周波数解析結果と破面との対比より、き裂伝播過程を検討することができた。

Nozue^{16)~18)} らは、AE を用いた 4340 鋼の水素誘起割れの研究において、粒界微視き裂の数・面積と、AE

事象数・エネルギーの相関について検討を行っている。

一方、KAMEDA⁶⁾あるいはKHAN⁷⁾らは、AEを用いてへき開型ポップインき裂を評価した研究を実施している。ここでは、それぞれNi-Cr鋼、Cr-Mo鋼他についてAE法を用いた破壊靱性試験を行い、 K_{IC} の約50%の負荷レベルで主き裂先端において微視的なへき開割れが生ずること、さらにこの微視割れをAEが検知できることを見出している。KHANらは本論文と同様にAE累積エネルギー急増点を K_{IAE} と定義し、負荷が K_{IAE} 以上に増加するとへき開き裂が“安定伝播”し K_{IC} に達し最終不安定破壊に至ると述べている。

以上の研究結果を参考にすると、3.2で述べた J_{IAE} の工学的意味は次のようにまとめることができる。すなわち、 $J_{IAE}=13\sim 23\text{ kJ/m}^2$ と得られた弾塑性破壊靱性は式(5)の関係を用いると、 $K_{IAE}=54\text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ 、 $65\text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ 、 $71\text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ と得られる。

$$K_{IAE} = \sqrt{\frac{E J_{IAE}}{1-\nu^2}} \dots\dots\dots (5)$$

これらの数値は、主き裂先端における微視的粒界へき開き裂伝播の初生を適確に捉えた値であり、CLARKE他の研究によれば²⁰⁾²¹⁾、 J_{IC} 試験で得られる J_{IC} は $\pm 20\sim 25\%$ のばらつきがあることが知られており、Fig.5に示すように実験点3体について得られる J_{IAE} はほぼ $\pm 30\%$ の範囲内にあり再現性のあるものと考えてよい。

したがって、 $K_{IAE}(J_{IAE})$ は本材料の K_{IC} より低い値を示すと考えられるが、脆性破壊の発生をより安全側に評価するためのき裂評価に際しての重要なパラメータとして採用することができよう。

4. 結 言

CrMoV鋼の弾塑性破壊靱性試験に伴うAE信号の周波数解析および破面のSEM観察を実施した。それらにもとづき、計測されるAE事象の分類とその微視破壊過程の対応関係を検討し、以下の知見を得た。

(1) 計測されるAE信号は次に示す3種類に分類でき、それぞれ特定の微視破壊過程に対応している。

タイプI：250 kHz付近の周波数成分にピークを持つ信号であり、主き裂先端に局在する非金属介在物(MnS)の割れおよびその合体に対応する。

タイプII：2-500 kHzの広い帯域に渡る周波数成分を持つ大エネルギーの事象であり、粒界へき開き裂伝播に対応している。

タイプIII：250-500 kHzの高い周波数成分が卓越しており、粒界ディンプル割れに対応する。

(2) 累積AEエネルギー(ΣE_{AE})とJ積分の関係において、その急増点より得られる J_{IAE} はタイプIIの信号が最初に計測される負荷レベルに相当している。すなわち、 J_{IAE} は粒界へき開ポップインき裂の初生に直接関与する重要なパラメータである。

最後に、本研究を遂行するにあたり、有益な御助言をいただきました工学部電気工学科新妻弘明助教授に謝意を表します。また、EPMA分析で御協力をいただきました工学部機械工学科萱場孝雄教授、加藤康司助教授他各位に感謝いたします。

文 献

- 1) ASME Boiler and Pressure Vessel Code/American National Standard Section III (ANSI/ASMEBPV-III) Division 1, 1977 Edition, Appendix G, (1977) [ASME]
- 2) ASME Boiler and Pressure Vessel Code/American National Standard Section XI (ANSI/ASME BPV-XI) Division 1, 1977 Edition, Appendix A, Summer 1977 Addenda, (1977) [ASME]
- 3) American National Standard ANSI/ASTM E399-78, "Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials" (1978)
- 4) ASTM E813-81: Standard Test for J_{IC} , A Measure of Fracture Toughness (1981)
- 5) 日本機械学会基準, "弾塑性破壊靱性 J_{IC} 試験方法", JSME S001-1981
- 6) J. KAMEDA: Metall. Trans., 12A (1981), p. 2039
- 7) M. A. KHAN, T. SHOJI, and H. TAKAHASHI: Met. Sci., 16 (1982), p. 118
- 8) 新妻弘明, 高橋秀明, 中鉢憲賢: 非破壊検査, 30 (1981), p. 903
- 9) H. TAKAHASHI, M. A. KHAN, M. KIKUCHI, and M. SUZUKI: Experimental Mechanics, 21 (1981), p. 89
- 10) 高橋秀明, 新妻弘明, 鈴木正彦, 森 康彦: 非破壊検査, 30 (1981), p. 890
- 11) 高橋秀明: 日本金属学会報, 20 (1982), p. 860
- 12) H. NAKAJIMA, T. SHOJI, M. KIKUCHI, H. NIITSUMA, and M. SHINDO: ASTM STP 738, (1981), p. 139
- 13) 新妻弘明, 中鉢憲賢, 佐藤利三郎, 高橋秀明, 森康彦: 非破壊検査, 30 (1981), p.886
- 14) I. MILNE and G. G. CHELL: ASTM STP 668, (1979), p. 358
- 15) J. D. LANDES and D. H. SHAFFER: ASTM STP 700 (1980), p. 368
- 16) 野末 章, 岸 輝雄, 堀内 良: 日本金属学会誌, 45 (1981), p. 194
- 17) 野末 章, 岸 輝雄: 日本金属学会誌, 45 (1981), p. 1305
- 18) A. NOZUE and T. KISHI: J. Acoustic Emission, 1 (1982), p. 1

† R. O. RITCHIE¹⁹⁾らは、微視的へき開割れの初生から伝播そして最終不安定破壊に至るまでの過程をこのように呼んでいる。

- 19) R. O. RITCHIE, J. F. KNOTT, and J. R. RICE: J. Mech. Phys. Solids, 21 (1973), p. 395
- 20) G. A. CLARKE, J. D. LANDES, and J. A. BEGLEY: J. Testing and Evaluation, 8 (1980), p. 221
- 21) A. J. CARLSSON, and K. M. MARKSTRÖM: in Fracture 1977-Advances in Research on the Strength and Fracture of Materials, Vol. 1, ed. by D. M. R. TALPIN (1977), p. 683 [Pergamon Press, New York]

コ ラ ム

技 術 の 伝 承

バーナーの青い炎の中で透明なガラスが赤くそまり、のぼされたりつながれたりしながら複雑な形に変えられていく。注文者のこのみによるのであろうか、怪物の頭のように何本もの角を出し、口を開いたガラス器が実に巧妙にでき上つていく様子はいつ見てもあきない。現在でも、昔の職人かたぎを彷彿させる腕にプライドをもつたおやじさんの仕事場が私共の研究所の一隅に存続している。最新のコンピュータつき分析装置と並んでこうしてでき上つた手造りのガラス器が実験の重要な部分を支えているのである。このような技能はまさに人から人へ身体で覚えて伝えられていくべきもので、伝承のためには常に人を絶やさず次代を育成しておくという配慮が必要である。

一時代前までは製鉄所の操業現場には、神様が大量にいた。現在は多くの測定装置、解析機器が製造設備の中に入り込んで、個人の勘とか技倆に頼る部分は非常に少なくなっている。神様を必要とした時代には、人から人への伝承が重要であつたが、現在では、多くの場合技術の伝承は個人ではなく組織として管理された

形式で標準類、基準類等の中で行われるようになっていく。

ひるがえつて研究分野はどうであろうか。どのように実験装置が機械化され、コンピュータ化されても、研究行為には必ず個性が出るべきである。しかし個性を出す、物まねではないということは先人の足跡を学んだ上でできることであり、逆に後人のために残し伝えるべき義務があるということでもある。伝承手段は伝えるべき対象レベルにより企業内、学内におけるレポートの類から講演発表論文発表までいろいろある。執筆の際一般にはあまり強く意識されないことではあるが論文には技術伝承という側面もあるということ、そして、人から人へと伝えられる技能、標準基準としてフェイルされ引きつがれていく技術、論文という形式で共通の場で伝達され蓄積されていく技術などのような形式であれ技術は伝承されるべきであり、また伝承することに気を配るべきであろう。このような観点からもすぐれた論文が数多く投稿され「鉄と鋼」がますます充実することを期待したい。

(日本鋼管(株)技術研究所 原 富啓)