SUS304 鋼板の応力腐食割れの電位ノイズおよび アコースティック・エミッション解析

藤本 慎也*, 竹本 幹男*

*青山学院大学 理工学部 機械創造工学科

Analysis of Potential Noise and Acoustic Emission During Chloride Stress Corrosion Cracking of SUS304 Steel

Shinya Fujimoto* and Mikio Takemoto*

* Faculty of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Both the potential noises (PNs) and acoustic emissions (AEs) during inter-granular (IG) and trans-granular (TG) chloride stress corrosion cracking (SCC) of Type 304 austenitic stainless steel sheet in a 38 mass% MgCl_2 solution were analyzed. Both AEs and PNs were observed for IG-SCC but only PNs for TG-SCC.

Pitting corrosion, crevice corrosion and IG-SCC via pitting were produced by SCC test under combined thermal and applied tensile stresses. These corrosion damages produced characteristic ENs. In addition to the RD-type PNs (rapid drop to active potential) by pitting corrosion in the early stage (Zone I), RR-type PNs (rapid rise to noble potential) were observed in the middle stage (Zone II). AEs from fast inter-granular cracking were detected during the later stage (Zone III) when small -amplitude RD-type PNs with low frequency component ($<0.07\text{Hz}$) were observed. Timings of AEs and PNs during zone-III were classified into two types: RD-type potential shifts just after the AEs suggested an anodic current from a new-borne grain boundary. RD-type potential shifts just before the AEs were supposed to be due to the IG cracking at pit bottom.

Trans-granular (TG)-SCC did not produce any AEs but produced RD-type PNs with frequency component less than 0.016Hz . Potential shift rate (0.08mV/s) of TG-SCC is 6 % that (1.4mV/s) of IG-SCC.

Key words : acoustic emission, potential noise, pitting corrosion, crevice corrosion, intergranular SCC, trans-granular SCC

1. 緒 言

応力腐食割れ (SCC) が発生する条件についてはかなりのことがわかっているが、そのメカニズムについては依然未解明な点が多い。SCC が、活性経路アノード溶解で進展するのか、Film Induced Brittle Fracture¹⁾ のような微小領域脆性破壊が関与しているかなどが明らかではない。一方、オーステナイト系ステンレス鋼の局部腐食や腐食割れの萌芽・進展過程では、電気化学ノイズ (EN) が発生することが報告されている。井上ら²⁾⁻⁴⁾ は、酸性環境でおこる局部腐食では、卑方向に急速に移行した後緩やかに貴方向に回復する電位ノイズ (RD タイプ) が観察され、ノイズの数と局部腐食あるいは割れの数とはよく一致すること、ノンファラディック反応を考えて計算される電気容量は観察される孔食サイズを矛盾なく説明できることを報告している。EN 法が腐食診断技術としてもつ威力の一つは、与えられた系における準安定局部腐食や腐食割れ発生の可能性を予知できることと解釈されるが、割れと名のつく腐食現象の速度が定量化できればさらに有用な情報を与えてくれると思われる。SCC 発生・伝播域における電位ノイズも、不働体皮膜の破壊による過剰アノード電流と再不働体化に起因していると考えられるが、電位ノイズ解析から SCC 進展速度や大きさ (SCC のダイナミックス) が推定できれば現象解析ツ

ールとして有用である。

一方、アコースティック・エミッション (AE) は、準安定局部腐食や腐食割れの可否を予知することはできないが、脆性的破壊が発生するならば原波形解析によって破壊のダイナミックスを推定することが出来るようになってきている。著者らは SCC や遅れ破壊のダイナミックスを AE 原波形解析 (具体的に用いた方法は、実体波では縦波、板波ではゼロ次対称モード波 (S_0 モード波) の波形シミュレーション^{5),6)} によって推定してきた。その結果、SUS304 鋼の粒内型塩化物 SCC では大きな振幅を持った AE は検出されないが、粒界型 SCC では AE が頻繁に検出されることを報告^{7),8)} した。いわゆる突発型 AE (burst type AE) は、釣り合った力の元での変位の高速な食違いが発生した時に検出されるので、粒界型 SCC では高速な粒界破壊が発生していることを示唆している。原波形解析で推定された粒界型 SCC 速度 (30m/s)⁸⁾ は、巨視的 SCC の伝搬速度 (10^{-6}m/s)^{10),11)} の 10^7 倍にも達する。しかし、全 SCC 体積が説明できるほどの AE は検出されない。

本研究では、粒界型 SCC を起こす条件での SUS304 鋼の塩化物 SCC 中の AE と電位ノイズを同時測定し、両者の関係について調べた。また、AE は検出されない粒内型 SCC の電位ノイズを測定し、粒界型 SCC のノイズとの違いを調べた。本報では、実験データの詳細を紹介し、電位ノイズと粒界破壊のダイナミックスの関係については別報で議論する。

* 〒229-8558 相模原市淵野辺 5-10-1 (5-10-1, Fuchinobe, Sagami-hara, 229-8558 Japan)

2. 実験方法

実験方法を Fig. 1 に示す。試験片は厚さ 0.25 mm の SUS304 で、不活性ガス中で 1323 K で 900 s 加熱後炉冷したもので、中央に直径 2 mm、深さ 0.1 mm の平底円孔を施した。エメリー研磨試験片の上面には、O-リングを介して内径 35 mm のテフロン製腐食セルを圧着させ、38 mass% の MgCl_2 溶液を注入し、下面から赤外ランプで 371 K に加熱した。赤外ランプ加熱は、AE モニタ時の電磁ノイズを避けるためと、熱流束による孔食や孔食経由粒界型 SCC を発生させるためである。組合せ応力や熱流束を与えた著者らの実験⁹⁾ では、応力の軸性（熱応力と負荷応力などの組合せによる応力の作用方向）が高くなると粒界型割れになりやすいことが分かっている。なお、試験片は溶体化熱処理を行ったが、雰囲気炉が大きく冷却時間が長かったため多少鋭敏化を受けている。溶液中に Ag/AgCl 電極 (3.3 mol/l KCl) を挿入し、デジタルマルチメータを用いてサンプリングインターバル 0.5 s で電位ノイズを計測した。試験片には 6 個 (#1~#6) の共振型小型 AE センサー (PAC 社, PICO, 受感部径 4 mm, 中心周波数 0.45 MHz) をシリコングリスを介して設置し、40 dB 増幅して高速 A/D 変換器でデジタルデータとして電位データとともに同一コンピューターに取り込んだ。すなわち、AE イベントと電位ノイズは同期されている。初期応力 180 MPa の定荷重（実応力増大型）を付加し、SCC が試験片を貫通して液漏れが起こったときに実験を停止した。なお、腐食セル中央の未貫通円孔は SCC 発生域をこの周囲に限定する目的で設けたが、後述するように円孔以外のところからも孔食および孔食経由型粒界 SCC が発生した。また、O-リングを用いたため、実験終了 (70 ks) 前には、貴方向に移行する RR 型ノイズが観察され、O-リング下には隙間腐食が観察された。

また、同じ試験片を 38 mass% MgCl_2 恒温溶液中 (371 K) で定荷重負荷（スプリング式負荷で実荷重減少型）を行った。試験方法は、文献^{2),8)} を参照されたいが、この条件では粒内型 SCC が発生し AE は検出されない。すなわち電位ノイズのみを検出し、粒界型 SCC で見られるノ

Fig. 2 Potential noise and AE event during inter-granular SCC of SUS 304 steel.

イズの特徴と比較した。

3. 実験結果

3.1 粒界型 SCC における電位ノイズと AE

Fig. 2 は、電位と AE イベント累積数の経時変化である。振幅の小さな RD 型電位ノイズは観察されたが AE は検出されなかったゾーン I、大きな振幅の RD および RR が観察されたが AE は検出されなかったゾーン II、AE が検出されかつ大振幅の電位ノイズが観察されたゾーン III に分けて議論する。試験片が薄い (0.25 mm) ことから、計測された AE や電位ノイズは表面近傍で起こった現象に付随していると考えてよい。各ゾーンにおける電位ノイズのタイプは、井上⁴⁾ による分類に従えば次のような特徴がある。すなわち、ゾーン I のすべてのノイズは、後述 Fig. 9 に示すように卑電位で滞留することなく貴電位に回復する RD 型（以後 RD 型の Type-A という）であるが、ゾーン II では貴な方向にシフトしたのち卑方向に移行する RR 型、ゾーン III では RD 型であるが後述 Fig. 9 の下段に示すように卑電位に滞留したあとゆっくり貴方向に回復するノイズ（以後 RD 型の Type-B という）が観察された。また、ゾーン III で AE 発生が少なかった 56.5 ks から 58.8 ks 間の電位ノイズの振幅は大きく周波数も高い（高速振動）が、AE 発生が多い時間帯でのノイズ振幅は小さく周波数も低いという特徴がある。なお、この試験片における AE は、分散性のラム波（板

Fig. 1 Experimental setup for potential noise and AE monitoring during chloride-SCC under heat flux.

Fig. 3 AE source location and surface photographs of SCC.

波)として検出されるが、ゼロ次の対称モード(粗密振動する S_0 モード波でその振幅はうねるように伝搬する非対称モード波のそれに比べてはるかに小さい)も検出されたので、初動波到達時間とシート速度 (S_0 初動波の速度で 5450 m/s) から音源位置を求めた。音源位置 (●, 番号は AE イベント番号) と SCC, 表面写真を Fig. 3 に示す。中央円孔からの伝搬した短い SCC もあるが、(a) や (b) に示すように孔食を起点とした SCC が円孔以外の部分に観察された。音源位置はそのすべてが SCC 上にある訳ではないが、ほぼ SCC の近くに同定されている。音源が SCC から外れているのは、イベント番号 (E.C) が 40 以上、すなわちゾーン III の後半で検出された AE に多いことから、SCC がラム波の伝搬障害となったためと考えられる。なお、紙面の都合で破面写真は省略したが、サブクラックを伴った粒界型割れが主であった。

3.1.1 ゾーン I における電位ノイズの特徴

45 ks までの電位データを Fig. 4 に示す。電位ノイズは、電位が -342 mV vs. Ag/AgCl よりも貴になったときに観察されたが、図中の拡大データ (3720 s) に示すように RD の Type-A であった。サンプリングインターバルが

0.5 s であるため、卑方向へのシフト時間中には 3 点のデータしかないが、勾配からすればノンファラディック反応を示唆する経時変化である。電位ノイズの周波数と発生頻度を調べるため、ガボール関数をマザー関数とする連続ウェーブレット変換による等高線図を作成した。Fig. 5 には、15~17.05 ks および 21~23.05 ks での電位ノイズと等高線図を示す。なお縦軸の周波数は、著者らが最近インターネット上に無料公開した最新バージョンソフト¹²⁾の元になる試作ソフトを使用して解析したため、軸上が低周波、下が高周波で対数表示になっている。等高線図の黒い部分は大きなウェーブレット係数(振幅)を意味する。“つらら”のような尾根が電位ノイズに相当し、0.18 Hz から 0.16 Hz の周波数成分を持ち発生頻度も高い。

ノンファラディックモデルにおけるアノード電流は、電位の卑方向変化速度 ($\Delta E/\Delta t$) に比例する。厳密には、電位変化速度が最大値のときアノード電流が最大になるので、卑方向への電位変化の変曲点における電位速度が反応速度を表すパラメータになる。しかしデジタルボルトメータのサンプリングインターバルは 0.5 s のように長いので、変曲点の $\Delta E/\Delta t$ は正確には求まらない。そこで、最も卑電位に達するまでの $\Delta E/\Delta t$ がどのように変化するかを調べた。Fig. 6 には試験期間中の $\Delta E/\Delta t$ の変化をまとめて示した。この図にはゾーン II, III の結果も含まれているが、他のゾーンにおける電位ノイズの特徴と比較するため本節に示した。ゾーン II においては RR 型の

ノイズが多かったのでデータがない。また AE が検出されたゾーン III では RD の Type-B が現れているので ● で区別して示した。ゾーン I の初期における $\Delta E/\Delta t$ は 1~2 mV/s 程度の小さな値であるが、時間とともに 3~5

Fig. 4 Potential noises during Zone-I. Magnification of noise (a) is shown in the figure.

Fig. 5 Potential noises and their wavelet contour maps in Zone-I.

Fig. 6 Change of potential shift rate in RD-type noises with test time.

mV/sを示すノイズが増えはじめる。AEが検出される(粒界型割れが発生する)ゾーンIIIでの $\Delta E/\Delta t$ は、ゾーンIでのそれらよりもやや小さくなる。

3.1.2 ゾーンIIにおける電位ノイズ

この領域では、ゾーンIとは異なった電位ノイズが観察された。Fig. 7は45 ksから50 ksまでの電位ノイズである。 $\alpha \sim \delta$ で示したRDのType-B型ノイズのほか、a, b, cに代表されるようなRR型のノイズも多い。47 ksから47.2 ks間に見られたa, bの拡大データを図中に示した。これらの波形は、振幅の大小はあるもののcのノイズと極めてよく似ている。RR型のノイズは還元性雰囲気における局部腐食で過剰カソード電流が流れる場合⁴⁾と考えられているので、孔食底でのSCC発生やオリング下での隙間腐食によるものと考えられる。熱流束を伴う場合には孔食や孔食経由型SCCが多く、また隙間腐食も見られたことから本試験法に特有のノイズかもしれない。

Fig. 7 RR-type potential noises during Zone-II.

3.1.3 ゾーンIIIにおける電位ノイズとAE

ゾーンIIIでは、RD型Type-Aと-Bノイズが観察されるとともに、AEも検出された。Fig. 8には、ゾーンIIIでの電位変動とAE発生タイミング(∇ , $\blacktriangledown$)および S_0 波頭シミュレーションによって原波形解析の出来たAE信号($\blacktriangledown$)を示す。初期(50~54 ks)に検出されたAEは S_0 振幅が小さく、原波形解析は出来なかったため ∇ が圧倒的である。52 ksから56 ksでは、2度の電位滞留が観察されたが、微小割れの連鎖発生に伴う複数の電位ノイズが連続発生した結果と考えられる⁴⁾。57 ksから61 ks間でのAE発生数は少なかったが、この間では高周波の比較的振幅の大きなRD型Type-Bノイズが頻発している。試験片にはSCCのない孔食がいくつか観察されたことから(例えばFig. 3(b)クラックの右下)、新しい孔食の発生期であった可能性がある。Fig. 9には、ゾーンIIIのRD型Type-AとType-Bノイズ拡大図を示す。Type-Aに分類したノイズでも、貴方向への回復期に一定時間卑電位に滞留するものが多い。

Fig. 10には、ゾーンIIIの3期間における電位ノイズとウェーブレット係数等高線図を示す。(a)はゾーンIII

Fig. 8 Potential noises during Zone-III with AE timing.

の初期で微弱な AE 発生期, (b) は AE 発生が少ない期間, (c) は AE が再び頻発した試験末期である。(c) の波には 0.25~0.35 Hz 近傍の高周波ノイズ成分が基線に重畳しているが, この成分は振幅が小さいため等高線図には現れていない。ゾーン I における Fig. 5 の等高線図と比べると, シャープな“つらら”が消滅し, 周波数が低くなるとともに発生頻度も少なくなっている。

AE は電位が卑方向にシフトし始める時に発生し, もっとも卑な電位では発生しなかった。電位ノイズのいく

Fig. 9 Typical potential noises observed during Zone-III.

つかは, AE として検出できるような高速粒界型割れ (ここでは, メカニズムがよく分からないので SCC といわず粒界型割れという) の発生によって誘起されたと考えることができる。原波形解析の出来た振幅の大きな AE (▼) は, 大きな振幅のノイズと同期する傾向が強い。ただし AE と同期されない振幅の小さなノイズも多い。後者のノイズは孔食萌芽に伴うものであろう。

Fig. 11 および Fig. 12 には, ゾーン III の後半 (57~67 ks) におけるそれぞれ Type-A と Type-B ノイズの AE 発生タイミング (▼), ラム波 S_0 波頭シミュレーションで推定した粒界割れパラメーター (破壊体積 ΔV と破壊速

Fig. 10 Potential noises and their wavelet contour map during Zone-III.

度 ΔT_r^*)を示す。Type-Aでは、波(2)、(3)に示すように高周波の微弱ノイズが重畳することが多いが、Type-Bでは微弱ノイズはほとんど観察されない。図に示したType-Aノイズの Δt は4 sから7 s、Type-Bのそれは17 sから30 sである。 Δt の1/2がほぼ最大電位シフト速度を与える時間に該当するとすれば、2 sから15 sになる。

Fig. 11の(1)と(3)、Fig. 12の(4)と(6)ではAEは電位が降下するよりも前に、Fig. 11の(2)やFig. 12の(5)ではAEは電位降下より4.4~7.1 s遅れて検出されている。前者は、新生粒界のアノード電流による電位シフトで、AE検出から電位シフトまでの時間は加水分解による低pH化、塩化物イオンの濃縮期間などに相当するものと考えられるが、定量的な議論ができるほどのデータは現在得られていない。一方後者は、孔食底の粒界割れによるものであろう。

ラム波頭シミュレーションによるAE原波形解析については文献7)に紹介したので詳細は割愛するが、115 mm長の試験片(Fig. 1の試験片を中心で切断)の端面に接着した2 MHzの縦波用圧電素子(モードI型人工破壊源)を高速ステップ電力($0.2 \mu\text{s}$, 300 V)で振動させ、端面から60 mmのPICOセンサ(Fig. 1の#1, 2センサーに該当)でラム波を検出する。検出ラム波を人工破壊源の波形(レーザ干渉計で測定した開口変位と素子の面積の積で、山形波)で、時間領域ガウスサイデル逆畳込み積分して一括応答関数を求める。次に、破壊に対するステップ状原波形に対して計算した S_0 波頭と実測波形をマッチングさせて、破壊パラメータ(ΔT_r と ΔV)を求める。Fig. 11およびFig. 12の右は、計算波形と実測波形をオーバーラップさせた一例である。実効き裂生成時間 ΔT_r^* ($dV/dt = V_0 \sin^4(\Delta T/\pi t)$ で与えられるステップ状原波形の実質的な裂生成時間で、 ΔT_r の35%)はType-A、-Bいずれも $0.7 \mu\text{s}$ から $1.1 \mu\text{s}$ の高速である。この時間は電位ノイズの Δt の $1/10^6$ から $1/10^7$ になる。

SCC試験中にAEが検出されるということは、粒界が高速破壊を受けていることを意味し、SCC自身がアノード溶解で進展しているのではない。しかし、機械的破壊は新生粒界

Fig. 11 Potential noises with AE timing (left) and wave-front matching of Lamb AEs for fracture parameter analyses (right) for RD-Type A noises during Zone-III.

Fig. 12 Potential noises with AE timing (left) and wave-front matching of Lamb AEs for fracture parameter analyses (right) for RD-Type B noises during Zone-III.

を溶液にさらすことになるので、結果としてアノード溶解電流による電位ノイズを誘起することになる。き裂開口量は、き裂体積 ΔV を 10^{-14} m^3 (Fig. 11 と Fig. 12 に示した値 (1×10^{-14} から $2.2 \times 10^{-14} \text{ m}^3$ の最小値)) の $30 \mu\text{m}$ の結晶粒が破壊するとした時には、約 $10 \mu\text{m}$ になる。この開口量なら沖合い組成をもつ溶液は速やかに浸透するであろうから、大きなアノード電流をもたらすための溶液組成の変化が遅れ時間になっている可能性がある。

3.2 粒内型 SCC における電位ノイズの特徴

Fig. 13 は、371 K 恒温溶液中で粒内型 SCC を起こした時の電位変化である。100 ks から 140 ks の間に SCC による電位ノイズが観察され、その部分の拡大データを図中に示す。なお、この試験片では、SCC は両面から発生しており孔食はほとんどない。123 ks と 140 ks 近傍で観察された電位ノイズとそのウェーブレット等高線図を Fig. 14 に示す。電位ノイズは RD の Type-A に近く、RR 型は観察されなかったが、粒界 SCC (Fig. 10) の等高線

Fig. 13 Potential noises during trans-granular SCC of SUS 304 steel.

Fig. 14 RD-Type A potential noises and their wavelet contour maps during trans-granular SCC.

図と比較すると次のような特徴がある。1) 粒内型 SCC では、粒界型 SCC で見られた“つらら状”ノイズがなくなる。すなわち、粒内型 SCC のノイズ周波数は、0.016 Hz 以下の低周波成分のみになり、頻度も少ない。もっとも頻度が少ないのは SCC 条件が大きく異なることにも起因しており、普遍的な現象でもなかろう。2) Fig. 10(c) に見られた小振幅の高周波基線ノイズは、粒内型 SCC では極めて低周波数になっている。3) 粒内型 SCC における電位シフト速度の最大値は、Fig. 13 のノイズ B で 0.21 mV/s 、最低速度は G, H, I で 0.05 mV/s 、平均値は 0.08 mV/s である。この速度は粒界型 SCC での平均値 1.4 mV/s の 6/100 で、かなり遅い。遅いシフト速度は、振幅 ΔE が 3 mV でほぼ一定であるのに、 Δt が 41 s もあることに起因している。一方、Fig. 8 の 61~63 ks における ΔE の平均は 8 mV 、 Δt は 9 s である。粒内型 SCC における長い Δt は、一般的に観察される APC 型 SCC の巨視的伝播速度 (10^{-6} m/s) を説明できる可能性があるが、高速破壊が発生した時の電位ノイズが何を意味しているのか、何に起因しているのかを議論する必要がある。

4. 結 論

SUS304 鋼の熱流束を伴う 38 mass% MgCl_2 溶液中での粒界型 SCC と、恒温溶液中の粒内型 SCC の電位ノイズを計測し、ウェーブレット係数等高線図などの特徴を比較した。粒界型 SCC では AE 原波形解析を行って、き裂生成時間と電位シフト時間との違いを比較した。本論文では、実験データの比較を主としたが、得られた結果は以下のように要約される。

1) 熱流束を伴う SCC 試験法 (多軸応力) では、孔食経路の粒界型 SCC や隙間腐食が発生し、特徴ある電位ノイズと AE が検出された。試験開始後 (ゾーン I) には卑方向に急速にシフトし貴に回復する RD 型の Type-A が

観察されたが、試験時間が経過し AE 発生前のゾーン II では貴方向にシフトし卑方向に回復する RR タイプが観察された。AE は、高周波 (0.16 Hz 以上) で振幅の大きな RD 型ノイズが検出されるときには検出されず、振幅の小さな低周波 (0.07 Hz 以下) の RD 型 Type-A ノイズが観察される期間に発生する傾向があった。AE が検出される時間帯では、卑方向に急速にシフトし停留したのちゆっくり貴方向に回復する RD 型 Type-B の電位ノイズも観察された。

2) ゾーン III における AE は、電位が卑方向に移行しはじめる前と、卑方向に移行しはじめたごくわずかに後に検出された。前者は、新生粒界のアノード電流による電位シフトで、AE 発生から電位シフトまでの時間は加水分解による低 pH 化、塩化物イオンの濃縮期間に相当するものと考えられるが、定量的な議論は現時点では難しい。一方後者は、孔食底の粒界型割れによるものと考えられた。RD 型 Type-A ノイズでは、基線に 0.3 Hz 程度の高周波ノイズが重畳することがあるが、電位ノイズ卑方向シフト時間 (4~7 s) は、ラム波 AE の波頭シミュレーションによって求めた粒界破壊生成速度 $0.7 \sim 1.1 \mu\text{s}$ の $10^6 \sim 10^7$ にも達する。

3) 恒温溶液中で観察された粒内型 SCC では AE は観察されなかったが、RD 型 Type-A ノイズが限られた時

間帯に観察された。周波数は 0.016 Hz 以下で、平均電位移行速度 (0.08 mV/s) は、粒界型 SCC のそれ (1.4 mV/s) の 6/100 程度である。

参考文献

- 1) K. Sieradzki and R. C. Newman, *Phi. Mag.*, **A51**, 95 (1985).
- 2) H. Inoue, K. Yamawaki and N. Fukuda, *J. Soc. Mat. Science, Jpn.*, **43**, 1400 (1994), and **43**, 1405 (1994).
- 3) H. Inoue, K. Yamakawa, T. Kikuchi and Y. Yoneda, *Zairyo-to-Kankyo*, **45**, 717 (1996).
- 4) H. Inoue, Y. Maeda and S. Mori, *Proc. 49th Jpn. Conf. Materials and Environment*, p.117, JSCE (2002).
- 5) M. Takemoto, Y. Hayashi and M. Takemoto, *Zairyo-to-Kankyo*, **43**, 570 (1994).
- 6) T. Sato, M. Takemoto and K. Ono, *Jap. Jr. Nondestructive Inspection*, **56**, 385 (2001).
- 7) M. Takemoto and T. Nakazawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **44**, 166 (1995).
- 8) M. Takemoto, *Boshoku-Gijutu* (presently *Zairyo-to-Kankyo*), **31**, 753 (1982) and **32**, 3 (1984).
- 9) S. Fujimoto, M. Takemoto and K. Ono, *Progress in Acoustic Emission X*, JSNDI, 129 (2000).
- 10) B. D. Lichter, W. F. Flanagan, J. -S. Kim, J. C. Elkerbracht and M. van Huen, *Corrosion Science*, **52**, 453 (1996).
- 11) J. R. Galvele, I. A. Maier and S. A. Fernandez, *Corrosion*, **53**, 326 (1996).
- 12) AGU Vallen Wavelet, www.Vallen.de/download

(Manuscript received September 8, 2003;
in final form March 10, 2004)

要 旨

タイプ 304 オーステナイト系ステンレス鋼薄板の 38% MgCl_2 溶液中における粒界 (IG) SCC と粒内 (TG) SCC 中の電位ノイズ (PN) と AE を解析した。AE と PN は粒界型 SCC では検出されたが、粒内型 SCC では電位ノイズのみが検出された。

熱応力と引張り負荷応力の組合せ応力での SCC 試験では、孔食、隙間腐食、孔食経路の IG-SCC が起こった。これらの腐食損傷は、特徴のある電位ノイズを発生した。実験初期 (ゾーン I) における孔食に伴う RD-タイプ (卑電位への急速シフト) に加えて、中期 (ゾーン II) には RR タイプ (貴電位への急速シフト) が検出された。高速粒界割れに伴う AE は、振幅が小さく周波数成分の低い ($< 0.07 \text{ Hz}$) RD タイプの電位ノイズが検出されるときに検出された。ゾーン III における AE と PN のタイミングは 2 タイプに分類された。AE のすぐあとに検出される RD タイプの電位シフトは、新生粒界のアノード電流を示唆し、AE のすぐ前に観察される RD タイプの電位シフトは孔食底からの IG 割れによるものと考えられた。

TG-SCC は AE を発生しないが、周波数成分が 0.016 Hz 以下の RD タイプの電位ノイズを発生させる。TG-SCC の電位シフト速度 (0.08 mV/s) は、IG-SCC のそれ (1.4 mV/s) の 6% であった。

キーワード アコースティック・エミッション, 電位ノイズ, 孔食, 隙間腐食, 粒界 SCC, 粒内 SCC