SUS316L ステンレス鋼の孔食電位および孔食成長挙動に 及ぼす金属イオンの影響*

磯本良則**, 松尾慎也**

** 広島大学大学院工学研究科

Effects of Metal Ions on Pitting Potential and Pit Growth Behavior for 316L Stainless Steel*

Yoshinori Isomoto** and Shinya Matsuo**

** Graduate School of Engineering, Hiroshima University

A potentiostatic method was used to measure pitting potential for SUS316L stainless steel and compared with a potentiodynamic polarization method standardized by JIS G 0577. Test conditions were sodium chloride solutions from 0.008 to 1 M containing metal ions less than 110 ppm at temperatures of 300 and 323 K. The pitting potentials of SUS316L steel decreased with the increases in concentration of chloride ions and in temperature. The test results of pitting potential were consistent between the potentiostatic and potentiodynamic polarization methods. The presence of metal ions in a 0.08 M sodium chloride solution greatly decreased the pitting potential of SUS316L steel. Pits were grown from a steel surface by using a galvanostatic method proposed in this study, and observed in a cross-sectional surface after the growth tests. As a results, it is found that the low current density or metal ions of Mn^{2+} and Cr^{3+} added in the sodium chloride solution changed the aspect ratio of cross-sectional pit morphology and promoted deeper pit growth. Mechanisms of pit initiation and growth were discussed in this study.

Key words : pitting potential, pit growth behavior, effects of metal ions, 316L stainless steel

1. 緒 言

一般に工業用水、淡水環境の耐食性材料として SUS304 系ステンレス鋼が用いられる。しかし、塩化物イオンが高濃度になると SUS304 系のステンレス鋼に孔食が発生する可能性がある^{1), 2)}。化学装置の実環境は単純な塩化物イオン環境とは限らず、数種の金属イオンや金属塩が含まれる場合がある。塩化物イオンを微量に含む環境でマンガン酸化物の付着により孔食が発生した事例^{3), 4)}があるが、孔食発生に及ぼす環境中の金属塩の影響に関する研究は少ない。SUS304 鋼に孔食が発生する場合には耐孔食性に優れた SUS316L ステンレス鋼の使用が検討される。しかしながら、金属イオンが微量含まれる海水環境に置かれた SUS316L 鋼製配管に孔食による漏洩問題が生じる場合がある。このような問題解決には同様な環境条件における孔食電位の測定や孔食発生条件を検討した上で耐食性材料の選定などを行う必要がある。

一方で JIS G 0577 で規格化された動電位分極法による孔食電位測定では、孔食の発生電位よりも卑な電位ですき間腐食が発生するために、孔食電位が正しく測定されないなどの問題を生じる。また、孔食電位測定において試験データがばらつくために、すき間腐食の発生防止策や正規確率紙を用いた整理法が報告されている⁵⁾⁻⁷⁾が、孔食成長機構^{8), 9)}の解明も含め、孔食発生・成長実験に関する今後の検討課題も多いとみられる。

本研究では、JIS 規格に準拠した動電位分極法、およ

び簡易な定電位法を用いて孔食電位を求めること、および塩化物イオンが含まれる環境に置かれた SUS316L 鋼の孔食電位に及ぼす金属イオンの影響を調べることにした。また、上記環境において孔食を実験的に成長させ、成長過程および成長過程に及ぼす金属イオンの影響を調べた。

2. 試験装置および試験方法

本実験においてポテンシオスタットを用いた三電極法を Fig. 1 に示す。試験片は市販の SUS316L 鋼製の管から試料を切り出した後に研磨後、シリコン系接着剤で試料容器に固定するか、熱間埋込用樹脂に埋め込み、切断・研磨した後に試料容器に装着した。その後約 3.4 M (20 wt%) 硝酸溶液で試験片表面を酸化処理し作用電極とした。作用電極の面積はおよそ 0.3 cm² である。参照電極には銀/塩化銀電極、対極には白金を用いた。孔食電位は JIS G 0577 に準拠した動電位分極法（電位掃引速度 20 mV/min）により、分極電流密度 100 μ A/cm² における電位とした。また、定電位法^{1), 10)}における電位保持法およ

Fig. 1 Experimental set up for pitting potential measurements.

* 材料と環境 2011 (東京, 2011 年) で発表

** 〒739-8527 広島市鏡山 1-4-1 (1-4-1, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 739-8527 Japan)

び保持時間を改良した簡易な定電位法を採用した。

本定電位法では、ポテンシオスタットを用いて試料電極を所定の電位に保ち、20 分の保持時間を限度に電流増加または表面の目視観察により、すき間腐食および孔食の発生有無を確認し、孔食発生下限の電位を孔食電位として決定した。一方、孔食の発生・成長方法としては、まず、定電位法を用いて孔食が発生する電位がそれよりもわずかに高い電位に保持し、孔食を試料面に 1 個発生させた。次に、電流の急激な上昇を抑えながら電位を下げて孔食成長を安定化させた。その後ガルバノスタットを用いて定電流法に切り替えた。このときの電流値を 0.1~0.3 mA とした。さらに孔食電位測定や孔食成長試験後の試験片の表面や断面の観察を光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡 (SEM, EDX) を用いて行った。

試験環境として 300 K または 323 K (一部のデータは 353 K) の 0.008~1 M (5.86 wt%) NaCl 水溶液、および 0.08 M (0.5 wt%) NaCl (Cl^- イオンとして約 3000 ppm) に 3~110 ppm の 6 種類の金属イオン (Co^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+}) をそれぞれ硫酸塩として添加した水溶液を用いた。

3. 試験結果および考察

3.1 孔食電位

3.1.1 孔食電位に及ぼす温度および NaCl 濃度の影響

動電位分極法によって得られた 300 および 323 K, 0.08~1 M NaCl 溶液中の SUS316L 鋼の孔食電位を Fig. 2 に示す。Fig. 2 では同一環境下における孔食電位がばらついていることが分かる。孔食電位がばらついているにも関わらず、環境の温度が 323 K における孔食電位は 300 K に比べて明らかに低い。この孔食電位を対数正規確率紙にプロットしたものが Fig. 3 である。一般に孔食電位は対数正規確率紙上で直線関係になるとみられる^{6),7)}。Fig. 3 において正規確率 50 % における孔食電位を Δ (300 K), $\blacktriangle$ (323 K) で示し、定電位法で得られた孔食電位と比較したものを Fig. 4 に示す。2 つの方法で得られた孔食電位は 100 mV ずれている場合もあるが、両者はほぼ同様な結果とみなされ、塩化物イオンの増加および温度の上昇による孔食電位の低下の傾向は既往の

Fig. 2 Effects of NaCl concentration and temperature on pitting potential for SUS316L steel by a potentiodynamic polarization method.

結果^{1),11)} とほぼ一致した。また、353 K, 1 M NaCl 溶液における孔食電位は 0.03 V と非常に低い値を示すことが分かった。本手法の定電位法を用いることにより孔食よりも低い電位で発生するすき間腐食の影響を除去でき、定電位法による孔食電位は妥当な結果を示していると判断された。

3.1.2 孔食電位に及ぼす Mn^{2+} イオンの影響

323 K, それぞれの NaCl 濃度において Mn^{2+} イオンを硫酸塩として 110 ppm まで添加した場合の定電位法による孔食電位の変化を Fig. 5 に示す。まず、Fig. 5 において Mn^{2+} イオンを含まない縦軸上に示される孔食電位は Fig. 4 におけるデータと同一であり、NaCl 濃度の増加とともに低下している。 Mn^{2+} イオンが添加されることで孔食電位が変化し、孔食電位に及ぼす Mn^{2+} イオンの影響は NaCl の濃度によって異なることが分かる。0.008 M NaCl 溶液では、 Mn^{2+} イオン濃度の増加に伴って孔食電位は上昇した。それ以外の NaCl 濃度では孔食電位は低下した。0.08 M NaCl 溶液において、5 ppm の Mn^{2+} イオン添加により孔食電位は大きく低下し、その後の Mn^{2+} イオンの増加により徐々に低下する結果が得られた。 Mn^{2+} イオンの影響はこの環境で最大になることが分かった。NaCl 中の塩化物イオンが多い環境では、孔食電位はもともと低い値を示すために、微量の Mn^{2+} イオンの添加ではそれ以上の孔食電位の低下は現れにくくなると

Fig. 3 Logarithmic normal probability plots of pitting potential for SUS316L steel under various solution conditions.

Fig. 4 Effects of NaCl concentration and temperature on pitting potential for SUS316L steel by a potentiostatic method.

Fig. 5 Effects of Mn^{2+} ions in various NaCl solutions on pitting potential for SUS316L steel.

考えられる。

Mn^{2+} イオンを硫酸塩として添加することによって孔食電位が大きく低下した 0.08 M NaCl 溶液において、 Mn^{2+} イオンと SO_4^{2-} イオンの影響を区別するために硫酸ナトリウム溶液を用いて孔食電位を求めた結果を Fig. 6 に示す。図中 323 K, MnSO_4 のデータは Fig. 5 と同じものである。また、 Na^+ イオンは孔食電位に影響しないと解釈している¹²⁾。Fig. 6 から 300 K では Mn^{2+} イオンは孔食電位にほとんど影響を及ぼさないことが確認された。また、323 K において 100 ppm 程度の硫酸ナトリウム溶液では SO_4^{2-} イオンによる孔食電位の低下はほとんど見られなかったため、この温度において孔食電位を低下させた要因は Mn^{2+} イオンそのものであることが分かった。

Leckie ら¹³⁾ は 0.1 M NaCl 溶液に添加される Na_2SO_4 の濃度上昇とともに孔食電位が貴化することを報告している。しかし、低い Na_2SO_4 濃度では孔食電位はあまり貴化していない。この理由として塩化物イオンに対する SO_4^{2-} イオンの活性度の違いを挙げている。本実験においても塩化物イオン、 Mn^{2+} イオン、 SO_4^{2-} イオン濃度や環境液の温度変化によって、それぞれのイオンの相対的な活性度が異なったために、孔食電位の貴化あるいは卑化が生じたと考えられる。

Fig. 6 Effects of Mn^{2+} and SO_4^{2-} ions in a 0.08 M NaCl solution on pitting potential for SUS316L steel.

Fig. 7 Effect of location of specimen surface on pitting potential for SUS316L steel in a 0.08 M NaCl solution containing Mn^{2+} ions.

3.1.3 孔食電位に及ぼす試料上下向きの影響

0.08 M NaCl 溶液において Mn^{2+} イオンを添加した場合の孔食電位に及ぼす試料上下向きの影響を Fig. 7 に示す。試験片 (Fig. 7 中の SP) が上向きの場合のデータは Figs. 5, 6 と同じである。試験片を下向きにした場合では Mn^{2+} イオンを添加しても孔食電位はほとんど変化しなかった。後述する孔食表面の EDX 分析では孔食内に存在したとみられる腐食生成物に Mn^{2+} イオンの濃縮は見られなかったことから、 Mn^{2+} イオンは重力により下方向に移動し、金属表面の Mn^{2+} イオン濃度が増すことによって孔食を発生させやすくする効果をもつと推察される。一般に孔食は鉛直方向に生じやすいことが言われており¹²⁾、本研究は既往の研究を支持する結果となった。

3.1.4 孔食電位に及ぼす金属イオンの影響

0.08 M NaCl 溶液において孔食電位に及ぼす 6 種類の金属イオンの影響を Fig. 8 に示す。全ての金属イオンは孔食電位を低下させたが低下の度合いによって 2 つに分類できた。まず、 Mn^{2+} イオンと同様に孔食電位を大きく低下させた金属イオンは Pb^{2+} 、 Co^{2+} イオンであった。ステンレス鋼の添加金属としての Cr^{3+} 、 Ni^{2+} 、および Cu^{2+} イオンは孔食電位を引き下げたものの前者金属イオンに比べて効果は少なかった。図には示さないが、これらの金属を用いて試験面を下方に向けた場合には孔食電位は

Fig. 8 Effect of various metal ions on pitting potential for SUS316L steel in a 0.08 M NaCl solution.

低下しなかったことから、これらの金属イオンの濃度が、SUS316L 鋼の表面で高くなり、塩化物イオンとともに不動態皮膜を破壊する要因になると考えられる。上記の孔食電位低下の度合いは各金属イオンの水酸化物としての溶解度や質量と関連がなかったことから金属イオンの特性とみられる。

3.2 孔食発生に及ぼす酸化マンガン付着物の影響

酸化マンガンが付着した SUS316L 管材を入手し、切出試験片として 300 K, 0.08 M NaCl 溶液における動電位分極挙動を調べた 2 つの例を Fig. 9 (a), (b) に示す。酸化マンガンは環境液中の Mn^{2+} イオンが酸化して付着したものと考えられる。電流密度 $10 \mu\text{A cm}^{-2}$ 以下の試験データにはばつきがあるが、これは試料面積が小さいための電流測定精度に依存する。酸化マンガンが付着した試料表面の 300 K, 0.08 M NaCl 溶液における自然腐食電位は、酸化マンガンの付着状態にも依存するが、銀/塩化銀電極基準で $0.2 \sim 0.45 \text{ V}$ であった。この電位は硝酸溶液で酸化処理した表面と比較して同等か高い値であった。ただし、この環境における孔食電位 (0.96 V , Fig. 4 参照) よりも低い。その後の動電位分極により電流密度は $10 \mu\text{A/cm}^2$ 以下で正負に流れる不動態を示した。Fig. 9 (a) では不動態から電流密度は一度高くなったが、顕著な孔食を生じ始めた電位は 1.05 V であった。孔食は酸化マンガンの付着がない箇所に生じていた。この値は、Figs. 2 および 4 の 0.08 M NaCl 溶液における孔食電位と比較しても高い値を示し、酸化マンガンの付着が必ずしも孔食発生に寄与しないことを裏付けている。Fig. 9 (b) の例では自然

Fig. 9 Potentiodynamic polarization curves for SUS316L steel with a MnO_2 adhesive surface in a 0.08 M NaCl solution in the cases of (a) pit generation, (b) active dissolution.

腐食電位 0.24 V から 0.5 V 当たりの不動態から電流密度が上昇する活性溶解を生じたが、孔食は発生しなかった。定電位法による 323 K, 0.08 M NaCl 溶液における酸化マンガンが付着した試料の孔食電位は付着していない場合とほぼ同じ結果が得られた。以上のことから、試料表面に付着した酸化マンガンは SUS316L 鋼の腐食を助長するが、孔食電位の低下や孔食発生に必ずしも影響を与えないことが明らかとなった。

3.3 孔食挙動の観察

3.3.1 孔食電位測定後の孔食表面観察

Fig. 10 に 300 K または 323 K, 0.08 M NaCl 溶液、およびこの溶液に 3.7 および 30 ppm の Mn^{2+} イオンを添加した場合の孔食電位測定後の孔食表面観察例を示す。動電位分極法による孔食電位測定後の孔食表面をみると、 Mn^{2+} イオンが添加されることにより孔食周辺にいわゆるスケルトン状の選択溶解が生じる場合が多かった (Fig. 10 (a)). また、定電位法による孔食電位測定後に見られた溶接部付近の孔食表面では 1 か所に複数の局部溶解が見られ、複雑な形状を呈する場合があった (Fig. 10 (b)). しかし、孔食形状に再現性があるわけではなかった。 Mn^{2+} イオンが添加されない場合の孔食成長後の孔食周辺は比較的平坦であり金属の溶解はあまり見られない (Fig. 10 (c)). 金属イオンが添加された場合では、孔食周辺に深さ数十 μm ほどの金属溶解がみられたり、き裂状の溶解と孔内腐食生成物が孔食の周囲に堆積する場合がみられた (Fig. 10 (d)). EDX 分析ではこの腐食生成物から塩化物イオンが質量基準で約 35%, Ni, Cr および Mn など金属は SUS316L 鋼のおよそ組成比となっていたことから、孔食成長の過程で Mn^{2+} イオン等の添加金属イオンが孔食の内部で濃縮された可能性は低いとみられる。

3.3.2 孔食成長挙動

0.08 M NaCl 溶液およびこの溶液に 30 ppm 程度の金属

Fig. 10 SEM observations of various pitting surfaces. (a) potentiodynamic test in 0.08 M NaCl + 3.7 ppm Mn^{2+} at 300 K, (b) potentiostatic test in 0.08 M NaCl + 30 ppm Mn^{2+} at 323 K. (c) galvanostatic pit growth test in 0.08 M NaCl solution at 323 K and (d) galvanostatic pit growth test in a 0.08 M NaCl + 30 ppm Mn^{2+} at 323 K.

イオンを添加した環境において定電流操作（電流値 0.1～0.3 mA）で孔食を成長させた場合の概略電気量に対する孔食の断面変化例を Fig. 11 に示す。実験的な孔食成長では、印加した電流が全て孔食の成長に使われるとは限らないので、Fig. 11 の電気量は目安である。この孔食成長方法では金属イオンの有無に関わらずインク壺状の孔食断面を呈することが分かった。金属イオンを含まない 0.08 M NaCl 溶液では孔食断面は低い電流値では細長く、電流増加に伴って丸い形状に変わっていくことが分かる。すなわち、電流が少ないほど局部に電流が集中しやすいと考えられる。0.3 mA の定電流条件では Ni^{2+} イオンを添加した場合では金属イオンを添加しない場合と同様に縦横比はあまり変わらなかった。ところが、 Mn^{2+} イオンを含む場合では、孔食成長の初期から縦方向に楕円形のインク壺状に成長することが分かった。Fig. 11 中、金属を添加しない 0.08 M NaCl 溶液における孔食において、0.1 mA の電流により生じた孔食の直径はおよそ 0.25 mm であることから、この孔食が成長するときの平均電流密度は約 20 mA/cm² であることが分かった。なお、定電流 0.1～0.3 mA における試料電位は銀/塩化銀電極基準で 0.1～0.2 V であり、孔食が成長しているときの孔食表面の電位は孔食発生時の電位に比べてかなり低かった。また、孔食付近の溶液の pH は全体の溶液のそれよりも低く、孔内が低 pH 化していることを示唆していた。

Fig. 11 のような孔食断面の成長挙動の観察から、断面形状が孔食の鉛直方向を軸とする軸対象の楕円形であるとみなし、長軸径 a 、短軸径 b とする楕円の体積 $\pi ab^2/6$ を概略孔食体積として縦横比 a/b をプロットしたものを Fig. 12 に示す。 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Pb^{2+} イオンでは定電流 0.3 mA による孔食の成長とともに縦横比はほとんど変化せず断面形状は丸いインク壺状であると言える。金属イオンを含まない定電流 0.3 mA による孔食の形状も

縦横比が 1 に近い丸形であることから、断面形状はこれらの金属イオンに無関係であることが分かった。ところが、 Cr^{3+} 、 Mn^{2+} イオンを含む場合では、孔食成長の初期から楕円形に成長し始め、孔食体積の増加とともに孔食が深さ方向に成長することが明らかとなった。 Cr 、 Ni 、 Mn は試料中に含まれている元素であること、孔食内の腐食生成物の EDX 分析からこれらの金属イオンが孔内で蓄積されていない。したがって、 Cr^{3+} 、 Mn^{2+} イオンは表面状態を変化させることで、孔食を縦方向に成長させたと考えられる。

3.4 孔食発生・成長機構の推察

まず孔食発生について述べる。孔食電位の測定結果から、塩化物イオン濃度、温度の上昇によって孔食電位は低下し、金属イオンの存在により孔食電位はさらに低下することが分かった。したがって、これらのイオンによって孔食は発生しやすくなると判断される。塩化物イオンは不働態皮膜を破壊することが知られている²⁾。表面に存在する MnS が孔食の起点になることも考えられるが、議論は完結していない¹⁴⁾。一方で金属のアノード溶解などによって生じた金属イオンが水素イオンの発生につながり（(1)式）、孔食を進展させることが知られている²⁾。本試験条件においては最初に添加された金属イオンが (1) 式による表面の低 pH 化に寄与した結果、孔食が発生しやすくなったと推察される。

次に孔食成長について述べる。孔食の成長は (1) 式に

Fig. 11 Cross sectional appearances of pitting grown by a galvanostatic method in a 0.08 M NaCl solution containing various metal ions at 323 K.

Fig. 12 Aspect ratio against pitting volume for various cross sectional pitting generated by a galvanostatic method in a 0.08 M NaCl + ca. 30 ppm metal ions at 323 K.

みられる低 pH 化, 孔食内の低酸素濃度と孔食周辺のカソード部との酸素濃淡電池および表面電位の貴化によると解釈されている²⁾。また, 淡水環境にさらされるステンレス鋼の溶接部に生ずる微生物腐食は, インク壺状, スケルトン形状の選択腐食として現れ, 塩化物イオンの存在と表面電位の貴化が主とする要因であると考えられている^{15), 16)}。本実験において, 金属イオンを含む環境における動電位分極挙動で孔食の周りにスケルトン状の模様が観察されたり, 定電流法で孔食を成長させた場合の孔食断面がインク壺状を呈した結果は微生物腐食の特徴に酷似している²⁾。しかし, 本実験では, 323 K の試験温度も含めて微生物は存在しないので, Mn^{2+} イオンの存在による低 pH 化とアノード分極による電位の貴化がインク壺状やスケルトン状を伴う孔食の成長の直接原因であると推察される。また, Mn^{2+} イオンや Cr^{3+} イオンが環境中に存在すると孔食を深さ方向に成長させる。

一方, Mn^{2+} イオンと MnO_2 の平衡電位は (2) 式に示されるように水素電極基準で 1.33 V と SUS316L 鋼の自然電位よりもかなり高い。

したがって, Mn^{2+} イオンが酸化されて酸化マンガンとして金属表面に付着すれば電位の貴化が生じ, 孔食を成長させる要因になる可能性がある。しかし, Fig. 9 に示すように孔食の発生には寄与しないと推察される。

4. 結 論

(1) 本研究で提案する定電位法による孔食電位が JIS 規格に準拠する動電位分極法による孔食電位と同等であることを確認し, 塩化物イオン濃度の増加および温度の上昇によって SUS316L 鋼の孔食電位は低下することを確認した。

(2) Mn^{2+} イオンをはじめとする多くの金属イオンは 323 K, 0.08 M (0.5 wt%) NaCl 溶液環境に数 ppm 存在するだけで SUS316L 鋼の表面の濃度の増加につながり, 孔食電位を大きく低下させることが分かった。

(3) 定電流法により孔食を成長させることができた。その孔食断面はインク壺状を呈していた。孔食断面の形

状は金属イオンや印加する電流によって変化し, Mn^{2+} および Cr^{3+} イオンの存在により, 孔食は深さ方向に成長することが分かった。

(4) SUS316L 鋼表面に酸化マンガンが存在する場合の自然電位は高いことが確認され, 電位の貴化につながることを示唆された。

(5) 塩化物イオンが含まれる環境に金属イオンが存在する場合の孔食発生は, 孔食電位の低下を誘発する金属イオンによる金属表面の低 pH 化に起因し, 孔食成長は金属イオンによる孔内の低 pH 化とアノード分極による表面電位の貴化に起因することが示唆された。

参 考 文 献

- 1) Japan Stainless Steel Association, Stainless Steel Binran, p.256, p.466, p.575, The Nikkan Kogyo Shimbun Ltd. (1995).
- 2) T. Ishihara, The Current Issue Case Histories in Corrosion Failures Analysis and Corrosion Diagnostics, p.72, Techno-System Co. Ltd. (2008).
- 3) J. Liao, K. Hojo, H. Okada and H. Yara, *Zairyo-to-Kankyo*, **53**, 531 (2004).
- 4) C. W. Kovach, *Material Performance*, **38** [9] 70 (1999).
- 5) S. Frangini and N. De Cristofaro, *Corrosion Science*, **45**, 2769 (2003).
- 6) O. Yamazaki and T. Shibata, *Zairyo-to-Kankyo*, **51**, 30 (2002).
- 7) Y. Zuo, H. Wang and J. Xiong, *Corrosion Science*, **44**, 25 (2002).
- 8) P. Ernst and R. C. Newman, *Corrosion Science*, **44**, 927 (2002).
- 9) D. B. Reiser and R. C. Alkire, *Corrosion Science*, **24**, 579 (1984).
- 10) T. Adachi, M. Nishikawa and K. Hayashi, *Nisshin Steel Technical Report*, [63] 109 (1999).
- 11) N. J. Laycock and R. C. Newman, *Corrosion Science*, **40**, 887 (1998).
- 12) H. H. Uhlig and R. W. Revie, Corrosion and Corrosion Control, p. 77, p. 321, John Wiley & Sons, Inc (1963).
- 13) H. P. Leckie and H. H. Uhlig, *J. Electrochem. Soc.*, **113** [2] 1262 (1966).
- 14) P. Schmuki, H. Hildebrand, A. Friedrich and S. Virtanen, *Corrosion Science*, **47**, 1239 (2005).
- 15) N. Washizu and H. Masuda, *Zairyo-to-Kankyo*, **49**, 362 (2000).
- 16) N. Washizu M. Masuda and T. Kodama, *Zairyo-to-Kankyo*, **50**, 330 (2001).

(Manuscript received August 31, 2011;
in final form December 14, 2011)

要 旨

SUS316L ステンレス鋼の孔食電位を測定するために定電位法が用いられ, JIS G 0577 で標準化されている動電位分極法と比較された。試験条件は試験温度 300 および 323 K, 110 ppm 以下の金属イオンを含む 0.008~1 M 塩化ナトリウム水溶液である。塩化物イオンおよび温度の上昇によって SUS316L 鋼の孔食電位は低下した。孔食電位の試験結果は定電位法と動電位分極法の間で一致した 0.08 M 塩化ナトリウム水溶液中の金属イオンの存在は SUS316L 鋼の孔食電位に大きな影響を与えた。孔食は定電流法により鋼表面から成長させられ, 孔食断面で観察された。結果として, 低い電流密度, あるいは塩化ナトリウム水溶液に添加された Mn^{2+} , Cr^{3+} が孔食の断面の縦横比を変え, より深い孔食成長を促進させることが分かった。孔食発生および成長機構がこの研究で議論された。

キーワード 孔食電位, 孔食成長挙動, 金属イオンの影響, SUS316L 鋼