

## すき間腐食試験法における締付けトルクの影響

機械金属部 磯崎 隆司

### 1. 緒言

すき間腐食は海水や塩化物を含む環境下で使用するステンレス鋼などにとって、しばしば問題になることがある。しかしその評価法において、再動態化電位(Er)などの電気化学的手法についてはほぼ確立されているものの、浸漬試験については確立されていない。ASTM では G78 に多点すき間形成材(以下、MCA と略す。)を用いた標準的方法が規定され、欧米で多く用いられているが、試験結果にバラッキが多く、その再現性に問題の残るところである。

腐食防食協会では耐すき間腐食性評価法分科会において、この方法の再現性に関する調査ならびに再現性の向上を目的とした共同実験を行っているが、バラッキの出る原因の一つに MCA の締付けトルクの問題があげられている。今回、中小企業事業団の6ヶ月研修において、化学技術研究所で実習を行う機会を得て、この試験法の締付けトルク依存性について実験を行ったので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 自然浸漬試験(実験1)

試験片は分科会の配布品(鋼種: SUS 316, 寸法: 120×120×1.5mm)を用いた。試験水溶液は特級試薬を3.5%NaCl 溶液に調整し、30±1 で実験を行った。MCA はポリアセタール樹脂であり、その形状・寸法を図1に示す。すき間形成部は MCA 1個につき20個所であり、組立て時には試験片の表裏に40個所のすき間が形成されるようになっている。ボルト、ナット(M6)、ワッシャーはTi製である。試験片の端面およびボルト穴はあらかじめエメリー紙で#600まで湿式研磨を施し、

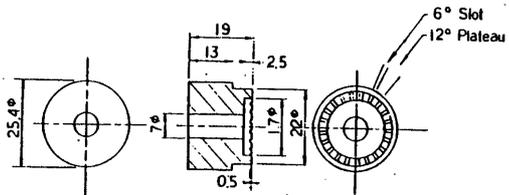


図1 すきま形成材の詳細図

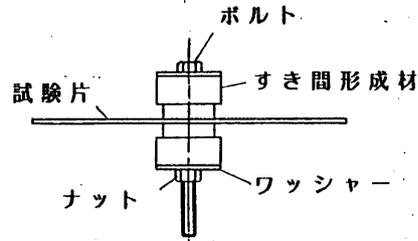


図2 すきま形成材の組立て図

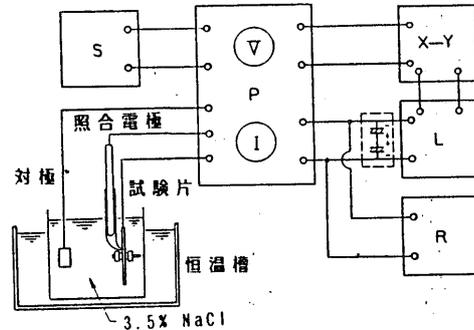
アセトンで脱脂後水洗,乾燥をして24時間後に実験に供した。組立てはすき間部に気泡が入らないように試験水溶液中で行い、締付けトルクの設定は水溶液から取出した後、トルクレンチを用いて行った。試験後の評価は40個所のすき間の内で実際に腐食が発生した数およびその腐食部の最大深さを中心に行った。

## 2.2 自然電位経時変化の測定(実験2)

試験片はステンレス協会の標準試験片 SUS304 77より 115×110×2mm に切出して用い、他は実験1に準じた。MCA を取付けたすき間試験片と MCA を取付けない自由面試験片について自然電位の経時変化を測定した。

## 2.3 再不動態化電位(Er)の測定(実験3)

試験片, 試験水溶液については実験2と同じであり, 図3にEr測定のプロック図を示す。電位の操作方は次の通りである。試験片を試験水溶液に浸漬して30分後の自然電位から20mV/minの速さで“貴”な方向電位をスイープさせる(Step1)。試験片に流れる電流が50μAをこえた電位で保持する(Step2)。1時間後, “卑”な方向に20mV/minの速さで電位をスイープさせる(Step3)。試験片一対極間に流れる電流値が0になったときの電位を再不動態化電位(Er)とした(Step4)。



- P ——— ポテンシオスタット
- V ——— 電位指示計
- I ——— 電流指示計
- S ——— 電位スイープ装置
- X-Y ——— X-Yレコーダ
- L ——— 対数変換器
- R ——— 縦動記録計

図3 Er測定のプロック図

## 2.4 定電位試験(実験4)

試験片, 試験水溶液については実験2と同じである。図3の装置により試験片の電位を保持し, その時試験片一対極間に流れる電流により腐食量に相当する電気量を求めた。MCA の締付けトルクを0.3~0.9 kgf-m の範囲で変え, 電気量と締付けトルクの関係を求めた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 自然浸漬試験の再現性

図4は実験1の30日間の浸漬結果を示したものである。試験片A, B, CはMCAの締付けトルクを含めて全く同一条件で試験されたが, すき間腐食の発生数は試験片の表裏を合せて19から32, 浸食深さは17μmから24μmというバラツキをみせている。しかしこの図を見ると, 発生数が少ない場合は浸食深さが深く, 発生数が多い場合は浅いという結果になっている。また図5は実験2の15日間の浸漬結果であるが, ここでは締付けトルクを0.5, 0.7, 0.9kgf-mと変えているにもかかわらず, 同様の傾向を示している(ただし, 0.9kgf-mについては20日間の浸漬期間であったが, グラフ上では浸食深さを15日間に相当する値に換算してプロットしなおしている)。これは分科会の共同実験結果として(発生数×平均深さ)の値がバラツキも少なく, すき間腐食量を評価できるとする結論と一致する。しかしこのMCAを用いた試験法がすき間腐食の発生の可能性を評価するためのものであることを考えると, 発生数のバラツキは問題となる。今回の30日間の浸漬試験で

は1週間ごとに増締めを行っており、試験期間を通して0.7kgf-m以上に保つことができた。増締めをしない場合、0.5kgf m以下まで下がり0.3 kgf-mまで下がったときにはすき間腐食が発生しなかったという報告もある。したがって増締めによって再現性が向上されるということは期待できる。

3.2 自然電位経時変化の測定(実験3)

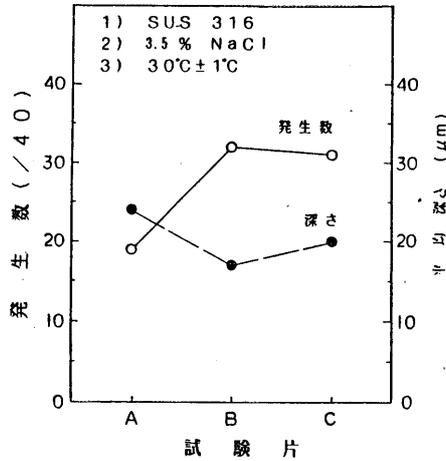


図4 30日間浸漬結果 (自然浸漬試験)

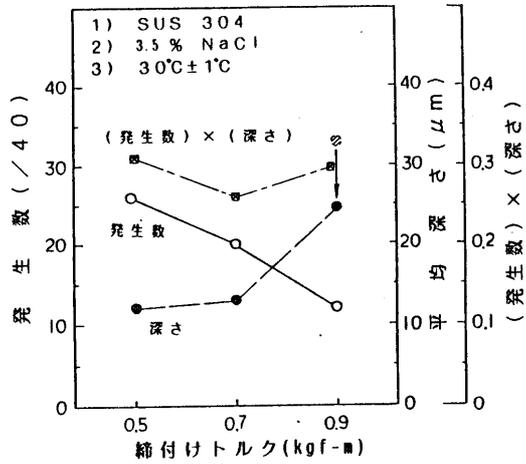


図5 15日間浸漬試験結果 (自然電位経時変化の測定)

図6は15日間の自然電位の経時変化を示したものである。すき間試験片の電位はいずれの場合も4~7日目に最も「卑」な電位を示し、それ以降は「貴」な方向へ徐々に移行する傾向を示している。今回測定した電位はMCA近傍の自由表面の電位であり、すき間腐食の挙動を直接示しているわけではないが、このような電位の変化はすき間腐食の発生・成長に起因するものである。

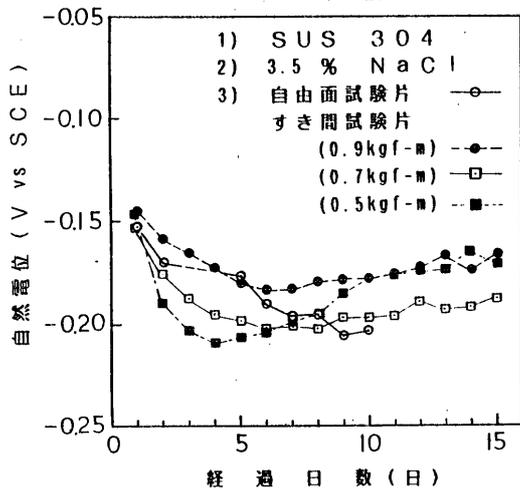


図6 自然電位の経時変化

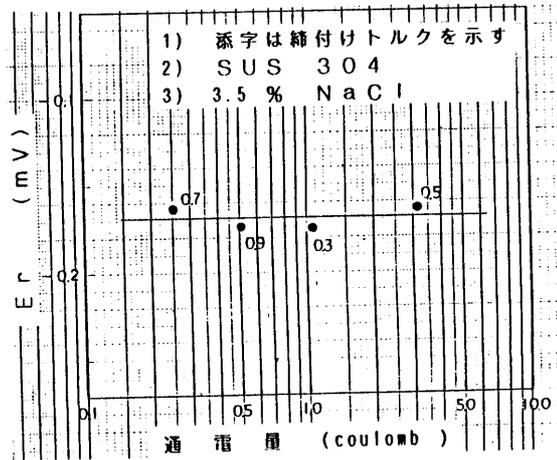


図7  $E_r$  値におよぼす すき間腐食成長度合の影響

### 3.3 締付けトルクの再不動態化電位( $E_r$ )に及ぼす影響

すき間腐食における  $E_r$  はすき間の幾何学的形状に依存し、測定方法に比較的依存しない電気化学的な特性値として、いろいろな鋼種、環境、すき間構造に対して各方面での研究がなされている。ここでは締付けトルクが  $E_r$  に及ぼす影響について検討した。ステンレス鋼の  $E_r$  が電位スweep速度に依存しないという報告もあるので、ここでは実験の迅速化を図るために 20mV/min というかなり速いスweep速度で測定を行った。得られた  $E_r$  の値は保持電位がまちまちであるにもかかわらず、ほぼ同じ値(平均 - 169mV)になった。図7に測定の際の通電量(すなわち腐食量に相当する値)と  $E_r$  の関係を示す。すき間腐食の  $E_r$  がその成長の度合いに依存しないで求められるということばかりでなく、 $E_r$  は締付けトルクには依存しないと結論づけることもできる。

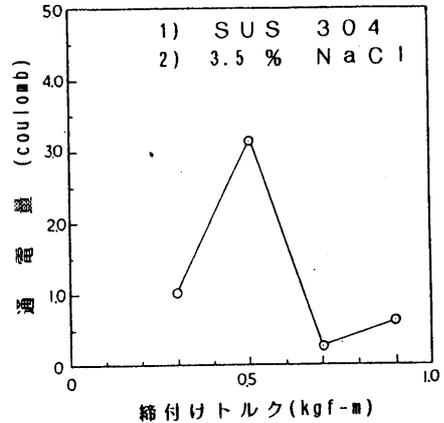


図8  $E_r$  測定時の通電量の比較

またここで注目したいのは、図8のように締付けトルクが 0.9, 0.7kgf-m のとき通電量が小さく、0.5 kgf-m で急激に大きくなり、0.3 kgf-m ではまた小さくなるということである。

### 3.4 すき間腐食の成長に及ぼす締付けトルクの影響

定電位試験は外部からの電流によって強制的にすき間腐食を発生させるものであって、自然発生までの時間を無視したものである。しかし、発生後の成長の傾向を知ることはできる。 $E_r$  の値がすき間腐食の下限値に一致するとされているので、試験片の電位を  $E_r$  よりも「貴」な電位に保持し、すき間腐食の成長に及ぼす締付けトルクの影響を検討した。設定電位は - 100, - 130, - 160mV、締付けトルクは 0.3 ~ 0.9kgf - m とし、実験時間は 18 時間である。図9

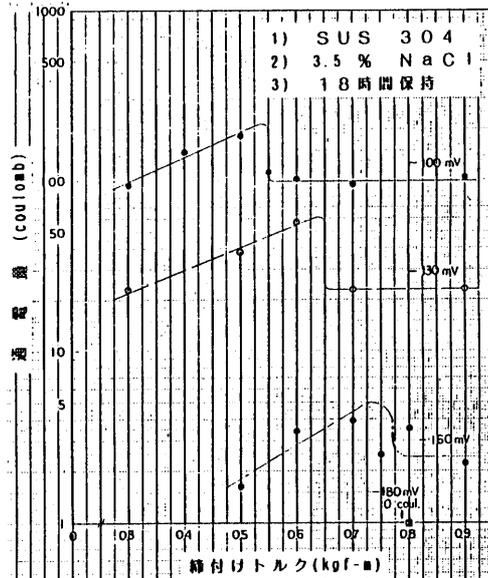


図9 定電位試験 (トルク-通電量の関係)

から明らかなように、図8にも見られたような傾向を示している。すなわち、締付けトルクがある程度小さくなったところに通電量のピークがあり、それより小さい範囲では締付けトルクに依存して小さくなるという現象である。しかも「卑」な設定電位の場合ほど、大きなトルクから依存している。このような現象が自然浸漬試験の際にも起こるとすれば、MCAの締付けトルクのわずかな緩みが腐食

量に大きなバラツキを与えても不思議ではない。さらにすき間腐食の発生そのものも締付けトルクの影響を受けることは十分考えられる。

また今回の定電位試験では1組のMCA (A, B)を繰返して使用したが、表1に見られるように実験条件を変えても常に(B)を取付けた試験面のほうにより多くのすき間腐食が発生している。図10はMCA(A), (B)の表面あ

らさの比較であるが、(B)のほうがよりギャップの大きなすき間空間を作ることは明らかである。そしてそのキャップは締付けトルクに影響される。

キャップが狭い程、すき間腐食が発生しやすいことはそのメカニズムからも頷けるが、

以上の実験結果から、すき間腐食が成長するためにはある程度の大きさをもったギャップが必要であるといえる。すき間で生成する水酸化物や酸化物などの腐食生成物はすき間溶液の電導率を低下させ、成長を鈍らせる。すき間腐食が成長するためには、それらの腐食生成物が

体積流を伴ってすき間外へ排除されることが必要であり、すき間キャップがある程度大きいほうが成長にとっては都合が良い。しかしギャップがそれ以上に大きくなるにつれて、すき間内部への酸素の拡散や、すき間溶液とバルク溶液の対流によって、すき間腐食の起動力そのものが低下するためであると考察する。

#### 4. 結 言

金属材料の耐すき間腐食性の評価に用いられるMCA浸漬試験法はASTMのG78に標準的方法として規定されているが、実験結果にバラツキが多く再現性に問題がある。その原因のひとつにMCAの締付けトルクの影響があげられている。今回の実験では(1)自然浸漬試験、(2)自然電位の測定、(3)Erの測定、(4)定電位試験により、締付けトルクがこの試験法の再現性に及ぼす影響についての検討を行い、

表1 すき間形成材による発生数の比較

試験片	発 生 数		備 考
	MCA (A)	MCA (B)	
A-11	3	14	-160mV, 0.7kgf-m
A-12	10	14	-100mV, 0.6kgf-m
A-13	10	13	-100mV, 0.4kgf-m
A-14	4	10	-160mV, 0.6kgf-m
A-15	10	17	-130mV, 0.6kgf-m
A-16	0	6	-160mV, 0.8kgf-m
A-17	4	13	-100mV, 0.55kgf-m

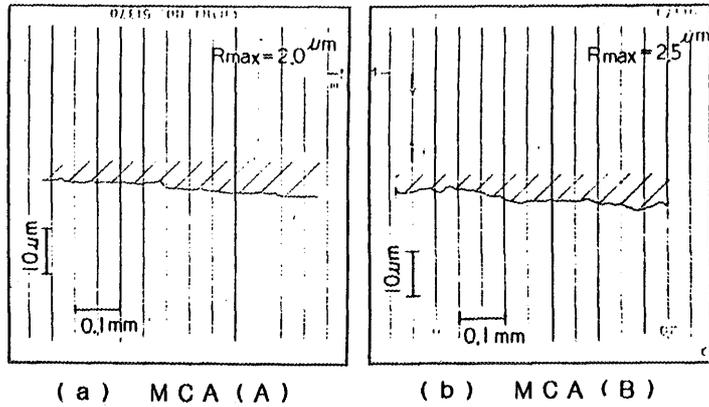


図10 表面あらさの比較

MCAの締付けトルク,表面あらさを一定に保つことが不可欠の条件であるという結果を得た。

最後に今回の実習にあたって長期間いろいろとご指導をいただきました化学技術研究所の佐々木主任研究官に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) Mars G. Fontana & Norbert D. Green ; Corrosion Engineering P 39 ~ 44
- 2) 辻川ら;防食技術 vo1.29 37-40 (1980)
- 3) R. M. Kain; Corrosion NACE vo1.40, no.6, Jnne, 1984