UDC 539.4.019 : 620.194.8 : 669.14.018.8 :
621.791.052.4

溶接継手部材の SCC 感受性評価における残留応力

竹 本 幹 男*

*青山学院大学理工学部

Residual Stresses in the Evaluation of the SCC Susceptibility of Welded Joint

Mikio Takemoto*

College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

Role of residual stresses in the evaluation of SCC susceptibility of welded joints was studied on the butt-welded stainless steel specimens. Distribution of residual stresses was measured by both nondestructive X-ray method and modified Kelsey's method which was newly proposed for the determination of residual stresses within the specimens. Comparison of data accuracy and measuring facilities in both methods was made and resulted that modified Kelsey's method was an available one. Threshold residual tensile stress which causes SCC without applied stresses was found to be 11 kg/mm² in the combination of austenitic stainless steel SUS 304-42% boiling magnesium chloride solution. However, in some cases, cracks initiated at the place with surface residual stresses lower than the threshold residual stress, therefore materials properties, such as pre-strain (defect concentration), surface roughness and residual stresses within the specimen also should be taken into account as well as the surface residual stresses. For the evaluation of SCC susceptibility in the test case where applied stresses were imposed on the specimens with residual stresses. Resultant stress composed of applied and residual stress at crack initiation was proposed and found to be an effective parameter in most cases of all specimens tested. But this parameter also becomes improper one for the estimation of SCC susceptibility, especially in the case of specimens which have both hardened surface and therefore higher residual stresses than the original yield strength. Shot peened and ground specimens are this case. The reason for this inconvenience and other troubling cases in using resultant stress are discussed based on the materials properties of specimens.

1. 緒 言

著者らはすでに、突合せ溶接したステンレス鋼板の応力腐食割れ試験を行い、SCC 感受性は素材の履歴、溶接後の表面仕上げ法によって著しく変化することを報告¹⁾した。その研究では、残留応力をもつ短冊状溶接試験片に外部応力を重畳させる試験方式を採用しており、その SCC 感受性は力学的には残留応力と負荷応力で定量化する必要がある。しかし、残留応力については、他の研究もそうであるように同種の別試験片について表面での応力分布を明らかにした程度で、定性的にその効果を論じたにすぎない。力学的には両応力を、また金属組織学的因子を含む何らかのパラメータを用いてこれを更に定量化する必要があった。そこで今回、前報の SCC 試験に基づき、割れ感受性に及ぼす残留応力や材料の内の条件の影響について再検討した。すなわち、X線応力

測定法と新しく考案した孔あけ法を用いて詳しい応力分布を求め、残留応力のみによる自然発生割れの基準と、負荷応力が重畳した場合の割れ感受性を合応力をパラメータとして整理した。その結果と問題点についての検討を報告する。

2. 試験片および実験法

素材およびその溶接、表面処理法は前報¹⁾と同一である。すなわち、3 mm 厚の熱間圧延材 (No. 1, Finish) と、それを 1050°C×15 min AC の固溶体化処理したものを溶接用板とした。板は V 開先加工を行ったのち、165 (ビードと平行)×140 mm を 2 枚突合せ、1 層アーク手溶接後、ビードと直角方向に 25 mm 幅の短冊状に帯鋸切断した。この短冊状試験片を無歪切断して平行部 15^w×70^h mm の引張り試験片に成形した。熱処理素材の 0.2% 耐力は 21.3 kg/mm²、引張り強さは 59.2 kg/mm²、圧延素材の耐力は 30.3 kg/mm²、引張り強さは 63.2 kg/mm²。

* 〒157 東京都世田谷区千歳台 6-16-1 (6-16-1, Chitosedai, Setagaya-ku, Tokyo 157, Japan)

mm²である。

SCC 試験に供した試験片を記号表示すると、圧延素材については、④圧延素材 (No. 1 Finish) ③圧延素材をエメリー研磨 (〜#1000) したもの、⑩溶接後エメリー研磨したもの、⑨溶接後湿式グラインダー研削したもの、⑧溶接後短冊状試験片について 600°C×15 min, AC の PWHT を行ったもの、以下 ⑥ 700°C の PWHT 材、⑦ 800°C の PWHT 材、① 900°C の PWHT 材、② 1050°C の PWHT 材、と今回新たに⑪溶接後ショット・ピーニングしたもの計 11 種、また固溶体化熱処理材については、⑫固溶体化熱処理のまま、⑬熱処理後エメリー研磨したもの、⑭固溶体化素材を溶接したもの、⑮溶接後エメリー研磨、⑯溶接後湿式グラインダー研削したものの計 5 種類である。

ショット・ピーニングには、空気圧: 3.5~6.5 kg/cm² の圧縮空気噴射装置を用い、0.3~0.6 mmφ の 鋳鋼 ショットを噴射距離: 200 mm で 90° に照射した。ショット材の混入量は 4.7~5.0 kg/min である。ピーニングは Coverage: 100% になるよう直径 500 mm の 30 r.p.m. で回転するターンテーブルにとりつけた試験片に 10 pass 照射した。このときのピーニング強度はアルメンストリップによるアーク・ハイトで 0.14~0.25 mm であった。ショット・ピーニングによって発生する残留応力は -43 kg/mm² から最高 -60 kg/mm² に達するが耐 SCC 性 (例えば SCC 限界応力) と残留応力値、アーク・ハイトとの間には一義的関係は認められない²⁾。最もよい耐 SCC を示したのは、0.4 mmφ ショット、5.5 kg/cm² の噴射圧でピーニングしたもので、アーク・ハイト: 0.17 mm, 残留応力: -45.8 kg/mm² をもつものであった。このときの SCC 限界応力は 23 kg/mm² である。

板表面の残留応力測定には X 線応力測定装置 (理学電機 (株), ストレンフレックス PSF-1 型) を用い、Cr ター

ゲット K_{β1} で (311) 面からの回折線を求め sin²ψ 法によって求めた。ショット・ピーニング材には硬化表面層に数%のマルテンサイトが生成しているが、この場合にはカーボンモノクロメーターを装着して測定した。

図 1 には X 線法による試験片④の表面残留応力と表面硬度分布を示す。破線は短冊状に切り出す前の 165^W×280^L mm の溶接板の応力分布であり、実線が引張り試験片についての分布である。試験片は寸法精度の良いものをうるため、冷水を通した常盤上に拘束して溶接したため、冷却面である裏波側が圧縮残留応力となったやや独特のものである。また、ビードと平行方向応力は短冊状に切り出したためほとんど開放されていた。曲線中の括弧内の数字は、定荷重 SCC における負荷応力で、その場所は割れ発生位置と対応している。必らずしも、残留応力最大の位置から発生している訳ではなく、この試験片についてはいわゆる健全域に集中し、硬度の高い所である。HAZ 域で硬度が低いのは、溶接熱が焼鈍効果をもたらしたためである。このようなケースは後述するように、残留応力のみで SCC 感受性を評価できない例である。

ショット・ピーニング材やグラインダー研削材のように表面層が塑性変形をうけて、著しく高かつ変化の大きい残留応力分布をもつ場合には、深さ方向の分布を知る必要がある。この場合には新しく考案した方法によってその分布を明らかにした。すなわち、孔あけによる応力測定法において Kelsey が提唱した歪増分から応力を求める方法⁸⁾を修正した方法 (これを修正 Kelsey 法と呼ぶ) を検討し、X 線法による測定結果との比較を行っ

Fig. 1. Distribution of surface residual stress and Vickers hardness number of welded specimen C (residual stress was measured by X-ray)

Fig. 2. Schematic representation of Kelsey's and modified Kelsey's method for the calculation of residual stresses

た。この際、穿孔によって解放される歪は残留応力測定用の3方向ロゼットゲージ(共和電業(株)SKF-2192)を用いて静歪計で測定した。この場合には穿孔は環状ゲージの中心部に行うので、Wolf Böhm 法⁴⁾のように逐一リード線を取りはずすといった面倒がなく作業能率がよい。

修正 Kelsey 法について以下に述べる。Kelsey は図2に示すように、残留応力勾配をもつ板に孔をあけることによって開放される円孔周辺の歪の増分は、深さ Z_i における応力: σ_{z_i} に比例するとして、経験式 (1)

$$\Delta \varepsilon_{z_i} = K' \cdot (\sigma_{z_i} / E) \quad (1)$$

を提唱した。 K' は孔径、ゲージ配置、孔の深さに依存するというやや面倒な定数であり、事前に分布の分っている試験片についてこれを較正しておく必要がある。しかも Kelsey の方法では、歪増分: $\Delta \varepsilon_{z_i}$ は任意深さ: z_i における穿孔増分: Δz_i に対する値をとっているため、上記 K' は穿孔技術によっても変化し、詳細な応力分布を求めるには難点がある。そこで、(1) 式を微分形に改め、

$$\frac{d\varepsilon_{z_i}}{dz_i} = K \cdot (\sigma_{z_i} / E) \quad (2)$$

(2) 式で K を定義する。 K は $[L^{-1}]$ の次元をもつ定数である。常に同一規格の穿孔ドリル、ストレンゲージを用いるなら、一度較正しておけば穿孔法の如何によらず半永久的に使用可能となる。今これを平面応力状態における応力・歪式

$$\varepsilon_L = \frac{\sigma_L}{E} - \frac{\nu}{E} \sigma_T \quad (3)$$

$$\varepsilon_T = \frac{\sigma_T}{E} - \frac{\nu}{E} \sigma_L \quad (4)$$

ただし、 σ_L, ε_L : 試験片長手方向の応力, 歪

σ_T, ε_T : 長手方向と直角方向の応力, 歪

ν : ポアソン比

に適用すると

$$\frac{d\varepsilon_L}{dz} = \frac{K_1}{E} \sigma_L - \frac{\nu K_2}{E} \sigma_T \quad (5)$$

$$\frac{d\varepsilon_T}{dz} = \frac{K_1}{E} \sigma_T - \frac{\nu K_2}{E} \sigma_L \quad (6)$$

となる。 K_1, K_2 は上述した意味をもつ定数で次式で与えられる。

$$K_1 = \frac{E}{(\sigma_L^2 - \sigma_T^2)} \cdot \left[\sigma_L \frac{d\varepsilon_L}{dz} - \sigma_T \frac{d\varepsilon_T}{dz} \right] \quad (7)$$

$$K_2 = \frac{E}{\nu(\sigma_T^2 - \sigma_L^2)} \cdot \left[\sigma_L \frac{d\varepsilon_T}{dz} - \sigma_T \frac{d\varepsilon_L}{dz} \right] \quad (8)$$

K_1, K_2 を求めるには、例えば4点定歪曲げ試験片について、既知の弾性表面応力: $\hat{\sigma}_L$ を与え、(6), (7) 式で $\sigma_T = 0$ とおけば

$$K_1 = \frac{E}{\hat{\sigma}_L} \cdot \frac{d\varepsilon_L}{dz} \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{-E}{\hat{\sigma}_L \nu} \cdot \frac{d\varepsilon_L}{dz} \quad (10)$$

となる。一方曲げ板内の任意深さにおける σ_L は (11) 式で与えられるので、 z と K_1, K_2 の関係が求まる。

$$\sigma_L = \frac{t-2z}{t} \cdot \hat{\sigma}_L \quad (11)$$

ただし、 t : 試験片の厚さ

従って応力分布は (12), (13) 式より求まる。

$$\sigma_L = \frac{E}{K_1^2 - \nu^2 K_2^2} \left[K_1 \frac{d\varepsilon_L}{dz} + \nu K_2 \frac{d\varepsilon_T}{dz} \right] \quad (12)$$

$$\sigma_T = \frac{E}{K_1^2 - \nu^2 K_2^2} \left[K_1 \frac{d\varepsilon_T}{dz} + \nu K_2 \frac{d\varepsilon_L}{dz} \right] \quad (13)$$

ステンレス鋼について求めた K_1, K_2 の穿孔深さ依存性を図3に示す。なお、穿孔ドリルには2枚歯エンドミルの歯先に改良を加えたものを用いた。図4には、穿孔時に開放された歪の一例を示す。引張り残留応力をもつものの解放歪は当然のことながら圧縮歪として測定される。溶接後グラインダー研削した⑩材は、勾配も大きく高い残留応力を示すが、熱処理材を溶接したもの⑨は勾配も小さく、小さな歪で飽和する。また、⑩材のように、元来は高い残留応力をもっている試験片を細粒のエメリー紙で研磨したものでは、変曲点をもつ独特の挙動を示す。すなわち、初期の立ち上がりはゆるやかで表面よりわずか入ったところで勾配は最大となり応力もこれに対応してやや内部に入ったところで最大となる。これらの曲線から (12), (13) 式を用いて残留応力の深さ方向分布を求めると図5のようになる。なお、グラインダー研削材⑩とショット・ピーニング材KについてはX線法によって求めた分布を Moore-Evans の式⁵⁾ (14) で修正

Fig. 3. Variation of K_1 and K_2 with the hole depth.

Fig. 4. Strains relieved during hole drilling.

Fig. 5. Distribution of residual stresses within the specimen.

した分布も示している。

$$\sigma_z = \sigma_m - 2 \int_{z_t}^t \frac{\sigma_m}{z} dz - 6z \int_{z_t}^t \frac{\sigma_m}{z^2} dz \quad (14)$$

ここに σ_m : 任意深さ z_t まで表面層を電解研磨によって除去したときの表面実測応力

グラインダー研削材⑩についての修正 Kelsey 法と X 線法による分布は比較的よい一致をみせており、修正 Kelsey 法は非破壊検査法とはいかないまでも、簡単に深さ方向の分布をかなりの精度で求めることができる。⑩材のように変化の激しい場合には 1 回の穿孔深さを 50 μm 程度以下にする必要があるが、表面層を電解研磨で除去しては逐一 X 線で測定して修正する方法よりはるかに短時間での測定が可能である。深さ方向の分布は

穿孔ドリル直径の 50%, 今回の場合 0.75 mm 程度まで測定可能であるが、より深い分布を知る必要のあるときにはミル歯を大きなものにすればよい。

3. 実験結果および考察

42% 沸騰塩化マグネシウム溶液中における 12 種類の定荷重 SCC 試験結果を総括すると図 6 のようになる。熱処理素材を用いたものは限界応力らしき応力の存在を示すが、圧延素材を使用した試験片は長時間浸漬後には負荷応力なしでも割れを発生する。ショット・ピーニングしたものは、ピーニング条件によって割れ感受性が多少異なるが、実験に供した 5 種類の試験片の割れ発生曲線はすべて図中に示した曲線帯に入る。高い引張り残留応力をもつグラインダー研削材⑩, ⑪に比べてショット・ピーニング材は優れた耐 SCC 性を示すが、残留応力値の差を単純に SCC 限界応力値と比較することはできない。残留応力のみで割れを発生する④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨, および、前報で述べた PWHT の熱処理温度 600°C ⑩, 熱処理温度 700°C ⑪ 材もその危険性があるが、これらのものについて試験片の最大引張残留応力と割れ発生の有無を示すと図 7 のようになり、11 kg/mm² 以下の自然発生割れは極めて少ない。

Fig. 6. Time to crack curves of base metal and their welded specimens by constant load type test in 42% MgCl₂ solution.

Fig. 7. Relation of residual stresses and micro-back Laue rings with SCC susceptibility.

しかし、圧延素材を研磨した⑧材のように相当低い残留応力をもつものでも割れるケースがあり、一種類の試験片といえども実用上は大いに問題がある。表面残留応力値のみで SCC 発生の有無を議論できないという警告である。同図に示した細束 X 線バックラウエリングにみられるように、圧延素材に関する⑧、⑨材は相当の変形をうけ、欠陥密度の極めて高い状態にあることが分る。またこれらの試験片は、表面をエメリー研磨しているために、表面残留応力値は小さくなっているが、表面直下に大きな応力をもっている。すなわち、SCC 感受性は、表面残留応力のみでなく、材料の予歪（欠陥密度）や内部応力分布等の特性を総合的に捉えて判断すべきである。従って、例えば X 線法による残留応力測定に際しては、2 θ -peak height をチャートに求め、予歪を表わすパラメーターの一つとして半価幅値も同時に考慮して割れの危険性、安全性を判定すべきではないかと考えている。また、実用上は硬度も予歪を表わす一つのパラメーターになろう。硬度は測定面や場所によってかなり異なるが、著者らの経験では縦断面ビッカース硬度で 220 をこえるものについては要注意という目安をえている²⁾。

一方、今回の実験のように残留応力をもつ試験片に外

部応力を重畳させた場合には、割れ発生場所は最大残留応力の存在する位置とは限らない。例えば図 1 に示した試験片⑨について負荷応力別に割れ発生場所を確認したのが図 8 である。図中の円内数字は水素ガスの発生順とその場所を示している。3 kg/mm² 以上の負荷応力では水素ガスの発生は余盛側溶着金属に近い残留応力の高い場所に認められるが、これらは破断には至らない。この試験片では裏波側から割れたケースが多いが、余盛側から割れた試験片でも最大残留応力の存在する位置（ビード中心より 7 mm）で割れたものはなく、割れは健全域に集中している。その他の試験片についても同様の傾向がみられる。このような場合には最大残留応力を用いて SCC 感受性を評価することはできず、発生場所の残留応力を用いる必要がある。そこで各試験片の割れ発生場所の残留応力を同種の別試験片について逐一測定し、負荷応力と残留応力との合応力をとって図 6 の結果を再整理すると図 9 のようになる。なお、残留応力は穿孔法を用いているために、試験片端部やボンド部から割れを発生したものについては測定が不可能であるために省略している。その結果、一部検討の要ある例外はあるが、多くのものは一つの曲線帯内に整理することができ、力学的には合応力による評価が可能であり、合応力による限界応力もほぼ 10 kg/mm² 程度となる。なお、ビードと平行方向残留応力: σ_T の存在も考慮して、例えば Von-Mises の相当応力: σ_e

$$\sigma_e = \{[(\sigma_L + \sigma_{app})^2 + \sigma_T^2 + (\sigma_L - \sigma_T + \sigma_{app})^2]/2\}^{1/2} \quad (15)$$

をとっても、この曲線帯の幅はほとんど狭くはならず、データのバラツキは応力よりもむしろ、金属組織、表面粗さ、予歪等の効果が大きいと考えられる。

ところで、グラインダー研削した⑧、⑨は全表面から多数の割れが入るため、割れ発生場所の確認が難しく、この場合には試験片上で最も小さい残留応力をとっているが、最小残留応力でも 20 kg/mm² 近くあるため非常に高い所に位置する。これはグラインダー研削材が非常に耐 SCC 性をもっていると解釈すべきではなく、表面に硬化層と高い残留応力をもつ材料については合応力による整理が不可能なことを示している。グラインダー研削材においても 10 kg/mm² 以上の残留応力をもてば自然割れ発生を経験するが、実験に供した試験片が割れを起こす限界残留応力値よりも 10 kg/mm² 大きい値をもっていたためである。しかし、一般にはステンレス鋼のグラインダー研削では 30~40 kg/mm² 程度の引張り残留応力は容易に発生するので注意を要する。図 10 には 10 mm 厚のステンレス鋼材の片側表面にのみハンドグラインダー研削した材料の残留応力分布、硬度分布および自然発生して停止した割れを対応させて示す。割

Fig. 8. Schematic representation of fractured specimens with the location of hydrogen gas evolution and the crack initiation.

Fig. 9. Time to crack curves by resultant stress.

Fig. 10. Distribution of Vickers hardness and residual stresses of ground specimen with propagation-stopped cracks.

Fig. 11. Surface and transverse cracks of welded and abraded specimen ⑩ after 814 h duration without applied stress. A, B; surface micro-photographs by stereo-scope and metallurgical microscope, C; transverse micro-photograph.

れはほぼ引張残留応力が存在する深さ程度まで伝播するが、割れが入ると残留応力の再分布がおこるため割れ深さと応力の crossing point とは対応しないが、極めて小さな応力でも外部応力が重畳すればこの割れを起点として貫通する危険性がある。

一方、ショット・ピーニングしたものは、圧縮残留応力が -40 kg/mm^2 にも達するため合応力をとるとマイナス側に位置しやはり不都合が生じる。降伏応力を越える大きな残留応力をもつものについては合応力による整理は不可能である。耐 SCC 性は圧縮残留応力の大きいもの程よい訳ではなく、強度の加工歪を与えて降伏応力を越える程の圧縮残留をもたらすことが本当に耐 SCC 改善のために必要か否かを再検討する必要がある²⁾。

図 7 において、⑩材が小さな残留応力をもつにもかかわらず、割れを発生するのは加工歪や内部応力分布等に原因していることを述べたが、合応力による整理の出来ない⑩材についても同様のことが考えられる。⑨、⑩材については圧延材を素材としたものであり、ともにエメリー研磨しているので、加工歪は大きく、表面荒れと表面残留応力は小さいが、表面直下で大きな残留応力をもつという共通の特徴がある。このため、図 11 に示すように長時間浸漬によって表面が局部侵食をうけて荒れてくると、elliptical shallow pit の底から割れが自然発生するようになる。合応力によって整理できるもの、出来ないものにはそれなりの理由が材料特性にあるが、SCC 感受性に及ぼす材料特性のタイプは 4 つに大別されよう。図 12 には 4 タイプの割れ発生曲線とそれに対応する材料特性を模式化して示す。タイプ (I) はショット・ピーニング等の機械的処理をうけたもので、表面硬化層と荒れた表面をもっているが、大きな圧縮残留応力のため SCC 感受性は小さい。タイプ (III) は、固溶体化熱処理素材とその溶接材および PWHT 材の一部が該当

Fig. 12. Schematic representation of 4 kinds of time to crack curves and their materials properties. (δ ; surface roughness, ϵ_p ; pre-strain)

Fig. 13. Time to crack curves of the tensile pre-stressed stainless steel.

し、加工歪、残留応力ともに小さく、限界応力の存在が認められる。表面仕上げには No. 1 finish のものとエメリー研磨材の両方が含まれるが、荒さの程度が限界応力値を左右する。タイプ (IV) は圧延素材で No. 1 finish のものとグラインダー研削材が含まれ、荒れた表面と大きな加工歪、かつ大きな引張残留応力をもつもので極めて割れ感受性の高いものである。これら 3 つのタイプはいずれも下に凸な類似の割れ発生曲線となっている。一方、特異な挙動を示す⑩、⑪材は (II) のタイプに入り、エメリー研磨により表面粗さは小さいが、加工歪は大きく、前述した残留応力分布をもつものである。長時間浸漬で局部腐食をうけると (IV) とほとんど変わらない程の SCC 感受性を示すようになる。(II) のような割れ発生の応力依存性を示す材料においては、低応力での割れ発生、あるいは破断時間から耐 SCC 性を判断すると誤った評価を下しかねない危険なケースである。図 13 は焼鈍材に引張予歪を与えた試験片の割れ発生曲線であるが、予歪材の割れ発生曲線は⑩、⑪材のタイプ (II) と類似しており、高応力では焼鈍材よりも割れにくい、長時間浸漬ではほとんど自然発生的に割れる。引張り予歪材では一般に表面に圧縮残留応力が存在するが、割れ感受性は著しく高く、加工歪も考慮しなければ説明できない。これらの詳細については次報で論じたい。

4. 結 論

1) 溶接継手部材の SCC 感受性評価における残留応力の役割を検討するため、X線法および修正 Kelsey 法による残留応力分布を明らかにした。板内残留応力分布を求めるための修正 Kelsey 法は、一度較正実験を行っておけば、十分な精度で比較的短時間に残留応力分布を求めることができ、X線法による測定結果と比較的良好一致を示す。

2) 自然割れ発生を起こす試験片の残留応力値は 11 kg/mm^2 よりも大きい。しかし、1 桁台の残留応力でも SCC を発生するケースもあり、表面残留応力値のみでなく、材料の予歪(欠陥密度)、表面粗さ、板内応力分布等の諸特性を総合的に考慮して SCC 感受性を判断する必要がある。この際、X線法における半価幅値、硬度、細束X線によるバックラウエリング形状などが欠陥密度を表わすメジャーとして評価できる。

3) 降伏応力以下の残留応力をもつ溶接試験片に負荷応力を重畳させた場合の定荷重 SCC 感受性は、割れ発生点での残留応力と負荷応力との合応力によって整理することが可能である。しかし、ショット・ピーニングやグラインダー研削材のように表面に著しい硬化層と降伏をこえた高い残留応力をもつ部材については合応力による整理では不都合が生じる。それらの理由についての若干の検討を行った。

4) 溶接部材の定荷重 SCC 発生曲線は材料の特性に対応して 4 つのタイプに分類できる。4 つのタイプのうち、力学的面からの SCC 感受性の予測、評価の難しいものは、相当高い予歪と残留応力をもつ試験片が研磨されて平滑面をもっている場合で、独特の割れ発生曲線(タイプ (II))を示すものである。この部材は、表面直下に大きな引張残留応力をもっており、長時間浸漬で局部侵食をうけて表面が荒れてくると高い SCC 感受性を示す。室内試験による SCC 感受性においても長時間の試験結果に基づいた判定を行わなければ誤った判断を下しかねない要注意の部材である。

おわりに、本研究を行うにあたり協力と助言を戴いた東洋エンジニアリング(株)材料研究室に謝意を表す。また、実験の遂行に当り熱心に協力された当時の学生 梶泰明、堀江和夫、片岡 聡、大塚忠男、池田健一、村上真爾、福島 裕、松岡 隆の諸君にも感謝の意を表したい。

(Received September 25, 1980)

文 献

- 1) 末沢慶忠, 竹本幹男, 梶 泰明: 防食技術, **27**, 237 (1978).
- 2) 竹本ら, 未発表.
- 3) R. A. Kelsey: *Proc. Exp. Stress Analysis*, **14**, 182 (1956).
- 4) H. Wolf & W. Böhm: *Arch. Eisenhüttenwesen*, **42**, 195 (1971).
- 5) M. G. Moore & W. P. Evans: *SAE Transactions*, **66**, 340 (1958).