

## Ⅱ.5 応力腐食割れ(SCC) (Stress-Corrosion Cracks)

### 概説 (Outline)

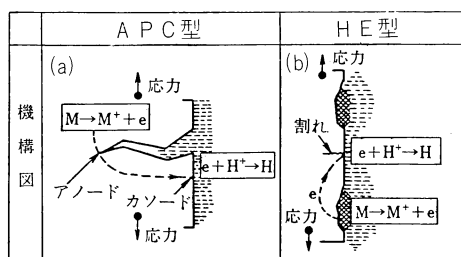


Fig.1 SCC の電気化学的機構からのタイプ分類

#### 1. 応力腐食割れの分類

応力腐食割れ (SCC) は応力と腐食との協同作用によって起こる割れ現象であり、水溶液中で起こる金属の SCC では腐食は電気化学的であることが多い。

電気化学的腐食反応は Fig.1 に示すようにアノードで金属がイオンになって

Table 1 材料の強さと SCC のタイプの分類

強度段階 (降伏応力 kgf/mm <sup>2</sup> )	材料の例	腐食環境	割れのタイプ
高強度材料 ( $\sigma_Y > 90$ )	マルエージ鋼 150 キロ鋼 130 キロ鋼	雨水 海水	陰極反応支配形 HE形 (水素脆性割れ)
中強度材料 ( $90 \geq \sigma_Y > 40$ )	100 キロ鋼 80 キロ鋼 60 キロ鋼	酸洗い液 H <sub>2</sub> S 水 液体アンモニア	陰極反応支配形 HE形 (水素脆性割れ)
低強度材料 ( $\sigma_Y \leq 40$ )	軟鋼 ステンレス鋼 銅合金	塩の高温水溶液 アンモニア水	陽極反応支配形 APC形 (応力腐食割れ)

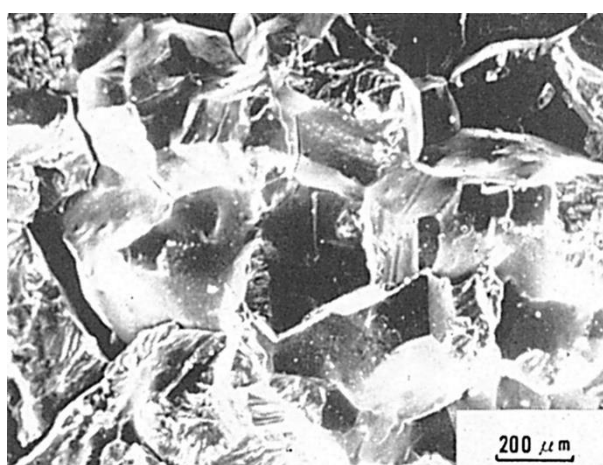


Fig.2 SUS304 鋼溶体化処理材の 42%MgCl<sub>2</sub> 沸騰水溶液中での粒界割れ

溶出し、カソードで水素イオンが水素になる。アノードでの陽極反応が割れの発生・成長をおこす場合を APC 型 (Active pass corrosion type, 活性径路溶解型) と呼び、カソードでの陰極反応で発生した水素が鋼中に侵入して割れを起こす場合を HE 型 (Hydrogen embrittlement type, 水素脆性型) と呼び、それぞれのタイプで破面形成機構や破面模様は異なる。

Table 1 に示すように、一般に強度の高い材料では HE 型のものが多く、低

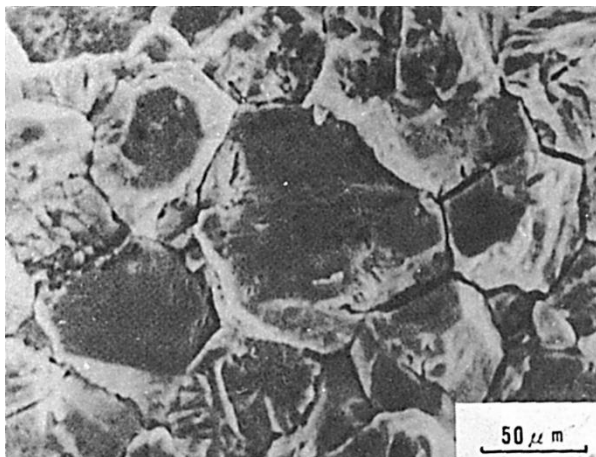


Fig.3 SUS304 鋼溶体化処理材の 10N  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 0.1\text{N NaCl}$  水 (20°C) 中での粒界割れ

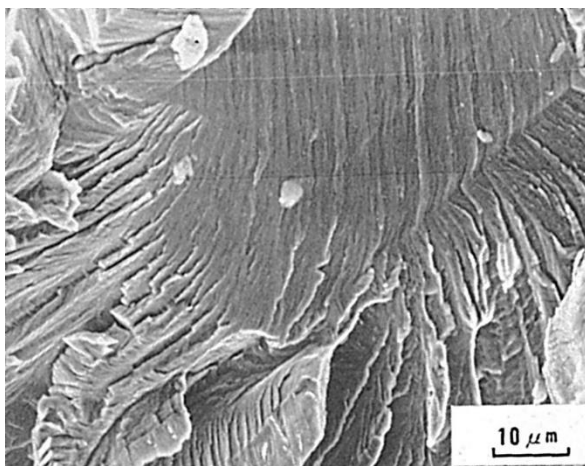


Fig.4 SUS304 鋼溶体化処理材の 42%  $\text{MgCl}_2$  沸騰水溶液中での貫粒割れ (APC 形, A 群の例)

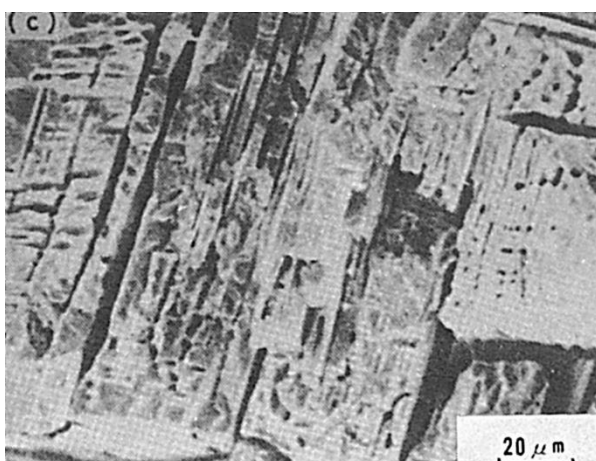


Fig.5 SUS304 鋼溶体化処理材の 10N  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 0.1\text{N NaCl}$  水 (20°C) 中での貫粒割れ (APC 形, B 群の例)

強度材では APC 型が多い。また、金との関連で、粒界割れと貫粒割れにも分類される。

## 2. APC 型 SCC の破面

APC 型 SCC にも材料と環境との組合せにより種々の特性を有する破面を作るので、ここでは一例としてオーステナイト系ステンレス鋼の場合について述べる。

### (1) 粒界型 SCC

オーステナイト系ステンレス鋼の粒界型 SCC は溶接熱影響部などのように鋭敏化を受けた材料で起こりやすいが、その場合にはⅡ.4 腐食で述べた粒界腐食と同様の機構を含んでいる。しかし、溶体化処理状態でも粒界型 SCC を起こすことがあり、その破面例を Fig.2 および Fig.3 に示す。  $\text{MgCl}_2$  水溶液中での粒界割れは溶液の温度、濃度が低いほど、また付加応力が高いほど起こりやすい。 SUS304 鋼より SUS316 鋼の方が起こりやすい。

破面は粒界で分離したロック・キャンディ・パターン (Rock candy pattern) である。

### (2) 貫粒型 SCC

粒内を貫ぬく割れの破面は環境の種類により 2 つに大別でき、それぞれ A 群, B 群と呼ぶことにする。またその中間的な中間群もある。

A 群の例として 42%  $\text{MgCl}_2$  沸騰水溶液中での SCC を、B 群の例として 10N  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 0.1\text{N NaCl}$  水溶液 (20°C) 中での SCC を取り上げるが、それぞれの破

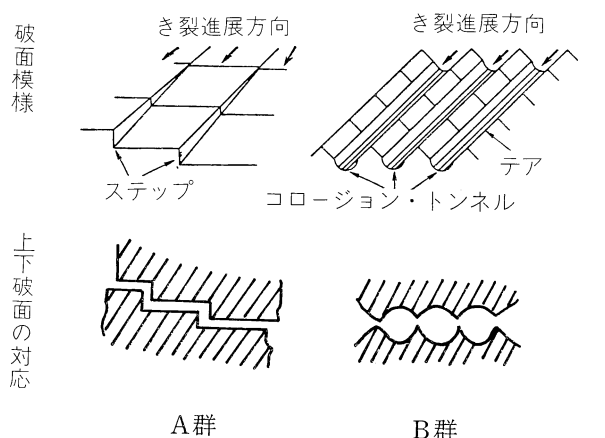


Fig.6 APC形 SCC 破面上のファン・セプト・パターンの形態

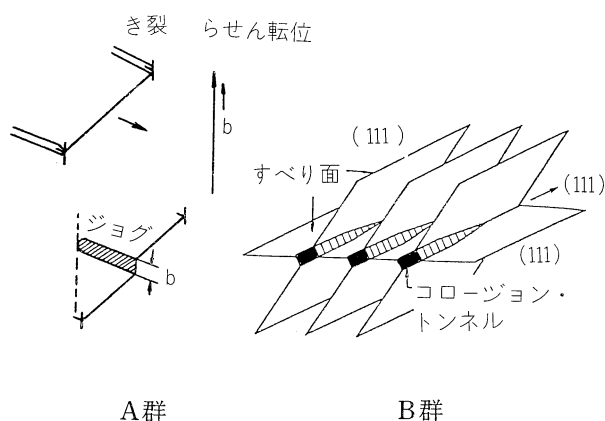


Fig.7 Fig.6 のファン・セプト・パターンの形成機構

面の代表例を Fig.4 および Fig.5 に示す。両者共破面上にはひだ模様 (Fan shaped pattern, Pleat line) が認められるが、それぞれ形態が異なる。すなわち、Fig.6 に示すように、A 群のファン・セプト・パターンはステップ状で相対する上下の破面で凹凸が嵌合するが、B 群のそれは凹と凹、凸と凸とが対応し、コロージョン・トンネルの跡であることがわかる。

また、A、B 群ともひだ模様の方向にき裂が進展したことが確認されている。

これらのファン・セプト・パターンの形成機構は Fig.7 に示すように A 群については低温ぜい性破面のリバー・マークの形成機構と同様に、き裂面が進展途上でらせん転位を横切りジョグを形成することによっていると考えられ、また B 群についてはすべり面の交叉線上に堆積した転位部が局部的に腐食さ

Table 2 APC 形 SCC の各群の破面の結晶学的方位

群	環 境	破面の結晶学的構成面	き裂進展方向	応力状態、他
A	42%MgCl <sub>2</sub>	{100}	<110>	低応力域 3.1<K<20 (MPa√m) 繰返し応力 <sup>18)</sup>
		{110}	<100> <110>	高応力域 平面応力状態 塑性変形量大
		{111}	<112>	一つのすべり面への変形の集中 すべり面の腐食 高応力域
	45%MgCl <sub>2</sub>	{210}		4点曲げ試験
中間	20%NaCl+1% Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ・2H <sub>2</sub> O	{111}	<112>	9.3<K<15.5 (MPa√m)
B	5N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0.5N NaCl	{111}		
		{100}		

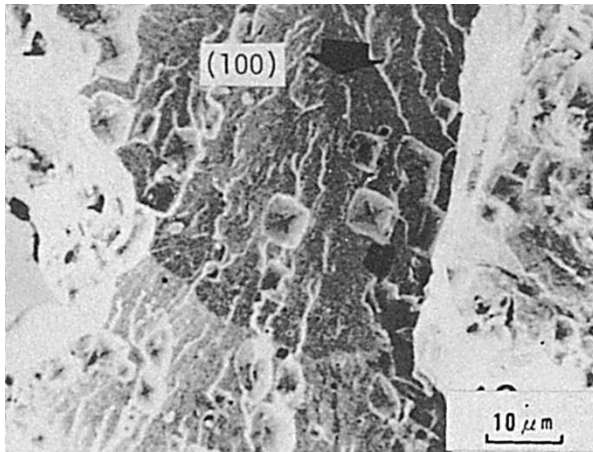


Fig.8 SUS304 鋼溶体化処理材の 42% $\text{MgCl}_2$  沸騰水溶液中での貫粒割れ破面の方位 (APC 形, A 群の例)

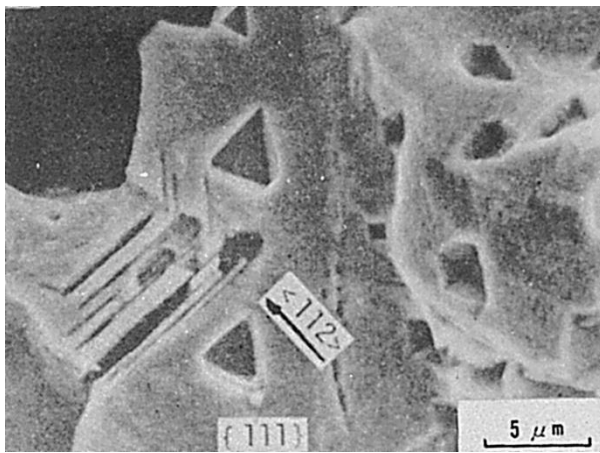


Fig.9 SUS304 鋼溶体化処理材の 10N  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 0.1\text{N NaCl}$  水 (20℃) 中での貫粒割れ破面の方位 (APC 形, B 群の例)

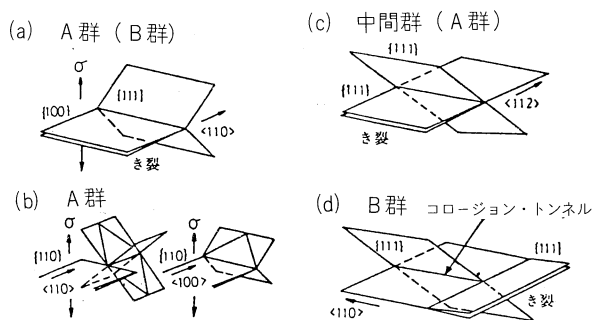


Fig.10 APC 形 SCC の破面とすべり面との方位関係のモデル

れてコロージョン・トンネルを形成し、これが互につながって破面を形成したものと考えることができる。

Fig.8 および Fig.9 は破面上に方位性ピットを作り、破面の結晶方位を調査したものであるが、Fig.8 の A 群は (100) であり、Fig.9 の B 群は (111) である。多くの研究者による調査結果をまとめると Table2 のようになり、A 群では低応力状態では (100) 面で  $\langle 110 \rangle$  方向に進展し、高応力状態では (110) 面で  $\langle 100 \rangle$  または  $\langle 110 \rangle$  方向に進展することが多い。また、B 群では (111) 面であることが多い。

以上の結果を総合すると、き裂進展方位と誘起されるすべり面との関係について Fig.10 のようなモデルを考えることができる。

### 3. HE 型 SCC の破面

HE 型 SCC にも材料と環境との組合せで種々のものがあるが、ここではマルエージング鋼の 3% NaCl 水溶液 (20℃) 中での SCC 破面について述べる。

HE 型 SCC 破面の代表的なものとしては、粒界割れ破面、擬へき開破面、デインプル破面がある。

Fig.11 は粒界割れ破面の例であるが、旧オーステナイト粒界で分離破壊し、ロック・キャンディ・パターンになっている。部分的にはマルテンサイト・ラスがアタックされている所もある。

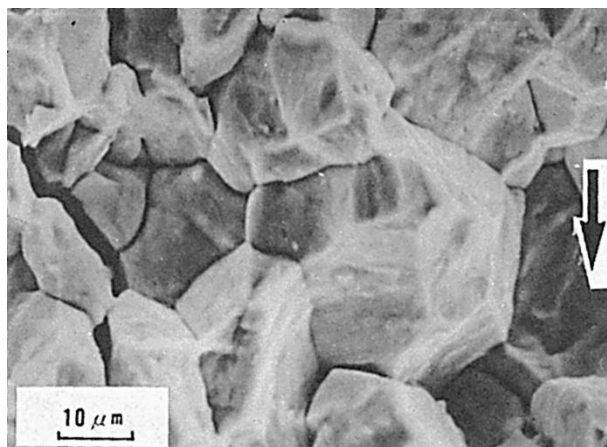


Fig.11 18Ni マルエージング鋼の 3%NaCl 水 (20℃) 中の粒界割れ

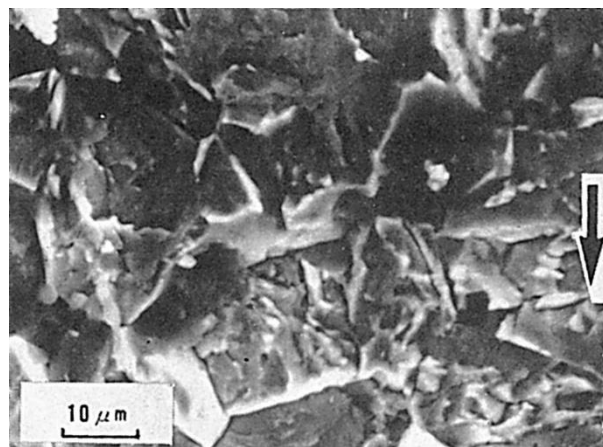


Fig.12 18Ni マルエージング鋼の 3%NaCl 水 (20℃) 中の擬へき開破面

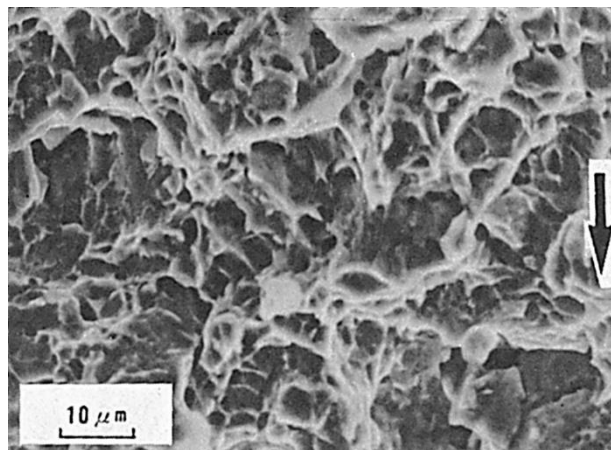


Fig.13 18Ni マルエージング鋼の 3%NaCl 水 (20℃) 中のディンプル破面

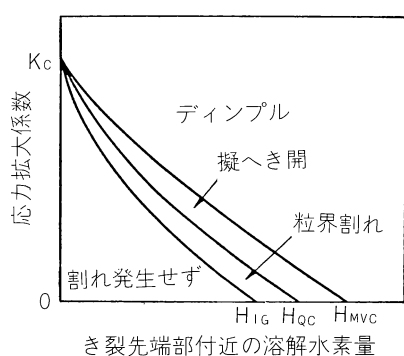


Fig.14 強力鋼の HE 形 SCC 破面形態におよぼす応力拡大係数、水素量の影響の模式図

Fig.12 は擬へき開破面の例である．擬へき開破壊は結晶粒内の介在物などに水素が集積し，ここを起点として発生することが多く，またへき開破面に見られるリバー・パターン状の模様が認められるが，擬へき開破壊ではティア・リッジであるといわれている．また，ストライエーション状の模様が認められることもあるが，その生成機構については明らかでない．マルテンサイト組織の場合にはマルテンサイトに沿う場合もあれば横切る場合もある．

Fig.13 はディンプル破面の例である．水素が関与した場合にはそうでない場合に比べてディンプルの大きさは小さいことが多い．

これら 3 つの破面の形成には金属材料の種類その他、溶解水素量、応力拡大係数が関係し、同一材料なら Fig.14 に示すように水素量と応力拡大係数が大なるほど粒界割れ→擬へき開→ディンプルと移行する傾向を示す。たとえば、丸棒切欠材の定荷重 SCC テストでは最初粒界割れではじまり、擬へき開破面に移行して、最終破断直前でディンプル破面になることが多い。

## (149) HT80 鋼の焼入材の SCC 破面

— 定荷重曲げ型 SCC 試験 —

### (145) SCC Fracture Surface of Quenched HT80 Steel

— Bending Type see Test under Constant Load —

#### 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : 溶接構造用圧延鋼材 HT80

#### 熱処理 : 焼き入れ

#### 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 定荷重曲げ型 SCC 伝ば試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 片側切欠付曲げ試験片

試験条件 (Test condition) : 3%食塩水中において試験片電位を種々変化させて SCC 試験を行なった.

試験結果 (Test result) : 自然腐食電位下ではアノード溶解が SCC 支配因子となっていると思われる.

#### 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

一般に、高張力鋼の場合、降伏点や引張強さが上昇するにつれて SCC 感受性は高くなる。例えば HT80 のような高じん性材料においても HAZ に見られるようなマルテンサイト組織になると比較的マイルドな環境でも SCC を生じる可能性がある。ここに示すのは、その一例として、HT80 鋼焼入材の 3%NaCl 水溶液中において生じた SCC 破面である。ただし、ここでは、ポテンシオスタットによって電位を貴，卑，自然電位の 3 種に変化したものを示す。

電位が貴で陽極電流が流れる条件下では、Fig.1 に示すようにその破面は平坦で破面上に孔食が認められるが、卑な電位で陰極電流が流れる場合には Fig.2 に示すように水素擬へき開的な破面様相を呈する。自然電位の場合の破面は Fig.3 に示すように貴な電位のそれと類似し、アノード溶解が SCC 支配因子となっているように思われる。

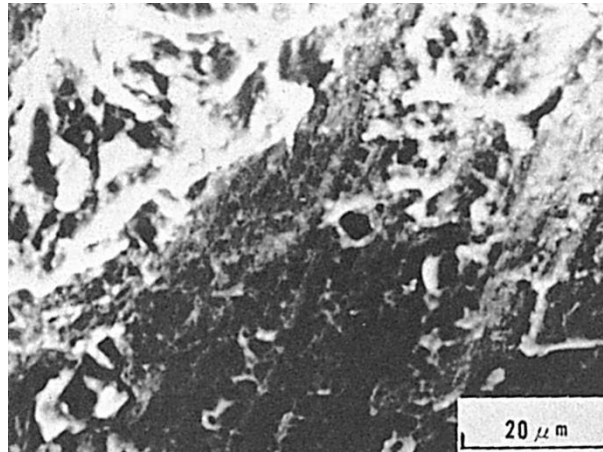


Fig.1  $-0.5\text{V}$  (SCE 規準) に分極した場合の SCC のマイクロ破面 ( $K=101\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ )

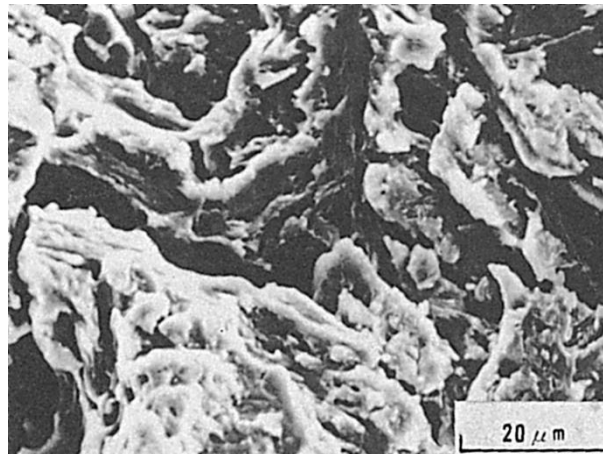


Fig.2  $-1.5\text{V}$  (SCE 規準) に分極した場合の SCC のマイクロ破面 ( $KK=93\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ )

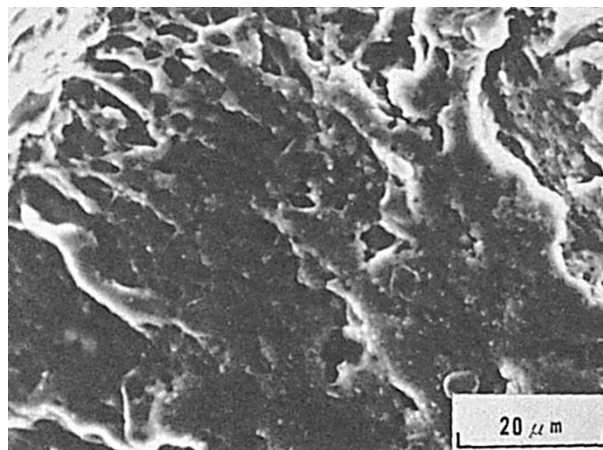


Fig.3 自然腐食電位での SCC の マイクロ破面 ( $K=101\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ )



## (146) ラインパイプ用鋼の熱影響部の水素誘起割れの破面

— 浸漬試験 —

## (146) Fracture Surface of Hydrogen Induced Cracking in HAZ of API5LX-52 Steel

— Immersion Test in 0.5% Acetic Acid-5%NaCl  
Aqueous Solution Saturated with H<sub>2</sub>S —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : ラインパイプ用鋼管 API 5LX-52 (板厚 20mm).

溶接材料 (Welding material) 高張力鋼用被覆アーク溶接棒 D5016 (径 4.0mm)

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	sol.Al
母 材	0.09	0.30	0.79	0.012	0.009	0.07	0.019	0.03

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 被覆アーク溶接 (Shielded metal-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

溶接棒の 乾燥条件	予熱温度 (°C)	アーク電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	積層方法
350°C×1hr	室温	25	170	150	1層1パス

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 浸漬試験

試験条件 (Test condition) :

雰囲気	飽和 H <sub>2</sub> S+0.5%CH <sub>3</sub> COOH+5%NaCl 水溶液	
試験温度(°C)	25	
試験期間(hrs)	200	
pH	試験前	3.15
	試験後	3.30
H <sub>2</sub> S 濃度(ppm)	試験前	2,890
	試験後	2,800

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

インプラント試験片 (WES 1104 1B) を圧延方向から機械加工し, Fig.1 に示すとおり, 通常の手順で溶接し, 無負荷状態で 48 時間放置した. その後, 特殊な治具を用いて負荷し, 上記の雰囲気中に 200 時間浸漬した.

割れは応力負荷方向に平行に発生し, 圧延方向に対応していると考えられる (Fig.2). 割れ破面は Fig.3 および Fig.4 に示すとおり, 鋼板中の非金属介在物と母材の界面がはく離した部分と, その間の水素擬へき開破面からなる. この介在物は MnS と同定されており, 硫化水素雰囲気中では, MnS がきわめて有害であることがわかる. この場合, 割れ発生は介在物/母相の界面のはく離から起こっていると考えられ, ラメラテア (Lamellar tearing) と同様, 隣接するはく離部が水素割れで連結したものと考えられる.

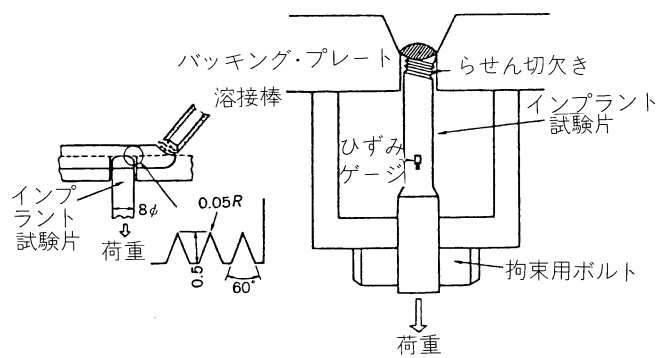


Fig.1 SSCC テストのための改良形インプラントテスト

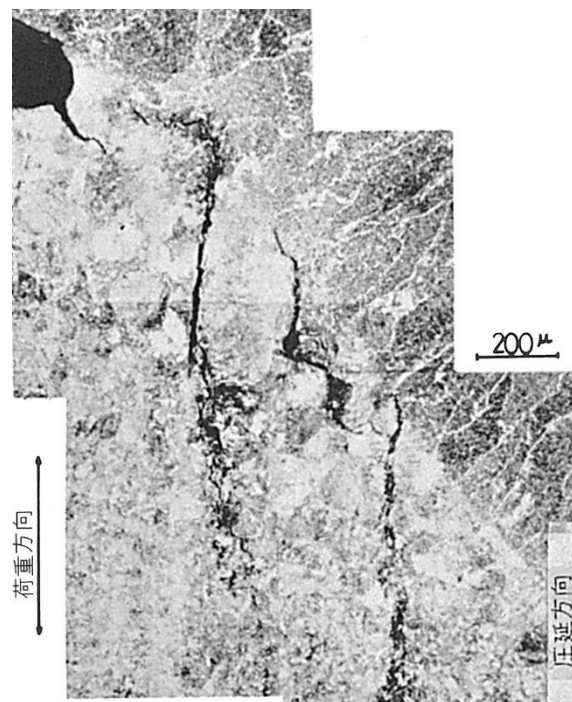


Fig.2 割れ断面のマイクロ写真

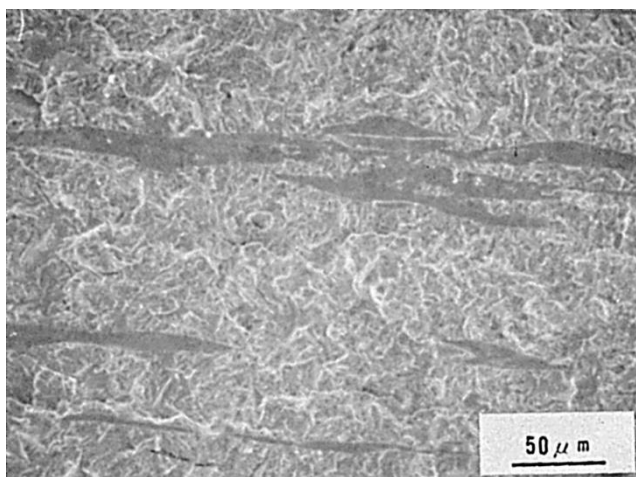


Fig.3 ミクロ破面

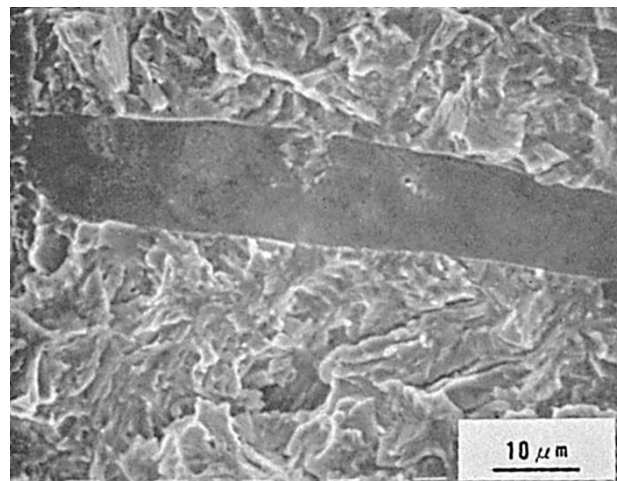


Fig.4 Fig.3 を拡大したミクロ破面

# (147) 鋭敏化処理を受けたオーステナイト系ステンレス鋼の 高温高压水中における粒界形 SCC 破面

— オートクレーブ中での定荷重引張 SCC 試験 —

## (147) IGSCC Fracture Surface of Sensitized Austenitic Stainless Steel in High Temperature Water

— Constant Load SCC Test in Autoclave —

### 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : オーステナイト系ステンレス鋼材 SUS304 (板厚 2mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
母 材	0.06	0.58	0.86	0.02	0.011	18.33	9.18

機械的性質 (Mechanical property)

	引 張 強 さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)
母 材	58	25	60.0

### 熱処理

鋭敏化熱処理 : 650℃×1000min

### 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 引張装置付オートクレーブ (高温高压水) 中で SCC 試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 小型平滑引張試験片

試験条件 (Test condition) : 288℃, 高温高压純水 (酸素飽和) 中, 負荷応力 40kgf/mm<sup>2</sup>  
で破断寿命の測定

試験結果 (Test result) : 試験開始後 150min で破断

### 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

一般に, 高温高压純水中で生じる SCC は, 粒界形応力腐食割れ (IGSCC) により特徴づけられる. その SCC 感受性を高める因子としては, 水中に存在する溶存酸素と材料の鋭敏化が最重要のものとして挙げられる. ここで示す写真は, その典型的なものであり, 溶存酸素量は飽和状態とし, 650℃×1000min の鋭敏化熱処理を施した材料に生じた SCC 破面である.

SCC は Fig.2 に示すように孔食を起点として発生し, Fig.3 に示すように明瞭な IGSCC を呈している. その破面の形成機構としては, 炭化物 (M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>) の粒界析出にともない, 粒界近傍のマトリックスの Cr 濃度が低下するが, その場合, その部分の耐食性が劣化し, また, 不働態皮膜も脆弱となるために, 腐食溶解が集中する. すなわち, この SCC の機構は活性経路腐食が主な原因と考えられている.

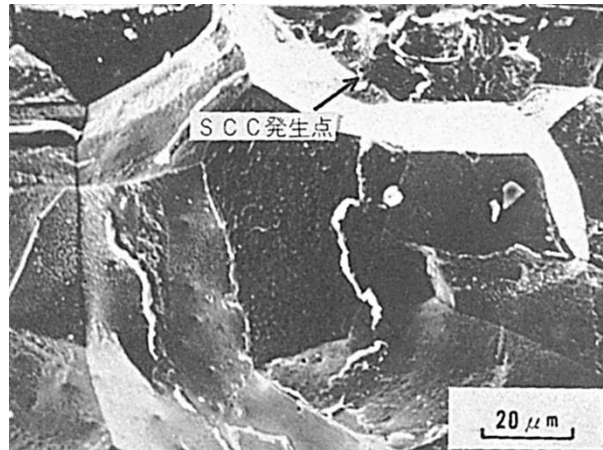


Fig.1 試験片表面近傍の SCC のマイクロ破面

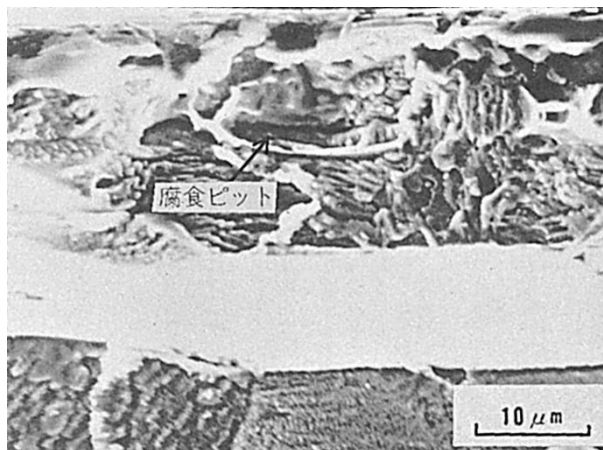


Fig.2 SCC 発生点のマイクロ破面  
(Fig.1 の中央やや右上の拡大)

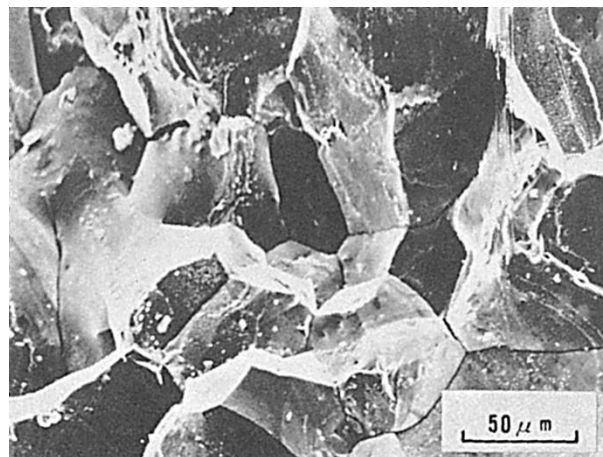


Fig.3 SCC 進展部のマイクロ破面

## (148) オーステナイト系ステンレス鋼の熱影響部の粒界形 SCC 破面

— 円筒形拘束割れ試験 —

(148) Fracture Surface of HAZ of Austenitic Stainless Steel  
Occurred in IGSCC Test

— Cylinder-Type Restraint Cracking Test —

## 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : オーステナイト系ステンレス鋼材 SUS 304 (板厚 20mm).

溶接材料 (Welding material) : オーステナイト系ステンレス鋼用被覆アーク溶接棒  
D309 (径 4mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
母 材	0.076	0.79	1.54	0.030	0.010	18.41	8.80
溶 着 金 属	0.08	0.43	1.64	0.022	0.008	24.05	12.68

## 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 被覆アーク溶接 (Shielded metal-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開 先 形 状	溶 接 棒 の 乾 燥 条 件	アーク電圧 (V)	溶 接 電 流 (A)	溶 接 速 度 (mm/min)	積 層 方 法
レ 形	150℃×1hr	24	120	100	1 層 1 パス

## 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 円筒形拘束割れ試験

試験片形状 (Specimen configuration) : Fig.1 参照

試験条件 (Test condition) : 沸騰 12%NaCl 溶液 (初期 pH=3) に 100hrs 浸漬

試験結果 (Test result) : 粒界形 SCC が発生

## 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

Fig.1 に円筒形拘束 SCC 試験の方法を示す. Fig.2 に割れの発生位置と撮影位置を示す. 割れは切欠底部より発生し, 溶接熱影響部 (鋭敏化領域) を伝ばする粒界形応力腐食割れ (IGSCC) である. Fig.3, Fig.4 に示すように破面は典型的な粒界破面を呈している.

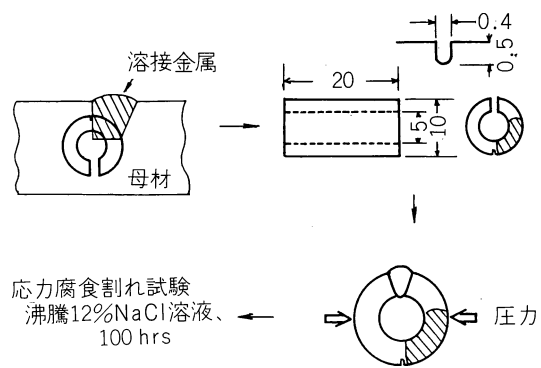


Fig.1 円筒形拘束割れ試験

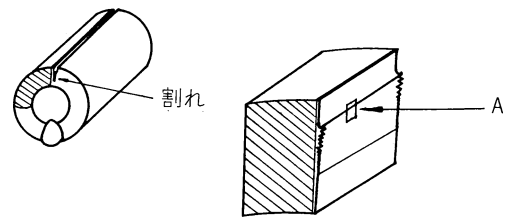


Fig.2 撮影位置 (A 部)

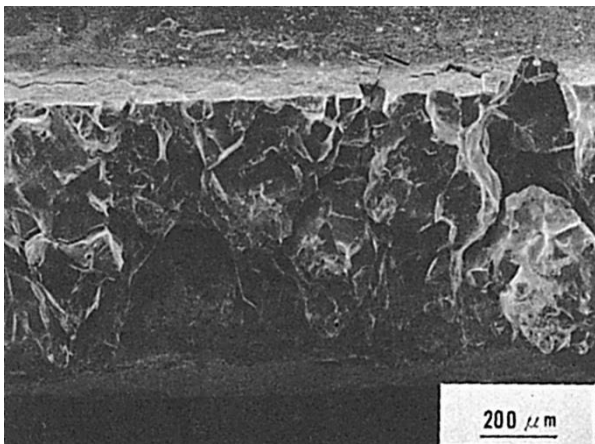


Fig.3 SCC の低倍率のマイクロ破面

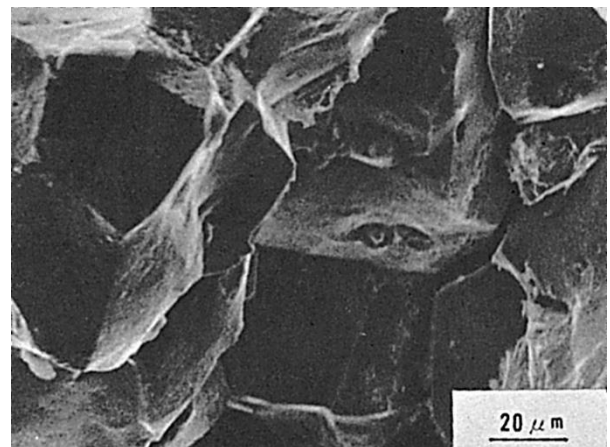


Fig.4 Fig.3 を拡大したマイクロ破面

# (149) 高温純水中でオーステナイト系ステンレス鋼溶着部に発生した SCC 破面

— SERT 法による応力腐食割れ試験 —

## (149) SCC Fracture Surface of Austenitic Stainless Steel Weld Observed in Pure Water at High Temperature

— Stress Corrosion Cracking Test under Constant Slow Extension Strain Rate —

### 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : オーステナイト系ステンレス鋼材 SUS304 (板厚 8mm).

溶接材料 (Welding material) : オーステナイト系ステンレス鋼用被覆アーク溶接棒 D308 (径 3.2mm).

化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
母 材 (規格値)	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.0 ~10.50	18.00 ~20.00
溶着金属 (規格値)	≤0.08	≤0.90	≤2.50	≤0.040	≤0.030	9.0 ~11.0	18.0 ~21.0

機械的性質 (Mechanical property)

	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	シャルピー吸収エネルギー (kgf・m) (測定例)
母 材 (規格値)	≥53	≥21	≥40	17 at 25°C
溶着金属 (規格値)	≥56	—	≥35	10 at 25°C

### 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : 被覆アーク溶接 (Shielded metal-arc welding)

溶接条件 (Welding condition)

開 先 形 状	溶 接 棒 の 乾 燥 条 件	予熱・層間 温度 (°C)	アーク電圧 (V)	溶 接 電 流 (A)	溶 接 速 度 (mm/min)	積 層 方 法
V 形	200°C × 1hr	予熱なし <150	22	100	100~200	3 層 3 パス

### 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 定低歪速度条件下における応力腐食割れ試験 (SERT 試験)

試験片形状 (Specimen configuration) : 引張試験片 (平行部寸法 : 80mm 長 × 8mm 幅 × 3mm 厚)

試験条件 (Test condition) : 酸素飽和高温高圧水 (300°C, 87kgf/cm<sup>2</sup>, 歪速度 1.04 × 10<sup>-7</sup>/sec)

試験結果 (Test result) : 破断時間 247hrs, 破断応力 43kgf/mm<sup>2</sup>, 伸び 9.2%

### 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

酸素を飽和した高温高圧水中において発生した応力腐食割れ (SCC) による破面を示したものである。Fig.1 は全破断面の SEM 像を比較的低倍率で示したものである。これを見ると、外側 (周囲部) の SCC による破面と中央部の機械的な破断面の二つの部分

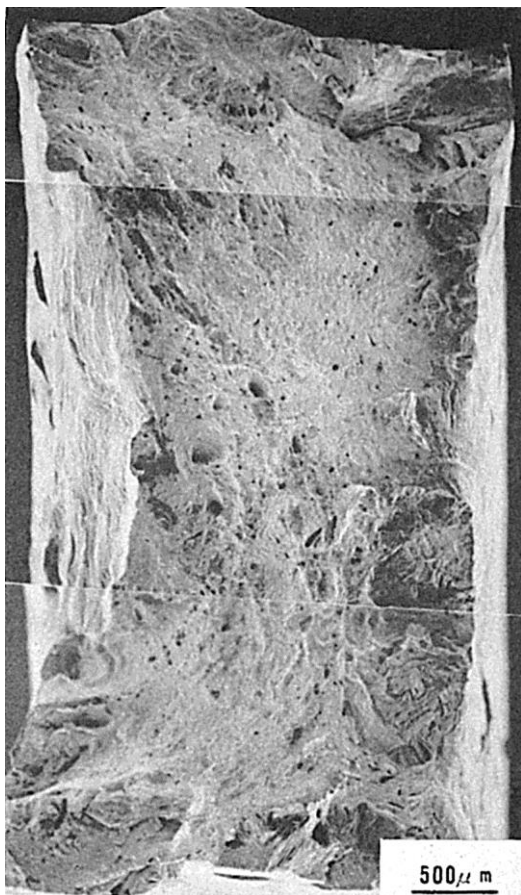


Fig.1 マクロ破面



Fig.2 Fig.1 の上部中央を拡大したマイクロ破面

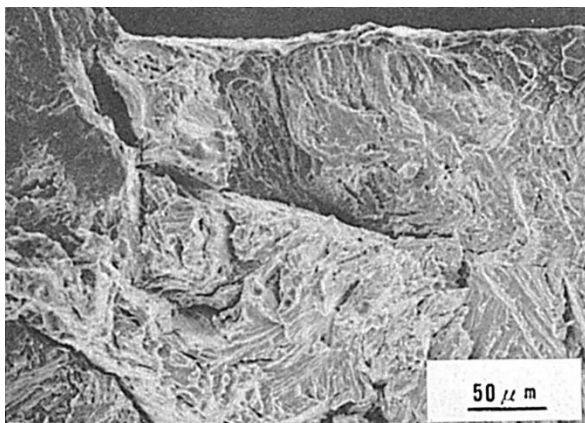


Fig.3 SCC 部のマイクロ破面

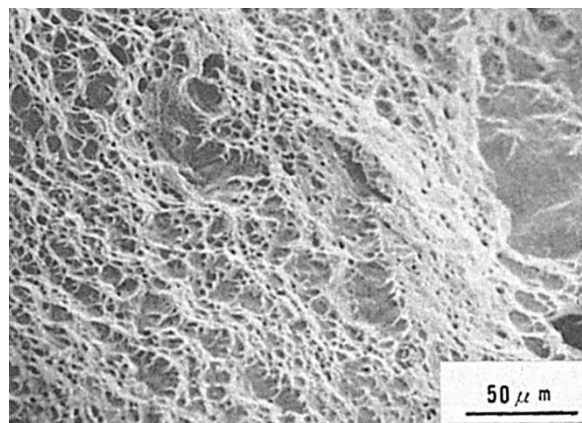


Fig.4 機械的破断部のマイクロ破面

より成っている。Fig.2 は Fig.1 を倍率を上げて示したものである。

Fig.3 は SCC 部を拡大して示したものである。割れは粒内割れで、ひだ状模様やファンシェード・パターン (Fanshaped pattern) が認められる。この模様は平行な結晶面が腐食溶解し、模様の方向に割れが伝ばしたものであることが、多くの研究者により確認されている。Fig.4 は中央部の機械的な破断部を拡大して示したものである。ディンプル・パターン (Dimple pattern) の典型的な延性破面で、言うまでもなく、SCC が進行し有効断面積が減少した結果、塑性的に破断したものである。



# (150) オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部の 塩化物水溶液中での SCC 破面

— 定荷重曲げ型 SCC 試験 —

## (150) SCC Fracture Surface of Austenitic Stainless Steel Weld Metal in Chloride Aqueous Solution

— Bending type SCC Test under Constant Load —

### 材 料 (Material)

母 材 (Base metal) : オーステナイト系ステンレス鋼材 SUS304 (板厚 9mm).

溶接材料 (Welding material) : オーステナイト系ステンレス鋼溶接ワイヤ Y308.

#### 化学組成 (重量%) (Chemical composition) (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
母 材	0.06	0.58	0.86	0.02	0.011	9.18	18.33	—
溶 着 金 属	0.05	0.66	1.26	0.027	0.006	9.30	19.1	0.13

#### 機械的性質 (Mechanical property)

	引 張 強 さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (0.2%耐力) (kgf/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)
母 材	58	25	60.0

### 溶 接 (Welding)

溶接方法 (Welding method) : サブマージアーク溶接 (Submerged-arc welding)

#### 溶接条件 (Welding condition)

開 先 形 状	予 熱 温 度 (°C)	アーク電圧 (V)	溶 接 電 流 (A)	溶 接 速 度 (mm/min)	積 層 方 法
I 形	室 温	38	650	400	1 層 1 パス

### 試 験 (Test)

試験方法 (Test method) : 定荷重曲げ型 SCC 伝ば試験

試験片形状 (Specimen configuration) : 片側切欠付曲げ試験片

試験条件 (Test condition) : 42%MgCl<sub>2</sub> 水溶液 (143°C) 中でビート部を SCC 試験

試験結果 (Test result) : 溶接金属部の SCC 感受性は  $\delta$  フェライト層の存在のため母材のそれよりも低下する.

### 破面の解説 (Fracture Surface Analysis)

オーステナイト準定安形ステンレス鋼の溶接金属部は, その凝固過程において, 包共晶反応を生じ, オーステナイト相とフェライト相 ( $\delta$  フェライト) が分離し 2 相共存の状態となる. Fig.1 に示す破面は, SUS304 鋼をサブマージアーク溶接 (入熱約 40000J/cm) した時の溶接金属部に生じた SCC 破面である. この溶接金属は約 8% の  $\delta$  フェライトを含んでいる. また, 試験環境は 42%MgCl<sub>2</sub> 水溶液 (143°C) である. このように, 溶接金属の SCC 破面はすべて結晶粒内割れであるが, 詳細に観察すると明瞭なファンシェープト・パターン (Fanshaped pattern) を示す部分(A)とロックキャンディー・パターン

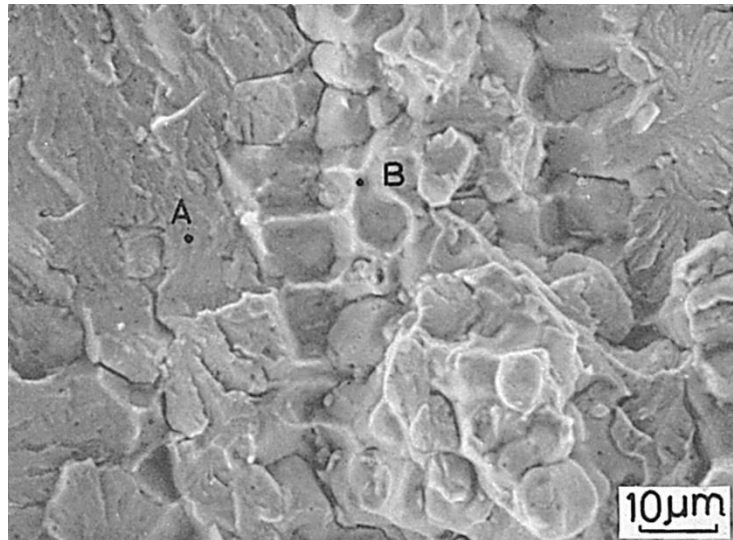


Fig.1 サブマージアーク溶接金属の SCC 破面

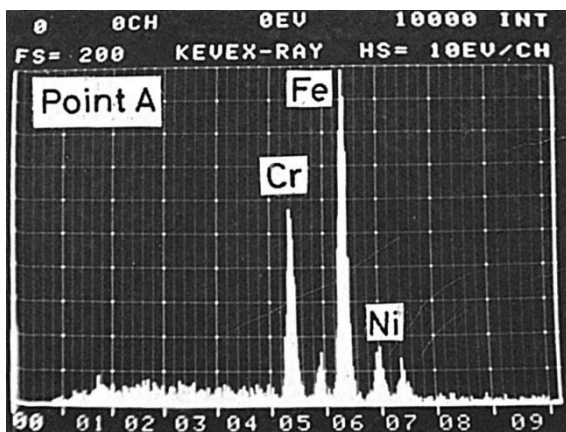


Fig.2 Fig.1 中の A 点の分析結果

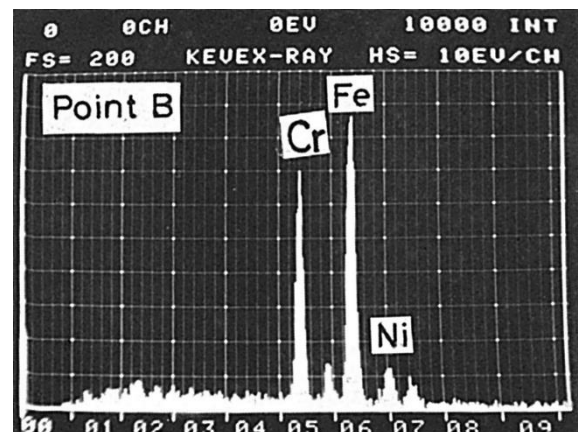


Fig.3 Fig.1 中の B 点の分析結果

ン (Rockcandy pattern) を示す部分(B)に大別できる。それぞれの点における表面の元素をエネルギー分散形 X 線分析を行なうと、A 点では Fig.2 に示すように母材とほぼ同一の組成を示すが、B 点では Fig.3 に示すように特に Cr が濃化している。このことは、B 点において Cr 富化の  $\delta$  フェライト相が存在していることを示している。すなわち、B 点に見られるロックキャンディー・パターンは、SCC が  $\delta$  フェライト相を優先的に進行した痕跡を示すもので、一種のサブストラクチャー (Substructure) に沿う SCC と判断できる。また、溶接金属部の SCC 感受性は母材のそれに比べて著しく低下していたが、これは、一般にいわれている  $\delta$  フェライトの SCC に対する阻止効果によるものであろう。