

ステンレス配管の漏洩原因は微生物誘起腐食(MIC)だった

名古屋営業所 近藤 浩

キーワード 配管 SUS316 漏洩 微生物誘起腐食 MIC 腐食速度 SEM EDX

1. 概要

交換後約2週間で漏洩した満水検地器のノズル(SUS316L、15A、2.8t 流体：海水)の漏洩原因調査を依頼された。

当初、溶接施工の困難さからの「溶接施工不良」を想定していたが、切断・金属顕微鏡観察、電子顕微鏡観察(SEM)、成分分析(EDX)をした結果、原因は「溶接施工不良」によって生じたアークストライクに「微生物誘起腐食(MIC)」が発生したためで、その腐食速度は約7.8mm/年という、驚くべきスピードだった。

2. 調査項目

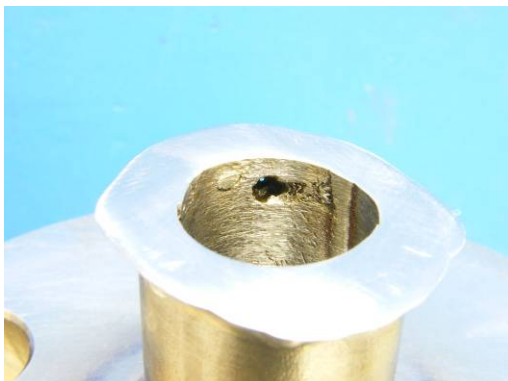
満水検知器のノズルを本体取り付け溶接部から切断した物を受領し、下記の検査を計画した。

- (1) 外観目視検査
- (2) 蛍光浸透探傷試験
- (3) 材質の確認
- (4) 漏洩部で切断、金属組織観察
- (5) 電子顕微鏡観察(SEM)
- (6) 上記部分の成分分析(EDX)

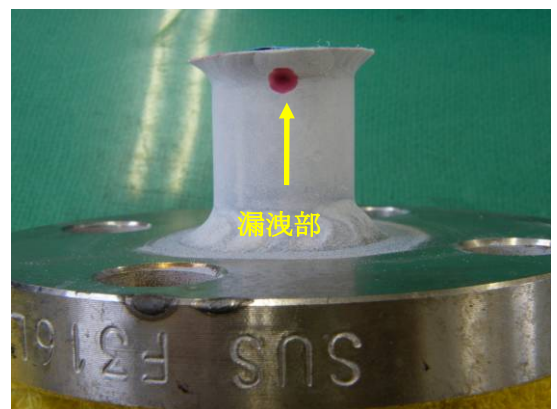
※(5)(6)は当初計画にも見積りにもない項目だったが、漏洩部で切断後、断面を見て微生物誘起腐食の疑いがあったので実施した。

3. 外観目視検査

ノズル内面に「スパッター」や「ピット」が存在した。また、スパッターを除去しようとし、棒グラインダーの様な物でノズル内面を研削した跡があった。ピットは外面漏洩部と同一位置にあり、次項の浸透探傷試験によりピットの底部で貫通していることを確認した。



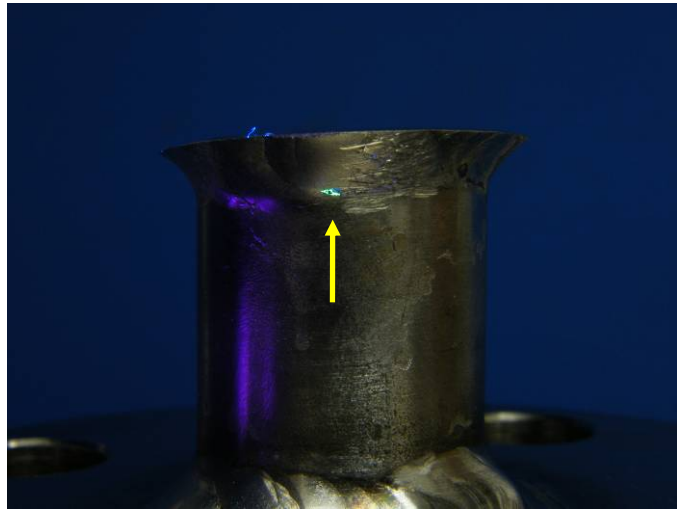
本体内面側から見た貫通部



染色浸透探傷試験による外面漏洩部

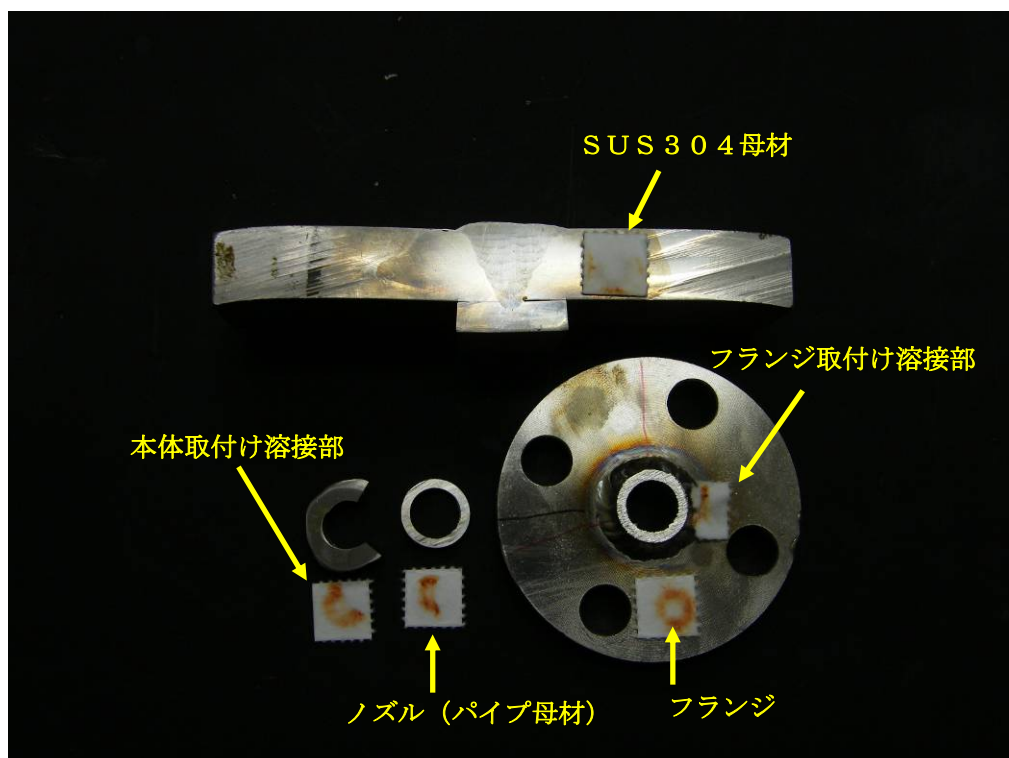
4. 浸透探傷検査

内面のピットに蛍光浸透液を塗布し、加熱・無現像で、浸透液が外面に滲み出ることを確認した。



5. 材質確認

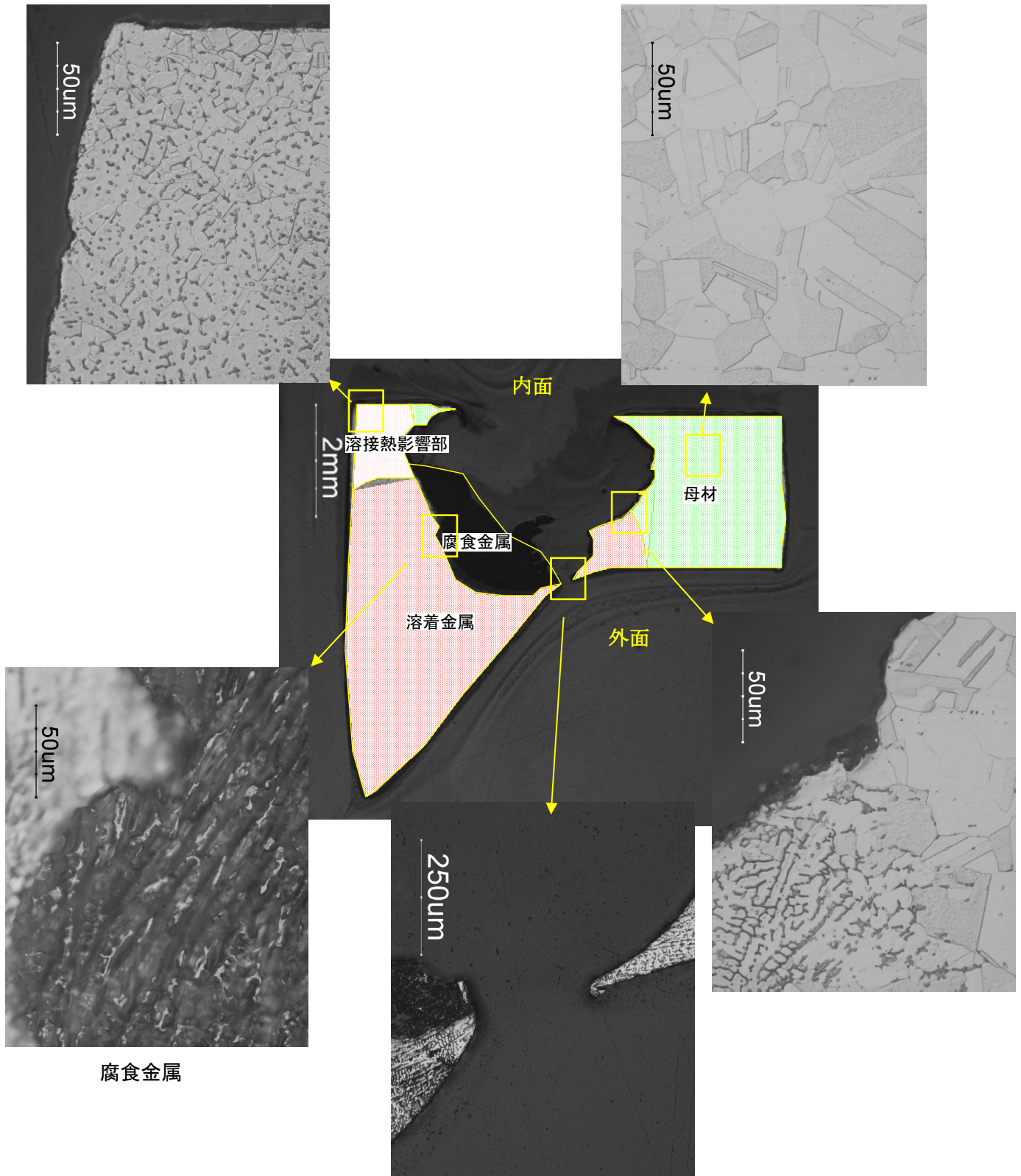
モリブデンチェッカーの呈色反応でフランジ、パイプ、溶着金属がSUS316およびSUS316用の溶接材料であることを確認した。



※ 材質の判別は後述するEDXで簡単に判別できるが、EDXをする予定が無かった時点だったので、モリブデンチェッカーで判別した。

プラントではSUS316を使用するところに誤って304や304用の溶接棒（溶加棒）を使った場合、耐食性能が全く違うため、即漏洩につながるので正しい材料を使ったかどうか確認するために、よく用いられる。

6. 金属組織試験



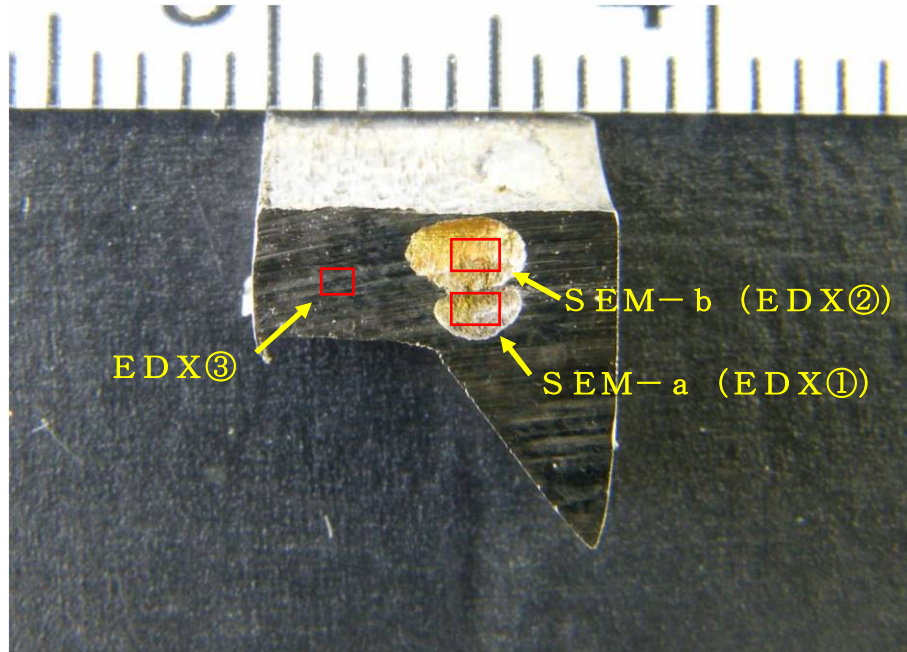
パイプ内面の開口に比べ、内部が「インク壺」状に広がっている。(内外面開口部は浸透探傷試験の前処理や切断、研磨等の工程で実際より広がってしまった)

母材、熱影響部、溶着金属とも問題はないが「腐食金属」の組織が異常な形状をしている。

7. 電子顕微鏡観察 (SEM)、成分分析 (EDX)

金属組織試験をおこなうために切断したもう一方のピースで実施した。

(下記写真 金属片の中央部の黄土色の部分が腐食部)



(1) 電子顕微鏡観察 (SEM)



SEM-a 部 溶着金属 (デンドライト組織) がスケルトン状になっている。

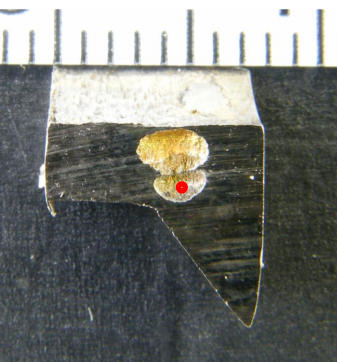
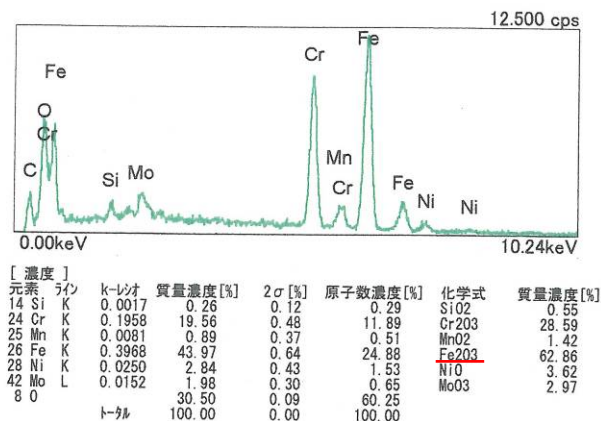
P3の左側ピントの甘い「腐食金属」部分が上記SEM写真と同じ組織

※ SEM-b 部 省略

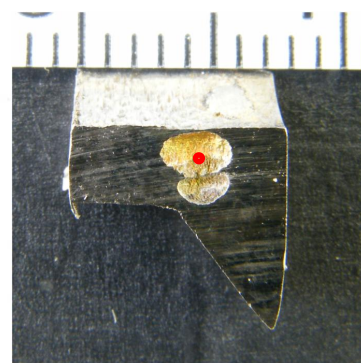
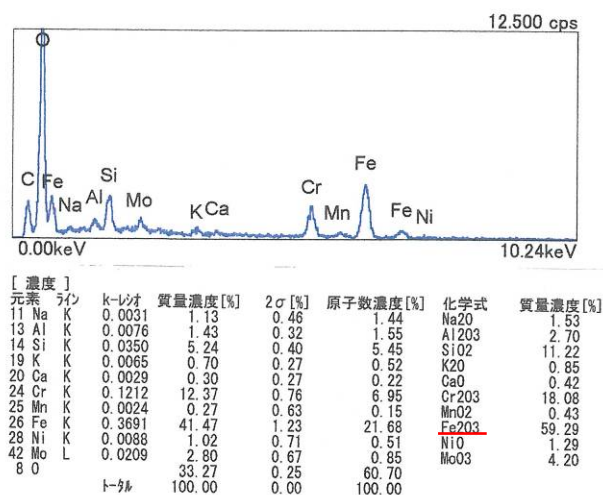
(2) 成分分析 (EDX)

孔食内部の組成は Fe_2O_3 が60%程度を占めていたほか、K、Na、Ca、Si、Alなどが検出された。(分析前に浸透探傷試験をおこなっているため微量元素の原因は不明)

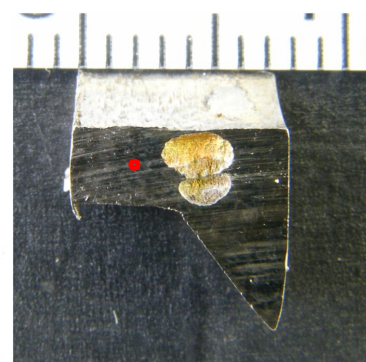
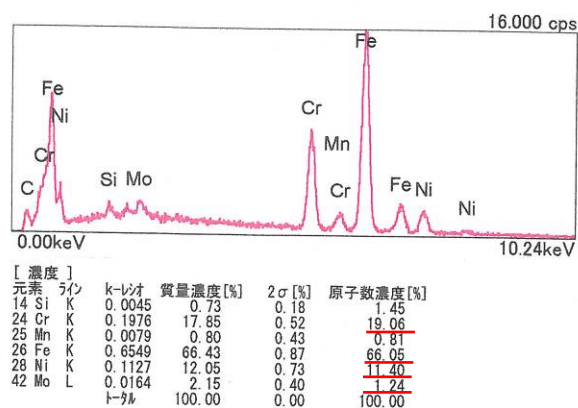
(株)大同分析リサーチ
試験番号 RI220768



腐食孔内部の組成



腐食孔内部の組成



母材の組成

(モリブデン含有18-8ステンレス鋼)

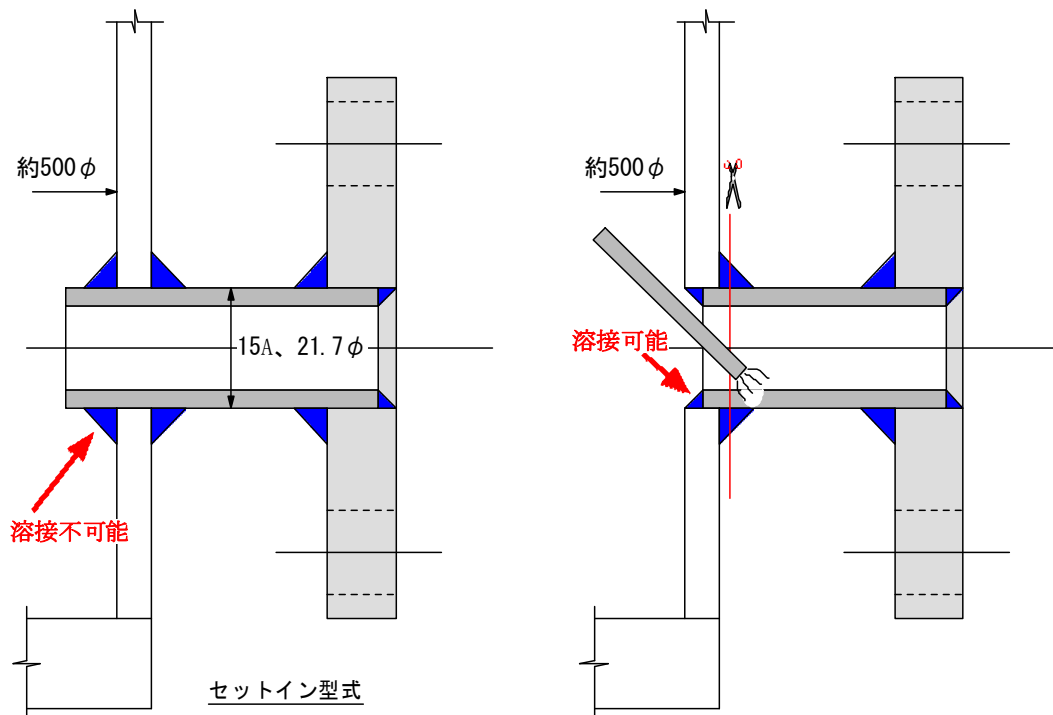
(図1) 欠陥部のEDX分析結果
—分析位置：上から、①,②,③各部—

8. 考察

(1) 原因

漏洩の原因は①漏洩したピット部の形状、②漏洩部内部の組織、③漏洩の速さ（腐食速度）から類推して、「内面ノズル取り付け溶接時の施工ミス」によって出来たパイプ内面の溶接補修部（あるいは単なるアークストライクによるピット）に「微生物誘起腐食（MIC：Microbiologically Influenced Corrosion）」（以下MICと呼ぶ）が発生し腐食貫通に至ったものと考えられる。

(2) 「内面ノズル取り付け溶接時の施工ミス」とは



ノズル取付け溶接部のうち検知器内面の溶接部が、ノズル取り付け方法を「セットイン」型式にすると、TIG溶接するにはスペースがないため（TIG溶接は両手を使う）、ノズル内面端部を検知器本体の板厚内に納めたため（溶接を少しでも容易にするため）溶接には被覆アーク溶接を用いたと思われる。

溶接施工中に誤って溶接棒がパイプ内部（検知器の底部側）に接触してアークを出してしまい（アークストライク）、ここにピットが生じた。（TIG溶接ではこの位置にアークは出せない）ここで施工ミスに気づき、ピットを肉盛り補修して、ノズル内面を棒グラインダーで丹念に仕上げた。

（P1の写真ではパイプ内面全体にグラインダーの跡が見える）

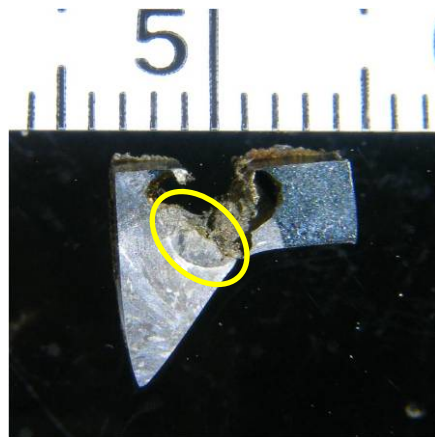
(3) 微生物誘起腐食（MIC）が考えられる理由

この漏洩部の特徴を以下に記す。

(a) 漏洩部の断面形状が、内表面より奥に広がっていて、アークストライクのピットでは考えられない形状をしていた。

(b) 漏洩まできわめて短期間だった。（約2週間）

(c) 腐食部は溶着金属だった。（○印部はパイプ内面からの溶接に見える）

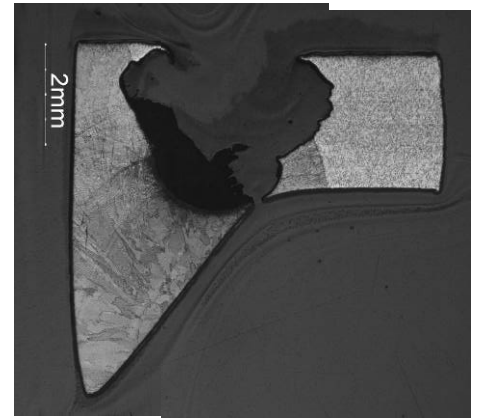


(d) 腐食部内の組織がMICの特徴である「溶接部の“スケルトン状”金属組織」だった。



(e) 腐食部内の分析で Fe_2O_3 （ヘマタイト）が60%程度検出された。（P5参照）

これらの事実は現在明らかになっているMICの事例と非常に酷似しており、今回の事例は「施工ミス」＋「MIC」が原因と考えられる。



【参考】

M I Cについて各種文献に記載している特徴をまとめた

- (1) ステンレス鋼の溶接部に多く発生している（熱影響部、まれに母材もある）……①、⑤
- (2) 腐食速度が著しく速い。（～48mm/年）……①、⑤
- (3) 腐食の断面は「インク壺状」で、入り口が狭く奥に広い。……①、⑤
- (4) 溶着金属は“スケルトン状”の金属組織になる。……①
- (5) 腐食部の金属にはヘマタイト（ Fe_2O_3 ）と推定される赤色の鉄さびがある。……③
- (6) 溶接部の「溶込み不良」やすき間などが起点となり、溶着金属のみ選択的に腐食する。④
- (7) 流れのない滞留部や流速の遅い運転条件で発生しやすい。……⑤
- (8) ステンレス鋼に発生した腐食をM I Cと判断する基準は明確になっていない。……②

【参考文献】

- ①：藤井哲雄「金属の腐食 事例と対策」（工業調査会）
- ②：藤井哲雄「金属材料の腐食対策」（日刊工業新聞社）
- ③：「ステンレスクラッド鋼管の微生物腐食」（佐藤鉄工技報V o l 7）
- ④「化学装置の材料の基礎講座 第20回」旭化成エンジニアリングHP
- ⑤九州工業大学 安西敏雄「ステンレス鋼の微生物腐食の診断とその課題」検査技術 2009.9

9. あとがき

(1) 微生物誘起腐食（M I C）について

M I Cについての記述は、炭素鋼については多くの腐食関係の本によく出て来ますが、S U Sに関するものはごく最近の本にしか記述がなく、1990年代くらいから認識され、研究されてきたようです。昔からこの腐食は存在していたけれど、ほとんど「すき間腐食」の認識であったようです。参考文献に「ステンレス鋼に発生した腐食をM I Cと判断する基準は明確になっていない」という記述があることが、おもしろい（まだまだ研究対象であり確立されていない分野である）と思いました。

文献の中では建築設備に関しては、当然のことながら炭素鋼の事例がほとんどで、実際の業務で出会ったり聞いたりした例は「名古屋市内の某ビル」で污水管に管軸方向に割れ状の腐食が生じたり、「中部地区の新しい某空港」の通気管気層部が5年で腐食貫通したなど、主に硫酸塩還元細菌が活躍しているようです。

(2) 電子顕微鏡観察（S E M）、成分分析（E D X）

電子顕微鏡というと、どうも「値段が高い」「高度な技術である」という認識でしたが、今回初めて名古屋市内の「大同分析リサーチ」（大同特殊鋼の子会社）に依頼したところ、料金はP4の写真と、P5の分析をおこなってなんと約3万円。被写界深度が深く低倍率でも、いろいろなことが判り、附属のE D Xである程度成分やその比率まで判ってしまうので、このような仕事で壁にぶつかったときに利用すれば一気にその壁を突破する事ができます。

この仕事の直前には「店舗内、壁の汚れの原因調査」をおこないましたが、汚れ部と健全部をS E M、E D Xで調査すれば簡単だったと悔やんでいます。