

溶接管理技術者の体験紹介

SUS304 クラッド鋼管漏水（微生物腐食）の溶接補修

佐藤鉄工株式会社
大久保 裕

1. 概要

弊社が製作・納入した SUS クラッド鋼管で点検中に微量の漏水が発見され『微生物腐食』が原因と推定された事例について、その補修計画・施工内容を報告する。

1.1 製品の仕様

ダム放流管（淡水を流水） 内径φ0.8~0.6m、板厚 8mmt（内面 SUS304:2mm クラッド鋼）
コンクリート埋設管+末端部一部露出管 溶接：MAG（工場）/被覆アーク溶接（現場）/309系溶材

1.2 漏水の概要

供用開始 8 年後の点検で露出管外面の溶接部 1 箇所にて塗装面の変色と漏水が確認された。

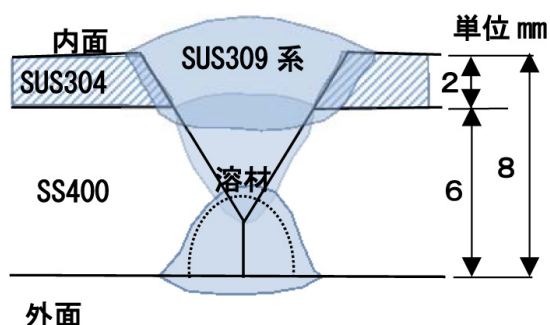


図 1 溶接部詳細

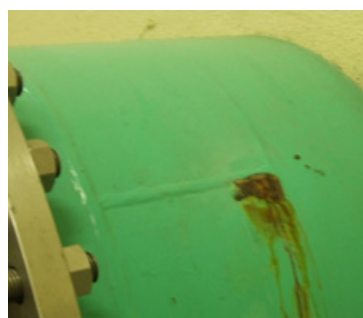


写真 1 漏水部

2. 初回補修と原因検討

確認された漏水箇所の復旧と原因調査のため、設備定期点検に合わせて放流管を排水し、内面からの確認（目視・浸透探傷試験）と漏水箇所の補修を実施した。

内面調査では溶接部近傍に複数個所の腐食が確認され、浸透探傷試験で表面欠陥が検出された箇所について腐食部除去と肉盛溶接補修を行った。また詳細調査のため試料を採取した。

初回補修（補修前の点検を含む）で確認された事項を以下に記す。

- ① 管内全面にヘドロが付着（写真 2,3）。
- ② 腐食は管内面の工場・現場溶接部で発生しており、母材部（ステンレス面）は健全（写真 4,5,6）。
- ③ 腐食部に『錆こぶ状』腐食生成物（写真 3,5）が形成。
- ④ 錆こぶを除去した表面に浸透探傷試験で多数の微細孔を確認（写真 6）。

- ⑤ 補修の際、グラインダ研削時に腐食部の硬度が低下しているように感じられたので、腐食部（溶接金属）は微細孔の腐食によりスポンジ状になっていると推定（図2）。
- ⑥ 腐食は管内面の溶接金属から母材部（炭素鋼）に進行し、腐食部（母材）は黒い粉末状態で母材側・管外面側に広がっていた。当初発見された漏水箇所はボンドに沿って進行した母材の腐食が管外面（溶接止端部付近）に達して発生したと推定（図2）。



写真2 抜水直後の放流管内面(ヘドロ付着)



写真3 付着したヘドロ(凸部は錆こぶ部)



写真4 腐食部(ヘドロ除去後)



写真5 腐食部(錆こぶ部)

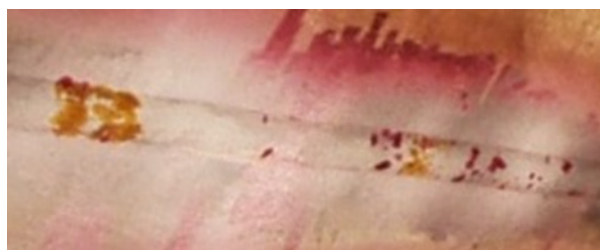


写真6 PT試験後

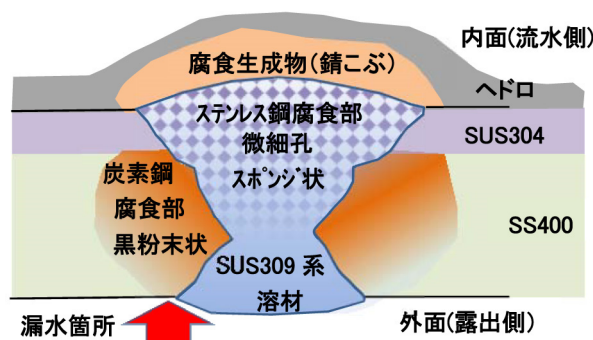


図2 漏水部(腐食部)断面

また補修後、採取した試料を分析した結果以下のことが判明した。

- ① 採取試料（溶接金属切粉）の化学分析では適正な Cr・Ni 量が確認され、溶材ミス（SUS 成分欠如）等の施工不良が原因である可能性が低い。
- ② 採取試料（腐食生成物）から鉄細菌・硫酸塩還元菌他の微生物が検出。
- ③ 採取試料（腐食生成物）の EDX 分析で S, Si が多く含まれており、微生物の活動に由来する可能性が高い。

以上の補修時確認事項と採取試料の分析結果を踏まえて、腐食原因を『微生物腐食』と特定した。

当初は自分自身に『微生物腐食』に対する知見が少なかったが、補修時に「腐食生成物（錆）」「管内に付着したヘドロ」「管内の流水」「溶接金属の切粉」等の試料を多数採取していたのが役立った。

また技術資料・文献を調べてみると初回補修前の時点で『微生物腐食』の情報は多数確認できたはずなので、補修前にその可能性に気付かなかったことは大いに反省すべき点である。

3. 補修要領の検討

初回補修では『微生物腐食』が原因と想定していなかったもので、通常 SUS クラッド鋼の施工法（ES309 系材料による被覆アーク溶接）で施工したが、『微生物腐食』が原因という前提で補修要領を再検討した。

3.1 施工試験

微生物腐食に対する決定的な防止対策は確立されていないようなので、以下の項目に注目して複数の施工法を立案し、比較のため施工法試験を実施した。

(1) 検討項目

- ・溶接材料：SUS 表面層の材料 ①309 系（高 Cr 高 Ni） ②316 系（Mo 添加）いずれも低 C 系。
- ・溶接法： ①被覆アーク溶接（従来法） ②TIG 溶接
- ・表面仕上げ（ヘドロの付着低減対策）： ①グラインダ仕上 ②バフ仕上 ③電解研磨
なお、電解研磨は不働態被膜形成促進効果もある。

(2) 腐食試験方法

(1)項の各条件で施工した試験片から試料を採取し、以下の耐食性評価試験を実施し比較した。

- ① 電気化学的測定（孔食電位測定） JIS G 0577
- ② 再活性化率測定 JIS G 0580（旧法）

(3) 腐食試験結果

各条件耐食性能（腐食試験結果）の比較

- ・溶接材料：①309 系（高 Cr 高 Ni）②316 系（Mo 添加）⇒ 顕著な差がないので②316 系を採用。
- ・溶接法：①被覆アーク溶接（従来法）②TIG 溶接 ⇒②TIG 溶接が耐食性良好。
- ・表面仕上げ（ヘドロの付着低減対策）： ①グラインダ仕上 ②バフ仕上 ③電解研磨
⇒ ①+②+③の組合せの場合の耐食性向上が最も顕著だったので、この組合せを採用。

3.2 補修要領

溶接施工試験の結果を踏まえて、下記の通り補修要領を立案した。

(1) 溶接要領

TIG 溶接、下盛部：YS309L 材+SUS（表面）部：YS316L 材。

(2) 仕上要領

補修部の余盛はグラインダー平滑仕上+バフ仕上（120 番研磨輪）+電解研磨（不働態化处理）
なお補修要領の検討に当たっては大学研究室にも相談し、助言を得ながら検討を進めた。

4. 補修の実施

設備点検に合わせて再補修を実施した。また補修前に管内面を清掃し、他の腐食状況の詳細調査も実施した。

4.1 補修手順

- ① 管内面の清掃 : 主にヘドロ除去
- ② 腐食状況確認 : 管内自走点検装置(小径管用)使用
- ③ 腐食生成物(錆)除去 : グラインダ作業
- ④ 腐食箇所特定 : 目視検査・PT試験による
- ⑤ 腐食箇所の研削 : グラインダ及びガウジング作業
- ⑥ 研削部のPT試験 : 腐食部除去程度の確認
- ⑦ 研削部 TIG 溶接
- ⑧ 表面グラインダ仕上
- ⑨ PT 試験 (溶接欠陥検査)
- ⑩ 硫酸銅試験 (炭素鋼露出度確認)
- ⑪ バフ仕上 (120 番研磨輪)
- ⑫ 不働態化处理 (電解研磨)



写真 7 管内自走点検装置(小径管用)

4.2 補修結果

腐食部をグラインダで除去する際、微生物腐食特有といわれるインク壺状腐食(表面は小さく内面に大きな腐食孔)が多数見られ、『微生物腐食』が原因である可能性が高いことが確認された。

5. 補修後の点検

補修後毎年露出管外面の定期点検を実施しているが、3年経過した時点で漏水は確認されていない。また本案件対応中に別のクラッド鋼放流管(内径 ϕ 1.8~1.32m、板厚8.5mm 内 SUS 厚2.5mm)内面でも微生物腐食が確認され、本件と同様の要領で弊社が補修したが、こちらは補修後3年目に内部からの点検を実施し、腐食の発生は認められなかった。これらから、当面今回の補修要領が有効であったと考えている。

6. まとめ

「1箇所(1箇所の漏水部補修の予定)が抜水直後の放流管内面に広がる多数の腐食の存在によって状況が一変した時の驚きは、鼻を衝くヘドロの異臭と合わせて今でも忘れがたい。ともかく材料・設備・人員を手当し、2交代の作業計画に変更して作業に着手したものの初日の夜は眠れぬ思いであった。なんとか期日内に腐食箇所の補修は完了したが、補修完了後も『原因不明』の不安は払しょくしきれず、文献を見ていて『微生物腐食』に行きついた時は安堵とともに少々『不勉強』への自責の念にもさいなまれた。「孔食」「粒界腐食」「応力腐食割れ」等教科書の代表例以外でもステンレス鋼は腐食することを溶接技術者は心にとめておいた方がよい。

本件では「ステンレスは腐食しない」という常識が崩れ、初回補修では根本的な対策に至らなかったが、その後の文献調査や大学への相談を手掛かりになんとか復旧することができた。

弊社で施工した2件以外にも、文献などの報告事例を見るとステンレス鋼の腐食は案外に多いのかもしれない。

本件の経験を活かして今後に対応していきたい。

大久保 裕 (おおくぼ ひろし) 溶接管理技術者特別級

<略歴>

1978年 大阪大学 工学部 溶接工学科 卒業
1978年 佐藤鉄工株式会社 入社 製造部製造技術課 配属
1997年 同社 製造部立山工場 工場長
2000年 同社 製造部新港工場 工場長
2005年 同社 品質保証室 室長
2013年 同社 製造部 執行役員
2015年 同社 管理部 参与
現在に至る