材質の異なるチューブにおける
外側および内側起点の破損事例解析

Analysis of Damage Cases Starting from the Outer and Inner Sides in Tubes Made of Different Materials

Osumi Corporation . Namie Suzuki

Abstract

Regarding Tube A, the investigation found peeling and cracks on the outer surface layer, observed near areas where damage had occurred. From this, it seems the cause of the damage was that the tube was crushed by an external force (compression), causing tensile stress to concentrate at the bent ends, which led to tiny cracks in the surface layer. Also, dents in some of the bent areas suggest that the material underwent plastic deformation, indicating that the tube was likely used in an environment with long-term excessive stress or repeated stress over time.

Regarding Tube B, the investigation showed that the fracture surfaces and resin degradation patterns propagated semicircularly from the inside, suggesting that both stress and resin deterioration contributed to the damage. Additionally, continuous damage marks were observed on the inside, which seemed to be due to changes in the fluid properties passing through the tube, such as physical damage caused by foreign particles. Also, the areas where leaks were confirmed were around the connected piping, and white deposits were seen as well, indicating that the fluid, possibly containing foreign matter, might have stagnated or caused turbulence there, locally damaging the inner wall surface.

１．はじめに

様々な装置や設備で使用されているチューブや配管は、使用環境や内部流体の特性に合わせた材質選定や維持管理が必要不可欠である。しかし、予期せぬ負荷や内部流体の状態の変化により、トラブル(裂傷、破損など)が起きるケースもあり、その原因を突き止めて再発防止を図ることは設備の安全を守る上で非常に重要となる。

チューブでは､外側もしくは内側からの要因で破損し、その要因には、圧力、外部環境、流体の種類や流量などが挙げられる。しかし、壊れ始める部位や傷の進み方は原因により異なるため､適切なトラブル対応を行うには、破損の特徴を正しく理解しておく必要がある。

そこで本件では、材質の異なる２種類のチューブを例に、外側から破損した事例(チューブＡ)と内側から破損した事例(チューブＢ)を紹介する。

２．調査方法および装置

調査方法は主に外観観察であり、調査に用いた装置は以下に記す。

(1) デジタルマイクロスコープ(株式会社キーエンス製)VHX-7000 型(以下、“DMS”と記載する)

(2)SEM-EDX(株式会社日立ハイテク製)卓上電子顕微鏡 MiniScope TM4000Plus Ⅲ､(オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社製)エネルギー分散形Ｘ線分析システム AZtecLiveOne Explore

3. 調査結果

3.1 外観およびマクロ観察

チューブＡの外観観察では、チューブ全体で両面側から押しつぶされた形態であり、その両端部近傍の外表層面に複数の亀裂が観察された。複数の亀裂の内、１ヵ所で液漏れが確認され、その亀裂形態は長手方向に捩じれ

を伴いながら長さ約 35 ㎜に渡り、伝播した形態で観察された。なお一部の両端部の形状は、凹み変形して観察された。

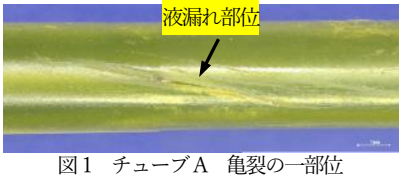
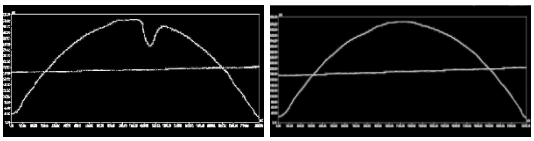


図1　チューブA　亀裂の一部位



不具合部の端部の形状　　健全部の端部の形状

図2　チューブA　DMS による端部の 3D 形態図

一方、チューブBにおいては、別配管との接続部より約 10mm 程度上流側の内側に観られる楕円状に広がる白色付着物の範囲内で 3 ヵ所の亀裂が観察された。いずれの亀裂も内側から発生したように観え、内 1 ヵ所から液漏れが確認された。

液漏れ部の亀裂形態は、内側の起点推定部から 3 方向へ分岐して亀裂開放した様に観られ、その最大開放幅は約 90μm であった。

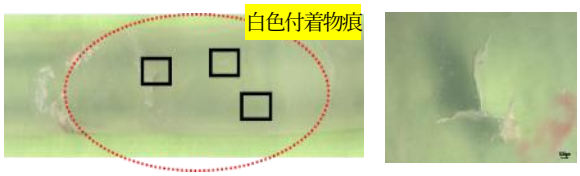


図3　チューブB　亀裂(左図:全形、右図:液漏れ部(内壁側))

3.2 破面観察

チューブA の破面解析では、マクロ観察では起点推定部位となる外表層面から円環状に伝播した段階的な破面形態で観られ、この部位から内側に向かう延性破面形態が観察された。さらに SEM による詳細観察では、起点推定部位の外表層部近傍に、損傷し、めくれ、剥離された形態や亀裂が多く観察された。これらのことから、外側から内側に破壊伝播したことが考えられる。

なお、破壊伝播方向は、その破面形態から主に右側から左側方向へ引っ張り応力を受けた形態で観察された。そのため、図3:A部の他に、右側にも起点が存在し、複数部位から伝播した可能性が考えられた(ねじれを伴い覆われた破面により確認は困難であった)。

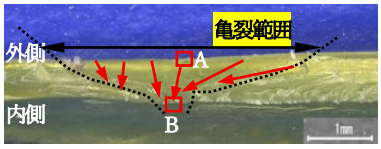
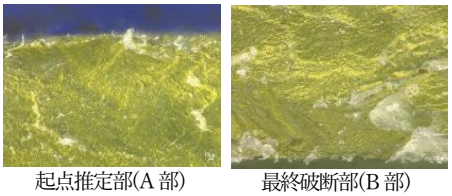
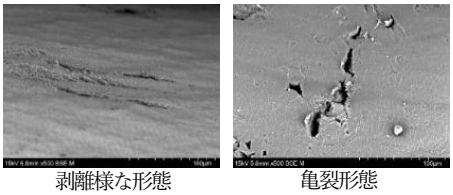


図4　チューブA　開放破面 全形
(図中矢印は破壊伝播方向を示す)



起点推定部(A 部)　　最終破断部(B 部)

図5　チューブA　マクロ詳細観察像



剥離様な形態　　亀裂形態

図6　チューブA　起点推定部の外表層部近傍の SEM 像
(亀裂痕の例)

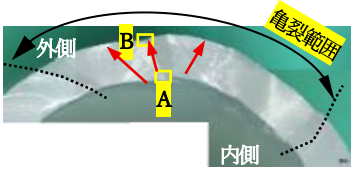
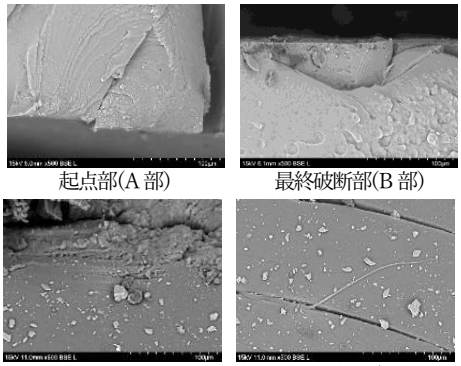


図7　チューブB　開放破面 全形
(図中矢印は破壊伝播方向を示す)



起点部(A 部)　　最終破断部(B 部)

連続的な損傷痕　　樹脂繊維剥離と亀裂形態

図8　チューブB　開放破面の SEM 像

チューブB のマクロ観察および SEM による破面観察では、起点推定部にて、内側から肉厚内部に向かい半環状に伝播した形態で観られ、その表層部近傍では樹脂の劣化に伴う粒状形態や付着した粒子状物質が観察された。破壊伝播部においては、脆性様な破面形態であり、一部に約 3μm～6μm 程度のボイドが点在して確認された。起点部の反対側となる外側表層面近傍では延性破面が観られ、この部位が最終破断部と判定される。

その他の亀裂部位では、内壁側に連続的な損傷痕や樹

脂繊維が引っ張られ、亀裂開放した様な形態で観察された。また、その周辺には粒子状物質が多く観察された。

なお、新品の内側には損傷などは確認されない。

4. まとめ

以上の結果より、チューブAおよびチューブBの破損要因は以下のように整理される。

(1)チューブA

調査結果では、外側の表層部に剥離や亀裂が観られ、その近傍から内側に向かう段階的な延性破面形態が観察された。このことから、破損した要因は、チューブが外力により押しつぶされ(圧縮)、その両端の屈曲部に引張応力負荷が集中したことで、表層に微小亀裂が発生し、これを起点として、外側から破壊進展したと考えられた。また、一部の屈曲部には凹み形態が観られたことからも、材質は塑性変形を起こしており、長期間にわたる過剰な応力負荷や連続的な繰返し応力負荷などが作用する使用環境であった可能性が高い。

(2)チューブB

調査結果では、内側から半環状に伝播し、その近傍には樹脂劣化形態が観察された。その反面側では延性破面が確認されたことから、内側を起点として発生しており、破損には、応力と樹脂の劣化の双方が影響していたものと考えられた。さらに、内側には連続的な損傷や樹脂繊維が引っ張られた損傷痕が観察されたことから、これはチューブ内を通過する流体性状の変化、例えば、微粒子などの異物混入に伴う物理的な損傷に起因すると思われた。また、液漏れが確認された亀裂部位は、接続配管周辺であり、楕円状の白色付着物も観られたことから、異物などを含む流体が同部で滞留または乱流を起こし、内壁表面を局所的に損傷させた可能性が考えられた。

5. 結言

本調査事例より、再発防止策としては以下の点が挙げられる。

(1)チューブA

塑性変形に至るまでの過大な応力負荷や繰り返し負荷を抑制するため、定期的な交換や使用条件(圧縮荷重の緩和)の見直しが挙げられる。

(2)チューブB

接続配管周辺での流体の滞留・乱流を防ぐための配管構造(勾配、口径など)の最適化や流体中への異物混入を防止するフィルタ等の設置などが挙げられる。

これらの内容が設備の定期点検の精度向上ならびに安全運用の一助となれば幸いである。

以上

参照文献

1)久保漱汰、桑原利彦、住山琢哉、小林卓哉、古市謙次、野々村千里. *大ひずみ二軸応力下におけるポリエチレン円管の変形挙動測定と解析.* 塑性と加工(日本塑性加工学会論文誌)第 62 巻第 725 号, 2021 年 6 月.

2)瀬川雅也、黒光弘幸、伊藤孝. *ローラーポンプ応力付加による人工心肺用ポリ塩化ビニル製ポンプチューブ表面の形態変化.* 生体医工学　49 巻 4 号, 2011 年 8 月.

3)瀬川雅也、中島郭葵、伊藤孝. *ストレス印加による人工心肺装置用ポンプチューブ内表面の形態変化と無機結晶構造物のキャラクタリゼーション.* 生体医工学　50 巻 6 号, 2012 年 12 月.

株式会社オオスミ
分析技術グループ チーフ 鈴木奈美枝



＊＊ミニメモ＊＊　～異物を含む水はエロージョンを引き起こす～

工業用分野で用いられるウォータージェット切断機に、水のみで切断する工法や研磨剤を混入させ硬質な金属などを切断する工法がある。後者の場合、超高圧水流により加速された研磨剤の微粒子を金属に衝突させ削りとっており、まさにエロージョンといえる。今回のチューブ B で発生した事象もこれと同じで、本来は材質にとって安全な流体であっても、微粒子などの異物が混入し、滞留や乱流が発生しやすい箇所では、材質表面と異物との衝突頻度が高まるため、局所的な摩耗から破損へと至るリスクが高まりやすくなる。