

# ステンレス製品の折損原因調査

## Breakage of the cause of stainless-steel product

Osumi Corporation . Takashi Ueta

### Abstract

In this case, A fracture surface and cross-sectional observation survey were conducted for the purpose of investigating the cause of the breakage of the stainless-steel spring clip. As a result, breakage was confirmed near the point of application of force during use of the spring clip. A crack was also confirmed at the broken part, and corrosion products were observed from the starting point of the fracture surface near the center. Ductile fracture surface was confirmed by SEM observation. From these findings, it was considered that as corrosion due to water in the usage environment progressed, a load exceeding the allowable stress of the base material was applied, causing ductile fracture to progress from the crack, leading to the breakage.

### 1. はじめに

ステンレス鋼(以下 SUS)は、多くの金属材料の中でも耐腐食性の高い材料である。これは、SUS 表面に安定的な  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ (クロム酸化膜)層の生成により防食に寄与している所以である。この特徴を活かし、発電プラント資材等および耐腐食性を要求する工業製品に多く使用されており、その用途は多岐にわたる。なお、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 層が一旦破壊されれば環境により他金属材料同様に腐食は進行する。

日本産業規格(JIS)に定める規格では、含有元素や製造方法により製品の特性が異なるといった特徴があり、フェライト系、オーステナイト系、マルテンサイト系、析出硬化型系に分類されている。

本件では SUS 製バネクリップの折損による調査解析を行い破損原因の推定に至る事例を示す。

### 2. 調査方法および装置

調査方法を以下に記す。

#### (1) 外観及び破面のマクロ観察

デジタルマイクロスコープ(KEYENCE 社製 VHX-7000 型)(以下、“DMS”と記載する)

#### (2)破面及び断面の詳細観察及び母材の定性分析

SEM-EDS(JEOL 社製 JSM-7600 型、Thermo FisherScientific 社製 NORAN System7 312E)

#### (3)母材の硬さ分布測定

マイクロビッカース硬さ試験機(マツザワ社製 T-7XB 型)

### 3. 調査結果

#### 3.1 外観および破面マクロ観察

外観観察では、ばね上部より 3 巻目部位で折損した形態で観察された。起点推定部近傍の外表面には約  $167\mu\text{m}$  長の亀裂が L 方向に伝播した形態で観察された(図 1,2 参照)。

破面マクロ観察では、起点推定部にて外表面で観察された亀裂部近傍から破壊が伝播した形態で観察され、破面中央部近傍では横断する段差が観察された。脱錆前の観察では、この段差部より起点側で黒色及び赤褐色の腐食生成物が観察された。また最終破断推定部では破壊進展した延性様破面形態が観察された(図 3 参照)。

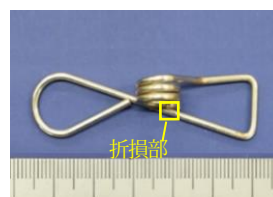


図 1 調査試料



図 2 折損部



図 3 破面全形

### 3.2 破面 SEM 観察

起点推定部の破面詳細観察では、腐食ピット様の孔食が観察され、破面中央部近傍及び最終破断推定部においては、引張応力の負荷により延性破壊されたディンプル紋様の破面形態が観察された(図4参照)。

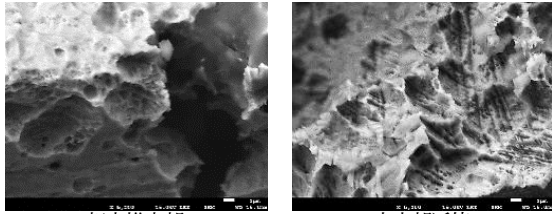


図4 破面SEM観察像全体

### 3.3 断面観察

起点側の観察では、腐食による粒欠落様の形態が観察される他、引張応力を受け延性様の形態が観察された。これらの形態は表層全域で観察されるが、特に起点側近傍では腐食痕が多く観察された。破面中央近傍の段差部では、幅約360 $\mu$ m(直径の約1/5)、内部深さ約360 $\mu$ mとなる亀裂様溝状形態で観察された。この溝状に至る要因としては、溝壁面の結晶粒の延伸等が見られないことから、介在物の中心偏析折帯が起因し折損応力の負荷が最終破断部と偏析帯を経由し内部割れに至ったものと考えられる。なお介在物は断面全域に点在して観察される。母材の金属組織は、焼き戻しマルテンサイト組織と判定される(図5参照)。

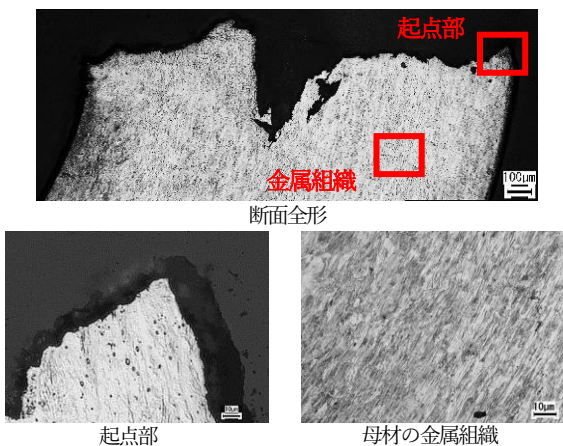


図5 破面観察図

### 3.4 母材の定性分析

母材の SEM-EDS による定性分析結果では、主に鉄(Fe)、マンガン(Mn)、クロム(Cr)、炭素(C)、アルミニウム(Al)が検出され、一般的に SUS 鋼に含まれる Ni(ニッケル)は検出されない(図6参照)。

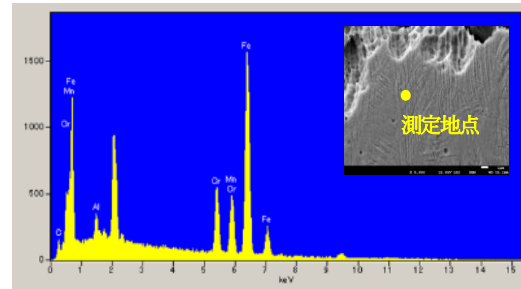


図6 母材のSEM-EDS分析結果

### 3.5 母材の硬さ分布測定

起点側表層部より内部方向に硬さ分布測定を実施した結果、表層部近傍の最大硬さは447HVであり、内部での平均硬さは約430HVで計測された。

この平均硬さ値から換算される引張強度値は約1290MPaと判定された。

## 4. 結言

以上の調査結果より、折損品の破損要因は使用中の作用点近傍となる起点部に過大な応力が負荷され亀裂発生したことが主要因と考えられ、その亀裂先端部に長期間にわたり腐食進行と応力負荷により延性破壊により最終破断したと推定された。

腐食に至る要因は使用環境による常態的な水分の滞留と考えられ、これによりクロム酸化被膜が破壊され腐食進行が促進されたことが考えられる。また非鉄金属介在物の中心偏析も破壊を促進していたと判断されたことから清浄度の高い素材の使用が示唆される。

なお、使用母材は、マルテンサイト系のSUSと思われるが、耐腐食性の高い、高クロムのオーステナイト系(例えばSUS316)の使用が望まれる。

ステンレス製品は使用目的や用途によって、含有元素の配合や加工工程を進化させてきた歴史がある。ステンレス製品に限らず、工業製品を使用する際には、使用環境及び使用目的に合った特性をもつ製品を選択することが重要となる。

以上

参照文献

- 1)熊沢 増治. ニッケル拡散浸透処理によるステンレス鋼の表面改質. 日本金属学会誌 53 巻 8 号, 1989.
  - 2)芝辻 雄一, 西村 瑞希, 石井 知洋, 青木 聡, 酒井 潤一. 大気腐食環境下における 21Cr フェライトステンレス鋼の食孔深さに及ぼすNiの影響. 材料と環境 65 巻 6 号 p.259-263, 2016.
  - 3)木内 清, 下平 三郎. 23Cr ステンレス鋼の応力腐食割れに及ぼすNiの影響. 防食技術 33 巻 p24-32, 1984.
- 

株式会社オオスミ  
分析技術グループ  
主任技師 植田崇

