

2025 年〇月△日  
(株)神戸工業試験場 材料試験課

## ボルトの損傷調査 方案

### 1. 目的

製品締結用ボルトが破断した。今までの使用実績から、破断した事象はなく、その損傷要因の究明が望まれている。

本調査では、ボルトの損傷要因を推測する一環として、外観観察および破面観察を実施する。また再発防止の観点から、ボルト側に損傷要因(材料欠陥、強度不足など)がないかを確認するため、断面観察や硬さ測定、化学成分分析を行い、材料性状の把握も行う。

### 2. 調査品の詳細

- (1) 名称：ボルト
- (2) 材質：SCM435 (強度区分:12.9)
- (3) 使用環境：室温、室内
- (4) 運転時間：約 3 年
- (5) 調査品のスペック：実際のご依頼の際には、  
開示可能な範囲で図面や材料スペック、使用  
状況など各種情報を共有いただければ考察の  
助けとなります。



Fig.1 受領状態

### 3. 試験項目

#### (1) 外観観察

受領したボルトに対し、破断の発生位置、破断部近傍の変形や疵<sup>きず</sup>の有無、変色や発錆などを外観から確認する。

一般的に、損傷部に塑性変形(顕著な伸びや絞り)がある場合には、過大応力の作用が窺え、塑性変形がない場合には、疲労損傷や遅れ割れなどの事象が考えられる。また表面に腐食や疵があると、き裂の発生を助長させる。このように外観観察は損傷要因を判断するうえで重要な手段である。外観状況は、デジタルカメラやマイクロスコープを用いて記録する。

#### (2) 探傷試験 (MT または PT)

破断が生じていたねじ部において、破断部以外にき裂が発生していないかを確認するため探傷試験を行う。今回のボルトは磁性を有していることから、湿式蛍光探傷試験(MT)で実施する。

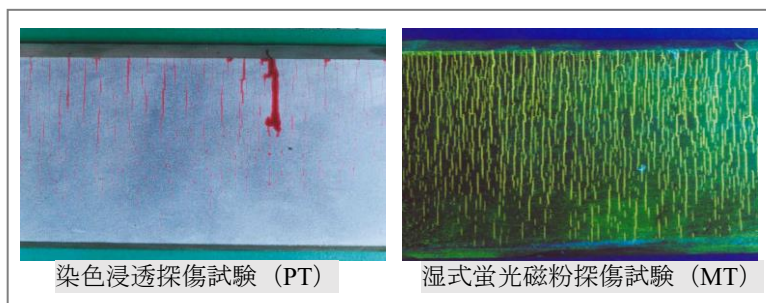


Fig.2 探傷試験の観察例

※探傷試験には様々な方法があり、表面欠陥の検出にあたっては、浸透探傷試験(PT)や磁粉探傷試験(MT)を行うことが一般的です。

※MT は、磁性体材料を磁化し表面に磁粉を散布すると、傷に吸着され磁粉模様が現れることを利用した試験法です。試験体表面の線状傷(欠陥)の検出に適しており、開口していない欠陥も表面下約 2~3 mm 深さまで検出できるとされています。

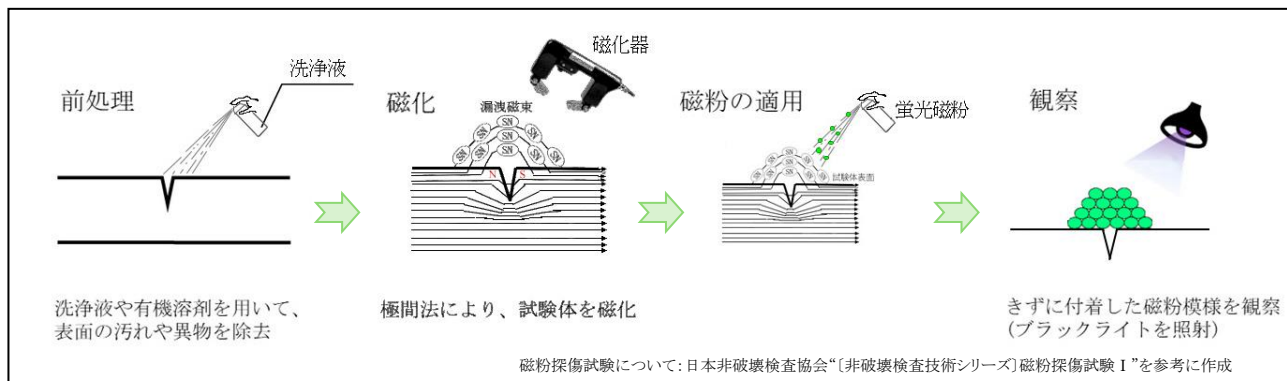


Fig.3 磁粉探傷試験(MT)について

### (3) 破面観察

破面を観察し、その特徴から急進破壊や疲労破壊といった破壊モードの推測や、破壊起点部の異常の有無などを確認する。

#### (3)-1 マクロ破面観察

破面を目視~拡大鏡レベルで観察し、破面模様や凹凸といったマクロ破面形態を把握し、起点位置やき裂の進展方向、破壊モードなどを推測する。また起点部表面に、疵やフレットニング、腐食などの様相があるかを確認する。記録にはデジタルカメラやマイクロスコープを使用する。

※マクロ観察は、後項の SEM 観察に比べ、起点位置や色味情報の把握に向く観察法です。

※破面が汚れたままでは、正確な破面様相の把握ができないため、ブランクレプリカ法などにより洗浄を実施してから観察を行います。腐食や変色が顕著な場合、その情報が重要になりえるため、敢えて洗浄せずに観察と分析を行うことや、洗浄の前後に撮影をする場合もあります。

※マクロ破面(外観も含む)の見え方は、光源の種類や向きによって変化します。もっとも損傷の特徴を表す光源と方向を選択して、破面全体や拡大の写真撮影を行います。

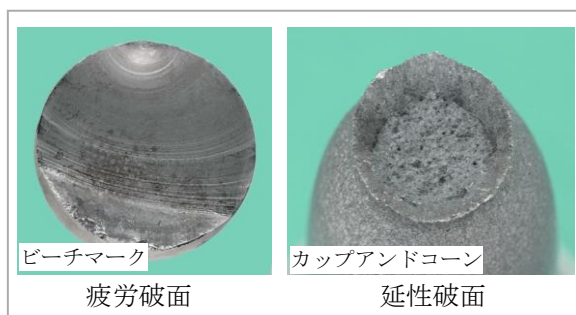


Fig.4 マクロ破面の観察例

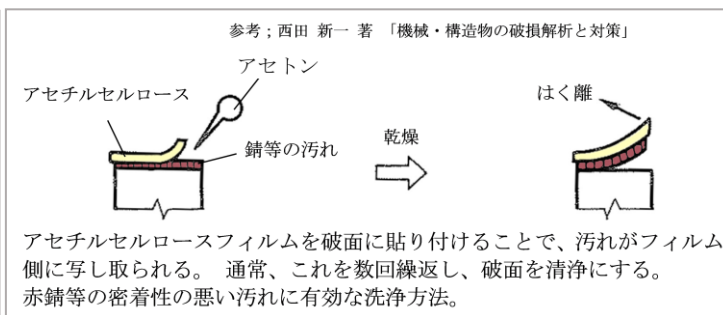


Fig.5 ブランクレプリカ法について

### (3)-2 ミクロ破面観察 (SEM 観察)

破面を走査電子顕微鏡 (SEM)を用いて高倍率 (数百倍~数千倍)で観察し、起点部に腐食、加工疵、材料欠陥などの異常がないかを確認する。またミクロ破面模様を把握し、マクロ破面様相と併せて破壊モードの追認を行う。

今回のボルトはねじ部で破断していることから、ねじ加工(転造や切削)による表面の被さりや疵の影響が考えられる。また、高強度鋼では水素脆化を引き起こしやすいことから、その可能性も含めて検討する。

※ミクロ破面模様は、破壊モードでその形態が変化します。例えば、過大応力による破壊の場合には延性破面(ディンプル)や脆性破面(リバーパターン)など、繰返し負荷による損傷であれば疲労破面(ストライエーション)が観察されます。また、起点部に介在物や疵などの異常があると、応力集中によりき裂が発生しやすくなるため、ミクロ破面観察では特に起点部を注視します。

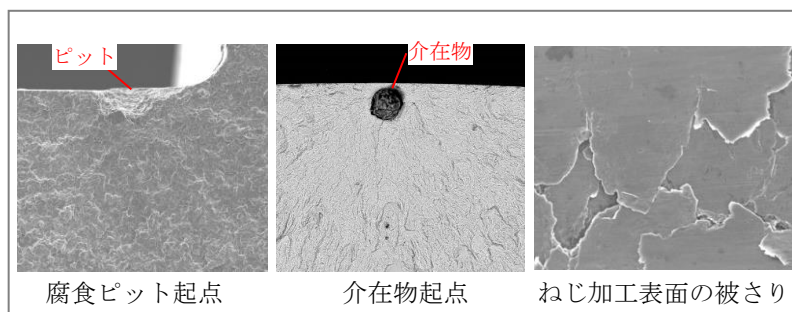


Fig.6 欠陥部の観察例

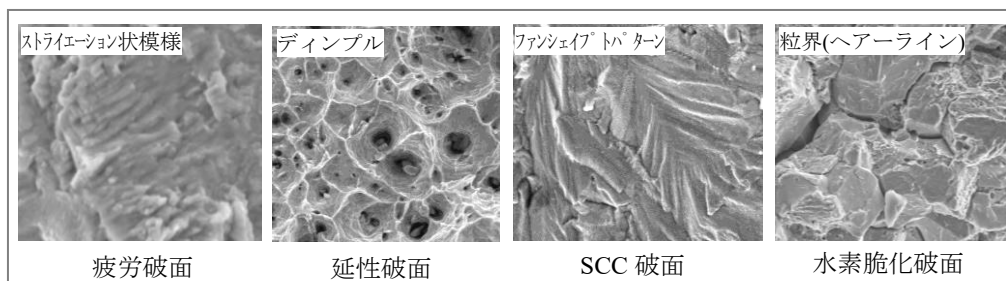


Fig.7 破面模様の観察例

### (4) 断面ミクロ組織観察

破断部のねじ部について、金属組織性状を把握する。観察目的としては、ねじ部の状況(ねじ形状、切削または転造加工か)や、起点部に腐食や材料欠陥などの特段の異常がないかを確認する。また金属組織を観察し、熱処理の有無や脱炭、組織ムラなどを確認する。観察手順として、観察対象位置を切断、樹脂に包埋、鏡面研磨仕上げした後、エッチングして金属組織を現出させ、光学顕微鏡で記録する。

※ねじ部に熱処理不良や加工疵、腐食などが存在すると、それらがトリガーになり強度が低下する場合があります。素材に関しても、大きな介在物が多い、結晶粒が粗大、偏析などの特徴があれば、強度が低下する可能性があります。

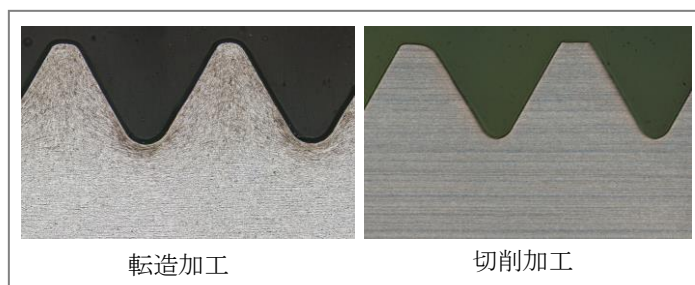


Fig.8 ねじ部の組織観察例

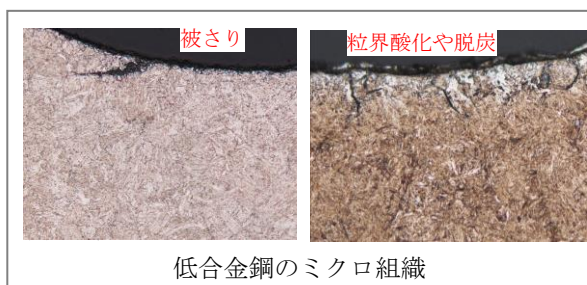


Fig.9 ねじ部の欠陥観察例

### (5) ビッカース硬さ測定

ボルトの機械的強度を把握するため、ビッカース硬さ測定を実施する。試料は前項の組織観察用試験片を使用する。測定位置は、起点部、他のねじ部の起点相当位置、芯部を予定しており、試験点数や荷重は、組織状況をもて適宜選択する。

※硬さ値は、参考程度になりますが、引張強度や疲労強度と相関があります。特に、ねじ部で破断している場合は、ねじ直下の硬さ値(機械的強度)の把握が重要となります。硬さ測定には、ロックウェルやブリネルなどの試験法があります。その中で、ビッカース硬さでは、測定荷重を変更することで圧痕サイズが調整可能なため、局所的な測定や、サンプルサイズが小さく強度試験片が採取できない場合などの強度把握に有効な試験法です。

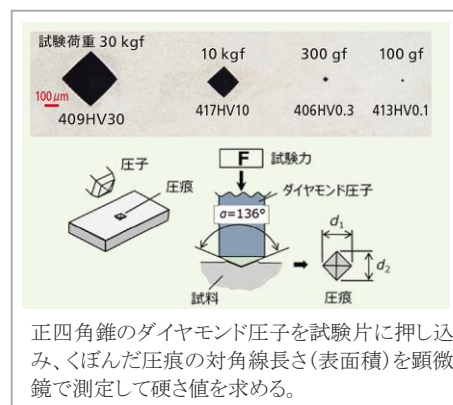


Fig.10 ビッカース硬さについて

### (6) EDS 成分分析

ボルトの材料が SCM435 として化学成分に異常がないか確認するため、エネルギー分散型 X 線分析装置(EDS)を用いて、簡易的な成分分析を実施する。試料は、前項のビッカース硬さ用試験片を使用する。

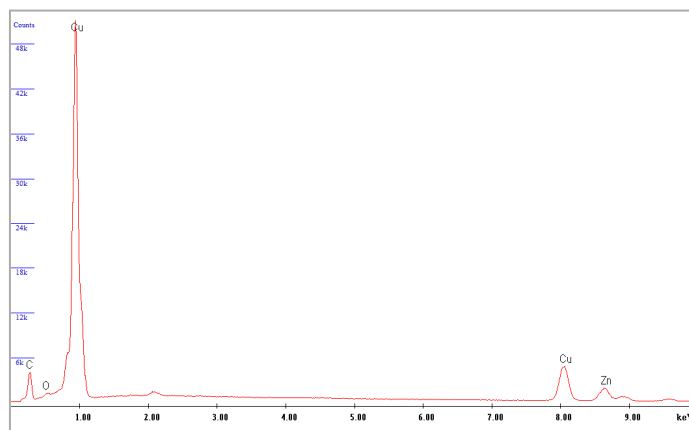
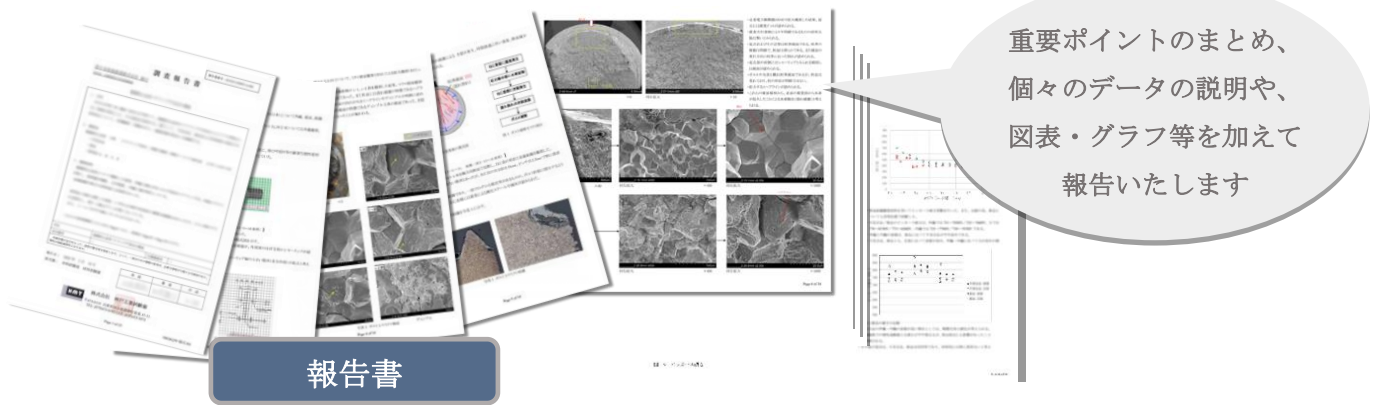


Fig.11 定性分析結果例 (銅合金)

#### 4. 備考

- ・(1)～(6)の試験データを報告書に纏め、結果を報告する。
- ・試験において、疑義が生じた場合には、速やかに報告し協議する。
- ・なお損傷調査は、破損原因が明らかになる場合もあれば、試験や観察を行っても、その原因が分からない場合もあります。また、観察結果や測定値が異常か妥当かの判断が難しい場合もありますことを予めご了承ください。



以上