

破面解析（フラクトグラフィ）

●破壊原因を究明する

機械設備や構造物が破壊した場合、今後の損傷対策や安全対策のために破壊原因を明らかにすることが重要・不可欠です。今回は破壊原因調査の主要な方法である破面解析（フラクトグラフィ）についてご紹介しましょう。

破壊は、溶接部やねじ部、はめ合い部など結合部位で発生することが多いものです。そこで、ここではボルトまたはねじ結合部の破壊原因調査の方法を具体例で説明します。

破面観察試料の採取

複数で使用されることの多いボルトは、破壊する場合にも複数のことが多々あります。その際、破壊原因の調査に当たり、最初に破壊したボルトがどれであることを特定することが重要になります。なぜなら、他のボルトは最初のボルトの損傷に誘引された二次的な損傷である場合が多いからです。調査にあたっては、力学的条件や環境条件、そして被締付物の損傷状況や後述する破壊形態などを考慮して慎重に調査部位を選定することが重要です。

破面の錆を除去する

一般に破面には錆が付着しているので、これを除去して破面観察を行う必要があります。錆を除去する方法には【表1】のようなものがあり、普通これらの方法を併用または繰り返して行います。

錆を除去した前後の破面状況を【写真1】に示します。ここに見られる貝殻模様から亀裂の起点や進展状況を推測するなど、破面には有益な情報が隠されているのです。

【表1】破面の錆除去方法

方法	内容
1. 有機溶剤による洗浄	付着した油脂等を溶解除去
2. 化学的溶解法	酸またはアルカリ水中に浸漬して錆を溶解
3. 陰極電解法	酸またはアルカリ水中で試料を陰極にして通電し、発生した水素の圧力で錆を剥離
4. 機械的剥離法	酢酸メチルを塗布したアセチルローズ膜を試料に付着させ、錆を機械的に剥離

【写真1】錆除去前後の破面比較



● 比較的錆の少ない場合
き裂の起点が明らかになっている。



● 錆の多い場合
疲労き裂の進展領域（1/3 孤状）が明らかになっている。

応力状態の推定（マクロフラクトグラフィ）

破面の観察は、まず目視やルーペによる観察から始めます。この観察（マクロフラクトグラフィ）によって、おおよその亀裂の起点部位や応力状態を推定することができます。電子顕微鏡で破面を観察する前に、これをやっておくことが重要です。

ボルトの破壊には【表2】に示すような応力状態が考えられ、それぞれに対応する破面状態を【写真2】に示します。

【表2】 応力状態

写真 No.	応力状態	荷重状態
2 a	片振引張・引張圧縮	垂直荷重
2 b	片振平面曲げ	垂直荷重+水平荷重
2 c	両振平面曲げ	垂直荷重+水平荷重
2 d	回転曲げ	回転曲げモーメント
2 e	ねじり、引張り	過大トルク

【写真2】 各種応力状態の破壊破面比較



a 片振引張疲労 b 片振平面曲げ疲労 c 両振平面曲げ疲労 d 回転曲げ疲労 e ねじり疲労

ボルトの破壊形態を観る（ミクロフラクトグラフィ）

ボルトの破壊形態を明らかにするためには、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて破面観察する方法が有効です。

よく発生するボルト破壊の原因を発生頻度順に【表3】に示します。実際の破壊では、これらの原因が重畳したり、腐食ピット発生→腐食疲労→一般的な疲労のように順次移行する場合も多く認められます。

【表3】 ボルト破壊原因

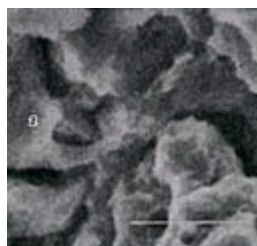
写真 No.	破壊原因	要因	破面上に現れる特徴
3 a	疲労破壊	過大繰返し応力、締付力低下に伴う繰返し応力増大	ストライエーション タイヤトラック
3 b	水素脆化割れ	高強度材メッキ、酸洗等による水素侵入	リバー状模様ヘアライン、 羽毛状模様、微小空孔
3 c	遅れ破壊	高強度材で長時間使用中の錆発生	粒界破壊、発錆 擬へき開割れ
3 d	静的破壊	過大締付トルク 過大負荷応力	(延性材料) デンプル、 (脆性材料) へき開割れ、リバーパターン
3 e	腐食損傷	材料選定不良 水質環境悪化	粒界腐食 腐食ピット

これらの原因による代表的な破壊破面のSEM観察結果を【写真3】に示します。破面の形態は原因によって異なることから、破面観察が破壊原因究明のための有力な手段であることがわかります。

【写真3】各種破壊破面のSEM像



a. 疲労破壊破面



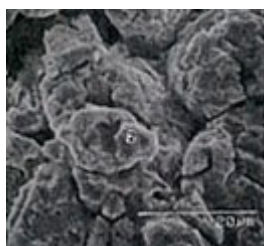
b. 水素脆化割れ破面



c. 遅れ破壊破面



d. ねじり破壊破面



e. 腐食損傷破面

ボルトの破壊部位

ボルトの危険断面は複数箇所に存在し、破壊部位は、応力状態、締め付け状態、環境などによって異なります。疲労破壊の場合の破壊部位と発生頻度を【表4】に示します。最も多いのは、ねじ噛合はじめです。

【表4】疲労破壊の場合の破壊部位分類

破壊部位	破壊発生要因	発生頻度
ねじ噛合はじめ	ね噛合はじめ応力集中部	60%
ねじ切上り谷底部	ねじ切上り形状不良	20%
ボルト首下部	ボルト取付不良・頭部首振	15%
ボルトの円筒部	フレットング・打痕疵	

弊社では、このような破面解析専門の技術者により破壊損原因を推定し、調査結果報告書を提出しております。同時に、材料分析、ミクロ組織観察、硬さや引張試験、EPMA分析等を実施することによって、製作仕様の確認や腐食の関与など、総合的な検討を実施しております。