



ORIST

Technical Sheet

No. 98046

金属材料の破面解析

キーワード：金属材料、破壊、破面解析、ディンプル、ストライエーション

概要

鉄鋼をはじめとして、銅やアルミニウム合金などの金属材料はいろいろな機械装置類、電気製品、自動車などあらゆる製品に使用されている。これらの製品は十分な強度計算にもとづいて設計、製造されており、すぐに壊れたりしないはずであるが、ときには短期間使用しただけで破壊する場合もある。このとき破壊原因の調査が必要となり、その有力な方法の1つに破面解析がある。金属材料が破壊したとき、破壊過程の記録とも言うべき特徴を破断面に残すが、この破断面の特徴を調べることが破面解析で、破壊原因の重要な手掛かりが得られる。以下に破面解析について簡単に述べる。

金属材料の破壊事故調査の一般的な方法は、まず、破面解析によりその材料がどのような割れ方(破壊様式)をしたのかを調べ、次に何故そのような割れが起こったのか、材質、製造方法、形状、使用

要素を推定する。このように破面解析は事故調査の第1歩となる重要な作業であり、これにより破壊様式、破壊の開始点、亀裂の進展方向などがわかる。破面解析は肉眼、ルーペ、低倍率の実体顕微鏡などによるマクロ解析と、走査電子顕微鏡によるミクロ解析があり、通常、両者を併用して行う。金属材料の破壊様式は延性破壊、脆性破壊、疲労破壊、そして、環境破壊の4種類に大別される。表1に各破壊様式とマクロ的、ミクロ的特徴を列記する。肉眼やルーペによるマクロ観察は事故現場で行える便利な方法で、延性破壊と脆性破壊の区別やビーチマークにより疲労破壊と判断できたりする場合がある。しかし、破壊様式を明確に特定するためには走査電子顕微鏡により破面のミクロ的特徴を調べる必要がある。図1(a)~(d)は各破壊様式の代表的な走査電子顕微鏡写真で、これらに基づいて各破壊様式を説明する。

表1 破壊様式と破面の特徴

破壊様式		破面の特徴	
		眼又は実体顕微鏡によるマクロ観察	走査電子顕微鏡によるミクロ観察
延性(塑性)破壊		鈍い灰白色 シェアーリップ：せん断破壊 最終破断部	等軸ディンプル：引張り破壊 伸長ディンプル：せん断破壊 うねった縞模様：すべり面破壊
脆性破壊		キラキラした銀白色の反射 シェフロンパターン(山形模様)： 粒内型急速破壊、亀裂の進展方向 放射状模様：亀裂の進展方向	擬へき開破面 リバーパターン 粒状破面 複雑破面
疲労破壊		ビーチマーク(貝殻状模様) ラチェットマーク： 複数の応力集中箇所 フィッシュアイ：破壊の起点 放射状模様：亀裂の進展方向	ストライエーション： 応力サイクルと対応 ストライエーション状模様： 応力サイクルと対応しない 二次クラック ラブマーク又は無特徴破面
環境破壊	水素脆性	キラキラした銀白色の反射	粒状破面 ヘアマーク
	応力腐食割れ	部分的な反射 発錆変色	粒状破面 羽毛状模様
	高温破壊		粒状破面 ディンプル 引け巣

延性破壊とは破壊に到るまでに伸びやネッキングなどの大きな変形を伴う破壊であり、金属の特徴の1つとも言えるもので、ほとんどの金属材料に見られる。ミクロ的特徴は図1(a:SS400 材)に示すようにディンプルと呼ばれる凹凸の連続模様で破面全体が構成される。一般的に、ディンプルの凹凸の大きさや深さは材料の変形量によって変化する。

脆性破壊とは、ほとんど塑性変形を伴わず、かなり速い速度で亀裂が伝播する破壊のことで、亀裂の進行中に破面の周辺に塑性変形を生じることなく、分離によって破壊が進行する。実用金属材料のうち、通常の使用状況のもとで、脆性破壊を生じるのは大半が鉄鋼材料であり、破面は多くの場合、図1(b:S45C 調質材)に示すような擬へき開破面で構成される。擬へき開破面は、大型の調質鋼、マイナス数十度の低温にさらされた一般構造用鋼、冷間で大きな加工を受けた SS 材にみられる。焼き入れ処理された炭素工具鋼や浸炭熱処理材の浸炭層の脆性破面は擬へき開破面とはならず、粒状破面や複雑破面を呈する。

繰り返し荷重を受けて徐々に亀裂が進展する破壊を疲労破壊と呼ぶが、機械構造物の7~8割は疲労破壊であるといわれている。疲労破壊した材料は、外観的には伸びやネッキングなどの変形がなく脆性的であるが、ミクロ的には著しい塑性変形を伴っている。破面は比較的平滑な場合が多く、マ

クロの特徴的模様は図2に示すようなビーチマーク(貝殻模様)がよく知られており、破壊の開始部位や亀裂の進展方向がわかる。ミクロ的特徴の代表的なものは、図2(c:SUS304 材)に示すストライエーションと呼ばれる縞模様で、亀裂の進展方向と垂直に形成される。ストライエーションは、アルミ合金や銅合金などの面心立方金属で生じやすく、鉄系合金などの体心立方金属では生じにくいといわれている。

環境破壊とは、亀裂の進展が腐食性環境により著しく促進される破壊のことで、外部応力が非常に小さい状態においても破壊することがある。実用上、注意を要する環境破壊は水素脆性と応力腐食割れである。水素脆性は別名 ”遅れ破壊”ともよばれ、特に断らない限り鉄鋼材料に関するもので、材料中に進入した水素の影響により脆化する現象である。水素は溶接、電気メッキなど部材の製造工程で進入する場合と、使用環境での腐食反応により進入する場合がある。応力腐食割れによる事故の最も多い実用金属材料はオーステナイト系ステンレス鋼であり、使用環境に Cl⁻イオンが存在する場合に起こりやすい。破壊は図1(d: SUS 304 材)のような粒界型と粒内型がある。ステンレス鋼以外では純銅、黄銅、アルミ合金などで粒界型の応力腐食割れが起こりやすい。

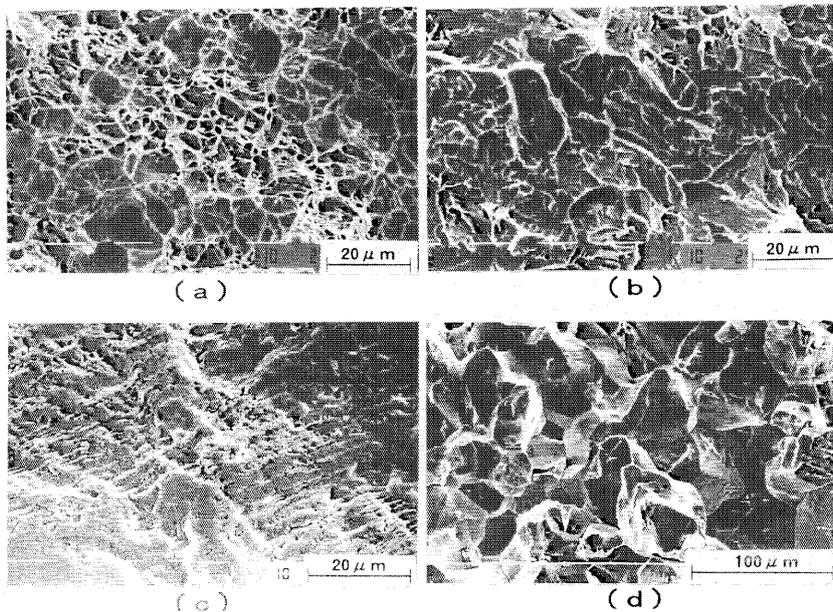


図1 金属材料破断面の SEM 写真

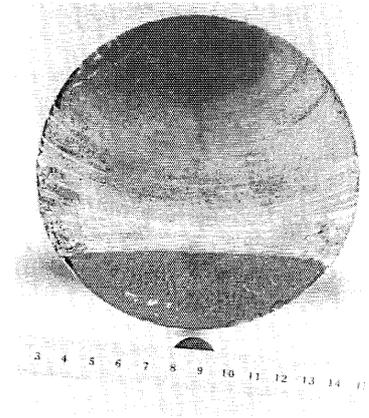


図2 ビーチマーク