

金属のフラクトグラフィに関する調査研究（金属の破面解析）

重本 憲佑^{*1)}

Research of Fractography for Metallic Materials (Fracture Surface Analysis of Metallic Materials)

SHIGEMOTO Kensuke^{*1)}

一般的な金属材料(丸棒)を片持ち曲げ負荷により破断させ、その破面を解析した。各破断条件ごとに破面の特徴を得ることができ、その結果をまとめた資料を作成した。

1. 緒言

金属製品では、使用に伴いその部材の破断が少なからず発生し、重大事故につながる可能性がある。そのため、部材の破断が発生した場合、その原因を調査し再発防止に努める必要がある。この時に必要となるのがフラクトグラフィと呼ばれる破面解析技術である。この解析技術により製品の破断状況を観察し、どのような状況で破断に至ったのかを推測することが可能となる。ルーペや目視での解析をマクロフラクトグラフィ（マクロ観察）、電子顕微鏡等の高倍率観察による解析をミクロフラクトグラフィ（ミクロ観察）と呼ぶ。これらの解析を実施するためには、豊富な経験と知識が必要となるが、もし十分な経験や知識が不足している場合は各種文献等で破壊のメカニズムを理解することはもちろん、類似条件（部材形状、負荷条件、環境条件等）で破断した事例との比較が非常に有効であると考えられる。

そこで、本技術資料では各種材料毎に負荷の違い（静的負荷、疲労負荷、衝撃負荷）によりどのような破面となるかがわかる基礎的な破断事例の作成を目的とする。また、今後の技術相談において開示可能な破断事例として活用することも視野に入れる。条件設定については、当センターにおける過去の相談事例の中で最も件数の多い破損原因である曲げ負荷に焦点を当て、また、使用する材料は一般的な材料かつそれぞれ材料特性の異なるものを選定した。

2. 調査内容

2.1 材料選定、負荷条件決定

試験に供した材料は以下の通りとした。

- ① ステンレス (SUS304)
- ② 黄銅 (C3604)
- ③ 鋳鉄 (FC250)

形状は直径 20mm、全長 200mm の丸棒とした。

当センターにおける過去三年間の依頼試験の実績をみると、最も多い破損原因となる負荷の種類は曲げ負荷である。このことから負荷条件を以下とした。

- ① 静的片持ち曲げ
- ② 疲労片持ち曲げ（片振り負荷）
- ③ 衝撃片持ち曲げ

疲労破面の作製においては、試験片に与える応力が適切でないと、破断自体が起こらない場合やほとんど疲労せず破断する場合がある。そのため、試験片は湿式のサンダーを使用して図1のように幅約 1.5mm の切込みを入れた形状とし、適切な負荷位置と負荷荷重を設定することにより、試験片に掛かる応力を調整した。切込み深さは任意とし、切込みを入れた後にその深さから断面積を算出した。

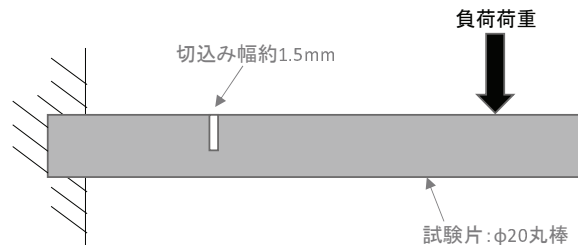


図1 試験片形状

2.2 実験（破面の作製）

2.1 項で示した負荷条件ごとに実験系を以下に記載する。

2.2.1 静的片持ち曲げ

万能材料試験機（株式会社島津製作所）を使用して試験を実施した。試験条件は 5mm/min とし、切込み位置から負荷位置までの距離はおおよそ 100mm とした。図2に使用した治具を示す。

ステンレスに関しては、伸びが大きく試験機では完全に分断するまでに至らなかった。そのため、万力にて試験片を固定し、てこの原理を用いて人力にて破壊した。

*1) 機械・計測・IT グループ（現 機械・計測・エネルギーグループ）

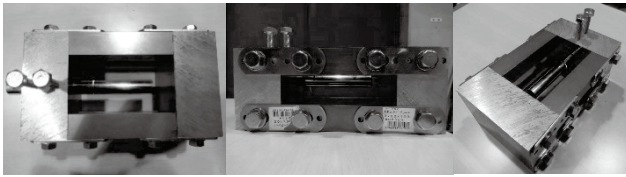


図2 試験治具（黄銅の試験片セット時）

2.2.2 疲労片持ち曲げ（片振り負荷）

電気式疲労試験機（インストロンジャパンカンパニーリミテッド）を使用して試験を実施した。治具は第2.2.1項の静的片持ち曲げ試験と同一品を使用した。

ステンレスでは、2.2.1項と同様、伸びが大きく完全に断するまでに至らなかった。そのため、試験片切込み部の断面積の半分程度まで電磁式疲労試験機にて亀裂を入れたのち、後述の第2.2.3項の条件で衝撃破断させた。

2.2.3 衝撃片持ち曲げ

試験片を万力に固定し、先端重量7.2kgの金槌を用いて人力にて破断した。その際、衝撃破断の様相が現れやすいよう、試験片を液体窒素に5分間浸したのち実施した。各試験片のうち、ステンレスは延性が高い為、3回の打撃を与えることで破断した。黄銅、鋳鉄は1回の打撃で破断した。

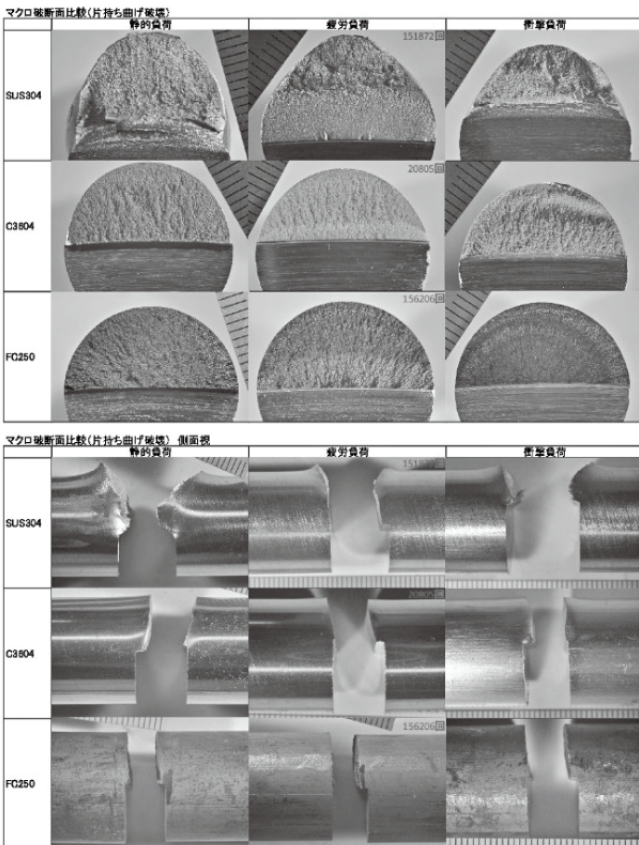


図3 マクロ破面比較

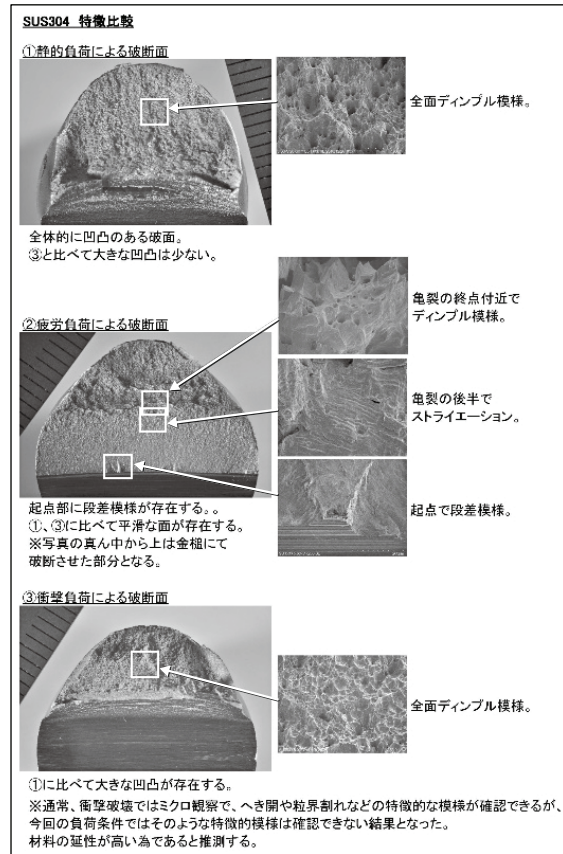


図4 ステンレス特徴比較

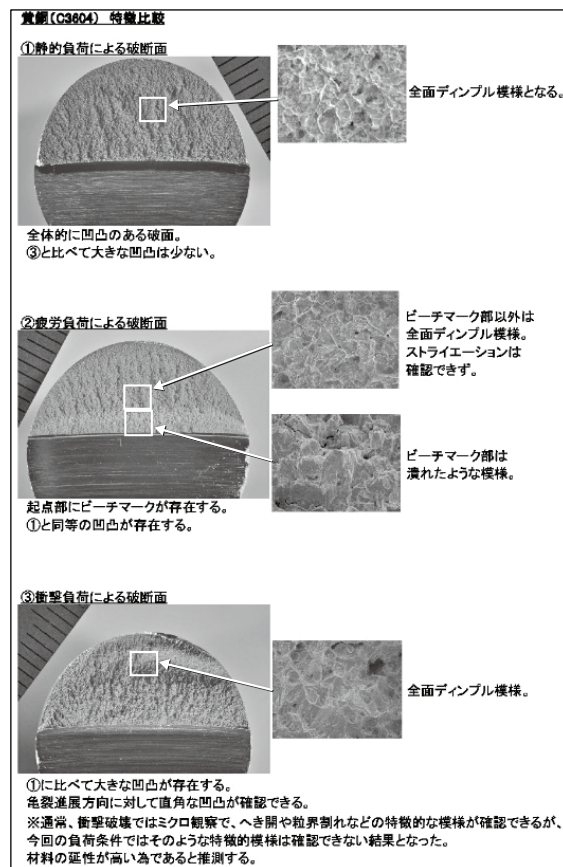


図5 黄銅特徴比較

*1) 機械・計測・ITグループ（現 機械・計測・エネルギーグループ）

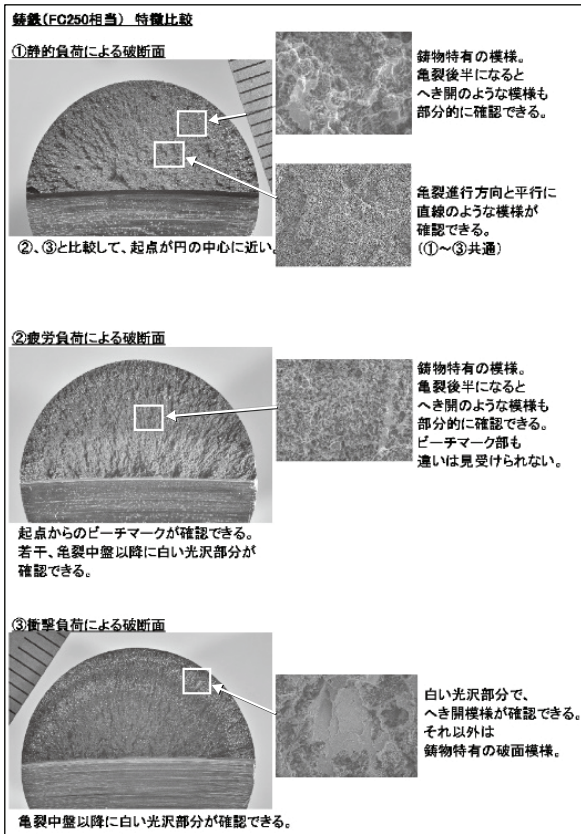


図6 鋳鉄特徴比較

3. 調査結果

3.1 破面の比較資料

第2.1項で示した条件毎に、破面に現れた特徴をまとめた資料を作成した。作成した資料を図3～図6に示す。

3.2 破面の特徴

作製した破面について、材料毎に主な特徴を以下に記載する。

3.2.1 ステンレス

マクロフラクトグラフィでは疲労負荷による破面で、平滑な面及び起点部の段差模様が観察でき、静的負荷と衝撃負荷による破面では同様の模様が見られないことから疲労破面特有の特徴が現れていると考えることができる。また、静的負荷と衝撃負荷による破面を比較すると、衝撃負荷による破面では静的負荷による破面よりも凹凸が大きいがわかる。さらに、側面から破面を見るとすべての破面において引き伸ばされたような形状が確認できる。これはステンレス自体の延性が高い為であると推測される。

ミクロフラクトグラフィでは疲労負荷による破面で、疲労の痕跡となるストライエーションが観察できる。静的負荷及び衝撃負荷による破面ではディンプル模様が支配的となっており、脆性破壊の特徴となるへき開、粒界模様はす

べての破面において確認できなかった。これはステンレス自体の延性が高く、脆性破壊の特徴が出にくい為であると推測される。

3.2.2 黄銅

マクロフラクトグラフィでは疲労負荷による破面で、疲労破面の特徴となるビーチマークが観察できる。静的負荷と衝撃負荷による破面を比較すると、衝撃負荷による破面では静的負荷による破面よりも凹凸が大きいが確認できる。また、すべての破面において試験片の起点側から亀裂進行方向に進む放射状模様が確認できる。さらに、側面から破面を見た場合、すべての破面において引き伸ばされたような形状が確認できる。これは黄銅自体の延性が高い為であると推測される。

ミクロフラクトグラフィでは、すべての破面においてディンプル模様が支配的となっていることが確認できる。疲労負荷による破面でも疲労破壊の特徴的模様であるストライエーションは確認できなかった。疲労負荷による破面の色が変わっているビーチマーク部分は潰れたような破面となっている。また、脆性破壊の特徴となるへき開、粒界模様はすべての破面で確認できなかった。これは、黄銅自体の延性が高く、脆性破壊の特徴が出にくい為であると推測される。

3.2.3 鋳鉄

マクロフラクトグラフィでは、疲労負荷による破面にビーチマークが確認できる。すべての破面を比較すると、衝撃負荷による破面には他の負荷による破面よりも顕著にリング状の白い光沢部分が観察できる。また、すべての破面において試験片の起点中心部から外周に向かって放射状に広がる模様が確認できる。鋳鉄自体の延性が低い為かステンレス・黄銅とは違い、側面からの引き伸ばされたような形状は確認できない。

ミクロフラクトグラフィでは、すべての破面において鋳物特有であると推測される黒鉛とディンプルが混ざったような模様が支配的となっており、部分的にへき開模様が確認できる。衝撃負荷による破面では、マクロフラクトグラフィで見られた白い光沢部分に顕著なへき開模様が確認できる。一方、疲労負荷による破面では疲労破壊の特徴的模様であるストライエーションは確認できなかった。

4. 結言

①片持ち曲げ負荷における破面を各材料、各負荷条件毎に作製した。

②作製した破面を解析し、マクロフラクトグラフィ、ミクロフラクトグラフィそれぞれにおける特徴の違いをまとめた資料を作成した。

*1) 機械・計測・ITグループ（現 機械・計測・エネルギーグループ）