



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	繰返し予ひずみを受けたオーステナイト系ステンレス鋼の表面粗さ測定に基づく非破壊損傷評価〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	藤村, 奈央
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11447号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55668
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Nao_Fujimura_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 藤村 奈央

審査担当者 主 査 教 授 中村 孝
 副 査 教 授 佐々木 一彰
 副 査 教 授 佐々木 克彦
 副 査 教 授 松浦 清隆
 副 査 准教授 小熊 博幸

学位論文題名

繰返し予ひずみを受けたオーステナイト系ステンレス鋼の表面粗さ測定に基づく非破壊損傷評価
(Nondestructive Damage Assessment of Cyclically Pre-strained Austenitic Stainless Steel Based on
Surface Roughness Measurement)

火力・原子力発電設備やプラントなど重要施設の耐震安全性を考える場合、地震荷重によって損傷を受けた材料の後続疲労特性を正確に把握する必要がある。特に、機器が過大荷重を受けた場合、材料に蓄積された損傷量を同定することは設備の健全性評価にとって極めて重要である。従来、材料の疲労評価には、寿命消費率に基づく疲労累積係数 UF (Usage Factor) が用いられてきた。この手法は繰返し数のみで損傷を評価できる簡便性を持つが、その精度は必ずしも高くなく、また、負荷の値が計測されていない場合に適用することはできない。重要施設が地震に見舞われた場合、材料に加わった負荷情報がわからない場合も多く、 UF のみを用いた評価には限界がある。また、地震により材料に蓄積される塑性ひずみは 1～5 パーセント程度と考えられているが、現在 2 パーセント未満のひずみを非破壊で検出する手法は確立されていない。

一方、材料の表面粗さは、繰返し塑性変形によって変化することが知られており、損傷評価パラメータとして適用できる可能性がある。特に、表面粗さの情報だけで材料の損傷量を同定することができれば、設備の健全性評価を支える有効な手法になりえる。本研究はこれらの課題に着目したものであり、原子力発電設備の配管部材として用いられるオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316NG を対象として低サイクル疲労試験を行い、表面粗さの変化と疲労損傷過程との関係を明らかにするとともに、これらの結果を用いて、非破壊で材料に蓄積された損傷量を予測する新たな方法を提案している。

本論文は全 7 章から成り、各章の内容および得られた結果は以下のように要約される。

第 1 章では、本研究の背景と目的、および本論文の構成を述べている。

第 2 章では、鏡面試験片を用いて種々のひずみ範囲の下で低サイクル疲労試験を行ない、算術平均粗さ R_a 、最大高さ R_{max} 、最大谷深さ R_v がどのように変化するかを、レーザー顕微鏡を用いた高精度計測により明らかにしている。また、すべり帯や表面凹凸の形成、き裂の発生・進展などの疲労損傷過程と表面粗さの関係を調べ、表面粗さの変化の要因を特定している。さらに、実際の地震荷重で生じる程度のひずみ範囲 (約 5 パーセント以下) でも各表面粗さに明確な変化が現れることを明らかにするとともに、表面粗さの増加率がひずみ範囲と対応することを示し、表面粗さの疲労損傷評価パラメータとしての有効性を述べている。

第3章では、前章で得られた鏡面試験片表面の3D画像に対してFFT解析を行い、表面に形成された低波長の凹凸成分(表面うねり)を評価している。その結果、200~800 μm の波長において特徴的なピークが得られ、これが結晶粒数個程度の変形によって生じることを明らかにしている。さらに、表面うねりと表面粗さの変化を併用することにより、表面の凹凸情報のみから負荷されたひずみ範囲や UF が同定できる可能性を指摘している。

第4章では、機械加工試験片を用いた疲労試験を行い、 R_a , R_{max} および R_v を測定し、鏡面試験片で得られた結果と比較することで、表面粗さの変化に及ぼす表面仕上げの影響を検討している。その結果、材料の初期表面粗さが異なる場合でも、表面粗さが UF に対して増加する傾向は変わらないことを明らかにし、表面粗さ測定に基づく疲労損傷評価が実際の配管でも適用可能であることを示している。

第5章では、大きさの異なる2種類のひずみ範囲(High, Low)の下でこれらの付与履歴を $H \rightarrow L$ または $L \rightarrow H$ と変化させた二段二重疲労試験を実施し、 R_a , R_{max} , R_v の変化を調べている。その結果、ひずみ履歴が変動する場合でも、各ひずみ範囲で得られた変化の傾向を付与された履歴順に重ね合わせるにより、表面粗さの変化が記述できることを明らかにしている。

第6章では、これまでの結果をもとに、表面粗さ測定を用いた疲労損傷評価方法について検討している。 R_a , R_{max} , R_v の3種類の表面粗さと UF およびひずみ範囲の関係を定式化し、これと評価対象の部材の表面粗さを比較することで、 UF と負荷されたひずみ範囲を同定する手法を提案している。この手法を用いて実際の損傷評価を行った結果、材料の表面粗さの情報のみによって、数パーセント程度の誤差で損傷量の予測ができることを示している。

第7章では、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように本論文は、繰返し負荷を受けたオーステナイト系ステンレス鋼の損傷量を表面粗さ測定に基づき非破壊で検出する新たな方法を提案したものであって、発電設備を始めとする重要構造物が地震荷重を受けた際の健全性評価に資するものであり、材料強度学、機械材料学、保全工学などの分野に貢献するところ大である。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。