

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	構造物の長寿命化を目的としたレーザピーニングの圧縮残留応力の付与効果の有効性に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	角谷利恵
Author(English)	Rie Sumiya
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4143号, 授与年月日:2017年7月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:岸本 喜久雄,中村 春夫,井上 裕嗣,水谷 義弘,因幡 和晃
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4143号, Conferred date:2017/7/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	角谷利恵	
論文審査員	氏 名	職 名	氏 名	職 名
	主査 岸本喜久雄	教授	因幡 和晃	准教授
	中村 春夫	教授		
	井上 裕嗣	教授		
	水谷 義弘	准教授		

本論文は、「構造物の長寿命化を目的としたレーザピーニングの圧縮残留応力の付与効果の有効性に関する研究」と題し、6章より構成されている。

第1章「緒論」では、溶接や加工等で生じる引張残留応力が応力腐食割れの感受性や疲労強度等に悪影響を及ぼすのに対して、圧縮残留応力の付与は改善効果が期待されるものの、付与した残留応力は機器の使用環境により緩和することが知られており、その緩和挙動を把握することが機器の信頼性確保のために重要であることを指摘し、近年適用が拡大しているレーザピーニング(LP)により付与した圧縮残留応力の持続性と長寿命化へ寄与を実機の使用環境を想定して系統的に把握することが本論文の目的であると述べている。

第2章「レーザピーニング施工面の圧縮残留応力に及ぼす外部応力負荷の影響」では、原子力機器の構成材料であるSUS316Lの試験片にLPを施工した後に室温および288℃にて種々の大きさの応力状態に負荷し、負荷前後の表面残留応力をX線回折法により測定することで、LP施工後表面の圧縮残留応力は、圧縮よりも引張応力負荷により大きく変化するが、0.2%耐力相当の応力が負荷されても圧縮残留応力が維持されること、また、繰り返し負荷による変化はほとんど生じないことを見出している。さらに、圧縮残留応力の緩和のメカニズムについて有限要素解析により考察し、表面残留応力の変化を内部残留応力の再分布で説明できること、実機相当の板厚を想定しても全断面に負荷される応力が0.2%耐力以下であれば圧縮残留応力が維持されることを示している。

第3章「Ni基超合金Alloy 706のピーニング施工材の熱時効処理による圧縮残留応力緩和挙動の評価」では、ガスタービンホイール材として使用されているNi基超合金Alloy706の試験片に450℃から630℃までの熱時効処理試験を実施してショットピーニング(SP)材およびLP材の圧縮残留応力の緩和挙動を評価するとともに、予測手法について検討している。すなわち、いずれの熱時効試験後においても表面および内部の圧縮残留応力が維持されていることを確認するとともに、表面残留応力の変化が保持温度の縦弾性係数と弾性限度とから評価する方法を提示し、LP材のように残留応力に異方性がある場合には、Mises相当応力を用いることで残留応力の緩和量を評価できることを明らかにしている。さらに、LPでは残留応力の方向性を制御することで、希望する方向に高い圧縮残留応力を残すことができる可能性を示唆している。

第4章「応力熱時効試験によるAlloy 706のピーニング材の残留応力緩和挙動とクリープ破断寿命評価」では、第3章と同一材料の試験片にSPおよびLP処理し、450℃で負荷応力1000MPaと500℃で負荷応力900MPaの応力熱時効試験を実施して、試験前後の表面残留応力の変化を評価するとともにクリープ破断寿命に及ぼす影響を検討している。すなわち、450℃で1000MPaの応力を負荷した後の表面残留応力はSP、LPともに消失したものの、500℃で0.2%耐力を超える900MPaの応力を負荷しても表面の残留応力は圧縮であることを確認するとともに、450℃においては未施工材の破断時間のばらつきが大きくピーニングの効果を確認できなかったものの、500℃においてはSP材の破断時間は未施工材の破断時間よりも長く、LP材では13000時間試験後も破断せず、SPおよびLPによる寿命延伸効果が期待できることを示している。さらに、き裂の発生位置は表面であり、電子線後方散乱回折法による観察からLP材の表面の残留ひずみがSP材に比較して小さく、クリープ破断寿命向上により有効であることを示唆している。

第5章「橋梁部材の疲労寿命延伸に対するレーザピーニングの効果」では、橋梁などの大型構造物へのLPの適用性を検討するために、気中でノズルタイプのLP(気中LP)施工法の検討を行い、内部残留応力と疲労寿命に及ぼす影響を検討している。その結果、気中LPでも、水中施工と同等の大きさ、深さの圧縮残留応力が生成されることを明らかにするとともに、パルスエネルギーが小さくなると圧縮残留応力を付与できる深さが減少する傾向があるものの、20mJでも比較的大きな表面圧縮残留応力が生成されることを見出している。さらにHT780の溶接継手材に気中LP施工をして疲労試験を実施した結果、パルスエネルギーが高くなるにつれて疲労寿命が長くなることを明らかにし、圧縮残留応力が生じている深さが溶接部の疲労寿命に大きな影響を及ぼすと考察している。

第6章「結論」では、本研究で得られた結論を総括して述べている。

以上を要するに本論文は、レーザピーニングにより付与した圧縮残留応力は0.2%耐力を超える負荷を与えた場合やクリープ温度域においても残存することを広範な実験と有限要素解析により明らかにし、その予測評価手法を提示するとともに構造物の長寿命化に寄与することを示したもので工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。