

工業用純チタン材料を船殻構造へ適用するための溶接継手の疲労強度に関する研究

岩田, 知明

<https://doi.org/10.15017/4060265>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学), 論文博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 岩田 知明

論 文 名 : 工業用純チタン材料を船殻構造へ適用するための溶接継手の疲労強度に関する研究

区 分 : 乙

論 文 内 容 の 要 旨

世界的には、強度・延性・じん性のバランスに優れた Ti-6Al-4V などのチタン合金は、高比強度化の要求が特に高い航空宇宙分野において、構造部材としての実績が豊富でデータが蓄積されている。一方我が国では、海水耐食性や生体親和性に優れ、合金と比較して安価な純チタンがプラントや熱交換機などの一般産業分野で広く利用されている。しかしながら、稠密六方格子構造 (hcp 構造) と体心立方格子構造の 2 相が存在する Ti-6Al-4V とは異なり、hcp 構造のみで構成されるため強い異方性を有する純チタンは、構造材料としての適用の歴史は浅く、強度データが不十分で機械的特性評価に不明な部分が残されている。

具体的には、海水耐食性に優れた純チタンは、船舶用材料として適しており、漁船・ヨットの船体構造部材や、排気管・海水冷却管など厳しい腐食環境の非構造部材や艀装品として、2000 年頃から使用され始めた。しかしながら、チタン合金も含めチタン溶接構造設計法が確立されていないだけでなく、純チタンは、溶接構造材料の母材としての疲労強度データが不十分である。

そこで、海洋分野で構造部材として優れた特性を持つ純チタンの応用範囲拡大のため、工業用純チタン 2 種を船体用軟鋼の機械的強度に最も近い船舶用新材料と想定し、溶接継手と母材の疲労強度評価、疲労き裂伝播挙動評価、残留応力簡略解析の適用性評価を行った。

第 1 章では、チタン溶接構造物に関する研究の位置づけ、疲労強度評価の現状と課題、本研究の目的と意義についてまとめた。

第 2 章では、工業用純チタン 2 種から成る船体構造主要三継手 (溶接まま突合せ溶接継手、荷重非伝達型横すみ肉溶接継手、面外ガセットすみ肉溶接継手) の疲労破断強度を検証した。溶接止端部の構造的応力に関して、応力集中と残留応力の影響を考慮した等価応力を用いて、継手形状、板厚、圧延方向を区別することなく統一的に疲労強度評価を実施した。その結果、船体構造主要三継手において疲労き裂の起点が溶接止端部である試験結果では、板厚 10mm の突合せ溶接継手および面外ガセットすみ肉溶接継手を除き、等価応力 S_{eq} と破断寿命 N_f との $S_{eq}-N_f$ 関係において良い相関が得られた。更に、この $S_{eq}-N_f$ 関係を、相関が得られなかった前述の継手、及び母材試験片も含めた疲労き裂の起点が母材部である試験結果にも適用した場合、すべての試験結果に対して安全側の評価を与えるので評価法として有効であることを明らかにした。

第 3 章では、応力集中や残留応力を考慮する必要のない公称応力を用いた簡便な疲労強度評価手法の適用可能性を評価するため、工業用純チタン突合せ溶接継手の疲労強度に及ぼす目違いの影響を検証した。その結果、炭酸ガスアーク溶接による鋼の溶接継手に対する目違いの影響を考慮した IIW (International Institute of Welding) 疲労設計指針は、圧延方向と圧延直交方向の両方向において、TIG 溶接による板厚の 1/3 以下の目違いのあるチタン溶接継手の疲労強度評価に適用可能で

あることを明らかにした。

第4章では、平均応力や応力集中などの強度条件により、工業用純チタン母材の疲労強度が、鋼の船体溶接構造の設計疲労強度を下回り、継手部からではなく母材部から破断する可能性を検証するため、鋼の母材の疲労設計において用いられる疲労限度の平均応力効果、すなわち Goodman 線図の適用性について、評価を行った。その結果、工業用純チタンを母材のみで構造部材に利用する場合には、安全側の設計をするには、耐久限度線図において少なくとも $S_a-0.5S_u$ 線 (S_a : 両振りの場合の疲労限度、 S_u : 引張強度) を適用する必要があるが、工業用純チタン2種による溶接構造物の設計を行う場合には、IIW の鋼に対する推奨疲労設計強度に基づく止端研削を行わない突合せ継手の 200 万回時間強度 90MPa は上回っており、鋼溶接構造物の設計疲労強度が適用できることを明らかにした。

第5章では、 ΔK_{RPG} をパラメータとする疲労き裂伝播則の工業用純チタン材料に対する適用可能性について検討した。その結果、工業用純チタン母材の Paris 則の材料定数 C , m に及ぼす異方性の影響を実験的に明らかにし、得られた材料定数と既存の疲労き裂成長シミュレーションコードを用いて疲労き裂伝播解析を行い、圧延方向と圧延直交方向のそれぞれで安全側の評価が可能であることを確認した。

第6章では、本研究で得られた結果の要約、本研究の成果を活用した船級規則化・規格化への今後の展開、今後の課題についてまとめた。

付録Aでは、残留応力計測を行うことなく、溶接入熱条件などから任意形状の継手の残留応力を、実用上十分な精度を有しつつ簡便に推定可能な手法の一つである固有応力法の工業用純チタン溶接継手への適用性について検討を行った。その結果、固有応力に母材耐力の異方性を反映すれば方向の区別が不要となり、固有応力の分布形状を定める定数は、溶接方法の違い、酸化を防ぐための冷却、チタンと鋼の熱伝導の違い等により、鋼溶接継手とは著しく異なるものとなるが、鋼溶接継手の場合と同様の固有応力分布形状をあてはめることができることを明らかにした。