

Title	Study on advanced evaluation methods of fatigue strength for welded structures of LNG carriers and LNG fuel ships
Author(s)	白土, 透
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/77513">https://doi.org/10.18910/77513</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 ( 白 土 透 )

論文題名

Study on advanced evaluation methods of fatigue strength for welded structures of LNG carriers and LNG fuel ships  
(LNG運搬船およびLNG燃料推進船における溶接構造部の疲労強度評価法の高度化)

## 論文内容の要旨

Fatigue strength assessment of welded joints is important for structure design of liquefied natural gas (LNG) carriers and LNG fuel ships, since fatigue strength assessment is one of the basis of high reliability of ship structures and tank structures. Fatigue strength of welded joints is influenced by many factors, e.g. geometry, mean stress, material properties. Almost the guides, the recommendations, the standards consider these effects. However, there are cases when design S-N curve gives un-conservative or over-conservative assessment. To achieve more reliability assessment on fatigue strength of welded joints, more adequate evaluation models for many effects on fatigue strength of welded joints are needed. Main objective of this study is proposing an estimation model of fatigue life for welded joints, which can be comprehensively considered the geometric effect, the material properties effect, and the mean stress effect. In addition, simplified engineering estimation methods for the thickness effect on fatigue strength of aluminum welded joints and the geometric effect on fatigue strength of welded joints are proposed. The present study consist of six chapters.

Chapter 1 gives a review of literature on many effects of fatigue strength for welded joints. There exists literature on investigation of each effect, which are mean stress effect, material properties effect, thickness effect, for fatigue strength of welded joints. However, to the best of the author's knowledge, no reports have comprehensively considered these effects on assessment of fatigue strength. The thickness effect of fatigue strength for welded aluminum joints based on hot spot stress (HSS) is not sufficiently clarified. To appropriately assess fatigue strength by the HSS approach for welded aluminum joints, further studies for the thickness effect are needed. The geometric effect, which include thickness and bead profile effect, is not clear quantitatively, even for typical joint types made by steel.

Chapter 2 presents the proposed HSS design S-N curve, which include the thickness effect, for aluminum welded joints. The proposed design S-N curve is based on experimental data. Additionally, the validity of the proposed HSS design S-N curve was evaluated by comparing the fatigue test data of welded joint specimens and large scale model.

Chapter 3 presents the proposed estimation model for the geometric effect, which includes the thickness effect and bead profile effect, on fatigue strength of welded joints. The proposed model is based on the relative stress gradient and the stress concentration factor at weld toe. The validity of the proposed method was tested by comparing it with fatigue test data reported in the literatures.

Chapter 4 presents the proposed fatigue life prediction method of welded joints, which is considered the geometric effect, difference of cyclic stress-strain properties between parent material, heat affected zone, and weld metal, and the mean stress effect by welding residual stress and applied stress. The proposed fatigue life prediction method for welded joints can successfully predict the fatigue life of 9% Ni steel butt welded joints.

Chapter 5 presents fatigue behavior and fatigue life of 9 % Ni steel cruciform welded joints. Fatigue life for 9 % Ni steel cruciform welded joints was predicted using proposed fatigue life prediction method of welded joints in chapter 4. The predication results were in good agreement with experimental results, regardless main plate thickness and bead profile.

Chapter 6 summarizes the conclusions as well as the contributions in this study.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 白 土 透 )			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教 授	大 沢 直 樹
	副 査	教 授	藤 久 保 昌 彦
	副 査	教 授	麻 寧 緒
	副 査	准教授	堤 成 一 郎

## 論文審査の結果の要旨

LNG 運搬船および LNG 燃料推進船の独立型 Type B LNG タンク構造や船体構造の長期運用における高信頼性を担保する重要な要素のひとつに、溶接構造部の疲労強度評価が挙げられる。溶接継手の疲労強度は、幾何学形状、溶接残留応力や負荷応力による平均応力、材料特性など種々の因子の影響を受ける。溶接疲労強度評価に関する既往のガイドラインに従うと、LNG タンクの材料であるアルミニウム合金や 9% Ni 鋼の溶接継手の疲労強度を非安全側、もしくは過度に安全側に評価する場合がある。また、疲労強度における溶接ビード形状を含む幾何学形状効果については、鋼溶接継手を含め十分に明らかにされていない。LNG タンクおよび LNG 運搬船の溶接継手の疲労強度を担保しつつ設計の合理化を図るには、種々の因子が疲労強度に与える影響を、包括的かつ高精度に評価する手法を構築する必要がある。本論文は上記目的を達成するために行った研究成果をまとめたものである。本論文は以下に示す 6 章で構成されている。

第 1 章では、LNG タンク用材料を使用した溶接継手の疲労強度に関する先行研究の調査を行った結果から、現状の課題を示し、本論文の目的を明確化している。アルミニウム合金溶接継手のホットスポット応力に基づく疲労強度について、既往の疲労設計ガイドラインで板厚効果を考慮しない板厚範囲でも、板厚効果の考慮が必要であることを示している。また、溶接ビードの形状を含む幾何学形状が疲労強度へ与える影響の評価について、その評価精度などに問題があることを示している。9% Ni 鋼溶接継手については、母材と、じん性確保の観点から使用される 70% Ni 合金溶接金属で、材料強度および相変態挙動が大きく異なることが疲労強度に影響するにも拘わらず、その影響を幾何学形状、平均応力の影響とともに包括的に考慮した研究例がないことを示している。

第 2 章では、LNG タンク構造に用いられるアルミニウム合金溶接継手について、ホットスポット応力を用いた場合の疲労強度へ及ぼす板厚効果および疲労強度のばらつきを試験結果から明らかにしている。明らかにした板厚効果および疲労強度のばらつきに基づき、板厚効果を考慮可能な評価 S-N 線図を提案している。溶接継手試験片および LNG タンク構造を部分的に模擬した大型試験体の疲労試験結果を用いて、提案 S-N 線図の有効性を検証している。

第 3 章では、溶接止端の相対応力勾配の特性を応力解析結果から明らかにし、その特性に基づき、溶接ビード形状や板厚などの幾何学形状が溶接継手の疲労強度へ与える影響を簡便に予測する幾何学効果評価式を提案している。提案する幾何学効果評価式を用いた予測結果と溶接継手の疲労試験結果を比較し、試験結果が予測結果近傍に分布することを示している。

第 4 章では、幾何学形状の影響、溶接残留応力を含む平均応力の影響、疲労荷重下での繰り返し応力-ひずみ特性の影響を包括的に考慮可能な 9% Ni 鋼溶接継手の疲労強度予測手法を提案している。提案手法では、溶接シミュレーションおよび疲労荷重下の応力解析より溶接継手の応力-ひずみ状態を推定し、その応力-ひずみ状態から疲労寿命を予

測している。突合せ溶接継手を対象として、提案手法が精度よく疲労寿命を予測することを示している。

第5章では、第4章で提案した9% Ni 鋼溶接継手の疲労寿命予測手法について、荷重非伝達十字継手を用いて、溶接ビード形状や板厚などの幾何学形状が異なる場合の検証を行っている。その結果、提案手法は幾何学形状に依らず精度の良い予測を与えることを示している。

第6章では、各章で得られた成果を結論し、今後の研究課題を示している。

以上のように、本論文は、LNG 運搬船および LNG 燃料推進船のタンク構造・船体構造の溶接継手を対象に、種々の因子が疲労強度に与える影響を、包括的に精度よく評価する手法を構築し、大型試験体の疲労試験でその有効性を実証している。これらは船舶海洋構造物の設計の合理化と構造安全性の向上に大きく寄与する成果である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。