

船舶海洋工学科

船舶海洋材料学講座



研究室紹介

富田 康光*

1. はじめに

本講座は工学部船舶海洋工学科に所属している。当学科は1899年6月に大阪工業学校の造船部として設立され1989年4月に船舶海洋工学科に名称変更がなされ現在に至っている。当研究室のメインテーマは材料及び構造物の強度評価並びに強度特性にすぐれた材料の開発である。現在は船舶及び海洋構造物に用いられる構造物材料及び溶接構造部材の強度評価方法、材料開発、並びに船舶及び海洋構造物の工作、保守にかかわる研究を行っている。1994年7月現在の職員は、富田康光教授、橋本聖史助手、大沢直樹助手、福崎重美技官の4名で学生は、大学院前期過程に韓国からの留学生1名を加えた7名、研究生1名、学部4年生9名が在籍している。

以下に、近年我々の研究室で取り組んできた研究テーマをいくつか取り上げ紹介する。

2. 研究テーマ

(1) 船舶・海洋構造物の高精度疲労設計法に関する研究

波浪よる外力を受ける船舶・海洋構造物の各部材の疲労設計は従来、有義波高、平均波周期、波スペクトルの海象データから作られた長期の波浪頻度表からランダムに取り出した海象が次々に現れるとして、定荷重疲労試験結果と線形累積被害則により寿命評価が行われてきた。しか

し、同じ疲労設計基準で造られた船でも20年の耐用期間の間に損傷が全く生じないものや運悪く就航後の比較的早い時期に損傷が発生するものなど様々である。船舶の損傷は主としてその船舶が遭遇する海象条件に支配される。しかし現在の設計基準では、遭遇海象の差異は考慮されておらず、損傷例の逆解析も困難である。当研究室では、船舶・海洋構造物が稼働中に遭遇する実海象の外力条件を適切にシミュレートしている変動荷重モデルを見出し、それを基に変動荷重疲労試験法を開発し、従来の疲労設計法に比べて、より精度が高く遭遇海象の差異をも考慮でき、かつ簡便な新しい疲労設計法を提案している。

(2) 船体の疲労損傷の数値シミュレーション

就航中の船舶に運悪くき裂が発生した場合には、当然補修がなされる訳であるが、そのき裂が成長して船舶にとって致命的となる時期を予測することが補修計画にとって重要である。従来のき裂伝播解析では実際の損傷例の解析が困難であり、必ずしも信頼できるき裂の成長予測ができるとはいえない。当研究室では、き裂の伝播解析に対し、ある仮説のもとに弾塑性有限要素法による解析及び実験を行い、損傷の逆解析を可能とする知見を得た。この知見を基に信頼度の高いき裂成長予測法を開発し、実損傷に対する補修法並びに設計への反映を試みている。

(3) 高疲労強度材料の開発に関する研究

構造物の疲労損傷を防止するためには精度の高い疲労設計とともに疲労破壊に強い高疲労強度材料の開発が重要である。構造物金属の疲労過程での変形は繰返し弾塑性変形であり、負荷の繰返しに伴うその応力-ひずみ応答を適切に

*Yasumitsu TOMITA

1941年11月30日生

1970年大阪大学大学院工学研究科博士課程修了

現在、大阪大学工学部船舶海洋工学科、教授、工学博士、船舶海洋工学

TEL 06-879-7575



表現し、材料強度のとの相関を求め、強度特性に優れた応力-ひずみ応答を見出すことは耐強度特性の良い材料の開発にとって不可欠である。このテーマに沿って下記の研究を行っている。

(a) 鋼材のヒステリシスエネルギー特性に関する研究

鋼材の応力-ひずみ応答は、ある応力振幅で境に粘弾性的挙動から塑性的挙動へ急変する。この応答特性の遷移点はヒステリシスエネルギーと応力振幅の関係から検知でき、また、この遷移点の応力は材料の疲労限にほぼ一致している。軟鋼の室温下での変形の微視的変形機構を考慮して熱力学理論により上述の遷移現象を表現可能な粘弾塑性構成式を定式化し、その特性係数の荷重履歴による変化則を実験的に定式化した。また、この構成式により変動荷重作用後の遷移点応力を推測できることを示し、新しい変動荷重下の疲労限（疲労被害が生じない最大の応力）の推定法を提案した。この遷移点応力の制御により、疲労限が高い材料の開発に望みがある。

(b) 結晶すべりモデルによる多結晶金属の応力-ひずみ応答のシミュレーション

疲労被害発生の微視的メカニズムを明らかにするためには、疲労過程での塑性変形の素過程である転位線運動による結晶すべり変形の特性を求めねばならない。その手段として、ある結晶すべり特性を仮定したときの巨視的変形を予測することが必要となる。しかし、構造用金属材料は多結晶金属であり、結晶粒どうしは局所変形の連続と局所応力の平衡の条件を満足しなければならず、局所応力と局所ひずみの関係から直接に巨視的応力と巨視的ひずみの関係を予測することはできない。このため、各結晶粒の結晶すべり変形を表現する有限要素で多結晶金属をモデル化し、弾塑性有限要素解析により巨視的応力-ひずみ関係を計算する手法の開発を行っている。

(c) 疲労過程中的鋼材の塑性変形挙動に関する研究

金属の疲労強度と応力-ひずみ応答を関連づけた研究は、最大応力と最大ひずみの関係を整理したいいわゆる「繰返し応力-ひずみ関係」、累積ヒステリシスエネルギー等、応力-ひずみ

の時刻歴を統計的に処理したパラメータを対象に行われたものが多く、疲労過程中的の応力-ひずみ関係の繰返し塑性変形としての特性を詳細に研究した例は少ない。繰返し塑性は塑性学の中でも未解決の課題を多く残す領域のひとつであり、荷重履歴の進行に伴う応力-ひずみ応答の変化を表わす弾塑性構成式も未だ開発途上にある。しかし、結晶すべり特性に設定した仮定の妥当性を判定するためには、疲労過程中的の繰返し塑性変形の応力-ひずみ応答特性に関する知見を得ておく必要がある。このため、繰返し塑性変形を表現できる弾塑性構成式の硬化則について、荷重履歴の進行に伴うその特性パラメータの変化を実験的に明らかにする。

これら一連の成果に基づき有限寿命域での高疲労強度材料の持つべき応力-ひずみ応答を明らかにすべく研究を行っている。

(4) 高信頼度工作法に関する研究

造船業における重要工程の中には、理論的に未解明の問題が多く、この作業は熟練技能者の長年の経験や勘をたよりに行われており、理論的考察が行われることが少ない分野の一つである。その例として線状加熱作業がある。線状加熱はガス加熱と水冷によって塑性ひずみを形成し、目的とする変形を鋼板に与える作業であるが、加熱や水冷の位置、速度、方法などのノウハウは作業者の熟達と作業現場での伝承によってのみ得られているのが現状であり、近年熟練技能者の減少、後継者不足等の問題が生じている。当研究室ではこの技術の継承、高能率化を図る目的で、下記の研究を行っている。

(a) 線状加熱による板曲げ作業のシミュレーション

線状加熱作業の高能率化、自動化を図るためには作業に伴う物理現象を理論的に解明する必要がある。線状加熱作業の計算シミュレーションは、ガス加熱・水冷による鋼板の温度分布を求める熱伝導解析と、温度分布により生じる鋼板の変形を求める熱弾塑性解析の二段階に分けられる。現在、鋼板の温度分布が与えられれば変形は比較的容易に計算することができるが、温度分布については計算の入力となる鋼板への

入熱量の定式化に問題が残されている。ガス加熱手順を規定する際のパラメータはガス炎の温度、トーチの高さ、トーチの移動速度等であり、熱伝導解析の入力となる鋼板への入熱量は加熱ガス流と鋼板間の対流熱伝達等による鋼板への熱流束として与えられる。この場合ガス流温度、ガス流分布、ガス流と鋼板との熱伝達係数を決定しなければならないが、これらを決定する手法は確立されておらず、特に熱伝達係数はガス流体の物理定数、流場、鋼板表面温度と流体温度差などで変化するため扱いが困難である。このため、まず加熱手順パラメータと鋼板温度分布の関係を調べた実験結果から熱伝達係数の決定方法を実験的に定式化し、これを基に、ガス加熱手順のみを規定して鋼板の変形まで一貫してシミュレーションする計算手法の開発を行っている。

(b) 線状加熱作業のエキスパートシステムの開発

線状加熱作業の熟練技能者の減少による製造能力の低下、後継者不足による技術の継承の困難等の問題は、線状加熱の熟練者の知識を体系的に整理しそれをエキスパートシステムとしてまとめることでひとまずは解決することができる。線状加熱作業のうち船側外板の板曲げ作業と上部構造のひずみ取り作業について熟練技能者へのインタビューを実施して専門家の知識を獲得し、これをプロダクション・ルールに体系化してエキスパートシステムを構築した。構築したシステムは、数年以上の作業経験を持つ技能者と同等以上の能力を有するとの評価を得ている。

(5) 部材接合部の形状の最適化に関する研究

一般に構造物は多数の部材を接合することによって構成されており接合部の工作方法・精度によりその強度が支配され、事実損傷の大多数は接合部から発生している。適切な接合部形状・工作方法を明らかにすることによりこれまで以上の高強度・高信頼性が得られ、かつ工数の大幅な削減にもつながる。現在は、船体構造に多

数存在する角まわし溶接継手部を対象としてこの最適化に取り組んでいる。

(6) 構造物の残余寿命の推定に関する研究

繰返し荷重によるき裂発生以前の疲労被害の検出は応力集中率が1に近く、き裂発生後すぐに破断に到るような部材・機器には特に重要である。現在までに、非破壊的疲労被害評価法として渦電流法をはじめ様々な手法が開発されてきたが、現時点では長期にわたる部材の健全性、安全性を保証できるような定量的非破壊評価技術はない。そこで、現在、強磁性体の磁化過程で発生する磁気的な雑音信号を利用したバルクハウゼン・ノイズ (BHN) 法による定量的非破壊材料評価法の可能性について検討を行っている。室温での鉄鋼材料の疲労過程においては、材料内部で転位密度、転位構造が変化し、外表面的には局所的にすべり線が蓄積して微視き裂が発生、成長する。BHNは結晶粒界、非金属介在物などの冶金因子、組織異方性、転位等の内部構造の相違、表面近傍のき裂、さらには応力状態に敏感な特徴を有しているため、疲労過程における材料の内部的、外表面的変化をBHN信号として抽出できると推測できる。現在までに、材料の応力状態とBHNの出力特性の相関についての知見を得るとともに、定荷重疲労試験中のBHN計測結果をもとにBHNの計測による鋼材の残余寿命の推定システムの開発に取り組んでいる。

(7) 構造物の検査計画に関する研究

船舶・海洋構造物が機能喪失に陥った場合に自然環境や経済活動に与える影響は甚だ大きく安全性、信頼性の確保のための検査は欠かせない重要な課題の一つである。現状の検査は定期検査が主体であり、運用状況等は考慮されておらず安全性を確保する上でも適切な検査とはいえない。当研究室では、運用状況等も考慮した、信頼性解析に基づく最適検査計画立案システムの開発を行っている。