

## 論文内容の要旨

論文題目 鉄道車両構体への Friction Stir Welding の適用に伴う  
構造強度とその数値解析に関する研究

氏 名 川崎 健

鉄道車両の強度を確保する構体は、溶融溶接により接合されている。溶融溶接は技術が確立した接合方法であるが、入熱量が多く溶接収縮や溶接変形が大きい。さらに、作業環境に影響を受けるので良好な継手を得るためには十分に熟練した作業者に依存することが必要不可欠である。このため、溶接変形の低減や作業者に依存した接合方法からの脱却が構体製作上の重要な課題の一つとなっている。そこで、アルミ合金製中空押出型材で全断面を構成したダブルスキン構造を採用して溶接線の短縮と単純化を進めた上で、入熱量を低減すると同時に作業者に依存しないために固相接合法である Friction Stir Welding (FSW)を用いることにより、抜本的な解決を図ることができる。

しかし、1991年に発明されたばかりの FSW は基礎的な研究が行なわれているのみであり、ダブルスキン構体への適用にあたっての課題は多い。課題のうち、最も重要なものは、中空型材を FSW で接合するために必要な基礎検討や継手の開発である。すなわち、構体を接合する方法として FSW が構造強度の観点から適切であることを確認した上で、接合時に荷重と熱が同時に作用するという特徴を有する FSW で接合可能な中空型材用の継手形状を考案し構造強度的な観点から評価する必要がある。さらに、FSW で接合した中空型材により構体を構成することにより生じる課題も解決する必要がある。すなわち、製作精度の向上

に伴い大型化する艀装品を支持する艀装レールの強度評価が必要になる。また、FSW で接合されたダブルスキン構体を対象にした簡素で精度よい数値解析手法が待ち望まれる。そこで、本研究では、要素から構体全体にわたる総合的な観点から実験や数値解析を行い、ダブルスキン構造で構成された鉄道車両構体への FSW の適用に伴う構造強度とその数値解析に関する研究を進めた。

序論では、既往の研究を総括し、上記のような研究の背景と目的をまとめている。

第二章「FSW 継手の基本的特性」では、FSW の特徴と適用に際しての課題を明確にした上で、構体を構成する部材を接合する方法として FSW が構造強度上適切であることを評価している。すなわち、まず最も単純な形状をした突合せ継手を用いて、硬度分布、静的強度、繰返し強さ、残留応力の分布などに関して FSW 継手と従来の MIG 溶接継手の特性を比較した。その結果、すべての特性について FSW 継手は MIG 継手と比較して同等かそれ以上の特性を有することを確認した。よって、FSW は構体を構成する部材を接合する方法として構造強度上適切であることを述べている。

第三章「FSW による中空型材の接合」では、中空型材を FSW で接合する際に必要な継手に求められる特性を述べた上で強度的な課題を明確にし、考案した継手形状に対して強度的な検討を加えている。すなわち、中空型材用 FSW 継手は、強度、材料、接合条件の条件を満足した上で、強度的には、接合時に同時に作用する熱と荷重、および、構造要素に作用する外力という二つの荷重条件を満足する必要がある。そこで、材料と接合条件の観点から考案した継手形状に対し、まず接合時の挙動を評価するために 3 次元弾塑性熱応力解析を実施し、強度上問題ないことを示した。また、構造要素としての挙動を評価するために、二次元弾性解析と静的および繰返し荷重試験を実施することにより、検討中の継手強度は従来の MIG 継手と比較して高いことを示した。以上により、本研究で検討した継手を用いて中空型材を FSW で接合することにより、十分な構造強度特性が得られることを述べている。

第四章「艀装品締結部の構造強度特性の検討」では、中空型材に付属した艀装レールの構造強度特性を明らかにして艀装レールの塑性変形防止金具（カラー）の必要性を評価すると同時に、艀装レールに発生する応力を低減する方法を述べている。すなわち、艀装レールはカラーにより拘束されるが、現行の基準に対しては、カラーの有無が強度的影響を及ぼさないことを示している。一方、断面形状を変化させずに艀装レールに生じる応力を低減するために、応力のばらつきを定量的に評価した。結果、低荷重域ではボルト軸力の管理、高荷重

域では艀装レールの精度を十分管理することにより、艀装レールに生じる応力を低減することができることを示している。

第五章「数値解析による構体の構造強度特性の予測手法の検討」では、簡素な解析モデルにより高い精度でダブルスキン構体の構造強度特性を予測できる解析手法について検討した上で、構体の荷重試験結果と比較して研究の有効性を評価している。すなわち、複雑な形状をした中空形材を低次元な解析モデルとして取り扱うと同時に、中空形材を模擬したシェル要素の特性を考慮した構体のモデル化について検討している。有効性の評価では、構体に支配的な垂直荷重を対象に評価した結果、十分な精度で実際の構体の挙動を予測できることを示し、本研究の成果は有効であることを示している。

第六章「研究の有効性の評価」では、前章までに要素ごとに研究した成果を最終的に構体構造の中に統合して、構体というシステムが所定の性能を満足していることや、構体を構成する個々の要素が所定の性能を満足していることなどを確認している。

第七章「結言」では、本研究全体の総括として、本研究の結論と、将来への展望について述べている。