

氏名	さとう あきら 佐藤 彰
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第75号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	令和3年3月12日
学位論文題目	高強度鋼板抵抗スポット溶接継手の疲労強度向上を 目的としたテンパー通電時の入熱量制御因子に関する研究
論文審査委員	(主査)教授 西川 出 教授 上辻 靖智 教授 羽賀 俊雄 准教授 松島 栄次 准教授 伊與田 宗慶

# 論文の内容の要旨

近年、自動車保有台数の普及に伴って、排気ガスによる環境問題の深刻化と交通事故増加に伴う死傷者数の増加が社会問題となっている。そこで自動車の低燃費化と衝突安全性の向上が要求されており、特に自動車車体は軽量かつ高強度という相反する性能が求められている。そこで、車体構造部材の強度を維持しながら板厚を低減するために、高強度鋼板の適用が進められている。また構造部材の接合には主に抵抗スポット溶接法が用いられている。この溶接手法は、板材を電極で挟み電流を流すことにより生じる抵抗発熱を用いて溶接を行い、溶接時間が短いことや自動化に適しているといった利点から今後も主たる溶接手法として用いられることが予想される。しかし、高強度鋼板を抵抗スポット溶接により接合した継手の疲労強度は、母材強度の上昇に期待されるほど大きくは向上しないことが知られている。これは、抵抗スポット溶接継手の溶接部特性、特に硬さと残留応力が大きく影響を及ぼしていると言われている。疲労破壊の起点となる継手内部は母材と比較して硬さが増大するとともに、直径数 mm の継手内部に圧縮から引張までの残留応力が急峻に分布している。この溶接部特性を制御することで疲労強度を改善する手法の一つとしてテンパー通電法が提案されている。テンパー通電法は溶接通電後に再び電流を流すことで継手を焼戻しする手法である。これにより継手の硬さが低下するとともに圧縮残留応力が生じることで疲労強度が改善すると言われている。このようなメカニズムによりテンパー通電法は疲労強度を飛躍的に向上できることに加えて、工数の増加なしに施工することが可能である。さらには疲労強度向上に最適な施工条件を予測する手法 ( $Q$  値) も提案されていることから、実施工への適用が期待される。しかし、この予測手法  $Q$  値はテンパー通電時および溶接時の入熱量を考慮しているものの、その他の溶接条件や材料特性を考慮していないため適用範囲が限定されるという課題を有している。

そこで本研究では、従来提案されているテンパー通電の施工条件予測手法の適用範囲を拡大することを目的として、溶接現象の観点から予測式  $Q$  値の物理的意味を明らかにすることで、疲労強度向上に最適なテンパー通電施工条件を溶接条件ならびに材料特性に依存しない定数を用いて表現できることを見出し、広い適用範囲を有しながらも実施工への適用が容易な簡潔な条件予測式を提案した。

検討に際しては初めに、鋼板を挟む電極が継手を冷却する作用を有することに着目し、電極と鋼板が接触している時間、すなわちテンパー通電時間を増大させて  $Q$  値の変化を取得した。その結果、 $Q$  値はテンパー通電時間に比例することが明らかとなったほか、この線形関係の傾きは電極による冷却効果を、切片は継手の発熱量を表すという溶接現象に基づく解釈が可能であることを示した。電極による冷却は電極-鋼板間の熱伝達現象によって生じるため、電極-鋼板間の熱流束と接触面積が影響因子であると言える。そして、溶接条件と材料特性を変更して  $Q$  値とテンパー通電時間の関係を取得した結果、電極-鋼板間の接触面積は溶接条件や材料特性に依存する変数として考慮する必要があるものの、熱流束はこれらに依存しない定数として表現可能であることを明らかにした。また継手の発熱量は溶接

条件にかかわらず定数として表現できることを示した。

以上の検討の結果、従来用いられてきたテンパー通電の施工条件予測式を簡単な一次式で表すとともに、その係数および定数を溶接条件や材料特性に依存しない値として表すことで、実施工に広くかつ容易に適用することが可能な予測式を提案した。

## 論文審査の結果の要旨

審査対象の研究では、従来提案されているテンパー通電の施工条件予測手法の適用範囲を拡大することを目的として、溶接現象の観点から予測式  $Q$  値の物理的意味を明らかにすることで、疲労強度向上に最適なテンパー通電施工条件を溶接条件ならびに材料特性に依存しない定数を用いて表現できることを見出し、広い適用範囲を有しながらも実施工への適用が容易な簡潔な条件予測式を提案した。

検討に際しては初めに、鋼板を挟む電極が継手を冷却する作用を有することに着目し、電極と鋼板が接触している時間、すなわちテンパー通電時間を増大させて  $Q$  値の変化を取得した。その結果、 $Q$  値はテンパー通電時間に比例することが明らかとなったほか、この線形関係の傾きは電極による冷却効果を、切片は継手の発熱量を表すという溶接現象に基づく解釈が可能であることを示した。電極による冷却は電極-鋼板間の熱伝達現象によって生じるため、電極-鋼板間の熱流束と接触面積が影響因子であると言える。そして、溶接条件と材料特性を変更して  $Q$  値とテンパー通電時間の関係を取得した結果、電極-鋼板間の接触面積は溶接条件や材料特性に依存する変数として考慮する必要があるものの、熱流束はこれらに依存しない定数として表現可能であることを明らかにした。また継手の発熱量は溶接条件にかかわらず定数として表現できることを示した。

以上の検討の結果、従来用いられてきたテンパー通電の施工条件予測式を簡単な一次式で表すとともに、その係数および定数を溶接条件や材料特性に依存しない値として表すことで、実施工に広くかつ容易に適用することが可能な予測式を提案した。

上記の研究内容について、プレゼンテーション資料を用いた口頭発表により審査を行った。審査においては、主査および副査の教員から、研究内容に関する質疑を行い、その理解度について確認を行った。

その結果、主査および副査、満場一致で合格と判断した。