

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06055

研究課題名(和文) 高強度高耐久性を有する革新的接合技術「環状溶接技術RSW」の開発

研究課題名(英文) Development of innovative welding technology "Ring-shaped welding technology RSW" with high strength and durability

研究代表者

曙 紘之 (Akebono, Hiroyuki)

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50447215

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで申請者らの行った薄板鋼板接合継手の強度特性に関する一連の研究から着想に至った『環状溶接技術RSW(Ring-Shaped Welding)』の開発を目的とし、その強度特性・耐久性を実験的・数値解析の両面から検討することを目指した。作製したRSW継手に対し、各種動的強度に関する実験を行った結果、その高い強度特性を確認し、提案する環状溶接技術RSWが既存の溶接技術に比べ、高強度・高耐久性を発現する革新的な接合技術であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案する環状溶接技術RSWは、従来のスポット溶接技術よりも飛躍的に強度向上が期待される接合技術である。すなわち、環状溶接技術RSWをスポット溶接技術の代替技術として利用した場合、その施工数の大幅な削減が期待でき、施工数削減は、自動車製造時の大幅な省エネルギー化に直接繋がることから、地球環境問題への寄与度は大きく、その意義・必要性は極めて高い。さらに、環状溶接技術RSWによる施工数削減は、自動車製造のコスト削減、および飛躍的な生産性向上に繋がることから、その工業的価値も非常に高いものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop "Ring-Shaped Welding (RSW)", and to examine its strength characteristics and durability from both experimental and numerical analysis. As a result of experiments on various strengths test of the proposed RSW joint, it was clarified that the RSW joint indicates high strength characteristics. So, it can be concluded that the proposed ring-shaped welding technology RSW is an innovation welding technique that exhibits higher strength and durability compared with conventional welding technology.

研究分野：機械工学

キーワード：疲労 溶接

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自動車産業を中心として、薄板鋼板の接合工程は最重要技術の一つであり、接合部には長期使用に対する安全性を保証する耐久性が求められる。そのため、抵抗スポット溶接、レーザー溶接、摩擦攪拌接合により接合した各種薄板継手の強度特性、とりわけ長期信頼性・安全性に繋がる疲労特性に関する研究は、国内外問わず盛んにおこなわれている。しかしながら、このような薄板接合継手の場合、繰返し負荷により発生する疲労き裂は、薄板と薄板の接合界面、すなわち継手内部に生じるため、外部からの通常観察ではその損傷挙動を追跡することが困難である。さらに、薄板構造体特有の変形挙動により、接合界面は非常に複雑な多軸応力状態となるため、疲労き裂進展挙動もまた三次元的な複雑な様相を呈する。このような観察の困難さや、損傷部の力学状態の複雑さから、薄板接合継手の強度特性に関する研究の多くは、その疲労寿命推定に重きが置かれたものや、損傷挙動を二次元的に追跡したものに留まるのが現状であり、継手内部の損傷機構を丹念に追跡し、その疲労特性について報告しているものは僅少である。

申請者は、より優れた耐久性を有する薄板接合継手実現のためには、薄板接合継手内部の三次元的損傷メカニズムを実験的・数値解析的両面から詳細に明らかにすることが重要であるとの考えから、各種接合技術により接合した薄板接合継手の強度特性、とりわけ実機適用を想定した繰返し負荷に対する耐久性について一連の研究を続けている。このような一連の研究から

接合部径を大きくすることにより、継手自体の強度特性を飛躍的に改善できること

接合部の大部分は荷重分担しておらず、接合部周囲のごく限られた領域のみが荷重を負担していること(図1)

荷重分担している接合部周囲から疲労き裂が三次元的に複雑に進展すること

を実験的・数値解析的両面から明らかにした。すなわち、従来の抵抗スポット溶接のような円形接合部を形成するよりも、より周長の長い環状溶接部を形成することにより、その継手の強度特性は飛躍的に改善する可能性がある、との着想から、本研究で提案する「環状溶接技術 RSW」の開発に至った。

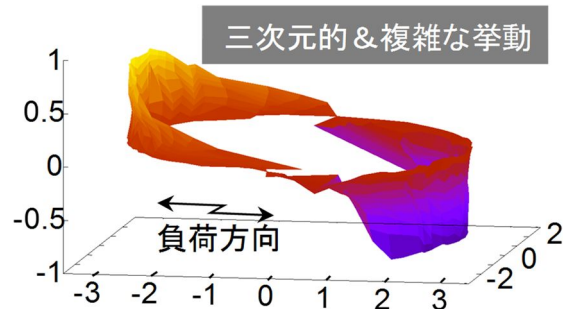


図1 溶接部周りのき裂進展挙動の三次元的観察 (損傷85%)

2. 研究の目的

本研究では、提案する環状溶接技術 RSW により接合した接合継手を作製し、同継手が、自動車製造現場で主に使用される従来の抵抗スポット溶接により接合した接合継手と比較し、極めて優れた強度特性を有することを実験的・数値解析的両面から実証することを目的としている。提案する環状溶接技術 RSW に用いる環状電極棒として、図2に示す通り、接合部面積は等しく、接合部周長のみ異なる3種類の環状電極棒を作製する。次に、自動車用鋼板 SPCC を対象とし、作製した環状電極棒を用いた接合により薄板鋼板継手を作製する。この時、継手強度特性に及ぼす負荷形式の影響を検討するため、引張せん断型継手、および十字引張型継手の2種類の継手を作製する。また比較のため、従来の抵抗スポット溶接継手も準備する。これら接合継手に対し、静的強度試験、および実機での長期信頼性・安全性確保のための動的繰返し耐久試験を実施し、従来のスポット溶接継手の試験結果と比較することにより、提案する環状溶接技術 RSW の優れた強度特性・耐久性について実験的・解析的両面から実証することを目指す。

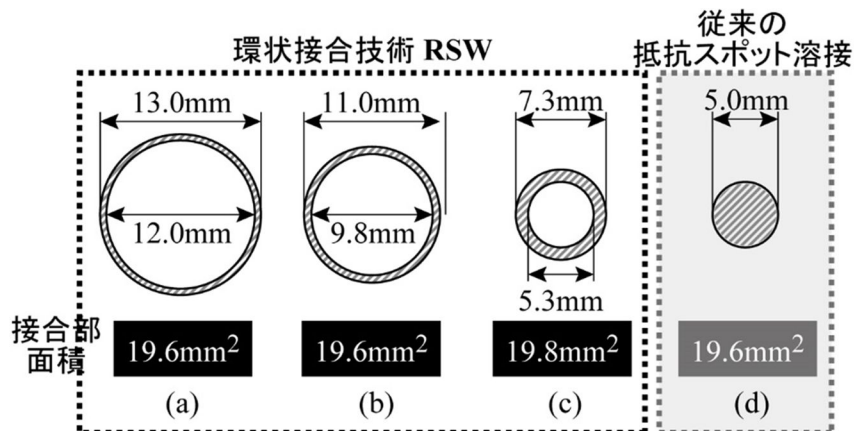


図2 RSW電極棒断面形状

### 3. 研究の方法

本研究の研究期間(3年間)においては、以下に詳細を示す通り、全9段階の研究計画により実施する。

#### [step 1] 環状電極棒の作製

3種類の環状電極棒(クロム銅製)の作製を行う。この際、全ての接合部面積はほぼ一定に統一されている。

#### [step 2] 板材加工

鋼板には590MPa級自動車用鋼板SPCC(厚さ1.0mm)を用いる。同材を板状(150mm×50mm)に機械加工し供試材とする。

#### [step 3] 環状溶接技術RSWによる継手作製

step 2にて加工した各板材を50mmオーバーラップさせ、その中央部に対し、step 1で作製した環状電極棒を用いた環状溶接技術RSWにより接合する。この際、step 5, 6においてRSW継手の強度特性に及ぼす負荷荷重モードの影響を検討するため、図3に示す通り、接合部に主にせん断荷重が加わる引張せん断型継手と、主に引張荷重が加わる十字引張型継手の2種類のRSW継手を作製する。よって、全6種類(=環状電極棒:3種 × 継手形状:2種)のRSW継手を作製する。また併せて通常の抵抗スポット溶接継手も比較材として作製する。

#### [step 4] 接合部の観察、各種分析

走査型電子顕微鏡SEMにより、作製した計6種類のRSW継手の接合部の断面観察を行い、環状電極棒を用いたことによる接合部組織への影響を詳細に検討する。また、EBSD(電子線後方散乱回折法)による結晶方位解析、組織の硬さ測定、残留応力測定も併せて行い、RSW接合部周辺組織の基礎的データを得る。

#### [step 5] 静的強度試験

作製した6種類のRSW継手に対し、静的引張強度試験を実施し、各継手の静的荷重に対する強度特性を定量的に評価する。併せて、破壊形態の観察も詳細に行い、環状溶接技術RSWと従来の抵抗スポット溶接との差異について考察を行う。

#### [step 6] 動的耐久性試験

作製した6種類のRSW継手に対し、繰返し荷重負荷を与え、各継手の繰返し負荷に対する耐久性について定量的評価を行う。試験には油圧式軸荷重試験機を用い、耐久性評価の指標となる疲労寿命曲線の取得、ならびに破面解析、また、申請者ら独自の観察手法により接合部周囲のき裂進展挙動を三次元的に追跡し、その破壊メカニズムまで掘り下げた実験的検討を行う。

#### [step 7] 有限要素法解析FEMによる数値解析

有限要素法FEMによる応力解析により、RSW継手の応力状態の定量的評価、および可視化を行う。得られた数値結果を基に、step 5およびstep 6で得られた各種強度特性評価について、より詳細な検討を行う。

#### [step 8] より優れた耐久性を有する溶接部形状に関する検証

これまでの実験的・数値解析的両面から得られた知見を基に、より優れた耐久性を発現する溶接部形状について検討を行い、提案する溶接部形状を有するRSW継手の作製、ならびに各種実験的検討を行い、その有用性を検討する。

#### [step 9] 環状溶接技術RSWの優位性の実証・総括

3年間で取得した上記結果を基に、本研究で提案した環状溶接技術RSWの優れた強度・耐久性について、従来のスポット溶接技術と比較しながらその有用性・優位性について総括を行う。

### 4. 研究成果

まず初年度においては、環状溶接技術RSW用の環状電極棒の作製、ならびに図3に示す2種類の異なる負荷形式を受けるRSW継手の作製を行い、その接合部周辺の組織・硬さ・残留応力に関する各種基礎的データの取得、また静的強度を定量的に評価し、併せて従来の抵抗スポット溶接継手のそれと比較検討を行った。特に、静的引張強度試験結果については、本研究で提案するRSW継手が、従来のスポット溶接継手の静的強度と比較し、顕著な差がないことを確認した。

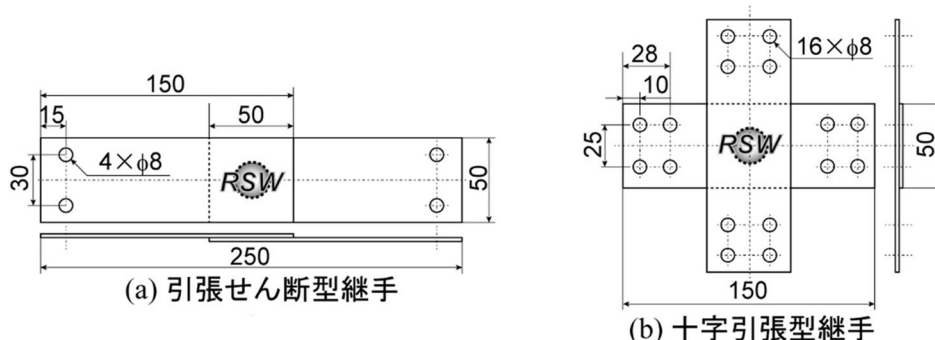
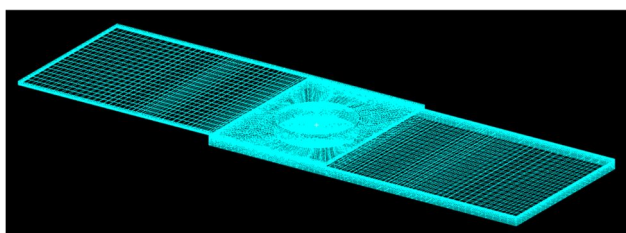


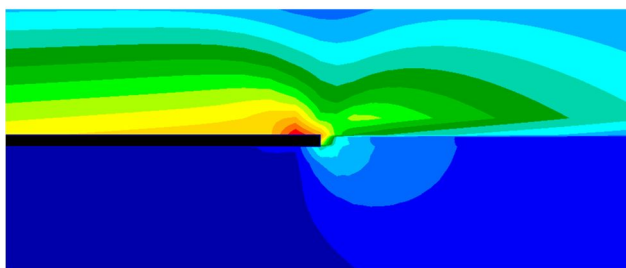
図3 RSW継手形状

2年目には、主に実機適用の際の安全性確保に重要な繰返し負荷に対する動的耐久性に重点を置き実験的検討を行った。その結果、本研究で提案するRSW継手は従来のスポット溶接継手と比較し、動的強度特性が大きく向上することが明らかとなり、その優位性が実証された。

さらに最終年度には、さらなる強度特性向上を目的として、有限要素法解析を援用し、損傷個所の局所的な応力状態を可視化し、より高い強度特性発現のための指針について検討を行った。その結果、図4に結果の一部を示す通り、薄板接合継手に荷重が負荷された場合、上板・下板の界面であるスリット先端に非常に高い応力が集中すること、さらに接合径の増大に伴い、その応力集中は減少していくことが定量的に明らかとなった。すなわち、提案する環状溶接技術RSWにより、溶接径が大きくなるように接合を施すことにより、その耐久性は大きく向上することを実験的、および数値解析的に実証した。本研究の成果として、提案する環状溶接技術RSWが、既存の溶接技術に比べ、高強度・高耐久性を発現する革新的な接合技術であることが明らかとなった。



(a) FEMモデル



(b) スリット先端の応力状態

図4 FEM解析結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	菅田 淳  (Sugeta Atsushi)  (60162913)	広島大学・工学研究科・教授    (15401)	