

抵抗スポット溶接部の強度試験における 残留応力分布変化挙動の検討

三上 欣希

大阪大学 接合科学研究所

1 研究の背景

抵抗スポット溶接部の品質検査手法として、自動車製造工程では、たがね試験が広く利用されている。たがね試験とは、抵抗スポット溶接した鋼板間にたがねを打ち込み、接合状態を確認することを主な目的としたものである。一台の自動車における抵抗スポット溶接部は数千点にも及び、これらを製造工程の中で効率的に検査する手法として、重要な試験手法である。

その一方で、たがね試験を受けた部材は、たがね試験による鋼板の変形を修正して実用に供される。そのため、たがね試験後の割れの有無や残留応力なども重要な観点となる。これまでにISMAプロジェクトなども通じて抵抗スポット溶接部のたがね試験のシミュレーションモデルの構築を進めてきた。本研究では、たがね試験時に抵抗スポット溶接部が受ける塑性変形やそれともなう残留応力の発生に注目して検討した。

2 研究方法

抵抗スポット溶接部のたがね試験のシミュレーションモデルを構築してきた(図1)。板厚1mm、ナゲット径が4mmの継手を対象とした。別途実験を行った継手を対象としてモデル化したが、ここでは詳細は割愛す

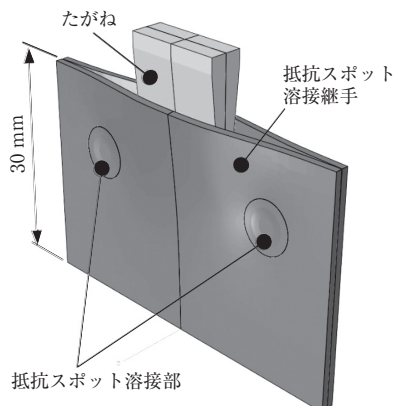


図1 たがね試験のシミュレーションモデル

る。たがねは実際の形状に基づき、剛体要素でモデル化した。鋼板間の接触および鋼板-たがね間の接触をペナルティ法により取り扱っている。

このような数値解析モデルを用いて、たがねをナゲット下端まで挿入後、引き抜く場合について、数値解析を行った。なお、たがね試験においては、たがねをハンマーで打ち込むため、動的な挙動も生じると考えられるが、数値解析は静的に行った。つまり、応力-ひずみ関係のひずみ速度依存性や塑性仕事による発熱などは考慮していない。

数値解析に用いる鋼板はSPC270, SPC590, SPC980の3つの強度レベルを対象とし、応力-ひずみ関係は引張試験によって測定した。母材、熱影響部、ナゲット部は区別せず、全領域を母材の特性とした。

3 主な研究成果

3.1 たがね試験時の塑性ひずみ発生挙動

以降の結果は、SPC590のものを示す。たがね試験時の相当塑性ひずみ分布を図2に示す。図2はシミュレーションモデルの対称面、すなわち、抵抗スポット溶接継手の鋼板間で切断したナゲットの厚さ方向の中央断面を見ていることになる。また、図2に示した代表的な位置(0°, 45°, 90°)における、たがね挿入にともなう相当

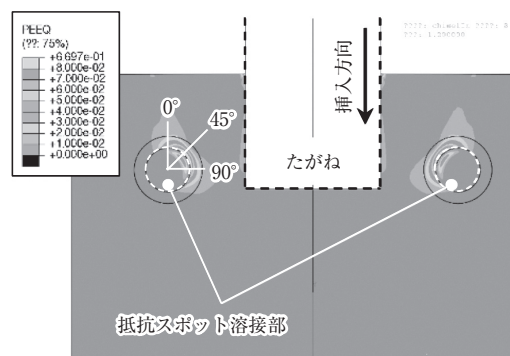


図2 たがね試験による塑性変形

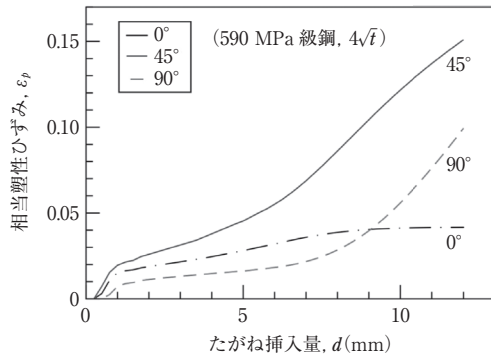


図3 たがね試験時の抵抗スポット溶接部の各位置における塑性変形の発生挙動

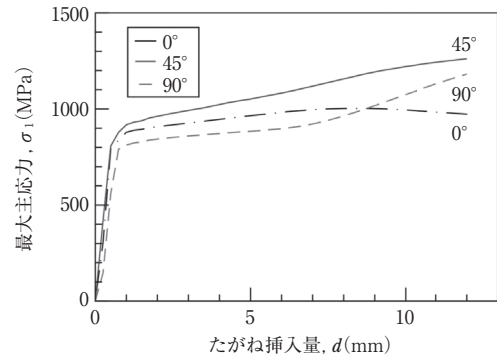


図5 たがね試験時の抵抗スポット溶接部の各位置における最大主応力の発生挙動

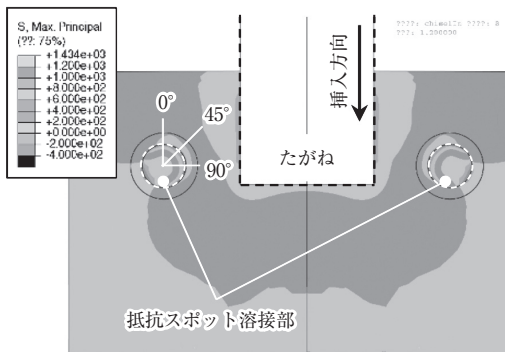


図4 たがね試験時の最大主応力分布

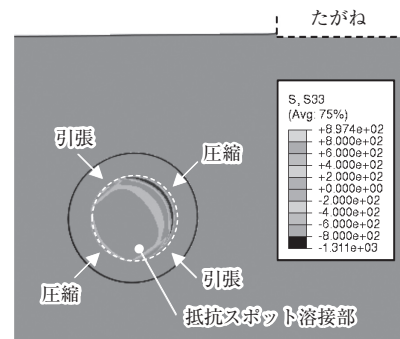


図6 たがね試験後の開口方向残留応力分布

塑性ひずみの発生挙動を図3に示す。図2および図3より、抵抗スポット溶接部周囲のたがねに近い側（45°の位置）で先行して塑性変形が生じていることがわかる。0°の位置における塑性変形は初期に発生した後ほぼ一定であることや、90°の位置における塑性変形はたがねがある程度挿入されてから発生することなどは、評価位置とたがねとの位置関係から理解できる。

3.2 たがね試験時の応力発生挙動

図2と同じ時点での最大主応力分布を図4に示す。たがねの挿入によって、抵抗スポット溶接された鋼板間を強制的に開口していることから、最大主応力は板厚方向に生じる。また、図2および図3で示した塑性変形の分布および挙動からもわかるとおり、たがねにもっとも近い45°の位置がもっとも顕著に開口を受け、発生する応力としても高くなる（図5）。

3.3 たがね試験後の抵抗スポット溶接部の残留応力分布

たがね試験によって以上のような過渡的な塑性変形が発生した結果として、残留応力が生じると考えられる。たがねを12mmまで挿入し、引き抜いた後の残留応力分布を図6に示す。これまで示していた各図と同じ抵抗

スポット溶接部について示した。抵抗スポット溶接部周囲のたがねに近い側（45°の位置）は圧縮残留応力となる。これは、たがねの挿入によって、引張の塑性変形が導入された領域が、たがねの引き抜き、つまり除荷によって圧縮残留応力となるものと理解できる。また、その圧縮残留応力の領域を周方向に沿ってはさむ領域には、つり合うように引張残留応力の領域が生じる。45°の位置の反対側にある圧縮応力の領域は抵抗スポット溶接部をはさんでたがね挿入側が開口されることによって生じる変形に起因するものと考えられる。

4 まとめと今後の展望

以上のように本研究では、抵抗スポット溶接部のたがね試験による塑性変形および応力の発生挙動、さらには試験後の残留応力分布について基本的な検討を行った。試験後にそのまま実用に供されるため、試験の影響も含め溶接部が受ける応力やひずみの履歴および供用開始時点での状態を把握できることは、継手性能評価の高度化に向けて、今後、より重要性が増すと考えている。また本研究で構築した手法は、材料の高強度化の影響評価や異材接合部への展開なども可能である。

本研究は、一般社団法人日本溶接協会2021年度次世代を担う研究者助成事業の支援を受けて実施した。ここに記し謝意を表す。