

溶接シミュレーションによる溶接変形軽減方法考案と実用化

株式会社残間金属工業 ○残間幹夫 帯広松下電工(株) 吉田正弘 釧路工業高等専門学校 高橋 剛

要 旨

本研究では、重ね合わせ隅肉溶接の基礎試験を対象とした溶接シミュレーションおよび実験により、溶接残留変形を与える溶接条件の影響度合いをにより明らかにし、残留変形の小さい溶接順序を考案した。更にこの溶接方法を実部品に適用し、コストを含めたCAE効果を確認でき、実用化できた。

1. はじめに

溶接は、古くから鉄橋や自動車の組み立てなど、あらゆる分野の金属部品接合に用いられている。しかし、未だに残留変形を大幅に軽減させる決定的な溶接方法は見つかっておらず、依然として溶接後に当該部位をガスバーナーなどで加熱し、加圧と冷却を繰り返すことで残留変形量を除去する方法が一般的にとられている。この作業は技術者の長年の経験や勘が必要となり、限られた熟練者しかできないのが実状である。更に悪いことに、近年の定年退職の大量化と若年層の製造業離れが同時に進行しているため、熟練者の技能伝承が円滑に進まない問題も深刻化している。そこで、この対策の一つとして、急速に展開しているのがCAEを用いた溶接前の残留変形予測と溶接条件の適正化検討である。CAEとはComputer Aided Engineerの略で、コンピューターを用いた数値シミュレーション技術のことであり、製品の性能予測を主目的としている。

本研究では、市販の溶接シミュレーションソフト「Quick Welder」¹⁾を用いて溶接残留変形を与える溶接条件の影響度合いを二枚板の重ね合わせ隅肉溶接の基礎試験により明らかにし、残留変形の小さい溶接順序を考案する。さらにこの溶接方法を実部品に適用し、コストや期間を含めたCAE効果を検証することを目的とする。

2. 溶接基礎試験のシミュレーション

2・1 計算方法

計算ソルバーは弾塑性有限要素法をコード化したQuick Welderを使用した。計算手法は、まず熱源移動を伴う非定常の熱伝導解析によって時々刻々変化する温度分布を求め、それを使って弾塑性熱応力解析を行う。更に、溶接終了後の大気冷却過程も継続計算することにより、残留変形や残留応力を求めることができる。

2・2 計算モデル

要素タイプは、六面体一次を主とし、全て三次元ソリッドを用いた。供試板材はSS400であり、鋼板および溶接ビードの応力-ひずみ関係の機械特性値には、温度依存を考慮した材料を使用した。なお、この特性値は、実際に材料引張試験を実施して取得した。溶接時の溶接入熱は、予め作成しておいたビード要素に対し、実験と同じ条件(電流、電圧、溶接速度)で与えた。

2・3 溶接条件

溶接変形を軽減する有効な方法として溶接線を間欠させる千鳥溶接があるが、溶接部の強度が低下する可能性がある。そこで、ここでは間欠の無い溶接順序のみ変更する方法でシミュレーションと実験で検討する。図1に以下の溶接3条件の模式図を示す。

- (a)連続溶接、
- (b)端部開始4分割溶接、
- (c)中央開始4分割溶接。

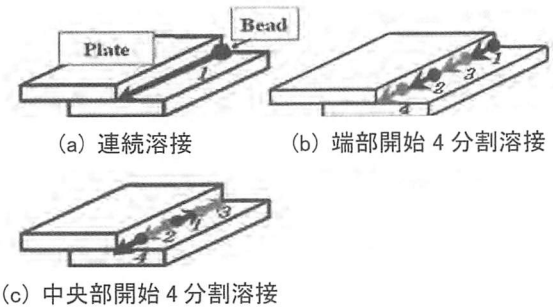


図1 溶接分割方法および溶接順序

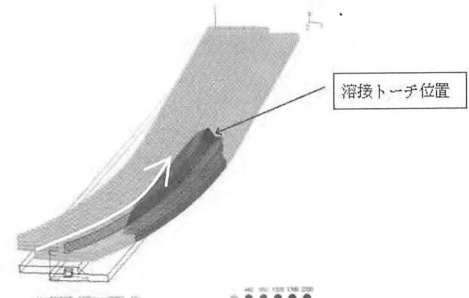
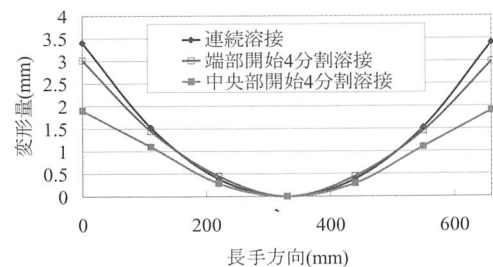
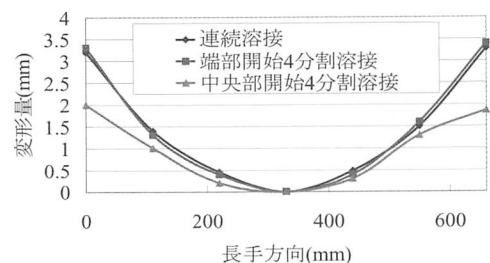


図2 シミュレーション結果の一例(溶接中の温度分布)



(a) シミュレーション結果



(b) 実験結果

図3 溶接順序違い比較結果

図中の番号は順番を表し、(b),(c)はいずれも全長を等間隔に4分割し、それを一区間長としている。本研究で提案しているのは(c)中央部開始4分割溶接である。

3. 溶接変形量低減方法の検討結果

図2はシミュレーション結果の例で、連続溶接における溶接途中の温度分布を示している。白矢印が溶接トーチの軌跡であり、溶接線に沿って熱源が移動している様子が分かる。

図3は、下板の外側エッジに沿う板の面外方向の残留変形量、すなわち反り量を示している。条件間で比較した場合、図3(a)シミュレーション結果も図3(b)実験結果も共に変形量が大きい順に①連続、②端部開始4分割、③中央開始4分割になっている。また、変形量の絶対値もよく一致しており計算精度も十分であると判断できる。この結果から、溶接変形を軽減する方法として、考案した中央部開始4分割溶接方法が有効であることが明らかになった。これは中心部から外側に向かって交互に溶接することにより、熱が分散され冷却効率が良く更に前後端面での上板と下板の伸び量の差が比較的小さいことが効果を生むと推察できる。

4. 実部品(鋼矢板)への適用と検証

4・1 実部品と溶接条件

3. で得られた溶接順序の見解を実部品の鋼矢板に適用し、考案した溶接順序の有効性を検証する。鋼矢板そのものはハット型断面をしており、寸法は高さ325mm、幅400mm、長さは約6mあり、これを幅方向に組み繋ぎ、塀のようにして使う。この塀を直角に繋ぐために鋼矢板を幅方向半分に切り、それを鋼矢板の上面中央に直角に立て、隅肉溶接する。この塀は河川工事の土砂崩れや浸水を防ぐ目的で使用される。なお、本実験では長さ2mのものを利用した。

溶接条件は図4に示すように(a)連続溶接、(b)従来からの残間金属工業方法、(c)本研究で考案した溶接方法(以下、考案溶接とする)の3条件である。

4・2 変形量に対する有効性検証

図5はシミュレーション結果の一例として連続溶接の溶接中の温度分布を示している。図6にシミュレーションと実験により変形量の比較をする。測定量は、図4(a)に示すようにフランジ左側縁に沿った面外反り量である。シミュレーションの変形量の絶対値が実験値のそれよりも4分の1程度と小さくなっているが、これは図5に示したようにソルバーの要素数制限のために十分に細かいメッシュサイズにすることができず、シェアロックが起きていていると考えられる。しかし、定性的な傾向を把握することは可能である。その観点に立てば、実験結果およびシミュレーション結果ともに溶接開始を長手方向中点にする本研究の考案方法の変形量が小さいことが明らかとなり、低減効果があることが確認できた。

4・3 コストに対する有効性検証

このような大型構造物の曲がり直しは、1本当たり3時間程度を要し、それが10本あれば30時間にもなる。シミュレーションの場合、CADデータがあれば、CPUクロック数2GHzのOAパソコンでも6~7時間程度あれば終了する。特に、作業者は計算終了するまで、別な仕事をする事ができるので、実務上のシミュレーションに割く時間は相対的に小さい。条件絞り込みのために繰り返し計算する際も溶接条件の数値だけを変更するだけで良い。更に何より、コストは電気代だけであり、その対費用効果は非常に大きいと言える。

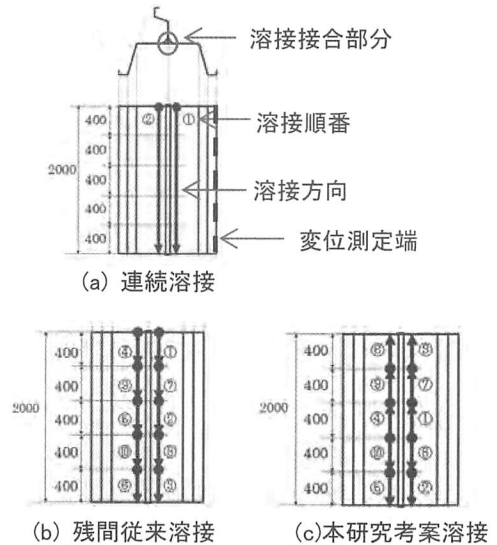


図4 各溶接方法手順

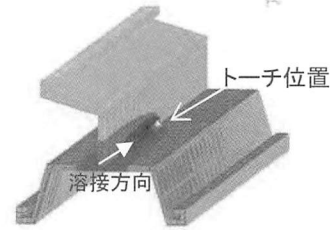
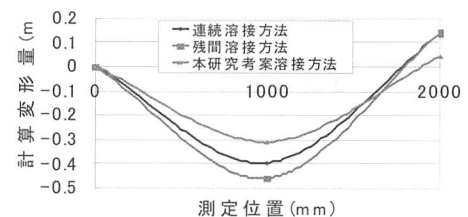
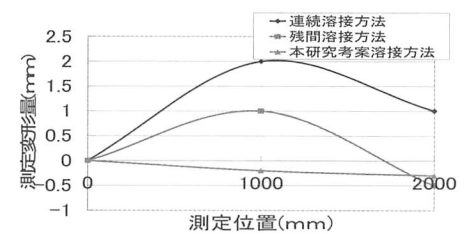


図5 シミュレーション結果(溶接途中の温度分布)



(a) シミュレーション結果



(b) 実験結果

図6 鋼矢板高さ方向変位

5. 結言

重ね合わせ隅肉溶接シミュレーションおよび実験結果から著者が考案した「中央開始4分割溶接方法」が溶接残留変形量を軽減する方法として有効であることが分かった。それを大型溶接構造物に適用したところ、残留変形を大幅に軽減することが確認でき、実務展開が可能になった。

参考文献

1)Quick Welder 株式会社 計算力学研究センター