

# 突合せ溶接で生じる変形・残留応力のシミュレーションにおけるシェル要素の適用に関する基礎的検討

名古屋大学大学院 正会員 ○廣畑 幹人  
 名古屋大学大学院 フェロー会員 伊藤 義人

## 1. はじめに

鋼構造部材の溶接接合では、局所的な入熱に起因する溶接変形と残留応力が不可避免的に生じる。鋼構造部材の耐荷力や疲労強度に種々の影響を及ぼす溶接変形および残留応力を把握しておくことは、部材の構造性能を評価する上で重要である<sup>1,2)</sup>。溶接変形および残留応力の予測のための熱弾塑性有限要素解析によるシミュレーションでは、溶接部の開先形状を考慮するために三次元ソリッド要素が一般に使用される。一方、モデル作成の効率化、計算時間の短縮化を考えれば、シェル要素の適用が有効であるが、開先部の幾何学的形状の取扱いやソリッド要素を用いた場合との精度の違いなど、シェル要素の適用性について不明な点が多々ある。本稿では、薄肉鋼板の突合せ溶接を対象に、熱弾塑性解析による溶接変形・残留応力のシミュレーションにおけるシェル要素の適用性を明確にするために実施した基礎的検討の結果について報告する。

## 2. 解析モデル

解析モデルは図-1に示す薄肉鋼板（板厚  $t=6\text{mm}$ ）の1パス突合せ溶接<sup>3)</sup>である。対称性を考慮し、ハーフモデルを8節点ソリッド要素ならびに4節点シェル要素を用いてそれぞれ作成した。境界条件は、剛体変位のみ拘束した。ソリッドモデルでは溶接金属部の台形形状を考慮して入熱要素を決定し、そこに内部発熱量  $q$  ( $\text{J}/\text{mm}^3$ ) を与えた。シェルモデルでは、溶接金属部の体積がソリッドモデルの場合と等しくなるよう入熱要素の幅  $d_s$  ( $\text{mm}$ ) を決定し、入熱要素を構成する各節点に集中熱流束  $q_c$  ( $\text{J}$ ) を与えた。なお、入熱量の板厚方向分布は考慮していない。

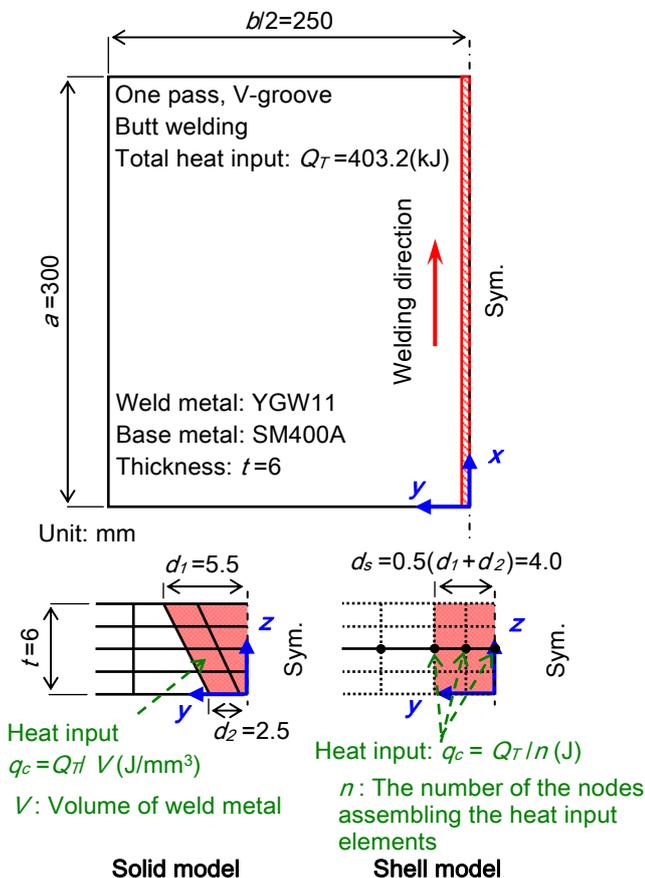


図-1 解析モデル

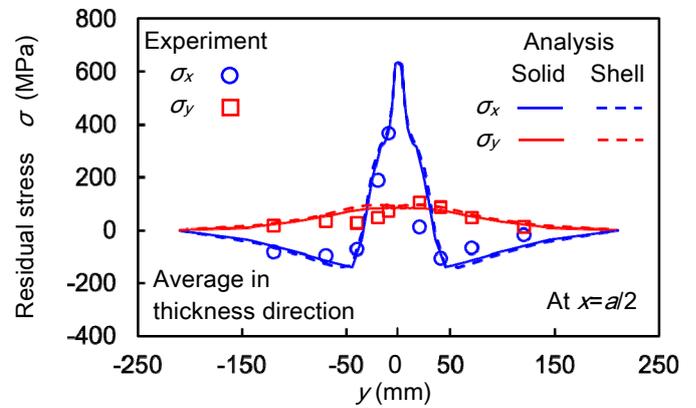


図-2 残留応力 ( $x=a/2$ )

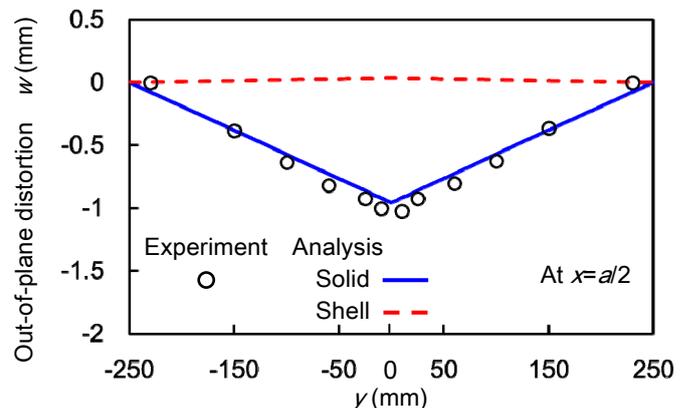


図-3 溶接面外変形 ( $x=a/2$ )

### 3. 解析結果

熱弾塑性解析により得られた残留応力（板厚方向の平均値）および面外変形を図-2および図-3に示す。

残留応力に注目すると、ソリッドモデルとシェルモデルの結果はほぼ一致しており、これらは既往の研究<sup>3)</sup>で実施された実験結果を比較的良く再現している。一方、面外変形に注目すると、ソリッドモデルの結果は実験結果を精度良く再現しているものの、シェルモデルでは面外変形が生じていない。面外変形は主に溶接金属部の形状に起因する鋼板上下面の温度勾配によって生じる。入熱量の板厚方向分布を考慮しないシェルモデルでは、板厚方向の温度勾配が発生しないため、面外変形が生じなかったものと推察される。

なお、シェルモデルの計算時間はソリッドモデルの場合の約 1/13 であった。

### 4. 板厚方向における熱流束分布の提案

シェルモデルにおいて、鋼板上下面の間の温度勾配を発生させるため、図-4および式(1)に示すように、板厚方向における溶接金属の幅  $d(z)$  (mm) の変化から決定した分布熱流束  $q_d$  (J) を与え、再度、熱弾塑性解析を実施した。

$$q_d = \xi q_c = \frac{d(z)}{d_s} \frac{1}{n_i} q_c \quad (1)$$

ここに、 $q_c$ 、 $d(z)$ 、 $d_s$  の定義については図-1および図-4を参照、 $n_i$  はシェル要素における板厚方向の積分点数（本モデルでは  $n_i=5$ ）である。

得られた面外変形（図-5、破線）は、実験結果（シンボル○）およびソリッドモデル（実線）の結果と良く一致している。すなわち、板厚方向の分布を考慮した溶接入熱の取扱いの妥当性を結果は示唆している。一方、残留応力についてもソリッドモデルとほぼ同じ結果が得られたことを別途確認している。

### 5. まとめ

- (1) 薄肉鋼板の1パス突合せ溶接で生じる面外変形・残留応力のシミュレーションにシェル要素を適用する場合、板厚方向における入熱量の分布を考慮しなければ、鋼板上下面の温度勾配が生じないため溶接面外変形が再現できないことを確認した。しかし、残留応力は精度良く再現できることを明らかにした。
- (2) 溶接金属部の幾何学的形状から決定した入熱量の板厚方向分布を考慮することで、溶接面外変形および残留応力が精度良く再現できることを明らかにした。
- (3) ソリッド要素を用いてモデル化した場合に比べ、シェル要素を用いた場合の計算時間は大幅に短縮されたことから（本稿では約 1/13）、シェル要素を適用することの有用性が確認できた。

### 参考文献

- 1) 土木学会：座屈設計ガイドライン 改訂第2版，2005.
- 2) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2012.
- 3) 金ら：溶接変形の高精度予測における支配因子の正当性と一般性の検証，溶接学会論文集 25-3, pp.450-454, 2007.

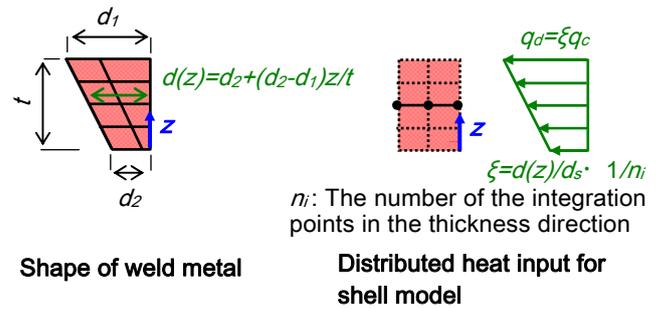


図-4 板厚方向分布熱流束モデル

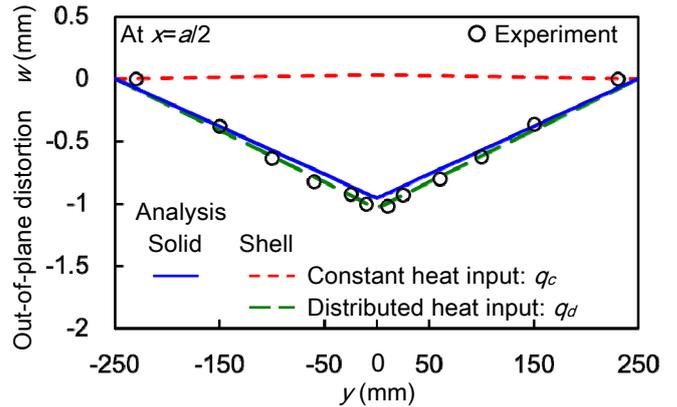


図-5 溶接面外変形（入熱量の板厚方向分布を考慮）