鋼材の溶接・冷却過程における温度・ひずみ計測および解析に関する基礎的研究

長崎大学大学院 学生会員 ○藤野義裕 長崎大学 正会員 出水 享 長崎大学 正会員 松田 浩 佐賀大学 正会員 伊藤幸広

1. 序論

溶接中および冷却過程における鋼材表面に発生する変形・ひずみを把握することは、溶接物の品質管理、残留応力などの情報を取得する上で重要である。筆者らの研究 りによるとデジタル画像相関法(以下 DICM と省略)と赤外線サーモグラフィ(以下サーモと省略)を用いることにより、溶接中および冷却過程における鋼材表面に生じる変形・ひずみと温度の関係を定性的に評価できることが分かった。しかし、DICM の計測値の妥当性については、疑問が残るところである。そこで、本研究では、溶接中および冷却過程における鋼部材表面に生じる変形・ひずみの時系列変化を熱弾塑性 FEM 解析と比較することにより DICM の計測値の妥当性について検討した。

2. 試験概要

試験片概要図を図-1 に示す. 試験では、寸法(長さ×幅×厚さ)は、600mm×150mm×9.0mmの SM400Aを用いた. 試験片は、開先等を設けない一枚の試験片とし、ビードオン溶接とした. 溶接は、1パスのみとし、電流値85A、電圧値35V、溶接速度約4.55mm/s、溶接長さは試験片の幅150mmとした. その試験片を立てて、下端を2点固定し、試験片中央部にアーク手溶接を行った. 溶接中および冷却過程において溶接面の裏側をDICMとサーモによりひずみと温度を計測した. 計測状況を写真-1に示す.

3. 解析概要

DICM の計測値と比較するために熱弾塑性 FEM 解析 ²⁾ (以下 FEM と省略)を行った。図ー2にメッシュ分割図を示す。解析モデルは、8 節点ソリッド要素を用い、全体モデルとした。ビードは、形状をダイヤルゲージで計測しその形状の平均断面としモデル化を行った。簡易なモデルとするため、溶融部や熱影響部の材料物性は考慮せず、母材と同じ材料物性値とした。母材とビードの材料物性値は、文献 ^{3), 4)}を参考にした。母材とビードの材料物性値は、文献 ^{3), 4)}を参考にした。なお降伏強度、静弾性係数、比熱、熱伝導率は、温度依存性を考慮した。しかし、ポアソン比、線膨張係数、比重に関しては、温度依存性を考慮しなかった。入熱境界条件 ²⁾は、融点温度を定義した固定温度境界条件とし、ビード要素生成時の入熱温度と鋼材の表面熱伝達率は、温度分布の推移と温度履歴が、サーモの計測結果に一致する値をパラメトリック解析により決定した。

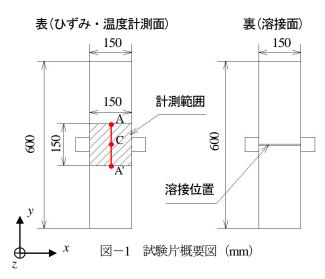




写真-1 計測状況

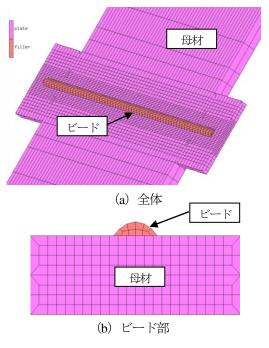


図-2 メッシュ分割図

4. 考察

パラメトリック解析を行った結果,入熱温度 1780℃,表面熱伝達率 10W/mm²・℃の際にサーモの結果とほぼ一致した. 溶接開始から 27 秒後のサーモと FEM による温度分布とひずみ分布を図ー3,4 にそれぞれ示す.カラースケールの色調は異なっているが、FEM は、サーモと DICM から得られた温度分布・ひずみ分布と定性的に一致していることが分かる.

溶接開始から 1200 秒後の DICM と解析による z 方向の変位の推移を図-5 に示す。図にはダイヤルゲージで計測した結果も合わせて示す。試験片中央点(C 点)の座標を原点をとし、y 軸方向の数点を計測した。図より C 点を境に鋼板が変形しているのが確認できる。DICM に比べて解析が若干小さい値を示し、図-1 の A 点においては 0.2mm程度の差が見られたが、ほとんど僅かであり誤差の範囲内であると考えられるため、おおむねその挙動が一致しているのが分かる。また、DICM とダイヤルゲージの値が一致していることが確認できる。

C点のy方向、x方向ひずみの経時変化を図-6、7にそれぞれ示す。図-6より溶接開始約 25 秒でひずみが増加し最大(引張)に達し、その後徐々に低下し一定になっている。図-7より溶接開始約 20 秒でひずみが低下し最小(圧縮)、その5 秒後にひずみが最大(引張)に達し、その後徐々に低下し一定になっている。

図-5~7より DICM と解析では、若干の差異が確認された。その原因としては、手溶接であるためビードの形成が一定でないこと、解析では溶融部や熱影響部の材料物性値を母材と同じ材料物性値としたためだと考えらえる。

5. 結論

パラメトリック解析で算出した入熱温度、表面熱伝達率を使用した際の解析結果は、DICM の変形・ひずみ分布および履歴と定性的・定量的にほぼ一致していた。このことから、DICM により計測した変形・ひずみは、ある程度、信頼できる値だと言える。今後、各種条件を変化させた試験を行い、この手法の有効性を検証していく。

参考文献

- 1) 出水享 他: 光学的手法による鋼部材の加熱・冷却過程 におけるひずみ分布計測, 構造工学論文集 Vol.57A, pp.86-93, 2011.
- 2) MSC.Marc2010 マニュアル, MSC Software, 2010.
- 上田幸雄 他:有限要素法による熱弾塑性挙動の解析, 溶接学会誌 42 巻 6 号, pp.567-577, 1973.
- 4) 鉄鋼便覧 (第3版): (社)日本鉄鋼協会編, 丸善, 1981.

