## 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 学生会員〇藤野義裕 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<sup>1)</sup> 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<sup>2)</sup> (以下 FEM と省略)を行った.図-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<sup>3,4</sup>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<sup>2)</sup>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



### 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/mm<sup>2</sup>・℃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-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

- 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  $\forall = \exists \mathcal{T} \mathcal{N}$ , MSC Software, 2010.
- 3) 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.

