

光学的手法による鋼部材の加熱および冷却過程におけるひずみ・温度分布計測

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

溶接とは材料を局部的に加熱及び溶融することにより、二つの材料を接合する手法である。そのため、不均一な熱膨張・収縮により必然的に溶接変形が生じる。溶接中および冷却過程における鋼部材のひずみをリアルタイムに測定することは、溶接物の品質管理、残留応力や欠陥発生などに関する情報取得の上で重要である。しかし、溶接部は一時的に 1000℃以上の高温に曝されるため、歪ゲージなどの接触法ではひずみを測定することが困難である。また、溶接部は広い範囲にわたり急熱・急冷による動的ひずみを受けるため、連続的なひずみ測定には、このひずみ変化に追従できる高い応答性が必要である。

そこで本研究では、光学的全視野計測法の一つデジタル画像相関法（以後、DICM）により、溶接およびその冷却過程における鋼板表面に生じるひずみ分布の計測を実施した。さらに、ひずみ発生の原因である温度分布の変化も全視野的に捉えて、ひずみ分布との関連性を調べるため、赤外線サーモグラフィ装置により温度分布計測も実施した。なお、本研究では、700℃程度の温度領域に着目して研究を行った。

2 試験概要

試験片概要図を図-1 に示す。試験には、寸法（長さ×幅×厚さ）は、600mm×200mm×4.5mm の SM400A（引張強度 465N/mm²，降伏強度 303N/mm²）を用いた。溶接により発生するひずみの基本的性質を調べるために、開先等を一切設けない一枚の試験片とした。そして、溶接作業をスムーズに行うために、試験片の溶接開始位置と終了位置に試験片と同じ材質の 50mm×50mm の SM材を取り付けた。

その試験片を立てて、下端を1点固定し、試験片中央部を薄板・軽量鉄骨溶接棒を用いてアーク手溶接を横方向に行った。溶接は、1 パスのみとし、溶接長さは試験片の幅 200mm とした。溶接条件として、電流値 85A，電圧値 35V，溶接速度 4.2mm/s とした。溶接中およびその冷却過程において溶接面の裏側を 2 台の CCD カメラにより約 0.9 m の距離から撮影を行った。1 ピクセル当りの画像の大きさは、約 0.19 mm で、ひずみは約 10 mm 間のひずみ値が出力できるように設定した。計測状況を写真-1 に示す。さらに、ひずみ値と温度の関係を調べるために、赤外線サーモグラフィ装置を用いて溶接中およびその冷却過程における溶接面裏側の鋼表面の温度分布も計測した。それぞれ 2 秒間隔で撮影を行い、赤外線サーモグラフィ装置で鋼表面の温度分布がほぼ落ち着いた約 1200 秒で計測を終了した。

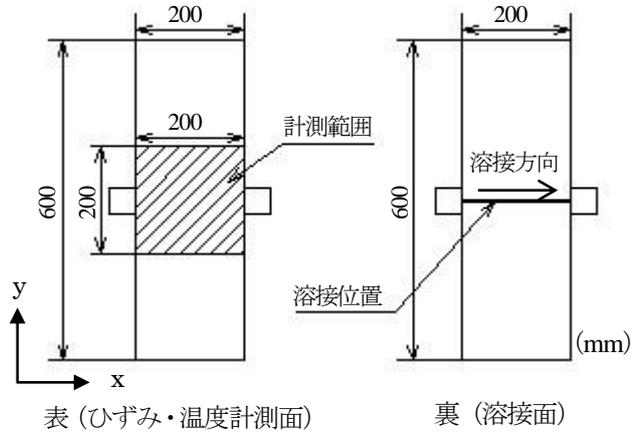


図-1 試験片概要図

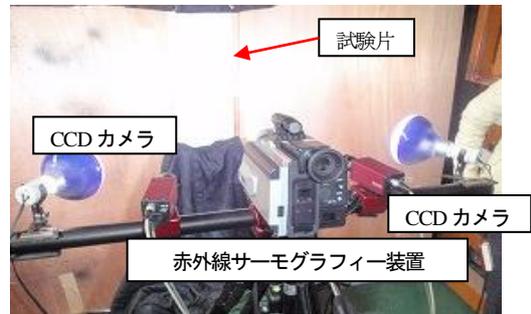


写真-1 計測状況

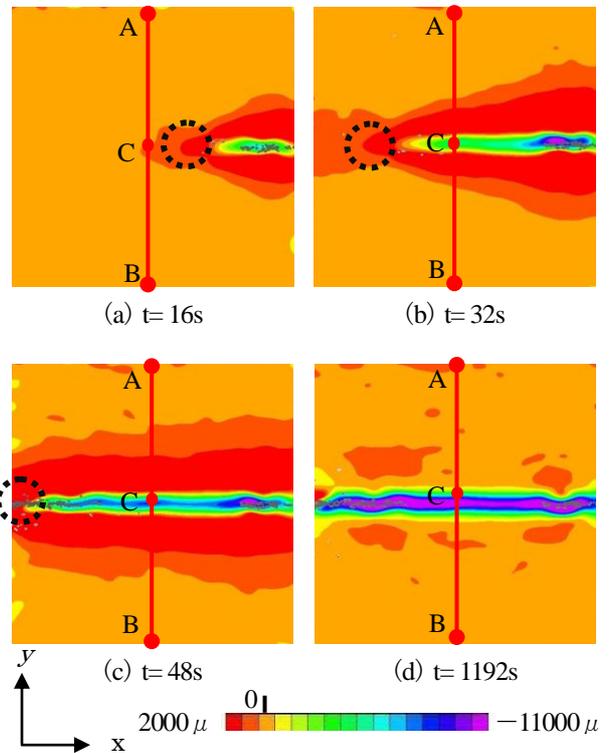


図-2 y 方向ひずみ分布

キーワード：デジタル画像相関法，溶接，加熱・冷却，ひずみ計測

住所：長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学大学院生産科学研究科環境システム工学専攻

電話，FAX：095-819-2590

3 結果と考察

DICM により得た y 方向のひずみ分布を図-2 に、また赤外線サーモグラフィ装置により得た温度分布を図-3 に示す。さらに、図-2 中の A-C-B 間の y 方向のひずみ分布の推移を図-4 に示す。図-2, 3 において、(a), (b) は溶接中、(c) は溶接終了時、(d) は溶接終了後の冷却過程を示す。図-2, 3 の (a) ~ (d) の時間 (t=16s, 32s, 48s, 1192s) は、溶接開始時からの経過時間 (秒) を表す。なお、図-2, 3 の (a) ~ (c) には溶接棒直下の位置を丸 (点線) で示している。

図-2 の (a) ~ (c) において、溶接棒直下に引張ひずみが確認される。これは、鋼表面がアーク熱により温度膨張しているためである。図-2 より、時間経過とともに y 方向の圧縮ひずみが溶接方向に伸びていくのが確認できる。これは、溶接作業が進むにつれてビードが形成され、そのビードの温度低下により収縮していることを表している。図-4 の t=32s で C 点近傍に y 方向に圧縮ひずみが確認され、その圧縮ひずみが時間経過とともに急激に増加し、t=1192s に約 -11000×10^{-6} に達していることが確認される。

図-4 の t=32s ~ 48s において圧縮ひずみの上下近傍に、大きな引張ひずみが確認され、溶接終了直後 t=114s では、その引張ひずみが上下方向に広域に広がっている。また、溶接終了後 t=1192s では、溶接終了直後 t=114s に比べてその引張ひずみが減少している。これは、図-5 の温度変化をみても説明がつく。図-5 では、C 点に集中した温度が、時間の経過とともに低下しながら、上下方向に広がっていくのが確認できる。そして、t=1192s では、温度変化がなく初期の温度状態に戻っているのが確認できる。

図-2 において溶接開始直後と溶接終了直後のビード直下に判別不能な色が示されているのは、ひずみが算出できなかった領域を意味する。実験では、耐熱スプレー (704°C ~ 1093°C) を用いたが、溶接後の試験片を観察するとわずかに溶けていたことが確認された。そのためランダムパターンが乱れて、画像相関関係が失われた。この問題は、高耐熱スプレーを用いることで対処できると考える。

4 結論

- 溶接中の加熱および冷却過程における DICM によるひずみ分布の推移と赤外線サーモグラフィによる温度分布の推移を可視化することができた。
- 溶接中の溶接棒直下ではアーク熱による温度膨張に伴う引張ひずみが生じる。
- 溶接時の加熱及び冷却過程における y 方向に発生するひずみが溶接時の温度との関係に相関があること、特に、温度変化と溶接直角方向 (y 方向) のひずみとの相関関係が高いことが確認され、溶接による発生するひずみの基本的性質が把握することができた。

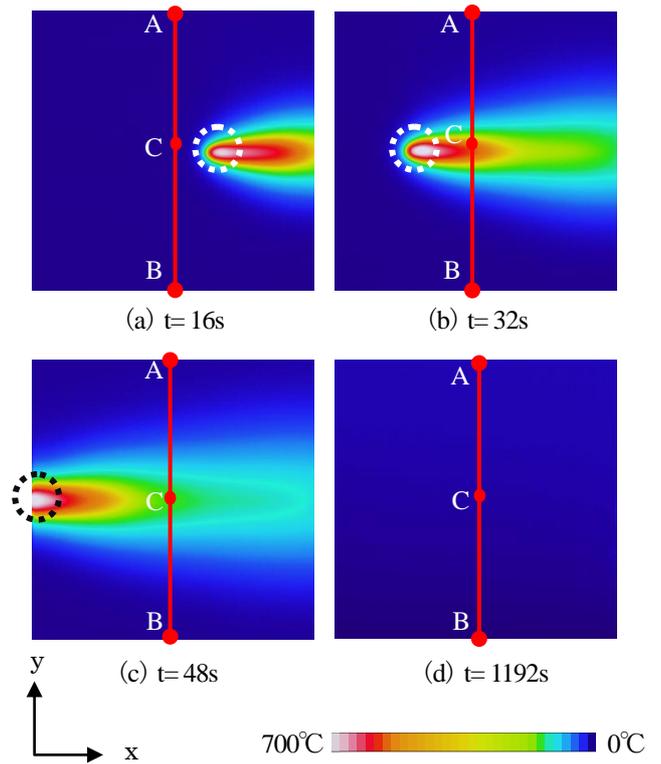


図-3 温度分布

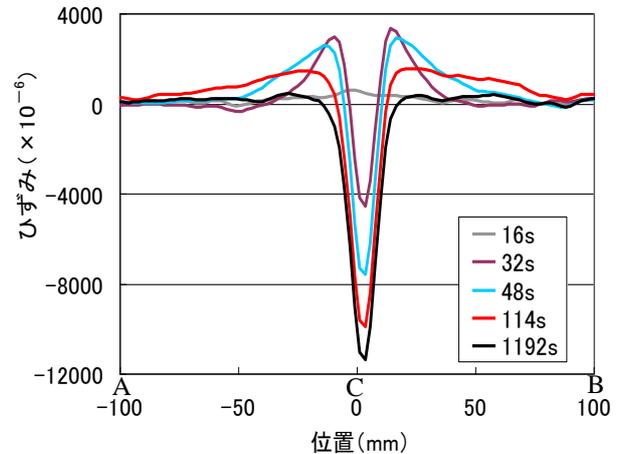


図-4 A-C-B 間 y 方向ひずみ

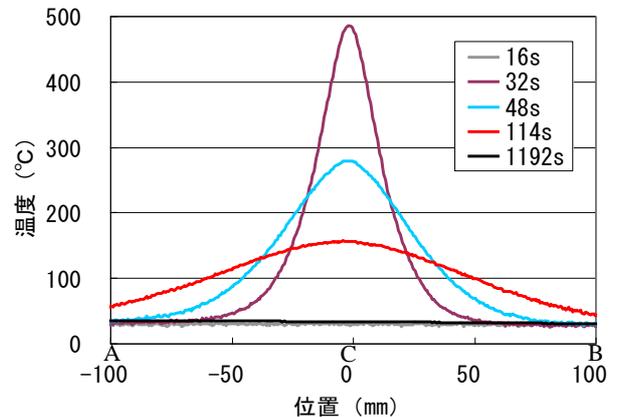


図-5 A-C-B 間の温度