

赤外線カメラを応用した継手の接合プロセス 可視化と動的耐久性予測技術の確立

小川 裕樹
神戸大学

1 はじめに

高強度と軽量化を同時に達成するマルチマテリアル化は、近年の産業界のキーワードである。マルチマテリアル化の実現には接合技術が必要不可欠であり、接合技術の実用化には継手の動的耐久性の把握が重要とされる。現状の動的耐久性評価は、様々な接合条件で継手を作製し疲労試験を行うと同時に、接合構造により変化するき裂の発生・進展様相などの破壊様相を観察する実験的なアプローチが行われる。しかしながら数多くのコストと長期の日数が必要となるため、継手の動的強度を迅速に予測できる手法の確立が望まれる。

そこで本研究では、塑性変形による発熱を示す散逸エネルギーに着目した。継手の破壊現象は、接合構造内部のミクロな塑性変形の蓄積により生じる。継手の破壊に至るメカニズムの全容を捉え、かつ迅速な動的強度予測を併せて行うためには、散逸エネルギーを評価指標とした手法の導入が有効であると考えた。この手法は従来、単一の素材を中心に検討されている^{1),2)}。そこで本稿では、複雑な内部構造を示す接合継手への応用を目的に、赤外線カメラにて継手に発現する散逸エネルギーを計測することで、レーザー溶接継手の破壊挙動ならびにその動的強度を散逸エネルギーにて詳細に評価できる迅速な評価手法を構築する。

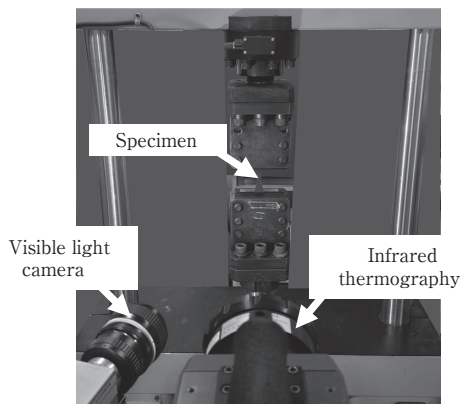


図1 ハイブリッド計測システム

2 実験方法

試験対象は、板厚 3 mm の冷間圧延鋼板 SPCC による突合せレーザー溶接継手である。図 1 に散逸エネルギー計測の実験装置の設置外観を示す。なお、散逸エネルギーの計測原理については、参考文献^{1)~5)}を参照いただきたい。本研究では従来の散逸エネルギー計測法を発展させ、可視カメラによるデジタル画像相関法を組み合わせた、ハイブリッド計測システムから、接合継手特有の複雑な接合構造や損傷挙動の時間的変化を捉える。可視カメラは、赤外線カメラに対して角度を設けて配置し、測定対象が効率的に検出する構成にしている。また、散逸エネルギー計測時に継手に作用する負荷にともなって生じる見かけの温度変動による計測誤差を除去するための位置補正を可視カメラにて行う。そのため、波形ノイズの除去処理やデジタル画像相関法による位置補正から散逸エネルギーの計測精度も向上できる構成とした。

3 研究成果

母材試験片およびレーザー溶接継手の疲労試験結果を図 2 に示す。同図縦軸は、負荷試験力振幅を破断箇所面積で除した応力振幅、同図横軸は破断までの繰返し数をそれぞれ表している。同図から、レーザー溶接継手の疲労限度は 120~130 MPa であり、本研究で作成したレーザー溶接継手の疲労限度は、母材試験片と同程度であることがわかった。そこで、レーザー溶接継手に対する疲労破

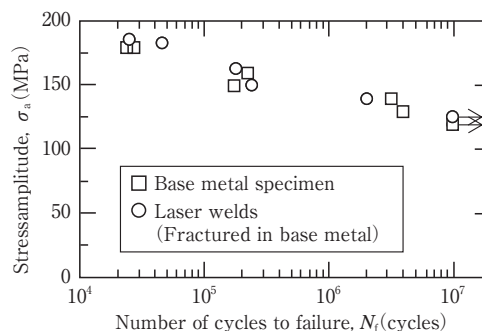


図2 疲労試験結果

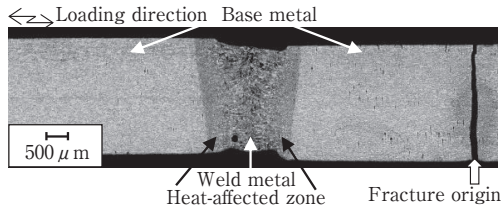


図3 レーザ溶接継手の疲労き裂進展様相

壊様相を詳細に観察するため、疲労試験を任意の繰返し数にて停止した際の、溶接部中央断面を観察した結果を図3に示す。同図から、溶接継手の疲労き裂発生起点は、レーザー溶接の影響を受けていない母材領域であり、かつ、母材内を疲労き裂進展する様相が確認された。これは、溶接溶接金属のビッカース硬さは、母材と比較して約1.5倍程度高いことから、本研究で作成したレーザー溶接継手は、母材領域にて破断したと推察される。

また、階段状に応力振幅を増加する階段状応力振幅増加試験にて、各応力振幅における散逸エネルギーを計測した。レーザー溶接継手で取得した応力振幅 $\sigma_a = 200\text{MPa}$ の散逸エネルギー分布を図4に示す。同図から、レーザー溶接継手にて最も散逸エネルギーが発現する箇所は、疲労き裂が発生する母材領域である。したがって、散逸エネルギーから継手の破壊起点を可視化できることが明らかになった。次に、母材試験片およびレーザー溶接継手の階段状応力振幅増加試験における、散逸エネルギーの計測結果を図5に示す。散逸エネルギーの評価領域は母材試験片およびレーザー溶接継手ともに破壊箇所に向けており、母材試験片は最小断面中央、レーザー溶接継手は母相領域としている。加えて、レーザー溶接継手において溶接部自体の疲労強度を推定するため、最小断面中央での階段状応力振幅増加試験での散逸エネルギー変化を取得した。母材試験片とレーザー溶接継手の破断箇所における散逸エネルギーを比較すると、散逸エネルギーが急増する応力振幅は、150 MPa程度であることがわかる。したがって、散逸エネルギーの急増点を疲労限度と仮定すると、疲労試験より求まる疲労限度とおおよそ一致しており、本研究で対象としたSPCC鋼板を母材とするレーザー溶接継手は、散逸エネルギーに基づく疲労限度推定が可能であることがわかった。一方、レーザー溶接継手の溶接部に相当する最小断面での散逸エネルギーが急増する応力振幅は170MPa程度であり、破壊起点となる母材領域で取得した散逸エネルギーの急増点より高いことがわかる。したがって、溶接部自体の強度特性は、母材領域よりも優れた溶接条件であることが示唆されるとともに、散逸エネルギーに基づきレーザー溶接継手および溶接部自体の疲労限度推定ができることが明らかとなった。

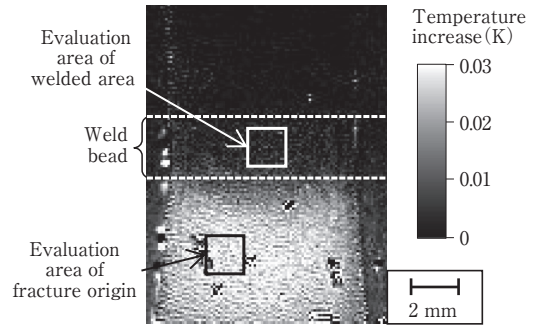


図4 レーザ溶接継手の散逸エネルギー分布

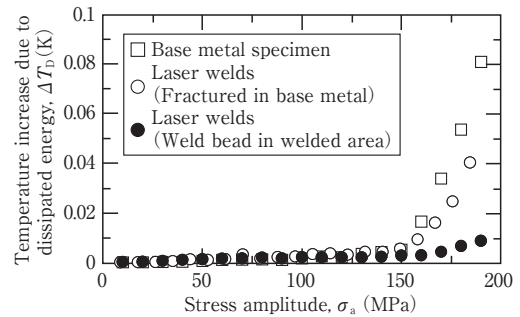


図5 散逸エネルギー計測結果

4 おわりに

レーザー溶接継手の散逸エネルギー分布から、継手の破壊起点を可視化することができ、散逸エネルギーの急増点を疲労限度と仮定すると、疲労試験で得られる疲労限度とおおよそ一致しており、散逸エネルギーに基づく疲労限度推定が可能であることがわかった。

近年では、赤外線カメラの性能の向上にとともに、高精度に散逸エネルギーを計測できる。そのため、継手内部に生じる損傷メカニズムおよび継手の動的強度を散逸エネルギーより解明できることが期待される。本研究で提案する疲労限度迅速推定法から、様々な溶接構造物に対して、より簡便に疲労強度を評価できるよう、さらなる発展を図り今後の溶接構造物の安全性向上に寄与したい。

参考文献

- 1) Shiozawa D, Inagawa T, Washio T, Sakagami T. Fatigue limit estimation of stainless steels with new dissipated energy data analysis. *Procedia Struct. Integr.* 2 (2016) pp.2091-2096.
- 2) Akai A, Shiozawa D, Yamada T, Sakagami T : Dissipation Measurement in Improved Spatial Resolution Under Fatigue Loading. *Exp. Mech.* 60 (2020) pp.181-189.
- 3) Shiozawa D, Inagawa T, Washio T, Sakagami T : Accuracy improvement in dissipated energy measurement by using phase information. *Meas. Sci. Technol.* 28 (2017) pp.044004.
- 4) Uchida Y, Shiozawa D, Hori M, Kobayashi K, Sakagami T : Advanced Technique for Thermoelastic Stress Analysis and Dissipation Energy Evaluation Via Visible-Infrared Synchronous Measurement. *Exp. Mech.* 62 (2022) pp.459-470.
- 5) Ogawa Y, Horita T, Iwatani N, Shiozawa D, Sakagami T : Evaluation of fatigue strength based on dissipated energy for laser welds. *Infrared Phys. Technol.* In press.