

[課題番号] 2 1 0 3 4

## 新 LTT 溶接材料による 3 次元圧縮残留応力の実験測定と数値解析 Measurement and analysis of 3D compressive residual stress in weld metal of newly developed LTT welding material

麻寧緒 #A), 岡田雄二 A), 角和磨 A), 平岡和雄 A), 諸岡聡 B), 菫蒲敬久 B)  
Ninshu Ma #A), Yuji Okada A), Kazuma Kado A), Kazuo Hiraoka A), Satoshi Morooka B), Takahisa Shobu B)  
A) Joining and Welding Research Institute, Osaka University  
B) Sector of Nuclear Science Research, Japan Atomic Energy Agency

### Abstract

Neutron diffraction measurement was employed to measure the 3D internal residual stress in weld metal of newly developed LTT (16Cr8Ni) welding material. The measured results showed that the large compressive residual stress can be produced by 16Cr8Ni LTT welding material for elongation of fatigue life.

**Keyword:** Residual stress, Neutron diffraction measurement, LTT weld metal

### 1. はじめに

軟鋼材の溶接ワイヤを用いた溶接金属部 (WM: Weld Metal) とその近傍の熱影響部 (HAZ) には、冷却時の熱収縮により引張残留応力が生成される。一方、低変態温度 (以下 LTT) 溶接材料を用いた場合、低温でオストナイトからマルテンサイトへの変態による変態膨張が発生するため、溶接金属部に圧縮残留応力が生成される。溶接による圧縮残留応力を利用して溶接継手の疲労寿命を延伸することが注目されている。本研究では、LTT 溶接によって生じる残留応力に着目し、中性子回折法を用いて LTT 補修溶接の試験片における内部残留応力を直接測定した。

### 2. 中性子回折法

中性子回折法とは、原子核による中性子線の回折を利用して、測定した回折角  $2\theta$  をブラッグの回折条件式  $2d\sin\theta = n\lambda$  ( $d$ :回折面の格子間隔,  $\lambda$ :入射中性子の波長) に代入することで回折面の格子間隔を求め、それと応力フリーの格子間隔を用いて計算することで測定箇所の残留応力が求められる。利点としては、X 線での残留応力測定と異なり、材料内部の残留応力が測定可能であり、また三軸方向のそれぞれの残留応力が得られることなどが挙げられる。

### 3. LTT 伸長ビード補修溶接試験片

LTT 伸長ビードを用いる角回し隅肉溶接部の疲労き裂補修法における補修溶接ビードと LTT 伸長ビード溶接の位置を Fig.1 に示す。すなわち、LTT 伸長ビードの溶接方向は、軟鋼ワイヤを用いたスチフナ先端の角回し補修溶接ビードの溶接方向に垂直している。この LTT 伸長ビード補修法により先端角回し溶接部の応力集中が緩和され、圧縮残留応力が生成される。しかし、実際の LTT 伸長ビード溶接を施した試験体で内部残留応力を測定するのは形状等の問題により困難である。そこで本研究では、軟鋼溶接ワイヤによるビードオンプレート溶接の溶接方向と直角に交わるような LTT 溶接を施し、Fig.2 のような簡略した試験片を立向姿勢で溶接し、中性子回折法を用いて内部残留応力を測定した。母材には KA36 材、軟鋼溶接ワイヤとして MX-Z200 を用いた。LTT 伸長ビードの溶接には、新に開発した全溶接姿勢用 16Cr8Ni フラックス入りワイヤを用いた。

中性子回折法による残留応力測定箇所は Fig.3 に示し、得られた 3 次元内部残留応力を Fig.4, Fig.5 に示した。これらの結果からは、LTT 溶接ビード内部にて約 600MPa~1000MPa の圧縮残留応力が生成されることが分かった。

[課題番号] 2 1 0 3 4

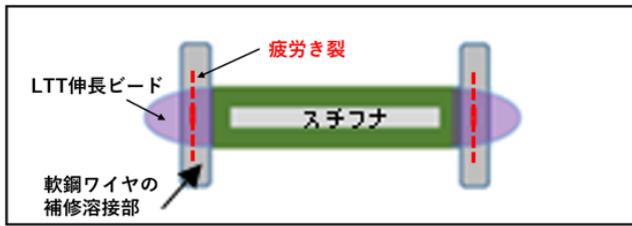


Fig.1 LTT elongated bead and repair welding bead for prevention of fatigue crack re-occurrence.

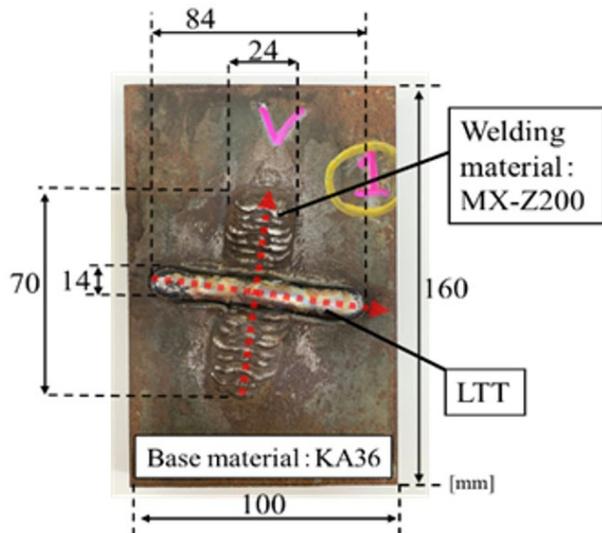


Fig.2 Repair welding bead of LTT welding material and its test piece for residual stress measurement

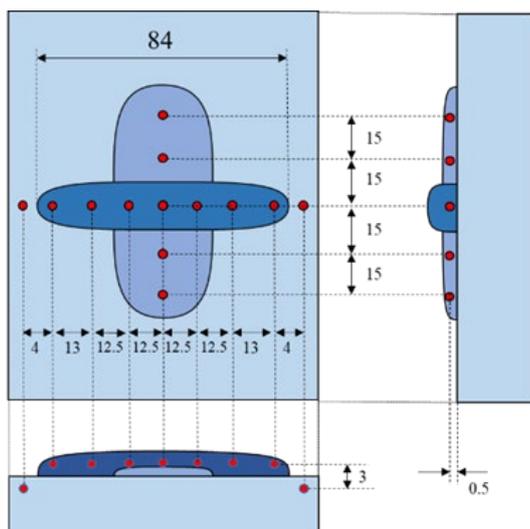


Fig.3 Neutron diffraction measurement point

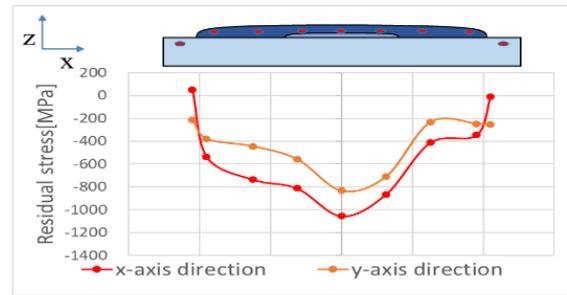


Fig.4 Residual stress in each axial direction of LTT part

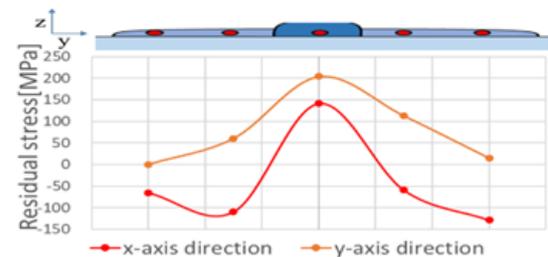


Fig.5 Residual stress in each axial direction of Weld bead part

#### 4. 結論

本研究では、中性子回折法を用いて LTT 補修溶接試験片における 3次元内部残留応力を測定し、圧縮残留応力が生成されていることを明らかにした。

#### 参考文献

- [1] 松崎拓也, 村川英一, 麻寧緒, 堤成一郎, 平岡和雄, 大沢直樹, 岡田公一, 谷野忠一, 志賀千晃, 矢島浩, 低変態温度溶接材料を用いた伸長ビード溶接による疲労寿命延伸効果に関する一考察, 圧力技術, 第 58 巻 1 号, 2020 年発表, p22-38
- [2] 松崎拓也, 平岡和雄, 馮中元, 麻寧緒, 村川英一, 加納寛, 岡田公一, 木村俊介, 志賀千晃, 矢島浩, 新低変態温度溶接材料と全姿勢伸長ビード補修溶接法による角回し溶接継手の長疲労寿命化, 日本船舶海洋工学会論文集, 32 巻 365 号 (2020.12), 153-161.
- [3] Zhongyuan Feng, Ninshu Ma, Seichiro Tsutsumi, Size effect on welding residual stress in low transformation temperature welded joints, Marine Structures 78 (March 2021) 103001.
- [4] 岡田雄二, 角和磨, 黄文嘉, 馮中元, 麻寧緒, 平岡和雄, 諸岡聡, 菖蒲敬久, LTT 補修溶接部やアークワイヤ積層材における内部残留応力の中性子測定, 2022 年溶接学会春季講演会論文集, 140-141.