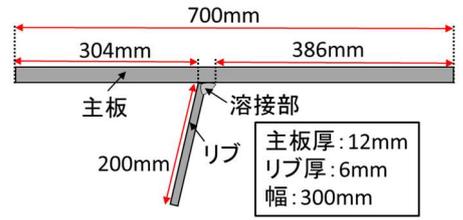


低変態温度溶接材料を用いた片面すみ肉溶接接手の板曲げ疲労強度

名古屋大学 学生会員 ○加納俊 正会員 判治剛 フェロー会員 館石和雄 正会員 清水優
川田工業 正会員 津山忠久 MK エンジニアリング 正会員 竹淵敏郎

1. 研究の目的 本研究では、鋼床版のデッキプレートと閉断面リブの溶接部から生じる疲労き裂のように、溶接ルートを起点とするき裂を対象とし、低変態温度溶接材料（以下、LTT 溶材）を用いて製作した溶接接手の疲労強度向上効果を疲労試験および有限要素解析により明らかにすることを目的とする。



2. 試験体 鋼床版のデッキプレートと閉断面リブの溶接部周辺を模擬した片面すみ肉溶接接手を試験対象とした。試験体を図-1 に示す。鋼材には SM400A（降伏応力：319 N/mm²，引張強度：493 N/mm²）を用い、溶接材料には普通溶材（JIS Z3313 T49J0T1-0CA-U）と LTT 溶材（JIS Z3313 T780T1-0CA-G）を用いた。今回用いた LTT 溶材には、変態点を下げるために Mn が多く添加されている。

表-1 溶接条件

| | 普通溶材 | LTT溶材 |
|------------|------|-------|
| 電流(A) | 285 | 250 |
| 電圧(V) | 26.5 | 28 |
| 速度(mm/min) | 400 | 370 |
| 入熱量(J/mm) | 1133 | 1135 |
| 予熱温度(°C) | - | 50 |

図-1 試験体の寸法



図-2 試験体製作状況

溶接条件を表-1 に、試験体の製作状況を図-2 に示す。溶接には CO₂ 半自動溶接を用いた。リブには開先を施し、リブ厚の 75% 以上

表-2 溶接形状の計測結果

| 試験体 | 止端半径 | 止端角 | 主板側脚長 | リブ側脚長 | 実のど厚 | 溶込み深さ |
|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| | (mm) | (°) | (mm) | (mm) | | |
| 普通溶材 | 0.623 | 68.1 | 3.84 | 7.18 | 6.66 | 81.3 |
| LTT溶材 | 0.666 | 67.7 | 3.87 | 7.41 | 6.66 | 79.1 |

の溶込みを確保した。溶接中は主板とリブの角度が 77° となるように拘束し、冷却完了までその状態を保持した。LTT 溶材の断面マクロを図-3 に示す。また、溶接形状の計測結果を表-2 に示す。溶材の違いによる形状の差はほとんどないことがわかる。



図-3 断面マクロ

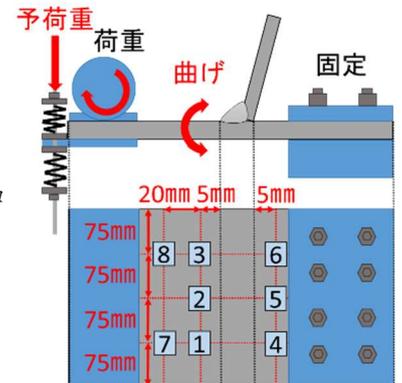
深穴穿孔法（MIRS 法）を用いて、溶接ルート近傍の残留応力を計測した。溶接ルートの裏面から小径の孔をあけ、その孔の周りを放電加工により円筒状に切り出し、初期との孔径の差から残留応力を算出した。計測は溶接線方向に 50 mm 間隔の 5 点で行い、ルートから板厚方向 1 mm の位置での溶接線直角方向の残留応力を求めた。計測結果の平均値は、普通溶材で 43.2 N/mm²，LTT 溶材で 14.0 N/mm²であった。両者に有意な差があるとはいいがたいが、LTT 溶材のほうが普通溶材よりも残留応力が小さい傾向がみられた。

3. 疲労試験 疲労試験の概要を図-4 に示す。

本研究では振動式板曲げ疲労試験機を用い、主板に繰返し曲げを作用させて試験を行った。溶接ルートの応力比はゼロとした。ルート位置の公称応力範囲は、図-4 に示すようにリブを跨いで主板表面に貼り付けたひずみゲージの値から内挿して求めた。溶接部近傍のゲージの変動範囲が 5%減少したときの繰返し数を疲労寿命と定義した²⁾。破面観察より、寿命時のき裂長は 130 mm 程度、き裂深さは 2.6 mm 程度であった。破面の例を図-5 に示す。

キーワード 低変態温度溶接材料，疲労強度向上，鋼床版，片面すみ肉溶接接手，残留応力

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL：052-789-4620



①～⑧：ひずみゲージ

図-4 疲労試験の概要



(a) LTT 溶材



(b) 普通溶材

図-5 破面の例

疲労試験結果を図-6に示す。図中には過去に普通溶材を用いて同様の試験方法で得られた結果^{2),3)}も併記している。LTT溶材の結果は普通溶材のそれより上方に位置しており、LTT溶材を本溶接に用いた場合でも疲労強度が向上する可能性が示された。

4. 熱弾塑性解析による残留応力の比較 ABAQUS Ver.6.14による熱弾塑性解析を行い、溶接により生じる残留応力分布を求めた。図-7に示すように解析モデルは試験体の形状および寸法を基に作成した。溶接部周辺の主板内の要素寸法は0.85mm程度であり、できるだけ均一に分割した。境界条件は溶接時の試験体の拘束を再現するように与えている。材料特性には図-8から図-10に示す温度依存性を与えている。LTT溶材の相変態は線膨張係数を変化させることで再現した。LTT溶材の線膨張係数の温度依存性は変態点測定結果を基に設定している。

まず、試験体と同じ板幅300mmのモデルに対して、溶接部の出現と入熱を繰り返しながら伝熱解析を実施し、入熱量の妥当性を確認した。その後、計算時間の節約のために板幅を小さくして平面ひずみを模擬したモデルに同様の熱流束を与え、溶材の違いによる残留応力の変化を求めた。温度履歴の比較を図-11に示す。解析により

温度履歴をおおむね再現できていることがわかる。冷却後の溶接線直角方向の残留応力分布を図-12に示す。図の縦軸は溶接ルートからの板厚方向の距離である。LTT溶材を再現したモデルでは、溶接ルート近傍で局所的に圧縮残留応力が付与されていることがわかる。

5. まとめ 本研究では、LTT溶材を用いて製作した片面すみ肉溶接継手の板曲げ疲労強度を明らかにした。LTT溶材を本溶接に用いることにより、溶接ルート近傍の残留応力が低減し、ルートき裂に対する継手の疲労強度が向上する可能性を示した。

参考文献 1) 永井ら：溶接学会全国大会講演概要, 95, pp.370-371, 2014. 2) 山田ら：構造工学論文集, Vol.54A, pp.675-684, 2008. 3) 服部ら：土木学会論文集 A1, Vol.74, No.3, pp.516-530, 2018. 4) 金ら：溶接学会論文集, Vol.23, No.3, pp.431-435, 2005.

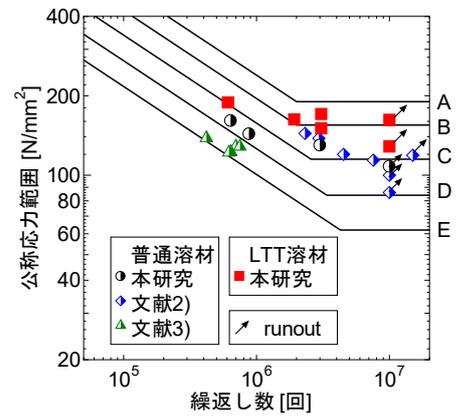


図-6 疲労試験結果

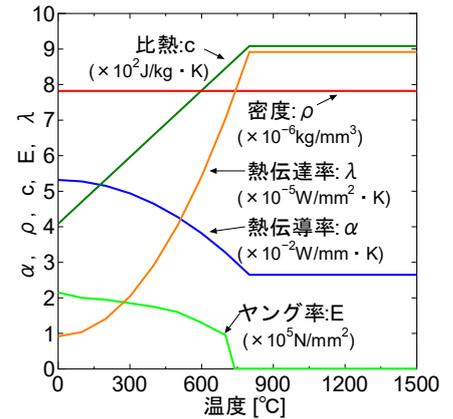


図-8 材料特性の温度依存性

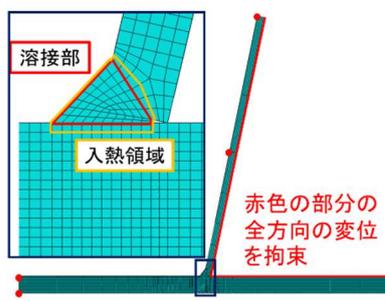


図-7 解析モデル

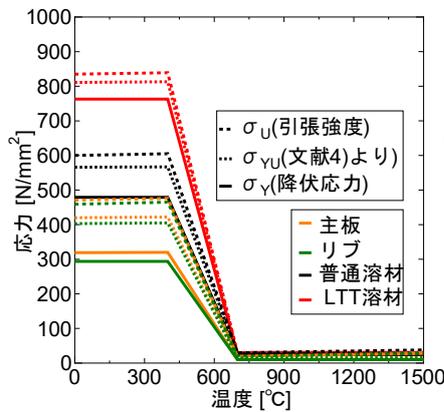


図-9 機械的特性の温度依存性

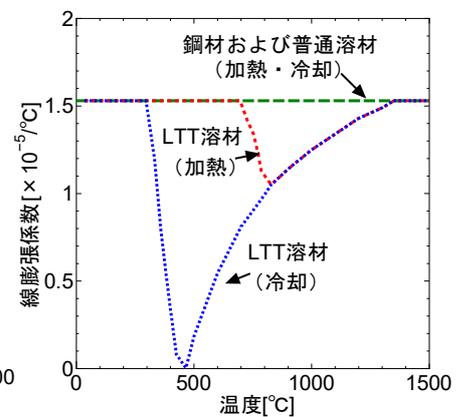


図-10 線膨張係数の温度依存性

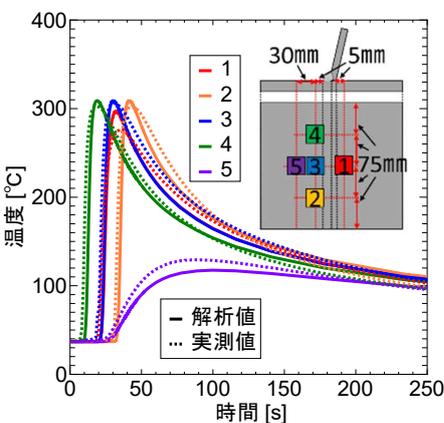


図-11 温度履歴の比較

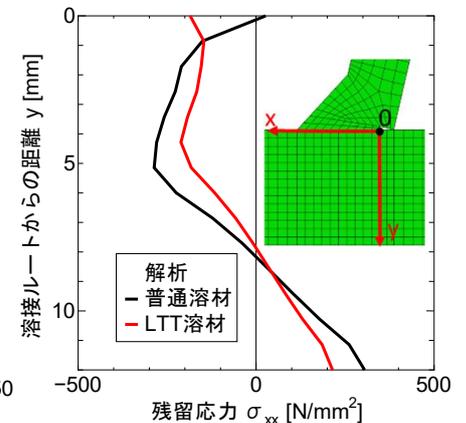


図-12 板厚方向の残留応力分布