

## 低温相変態溶接棒を用いた溶接継手の疲労強度向上

芝浦工業大学 学生会員 ○佐藤 嘉宏  
 芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾

### 1. 研究背景

溶接継手の疲労強度に悪影響を及ぼす要因として溶接冷却時に発生する引張残留応力が考えられる。この引張残留応力を圧縮側まで減少させ、溶接継手部の疲労強度を向上させる手法の一つに低温相変態溶接棒（以下 LTT）の適用が考えられる。LTT は普通溶接材料よりも冷却時の変態温度が低く、その変態膨張を利用して溶接部に圧縮残留応力を導入することを目的とした溶接材料であり、これまでに LTT の適用による疲労強度向上効果について研究が行われている。しかしこれらの研究は、主板側の溶接止端部から主板に進展していくき裂を対象としたものがほとんどである。しかし、実構造物では溶接ルート部からの疲労損傷も多く報告されているが、ルートき裂に対する LTT の適用性は明らかにされていない。そこで、本検討ではすみ肉溶接継手のルート部に着目して LTT の適用性について疲労試験や溶接残留応力解析を用いて検討を行った。

### 2. 試験体及び試験条件

溶接ルート部より発生するき裂は図-2 に示すように主板に進展していく Type-A き裂と溶接金属内に進展していく Type-B き裂がある。本検討では図-3 に示す片面すみ肉溶接試験体を用いて図-4(a)に示す 4 点曲げ試験で Type-A き裂を、図-4(b)に示す片持ち梁式試験で Type-B き裂を再現し検討を行った。試験体の溶接材料と使用鋼材は表-1 に示す。

### 3. 4 点曲げ疲労試験結果(実験 A)

発生したき裂は主板に進展する Type-A き裂であった。Type-A の試験結果を図-6 に示す。ここでは主板裏面のひずみゲージから公称応力範囲を算定して整理している。普通溶材で溶接された試験体と LTT で溶接された試験体と比較して LTT 試験体の方が JSSC の疲労強度等級で疲労強度が 1 等級程度高く、ルート部より主板に進展していく Type-A き裂に対しても LTT による疲労強度向上効果が得られていると考えられる。

### 4. 片持ち梁形式疲労試験(実験 B)

発生したき裂は全て溶接金属内に進展していく Type-B き裂であった。図-6 にのど厚の公称応力範囲を用いて整理した疲労試験結果を示す。

普通溶材を用いた F シリーズと比較して LTT を用いた

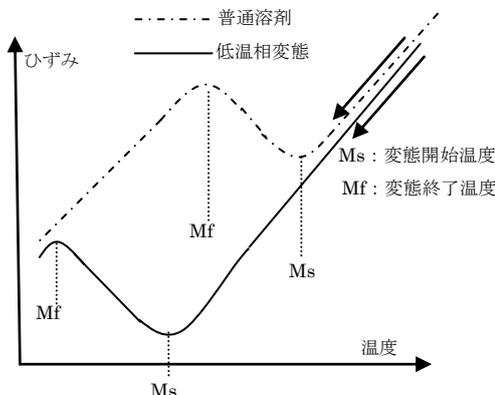


図-1 冷却時の温度-ひずみ関係

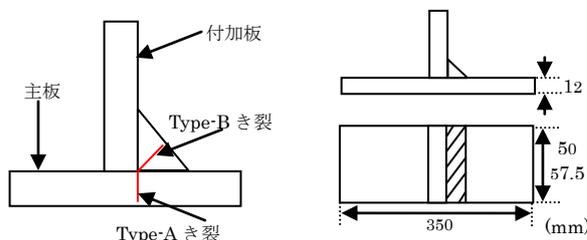
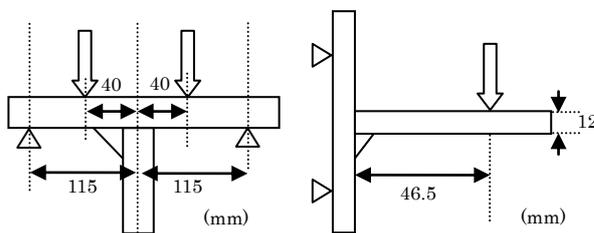


図-2 ルート破壊

図-3 試験体寸法



(a) 4 点曲げ試験

(b) 片持ち梁試験

図-4 試験機セットアップ

表-1 溶接材料・使用鋼材まとめ

| 試験体 | 供試鋼材             | 溶接材料           | 溶接方法               |
|-----|------------------|----------------|--------------------|
| F   | SM490 (実験 A)     | MX-Z200 (普通溶材) | CO <sub>2</sub>    |
| L   | SM490YA (実験 B)   | N19(LTT)       | SMAW               |
| M   | SM490YA (実験 A,B) | SM-10N(LTT)    | Ar+CO <sub>2</sub> |

LTT 溶材の変態温度は 2 種類とも Ms/Mf=400/300℃程度

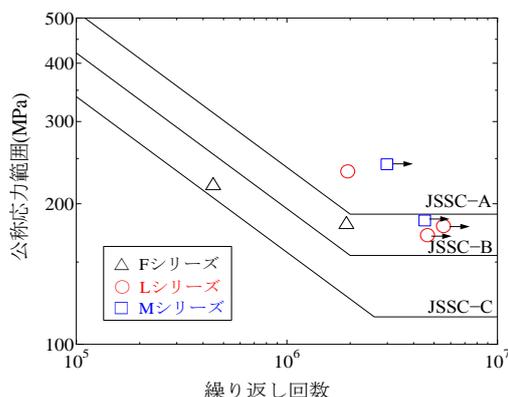


図-5 4 点曲げ疲労試験結果

Lシリーズと、MシリーズはS-N線図上で疲労強度が同程度以下にプロットされており溶接金属内に進展していくType-Bき裂に対してLTTの効果を得られなかった。特にMシリーズの疲労強度が低い結果となった。図-7に実験Bで得られた各シリーズの疲労破面を示す。現在SEM等で調査中であるが、全てのシリーズの破面でストライエーションが観察されているものの、Fシリーズの破面は一般的な疲労断面であるのに対して、L、Mシリーズの破面は凹凸が存在する特異な破面となっている。尚、Mシリーズに焦げて見える部分については、高温割れのような組成になっていることが確認されており、Mシリーズの疲労強度が低い一因となっていると考えられる。

### 5. 残留応力解析

ルート部の残留応力を実際に測定することは困難であるため、本研究ではLTTを用いたすみ肉溶接ルート部の溶接残留応力を以下の2ステップの解析で検討した。①溶接部のみを膨張させた場合のルート部の発生応力から、変態膨張による圧縮残留応力の発生機構を検討する。②熱源移動を考慮した熱弾塑性解析により実際のLTTによるルート部の残留応力を検討する。

本概要ではステップ①について報告する。解析には汎用FEM-CodeであるMARKを用いた。

図-8に解析モデルを示す。溶接部のみ10℃上昇させ膨張させた。本モデルではType-AとType-Bき裂への残留応力の影響を検討することとを目的として溶接ギャップを導入している。溶接ギャップは0.5mmとした。

主板側のコーナー部(A点)はType-A、付加板側のコーナー部(B点)はType-Bき裂の発生点となると考えられる。図-9にこの両コーナー部の残留応力分布を示す。A点では図-8に示すType-Aき裂に対して、B点ではType-Bき裂に対してそれぞれ直角方向の発生応力の溶接線方向の分布を示している。A点では圧縮B点では引張の応力が溶接部の膨張により発生している。図-10では変形図を示す。A点では溶接部の膨張を主板が拘束している様子がB点では逆に溶接部の膨張によりコーナー部が股開きのような変形をしていることが分かる。この結果は疲労試験結果(実験A、B)でのLTTの疲労試験結果と一致しており、Type-Aき裂に対しては圧縮残留応力の導入効果が見られ、Type-Bき裂に対しては圧縮残留応力の導入効果があまり見られなかったと考えられる。

現在熱源移動を考慮した熱弾塑性解析により実際の溶接のシミュレーションを試みている。

**謝辞：**本研究は科学研究費基盤研究(C)(課題番号13243767・研究者代表：穴見健吾)の一環として行われました。また研究遂行に際し、宮地エンジニアリング(株)の渋谷氏に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表す

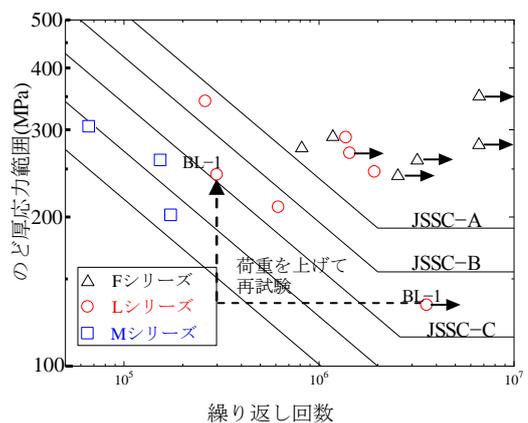


図-6 片持ち梁疲労試験結果

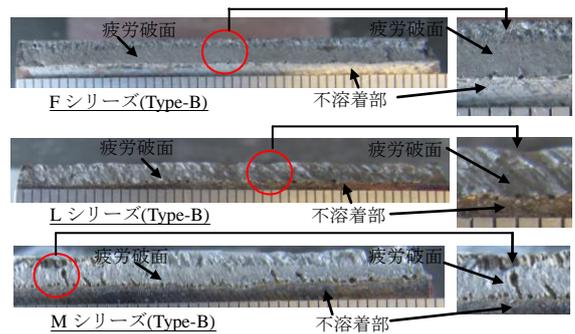


図-7 試験体破面(Type-B)

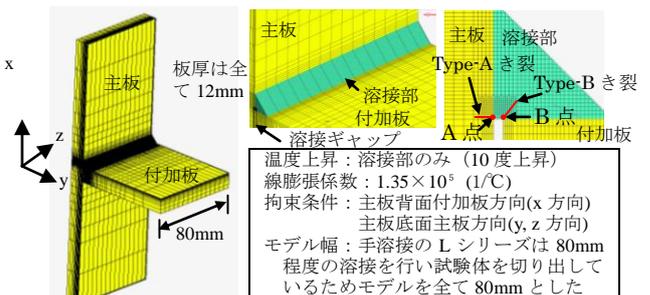


図-8 解析モデル

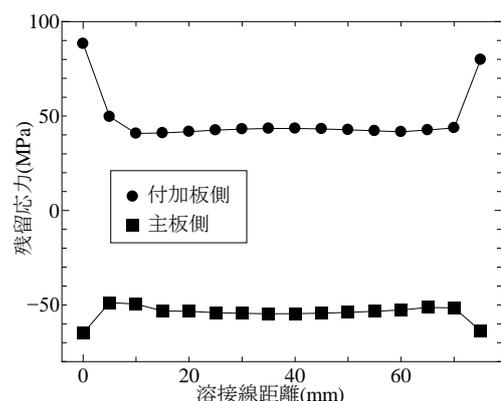


図-9 溶接部膨張時の残留応力分

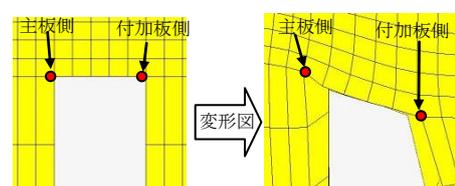


図-10 溶接残留応力分布と変形図