

## き裂進展に伴う溶接残留応力の再配分に関する一考察

ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 正会員 ○門田祐一郎  
 芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾  
 芝浦工業大学 瀧谷 友哉

## 1. はじめに

鉄道の鋼構造物の疲労き裂を効率的に対策するには、き裂が部材の脆性破壊に至るとされている限界き裂長に進展するまでの余裕度を把握することが不可欠である。限界き裂長の算出には、活荷重応力などの外力からの応力と溶接時に発生する溶接残留応力の2つの応力を考慮する必要がある。しかし、溶接残留応力は、施工時の溶接状態によるばらつきや、現地測定が難しく、定量的に把握することが困難であった。

そこで、本稿では、より精度の高いき裂進展解析や部材破断までの余裕度を把握するための基礎的検討として、き裂進展に伴う溶接残留応力の再配分について、試験体による応力測定と熱弾塑性解析により検討した結果を報告する。

## 2. 試験体によるき裂進展に伴う溶接残留応力の測定

き裂発生前の溶接残留応力分布、進展に伴う溶接残留応力再配分の把握を目的として、図-1に示す突合せ溶接試験体に図-2の通りひずみゲージを貼付し、溶接残留応力の応力測定を実施した。試験方法は、き裂を模擬したスリットを進展させ、各ゲージの1mm手前でひずみ計測を行った。なお、溶接残留応力は、15mmラインで測定した初期溶接残留応力分布にスリットラインで測定した応力の変化量を合算して求めた。

また、スリットの進展は、初期引張残留応力場から進展させる「①円孔から両側方向」と、初期圧縮残留応力場から進展させる「②試験体端部から中心方向」の2通り行った。

①の初期引張残留応力場からスリットを進展させた場合の結果を図-3に示す。スリットの進展に伴い、先端部に大きな引張残留応力が集中していることが確認された。また、スリットを進展させるにつれて、応力が再配分されたことで、先端部にかかる溶接残留応力が徐々に小さくなることが確認された。

次に、②の初期圧縮残留応力場である試験体端部からスリットを進展させた場合の結果を図-4に示す。スリットが溶接部左側を進展する際、先端には圧縮残留応力が集中したが、溶接部右側の残留応力分布に変化は見られなかった。その後、スリット先端が溶接部に近づくにつれ、スリット先端部では、引張

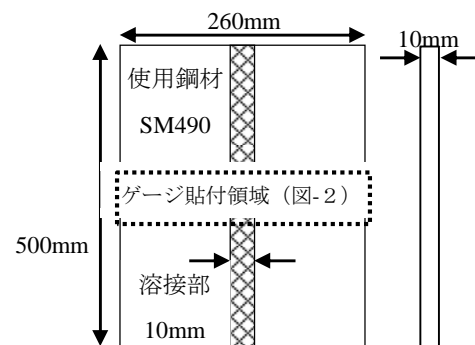


図-1 突合せ溶接接合試験体

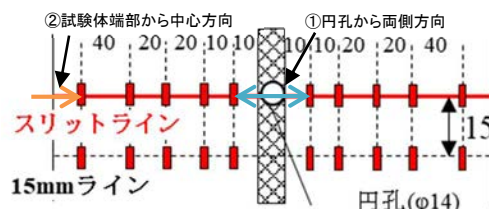


図-2 ひずみゲージ貼付位置

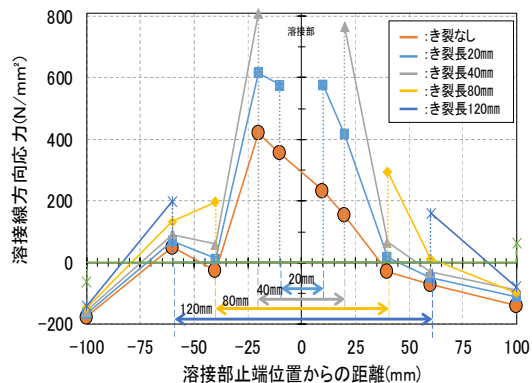


図-3 引張残留応力場からの残留応力変化

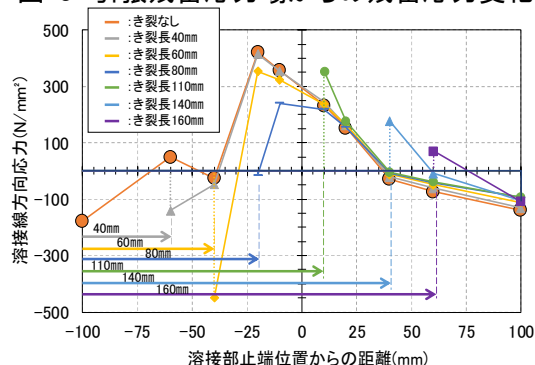


図-4 圧縮残留応力場からの残留応力変化

キーワード 限界き裂長、溶接残留応力、応力拡大係数

連絡先 〒108-0075 東京都港区港南2丁目1-95 ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 TEL03-6716-7210

残留応力が卓越し、溶接部通過後は図-3 で計測された変化と同様の傾向を示した。

### 3. 熱弾塑性解析による溶接残留応力の検討

き裂進展に伴う溶接残留応力の再配分及びそれによる応力拡大係数の変化を解析的に把握するため、熱弾塑性解析を行った。解析は図-5 の通りとし、き裂進展は、溶接線直角方向に1ステップにつき1mm (最小メッシュサイズ)のメッシュを解放することで再現することとした。解析結果のうち、20 mm進展ごとの溶接残留応力の変化を図-6 に示す。溶接部からスリットを進展させた場合、スリット部の応力が解放・再配分され、スリットの先端部の溶接残留応力が徐々に小さくなる傾向が確認された。解析結果は試験測定結果とおおむね同様の結果を得ており、解析を用いて、溶接残留応力の変化を再現することができたと言える。

### 4. 応力拡大係数の算出

き裂進展性を評価する指標の一つに応力拡大係数 (K 値) がある。本稿では、解析で得られた初期残留応力分布を用いた重ね合わせの原理を用いた手法<sup>1)</sup> (以後、重ね合わせとする) と J 積分法により、K 値を算出した。溶接残留応力のみで算出した K 値の結果を図-7 に示す。き裂が短い時は、溶接部の降伏応力により K 値が高い値を示したが、き裂が進展するにつれて低減する傾向が得られた。重ね合わせにおける K 値が負の値となったのは、残留応力のき裂進展に伴う変化を考慮しておらず、き裂発生前の応力分布を用いて算出するためであると考えられる。

さらに、活荷重応力等の外力を考慮するため、溶接残留応力と引張応力  $100\text{N/mm}^2$ の両者を作用させながら進展させた場合の K 値と、併せて、最も安全側となる降伏応力 (解析では  $300\text{N/mm}^2$  とした) を全断面に作用させた場合の重ね合わせの K 値を図-8 に示す。重ね合わせ、J 積分法で算出した K 値は、外力の影響により、図-7 よりも全体的に高い値となった。また、降伏応力のみで算出した重ね合わせの K 値は、溶接残留応力と外力を考慮した K 値と比較してはるかに高い値となった。したがって、限界き裂長の算出において、活荷重応力等の外力と溶接残留応力を考慮することで、より実橋に適合した部材の破断までの余裕度を検証することができる。

### 5. 今後の展望

今後は、様々な試験体での溶接残留応力の測定や解析モデルの検証を行い、溶接残留応力の J 積分法による K 値算出の精度向上を目指す。

### 参考文献

1) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2015.9

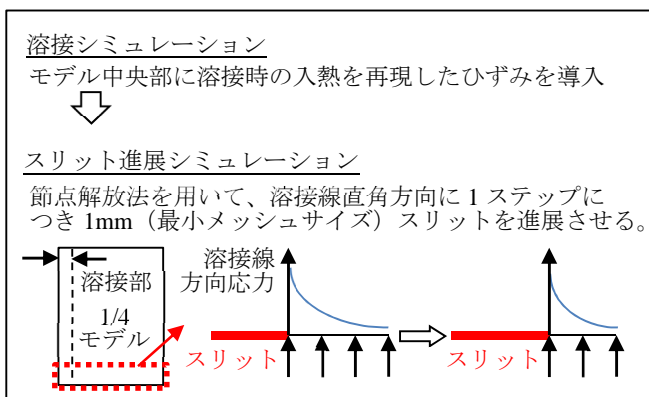


図-5 解析シミュレーション

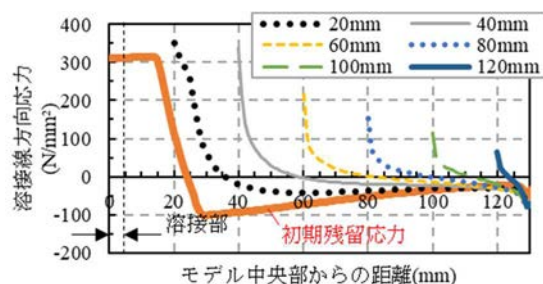


図-6 解析結果

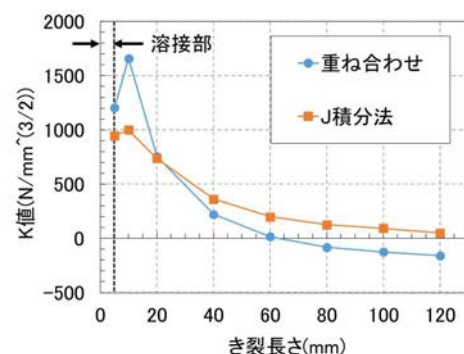


図-7 残留応力のみを考慮した K 値

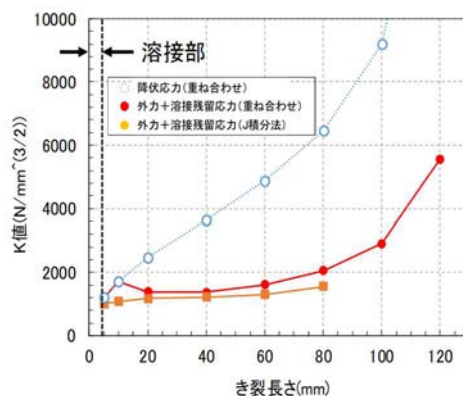


図-8 残留応力・外力を考慮した K 値