

## 第 I 部門

## 母材強度が上昇しても継手強度が向上し難い理由に関する一考察

大阪大学 接合科学研究所 学生員 ○森田 花清  
正会員 堤 成一郎

Fincato Riccardo

## 1. はじめに

橋梁など、社会基盤インフラにおいて溶接構造物は広く使用されており、その疲労寿命の高精度予測に対する要求は高い。また、これまで TMCP 鋼に代表される高強度鋼が盛んに開発されており、一般に材料レベルでは、降伏応力の上昇に比例して疲労強度も上昇することが確認されている。しかし、高強度鋼を用いた溶接継手の疲労特性はバラつきが大きく、母材強度の向上にもかかわらず、継手の疲労強度は通常材と同等になることが報告されている。この原因としては、高強度材を用いたい場合、通常材と比べて止端部の応力集中が大きくなる傾向にあること、また残留応力が高くなることなどが考えられるが、明確な原因は解明されていないというのが実情である。

一方、これまでに著者らは溶接止端部における局所的な繰返し弾塑性挙動の予測結果を用いた疲労寿命評価手法の確立を目指して、数値解析手法の高精度化を行ってきた (図 1)。

そこで、本研究では溶接十字継手を解析対象として、材料強度 (降伏応力/応力ひずみ関係) が継手疲労強度に与える影響に関して数値解析を用いて考察を行った。

## 2. 材料及び FEM 解析モデル

本研究で採用する材料 (Fatigue SS) モデル<sup>1)</sup>は、Mises 型降伏面および複合硬化則とともに相似中心の概念を導入している。図 3, 4 に SM490B 材の疲労試験結果と材料モデルの応力ひずみ応答の例を示す<sup>2)</sup>。解析対象として、2 種類のビード形状を有する非荷重伝達型溶接継手を模した FE モデルを作成した (図 2)。解析対象の継手形状および境界条件の対称性により十字継手の 1/4 形状を 2 次元平面ひずみ要素でモデル化 (B: 節点数 4356, 要素数 4262, S: 節点数 3157, 要素数 3078) した。なお、応力集中が予想される溶接ビード止端部の要素サイズは 50 $\mu$ m 四方程度とし、溶接ビード止端部の最も応力集中が予想される要素を要素 A とする。解析は汎用 FEM ソフト Abaqus/Standard Ver6.14 を使用し、ユーザサブルーチン機能を通して上記材料モデルを導入した。材料モデルの応力ひずみ関係が継手部疲労強度に与える影響を検討するために過去の実績に基づく材料定数により計算される従来モデル (mat.B1) および、仮想的に降伏応力を二倍とした高強度モデル (mat.B2) を用いて解析を行った。また、微小き裂発生、破断条件から得られたき裂発生、および疲労き裂伝播条件として、それぞれ次式を採用した<sup>2)</sup>。 ( $\Delta\epsilon_f/2 = 0.415 N_C^{-0.606} + 0.00412 N_C^{-0.115}$ , ( $\Delta\epsilon_f - 0.00251$ )  $N_f^{-0.53} = 1.03$ ,  $da/dn = C (\Delta K^n - \Delta K_{th}^n)$ )。なお本研究では、き裂伝播速度は材料に依存しないものとし、初期き裂長さ 0.2mm で、き裂長さが 6.0mm で破断に至ると仮定した。

## 3. 疲労寿命評価法

材料強度が疲労寿命に及ぼす影響の検討を行うために、従来モデル (mat.B1) および高強度モデル (mat.B2) を用いて材料および溶接十字継手の疲労試験を模した数値実験を行った。一軸・引張圧縮条件下の計算により得られた材料の S-N 関係を図 5 に示す。これより、材料強度が二倍になると、微小き裂の発生および破断寿命は延びることがわかる。また、図 6 に溶接継手部における S-S 関係、図 7 に本研究により得られた溶接継手部および材料の S-N 関係、図 8 に 200 万回疲労強度 $\sigma_w$ に対する降伏応力 $\sigma_y$ を示す。これより、材料強度の向上により材料の疲労寿命および疲労強度は向上しているが、溶接十字継手についてはほとんど延びていないことがわかる。これは、応力集中の高いビード止端部では、材料の加工硬化が発揮されるためであると考えられる。なお、本研究のように伝播寿命が材料強度に依存しないと仮定した場合の全寿命から分かるように、き裂発生寿命のみと比較して全寿命に対する寿命の伸び率が小さくなるが、溶接残留応力の影響やき裂発生後の伝播挙動に対する強度の影響なども含めて検討を行う必要がある。

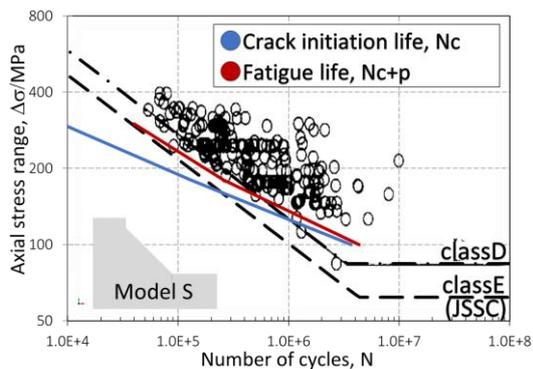


図1 溶接十字継手におけるS-N関係

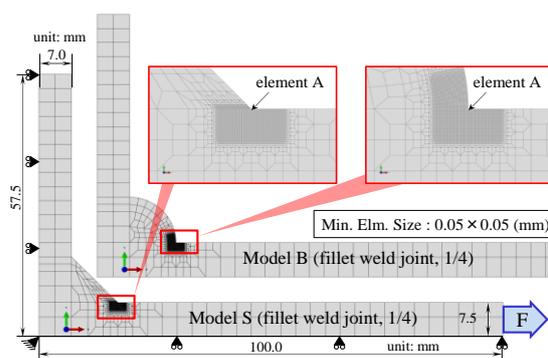


図2 解析対象および境界条件

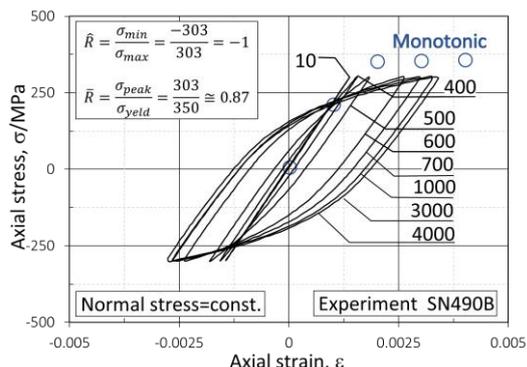


図3 SM490B 材の疲労試験<sup>2)</sup>により得られたS-S関係

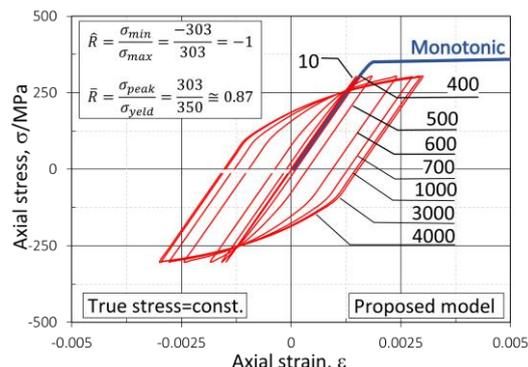


図4 本研究で使用した材料モデルのS-S関係の例

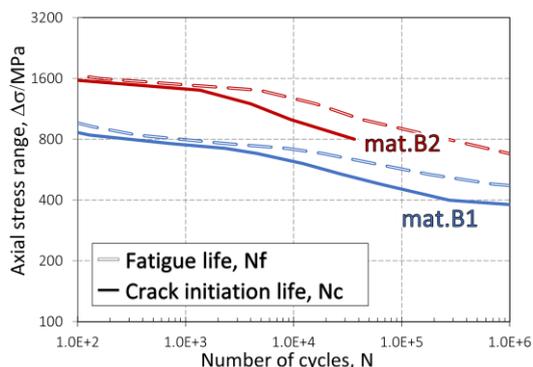


図5 材料のS-N関係

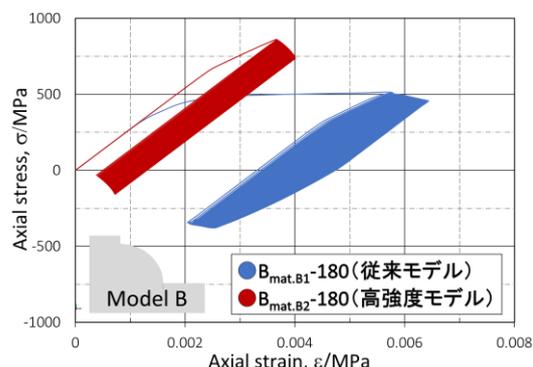


図6 溶接継手部におけるS-S関係

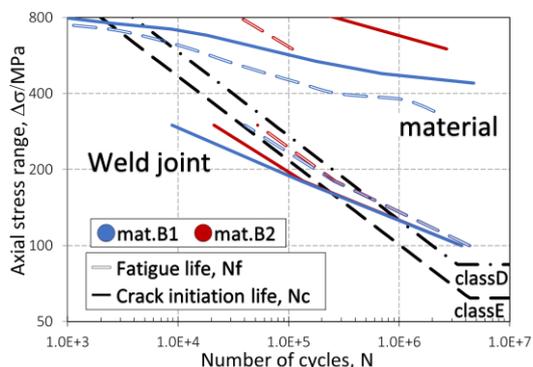


図7 S-N関係 (材料・溶接継手)

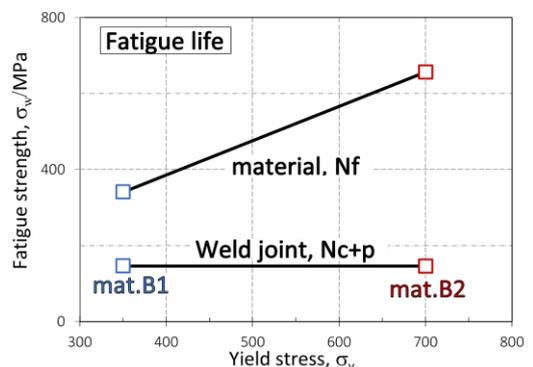


図8 200万回強度σ<sub>w</sub>に対する材料強度σ<sub>y</sub>の関係

参考文献

- 1) K. Hashiguchi, Subloading surface model in unconventional plasticity, Int. J. Solids Struct. 25(1989), 917-945.
- 2) 堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏: “高サイクル疲労過程の繰返し応力-ひずみ関係”, 日本船舶海洋工学会論文集, 7(2008), pp243-250.
- 3) 日本材料学会編: 疲労設計便覧, pp123~125, 1995.
- 4) 日本鋼構造協会編: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説一付・設計例 2012年改訂版, pp80~82