

塑性変形を与えた溶接鋼部材の腐食疲労

足利工業大学 学生会員 佐々木 力

足利工業大学 フェロー 阿部 英彦

1. はじめに

鋼構造の疲労寿命は、通常、大気中での各種構造試験体の疲労試験に基づいて評価される。しかし、近年、海岸沿いや海峡を越えて架設される鋼橋が増加しており、塩分による過酷な腐食環境下に置かれている。今回はガセットプレートに溶接した鋼板が塑性加工を受けた場合を想定して、大気中および腐食環境下で疲労試験を行った。また、残留応力を非線形 FEM 解析や X 線回折測定法により求め、実験結果と比較・考察した。

2. 実験方法

試験体の形状は、図 1 の様に SM400 の鋼板の両面にガセットが軸方向に隅肉溶接で取り付けられている。まず、塑性変形を与えない試験体で大気、真水および 3%塩水の環境下で疲労試験を行った。応力波形は正弦波とし、掴み部の緩み防止のために 9.8MPa の下限応力を与え、繰返し速度を 16Hz とした。また、腐食環境下の試験では、試験体に腐食槽を取り付けて亀裂発生が予想される溶接端部の 4ヶ所に真水あるいは 3%塩水を毎分 10ml の割合で滴下した。次に、引張り試験機により標点間距離の塑性伸びが 2.0 mm、4.0 mm および 6.0 mm となる様に塑性変形を与え、それぞれの試験体の名称を予歪み-1、予歪み-2 および予歪み-3 として試験を行った。なお、予歪み-2 に対しては腐食環境下の試験も行った。

3. 疲労試験結果

塑性なしの試験体の各環境下における試験結果を図 2 に示す。大気と真水との差は僅かであったが、3%塩水の場合は大気と真水に比べてほぼ平行に減少している。また、図 3 に示す予歪み-2 の各環境下における疲労試験結果は、真水の方が大気よりも多少、大きくなった。3%塩水では大気より僅かに減少している。図 4 は塑性変形を与えた各試験体の疲労強度を比較したものであるが、塑性なしの場合が最も小さく、塑性変形の量が増すに従って、ほぼ平行して順次大きくなっている。

4. 残留応力

各試験体の長手方向の残留応力を非線形 FEM 解析と X 線回折測定法により求めた。X 線回折測定とは、X 線回折を用いて結晶格子面間隔を測定し、そのひずみから試験体表面の応力を算出する測定方法なので、初期の溶接熱による残留応力も測定できるのが特徴である。X 線回折測定では、試験体による誤差を小さくするために同形の 2 つの試験体で測定し、その平均値を用いた。なお、2 つの測定値には殆ど差がなかった。

非線形 FEM 解析では、図 5 に示す様に試験体の対称性を考慮して 1/8 モデルについて解析を行った。また、加工硬化曲線には図 6 に示す式を用いた。ここで文献¹⁾²⁾により n 値には鋼板部および溶接部に対して、それぞれ 0.25 および 0.1 を用いた。非線形 FEM 解析では、始め初期の溶接熱による残留応力を考慮しないで塑

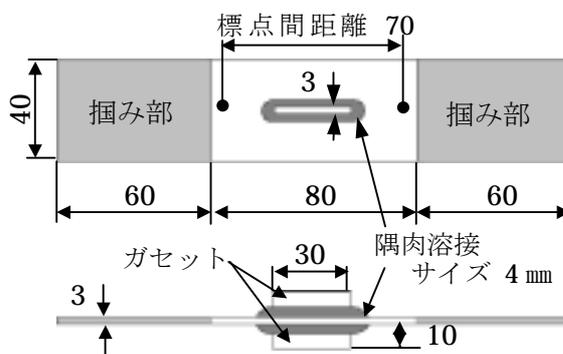


図 1 試験体形状 (単位mm)

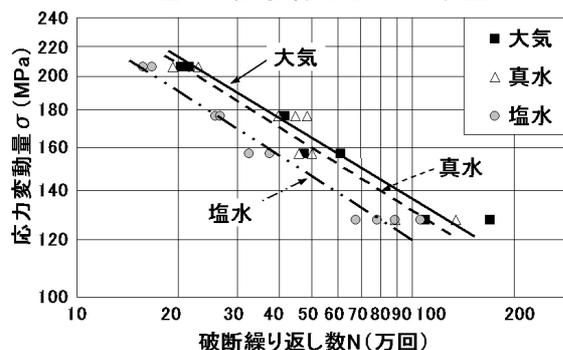


図 2 S-N 線図 (塑性なしの各環境下)

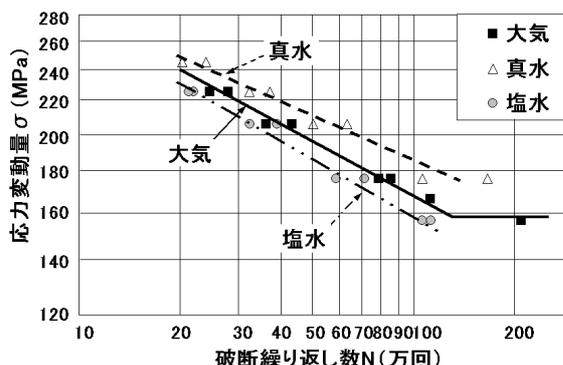


図 3 S-N 線図 (予歪み-2 の各環境下)

キーワード：腐食疲労、塑性変形、残留応力

連絡先：〒326-8558 足利市大前町 268-1 TEL0284-62-0605 FAX0284-64-1061

性変形を与えた各試験体の残留応力を求めた。次に X 線回折測定および文献 3) 4) から求めた溶接熱による残留応力分布を初期条件として与え、再度、残留応力を求めた。

それぞれの方法で求めた結果を図 7 に示す。FEM 解析で塑性変形を与えた後の残留応力を求めたが、3 タイプとも初期残留応力の有無による差は殆ど認められなかった。これは降伏点を越えて大きな塑性変形を与えたので、溶接熱による残留応力の影響が殆ど消滅したからであると考えられる。また、塑性変形を与えた各試験体の X 線回折測定値と非線形 FEM 解析値では同様な傾向を示すが、値にはかなりの差が認められた。X 線回折測定では測定したひずみを弾性ひずみとして残留応力を評価するので、塑性変形を与えた各試験体の測定値に誤差が生じたと考えられる。溶接端部の残留応力は塑性変形を与えると引張り応力から圧縮応力に変化し、また、塑性変形の程度が大きい程、圧縮残留応力は大きくなることが判る。

5. 応力集中係数

溶接端部の応力集中係数を線形 FEM 解析により求めた。その結果、表 1 の様に塑性変形の程度が大きくなるに従って、僅かに値が小さくなる。しかし、この応力集中係数の変化は疲労強度に影響を与える程ではない。

6. 疲労強度増加に対する考察

塑性変形を与えた場合の疲労強度増加の主な理由は、溶接端部における鋼板の応力変動範囲がほぼ 0~引張りであったものが、塑性変形により大きな圧縮残留応力が生じたために圧縮~引張りに変化したからと考えられる。圧縮応力は引張り応力に比べて疲労に与える影響が小さいことが知られている。この影響を評価するために日本鋼構造協会の疲労設計指針 5) では[平均応力の許容応力範囲を補正するための係数: $C_R = 1.3(1 - R)/(1.6 - R)$]により応力変動量を低減して疲労強度を補正することが提案されているが、今回は $C_R = 1.4(1 - R)/(1.8 - R)$ を使用した結果、図 8 に示す様に各ケースの S-N 線はより良い一致を示した。以上のことから塑性変形を与えた場合の疲労強度増加の原因が主に残留応力の影響であることが証明された。

7. まとめ

- 1) 塑性変形を与えた場合は与えない場合と異なり、疲労強度は真水の方が大気中より大きくなる。
- 2) 塑性変形を与えた場合の疲労強度は塑性変形の量が大きい程、大きくなる。この効果を積極的に活用し得る。
- 3) 溶接端部近傍の残留応力を考慮することにより塑性変形を与えた場合の疲労強度を、かなり精度よく推定できる。

<参考文献> 1)後藤 學:塑性学 コロナ社 1982, 2)葉山 益次郎:塑性学と塑性加工 オーム社 1969, 3)太田 昭彦,他:低変態温度溶接材料を用いた角回し溶接継手の疲労強度向上 溶接学会論文集 第 18 巻 2000, 4)南 邦明,森 猛:溶融亜鉛めっきを施した面外ガセット溶接継手の疲労強度 土木学会第 54 回年次学術講演会, 5)日本鋼構造協会:鋼構造の疲労設計指針・同解説 技報堂 1993

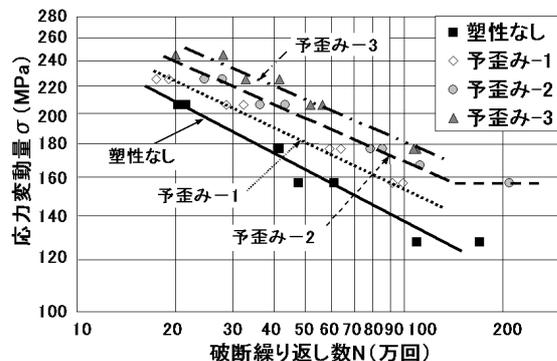


図 4 S-N 線図 (各予歪みの大気中)

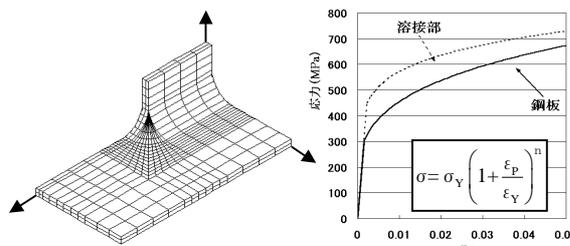


図 5 FEM 解析モデル 図 6 加工硬化曲線

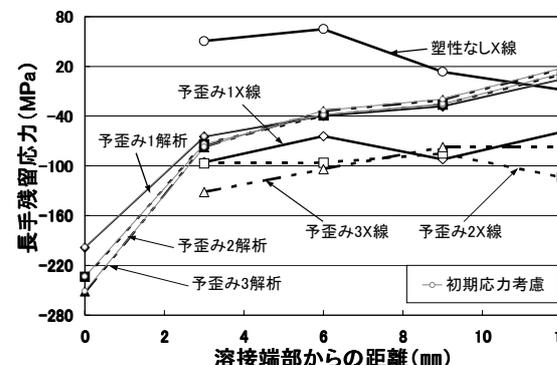


図 7 残留応力分布

表 1 応力集中係数

| | 塑性なし | 予歪み1 | 予歪み2 | 予歪み3 |
|------|------|------|------|------|
| 応力一定 | 1.51 | 1.49 | 1.47 | 1.46 |
| 変位一定 | 1.54 | 1.52 | 1.50 | 1.48 |

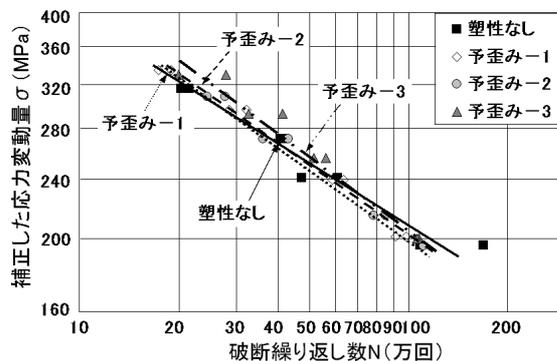


図 8 補正をした S-N 線図