

## 鋼管を平板に溶接した継手の疲労試験

JFE エンジニアリング（前名大大学院）正会員 中野 隆  
 名古屋大学大学院 学生員 佐々木 裕  
 名古屋大学大学院 正会員 山田 健太郎  
 名古屋大学大学院 正会員 小塩 達也

### 1. はじめに

橋梁の部材として鋼管を用いる際に問題となるのが、鋼管同士を溶接した継手部分の疲労強度である。鋼管同士を溶接することで、形状が複雑となるために疲労強度を適切に評価することが困難となる。本研究では鋼管を平板に溶接した、単純な継手で疲労試験を行うことによって、鋼管の周りの疲労挙動を明らかにする。

### 2. 実験の概要

試験体は板厚 9.2mm、板幅 200mm、板長 900mm の SM490A 鋼板を主板とし、それに付加物を溶接した試験体を用いた。溶接する付加物としては、STK400 鋼管の外径を 89, 114, 165mm の 3 種類とし、主板への取り付け方などを変化させて 6 種類の試験体を製作した。

- ・鋼管の外周を脚長 6mm のすみ肉溶接で主板へ取り付けしたもの（P89N, P114N, P165N）
- ・外径 165mm の鋼管の外側を脚長 6mm、内側を脚長 3mm ですみ肉溶接したもの（P165D）
- ・主板に直径 89.5mm の孔をあけ、外径 89mm の鋼管を貫通させた状態で鋼管の外周上を脚長 6mm のすみ肉溶接したもの（P89P）
- ・板厚 9.2mm 長さ 200mm の平板をすみ肉溶接した面外ガセット継手（G200AW）

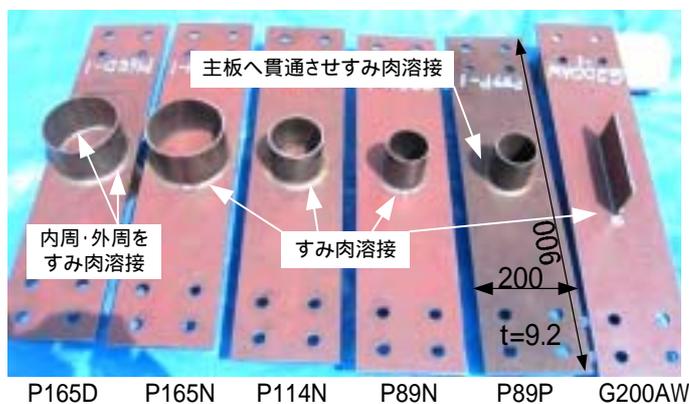


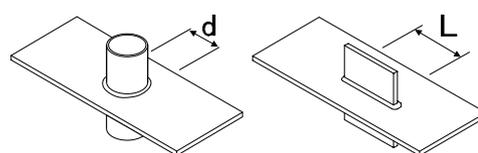
写真-1 試験体の写真

なお、面外ガセット継手の疲労強度等級は、図-1 に示すように JSSC の疲労設計指針で、平板に鋼管を溶接した継手と同程度と評価されているため、比較のために疲労試験を行った。

疲労試験は、アムスラー型疲労試験機（最大出力 980kN）を用い、4.5Hz で荷重した。最小荷重 49kN、最大荷重を 245kN とし、一定の荷重範囲で引張の繰り返し荷重を荷重した。応力範囲は試験体にひずみゲージを貼り、計測されるひずみから計算した。

### 3. 疲労き裂進展のモニタリング方法

疲労き裂の発生や進展挙動を追跡するため、ビーチマーキングとダイマーキングに加えて、き裂検出塗料を用いた。き裂検出塗料とは、エポキシ樹脂系の防食塗料中に、染料が含まれたマイクロカプセルを混入させた塗料であり、疲労き裂が発生・進展した際に、塗料に含まれるマイクロカプセルが割れ、中に含まれる染料が表面へ流出し、写真-2 のように、肉眼で疲労き裂が確認できるものである。



$d \leq 100$  JSSC-F       $L \leq 100$  JSSC-F  
 $d > 100$  JSSC-G       $L > 100$  JSSC-G

図-1 疲労設計指針による分類



写真-2 き裂検出塗料

キーワード 鋼管, 疲労, き裂進展, 疲労強度,

連絡先 〒464-8601 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-4620

#### 4. 疲労き裂の進展挙動

##### ・鋼管を平板に取り付けた試験体(P89N,P114N,P165N,P165D)について

この試験体は、荷重の荷重方向に対して  $\pm 30^\circ$  の範囲で、溶接止端部に沿って複数の小さな疲労き裂の発生が確認できた。これらの疲労き裂はそれぞれ別々の平面を形成しながら進展し、隣り合うき裂と重なり合った時に段差を生じながら合体する。疲労き裂は合体を繰り返しながら  $\pm 60^\circ$  の範囲まで進展するが、最終的に  $\pm 40^\circ$  以内の範囲で枝分かれをして、き裂は母材に進展し、破断に至った。

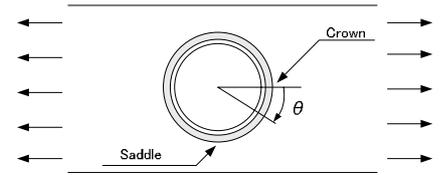


図-2 き裂の発生位置

##### ・鋼管を平板に貫通させた試験体(P89P)について

P89P は、荷重の荷重方向に対して  $90^\circ$  の位置で疲労き裂が発生した。この疲労き裂は溶接の表面から発生し、板の幅方向に進展した。そして最終的に板厚を貫通し、破断に至った。

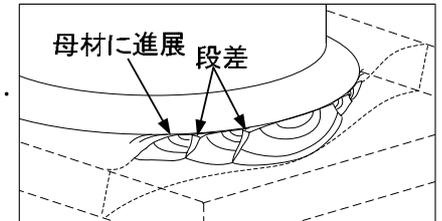


図-3 疲労き裂の進展状況

#### 5. 疲労強度について

計測によって求めた応力範囲と、破断に至った繰り返し数をプロットしたものを図-4 に示す。本試験では、鋼管を平板にすみ肉溶接した試験体に関しては、鋼管径が大きくなるほど疲労寿命が短くなる傾向が見られた。また、鋼管の外側と内側をすみ肉溶接した試験体については、外側だけを溶接したものと比べて疲労寿命の低下が見られた。また、鋼管を貫通させた P89P 試験体は、疲労寿命は短いですが、疲労き裂の発生した断面(純断面)で応力範囲を計算すると、C等級程度の位置にプロットできる。

鋼管径が大きくなると寿命が低下する傾向は、図-1 に示す JSSC の設計指針の傾向と一致する。しかし、本試験の結果を同じ条件で試験を行った面外ガセット継手と比べると、鋼管を用いた継手は面外ガセットよりも2等級程度長い寿命となった。

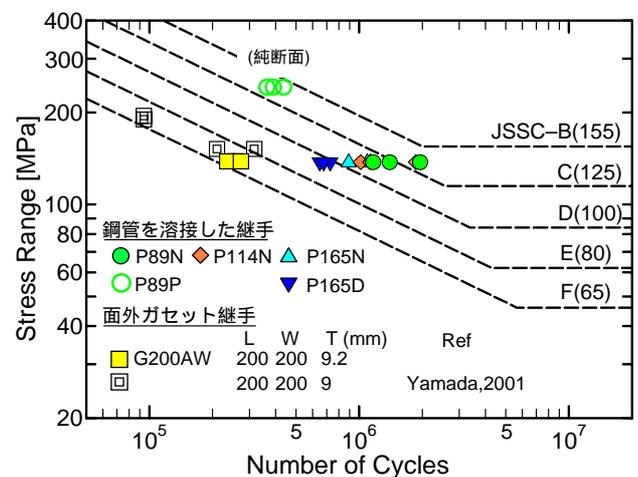


図-4 S-N線図

#### 6. FEM解析による疲労強度の評価

本試験体を FEM 解析でモデル化し、等価応力を用いて、疲労き裂の発生した位置での応力集中を比較すると、鋼管のサイズによる応力集中の差は小さく、疲労寿命に与える影響は小さいことがわかった。しかし、鋼管のサイズが大きくなると、応力が集中する範囲が大きくなり、それが疲労寿命に影響を与えていると考えられる。

鋼管の外側と内側を溶接したものは、外周のみを溶接したものに比べて、応力の集中が大きいため疲労寿命が短くなったと考えられる。

#### 7. まとめ

鋼管を平板に取り付けた継手の疲労試験を行い、鋼管の周りで疲労き裂が合体を繰り返しながら進展する様子を明らかにした。疲労強度については、鋼管の径が大きくなるほど疲労寿命が短くなり、鋼管の外側と内側を溶接すると寿命が短くなることが分かった。また、鋼管を平板に溶接した継手を、JSSC の疲労設計指針で同程度の強度等級とされている面外ガセット継手と比較すると、鋼管を用いた継手の方が寿命は長くなるという結果も得られた。

#### 参考文献

山田・加藤・岡部・金・小塩:作用応力に斜めに溶接された面外ガセット継手の疲労試験, 構造工学論文集 Vol.47A, pp.1039-1045