

主板厚及びガセット長さが面外ガセット溶接継手の疲労強度に及ぼす影響

東京都立大学 学生会員 ○倉林 拓矢 東京都立大学 正会員 村越 潤  
首都高技術株式会社(元(国研)土木研究所) 正会員 木ノ本 剛

1. はじめに

面外ガセット溶接継手に関しては、「鋼構造物の疲労設計指針」(以下、JSSC 指針)等<sup>1)2)</sup>において、ガセット長さ 100mm を境に強度等級が区分されているが、疲労試験上の制約などから、これまでの疲労試験の多くが小型試験体もしくは桁試験体を対象としており、実橋での寸法諸元の実大継手に対する軸引張荷重作用下での疲労試験データは必ずしも十分ではない。本文では、過年度に実施された実大面外ガセット溶接継手の疲労試験結果と、き裂進展解析手法による解析結果を踏まえ、継手の主板厚及びガセット長さが疲労強度に及ぼす影響について検討した。

2. 対象とした試験データ

表-1 に検討に使用した面外ガセット継手の試験体(き裂進展挙動を確認可能なビーチマーク試験を実施した 19 体を対象)の概要を、図-1 に寸法形状と寸法パラメータを示す。疲労試験は軸引張荷重作用下で実施し、応力比は初期不整の影響を極力排除するため上限荷重を出来るだけ高くし、0.20~0.77 の範囲としている。き裂は、主板を挟んで片面または両面の回し溶接止端部から発生・進展しており、本検討では半楕円状き裂の深さが主板厚  $t$  の半分に達するまでの載荷回数(両面側から発生する場合は板厚貫通時に相当)を疲労寿命と定義して分析した。後述の図-4, 6 では、片面側・両面側き裂を区別して表している。なお、本試験体では、き裂貫通後、主板幅方向に進展し破断する前に、塑性変形の増加により試験を終了している。分析対象のき裂は、表-1 中の試験体 19 体に発生した計 29 データである。なお、全ての試験体のき裂で、破面の溶接止端付近にラチェットマークが見られ、表面付近で溶接止端に沿った複数き裂の発生が確認されている。

表-1 検討対象とした試験体の概要

| 試験体        | 寸法パラメータ(mm) |     |     |       | 応力範囲<br>(MPa) | 応力比<br>$R$ | き裂発生位置        | 板厚半分までの<br>進展回数 | 試験終了時の<br>回数 |
|------------|-------------|-----|-----|-------|---------------|------------|---------------|-----------------|--------------|
|            | $t_g$       | $t$ | $l$ | $l_m$ |               |            |               |                 |              |
| T9L2-80-1  | 9           | 9   | 200 | 1200  | 80            | 0.64       | 3.4*側 両面      | 764430          | 1169289      |
| T9L2-80-3  |             |     |     |       | 65            | 0.71       | 3.4*側 両面      | 628906          | 1003092      |
| T9L2-65-2  |             |     |     |       |               |            | 3側 片面         | 1122650         | 2043627      |
| T9L2-50-1  |             |     |     |       | 50            | 0.77       | 1*2側 両面       | 2885906         | 4641100      |
| T9L4-80-1  | 9           | 9   | 400 | 1600  | 80            | 0.64       | 2.4側 片面       | 373075          | 698200       |
| T9L4-80-3  |             |     |     |       | 65            | 0.71       | 1.2側 両面       | 709430          | 969000       |
| T9L4-65-1  |             |     |     |       |               |            | 2.3*4側 片面,両面  | 748200          | 1496200      |
| T9L4-50-1  |             |     |     |       | 50            | 0.77       | 4側 片面         | 1594056         | 2884272      |
| T9L8-80-1  | 9           | 9   | 800 | 2000  | 80            | 0.64       | 3.4*側 両面      | 479944          | 697900       |
| T9L8-80-3  |             |     |     |       | 65            | 0.71       | 1.2*側 両面      | 606225          | 797600       |
| T9L8-65-1  |             |     |     |       |               |            | 1.3側 片面       | 808007          | 1347450      |
| T9L8-50-1  |             |     |     |       | 50            | 0.77       | 1.2*4*側 片面,両面 | 1897505         | 2992900      |
| T25L4-80-1 | 25          | 25  | 400 | 1600  | 80            | 0.50       | 3.4側 両面       | 584270          | 748675       |
| T25L4-80-2 |             |     |     |       | 65            | 0.59       | 3.4側 両面       | 680230          | 883497       |
| T25L4-65-3 |             |     |     |       |               |            | 1.2側 両面       | 1167065         | 1498575      |
| T25L4-50-1 |             |     |     |       | 50            | 0.69       | 3.4*側 両面      | 2149470         | 3107488      |
| T40L4-80-1 | 25          | 40  | 400 | 1600  | 80            | 0.20       | 1.2側 両面       | 982804          | 1045761      |
| T40L4-65-1 |             |     |     |       | 65            | 0.35       | 3.4側 両面       | 1512952         | 1829758      |
| T40L4-50-2 |             |     |     |       | 50            | 0.50       | 1.2側 両面       | 2932827         | 3823975      |

\*: ビーチマークが読み取れていないため、データには含めていない。

3. き裂進展解析

き裂進展解析手法は JSSC 指針による方法によった。き裂進展速度式には、平均設計曲線<sup>1)</sup>( $C = 1.5 \times 10^{-11}$ ,  $m = 2.75$ ,  $\Delta K_{th} = 2.4(\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$ )を用いた。応力集中に対する補正係数 $F_g$ は、応力解析(汎用有限要素解析ソフト MSC.Marc.2018.1.0 を使用)により得られる止端部周辺の応力分布から求めた。図-2 に試験体 T25L4 を例に解析モデル(対称性を考慮した 1/8 モデル)を、表-2 に解析に用いた溶接形状(同一寸法形状の試験体計測値の平均値)を示す。要素は 8 節点ソリッド要素で、溶接止端部の要素サイズは  $0.025 \times 0.025 \times 0.025\text{mm}$

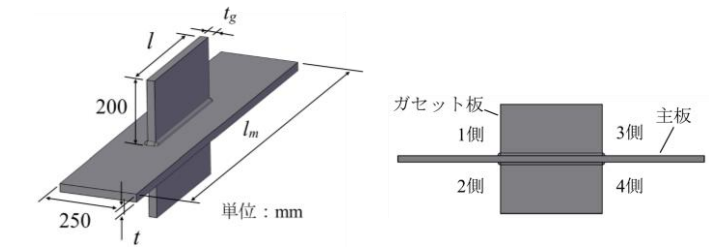


図-1 試験体寸法形状と寸法パラメータ

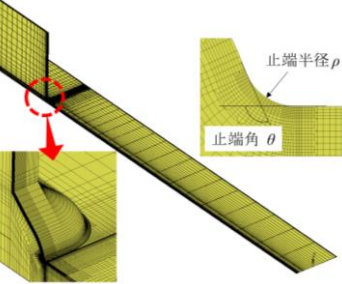


図-2 試験体の FEM モデル例

表-2 解析モデルの溶接形状

| 試験体                  | 溶接脚長(mm) |     | 止端半径<br>$\rho$ (mm) | フランク角<br>$\theta$ (度) |
|----------------------|----------|-----|---------------------|-----------------------|
|                      | ガセット板側   | 主板側 |                     |                       |
| T9L2<br>T9L4<br>T9L8 | 7.4      | 7.1 | 0.7                 | 110.3                 |
| T25L4                | 9.1      | 8.8 | 0.9                 | 114.8                 |
| T40L4                | 9.7      | 9.9 | 1.0                 | 115.3                 |

キーワード 面外ガセット, 溶接継手, 疲労試験, 疲労強度, き裂進展解析

連絡先 〒192-0364 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 E-mail : kurabayashi-takuya@ed.tmu.ac.jp

である。き裂進展解析における初期き裂寸法については、ビーチマーク試験結果を踏まえ、初期き裂深さ  $a_0$  と初期き裂形状比  $a_0/b_0$  に着目したパラメトリック解析<sup>3)</sup>を実施し、試験値と比較した際に誤差が小さく、かつ安全側評価となる初期き裂寸法 ( $a_0=0.2\text{mm}$ ,  $a_0/b_0=0.25$ ) とした。

#### 4. 試験・解析結果と考察

##### (1) ガセツ長さの疲労強度への影響

図-3 に、ガセツ長さのみ変化させた試験体 12 体(き裂 15 データ)を対象に、板厚半分までの載荷回数と公称応力範囲の関係を示す。また、図-4 に各データを 200 万回疲労強度(傾き  $m=3$  に仮定)に換算し、ガセツ長さと試験値・解析値の関係を示す。図-4 より、解析値に関してはガセツ長さの増加に伴う応力集中の影響により、疲労強度が低下する傾向がある。一方、試験値(平均値)に関しては解析値の傾向と若干異なるが、この理由については検討中である。

##### (2) 主板厚の疲労強度への影響

主板厚が疲労強度に及ぼす影響についても、ガセツ長さと同様の方法で評価した。図-5 に主板厚及びガセツ板厚を変化させた試験体 11 体(き裂 15 データ)を対象に、板厚半分までの載荷回数と公称応力範囲の関係を示す。図-6 に各データを 200 万回疲労強度(傾き  $m=3$  に仮定)に換算し、主板厚と試験値・解析値の関係を示す。図中には参考として、疲労寿命を同一き裂深さ(4.5mm)までの載荷回数と仮定した場合の結果も示す。図-6 より、試験値に関しては、主板厚の増加に伴い、疲労強度が増加する傾向にある。解析値は試験値と比較して、主板厚に対する強度増加は小さいが、試験値と同様の傾向にある。JSSC 指針では、明確な板厚の増加に伴う疲労強度の低下が認められないことから、板厚効果を考慮しなくて良いとされている。本試験結果では、疲労寿命を板厚半分までの載荷回数と定義して整理したが、疲労強度が若干増加する傾向がみられた。なお、図中に並記したように疲労寿命を同一き裂深さ(4.5mm)までの寿命と仮定した場合には、主板厚の増加に伴う止端部近傍の応力集中の増加により、試験値・解析値ともに疲労強度(疲労寿命)が低下する結果となる。

#### 5. おわりに

疲労試験結果とき裂進展解析結果より、疲労寿命を板厚半分(両面き裂の場合には板厚貫通時)までの載荷回数と定義した場合に、ガセツ長さ及び主板厚が面外ガセツ溶接継手の疲労強度に及ぼす影響について確認した。

#### 参考文献

1) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2012。 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2017。 3) 倉林拓矢，村越潤，木ノ本剛：実大面外ガセツ溶接継手に対する疲労き裂進展解析の適用性の検討，第 48 回土木学会関東支部技術研究発表会，2021.3。

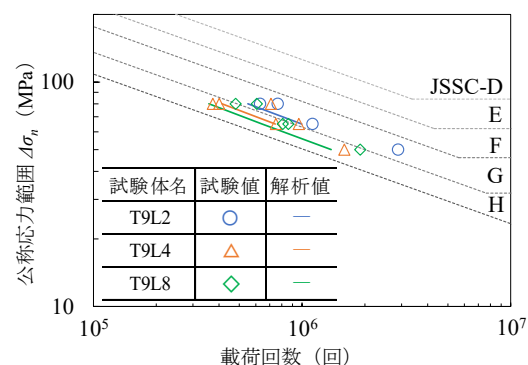


図-3 S-N 線図(ガセツ長さの影響)

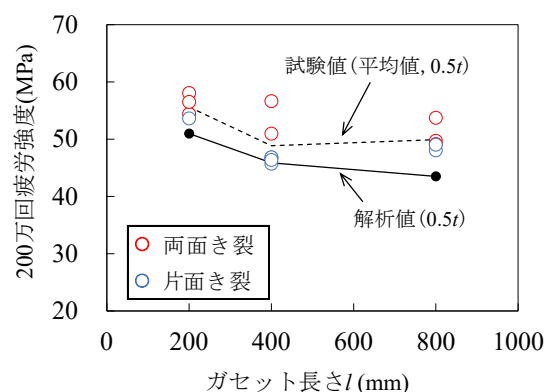


図-4 200 万回疲労強度(ガセツ長さの影響)

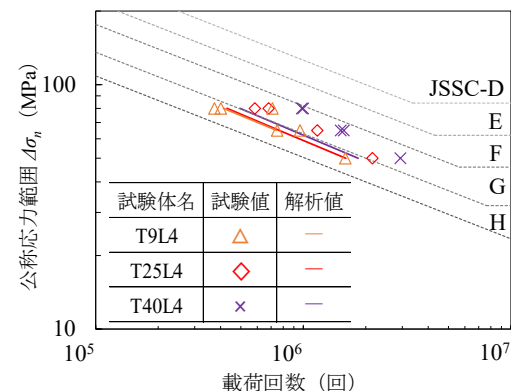


図-5 S-N 線図(主板厚の影響)

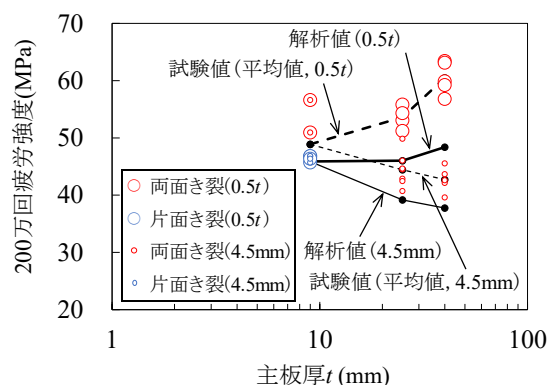


図-6 200 万回疲労強度(主板厚の影響)