

耐疲労性を改善した鋼材を用いた面外ガセット溶接継手の疲労き裂進展特性

名古屋大学 学生会員 ○寺沢拓哉 フェロー会員 舘石和雄 正会員 判治剛 正会員 清水優
JFE スチール 正会員 栗原康行 正会員 ドアン ティー フィン

1. 研究の背景・目的

耐疲労鋼は硬質相を微細化して分散させることでき裂の進展速度を低下させた鋼材である¹⁾。き裂が硬質相を避けるように進展することにより、き裂の進展経路の総延長が長くなり、き裂進展速度が低下する。近年、この耐疲労鋼の思想を取り入れてき裂進展特性のさらなる改善を図った鋼材が開発されている（以下、開発鋼と呼ぶ）。これまでに平滑材での開発鋼によるき裂進展速度の低下は確認されているが、開発鋼を溶接継手に適用した際のき裂進展特性に関する検討はなされていない。そこで本研究では、開発鋼を主板上に適用した面外ガセット溶接継手を製作し、疲労試験によりそのき裂進展特性を明らかにした。

2. 材料試験

平滑材でのき裂進展速度を比較するため、規格 ASTM E647²⁾ に準拠した CT 試験片によるき裂進展試験を実施した。その結果を図-1 に示す。これより、平滑材での開発鋼のき裂進展速度は従来鋼のそれよりも小さいことが確認できる。

3. 試験体

試験体の形状および寸法を図-3 に示す。試験体は面外ガセット溶接継手とした。ガセットには開先を設け、部分溶込み溶接により接合している。主板上に従来鋼と開発鋼を用いたものをそれぞれ 4 体ずつ用意し、そのき裂進展特性を比較した。鋼材の機械的性質を表-1 に示す。なお、止端半径や溶接脚長はいずれの試験体も同程度であった。

4. 疲労試験

疲労試験は板曲げ振動疲労試験により実施した。試験の概要を図-3 に示す。試験体自由端側に設置した起振機により、主板上に繰返し曲げ応力を導入できる。試験体に貼付したひずみゲージにより、試験中、1 万回ごとにひずみ範囲を計測し、溶接止端部の公称応力範囲の履歴を記録した。試験条件を表-2 に示す。従来鋼と開発鋼で与える応力範囲がほぼ同じとなるようにし、全ての試験で応力比が同程度となるように設定した。き裂が 5~10 mm 進展するごとに载荷を中断し、板表面でのき裂長を磁粉探傷試験により計測した。また、平均応力はそのままで応力範囲を約半分程度に下げ、それまでの载荷回数と同じ回数载荷し、ピーチマークの導入を試みた。

5. 疲労試験結果

板曲げ振動疲労試験では、き裂が極端に大きくなると、試験体の共振や局所的な塑性化の影響が大きくなる。そこで、安定的に载荷できたと考えられる、板表面のき裂長が 60 mm 以下の試験結果について整理した。試験体番号 1 について、板表面のき裂長と载荷回数の関係を図-4 に示す。開発鋼を用いた面外ガセット溶接継

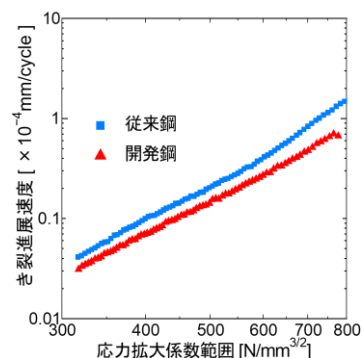


図-1 材料試験結果

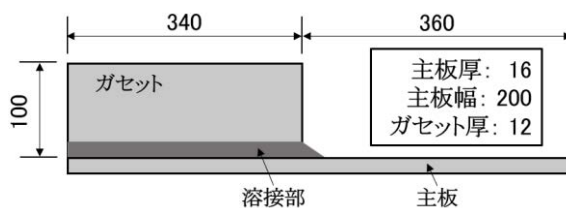


図-2 試験体 (unit: mm)

表-1 機械的性質

	降伏強度[N/mm ²]	引張強度[N/mm ²]
従来鋼	391	522
開発鋼	377	542

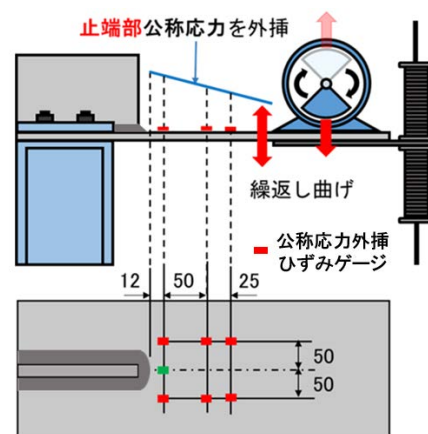


図-3 板曲げ振動疲労試験 (unit: mm)

キーワード 耐疲労鋼, き裂進展速度, 面外ガセット溶接継手, 板曲げ振動疲労試験

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL : 052-789-4620

表-2 試験条件

	従来鋼				開発鋼			
試験体番号	1	2	3	4	1	2	3	4
応力範囲[N/mm ²]	66.4	95.6	143.5	48.9	64.4	90.1	140.2	48.2
応力比	0.13	0.04	0.09	0.04	0.12	0.05	0.10	0.08

手のき裂進展速度は、従来鋼のそれと比べて小さくなる傾向がみられた。また、試験体の破面に残ったビーチマークを観察した結果、従来鋼と開発鋼でき裂のアスペクト比に大きな違いはみられなかった。疲労寿命として、き裂がまわし溶接部に沿って進展した後、主板に進展し始めた時の载荷回数を N_b 、き裂が主板を片側 30 mm 進展した時の载荷回数を N_{30} とそれぞれ定義し、鋼材間での疲労寿命の差を確認したところ、開発鋼により疲労強度等級を向上するまでには至らなかったが、開発鋼の疲労寿命は従来鋼のそれと比べて長くなる傾向がみられた。

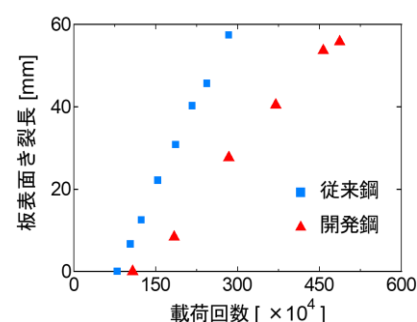


図-4 板表面のき裂長

6. き裂進展速度の比較

疲労試験により得られた板表面のき裂長の変化からき裂進展速度を求め、それと有限要素解析により求めた応力拡大係数範囲の関係を整理した。解析には Abaqus6.14 を用いた。図-5 のように、試験体を模擬した解析モデルにき裂を導入し、板表面のき裂先端の応力拡大係数を J 積分により算出した。き裂進展速度と応力拡大係数範囲の関係を図-6 に示す。図中には JSSC 疲労設計指針³⁾に示されているき裂進展設計曲線も併記している。開発鋼のき裂進展速度は従来鋼のそれよりも小さくなる傾向が確認できる。CT 試験片による試験結果との比較を図-7 に示す。面外ガセット溶接継手における従来鋼と開発鋼のき裂進展速度の差は、CT 試験片でのそれらの差と同程度であるといえる。

7. まとめ

耐疲労性の向上を目的に新たに開発した鋼材を用いた面外ガセット溶接継手におけるき裂進展特性を疲労試験により明らかにした。その結果、開発鋼のき裂進展速度は従来鋼のそれよりも小さくなる傾向が確認できた。また、その差は CT 試験片でみられた鋼材間の差と同程度であった。一方、開発鋼によりき裂進展速度は低下したものの、強度等級が変わるほどの疲労強度の向上はみられなかった。

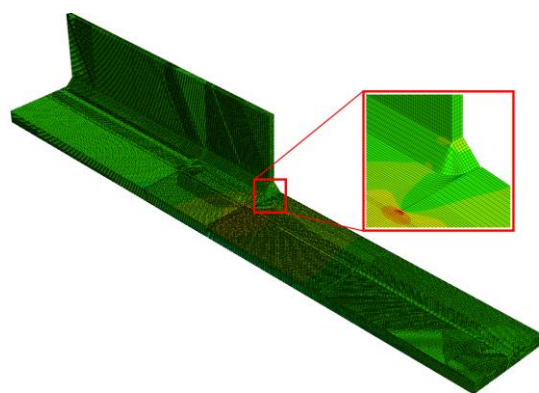


図-5 解析モデル

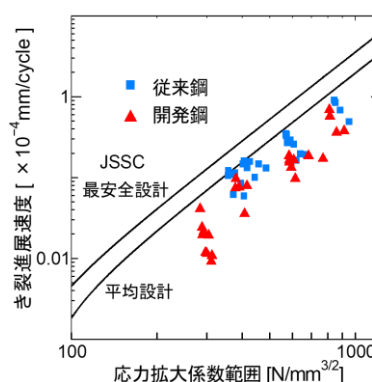


図-6 き裂進展速度

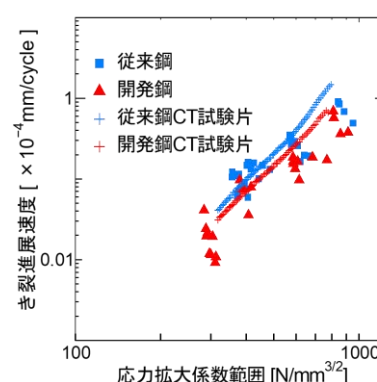


図-7 CT 試験片との比較

参考文献

- 1) 伊木ら：疲労亀裂伝播速度に及ぼすミクロ組織の影響，JFE 技報，No33，pp.55-61，2014
- 2) ASTM：Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates，2016
- 3) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2012