

## 板曲げを受ける面外ガセット溶接継手の疲労き裂進展解析

岐阜大学大学院（現，日本車輛製造） 正会員 ○荒川慎平

岐阜大学 正会員 木下幸治

## 1. はじめに

鋼床版のデッキプレートと垂直補剛材の溶接部に発生する疲労き裂のように，板曲げを受けて発生する疲労き裂は板厚方向では徐々に曲がりながら進展，板幅方向では回し溶接部に沿って回りながら進展する．従来，溶接継手の疲労寿命は破壊力学に基づくき裂進展解析により予測されるが，き裂の進展経路を直線と仮定するため，上述したようなき裂の寿命予測には検討の余地がある．本研究は板曲げを受ける面外ガセット溶接継手の疲労き裂進展挙動を把握した上で，従来の方法に基づく疲労寿命予測の改善を行うことを目的に，この継手を対象に疲労試験並びに疲労き裂進展解析を行った．

## 2. 疲労試験

本研究では山田ら<sup>1)</sup>が開発した板曲げ振動疲労試験機を用い，面外ガセット溶接継手試験体の疲労試験を実施した．試験体の形状および寸法を図-1に示す．試験体には SM490A を用いた．主板，付加板には板厚 12mm の鋼板をそれぞれ用い，それらを CO<sub>2</sub> 半自動溶接によりすみ肉溶接で接合した．ガセット端ではすみ肉溶接を回し溶接した．試験体数は 2 体（試験体 A，B）とした．山田ら<sup>1)</sup>の研究において公称応力範囲は溶接止端から長手方向に 12mm，試験体の中心から板幅方向に 75mm 離れた位置に貼付したひずみゲージより求めた応力範囲を用いている．本研究もこの位置に貼付したひずみゲージより求めた応力範囲を公称応力範囲とした．応力範囲は 80MPa とし，試験中にビーチマーク試験を行った．

## 3. 疲労き裂進展解析方法

き裂はガセット最前面の溶接止端から発生，半楕円形状で深さ方向と幅方向に進展すると仮定した．各進展方向における  $\Delta K$  は式(1)を用いて算出した．

$$\Delta K = F_e \cdot F_s \cdot F_t \cdot F_g \cdot \sigma \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

ここで， $F_e$ ， $F_s$ ， $F_t$  は文献 2) を参考に決定した． $F_g$  は FEM 解析によりき裂が無い場合のき裂面に作用する応力分布をき裂面に作用させたときの応力拡大係数範囲から求めた．き裂進展速度  $da/dN$  と応力拡大係数範囲  $\Delta K$  の関係は次式で示される修正 Paris 則を用い， $C$ ， $m$  および  $\Delta K_{th}$  には文献 2) の平均設計曲線を用いた．

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad (2)$$

初期き裂は文献 3) を参考に初期き裂深さ  $a_0=0.1\text{mm}$ ，初期き裂形状比  $a_0/b_0=0.1$  とした半楕円形状と仮定した．

## 4. 試験結果並びに解析結果

図-2 に試験体 A の試験結果より得られた板厚方向と板幅方向のき裂長さと繰返し数との関係を示す．図中の実線は解析結果である．図中のプロットは実験結果であり，文献 1) で示される  $N/10$  までの結果である．板厚方向についてはき裂長さ 2mm 程度までの発生初期において実験と解析に差が見られる．き裂長さ 2mm 以降，8mm 程度までは実験と解析のき裂の進展速度が良く一致しているように思われる．一方，板幅方向についてはき裂長さが 10mm 以上になると実験と解析が一致しなかった．き裂長さが 10mm 以上ではガセット前面の溶接止端から発生したき裂が回し溶接部に沿って進展し，その後平板に進展する段階であることから，回し溶接部に沿って進展する段階から実験と解析との差が大きくなることがわかった．

ここで，図-3 に各試験体の試験結果より得られた  $da/dN$  と  $\Delta K$  との関係を示す．なお， $da/dN$  は破断面に残されたビーチマーク間の長さとし，繰返し回数より算出した．なお，図中の実線は平均設計曲線，破線は最安全設計曲線である．図より板厚方向では平均設計曲線に良く一致しているプロットが多いことがわかる．一方，板幅方向については平均設計曲線と一致しないプロットが多く，一致しないプロットの多くはき裂長さが 10mm 以上のものであった．以上より，板厚方向は

キーワード：き裂進展解析，面外ガセット溶接継手，板曲げ，き裂形状比

連絡先：〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部 社会基盤工学科 TEL：058-293-2414

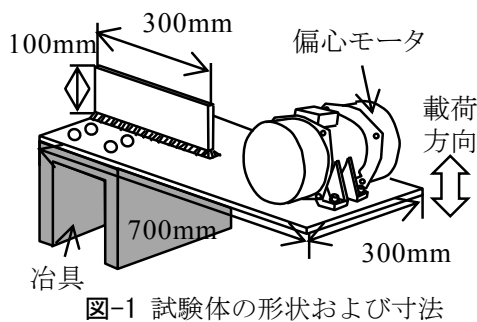
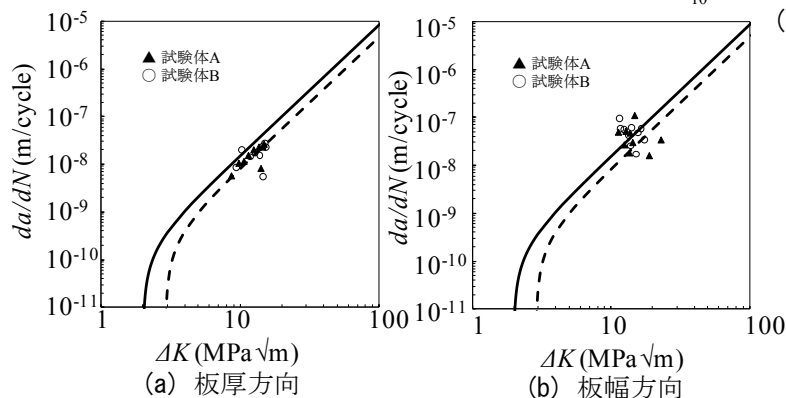


図-1 試験体の形状および寸法

図-3  $da/dN$  と  $\Delta K$  との関係

き裂の曲がりによらず式(1)を用いた従来の解析によりある程度の寿命予測が可能であると言える。一方、板幅方向については回し溶接部から平板に進展するといったき裂進展挙動について改善が必要である。

そこで、本研究では板幅方向の解析方法について、森・三木<sup>4)</sup>により提案された疲労き裂が回し溶接に沿って進展する場合と、き裂先端が止端を離れ平板に進展する場合に分けて、き裂形状比を与える方法を採用することとした。ただし、森・三木<sup>4)</sup>の研究では提案に留まり、その手法の検証には至っていない。平板を進展する場合のき裂の形状比  $a/b$  は次式で示される。

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{1 + \frac{b}{t}} \quad (3)$$

図-4 にき裂形状比  $a/b$  と板幅方向のき裂長さとの関係を示す。図中の実線は式(3)により算出しており、図中のプロットは本疲労試験結果である。図より、森・三木<sup>4)</sup>と同じように板厚方向のき裂長さが 20mm 以上、すなわち、平板部に到達以降のき裂形状比が式(3)により算出した曲線と良く一致することがわかった。これより、平板部に到達以降の板幅方向のき裂長さの予測をき裂形状比を与えることで可能と考えられる。この改善手法を用いた解析結果を図-2 中に破線で示す。この改善方法により、平板部に到達以降の解析による予測がある程度改善されたと考えられる。

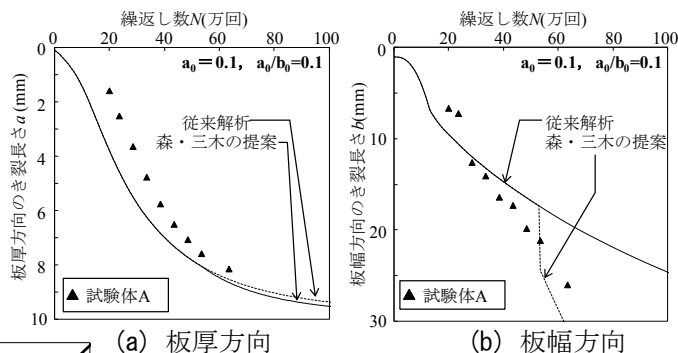
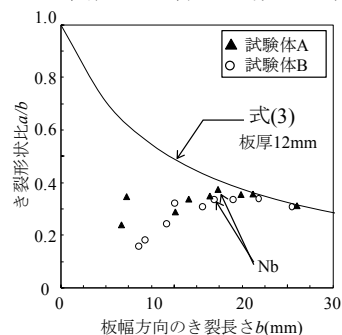
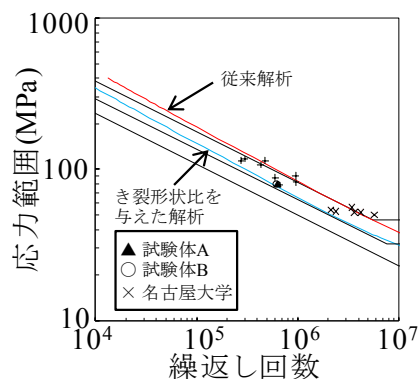


図-2 き裂長さと繰返し数との関係

図-4  $a/b$  と板幅方向のき裂長さとの関係図-5 疲労強度曲線 ( $N=10^7$  時)

以上を踏まえ、従来の解析と森・三木<sup>4)</sup>の提案に基づく解析により求めた疲労強度を図-5 に示す。図中には本試験結果のみならず名古屋大学にて蓄積されてきた溶接ままの面外ガセット溶接継手の板曲げ試験結果も合わせて示す。図より、従来の解析では試験プロットの上側付近を評価するが、き裂形状比を与えた解析では試験プロットの下限側を評価することがわかり、寿命予測の改善が得られたと考えられる。

**参考文献** 1)山田ら：面外ガセット溶接継手の曲げ疲労強度に及ぼすショットブラストの影響，構造工学論文集，Vol.54，2008.3. 2)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版. 3)山田ら：疲労亀裂の進展挙動に注目したガセット継手の疲労強度解析，土木学会論文報告集，第 303 号，pp.31-40，1980.11. 4)森・三木：すみ肉溶接部に生じる表面疲労亀裂の形状，構造工学論文集，Vol.41A，1995.3