

I-8 曲げと引張を受ける荷重伝達型十字溶接継手の疲労強度に関する基礎的研究

高知工科大学 正会員 ○松本将人

高知工科大学 正会員 穴見健吾

1.はじめに

鋼製橋脚隅角部の疲労損傷の起点の多くは溶接ルート部であり、その原因は不溶着部を含む溶接欠陥や高い応力集中である。その隅角部近傍の応力分布は、橋脚の梁全体の曲げによる曲げ応力(フランジ厚と比較して横梁高さが非常に大きいため、フランジの板厚内ではほぼ一様と考えられる)に加え、フランジ自体の局所的な面外変形による曲げ応力が同時に作用する(図1)。本研究では曲げと引張が同時に作用した場合の荷重伝達型十字溶接継手の疲労挙動、および、局部応力を用いた疲労強度の評価法について検討することを目的としている。

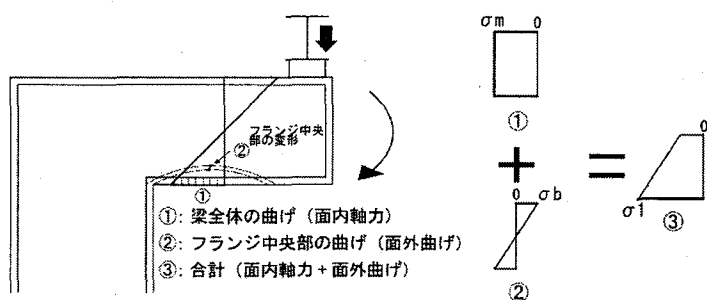


図1 橋脚隅角部近傍のフランジの応力分布

2.疲労試験

試験体の形状と寸法を図2に示す。供試鋼材はSM490である。疲労試験は軸引張のみを作用させ3種類の試験体を3体ずつ、計9体を行った。最小荷重は全ての試験で10kNとした。止端部からのき裂発生も認められたが、全ての試験体でルート部からき裂が発生し破断した。

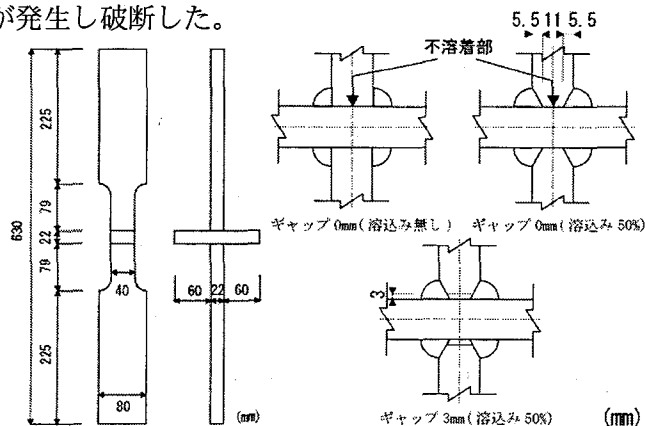


図2 試験体の形状と寸法

3.種々の応力による整理

疲労試験結果を公称応力、のど断面応力(以下 σ_t)、エフェクティブノッチストレス(以下 σ_{eff})を用いて整理した。 σ_{eff} は試験体の不溶着部先端に半径1mmの仮想的な円形切欠きを設けたものをモデルとしてFEM解析を行い、円周上のVon Mises応力の最大値として算出した。

3.1 公称応力で整理した場合

各試験体の破断寿命 N を公称応力範囲で整理したS-N線図を図3に示す。試験体AはJSSCのH等級を満たす強度、試験体CはE等級程度の強度、試験体DはG等級を満たす強度となった。公称応力で整理すると不溶着部が大きい程、また、ギャップが大きい程疲労強度が低下することが分かる。

3.2 のど断面応力で整理した場合

各試験体の破断寿命 N を $\Delta\sigma_t$ で整理したS-N線図を図4に示す。3種類の疲労強度は同程度となり、各試験体の強度はばらつきが殆ど無くなっている。しかしながら、本研究で対象としている隅角部のような複雑なディテールでは、のど断面応力を算出することは難しい。よって、ここでは局部応力を用いて評価することを試みる。

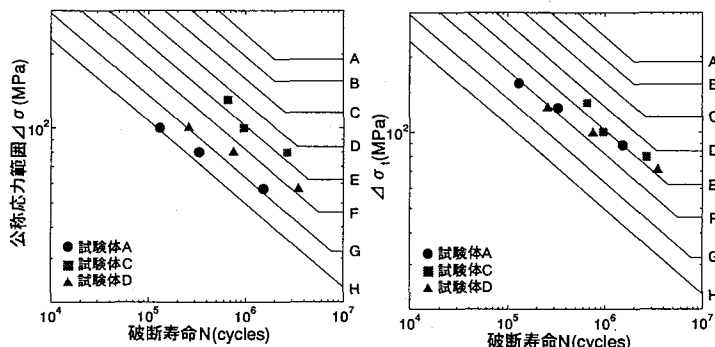


図3 公称応力で整理したS-N線図

図4 σ_t で整理したS-N線図

3.3 エフェクティブノッチストレスで整理した場合

各試験体の破断寿命 N を $\Delta\sigma_{eff}$ で整理したS-N線図を図5に示す。3種類の疲労強度は同程度となり、各試験体の強度はばらつきが殆ど無くなっている。

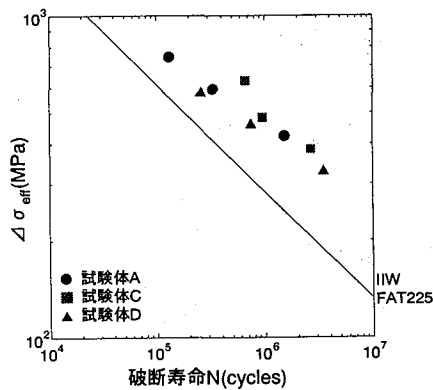


図5 σ_{eff} で整理した S-N 線図

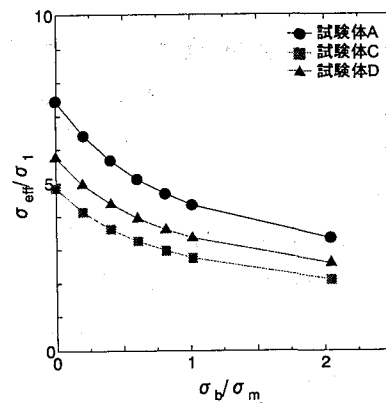


図8 σ_b/σ_m に対する $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_1$

4. 引張と面外曲げを加えた場合の疲労強度の評価

本研究では軸力と面外曲げを加えた場合の疲労強度を調べるために、FEM 解析により引張と曲げを加えた場合の σ_{eff} を算出した。ここでは曲げと引張の割合をパラメータとして検討した。

4.1 引張と面外曲げを加えた場合の応力の関係

各試験体モデルに引張と面外曲げを加えた場合の解析結果を図 6、7 に示す。図 6 の横軸は引張応力 (以下 σ_m) に対する曲げ応力 (以下 σ_b) の割合、縦軸は σ_m に対する σ_{eff} の割合である。また、図 7 の横軸は σ_b/σ_m 、縦軸は $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_m$ の増加率である。 $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_m$ の増加率は試験体 A と試験体 D は等しくなり、試験体 C は若干低い。図 6、7 より引張と曲げを加えると不溶着部が大きい程、また、ギャップが大きい程面外曲げの影響が大きいことが分かる。

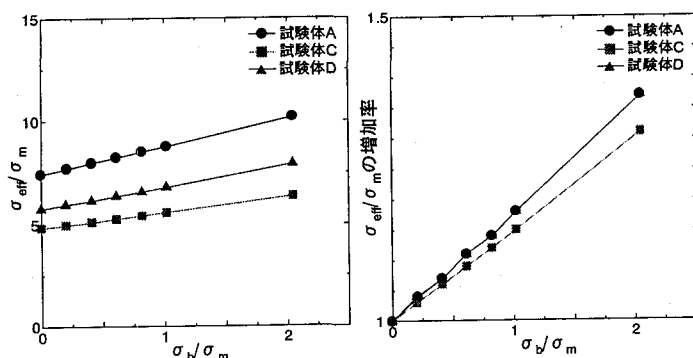


図6 σ_b/σ_m に対する $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_m$

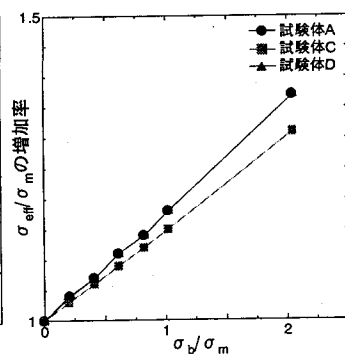


図7 $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_m$ の増加率

4.2 板厚が変化した場合の応力の関係

解析モデルの主板の厚さを変化させ、引張と面外曲げを加えた場合の応力を調べた。本研究では主板の厚さの割合を 25%、50%、100% と増加し解析を行った。今回はすみ肉溶接ギャップなしを例に挙げ解析結果を図 9 に示す。また、図 10 の横軸は σ_b/σ_m 、縦軸は $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_m$ の増加率である。図 9、10 から溶接サイズに対して相対的に主板厚を大きくすると、面外曲げの影響が大きくなることが分かる。

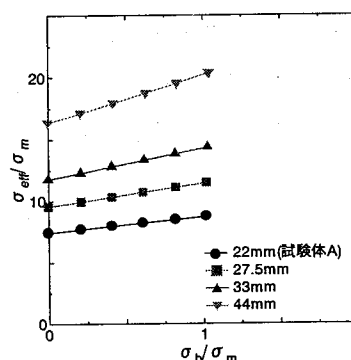


図9 σ_b/σ_m に対する $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_m$

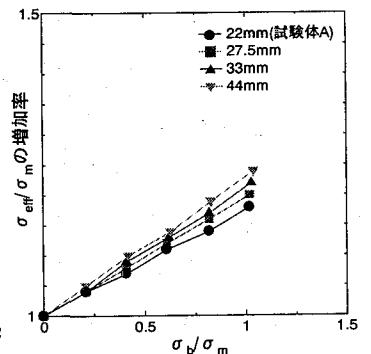


図10 $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_m$ の増加率

5. 結論

- (1) エフェクティブノッチストレスで整理すると、溶接部の形状の疲労強度への影響を考慮することができる。
- (2) 面内軸引張と面外曲げを作用させた場合、不溶着部が大きい程、ギャップが大きい程、また、溶接サイズに対して相対的に主板を厚くする程面外曲げの影響が大きいことが分かる。
- (3) 疲労強度を表面応力 (大きい方) で整理すると、安全側の疲労強度になると考えられる。

また、図 8 の横軸は σ_b/σ_m 、縦軸は主板の板幅縁の応力 σ_1 に対する σ_{eff} の割合である。各試験体とも σ_b/σ_m が増加すると $\sigma_{\text{eff}}/\sigma_1$ は低下する。これは疲労強度を実測できる表面応力 (大きい方) σ_1 で整理すると、安全側の疲労強度になると考えられる。