

十字溶接継手止端部の低サイクル疲労強度に及ぼす板厚の影響に関する実験的検討

岐阜大学 正会員 ○木下 幸治
東海旅客鉄道株式会社 上田 清弘

1. はじめに

兵庫県南部地震において、鋼製橋脚の隅角部や基部の溶接部における低サイクル疲労き裂が確認された。このような低サイクル疲労き裂は脆性破壊の起点となる、または、耐荷力の著しい低下を招く危険性が高い。そのため、溶接部の低サイクル疲労に対する適切な評価手法を確立することは、Level2地震動下における鋼構造物の安全性を確保する上で重要である。地震時の低サイクル疲労が問題になる鋼製橋脚の隅角部の梁フランジと柱フランジとの溶接継手部には、板厚の増加による高サイクル疲労強度の低下、すなわち、板厚効果を考慮する必要がある十字溶接継手が用いられている。従って、従来、厚板が用いられることが多い隅角部では、高サイクル疲労強度のみならず低サイクル疲労強度に及ぼす板厚の影響を検討する必要があると考えられる。

本研究では、十字溶接継手止端部の低サイクル疲労強度に及ぼす板厚の影響について実験的に明らかにすることを目的として、板厚を変えた十字溶接継手試験体を用いて、曲げによる低サイクル疲労試験とその弾塑性FEM解析を実施した。

2. 試験体および試験方法

図-1に試験体の形状および寸法を示す。試験体の継手形状は十字溶接継手試験体とした。試験体の板厚は、鋼構造物の疲労設計指針・同解説において高サイクル疲労領域で25mm以上の板厚の場合に板厚効果を考慮する必要があることから、これを参考にして25mm、40mmの2種類とした。主板と中板は同じ板厚とした。表-1に引張試験より求めた鋼材の機械的性質を示す。使用した鋼材はSM490YBとした。溶接材料は490N/mm²級高張力鋼用（溶接金属降伏点500N/mm²）のものを用いた。試験体の溶接は完全溶け込み溶接と部分溶け込み溶接となっている。部分溶け込み溶接のルートギャップは、1mm~3mm程度、不溶着部のサイズは板厚の6割程度とした。なお、後述するように溶接止端からの疲労き裂が支配的であり、かつ低サイクル疲労強度がいずれの溶接部でも概ね一致したことから不溶着部の影響は殆どなかったと考えられる。試験体の溶接時には、開先の相違により溶接サイズが大きく異なるように、いずれの溶接方法であっても中板側の溶接脚長を同じとするように製作した。

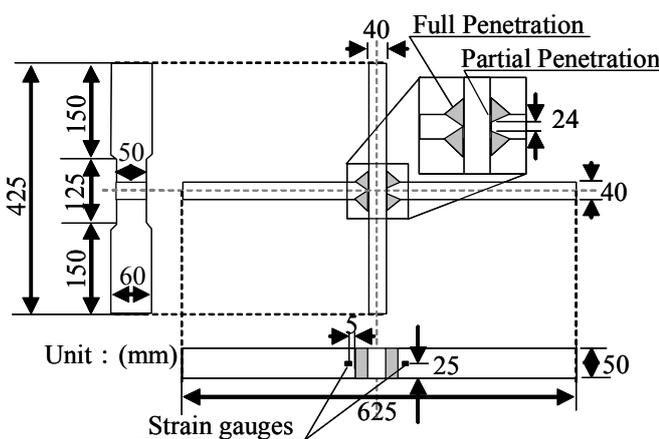


図-1 試験体の形状および寸法

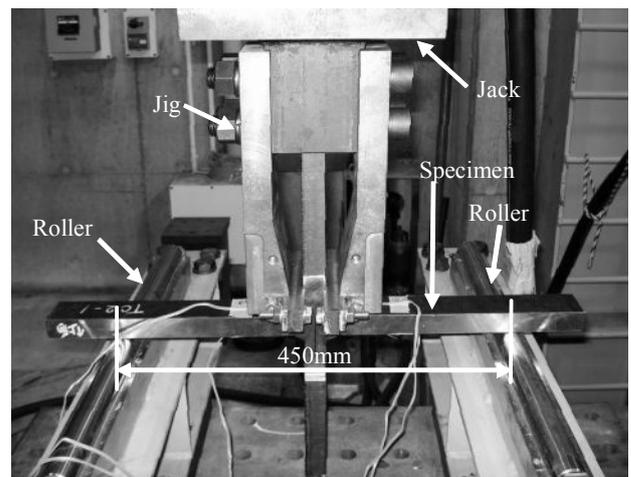


図-2 疲労試験実施状況

表-1 鋼材の機械的性質

Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
411	557	31

表-2 試験体の名称

Specimen	Thickness (mm)	Plastic strain range
25A-5%	25	5%(±2.5%)
40A-5%	40	5%(±2.5%)

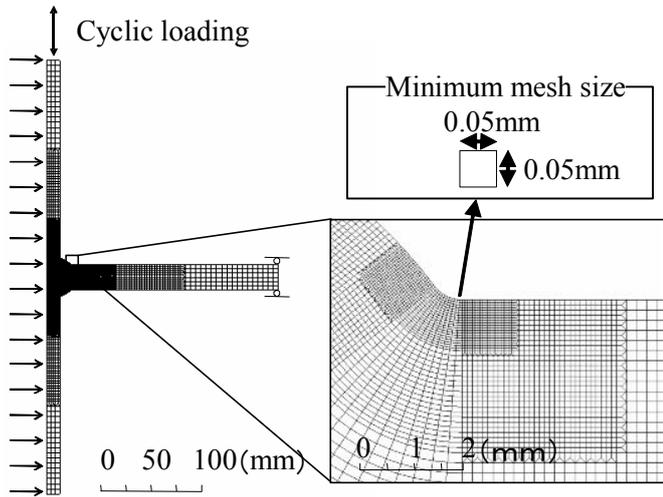


図-3 FEMモデル

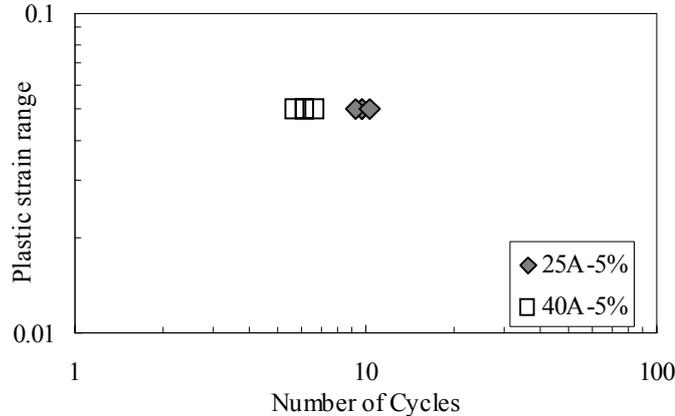
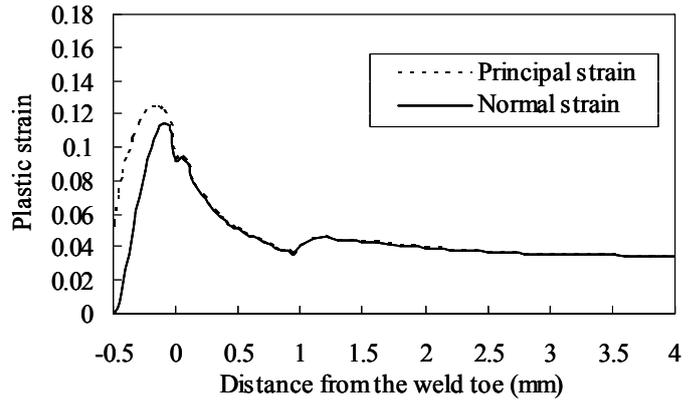
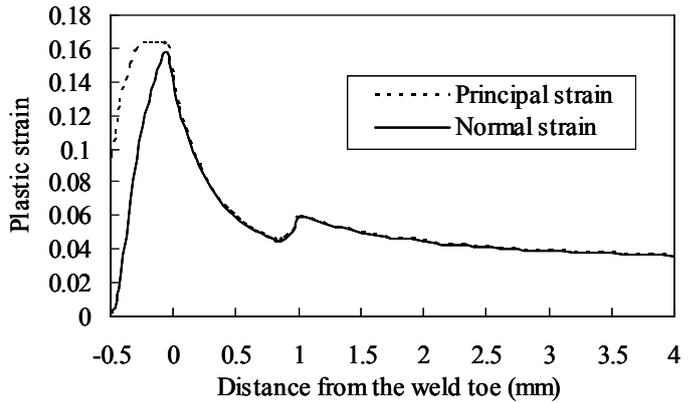


図-5 低サイクル疲労強度曲線



a) 25A-5%



b) 40A-5%

図-4 溶接止端部周辺のひずみ分布

表-2 に各試験体の名称，試験体に用いた板厚および導入したひずみ範囲を示す．試験体の名称は板厚，試験中に導入したひずみにより決定した．疲労試験の実施状況を図-2 に示す．

3. 止端部周辺のひずみ分布

溶接止端部周辺のひずみ分布を明らかにすることを目的として，弾塑性FEM解析により検討した．解析には，汎用有限要素解析プログラムDIANAを用いた．図-3にFEM解析モデルのメッシュ分割図を示す．この解析モデルは，試験体を3節点または4節点平面ひずみ要素でモデル化した．解析モデルは，試験体中央で対称モデルとした．最少メッシュサイズは，溶接止端部周辺で0.05mmとした．荷重は試験体中板上端に疲労試験で与えた変位を与えた．解析モデルの支点の条件は，実際の試験で上下を返して荷重を実施してことから，支点位置で上下をピン支持とした．図-4に解析結果として，止端部周辺の主板の直ひずみ分布を示す．図-4より，ひずみゲージ位置（図-1参照）で5%のひずみ範囲となるように荷重した場合，板厚を25mmから40mmとすることで溶接止端部の局部ひずみが大きくなることがわかった．また，図-4には直ひずみと主ひずみとの比較を示す．この比較より，いずれも概ね一致していることがわかり，板厚が異なっても直ひずみで十分に整理できると考えられる．

4. 疲労試験結果

疲労き裂は板厚の違いによらず，止端部において発生し，止端部に沿うようにき裂が複数発生，互いに結合しながら進展した．図-5に繰返し数とひずみゲージ位置でのひずみ範囲の関係を示す．図中の繰返し数は，き裂発見時のき裂長が異なるため，同程度のき裂長で整理することとし，5mm程度のき裂長で試験結果を整理した．試験結果はバラツキが少なく，板厚を25mmから40mmにすることで疲労寿命が6割程度になることがわかった．これは，板厚を25mmから40mmにすることで溶接止端部の局部ひずみが大きくなることが原因と考えられる．このように，低サイクル疲労寿命に及ぼす板厚の影響は大きいと言える．