

十字すみ肉溶接継手ルート破壊の溶接形状が疲労強度に及ぼす影響

名古屋大学 正 員 貝沼 重信
法政大学 正 員 森 猛

1. はじめに 著者らは、二等辺三角形、不等脚、凹形および凸形のすみ肉溶接を有する荷重伝達型十字継手を対象として、ルートから発生する疲労亀裂の進展解析を行なうことにより、のど厚を（溶接サイズ＋溶込み深さ） $\sqrt{2}$ としてのど断面応力を計算すること、許容応力範囲をJSSC疲労設計指針のH等級とすることを提案した。また、このような応力算定方法を用いれば、溶接形状が不等脚、凹、凸となっても危険側の評価とはならないことを示した。

本研究では、上記の5種類の荷重伝達型十字すみ肉溶接継手の疲労試験を行なうことにより、溶接形状が疲労強度に及ぼす影響について実験的に検討する。

2. 試験方法 供試鋼材は板厚16mmのJIS SS400であり、その降伏点は315MPa、引張強度は451MPa、伸びは32%である。試験体は、図1に示すように、すみ肉溶接が二等辺三角形（ $\triangle$ 試験体）、主板側に脚長が長い三角（ $\triangle$ 試験体）、中板側に脚長が長い三角形（ $\triangle$ 試験体）、凹形（凹試験体）および凸形（凸試験体）の計5種類の荷重伝達型十字すみ肉溶接継手である。すみ肉溶接はフラックスコアタイプのワイヤ（1.2φ）を用いた自動CO₂溶接法により下向きで行なった。

疲労試験は、動的能力±100kNの電気油圧サーボ式材料試験機を用い、溶接ルート部の圧縮残留応の影響を受けないように、すなわち未溶着部の閉口が生じないように上限荷重を90kNあるいは100kNとした片振り引張荷重下で行なった。荷重波形は正弦波、繰返し速度は4～20Hzである。未溶着部の閉開口挙動は、未溶着部先端近傍にひずみゲージを貼付し（図2参照）、荷重とひずみ値の関係を測定することにより観察した。また、図3に示すように試験体の表裏面にひずみゲージを貼付して、切断法により試験体の長手方向の溶接残留応力を測定した。

3. 試験結果 試験体の長手方向の残留応力の測定結果を図4に示す。図の横軸は未溶着部中央からの距離を示している。未溶着部中央の溶接残留応力は、試験体の種類によらずほぼ75MPaとなっているが、未溶着部先端では凹試験体の残留応力が他の試験体に比べて大きい。

図2に荷重と未溶着部先端近傍におけるひずみの関係の例を示す。これらの例では、凸試験体と凹試験体において荷重範囲が最も大きい試験、すなわち未溶着部の閉口が最も生じやすい試験で求めた関係を示している。凸試験体では、最小荷重以下で未溶

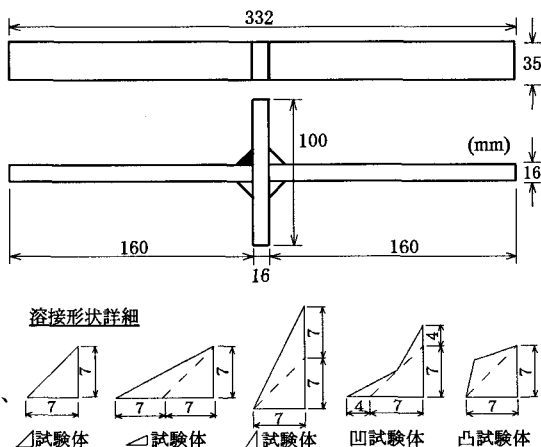


図1 試験体の形状・寸法

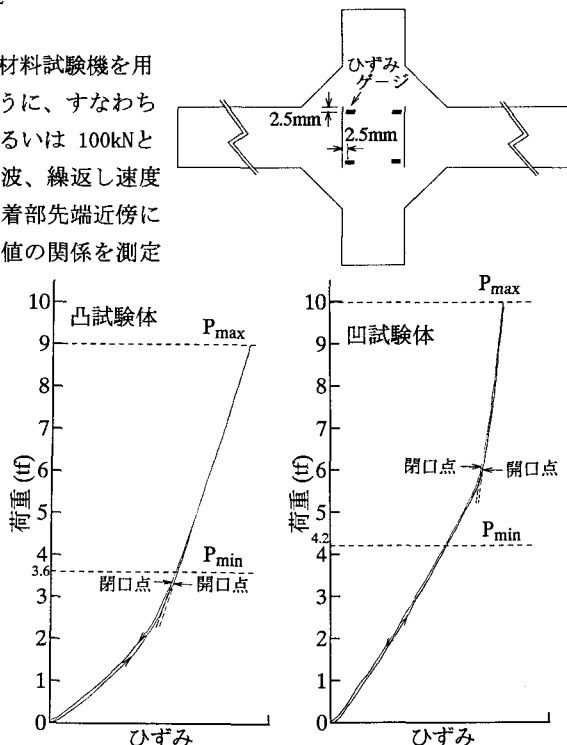


図2 未溶着部の開閉挙動の測定結果

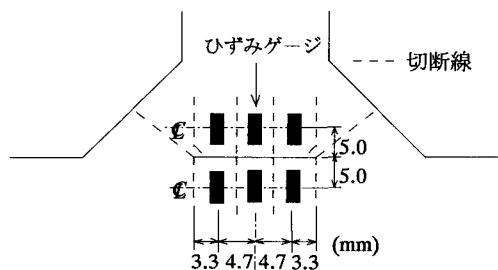


図3 ゲージ貼付位置(溶接残留応力)

着部先端の開閉口が生じており、圧縮残留応力の影響は受けないと言える。このことは、 $\triangle$ 、 $\triangleleft$ 、 $\triangle$ 試験体においても同様であった。一方、凹試験体では、未溶着部先端の残留応力が他の試験体に比べて大きいためか、未溶着部先端の開閉口点が高く、試験荷重範囲内にある。

各試験体の疲労試験結果を図5に示す。図の縦軸はのど断面応力範囲 $\Delta\sigma$ であり、のど断面積は(溶接サイズ+溶込み深さ) $\div\sqrt{2}\times$ (板幅)として計算した。なお、凹試験体については、未溶着部先端が開いている間の応力の変動幅($\Delta\sigma_{eff}$)で整理した結果も示している。図中の直線群は最小自乗法を用いて求めた各試験体の疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線である。

回帰直線(凹試験体については、2つの破断データの内挿)より求めた 2×10^6 回疲労強度は、 $\triangle$ 、 $\triangleleft$ 、 $\triangle$ 、凹、凸試験体で、それぞれ61、89、63、100、63MPaである。このように、溶接形状を中板側に不等脚あるいは凸形としても、同じ溶接サイズの二等辺三角形のすみ肉溶接を有する継手の疲労強度と同程度となっている。一方、 $\triangleleft$ 試験体の疲労強度は、 $\triangle$ 試験体の約1.45倍となっている。凹試験体の疲労強度も $\triangle$ 試験体に比べてかなり高いが、これは前述のように未溶着部先端の開口が生じたためと考えられる。 $\Delta\sigma_{eff}$ で整理した凹試験体の 2×10^6 回疲労強度は59MPaである。

図6に試験結果および疲労亀裂進展解析から求めた 2×10^6 回疲労強度を示す。進展解析は、各亀裂長さに対する応力拡大係数範囲 ΔK を疲労亀裂進展速度 da/dN との関係に代入し、それを初期亀裂から限界亀裂まで繰返すことにより行なった。初期亀裂長さは未溶着長さの測定結果に基づき設定し、限界亀裂長さは $0.8\times$ 脚長(中板側)+板厚/2とした。疲労亀裂の進展方向は、引張荷重方向に対して垂直とした。 da/dN と ΔK の関係としてはJSSC指針に示されている平均設計曲線を用いた。試験結果の 2×10^6 回疲労強度は進展解析より得られた 2×10^6 回疲労強度とほぼ一致している。

4. まとめ 中板側に長い不等脚な溶接部を有する継手、凹形および凸形の溶接部を有する継手の疲労強度は、同じ溶接サイズの二等辺三角形の溶接部を有する継手と同程度あるいは若干高い。これらに比べて、主板側に長い不等脚な溶接部を有する継手の疲労強度は約45%高い。

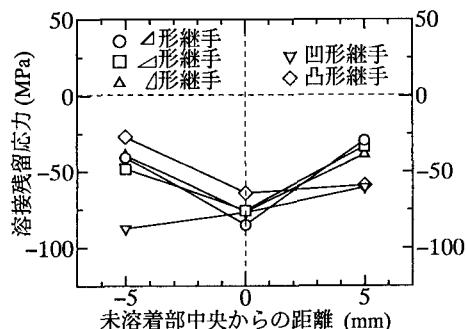


図4 溶接残留応力の測定結果

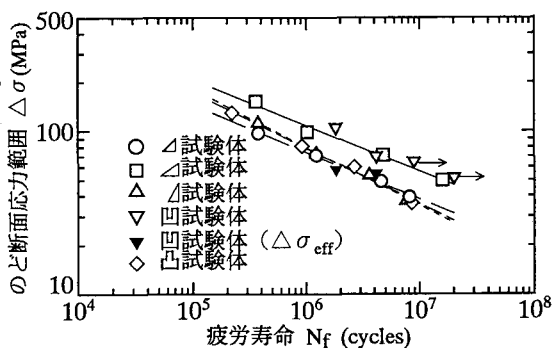
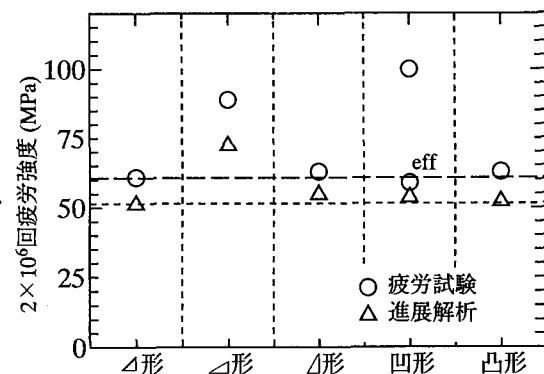


図5 疲労試験結果

図6 試験結果と解析結果の 2×10^6 回疲労強度