

板厚が異なる十字すみ肉溶接継手の疲労挙動

東海旅客鉄道㈱ 正会員 ○楠本 佳寛 岐阜大学 正会員 貝沼 重信

1. はじめに 鋼橋などの溶接構造物には、主板厚が異なる十字すみ肉溶接継手が用いられる場合がある。しかし、その疲労挙動については不明である。そこで、本研究では板厚が異なる十字すみ肉溶接継手の疲労挙動を明らかにするために、主板と中板の板厚を変化させた計4種類のモデル試験体の疲労試験を行なった。また、主板厚と中板厚を様々に変化させたパラメトリックモデルの疲労強度解析を行なうことで、板厚の相違が十字溶接継手の疲労強度に及ぼす影響を定量的に明らかにした。

2. 試験体 試験体に用いた供試鋼材は、板厚 6, 9, 14 および 25 mm の JIS SM490A である。試験体の形状および寸法を図1に示す。試験体は、a) 主板と中板の板厚をともに 14 mm とした試験体 (M14M14C14 試験体)、b) a) の片側の主板厚を 9mm とした試験体 (M9M14C14 試験体)、c) b) の中板を 6 mm とした試験体 (M9M14C6 試験体)、d) c) の 14mm の主板厚を 25mm とした試験体 (M9M25C6 試験体)、の計4種類の十字溶接継手である。試験体のすみ肉溶接は、フラックスコアタイプのワイヤ (1.2φ) を用いて CO₂ 半自動溶接により1パスで行なった。なお、試験体製作時のすみ肉溶接サイズの目標値は、道路橋示方書¹⁾の規定に基づき 6mm とした。全試験体の寸法を実測した結果、溶接サイズおよび溶込み深さの平均値は、それぞれ 7.1mm と 1.5mm であった。また、M9M25C6 試験体には、最大 0.8mm のルートギャップが未溶着部に生じていた。その他の試験体のルートギャップは 0mm であった。

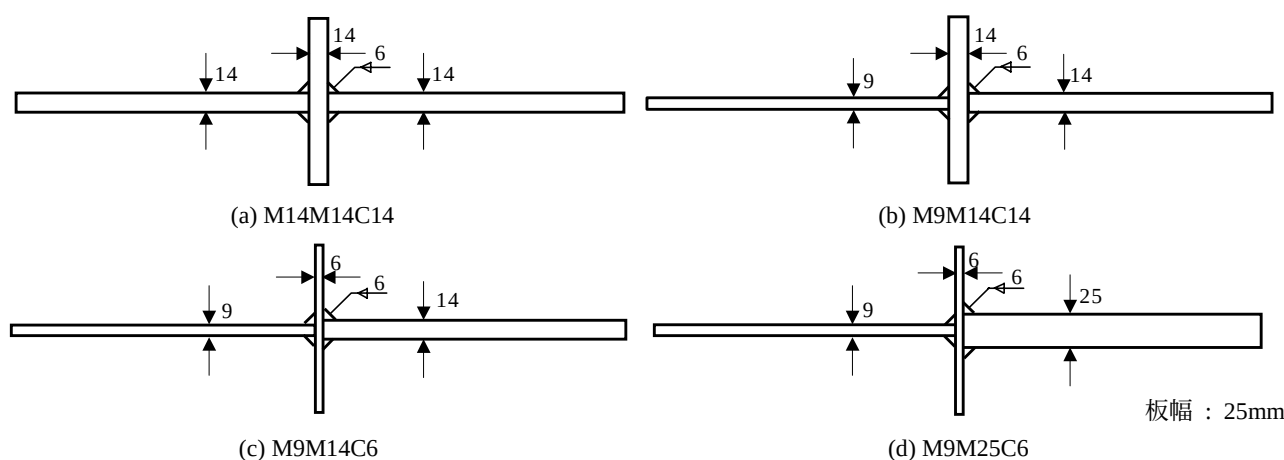


図1 試験体の形状および寸法

3. 試験方法 十字すみ肉溶接継手の未溶着部先端近傍には高い圧縮残留応力が存在している²⁾。そこで、圧縮残留応力の影響を受けない荷重条件下で疲労実験を行うために、疲労試験の開始前に、荷重載荷時における未溶着先端近傍の開口荷重を測定した。開口荷重は図2に示すように、未溶着部先端部の上下に約 2mm 間隔となる標点を2点マーキングし、それらの距離に相当するデジタル画像の pixel 数 (標点間距離) の変化に基づき推定した³⁾。なお、1 pixel 当たりの読取り精度は、約 1×10^{-3} mm である。

一般的に、溶接構造物は複数の部材同士を溶接接合することで製作されるため、隣接部材による拘束効果が生じる場合が考えられる。また、構造部材の溶接継手部の圧縮残留応力を精度良く測定することは困難である。そのため、未溶着部の先端近傍の圧縮残留応力による疲労強度の向上効果を期待すると危険側の結果を与える場合が考えられる。そこで、疲労試験は圧縮残留応力の影響を受けないような条件下、すなわち未溶着部先端が常に開口している荷重条件下で行なうこととした。疲労試験に用いた下限荷重は、未溶着部先端部における開口荷重の測定結果に基づき 40kN とした。また、荷重波形は正弦波、繰返し速度は 8~20Hz とした。疲労試験には動的能力 ± 200 kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用いた。

4. 疲労試験結果 疲労試験終了後の試験体のき裂進展状況を図3に示す。未破断の試験体を除いて、すべての試

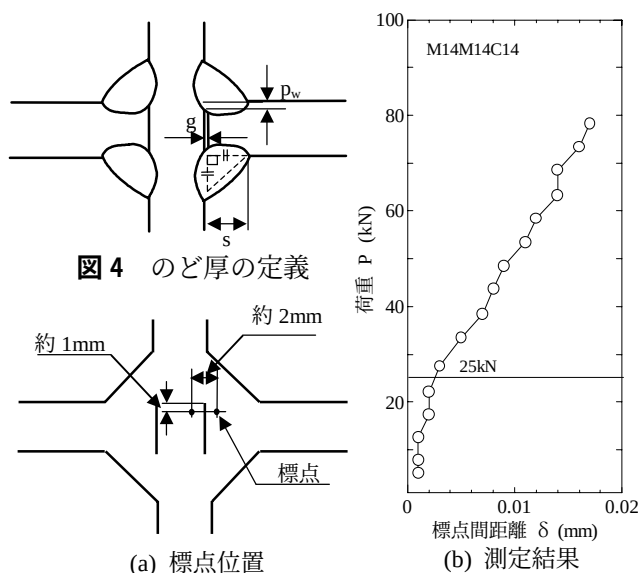


図2 開口荷重の測定

キーワード 十字すみ肉溶接継手, 板厚, 疲労強度

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学 総合情報メディアセンター TEL 058-293-2402 FAX 058-293-2402

験体で溶接ルート部から疲労き裂が発生し、ほぼ未溶着線の延長線上に進展することで破断に至った。M14M14C14 以外の試験体は、いずれも主板厚が厚い方の未溶着先端から疲労き裂が発生した。これは、未溶着長さが長い方が短い方に比べて、その先端に生じる応力集中が高くなるためである。M14M14C14, M9M14C14 および M9M14C6 試験体の疲労き裂は、図 3(a)~(c)に示すように、未溶着線に対して主板側に 10~15 度の角度をなして発生し、徐々に角度を増しながら、すみ肉溶接部に進展することで破断した。一方、M9M25C6 試験体については、図 3(d)に示すように、疲労き裂は未溶着線に対して、中板側に約 10 度の角度で、中板に進展することで破断した。

次式に示すのと断面積 A から算出したのと断面応力範囲 $\Delta \sigma_{wt}$ で整理した疲労試験結果の S-N 線図を図 5 に示す。

$$A = (s + p_w - g) / \sqrt{2} \times W \times 2 \quad (\text{図 4 参照}) \quad (1)$$

s : 溶接サイズ, p_w : 溶接溶込み深さ, g : ルートギャップ, W : 板幅 (すみ肉溶接のビード長)

図中の破線は、各試験体の疲労寿命 N_f に対するのと断面応力範囲 $\Delta \sigma_{wt}$ の回帰直線である。また、実線は日本道路協会の疲労設計指針⁴⁾の疲労強度等級 H および H' である。H 等級は荷重伝達型の十字すみ肉溶接継手に対する強度等級である。M14M14C14, M9M14C14 および M9M14C6 試験体の疲労強度は、H 等級を満たしている。しかし、M9M25C6 試験体の疲労強度は、他の試験体に比べ疲労強度が著しく低下しており、H' 等級程度になっている。

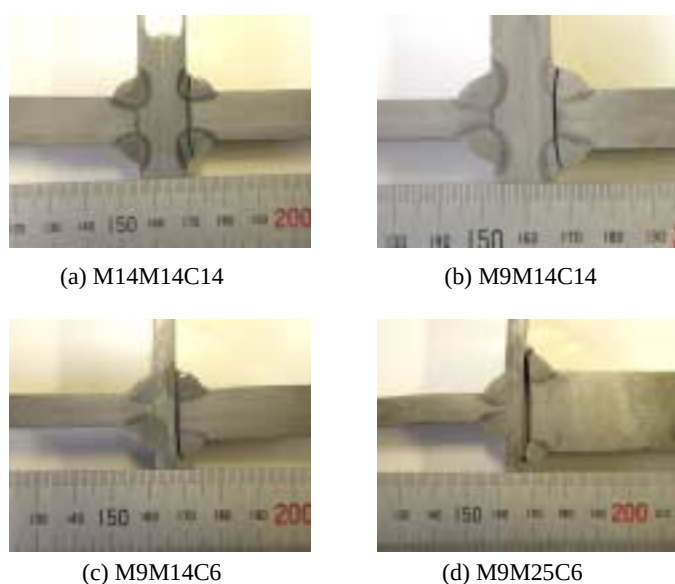


図 3 疲労き裂の発生・進展状況

図 6 に回帰直線から求めた各試験体の 2×10^6 回疲労強度を示す。主板と中板の板厚がともに 14 mm の M14M14C14 および M9M14C14 試験体の 2×10^6 回疲労強度は、約 55 MPa となっている。しかし、中板厚が 6 mm の M9M14C6 試験体の疲労強度は、約 45 MPa であり、中板厚が 14 mm の場合に比べ、約 20% 低下している。M9M25C6 試験体については、さらに疲労強度が低下しており、M14M14C14 試験体の約 45% となっている。これは、M9M14C6 および M9M25C6 試験体では、主板の薄板側と厚板側の未溶着長さが異なり、中板厚が 6 mm と薄いために、未溶着部先端間の応力線の勾配が大きくなるためである。以上から、中板厚が小さく、主板厚が大きく異なる十字すみ肉溶接継手に H 等級を適用すると危険側の評価になる場合があると言える。

5. まとめ 1) 主板厚が異なる十字すみ肉溶接継手の疲労き裂は厚板側の未溶着部先端から疲労き裂が発生・進展し破断する。2) 板厚が異なる十字溶接継手（主板厚：9~25mm, 中板厚：6~14mm）がルート破壊する場合、疲労き裂は未溶着線に対して、主板側に 10~25 度の角度で発生する。3) 主板厚の相違が大きいほど、十字溶接継手のルート破壊の疲労強度は低下する。この場合、中板厚が小さいほど、その疲労強度の低下は顕著になる。十字溶接継手のパラメトリック解析の結果については、講演当日に報告する。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（I 共通編, II 鋼橋編）, 2002., 2) 貝沼重信, 森猛, 一宮充：十字すみ肉溶接継手のルート部から発生する疲労き裂の進展性状, 鋼構造論文集, Vol.4, No.14, pp.1-8, 1997., 3) 貝沼重信, 中根竜二, 細見直史：フェライト系ステンレス鋼のフランジヘリ溶接継手の溶接残留応力と疲労強度, 溶接学会論文集, Vol.22, 2004., 4) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針, 2004.

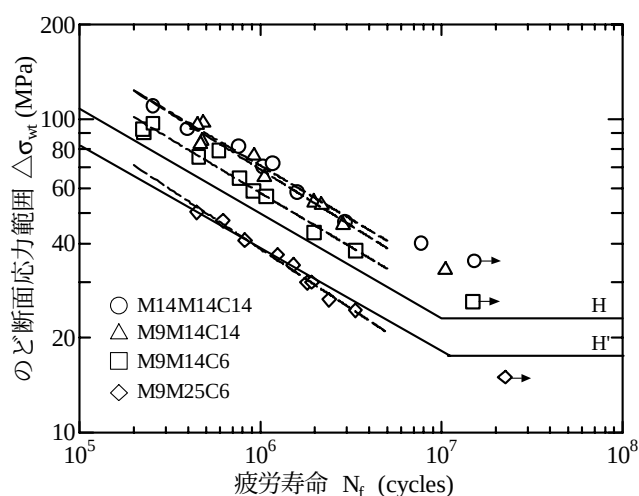


図 5 疲労試験結果

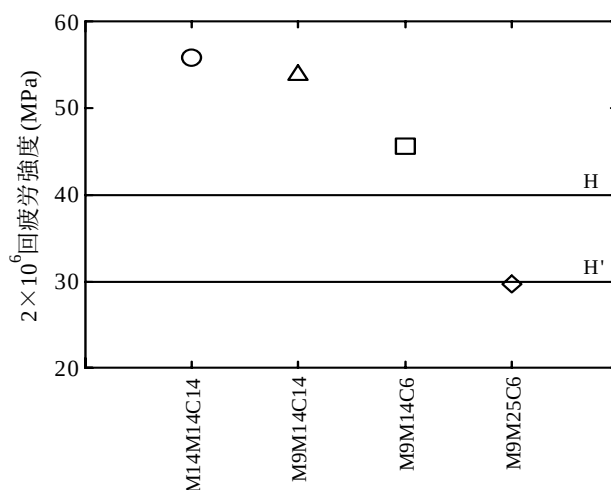


図 6 2×10^6 回疲労強度