第Ⅰ部門　　すみ肉溶接ルート部の疲労き裂防止のためのポリエステル系高耐熱接着シートの適用範囲に関する検討

大阪大学　学生会員　○小林　航成
大阪大学　正会員　廣畑　幹人，毛　佳豪
エム・エムブリッジ　正会員　小西　英明，鈴木　俊光

1. はじめに

近年，我が国において高度経済成長期に建設された鋼橋の劣化や損傷が顕在化しており，適切な維持管理・補修補強により，構造物の長寿命化を図ることが重要となってきている．鋼部材における劣化や損傷の原因として，腐食による減厚や疲労き裂の発生および進展が挙げられる．中でも，疲労き裂の多くは応力が集中する溶接部から発生する．すみ肉溶接継手においては，溶接止端部に限らず，継手内部の溶接ルート部からも疲労き裂が発生・進展する事例が多数報告されている．溶接ルート部から発生する疲労き裂については，検出・検知が困難であることや補修・対策が困難であることから，構造物の製作段階でルートき裂を防止する措置が望まれている．

既往の研究において，溶接ルート部から発生する疲労き裂を防止する方法として溶接―接着併用継手が提案されている[1,2]．疲労実験の結果，接着接合の援用による溶接ルート部の疲労耐久性向上効果が確認されたが，接着剤（エポキシ樹脂）の塗布状態によって，溶接欠陥が発生することが課題として挙げられている．

本研究では，エポキシ樹脂と比べて塗布領域の管理が容易なポリエステル系高耐熱接着シート（東洋紡エムシー（株）による開発品）を用い，溶接と併用しても欠陥を生じさせることなく，溶接ルート部の疲労耐久性向上効果を得るための条件と適用範囲を検討するため，一連の疲労実験および解析を行った．

2. 供試体の製作

300mm×200mm×9mm の上板と 120mm×200mm×9mm の下板で接着シートを挟み込んだ後，上板と下板をすみ肉溶接で接合し，これを 40mm 幅に切り出して疲労実験に用いた（図-1）．上板の中央部には 2mm のスリットを導入することで，溶接ルート部からき裂を発生させるようにした．すみ肉溶接による熱伝導によって接着シートが 150℃以上になると，接着シートが溶出し，溶接欠陥が生じる可能性がある．よって，二次元熱伝導理論（式(1)）により溶接入熱の影響範囲を求め，接着シートが 150℃に到達しない領域を推定した．

$$\frac{1}{\theta_{max}-\theta_0}=\frac{1}{\theta_M-\theta_0}+\frac{r^2}{0.234Q_{net}/(c\rho)} \qquad (1)$$

溶接条件（電圧 24V，電流 130 A，速度 4 mm/s）とアーク溶接の熱効率 80 %より入熱量 Q_{net} を求め，上板と下板それぞれに与えられる等価入熱量 Q_F および Q_S を式(2)と式(3)から求めた．

$$Q_F = Q_{net}\cdot\frac{2t_F}{a_S+2t_F} \quad (2) \qquad Q_S = Q_{net}\cdot\frac{a_S}{a_S+2t_F} \quad (3)$$

Q_F および Q_S を式(1)に代入して得られた，溶融線（ルート部）からの距離 r と最高到達温度 θ_{max} の関係を図-2 に示す．これに

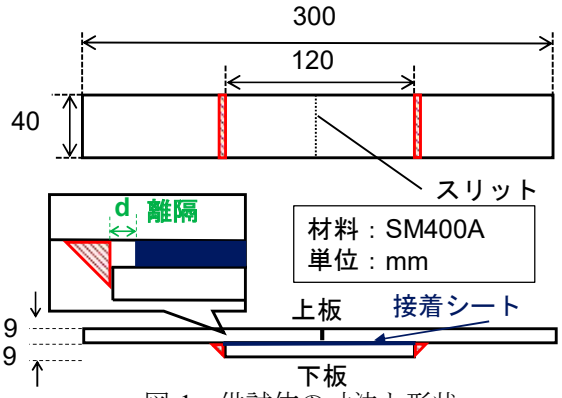


図-1　供試体の寸法と形状

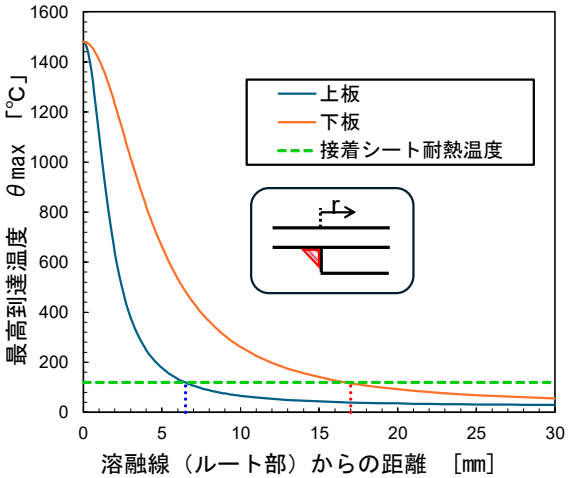


図-2　溶接線からの距離と最高到達温度の関係

Kosei KOBAYASHI, Mikihito HIROHATA, Jiahao MAO, Hideaki KONISHI, Toshimitsu SUZUKI
k-kobayashi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

基づき，接着シートが溶出しないように，溶接線から 20mm の離隔（d）を確保して供試体を製作した．その後，供試体を電気炉で加熱して接着シートの接着力を発揮させた．

3. 疲労実験

溶接のみの供試体と溶接と接着を併用した供試体を疲労実験に供した．ルート部に開口変位を与えるように，4 点曲げ載荷で実験を実施した．また，応力比は R=0.1 とした．き裂が進展し，供試体が破断した時点を疲労寿命とした．疲労実験の結果を図-3 に示す．公称応力範囲が 60~100MPa の条件では一定の疲労耐久性向上効果を確認できた．しかし，公称応力範囲 100MPa 以上の条件では，疲労耐久性向上効果を確認することはできなかった．

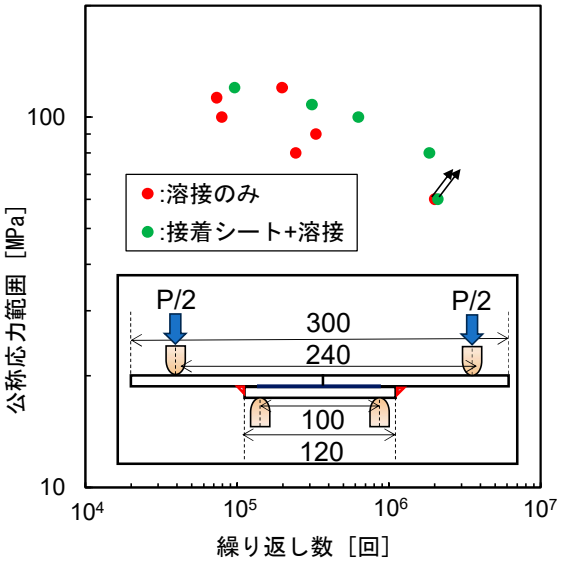


図-3　公称応力範囲と疲労寿命の関係

4. 実験結果の考察

公称応力範囲が 100MPa 以下の条件で疲労耐久性が向上した理由について検討を行った．図-4 に示す解析モデルを使用して公称応力 80MPa の条件で載荷を行った結果，鋼板どうしを接着させることで，開口部のひずみが 1000 分の 1 に低減した．これより，開口部の拘束が疲労耐久性向上に寄与したと考えられる．

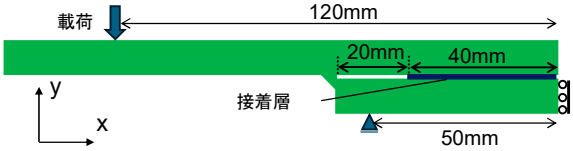


図-4　解析モデルの概要

次に，公称応力範囲が 100MPa 以上の条件で疲労耐久性向上効果が得られなかった原因について，接着層の剥離が生じた可能性を検討した．まず，接着シートが構成する接着層の引張およびせん断挙動を明らかにするため，引張試験を行い，せん断方向と縦方向の引張に対する強度を推定した．その結果，せん断引張強度は 21.2MPa，引張強度は 27.0MPa であった．続いて，図-4 に示す解析モデルを使用して，接着層の剥離挙動について検討を行った．解析では，溶接ルート部に作用する公称応力が 60,80,100MPa となるような荷重を設定した．接着層には弾性係数 40,000MPa，ポアソン比 0.4 を与えた．接着層端部の垂直応力およびせん断応力を算出した結果を図-5,6 に示す．これより，公称応力 100MPa の条件では，引張，せん断ともに，接着層端部において接着層の強度以上の応力が作用していた．本実験において，公称応力範囲 100MPa 以上の条件で接着層の剥離が起こった可能性を一連の結果は示唆していた．

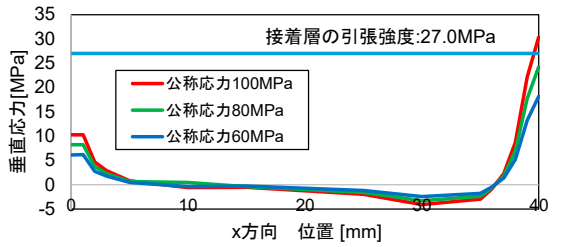


図-5　垂直応力

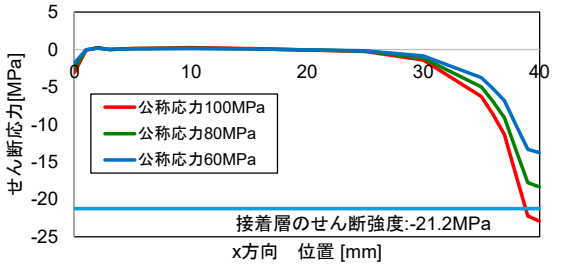


図-6　せん断応力

5. まとめ

鋼板 2 枚を重ねたすみ肉溶接継手において，ポリエステル系高耐熱接着シートを 2 枚の鋼板の間に挟み込み，溶接完了後に加熱することで，鋼板の接着効果を付与した．製作した継手を疲労実験に供した結果，公称応力範囲が 60~100MPa の条件では，開口変位が拘束されることで，溶接ルート部の疲労耐久性が向上する可能性が示唆された．しかし，公称応力範囲 100MPa 以上の条件では接着層の剥離が起こったことにより，疲労耐久性向上効果を得ることができなかったと考えられる．

参考文献

1)　廣畑幹人，伊藤義人：すみ肉溶接と接着接合を併用したあて板継手の疲労特性，溶接学会論文集，第 33 巻，第 4 号，pp.224-232，2015.

2)　XU Y., HIROHATA M., SUZUKI T., KONISHI H., TOMINAGA S.: Assistive Bonding Assisted Prevention of Weld Root Fatigue Cracks, Welding Letters, 40(4), 5WL-8WL, 2023.