

S8T 相当の高力スタッドボルトを用いる片面当て板補強の曲げ疲労試験

日本ファブテック 正会員 ○彭 雪
 関西大学 正会員 石川 敏之

日本ファブテック 正会員 奥村 学
 大阪市立大学 正会員 山口 隆司

1. はじめに

スタッドボルトを用いる当て板補強では、高いボルト軸力を導入した場合スタッド溶植部付近の引張残留応力が大きくなるため、疲労き裂の発生が懸念される。既往研究^{1), 2)}では、当て板補強すると当て板の応力の分担により、スタッドのままに比べると疲労強度の向上を確認している。しかし、導入軸力が F6T 相当であった。本研究では、トルシア形高力スタッドボルト(以後、高力スタッドと呼ぶ)に S8T 相当の高ボルト軸力を導入した曲げ疲労試験を実施して、高ボルト軸力が疲労強度に及ぼす影響を検証した。

2. 試験方法

疲労試験は、板曲げ疲労試験機を使用し、静的な予荷重を与え、片振り疲労試験($R=0$)を実施した。試験体の詳細を図-1 に示す。試験体は板厚 19mm の母板に高力スタッド(S8T 相当)を溶植した。試験体 BF1 は母板と同厚の当て板で補強したもの、試験体 BF2 はスタッドのままであった。締付軸力管理は、S10T の M20 径高力ボルトのそれを参照し、S8T 相当の軸力導入の平均値を、F8T の設計軸力 133kN の 101~128%とした。鋼材は母板、当て板ともに SM400A 材を使用した。疲労試験の応力範囲は、ボルト中心で $\Delta\sigma=120, 150\text{N/mm}^2$ とし、各応力範囲で 2 体ずつ試験した。疲労き裂が止端部に沿って高力スタッドの溶植部の縁まで達した回数を N_b とし、 N_b から試験体の幅方向へ 10mm き裂が進展した回数を N_{10} とした。試験体のき裂は N_{10} に達した時点で試験を終了した。

3. 試験結果

図-2 は各試験体のき裂が N_{10} に達した段階の S-N 線図を示す。図中には既往研究結果も併記した。文献 1)は軸径 19mm のスタッドボルト引張疲労試験結果、文献 2)はスタッドボルトの板曲げ疲労試験結果、文献 3)は径 $\phi 16\text{mm}$ のスタッドジベルの曲げ疲労試験結果である。本研究および文献 2), 3)の応力範囲は、JSSC の疲労設計指針に基づき、曲げ応力範囲の 4/5 倍で整理した。図-2 より、応力範囲 $\Delta\sigma=120$ で実施した当て板補強の試験体 BF1 の 1 体は、繰り返し回数が 1,000 万回に達し、大きな応力変動が見られなかったため試験を終了した。当て板を取り外し、磁粉探傷試験を行った結果は、写真-1 に示すように高力スタッド溶植部からき裂の指示模様が見られた。試験体を切断して確認したところ、溶植止端部に微小なき裂を発見した。他の当て板補強の試験体では、固定端部および当て板端において、フレットングにより疲労き裂が発生したため、400~570 万回で試験を終了した。一方、スタッドのままの試験体 BF2 では、 $\Delta\sigma=120\text{N/mm}^2$ の場合 209~321 万回で、 $\Delta\sigma=150\text{N/mm}^2$ の場合 93~134 万回で N_{10} に達し、試験を終了した。図より、S8T 相当軸力を導入した当て板補強の試験体 BF1 の疲労強度は、スタッドのままの試験

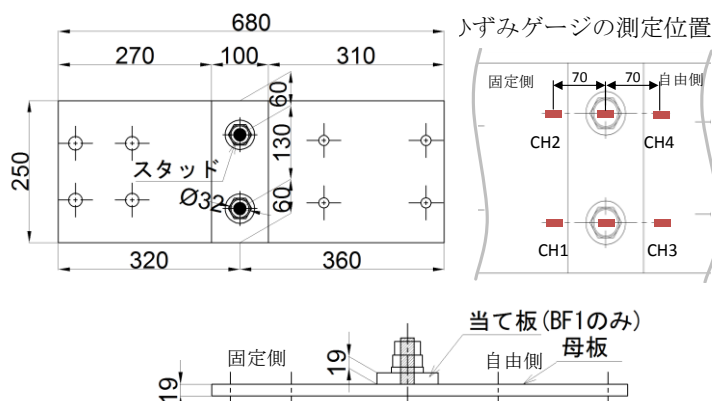


図-1 試験体の形状(単位: mm)

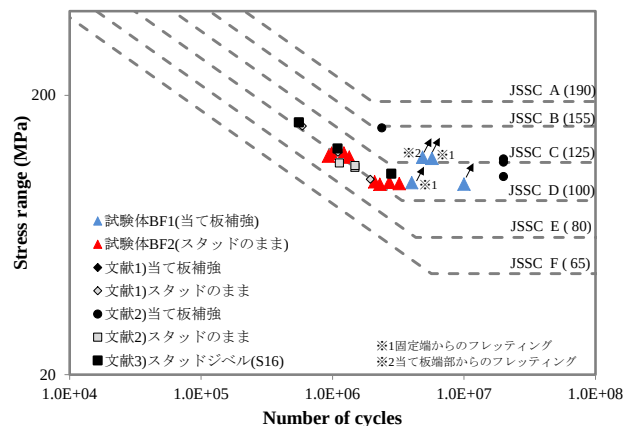


図-2 曲げ応力範囲の4/5倍で整理した S-N 線図

キーワード S8T 相当の高力スタッドボルト, 当て板補強, 曲げ疲労試験, 疲労き裂

連絡先 〒550-0001 大阪市西区土佐堀 1-3-7 肥後橋シミズビル 11 階 TEL 06-7730-9120

体 FB2 より、2 等級程度向上した。

本研究は既往研究結果と比べると、当て板補強の試験体 BF1 は 1,000 万回で試験終了し、板幅方向へ進展するき裂が見られなかったため、文献 2)の曲げ疲労試験の結果と同様な結果であった。文献 1)の引張疲労試験の結果と比べ、本研究の曲げ応力範囲の 4/5 倍した応力が引張疲労試験と同等であることで評価できる。よって、S8T 相当の高ボルト軸力を導入したことが疲労強度に及ぼす影響は見られなかった。また、スタッドのままの試験体 BF2 は、文献 2)のスタッドのままの結果、文献 3)スタッドジベル(S16)の結果に、近い結果となった。

図-3 は先にき裂が発生した高力スタッド A の溶植部付近 CH2(固定側)、CH4(自由側)の応力範囲と繰り返し回数の関係を示す。疲労試験の応力範囲は $\Delta\sigma=120\text{N/mm}^2$ である。図中の縦点線は高力スタッド溶植部のき裂が N_b に達した時点、縦実線は溶植部のき裂が N_{10} に達した時点を示す。図より、当て板補強の試験体 BF1 は、1,000 万回に達した時点で CH2、CH4 の応力範囲(表-1)は 1.5%と 0.0%低下した。これは、写真-1 に示すように、CH2 付近の表面と板厚方向にごく小さなき裂が生じたためと考えられた。文献 2)でも、1,000 万回で応力範囲の低下が見られたが、2,000 万回で板幅方向へ進展するき裂が見られなかったことで、当て板補強することで高力スタッドボルトの溶植部は高い疲労強度を有すると考えられる。一方、スタッドのままの試験体 BF2 の CH2 と CH4 の応力範囲(表-1)は、 N_b に達した時点で 4.8%と 4.1%低下し、 N_{10} に達した時点で 4.8%のままと 6.6%低下した。また、BF2-1 の CH4 付近のき裂状況(写真-2)は、表面き裂長は 60mm であり、板厚方向のき裂長は 9mm であった。よって、き裂が進展しても、応力範囲の低下が小さかったことがわかった。

図-4 は平均応力と繰り返し回数の関係を示す。図より、当て板補強の試験体 BF1 に平均応力(表-1)は 7.7%と 1.9%低下した。スタッドのままの試験体 BF2 に平均応力は、 N_b に達した時点で 10.7%と 24.2%低下し、 N_{10} に達した時点で 18.9%と 41.1%低下した。平均応力の低下を評価することにより、疲労き裂の検出が顕著となることがわかった。

表-1 応力範囲と平均応力の低下率

		応力範囲低下%			平均応力低下%		
		N_b	N_{10}	1000万回	N_b	N_{10}	1000万回
BF1	CH2	-	-	1.5	-	-	7.7
	CH4	-	-	0.0	-	-	1.9
BF2	CH2	4.8	4.8	-	10.7	18.9	-
	CH4	4.1	6.6	-	24.2	41.1	-

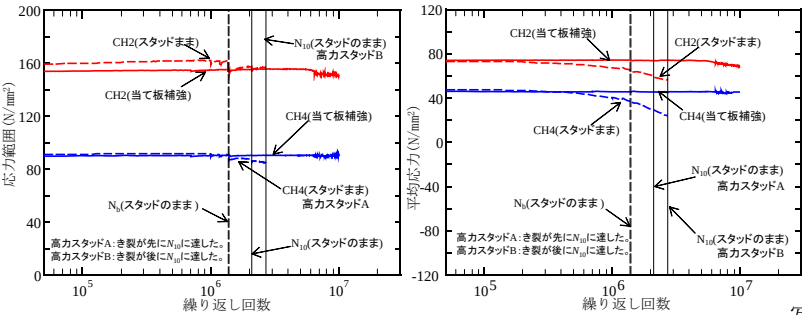


図-3 応力範囲と繰り返し回数の関係

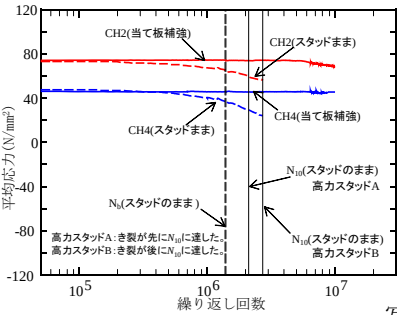


図-4 平均応力と繰り返し回数の関係

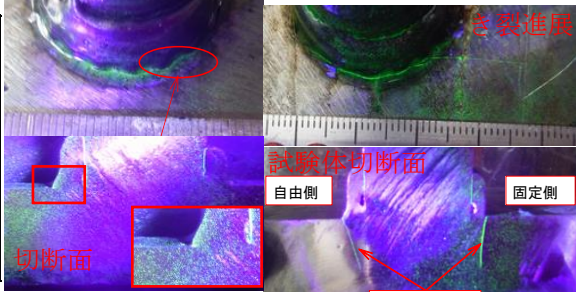


写真-1 BF1-1(当て板補強)
溶植部き裂状況

写真-2 BF2-1(スタッドまま)
溶植部き裂状況

4. まとめ

本研究では、高力スタッドボルト M20 径を用いた片面当て板補強に対し、S8T 相当の軸力導入した試験体の曲げ疲労試験を実施した。得られた主な結果を以下に示す。

- 1)当て板補強の試験体は、高力スタッドボルトに当て板を接合することで、疲労き裂の発生・進展を抑制でき、スタッドのままの試験体と比べ、疲労強度が 2 等級程度向上した。
- 2)当て板補強の試験体は、応力範囲 $\Delta\sigma=120\text{N/mm}^2$ の場合、1,000 万回に達した時点の応力範囲と平均応力は 1.5%と 7.7%低下し、ごく小さな疲労き裂が生じたことを確認した。高ボルト軸力を導入した当て板補強する場合でも、既往文献と同様に、高力スタッドボルトの溶植部が高い疲労強度を有すると考えられる。

謝辞 関西大学池田拓矢氏には板曲げ疲労試験を実施して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1)馬場敏ら：上向きに溶接した高強度スタッドボルトの開発と疲労強度，土木学会第 69 回年次学術講演会，I-445，pp.889-890，2014.9. 2)奥村学ら：高力スタッドボルトによる当て板補強の板曲げ疲労強度，土木学会第 71 回年次学術講演会，I-391，pp.781-782，2016.9. 3)白彬ら：鋼床版上の吊りピース及びスタッドジベルの板曲げ疲労挙動，鋼構造論文集，Vol.17，No.65，pp.43-52，2010.3.