

高力スタッドボルトによる当て板補強の板曲げ疲労挙動

片山ストラテック 正会員 ○奥村 学
 阪神高速道路 正会員 田畑 晶子
 阪神高速道路 正会員 原田 潤

1. はじめに

高力スタッドボルトによる当て板補強では、ボルト締付けによる引張応力の導入に加えて、スタッド溶接による引張残留応力に起因する疲労き裂の発生が懸念される。既往の研究¹⁾では、当て板も荷重分担に寄与してスタッド近傍への作用応力が低下するため、スタッドのままに比べて疲労強度が向上することが引張疲労試験により確認されている。本研究では、曲げ応力が作用する鋼床版に高力スタッドボルトによる当て板補強を適用するために、板曲げ疲労試験および FEM 解析により、スタッドボルトの板曲げ疲労挙動を明らかにし、当て板およびボルト軸力導入の有無が疲労強度に及ぼす影響を検証する。

2. 板曲げ疲労試験

(1) 試験方法

試験体は、幅 400mm×板厚 12mm×長さ 670mm の鋼板(SM490YA)に、呼び径 M20 の高力スタッドボルト(F8T 相当)を 3 本(間隔 150mm)溶植し、幅 100mm×板厚 9mm の当て板(SM490YA)をボルト締付け軸力 100kN で摩擦接合した(図-1 参照)。疲労試験は、板曲げ疲労試験機を使用して、試験体に静的な予荷重を与えて片振り疲労試験($R \approx 0$)を実施した。試験ケースは、ケース①:スタッドのまま(当て板無し)、ケース②:全ボルト締付け、ケース③:中央ボルト締付け無しの 3 ケースとした。疲労試験の応力範囲は、ボルト中心位置で $\Delta \sigma = 140, 180\text{MPa}$ とした。各試験体には、スタッドボルト位置の当て板端部から 20mm 離れた位置に歪ゲージを貼付けて、試験中の応力範囲を計測した。

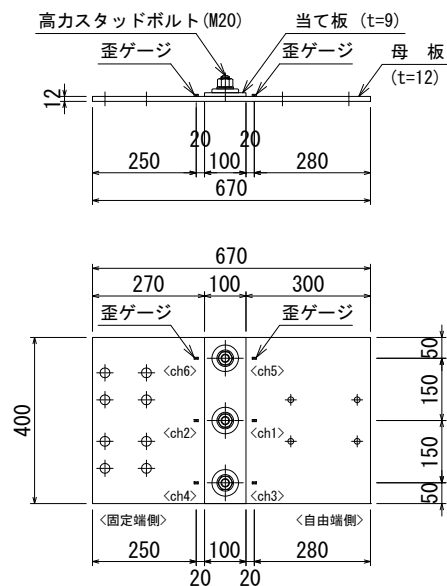


図-1 板曲げ疲労試験体(単位:mm)

(2) 試験結果

ケース①では、応力範囲が 2%低下したのは端部ボルトの 1 本だけで、残りの 2 本は応力範囲の低下が見られなかった。疲労試験は、端部ボルトのき裂が試験体縁まで進展した時点で終了した。試験終了時の繰返し数は $N=148$ 万回であった。平均応力の変化(残留応力の解放)を確認すると、3 本とも $N=10$ 万回程度を経過した時点から低下する傾向が見られ、この時点で疲労き裂が発生したものと推察される。ケース②では、 $\Delta \sigma = 140\text{MPa}$ で $N=2,000$ 万回経過しても、応力範囲の低下は見られなかった(図-2(a)参照)。一方、平均応力を確認すると、 $N=1,000$ 万回程度を経過した時点から端部ボルト(ch3-4 間)で低下する傾向が見られた。さらに、 $\Delta \sigma = 180\text{MPa}$ に上げて疲労試験を再開したところ、端部ボルトの自由端側(ch3)で等価繰返し数 $N=237$ 万回で応力範囲が 2%低下した。ケース③では、中央ボルトの応力範囲が $N=272$ 万回で 2%低下した。中央ボルトのき裂が端部ボルトへ向かって進展するとともに、両端部ボルトの応力範囲が上昇した。その後、端部ボルトの固定端側において、 $N=632$ 万回で応力範囲が低下し、 $N=636$ 万回でき裂が試験体縁まで進展したため疲労試験を終了した(図-2(b)参照)。ケース③の試験終了後の疲労き裂を図-3 に示す。

応力範囲が 2%低下した時を疲労き裂がスタッド溶接止端から 10mm 進展した段階(文献 2)を参考)と考えて、S-N 関係を整理した結果を図-4 に示す。当て板補強してスタッドボルトに軸力導入することで、スタッドボルトのまま(当て板無し)と比べて、疲労強度が 2 等級向上するとともに、き裂の進展速度が遅くなるため疲労寿命も向上することが確認できた。

キーワード 高力スタッドボルト、当て板補強、板曲げ疲労挙動、板曲げ疲労試験、スタッド溶接

連絡先 〒551-0021 大阪市大正区南恩加島 6-2-21 TEL 06-6552-1231

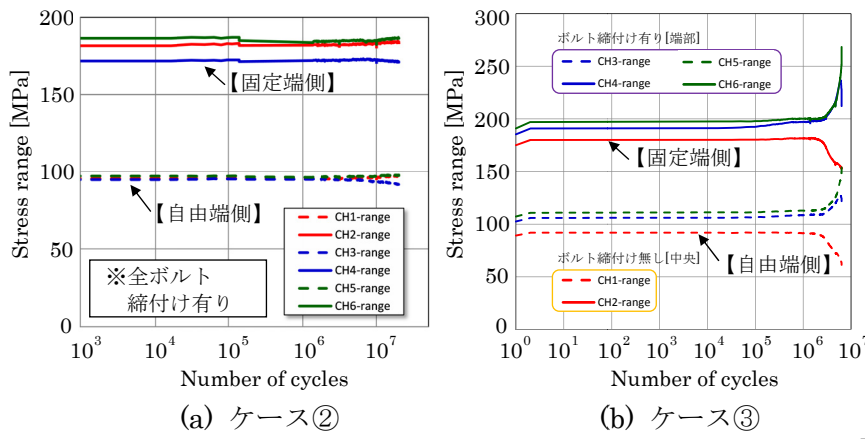


図-2 応力範囲の変化 [$\Delta\sigma=140\text{MPa}$]

3. FEM解析

(1) 解析方法

解析モデルは、板曲げ疲労試験をそのままソリッド要素（スタッド溶接部の要素サイズは2mm程度）でモデル化した（図-5参照）。スタッドボルトと鋼板とナットは剛結し、鋼板と当て板、座金①と座金②、ナットと座金②には接触条件を導入した。解析ステップは、ステップ1：軸力を荷重制御で導入、ステップ2：軸力を変位制御に変更、ステップ3：圧力で載荷面に力を導入した。解析ケースは、ボルト軸力導入有り（ $N=133\text{kN}$ ）と軸力導入無し（ $N=1.33\text{kN}$ ）の2ケースとした。

(2) 解析結果

図-5 の応力測定位置における試験体長手方向直応力が約100MPaになったときの面内方向直応力コンターを図-6に示す。この応力状態におけるスタッド溶接部のボルト軸方向直応力コンターを図-7に示す。解析結果のまとめを表-1に示す。板とスタッドとの接合部付近でボルト軸方向の大きな引張応力が発生していることがわかる。ボルト軸力導入有りでは、大きな引張応力が発生しているものの、載荷時の応力増加量はボルト軸力導入無しに比べ、3割以上小さくなった。

4. まとめ

当て板補強して全ボルト本締付した試験体では、繰返回数 $N=2,000$ 万回に到達しても応力範囲に変化が見られなかった。また、当て板補強およびスタッドボルトに軸力導入することにより、スタッドボルトのままに比べて、疲労強度が2等級向上するとともに、疲労き裂の進展が抑制されることがわかった。

謝辞

関西大学 石川敏之准教授には板曲げ疲労試験を、大阪市立大学 山口隆司教授および神戸大学 橋本国太郎准教授にはFEM解析のご指導と実施を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 馬場敏, 田畑晶子, 青木康素, 吉田賢二, 吉見正頼, 小野秀一, 山口隆司: 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) 白彬, 柿市拓巳, 石川敏之, 小塩達也, 山田健太郎: 鋼床版上の吊りピースおよびスタッドジベルの板曲げ疲労挙動, 鋼構造論文集, 第17巻, 第65号, pp. 43-52, 2010. 3.

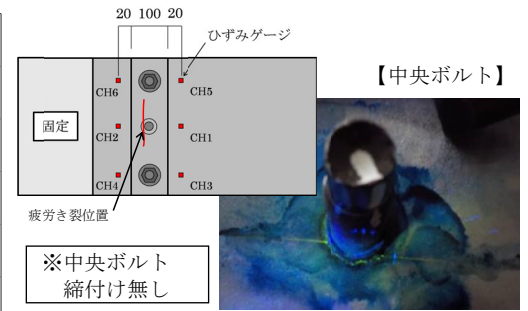


図-3 疲労き裂 [ケース③]

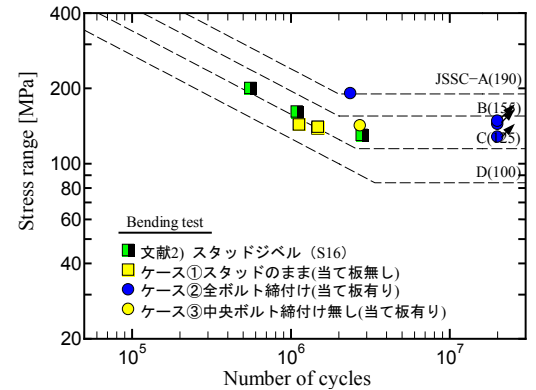


図-4 S-N 線図

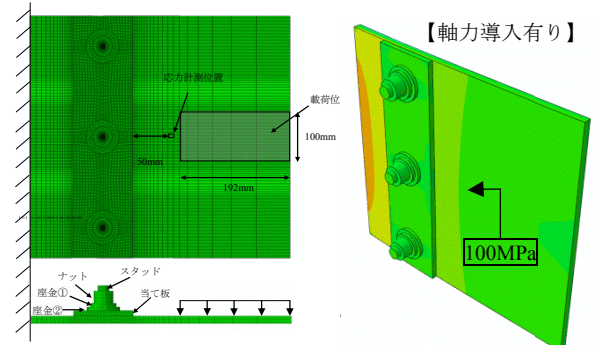


図-5 解析モデル

図-6 直応力コンター

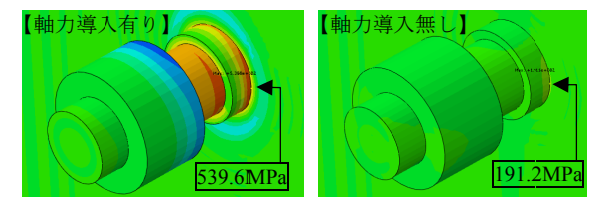


図-7 ボルト軸方向直応力コンター

表-1 解析結果

	応力測定 位置での応力	(単位: MPa)		
		溶接部応力 (軸力導入直後)	溶接部応力 (約100MPa時)	応力増分量
軸力導入 有り	101.3	417.8	539.6	121.8
軸力導入 無し	99.5	4.2	191.2	187.0