

曲げ変形を拘束したスタッド付き鋼板の複合加力疲労試験

REC(勤務：鉄道・運輸機構) 正会員 保坂 鐵矢 摂南大学工学部 正会員 平城 弘一
川田工業株式会社 正会員 ○梶田 智子 川田工業株式会社 正会員 高田 嘉秀

1. 目的 スタッドジベルが溶接された鋼板（以下、スタッド付き鋼板と表記）の疲労特性に関しては、これまでに多くの実験が行われ、それらの結果が文献 1), 2) に示されている．これらに示された疲労強度は、スタッド付き鋼板の鋼板のみに引張力を与えた場合と、スタッドのみにせん断力を与えた場合について、別々に示されており、連続合成桁の中間支点部のように引張力とせん断力を同時に受ける場合（以下、複合加力と表記）については考慮されていない．また、スタッド付き鋼板の板厚、スタッド軸径の組合せも考慮されていない．そこで本研究では、スタッド付き鋼板の板厚、スタッド径をパラメーターとした複合加力疲労試験を実施し、疲労強度について評価するものである．文献 3) での複合加力疲労試験との違いは、せん断力が作用することによる鋼板の板曲げの影響を極力小さくした試験であり、より実構造物に近い形での疲労試験である．

2. 試験体の形状と試験方法 試験体の形状を図-1 に示す．試験体は、実際の桁におけるスタッド近傍の発生応力状態をできるだけ再現するために、スタッドの周囲にコンクリートブロックを取り付けている．鋼板の材質は SS400、スタッドの材質は SS400 相当とし、表-1 に示す板厚、スタッド径の組合せで、せん断応力範囲、鋼板引張応力範囲を種々変化させ、全 36 体の疲労試験を行なった．コンクリートブロックには、せん断力作用時に局部応力によるコンクリートの先行破壊を避けるために高強度のモルタルを使用した．複合加力疲労試験は図-2 に示す载荷装置にて行った．この载荷装置は、油圧ジャッキを 2 基使用し、1 基の油圧ジャッキで鋼板に引張力を载荷し、もう 1 基の油圧ジャッキで、载荷梁のてこ作用を利用してスタッドにせん断力を载荷している．スタッドにせん断力を载荷する位置にはロードセルを設置し、その作用せん断力の大きさを測定した．スタッドに载荷するせん断力の位置は、スタッド径と鋼板厚に関係なく、载荷システムの構造上、スタッド根元にせん断力を载荷することができる限界の位置とし、スタッドを溶接する鋼板の表面から 11mm の位置とした．せん断力を作用することにより、鋼板が曲げ変形を起こすため、試験体背面側からコンクリートブロックの上側に曲げ変形防止材を取り付け、疲労試験時の板曲げの影響を極力小さくした．鋼板引張力载荷側の下限荷重は 10kN、せん断力载荷側の下限荷重は 5kN とし、繰返し速度は 2.5Hz、打ち切り限界を 500 万回とした．また疲労試験開始前には、各試験体にひずみゲージを貼付し、スタッド溶接止端部近傍の応力分布を測定した．

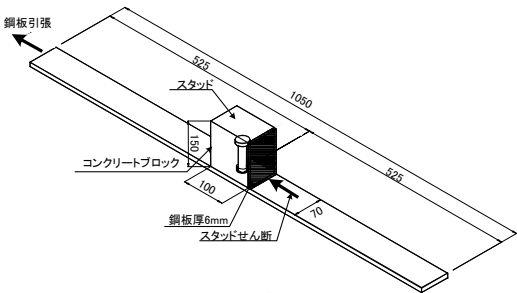


図-1 試験体の形状

表-1 試験体の種類

試験体No	板厚(mm)	スタッド径(mm)
S1	6	16
S2	9	16
S3	10	16
S4	11	16
S5	10	19

3. 試験結果 図-3、図-4 に疲労試験で得られた S-N 線図を示す．図-3 の縦軸はスタッドの公称せん断応力範囲、図-4 の縦軸は鋼板の公称引張応力範囲であり、横軸はともに破壊に至るまでの繰返し回数である．図中には、スタッド付き鋼板のスタッドにせん断力のみ作用させた場合の疲労強度等級 S 等級とスタッド付き鋼板の鋼板のみに引張力作用させた場合の疲労強度等級 E 等級を示している．こ

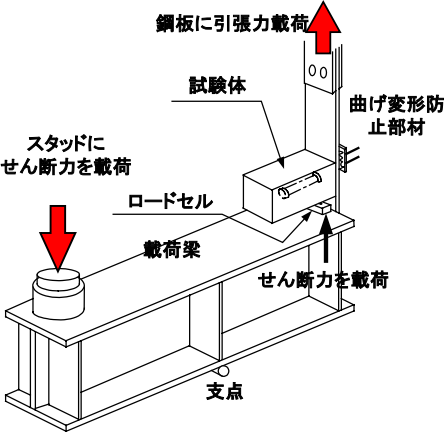


図-2 複合加力疲労試験载荷システム

キーワード スタッド付き鋼板，組合せ応力，疲労強度

連絡先 〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19 TEL 06-6532-4891

の図より、鋼板に引張力のみが作用した場合やスタッドにせん断力のみが作用した場合と比較し、組合せ応力が作用するため、大きく疲労強度が低下している。また、板厚が小さく、スタッド径が大きいほど疲労強度が低下していることが分かる。この板厚とスタッド径による疲労強度の違いは、縦軸を鋼板の引張応力範囲とした図-4の方が顕著にあらわれている。図-3は、板厚の小さい試験体No. S1とスタッド径の大きい試験体No. S5の疲労強度は小さいが、他の試験体は、板厚、スタッド径の影響は顕著に見られず、ばらつきは大きいものの、1本の線で表現してもよいと考えられる。試験体の破壊形態は、多くの試験体で、スタッド溶接母材側止端部の鋼板に疲労初期クラックが発生し、その後、板厚および板幅方向にクラックは進展した。また本試験では、試験体の曲げ変形を拘束した状態で疲労試験を行っているが、試験体の曲げ変形を拘束しない場合の疲労試験の結果³⁾と比較して、疲労強度は相対的に向上している。これは鋼板の曲げ変形を拘束したことにより、試験体の変形が小さくなり、初期クラック発生から鋼板破断までの繰返し回数が長くなったことなどが要因の一つではないかと考えられる。

図-5にスタッド溶接母材側止端部近傍の応力分布を示す。図-5は、試験体No. S3の鋼板の公称引張応力範囲 100N/mm^2 の結果で、縦軸はスタッド溶接側とスタッド非溶接側（背面）の鋼板表面応力を示す。鋼板の公称引張応力 100N/mm^2 のみを作用させた場合に対し、スタッド溶接止端部の鋼板応力は、スタッドの公称せん断応力範囲 $\tau=60\text{N/mm}^2$ を同時に作用させることで約3倍、同じく $\tau=40\text{N/mm}^2$ で約2倍、同じく $\tau=20\text{N/mm}^2$ で約1.5

倍と、組合せ応力が作用することにより、スタッド溶接止端の応力集中も大きくなっている。これは、鋼板に引張力が作用した場合の幾何学的非対称から生じる応力集中に加えて、せん断力が作用したことにより、スタッド溶接止端部鋼板の局所的な曲げ変形による応力集中が付加されるため、と考えられる。その他の試験体でも同様に、せん断応力範囲が大きくなると、スタッド溶接止端部の応力集中が大きくなった。

4. まとめ 1) 組合せ応力作用下におけるスタッド付き鋼板の疲労強度は、組合せ応力が作用しない場合と比較し、疲労強度は低下した。2) 板厚が小さくなり、スタッド径が大きくなると疲労強度は低下する。3) 板曲げの影響を受けない場合は、板曲げの影響を受ける場合の結果と比較し、疲労強度は向上する。4) 今後、実橋への提案に向けて板厚、スタッド径の影響や応力集中の影響を考慮した評価式を提案する予定である。最後に本試験では、摂南大学卒業生である加藤裕一郎、岡本勇、宝田暢人の各氏の多大なるご協力を頂いたことに、心から感謝いたします。

参考文献 1) 運輸省鉄道局：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，丸善，2000。2) 日本鋼構造協会：鋼構造物疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993。3) 鈴木喜弥，藤原良憲，平城弘一ら：組合せ応力作用下におけるスタッド付き鋼板の疲労強度，土木学会構造工学論文集，vol. 50A，2004年3月。

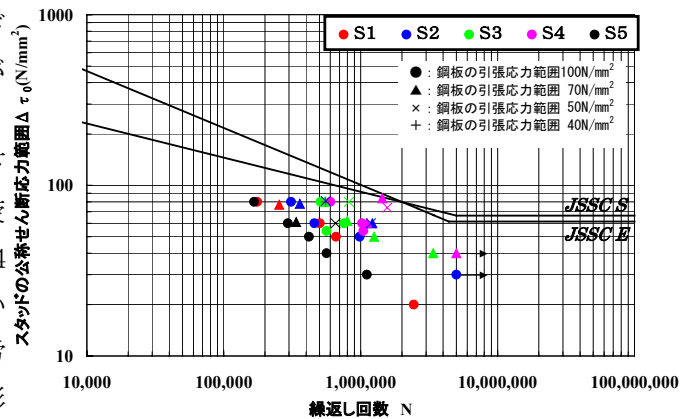


図-3 スタッドのせん断応力範囲で評価したS-N線図

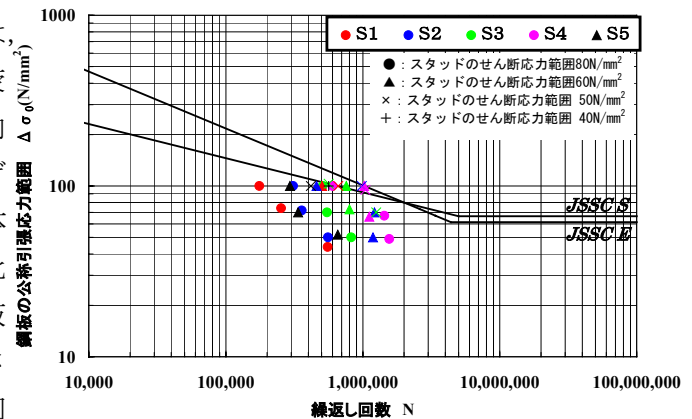


図-4 鋼板の引張応力範囲で評価したS-N線図

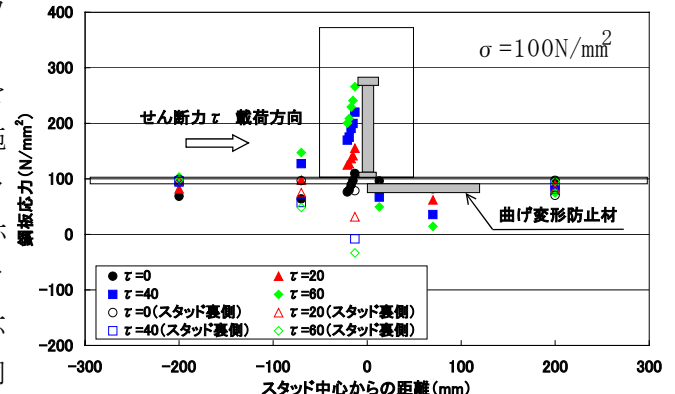


図-5 試験体No. S3のスタッド溶接部近傍の応力分布