

スタッド付き鋼板の曲げ変形が複合加力作用下の疲労強度に及ぼす影響

川田工業（株） 正会員 ○梶田 智子 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） 正会員 高田 嘉秀 宮地 真一

1. はじめに 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）や、スタッド付き鋼板の板厚、スタッド軸径の組合せが考慮されていない。そこで、スタッドの軸径と鋼板厚の組合せを変化させた複合加力疲労試験を実施した^{3), 4)}。図-1 に複合加力疲労試験の概要図を示す。試験体の形状と試験方法は、文献 3), 4) に詳細を示す。スタッドを溶接する鋼板の板厚とスタッド径の組合せとして表-1 に示す 5 種類に着目し、タイプ A（試験体の曲げ変形拘束なし）とタイプ B（試験体の曲げ変形拘束あり）の条件で行った複合加力疲労試験^{3), 4)}及び、それ以降に実施した追加試験の結果をもとに、スタッド付き鋼板の曲げ変形が複合加力作用下の疲労強度に及ぼす影響について考察を行う。なおタイプ A は、せん断力が作用することにより、鋼板の板曲げ変形を許容する試験で、合成床版や鋼桁上フランジ縁端部分のように、拘束する部分のない板に溶接されたスタッドを想定している。タイプ B は、図-1 に示す曲げ変形拘束部材を設置し、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、鋼桁上フランジの腹板直上のような鋼板の板曲げが生じない位置のスタッドを想定している。

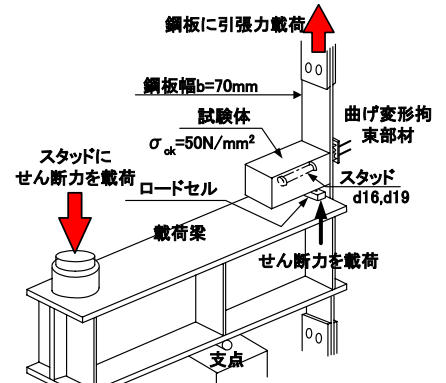


図-1 複合加力疲労試験概要図

表-1 試験体の種類

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

加試験の結果をもとに、スタッド付き鋼板の曲げ変形が複合加力作用下の疲労強度に及ぼす影響について考察を行う。なおタイプ A は、せん断力が作用することにより、鋼板の板曲げ変形を許容する試験で、合成床版や鋼桁上フランジ縁端部分のように、拘束する部分のない板に溶接されたスタッドを想定している。タイプ B は、図-1 に示す曲げ変形拘束部材を設置し、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、鋼桁上フランジの腹板直上のような鋼板の板曲げが生じない位置のスタッドを想定している。

2. 疲労試験の結果 図-2 にタイプ A、図-3 にタイプ B の疲労試験で得られた S-N 線図を示す。図の縦軸は鋼板の公称引張応力範囲であり、横軸は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。タイプ A、タイプ B ともに複合加力が作用することにより、S・E 等級と比較し疲労強度が低下し、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。また、板曲げの影響を受けるタイプ A と板曲げの影響を受けないタイプ B を比較すると、タイプ A の方が疲労強度が低下しており、その影響は板厚が小さいほど顕著である。

3. スタッド溶接部近傍の応力状態 図-4 にタイプ A、図-5 にタイプ B のスタッド溶接部近傍の応力分布を示す。この応力は、疲労試験開始前に試験体にひずみゲージを貼付し測定した結果である。これらの図は、表-1 に示す試験体 No. S3 を対象に、鋼板に引張応力を作用させない場合の結果であり、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。板曲げ拘束の有無に関係なく、応力分布は、スタッド溶接止端部付近で急激に大きくなる傾向であるが、タイプ A の応力が、タイプ B よりも大きく表れていることが分かる。これは、タイプ A の場合には、せん断力が作用したことによるスタッド溶接止端部鋼板の局部的な曲げ変形に加えて、鋼板の板曲げ変形によりひずみが増大し、発生応力が大きくなったことが要因ではないかと考えられる。

スタッドの溶接止端部の応力集中に着目した結果を図-6 に示す。図-6 の縦軸は、スタッド溶接止端部の応力 (σ_x) を公称応力 (τ_0, σ_0) で除した応力比、横軸は鋼板厚を表す。鋼板に引張力のみ載荷する場合は、

キーワード スタッド付き鋼板, 組合せ応力, 疲労強度, 応力性状

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

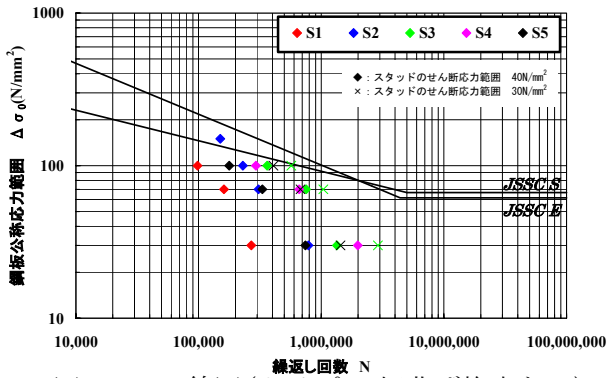


図-2 S-N線図(タイプA:板曲げ拘束なし)

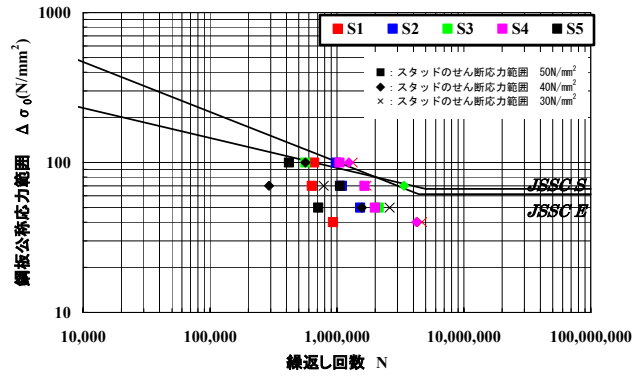


図-3 S-N線図(タイプB:板曲げ拘束あり)

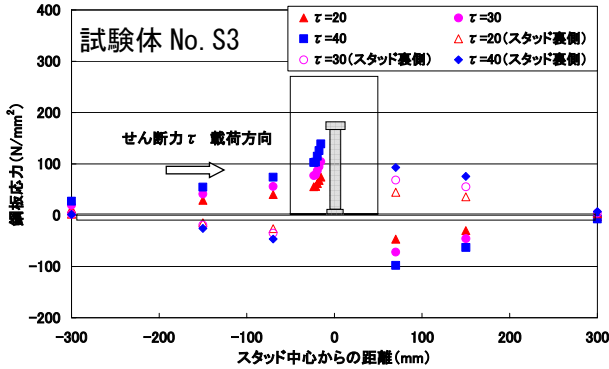


図-4 応力分布(タイプA:板曲げ拘束なし)

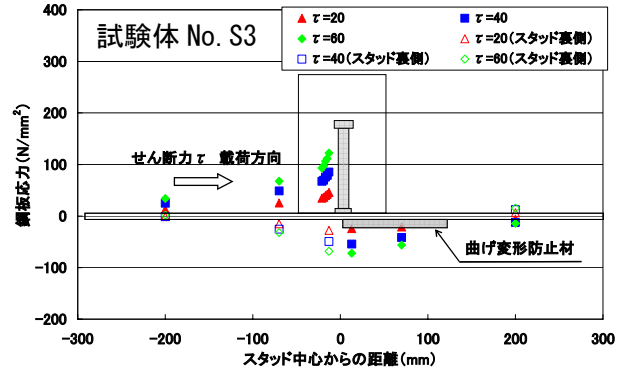


図-5 応力分布(タイプB:板曲げ拘束あり)

$\sigma_x / \sigma_0 = 1.295$ と板厚やスタッド径に関係なくほぼ一定の値を示した³⁾。ここで、スタッドにせん断力のみ载荷する場合の応力比 σ_x / τ_0 については、板厚が大きくなると小さくなる傾向にあり、スタッド径が大きくなると増大することが分かる。またスタッド径 16mm の結果において、 σ_x / τ_0 はタイプ A の方が大きい傾向にあるが、タイプ A とタイプ B の応力比の差は板厚 6mm の場合に大きく、板厚 10~11mm になると有意な差は生じていない。これは、板厚が大きくなるに従って、スタッドのせん断作用による鋼板の板曲げ応力が小さくなり、スタッド溶接止端部の局所的な応力が支配的になっていることが要因ではないかと考えられる。すなわち、板厚が大きくなるにつれてスタッドのせん断作用による鋼板の板曲げの影響が小さくなるのが応力測定結果に現れており、この特性が前述の複合加力疲労試験結果(板曲げ拘束による疲労強度の差が、板厚が小さいほど顕著に現れる傾向)に対応していることが確認された。なお、本試験は板厚 11mm までの試験であり、スタッドのせん断作用によるスタッド溶接止端部の鋼板応力性状や板厚の影響を明らかにする目的で、立体有限要素法解析による検討を行う予定である。

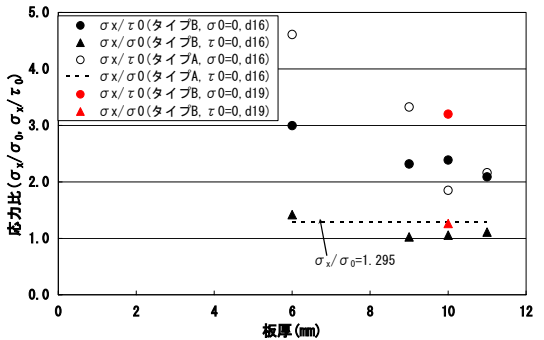


図-6 鋼板厚と応力比(応力集中)の関係

4. まとめ 1) 板曲げの影響を受ける場合は、板曲げの影響を受けない場合と比較し疲労強度は低下する。2) 同一のスタッド径に対し、鋼板厚が小さいほど疲労強度が低下する。3) スタッドに载荷したせん断応力度 τ_0 に対するスタッド溶接止端部の鋼板応力 σ_x の比率は、鋼板厚が小さくなるほど増大しており、複合加力作用下の疲労強度に影響していると考えられる。4) 今後、複合加力が作用するスタッド付き鋼板の疲労設計法の提案に向けて、スタッド溶接止端部の応力性状と鋼板厚の関係について解析的検討を行う予定である。

最後に本試験では、摂南大学平城ゼミ卒業生各位に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。4) 保坂ら：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，第60回土木学会年次学術講演会，2005年9月。