

第 I 部門

曲げ载荷時におけるスレッドローリングねじがドリル孔近傍のひずみに及ぼす影響

関西大学大学院

学生員 ○根岸 伸

関西大学

正会員 石川 敏之

1. はじめに

現在、損傷した鋼部材に当て板部材を接合するためにスレッドローリングねじ(以下 TRS)を用いる場合がある¹⁾²⁾。TRS には、ねじ山が施されており、呼び径より小さな孔へ TRS を締込むことにより、孔壁面に雌ねじを形成する。そのためドリル孔の側面がねじ山により膨張し、鋼部材を塑性変形させ噛み合うことにより、TRS を締込む段階でドリル孔近傍に残留ひずみが生じるが、ドリル孔の応力集中は、TRS により低減する可能性がある。そこで本研究では、1 枚の鋼板にドリル孔を設け、TRS を締込む際にドリル孔近傍の残留ひずみを計測する。また、TRS を締込む各段階で弾性範囲内の板曲げ応力を与え、ドリル孔近傍に生じる圧縮側および引張側の表面ひずみを計測し、ドリル孔のみの場合と比較することによりドリル孔近傍に生じる応力集中の変化を評価する。

2. 試験体

本研究ではドリル孔を設けた鋼板に TRS を締込む試験体として、幅 90 mm、厚さ 12 mm の SM490Y 材の鋼板を用いた。φ12 mm(ドリル孔 11.5 mm)と φ16 mm(ドリル孔 15.5 mm)の TRS を用いて図-1 に示すように片持状態に固定した試験体に TRS を締込んだ。ドリル孔の縁から 2 mm の位置の鋼板の表裏にひずみゲージを貼付し、試験体の自由端側に荷重を載荷し、曲げモーメントを与えた。載荷荷重は、ドリル孔のみに対してドリル孔近傍のひずみが線形となった荷重 1000 N とした。TRS を 360° 回転させ、締込む各段階で、TRS の締込み深さ d を変位計で計測し、荷重を載荷・除荷してドリル孔近傍の応力を評価し、TRS のワッシャ部分が鋼板と接触する直前で TRS の締込みを終了した。

3. 試験結果

図-2 に φ12 mm、φ16 mm の TRS に対して、それぞれの試験体におけるドリル孔近傍の左右 2 mm(L,R)の位置のドリル孔周方向の残留ひずみ ε_r と TRS の締込み深さ d との関係の結果を示す。この図よりドリル孔よりも

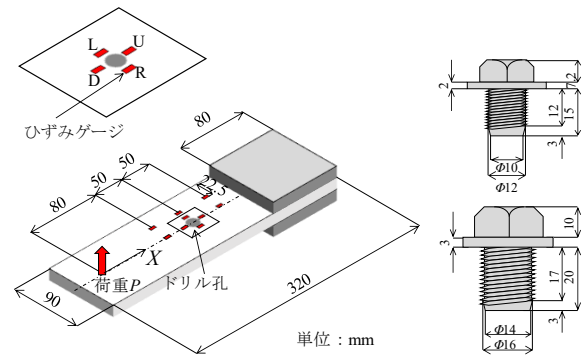


図-1 試験体概要

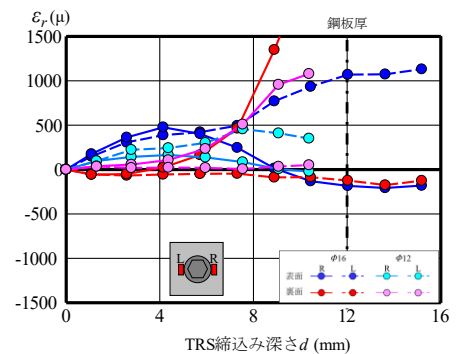
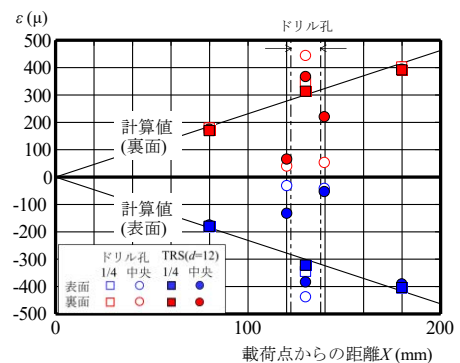
図-2 ε_r - d 関係

図-3 φ16 mm の TRS のひずみ分布

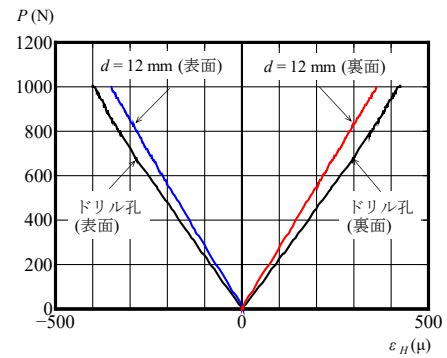
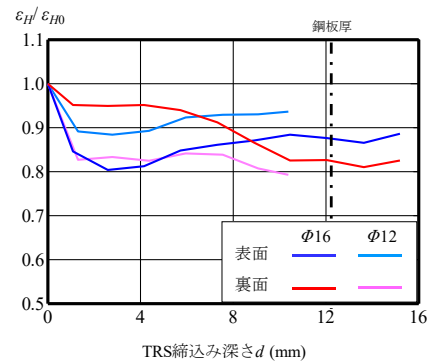
0.5 mm 直径が太い TRS を締込むことで、TRS の締込み始めに TRS を挿入した表面側のひずみが引張となっていることがわかる。また、表面側が TRS によって膨張するため TRS の挿入した面の裏側に若干の圧縮ひずみが生じたと考える。ドリル孔の左右(L,R)で残留するひずみが異なっているが、TRS のねじ山の挿入位置や回転方向による影響が考えられる。TRS 深さが $d = 6$ mm 以

上になると、裏面のひずみのいくつかが引張となる場合があった。これは TRS によるドリル孔の膨張による影響が裏面に表れたためと考える。φ 16 mm の TRS は、板厚を貫通した後も締め込みを行ったため TRS 深さ d が 12 mm を超えているが、TRS が板厚を貫通した後は残留ひずみの変化は小さかった。

図-3 に、荷重荷重 $P = 1000$ N 時のドリル孔のみの試験体の表裏面のひずみ、φ 16 mm の TRS を板厚 12 mm まで TRS を締め込んだ場合($d = 12$ mm)のひずみの分布と鋼のヤング係数を $E_s = 200$ GPa と仮定した計算値の分布を示す。この図より、荷重点からの距離 $X = 80$ mm, 180 mm の位置のひずみは計算値に近い値を示し、 $X = 130$ mm(ドリル孔中央)の位置のひずみ(L,R)は、計算値よりも高い値となっているが、TRS を締め込むことで、表裏面ともにドリル孔近傍のひずみの絶対値が若干低下していることがわかる。また、ドリル孔の前後 2 mm(D,U)のひずみは、ドリル孔の影響で計算値と比べて値が小さくなっているが、TRS を締め込むことで、ひずみの絶対値が大きくなり応力伝達が改善されていることがわかる。

図-4 に、ドリル孔(φ 15.5 mm)のみの場合と φ 16 mm の TRS を板厚 12 mm まで締め込んだ場合($d = 12$ mm)の荷重荷重 P とドリル孔近傍のひずみ ε_H との関係を示す。この図からわかるように、荷重荷重が $P = 1000$ N までであれば、荷重ひずみ関係は圧縮・引張側ともに線形性を示し、TRS を締め込むことで、ドリル孔近傍のひずみ ε_H が小さくなっていることがわかる。

図-5 に、荷重荷重によって生じるドリル孔近傍の試験体左右 2 mm の位置のひずみ ε_H と TRS の締め込み深さ d との関係を示す。縦軸の TRS を締め込んだ場合のドリル孔近傍のひずみ ε_H は、TRS を締め込んでいないドリル孔近傍のひずみ ε_{H0} で無次元化している。図より、φ 12 mm, 16 mm 共に、最初に TRS を一回締め込んだ段階で、TRS の挿入側である表面のドリル孔近傍のひずみが、TRS を挿入していない場合の 9 割程度に低減されることがわかる。裏面の $\varepsilon_H/\varepsilon_{H0}$ も TRS を挿入していない場合よりも低下するが、試験体によりその差が大きく、TRS の締め込み深さ $d = 6$ mm まで、表裏面の $\varepsilon_H/\varepsilon_{H0}$ の値の変化は小さく、TRS の締め込み深さ d が板厚の半分を超え、板厚の 3/4 に達すると、表面の $\varepsilon_H/\varepsilon_{H0}$ の値が若干上昇し、裏面の $\varepsilon_H/\varepsilon_{H0}$ の値が逆に低下する傾向が見られた。TRS の先端が裏面に近づくため、裏面の $\varepsilon_H/\varepsilon_{H0}$ の値が低下すると考えるが、表面側は、形成された雌ねじに繰返しねじ山

図-4 P- ε_H 関係図-5 $\varepsilon_H/\varepsilon_{H0}$ - d 関係

がねじ込まれるため、TRS の締め込み初期の状態よりも雌ねじ部が広がった可能性が考えられる。最終的に表裏面共に $\varepsilon_H/\varepsilon_{H0}$ の値が 0.8~0.9 程度となった。このように、TRS では、締め込み深さに応じて、ドリル孔近傍の応力集中が変化すると考えられるため、板厚に対して適切な長さの TRS を用いる必要があると考える。

4. まとめ

本研究では TRS を締め込むことにより、ドリル孔が膨張し、ドリル孔近傍の鋼板に引張残留応力が生じることが明らかとなった。また、TRS の締め込みの各段階で荷重を作用させドリル孔近傍のひずみを計測し、TRS 挿入側のドリル孔近傍では TRS 締め付け直後、TRS 挿入の裏側のドリル孔近傍では TRS 貫通前後が、荷重の作用によって生じるひずみが最も小さくなることが明らかとなった。以上より、TRS が施工された孔が、板曲げを繰返し受ける場合、ドリル孔のみの場合よりも疲労強度が向上する可能性がある。

参考文献

- 1) 鈴木博之:スレッドローリングねじで接合された継手の強度に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.614-626, 2015.
- 2) 溝上善昭, 森山彰, 小林義弘, 坂野昌弘:Uリブ鋼床版ビード貫通亀裂に対する裏面補修工法の提案, 土木学会論文集成 A1, Vol.73, No.2, pp.456-472, 2017.