

スレッドローリングねじで接合された多列継手の疲労強度に関する実験及び解析的検討

本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 ○金田 崇男, 正会員 平山 靖之, 非会員 村上 博基
株式会社横河ブリッジ 正会員 荒川 淳平

1. はじめに

瀬戸大橋の耐震補強工事において、L2 地震時の局部座屈防止のため、密閉箱断面の横トラス下弦材に T 字形の補強部材（以下、T 字形材）を設置する。T 字形材の接合は、部材内部の密閉性確保のため、スレッドローリングねじ（以下、TRS）¹⁾と呼ばれる片側施工が可能なねじの適用を検討して採用した。本報では、TRS による T 字形材接合の適用性検討のうち、TRS で接合された継手の疲労強度に TRS 列数が及ぼす影響の確認のために行った疲労試験及び FEM 解析結果を報告する。

2. TRS 継手の疲労試験

2.1. 試験条件

試験体形状を図-1、試験ケースを表-1 に示す。試験体は、16 mm 厚の母材に 12 mm 厚の当て板を TRS ϕ 16 で接合した構造で、母材は貫通孔とした。TRS の中心間隔は 70 mm とし、260 N・m のトルクで締付けた。なお、4 列以上の試験体は、片面添接構造にすると面外方向に偏心することから、試験機チャック部付近の断面急変部からの亀裂発生を防ぐため、2 体を一對とした対称構造とした。試験条件は、荷重制御の片振引張载荷

とし、载荷速度は 10 Hz、応力比は 0.1 とした。試験体が破断したときの繰返し载荷回数を破断寿命とし、繰返し载荷回数の上限は 500 万回とした。

2.2. 試験結果

破断した全試験体は、当て板との接触面側の母材孔側面の TRS ねじ山部から疲労亀裂が発生し、板幅方向に進展した。試験体の破断位置は、TRS が 4 列以上では、すべて試験体端部の TRS 位置であった。試験後の TRS の緩みと部材のずれは、全試験体でなかった。

S-N 線図を図-2 に示す。TRS 継手は支圧接合であるため、純断面の応力範囲とし、疲労設計曲線の傾きは 3 とした。1 列の場合、孔径の大きさに関係無く、C 等級の疲労設計曲線を上回り、疲労強度の差はほとんどなかった。4 列と 8 列は D 等級、16 列は F 等級の疲労設計曲線を上回った。ここで、1 列の場合、TRS にせん断変形が生じず当て板に力は伝達しないが、多列の場合、TRS のせん断抵抗で当て板に力が伝達し、母材は TRS から支圧力を受ける。そのため、1 列か多列かによって、孔周りの応力分布が異なると考えられる。また、多列試験体の試験時に、面外方向の剛性が低いことが要因と考えられる面外方向の変形が確認された。

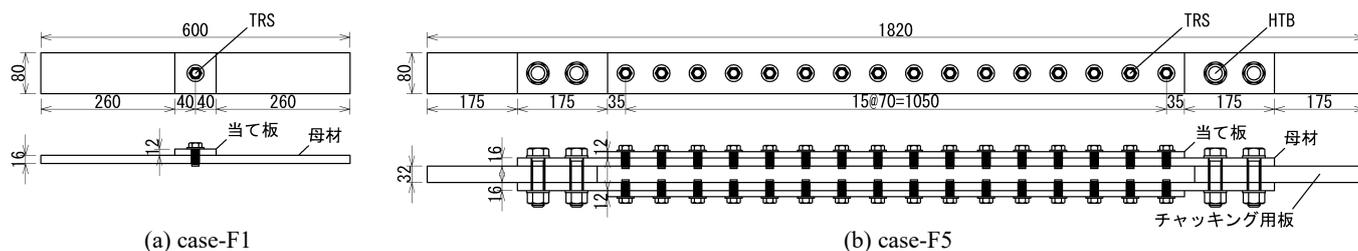


図-1 疲労試験体

表-1 疲労試験ケース

ケース名	TRS 列数	孔径	ケース数
case-F1	1	ϕ 15.5	6
case-F2	1	ϕ 15.7	6
case-F3	4	ϕ 15.5	3
case-F4	8	ϕ 15.5	3
case-F5	16	ϕ 15.5	3

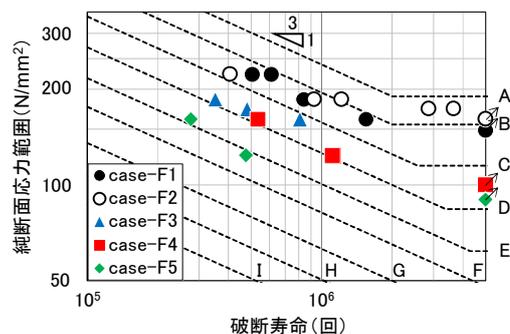


図-2 S-N 線図（純断面で評価した場合）

キーワード：スレッドローリングねじ，貫通継手，多列継手，疲労試験，FEM 解析

連絡先：香川県坂出市川津町下川津 4388-1 本州四国連絡高速道路(株)坂出管理センター TEL0877-45-6965

3. FEM 解析による TRS 列数と面外変形の影響確認

TRS 列数及び試験体の面外変形が TRS 継手の疲労強度に及ぼす影響を確認するため、疲労試験の試験体及び実橋モデル(図-3)による 3 次元 FEM 解析を行った。

3.1. 解析条件

本工事の補強部の TRS 最大列数を踏まえ、試験体、実橋とも 4~36 列まで 4 列ずつ変えたパラメトリック解析とした。部材寸法は実構造と同様とし、対称性を考慮したモデル範囲とした。実施工で生じる恐れのある母材と補強部材との肌隙を考慮し、母材と補強部材の間に 1 mm の隙間を設けた。孔位置には、TRS $\phi 16$ を模したソリッド要素を配置した。荷重の伝達機構を考慮し、TRS と支圧状態になる側(母材は対称面側、補強部材は荷側)の TRS、母材と補強部材の節点を共有節点、それ以外の節点は 2 重節点として力の伝達は無いものとした。実橋応力計測の最大応力(約 30 N/mm²)を参考に、両モデルとも非補強区間の母材の公称応力が 39.1 N/mm²となるように荷重した。モデルの境界条件は、対称条件の他、チャッキング用板(試験体)、ダイアフラム及びフランジ(実橋)の拘束条件を再現した。

3.2. 解析結果

16 列試験体モデルと 36 列実橋モデルの主応力分布の比較を図-4 に示す。端部の TRS 位置の母材と補強部材との接触面の母材孔縁に応力集中が見られ、疲労亀裂の発生点と一致する。実橋モデルの最大主応力は試験体モデルの 88%程度である。これは、TRS 列数は実橋の方が多いが、補強部材の面外剛性が大きく、ダイアフラム等による拘束が要因と考えられる。また、最大主応力は、試験体では列数の増加に伴い徐々に増大す

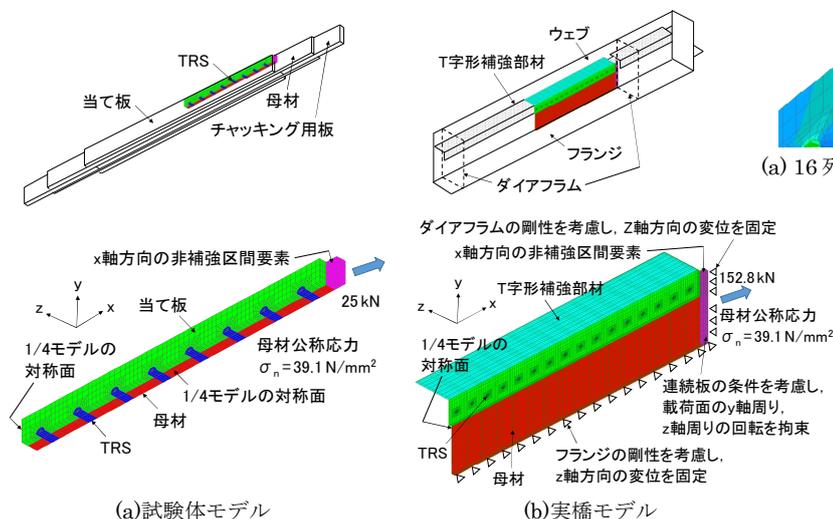


図-3 試験体と実橋の 3 次元解析モデル

るが、実橋は 20 列以上ではほとんど増大しない(図-5)。

3.3 試験体モデルと実橋モデルの比較

試験体は、両端のチャッキング用板が固定点となる梁に近い拘束条件で、チャッキング間距離が長くなると板の面外剛性が相対的に低下し、面外変形量や応力が増大すると考えられる。一方、実橋は、母材ウェブの面外方向はダイアフラムとフランジで拘束された 4 辺支持板となる。TRS 列数の増加でダイアフラム間距離は長くなるが、フランジ間距離は変わらず、フランジによる拘束が支配的となり、面外変形量や応力の増大が抑えられるものと考えられる。以上から、16 列の疲労試験の条件は、実橋に比べて厳しいと考えられる。

4. まとめ

試験体特有の面外変形による影響を抑えた実橋モデルの解析結果から、TRS 列数の増加に伴う TRS 継手の疲労強度への影響を確認し、孔縁に発生する最大主応力は TRS が 20 列以上ではほとんど増大しない。

また、TRS が 36 列の実橋補強部の孔縁に発生する応力は、16 列の疲労試験体より小さく、36 列の実橋補強部の疲労強度は 16 列の疲労試験体(F 等級)よりも高いと考えられる。

謝辞

本検討を行うにあたり、ご協力及びご助言いただいた坂野昌弘教授(関西大学)に感謝申し上げます。

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.614-626，2015.3.

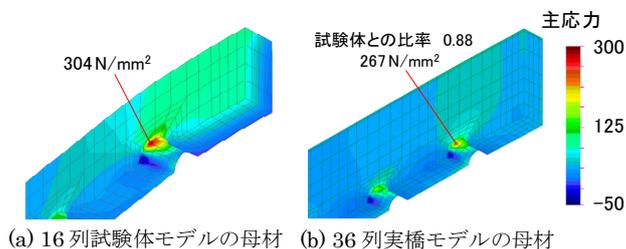


図-4 主応力分布の比較

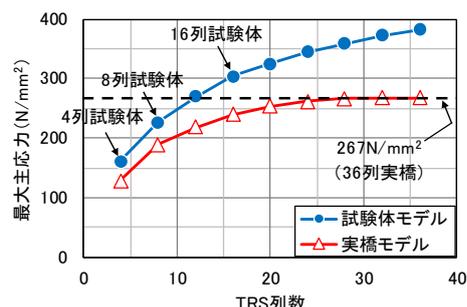


図-5 TRS 列数と最大主応力との関係