

板厚 19mm の高力ボルト継手の終局挙動に関する実験的研究

石川工業高等専門学校 学生会員 ○舟山耕平

石川工業高等専門学校 正会員
石川工業高等専門学校

三ツ木幸子
前田啓伸

1. はじめに

我が国の高力ボルト継手は摩擦接合として用いられ、すべり荷重を限界荷重とし、設計が行われている¹⁾。しかし、大地震のような設計荷重以上の外力が作用する場合、すべりを起こすことが想定される。さらに、すべりから破断に至るまでのエネルギー吸収能が地震時には期待できることを考えると、この終局挙動を把握することは意味あることと考えられる。

そこで、本研究では、高力ボルト継手の引張試験を行い、すべりから破断に至るまでの終局挙動を把握するため、耐荷力と変形性能の視点から基礎的な研究を行っている²⁾。本報告では、母材厚 19mm、2 本ボルトの試験結果を中心に報告する。

2. 研究概要

2.1 試験体

試験体として、板幅を 120mm、片側のボルト本数が 1 本と 2 本の高力ボルト継手を採用した。縁端距離を、1 本ボルトのケースに対して 40, 50, 60mm の 3 種類を、2 本ボルトのケースに対しては 40, 60mm の 2 種類を採用した。同じ形状の試験体に対して、軸力有と無の試験体を作製し全てのケースに対して、3 体ずつ試験を行った。母材、添接板とも、SM400 材を使用し、母材板厚は 19mm、添接板厚は 11mm である。表面処理は厚膜型無機ジンクリッチペイント 75 μ m、ボルトは M22 (F10T)、ボルト孔径は 24.5mm である。

2.2 試験方法

試験体を万能試験機に設置して引張载荷を行い、破断するまで载荷を行い、終局耐力 (最大荷重) 及びすべり荷重とすべりを起こした後の荷重の極小値を記録する。

ボルト部での母材と添接板の相対変位を計測するため、ボルト部の鋼板のコバ面に基準線を描き、この線のズレを目視で 0.1mm の精度で計測した。また、ボルトの軸力の状態を把握するため、ボルト頭部にひずみゲージを貼付して計測を行った。さらに、母材の状態を把握するた

め、コバ面の荷重方向のひずみをボルト部と一般部で、さらに、縁端部コバ面の板幅方向のひずみを板幅中央で計測した。このほか、試験全体の管理のため、全長の変化を変位計で計測した。

試験後に試験体のボルトを外して解体し、変状を観察し、写真で記録を残すとともに、母材と添接板の孔の変形量をノギスで計測した。

3. 試験結果と考察

3.1 試験結果

試験結果について、終局耐力 (最大荷重)、破断モード、ボルト孔径を軸力無の場合を表-1 に、軸力有の場合をすべり/降伏耐力比 β を加え表-2 に示す。

ここで、試験体番号は、縁端距離-ボルト本数-試験体識別番号を示す。

表-1 軸力無 試験結果

| 試験体番号 | 終局耐力 (kN) | 破断モード | ボルト孔径 (mm) | | | |
|--------|-----------|-------------------|------------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 40-1-① | 363 | せん断(母材縁端) | | 37.95 | - | |
| 40-1-② | 370 | せん断(母材縁端) | | 36.65 | - | |
| 40-1-③ | 370 | せん断(母材縁端) | | - | 39.10 | |
| 50-1-① | 442 | せん断(母材縁端) | | 45.30 | - | |
| 50-1-② | 458 | せん断(母材縁端) | | - | 44.50 | |
| 50-1-③ | 455 | せん断(母材縁端) | | - | 45.40 | |
| 60-1-① | 471 | せん断(ボルト) | | 38.40 | 34.90 | |
| 60-1-② | 474 | せん断(ボルト) | | 33.40 | 34.65 | |
| 60-1-③ | 471 | せん断(ボルト) | | 36.35 | 36.15 | |
| 40-2-① | 770 | せん断 (母材縁端,ボルト) | 39.30 | 35.05 | - | 41.25 |
| 40-2-② | 777 | せん断 (母材縁端,ボルト) | 42.80 | - | 33.80 | 36.50 |
| 40-2-③ | 760 | せん断 (母材縁端,ボルト) | 46.50 | - | 33.75 | 37.70 |
| 60-2-① | 851 | 純断面引張 | - | 31.40 | 31.30 | 44.70 |
| 60-2-② | 842 | 純断面引張 | - | 32.20 | 32.10 | 44.40 |
| 60-2-③ | 844 | 純断面引張 | - | 32.20 | 31.10 | 43.20 |

表-2 軸力有 試験結果

| 試験体番号 | 終局耐力 (kN) | 破断モード | ボルト孔径 (mm) | | | | β |
|--------|-----------|---------------------------|------------|-------|-------|-------|---------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 40-1-① | 370 | せん断(母材縁端) | | 39.70 | - | | 0.57 |
| 40-1-② | 384 | せん断(母材縁端) | | - | 38.90 | | 0.49 |
| 40-1-③ | 385 | せん断(母材縁端) | | 36.00 | - | | 0.52 |
| 50-1-① | 455 | せん断(母材縁端) | | - | 44.35 | | 0.55 |
| 50-1-② | 460 | せん断(母材縁端) | | 45.05 | - | | 0.51 |
| 50-1-③ | 456 | せん断(母材縁端) | | - | 44.70 | | 0.50 |
| 60-1-① | 482 | せん断(ボルト) | | 38.20 | 34.30 | | 0.49 |
| 60-1-② | 489 | せん断(ボルト) | | 34.90 | 36.50 | | 0.52 |
| 60-1-③ | 498 | せん断(ボルト) | | 40.35 | 36.55 | | 0.47 |
| 40-2-① | 773 | せん断 (母材縁端,ボルト) | 54.25 | - | 33.30 | 36.80 | 0.92 |
| 40-2-② | 761 | せん断 (母材縁端, ボルトピッチ間) | - | - | 33.85 | 37.90 | 0.93 |
| 40-2-③ | 778 | せん断 (母材縁端, ボルトピッチ間) | 36.75 | 34.00 | - | - | 0.98 |
| 60-2-① | 866 | 純断面引張 | 43.95 | 31.00 | 30.95 | - | 0.93 |
| 60-2-② | 845 | 純断面引張 | - | 31.65 | 31.50 | 42.95 | 0.95 |
| 60-2-③ | 862 | 純断面引張 | - | 31.00 | 31.75 | 45.05 | 1.01 |

キーワード: 高力ボルト継手, 終局挙動, すべり後, 耐荷力, 変形性能

連絡先: 〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ1 石川工業高等専門学校 TEL:076-288-8163

3.2 2本ボルト継手の破断モードと終局耐力

縁端距離 60mm の試験体は、軸力の有無によらず純断面の引張で破断に至った。縁端距離 40mm の試験体については、純断面の引張破断荷重約 850kN に達する前の 761～778kN で終局に達した。破断モードについては、軸力無では、母材縁端と縁端と離れた側のボルトのせん断破断、軸力有では、母材縁端及びボルトのせん断(写真-1)で、もしくは、母材縁端及びボルトピッチ間のせん断(写真-2)で破断した。



写真-1 (40-2-①)



写真-2 (40-2-②)

一方、縁端部の変形は、実験中の目視観察や貼付したひずみゲージの値からも、大きな塑性変形が発生していることが確認されている。

このことから、縁端距離 40mm のタイプでは、すべり後、支圧状態になり、はじめは、支圧部による塑性変形でボルトの分担は均等化され、各ボルトは、ほぼ等しい荷重を伝達する。しかしながら、縁端が全断面せん断降伏すると、縁端に近いボルトはそれ以上の荷重は分担せずに、ボルトピッチ間がせん断降伏するまで、外側のボルトの分担のみが増加していくことが考えられる。その後の荷重増分は、再度、外側と内側のボルトで均等に分担することが考えられる。この仮定を基に次節でボルトの分担力の試算を行う。以下、縁端が全断面せん断降伏する時の荷重を降伏せん断耐力と呼ぶ。

3.3 ボルト分担力の検討

ボルト 2 本、縁端距離 40mm の試験体のボルトの分担力を試算するにあたり、鋼板の降伏せん断耐力、終局せん断耐力を、2 面せん断を仮定し、せん断長さはボルト孔径を除いた距離を用いて、降伏点、引張強さは材料試験の結果を用いて算出し、表-3 に示す。

表-3 せん断耐力の計算結果

| | 部位 | | 合計 | 計算に用いた 特性値 |
|-------------|-------|-------|-------|------------------------------|
| | 縁端 | ピッチ間 | | |
| 降伏 せん断耐力 | 174kN | 316kN | — | 降伏点 285N/mm ² |
| 終局 せん断耐力 | 265kN | 482kN | 747kN | 引張強さ 435N/mm ² |

3.2 で行った仮定で、縁端が終局せん断耐力に至る場合のボルトの分担力は、外側ボルト 407kN、内側ボルト 265kN、合計 672kN となり、実験から得られた 770kN より 100kN 程小さい。さらに、ピッチ間の終局せん断耐力に至った時の継手としての耐力を縁端とピッチ間の終局せん断耐力の合計値として求めると、747kN であり、実験値 770kN より 23kN 小さいが、ほぼ等しい値が得られる。また、この時のピッチ間の終局せん断耐力は 482kN と外側ボルトの終局せん断耐力 481kN にほぼ等しい。

このように、各部位が終局せん断耐力に至っても破断しない理由は、ボルトが破断しない限り、摩擦抵抗や拘束効果が期待できることが考えられる。この他、有効断面として、最小断面を仮定したため、実際には今回仮定した断面より大きいと考えることもできる。

この状態の説明は、今後、さらに実験を行い、解析を行って確かめていく必要があると考える。しかしながら、本検討のように、降伏せん断耐力を考慮し、ボルトの荷重分担を概算することで、継手の終局耐力を概略ではあるが把握できると考えられる。

4. まとめ

母材厚 19mm の高力ボルト継手の引張試験を行い、検討した結果を以下にまとめる。

- (1) ボルト 2 本、縁端距離 40mm の試験体では、外側ボルトがせん断破断する場合がありますが、継手全体の耐力が縁端距離 60mm の試験体より下がることが分かった。
- (2) (1) の継手の耐力低下は、ボルトからの支圧により、母材縁端が全断面せん断降伏し、外側ボルトの分担が増加することで生じるものと考えられる。

謝辞

本研究の実験は、当時、石川高専在学中の大河滉典氏(現 国土交通省北陸地方整備局)の協力を得て行ったものである。ここに記して謝意を表します。

5. 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書，Ⅱ鋼橋編，2012.3
- 2) 高井俊和，山口隆司，三ツ木幸子，西川真未：高力ボルト継手の終局挙動における孔変形に着目した 2, 3 の考察，構造工学論文集，Vol.60A，pp694-702，2014.3