

# 添接板をエネルギー吸収部材とした高力ボルト継手の終局挙動

石川工業高等専門学校 村田 俊  
石川工業高等専門学校 中西 峻太  
石川工業高等専門学校 中野 貴大

石川工業高等専門学校 学生員 舟山 耕平  
石川工業高等専門学校 正会員 高井 俊和  
石川工業高等専門学校 正会員○三ツ木 幸子

## 1. はじめに

巨大地震が発生すると、想定外の荷重が载荷され、摩擦接合で使用されている高力ボルト継手は、すべりを起こす可能性がある。そこで本研究では、すべり後の挙動に着目し、高力ボルト継手の引張载荷試験を行ってきた[1]。

本研究では、添接板をエネルギー吸収部材として用いることを考え、添接板の合計板厚を母板厚より薄くした試験体を用いて引張载荷試験を行い、継手性能を検討した。

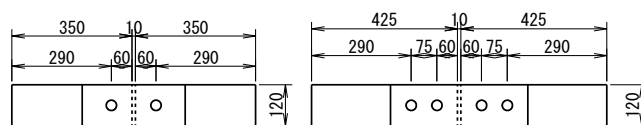
## 2. 実験概要

### 2. 1 試験体

試験体の高力ボルト継手の形状を図 1 に実験ケースを表 1 に示す。板幅は 120mm とし、片側のボルト本数を 1 本または 2 本としている。純断面で破断するように縁端距離は 60mm とした。添接板は 9mm を採用し、合計厚は 18mm と母板厚 22mm より薄くしている。同じ形状の試験体に対して、軸力有と無のケースを設定し、すべてのケースに対して、3 体ずつ試験を行った。接合面の表面処理として無機ジンクリッチペイントを採用し、ボルトは首下長さ 80mm の M22(F10T)を使用し、ボルト孔径は 24.5mm である。

本実験ではさらに、図 2 に示す板座金を入れた試験体を行った。これまでの 2 本ボルトの実験で、内側ボルトの軸力の低下が外側ボルトより著しかった。当初の軸力低下を添接板の拘束性から検討することを考え板座金を入れた。板座金は添接板と同じ板厚 9mm の鋼板で、荷重垂直方向の幅は 100mm、荷重方向の幅は、1 本の場合は 100mm、2 本の場合は 60mm である。ボルトは首下長さ 100mm の M22(F10T)を用いた。母板と添接板は上述の試験体と同じである。本実験では、板座金によって、母板と添接板のせん断面をボルトのネジ部から外すことを考え、すべてのボルトに板座金を挿入した。

材料特性値として母板と添接板は材料試験から得



(a) 1 本ボルトの場合 (b) 2 本ボルトの場合

図 1 試験体図(単位:mm)

表 1 実験ケース

| 試験体タイプ | 60-1 | 60-1N | 60-2 | 60-2N | W-60-1 | W-60-1N | W-60-2 | W-60-2N |
|--------|------|-------|------|-------|--------|---------|--------|---------|
| ボルト列数  | 1    | 1     | 2    | 2     | 1      | 1       | 2      | 2       |
| 軸力     | 有    | 無     | 有    | 無     | 有      | 無       | 有      | 無       |
| 座金板    | 無    |       |      |       | 有      |         |        |         |

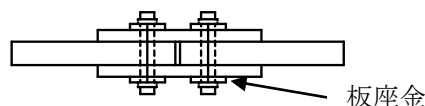


図 2 座金有試験体

表 2 材料特性値

| 部材           | $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 材料     |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------|
| 母材           | 316                             | 444                             | SM400A |
| 添接板          | 276                             | 436                             | SS400  |
| 高力ボルト(80mm)  | 1042                            | 1091                            | F10T   |
| 高力ボルト(100mm) | 1050                            | 1099                            |        |

られた値を、高力ボルトは製品検査証の値を表 2 に示す。軸力有の試験体は標準ボルト軸力である 226kN を目標にトルクレンチでボルト軸力を導入し、締付け完了後 1 日以上放置して载荷試験を行った。なお、軸力無は手締めとした。

### 2. 2 载荷方法

試験体を万能試験機に設置し、破断するまで引張载荷を行った。最初のすべり荷重と最大荷重(終局荷重)を記録した。また、母板と添接板の相対変位と、継手側面の各部およびボルト頭部のひずみも計測した。

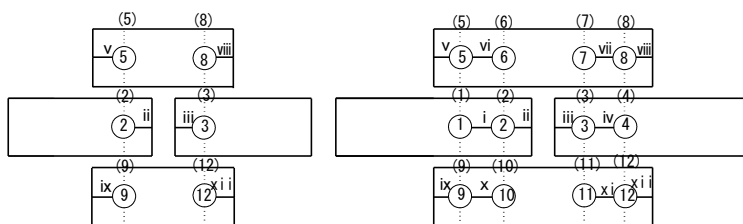
試験終了後は、試験体のボルトを外して解体し、母材と添接板のボルト孔径を計測した。

## 3. 試験結果、考察

試験結果について、終局荷重、破断モード、破断位置、すべり荷重、ボルト孔変形量を表 3 に示す。な

表 3 試験結果

|      | 試験体番号     | 終局荷重(KN) | 破断モード    | 破断位置              | すべり荷重(kN) | すべり極小値(kN) | ボルト孔変形量(mm) |     |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|------------|-------------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      |           |          |          |                   |           |            | 1           | 2   | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 板座金無 | 60-1-1    | 425      | ボルトせん断   | ③                 | 221       | 170        |             | 2.2 | 2.7  |     | 6.4  |      |      | 8.3  | 4.5  |      |      | 6.1  |
|      | 60-1-2    | 415      | ボルトせん断   | ②                 | 219       | 190        |             | 2.2 | 2.6  |     | 6.5  |      |      | 8.4  | 4.4  |      |      | 6.1  |
|      | 60-1-3    | 420      | ボルトせん断   | ②                 | 225       | 185        |             | 2.3 | 2.7  |     | 6.5  |      |      | 8.0  | 4.5  |      |      | 6.2  |
|      | 60-1-1N   | 396      | ボルトせん断   | ③                 | -         | -          |             | 1.9 | 2.2  |     | 5.5  |      |      | 6.2  | 4.6  |      |      | 4.5  |
|      | 60-1-2N   | 412      | ボルトせん断   | ③                 | -         | -          |             | 2.1 | 2.3  |     | 6.1  |      |      | 6.0  | 4.8  |      |      | 4.6  |
|      | 60-1-3N   | 401      | ボルトせん断   | ③                 | -         | -          |             | 1.9 | 2.1  |     | 5.1  |      |      | 5.1  | 7.0  |      |      | 7.2  |
|      | 60-2-1    | 769      | ボルトせん断   | ①,②               | 410       | 352        | 4.5         | 1.8 | 2.9  | 2.7 | 4.0  | 12.0 | 12.1 | 4.9  | 5.6  | 16.1 | 13.7 | 4.7  |
|      | 60-2-2    | 782      | ボルトせん断   | ①,②               | 412       | 361        | 5.3         | 3.1 | 1.5  | 3.5 | 5.2  | 13.0 | 13.1 | 5.1  | 5.5  | 1.1  | 10.8 | 4.7  |
|      | 60-2-3    | 783      | 純断面引張    | (6),(11)          | 405       | 377        | 4.7         | 3.0 | 3.1  | 5.1 | 4.8  | -    | 13.3 | 4.5  | 4.6  | 13.4 | -    | 5.0  |
|      | 60-2-1N   | 759      | ボルトせん断   | ①,②               | -         | -          | 5.3         | 3.1 | 1.4  | 3.5 | 5.3  | 13.0 | 13.2 | 5.4  | 5.6  | 1.2  | 10.8 | 4.6  |
|      | 60-2-2N   | 766      | ボルトせん断   | ③,④               | -         | -          | 3.7         | 1.7 | 4.7  | 6.1 | 5.3  | 13.0 | 13.2 | 5.4  | 5.6  | 1.2  | 10.8 | 4.6  |
|      | 60-2-3N   | 764      | ボルトせん断   | ③,④               | -         | -          | 4.0         | 1.8 | 1.7  | 2.8 | 5.6  | 12.7 | 14.2 | 5.7  | 4.2  | 10.7 | 10.4 | 5.7  |
| 板座金有 | W-60-1-1  | 550      | 縁端,純断面引張 | v,xii,(5)         | 242       | 218        |             | 9.7 | 10.1 |     | -    |      |      | 20.5 | 18.5 |      |      | -    |
|      | W-60-1-2  | 546      | 縁端,純断面引張 | viii,xii,(8),(12) | 238       | 216        |             | 2.0 | 2.3  |     | 19.0 |      |      | -    | 4.7  |      |      | 4.6  |
|      | W-60-1-3  | 547      | 縁端,純断面引張 | v,xii,(5),(12)    | 228       | 192        |             | 9.6 | 9.5  |     | -    |      |      | 17.7 | 18.1 |      |      | -    |
|      | W-60-1-1N | 524      | 縁端,純断面引張 | viii,xii,(12)     | -         | -          |             | 8.2 | 8.1  |     | -    |      |      | 17.0 | 17.2 |      |      | -    |
|      | W-60-1-2N | 523      | 縁端       | viii,ix           | -         | -          |             | 8.7 | 8.5  |     | 19.4 |      |      | -    | -    |      |      | 16.2 |
|      | W-60-1-3N | 464      | 縁端,純断面引張 | viii,xii,(8),(12) | -         | -          |             | 8.1 | 8.4  |     | 18.7 |      |      | -    | 16.4 |      |      | -    |
|      | W-60-2-1  | 805      | 純断面引張    | (7),(10)          | 408       | 343        | 5.5         | 2.9 | 2.6  | 5.2 | 3.2  | 11.7 | -    | 3.1  | 3.3  | -    | 12.3 | 3.6  |
|      | W-60-2-2  | 806      | 純断面引張    | (7),(11)          | 425       | 405        | 4.9         | 2.9 | 2.9  | 5.5 | 2.9  | 10.9 | -    | 3.3  | 3.2  | 10.0 | -    | 3.1  |
|      | W-60-2-3  | 818      | 純断面引張    | (6),(10)          | 445       | 380        | 5.3         | 2.9 | 2.6  | 5.2 | 3.3  | -    | 13.0 | 3.0  | 3.7  | -    | 12.2 | 3.4  |
|      | W-60-2-1N | 789      | 純断面引張    | (6),(10)          | -         | -          | 5.3         | 3.0 | 1.5  | 5.7 | 5.3  | -    | 10.9 | 4.6  | 4.7  | -    | 13.2 | 4.5  |
|      | W-60-2-2N | 788      | 純断面引張    | (7),(10)          | -         | -          | 5.2         | 2.6 | 2.6  | 4.9 | 5.3  | 14.4 | -    | 5.2  | 5.1  | -    | 14.8 | 5.5  |
|      | W-60-2-3N | 801      | 純断面引張    | (7),(11)          | -         | -          | 5.6         | 3.0 | 3.0  | 5.6 | 4.5  | 12.6 | -    | 4.2  | 4.0  | 13.5 | -    | 4.0  |



(a) 1 本ボルト

(b) 2 本ボルト

図 3 破断位置番号

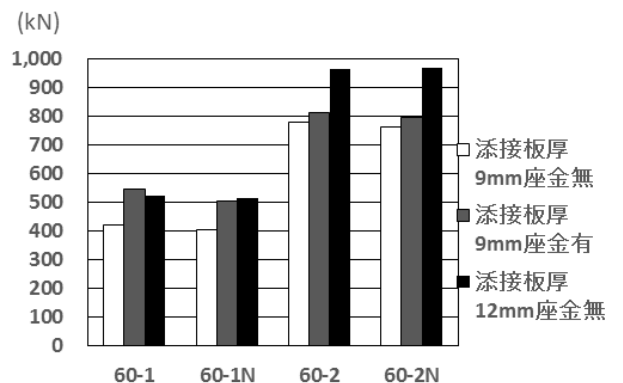


図 4 耐力の比較

お、破断部位、ボルト孔変形量のボルト位置の番号は図 3 に示す。

座金無は、60-2-3(純断面引張破断)を除いて全てボルトのせん断破断となった。一方、座金有の 1 本ボルトでは、W-1-60-2N(縁端のせん断破断)を除いて全て縁端のせん断破断と純断面の引張破断となった。2 本ボルトでは、全て純断面引張破断となった。

図 4 に各タイプの終局荷重の平均値を示す。1 本ボルトでは、9mm の板座金無は 12mm の終局荷重の 80%程度となった。これは、添接板厚 9mm と薄くしたことで、母板と添接板の接合面(せん断面)がボルトのネジ部に入ったためと考えられる。9mm の板座金有では母材の純断面で破断した 12mm の終局荷重と同程度となった。

2 本ボルトでは、9mm の板座金有の終局荷重は、9mm の板座金無とほぼ同程度であるが、4%小さくなった。一方、12mm の終局荷重の 83%程度となった。後者の傾向は、添接板の板厚比すなわち純面積比の 82%とほぼ等しい結果となった。

#### 参考文献

- [1] 舟山耕平, 三ツ木幸子, 前田啓伸: 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, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, I-488, pp.975-976, 2015.9