

小型の偏心した高力ボルト摩擦接合継手の曲げ引張挙動に関する基礎的検討

九州工業大学 学生会員 ○ 原川 進平

九州工業大学 正会員 高井 俊和

1. 目的

実構造の高力ボルト摩擦接合継手は、引張だけでなく、曲げやせん断も作用している。既往の高力ボルト継手の曲げが作用する載荷実験は、ボルトが3行配置の試験体¹⁾や、I 桁²⁾など、すべり試験や引張実験と比べて大型の試験体で行われている。そのため、大型の試験機が必要になり実験の規模も大きくなる。本研究では、従来の引張すべり試験体を参考に、ボルト行数が1行の小型の偏心継手を試作し、引張実験と FEM 解析を実施して基礎的な視点から曲げ引張挙動を確認した。

2. 曲げ引張実験

九州工業大学所有の 2,000 kN 万能試験機を用いて実験を行った。図1に示すように、試験体は F10TM16 高力ボルトを片側に1行3列配置した小型の継手とした。母板・連結板の鋼種は SM490Y とした。実験では引張荷重を与え、試験体中央の偏心により曲げを作用させた。試験機のクロスアームの高さ調整機能の不具合のため試験体を継ぎ足して実験を行った。図2に実験の様子を示す。試験体は4体用意して実験を行った。荷重を増加させる割合は1秒ごとにおおむね 1 kN とし、継手が破断するまで載荷を行った。図1に示す箇所、変位計により伸びを、ひずみゲージにより連結板の上下のコバ面と板幅中央位置のひずみを測定した。

3. 実験結果

図3に実験後に解体した試験体の一例を示す。4体とも継ぎ足部と反対側の最も外側のボルト孔のある母板純断面で破断した。図4に荷重－伸び関係を示す。破断時の継手の伸びは試験体により差が見られたが、破断に至る過程はほぼ同じ結果となった。50 kN 以下で生じた伸びは手締めした継ぎ足し部のすべりが発生したためである。図5にひずみゲージの値から得た応力を示す。理論値は、引張応力と曲げ応力の和として計算し、式(1)～(3)に示すように曲げ応力を 1/4 倍した補正した理論値の方が実験結果に近くなった。この要因は、試験機のチャックで試験体をつかみ引張荷重を導入したため、端部の拘束の影響により作用モーメントが減少したと考えられる。この傾向は後述の FEM 解析でも同様となった。

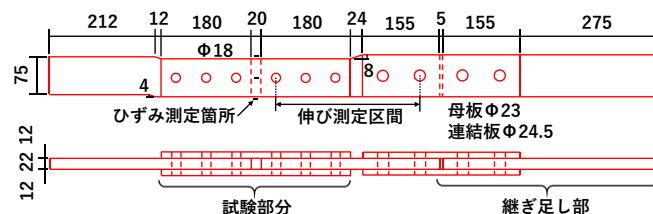


図1 試験体の形状



図2 実験の様子



図3 実験後の試験体の一例

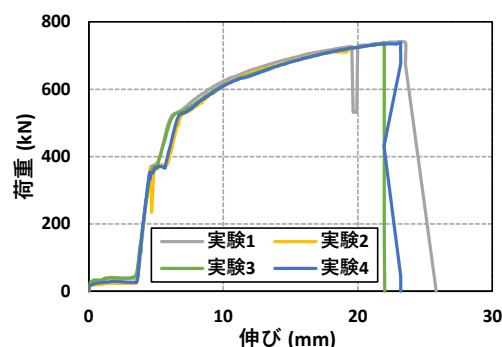


図4 荷重－変位関係

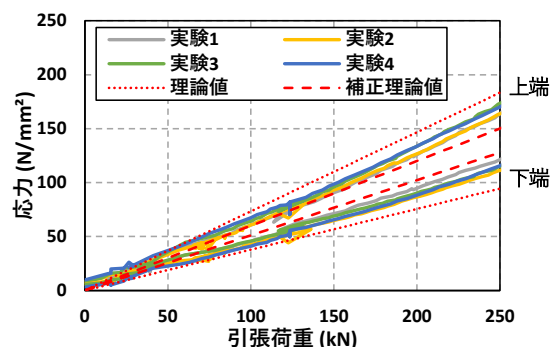


図5 応力の比較

$$\sigma_{\pm} = P/A + 0.25 \cdot My/I \quad (1)$$

$$\sigma_{\mp} = P/A \quad (2)$$

$$\sigma_{\mp} = P/A - 0.25 \cdot My/I \quad (3)$$

ここに、 P ：引張荷重、 A ：断面積、 M ：作用曲げモーメント（ $=Pe$ 、 e は偏心量）、 y ：中立軸からの距離、 I ：断面2次モーメントである。

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手、曲げ挙動、引張載荷、力学挙動

連絡先 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 工学部 建設社会工学科 TEL:093-884-3123

4. 曲げ引張実験の再現解析

実験の再現解析は、Abaqus standard 6.13 を用いて行った。図 6 に解析モデルの概要を示す。実験のすべり荷重を再現するように摩擦係数を調整し 0.64 とし、実験で手締めした継ぎ足し部の M22 ボルトの軸力を 1 kN とした。図 7 に荷重－伸び関係、図 8 に応力の比較を示す。図 7 の解析結果は、実験の試験体設置時の M22 ボルト孔のクリアランスの増加を考慮してすべり量を補正している。図 7、図 8 より、実験と解析の結果がほぼ一致し、基本的な挙動が再現されていると判断し、以下の解析を実施した。

5. 偏心量、ボルト列数を变化させた場合の解析

偏心量は 4mm, 10mm, 15mm, 20mm の 4 ケース、ボルト列数は 2 列, 3 列, 4 列の 3 ケースを設定して比較を行った。解析条件は上記の再現解析および実験と同様とした。図 9 に偏心量 4mm, 20mm およびボルト列数 2 本, 4 本のケースの応力の比較を示す。許容力とは、設計すべり荷重を安全率 1.7 で割った値のことである。補正理論値は、図 5 と同様に曲げの影響を 1/4 倍したものである。いずれのケースとも、引張荷重が許容力に達する前後までは、補正理論値と近い結果となった。

6. 結論

ボルトを 1 行配置した小型の偏心継手の引張実験と FEM 解析により継手の曲げ引張挙動を確認した。連結板に生じた応力から、曲げの作用が約 1/4 程度となった。これは試験機のチャックで固定した試験体端部の拘束の影響と考えられ、実験、解析とも同様の結果となった。また、この傾向は、偏心量 4~20mm およびボルト列数 2~4 列の範囲の継手についても同様であった。そのため、偏心継手で曲げ引張挙動を確認するには、端部の拘束条件を考慮して継手の形状を検討する必要があると考えられる。本検討では、小型の継手のすべり許容力までの挙動を確認したが、それ以降の挙動や大型の継手の挙動との関係も確認する予定としている。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 21K14233 の助成を受けたものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 細谷誠二, 稲田育朗, 滝口一, 小川幸治: 高力ボルト継手の遅れ破壊調査・補修工法, 横河ブリッジ技報, No. 22, pp. 160-173, 1993.1
- 2) 佐倉亮, 森山仁志, 山口隆司, 青木康素: 高力ボルト摩擦接合鋼桁連結部の純曲げ載荷実験による孔変形を指標とした支圧限界状態に関する研究, 構造工学論文集 A, Vol. 68A, pp. 428-440, 2022.3

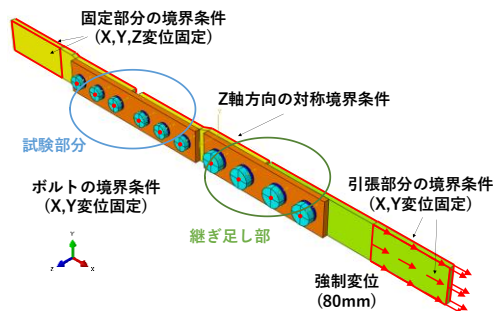


図 6 解析モデルの概要

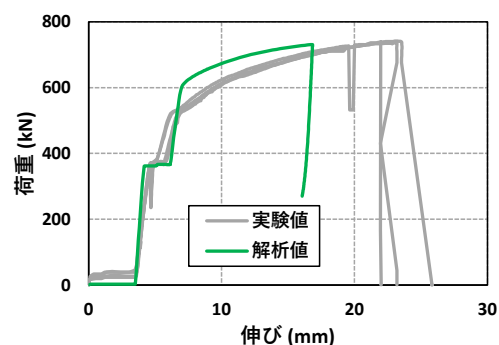


図 7 荷重－伸び関係（再現解析）

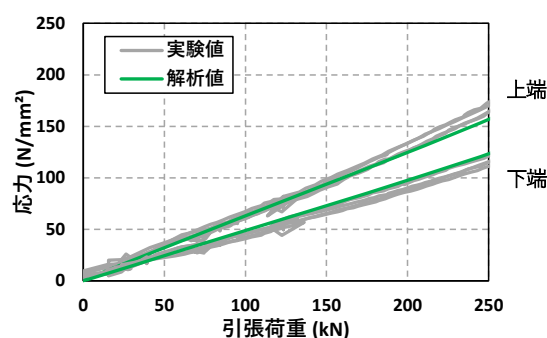
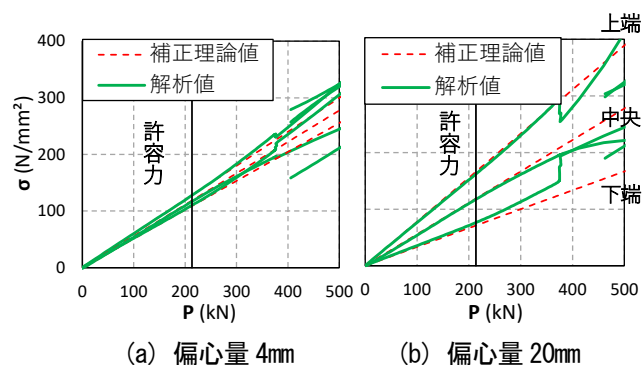
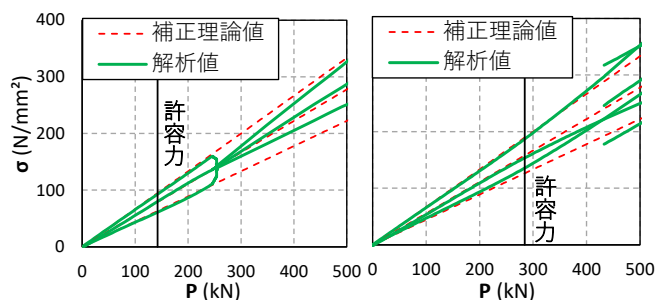


図 8 応力の比較（再現解析）



(a) 偏心量 4mm

(b) 偏心量 20mm



(c) ボルト 2 本

(d) ボルト 4 本

図 9 応力の比較