第Ⅰ部門　構成部品ベアリングワッシャーを活用したハック高力ワンサイドボルトの軸力推定方法に関する研究

大阪公立大学大学院　学生員　○工藤　愛佳
株式会社フセラシ　正会員　吉田　和明
大阪公立大学大学院　正会員　森山　仁志
大阪公立大学大学院　学生員　頼　健鵬
日鉄ボルテン株式会社　正会員　吉見　正頼
大阪公立大学大学院　正会員　山口　隆司

1. 研究背景および目的

閉断面や狭隘空間の鋼部材に当て板をする際，片側施工が可能なハック高力ワンサイドボルト（図-1，以下MUTF）を用いることがある．MUTF の導入/残存軸力を定量把握するには，ひずみゲージ等による間接的な評価が必要となる．しかしながら，座屈により大変形するバルブスリーブや軸力が伝達されないグリップスリーブではひずみ計測できないこと，コアピンへのひずみゲージの貼付は頭部にのみ可能であること [1]など，閉断面部材にも適用可能な軸力推定方法が存在していないのが現状である．

本研究では，ナット側に位置するベアリングワッシャーのひずみ変化を用いた軸力推定方法を考案し，キャリブレーション試験の載荷方法や軸力推定に用いるひずみの方向，ナットの相対位置の影響を調査した．

2. キャリブレーション試験

ベアリングワッシャーに貼付した 2 軸ゲージ（ゲージ長：2mm）の貼付位置を図-2 に示す．貼付枚数は 4 枚と 8 枚の 2 水準を用意し，それぞれの場合のナットとの相対位置を図示している．ワッシャー側面の板厚方向の垂直応力分布を解析的に確認した上で，板厚方向の貼付位置はナットとの接触面から 7.5mm の位置とした．

載荷方法やねじ嵌合がひずみ分布に及ぼす影響を検討するため，図-3 に示す 2 種類の載荷方法を検討した．図-3(a)はねじ部で荷重を伝達する引張載荷，図-3(b)は万能試験機の圧縮盤でナットに面圧を与える圧縮載荷を示している．

ベアリングワッシャーによる軸力測定の可能性検討を優先し，圧縮/引張載荷の上限荷重を 200kN とし，MUTF27 の締付軸力の上限値 309kN より小さくした．これは，引張載荷において，予め座屈変形させたバルブスリーブを複数回再利用するための対策である．

3. 試験結果およびその考察

荷重と載荷軸方向および円周方向ひずみの関係を図-4 に示す．図-4 より，いずれの場合も 0~40kN 程度において非線形性が確認されているが，MUTF セット載荷では各方向のひずみ平均を取ることで線形性を示した．一方，ナット載荷の場合には非線形性が若干残る結果となり，万能試験機の圧縮盤とナットの表面形状等による接触の偏りが原因の 1 つと考えられる．

次に，ひずみゲージ位置とナットの角部と辺の相対位置の影響を確認する．図-4 より，角部・辺に位置するゲージの平均値“Corner_avg.”, “Side_avg.” のひずみは，MUTF セット載荷とナット載荷のいずれの場合においても“Corner_avg.”の方が大きい．ベアリングワッシャーの座面が円形でもあるにも関わらずこのような傾向を示したのは，ナット角部の面取りにより，面取りの起点

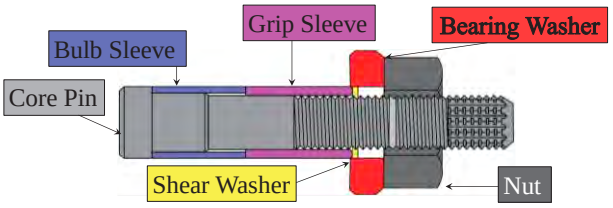


図-1　ハック高力ワンサイドボルト（MUTF）

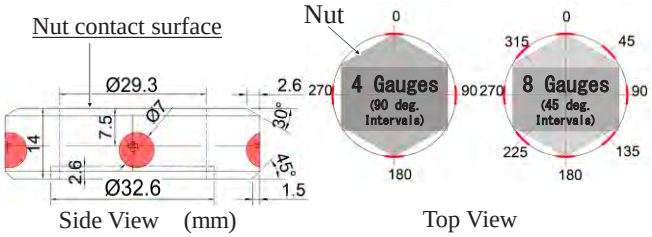


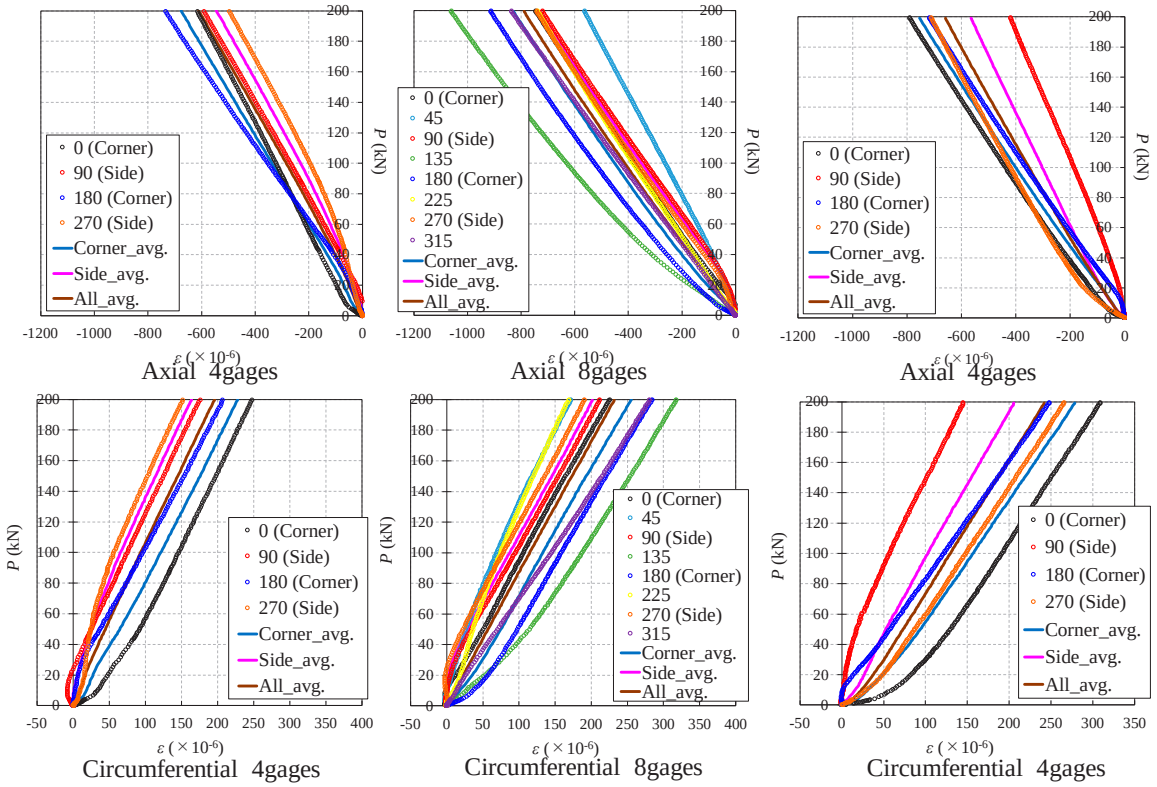
図-2　ベアリングワッシャーのゲージ貼布位置



(a) MUTF セット載荷（引張）　(b) ナット載荷（圧縮）

図-3　キャリブレーション試験の載荷方法

Aika KUDO, JianPeng LAI, Kazuaki YOSHIDA, Masayori YOSHIMI, Hitoshi MORIYAMA and Takashi YAMAGUCHI
sm22453d@st.omu.ac.jp



（a）MUTFセット載荷　　（b）ナット載荷

図-4　荷重と載荷軸方向および円周方向ひずみの関係

となる外縁で接触圧が高くなるためと考えられる．これは，ナット上面に面圧が直接作用するナット載荷の条件で顕著であった．

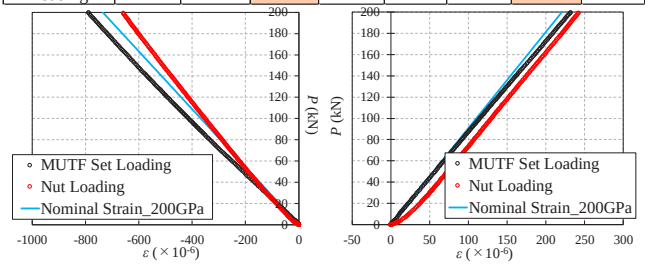
“Corner_avg.”, “Side_avg.” および全ひずみゲージの平均値 “All_avg.”について，40~200kN の単回帰係数を**表-1** に示す．**表-1** より，Side と Corner の差異は，MUTF セット載荷では，載荷軸方向は差異が存在せず，円周方向は約 5%であった．ナット載荷では，載荷軸方向は約 40%，円周方向は約 20%であった．この結果より，MUTF セット載荷はナット載荷よりも，ひずみゲージ位置とナットの角部と辺の相対位置の影響を受けないことがわかる．また，ひずみの方向による単回帰係数の差異は小さく，軸力推定の精度は大きく変化しないと考えられる．

荷重と全ひずみゲージの平均ひずみ“All_avg.”の関係を**図-5** に示す．図中には，弾性係数 E = 200 GPa を仮定した棒部材の応答 $P = EA\varepsilon$ を示す．円周方向ひずみは，ポアソン比 ν = 0.3 を仮定した算出した．断面積は**図-2** に示す寸法から計算している．

図-5 において，弾性係数 E とポアソン比 ν を仮定しているため実験値と公称値に差異はあるものの，傾きに顕著な差は確認されなかった．一方，ナット載荷の載荷軸方向ひずみは，傾きだけでなくひずみの増分傾向にも違いが確認された．

表-1　ナットとの相対位置別の校正係数

Loading Pattern	Axial				Circumferential			
	Corner	Side	Side / Corner	All	Corner	Side	Side / Corner	All
(a) MUTF Set Loading	-0.256	-0.254	0.99	-0.257	0.831	0.861	1.04	0.856
(b) Nut Loading	-0.274	-0.376	1.38	-0.317	0.807	0.974	1.21	0.883



（a）載荷軸方向ひずみ　　（b）円周方向ひずみ

図-5　公称値との比較

4. まとめ

ベアリングワッシャーのひずみ変化を用いた軸力推定方法について，キャリブレーション試験によりその適用性を検討した．その結果，MUTF セット載荷では，載荷軸方向・円周方向いずれの平均ひずみを用いても優れた線形性が得られ，ナットとの相対位置の影響も小さいこと得られたひずみ変化は，公称値と同様の傾向を示したことから，軸力推定に適した載荷方法であると判断された．今後は，実際の締付け時に得られた校正係数を適用することで，軸力推定精度を明らかにする．

＜参考文献＞
1)　頼ら；コアピン頭部ひずみゲージによるハック高力ワンサイドボルトの軸力測定方法，土木学会第 80 回年次学術講演会講演梗概集，11PM2-Qe-10, 2025