

高力ボルトセットの孔ずれが頭部の変形状態に及ぼす影響に関する解析的検討

大阪市立大学大学院 学生員 ○銭 霖
 灌上工業(株) 正会員 飯田 哲也

大阪市立大学大学院 学生員 藤原 眞幸
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景と研究目的

近年、画像処理を用いてボルト頭部の変位やひずみを計測し、導入軸力や残存軸力の同定に関する研究が行われている¹⁾。画像処理による軸力同定法は、高力ボルト頭部の変形状態に影響を受けるため、座金軸とボルト軸、ボルト孔中心の位置関係によって推定軸力の誤差が大きくなる可能性がある。

本研究は、高力ボルトセットの孔ずれがボルト頭部の変形状態に及ぼす影響を評価するため、ボルト孔中心、座金軸、ボルト軸の位置関係をパラメータとしたFEM解析を行った。

2. 解析手法

対象とした高力ボルトセットの構造諸元を表-1に示す。解析ソルバーにはAbaqus/Standard2020を用いた。高力ボルトセットと治具プレートをモデル化し、境界非線形性を考慮した弾塑性有限変位解析を行った。

解析モデルを図-1に示す。治具プレート側面を完全固定とし、ボルト軸部に強制変位を与えて標準ボルト軸力の10%増しの250kNまでボルト軸力を作用させた。治具プレート-座金間、座金-ボルト頭部間にはそれぞれ0.40, 0.01の摩擦係数を与えた。

解析に用いた材料特性を表-2に示す。治具プレートはSM490Y、ボルトおよび座金にはF10Tを用いた。

解析パラメータを図-2に示す。また、解析ケースは表-3に示すように、偏心軸にX軸とY軸の2種類を設定し、座金に対するボルトの接点距離として0, 0.250, 0.500mmの3種類、ボルト孔壁に対する座金の接点距離として0, 0.375, 0.750mmの3種類をそれぞれ組み合わせ、計18ケースとした。

画像処理ではボルト頭部の六角端部を基準にその変形量を計測する。本研究においてもその変形量を取得し、換算ひずみ ε_i を式(1)で算出した。

$$\varepsilon_i = \frac{\lambda}{L_i} \quad (1)$$

ここに、 λ :ボルト頭部の六角端部の変形量(mm)、 L_i :ボルト頭部の六角端部の*i*方向全長(mm)である。

表-1 構造諸元

ボルト径 d (mm)	治具プレート厚 t (mm)	ボルト孔径 d_0 (mm)	座金孔径 d_1 (mm)	設計ボルト軸力 N_0 (kN)	設計摩擦係数 μ_s
22.5	32.0	25.0	23.5	205	0.40

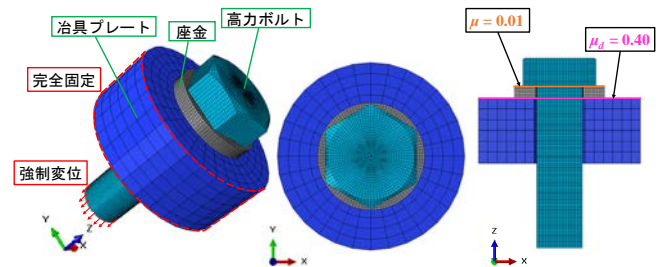


図-1 解析モデル

表-2 材料特性

部材	鋼種	弾性係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	応力 σ (N/mm ²)	塑性ひずみ ε ($\times 10^{-6}$)
治具プレート	SM490Y	201352	0.3	356	0
				474	45243
				904	0
ボルトセット	F10T	200533	0.3	1047	37313

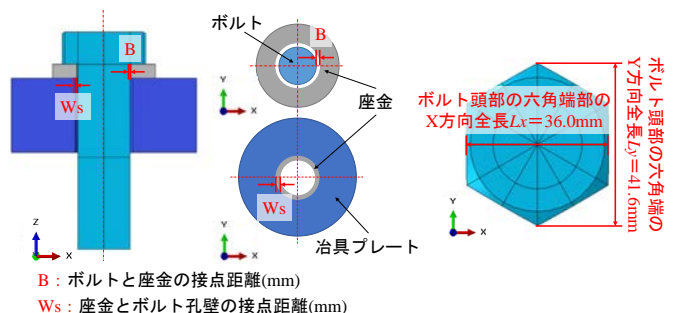


図-2 解析パラメータ

表-3 解析ケース

(a) 偏心軸をX軸にした場合

座金 \ ボルト	ボルト		
	B0.500	B0.250	B0
Ws0.750	Ws0.750-B0.500	Ws0.750-B0.250	Ws0.750-B0
Ws0.375	Ws0.375-B0.500	Ws0.375-B0.250	Ws0.375-B0
Ws0	Ws0-B0.500	Ws0-B0.250	Ws0-B0

(b) 偏心軸をY軸にした場合

座金 \ ボルト	ボルト		
	B0.500	B0.250	B0
Ws0.750	Ws0.750-B0.500	Ws0.750-B0.250	Ws0.750-B0
Ws0.375	Ws0.375-B0.500	Ws0.375-B0.250	Ws0.375-B0
Ws0	Ws0-B0.500	Ws0-B0.250	Ws0-B0

キーワード 画像処理, ボルトの軸力同定, 高力ボルトセットの孔ずれ, ボルト頭部の変形状態

連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 橋梁工学研究室 TEL06-6605-2765

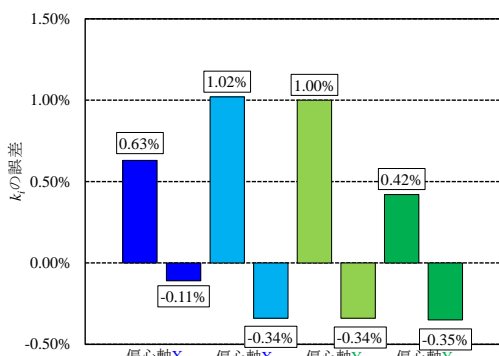


図-3 校正係数 k_i の最小誤差と最大誤差

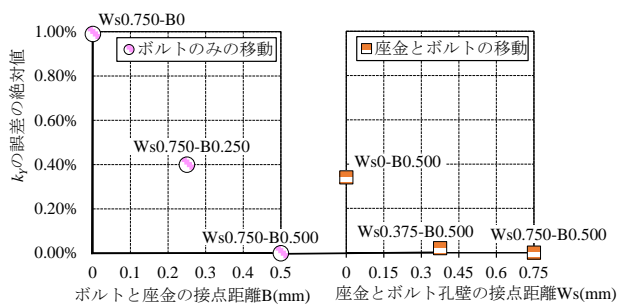


図-4 偏心軸を X 軸にした場合の k_Y の誤差

ボルト軸力-換算ひずみ ε_i 関係の傾きから校正係数 k_i を算出し、X 軸方向変位による校正係数を k_X 、Y 軸方向のそれを k_Y と示している。

3. 解析結果と考察

3.1 軸力-換算ひずみ関係による校正係数 k_i の誤差

偏心軸 X, Y 軸に対する、X, Y 軸方向の校正係数 k_X , k_Y のそれぞれの最大誤差と最小誤差を図-3 に示す。誤差は偏心のないケース(Ws0.750-B0.500)に対する校正係数 k_i の割合である。

偏心軸を X 軸にした場合、 k_Y の誤差は k_X のそれより 0.39% 大きく、偏心軸を Y 軸にした場合の、 k_X の誤差は k_Y のそれより 0.68% 大きい。よって、偏心軸の直角方向における校正係数 k_i の方が誤差が大きいことが分かる。

偏心軸を X 軸として、ボルトのみおよび座金とボルトを偏心させた場合における、Y 軸方向の校正係数 k_Y の誤差(絶対値)を図-4 に示す。ボルトのみおよび座金とボルトの偏心量が大きいほど、 k_Y の誤差は大きくなる。また、座金とボルトの X 軸方向の偏心が、Y 軸方向の校正係数 k_Y に及ぼす影響は、ボルトのみの偏心より最大で約 0.60% 小さくなった。以上のことから、ボルト頭部変位から算出する校正係数 k_i は、高力ボルトセットとボルト孔の位置関係より、ボルトと座金の位置関係に影響を受けると考えられる。

3.2 ボルト頭部の変形量

ボルト頭部表面の変形は偏心による影響で 3 次元

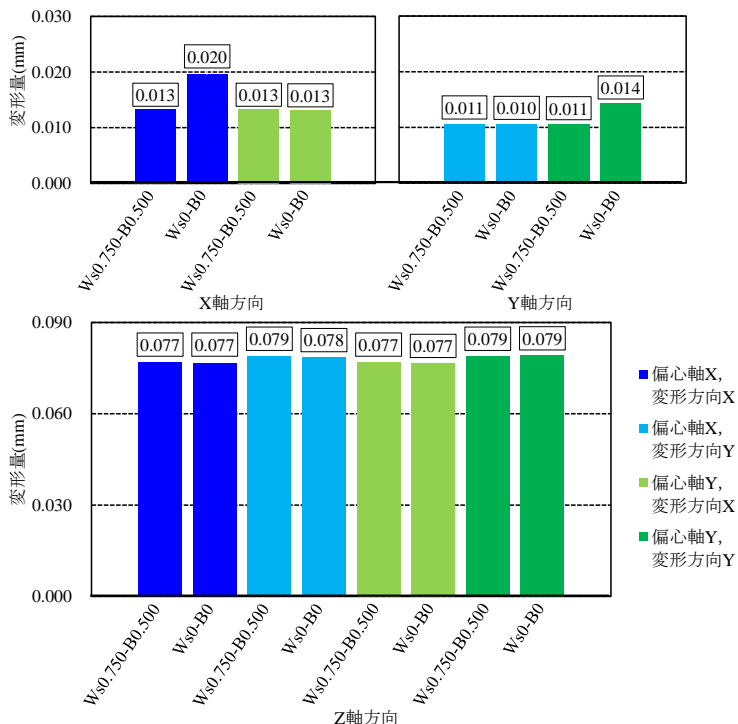


図-5 面内と面外変形の最大値

に変化し、それを 2 次元の換算ひずみとして評価するため、ボルト頭部表面の面内 (X, Y 軸) 方向変形 δ_X, δ_Y と面外 (Z 軸) 方向変形 δ_Z を確認する必要がある。偏心のないケース(Ws0.750-B0.500)と偏心量が最も大きなケース(Ws0-B0)における $\delta_X, \delta_Y, \delta_Z$ の最大値を図-5 に示す。

図-5 より、偏心軸を X 軸とした時の δ_X の最大値は 0.013mm ~ 0.020mm となり、 δ_Y, δ_Z の最大値は変化せず、それぞれ 0.010mm と 0.080mm となった。偏心軸を Y 軸にした場合も、X 軸と同じ傾向となり、偏心軸方向変形 δ_Y の最大値は 0.011mm ~ 0.014mm、 δ_X, δ_Z の最大値はそれぞれ 0.013mm, 0.080mm で変化しなかった。これより、ボルト軸と座金軸の偏心がボルト頭部の変形に及ぼす影響はほとんどないと判断できる。

4. まとめ

- (1) ボルト頭部変位から算出する校正係数 k_i は、高力ボルトセットとボルト孔の位置関係より、ボルトと座金の位置関係が影響を及ぼすことがわかった。
- (2) ボルト軸と座金軸、座金軸とボルト孔中心の偏心による校正係数 k_i の変化は -0.4% ~ 1.0%、ボルト頭部の変形量の変化は最大 0.007mm であり、高力ボルトセットの孔ずれが頭部の変形状態に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

【参考文献】

- 1) Thanh-Canh Huynh, Jae-Hyung Park, Hyung-Jo Jung, Jeong-Tae Kim, Quasi-autonomous bolt-loosening detection method using vision-based deep learning and image processing, Automation in Construction, Volume 105, 2019.