ボルト･ナット締結体の塑性締めの有限要素法による有効性検証

機械工学専攻　酒井･泉研究室
76181　大石邦央
指導教員　泉聡志准教授

研究の背景

弾性域での締付け	塑性締め
一般的 幅広い分野で使用 再利用が容易 軸力のばらつき大	高い軸力 軸力のばらつき小 ゆるみに対しての危険が大きい分野で使用 再利用が難しい

本研究の目的

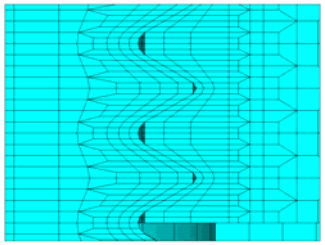
塑性締めされたボルト・ナット締結体

三次元有限要素法　弾塑性

締付け解析　接触解析

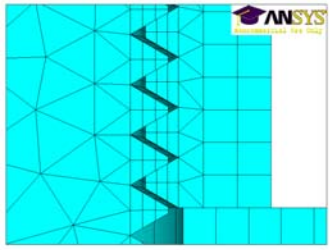
安定した軸力が得られるメカニズムの解明

応力分布を詳細に観察するため、ねじ谷底を忠実に再現したモデル



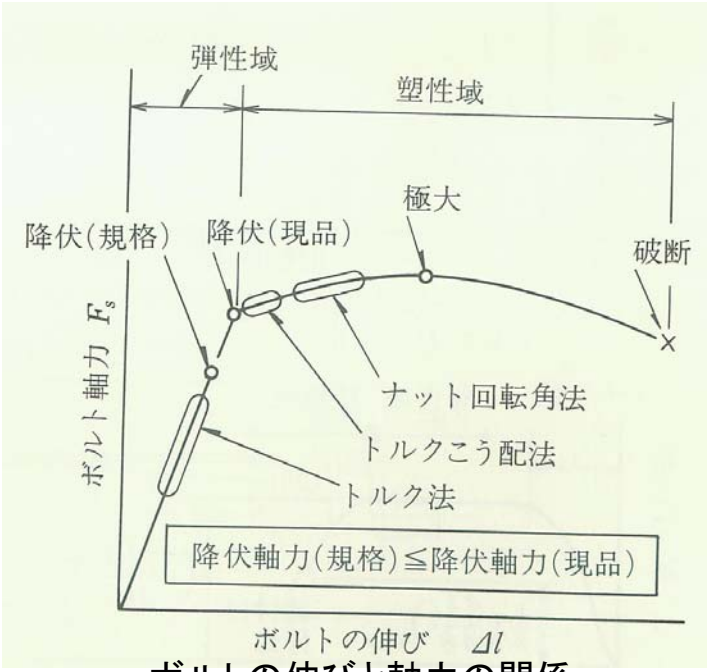
ゆるみへの影響を確認

応力分布よりもゆるみの観察を重視するため、ねじ谷底の丸みを考慮しないモデル

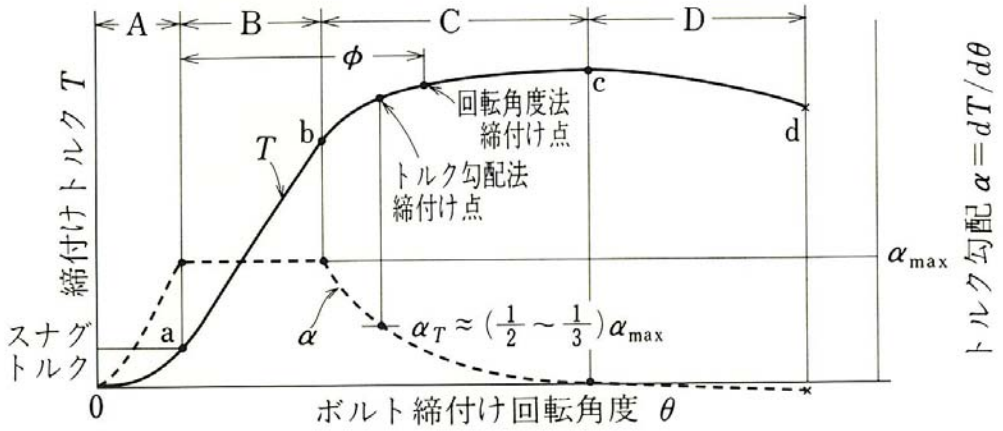


塑性締めとは

弾性限界を超えて締付けを行う ⇒ 安定して高い初期軸力



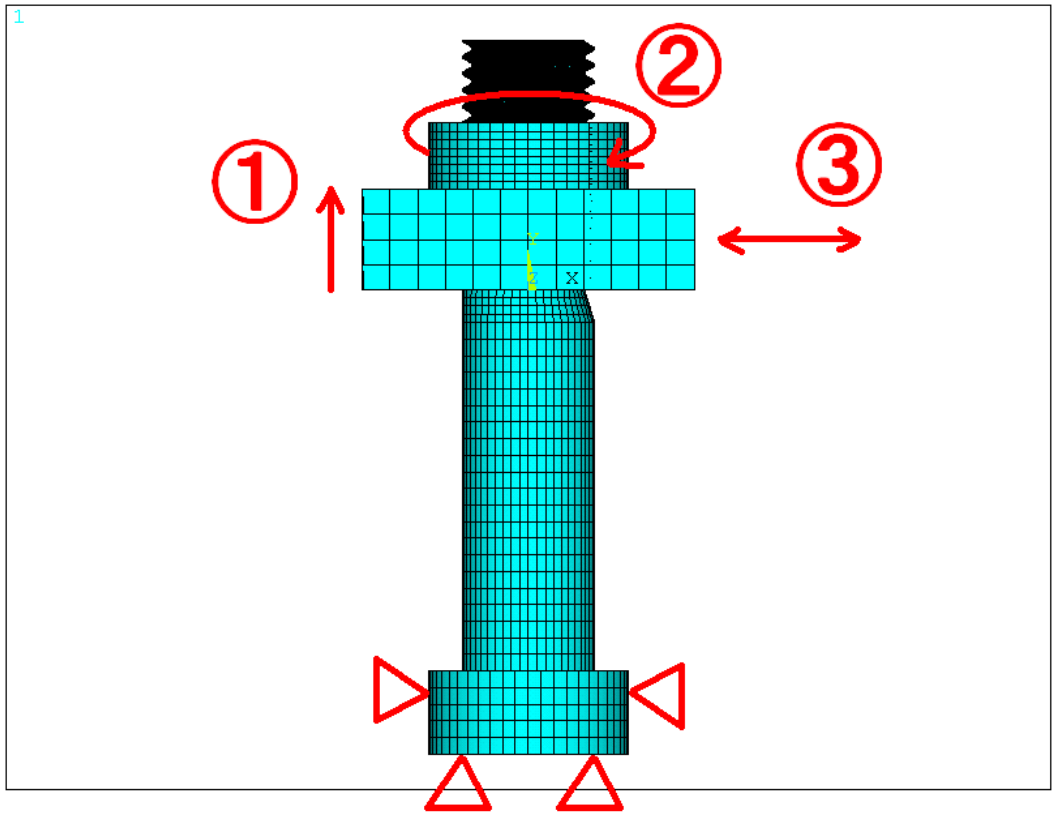
ボルトの伸びと軸力の関係



塑性締めの手法

酒井智次、“ねじ締結概論”、養賢堂、(2000)、24-25

荷重条件



1. 回転角度法による締付け(①②)
2. 摩擦係数のばらつき(①②)
3. ゆるみ(②③)

軸力発生方法

- 従来の手法
  - ①の単純引っ張りで軸力を発生させる
  - 本来発生するはずのねじれを観察できない
- 今回の手法
  - 実際にナットを回転させて軸力を発生させる
  - 計算コストが高い

回転角度法による締付け

- ②の回転締付けは計算コストが膨大
- 計算時間の短縮のため①の単純引っ張りと併用

途中から回転させても、ボルトの伸びと軸力の関係は最初から全部回転させた場合と同じ結果になる[4]

基準軸力57kNまで単純引っ張り

↓

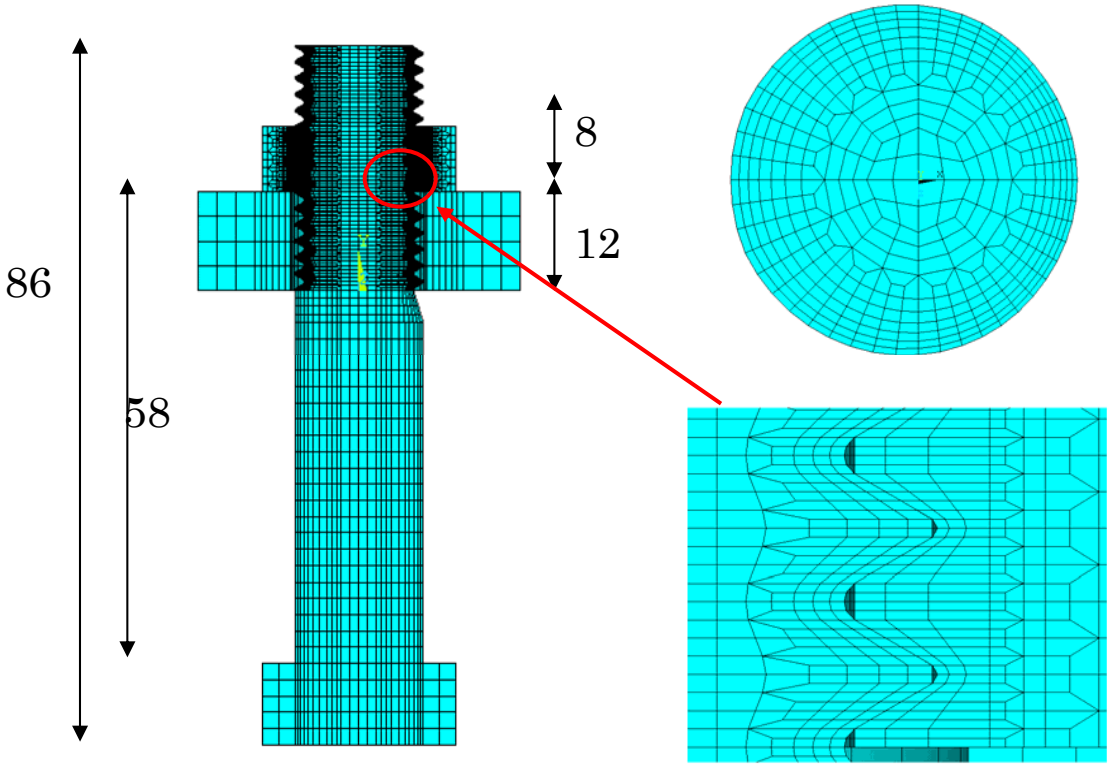
ナットを回転させ締付け

↓

回転角と軸力の関係等を求め、単純引張りと締付け解析の比較

[4]山本晃、“ねじ締結の原理と設計”、養賢堂、(1995)

解析モデル



ヤング率	205GPa
ポアソン比	0.3
降伏応力	400MPa
降伏応力(ナット)	600MPa
接線係数	3203MPa
摩擦係数	0.05,0.1, 0.15,0.2
要素数	160903
節点数	135549

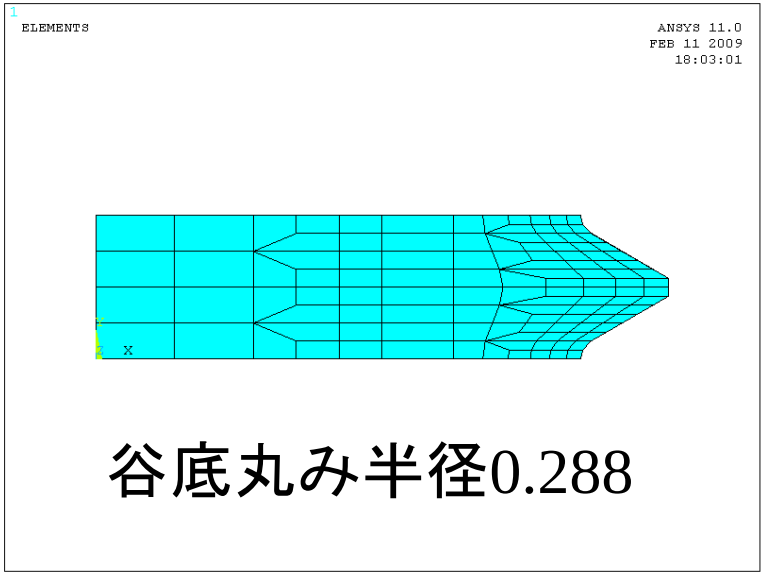
使用ソフト:ANSYS11.0

解析モデル詳細

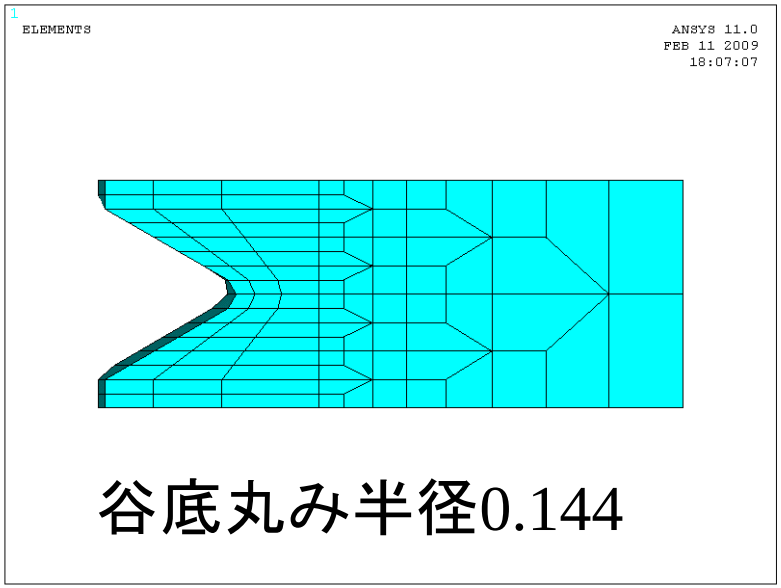
従来のモデル：ゆるみ挙動の観察、ねじ谷底の丸み考慮せず

本研究のモデル：塑性変形させ応力分布を詳細に観察したい

⇒福岡ら[3]と同様、ねじ谷底を忠実にモデル化



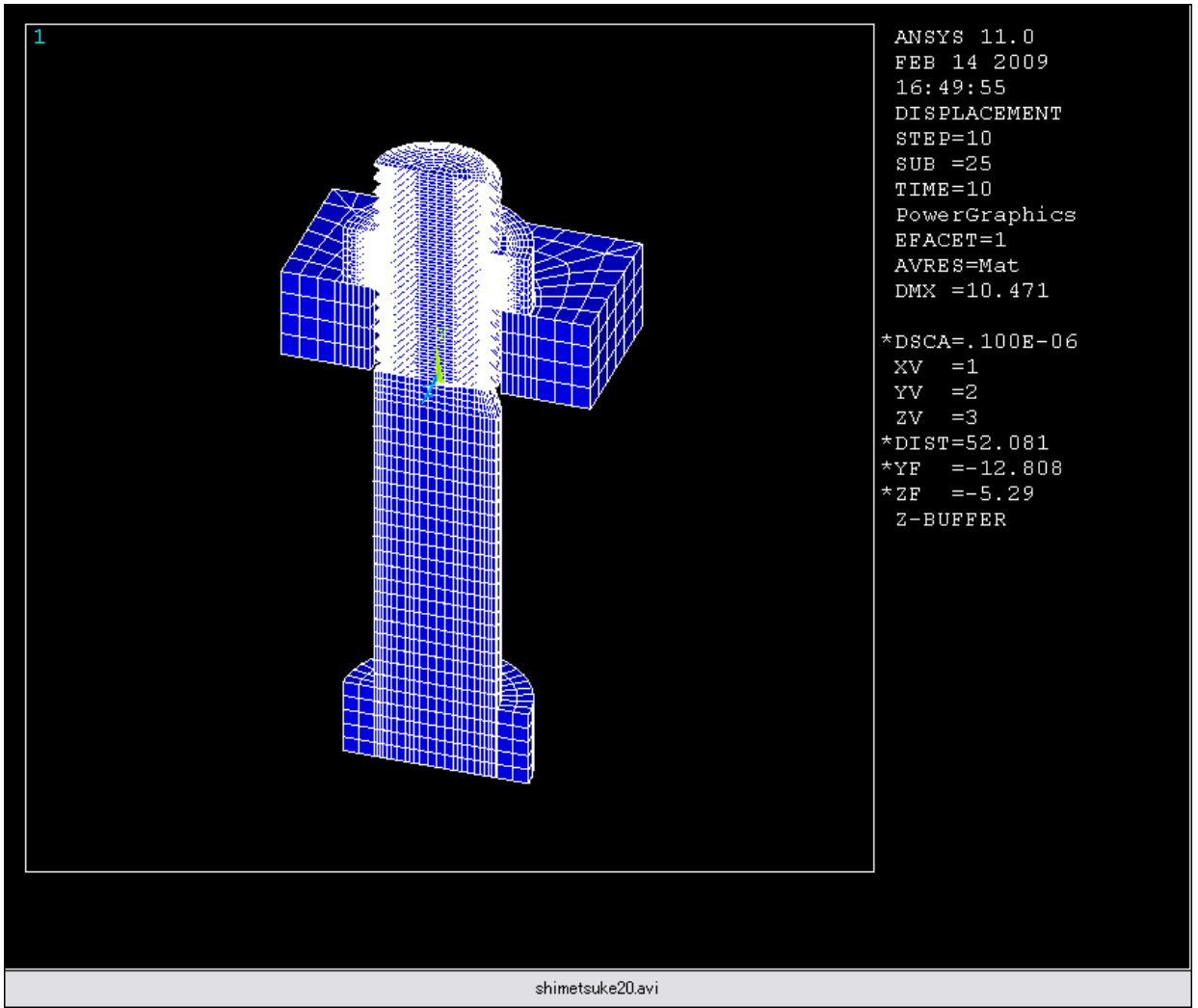
谷底丸み半径0.288



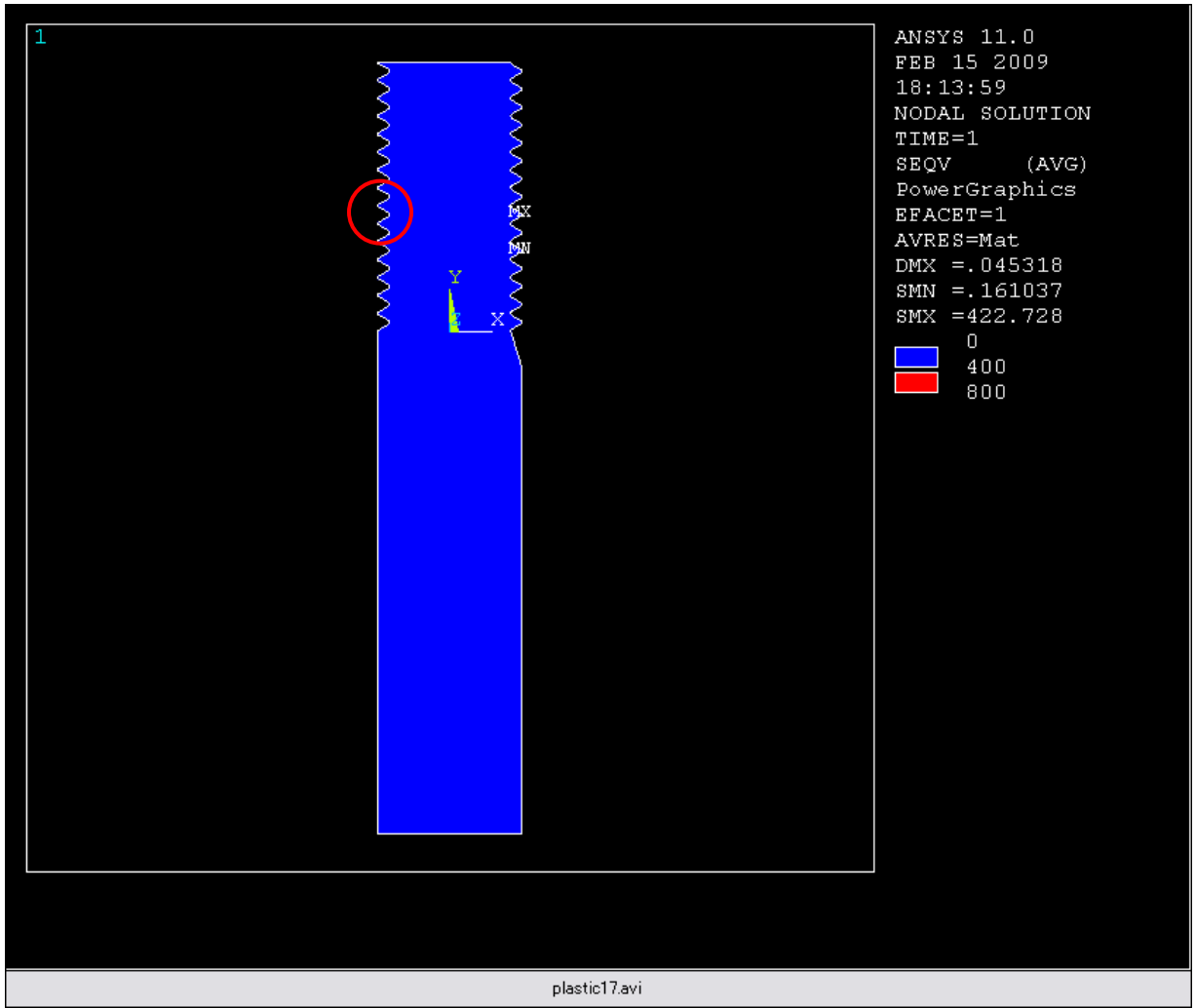
谷底丸み半径0.144

[3]福岡俊道、“ねじ山螺旋形状の高精度名モデリングと有限要素解析”、機論A、72、(2006)、1639

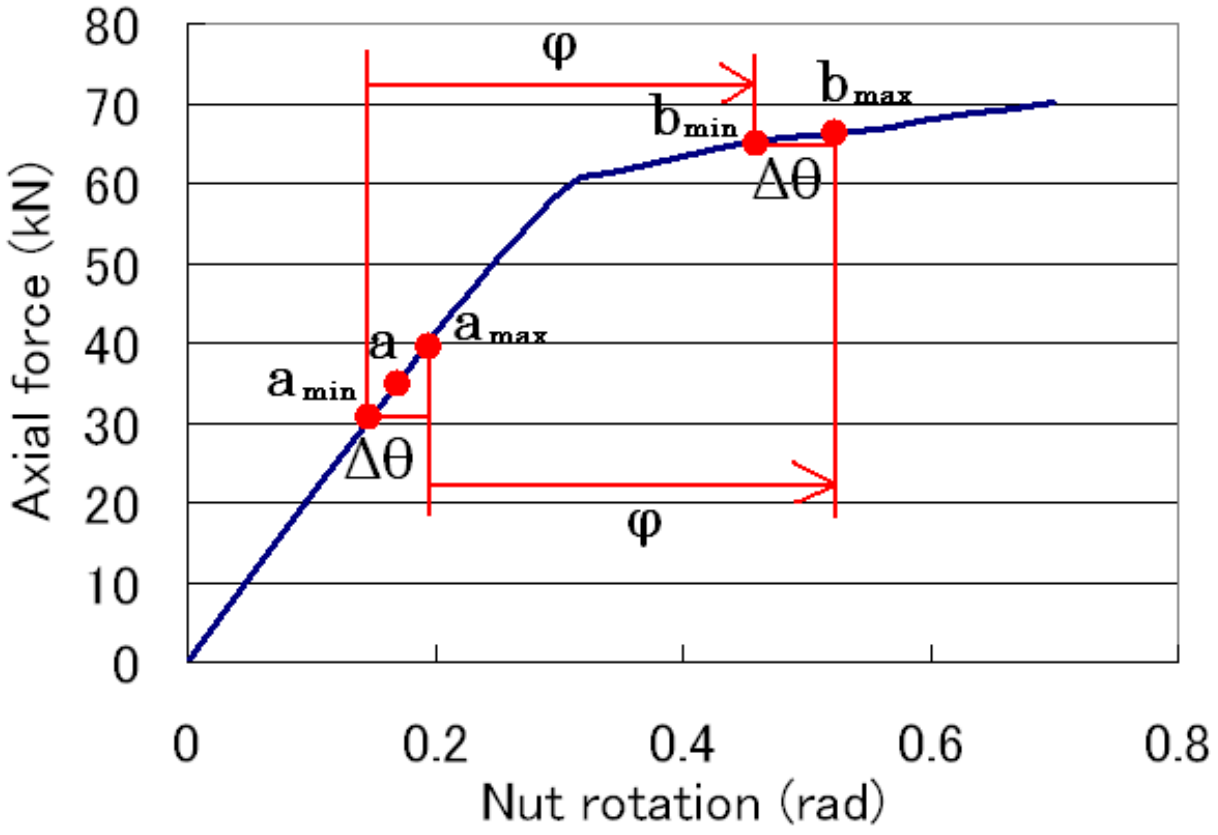
締付けの様子


1
ANSYS 11.0
FEB 14 2009
16:49:55
DISPLACEMENT
STEP=10
SUB =25
TIME=10
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =10.471
*DSCA=.100E-06
XV =1
YV =2
ZV =3
*DIST=52.081
*YF =-12.808
*ZF =-5.29
Z-BUFFER
shimetsuke20.avi

降伏域の推移


1
MX
MN
Y
X
ANSYS 11.0
FEB 15 2009
18:13:59
NODAL SOLUTION
TIME=1
SEQV (AVG)
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.045318
SMN =.161037
SMX =422.728
0
400
800
plastic17.avi

トルクのばらつき



基準点a，締付け角度ϕ，
トルクのばらつき±10%

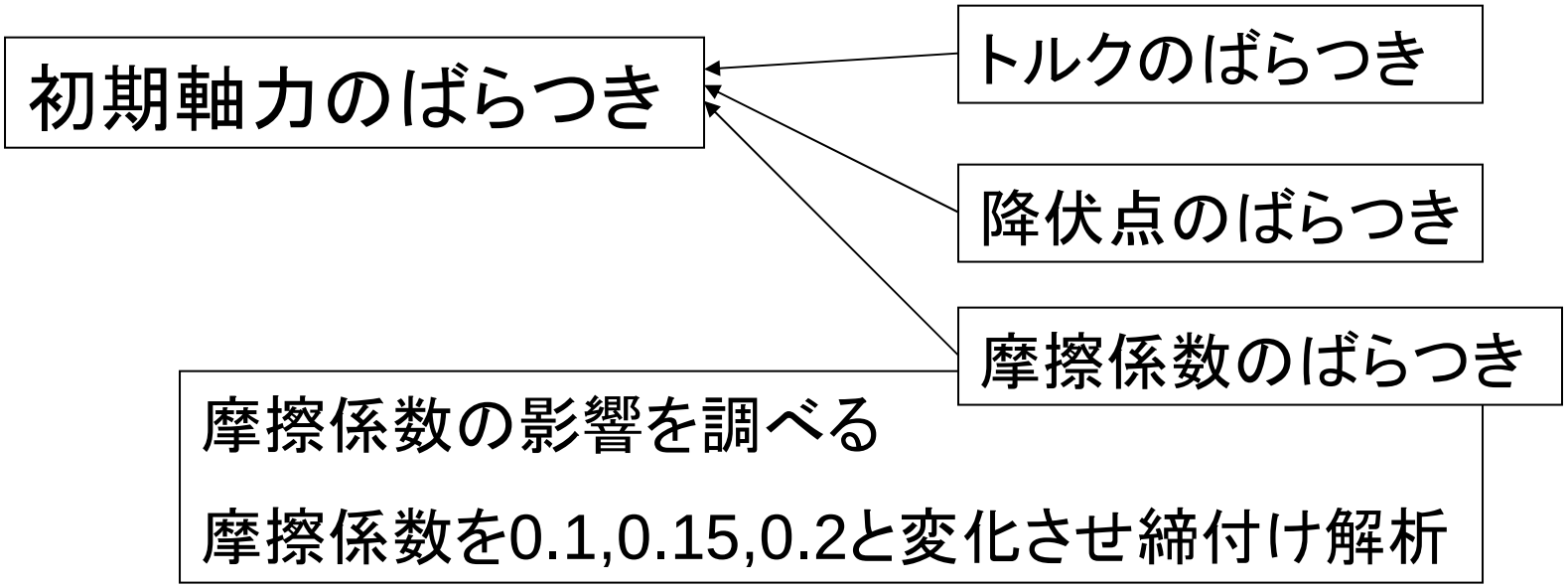
$$F = \frac{2T}{\frac{\mu}{\cos\alpha} d_2 + \frac{P}{\pi} + d_2 \mu}$$

軸力F，トルクT，ねじの有効径d_2，座面の等価直径d_w，ねじ山半角α，ピッチP，摩擦係数μ

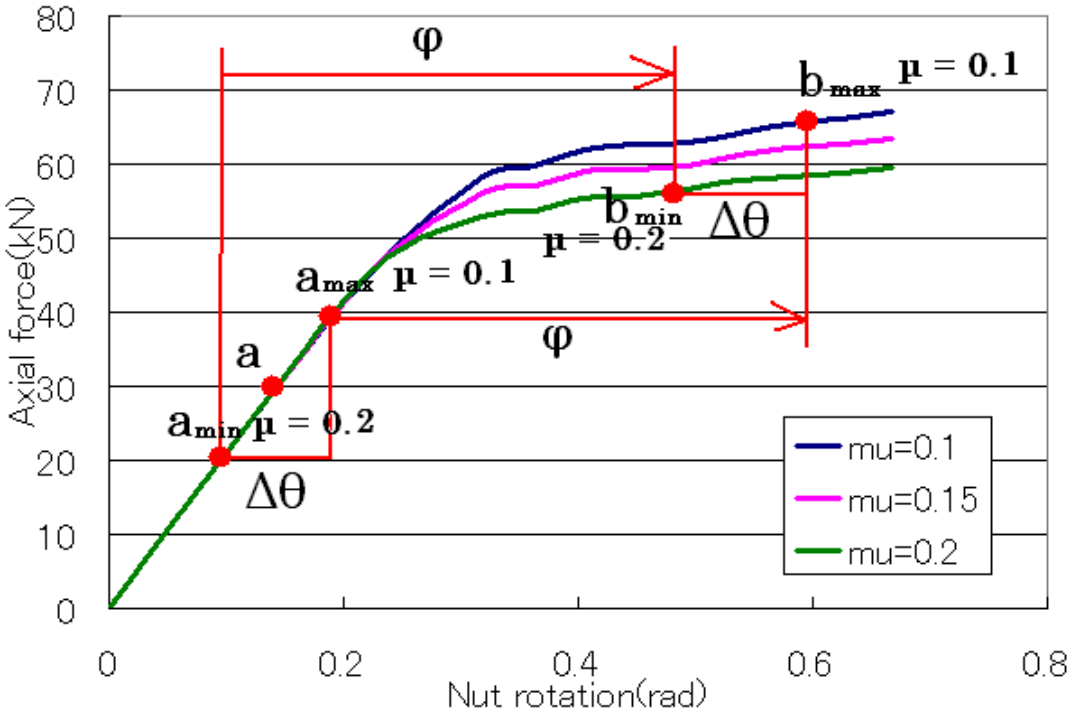
a_{max}，a_{min}の軸力の差が9 kN，b_{max}，b_{min}の軸力の差が0.8kN

塑性締めを行うことで軸力のばらつきは12分の1程度に抑えられる

摩擦係数による影響


初期軸力のばらつき
トルクのばらつき
降伏点のばらつき
摩擦係数のばらつき
摩擦係数の影響を調べる
摩擦係数を0.1,0.15,0.2と変化させ締付け解析

摩擦係数のばらつき



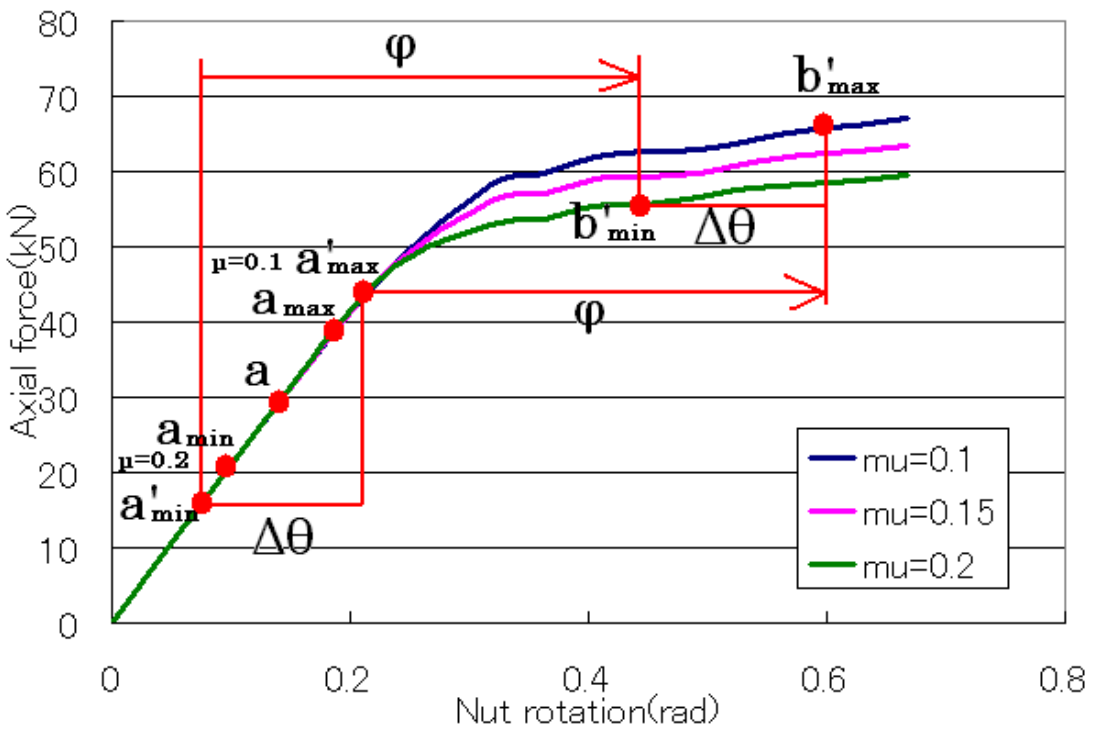
基準点a，締付け角度φ，摩擦係数のばらつき33%

a_{max}は摩擦係数0.1の軸力

a_{min}は摩擦係数0.2の軸力

a_{max}，a_{min}の軸力の差が21kN，b_{max}，b_{min}の軸力の差が8kNとなり，塑性締めすることで軸力のばらつきを4割程度に抑えることが出来る

トルクと摩擦係数のばらつき



トルク±10%，摩擦係数±33%

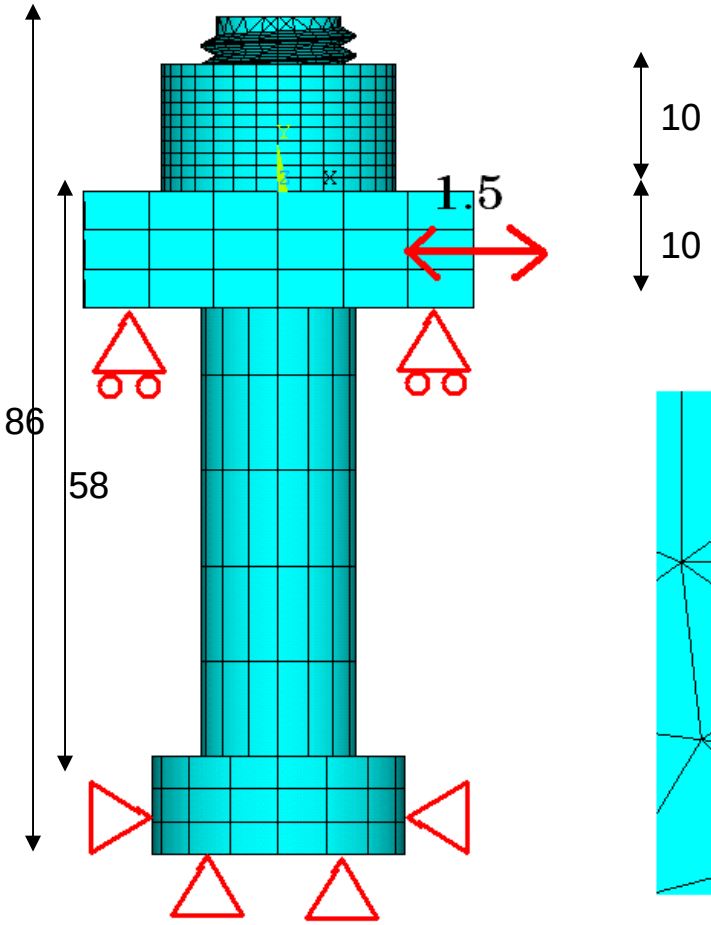
a’$_{max}$，a’$_{min}$の軸力の差は34kN，
b’$_{max}$，b’$_{min}$の軸力の差は9.5kN

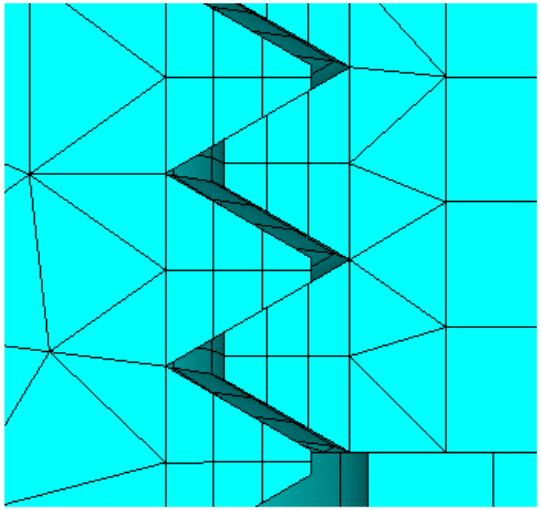
塑性締めを行うことによって軸力のばらつきを抑えるメカニズムを明らかにした

ゆるみへの影響

- 塑性締めされた締結体に対し，被締結物に軸直角方向強制変位を与えてゆるみを観察
- 弾性限界の95%で締付けられた締結体との比較を行う
- ゆるみの観察はねじ谷底の丸みを考慮しない三次元有限要素モデルを使用する

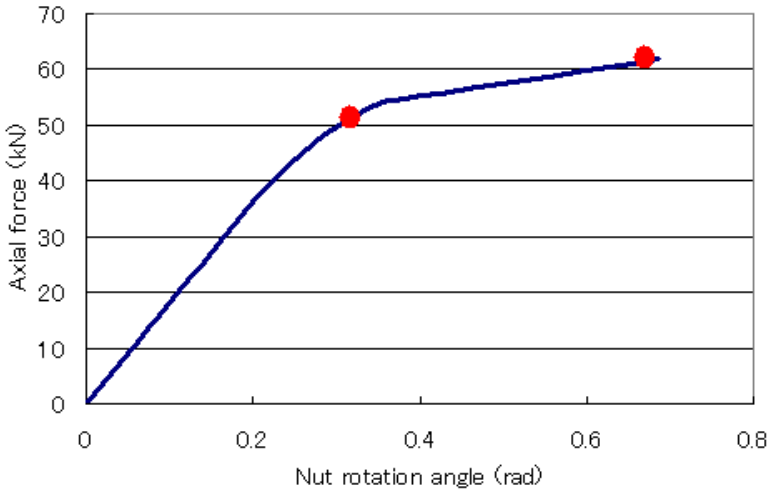
有限要素モデル



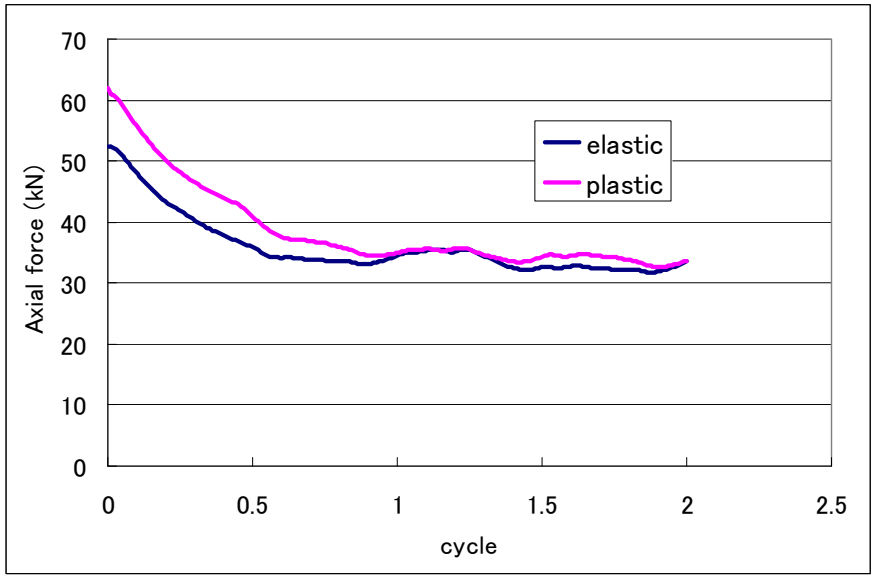


ヤング率	205GPa
ポアソン比	0.3
降伏応力	400MPa
降伏応力(ナット)	600MPa
接線係数	3203MPa
摩擦係数	0.1
要素数	160903
節点数	135549

軸力の変化



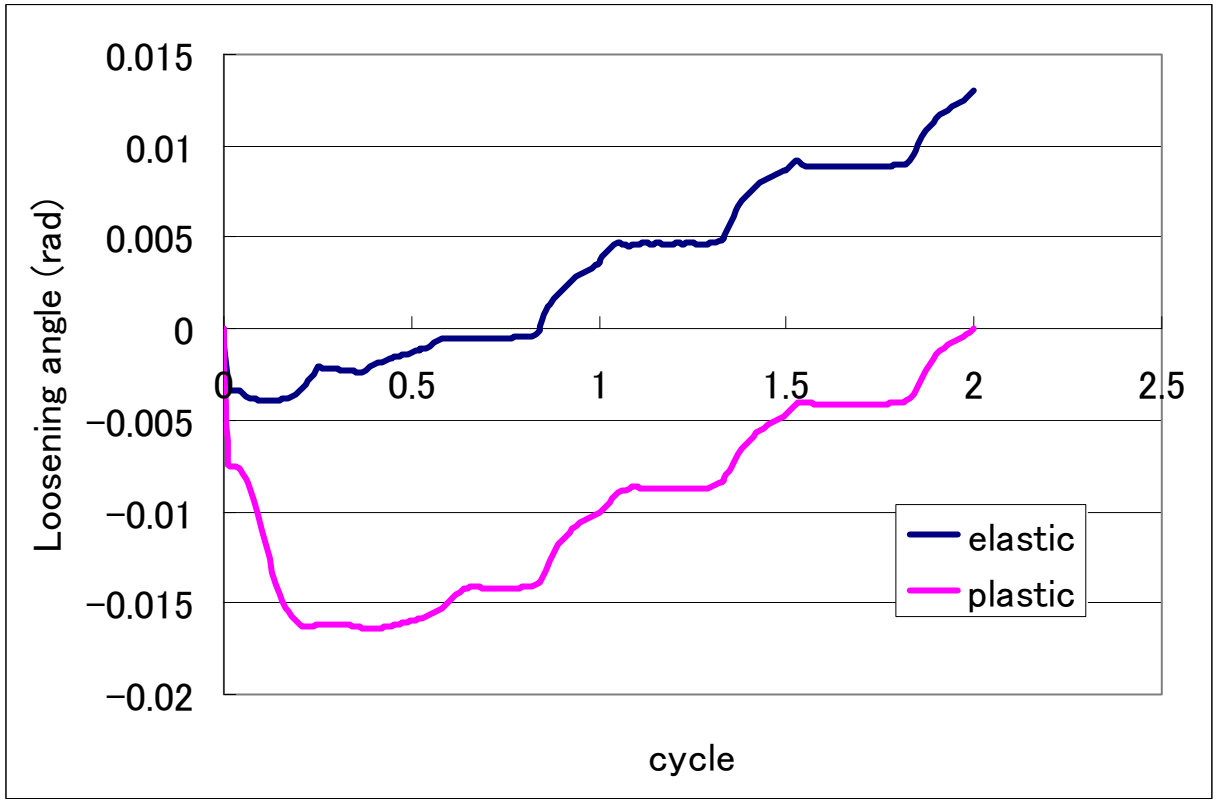
締付け過程の軸力変化



ゆるみ過程の軸力の変化

2サイクル目以降、塑性と弾性で軸力低下の様子に大きな差はない

ゆるみ回転



塑性の方がボルトの初期ねじれの開放が大きいため差ができるが、ねじれ開放後のゆるみ回転は弾性と大きな差はない

ゆるみ回転角(ナットとボルトの相対回転角)

ゆるみについてのまとめ

- 初期のねじれの開放による軸力低下は塑性締めされた締結体の方が大きい
- ねじれの開放が終わったあと、塑性締めと弾性締めで軸力低下の様子に差はない
- 塑性締めしてもゆるみに関しては弾性締めとほとんど違いは無いと言える

結言

- 塑性締めされたボルトナット締結体に対し弾塑性の締付け接触解析を行った
- 塑性締めにより初期軸力のばらつきが小さくなるメカニズムを明らかにした
- 塑性締めのゆるみへの影響について考察した
  - 塑性締めしてもゆるみに対しては弾性締めとほとんど違いはない