

三次元接触・摩擦有限要素法解析による ねじ式テンショナの挙動解析

※ANSYS Conference発表 共同研究

○泉 聡志

(東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻)

中井 康貴 横山 喬 酒井 信介

高橋 郁臣(日本発条) 流石 一郎

ねじ式テンショナ

ベルトやチェーンからの入力に対して、ねじりばねとおねじの回転でトルクの授受を行い、回転を拘束されたためねじを出入りさせて張力を保つ機構。



めねじ

ケース
(内部におねじと
ねじりばね)

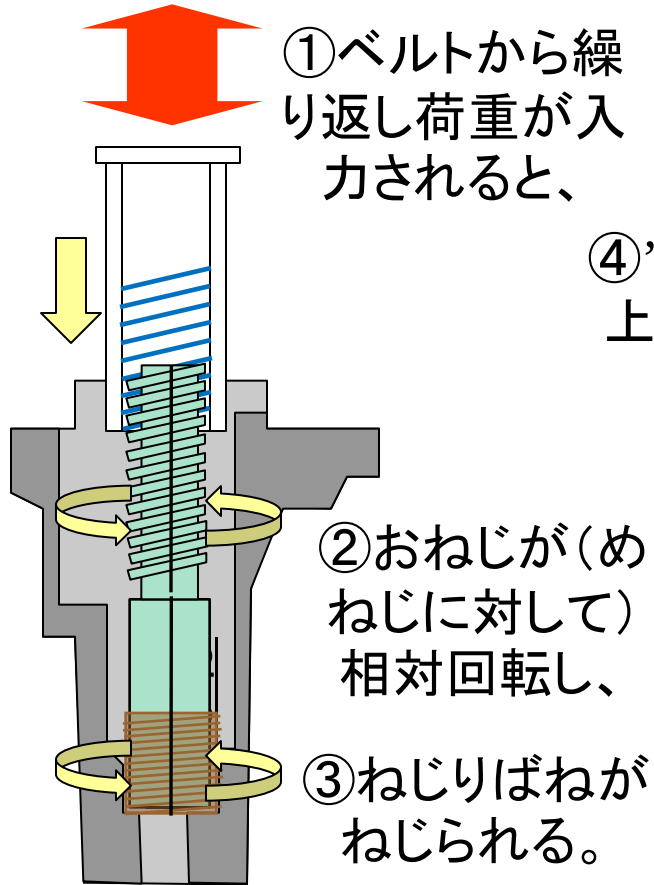
入力部

日本発条製

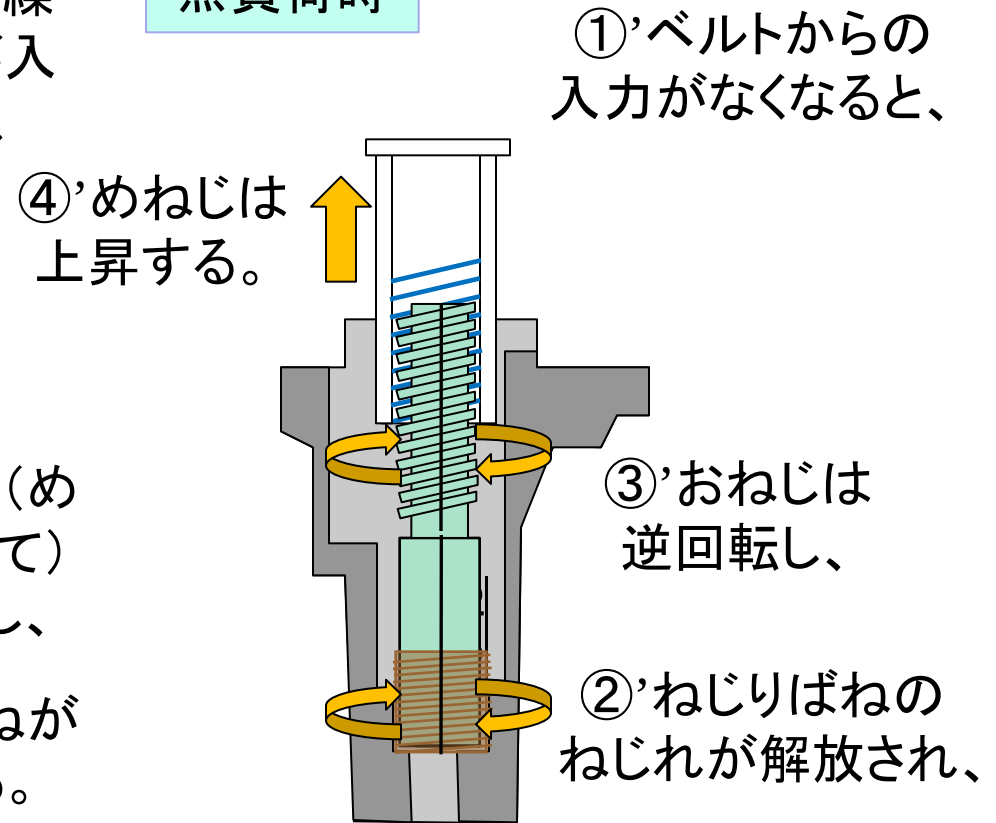
ねじ式テンショナの作動機構

ベルトやチェーンからの入力に対して、ねじりばねとおねじの回転でトルクの授受を行い、回転を拘束されたためねじを出入りさせて張力を保つ機構。

負荷時

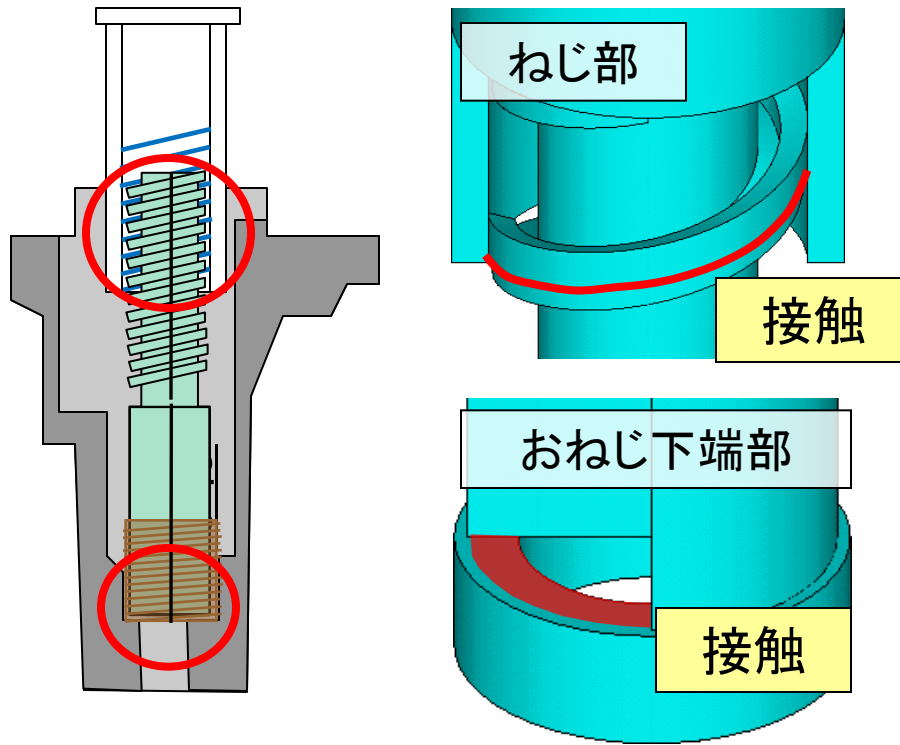


無負荷時

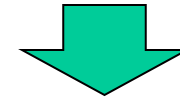


おねじの回転とねじりばねにより、無段階で張力を調整可能。

本研究の目的



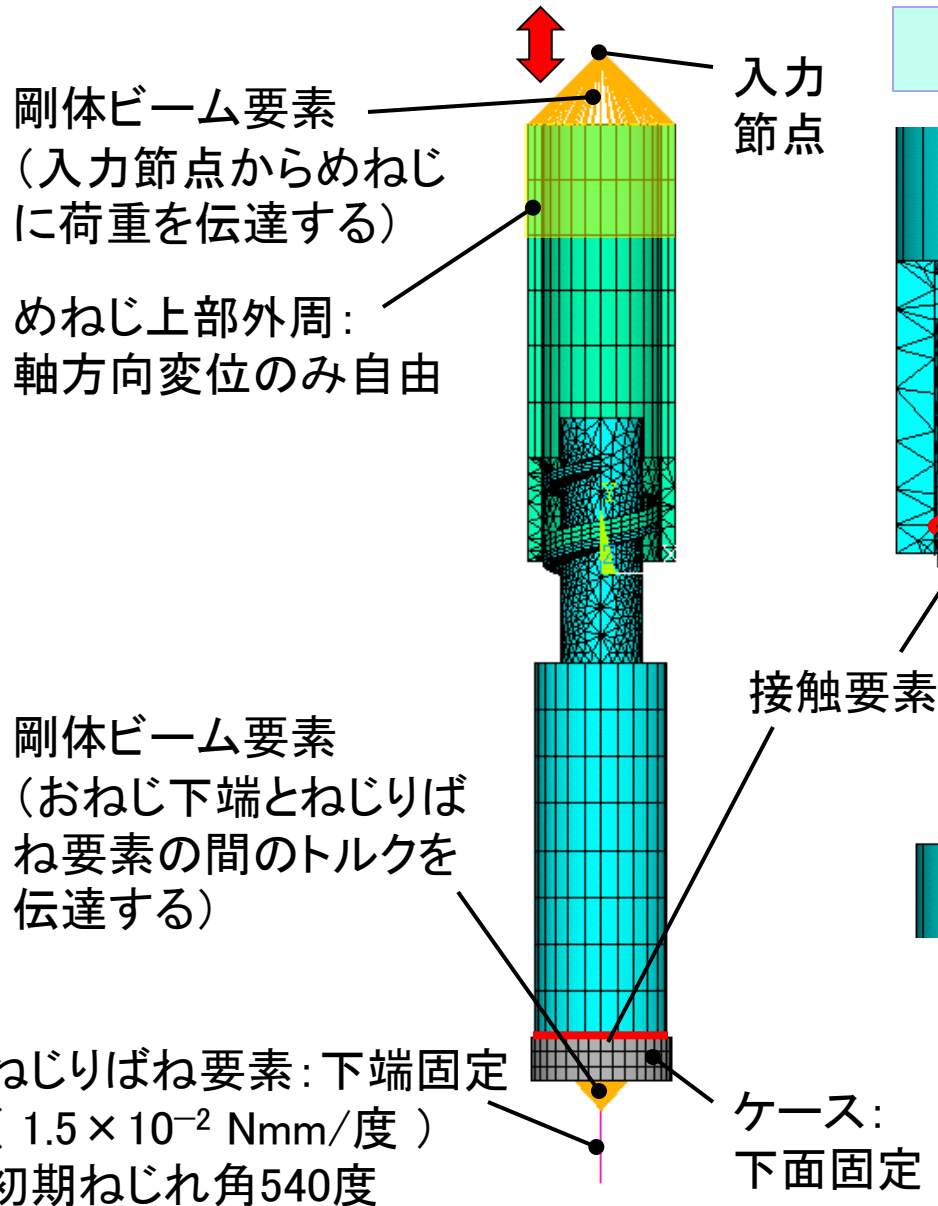
接触面における安定したすべり
挙動がテンショナーの安定した
作動に直結する。



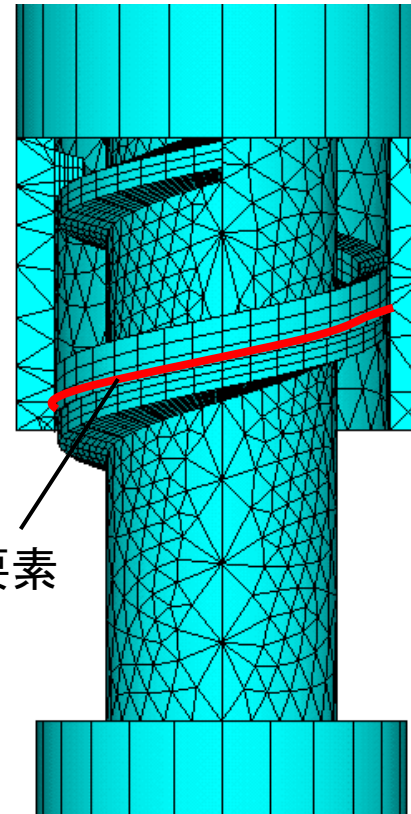
幅広い使用環境に対して、安定した
挙動を実現できる条件を見出したい。

本研究では、ボルト締結体挙動の三次元有限要素解析手法と
実験により、ねじ部とおねじ下端部における接触挙動を明らかにし、
ねじ式テンショナーの作動機構を解明する。

FEMモデル



はめあいねじ部詳細



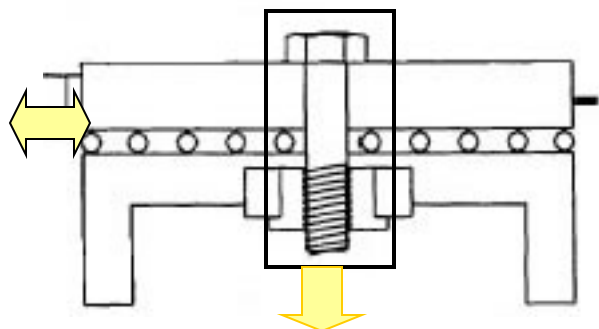
- ・有効径約14mmの台形ねじ。
- ・実際には三条ねじであるが、初期検討として同ピッチの一条ねじとした。
- ・はめあいねじ部は1ピッチのみ。

ヤング率: 205GPa
ポアソン比: 0.3
摩擦係数: 0.1 (エンジン油潤滑)

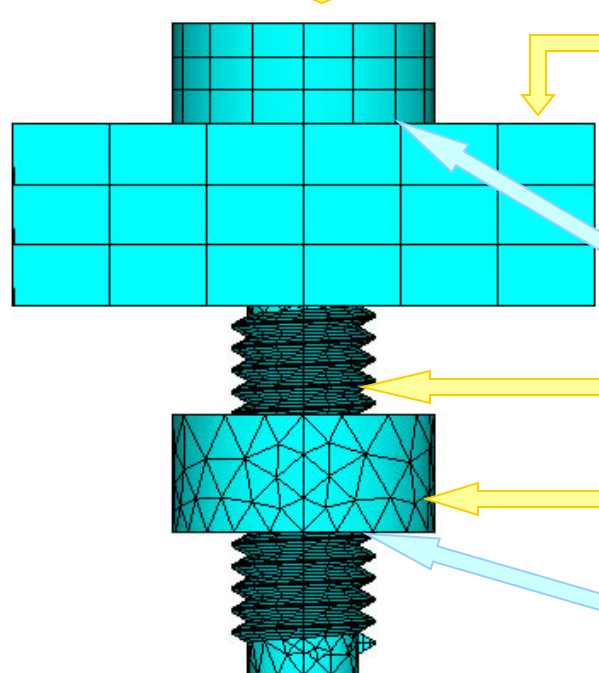
ボルト・ナット締結体のゆるみ解析

山本ら*による被締結物に軸直角方向外力が作用するゆるみ試験をモデル化

*山本晃, 賀勢晋司, 精密機械, 43-4, 470 (1977).



可動板と固定板の間の摩擦を無視して,
可動板のみをモデル化.



可動板

奥行き40mm, 幅40mm, 厚さ12.5mm,
ボルト穴径12mm
端面に振幅**0.3mm**の変位

ボルト座面接触

M10ボルト

ピッチ数15, ナットから6.5ピッチ突き出す.

ナット

ピッチ数4, ナット高さ7.5mm

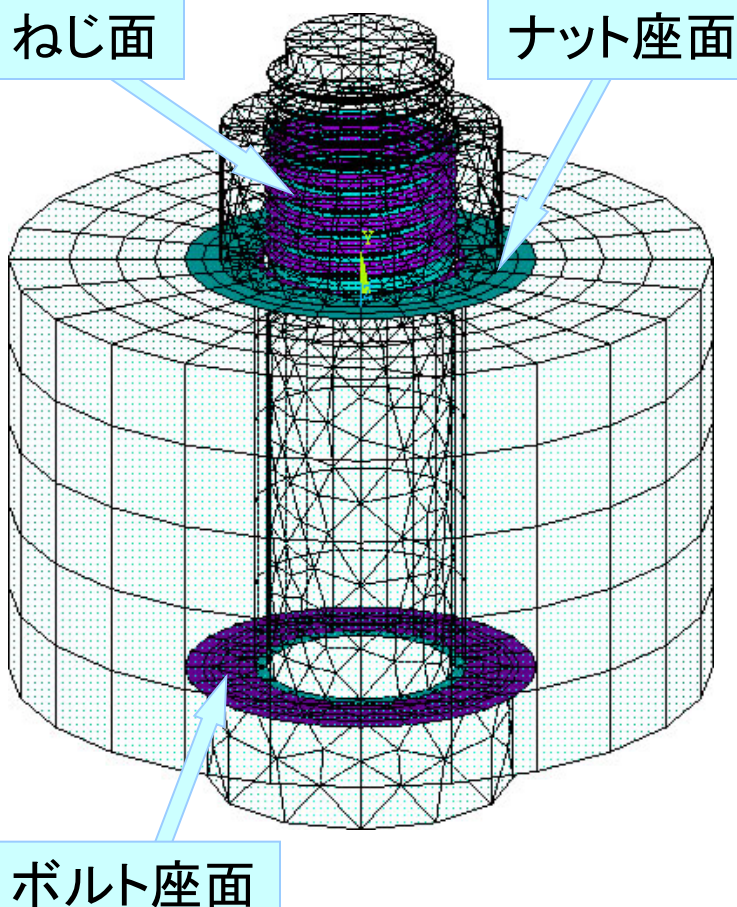
ねじ面接触

節点数: 22406 要素数: 9362

ヤング率205GPa, ポアソン比0.3, 摩擦係数0.17

接触のモデル化

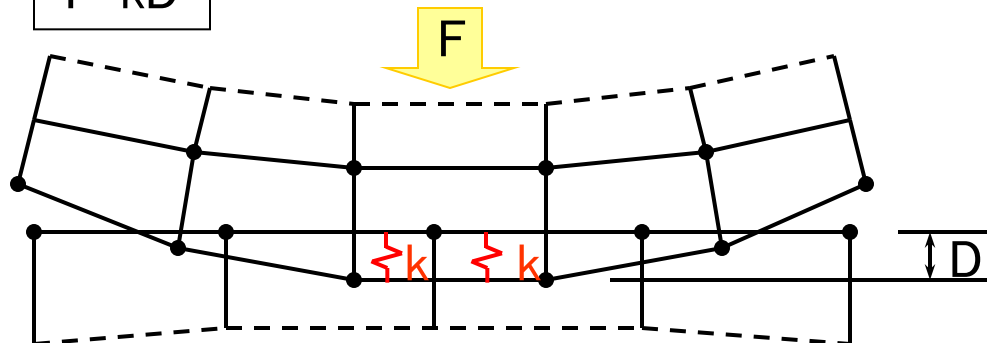
接触面



接触要素

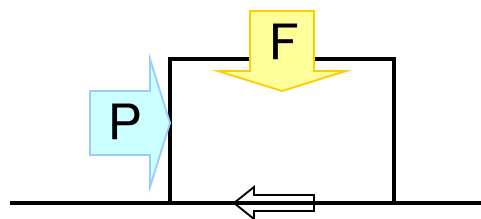
2つの領域が接触するときの関係を剛性により定義する. 本研究では, 接触面間にはばね剛性を使用するペナルティ法を採用.

$$F=kD$$



摩擦のモデル化

クーロン摩擦を採用.

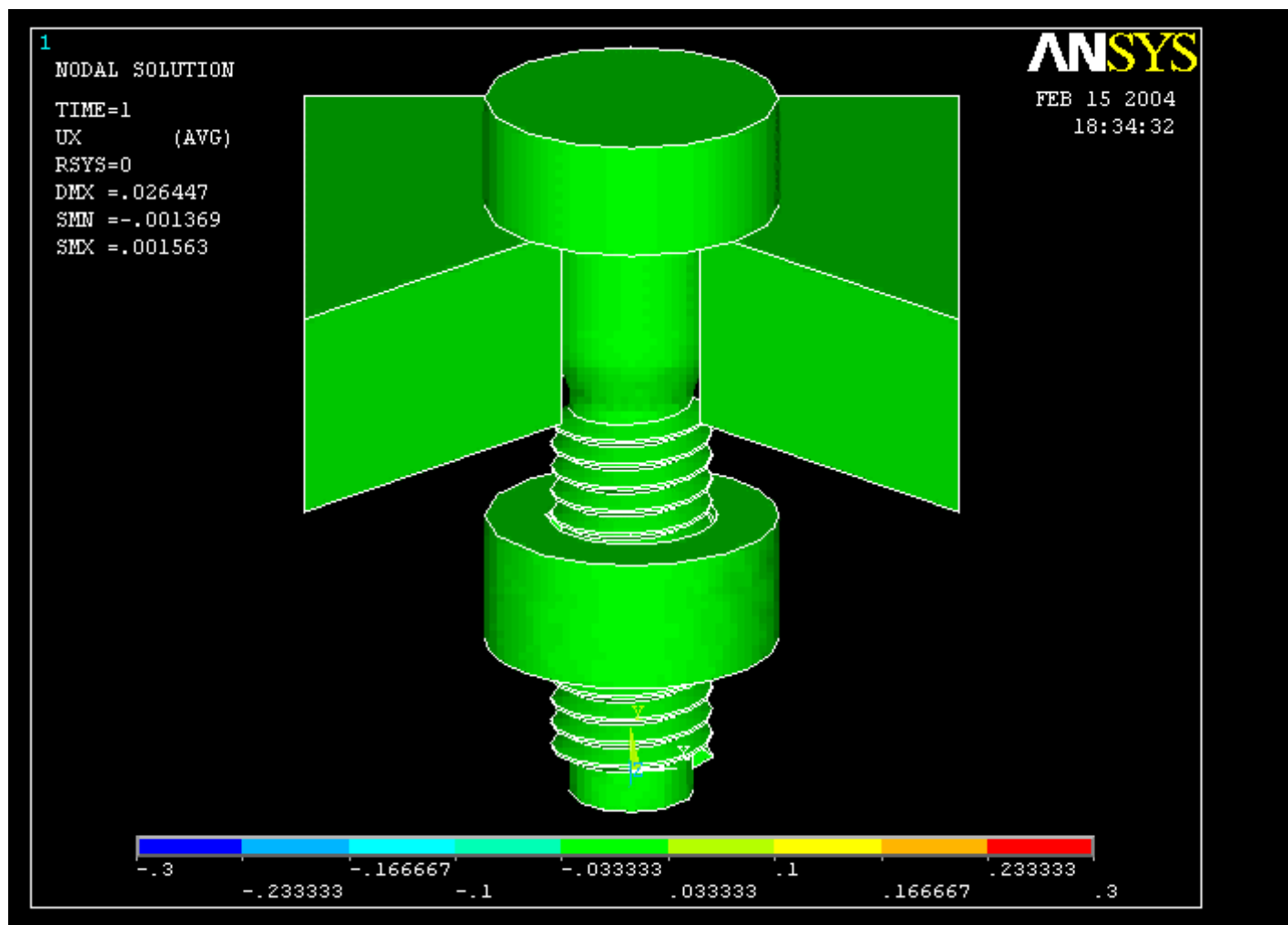


すべりの発生

$$P = \mu F$$

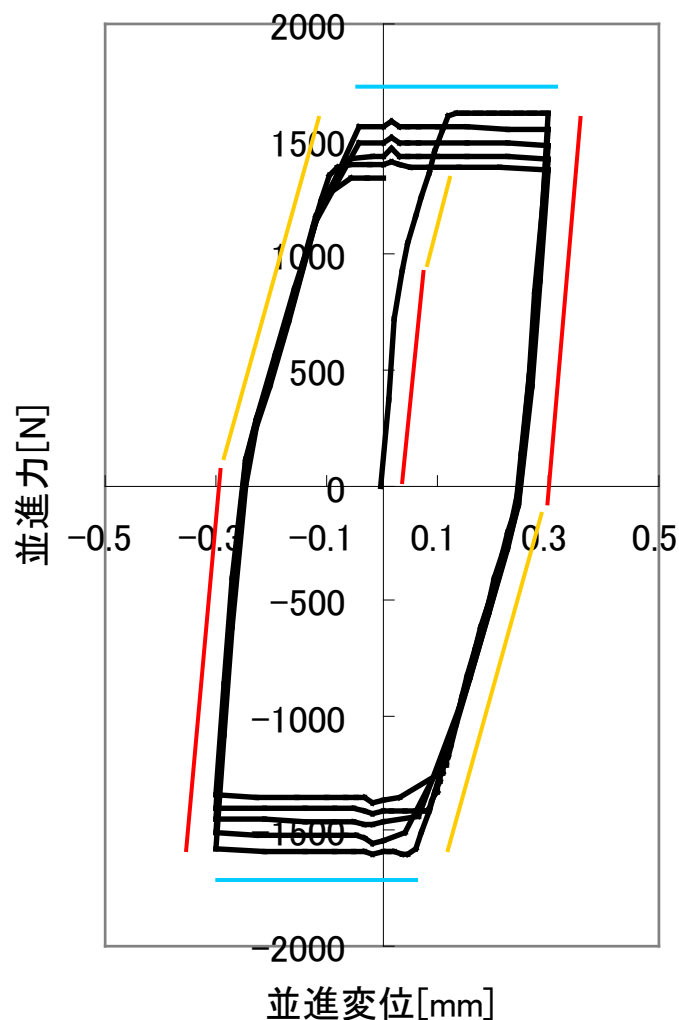
ボルトゆるみ回転の様子

並進方向変位コンター図(変位は5倍に拡大)

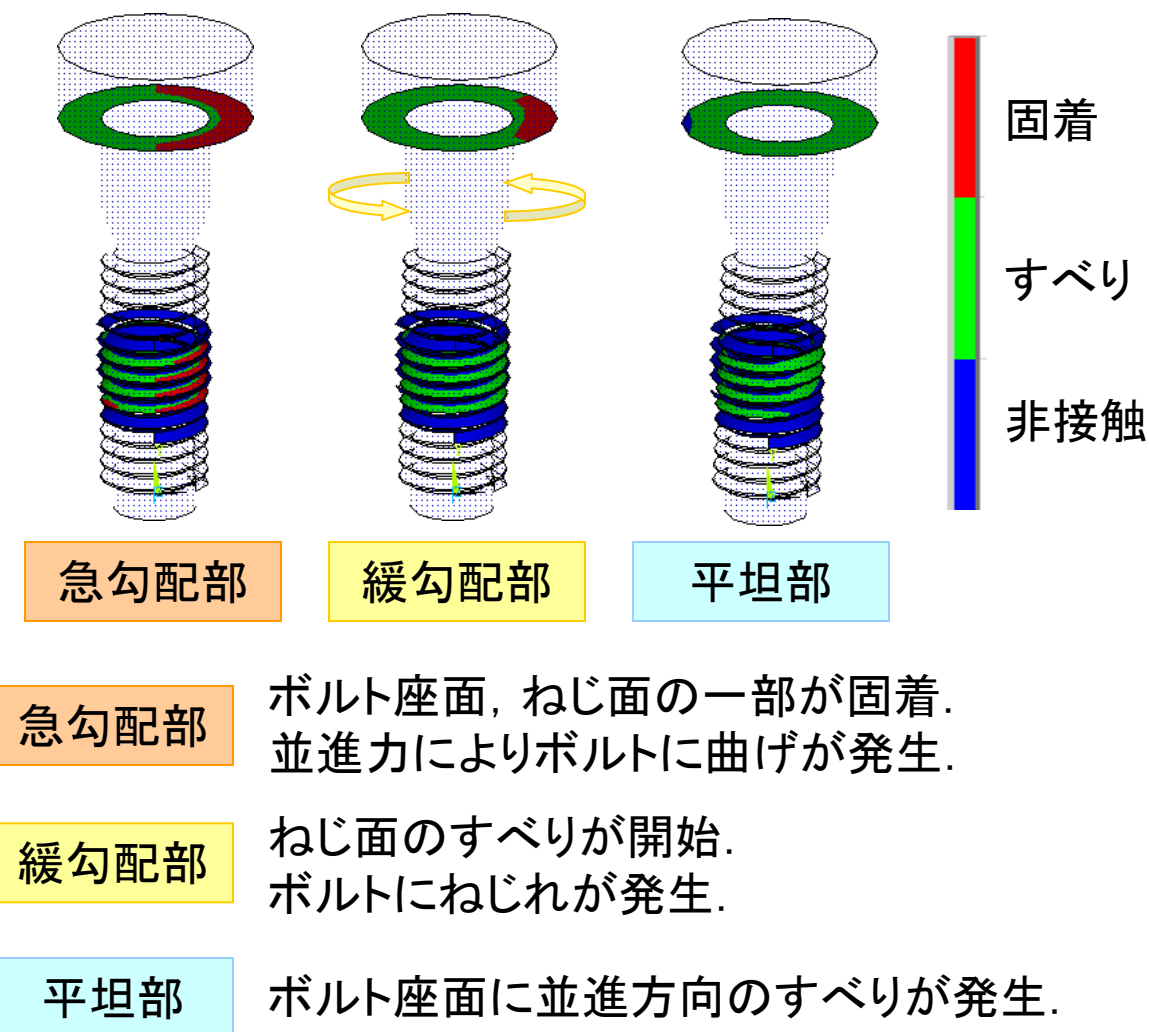


周期が進むにつれて、ボルト頭の手前と奥とで並進変位に差が生じる。

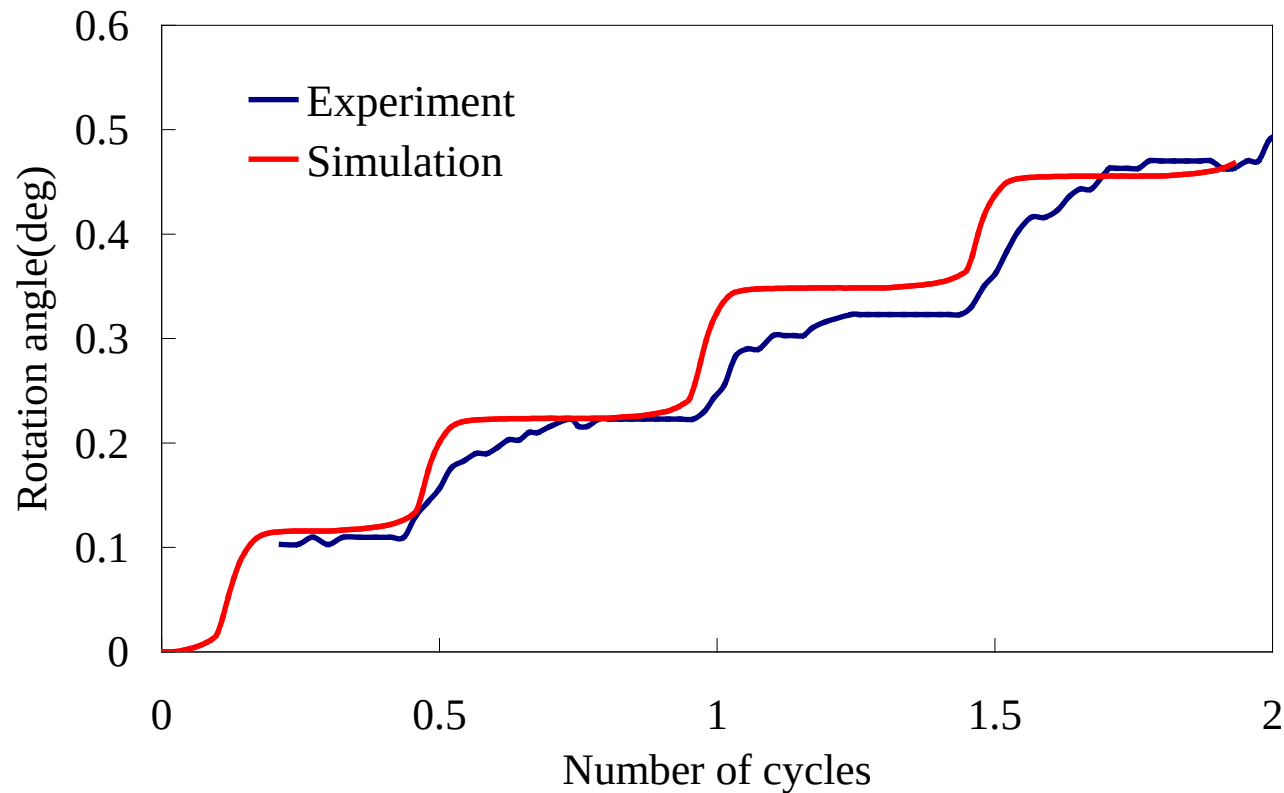
可動板に作用する並進力と並進変位の関係



ねじ面, 座面における接触状態



実験結果との比較



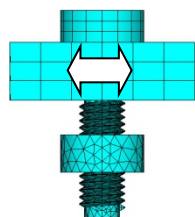
山本らによる実験※と一致

※山本晃ら 精密機械, 43(4), 470(1977)

酒井・泉研究室におけるボルト締結体の研究

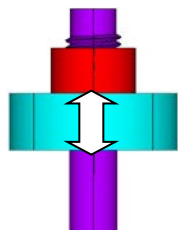
メカニズムの解明

- ・軸直角方向外力
／完全座面すべり



- ・軸直角方向外力
／微小座面すべり

- ・軸方向外力



- ・ブレーキディスク
(JR東日本)

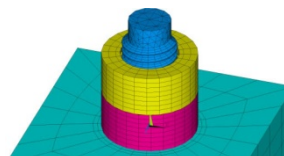
- ・技術移転

- (サンデン、荏原製作所)

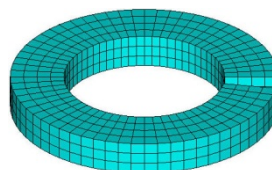
- + 数社共同研究立ち上げ中

ゆるみ止め部品の評価

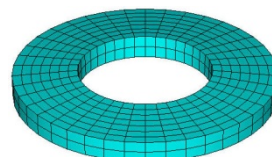
- ・ダブルナット
- ・平座金
- ・フランジナット
- ・ピストンナット
(新キャタピラー三菱)



- ・ばね座金

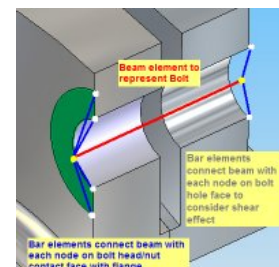


- ・皿ばね座金



- ・シンメトリーボルト
(アートスクリー)

締結体の簡易モデル化

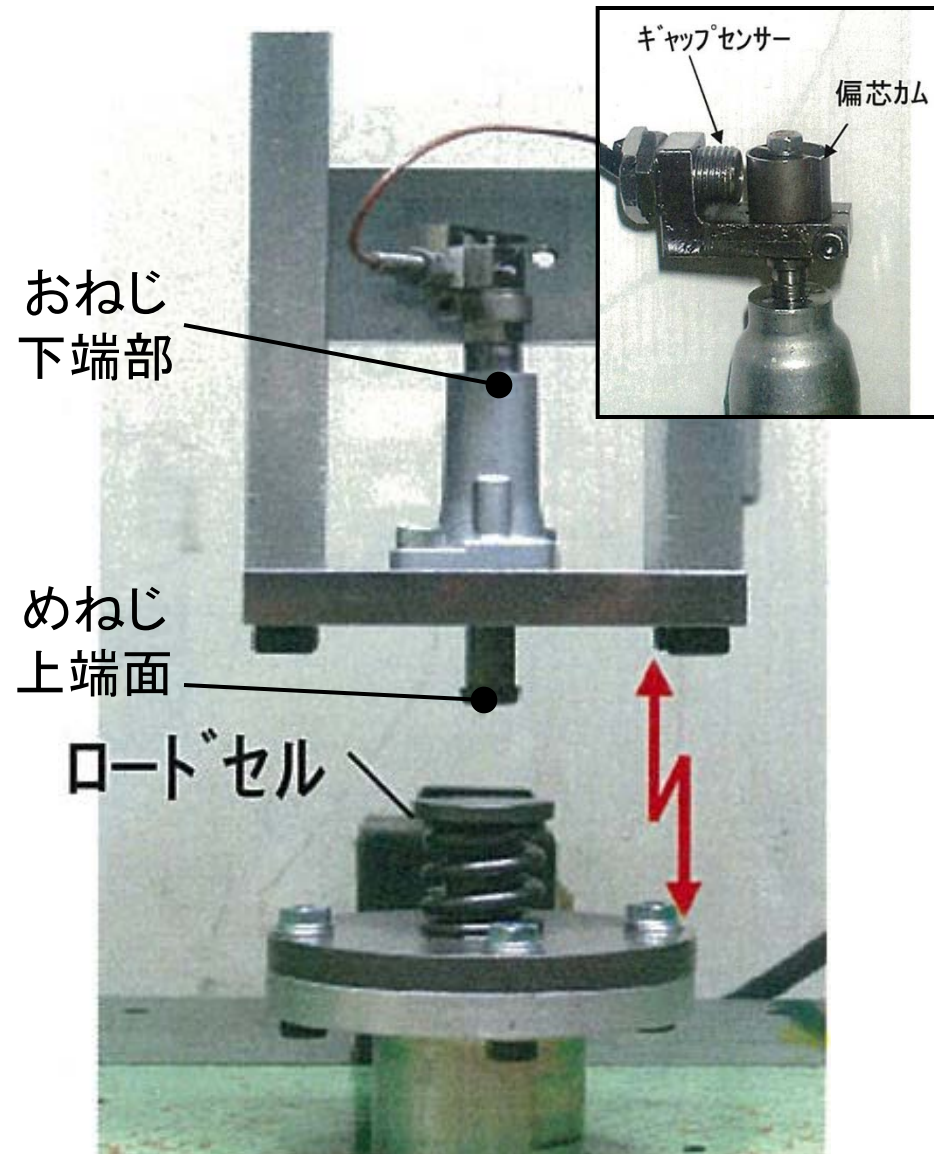


- ・ビーム要素を用いた簡易モデル
(日本機械学会研究分科会
ねじ締結WG)

実験

油圧試験機を用いて、めねじ上端面に振動を加えて、おねじ下端部の回転角を測定。
(FEMモデルとは上下逆)

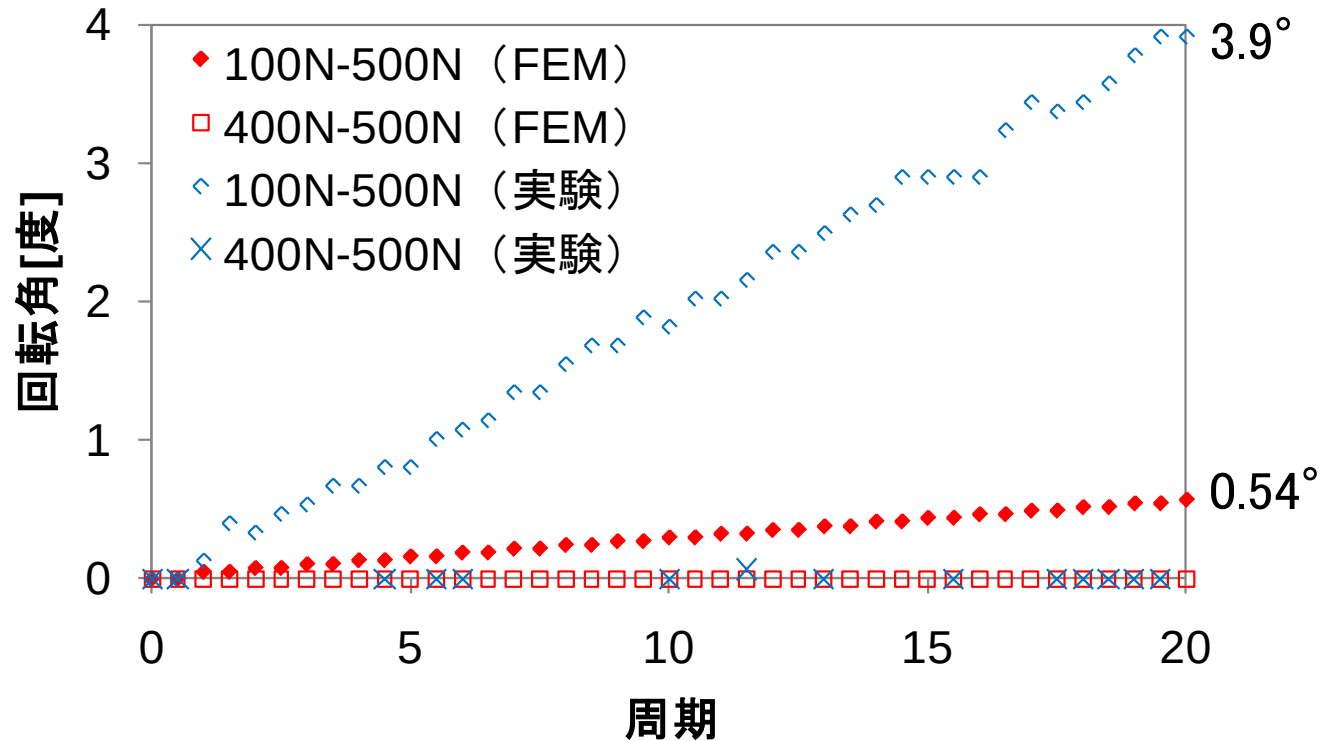
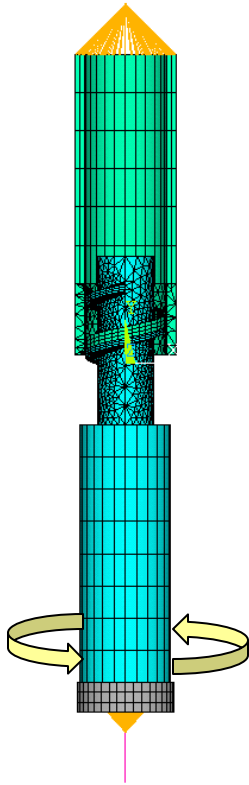
- ・潤滑: エンジン油
- ・荷重振幅:
100N-500N、400N-500N
(最大荷重は実機相当)
- ・振動数: 1Hz
(準静的FEMとの比較のため)



解析・実験結果

おねじ下端部の回転角

反時計回り(めねじが下降する方向)を正とする。



100N-500N: 回転が進む。

ばねのねじれトルク < ボルト下端の摩擦トルク < ねじ部の入力トルク
ただし、実験とFEMでは進行速度に差がある。

400N-500N: 回転は進まない。

軸方向ゆるみと同じ傾向

おねじ回転の様子

1

NODAL SOLUTION

TIME=5

UX (AVG)

RSYS=0

DMX = .525E-03

SMN = -.261E-03

SMX = .190E-03

ANSYS 11.0

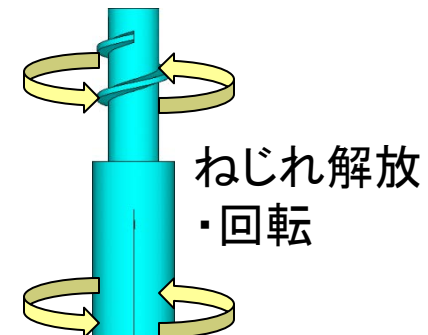
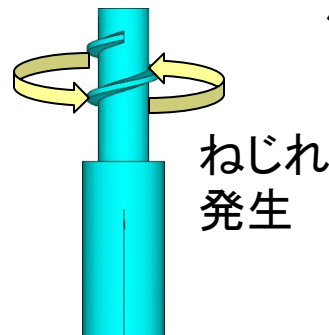
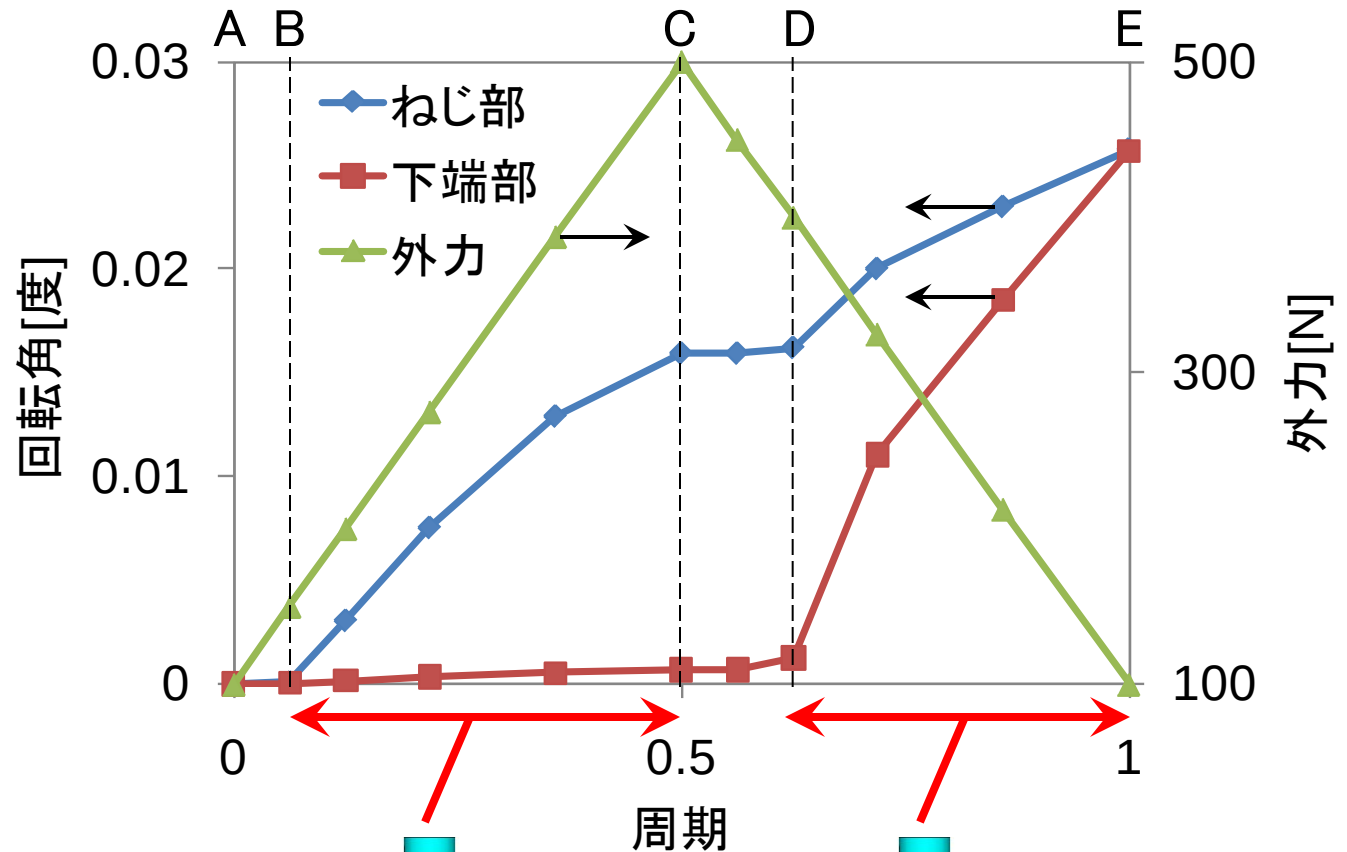
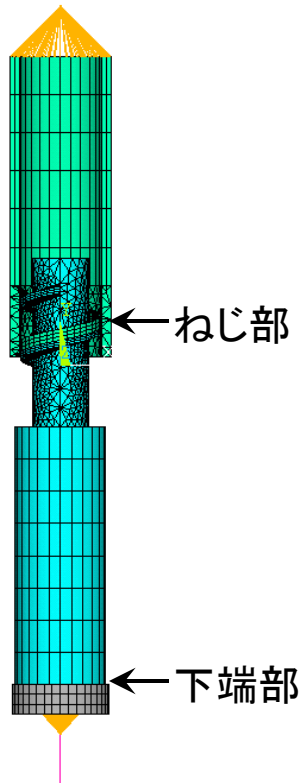
SEP 11 2009

00:18:26



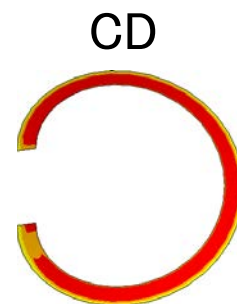
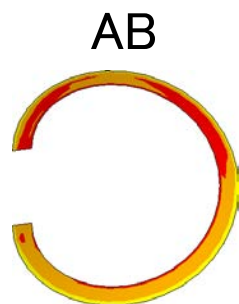
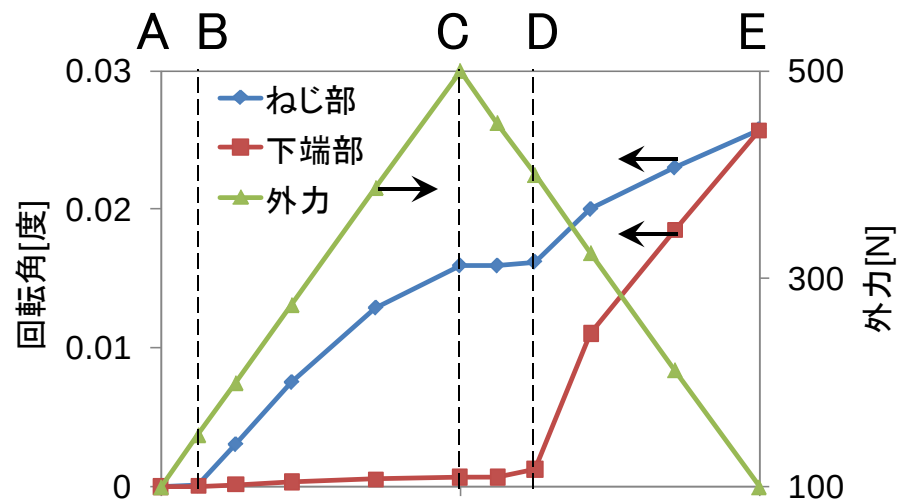
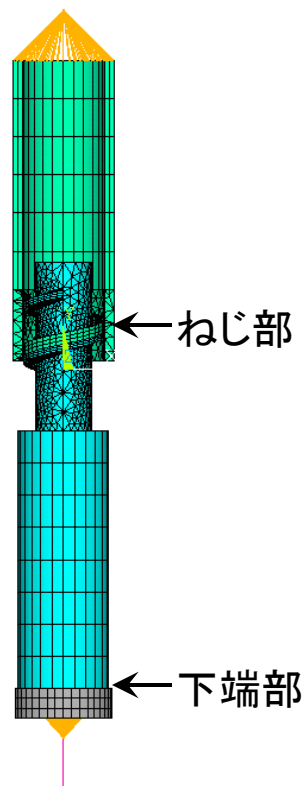
1サイクルにおける挙動 (FEM、100N-500N)

おねじ ねじ部、
下端部の回転角



1サイクルにおける挙動 (FEM、100N-500N)

おねじ ねじ部、
下端部の接触状態

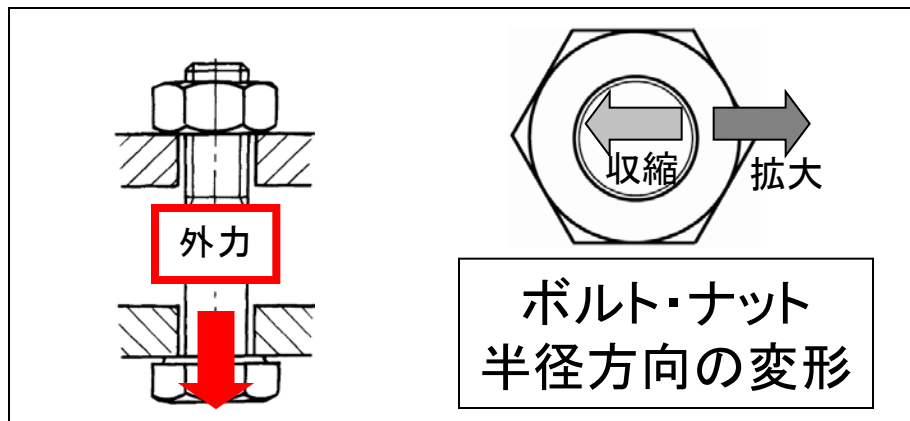


固着
すべり

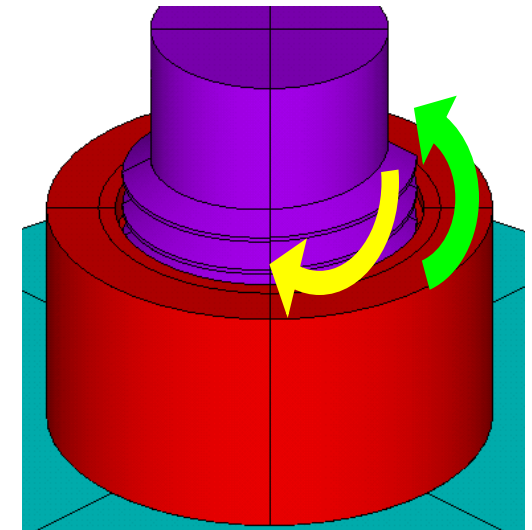
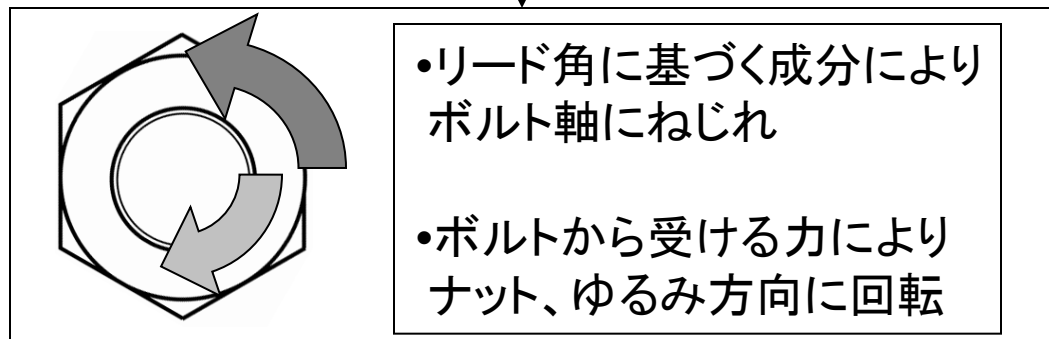
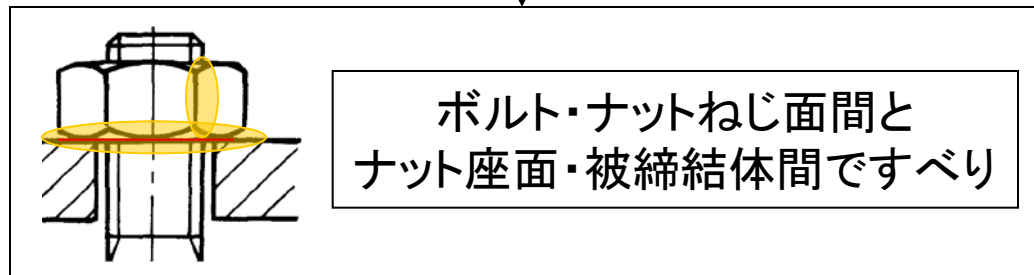
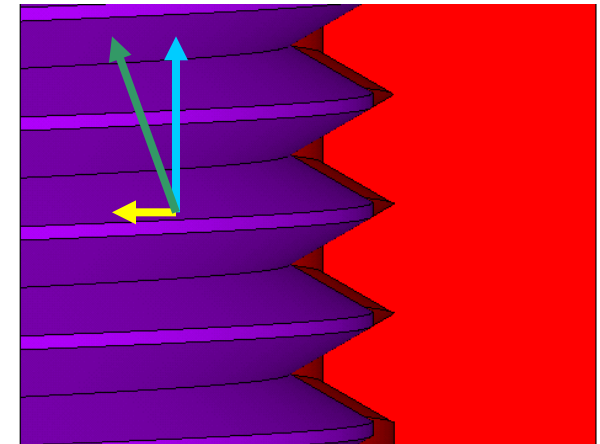
ねじ部回転

ねじれ解放
ねじ部、下端部とも回転

軸方向外力によるボルト・ナット締結体のゆるみ

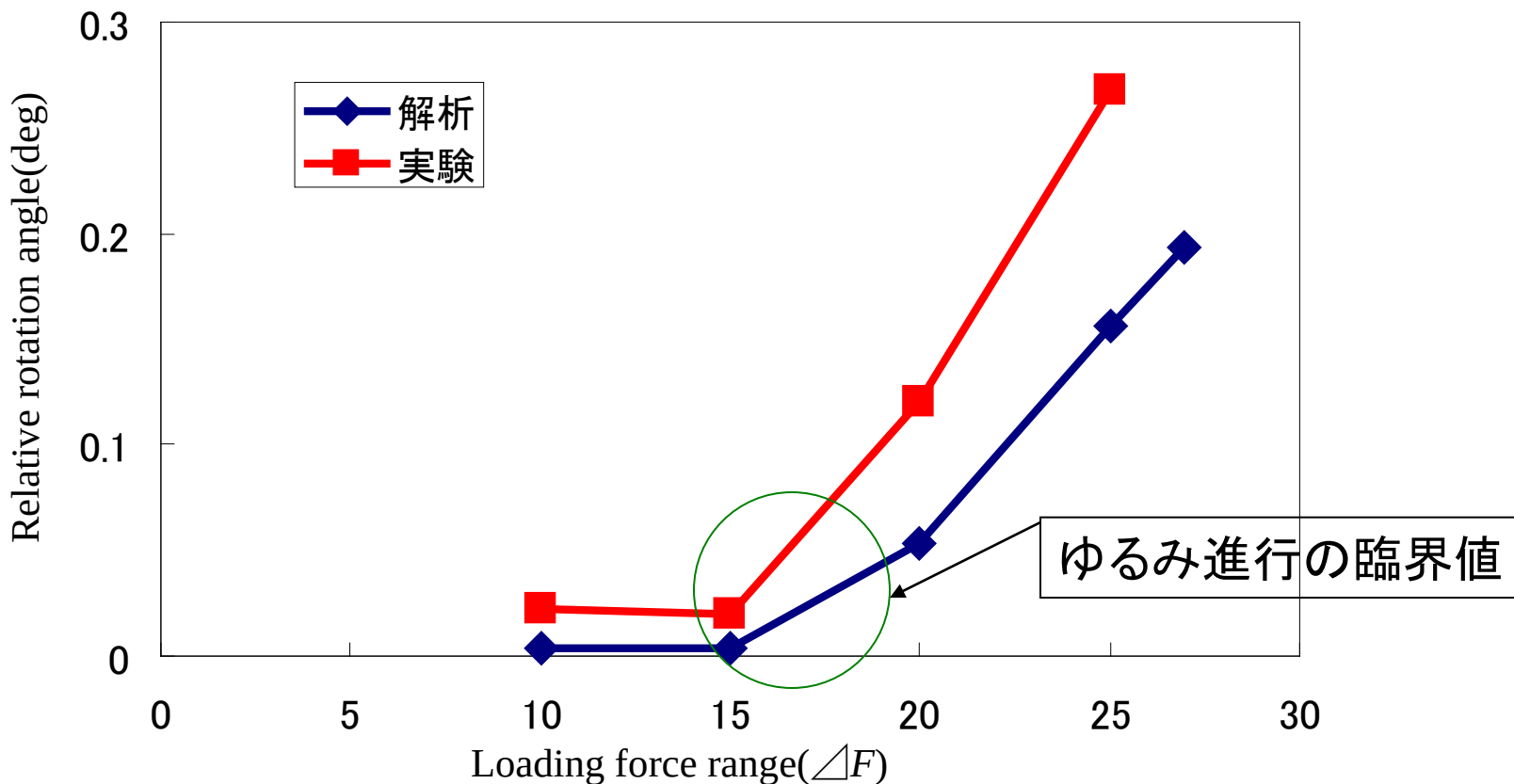


リード角に沿って
ねじ山を下る成分が存在



$\triangle F$ とゆるみの進行

摩擦係数 : 0.15

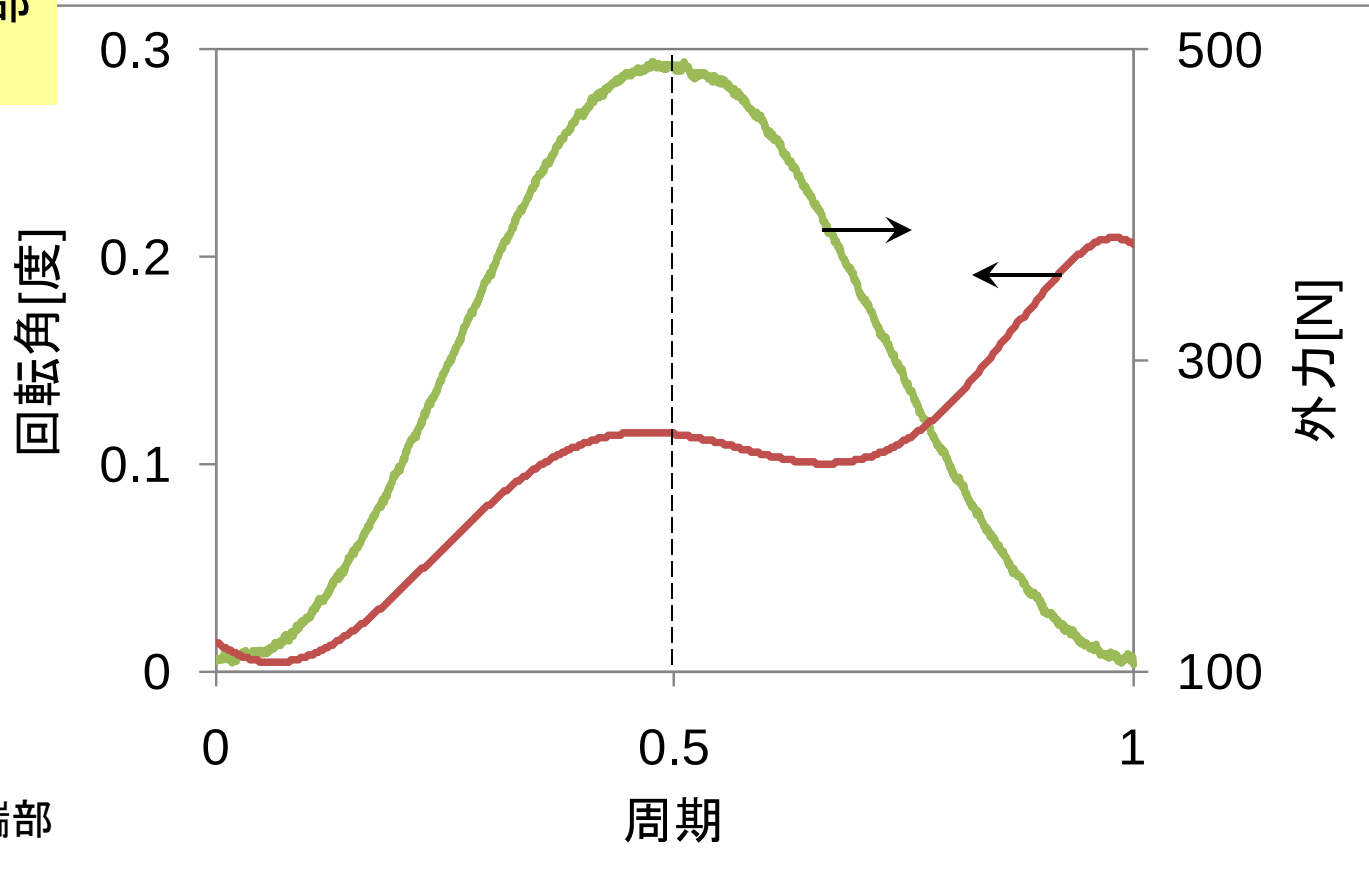
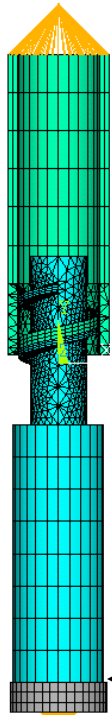


熊倉らの実験結果と定性的に一致

ゆるみが進行する臨界値(15~20kN)を再現

1サイクルにおける挙動(実験、100N-500N)

おねじ 下端部
の回転角

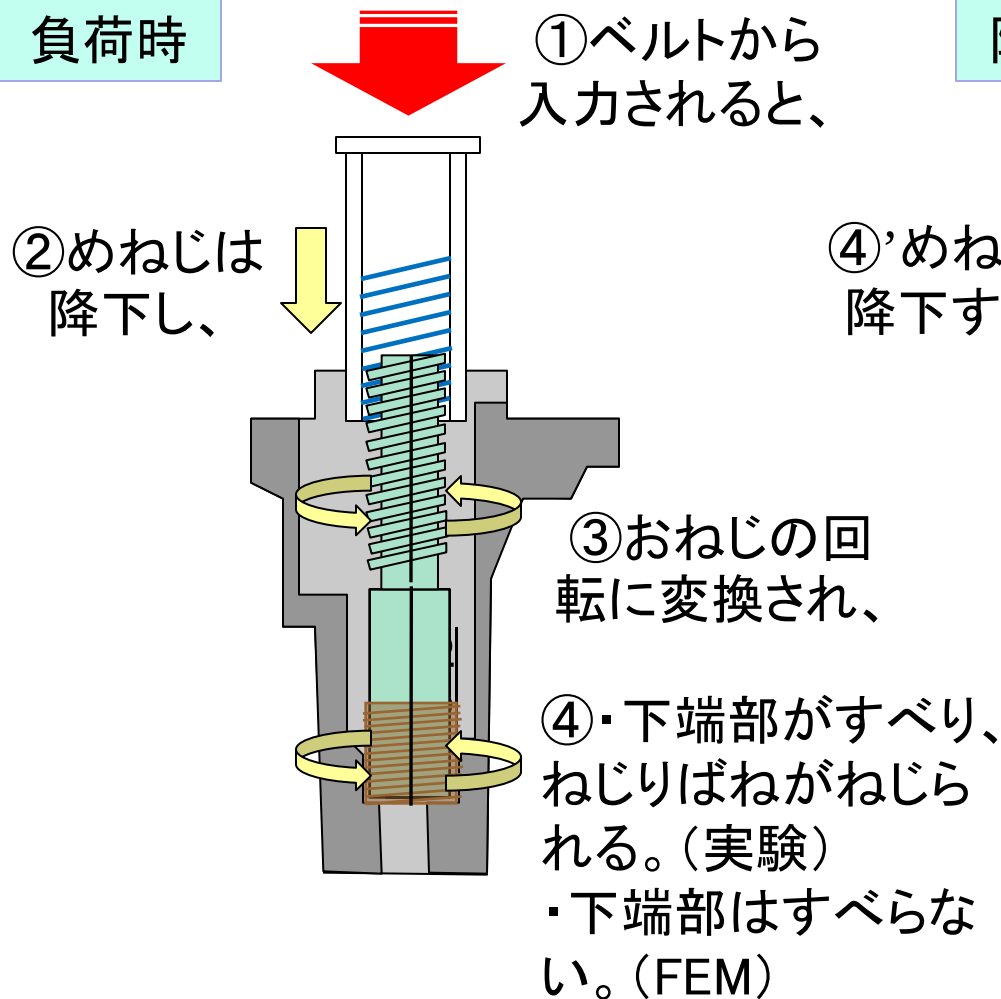


実験では負荷時においても回転が進行する。→実験とFEMの回転角の差
実験では負荷時においても下端部は完全すべり状態になっていると考えられる。

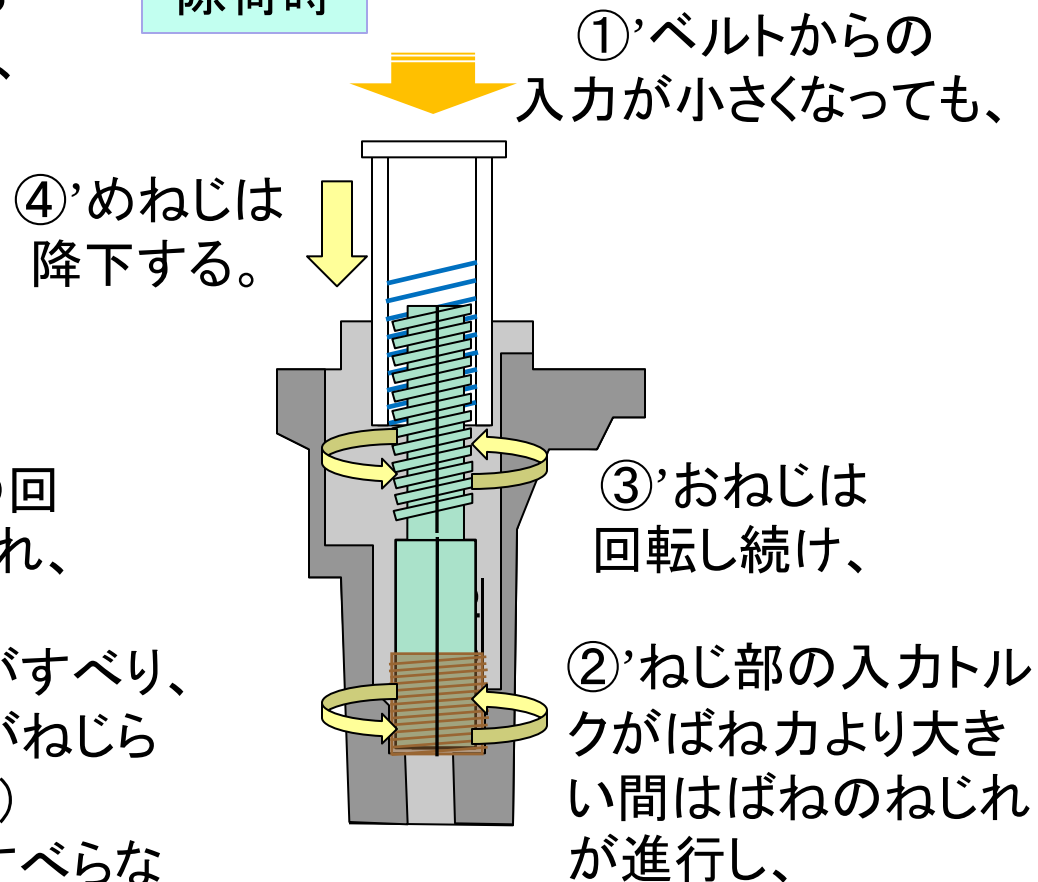
➡ ねじ部と下端部それぞれの摩擦係数について検討が必要。

100N-500Nの場合の観察された挙動のまとめ

負荷時



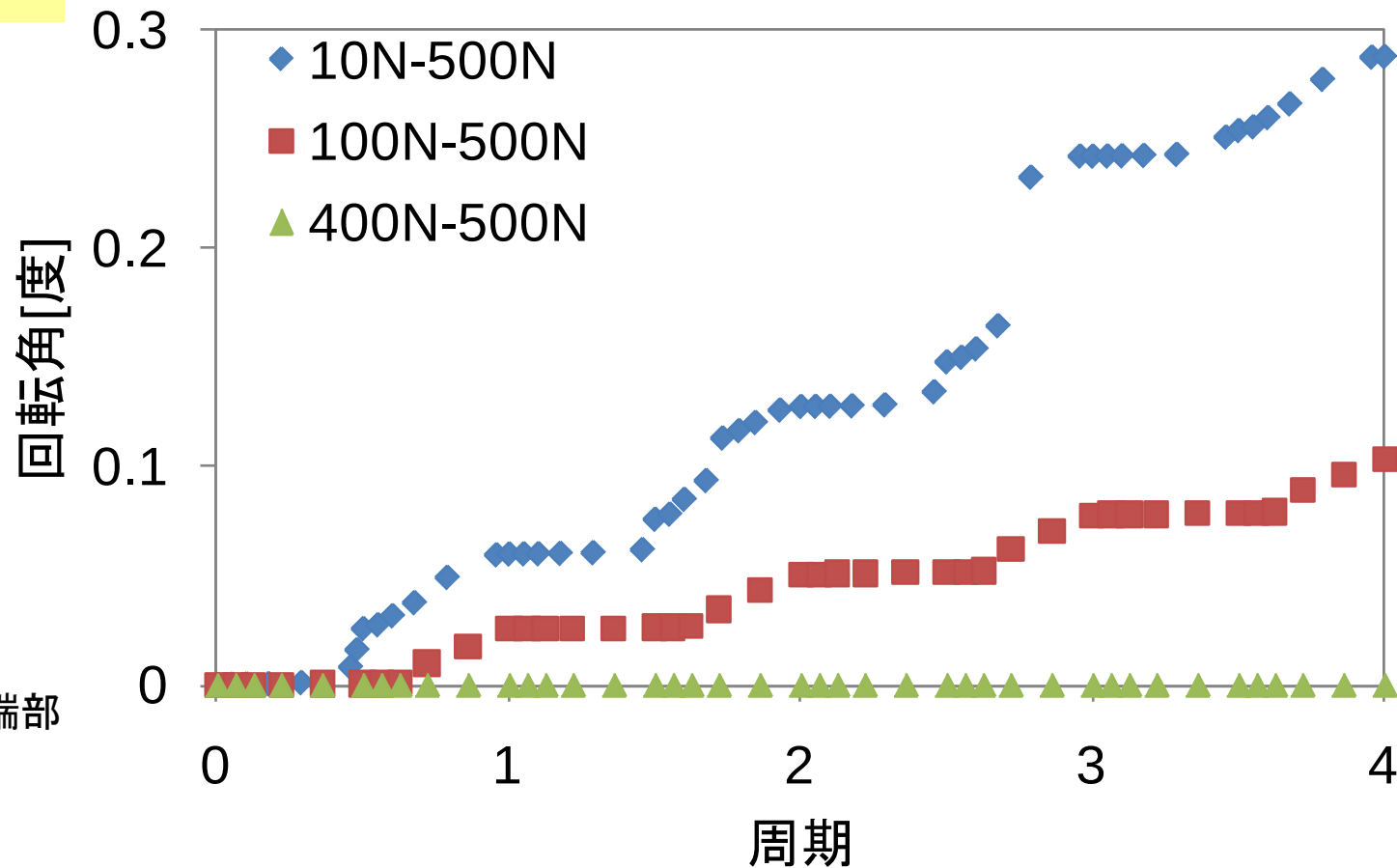
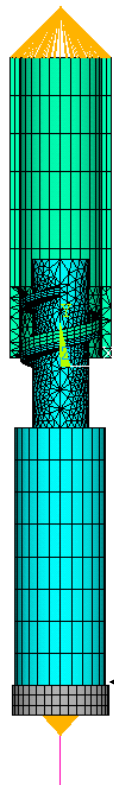
除荷時



※ばねのねじれが大きくなると、めねじが上下する状態に達するものと考えられる。

外力と回転速度 (FEM)

おねじ 下端部
の回転角



除荷時に回転が進行することから、最大荷重が不変でも最小荷重が小さいとなると回転が速くなる。

結 言

三次元FEMと実験によりねじ式テンショナの作動機構の解明を行った。

■FEMにより、負荷時に発生するねじ部の回転によって蓄えられたねじれが、除荷時に下端部ですべりが発生することによって解放されておねじの回転が進行することを明らかにした。

■おねじの回転が進行する場合、実験とFEMでは進行速度に差が見られた。実験では負荷時にも回転が発生することを確認した。

■今後、接触面の摩擦の扱いについて検討を行い、実験と合わせて、定量的なメカニズムの解明を進める。