

# 有限要素法によるボルト・ナット締結体の ゆるみ機構の解明と ゆるみ止め部品の性能評価

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻  
○木村成竹・泉 聡志・酒井信介

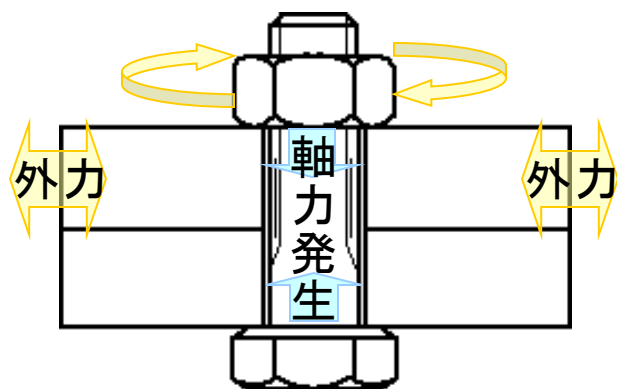
ANSYS Conference 2005

# 本日の発表内容

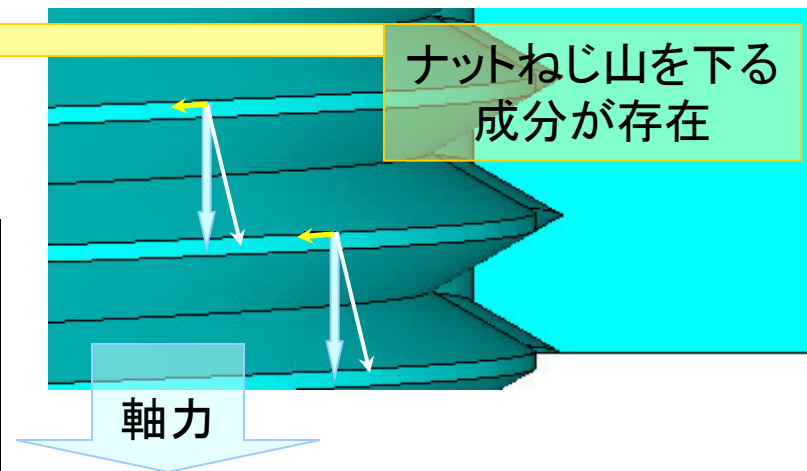
1. ボルト・ナット締結体の  
三次元有限要素法によるゆるみ解析
  1. 座面すべりの解析
  2. 微小座面すべり解析
2. ゆるみ止め部品の性能評価
  - ・ 座金、フランジナット
  - ・ ダブルナット

# ボルト・ナット締結体はゆるむ！

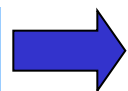
## ボルト締付け時の荷重成分



締結体に外力  
(軸直角方向)が  
作用し、つりあい  
が崩れると急速  
にゆるむ。



ボルト脱落事例



ゆるみのメカニズムは未だ未解明な点が多い

ポンプのボルト脱落 美浜1号あわや冷却水漏れ

Yahooニュース2005/3/22

日航機、エンジン取り付けボルトが脱落 高松空港で判明

朝日新聞 2005/4/8

山陽新幹線、軌道ボルトに緩み

朝日新聞 2005/4/28

ポイントの固定ボルト7本にゆるみ 静岡の東海道新幹線

gooニュース 2005/5/6

# 本研究の目的

1. ボルト・ナット締結体のゆるみ過程のメカニズムを三次元有限要素法解析により明らかにする
2. ゆるみ止め部品の性能評価による従来理論の修正、導入の考え方提示

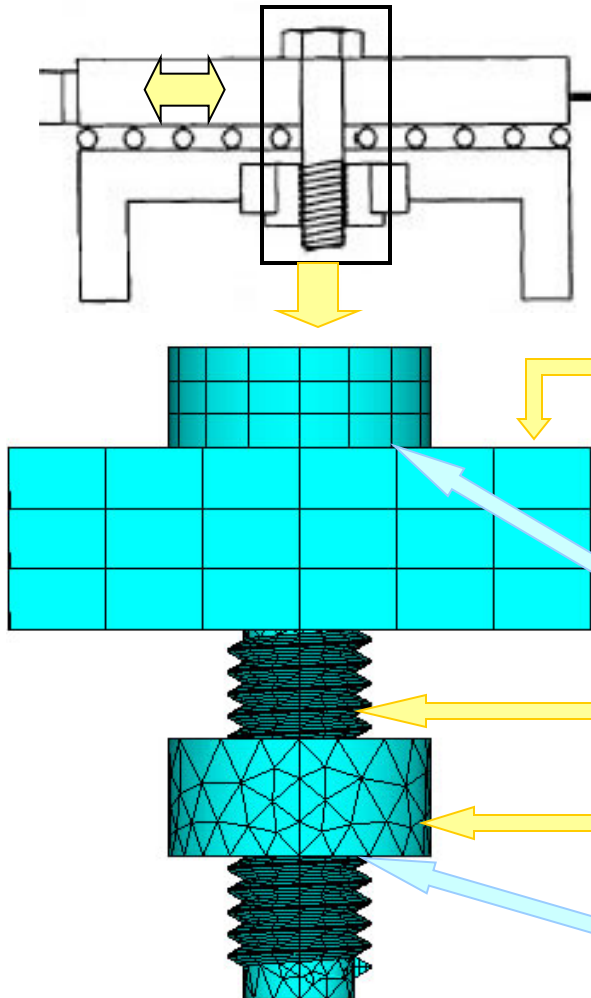
# 1. ボルト・ナット締結体のゆるみ解析

## 2-1. 座面すべりの解析

# 座面すべり解析モデル

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.

ボルト軸を短く作って初期干渉により  
軸力を発生

初期締結力 9.8kN

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

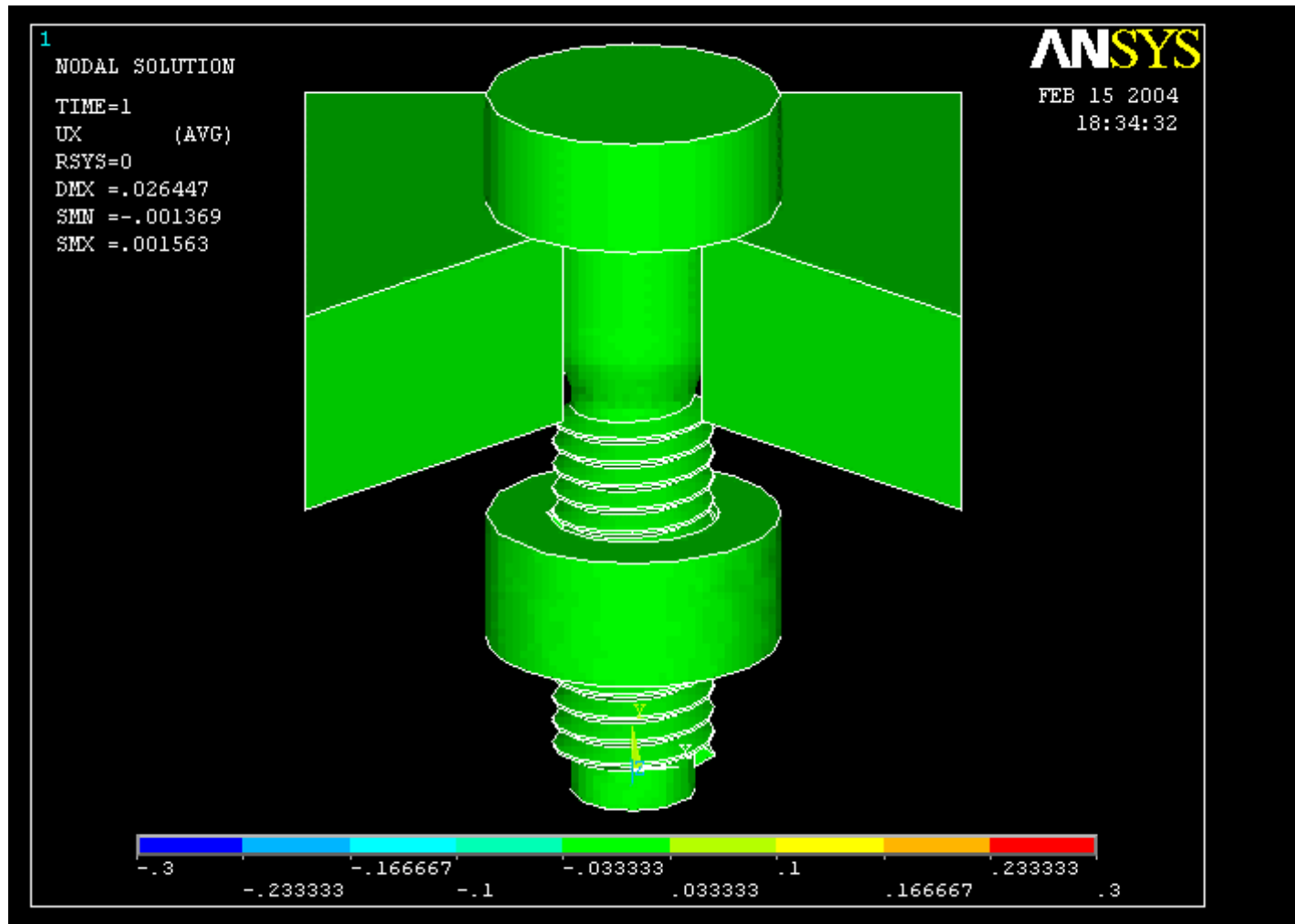
ねじ面接触

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

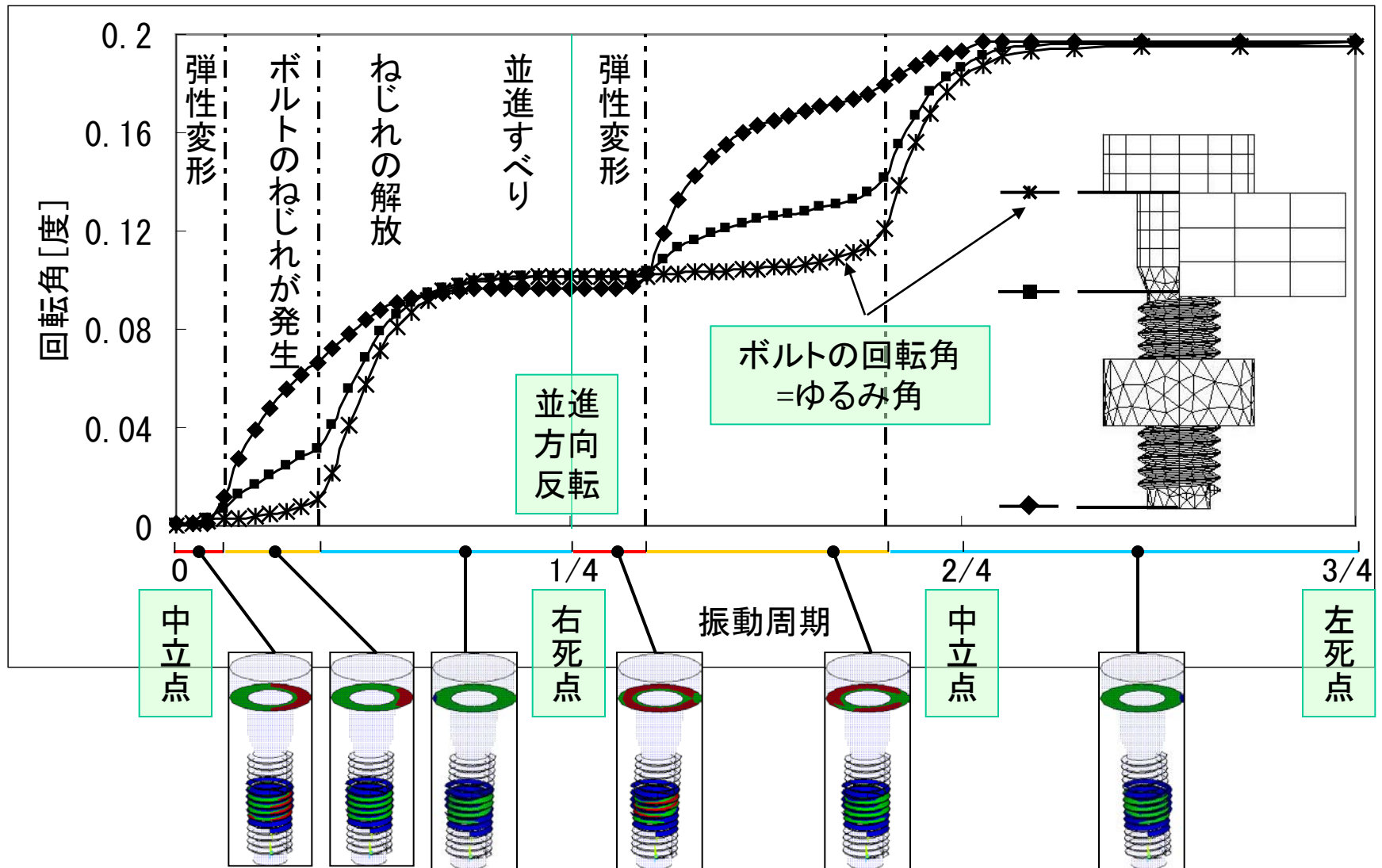
# ボルトゆるみ回転の様子

並進方向変位コンター図(変位は5倍に拡大)



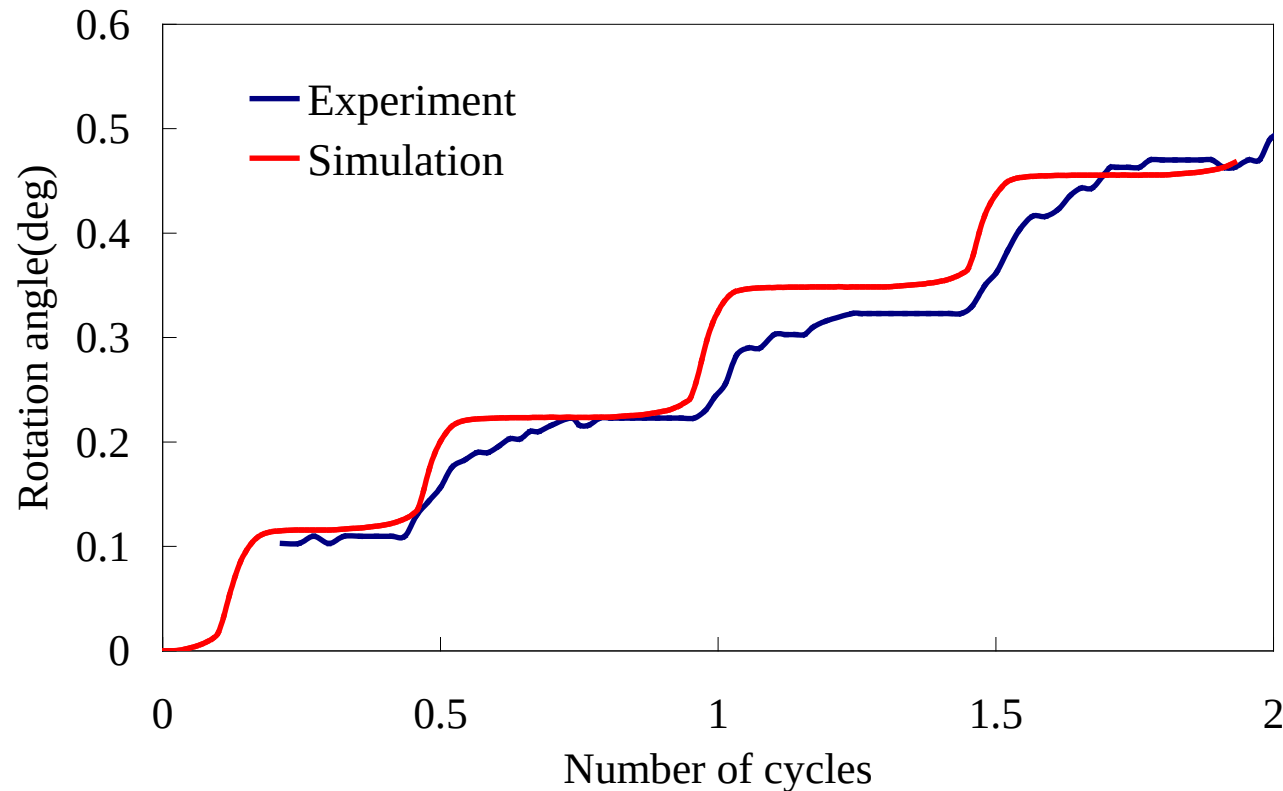
周期が進むにつれて、ボルト頭の手前と奥とで並進変位に差が生じる。

# ボルト回転角の推移





# 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)

# 1. ボルト・ナット締結体のゆるみ解析

## 2-2. 微小座面すべりの解析

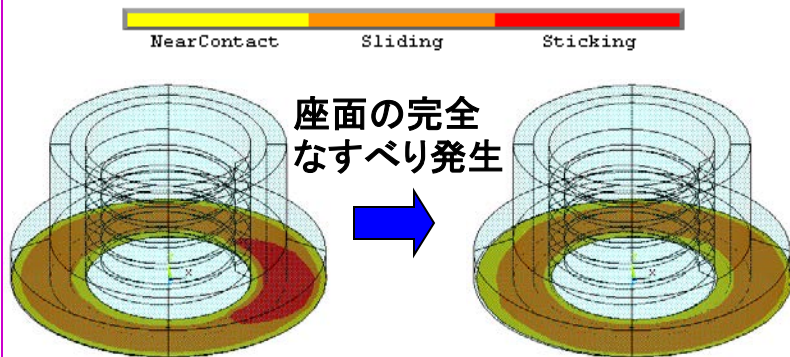
～座面すべり以前に生じる微小なゆるみの解析

信州大学 賀勢晋司先生との共同研究

# 微小座面すべりによるゆるみ

## 座面すべりによるゆるみ

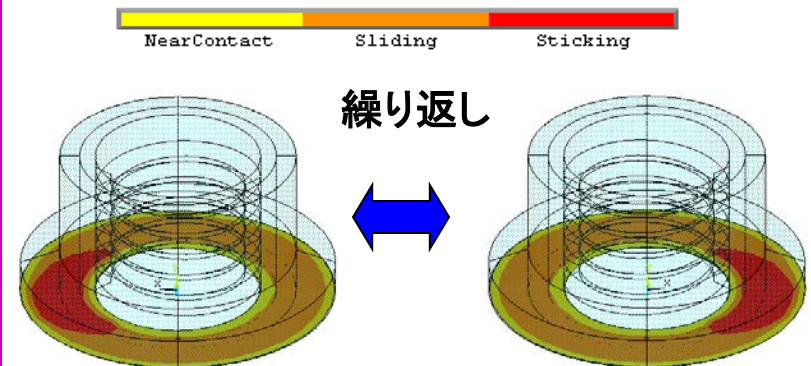
従来ボルト・ナット締結体は座面に完全なすべりを生じるときにゆるむと考えられていた。



過大な外力により座面すべり(座面において完全なすべり)を生じた際急速にゆるむ

## 微小座面すべりによるゆるみ

近年、座面すべりが生じなくてもわずかなゆるみが生じ、繰り返により徐々に進行することが注目されている。



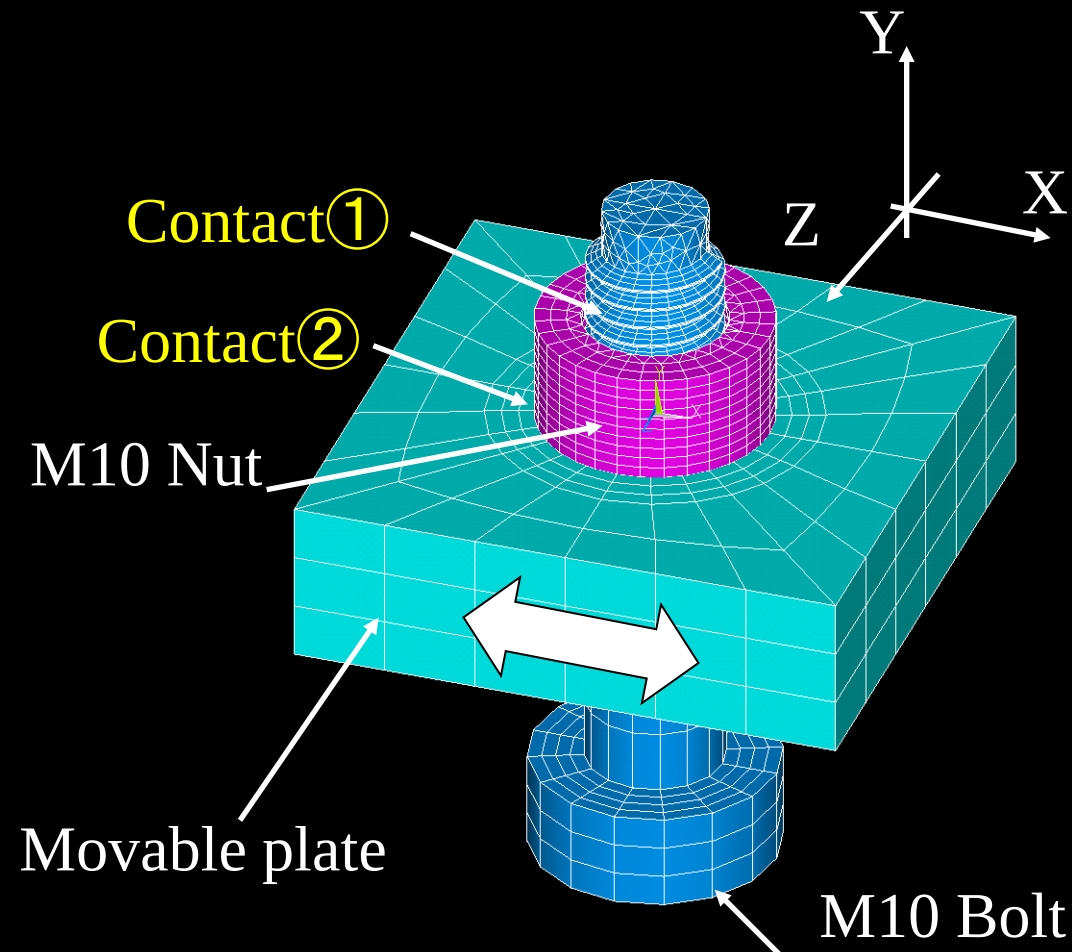
座面の固着部が移り変わることで少しずつゆるむと考えられている。軸力の低下は微小ずつだが、この繰り返により確実に軸力低下が進行すると考えられる。

微小座面すべりによる微小ゆるみの進行による軸力の低下



座面すべりによる急激なゆるみの進行による事故

# 解析モデルと手法



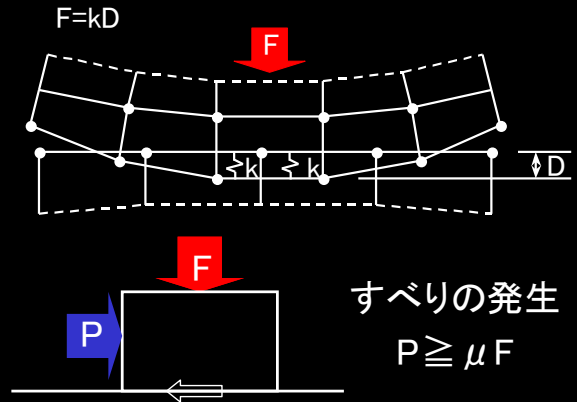
節点数29656 要素数11218

・接触

①ボルト・ナットねじ山間

②ナット座面・被締結体間

接触アルゴリズムはペナルティー法



グリップ長さ28mm

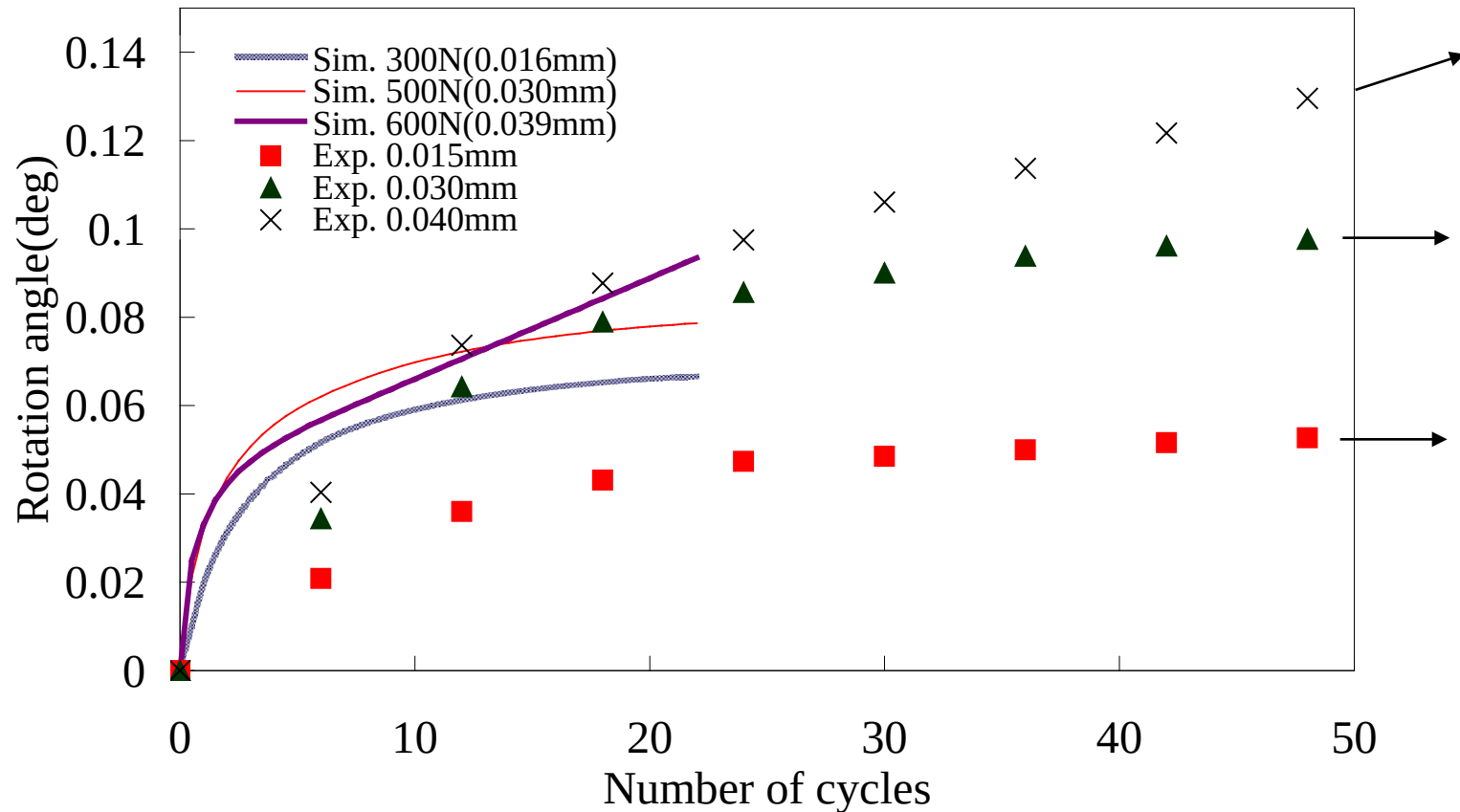
ボルト穴系 12mm

ナット外径 17mm

・ 初期締結力 10kN

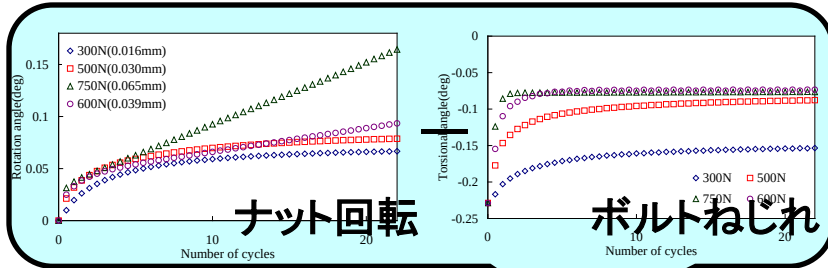
・ 摩擦係数0.10 ヤング率205GPa

# 実験結果(ナット回転角)との比較



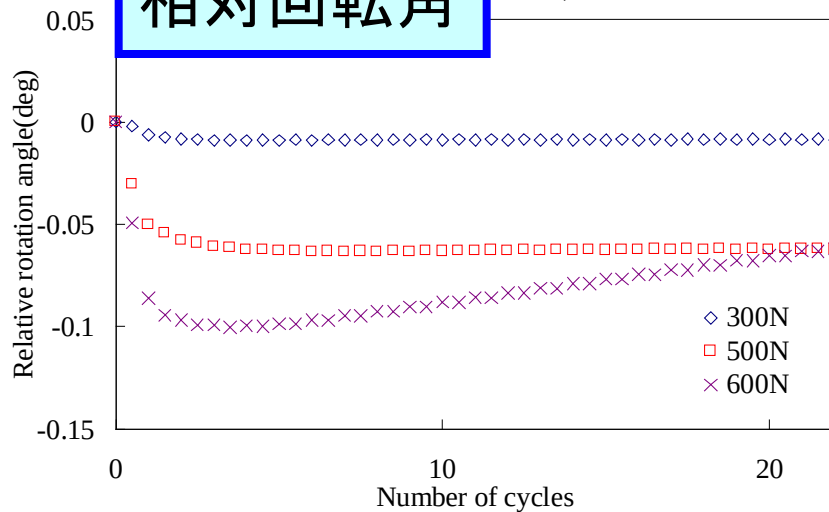
- 初期にナットが大きく回転
- 300N, 500Nではナット回転は停留・600Nでは一定速度で進行（座面すべり1000N）

# 相対回転角とゆるみ

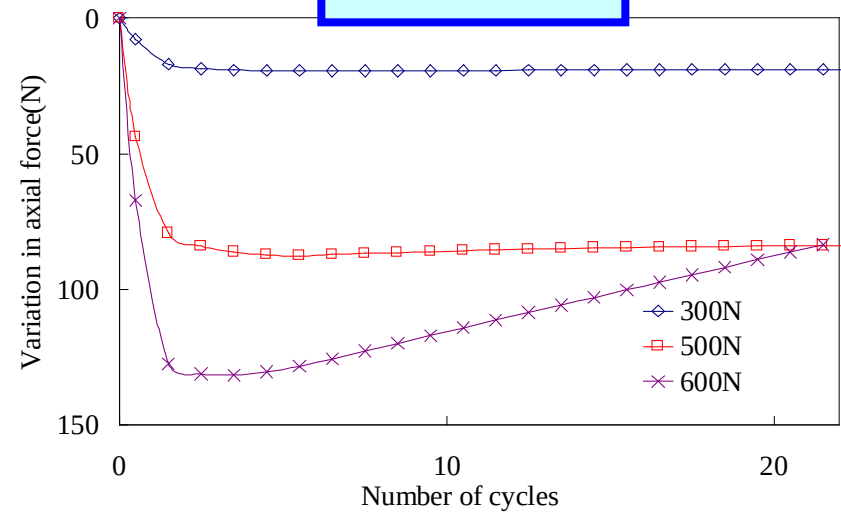


300N, 500Nではボルト・ナット間に相対回転は生じていない。600Nでは相対回転が生じる

## 相対回転角



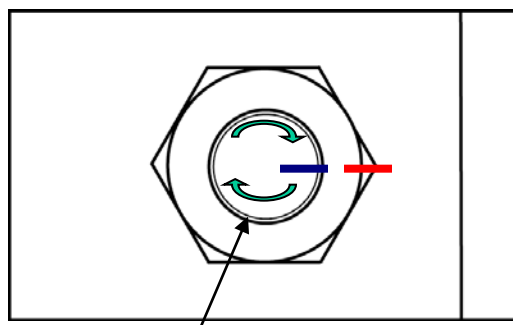
## 軸力変化



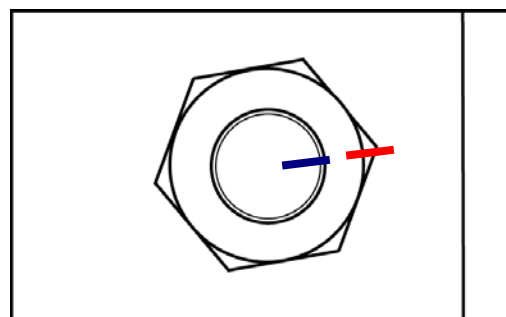
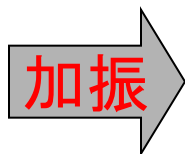
軸力変化＝相対回転角  
ゆるみはナットの回転角でなく、  
**ボルトとナットの相対回転角**で評価すべき

# 締付時のねじれによるボルトーナットの同時回転

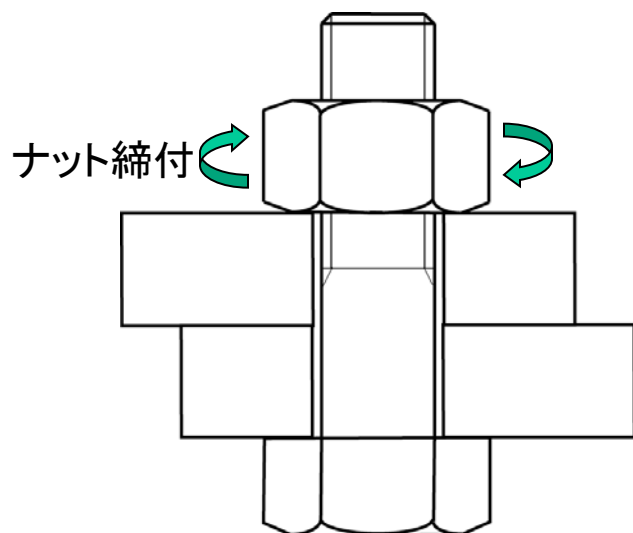
300N, 500Nにおけるナット回転について



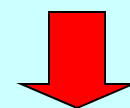
ボルト軸に時計回りの  
ねじれ発生



ボルト軸ねじれが解消する際、  
ボルト - ナットねじ山が接触した  
まま一体となった状態での回転



ボルトーナットねじ山での相対的な回  
転ではないため軸力の低下はない。



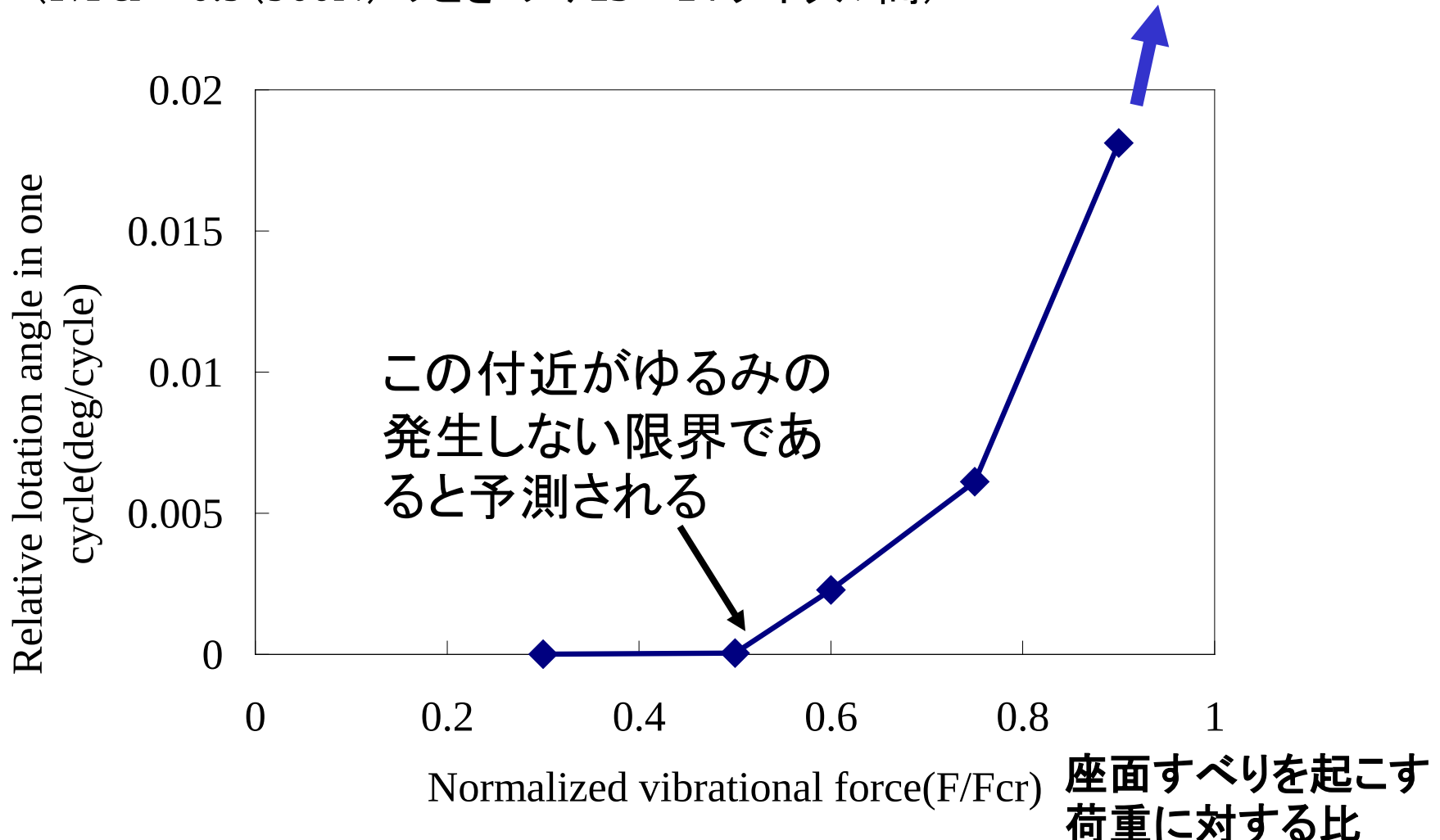
ゆるみ回転とはいえない。

# 加振力と相対回転速度の関係

20～21サイクル間での回転角

( $F/F_{cr} = 0.9$  (900N) のときのみ13～14サイクル間)

$F/F_{cr}=1$  のときは  
約0.25deg/cycle





# ここまでの結論

- 座面すべり・微小座面すべりによるゆるみ、共に実験結果を精度良く再現した。
- 新たに微小座面すべりによるゆるみのメカニズムを明らかにした。
- 従来のゆるみの理論は座面すべり中心の議論であり、微小座面すべりも考慮するように修正しなければならない。

→ 設計に反映

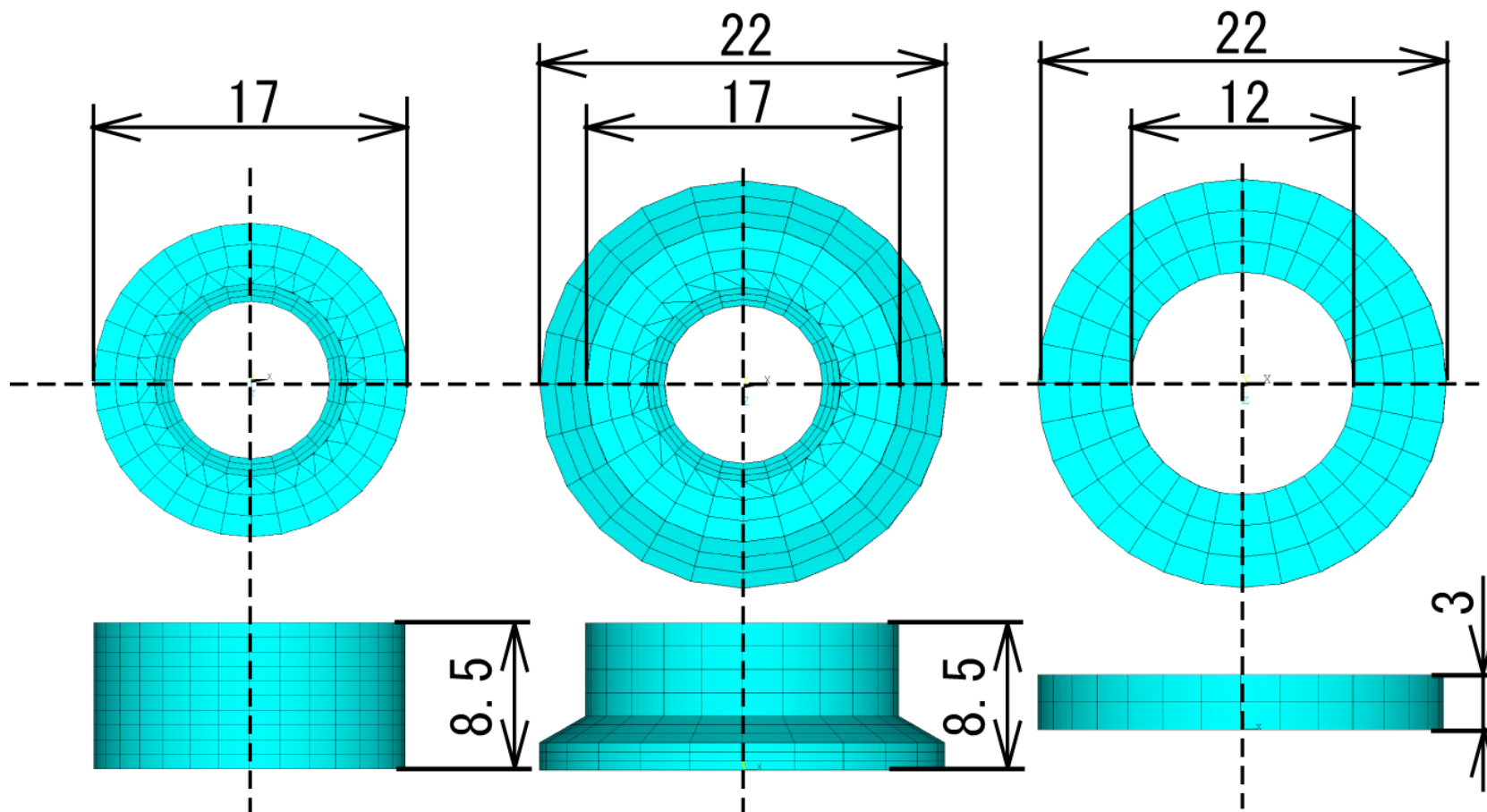
### 3. ゆるみ止め部品の性能評価

3-1. 座金、フランジナット

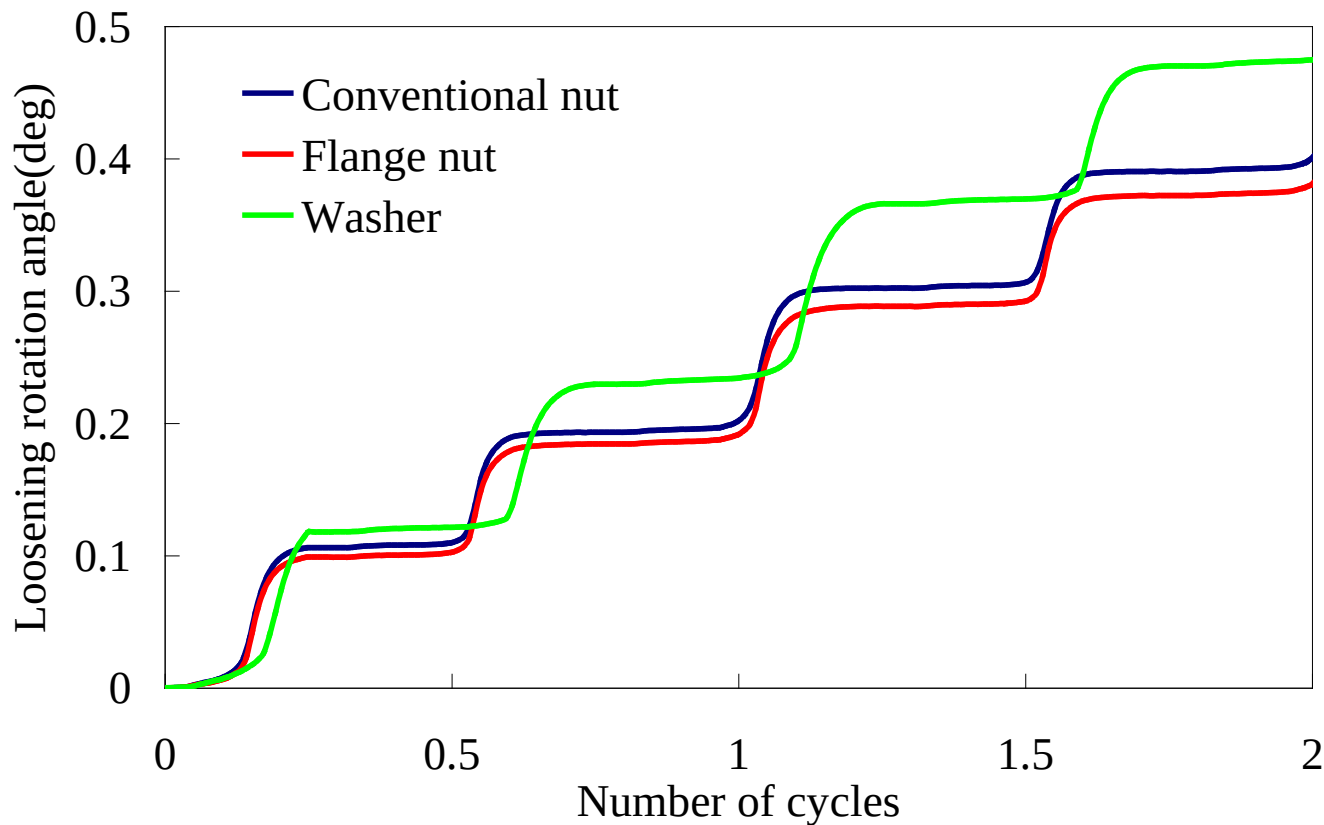
3-2. ダブルナット

## 3-1 座金・フランジナット

①通常ナット ②フランジナット ③平座金+ナット

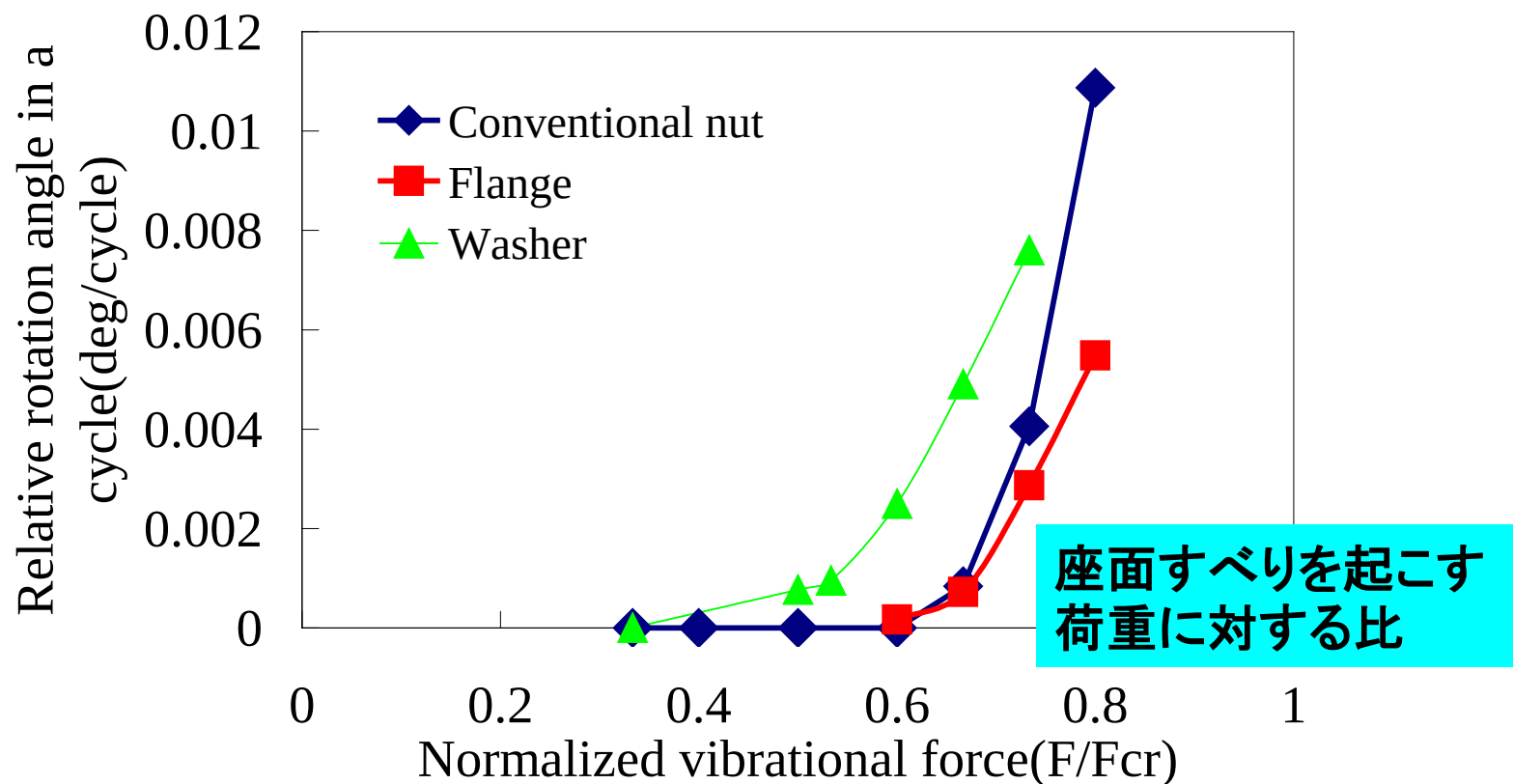


# ゆるみ止め部品の性能評価(座面すべり)



- 平座金は若干ゆるみの進行が早いですが、大きな差はない。
- フランジナットは通常ナットと同じ(効果なし)

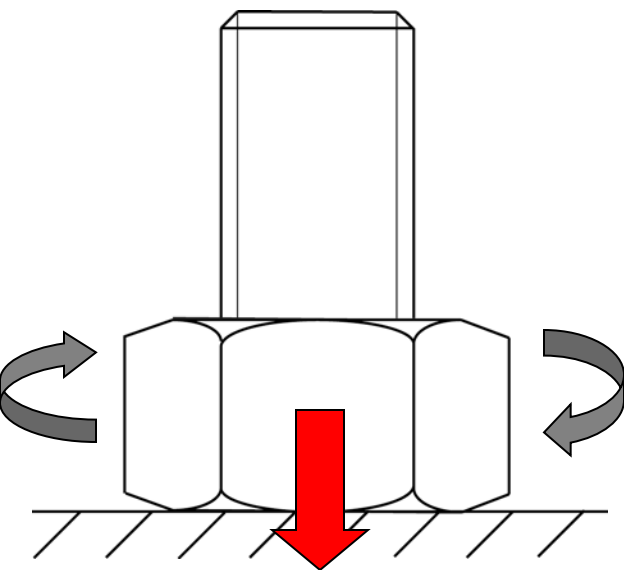
# ゆるみ止め部品の性能評価(微小座面すべり)



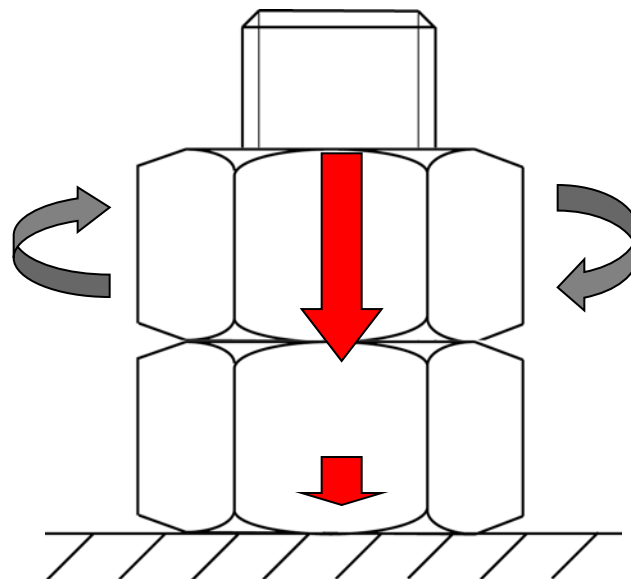
- 平座金はゆるむ → 剛性低下から来る接触状態の偏り
- フランジナット(固着平座金)はゆるみ止め効果がある  
→ 摩擦トルクの等価直径が大きくなるため?  
(通常13.7mm, フランジ14.4mm)

## 3-2 ダブルナット

下ナット締め付け

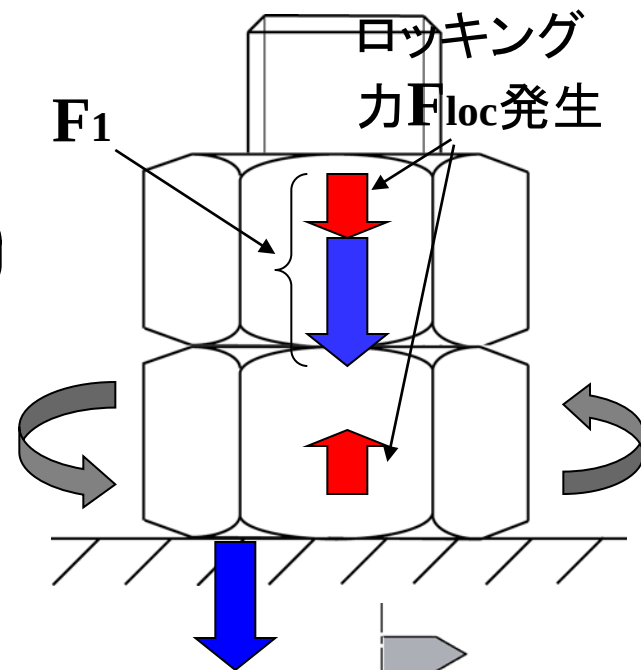


上ナット締め付け

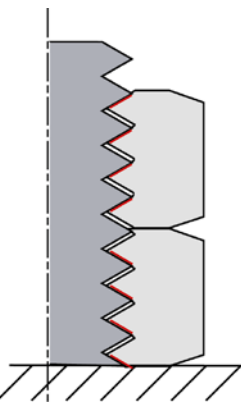


上ナットを締め付けることで下ナットへのねじ山からの接触力は減少

下ナット逆転

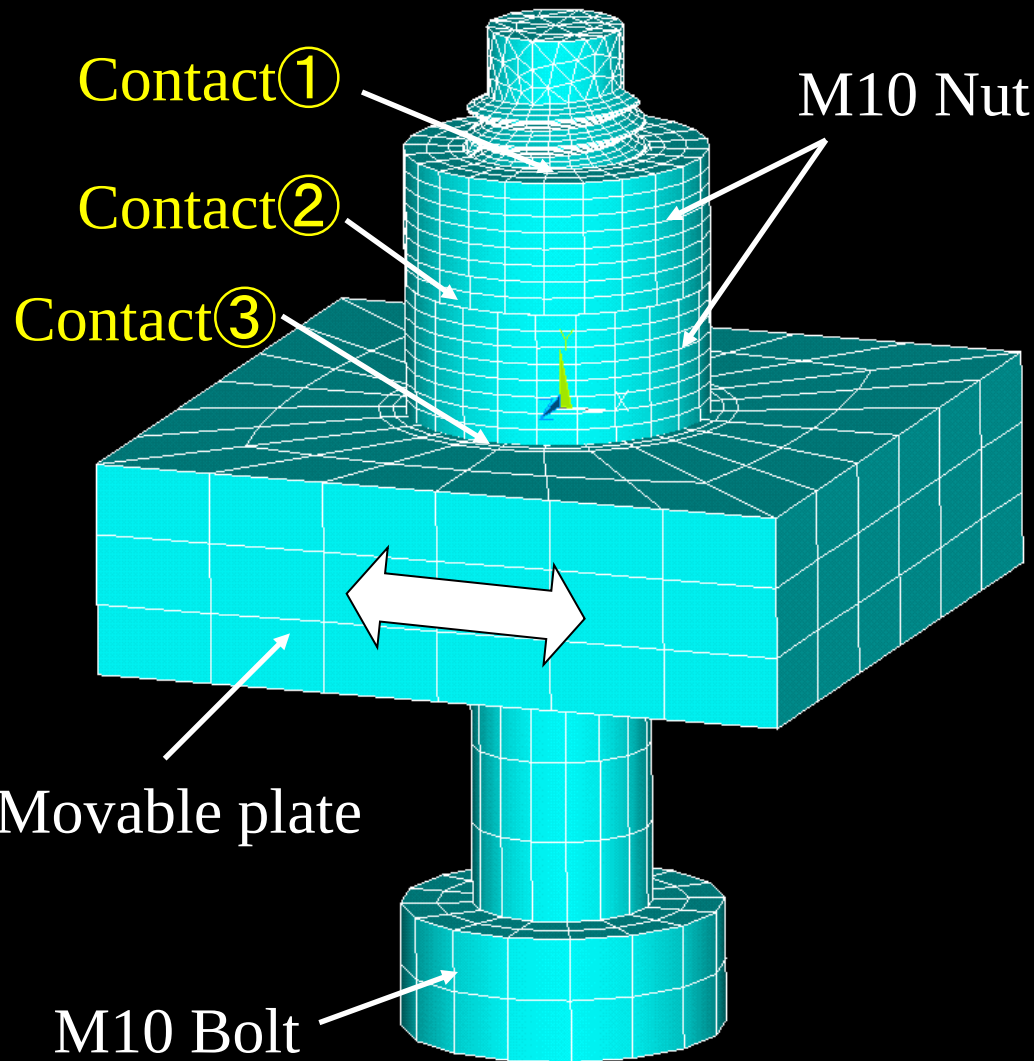


下ナットのねじ面は通常とは逆側で接触



赤矢印はボルトねじ山からの接触力

# ダブルナットゆるみ解析手法



・接触

①ボルト・ナットねじ山間

②上下ナット間

③下ナット座面・被締結体間

・ 初期締結力 10kN

・ 摩擦係数0.10

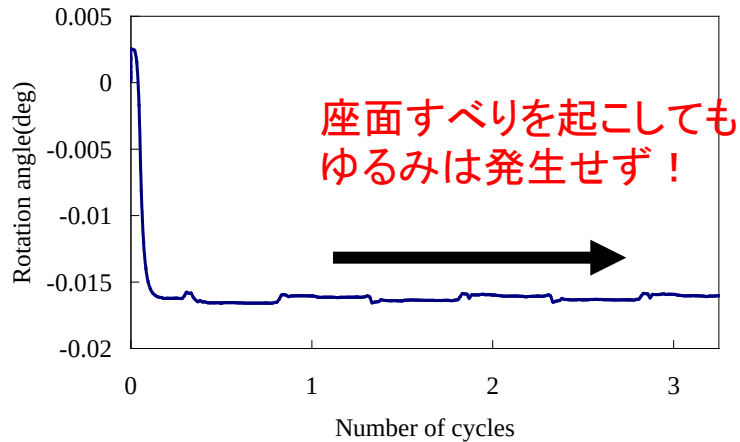
ヤング率205GPa、

ポアソン比0.3

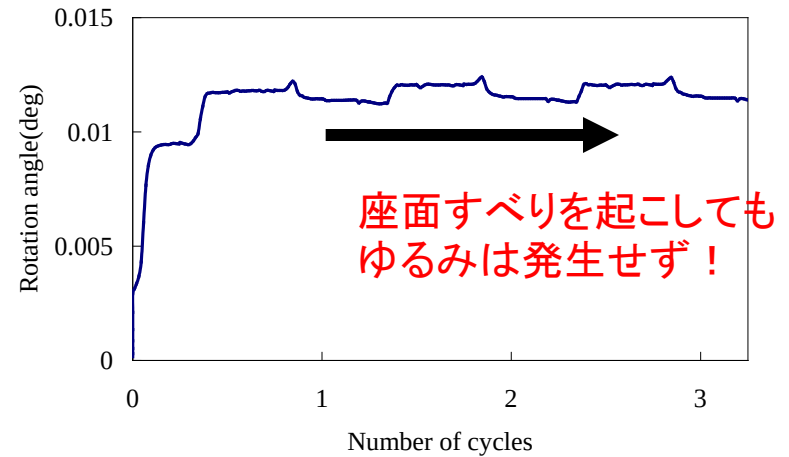
可動板変位  $\pm 0.3\text{mm}$

座面すべりの解析

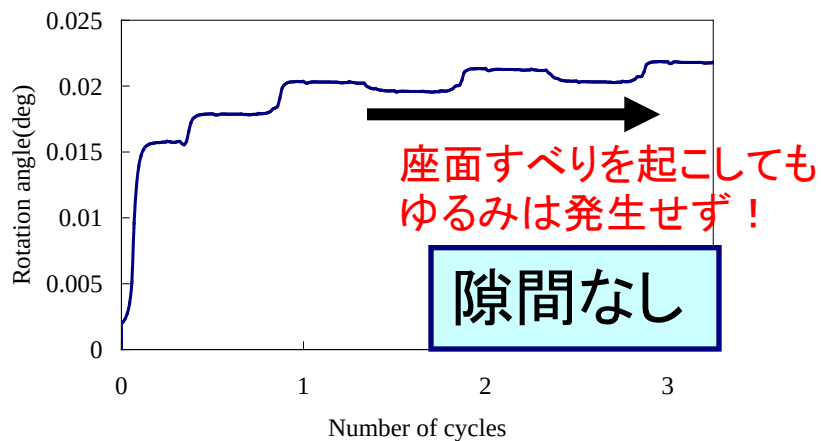
# ナット回転角



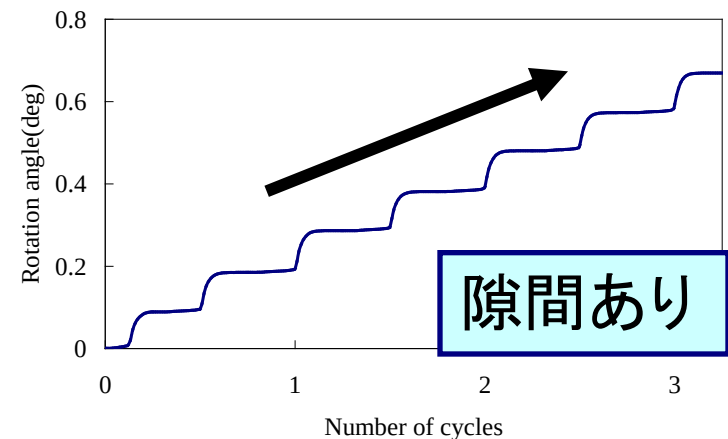
締結力9682N 高ロックング力8810N



締結力10171N 低ロックング力1117N



締結力10017N ゼロロックング力2N



締結力10171N ロックングなし



# ダブルナットのゆるみ止め効果

- ・ ロッキング力が発生していれば(下ナットが逆の面で接して、ねじのすべり隙間がなくなれば)座面すべりが起こっても全くゆるまない。
- ・ ゆるみ止め効果はロッキング力に依存しない。

# ゆるみ止め性能まとめ

# 通常ナットに対するゆるみ止め部品性能評価

|                                       |         | フランジナット |      | 平座金  |      | ダブルナット |      |
|---------------------------------------|---------|---------|------|------|------|--------|------|
|                                       |         | 開始荷重    | 進行速度 | 開始荷重 | 進行速度 | 開始荷重   | 進行速度 |
| ゆるみ                                   | 座面すべり   | —       | —    | —    | ×    | —      | ◎    |
|                                       | 微小座面すべり | —       | ○    | ×    | ×    | ◎      | ◎    |
| ◎Excellent    ○Good    —fair    ×Poor |         |         |      |      |      |        |      |

ご清聴ありがとうございました。