

第2回ボルト締結勉強会資料

2006/10/25

@東京大学工学部 2 号館 6 F 6 3 B 2
(酒井・泉研究室)

緒言

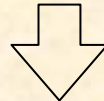
日本機械学会 機械材料・材料加工部門 分科会
「締結・接合・接着部のCAE用モデリング及び評価技術の構築」
ねじ締結 Working Group

<http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/~izumi/Bolt/WG/>

背景

様々なボルト締結のモデリング手法

- ・三次元ソリッドモデル → 計算が高コスト 精度が高い
- ・ビーム要素等でボルトを簡略化 → 計算が低コスト 精度が低い



設計支援ソフトによるボルトの自動モデリング機能の有効性に疑問
応力・剛性・限界滑り量は評価できるのか？

提案

ベンチマークテストにより各モデリングの解析結果を実験と比較

- ・ガasketを含むフランジモデル(軸方向荷重)
- ・2枚板の締結モデル(軸垂直方向荷重)

各ソフトの様々なボルトモデリング手法の有効性を議論・整理

目次

ボルトモデリング手法の紹介

1. No Bolt
2. Coupled Bolt
3. RBE (Rigid Body Element) Bolt
4. Spider Bolt
5. Hybrid Bolt
6. Solid Bolt (Rivet model)
7. Solid Bolt (Thread model)

計算コスト低・精度低



精度高・計算コスト高

0. Transverse Direction

設計支援ソフトの調査

ベンチマークモデル（軸直角方向荷重）に関して

1. 物性値・寸法等の設定
2. ANSYSによるねじ山ソリッドモデルの解析結果

No Bolt Model

■ ボルトのモデリングなし

■ 座面部分に締結力として
直接軸方向荷重を適応

長所

最も単純な解析

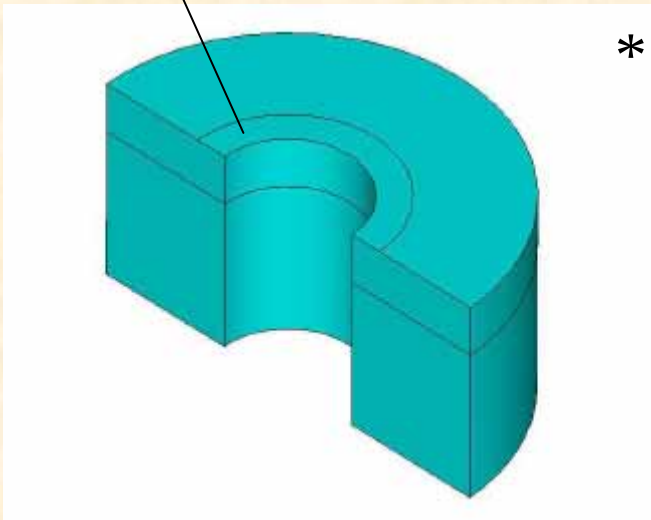
計算コストが低い

- ・ボルトがなく要素数が少ない
- ・接触要素を用いない

短所

ボルト剛性の影響が評価できない

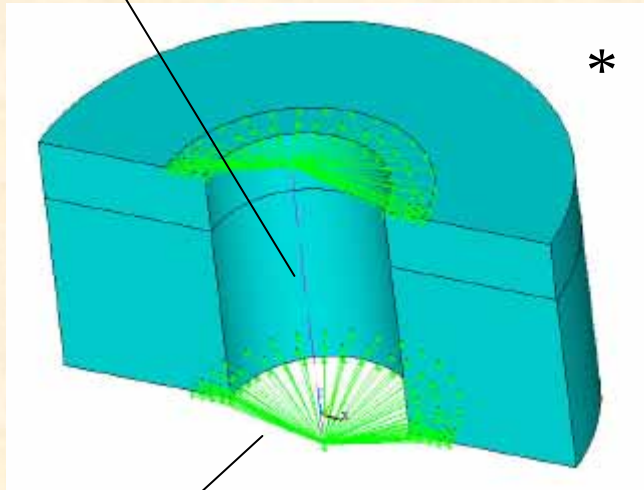
被締結物が離れることはない



* Jerome Montgomery, Methods for Modeling Bolts in the Bolted Joint

Coupled Bolt Model

■ ボルト軸部はビーム要素
締結力を定義



■ ビーム要素先端と座面上の節点を
カップリング拘束

長所

計算コストがやや低い

- ・接触要素を用いない
- ・ソリッドモデルより要素が少ない

締結力がカップリング拘束により伝達

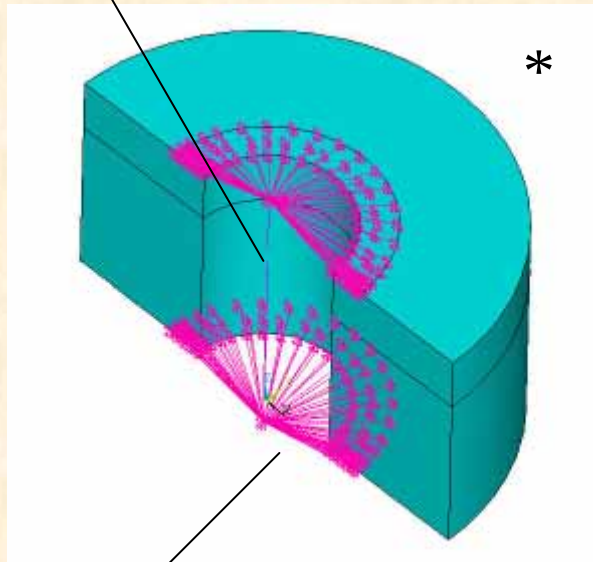
短所

ボルト頭部・ナット頭部の温度を
考慮できない

曲げ荷重が伝達されない

RBE (Rigid Body Element) Bolt Model

■ ボルト軸部はビーム要素
締結力を定義



■ ビーム要素先端と座面上の節点を
RBE要素で結ぶ

長所

計算コストがやや低い
・接触要素を用いない
・ソリッドモデルより要素が少ない

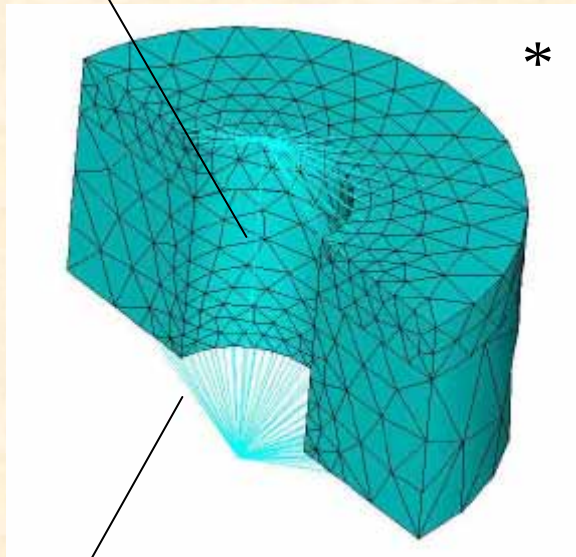
締結力・曲げ荷重・熱荷重が
RBE要素により伝達

短所

ボルト頭部・ナット頭部の温度を
考慮できない

Spider Bolt Model

■ ボルト軸部はビーム要素
締結力を定義



■ ボルト頭部・ナットをビーム要素で
モデリング

長所

計算コストがやや低い

- ・接触要素を用いない
- ・ソリッドモデルより要素が少ない

締結力・曲げ荷重・熱荷重が
ビーム要素により伝達

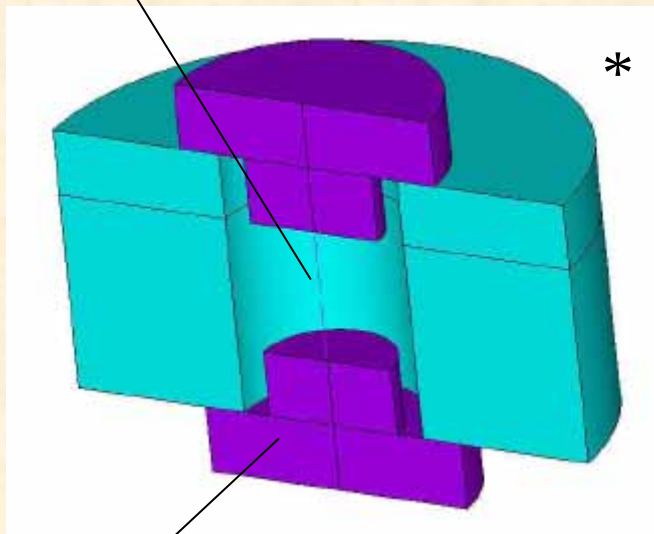
ボルト頭部・ナットの曲がりや剛性を
再現できる

短所

ボルト頭部・ナットの剛性を他の
実験や解析と比較検討する必要あり

Hybrid Bolt Model

■ ボルト軸部はビーム要素
締結力を定義



■ ボルト頭部・ナットはソリッド要素

長所

計算コストがやや低い
・ソリッドモデルより要素が少ない

締結力・曲げ荷重・熱荷重が
ビーム要素により伝達

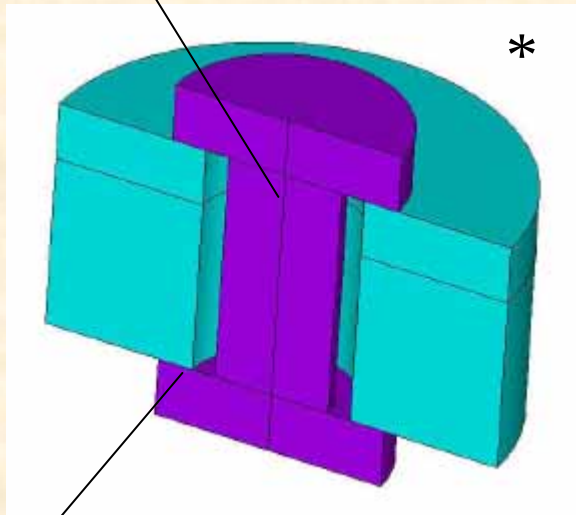
ボルト頭部・ナットの応力分布が
得られる(温度・曲げ荷重)

短所

軸断面の応力は得られない

Solid Bolt Model (Rivet)

■ ボルトはソリッド要素
締結力を定義



■ ボルト頭部・ナット座面に接触要素

長所

これまでの中では最も精度が高い

締結力・曲げ荷重・熱荷重が伝達

ボルト頭部・軸・ナットの応力分布が
得られる

短所

計算コストが高い

・要素数が多い

・接触要素を用いる

Solid Bolt Model (Thread)

■ ねじ山を再現しボルトとナットを分離

長所

最も精度が高い

締結力・曲げ荷重・熱荷重が伝達

ボルト頭部・軸・ナットの応力分布が得られる

ねじ山の影響・緩み挙動の再現

短所

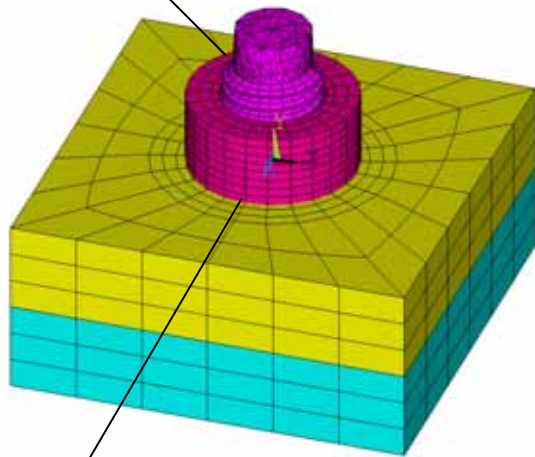
計算コストが非常に高い

- ・要素数が多い

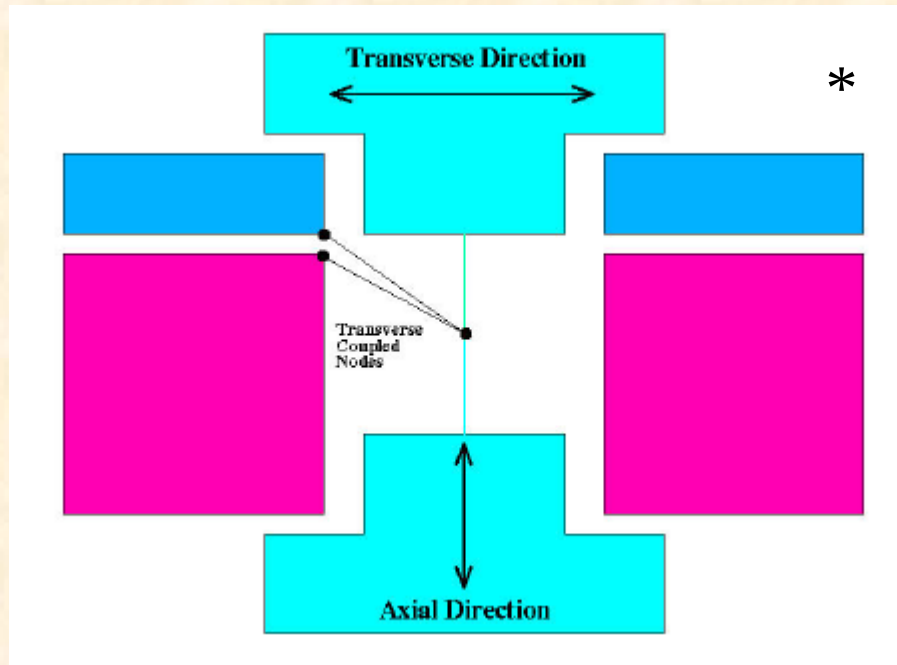
- ・接触要素を用いる

- ・対称モデルにできない

■ ボルト頭部・ナット座面に接触要素 被締結物間に接触要素



Transverse Direction (軸直角方向荷重モデリング)



摩擦力を無視した場合(被締結物間に接触要素を用いない場合)、
並進荷重を考慮するためにビーム要素と被締結物の節点をカップリング

設計支援ソフトのボルトモデリング機能紹介

ビーム要素によるモデリング

・Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 (PTC)

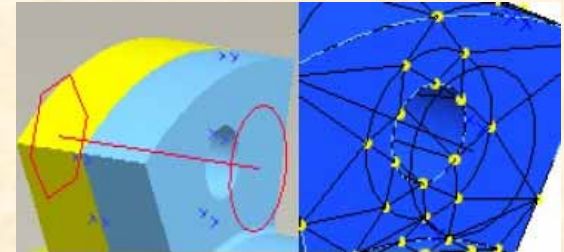
ボルト穴からボルトを自動モデリング

ボルト・ナット座面周辺はメッシュが細分化される

ボルトの剛性定義方法 → 軸直径と材料を定義

(又はばね剛性 K_{xx} (軸方向) K_{yy} ・ K_{zz} (軸直角)を定義)

初期締結荷重(軸力)の設定可能



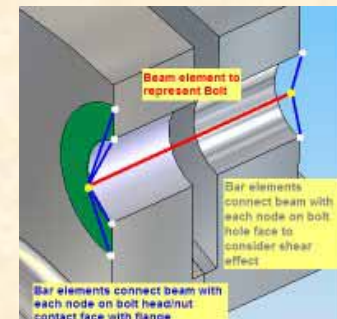
・CosmosWorks (Solid Works)

軸部をbeam要素で、その両端をそれぞれbar要素で座面の節点と結ぶ

(十分な精度のためにはbar要素の数が非常に多くなるが、

自動ボルトモデリング機能有り)

ボルト定義パラメーター → 締結方法、軸長、軸直径、材料、座面、初期締結荷重



・I-deas 12 NX Series (UGS)

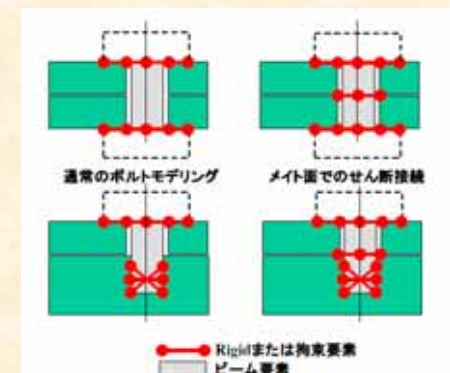
ビーム要素(軸部)の両端をコネクタ要素(剛体要素・拘束要素)

で座面の節点と結ぶ

メイト面での穴エッジ上接点とビーム要素を接続

→ せん断方向荷重への対応?

タップ穴表面接点とビーム要素を接続



設計支援ソフトのボルトモデリング機能紹介

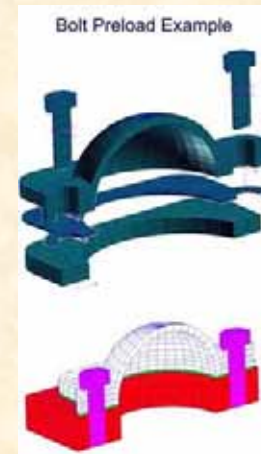
リベット型のソリッドモデリング

・Patran (MSC)

恐らくソリッドモデリングだが、詳細不明

初期締結荷重の設定

ボルトと被締結部の境界で節点を自動的に複製、分割



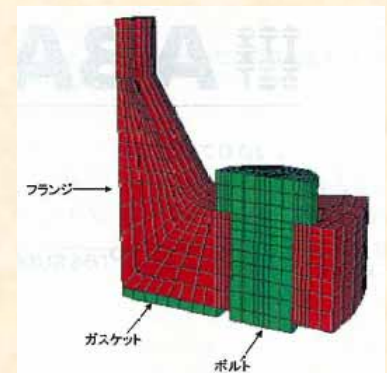
・ABAQUS (ABAQUS, Inc.)

ボルト軸上に初期締め付け断面を定義

→ 断面下の要素が変形し軸方向の荷重や締め付け量を与える

連続体要素、はり要素、トラス要素のボルトモデリングに

対してこの断面の定義が可能

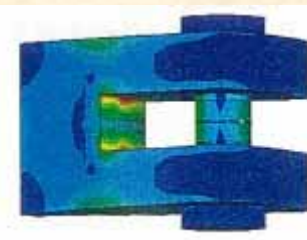


・ANSYS (ANSYS, Inc.)

ボルト軸部にプリテンション要素を挿入 → 初期締結荷重を設定

プリテンション要素は、solid, beam, shell, pipe, link element要素に対して適用可能

ボルトにプリテンションを
負荷した
ことによる応力



参考資料

論文等

- ・Jerome Montgomery, Method for Modeling Bolts in the Bolted Joint
- ・Jeong Kim,et al. , Finite element analysis and modeling of structure with bolted joints

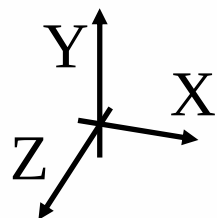
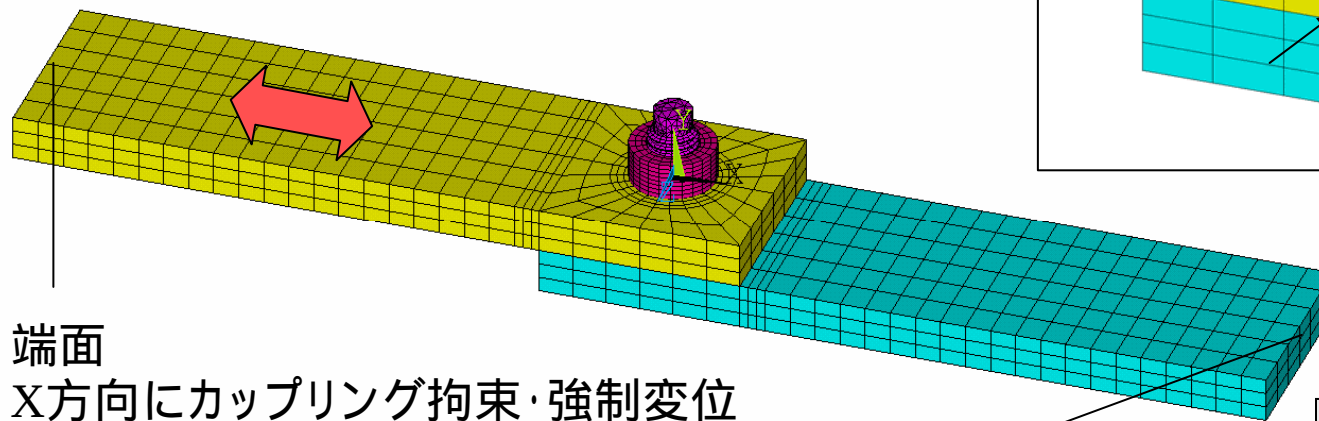
設計支援ソフト紹介資料等

- Pro/ENGINEER
 - ・ProE_Structure_Thermal 15.jpg
 - ・http://www.imakenews.com/ptcexpress/e_article000541783.cfm?x=b655HBr,0,w
 - ・proe_ファスナ機能_1.pdf , proe_ファスナ機能_2.pdf
- CosmosWorks
 - ・http://www.solidworks.com/swexpress/pages/nov05/FN_VirtualConnectors.html
- I-deas 12 NX Series
 - ・Bolt_Modeling.pdf
- Patran
 - ・http://www.mscsoftware.com/products/patran_whatsnew.cfm?Q=396&Z=402
- ABAQUS
 - ・ABAQUS_001.pdf
- ANSYS
 - ・ansys_pretension_manual.pdf

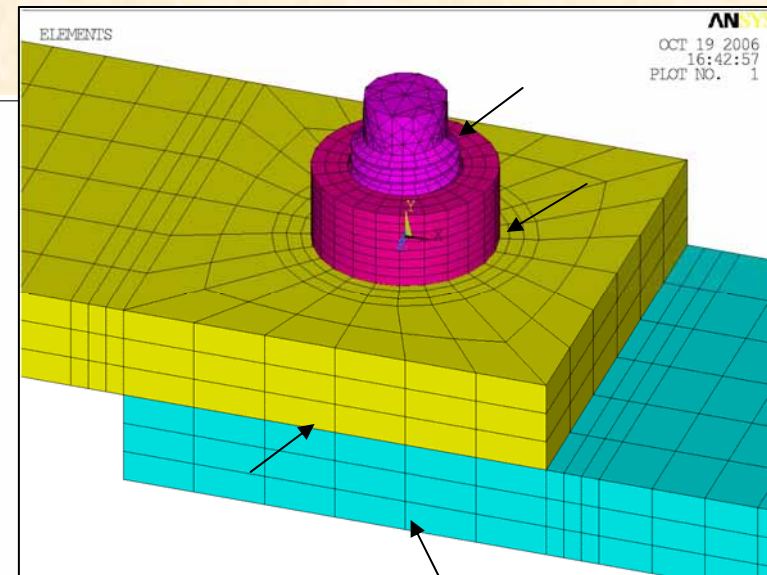
ベンチマークテストモデル

ボルト軸直角方向荷重 (2枚板の締結)

ヤング率 205 GPa
ポアソン比 0.3
摩擦係数 0.20 (全接触面で等しいとした)
初期締結力 8000 N



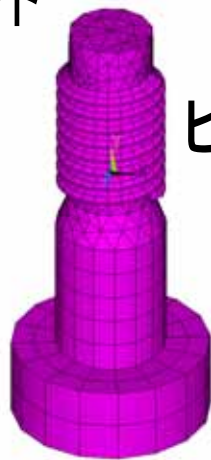
端面
X方向にカップリング拘束・固定
Y・Z方向に拘束



接触要素定義
ねじ面
ナット座面
被締結物間
ボルト頭部座面

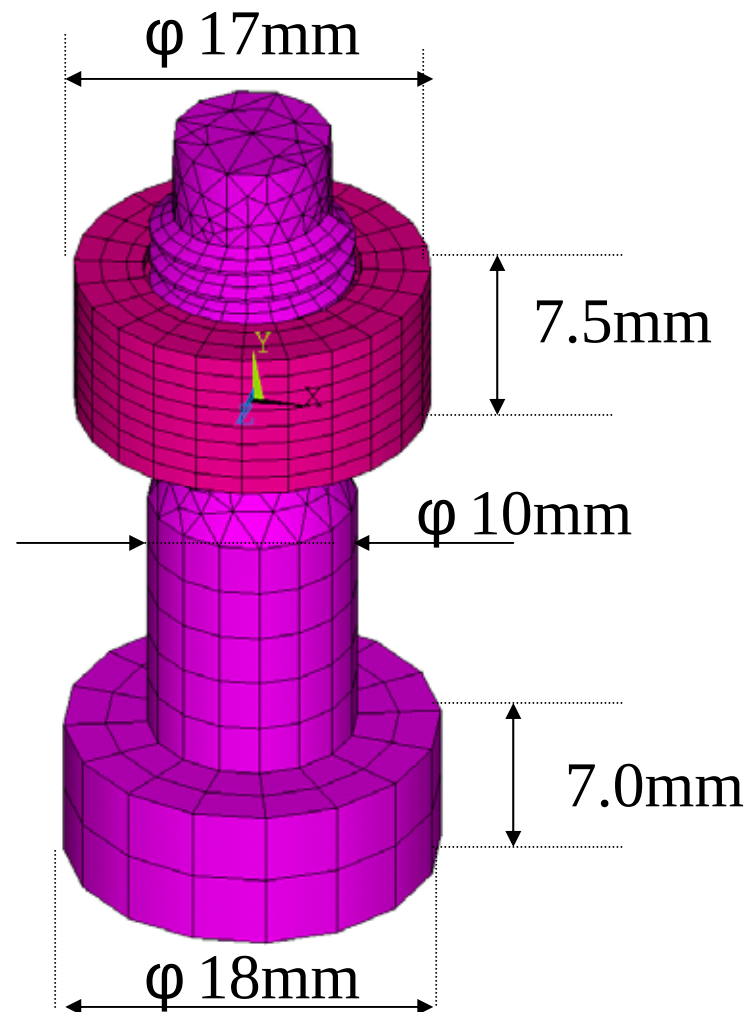
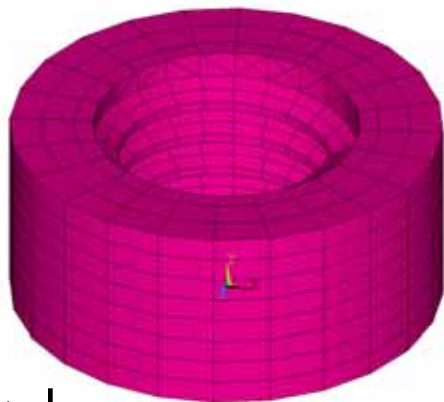
ボルト・ナットモデル

M10ボルト

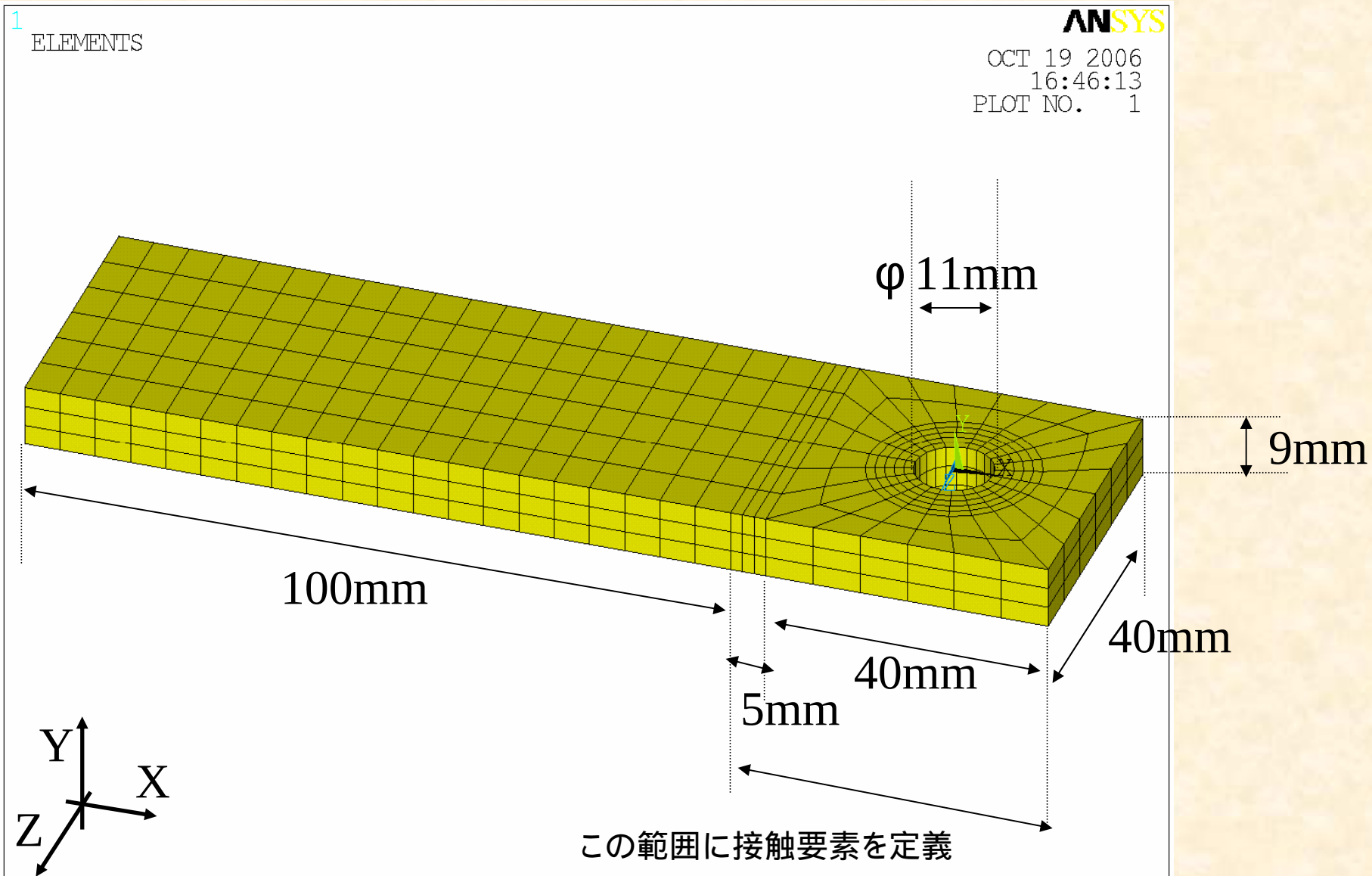


ピッチ 1.5 mm

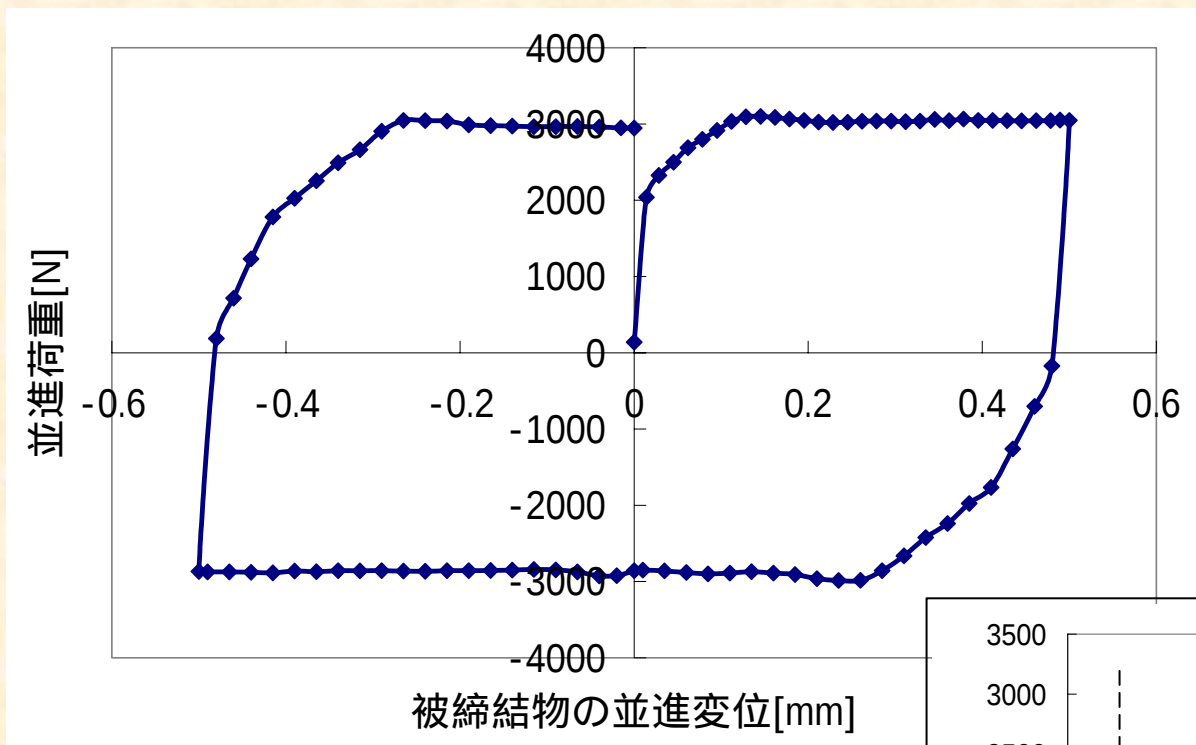
ナット



被締結物



ANSYSによる解析結果（ねじ山ソリッドモデル）



・ボルト・ナットが接触面のみで支えられているため若干不安定

節点数 24012

要素数 7984

計算時間 4471s (約75分)

DELL Precision 470

プロセッサ Intel Xeon 3.40GHz (HyperThreading on)

メモリ DDR-SDRAM2 2.0GB

(=512MB*4 with デュアルチャンネルメモリ)

- ・荷重ステップ1でナット座面を干渉させ若干の軸力を発生させる(計算安定のため)
- 荷重ステップ2でプリテンション要素を適用し狙った軸力を発生させる
- 荷重ステップ3でプリテンションの固定
- 荷重ステップ4から加振開始

