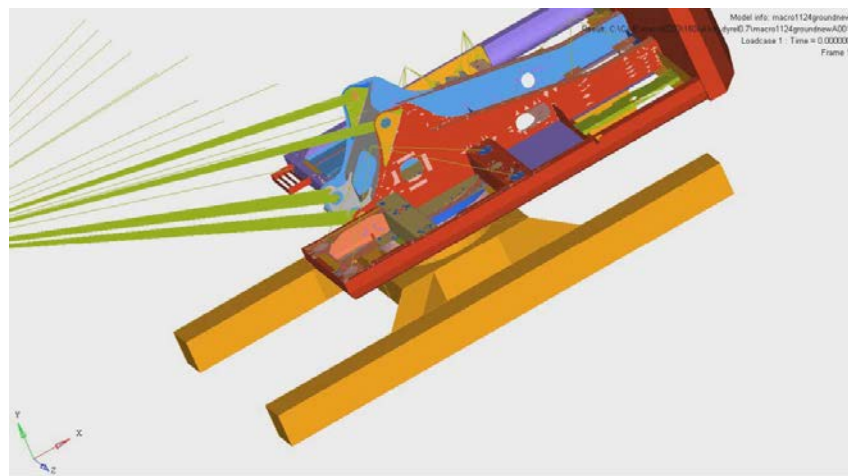


衝撃外力を受ける油圧ショベルのスイング サークル締結体の陽解法有限要素法解析



東京大学工学系研究科機械工学専攻

泉 聡志

神谷 翔太

コマツ研究本部 材料技術センタ

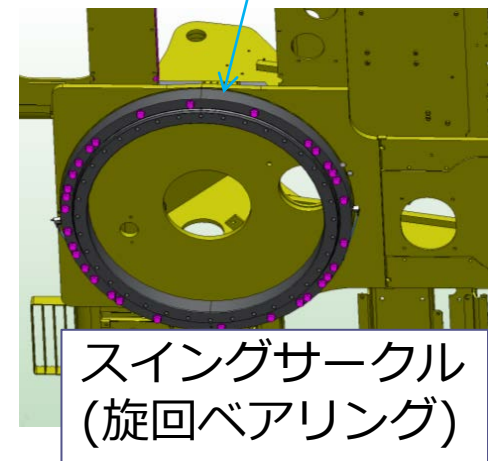
山田 良一

背景・目的

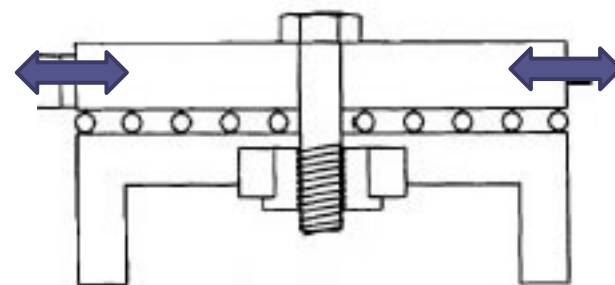
油圧ショベルは稼働時に様々な衝撃外力を受ける

油圧ショベルのスイングサークル締結ボルトのゆるみに対する健全性評価の必要性

→ 衝撃外力下の締結体ゆるみ解析
(陽解法による接触解析) と実験による評価

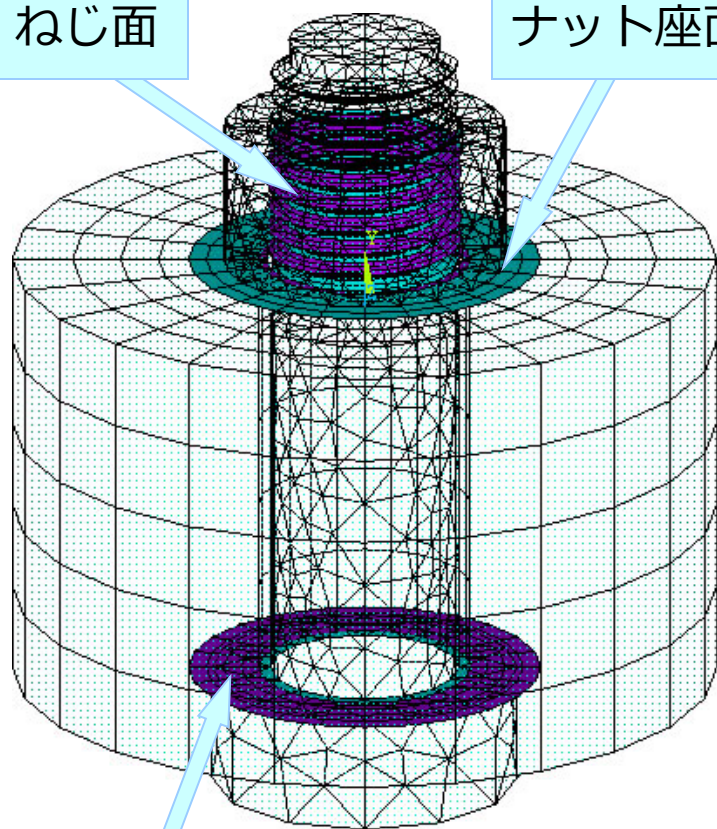


ボルト締結体のゆるみの研究



ねじ面

ナット座面

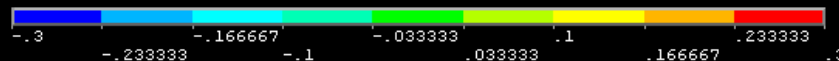
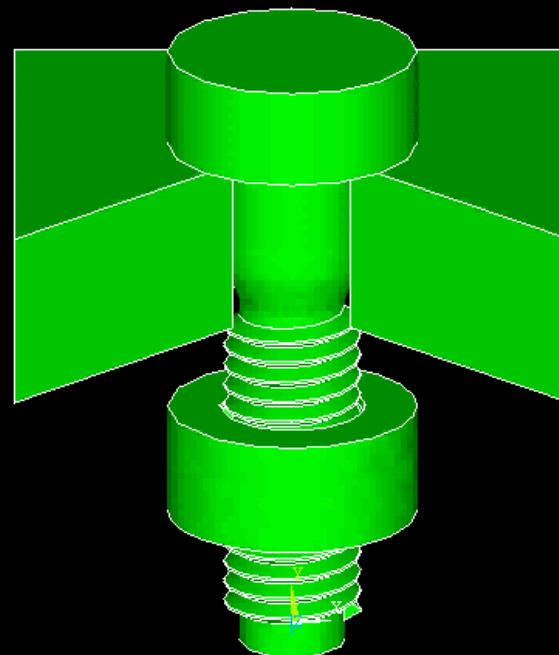


ボルト座面

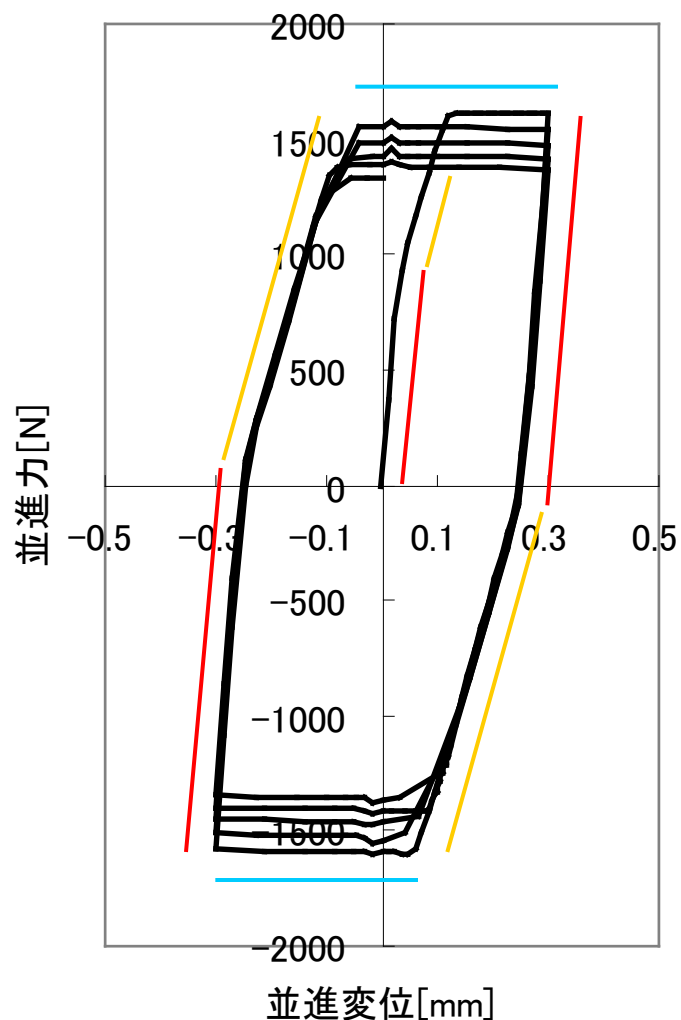
```
1
NODAL SOLUTION
TIME=1
UX      (AVG)
RSYS=0
DMX =.026447
SMN =-.001369
SMX =.001563
```

ANSYS

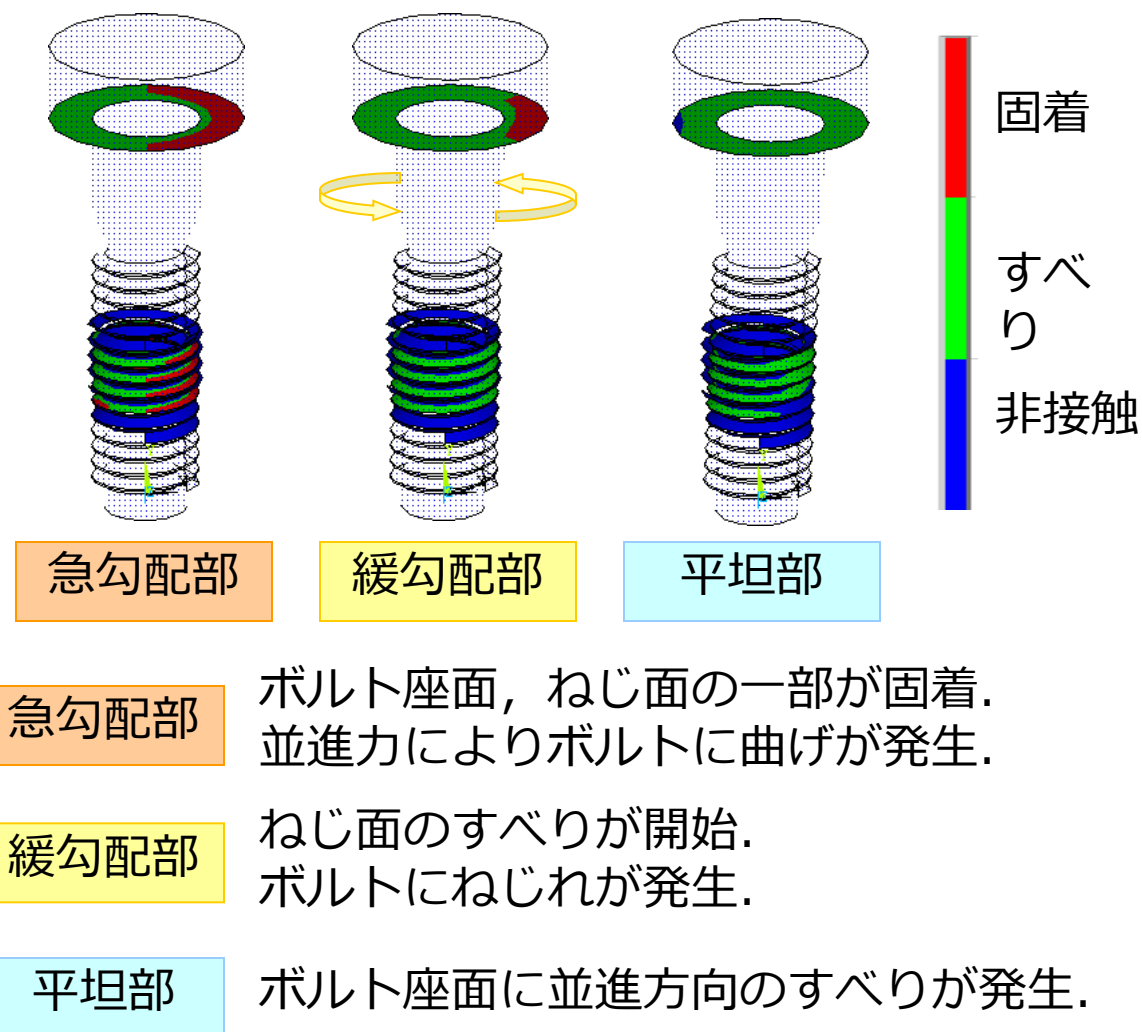
FEB 15 2004
18:34:32



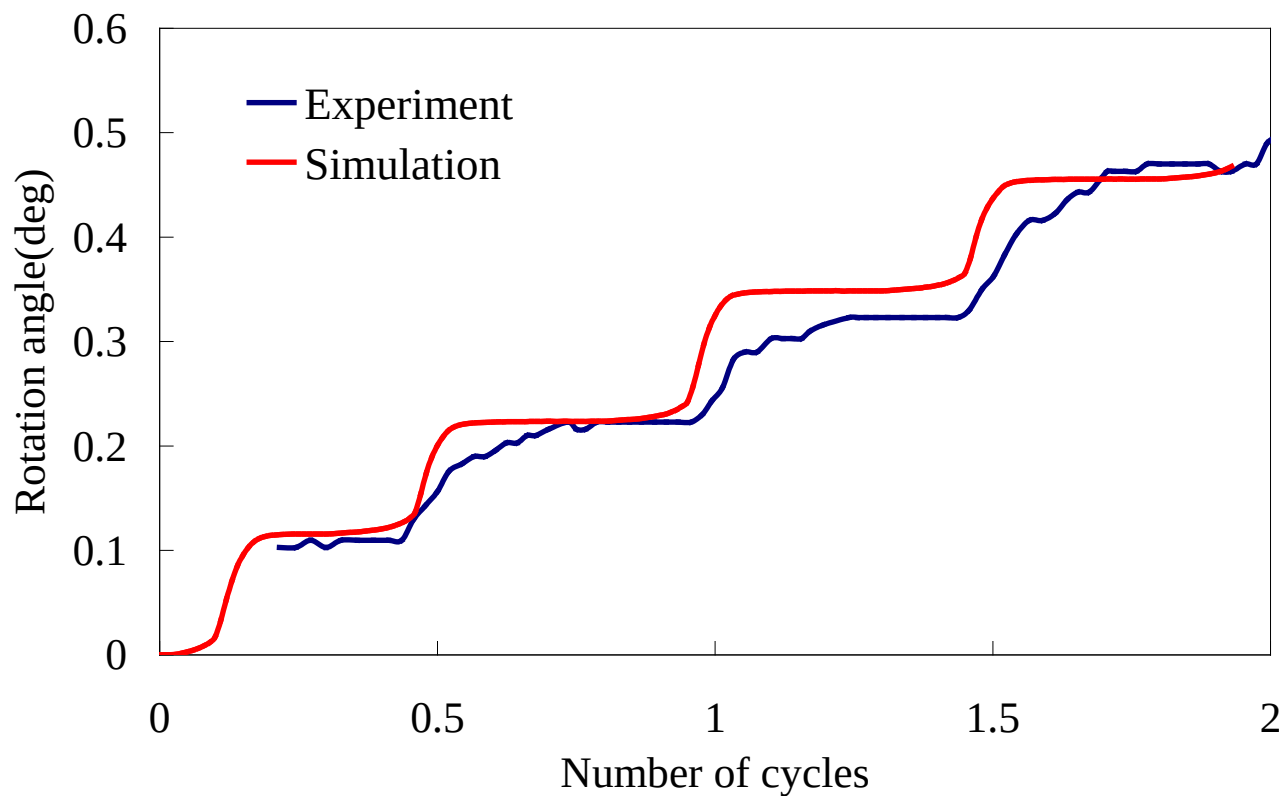
並進力と並進変位の関係



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

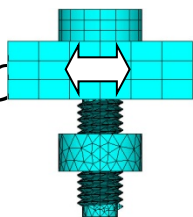
※山本晃ら 精密機械, 43(4), 470 (1977)

ボルト締結体の研究

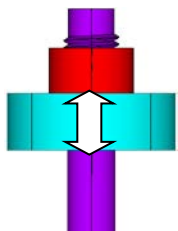
メカニズムの解明

- 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



- 共同研究

(J R東日本、東京ガス、
サンデン、荏原製作所、日
本発条、コマツ)

他に技術コンサル十数社

ゆるみ止め部品の評価

- ダブルナット

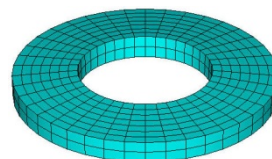
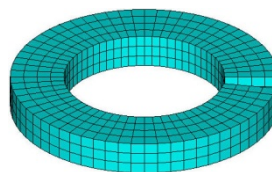
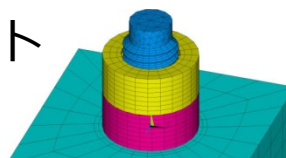
- 平座金

- フランジナット

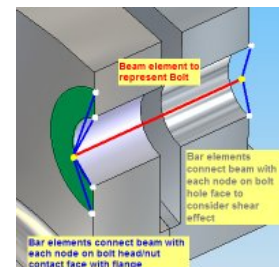
- ピストンナット
(新キャタピラー三菱)

- ばね座金

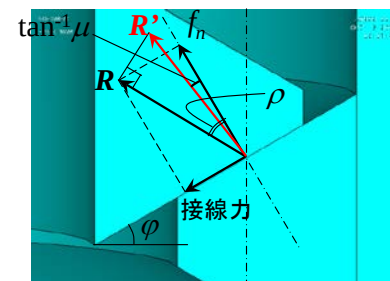
- 皿ばね座金



締結体の力学モデル



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

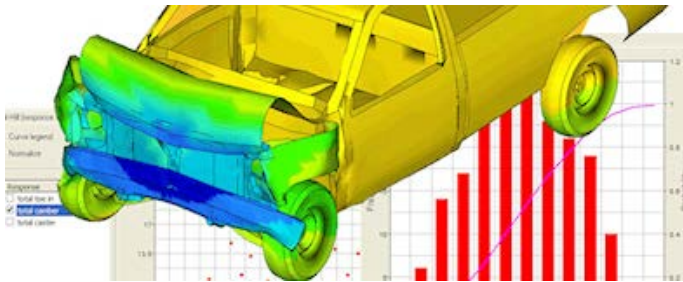


- ボルト締結体挙動の
解析的モデルの開発
→簡易モデル化への応
用

衝撃問題の展開

衝撃問題への陽解法の必要性

陽解法の導入

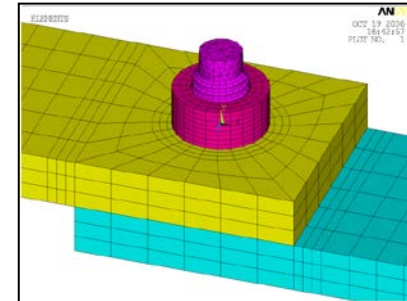


陽解法

- ・ **衝撃問題など過渡的現象へ適用**

- ・ 時間刻みに精度が依存
(解の一意性の保証なし)

Hyperworks Radioss を導入



陰解法

- ・ 準静的な問題が主な適用範囲(**非線形衝撃問題では収束しない**)

- ・ 剛性マトリクスにより、系全体のつり合いを求める

陽解法の結果を陰解法で検証する必要

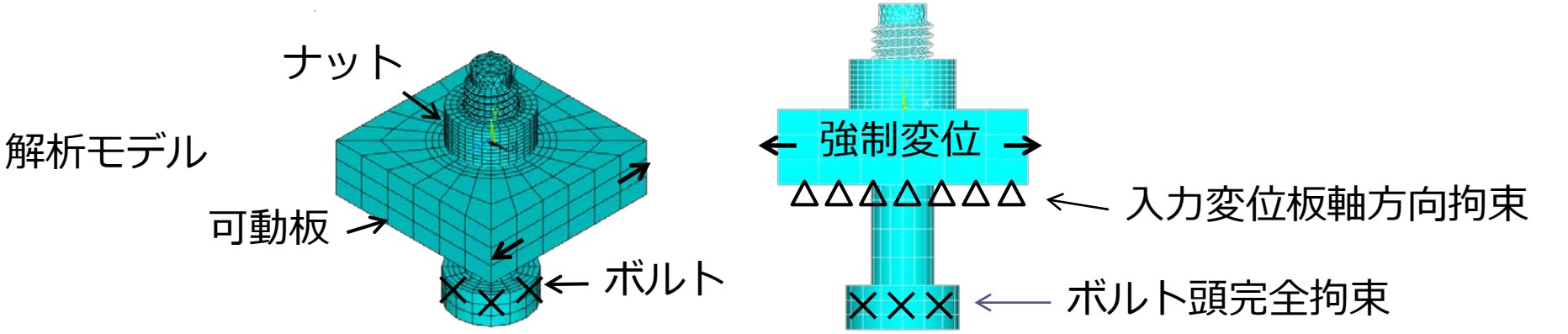
目次

- 1.陽解法によるボルト締結体のゆるみ解析(陰解法-陽解法比較)
- 2.シヨベル全体固有値解析(振動特性)
- 3.両側乗越実験模擬解析(締結体評価)

1.陽解法によるボルト締結体のゆるみ解析

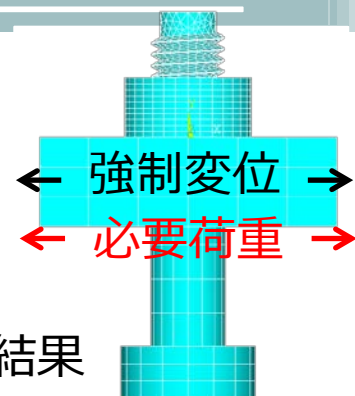
目的；陰解法で行われたボルト締結体ゆるみ解析を陽解法で再現

解析条件	陰解法	陽解法
ソフト	ANSYS 11.0	Radioss Block
単位系	[ton] [mm] [MPa]	
要素	3次元ソリッド2次要素	3次元ソリッド1次要素
材料特性	ヤング率205 GPa, ポアソン比0.3, 密度 7.89×10^{-9} ton/mm ³	
接触	ペナルティ法, 摩擦係数0.1	
荷重	強制変位0.3 mm	
軸力制御	食い込み制御 130 MPa程度	

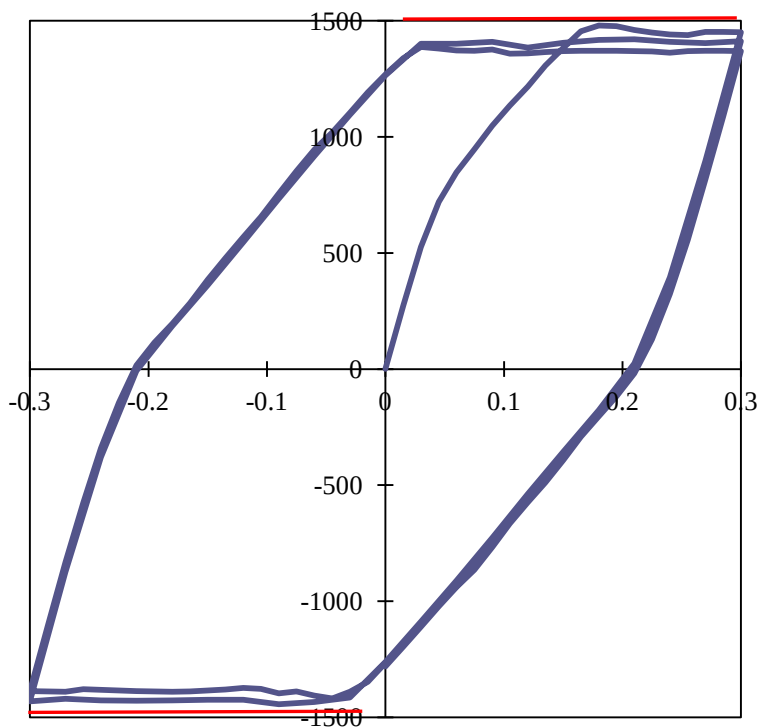


荷重—変位曲線

0.3mm入力時にはどちらも座面すべり，ゆるみが生じる

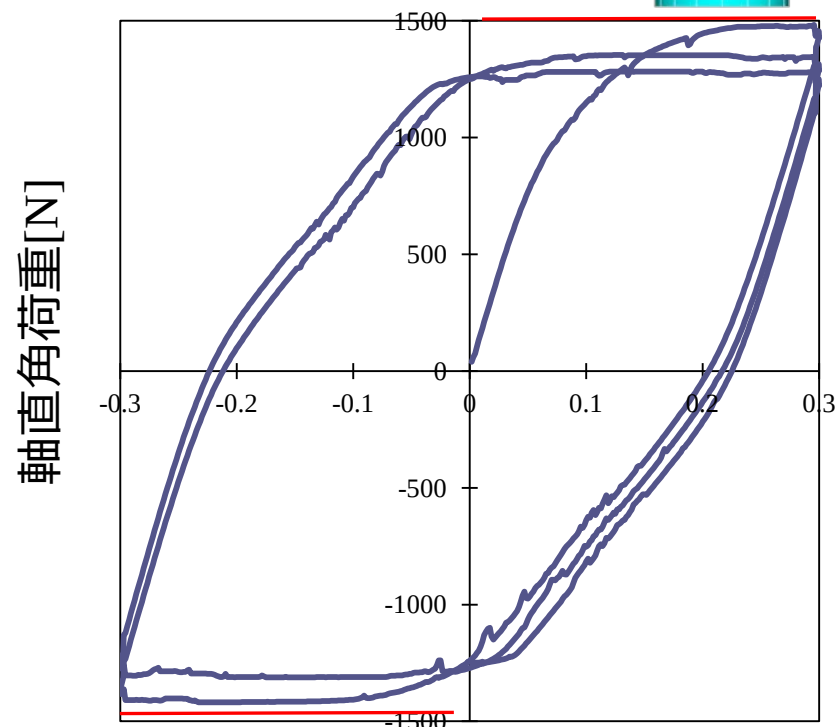


陰解法による結果 座面すべり・ゆるみ



軸直角変位[mm]

陽解法による結果



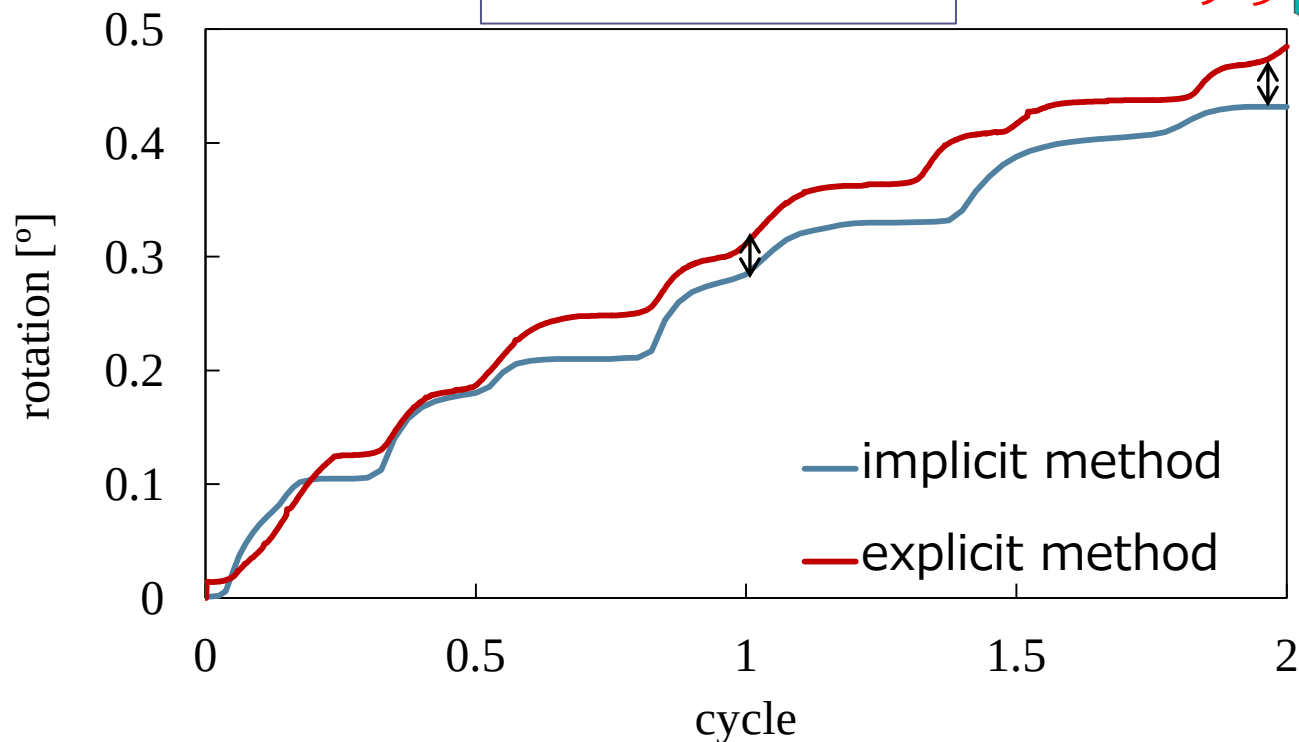
軸直角変位[mm]

形状一致
最大荷重一致

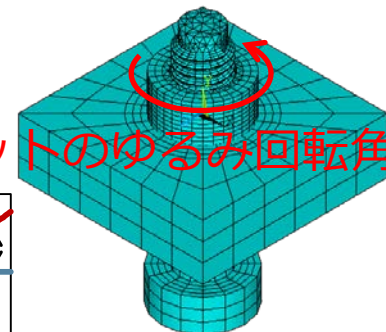
荷重減少量は陽解法のほうが大きい

ゆるみの進行

ゆるみ回転角の比較



ナットのゆるみ回転角



陽解法のほうが一周目目のねじれ回転が大きい
二周期目からは同じゆるみ方をする

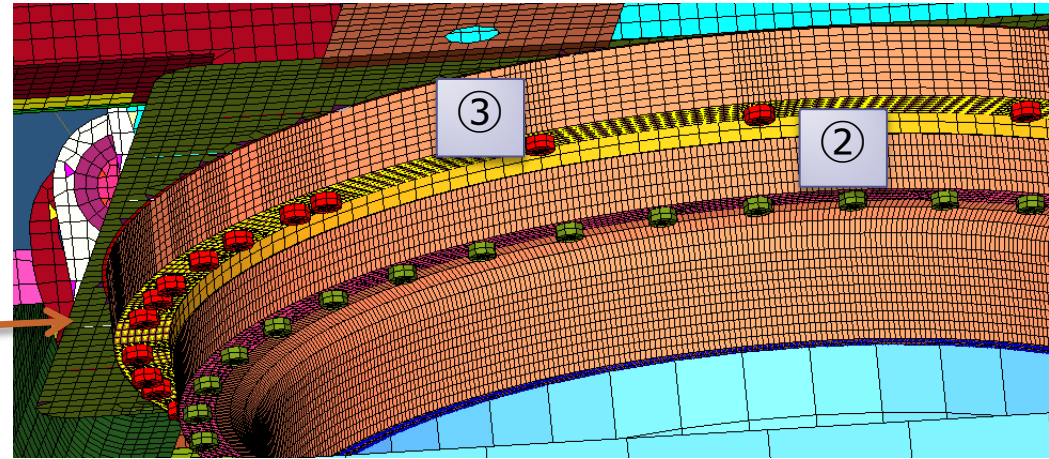
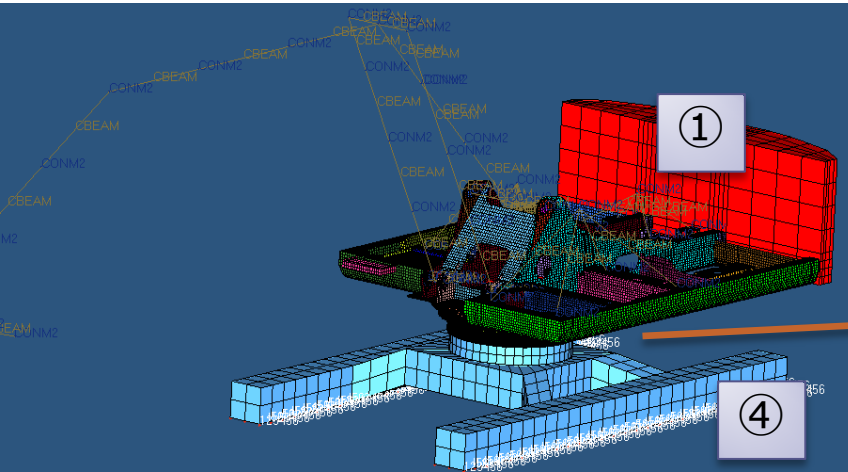
定常状態では一致

ゆるみ解析における陽解法の妥当性を検証

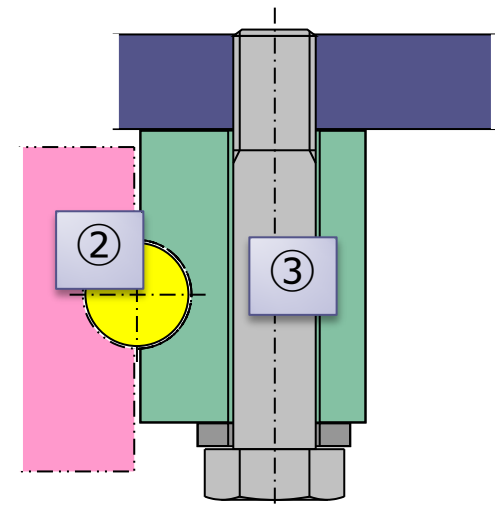
2. ショベル全体固有値解析(陰解法)

ANSYS 11.0

スイングサークル部拡大



- 1、上部モデルの機材はカウンタウェイト（①）以外、重心における質点でモデル化
- 2、スイングサークル旋回ベアリング（②）をばねでモデル化(実験の一次モードからばね係数を合わせる)
- 3、締結ボルト（インナーとアウター）をリベットでモデル化(接触面は固着)
- 4、走行体下部（④）を完全拘束(剛体地面を想定)



固有振動数の合わせこみ

Mode	実験結果		解析結果	
1*	2.4Hz	ピッチング	2.4Hz	ピッチング
2	4.3Hz	ヨーイング	3.3Hz	ヨーイング
3	5.7Hz	ローリング	5.8Hz	ローリング
4	6.8Hz	ローリング	12.0Hz	ねじれローリング
5	10.1Hz	ねじれローリング		

解析では1次モーメントのみベアリングのバネ係数で合わせこんだ

目次

1.陽解法によるボルト締結体のゆるみ解析(陰解法-陽解法比較)

2.ショベル全体固有値解析(振動特性)

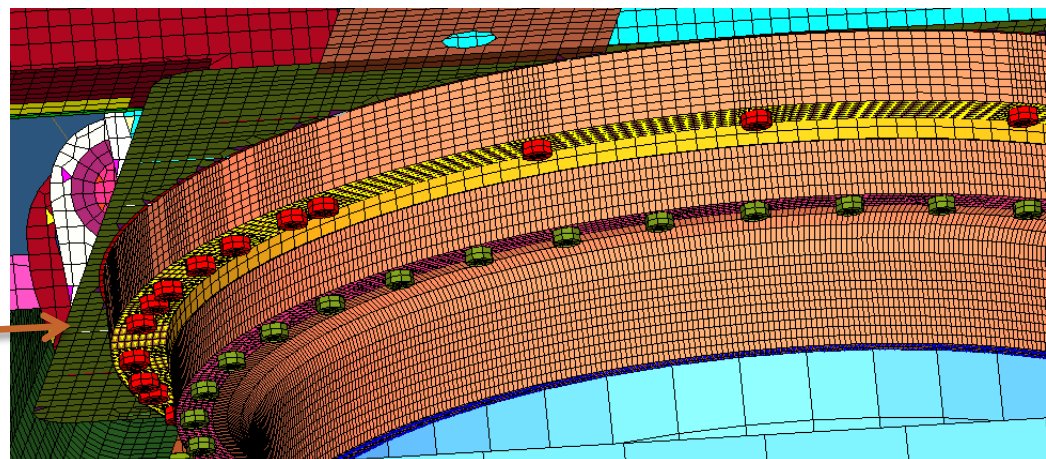
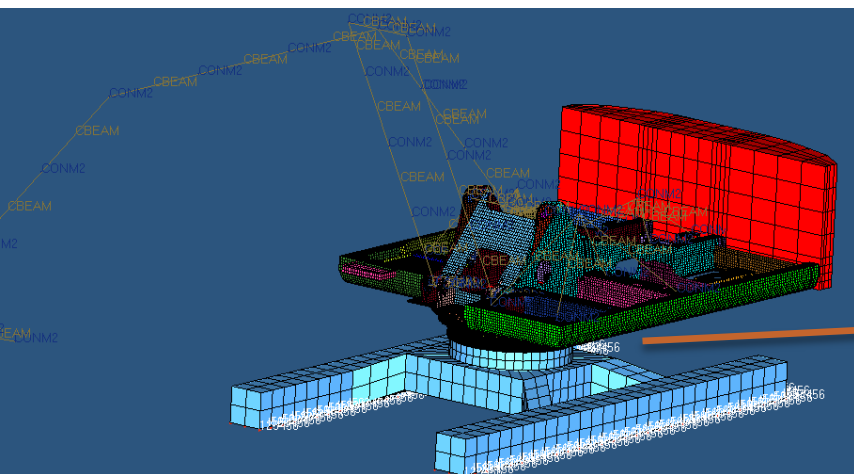
3.両側乗越実験模擬解析(締結体評価)

- ・ボルト評価試験の一つである両側乗越実験をモデル化
- ・非線形接触衝撃解析による締結体評価

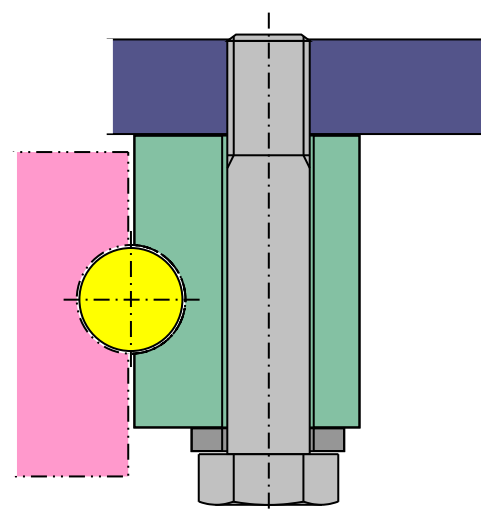
解析の特徴

HyperWorks Radioss bulk

スイングサークル部拡大



1. インナーボルトとアウターボルトをすべてモデル化した接触解析
2. ベアリングの剛性をモデリング
3. ボルト締結・ベアリング+衝撃解析

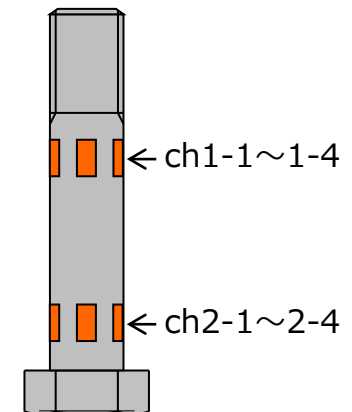


両側乗越実験

段差に乗り上げてから落ちる実験



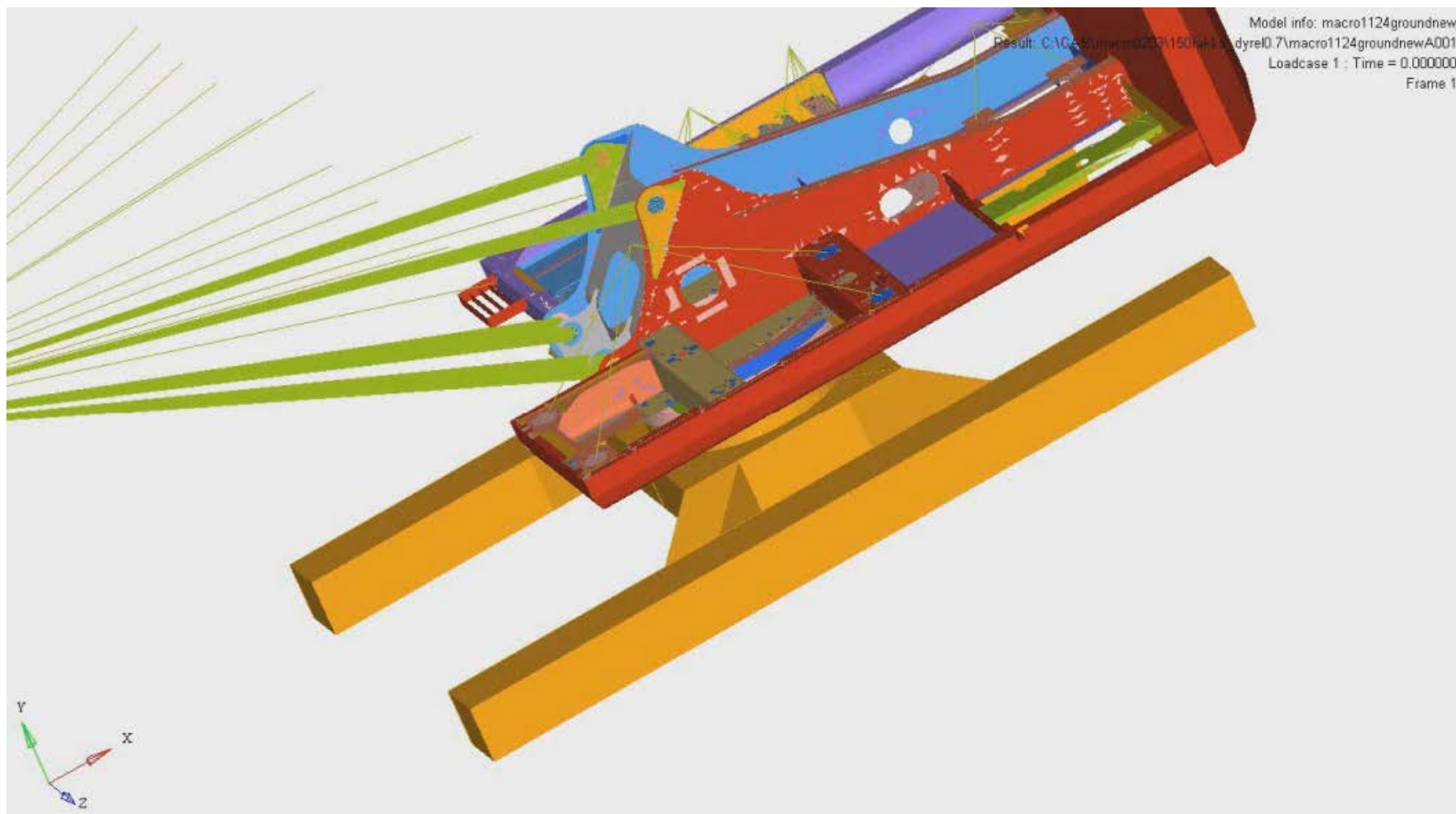
ボルトひずみ測定箇所



測定項目：カウンタウェイトの加速度
ボルトのひずみ

落下衝撃解析(陽解法)

* 倍率10倍

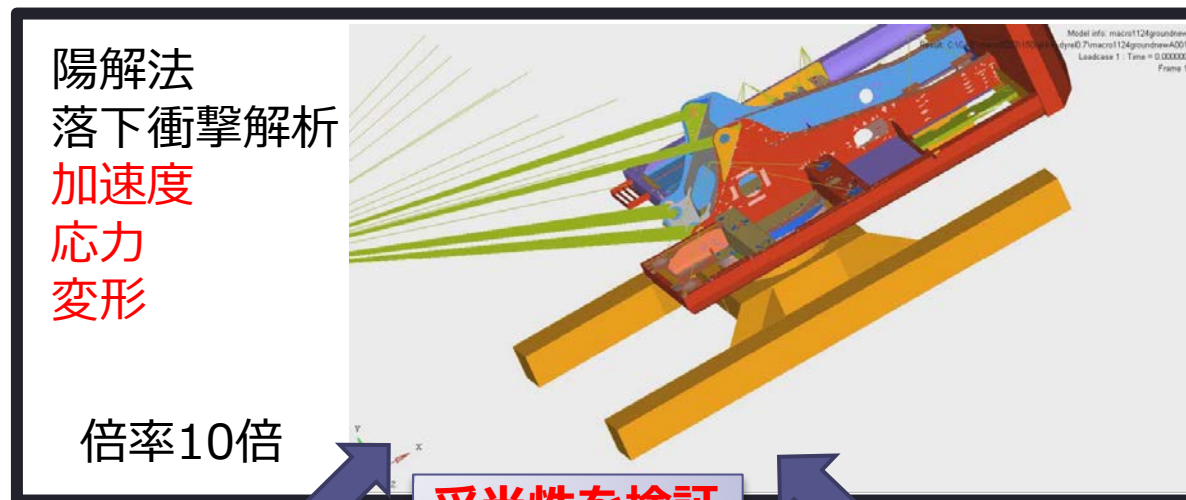


Radioss(陽解法)による解析
地面を作成し接触要素を定義
重力相当加速度を与える
構造減衰・ベアリング減衰による合わせこみ

振動励起の有無を確認可能
座面すべりの評価可能

結果の妥当性検証

実験結果や陰解法結果から陽解法衝撃解析の妥当性を検証する

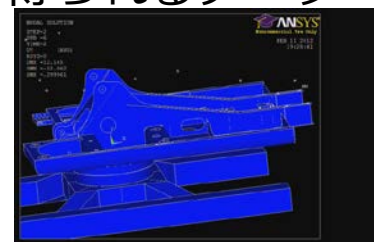


実験結果で得られるデータ
カウンタウェイト加速度
ボルトひずみデータ



陰解法静的自重解析(実験で得られる加速度を重力として全体に負荷)で得られるデータ
変形形状
応力状態

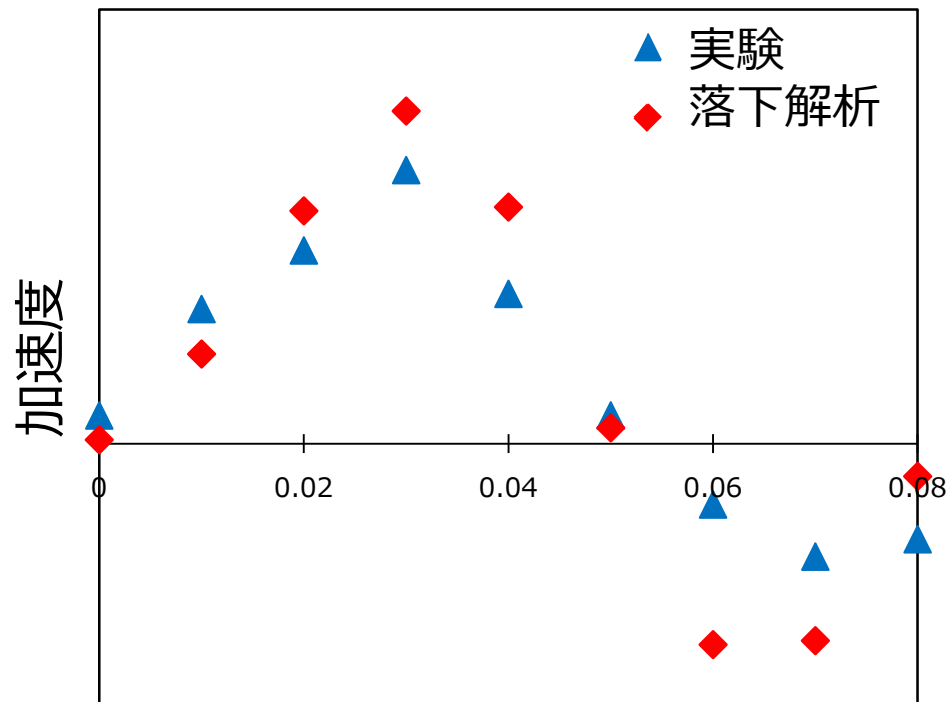
倍率50倍



実験と衝撃解析の比較(加速度データ)

走行体着地時からのカウンタウェイト加速度時系列データ

実験値と解析値の比較



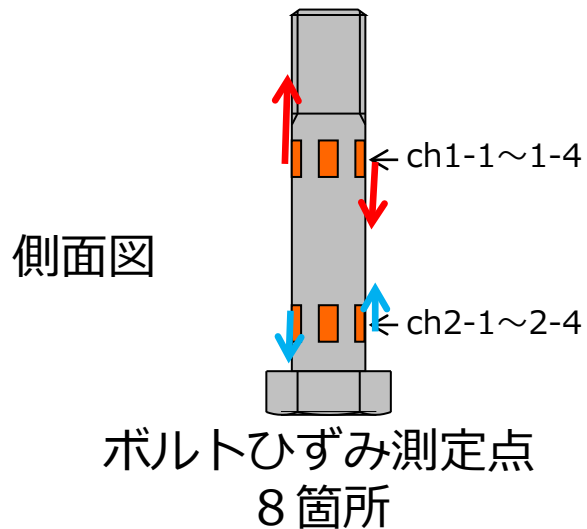
着地開始時からの時間 [s]

加速度測定



加速度大きさを構造減衰により合わせこみ
 加速度負荷時間(周期)をベアリング減衰により合わせこみ

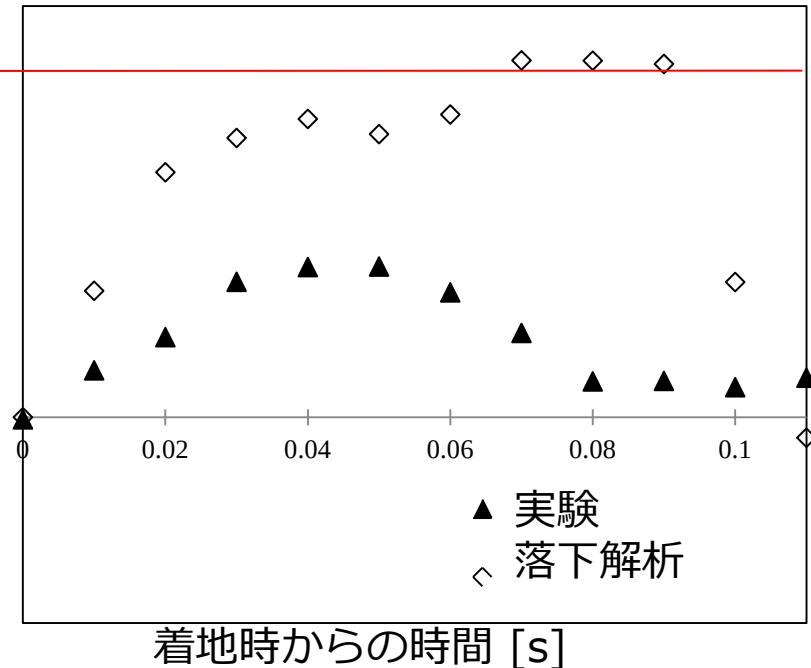
ボルト部応力変化の比較



9G静的
自重解析

応力変化

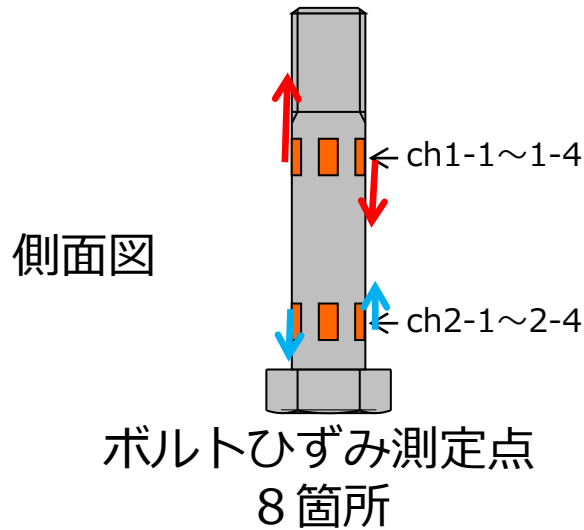
最大応力変化部(上部 ch 1 - 4)比較



実験：約60MPa
静的解析(9G)：約140MPa
落下衝撃解析：約140MPa

静的解析，落下解析で一致，実験にばらつきあり

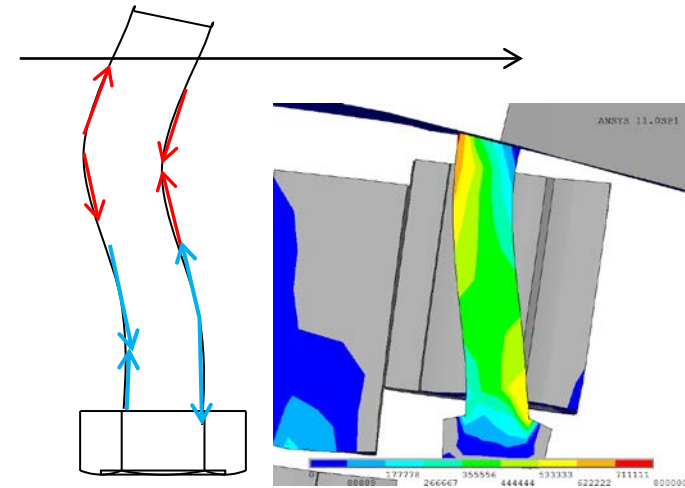
ボルト変形状の比較



曲げ変形状を算出



静的自重解析

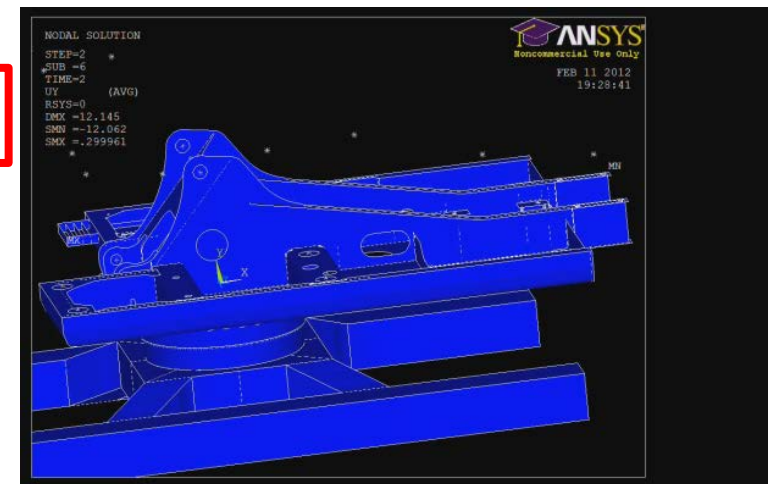


上部下部で逆向きに曲げがかかる二次たわみが現れる

実験・静的解析(9G)・落下解析とものに一致

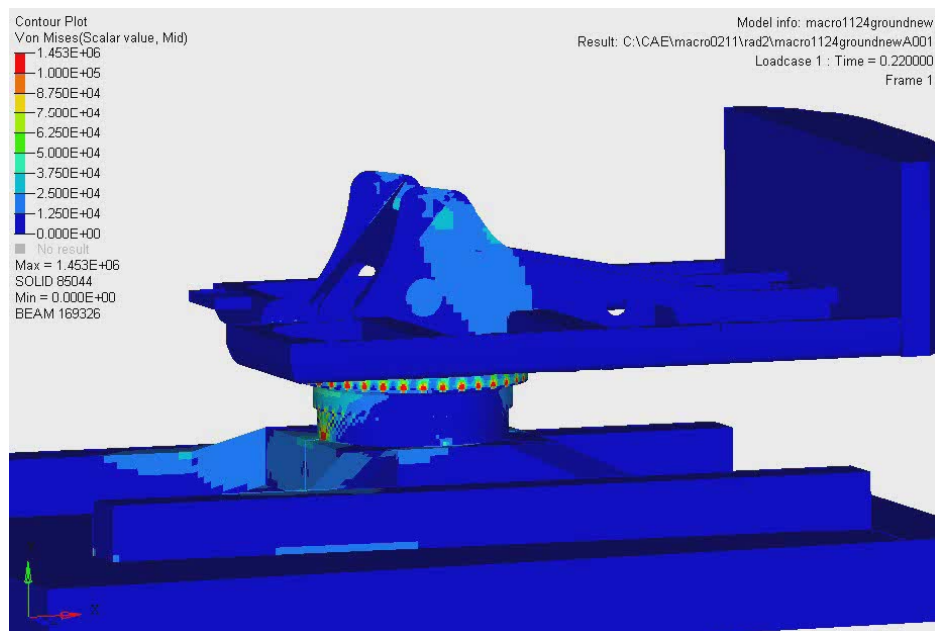
加速度
応力
変形

落下衝撃解析の妥当性



静的自重解析

振動励起(繰り返しの評価)

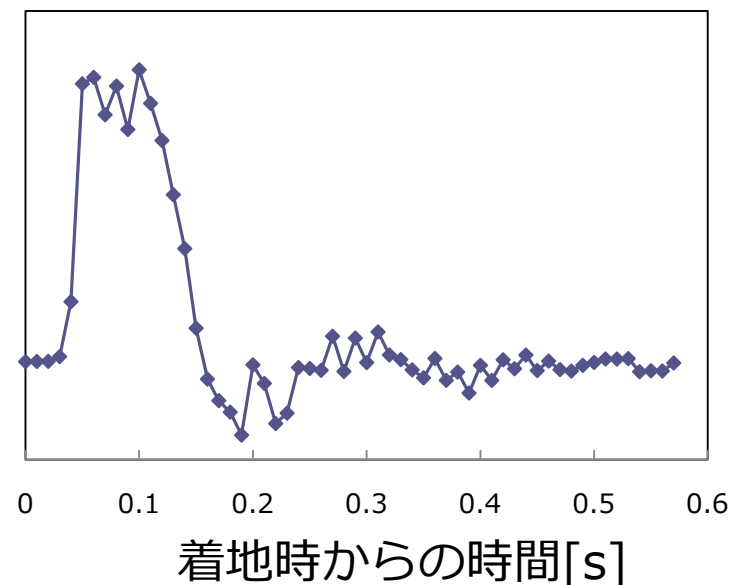


ミーゼス応力状態

着地部衝撃波は上部に伝わらない
上部には曲げがかかる
ベアリングによる減衰が大きい

ボルト部応力変化[MPa]

応力変化

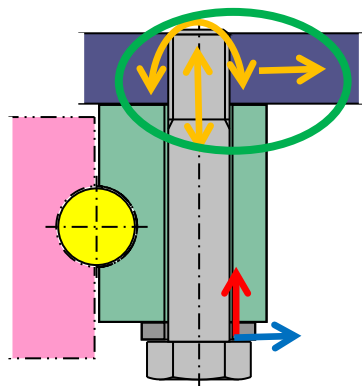


振動が励起されていない

一回の衝撃から繰り返し荷重がかかることはない

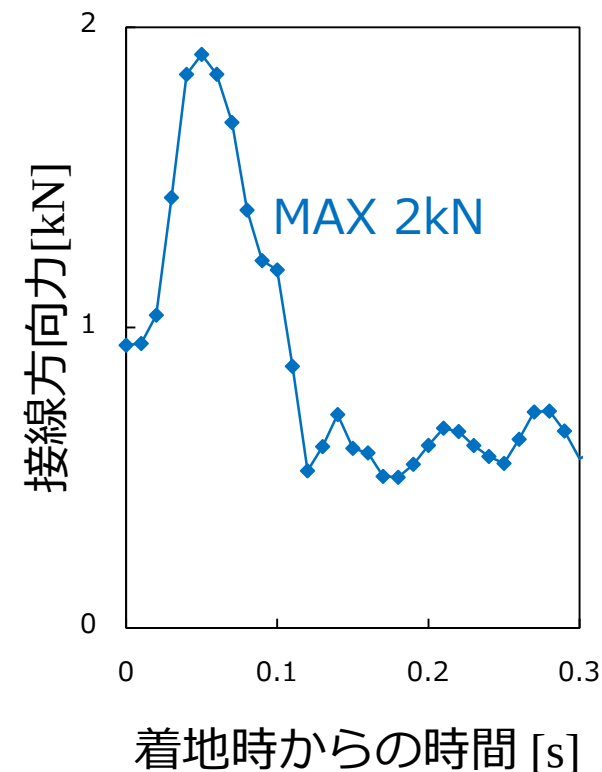
ボルトのゆるみ評価(座面すべり)

複合入力での、座面すべりの有無を調べる
接触要素の垂直力、接線方向力を検討する



完全座面すべりを起こすには約13倍の力が必要
微小座面すべりはその半分として約6倍の力が必要

垂直力 $\times 0.15 = 26\text{kN}$



落下高さ2倍にした解析では接線方向力約3kNであり現実的高さでのすべりは生じない

まとめ

- 実車の衝撃解析において、スイングサークル（ベアリング部）ならびにボルト締結部のモデル化を改善することにより精度の高い解析が可能になった。
- 二次たわみ形状にボルト変形し軸方向・軸直角方向・曲げなど複雑な荷重がかかるが振動はしない。
- ゆるみに関して複合入力による座面すべりの観点から評価したが、十分に裕度がある。

ご清聴ありがとうございました