

動解析、重力の落とし穴

- 1) 粘弾性定義でできること
- 2) 単位系の罫、自由落下の罫
- 3) 減衰理論の不思議

2026.1.30 寺子屋 萩本

寺子屋は発展するCAEと一緒に学びながら成長していく会社です。

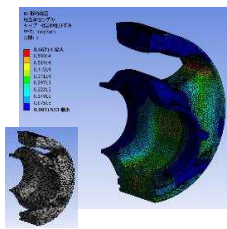
寺子屋/CAE解援隊

連絡先 hagi@terakoya2018.com

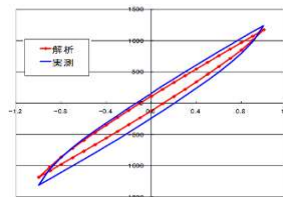
1) 粘弾性定義でできること

粘弾性解析とは、超弾性との違い

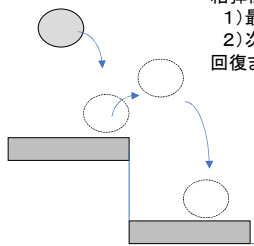
これらも粘弾性解析...すべて同じデータで解析可能です



リサージュ波形



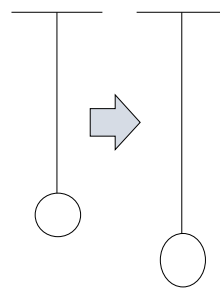
粘弾性 (Viscoelasticity) で解析、
1) 最初にバウンドするとき
2) 次にバウンドするとき
回復までの解析ができます。



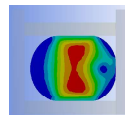
同様の定義で
ダメージ (Mullins)
効果も定義可能

クリープも同じデータで解析可能。

クリープ



シール組み付け



組み付け

粘弾性 (緩和)

応力緩和

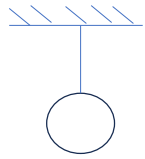
超弾性 (非線形性)

時間

反力

2) 単位系の罫、自由落下の罫

物質落下現象解析の罫・検証



条件1: ton単位系で重さは一致しますか?
また、ボールを拘束した状態で1秒の解析
この間に1Gを下方向に負荷する。

条件2
糸を切るように拘束条件を外し、
自由落下を表現した。



結果
自由落下の距離、速度が一致しない。
解析時間を長くすれば誤差が拡大する。

対応方法説明します

対策
落下させる初期のステップのみ
時間幅を極小にする。なぜか21stepの結果誤差が出る。



原因推定

重力は要素に与えられる。自由落下になるとき、節点荷重へ変更すると考えられ、その際の誤差。

不思議な次ページton単位系 (SI)、昔は無次元
バージョンで確認要

解析ソフトでの重力条件の課題

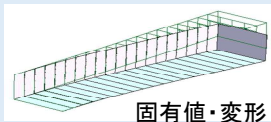
条件: 固定状態で重力を付加
その後、自由落下する。

落下速度に誤差が生じ、工夫が必要

教育の観点から

理論解が正しいか検算

ディスク



固有値・変形

単位系が正しいか/技術センス

単位系	単位	単位	単位
長さ	m	mm	mm
質量	kg	kg	ton
時間	sec	sec	sec
力	kgf	N	N
重力加速度	9806 mm/s ²		9806 mm/s ²
変位	mm		mm
応力	kgf/mm ²		N/mm ²
			MPa
ヤング係数	2.1E+4 (kgf/mm ²)		2.059E+5 (N/mm ²)
			~2.059E+5 (MPa)
弾性変位 f/g	7.85E-6 (kgf/mm ²)		7.85E-6 (ton/mm ²)
質量密度	7.85E-6 (kgf/mm ²)		
	9806 (mm/s ²)		
	+6.000E-10 (kgf/s ² mm ²)		

技術者の資質

2+2、2×2 結果が同じなら

確かめ算⇒ケタ違いが判るか/開発センス
技術者の基本を教える

JISは解析用ではない 役割
熟練者指導

自分が出来ない⇒部門間調整

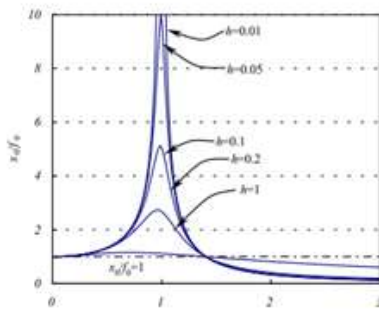
任せること/教えること/部門間調整

3) 減衰理論の不思議

理論式は正しいです。でも、ゴムは周波数ごとの剛性が変化します。
 ⇒ 正確には、減衰が大きくなると高周波側にシフトします。

$$\frac{\ddot{x} + \ddot{x}_s}{\ddot{x}_s} = \frac{1 + (2hT/T_0)^2}{\sqrt{(1 - T^2/T_0^2)^2 + (2hT/T_0)^2}} \cdot e^{-i\theta}$$

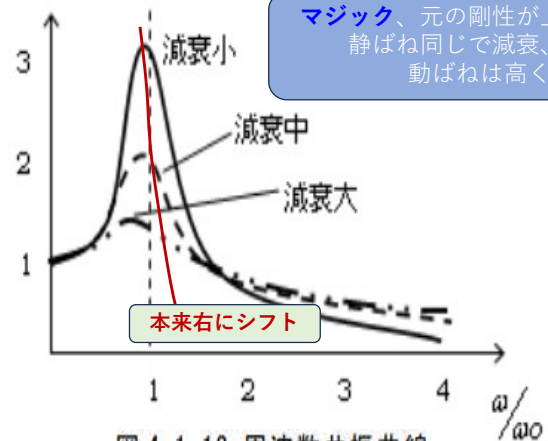
ただし、 $\tan \theta = \frac{2h(T/T_0)^3}{1 - T^2/T_0^2(1 - 4h^2)}$



c-pc8.civil.tcu.ac.jp/RC/ciber/tai/tai_pdf/01_shindo-base.pdf

振動工学に基礎

同じ静剛性でロス違いで固有値が異なる

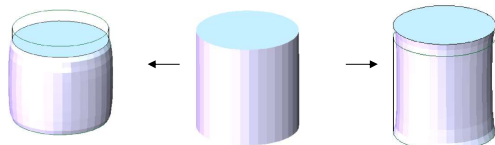


マジック、元の剛性が上がる
 静ばね同じで減衰、
 動ばねは高くなる

図 4-1-12 周波数共振曲線

5

単純な形状で説明します

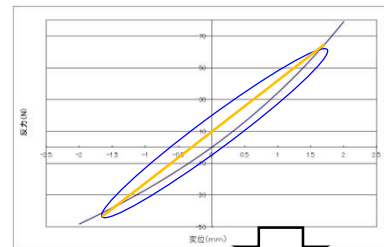


圧縮変形概要

引っ張り変形概要

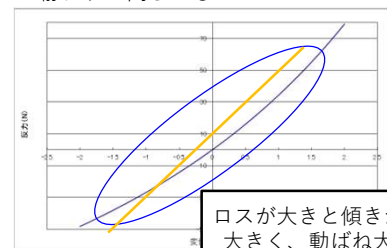
動ばねとは

低ロス

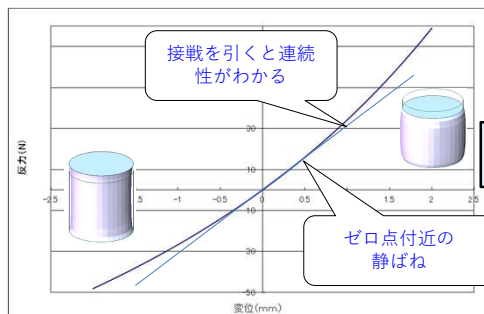


静ばねが同じでも

高ロス



ロスが大きくと傾きが
 大きく、動ばね大



静ばねは同じ

必要な変形域で考えるべき
 -線形ソフトでも工夫して解析可能-

動ばねと静ばねの関係から
 形状を定義していきます。

更には、粘弾性効果は時刻歴応答解析のみに有効

IV ソフトの癖を知る

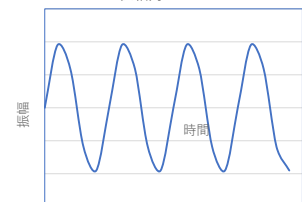
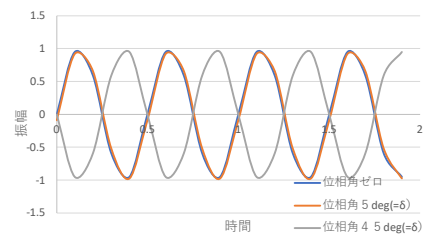
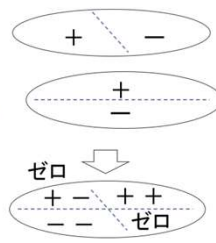
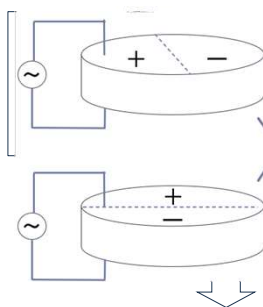
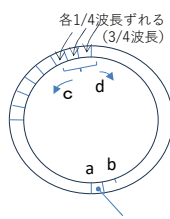
ソフトにより設定等異なるが、概ね次のような定義になります。

解析種	粘弾性定義	超弾性定義	その他
固有値解析	無効	調整要/Excel簡易法	次ページの ような工夫
時刻歴応答解析	有効	調整要	解析時間増大
調和応答解析	一部有効	そのまま使用可能	やはり過渡応答解析が 必用

- 1) 固有値解析に粘弾性効果が無効化されるため、工夫(直接剛性を入力)する必要がある。
- 2) 時刻歴解析: 正弦波加振と応答側で、応答倍率の最大値のところが固有値となる。
但し、周波数ごと、1つの周波数も安定するまで10波程度の解析を行うのでコストがかかる。
- 3) 調和応答は、粘弾性を考慮した応答倍率、1次、1.5次、2次モードの領域まで短時間で可能。
応答倍率も粘弾性効果にあわせて、小さく周波数も低周波側にシフト。

一般的にStaticの解析でも粘弾性効果が表れるが、ABAQUSはViscoとする必要があるなど、また、“瞬間”(チェック)トリガーも必要になります。

振動あれこれ、雑学

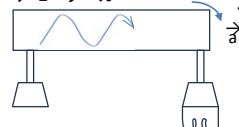


1/4波長のズレ

1/4 + 1/4波長で合計1波長

例えば、aへ向かう波長が+でいくときcからの波長で180°ずれる。
位置関係で90°ずれると打ち消しあう。同位相で増幅される。

リニアモーターカー



← 通常、端点に来ると跳ね返すのだが

Damping
ここにきた時誘い

講師の履歴書



進学校の予定が
推薦入学で
オリンピックめざし
インターハイまで

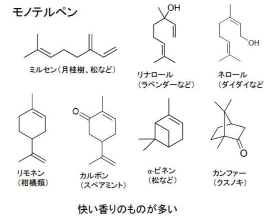
中学 ⇒ 高校

英語勉強せず
(化学と数学で突破)

ちょっとしたこと
推薦でなく受験

大学

物理が苦手な化学専攻
香水の合成



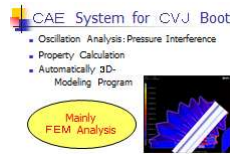
就職

防振ゴムの設計/物理系

1991年～ FEM解析
主担当・海外研修
解析マニュアル全て英語

現在

物理系
FEM解析での仕事



英語での講師

2000年ごろ
海外からの研修・講師

化学系出身でもこの程度できます。

寺子屋代表 自己紹介YouTube ご覧ください

https://www.youtube.com/watch?v=fpEvkk_wow8&t=17s

9

広 告

検索：ゴムの解析 寺子屋 2018

解析のお手伝い

ゴムの解析用データ構築
超弾性・粘弾性～耐久まで

ゴムの各種測定

二軸伸張試験

セミナーの開催

基礎の無料セミナー

解析自動化・効率化

予測精度向上

お客様向け有料セミナー

ご要望に合わせてカスタマイズ

オンサイトサポート

解析立ち上げ

解析実用化

全体をまとめた書籍

初心者のための
ゴムの有限要素法解析

根本茂広 著

寺子屋は発展するCAEと一緒に学びながら成長していく会社です。

寺子屋/CAE解援隊

連絡先 hagi@terakoya2018.com

寺子屋 サポート概要

ノウハウを提供する会社です。自立して頂く...

ゴムのお困りごと、何でも相談ください。

CAE適用

立ち上げお手伝い

- ・セミナー、育成サポート(座学)
- ・解析初心者ご指導
- ・ゴム材料定義
- ・解析条件の定義方法、見直し/間違え易い定義
- ・結果の見方、処理

効率化

- ・CAD自動化
- ・解析自動化/条件設定、結果処理
- ・リバースエンジニアリング
変形状態のCAD化、Assy組み込み

品質管理

- ・不良原因解明
- ・原因の可視化
- ・工程改善

知識集約情報発信
標準化はCAEの役割です

実用化・運用

線形～大変形解析

- ・クリープ～応力緩和解析
- ・動解析
- ・熱・金型設計
- ・衝撃、落下解析
- ・疲労寿命/耐久性予測

寺子屋/CAE解援隊

連絡先 hagi@terakoya303.com

11

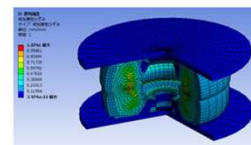
兵庫県率工業技術センターでMARC習得しませんか

1日で基本修得でき、その後電話サポートなど。試験場使用料込み20万円～

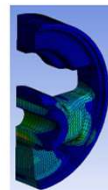
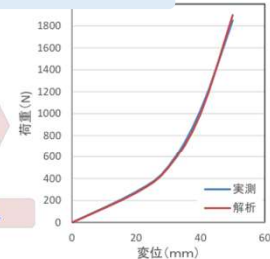


材料診断も実施

クッションラバーの変形解析



二軸を修得すれば無敵です。



ターゲットを絞り自動化システム構築します。
エンジンマウント、Oリングなど
30分1モデル解析実行可能と・・・

自動化、CAD機能の自動描画も可能です。

1日でFEM/MARC-ゴム製品の解析を修得 –タイムスケジュール

週末を利用して、神戸・秋田でMARCを1日で修得しませんか。講習後は、バックアップ万全です。

開発・設計業務にゴムのCAEを効果的に活用するため基礎理論とFEM解析技術を展開

理論、実習面

1. 解析の基礎 理論及び実習

- 1) メッシュの作成からモデル化：平面ひずみ、平面応力、軸対称要素の説明と解析
- 2) メッシングの基本実践と理論：ご要望により調整、解析モデル持ち込み可
メッシュ作成の基本から解析まで簡単なモデル、若しくはお持ち込みモデルでの解析
- 3) 解析結果の見方：ひずみ、応力、荷重たわみ特性、面圧、その他
ゴムの基本として応力評価してはいけない/理論説明含めて

2. 解析応用 2D～3次元への展開

- 1) モデリング手法/拡張 2) 解析条件設定 3) 結果の見方と結果を簡単に出力する仕組み
- 2) 解析の自動化～CAD自動化への展開
- 3) 熱膨張及び収縮解析

ここまでAM/実習中心・理論は補助

3. 解析の便利機能

- 1) スムージング解析（回転体など） 2) ズーミング解析：局所の詳細解析への展開
- 3) 線形解析でも陥りやすいポイント、改善方法

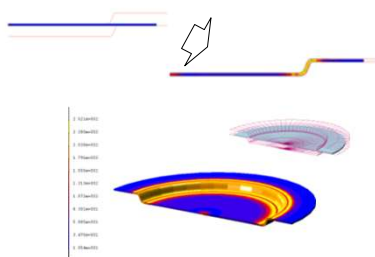
※理論：ゴムのFE解析[書籍]プレゼント、詳細の説明あり。また、オペレーションのみではなく、
順次、**解析の基礎及び注意すべきポイント、ゴムの解析用材料データの構築について説明。**

導入検討・即開発適用、30万円＋税ですぐに2次元（平面、軸対称）から3次元展開まで使えるようになります。

13

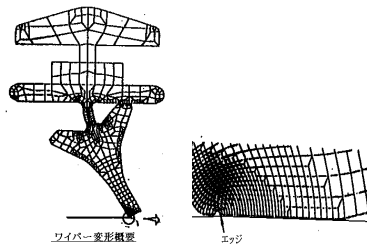
板金の塑性解析

2D解析を3D出力する方法



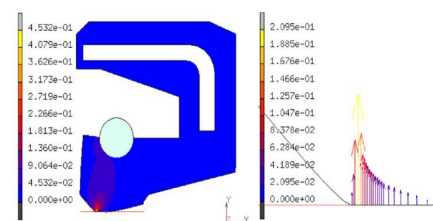
ゴムの平面2D解析

ワイパー断面のリップ詳細解析



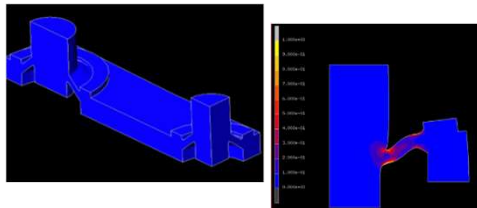
ゴムの軸対称2D解析

シールの面圧解析



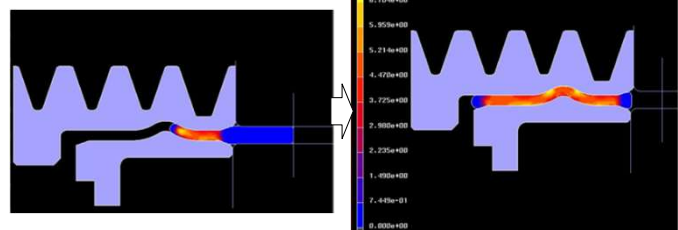
断面の軸対称2D解析

クリック反力解析



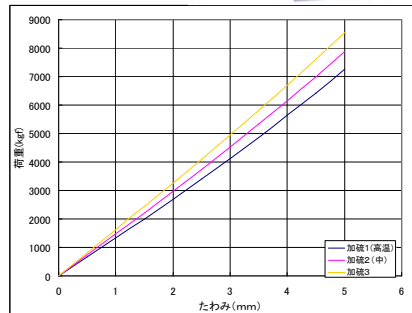
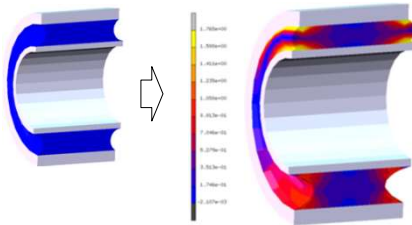
軸対称モデル-ゴムの圧入接触解析

シールの面圧解析



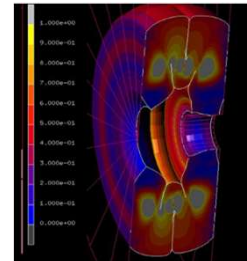
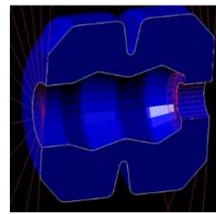
ゴムブッシュの3D解析

変形反力

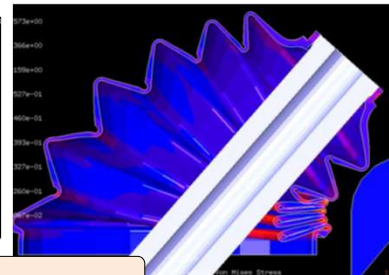
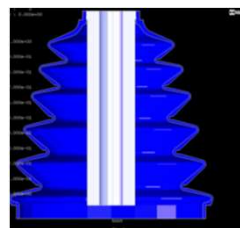


ゴムクッション2D解析～3D展開

変形反力



ブーツの揺動変形解析



自動化を取り入れて短期間で修得できます。

1991年から同志社大学で坂口教授のもとで研究スタート、今も勉強中

ゴムの二軸伸張試験、承ります。-ゴムの専門家として解析適用までサポートします。-

二軸伸張試験実施 ⇒ ひずみエネルギー密度関数 (Mooney, Ogden等回帰、係数算出。25万円～複数割あり)

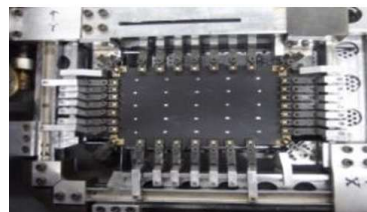
$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_2 - 3)^2 + C_{30}(I_2 - 3)^3$$

Ogden定義も可能です。

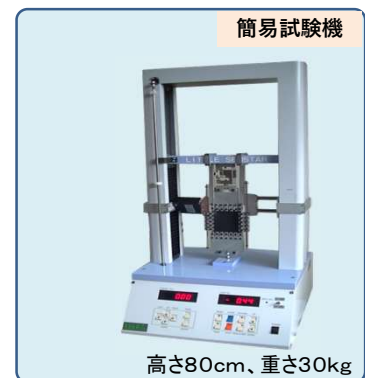
- ・エネルギー関数の真実、注意すべき点
- ・ゴムの解析への適用方法
- ・線形解析での間違いやすい点、その他サポート



現地（富山）の二軸試験機



サンプル取り付け部



高さ80cm、重さ30kg

従来の試験機は、横置き型・大型 非常に高価 旧型、富山工業試験場、昭和生まれですがまだまだ現役です。

材料定義をご自身で修得

公共試験場を利用して ゴムの解析用ひずみエネルギーを構築しませんか。

お問い合わせリンク
<https://terakoya2018.com/question>

－ 候補日をいただければ調整します。1社4名様くらいまで －

1. 富山県でご希望の日程で、6時間程度で修得できます。
操作は簡単で、ひな型を使って回帰も簡単です。
※ひな型販売もしています。
2. 公共試験場ですので、安価に、(修得すれば)いつでも
ご利用いただけます。
アフターフォローも万全です、問い合わせに回答します。

現在、現役の試験機ですが何分、昭和生まれですので..
使えるうちに覚えましょう。

寺子屋/CAE解援隊
URL <https://terakoya2018.com>

連絡先 hagi@terakoya2018.com
080-2230-8785



- プログラム(案) -

1. ゴムの測定からデータのまとめ方、注意点(最重要)と概要 10:00~10:20

1-1. 短冊、ダンベルでの単軸伸張試験の注意点

実習で行う単軸試験でのセット時のへたり補正方法について説明し、単軸試験でのゴムの挙動を確認します。

1-2. 見かけ上のヤング率について

サンプルの選定、測定方法で本当の剛性が求められないことがあります。

速度依存性を気にする方もいますが、そこはほとんど影響ありません。明確に説明します。

※お問い合わせいただければ資料で説明します。

※ゴム製造メーカーへの上手な問い合わせ方法を提案します。

1-3. 二軸理論と実習前の試験機の操作概要と注意点

ネオフックからムーニー高次関数、またオグデンでの定式化を説明します。

1-4. 試験時にやってはいけない注意点のみ説明します。

2. 単軸試験実習 及び 二軸試験実習

10:25~14:50

昼食休憩 (12:00~13:00)

4. 単軸及び二軸試験のまとめ

15:00~16:00

EXCELひな型を使って、回帰からエネルギー関数を定義します。

その際に、二軸試験機の制約から正確なヤング率が取れていないので、補正を行います。

費用: 1名20万円、1名追加+2万円/税別 お弁当をご用意します。

セミナーのご案内

無料セミナーはご招待いただき開催も検討

ホームページに無料・有料セミナー順次更新

ゴムの解析基礎・応用

解析実習
1日でMARC習得

防振ゴム設計・解析基礎
応用

ひずみエネルギー密度関数
サンプル無料プレゼント

シール設計・解析基礎
応用

ゴムの粘弾性から耐久性

第2弾ゴムタイムス社様から発売中
アマゾンからも購入可
第1弾(超弾性部のみ)プレゼント—

解析・CAD自動化

問い合わせの方 第1弾(超弾性部のみ)ゴムのFEM解析 まもなく完売
メール: hagi@terakoya2018.com

初心者のための
ゴムの有限要素法解析

萩本光広 著

コロナ出版