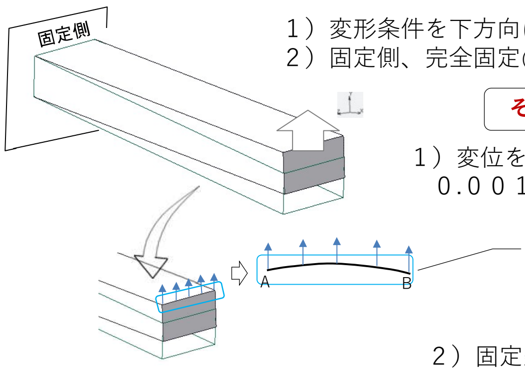
やってはいけない線形解析の定義・落とし穴

線形解析の注意点

- **変位・固定条件の間違い**
  応力の見方も・・
- **モデル簡略化による課題**
- **樹脂ブーツの解析でのバンド固定**

変位･固定条件の間違い

梁の変形解析、最も簡単な解析です。



1）変形条件を下方向に変位条件で与えていませんか？
2）固定側、完全固定(X=Y=Z=0)としていませんか？

それは本当に正しい条件ですか？

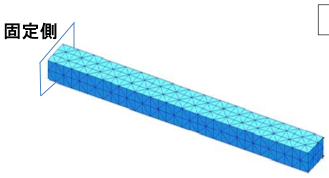
1）変位をY＝０.１mmとした場合、***本当に直線状に並ぶと思いますか***？
０.００１mmの変位の差でも、**反力は大きく異なるので**
そのように変形させることは至難の業です。

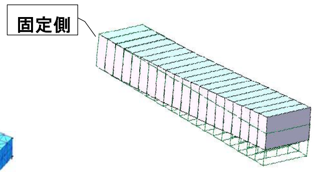
一定の変位にはならないものを
変位拘束で解析すると大きな誤差が出ます。

2）固定条件：**金属を完全固定する治具が存在すると考えますか**？

モデルやソフトの癖も存在します。

変位･固定条件の間違い





では、ヘキサ（6面体）要素で
正解は得られますか？

テトラ（4面体）1次要素では
正解が得られないことは周知のこと。

⇩

テトラ（4面体）2次要素は
正解が得らるモデルです。

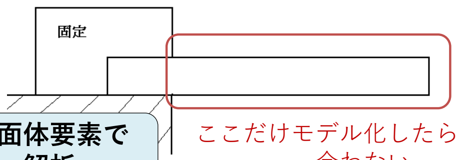
ソフトに癖があるので、

残念ながら
デフォルトの条件では正解は得られません。

次ページ以降、参考資料を示す。

もっとも単純な梁の変形・固有値解析

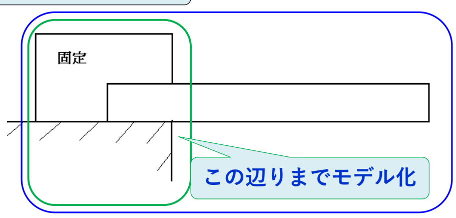
では実験値と一致しますか？



6面体要素で
解析

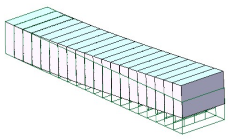
ここだけモデル化したら
合わない

全体をモデル化

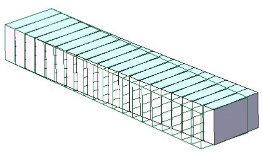


金属の完全拘束はありえない

縦曲げ1次



横曲げ1次



固有値解析もSI系で
ton/m^3などの回答得たことは？

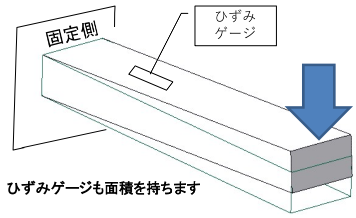
正しくは
$N・sec^2/mm^4$

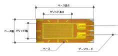
様々な固定要件・拘束条件

プーリーダンパー形状

1／2モデル、1／4モデルでの
対称面は変位で与えて良い。

応力・変形解析も・・





測定結果との比較は、位置やメッシュのサイズのアンマッチで合致しないと勘違い。

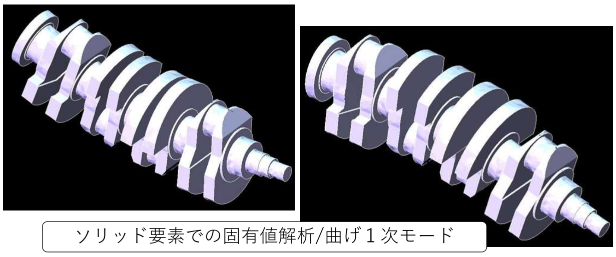
金属の解析をするのか
ゴムの解析をするかで異なる。

変位も場合によっては**分散荷重の方が正解があられる。**

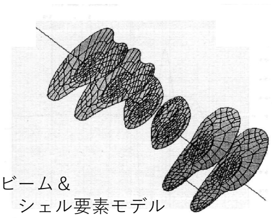
解析モデルとゲージ位置、面積マッチしていますか？

モデル簡略化による課題

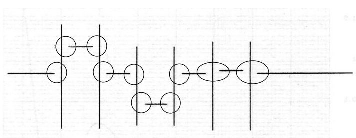
クランクシャフトの剛性、振動解析



ソリッド要素での固有値解析/曲げ１次モード



ビーム＆
シェル要素モデル



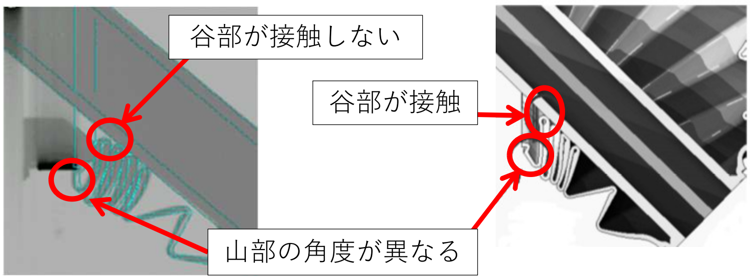
側面図：○印部質量と剛性をダブらせない

今はハードウェアの能力が格段に向上したのでソリッドで十分解析が可能。
しかし、**モデルが肥大化した場合にこの方法が有効になり、手法を確立しておく必要がある。**

シェル要素は厚みを持つため、直接結合させると
ビームとシェル部の剛性と質量がダブってしまう。

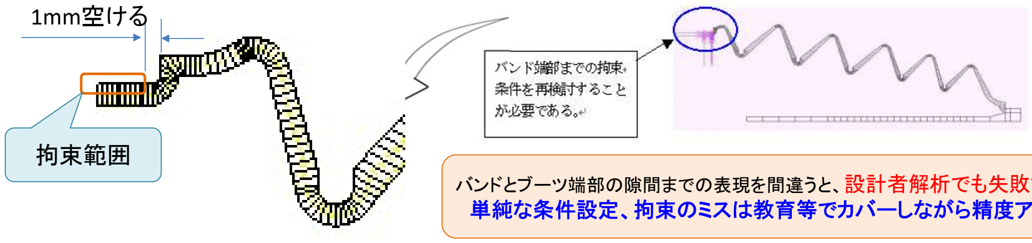
拘束条件失敗の一例

等速ジョイントブーツの変形解析



原因）

拘束条件：シール部端部まですべて拘束している為



バンドとブーツ端部の隙間までの表現を間違うと、設計者解析でも失敗することがある。
単純な条件設定、拘束のミスは教育等でカバーしながら精度アップできます。

モデリングの勘違い

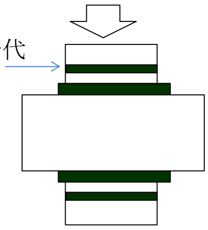
モデリング・メッシング
の注意点

- **要素タイプ選択の落とし穴**
  平面応力と平面ひずみ
- **見たいところを見るメッシング**
  どこまで細かく

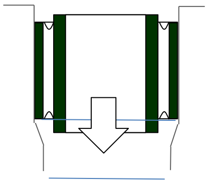
要素タイプ選択の落とし穴 －２次元要素に注意-

勘合代

ブッシュ
1/2モデル



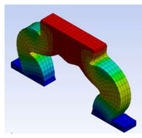
圧入・勘合解析



絞り解析

軸平面モデル

穴あき台形ゴム形状

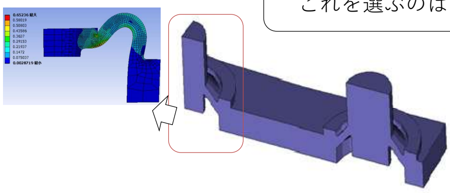


防舷材形状

ワイパー断面形状

鉄道用レール

軸対称モデル
これを選ぶのは簡単



平面ひずみと平面応力要素の違い

平面ひずみとは無限に奥行きがある場合、その中央で厚みの影響を受けない部位、平面応力とは厚みの影響を受ける場合で選択。

おのずと要素選択が可能。
ワイパー、レールは平面ひずみになるが、端は平面応力での解析

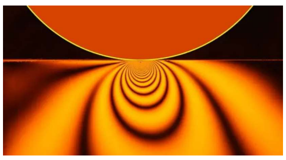
注意：MARCのように超弾性の平面応力を持たないと考えられるものも
金属（#3）要素でのアップデートラグランジェ法で可能になる。

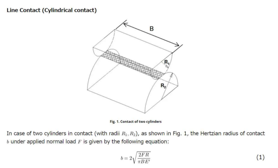
見たいところを見るためのモデリング

線形解析でこの解析はできないかもしれませんが、考え方は基本、同じです。

1．ヘルツの解析
接触幅は数ミクロン、その幅が確認できるサイズのメッシュ

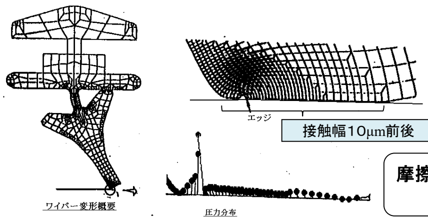
Hertzian contact equations for elliptical, spherical and cylindrical contacts
https://www.tribonet.org/wiki/hertz-equations-for-elliptical-spherical-and-cylindrical-contacts/





ゴム製品でも細分化メッシュ

ワイパーの接触幅・面圧解析

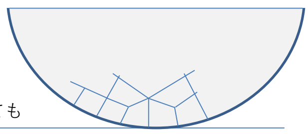


接触幅表現

接触幅10μm前後

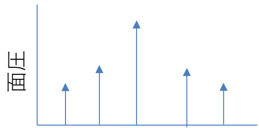
面圧200atm以上

摩擦の差が無ければ反転なし

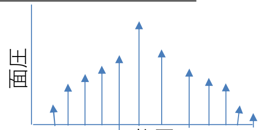


対称面と考えても

面圧１：**粗いメッシュ**

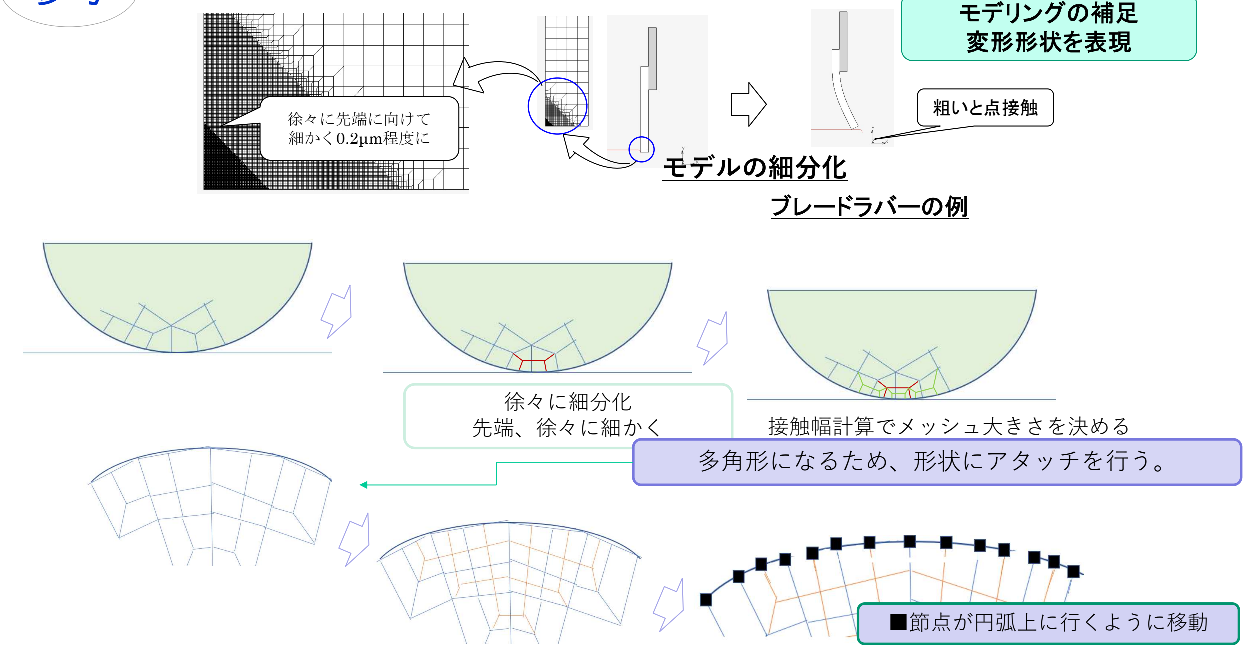


面圧２：**細かいメッシュ**



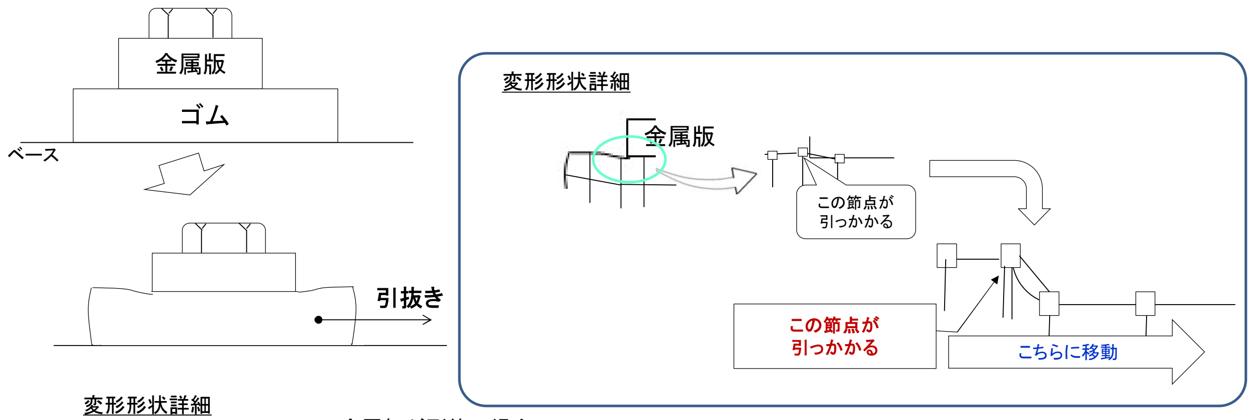
参考

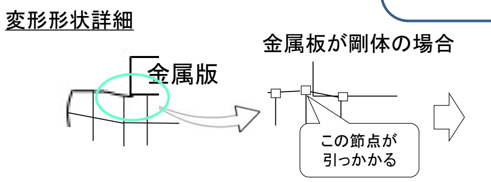
メッシングのテクニック



参考

接触問題におけるエッジの影響





解決策

便宜的に小さいフィレットを作る

フィレットより接触部は小さい要素にする。

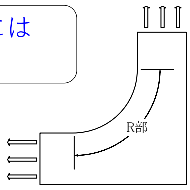
要素を増やすと解析時間増大:デメリット(変形時含めて)

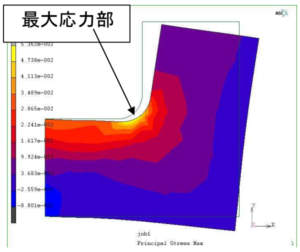
接触幅に対して十分小さいフィレットとすることで、

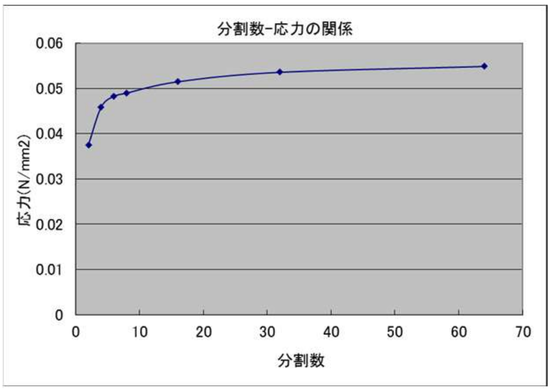
解析時に大きな面圧などの差が生じないことを前提。

見るためのメッシング -フィレットと分割数の関係-

正しい応力を求めるには
分割数が重要







一定分割数以上で飽和、解析時この辺を決めて比較する。

非線形材料の落とし穴

材料定義の真実

ひずみエネルギー密度関数の真実

どの領域のデータが有効か？　すべての領域を使うことが混乱を招く。

粘弾性定義の真実

どこまで細かく

粘弾性データの効果、効力は・・

ポアソン比、体積弾性率、質量密度

解析用
ひずみエネルギー密度関数表現の真実

ひずみエネルギー密度関数はすべての領域を精度よく表現できるほど
万能ではないため、優先順位をつけて製品ターゲットでデータを採るべきです。

簡易版のポイントをまとめたもので、　解析用お役立ち資料 | 寺子屋2018 (terakoya2018.com)
ひずみエネルギー密度関数表現の真実をご参照ください。

ひずみエネルギー密度関数について

基本式

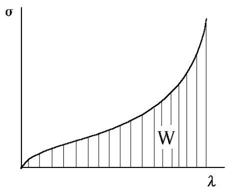
エネルギーW＝W(I_1, I_2, I_3)

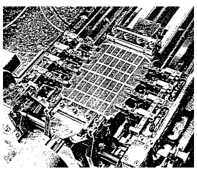
$I_1=\lambda_1^2+\lambda_2^2+\lambda_3^2$　［対角線効果］

$I_2=\lambda_1^2\lambda_2^2+\lambda_2^2\lambda_3^2+\lambda_3^2\lambda_1^2$　［面積効果］

$I_3=\lambda_1^2\lambda_2^2\lambda_3^2=1$　［体積効果］

伸張比 $\lambda=1+\varepsilon$　として表現





伸張試験概要

主な表現式

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

2）Ｏｇｄｅｎ　$W=\sum_{i=1}^{n}\frac{\mu_i}{\alpha_i}(\lambda_1^{\alpha_i}+\lambda_2^{\alpha_i}+\lambda_3^{\alpha_i}-3)$

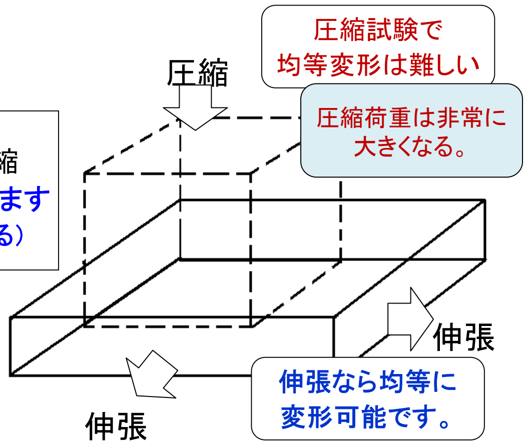
3）Arruda-Boyce

$$W = nk\theta\left[\frac{1}{2}(I_1-3)+\frac{1}{20N}\left(I_1^2-9\right)+\frac{11}{1050N^2}\left(I_1^3-27\right)+\frac{19}{7000N^3}\left(I_1^4-81\right)+\frac{519}{673750N^4}\left(I_1^5-243\right)\right]$$

製品は、ほとんどが圧縮なのに
材料試験は、なぜ引張試験なのか？

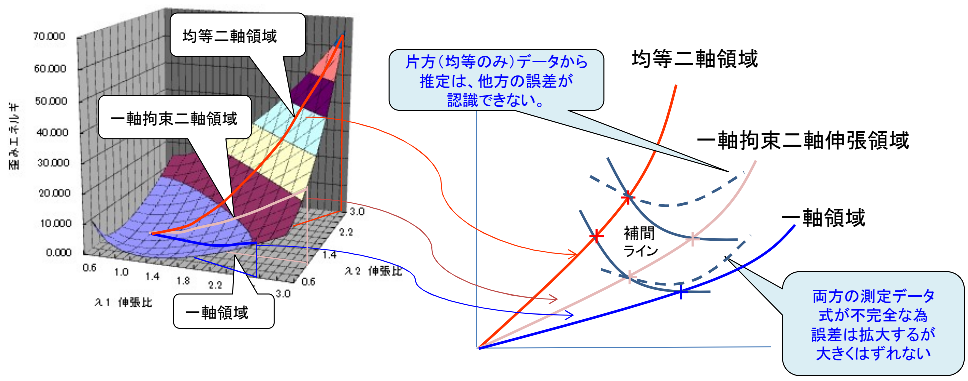
ゴムの非圧縮性
$I_3=\lambda_1^2\lambda_2^2\lambda_3^2=1$

二方向を引っ張ると、一方が圧縮
エネルギー関数を**明確に定義できます**
（全ての方向の伸張比λが定義できる）



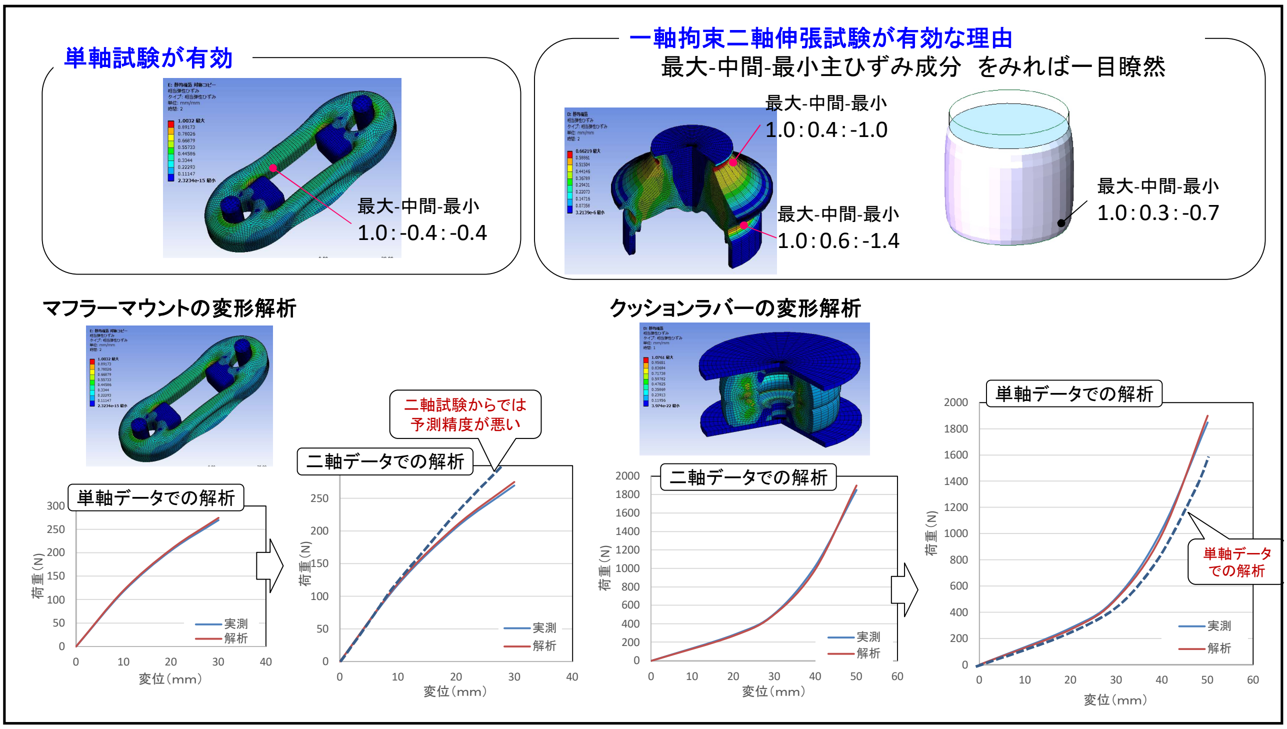
よく質問を受けますが、どの表現関数を使っても
元のデータが同じなら、解析に予測精度は同等です。**式の優劣はありません。**

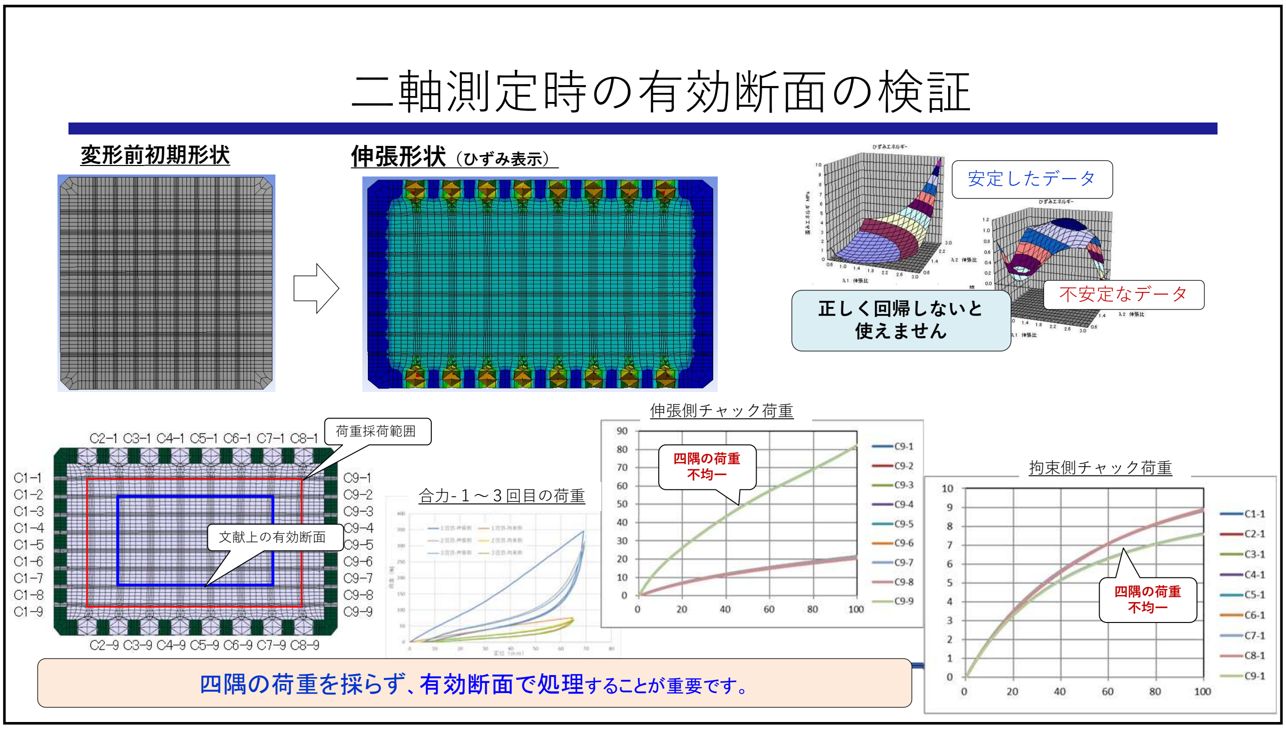
エネルギー関数導出の落とし穴



**二軸均等伸張データで予測できるのは、風船のような製品
割合は少ない**

2方向に均等に伸張する製品は
ゴム製品でも少ない
⇒ あまり**均等二軸伸張の領域データは使用しない**

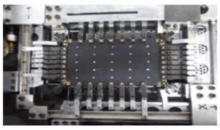

単軸試験が有効
最大-中間-最小
1.0:-0.4:-0.4
一軸拘束二軸伸張試験が有効な理由
最大-中間-最小主ひずみ成分 をみれば一目瞭然
最大-中間-最小
1.0:0.4:-1.0
最大-中間-最小
1.0:0.6:-1.4
最大-中間-最小
1.0:0.3:-0.7
マフラーマウントの変形解析
クッションラバーの変形解析
単軸データでの解析
二軸データでの解析
二軸試験からでは
予測精度が悪い
二軸データでの解析
単軸データでの解析
単軸データ
での解析
荷重(N)
変位(mm)
実測
解析


二軸測定時の有効断面の検証
変形前初期形状
伸張形状（ひずみ表示）
安定したデータ
不安定なデータ
正しく回帰しないと
使えません
C2-1 C3-1 C4-1 C5-1 C6-1 C7-1 C8-1
荷重採荷範囲
C1-1
C1-2
C1-3
C1-4
C1-5
C1-6
C1-7
C1-8
C1-9
C9-1
C9-2
C9-3
C9-4
C9-5
C9-6
C9-7
C9-8
C9-9
文献上の有効断面
C2-9 C3-9 C4-9 C5-9 C6-9 C7-9 C8-9
合力-1～3回目の荷重
伸張側チャック荷重
四隅の荷重
不均一
拘束側チャック荷重
四隅の荷重
不均一
四隅の荷重を採らず、有効断面で処理することが重要です。

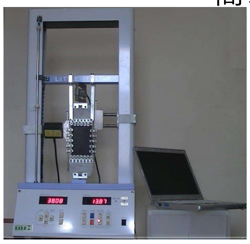
二軸試験機の比較と変形について

従来の二軸試験機

サンプル取り付け部



簡易型二軸試験機



サンプル取り付け部

縦型の為、
治具を使って装着

二軸試験・変形概要

一軸拘束二軸試験

二軸試験

均等二軸試験

簡易型二軸試験・変形概要

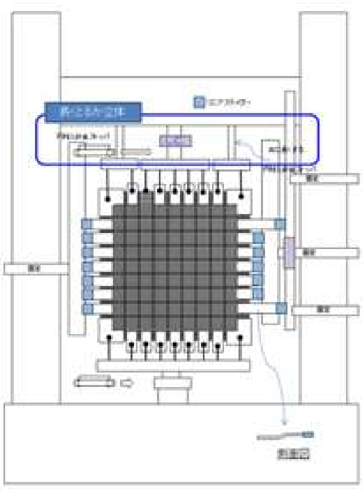
一軸拘束二軸試験

単軸及び純せん断領域の
測定ができるため十分
治具の工夫で均等二軸可能

従来型同様、四隅の荷重は外す。

従来の試験機は、横置き型・大型　非常に高価(1千万円程度)**なのに対して4分の1以下の価格で**
必要な試験ができるため、有効な手段になりうる。

簡易二軸試験機(単軸試験機へのアタッチメント)



リニアスライダーを利用した
アタッチメント

単軸及び純せん断領域の
測定ができるため十分
治具の工夫で均等二軸可能

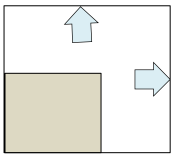
既存の試験機に取り付けることで、試験機購入額の節約可能

リニアスライダー強度を確認、側面に記録用ロードセルを設置
設計＆制作にトライしてみませんか

一軸拘束二軸伸張試験では２本の特性データが必須？

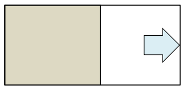
均等二軸試験であれば、2方向同じひずみvs反力となり1本の特性

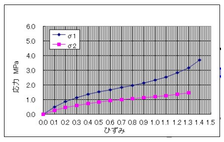
均等二軸試験



一軸拘束二軸伸張試験では、2方向の反力が異なる。

一軸拘束二軸試験



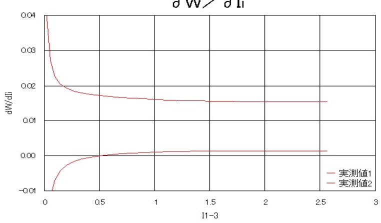


2方向の特性から

$$\frac{\partial W(I_1,I_2)}{\partial I_1}=\frac{1}{2(\lambda_1^2-\lambda_2^2)}\left[\frac{\lambda_1^3\sigma_1}{\lambda_1^2-(\lambda_1\lambda_2)^{-2}}-\frac{\lambda_2^3\sigma_2}{\lambda_2^2-(\lambda_1\lambda_2)^{-2}}\right]$$

$$\frac{\partial W(I_1,I_2)}{\partial I_2}=\frac{1}{2(\lambda_2^2-\lambda_1^2)}\left[\frac{\lambda_1\sigma_1}{\lambda_1^2-(\lambda_1\lambda_2)^{-2}}-\frac{\lambda_2\sigma_2}{\lambda_2^2-(\lambda_1\lambda_2)^{-2}}\right]$$

エネルギーの微分値が得られ



それぞれの微分線図から各係数を回帰で求める。

$$\partial W/\partial I1 = C_{10} + C_{11}(I_2-3) + 2C_{20}(I_1-3) + 3C_{30}(I_1-3)^2$$

$$\partial W/\partial I2 = C_{01} + C_{11}(I_1-3)$$

２本の応力ひずみ（伸張比）線図が無いと、すべての係数が特定できない。
ソフトの中でどのような処理がされているかは不明ですが、
EXCEL標準回帰機能**で求めることができます。**