

## 材料試定義について

### ■ 材料定義の方法-ひずみエネルギー密度関数をいかに定義するか

二軸試験からひずみエネルギー密度関数を定義できれば最良の方法であるが、残念ながら測定用の短冊（1辺長さ30mm）、二軸シート（□75mm）、シートすら用意できないお客様も多い。よって、製品から定義する方法を記録する。

二軸伸張試験からの定義は、最後に記載する。

#### ひずみエネルギー密度関数

定義については、様々な式が提唱されているが、高次になればカーブフィットを優位にするが、高次の式で5項程度で定義することで優位差はない。同じ実験データからは同程度の実測の予測精度になる。

- 1) Neo-Hookeanモデル  $W=C_{10}(I_1-3)$
- 2) Mooney-Rivlinモデル  $W=C_{10}(I_1-3)+C_{01}(I_2-3)$
- 3) Mooney高次 (JGS)式

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

- 4) O g d e n  $W=\sum \frac{\mu_i}{\alpha_i} \lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3$
- 5) Arruda-Boyce

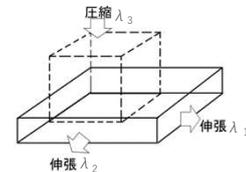
$$W = nk\theta \left[ \frac{1}{2}(I_1-3) + \frac{1}{20N} \left( \frac{I_1^2-9}{1} \right) + \frac{11}{1050N^2} \left( \frac{I_1^3-27}{1} \right) + \frac{19}{7000N^3} \left( \frac{I_1^4-81}{1} \right) + \frac{519}{673750N^4} \left( \frac{I_1^5-243}{1} \right) \right]$$

テンソル $I_i$ は、伸長比 $\lambda$  (=ひずみ $\epsilon+1$ )で定義される。

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad \text{【対角線効果】}$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad \text{【面積効果】}$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1 \quad \text{【体積効果: 非圧縮性】}$$



3

## 1. ゴム特性の基本知識

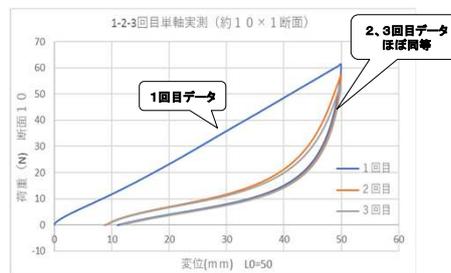
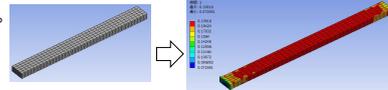
ゴムの、そのままのヤング率で定義しませんが

ヤング率 $E=6 \times C_{10}$ の関係から

最も簡単なネオフック関数  $W=C_{10}(I_1-3)$  で表される。

単軸試験から正確なヤング率を求めること。

短冊試験



1回目と2回目は大きく異なり、  
2回目と3回目は少し異なります。

3回目以降はほぼ重なります。

ゴムの3回の伸張データは、上記のように安定性から“3回目のデータとJISでは規定”しています。

しかし、それだけでは解析に使うことが難しいです。/JISは解析用に定義されていません。

シールのように1階で組付けてしまうものは1回目、防振ゴムのように繰り返し使用するものは3回目特性を使用。

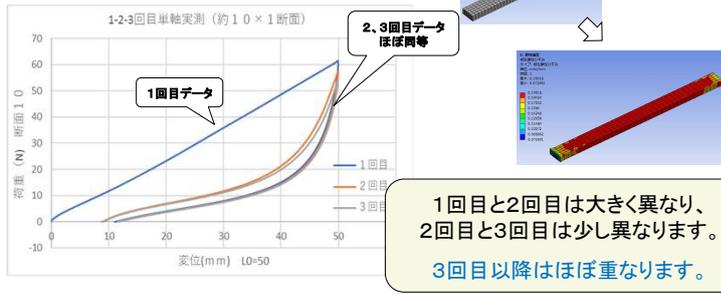
## 2. 測定時にへたりを考慮する必要がある。

ゴムは、そのままのヤング率で定義しませんが

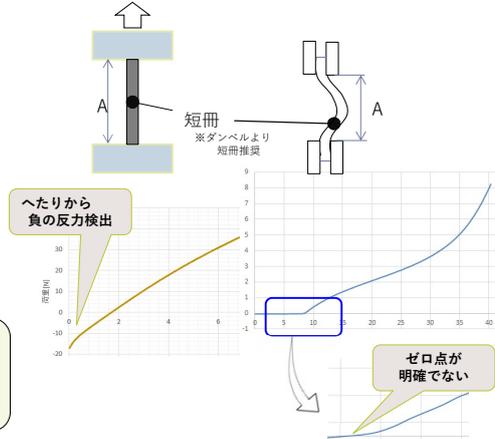
ヤング率  $E = 6 \times C10$  の関係から

最も簡単なネオフック関数  $W = C10(I1 - 3)$  で表される。短冊試験

単軸試験から正確なヤング率を求めること。



単軸試験手順：重要ポイント



ゴムの3回の伸張データは、上記のように安定性から“3回目のデータとJISでは規定”しています。しかし、それだけでは解析に使うことが難しいです。/JISは解析用に定義されていません。

## 3. 測定用テストピース (TP)を選ばないと、本当の剛性は求められない。

単軸試験の課題 - 形状依存性について -

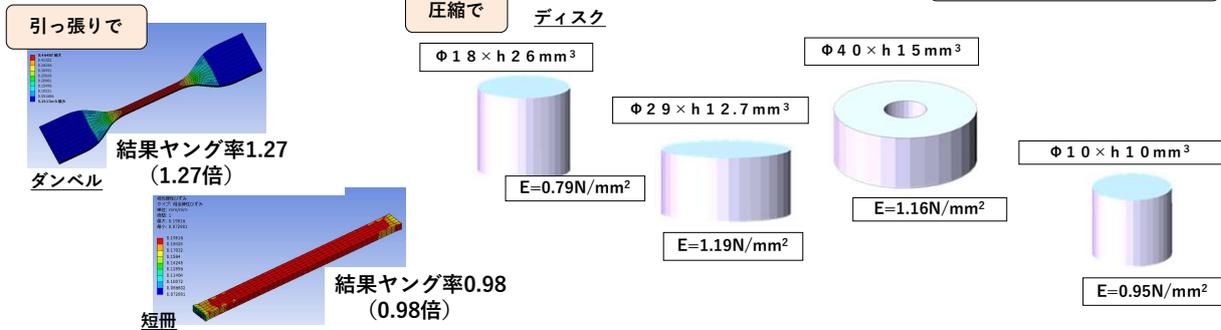
材料力学から

$$\text{ヤング率 } E = \text{応力 } \sigma / \text{ひずみ } \varepsilon$$

応力とひずみの関係の基本式

果たしてそうでしょうか？ 非線形性も考慮しないとイケませんが

ヤング率 1.0 の材料で解析



試験片によって見かけ上 (同じ材料でも測定から得られる) ヤング率が異なります。本当のヤング率が測定できません。短冊がお勧めです。

**ただし製品しか入手できないお客様も**

製品から材料定義も可能、お試しデータもご用意

シート、短冊が入手できない

製品測定から

シールの解析

製品試験 + 解析 + 材料データベース 推定 構築

解析用パラメータ

サンプルデータの提供

材料名	硬度(Hs)
天然ゴム	35-80
スチレンゴム	35-80
ニトリルゴム	35-80
クロロレンゴム	48-75
エチレン・プロピレンゴム	50-80
フッ素ゴム	55-80
シリコンゴム	35-60

- 短冊測定からデータ特定
- 手掛かりない場合、お話し無料サンプルの提供も。

せん断弾性率	C10	C01	C11
9.500	2.8654E-01	3.3348E-02	-4.5506E-03

寺子屋/CAE解援隊  
連絡先 [hagi@terakoya2018.com](mailto:hagi@terakoya2018.com)

面圧分布

圧縮反力予測

反力

圧縮量

実測

C10=1.0での解析

7

ゴム製品の解析では、

BUSH

初期形状 (金型取出し160°C)

室温冷却形状 (室温放置25°C)

絞り形状 (25°C、ひずみ緩和)

1) 軸方向と半径方向の特性 大小が逆転

2) 材料定義では補正できない

軸方向+5%補正、半径方向はよりかい離が激しくなる。

[具体的手順]

図面形状 → 熱膨張 → 金型形状 → ひずみリセット初期形状 → 変形 → 応力・ひずみ

金型形状を初期形状として、熱収縮から変形解析への熱-応力連成解析とすることが基本。

精度が格段に向上

半径方向変形

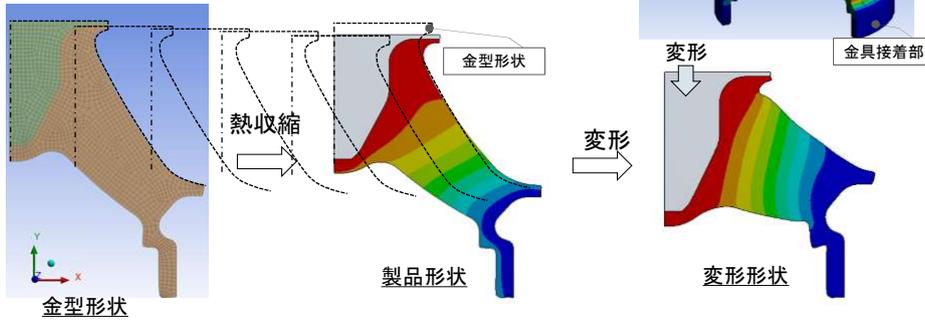
軸方向変形

11

4. ゴムの解析は熱履歴を考慮する必要がある[必須]

ゴムのFEM解析 基本フロー

ゴム単製品は、そのまま変形解析を行えばいいですが、  
金具接着タイプは、熱収縮解析が必須だと考えます。



製品の加工工程を考慮することは、ゴム製品のみではなくすべての製品に当てはまります。  
金型形状 ⇒ (熱履歴)熱収縮 ⇒ 変形解析 の手順を守って、  
解析による予測精度を格段に向上させることができます。

まとめ

解析予測が実測とあ合わない3つの原因

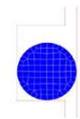
1. 正確な正しいヤング率定義 (ヤング率/6=C10 ネオフック)

2. 寸法公差

寸法公差は精度の投球があり 1~3 級があります。

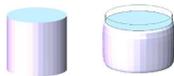
寸法	公差・1級	2級	3級[単位: mm]
3 mm以下	±0.2	±0.3	±0.4
3~6 mm	±0.2	±0.4	±0.5

一般的には2級を採用、リングなど直径3mm以下の製品は10%程度差があり、面積では20%、  
反力は20%差がみられる。



3. 硬度差

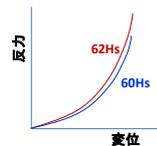
剛性と硬度の関係



ディスク変形

例えば60Hs 必ずしも60Hsとは限りません。  
62Hs のときも「あります」。

1Hs 5%の差になり、一般的には  
±2or3Hs(±10~15%)の幅を持ちます。



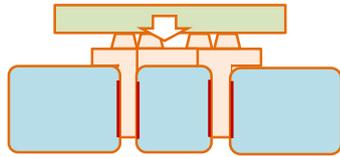
ゴムは寸法公差、硬度(中心±3Hsなど)差が大きい。  
解析が合っていないと考えることも多い。⇒実際は合っている。

4. 摩擦係数の誤解 寸法公差/勘合他

## まとめ

## 複合的要因

圧縮時の荷重



摩擦

硬度

寸法公差/勘合他

ゴムの様々なばらつきから安定品質の難しさ

反力

