

ゴムの解析が合わないのは勘違いです

1. ゴムは金属と違い1回目と2回目の特性は変化します。

ゴムの基本：1回目、2回目、3回目以降、シールは1回目の組付け、防振ゴムは3回目繰り返し特性です。

2. 測定時にへたりを考慮する必要がある。

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。

☆**本当のヤング率は1つ**です、ゴムの二軸伸張試験から回帰した係数とヤング率は関係あり

4. その他、解析誤差を拡大するもの

- ・寸法公差
- ・硬度誤差
- ・摩擦

令和8年5月20日 寺子屋 萩本光広

寺子屋/CAE解援隊

URL <https://terakoya2018.com>

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

1. ゴム特性の基本知識

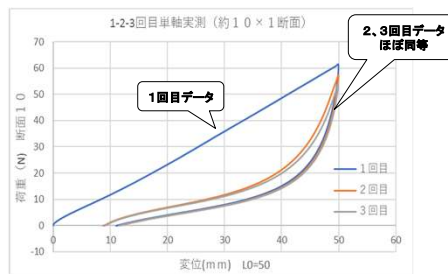
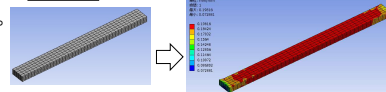
ゴムは、そのままのヤング率で定義しませんが

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 $W=C10(II-3)$ 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。

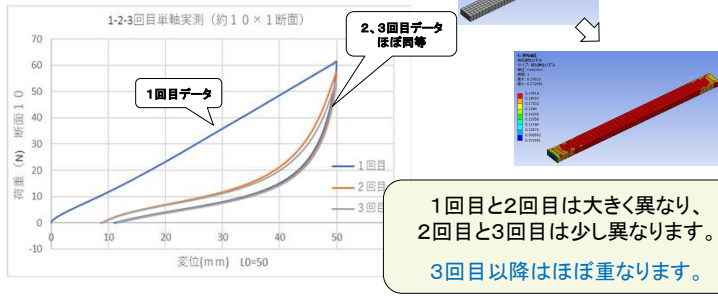
2. 測定時にへたりを考慮する必要がある。

ゴムは、そのままのヤング率で定義しませんが

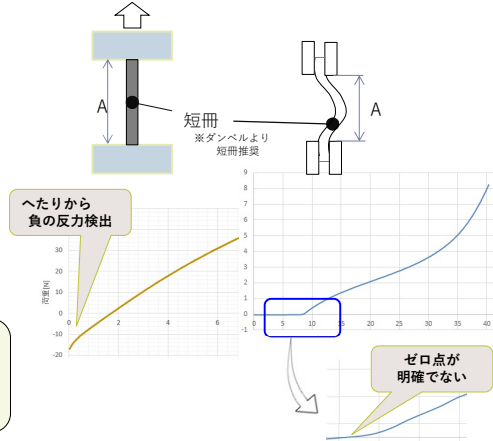
ヤング率 $E = 6 \times C10$ の関係から

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。

非線形性をどうとらえるかヒントをお送りします。

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 -

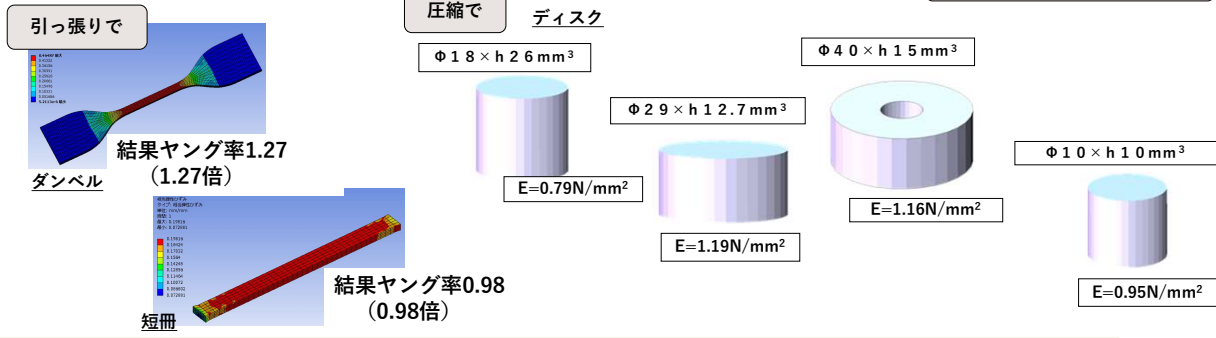
材料力学から

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

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。

材料の本質は1つ、ヤング率は1材料1つ

金属も心太（ところてん）も同じ試験機で・・・

令和7年9月12日 寺子屋 萩本光広

寺子屋/CAE解援隊

URL <https://terakoya2018.com>

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

どんな表現でも剛性(ヤング率)は1つです。

ひずみエネルギー密度関数定義

基本式

$$W = W(I_1, I_2, I_3)$$

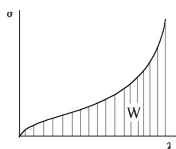
伸張比 $\lambda = 1 + \varepsilon$ として表現

テンソルとして、

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

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

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1 \quad \text{[体積効果]}$$



基本は単軸と同じ、へたり補正



ひずみエネルギー密度関数 様々な表現式

1) Neo-Hookeanモデル

$$W = C_{10}(I_1 - 3)$$

2) Mooney-Rivlin

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3)$$

3) Mooney高次式

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

4) Ogden

$$W = \sum \frac{\mu_i}{\alpha_i} \lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3$$

5) Arruda-Boyce

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

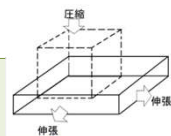
$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad \text{[対角線効果]}$$

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

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1 \quad \text{[体積効果]}$$

※ $I_3=1$ は非圧縮性

最近、紛らわしい論文(圧縮性を示す誤り)



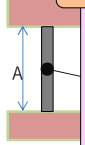
一般的にこれら定義で
解析予測精度が良いと言われる。

ゴム材料の基本知識

Point:本当のヤング率

単軸試験手順：重要ポイント

単軸より係数を最終補正する



回帰係数とヤング率の関係

$$E = 6(C_{10} + C_{01}) = (3/2) \sum \alpha_i \mu_i$$

ヤング率E=応力σ/ひずみε

10%伸張時で算出

たひずみ算出
間A=50+へたりB)

ゴムではへたりの影響で難しい
形性から10%と仮定
この値で短冊の解析、出力一致

へたりを考慮して10%伸張で算出、真のヤング率と同じ

ひずみエネルギー密度関数係数とヤング率の関係

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

Ogden式

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3) \quad n=5 \sim 7 \text{程度}$$

本当のヤング率は1つであり、エネルギー関数との整合を採ることが必須

剛性の高い材料もゴムの試験機で測定可能

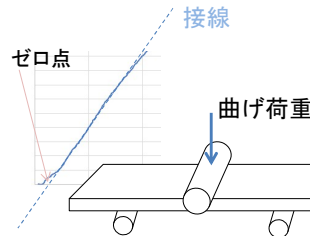
材料定義の方法

直接伸張による定義方法



伸張用JISダンベル

伸張方法による誤差



なぜ、丸棒
治具を使うか？

片当たりによる
測定誤差を避けるため

片当たりの補正が必須

ゴムの試験機で十分金属のヤング率が想定可能。解析で表現して形状依存性を取り除く。

4. その他、解析誤差を拡大するもの

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

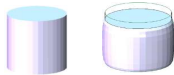
寸法	公差・1級	2級	3級[単位:mm]
3mm以下	±0.2	±0.3	±0.4
3〜6mm	±0.2	±0.4	±0.5

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

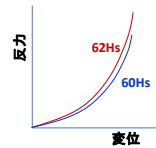


ディスク変形

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。

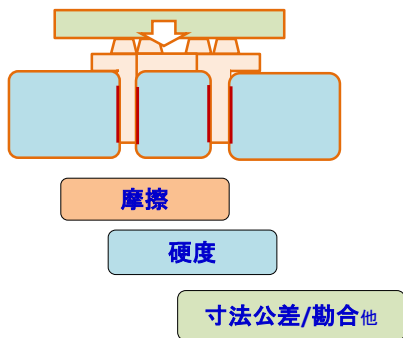


4. 摩擦係数の誤解 寸法公差/勘合他

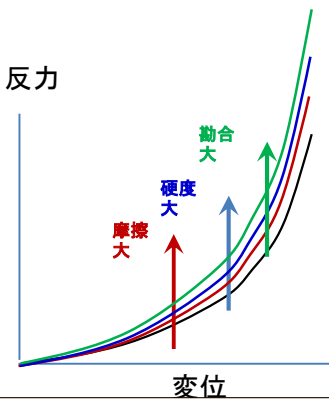
© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

複合的要因

圧縮時の荷重



反力



ゴムの様々なばらつきから安定品質の難しさ

真実シリーズ

やってはいけない線形解析の定義・落とし穴から大変形注意点への展開

線形解析の定義では接触が扱えない為、変位拘束で解析しますが、**変位拘束は非常に注意が必要**です。

線形解析の注意点

モデリング・メッシング
の注意点材料定義の真実
★2022.6.13追加

解析条件、摩擦等の注意点

解析

その他

寺子屋/CAE解援隊

URL <https://terakoya2018.com>連絡先 haj@terakoya2018.com
080-2230-8785