材料の本質は１つ、ヤング率は１材料１つ

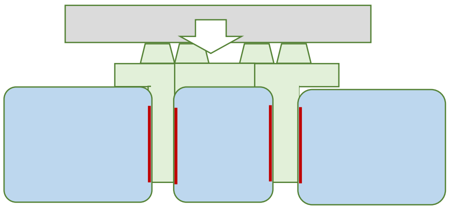
１）解析の合わない原因は３つだけ（公差、硬度、正しい剛性）
２）ヤング率を正しく定義できないのが最大の原因です。
３）ノウハウから説明します、メール＆Web会議無料です。

令和8年5月11日　寺子屋　 萩本光広

誤差の要因について説明した
各要因と製造工程

複合的要因

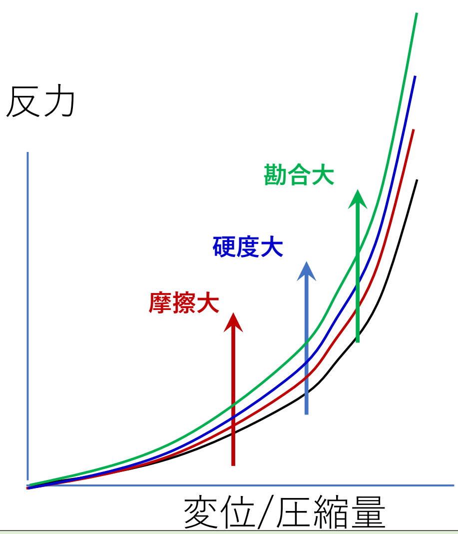
圧縮時の荷重



摩擦

硬度

寸法公差/勘合他

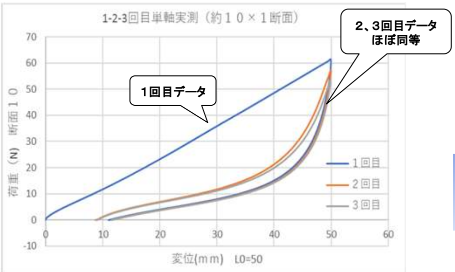


ゴムの様々なばらつきから安定品質の難しさ⇒コントロール
理解するかどうか

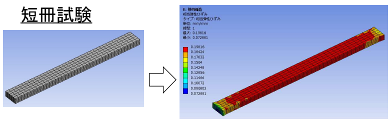
そしてヤング率は1材料で1つです。

ゴム材料の基本知識：何回目のデータを使うか

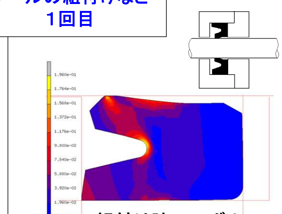
単軸試験から正確なヤング率を求めること。



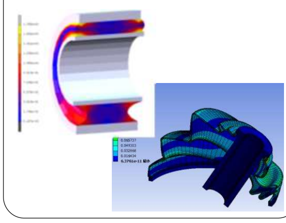
短冊試験



シールの組付けなど
１回目



防振ゴムなど
繰り返し3回目



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。

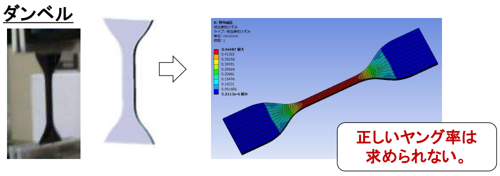
へたりは必ず発生します。どう扱うか・・

単軸の測定方法

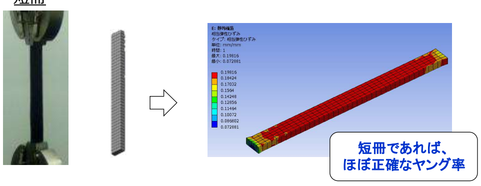
ヤング率E＝応力σ/ひずみε　　・・・どんな試験でも同じになるとは限らない、試験片に依存

ひずみε=変位／チャック間距離　　応力σ=荷重／断面積

ダンベル

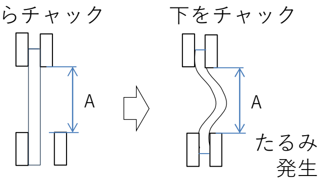


短冊

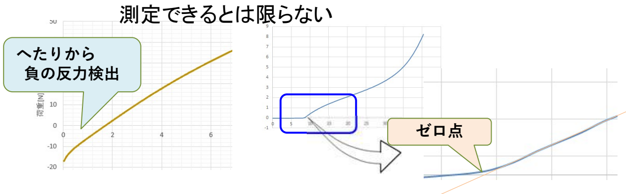


証明は簡単です。
解析で入力と出力ヤング率が同じになればいい。

短冊測定



きれいにゼロ点から始まり
測定できるとは限らない



ひずみエネルギー密度関数定義

基本式

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

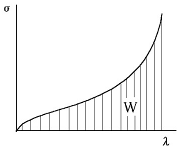
伸張比 $\lambda = 1 + \varepsilon$　として表現

テンソルとして、

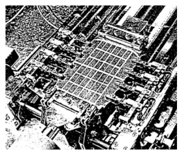
$I_1=\lambda_1^2+\lambda_2^2+\lambda_3^2$　[対角線効果]

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

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



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

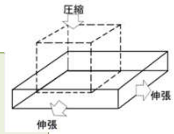
$W=C_{10}(I_1-3)+C_{01}(I_2-3)$

$I_1=\lambda_1^2+\lambda_2^2+\lambda_3^2$　[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]

※$I_3=1$は非圧縮性
最近、紛らわしい論文(圧縮性を示す誤り)



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

$$W=\Sigma\frac{\mu_i}{\alpha_i}\left(\lambda_1^{\alpha_i}+\lambda_2^{\alpha_i}+\lambda_3^{\alpha_i}-3\right)$$

5) Arruda-Boyce

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

一般的にこれら定義で
解析予測精度が良いと言われる。

材料のヤング率は1つです。

どんな方法でも求められればいいが、2軸から難しい。

単位:N/mm2

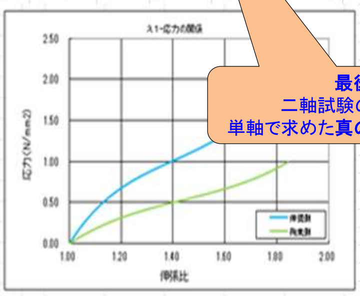
C10	C01	C11	C20	C30
5.2827E-01	5.5064E-02	1.5588E+00	-7.7942E-01	0.0000E+00

係数　2.1509E+00
(参照)

真ヤング率　3.5

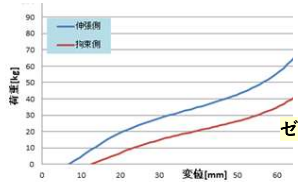
算出ヤング率(下記)　1.6272E+00　6(C10+C01)

C10	C01	C11	C20	C30
2.4560E-01	2.5600E-01	7.2473E-01	-3.6237E-01	0.0000E+00
入力		C11+2C20=		
		3C30=		

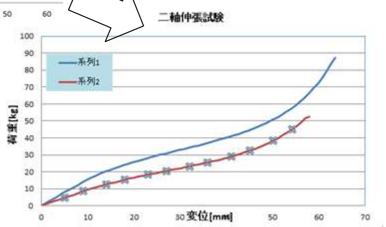


**最後に
二軸試験の都合から
単軸で求めた真のヤング率を確認**

もともとゼロ点が求めにくい、シフトして回帰

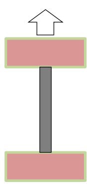


ゼロ点シフト



**伸張側と拘束側の
へたりが異なる。
⇒補正が難しい。**

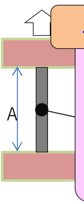
**単軸であればへたりを補正
⇒ヤング率が求め易い**



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



1-2-3回目単軸実測（約10×1断面）

70

初めから荷重が出ない場合

単軸より係数を最終補正する

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

回帰係数とヤング率の関係

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

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

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

n=5～7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