

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

寺子屋/CAE解援隊

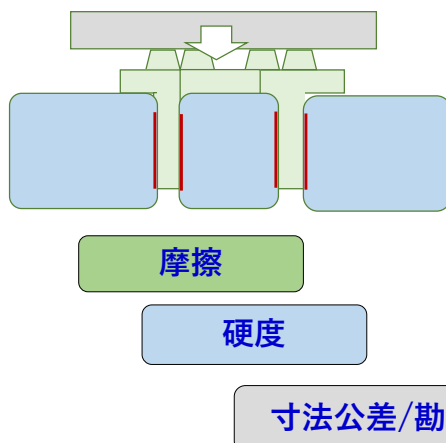
URL <https://terakeya2018.com>

連絡先 hagi@terakeya2018.com
080-2230-8785

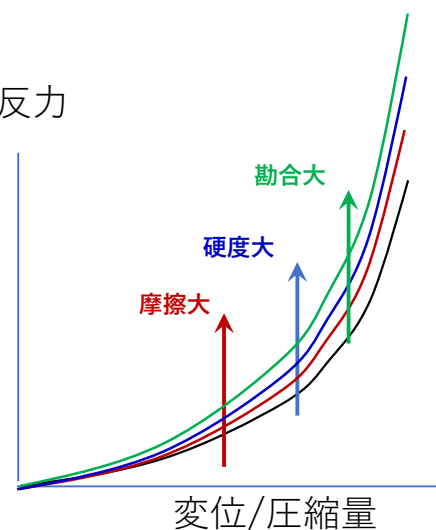
誤差の要因について説明した
各要因と製造工程

複合的要因

圧縮時の荷重



反力



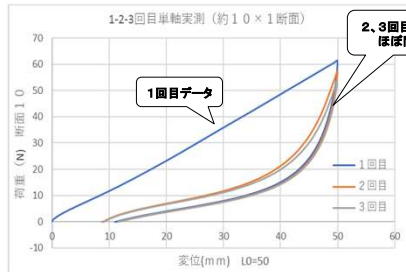
ゴムの様々なばらつきから安定品質の難しさ⇒コントロール

理解するかどうか

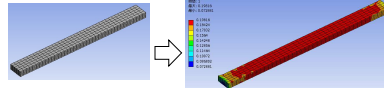
そしてヤング率は1材料で1つです。

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。

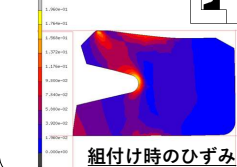


短冊試験



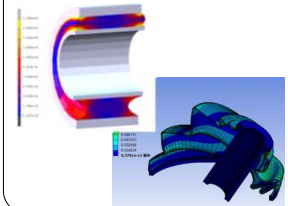
1回目と2回目は大きく異なり、
2回目と3回目は少し異なります。
3回目以降はほぼ重なります。

シールの組付けなど
1回目



組付け時のひずみ

防振ゴムなど
繰り返し3回目



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。

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

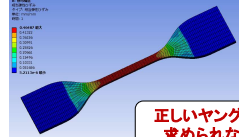
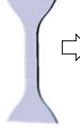
3

へたりは必ず発生します。どう扱うか・・・

単軸の測定方法

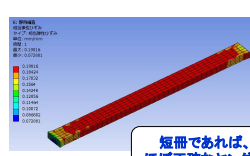
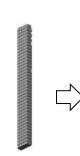
ヤング率 $E = \text{応力 } \sigma / \text{ひずみ } \varepsilon$ ・・・・どんな試験でも同じになるとは限らない、試験片に依存
ひずみ $\varepsilon = \text{変位} / \text{チャック間距離}$ 応力 $\sigma = \text{荷重} / \text{断面積}$

ダンベル



正しいヤング率は
求められない。

短冊



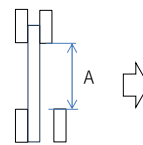
短冊であれば、
ほぼ正確なヤング率

証明は簡単です。

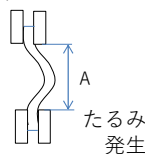
解析で入力と出力ヤング率が同じになればいい。

短冊測定

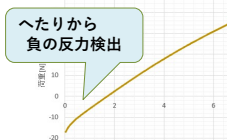
上からチャック



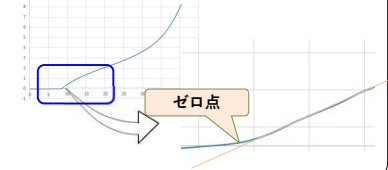
下をチャック



きれいにゼロ点から始まり
測定できるとは限らない



へたりに
負の反力検出



ゼロ点

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

4

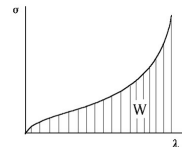
ひずみエネルギー密度関数定義

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、

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 & [\text{対角線効果}] \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 & [\text{面積効果}] \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1 & [\text{体積効果}] \end{aligned}$$



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) O g d e n

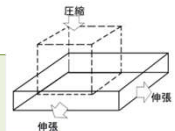
$$W=\sum \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3)$$

5) Arruda-Boyce

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

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 & [\text{対角線効果}] \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 & [\text{面積効果}] \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1 & [\text{体積効果}] \end{aligned}$$

※ $I_3=1$ は非圧縮性
最近、紛らわしい論文(圧縮性を示す誤り)



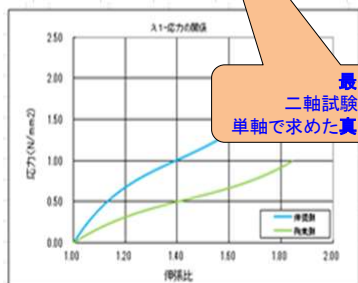
一般的にこれら定義で
解析予測精度が良いと言われる。

5

材料のヤング率は1つです。

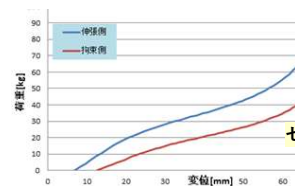
どんな方法でも求められればいいが、2軸から難しい。

	C10	C01	C11	C20	C30
単位: N/mm ²					
係数	5.2827E-01	5.5064E-02	1.5588E+00	-7.7942E-01	0.0000E+00
真ヤング率	2.1509E+00	(参照)			
算出ヤング率(下記)	1.6272E+00	6(C10+C01)			
入力	2.4560E-01	2.5600E-01	7.2473E-01	-3.6237E-01	0.0000E+00
			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

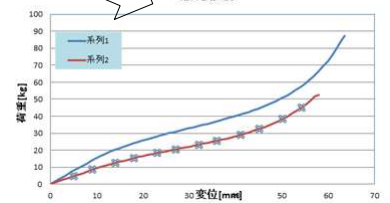
もともとゼロ点が求めにくい、シフトして回帰



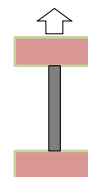
ゼロ点シフト

二軸伸張試験

伸張側と拘束側の
へたりが異なる。
⇒補正が難しい。



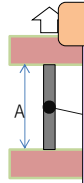
単軸であればへたりを補正
⇒ヤング率が求め易い



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



単軸より係数を最終補正する

1-2-3回目単軸実測(約10×1断面)

初めから荷重が出ない場合

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

10%伸張時で算出

たひずみ算出
間 $A = 50 + \text{へたり} B$)

回帰係数とヤング率の関係

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

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