

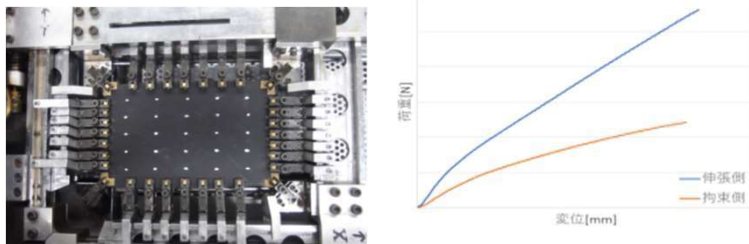
ゴムの二軸伸張試験-ひずみエネルギー密度関数 測定から回帰まで

ゴムの解析用 材料定義

Mooney 3次係数定義用
Ogden係数も調整します。

純せん断試験動画

<https://youtu.be/k4d9Rw9KEv0>



二軸伸張試験

富山で測定できます。
測定のご案内です。

<https://terakoya2018.com/wp/wp-content/uploads/2022/10/92cc235d477c41d7ea0ad12e26df5fc2.pdf>

測定結果から回帰まで

回帰のひな型販売、サポート付きです。

二軸試験の課題

全項目/個別指導付き

いろいろな理由で二軸試験ができない場合でも、単軸試験、製品試験から豊富なデータベースから推定可能

寺子屋/CAE解援隊

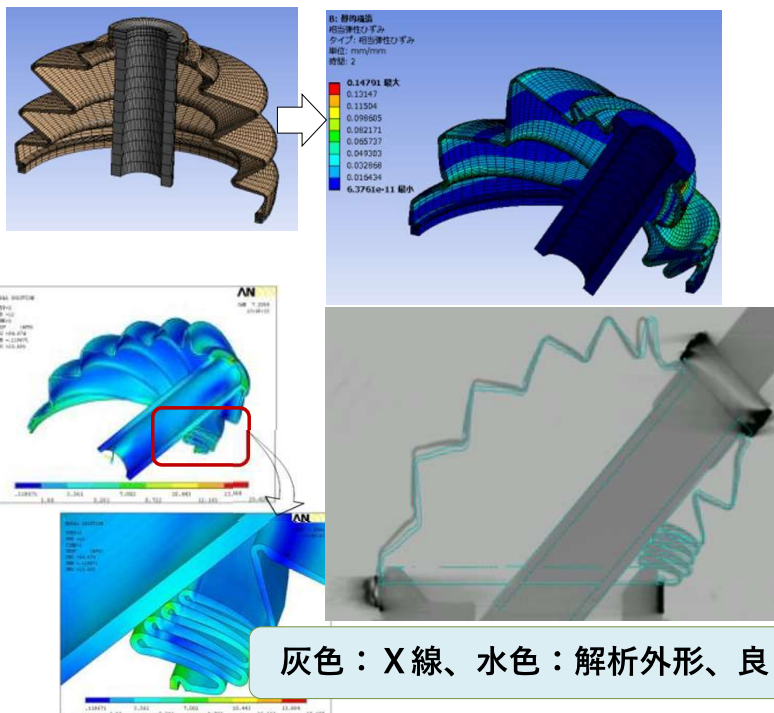
URL <https://terakoya2018.com>

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

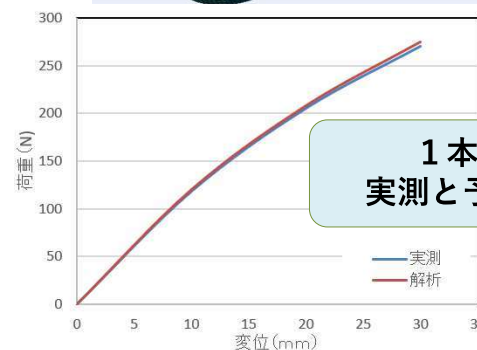
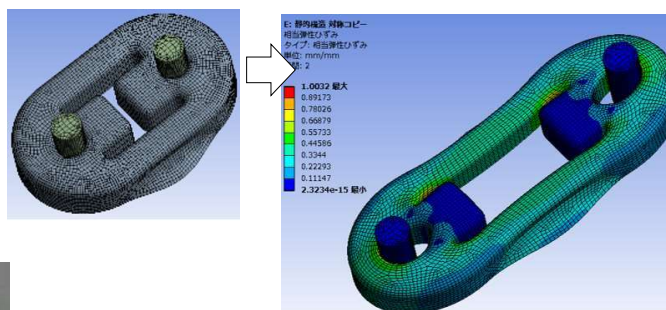
二軸試験を行い正しく定義するとこのように実測と解析が一致

①解析から正確なひずみを求める / 解析精度が基本

ブーツの揺動変形解析

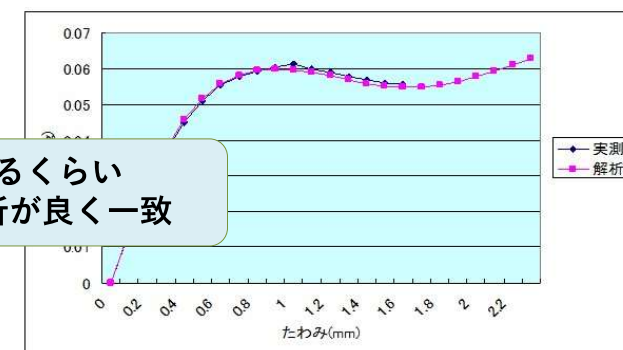
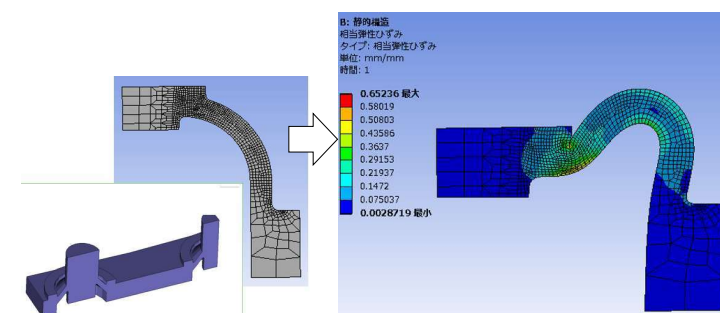


マフラーマウントの変形解析



1本に見えるくらい
実測と予測解析が良く一致

ラバーコンタクト クリック特性

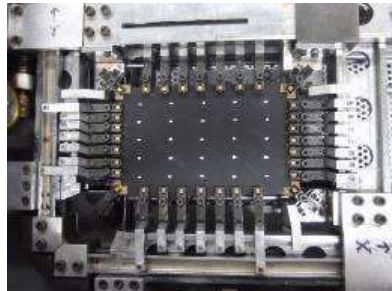
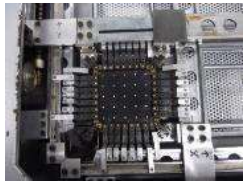


変形状態や特性が良く一致することが、各部の応力・ひずみを求める基本になります。

変形形態 二軸伸張試験から回帰概要は後程

二軸伸張試験概要

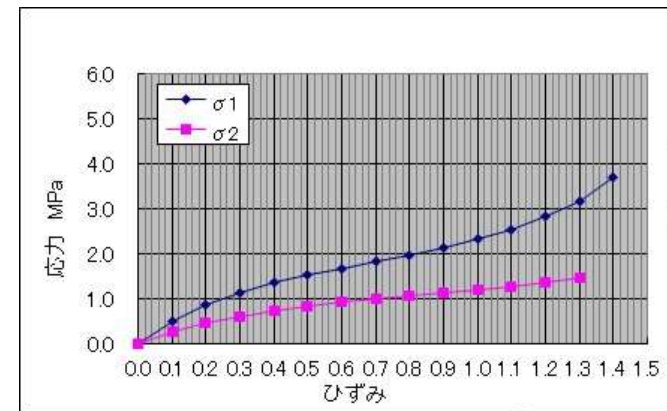
一軸拘束二軸伸張試験



注) 製品予測のため、
この変形を推奨しています。

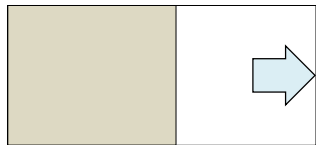
測定した荷重vs変位

⇒ 応力vs ひずみ換算

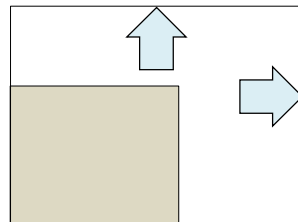


二軸試験変形概要

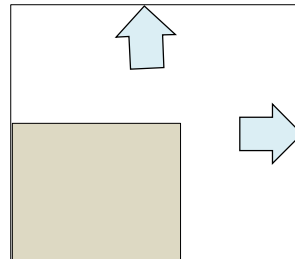
一軸拘束二軸試験



二軸試験



均等二軸試験



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

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

$$\sigma_3 = 0$$

よく聞かれる話ですが、単軸、一軸拘束二軸伸張（純せん断）、均等二軸のすべてのデータを使うと精度が上がります。
嘘ではありませんが、かなり課題が大きいです。

試験機のご紹介

二軸伸張試験

富山で測定できます。

測定のご案内です。

<https://terakoya2018.com/wp/wp-content/uploads/2022/10/92cc235d477c41d7ea0ad12e26df5fc2.pdf>

ご一緒しませんか、測定と回帰 1 日で修得できます。

二軸試験機 Mooneyさんと京都大川端先生考案（?）、
材料定義測定用 二軸伸張試験機Bistron/アイエス技研様製作

簡易二軸試験機（一軸拘束二軸伸張/純せん断専用）のご提案
- 試験機公開中 -

ゴムのひずみエネルギー密度関数 測定試験機 (Bistron)

基本式

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

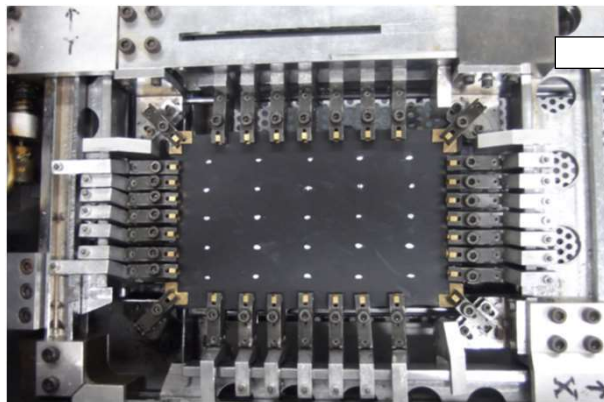
伸張比 $\lambda = 1 + \varepsilon$ として表現

テンソルとして、

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

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

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



純せん断試験

<https://youtu.be/k4d9Rw9KEv0>

均等二軸試験

<https://youtu.be/NKkxhFv2-k>



富山県 工業試験場 (南砺市) 提供

動画

シート組付け

<https://youtu.be/TcG1tmPwHAM>

https://youtu.be/mLOR5aHP0_0

試験機組付け

https://youtu.be/yVr-PHbcx_8

試験模様

<https://youtu.be/xLiuQDnKjQI>

簡易試験機の有効性（Bistron同等）証明

技術論文投稿しましたが、及第点もらえなかった(没) 投稿

<https://terakoya2018.com/wp/wp-content/uploads/2022/04/b08c41a8f28b0d6eb15615c5e1a48168.pdf>

[Microsoft Word - rZ \(terakoya2018.com\)](#)

1. 緒言

どちらも同じです。

建物の免振ゴム、自動車のタイヤやワイパー、エンジンマウント等の各部品、OA 機器など様々なゴム材料が使われている。それら製品の挙動を開発段階で試作なしに、シミュレーションで特性を精度よく予測することは重要な課題である。その特性は、様々な式で表現されますが、そのおおもとなるデータは京都大川端李雄教授が開発した二軸伸張試験機¹⁾で採荷重するのが有効な手段である。ひずみエネルギー密度関数を定義するには、二軸伸張試験から2方向のひずみと応力の関係から定義する。しかし、装置は非常に高価で簡単に用意

3. 簡易試験機の製作及び検証

簡易試験機は、一軸拘束二軸伸張、純せん断の領域に特化して製作した。その理由は後述するが、この領域のデータで十分ひずみエネルギー密度関数の定義と精度よく解析するのにほぼ十分です。“ほぼ”というのは風船のようなものを正確にするには、やはり均等二軸試験が必要で治具を工夫することにより単軸試験機で測定可能であり、川端氏の論文でも紹介されている。チャック部は次のような形で、従来型を模倣しています。

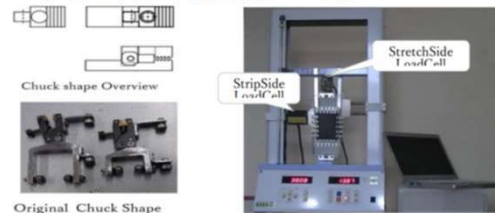


Fig.4 Overview of Simple Type Biaxial Tester



測定結果から回帰まで

Mooney 3 次式

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

測定から回帰方法ご紹介、回帰用ひな型シート & 手順書[販売]
Ogdenなども対応可能ですが、本質は表現式ではなく測定データです。

最後にひずみエネルギー密度関数定義の課題、本当の姿を説明します。

ひずみエネルギー密度関数定義式

ひずみエネルギー密度関数 様々な表現式

1) Neo-Hookeanモデル

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

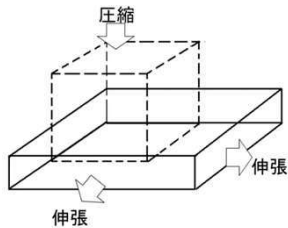
2) Mooney-Rivlin

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

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

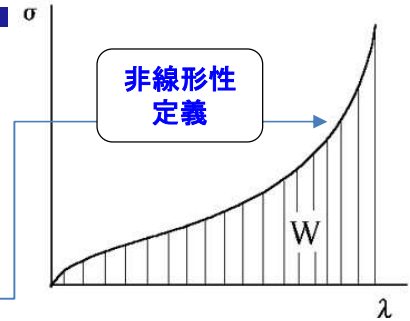
$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad \text{[面積効果]}$$

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



※ $I_3=1$ は非圧縮性

最近、紛らわしい論文(圧縮性を示す誤り)



一般的に高次の定義は精度があがります。

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

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

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) Arruda-Boyce

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

ひずみエネルギー密度関数による正確な定義が必要です。

二軸伸張試験から回帰概要

Mooney高次モデルの定義

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

右辺はこの式と等価

$$\frac{\partial W(I_1, I_2)}{\partial I_1} = \frac{1}{2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \left[\frac{\lambda_1^3 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2^3 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right] \Rightarrow C_{10} + C_{11}(I_2 - 3) + 2C_{20}(I_1 - 3) + 3C_{30}(I_1 - 3)^2$$

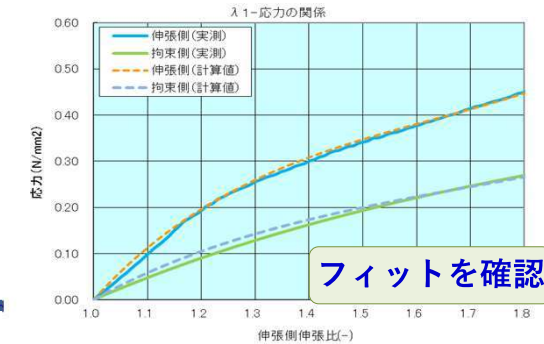
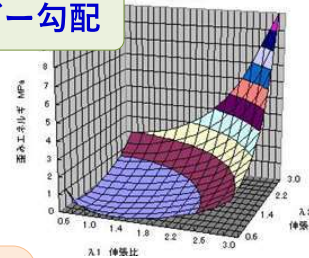
$$\frac{\partial W(I_1, I_2)}{\partial I_2} = \frac{1}{2(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)} \left[\frac{\lambda_1 \sigma_1}{\lambda_1^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} - \frac{\lambda_2 \sigma_2}{\lambda_2^2 - (\lambda_1 \lambda_2)^{-2}} \right] \Rightarrow C_{01} + C_{11}(I_1 - 3)$$

EXCELアドオンで回帰分析実施

エネルギー計算表(シート)の値										係数からの計算値			
No.	λ_1	λ_2	$I_1 - 3$	$I_2 - 3$	σ_1	σ_2	dW/dI_1	dW/dI_2	dW/dI_1	dW/dI_2	σ_1	σ_2	
1	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00000	#DIV/0!	#DIV/0!	0.1301	0.0319	0.000	0.000	
2	1.02	1.00	0.00	0.00	0.016	0.008	0.159	(0.031)	0.1301	0.0319	0.020	0.010	
3	1.02	1.00	0.00	0.00	0.021	0.011	(0.056)	0.178	0.1300	0.0319	0.028	0.014	
4	1.03	1.00	0.00	0.00	0.030	0.016	0.034	0.090	0.1300	0.0318	0.040	0.020	
5	1.04	1.00	0.01	0.01	0.039	0.020	0.057	0.068	0.1299	0.0318	0.050	0.026	
6	1.05	1.00	0.01	0.01	0.047	0.024	0.111	0.018	0.1298	0.0318	0.059	0.030	
7	1.06	1.00	0.01	0.01	0.057	0.029	0.102	0.027	0.1297	0.0318	0.071	0.036	
8	1.07	1.00	0.02	0.02	0.065	0.033	0.123	0.009	0.1296	0.0318	0.080	0.041	
9	1.08	1.00	0.02	0.02	0.075	0.037	0.139	(0.004)	0.1295	0.0318	0.089	0.046	
10	1.09	1.00	0.03	0.03	0.083	0.041	0.139	(0.003)	0.1293	0.0317	0.098	0.051	
11	1.10	1.00	0.03	0.03	0.093	0.045	0.154	(0.015)	0.1292	0.0317	0.108	0.056	
12	1.10	1.00	0.04	0.04	0.102	0.050	0.160	(0.019)	0.1290	0.0317	0.116	0.060	



エネルギー勾配



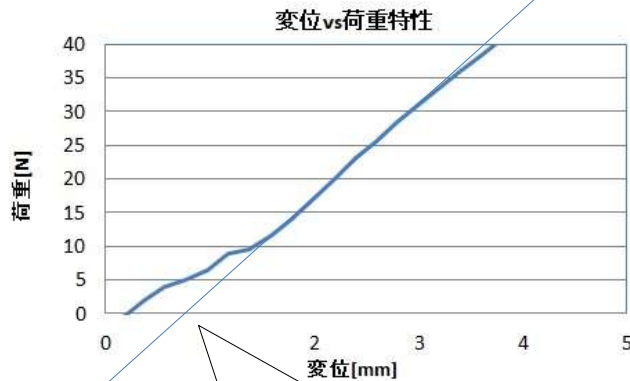
右上がり確認

フィットを確認

詳細を短時間で説明するのは難しいですが、概要のみ説明します。
1日コースで二軸試験から回帰まで修得可能です。

概要

②接戦を引いてゼロ点を特定、データを修正する。



ここがゼロ点になる

不要セルの削除

削除 ? X

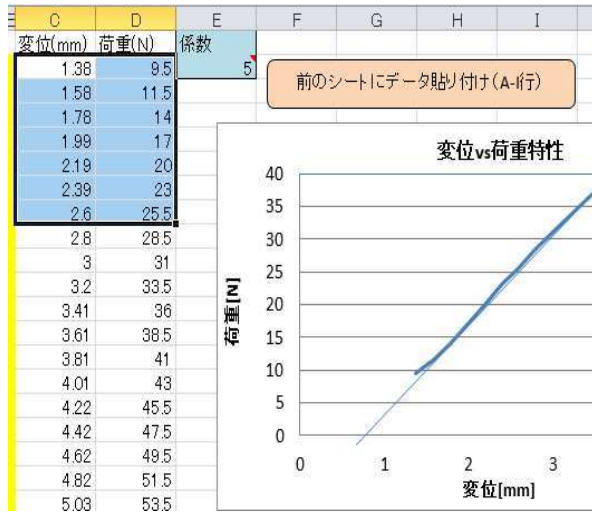
削除

- 左方向にシフト(L)
- 上方方向にシフト(U)
- 行全体(R)
- 列全体(C)

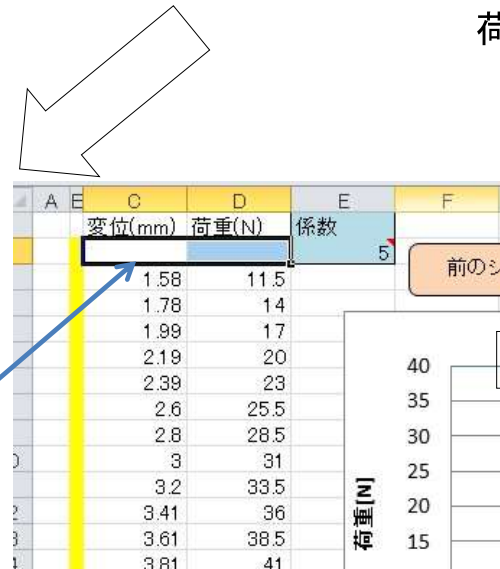
OK キャンセル

上方にシフト

ゼロ点補正は基本です。
この点尾説明資料にあります。



データが見える所
で作業できるよう
に行ったら
上方へシフトなし
削除



荷重ゼロとその変位を入力
D列にゼロ入力

荷重ゼロの変位を入れると線が出てきます。



概要

ひずみエネルギー密度関数回帰

(EXCELシート使用して特に二軸データは200行以下にする)

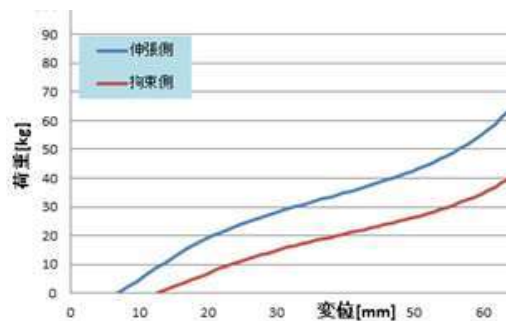
①間引き: 処理を楽にするため、データを10分の1に間引く
基本EXCELファイルに測定データをコピー、データ削減する

記録: 3回 30秒での行き、戻り繰り返し4000行のデータ(参考)

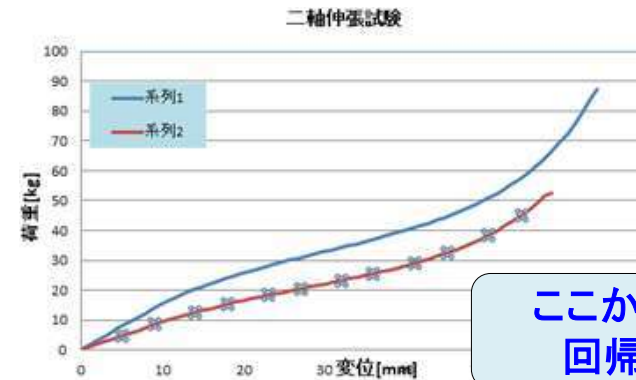
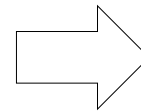
②不要データの削除: 1回目データ、若しくは3回目データのみ残す
必要なデータ以外削除する。

③ゼロ点補正 & シフト: ダレ等いの処理を行い、ゼロ点を求める

単軸、二軸共にシフトしてゼロ変位vsゼロ荷重とする



シフト

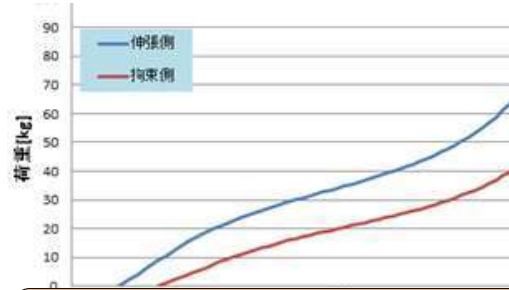


概要

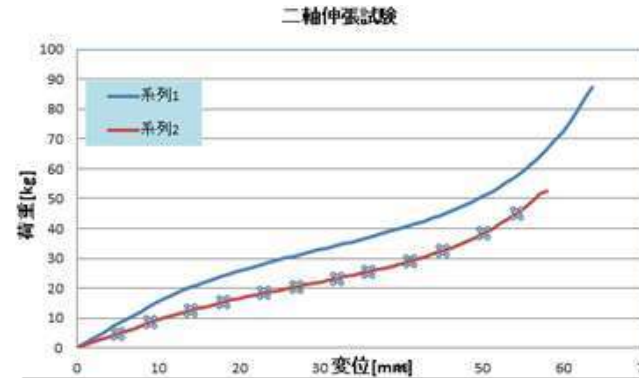
二軸データ回帰 手順概要

ゼロ点補正

ゼロ点補正すると、同じ変位に対する
X方向とY方向ではなくなりずれる



シフト



ひな形シートに張り付け回帰

シフトすると変位がずれたまま

X変位に対する
X及びY荷重を求め、右に代入

これが目的です。
では実作業...

その他 装置引張限界は200mm。

【測定結果】

サンプル厚さ 1.2mm 弾性率 1.102225 N/mm²

入力 コピー

試験片	【測定結果】				【伸長比-応力換算】			
	変位	荷重 [kgf]	荷重Y [kgf]	変位X	$\lambda 1$	σx [N/mm ²]	$\lambda 1$	σy [N/mm ²]
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	1.0100	0.1307	1.0000	0.0653
3	2.0000	2.0000	1.0000	2.0000	1.0200	0.2613	1.0000	0.1307
4	3.0000	3.0000	1.5000	3.0000	1.0300	0.3920	1.0000	0.1960
5	4.0000	4.0000	2.0000	4.0000	1.0400	0.5227	1.0000	0.2613
6	5.0000	5.0000	2.5000	5.0000	1.0500	0.6533	1.0000	0.3267
7	6.0000	6.0000	3.0000	6.0000	1.0600	0.7840	1.0000	0.3920
8	7.0000	7.0000	3.5000	7.0000	1.0700	0.9147	1.0000	0.4573
9	8.0000	8.0000	4.0000	8.0000	1.0800	1.0453	1.0000	0.5227
10	9.0000	9.0000	4.5000	9.0000	1.0900	1.1760	1.0000	0.5880
11	10.0000	10.0000	5.0000	10.0000	1.1000	1.3067	1.0000	0.6533

概要

試験装置 富山工業技術センター、生活工学研究所
 試験方法 2軸引張試験機のつかみ具にゴムシート
 試験内容 2軸引張試験、1軸固定1軸引張試験
 引張速度 1.0mm/s
 予備引張 ①1回目 事前の予備引張等を行わず
 ②1回目、2回目と同じ伸張量で3回目
 試験結果 引張試験結果シートに記載
 距離[mm]はクロス間ヘッド距離の増加分を示す。
 荷重は引張荷重[kgf]
 その他 装置引張限界は200mm。

このシートの色に
 入力すると他は自動計算される

測定結果

サンプル厚さ
 ヤング率 1.102235 N/mm²

入力 コピー

試料No.	No1	試験片	厚さ[mm]	変位	荷重 [kgf]	荷重Y [kgf]	変位X	λ 1	σ x [N/mm ²]	λ 1	σ y [N/mm ²]
1			1.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2			1.2	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	1.0100	0.6533	1.0000	0.3267
3			1.2	2.0000	2.0000	1.0000	2.0000	1.0200	1.3067	1.0000	0.6533
4			1.2	3.0000	3.0000	1.5000	3.0000	1.0300	1.4373	1.0000	0.7187
5			1.2	4.0000	4.0000	2.0000	4.0000	1.0400	1.5680	1.0000	0.7840
6			1.2	5.0000	5.0000	2.5000	5.0000	1.0500	1.6987	1.0000	0.8493
7			1.2	6.0000	6.0000	3.0000	6.0000	1.0600	1.8293	1.0000	0.9147
8			1.2	7.0000	7.0000	3.5000	7.0000	1.0700	1.9600	1.0000	0.9800
9			1.2	8.0000	8.0000	4.0000	8.0000	1.0800	2.0907	1.0000	1.0453
10			1.2	9.0000	9.0000	4.5000	9.0000	1.0900	2.2214	1.0000	1.1106
11			1.2	10.0000	10.0000	5.0000	10.0000	1.1000	2.3521	1.0000	1.1759
12			1.2	11.0000	11.0000	5.5000	11.0000	1.1100	2.4828	1.0000	1.2412
13			1.2	12.0000	12.0000	6.0000	12.0000	1.1200	2.6135	1.0000	1.3065
14			1.2	13.0000	13.0000	6.5000	13.0000	1.1300	2.7442	1.0000	1.3718
15			1.2	14.0000	14.0000	7.0000	14.0000	1.1400	2.8749	1.0000	1.4371
16			1.2	15.0000	15.0000	7.5000	15.0000	1.1500	3.0056	1.0000	1.5024
17			1.2	16.0000	16.0000	8.0000	16.0000	1.1600	3.1363	1.0000	1.5677
18			1.2	17.0000	17.0000	8.5000	17.0000	1.1700	3.2670	1.0000	1.6330
19			1.2	18.0000	18.0000	9.0000	18.0000	1.1800	3.3977	1.0000	1.6983
20			1.2	19.0000	19.0000	9.5000	19.0000	1.1900	3.5284	1.0000	1.7636
21			1.2	20.0000	20.0000	10.0000	20.0000	1.2000	3.6591	1.0000	1.8289

1) 応力計算を行うため
 シート厚みを入力する

X補正変位とX荷重、Y荷重の
 データをコピーして回帰シートへ数値貼り付け

3) 拘束側荷重は
 先に近似した式で入力

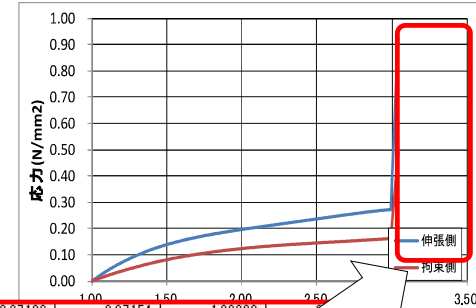
2) 伸張側コピーで
 値を張り付け

開発 ⇒ マクロ ⇒ エラー行削除
 不要なものが消去可能

シート(4)元データ確認(軸引張1軸固定)

1軸引張1軸固定(X軸引張、Y軸固定)

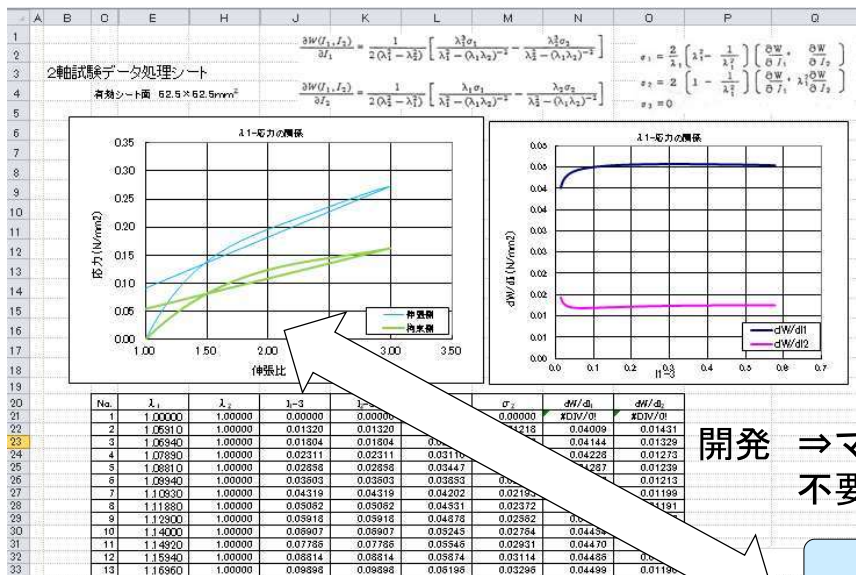
No1				
λ 1	σ (N/mm ²)	λ 2	σ (N/mm ²)	
1	1.00000	0.00000	1.00000	0.00000
2	1.05910	0.02364	1.00000	0.01218
3	1.08940	0.02755	1.00000	0.01423
4	1.07890	0.03110	1.00000	0.01609
5	1.08810	0.03447	1.00000	0.01788
6	1.09940	0.03853	1.00000	0.02005
7	1.10930	0.04202	1.00000	0.02193
8	1.11880	0.04531	1.00000	0.02372
9	1.12900	0.04878	1.00000	0.02562
10	1.14000	0.05245	1.00000	0.02764
11	1.14920	0.05546	1.00000	0.02931
12	1.15940	0.05874	1.00000	0.03114
13	1.16960	0.06196	1.00000	0.03296
14	1.17950	0.06502	1.00000	0.03470
15	1.18910	0.06794	1.00000	0.03639
16	1.19960	0.07107	1.00000	0.03803
17	1.20920	0.07387	1.00000	0.03962
18	1.21980	0.07692	1.00000	0.04116
19	1.22930	0.07959	1.00000	0.04271
20	1.23920	0.08233	1.00000	0.04420



3) 測定データ以外のひな形データ
 が残っているため
 測定データでないものを削除する。

概要

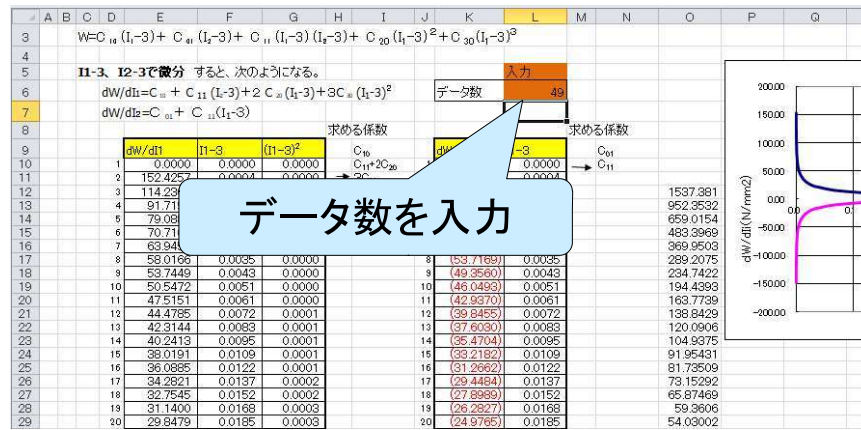
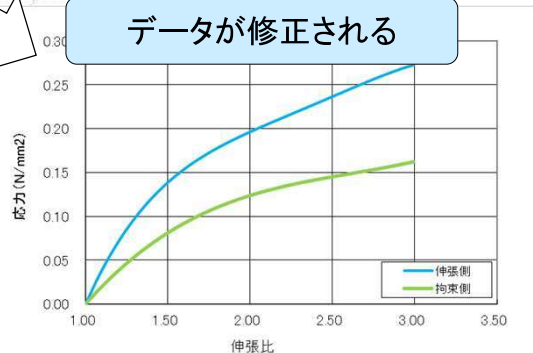
順次、ひな形EXCELシートを左から確認する。
 入力は、シート:(2)元データ 試験条件のみで自動的に計算される。
 シート(6)ひずみエネルギー計算表が、 回帰データ



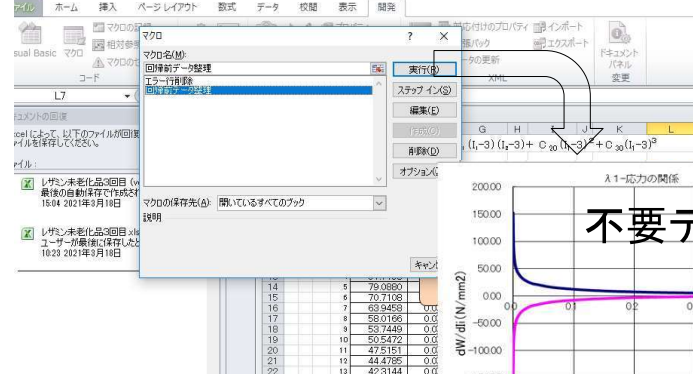
開発 ⇒ マクロ ⇒ エラー行削除
 不要なものが消去可能

7) エラーの行を削除する

212	2.96200	1.00000	6.88742	6.88742	0.27097	0.18112	0.04081
213	2.97190	1.00000	6.94542	6.94542	0.27154	0.18152	0.04059
214	2.98210	1.00000	7.00536	7.00536	0.27212	0.18194	0.04051
215	2.99230	1.00000	7.06554	7.06554	0.27268	0.18237	0.04045
216	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
217	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
218	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
219	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
220	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!



開発 ⇒ マクロ ⇒ 回帰前データ整理[実行]

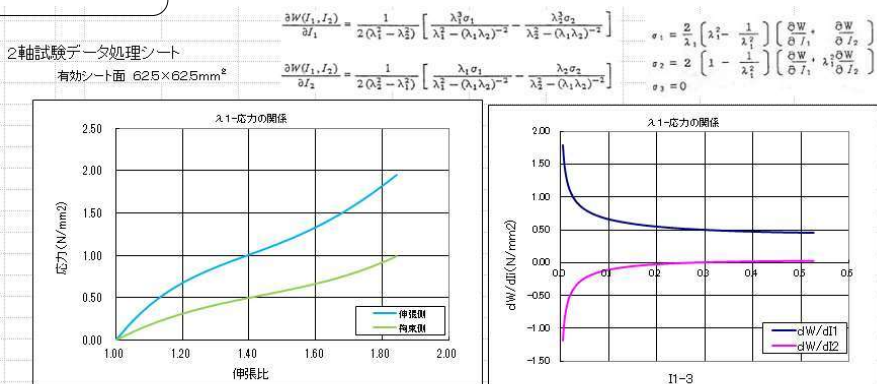


概要

回帰の方法が不明な方は次ページへ

EXCEL アドインで分析をONとする。

回帰方法は、EXCELの回帰方法
(次ページ記載参照)



2) 係数回帰 シート から回帰を行う。

$$dW/dI_1 = C_{10} + C_{11}(I_2-3) + 2C_{20}(I_1-3) + 3C_{30}(I_1-3)^2$$

	A	B	C	D	E	F
10	分散分析表					
11		自由度	変動	分散	割された分散	有意 F
12	回帰	2	0.031026	0.015513	29.46771	1.09E-06
13	残差	20	0.010529	0.000526		
14	合計	22	0.041554			
15						
16		係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%
17	切片	2.151574	0.030846	69.75169	2.33E-25	2.08723
18	X 値 1	-0.94913	0.153868	-6.16849	5.01E-06	-1.27009
19	X 値 2	1.169312	0.170196	6.870367	1.13E-06	0.814288
20						

エネルギー関数

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

II-3、I2-3で微分すると、次のようになる。

$$dW/dI_1 = C_{10} + C_{11}(I_2-3) + 2C_{20}(I_1-3) + 3C_{30}(I_1-3)^2$$

$$dW/dI_2 = C_{01} + C_{11}(I_1-3)$$

求める係数

dW/dI1	I1-3	(I1-3) ²	求める係数
1	0.0000	0.0000	C ₁₀
2	0.0050	0.0000	C ₁₁ +2C ₂₀
3	0.0079	0.0001	3C ₃₀
4	0.0116	0.0001	
5	0.0165	0.0003	
6	0.0214	0.0005	
7	0.0269	0.0007	
8	0.0335	0.0011	
9	0.0404	0.0016	
10	0.0488	0.0024	
11	0.0566	0.0032	
12	0.0656	0.0043	
13	0.0748	0.0056	

求める係数

dW/dI2	I1-3	求める係数
1	0.0000	C ₀₁
2	0.0050	
3	0.0079	
4	0.0116	
5	0.0165	
6	0.0214	
7	0.0269	
8	0.0335	
9	0.0404	
10	0.0488	
11	0.0566	
12	0.0656	
13	0.0748	

$$dW/dI_2 = C_{01} + C_{11}(I_1-3)$$

	A	B	C	D	E	F
1	概要					
2	回帰統計					
3	重相関 R	0.859053				
4	重決定 R2	0.737972				
5	補正 R2	0.727491				
6	標準誤差	0.08892				
7	観測数	27				
8						
9						
10	分散分析表					
11		自由度	変動	分散		
12	回帰	1	0.556717	0.55671		
13	残差	25	0.197671	0.00790		
14	合計	26	0.754388			
15						
16		係数	標準誤差	t		
17	切片	-0.92322	0.03709	-24.88		
18	X 値 1	0.724731	0.08637	8.3910		
19						

データ分析

分析ツール(A)

- 基本統計量
- 指数平滑
- F 検定: 2 標本を使った分散の検定
- フーリエ解析
- ヒストグラム
- 移動平均
- 乱数発生
- 順位と百分位数
- 回帰分析

OK

キャンセル

ヘルプ(H)

POINT: I1-3=0.1以上での回帰とする

概要

I 1での微分

$$dW/dI_1 = C_{10} + C_{11}(I_1-3) + 2C_{20}(I_1-3) + 3C_{30}(I_1-3)^2$$

C10、C11+2C20、3C30を求める

求める係数			求める係数	
dW/dI1	I1-3	(I1-3) ²	dW/dI2	I1-3
1.6537	0.0004	0.0000	0.0041	0.0004
1.6740	0.0016	0.0000	0.0082	0.0016
1.6942	0.0035	0.0000	0.0122	0.0035
1.7143	0.0062	0.0000	0.0163	0.0062

POINT: I1-3=0.1以上での回帰とする

I 2での微分

C01、C11を求める

求める係数	
dW/dI2	I1-3
0.0041	0.0004
0.0082	0.0016
0.0122	0.0035
0.0163	0.0062
0.0204	0.0095
0.0244	0.0136
0.0285	0.0183
0.0325	0.0237
0.0365	0.0296
0.0406	0.0364
0.0446	0.0437
0.0485	0.0516
0.0525	0.0600
0.0564	0.0691
0.0604	0.0786
0.0643	0.0888
0.0681	0.0994
0.0720	0.1106
0.0758	0.1223
0.0797	0.1344
0.0835	0.1471
0.0872	0.1603
0.0910	0.1739
0.0947	0.1880
0.0984	0.2025
0.1020	0.2175
0.1057	0.2329

概要

$$dW/dI_1 = C_{10} + C_{11}(I_1-3) + 2C_{20}(I_1-3) + 3C_{30}(I_1-3)^2$$

	A	B	C	D	E	F
10	分散分析表					
11		自由度	変動	分散	割された分散	有意F
12	回帰	2	0.031026	0.015513	29.46771	1.09E-06
13	残差	20	0.010529	0.000526		
14	合計	22	0.041554			
15						
16		係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%
17	切片	2.151574	0.00046	60.75160	2.83E-25	2.00729
18	X 値 1	-0.94913	0.53068	0.16840	5.01E-03	1.27009
19	X 値 2	1.169312	0.70190	0.870507	1.15E-06	0.814266
20						

3) 係数検証 シートへ移動
 を回帰した係数から参照

$$dW/dI_2 = C_{01} + C_{11}(I_1-3)$$

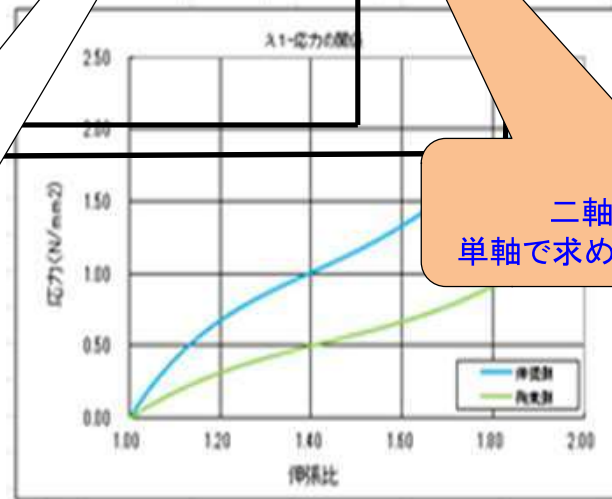
	A	B	C	D
1	概要			
2				
3	回帰統計			
4	重相関 R	0.859053		
5	重決定 R2	0.737972		
6	補正 R2	0.727491		
7	標準誤差	0.06892		
8	観測数	27		
9				
10	分散分析表			
11		自由度	変動	分散
12	回帰	1	0.556717	0.556717
13	残差	25	0.197671	0.007907
14	合計	26	0.754388	
15				
16		係数	標準誤差	t
17	切片	-0.92322	0.000708	-24.8916
18	X 値 1	0.724731	0.08637	8.391048
19				

それぞれの回帰
 係数を参照

	C10	C01	C11	C20	C30
係数	5.2827E-01	5.5064E-02	1.5588E+00	-7.7942E-01	0.0000E+00
真ヤング率 算出ヤング率(参考)		2.1509E+00 (参照)			
		3.5			
		1.6273E+00	0(C10+C01)		
	C10	C01	C11	C20	C30
入力	4.560E-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

最終結果



ゴムのエネルギー密度関数の研究マップ

1960年ころ、現JSR様

川端先生

Mooneyさん

河合先生

坂口先生

JSR社員 藪田氏

このころ二軸試験機が出来てきた。(ほぼ完成型)

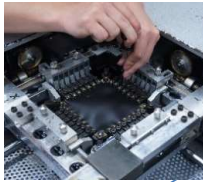
京都大学
川端先生

同志社大学
坂口先生

1991年～
萩本研究参加

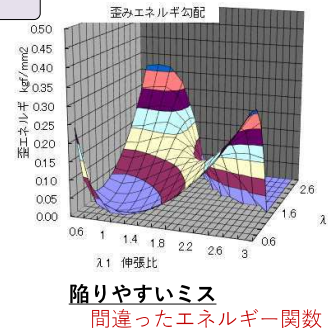
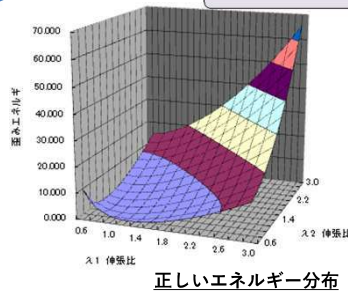
滋賀県立大
山下先生

藪田顧問
紹介でスタート



二軸試験機

ゴムのエネルギー関数
 $W=W(\lambda_1, \lambda_2)$



奈良
女子大学

筑波大学

九州

山梨大学

※布に特化した研究

新潟

琉球大学

メカニカルデザインさん
も受託試験

富山県
産業技術研究開発センター

Google 検索
WWW を検索 センター内を検索

リンク お問い合わせ

HOME 技術支援 センター概要 お知らせ 主要設備 刊行物 研究開発 産業財産権
Program About News Facility Publication Development Industrial property rights

ホーム > 概要 > 組織・研究職員 > 生活工学研究所

概要・沿革 組織・研究職員 交通案内

生活工学研究所

「衣」、「住」、「遊」といった人間生活に関する産業製品の開発や生産を支援するための研究指導を行っています。特に、感覚、生理あるいは動作等人間特性の計測評価をとおして人間適合型の生活関連製品の開発、生産を促進するための研究に重点を置いています。

〒939-1503 富山県南砺市岩武新35-1 TEL:0763-22-2141 FAX:0763-22-4604

富山県産業技術研究開発センター
(pref.toyama.jp)

公共試験場で1日の講習・実習で、十分回帰まで修得できます。

ひずみエネルギー密度関数の利点

ひずみエネルギー密度関数の表現式

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

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

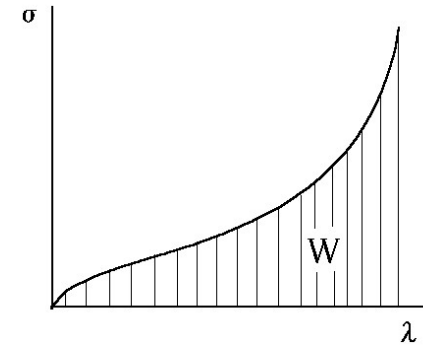
$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2$$

$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1$$

[対角線効果]

[面積効果]

[体積効果]



1) Neo-Hookeanモデル

$$W = C_{10}(I_1 - 3) \quad \dots \quad \text{最も単純な材料表現}$$

ヤング率を正確に求めると、1次定義でも

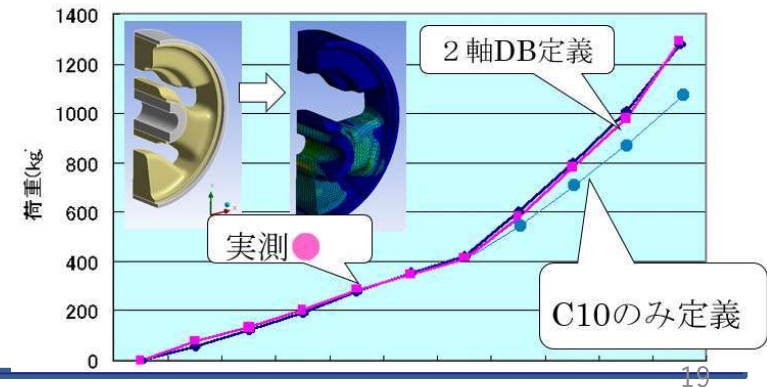
$$\text{ヤング率} = 6C_{10}$$

これだけで、ある程度の精度アップします。

根本的な問題はへたりを無視していることです。
(詳細略、お尋ねください)

$C_{10} = E/6$ の関係

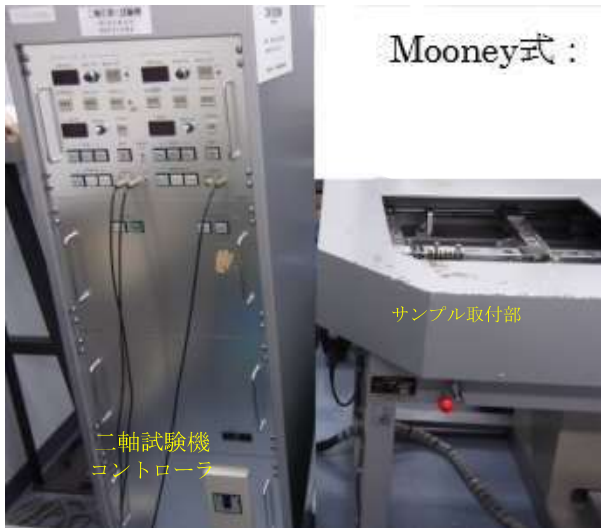
ハの字型マウントの特性予測解析



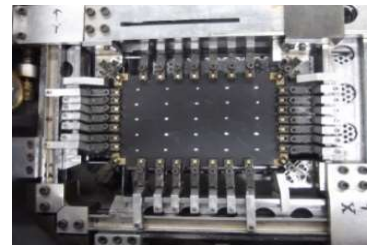
いろいろな理由で二軸試験ができない場合でも、単軸試験、製品試験から豊富なデータベースから推定可能

ひずみエネルギー密度関数サンプル販売

二軸試験機



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



サンプル取り付け部

Ogdenも+1万円で対応

最も単純な材料表現

Neo-Hookeanモデル

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

逆に言えば、ヤング率を正確に採れば
その6分の1、ネオフックC10でこれだけ合います。

