

#### 4) 二軸試験時の四隅の荷重は除く

**先人の知恵・・・、二軸試験でデータ採取の際に試験機は四隅の荷重を採らない。**その、最も大きな理由は、四隅のチャック荷重は他のチャックの荷重に比べて突出した大きな荷重であり、そこを含めて平均（断面積で割った）応力とすると不具合が生じる。※川端式、坂口式試験機コンセプト

#### 先人の知恵により四隅の荷重は除くこと、周知の事

※詳細は寺子屋 HP

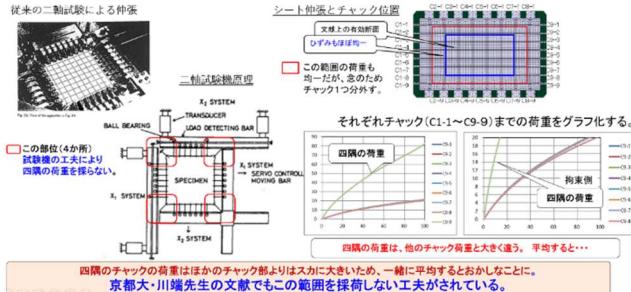
もしくは、書籍

“初心者のための・”

をご参照ください。

たどり着けない場合、

メールで資料要求下さい。



京都大学川端教授、同志社大学坂口教授など、先人の知恵を生かし、その意味を理解して正しく使用することが必要です。更には、ゴムの本当のヤング率が間違って測定されていることが多い。

《重要事項》二軸試験ではへたりの関係から正しい剛性（ヤング率 =  $6 \times (C_{10} + C_{01})$ ）にならないことも多く、単軸での正しいヤング率を測定して、係数を必ず補正することが必要となります。

#### 5) 硬度とせん断弾性率

ゴムの JIS 記載を見ると、短冊 TP での試験で 3 回目のデータから算出する、となっている。しかし、3 回目も 25% 伸張で 30 秒保持後、計算式に約 1.6 を乗じた値としている。すでに、この 1.6 という値も明確な根拠が記載されておらず、30 秒保持についても同様である。

更には 2018 年ころの改定で、短冊というサンプルの規定記載が消えた。

ヤング率定義は、2.2.3 項で詳しく説明しますが、測定する TP (テストピース) で値が異なることは、形状率の関係から明確である。残念ながら JIS は、ゴム材料を管理するため CAE のために書かれたものではないことです。しかし、管理という意味でも TP を明確に規定しないことで異なる値になってしまふことは、果たして大丈夫なのだろうか。同様に硬度計も、以前は瞬間硬度であったが、これも数秒保持後の硬度に改定されている。

[JIS でのせん断弾性率定義]

任意の試験片で、1, 2 回目 37.5% 伸張-戻し

3 回目 25% 伸張 …そのまま保持 30 秒

$\sigma_{25\%}$  これに 1.637 を乗じた値がせん断弾性率

※ 25% 剛性を求めるため、予備荷重を 1.5 倍まで伸張する。

※ 30 秒の根拠、1.637 の根拠は不明、以前は記載？

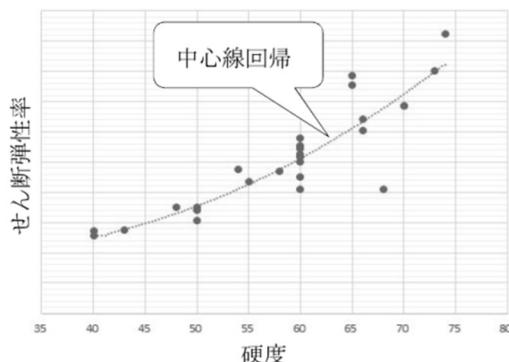
残念ながら、以上が JIS 文章で記載されているのもです。

硬度とせん断弾性率の関係を実際のデータを基に示します。

平均的なせん断弾性率と硬度の線をグラフ中央に示しますが、実際はこの線を外れるデータもあり、

グラフ 3 せん断弾性率 Gs と硬度の一般的関係

同系統の配合であれば硬度と  
剛性には比例関係に近く  
なりますが、系統が異なると、  
硬度と剛性で逆転現象も  
あります。



### 2.2.3 項 本当のヤング率

本当のヤング率は1つの材料で1つである。いろいろな測定方法があり、ゴムはどのように定義したらよいかわからず、いろいろなサンプルや測定方法を試みました。

その結果得られた結論です。



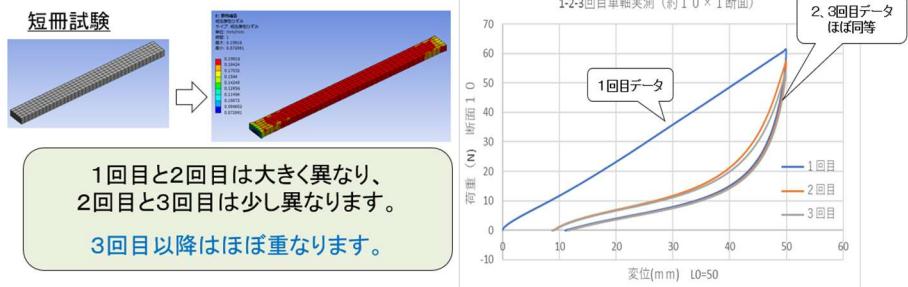
■図 2.27 伸張用 JIS 金属ダンベル

金属材料のような微小変形領域であれば、金属用の試験機でJISの試験片を用意すれば、それほど迷わずゼロ点付近で工学応力÷工学ひずみから定義できます。JIS測定法でのブレもありません。

しかし、ゴム材では測定セット時のあれこれ、何度目、3回目であればへたり(ゼロ点に戻らない)など様々な問題が発生し、迷うものあります。先に明確にしておきますが、短冊での伸張試験で正しいヤング率を求める。正しい剛性を得られていない事が解析で合わない第1の原因です。

1) まず、ターゲットは1回目データか3回目データなのか

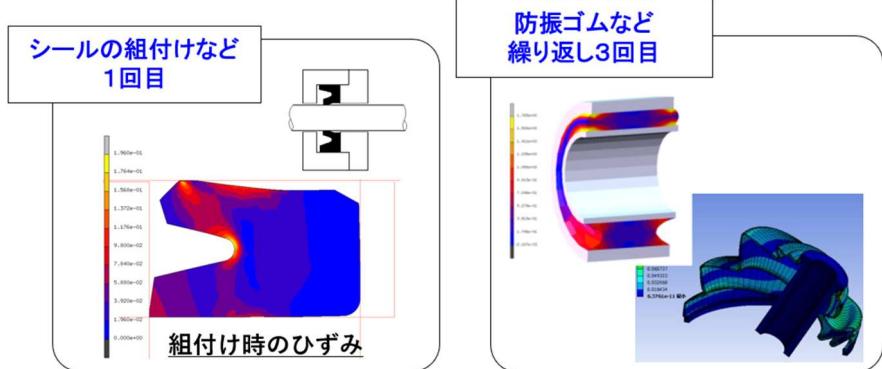
また、ゴムの特性を理解し、1回目データか3回目データなのかを理解し、本当の剛性を理解するうえでへたり含めて何回目かが重要適用。



■図 2.28 短冊による材料試験概要

シールに使用する1回目データなのか、防振ゴムに使う3回目データなのか、JISに頼ってその通り実施しようとすると3回目を妄信します。

シールのように組付けを表現するのか、繰り返し使用する防振ゴムのように3回目の特性を探るのか、自分で決める必要がある。



■図 2.29 シール組付けとブーツの変形解析概要

## 2) 本当のヤング率は 1 つ

様々な式があるが、アルダ-ボイスについては認識がありませんが、Mooney と Ogden 係数とヤング率は関係式が成り立ちます。

$$\text{Mooney 式} : W = C_{10}(l_1 - 3) + C_{01}(l_2 - 3) + C_{11}(l_1 - 3)(l_2 - 3) \\ + C_{20}(l_1 - 3)^2 + C_{30}(l_1 - 3)^3$$

$$\text{Ogden 式} : W = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3)$$

$$\text{ヤング率 } E = 6(C_{10} + C_{01}) = 3/2 \sum \alpha_i \cdot \mu_i$$

※正しくは、 $C_{10} \Rightarrow \partial W / \partial l_1$ 、 $C_{01} \Rightarrow \partial W / \partial l_2$  他の係数は微分時にゼロ  
二軸試験から求められたデータをそのまま回帰すると、ほぼ 100% 本当のヤング率と一致しない。それは本当のヤング率が求められていないから  
であり、本当のヤング率（下記説明）から、すべての係数を補正する。

## 3) 真（本当）のヤング率を求める：短冊での伸張試験と注意点

金属用の TP で金属用の剛性の高い試験機で測定すれば、金属のヤング率は明確に正しく求めることができます。金属棒の振動試験から求める方法など、その他、いくつかの方法もありますが、残念ながらゴムは、先に紹介したせん断弾性率から [JIS でのせん断弾性率定義] 関係式、

$$\text{ヤング率 } E = \text{せん断弾性率 } G_s \times (1 + \text{ポアソン比 } 0.5)$$

※ポアソン比は、概ね 0.5 であり、最近誤った文献を見かける。

から算出するいがい規定を見かけたことがありません。

しかし、根本となるせん断弾性率の根拠が揺らいでいる状況では、どのように定義するかを明確にする必要があります。方法の前に、この方法の正しさを証明する必要があります。正しさの証明は、得られたヤング率を使用してこの試験を解析してみると、入力値からその変位と反力、実測と同様にヤング率を算出し、その値が入力した値（ヤング率）と一致する。これが重要です。短冊では正しく解析すれば一致します。

※解析でよく失敗するのは、短冊の厚み方向を拘束してしまうことです。

※JISせん断弾性率は、2.2.2項 材料定義 5) 硬度とせん断弾性率

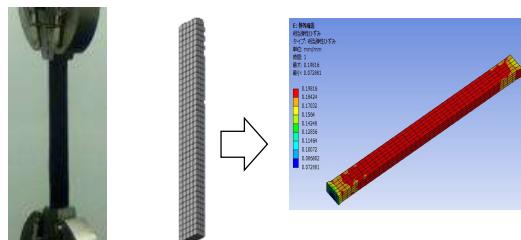
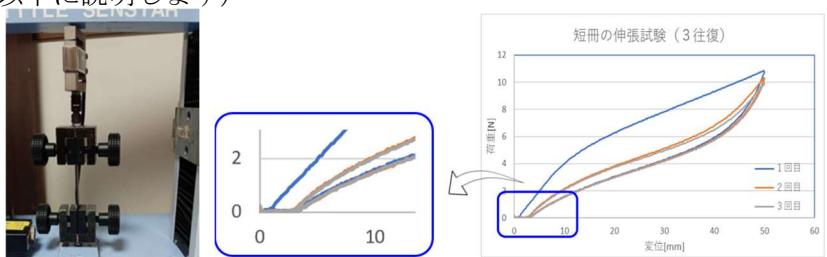


図 2.30 短冊による解析例

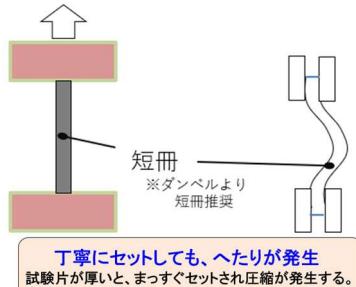
実測で正しいヤング率=剛性を求めるには、へたりを適正処理する必要があります。概要としては下図のように、ゼロ点が定まりません。

しかし、安易に試験機のヘッドを移動して合わせると本当の剛性になりません。（以下に説明します）

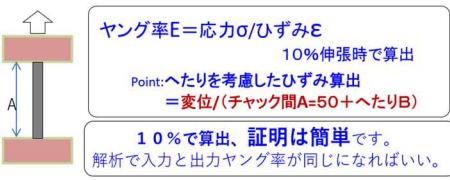
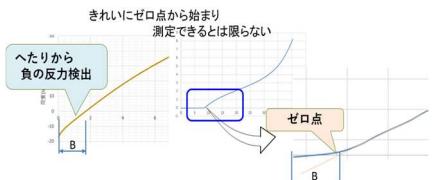


■図 2.31 短冊試験概要と求められる3回伸張と戻り特性

この試験を行う際に、注意深くセットしても、どうしてもゴムではセットした場合にへたりが生じます。一般的に1~2mm厚みのシートから作成するため、厚みはそのままです。しかし、硬く厚くなると見た目はへたりが見えず、まっすぐのまま反対の力が発生することもあります。



丁寧にセットしても、へたりが発生  
試験片が厚いと、まっすぐセットされ圧縮が発生する。



※10%算出の意味（経験則）

鉄の微小変形1%、ゴムではへたりの影響で難しい  
100%等大変形では非線形性から初期が同じでも異なる。  
10%と仮定して算出、この値で短冊の解析、出力一致

#### 4) なぜ、短冊なのか

なぜ、短冊で測定するのか。（10%の意味は前述）

一般的にJISでは破断伸び $E_b$ 、破断強度 $T_b$ 測定時に、ダンベルで標線間の測定（詳細略）であり、昔のせん断弾性率は短冊と記載されていました。では、ヤング率であるからせん断弾性率の

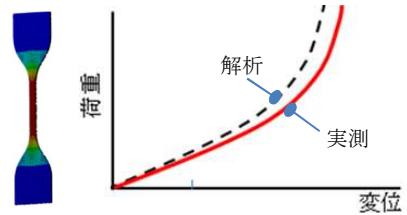
25%モジュラス測定の短冊で

良いのか迷うところであすが短冊

ではなく、ダンベルで測定した

ヤング率で解析すると、右のように合わないことがわかります。

これは真のヤング率が求められていないからです。



真のヤング率が分かれば

Neo-Hookean モデル

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

最も単純な材料表現で

$$C_{10}=E/6 \quad \text{の関係}$$

大変形領域はともかく、製品でも初期はよく一致することがわかります。

測定のサンプルが異なると真のヤング率が（書籍：初心者の・・1.4.6 項詳細）

求められないのは、

サンプルの形状率（形、

自由面積と測定時の拘束域（引つ張りで）

の関係）です。

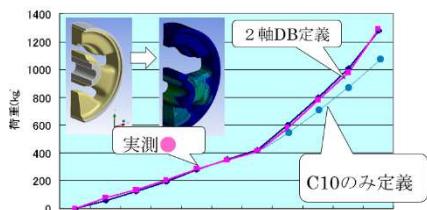
残念ながら短冊も

2 %程度の誤差は

含まれます。

（別書籍より）

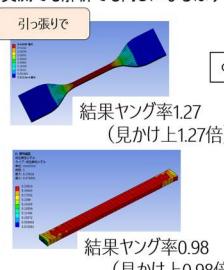
#### ハの字型マウントの特性予測解析



ヤング率 1.0 の材料で伸張試験

伸張変位 →ひずみ、荷重/断面積 →応力 ヤング率 = 応力/ひずみ

実測でも解析でも同じになるはず



圧縮で

$\Phi 1.8 \times h 2.6 \text{ mm}^3$

$E=0.79 \text{ N/mm}^2$

$\Phi 2.9 \times h 1.2, 7 \text{ mm}^3$

$E=1.19 \text{ N/mm}^2$

$\Phi 4.0 \times h 1.5 \text{ mm}^3$

$E=1.16 \text{ N/mm}^2$

$\Phi 1.0 \times h 1.0 \text{ mm}^3$

$E=0.95 \text{ N/mm}^2$

■図 2.31 形と見かけ上の求められる剛性

※入力値が正しいかの確認は、実測にしてもそうであるが解析での出力値が実験と同じになれば、正しいデータが得られたことになります。

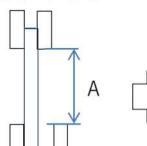
#### 5) 根本的、材料剛性(ヤング率)測定の注意点

機会に触れて 25 %モジュラスと本当の剛性というものを考えてきましたが、測定方法と注意点について説明しておきます。



短冊サンプルを上からチャック

上からチャック



下をチャック

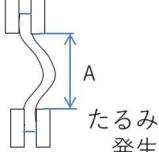


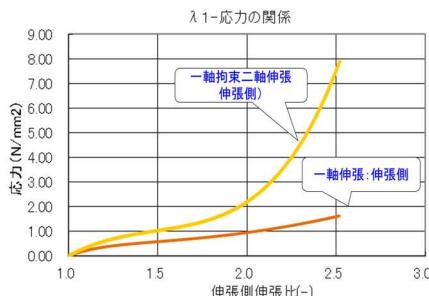
図 2.32 富山工業試験場単軸試験機とチャック状況

測定時に寸法 A ですが、ひずみはそのまま A で除した値ではなく  
“A + へたり”で除した値は本当の初期の設定寸法になります。

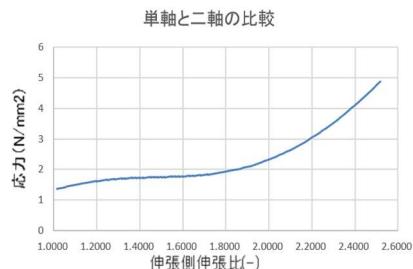
## 2.2.4 項 二軸の必要性

単軸試験から二軸試験の予測、それを用いて回帰などという二軸試験なしでもエネルギー関数作成可能という発想もあるかと思う。しかし、先に述べたように本来、一軸拘束二軸伸張試験でも 2 本の線図（ひずみ-応力特性）を入れないと済めての係数が求められることには触れたが、単軸試験からは文献で約 1.4 倍前後の係数をかけて二軸データを予測、そこから回帰している。残念ながら一律の倍率では表現できない。

グラフ 4 同材料の単軸と二軸伸張側特性



グラフ 5 伸張比ごとの単軸と二軸の倍率



このように一定の倍率をかけても二軸試験の特性を表現できない。

1 つのデータではあるが、1 つの否定データで十分であり、予測不能であることもわかる。ただ、どうしても单軸のみのデータしかない場合は、この予測法に頼らざるを得ないのも事実です。