

初期剛性が合わない3つの理由

I 何回目の剛性か

1回目特性と2回目以降の剛性は大きく異なる。
更には、へたりを考慮して剛性を求める。

II 形状依存性

測定サンプルでの見かけ算出剛性が異なる。
正しいサンプルを選択する必要がある。

III 硬度、寸法公差

金属と異なりゴム製品の寸法や硬度（基本剛性）は公差が大きく、
場合によっては10%以上異なる。
金属は鉄のヤング率21万MPaに対して1%もずれない。

I 何回目の剛性か

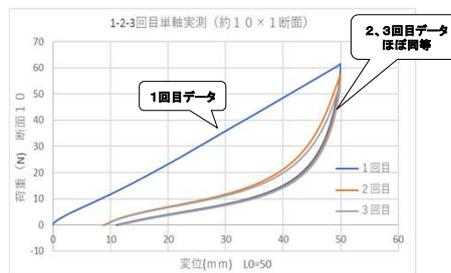
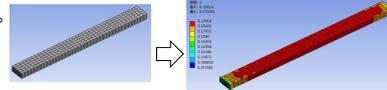
ゴムは、そのままのヤング率で定義しませんが

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。

単軸試験から正確なヤング率を求めること。

短冊試験



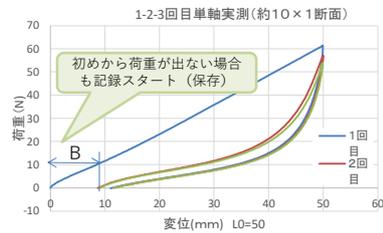
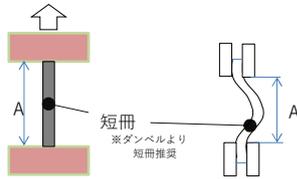
1回目と2回目は大きく異なり、
2回目と3回目は少し異なります。

3回目以降はほぼ重なります。

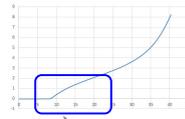
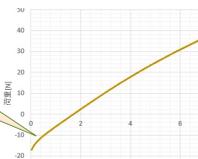
ゴムの3回の伸張データは、上記のように安定性から“3回目のデータとJISでは規定”しています。
しかし、それだけでは解析に使うことが難しいです。/JISは解析用に定義されていません。

ゴム材料の基本知識

単軸試験手順：重要ポイント



へたりから
負の反力検出



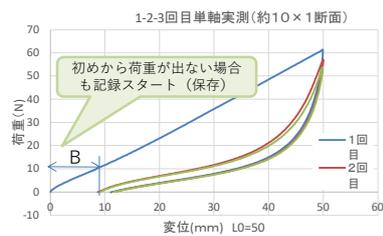
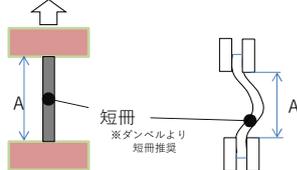
このへたりを行わないと正確なヤング率が求められない。
最も肝になるところです。

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

3

ゴム材料の基本知識

単軸試験手順：重要ポイント



基本となるヤング率の算出

エネルギー関数 $W=C_{10} (I_1-3)$

C_{10} = ヤング率 $E/6$ の関係から正しいヤング率を求める必要がある。

$A=50\text{mm}$ とすると、ひずみは変位 $\div 50$ 、応力 = 荷重 \div 断面積

1回目のヤング率は、そのまま
ヤング率 $E_1 = \text{応力} \div \text{ひずみ}$
そのまま求められる。



2回目 (3回目の動揺)
ヤング率は、へたりを考慮して
ひずみ₂ は変位 $\div (50 + B)$ へたり考慮
ヤング率 $E_1 = \text{応力} \div \text{ひずみ}_2$
これが求められているか?

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

4

II 形状依存性

単軸試験の課題② - 形状依存について -

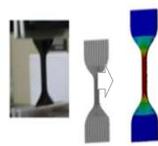
材料力学から

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

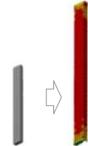
応力とひずみの関係の基本式



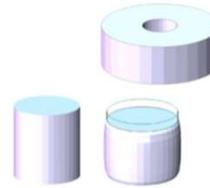
果たしてそうでしょうか？



ダンベル



短冊



ディスク

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。

形状率依存性

© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

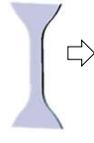
試験片 ダンベルと短冊での見かけ上ヤング率の違い

それぞれヤング率を算出と・・・

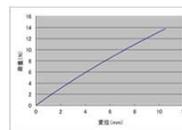
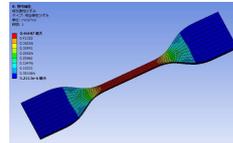
- ・ひずみ ε =変位/チャック間距離
 - ・応力 σ =荷重/断面積
- ⇒ $E = \sigma / \varepsilon$ (理論式) は、試験片に依存します。

真のヤング率 $E=1.0$ で試験、もしくは解析すると

ダンベル



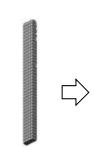
線図からのヤング率 $E=1.27$ となり不一致



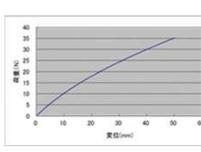
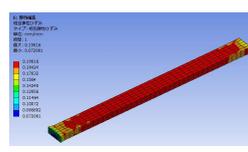
参考：標線間1.05

正しいヤング率は
求められない。

短冊



線図からのヤング率 $E=0.98$ 、ほぼ同等



短冊であれば、
ほぼ正確なヤング率

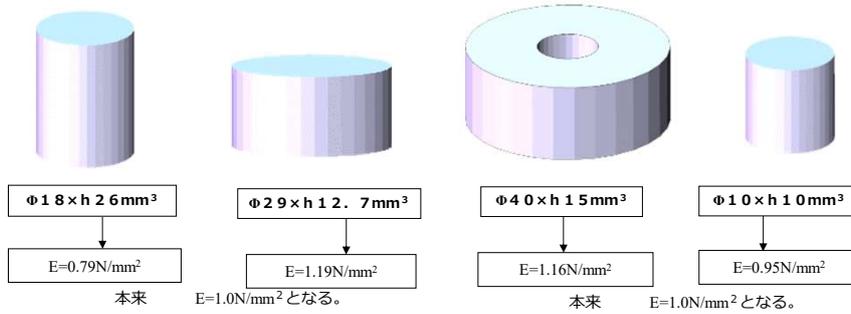
ゴムのJIS等は、解析を目的として書かれていない。
見かけ上のヤング率と真のヤング率を区別する。

6

では圧縮試験でのディスクでは

いろいろなディスクで確認

同様に、ヤング率 $E=1.0$ の材料で解析（測定）したら・・・



材料測定用 T P の違いで見かけ上のヤング率が異なります。
正確なヤング率が求められない。

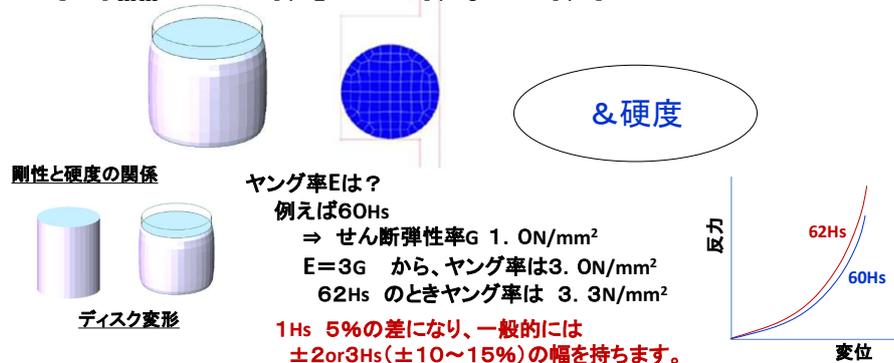
© 2022 Terakoya All Rights Reserved.

7

III 寸法公差・剛性公差

寸法公差は精度の投球があり 1～3 級があります。

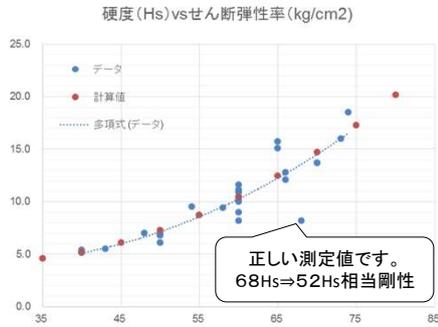
寸法	公差・1級	2級	3級[単位: mm]
3 mm 以下	± 0.2	± 0.3	± 0.4
3～6 mm	± 0.2	± 0.4	± 0.5



ゴムは寸法公差、硬度(中心 ± 3 Hs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。**

8

必ずしも硬度と剛性の関係はない



単位がN系に統一されていませんが、硬度と剛性には、一定の関係があります。

⇒一定の関係、後述します。

ヤング率 $E = 3 \times$ せん断弾性率 G

最も単純な材料表現

Neo-Hookeanモデル

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

Mooney-Rivlinモデル

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

一定の経験則 $E = 6(C_{10} + C_{01}) = 3G$

ちなみにエネルギー関数(係数)との関係は

$$E = 6(C_{10} + C_{01}) = (3/2) \sum \alpha_i \mu_i \quad \alpha_i \mu_i > 0$$

9

まとめ

解析予測が実測とあ合わない3つの原因

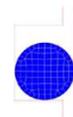
1. 正確な正しいヤング率定義 (ヤング率/6=C10 ネオフック)

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

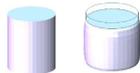
寸法	公差・1級	2級	3級[単位: mm]
3 mm以下	±0.2	±0.3	±0.4
3～6 mm	±0.2	±0.4	±0.5

一般的には2級を採用、O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

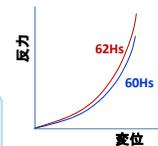


ディスク変形

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。

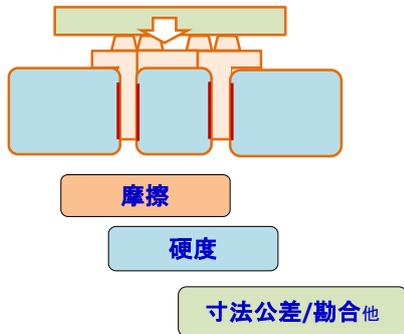
ゴムは寸法公差、硬度(中心±3Hsなど)差が大きい。解析が合っていないと考えることも多い。⇒実際は合っている。



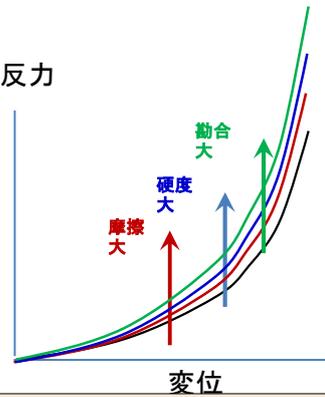
まとめ

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

11

お問い合わせリンク
<https://terakoya2018.com/question>

公共試験場を利用して ゴムの解析用ひずみエネルギーを構築しませんか。

- 候補日をいただければ調整します。1社4名様くらいまで -

1. 富山県でご希望の日程で、6時間程度で修得できます。操作は簡単で、ひな型を使って帰帰も簡単です。
※ひな型販売もしています。
2. 公共試験場ですので、安価に、(修得すれば)いつでもご利用いただけます。
アフターフォローも万全です、問い合わせに回答します。

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



富山県産業技術研究開発センター (pref.toyama.jp)

寺子屋/CAE解援隊
 URL <https://terakoya2018.com>