



How to calculate the string Tension and Stress

弦の張力と振動数

振動数 f (Hz)

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{S \cdot g}{\gamma}}$$

L : 長さ (cm)

γ : 単位長重量 (gr/cm)

g : 重力の加速度
(980 cm/sec*sec)

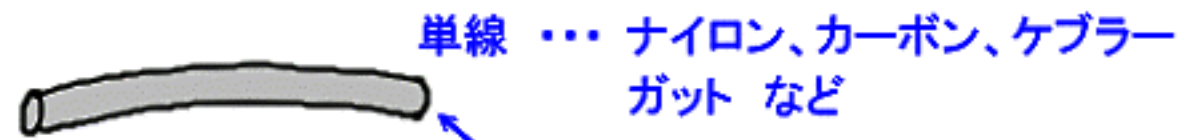
● 張力 $S = \frac{\gamma}{g} (2L \cdot f)^2$ (Kg)

● 応力 (Stress) $= \frac{S}{A}$

A : 弦の断面積

弦の種類 と 単位長重量

単線弦 Plane Nylon string



(ガット弦) Gut string

弦の張力は
この部分にしか
作用しない

フロス巻線弦



Wound on Nylon floss

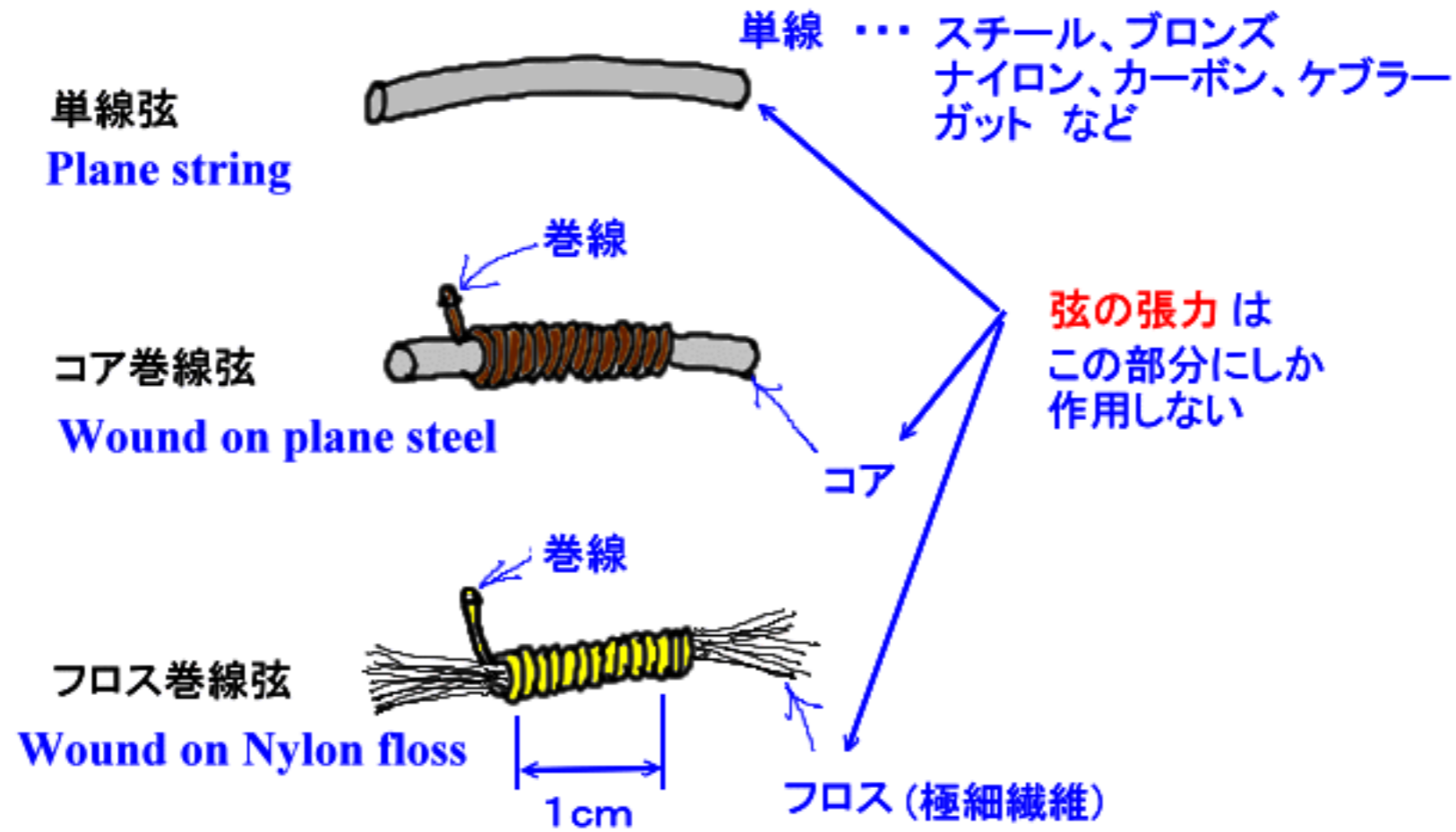
弦の1cm当たりの重さを γ : 単位長重量 (gr/cm) と呼ぶ

単位長重量 $\gamma = W/L$ (gr/cm) ; unit mass of the string

巻線は、弦の 単位長重量 を増やし、低い音を出すために巻く。

巻線には、弦の張力は作用しない。

弦の種類 と 単位長重量



弦の1cm当たりの重さを γ : 単位長重量 (gr/cm) と呼ぶ

単位長重量 $\gamma = W/L$ (gr/cm) ; **unit mass of the string**

巻線は、弦の **単位長重量** を増やし、低い音を出すために巻く。

巻線には、**弦の張力** は作用しない。

弦の種類 と 単位長重量 計算方法



重量は **体積 × 密度 (ρ)** で計算できる ρ : ローと読む

(1) 単線 および 巻線弦の芯線部の 単位長重量計算 (γ_t)

$$\gamma_t = \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \times 1 \times \rho$$

d_1 : 直径 (cm)
実測または、インチゲージ × 2.54

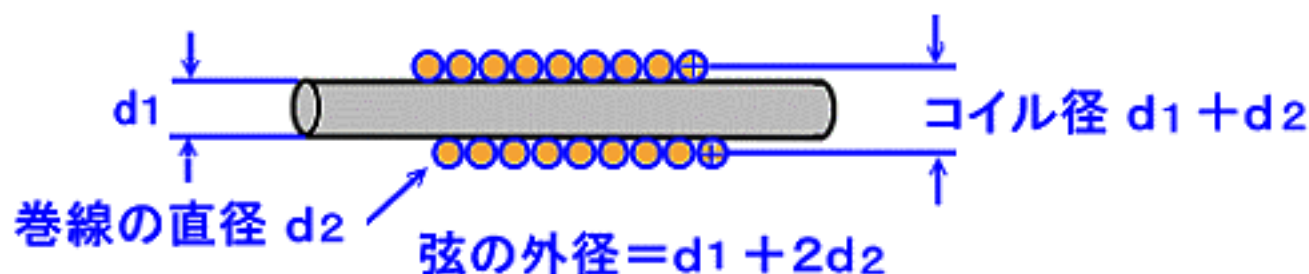
密度 (ρ):

スチール	7.8
ブロンズ	8.8
ニッケル	8.0
ナイロン	1.14

(2) 巻線弦の 単位長重量計算 (γ_w)

巻線部の単位長重量 (γ_m) を計算して、芯線部と合計する

$$\gamma_w = \gamma_m + \gamma_t$$



弦の長さ 1cm 当たりの 巻線の巻線数 N は、 $N = 1/d_2$

巻線 1巻 当たりの 長さ $L_w = \pi (d_1 + d_2)$

よって、弦の長さ 1cm 当たりの、巻線の長さ L_m は

$$L_m = N \cdot L_w = \frac{1}{d_2} \times \pi (d_1 + d_2)$$

弦の長さ 1cm 当たりの、巻線の体積 (V) × 密度 (ρ) は、

$$\text{巻線部の単位長重量 } (\gamma_m) = \left\{ \left(\frac{d_2}{2} \right)^2 \times \pi \times \frac{1}{d_2} \times \pi (d_1 + d_2) \right\} \times \rho$$

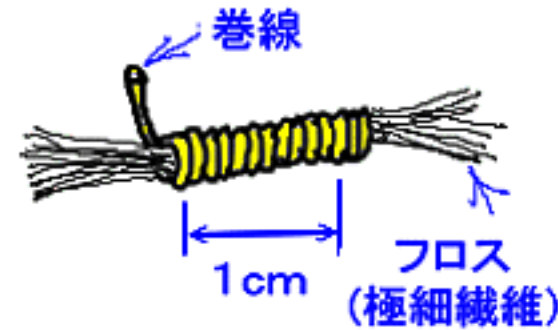
弦の種類 と 単位長重量 計算方法

単線弦



単線

フロス巻線弦



重量は **体積 × 密度 (ρ)** で計算できる ρ :ローと読む

(1) 単線の 単位長重量計算 (γ_t)

$$\gamma_t = \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \times 1 \times \rho$$

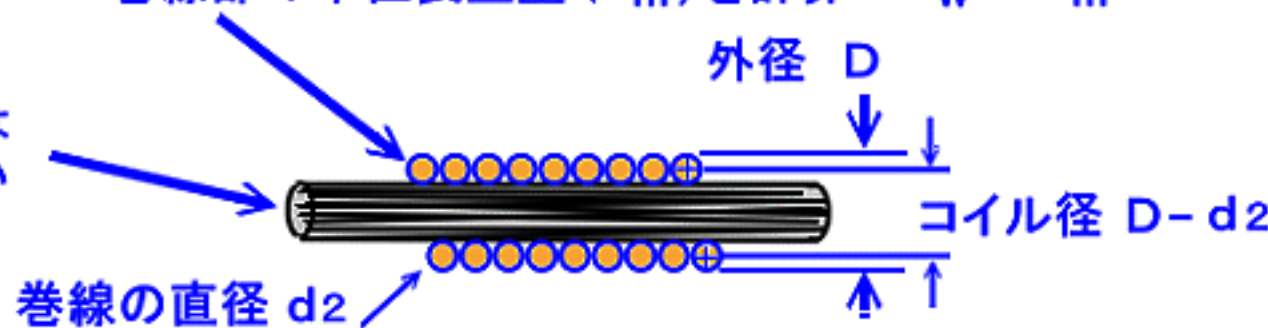
d_1 : 直径 (cm) 実測または、インチゲージ × 2.54

密度 (ρ): ナイロン 1.14 Nylgut (Aquila) 1.40
 ケブラー(アラミド樹脂) 1.38 ガット 1.35
 カーボン繊維 1.80

(2) 巻線弦の 単位長重量計算 (γ_w)

巻線部の単位長重量 (γ_m) を計算 $\gamma_w = \gamma_m$

フロス部の重量は
ゼロ と考えて良い



弦の長さ 1cm 当たりの 巻線の巻線数 N は、 $N = 1/d_2$

巻線 1巻 当たりの 長さ $L_w = \pi (D - d_2)$

よって、弦の長さ 1cm 当たりの、巻線の長さ L_m は

$$L_m = N \cdot L_w = \frac{1}{d_2} \times \pi (D - d_2)$$

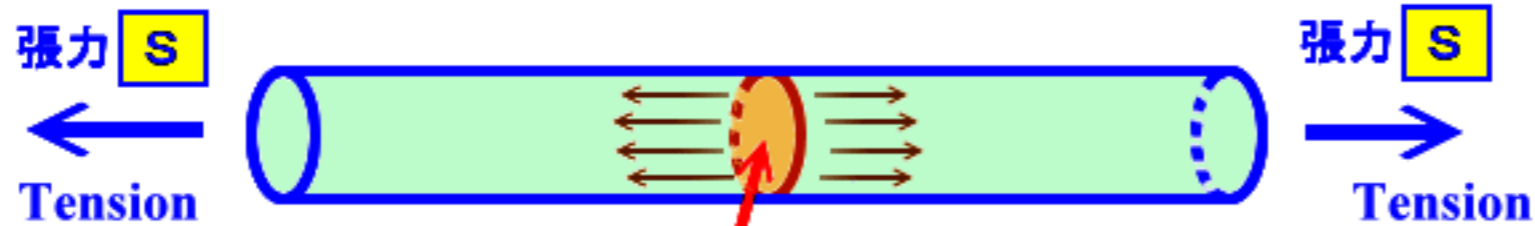
弦の長さ 1cm 当たりの、巻線の体積 (V) × 密度 (ρ) は、

密度 (ρ): ブロンズ 8.8
 シルバー 10.5

$$\text{巻線部の単位長重量 } (\gamma_m) = \left\{ \left(\frac{d_2}{2} \right)^2 \times \pi \times \frac{1}{d_2} \times \pi (D - d_2) \right\} \times \rho$$

(注) 天秤による実測値と計算値の違いは、7-8% であるため、未知の弦の場合、計算値が良いと考える。

弦を引張る



弦の断面積 $A \text{ mm}^2$; Cross Section Area

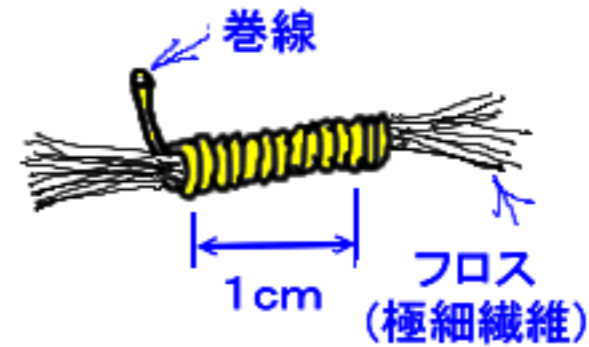
Stress 応力 (σ) = $\frac{\text{張力 } S}{\text{弦の断面積 } A}$ (Kg/mm^2) σ : シグマ

弦の種類と 芯線面積 計算方法

単線弦



フロス巻線弦



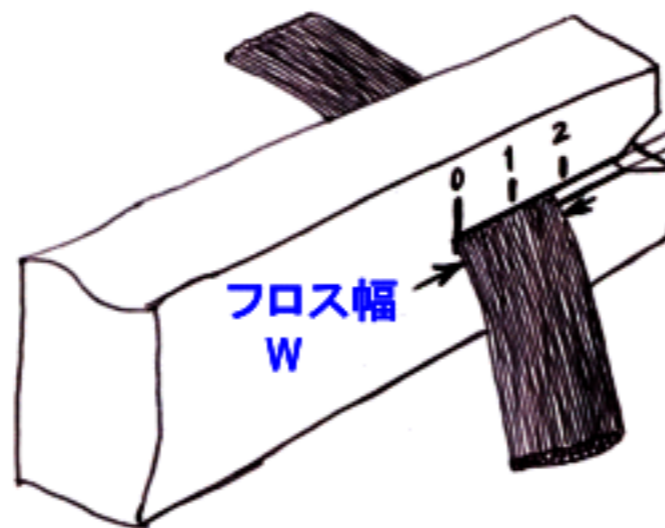
(1) 単線 $A_t = \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2$ d_1 : 直径 (mm)

(2) フロス部の面積計算 A_f

(i) フロス 1本の直径 (15 - 20 μ mm 程度) を測定し、その断面積と本数 (200 - 500 本程度) を掛けて、総面積を計算する。

事例 YAMAHA Grand Concert #4... フロス径 20 μ mm 本数 271本 総面積 0.085 mm²

(ii) 簡易測定法 ...弓毛の量を測定する方法に類似



スリット幅
0.1 mm

スリット幅 0.1 mm にフロスを通し、その幅を測定。

$$\text{芯線面積} = (W \times 0.1) \times 0.75$$

補正係数

事例 YAMAHA Grand Concert #4... フロス幅 W= 1.2 mm



芯線面積 0.090 mm²

(注) 簡易測定法でもほぼ同じ数値となる。

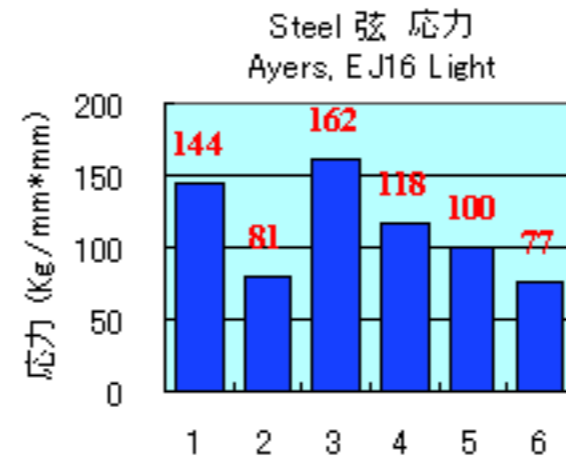
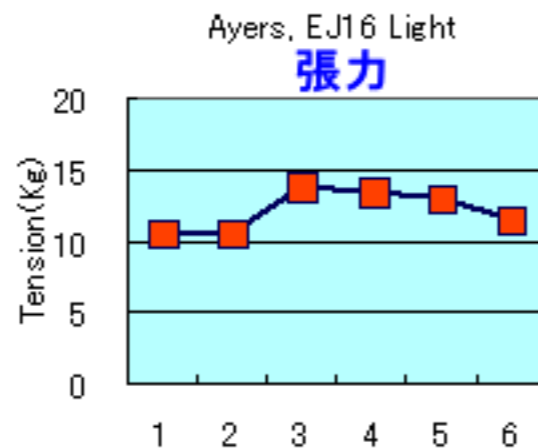
張力と伸びでなく

何故、応力・ひずみ を使うか その1

アコースティックギター弦の例

No.	弦構造	ゲージ (in)	芯線径 (in)	単位長重量 γ (gr/cm)	張力 (Kg)	応力 ₂ (Kg/mm ²)
1	単線弦 	.012	.012	0.0057	10.5	143
2		.016	.016	0.0101	10.5	81
3	巻線弦 	.024	.013	0.0213	13.9	162
4		.032	.015	0.0366	13.4	118
5		.042	.016	0.0632	13.0	100
6		.053	.018	0.0987	11.4	77

D'Addario EJ-16 Light を Scale Length 645mm に張った場合



#1弦と#6弦の張力は、10%程度しか違わないが、弦の応力は、2倍程度の差違がある。

応力とは、張力を芯線の断面積で割った値

弦の挙動を調べるには、弦の材料の内部に作用している **応力** の値を使って調べる必要がある。

YAMAHA GRAND CONCERT 1.

#	Note	Frequency	Length (in)	Length (cm)	芯線Diameter (mm)	String Tension(Kg)	単位長重量 (g)	芯線面積 (sq-mm)	Stress(Kg/sq-mm)	弦材質
1	e	329.63		65.0	0.690	7.93	0.004232	0.374	21.22	ナイロン
2	b	246.94		65.0	0.785	5.36	0.005093	0.484	11.07	ナイロン
3	g	196.00		65.0	0.985	5.31	0.008019	0.762	6.98	ナイロン
4	d	146.83		65.0		6.90	0.018557	0.085	81.08	銀メッキ巻線
5	a	110.00		65.0		6.52	0.031250	0.084	77.78	銀メッキ巻線
6	e	82.41		65.0		7.03	0.060000	0.086	81.97	銀メッキ巻線

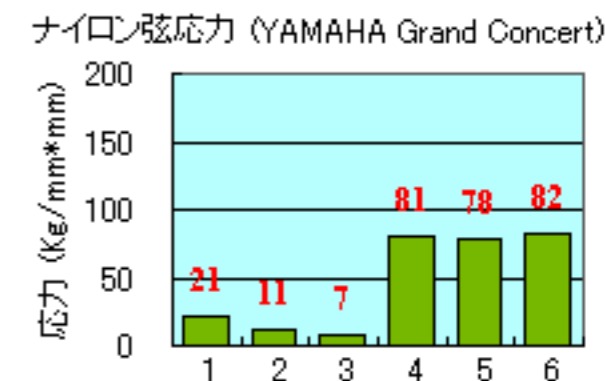
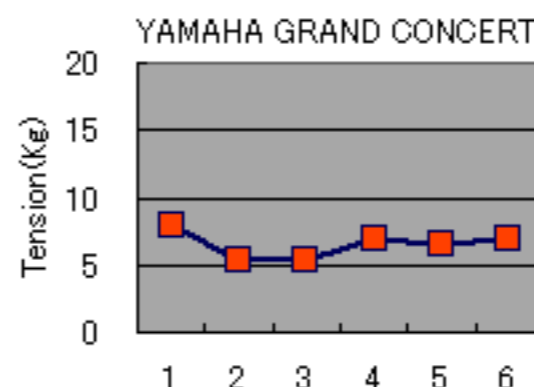
巻線弦の単位長重量計算

YAMAHA GRAND CONCERT STRING

Guitar	外径(in)	外径(mm)	Tension径(mm)	Tension径(in)	全長重量(g)	弦全長(cm)	単位長重量 (g/cm)	細くなった直径	細くなった単位重量	密度
1	0.0283	0.720	0.690	0.0272	0.47	102.0	0.0046	0.690	0.0042	1.13
2	0.0321	0.815	0.785	0.0309	0.56	102.0	0.0055	0.785	0.0051	1.05
3	0.0398	1.010	0.985	0.0388	0.86	102.0	0.0084	0.985	0.0080	1.05
4	0.0281	0.715	0.715	0.0281	1.80	97.0	0.0186			21.81
5	0.0356	0.905	0.905	0.0356	3.00	96.0	0.0313			37.27
6	0.0431	1.095	1.095	0.0431	5.70	95.0	0.0600			69.99

フィラメント フィラメントは、ケブラーか					新測定法の面積計算			
芯線径mm	本数	総面積sqmm	換算芯線径(m)	換算芯線径(in)	スリット mm	フィラメント巾 mm	総面積sqmm	面積比
1								
2								
3								
4	0.020	271	0.0851	0.3292	0.100	1.200	0.0900	1.06
5	0.020	267	0.0838	0.3268	0.100	1.200	0.0900	1.07
6	0.020	273	0.0857	0.3305	0.100	1.200	0.0900	1.05

巻線弦の単位長重量計算					
芯線総面積	巻線径(mm)	芯線部重量	巻線部重量	合計	実測値比
0.085094	0.135	0.000970	0.01660	0.017568	0.95
0.083838	0.225	0.000956	0.03243	0.033389	1.07
0.085722	0.335	0.000977	0.05397	0.054948	0.92

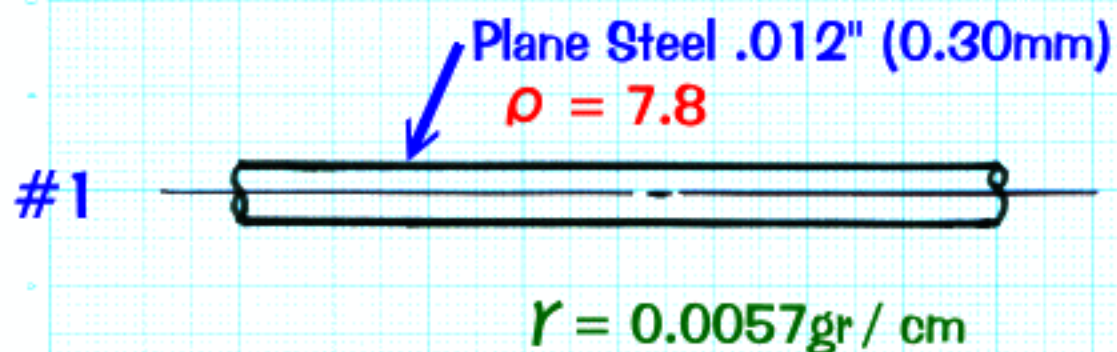


巻線 計算重量による 張力、応力

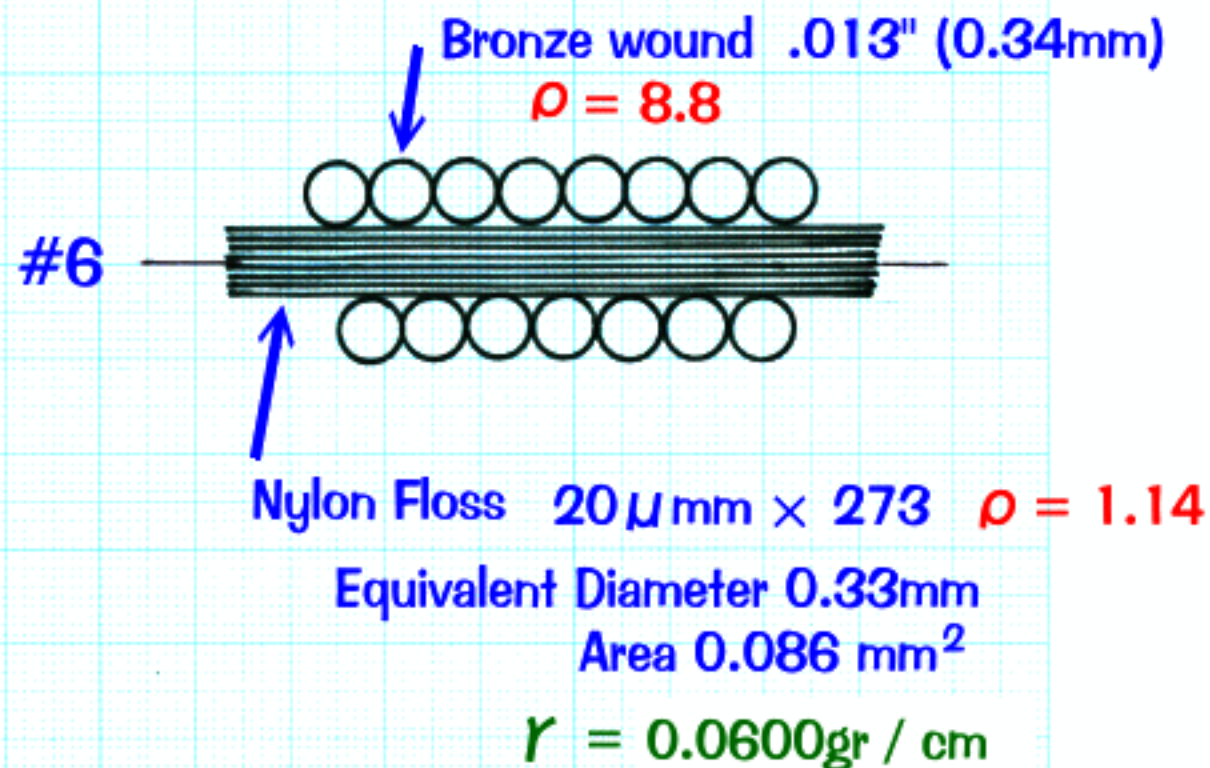
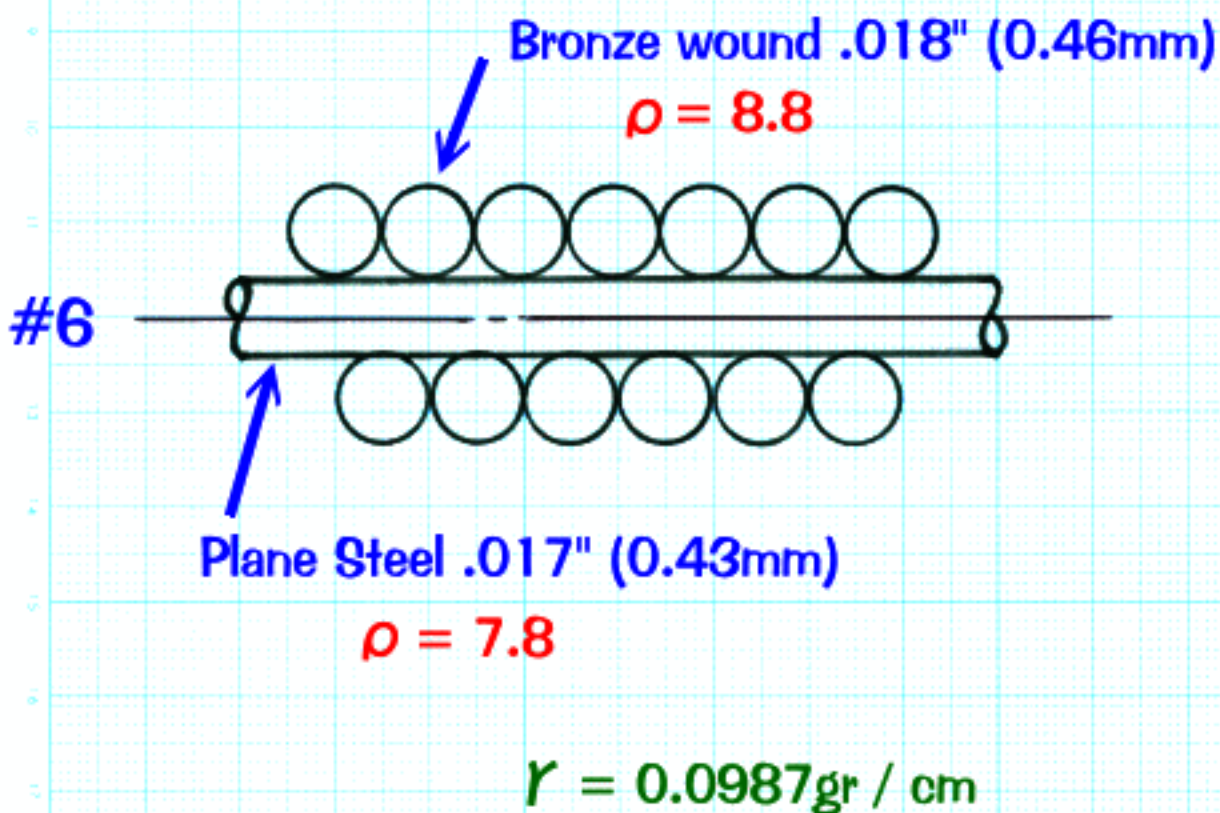
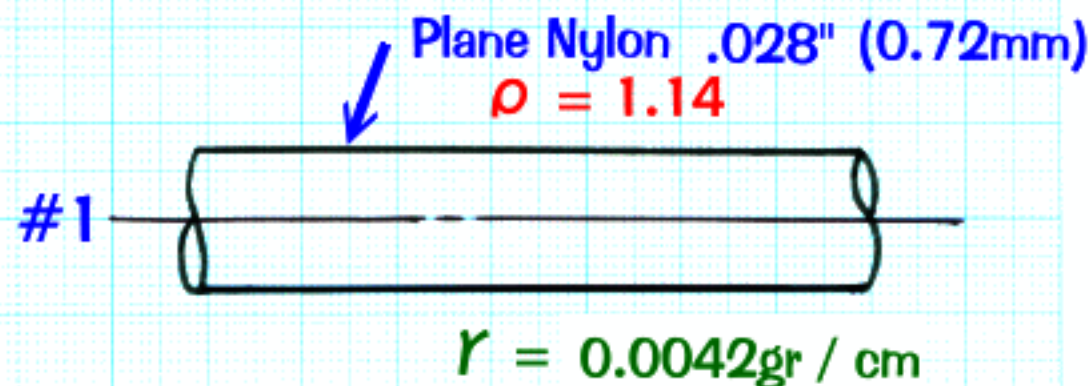
#	Note	Frequency	Length (in)	Length (cm)	芯線Diameter (mm)	String Tension(Kg)	単位長重量 (g)	芯線面積 (sq-mm)	Stress(Kg/sq-mm)
1	e	329.63		65.0	0.690	7.93	0.004232	0.374	21.22
2	b	246.94		65.0	0.785	5.36	0.005093	0.484	11.07
3	g	196.00		65.0	0.985	5.31	0.008019	0.762	6.98
4	d	146.83		65.0		6.53	0.017568	0.085	76.76
5	a	110.00		65.0		6.97	0.033389	0.084	83.10
6	e	82.41		65.0		6.44	0.054948	0.086	75.07

弦の種類と寸法比較

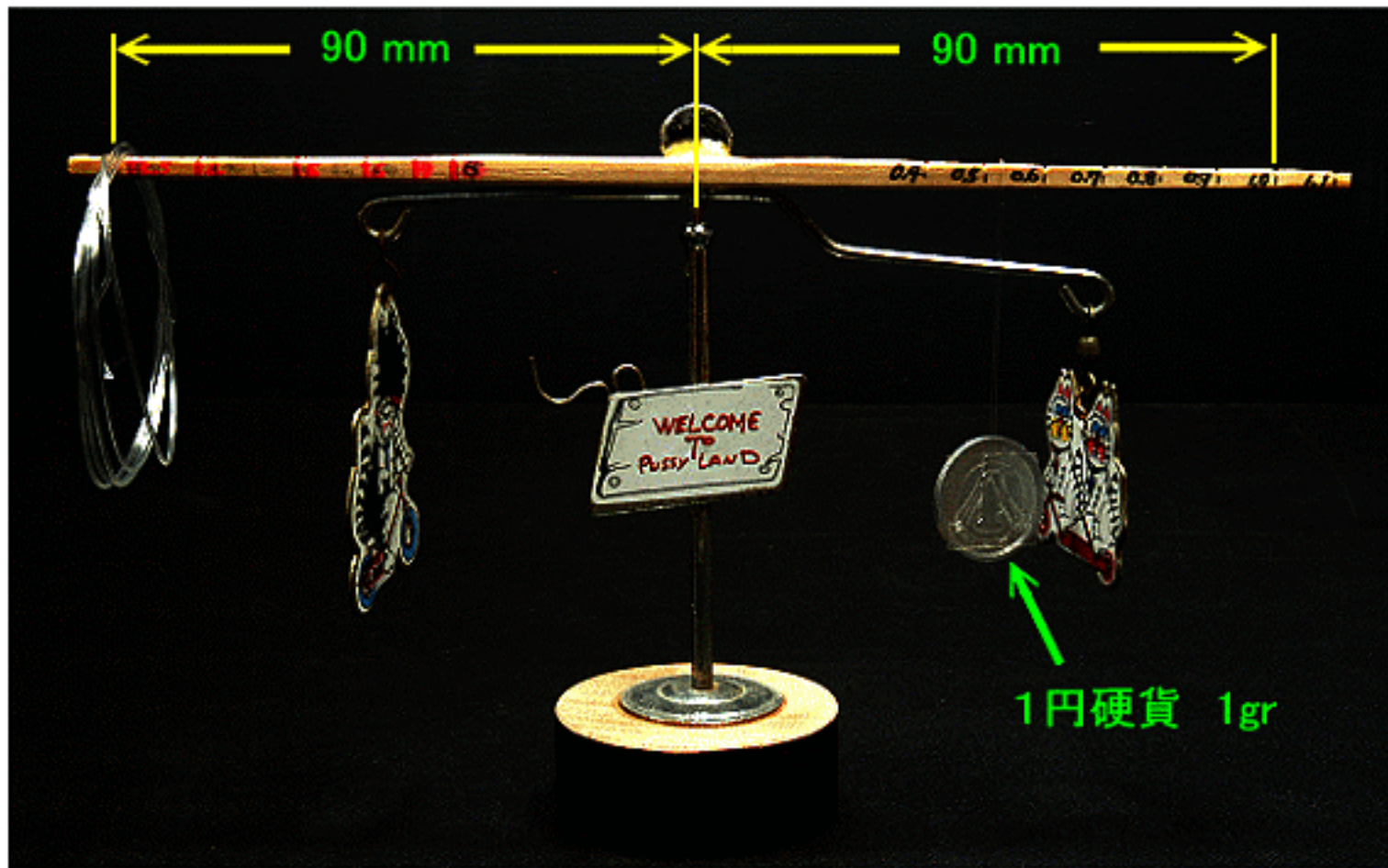
Acoustic Guitar Steel String



Classic Guitar Nylon String



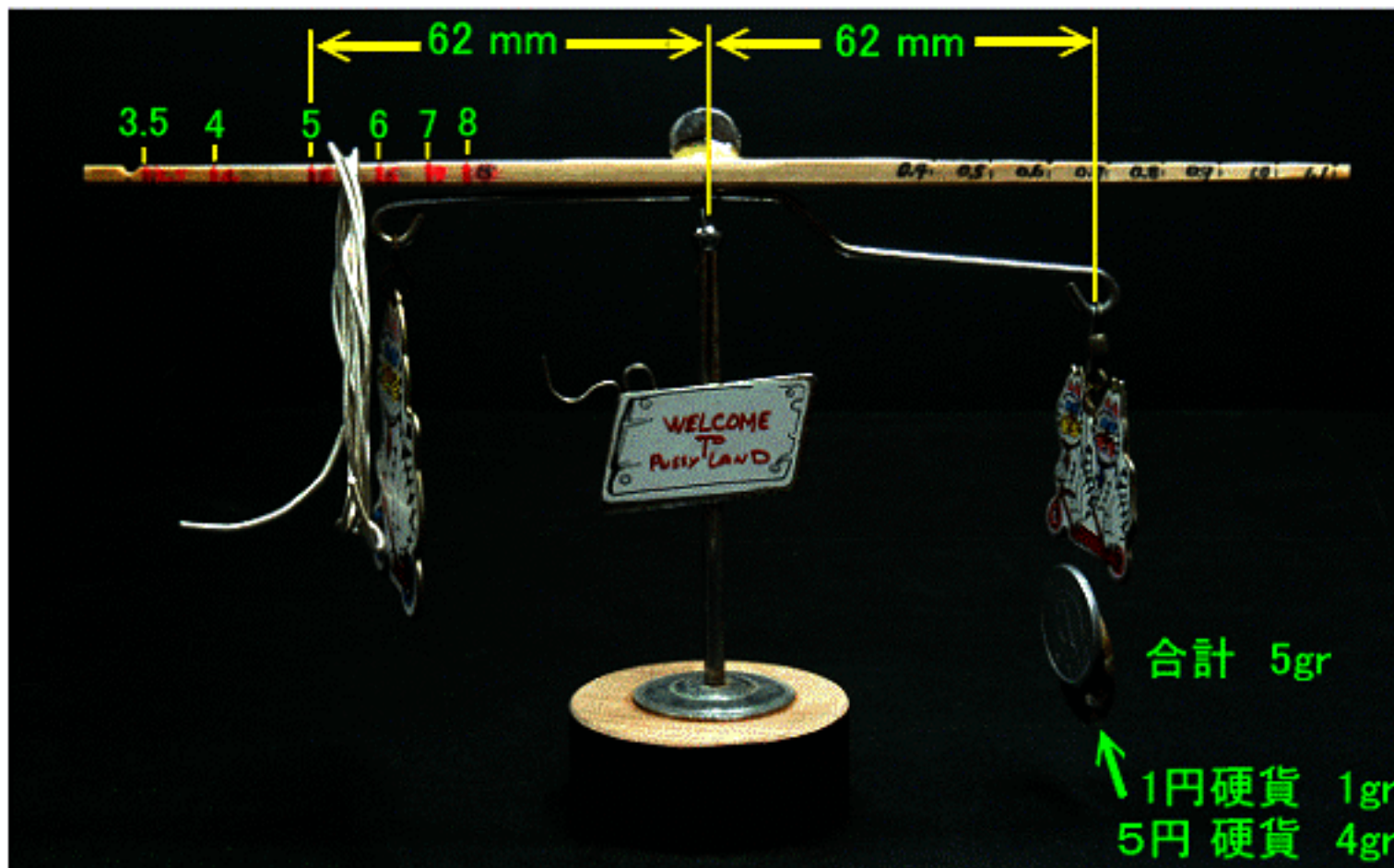
単位長重量測定法



#1, #2, #3など、
全長で 1 gr 以下の弦は、
1円硬貨を移動して測定する。

#4など、2-3 gr の弦は、
1円硬貨を2-3枚使用して測定する。

単位長重量 $\gamma = W/L$ (gr/cm)



#5, #6など、
全長で 4-7 gr 程度の弦は、
重り 5 gr 使用して測定する。

単位長重量 $\gamma = W/L$ (gr/cm)