

第3章

固体ホーン的设计計算

3.1 固体ホーン的设计式における諸条件

本計算式は、軸方向の長さがその有効直径に比べて十分長く、縦振動が軸方向に伝搬することを想定し、固体ホーン的设计計算には半波長共振とする。

すなわち、計算に使用される固体ホーンは有効直径

$$d < \frac{\lambda}{4}$$

であり、長さ

$$l = \frac{\lambda}{2}$$

である。

本計算式は大きく分けて、断面が丸型ホーンと角型ホーンがあり、それぞれのホーンに対して半波長共振、先端と後端における振幅増幅率 M 、変位の節（ノード）の位置等の計算式と計算例題を示し、簡単なホーンに関しては、変位分布や応力分布も求めている。

本計算式に出てくる変数は

音速： v (cm/s)

周波数： f (Hz)

縦弾性係数（ヤング率）： E (kg/cm²)

応力： σ (kg/cm²)

長さ： L (cm)

角度： θ (rad)

波長： λ (cm)

角速度： ω (rad/s)

密度： ρ (g/cm³)

であり、

$$v = f \times \lambda = \frac{E}{\rho}$$

$$\lambda = 2 \times L$$

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

なる関係がある。

3.2 丸型固体ホーンの計算式および例題

3.2.1 両端自由ストレート・ホーン

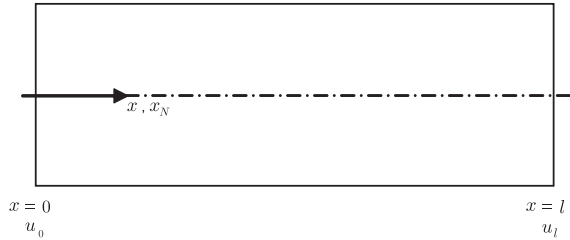


図 3.1 両端自由ストレート・ホーン

諸条件

直径寸法が $\lambda/4$ 以下であれば，直径に関係なく一般的に成り立つ．

共振条件 l

$$l = \frac{v}{2G}$$

振幅増幅率 M

$$M = \frac{u_1}{u_0} = 1$$

u_0 : $x = 0$ における変位

u_1 : $x = l$ における変位

変位ノード位置 x_N

$$x_N = \frac{l}{2}$$

変位分布 u

$$u = u_0 \cos\left(\frac{\pi}{l}x\right)$$

応力分布 σ

$$\sigma = -u_0 \frac{E\pi}{l} \sin\left(\frac{\pi}{l}x\right)$$

..... 計算例題

固体ホーンの材質を鉄 (Ge) とした場合

ヤング率	$E = 2100000 = 2.1 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
密度	$\rho = 7.86 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
単位の換算	$1 \text{ kg/cm}^2 = 1000 \times 980 = 9.8 \times 10^5 \text{ (dyn/cm}^2\text{)}$
伝搬速度	$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 9.8 \times 10^5}{7.86}}$ $= \sqrt{2.618 \times 10^{11}}$ $= 5.12 \times 10^5 \text{ cm/s}$ $= 5120 \text{ m/s}$
共振周波数 (使用周波数)	$G = 20 \text{ kHz} = 2 \times 10^4 \text{ Hz}$
駆動側 (振動子側) の振幅	$u_0 = 10\mu = 0.001 \text{ cm}$

であり, 以上の計算条件より

(共振条件 (固体ホーンの長さ) l)

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2G} = \frac{5120}{2 \times 2 \times 10^4} = 12.8 \text{ cm}$$

(振幅増幅率 M)

$$M = \frac{u_1}{u_0} = 1$$

(変位節 (ノード) の位置 x_N)

$$x_N = \frac{l}{2} = \frac{12.8}{2} = 6.4 \text{ cm}$$

(変位分布 u)

$$u = u_0 \cos\left(\frac{\pi}{l}x\right) = 10^{-3} \cos\left(\frac{\pi}{12.8}x\right)$$

(応力分布 σ)

$$\sigma = -u_0 \frac{E\pi}{l} \sin\left(\frac{\pi}{l}x\right) = -10^{-3} \frac{2.1 \times 10^6 \times \pi}{12.8} \sin\left(\frac{\pi}{12.8}x\right)$$

$$= -515.42 \sin(0.24544x)$$

となる.

以上の結果から 20 kHz の周波数で共振するためのホーン的设计寸法は図 3.2 のようになる.

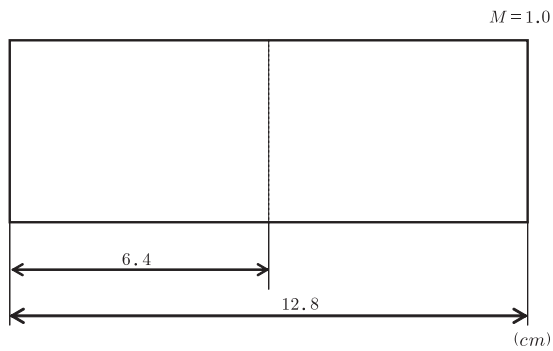


図 3.2 両端自由ストレート・ホーン的设计寸法

フォートラン 計算例

The screenshot shows a terminal window titled 'G:\YINDOWS\system32\cmd.exe'. The text displayed is as follows:

```

** 丸型 両端自由ストレート・ホーン **
音速V(cm/s)=
512000.0
周波数 f (Hz)=
20000.0

*** 計算結果 ***
共振長L(cm)= 12.80
振幅増幅率M= 1.00
変位節位置N(cm)= 6.40

```

図 3.3 両端自由ストレート・ホーン (フォートラン)

フォートラン プログラムリスト

```

      write(6,100)
100 format('** 丸型 両端自由ストレート・ホーン **')
      write(6,*)(' 音速 V(cm/s) = ')
      read(5,*)v
      write(6,*)(' 周波数 f (Hz) = ')
      read(5,*)f
c
      cl=0.5*v/f
      cm=1.0
      cn=0.5*cl
c
      write(6,500)
500 format(//,'*** 計算結果 ***',/)

```

```

write(6,510)c1
510 format(' 共振長 L(cm) = ',f6.2)
write(6,520)cm
520 format(' 振幅増幅率 M = ',f6.2)
write(6,530)cn
530 format(' 変位節位置 N(cm) = ',f6.2)
end

```

< 計算の実行 >

・入力

音速 $V(\text{cm/s}) = 512000.0$
 周波数 $f(\text{Hz}) = 20000.0$

・出力

共振長 $L(\text{cm}) = 12.80$
 振幅増幅率 $M = 1.00$
 変位節位置 $N(\text{cm}) = 6.40$

エクセル 計算例

	A	B	C	D	E
1					
2					
3		音速V(cm/s)	512000.0		
4		周波数f(Hz)	20000.0		
5					
6		共振長L(cm)	12.80		
7		振幅増幅率M	1.00		
8		変位節位置N(cm)	6.40		
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					

図 3.4 両端自由ストレート・ホーン (エクセル)

エクセル セルリスト

```

c1 = 0.5*_v/_f
cm = 1
xn = 0.5*_c1

```