

複殻式鉄筋コンクリート煙突固有振動週期測定に就て

八幡製鉄所土木部 中 村 清

大正9年9月設計、120種内径、地盤上3650種高 加熱炉用煙突、

大正10年7月設計、180種内径、地盤上5000種高、平炉用煙突

何れも内部耐火煉瓦巻複殻式煙突鉄筋コンクリート造であるが、この二本の煙突を取壊した際、鉄筋の寸法を測定した所、設計図に示された寸法の50%以上腐蝕を示してゐた。熱及排瓦斯の影響によつてコンクリートの腐蝕に拍車をかけてゐたものと推察され、この現象は当然現在作業中の煙突にも起つてゐると考えて差支えがない。従つて煙突打診といふ問題が生じてくる。

$$T = 2\pi/\rho = 2\pi/\sqrt{E} \text{ ----- (1)}$$

T: 煙突の固有振動週期 E: 煙突の平均弾性係数 ρ: 煙突によって決定する常数

(1)式によつて E 値が決定されるから一応強度の相対比較をすることが出来る。大森博士の佐賀関其の他二三の煙突週期測定試験は設備が大規模で建設完了直後の煙突には応用することが困難である。煙突昇降梯子の適當位置に、電気地震計(ピックアップ)を取付け、振動による電流変化を基底附近においた検流計に依つて、週期を測定する方法を採つた。この方法に依り昭和27年10月築造、内径180種、高さ地盤上4500種、分塊均熱炉用煙突を上記方法に依つて測定した所、86回実測平均値1.4秒を得た。

煙突週期を求める正解法は理論的に可能であるとしても、實際的には困難である。物部博士の近似公式

$$T = [0.719 + 1.07 \frac{L_1}{L} + \{0.15 - 0.6(0.5 - \frac{L_1}{L})^2\}] \frac{L^2}{\sqrt{E}} \text{ ----- (2)}$$

(2)式において、内部煉瓦巻の重量をρを定める場合如何にとりいれるかが問題である。又物部博士の土木耐震学に示されてゐる様に Lord Rayleigh の示した公式

$$\rho^2 = \left\{ \frac{\int_0^L EI \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx}{\int_0^L \rho A u^2 dx} \right\} \text{ ----- (3)}$$

$$(3)式は \quad u = \frac{l}{8EI} (3lx^2 - x^3) \dots\dots\dots(4)$$

(4)式を代入して数値積分すると、 $T = 0.74$ 秒 (但し $E = 210,000 \text{ kg/cm}^2$) の値を得て、実験の結果と一致しなり。弾性係数 E 及び慣性モーメントは基底より、高さ x の函数であるから、(4)式は筒頂において自由振動の条件である。

$$x = l : \text{曲げモーメント } Ml = 0$$

$$x = l : \text{剪断力 } Sl = 0$$

の二つの境界条件を満足してゐないから此の計算値が事実よりも著しく短いことは予想されるところである。依つて今

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} (EI \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}) = 0 \dots\dots\dots(5)$$

として境界条件 ($Mc = 0$) を入れて

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{l-x}{EI} \dots\dots\dots(6)$$

更に基底に於ける境界条件 ($u = 0, \frac{\partial u}{\partial x} = 0$) を入れて

$$u \doteq \frac{1}{E} \sum_0^r \left\{ \sum_0^r \left(\frac{l-x_n}{I_n} \right) \Delta x_n \right\} \Delta x_n \dots\dots\dots(7)$$

とすれば(6)式は $Sl = 0$ の条件は満足しなりが、境界条件中の内下端に於ける二つと筒頂に於ける曲げ「モーメント」 $Ml = 0$ の三つは満足することになり、(6)式を(3)式に代入した式は(4)式を代入して求めた値よりは正確とみてよい。即ち(6)式を(3)式に代入して、

$$p^2 \doteq \frac{E_c \sum_{n=1}^{n=r} \frac{(l-x_n)^2}{I_{cn}(1+n_{bn}+n_{sn})} \Delta x_n}{\sum_{n=1}^{n=r} PA \left[\sum_1^r \left\{ \sum_1^r \frac{l-x_n}{I_{cn}(1+n_{bn}+n_{sn})} \Delta x_n \right\} \Delta x_n \right]^2 \Delta x_n} \dots\dots\dots(8)$$

(8)式において、 n_{bn} は筒体任意点の内部煉瓦巻とコンクリートの夫々剛性率比、 n_{sn} は鉄筋とコンクリートとの夫々剛性率比、であつて耐火煉瓦巻の場合は、 n_{bn}, n_{sn} 共に微小であるので省略すると

$$p^2 = E_c \frac{\sum_1^r \frac{(l-x_n)^2}{I_{cn}} \Delta x_n}{\sum PA_c \left[\sum_1^r \left\{ \sum_1^r \frac{l-x_n}{I_{cn}} \Delta x_n \right\} \Delta x_n \right]^2 \Delta x_n} \dots\dots\dots(9)$$

今前記分塊用煙突に(9)式を適用してみると

$$p_c = 2.4 \text{ t/m}^3 \text{ とする}$$

$$\begin{array}{llll}
 E_c = 210,000 \text{ kg/cm}^2 & \text{に対し} & T = 1.4 \text{ sec.} \\
 " & 240,000 & " & " = 1.32 \text{ sec} \\
 " & 270,000 & " & " = 1.23 \text{ sec.}
 \end{array}$$

であつて大体測定結果と一致する。

(9)式において内部 Lining の ρ に及ぶ影響は煉瓦積重量のみと考えられるから、物部氏近似公式において筒体コンクリートのみを考えた場合

$T = 0.96$ 秒、(9)式の分母重心位置を考えた場合 $T = 1.23$ 秒、筒体の中央高をとつた時 $T = 1.35$ 秒 となる。

従つて内部耐火煉瓦巻の厚い高温用煙突の場合には物部博士近似公式に或る補正を必要と考える。

上記実測方法と計算とを基礎とし製鉄所内幾多の煙突に及ぶ、応用的成果を期待してゐる。

九大吉山理博の懇切なる御指導鞭達による所大なるものがあり、此処に深甚なる感謝と敬意を表したい。

(昭和 28 年 6 月 26 日記)