

中央氣象臺風力塔の振動に就て

坂 田 勝 茂

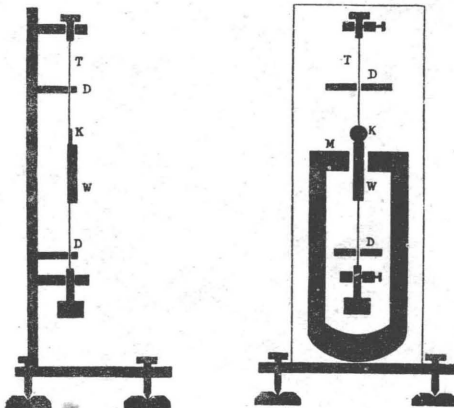
中央氣象臺風力塔



中央氣象臺風力塔の日射に依る傾斜に就ては川瀬理學士及び竹田氏が既に調査されたが筆者はウッド・アンダーソン型の地震計(捻線地震計)を用ひて、同塔の振動を測定した。次に主として風力塔の固有週期に就いて調査した結果を述べる。筆者は昭和 11 年 7 月末より同 8 月中旬にかけて、中央氣象臺内の實驗室及び風力塔等に上記地震計を設置して約 40 枚の記象を得た。

使用した捻線地震計の構造は

第 1 圖 震動計
(ウッド・アンダーソン型)



第 1 圖に示す如く上下端の固定された長さ 16~17 糎、直径 20 ミクロンのタングステン線 T の中央に凹面鏡 K の付いた小さい重錘 W をエキセントリックに取付けたものである。重錘 W は直径 2 糎長さ 25 糎、質量 0.80 瓦の銅製圓壘である。タングステン線に一定の

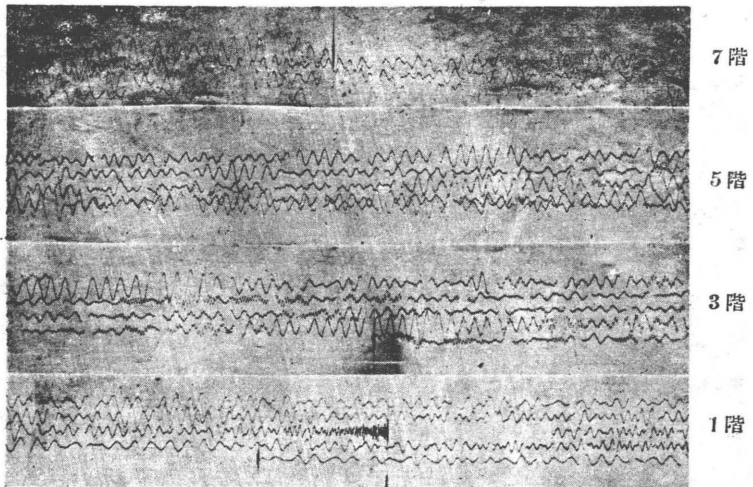
張力を與へる爲に、タングステン線の下部に質量 16.05 瓦の重錘を始め付けておき、後之を別の個所に固定する。制振装置としては永久磁石 M を用ひる。又タングステン線の横振動があるので、之を除去する爲に重錘の上下に振れ止め D が付けてある。D には直径 1.5 耗の穴が空いて居て此の中を壁面に接觸せぬ様にタングステン線が通り穴に適當の油を充すことに依つてタングステン線の横振動を除くことが出来る。臺の三脚の一つを上下する事に依つて水平振子の週期を變へられるが使用し得る週期は一般に 1~2 秒である。光源を出た光は凹面鏡で反射して約 2 米距つたブロマイド紙上に記録され、之が爲摩擦がなく高倍率が得られる。

記象紙の長さは 65 糎でドラムを早廻しにして用ひ、ドラムの 1 廻轉約 35 秒であるから記象紙の速度は 1 秒間に約 2 糎である。而して 1 枚の記象に約 3 分間内至 5 分間記録せしめ得る光源の電源を瞬間的に切つて刻時せしめた。

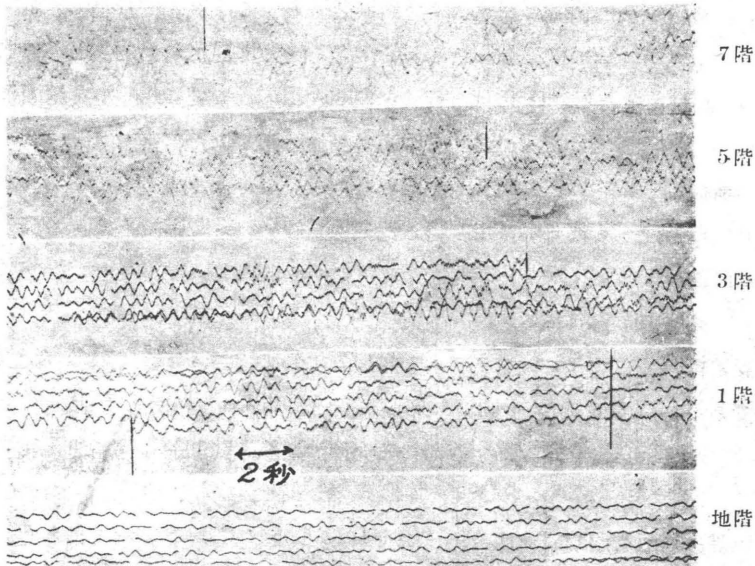
地震計の固有週期 T_0 は 1.1~1.4 秒、制振度は 7.0~8.0 程度になし、地下室、第 1 階、第 3 階、第 5 階、第 7 階に於て東西動及び南北動に就て觀測を行つた。之等の記象を第 2 圖に示す。

第 2 圖 震 動 計 記 録

(a) 南 北 動

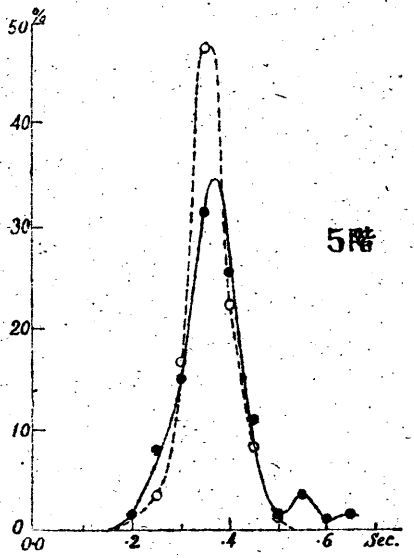
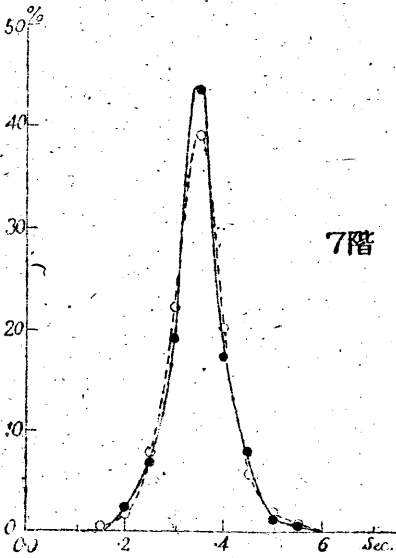
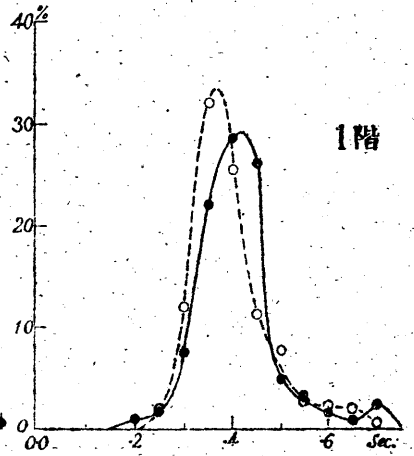
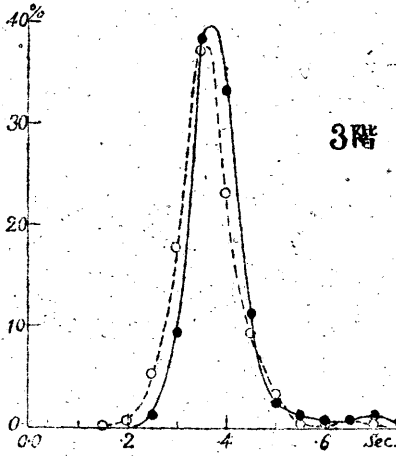
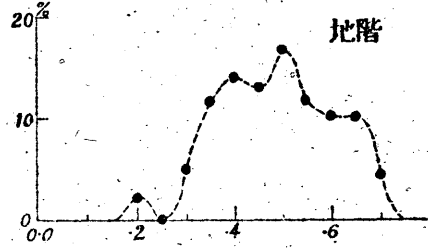


(b) 東西動

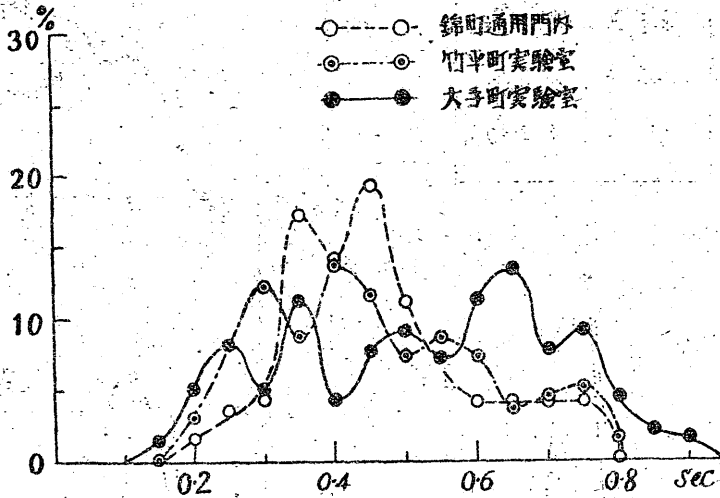


時計の廻轉の速さが異なる爲に各 2 秒間の長さ L と各波長 l を測り、振動週期 $2l/L$ を各記象に就き數百個宛求めた。この結果、週期頻度は第 3 圖に示す如き曲線が得られた。第 4 圖は塔の外に大手町及び竹平町の各實驗室並びに錦町通用門側のコンクリート上に於て觀測した週期頻度である。週期頻度は第 1 階以上は 0.35 秒前後に於て最大となり、其處の頻度は高層に至るに従つて増大してゐる。地下室に於けるものは場所の都合上、東西動のみしか得られなかつたが、之は第 1 階乃至第 7 階のものと比較するに全く似付かぬ曲線を示してをり、0.4 秒又は 0.5 秒あたりに最大を有してゐる。又實驗室等のものと比較してみると小異はあるも大體の傾向に於てよく似てゐる。之等塔外 3 個所のものは塔の影響なき土地の振動とみてよく、竹平町側にある二つは大手町實驗室の頻度曲線と稍々異り 0.4~0.5 秒程度に最大を有してゐる。大手町實驗室にて 0.3~0.4 秒以外に 0.6~0.7 秒あたりにも極大があり之は道路を距て、離れて居り、振動の性質が異なる爲かも知れない。

第 3 圖

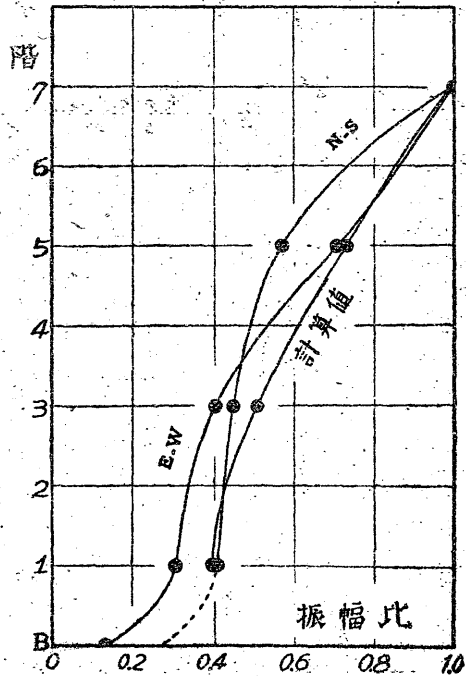


第 4 圖 氣象臺内部三個所に於ける振動週期頻度曲線



第 5 圖

次に測定した各階の振幅を第 5 圖に示す。但し各階の各成分に於いて 2 秒間の最大振幅を約 2.5 分間讀取つて平均したものをその振幅（最大平均振幅）とし、第 7 階の各成分の振幅を 1.0 として振幅比を求めたものである。この圖をみると南北動の曲線は塔の振動様式が棒の横振動であると見做してもよい様に思はれる。東西動の方は南北動の場合と平行しないのは塔の第 4 階に於て塔の西側にある書庫と橋を以つて連結してある爲に自由振動とならず、それ以上の層に於て始めて自由振動



となつて思はれる。又後に述べる様に棒の横振動として求めた解式(7)に依つて、各階の振幅比を計算すると、第4圖に計算曲線として表した如くなる。この曲線が前記二曲線と大體に於て一致するが微細なる點に於て一致しない理由は、塔を中空構體として計算したる爲、實際の塔の如く屋上及び各階の床の如き質量なき爲と考へられる。即ち南北動の曲線の彎曲が大なる頂上に於いて質量大なる屋上を有する爲であらう。

以上の事より考察するに、塔の振動は一端を固定した棒の横振動であつて、固定點に於て塔の自己振動週期(0.35秒)に相當する週期及び夫よりも長い種類の週期の外力を作用されるが、外力のうち塔の自己振動週期に近いものは共振して振幅大となるのであらう。

参考の爲、第1表に既に觀測されてゐる諸建築物の週期を掲げて置いた。

第 1 表

名 稱	層數	觀測年月	東西週期	南北週期
中央氣象臺風力塔(筆者)	7	昭和 11・8	0.35	0.35
日本銀行北別館	8	大正 12・5	0.48	0.43
明治海運	8	" 8・—	0.50	0.50
郵船ビルディング	8	" 12・3*	0.69	0.77
"	8	" 13・11*	0.90	0.80
海上ビルディング	7	" 11・6	—	0.45
日本興業銀行	8	" 12・3	0.65	0.61
California & Hawaiian Sugar Refining Co., Crockett:				
(a) Charhouse.	9	昭和 9・8	0.92	0.94
(b) Refinery.	7	" 9・8	0.50	0.50
(c) Packing House.	7	" 9・8	0.52	0.50
De Young Museum, San-Francisco.	5	" 9・10	—	0.45

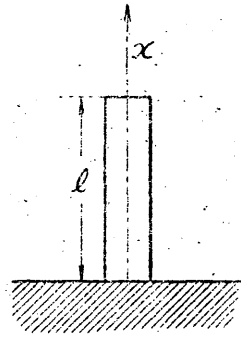
註 * は關東大地震の前及後である。

今塔の振動様式を第6圖の如き棒の横振動であると考へる時は、その運動方程式は次の如くに書ける。

$$\rho u \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{\partial F}{\partial x} \dots\dots\dots (1)$$

$$\rho u K^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) = F + \frac{\partial M}{\partial x} \dots\dots\dots (2)$$

茲に x は静止せる時の塔の中心線で鉛直上方に向ふ。又 F, M ; 棒の断面に働く剪應力, 及屈曲モーメント, a ; 断面積, ρ ; 密度, K ; 断面の慣性半径, y は撓みの變位量である。



棒の断面に働く屈曲モーメントは

$$M = EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \dots \dots \dots (3)$$

ここに E ; ヤング率, I ; 断面の慣性モーメントである。

(1) (2) (3) より $\rho K^2 \frac{\partial^4 y}{\partial t^2 \partial x^2}$ が小であるとすれば振動方程式は次の様になる。

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + K^2 b^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0 \quad \left(b \equiv \sqrt{\frac{E}{\rho}} \right) \dots \dots \dots (4)$$

地動が週期 $T \left(= \frac{2\pi}{p} \right)$, 振幅 A で定常的に水平振動をなす時, 地動は

$$y_0 = A \cos pt$$

で, 塔の振動は (4) より

$$y = AU \cos pt$$

の形をとるべきで, 然る時は (4) 式は

$$\frac{\partial^4 U}{\partial x^4} = \frac{p^2}{b^2 K^2} U \equiv m^4 U \dots \dots \dots (5)$$

なる微分方程式で與へられる。

塔の高さを l とすれば両端の條件は

$$\left. \begin{aligned} x=0; \quad U=1 \quad \frac{\partial U}{\partial x} &= 0 \\ x=l; \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} &= 0 \quad \frac{\partial^3 U}{\partial x^3} = 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

で, 之を満足する解は

$$U = \frac{1}{2} \left[(\cos mx + \cosh mx) - \frac{\sin ml \cdot \sinh ml}{1 + \cos ml \cdot \cosh ml} \times (\cos mx - \cosh mx) + \frac{\sin ml \cdot \cosh ml + \cos ml \cdot \sinh ml}{1 + \cos ml \cdot \cosh ml} (\sin mx - \sinh mx) \right] \dots \dots (7)$$

である。

波長 λ は $\lambda = \frac{2\pi}{m} = 4l$ なる故に基本週期 T は

$$T = \frac{2\pi}{p} = \frac{2\pi}{m^2 K b} = 2,522 \frac{l^2}{K} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \dots\dots (8)$$

である。

次に中空構體の場合も容易に求められ

$$T = 1.787 \frac{l^2}{K} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \dots\dots (9)$$

である。

實測により、 $T = 0.35$ 秒、 $l = 24.0$ 米、底一辺の長さ = 8.0 米、壁の厚さ = 20 糎である故に (9) 式より E/ρ を求めると

$$E/\rho = 13.25 \times 10^{11} \text{ e.g.s.}$$

であつて、鐵筋コンクリートの E/ρ の値は不明であるが、大體このオーダーでよいと思はれる。之は中空構體の場合であつて、實際の場合には塔の各階に床が附いてゐる。即ち各階に載荷せる構體の振動であるが、夫でも E/ρ の値は上記のオーダーより大した變化はない。

以上の事を要約すれば

(1) 捻線地震計に依つて求めた地下室及び第 1, 3, 5, 7 階の週期頻度より塔の振動週期は 0.35 秒である。

(2) 土地の振動は場所に依つて振動の性質が異り、週期は 0.3 秒より 0.7 秒の間が多い。

(3) 各階に於ける振幅の測定及び計算の結果、塔の振動様式は一端が固定され他端の自由なる棒の強制振動に外ならない事がわかる。

(4) 塔が中空構體で (3) の様な振動をなしてゐるときは、そのヤング率 E は $13.25 \times \rho \times 10^{11}$ e.g.s である。

終りに臨み、この稿を草するに當り終始御指導と實驗に對して御便宜を賜つた和達先生、及び種々御助言下さつた廣野理學士に厚く感謝の意を表する次第である。

(於、大阪支臺)