

伊東海洋気象観測塔の振動について

菱田耕造・松田義弘・小泉宗三郎

気象研究所海洋研究部

On the Vibration of Ito Marine Observation Tower

By K. Hishida, Y. Matuda and S. Koizumi
Meteorological Research Institute, Tokyo

Abstract

The vibration of the Ito Marine Observation Tower was studied experimentally by installing the electromagnetic transducer for acceleration measurement and the self-recording millivoltmeter in the observation chamber of the tower.

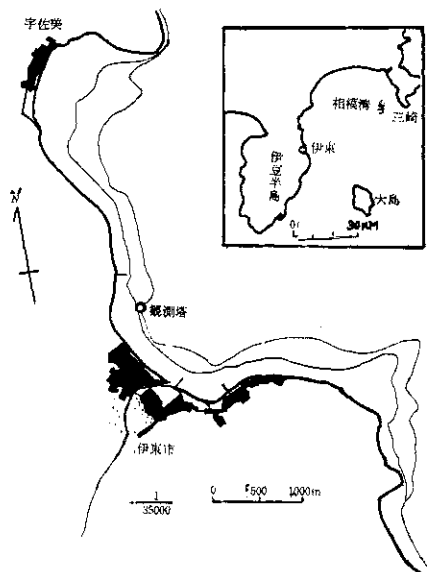
It may be concluded that the vibration of tower is mainly caused by the wind and that the displacement of the chamber is about 1 mm when the wind velocity is 10 m/sec, and the measured period of vibration is in good accordance with the theoretical period of free vibration.

はしがき

昭和39年初静岡県伊東沖に設置した伊東海洋気象観測塔（位置は第1図に示す）はその工法や構造において、従来他に例を見ない類のものである。今後の海洋中に設ける観測塔の設計上の参考のためにも、また塔載した観測計器に及ぼす影響を調べるためにも、この塔の振動状態を知っておくことは何等か役立つのではないかと考えて、簡単な振動観測を行った。もちろん、振動又は動揺という問題は、外力やその周期などを考え合せると必ずしも単純な事柄ではないし、塔自体の形や塔載物の位置などにも関係する。ここでは限られた費用の中でとりあえず手をつけた観測の結果を一応とりまとめて報告する次第である。

測定器械

振動計は固有周波数0.2%, 感度2 volt/Kine, 測定限界±4 mmの性能をもつ勝島製作所製のものを2台用い、こ



第1図 伊東観測塔の位置

れを塔のハウスの床に水平2方向に据えつけ、東亜電波製高感度記録計EPR-2T型により、記録をとった。また、風向、風速はコーシンペーン（風車型電気式風向風速計）により測定した。観測はすべて無人でタイマーにより制御する方法をとらざるを得なかったのは勿論である。

振動の周期

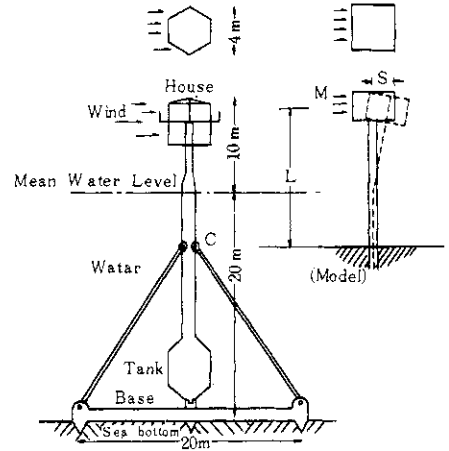
測定を行った振動記録の中で9月19日および9月29日に得られた記録を読みとって第1表に示すような周期が得られた。すなわち東西方向では0.71秒、南北方向では0.77秒であって、これらの値は次に示す如く塔の固有周期と考えられる。

第1表 振動数（周期）

| 時 間 | 9 / 19 | | 9 / 29 | |
|---------|----------------------|-------|--------|-------|
| | 南北方向 | 東西方向 | 南北方向 | 東西方向 |
| mim | c/min | c/min | c/min | c/min |
| 0 ~ 1 | 77 | 85 | 79 | 84 |
| 1 ~ 2 | 81 | 87 | 77 | 88 |
| 2 ~ 3 | 77 | 86 | 76 | 84 |
| 3 ~ 4 | 80 | 85 | 78 | 87 |
| 4 ~ 5 | 78 | 83 | 78 | 83 |
| 5 ~ 6 | 77 | 83 | 81 | 87 |
| 6 ~ 7 | 77 | 85 | 76 | 87 |
| 7 ~ 8 | 78 | 86 | 79 | 88 |
| 8 ~ 9 | 81 | 87 | 76 | 81 |
| 9 ~ 10 | 78 | 85 | 78 | 84 |
| 10 ~ 11 | 77 | 83 | 77 | 82 |
| 11 ~ 12 | 78 | 84 | 79 | 80 |
| 平均 | 78.3 | 84.9 | 77.8 | 85.0 |
| 振動数 | 1.303 ^{1/s} | 1.415 | 1.297 | 1.417 |
| 周 期 | 0.767 ^{sec} | 0.707 | 0.771 | 0.706 |

塔の構造は第2図に示す通りであって、その振動機構を下記の仮定のもとで考えることにする。

1. 塔は風力によって振動する。
2. 片持梁として、弾性振動を行う。
3. 図中C点を固定端とする。
4. ハウス部に集中荷重をもつ。
5. ハウス壁面のみ風圧をうける。
6. 波力による影響は考えない。



第2図 塔の構造略図

塔の撓みの微分方程式は荷重Gの水平方向への影響を考えないとすると

$$\frac{d^2 S}{dt^2} + w^2 S = 0 \quad \text{ただし} \quad w^2 = \frac{3gEI}{GL^2} \quad (1)$$

で与えられる。

塔の固有周期Tは近似的に次式で表わされる。

（塔円筒部の1/4の重量がGについて動くと考えた）

$$T \approx 2\pi \sqrt{\frac{\left(G + \frac{\sigma AL}{4}\right)L^3}{3EIg}} \quad (2)$$

梁の撓み量は

$$EI \frac{d^2 S}{dl^2} = \frac{M'A'}{g} (L-l), \quad (3)$$

$$M = \frac{1}{2} c\rho w^2$$

なる微分方程式に境界条件を用いて求められ、先端の変位として

$$S = \frac{A'L^3\rho}{6EIg} Cw^2 \quad (4)$$

が得られる。

以上式中の記号は

t : 時間

L : C点よりハウス部までの距離

- l : 塔の垂直方向の距離
- E : 塔円筒部のヤング率
- I : 同上 断面二次モーメント
- σ : 同上 密度
- A : 同上 断面積
- A' : 塔ハウス部の風圧をうける壁面積
- G : 同上荷重
- S : 同上変位
- T : 塔の振動周期
- ρ : 空気の密度
- w : 風速
- M' : 風圧
- C : 抗力係数

(4)に次の数値を代入する。

$$Eg = 2 \times 10^{12}, \quad \sigma = 8, \quad L = 1.2 \times 10^3,$$

$$G = 3.4 \times 10^6,$$

$$I = \frac{\pi}{4} (30^4 - 29^4), \quad A = \pi (30^2 - 29^2)$$

(C. G. S 単位)

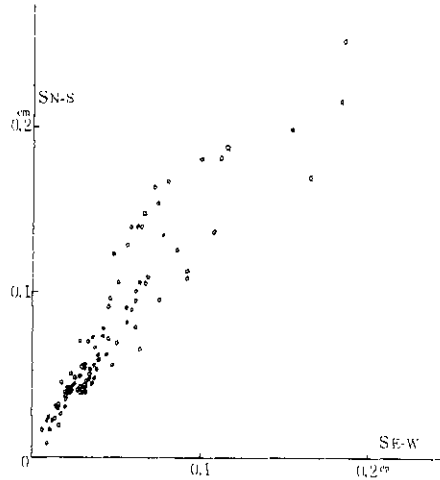
その結果 $T = 0.722$ 秒が得られる。

これは測定値とほぼ一致するものと見なしてよい。荷重 G の値が精確には調べられないし、また中心の廻りに対称におかれてはいないから、これ以上のことは止むを得ない。

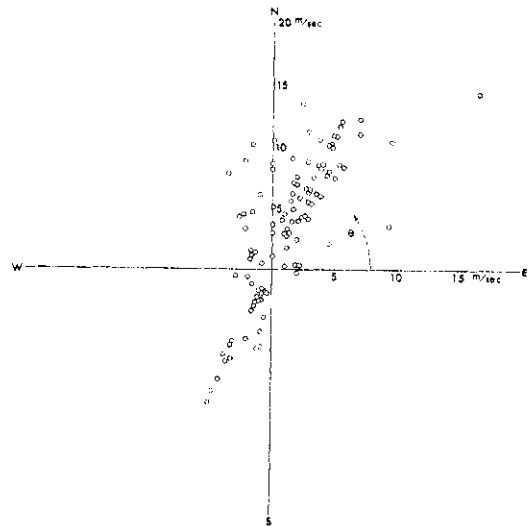
振動の変位

前述のように周期は南北、東西両方向でやや異なるから、両方向における変位の最大の生起時刻は厳密には必ずしも一致しないが、その点を一応無視して、南北、東西両方向における相対応する最大変位を座標の両軸にとりて見ると、第3図のように、両者は大体比例しているようである。

次に約1カ月にわたり風との関係を調べるに際し、採用した風はその風力ベクトルの先端を図示した。第4図に見られるように、南北方向成分の方が東西方向成分よりも一般に大きい。塔の振動を考える場合風の方に振動すると仮定すれば、この事は問題にならないが、塔が回転するような振動を行うことは荷重状態などからむしろ想されることであり、また前節に述べたように東西、南北の両方向で周期が異っていることから考えられることである。そこで先ず、風の方向にのみ振動するとし、また振動変位は風速の自乗に比例すると仮定して、南北方向に関しては $w^2 \sin \theta$ (θ は風向と東西方向とのなす角、



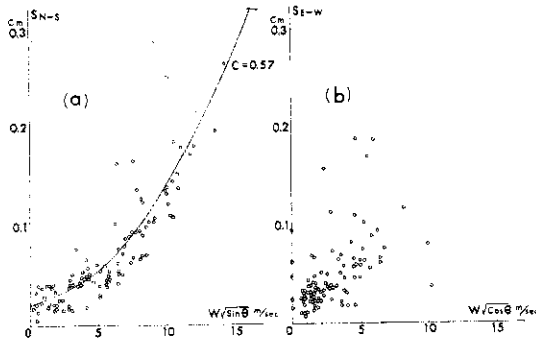
第3図 変位の東西、南北成分の関係



第4図 風のベクトルの端点

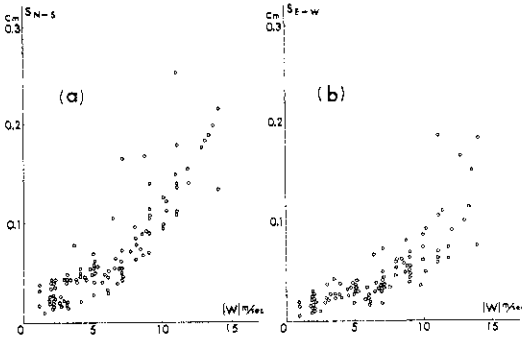
w は風速)、東西方向には $w^2 \cos \theta$ を考え、それらの値の平方根とそれぞれ方向における振動変位との関係をグラフに示したものが第5図である。南北方向については予想通りの結果が見られるが、東西方向については思わしくない。

次に、風の方向を考えずに風速そのものと南北、東



第5図 風速の成分と変位との関係

西向方向における振動変位との関係を図示すると第6図の結果が得られる。すなわち第5図と異り、両方向ともほぼ同じような傾向が見られる。前述のように採用した



第6図 風速と変位との関係

風は南北方向の成分の大きいものであるから、東西方向についての風の成分と振動変位の関係を示した第5図(b)は風の成分の大きい場合の例がほとんどない。この事が第5図、第6図の相違にも影響していると思われるが、むしろ、塔自体の振動が風方向の振動のみと考えたところに原因があり、ある程度回転的な振動をなしているものと考えられる。これらの関係をさらに掘下げて行くには、東西方向の風の強い場合の例も必要であるが、地形上そのことは望み難い。

そこで、第5図(a)の場合に理論的な考察を行って見ると、さきに示したように(4)式に次の数値

$$A = 1.0 \times 10^5, \quad \rho = 1.0 \times 10^{-3}$$

(その他は前と同じ)

を代入して

$$S = 2.3 \times 10^{-3} C w^2 \quad (S: \text{cm}, w: \text{m/sec})$$

この内CはReynolds数にも関係し、大体0.2~1.2の値をとると考えられるが、一応C=0.57と置いて得た結果を同図に示して見た。なお風のほかに波による影響も或る程度重って測定されていると考えれ、この線からのバラッキは波力によるものと推定して、風速が0の場合にもわずかの変位があると見て、描いたわけである。

むすび

観測塔の振動は主として風による振動と考えられ、その変位は風速10m/sのとき1mm前後であり、振動の周期は塔の固有振動の周期と見なされることがわかった。詳しい論議はさらに必要な計器をとりそろえて、やりなおす機会が得られてからに致したい。

参考文献

- 1) 菱田耕造他(1963): 伊東海洋気象観測塔について。沿岸海洋研究ノート, Vol. 2, No.2, p. 42-43.
- 2) 大田友弥(1948): 振動工学
- 3) 井町 勇(1960): 機械振動学
- 4) 防災ハンドブック編集委員会(1964): 防災ハンドブック