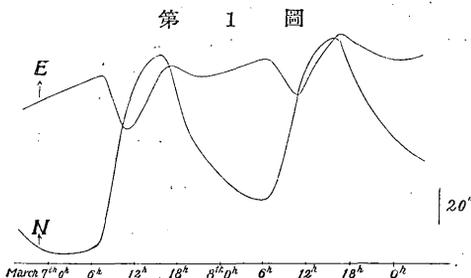


# 中央氣象臺風力塔の傾斜の 日變化に就いて

川 瀬 二 郎

**緒言** 中央氣象臺構内の風力塔（地下一階，地上七階，高さ約 20 米，間口奥行共に約 10 米）が傾斜する事は既に塔の頂上から吊り下げられた水平振子式地震計の針先の變位から氣付かれてゐた。先般竹田氏<sup>(1)</sup>が，同地震計の固有週期が塔の傾斜の爲に變化し，原因は日射に依るものである事を示された。此の場合は結局地震計の針金の上の吊點と，振子の重錘受けの點との相對變位に起因する傾斜を表はしてゐるものであり，本稿はその水平面の傾斜を取り扱ふたのであるから，兩者相俟つて傾斜の具合が窺はれる譯である。

**観測方法及び記録** 観測に用いた機械は，石本式シリカ傾斜計である。昭和 10 年 3 月 7 日より 11 日迄よい記象が得られた。場所は最上階の東南隅である，其の時の感度は，シリカ傾斜計としては甚だしく鈍感にして使用した，即ち自己週期 3.9 秒，従つて 1 秒の傾斜が記象上に 0.7 耗に出る様にした。傾斜變化が餘りに大きいので，傾斜計を其れ以上に感度をよくすることは出来ない。第 1 圖に記象の一部分を示す。振幅の大なる方が南北成分で，小なるは東西成分で



傾斜計記象寫し，E は東西，N は南北成分，矢印は其の方向への傾きを示す

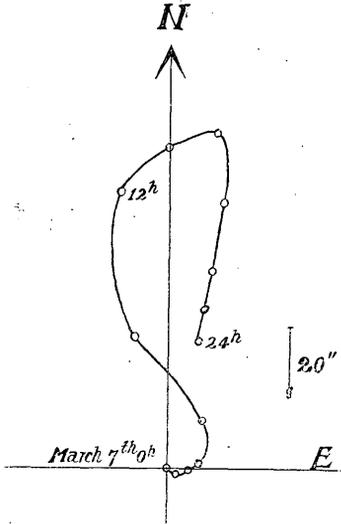
ある。第 2 圖に 3 月 7 日の分のベクトル圖を示す。

**傾斜變化を起す原因の考察** 原因として考へられるものは次の數項である。即ち地盤全體の傾斜によつて塔も一所に傾く事であるが，今迄の観測や，荒川氏<sup>(2)</sup>

(1) 竹田健二 驗震時報第 9 卷第 4 號

(2) 荒川俊秀 地温の日變化又は年變化による地殼の變形，氣象集誌第 2 輯 10 637~640.

第 2 圖

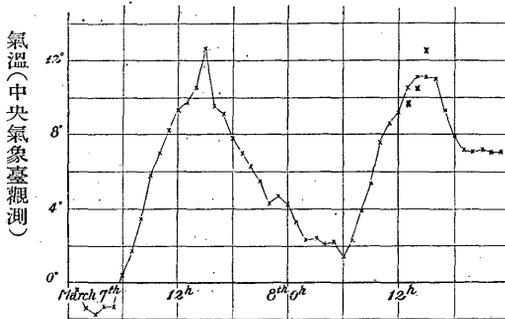


傾斜ベクトル圖、○の間隔は2時間

るわけである。此の意味に於いて、傾斜計を塔の七階の南東隅に置いた事は、傾斜の量的の議論を進める爲には多少の難點である。本文に於ては、気温による影響は四壁に就て一様であると考へて取り扱ふ事にした。次の機会を待つて、気温の影響する量を定め度いと思ふ。

気温單獨では上述の如く考へられるが、日射と關聯して傾斜に影響する場合

第 3 圖



がある。それは壁面が日射を受けて外氣より高温の状態となつてゐるから、外氣への熱の放散が行はれる。これは勿論壁面の温度と空氣の温度との差に比例するから、日没後は全然空氣の温度

(3) 辻光之助 東京天文臺子午環臺の傾斜觀察報告, 東京天文學會要報 1 (1930), 103. 2 (1931), 214.

に支配されるであらう。此の間の消息を明瞭に示すものは、第 1 圖及び第 3 圖に於て分る様に、傾斜南北成分と気温との日没後の相似である。

次に日射との関係であるが、これは竹田氏が述べて居られる事と同一である。即ち第 1 圖で分る様に、朝日射が東側の壁及び南側の壁に當ると、塔は北西に傾き初め、午後になれば西側及び南側に陽が當るから北東へ傾く。日没後は北から次第に南へ戻る。東西の傾斜は簡單ではない。次に其の傾斜の變化の模様を或る程度迄説明して見やう。

**日射量の計算及び傾斜變化** 傾斜計の記録の時刻に就ての精度は餘り良好とは云へない状態であるから、日射の時間的變化を精しく求めるには及ばないが、大體次の様な計算の方法を用ゐた。天測掛の方々の御好意に依つて、3 月 7 日の大氣の透過率  $P$  を知り、太陽高度  $h$  が分つてゐるから、鉛直の壁の受ける熱量  $I$  は次の様に表はされる。

$$I = I_0 P \frac{1}{\sin h} \cos h \cos \theta$$

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t$$

第 1 表

時 間	$P \frac{1}{\sin h}$	$I_0 P \frac{1}{\sin h} \cos h$	$I_0 P \frac{1}{\sin h} \cos h \cos \theta$		
			南 側	東 側	西 側
時 6	—	カロー —	—	—	—
6.5	0.00538	0.106	0.014	0.105	—
7	0.1982	0.383	0.099	0.370	—
7.5	0.3784	0.725	0.278	0.660	—
8	0.4932	0.922	0.461	0.798	—
8.5	0.5702	1.030	0.627	0.817	—
9	0.6223	1.082	0.764	0.764	—
9.5	0.6501	1.084	0.860	0.651	—
10	0.6699	1.068	0.952	0.535	—
10.5	0.6745	1.030	0.952	0.394	—
11	0.6745	0.997	0.963	0.258	—
11.5	0.6783	0.979	0.971	0.128	—
12	0.6720	0.961	0.961	0	0
12.5	0.6683	0.965	0.957	—	0.126

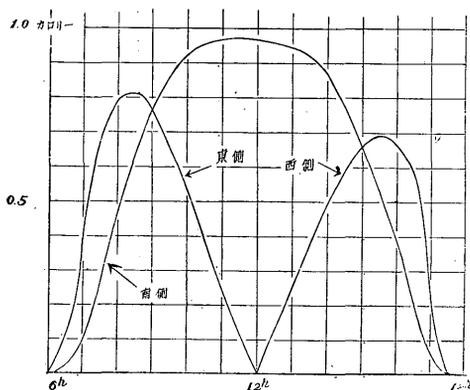
時 間	$P \frac{1}{\sin h}$	$I_0 P \frac{1}{\sin h} \cos h$	$I_0 P \frac{1}{\sin h} \cos h \cos \theta$		
			南 側	東 側	西 側
時 13	0.6607	カロリー 0.975	0.942	—	0.244
13.5	0.6471	0.989	0.624	—	0.358
14	0.6266	0.999	0.865	—	0.500
14.5	0.5715	0.952	0.755	—	0.580
15	0.5420	0.942	0.666	—	0.666
15.5	0.4853	0.879	0.535	—	0.697
16	0.4121	0.770	0.383	—	0.667
16.5	0.2858	0.548	0.210	—	0.506
17	0.1242	0.240	0.062	—	0.232
17.5	0.0012	0.024	0.003	—	0.024
18	—	—	—	—	—

時間は太陽時を用ふ

但し  $\delta$  は日赤緯,  $\varphi$  は緯度,  $t$  は時角,  $I_0$  は太陽輻射恒数である。 $\theta$  は日射線が東側の壁面の法線となす角とする。

3月7日の  $I_0$  は 1.97 カロリー,  $\delta$  は理科年表より知られ,  $P$  は 9時に 0.80 正午に 0.76, 15時に 0.75 であつた。此所では太陽時を用ゐてある。其の間及び前後は内挿及び外挿法を用ゐた。斯くして得た値は第1表及び第4圖に示す如くである。即ち壁面の 1 平方糎に 1 秒間に當る熱量である。但しコンクリ

第4圖 塔の三面の受ける熱量  $\frac{\text{calorie}}{\text{cm}^2 \text{sec}}$



ートの吸収係数が分つてゐないので、表面の温度に直す事が出来ない。東及び西側に對する南側の熱量の比は略 3:1 で、傾斜量も大體同様な値である。日射量と傾斜量は大體比例すると見てよい。

次に、第4圖の日射の時間的變化の曲線形と、第1圖の傾斜曲線の時間的變化とは餘

りよく似て居ないから、此の二曲線の喰ひ違ひを熱傳導の考へから或る程度迄説明して見よう。簡単な場合として、厚さ  $a$  の無限に廣い板の一面の温度が時の函数として與へられた時の熱傳導の式及び解は、普通の記號を用ひて、

$$\text{方程式} \quad ; \quad \frac{\partial u}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2},$$

$$\text{境界條件: } (u)_{x=0} = f(t), \quad (u)_{x=a} = 0$$

$$\text{初期條件; } (u)_{t=0} = 0$$

とすれば

$$u = \frac{2\pi K^2}{a^2} \sum_{s=1}^{\infty} s \sin \frac{s\pi x}{a} \int_0^t e^{-\frac{s^2 \pi^2 K^2 (t-\lambda)}{a^2}} f(\lambda) d\lambda$$

$f(t)$  は第 4 圖、 $I_0 P \frac{1}{\sin \theta} \cosh \theta \cos \theta$  に當るから、之を數值的に積分すればよい。數值的積分の方法は 6 時~18 時を二十四等分して、其等の間の平均値を求め(面積を求めて出した)ると第 2 表の如くなる。但し單位は任意に取つてある。之は壁の吸收係數が不明の故である。従つて第 2 表第 2 欄には項目を付けて居ない。

第 2 表

時間		時間		時間		時間	
時 時		時 時		時 時		時 時	
6 ~ 6.5	1.2	9~9.5	178.3	12 ~12.5	210.3	15 ~15.5	130.5
6.5~7.0	11.0	9.5~10.5	199.3	12.5~13	204.3	15.5~16	101.8
7.0~7.5	40.6	10 ~10.5	202.8	13 ~13.5	204.3	16 ~16.5	62.3
7.5~8	80.4	10.5~11	207.9	13.5~14	196.4	16.5~17	25.7
8 ~ 8.5	119.8	11 ~11.5	213.2	14 ~14.5	183.6	17 ~17.5	6.0
8.5~9	158.2	11.5~12	211.4	14.5~15	161.2	17.5~18	0.1

今時間に就て 0 から  $\tau$  まで  $u_0$  なる表面温度が與へられた時に、板の有する熱量の時間的分布は

(4) 例へば小平吉男物理數學 p. 627.

(5) 之の時間の取り方は初期條件に合はないが、積分  $\int_0^t$  を  $\int_0^e + \int_e^r + \int_r^t$  として、第 1 及び第 3 項は温度 0 であるから消えて第 2 項だけ残り、 $e \rightarrow 0$  とすれば上に擧げた様な式となる。

$$\int_0^a u dx = \frac{2au_0}{\pi^2} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1 - \cos \pi \left( e^{\frac{s^2 \pi^2 K^2 (r-t)}{a^2}} - 1 \right)}{s^2} - \frac{-s^2 \pi^2 K^2 t}{a^2}$$

に比例する量で與へられる。實際に  $u_0=1$  として計算すれば第 3 表の如くなる、但し此處で  $K^2=0.00705 \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$  とし、 $a$  なる壁の厚さは 10 糎と取つた。

第 3 表

$t$ (時)	$\int_0^a u dx$						
0.5	1.260	2.5	0.147	4.5	0.048	6.5	0.012
1	0.550	3.0	0.113	5	0.034	7	0.005
1.5	0.312	3.5	0.088	5.5	0.026	7.5	0.002
2.0	0.996	4	0.062	6	0.018	8	0

第 2 表の値と第 3 表の値によつて得る熱量の時間的分布は第 4 表及び第 5 圖の如くである。此の計算方法は、第 2 表と第 3 表との各欄を時間と半時間宛ずらせて乗じ同一時のものを加へ合せる。

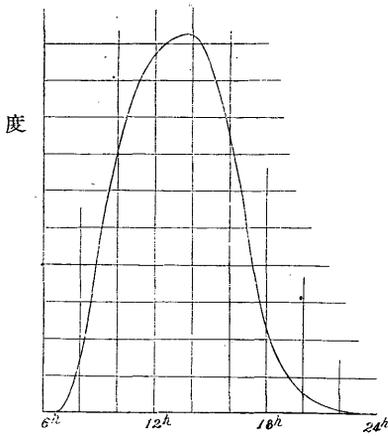
第 4 表

$t$	$\int_0^a u dx$	$t$	$\int_0^a u dx$	$t$	$\int_0^a u dx$	$t$	$\int_0^a u dx$
時 6 ~ 時 6.5	0	時 11 ~ 時 11.5	1.8811	時 16 ~ 時 16.5	1.2669	時 21 ~ 時 21.5	0.0334
6 ~ 7	0.0135	11.5 ~ 12	1.9576	16.5 ~ 17	0.9700	21.5 ~ 22	0.0202
7 ~ 7.5	0.1019	12 ~ 12.5	2.0045	17 ~ 17.5	0.6721	22 ~ 22.5	0.0108
7.5 ~ 8	0.3148	12.5 ~ 13	2.0372	17.5 ~ 18	0.4534	22.5 ~ 23	0.0052
8 ~ 8.5	0.5904	13 ~ 13.5	2.0488	18 ~ 18.5	0.3212	23 ~ 23.5	0.0021
8.5 ~ 9	0.8880	13.5 ~ 14	2.0443	18.5 ~ 19	0.2313	23.5 ~ 24	0.0005
9 ~ 9.5	1.1707	14 ~ 14.5	1.9893	19 ~ 19.5	0.1664	24 ~ 24.5	0.0001
9.5 ~ 10	1.4177	14.5 ~ 15	1.8601	19.5 ~ 20	0.1196		
10 ~ 10.5	1.6219	15 ~ 15.5	1.7141	20 ~ 20.5	0.0794		
10.5 ~ 11	1.7708	15.5 ~ 16	1.5136	20.5 ~ 21	0.0526		

斯くして得た  $\int_0^a u dx$  なる熱量に比例する量が傾斜變化を起すものに比例すると考へられる。第 4 圖の日射量の曲線は第 5 圖の様に引き直され、それを第 2 圖の傾斜變化の南北成分と較べれば、日没後は前述の如き空氣の溫度の影響があるとして考慮に入れた結果其の傾斜の變化する模様が可成に相似の曲線

(6) 建築學全編 建築工學ポケットブック P. 345.

第 5 圖



第4圖より熱傳導の考へを取り入れて數值的の計算をした結果で、溫度の單位は勝手に取つてある。

とする事が出来た。東西成分に就ても同様の事が行はれる譯であるが、太陽の南中する時を境として傾斜する方向が反對になるから取り扱ひ難い。東西成分の傾斜の形を見るに、朝の中は西へ、11時から東へ轉ずる。これは東側の日射が8時半に極大があつて、これに時間の遅れを加へれば明らかな事である。午後になつて17時から再び西へ轉ずるが、これも日射の極大が15時半にある事からよく分る事である。それ以後24時頃(觀測結果を整理した結果この時間は不規則である事が分つ

た)に三轉して東に傾き初める。此の轉向する原因は分明ではないが、塔の傾斜の履歴現象とも考へられ、又は先に二次的の量として考へなかつた周囲の土地の溫度分布の不均一からも一應の説明は出来るし、又傾斜計の置いてある場所の關係でその様な事になるとも思はれる。

以上で大體の所の、日射と傾斜との關係を調べたのであるが、地下溫度の曲線<sup>(7)</sup>で、地表に近い所のものが、非常によく傾斜曲線の南北成分に似てゐる。之は地下溫度の變化が傾斜を起したものはでなく、日射と云ふ同一原因によつて起つた同性質の現象であらう。此の事は既に前に述べた諸種の原因の中の地盤傾斜<sup>(8)</sup>と同一である。木暮氏等三氏の調査された事も全く同様の説明が與へられる事と思ふ。

竹田氏の求められた最上階の地階に對する變位が分つてゐるから、七階より次第に地階まで傾斜計を下げて行けば、塔の變形の様子が分る事と思ふ。筆者は次の機會にそれを明かにしたい希望を持つてゐる。

擱筆するに當り、此の實驗に就て御配慮を辱ふした岡田臺長先生、風力塔の

(7) 岡田武松 氣象學 65 頁

(8) 木暮俊夫, 木村泰造, 松田武雄 地濕と地盤傾斜變化の視察 地震 6, 640~644.

使用や器具観測材料等に就て御心配を頂いた測候掛の三浦技師及び他の方々天測掛の北岡，根本兩氏に御禮を申し上げる次第である。又本稿を作製するに當り，種々御指導を賜つた和達技師に心から謝意を表する次第である。

昭和 10 年 4 月 20 日