

29. 東京に於ける地盤沈下の研究 V.

— 氣 壓 の 影 響 —

地震研究所 宮 部 直 巳

(昭和15年7月4日發表—昭和15年9月20日受理)

1. 東京市深川区内、數矢小學校々庭で、地盤沈下を記録してゐることは既に述べたが、この記録に表はれた色々な事實の中、潮汐の影響に關しては、前報告に於いて詳述した¹⁾ その時、氣壓に關係のあることに關しても觸れておいたが、本報告では、昨年(昭和14年)1個年間における記録に顯はれた氣壓の影響について主として述べることにしたい。

1個年有餘に亘る地表面の高さの變化——こゝでは、下部の硬い地盤に對する高さの變化である——を表はすのに、日々の平均値を算出して、その變化を問題にすることにした。1日の中での變化はあまり問題にはならないやうである。その點については後にも述べる。

而して、日平均値をとるにも1日に4回、6時、12時、18時、24時、の値を読み、その平均値を以て日々の平均値とした。斯様な平均値を日平均値として取扱つてよいかどうかは、同一期間について、4回の讀定値の平均と、毎時の讀定値の平均との間の差異を調べてみれば大體判ることである。そこで、一定の期間——約3ヶ月のデータにつき、1日4回の讀定値の平均と、毎時の讀定値の平均を比較してみた。さうすると、多大數は誤差が1前後又はそれ以下であつて、稀には、2以上になる場合もあるが極めて小數である。(單位は記録紙上のスケールによる。1が大體實動にして0.04 mm である。)

殊に平均誤差をとれば ± 0.004 mm 位で殆ど問題にはならない。それ故本文では、後章の1部を除き、1日4回の讀定値を用ひてその日の日平均値をとり、その變化を調べることにした。

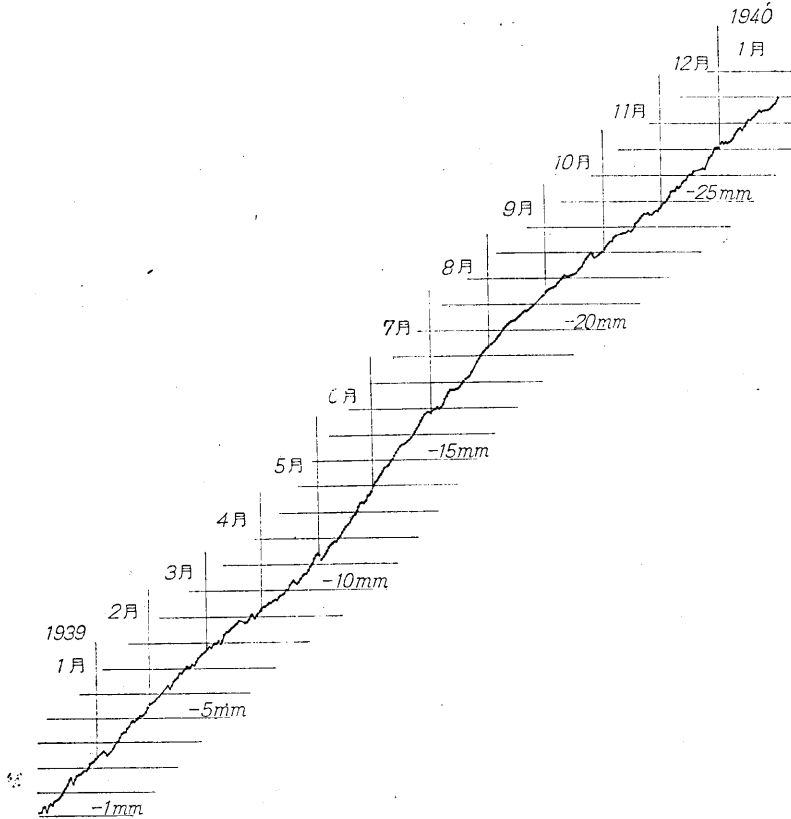
2. 前記の様にして求めた地表面の高さの日平均値の變化は第1圖に示してある。

この圖でも判る様に、全體として略々一定の速さで沈下してゆく外に、不規則な變化を伴つてゐる。

今こゝでは、一樣な沈下のことは暫らく論外として、之に重つてゐる不規則な變化

1) 宮部直巳、震研彙報 16 (1940), 57~77.

を問題にしようといふのである。その爲には一様な沈下を取除かなければならない。それには、1 個年間の一様な沈下は、時に關して一次的に進行すると假定する。勿論



第 1 圖 昭和 14 年に於ける地表面沈下の記録

この假定は近似的には正しいとすることが出来るけれども、詳しく云へば、多少の偏差を生ずるであらう。併し、1 個年だけについて見れば大體時に關して一次的な沈下の進行があるとして差支ないやうである。

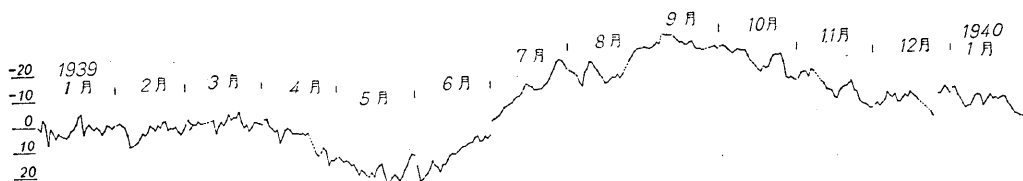
さうして、第 1 圖の曲線上の毎日の値を用ひて、毎日の地表面の高さの讀定値 w の計算値を與へる式を定めてみると、

$$w_c = 52 \cdot 0 + 1 \cdot 880 t \quad (1)$$

となる。これで與へられる w_c の値は + 符號のものが沈下であることは言ふまでもない。

この式で算出される w_c の日々の値と、實際の日々の値 w_i との差即ち $(w_i - w_c)$ の變化を描いてみると、それは第 2 圖に示したやうになる。

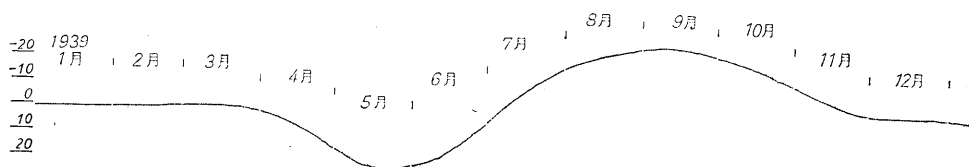
(1) 式の t の係数 1.880 を mm 單位に直して、年平均沈下率を算出すると 27.1 mm/year となる。之を昭和 12 年から昭和 13 年へかけての値大約 60 mm/year に比



第 2 圖 地表面低下の偏倚. I.

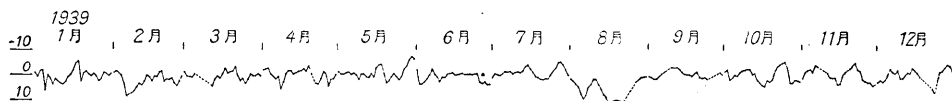
べると大體その半分になつてゐる。是等のことを見ても (1) 式を t の一次式で示すことが妥當であるか否かは問題であるといふことが出来る。

第 2 圖を見ると、細かい昇降の外に大體 1 個年の週期を持つと思はれる變化が重なつてゐる。この變化は時に對して sine 又は cosine の單一の項で表はされる様なものではないから簡単に除去することは困難である。そこで、適當な期間をとつて平均して平滑した曲線を得、之を原曲線から引去つて、短期の變化を出した。その結果は第 4 圖に示してある。



第 3 圖 地表面低下の年度變化

13. 第 2 圖を平滑して得た曲線は、第 3 圖に示してある。



第 4 圖 地表面低下の偏倚. II.

この曲線の示す所の意味は次の如きものである。

(i) 春から夏にかけて及び秋から冬にかけては沈下の速度が減少する。

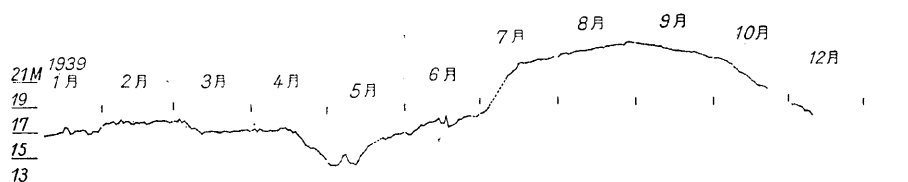
(ii) 夏から秋には沈下速度が増加する。従つて、4 月～6 月、及び 11 月～1 月は、第 1 圖の如き沈下を示す曲線の時軸に對する傾斜は緩になり、7 月～9 月の候にこの曲線の時軸に對する傾斜は急となる。

斯様な事實を次の如く分析して考へることも出来る。それは一方向的な沈下に重つて土の層が、夏の初頃には膨れ上り、秋には著しく收縮するといふ様な運動があるとす

るのである。併し、それも、さういふ風にも考へられるといふだけで、それだから如何といふことは言へない。例へば、雨の影響かと思れば、必ずしも、夏や秋に雨が多いわけでもなく、又、特にこの時期に雨が少なかつたといふこともないのである。

唯こゝに一つ多少参考になると思はれることは、丸の内附近のある井戸の水位の變化を見ると、4月—6月の間で比較的水位が上昇してゐるのである。この井戸の水は、沖積層下部の帯水層の水であるが、この水位は、雨の有無にあまり影響されることなく、大體年々同様の變化を示してゐる。²⁾ そこで更に、昭和12、13箇年における數矢小學校での沈下の記録を、それに相當する年の丸の内の井水位の變化と比較して見たが、これは必ずしも平行の關係を有してゐない。

井戸の水位の變化の有様は第5圖に掲げてある。これは北澤博士の論文から轉載したものである。



第 5 圖 丸の内に於けるある井戸の水位の變化 (北澤博士による)

敘上の井水位の變化と地表面の高低變化との一致は、一方が丸の内に於ける井水位の變化であり、他方が深川に於ける地表面の高さの變化であつて、その關係を云々すべき確たる理由がないのみならず、丸の内における水位變化の理由も亦明かでないから現在のところ、参考に留めておくのみである。

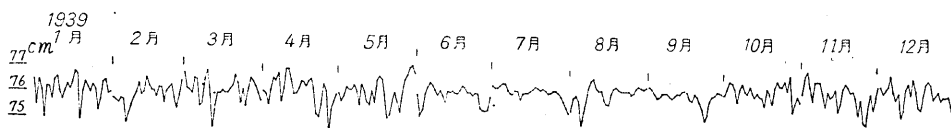
4. 第4圖に示した不規則な變化は前報告にも指摘した様に氣壓の變化に對應するやうである。

氣壓には日週變化若しくは半日週變化があるが、その振幅は1~2mm(Hg)程度であつて、殆ど問題にならない様に思はれる。尤も、本報告では、地表面の變動量として1日の平均値をとつてゐるから、潮汐の影響と共にその日週變化は消去されてゐる。併し、今、問題にしようとする氣壓の變化は、その振幅(完全な週期的變化ではないが)は7~8mm乃至10mm(Hg)以上であつて、日週變化に比して著しく大である。其故、氣壓の日週變化のことはまづ無視しても差支ないと思はれる。

又、茲で問題になるのは、氣壓の大いさそのものではなくて、その變化である。そこで氣壓の方も適當に平滑してその偏差をとる。毎日の平均氣壓は、官報及び天氣圖

2) 北澤五郎, 建築學會論文集 17 (1940), 366~374.

に示された観測値から算出した。第6圖は、氣壓の偏差の變化を示したものである。



第 6 圖 氣 壓 の 變 化

第3圖の曲線と第6圖の曲線とを比較してみると、大體においてよく平行してゐるが、7月~10月の間だけ、この平行關係が保たれてゐない。

そこで、1個年を1月~3月、4月~6月、7月~9月、10月~12月の4期に分ち、各期について、變動量の偏差 w と氣壓の偏差 p との間の相關々係を調べてみた。即ち、この兩者の間の相關係數を求めてみると、

$$\text{第1期 (1月~3月) には } r_{pw} = 0.642$$

$$\text{第2期 (4月~6月) 〃 } r_{pw} = 0.728$$

$$\text{第3期 (7月~9月) 〃 } r_{pw} = 0.098$$

$$\text{第4期 (10月~12月) 〃 } r_{pw} = 0.371$$

となり、第1期、第2期では、 w と p との平行關係が著しいにと共に、第3期には w と p とは殆ど無關係かの如くに見えることが判る。

この理由が何であるかを考へる前に、第3期に於いて p は、何と平行關係を持つかといふ點について考へてみることにする。この際、直に思ひ浮ぶのは $\left(\frac{dw}{dt}\right)$ といふ量である。そこで、 w については、日々、6時、12時、18時、24時の4回の観測があるから

$$\frac{[(w_{18h} - w_{6h}) + (w_{24h} - w_{12h})]}{2} \quad (2)$$

をとり、これを毎日の平均の $\left(\frac{dw}{dt}\right)$ の値とし、これと、 p との關係を調べることに

した。先づ、 $\left(\frac{dw}{dt}\right)$ と、 p との相關係數を求めてみると、

$$\text{第1期では } r_p, \left(\frac{dw}{dt}\right) = -0.104$$

$$\text{第2期 〃 } r_p, \left(\frac{dw}{dt}\right) = -0.020$$

$$\text{第3期 〃 } r_p, \left(\frac{dw}{dt}\right) = 0.237$$

$$\text{第4期 〃 } r_p, \left(\frac{dw}{dt}\right) = -0.053$$

となり、若し相関があるとすれば、第3期において正の相関があり、他の期間に於いては殆ど相関々係は認められないが、若し、あるとすれば負の相関がある。

斯く、1個年を4期に分けると、第3期、即ち、7月~10月の間に於いては、 p と w との関係が特に他の時期と異つてゐる。又、 p だけをとつてみても、この時期にはそのフラクチュエーションが小さい。即ち、各時期の p の標準偏差 σ_p を計算してみると、

第1期には	$\sigma_p = 4.39$
第2期 "	$= 4.88$
第3期 "	$= 3.52$
第4期 "	$= 4.55$

である。又、 w と $\left(\frac{dw}{dt}\right)$ との関係に於いても、第3期だけは少し異つてゐる、即ち

w と $\frac{dw}{dt}$ との相関係数を求めてみると、

第1期では	$r_{w, \left(\frac{dw}{dt}\right)} = -0.331$
第2期 "	$r_{w, \left(\frac{dw}{dt}\right)} = -0.160$
第3期 "	$r_{w, \left(\frac{dw}{dt}\right)} = 0.201$
第4期 "	$r_{w, \left(\frac{dw}{dt}\right)} = -0.080$

となり、第3期を除いては、相関は負になつてゐる。

5. これらの事情を総合すると、單に w と p とが對應すると考へるだけでは不足のやうであるから、 w と $\frac{dw}{dt}$ との和が p に對應するとし、

$$p = aw + b\left(\frac{dw}{dt}\right) \quad (3)$$

と置いて、 a , b , を最小二乗法で各期別に求めてみると、次の(3)表に與へられる様な値となる。

第 1 表

時 期	a	b
1月~3月	1.150	0.339
4月~6月	1.540	0.363
7月~9月	0.054	0.944
10月~12月	0.649	-0.114

(3) の式は勿論 w と p との間の關係を細かい點まで示したのではないから幾分かの偏差は免れない所である。而して、何程の偏差があるかといふことが、問題である。その爲に、(3) 式の a , b , に第1表の数値を入れて p の計算値 p :

を出し、偏差 $p-p_c$ が如何様になるかを調べればよいわけである。勿論 $p-p_c$ の個々の値は、大きいものもあらうかと思はれる。そこで、その標準偏差をとり、これと σ_p との比を作つてみると第2表の如き値となる。

この表から知られる如く、何れも、 σ_{p-p_c} の方が σ_p より小さく、少くとも、 w を生ずる一部は氣壓であると考へることが出来るであらう。又、 σ_{p-p_c} の値から想像される様に、1 mm 程度の氣壓の日變化はあまり問題に得ないであらう。

6. 前述の如く氣壓の變化に伴つて軟土層表面の變形が生ずるものとすれば、これらの兩者の間の位相差を問題にしなければならぬ。

氣壓によつて軟土層が弾性的な變形をするかどうかの點にこの問題があるわけである。併し、そのことは、單に前節までに述べた様な日平均値を比較したのではよく分らない。

そこで、毎時の讀みを比較してみた。その際、地表面の變動の方は潮汐の影響と、長期變化等が含まれてゐるから、先づ、24 時間毎の移動平均値を探ることによつて前者の影響を消去し、更に、時に對して一定の割合で沈下する長期變化を除去し、その殘餘と氣壓の變化とを比較した。氣壓の方も、現在の觀測場所に氣壓計を置くことは不可能なので、地震研究所内で測定せられた氣壓計——自記晴雨計——の記録をとつて比較した。

その結果は第7圖に示してある。

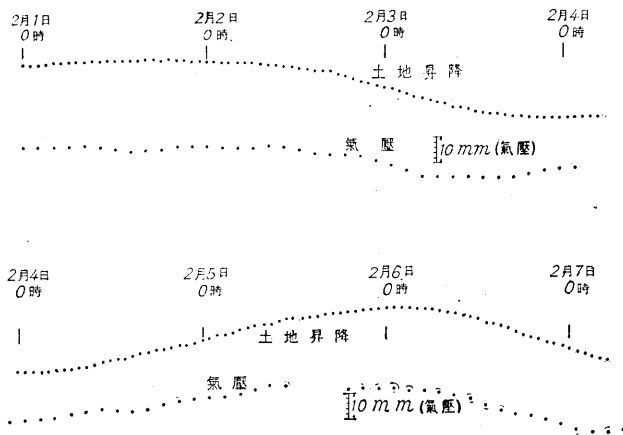
この圖によれば、氣壓に伴ふ地表面の變形が、數時間程度の位相差を以て生じてゐることを大體承認することが出来るであらう。併し、この結果は未だ充分と言ふことは出来ない。氣壓を觀測した場所の離れてゐる點は、大體問題はないと思はれる。殊に、今比較される量は氣壓の絶對値ではなく、そのある平均値からの偏倚量であるから、遠くみても 10 km 位の距離の場所で、左程著しい差異があらうとは思はれないが、確かめてはないから疑問があるといへないこともない。

又、地表面變動の方も、微細なことを言へば、長期變化や、潮汐の影響を除去する方法が必ずしも完全だと言ふことは出来ない。殊に、長週期の潮汐の影響は、その振幅は小さいけれども、影響の程度は殆ど靜水壓の場合に近いから、案外大きいかもしれない。

第 2 表

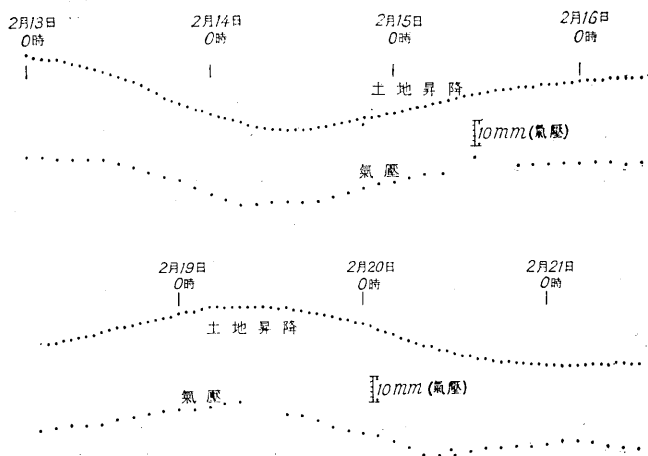
期 間	σ_{p-p_c}	$\frac{\sigma_p}{\sigma_{p-p_c}}$
1月～3月	3.60	1.22
4月～6月	2.52	1.94
7月～9月	3.23	1.09
10月～12月	3.93	1.16

それらの點については今後尙注意深い觀察を必要とするであらう。それらの點に關



第 7 圖 a. 地表面の變化と氣壓の變化

する調査については續報として、報告するつもりである。



第 7 圖 b. 地表面の變化と氣壓の變化

本研究は、服部奉公會から寄せられた多大の援助によつて遂行することを得たものであつて、茲に同會に對して深く感謝の意を表するものである。尙、この研究の遂行に當り、東京市土木局の寄せられたる御好意に對し、又、觀測の遂行や結果の整理に多くの勞力を費された武井柳吉君並に安彦ふみ子嬢に對しても亦篤く謝意を呈する次第である。

29. *Studies in the Sinking of the Earth's Surface in Tokyo. V.*

By Naomi MIYABE,

Earthquake Research Institute.

(Read July 4 1940; Received September 20, 1940.)

As already mentioned in the preceding paper¹⁾, the surface of the soil layer in the Kōtō region Tokyo, sinks with rise in atmospheric pressure. This matter will now be discussed in greater detail.

From the continuous records taken at Hukagawa, the heights of the ground surface were measured four times a day, and the averages of these four readings regarded as the daily-mean values of the heights of the ground surface.

A continuous curve, taken at Hukagawa, representing the changes in the heights of the ground surface is regarded as consisting of several components, namely, secular subsidence, the variations with tidal periods, and the variations that follow changes in the atmospheric pressure, for which reason the mean values of four readings a day cannot, strictly speaking, be regarded the same as the daily mean values. Actually, however, the difference in these two kinds of mean values is so small that it can hardly affect the conclusion.

The daily mean values of the heights of the ground surface thus obtained were found to consist of three components, that is, the secular variation, or the subsidence, the variation with an approximately linear time, the variation with an approximate annual period, and the irregular fluctuations. Of these, the secular variation linear with time is expressed by

$$w = a + bt, \quad (1)$$

the constants a and b being determined by the method of least squares.

The numerical values thus obtained are

$$a = 52.0 \quad (\text{arbitrary scale})$$

$$b = 1.880 \quad (\text{arbitrary scale}) = 27.1 \text{ mm/year}$$

The deviations, or fluctuations, in the actual values of the heights of the ground surface are then deduced by the formula

$$\delta w = w - (52.0 + 1.880 t).$$

The values of δw thus deduced vary with the approximate annual period, as shown in Fig. 2. The variation with approximate annual period was also smoothed out, and the fluctuations in the values of δw , as shown in Fig. 3, were compared with the fluctuations in the daily mean values of the atmospheric pressures.

The relation between these two quantities not being so simple as to be expressible by simple formula for the whole period under consideration, the correlation coefficients of the fluctuations in the heights of the ground surface to those of the atmospheric pressures were calculated for four different seasons, separately. The four seasons are from January to March, April to June, July to September, and from October to December.

The values of the correlation coefficients for the different seasons are

$$r = 0.642 \pm 0.059 \quad \text{for Jan.-March}$$

$$0.728 \pm 0.053 \quad \text{for Apr.-June}$$

$$r = 0.098 \pm 0.099 \quad \text{for July-Sept.}$$

$$0.371 \pm 0.086 \quad \text{for Oct.-Dec.}$$

1) M. MIYABE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*,

It was then found that the correlation coefficient for the season July-September was least, in which, however, the rate of secular subsidence was greatest. Further study also showed that the values of $\frac{dw}{dt}$ are in positive correlation with the fluctuations in the atmospheric pressures, the amount of correlation coefficient being larger than that of w for the fluctuation in the atmospheric pressures. Similar correlation coefficients for different seasons however are negative and very small.

As one of the causes of the relative smallness of the correlation coefficient for the season Oct.-Dec., it will be seen that the secular subsidence of the ground surface during the season mentioned, cannot be expressed by the formula (1), this formula being more suitable for representing the secular variation in the beginning of the year 1939.

In order to study the relation mentioned above in greater detail, the superposing mean values for 24 hours of the hourly readings of the atmospheric pressure, as shown in Fig. 7.

The reason for taking the superposing mean values for 24 hours of hourly readings is that the variations in the heights of the ground surface with tidal or daily periods are thus eliminated.

The parallelism between the curves showing the variations in the heights of the ground surface and that of the atmospheric pressures is very marked. The latter however leads the former by one or two hours.

The cause of the annual variation in the heights of the ground surface is not yet clear. It was however found that the annual variation mentioned above is approximately parallel to the variation in the heights of the level of under-ground water measured at Marunouchi²⁾, situated several kilometres away from Hukagawa.

2) G. KITAZAWA, *Kentiku-gakkwai Ronbunshū*, 17 (1940), 366~374.