

48. 東京に於ける地盤沈下の研究 III*

— 地表面の沈下率の變化 —

地震研究所 宮 部 直 巳

(昭和14年9月21日發表—昭和14年9月20日受理)

1. 東京市内の沈下著しき地域に於いて、その地表面の沈下状況は年々變化しつゝあることは既に報告した所である。¹⁾ 即ち、ある場所では今尚毎年の沈下量が年々増加し、又他の場所では、それが、最早減少の傾向を辿つてゐる。斯様な永年の沈下量の變化のみならず、短期間の沈下量を調べてみると、例へば1年の中でも、尙その増減を認めることが出来る。

この様な事實を一層精しく調べる目的を以て、筆者は、昨年来毎月1回宛、日比谷附近及び深川において夫々建築物及び地下深く埋設した鐵管に基準をおき、地表面に設定した水準標石の移動を測定した。

又最近、北澤五郎博士は、沈下量と降雨量との間に關係あることを指摘された。²⁾ 北澤博士の調べられたのは、1年間の降雨量と沈下量との關係であるから、彼の資料により更に細部におけるこれ等の間の關係を検討することが出来る。

本文に於いては主として上述の2點について調べ得た結果を報告する。

2. 地表面の沈下を測定する爲の基準としては前節に述べた様に、日比谷附近に於いては建物に設置した金屬製水準標を用ひ、深川に於いては、地表面下30mの堅い地層に固定した鐵管の頭部の水準點を用ひた。是等の基準の水準點はその高さの變動は殆ど無いが、或は極めて微小であると考へてゐるのであるけれども、殊に建物に設置した水準點の安定性に關しては必ずしも保證し得ない様な事實がある。

實際、陸地測量部水準原點に對する建築物上の水準點の變動を調べてみると、全然不動であるとは見做し得ない。例へば、上記の日比谷附近の變動を調べる時の基準に用ひた實E、實W及びその他の水準點に就いて見ると、次の第1表の如き數字が得られてゐる。

この表で認められる様に、建物それ自體の傾斜運動は微小であるけれども、全體と

* 第15卷(1939)第1册(102~103)、所載のものをI、第16卷(1938)第1册(721~756)所載のものをIIとす。

1) 宮部直巳 震研叢報 16(1938)、721~755。

2) 北澤五郎 建築大會論文集 13(1939)、257~282。

第 1 表

水準點	期間			水準點	期間		
	I	II	III		I	II	III
麴 5	- 0.3	- 2.9	+ 2.0	* 21-E	- 3.7	- 5.1	+ 2.4
復 3	- 11.2	- 1.7	- 0.8	* 21-M	- 6.1	- 3.5	+ 2.3
麴 2	- 2.1	- 3.9	+ 2.8	* 21-W	- 6.1	- 3.1	- 1.7
麴 3	- 22.8	- 8.4	+ 0.2	A	- 27.4	- 11.9	- 0.3
P	- 36.9	- 13.9	- 7.1	* Ho-E	- 8.9	- 2.6	+ 3.4
P'	- 39.9	- 14.5	- 8.1	* Ho-W	- 8.8	- 2.6	+ 3.8
P''	- 27.2	- 9.8	- 6.8	* Os-W	- 13.1	- 1.4	+ 1.0
* Kai-W	- 1.9	- 0.4	+ 1.1	* Os-M	- 13.1	- 1.5	+ 1.8
* Kai-E	- 1.2	- 1.2	+ 1.7	* Os-E	- 9.3	- 2.3	+ 1.3

I 昭和 13 年 5 月—11 月 (6 ヶ月)

III 昭和 14 年 2 月—14 年 6 月 (4 ヶ月)

II 13 年 11 月—14 年 2 月 (3 ヶ月)

* 建築物附屬金屬製水準點

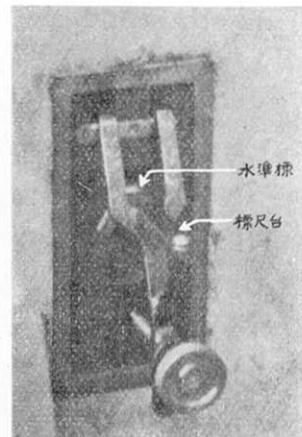
して若干の低下を示してゐる。尤も、原點自身と雖も之を不動と見做す理由は今のところ全くないから、下部の硬い地盤が、若干の傾斜をしたと認めてもよいかもしれない。併し、この建物の全體としての沈下量は、他の數個の建物についても知られて居るけれども、それ等の結果に關しては何等規則的な傾向を示してゐないから、まづ、建物自身の沈下があるとした方が合理的のやうである。

是等の建物に設置した水準點は第 1 圖の寫眞に示したやうなものである。

敘上の建物に設置した水準點に比して、深川における鐵管は、その安定性が遙かに大であらうと推察される。けれども、それも、絶対に安定であるとは言ひ得ないのではないかといふ疑もある。

それは、昭和 13 年 3~4 月の水準測量の結果によれば、この鐵管の頭が、水準原點に對し、それ以前に測量した時よりも幾分低下してゐるといふ事實によつて示される。尤も、この事實は必ずしも鐵管それ自身の移動を意味することにはならないが、³⁾ 少くとも、さういふ疑のあるといふことは、この鐵管に相對的な附近の地表面の高さの變動を意味づけやうとする際には不利な條件であると言はねばならない。

然し茲に注意されることは深川に於いて測定された沈下量の變化の容子と、日比谷



第 1 圖 建築物に設置した金屬製水準點

3) 宮部直巳 基礎研究 4 (1939), 6~12.

に於いて測定されたものが、場所の隔り、環境の相異があるにも拘らず略同じであることである。即ち、竇 E、竇 W の 2 水準点を設置した建物の沈下する有様と深川における鉄管それ自身が、何等かの理由で自然に沈下する有様とが、全く等しくなる確率は極めて小であらうと思惟せらるゝにも拘らず、是等を基準とした地表面の沈下の推移が、殆ど同型であるといふことは、斯様な地表面の沈下現象の推移状況は、實際、實在するものであることを暗示してゐるのではないかと思はれるのである。

3. 日比谷附近及び深川における毎月の水準測量は、昭和 13 年 7 月以來毎月 10 日前後に實施した。その今日迄に得た結果は第 2 表及び第 3 表に示してある。

第 2 表

番號	期 間	B 1	B 2	B 3	B 4
1	昭和13年 7月11日—8月9日	-6.9 mm	-4.8 mm	-3.4 mm	-5.4 mm
2	8月9日—9月9日	-3.1	-2.7	-3.8	-4.6
3	9月9日—10月10日	-5.6	-5.6	-6.6	-6.0
4	10月10日—11月10日	-3.8	-3.7	-3.8	-4.3
5	11月10日—12月12日	-0.5	-3.5	-4.3	-4.8
6	12月12日—1月12日	-1.5	-1.3	-1.7	—
7	昭和14年 1月12日—4月14日	-7.5	-8.8	—	—
8	4月15日—5月16日	-1.6	-1.7	-1.0	-1.1
9	5月16日—6月12日	-2.2	-2.3	-2.4	-2.5
10	6月12日—7月13日	-4.4	-4.3	-4.4	-4.3
11	7月13日—8月10日	-2.8	-3.1	-2.6	-3.1
	平 均		-3.2	-3.4	

第 3 表

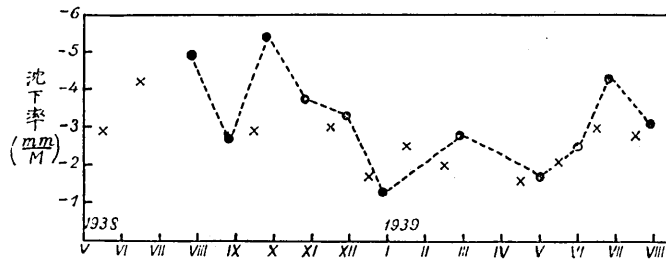
番號	期 間	Ho-W に對する Kd-3 の變動	Ho-E に對する Kd-3 の變動	Kd-3 に對する A の變動
1	昭和13年 5月20日— 7月11日	-2.2 mm	-2.5 mm	0.0 mm
2	7月11日— 8月9日	-3.7	-3.1	-0.5
3	8月9日— 9月9日	-1.2	-1.2	-2.4
4	9月9日— 10月10日	-4.3	-3.9	-2.3
5	10月10日— 12月12日	-3.7	-4.1	-0.4
6	12月12日—昭和14年 1月12日	-1.7	-1.4	-1.9
7	昭和14年 1月12日— 3月13日	-3.3	-2.9	-1.6
8	3月12日— 4月15日	-1.7	-2.0	+0.8
9	4月15日— 5月16日	-0.2	-0.2	-0.1
10	5月16日— 6月12日	-1.8	-1.0	-0.7
11	6月12日— 7月13日	-2.6	-2.8	-0.8
12	7月13日— 8月10日	-2.7	-2.5	-0.5
	平 均	-2.39	-2.35	-0.87

第3表中の變動量は竇E及び竇Wに對する沈下著しい水準點麴町3號(Kd-3號)の變動量を示したものである。但しA點の變動量はKd-3號に對するものである。A點は舗道の端のある定まつた舗石である。竇EとAとは約30m、AとKd-3號とは約60m離れてゐる。

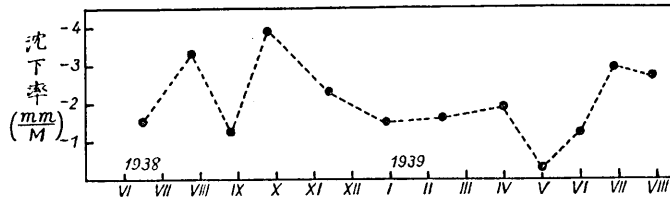
この表によつて知られる様に、AとKd-3號とは100m足らずの近い距離の場所に在るにも拘らず、その變動量には差異がある。

又、深川における結果を見ても、深川における4個の地面上の水水準點は夫々鐵管から30cm、1m、3m、13mの近い距離に在るのであるけれども、相互に若干の相異がある。是等は、單に測定誤差といふ様なものだけではなく、標尺の置き方とか、その傾斜とか、更に水準點それ自身不斷に微少ではあるが、種々な損傷を受ける爲に生ずるものであらうと思はれる。其故、是等の數字は全てそのままに正しいものであると解することは出来ない。けれども、變動量の變化の傾向、殊に各水準點に就いて共通な變化は意味のあるものと考へてもよいと思はれる。

第2、第3圖には、毎月の變動量の變化する有様を示してある。尙、深川においては、變動を自記してゐるから、その記録から、毎月の變動量を測つてみると、それは丁度第2圖に×で示した様になり、大體に於いて水準測量の結果と一致する。



第2圖 沈下率の變化 (深川)



第3圖 沈下率の變化 (日比谷)

第2、3圖に明かな様に、毎月の沈下量は、日比谷に於いても、深川に於いても大略、1年を週期とする變化を示し、春に於いて沈下量が極小となり秋に於いて沈下量が極大となる。尙その他、かなり著しいフラクチュエーションもある。是等のことは日比谷における變化と、深川における變化との何れにも共通な事實である。

3. 前節に述べた様に、毎月の沈下量には約1年週期の變化がある。そこで、毎月の沈下量を W とすれば

$$W = W_0 + A \sin pt + B \cos pt \quad (1)$$

とおくことが出来る。 W が毎月の値であるから、 t を月数とすれば、 $p = \pi/6$ であり。

$$W = W_0 + A \sin \frac{\pi}{6} t + B \cos \frac{\pi}{6} t \quad (2)$$

となる。この式中の W_0 , A , B は、第2, 3表の W の値から定めることが出来る。定められた W_0 , A , B の値及び $\sqrt{A^2 + B^2}$, $\tan^{-1} B/A$ は、第4表に與へられてゐる。

以上の解析に用ひた資料は、日比谷附近の場合については Kd-3 號に對する竇Eの變動量、深川の場合については鐵管に對する B2 號（鐵管から1m離れた場所に在る點）の沈下量である。その他の點についても大體同様のことが言へる。

第 4 表

	日比谷	深川
W_0	-1.9 mm/M.	-3.2 mm/M.
A	-0.80 "	-0.97 "
B	0.05 "	-0.50 "
$\sqrt{A^2 + B^2}$	0.81 "	2.09 "
$\tan^{-1} B/A$	176.1°	211.4°

* mm/M=毎月mm.

上の表でみると、 W_0 の値が日比谷では 1.9 mm/M 深川では 3.2 mm/M であつて、大體軟土層の厚さ 20 m（日比谷）30 m（深川）に夫々對應し、 W_0 の値はこの軟土層の厚さに比例するかの如くに見える。併し、日比谷でも A における値をとれば、3.3 mm/M. となり、深川の値と等しくなる。それ故必ずしも、 W_0 が軟土層の厚さに比例するとは言ひ難い。 $\sqrt{A^2 + B^2}$ についても全く同様である。

又、毎月の平均沈下量が何れの場合も、1年間の間に幾分か減少したかのやうにも見えるが、これも、資料が不充分であるから確かにさうであると斷定することは出来ない。尤も従來の傾向から見て、沈下率が稍減少の傾向にあるといふことは確かであらう。

さうすると、茲に差當り問題となるのは、毎月の沈下量の週期的變化と、之に重合つてゐるフラクチュエーションとといふことになる。

4. 沈下率の變化、殊にその週期的な變化については嘗て北澤五郎氏もその現象を認め、之を地表面近くの地下温度の變動と聯關する如く説かれた。⁴⁾

この問題は併し今直に決論を下すことは難かしいやうである。さうかといつて、北澤博士の指摘されたやうな事も、事實であるには相違ないから、この問題は暫らく後日の成果を待つことにする。

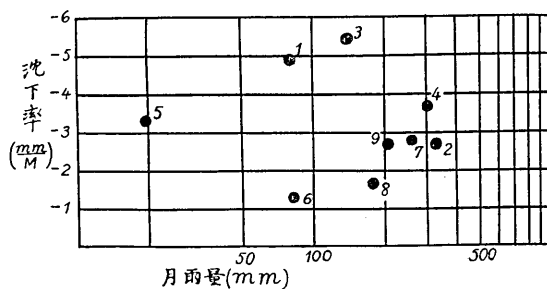
もう一つ北澤博士⁴⁾の指摘された點、即ち雨量と沈下量との關係についても、その關係ある事實は判つてゐるが、その機巧に關しては推定による部分があるので、これも亦直に機巧上の解説を與へることは困難である。そこで、茲では、毎月の沈下量と雨量の多寡とを比較し、“雨の少ない時に沈下量は大である”といふことが、毎月の沈下量に對しても成立つか否かを調べてみることにした。

雨量の資料は官報に發表されたものを採用した。

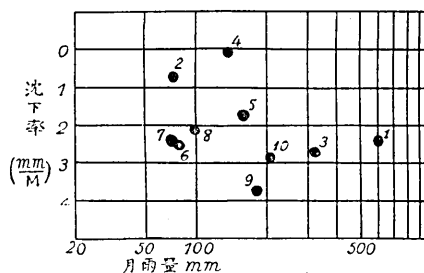
第4.5圖は、毎月の沈下量の平均値からの偏倚量即ち $(W-W_0)$ なる量と、雨量との關係を示したものであるが、この圖の示す所では、兩者の間に明かに關係があると

いふことは困難である。又各點に附した數字は第2,3表にある各期間の順序を示してゐるのである。若し、雨量と沈下量の偏倚との間に位相差がある場合には、各點の配列が規則的になる筈であるが、その様な容子も見られない。それ故、雨量と沈下量との關係は一見殆どないやうである。

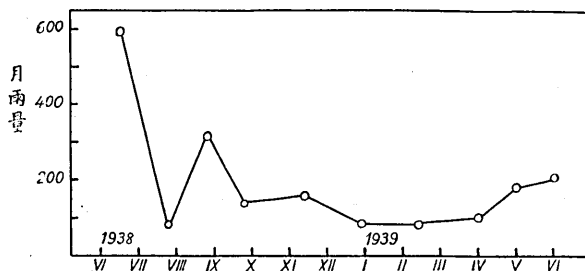
第6圖に、毎月の雨量の變化を示してあるが、之を第2,3圖に比較してみると、大なるフラクチュエーションは別として大體、沈下量の變化と平行してゐるやうに見える。



第4圖 月雨量と沈下率との關係 (日比谷)



第5圖 月雨量と沈下率との關係 (深川)



第6圖 月雨量の變化

4) 5) 北澤五郎 建築大會論文集 13 (1939), 275~282.

この事實は却つて、北澤博士の指摘された事實とは相反するやうである。

又、もう一つの考へねばならぬ事は、雨は毎日降るわけではない。又、一度に多量の降雨ある折もあれば、小雨が數日降り続くこともある。降雨と沈下量とが関係があるといふことが事實であるとすれば、かやうな降雨の型も何分かの影響を及ぼすであらうと想像されるから、その意味を多少加味した方がよいかもしれない。そこで、次の様な2種の量を比較することとした。

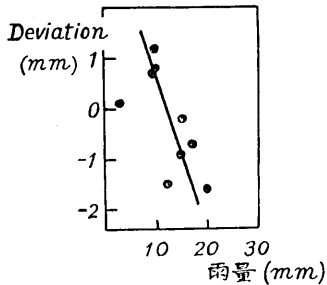
即ち、 $(W - W_0)$ の代りに、その Deviation

$$\{(W - W_0)_{\text{obs}} - (W - W_0)_{\text{cal}}\} \quad (3)$$

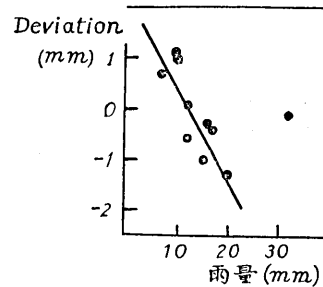
をとる。(2)式における常數は、日比谷と、深川と夫々の場合につき、第4表の如く定められてゐるから、この常數を用ひれば、 $(W - W_0)$ の計算値を得る筈である。

さうすれば(3)式で與へられるやうな一聯の値を得る。斯様な量を採るといふことは、毎月の沈下量の年週變化は、雨量とは一應無關係であると考へることに相當するであらう。

一方に於いて、雨量としても、單に毎月の雨量の總計をとらず、之を降雨日數で割つた量をとる。さうすると、この場合には、小雨が降り続いた場合と、豪雨の場合との區別は明かにされ、即ち、100 mm の雨が1日降つた場合と10 mm の雨が10日降つた場合との區別が確然としてくる。これを假りに降雨度とでも名付け、この降雨度と $\{(W - W_0)_{\text{obs}} - (W - W_0)_{\text{cal}}\}$ との關係を示したものが、第7、4圖に示されて居る。



第7圖 Deviation と雨量との關係
(深川)



第8圖 Deviation と雨量との關係
(日比谷)

この圖によれば、1~2の例外はあるけれども、所謂、降雨度と $\{(W - W_0)_{\text{obs}} - (W - W_0)_{\text{cal}}\}$ との關係は大體、直線的であるとも見られる。少くとも、第4、5圖における $(W - W_0)$ と雨量との關係に比すれば、點の散布状態が遙かに、直線的關係に近づいてゐる。

この事實は、沈下量のフラクチュエーションが降雨一寧る豪雨の有無によつて甚し

く影響されるといふことを示すのではないであらうか。即ち、雨量は、一時的に多量なるものが沈下を低減するやうな影響を及ぼし小雨が続くやうな場合は、この沈下を阻止するやうな作用は小さくなると言へるやうである。併し、このことも實は、僅々1個年餘の間の資料によるのであるから、長期間に亘つて常に斯様な事情が維持されるか否かはやはり今後尙検討を要する問題として残される。

上述の如き場合に於いても、相當長期(例へば1個年)をとり、その間の雨量と沈下量との關係は北澤博士の述べられた様に、それ等の積が恒數になるであらうとは容易に期待し得る所である。

この項を終るに當り、敘上の研究が、主として服部奉公會の多大なる援助によつてなされ又今尙進行中であることを記して、同會に對し深く謝意を表したい。又、研究の遂行に際し、東京市土木局當局者の方々、陸地測量部の餘語久胤氏、本研究所武井柳吉氏等の寄せられたる援助、助力に對しても厚く感謝する次第である。

48. *Variation in the Rate of Subsidence of the Earth's Surface in Tokyo.*

By Naomi MIYABE,

Earthquake Research Institute.

1. Reports had been received that in several parts of Tokyo, where the ground is known to be sinking to a marked degree, the rate of subsidence varies with time.¹⁾ It was also reported that the rate of subsidence varied from month to month with an approximate annual period.

To investigate this matter in detail, the changes in the heights of the earth's surface were measured once a month by precise levels relative to the bench-marks embedded in the rigidly constructed foundations.

2. These measurements were carried out at Hiibiya and Hukagawa. At Hiibiya, the changes measured were those in the relative heights between the bench-marks (Ho-W and Ho-E) in the firm foundation of a building and the bench-marks (Kd-3) and A (on the edge of the pavement).

At Hukagawa, the changes in the heights of the bench-marks installed at distances of 30 cm (B1), 1 m (B2), 3 m (B3) and 13 m (B4) from a deeply imbedded iron tube, were measured with reference to the bench-mark on the top of the iron tube.

Since the reference bench-marks Ho-W, Ho-E and the top of the iron tube cannot be regarded as being absolutely immovable, the subsidences of the surrounding surface of the ground thus measured may not be attributable entirely to the contraction of the soil composing the surface layer of the ground.

1) N. MIYABE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 16 (1939), 721~756.

On the other hand, the annual variations of the monthly subsidence at Hibiya and at Hukagawa run almost parallel, as shown in Figs. 2, 3—a fact that may show that the variation of the monthly subsidence thus measured are in the main due to the contraction of the soil. Upon this hypothesis, the annual variation and the superposed fluctuations in the monthly subsidence were analysed and studied in connection with the precipitations, the results of which follow.

3. The annual variation of monthly subsidence is shown in Figs. 2, 3. In Fig. 2, the monthly subsidence as deduced from the data of autographic records is also plotted by means of crosses. The monthly subsidences as deduced from the results of levellings and those deduced from the autographic records approximately agree.

From these graphs it is noticed that although they are superposed with marked fluctuations, the monthly subsidence is minimum in spring and maximum in autumn.

Whereas the amplitude of the annual variation at Hukagawa is 1.1 mm/month as determined from the data of the monthly subsidences of B.M. B 2, at Hibiya it is 0.8 mm/month as determined from the data of monthly subsidences of Kd-3 as referred to Ho-F. This difference in the amplitudes of the annual variation may not be the result of difference of place where the monthly subsidence was measured, seeing that the amplitude will be greater than 0.8 mm/Month; for example, if it is determined on the basis of data of the monthly subsidence of A as referred to Ho-E although A lies about 60 m from B, M, Kd-3.

That the mean values of the monthly subsidence are not the same for each of the benchmarks could also be expected from the fact just mentioned.

4. Although the variation of the monthly subsidence was compared with the monthly precipitation, the results do not show any relation between these two quantities (see Figs. 4, 5.)

We then compared the deviations in the actual monthly subsidences with the calculated subsidences and the precipitations. The deviation is given by

$$\{(W - W_0)_{\text{obs}} - (W - W_0)_{\text{cal}}\}$$

where

$$(W - W_0)_{\text{cal}} = A \sin \frac{\pi}{6} t + B \cos \frac{\pi}{6} t,$$

and

$$\begin{aligned} A &= -0.80 \text{ mm/M for Hibiya} \\ &= -0.97 \text{ mm/M for Hukagawa} \\ B &= 0.05 \text{ mm/M for Hibiya} \\ &= -0.50 \text{ mm/M for Hukagawa.} \end{aligned}$$

The precipitations that are compared with the above mentioned deviations are not the monthly precipitations, but that quantity given by

$$(\text{Monthly precipitation}) \div (\text{Monthly number of rainy days}).$$

The relation between these two quantities are plotted in Figs. 7, 8 showing the approximate linear relation between the two from which it may be inferred that the monthly subsidence diminished with heavy rains.

This fact harmonizes with what was pointed out by Dr. G. Kitazawa,²⁾ according to whom, the product of the yearly subsidence and the yearly precipitation is approximately constant.

2) G. KITAZAWA, *Kontikutaiwai-Ronbunshū*, 13 (1939), 275~282.

The present study was carried out with the aid of the research fund granted by the Hattori Hōkōkai, to the council of which the writer desires to express his best thanks. The writer's sincere thanks are also due to the municipal authorities of Tokyo for valuable informations given and to Mr. H. Yogo and Mr. R. Takei for assistance rendered.
