

13. 東京に於ける地盤沈下の研究 VI.

— 土の機械的性質に関する一観察 —

地震研究所 宮部 直巳
 東京市土木試験所 稲 葉 佳

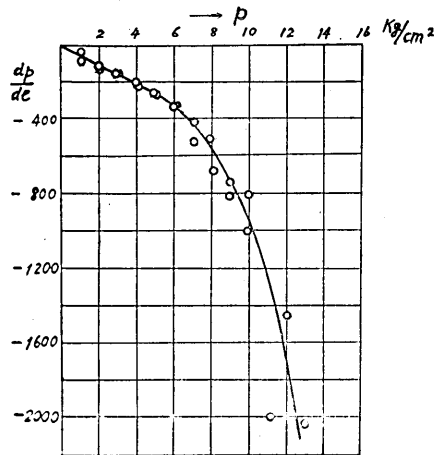
(昭和16年11月20日發表—昭和16年12月20日受理)

1. 東京に於ける地盤沈下の現象の探究に於いて、その原因が何れにあるにせよ、沈下地域の表面を蔽ふ軟土の物理的な性質を検討することは重要な仕事である。言ふまでもなく、沈下現象の大部分は、斯様な土の収縮によつて生ずると考へられてゐるからである。¹⁾

沈下現象を粘土層の自重又は他の外力による収縮と考へ土の壓密化の實驗的研究を行ひ、その結果を應用して説明する方法がある。²⁾ これも考へ得る一つの沈下過程であるので、これの追試が行はれたが大體從來と同じやうな結果を得た。その結果に就いては、別に新しいこともないので、之を述べることを割愛する。唯一寸注意したいのは、載荷強度 p と、容積(間隙比)變化に對する載荷強度變化の割合 dp/de との關係は簡単な直線的關係ではなく、それが

$$\frac{dp}{de} = Ap + B$$

の如き直線的關係で表はされるのは、 p の比較的小さい間で、而も、それは近似的な關係であるといふことである。第1圖は追試において求められた dp/de と p との關係の1例を示す圖である。即ち p が 12~13 kg/cm² から 17~18 kg/cm² 位までの間で dp/de が、かなり急激に大きくなり、つまり變形し難くなるのである。



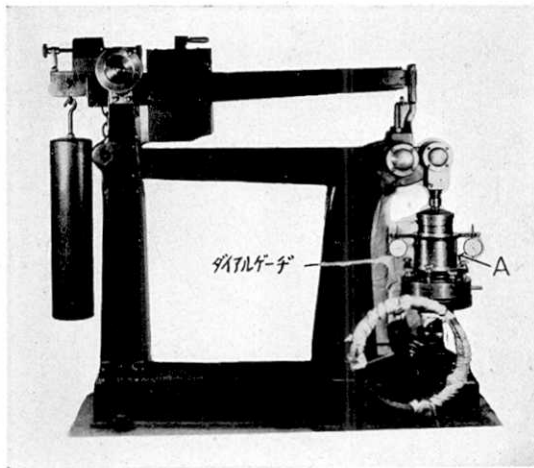
第1圖

1) 宮部直巳 震研彙報 16 (1938), 721-756 等.
 2) 渡邊 貫 地震 9 (1937), 143-158.

このことは、さう簡単には説明されない。この载荷による土の収縮の實驗に於いては、水分が土の試料中から排出される速さが問題となつてくるので、従つて载荷の方法——如何なる時間的間隔を以て、如何程宛荷重を増してゆくかといふやうなことが關係を持つことは明かである。このことが、複雑な土の機械的成分と連關して事柄を一層複雑にしてゐるのに對して、载荷—變形の試驗方法は少し單純過ぎるやうである。

そこで、茲には、上記實驗の結果の検討を兼ねて、尙、载荷が繰返される場合の變形につき、實驗的な研究の結果を述べることにした。この實驗は、今後尙種々方法を變へて行はれるであらうと思はれる實驗的研究の一部である。結果も充分であるとは言へず、實驗方法にも考慮すべき點があるが、幾分かは、沈下現象研究の参考にもなりさうに思はれるので、とりあへず、行つただけの實驗結果をこゝに報告する次第である。

2. 實驗の方法は極めて簡單なものである。第2圖に示した様な装置を用ひ、Aの部分に土の試料を入れ、横杆により荷重を加へ、その時の加壓部分の變位をダイヤル



第2圖

ゲージによつて讀定するのである。

この装置によつて實驗される土質試料は、徑 5 cm、高さ 2 cm の圓錐形といふよりは寧ろ圓板をなしてゐるものである。試料の上下兩端には多孔質のものが入れてあつて、土質を壓縮する爲にその中から逐ひ出される水分を吸収させるやうにしてある。

本報告に載せられた實驗資

- | | | | |
|----|-----|-----|------------|
| 料は | (1) | 深川區 | 深川公園内 |
| | (2) | 城東區 | 砂町第三國民學校々庭 |
| | (3) | " | 大島第一國民學校々庭 |
| | (4) | 向島區 | 吾嬬第一國民學校々庭 |

の各處に於いて行はれた試錐より採取したものの中の一部である。主として砂と粘土とを含み、かなり多量の水分を含んでゐる。

これら各處の試錐から得られた土については、所謂土質試驗が行はれてゐるので

の結果を第 I 表に掲げる。この土質試験は、東京市土木試験所の星野技師等によつて行はれたものである。

この表により、大體土質の性質を知ることが出来るであらう。尙、表中の含水率及び含水比の値には若干の疑問がある。この表の値が正しいとすれば、自然状態に於いて土質に含まれる水分はかなりの多量になるが、試錐孔から試料を取出す際、相當に長時間水中に涵されてゐるので、實際の自然含水量よりも、水分が幾分か多いやうに見えるのではないかといふ疑が濃いのである。

その他の量は、有効數字の桁數について多少の疑はある——掲出されてゐる數字の最後の桁までは必ずしも正しくはない——が、大體間違ひのないものであらうと思はれる。

3. 最初には、ある荷重を與へた時に、土質の變形が如何に進行するかを調べた。これは荷重を反復する場合に幾干の時間的間隔を以てするのが適當であるかを見當づけることを主要な目的とする。

試料は前掲の砂町第三國民學校々庭の試錐に於いて深さ 28m の個所から取出されたものである。與へた荷重は 100 kg 及び 300 kg で各々の場合につき 2 回宛實驗を行つた。各實驗毎に試料は大體同一ではあるが下記の程度に於いて多少の差異は免れない。即ち

試料 A 荷重 100 kg 或は載荷強度 1.27 kg/cm²

眞比重	2.538
見掛比重	1.537
含水率	44.95%
容積	157.00 cm ³
面積	78.54 cm ²

試料 B 荷重 100 kg 或は載荷強度 1.27 kg/cm²

眞比重	2.358
見掛比重	1.541
含水率	44.75%
容積	同 前
面積	

試料 C 荷重 300 kg 或は載荷強度 3.82 kg/cm²

眞比重	2.538
見掛比重	1.516

含水率 46.20%

容積 }
面積 } 同前

試料 D 荷重 300 kg 或は載荷強度 3.82 kg/cm²

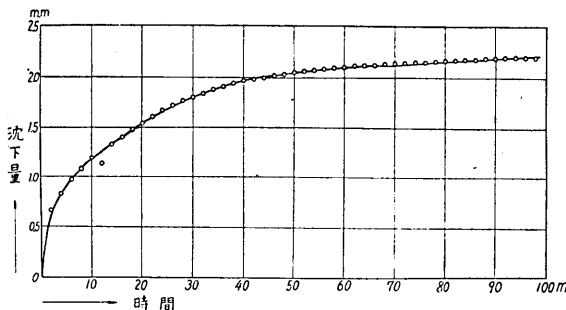
真比重 2.538

見掛比重 1.513

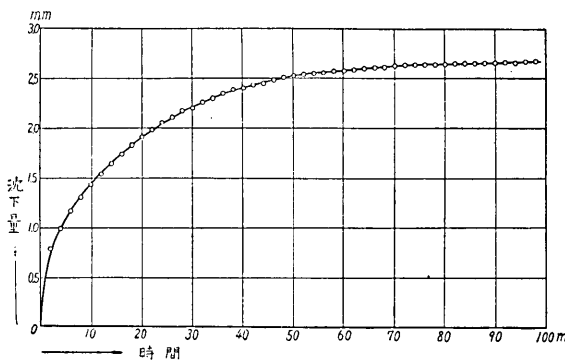
含水率 44.00%

容積 }
面積 } 同前

である。斯様にこれらの試料は略々等しい状態にあり、たゞ加へた荷重が A, B の場合と C, D の場合とで異つてゐるだけである。即ち、前者では載荷強度 1.27 kg/cm² を與へられ、後者では載荷強度 3.82 kg/cm² が與へられて居る。



第 3 圖



第 4 圖

この實驗の結果として得られた試料表面の收縮(沈下量) u の時間と共に變化する様子は第 3 乃至第 6 圖に示した通りである。

この圖から判る様に、收縮は時と共に進行し、その窮極における收縮量

- A の場合は 約 2.20 mm
- B " " 2.70 mm
- C " " 3.52 mm
- D " " 4.10 mm

に夫々漸的に近づいてゆく。

斯様な現象は、粘弾性的變形³⁾ として取扱ふことも

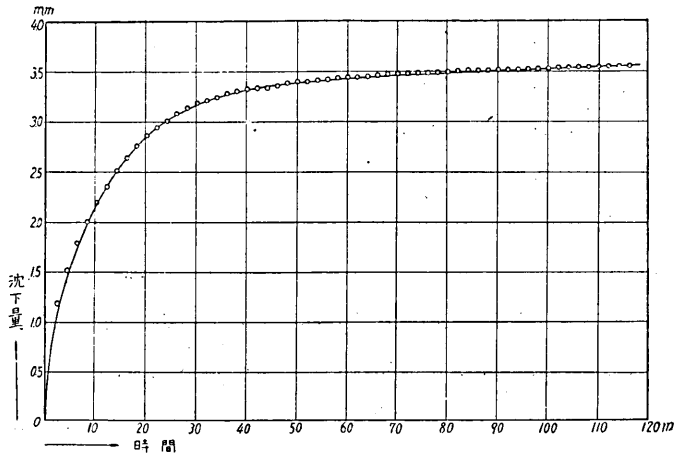
出来るが、一方又、K. Terzaghi⁴⁾ 等の行つたやうにもう少し收縮の機巧に立入つて

3) 石本巳四雄・飯田渡事 震研彙報 14 (1936), 534—542 等。

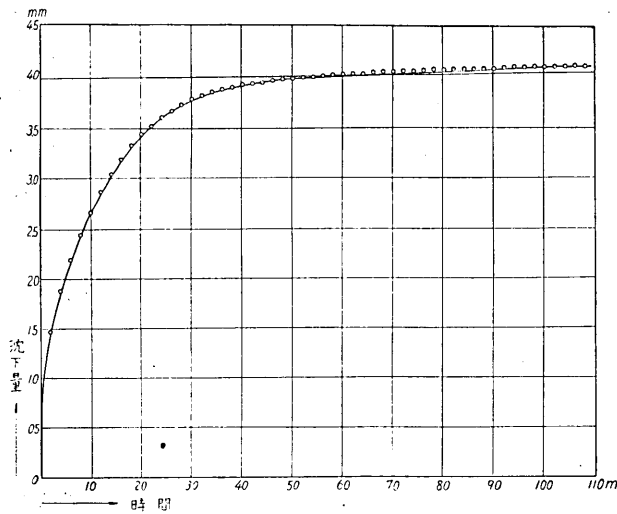
4) K. TERZAGHI-FRÖTICH, "Setzung von Tonschichten," Leipzig, 1936.

考へることも出来る。

後者の考へを踏襲し、(i) 外から土質に加へられた壓力はそのまゝ土質内の水分に加へられる、(ii) 加壓によつて土質内の水分が土質試料の上の表面から押し出され、



第 5 圖



第 6 圖

その押し出された水のためゐた容積だけ壓された方向にのみ收縮する、といふことを假定すれば、土質内の水分の壓力 p に関しては、Terzaghi 等の方式に従ひ、Darcy の法則を利用することによつて

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{k}{\gamma \nu} \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \quad (1)$$

とすることが出来る。今表面からは水分が逸出し底部には不透水層があるとすれば $z=0$ では $p=0$, $z=h$ では $p=p_0$ である。之を境界条件を入れれば、(1)の解として、

$$p = \sum p_0 \cdot e^{-\frac{n^2 \pi^2}{4h^2} \frac{k}{r\nu} t} \cos \frac{n\pi}{2} \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad (2)$$

となる。而して、表面の沈下量 u は

$$u = \nu \int_0^h \left\{ p_0 - p(z, t) \right\} dz. \quad (3)$$

で與へられるから之を計算して

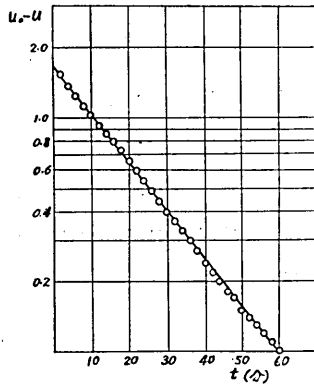
$$u = \nu h p_0 \left(1 - \frac{1}{p_0} \sum p_0 \cdot \frac{2}{n\pi} e^{-\frac{n^2 \pi^2}{4h^2} \frac{k}{r\nu} t} \right) \quad (4)$$

が得られる。従つて $u_0 = \nu h p_0$ とすれば

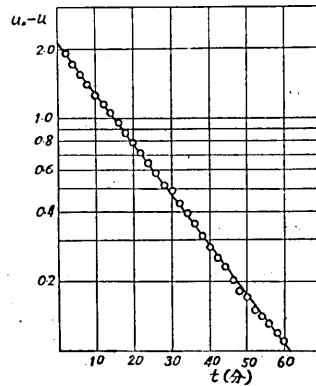
$$u_0 - u = \nu h \sum p_0 \cdot \frac{2}{n\pi} e^{-\frac{n^2 \pi^2}{4h^2} \frac{k}{r\nu} t} \quad (4')$$

である。

第3圖乃至第6圖に掲げた所の u と t との関係は正に斯様な關係になつてゐる。そこで斯様な關係を用ひれば、 $(\pi^2/4h^2) (k/r\nu)$ の値又は $k/r\nu$ の値を算出することが



第7圖

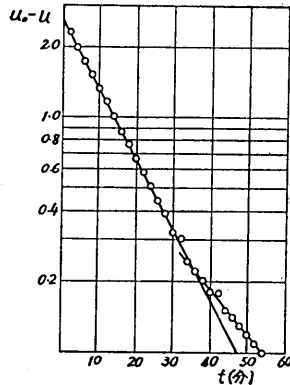


第8圖

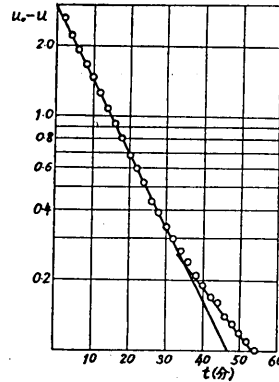
出来る。そこで、 u_0 の値を推定して $u_0 - u$ を作り $\log(u_0 - u)$ と t との關係を求めてみると、第7—10圖になり、この圖の直線の傾斜から $(\pi^2/4h^2) (k/r\nu)$ の値が求められる。

この圖に於いて見られる様に、A, B の場合に就いては $\log(u_0 - u)$ と t との關

係は一次函数的であるが、C、D の場合には 30 分位までは一次函数的であるけれども、その後は異つた一次函数で示されるやうに見える。尙、A、B、及び C、D の前後半につき $(\pi^2/4h^2) (k/r\nu)$ の實効値を求めてみると



第 9 圖



第 10 圖

A の場合には	0.0083
B " "	0.0119
C " "	0.0231
D " "	0.0203
C, D の後半には	0.0067

となる。

このことは、この現象の決して單純でないことを示すものである。

A、B の實驗と、C、D の實驗とは殆んどその載荷強度が異なるだけのことであるにも拘らず、C、D の實驗については $k/r\nu$ の實効値が 2 種あるといふこと、又、その前半だけをとつても $(\pi^2/4h^2) (k/r\nu)$ の値が、A、B の場合の約 2 倍となつてゐること等は、載荷強度により、 k 、 ν 等の常數が變ることを意味するものと思はれる。

又、窮極の收縮量を用ひて、彈性係數類似の量を算出することが出来る。即ち土質試料の厚さ h 、收縮量 u_0 、加へた壓力 p とすれば

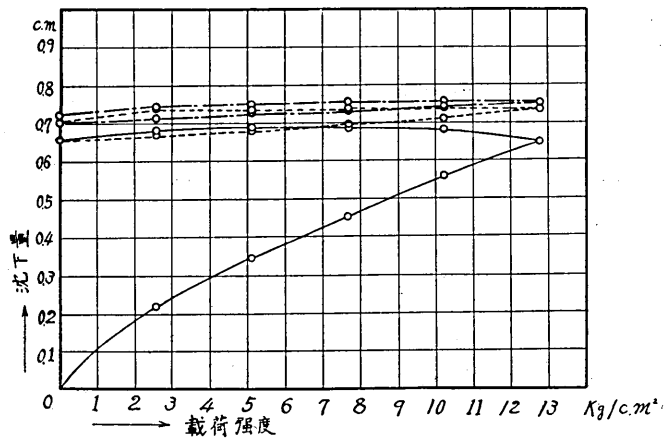
$$\begin{aligned}
 p/(u_0/h) &= 11.5 \text{ kg/cm}^2 & (A) \\
 " &= 9.4 \text{ " } & (B) \\
 " &= 21.7 \text{ " } & (C) \\
 " &= 18.5 \text{ " } & (D)
 \end{aligned}$$

となり、これも亦、C、D における値は、A、B における値の約 2 倍となつてゐる。若し 單一な物質で、單純な現象であるならばこれらの値は何れも夫々略等しかるべきであるに拘らず、斯様に系統的に異つた値を示すのは、“外壓によつて土質中に含

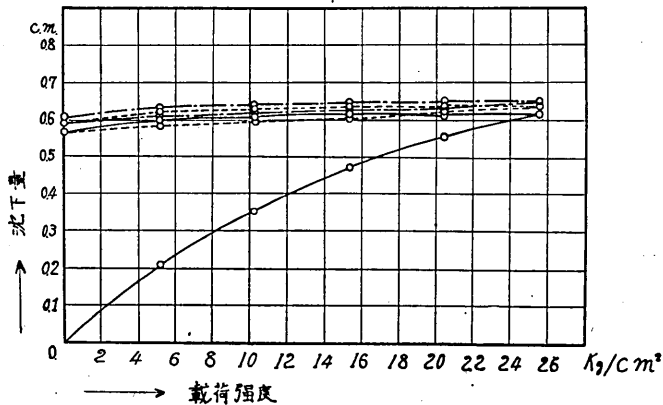
まれる水分が押し出される”といふ現象が普通に考へられるやうな單純な現象ではなくて、 μ や ν の値が、變化し、遙かに複雑な現象であるかの如くに思はれるのである。

以上の如く單に土質試料に荷重を加へて之を壓縮する際にもこの程度の複雑な事情があるので、以下に報告する所の荷重を繰返し加へた場合の變形に於いても、諸種の複雑な現象が見出されるものと期待される。

4. 荷重を反復加へた場合の土質試料の變形も今迄の實驗と全く同じ装置を用ひて測定された。



第 11 圖



第 12 圖

その豫備的な實驗として、先づ、土質試料に對して毎 5 分間に 400 kg 宛の割合で荷重を増し、次に之を同じ割合で減らして行つた場合に變形が如何になるかを調べ

た。その時の載荷強度と變形との關係は、第11~12圖に示してある。

この各圖に對する試料の相異點はその含水率だけである。第11圖の方は、自然状態のままで實驗に供した場合の結果であり、第12圖の方は少し水を加へ前者が含水率45~46%で自然状態のままであるに對し、後者は含水率51%位で流出限界の含水率に近い場合である。

この結果によると、含水率の多い場合の方が、變形が少々大きい。而して、荷重を反復する場合には、履歴曲線の如きものを描くが、その曲線によつて夾まれる圖上の面積はかなり小さく、又、往復の平均は、横軸の平行線との傾斜が非常に小さい。即ち、一度ある程度まで變形させた後は荷重を除いても復原せず而してその後は變形し難くなる傾向を有する。又荷重を反復すると、履歴曲線は次第に全體として圖上で上方に移行する。といふことは單に荷重を反復するだけで、變形は一方向へ進行してゆく傾向が見えるといふことになる。

以上のことから、荷重を反復して與へ變形の一方的な進行を調べやうといふ場合に一定の荷重を單に加へたり取去つたりしただけでも充分その様子を調べることが出来るといふことと、含水率の差異により變形量に多少の差異があるといふことが知られる。

そこで、以後の實驗では、單に一定の荷重を加へたり除いたりして行つた。

5. 上述の様に土質試料の變形は、含水率によつても異り、載荷強度によつても異なるのでその點をもう少し調べてみた。

(イ) 含水率の影響を調べるには、砂町第三國民學校々庭から採取した砂質粘土を試料として用ひ、載荷強度を 3.82 kg/cm^2 に一定してこの載荷強度を50分毎に加へたり除いたりして變形の進行の有様を調べたのである。この程度の載荷強度では大體40分位で變形の大部分を終結することは既に述べた通りである。含水率は50.75%の場合、36.3%の場合28.25%の場合について實驗を行つた。その結果は第II表に示してある。

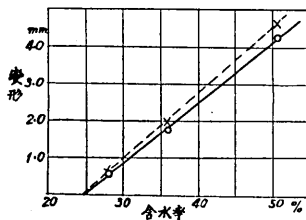
この實驗の結果として認められることは、第一に當然のことではあらうが、含有水分が多くなると土質は變形し易くなる傾向があること。第二には、荷重を一度加へた後にこの荷重を除去すると土質表面は膨れてある程度まで原状に戻る傾向を示すが、その戻り方は、28.25%の水を含むものと36.3%の水分を含むものとの間にはかなり著しい差異があるけれども、含水率36.3%のものとは含水率50.75%の土質とはその値が殆ど同じ位といふよりは寧ろ後者におけるものの方が少なくなつて居り變形し易さが含水率28%と圖36%との中間で比較的急激に變化するのではないかと想像

されることである。尙一度荷重を加へそれから之を取除いた後に更にもう一度加へた時、最初の荷重による變形と二度目の荷重による變形との間の差——その間の永久變形が、回数を重ねるに従つて減少する傾向の見える點は注目し價すると思はれる。この點は後に更に詳しく調べた結果について述べるであらう。

第 II 表

含水率 50.5%		含水率 36.3%		含水率 28.25%	
載荷強度	沈下量	載荷強度	沈下量	載荷強度	沈下量
kg/cm ²	mm	kg/cm ²	mm	kg/cm ²	mm
3.82	4.29 ₅	3.82	1.73 ₀	3.82	0.61 ₇
0	3.64 ₀	0	1.05 ₀	0	0.32 ₅
3.82	4.49 ₁	3.82	1.92 ₅	3.82	0.61 ₅
0	3.92 ₀	0	1.24 ₅	0	0.34 ₅
3.82	4.66 ₅	3.82	1.98 ₅	3.82	0.62 ₅
0	4.05 ₀	0	1.35 ₅	0	0.36 ₅
3.82	4.72 ₀				0.63 ₀

又、第一に擧げた、含水率と最初の變形量との關係は第 13 圖に示した通り殆ど直線的であるが、この關係が飽くまでも成立するものとすれば、變形が 0 となるところで含水率は約 25% になる。更に第三回目に荷重を加へた時の變形との關係をみるとそれは第 13 圖に×で示してあるやうに、第 1 圖目の變形量をとつた時とは稍々傾度
が異りしかも變形が 0 になる含水率はやはり 25%
の近くなる。



第 18 圖

これは、或は斯様な圖上の點を直線で連ね之を延長するといふことが意味のないことであるかもしれないが、こゝに用ひた土質試料が粘土であつて、それが充分硬化する爲には若干の水分が必要な筈であるから、丁度、その水分に相當するのではないかと

も思はれる。この點は別の機會に尙よく確かめるつもりである。

(ロ) 次に、今度は、大體等しい含水率を有する土質試料が異なる載荷強度に對する變形を調べてみた。土質試料はやはり砂町第三國民學校々庭の試錐より採取されたもので、比較的砂土を多く含むものである。その機械分析は

中	粒	砂	1.8%
細	粒	砂	19.9"
微	粒	砂	36.9"
沈	泥	(シルト)	29.6"
粘	土		11.8"

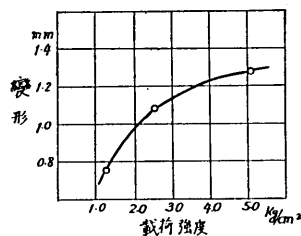
である。含水率は(イ) 20.55% (ロ) 20.55% (ハ) 22.95% で、載荷強度は(イ)に 5.10 kg/cm² (ロ) に 2.55 kg/cm² (ハ) に 1.27 kg/cm² である。荷重の加へ方は前実験の如く、50 分毎に加へたり除いたりする。その結果は第 III 表に示してある。

第 III 表

含水率 20.55%		含水率 20.65%		含水率 22.95%	
載荷強度	沈下量	載荷強度	沈下量	載荷強度	沈下量
kg/cm ²	mm	kg/cm ²	mm	kg/cm ²	mm
5.10	1.27 ₈	2.55	1.07 ₇	1.27	0.76 ₂
0	1.26 ₀	0	1.04 ₄	0	0.74 ₀
5.10	1.30 ₃	2.55	1.09 ₉	1.27	0.77 ₅
0	1.28 ₅	0	1.06 ₀	0	0.74 ₆
5.10	1.32 ₀	2.55	1.11 ₀	1.27	0.78 ₄
0	1.30 ₇	0	1.07 ₆	0	0.75 ₁
5.10	1.32 ₄	2.55	1.12 ₁	1.27	0.79 ₃
0	1.31 ₁	0	1.09 ₃	0	0.76 ₉
5.10	1.32 ₉	2.55	1.12 ₉	1.27	0.80 ₂

この場合にも、次々の荷重の際の變形に差があり、その差が回数の進むにつれて減少する傾向がある。又、最初の變形は、荷重について直線的に増減するのではなく、第 14 圖に示す様に、荷重が増すとともに變形の増し方は減ずる。このことは既に前節に於いて述べた実験の結果と一致する。

6. 前述の如く、土質試料に一定の荷重を加へたり除いたりすると、その變形が漸次に進行してゆくのであるが、その變形進行の模様を調べるに際して色々異つた条件を與へて之を行つた。第一の實驗は略々同一の但し含水量の異つた二組の試料を作り、各組につき載荷強度を變へて變形進行の模様を観察した。この實驗では荷重を加へてから除くまで及びそれから再び加



第 14 圖

へるまでの時間を各 50 分とした。既述の實驗結果によれば、この程度の時間的間隔をおけば荷重を加へてからそれに相當する變形に到達するまでの時間が、載荷強度が 3.82 kg/cm² 以上であれば、これより短かいからよいが、載荷強度 1.27 kg/cm² の時はその時間として約 80 分を要するので、少し足りないかもしれない。

試料は、向島區吾嬬第一國民學校々庭の試錐より採取されたもので、機械分析の結果は

粗粒砂	2.20%
中粒砂	8.60"
細粒砂	39.10"
微粒砂	22.52"
沈泥	17.13"
粘土	9.75"

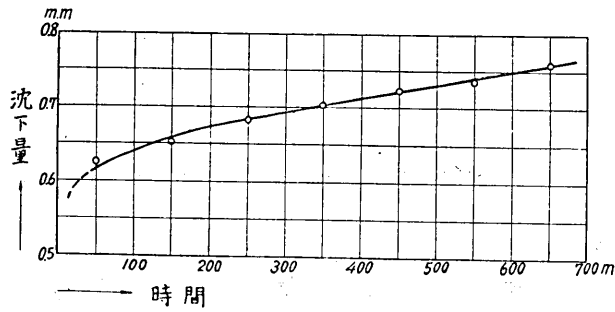
である。含水率は一々の試料について些少の變動があるから之を第 IV 表に載荷強度と共に示してある。

第 IV 表

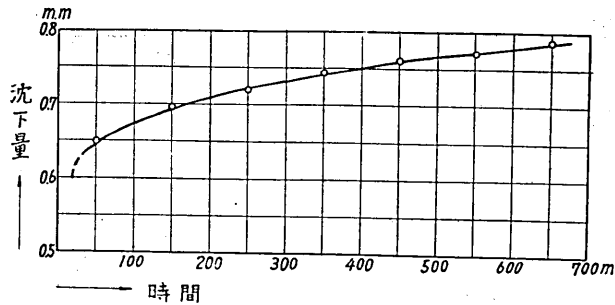
載荷強度	含水率	
	I	II
1.27 kg/cm ²	23.20%	4.50%
2.55 "	20.60"	8.40"
3.82 "	23.35"	8.95"
5.10 "	21.50"	6.00"
6.37 "	20.97"	8.75"

載荷の反復は一個の試料につき 7 回宛之を行ひ、載荷時の變形量の變化を示す曲線を作つてみると、第 15 乃至 24 圖の如きものとなる。その中第 15~19 圖の曲線は、I 組の試料に関するもの第 20~24 圖は、II 組の試料に関するものである。

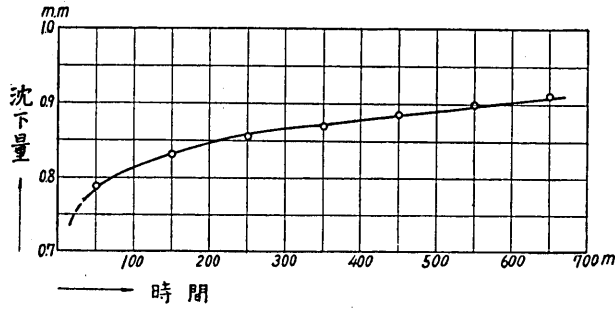
この結果によると含水率の多少は變形の進行に關してあまり影響がないかのやうに見



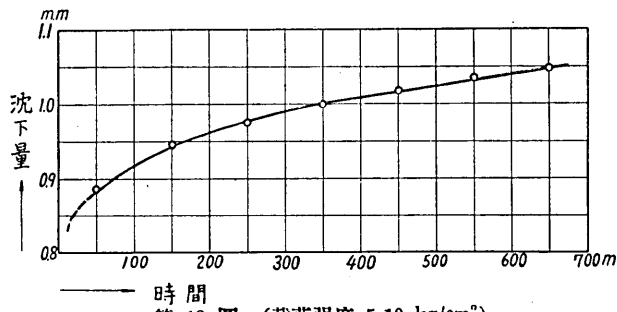
第 15 圖 (載荷強度 1.27 kg/cm²)



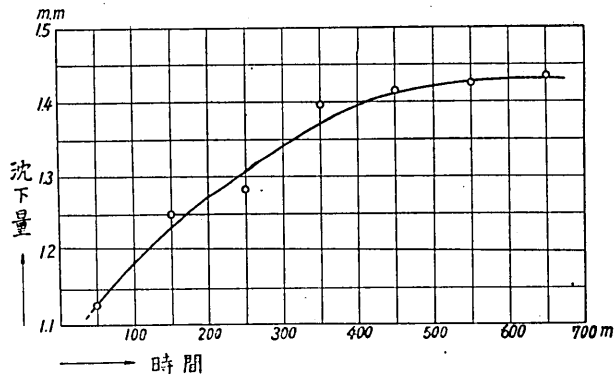
第 16 圖 (載荷強度 2.55 kg/cm²)



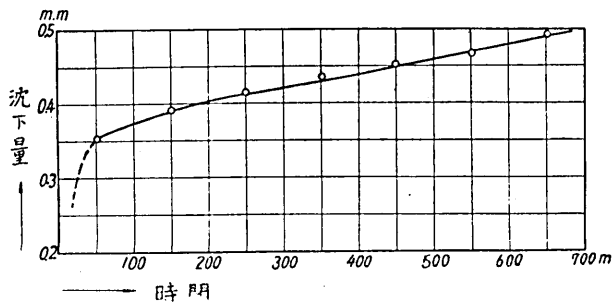
第 17 圖 (載荷強度 3.82 kg/cm²)



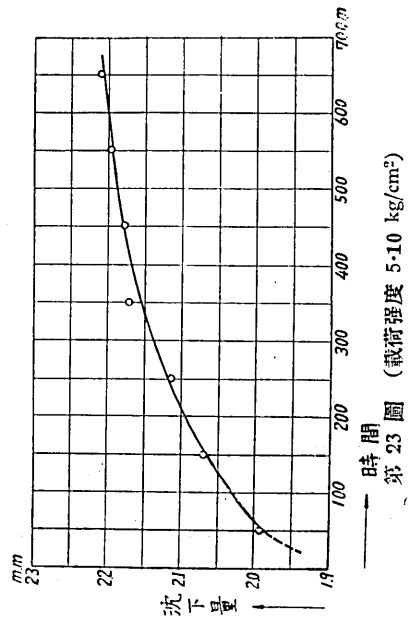
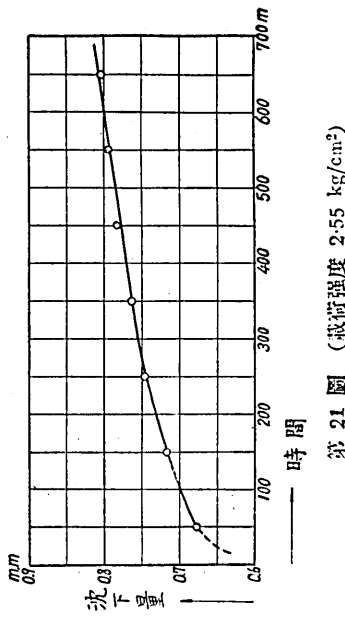
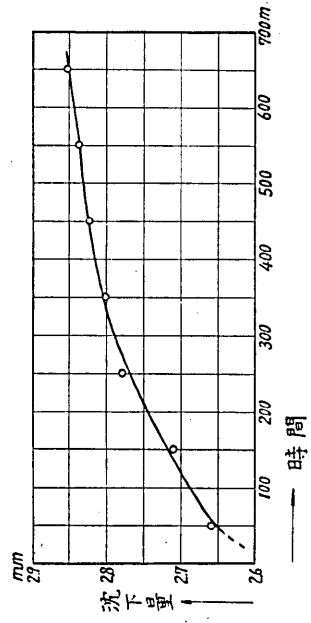
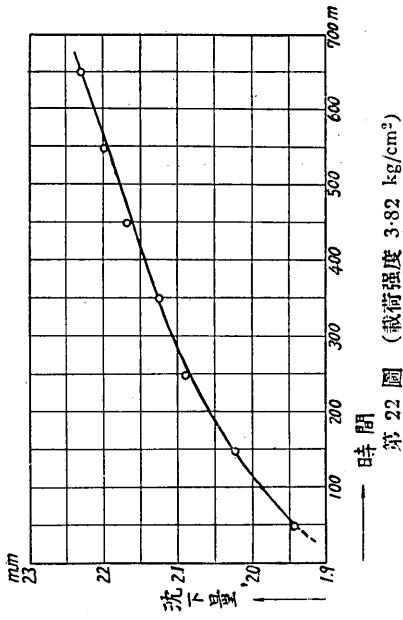
第 18 圖 (載荷強度 5.10 kg/cm²)



第 19 圖 (載荷強度 6.37 kg/cm²)



第 20 圖 (載荷強度 1.27 kg/cm²)



える。そこで更に試みに、最初の載荷時の變形と7回目の載荷時の變形との差をとつ

第 V 表

載荷強度	I	II
1.27 kg/cm ²	0.135 mm	0.137 ₅ mm
2.55 "	0.136 ₅	0.126
3.82 "	0.120 ₅	0.288
5.10 "	0.160 ₅	0.218
6.37 "	0.304	0.191

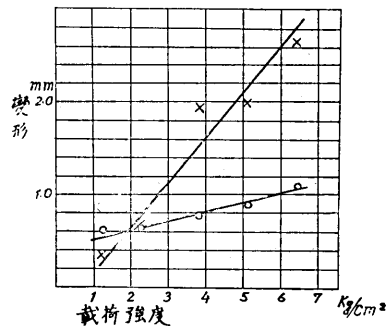
てみると、第 V 表のやうな結果を得る。

即ち、水分の多い場合の方が、幾分かよけいに變形するやうな傾向が見えるが、この點は資料が過少で確かなことは言へない。又、最初の載荷時の變形を見ると、第 VI 表に掲げたやうなものである。

又この關係を圖に表はしたものは 第 25 圖

第 VI 表

載荷強度	I	II
1.27 kg/cm ²	0.624 ₅ mm	0.354 mm
2.55 "	0.649 ₅	0.677 ₅
3.82 "	0.787	1.943 ₅
5.10 "	0.885 ₅	1.593
6.37 "	1.128 ₅	2.659 ₅



第 25 圖

であつて、この結果から見ると、水分が多くても少くても載荷強度と最

初の變形との關係は左程簡単なものではないことが判る。共通な點は、載荷強度 5.10 kg/cm² と 6.37 kg/cm² との間で何れの場合も幾分變形し易くなるといふことである。又水分の少ない場合はその多い場合に比較して、載荷強度の小さい間は變形が小さいが、載荷強度が大きくなるとかなりまで大きくなる。

尚次々の載荷時の變形の差は載荷回数と共に如何に變化してゆくかといふことを調べてみると、何れもかなりの偏倚はあるが略直線的に進行し載荷の反復回数を増すに従つて減少するかに見える。又その値は大きいところで一回の差に於いて 0.04~0.05 mm を示し最大 0.08 mm に及ぶものもある。

次の實驗においては、載荷強度が 1.27 kg/cm² の各々の場合につき、載荷を反復する時間を各 30 分、20 分 10 分とかへて、その各々の場合に生ずる變形の進行状態を調べた。既に述べたやうに、載荷後 40 分乃至 80 分を経なければ、その載荷に對應する窮極の變形量には達しない。それ故、載荷してから之を除くまで、或はその逆の場合の時間的間隔が短かければ、變形が充分進行して窮極値に達しない爲の影響があらはれる筈である。

この實驗に供せられた試料は城東區大島第一國民學校々庭の試錐より採取したもの

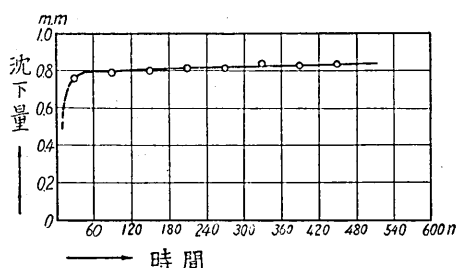
でその機械分析の結果は

粗	粒	砂	0.1%
中	粒	砂	1.6"
細	粒	砂	27.8"
微	粒	砂	31.9"
沈		泥	28.4"
粘		土	9.9"

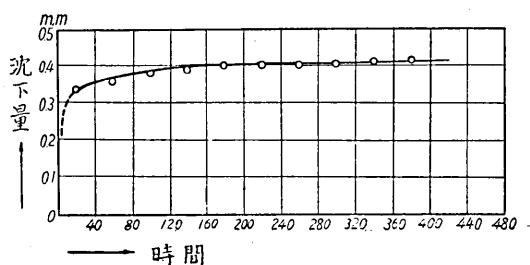
となつて居り、前述の實驗に用ひられた土質試料よりも、微粒砂、沈泥の量が比較的多くなつてゐる。又、個々の實驗試料についてはその含水率が多少異なるので、之を表に示せば第 VII 表のやうな値である。

第 VII 表

實驗番號	載荷の時間々隔	I 載荷強度 1.27 kg/cm ²	II 載荷強度 2.55 kg/cm ²	III 載荷強度 3.82 k/cm ²
1	30分	18.9 %	22.3 ₅ %	22.1 ₅ %
2	20分	17.7 ₅ "	17.9 "	19.4 ₅ "
3	10分	20.7 ₅ "	20.5 ₅ "	22.0 "



第 26 圖 (載荷強度 1.27 kg/cm² 時間々隔 30 分)



第 27 圖 (載荷強度 1.27 kg/cm² 時間々隔 20 分)

斯くの如く、含水率に若干の差異がある爲その影響も實驗の結果に含まれるかもしれない。實驗の結果求められた載荷時の變形量の載荷回数とともに變化する有様を示したのが第 26~34 圖である。

最初の載荷時の變形量は、10分、20分、30分の各時間々隔を以て測られたものであるが、それはその時間々隔と共に對數函數的に増してゆき、そのさまは第 2 節に述べた所と略一致する。

又第 26~34 圖に示された結果では、變形がその初めの状態に於いては比較的急に増すが、3 回目又は 4 回目以後からは略々直線的に増すやうに見える。其處で、3 回目から 7 回目の載荷時までの

變形の増量を調べてみると第VIII表の如き結果を得る。

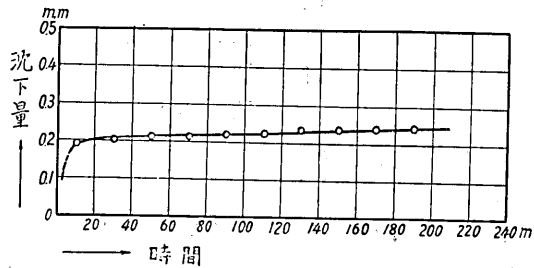
第 VIII 表

實驗 番號	載荷強度		
	I	II	III
1	mm 0.026	mm 0.021 ₆	mm 0.026
2	0.014	0.026	0.021
3	0.020	0.019	0.021 ₆

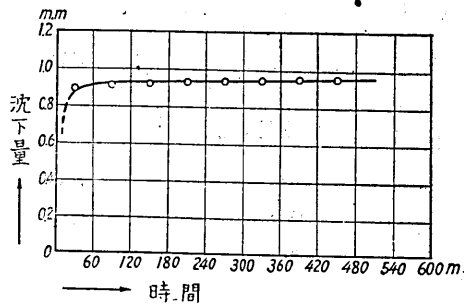
この結果はかなり區々であるけれども大體載荷強度が大きくなれば、變形の變化も大きくなる傾向があり、且つ載荷反復の時間的間隔が短くなれば、變形の進行し方が遅くなる傾向がある。これらの點は更に實驗回数を重ねてみなければ、もう少し明瞭なことは言へないであらう。

7. 本實驗に於いて觀察された點を要約すると次の3項目となる。

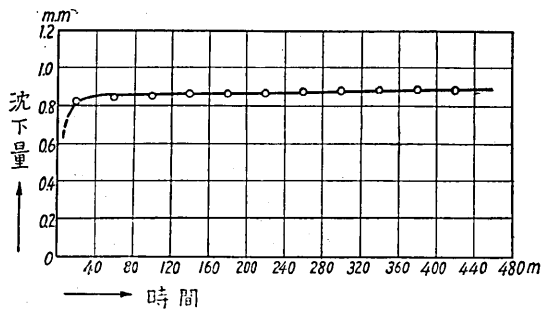
(1) 一定の壓力を土質試料に加へた時、その試料の變形は時と共に増加してある一定



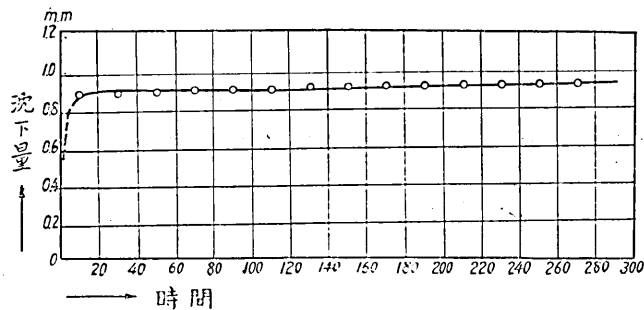
第 28 圖 (載荷強度 1.27 kg/cm² 時間々隔 10 分)



第 29 圖 (載荷強度 2.55 kg/cm² 時間々隔 30 分)

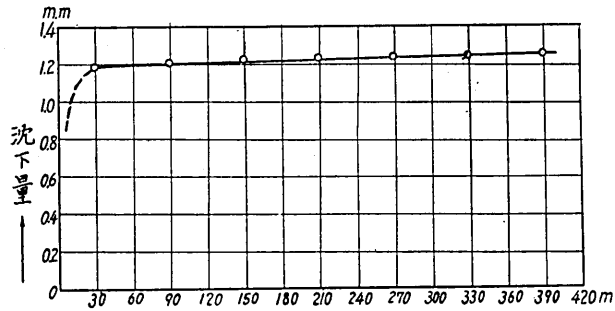


第 30 圖 (載荷強度 2.55 kg/cm² 時間々隔 20 分)

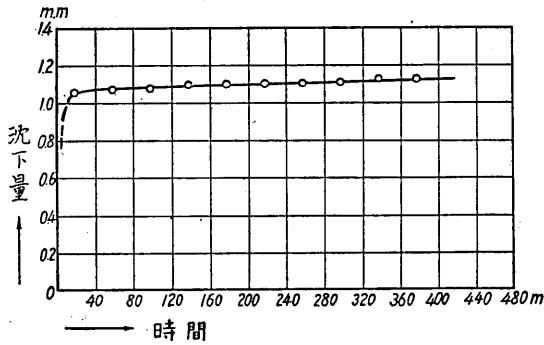


第 31 圖 (載荷強度 2.55 kg/cm² 時間々隔 10 分)

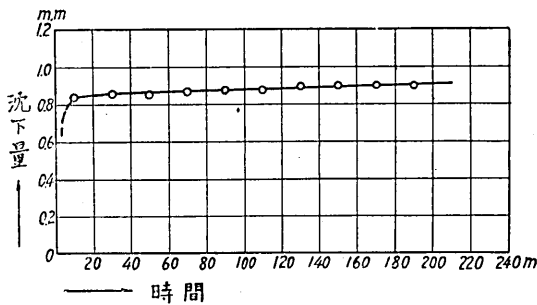
値に近づく。而してその變形の極限值は、載荷強度が増すと共に増加するが、その關係は必ずしも直線的ではない。



第 32 圖 (載荷強度 3.82 kg/cm² 時間々隔 30 分)



第 33 圖 (載荷強度 3.82 kg/cm² 時間々隔 20 分)



第 34 圖 (載荷強度 3.82 kg/cm² 時間々隔 10 分)

(2) この變形の極限值は土質試料中の含水率の多少によつて異り、含水率が減少すれば小さくなる。而して變形が 0 となる時若干の含水率が残る。載荷強度が變ると變形と含水率との關係を示す直線の傾斜が僅少ながら變る。

(3) 載荷を繰返して行ふと變形が一方に進行する——この場合は永久的な收縮を生ずる。その變形の進み方は、土質中の含水率、載荷を繰返す時間的間隔の長さ等によつて多少異なるやうな傾向が見えるがあまり確然としたことは言へない。

以上の實驗の結果を以て直に地盤の沈下現象を説明することは穩當ではないと思はれるが、次の様なことは考へられる。

今、實際の地盤沈下及び實驗に於ける土質試料の變形が、全く靜力學的に起るとすれば、その表面の沈下量 u と u' とは第 3 節 (4) 式により、

$$u = \text{const} \cdot ph, \quad u' = \text{const} \cdot p'h'$$

とすることが出来やう。 p は實際地盤表面に加はる壓力, p' は實驗における壓力, h は收縮する地盤層の厚さ, h' は土質試料の厚さとする。この實驗では, 試料は實際の沈下地域の土であるから, 上の兩式の Const. は等しいと考へられる。其故

$$\frac{u}{u'} = \frac{ph}{p'h'}$$

である。そこで, 實驗に於いて實際の場合と同じ地下量を實現しやうとするならば u/u' を 1 にすべきである。従つて

$$\frac{p}{p'} = \frac{h'}{h}$$

となる。然るに $h' = 2.0 \text{ cm}$ $h = 30 \text{ m} \sim 40 \text{ m}$ であるから。假りに $h = 40 \text{ m}$ とすると

$$\frac{h'}{h} = \frac{2000}{1}$$

となる。従つて

$$p = \frac{p'}{2000}$$

である。 p' はこの實驗で最大の値が 6.37 kg/cm^2 であるから, それに對應する p の値は約 3.2 gr/cm^2 となりこれを水銀柱の高さに直せば約 2.4 mm となる。これから考へれば, $2 \sim 3 \text{ mm Hg.}$ の氣壓の變化があつてそれが繰返されれば, この實驗で求められた程度の地間の沈下が起り得るのではないかと想像される。しかも, 實際の氣壓變化はもつと大きい場合が多いので, 毎週 1 mm の沈下が, 氣壓の不規則な或は規則的な變化によつて生ずる可能性はあり得るのではないかと思はれる。

併し, さうした場合に, 地盤を構成する軟土層がそれに應ずるやうな性質を持つてゐなければならず, それはよいとしても, 大正 10 年前後から現に觀測される沈下現象が始まつてゐるのであるが, その始まりがどうして起つたかの點については依然あまり確かではない。或は, この種の實驗を進めて行つたならばもう少し沈下現象の解説をなし得るやうな事實を捕捉することが出来るかもしれない。

今のところでは單なる想像に止めておく。

本實驗は, 東京市土木局土木試験所に於いて行はれたものである。實驗に際して多大の援助を賜つた星野技師武藤技手その他の土木試験所職員諸氏に厚く御禮を申述べたい。

第 I 表 (A)

地盤沈下調査土質試驗成績表

Table with columns: 深度 (Depth), 剪断抵抗試驗 (Shear resistance test), 比重 (Specific gravity), 間隙率 (Porosity), 間隙比 (Void ratio), 稠度界限 (Consistency limits), 砂利 (Gravel), 土 (Soil), 土の粒度分析 (Soil grain size analysis), 土質名 (Soil name), 含水率 (Moisture content), 含水比 (Water ratio), 灼熱減量 (Loss on ignition), 水素体濃度 (Solid content).

(震研彙報 第二十號 圖版 宮部 稻葉)

第 I 表 (B)

地盤沈下調査土質試驗成績表

深度 m	試錐衝擊回數	壓縮試驗		剪斷抵抗試驗		比重	間隙率	間隙比	稠度界限				土の粒度分析 %								土質名	含水率 %	含水比	灼熱減量 %	木炭灰濃度				
		壓縮係數	壓縮係數	凝聚力	摩擦角				液性限	塑性限	液性指數	液性指數	細石	粗砂	中砂	細砂	微砂	沈泥	粘土										
		N/cm ²	N/cm ²	N/cm	θ		%		含水土	含水土	含水土	含水土	20-12	1.2-0.6	0.6-0.3	0.3-0.15	0.15-0.075	0.075-0.005	<0.005										
0-1	85	0.24	20.5	0	0	2.532	67.8	2.11	0.71	0.49	22	0.19	0	0.2	0.4	1.4	6.5	51.4	40.1	砂土	46.1	0.86	8.2	6.8					
1-2	85	不能	不能	0.30	36°07'	2.747	52.8	0.89	0.29	ナシ	—	ナシ	0.3	0.5	2.0	33.2	42.1	15.5	6.4	砂土	24.8	0.33	4.0	5.6					
2-3	113	85	85	0.84	11°18'	2.703	55.3	1.24	0.27	85	—	85	0.1	0.3	13.6	56.6	18.5	8.7	2.2	85	18.5	0.23	2.1	5.9					
3-4	171	85	85	0.70	17°44'	2.659	57.2	1.33	0.27	85	—	85	1.6	9.9	38.0	19.2	22.9	5.7	2.7	85	23.5	0.31	2.7	6.6					
4-5	170	85	85	0.31	35°45'	2.717	39.9	0.66	0.22	85	—	85	0.3	2.0	26.0	50.9	11.7	7.0	5.1	85	17.9	0.22	2.9	6.6					
5-6	171	85	85	不能	不能	2.763	49.2	0.97	0.26	85	—	85	1.0	2.0	26.0	40.8	25.2	4.4	0.6	85	17.0	0.20	2.0	6.6					
6-7	142	0.31	20.6	0.50	31°27'	2.717	62.4	1.66	0.30	85	—	85	0.1	0.6	2.4	9.1	53.0	24.0	10.8	砂土	24.8	0.33	3.1	7.2					
7-8	114	0.33	13.0	不能	不能	2.632	53.1	1.13	0.40	0.30	10	0.27	0	0.1	0.4	1.4	23.2	54.2	20.7	砂土	30.5	0.44	4.4	7.8					
8-9	86	0.30	19.6	0.12	4°51'	2.659	56.6	1.31	0.48	0.30	18	0.27	0.1	0.1	0.3	1.7	18.2	52.6	27.0	砂土	32.8	0.49	5.5	7.7					
9-10	85	0.51	12.5	0.22	7°58'	2.590	60.9	1.56	0.61	0.43	18	0.29	0.1	0.2	0.3	0.8	0.55	58.1	35.0	砂土	37.8	0.61	6.8	7.6					
10-11	85	0.33	19.1	0.03	2°74'	2.539	59.3	1.45	0.50	0.30	20	0.02	0.4	0.2	0.2	0.8	9.6	60.3	28.5	砂土	37.3	0.59	7.1	7.6					
11-12	85	0.28	12.5	0.06	5°42'	2.646	62.0	1.63	0.56	0.36	20	0.27	0	0.3	0.2	0.4	4.2	54.3	40.6	砂土	38.8	0.63	6.4	7.4					
12-13	85	0.40	14.0	0.25	3°26'	2.659	62.6	1.67	0.46	0.33	13	0.29	0.1	0.1	0.3	0.4	5.7	59.4	34.0	砂土	39.3	0.85	7.8	7.8					
13-14	85	不能	不能	0.03	1°08'	2.577	66.3	1.96	0.59	0.36	23	0.26	0.1	0.3	0.4	0.3	4.0	54.4	40.5	砂土	42.7	0.75	8.3	7.8					
14-15	85	0.29	12.7	0.21	1°43'	2.564	64.9	1.85	0.60	0.38	22	0.05	0	0.1	0.1	0.4	2.4	52.1	44.9	砂土	42.3	0.73	7.5	7.8					
15-16	85	0.38	11.0	0.28	4°00'	2.519	64.9	1.85	0.65	0.55	10	0.29	0	0.3	0.2	0.3	2.9	47.0	49.3	砂土	43.2	0.76	8.9	7.7					
16-17	85	0.38	15.0	0.22	4°00'	2.526	69.9	2.32	0.70	0.49	21	0.39	0.2	0.2	0.2	0.3	3.4	43.6	52.1	砂土	48.0	0.92	8.4	7.8					
17-18	85	0.46	14.3	0.27	2°17'	2.618	67.8	2.31	0.73	0.46	27	0.36	0	0.1	0.2	0.3	2.9	43.1	53.4	砂土	46.9	0.88	8.4	7.8					
18-19	85	0.35	9.6	0.24	3°36'	2.513	69.1	2.23	0.69	0.59	10	0.31	0	0.2	0.2	0.4	2.8	42.1	54.3	砂土	47.2	0.89	10.0	7.7					
19-20	85	0.63	10.5	0.39	1°08'	2.570	69.5	2.27	0.75	0.44	31	0.22	0.1	0.7	0.8	0.6	2.6	40.1	55.1	砂土	46.6	0.87	8.9	7.5					
20-21	85	0.43	12.0	0.11	4°24'	2.544	69.7	2.30	0.82	0.50	32	0.31	0	0.1	0.1	0.2	1.2	35.3	63.1	砂土	47.5	0.90	8.9	7.6					
21-22	85	0.39	12.1	0.14	1°36'	2.564	69.8	2.31	0.76	0.49	27	0.34	0	0.2	0.1	0.2	1.4	32.5	58.6	砂土	47.8	0.91	10.0	7.3					
22-23	85	0.35	25.0	0.07	7°51'	2.500	68.2	2.15	0.83	0.46	37	0.33	0.1	0.3	0.4	0.5	1.3	35.0	62.4	砂土	46.3	0.86	8.2	7.5					
23-24	85	0.54	38.6	0.19	3°08'	2.531	69.3	2.26	0.81	0.42	39	0.39	0	0.1	0.1	0.1	1.1	36.8	61.8	砂土	47.6	0.91	8.8	7.5					
24-25	85	0.50	17.0	0.05	9°55'	2.506	70.0	2.33	0.78	0.52	26	0.30	0	0.1	0.1	0.1	2.7	42.6	54.4	砂土	48.6	0.95	9.5	7.6					
25-26	85	0.14	13.9	0.35	2°38'	2.469	69.4	2.23	0.89	0.54	35	0.38	0	0	0	0.2	2.3	35.5	62.0	砂土	48.5	0.94	8.2	7.5					
26-27	85	0.80	23.4	0.42	1°49'	2.559	71.4	2.49	0.88	0.54	34	0.34	0	0	0	0.1	1.7	38.0	60.2	砂土	49.7	0.99	9.6	7.3					
27-28	85	0.68	14.0	0.38	0	2.538	68.0	2.12	0.82	0.49	33	0.31	0	0	0	0.2	1.7	41.6	56.5	砂土	49.7	0.84	8.6	7.3					
28-29	85	0.78	15.6	0.25	2°51'	2.597	70.8	2.42	0.84	0.50	34	0.38	0	0	0	0.1	2.0	41.4	56.5	砂土	48.6	0.94	9.5	7.4					
29-30	85	0.65	12.0	0.34	0°34'	2.604	68.9	2.22	0.93	0.55	38	0.40	0	0	0.4	0.1	1.0	39.2	59.3	砂土	44.0	0.79	9.7	7.3					
30-31	85	0.69	10.8	0.23	2°17'	2.525	67.9	2.11	0.81	0.44	37	0.34	0	0.1	0.2	0.3	1.2	39.7	58.5	砂土	44.3	0.79	8.9	7.2					
31-32	85	1.26	12.5	0.69	2°17'	2.645	67.5	2.07	1.00	0.52	48	0.35	0	0.1	0.1	0.3	0.9	38.8	59.8	砂土	45.3	0.82	8.6	7.2					
32-33	85	不能	不能	0.02	9°05'	2.757	57.4	1.35	0.40	0.28	12	0.25	0	0.2	0.3	3.0	29.9	46.8	19.8	砂土	30.8	0.44	6.2	7.8					
33-34	85	0.66	13.9	0.15	2°51'	2.500	71.3	2.49	0.92	0.51	41	0.36	0	0.2	0.2	0.3	1.7	39.8	57.8	砂土	47.0	0.89	9.0	7.4					
34-35	456	0.45	21.0	0.37	5°42'	2.494	68.5	2.18	0.83	0.55	28	0.34	0	0.2	0.1	0.3	2.0	36.6	60.8	砂土	46.3	0.86	9.0	7.6					
35-36	85	1.00	39.1	0.83	6°76'	2.688	48.2	0.93	0.39	ナシ	—	0.22	0	0.3	0.7	3.2	11.2	41.6	43.0	砂土	24.3	0.32	5.2	7.3					
36-37	85	0.59	25.0	0.47	2°55'	2.591	49.7	0.99	0.35	0.26	9	0.25	0	0.1	0.7	2.4	26.8	43.3	26.7	砂土	27.5	0.38	5.8	7.2					
37-38	798	0.53	14.5	0.42	3°08'	2.564	45.6	0.84	0.30	ナシ	—	0.17	0	0.1	0.2	0.7	7.5	66.6	24.9	砂土	25.3	0.34	5.3	7.0					
38-39	8771	0.86	23.4	0.02	4°34'	2.659	46.8	0.88	0.32	ナシ	—	0.23	0	0.1	0.8	0.8	17.4	64.0	16.9	砂土	24.8	0.33	4.0	7.8					
39-40	4771	0.75	39.7	0.43	9°05'	2.709	49.2	0.97	0.28	ナシ	—	0.21	0	0.1	0.2	0.9	11.0	67.5	20.3	砂土	26.3	0.36	5.2	7.4					
40-41	4731	0.85	20.6	0.23	19°17'	2.611	40.4	0.68	0.31	ナシ	—	0.22	0	0	0.1	0.4	11.5	70.8	17.2	砂土	24.3	0.35	4.7	7.2					
41-42	14250	0.78	29.8	0.59	7°07'	2.551	46.2	0.86	0.32	ナシ	—	0.19	0	0.2	0.5	0.7	6.1	71.7	20.8	砂土	25.0	0.33	5.1	7.2					
42-43	11200	0.38	17.6	1.10	8°31'	2.732	49.3	0.97	0.27	ナシ	—	0.24	0	0	0.1	9.0	74.3	12.4	4.2	砂土	23.5	0.31	2.4	7.1					
43-44	12300	0.68	39.4	0.14	37°37'	2.690	44.2	0.79	0.22	ナシ	—	ナシ	0	0	1.8	19.9	36.9	29.6	11.8	砂土	18.0	0.22	2.1	7.0					
44-45	13800	不能	不能	0.27	19°17'	2.639	47.5	0.90	0.29	ナシ	—	0.18	0	0.1	7.4	12.2	16.1	51.1	13.1	砂土	25.8	0.35	4.1	7.0					

13. *A Mechanical Property of Soil.*

By Naomi MIYABE,

Earthquake Research Institute,

and Yosi INABA,

Research Institute for Civil Engineering, Tokyo Municipality.

Resumé

Soil specimens taken from core borings in the Koto district of Tokyo, where the ground surface has subsided remarkably owing to shrinkage of the soil layer, was subjected to intermittent pressure of certain strength. With application of pressure, the specimen of the soil deformed, but, upon its release, much of the deformation remained unaltered. Cumulative application of intermittent pressure thus results in permanent deformation.

Permanent deformation was found to be affected by the

- (i) water contents of the soil specimen,
- (ii) magnitude of pressure applied,
- (iii) time interval between successive applications of pressure,
- (iv) physical constituents of soil, i. e., *mechanical ratio*, etc.

The possibility of invoking this result in explaining the phenomenon of ground sinking in the Koto district was discussed.
