

6. 丸の内に於ける地表土の弾性と 収縮性とに就いて

地震研究所 飯田 波事

(昭和14年1月17日発表—昭和14年12月20日受理)

緒 言

地震動は地表の状況に關して全く異つた性質を示す事が明らかにせられる様になり、従つて地震動の性質を闡明するに當つては、先づ表面層を形成する物質の弾性の研究が重要であるとの見解より、地表土の弾性に關する研究をなし、其の結果に就いては屢々報告¹⁾した所である。

殊に東京丸の内地帯に於いては、地表面下約20mに至る迄比較的軟弱なる沈泥質粘土の層があり、此の粘土層に隣る下部には硬い砂質粘土の洪積層があつて、此れが土丹或ひは第三紀層、又は東京層と稱せられ、上部の層とは明らかに區別の出来る層である。此の層が表面軟土層の所謂基盤をなしてゐるので、基盤岩層とも名付けられる。此等表面軟土層と基盤層との兩層に於ける物質の弾性に就いては既に報告した如く²⁾、極めて著しく相違して居り、採集當時の自然状態に於いては基盤岩の弾性係数は地表面下約8mの深さにある軟土のもの約40餘倍であつて

$$\frac{E'}{E} \approx \frac{1}{43}, \quad \frac{\mu'}{\mu} \approx \frac{1}{47}, \quad \frac{\rho'}{\rho} \approx 0.8$$

なる關係にある。此處に E' , μ' , ρ' ; E , μ , ρ 等は夫々地表土及び基盤岩のヤング率、剛性率、密度等である。

以上の如き物質よりなる丸の内に於いては、石本博士⁴⁾の地震動の觀測があり、齋

1) M. ISHIMOTO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **10** (1932), 171; **12** (1934), 234; **13** (1935), 592; **14** (1936), 240.

齋田時太郎・鈴木正治「丸の内に於て觀測された地上及び地下の地震動に就て」地震研究所彙報 **12** (1934), 517~526.

2) M. ISHIMOTO and K. IIDA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **14** (1936), 632; **15** (1937), 67.
K. IIDA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **16** (1933), 131; 396.

飯田波事「丸の内に於ける表面土と基盤岩との弾性係數測定」地震研究所彙報 **15** (1937), 828~836.

飯田波事 地震 **9** (1937), 195; 243.

3) 飯田波事 前掲 2).

4) M. ISHIMOTO, *loc. cit.*, **1**).

M. ISHIMOTO, "Observations sur des secousses d'une petite amplitude," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **15** (1937), 697~705.

田、鈴木兩氏⁶⁾による地表及び地中に於ける地震動の観測がある。何れの研究に於いても軟弱土層の地震動に対する影響の著しき事が明示されたので、特に軟土の性質の研究が望ましい。尙丸の内地帯に於いては前述の地震動に関する實驗的研究の外に、地盤沈下に關する研究⁶⁾が行はれて居る。東京市内の丸の内、江東其の他の地域或ひは西大阪等に於ける地盤沈下の現象は、主として地表面に存在する軟土層の収縮によつて生ずる事が推定せられて居るが、⁷⁾此の現象の闡明にも軟土の物理的性質の研究が重要であると考へられる。地盤沈下の現象に關聯して粘土、赤土等の収縮を取扱つたが、其の 2~3 の性質に就いては既に報告⁸⁾した。

本研究に於いては以上述べた兩方面の現象の闡明に對する一資料を提供する目的を以つて、土の弾性及び収縮性等を前回の續研究として取扱つたのである。而して前回に於いては地表下或る深さより採集せる土に就いてのみ示したが、今回は地表面より基盤に至る間の種々の深さにある色々な種類の土に就いて求めた若干の物理的性質を述べ 2~3 の考察を行ふ事とした。尙又本研究の結果は弾性率の深さと共に變化する表面層の振動問題並びに斯様な地盤に於ける基礎の沈下の如き土木工學上の問題等に對する一助ともなり得るであらうと信じられる。此等の問題は理論的⁹⁾に取扱はれて居り、而して其の際弾性率の深さと共に變る割合が或る形に假定されて居るが、實驗的に弾性率の深さによる變化が決定されたのは餘り無いやうである。従つて表面層内に於いて、物質の弾性率が地表よりの深さと共に如何に變化するか、又地盤沈下をなす場合に於いても表面層全體が収縮するのか或ひは或る深さに於ける土が特に他の部分に於けるものより其の収縮する割合が顯著であるか否か、即ち如何なる深さの部分にある土が最もよく収縮するか等を検べる事としたのである。

6) 北澤五郎 「丸の内地盤沈下及び地下水位毎日の測定」建築學會論文集 9 (1938), 187.
" 「東京の地盤沈下と其の對策」建築大會論文集 13 (1939), 275.

7) 北澤五郎 前掲 6).

N. MIYABE, "The Cause of the Subsidence of the Earth's Surface in the Kōtō Region, Tokyo. I," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 15 (1937), 102~108.

宮部直巳 「江東地域に於ける地盤沈下. II」地震研究所彙報 16 (1938), 721~756.

渡邊貫 地震 9 (1937), 143~158.

廣野卓藏・和達清夫 「西大阪の地盤沈下に就いて(第1報)」災害科學研究所報告 第2號 (1939).

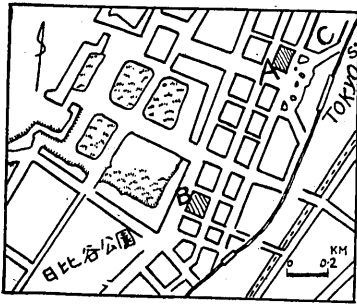
8) 飯田汲事 「土の収縮に關する二三の實驗」地震研究所彙報 15 (1937), 544~558.

9) K. SEZAWA and K. KANAI, "The Rate of Damping in Seismic Vibrations of a Surface Layer of Varying Density or Elasticity," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 13 (1935), 484~495.

松村孫治 「弾性率の深さと共に變化する地盤に於ける基礎の沈下」土木學會誌 17 (1931), 1121~1139.

試 験 土

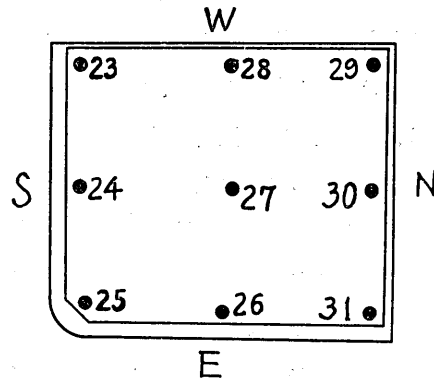
試験土の採集場所は東京驛前三菱ビル建設敷地にして、第1圖 a の A なる場所である。此の場所の略々中央部に於いて地表より順次に色々な深にある土を工事中に採集したのである。三菱會社地所部により施行された試錐の結果なる、此の場所の地質



第1圖 a 地表土の採集場所

- A 三菱ビル
- B 第一生命相互保險會社
- C 鐵道省

Fig. 1a. La place rassemblée du sol.



第1圖 b 三菱ビル建設敷地内試錐位置
番號は第2圖のものに對應する

Fig. 1b. La place agrandi de la portion A dans la Fig. 1a.

及び深度を示せば第2圖の如くなる。第1圖 b には特に第1圖 a 中の A なる場所を擴大して示したもので、圖中の番號は試錐番號を示し第2圖のものに對應してゐる。

此の三菱ビル建設敷地内の地表に於いては、石本博士¹⁰⁾が嘗て地震動加速度或ひは微動等を観測されたのである事は前述の如くである。

此の場所の地質及び深度は第2圖より判る如く、既に報告¹¹⁾したる丸の内第一生命保險相互會社本館所在地(第1圖 a の B なる場所)に於けるものと同様にして、地表下 2~3 m は上土、眞土、柁土、割瓦交り泥土等であり、其の下部約 14 m 迄は沈泥質粘土である。更に其の下部に於いて約 1.5 m の厚さに砂交りの粘土層と約 1.5 m の厚さの砂利層とがある。此等の層の下には所謂硬い基盤層がある。

斯様にして地質と其の深度との關係より、此處では表面層の厚さを地表より基盤迄の深さに取る事とする。其の厚さは場所により相違してゐるが、第2圖より判る如く大體 20 m である。

10) M. ISHIMOTO, *loc. cit.*, 4).

11) 飯田汲事 前掲 2).

25	24	23	26	27	28	31	30	29
上土 1.2 m	上土 0.91 泥見文)	上土 1.2	上土 0.6 泥見文)	上土 0.85	上土 0.6 泥見文)	上土 0.79 泥見文)	上土 0.5 泥見文)	上土 0.79 泥見文)
泥土 割見文)	泥土 割見文)	泥土 割見文)	泥土 割見文)	泥土 割見文)	泥土 割見文)	泥土 割見文)	泥土 割見文)	泥土 割見文)
2.2 細目砂 粘土全)	2.1 全土砂利	2.4 粘土 目較文)	2.5 全土 目較文)	2.3 粘土 目較文)	2.5 全土 目較文)	2.36 層+全 目較文)	2.6 細目砂 目較文)	2.46 粘土 目較文)
3.0 粘土 目較文)	2.6 全土砂利	2.7 粘土 目較文)	3.0 全土 目較文)	2.8 粘土 目較文)	2.8 細目砂 目較文)	2.84 層+全 目較文)	2.96 細目砂 目較文)	2.96 粘土 目較文)
7.2 目較 粘土文)	3.0 砂利 目較文)	4.7 粘土 目較文)	3.8 全土 目較文)	3.3 砂利 目較文)	3.6 砂利 目較文)	3.3 全土 目較文)	3.5 細目砂 目較文)	4.7 粘土 目較文)
7.9 粘土 軟+目較)	3.6 粘土 目較文)	6.2 全土 目較文)	7.51 全土 目較文)	4.5 全土 目較文)	4.0 細目砂 目較文)	4.5 粘土 目較文)	4.8 粘土 目較文)	6.0 粘土 目較文)
12.1 全上 目較文)	5.3 粘土 軟+目較)	6.8 全土 目較文)	12.6 全上	6.5 全上	6.0 全上	6.0 全上	6.0 全上	8.1 全上
13.7 粘土	7.5 全上 目較文)	14.2 全上 目較文)	14.9 全上 目較文)	13.8 全上 目較文)	13.9 全上 目較文)	14.2 全上 目較文)	14.3 全上 目較文)	14.2 全上 目較文)
15.3 粘土	14.1 全上 目較文)	15.5 全上 目較文)	14.6 全上 目較文)	14.2 全上 目較文)	14.7 全上 目較文)	15.3 全上 目較文)	15.4 全上 目較文)	14.6 全上 目較文)
16.0 粘土 硬+目較)	14.6 全上 目較文)	16.3 全上 目較文)	16.3 全上 目較文)	15.6 全上 目較文)	16.4 全上 目較文)	15.8 全上 目較文)	16.2 全上 目較文)	16.3 全上 目較文)
18.4 層+全 硬土)	16.2 全上 目較文)	17.7 全上 目較文)	18.3 全上 目較文)	17.4 全上 目較文)	16.3 全上 目較文)	16.3 全上 目較文)	16.2 全上 目較文)	16.3 全上 目較文)
20.0 細目砂 砂利文)	18.7 全上 目較文)	19.5 全上 目較文)	19.6 全上 目較文)	19.0 全上 目較文)	18.9 全上 目較文)	18.4 全上 目較文)	18.3 全上 目較文)	18.6 全上 目較文)
21.4 粘土 硬+目較)	19.9 全上 目較文)	20.6 全上 目較文)	21.9 全上 目較文)	20.0 全上 目較文)	20.2 全上 目較文)	19.3 全上 目較文)	19.6 全上 目較文)	20.0 全上 目較文)
22.5 全上 目較文)	20.2 全上 目較文)	23.0 全上 目較文)	22.0 全上 目較文)	22.8 全上 目較文)	22.0 全上 目較文)	22.1 全上 目較文)	22.9 全上 目較文)	23.4 全上 目較文)
	20.6 全上 目較文)	23.5 全上 目較文)			23.2 全上 目較文)	23.0 全上 目較文)		

第 2 圖 試錐結果による地質とその深度 (三菱地所部による)

Fig. 2. Les sortes du sol aux divers distances de la surface de la terre.

第 I 表 土 の 機 械 的 分 析 表

(La proportion mécanique du sol.)

深 度 <i>d</i> m	機 械 的 分 析 (%)										密 度 ρ		間隙率 <i>P</i> %	含水率 <i>W</i> %
	粒徑 2.36mm	粒徑 1.17mm	粒徑 0.59mm	粒徑 0.30mm	粒徑 0.15mm	粒徑 0.07mm	Boue (0.07~ 0.005mm)	Argile (0.005~ 0mm)	見 掛	眞				
1.0	8.36	5.53	14.93	16.00	23.60	13.15	10.22	8.21	1.700	2.612	48.00	20.51		
2.0	6.05	7.13	10.87	19.12	19.41	12.10	12.20	13.12	1.680	2.620	51.03	27.03		
3.5	1.20	1.26	4.70	24.16	33.86	8.32	12.10	14.40	1.820	2.660	51.10	28.48		
4.0	0.22	6.62	8.91	10.60	16.30	12.16	20.19	25.00	1.600	2.600	60.20	35.04		
4.5	0.00	0.48	0.80	2.28	14.40	31.96	23.88	27.70	1.420	2.564	66.95	40.27		
5.0	0.02	0.12	0.93	1.99	16.97	25.58	28.90	25.50	1.590	2.599	66.10	53.12		
6.0	0.05	0.66	3.21	3.11	8.12	22.10	27.75	35.00	1.611	2.589	67.30	49.75		
6.7	0.20	0.96	1.76	1.88	3.76	8.60	31.28	51.56	1.493	2.525	70.52	50.60		
7.3	0.01	0.14	0.87	1.66	1.32	1.68	25.12	69.20	1.560	2.600	72.00	53.21		
7.6	0.00	1.38	3.18	1.86	1.12	3.70	19.80	68.96	1.437	2.605	72.95	54.00		
8.5	0.00	0.50	2.12	2.11	3.88	5.12	17.15	69.12	1.521	2.621	72.05	52.07		
9.1	0.00	0.94	3.34	2.04	0.84	1.26	14.98	76.60	1.412	2.578	73.60	51.60		
10.4	0.00	0.83	2.60	2.64	2.91	12.93	26.79	51.30	1.600	2.625	70.50	51.06		
10.9	0.06	0.97	1.00	7.09	11.00	18.73	20.00	41.21	1.612	2.640	69.30	49.31		
12.0	0.20	0.15	2.02	4.00	6.13	17.83	18.51	51.16	1.531	2.631	70.20	48.12		
13.8	0.30	1.56	5.03	5.33	6.92	17.00	38.56	25.30	1.690	2.650	57.00	32.53		

土の弾性に就いて

土の物理的性質として測定した量は密度、土粒子の組成割合、含水量、間隙率、弾性係数、収縮量等である。此等の中のあるものは第 I 表に示してある。

土の弾性係数として求めたヤング率、剛性率、ポアソン比等は既に求めたと同様な方法¹²⁾によつて求めたものである。即ち毎秒 0~700 の範囲に連続的に振動数の變化

し得る 2 箇の振動盤、一方は縦振動、他方は横振動をなすが其れ等を採用し、而して最初一方に次に他方の上に直径約 4 cm 長さ約 25 cm の試験土柱を乗せ、各々その共鳴する振動数を求め、次に高さを減じて同様な試験を繰返へし結局試験土柱に於ける縦波及び横波の速度 V_v , V_t 等を測定した。

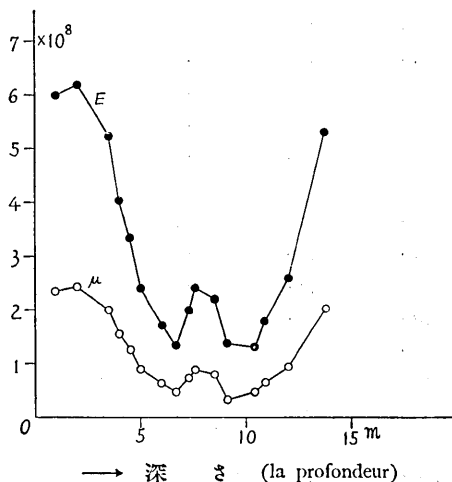
而して

$$E = \rho V_v^2, \quad \mu = \rho V_t^2, \quad \sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{E}{\mu} - 2 \right)$$

より E , μ , σ 等を求めた。此等の結果は第 3, 4 圖及び第 II 表に示した。第 3, 4 圖の縦軸には採集直後測定したる自然状態の土の弾性係数を、横軸には地表よりの深さが示してある。深さと土の種類との関係は第 2 圖より知られる通りである。

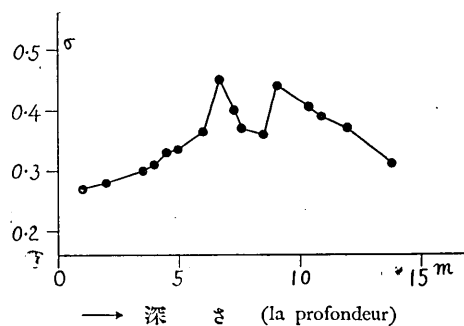
表面層内に於いて弾性率が深さと共に變る割合は第 3 圖の如く、地表面近くに於いてはヤング率 6×10^8 (C.G.S.), 剛性率 2.5×10^8 (C.G.S.) 程度であり、此等の値が深さの増加

と共に小となる。而して約 6~7 m, 9~10 m の深さの所に於いて此等の値が最小とな



第 3 圖 土の弾性係数の地表よりの深さによる變化 ● ヤング率 ○ 剛性率

Fig. 3. Relation entre les coefficients de l'élasticité du sol et la profondeur.



第 4 圖 ポアソン比の地表よりの深さと共に變る割合

Fig. 4. Relation entre le coefficient de Poisson et la profondeur.

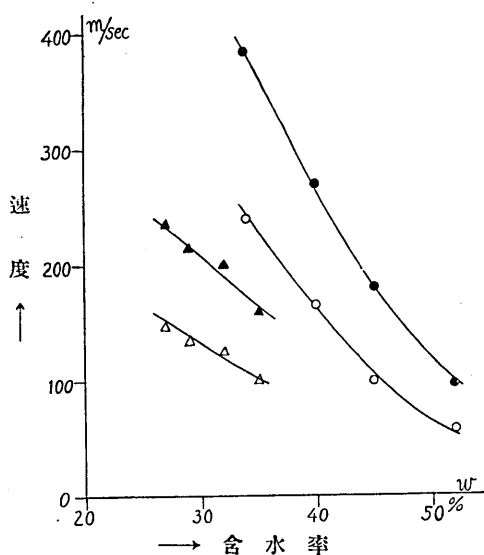
12) M. ISHIMOTO and K. IIDA, *loc. cit.*, 2).

第 II 表 土 の 弾 性 係 數
(Les coefficients de l'élasticité du sol.)

深 さ d	含 水 率 W	密 度 ρ	縦波の速度 V_l	横波の速度 V_t	ヤング率 $E(\text{C.G.S.})$	剛 性 率 $\mu(\text{C.G.S.})$	ポアソン比 σ
1.0 m	20.5 %	1.70	188 m/sec	118 m/sec	6.00×10^8	2.35×10^8	0.27
2.0	27.0	1.68	192	120	6.20	2.42	0.28
3.5	28.5	1.65	178	110	5.23	2.00	0.30
4.0	35.0	1.60	159	99	4.04	1.55	0.31
4.5	44.1	1.49	150	92	3.34	1.26	0.33
5.0	53.1	1.59	123	75	2.40	0.90	0.34
6.0	49.7	1.61	104	63	1.72	0.63	0.36
6.7	50.6	1.60	92	54	1.35	0.47	0.45
7.3	53.2	1.56	114	68	2.00	0.71	0.41
7.6	54.3	1.46	129	78	2.43	0.89	0.37
8.5	52.0	1.52	121	73	2.20	0.81	0.36
9.1	52.0	1.47	97	57	1.39	0.33	0.44
10.4	51.0	1.60	91	54	1.32	0.47	0.40
10.9	49.3	1.61	106	64	1.80	0.65	0.39
12.0	48.1	1.53	131	79	2.60	0.95	0.37
13.8	32.5	1.69	177	113	5.31	2.03	0.31

る。深さ 10 m を越えると此等の値が順次に増加し、基盤岩に於いては前回の報告と同様にヤング率約 3×10^9 (C.G.S.)、剛性率約 1×10^9 (C.G.S.) 程度の値を示すものと考へられる。

ヤング率、剛性率の小なる深さ即ち 7~9 m の所にある土のポアソン比は大であつて、流體に近い性質を示してゐるやうに思はれる。第 4 圖はポアソン比の深さと共に變る割合を示してゐる。ポアソン比の大なる所は深さ 6~7 m 及び 9 m 附近にして其の値が 0.45 である。尙ポアソン比は深さが 10 m より大となれば再び減少する。



第 5 圖 速度の含水率による變化

●○ 深さ $d=9.1$ m ▲△ $d=4.5$ m
●▲ 縦波の速度 ○△ 横波の速度

Fig. 5. Relation entre la vitesse de propagation des ondes élastiques et la quantité d'eau.

第5圖及び第6圖は弾性波の速度に對する水分の影響を査調した結果を示したものである。水分の減少と共に速度が小となり、結局弾性係数の中ヤング率剛性率が小となり、ポアソン比は増加する事は今迄屢々述べた結果と一致する。尙含水率 30~40%迄の變化に對する弾性係数の變化は特に著しいのである。

大なる加速度を與へる震動は大部分表面層の振動であつて、而も此の振動は表面層の剪斷振動による自己振動であると考へるならば、其の周期 T は

$$T = \frac{4h}{2n+1} \sqrt{\frac{\rho}{\mu}}, \quad n=0, 1, 2, \dots$$

となる。此處に h は表面土層の厚さ、 ρ は土の密度、 μ はその剛性率である。而して土層内を傳播する横波の速度 V_i は $\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ である。

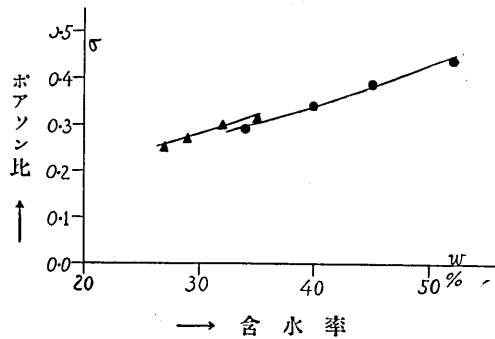
以上の式に今回の實驗の結果を應用して見ると次の如くにな

る。即ち此の處に於ける表面土層の厚さは第2圖より知られる如く約 20 m と考へてよいが、速度 V_i は前述の如く表面土層内に於いて深さの函數として變化してゐて一定なる値を示してゐない。従つて斯様な場合に於ける卓越周期 T を一義的に決定する V_i を考へる事は困難であるが、今深さに對してその平均の値を採用すれば V_i は約 110m/sec となるから T は

$$n=0; \quad T=80 \times \frac{1}{110} = 0.73 \text{ sec}$$

$$n=1; \quad T=\frac{80}{3} \times \frac{1}{110} = 0.24 \text{ sec}$$

となる。此等の値は實際觀測せられた値の 0.6~0.8 sec, 0.25 sec 等に近いものと考へられる。尙含水率の 30~40% 附近にては小なる含水率の變化にては速度には大なる變化を生ずる結果、地下水位の上昇或ひは下降、降雨等の種々の條件によつて影響を受けるから、速度も變り、周期も變ると考へられる。従つて上記の結果は直ちに實際に於ける現象を説明するに十分であるとは考へられないが、或る目安を與へるものとして注意す可き事と思はれる。實際震央距離の遠近によつて第一次或ひは第三次の振動が誘發される事も知られてゐるのである。



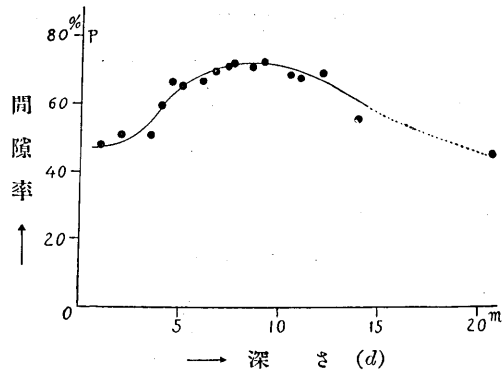
第6圖 ポアソン比の含水率による變化

● 深さ $d=9.1$ m ▲ $d=4.5$ m

Fig. 6. Relation entre le coefficient de Poisson et la quantité d'eau.

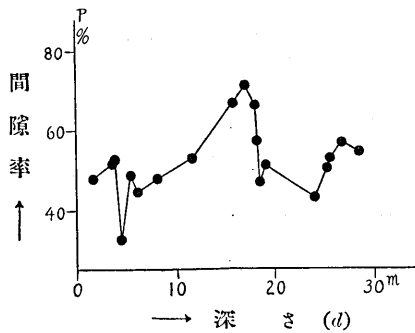
間 隙 率

間隙率の深さと共に變る割合を示したのが第7圖である。第7圖に於いて間隙率が地表よりの深さの増加と共に大となり、10 m を越えると再び減少するかの様に見える。即ち深さ 5 m ~ 10 m の間にある土の間隙率が他の深さに於けるものよりも大である事が判る。深さ 10 m を越えると間隙率の小となるのは、土がその自重によつて沈着した爲であるか、或ひは深さ 5 m ~ 10 m の土の種類が違ふ爲に、即ち物質の性質により間隙率が大となる様な事の結果からかも知れない。尙第 1 圖 B なる場所に於いては深さ

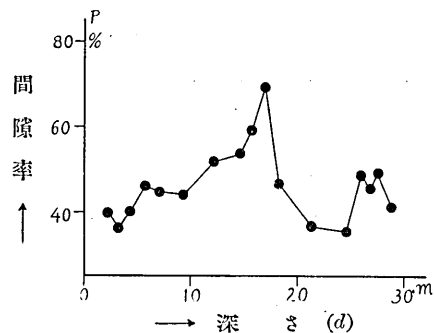


第7圖 間隙率の深さによる變化

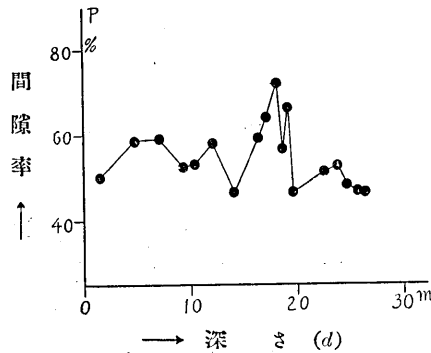
Fig. 7. Variation de porosité P avec la profondeur d.



第8圖 a 間隙率と深さとの關係



第8圖 b 間隙率と深さとの關係



第8圖 c 間隙率と深さとの關係

Fig. 8. Relation entre la porosité P et la profondeur d.

20 m 餘の所にある基盤岩の間隙率は 47% であり、恐らく此の場所に於いても同程度のもので考へられるから、結局深さ 10 m 前後の所の間隙率が最も大きいと見做してもよいであらう。然しながら此の様な關係は丸の内に於ける如何なる場所に對しても成立するとは限らない様である。それは東京驛構内及び第 1 圖 C なる場所等に於いて採集された地表土に就いて、鐵道省¹³⁾によつて求められた結果を圖にしたる第 8 圖 a, b, c に於いても見る事が出来る。第 8 圖に於いては却つて 16~18 m の深さに於いて間隙率が最も大きいやうである。従つて間隙率と深さとの關係は一定ではなく、場所によつて異なり複雑の様である。

次に間隙率と土の組成たる小なる土粒子との關係を求めた。土粒子の最小なるものとして粘土 (Argile; Clay) を選び、此の量と間隙率との關係を求めたのが第 9 圖である。此の圖から知られる様に間隙率 P は粘土粒子の量が大なる程大であると云ふ事が出来る。此の事に就いて少しく考察して見よう。

間隙率 P は

$$P = \frac{e}{1+e}$$

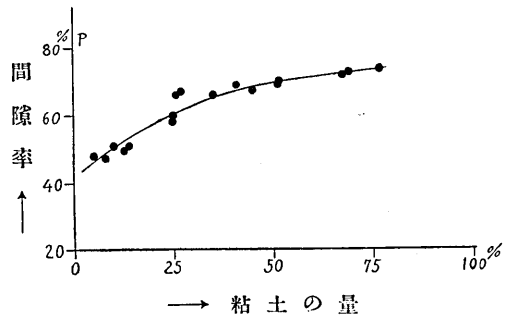
で表はされる。此處に e は

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

で表はされる間隙比であつて、 V_v , V_s は夫々土の間隙體積及び土粒子の體積である。従つて V_v の増加と共に e が大となり、 P も一樣に増大する。又粒子の形が不規則な場合には、 P が増大する事も知られて居り、水分等が粒子に附着するとき、それ等が粒子の不規則性を増す傾向にある事も知られて居る¹⁴⁾。間隙體積 V_v を直接測定する事は困難であるが、土の見掛けの密度と眞の密度との測定から求める事が出来る。尙水分を含有する場合には間隙率 P は百分率にて

$$P = 100 - \frac{\rho}{\rho_s}(100 - w)$$

で與へられる。 ρ , ρ_s は土の見掛け及び眞の密度であり、 w は含水率 (%) である。従つて見掛けの密度が小なる程間隙率が大となる事は一見して判る。又水分が多い程間隙率が大である。而して水分が多い程見掛けの密度が小さい場合もあるから益々 P



第 9 圖 粘土の量と間隙率との關係

Fig. 9. Relation entre la porosité P et la quantité d'argile.

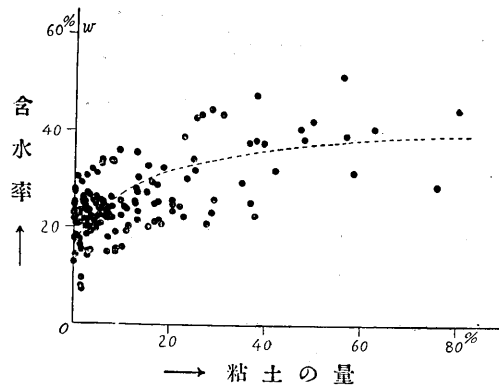
13) 鐵道省土質調査委員會報告 第 4 輯 (1936) 第 5 輯 (1937).

14) H. J. FRAZER, *Journ. Geol.*, 43 (1935), 901~1010.

が大となる。土の粒子の小なるものは此の性質を十分具有してゐると考へられる。今土粒子の小なるもの即ち沈泥 (Boue; Silt) 及び粘土 (Argile; Clay) と其の採集當時の含水量との關係を圖示すれば第 10 圖及び第 11 圖の如くなる。此等の圖は今迄實驗せる總べての土に就いて求めたものである。土の中に含有する沈泥、粘土等の量と水分との關係を表はす點が可なり散在して居るやうであるが、大體點線にて示した如くになつてゐる事が判る。即ち

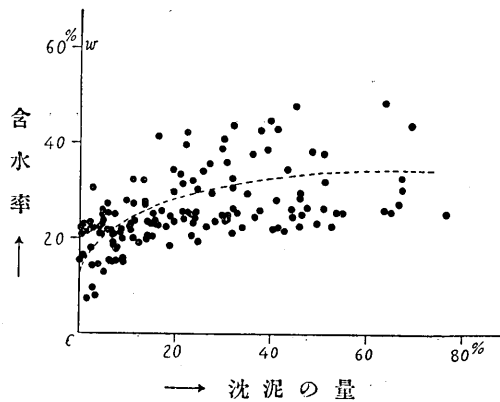
土の中の粘土、沈泥等の量の小さなものは採集當時の含水量が少ないのであるが、粘土、沈泥の量が増加すると含水量も増加する事となる。而して此の場合又見掛けの密度も小さいのである。従つて結局間隙率も大きくなるのである。第 10 圖と第 11 圖とを比較すれば判るやうに、粘土或ひは沈泥の同一量に對する含水量は沈泥よりも粘土の方が大である事である。此れは單位體積の中にある粒子の數が多ければ多い程、即ち粒子の大きさが小さければ小さい程土粒子の比表面積の増大を暗示するものである。従つて其の小粒子の周圍に附着せる水或ひは空氣の薄層の存在する分量が多くなり、結局土の間隙率を増大する原因をなすのである。以上の事から土の間隙率は其の中に含

有する粒子の小なる沈泥或ひは粘土の量の増加と共に大きくなるのであると考へられる。以上の事は結局小粒子の集合體は全部一樣に Closest packing の状態に到達する事が出来難い¹⁵⁾と云ふ事にもなるであらう。



第 10 圖 粘土の量と採集當時の含水量

Fig. 10. Variation de la contenance d'eau w avec la quantité d'argile.



第 11 圖 沈泥の量と採集當時の含水量

Fig. 11. Variation de la contenance d'eau w avec la quantité de boue.

15) 宮部直巳 前掲 7)。

土の収縮性

土の収縮する状態に就いての實驗的研究結果は既に前報告¹⁶⁾に述べた。今回も土の収縮する有様を2方面から考察した。其の1は土の含有する水分を減少せしめる事によつての収縮を考察し、他の1は土に適當なる振動を與へる事によつて其の収縮する有様を検べたのである。何れの場合に於いても採集せる土の自然の堆積状態に於けるものを取扱つたのであつて、採集せる土を碎いて其の組織を破壊したのではない。

先づ最初採集せるままの土より切斷面積は何れも約 4×4 cm、高さ 20 cm 程度の土柱を切り取り試験柱を作り、其の重量及び高さ、體積等を測定し、次に此等を略々溫度一定の室に放置して除々に水分を蒸發せしめ、約1ヶ月半に亘り1日に1回乃至2回宛上記の測定を繰返して行つたのである。又以上の各測定時に於ける土の含水量は全體の實驗の終了後に土柱を 120° の溫度にて乾燥せしめ、乾燥せる土の重量 W_0 と各測定時に於ける土の重量 W とから

$$w = \frac{W - W_0}{W}$$

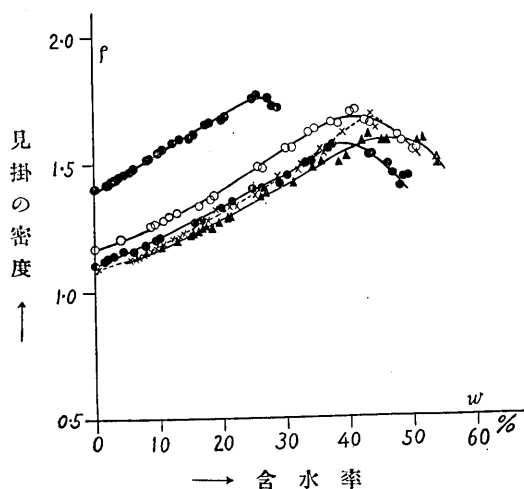
なる關係によつて求めた。 w は含水量である。

實驗によつて求めた結果は第 III 表及び第 12, 13, 14 圖に於いて示した。

先づ土の見掛の密度が含水量の變化に對して如何なる關係を示すかを調べ、而して此の結果が既に示した結果と同様であるか否かをも調べた。

第 12 圖は含水量の變化と共に土の見掛けの密度が變る有様を、色々な深さに就いて求めた結果である。第 12 圖より

判る如く、採集せる土を其の儘乾燥せしめる時には、土の密度は其の變化の或る過程に於いて大きくなる所がある。一度大きくなつた密度は土が更に水分を失ふと小さ



第 12 圖 土の見掛の密度と含水率との關係

● 3.5 m × 4.5 m ○ 6.7 m

▲ 7.6 m ● (下方) 9.1 m

Fig. 12. La densité et la quantité d'eau.

16) 飯田汲事 前掲 8).

第 III 表 土の重量及び體積と含水量
(Poids, Volume, et Proportion d'eau.)

深さ $d=3.5$ m

No.	含水率 w (%)	時 間 t (h)	高 さ h (cm)	重 量 W (gr)	體 積 V (cc)	密 度 ρ	$\frac{\delta v}{v_0}$ (%)	$\frac{\delta h}{h_0}$ (%)
1	28.0	0	23.8	1901	1098.4	1.73	0	0
2	27.4	4.1	23.5	1885	1069.3	1.76	2.65	0
3	25.5	23.1	23.5	1836	1636.4	1.77	5.65	1.20
4	24.9	27.2	23.5	1822	1036.4	1.76	5.65	1.30
5	20.6	71.5	23.5	1721	1019.9	1.69	7.15	1.40
6	19.9	77.0	23.5	1708	1019.9	1.68	7.15	1.50
7	18.1	93.6	23.5	1671	1005.3	1.66	8.47	1.60
8	17.4	100.2	23.4	1657	1001.1	1.66	8.85	1.68
9	15.6	118.4	23.4	1621	1000.1	1.62	8.85	1.68
10	14.8	126.1	23.4	1606	1000.1	1.60	8.85	1.80
11	13.5	142.4	23.4	1582	936.5	1.60	10.20	1.80
12	12.3	148.5	23.4	1560	984.4	1.59	10.40	1.89
13	10.8	166.1	23.3	1534	982.3	1.56	10.60	2.00
14	10.1	172.4	23.3	1522	982.3	1.55	10.60	2.00
15	8.6	191.1	23.3	1497	982.3	1.52	10.60	2.10
16	8.3	196.3	23.3	1492	982.3	1.52	"	2.10
17	6.2	239.0	23.3	1459	"	1.49	"	"
18	6.0	244.5	23.3	1455	"	1.48	"	"
19	5.4	261.5	23.3	1447	"	1.47	"	"
20	4.6	286.5	23.3	1434	"	1.46	"	"
21	3.9	310.5	23.3	1424	"	1.45	"	"
22	3.5	334.2	23.3	1418	"	1.44	"	"
23	3.1	358.5	23.3	1412	"	1.44	"	"
24	2.4	430.1	23.3	1402	"	1.43	"	"
25	2.3	454.5	23.3	1400	"	1.43	"	"
26	2.1	478.1	23.3	1397	"	1.42	"	"
27	2.1	501.5	23.3	1397	"	1.42	"	"
28	0	—	23.3	1397	"	1.40	"	"

(次頁へ)

第 III 表 (續き)

深さ $d=4.5$ m

No.	含水率 w (%)	時間 t (h)	高さ h (cm)	重量 W (gr)	體積 V (cc)	密度 ρ	$\frac{\delta v}{v_0}$ (%)	$\frac{\delta h}{h_0}$ (%)
1	44.1	0	19.3	865	524.9	1.65	0	0
2	43.6	3.4	19.2	856	506.9	1.60	3.43	0.52
3	39.0	22.3	19.2	825	506.9	1.63	3.43	1.00
4	38.3	26.5	19.1	816	493.8	1.65	5.93	1.30
5	36.0	71.1	18.9	755	487.4	1.55	7.15	2.07
6	35.3	76.3	18.9	747	478.4	1.56	8.86	2.33
7	33.2	93.3	18.8	724	477.1	1.52	9.12	2.59
8	32.3	99.5	18.8	714	477.1	1.50	9.12	2.59
9	30.0	118.1	18.7	691	465.8	1.48	11.38	3.11
10	28.8	125.3	18.7	679	465.8	1.46	11.38	3.11
11	26.4	142.1	18.7	657	465.8	1.41	11.38	3.20
12	25.3	148.2	18.7	647	465.8	1.39	11.38	3.25
13	22.4	165.4	18.7	623	464.6	1.34	11.50	3.37
14	21.2	172.1	18.6	614	459.0	1.34	12.57	3.63
15	18.8	190.4	18.6	595	459.0	1.30	12.57	3.63
16	17.9	195.5	18.6	589	459.0	1.28	12.57	2.80
17	13.8	238.3	18.6	561	457.7	1.23	12.82	3.88
18	13.5	244.2	18.6	559	457.7	1.22	12.82	3.88
19	12.4	261.2	18.6	552	457.7	1.21	12.82	3.88
20	10.8	286.2	18.6	542	457.7	1.18	12.82	3.88
21	9.6	310.1	18.5	535	456.5	1.17	13.05	4.15
22	8.8	333.4	18.5	530	456.5	1.16	"	"
23	7.8	358.2	18.5	525	456.5	1.15	"	"
24	6.8	429.4	18.5	519	456.5	1.14	"	"
25	6.8	454.2	18.5	519	456.5	1.14	"	"
26	6.6	477.4	18.5	518	456.5	1.13	"	"
27	6.6	501.1	18.5	518	456.5	1.13	"	"
28	6.5	326.2	18.5	517	456.5	1.13	"	"
29	0	—	18.5	500	456.5	1.10	"	"

(次頁へ)

第 III 表 (續き)

深さ $d=6.7$ m

No.	含水率 w (%)	時 間 t (h)	高 さ h (cm)	重 量 W (gr)	體 積 V (cc)	密 度 ρ	$\frac{\delta v}{v_0}$ (%)	$\frac{\delta h}{h_0}$ (%)
1	50.6	0	22.8	1022	652.5	1.57	0	0
2	50.1	4.0	22.7	1012	649.7	1.56	4.28	0.44
3	48.3	23.1	22.2	977	611.9	1.60	6.21	2.63
4	47.7	27.2	22.1	966	596.2	1.62	8.62	3.29
5	43.4	71.2	21.2	892	535.3	1.67	17.94	7.02
6	42.7	76.6	21.0	881	525.0	1.68	19.50	9.00
7	41.0	93.6	20.8	855	498.2	1.72	23.60	9.65
8	40.3	99.8	20.6	845	494.6	1.71	24.20	10.10
9	38.3	118.4	20.5	818	492.2	1.66	24.50	10.32
10	37.3	126.1	20.5	805	481.0	1.67	26.30	10.52
11	34.6	142.5	20.4	772	470.0	1.64	27.90	10.98
12	33.7	148.6	20.3	762	467.7	1.63	28.30	11.20
13	31.0	166.2	20.3	732	466.6	1.57	28.40	11.20
14	30.1	172.5	20.3	722	461.7	1.56	29.20	11.60
15	26.5	191.2	20.1	687	461.7	1.49	29.20	11.85
16	25.6	196.3	20.0	679	453.5	1.50	30.80	12.28
17	18.8	239.1	20.0	622	451.3	1.38	30.80	12.28
18	18.3	244.6	20.0	618	451.3	1.37	30.80	12.30
19	16.5	261.6	20.0	605	451.3	1.34	28.50	12.40
20	14.3	286.6	20.0	589	466.5	1.26	32.40	12.51
21	12.8	310.5	20.0	579	440.7	1.31	"	"
22	11.7	334.2	20.0	572	440.7	1.30	"	"
23	10.8	358.5	20.0	566	440.7	1.28	"	"
24	9.5	430.2	20.0	558	440.7	1.27	"	"
25	9.4	454.5	20.0	558	440.7	1.27	"	"
26	9.1	478.2	20.0	556	440.7	1.26	"	"
27	9.0	501.5	20.0	555	440.7	1.26	"	"
28	9.1	526.5	20.0	556	440.7	1.26	"	"
29	0	—	20.0	515	440.0	1.17	"	"

(次頁へ)

第 III 表 (續き)

深さ $d=7.6$ m

No.	含水率 w (%)	時 間 t (h)	高 さ h (cm)	重 量 W (gr)	體 積 V (cc)	密 度 ρ	$\frac{\delta v}{v_0}$ (%)	$\frac{\delta h}{h_0}$ (%)
1	54.3	0	23.4	812	537.1	1.51	0	0
2	53.8	4.1	23.3	802	523.1	1.53	25.9	0.43
3	51.5	23.1	23.1	765	475.8	1.61	11.40	1.28
4	50.9	27.3	22.9	755	472.7	1.60	11.98	1.93
5	45.9	71.3	22.2	685	428.9	1.60	20.10	4.92
6	45.2	77.0	22.2	677	424.2	1.60	21.00	4.92
7	43.1	94.1	21.8	652	402.2	1.62	25.10	6.64
8	42.2	100.3	21.8	642	402.2	1.60	25.10	6.64
9	39.7	118.5	21.7	614	400.4	1.53	25.40	7.06
10	38.4	126.2	21.6	603	398.5	1.51	25.80	7.49
11	35.6	142.5	21.5	576	378.4	1.52	29.50	7.92
12	34.4	141.0	21.5	565	378.4	1.49	29.90	7.92
13	31.2	166.2	21.4	539	376.6	1.43	31.90	8.34
14	30.3	172.5	21.3	532	365.5	1.45	31.90	8.78
15	27.0	191.2	21.3	508	364.7	1.39	32.10	8.78
16	26.1	196.4	21.3	502	363.8	1.38	32.20	8.99
17	21.4	239.1	21.2	472	363.8	1.30	32.20	9.20
18	21.0	245.1	21.2	470	363.8	1.29	32.20	9.20
19	19.6	262.0	21.2	462	363.8	1.27	32.20	9.40
20	18.5	287.0	21.2	455	358.0	1.25	32.20	9.50
21	17.6	310.6	21.1	450	358.0	1.26	33.30	9.64
22	17.0	334.3	21.1	447	358.0	1.25	33.30	9.64
23	16.3	345.5	21.1	443	358.0	1.24	33.30	9.64
24	15.5	370.2	21.1	439	358.0	1.23	"	"
25	15.5	417.4	21.1	439	358.0	1.23	"	"
26	15.3	442.4	21.1	438	358.0	1.22	"	"
27	15.2	465.5	21.1	438	358.0	1.22	"	"
28	15.2	489.2	21.1	438	358.0	1.22	"	"
29	0	—	21.1	401	358.0	1.12	"	"

(次頁へ)

第 III 表 (續き)

深さ $d=9.1$ m

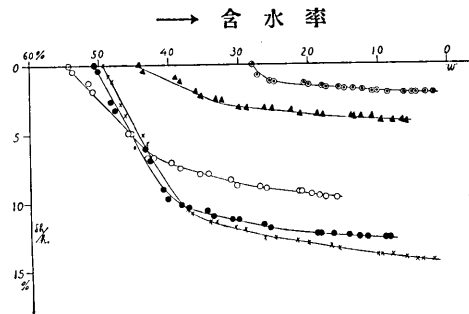
No.	含水率 w (%)	時 間 t (h)	高 さ h (cm)	重 量 W (gr)	體 積 V (cc)	密 度 ρ	$\frac{\delta v}{v_0}$ (%)	$\frac{\delta h}{h_0}$ (%)
1	49.3	0	24.7	806	553.8	1.46	0	0
2	48.6	41.5	24.5	795	547.0	1.45	1.23	0.81
3	48.1	48.3	24.4	787	544.7	1.42	1.64	1.22
4	46.9	64.3	24.0	770	524.5	1.47	5.28	2.84
5	46.2	70.5	23.8	760	503.6	1.51	9.06	3.64
6	43.7	89.5	23.2	726	469.8	1.55	15.17	9.07
7	43.1	94.0	23.1	718	466.8	1.54	15.70	6.68
8	37.4	138.0	22.1	653	413.4	1.58	25.30	10.50
9	36.7	143.4	22.1	645	412.4	1.56	25.50	10.73
10	34.1	160.4	21.9	620	409.6	1.51	26.00	11.35
11	33.2	167.1	21.9	612	404.9	1.51	26.90	11.35
12	30.5	185.3	21.8	588	403.1	1.46	27.20	11.75
13	29.1	192.6	21.8	576	402.2	1.43	27.40	11.95
14	26.3	209.0	21.6	555	394.7	1.41	28.70	12.55
15	24.8	215.4	21.6	543	385.6	1.41	30.40	12.55
16	21.6	233.0	21.6	521	384.7	1.35	30.50	12.75
17	20.0	239.3	21.5	511	383.8	1.33	30.70	12.95
18	16.8	258.0	21.5	491	382.9	1.28	30.80	13.15
19	15.7	263.2	21.4	485	382.0	1.27	31.00	13.38
20	10.2	305.5	21.3	455	375.7	1.21	32.10	13.78
21	9.6	311.5	21.3	452	375.7	1.20	32.10	13.78
22	8.0	328.4	21.3	444	375.7	1.18	32.10	13.78
23	6.0	353.4	21.3	435	374.9	1.16	32.30	13.97
24	4.5	377.4	21.2	428	369.5	1.16	33.30	14.17
25	3.7	401.1	21.2	425	369.5	1.15	33.30	14.17
26	2.9	425.4	21.2	421	369.5	1.14	"	14.17
27	2.0	449.0	21.2	417	369.5	1.13	"	14.17
28	1.9	473.4	21.2	417	369.5	1.13	"	"
29	0	—	21.2	405	369.0	1.10	"	"

くなり遂には或る値に達する。而して此れは總べての深さの土に就いても同様であり此の現象は前回の實驗に於ける場合と同様である。

深さ 3.5 m の土は比較的大きな密度 (以下總べて見掛の密度を云ふ) を示してゐるが此れは細かな砂が比較的多い爲であらう。又深さ 6.7 m の所にある粘土は深さ 4.5 m の所にある土より其の密度が小であるが、含水率の減少と共に密度の變る割合は前者の方が大である事は面白い現象である。粘土の種類によつて密度の減少の程度が異ふ事は収縮土の體積と減少する重量との相互關係によつて想像される通りであるが、深さ 9.1 m の所にある粘土と深さ 7.6 m の所にある粘土とを比較するに、前者の密度は最初後者のより小であるが、含水率 40% 以後に於いては前者のは後者のより大となる。

以上の事は収縮の差異によつて定るものであつて、土が空隙面積を多く残す事なく収縮するならば、比較的大きな密度となり、而も此の密度の水分の變化と共に變る割合は小となるであらう。然しもし収縮が餘り著しくなく、空隙を満してゐた水のみが逃げ去るものならば、體積の減少が極めて小なるに反し、重量の減少が大であるから密度の水分の變化と共に變る割合は大となるであらう。而して此の場合には密度の含水率に對する變化曲線に於いて第 12 圖に見られる如き山が存在しない。

粘土は含水率 30~40% を境として、其の前後にては収縮の状態が著しく違つてゐる事は第 12 圖より知られる通りである。含水率 30~40% 以上の場合には、土粒子が恰も水中に浮遊してゐるが如き状態にあると考へられるので、水分の減少と共に各粒子が相接する向きに収縮が行はれるが、上記の値以下の含水率の變化に對しては、相接したる各粒子間の空隙中に存在する水分、空氣層等の變化の爲に徐々なる収縮が行はれるものと考へられる。即ち土の水分の減少による収縮變化には 2 つの状態があると見做してもよいやうである。



第 13 圖 含水量の減少と土柱の高さの變化との關係

● 深さ $d=3.5$ m ▲ $d=4.5$ m
○ $d=7.6$ m ● $d=6.7$ m × $d=9.1$ m

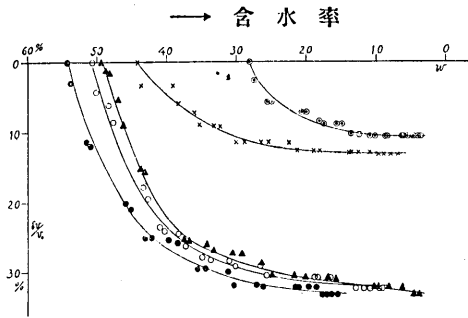
Fig. 13. Contraction de la hauteur du cylindre du sol avec la quantité d'eau.

含水率に對する高さの變化、體積の變化を示したのが第 13, 14 圖である。横軸には總て含水量を取り、縦軸には夫々 $\delta h/h_0$, $\delta v/v_0$ を取つた。 δh , δv は夫々高さ及び體

積の減少量, h_0, v_0 は初めの高さ及び體積である。

尙此の場合土の採取當時の含水率より實驗してゐる爲, 横軸の含水量の初まりは不揃である。高さの變化を特に示したのは, 他の横幅等の變化に比して比較的大きい場合もあり, 體積變化の傾向と相違してゐる土もあるからである。

第 13~14 圖を通觀するに土は其の含有する水分の減少と共に何れもよく收縮し, 特に深さ 5~10 m の所にある土は收縮の程度が大である。體積或ひは高さの變化を見るに含水率が約 30% 迄減少する間は略々直線的關係を保つて急激に收縮減少するが, 含水率が 30% より小なる値に對しては其の收縮減少は極めて徐々である。斯様な收縮状態から前述の密度



第 14 圖 含水量の減少と土柱の體積の變化との關係

● 深さ $d=3.5\text{ m} \times d=4.5\text{ m}$
 ▲ $d=9.1\text{ m}$ ○ $d=6.7\text{ m}$ ● $d=7.6\text{ m}$

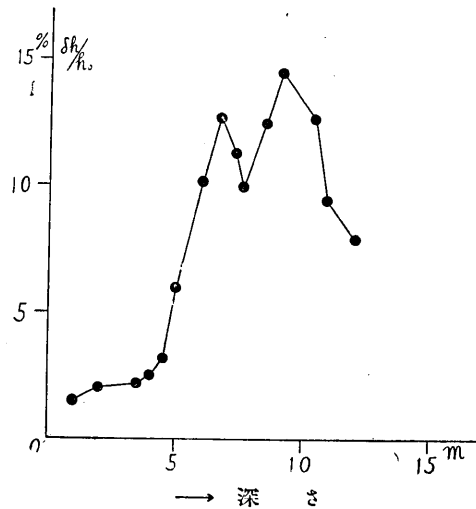
Fig 14. Relation entre la contraction du volume du sol et la quantité d'eau.

第 IV 表 收縮量と深度

$$\left(\frac{\delta v}{v_0}, \frac{\delta h}{h_0}, \text{ et } d. \right)$$

深さ d m	體積の變化 $\frac{\delta v}{v_0}$ (%)	高さの變化 $\frac{\delta h}{h_0}$ (%)
1.0	9.0	1.5
2.0	9.8	2.0
3.5	11.4	2.2
4.0	11.6	2.5
4.5	16.2	3.2
5.0	17.4	6.0
6.0	26.0	10.2
6.7	32.5	12.7
7.3	32.4	11.3
7.6	33.4	10.0
8.5	33.4	12.5
9.1	33.3	14.5
10.4	26.0	12.7
10.9	20.0	9.5
12.0	18.0	8.0

の含水量と共に變る状態をも説明する事が出来る。即ち含水率 30~40% 迄の減少に對しては,



第 15 圖 土柱の高さの收縮量と地表からの深さとの關係

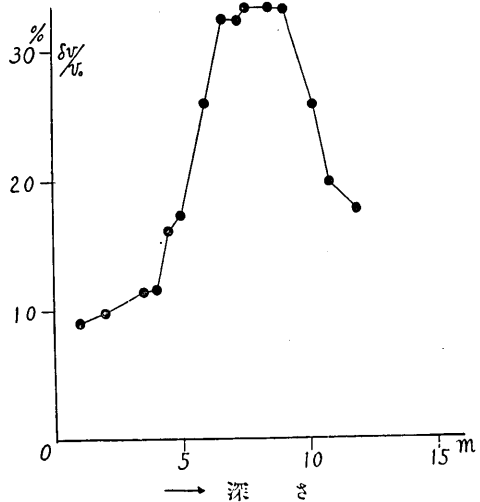
Fig. 15. Relation entre la contraction de longueur du sol et la profondeur.

土は水分を失つて重量を減少すると共に又體積をも著しく減ずるから密度は比較的大であるが、含水率が 30~40% より小なる場合には、土の重量は減少するが體積は餘り變化しない。従つて密度は小となるのである。

土が其の含有せる水分を全部失つた場合の収縮量は第 IV 表の如くであつて、此れを深さに對して圖示したのが第 15, 16 圖である。此等の圖よりも判る如く収縮量の異なる部分は 6~10 m の深さの粘土であつて、収縮量の最大は體積に於いて約 34%、高さに於いて約 14%、横幅に於いて約 13% である。

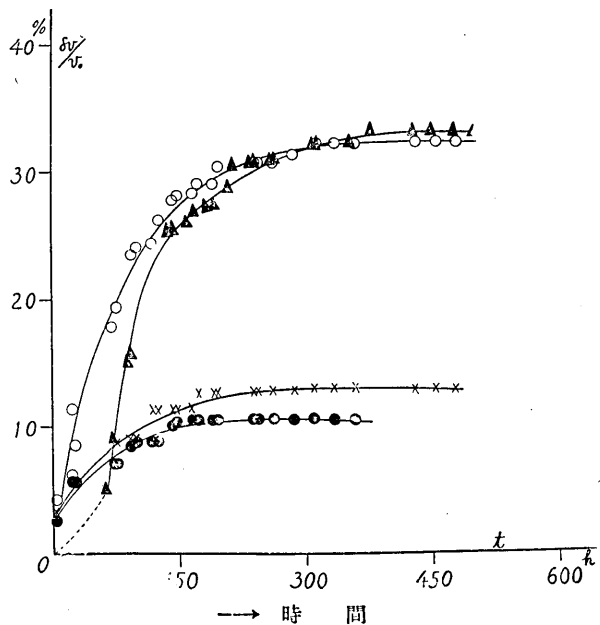
深さ 5 m より浅い所にある土と深さ 12 m より深い所にある土とは収縮量は比較的小である。尙第 15, 16 圖より判る如く、深さ 6~7 m の所にある土の體積の収縮する割合が深さ 9~10 m の所にある土の場合と殆ど同程度であるが、高さの収縮量は比較的小さい事である。此れは又粘土の性質を考へる上に於いて面白い現象であると思はれる。

土の體積の減少する割合が時間的に如何に變化するかを調べたのが第 17 圖である。第 17 圖に



第 16 圖 土柱の體積収縮と地表からの深さとの關係

Fig. 16. Relation entre la contraction du volume du sol et la profondeur.



第 17 圖 土柱の體積の變化と時間との關係

▲ 深さ $d=9.1$ m ○ $d=6.7$ m
× $d=4.5$ m ● $d=3.5$ m

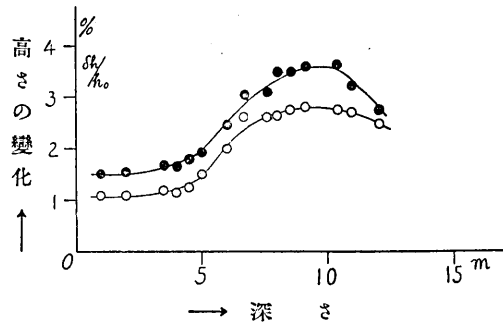
Fig. 17. Relation entre $\delta v/v_0$ et le temps perimé.

於いては縦軸に $\delta v/v_0$ を取り横軸に間隔 t が取つてある。 δv は體積の減少量、 v_0 は始めの體積である。此の圖を見ると水分を減少せしめてから最初の約 200 時間迄は土の収縮する割合は急激であるが、それ以上の時間に對しては極めて徐々である事が判る。勿論此の場合に温度の變化が問題となるので、今回の測定は常温を基準として行つたのであつて、其の温度は大體 19°C である。但し或る土に於いてはやゝ高い温度に於いて測定したのもある。

土の収縮に對する振動の影響の顯著なる事は既に報告¹⁷⁾した通りであるが、今回も其の影響を検べる事とした。實驗装置は全部前回と同様であるから省略する。又實驗の順序も前回と全く同様である。

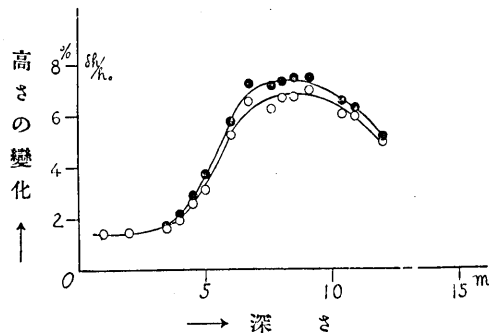
振動が土の収縮に著しい影響を及ぼすのは含水率が約 40% 程度迄減少する間に於いてであつて、此れ以上の減少に對しては餘り顯著ではない。此れは土の収縮途上の初期に於いて振動の影響が著しい事を示すものであつて、結局水を含んだ土粒子の配列状態の變化に基因するものと考へられる。

第 18 圖及び第 19 圖は或る時



第 18 圖 Fig. 18. 土の収縮の振動による影響の深さによる變化

- 振動を與へた場合 (avec la vibration.)
 - 振動を與へない場合 (sans ")
- 最初より 15 時間後の場合



第 19 圖 Fig. 19. 土の収縮の振動による影響の深さによる變化

- 振動を與へた場合 (avec la vibration.)
 - 振動を與へない場合 (sans ")
- 最初 90 時間放置した後、15 時間振動を與へた場合と然らざる場合

Fig. 18. et Fig. 19. Relation entre la variation de $\delta h/h_0$ due à la vibration et la profondeur.

Le Fig. 18 représente la contraction du sol on a appliqué la vibration pendant la période de commencement à 15 heures.

Le Fig. 19 représente la contraction du sol on a appliqué la vibration pendant la période des 15 heures après 90 heures.

17) 飯田汲事 前掲 8). 此の論文中第 2, 4 圖等の (1), (3) は最初 20 分間振動を與へた場合とあるは (2), (4) の誤りに付訂正する。

間内に於ける土の収縮量を振動による場合と、然らざる場合とを土の収縮途上の初期と末期とに於ける場合に就いて示したものである。何れの場合にも縦軸には高さの變化の割合 $\delta h/h_0$ 、横軸には深さが取つてある。第 18 圖は最初より 15 時間後に於ける場合を示し、第 19 圖は最初より 90 時間後に於いて約 15 時間振動を與へた場合である。何れの圖に於いても黒丸は振動による場合を示し、白丸は然らざる場合を示してゐる。

先づ同一深さの同質の土柱を 2 箇作り一方には振動を與へ他方には振動を與へないで同一部室に放置して置くのである。此の 2 箇の土柱の収縮量は 90 時間後に於いて同一であつたが、其の後他の一方に振動を與へ他方をそのままにして置く時、第 19 圖の如き變化を生じたのである。然しながら第 18 圖に示した如き程振動の影響は著しくない。又第 18, 19 圖には土の収縮の深さに對する關係を示したが、深さ 7~11 m の所にある土は殊に著しい影響を受けるやうである。即ち此の部分の粘土は表面土層中特に収縮性に富んだ土であつて、他の深さに於けるものとは違つてゐる事が判る。而も此の深さに於いては既に求めた如く、土の弾性係數も小さいのであつて、表土層中軟泥の性質を多分に保有してゐる事が判明した次第である。

尙振動振幅の増加と共に収縮量も大となる事は前論文にて示した通りである。今回示した關係は振動周期 0.01 秒、振幅 80 μ なる條件の下に於いて測定したのである。

結果に對する考察及び結語

以上述べた實驗結果より考察すれば、土の弾性及び収縮性は其の種類によつて相違し、結局地表よりの深さの函數として變化する。地表よりの深さが増大するにつれて弾性係數は一様に大となり、収縮は小となるであらう事が一般に想像せられる所であるが、今回の實驗によれば丸の内に於いては寧ろ地表面下或る深さの範圍内に於いては却つて弾性が小であり、収縮が大である如き地帯が存在する事を知り得たのである。此の變化量は實驗の測定誤差のみにては到底説明し得られない量である。

尙表面層内或る深さに於いて弾性の小なる地帯が又収縮性に富んだ地帯に相當してゐるのであつて、此の事は土の種類性質と關聯して重要な事と考へられる。又此の収縮が大にして弾性小なる土は外部からの振動などによる擾亂に對しても顯著なる影響を受け、収縮を増大するのである。

弾性率の深さと共に變る割合は表面土層内の地質と一致して居り、深さの増大と共に減少し、深さが 9~10 m を越えて尙深くなれば弾性は再び大となるのであつて、基盤に於いては著しく大となる。今回の試験土を前回の第一生命相互保險會社敷地内

のものと比較すれば、弾性及び収縮性共に殆ど兩者同様のやうである。

今回の試験結果より、基盤上の表土層が剪断振動をなすものとすれば、その固有振動周期は平均に於いて

$$T=0.73 \text{ sec} \quad (\text{基本振動})$$

$$T=0.24 \text{ sec} \quad (\text{三次振動})$$

となり、これは石本博士、齋田氏等によつて観測された結果とも大體一致してゐる。

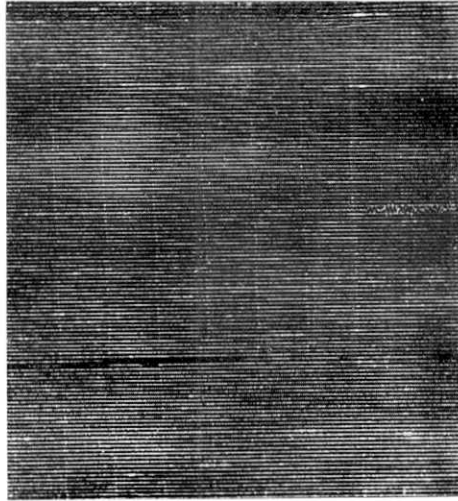
地盤沈下の問題と關聯して考へるに、表面土層の収縮する有様がその含有する水の變動或ひは地表其の他からの振動などの擾亂による影響が著しいとすれば、地表下 7 m~12 m の深さに存在する粘土層が表面土層収縮の大部分を受持つてゐると考へられる。即ち表面層の収縮と稱しても其の大部分は上記の深さの部分が受持つてゐると考へてもよいであらう。尙此の附近の帯水層は深さ 18 m 以下にあるから、此れより浅い所の深さにある粘土は地下水位の變化の影響を多分に受けるものと思はれる。従つて 7 m~12 m の深さに於ける土も影響を受ける事が大であらう。而も粘土は一度収縮すると、其の水分を吸収して膨脹する際、元の状態に戻らずして収縮せる量が多少残る性質を有するのであつて、結局地盤沈下は地下水位の減少並びに振動等の影響により軟弱なる粘土層が壓密されて行はれるものと考へられる。

此處に不思議に思はれる事は地表下程擾亂が多い事である。第 20 圖は此の關係を示せるものである。第 20 圖は齋田・鈴木兩氏の丸の内に於ける観測によるものであるが、地表よりも地下 10 m の方が振動が多く、更に基盤上に於いては一層多い結果となり、而も此れは晝夜の區別があつて、夜少なく晝多いのである。此の観測中に於いては工事は中止して居たとの事であり、只汲水ポンプが晝夜の別なく動いてゐたとの事であるが、その振動とも思はれないので原因は不明である。然し此の振動は地表面に於ける交通機關の振動とよく似てをる如くにも思はれるのであるから今後の研究が必要である。又此の振動は地表、地下 10 m、基盤上等の何れに於いても此等の中の或る場所の振動が他の場所に於けるものと對應してゐない様である。今回は斯様な現象の存在する事を指摘する程度に止める。

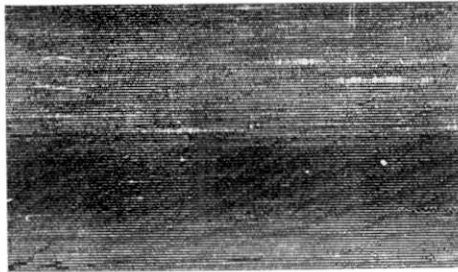
沈泥質粘土は含水率 30~40% を境としてその前後に於いて違つた性質を示すやうに思はれる。上記の値以上の含水率に對しては粘土粒子が液體中に浮遊して居るやうな状態を呈し、その性質が液體の性質に十分接近してゐる事が知られるのであるが¹⁸⁾ それ以下の含水率に對しては粒子と粒子とが直接に相接觸するか或ひは極めて薄い空氣層或は水の層を隔てて相接して居る爲に、土は恰も海綿狀構造或ひは骨格構造をな

18) 飯田汲事 前掲 2)。

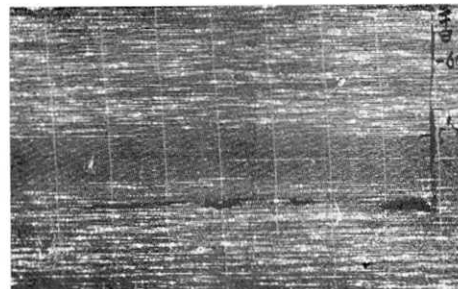
A
地 表
(Surface)



B
地 下 10m
(10 m souterrain)



C
地 下 20m
(20 m souterrain)



第20圖 地上, 地表下 10 m, 20 m 等に於ける振動
(齊田・鈴木氏による) (昭和9年4月20日)
(寫眞上 1 mm は 2.6 gal に相當する)

Fig. 20. Comparaison des inscriptions des secousses à la surface, 10 m et 20 m souterrain. (M. Saita et M. Suzuki ont obtenu ces inscriptions par le Ishimoto sismographe accélèrométrique.)

し、固體の性質に近似せる性質を示すのではないかと考へられる。

今回は土の二三の物理的性質に關して地表下深さと共に變る割合を出し、其の結果に就いて述べ、土の性質に關する研究の一部を示したのであつて、尙色々な現象に就いては次の機會に述べる考へである。

終りに臨み、此の研究の爲に地表土を採集する上に種々の便宜を與へて頂いた三菱地所株式會社の村川正二氏に對し深甚なる謝意を表すると共に、土の機械的分析をして頂いた鐵道省大臣官房研究所土質調査委員會に對しても深く感謝の意を表する次第である。

6. *Sur l'élasticité et la contraction du sol à Maru-no-uti, Tokyo.*

Par Kumizi IIDA,

Institut de Recherches sur les Tremblements de terre.

Nous avons pratiqué à Maru-no-uti, Tokyo, certaines expériences sur le sol dans la couche superficielle de la terre, à une profondeur de 20 m environ, et observé ses propriétés physiques, telles que la densité, la proportion mécanique, l'élasticité, la proportion d'eau, et la contraction. Nous avons obtenu les résultats suivants :

- 1) L'élasticité du sol change avec la distance de la surface de la terre et aussi avec la quantité d'eau contenue. Les degrés d'élasticité, correspondant à chaque profondeur, sont donnés dans les Figs. 3 et 4, et dans le tableau II.
 - 2) La vitesse des ondes élastiques à la profondeur de 7 à 12 m est plus petite que dans les autres parties de la couche superficielle
 - 3) Nous constatons que la période prédominante dans les secousses sismiques a un rapport étroit avec l'épaisseur des boues superficielles et avec leur élasticité.
 - 4) La contraction du volume et de la longueur du cylindre du sol est proportionnelle à la quantité d'argile.
 - 5) La contraction du sol change avec la profondeur; La relation entre ces deux valeurs est donnée dans les Figs. 15, 16 et dans le tableau IV.
 - 6) La contraction du sol dépend sensiblement de la diminution de la quantité d'eau, comme le montrent les Figs. 13 et 14.
 - 7) La contraction du sol s'accroît sensiblement quand on applique la vibration.
-