

# 50. 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 飯田 汲 事

(昭和12年6月15日發表—昭和12年6月21日受理)

## 緒 言

表面層が地震動によつて振動する問題や地震波傳播に關係せる問題等は、地震學上に於て許りでなく、最近土木建築工學上に於ても重要となつて來たので、多くの學者の注意を惹き、或ひは理論的<sup>1)</sup>に取扱はれ或ひは實驗的<sup>2)</sup>に觀測されてゐる。而して表面層中に於ける振動の卓越周期の存在が明かにされ、地震動中には表面層の性質が多分に含まれてゐる事が判明するやうになつた。

斯くの如く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から、已に前論文<sup>3)</sup>に於ては表面土の弾性を研究し報告した次第である。今回の論文は前回の續研究とも見るべきもので、此處に述べた如き表面層の振動問題を取扱ふ場合には、表面層を形成する物質の弾性のみならず、其の表面層下の物質の弾性も必要となる。本研究に於ては特に下層の物質の弾性を取扱つたので、其の結果を報告する次第である。

地動或ひは地震初動入射角等の觀測<sup>4)</sup>から地表附近に於ける弾性波の中縦波の速度を求めたのは二三あるが、表面層及び其の下の層の弾性係數の總てに就いて測定した

- 1) 妹澤克惟 地震研究所彙報 8 (1930), 1—11.  
妹澤克惟・金井清 地震研究所彙報 13 (1935), 251—265.  
妹澤克惟・金井清 同 上 15 (1937), 377—384.  
西村源六郎・高山威雄 地震研究所彙報 15 (1937), 394—440.
- 2) 齊田時太郎・鈴木正治 地震研究所彙報 12 (1934), 517—526.  
石本巳四雄 地震研究所彙報 10 (1932), 171; 12 (1934), 234; 13 (1935), 592; 14 (1936), 240.  
井上宇胤 地震研究所彙報 12 (1934), 712—740.  
那須信治 同 上 9 (1931), 454.
- 3) 石本巳四雄・飯田汲事 地震研究所彙報 14 (1936), 632—657; 15 (1937), 67—86.
- 4) 那須信治 地震 1 (1929), 355—364.  
鈴木武夫 地震 4 (1932), 479—496; 8 (1936), 72—83.  
波江野清藏 日本天文地球物理學輯報 8 (1931), 39—50.

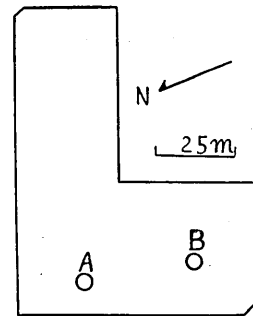
ものは極めて少ないやうである。最近弾性波探査法によつて求められるやうになつたが<sup>5)</sup>、横波の観測に就いては尙考究の餘地がないでもない。

筆者は丸の内に於て自然状態のままの基盤岩を採取する機会を得る事が出来たので、其の弾性係数を測定し併せて表面土の弾性係数と比較して見た。此處に基盤岩と名づけてゐるのは、表面土の如き軟弱な沖積層土が乗つてゐる層の物質を指示したのであつて、表面土とは明確に區別され表面土の所謂基盤をなしてゐる洪積層を形成してゐる硬い砂質粘土の意である。

### 基盤岩に就て

試験物體採取場所の位置は丸の内第一生命保險相互會社本館建築敷地（舊警視廳所在地）にして第1圖に於て示す如き A, B なる2箇所であつて、此の附近に於ては齋田學士鈴木正治氏<sup>6)</sup>が嘗て地震動加速度を観測した。

試験土及び試験基盤岩は第2圖に示せる如く、夫々表面下約8m及び約20.5mの所より採取せるものである。表面土の機械的分析の結果に就いては已に示した<sup>7)</sup>如く沈泥質粘土で可なり軟弱なものであるが、基盤岩は砂質粘土であつて、復興局の所謂第三紀層或ひは東京層の上端部に屬して居り可なり堅牢な物質である。採取箇所附近の地質の略圖は第2圖に示したが、表面層の構造の大略の値を示せば約3m程の煉瓦層、コンクリート基礎割、粘土などの混合せる表土層、約14mの青灰色或ひは暗灰色等の粘土層、約1.5mの砂交りの粘土層及び約1.5mの砂利層等である。其の下は砂質粘土の所謂基盤岩層である。此の基盤の表面には波紋状の凹凸があり、更に蟹孔状の穴が無數にあいてゐる部分もある。基盤岩層のすぐ上部には地下水を含んだ砂利層があるために、基盤岩層の上部は水に浸つて居る。又基盤岩層上部は層状構造をなして居り、その層と層との境からよく割れる性質がある。従つて大きな試験體を害さぬ様に採掘しやうとすると仲々困難であるが、幸ひ石工により厚さ約25cm面積約60cm×40cmの基盤岩を採掘し得る事が出来た。



第1圖 丸の内第一生命相互會社建築敷地内に於ける基盤岩及び表面土採取箇所を示せる略圖  
Fig. 1. Diagram showing the places that the specimens are collected.

5) 那須信治・萩原尊禮・表俊一郎 地震研究所彙報 14 (1936), 560—581; 15 (1937), 87—89.

6) 齋田時太郎・鈴木正治 前掲

7) 石本巳四雄・飯田波事 地震研究所彙報 14 (1936), 632—657.

扱て試験物体は上述の基盤岩より鋸を用ひて切りとるのである。此の場合蟹孔のない而も相当均一な層の部分から試験基盤岩柱を切り取らなければならない關係上、上述の寸法の基盤岩からは高さ 30 cm, 直徑 5 cm の試験柱を漸く 5, 6 本得る事が出来たに過ぎない。従つて試験柱は相当均一なものであると思はれる。試験物体は常に水中に保存し實驗のときのみ取り出したのである。然らざれば水分がなくなり乾燥し、基盤岩を形成してゐる砂粒が崩れ落ち自然状態のものとなつて來るからである。採取當時の含水量を求めると

A なる場所： 含水率 25.0%

B なる場所： " 24.0%

であり、約 8 ヶ月後水中より取り出して測定した値は夫々 25.5%, 24.4% 等にしてその増加は測定の誤差の範囲に入るやうな小さな値を示し、従つて増加してゐないと

も云へよう。斯くの如き事實から判断すれば自然状態に於ても水は殆ど飽和の状態にあるものと推察される。

又水分を全部蒸發させ、而して空中及び水中に於て夫々其の重量を測定し、結局基盤岩の眞の比重を求めれば第 I 表の如くなる。第 I 表には此の比重及び見掛けの比重から計算した間隙率の値も同時に掲げてある。第 I 表の如く、採取場所 A 及び B

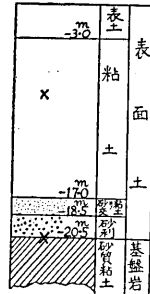
第 I 表 基盤岩の比重及び間隙率

採取場所	比 重	間 隙 率 (%)
A	2.74	47.7
B	2.76	47.1

に於ては、其の間隙率及び比重には多小の差異はあるが殆ど同様な値を示してゐる。

### 實驗方法及び結果

實驗方法は已に示した方法<sup>8)</sup>と全く同様である。即ち毎秒 0~700 の範圍に連続的に振動數の變化し得る 2 箇の振動盤。一方は縦振動一方は振振動をなすが、其れ等を採用し、而して最初一方に次に他方の上に試験する基盤岩柱を乗せ、各々其の共鳴する振動數を求めて結局試験柱に於ける縦波及び横波の速度を測定したのである。

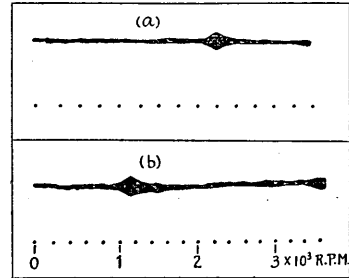


第 2 圖 採取箇所附近に於ける地質及び深度  
×印 採取箇所

Fig. 2. Sectional view of the upper superficial layer and the subjacent layer. Mark x: places that the specimens are collected.

8) 石本巳四雄・飯田汲事 前掲 3)

實驗によつて得られた試験基盤岩柱の振動曲線の一例を圖示したのが第3圖である。圖の縦軸は振動振幅を、横軸は振動数の變化を示してゐる。第3圖の(a)は縦振動によつて得られたものであり、(b)は捩振動によつて得られたものである。何れの場合にも或る周期に於て、勿論其の周期を異にしてゐるが、振動振幅が最大となつてゐる。振動周期は振動曲線の下に示した1分間の回轉數から計算出来る。



第3圖 基盤岩柱 ( $\rho=1.91$ , 含水率 = 25.0%  $h=28\text{cm}$ ) 振動に於ける共鳴曲線圖  
(a) 縦振動 (b) 捩振動

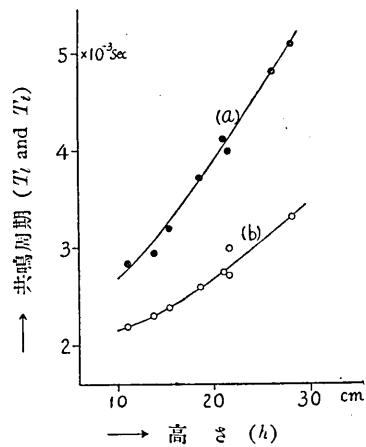
Fig. 3. Resonance curves of the base-rock column.  
(a) Longitudinal vibration,  
(b) Torsional vibration,  
Ordinate: vibration amplitude,  
Abscissa: vibration frequency.

振動振幅の最大となる時の振動周期は共鳴周期であるが、此の共鳴周期を縦軸に、試験基盤岩柱の高さを横軸にとつて圖示すれば第4圖の如くなる。第4圖中(a)は捩振動に就いて求めたものであり、(b)は縦振動に就いて求めたものである。

今縦振動及び捩振動に於ける共鳴周期を夫々  $T_l$ ,  $T_t$  とすれば,  $T_l$ ,  $T_t$  は

$$\left. \begin{aligned} T_l &= \frac{4h}{\sqrt{\frac{E}{\rho} - \frac{\pi^2 \gamma_l^2}{16\rho^2 h^2}}} \\ T_t &= \frac{4h}{\sqrt{\frac{\mu}{\rho} - \frac{\pi^2 \gamma_t^2}{16\rho^2 h^2}}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

にて與へられる。茲に  $h$  は試験柱の高さ,  $\rho$  は密度,  $E$  はヤングの弾性率,  $\mu$  は剛性率,  $\gamma_l$  は縦振動によつて得られる固體粘性係数,  $\gamma_t$  は捩振動によつて得られる固體粘性係数である。又  $T_l$ ,  $T_t$  は夫々約 1% の誤差の範囲内で求められる。第3圖の如き関係から試験體中に於ける縦波の速度或ひは横波の速度を求めるには原點から此の曲線に漸近線を引き、その直線の傾きから求めるのであつて、此の漸近線は(1)の關係によつて



第4圖 共鳴周期と高さとの關係  
(a) 捩振動 (b) 縦振動

Fig. 4. Relation between the resonance period  $T_l$  or  $T_t$  and the height  $h$  of the specimen.  
(a) Torsional vibration,  
(b) Longitudinal vibration,  
Ordinate: resonance period,  
Abscissa: height.

$$\left. \begin{aligned} T_i &= \frac{4h}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}} = \frac{4h}{V_i} \\ T_i &= \frac{4h}{\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}} = \frac{4h}{V_i} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

で與へられる。茲に  $V_i$ ,  $V_i$  は夫々縦波及び横波の速度である。斯様にして  $V_i$ ,  $V_i$  を測定し、次に

$$\left. \begin{aligned} E &= \rho V_i^2 \\ \mu &= \rho V_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

なる関係によつてヤングの弾性率  $E$  及び剛性率  $\mu$  を求める。  $V_i, V_i$ , 従つて  $E, \mu$  が求められれば、ポアソン比  $\sigma$  は

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{V_i}{V_i} \right)^2 - 2 \right\} \quad \text{或ひは} \quad \frac{1}{2} \left\{ \frac{E}{\mu} - 2 \right\} \quad (4)$$

なる関係から求められる。斯様にして求めた値を示せば第 II 表の如くなる。

第 II 表 基盤岩の弾性係數

採取場所	密度 $\rho$	試験體中の縦波の速度 $V_i$ (m/sec)	試験體中の横波の速度 $V_i$ (m/sec)	ヤング率 $E$ (C.G.S.)	剛性率 $\mu$ (C.G.S.)	ポアソン比 $\sigma$	含水率 (%)
A	1.91	380	234	$2.76 \times 10^9$	$1.05 \times 10^9$	0.32	25.0
	1.89	359	220	$2.44 \times 10^9$	$9.15 \times 10^8$	0.33	25.4
B	1.92	404	250	$3.13 \times 10^9$	$1.20 \times 10^9$	0.31	24.0

第 II 表に於ける密度は試験體の數箇所より切り取れる約 5 cm 立方の立方體の重量及び體積を測定し、それより求めたものの平均の値である。體積の測定には物指にて縦、横、高さを量り、それより求める方法及び水銀を充した壺の中に供試體を押し込み、供試體の體積により流出した水銀の重量を測定し、此の時の溫度に相當する水銀の密度を用ひて供試體の體積を求める方法等を同時に採用して行つた。第 II 表に於ける如く、採取場所 A, B に於て總ての値は多小異つて居り、B の方は A の方に比して稍々大なる値を示してゐる。又 A に 2 種類示してあるのは、採取せる基盤岩に於て極端に異ふと思はれる 2 部分から試験柱を製作して實驗したからである。此の兩者に於ては弾性の諸係數の値が異つて居るが、小なる値の方は基盤岩層の最上部に屬してゐるものである。

又第 II 表に於ける  $V_l$ ,  $V_t$  の値の測定誤差を求めるために、第 4 圖に於て示した  $T_l$ ,  $T_t$  等の値を (1) 式に代入し、最小自乗法によつて  $V_l$ ,  $V_t$  (或ひは  $\gamma_l$ ,  $\gamma_t$ ) 等の値を求めた結果第 II 表の値と殆ど一致し、その公算誤差は 2% 程度のもとなつた。従つて上表に於ける測定値には周期に於て 1%、速度に於て 2% 程度の誤差が存在してゐる次第である。

次に基盤岩層が同質等方性の物質から成立してゐると考へ、其の層中に於ける縦波、横波の弾性波傳播速度  $V_p$ ,  $V_s$  を

$$\left. \begin{aligned} V_p &= \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}} = \sqrt{\frac{3}{\rho} \frac{3+E\beta}{9-E\beta}} \\ V_s &= \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\sigma)}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{3}{9-E\beta}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

なる式から求め、更に  $\beta$  なる壓縮率或ひは體積彈性率  $k$  を

$$\beta = \frac{3(1-2\sigma)}{E} = \frac{1}{k} \quad (6)$$

なる式から求めれば第 III 表の如くになり、彈性率及び體積彈性率等は  $10^9$  (C.G.S.) の程度であつて、普通の硬い岩石に比しては可なりに小なる値を示してゐる。

第 III 表 基盤岩層中の弾性波傳播速度

採取場所	$V_p$ (m/sec)	$V_s$ (m/sec)	壓縮率 $\beta$ (C.G.S.)	體積彈性率 $k$ (C.G.S.)	固體粘性係數	
					$\gamma_l$ (C.G.S.)	$\gamma_t$ (C.G.S.)
A	455	234	$3.92 \times 10^{-10}$	$2.55 \times 10^9$	$9.11 \times 10^5$	$4.99 \times 10^5$
	438	220	$4.18 \times 10^{-10}$	$2.39 \times 10^9$	$8.50 \times 10^5$	$4.81 \times 10^5$
B	476	250	$3.64 \times 10^{-10}$	$2.75 \times 10^9$	$9.98 \times 10^5$	$5.03 \times 10^5$

又第 III 表には固體粘性係數  $\gamma_l$ ,  $\gamma_t$  が示してあるが、此等は第 II 表の  $V_l$ ,  $V_t$  の値を (1) 式に代入して求めた値と最小自乗法によつて求めた値との平均の値である。

次に表面土の弾性係數に就いて述べるが、此等の弾性係數に就いては已に研究し報告<sup>9)</sup>した次第である。然しながら比較のために再び掲げる事とし、更に前回求めてなかつた表面層中に於ける縦波、横波等の弾性波傳播速度及び壓縮率、體積彈性率等の値をも併せて第 IV 表に示す事にする。此等の値は先に求めたと同様な假定の下に (5) 式及び (6) 式から計算したものである。第 IV 表に示してある表面土の弾性の

9) 石本巳四雄・飯田汲事 前掲。

第 IV 表 表面土の弾性係数及び弾性波傳播速度

密度 $\rho$	縦波の速度 $V_p$ (m/sec)	横波の速度 $V_s$ (m/sec)	ポアソン比 $\sigma$	ヤング率 $E$ (C.G.S.)	剛性率 $\mu$ (C.G.S.)	壓縮率 $\beta$ (C.G.S.)	體積弾性率 $k$ (C.G.S.)	含水率 (%)
1.46	121	36.4	0.45	$5.61 \times 10^7$	$1.93 \times 10^7$	$5.35 \times 10^{-9}$	$1.87 \times 10^6$	50.0
1.50	165	58	0.43	$1.44 \times 10^8$	$5.03 \times 10^7$	$2.95 \times 10^{-9}$	$3.39 \times 10^6$	48.7
1.56	214	103	0.35	$4.45 \times 10^8$	$1.65 \times 10^8$	$2.02 \times 10^{-9}$	$4.95 \times 10^6$	42.6
1.56	257	138	0.30	$7.69 \times 10^8$	$2.97 \times 10^8$	$1.56 \times 10^{-9}$	$6.41 \times 10^6$	39.4
1.56	277	160	0.25	$1.00 \times 10^9$	$3.99 \times 10^8$	$1.50 \times 10^{-9}$	$6.67 \times 10^6$	37.6
1.59	381	237	0.19	$2.11 \times 10^9$	$8.93 \times 10^8$	$8.82 \times 10^{-10}$	$1.13 \times 10^9$	31.8

諸係数は種々なる含水率の値に對して求めてあるが、此等は次の如くにして求めたものである。即ち高さ 25 cm, 斷面積 25 cm × 25 cm の大きさの略々均一な土から、直径約 4 cm 長さ 25 cm の試験土柱を多數製作し、始めの含水率は 50% であるが此等を順次に乾燥させ、而して其の乾燥の程度を異にせしめ含水率を變へた次第である。斯様にして色々異つた含水量を有する同一試験土の多數の配列を始めに作り、此等に就いて實驗をしたのであつて、例へばある土柱を或る含水率に於て試験し、次に此の土柱を或る程度迄乾かし更に實驗に用ひ、斯様な操作を何回も繰返へして實驗すると云ふやうな方法を採用しなかつたのである。それは同一試験土を何回も使用する事は長い間振動を與へる事と同一結果になり、土の状態が異つたものとなる恐れをさけた爲である。第 IV 表より知られる如く、試験土の種類は同一であつても含水量によつてその弾性波の傳播速度或ひは弾性係数が異つてゐる。又表には示さなかつたが固體粘性係数は  $10^4 \sim 10^6$  (C.G.S.) 程度である事は已に報告してある通りである。又壓縮率は  $10^{-9}$  (C.G.S.) 程度のものである事が判つた。

### 結果に對する考察及び結語

上述の如くにして表面土及び基盤岩の弾性の諸係数を夫々測定し得た次第である。今兩者の弾性係数の比較をして見る事とする。勿論表面土の弾性係数はその含水量によつて異つてゐるから、その變化範圍を示す事とすれば

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{1}{1.24} = 0.81$$

$$\frac{E'}{E} = \frac{1}{43} \sim \frac{1}{1.6}; \quad \frac{\mu'}{\mu} = \frac{1}{47} \sim \frac{1}{1.3}$$

$$\frac{V_p'}{V_p} = \frac{1}{3.6} \sim \frac{1}{1.2}; \quad \frac{V_s'}{V_s} = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{1.1}$$

$$\frac{V_p'}{V_s'} = 3.3 \sim 1.6; \quad \frac{V_p}{V_s} = 1.99 \sim 1.91.$$

となる。此處に  $\rho'$ ,  $E'$ ,  $\mu'$ ,  $V_p'$ ,  $V_s'$  等は表面土のものを表はし,  $\rho$ ,  $E$ ,  $\mu$ ,  $V_p$ ,  $V_s$  等は基盤岩のものを表はしてゐる。又基盤岩の固體粘性係数は表面土のそれより1桁高く  $10^5 \sim 10^6$  (C.G.S.) の程度であり, 基盤岩の壓縮率は表面土のそれより1桁低く  $10^{-10}$  (C.G.S.) の程度である。

上表に於て見る如く, 弾性の諸係数の比の變化範圍が可なり大であるが, 表面土の實驗に於ては含水率 40% 位迄の値は實際のものに近いと思はれる。含水率 40% 以下のものに對しては試験土は硬くしまる結果實際のものとは異つたものやうと思はれる點もあつた。従つてその測定値に多小の誤差があらうと考へられる。又表面土の採取當時の含水率が 50% であつたが, 此れを實際の表面層のものに應用する場合には, 表面層の上部と地表下 20 m 附近のものとは可なり含水率や緻密度も異つて居ると考へられるから, 表面層全體としては實驗に於ける含水率 40% 程度の弾性係数, 即ちヤング率  $6.8 \times 10^8$  (C.G.S.), 剛性率  $2.6 \times 10^8$  (C.G.S.) 程度であり, 縦波, 横波の速度として夫々 250 m/sec, 130 m/sec 程度の値を採用すればよいのではなからうかと思はれる。従つて上述の兩者の弾性係数比等も其の變化範圍の平均値を採用すれば, それは表面層と其の下の層との弾性係数比を表はして居ると見る事が出來よう。又此等弾性率の比の變化範圍は工學的に求められた地耐力の比の變化範圍に大體一致してゐる。勿論地表下に於ては壓力等の影響も考へられ, 此等のために實際のものは實驗によつて求められたものとは多小異つてゐるであらうが, その値の程度にはそれ程の差があるものと思はれない。

齋田學士, 鈴木氏の兩氏<sup>10)</sup> が嘗て丸の内の地表上と地下約 20.5 m の基盤岩上とに於て地震動加速度を觀測し, 各場所に於ける卓越周期等を決定されたが, 妹澤博士<sup>11)</sup> は此の結果を調査して, 地表の振幅の大きくなつてゐる所は地下の振幅の大きくなつてゐる所の 3 倍乃至 4 倍である事を指摘され, 而して地表の大振幅は同時性の場合に現はれた變位とし, 地下の大振幅は他の周期の場合の變位であると假定し, 密度一定なる場合に於ける地表層の弾性が地下のその 1/9 乃至 1/16 位であるとせられてゐる。又此の場合地表層中での固體波の速度は下層中に於ける速度の 1/3 乃至 1/4 位である事を必要とし, 各層を通じての或る固體波の速度は 200 m/sec 及び 600 ~ 800 m/sec であらうとせられてゐる。此の結果と筆者の測定した値とは完全に一致

10) 齋田時太郎・鈴木正治 前掲。

11) 妹澤克惟・金井清 前掲。



しない。尤も妹澤博士の得られた上述の値には色々な假定がなされてゐるし、筆者のは直接に實驗によつて得られたものであるから比較すべき性質のものではないかも知れないが、大體の傾向は一致してゐるとも云へよう。此等の點に關しては今後の研究に待つ事にし、此所には唯實驗の結果のみを述べた積りである。要するに實驗結果では基盤岩層の中の縦波及び横波の傳播速度は平均の値として 450 m/sec 及び 235 m/sec 程度のもとなつたのである。

筆を擱くにあたり表面下 20 m 餘の深所から、龜裂し易く採掘困難な基盤岩を害さぬやうに取り出す事を心よく引き受けて下さつた第一生命保險相互會社の名古屋徳次學士並びに深礎工業社々長木田保造氏の兩氏に對し深甚の謝意を表する。又彈性係數測定實驗に際し御激勵を賜つた石本先生に厚く感謝の意を表する次第である。

50. *Determination of the Elastic Constants of Superficial Soil and Base-rock at Maru-no-uti, Tôkyô.*

By Kumizi IIDA,

Earthquake Research Institute.

1) The elastic constants of soil in the upper superficial layer and base-rock in the subjacent medium at Maru-no-uti, Tôkyô, were investigated. The superficial soil and base-rock were obtained in their natural state from depths of about 8 m and 20.5 m respectively from the ground surface by means of borings.

2) The transverse wave-velocities as well as the longitudinal wave-velocities in the superficial layer and the subjacent medium were obtained by means of the vibration methods shown in our previous papers<sup>12)</sup>, after which their moduli of rigidity, Young's moduli, Poisson's ratios, bulk moduli, cubic compressibilities and solid viscosity coefficients were computed.

3) The solid viscosity coefficients of the base-rocks are of the order of  $10^5 \sim 10^6$  (c.g.s.), their elastic constants of the order of  $10^9$  (c.g.s.), their cubic compressibilities of the order of  $10^{-10}$  (c.g.s.), their Poisson's ratios are 0.31~0.33, their densities are 1.91, and the longitudinal and transversal wave-velocities in the layer of the base-rocks are about 450 m/sec and 225 m/sec respectively.

4) Let  $\rho'$ ,  $E'$ ,  $\mu'$ ,  $V_p'$ ,  $V_s'$ ,  $\rho$ ,  $E$ ,  $\mu$ ,  $V_p$ ,  $V_s$  be the densities, elastic constants, longitudinal and transversal wave-velocities of the upper superficial layer and the subjacent medium respectively. The ratios of the elastic constants of the upper superficial layer to those of the subjacent medium are then as follows:

$$\frac{\rho'}{\rho} \doteq 0.81, \quad \frac{E'}{E} \doteq \frac{1}{43} \sim \frac{1}{1.6}, \quad \frac{\mu'}{\mu} \doteq \frac{1}{47} \sim \frac{1}{1.3}, \quad \frac{V_p'}{V_p} \doteq \frac{1}{3.6} \sim \frac{1}{1.2},$$

$$\frac{V_s'}{V_s} \doteq \frac{1}{6} \sim \frac{1}{1.1}, \quad \frac{V_p'}{V_s'} \doteq 3.3 \sim 1.6, \quad \frac{V_p}{V_s} \doteq 1.99 \sim 1.91.$$

12) M. ISHIMOTO and K. IIDA *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 14 (1936), 632; 15 (1937), 67.