

31. 東京大学構内深井戸の水位変化

地震研究所 山口 林 造

(昭和 39 年 2 月 25 日発表—昭和 39 年 7 月 28 日受理)

要 旨

東京大学構内にある深井戸の水位変化について報告する。1963 年末における水位は、 -24.8m A.P. になっている。実に東京湾中等潮位以下約 26 m にもおよび、1932 年の観測開始当初からは約 29 m 低下したことになる。地下水汲上げによる地下水位の低下は、かなり広範囲に影響しているものと思われる。

最近 3 年間における水位低下の速度は、ほとんど変わらず 1 年につき 2.7 m 程度である。100 m 以下の浅井戸における水位低下が、1962 年にはかなり緩和されたとの報告と比較して地下水の利用が深部に移ったことが考えられるが、依然として軟弱地盤地域の沈下は楽観を許さないことを指摘する。

1. 序 言

東京大学の構内、弥生門を入つて理学部一号館へ行く道の左側の小屋のところに、深さ約 380 m の深井戸がある。この深井戸は地下温度の測定および地質検定の目的をもつて、1894 年震災予防調査会の事業の一つとして着手せられ、その当時の穿掘の様子および深井戸地質の詳細は 2 回にわたつて報告されている¹⁾。そして 7 年後には温度の測定も始められた²⁾。もちろん水位変化の測定についても、観測計画の一つであつたことはいふまでもない。

1903 年から 1904 年のある期間については、本多光太郎によつて連続観測が行われ³⁾、水位変化の性質についての研究がなされている。規則的变化としては、東京湾における潮汐との関連、また気圧変化の影響の割合などについて述べられている。

それ以来約 30 年、この深井戸に関する水位の観測は行われなかつたようであるし、また関係のある資料も見当たらない。

さて大地震と関係して、その前後に井戸の水が増減し、あるいは濁濁したりする異状が、たびたび報告されている⁴⁾。そこで松沢武雄が 1923 年の関東大地震との関係の有無

- 1) 吉田彦六郎「深井穿掘ニ関スル報告」震災予防調査会報告 2 (1894), 144.
山崎直方「深井地質第一回報告」;「同第二回報告」震災予防調査会報告 2 (1894), 147; 20 (1897), 4.
地質学的な興味に関係あるものとして、最近では野口喜三雄による水質の検査もある。
- 2) 田中館愛橘「地下温度調査第一回報告」震災予防調査会報告 45 (1903), 17. また最近では上田誠也、宝来帰一による温度測定も行われた。
- 3) K. Honda, "Daily Periodic Change of the Level in Artesian Wells," *Publ. Earthq. Invest. Comm.*, 18 (1904), 73.
- 4) 宮部直巳「地震に伴へる地下水の異状に就て」地震 5 (1933), 21.

に疑をもったのが契機となり、再びこの深井戸の水位観測は始められた。松沢武雄による連綿たる努力は戦争中もかかすところなく行われ、得られた記録は特に最近災害問題と関連して活発に論じられている地盤沈下に対し、一つの貴重な資料となつてきたといえよう。それとともに、既にこれに関してなされた報告から可成りの時期も経過したので、一応簡単な報告を記すことにした。

この報告では、特に地盤沈下の問題に対して、深井戸の水位変化の持つ役割に焦点を合して述べて行きたい。また、より良く理解しようよう東京都土木技術研究所から出されている報告⁵⁾⁶⁾を比較参照のために引用させて頂いた。

2. 深井戸の水位変化

長い間の連続した観測記録は、1932年10月に松沢武雄によつて始められ、その指導のもとに多くの人々が観測結果について発表をされている。以下にほんの筋道だけを述べておこう。

先づ1933年4月頃までの資料については前田競の報告がある⁷⁾。水頭はその当時、地表面下約12mと記されている。特に水位変化の微細な点に着目し、一箇月間の観測結果から調和解析によつて M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , M_4 , MS_4 などの9分潮の潮汐常数を求めている。それらのうち、先づ信用できる4分潮 M_2 , S_2 , K_1 , および O_1 について壺岸島のそれらのものと比較するとき、1日週期の分潮 K_1 の他は、大体その振幅は1/100程度になり、time lag は40~50分位であることが分つた。また気圧変化によつても30~37%の範囲で水位に変動を及ぼし、更に降水による水位への影響などにもふれている。然し継続的な水位の減少は、附近にある浅井戸の水位変化には見られず、この現象の解釈は次の森田稔の研究によつて説明されることになる⁸⁾。

森田稔は1934年5月までの1年半余りの期間にわたり、気圧および潮汐の影響を除き、平均水位の逐日変化の状況を示した。それによると水位の減少速度は夏期7,8月頃が最も大きく、早春3,4月頃が最も小である。またその期間に水位に数十厘の減少があるが、その間における異常な上昇は雨量の他に、休日による地下水使用減少の人為的効果であることが指摘された。特に12月末から1月始めにかけの上昇は明瞭に確かめられた。また永続的減少も人為的効果の影響であることが推定された。かくして地下水の汲上げによる消費が、水位変化に対する有力な因子として考えられるようになった。

その後1935年5月までの引続く1年の観測材料に対し表俊一郎⁹⁾の報告があり、上述の他に夏期における昼間と夜間の地下水汲出量の差についてもふれられている。

5) 吉田辰雄・尾崎 登・稲葉 佳「東京の地盤沈下調査」土木技術研究所報告 37 (1960)。

6) 東京都土木技術研究所「水準測量と地盤沈下、地下水位の観測成果 (昭和 37 年)」(昭和 38 年 10 月) 等。

7) 前田競「一深井に於ける水位の変化」地震 6 (1934), 275。

8) 森田稔「東京帝国大学構内に在る深さ 380 米の深井の水位の変化に就て」地震 7 (1935), 395。

9) 表俊一郎「東京帝国大学構内に在る深井の水位変化」地震 8 (1936), 531。

以上「地震」誌上に毎年続けて発表された報告により、深井戸の水位変化に及ぼすいろいろな原因、すなわち潮汐、気圧、降雨量それに地下水の汲出量によるものなどについても知り得たわけである。

その後も水位の調査は松沢武雄によつて、辛抱強く戦争中も続けられてきた。それら長期にわたる観測結果は、1952年の始め頃までは佐藤泰夫により、地震研究所談話会において数回にわたり発表されている¹⁰⁾。その後水位の引続き減少している様子は、1955年頃までは「科学」誌上に簡単に紹介され¹¹⁾、同時に松沢武雄による補足説明がなされた¹²⁾。愈々地盤沈下の問題も激しく論じられてきた時期でもあつた。終戦の年、1945年の前後数年間、地下水汲出量の少なかつた時期に、Fig. 1に見られるごとく水位が上昇したことは顕著な事実であり、水位変化の原因が明瞭に裏付けられたことになつた。

その後、1957年6月から1960年4月まで、いろいろな事情によつて、ほとんど欠測と同様な期間が続いた。1960年5月から再び観測が開始され、それ以後、今日に到つてい

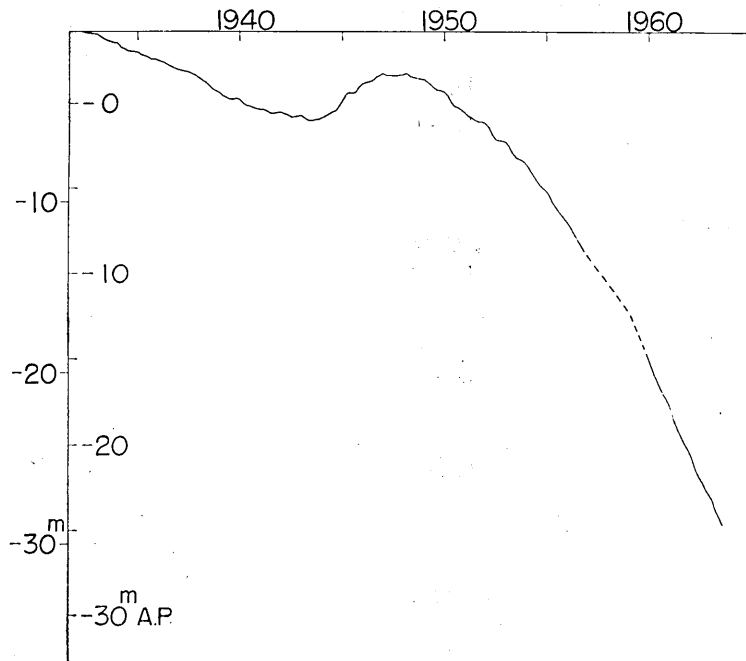


Fig. 1. Change of the water level of the deep well in the University of Tokyo. A.P. level is 1.134 m under T.P. (nearly equal to the mean sea level of Tokyo Bay)

10) 佐藤泰夫 地震研究所談話会 第252回 (1949年1月18日); 第262回 (1949年12月20日); 第273回 (1950年12月19日); 第287回 (1952年3月18日)。

11) 佐藤泰夫「東京大学構内深井戸の水位」科学 **26** (1956), 633。

12) 松沢武雄「佐藤の寄書に対する補足」科学 **26** (1956), 633。

る。最近における測定は単に1日1回の測定で、欠測は月に数回あり、それらを月平均したものが図に記入せられる。したがって日記記録で得られる月平均値との間の誤差は、ある程度止むを得ないし、既に報告されたような細い議論はもちろんできない。それゆえ、目的も地下水利用の人工汲出による大きな変動に向けられている。そして得られた結果に関しては、既に地震研究所談話会あるいは地震学会で数回にわたり報告してある¹³⁾。

Fig. 1 に上述した 1932 年 10 月観測開始当初から 1963 年 12 月までに至る深井戸の水位変化の様子を図示する。長期にわたる連続観測の結果のうち、何といても終戦の年、1945 年の少し前から現われ始めた大きな水位の上昇は、敗戦の事情を雄弁に物語るものである。空襲により東京の工業地帯が全く廃虚と化し、その工業機能が停止し、地下水の使用もそれにならつた点を明瞭に表明したようなものである。更に 1950 年以来復興が目覚しく、終戦前にも増していることは、この水位曲線の減少一途の様子を見ても伺い知ることができる。

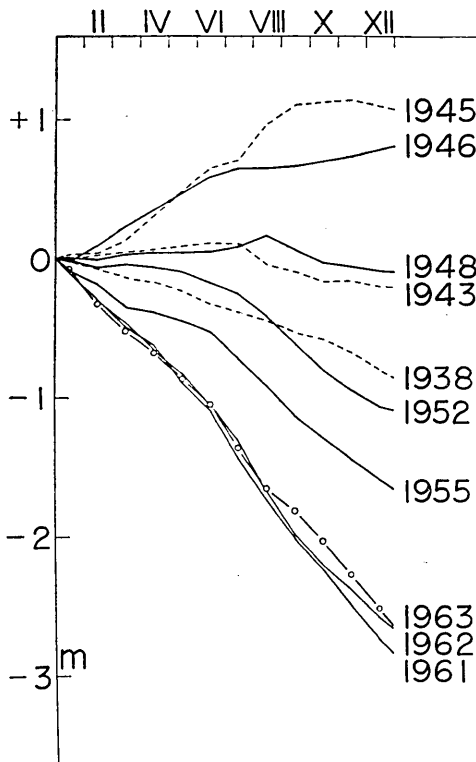


Fig. 2. Change of the water level of the deep well in each year.

次に水位変化について、いくつかの傾向を有する年、および最近の三年間を選び各年における月変化の様子を示したのが Fig. 2 である。1938 年においては水位の低下も、ほとんど一様で 1 m 足らずである。終戦前の 1943 年には余り低下せず、それ以後上昇するようになるが、面白いことに夏季に入り地下水の利用度が高くなると、7 月以前の水位変動に比べて、より速く低下する傾向にあることが良く示されている。特に 1955 年頃以降では、その時期が 1 月程早く 6 月から現われている。もちろん低下も次第に激しくなり、特に最近の 3 ケ年は 1 年に 2.5 m を超える低下を示している。1962 年以後は幾分緩和される傾向にあるように見えるが、ほとんど水位の減少して行く速度は変わらず、何処まで低下するか予測はできない。

さて、それでは水位そのものは、どうであろうか、Fig. 1 には水位を表わす基準として、よく土木工事で使用され、東京湾中等潮位基準よりも 1.134 m 低い A. P. 基準によるものをも縦軸に目盛ることにした。A. P.

13) 山口林造 地震研究所談話会 第 389 回 (1961 年 6 月 27 日); 第 407 回 (1963 年 2 月 26 日); 第 418 回 (1964 年 2 月 25 日); 地震学会 (1963 年 5 月 2 日)。

基準による水位の決定に際しては既述した文献には、余り明確にふれていないので一応測定することにした。1961年6月3日岡田惇により測定、深井戸井口の高さは15.0317 m T. P. と定めた、測定には近くの基線尺検定室一等水準点の1954年の測定値を基準にしている。この値を利用し深井戸の鉄管は不動として過去に逆上つて目盛りされている。深井戸のある場所の地盤は比較的良く、しかも鉄管は深いわけであるが、それでも厳密に言えば30年の間には幾らかの変動はある筈である。それにしても水位の変動に比較すれば考慮する程の問題ではないと思う。

図に見られる通り、-25 m A. P. にまで低下しており、深井戸のある地質では間もなく第3の帯水層の middle に届こうというのであるから驚いたものである。不安な気持ちを抱かせるのも無理はないし、そのような地下水の水位の低下は、工業地帯の密集している沖積地帯における地盤沈下の憂慮すべき問題へと発展してくるのも当然ではある。

3. 地盤沈下と地下水位との関係

東京、大阪、新潟、名古屋など海岸平野に発達している大都市には、地盤沈下の問題は避けることができないし、積極的な対策が望まれている。

もちろんこのような問題は今更始まつたわけではない。この題目のもとに既に1941年、宮部直巳によつて単行本として出されている程である¹⁴⁾。大正の終りから昭和の初め、東京あるいは大阪のいわゆる軟弱地盤を持つ地域の沈下問題は、大きく取上げられていたようである。当然のことながら東京では1923年の関東大地震、大阪では1925年の北但馬、1927年の北丹後地震との関係を始め、いろいろな原因説が出ている。然し水準測量の結果からして表層粘土層の軟弱地盤の収縮が問題になり、その原因として結局地下水説が一つの有力なものとなる。和達清夫による1938年からの大阪九条における地下水位と地盤の沈下速度との研究が良い例である。約2ヶ年間の地盤の沈下速度の変化が、地下水位の変化にかなり平行した関係にあることが指摘されている。然しいつも成立つ地盤沈下と地下水位変化との定量的な関係というものは、余りに複雑で簡単には決められそうでない。

東京都土木技術研究所から出されている報告から、江東、墨田、足立の各区における主なる水準点の経年沈下量を引用する。深井戸の観測との比較に便利なよう、1932年頃を基準にして、それ以後の沈下量を Fig. 3 に示した。一見してすぐ分ることは水位が上昇している時期には、地盤の沈下もほとんど止み、あるいは上昇していることである。もちろん各地区の特性によつて変化の程度に違いはある。同じ地区の中では、墨田区の江東橋を除いて割合に似た傾向を示している。ともかく深井戸の水位と、深井戸のある位置からかなり離れた江東地区の軟弱地盤の沈下との間には、ある相関が考えられる。

一方、江東地区における地下水位の観測は、1952年以前には見られず、ボーリングに

14) 宮部直巳 地盤の沈下 (河出書房, 1941).

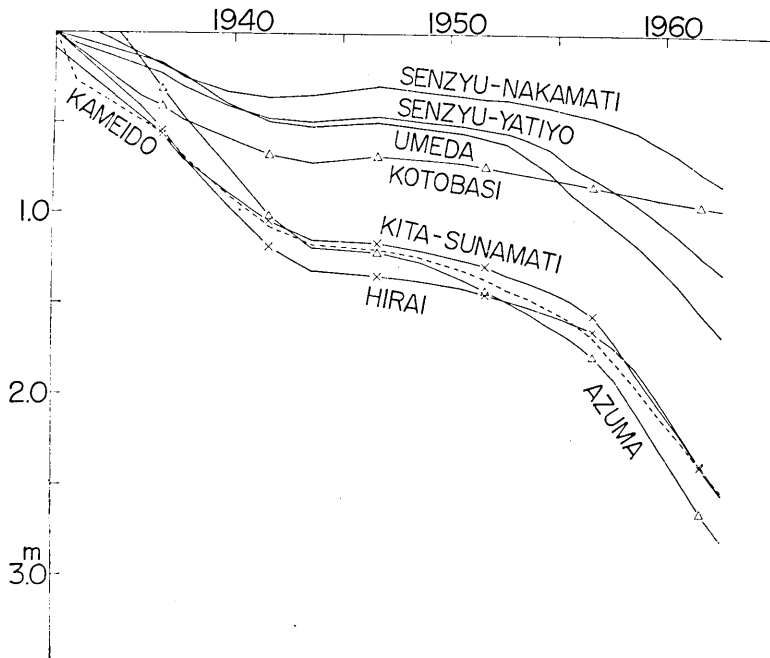


Fig. 3. Variations of the ground heights for regions in the eastern part of Tokyo.

よる鑿井の際における地下水位の観測が報告されているが¹⁵⁾、それによると終戦前と後との各十数年にわたる水位低下の傾向はよく似ており、終戦後における水位は、1932年頃の水位以上に上昇し回復したように思える。そういう意味では、深井戸の水位変化の方が、地盤の変化にさらに近寄つた変化を示すといえる。

沈下が激しくなつてきた1953年頃からは、問題解決の道を得るため、江東地区でも水位の観測が始められるようになってきた。そして軟弱地盤地域における浅井戸の水位変化と、それ程沈下しない場所にある深井戸の水位変化との関係は、どうであるかが次の問題になる。

4. 軟弱地盤地域の地下水位との比較および地盤沈下との関係

軟弱地盤地域の水位観測所として、江東区の北砂町、南砂町、亀戸町、墨田区の吾娯町、足立区の千住弥生町などがあり、1953年以降次々と観測を始められているが、それらの最近までの水位変化の報告を深井戸のそれと比較したのが Fig. 4 である。いずれの観測値も A. P. 基準で示したが、沈下のはげしい観測所でもあるから、当然基準鉄管の

15) 5) を参照。

変動も考慮に入れなければならない。基準鉄管の測定は限られた時期に行われるから、多少の差をとまなうのは止むを得ないが、10年間における水位の低下の大きな変動を比較する上では、図示したもので充分であろう。

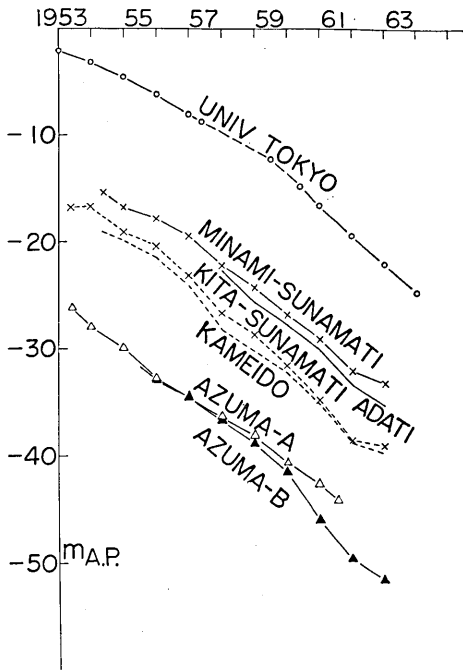


Fig. 4. Change of the water level of the deep well and those of wells in the Koto region, Tokyo.

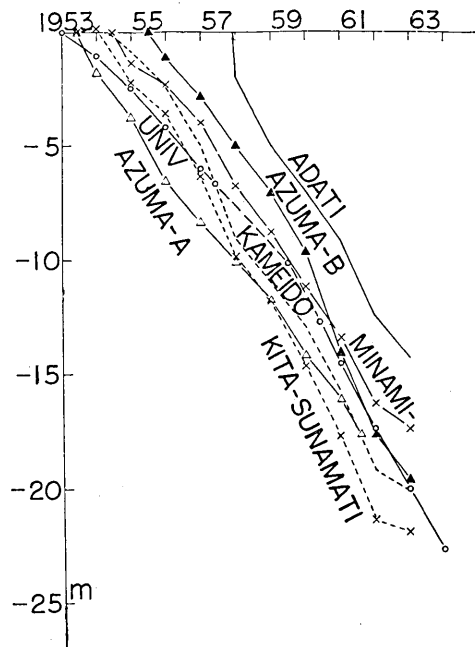


Fig. 5. Comparison of the lowering of ground water level for various wells.

面白い点として地域は変つていても、そして観測井の深さが約 50 m から 380 m の違いはあつても、水位低下の減少速度は似ているという点であろう。特に深井戸の水位変化までが浅井戸のそれらと同じ傾向を示している点は一層興味深い。前にも述べたごとく終戦前における浅井戸の水位変化の様子は、たとえボーリングの際における測定とはいえ、終戦後における低下の傾向とある程度似ていたのである。そのことを考え合せると地下水汲上げによる水位の低下は、可成り広範囲にわたつて影響を及ぼしてきたと思われる¹⁶⁾。

水位の低下量を容易に比較するため、1953 年以降それぞれの観測所の当初からの低下の様子を Fig. 5 に示す。深井戸の水位変化を中心に、それ程大きな差は見えない。10 年間に約 20 m 低下する程度で図におさまるが、1958 年以降の低下は、それ以前に較べていくらか激しさを加えている。細部についての変動を見れば、もちろん各観測所によつて、それぞれ異つてはいるが、大雑把な幅をもつて見れば、1958 年以前では 10 m 低下するに

16) このことは 1961 年 6 月の談話会において既に報告。

約6年を要しているが、それ以後は約4年で10mを低下している。然しながら最近一、二年の浅井戸の水位に関しては、可成り低下の様子は緩和されてきた。そのことについては後述することにする。

観測所吾嬬Aに関しては、観測井の底が深さ47mで浅いため水位がほとんど底に接近し、36年8月よりは観測は停止されている。

さて、そのような地下水の水位の変化は、地盤の沈下によつてどのような影響をもたらしたか、同様な期間における地盤沈下の報告を見ることにする。

土木技術研究所では各観測所の基準鉄管をもとにして鉄管底より上の部分の沈下量は常時観測している。各観測所の基準鉄管の深さは以下の通りである。

北砂町	65.5m	吾嬬A	47.0m
南砂町	70.0	吾嬬B	115.0
亀戸	60.8	足立	111.5

Fig. 6には1954年以降の上層部の沈下の様子を図示した。1957年以前と以降では可成り明瞭に沈下速度の違いが現われている。これらの変化の傾向は、前述した水位変化と多少のずれはあつても、良く似た傾向を示しているといえよう。ただ観測所吾嬬Aに関しては例外であるが、それは基準鉄管が前にも述べたごとく他に比べて浅いことに帰因していると思われる。そのことは基準鉄管より深い部分の沈下の様子を見れば察しがつくことである。それをFig. 7に示す。

Fig. 7からよく分るごとく、鉄管底より下の沈下は、1954~1962年の期間に亀戸のよ

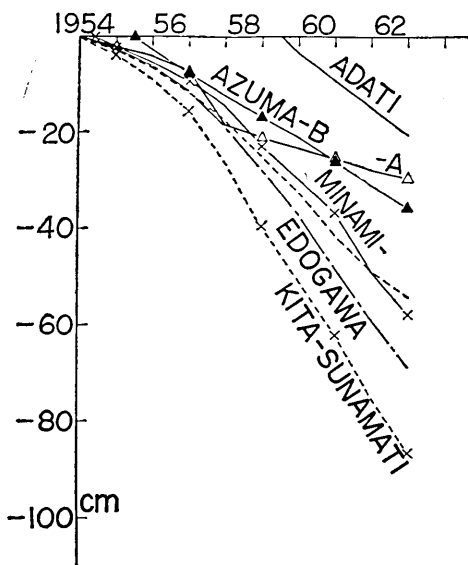


Fig. 6. Change of the shrinkage of the upper part from that at the bottom of each well.

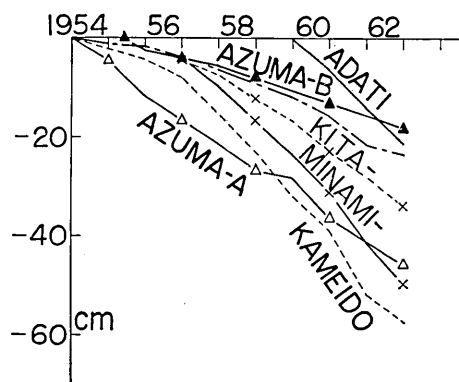


Fig. 7. Change of the shrinkage of the lower part from that at the bottom of each well.

うに約 60 cm に及ぶものさえある。そのことは前にも述べたごとく、水位変化が深井戸にも同様に影響していることから考えて当然の帰結といえよう。また吾嬭Aに関して、他の観測所と異つた上層部の変化は下層部においては見られない。そして下層部の方に、むしろ沈下量の負担がかかっていることが見られる。また他の観測所においても、下層部の沈下量は可成りの割合を占めている。それら下層部の沈下量と Fig. 6 に示した上層部の沈下量を加算したものが地表面の沈下量になるが、それを Fig. 8 に示す。

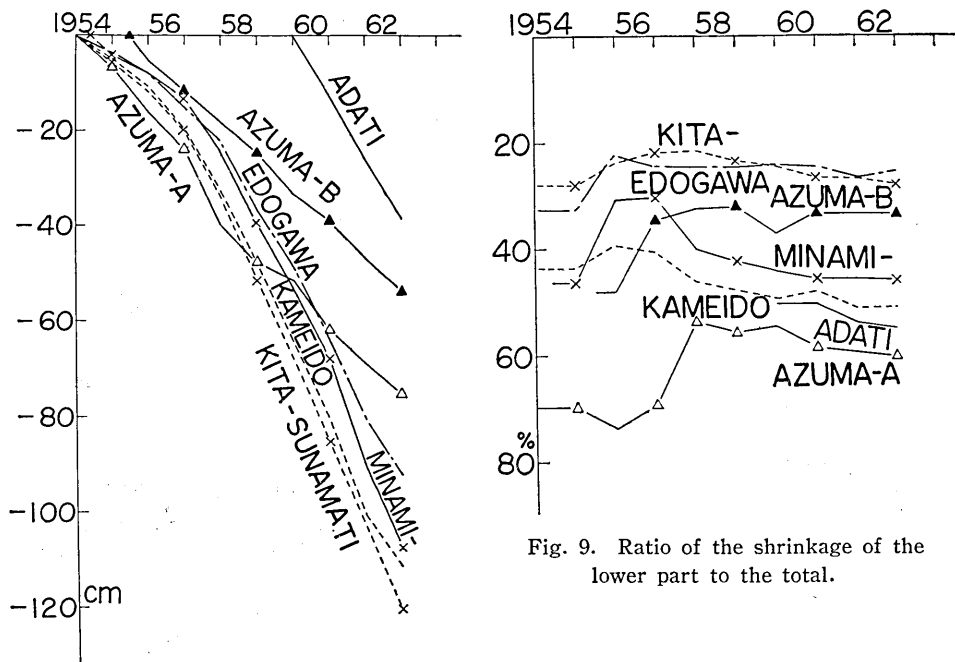


Fig. 8. Ground sinking, or the total shrinkage for each station.

Fig. 9. Ratio of the shrinkage of the lower part to the total.

地盤沈下に悩み、果ては恐怖のゼロ・メートル地帯といわれている江東地区は、その原因も分つていながら解決しえないでいる現実である。護岸工事に見られる嵩上げの上に嵩上げ、それも限度に来ていた感じさえしている昨今である。それもその筈 1954~1962 年の 9 年間に北砂町、南砂町、そして亀戸においては、実に 1m を超えた沈降を示しているのであるが、その対策に如何に莫大な経費と労力を要するかは察しがつこうというものである。そしてその沈降が、ごく上層部の軟弱地盤だけに止るなら、まだある程度楽観は許されるが、そうでないところに心配がある。地盤沈下に関し鉄管底より下層部の受持つ割合を图示したのが Fig. 9 である。

全沈下量に対する下層部の比率は、それぞれの年におけるものでなくて、その年以前の積算したものを考えた。

各観測所ともそれぞれ違った変化を示すが、1958年以降においては、ほぼ一定の値を示し、ほんの僅か下層部の沈下率が増す傾向に見える。これらのことは違った特質を持つ地盤に対して、ある層の収縮と地盤沈下に対して興味ある関係が出ていると見られよう。以上は約10年程度の間における地下水位の低下と地盤の沈下の大体の様子であるが、それではごく最近における月々の変動は、どう変つて来ているかが次に注目されなければならない。

5. 最近における水位変化と地盤沈下

地盤沈下問題に対しては、最近いろいろと対策が立てられている。工業用水道の建設、高潮堤防の建設、護岸の嵩上げ工事、排水設備の強化など、いろいろとあるであろうが、一寸した大雨にも浸水する有様では、それを防ぎきるには余程の経費と労力が必要である。一方地下水汲上げによる水位の低下は、まだまだ終りそうにない。

1961, 1962年の2年間における各観測所の水位変化を Fig. 10 に示す。各月の水位は月平均を以て比較した方が妥当であるわけであるが、前からの例を引継いでいるゆえ月末値が示される。したがって月末における特殊な変化が、よく図に現われ変動も大きく上下することになるが仕方がない。深井戸の場合には水位変動にそれ程大きい変化はないので、たとえば月末値をとつても、ほとんど直線的に低下している、その点では軟弱地盤地域にある浅井戸とは傾向を異にしている。

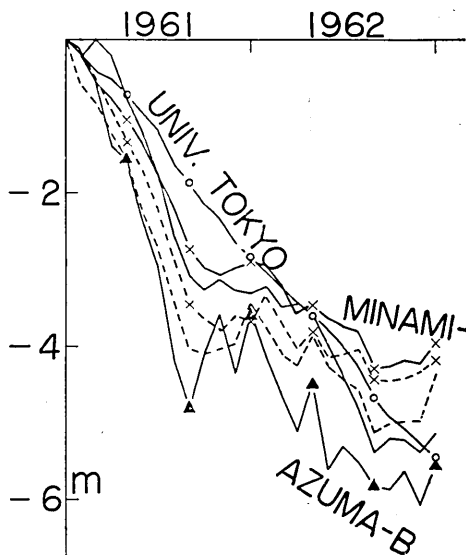


Fig. 10. Change of the water level of each well for the last two years. The values at the end of each month are used as the data.

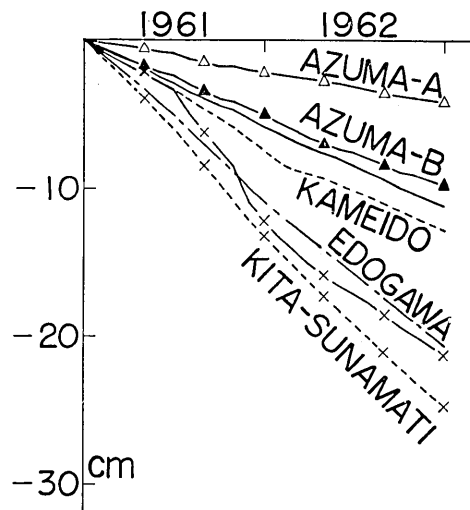


Fig. 11. Change of the shrinkage for the upper part from that at the bottom of each well for last two years.

浅井戸の1961年における水位変化は、夏季にかけては深井戸のそれより倍近い低下を示しているが、冬季においては逆に上昇し、一年を通じた結果では数十糎余計低下した程度である。また1962年までの2年間を通じて見れば、むしろ深井戸の方が低下したことになる。

さて、その期間における地盤沈下の様子は Fig. 11 の通りである。水位の変動はかなりの変化を示しているが、その場所における地盤は、ほとんど同じ速度で沈下している。ただ南砂町における1961年中頃からの異常な沈下は、その附近における下水工事の影響だということである。すなわち、この期間を通じての地盤の沈降速度は、水位と平行関係にないことは明らかである。むしろ深井戸の水位変化と同じように、それぞれの地盤に特有な割合いで、ほとんど直線的に変化している。もちろん鉄管底より下の部分の変動は、精しく測定されていないから上層部の変動に限られたものを図示してあるが、前述したように長期の変動から推察して、全沈下量に対しても同様な結論に導かれるものと思う。

特に今後の予想のために1962年の水位変化のみを取上げ、それを Fig. 12 に示した。ここでは月平均水位について、それぞれの観測所の水位変化が比較されている。この年には、それ以前の年における変化より浅井戸については著しく水位の低下が軽減された。特に亀戸、北砂町、南砂町など、観測井の深さが60~70 m位のものについては、前年に比較して水位の低下が約1/3~1/6程度に減少したことは著しい。もちろん足立、吾娰Bなどの深さが100 mを超えた観測井についても、その水位の低下が前年に比し6割程度になつたことは著しい変化といわなければならない。それら低下速度の減少は地盤沈下に対しても、先にした図を精しく見れば、僅かながら沈下速度を緩めているようである。然しながら深井戸の水位変化については、それ程著しい変化は現われず、ほとんど水位低下の傾向は変っていない。このことから地下水の利用が浅井戸では充分に満されず、需要がより深い方へと向いたことが想像される。そういう意味で地盤沈下の問題に対して、深井戸の水位変化の指示するところは、依然として樂觀を許さないことを警告していると言える。

6. 結 語

以上で深井戸の水位変化、ならびに浅井戸のそれとを比較しながら地盤沈下の問題についても、ふれたわけであるが、単なる資料の羅列になり不十分な説明に終つた嫌

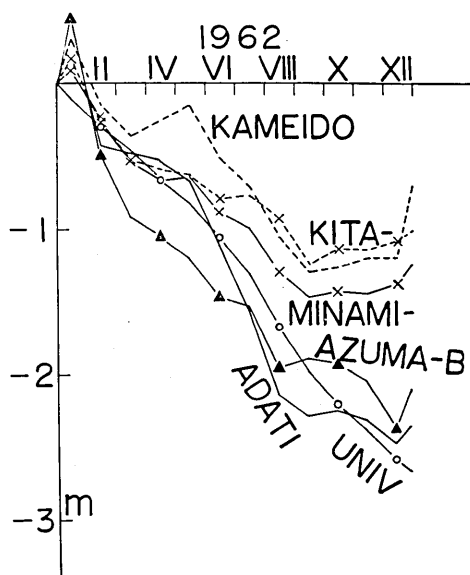


Fig. 12. Change of the water level of each well in 1962. The monthly mean values are used as the data.

いがある。かつて深井戸の水位変化につき、先輩諸氏が精しい研究を報告されてから可成りの年月が経過している。その後のことについて、口頭による報告だけでは何かと不便であるので、簡単な紹介でもと思い非才をかえり見ず筆をとつた次第である。

この報告において最も重要な点は、長期にわたり深井戸の観測が継続されたことであろう。このことは松沢武雄先生の永い間における連綿たる御努力にあることは今更申すまでもない。この報告が、その意の一端でも皆様に御伝えできれば幸である。

終りに松沢武雄先生および佐藤泰夫先生からは、いろいろと御注意を頂いた。心より厚く御礼申し上げる。また深井戸井口の高さを決める上には、岡田惇氏の御世話になつた。同氏に厚く感謝の意を申し上げる。最後に比較の資料として東京都土木技術研究所から出されている報告を随所に引用させて頂いた、御関係のある方々に対しては、厚く御礼を申し述べたい。

31. Change of the Water Level of a Deep Well in the University of Tokyo.

By Rinzo YAMAGUCHI,

Earthquake Research Institute.

It is well known that in the University of Tokyo, there is a deep well, of depth about 380m, the height of the pipe head of the well being 15m higher than the mean sea level of Tokyo Bay.

In this report, the change of the water level of this well is shown. Measurements of the ground water level of the well have been made since 1932. The lowering of the water head amounted to about 29m at the end of 1963, the height of the water level being 26m under the mean sea level of Tokyo Bay.

The lowering rate of the water level has been about 2.7m per year for the last three years.

As is known, the principal cause of the ground sinking is the lowering of the ground water level. Comparing the water levels of the deep well with those of shallow wells situated in the Koto region, eastern part of Tokyo, it is inferred that the ground water has recently been pumped-up mainly from a layer deeper than 100m from the surface.

The fact mentioned above suggests that the ground sinking is still remarkable in the region where the alluvial deposit is thick.