

# 東京の地盤沈下

竹崎 忠 雄\*

## 1. ま え が き

東京・千葉・埼玉・神奈川、大阪・兵庫、新潟などの沖積低地が沈下するという事実は、一般にも公害問題として知られ、その主な原因が、地下水の供給をはるかにこえた過剰揚水による地下水位の低下にあるということも、1945年前後の戦災による生産活動の停止によって、地下水の揚水が少なくなり、地盤沈下が停止したという事実から認められてきた。

このような地盤沈下の現象が、都内の主要工業地帯である臨海沖積低地に長年にわたって認められ、特に最近では洪積台地や深い地層にも波及し、それが激しさを増してきたという事実は、都の行政に大きな問題を投げかけている。したがって、その対策を早急に樹立しなければならず、地盤沈下の機構や実態を正確に把握する必要がでてきた。

本報文は、最近の地盤沈下の現状および調査がいかに進められているかという点について述べたもので、発表にあたっては、東京都土木技術研究所材料部長倉持文雄氏の協力を得たので記して感謝の意を表する。

## 2. 地盤沈下調査の経過

江東地区の地盤沈下現象は、1910年頃にはすでに多少おこっていたようである。しかし、これが指摘されたのは1923年の関東大震災後の水準測量の結果からである。その後1930年の改測によって、さらにこれが確認され、その範囲は本所・深川の全域にわたり、また隅田川以西においても、赤坂溜池・丸の内から神田に至る地帯、日本橋浜町河岸、浅草付近などの沖積低地にも、沈下がおこっていることが確かめられた。このような沈下現象に対して、当時、東京大学の今村明恒氏は1931年に地塊運動説を提唱したが、この報告<sup>1)</sup>が地盤沈下に関す

る最初のものである。

そこで水準点を増設して調査を進めた結果、この沈下現象はきわめて広範囲で、かつ年とともに増大することが知れたので、水準点を逐次増設し、当初数年ごとであった水準測量を1938年以降は隔年ごととした。さらに1949年以降は、沈下の激しい城北<sup>a)</sup>・江東<sup>b)</sup>低地帯全域にわたり、毎年定期的に行なうようになった。そして、1968年現在、水準点は都内23区で559点(うち76点は国土地理院)に達した。

一方、当時東京大学地震研究所の官部直己氏は、井戸の鉄管が浮き上がることから、地盤沈下の原因が深い所にあるのではなく、表層付近にあるという考えのもとに、鉄管の浮き上がりを利用した地盤沈下の観測方法を考案し、1933年に江東区富岡町数矢小学校および江東橋公園に、径4in、深さ35mの鉄管を設置し、この鉄管を基準とした地盤沈下の観測を行なった。その結果、この地盤沈下は地殻変動によるものではなく、むしろ表層の軟弱地盤の収縮によるものであることを指摘した。その後、観測装置に改良が加えられ、各地に単管式の基準鉄管を埋設した観測所を設置した。

さらに深部の地盤沈下を観測するために、板橋区舟渡町に深さ290mの二重管式の基準鉄管を埋設した観測所が1961年に設置された。これは東京で最初の二重管式観測所で、その後数カ所に、この方式の観測所が設置されたわけである。

## 3. 地盤沈下の現況

戦後1949年頃から急激に発展してきた東京の地盤沈下は、1961年をピークとして年々減少してきた。これには次のような原因が考えられる。すなわち、1961年1月江東・墨田・荒川・江戸川(一部)・足立(一部)区に、1963年7月板橋・北・足立・葛飾区に、それぞれ

a) 荒川沿いの板橋区および北区一帯をいう。

b) 隅田川と荒川にはさまれた江東区および墨田区一帯をいう。

\* 正会員 東京都土木技術研究所長



このなかで、特に沈下の激しい部分が3カ所認められる。最も激しい所は、江東区南砂町・江戸川区小島町一帯の荒川河口付近から小松川橋付近にかけての荒川沿いの区域で、前記の1年間で、最大沈下量は238.9mm、10cm以上沈下した面積は21.2km<sup>2</sup>におよんでいる。

次いで、常磐線綾瀬駅および亀有駅付近から北側、綾瀬川・中川沿いの区域で、最大沈下量は142.2mm、10cm以上沈下した面積は5.2km<sup>2</sup>である。さらに東武東上線成増駅の北側で、この区域は新しく沈下が認められた所で、最大沈下量は114.4mm、10cm以上沈下した面

図-2 年間の地盤沈下面積の変動

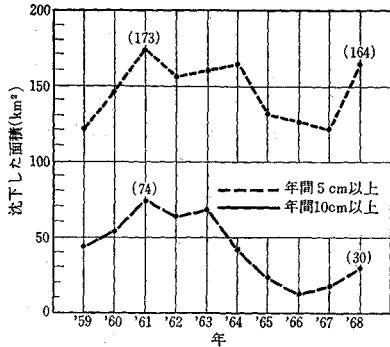


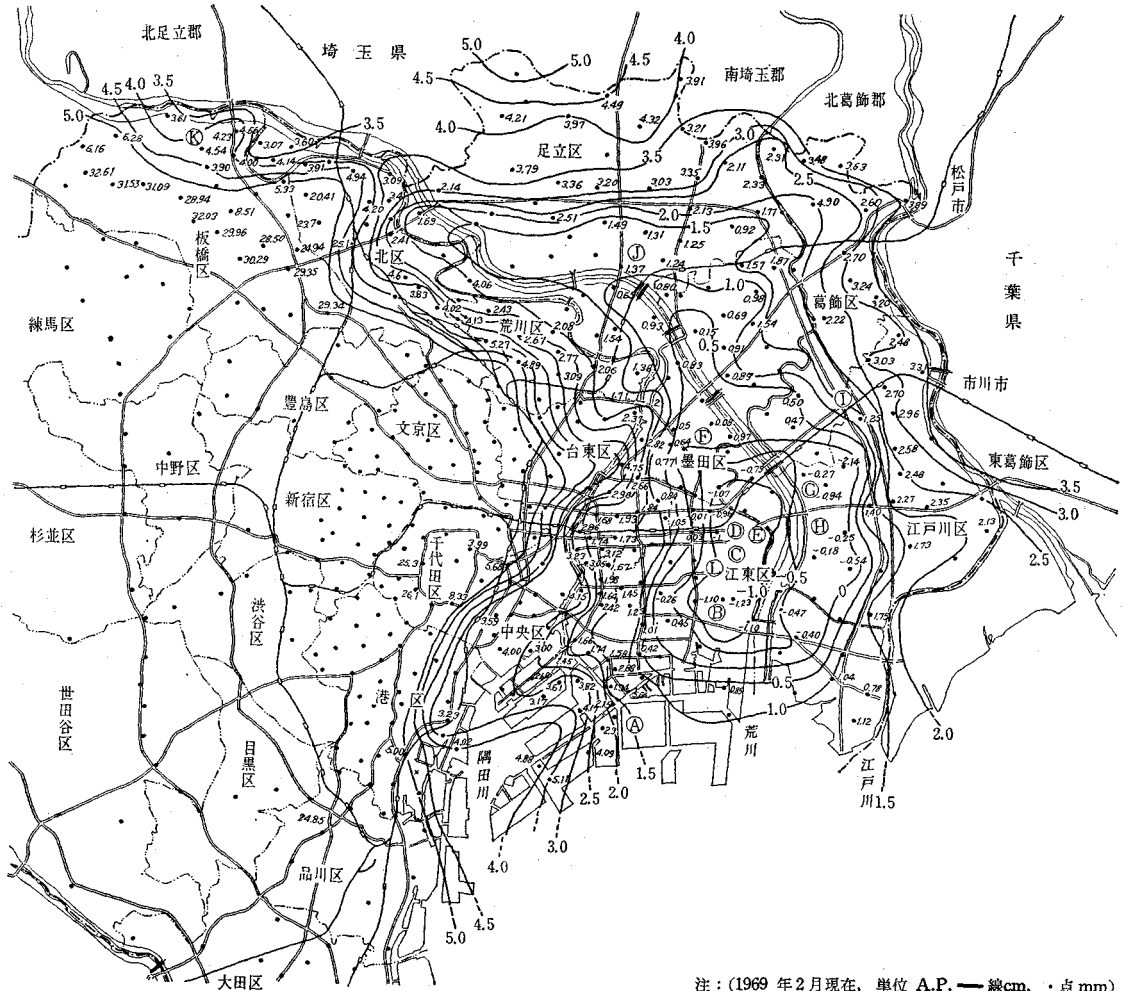
表-1 主な水準点の累計沈下量

水準点	記号	所在地	累計沈下量 (mm)	沈下量* (mm)		
				1966~1967	1967~1968	1968~1969
9832	①	江東区東陽町4丁目	4298.8	59.5	66.6	67.4
3377	②	江東区亀戸町7丁目	4028.7	46.3	54.5	94.0
向5	③	墨田区立花3丁目	3121.2	51.4	39.5	97.0
2002	④	足立区梅島1丁目	2289.9	70.1	81.9	91.4
9836	⑤	江戸川区長島町	1852.3	102.0	89.0	127.6
北14	⑥	北区志茂町3丁目	1508.0	116.4	81.0	65.7
北18	⑦	北区浮間町1丁目	1071.4	62.7	60.4	55.3
475	⑧	板橋区舟渡3丁目	1209.1	45.8	42.4	61.3
板8	⑨	板橋区蓮根2丁目	867.9	69.4	55.0	59.0

注：① 所在地は 図-1 に記号で示す。

② \* は2月1日から翌年1月末日までの1年間を示す。

図-3 地盤高



注：(1969年2月現在, 単位 A.P. — 線cm, ・点mm)

積は 3.4 km<sup>2</sup> におよび、さらに拡大する傾向にある。この区域は荒川沿いの低地に隣接した台地部にあり、地盤沈下の現象をさらに複雑にしている。

多摩川河口から多摩川沿いに沖積層の厚い地区があるが、この地区は最近沈下が減少してきており、同期間に 2~15 mm

を記録している。また丸の内付近は、旧神田川に沿う厚さ 10~20 m の沖積層からなり、同期間の沈下量は 3~10 mm 程度で安定してきている。一方、山の手台地へ樹枝状に入りこんだ沖積低地にも、地下水の過剰揚水によって局所的に急激な地盤沈下が生じ、家屋などに大きな被害を与えることがある。これらの低地は、沖積後半に草植物が埋積した、きわめて軟弱な地盤を形成している。

最近 10 年間の地盤沈下のすう勢をみると(図-2)、1961 年までは地盤沈下が拡大し、それ以降は減少に転じ、また 1967 年頃から再び拡大の傾向にあることが知れる。そして、1968 年 2 月から 1969 年 1 月までの 1 年間に、10 cm 以上および 5 cm 以上沈下した面積は、それぞれ 30 km<sup>2</sup> および 164 km<sup>2</sup> となっている。

地盤沈下の発祥の地ともいふべき江東地区においてはすでに 4.3 m も沈下した所(江東区東陽町 4 丁目)がある(表-1)。現在の地盤高をみると(図-3)、荒川河口から上流約 6 km の中川との交流点を長軸とする面積約 28.3 km<sup>2</sup> の長円状の土地は A.P.<sup>c)</sup> 0 m 以下で、常に海面下にある。最近 10 年間の A.P. 0 m 地帯の変遷を示すと 図-4 の通りである。また中川放水路と隅田川に囲まれた土地は、A.P. 2 m 以下で、その面積は約 117.1 km<sup>2</sup> あって平時の満潮面下にある(表-2)。したがって、江東地区の大部分は海面下において、豪雨の際はしばしば排水に困難をきたすわけである。

#### 4. 地盤沈下調査

##### (1) 水準測量

地盤沈下調査の基本をなすもので、これを繰り返して実施することにより、地盤沈下の実態を正確に求めることができる。水準測量は、千代田区三宅板の水準原点(24.4140 m)を基準とし、今回は都内 23 区にある水準点 551 点、延長約 650 km の一等水準測量を、1968 年 10 月から 1969 年 3 月にわたって実施した。測量成果

c) A.P. とは中央区越前町の隅田川右岸に設置された基準水準点であり、これを基準としたもので、東京湾中等潮位との関係は次の通りである。東京湾中等潮位 0 m - A.P. 1.1344 m。

図-4 A.P. ゼロメートル地帯の変遷

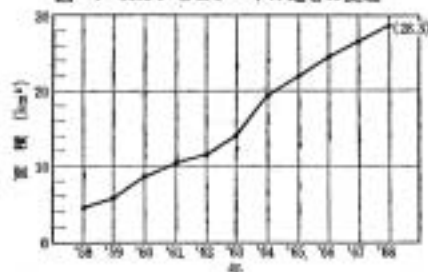


表-2 地盤沈下地域の地盤高面積

地盤高 A.P. (m)	面積 (km <sup>2</sup> )	累計面積 (km <sup>2</sup> )
-1.0 以下	6.9	6.9
-1.0~-0.5	6.7	13.6
-0.5~0	14.7	28.3
0~0.5	13.5	41.8
0.5~1.0	16.0	57.8
1.0~1.5	32.3	90.1
1.5~2.0	27.0	117.1

は 1969 年 2 月 1 日を基準日として補正している。また A.P. の値に換算するには、真高の値に 1.1344 m を加えればよいわけである。これらの測定のほかに、河川護岸約 32 km、港湾護岸約 92 km の測量を実施し、護岸の維持管理についても注意を払っている。

水準点は都区内に均等に分布されていない。すなわち地盤沈下が認められると、その周辺に水準点を順次増設していった関係上、地盤沈下の歴史の古い地区、特に墨田・江東区内に密集するという傾向がみられる。最近では、地盤沈下が広範囲におよんできたので、水準点の増設にあたっては都区内に均等に分布するように努力しており、現在は 559 点であるが、地盤沈下が波及してきた山の手台地に対しては増設していく必要がある。

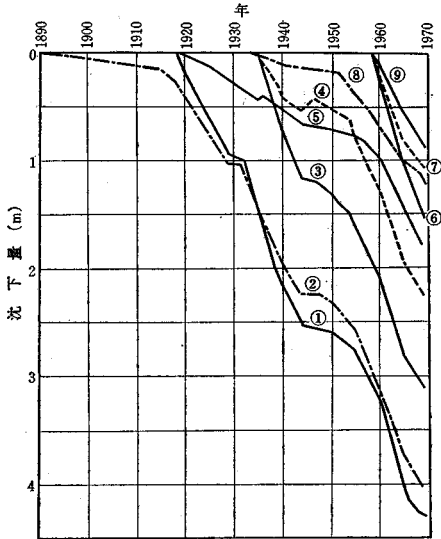
調査を始めてから戦争による一時休止期間を除いて、現在まで約 30 年間実施してきた。それによると、沈下量は調査当初より徐々に増加してきたが、戦争末期の工場破壊によって沈下量は急激に減少した。そして 1949 年頃から工場が復興するにおよんで、再び沈下量が増大し、産業の急速な発展が地盤沈下をますます助長してきた。このような地盤沈下の激しさは 1961 年まで続き、その後、地下水の揚水規制などの施策によって減少の方向をたどったが、1967 年後半に至って再び拡大してきた(図-5)。

今回の水準測量で特筆すべきことは、沖積低地にある荒川河口付近で、年間 238.9 mm という未曾有の沈下量を示した点、また低地に隣接する台地部で 40~100 mm の沈下量を示した点、そして地盤沈下区域が拡大したことなどである。水準測量による等変動量曲線(図-1)をみると、年間沈下量と沖積層の厚さとの間に密接な関係のあることがわかる。したがって地盤沈下の主体は、主として表層の軟弱な沖積層にあることが知れる。しかし、最近になって山の手台地にも地盤沈下が波及してきているので、洪積世のローム、灰白色粘土層、砂層、砂礫層などの収縮・沈下の問題も重視する必要がある。

##### (2) 観測所

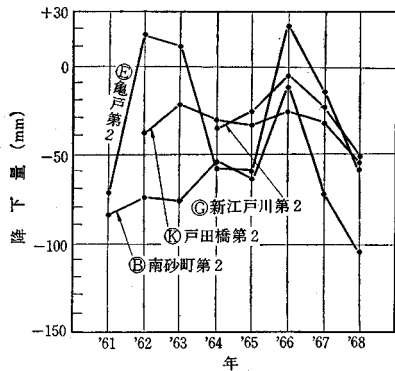
地盤沈下がいかなる地層に発生しているかを明らかにし、さらに地下水水位の変動量を測定するために設置する

図-5 主な水準点の経年沈下量



注：所在地は表-1の記号による。

図-6 基準鉄管の経年降下量



もので、地下の所定の位置（一般には砂礫層）まで基準鉄管をそう入し、管底を不動のものとして、それから地表面までの沈下量と地下水位の変動量を、自記記録装置によって観測するものである。

この観測井には単管式と二重管式の2形式がある。前者は主に深さ150m程度までの観測井に、後者はそれより深い観測井に採用されている。二重管式は基準鉄管と地盤をしゃ断させ、地盤沈下にもなって地盤と基準鉄管との摩擦によって生ずる鉄管自体の降下を防止しようとするものである。なお、これら観測井の詳細については文献<sup>2)</sup>を参照されたい。

現在、都区内に22ヵ所の観測所を配置しており、さらに広範囲にわたって増設する計画である。当初、地盤沈下は表層の沖積層のみであると考えていたが、毎年定期的に行なう水準測量の結果、1957年頃から基準鉄管自体の降下量が急激に増加した。しかし1961年以降その降下量は減少してきたが、1967年から再び急激に降

下してきている（図-6）。したがって、表層部の収縮ばかりでなく、基準鉄管の管底より深い地層の地盤沈下が問題となってきた。

観測所付近の地盤沈下量は、基準鉄管自体の降下量が管底より深い地層の収縮～沈下量であるとし、その沈下量がそのまま地表面まであらわれると仮定すれば、基準鉄管を不動のものとして記録した沈下量と、基準鉄管自体の降下量（水準測量によって測定）の合計値で示される。これを付近の水準点の水準測量の結果と比較すると（表-3）、必ずしも一致していないが、亀戸観測所を除くとほぼ近似した数値を示している。

この差異の原因として、①観測所と水準点までの間の水平距離による地盤沈下量の差異、特に単管式観測所においては、②観測井設置にともなう基準鉄管のそう入に際し、井壁の崩壊および基準鉄管と井壁との摩擦によって、管底が完全に井底に設置されにくいという施工上の問題、したがって地盤沈下にもない、基準鉄管と地盤との間の摩擦力によって基準鉄管自体が降下する、③地盤沈下にもない基準鉄管自体が管底を支持する地層内へ圧入降下すること、などがあげられる。したがって基準鉄管自体が降下する観測井の観測資料には、多くの問題が含まれてくるので、解釈に困難をきたすわけである。

戸田橋観測所の基準鉄管の降下量は、第1観測井を除いて全沈下量の65～80%を示しており、山の手台地の地盤沈下の拡大と関連して、城北地区の深層の収縮沈下が注目される。

地下水位は、江東地区では1967年後半から回復の速度が遅くなり、1968年にはわずかに回復しているという状態になってきた（図-7）。このなかで新江戸川観測所では低下が続き、特に150m以深の帯水層の水位低下が著しく、年間2m以上の数値を示している。また城北地区でも水位低下が引き続き大きく、特に深さ268mの深い帯水層（戸田橋第1）で2.43mの水位低下を示し、1962年から1968年までの7年間に約20mの水位低下を記録した。前記の基準鉄管の降下量と地下水

図-7 観測所の経年地下水位変動

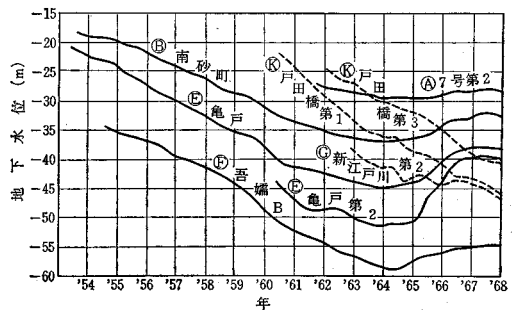


表-3 観測所の観測成果一覽表

観測所名	記号	所在地	設置年	基礎地盤の深さ(地表面より)(m)	ストロメーターの位置(観測上端より)(m)	基礎地盤の降下量A(mm)	基礎地盤から地表面までの沈下量B(mm)	全変動量A+B(mm)	近接する水準点の沈下量(mm)	地下水位の変動量(変位)(cm)
7号地	㉔	江東区7号埋立地	1961	50.5	—	45.7	47.0	92.7	81.3港(21)	—
		江東区7号埋立地	1961	80.5	75.5~80.5	33.4	62.2	95.6	81.3港(21)	+22
		江東区7号埋立地	1961	165.5	—	35.0	59.8	94.8	81.3港(21)	—
南砂町	㉕	江東区南砂町5丁目	1954	70.0	66.5~71.5	105.0	41.4	146.4	141.1(9833)	+11
		江東区南砂町5丁目	1961	130.0	126.0~131.0	105.4	39.9	145.3	141.1(9833)	+7
北砂町	㉖	江東区北砂町5丁目	1963	65.5	62.0~67.0	—	—	—	142.2城(6)	+69
大島	㉗	江東区大島町5丁目	1941	44.0	—	69.5	39.4	108.9	107.0城(3)	—
亀戸	㉘	江東区亀戸9丁目	1962	60.5	56.6~61.6	83.0	120.2	203.2	94.0(3377)	+10
		江東区亀戸9丁目	1961	143.7	139.7~144.7	59.1	110.6	169.7	94.0(3377)	-15
香船	㉙	墨田区立花5丁目	1963	47.0	43.5~48.5	30.8	14.5	45.3	44.7向(7)	—
		墨田区立花5丁目	1965	115.0	109.5~116.5	—	14.9	—	44.7向(7)	+69
新江戸川	㉚	江戸川区松島町2丁目	1963	70.5	60.8~71.3	51.4	41.8	93.2	80.9江(25)	-14
		江戸川区松島町2丁目	1963	150.5	129.8~151.3	52.0	42.2	94.2	80.9江(25)	-210
		江戸川区松島町2丁目	1966	450.2	314.1~347.1	34.6	44.4	79.0	80.9江(25)	-236
江戸川	㉛	江戸川区松江1丁目	1941	55.0	—	58.9	46.2	105.1	99.3江(7)	—
小岩	㉜	江戸川区上二色町	1963	55.5	47.2~55.2	49.9	4.4	54.3	55.6港(9)	+21
足立	㉝	足立区中央本町1丁目	1957	115.5	97.6~108.6	—	—	—	91.4(2002)	—
		足立区中央本町1丁目	1968	270.0	224.0~284.0	59.1	—	—	91.4(2002)	+42
戸田橋	㉞	板橋区舟渡4丁目	1961	290.0	258.4~288.4	33.3	43.0	76.3	61.5板(12)	-243
		板橋区舟渡4丁目	1961	113.0	103.4~113.4	54.9	29.4	84.3	61.5板(12)	-57
		板橋区舟渡4丁目	1962	60.0	50.7~58.7	55.5	11.8	67.3	61.5板(12)	-109
		板橋区舟渡4丁目	1961	27.0	—	54.1	15.8	69.9	61.5板(12)	—

注: ① 所在地は 図-3 に記号で示す。

② 地盤沈下の変動量は 1968 年 2 月から 1969 年 1 月までの 1 年間、地下水位の変動量は 1968 年 1 月から 1968 年 12 月までの 1 年間の測定値を示す。

③ 足立観測所は 1968 年 8 月に、北砂町観測所は 1969 年 2 月にそれぞれ廃止。

最近の地盤沈下に関する観測成果については、文献<sup>4)</sup>を参照されたい。

### 5. おわりに

戦後、産業の復興にとともに 1949 年頃から急速に発展してきた沖積低地の地盤沈下は、工業用地下水および建築物用地下水の採取規制などの法的処置によって、1961 年をピークとし、それ以降は、年々減少してきた。しかし 1967 年後半に至って再び激しさを増し、荒川河口付近の水準点(江20<sup>号</sup>)では年間約 240 mm という未曾有の沈下量を示した。都内の主要工業地帯である沖積低地で、表層の軟弱な沖積層のみならず深部の洪積層にまで地盤沈下が波及し、激しさを増してきた点に注目しなければならない。

地盤沈下の原因が地下水の過剰揚水にあるので、その対策としては、① 地下水の揚水規制と地下への還元注水、② 沖積低地帯を洪水その他の異常高潮から守るための外郭堤防の建設と、堤内地の排水などがあげられる。

揚水規制については前述の通り、工業用地下水や、

位の低下を考慮すると、城北地区の地盤沈下は、さらに拡大していく傾向にある。

### (3) 潮位観測所

潮位の変化を観測するもので、江東区大島町5丁目先<sup>d)</sup>の小名木川で自記観測をしている。それによると、1968 年の最高潮位は A.P. 2.38 m (3 月 16 日)で、最低潮位は A.P. -0.10 m (4 月 15 日, 11 月 22 日)である。これらの潮位変動は、江東地区の地下水位に影響を与えている。

建築物用地下水の規制が施行され、さらに、下水処理場の還元水を水源とした工業用水道(1日最大給水能力 326 000 m<sup>3</sup>)が完成するにおよんで、1966 年には既設井戸の揚水を禁止するなどの処置がとられてきた。一方、地下への注水については現在実施していないが、この問題は、将来大いに発展をさせていくべき性質のものである。しかし帯水層の目づまりなどの技術的な問題や、飲料用その他に地下水を利用している所もあるので、衛生

d) 所在地は 図-3 に記号 ㉜ で示す。

e) 所在地は江戸川区小島2丁目。

上の問題などを考慮し、まだ本格的な調査を行なう段階には至っていない。

外郭堤防の建設と堤内地の排水については、江東地区の隅田水門から隅田川左岸沿いに南下し、隅田川河口から海岸沿いに東へ荒川河口に至り、さらに荒川右岸沿いに北上して、隅田水門までの総延長約 28 km の三角地帯の堤防（天端高 A.P. 6.4~9.9 m）と、各所に排水ポンプ場（計画排水量、計 190m<sup>3</sup>/sec）の建設をすすめ、三角地帯内の下水設備の整備にあわせて施工する一部の排水ポンプ場を残して、すべて完成している。しかし年々 A.P. 0 m 地帯が拡大していく現状では、排水問題が無関係ではありえないわけである。

地盤沈下調査は、水準測量と観測所による観測の2方法で行なっている。水準測量は、沖積低地とそれに隣接する一部の台地について毎年実施しており、さらに水準点を逐次増設して山の手台地の地盤沈下に対処する計画である。また観測所については、同一箇所には深さを異にする観測井を設け、いかなる地層が収縮沈下するかを自記録装置によって観測する計画である。

最近、特に深い帯水層の地下水位が低下し、それともなつて深層の地盤沈下が問題になってきており、隣接する埼玉県では、浦和・川口・戸田・草加・三郷付近で年間 130~160 mm、千葉県では、市川・浦安・船橋付近で年間 160~200 mm を示し、また市川でも深層の収縮沈下が激しいことが推察されている。したがって東京都においても、広域にわたる地質調査用のボーリングを行なうとともに、観測井群を整備し、地下水および地質構造の調査を早急に行なう必要があり、また実施すべく計画中である。

#### 参 考 文 献

- 1) 今村明恒：昭和3年5月21日東京強震当時と其以前とに現はれたる地塊運動に就いて、地震、Vol. 3, No. 3, 1931, pp. 141~154
- 2) 倉持文雄：東京の地盤沈下について、応用地質、Vol. 4, No. 2, 1963, pp. 59~76
- 3) 東京都土木技術研究所：昭和43年度水準基準測量成果表 都土木技研資料 44-1, 1969, pp. 1~28
- 4) 東京都土木技術研究所：昭和43年の水準測量と地盤沈下、地下水位の観測成果、都土木技研資料 44-3, 1969, pp. 1~88 (1969.11.22・受付)

### トンネル工学シリーズ 3 第3回トンネル工学シンポジウム

B5判・146ページ

1000円・会員特価 800円

(〒70)

トンネル土圧／トンネル土圧の測定方法と現況／トンネル用鋼アーチ支保工の強度について／トンネル掘削における余掘りの実態について／セグメントの設計について／栗子トンネルの工事計画と施工実績について／国鉄親不知トンネルの施工実績について／青函トンネルにおけるウォールマイヤー式トンネル掘削機の掘削試験について／大阪地下鉄線複線型と単線型シールドの実施例と問題点／シールド工法による駅部の施工計画について／わが国における中小口径シールド工場の現況について

### トンネル工学シリーズ 4 わが国シールド工法の実施例・第1集

B5判・338ページ

2200円・会員特価1800円

(〒110)

第I部 工事概要／第II部 設計および実績／第III部 セグメント／第IV部 シールドおよび付属機械／第V部 工所用機械その他／第VI部 主な図表類／付録 鉄道および道路・下水道・上水道・電力および通信・地下道その他に分類 158件を取録

### トンネル工学シリーズ 5 第4回トンネル工学シンポジウム

B5判・268ページ

1800円・会員特価1600円

(〒100)

ソ連の地下鉄／アメリカのトンネル工事を視察して／アメリカにおける山岳トンネル工法／アメリカにおけるトンネル掘きく機／アメリカにおける都市トンネル／アメリカにおけるコンサルタント業務／アメリカにおける請負工事の諸事情について／アメリカのトンネル施工に関する新技術／欧州のトンネル工事を視察して／欧州におけるトンネル請負工事の諸事情について／欧州における山岳トンネル工法／欧州におけるトンネル掘進機について／欧州のシールド工事／欧州における地下鉄工事／欧州における沈埋工事

### トンネル工学シリーズ 6 第5回トンネル工学シンポジウム<最新刊>

B5判・124ページ

1000円・会員特価 900円

(〒100)

六甲トンネルの碎破帯突破について／トンネルの掘きくに伴う地表沈下測定例について／牧の原地すべり地区のトンネル施工について／紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩区間の施工法と膨張土圧の測定結果について／京葉線・多摩川河底沈埋トンネルについて／大阪地下鉄の沈埋管工事一堂島川と道頓堀川の施工例について／近鉄難波線の大型機械化シールドの施工例について