

地下水水位変動と地盤沈下

遠藤 毅 山田 信幸 行徳 智好
川島 真一

1 まえがき

この報告は、すでに報告したものにその後の考察を加えたものである。資料整理については全員で行ない、資料の検討ととりまとめについては遠藤が行なった。

なお、この報文を書くに当り多くの示唆をいただいた新潟大学理学部青木滋助教授に感謝する。また、常に御指導をいただいております。原稿を読んで、数式について注意と助言をいただいた宮部直巳博士に心から深謝する次第である。

2 最近の地盤沈下

昭和初期から最近までの沈下地域の変せんおよび沈下量の推移については既に報告があるのでその詳細な叙述は避ける。

昭和25年(1950)の朝鮮動乱を機に再開された戦後の地盤沈下が戦前のそれと異なる点は少なくとも3つあげられる。第1は、沈下地域が拡大し、東京の下町低地域を超えて隣接の千葉、埼玉の両県にまで及んでいることである。第2は低地帯の上層部(深さほぼ0~50m)の

図1 昭和36年~昭和45年の累計沈下量

(単位: cm)

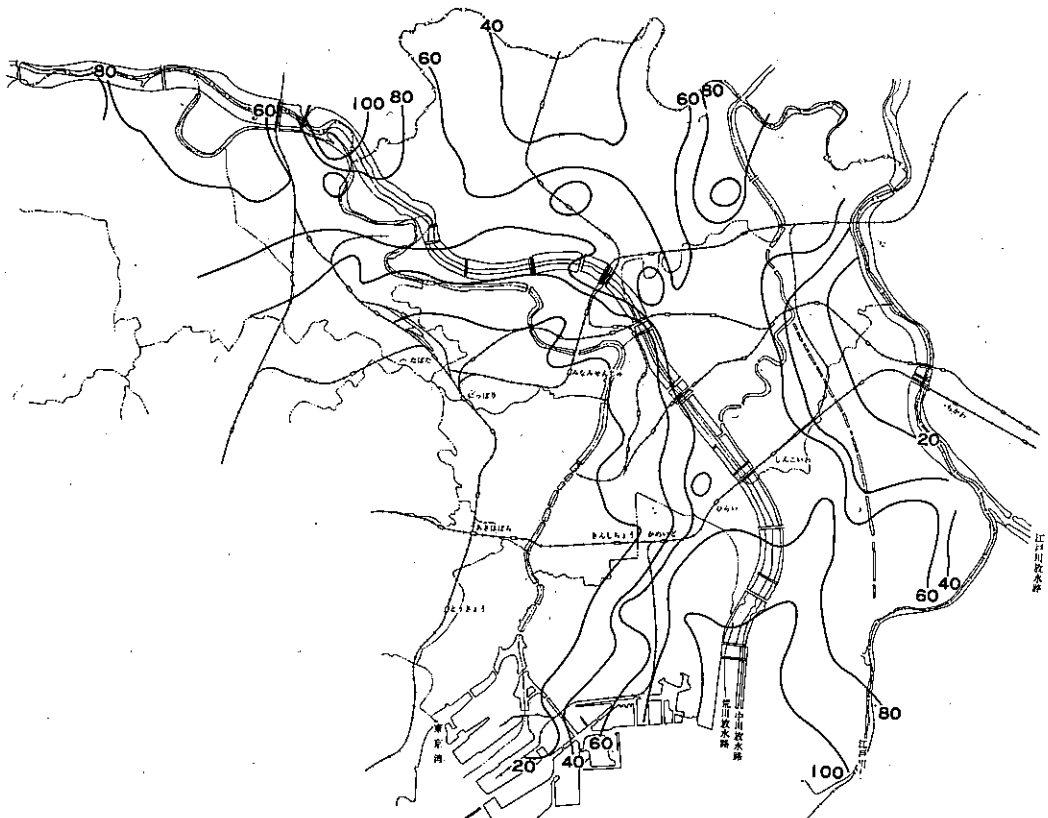


表1 地層の名前と、重なり方を示す層序表

地質時代	台 地 域					低 地 域								
	淀 橋 台 原 台	豊 島 台	本 郷 台	立 川 台	河 谷 底	地層の重なり方からみた地盤のタイプ								
	A	B	C	D	E	F	G							
沖積世	黒色腐植土, 黒土				沖積層 (Al) 軟かい粘土, 泥炭	(表土・盛土・埋土) 有楽町層 { 上部 (Yu): ゆるい砂, 砂礫 下部 (Yl): 軟かい粘土								
洪積世					が所層地分 うのの層布す よ下がる って位 ち場積な	七号地層 (Na) やや軟かい粘土とやや しまった砂の互層								
						埋没ローム (bl)							埋没段丘 礫層-1 (btg-1)	
					立川ローム (Tal)									
					立川礫層 (Tag)	Tag							埋没段丘 礫層-2 (btg-2)	
					武蔵野ローム (Mul)									
	ローム質 粘土 (Lc)		ローム質 粘土 (Lc)											
					本郷層 (Ho) ややしまった 砂, 砂礫	Ho								
				武蔵野礫層 (Mg)	Mg									
				東京層 (To)	To	To							しまった砂, 硬い粘土 互層	
				東京礫層 (Tog)	Tog	Tog							しまった礫まじり砂, 砂礫	
				江戸川層 (Ed)		Ed							しまった砂, 硬い粘土, 砂礫の互層	
第三紀	上総層群 (Ka) : しまった砂, 泥岩より成る。(三浦層群ともよばれている)													

収縮量が大半を占めていた沈下が徐々に深部の収縮の影響を受けて来ている事である。第3は、地下水揚水規制*法が制定された結果、地下水利用に伴う地下水位の変動およびそれに伴う地盤沈下に法規制の要素が加わった事である。特に、揚水規制後の地下水位変動と沈下の関係は昭和43年度(1968年)に報告されている。⁵⁾

江戸川区の大半を除く東京の下町低地帯が工業用地下水の規制をうけた年の昭和36年(1961年)2月1日から昭和45年(1970年)2月1日までの9年間の累計沈下量を図1に示した。これによると荒川河口付近はすでに1mも沈下している。

*工業用水法, 建築物用地下水の採取の規制に関する法律

3 地盤沈下と地質

東京の地質の大略は図2のようにになっている。この図の中で地盤沈下の原因となる地層収縮をしているのは、主に沖積層、洪積層の第四紀層である。東京における第四紀地質の中、沖積層、洪積層上部については詳細に判っており表1のような地層に区分されている。その中、沖積層の分布を図3に示した。この図と前図(図1)をみると、沖積層の層厚の薄い江戸川沿いと隅田川右岸の沈下量が少なく、両河川に挟まれた沖積層の厚い地域で沈下量が多い。

なお、地質と沈下量の関係は、低地帯の洪積層最上部に分布している七号地層を考慮した地盤地質図(図4)を使用すると一層密接である。沖積層の直ぐ下位に東京層のしまった砂が分布している地域(A-1)では沈下

量が少なく、沖積層の下位に埋没ロームないし埋没段丘礫-2が分布する地域(A-II)は前者より沈下量が大
きい、一番沈下量の多い地域は沖積層の下位に七号地層

が分布している(A-III)。この事から洪積層最上部に
分布する七号地層は地盤沈下については沖積層とほぼ同
様な地層単位として扱った方がよい。

図2 模式地質断面図(「公害と東京都」による)

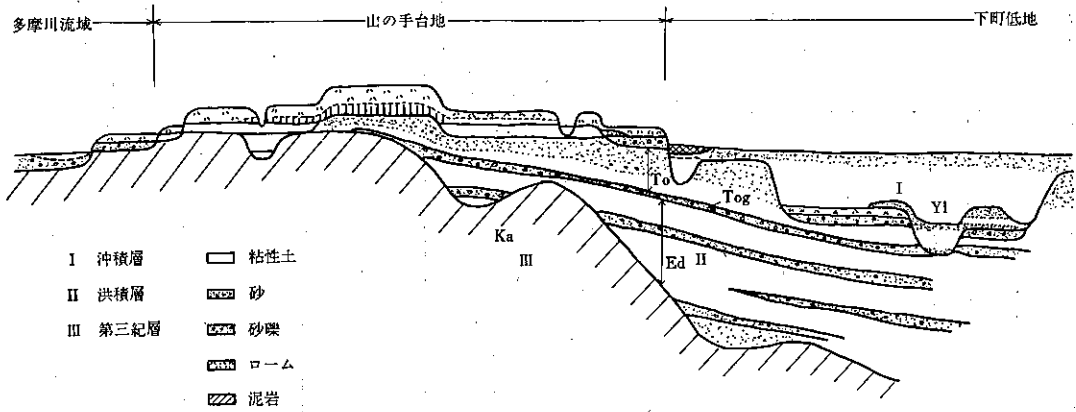


図3 沖積層等深線図(都土研資料による) 単位:m



図4 地盤図(青木, 中山MS)

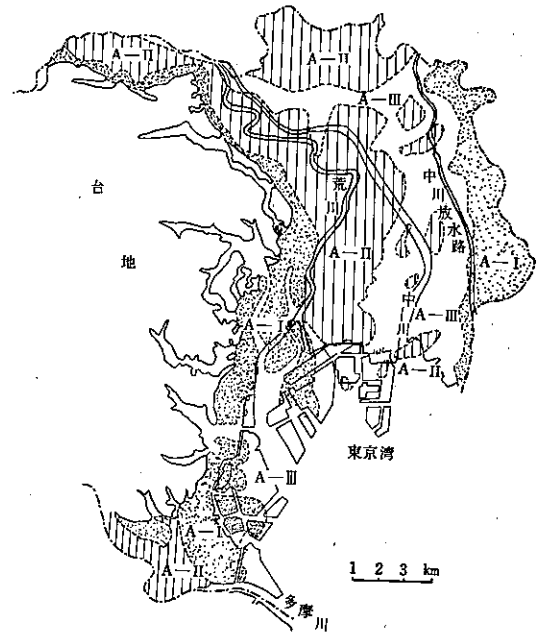
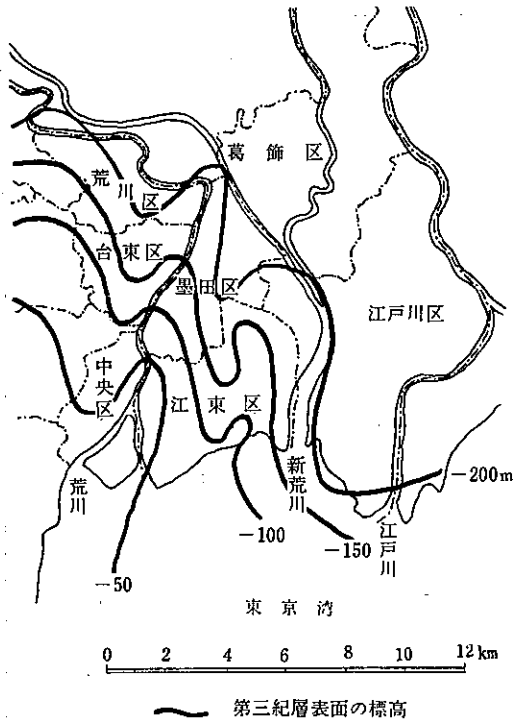


図5 第三紀層表面の形態（東京湾中等汐位を基準）



最近の沈下量の大半を占めている洪積層（東京層および江戸川層）の収縮についてはすでに報告したが、洪積層の分布と沈下の関係については不詳点があるので検討を省き第三紀層（上総層群）表面の分布のみを示した（図5）。

4 地盤沈下と地下水位

下町低地帯に設置してある地下水位観測井（表2、図6）の記録をみると、経年の地下水位変動の中に2つの顕著な周期運動が認められる。1つは潮汐の影響を受けたものであり、他の1つは月曜日から水位低下を開始し、土曜日の午後から日曜日にかけて上昇する曲線である（図7）。

この2種類の水位変動は、ある帯水層の地下水位では潮汐曲線のみが強調され、1週間の周期変動が見られない。一方、ある帯水層の地下水位は潮汐の周期は明らかでなく1週間の周期が顕著である。また、両周期が共に認められる帯水層の水位もある。

月曜日から土曜日にかけて水位低下し、土曜日から日曜日にかけて水位上昇するのは人為的な地下水の汲み上げによるものであろう。この1週間振幅については次に述べる。なお、観測井の水位記録中に現われる潮汐記録と地盤沈下の関係は現在検討中である。

人為的な影響と思われる週間振幅の年平均経年を図8についてみると、亀戸観測所（図8-I）では、浅層の第1（集水孔-56.6~-61.6m）、深層の第2（集水孔-139.7~-144.7m）共、昭和32年（1957年）来全般に振幅は小さくなっている。昭和41年（1966年）に振幅は大きくなっているが、これは汲み上げ量の増加によるのではなく、むしろこの年の1月と6月に江東地区の工業用水道が布設された結果、採水がほぼ完全に禁止されて水位が急上昇した事による。吾嬬観測所（図8-II）では、浅い井戸のA（集水孔-43.5~-48.5m）は昭和28年（1953年）から昭和36年（1961年）まで振幅は徐々に減少し、この年に井戸は涸渇した。一方深い井戸のB（集水孔-109.5~-116.5m）の振幅はAの振幅が減少している期間は逆に増加し、昭和36年（1961年）からは減少に転じている。これは恐らく、江東地区が同年、工業用地下水の揚水規制地区に指定されたためであろう。

次に、江戸川区に設置されている新江戸川観測所の傾向は図9-Iに示したように、第1（集水孔-60.8~-71.3m）第3（集水孔-314.1~-347.1m）の週間振幅は観測開始以来増加している。第2（集水孔-129.8~-151.3m）は昭和42年（1967年）まで減少していたが、それ以後は増加に転じている。これは、この地域の地下水が全帯水層に亘って開発されていることによるものと思われる。

城北地区に設置されている戸田橋観測所（図9-II）の地下水位の年平均週間振幅は、第3（集水孔-50.7~-58.7m）では、年と共に減少しており最近では大きさも一定している。第2（集水孔-103.4~-113.4m）については、昭和43年（1968年）まで増加したが昭和44年（1969年）に急激に減少した。3井の中、一番深い層の地下水位を観測している第1（集水孔-258.4~-268.9m）は昭和42年（1967年）から増加の傾向にある。

表2 観測所一覧表

観測所名	鉄管番号	所在地	設置月日	鉄管深さ (地表面より) m	鉄管内径 cm	ストレナーの位置 (鉄管上端より) m	沈下観測器の種類	水位計の種類	摘要
7号地第1	港湾1	江東区7号埋立地	昭36.11	50.5	15.0	—	1ビーム式20倍	—	
〃第2	〃2	〃	〃36.11	80.5	20.0	75.5~80.5	〃	K式倍率 $\frac{1}{5}$	
〃第3	〃3	〃	〃36.11	165.5	15.0	—	〃	—	
南砂町	研15	江東区南砂3丁目	〃29.5	70.0	20.0	66.5~71.5	〃	K式倍率 $\frac{1}{5}$	
南砂町第2	〃23	〃	〃36.3	130.0	20.0	126.0~131.0	〃	〃	
大島	〃5	江東区大島5丁目	〃16.12	44.0	10.0	—	〃	—	
亀戸	〃12	江東区亀戸9丁目	〃27.6	60.5	20.0	56.6~61.6	〃	K式倍率 $\frac{1}{5}$	
亀戸第2	〃22	〃	〃36.6	143.7	20.0	139.7~144.7	〃	〃	
吾嬬A	〃13	墨田区立花5丁目	〃28.5	47.0	20.0	43.5~48.5	〃40倍	—	
〃B	〃16	〃	〃30.6	115.0	20.0	109.5~116.5	〃	K式倍率 $\frac{1}{5}$	
新江戸川第1	〃29	江戸川区松島2丁目	〃38.12	70.5	10.0	60.8~71.3	〃20倍	触針式倍率 $\frac{1}{5}$	
〃第2	〃30	〃	〃38.12	150.5	20.0	129.8~115.3	〃	K式倍率 $\frac{1}{5}$	
〃第3	〃31	〃	〃41.12	450.2	10.0	314.1~347.1	〃	FL460型 $\frac{1}{10}$	
江戸川	〃8	江戸川区松江3丁目	〃16.12	55.0	10.0	—	〃	—	
小岩	〃28	江戸川区上一色町	〃38.8	55.5	20.0	47.2~55.2	〃40倍	K式倍率 $\frac{1}{5}$	
新足立	〃32	足立区中央本町1丁目	〃43.3	270.0	20.0	224.0~234.0	〃20倍	FL460型 $\frac{1}{10}$	
戸田橋第1	〃29	板橋区舟渡4丁目	〃36.6	290.0	10.0	258.4~268.4	〃	K式倍率 $\frac{1}{10}$	
〃第2	〃25	〃	〃36.11	113.0	10.0	103.4~113.4	〃	〃 $\frac{1}{10}$	
〃第3	〃26	〃	〃37.10	60.0	20.0	50.7~58.7	〃	〃 $\frac{1}{10}$	
〃第4	〃27	〃	〃36.11	27.0	10.0	—	〃	—	
新宿	〃33	新宿区百人町4丁目	〃44.1	130.0	20.0	114.0~124.0	〃	FL460型 $\frac{1}{10}$	
板橋	〃36	板橋区富士見町	〃44.3	270.0	20.0	242.5~252.5	〃	〃	
練馬第1	〃34	練馬区谷原4丁目	〃44.3	100.0	20.0	87.0~97.0	〃	〃	
〃第2	〃35	〃	〃44.3	200.0	20.0	185.0~195.0	〃	〃	

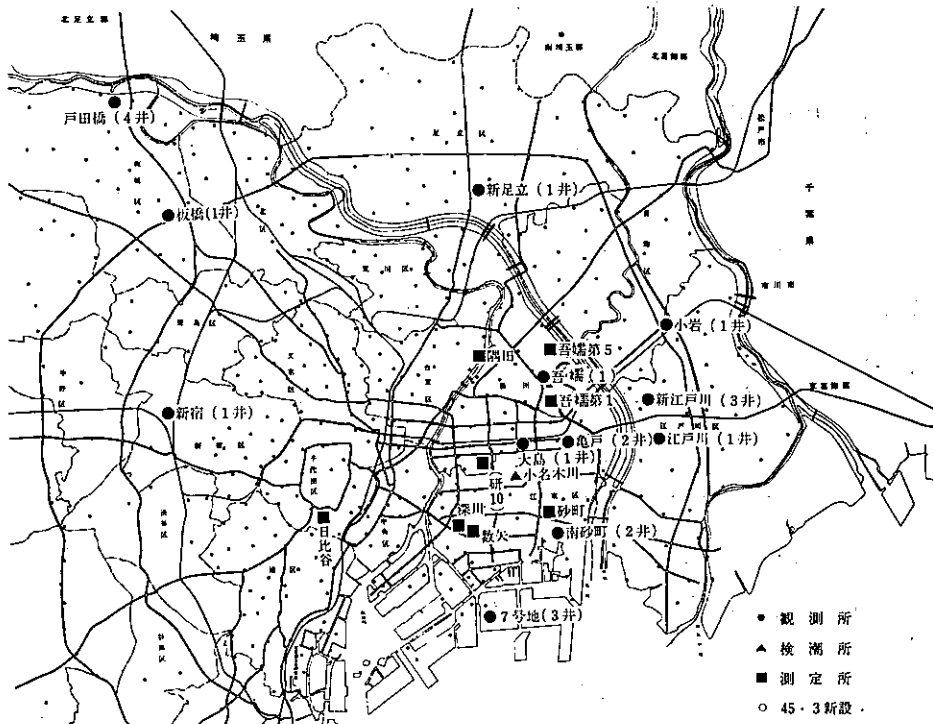
次に、週間振幅を地下水位との相関からみると、図10に示したように、一般的に同一地点における帯水層について、より浅い帯水層の水位変動の振幅は地下水位が低下するに従って小さくなる。逆に、より深い帯水層の1週間の振幅は地下水位が低下するに従って大きくなっている。

これは、浅い層の地下水が利用されていなくても深い層の地下水が開発されると浅層から深層に向かって地下水の流動がおこる事を示しているだろう。これは青木氏*が説いているように地下水層の一連性を示している。又、

地盤沈下解析の上にもこの考えは有効と思われる。¹¹⁾

*青木滋氏(新潟大)は昭和42年(1967年)頃から、東京低地帯の地下水は垂直にも水平にも一連の地下水系と見るべきであると言っている。

図 6



5 地下水位変動と地盤沈下

例年の地下水位等高線をみると図11に示したように墨田区、荒川区付近で地下水位は地表面から一番深い所にある。しかし、先出の図1をみると沈下量は荒川河口付近で多く、沈下の様相は地下水位とは一致していない。しかし、両者の関係に時間の要素を入れて経年変動をみると、地盤沈下は地下水位の上昇・下降に関係している(図12)。しかし、破線で示された浅い層(ほぼ沖積層に相当している)の収縮は地下水位変動と無関係にみえる。この原因は、地下水位の位置に関係しているように思われる。即ち、地下水位が洪積層最上部付近に位置し(図13)、沖積層と洪積層の境界付近の地下水圧が低いため、洪積層の水位変動の影響が沖積層の間隙水圧へ働く力が弱いためと思われる。

*最近、下町低地帯の洪積層最上部付近の間隙水圧が0に近いことがボーリングなどの際みとめられている。

したがって、最近の地盤沈下の調査、研究に当たっては、

地表面の沈下は沖積層の収縮、洪積層表面の沈下の2つに分けて検討する必要がある。この中、地下水位変動の影響を直接うけているのは洪積層の沈下であろう。このことについては先に報告しているが、再び観測井について洪積層の沈下と地下水位変動に重点を置き検討を試みた。

地盤沈下と地下水位については和達による有名な式¹²⁾がある。

$$-\frac{dH}{dt} = K(P_0 - P) \quad (1)$$

$-\frac{dH}{dt}$: 地盤沈下速度

P : 現在の地下水位

P_0 : 標準地下水圧 ($\frac{dH}{dt} = 0$ のときの地下水圧)

K : 比例常数

(1式は、沈下速度はその時の地下水位と標準水圧との差に比例することを示している。

図7 一週間の地下水位変動(亀戸)

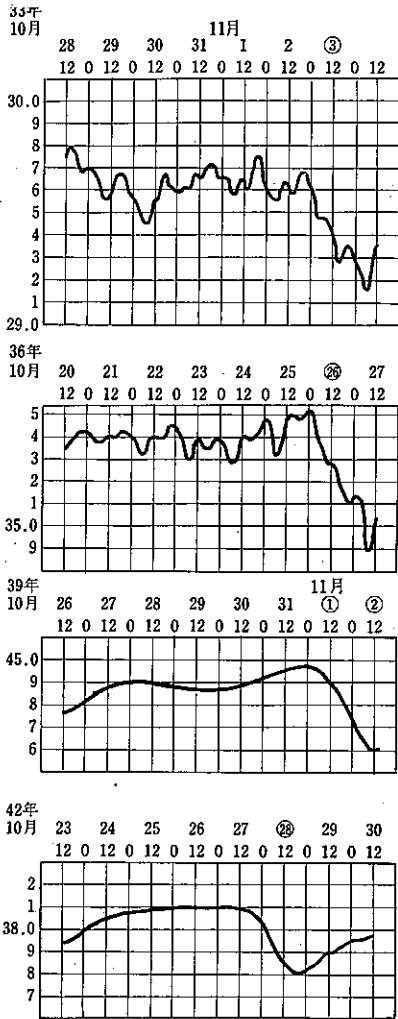
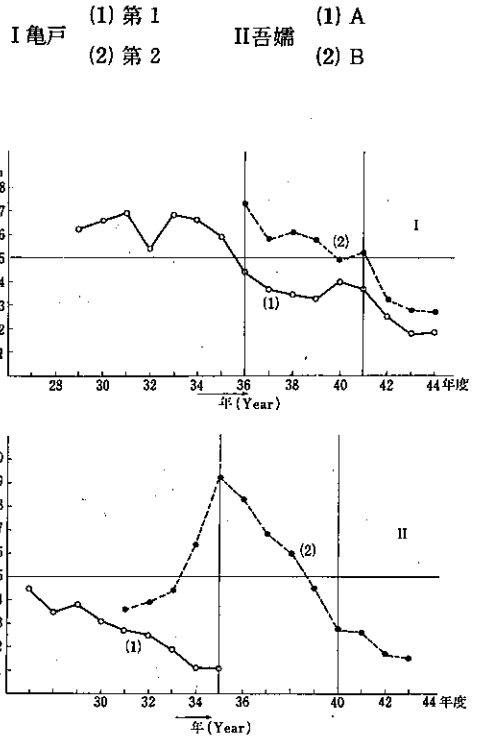


図8 地下水位の週間振幅の経年変化



しかし、最近の東京の地盤沈下をみると、先の図(図12)でも判るように地下水位が低下しているのに年沈下速度は減少したり、逆に地下水位が上昇しているのに沈下速度が増加したりする現象がみられる。そこで、(1)式をもとに、地下水位変動と洪積層表面の沈下速度について次のような解析を試みた。

各年における年平均地下水位の変動量の差を計算し、この数値を3年移動平均した。一方、沈下量についても、年沈下速度の変動量を計算し3年移動平均した。

これを図示すると図14のようになる。即ち洪積層表面の沈下(最近の地表面の沈下は洪積層の収縮の影響を大きく受けているので洪積層表面の沈下は地盤沈下と言

換えてもよいだろう)の加速度は地下水位変動の加速度に比例している。これを式で表わすと次のようになる。

$$\frac{d^2 H}{dt^2} = K \frac{d^2 P}{dt^2} + A \quad (2)$$

$\frac{d^2 H}{dt^2}$: 沈下速度の変動量

$\frac{d^2 P}{dt^2}$: 地下水位変動量の差

A : 常数

K : 比例常数

南砂町観測所については $K = -0.025$ 、亀戸観測所では $K = -0.02$ 、北砂観測所では $K = 0.017$ である。

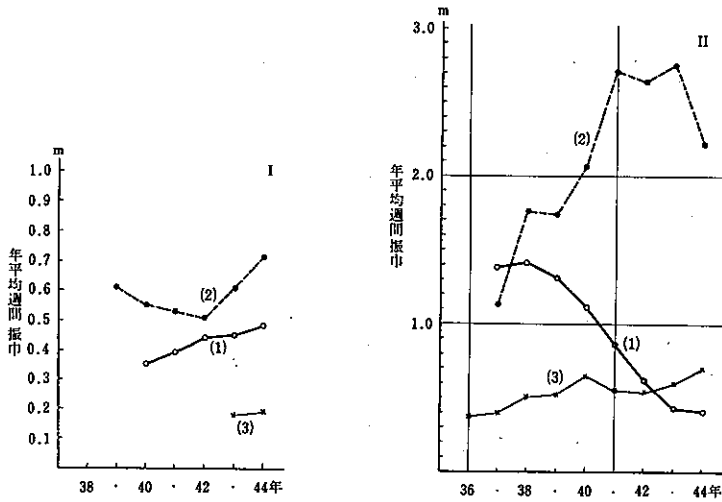
(2)式を t について積分すると、

$$\frac{dH}{dt} = K \frac{dP}{dt} + At + B \quad (3)$$

となる。上式における右辺の第2項 (At) は(1)式の右辺に相当するのではないだろうか。もし、そうだとするならば、沈下速度は、地下水位変動と標準地下水位からの差および常数(恐らく続成作用等の自然条件であろう)とによる。しかし、この事は未だ推察の域にあるので今後の検討として残す。

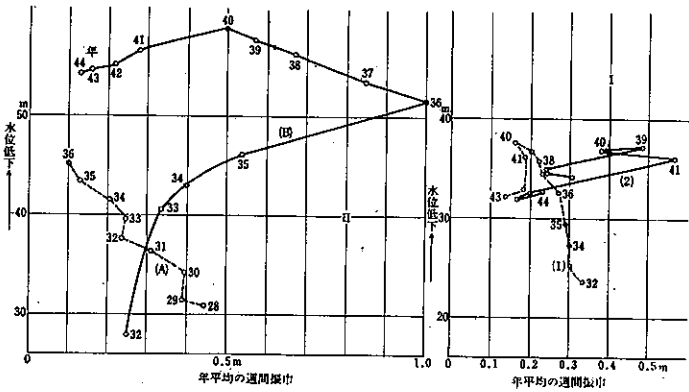
このように沈下の加速度が地下水位変動の加速度に関係しているのは、土粒子間に働く間隙水圧変化が地層の

図9 地下水位の週間振幅の経年変化

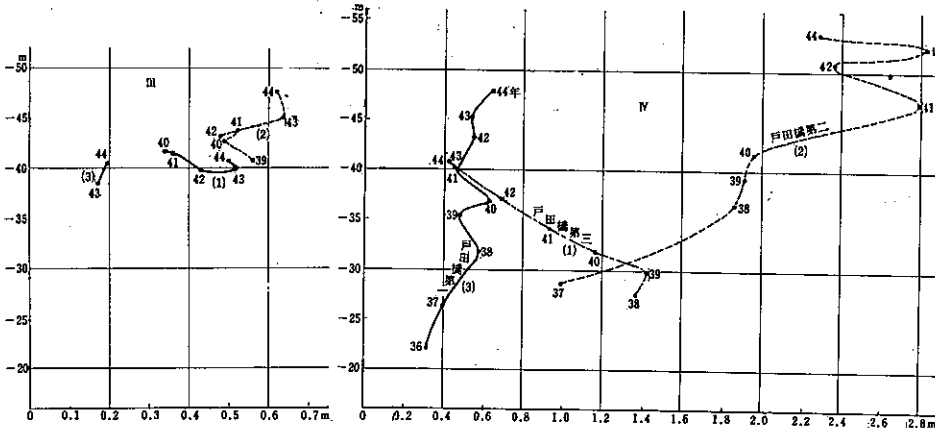


- (1) 第1
- I 新江戸川 (2) 第2
- (3) 第3
- (1) 第3
- II 戸田橋 (2) 第2
- (3) 第1

図10 年平均の一週間振幅と年平均地下水位との関係



- (1) 南砂第1
- I 南砂町 (2) 南砂第2
- (A)
- II 吾嬭 (B)
- (1)
- (2)
- (3)



- (1) 第1
- III 新江戸川 (2) 第2
- (3) 第3
- (1) 第3
- IV 戸田橋 (2) 第2
- (3) 第1

図11 地下水位等高線図 (単位:m)

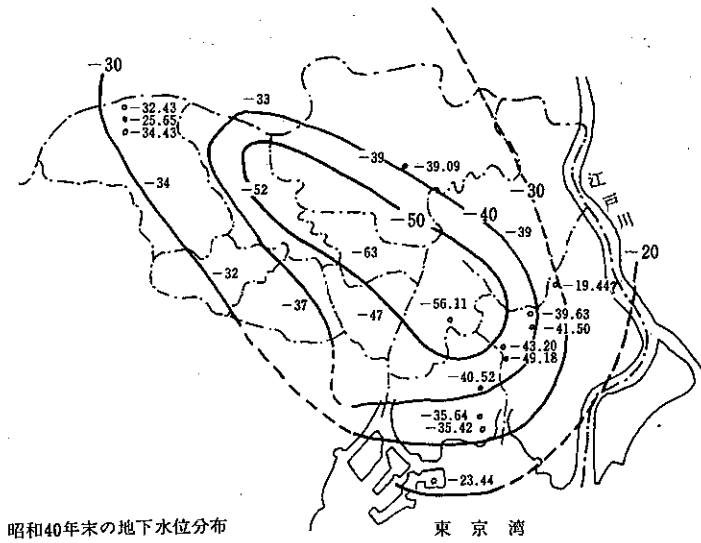
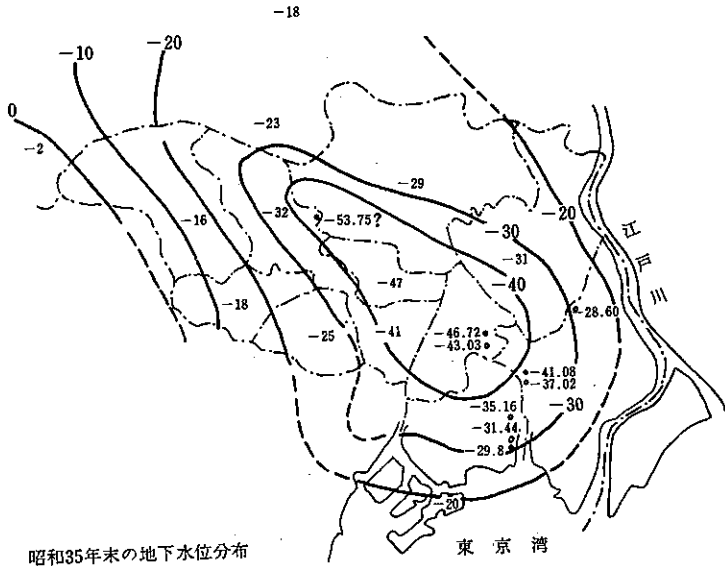
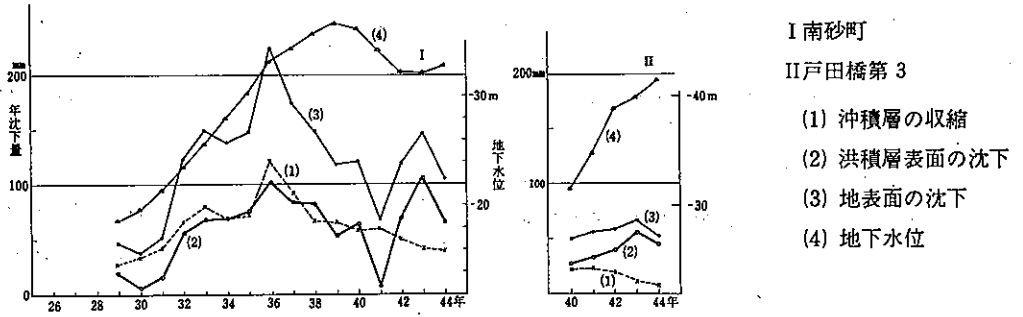


図12 経年地盤沈下と地下水位



第13 地質柱状図

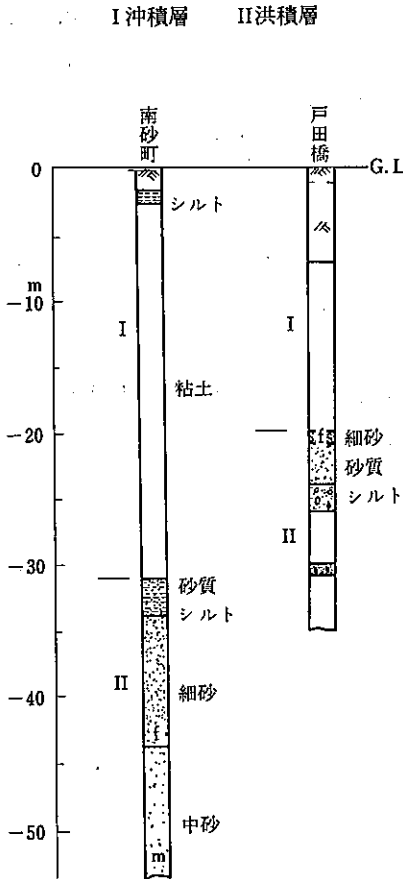
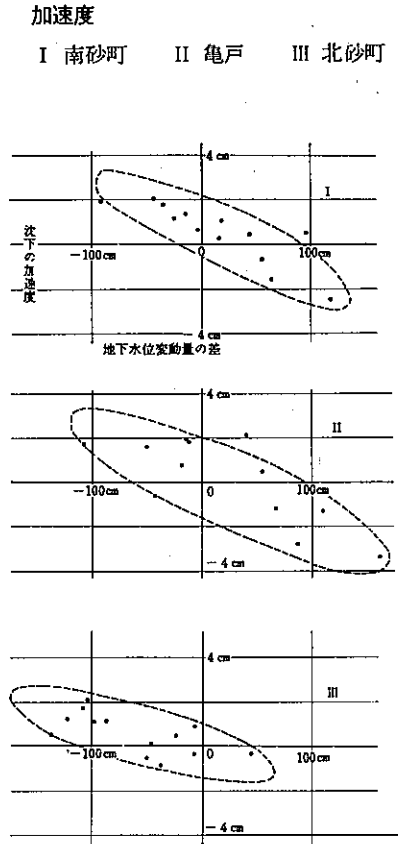


図14 洪積層表面の沈下速度の変動と地下水位変動



収縮に影響を及ぼしていることを示しているものと思われる。

しかし、(1)式については、地下水位が標準水圧をこえる場合には地盤の膨張が起り、又(2)式についても地下水位変動量の速度が正の場合には地盤膨張が起ることになるが、現実には低下した地盤が膨れることはない(わずかの膨張はあるが)ので適用範囲は制限されるであろう。

また、(2)式は、広域的な検討が欠除しているので今後はその方面からなお一層の検討を要する。

6 あとがき

地盤沈下と地下水位の関係は、各要素について単年でみると相関がないように思われるが、時間の要素を入れ、変化率により比較すると、地盤沈下は地下水位の変動によって起っている事が判る。最近の東京の地盤沈下地域の地下水位変動は負の傾向にあり、これがここ数年の沈下量が大きくなっている原因であろう。

参 考 資 料

- 1) 遠藤 毅・山田信幸(1970):下町低地帯における洪積層表面の変動、—東京における地盤沈下の研究(1)—, 都土木技研報告, 46, 37-54
- 2) 尾崎 登・稲葉 佳・倉持文雄(1959):最近における東京の地盤沈下について, 都土木技研報告特集号
- 3) 青木 滋・遠藤 毅(1968):東京の地盤沈下,

日本地質学会第75年々会地質見学案内書

- 4) 都公害研究所(1970):公害と東京都
- 5) 都土木技術研究所(1969):昭和43年の水準測量と地盤沈下, 地下水位の観測結果, 都土木技研資料
- 6) 青木 滋・柴崎達雄(1966):海成沖積層の層相の細分問題について, 第四紀研究, 5, 113-120
- 7) 都土木技術研究所(1969):東京都地盤地質図(23区内)—東京都地質図集—都土技研資料
- 8) 宮部直巳(1940):東京に於ける地盤沈下の研究IV—潮汐気圧等の影響—Bull. Earthquake Research Inst, TOKYO Uni., 18, 55-77
- 9) ———(1940):東京に於ける地盤沈下の研究V—気圧の影響—Bull. Earthquake Research Inst., TOKYO Uni. 18, 497-506
- 10) Akira ISIGAKI・Shauzow KOMAKI・Takeshi ENDO and Naomi MIYABE(1969): Short Period Variation in Land Subsidence, Land Subsidence II Publication NO, 89, IASH, 325-333
- 11) 遠藤 毅・青木 滋(1970):東京低地帯における洪積層の収縮について, 地質学会77年学術大会, 演旨 163
- 12) 和達清夫(1940):西大阪の地盤沈下に就いて(第2報) 災害科学研究所報告 3, 1-41