

濃尾平野における地下水位の変化と地盤沈下

飯 田 汲 事

Land Subsidence and Changes in Ground Water Level in the Nōbi Plain

Kumizi IIDA

近年急速に進行している濃尾平野の地盤沈下の実態を示し、それを地下水位の変動その他の現象との関係を追究した。地盤沈下の要因のうち主要なものは地層の圧密を加速する地下水の過剰揚水による地下水位・水圧の低下であり、その他地表面における静的および動的荷重の増大による人工的なもので、これらは総じて10mm—20cm/年程度の沈下となっている。自然的要因のうち急激な地震時の地殻変動による沈降は20—40cmに達したが、軟弱層の自然圧密や緩慢な地殻変動による沈降は数mm/年内外の程度で小さい。

1. はじめに

濃尾平野特に伊勢湾臨海部地域の地盤沈下は近年急速に進行しつつあることが知られるようになった。この沈下は1959年9月26日の伊勢湾台風襲来以後特に速度を増した。伊勢湾台風の高潮は平地の奥深く浸入し、約60日間の長期間にわたって湛水して大災害を生ぜしめ、広域にわたるいわゆるゼロメートル地帯のあることを知らしめたが、最近においても集中豪雨のある度ごとに臨海地域では湛水し、内水災害を生ぜしめている。これは地盤沈下がその後も継続して進行し、その地域を拡大し、その速度を速めていることにもよる。近年水準測量が繰返えし行われ地盤沈下の実態が明らかになってきたことから知られることである。

1925年以前は年2mm以下であった沈下が、現在では年21cmと増大し、伊勢湾台風当時からでも総沈下量の最大は約150cmに達している。いわゆるゼロメートル地域は伊勢湾台風当時の1.4倍の243km²となり拡大し、わが国第一の沈下域を示すに至った。累積沈下量の最大は1888年の水準測量が初めて広域に行われた年より1973年の約85年間において2.25m（弥富町平島新田）を示すに至っている。また深さの領域においても沈下が拡大の傾向にあるので、それらについても考察を進めた。今回地盤沈下の初期からの推移とそれに関連のある自然的、人工的要因について考察した結果を報告する。

2. 濃尾平野の地盤

地盤沈下の進行している濃尾平野の地盤の特徴を知る

必要があるのをそれのみてみよう。

濃尾平野は木曾・揖斐・長良の三大川下流部に広がる広大な平野で、関東や近畿地方で見られる台地や丘陵地帯は比較的少なく、扇状地とそれに続く三角洲とからできているのが特徴である。また臨海部の地域は1600年以降埋立てられた人工造成陸地であることが特徴である。さらに地盤の構造と構成において大きな特徴がある。堆積層は東から西方へ傾いた基盤上に形成されて傾動盆地を構成し、西部に至るほどその厚さを増大している。

濃尾平野の地下の地質層序¹⁾は約4000余にのぼるボーリング資料により明らかにされているが、図1に示したようになっている。平野面を構成する最も新しい堆積物はほぼ10m前後の厚さの砂層を主体とする地層であり、その下位に軟弱な粘土層が発達しており、厚いところは30mにもなっている。その上半部は砂層、下半部は粘土層で構成されているが、この地層は南陽層とよばれ沖積層に属する。南陽層の下位は洪積層でこの上部層にやや硬く締った粘土と砂の互層が分布している。この堆積層は濃尾層とよばれ、その上限は—20m付近まで達しているといわれているが、濃尾平野西部では、—40m前後に達する巾広い谷底地形がこの地層上にできている。濃尾層の下位に第一礫層とよばれる粗粒な礫を含む連続性のよい河床礫が発達している。この礫層は濃尾平野上流部の扇状地礫層の一部に連結するもので、濃尾平野の西部で10~20mの厚さとなり深い地形をつくっている。

第一礫層の下位には鳥居松礫層、小牧礫層といわれる

礫層のみられるところもあるが、その下位に名古屋市中心街をなす熱田台地を構成する熱田層の延長部が存在する。この地層は上部の砂層を主体とする部分と、下部の粘土層を主体とする部分とからなっている。熱田層の下位には連続性のよい河床性の第二礫層という砂礫層がある。この層は第一礫層とともに豊富な地下水の帯水層となっている。この第二礫層の下位に1枚の礫層を挟んで2枚の海成粘土層があり海部累層（先熱田期層）といわれるが、その層の下位に第三礫層が存在している。第三礫層下に不整合で非海成の粘土層と砂・礫層の繰返し互層が100~200mの厚さで発達している。この互層は後八事期層といわれている。この層の下位に不整合でやや粒径の大きな礫を主とする八事期層があり、砂やシルトの層をも挟んでいる。この層は濃尾平野の東部丘陵地では厚さ30m内外であるが、西方に向かって厚くなる傾向があり、100mを越えるところもある。

八事期層の下位には洪積層よりも古い第三紀鮮新統の

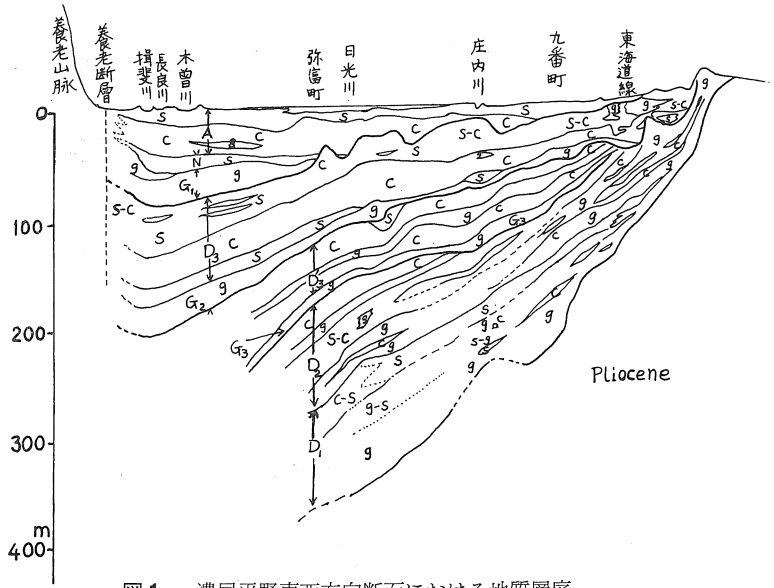


図1 濃尾平野東西方向断面における地質層序

東海層群が存在しているが、その上端は名古屋市東部の丘陵地に露出している。その地層の正確な厚さの資料は乏しいが、少なくとも300m以上500mくらいに達するものと考えられている。そして西方へ進むにつれて東海層群の基底深度は深くなり、木曾三川下流域下では1500m以上に達している。このように濃尾平野は西方に沈降する一つの傾動地塊で、熱田、八事などの洪積層の堆積面はいろいろな傾きをもち、その傾斜は下層の古い面ほど大きくなっている。この濃尾平野東端の地形面の傾きが濃尾平野全体の傾動を反映しているとみることができよう。

要するに濃尾平野はその西縁を画する養老断層の東側の基盤地塊が西側で沈降し、東側で上昇する傾動運動によって形成された沈降盆地であることが特徴的である。濃尾平野の標準層序²⁾を表1に示した。

3. 濃尾平野の地盤沈下

地盤沈下は、一般に土層の自然な圧密収縮や地殻変動による沈降などよりも速い速度で地盤が継続的に低下する現象をいうが、沈下の少なかった時代をも含めて記述することにしよう。

3-1 傾動沈下速度

濃尾平野の地盤は前述のように東から西へ傾動した基盤上に形成されたものであり、熱田、八事等の洪積層の堆積面の傾動沈下速度³⁾は表2のようにになっている。

表-1 濃尾平野の標準層序

地質時代	濃尾平野内地下標準層序	摘要	
第 四 紀	沖積世	南陽層 (A) 上部	砂層(s)
		下部	粘土層(c)
	後期洪積世	濃尾層 (N)	砂・粘土互層
		第一礫層 (G ₁)	礫層(g)
		鳥居松礫層 小牧礫層	礫層
中期洪積世	熱田層 (D ₃) 上部	砂層中粘土層挟在 海成粘土層中砂層挟在	
	下部		
	第二礫層 (G ₂)	礫層	
第 三 紀	中期洪積世	海部累層 (D ₃ ')	2枚の海成粘土層と砂・礫層挟在
		第三礫層 (G ₃)	礫層
	前期洪積世	後八事期層 (D ₂)	礫・砂・粘土互層
		八事期層 (D ₁)	礫層・粘土層
第三紀	鮮新世	東海層群	砂・粘土・礫層の互層

表一 2 地質時代における地盤沈下速度

対象	万年	傾動量	傾動速度	沈下速度 mm/年
熱田面	3.5	25/1000	7×10^{-8} /年	1.7
八事面	30	12.5/1000	4×10^{-8} /年	1
高位段丘基底	60	20/1000	3.3×10^{-8} /年	≈1
西志賀・四郷弥生式遺跡 ⁴⁾	0.2	0.19/1000		1.5~1.75

以上からわかるように時代が新しいほど傾動速度や沈下速度はやや大きい傾向はあるが、最大なものは海部郡弥富町付近において過去約3.5万年間の平均沈下速度は1.7mm/年にすぎず、過去2000年間の平均沈下速度もほとんど同じ値であることが認められる。このように傾動運動による沈降は過去の万年以上に及ぶ長期間、千年に及ぶ期間いずれの場合でもほぼ一定の速度で進行していたことが知られる。

3-2 地震時の沈降⁵⁾

濃尾平野において水準測量が行われた1888年以降現在までに地震の影響により著しく沈降したと思われる変動は二つある。すなわち1891年10月28日の濃尾地震および1944年12月7日の東南海地震である。水準測量の結果によれば濃尾地震をはさむ1888~1895年の間に名古屋~弥

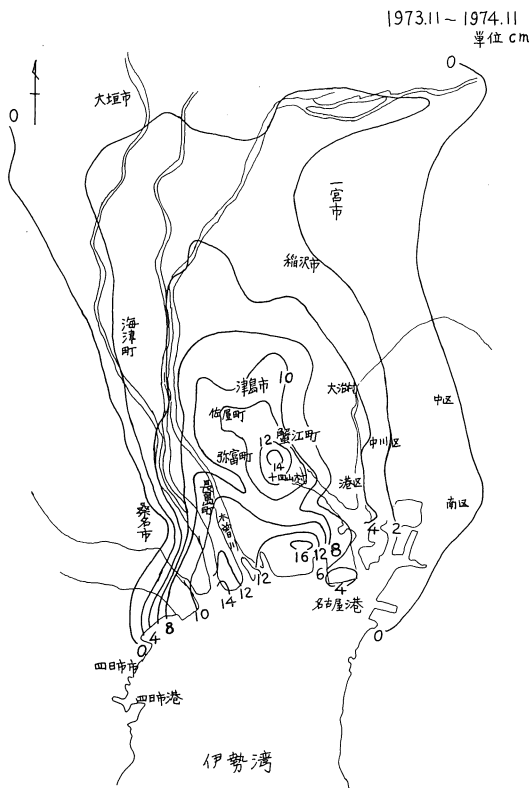


図2 1973年11月~1974年11月の1年間の地盤沈下量

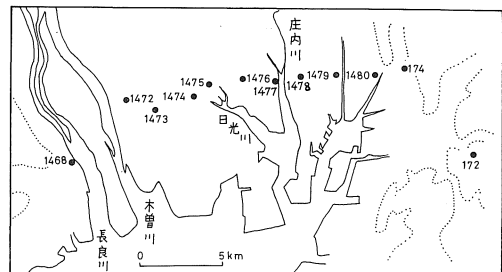
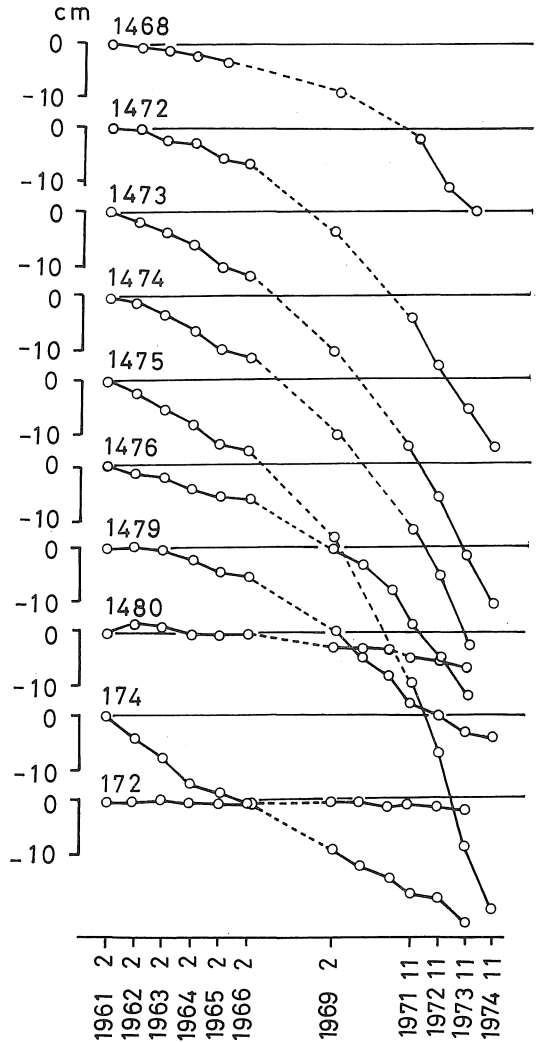


図3 濃尾平野南部における一等水準点の1961~1974年の地盤沈下

富町間において9.2~20.8cmの沈降をみたが、これにより濃尾地震による最大沈降量は約20cmと考えられる。この量は前記の2mm程度の傾動地塊による沈降に比べればかなり大きな量といえる。1944年の東南海地震では伊勢湾岸にて30~40cm、木曾岬村では50cm以上の沈下があったが、1931~1948年の間の水準測量においても名古屋市

～弥富町間の大部分の水準点が31～37cmの沈降量を示した。したがって東南海地震による沈降量は最大30cm以上と考えられる。

3-3 最近の沈下

1973年11月～1974年11月の期間の水準測量⁶⁾による地盤沈下の状態を図2に示し、1961年以降のものを図3に示した。図2の1973年11月～1974年11月の期間においては沈下の最大は筏川河口近くで約21cmを示しているが、前年の1972年11月～1973年11月の期間においては長島町の21.3cm、汐止町の23.5cm、蟹江町の20.6cmなどいずれも20cm以上の沈下を示しているのに比べると20cm以上の沈下地点は少なくなった。しかし図2のように前年度よ

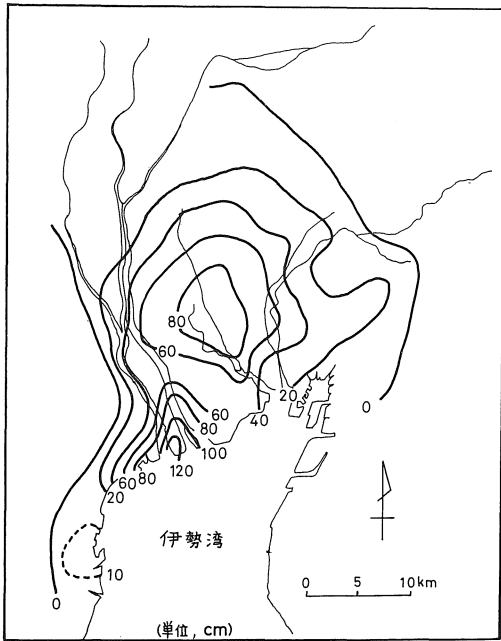


図4 1961～1973年の地盤沈下累積変動量

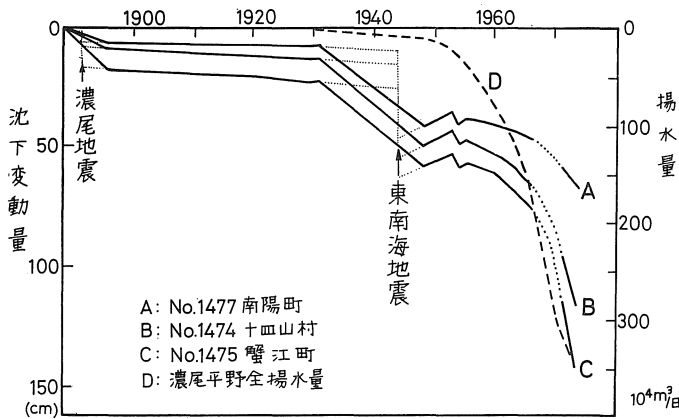


図5 濃尾平野南部における1888～1974年の地盤変動図

りも沈下域は北方に広がり、大垣付近までも達した。臨海域の沈下状況は図3のようになり、沈下速度が急速に増大している点の多いことが知られる。なお1961年～1973年における総累積沈下量を図4に示したが、その最大は長良川河口部の長島町にみられ133cmに達している。やや内陸部の蟹江町、津島市、佐屋町にまたがる地域においても著しい沈下域がみられ、最大累積量は83cmになっている。

水準測量が初めて行われた1888年から1973年に至る地盤の変動の状態を示したのが図5である。この図には南陽町(水準点1477)、十四山村(水準点1474)、蟹江町(水準点1475)の各沈下状況を示した。同じ期間における累積沈下量の最大は弥富町(水準点1972)であり2.25mとなっているが、これは図5には含まれていない。図5よりわかるように、濃尾および東南海地震での急激な沈降のあること、1895～1929または1931年の34年ないし36年間は沈下量はわずかに5～6cm、すなわち年平均1.4～1.8mm程度であったことが注目される。また東南海地震では地震時に急激に沈降した地盤が地震後数年にわたって数cm程度、もとに戻ったかのようにみえる。このような変動の後1953年から1960年までは1～2cmの沈降を続けている。

なお地盤の上下変動は海面の上下変動⁷⁾からもとらえることができる。木曾川河口左岸の横満蔵の潮位は最近9年間で年間7cmの上昇を続けていることは相対的に地盤の沈下を示すものである。

以上のように沈下は1895～1931では2mm/年以下、1931～1950年にて2～5mm/年、1950～1960年にて10～20mm/年、1960年以後は2～3cm/年から3～4cm/年と増加し、1964年以降は10～20cm/年と加速度的に増大している。したがって1950年以前においては、濃尾平野南部の大きな地盤変動は地震時に集中して現われるような地殻変動が主体であってそれが上下変動として現われたものといえる。

4. 濃尾平野における地下水位の変動と地下水利用の揚水量

昭和の初期までは濃尾平野の全域近く自噴帯が分布していた。このような良質豊富な地下水源の存在が、尾張・西濃地域の繊維・化学工業の発達の背景となっていた。戦争直後までは大垣・春日井・南陽町・日光川周辺の自噴帯は健在で、名古屋市域においても第三紀層まで達した深井戸ならば自噴するのが普通とされていた。昭和22年頃深井戸に対する補助金の交付などがあり、数十m以下の浅井戸から100m以上の

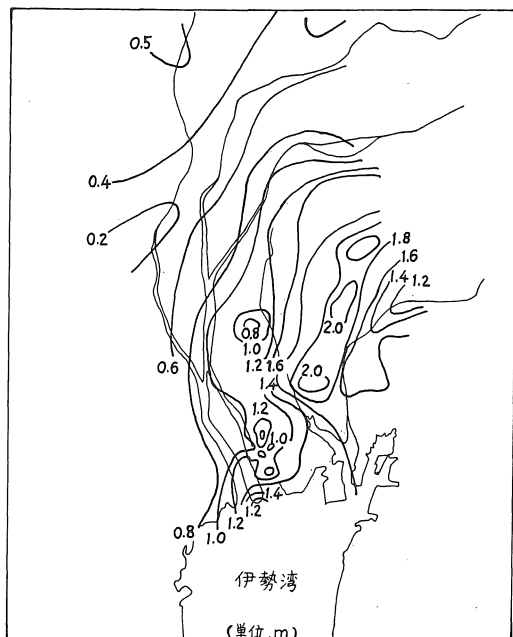


図6 濃尾平野における地下水位の平均年間低下量

深井戸へと変わり、井戸の本数も徐々に増加し揚水量も多くなった。濃尾平野の揚水量は図7に示したとおり、1950年頃から増大し始め1955年代以降急増している。この揚水量の急増は主として工業用水需要増によるもので、高度経済成長による都市化、工場化に伴う上水道や簡易水道の普及もみられ、地下水の需要増がかなりの量に達したことがうかがわれる。そして急激な揚水量の増大によって自噴井が次第に姿を消し、著しい水位低下を来すようになった。

地下水位は観測井に取付けられた水位計により測定されるが、沈下計による地層の収縮とともに連続的に地下水位の変動が記録される。地下水位の低下は地下水の汲み上げの増大とともに大きくなった。地下水の補給が採水量に追付けないためである。地下水位の低下は年々進み多いところでは年間2m以上にもなっている。地下水位の低下量の年間平均値を示したのが図6⁸⁾である。伊勢湾臨海部では年平均1.0~1.8m程度であるが、清洲、

大治、甚目寺等の町村では最大2m以上の低下がみられている。濃尾平野の北部では50cm内外の水位低下が行われている。

濃尾平野における地下水利用は工業用、農業用、建築物用、水道用等種々あるが、1973年の報告⁹⁾によれば、全揚水量は日量380万トン(年間約14億トン)に達し、全国地下水利用量の約10%を占めている。この揚水量は1965年代の高度経済成長期に約倍量に達する伸び率を示した。全揚水量の経年変化を図7に示し、用途別揚水量を表3に示した。

表3より濃尾平野においては工場用のための揚水量は全揚水量の約60%にあたっている。これについて農業用揚水量は全体の18%、水道用が13%、建築物用が9%となっている。なお愛知県下の揚水量の垂直分布に関しては、主要帯水層を表層(伏流水、地表面下10~15m以浅)、第一帯水層(第一礫層)、熱田層上部(平田砂礫部層など)、第二帯水層(第二礫層)、海部累層~八事期層、東海層群の6帯水層単元に区分して求められた値¹⁰⁾を表4に示したが、表層よりも第二帯水層、海部累

表一4 愛知県下の帯水層別揚水量

取水対象の帯水層	揚水量 (t/日)	%
表層	73,084	4.3
第一帯水層	217,894	13.0
熱田層上部	17,160	1.0
第二帯水層	331,020	19.7
海部累層~八事期層	464,495	27.7
未区分層(表層~第一礫層、段丘礫層、第三紀層一部など)	305,582	18.2
東海層群(第三紀層)	270,302	16.1
合計	1,679,536	100

層~八事期層などの深いところからの揚水量の多いことがわかる。第二帯水層においては第一帯水層などよりも水位低下量とその低下速度は大きく、水位低下域の範囲も広い。これは地下水の供給力の低いことを示すものと考えられる。この層の水位低下現象は熱田層下部の洪積

表一3 濃尾平野における地下水の用途別揚水量⁹⁾ (1973年) (t/日)

地域	用途		工場用 %		建築物用 %		水道用 %		農業用 %	
	揚水量									
名古屋市域	528,995		366,879	69	162,116	31	—	—	—	—
上記以外	3,273,298		1,923,136	59	180,909	6	477,028	15	692,225	21
濃尾平野全域	3,802,293		2,290,015	60	343,025	9	477,028	13	692,225	18

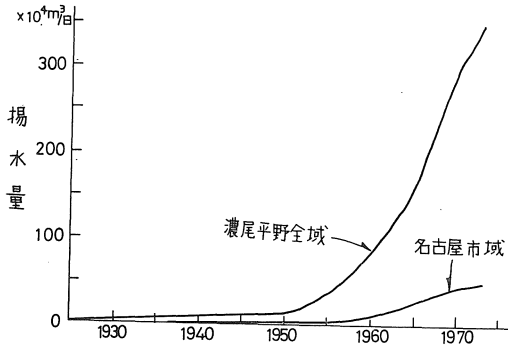


図7 濃尾平野における揚水量の経年変化

粘土層に沖積粘土層より大きな圧密収縮量を生じさせている原因と考えられる。海部累層より八事期層までの帯水層単元からの揚水量は全体の約28%になっている。この帯水層の水位低下およびその速度の大きな値の認められるところは名古屋市とそれに隣接する平野南西部域であり、水位の最大低下域は名古屋市港区付近と海部郡蟹江町付近で-50m以下にまで達し、水位低下速度も2~3m/年という大きな値になっている。このような水位低下が沈下に影響し比較的深いところまで沈下が及ぶようになったものと考えられる。なお東海層群からの取水も全体の16%にもなっており、深い帯水層であるだけに地下水の供給もより困難となると考えられるので、沈下への影響を無視するためには、揚水に十分な配慮が行われなければならない。

地下水位低下と揚水量との関係を図8、図9に例示した。図8には名古屋南部地域、図9には一宮地域のものを示した。名古屋南部地域においては旬別揚水量平均値

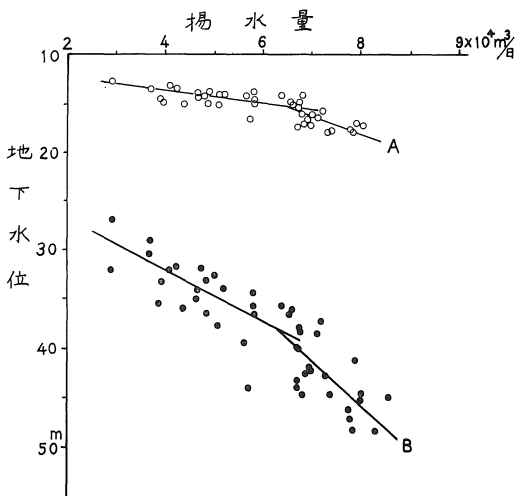


図8 名古屋市南部地域における揚水量と地下水位との関係 (1963—1965)。帯水層は熱田層から東海層群にわたる。
A：最高水位 B：最低水位

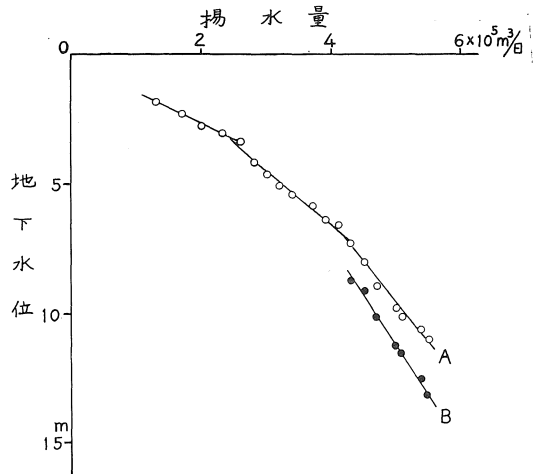


図9 一宮における地下水位と一宮一尾西地区における揚水量との関係
A：一宮市高田の70m (57—64mストレーナー) 観測井水位
B：一宮市高田の250m (212—233mストレーナー) 観測井水位

に対する最も高い水位と最も低い水位をとって図示¹¹⁾した。揚水量の増加とともに地下水位が低下し、揚水量がある値(日量約 $6 \times 10^4 m^3$)を越えると地下水位低下の速度が大きくなることがわかる。この場合には熱田層以下第三紀層までの広い範囲に分布した帯水層からの揚水量についての統計であり、これら帯水層の平均的な地下水位変化を示しているものと思われる。図9に示した一宮地域の場合は一宮・江南・木曾川・尾西・稲沢・祖父江・平和の227km²の範囲内の各市町村における被圧地下水の年平均日揚水量¹²⁾を70mの一宮観測井¹³⁾(旧名古屋大学理学部地球科学科一宮分室、現一宮市気象水象観測所所属)の地下水位と関係づけたものであり、Aは第一礫層の水位、Bは第三砂礫層帯水層水位を示している。いずれも地下水位は揚水量に比例して低下しており、約26万トン/日以上揚水量では水位低下が急勾配となっている。さらに揚水量が約42万トン/日以上になると水位低下は一層急激になる。この水位低下の割合は、70m観測井におけるよりも、250m観測井(70m観測井の近くにある名古屋通商産業局所属のもの)における方¹⁴⁾が大きいことがわかる。これは地下水供給の差によるものと考えられ、深所における地下水供給の方が少ないことを示すとみてよいであろう。

地下水盆単位の被圧水の収支は、Qdを揚水量、Qrを地下水盆へのかん養量、Lを垂直成分のかん養量、Rを水平成分のかん養量、Aを地下水盆面積、Sを平均値な貯留係数、dh/dtを単位時間あたりの被圧水頭変化とす

れば

$$Q_r = L + R$$

$$Q_d = Q_r - AS \frac{dh}{dt}$$

で与えられる。この関係を、一宮地点の観測資料をもとに計算された体積圧縮係数 $m_v = 2.8 \times 10^{-5}/m$, $S = m_v \times H$, $H = 200m$ (帯水層厚), 前述の揚水地域 227km²の範囲内の日揚水量, 宮田用水の受益面積 $A = 11,000ha$ 等を用いて計算された値をみると, 1973年においては¹⁵⁾ $Q_d = 26.3 \times 10^4 m^3/日$, $L = 21.3 \times 10^4 m^3/日$, $R = 4.94 \times 10^4 m^3/日$, $dh/dt = -0.35m/年$ となり垂直成分かん養量は水平かん養量の 4.3倍, 揚水量の 0.81倍となっている。すなわち揚水量の約80%が上方からくる農業用水からの漏水によっていることになる。しかしなお経年的な水位低下と地盤沈下が起きているのである。

5. 地下水位低下と地盤沈下

地盤は地下の地層によって支えられ, その支持力は地層の固体粒子の支持力と粒子間の間隙水圧とによる。地下水の過剰揚水は帯水層中の間隙水圧の低下を来らし, 間隙水圧の支えていた部分が減少するので, その分だけ支持力が固体粒子に転化される。その結果粒子構造は大きくなった荷重負担により間隙水を排出しながらつぶれ容積収縮を起す。砂や礫の帯水層では水圧が回復すると容積の大部分を回復するが, 粘土層では水の移動は遅く時間がかかり, 水の絞り出しの圧密現象は礫層に比べて遅い。しかし一度絞り出された粘土層中の間隙水は周りの水位が回復して水圧が大きくなって粘土層中には戻り難く, 容積収縮の大部分は残る。すなわち地盤沈下は非可逆的で大部分は永久にもどらないことになる。

粘土層の圧密沈下はTerzaghi¹⁶⁾の一次元圧密理論から求められる。wを地表面の沈下量, u(t, z)を過剰静水圧とすれば

$$\frac{dw}{dt} = m_v \frac{d}{dt} \int_0^H \{u(t, z) - u(0, z)\} dz \quad (1)$$

で与えられる¹⁷⁾。ここに m_v は体積圧縮係数, Hは土層の厚さである。なお u(t, z)は

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{m_v \gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

の解である。ここに kは透水係数, γ_w は水の単位体積重量である。(2)は瞬間載荷条件式であるから漸増荷重の場合には(2)の右辺にその項を加えなければならない。この場合は水圧の初期条件を考慮して(1)の u(0, z)を u(t₀, z)として t₀を初期値として用いればよいと考えられる。以上のような式から圧密沈下曲線が求められ

る。1973年現在の地下水位に対して計算された最終沈下量¹⁸⁾は蟹江地区で343cmであり, 極限まで水位を下げたときの沈下量は470cm以上となると考えられている。第二礫層以浅の水位低下による最終沈下量は飛島においては1.76m, 長島においては2.30mとなっている。飛島観測井における水位の変動と沈下との関係を見ると図10のようになり, 水位低下による収縮量は大きい。

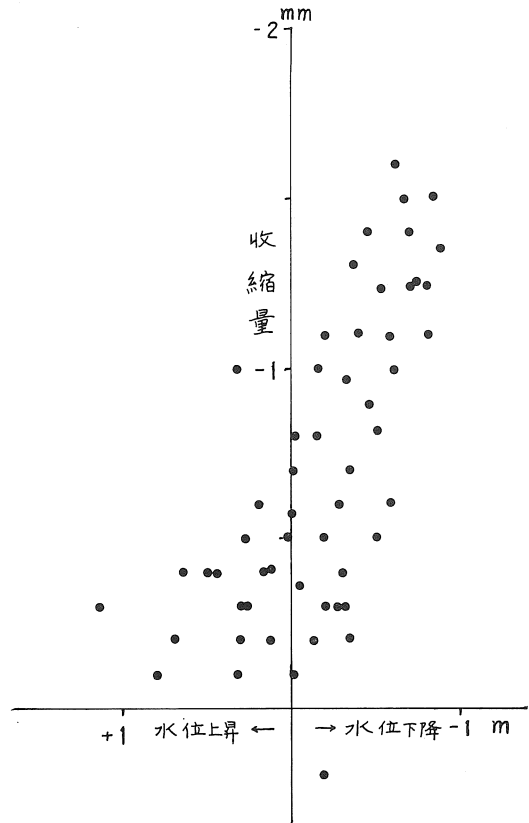


図10 愛知県海部郡飛島村における愛知県観測井の300m深度の地下水位変化と地層収縮量との関係

6. 沈下量と揚水量

揚水量と沈下量との関係は濃尾平野全体ではだいたい比例関係にあると考えられるが, 場所によりちがうことも考えられるのでそれを考察した。一様な地盤構成の場合には揚水量の大きい割合に沈下の少ない地域は地下水の供給が速く行われるところであり, 揚水量の少ない割合に沈下の大きい地域は, 地下水の供給が悪く, 前節で述べたように水位の低下に伴って粘土層中の間隙水の絞り出しが行われるため圧密収縮が促進され, 沈下が大きく現われるものと考えられる。1973年度の平均沈下量と1km²当りの日平均揚水量との関係を求めてみると図11の

ようになる。図では次の三つの地域に分類した。

(1) 揚水量1㎏当たり日量200トンに対して沈下量が1cm以上の地域 この地域は直線Aの左側の領域で佐屋町、蟹江町、十四山村、津島市、弥富町、七宝町、立田村、美和町、佐織町、平和町、名古屋市港区、飛鳥村、八開村、長島町などで、地下水の供給が悪く揚水により水位低下を来し粘土層からの間隙水の絞り出しを行うためか沈下がめだつところである。

(2) 揚水量1㎏当たり日量200～1000トンに対して沈下量が1cm程度の地域 これに属する地域は直線A、Bにはさまれた領域で、稲沢市、清洲町、甚目寺町、大治町、名古屋市中村区、中川区、南区、瑞穂区、緑区、千種区である。この地域では(1)の地域よりも地下水の供給がよいものと考えられるが、地下水位の低下に比例して沈下の進行が行われているところと考えられる。

(3) 揚水量1㎏当たり日量1000トン以上に対し沈下量の小さい地域 この地域は地下水の供給が速やかに行われるところで、揚水量の多い割合に沈下量が小さいところである。これに属する地域は岩倉市、春日村、西春町、一宮市、尾西市、江南市、西枇杷島町、木曾川町、新川町、祖父江町、名古屋市昭和区、守山区、熱田区、東区、西区などである。これらの地域は直接、間接に地下水かん養地でもあり、この地域での揚水は(1)、(2)の地域に影響を及ぼすところと考えられている。

濃尾平野の地下水かん養量を試算してみると次のようになる。日本全国の降雨量¹⁹⁾は年間約6,300億トンとされており、そのうち地下水としてかん養される量は場所によりまちまちであるが約200—630億トンといわれている。したがってかん養量は大きく見積って降雨量の約10%とみることができよう。濃尾平野の最近5年間の平均降雨量は名古屋気象台の資料によれば1,670mm、岐阜気象台では2,088mm、一宮気象水象観測所では1,932mmとなっている。また1965年からの10年間の平均値は名古屋、岐阜、一宮でそれぞれ1,596mm、2,006mm、1,837mmとなりいずれも5年平均値よりも小さい。このように時間的にも場所的にも降雨量の違いがめだっているが、これらの平均値として1,800～1,900mmとなっているのでだいたい一宮における降雨量に近い。よって1,900mmを濃尾平

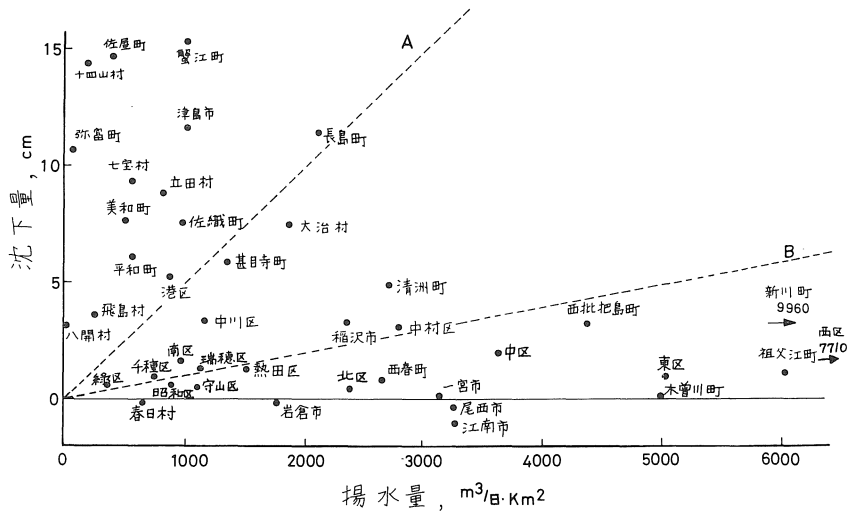


図11 濃尾平野の各市町村における地下水揚水量と平均地盤沈下量
 A：沈下量1cmに対し揚水量200トン/日・㎏の割合を示す直線
 B：沈下量1cmに対し揚水量1000トン/日・㎏の割合を示す直線

野の降雨量とすれば、地下水かん養量は上述のように降雨量の約10%とみると、濃尾平野からの地下水かん養量は約190mmとなろう。ところが濃尾平野の揚水量を降雨量と同一基準に直してmmで求めると平均590mmとなるから、この揚水量の値は降雨量から地下水にかん養される量約190mmの3.1倍となる。この値はかなり大きな量であり揚水量はかん養量をはるかに上廻っているのである。上述の揚水量の地域別分類に示した1㎏当りの日量200トンは73mm、1000トンは365mmとなり前者はかん養量の約40%、後者はかん養量の約1.9倍となる。これらはいずれにしても揚水量の多いことを示しているといえよう。

7. 深度別地層の収縮沈下量

近年地盤沈下の及ぶ範囲は深度に対しても増大した。深度別に沈下の観測が行われた若干の資料^{20) 21)}をもとに、深度別地層の収縮沈下量を総合し、それを図12に示した。図12を見ると場所によってのちがいは見られるが、300m以上の深度においても沈下が観測されている。そして多くの場合は30～170mの深度において総沈下量の50～75%を受持っていることがわかる。300mの深度においても総沈下量の10～30%を受持っているところもあり、深層にまで沈下が及んでいることを示している。このような深層は洪積層下部にも及ぶものでその付近からの地下水採水が影響しているものと考えられる。

深度100m以浅のところでの沈下量の多いのは過剰用水による地下水位の低下の影響は大きい、そのほか地表面における堤体などの静的荷重および重車輛の通行による動的荷重の影響もあると考えられる。堤体の沈下の70～80%前後は50m以浅の地層の圧密収縮²²⁾によっているといわれている。また動的荷重については通行

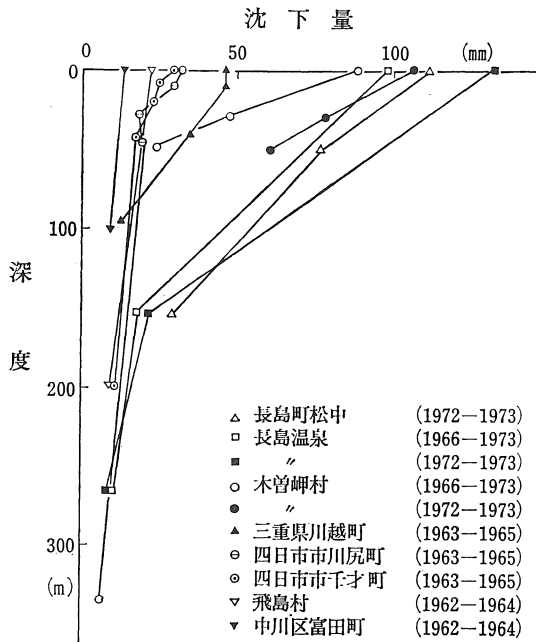


図12 濃尾平野南部地域における地下深度別沈下量

自動車の経年変化でみることもできるが、重車輛の交通のはげしい名四国道や国道一号線では沈下に対する動的荷重増加の影響がみられている²³⁾。これについては現在研究中であり今後明らかにできるものと考えられる。

8. まとめ

濃尾平野における地盤沈下の実態を地下水位の変動とともに考察しそれを解析した。地盤沈下の主要な要因は地下水の過剰揚水による地層の圧密収縮の加速によるものであるが、その他の要因についても考察した。それらをまとめると次のようになる。

1) 自然的要因

軟弱層の自然圧密 緩慢な地殻変動	変動量が 1~数mm/年 のオーダー	地質時代から 現在に至る
急激な地殻変動 (地震時)		

2) 人工的要因

地下水の揚水量の増大	変動量 1.0~20 ³ cm/年の オーダー	1955年頃より加 速度的に増大
地表面における静的荷 重(海岸・河川堤防, 高潮堤,重構造物など)		1961年頃より 影響大
地表面における動的荷 重,加振重量車,自動 車の通行その他		

以上から大きな地盤沈下を防止するためには過剰な地下水の採取をおさえ、合理的な採水を行うようにして、

地下水かん養につとめ水位の低下をさけて平衡を保ち、水収支の均衡を失わないようにしなければならない。

終りにのぞみ種々の資料を提供して下さいの方々には深く謝意を表わす。

参考文献

- 1) 桑原 徹：濃尾傾動盆地の発生と地下水の第四系、地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究報告書、愛知県環境部、愛知県地盤沈下研究会、昭和50年3月、111~156頁
- 2) 桑原 徹：同上
- 3) 桑原 徹：濃尾盆地と傾動地塊運動、第四紀研究、第7巻、第4号、1968年、235~247頁
- 4) 井関弘太郎：先史時代・歴史時代の地殻変動、第四紀研究、第7巻、第4号、1968年、127~131頁
- 5) 飯田汲事：濃尾平野南部地域の地盤沈下の実態とその解析、地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究報告書、愛知県環境部、愛知県地盤沈下研究会、昭和50年3月、21~38頁
- 6) 東海三県地盤沈下調査会資料による
- 7) 飯田汲事：5)に同じ
- 8) 建設省国土地理院、建設省中部地方建設局：地盤沈下と地下構造との相関関係の調査研究(第二報)ー濃尾平野一報告書、昭和49年3月、90頁
- 9) 環境庁、建設省、愛知県、三重県、岐阜県、名古屋市長：地下水揚水等実態調査報告書、昭和48年度
- 10) 桑原 徹：濃尾平野における地下水利用と地下水位の変動の実態、地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究報告書、愛知県環境部、愛知県地盤沈下研究会、昭和50年3月、61~88頁
- 11) 名古屋南部地下水対策協議会：名古屋南部地下水実態調査報告書(飯田汲事執筆)昭和40年7月
- 12) 清水治氏の資料による
- 13) 筆者が開設当時水位計および沈下計を設置したもので、水位の観測は清水治氏が継続している
- 14) 名古屋通商産業局および清水治氏の資料による
- 15) 農林省東海農政局濃尾第二期農業水理事業所、国際航業株式会社地質海洋事業部：昭和49年度濃尾用水第二期地区地下水動向調査報告書、昭和50年3月、25~29頁
- 16) K. Terzaghi: Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, Vienna.
- 17) 宮部直巳：地盤沈下における諸問題、施工技術、第5巻、第2号、1972年2月、23頁
- 18) 桑原 徹：濃尾平野における地盤沈下量の解析と沈下予測、地盤沈下の実態とその対策に関する調査研究報告書、愛知県環境部、愛知県地盤沈下研究会、

昭和50年3月, 89~108頁

- 19) 通商産業省地質調査所編, 日本の地下水, 実業公報社刊, 1962年
- 20) 飯田汲事: 地殻変動の考察, 伊勢湾北部地域地盤沈下調査研究報告書, 名古屋大学地盤変動研究グループ, 昭和42年3月, 7~75頁
- 21) 建設省中部地方建設局, 木曾川下流工事事務所: 地盤沈下対策調査報告書, 昭和48年3月, 59~64頁
- 22) 植下 協: 地盤沈下の土質力学的考察, 伊勢湾北部地域地盤沈下調査研究報告書, 名古屋大学地盤変動研究グループ, 昭和42年3月, 127~149頁
- 23) 飯田汲事: 5) と同じ

(昭和51年1月10日受付)