

千葉県市原―木更津地域における海岸低地の地盤環境

近 藤 精 造

はじめに

昭和62年12月17日の千葉県東方沖地震に際して、震源から数十kmも離れた東京湾岸低地においても、地盤の液状化現象を生じている。この地域への直接の被害は軽微であったが、それぞれの地域の地盤環境をよく把握し、地震など地盤災害への対応の必要性が云われている。特に大規模な埋立造成地の地盤は、他の海岸低地と同じ平坦な地形を示しながら、下位の沖積層の厚さなどに関係し強度を著しく異にしている。

ここでは、国土地理院および千葉県の行った水準測量結果などを基に、地盤変動と地盤を構成する地質構造につき考察したい。

なお、本報文作成にあたって資料提供、有益な御示唆をいただいた千葉県水質保全研究所地盤環境研究室楡井久氏に謝意を表します。

1. 東京湾岸海岸低地における地盤環境

第1図の地質概略図に示すように、この地域の東側の台地は下総台地の南縁に相当し、表層の関東ローム層と、その下位にくる下総層群から構成される。東京湾岸沿いの海岸低地は泥がち層と、砂洲、砂堆などの砂がち層から構成され、その基盤の下総層群にのっている。さらに海岸の埋立造成地は沖積層の上に埋立の砂層がのっている。このことは第2図に示すボーリング結果に基づく地質柱状図で明かである。下総層群はこの地域で

は300～400mの厚さをもち、その下部に上総層群がきている。これらの層序を第1表に示した。

第1表 層 序 区 分

地 層 名		
沖 積 層	埋 立 層	
	泥がち層・砂がち層	
関東ローム層		
下総層群	成田層	木下部層
		上岩橋部層
		清川部層
	藪層・瀬又層	
	地藏堂層	
	金剛地層	
	上総層群	笠 森 層

(1) 沖積層

市原－木更津の海岸低地における沖積層は第1図に示すように、10～20mの厚さで全域に分布し、更新統を刻んだ侵食谷では最大45m程度となっている。東京低地の沖積層は下半部を七号地層、上半部を有楽町層とに区分され、その境界に谷地形が知られている。養老川、小櫃川低地の沖積層でも、これに相当する上下2層が、京葉工業地帯の地盤（1969）において報告されている。七号地層相当層は砂層と粘土－泥質層からなり、有楽町層相当層は泥質層を挟む砂層をなすことが多い。第1図に水準点番号地点の位置を示したが、3837～3855は国の設置した水準点ですべて沖積層の地盤に設けられている。

(2) 埋立層

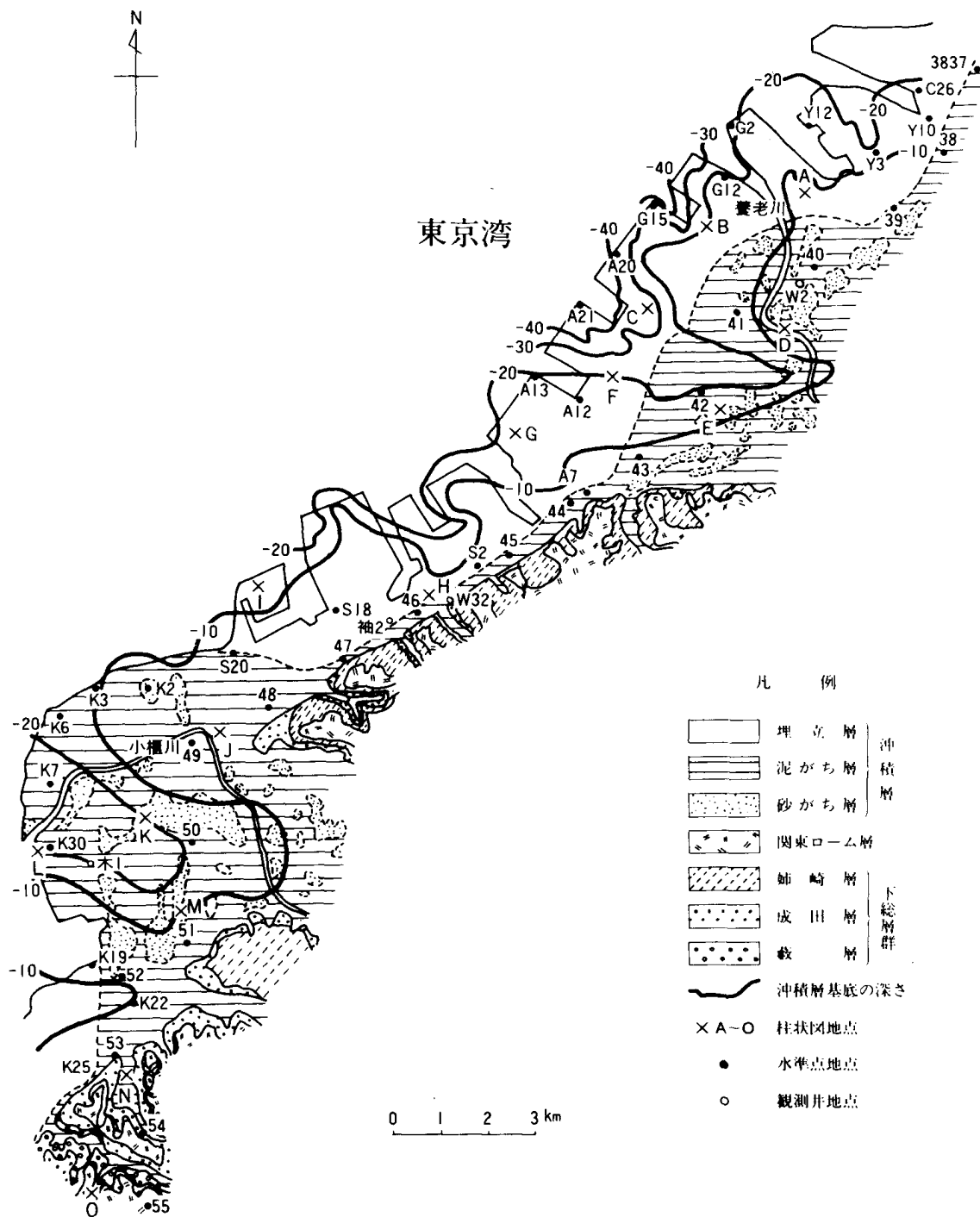
この地域の埋立は五井・市原地区が1961年に、五井・姉崎地区が1962年造成に着工し、しゅんせつ工法により海底下の下総層群の砂を主にして埋め立てられた。標高は2.5～3mが大部分となっており、埋立層の厚さは東京湾側に向かって厚く、さらに、埋立前の海底の地形により変化している。Y3, G2, A20, S2, K30などで示された水準点は千葉県の設置によるもので、ここでは主として海岸の埋立地に設けられた地点につき取り扱った。

(3) 関東ローム層

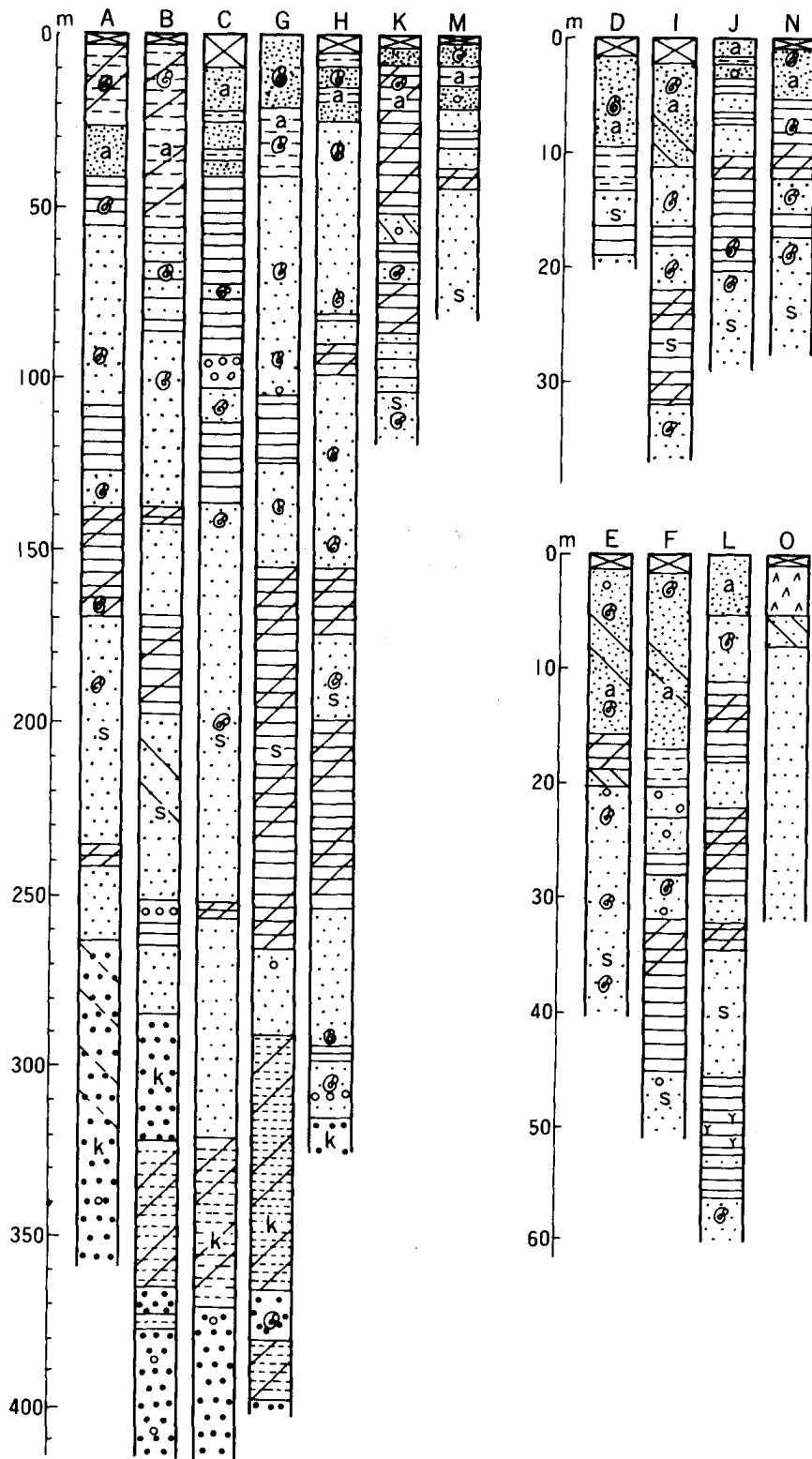
台地の表面を被って3～5mの関東ローム層が広く分布している。富士火山起源の風成の火山灰の風化層であって、上より立川ローム層、武蔵野

千葉県市原一木更津地域における海岸低地の地盤環境

第1図 地質略図および測定地点



第2図 地質柱状図



A~O: 第1図の地点におけるボーリング資料
a: 沖積層 s: 下総層群 k: 上総層群

ローム層に区分され、武蔵野ローム層の下底近くには箱根火山起源の東京軽石層が挟まれている。

(4) 下総層群

台地上では、関東ローム層の下に常総層を挟み下総層群がくる、この付近では最上部に姉崎層が位置し、厚いところで10mにも及ぶが南ほど薄くなっている。シルト質の地層が主で、ときどき火砕質となっている。

この下に成田層の砂層があり、木下部層、上岩橋部層、清川部層に区分され、台地上では当地域の北では木下、上岩橋両部層が、南では清川部層が比較的多くみられる。さらに下位にくる藪層は木更津付近で、台地縁の露頭最下部にでている。

海岸低地の沖積層の下に、不整合で境し、下総層群がきており、沖積層基底の深さに応じた層位であって、成田層以下の地層がみられる。

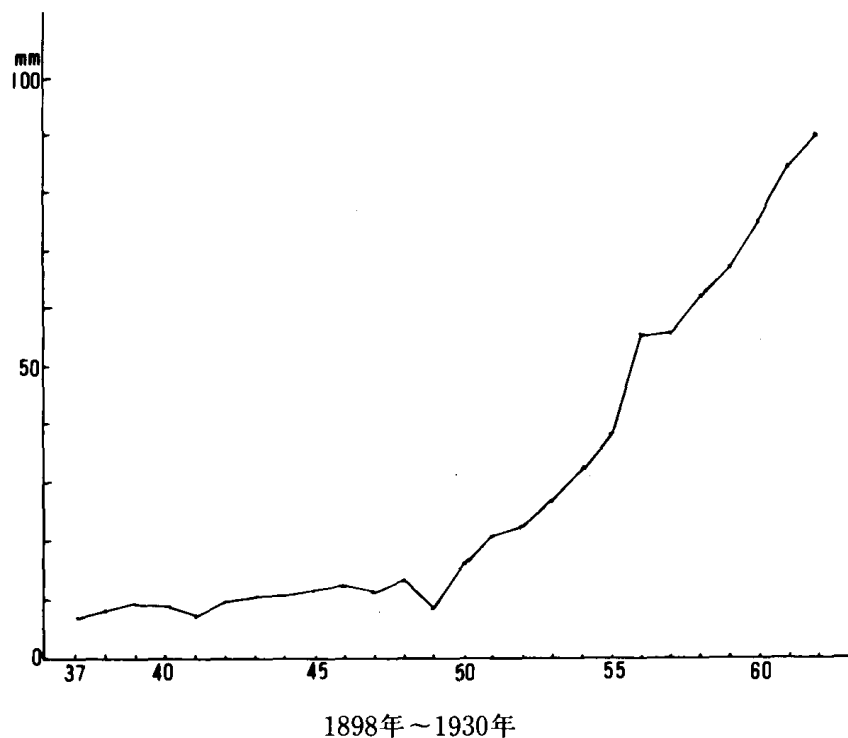
(5) 上総層群

この地域の地表では見られないが、下総層群の厚さが300～400mとされており、それより深所には上総層群が1000m以上存在し、この層群中から天然ガスの採取が行われている。市原市での天然ガス採取は比較的小さく、天然ガスかん水の排水量（揚水量－還元量）で日量6,000トン程度に留まっている。

2. 関東地震前後の地盤変動

関東地震に際してのこの地域の地盤変動は比較的小さいが、宮部(1952)が報告した、1898～1930年の変動値を図示すると第3図のようになる。1923年までの変動値でも、この地域では同じ傾向で、地震後の変動は比較的小さい。その中で、水準点番号3837から3849地点付近までは隆起が10mm程度であるのに対し、3850地点付近から南は著しい上昇傾向が認められている。この数値は約30年間の変動を表しているので、地点3849以北

第3図 水準点における標高の変動



の地域にみられる隆起は平常時の変動と同じ程度で、それから南側では地震に伴う、房総南端の顕著な隆起帯に引きずられた変動と推定される。

地震の震央とみられる相模湾北部から距離を隔てたこの地域において、地震動の等震度線での最烈震が、市原、君津郡では養老川、小櫃川、小糸川沿いの沖積層からなる場所に限られて起こり、地震被害もここに集中していた。養老川沿岸の旧町村名で五井町、千種村、姉崎町、東海村、養老村、海上村、戸田村を中心に、被害戸数1414戸、全壊640戸に及び、死者21名、負傷者60名であった。また、小櫃川沿岸でも旧町村名で木更津町、根形村、中川村、巖根村、金田村を中心に被害が見られた。

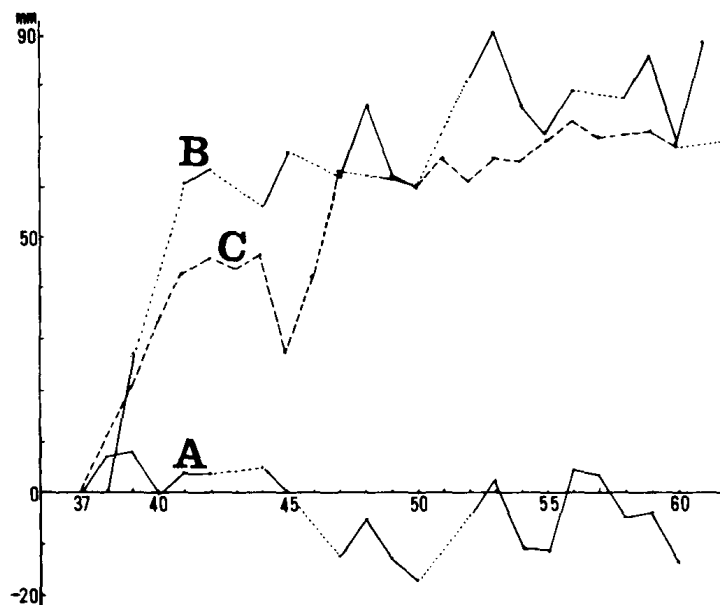
養老川河口の海岸地域では、被害家屋の比率を全壊＋半壊/全戸数でとると、川沿いの沖積層の厚い五井町が9.5%、千種村が16.3%と、八幡町の1.9%、姉崎の3.5%に比べ特に多くなっている。また、液状化現象がこの沖積低地で何か所か記録されている。

3. 国土地理院による1958年，1965年，1969年の水準測量結果

国土地理院の1958年測量は，1931年を基準とし，基準点は水準点番号3837地点を0として示されており，第4図Aのように地点による違いはあるが，10mm程度の上がり下がりとなっている。このとき千葉市に入る3836地点で-13.7mm，3835地点で-34.6mmを記録している。この間，1953年の川崎製鉄千葉工業所などの操業開始の影響はあったが，市原臨海工業帯はまだ計画策定の段階であったので，千葉地域に比べ，揚水などの人為的影響が少なかったとみられる。

1965年測量でも，1931年を基準とし，基準点は3838地点を0として示され，第4図Bとなる。いずれも著しいプラスの値となり，水準点番号3840以南では50～90mm程度の変動を記録し，逆に3838地点の沈下の激増を示唆していた。この間，五井市原地区で1959年4月の旭硝子工場を初めとし，1961年古河電気工業，昭和電工，富士電機製造，丸善石油と操業が開

第4図 水準点における標高の変動



A : 1931年2 - 3月～1958年12月
B : 1931年2 - 3月～1965年10月
C : 1965年10月～1969年1 - 3月

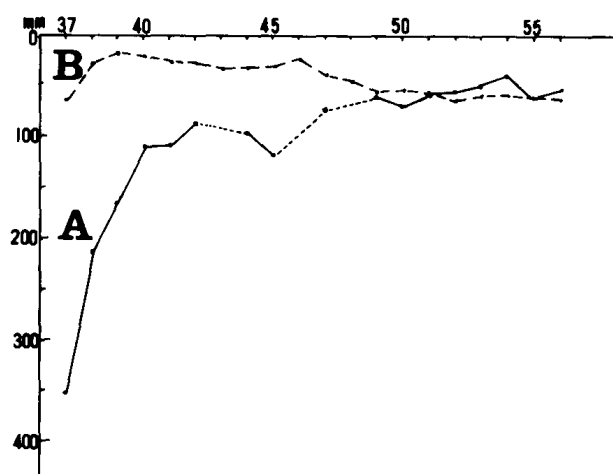
始され、五井姉崎地区も1963年2月の出光興産を初めとし、1964年日本板硝子、宇部興産と次々に操業が開始された。しかし、まだ地盤沈下への影響は少なかった。

1969年の測量は、1964年を基準とし3837地点を0とした変動であって第4図Cのようになる。変動の状況は1965年とほぼ同じように、50～70mm程度のプラスが表れている。1969年までには市原市の海岸造成地における大部分の工場の操業が行われだした。一方、1954年4月五井市原地区、1960年4月五井姉崎地区の工業用水道が給水を開始し、工業用水の転換も始まった。

4. 千葉県による1963年～1974年の水準測量結果と地下水の揚水

千葉県によるこの地域の水準測量は1963年から実施され、第5図Aに1963年2月1日から1974年1月1日までの約11年間の変動を示した。この期間の前半に上記国土地理院の測量結果があり、第4図B、Cと比較できる。この地域が水準点3837および3838を基準としてはプラスの変動値であったが、霞が関の日本水準原点に対しては著しい沈下を示していたことが明瞭

第5図 水準点における標高の変動



A : 1963年2月1日～1974年1月1日

B : 1971年2月1日～1972年2月1日

であり、開発の進んでいた五井、姉崎地区などが木更津地区に比べ大きく表れた。

この期間のうちで、1963年には10mm程度の沈下であったが、1964年は20～40mmの沈下と増大し、1965年には沈下の減少をみながら、その後は1971年まではほとんどの臨海地域が－10～20mmの沈下をし、ところにより－40mm～70mm沈下が記録された。1972年は（測量の基準日が2月1日から1月1日に変わり、11か月の変動）大部分が隆起となり、南ほど大きく、袖ヶ浦町で+20mm、木更津地域で+30～+50mm程度となった。1973年はまた沈下になり、－10～20mmの変動をした。この間、沈下の激しかった1971年2月～1972年2月の1年間の変動を第5図Bに示した。

臨海部の地下水開発については、1960年1月「地盤沈下予防に関する協定」が千葉県と進出11社との間に結ばれ、さらに1962年11月7日に改定され18社との協定となった。この協定条項により「地盤沈下予防対策委員会」が設置され、委員会が1963年9月「取水基準」を決定した。その内容は井戸の間隔を300m以上とする、最大揚水量を60m³/時（1,440m³/日）とするなどであった。

この決定にしたがった揚水が大規模となり、市原臨海工業地帯の地下水汲み上げ量は1960年に100万m³/年であったのが5年後に1,400万m³/年、さらに5年後の1970年に3,800万m³/年と激増した。市原市の地下水揚水量でも1970年10月で126,000万m³/日、1972年12月末で175,000m³/日となっており、工場進出とともに1961年から揚水も増大し、1971年にピークに達した。

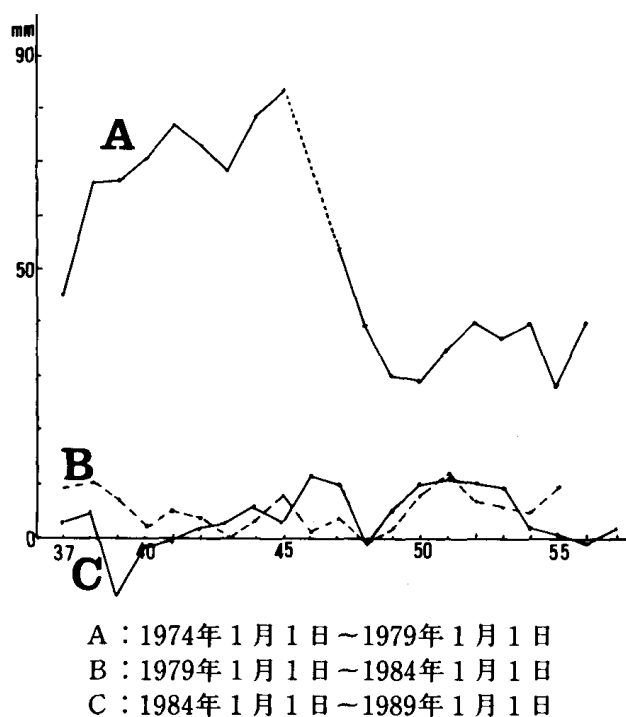
これに対し、1963年10月1日に施行された千葉県公害防止条例がその後の何回かの改正を経て、1972年から地下水汲み上げによる「地下水位の著しい低下」を公害に含め、揚水施設の設置につき「許可制にする」など規制を強めた。また、1956年制定された「工業用水法」の適用の範囲が拡大され、1974年8月1日から千葉・市原の臨海工業地帯が含まれるように

なった。同じように「建築物用地下水の採取の規制に関する法律（ビル用水法）」も，市原市の県上水供給地域に適用され，同日から施行され，汲み上げの規制が一段と厳しくなった。この影響は次の1974年以降の水準測量結果に反映された。

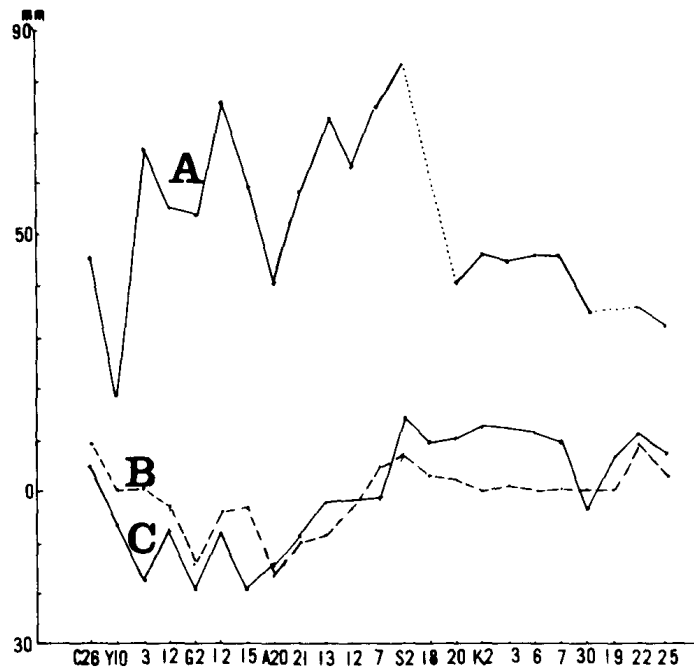
5. 1974年～1979年の水準測量結果と地下水の水位回復

1963年以降は千葉県における水準測量結果が毎年公表され，地盤の変動状況が細かくわかるようになった。また，国の水準点のほかに水準点が年々増設され，地域毎の詳細の変動状況が把握できるようになった。1984年以後は千葉県に設置された君津市郡，大原町，勝浦市興津の3固定水準点と霞が関の日本水準原点を不動点として測量が行われている。千葉県の測量結果を1年間単位に加え，1981年から5年間累積沈下量で示すようになったので，ここでも5年間単位で変動の傾向を考察してみた。

第6図 水準点における標高の変動



第7図 水準点における標高の変動



A : 1974年1月1日～1979年1月1日
 B : 1979年1月1日～1984年1月1日
 C : 1984年1月1日～1989年1月1日

第6図のAは1974年～1979年の5年間の変動を示すが、この間は隆起傾向が顕著に表れ、そのうち3838－3847地点が50mm以上の隆起を示すのに対し、3848地点以南では30mm程度の隆起に留まっている点の特徴である。第7図は埋立造成地に設置された水準点の変動を示してあるが、Aは同じ1974～1979年の5年間の変動を表しており、地点ごとに差異はあるが第6図Aと同じく、数10mmの隆起を示し、南の袖ヶ浦、木更津地域に入ると、一段と減り+30～40mm程度の隆起に留まり、同傾向を示している。

この期間に含まれる1975年に、川崎市における地盤隆起に伴う直下型地震説が出されたりし、千葉県でも船橋地域などと同様に市原地域の地盤上昇問題が表れ注目された。楡井ほか(1976)は水準測量結果、揚水量の調査、観測井の水位測定などから、この地域に顕著であった地盤隆起が、「地震性地殻変動によるのではなく、人為的揚水活動の停止あるいは、揚水規

制にともなうものである」とした。急激な水位回復が地盤を押し上げていることは、第6図AとB，Cとの間の相違で裏付けられる。このことは次の地下水揚水量の変化によって裏付けられる。

市原市の地下水揚水量も日量で1974年123,431m³，1975年87,000m³，と減少し，1978年に105,800m³と増えたが1979年には77,000m³と減少した。揚水量の減少は水位上昇に連なり，第1図W2（五井旧市原市役所）の深度250mの観測井において，1962年に東京湾平均海面（TP）基準で+4mが，揚水のピークであった1972年に-15mまで下がり，その後は漸次上がりだし，1979年には0mに回復した。この水位回復が市原地域の地盤上昇をもたらした。

これに対し，袖ヶ浦町では工業地帯の開発の時間的ずれもあって，地下水揚水量の日量が1974年23,600m³，1976年23,000m³，1977年に28,000m³，1979年29,000m³と増大した。これに応じた地下水水位の変動が，旧海岸線に沿った低地にあるW32（長浦中学校）の深度250mの観測井で，1966年にTPで0mであった水位が1971年から1973年にかけて-15mに下降し，1979年に-2mに回復したのに対し，海岸埋立地にある袖2（長浦拓2号580-146）の深度220m観測井は，1976年からの観測で当初の-5mが，1979年に-12mのピークとなっている。

また，木更津市も日量での地下水揚水量が1974年の53,700m³から一度は減少をしたが，1979年に再び56,000m³となり，これに応じた地下水水位が木1（木更津市江川町）の観測井で，1975年からの測定で-5m程度の水位が，僅差ではあるが1978，1979年に-6mと最低になっている。

袖ヶ浦，木更津地域の地下水の揚水の状況が，水位に関連し，さらに地盤変動において，市原地域より一段と隆起量が小さい原因となっている。

6. 1979年以降の水準点測量と地盤変動

1979年～1984年の変動を第6図B，第7図B，1984年～1989年の変動を第6図C，第7図Cに示した。旧海岸沿いの海岸低地では，それぞれの5年間で数mm～10mmの上昇で変動量の減少が明かである。海岸埋立地では市原地域が10～20mmの沈下を示し，袖ヶ浦，木更津地域の多くは数mm程度の隆起を示した。この間，千葉市，市原市，袖ヶ浦町の地域が1986年9月から「房総臨海地区工業用水道」に転換されたり，地下水の揚水量の減少が地盤沈下の鎮静化となった。

市原地域における地下水揚水量は1979年以後も日量で7万 m^3 ～8万 m^3 台が維持され，1988年からは6万 m^3 台と減少した。これに応じて，1979年に0mまで回復したW2の地下水水位は1981年には，+1～+2mとなり，自噴するようにまでなった。

袖ヶ浦地域でも地下水揚水量が1979年以後は減少し1987年には日量17,000 m^3 台になり，W32の観測井の水位も1980年に0mに回復し，1984年に+5m，袖ヶ浦2の観測井でも1982年には-5m，1989年には-2mと回復した。

木更津地域の地下水揚水量も1979年以後毎年減少し，1987年に日量32,000 m^3 となり，観測井の木更津1における水位も1981年に-5m，1989年に-3mと回復してきた。

7. 考察

市原一木更津地域の海岸低地は養老川，小櫃川デルタ地帯を除けば，海岸沿いに幅狭く延びていて，沖積層地域としては，地盤変動の比較的少ない場所として推移してきた。しかし，1957年から始まった土地造成と工業地帯の開発が様相を一変させた。

(1) 地盤変動と沖積層の層厚

工業用水としての地下水の揚水が臨海造成地を主体にしているので、水準点の地盤変動と沖積層の厚さとの相関関係は、旧海岸線沿いの沖積低地より明瞭に認められる。埋立地の水準点の変動を示した第7図において、Y3, G2, G15, A20, A21, K30などが、いずれも20m以上の厚さをもち、Y12, G12, A7, S2, K2, K22など沖積層の厚さが20m以下の地点に比べ、1974年～1979年の変動のAでは隆起量が少なく、1979年～1984年の変動のBおよび1984年～1989年の変動のCでは沈下量が大きくなっている。各年度の変動の等値線がいずれも東京湾側に開いて表れ、沈下に際し、沖積層の層厚が増す埋立の前縁部ほど沈下量が大きくなっている。

(2) 地下水の水位と地盤

1960年から測定が始まった地下水の観測井は水位の変化を明かにしてきた。年毎に観測井の数も増加し、全般的傾向の把握を可能にした。この地域におけるW2, W32, 袖ヶ浦2, 木更津1の4箇所の観測井は、揚水量の規制により水位回復をみたが、千葉県その他地域の観測井の多くも、时期的ずれはあるが、1970年～1980年の水位低下を経過しながら、現在はほぼ回復の傾向にある。大量の揚水が下総層群の深い滞水層から汲み上げられ、それぞれの揚水が、下総層群の基底形態に対応している水盆中での地下水の流動に関係してきている。したがって、水盆の適正な管理のもとでの地下水利用が考えられる必要がある。

(3) 自然的な地盤変動

地質時代からの地殻変動として、地盤の変動が当然ありうるが、地下水の揚水によって起こるような人為的な変動量が、自然的変動の、大きい場合、年3mm程度という量を上回ってきた。市原地域において、第3図の変動量が人為的影響がなかったと考えると、平均1年で0.3mm程度となる。これに対し、地盤沈下が鎮静化したとはいえ、1年に10mm程度の変動は普通であって、自然的変動の把握は難しくなっている。

8. 結び

水準点における地盤の変動から地盤の性質との関連を考えたが，沖積層，特に埋立地は軟弱地盤といわれており，それぞれの地点毎に条件が違っている。ここでは，限られた水準点だけを選び，ボーリング資料も一部だけしか検討の対象にしなかったが，地盤を構成する物質の鉱物的，土質工学的性格を検討し，地震災害や人間活動に有用な，地盤環境を詳細に表した地盤環境図の作成が望まれる。

参考文献

- 千葉県（1973，1979）：房総半島総合開発計画土地分類基本調査 5 万分の 1
「姉崎・木更津」「千葉」
- 千葉県（1989）：昭和62年（1987年）千葉県東方沖地震－災害記録－
- 千葉県（1970-1973）：千葉県公害白書
- 千葉県（1974-1989）：千葉県環境白書
- 千葉県開発局（1969）：京葉工業地帯の地盤
- 千葉県公害対策局（1963-1973）：千葉県水準測量成果表
- 千葉県環境部（1974-1989）：千葉県水準測量成果表
- 千葉県公害研究所（1973-1977）：千葉県の地盤沈下
- 千葉県公害研究所（1978-1985）：千葉県の地盤沈下と地震
- 千葉県公害研究所（1974）：地下水盆と地盤沈下の相関性および地盤沈下予測
事業報告 第 2 号
- 千葉県公害研究所（1980）：京葉コンビナート地区における常時微動について
地価資源。地盤災害研究資料 第 6 号
- 千葉県水質保全研究所地盤環境研究室（1986-）千葉県の地盤沈下と地震
- 国土地理院（1958，1965，1969）水準測量報告
- 近藤精造（1973）：地盤沈下と地質との関連 千葉大環境科学研究報告 1 巻 259-
264
- 近藤精造（1981）：海岸平野における沖積層の構成鉱物 千葉大教養研究報告
B-14, 11-15
- 近藤精造，加瀬靖之，橋本 昇（1983）：市原台地の姉崎層 千葉大教養研究報告
B-16, 35-40

近藤精造，加瀬靖之，橋本 昇（1984）：姉崎層の構成物質と花粉群集について
千葉大教養研究報告 B-17, 37-41

Miyabe. N. (1952) : Vertical Earth Movements in Japan as Deduced from the
Results of Rerunning the Precise Levels. Bull. Earthq. Res. Inst. 30,
127-146.

楡井 久，樋口茂生，原 雄，古野邦雄（1976）：市原臨海コンビナート地域の地盤
上昇問題について 全国公害研会誌 1，24-30

楡井 久ほか（1977）：東京湾とその周辺地域の地質・地下地質 地質調査所特殊
地域図（20）・10万分の1地質説明書

楡井 久ほか（1979）：人間による大地の運動 ー南関東地方にみられる例ー
第四紀研究，17，287-298