

# 横浜市域における沖積層の地盤沈下と堆積環境

杉本 実<sup>\*1</sup>・杉山太宏<sup>\*2</sup>

## Sedimentary Environment and Subsidence of Soft Ground of Alluvial Deposits (“Chuseki-so”) in Yokohama Lowland

by

Minoru SUGIMOTO and Motohiro SUGIYAMA

(Received on 30 Sep., 2005, accepted on 31 Jan., 2006)

### Abstract

A marked subsidence of soft ground has been occurring as a result of excessive pumping of groundwater due to industrial development and large-scale excavation due to construction works in Yokohama City. The zone in which the subsidence occurs is concentrated around river lowlands and the zone is composed of an extremely weak formation of alluvial deposits. In this paper, we examined the result of investigating the land subsidence, which is one form of ground environmental disaster. On the basis of the result of subsidence measurement, investigation of soil properties and the sedimentation environment of the past, the subsidence rate of the ground was compared with the sedimentation rate of alluvial deposits. As a result, the amount of subsidence inside a stratum is not uniform, and it is shown clearly that there is high correlativity in the sedimentation rate and subsidence rate.

**Keywords:** land subsidence, alluvial deposits, sedimentary environment, Yokohama city

## 1. まえがき

狭小で急峻な山々から成る日本列島は、地球上で最も活発な変動帯の一つであり、世界でも有数の地震国であると同時に有数の軟弱地盤国でもある。人々の生活・活動の場は、自ずと限られた軟弱地盤からなる平野部（沖積平野）に集中している。ここで言う軟弱地盤とは、2万年～1.8万年前頃の最終氷期（更新世末期）から間氷期（完新世）の全期間にわたり堆積して形成された粘性土や砂質土からなる沖積層を指す。地震により液化化するのも、地下水の汲み上げにより地盤沈下を引き起こすのもこの軟弱地盤である。軟弱地盤の上で活動する以上、軟弱地盤の性質を見極めることが必要であり重要である。

ところで、地下水の過剰な汲み上げに起因する地盤沈下の被害は、程度の差こそあれ日本各地で報告されてきた<sup>1)</sup>。沈下被害は、沖積平野に栄えた都市や工業地帯に集中しており、横浜市でも東京湾沿岸域や市内を流れる河川低地一体で発生している。横浜の河川低地に堆積する軟弱地盤の特徴としては、①主体となる地層が極めて軟弱な粘土層から成る、②下流域都心部の堆積層が厚い、③基底部に砂礫層、浅層部に砂層が分布する、④沈下量が多い、等が挙げられる<sup>2)</sup>。地盤沈下の一例として帷子川下流域（都心部）では、過去30年間に約1mの沈下量が測定されており、横浜では唯一のゼロメートル地帯となった。この影響で1981年頃には、台風による高潮浸水や建物の抜け上がり現象等、被害が続出した<sup>3)</sup>。

このような被害に対処するため横浜市では、地下水採取を規

制する条例などを制定してきた。最近もJR横浜駅（帷子川低地）、JR新横浜駅（鶴見川低地）、JR戸塚駅（柏尾川低地）の各周辺を「特定地域」に指定し（位置はFig.1参照）、地下掘削工事に伴う地下水の排除や山止めによる地盤の緩み等を制限した「横浜市生活環境の保全等に関する条例」（2002.12.25 条例第58号制定）<sup>4)</sup>を施行し、地盤沈下の防止に努めている。にもかかわらず、特定地域内の一部や特定地域から外れた大岡川低地では、今もなお沈下が継続して観測されている。

このような地盤沈下の現状とそのメカニズム、また堆積環境との相関性を調べることを目的として杉本らは、これまで工学的・地質学的調査を行いその成果を公表してきた<sup>5)10)</sup>。本報告では、まず横浜市の地盤沈下と行政の対応（取り組み）について概説する。次に、これまでの地盤環境調査についてまとめた資料を参考に、横浜沖積層の堆積環境と地盤沈下の関係について考察する。

## 2. 横浜市における地盤沈下史

我国の地盤沈下は、大正の初期に東京都江東地区で“異常沈下”として記録されたことに端を発している。明治から大正へと元号が変わり、工業の発展とともに各地で観測されるようになり、工場で使用される地下水需要の急増がその原因であった。昭和初期には、大阪平野でも地盤沈下が報告され始めた。

戦後の復興期から高度経済成長期へと時代が移り変わる1950年代後半から1970年代後半までの間、地盤沈下は大都市や工業都市を中心に発生した。大きな社会問題となって国が法整備を始めるきっかけとなった。一方、大都市近郊や筑後・佐賀

\*1 元 横浜市環境科学研究所主任

\*2 東海大学工学部土木工学科助教授

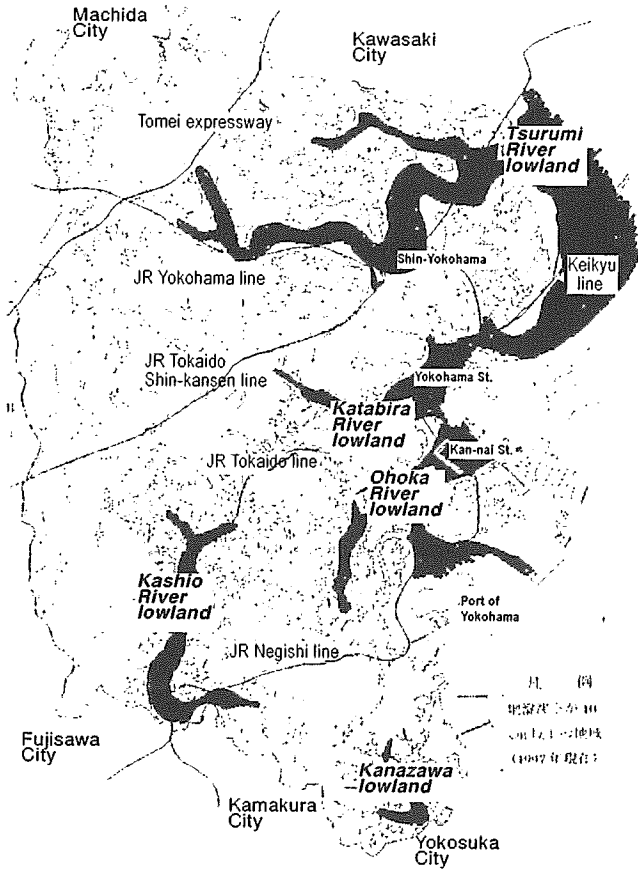


Fig.1 Five typical subsidence zones (Tsurumi River, Katabira River, Ohoka River, Kashio River and Kanazawa lowland) and its distribution in Yokohama City<sup>2)</sup>

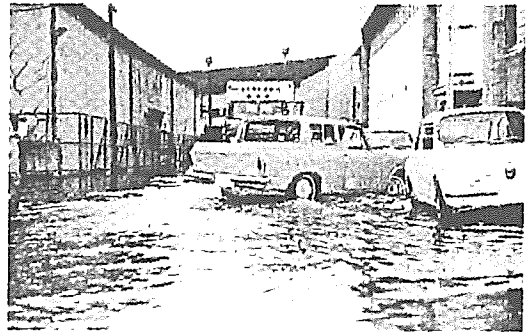


Photo.1 The high tide inundation damage around Yokohama station by typhoon 20 of 1979 (Katabira River lowland)

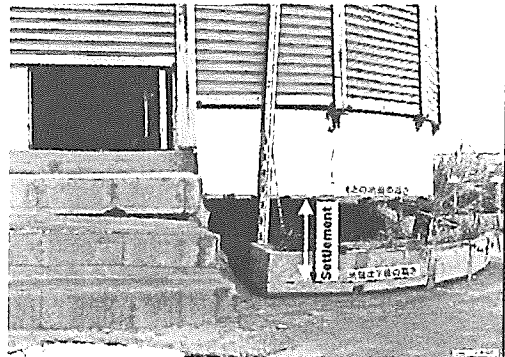


Photo.2 The building damage due to subsidence of ground around Shin-yokohama station (Tsurumi River lowland)

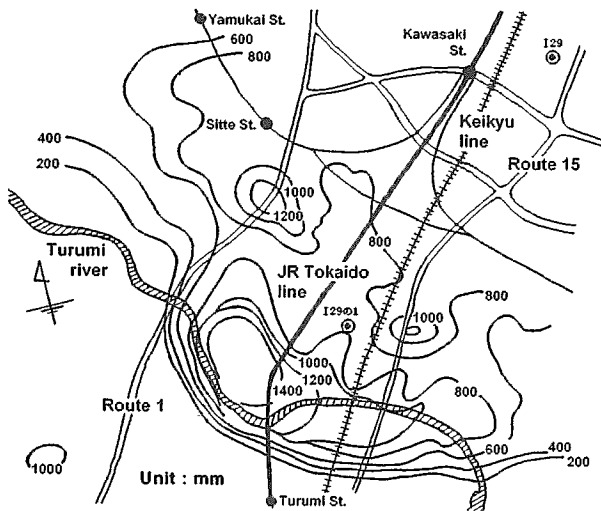


Fig.2 Subsidence distribution map in the vicinity of Tsurumi Station from 1928 to 1955.

平野などの農村地域、新潟など積雪地帯<sup>11)</sup>の山村部などでも地盤沈下に起因する災害が報告されている。また、最近では関東平野北部地域<sup>12)</sup>などの沈下被害も顕在化しており、沈下対策の早期取り組みが必要とされている。

### 2.1 横浜市における地盤沈下の推移とその特徴

横浜市の地盤沈下は1928年頃から始まっている。Fig.1は横

浜市の簡易な地形図で、1997年までに10cm以上の沈下が認められた部分を黒く塗り潰し表している<sup>2)</sup>。黒塗りの地域は、市内を流れる北から鶴見川、帷子川、大岡川、柏尾川の河川流域に沿って帯状に分布し、金沢低地を含めた5つの低地から形成されている。

最初に沈下が観測され問題となったのは、京浜工業地帯の一端を担う横浜市北東部（神奈川区、鶴見区）から川崎市域にまたがった鶴見川低地の下流域である。昭和初期に大量の地下水を工業用水として過剰揚水した結果、地下水水位が海拔-23.7mまで低下した。それに伴う地盤沈下は1928年から1955年の27年間に約1.4mにも及んでいる（Fig.2）<sup>2)</sup>。この鶴見川低地下流の地盤災害を「第1次地盤災害発生地域」と位置付け呼称することにする。

1958年から1964年にかけて、帷子川低地下流域でビルの建設ラッシュが始まった。これに伴い大量の地下水が排除され、また山留め不良の緩みが主因となって著しい地盤沈下が発生した<sup>13)</sup>。その後ビル建設が一端停滞して地盤沈下も鈍化しつつあったが、1970年頃から再び建設ラッシュとなって、年間10cm以上の測定点も現れるなど激しい地盤沈下が発生している<sup>14)</sup>。このような2度にわたる沈下を受けて、付近一帯は海面より低くなり海拔ゼロメートル地帯となった。高潮浸水被害（Photo.1）、建物基礎の抜け上がり、地下埋設物や舗装道路の破損などの被害が多く発生した。この帷子川低地下流の地盤災害を「第2次地盤災害発生地域」と呼ぶ。

「第3次地盤災害発生地域」と位置づけたのは、柏尾川上流域（JR戸塚駅周辺）と鶴見川中流域（JR新横浜駅周辺）である。1970年～1975年頃にかけて開発が進み、激しい地盤沈下が記録されるようになった。特に新横浜駅周辺の開発による建設

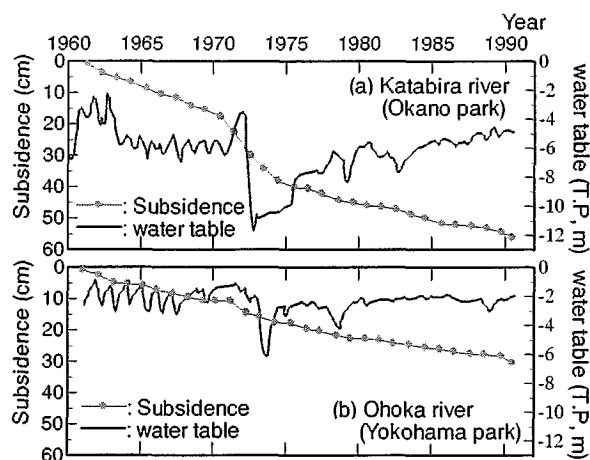


Fig.3 Secular change of subsidence and water table measured in Okano and Yokohama Park from 1960 in Yokohama City <sup>15)</sup>

ラッシュは、既存建物に大きな被害を与えた。Photo.2 は鶴見川中流域の建物被害の一例であるが、あたかも建物が浮き上がったかのように錯覚する程の沈下が発生したことがよくわかる。この地域は1981年から1983年頃にかけて年間最大26.3cmの沈下が記録され、環境省（元環境庁）による全国地盤沈下調査 <sup>1)</sup> では、ワースト1になるほどの激しい状況が続いていた。柏尾川の戸塚駅周辺でも、同時期には年間で10cm以上の沈下が発生した箇所もあった。両地域では、現在も約0.3~1cm/year程度の沈下が継続している。

Fig.3(a),(b)は、帷子川と大岡川低地の公園内に設置した観測所で測定された地盤沈下と地下水位の変動図である <sup>15)</sup>。地下水位は1973年頃から急激に低下し、それに伴って沈下速度も速まっている様子がわかる。帷子川低地では、70年代前半の短期間に地下水位は約7~8mも低下している。これはビル建設のラッシュ時期と符合し、この地域の水準測量による累積沈下量は、最大で約1mに達した所もある。全体的には約30~70cm程度の沈下が発生したと考えられる。また、図より地下水位は年々回復傾向であるのに対して、沈下は収束することなく、約0.3~1cm/year程度で現在も進行していることがわかる。

## 2.2 法律の整備と行政の対応

大正初期から観測され、戦後の経済発展と共に進行した地盤沈下に対して、国では「工業用水法」、「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」を制定した。両法律に基づいて沈下対策の指定地域を定め、地下水の採取に対する規制を行っている。また、地方公共団体では、地下水採取を規制する条例を制定して指導している。

現在、神奈川県では、法律や条例（「神奈川県生活環境の保全等に関する条例（旧公害防止条例）」1998年（平成10年）4月から施行）によって地下水の採水を規制している <sup>16)</sup>。横浜市の丘陵と台地（軟弱地盤以外）では、この法律と条例等の適用を受け地下水の採水が規制されている。

一方、軟弱地盤地域（沖積層）では1993年（平成5年）2月から「横浜市地盤沈下対策指導要綱」が制定され <sup>17)</sup>、横浜駅、新横浜駅、戸塚駅周辺の軟弱地盤堆積地域を特定地域に、それ以外の軟弱地盤地域は指定地域とした指導が行われている。また2002年（平成14年）12月には「横浜市生活環境の保全等に

関する条例」（条例第58号制定）<sup>1)</sup>を施行して、地盤沈下の防止に努めている。

前述した3つの地盤災害地域に対し、横浜市が行った対応・指導は次のようである。

第1次地盤災害発生地域の鶴見川低地下流では、横浜市の神奈川区と鶴見区のうち、京浜急行電鉄本線以南を沈下対策地域に指定した。1956年（昭和31年）の「工業用水法」が制定されたことで、工業用水道に切り替えを行って地下水採取規制が講じられた。

第2次地盤災害発生地域の帷子川低地下流、横浜駅周辺には、地盤沈下の防止を目的として1975年（昭和50年）9月1日から「横浜駅周辺地盤沈下対策指導要綱」が施行されている。

1980年代中頃になると第1次と第2次地盤災害発生地域の地盤沈下は、全体的に鎮静化に向かっていたが、第3次地盤災害発生地域の新横浜駅及び戸塚駅周辺では、依然として相当量の沈下が継続していた。新横浜駅周辺地域は新都心として、戸塚駅周辺地域は副都心として開発が進められていたが、両地域にも沈下防止対策が急務となり、1985年（昭和60年）4月から「新横浜駅及び戸塚駅周辺地盤沈下対策指導要綱」が施行されている。

## 3. 横浜市の地形、地質

沈下する軟弱地盤（沖積層）は、“ローマ”と同じく1日にしてできあがった訳では当然なく、おおよそ1万年という長い時間をかけて堆積したものである。1万年の間に生じた海面変動や気候の変化によって、土粒子の堆積速度や堆積環境が影響を与えたであろう事は想像に易しい。

本章では、関東平野の最南端に位置する横浜市の地形と地質について概説する。関東平野、特に東京の沖積層についてはこれまでに多くの調査が行われ、その形成過程や堆積環境、層相区分も調べられている。ここではその中から遠藤の説明文を引用（一部加筆）して <sup>18)</sup>、縄文海進と海退による関東平野の堆積過程について簡単に説明する。

### 3.1 地形、地質の概要

横浜市は南関東の南端部に位置し、北側には多摩川が西から東に、西側には相模川が北から南に流れる。東は東京湾に接し、南部から南西側にかけて三浦丘陵が連なっている。地形的には丘陵地と台地が市域全体の約7割を占め、残りの約3割が河川に沿った沖積低地と臨海部の埋立地からなっている。

丘陵地や台地に関する地形地質学的研究は1887年頃から始まり、多摩丘陵の調査や下末吉ロームの細分研究等が進められている <sup>19),20)</sup>。本市全域の丘陵地と台地は浸食が進み、谷地形は樹枝状に広がり、起伏に富んだ地形を呈している。鶴見川、帷子川、大岡川、柏尾川、境川及びその支流は下方浸食と側方浸食が進み、相模層群や上総層群を刻み込んで地層の厚い沖積層を形成している <sup>21)</sup>。

横浜市域の基盤を構成する地質は、鮮新世~前期更新世の堆積物からなる「上総層群」である。これを第四紀中・後期更新世の堆積物からなる「相模層群」が不整合に覆い丘陵大地を形成している。さらに、後期更新世~完新世の堆積物（海成層、陸成層および風成層）が台地や河岸段丘、低地を形成している。

低地は主に最終氷河期（約2~1.8万年前）以降の堆積物で沖

積層（軟弱地盤）として区分しているが<sup>6),21)</sup>、次章においてこれまでの調査結果と併せて詳述する。

### 3.2 関東平野の縄文海進と海退<sup>18)</sup>

海面が最も低下していた約6万年前と2万年前の海面高度は現在よりも100~80m前後低く、海岸線は大陸棚の外縁付近にあった。この頃、現在の平野部は河川浸食の場で、後に沖積層が埋積していく沖積層の基底地形を作る段階にあった。1.6万年前頃から海面は上昇に転じ、海水は大陸棚上を陸地に向かって進み、ついには平野部の埋没谷内に達した。この過程で関東平野の七号地層(N<sub>7</sub>)が形成された。

1万年前に一旦海面は-45~-50mまで低下したが、1万5百年前より海面は再び上昇を始めた。海水は埋没谷内から平野全体に広がり、海面は+2から+3mに達したため、関東平野の海岸線は現在より約50kmも内陸へ入っていた。これが縄文海進最盛期にあたり、時代は7000~5500年前のことである。5300年前以後、海面は数m程度の低下傾向に転じ、海岸線は急速に退いていった(海退)。海面は約1800年前に再び小規模な上昇を示したが、以降はほぼ現在の海面高度に達した。

これまでの約1万年間で平野部は内湾域となり、河川が運搬してきた物質はこの内湾の中に堆積した。これにより関東平野では、有楽町層(Y<sub>0</sub>)の厚い粘性土層が形成された。内湾が陸化した後は河川作用が卓越し、河成~沼沢成の砂層・泥層が海成粘性土層を覆った。関東平野の沖積層を代表する東京低地の断面図をみると、沖積層は基底地形を七号地層、その上部に有楽町層が2段階にわたって埋積し形成されたことがわかる<sup>18)</sup>。

## 4. 横浜沖積層の層相区分と堆積環境

地下水位の過剰揚水による地盤沈下のメカニズムは、有効応力の概念に基づく地盤工学(力学)によって説明可能である。

土の工学的性質を調べ構造物の設計に必要な土質定数を求めるのが地盤工学の役目であるのに対し、軟弱地盤の堆積時期や堆積環境、堆積過程や層序など、理学的な観点から研究するのが第四紀学である。地盤特性と堆積環境との関係を解明することは、地盤を的確に評価する上で大変重要である。ひと口に同年代の同じ土質分類に属する堆積物であっても、様々な環境下で堆積しており、その物理的・力学的・化学的諸性質は自ずと異なってくる<sup>22)</sup>。

本章では、これまでに行った土質調査とボーリング資料の収集・整理<sup>23),24)</sup>、堆積環境調査(貝類・鉱物化石、花粉・有孔虫・珪藻の微化石や年代分析等)をもとに、沖積層の特徴と層相区分、堆積年代と地盤沈下量の相関性などについて考察する。

### 4.1 沖積層の層相区分

横浜市域の河川低地や沿岸埋め立て地の堆積物は、そのほとんどが更新世後期末から完新世にかけて堆積した地層であり、露頭で確認することのできない堆積物で、これが一般に沖積層と呼ばれる。その堆積年代は、河口部の最下位地層(基底礫層)で約2万年前が測定されている<sup>21)</sup>。その上位地層は複雑な互層堆積物からなり、更にその上位層(鶴見川低地下流のみ堆積)は中間の砂礫層が堆積している。この中間砂礫層の上位層は海成堆積物であり、極めて軟弱な地層からなっている。

堆積環境の調査結果から、2万年前の最終氷期最寒冷期の河

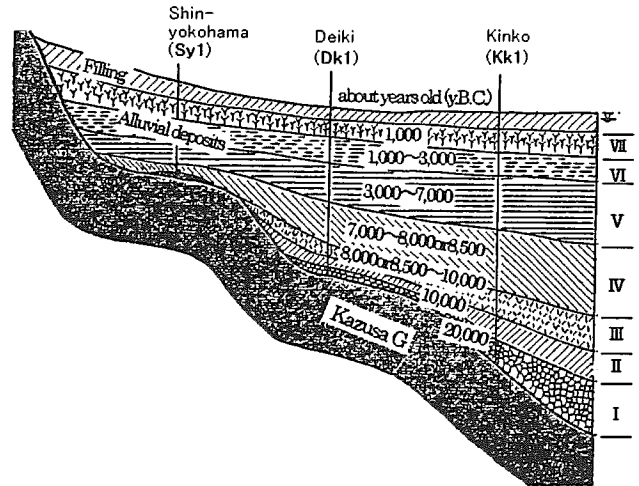


Fig.4 Stratigraphical section presumed by observing Shin-yokohama, Deiki and Kinko boring cores<sup>24)</sup>

川成堆積物が基盤(上総層群K<sub>A</sub>, Fig.5参照)を覆い、海水準が現在より約45m以上低下していたことが分かった<sup>21)</sup>。1.2万年前から1万年前には、依然として河川成堆積物が堆積する場となっていたが、海進を示す化石が産出したことから、この期間は海水準の昇降時期であったことが考えられる。その後、海水準は更に上昇し、陸化していた谷底部分も海面下に沈んで行ったものと考えられる。河口部付近の軟弱地盤は、最下位の基底礫層(深度約40~60m,各流域によって異なる)から上位層が東京の七号地層(N<sub>7</sub>)に対比できると考え、横浜七号地層(Y<sub>N</sub>)とした。また、東京地域の有楽町層基底礫層(HBG)は横浜地域の鶴見川低地下流の中間砂礫層で対比し、それ以上は有楽町層(Y<sub>0</sub>)に対比して横浜地層(Y<sub>A</sub>)とした<sup>9)</sup>。

横浜地域の埋没谷に本格的に海水が進入したのは1万年前~8000年前の間であり、縄文海進に伴う海水準上昇期にあたる。それ以降は、内湾環境がおおよそ1000年前まで続いたと考えられる。海進初期には河川水の流入が主因と思われる低い塩分濃度海域で、この後は海進が進み、停滞した非常に穏やかな内湾環境がしばらく続いたようである。

### 4.2 古環境対比における層相区分

地層には多くの花粉化石が堆積物に混入している。その地層を連続で垂直に採取して分析すれば、その場の地史、古気候、堆積年代等を明らかにすることができる。ここでは、鶴見川中流域、帷子川下流域、金沢沿岸域における軟弱地盤の古環境を花粉群集変遷に基づいて調査し<sup>24)</sup>、気候変化と堆積年代について考察した結果を概説する。

Fig.4は3地点の花粉調査結果から推定された堆積年代によって7つの層帯(I帯~VII帯)を定義し、その年代を併記した層序断面図で、図は、左から鶴見川中流域、帷子川下流域、金沢沿岸域を示している。基底礫層をI帯、横浜七号地層(Y<sub>N</sub>)をII帯、その上の横浜地層(Y<sub>A</sub>)は4区分してIII~VI帯、最上部の上位層をVII帯としている。同じ市内に堆積する沖積層であるが、場所によって層厚は勿論のこと、深度と堆積年代の関係も異なることがよくわかる。

植生環境では、気候温暖化を受けて冷温帯性から暖温帯性へと変遷していること、海水が進入する時期には冷温帯から暖温

帯への移行が始まっていたこと、内湾化が進んだ頃には照葉樹林の成立が始まったことなどが推定される。

4.3 <sup>14</sup>C法による堆積年代と堆積速度

縄文海進により水中堆積した軟弱地盤の堆積速度を推定するために、大岡川と帷子川下流域の軟弱地盤から産出した貝化石によって<sup>14</sup>C法による年代測定を行った<sup>6)9)</sup>。

Fig.5は、既存のボーリング(図の縦実線)と調査・試験のために連続サンプリングを行った2箇所(Ohu1とOhu2、図の2重縦線)結果をもとに作成した大岡川下流から横浜港に至る約2.5kmの地質縦断面図である。図中に楕円で囲まれた数字は、その深度の採取試料による<sup>14</sup>C法の測定値から推定した堆積年代で、TP-2.1mのBP.2180±100年からTP-40m(Y<sub>N</sub>層)のBP.11380±220年までが得られた。この中間を成すY<sub>A</sub>層では、下層でBP.6240±140年、上層でBP.3480±130年と上下層でおおよそ2700年ほどの差がある。

貝化石による<sup>14</sup>C法の測定を行った2地点の深度と得られた堆積年代値から、年代値の増分を2点間の層厚で割って堆積速度と定義した。こうして求めたおおよその堆積速度は、TP-34m以深で0.05 cm/year、TP-34~-15m付近で1cm/year、TP-5m以浅では0.5cm/yearと深度によって異なる結果となった。TP-34~-15m付近は、約2700年という地質学的には短期間のうちに、非常に大量の粘性土が堆積したことによる。

なお、以上の堆積環境調査から総合的に判断して、Y<sub>N</sub>層は陸成~干潟の堆積物、Y<sub>A</sub>層は海成の堆積物と考えられる。両層の特徴もしくは違いは、以下のように説明できよう。

- ①陸成~干潟堆積物は潮汐の影響で陸化と水没が繰り返され、乾湿によるスレーキング現象や化学的結合作用等、長期間に渡って外気の複雑な続成作用を受け、堆積したものである。
- ②海成堆積物は土粒子が海水に短期間で沈澱し、堆積したため
  - ①のような複雑な続成作用は受けていない。
- ③以上のことから①と②の堆積物は堆積環境に明らかな違いがある。

4.4 堆積速度と地盤沈下および土性の関係

杉本らは、沈下被害が大きく発生した地点の土質・堆積環境

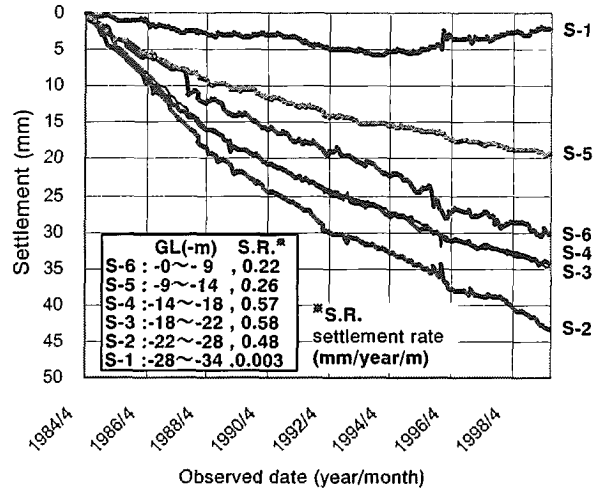


Fig.6 Settlement of every stratum measured by differential settlement gages vs. time curves.

調査に加え、層別沈下計を設置して地盤沈下の経年変化と土性との相関性を調べてきた<sup>25)</sup>。

Fig.6は、Fig.5のボーリング地点 Ohu1 に設置した層別沈下計による沈下量で、計測を開始した1984年4月から1999年4月までの15年間の経時変化を示したものである。層別沈下計はFig.6の凡例に示した深度の沈下量を測定するため、最深層のS-1から最浅層のS-6まで計6台が設置されている。図の結果は各層厚の沈下量を表しているの、15年間の地表面沈下量は各層を合計した16.4cmとなる。この場所は、横浜公園観測所から数百mに位置しており、沈下計測を始めた1984年以降、顕著な地下水位の変動は生じていない(Fig.3(b), Fig.5参照)。過去に受けた地下水位の周期的変動や過剰な汲み上げ後のクリープ的な沈下が、16.4cmの主体となっていると予想される。

層別の沈下に着目すると、深度と層別の沈下量に相関性はなく、2番目に深いS-2の沈下量が最も多く、2番目に浅いS-5の沈下量が最深部のS-1に次いで少ない。ただし、沈下対象層厚が全て同じではないので、沈下量を測定期間と層厚で除した平均沈下速度SR(mm/year/m)を計算して凡例に併記した。SR

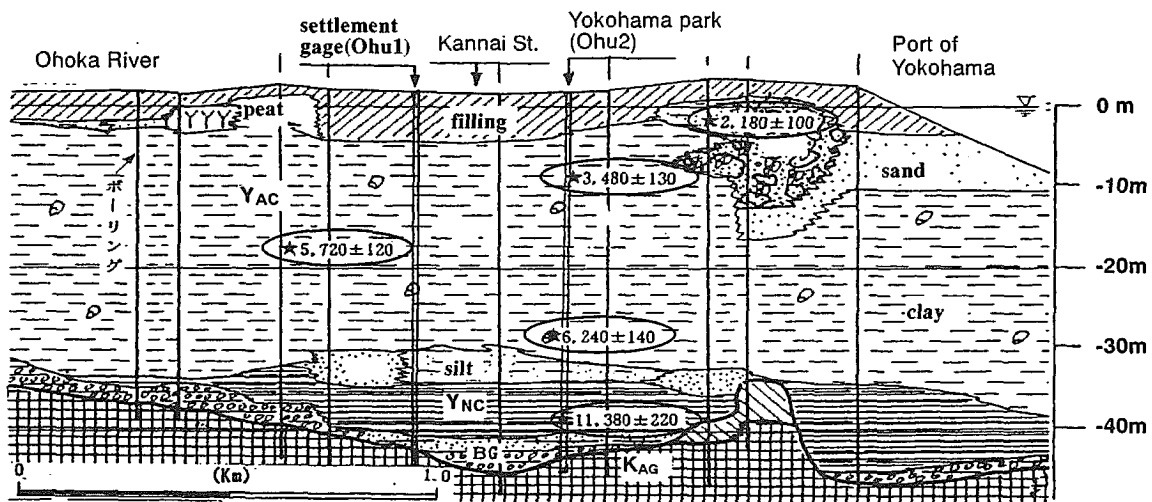


Fig.5 Geological profile across the Ohoka River

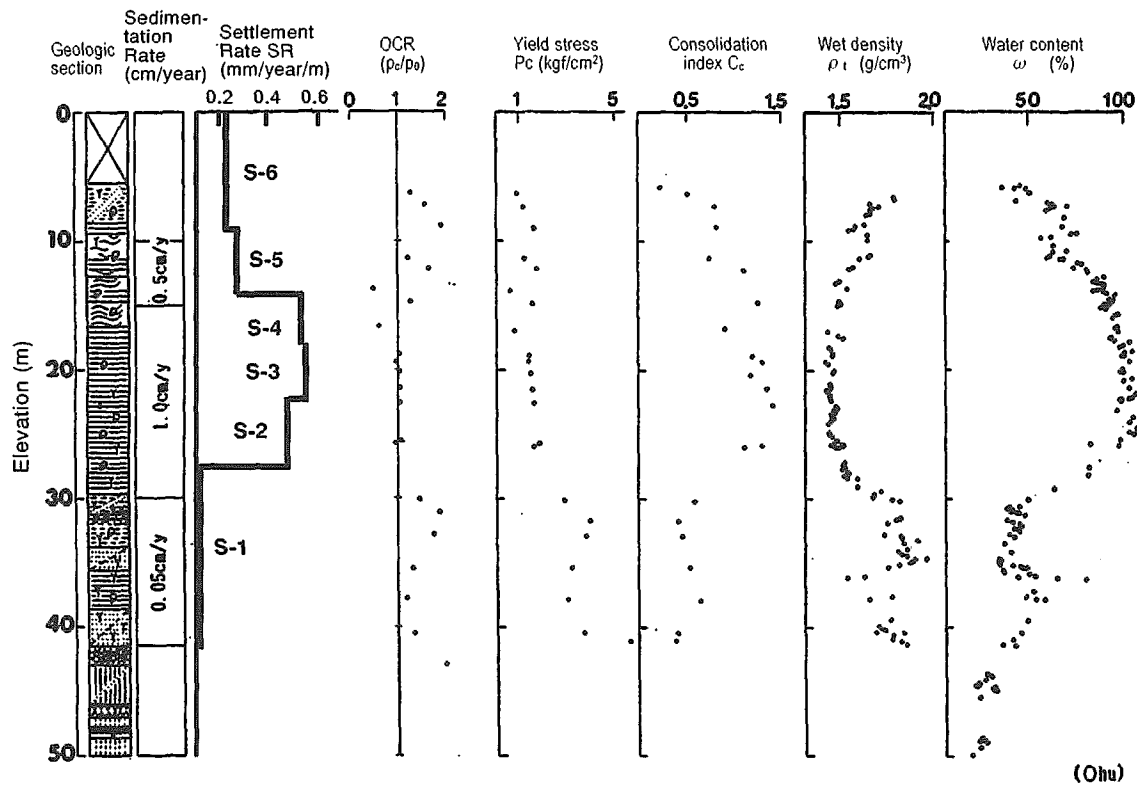


Fig.7 geologic columnar section, rate of subsidence and soil properties around Kannai Station

は中央層（ $N_A$ 層）の深度 GL-14m～-22mが最も大きい。Fig.5の地質断面図では同じ地質記号で表される地層でも、深度（堆積環境）によってその性質は異なることがわかる。

Fig.7は、同 Ohu1 で連続サンプリングした試料の土性図である。GL-14m 付近と GL-27m 付近を境に土性が変化していることが見て取れる。層中央 GL-14m～-27m まではほぼ同じ性状を示し、上・下層と比較して含水比  $\omega$  と圧縮指数  $C_c$  は大きく、湿潤密度は小さい。また、過圧密比はほぼ 1 で正規圧密状態にある堆積物である。

Fig.7 の左には、前項 4.3 で検討した堆積速度 (cm/year) と層別沈下による平均沈下速度 SR (mm/year/m) の分布をあわせて示した。短期間に厚く堆積した中央層の堆積速度は、下層の約 25 倍、上層の約 2 倍の速さである。同様に、平均沈下速度 SR で求めた中央層に対する上・下層の比率は堆積速度のそれとほぼ同じ値を示し、各層の堆積速度と平均沈下速度 SR の傾向は、実によく対応することがわかる。また、一般に沖積粘性土の間隙比と沈下量（変形量）には正比例の関係が存在し、含水比と長期沈下量（クリープ沈下）にも正比例の関係がある。Fig.7 の平均沈下速度 SR と含水比の分布形状は、これを裏付けるように相関性が高い。地盤の土性と堆積環境が密接に関連していることを示す結果であると言える。

以上の結果は、地下水の揚水に起因する地盤沈下という土の工学的特性が、堆積環境や堆積条件の微妙な変動にも影響される可能性を示唆するもので、第四紀学的知見もとり入れた地盤評価の重要性が伺える。なお、過去に生じた地下水の揚水による大きな地盤沈下は、Fig.5 の結果からも中央層でより多く発生したと推測される。

ところで、土粒子が水深の深い海水に沈殿堆積する場合は、

密度の大きいもの（粗粒分）ほど速く海底面に到達するが、密度の小さい微細の土粒子（シルト、粘土）は、その後海中を浮遊し凝集して綿毛状のフロックを作り、水底に緩やかに沈降するとされている。つまり密度の小さな粘土は沈殿堆積が遅いはずであるのに対して、調査地の中央層で求めた堆積速度は逆の速い結果となった。この相違については、①海進の速さ（水深の増加率）、②堆積物の量（運搬量の大小）の影響が考えられる。すなわち、当堆積物（中央層）は、古大岡湾入り江の水深の深い場に堆積した物で、湾口は砂州によって閉塞され、河川土砂の運搬量が少なかった。縄文海進の最盛期に急速に上昇した水位が周辺部の丘陵台地の土砂を多量に崩壊させて埋没し、圧縮性の高い中央層が堆積したと推定される。

## 5. 結言

既往の調査結果および研究成果をもとに、横浜市の地盤沈下史を概観し、沖積層の堆積環境と層相区分ならびに地盤沈下の相関性について考察した。

地盤の堆積時期や堆積環境、堆積過程など理学的情報が不足すると、工学情報（土質定数など）はばらつきあるいは異常値と捉えられがちである。試験の誤差、試料の乱れも当然考えられるが、地盤の生い立ち（堆積環境、堆積過程など）が密接に関係するであろうことは、疑う余地の無いところである（Fig.6）。堆積環境と地盤特性との関係の解明が、地盤を的確に評価する上で重要な課題と言われているが<sup>26)</sup>、横浜沖積層の堆積環境に関する調査数は必ずしも十分ではない。地盤沈下のみならず適切な地盤特性を把握するために今後も調査が必要である。

なお、横浜市の地盤沈下は、地層内部の一部で未だ収縮が継

続し残留沈下として地面に現れているものの、地下水の汲み上げを規制した行政の指導が功を奏して、全体的には鎮静化へ向かっている。砂層の分布地域では、地下水位が地表面近くまで回復している所もある。砂層地帯の更なる地下水位回復は、液状化の危険を助長することにもなるので、地下水位の計測や管理は今後も必要である。

参考文献

- 1) 環境庁水質保全局：全国の地盤沈下地域の概況，1996.
- 2) 横浜市公害研究所：横浜市軟弱地盤層調査報告書（軟弱地盤構造と地盤沈下特性），公害研資料，No.83，pp.1-103，1988.
- 3) 横浜市「地盤図集」，pp.1-78，平成8年3月.
- 4) 横浜市「横浜市生活環境の保全等に関する条例」，条例第58号，平成14年12月25日制定
- 5) 杉本 実，梅原順造：軟弱地盤の沈下に関する調査研究（6）－地盤沈下地帯の層別沈下特性解析－，横浜市環境科学研究所報第17号，pp.175-186，1993.
- 6) 杉本 実，梅原順造：ボーリング資料と産出貝類群集から求められた帷子川沖積層の堆積環境，横浜市環境科学研究所報第18号，pp.111-125，1994.
- 7) 杉本 実：軟弱地盤の沈下に関する調査研究（8）－大岡川低地軟弱地盤における不攪乱連続試料の圧密試験結果とそれに対する解析－，横浜市環境科学研究所報第19号，pp.97-104，1995.
- 8) 杉本 実，梅原順造：横浜軟弱地盤の地盤沈下について－大岡川低地と帷子川低地の層別沈下特性－，第29回土質工学研究発表会，No.3-1，pp.55-58，1994.
- 9) 杉本 実，梅原順造：横浜沖積層の堆積環境と地盤沈下（3）－大岡川流域の調査結果－，日本地質学会第4回環境地質学シンポジウム講演集，pp.153-158，1994.
- 10) 杉本 実，横内宣明：地盤環境に関する調査研究（I）－軟弱地盤と地盤沈下－，横浜市環境科学研究所報第19号，pp.34-44，2000.
- 11) 青木 滋：新潟平野の地盤沈下，土と基礎，Vol.25，No.6，pp.21-28，1977.
- 12) 村上 哲，安原一哉 他：GISを用いた広域地盤沈下地帯における杭基礎の地震時危険度マップの作成，土と基礎，Vol.48，No.1，pp.15-17，2000.
- 13) 片山雅之：関東平野（その3）横浜の地盤沈下，土と基礎，Vol.25，No.6，pp.45-51，1977.
- 14) 杉本 実，梅原順造，今井五郎：横浜の帷子川低地における広域地盤沈下とそれに対する解析，第23回土質工学研究発表会，No.2-2，pp.1231-1232，1988.
- 15) 横浜市環境保全局：横浜市地盤沈下調査報告書，1973～2000.
- 16) 神奈川県環境部水質保全局：地盤沈下と地下水「地下水について（改訂版）」，1998.
- 17) 横浜市：横浜市地盤沈下対策指導要綱，1993.
- 18) 遠藤邦彦：堆積環境と沖積層－最終水期末期から完新世へ－，土と基礎，Vol.43，No.10，pp.3，1995.
- 19) 岡 重文：関東地方南西部における中・上部更新統の地質，地質調査書月報，第42巻，第11号，pp.553-653，1991.
- 20) 三梨，菊地：横浜市域の地質，地質調査所，1982.
- 21) 杉本 実，興津昌宏：横浜の帷子川河口部から産出された微化石分析結果と沖積層の対比，日本地質学会第5回環境地質学シンポジウム講演集，pp.277-282，1995.
- 22) 陶野郁雄：沖積層の堆積環境と第四紀学，土と基礎，Vol.43，No.10，pp.1-2，1995.
- 23) 岡，菊地，桂島：東京西南部地域の地質，地質調査所，1984.
- 24) 杉本 実，横内宣明，興津昌宏，大嶋秀明：横浜地域における沖積層の古環境対比，日本地質学会第9回環境地質学シンポジウム講演集，pp.155-160，1999.
- 25) 杉本 実，梅原順造：軟弱地盤の沈下に関する調査研究（7）－大岡川低地と帷子川低地の層別沈下特性－，横浜市環境科学研究所報第18号，pp.105-110，1994.
- 26) 松澤 宏：大局的地盤特性と局所的地盤特性，土と基礎，Vol.43，No.10，pp.4，1995.