

# 川崎における異常地盤隆起の原因を探る

岸 和男・永井 茂

## 1. はじめに

昨年12月26日 地震予知連絡会（会長 萩原尊礼東大名誉教授 以下予知連と略称）は「1971年以来 川崎市を中心とする多摩川下流域で地盤が異常隆起している。地盤の隆起が直ちに地震発生と結びつくとは限らず またこれが過去に著しかった地盤沈下との関連において生じたものであるとの疑いも持たれる。しかしなかには 地盤隆起が地震の前兆となった例もあるので 万が一を考慮し 今回の現象の実態をつかむため 関係機関が協力して各種の観測を集中的に行なう必要がある」との見解を発表し 観測体制の強化とそれに対する市民の理解を要望した。

これをうけて 急拠 大学や政府関係の機関による各種の調査 研究が開始された。地質調査所もこの一翼として 50年度特別研究「地盤変動の研究」によって 観測井による深部地下水の水位・水質観測 爆破地震による地震波速度の観測 および地質構造の調査を行なうこととなった。

ところで 私達はこの研究に先立ち 過去2回実施し

た川崎市内の地下水調査の結果から 今回の川崎地区の地盤隆起は 地盤沈下抑止対策として行なわれてきた地下水汲み上げ規制の効果があらわれたのではないかとの見地に立ち 揚水試験・水質分析・資料しゅう集などを行なった。過去の地下水調査資料と最近の地下水資料について解析 検討を行なった結果は 私達の予想とほぼ一致し 今回の地盤隆起は地下水の汲み上げ量の減少に伴う効果の一部であることが有力となった。

つぎに今までに私達が集めた資料をもとに その検討結果を紹介する。

## 2. 予知連発表の根拠

予知連発表はどのようなデータを根拠になされたのか。図-1 は 国土地理院の水準測量による東京一藤沢間の第一京浜国道沿いの地盤上下変動である。1970年（昭和45年）を基準として比較してあり 始めの一年間は全体的に約 1cm 前後の地盤隆起が認められたが その後は年々地盤の隆起が大きくなるとともに 隆起地域が川崎市を中心に局地化され 昨年10月には 川崎市元木町の

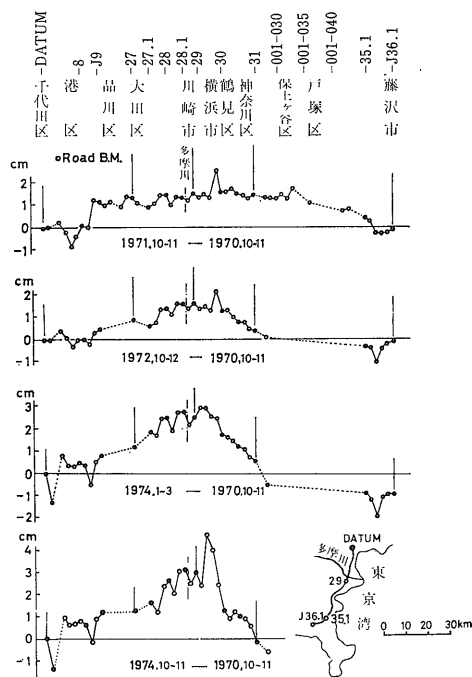


図1 東京藤沢間の上下変動

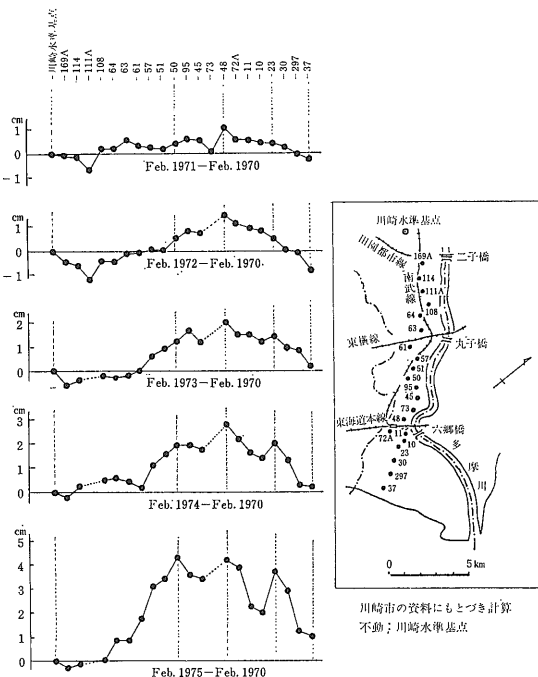


図2 多摩川下流域の地盤上下変動

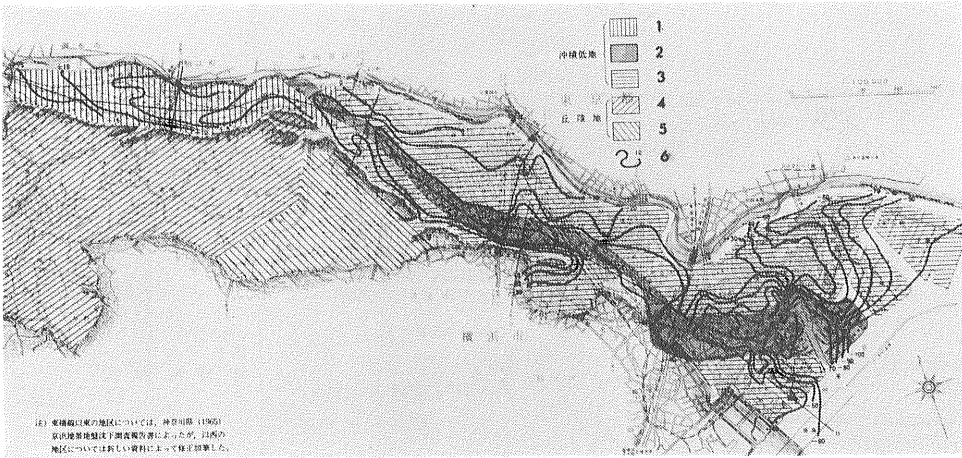


図3  
川崎市の地下水図  
1. 良質の地下水が分布する地区  
2. 第2地下水が比較的多く採水できる地区（多摩川旧河道）  
3. 茶褐色の第3地下水が採取できる地区  
4. 良質の第3地下水が分布する地区  
5. 茶褐色の地下水が分布する地区  
6. 第三紀層表面の等高線（単位m）

4.7cmを最高に半径数kmの異常隆起地域が形成されるに至った。

その後の各種調査では川崎市の資料として図-2に示すような多摩川沿いの断面での最近5年間の地盤変動から地盤隆起の中心はかなり内陸部にかたより同時に最近の地下水位が異常に上昇しておりその水位上昇地域が地盤上昇地域とよく一致することなどが明らかにされた。とくに地下水位の上昇はその水が地下深部からの供給であれば地震発生の可能性が強まるので早急にその供給源の解明が必要であるということになった。

### 3. 地下水理と井戸分布

地質調査所は過去2度にわたり川崎市内の地下水調査—第1回は「川崎・横浜両市工業用水源調査」30年実施 第2回は「川崎市における地下水塩水化についての調査」41年実施—を行なっている。さらに最近川崎市および横浜市から各種の地下水資料を入手したのでそれらを取りまぜて説明する。

#### (1) 川崎市における地下水理

今回の地盤変動を検討するにあたっては川崎市における水文地質すなわち地下水の状態を知ることが必要であるのでまずこの点について説明する。図-3は川崎市における地下水図である。図で判るように川崎市は西に標高30~90mの多摩丘陵と東は多摩川によって形成された沖積低地から成っており沖積低地は鹿島田付近より下流は三角州平野であり臨海部は干拓あるいは埋立地である。

地質系統は大別すると第三紀と第四紀であり丘陵を構成する地層は海成の第三紀鮮新世の三浦層群 低地を構成する地層は 第四紀洪積世・沖積世の堆積物であ

る。沖積層は上部が砂礫 下部が泥から成る未固結の地層で 上部は 溝の口付近より上流側では礫が多いが 下流側では砂が多くなる。下部の泥はやわらかく下流側へ次第に厚くなり 難透水層となっている。低地における洪積層は 沖積層の下位にありこれも未固結の砂礫層で 上流ほど粒径が大きく海岸寄りほど砂が多くなる。洪積層の下部には第三紀層の三浦層群がありその中の砂層部が帯水層となっている。三浦層群表面の等高線は図-3に示す通りである。

川崎市東部で利用される帯水層と地下水は

- ① 第1帯水層：沖積層中の帯水層で自由地下水である（第1地下水）
- ② 第2帯水層：洪積層中の帯水層で被圧地下水である（第2地下水）
- ③ 第3帯水層：第三紀三浦層群中の帯水層で被圧地下水である（第3地下水）



写真1 地盤隆起地帯の西端部（川崎市木月小学校付近） 校庭左手前が工水5号井 この学校から向うの高層アパート群 さらに新幹線の右手にかけて工水井群が散在している。

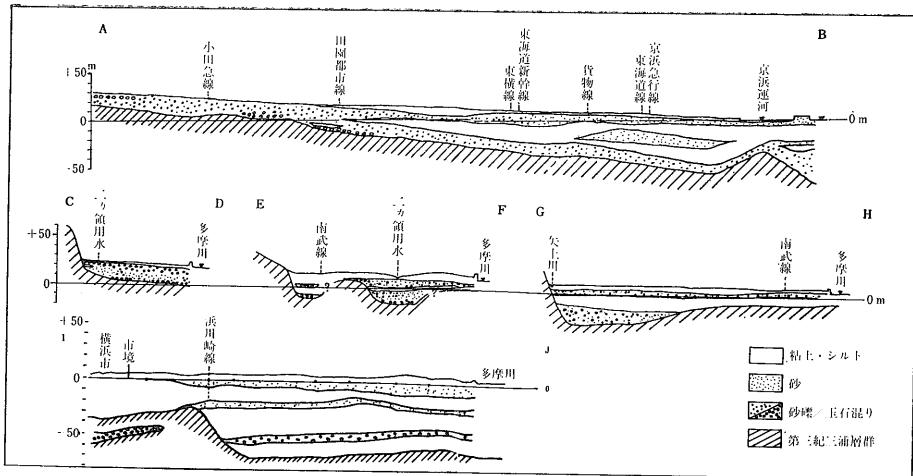


図4 地質断面図

の3つに区分されるが おもに利用される地下水は 第2地下水と第3地下水である。第2地下水は図-3 に示すように 第三紀層谷部表面に沿って帯状に市内を縦断する多摩川旧河道（旧河道と略す）と呼ばれている被圧帯水層中の地下水であり 水質的には 鉄含有量が10~20ppmと多いが 量的には比較的大量に採取できる。第3地下水は丘陵部では 水質が良いが低地部は京浜地帯特有の茶かっ色の着色水であり 量的には多くを望めない。なお地質断面を図-4 に示した。

## (2) 旧河道と地下水利用

川崎市で最も利用されている地下水は 旧河道中の第2地下水であり 今回の地盤変動と密接な関係があるので 旧河道について説明する。旧河道の位置はすでに図-3 に示したように 幅が500~1,000mで 帯状に市内を縦貫している。地表から帯水層までの深度は 場

所により差はあるがほぼ20~30m 帯水層の厚さは15~20mである。この旧河道は 多摩川下流域の低地部における唯一の地下水の透水帯であり この透水帯をはずれると地下水は 量的にも望めずまた着色水となる。そのため川崎市における水戸のほとんどがこの旧河道に集中している。例えば 多摩川河口近くに位置する工場群では 工場の敷地内では淡水の地下水がとれないために 3~4km も上流の旧河道上に水源井を設置し 工場まで延々と導水し工業用水をまかなっていた。また隣接の横浜市鶴見区内の工場もこの旧河道上に水源井を求め 4km 以上も遠くまで送水していた。

川崎市は臨海部の地盤沈下が激しいため その抑止対策として工業用水道の給水を昭和14年に開始したが その水源井もこの旧河道上に位置している。この水源井は鹿島田 平間地区において合計15井設置され 大量の工業用水を給水した。その後 33年に水需要の増大に合わせ さらに上流の木月 井田地区に8井の水源井を設置し 揚水量を増加させた。このように特定の帯水層に井戸が集中し大量の地下水を揚水した結果 地下水位の異常低下 地盤の沈下 地下水の塩水化などいわゆる地下水障害をひき起したのである。

## 4. 揚水実態と地下水障害

### (1) 揚水量

川崎市は昭和初期より工業都市として発展してきたが 淡水の工業用水はほとんど地下水でまかなわれてきた。しかし地下水の揚水実態は 昭和34年以前は集計されておらず 数量的にはっきりしない。揚水量の集計は工業用水法の指定地域となっ



写真2 地下水を得るために工場から4kmも離れた旧河道上に設けられた揚水井群と水処理施設 現在使用されていない。

てから行なわれているので 昭和34年以降の揚水量を図-5 に示した。

図中 東海道線以東地区は昭和13年にすでに川崎市の工業用水道が設置されており 昭和31年にさらに工業用水道の拡張がなされた。そして32年6月に工業用水法による地下水の汲み上げ規制が実施されたため 34年の揚水量はそれ以前にくらべて大幅に減少したものと考えられる。因みに 東京ガス鶴見工場では川崎市内の水源井から 30年当時は1日7,000トンの揚水をしていたが 34年には3,000トンに減少している。

東海道線以東地区における地下水の合計揚水量は 34年以降38年までは 1日17,000~18,000トンで横ばいが続いたが 39年から42年にかけて急激に減少し 42年以降は2,000トン以下となっている。

東横線~東海道線間の地域は 37年10月に工業用水法の追加指定地域となり この地域の揚水量は34年から45年までは1日40,000トン前後であった。それが46年以降は 25,000~30,000トンに急減し 49年にはわずかに8,000トンに激減した。

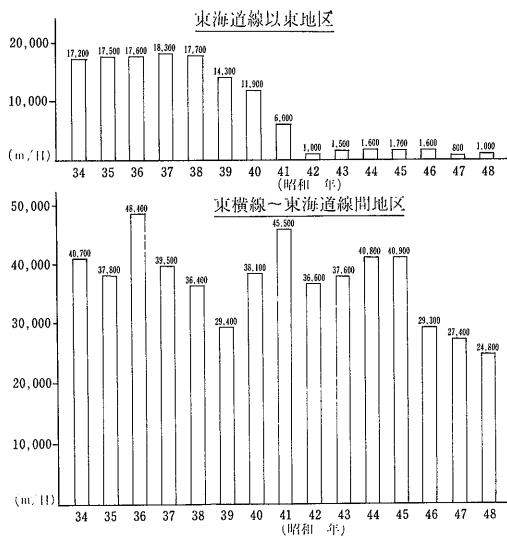


図5 地下水利用実態(川崎市内東横線以東地区)

(2) 地下水位の低下

揚水量の増加は水位の低下 それにともなう地盤沈下をひき起すため 地下水の利用にあたっては 地下水位を観測することがきわめて重要なことである。しかし従来水位観測は軽視されており 一般の井戸ではほとんどデータがとられていない。

川崎地区で比較的長期間 系統的に水位観測がなされているのは 地質調査所観測井(昭和33年以降 3井) 東京通産局観測井(昭和39年以降 2井) 川崎市地盤沈下観測井(昭和34年以降 5井) 横浜市地盤沈下観測井(昭和35年以降 1井) のみであり 最近になり遅ればせ

ながら多くの井戸で水位観測が始められた。

川崎地区で地下水の利用が始まった昭和初期の水位ははっきりしないが 大正時代には自噴していたという記録がある。また揚水量が大幅に減少した現在の第2地下水の水位が 地表より4~5mであることからみて 本来の水位が自噴ないし 地表すれすれであったものと推定される。

まず旧河道の第2地下水にかぎって水位変動をみると 図-6 のようになる。当初の水位を前述のように0m とすると 37~38年には最高約35mの水位低下を生じた事となり この結果が帯水層(砂層・砂礫層)および帯水層の上下の粘土層中の水分をしぼり出し その収縮によって地盤沈下をひき起こした。さらに東京湾の海底下まで連続している帯水層を通して塩水の逆流 すなわち塩水化を招いた訳である。

(3) 地盤沈下

地盤沈下は 地下水の過剰揚水→地下水水位の低下→地層の収縮によってひき起こされるが その観測は水準点測量と地盤沈下観測井での記録によって行なわれる。川崎市は 昭和6年より水準点測量による地盤沈下観測を行っており その結果の一例として 昭和6年から昭和25年までの19年間の沈下量分布図を図-7 に 昭和34年から昭和39年までの5年間の沈下量分布

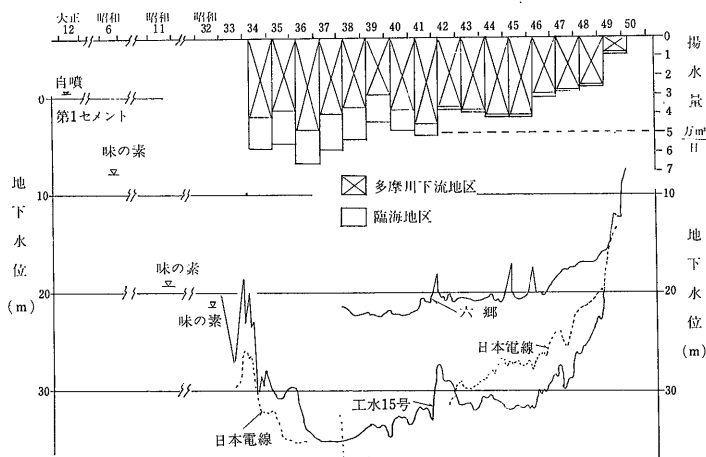


図6 川崎市下流地区における地下水揚水量と地下水位変化

図を図-8 に示した。 図-7 では渡田地区で最高1 m 20cm 図-8 では大師河原で最高40cmの地盤沈下が生じている。 図-9 は地点別の地盤沈下の経年変化であるが 昭和6年から18年までの沈下が急激であり 戦争中から戦後にかけて沈下は一時停止した。 その後25年以降再び沈下が進んでいる。

地盤沈下観測井による地盤沈下測定データを図-10 に示してある。 千鳥町・観音川など臨海部での沈下が激しいが これは両地点とも埋立地であり 図-7 図-8 に示されている臨海部の大きい沈下の目玉と共に 埋立に用いた土砂の収縮が大きな原因と考えられる。

(4) 地下水の塩水化

最近の新聞に「地下水障害」として 全国の臨海部において地下水の過剰汲み上げによる地盤沈下と塩水化が生じていることが報じられている。 川崎地区における塩水化は かなり以前から起こっていた。 地質調査所が昭和41年に実施した地下水調査の結果のうち 塩水化の状態を塩素イオン量の分布として示したのが 図-11 および図-12 である。 本来の塩素イオン含量は 10～20ppmであるが 過剰揚水によって水位が30m以上も低下したことが 原因で海水あるいは化石塩水が混入しかなり内陸部まで塩水化をひき起した。

図7  
地盤沈下変動量曲線  
図(単位mm)  
[昭和6年～昭和25  
年(19年間累計)]

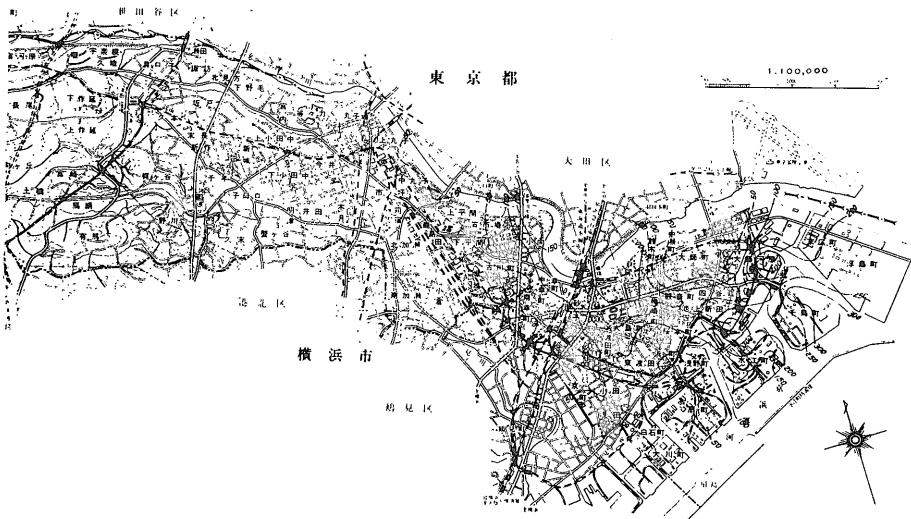
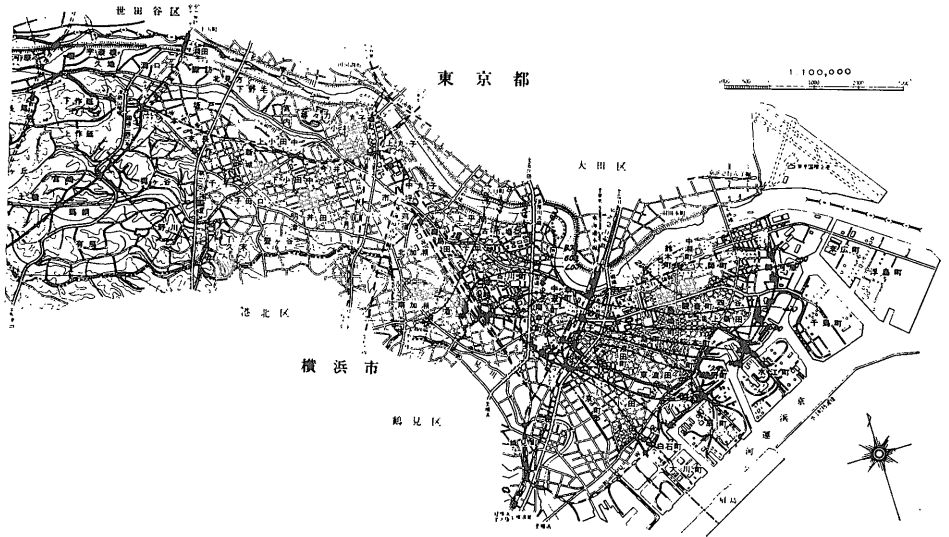


図8  
地盤沈下変動量曲線  
図(単位mm)  
[昭和34年～昭和39  
年(5年間累計)]

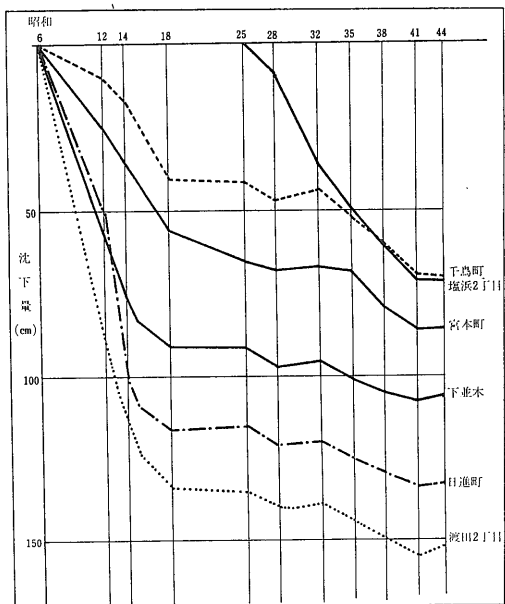


図9 地盤沈下経年変化図

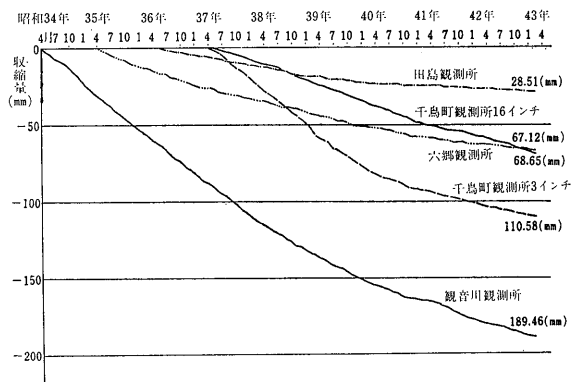


図10 地盤収縮経年変動図

### 5. 最近の状況

以上 川崎地区の地下水がどうなっているか 過去における地下水の利用状況 過剰汲み上げによる地下水障害がどうだったかについて説明したが つぎに本題である最近の状況について述べる。

川崎市は地盤沈下抑止のため 昭和32年にまず東海道

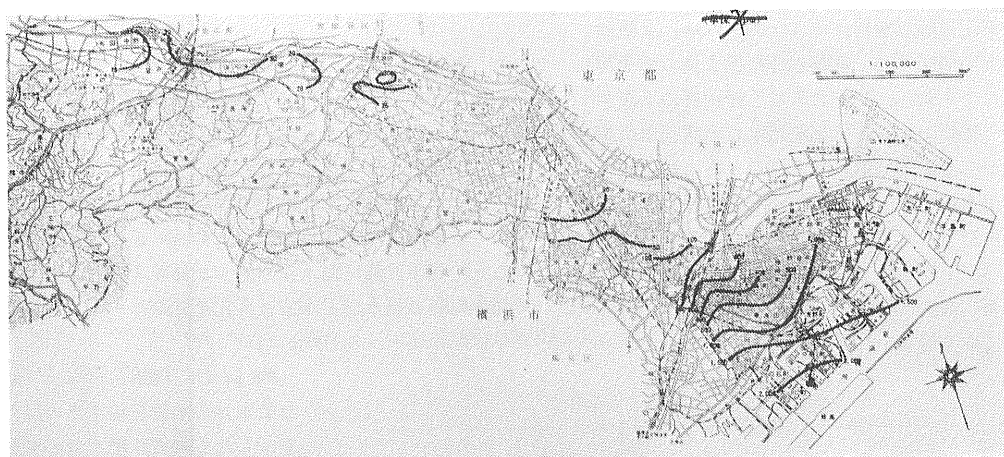


図11 第2地下水の塩素イオン分布図 (単位 ppm)

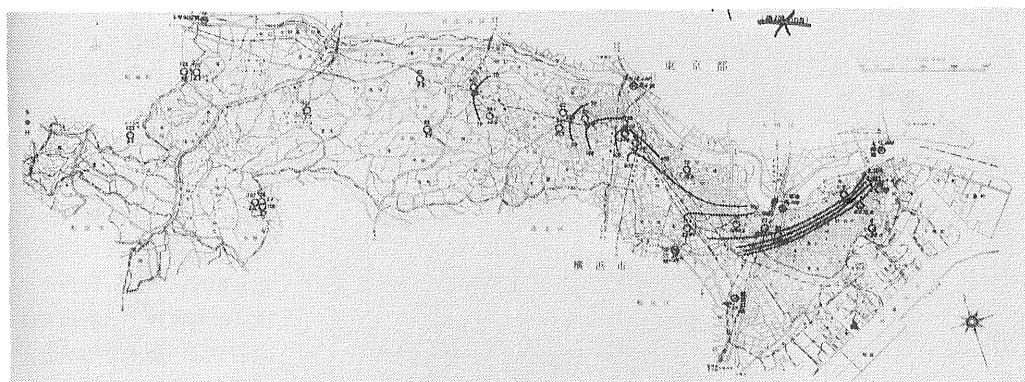


図12

第3地下水の塩素イオン分布図(単位 ppm)

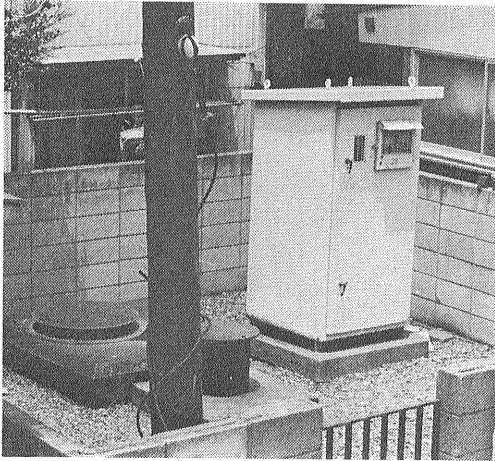


写真3 工水23号井 川崎市・鹿島田・木月・井田地区にこのような工水井が20本余設けられ1本当日約3,000m<sup>3</sup>/日の揚水を行っていた

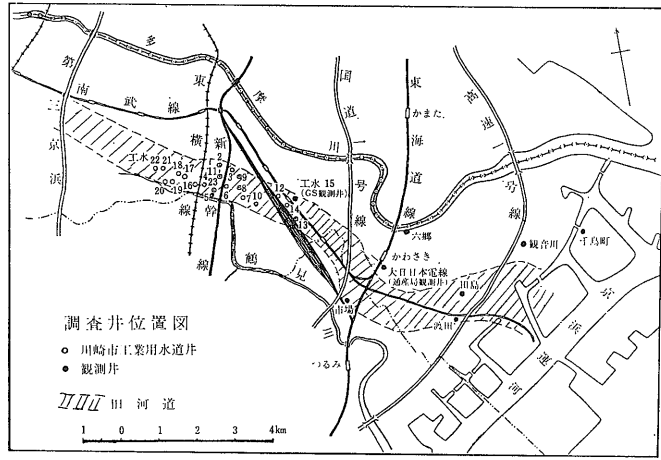


図13 観測井および工業用水道井の位置

線以東地区が工業用水法による汲み上げ規制地域に指定され ついで昭和37年に東横線と東海道線間の地区が追加指定された。地下水から工業用水道への切替えなどの関係で 規制の効果はすぐに現われなかったが 図-6 のように東海道線以東地区では 39年以降に東横線と東海道線間の地区では 46年以降に揚水量の減少がはっきり現われてきた。 49年に入ると経済界の不況から生産の縮小 繰短 さらには工業用水の循環利用が進んだことなどから工業用原水の需要量が大幅に減少した。その結果工業用水道では 川崎の中・下流地区の地下水総揚水量の大部分を占めていた工業用水道水源井群（以後工水井群と呼ぶ）で 地下水を汲み上げなくても給水が間に合う状態になり 49年末以降は水源井の保守のための揚水以外は全く揚水をしないようになった。 その

結果 東横線以東の地区全域でも揚水量は第2 第3地下水合わせて約3,000トンとなり 最大揚水時（36年）にくらべて 約20分の1以下に減少した。 この揚水量減少がどのような結果をもたらしたかを つぎに述べる。

(1) 揚水量の減少と地下水位の上昇

まずこの項のデータの基である各種観測井の位置 水位データを求めた工水井群の位置を図-13に示した。図から判るように これらの井戸の大部分は 旧河道上に位置し とくに工水井群は東横線と新幹線の周辺に集中している。 つぎに東横線以東全域の揚水量についてみると 46年以降に揚水量の減少が顕著である。そこで45年以降の揚水量と水位の変化を詳細にみとめるため45年以降のデータを月別に図示した。

図-14は 揚水を行っていた工水井の水位と揚水量的関係を示したもので 揚水量の減少と水位の上昇がきわめて密接であることを示している。 とくに49年4月に揚水量が激減した後の1年間に20m以上の水位上昇となっている。

図-15は 主たる揚水地点からかなり離れた距離にある観測井の水位と揚水量の関係を示したものである。 田島市場 大日本電線 工水15号は 旧河道の同一帯水層の水位を示し 位置的な関係で変動量に差はあ

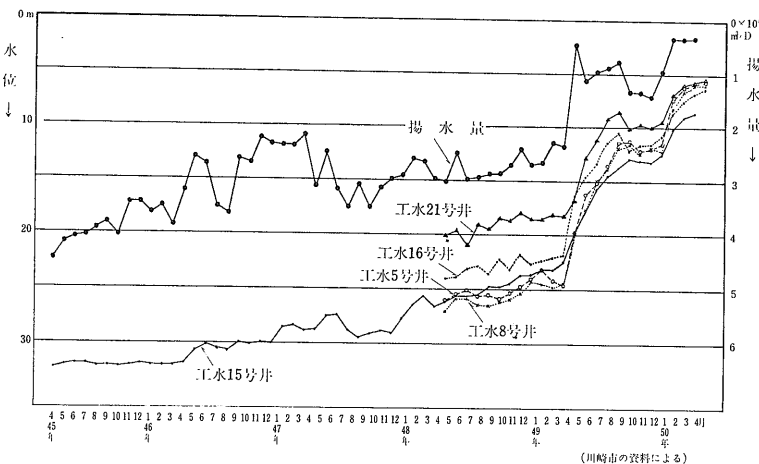


図14 揚水量(東横線以東)と工業用水道井の水位変動

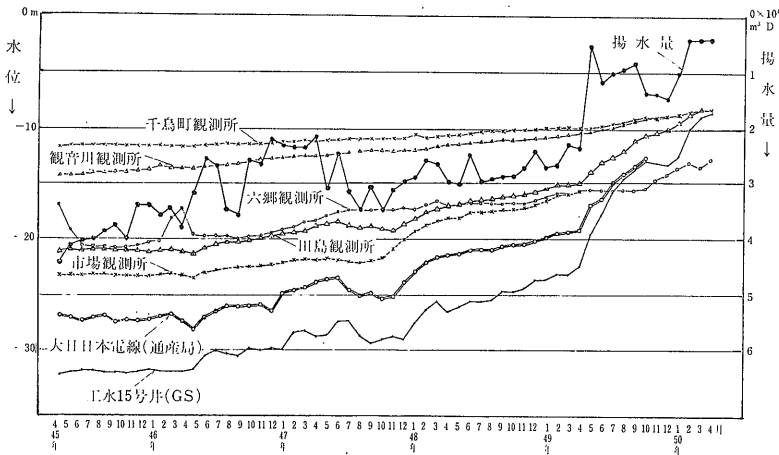


図15 広域的にみた地下水水位の変動と揚水量 (東横線以东)

るが同じような傾向の変動を示す。しかし旧河道から離れている六郷 千鳥町の水位はこれらとは全く別の変動をしている。

(2) 観測井による地盤変動

川崎市および横浜市では 昭和34年から37年にかけて地盤沈下観測井を設置して 水位と地盤変動量の観測を行なっている。そのデータをもとに田島(川崎市) 六郷(川崎市) 市場(横浜市)における昭和46年以降の水位 地盤変動量を示したのが図-16である。六郷の地盤変動は水位の上昇にもかかわらず 相変わらず沈下を続けている。それに対し旧河道にある田島 市場は水位が上昇しはじめた最初の頃は 地盤の沈下が続くが

途中で沈下が停止し49年からは逆に上昇に転じている。とくに市場における地盤変動は 48年1月から49年1月の1年間はほぼ停止の状態が続いたが 49年2月以降は水位の上昇1mにつき地盤上昇が約1mmという興味ある関係がある。このことは単に水位が若干上昇しても直接地盤の隆起に結びつくものではなく 水位がある程度まで上昇するまでは 地盤変動が平衡状態であり この段階以上に水位が上昇すると 地盤が隆起に転ずることを示している。この例は今後沈下の抑止 あるいは回復に関する研究を進める上で大きな示唆となる。

(3) 水準測量による地盤変動

川崎市は毎年水準測量による地盤変動調査を市内全域 385 測点で実施している。この調査の結果 最近臨海部を除いて地盤の隆起が認められ 48年1年間には 10mm以上の隆起地域が約80ヘクタールもあった。去る3月に49年1年間の結果が公表されたがそれによると最高は 中原区荻宿の28.4mmで20mm以上の隆起地域が 480ヘクタール 10mm以上20mm未満の隆起地域が 1,060ヘクタールと 隆起量 隆起面積とも大幅に増加した。隆起地域はお

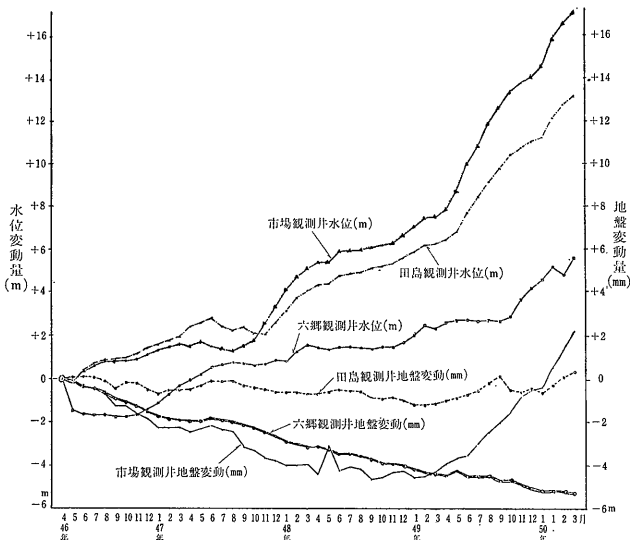


図16 田島・六郷観測井(川崎市) 市場観測井(横浜市)における最近4年間の地下水水位 地盤収縮の変動(46年3月を基準)  
 実測値 46年3月 50年3月  
 田島観測井 { 地下水水位 - 21.39m - 8.65m  
                   { 地盤収縮量 - 31.80mm -31.75mm  
 市場観測井 { 地下水水位 - 23.57m - 9.26m  
                   { 地盤収縮量 -103.93mm -98.04mm  
 六郷観測井 { 地下水水位 - 17.39m -12.98m  
                   { 地盤収縮量 - 73.93mm -78.94mm  
 (川崎市および横浜市の資料による)



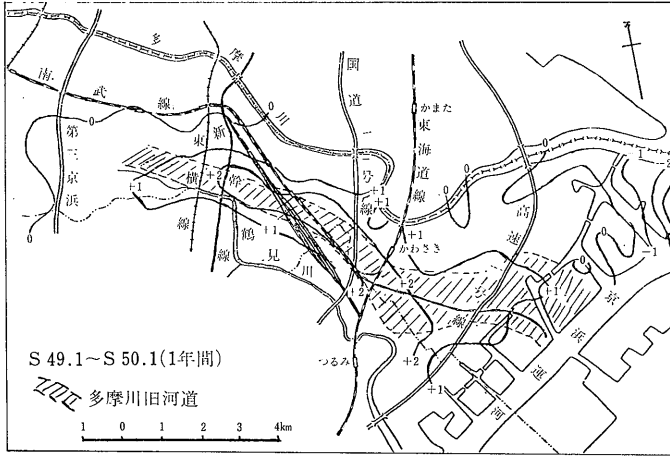


図17 地盤変動量図

もに東横線以東で帯状に分布している。49年1年間の隆起量の分布を旧河道と比較したのが図-17である。この図で判るように隆起地域と旧河道の位置はほぼ一致している。これは49年1年間において旧河道上の井戸とくに工水井群の揚水量が減少したことによる水位の急上昇があり、水位上昇による地盤上昇、すなわち過去に収縮した地層が水位の上昇によって一部が膨張し、相対的に地盤の隆起となったと推定される。なお揚水試験結果によれば、川崎下流地区の第2帯水層の物理的性質は、水位が現在のように大きく上昇した場合、数cm程度の膨張が生ずることを十分説明出来る数値が得られている。

## 6. まとめと今後の課題

以上私達の行なった調査結果をまとめると

- (1) 川崎市における地下水利用はおもに多摩川の旧河道に集中している。
- (2) 旧河道では過去数十年にわたり過剰揚水が続き、その結果は水位低下、地盤沈下、塩水化という地下水障害をもたらした。
- (3) 昭和32年に東海道線以東地区が37年に東横線以東地区が工業用水法による地下水揚水規制地区に指定され、前者は39年頃より、後者は46年頃より揚水量の大幅減少が始まり、水位も上昇を始めた。

- (4) 49年には旧河道上の工水井群がほぼ全面的に揚水停止の状況になり、50年始めには36年当時にくらべ揚水量が $\frac{1}{20}$ に減少した。この結果、1年間に水位上昇が20m以上に達し、旧河道内の地盤が広い範囲にわたって2cm以上の隆起をした。

以上のことからみて川崎市においては地下水汲み上げ量—水位—地盤変動の間に密接な関係があることは明らかであろう。したがって私達は、汲み上げ量の減少→水位の上昇→過去の地盤沈下の一部回復が今回の川崎地区における地盤変動の主要な原因であると考えている。

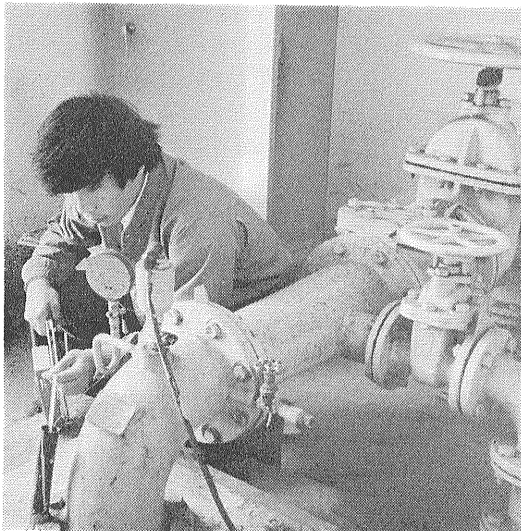


写真4  
工水2号井における揚水試験の水位測定

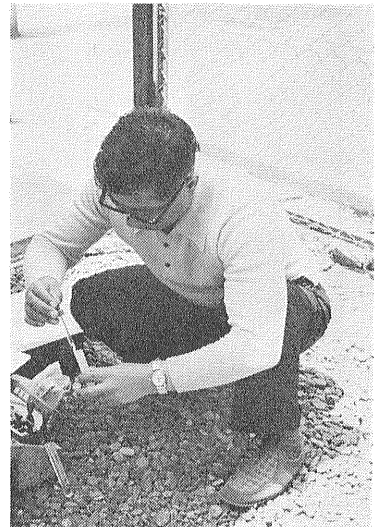


写真5  
工水9号井における水質分析

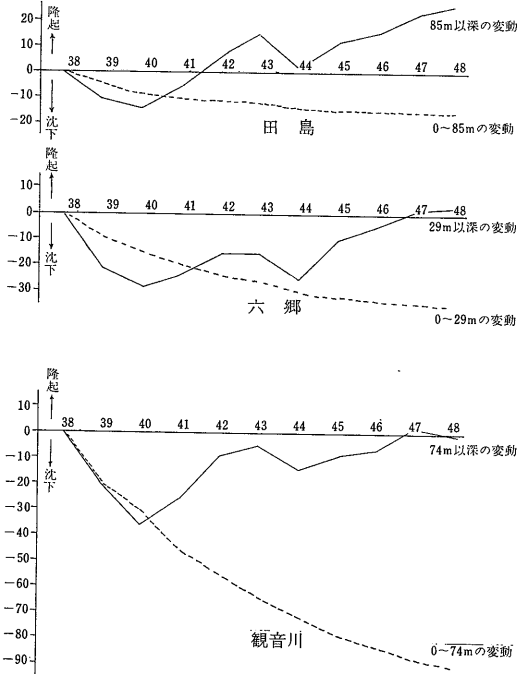


図18 層別地盤変動量図 (累計変動量を表示 単位mm)

なお 地盤沈下地帯が地下水の汲み上げ規制によって沈下が停止あるいは上昇に転じた例としては船橋市 大阪市等の事例もあり また中国上海での例では 水位と地盤変動に密接な関係があると報告されている。しかし これだけでは解明できない点として ①川崎市公害局資料によると 田島 六郷などの観測データは図-18のように 第三紀層上部では沈下しているが 第三紀下部で隆起していること。 ②東大理学部 (地震予知連資料) によると  $^3\text{H}$   $^{14}\text{C}$  測定による地下水の年代測定の結果 東海道線以東地区の地下水が10,000年以前の古い水 (東横線~東海道線間の地域の第2地下水は  $^3\text{H}$ 測定では1954年以後の新しい水) という結果が出され この地下水がどこから来ているのかの2点が残されている。

① については 今までの調査では 第3地下水のデータを十分集めていないので確かなことはまだ不明であるが 次のことが考えられる。川崎市の東海道線以東地区および横浜市鶴見地区において 昭和40年頃まで第3地下水を工業用水として大量に汲み上げていた。それが工業用水道への転換により 第3地下水の汲み上げ量が減少し その結果として水位の上昇 地盤の隆起につながっていると推定される。そこで早急に第3地下水の資料を得て検討を行なう予定である。

② については 周辺地下水の水位 水質 トリチウム ラドン 溶存ガス等の測定 分析を現在行なっており 現在掘さく中の観測井 (1,000m) のデータと合わせ 最終的な原因究明を早急に出したいと考えている。

最後に 本稿をまとめるにあたり 貴重な資料を提供して下さいました 川崎市公害局 水道局 横浜市公害対策局 および助言を頂いた 地質調査所地質第2課長垣見俊弘氏 同環境地質部水資源課主任研究官村下敏夫氏に謝意を表します。最後にこの稿を草するに当たり使用した文献 資料などをつぎに列記します。

(筆者らは 水資源課 化学課)

文献および資料

- 1) 工業用水調査グループ (1957) : 川崎・横浜両市工業用水源地域調査報告 地質調査所月報 vol 8 no 11
- 2) 蔵田延男外4名 (1967) : 川崎市における地下水塩化についての調査報告 地質調査所昭和41年受託報告
- 3) 永井 茂 (1967) : 川崎市における地下水の水質変化について 工業用水 no 107
- 4) 通産省企業局立地公害部工業用水課 (1967) : 工業用水法の指定地域における地下水位観測記録
- 5) 川崎市計画局 (1969) : 川崎の地盤沈下
- 6) 尾崎次男 (1973) : 地下水位の観測記録 地質調査所報告第249号
- 7) 地盤沈下対策都市協議会 (1974) : 地盤沈下
- 8) 横浜市公害対策局 (1974) : 横浜市地盤沈下調査報告書 (昭和48年度)
- 9) 川崎市水道局 (1975) : 揚水量と地下水水位の関係
- 10) 川崎市公害局 (1975) : 川崎市地下水総合調査報告書

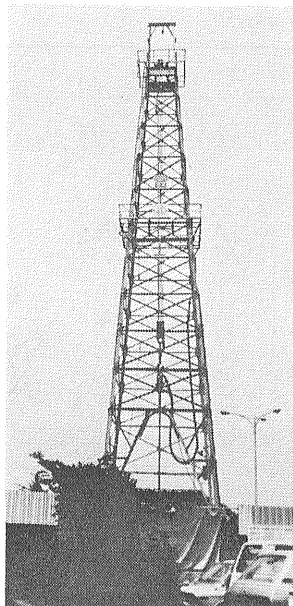


写真6 地質調査所1,000m 観測井の掘さく工事