

関東平野中・北部地域における地盤沈下に関する新知見 (地下水位変動-地盤変動のサイクル)

関 陽太郎¹⁾・小山 潤²⁾

1. 平野地域における著しい地盤沈下の原因究明の経緯(地下水過剰汲み上げ説の確立と地下水利用規制の成功)

沈下速度・沈下量・沈下面積ともに大規模な地盤沈下が東京と大阪のいわゆる「下町地域」に発生して社会的に注目されるようになったのは昭和10年代のことであった。

その頃、地盤沈下の原因として議論されていた主な説は次のようなものであった。(1)地質学的な緩慢な地塊運動、(2)地震活動に伴う比較的急速な地盤変動、(3)土層の自重による自然圧密作用、(4)重量のある建築物あるいは埋め立て荷重による弾性変形・流動変形・圧密加速、(5)埋め立て土の表層圧縮、(6)地下噴気圧の低減、(7)地下水位の降下による表層部の干上がり収縮、(8)地下水位の降下による浮力の減少、(9)建築物・舗装道路・排水施設などの増加による雨水浸透量の急激な減少、(10)滞水層の中の地下水の流れに伴う粘土分の自然削剥流出、(11)道路交通量と交通荷重の増加とそれに伴う地盤振動の激化、(12)地下水の過剰汲み上げによる地層、特に粘土質層の水分減少と微組織の攪乱扁平化など。

明治時代初期に始まっていた定期的な水準測量の結果、すでに大正末期から昭和の初期には主として平野地域、特に沖積低地における水準点の低下がかなりはっきりと認められていた。東大地震研究所の宮部直己が「沖積地域における表層部の沈下現象は軟弱な沖積粘土層の収縮によるものである」という見解を発表して、具体的に東京下町の沖積地の表層土の収縮を測定する沈下計を設置して

計測したのは昭和8年のことであった。

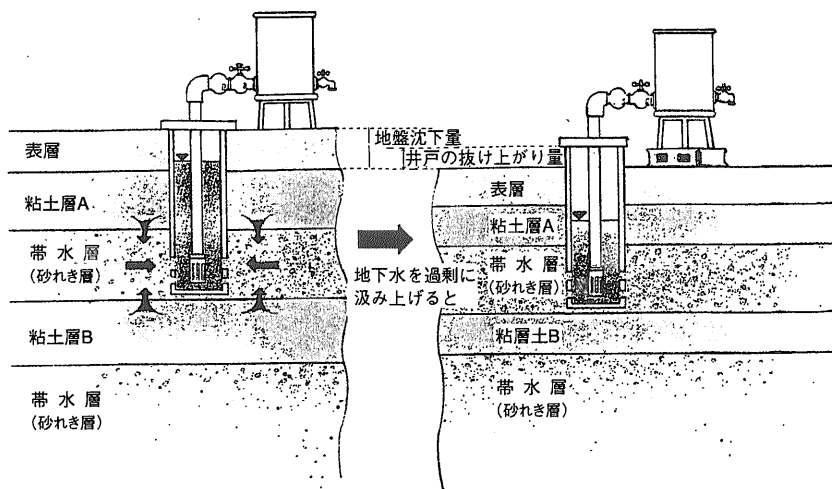
明治初期から始まっていたと思われる東京江東地区の地盤沈下は大正7年くらいから急速に進行し始め、大正12年の関東大震災直後に緊急に行われた水準測量のデータによってその激しさが初めて明らかになった。しかしその頃には、この江東地区の地盤の沈下の主な原因は関東大震災に際して発生した地盤の変位・変形であると一般に考えられていた。

更にそののち昭和5年と6年の水準測量値の比較によって、年間100mm以上の地盤の沈下がこの江東地区に発生している事実が明らかになった。その後の戦前におけるいわゆる京浜地域における工業生産活動の活発化と大規模建築物のビル用水としての地下水の利用の高まりに伴って沈下面積はますます拡大し、昭和12、13年頃には東京湾沿岸にそって地盤沈下が川崎・横浜地域に延びるとともに、日比谷・丸の内地区を中心とする非工業地域にまで拡大していった。

我が国における地盤沈下の対策史の中で和達清夫らの貢献は最も重要なものであった。大阪平野の地盤沈下地域に設けられた深さ36m、67mおよび190mの3本の、二重管式の地盤沈下計と地下水位計をセットした観測井を用いて和達清夫らが地盤沈下量(地盤収縮量)と地下水位との連続観測を始めたのは昭和13年であった。和達らは彼らの観測データに対するテルツアルギ圧密理論の適用を試みて、昭和17年には「大阪平野における地盤の沈下は、地下水の過剰汲み上げによって発生した地下水位の低下に起因する」という見解を発表した。

1) 埼玉大学名誉教授：
〒338-0013 埼玉県与野市鈴谷3-18-8
2) ハイドロシステム(株)：
〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-8-15

キーワード：関東平野中・北部、地盤沈下、地下水位、地盤の累積収縮量



第1図 平野地域における地盤沈下発生メカニズムを説明するイラスト(財団法人 日本環境協会編-環境シリーズ, No.54).

和達らが得たような着実な観測データに基づいた明快な地盤沈下の原因説はほかに全くなかった。にもかかわらず和達らの考えは、社会的にも、政策面でも、学界においてもただちに受け入れられることはなかった。「地下水の過剰な汲み上げが地下水位を急激に低下させる。これが平野地域における地盤沈下の原因である」という人災説は、地下水を大量に使用している側からみれば甚だ都合の悪い意見であった。当時の為政者・政策担当者にとっても地盤沈下を停止させる対策として地下水の利用を強く制限することは、その社会的・経済的な影響を考えると、容易に実行できるものではないと受け取られたことは十分に考えられる。

昭和30年頃から急激に発生した新潟平野の大規模な地盤沈下の原因についても次のような色々な説が主張されて、激しい論争が繰り返された。(1) 極地域の氷塊の融解などによる全地球的な海面の上昇, (2) 日本海沿岸地域の全般的な傾動沈下, (3) 新潟平野地域における局所的な地殻変動, (4) 新潟平野を構成している洪積層・沖積層の自然圧密, (5) 新潟港湾地域の大規模な浚渫, (6) 新潟ガス田地域における天然ガス採取に伴う地表下数10m～数1,000m深部からの鹹水質地下水の大量汲み上げなど。そして(6)がこの新潟平野に発生した広域的な地盤沈下の主たる原因であるという考えが行政, 天然ガス業界, 学界に一般化したのは昭和30年過ぎのことであった。

大阪・東京においては、太平洋戦争末期から終戦直後にかけての大きな社会情勢の変化が地盤沈下を停止させるという「劇的な現場実験」が行われた。すなわち、太平洋戦争末期の空襲によるこれらの地域における大小の規模の工場群の壊滅と操業停止によって地下水の汲み上げが急激に減少し、それに伴って地下水の過剰汲み上げが消滅したために地下水位が広域的に上昇回復して、それとともに地盤沈下もほとんど停止するか、あるいは場所によると地盤の上昇・リバウンド現象が発生したのである。「平野地域における広域的な地盤沈下は地下水の大量揚水によるものだ」という和達らの見解の正しさがこのような形で証明されたのであった。

また、昭和23・4年頃からの戦後復興期からいわゆる朝鮮戦争特需に伴う鉱工業生産の急激な復活によって、これらの平野地域における地下水利用量が激増し、地下水の過剰汲み上げが再び行われたために、地下水位の広域的な低下が再び発生し、地盤沈下も大阪・東京ともにかつてと同じような悲劇的な様相を帯びるようになった。また、昭和20年代の半ばから昭和30年代初期にかけては千葉県を含む東京湾沿岸地域の低地地域において天然ガス採取による鹹水質地下水の大量汲み上げに伴って、激しい地盤沈下が発生した。これらも和達らの説の正しさを証明するものであった。

昭和37年, 43年, 44年には都内下町地域における年間最大地盤沈下量は200mmを越え、特に

昭和43年度における江戸川区での240mm/年という値は都内における地盤沈下観測史上最大のものであった。

このような地盤沈下の推移の中で堤防・水門など河川構造物の沈下変形、いわゆる天井川・「ゼロメートル地域」の形成、路面・橋梁・側溝などの変形・破損、水道管・ガス管・共同溝など地下構造物の変形・破損、建築物の基礎杭の抜け上がりや破壊など、地盤沈下に伴って発生した各種のいわゆる「社会資本」の破損・破壊が著しく顕在化してきたのが昭和30年代から40年代であった。その頃になってようやく「平野地域において発生する地盤の(数mm/年程度以上の)急速な沈下の主たる原因は(深層鹹水も含めた)地下水の過剰汲み上げである」、「このような地盤沈下を停止させる、あるいは緩和させるためには、地下水の汲み上げを規制しなくてはならない」という考え方が学界においても、行政面においても、社会通念としても、広く認められるようになった。

通産省、建設省を中心とする中央行政機関によって工業用水法と建築物用地下水採取規制に関する法律が作られ国会において成立したのがそれぞれ昭和31年と昭和37年のことであった。和達らによって昭和10年代に発表された研究成果が発表以来15～20年近く経ってようやく行政サイドの施策として具体化したのであった。そして、地盤沈下対策についての各種の啓蒙パンフレットや文書などの中に第1図のようなイラストが公然と掲載されるようになったのもその頃のことである。

上記の二つの法律の成立施行の開始を待っていたかのように、都内の江東地区全域から順次に地下水採取用の井戸のストレーナー深度と揚水ポンプの吐出口断面積の規制がされるようになり、それらの規制は年を追ってますます厳しいものになった。それとともに工業用水道の供給網も着実に整備されてきた。また、東京都を始め各府県がこれら二つの法律を補うようなかたちで制定してきた公害防止条令とそれの矢継ぎ早やの改正・強化(届出制から許可制への転化など)、同じく地方自治体によって実行されてきた表流水を水源とする水道供給事業の拡大、工業用水の地下水から河川水・下水処理水などへの転換事業の推進、節水・水利用合理化の指導勧告など、地方自治体のたゆまぬ努

力も地盤沈下対策として絶大な効果を発揮した。

この頃になると新潟平野における天然ガス採取に伴う深層地下水の揚水には厳しい規制がされるとともに汲み上げた地下水の地下への再圧入という手段も日常的となった。東京湾沿岸地域において大規模に行われていた深度数100mからの地下水の揚水を伴う天然ガス採取は東京都による鉱業権の買い上げによって完全に停止した。

また、大阪でも東京においても工業用・水道用・建築物用の地下水の利用が厳しく規制され、同時に表流水による水道網が充実されたのである。

関係各省庁と各都府県などの主導による地下水揚水の強力な規制が成功して、新潟平野・東京都・大阪府の低地における広域的な地盤の沈下は昭和50年代の末にはほぼ完全に沈静化した。東京都東部の下町地域においては(一旦出来てしまったいわゆるゼロメートル地帯を無くすことは殆ど出来ていないけれども)地盤沈下は現在ほとんど進行していないといつてよい。

2. 昭和30年代以降における関東平野中・北部の地盤沈下の推移と現状

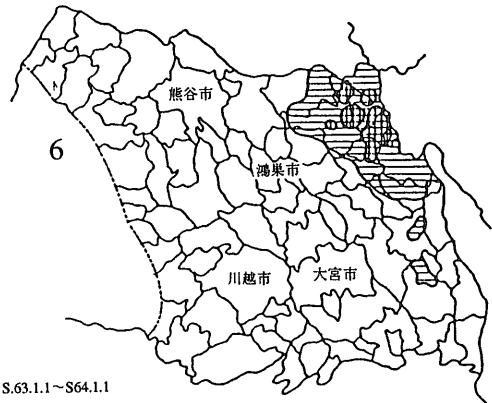
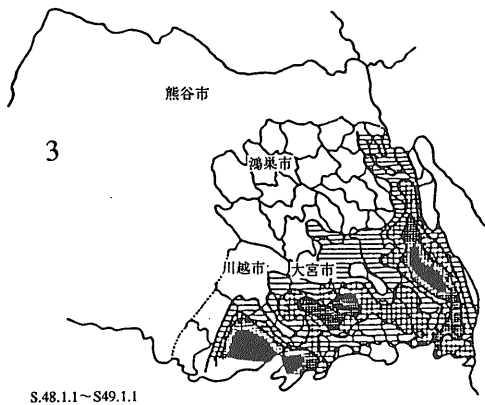
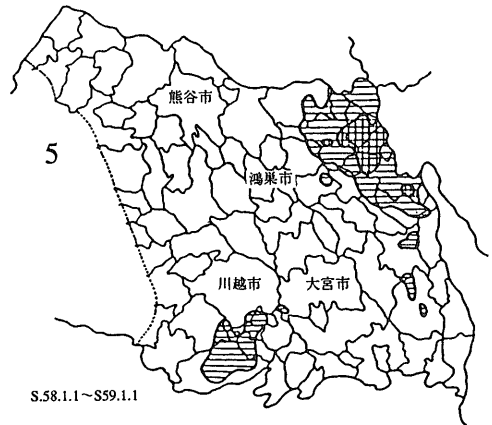
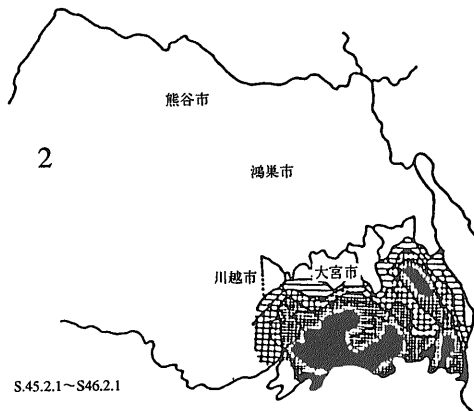
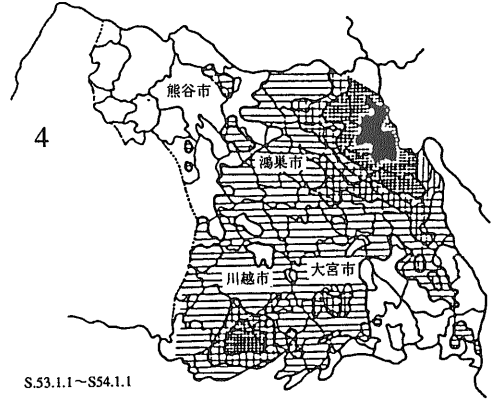
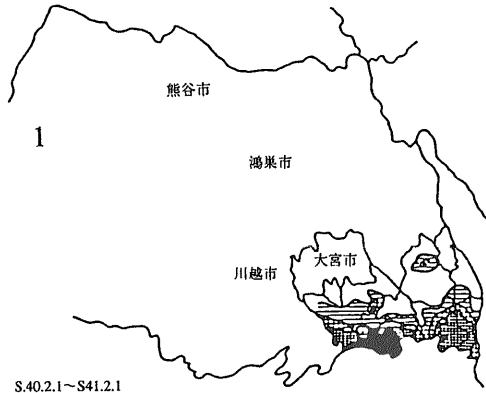
東京都東部の下町地区など東京湾沿岸地域における昭和初期からの地盤沈下の推移については上に述べた。

この地盤沈下は昭和35年～昭和40年においては既に東京都に接する埼玉県最南部の川口・戸田・蕨・鳩ヶ谷などの地域に波及し、これらの市は年間100mm以上も沈下するいわゆる「地盤沈下激甚地域」であった(第2図-1)。

昭和41年～43年にかけて行われた水準測量調査によると地盤沈下は上記の4市から更に東進・北上して浦和・与野・越谷・草加・八潮・三郷の各市にまで拡大し、沈下量も年間平均70mm、最大160mmに及ぶようになった。

昭和44年に水準測量調査区域が拡大されることによって、地盤沈下の地域が沖積低地の軟弱地盤地域だけではなく、浦和・新座・朝霞などの洪積台地地域にまで広く広がっていることが判明した。

昭和45年には川口など埼玉県南縁部における地盤沈下は依然として激しかったが、同時に激し



第2図 昭和40(1965)年~昭和64(1989)年の間にける埼玉県東半部の地盤沈下の地域的推移。横線：沈下量2~4mm/年の地域。粗い格子：沈下量4~6mm/年の地域。細かい格子：沈下量8~10mm/年の地域。黒：沈下量10mm/年の地域。

い地盤沈下の中心が越谷・春日部など埼玉県の東部にも確認されるようになった(第2図-2)。

昭和46年には川口・蕨・戸田の各市における地盤沈下はようやく沈静化の傾向を示した。これは

明らかに、これら埼玉県南縁部が昭和38年に埼玉県公害防止条例の地下水採取規制区域に指定されて、地下水の全採取量が厳しく規制されると同時にこの地域における水道用水と工業用水の供給

網が完成し、工業用水法施行規則の改正強化による地下水揚水井戸のストレーナー深度が650m以深・ポンプ吐出口断面積21cm以下などの厳しい規制の元に置かれるようになったからであった。

昭和47年には年間240mmもの激しい地盤沈下が所沢市の洪積台地地域に発生していることが判明した(江東地区など東京都の沖積低地のみならず板橋・練馬・豊島・中野・杉並の洪積台地の区部および多摩地域にまで年間数10mmもの地盤沈下が発生していることが判明したのは同じく昭和47年のことであった)。この年から埼玉県浦和・大宮・与野の各市に県の公害防止条例の厳しい地下水採取基準(ストレーナー深度650m以深、ポンプ吐出口断面積21cm以下)が適用されるようになった。

昭和48年には川口市などの埼玉県南縁部諸都市における地盤沈下はほぼ沈静化した。所沢・浦和・越谷での沈下は続いていた(第2図-3)。

昭和40年代末から昭和50年代半ばまでの間に関東平野中・北部における地盤沈下激甚地域は所沢と埼玉県北東部の鷲宮周辺のみとなった(第2図-4)(なお昭和53年は異常渇水年のため市町村の水道組合に対する利根川・荒川を主とする河川水の供給量が著しく少なかった。この年には全域的に大量の地下水を揚水せざるを得なかった。したがってこの昭和53年度においては埼玉県平野部は全域的に沈下したのである)。

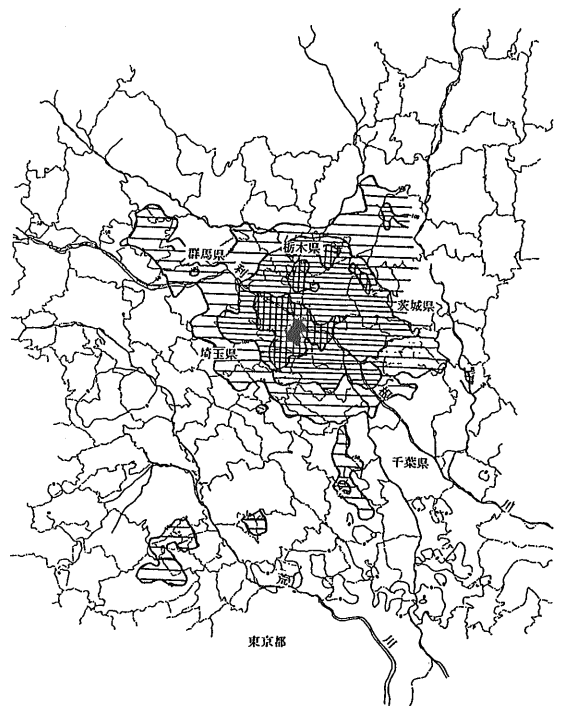
昭和50年代末まで続いていた埼玉県所沢地域の激しい地盤沈下も昭和60年代に入るとほぼ完全に停止した。その主な原因は、所沢地域における「表流水による水道用水供給事業」が完成し、その供用が開始されるに伴い、この地域における地下水の汲み上げ量が激減したことであった(第2図-5・6)。

昭和50年代末から昭和60年代初めを経て今日まで、鷲宮を中心とした埼玉県北東部と越谷・春日部地域を中心とした同県東部に地盤沈下の中心が残っていた(第2図-6)。数年おきに繰り返されていた異常渇水の年には利根川・荒川を主としていた表流水の利用が厳しく制限されざるを得なかったにもかかわらず、第2図-5および第2図-6ではっきりと示されているようにこの期間における埼玉県下における地盤沈下の沈下量も沈下面積もともに

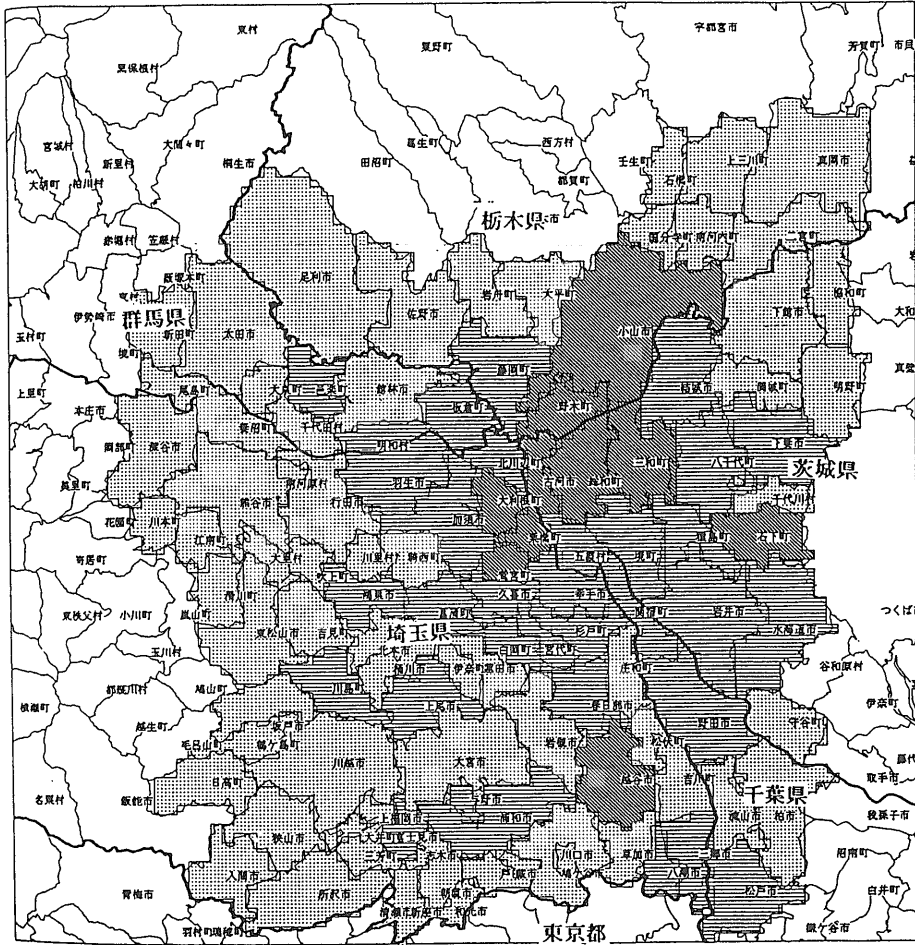
著しく減少した。その主な原因は、(1)工業用水法、いわゆるビル用水法および県の公害防止条例による地下水採取の厳しい適用、(2)主として表流水を水源とする水道用水と工業用水の公的供給網の充実および(3)工業用と上水用の水の節約への官民あげての努力などである。

著しい地盤沈下が利根川右岸の埼玉県北東部の鷲宮町・栗橋町・大利根町周辺から利根川左岸の群馬県館林・板倉地域、栃木県野木・小山地域および茨城県古河・総和・五霞地域に拡大していったのは昭和50年代初めのことであつたらしい(これらの地域における地盤沈下観測井の設置などが埼玉県などに比較してかなり遅れていた。昭和40年代およびそれ以前における地盤変動についてのデータは著しく少ない)。

昭和53年～57年の5年間には、群馬・栃木・茨城の3県が県境を接している野木・古河・板倉地域における累積沈下量はすでに100mmを越えていた。昭和63年～平成4年の5年間におけるそれは更に大きくなって、200mmに達していた(第3図)。



第3図 昭和63(1988)年1月から平成5(1993)年1月までの関東平野中・北部における累積地盤沈下量。粗い横線：50～100mm。細かい横線：100～150mm。格子：150～200mm。黒：200mm以上。



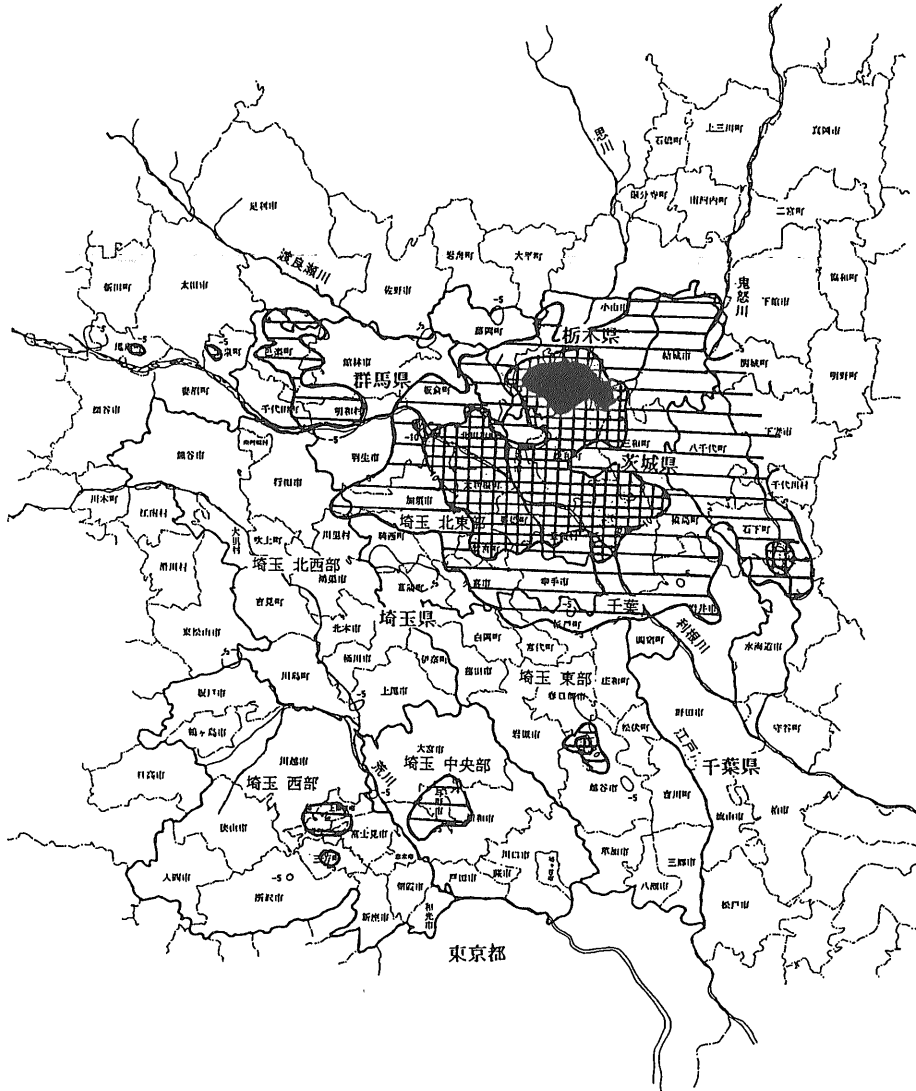
第4図 異常渇水年であった平成6(1994)年度における関東平野中・北部の市町村の年間最大地盤沈下量。点部：20mm以下、横線部：20～40mm、斜線部：40mm以上。

異常渇水のために全域的に多量の地下水が汲み上げられた平成6年度における茨城県古河市・総和町・三和町・石下町、栃木県野木町・小山市などにおける年間最大地盤沈下量は40mmを越えるものであった(第4図)。

すなわち、平成の時代に入ってから平成10年の今日まで、これらの群馬県南東縁・栃木県南部・茨城県西縁部地域は、昭和30年代の東京都江東地区や昭和40年代の埼玉県南縁地域とおなじ地盤沈下激甚の時代に入っていると思われる(第5図)。そして現在のような地下水揚水がそのまま続けばこれらの関東平野北部の諸地域における平成12年までの2年間の広域的な地盤沈下量は平均120mmに達するものと予想されている。

3. 長期観測資料に基づく地下水位-累積収縮(沈下)量関係の経年変化と型(ステージ)分け

地盤沈下に関係したいろいろな種類の計測データ・統計資料のうち、最も信頼できるもの、あるいは本当に信頼できるものは、十分な配慮のもとに設置され注意深く管理された地盤沈下観測井における地下水位と地盤変動量の記録である。地下水を採取している井戸の数と分布、それぞれの井戸および井戸群の一日あたり、あるいは月、年あたりの地下水揚水量などについては、集計されている対象が各県の条例に基づく許可井戸および水道水源井戸に限られており、それ以外の、例えば農業用井戸、県条例にかからない小規模なもの、または規制



第5図 関東平野中・北部における平成4(1992)年～9(1997)年の間の地盤沈下累積量図。粗い横線：50～100mm。格子：100～150mm。黒：150mm以上。

用途以外の目的で採取される地下水揚水などについてはその実態が必ずしも正確に把握されていない。そのうえ、地下水汲み上げ量などは井戸の所有者・使用者の自己申告・報告制のもとにあるので、どうしても申告漏れ・過小申告・過大申告などが発生してしまい、その信頼性にかなりの疑問がある。

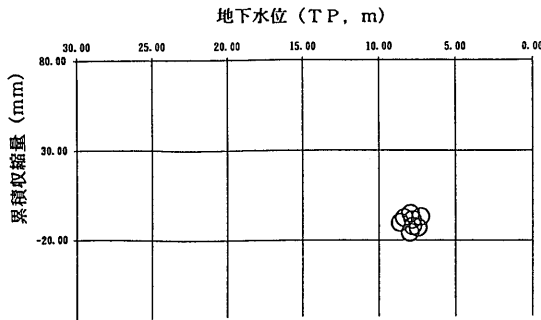
埼玉県全域・千葉県西北部・群馬県東南部・栃木県南部・茨城県西部に設置された地盤沈下観測井で過去数年～数10年の間観測された、それぞれの地点における地下水位と地盤沈下量の膨大な資料が最近、環境庁水質保全局の努力によって極め

て注目されるべき成果としてまとめられつつある。

上記の観測井における地下水位と累積地盤収縮(沈下)量との関係の経年的変化をまとめたのが第6図～第15図である。

地下水位は年間の季節変動が著しい。1月から4月にかけて上昇し、5～6月から低下し始めて、8～9月に最低になり、そののち11～12月にむかって次第に上昇するのが一般的である。今回の取りまとめに際しては各観測井の毎年1月1日の地下水位(TP)を用いた。

地盤の累積収縮(沈下)量は各観測井に設置さ



第6図 0型の地下水位 (TP, m) - 累積収縮量図. 埼玉県行田観測井 (昭和61 (1986) 年~平成7 (1995) 年).

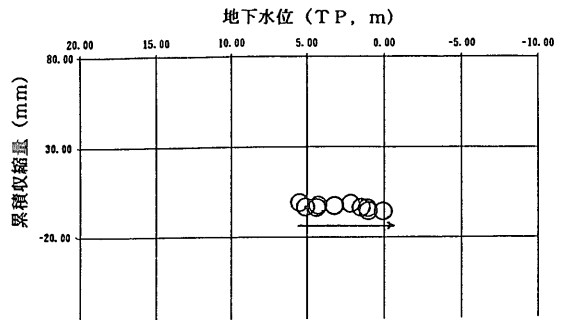
れた沈下計によって測定された前年1年間の収縮量を年毎に追加したものである. 第6図~第15図では, 地盤が沈下していれば収縮方向に, 地盤が上昇していれば膨張方向にシフトすることになる.

同一地点に深度を異にする複数の観測井が設置されている場合には次のようにして取りまとめた:
 (1) 例えば3本の観測井の深度を50m, 100mおよび150mとする. (2) 50m井の地下水位と収縮量はその観測井の観測データそのものとする. (3) 100m井の場合は, 地下水位は50m井と100m井の地下水位の単純平均値とし, 地盤収縮量として100m観測井の観測値から50m井のそれを差し引いたもの, つまり50mと100mの井戸の孔底深度の間における層間収縮量を用いた. (4) 以下, 150m井の場合も100m井と同様な手法で地下水位と地盤収縮量を算出した. (5) そして地盤収縮量のデータは観測開始以降の値を順次累積していった.

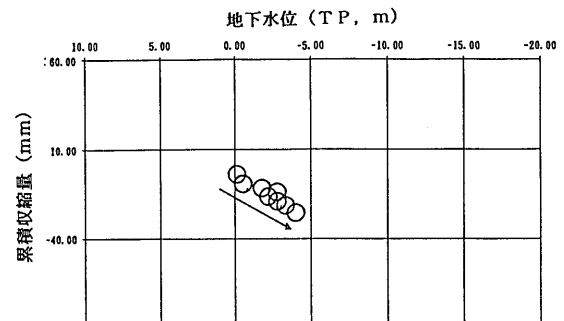
観測した期間が2~3年に過ぎない比較的最近に設置された観測井のデータは用いなかった. 地下水位-累積収縮量関係の経年変化がどのような方向に向かっているかということがこれら短期間で得られたデータでははっきりと掴みきれないからである.

かくして, 関東平野中・北部の5県にまたがって比較的均等な分布で設置された47地点の地盤沈下観測井戸で得られた地下水位-地盤累積収縮量の経年変化には次の7つの型が認められた.

0型: これは第6図のようなものである. 数年~10数年あるいはそれ以上の年月の間地下水位の変化・地盤の変動がほとんど認められない, あるいは極めて僅かな状態に終始している. このような型の



第7図 1型の地下水位 (TP, m) - 累積収縮量図. 群馬県大泉観測井 (昭和58 (1983) 年~平成7 (1995) 年). 矢印は経年変化の方向を示す. ほかの図の矢印も同じ.

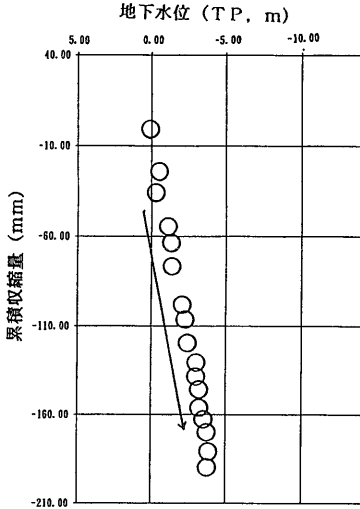


第8図 2型の地下水位 (TP, m) - 累積収縮量図. 栃木県藤岡観測井 (昭和60 (1985) 年~平成7 (1995) 年).

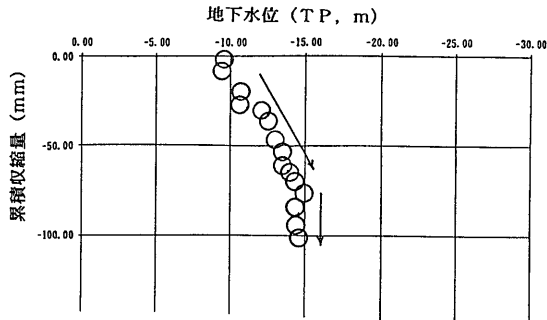
観測結果は関東平野の北縁部の群馬・栃木・茨城の比較的山地に近い平野部に認められ, また埼玉県においては比較的西部と大宮市の700mもの深部で確認されている. これらのところでは過去数年~10数年の間, 地下水位と地盤の変動はなかった, あるいは極めて軽微であった. 地下水位の過剰揚水という点に関してはこれらの地点はいわば処女地であったと考えられる.

1型: これは第7図で示されるような地下水位-地盤累積収縮量の経年変化である. 地下水位の過剰揚水によって地下水位は経年的に低下したが地盤の収縮沈下はまだ発生していない状態である. これは新第三紀~第四紀の地層でも比較的砂~砂利層が卓越していて垂直加重に対する抵抗力が強い地盤である場合に発生しやすいが, 泥の地盤の場合でも過剰揚水の初期の段階に起こり得ると考えられる.

2型: 第8図と第9図で示される場合は地下水位



第9図 2型の地下水位(TP, m)-累積収縮量図. 茨城県古河観測井(昭和53(1978)年~平成7(1995)年).

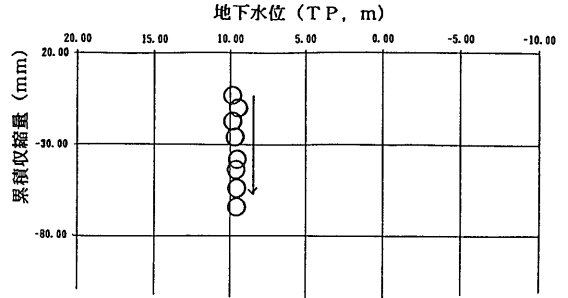


第10図 2型から3型へ移行の地下水位(TP, m)-累積収縮量図. 茨城県総和工高観測井(昭和53(1978)年~平成7(1995)年).

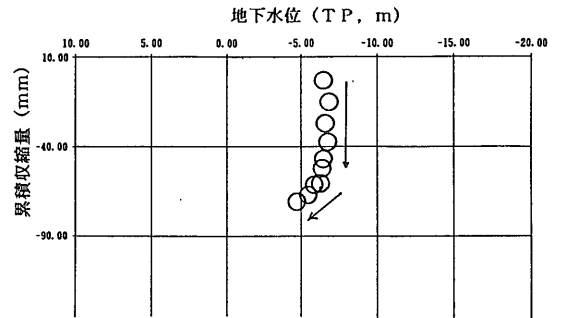
の低下に伴って地盤も収縮沈下する。典型的な過剰揚水に伴う地盤沈下である。第8図と第9図で解るようにこれらの図での右下方への傾斜には緩急さまさまある。この型は経年的に次に述べる3型に移行する(第10図)。

3型:これは地下水位はほとんど一定で安定しているのに地盤の収縮沈下だけが起きている場合である(第11図)。この型は経年的に次の4型に移行する(第12図)。

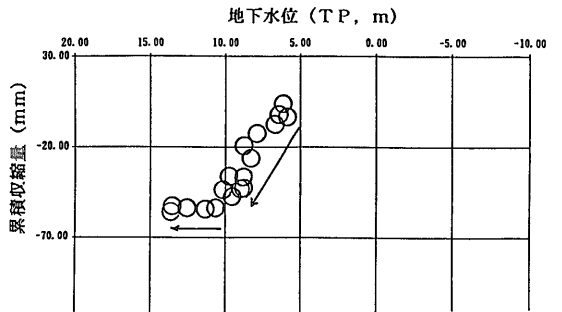
4型:この型は地下水揚水が厳しく規制された結果、地下水位は上昇回復に向かっているけれども、地盤の収縮沈下はあいかわらず続いている状態である(第12, 13図)。この型は次の5型に移行する(第13図)。



第11図 3型の地下水位(TP, m)-累積収縮量図. 栃木県小山南観測井(昭和60(1985)年~平成7(1995)年).



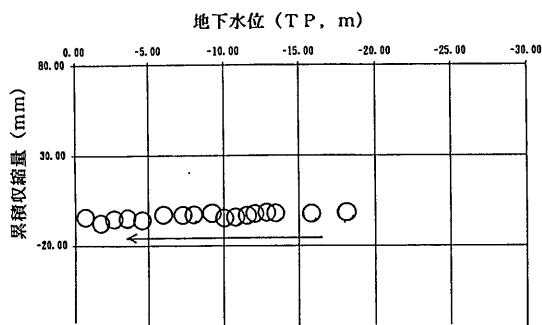
第12図 3型から4型へ移行の地下水位(TP, m)-累積収縮量図. 埼玉県越谷東観測井(昭和59(1984)年~平成7(1995)年).



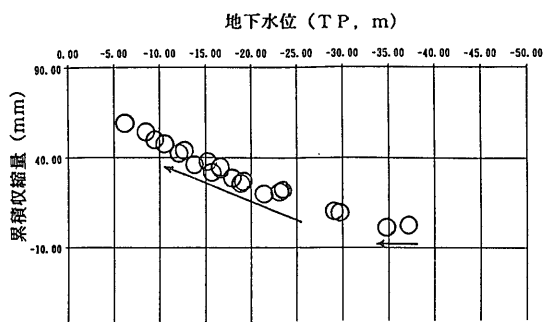
第13図 4型から5型へ移行の地下水位(TP, m)-累積収縮量図. 埼玉県所沢観測井(昭和55(1980)年~平成7(1995)年).

5型:地下水位はどんどん上昇回復しているが、地盤高はほぼ一定の状態に終始している型である。地下水位の回復傾向ははっきりしていて、地盤沈下もほぼ完全に沈静化した場合である(第14図)。地下水揚水の規制が更に続くと、この型はやがて次の6型に移行して行く(第15図)。

6型:地下水位の上昇に伴って地盤が膨張・上昇している段階である(第15図)。これは「地下水



第14図 5型の地下水位 (TP, m) - 累積収縮量図. 埼玉県浦和観測井 (昭和50 (1975) 年~平成7 (1995) 年).



第15図 5型から6型へ移行の地下水位 (TP, m) - 累積収縮量図. 埼玉県川口観測井 (昭和50 (1975) 年~平成7 (1995) 年).

位の回復に伴って発生する地盤のリバウンド」と呼ばれているものである。

7型：上の6型に引き続いて、「地下水位の回復上昇が停止した後も地盤の膨張上昇傾向はなお続く」ということはあり得るが、この型の地下水位-地盤累積収縮関係は関東平野中・北部ではまだ確認されていない。7型が実際に確認されていないのは、地盤沈下が非可逆的な現象で5型または6型で終息する可能性があることを示しているようである。例えば、埼玉県川口では地表下100mより浅い層では5型の地盤沈下で終息しているが、100m以深の層では6型が明瞭に観察されている。ここで主に扱っている関東平野中・北部におけるよりも20年近く前に激しい地盤沈下が発生し現在では既にほぼ完全に沈静化して既にかかなりの年月を経ている東京都江東地域では、沖積層を主とする浅い層では5型で終息する傾向が見られ、より深い層では6型が一般的であり、どこでも上に述べた7型に相当する地下水位-地盤収縮量関係の経時変化は見られない。このことは、一旦地盤沈下が起きてしまうと元通りの地盤高にまで戻ることはないということを示していて、地盤沈下地域の内水氾濫などに対する潜在的な危険性が将来にわたって継続する可能性を暗示している。

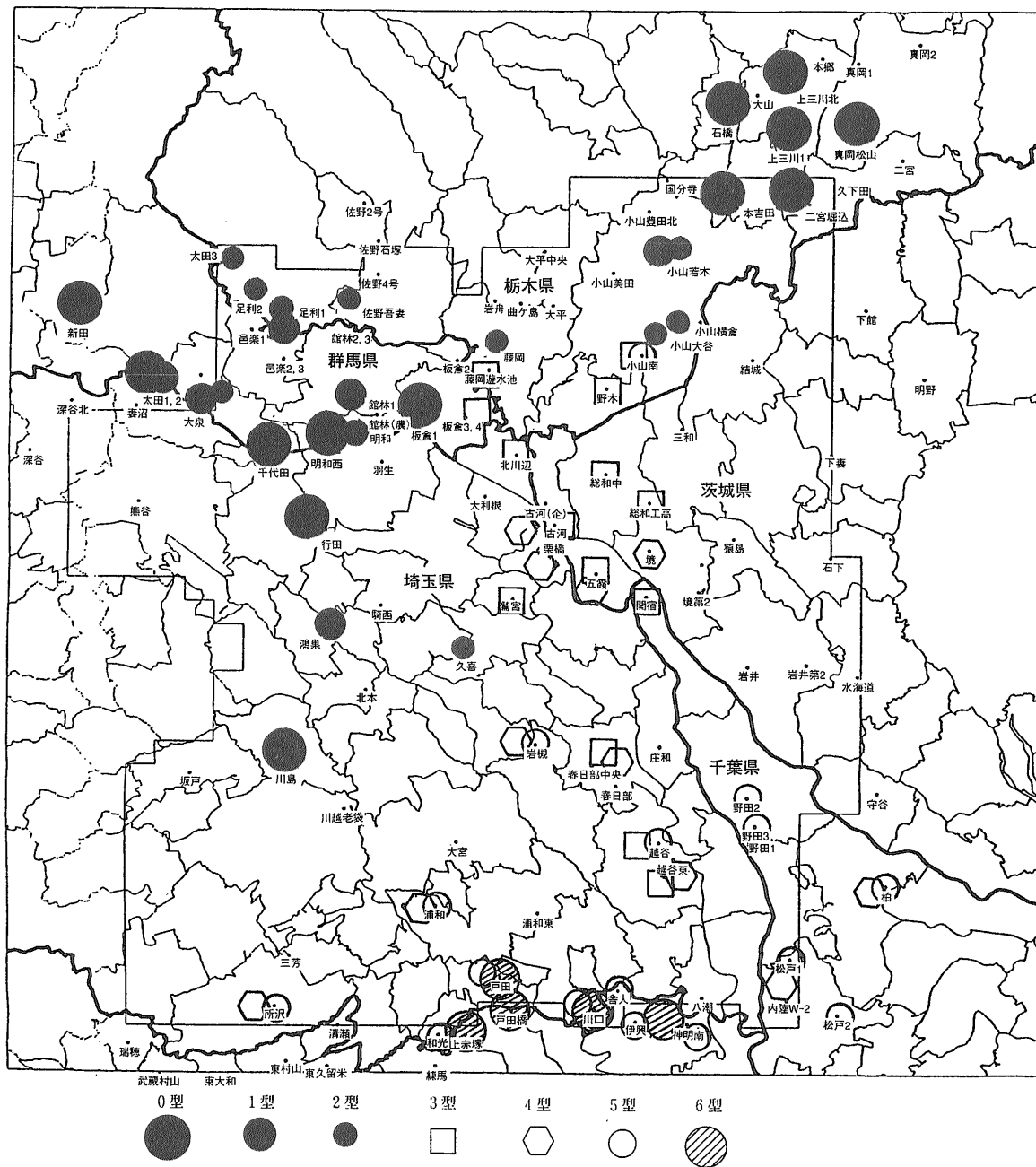
同一地点に深度を異にする数本の観測井が設置されている場合においては、しばしば深さによる上記の型が多少異なっている。例えば埼玉県鷲宮観測井の場合(1)地表~35m間と250m~410m間とは年間沈下量が大きい2型であるが、(2)85m~250m間は年間沈下量がかなり小さな2型で、それ

は最近では3型に移行する傾向を示しており、(3)35m~85mの間では明らかな3型が認められる。このようなことは、それらの観測井地点における沖積層・洪積層などの層厚関係、層相、帯水層の透水性、ストレーナーの位置、近隣の揚水井における揚水量の深度による違いなどによるものであろう。

関東平野中・北部地域において設置されている総計50本に近い地盤沈下観測井の長年にわたる観測記録の整理によって得られた地下水位-地盤累積収縮量の経年変化図に基づいた「型」の分布を示したのが第16図である。

- (1) 0型の観測井は本地域の北部と西部の、地盤沈下がまだ顕在化していない地域に分布している。
- (2) 1型と2型を示す観測井はその南側と東側に分布する。
- (3) 3型は埼玉県の越谷・春日部・鷲宮から群馬県板倉、栃木県野木・小山、茨城県古河・総和など第3, 4, 5図などに示されている「現在の地盤沈下激甚地域」に分布している。
- (4) 4型と5型は、かつての地盤沈下激甚地域で、現在ではそれがかなり沈静化している地域に分布する。
- (5) 6型、すなわち地盤のリバウンド現象が発生している型は埼玉県南縁部の、かつて極めて激しい地盤沈下地域であったが現在ではほぼ完全に沈静化している地域に分布する。

東京都発表の資料によると、埼玉県南縁部に接する東京都最北部から江東地区までの地域に設置されている観測井で得られた地下水位-地盤累積



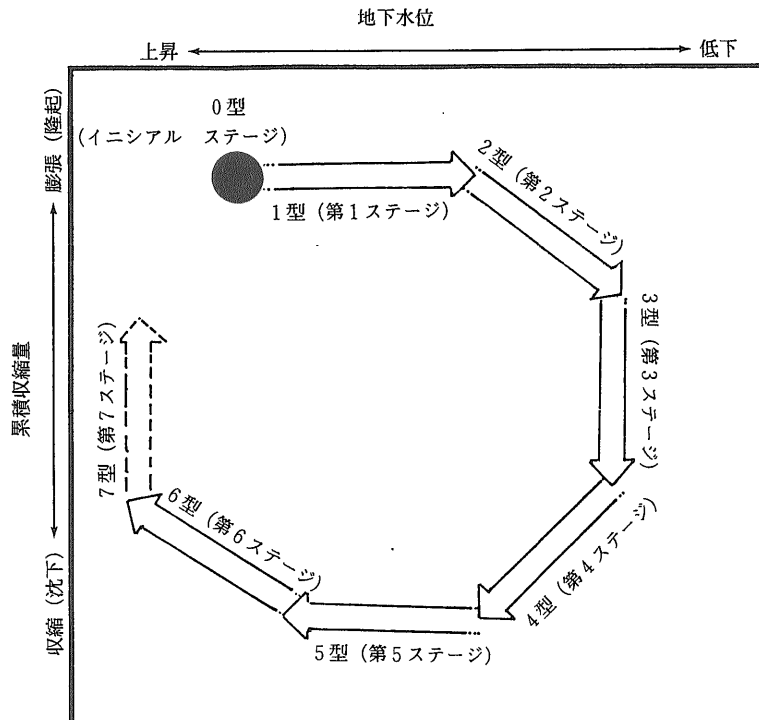
第16図 関東平野中北部に設置された観測井の地下水位-累積収縮量関係の型の分布図。

収縮量関係の型のほとんど全てが5型あるいは6型のものである。これらの都内地区は前にも述べたように、昭和20年代～40年代において工業用および天然ガス採取のための地下水の大量採取が行われたので極めて激しい地盤沈下をしたが、その後における厳しい地下水採取規制によって、昭和50

年代以後になって地盤の広域的沈下がほぼ完全に停止した地域なのである。

4. 地下水位-累積地盤収縮(沈下)量のサイクル

上に述べた0型から1, 2, 3, 4, 5, 6, 7の型ま



第17図
地下水位-累積収縮量関係の型(ステージ)に基づいた地盤の沈下・リバウンド現象の推移。

での間には第17図に示すような関係があると思われる。すなわち、地下水位の変化と地盤の沈下・上昇とのあいだには次のようなステージを経た継続的な関係があると考えられる：

イニシアル ステージ(0型)

後背山地および地表から供給される地下水はそのまま地下地盤のなかを浸透流下してゆくが、この供給されている量以上の地下水の揚水がなければ地下水位も地盤も安定したまま保たれている。

第1ステージ(1型)

過剰揚水によって地下水位は低下してゆくが、地盤は何とか収縮・沈下しない状態で保たれている。

第2ステージ(2型)

更に過剰揚水が続くと、地下水位の低下とともに地盤も自然加重に耐えられなくなって収縮しはじめて、地盤沈下現象が発生する。

第3ステージ(3型)

過剰揚水の規制などにより地下水位の低下は停止状態になったが、地盤の収縮・地盤沈下は惰性的に続いている段階である。

第4ステージ(4型)

厳しい揚水量規制が引き続き実施されたため

に、揚水量そのものが自然に供給されている地下水の量より少なくなったので、地下水位は次第に上昇する。しかし、地盤は相変わらず惰性的な沈下を続けている。

第5ステージ(5型)

地下水位は回復上昇をしているが、地盤は(沈下傾向は停止したけれども、膨張・上昇はしない)でほぼ一定のレベルに止まっている段階である。

第6ステージ(6型)

地下水位の回復上昇がなお続くので地盤もやっと膨張・上昇するようになっていく段階である。

第7ステージ(7型)

地下水位はある限度以上に回復・上昇しなくなり、ほぼ一定のレベルのままに保たれるが、地盤の膨張・上昇が(おそらくごく緩慢であろうが)なお続いている状態である。このステージの地下水位-地盤累積収縮量関係は、少なくとも関東平野地域ではまだ確認されていない。

青木(1971)は地盤沈下の速度(mm/年)と地下水位との間の関係の経時変化を解析して「地盤沈下の進行過程のPhase(時相)」という概念を提案し、主として東京都・大阪府・新潟県に設置された地盤沈下観測井におけるデータから、地盤沈下に

は次の4つのPhaseがあると述べ、これらのPhaseの見方を導入することによって各地の地盤沈下の進行度を判定できる可能性を示唆した：

Phase I：地下水位が低下し、地盤の沈下速度が増加する。

Phase II：地下水位が低下し、地盤の沈下速度は減少する。

Phase III：地下水位は上昇し、地盤の沈下速度が減少する。

Phase IV：地下水位が上昇し、地盤の沈下速度は極めて小さくなる。

これらのPhase I, 同II, 同IIIおよび同IVは筆者らの第2(および第3?)ステージ, 第4ステージおよび第5ステージに大体対応するようである。

既存の観測井のそれぞれについてこのようなステージ区分あるいはPhase区分をすることによって、その観測井地点の地盤沈下現象に関する現状と今後の傾向の予測を比較的適確に行い得ると考えられる。そして、このような解析の成果が、今後どのような地点に新たな観測井を設置したらよいかという問題や、近い将来におけるリアルタイムの観測ネットワークシステム構築の問題のみならず、揚水規制に関するきめ細かく、かつ即応的な対処を行政的に行おうとした場合の有力な指針・判断基準の一つになるとと思われる。

謝辞：本文をまとめるにあたり、環境庁によって平成7年度から平成9年度に実施された「関東平野北部地盤沈下緊急対策調査事業」の成果をかなり多

く用いた。この調査事業を発案し、その遂行に努力された環境庁水質保全局の担当官の方々および本件の調査委員会の委員として熱心に討論して下さった国立環境研究所 陶野郁雄氏、茨城大学 安原一哉氏・天野一男氏、宇都宮大学 鈴木将之氏、群馬大学 新井房夫氏、埼玉大学 佐藤邦明氏および千葉大学 新藤静夫氏の皆さんに深く感謝する。

参 考 資 料

- 青木 滋(1971)：地盤沈下，地下水位，揚水量の相関について，南関東地域広域地盤沈下調査報告書，107-113。
 環境庁水質保全局(1996)：平成7年度関東平野北部地盤沈下緊急調査報告書，1-228。
 環境庁水質保全局(1997)：平成8年度関東平野北部地盤沈下緊急調査報告書，1-226。
 環境庁水質保全局(1998)：平成9年度関東平野北部地盤沈下緊急調査報告書，1-277。
 関東地区災害資料センター(1984)：文献・資料目録(その17)「関東平野北部の地盤沈下」，1-65。
 関東地区災害資料センター(1985)：文献・資料目録(その18)「関東平野北部の地盤沈下」，1-96。
 南関東地方地盤沈下調査会(1973)：南関東地域の地盤沈下-現状と対策，1-171。
 村上 哲・安原一哉・野口良彦・檜 弥生(1997)：茨城県南西部における広域地盤沈下の現状と将来予測。茨城大学工学部研究集報，第45巻，1-8。
 関 陽太郎(1991)：関東平野，特に埼玉県を含む関東平野中・北部の地盤沈下と防災対策の経緯。文部省科学研究費重点領域研究成果報告書「資料解析に基づく防災ポテンシャルの変遷に関する研究」，393-473。

SEKI Yotaro and KOYAMA Jun (1998) : Stage analysis of landsubside in central and northern areas of the Kanto Plain.

<受付：1998年8月31日>