

東京都の地盤沈下と地下水の 再検証について

—平成22年度地下水対策検討委員会のまとめ—

平成23年5月

東京都環境局

はじめに

東京は、昭和30年代から40年代にかけて、地下水の過剰な汲み上げにより地下水位が著しく低下し、激しい地盤沈下を経験した。しかしその後、法や条例による揚水規制を積極的に推し進めてきた結果、地下水位は上昇し、地盤沈下は沈静化しつつある。

東京都は、平成17年度の地下水対策検討委員会において、東京都の地盤沈下と地下水の現状の検証を行い、その結果を報告書として平成18年5月に公表した。

この報告書では、全般的な地盤沈下は沈静化しているものの、東京都の広い地域において年間数ミリ程度の沈下が継続している状況にあること、地下水位と揚水量、地下水位と地盤沈下量はそれぞれ関係していることなどから、現時点において、現行の揚水規制を緩和すれば、地盤沈下が再発する恐れがあるため、揚水規制を継続し、現状を超える揚水を行わないことが必要であることなどをとりまとめた。

そして、今後も観測データを引き続き蓄積し、定期的な状況の把握及び検討を行い、5年後を目途に、再度、地盤沈下と地下水位の状況を検証し、評価することが望ましいとした。

今回、前回の報告書のとりまとめから5年が経過したことから、平成22年度の地下水対策検討委員会において、先の報告書の内容に、新たに得られた5年分のデータや、地層別解析など新たな知見に基づき、現在の地盤沈下と地下水の状況を再検証したので、その結果について報告する。

平成23年5月

平成22年度地下水対策検討委員会

委員長 田中 正

目次

1 東京都の地盤環境	4
(1) 東京都の地形	4
(2) 東京都の地質	5
(3) 東京都の地盤沈下の状況	6
ア 東京都の地盤沈下の経年変化	6
イ 地盤沈下をもたらした主な地層	10
(4) 東京都の地下水の状況	10
ア 東京都の地下水位の経年変化	10
イ 東京都の地下水の流れ	11
2 東京都の地盤沈下と地下水位の再検証	13
(1) 再検証にあたっての基本的な考え方	13
(2) 東京都における最近の地盤沈下と地下水位の状況	14
ア 区部の地盤沈下と地下水位	14
イ 多摩台地部の地盤沈下と地下水位	14
(3) 東京都における揚水規制の効果	19
(4) 都内の地下水揚水量の概要	20
ア 地下水揚水量と区市町村別単位面積あたりの揚水量	20
イ 地域別揚水量	20
ウ 地下水揚水量の推移（区部・多摩地域別）	21
エ 揚水規模別揚水量	22
オ 用途別揚水量	22
カ 業種別揚水量	23
キ 月別揚水量	23
(5) 揚水量と地下水位の経年変化	24
3 地域ごとの地盤沈下と地下水位の解析	25
(1) 区部低地部の検証	25
ア 地下水位と揚水量	26
イ 地下水位と地盤変動	28
ウ 区部低地部の検証結果	37
(2) 区部台地部の検証	38
ア 地下水位と揚水量	38
イ 地下水位と地盤変動	39
ウ 区部台地部の検証結果	39

(3) 多摩台地部の検証	4 4
ア 地下水位と揚水量	4 4
イ 地下水位と地盤変動	4 8
ウ 多摩台地部の検証結果	4 8
4 その他	5 4
(1) 経済損失に関する過去の調査内容	5 4
ア「地盤沈下の被害調査報告」	5 4
イ「地盤沈下による経済的損失評価に関する調査研究」	5 5
(2) ゼロメートル地帯の発生	5 6
(3) 関東平野の地下水位分布図	5 7
5 まとめ	5 9
6 今後の地下水管理方策	6 1

参考資料 1 地下水流動調査

参考資料 2 データ集

(2) 東京都の地質

東京都の模式地質断面を図-2に示す。

山地は、主に「先第三(紀)系岩石群」で構成されている。

丘陵地は、表層に「関東ローム層」が堆積し、その下位に「段丘礫層」、さらに下位に洪積層^{※2}の「北多摩層」が分布する。

武蔵野台地は、丘陵地と同じく表層に「関東ローム層」が分布し、その下位には、地域によって異なるが洪積層の「立川礫層」や「武蔵野礫層」などの「段丘礫層」、「舎人層」、「東久留米層」などが分布し、さらに下位には「北多摩層」が分布している。

東京低地は、「有楽町層」などの沖積層^{※3}が、地域によっては地下数mから70m程度まで分布し、その下位に洪積層の「東京層」や「高砂層」などの「東京層群」が分布している。さらにその下位には「上総層群」が分布している。また、東京の平野部の低地の地下には天然ガスが地下水中に溶けて存在する。

なお、丘陵地や台地においても、河川や旧河道に沿った谷底部には沖積層が分布する。

※2 「洪積層」とは、更新世（約160万年～1万年前）に形成された地層

※3 「沖積層」とは、更新世末から完新世（約1万年前）に形成された地層

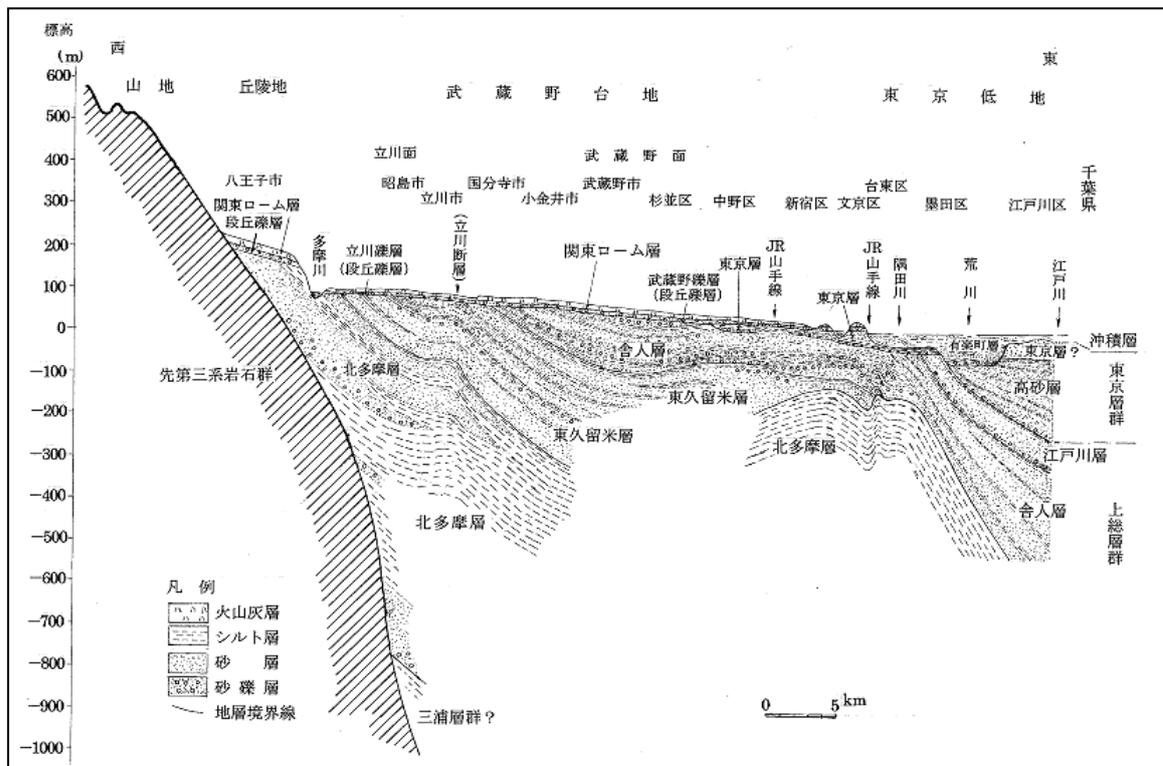


図-2 模式地質断面（中央線中野～立川を結ぶ線を延長した東西横断断面）

(3) 東京都の地盤沈下の状況

区部低地部の沖積層の地盤沈下のメカニズムを図-3に示す。

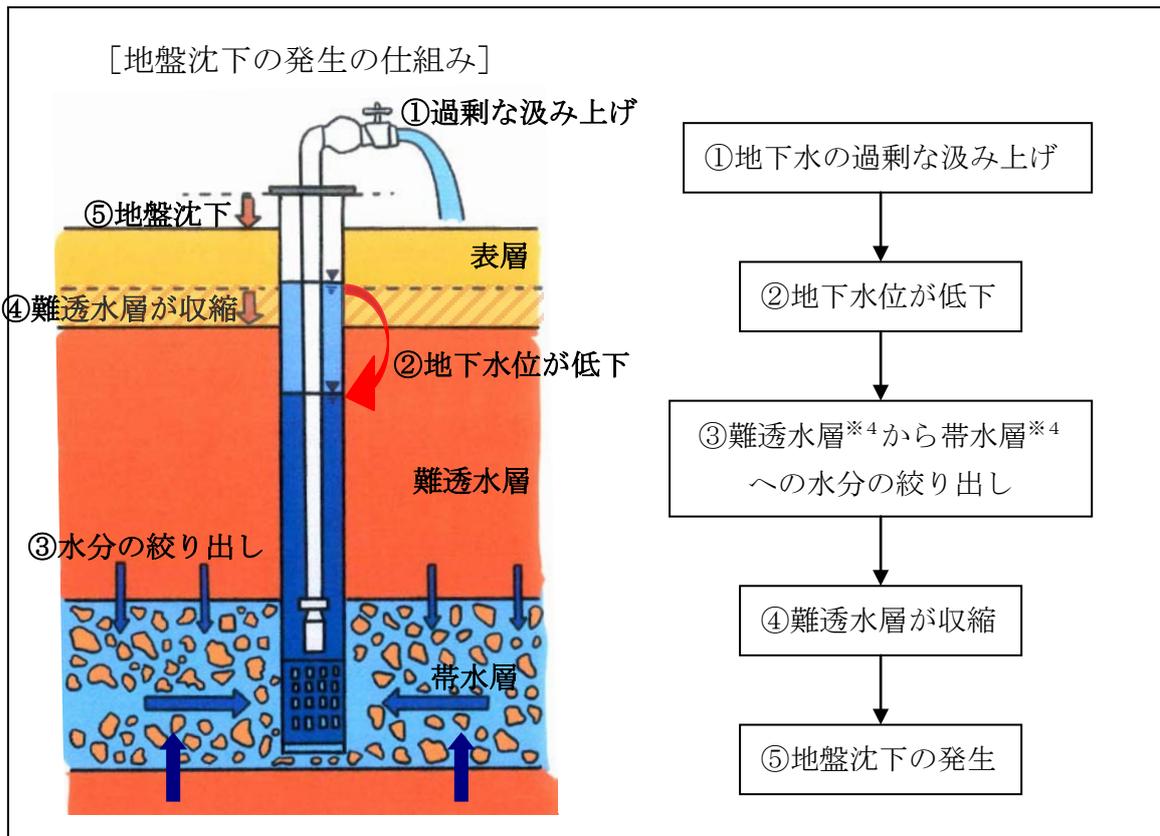


図-3 地盤沈下のメカニズム

※4 「難透水層」とは、地下水を含むものの通常の状態では十分な量の水を移動させることができない地層をいい、粘土層などが該当する。これとは逆に、地下水で飽和した透水性の良い地層を「透水層」又は「帯水層」といい、砂層、礫層などが該当する。

ア 東京都の地盤沈下の経年変化

都内の観測井の配置図を図-4に示す。平成21年現在、42地点91観測井において地下水位の観測を行っている。水準測量^{※5}は、水準基標^{※6}534地点において実施している。このうち、水準測量開始以来の主な水準基標8地点の配置図等を図-5、表-1に、累積沈下量を図-6に示す。

図-6によれば、大正初期には早くも地盤沈下が観測され、江東区の南砂や亀戸では、明治25年の水準測量開始時と比較すると、昭和初期には既に1m以上沈下している。

その後、第二次世界大戦にかけて産業活動の発達により、低地部の工業地帯を中心に地盤沈下が進行した。しかし、戦争末期の空襲により工場等が焼失し、揚水量が急激に減少した結果、地盤沈下の進行は戦争末期から終戦後にかけて一時沈静化した。

戦後の復興とともに、産業活動が再開された結果、地盤沈下が再び進行しはじめ、高度経済成長期（昭和30年代～40年代）に地盤沈下はピークに達した。昭和43年には江戸川区西葛西の水準基標において、年間沈下量23.89cmが記録された。この沈下量は平成21年に至るまで都内で計測された年間沈下量の最大値である。

なお、都内における最大累積地盤沈下地点は、江東区南砂2丁目です。累積沈下量は、大正7年の測量開始以来、昭和50年代半ばに4m50cm以上の沈下を記録した。

その後、「工業用水法」及び「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」（以下、2つの法律をまとめて「用水2法」という。）並びに条例による揚水規制を積極的に推し進めた結果、区部においては昭和40年代後半から、多摩台地部においては昭和50年代から、地盤沈下が沈静化しはじめた。なお、主要水準基標8地点のうち、多摩地域を除く6地点では、近年僅かではあるが隆起が認められるが、これまでの累積沈下量と比較すると、隆起量は極めて小さく、元の地盤高に回復することはない。

(注)本報告書では、地表面の変動については「沈下」又は「隆起」、地層毎の変動については「収縮」又は「膨張」の用語を用いる。

- ※5 「水準測量」は、2つ以上の地点間の高さの差を求めるものであり、地盤変動の状況が明らかとなる。
- ※6 「水準基標」は、水準測量を行うために設置された“標識”で、東京都内には平成22年現在、534点が設置されている。

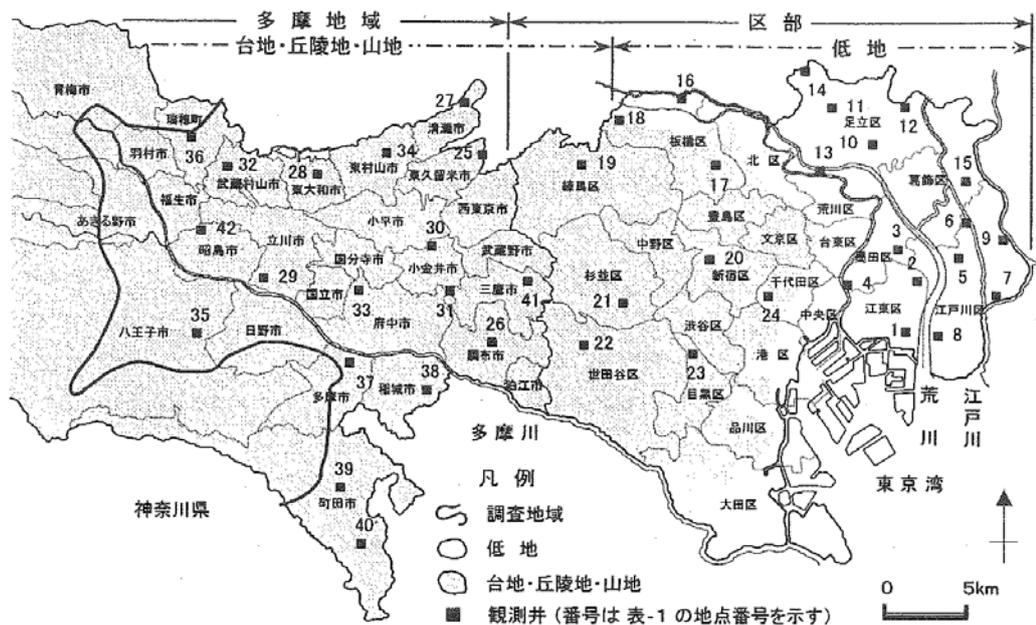


図-4 観測井配置図



図－5 主要水準基標の配置図

表－1 地点番号と水準基標番号及び所在地の対応

地点番号	水準基標番号	所在地
①	(9832)	江東区南砂二丁目
②	(3377)	江東区亀戸七丁目
③	向(5)	墨田区立花六丁目
④	(9836)	江戸川区中葛西三丁目
⑤	(3365)	足立区千住仲町
⑥	(473)	板橋区清水町
⑦	清瀬(1)	清瀬市旭が丘二丁目
⑧	保谷(2)	西東京市住吉町三丁目

注 上記の図－5 及び表－1 は、図－6 の地点に対応している。

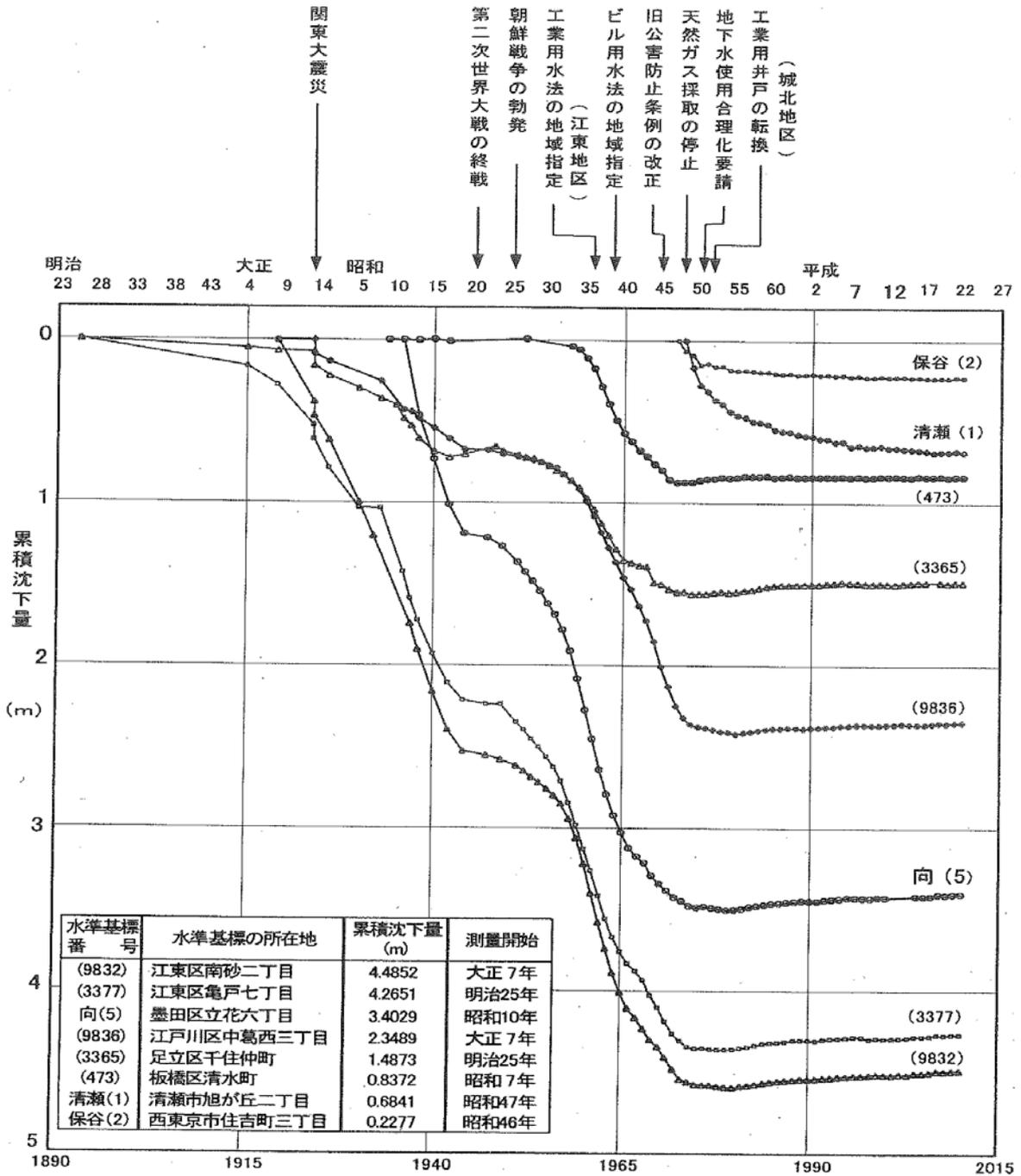


図-6 水準基標主要8地点の累積沈下量

イ 地盤沈下をもたらした主な地層

アに示した地盤沈下をもたらした地層は、地域（地形）によって異なる。

東京低地においては、地下水の過剰な揚水の結果、沖積層内のシルト層、洪積層内の「東京層」～「東久留米層」に挟在するシルト層及び「北多摩層」の固結シルト層で圧密^{※7}が発生した。なお、沖積層の圧密による地盤沈下は、建築物の亀裂や地表面の波打ちの発生、井戸の抜け上がりなど被害が顕在化しやすい。

また、東京低地は、「南関東ガス田地域」と呼ばれる水溶性天然ガスの鉱床地帯の一部となっている。荒川河口部を中心とする江東、江戸川区内では、地層中に水溶性天然ガスが存在し、特に地下500m程度以深の「上総層群」の砂層・砂礫層には、天然ガスが多く溶存していることから、昭和26年から昭和47年12月まで民間事業者によって、大量の地下水揚水を伴う天然ガスの採取が行われ、洪積層内の「上総層群」のシルト層で激しい圧密が発生した。

丘陵地から多摩地域の武蔵野台地においては、「東京層」～「東久留米層」に挟在するシルト層で圧密が発生した。区部の武蔵野台地においては、「東京層」～「東久留米層」に挟在するシルト層及び「北多摩層」の固結シルト層で圧密が発生した。

※7 「圧密」とは、難透水層（粘土層、シルト層など）が荷重を受け、層中の水が排出され、粒子の配列が変化して体積が減少する現象である。地下水位の低下により土の浮力が減少すると、荷重が増加して地盤沈下が起こる（圧密現象）。

(4) 東京都の地下水の状況

ア 東京都の地下水位^{※8}の経年変化

現在、東京都内で汲み上げられている地下水の大部分は、東京層群及び上総層群の砂層、砂礫層中に存在する被圧地下水^{※9}である。

東京都の被圧地下水の水位の経年変化は以下のとおりである。

区部の低地部の地下水位は、昭和40年頃まで低下し続けたが、揚水規制の強化により昭和50年代にかけて急速な上昇に転じた。近年は上昇速度が低下したものの、概ね上昇傾向を維持している。墨田区の吾嬬B観測井では、最も低下した昭和40年と比較すると、現在は約50m水位が上昇している（図-11）。

区部の台地部は、昭和40年代中頃に地下水位が最も低下したが、昭和50年代後半にかけて急速に上昇し始めた。現在は、僅かに上昇している状況である。新宿区の新宿観測井の地下水位は、最も低下した昭和46年と比較すると、現在は約40m水位が上昇している（図-14）。

多摩の台地部は、既に地下水位が上昇しはじめた昭和50年代以降に設置された観測井が多く、最も地下水位が低下した時期の記録がない。近年の地下水

位は横這い傾向である。また、多摩台地部は地下水が多く利用されていることから、揚水量の季節変化を反映して、地下水位は明確な季節変動を示している（図－16）。

※8 「地下水位」とは、井戸の中に表れる水面の位置をいい、標高(T.P)又は地表からの深さ(GL マイナス) で表す。

厳密には、以下で述べる「不圧地下水」の水位を地下水位と呼び、「被圧地下水」のそれは「被圧水頭」と呼んで区別されるが、本報告書では混乱を避けるため、「地下水位」に統一した記述とする。

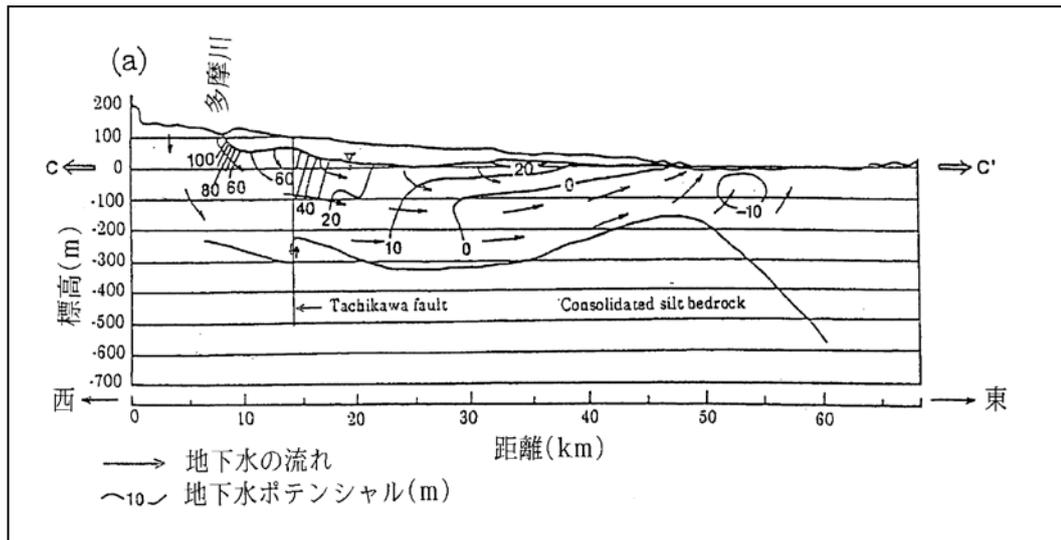
※9 「被圧地下水」とは、難透水層などの存在によって、加圧（被圧）されている地下水をいい、大気圧より大きい圧力がかかっている。これに対し、比較的浅い層に存在し、加圧されていない地下水を「不圧地下水」という。

イ 東京都の地下水の流れ

図－7に、東京都内の東西断面における地下水ポテンシャル分布^{※10}を示す。山地、丘陵地及び武蔵野台地に降った雨水は地下に浸透し、地下水となり、さらに下位の地層群の地下水を涵養する。また、多摩台地部の多摩川左岸部においては、地質構造から多摩川の河川水が地下に浸透し、下位の地層群の地下水を涵養する。それぞれの地域で涵養された地下水は、概ね西（台地部）から東（低地部）に向かって、非常にゆっくりとした速度で流れていると考えられる。

一方、東京低地は地表近くに難透水層が分布することから、地下水は地表から涵養されにくく、主に台地部以西からの地下水によって涵養されている。

※10 「地下水ポテンシャル」とは、地中のある点における地下水が持つエネルギー状態のことをいう。例えば、2地点間で地下水の圧力（圧力エネルギー）が等しく、高度（位置エネルギー）が異なる場合、高度が高い地点の方が、高度が低い地点よりも地下水ポテンシャル（全エネルギー）が大きいため、地下水は高度が高い地点から低い地点へ流動する。これがポテンシャルの考え方である。



図一七 都内東西断面における地下水ポテンシャルの分布 (谷口ら、1997)

2 東京都の地盤沈下と地下水位の再検証

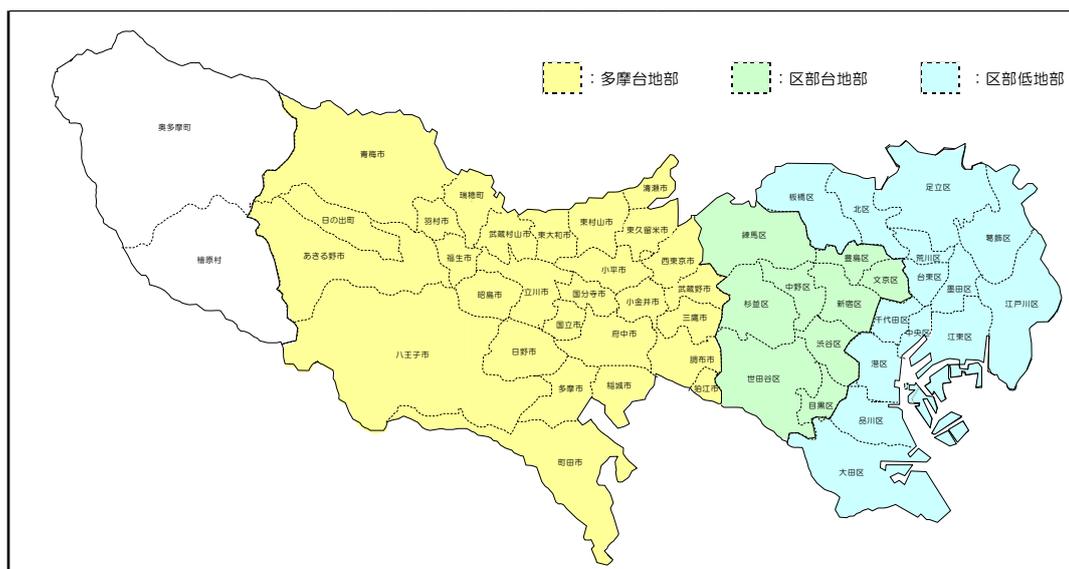
(1) 再検証にあたっての基本的な考え方

今回は、過去から蓄積されていたデータに、平成17年以降の地下水位、地盤変動量や揚水量などの最新のデータを加えて解析した。また、東京都が平成20年度に行った「地下水流動調査」の調査結果も参考にし、地盤沈下と地下水の現状の再検証と評価を行った。

再検証に際しては、東京都を「区部低地部」、「区部台地部」、「多摩台地部」に分けて、それぞれの地域について地下水位、揚水量、地盤変動量の関係をより詳細に解析した。地盤変動については、沖積層と洪積層を区別して、それぞれの特徴についても、検討を行った。

これらの検討結果を踏まえて、都内の地盤沈下と地下水位の現況がどのような状況にあるかを検証した。

なお、地域区分については、前回の報告書と同一である（図－8）。



図－8 地域区分

(2) 東京都における最近の地盤沈下と地下水位の状況

東京都における地盤沈下調査の内容は、東京都土木技術支援・人材育成センターによる「地盤沈下報告書」により知ることができる。この報告書には、水準測量による地盤高の調査、観測井による地下水位と地層別変動量の観測による地盤変動量及び地下水位の状況が掲載されている。

ア 区部の地盤沈下と地下水位

最近5年間の地盤変動量(図-9)をみると、2cm以上沈下している地域はない。

ここで、経年的な地盤変動量図をみると(参考資料2 図-1~8を参照)、昭和44年頃の地盤沈下は激しかったが、昭和49年には揚水規制の効果により、地盤沈下は収まってきた。昭和59年から平成6年頃は、一部で2cm以上沈下する地域がみられるとともに、逆に2cm以上隆起する地域もみられた。最新の図では、2cm以上沈下する地域はなくなり、地盤は安定してきている。

地下水位は、昭和40年代後半から上昇傾向にあったが、近年の地下水位の変動状況を見ると、地下水位の上昇は鈍化しており、一部では横ばい又は低下している観測井もある(図-11~14)。

イ 多摩台地部の地盤沈下と地下水位

最近5年間の地盤変動量(図-9)をみると、2cm以上沈下している地域は清瀬市北部の一地域である。

区部と同じく経年的な地盤変動量図をみると(参考資料2 図-1~8を参照)、昭和44年や昭和49年頃の地盤沈下は激しかったが、昭和54年に揚水規制の効果により、ようやく地盤沈下は収まってきた。その後も、2cm以上沈下する地域が一部でみられており、継続的に沈下していたのは清瀬市であった。

最近10年間の地盤変動量(図-10)をみると、2cm以上沈下している地域が清瀬市、東村山市、府中市、調布市などに点在している。

地下水位は、観測開始以来、全般的には上昇の傾向を示しているが、ここ数年の変動状況を見ると、必ずしも上昇傾向ばかりでなく、一部には横ばいあるいは低下傾向を示すものもある。また、区部に比べると季節変動による地下水位の変動量が大きい(図-15、16)。

平成17年～平成21年



図-9 最近5年間の地盤変動量図 (平成17年～平成21年)

平成12年～平成21年

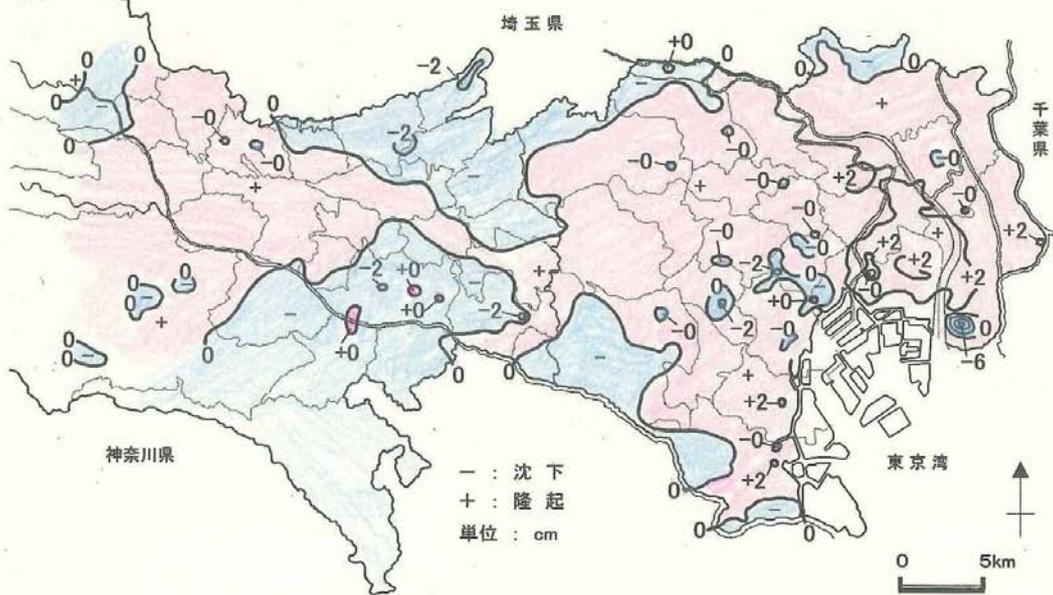


図-10 最近10年間の地盤変動量図 (平成12年～平成21年)

区部低地部

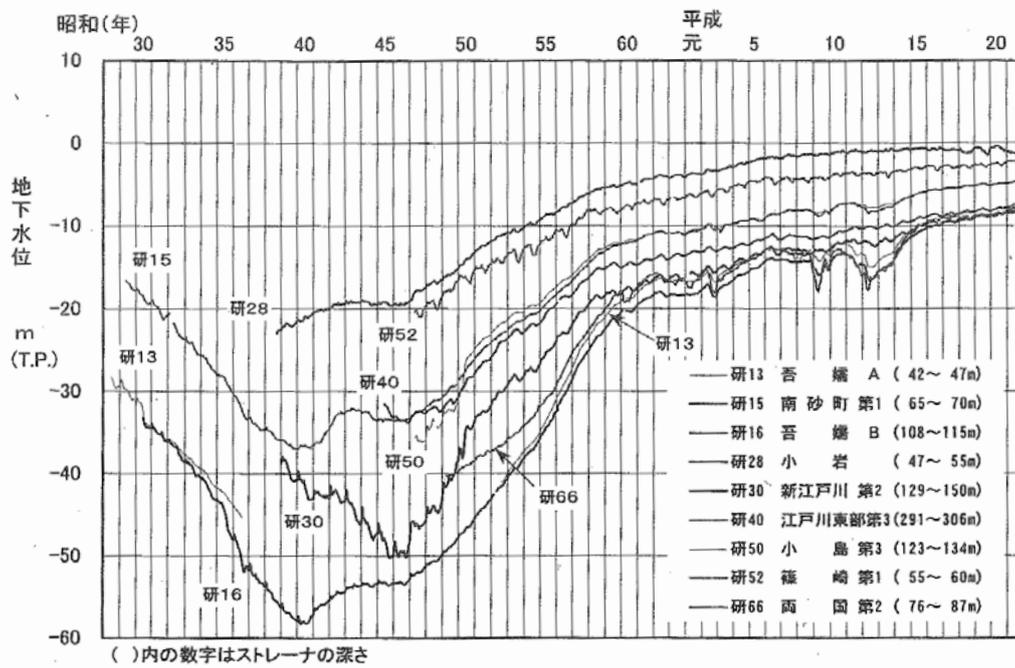


図-1.1 主な観測井の地下水位変動図 (江東区、墨田区、江戸川区)

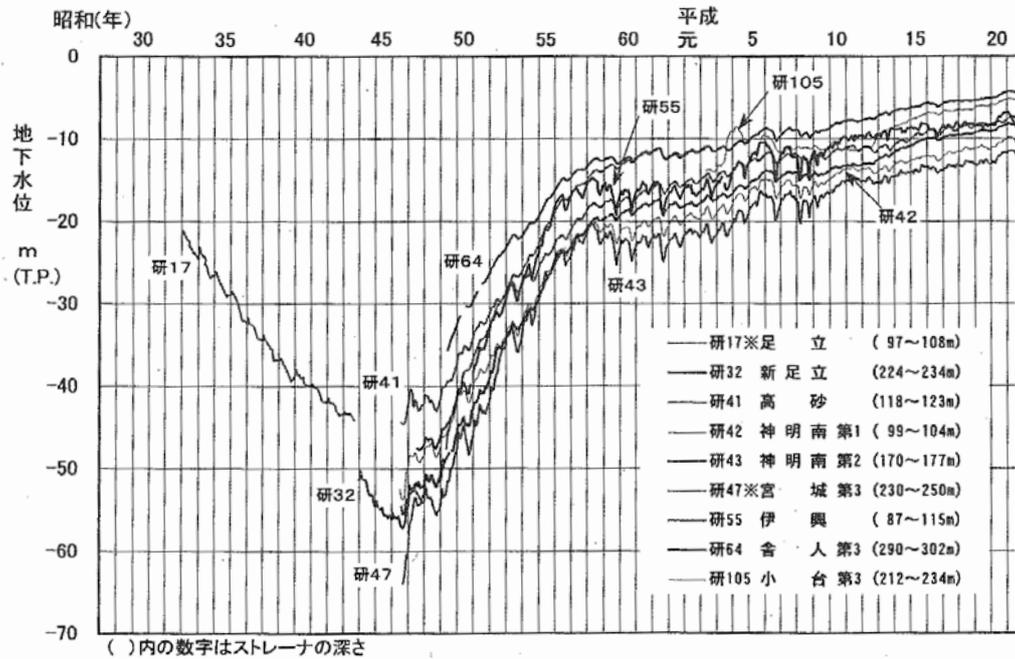


図-1.2 主な観測井の地下水位変動図 (足立区、葛飾区)

区部台地部（ただし戸田橋第2、3は区部低地部の観測井）

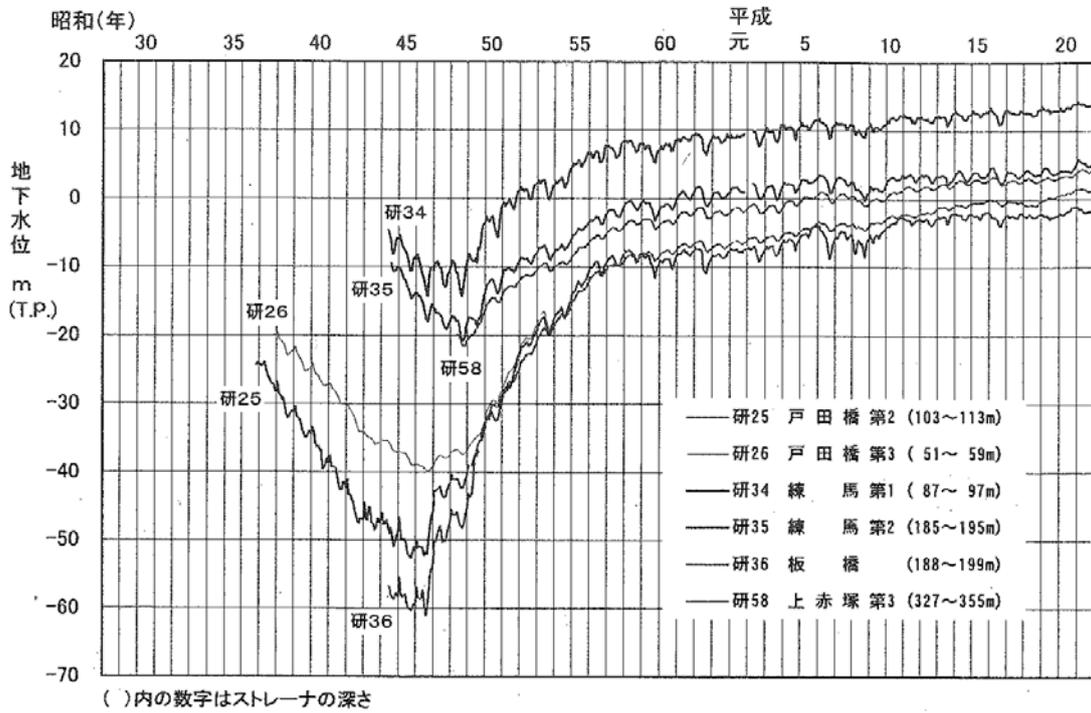


図-13 主な観測井の地下水位変動図（板橋区、練馬区）

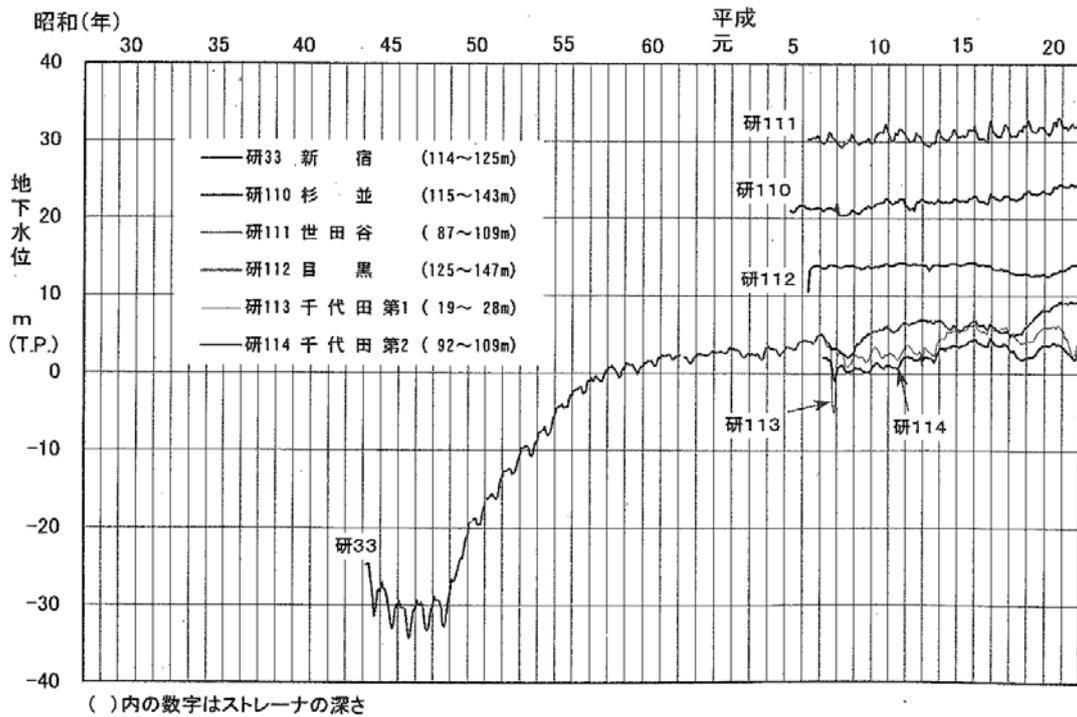


図-14 主な観測井の地下水位変動図（新宿区、杉並区、世田谷区、目黒区、千代田区）

多摩台地部

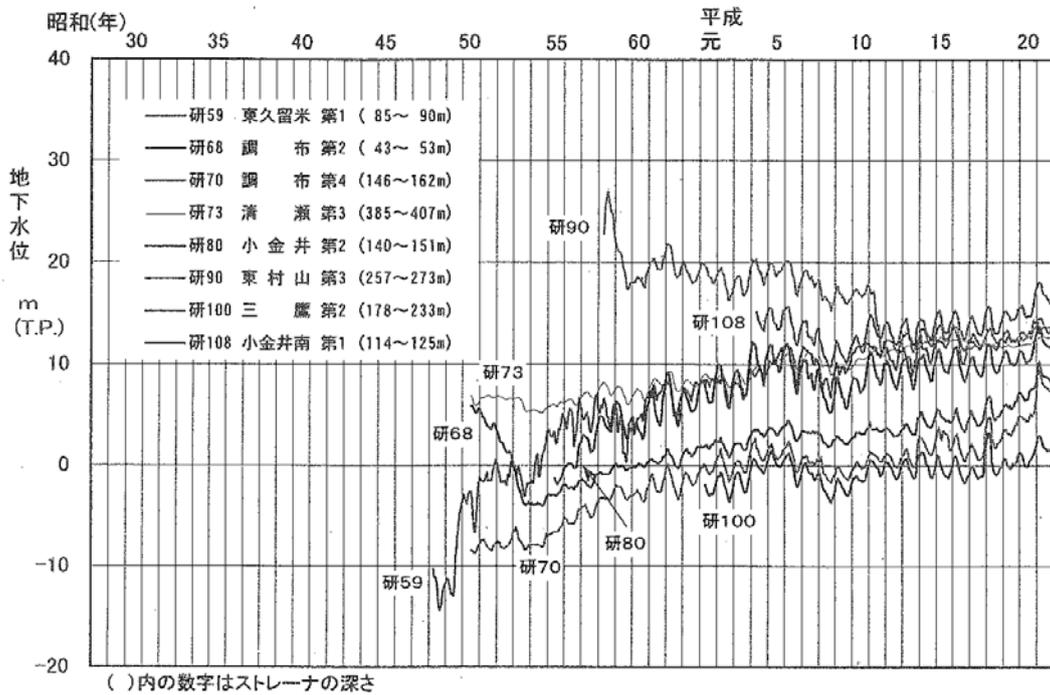


図-15 主な観測井の地下水位変動図 (東久留米市、清瀬市、東村山市、小金井市、調布市、三鷹市)

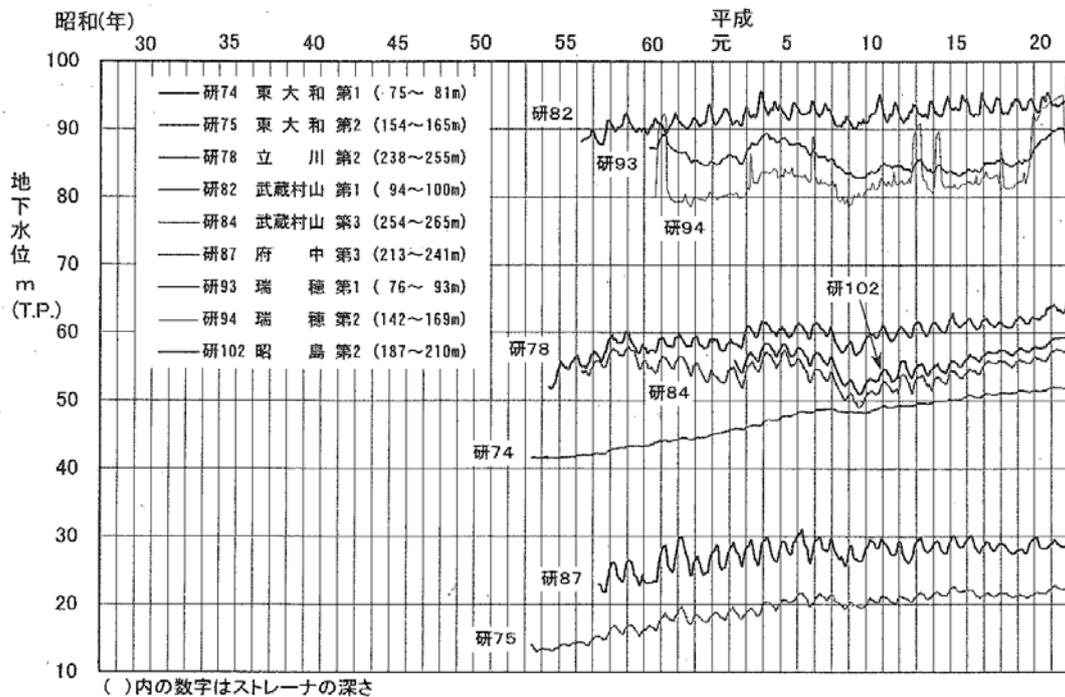


図-16 主な観測井の地下水位変動図 (東大和市、武蔵村山市、瑞穂町、昭島市、立川市、府中市)

(3) 東京都における揚水規制の効果

ここ5年間の地盤沈下の状況は図-9のとおりであるが、これに至るまで、地下水揚水規制が順次行われてきた。近年の東京都における地下水揚水規制の経緯を表-2に示す。この表のとおり、東京都では用水2法や条例等による揚水規制が行われてきた。

主な規制内容としては、用水2法に基づく井戸の転換や、昭和47年の「公害防止条例」による規制地域・構造基準の施行、天然ガスに関する鉱業権の買収による揚水停止などが挙げられる。その効果は、地盤変動状況の変化として現れている（参考資料2 図-1～4）。

昭和44年と昭和49年の図（参考資料2 図-1）を比較すると、区部低地部及び区部台地部における地盤沈下量の減少が明らかである。

その後も、行政指導による地下水利用の合理化や事業者等による自主的な節水協力などがあいまって、公害防止条例が実質的に施行された昭和47年以降、多摩台地部においても、昭和49年と昭和54年の図を比較すると、地盤沈下が沈静化してきているのがわかる。

以上のことから、現時点における地盤沈下の沈静化は、用水2法や条例等による地下水揚水規制、行政指導や事業者の協力等によるものであるといえる。

表-2 主な地下水揚水規制の経緯

年	工業用水法	ビル用水法	条例・その他事項
S31	工業用水法施行		
S36	江東地区(江東、墨田、江戸川(一部)、荒川)を地域指定		
S37		ビル用水法施行	
S38	城北地区(北、板橋、足立、葛飾)を地域指定	都内14区を地域指定	
S45			公害防止条例施行
S46	許可基準強化(順次、井戸を強制転換)		
S47	江戸川区東部を地域指定	許可基準強化(順次、井戸を強制転換)残りの9区(練馬区等)を地域指定	公害防止条例の規制地域・構造基準施行(実質的な規制の開始)鉱業権の買収・揚水停止
S49		許可基準不適合井戸の強制転換が完了	
S50			水使用合理化の施行規則改正(地下水使用合理化を順次要請)
S52	許可基準不適合井戸(江戸川区を除く)の強制転換が完了		
S55	許可基準不適合井戸(江戸川区)の強制転換が完了(全て完了)		
H13			環境確保条例施行

注 ビル用水法は「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」の略称である。

(4) 都内の地下水揚水量の概要

ア 地下水揚水量と区市町村別単位面積あたりの揚水量

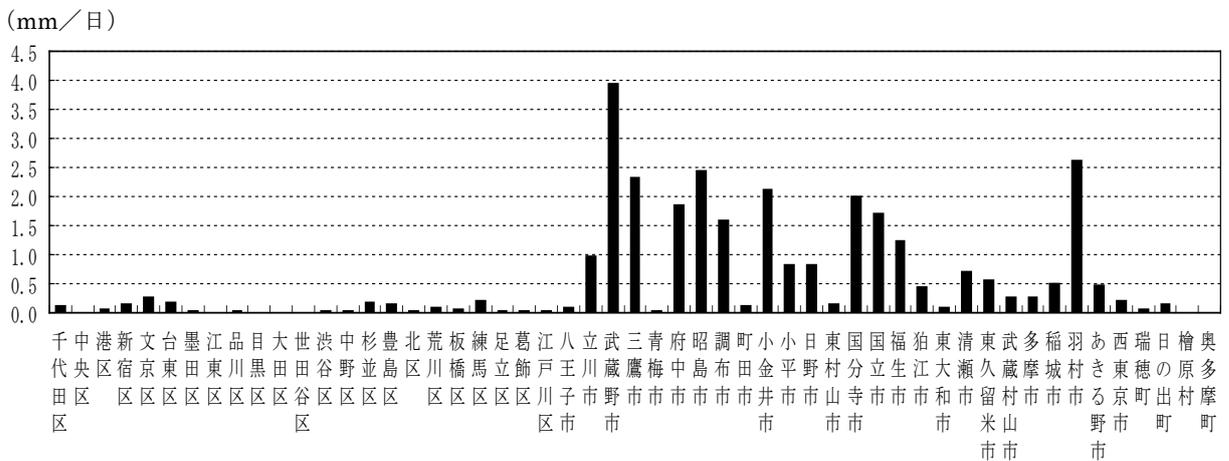
平成20年の地下水揚水量は表-3に示すとおり一日平均51万2千 m^3 である。そのうち、区部の揚水量は一日平均4万1千 m^3 、多摩地域の揚水量は一日平均47万1千 m^3 であった。

表-3 平成20年地下水揚水量 (千 m^3 /日)

		工場			指定作業場			上水道等			計		
		事業所数	井戸本数	揚水量	事業所数	井戸本数	揚水量	事業所数	井戸本数	揚水量	事業所数	井戸本数	揚水量
区部	低地部	133	158	2	623	681	12	273	322	2	1,029	1,161	15
	台地部	62	81	2	395	435	10	189	205	13	646	721	26
	計	195	239	4	1,018	1,116	22	462	527	15	1,675	1,882	41
多摩地域		313	526	59	543	716	48	294	657	364	1,150	1,899	471
計		508	765	63	1,561	1,832	70	756	1,184	379	2,825	3,781	512

注 端数処理のため、各欄の合計値と合計欄の数値とが一致しない場合がある。

地下水揚水量を区市町村ごとの面積で割った単位面積あたりの揚水量を図-17に示すと、多摩地域では、平均年間降水量から洪水流出分と蒸発散量分を差し引いた地下水への自然涵養量(1mm/日前後と想定)を超える市が多く存在する。



注 羽村市では多摩川の伏流水を使用しており、その使用量も上記に含まれている。

図-17 単位面積あたりの揚水量 (平成20年)

イ 地域別揚水量

地域ごとの事業所数、井戸本数及び揚水量の割合を表-4に示す。都内における地下水揚水量の92%を多摩地域が占めている。この傾向は例年同様である。

表－４ 地域別揚水量の割合（平成２０年）（％）

	事業所数	井戸本数	揚水量
区部低地部	36.4	30.7	3.0
区部台地部	22.9	19.1	5.0
多摩地域	40.7	50.2	92.0

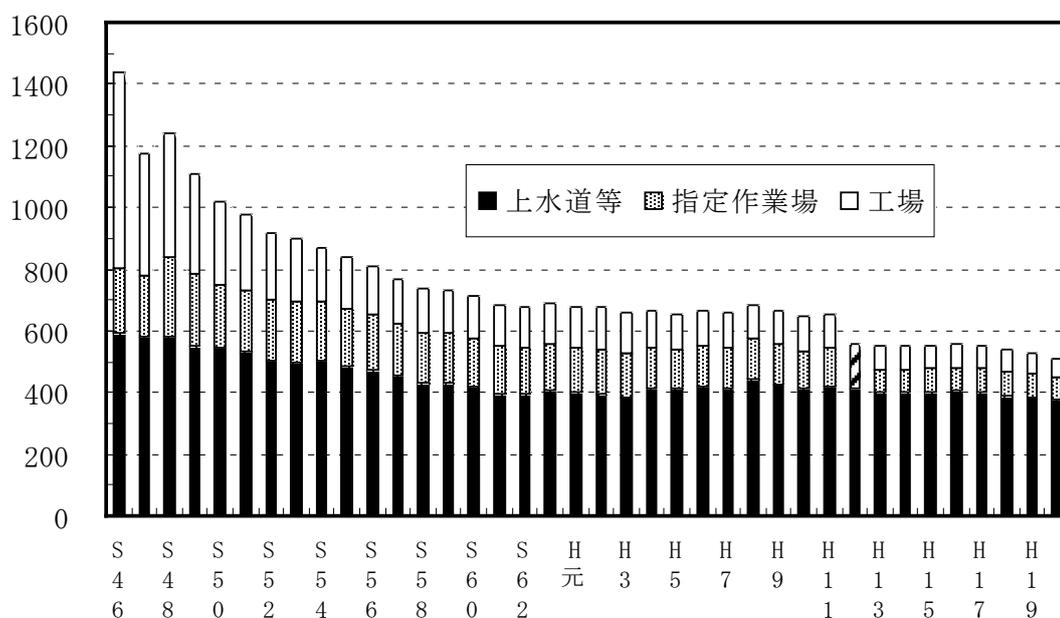
ウ 地下水揚水量の推移（区部・多摩地域別）

都内の一日平均地下水揚水量の推移を表－５及び図－１８に示す。平成２０年の都内の地下水揚水量は、昭和４６年の旧条例施行時の約３６％まで減少している。地下水揚水量は、昭和６０年代に昭和４６年当時の半分以下に減少したが、それ以降大きくは減少していないものの徐々に減少する傾向がみられる。

表－５ 地下水揚水量の推移（千 m^3 ／日）

	昭和４６年	昭和５０年	昭和５５年	昭和６０年	平成２年	平成７年	平成１３年	平成１４年	平成１５年	平成１６年	平成１７年	平成１８年	平成１９年	平成２０年	
事業所数	区部計	1,276	583	404	366	319	280	1,250	1,383	1,558	1,525	1,590	1,630	1,670	1,675
	多摩計	642	725	710	713	662	608	848	875	1,041	996	1,053	1,093	1,159	1,150
	計	1,918	1,308	1,114	1,079	981	888	2,098	2,258	2,599	2,521	2,643	2,723	2,829	2,825
揚水量	区部計	550	206	142	118	116	111	47	45	45	44	43	42	43	41
	多摩計	891	811	695	594	558	547	507	506	509	512	505	495	482	471
	計	1,441	1,017	837	712	674	658	554	551	553	556	549	537	525	512

(千 m^3 ／日)



図－１８ 地下水揚水量の推移

注 平成１２年は、工場及び指定作業場の合計値を斜線で示している。

エ 揚水規模別揚水量

地下水揚水量を規模別に区分すると表－６のとおりである。一日平均10m³未満の事業所が約半数である。揚水量が一日平均5,000m³以上の事業所は多摩地域にのみ存在し、この事業所数は都全域事業所数の1%に満たないが、揚水量は都全域揚水量の約65%を占めている。

表－６ 揚水規模別揚水量（平成20年）（m³/日）

揚水量	区部低地部		区部台地部		多摩地域		計	
	事業所数	揚水量計	事業所数	揚水量計	事業所数	揚水量計	事業所数	揚水量計
10未満	484	1,195	307	705	406	1,072	1,197	2,972
20未満	168	2,472	81	1,189	98	1,422	347	5,084
50未満	176	5,395	104	3,041	157	5,007	437	13,443
100未満	31	2,090	27	1,855	75	5,266	133	9,212
200未満	8	1,132	13	1,714	62	8,956	83	11,802
500未満	7	1,989	10	2,898	85	25,977	102	30,864
1000未満	2	1,140	4	3,023	25	17,265	31	21,429
2000未満			3	4,554	11	14,695	14	19,249
5000未満			2	6,780	19	58,522	21	65,303
5000以上					16	332,525	16	332,525
計	876	15,414	551	25,761	954	470,709	2,381	511,883

注 この表は揚水量の報告があった事業所について集計したものである。

オ 用途別揚水量

用途別の地下水揚水量を表－７に示す。最も多い用途は飲料用であり、全体の約72%を占めている。また、区部では公衆浴場用が多く、特に区部低地部では約54%を占めている。

表－７ 用途別地下水揚水量（平成20年）（m³/日）

用途	区部		多摩地域	計	比率%
	低地部	台地部			
製造工程用	884	1,236	34,096	36,216	7.1
冷却用	313	282	9,799	10,394	2.0
冷暖房用	42	264	4,779	5,086	1.0
水洗便所用	497	1,637	10,729	12,862	2.5
洗車設備用	224	264	727	1,214	0.2
公衆浴場用	8,331	5,210	5,622	19,163	3.7
飲料用	1,071	7,273	359,803	368,147	71.9
環境用水	1,961	7,557	21,213	30,730	6.0
プール等	635	787	3,858	5,279	1.0
洗濯	272	279	2,167	2,719	0.5
排水・排ガス処理	21	0	3,328	3,349	0.7
釣堀等	234	752	5,093	6,080	1.2
地下水浄化	58	1	79	137	0.0
非常災害用	33	36	1,090	1,159	0.2
その他	761	251	8,327	9,339	1.8
計	15,337	25,827	470,709	511,872	100.0

カ 業種別揚水量

地下水揚水量が一日平均1,000 m³以上の業種は表-8のとおりである。
このうち、上水道事業が一日平均1,000 m³以上揚水する事業所数の49%、
揚水量の84%を占めている。

表-8 一日平均1,000 m³以上の業種 (平成20年) (千m³/日)

業種	地域	1000以上2000未満		2000以上5000未満		5000以上		合計	
		事業所数	揚水量	事業所数	揚水量	事業所数	揚水量	事業所数	揚水量
公園・遊園地	区部台地	2	3	1	4			3	7
公園・遊園地	多摩地域	1	2	2	4			3	6
その他の娯楽・スポーツ施設(釣り堀等)	多摩地域					1	8	1	8
その他(砂利採取場を含む)	多摩地域	1	1					1	1
食料品・たばこ製造業	多摩地域	5	7	3	9	1	7	9	23
化学工業	多摩地域			1	3			1	3
ゴム製品製造業	多摩地域			1	2			1	2
電気機械器具製造業	多摩地域	2	2					2	2
輸送用機械器具製造業	多摩地域	1	1	1	2			2	3
上水道事業(都・市町村水道部)	区部台地			1	3			1	3
上水道事業(都・市町村水道部)	多摩地域	1	2	9	30	14	318	24	349
専用水道等(公園・公社・都営住宅・寮等)	区部台地	1	2					1	2
その他	多摩地域			2	8			2	8
合計		14	19	21	65	16	333	51	417

(端数処理のため、合計欄が一致しない箇所がある)

キ 月別揚水量

平成20年における各月の一日平均揚水量を図-19に示す。揚水量は夏期に増加する傾向にある。この傾向は毎年ほぼ同様であり、これは上水道等の揚水量が夏期に増加するためである。

(千m³/日)

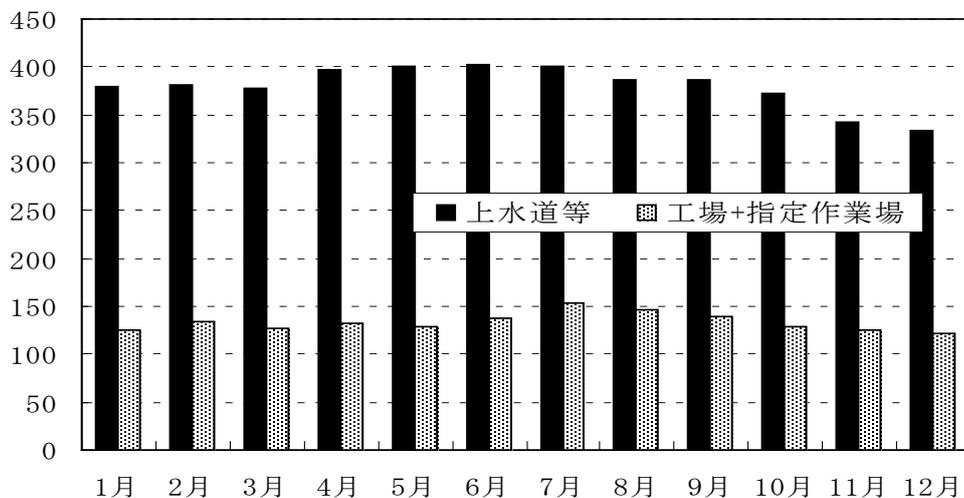
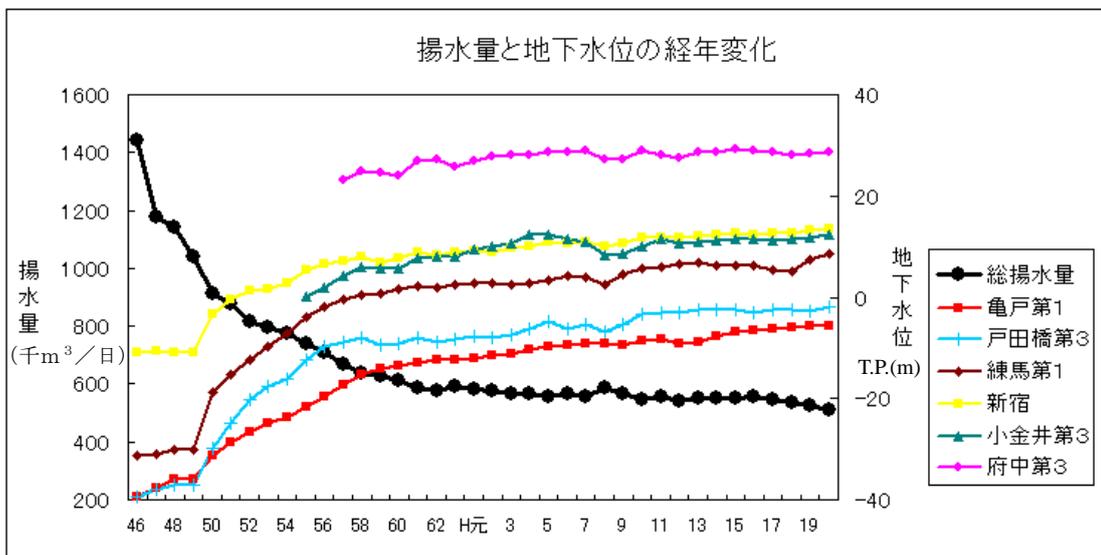


図-19 月別地下水揚水量 (平成20年)

(5) 揚水量と地下水位の経年変化

都内全体の日平均揚水量と、いくつかの観測井の地下水位の経年変化について、図－20に示す。地下水位は、区部低地部（亀戸第1、戸田橋第3）、区部台地部（新宿、練馬第1）及び多摩地域（小金井第3、府中第3）から各2箇所を選定し、公害防止条例に基づき揚水量を把握した昭和46年から平成20年の年平均のデータを記載した。

揚水量は、昭和46年から昭和60年にかけて半分以下と大きく減少しており、それに応じて地下水位の上昇が見られる。一方、年ごとにバラつきはあるが、昭和60年以降の揚水量は微減から横ばいとなっており、地下水位の上昇も微増から横ばいとなっている。



図－20 揚水量と地下水位の経年変化（昭和46～平成20年）

表－9 最近20年間（平成元年～20年）の5年ごとの平均地下水位（参考）

地域区分	観測井戸名称	地下水位 T. P. (m)			
		平成元年～5年	平成6年～10年	平成11年～15年	平成16年～20年
区部低地部	江東区亀戸第1	-11.0	-9.1	-8.2	-6.0
	板橋区戸田橋第3	-6.8	-5.5	-2.7	-2.5
区部台地部	練馬区練馬第1	2.9	4.2	6.3	6.6
	新宿区新宿	9.8	10.8	12.1	12.9
多摩台地部	小金井市小金井第3	11.0	9.9	11.1	11.7
	府中市府中第3	27.9	28.2	28.4	28.6

3 地域ごとの地盤沈下と地下水位の解析

(1) 区部低地部の検証

ア 地下水位と揚水量

(ア) 地下水位と揚水量の関係

最初に、地下水位と揚水量の関係について検討した。江東区は、地盤沈下が激しかった地域の一つであり、最も古くからのデータが蓄積されているため、本解析の対象とした（昭和34年以前の揚水量データはない）。地下水位は江東区亀戸第1観測井の地下水位、揚水量は江東区内の揚水量である。

全体的な関係を図-21に示す。揚水量が多かったのは、昭和34年から昭和47年までであり、これは地下水位が大きく低下した時期と概ね一致している。

また、図-23から、同時期においては、大きな地盤沈下が起こっていたことがわかる。

昭和48年以降は、揚水規制などにより揚水量は急激に減少し、現在もその状態で推移している。地下水位はそれにつれて上昇を続けているが、近年は上昇量が減少する傾向にある。

細かくみると、昭和34年から36年までは、揚水量の増加に合わせて地下水位は下がっている。しかし、昭和37年からは、揚水を継続している他区の影響などさまざまな要因が考えられるが、揚水量が減少しているにもかかわらず、地下水位が下がり続ける傾向がみられた。

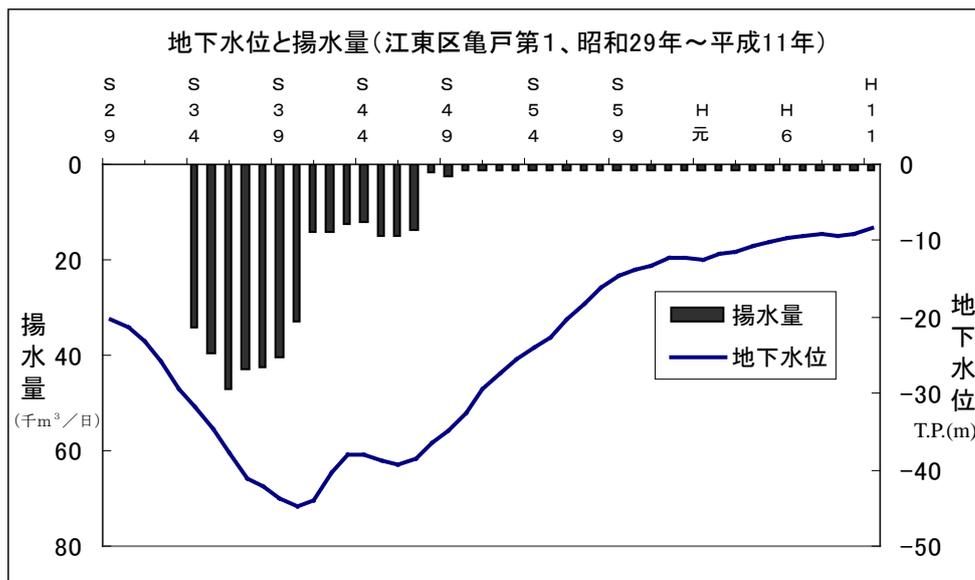


図-21 地下水位と揚水量の経年変化

(イ) 地下水位の回復期における地下水位と揚水量

次に、地下水位が回復期にある期間の解析を試みた。当初、江東区での解析を考えたが、昭和51年以降の1日あたりの揚水量の変動量が 100 m^3 未満であり、相関関係をみるのが難しいため、区部低地部に観測井があり、かつ揚水量の変動が大きい区として、板橋区（戸田橋第3観測井）において検討した。

板橋区における解析結果を図-22に示す。全体的な傾向として、昭和50年ごろからの揚水量の減少とともに、地下水位が上昇する傾向がみられた。

より明確に状況をみるため、地下水位が大きく回復している時期と比較的回復が緩やかな時期に分けて、検討した。その結果、いずれの時期においても、揚水量が減少すると地下水位が上昇する関係がみられた。

これが特異な現象であるかを確認するため、足立区でも同様の解析を行った。（参考資料2 図-9を参照）また、井戸の強制転換の完了前後で揚水量が大きく変わっていたため、期間の区切り方を変更し、その前後での関係も確認した（参考資料2 図-10、11を参照）。これらはすべて同じ傾向を示し、揚水量が減少すると地下水位が上昇するという関係がみられた。

以上のことから、揚水量が増加すると地下水位が低下し、逆に、揚水量が減少すると、地下水位は上昇すると考えられる。

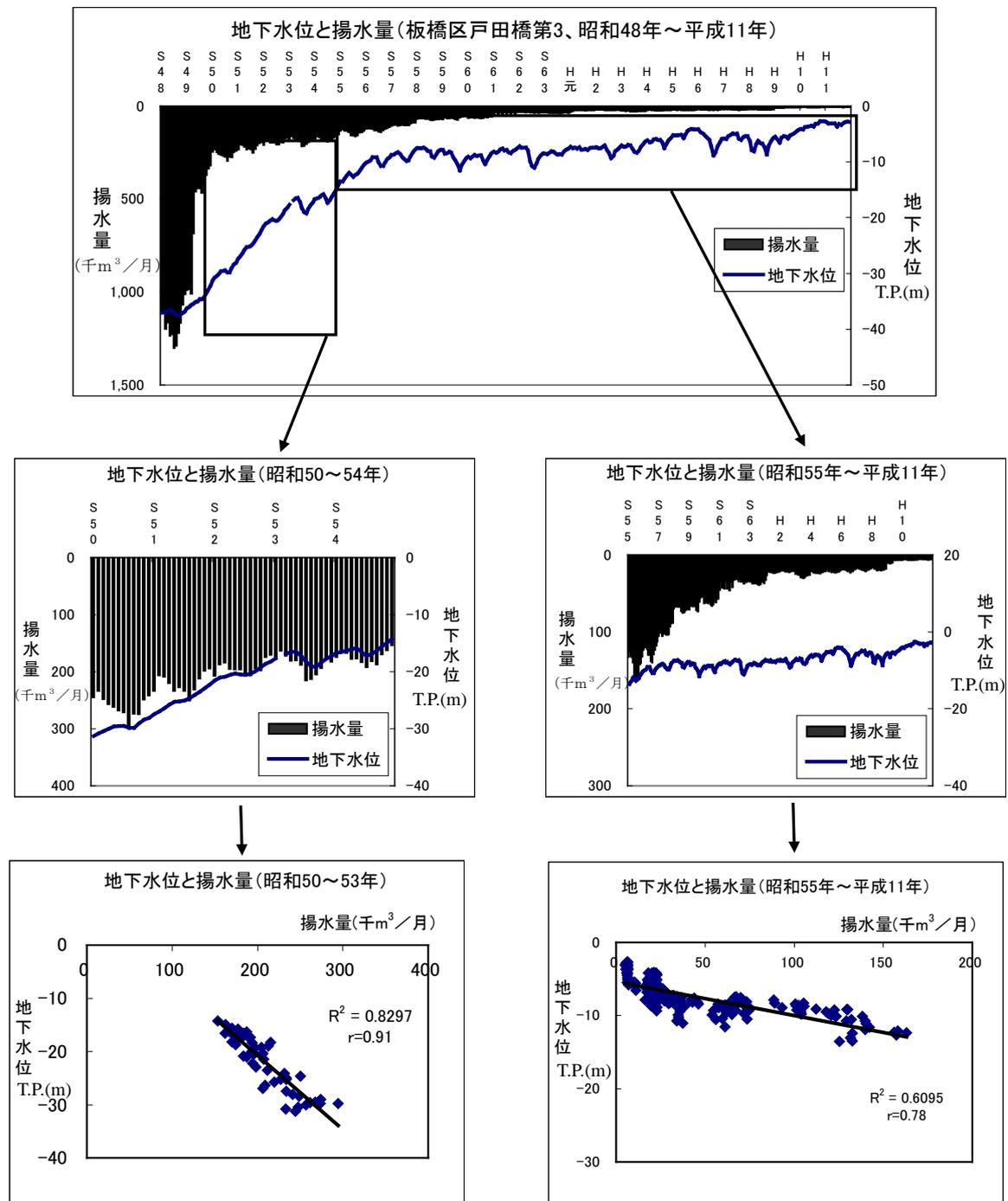


図-22 地下水水位の回復期における地下水水位と揚水量の関係

- 注1 地下水水位は板橋区戸田橋第3観測井の地下水水位であり、揚水量は板橋区の揚水量である。
- 注2 平成13年の条例改正により、揚水量報告の対象が変更されたため、平成11年までのデータで作成している。

イ 地下水位と地盤変動

(ア) 地下水位と地盤沈下量の経年変化

江東区亀戸第1観測井における累計地盤沈下量及び地下水位の状況を図-23に示す。ここでは、揚水規制に係る行政施策も記入してある。昭和30年代～40年代における急激な地盤沈下が、用水2法や条例、鉱業権の買収による揚水規制により、昭和50年頃から沈静化してきたことがわかる。

次に、経年的な状況をみると、昭和20年頃までの地下水位の急速な低下とともに地盤沈下が進行し、第二次世界大戦終期に地下水位が上昇するとともに、地盤沈下は一旦沈静化するが、地盤沈下自体は継続している。

注目すべきはその後の状況である。一般的には^{※11}、地下水位が昭和19年頃のレベルに下がる（昭和40年頃）まで、地盤沈下は起こらないとされてきた。しかし、観測データでは、昭和25年頃に地下水位が下がり始めると、地盤沈下量も再び増加し始めている。さらに、昭和30年頃に地下水位の低下量が大きくなると、それに応じて地盤沈下量は急激に大きくなっている。

その上、地下水位は昭和40年に最低レベルまで低下した以降、上昇に転じた一方で、地盤沈下については、昭和50年頃まで継続している。

また、図-23では、一旦沈下した地盤は元の地盤高に戻ることは不可能であることが示されている。これは地盤沈下という現象が不可逆現象であることを意味している。

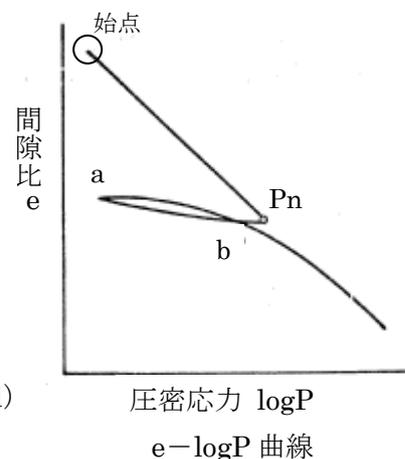
以上のことは、地下水位が昭和25年頃の地下水位まで回復してきた近年においても、揚水が再開され、再び地下水位が低下すれば、地盤沈下が進行し、累計沈下量がさらに大きくなる可能性があることを示している。

※11 一般的な認識（圧密応力^{げき}—間隙比曲線）

地下水位が低下すると土の浮力が減少するため、荷重（圧密応力）がかかって間隙比（土の間隙と土粒子の体積の比）が減少し、地盤沈下が起こる。

地下水位の低下による荷重を P_n とすると、その段階まで間隙比は減少するが（図：始点→ P_n ）、逆に地下水位が回復して荷重が減少した場合、間隙比は多少増加するが、元の値までは回復しない（図： P_n →a）。

そして再び荷重を加えると、土の再圧縮が起こり、荷重 P_n になるまで上に凸の比較的平坦な曲線となるが（図：a→b）、荷重 P_n の点から間隙比の急激な減少が起こる。この曲線を圧密応力—間隙比曲線と呼び、土の圧縮は非可逆過程をたどる。



参考資料：伊藤孝男「土質力学講座」

(<http://www.con-pro.net/readings/soil/chapter04-04.html>)

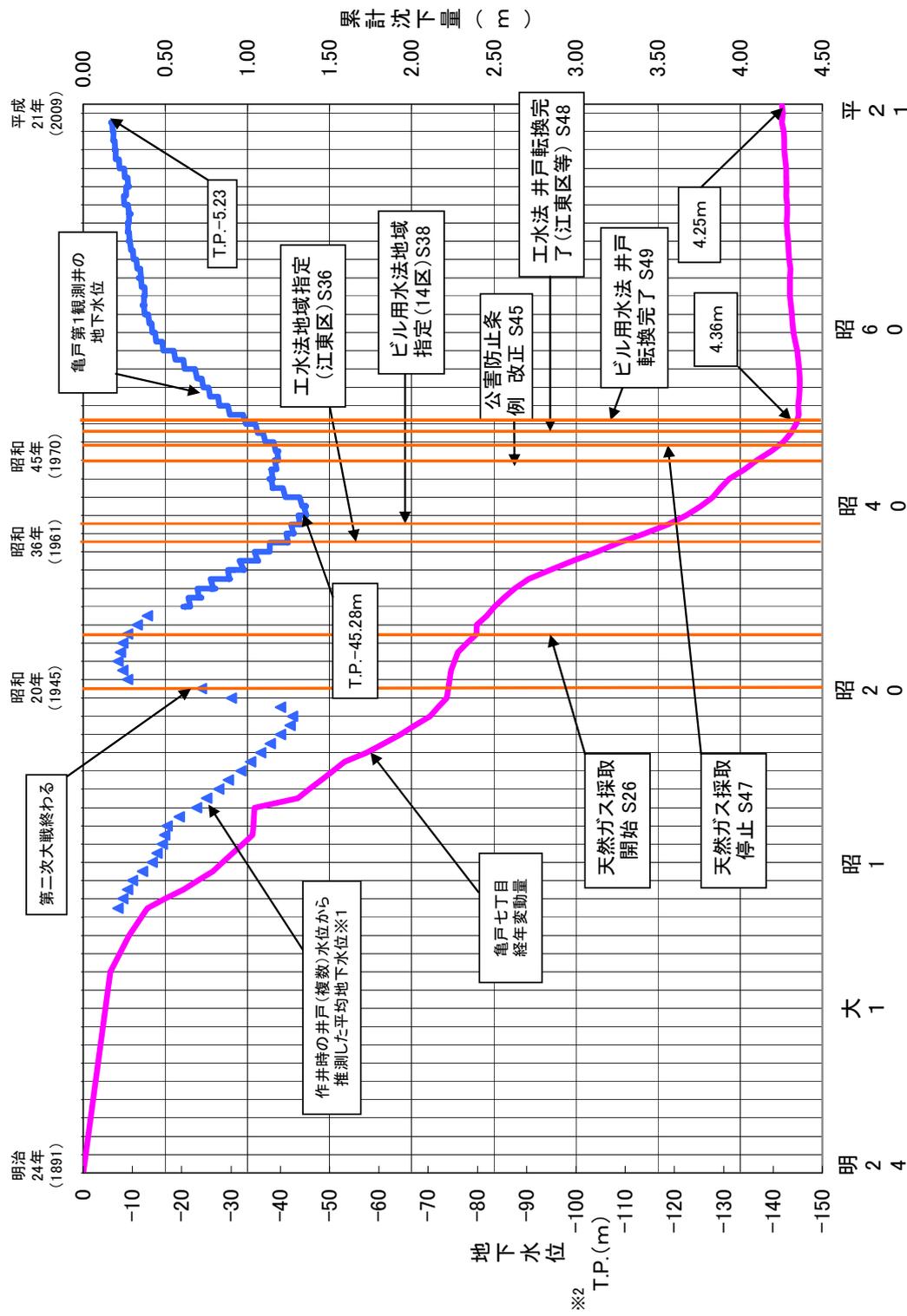


図-23 累計沈下量及び地下水位の経年変化(江東区亀戸第1 地盤高:T.P.-1.9m)

※1 遠藤 毅(2009)南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題から ※2「T.P.」は、東京湾平均海面の略称

(イ) 地下水位と層別の地盤変動量

江東区亀戸第1観測井における地盤変動の概念図を図-24に示す。観測井における地表面から鉄管底までの地層と鉄管底以深の地層が、沖積層と洪積層に概ね対応していることから、地表面から鉄管底までの地層の変動を沖積層の変動に、鉄管底以深の地層の変動を洪積層の変動とみなすことができる。沖積層と洪積層に分けて地層別の解析を行った結果、地層の収縮や膨張について異なる傾向がみられた。

①沖積層

地下水位と地盤沈下の変動が大きかった昭和29～48年は、地下水位の増減に関係なく、沖積層は収縮している。この時期における沖積層の収縮は105cmに達している(図-24)。

昭和48年以降の地下水位が回復している時期も、沖積層の収縮は依然として続いている。これは、二次圧密^{※12}により、地盤がいったん大きく沈下すると、地下水位が回復しても、沖積層は収縮を続けることを示している。

また、変動が小さくなってきた平成元年～20年は、地下水位は上昇傾向であるが、沖積層は依然として収縮を続けている(図-25)。

なお、他の地域を含めて累積収縮量をグラフにすると、どの地域においても沖積層は収縮を続けていることがわかる(図-28)。

※12 「二次圧密」 初期の大きな沈下が完了した後も、地層の収縮が全くやむわけではなく、非常にゆっくりと長期に続くことが多い。これは二次圧密と呼ばれており、土粒子相互の結合が徐々に破損するため、土粒子構造の塑性的な再調整が行われ、この塑性的再調整がまた、土粒子間に次の進行性破壊を繰り返し引き起こすと考えられる。

参考資料：伊藤孝男「土質力学講座」

(<http://www.con-pro.net/readings/soil/chapter04-03.html>)

②洪積層

昭和29～48年は、若干の例外はあるが、地下水位の増減に関係なく洪積層は収縮している。この期間の収縮は97cmに達している(図-24)。これに対し、平成元年～20年は地下水位の上昇につれて洪積層は膨張している。

ただし、昭和48～平成元年の15年間の膨張量(14cm)に比べると、最近20年間の膨張量は7cmであり、1年あたりの膨張量は約3分の1に減少している。

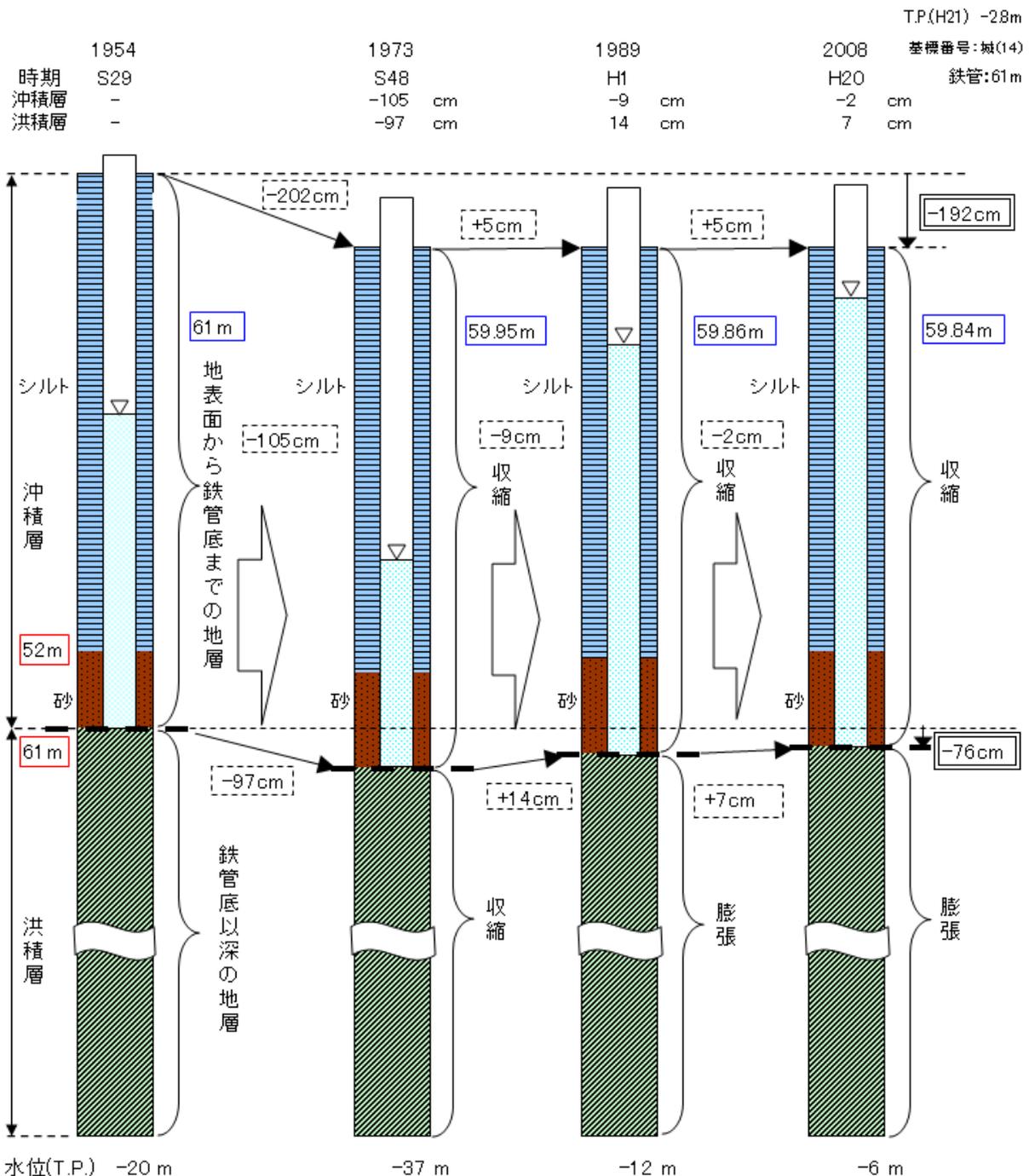
③地層全体の地盤変動

江東区亀戸第1観測井における層別の地盤変動の傾向が特異的でないことを確認するため、江東区南砂第1、板橋区戸田橋第4及び足立区舎人第1についても観測井の概念図を作成した。これらの図をみても、亀戸第1観測井と同様の傾向がみられる（参考資料2 図-12～14を参照）。

現時点における地層全体の地盤変動をみると、沖積層の収縮と洪積層の膨張が合わさり、地表面での地盤沈下量は、概ねプラスマイナスゼロとなっている。しかし、沖積層は依然として収縮しており、洪積層の膨張量も小さくなる傾向にあることから、現状以上に地盤沈下を進行させないためには、揚水規制を継続し、地下水位を現状の状態に維持することが必要である（図-24）。

一方、揚水を再開した場合、洪積層も再び収縮を始め、沖積層の収縮と合わさって現状以上の地盤沈下が進行する可能性がある。

なお、最近の区部低地部においては、沖積層と洪積層が異なる動きをしているため、必要かつ十分なデータの収集・観測を引き続き行う必要がある。



※1 沖積層の収縮は、主にシルト層の収縮で表現している。

※2 沖積層の下部境界と鉄管底の位置が概ね一致しているため、概念図ではともに61mとして作成している。

※3 地質の概況は以下のとおりである。

沖積層	0 m	~	52 m	シルト
	52 m	~	61 m	砂
洪積層	61 m以深		シルト、砂、砂礫の互層	

参考資料

- 1 東京都地質図集1(1963年)
 - 2 地盤沈下調査報告書(1955~2009年)
- (東京都土木技術支援・人材育成センター作成)

図-24 観測井における地層変動の概念図 (江東区亀戸第1)

沖積層の解析結果

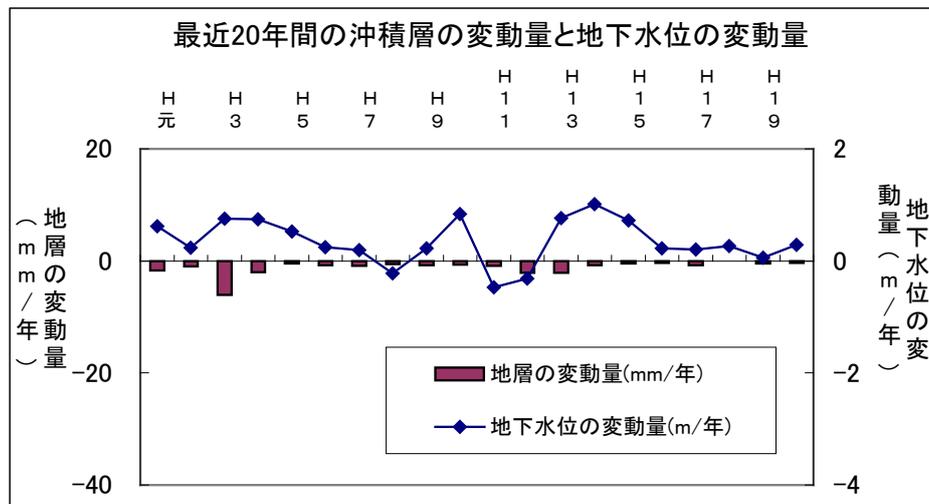
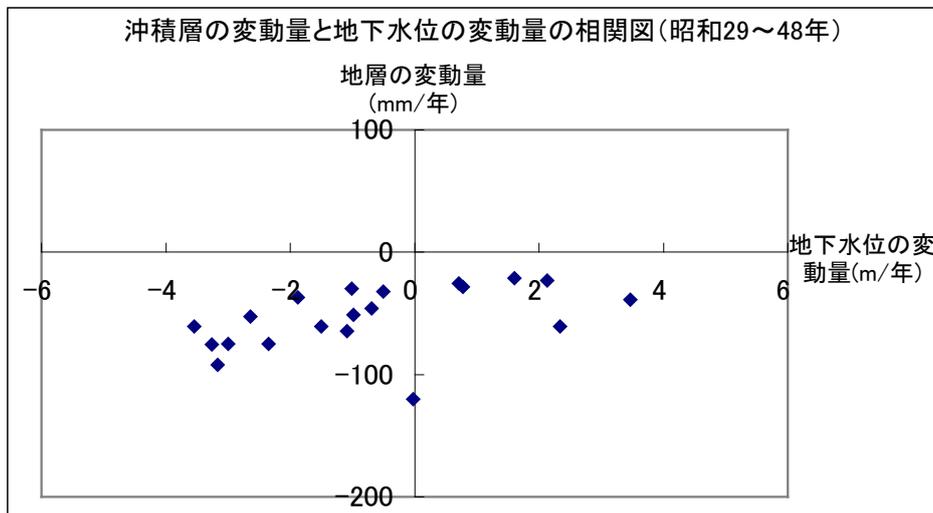
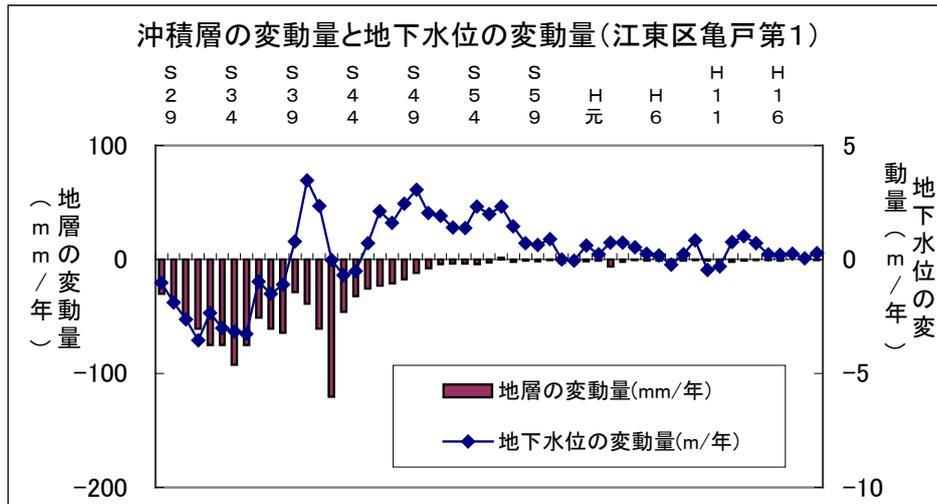


図-25 沖積層の変動量と地下水位の変動量(江東区亀戸第1)

洪積層の解析結果

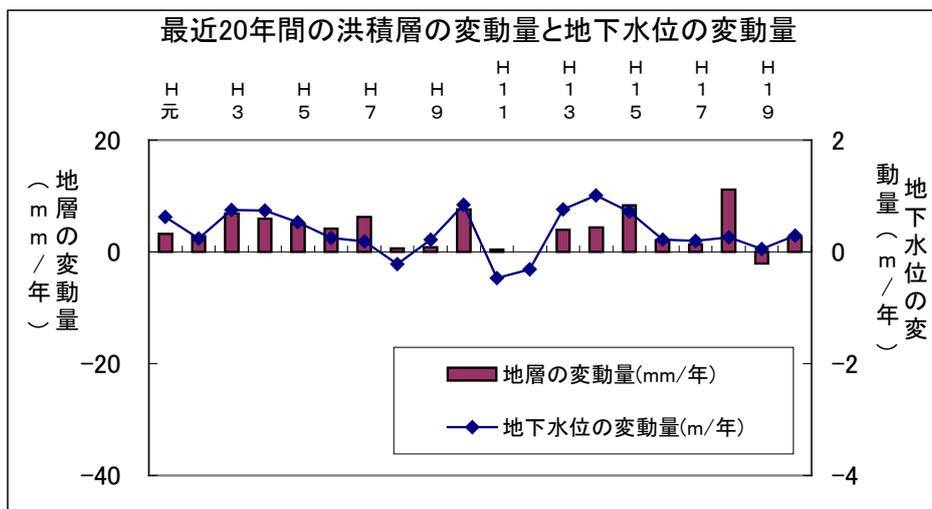
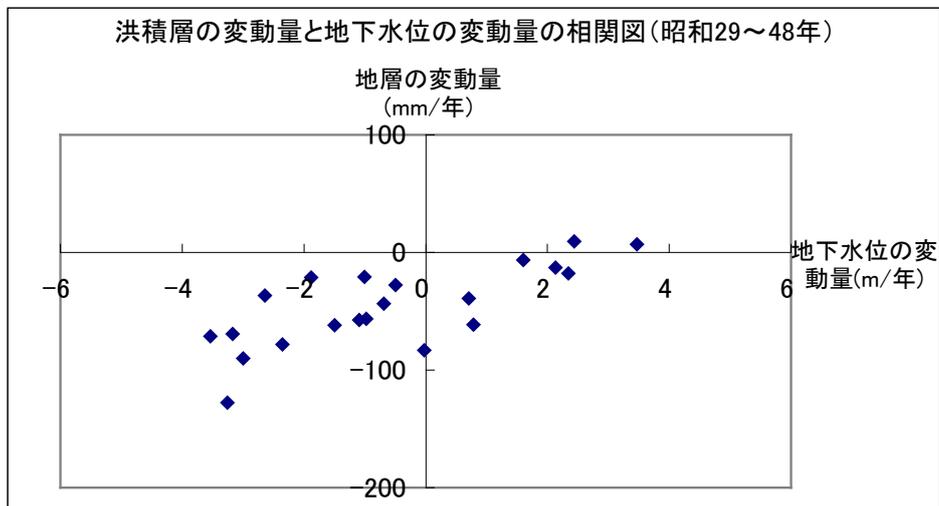
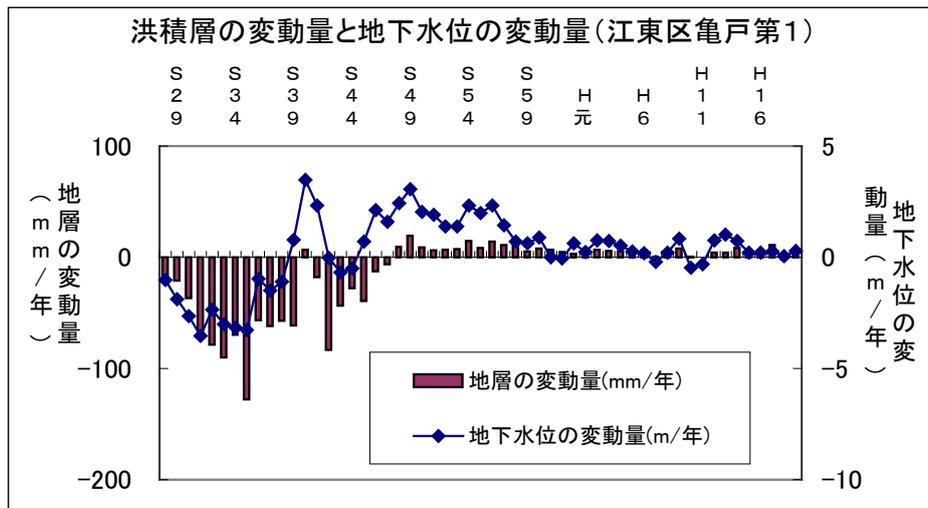


図-26 洪積層の変動量と地下水位の変動量(江東区亀戸第1)

地層全体の解析結果

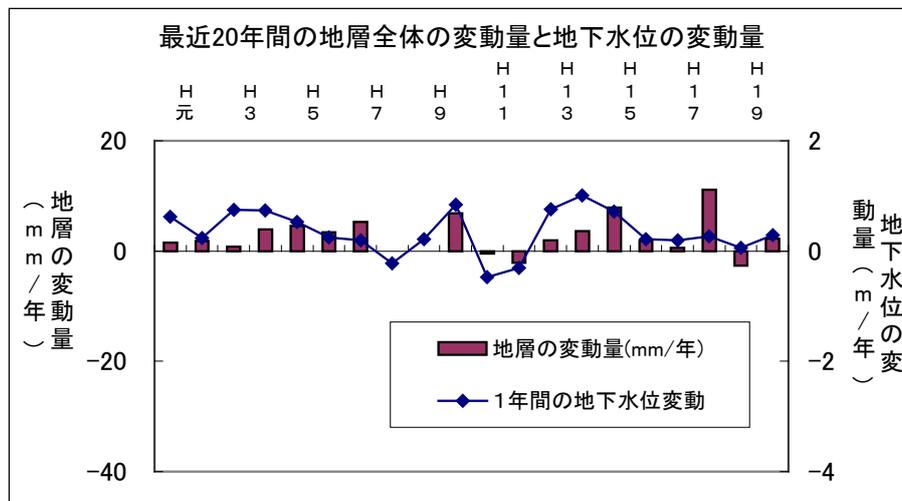
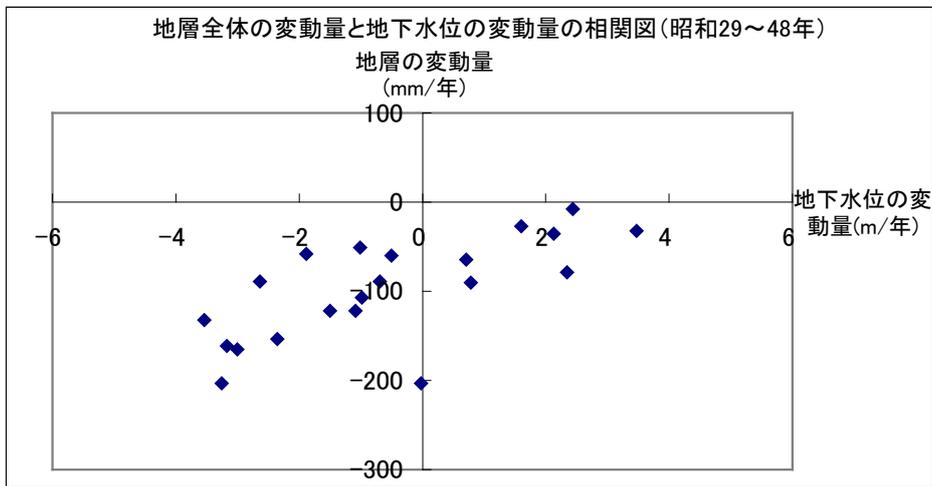
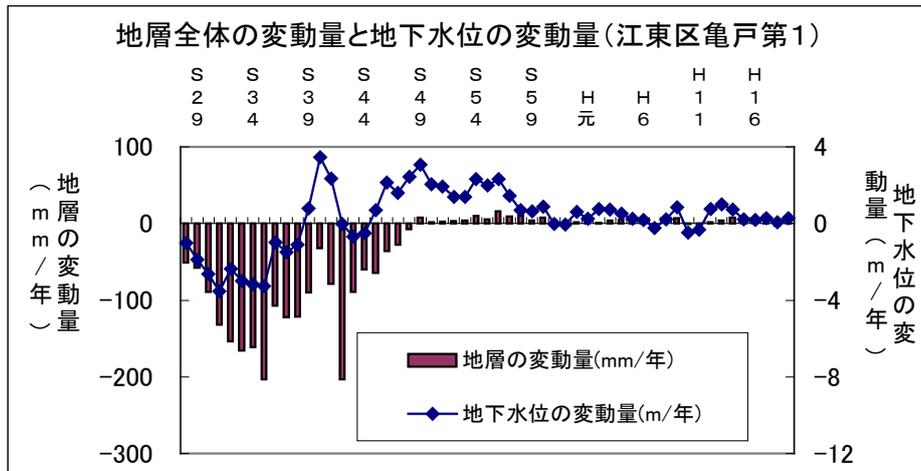


図-27 地層全体の変動量と地下水位の変動量(江東区亀戸第1)

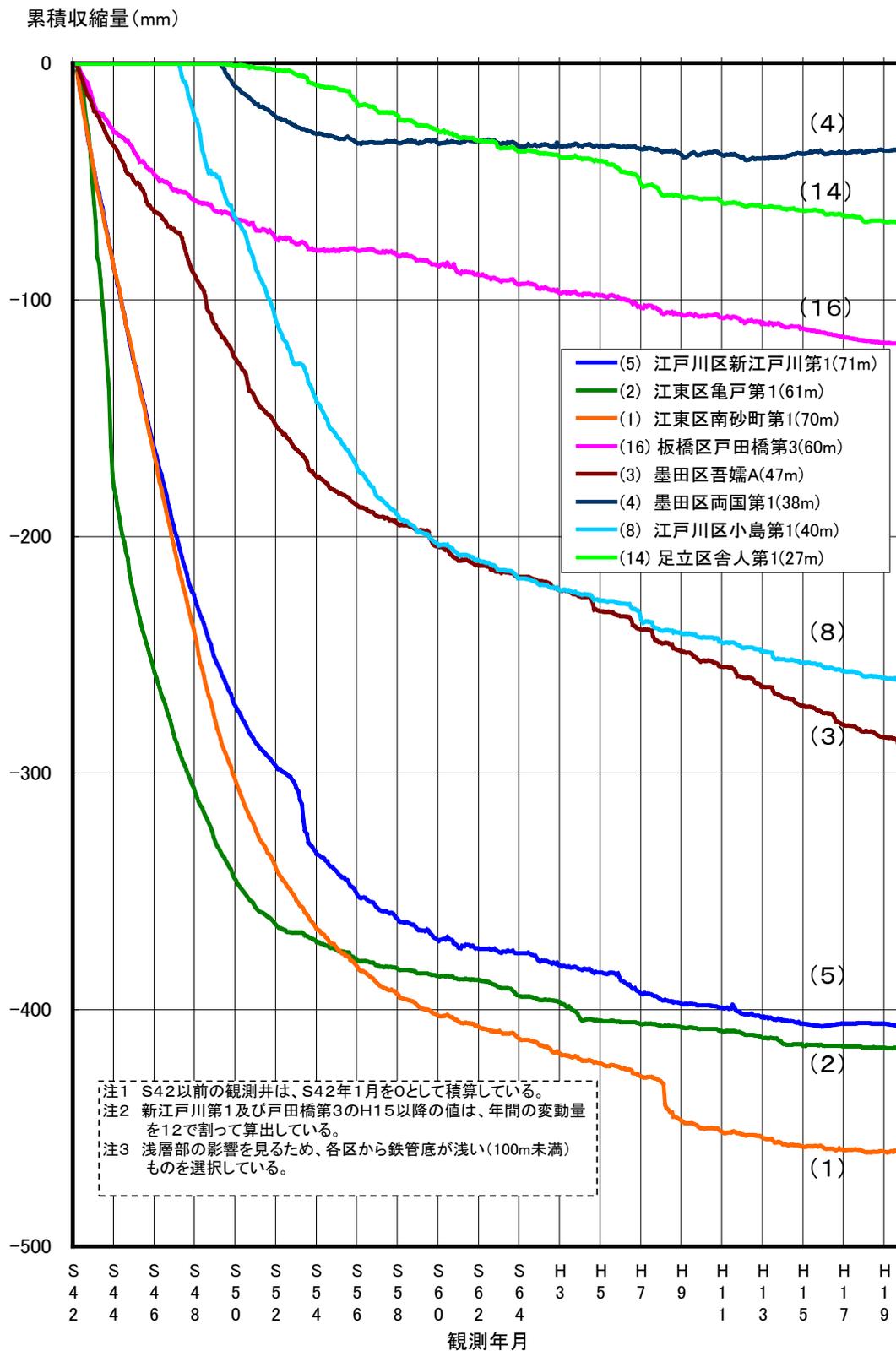


図-28 観測井における浅層部（ほぼ沖積層に相当）の累積収縮量

注1 各グラフの上下にあるカッコの番号は、図-4の観測井配置図の番号である。

注2 各観測井名称の前の番号は上記配置図の番号、後ろは鉄管底の位置を示す。

ウ 区部低地部の検証結果

ここまでの検討結果をまとめると、以下のとおりである。

- ・ 揚水量が増加すると、地下水位は低下する。
- ・ 地下水位が低下すると、地盤は沈下する。(地下水位が上昇しても地盤沈下が継続する場合がある。)
- ・ 沖積層は、揚水規制後においても、二次圧密の影響により、引き続き収縮している。
- ・ 洪積層は、揚水規制後は膨張する傾向にあるが、最近20年間における1年あたりの膨張量は平成元年以前におけるその約1/3に減少している。
- ・ 江東区亀戸第1観測井では、地層全体で見ると、昭和29～48年の収縮量(202cm)に比べると、昭和48～平成20年の膨張量(10cm)は小さく、一旦沈下した地盤は元には回復し得ない。
- ・ 現状以上の揚水を再開した場合は、地下水位が再び低下し、地盤沈下が進行する可能性がある。

(2) 区部台地部の検証

区部低地部と同様の解析を、区部台地部でも行った。具体的には、地下水位と揚水量、地下水位と地盤沈下量のそれぞれについて解析し、区部低地部と同様な点や異なる点について検証した。区部台地部はほとんどが洪積層であるため、洪積層の中の浅い部分と深い部分とで地盤変動の動きが異なるかどうかとも検証した。なお、解析に当たっては、データの蓄積が最も多い練馬区の観測井を対象とした。

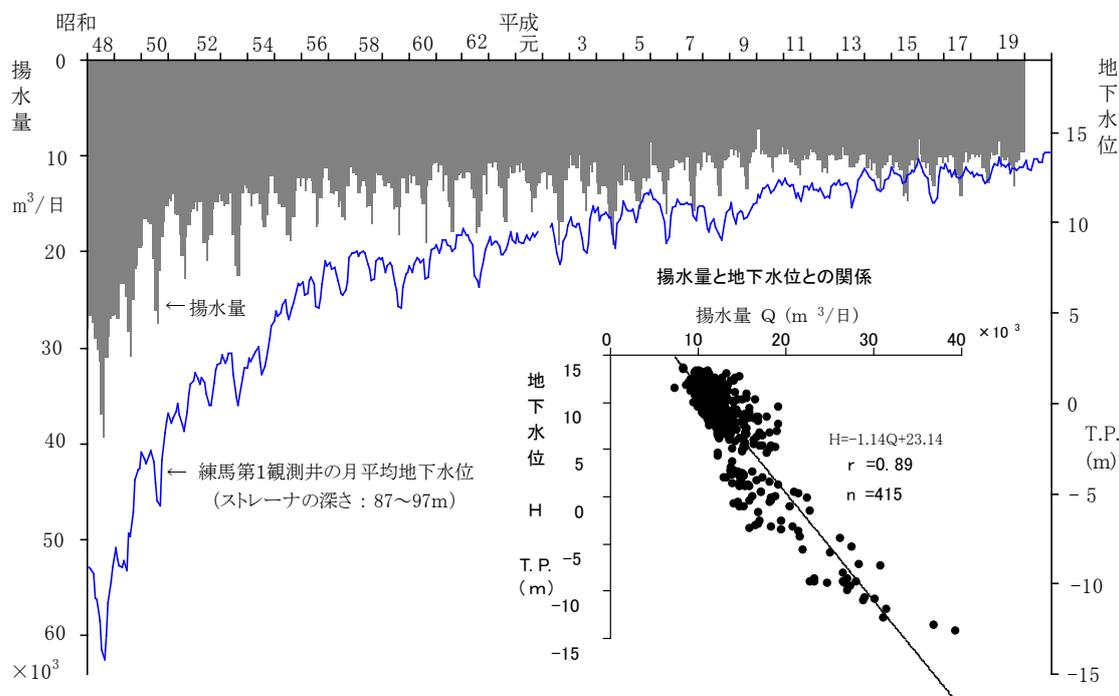
ア 地下水位と揚水量

地下水位と揚水量の関係については、図-29のとおりである。このグラフは、地盤沈下が沈静化し、地下水位が回復してきた時期を示している。全体的な傾向として、揚水量は夏期に多く、その時には地下水位が低下しているが、揚水量は冬期に少なく、その時には地下水位が上昇している。

また、地下水位と揚水量の相関図から近似直線は右下がりとなっており、揚水量が増加すると地下水位は下がるという関係がある。相関係数^{※13}は0.89で両者の相関が非常に高いことを示している。

※13 相関係数 通常（直線近似）の場合、2種類のデータを散布図とした時に、その点の一つの直線に近い時に、相関があるという。相関係数は「r」で表すことが多く、 $r = 1$ に近いほど相関があるとされ、通常、 r が0.7を超えると強い相関があるとされる。

参考資料 新潟工科大学 竹野茂治「<http://takeno.iee.niit.ac.jp/~shige/math/lecture/graduate/core11/node2.html>」
 関西学院大学HP「<http://www.kwansei.ac.jp/hs/z90010/sugakuc/toukei/rp7/rp7.htm>」



出典：東京都土木技術・人材育成センター「平成21年地盤沈下調査報告書」（平成22年7月）

図-29 地下水位と揚水量の関係（練馬区）

イ 地下水位と地盤変動

地下水位と層別の地盤変動量の関係を、図－30～33に示す。対象とした練馬区練馬第1の観測井の鉄管底は、T.P.基準で100mの位置に相当する。区部台地部の洪積層の状況を詳しく調べるため、より多く揚水されていると思われるT.P.100m以深の「深い層」とT.P.100mより上の「浅い層」を分けて解析した。

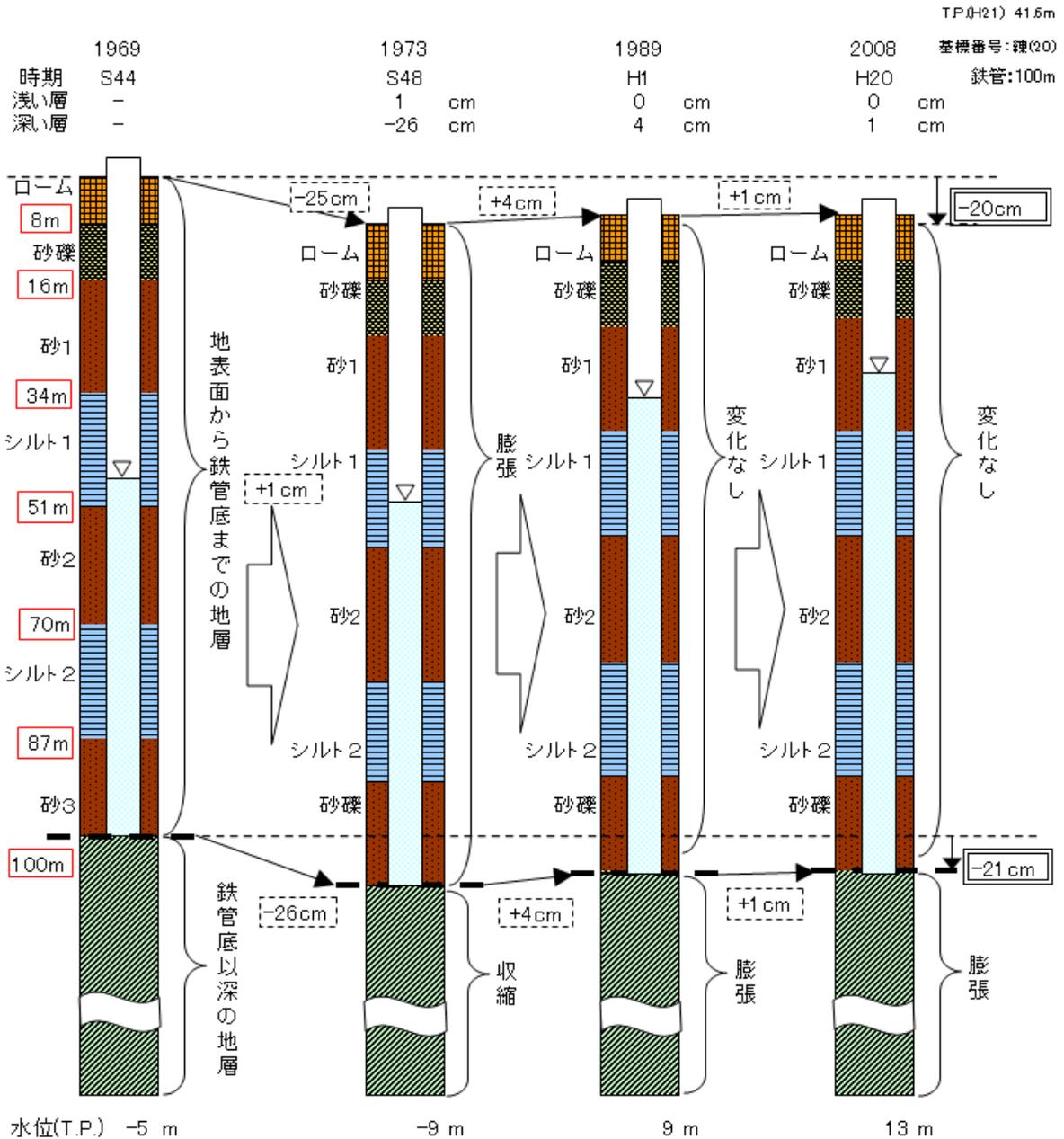
浅い層の地下水位と地盤変動量については、明確な相関はみられなかった。

深い層の地下水位と地盤変動量については、地下水位が低下すると、地層が収縮するという相関がみられた。

全体的な傾向として、地盤沈下は沈静化してきている一方、平成6年の渇水年のように降水量が少なく、地下水位が0.5m下がった年には、3.4mmの地盤沈下の進行がみられた。また、深い層の方が浅い層に比べ地盤変動量が大きく、地層全体の地盤変動量に深い層の地盤変動量が大きな影響を与えている。

ウ 区部台地部の検証結果

- ・ 地下水位は揚水量が増加する夏期に低下し、冬期には上昇する季節変動を示す。
- ・ 浅い層に比べ、揚水している深い層の方が地盤の変動量が大きい。
- ・ 地下水位と深い層の地盤の変動量は相関しており、地下水位が上昇すると地層が膨張する一方、地下水位が低下すると地層が収縮する傾向がみられる。
- ・ 地下水位の低下と地盤沈下は、近年沈静化の傾向にあるが、平成6年の渇水年などでは、地下水位が低下し、地盤沈下が進行する傾向がみられる。



※1 鉄管底の位置が100mであるため、その上部と下部の変動を概念図として作成している。

※2 地質の概況は以下のとおりである。

洪積層	0 m	~	8 m	ローム
	8 m	~	16 m	砂礫
	16 m	~	42 m	砂1
	42 m	~	51 m	シルト1
	51 m	~	70 m	砂2
	70 m	~	87 m	シルト2
	87 m	~	100 m	砂3
	100 m以深	シルト、砂、砂礫の互層		

参考資料
練馬観測所設置に伴う地質調査(昭和44年2月)
(東京都土木技術支援・人材育成センター)

図-30 観測井における地層変動の概念図(練馬区練馬第1)

浅い層の解析結果

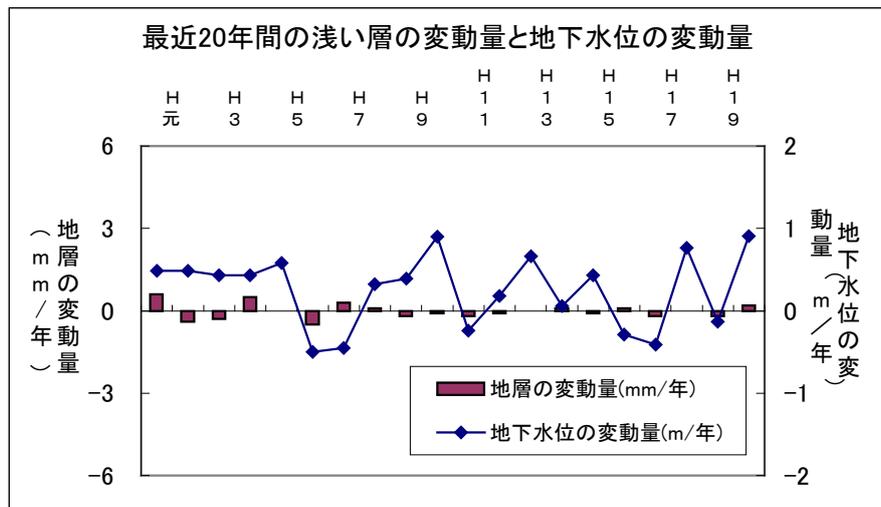
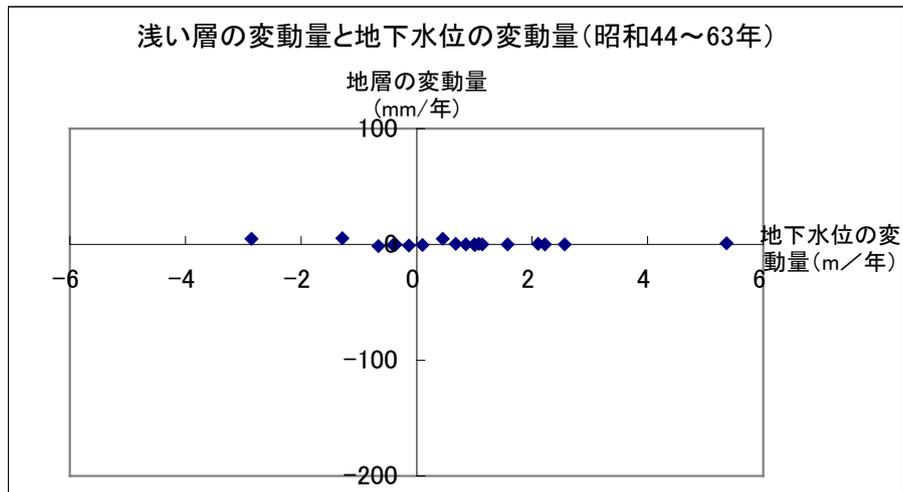
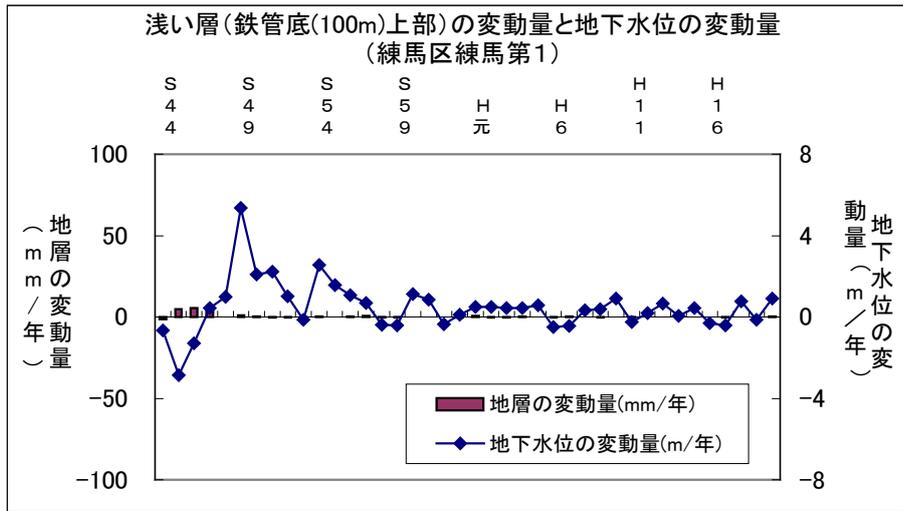


図-3 1 浅い層 (T. P100m以浅) の変動量と地下水位の変動量との関係

深い層の解析結果

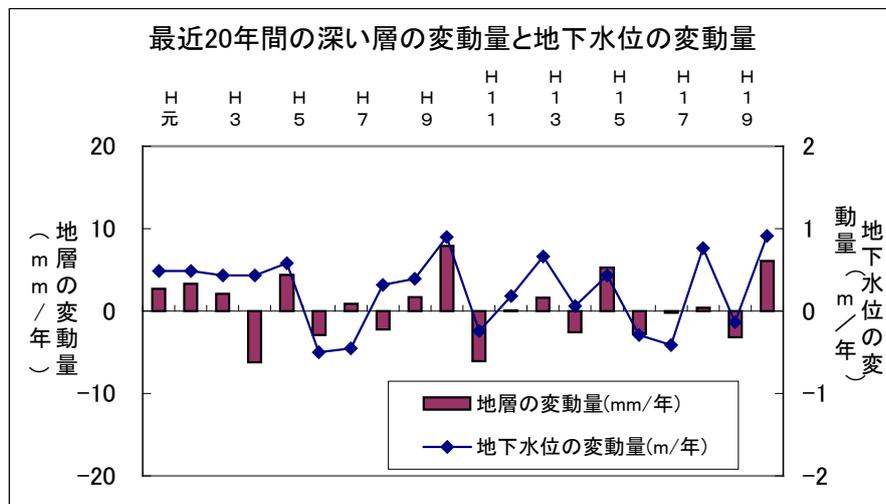
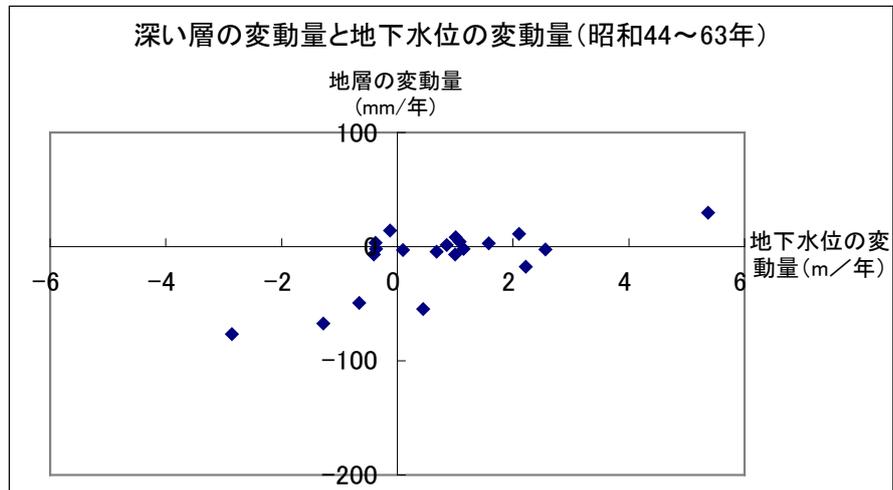
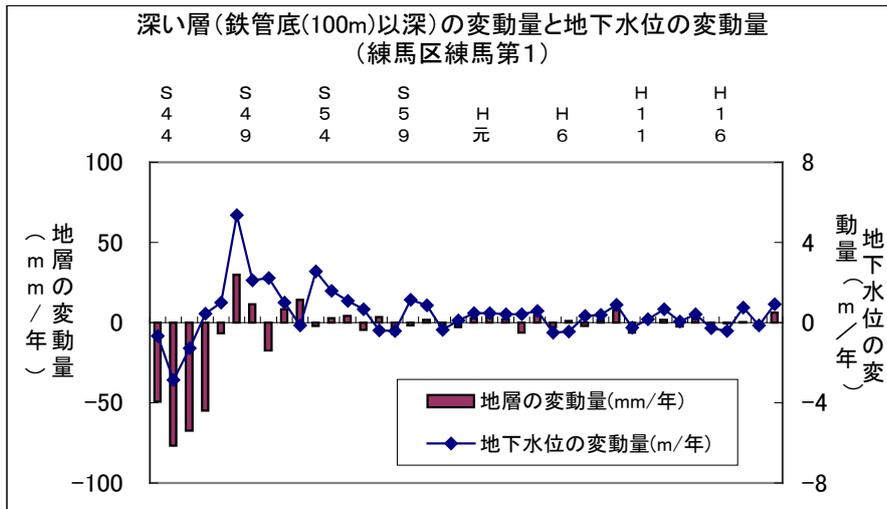


図-32 深い層 (T. P100m以深) の変動量と地下水位の変動量との関係

地層全体の解析結果

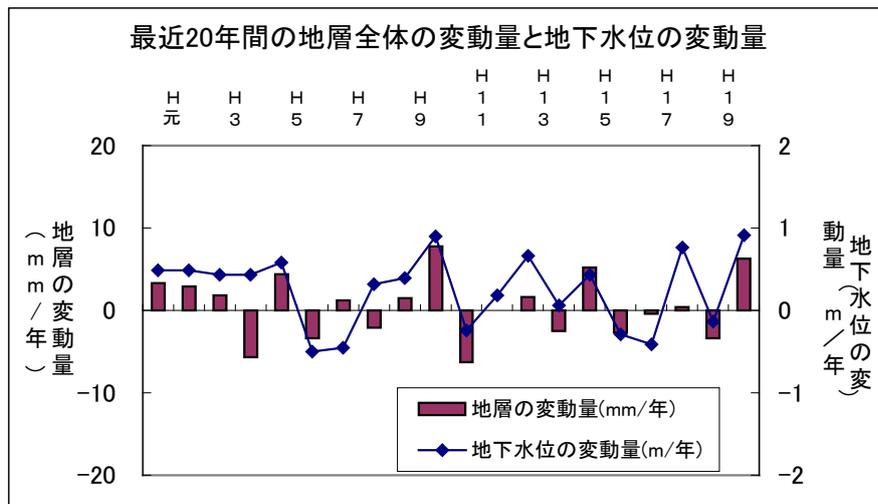
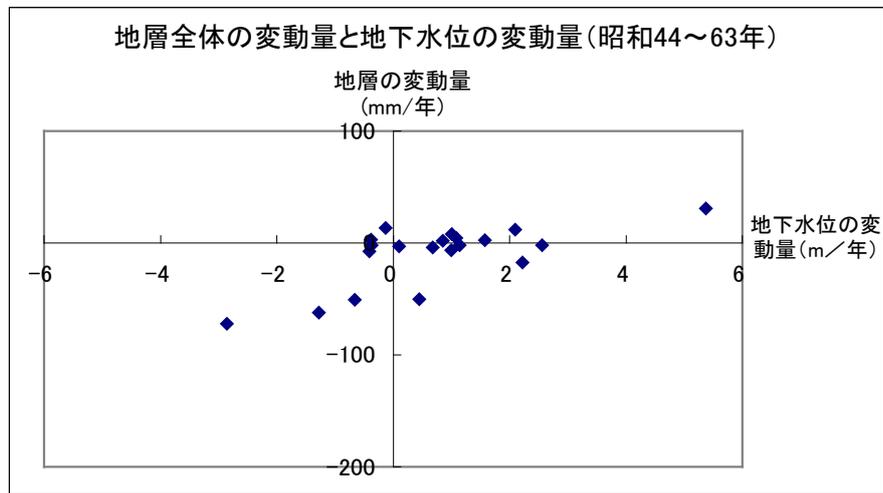
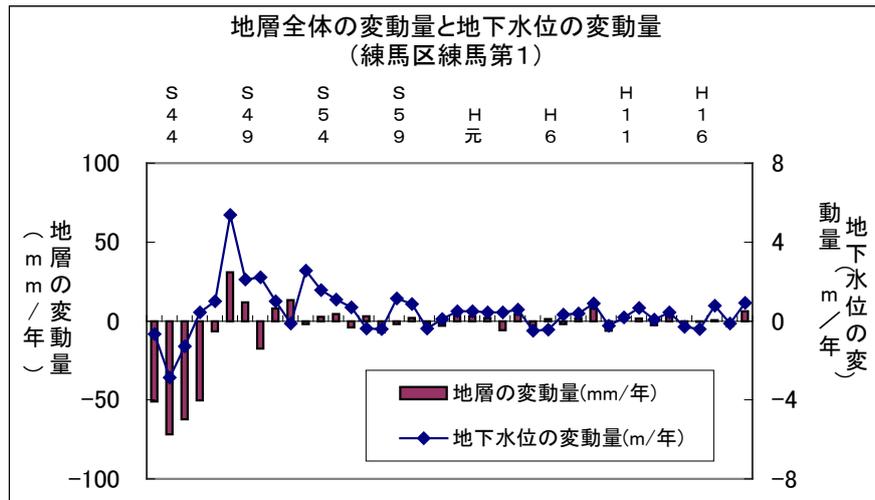


図-33 地層全体の變動量と地下水位の變動量との関係

(3) 多摩台地部の検証

ア 地下水位と揚水量

(ア) 揚水量の経年変化

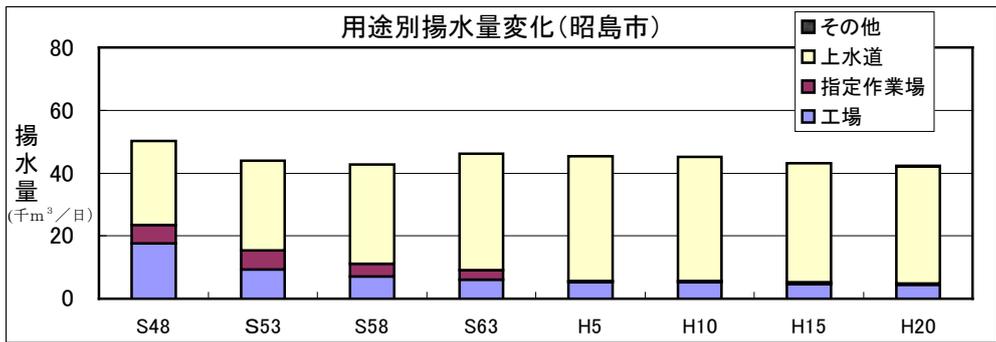
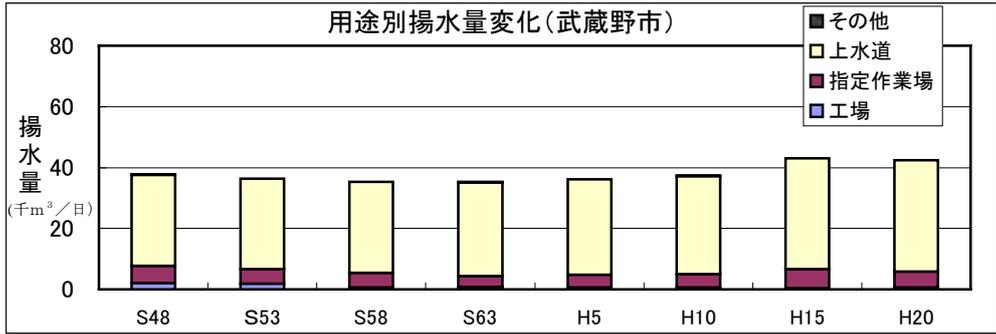
多摩地域における1日あたりの揚水量は、昭和46年の約89万 m^3 から平成20年の約47万 m^3 へ減少している。多摩地域の市町村ごとの用途別揚水量の経年変化をみると、主な減少要因は、工場・指定作業場における揚水量の減少である。上水道等の揚水量は、揚水量が減少している市もあるが、地下水を上水道用の水源として多く利用している市(タイプ1)ではあまり減少していないところもある(図-34、35)。

また、揚水量を区市町村ごとの面積で割った単位面積あたりの揚水量の経年変化をみると、多くの区市町村では減少しているが、武蔵野市、昭島市、府中市、小金井市などのタイプ1では単位面積あたりの揚水量が高い(図-36、37)。

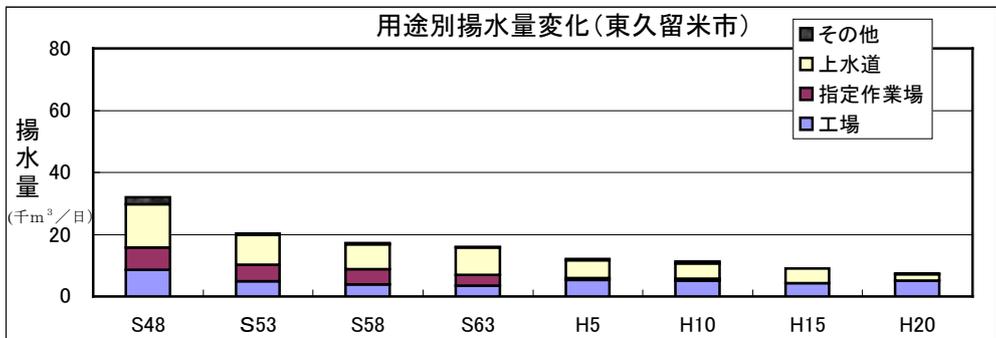
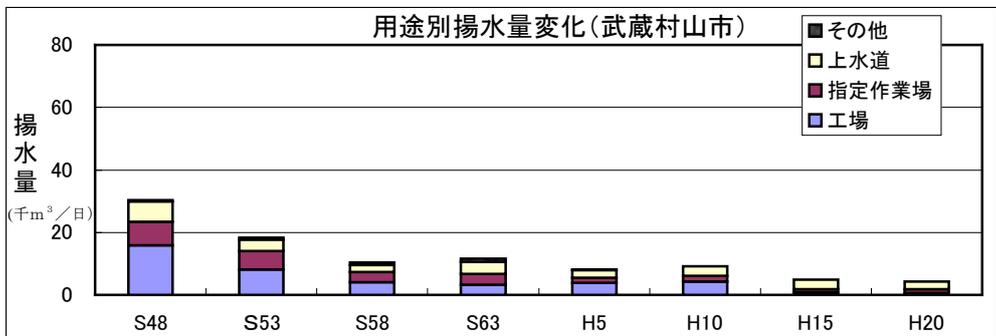
表-10 タイプの分類

種別	分類の趣旨	該当市町村の例
タイプ1	地下水を上水道用の水源の一部として多く利用している市町村	昭島市、武蔵野市、府中市、三鷹市、調布市、小金井市、国分寺市、立川市、羽村市、西東京市
タイプ2	地下水を上水道用の水源としてあまり利用していない市町村	東大和市、東久留米市、狛江市、武蔵村山市、日出町、稲城市、多摩市、町田市、八王子市、あきる野市

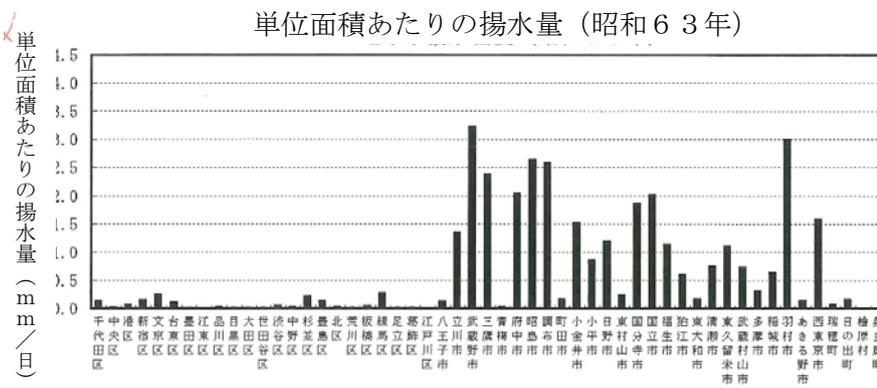
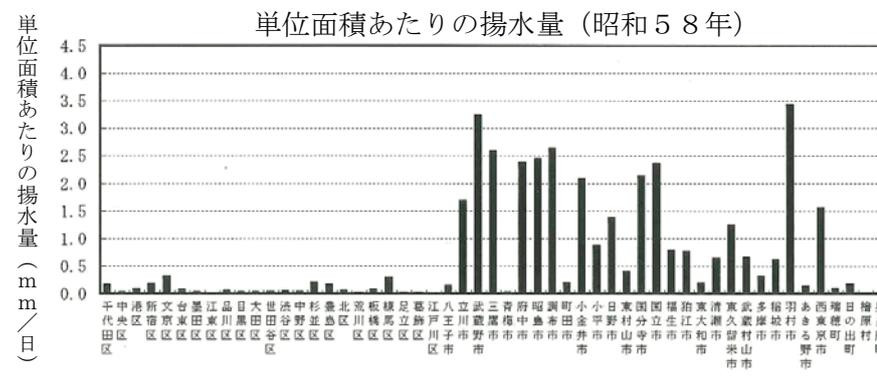
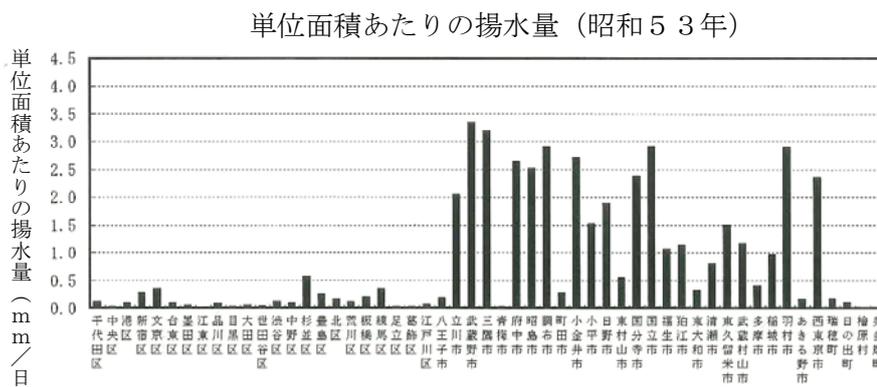
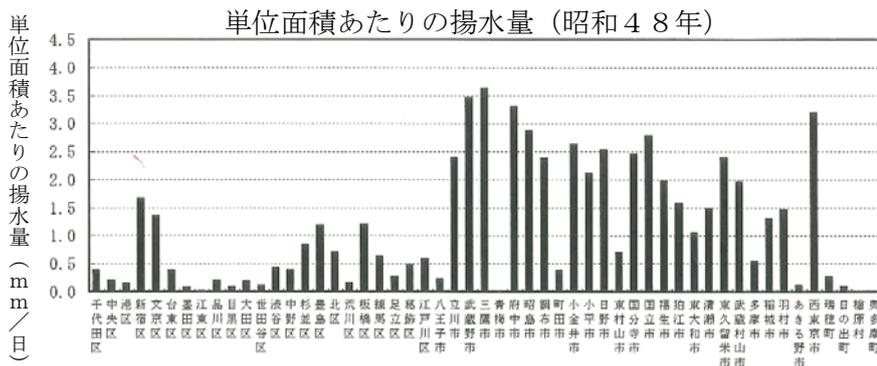
注 平成20年の都内の地下水揚水の実態より上水道事業としての揚水の多い市町村、少ない市町村を選定した。



図－3 4 地下水を上水道用水源の一部に多く利用している市町村（タイプ1）

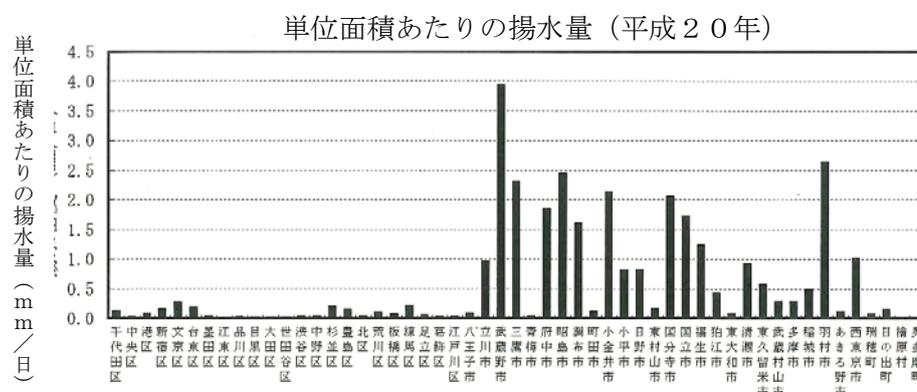
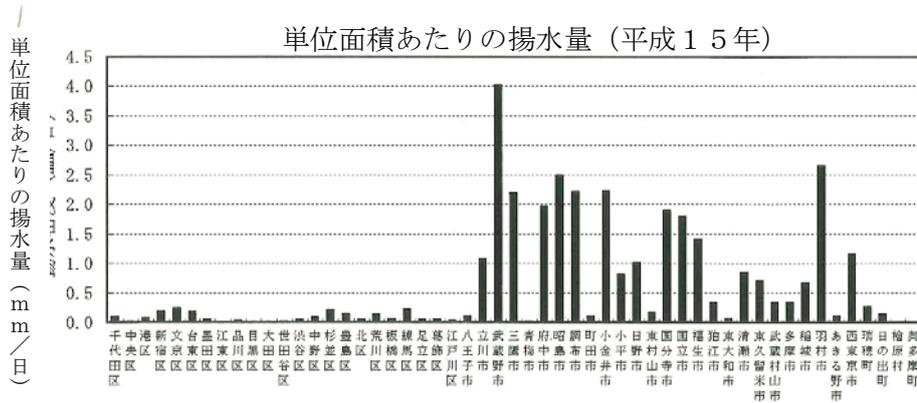
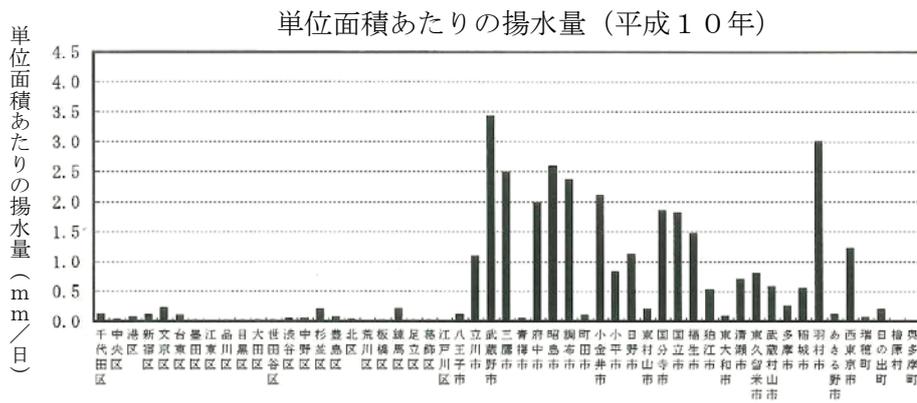
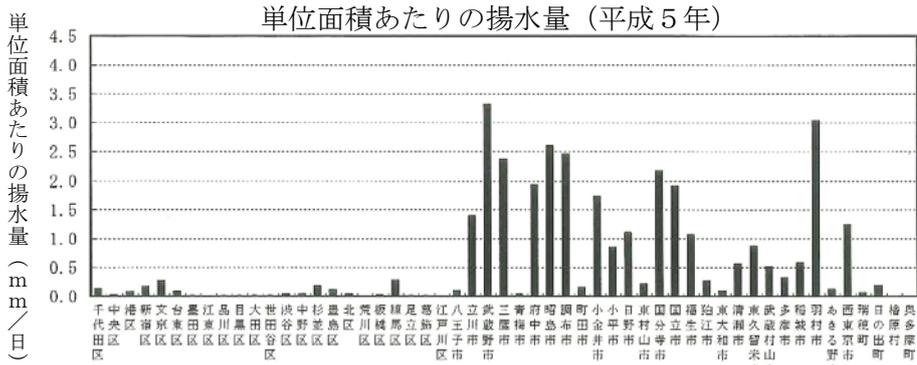


図－3 5 地下水を上水道用水源にあまり利用していない市町村（タイプ2）



注：羽村市では多摩川の伏流水を使用しており、その使用量も上記に含まれている。

図-36 単位面積あたりの揚水量の経年変化 (昭和48~63年)



注：羽村市では多摩川の伏流水を使用しており、その使用量も上記に含まれている。

図-37 単位面積あたりの揚水量の経年変化 (平成5～20年)

(イ) 地下水位の変動要因

多摩台地部の地下水位と揚水量の変動をみると、夏期には揚水量が多く地下水位が低下し、冬期には揚水量が少なく地下水位が上昇するというような季節変動を示している（図－38、39）。

一般的には、地下水位が夏期に低下し、冬期に上昇するといった地下水位の季節変動は農業用水の揚水によるものと説明されている。しかし、都内には水田が少ないことや、農業用水としての地下水揚水量の実績が少ないことから、多摩地域の水位変動に与える農業用水の影響は少ないものと考えられる。

揚水量の多い月ごとの地下水位と揚水量の関係をみてみると、揚水量が多い時期に地下水位が低下する傾向がみられる。また、用途別では、上水道用の揚水量の変動が大きく、上水道用の揚水量の変動が地下水位の変動に影響していることがわかる（図－40）。

イ 地下水位と地盤変動

多摩台地部における地下水位と地盤変動量の関係を見るため、揚水量が最も多い府中市について検討した（図－40）。平成6年4月には、揚水量の増加に伴い、地層の収縮がみられている。逆に、同年10月から11月には、揚水量の減少に伴い、地層が膨張しており、揚水の変動が地盤変動に影響を与えていると考えられる。

ここで、地盤変動量についての傾向をみるため、地盤変動量が比較的大きく、依然として地層が収縮している清瀬市の観測井の概念図を作成した（図－41）。この図をみると、昭和50年から平成元年にかけて、大きな収縮（24cm）がみられており、地表面から鉄管底までの収縮量に比べ、鉄管底以深の層の収縮量が大きかった。なお、平成元年以降については、収縮の傾向は減少し、各層の収縮量は小さくなっているが、依然として地層の収縮は継続している。

なお、関東平野では埼玉県北東部の地下水位が最も低いこと（図－44）、参考資料1の地下水流動調査においても多摩台地部から埼玉県側への地下水流動量が多い等から、清瀬市の地盤沈下は今後さらに検討を進める必要がある。

ウ 多摩台地部の検証結果

- ・ 工場・指定作業場の揚水量の減少により、地域全体として揚水量は減少している。
- ・ 上水道の揚水量が多い市では、揚水量はあまり減少していない。
- ・ 多摩台地部の観測井における年間の水位変動は、上水道用による揚水量の変動に影響を受けている。特に、揚水量の増加する夏期に地下水位が低下する傾向がみられる。

- 府中市にみられるように、多摩台地部では揚水量と地盤変動量の関係が密接であり、揚水量が増加すれば地盤沈下が進行する傾向にある。
- 清瀬市については、地盤変動量が比較的大きく、洪積層の深い部分も収縮している傾向にあるため、引き続き、地下水位と地盤変動量について注視していく必要がある。

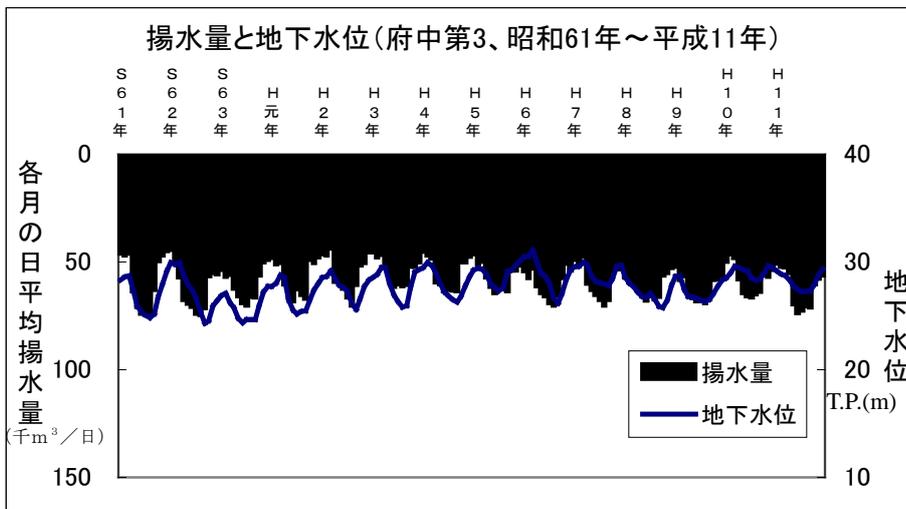
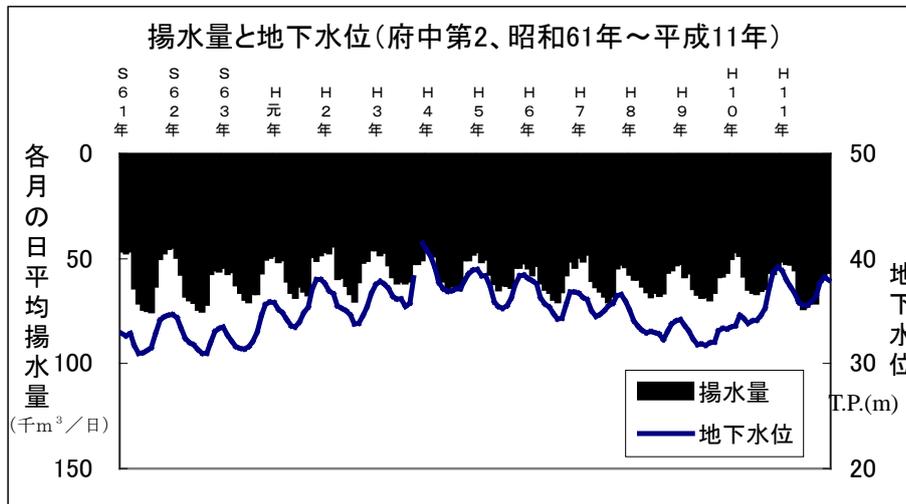
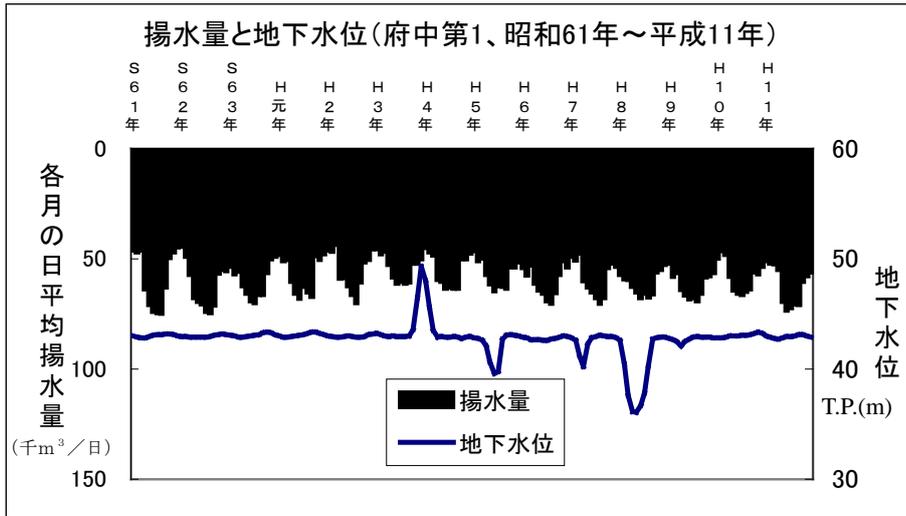


図-38 月別地下水位と揚水量(府中市)

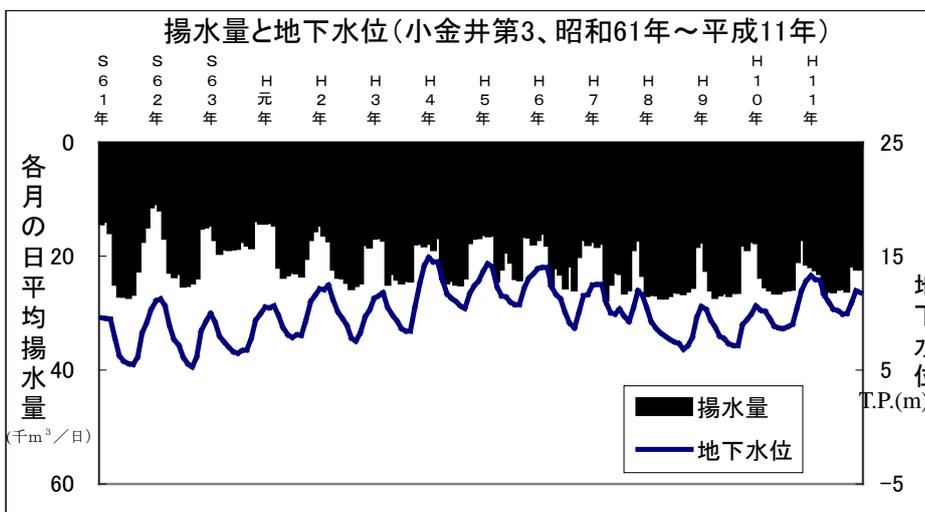
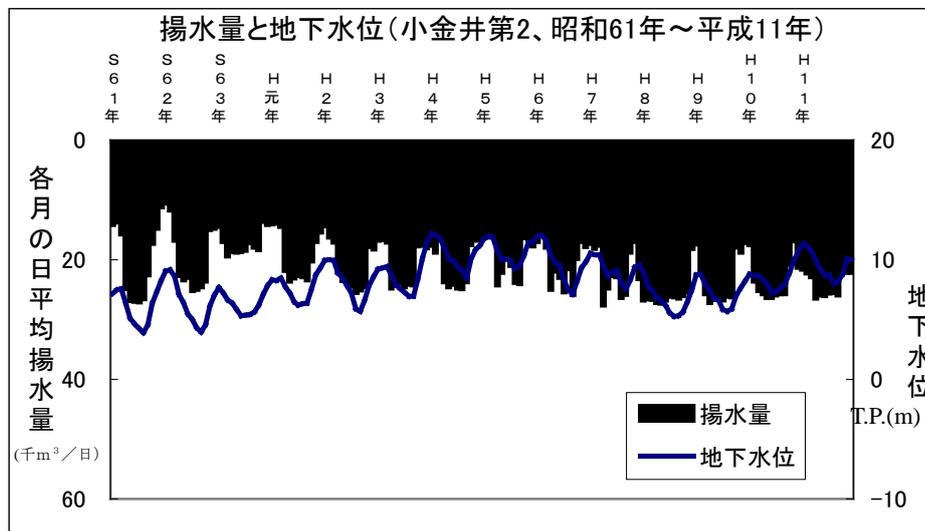
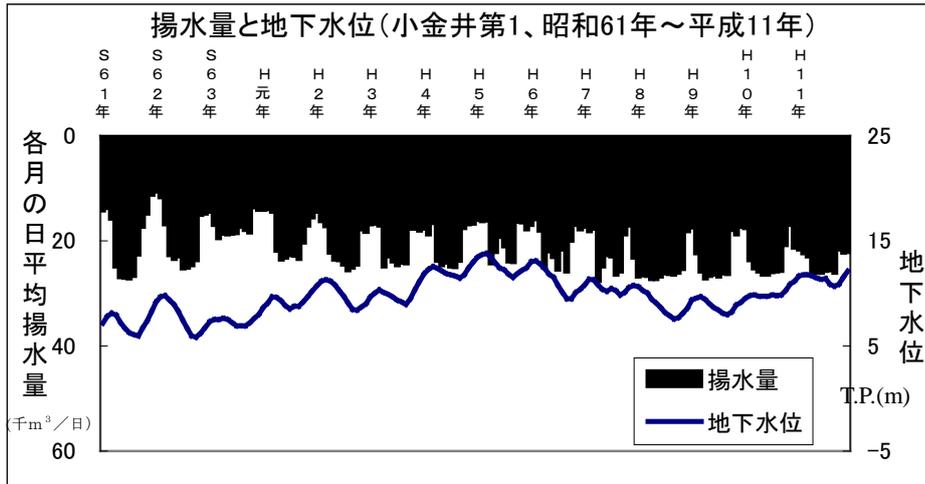
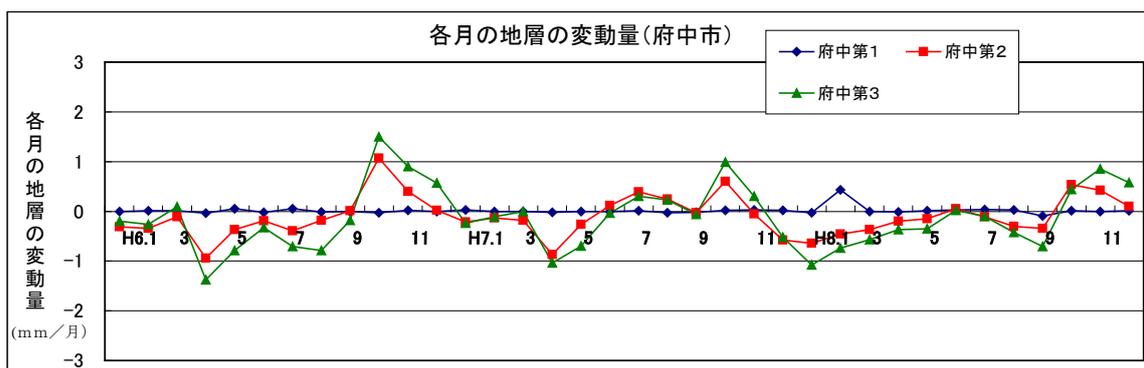
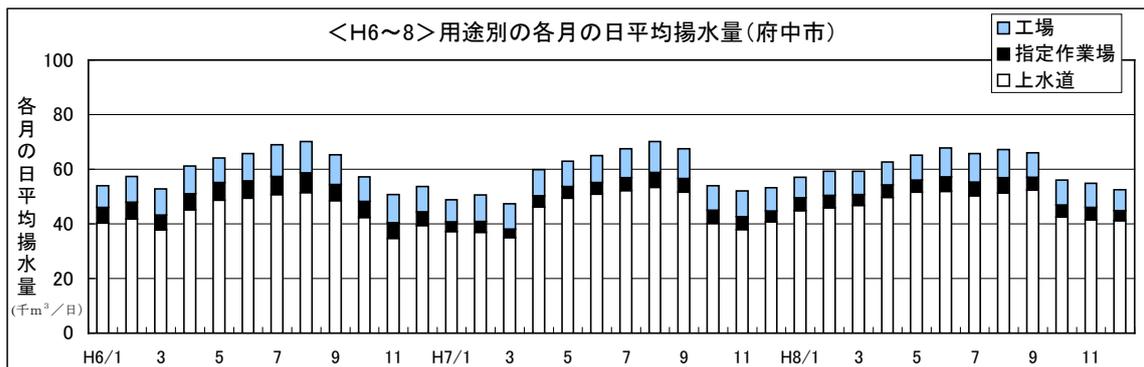
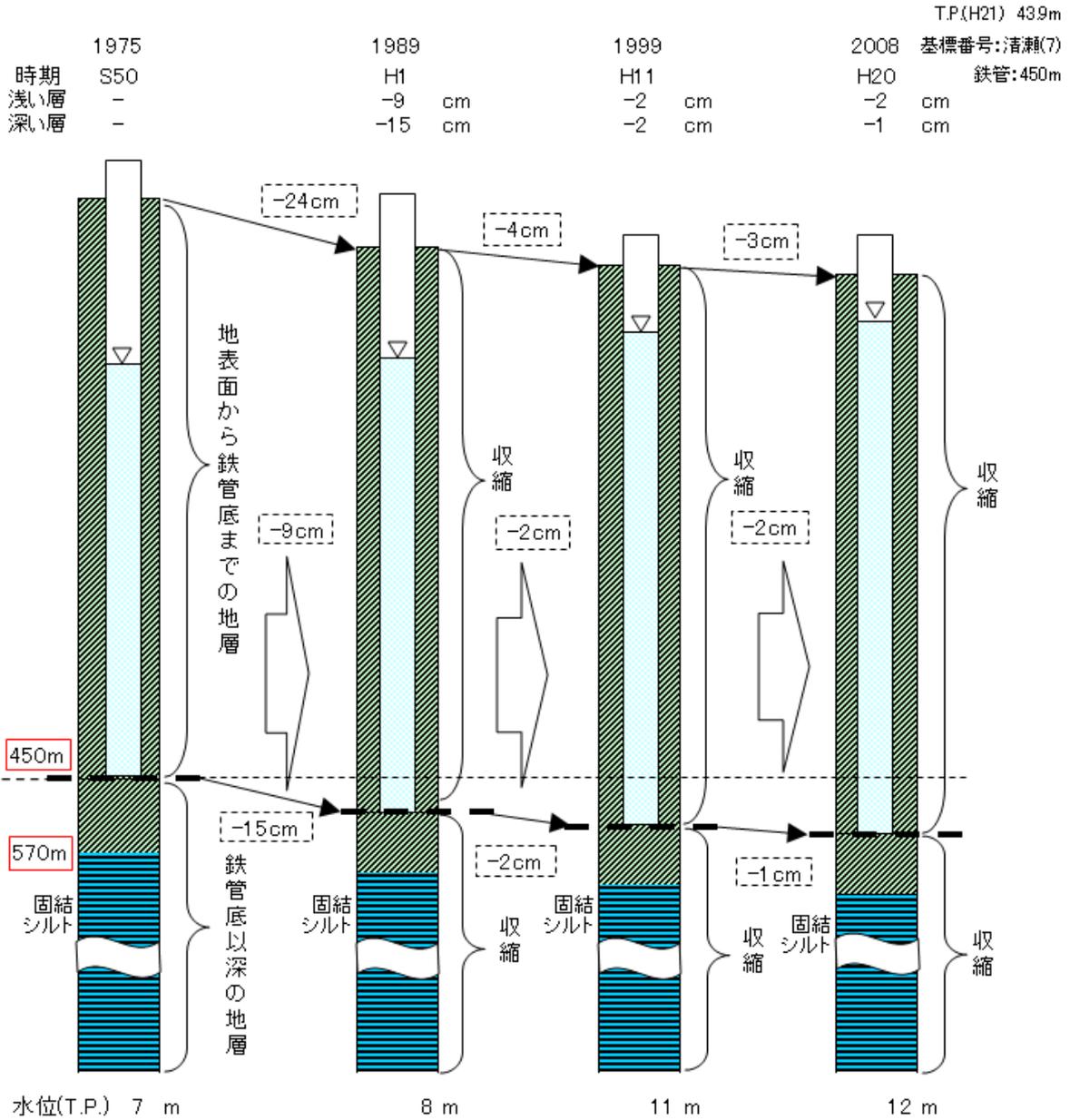


図-39 月別地下水位と揚水量(小金井市)



図－40 各月の日平均揚水量と地層の変動量（府中市）



※1 諸データを基に、固結シルトを570mとして作成している。

※2 地質の概況は以下のとおりである。

洪積層	570 mまで	シルト、砂、砂礫の互層
	570 m以深	固結シルト

参考資料

- 1 東京都土木技術研究所年報(1974年)
- 2 地盤沈下調査報告書(1955~2009年)
(東京都土木技術支援・人材育成センター作成)

図-4-1 観測井における地層変動の概念図 (清瀬市清瀬第3)

4 その他

(1) 経済損失に関する過去の調査内容

東京都では過去に地盤沈下による被害状況を調査し、当時の地盤沈下によるものとされる経済損失について試算している。

ここでは、過去に行った2つの調査についてその内容の概略を記す。また、試算価格は報告書作成当時の価格であるため、現在（平成21年）価格に直したものを参考までに追記した。

ア 「地盤沈下の被害調査報告」（東京都土木技術研究所 昭和31年7月）

東京都土木技術研究所（現：東京都土木技術支援・人材育成センター）が昭和30年度に行った「地盤沈下の被害調査報告（昭和31年7月）」によると、江東地域（隅田区、江東区及び江戸川区の一部）の地盤高、橋梁、護岸、地下埋設物、水門並びに樋門、低湿地、その他の沈下による変動ないし被害の内容は、

- ① 浸水の被害が増大した。
- ② 橋梁の沈下によって航行が不便になった。
- ③ 護岸の沈下によって溢水の危機が増大しつつある。
- ④ 満潮時に浸水する個所ができた。
- ⑤ 地下埋設物の機能障害を起こした。
- ⑥ 水門、樋門の自然流下ができなくなった。
- ⑦ 低湿地化したため非衛生的になった。
- ⑧ 荷揚げが不便になった。

などであった。

また、被害の試算を行ったところ、昭和30年度価格で、以下のとおりであった（カッコ内は現在価格に直したもの）。

①地盤沈下分を盛土した場合	1,500億円	(約9,100億円)
②護岸・堤防事業	282億円	(約1,700億円)
③橋梁の上昇工事	40億円	(約240億円)
④高潮被害の想定	503億円	(約3,100億円)

注 価格の換算は、工事費（土木総合）のデフレーター（国土交通省）を基に作成した。

イ 「地盤沈下による経済的損失評価に関する調査研究」
 (東京都環境科学研究所 昭和62年6月)

東京都環境科学研究所が昭和62年にまとめた「地盤沈下による経済的損失評価に関する調査研究(昭和62年6月)」によると、江東デルタ地帯(隅田川と荒川にはさまれた江東区、墨田区及び江戸川区の一部)における昭和32年度から昭和60年度までの、地盤沈下対策のための公共資本投下額を経済的損失とみなして調査を実施した結果、経済的損失は、昭和37年～40年度が220億円～230億円(昭和60年度価格)とピークであり、その後減少したが、100億円～140億円(昭和60年度価格)と横ばい状態であった。

経済的損失の合計(昭和32年度～60年度における総工事費)を、工事費(土木総合)のデフレーター(国土交通省作成)に基づいて現在価格(平成21年度暫定値)に換算すると、約5180億円(年間平均180億円)となる(表-11)。

表-11 各期間における経済的損失(地盤沈下対策のための公共資本投下額)
 (単位:百万円)

期間	昭和60年度価格	平成21年度価格
S32-35	25,255	30,538
S36-40	113,212	136,895
S41-45	82,507	99,767
S46-50	86,320	104,377
S51-55	55,417	67,010
S56-60	65,660	79,395
合計	428,371	517,982

調査対象項目

- ①港湾、②河川、③下水道、④工業用水道、⑤道路橋梁、⑥上水道、⑦学校、⑧電信・電話、⑨鉄道、⑩電力、⑪都営住宅、公団住宅

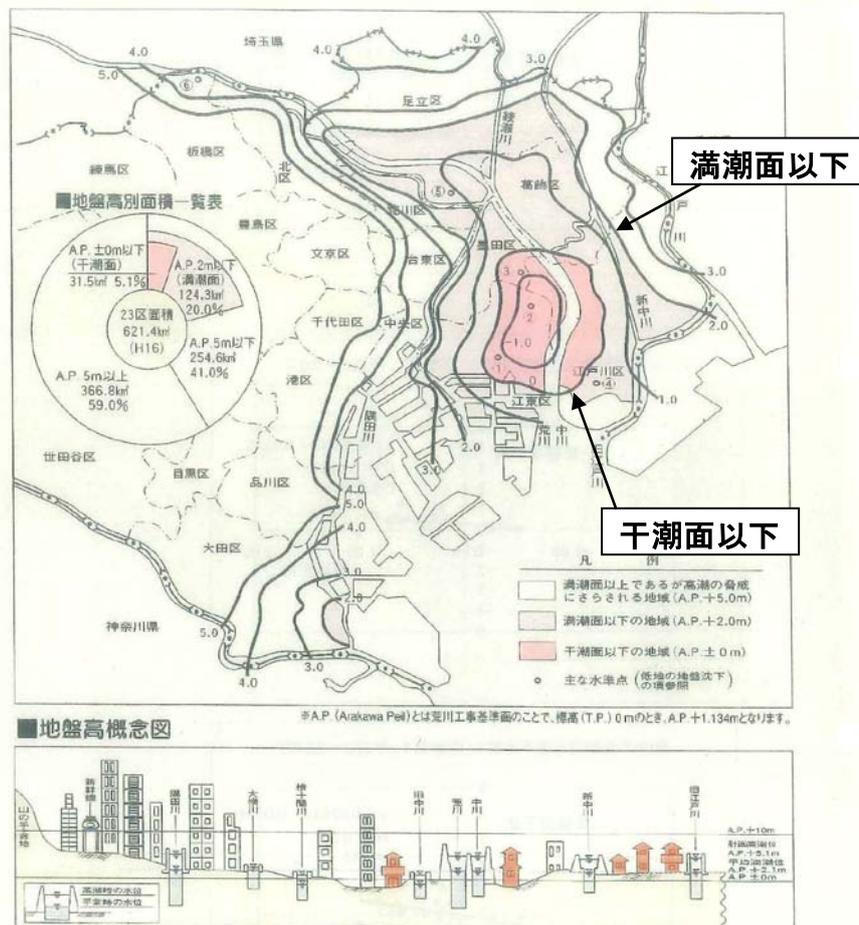
(2) ゼロメートル地帯の発生

現在の区部低地部における地盤高平面図を図-42に示す。濃いピンク色の部分は干潮面以下の地域（A.P. ※¹⁴±0m）であり、江東区や江戸川区、墨田区などの一部に広がっている。また、満潮面以下の地域（A.P. +2m）はより地域が広がり、葛飾区や足立区、荒川区なども該当する。満潮面以上であるが高潮の脅威にさらされる地域（A.P. +5m）まで含めると、ほぼ全ての区が該当する。

このように、低地帯の地盤高はすでに低い状況にある。そのため、高潮による被害や地球温暖化に伴う海面上昇による影響などにも留意する必要がある。

※14 「A.P.」とは荒川基準面のことで、標高（T.P.）0mは、A.P. +1.134mとなる。

低地帯の地盤高平面図



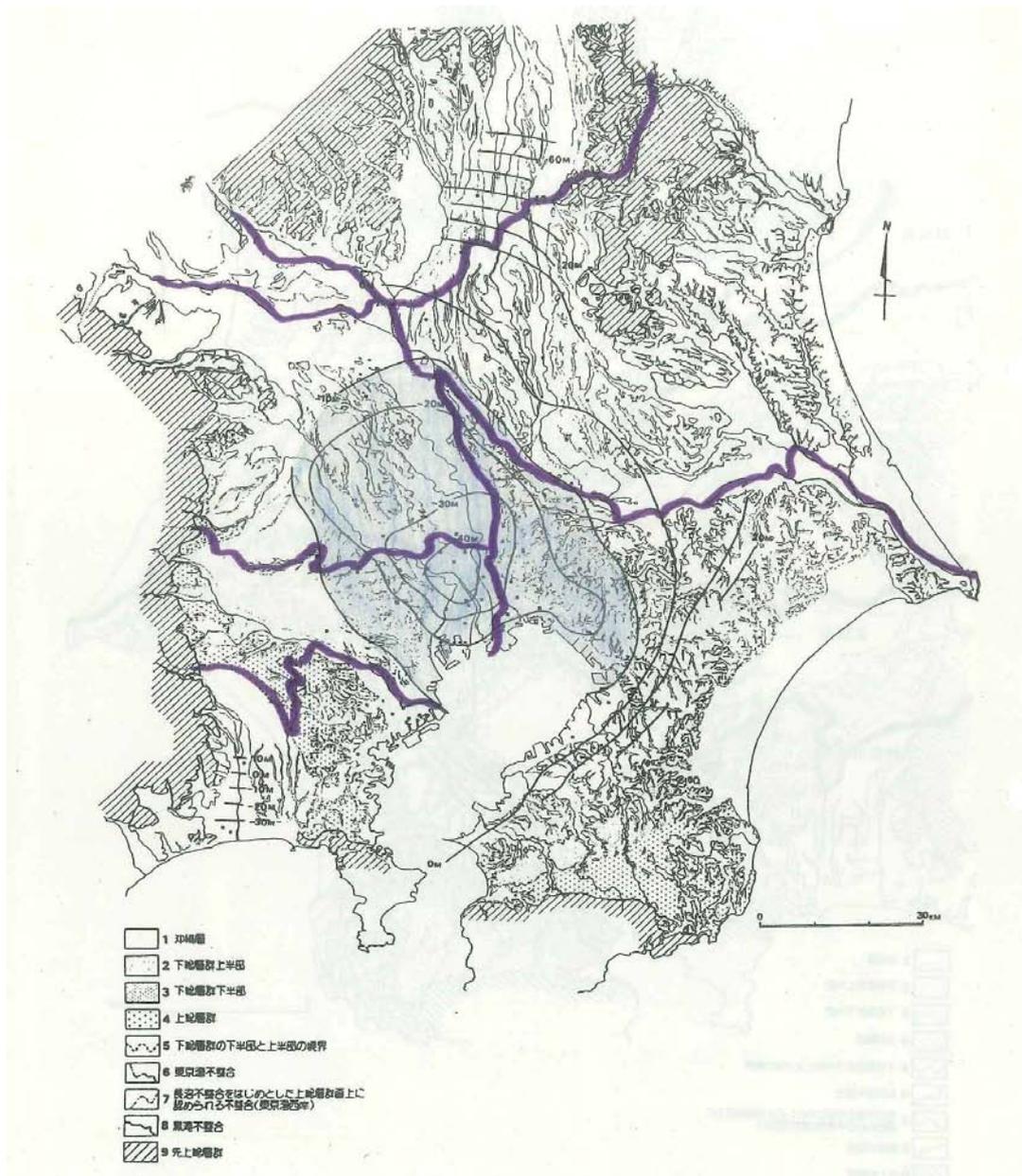
パンフレット「東京の低地河川事業」平成19年4月
建設局河川部

図-42 低地帯の地盤高平面図

(3) 関東平野の地下水位分布図

関東平野の地下水位分布図を図-43、44に示す。都内の揚水量が多かった1975年においては、関東平野で最も地下水位の低い位置（-40m以下、T.P.）が東京都の周辺で認められている。

その後、揚水規制を進めてきた結果、都内の地下水位は上昇してきており、2008年においては、最も低い位置（-10m以下）が千葉県、埼玉県及び茨城県の境界部へと移っている。

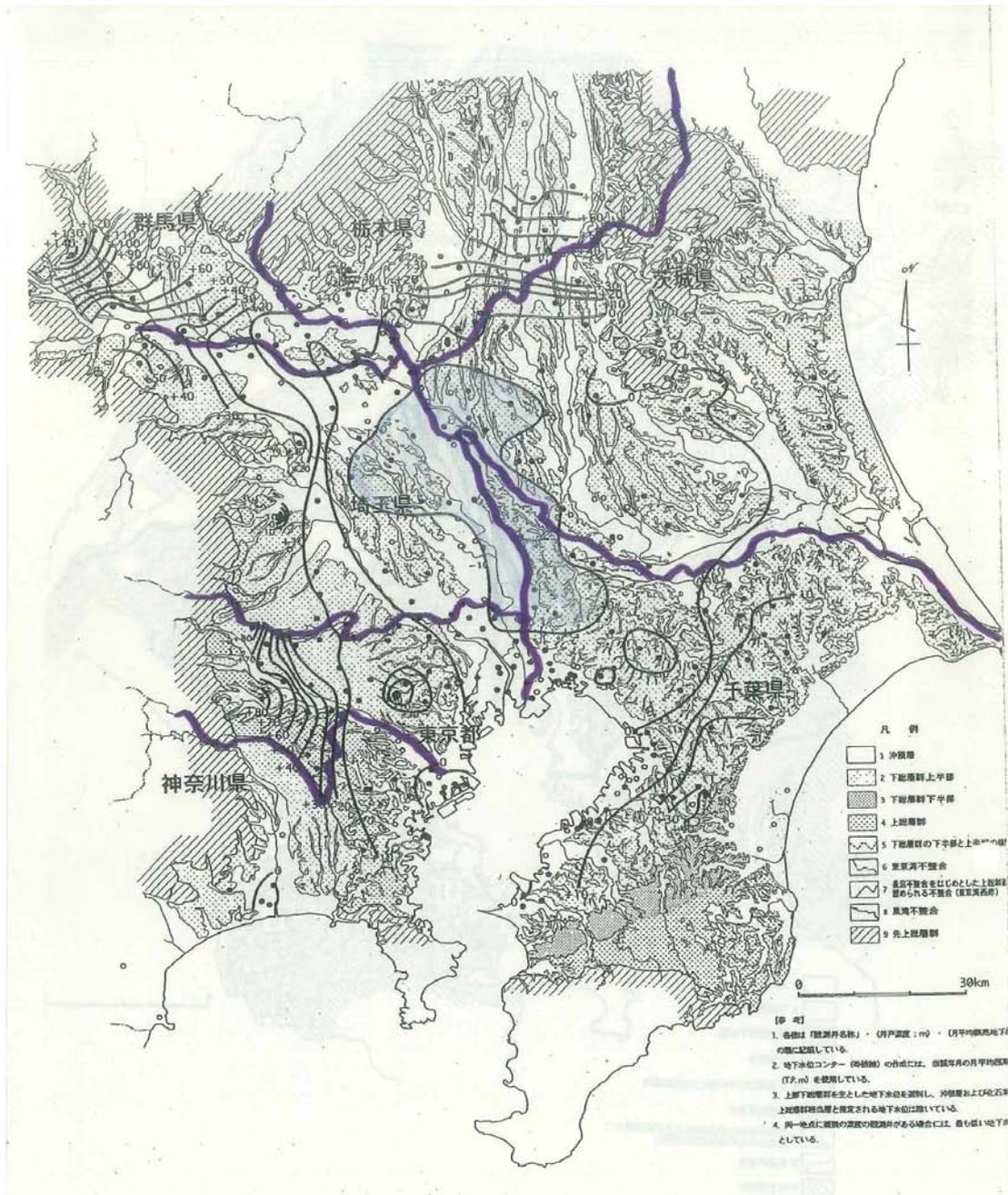


出典：関東地方知事会関東地方環境対策推進本部地盤沈下部会

「関東地下水盆の地下水位分布調査報告書」平成22年3月

図-43 関東平野の地下水位分布図 1975(昭和50)年7月

注 図の水色部分は、地下水位が-10m以下の地域である。



出典：関東地方知事会関東地方環境対策推進本部地盤沈下部会
「関東地下水盆の地下水位分布調査報告書」平成22年3月

図-44 関東平野の地下水分布図 2008 (平成20)年7月

5 まとめ

区部低地部においては、昭和30～40年代における工業用や建築物用、天然ガス採取に伴う過剰な地下水揚水により、地下水位の低下を招き、沖積層及び洪積層が大きく収縮し、地盤沈下現象が拡大した。その後、用水2法や条例に基づく揚水規制や行政指導、事業者の協力などにより、現在、地盤沈下は沈静化する傾向にある。

しかし、沖積層は、地盤沈下が沈静化した現在においても、二次圧密の影響により、引き続き収縮が継続している。

一方、洪積層は揚水規制後、若干膨張している。しかし、沖積層と洪積層を合わせた収縮量を回復するまでには遠く及ばない。また、近年においては地下水位の上昇の鈍化に応じて、洪積層の年間膨張量も減少傾向にある。

第二次世界大戦終期には、一旦地下水位が上昇した。しかし、その後、揚水が再開され、地下水位が再び低下し、一時沈静化した地盤沈下が更に進行した経緯がある。

現時点において、区部低地部で、新たな揚水を行った場合には、地下水位が低下し、現在も継続している沖積層の収縮に加え、洪積層が再び収縮に転じ、地盤沈下が進行することが考えられる。

区部低地部では地盤沈下の発生により多大な被害が生じた。そのために要した地盤沈下対策費用や経済損失は、極めて大きいものである。

また、区部低地部では、これまでの地盤沈下による影響で、いわゆる「ゼロメートル地帯」が広域にわたって生じている。これらの地域においては、洪水や高潮による災害、さらには、近年における地球温暖化現象による海面上昇の影響にも留意する必要がある。

以上のことから、区部低地部においては、揚水規制の継続によって地下水揚水量を現状以下に維持するとともに、今後とも用水2法や条例に基づき、適切な地下水管理を行っていく必要がある。

区部台地部においては、地下水揚水量が地下水位と連動する傾向がみられる。年間では、揚水量が多い時期に地下水位が低下している。また、経年的にみると、平成6年の渇水期のように降水量の少ない年には、地下水位の低下に伴い洪積層の収縮が認められる。

区部台地部において、現状以上の揚水を行った場合には、地下水位の低下とそれに伴う地盤沈下の進行が想定される。

多摩台地部においては、地下水揚水量は全体として減少してはいるものの、依然として上水道のための揚水の割合が多い。

多摩台地部における観測井の年間の水位変動は、上水道の揚水に伴う変動の影響が大きく、揚水量が増加する夏期に地下水位が低下する傾向がみられる。

また、地下水位と地盤変動量は連動しており、平成6年の府中市の例をみてもわかるとおり、揚水量が多くなる時期には地下水位の低下に伴って、洪積層の収縮が認められる。

多摩台地部においては、単位面積あたりの揚水量が、その地域の自然涵養量を上回っていると考えられる地域も多い。これらのことから、今後も条例による揚水規制を継続するとともに、地下水を涵養する取組みが大切である。

現在、都内の地盤沈下は沈静化の傾向を示している。しかし、区部低地部では、依然として沖積層の収縮が継続しており、区部台地部や多摩台地部においても、地下水位の変動に連動した洪積層の収縮も生じている。

東京都における地盤沈下の沈静化は、用水2法に基づく井戸の転換や公害防止条例の施行、鉱業権の買収による揚水停止など一連の行政施策が完了した昭和49年以降継続しており、法や条例に基づく揚水規制の効果等を反映したものと考えられる。

地盤沈下という現象は、一度地盤の沈下が起こると元の地盤高^{だか}には回復し得ない不可逆現象である。また、地盤沈下が沈静化しても、新たな地下水揚水を開始し、不用意に地下水位を低下させると、現状以上の地盤沈下が進行することは、東京都におけるこれまでの経過が示唆している。

区部低地部においては、かつて揚水量が増加した時に地下水位が低下したこと、地下水位が低下し始めると地盤が急激に沈下したこと、沖積層は収縮を続けていること、また、区部台地部や多摩台地部では、現在においても揚水量が増加した時に地下水位の低下が見られ、地下水位の低下が洪積層の収縮を招いていることなどを総合的に考えると、特に、区部低地部での新たな揚水は、洪積層の収縮を引き起こし、従来からの沖積層の収縮と合わせて、さらなる地盤沈下を引き起こす可能性が高い。

以上のことから、本検証結果に基づき、現状以上の地盤沈下を進行させないためには、揚水規制を継続し、現状を超える揚水を行わないことが適切である。

なお、参考資料1の地下水流動調査は、隣接県も含めた都全体の地下水流動状況を分析したものである（参考資料1 図-3）。この結果、都内では、区部台地部から多摩台地部に向かって地下水が流出する傾向がみられた。これは、東京都における地下水の大きな流れとして、都内を西から東へ流れるという自然の流動状態とは異なっている。その要因としては、多摩台地部における揚水量が自然涵養量以上に多い地域があることが影響したものと考えられる。

都内の現状の地下水位は涵養量と揚水量及び地下水流動量との微妙な関係のもとで保たれているものであり、都内のどの地域においても、現状以上に地下水を揚水することは、当該地域のみならず、他の地域での地下水位が低下することも懸念される。

今回の地下水流動調査は、単一年のデータを基に分析した結果であり、他県における地下水位の設定等によっても結果は変わるため、地下水流動の現況を正確に示すものとしては不十分な点もある。今後も、経時的・広域的な要素を取り入れた地下水流動調査を実施し、より正確な地下水流動状況の把握に努める必要がある。

6 今後の地下水管理方策

東京都における地盤沈下の沈静化を維持するためには、今後とも地下水位変動量、地盤変動量、地下水揚水量に関する調査・観測データを引き続き蓄積し、地盤沈下と地下水の状況について、定期的な検証と評価を行う必要がある。

そのためには、世界に類を見ないモニタリング体制の継続やシミュレーションによる影響予測や将来予測が重要である。

また、地下水の流動は一自治体の中でとどまるものではないため、関東平野全体の視点から、揚水、地下水位、地盤の状況及び地下水の流動状況の把握に努めるとともに、広域的な連携策の検討も必要である。

さらに、地下水位変動や地盤変動に関する情報を広く発信し、地下水を保全するための情報を都民と共有化するための情報提供手法を検討することも必要である。