

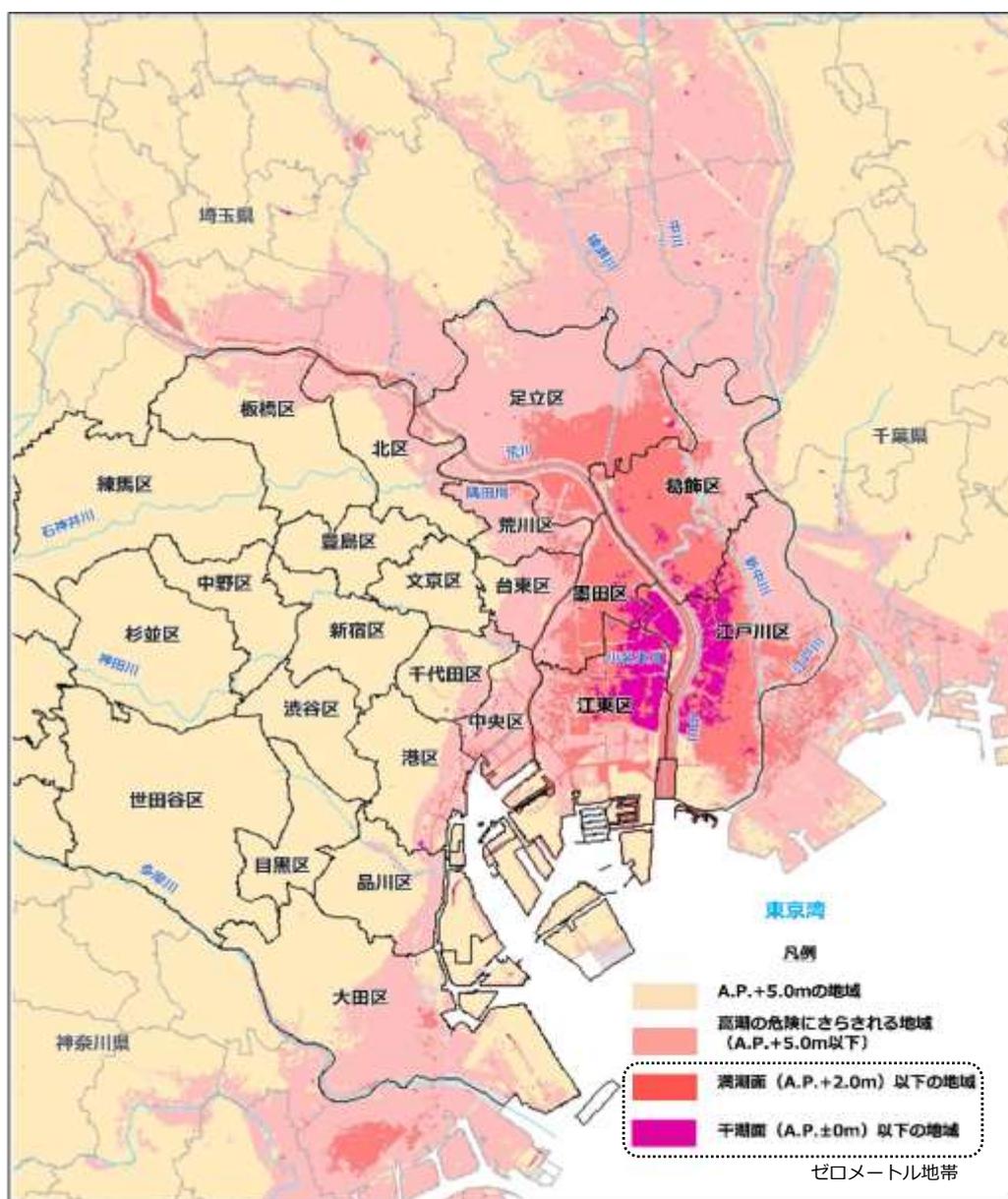
7. 東京の地下水に関わる問題

地下水や湧水は、身近な水源として生活用水や農業用水に利用されてきました。一方で、過剰な地下水揚水などによって、水循環や地盤に大きな影響を及ぼす要因ともなりました。以下には、かつて東京で起きた地下水に関わる問題や現在も引き続き抱える課題について示します。

7-1 地盤沈下の発生

かつての東京では、過剰揚水によって水循環のバランスを崩したことで大規模な地盤沈下が発生しました。地盤沈下が確認された当初は原因が不明とされ、抜本的な対策がなされるまでかなりの時間を要しました。

このため、地盤沈下は長期にわたって継続し、現在でも江東区や江戸川区を中心とした区部低地部にはゼロメートル地帯(土地の標高が満潮時の海面(A.P. +2.0m)以下の高さの地域)が 124km² にわたって分布しています(図 7-1 参照)。



※A.P. (Arakawa Peil) とは荒川工事基準面のことで、標高 (T.P.) 0mの時、A.P.+1.134mとなります。

図 7-1 ゼロメートル地帯

東京都建設局参考、基盤地図情報 5mメッシュ標高データ^[1]を用いて作成

(1) 地盤沈下の歴史

ア 地盤沈下の顕在化

東京は、明治時代に富国強兵・殖産産業の拠点として発展し、工場数が増加していきました。明治末期から大正期には、縦横に張り巡らされた運河沿いに工場群が軒を連ね、機械冷却を主体に多量の地下水が揚水されていました。同時期に地盤の高さを測る水準測量が開始されており、既に地盤沈下が進行していた可能性があります。明確に地盤が沈下していることが確認されたのは、大正 12(1923)年の関東大地震の後です。

関東大地震は、東京を中心に甚大な被害を及ぼしました。マグニチュード 7.9 の巨大地震によって、10 万人を超える死者、約 30 万戸の全壊・全焼家屋が発生しました。

また、多くの土地で地割れ、沈降、隆起などが認められたため、地震の影響を調査するために水準測量が積極的に行われるようになりました。この過程で、江東区での激しい地盤沈下が確認されましたが、当時は地震に伴う地殻変動の影響と考えられました。

ところがその後も地盤沈下は進行し、並行して井戸の枯渇などの地下水障害が相次いで顕在化していきました(図 7-2(a)参照)。このような中、昭和 9(1934)年に全国的に甚大な被害をもたらした室戸台風により、江東区は浸水被害を受けました。

昭和 10 年代に入ると、大阪の地盤沈下を調査・研究していた和達清夫氏(初代気象庁長官)が、人為的な地下水の揚水により地盤沈下が発生することを発表しました。これにより、東京の地盤沈下の原因が、地殻変動ではなく、工場等での大量の地下水の揚水であることがようやく分かってきました。しかしながら、当時の日本は軍国主義的な体制であり、工場の稼働を止めることなど許されなかったため、「地下水の過剰揚水による地盤沈下」という考え方は受け入れられませんでした。

その後、太平洋戦争が激化し産業活動が停止すると、低地・台地ともに広く地下水位の回復が確認され、地盤沈下も一時的に鎮静化しました。第二次世界大戦前後における水準測量は、地盤沈下の原因が地下水の過剰揚水であることを決定づけた意義ある測量成果であると言われています(図 7-2(b)、図 7-3 参照)。

イ 高度経済成長期と地盤沈下の加速

戦後の復興により過剰な揚水が始まると地下水位は急低下し、地盤沈下が再度発生します。昭和 30 年代以降の高度経済成長期には、経済発展のために工業部門も更に工場数を増やし、戦前よりも多くの水が必要となりました。そこで工場は戦前よりも大量の地下水を使用するようになり、区部低地部を中心に各地で地盤沈下が発生し、ピークに達しました。そしてついに、昭和 34(1959)年に江東区においてはじめて A. P. 0m(干潮面と同じ高さ)が計測され、完全ゼロメートル地帯が出現しました。さらに、昭和 43(1968)年には江戸川区西葛西の水準基標において、年間沈下量 23.89 cm が記録されました。この沈下量は、都内で計測された年間沈下量の最大値です(図 7-2(c)参照)。

ウ 揚水規制の開始

地盤沈下を抑止するため、昭和 30 年代には「工業用水法」「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」が制定され厳しい規制がかけられました。

東京都においても、昭和 28(1953)年から「東京都地盤沈下対策審議会」を設置して地盤沈下対策の抜本的対策の検討を進めていきました。「東京都地盤沈下対策審議会」では、昭和 38(1963)年、昭和 41(1966)年、昭和 46(1971)年にそれぞれ答申を行いました。昭和 45(1970)年には、一都三県共同で地盤沈下の調査を行う「南関東地方地盤沈下調査会」を設置し、調査研究を開始しました。

こうした答申や調査結果を受けて、法規制の基準強化を国へ要請するとともに、法未規制地域については条例で規制を行うなど揚水規制を段階的に行い、地盤沈下を抑制していきました(図 7-2(d)～(f)参照)。

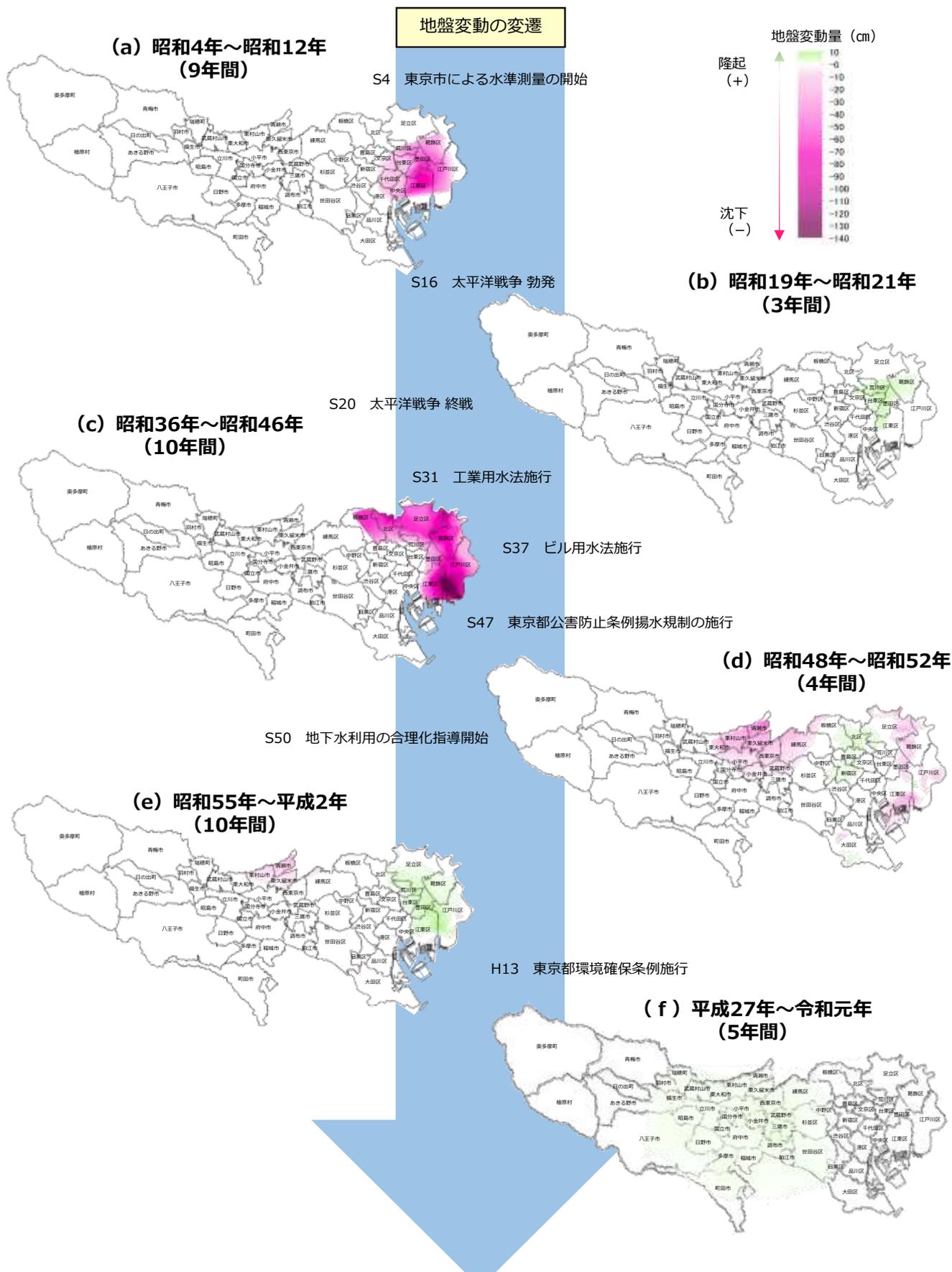


図 7-2 地盤変動の変遷

遠藤毅・川島眞一・川合将文「東京都下町低地における“ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」(2001)^[2]より
 旧東京都土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[3]より

(2) 地盤沈下対策

ア 対策内容

地盤沈下が急速に進行していた東京都では、沈下を止めるため全庁をあげて表 7-1 のような様々な対策を実施しました。地盤沈下状況把握のためのモニタリング調査の拡充に始まり、代替水源の確保、地盤沈下に影響を及ぼす揚水の規制や停止など段階的に対策を実施してきました。また、工場や事業所を対象として、水使用方法を指導・検討することで地下水利用の削減に努めた合理化指導も実施しました。

次ページより、地盤沈下対策の詳細について示します。

表 7-1 地盤沈下の対策

| 対策 | 実施内容 |
|---------------|---------------------|
| ① モニタリング調査の拡充 | 観測井の設置、拡充 |
| ② 代替水源の確保 | 工業用水道の敷設 |
| ③ 地下水揚水の規制 | 法律・条例に基づく揚水規制 |
| ④ 天然ガス採取の停止 | 鉱業権の買収、天然ガスかん水の揚水停止 |
| ⑤ 水使用の合理化指導 | 製造工程の改善指導 |

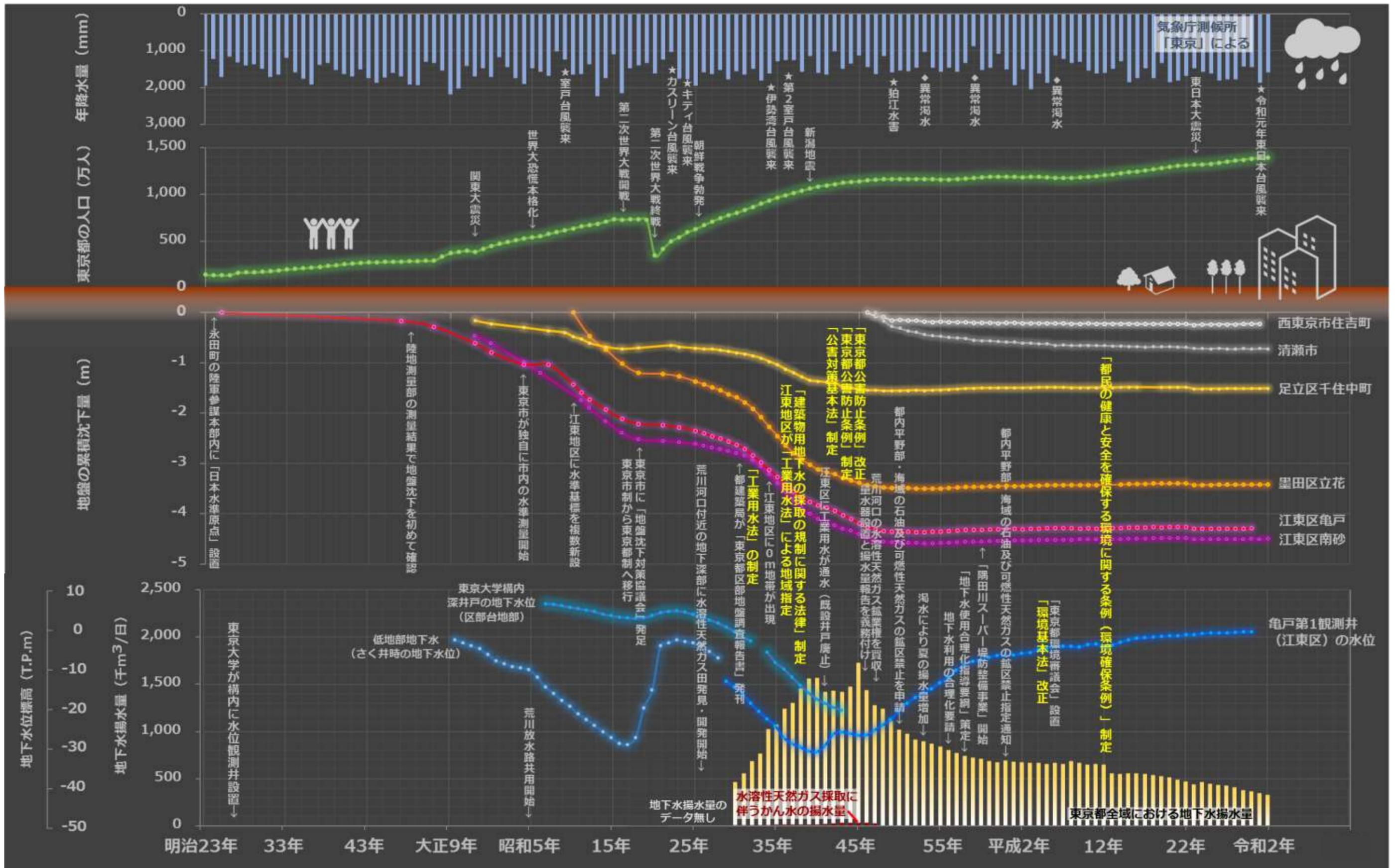


図 7-3 地盤沈下と対策の歴史年表

川島眞一・川合将文・遠藤毅「東京低地を中心とする地盤地下と調査、対策の年譜」(2008)^[4]、山口林造「東京大学構内深井戸の水位変化(1968年末まで)」(1969)^[5]より

① モニタリング調査の拡充

東京都内の地盤の高さを測る水準測量は、明治 25 (1892) 年に初めて現在の国土地理院によって実施され、東京都独自の水準測量は昭和 4 (1929) 年から実施を開始しました。水準測量の地点や頻度が増えるにつれ、東京都の地盤が低下していることが明確になっていきましたが、地盤沈下の原因が地殻変動と考えられていたため、地下水の状況をモニタリングすることは行われませんでした。

昭和 10 年代になると、地下水の揚水が地盤沈下の原因であることが徐々に分かってきましたが、戦争の影響などで地下水位観測井の設置は遅れました。江東区亀戸に都内で初めて地下水位の観測井が設置されたのは、昭和 27 (1952) 年のことです。

その後、地盤沈下の実態をとらえ、対策につなげるため、地下水位の観測井を増やしていき、現在は 42 地点 104 井で、地盤や地下水の状況を監視しています。

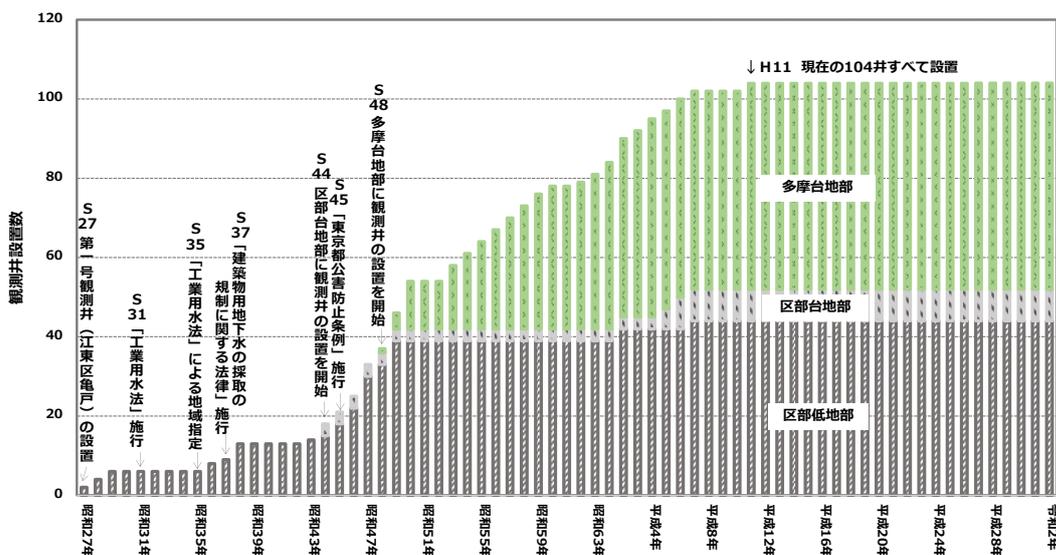


図 7-4 1年ごとの観測井設置数の推移

旧東京土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[3]より集計

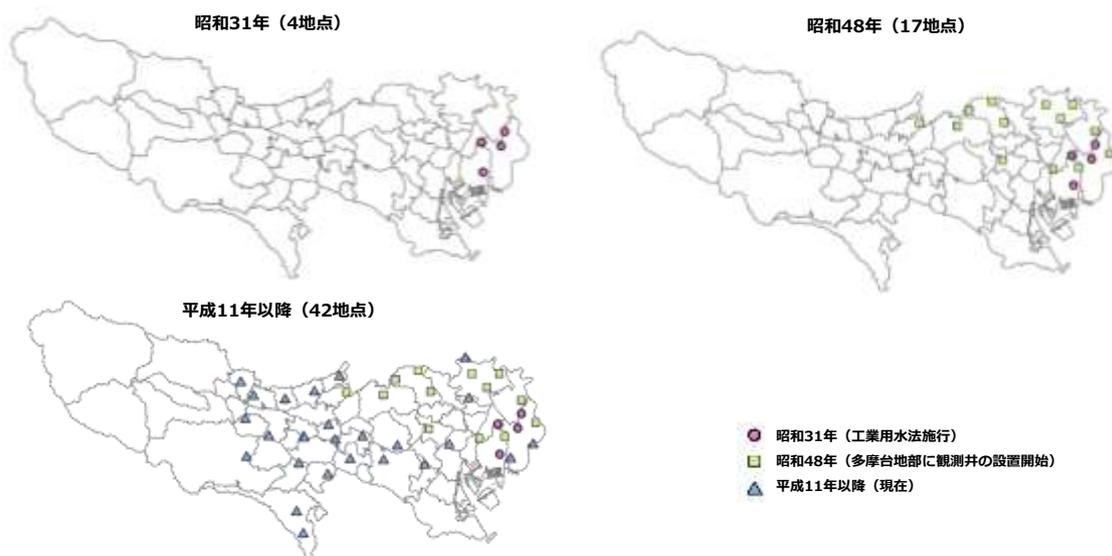


図 7-5 観測井の設置箇所の広がり

旧東京土木技術センター、現東京都土木技術支援・人材育成センター「地盤沈下調査報告書」^[3]より集計

② 代替水源の確保(工業用水道の敷設)

地盤沈下が進行していた昭和 20 年代後半、堤防のかさ上げ等の応急的な対応だけではなく、抜本的に地盤沈下そのものを止めるため、工場の地下水揚水を規制し、代わりに工業用水を供給すべきとの意見が関係者の間に出てきました。

また、地盤沈下は東京以外の工業都市でも見られ、代替水としての工業用水の供給を切望する声が全国的に高まっていきました。こうした背景のもと、国が昭和 31(1956)年に工業用水法、昭和 33(1958)年に工業用水道事業法を制定し、地下水揚水を規制し工業用水を供給する道が開かれたのです。

当時、東京の人口は著しく増加しその後も激化することが予想され、都民の生活用水を確保することさえ深刻な情勢にあったこと、水利権上の問題から工業用水の河川取水が望めず、東京都は下水処理水(再生水)の利用可能性について調査検討を進めました。再生水の水質で対応可能な業種が多かった江東地区では、再生水を原水とする大規模施設として国内初となる南千住浄水場と南砂町浄水場が昭和 39(1964)年度に完成し、工業用水の給水が開始されました。この江東地区工業用水道は、地盤沈下対策としてだけでなく、広域的な水の循環利用を推進したものとして注目を集めました。

一方、城北地区でも昭和 20 年代後半から工場の新設や増設が相次ぎ、揚水量は江東地区をしのぐ量となっていました。城北地区は化学系の工場が多く、良質な水を必要としていたため、工業用水の原水として再生水を利用することはできませんでした。しかし、昭和 39(1964)年の東京オリンピックに向け、水の確保を目的として利根川からの導水が決定していたことから、利根川の表流水を水源とする三園浄水場を建設し、昭和 46(1971)年から給水が開始されました。

給水開始後、揚水規制基準の強化や規制区域の拡大等の対策によって地盤沈下は沈静化に向かい、初期の目的は達成した一方、工場の移転や水使用の合理化により、工業用水の需要は昭和 49(1974)年度をピークに減少が続きました。浄水施設の統廃合に加え、洗車や水洗トイレ等の雑用用途への供給拡大も進めてきましたが、経営状況は厳しく、設備の老朽化による大規模更新時期も間近に迫る中、需要の増加が見通せないことから、令和 5(2023)年度末での工業用水道事業の廃止が決定しています(平成 30 年第 3 回都議会定例会にて)。

東京都水道局「東京近代水道百年史(通史、部門史)」(1999)より^[6]

東京都水道局ホームページより^[7]

③ 地下水揚水の規制

地盤沈下を止めるため、東京都では法律や条例に基づき地下水の揚水を規制してきました。地盤沈下の状況を踏まえ、規制区域の拡大や基準の強化を段階的に進め、揚水量の削減を図ってきました。

「工業用水法」は工業用に使用する井戸、「建築物用地下水の採取に関する法律」（ビル用水法）は4用途（冷暖房、洗車、水洗便所、公衆浴場）に使用する井戸をそれぞれ対象とし、規制基準を設けています。現在、「工業用水法」は8区、「ビル用水法」は23区が規制区域となっています。

また、地盤沈下を止めるためには法の対象外地域を含む広域的な揚水規制が必要との審議会答申を受け、東京都は独自に「東京都公害防止条例」により、多摩地域でも揚水規制を開始しました。その後公害防止条例を全面改正した「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」（環境確保条例）では、用途を全用途に拡大しています。

表 7-2 法律・条例による揚水規制の主な経緯

| | 工業用水法・ビル用水法 | 東京都条例 |
|-------------------|--|--------------------------------|
| 昭和 31 年 (1956) | 工業用水法施行 | |
| 昭和 36 年 (1961) | 工業用水法地域指定(江東地区) | |
| 昭和 37 年 (1962) | ビル用水法施行 | |
| 昭和 38 年 (1963) | 工業用水法地域指定(城北地区) ビル用水法地域指定(14 区) | |
| 昭和 45 年 (1970) | | 東京都公害防止条例施行(4 月)・改正(11 月) |
| 昭和 46 年 (1971) | 工業用水法規制基準強化 | 改正条例(量水器設置)施行 ⇒揚水量報告義務化 |
| 昭和 47 年 (1972) | 工業用水法地域指定(江戸川区東部) ビル用水法地域指定(9 区)・規制基 準強化(14 区) | 改正条例(地域・構造基準)施行 ⇒多摩地域でも規制開始 |
| 平成 13 年 (2001) | | 環境確保条例施行 ⇒工業用、ビル用に限らず全用途を対象 |

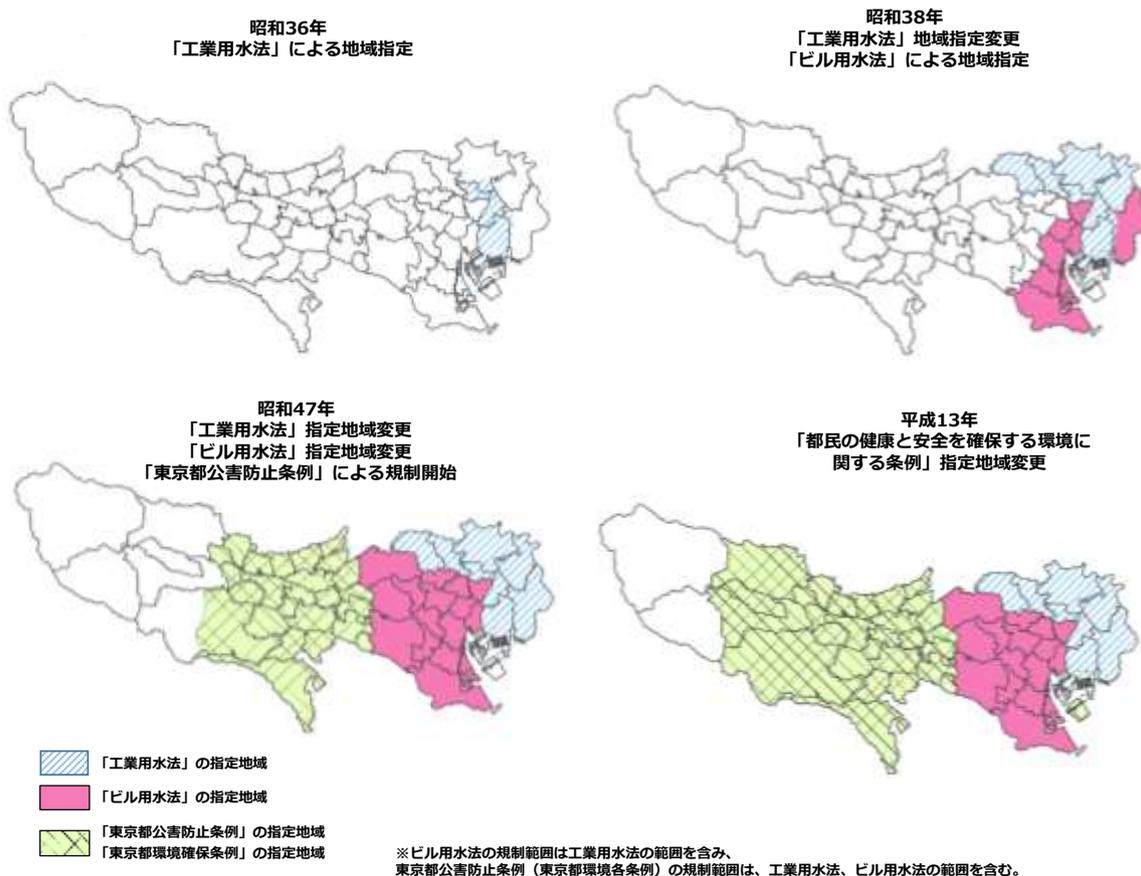


図 7-6 規制に係る法律、条例による揚水規制の指定と基準改正の変遷

遠藤毅「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして」（2009）^[8]より作成

④ 天然ガス採取の停止

関東平野南部の地下では水溶性天然ガスが地下水中に溶け込んでおり（かん水）、東京都内では昭和26(1951)年から天然ガス開発が開始されました。当初からかん水の汲み上げによる地盤沈下の発生は懸念されていたものの、採取する地層が地下約600m以深の固い地盤であることや、因果関係を証明する決定的な報告は無いとして開発が促進され、昭和45、46(1970、1971)年には江東・江戸川地区で日量約3万³のかん水が汲み上げられるに至りました。その間、荒川河口域一体の地盤沈下は著しく進行し、年間20cm以上の沈下が見られるようになっており、一日も早い行政対応が求められました。

東京都は、国及びガス採取企業に対し汲み上げ量の削減を要請し、昭和47(1972)年7月から、国の指示に基づく企業による自主規制(25%削減)が開始されました。国に対し天然ガス鉱業権の取消しについても折衝していたものの、早急な処分が期待できなかったことから、東京都は同年12月、鉱業権を3億9千万円で買収し、ガス採取を完全に停止させました。

昭和50(1975)年には、新たに鉱区が設定されないよう、東京都は国の公害等調整委員会に対し天然ガスの鉱区設定禁止を申請しました。この申請は昭和63(1988)年に受理され、現在都内では天然ガスの採取は不可能となっています。

遠藤毅「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして」（2009）^[8]、
石井ほか「荒川河口付近の地盤沈下について -天然ガス採取に関連して-（昭和48年度都土木技術研究所年報）」（1974）^[9]、

OB ヒアリング回答文書より作文

⑤ 水使用の合理化指導

用水二法(工業用水法、ビル用水法)により地下水揚水の規制が進みましたが、東京都では地下水利用の代わりとなる新規水源の開発が滞り、代替水源の確保が困難になりました。そのため、地下水利用の削減手法として、独自に水利用の合理化指導の取組を実施しました。

まず、昭和 46(1971)年に改定された東京都公害防止条例にて、条例の対象となる工場・事業場は揚水量の報告が義務付けられ、個別の利用実態を把握し始めました。その報告に基づき、揚水量の減少勧告や施設等の改善勧告を行いました。十分な成果は得られなかったとして、要領や指導マニュアルを定め工場・事業場ごとに指導を実施しました(表 7-3 参照)。

水使用合理化指導では、製造工程の把握から、時には排水処理方法まで検討し、一つの工場に数年費やすこともありました。規模別で全体的な削減目標の計画が立てられ、進捗管理を行うことで、地下水利用の削減に貢献してきました(図 7-7 参照)。

表 7-3 水使用合理化指導 指導マニュアル

- ①水利用の概況の理解(行政の立入による現場把握)
 - ②用途別使用水量の測定の指導(→工場から詳細な水利用現状資料の提出)
 - ③水使用合理化の理解
 - ④水使用合理化の勧告又は命令
 - ⑤工場との折衝(→工場から改善計画提出)

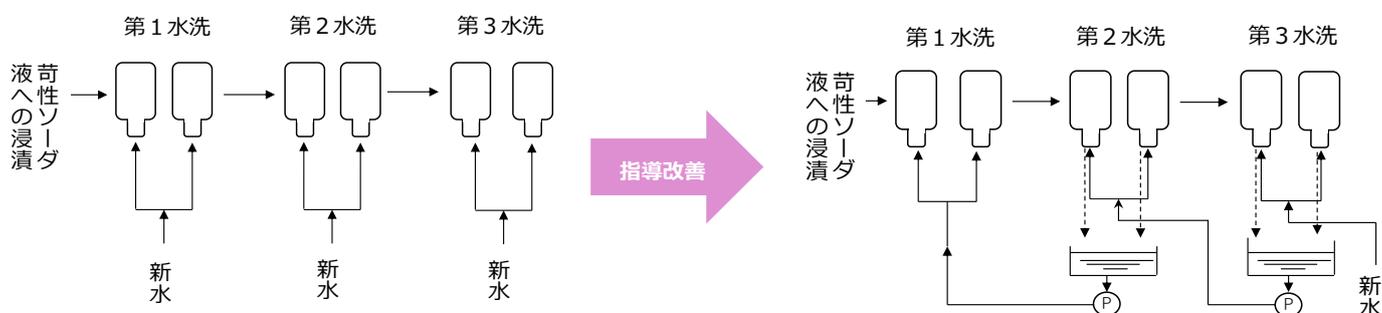


図 7-7 水使用合理化指導例(ビン洗浄施設の改善)

コラム：地盤沈下対策や調査研究に従事された方々の記録

昭和 40 年代は、江東区や江戸川区で年間 20 cm 以上の激しい地盤沈下がみられ、沈下範囲が多摩地区まで広がった時期です。この地盤沈下最盛期に地盤沈下対策に奔走していた元東京都職員から、当時の東京の状況や、課題解決における困難、次世代へのメッセージなどをヒアリングしました。

◆ヒアリングした都庁 OB(昭和 40 年代の職歴を併記)

- ・ W 氏：昭和 42 年～45 年 首都整備局総合計画課防災対策係
昭和 45 年～48 年 公害局規制指導部規制基準課地盤沈下係
昭和 48 年～49 年 公害局規制部特殊公害課地盤沈下対策係
- ・ F 氏：昭和 40 年～44 年 首都整備局総合計画課地盤沈下対策係
<昭和 44 年～46 年 練馬区企画室出向>
昭和 46 年～同 50 年 公害局水の循環利用方策係
- ・ E 氏：昭和 42 年に建設局土木技術研究所(※) 地象部地盤沈下研究室に配属され、地盤沈下対策に関する調査研究を開始。その後長期にわたり、東京の地形・地質、地下水の状況等に関する調査、研究に従事。

※現東京都土木技術支援・人材育成センター

Q. 昭和 40 年代の地下水の保全、利用を巡る世論について教えてください。

W 氏：梅雨、台風時の内水氾濫^{*}の発生や、年 10 数 cm もの地盤沈下状況の調査の発表などがあると、対策の遅れや、揚水規制の強化の必要性などを指摘するマスコミの論調が続いていた。一方、産業界からは地下水は有効に利用すべきとの根強い反対意見があった。

※大雨の際等に、地域の水はけが悪化し、建物や土地・道路が水につかってしまうこと

F 氏：当時、深層の地下水は、清澄な水資源として有効に活用すべきと考えられており、科学的な根拠や算出方法が見いだせるなら、有効な水資源として活用すべきであろうと言われていた。しかし、ひとたび沈下した地盤は、永久に復元不能であることを肝に銘じておく必要がある。

Q. 地盤沈下の被害実態について、当時のエピソード等を教えてください。

W 氏：橋の沈下により、船が川を航行できなくなる障害が見られた。また、低地でゼロメートル地帯が拡大しつつある最中で、局所的な内水氾濫などがあった。

F 氏：年間 16 cm 以上も沈下した地点が出現し、写真入りで新聞紙上に公表され話題になったこともあった。地下水を手押しポンプで汲み上げて家庭用水として使用していた井戸が、最終的に 1.5m 近く抜け上がり使用不能になる事例もあった。また、不同沈下によって、家屋内の障子やふすまが低いほうに偏り、閉めたたたんにすると動き出し、柱にぱちんと音を立てて戻ってしまう状況を見せつけられ、嘸然としたことを思い出す。その他、民家が傾き、住んでいる人たちにめまいなどの健康障害が発生して、生活できなくなった事例もあったと記憶している。とにかく、いろいろな障害が出ていた。

E 氏：建設局による水害経験・地盤沈下の都民の意識調査の調査結果に、当時の都民の危機意識が詳しくまとめられている。低地住民の半数近くが水害を経験しており、6 割以上が水害に危機感を持っていた。特に、“ゼロメートル地帯”の中心地である江東区や江戸川区では、住民の 9 割が水害の危機感・地盤沈下の危機感を持っていた。



図 7-8 当時の状況写真

左：昭和 35 年頃の都内河川 橋が沈下し、船舶の航行が困難になっている（上：綾瀬川 下：横十間川）
右：地盤沈下により抜け上がった井戸

Q. 一都三県による広域的な地盤沈下対策について教えてください。

F氏：当時、都市化の進展に伴って工業用のみならずビル用（冷房用等）の地下水の揚水量が急激に増え、地盤沈下に大きな影響を与えていた。地下深くの洪積層まで収縮しつつあったほか、東京のみならず千葉県、埼玉県及び神奈川県にまで地盤沈下の影響が出始めていた。そこで都県境を超えた広域的な地盤沈下に関する協議・検討の場が設けられた。

W氏：東京都は、南関東地方地盤沈下調査会の事務局を務めた。私は事務局の担当者として、具体的な対策立案のために専門調査員に調査研究を委託し、その成果を報告書にまとめた。また、関東地方知事会地盤沈下部会では、広域対策にかかわる施策、制度の調整、その進捗を政府に要望することなどにかかわった。なお、規制強化、対策促進は各自治体共通の課題であり、このような広域対策の協議において、自治体間で意見の大きな違いはなかった。

昭和 46 年南関東地方地盤沈下調査会が、南関東の地下水は、従来の定常的に水が補給されるとする「地下水脈循環説」を否定し、補給量が極めて少ない「水溜まり地下水盆説」を発表し、規制強化の動きに大きな影響を与えた。

Q. 調査会での検討や広域協議会での協議などを経て、公害防止条例の改正（規制地域拡大、構造基準設定）がなされました。これに際しての議論や苦労等についてご教授ください。

W氏：公害防止条例改正について、大きな反対はなく、議論がスムーズに進んだように記憶するが、下記のような背景があったからでは、と考えている。

条例は、法の規制地域を除いた地域を対象にしていたほか、既設井戸への適用は猶予していたこと。また、条例の構造基準は、法の規制基準に整合、準用しているが、同時期に法による規制地域の拡大、構造基準の強化の動きがあったこと、など。

E氏：公害防止条例の対象区域となる多摩地区は、井戸のストレーナーの構造基準を検討するための地質柱状図(地下の地層を深度ごとに整理した図面)が不十分だった。首都整備局のT係長と一緒にあちこち資料を探し回り、ずいぶん苦勞して、資料作成したことを覚えている。

Q. 公害防止条例改正は、工業用水法改正による規制強化とほぼ同時期でした。この頃の国とのやり取りについて教えてください。

W氏：国は揚水規制の強化にはきわめて慎重、消極的であったように記憶している。規制強化の要望、要請に対して、合理的根拠(揚水と地盤沈下との因果関係が不明確)や、代替水の経済性の問題などを理由に、国の対応は遅かった。この結果、揚水規制強化の実施までには長い時間を要してしまった。

E氏：工業用水法の許可基準(井戸水を工業用に利用するための条件)の「地表面からストレーナーの位置」の妥当性について、地質資料を基に検討を行った。この結果、江東地区では実質的に地下水利用は期待できないことが分かった。一方、板橋、練馬等の城北地区及び足立区、葛飾区では、許可基準が帯水層の基底(最下端)よりもはるかに浅く、実質的には汲み放題となっていることが分かった。この結果をもとに、東京都は「実質的に地下水利用が不可能な帯水層深度」を設定し、通商産業省に法律改正を要請した。時期は定かでないが、東京通産局へ首都整備局のT係長と同行したことがある。この結果、昭和46(1971)年に、工業用水法が現在のように改正された。

Q. 都は、地盤沈下問題に対し、鉦区買収による天然ガス採取の禁止措置を執り行いました。これに際しての経緯等を教えてください。

W氏：昭和(1967)42年に東京都地盤沈下対策審議会は天然ガス開発と地盤沈下との関係調査の重要性について答申をしている。また、東京都土木技術研究所による調査結果でも、因果関係があることが示唆されていた。さらに、昭和46(1971)年に千葉県葛南地域における天然ガスの採取の禁止により地盤沈下が停止し、因果関係があることが実証されていた。

E氏：政党の中には“地盤沈下に関して東京都は被害者である。加害者であるガス会社に金を払うのは本末転倒、揚水を即時停止させ、逆に賠償金を払わせるべきだ”との意見があった。しかし、年間20cmの沈下は、ゼロメートル地帯の展開に拍車をかける。千葉県の前例もあり、“天然ガス採取の停止は東京都の急務である”と、鉦区買収が決定した。

W氏：買収額については、フォスコルド方式で算出し、3億9千万円とした。

E氏：この買収額だが、市川市・船橋市の天然ガスの鉦区買収額を参考にし、財政当局と交渉・設定した。この際、T係長と二人、夜遅くまで、ガス抗井柱状図を睨みながら作成した根拠資料で議会説明をし、買収額は承認された。

Q. 最後に、次世代へメッセージをお願いします。

F氏：地盤沈下は同じ揚水量でも、地下水脈の上流地区と下流地区とでは地盤沈下の程度が異なる。当時は、地下水脈の流れが全く把握されていなかった時代であり、地盤構造の把握すらも全く不十分な時代で、地盤沈下には様々な学説があった。究極的には、揚水量と地盤沈下量との相関性を把握して地盤沈下を生じさせない揚水政策を、行政が実現できるかが大きな課題として浮かび上がってきた時代だった。地下水の保全と利用の両立は、天然の循環資源である「水」を都民が、否日本人が、否全人類がいかに負のダメージを起こさず、スマートにコントロールするにかかっていると考える。

W氏：一度沈下した土地は元には戻らず、地盤沈下が再発すれば、ゼロメートル地帯は拡大する。沈下の再発防止、災害防止のために揚水規制の遵守、一層の水使用の節約、合理化に努めて欲しい。また、地盤沈下では他の公害のような健康被害はなく、現象(沈下)と被害(浸水被害)との関係や対策の効果が認識されにくい。これまでの対策を検証し、新たな施策の展開に活用すること、また地盤沈下を防災問題としてとらえ、環境・防災教育の普及啓発など地道な取組にも期待したい。

E氏：「地盤沈下を生じさせない安全揚水量を明確にし、過剰な地下水の揚水をさせない」。地盤沈下及び地下水管理部門に従事する職員が、常に悩むのはこの命題である。我々関係者は、この広い平野部一帯の(とらえどころのない)地下水について、“地域ごとの安全揚水量”、質ではなく量をどのように算出するのか考えあぐねている。一方、周囲は、この命題が何時解決するのかと期待している。遠い道のみではあるが、この命題解決の前にある課題を一つ一つ解決し、その終結に向けて、一步一步進むより方策は無い。

今回ご紹介した内容は、伺ったお話の一端となります。御協力いただきました皆様、誠にありがとうございました。

7-2 地盤沈下の損害への対策

地盤沈下の影響は様々なところでみられ、対策を行う必要がありました。その一例として、船舶の運航への影響やかさ上げ護岸が挙げられます。

図 7-9 に示すように、土地の標高が下がると河川にかかる橋も同時に沈下しますが、河川の水位は地盤沈下の影響は受けません。このため、地盤沈下が激しい地域では、橋と水面の隙間が小さくなり、船舶の運航が困難になりました。

また、護岸についても同様の理由で、地盤沈下が進行するごとに護岸のかさ上げが必要になりました。特に沈下の激しかった江東区を中心に流れる、小名木川(位置：図 7-1 参照)をはじめとする江東内部河川(荒川と墨田川に囲まれた土地＝江東デルタ地帯を流れる河川の総称)では、昭和 27(1952)年から 37(1962)年の間に 4 度も護岸のかさ上げを行う必要がありました(図 7-10 参照)。

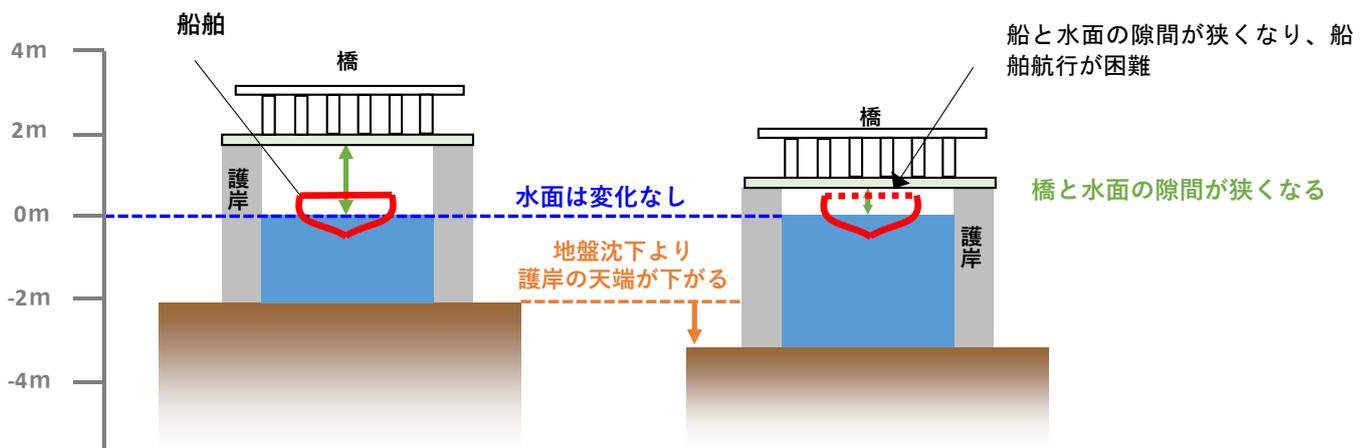


図 7-9 地盤沈下による船舶の運航への影響(イメージ図)

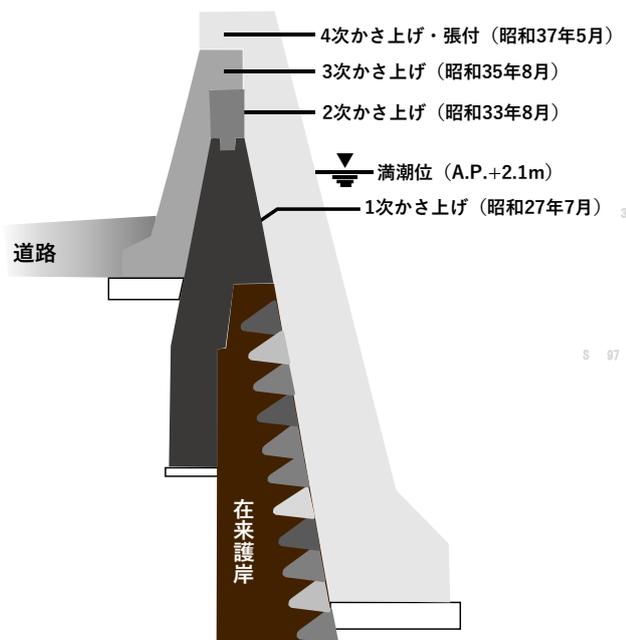


図 7-10 小名木川のかさ上げ護岸の変遷と旧護岸(東京都江東区北砂 5 丁目)

左図：江東区「町の記憶と展 浸水から親水への道のり」^[10]を参考に作成

河川の護岸整備以外にも、ゼロメートル地帯に暮らす人々の生命、財産を守るため、防潮堤などの海岸保全施設の建設や、さらにそれらの維持管理などに多くの費用が必要となります。昭和 32(1957)年度から 60(1985)年度までの公共資本投資額は、平成 21(2009)年度換算で 5,180 億円と試算されました(平成 22 年度地下水対策検討委員会のまとめより)。近年においても、首都直下型地震や頻発する豪雨災害への備えのため、維持管理費用が増加する傾向にあり、令和元年度には前年度より全体費用は減少しましたが、東部低地帯耐震・耐水対策事業費や高潮防御施設費は増加しています。

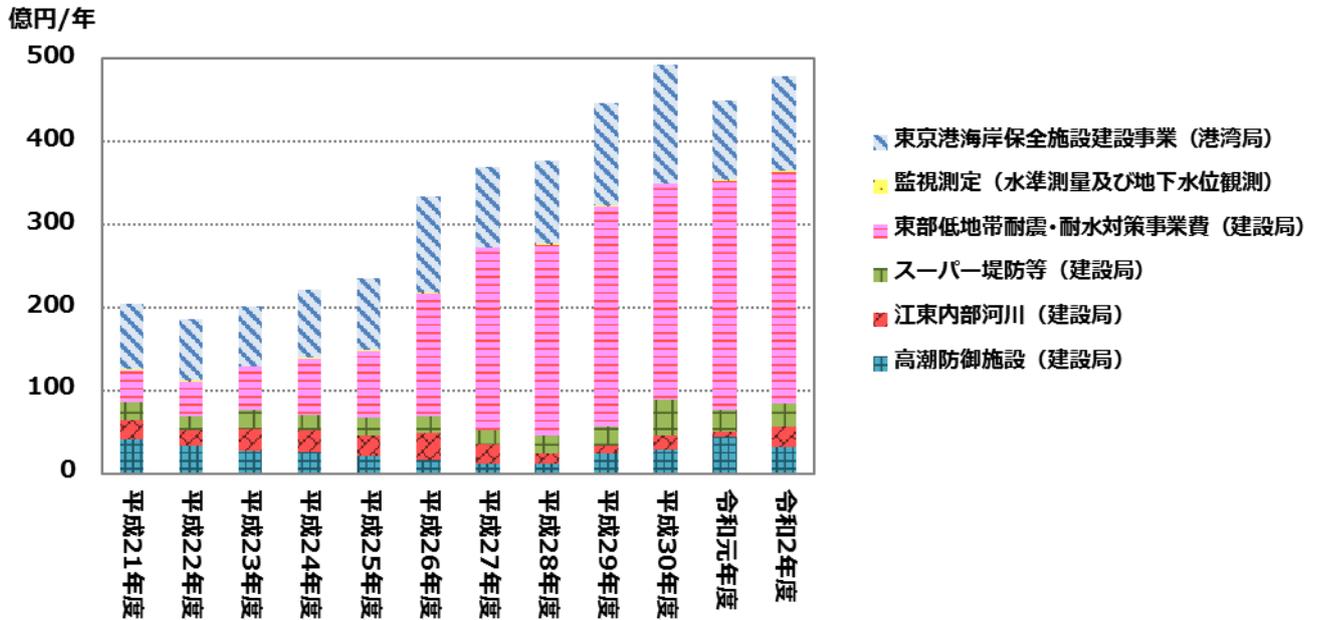


図 7-11 高潮等対策費用

7-3 湧水の枯渇

地下水位の低下は湧水の枯渇や減少とも関係があるといわれています。台地部で不圧地下水位が低下すると、湧水の出口となる帯水層に十分な地下水がなくなり、湧出しにくくなることで湧水が枯渇することがあります(図 7-12 参照)。都内では、昭和 30 年代の 3 大湧水地(井の頭池、三宝寺池、善福寺池)の枯渇がよく知られています。

不圧地下水位低下の主な原因は、都市化による地下浸透域の減少といわれていますが、多摩地域では、被圧地下水の過剰揚水による不圧地下水位の低下も一因である可能性も指摘されています(守田 2012^{[11])}。多摩地域では地質構造上、不圧帯水層と被圧帯水層が接している場所があり、被圧地下水が過剰に揚水されることで、浅層の地下水が深層へ浸透・涵養されるという現象も想定されています。

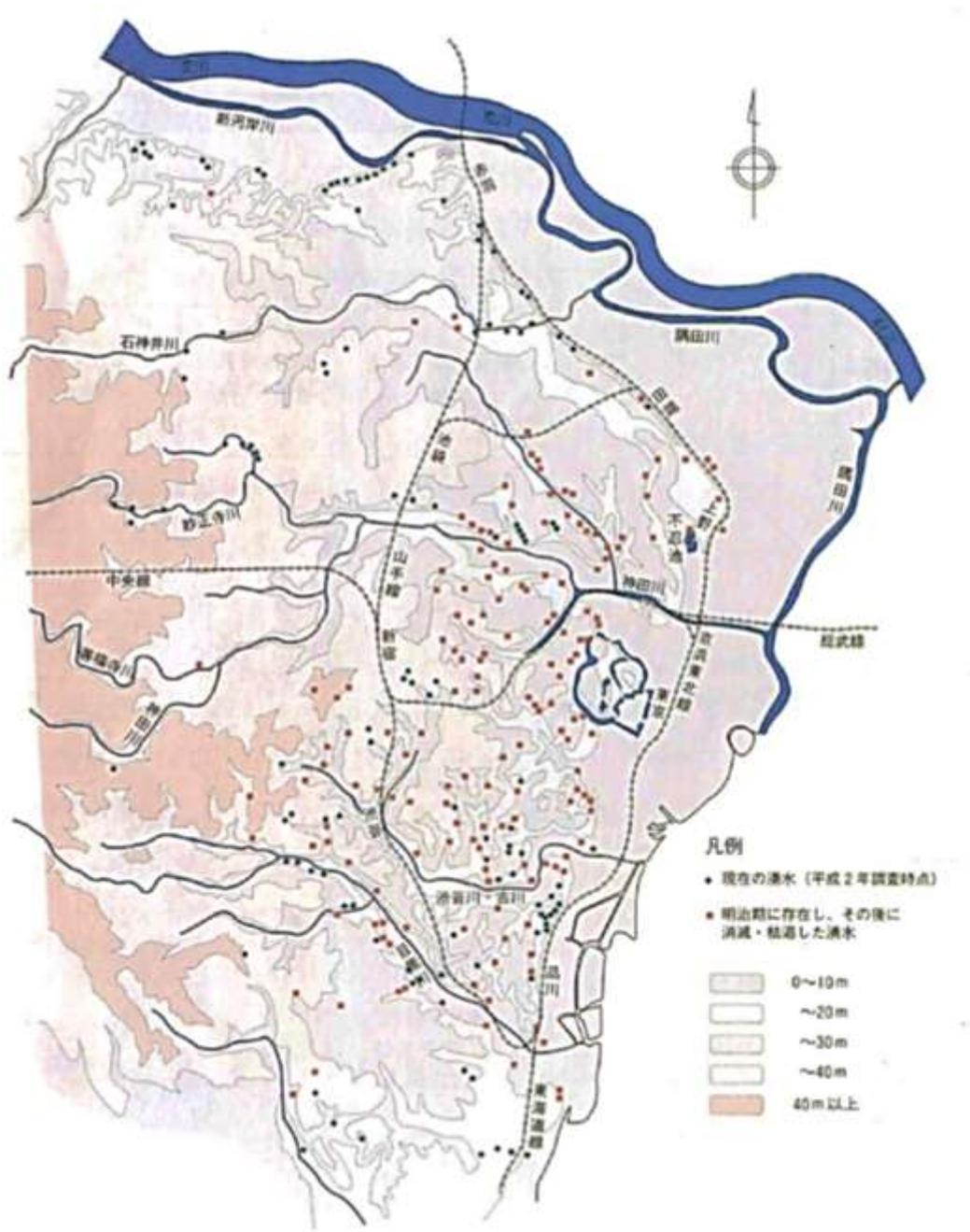


図 7-12 東京都における湧水の枯渇・消滅状況

東京都環境保全局「東京都水辺環境保全計画」(1993)^[12]より

(図の出典: 東京都環境保全局「地下水実態調査報告書」(1992)“島野 原図”)

7-4 地下構造物の浮き上がり

地下水に関わる問題として、地下構造物の浮き上がりがあげられます。

地下の構造物には地下水の浮力が働くことがあります。そのため、地下の構造物はあらかじめ地下水による浮力を受けても大丈夫なように設計・建設されていますが、想定より大きな浮力が発生すると、構造物の浮き上がりや変形につながる可能性があります、問題として取り上げられています。

東京駅を通る総武快速線や上野駅を通る東北新幹線では、駅が地下にあり容積が大きく、かつ上部に重しとなる構造物がないという特殊な舟型の設計がされています。これらの地下駅は、過剰揚水により地下水位が低下していたところに建設されており、当時の地下水位で発生する浮力には、十分に耐えられるように設計されていました。しかし、地下駅の建設後、地下水の揚水規制により周辺の地下水位が上昇し、地下水の浮力により駅が浮き上がる可能性や、駅の床が損傷する可能性が生じてきました。

上野地下駅を例に、浮き上がりの状況と、その対策について説明します。

設計時には地下 38m の深さに地下水位がありましたが、完成時には地下水位は 20m 上昇し、地下 18m となっていました。その後も地下水位が上昇したため、平成 7(1995)年に 1 次対策として、鉄のおもり(カウンターウェイト)を置いて駅を重くする対策がとられています。この際設置されたおもりは 3 万 7000 トンに達します。

また、地下水位が急激に上昇した場合に地下水を汲み上げるための井戸が設置されました。

その後も地下水位が上昇したため、平成 16(2004)年に 2 次対策として、グラウンドアンカーで駅を地面に固定する対策がとられました。同様に、東京地下駅でもグラウンドアンカーによる対策がなされています。

現在まで地下水位の回復傾向は続いています、これらの対策により、いずれの駅も安全に利用できています。

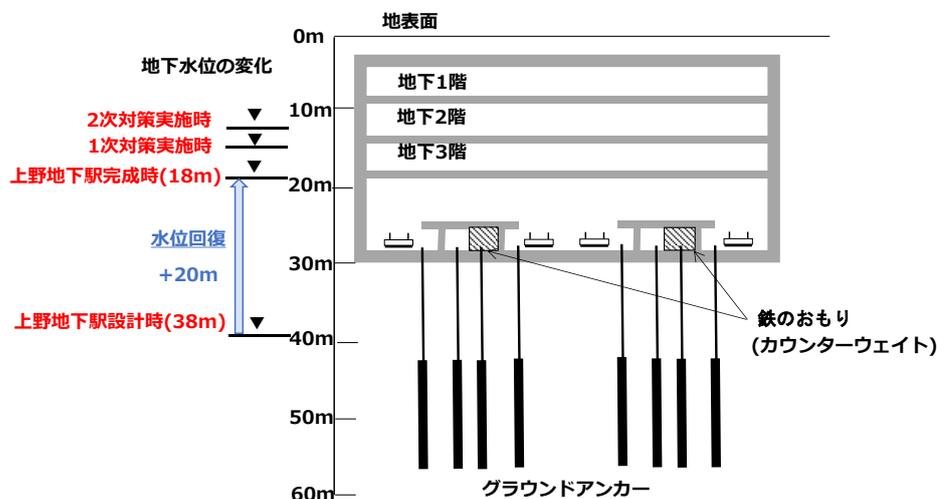


図 7-13 上野地下駅周辺の地下水位の変化と対策イメージ

公益社団法人 日本地下水学会「地下水・湧水の疑問 50 (みんなが知りたいシリーズ 13)」^[13]参考に作成

引用文献

- [1] 国土交通省 国土地理院, 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
- [2] 遠藤毅・川島眞一・川合将文, 「東京都下町低地における”ゼロメートル地帯”展開と沈静化の歴史」, 一般社団法人 日本応用地質学会, 2001年.
- [3] 東京都土木技術支援・人材育成センター, 「地盤沈下調査報告書」, <https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/jigyo/tech/start/03-jyohou/chinka/chinka.html>.
- [4] 遠藤毅・川島眞一・川合将文, 「東京低地を中心とする地盤沈下と調査、対策の年譜」, 平成20年度都土木技術センター年報, 2008年.
- [5] 山口林造, 「東京大学構内深井戸の水位変化 - 1968年末まで - 」, 東京大学地震研究所, 1969年.
- [6] 東京都水道局, 「東京近代水道百年史(通史、部門史)」, 1999年.
- [7] 東京都水道局, 「工業用水道事業の廃止について」, <https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suidojigyo/kosui/faq/haishi.html>.
- [8] 遠藤毅, 平成21年度 特別講演およびシンポジウム予稿集 「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題-東京都を主体にして」, 一般社団法人 日本応用地質学会, 2009年.
- [9] 石井ほか, 「荒川河口付近の地盤沈下について -天然ガス採取に関連して-」, 昭和48年度都土木技術研究所年報, 1974年.
- [10] 江東区, 「まちの記憶と未来展 浸水から親水への道のり」, 江東区, 2021年. <https://www.city.koto.lg.jp/470601/machizukuri/kasenkoen/kasen/matinokioku.html>, 2020年.
- [11] 守田優, 地下水は語る一見えない資源の危機, 岩波新書, 2012.
- [12] 東京都環境保全局, 「東京都水辺環境保全計画」, 1993年.
- [13] 公益社団法人 日本地下水学会, 「地下水・湧水の疑問50(みんなが知りたいシリーズ13)」, 成山堂書店, 2020年.