

第1章 総論

1. 地下水とは

地下水は、地下に存在する水である。年間を通して、水温も一定で水質も良好であることから、人間の貴重な水資源として遠い昔から利用されてきた。

地下には、砂礫などから成る水を通しやすい地層（透水層）、粘土などから成る水を通しにくい地層（難透水層）及び岩盤があり、地域によってその分布が異なることから、地下水が存在する状態も異なっている。地下水で満たされている透水性の良い地層や地層群は、帯水層と呼ばれている。井戸水として広く利用されているのは、この帯水層中の地下水である。

地下水は水理水頭（一般的には、標高で表した水位）が高い方から低い方へ流れるが、地層内部の粒子の隙間を移動するため、その速さは河川などに比べて非常に遅い。河川が水の流速毎秒数 cm～数 m であるのに対し、1 m を数十年、数百年、あるいは数千年もかけて移動している地下水もある。

なお、本報告書ではこの水理水頭を、不圧地下水、被圧地下水ともに「地下水位」と呼ぶことにする。また、地盤についての説明箇所においても、「難透水層」、「透水層」の呼び方で統一している。

（1） 地下水の分類

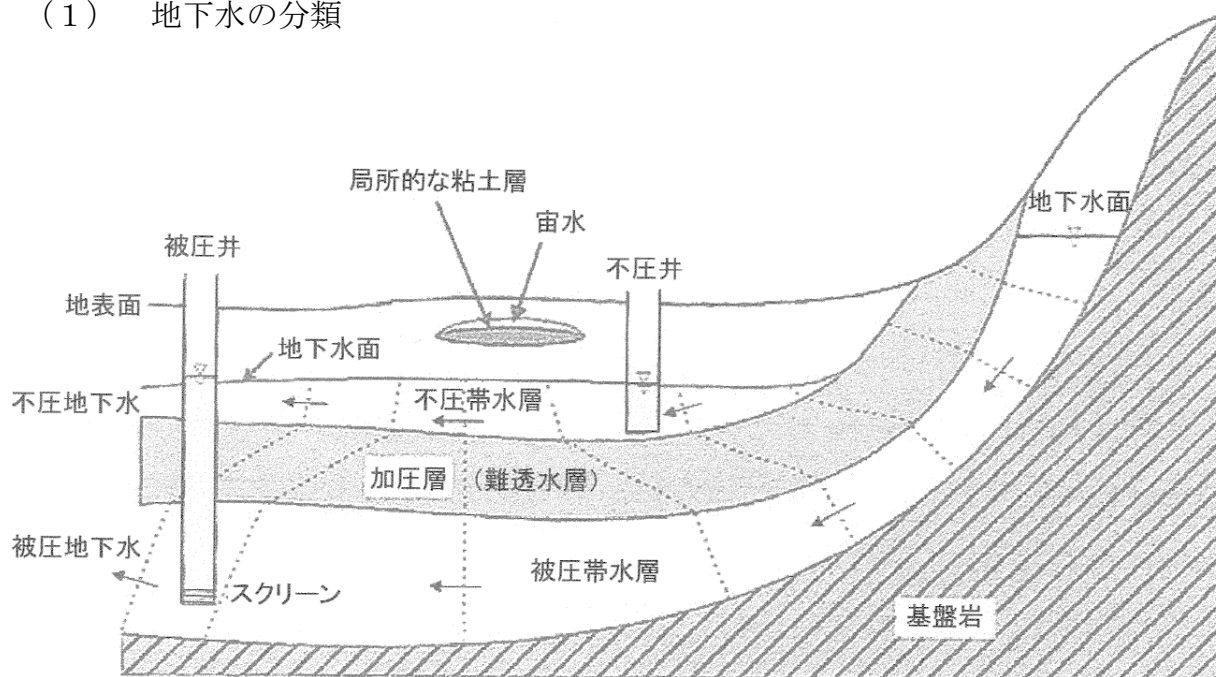


図 1-1-1 被圧地下水、不圧地下水及び宙水の概略図（点線は等水理水頭線を表す。等水理水頭線上の矢印は地下水の流動方向を示す）

杉田倫明、田中正（2009）「水文科学」150p を修正して加筆

ア 水圧による分類

不圧地下水：比較的浅い場所にある帯水層に含まれる被圧されていない地下水。自由地下水ともいう。この不圧地下水の上面は「不圧地下水面」あるいは「自由地下水面」または単に「地下水面」と呼ばれ、大気圧に等しい。降雨による影響を受ける(図 1-1-2)。

(例)

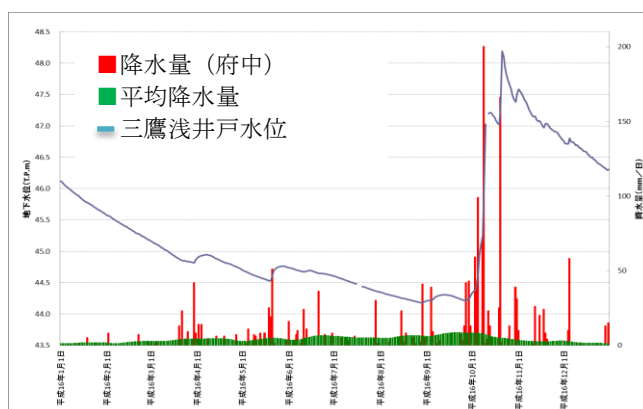
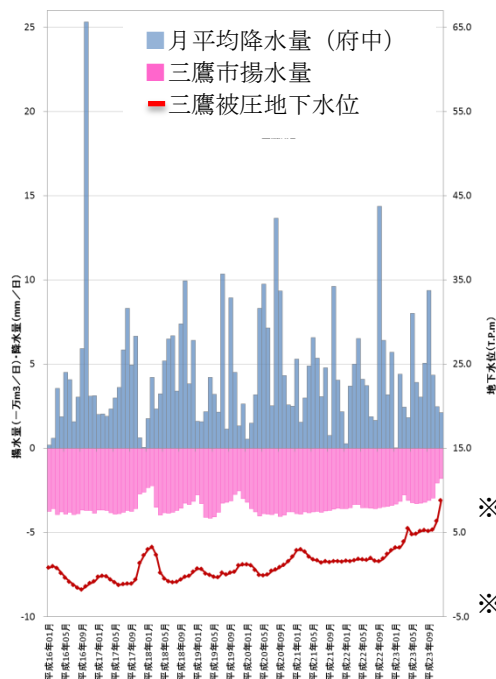


図 1-1-2 降水量と不圧地下水位

被圧地下水：上部に加圧層（難透水層など）があり、地下水位が加圧層の底面よりも高い値を示す。上部に加圧層があることで被圧されており、大気圧より大きい圧力をもっている。また、降水量よりも揚水量の影響を受ける(図 1-1-3)。

(例)



※ 地下水位は、土木技術研究所測定データ
(1時間値)の日平均値

※ 降水量は、アメダスの府中観測所のデータを利用

図 1-1-3 被圧地下水位の例

イ 場所による分類

地下水は、その存在する場所（地質）によって、地層水と裂か水とに分類される。

地層水：未固結な地層に存在する。

裂か水：岩盤などの亀裂に存在する。

(2) 水循環と地下水の涵養

地下水は、地球上を循環している水の一形態であり、元々は降った雨が地中に浸透し貯留されて存在している。

地下水がどのように供給されて人間の生活にかかわっているのか、東京都内の場合を模式図で表す（図 1-1-4）。

降雨の一部は地表面を流れて川や海へ出て行く。これを「表面流出」と言う。しかし、23 区内では都市化の進行により、建築物や舗装などで水が浸透する土地が少ないため、直接または下水道管を通じて川や海に流れ込む直接流出が多い。

地表面から地下に浸透した水の一部は、直接蒸発または植物を通じて蒸散していくものがあり、これらを合わせて「蒸発散」という。

表面流出も蒸発散もせずに地下に浸透した水は、帯水層に補給され、地下水となる。これを「地下水涵養」という。

また地下水は、湧水となり河川等の水源になる場合もある。湧水は、不圧地下水が地中から地表に自然に流れ出る現象で、湧出地点により分類され、東京都内で見られるものは、主に崖線タイプ、谷頭タイプである。

しかし、ほとんどの地下水は地中に貯留され、長い年月をかけて移動していく。

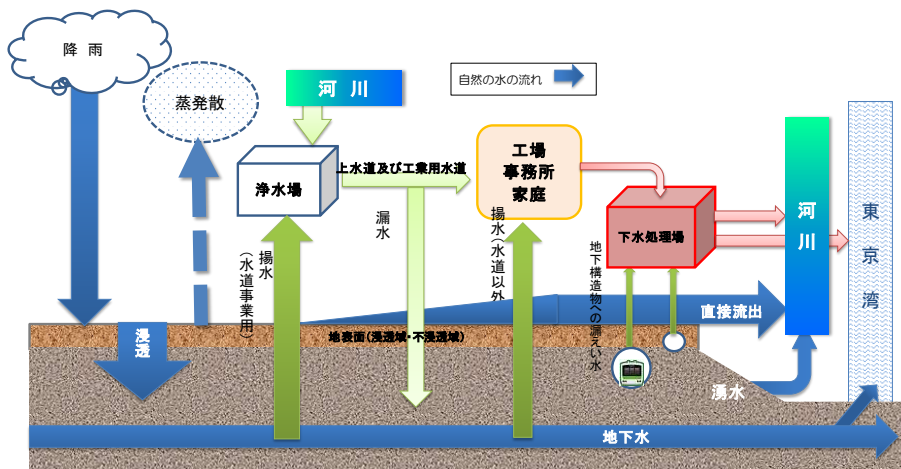


図 1-1-4 身近な水の移動

法律から見た地下水

地下水は、民法第 207 条「土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ。」を根拠とし、自分の土地の下地下水は私有してもよいこととなっている。「河川の流水は、私権の目的となることができない（河川法第 2 条）」とされていることと正反対であり、よく比較の対象にされる。

従来から地下水については、地盤沈下や地下水汚染の発生等に対応し、「利用」や「水質保全」といった側面から個別に法制化がなされてきた。地下水について総合的かつ具体的に規定した法律はないのである。これは、地下水の全容が明らかでないことなど、地下水を管理するうえで課題が多いことによる。

その後、法で対応しきれない課題解決のため、各自治体で条例が整備されてきた。

しかし、「地下水」を公共の財産と位置付けて条例を制定する自治体は、徐々に増えてきているものの、まだ数は少ない。この理由として、公共の財産とすれば、私権の取扱いが課題になることがあげられる。

また、保全や管理を含む総合的な条例を制定するには、地域ごとの自然環境的・社会的な事情が複雑で、様々な立場から合意形成を得ることが困難であるといったことがある。

一方、平成 26 年に水循環基本法が施行された。同法で地下水が水循環の一部であり、水が「国民共有の貴重な財産」とであると定義付けられたこと、また、水の利用に当たって、「健全な水循環が維持されるよう配慮されなければならない」とされたことは注目される。さらに、平成 27 年には水循環基本計画が策定され、水循環の一体的な取り組み方が示されるなど新たな動きが見られる。

利用についての主な法律

温泉法、鉱業法、工業用水法、建築物用地下水の採取の規制に関する法律など

水質保全についての主な法律

水質汚濁防止法、土壤汚染対策法など

水循環基本法の基本理念（第 3 条）

- ① 水は、水循環の過程において、地球上の生命を育み、国民生活及び産業活動に重要な役割
- ② 水が国民共有の貴重な財産であり、公共性の高いもの
- ③ 水の利用にあたっては、健全な水循環が維持されるよう配慮
- ④ 流域として総合的かつ一体的な管理
- ⑤ 水循環に関する国際的協調

2. 東京の地形と地質

(1) 東京都の地形

東京都の地形の鳥瞰図を図 1-2-1 に示す。

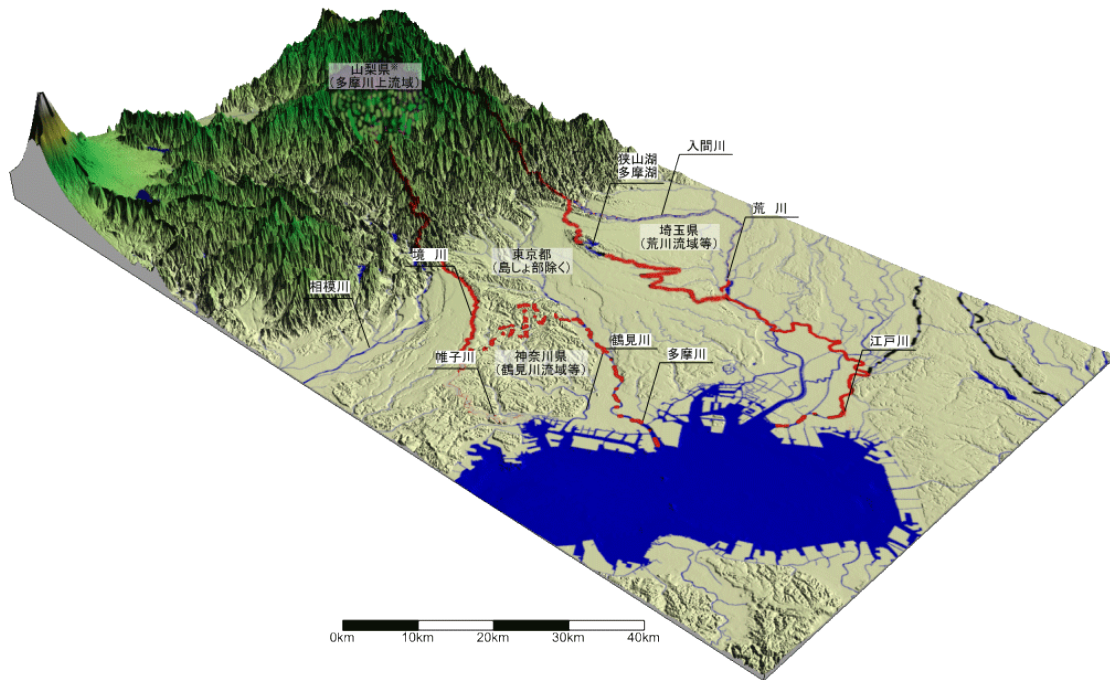


図 1-2-1 東京都の地形（鳥瞰図）

東京都環境局「平成 25 年度地下水実態調査」の図に加筆

東京都は、島しょ地域を除くと、東西方向に約 90 km、南北方向に約 25 km と細長い形状をしており、面積は 1,782 km²におよぶ。

東京都の地形を西から東方向にみると、標高 2 千～数百 m の「山地」（最高地点は雲取山 2,017 m）、続いて、標高 350～55 m 程度の丘陵地、標高 50～8 m 程度の台地（武蔵野台地）、標高約 8 m 以下の低地（東京低地）が分布する。

東京低地には地盤沈下により海面以下となった、いわゆる“ゼロメートル地帯”が含まれ、その面積は約 124 km²に及んでいる。これは、23 区の面積（621 km²）の約 2 割を占めている。

都内には多数の河川が流れている。このうち、河川延長が最大の河川は、山梨県の山地部を水源とする多摩川であり、都内を東南方向に東京湾に向かって流れている。多摩川の伏流水^{※1}は、武蔵野台地の地下水の涵養源になっているとも言われている。

武蔵野台地には、湧水を水源とする野川、石神井川、善福寺川、神田川などの中小河川があり、多摩川や東京湾に向かって流れている。これらの河川沿いにはかつて多数の湧水が存在していたが、地下水位の低下や周辺の開発により

消滅したものが多い。

東京低地には、埼玉県との県境を流れて東京湾に注ぐ荒川や新河岸川、隅田川、千葉県との県境を流れて東京湾に注ぐ江戸川その他、綾瀬川や中川、その他多くの中小河川が流れている。

※1 「伏流水」とは、河川又は湖沼の底部や側部の砂礫層中に分布する地下水で、不圧地下水の一種である。

(2) 東京都の地質

図 1-2-2 に東京都の模式地質断面を示す。

東京都は、山地から低地と複雑な地形となっており、地層もその場所により様々な構造となっている。

山地は、主に第三紀以前（約 6500 万年以前）の岩石群（先第三系）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」、その下位には「舎人層」、「東久留米層」、「北多摩層」が分布している。



図 1-2-2 東京都の東西方向の模式地層断面図

「技術ノート No.1」(東京都地質調査業協会) (1978)より引用、加筆

東京低地には、「有楽町層」、「七号地層」などの沖積層^{※3}が分布し、その厚さは地域によっては地下数 m から 70 m 程度である。その下位に、洪積層に相当する「東京層」や「高砂層」などの「東京層群」、さらにその下位には「江戸川層」、「舎人層」、「東久留米層」、「北多摩層」といった「上総（かずさ）層群」が分布している。

※2 「洪積層」：更新世（約 258 万年～1 万年前）のうち約 2 万年前までに形成された地層

※3 「沖積層」：更新世末期（約 2 万年前）から完新世（約 1 万年前～現在）に形成された地層

図 1-2-3 に関東平野の地形の変遷を示す。東京低地には、約 2 万年前、100 m を超える海面低下によって古東京川という大きな河川が流れており、川底から 100 m もある河岸段丘を形成していた。その後、山から砂や泥などが運ばれ、時が経って軟弱な砂泥で埋没したため「埋没谷」となった。埋没谷の断面（拡大図）を図 1-2-4 に示す。この地域は、東京低地に存在する沖積層の中でも特にその層厚が厚い地域にあたり、地盤沈下の被害も甚大であった。

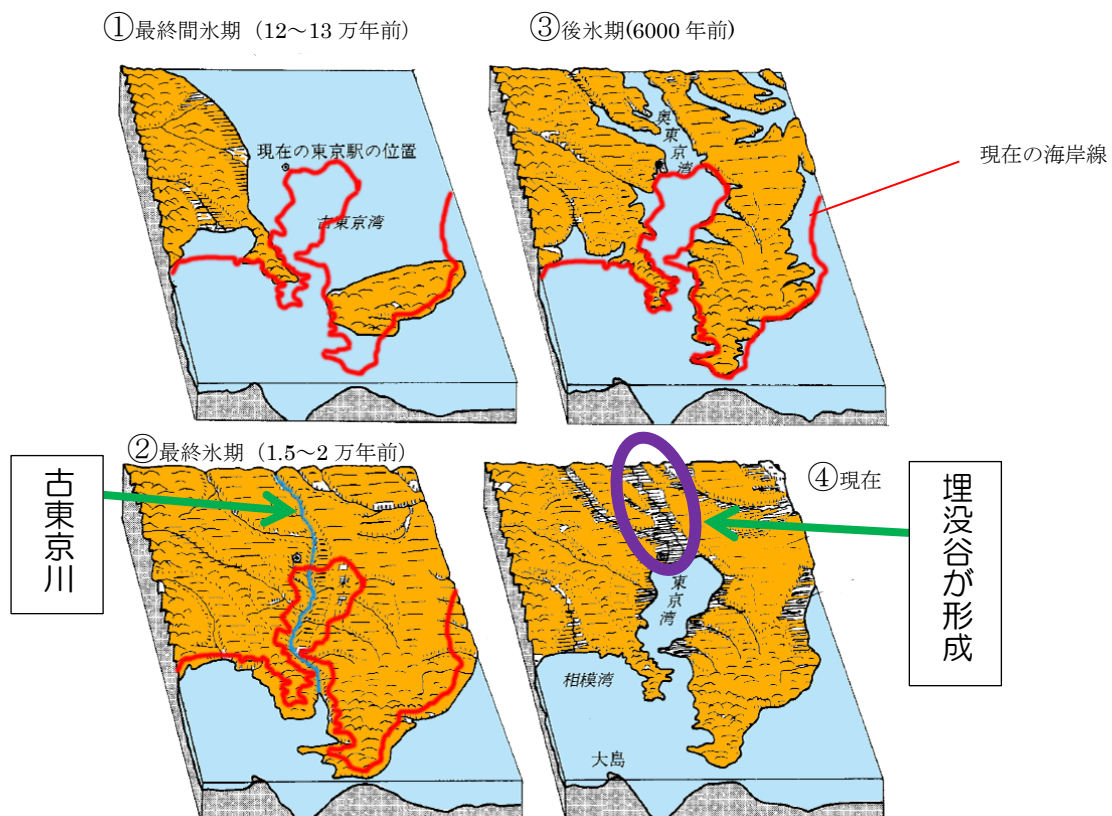


図 1-2-3 関東平野(南部)の地形の変遷

貝塚爽平(1992)「平野と海岸を読む（自然景観の読み方5）」に加筆

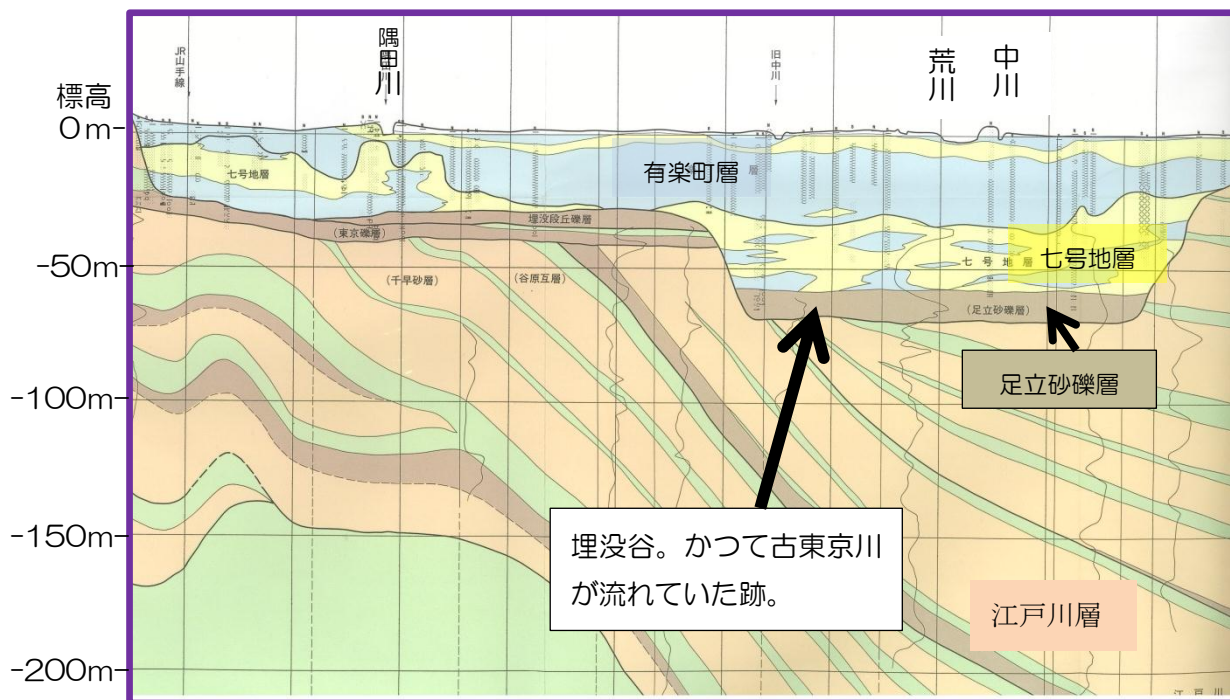


図 1-2-4 東京都の地層断面（埋没谷の拡大図）

東京都土木技術研究所「東京都（区部）大深度地下地盤図」の図面に加筆

図 1-2-5 に東京都の地形分布図を示す。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同様の沖積層が分布しており、図中の「河谷底」がこれに該当する。また、山地を除く平野部の地下には可燃性天然ガス（メタン）が地下水中に溶けて存在している。

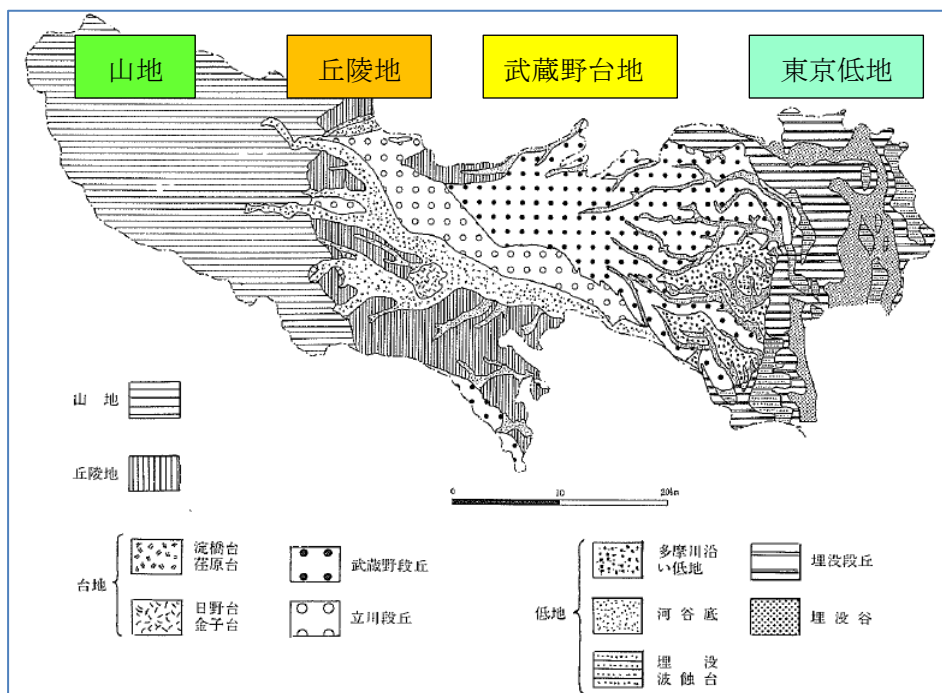


図 1-2-5 地形分布図

東京都土木技術研究所「東京都（区部）大深度地下地盤図」に加筆

(3) 地形・地質から見た東京の地下水流動

これまで述べた通り、東京は複雑な地層構造となっており、これに伴い、地下水の流れも複雑になっている。

都内の地層と地下水の存在の関係は、表 1-2-1 に簡単にまとめられている。都内の地下水は主に、地盤の深部にある固結シルトの北多摩層より上位の層（高砂層、舎人層、江戸川層、東久留米層）の帯水層に存在する。

都内の地層断面概念図（図 1-2-6）を見ると、北多摩層は東西断面で東に、南北断面では北に向かって深くなっている。被圧地下水は、自然の状態では、概ね西から東へ移動しつつ、緩やかに南から北へ向かっていると考えられる。

表 1-2-1 地質層序と地下水

区分	山の手台地	下町低地	層相	地下水の状況
沖積層	(腐植土層)	有楽町層	粘土～シルト (上部に砂層)	砂層中に不圧水
		七号地層	シルト・砂	砂層中に被圧水
洪積層	関東ローム層	埋没ローム層	火山灰	} 台地：不圧水 低地：被圧水
	段丘礫層	埋没段丘礫層	砂礫	
		高砂層	シルト・砂・ 砂礫層の互層	} 砂・砂礫層中 に被圧水
		舎人層		
		江戸川層		
層	東久留米層		砂層が主体	被圧水
	北多摩層		固結シルト層 (砂層を挟む)	砂層中に着色水 やガスかん水

東京都土木技術研究所(1996)「東京都(区部)大深度地下地盤図-東京語地質図集6-」

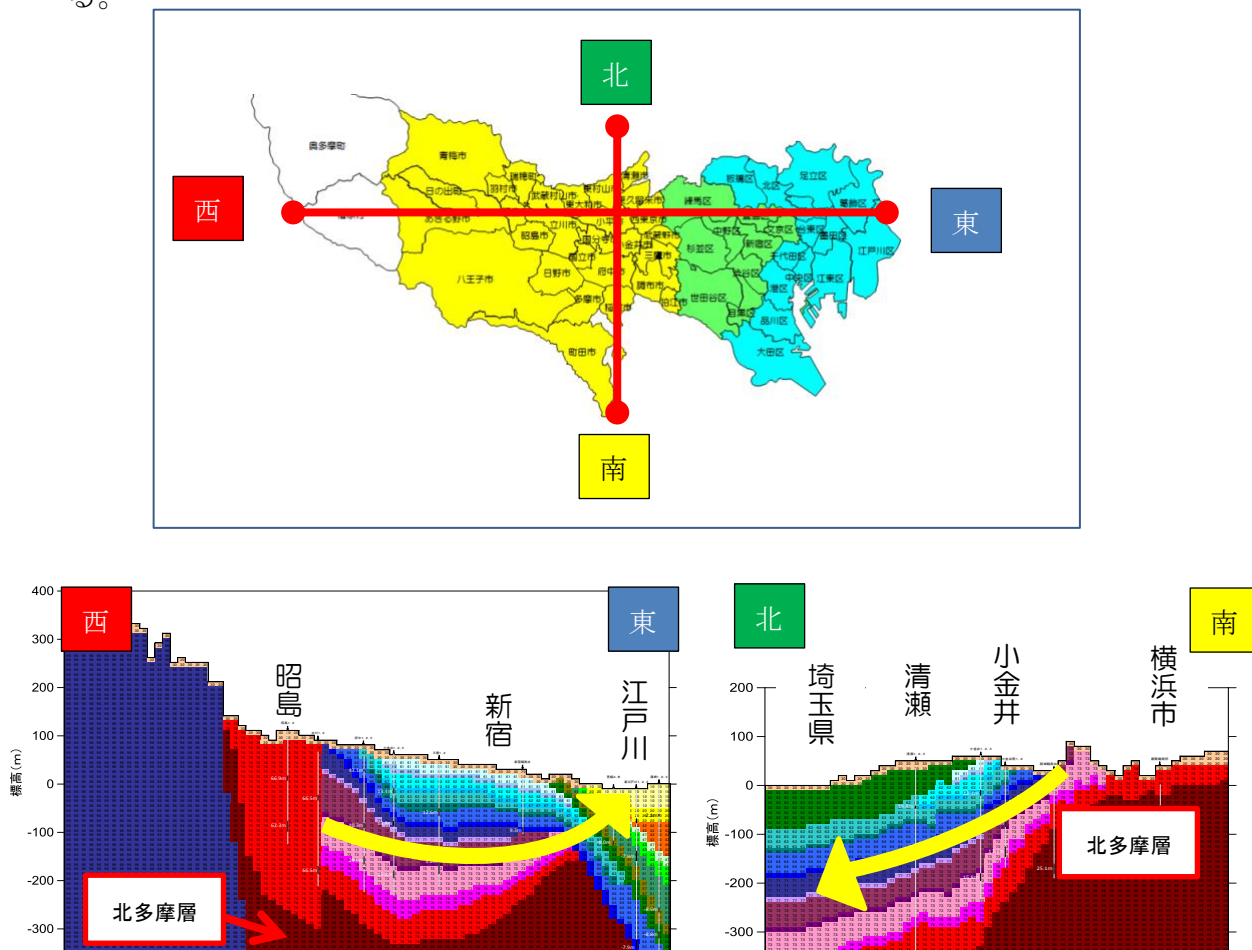


図 1-2-6 東京都の地層断面概念図（東西、南北）

（黄色の矢印は各断面における被圧地下水の大まかな流動方向を示す）

(4) 地盤沈下のメカニズム

地盤沈下のメカニズムを理解するには、地層の性質を理解しておかなければならない。一般に土は、土粒子、水分、空気で構成されており（図 1-2-7）、地層により、土粒子の粒径、土粒子間の隙間の多さ（間隙比、図 1-2-8）などで状態が異なる。粘土やシルトなどの難透水層（粘性土層）は、土粒子の粒径は小さく、隙間の多さを表す間隙比は大きいという特徴がある。一方、透水層である砂や礫層は、土粒子の粒径は大きく、間隙比は小さいという特徴がある（表 1-2-2）。地盤沈下を引き起こす地層は粘土やシルトなどの粘性土層であり、ここでは難透水層と呼ぶこととする。続いて難透水層の収縮メカニズムを解説する。

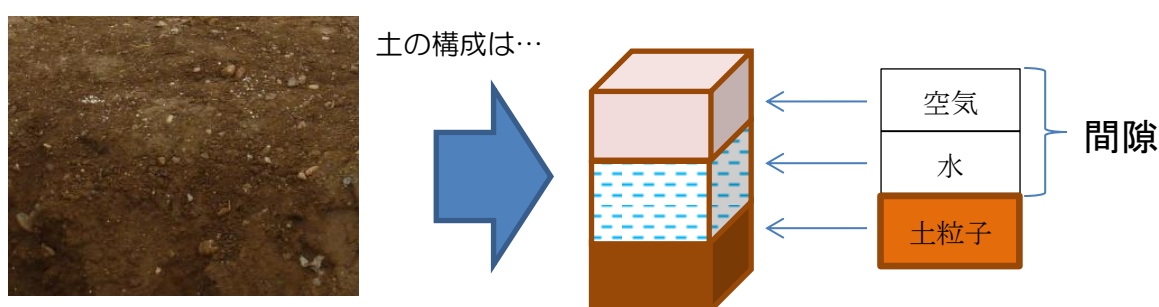


図 1-2-7 土構成の概念図

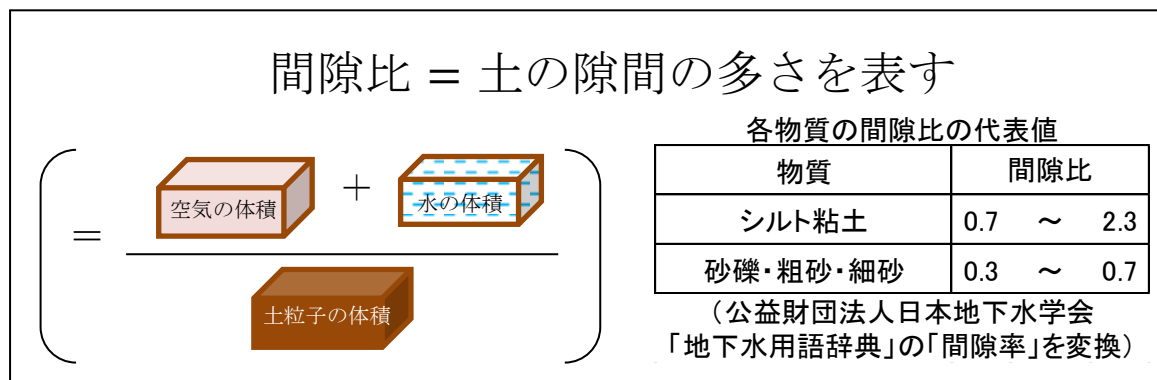


図 1-2-8 間隙比の定義

表 1-2-2 土粒子の粒径と間隙比

土粒子の粒径：栗津清蔵監修「絵とき 土質力学」、間隙比：公益財団法人日本地下水学会「地下水用語辞典」及び山本莊毅責任編集「地下水学用語辞典」の「間隙率」を変換

土の区分	粘土	シルト	砂	礫
土粒子の粒径(mm)	~0.005	0.005~0.075	0.075~2.0	2.0~75
間隙比	0.7~2.3 (難透水層)		0.3~0.7	0.3~0.4 (透水層)

ある一定の深さの難透水層は、上部の地層の重さに対して、土粒子間に存在する水の圧力と土粒子骨格に働く力で釣り合って存在している。ここで土粒子間の水の脱水が起これば、水の圧力が減少するが、難透水層は土粒子骨格に働く力を増加させ、上部の重さと釣り合おうとする。このときに土粒子間の構造変化（間隙の減少）が起これば、全体の体積が収縮する圧密現象が起これば。つまり、難透水層の間隙が多いほど、また厚みを持っているほど、圧密が大きくおきるポテンシャルがあり、収縮しやすい地層ということができる。また、この圧密は、一度構造が変化すると元の状態に戻らなくなってしまうという性質がある。

上述した圧密現象は人為的な地下水の汲み上げによっても起これば。帯水層からの揚水を過剰に行うと、地下水位が低下し、帯水層の水だけでは供給が間に合わなくなり、難透水層から帯水層に強制的に水分が絞り出される。これにより、圧密現象が起これば、難透水層は体積が収縮する。その結果、地盤は全体的に沈下し、井戸の抜け上がり等の現象が生じる。

これら一連の現象が「地層の圧密による地盤沈下」である（図 1-2-9）。

東京低地に存在する沖積層の「有楽町層」や「七号地層」は、地盤沈下を引き起こした主な難透水層である。これらの難透水層は厚みがあり、とりわけ間隙比も大きいため（表 1-2-3）、ゼロメートル地帯が広域に広がるほど被害も甚大となった。

過去には、地盤沈下が一度沈静化した後も、再度の過剰揚水で沈下した履歴もあり、現在でも、これら地域を中心に難透水層が収縮するポテンシャルは有している（85 ページ参照）。

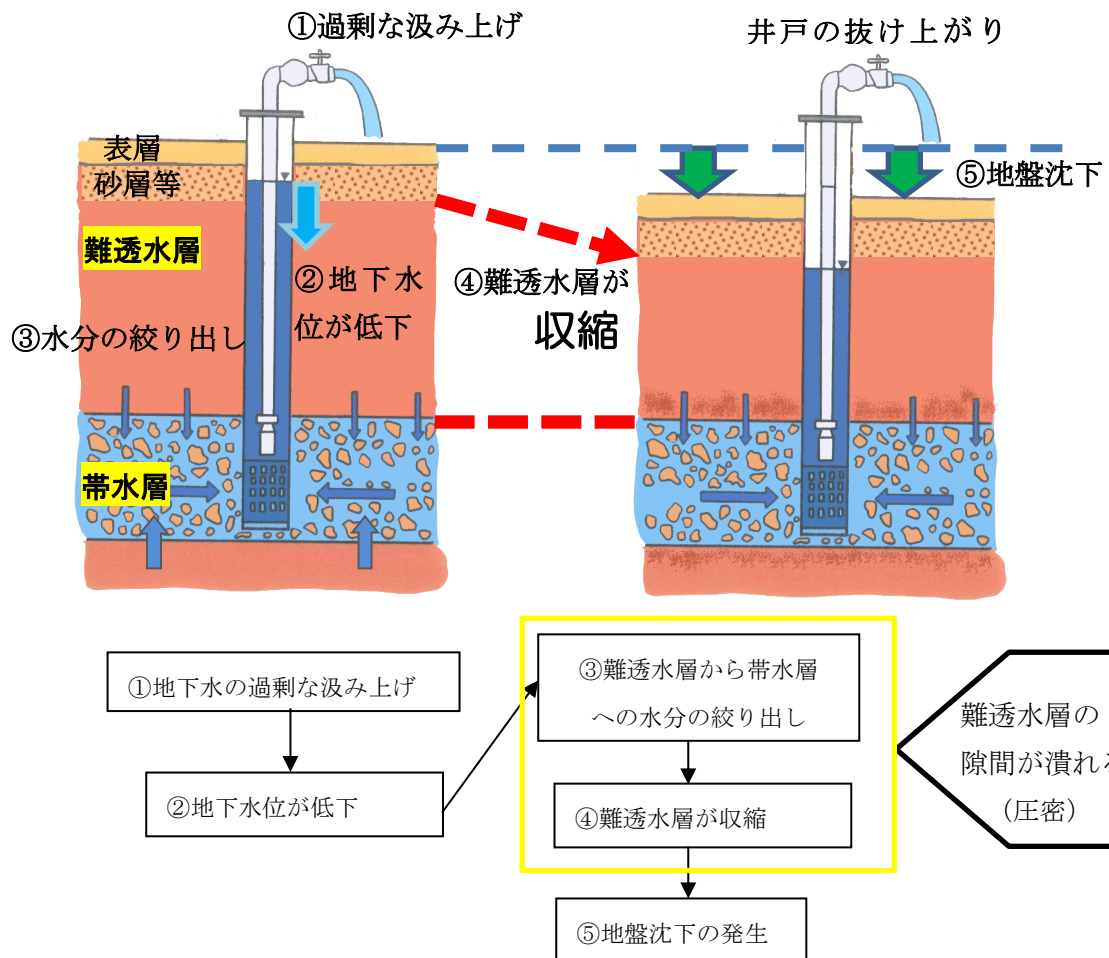
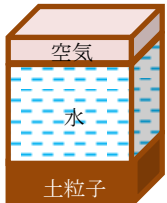
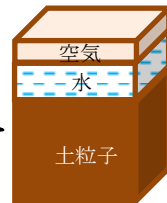


図 1-2-9 地盤沈下の仕組み

表 1-2-3 沖積層及び洪積層中の難透水層の特徴

沖積層中の難透水層 約2万年前～現在に形成 区部低地部の深度70m程度まで、台地部・丘陵地の谷底部に分布	比較的新しく、固くしまっていない。含水比、間隙比が大きく、軟弱な地盤。 沖積層は特に間隙比が大きい。 
洪積層中の難透水層 約258万年～2万年前に形成 区部低地部の沖積層下位、台地部、丘陵地に分布	沖積層より古い時代に形成された地層全般。固く締まっているところが多く、建築物の支持地盤としても使用される。 洪積層のほうが土粒子の割合が多い。 

3. 地下水揚水規制の歴史、体系

東京は、明治時代には富国強兵・殖産興業の拠点として発展し、工場数が増加していった。この工場の増加は、新たな工業用水の需要を生み、河川のように「水利権」が明確にされていない地下水の利用量は飛躍的に増加した。図 1-3-1 に、水準基標主要 8 地点の累積沈下量、亀戸第 1 観測井の地下水位、江東区の揚水量を代表値として示す。

第二次世界大戦により産業が停滞した際には、地下水位が回復し、それに伴い地盤沈下が一時停止した。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、沈下が再度発生した。高度経済成長期には、膨大な量の地下水が汲み上げられ、東京低地を中心に各地で地盤沈下が発生したため、昭和 30 年代には、「工業用水法」と「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」（以下、「ビル用水法」という。また、両法律をあわせて「用水二法」と表記する。）が制定され、厳しい揚水規制がかけられた。

各法律により、許可基準不適合井戸の強制転換（地下水から工業用水道等への水源転換、用途転換等）が行われ、地下水位は上昇傾向が見られたが、地盤沈下は収まらなかった。

表 1-3-1 用水二法による規制内容の概要

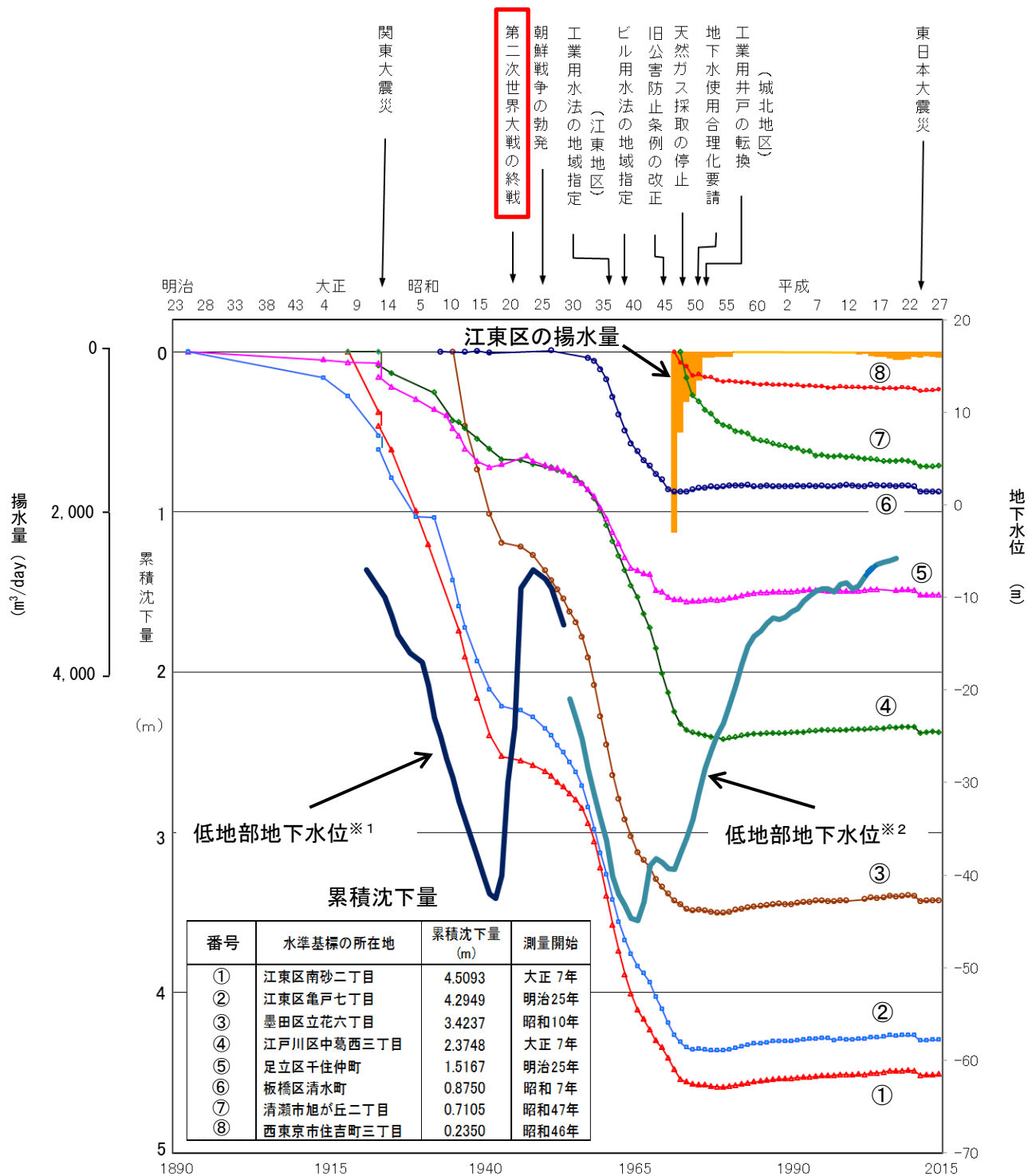
	用途	対象地域	規制基準 (吐出口断面積区分)	法施行の結果
工業 用水法	「工業」の用	城東及び 城北の 8 区	● 6 cm ² 以下 対象外 ● 6 cm ² 超	昭和 55 年 許可基準不適合井戸 の強制転換が完了
ビル 用水法	①冷暖房設備 ②水洗便所 ③自動車車庫内の洗車設備 ④公衆浴場 (浴室床面積 150m ² 超)	23 区	21cm ² 以下 ストレーナー深度規制 あり ● 21cm ² 超 設置禁止	昭和 49 年 許可基準不適合井戸 の強制転換が完了



写真 1-3-1 地盤沈下により、宙に浮いた階段



写真 1-3-2 地表面より運河の水が高くなっている様子



※1 低地部における井戸において、さく井時に測定された地下水位の平均値

※2 亀戸第1観測井（江東区）の地下水位（年平均値）

図 1-3-1 水準基標主要8地点の累積沈下量と江東区の日揚水量及び地下水位

東京都土木技術支援・人材育成センター「平成 26 年地盤沈下調査報告書」を加工

地盤沈下が顕著な地域では、昭和 39 年から工業用水道の給水が開始され、地下水からの転換が進み（図 1-3-2）、地下水位の下降は収まったものの、地盤沈下は継続した。このため、都は東京都公害防止条例(昭和 45 年施行 現在は廃止)を改正し、量水器設置を義務付け（昭和 46 年施行）使用実態を把握し、地下水使用合理化指導（17 ページコラム参照）を実施した。

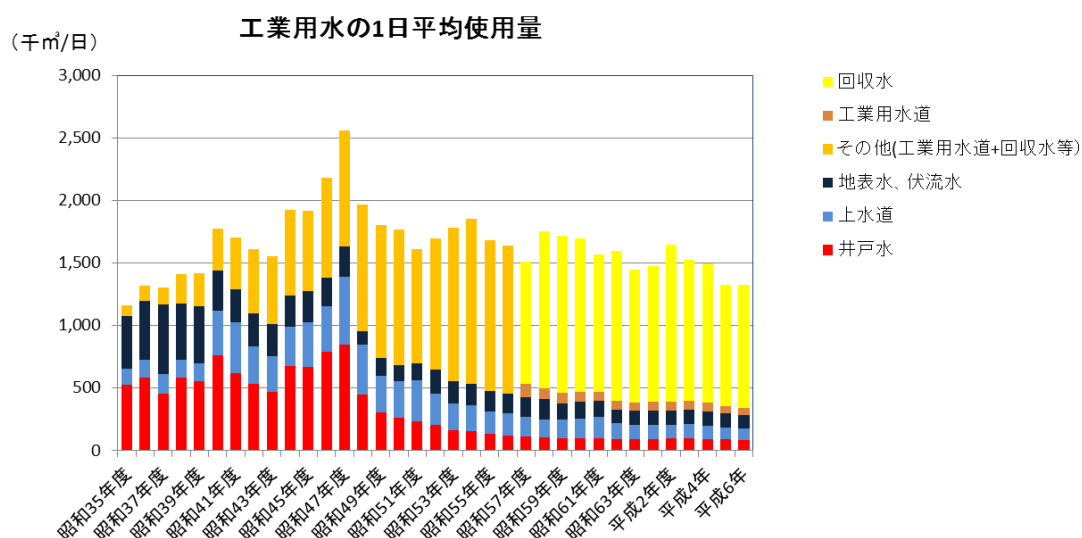


図 1-3-2 工業用水の水源別使用量の変遷 東京都「統計年鑑データ」を加工

また、増加し続けていた多量の揚水を伴う天然ガス採取のための鉱業権を昭和 47 年に買い取り、揚水を停止させ（図 1-3-3）、さらに公害等調整委員会に対し、山地を除く約 12 万 2 千ヘクタールの鉱区禁止指定の請求をした。

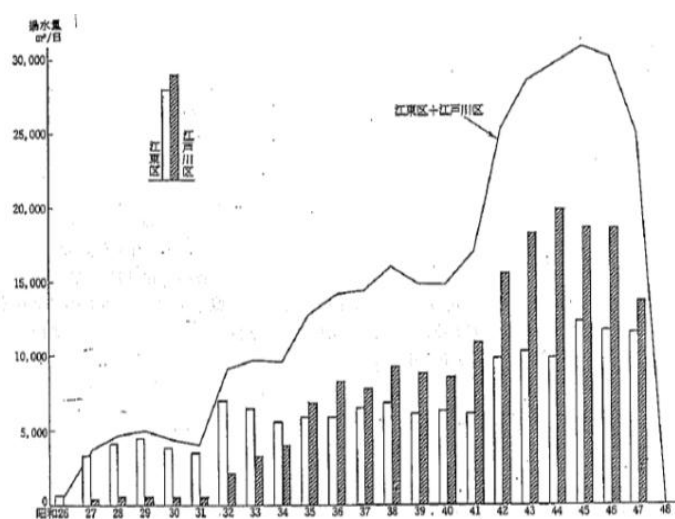


図 1-3-3 年次別天然ガスかん水の揚水状況

石井求 ほか 6 名（1973）「荒川河口付近の地盤沈下について、一天然ガス採取に関して一」
昭和 48 年東京都土木技術研究所年報

昭和 63 年に、水溶性天然ガスの採取と地盤沈下との間に相関が認められ、都内指定地域では、新たに鉱業権の設定をすることが不可能となったことから、ようやく石油・天然ガス採取による地盤沈下の恐れは解消された。

これら複数の施策が実施された結果、区部の地盤沈下は沈静化した。

一方で、図 1-3-4 に示すように、昭和 30 年代から多摩地域の地下水利用は急増し、昭和 40 年代に区部と多摩地域の揚水量が逆転し、昭和 48 年には多摩地域の地盤沈下が明らかとなった。これにより、多摩地域でも地下水位や地盤沈下量の観測が始まった。

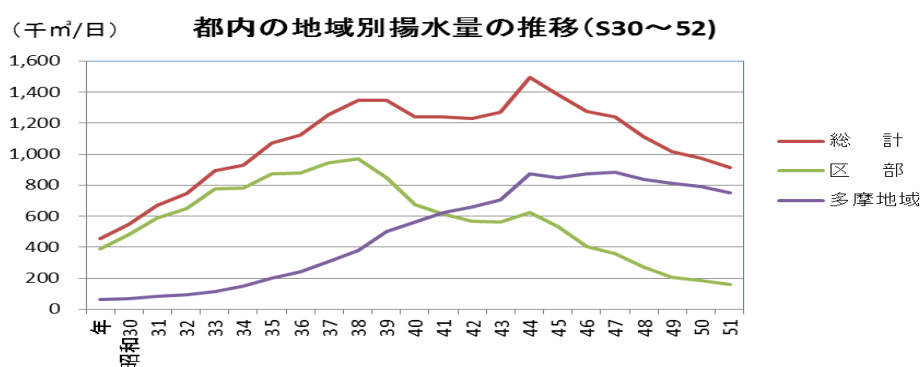


図 1-3-4 都内の地域別揚水量の推移（S30～52）

東京都公害局（昭和 55 年）「地下水収支調査報告書」をグラフ化

多摩地域の揚水量が増加した原因として、以下の二つが考えられる。

一つは、図 1-3-5 に示すように、多摩地域の人口増加により各市に水道が普及し、その水源に地下水が利用されたことである。もう一つは、多摩地域への工場進出に伴い、工業用水として地下水が利用されたことである（「地下水収支調査報告書」より 昭和 55 年 3 月 東京都公害局）。

多摩地域の揚水については、第 3 章で詳しく述べる。

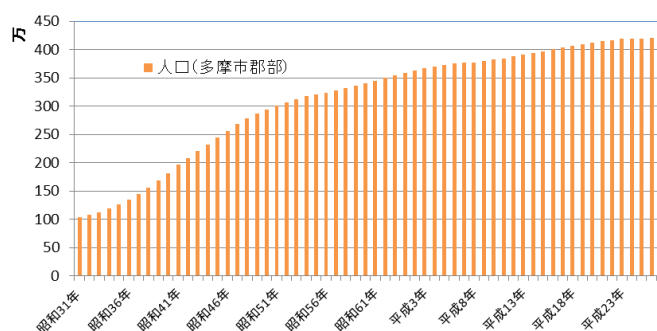


図 1-3-5 多摩地域（市部）の人口の変遷

東京都総務局「東京都統計年鑑」

東京都における水使用合理化指導

用水二法による揚水規制は、激甚な地盤沈下被害への対応策として地下水の代替水源を確保し地下水から河川水（上水道や工業用水道など）への転換を図ることであった。

しかしながら、都では新規水源の開発が滞り、代替水源の確保が困難になってきたことから、地下水利用の削減手法として水使用合理化指導が導入された。

まずは、昭和 45 年に施行された東京都公害防止条例で、条例の対象となる工場・事業場からの揚水量報告が義務付けられ、工場等の個別の利用実態が把握された。

また、揚水量の減少勧告や施設等の改善勧告も規定されたが、ただ勧告するだけでは十分な成果は得られなかったと考えられる。

水使用合理化指導は、要綱や指導マニュアルが定められ、右の枠内のように工場ごとに実施された。製造工程の把握から始まり、時には排水処理方法まで検討がなされ、ひとつの工場に数年を費やすこともあった。

全体的にも、規模別に削減目標の計画が立てられ、進捗管理されていた。

これだけの労力をかけた指導は、地盤沈下の対策が容易でなかったことを表しており、裏を返せば被害がいかに甚大で喫緊の課題であったかを物語る。

水使用の合理化自体は、地盤沈下対策に目的を特化するものではなく、広く水資源管理や水質汚染対策にも関連する、まさに、「人工的な水循環」部分の管理ともいえる。

<指導手順>

- ①水利用の概況の理解
（行政も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水使用合理化の青写真の理解
- 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）

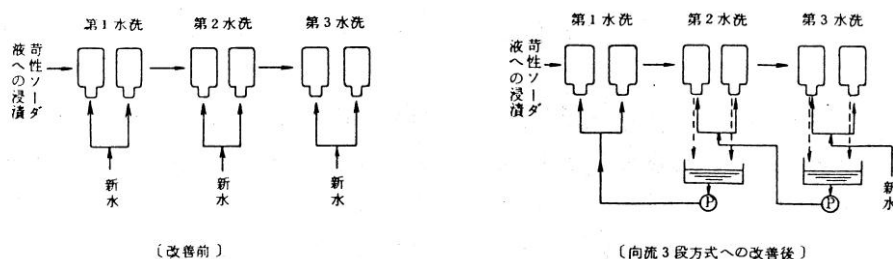


図 水使用合理化指導例（ビン洗浄施設の改善）

表 合理化施策による地下水採取削減量

対象用途	当初(S48)使用量 (千 m^3 /日)	昭和 57 年揚水量 (千 m^3 /日)	削減量 (千 m^3 /日)	削減率 (%)
1000 m^3 /日以上事業者	213.5	73.2	140.3	65.7
500 m^3 /日以上事業者	39.3	18.6	20.8	52.9
200 m^3 /日以上事業者	20.4	19.1	1.3	6.3
計	273.3	110.9	162.4	59.4

※昭和 59 年 3 月「地下水使用合理化の手引」引用（端数処理により、合計が合わない場合あり）

4. 地下水の過剰揚水がもたらす損失

(1) 地下水障害

人為的な原因により地下水位の変動、地下水質の悪化などが発生し、人や生態系に悪影響を及ぼすことを「地下水障害」という（図 1-4-1）。

地下水は、1（2）で述べた通り、長い年月をかけて流動しており、その動きは、大きな水循環サイクルの中で重要な役割を担っている。

地下水利用のための汲み上げや地下空間に構造物をつくり地下水の流れを阻害するなどの人為的行為は、水循環に変化を引き起こす。

一般的に、過剰な揚水により地下水位が急激に低下した場合、湧水や井戸の枯渇、海水を引き込む塩水化、地質の条件によっては地盤沈下を引き起こす場合がある。

湧水が枯渇した場合は、生物の生息環境が失われるといった生態系への影響や、河川流量の減少の原因になるなど、地上の水環境にも影響を及ぼす可能性が高い。

東京都では、過去には被圧地下水の水位低下による地盤沈下が最も大きな問題であったが、近年、不圧地下水位の低下による湧水の枯渇や有害物質などによる水質汚染も問題となっている。

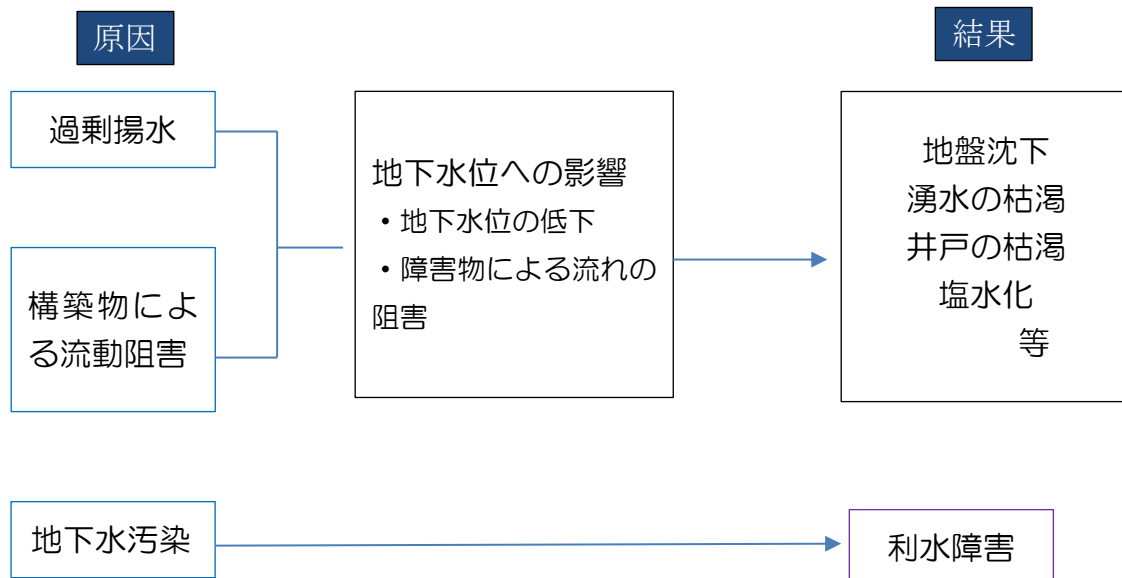


図 1-4-1 地下水障害の分類

地下水障害は、地質地層の条件と地下水が存在する帯水層の深さ（不圧地下水か被圧地下水か）の組み合わせ、その他周辺の社会的な諸条件など、様々な要因により顕在化してきた。

ここでは、東京都で見られる地下水障害について、地下水の不圧・被圧の別や発生する地域について説明する。

ア 地下水位の低下による地盤沈下

① 不圧地下水

地下水は、自然な状態では地盤を構成する要素の一つであるが、利水のための過剰揚水、建設工事での湧出や安全対策のための大量揚水等で不圧地下水の水位が急激に低下することにより、地盤が変形・局所的に地盤沈下が発生することがある。これは、低地部、台地部に共通し、地盤の軟弱な場所であればどこでも発生する恐れがある。

② 被圧地下水

被圧地下水の過剰揚水に起因する地盤沈下は、広域的に地盤の収縮が発生するため、道路や橋梁、建築物の抜け上がりや破損が発生する。主に区部低地部で甚大な被害が発生したが、台地部でも昔の川筋などの沖積層がある場所や、帯水層の近くに厚い難透水層があれば、圧密が発生し地盤沈下につながる(85ページ参照)。

低地部では、ゼロメートル地帯ができ、津波や高潮等の危険が増加する。また、台地部では水はけの悪い場所ができ、内水氾濫（洪水）の原因となる場合がある。

なお、こうした揚水のほか、地下構造物による流動阻害が要因となり、下流側で地下水位が低下することもある（図 1-4-2）。

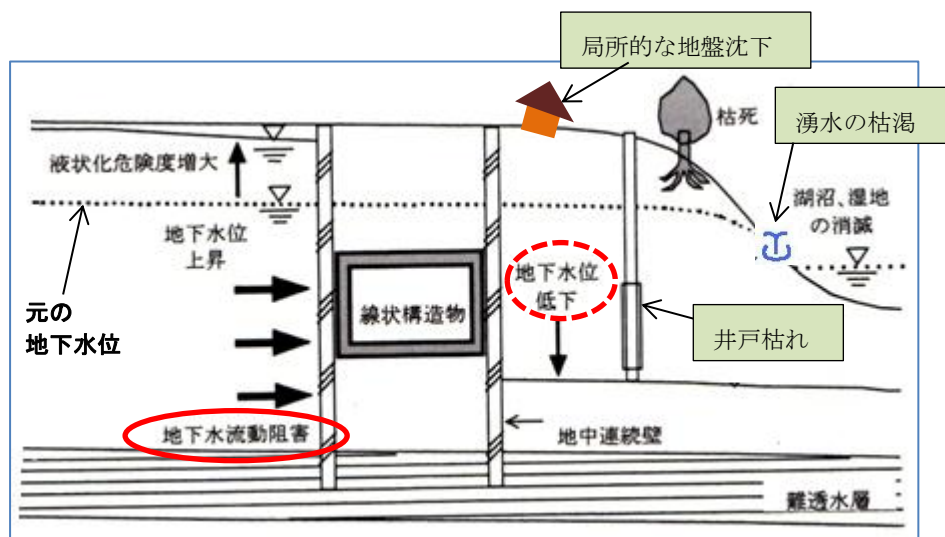


図 1-4-2 流動阻害が原因の地盤沈下や湧水枯渇の現象

西垣誠監修(2002)「地下構造物と地下水環境」〈図 2.1-1 線状構造物による地下水環境問題〉に加筆

イ 湧水の枯渇

湧水の枯渇や減少も地下水位の低下に起因する（図 1-4-3）。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水がなくなり、湧出しにくくなり、湧水が枯渇することがある。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る。

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るが、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が一因といわれている。多摩地域には地層構造上、不圧帯水層と被圧帯水層を分ける難透水層が薄く、帯水層が接している場所があり、被圧地下水が過剰揚水されると、帯水層中の水がなくなり、浅層の地下水が深層へ引き込まれるという現象が発生していると考えられる。

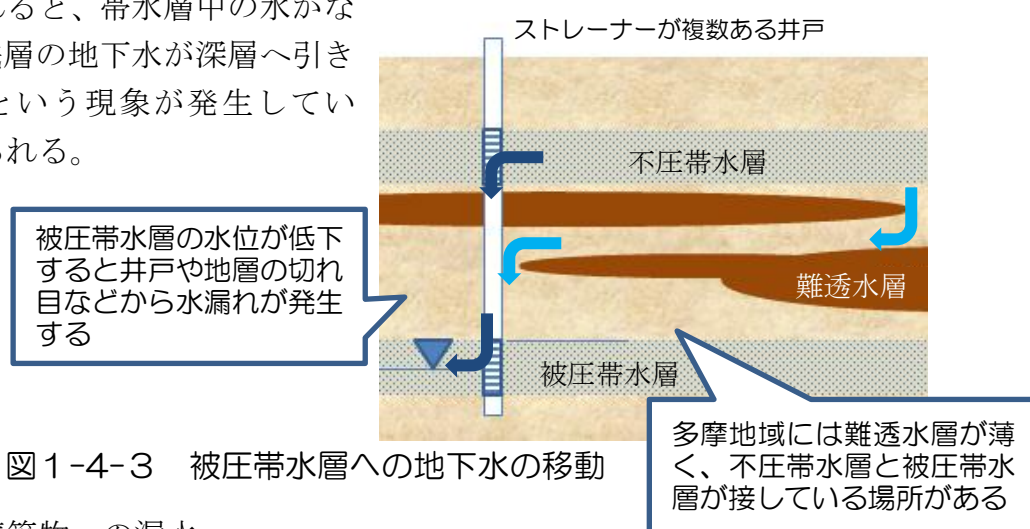


図 1-4-3 被圧帯水層への地下水の移動

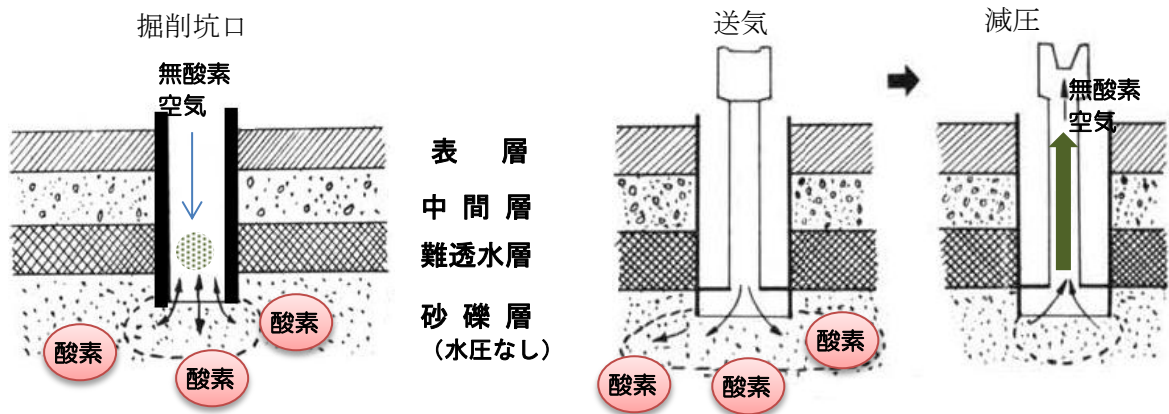
ウ 地下構築物への漏水

構造物の老朽化や構造物の特性などにより、地下水の水圧を受けヒビや継ぎ目などの弱い部分を伝って、地下水が構造物の内部に湧出してくることがある。また都内では、現在よりはるかに水位が低かった時代に建設された建築物で防水や遮水が不十分な場合にも発生しやすい。低地、台地どちらでも起こりうることで、地下水位の回復により顕在化してきている。

エ 掘削工事における酸素欠乏

ビルの基礎や地下鉄工事などの地中掘削工事として昭和 30 年代から地下水の湧水を防ぐため、空気を地中に圧入する「圧気工法」や「潜函工法」が行われるようになった。

しかし、当時、掘削される地層は地下水位低下によって地下水がなくなっているため、圧入された空気中の酸素が還元状態の地層中の鉄分と反応し、一帯の空気は酸欠化した。この酸欠のため、現場で工事中の作業員が死亡したり、酸欠空気が他所へ逆流して酸欠事故が発生した（図 1-4-4）。



I タイプ：掘削面における酸素消費

II タイプ：圧入空気の反動湧出

図 1-4-4 酸素欠乏発生の原因ならびにその機構（抜粋）

清水建設研究所（昭和 41 年 10 月）「酸素欠乏事故」—主として地下掘削工事における— 清水建設研究所報第 8 号 に加筆

オ 地下駅の浮き上がり

地下水位が低かった時代に、地下水の回復を想定せずに設計した構造物において、水位の回復により生じた水の浮力に対して荷重が不十分であったために対策を講じなければならなくなった現象。舟形（地下部分の容積が大きく、上部の構造物がないなど）の構造物の特殊な事例であり、一般的なビル等の建築物では発生しない。

JR 東京駅では地中にグランドアンカーを打つアンカー方式、JR 上野駅では鉄板を敷くおもり方式とアンカー方式で浮上を防止している（図 1-4-5）。

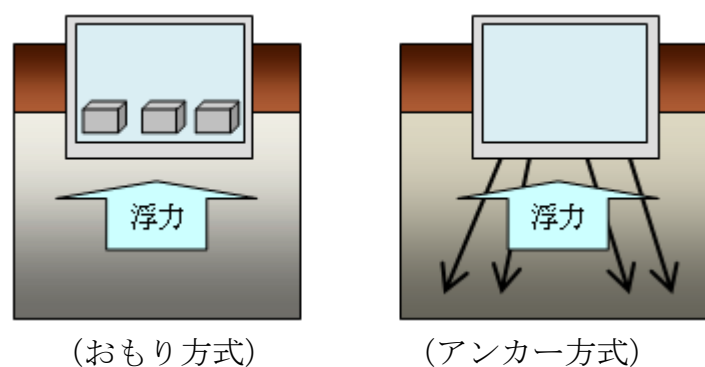


図 1-4-5 地下構造物の浮き上がり対策

カ 地下水の水質汚染（巻末データ集「地下水質調査」参照）

地下水は流動に時間がかかるため、一度汚染されるとその影響は長期にわたる。地下水汚染の原因は、有害物質取扱事業場からの漏えいや不法投棄等による地下浸透、過剰な施肥などによる窒素酸化物等が考えられる。

利水に直接影響することから、法・条例で有害物質の地下浸透には厳しい規制がかけられている。また、汚染が確認された場合、原因者等に対し浄化が命じられる。

(2) ゼロメートル地帯の経済的損失

都内では、平成 26 年度末までの観測結果によると 955 km²にわたって地盤沈下が確認され、現在、124 km²のゼロメートル地帯が存在する。

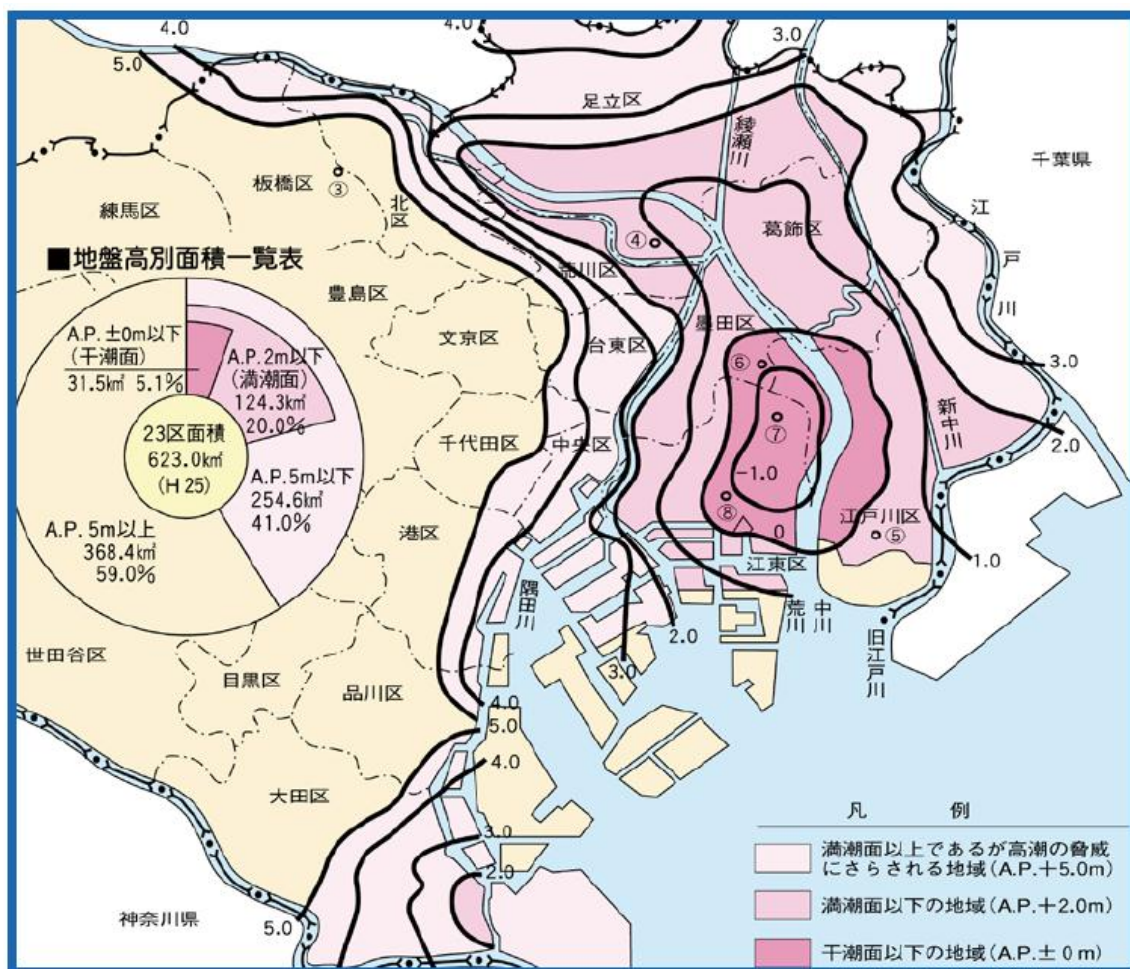


図 1-4-6 低地部の地盤高平面図 (H25) 建設局 HP

注) A.P.とは荒川の水位を測る基準高さのこと。標高(T.P.)0mは、A.P. +1.134m

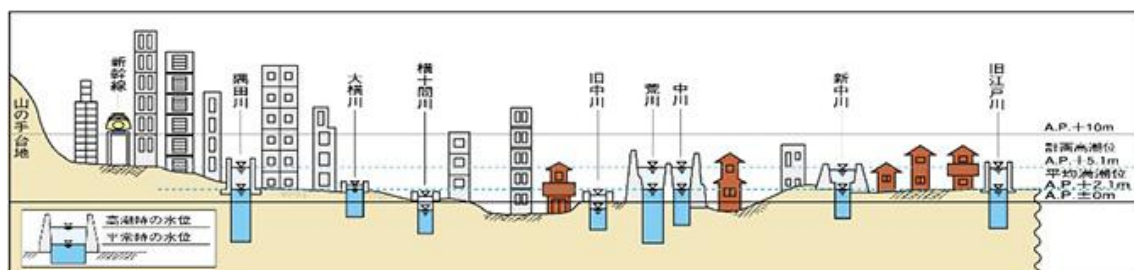


図 1-4-7 東部低地帯の地盤高概念図 東京都建設局

「ゼロメートル地帯」とは地盤高が $A.P \pm 0$ m（干潮時の海水面の高さと同様。）前後の地域一帯を表す言葉である。東京湾の満潮時の海水面の高さは干潮時より約 2 m 高いため、地盤の高さが $A.P \pm 0$ m ～ $A.P + 2$ m の地域では、堤防がなければ住めない。

地盤沈下が沈静化した後も地盤は元に戻らないため、一度ゼロメートル地帯となった地域は、高潮や水害対策を継続的に実施していく必要がある。その費用は莫大であるが、人命を守る観点から、最優先で継続的に取り組んでいかなければならない。

前回の報告書（「東京都の地盤沈下と地下水の再検証について」東京都環境局平成 23 年 5 月）では、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 60 年度までの、地盤沈下対策のための公共資本投下額（「補修的費用」と「予防的費用」）を、経済的損失とみなした調査結果を平成 21 年度の価格に換算したところ、総額約 5180 億円（年平均約 180 億円）であった（参考資料参照）。

現在でも、江東デルタ地帯では、全域での昼間人口は約 80 万人、夜間人口は約 70 万人であり※、高潮や水害によるリスクを想定しながら、様々な管理（図 1-4-8）を行い、「予防的費用」が投じられている。

※「首都圏大規模水害時の江東デルタ地帯に必要な避難場所の収容力に関する分析―域内避難・広域避難の双方を考慮して―」（牧之段、藤生、大原 地域安全学会論文集 No.20, 2013.7）

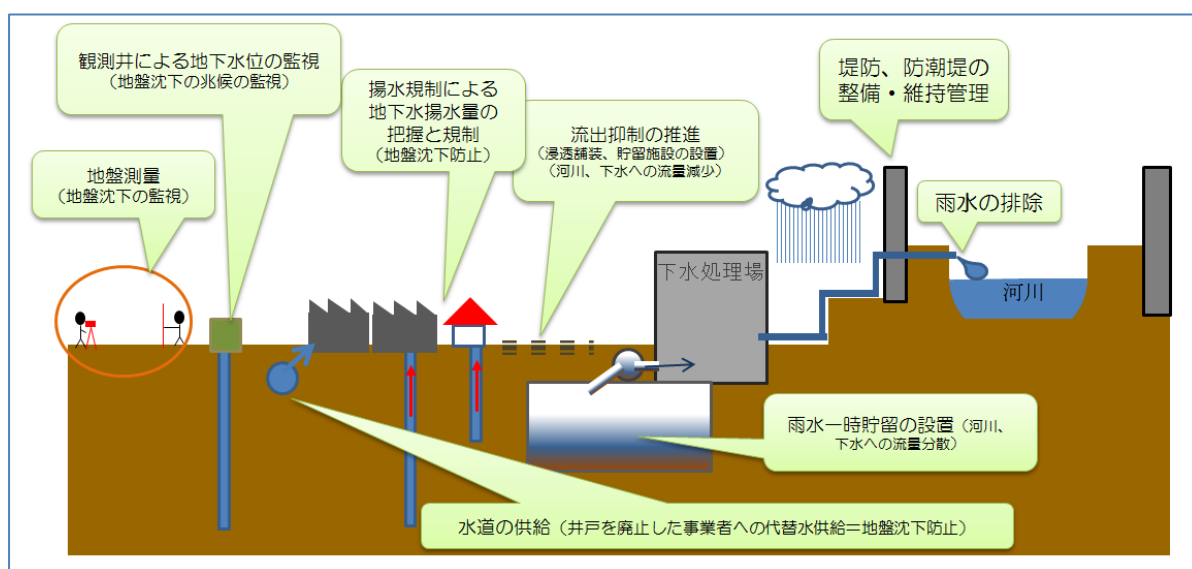


図 1-4-8 ゼロメートル地帯の管理のイメージ

都建設局及び港湾局では継続的に高潮等の対策費用を負担しており、その額が公表されている。そこで、低地部の管理のための費用負担と考えられるものについて、経年的に積み上げた（図 1-4-9）。

主なものは堤防の維持管理費用であり、躯体の耐震化や設備の老朽化により、近年、費用が増大している。今後も、気候変動による海面上昇の恐れなどへの備えを考慮すると、費用負担はさらに増加すると考えられる。

また、地盤沈下が再度発生すれば、道路や橋梁等のインフラや建築物への被害を引き起こし首都東京では社会的影響はきわめて大きいため、監視を怠らないことが重要である。

なお、ゼロメートル地帯だけでなく、海から離れている内地であっても、周囲より地盤が低くなれば、降水時に水が集まりやすく、水はけも悪くなるため、内水氾濫（洪水）などのリスクがある。

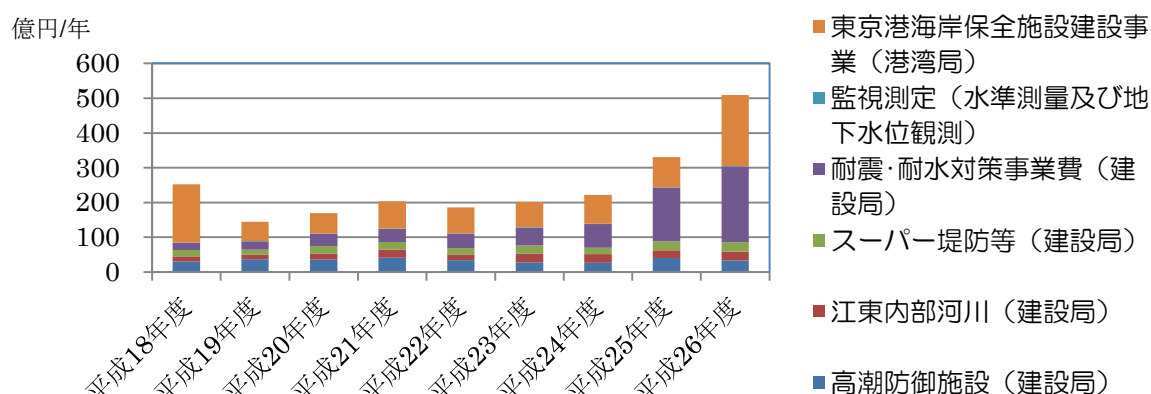


図 1-4-9 高潮等対策費用

