

濃尾平野における地下水管理手法検討について

環境省水・大気環境局地下水・地盤環境室
藤塚 哲朗、佐藤 郁太郎、宮下 規

1. はじめに

我が国における地下水管理は、これまで過剰揚水に伴う地盤沈下対応を主な目的として、地下水の揚水規制を実施してきた。その結果、近年では全国的に地下水位は回復傾向にあり、地盤沈下も沈静化の傾向にある。しかし、地下水採取量が急増する渇水時には依然として地盤沈下が発生する状況も見られることから、引き続き揚水規制などの地下水管理を行う必要がある。

一方で、地下水位の上昇により、地震時における液状化の懸念や一部地域での建築物の浮き上がり等の課題も生じている。また、近年では都市内環境の改善や防災時の水源として、地下水利用へのニーズは高まりつつあるなど、規制だけによらない新たな地下水管理が求められている。

本調査は、地盤沈下等の地下水障害を発生させることなく地下水を利用していくための適正な管理手法を確立するため、名古屋市をモデル地域として具体的な地下水管理手法の検討を行ったものである。

なお、検討に当たっては学識経験者で構成する「濃尾平野における地下水管理手法検討会」を設置しその意見を反映させた。

2. 名古屋市の地下水をめぐる状況

2-1 地形・地質

名古屋市は濃尾平野の南東部に位置し、西から東へ沖積平野、熱田台地、東部丘陵と大きく3種の地形単元に分けられる。沖積平野部では熱田層が地中に埋没しており、東西方向の断面(H-H断面)で見ると、濃尾平野における主な帯水層とされる第一礫層(G1)、第二礫層(G2)、第三礫層(G3)が西方向に向かって傾斜しており、第二礫層(G2)、第三礫層(G3)と接する第三紀層(東海層群)は東部丘陵において地表面まで露出している。

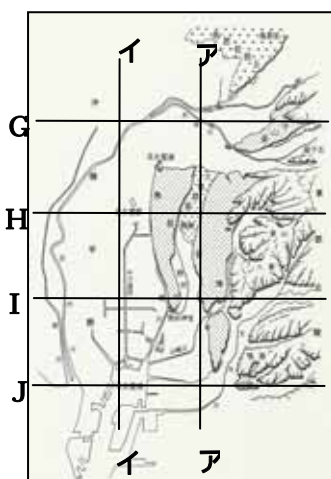


図 2-1 名古屋市域の地質概略図¹⁾

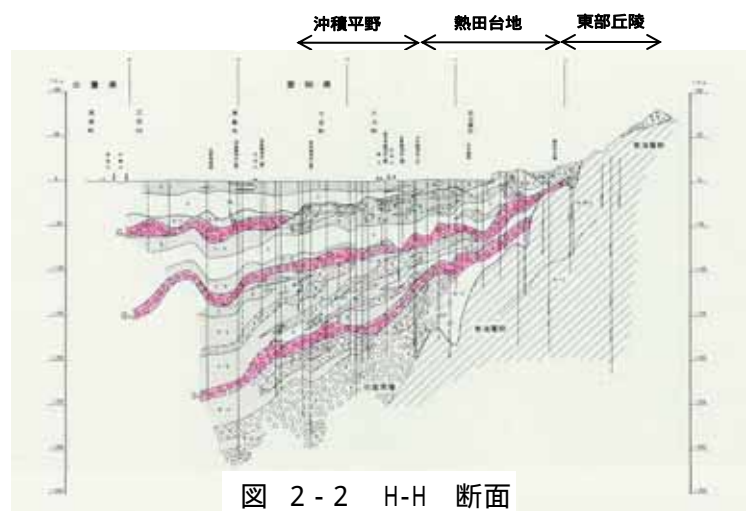


図 2-2 H-H 断面

- 1) 名古屋地域地質断面図集 解説、社団法人 土質工学会中部支部
- 2) 東海三県地盤沈下調査会編 濃尾平野の地盤沈下と地下水、1985

For Better methodology of ground water management, a study case in NOHBI Plains

Tetsuro FUJITSUKA, Ikutaro SATO, Tadashi MIYASHITA

Office of Groundwater and Ground Environment, Environmental Management Bureau, Ministry of the Environment

2 - 2 地盤沈下と揚水規制の状況

観測開始年度からの累積沈下量が最も大きい水準点は N201（港区新茶屋町四丁目 714 番地地先）の 131.2 cm となっており、名古屋市域では主に熱田台地より西側の沖積平野において地盤沈下が生じてきた。しかし、工業用水法、濃尾平野地盤沈下防止等対策要綱、愛知県公害防止条例、名古屋市公害防止条例による地下水揚水規制の結果、地下水位は回復し、昭和 50 年以降、地盤沈下は沈静化している。また、近年では地下水位の上昇により、新たに地下構造物における漏水が生じているほか、液状化の危険性や構造物浮き上がりに対する懸念も生じている。

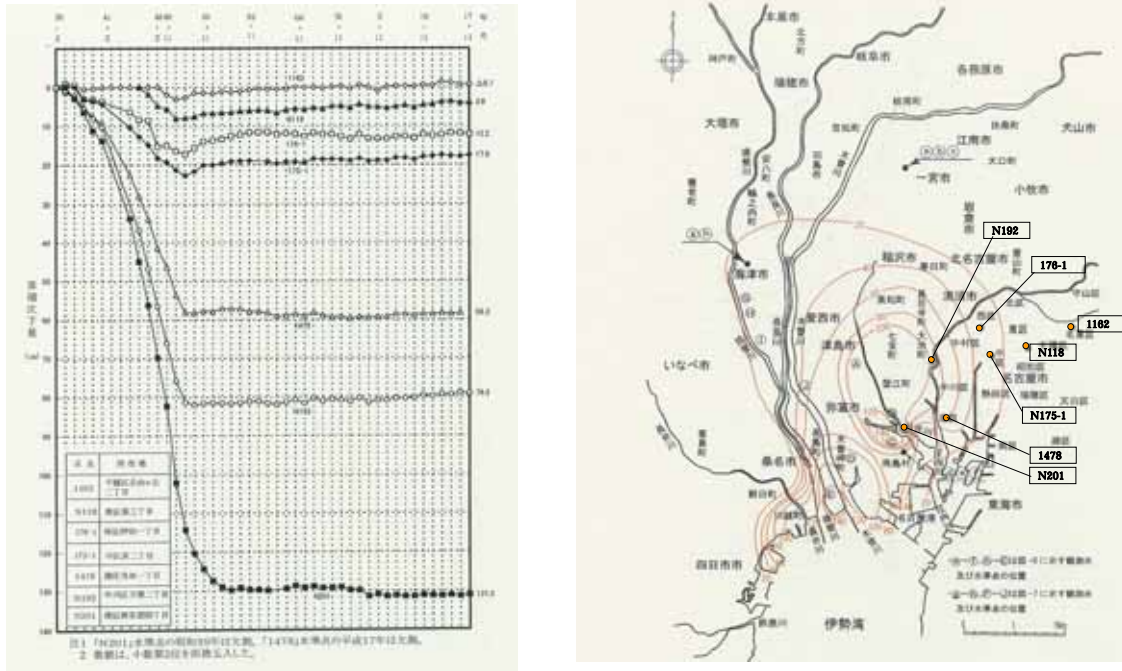


図 2-1 S36.2～H17.11 の累積沈下量等量線図³⁾(左)と名古屋市内の主要水準点の累積沈下量⁴⁾(右)

3)平成 17 年における濃尾平野の地盤沈下の状況 東海三県地盤沈下調査会 に加筆
4)平成 17 年度 名古屋市における地盤沈下の状況 名古屋市環境局

2 - 3 新たな地下水管理の必要性

名古屋市における都市化の進展は、宅地面積や舗装道路面積の増加、緑被地面積の減少、さらに、ため池や水路など水面も減少している。このような浸透域面積、水面の減少は、名古屋市内河川の平常時の流量減少、湧水量の減少、湿度の低下や気温の上昇を生じさせる一因と考えられる。

このような都市部の課題に対して、ヒートアイランド現象の緩和や都市河川への浄化用水、都市内のせせらぎ用水など都市内環境改善のための水利用のニーズに対して、地下水は都市部の貴重な水資源と言える。

しかし、地下水の無秩序な利用は、地盤沈下再発の恐れや湧水量の減少も懸念される。

このため、地下水を適正に管理し、地下水涵養など地下水の保全を図りつつ、地下水利用を行うための新たな地下水管理方策を構築していく必要がある。



図 2-2 緑被地の変化⁵⁾

5)名古屋市緑の基本計画

3. 新たな地下水管理の考え方

3-1 基本的な考え方と地下水管理目標および地下水管理指標

今後予想される世界的な水不足を踏まえれば、地下水の涵養を図り、健全な水循環の確保の観点も含めて地下水を保全し、その上で地下水を有効利用していく枠組みが必要である。

本調査では、地下水管理目標（地下水を管理する目標）と地下水管理指標（その目標と密接に関連している地下水の状態を表す指標）、地下水管理基準（実際に障害が発生しないと考えられる最低限または最大限の指標値）、地下水の利用可能量について検討を実施した。

なお、地下水管理目標と地下水管理基準（地下水位）には地域的な差があることから、地下水管理基準（地下水位）は地域ごと帯水層ごとに検討を行うこととした。

名古屋市における地下水管理目標としては、名古屋市における地下水をめぐる状況を踏まえ、表 3-1 に示した7つとした。「地下水位」は4つの目標に共通することから、本調査における地下水管理指標は地下水位とした。

表 3-1 「新たな地下水管理」における地下水管理目標と地下水管理指標

地下水管理目標		アウトプット指標(結果)	地下水管理指標	インプット指標(原因)
保全	地盤沈下の防止	地盤高、地盤収縮量	地下水位	地下水揚水量
	液状化の危険性の低減	[液状化の発生]	地下水位 FL値、PL値	
	水環境の保全 (水量・水質、生態系の保全)	湧水量、河川流量、 湿地、植物	地下水位	地下水涵養量 緑被地
	構造物浮き上がりの防止	[浮き上がりの発生]	地下水位	地下水涵養量 緑被地
利用	水環境の改善・再生 (水質改善、水辺地・生態系の再生)	水質、水面積、生息 種類、個体数		生活排水、工場排水、 (地下水導水量)
	都市熱環境の改善 (ヒートアイランド緩和)	地温、気温		排熱量、水面積 緑被地

3-2 地域分割・帯水層分割

名古屋市においては前述のとおり、東部丘陵の地域、熱田台地の地域、沖積平野の地域で地質の特徴が別れること、3つの地域それぞれで存在する帯水層や地下水管理目標との関連性が異なることから、図 3-1 に示すように西部地域、中央部地域、東部地域の3つの地域に分割した。

各地域における地下水管理目標との関連性は表 3-2 のとおりであり、地域分割は施策の打ちやすさを考慮して区を基本とし、「緑の基本計画」における区分を参考とし設定した。

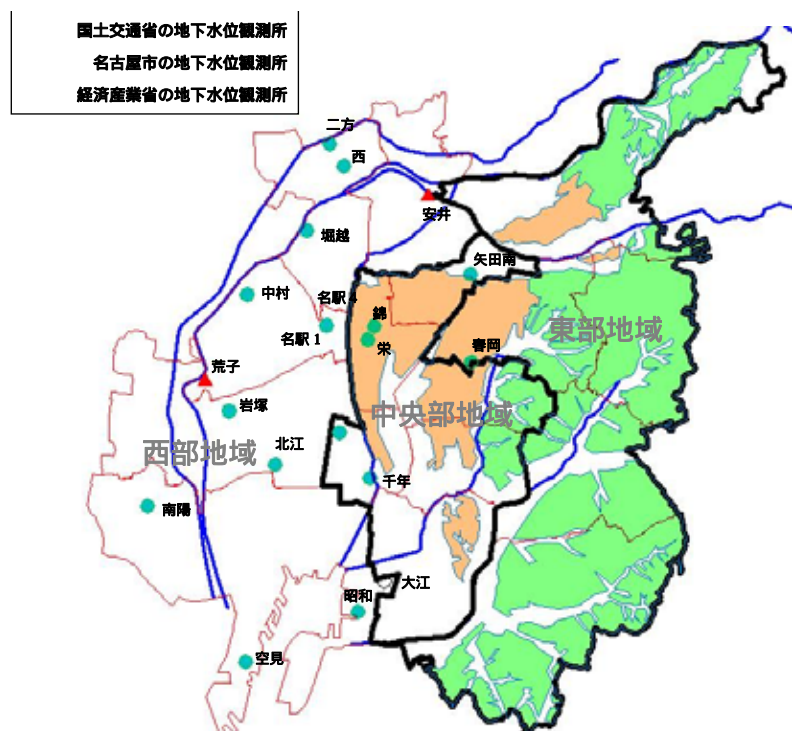


図 3-1 本調査における地域分割

表 3-2 各地域における地下水管理目標との関連性

地域分割	主な帯水層	観測中の観測所（帯水層）	地下水管理目標との関連性
東部地域	・東海層群	春岡（熱田層～東海層群）	一帯の地下水は天白川や山崎川、湧水の水源となっているほか、湧水周辺の湿地には豊かな生態系が育まれる。また、市の地下水涵養域に該当するため、積極的な地下水涵養を図っていく地域。
中央部地域	・大曽根層 ・G 2 層 ・海部累層 ・G 3 層 ・弥富累層 ・東海層群	矢田南（東海層群） 錦、栄（弥富累層～東海層群） 熱田（弥富累層） 千年（海部累層）	都市化が進んでいる地域であり、地下構造物からは地下漏水が見られるほか、ヒートアイランド現象も見られる。水環境の改善・再生、都市熱環境改善の面から地下水利用が期待される。地下水の涵養、保全を図りつつ、利用を図っていく地域。
西部地域	・G 1 層 ・G 2 層 ・海部累層 ・G 3 層 ・弥富累層 ・東海層群	安井 1（東海層群） 安井 2（弥富累層） 安井 3（海部累層） 二方、西、堀越、名駅 1、中村、岩塚、荒子、北江、南陽（弥富累層）	軟弱な粘土層からなる中世期平野部であり、過去に地盤沈下の問題が顕在化した。近年では地盤沈下は沈静化しているが、水位の上昇による液状化の危険性、構造物の浮き上がり等が懸念される。当地域では地下水の涵養は期待できず、地下水の保全を図りつつ、利用を図っていく地域。

名古屋市においては、明確に帯水層が分かれておらず、場所によっては異なる名称の礫層であっても、地下水としては連続性を持っている可能性がある。このため、まず、単一のストレナーを有する地下水位観測所の地下水位変動の類似性から、地下水位変動パターンを3種定義した。次に、複数のストレナーを有する観測所の地下水位変動との比較を行った。

その結果、弥富累層、東海層群が観測対象となっている近傍の観測所同士では、地下水位の変動パターンに大きな違いが見られず、地下水としては連続性があることが推察された。この結果を踏まえ、中央部地域、西部地域の被圧帯水層をG 1 層（大曽根層、鳥居松礫層を含む）、G 2 層（海部累層を含む）、G 3・P 層（弥富累層、東海層群を含む）の3つに分割することとした。東部丘陵においては、P 層のみが地表面付近まで露出していることから、東部丘陵の管理対象とする帯水層はP 層とした。

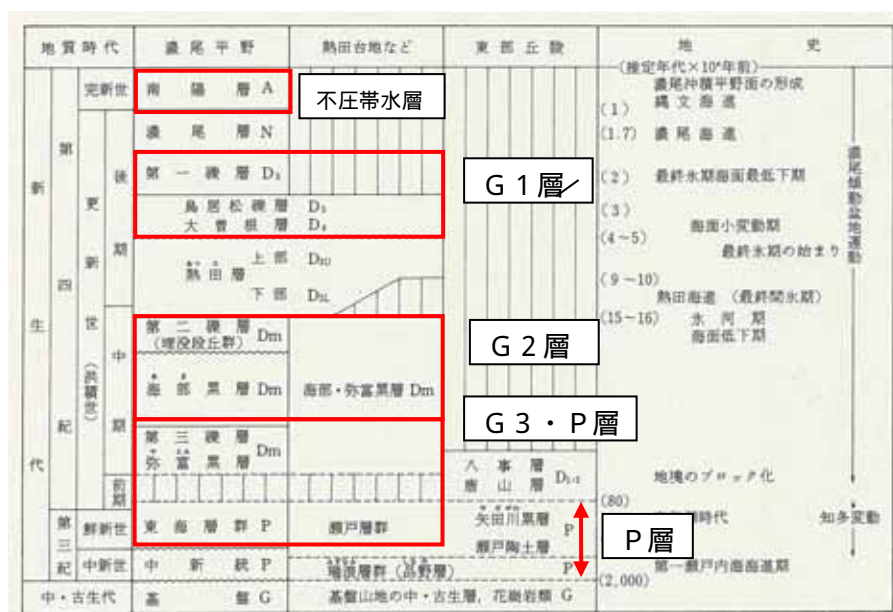


図 3-2 濃尾平野および周辺地域の層序とその形成史⁶⁾

6) 土質工学会中部支部編著 最新名古屋地盤図 1988 に帯水層分割の結果を加筆

4 . 地下水管理基準の検討

4 - 1 地下水管理基準

本調査では、地下水管理基準（保つべき地下水の水位）としては、常時管理水位、注意報水位、警報水位、限界水位の4種類を検討した。それぞれの地下水管理基準は表 4-1 に示すとおりである。

表 4-1 地下水管理基準の種類

地下水管理基準	基準値の持つ意味合い
常時管理水位	地盤沈下等の地下水障害が発生することなく、緊急時にも対応が可能な水位で、地下水の利用が可能な水位
注意報水位	このまま水位が低下（上昇）した場合に、地盤沈下等の地下水障害が発生する可能性があり、揚水者等の注意を喚起させる等の行動の判断基準となる水位
警戒水位	このまま水位が低下（上昇）した場合に、地盤沈下等の地下水障害が発生する可能性が非常に高く、揚水者に対して揚水量削減を依頼する等の行動の判断基準となる水位
限界水位	設定以下の水位が継続した場合に、地盤沈下等の地下水障害が発生する可能性がある水位
限界水位 （地盤沈下）	設定以下の水位が継続した場合に、不可逆な地盤沈下が発生する可能性がある水位
限界水位 （河川・湧水）	設定以下の水位が継続した場合に、河川・湧水の水量が著しく減少する可能性がある水位
限界水位 （液状化、構造物の浮き上がり）	設定以上の水位が継続した場合に、地盤の液状化・構造物の浮き上がりが発生する可能性がある水位

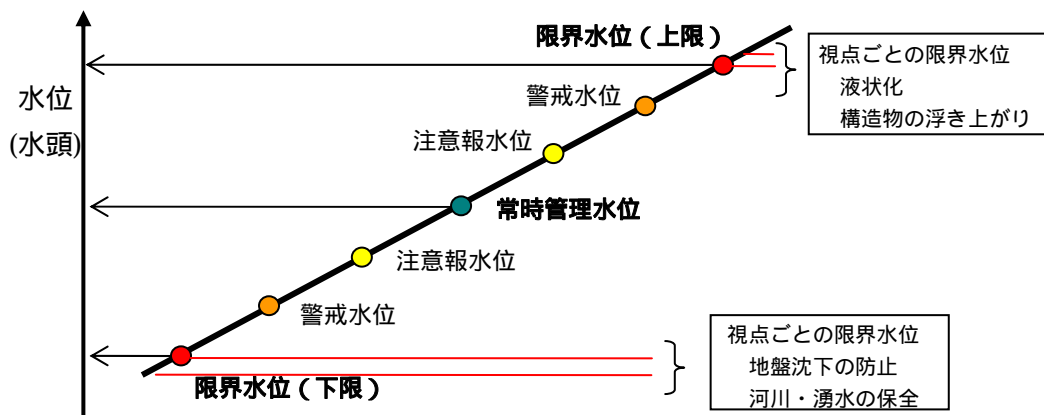


図 4-1 地下水管理基準のイメージ

4 - 2 地下水管理基準の設定

地下水管理の基準となる地下水水位は、常時管理水位、注意報水位、警報水位、限界水位の4種類について以下のとおり設定した。

限界水位は、地下水保全の観点から、地下水障害が発生する可能性がある限界水位を管理目標毎に文献⁷⁾の方法を参考として、地盤沈下の観点から限界水位を検討し設定し、すべての条件を満足する水位を限界水位とした。

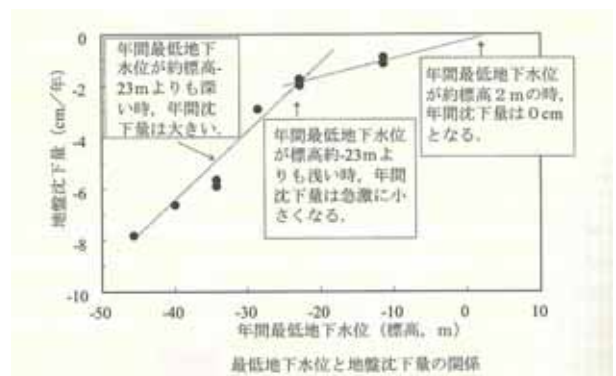


図 4-2 限界水位の検討方法⁷⁾

7)佐藤邦明、岩佐義朗編著 地下水理学、丸善、pp312

警戒水位は、限界水位を下回る（または上回る）ことがないよう、想定した（平成6年実績）水位低下速度と対策効果の発現に要する時間を想定し設定した。その際的前提条件は以下のとおり。

- ・局所的な水位低下ではなく、渇水時における市内全域での地下水位低下を想定した。
- ・揚水量削減の協力要請は、市内全域の揚水事業者を想定した。
- ・渇水時の地下水位（水圧）分布は、過去と同じと想定した。
- ・現状水位 - 限界水位が最も小さい地点で警戒水位を設定した。

注意報水位は、揚水規制を迅速に対応するための準備や体制作りを考慮し、周知などに必要な時間を1ヶ月程度と見込み、警戒水位+1.0mとした。

平常時の管理水位（常時管理水位）は、近年地盤は平衡状態または隆起傾向にあり、地下水位も上昇傾向であること。水位の年変動幅や揚水者への負担を考慮した結果、近年3年間の平均地下水位をとして設定した。

本上記の方法で設定した地下水管理基準は以下のとおりであるが、限界水位の設定にあたっては、相関が非常に低い地点もあった。粘土層の過剰間隙水圧が完全に消散していなければ非可逆的な塑性的圧縮過程（正規圧密領域）が生じ、完全に消散していれば可逆的な弾性的圧縮過程（過圧密領域）が知られていることから、数値の信頼性については今後精査をしていく必要がある。

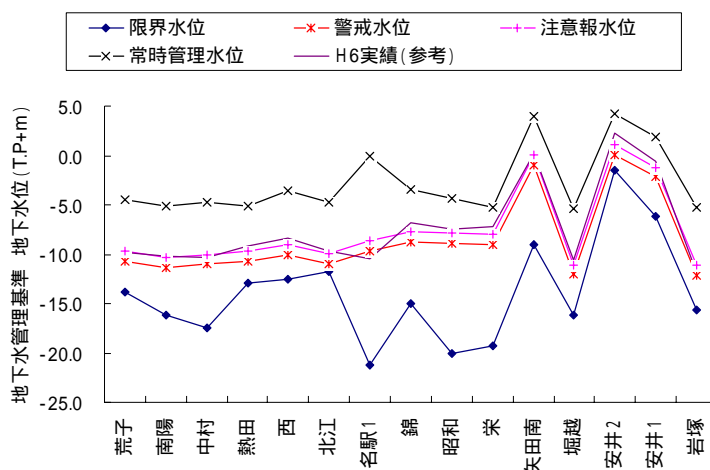


図 4 - 3 地下水管理基準の設定値 (G3・P層)

5 . 新たな地下水管理に関する具体的検討

5 - 1 モデルを用いた地下水採取可能量の検討

本調査では三次元流動解析モデルを用いて地下水採取可能量の検討を行った。名古屋市を東西方向が約2.2km、南北方向が1.8kmの三角形メッシュに区切り、地盤をモデル化し、以下の前提条件の下で、地下水位の平衡状態（一定の揚水量が継続した場合の地下水位の平衡状態）を求めた。

表 5 - 1 検討ケースの設定

ケース	地表面の境界条件	揚水量シナリオ
ケース1	平成17年度の緑被率（24.8%）とした。	揚水量は平成17年度の実揚水量（38,259m ³ /日）
ケース2		揚水量は平成13年度の実揚水量（47,169m ³ /日）
ケース3		揚水量は平成9年度の実揚水量（67,195m ³ /日）
ケース4		揚水量は昭和40年度の実揚水量（308,483m ³ /日）
ケース5	緑の基本計画の値（緑被率30%）とした。	揚水量は平成9年度の実揚水量（67,195m ³ /日）

注1：メッシュ別帯水層別の揚水量分布はH13年度と同様とした。

注2：揚水量には条例の規制対象外井戸（井戸設備）の揚水量は含まれていない。

5 - 2 地下水採取可能量の検討結果

シミュレーションモデルにより、各ケースにおける平衡状態となる地下水位を計算した。モデルでは、節点ごと、帯水層ごとの地下水位が計算される。

観測所の位置は必ずしも節点とは一致しないことから、観測所が含まれる三角形要素を特定し、3点の地下水位より観測所地点の地下水位を補間して算出した。

ケース1（H17揚水量）の地下水位は、常時管理水位よりも高くなる結果となった。すなわち、地下水位の上昇傾向が今後も続く想定される。

ケース3，5（H9揚水量）でも地下水位は常時管理水位よりも高くなる。ただし、岩塚においては設定した常時管理水位と同程度となると想定される。

地下水採取可能量は、常時管理水位からの水位の上昇分と考えれば、ケース3，5の岩塚の結果から市全体で、 $67,195 - 38,259 = 28,936\text{m}^3/\text{日}$ （西部 $13,539\text{m}^3/\text{日}$ 、中央部 $2,794\text{m}^3/\text{日}$ 、東部 $3,693\text{m}^3/\text{日}$ ）程度の追加採取が可能と考えられる。

ケース4（S40揚水量）では、荒子、名駅1、錦、栄、岩塚で常時管理水位を下回る。一方で、上回っている地点も見られる。これは、計算時の境界条件である濃尾平野の地下水位が高いためであり、この水位次第で地下水採取可能量は全く変わることを示している。

本計算結果は、定常状態の解析を行うモデルであり、揚水量を一定として地下水位を計算したものである。よって、現況地下水位の再現性について検証ができていない。このため、今後は非定常の地下水解析モデルを構築し、現況地下水位の検証を行った上で、地下水位を予測していく必要がある。

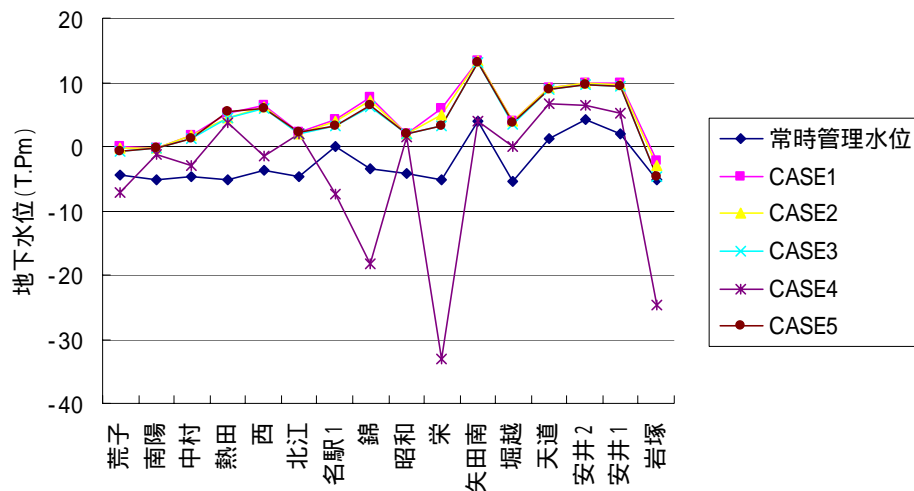


図 5 - 1 各ケースにおける地下水位計算結果と常時管理水位の比較

注：の境界条件を前提として、一定の揚水量（表 5 - 1）が継続した場合の地下水位の平衡状態を計算したものである。

6 , 新たな地下水管理に向けた課題

本調査では、地下水管理の現状として、モニタリングの現状、地下水保全のための制度の現状、揚水事業者等との連絡体制・協力体制の現状を整理した上でそれぞれの課題を取りまとめた。

6 - 1 現状を踏まえた課題

名古屋市をモデルとした本調査では、モニタリングの現状、地下水保全のための制度の現状、揚水事業者等との連絡体制・協力体制の現状を踏まえ、課題として以下の6つが考えられる。

東部丘陵地域の実体解明

東部丘陵地域では地盤構造が複雑なため、この地域で涵養された地下水が中西部地域のどの帯水層に流れ込むか等の実態解明が必要である。また、市の地下水管理を検討する上で市域の地下水涵養域である東部丘陵地での地下水観測、湧水量調査などを行う必要がある。

地下水モニタリングの体制

現在の市所有の地下水観測井は、3ヶ月に1回の頻度でデータを回収しているが、急激な地下水位の変化に対応するためには、リアルタイムでの地下水位の監視が必要である。また、複数の帯水層にストレーナーが設けられている場合には、帯水層ごとの管理が難しいため、帯水層毎の観測を行うことも必要である。

揚水量の監視

揚水規制区域内において、一定規模以上の地下水採取設備については、揚水量、地下水位の報告が義務付けられている。(条例第71条)しかし、基準以下の施設であっても、全体の揚水量に占める割合を考慮しつつ、揚水量の的確な把握を行っていくことが望ましい。

公的な地下水利用の位置づけ

地下水は私水として位置づけられ、法律、条例の整備がなされているため、市の条例で公的な地下水利用に限って規制を緩和することはできない。しかし、私権を制限するだけの「地下水管理」ではなく、地下水を公的な目的で有効利用していくためには、地下水採取に係る法律や条例において、「公的な地下水利用」を位置づける必要があると思われる。

一元的な地下水管理

環境保全上、健全な水循環の確保を図るためには、雨水の浸透から地下水の採取、地下水を介して現れる地下水障害の状況に至るまでを考慮した「一元的な地下水管理」が実施されることが望ましい。

名古屋市においては、雨水浸透指針(名古屋市告示第414号)に基づく雨水浸透の促進や、「市民の健康と安全を確保する環境の保全に関する条例」に基づく揚水規制が行われている。

揚水事業者等との連絡体制・協力体制の課題

名古屋市では「市民の健康と安全を確保する環境の保全に関する条例」により、地盤沈下を防止する必要があるときは揚水事業者に対して、揚水量を減少するよう勧告できる事としている。(条例第76条)。今後は、この判断基準を設けて条例を適正に運用していくことが必要と考える。

6. おわりに

本調査では、名古屋市の特徴を踏まえて、地下水管理目標、地下水管理指標、地下水管理基準、地下水採取可能量について具体的な検討を行った。

検討では既存データを使用し、一定の考えに沿って管理水位および総合管理水位の設定を行ったが、様々な課題も浮き彫りになり、引き続き地下水管理手法を確立するために必要な調査を継続し、知見を集積し課題を一つずつ解決していくことが必要である。

また、設定した水位で地下水を管理するための、モニタリング手法や管理体制などの具体的な手法などは、条例等の制度面も含めて今後、議論していかなければならない。

環境省では、前年までの大阪地域における地下水管理の検討結果も踏まえ、新たな地下水管理手法の確立に向け、さらに他の地域においても検討を行っていくこととしている。

本調査が、名古屋市の新たな地下水管理手法の構築と運用に向けて、一助となることを期待したい。

最後に、本調査の実施にあたり、ご助言をいただいた検討会座長の大東先生をはじめ検討会委員の方々に感謝いたします。