09. 圧力水頭からみた帯水層の水理的連続性

○杉江美織（八千代エンジニヤリング）・長谷川怜思（同）・
加茂由紀彦（同）・井川尚之（同）・吉田広人（同）・加藤ひかる（同）
連絡先：mr-sugie@yachiyo-eng.co.jp

１．はじめに

わが国では人口の 3 割にあたる約 3,800 万人が，軟弱な沖積層が厚く堆積した低平地に暮らしている。これら低平地では，過去の過剰な地下水揚水により地盤沈下を経験した地域も多い。各自治体では，「工業用水法」，「建築物用地下水の採取の規制に関する法律（ビル用水法）」や，環境条例等により地下水の揚水を規制し，現在では地盤沈下も概ね沈静化している。しかしながら，地盤沈下によってほぼ海面と等しくなってしまった土地は，現在でも水害に対して脆弱であり，揚水規制後の地下水位回復によって，地下構造物の浮き上がりをはじめとした新たな課題も顕在化している。

今後，地下水を保全しつつ適正に利用するためには，流域ごとの水文地質構造や地下水流動特性，地下水の利用形態といった実態把握が重要となる。一般に，地下水の流向や流動特性を把握するためには，観測井で観測された孔内水位（全水頭）から，地下水面等高線や被圧地下水の水理水頭分布で評価されることが多い。しかし，地下における水文地質構造は非常に複雑であり，帯水層ごとに全水頭も異なるため，データの選定や作図に至るまでの工程や，地域特性を熟知した専門技術者でなければ水理水頭分布を適切に描くことは困難である。

そこで本研究では，各自治体の地盤沈下観測井における地下水位観測データをもとに，各観測井における圧力水頭を算出し，その空間分布から帯水層の水理的連続性の解明を試みた。

２．研究手法

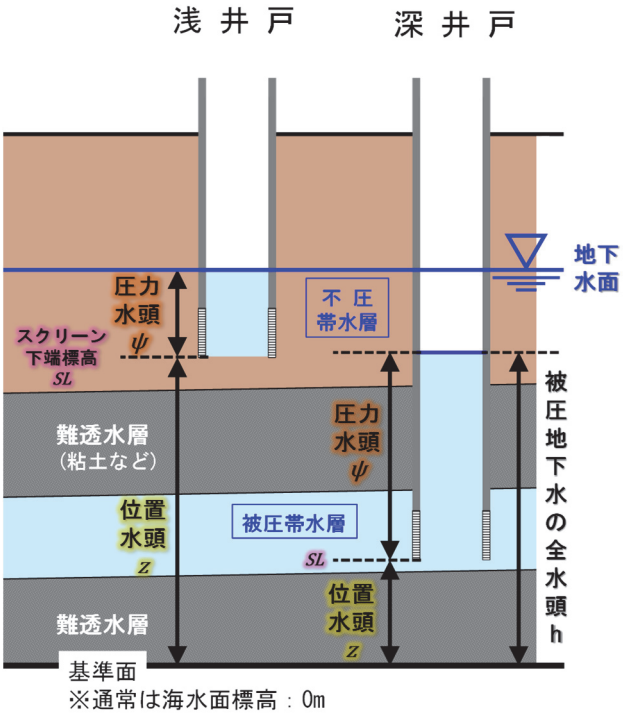
自治体では，地盤沈下の動向を把握することを目的に，複数存在する帯水層（概ね，沖積層・下総層群・上総層群に相当）毎の水位が観測できるよう地下水観測井を設置し，常時孔内水位のモニタリングを行っている。

本研究では，関東平野一帯を研究対象地として，各自治体から公開されている地盤沈下観測井の孔内水位観測結果から，下記の式に基づいて圧力水頭（ψ）を算出した。加えて，圧力水頭（ψ）をスクリーン下端標高（SL）で除して，単位標高あたりの圧力比率を求めた（図－1 参照）。

ここで，この値を「比圧力水頭」（$Prate$）と呼ぶことにする。

圧力水頭　$\psi = h - SL$　(1)

比圧力水頭　$Prate = \frac{\psi}{SL}$　(2)



図－１　地下水観測井の構造と圧力水頭の関係

３．結果と考察

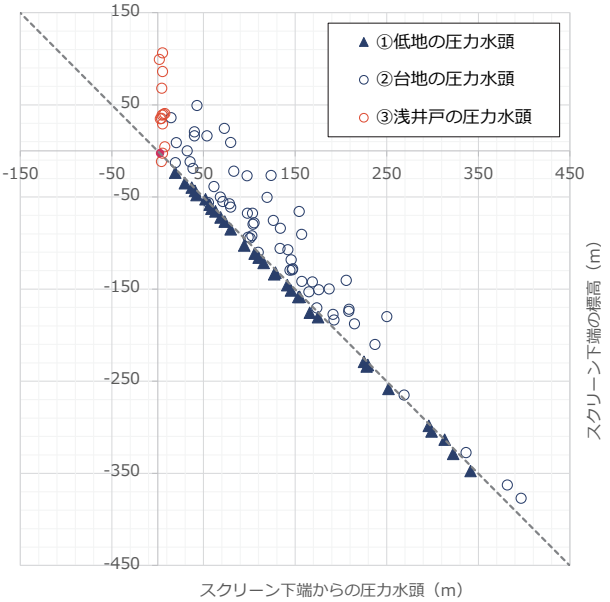
３．１　圧力水頭とスクリーン下端標高との関係

前述の（1）式によって求めた圧力水頭とスクリーン下端標高との関係について，東京都における検討結果を，図－2 に示す。なお，東京都では台地と低地という地形のコントラストが明瞭なため，図－2 作図時には低地・台地・浅井戸を区別してグラフにプロットしている。

この結果から，東京都では「①低地の圧力水頭」,「②台地の圧力水頭」,「③浅井戸の圧力水頭」の概ね３種類の傾向が確認された。

「①低地の圧力水頭」は，スクリーン下端標高と圧力水頭に強い正の相関が認められるパターンであり，圧力水頭はほぼ静水圧に相当するものと考えられる。

「②台地の圧力水頭」は，スクリーン下端標高と圧力水頭に正の相関が認められるものの，圧力水頭は場所によってばらつきが大きい。



図－２　東京都における検討結果
令和元年 12 月 31 日の観測結果による [1)]

「③浅井戸の圧力水頭」は，スクリーン下端標高によらず，圧力水頭がほぼ 0m を示すことが特徴である。孔内水位が概ね不圧状態を示していることから，「③浅井戸の圧力水頭」については，低地や台地の被圧帯水層とは異なる不圧帯水層中の観測結果であることがうかがえる。

「①低地の圧力水頭」と「②台地の圧力水頭」は，いずれも被圧帯水層中にスクリーンが設置された地下水観測井のデータである。本研究では，各観測井における帯水層の層序を確定することは困難であるが，両者の傾向が大きく異なっていることは，図－2 からも明らかである。

遠藤(2009)[2)]をはじめとした東京都における深層地下水の研究成果から，東京都の低地には有楽町層や七号地層からなる沖積層や，東京都・高砂層からなる中～上部更新統の下総層群が堆積していること，台地には，北多摩層・東久留米層・舎人層・江戸川層からなる鮮新統～下部更新統の上総層群が堆積していることが示されている。

このうち，上総層群については，新藤(1969)[3)]や鈴木(2020)[4)]らによって，現在の地形とは不調和に関東平野の中央にむかって緩く傾斜した構造が示されている。一方，上総層群の上位に堆積した下総層群および沖積層は，上総層群に比べて水平ないしは現在の地形に調和して堆積しているものと考えられており，沖積層は最終氷期最盛期以降の海水準変動と関連した堆積物であるため，全体に海へと向かって基底標高が低くなる。

したがって，台地地下に広がる上総層群中の被圧帯水層と，低地の地下に分布する沖積層や下総層群とでは，形成年代，堆積形態や堆積物の供給源が異なっていることが予想され，都内の観測井における圧力水頭の違いは，これら帯水層の差異を示している可能性が高い。

なお，東京都の低地は厚い粘性土主体の沖積層に覆われることを理由に，当初は圧力水頭が相当高いものと考えらえたが，「①低地型の圧力水頭」は「②台地型の圧力水頭」よりも，圧力が低く，概ね静水圧に相当することが図－2 から判る。圧力水頭とスクリーン下端標高との関係からは，台地内の帯水層は非常に複雑な水文地質構造を呈しており，静水圧以上の圧力下にあって，積

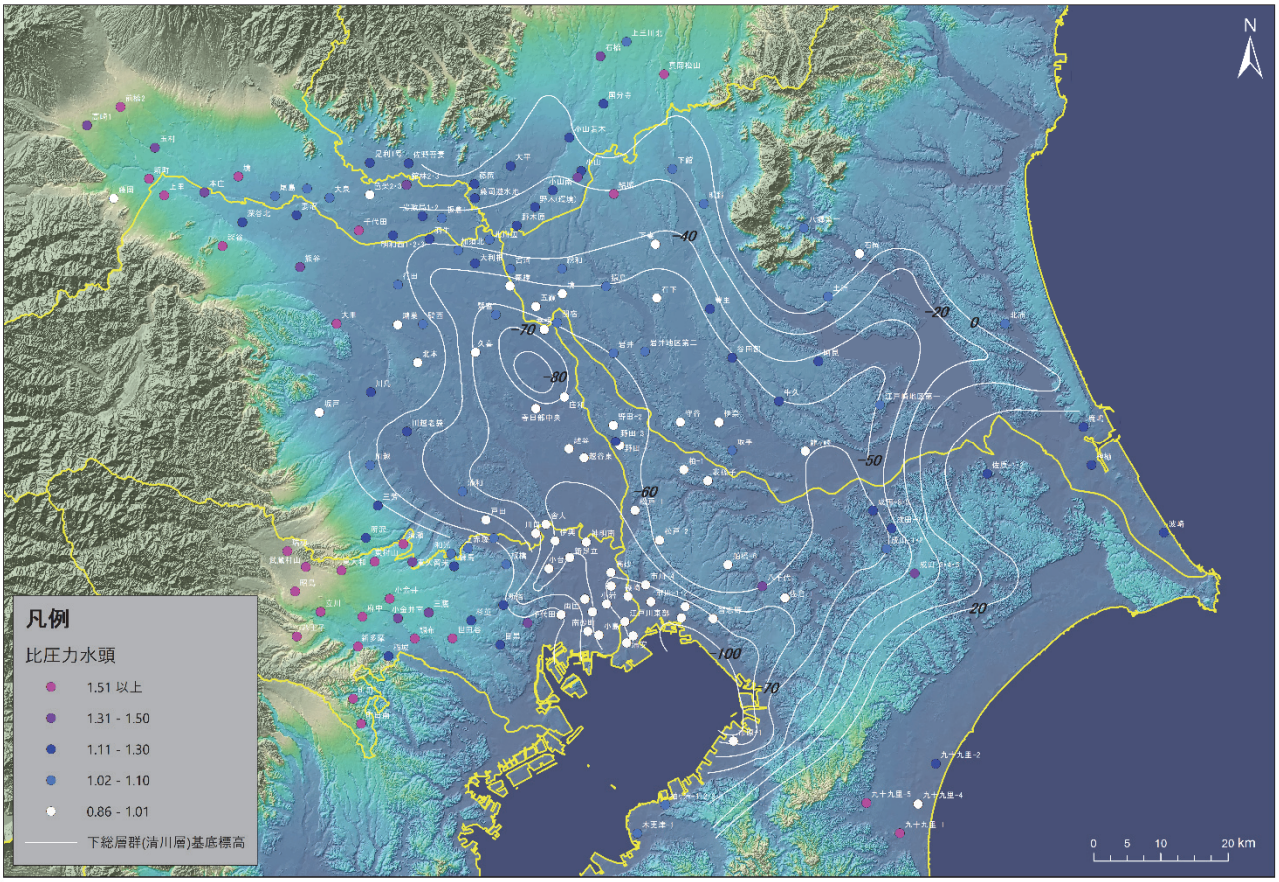
極的には地下水が流動していない状態ないしは，地下水の供給量が多い条件にあることが想定される。一方，低地における帯水層はスクリーン深度が異なっていても水理的に連続しているものと考えられ，静水圧を大きく超過するものは認められていない。このことを踏まえると，帯水層への地下水供給量がそれほど多くないことや，現在の海水準と平衡状態にあること，陸域から現在の海洋へと常時地下水が流出していることなどが想定される。

３．２ 関東平野における比圧力水頭分布

ここでは，圧力水頭の広域的な空間分布を検討するために，関東平野（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、群馬県、茨城県、栃木県）一帯を対象として，前述の（2）式によって求めた被圧力水頭を平面プロットした結果について述べる（図－3 参照）。なお，1 箇所で複数の観測井がある場合には，最も高い比圧力水頭の値を採用し，参考として下総層群のうち清川層基底の標高分布を重ね合わせている。

本図では，山地に近い丘陵・台地ほど比圧力水頭が高い値を示しており，東京都・埼玉県・千葉県・茨城県にまたがる平野中央で比圧力水頭が低い傾向を示すことが判る。このうち，比圧力水頭が 1.01 以下のほぼ静水圧に相当する観測井は，下総層群（清川層）の基底標高が－50m よりも低標高となる付近に集中し，東京都から埼玉県の荒川低地や中川低地と呼ばれる一帯は軒並み比圧力水頭が低い。この荒川低地から中川低地にかけた一帯は，過去の累積地盤変動量が 2m を超えるような地盤沈下が顕在化した地域とも整合している。

また，下総層群（清川層）の基底標高は，現在の東京湾へ向かって徐々に標高を減じているため，この上位に堆積している沖積層も同様に，海中へと連続しているものと考えられる。



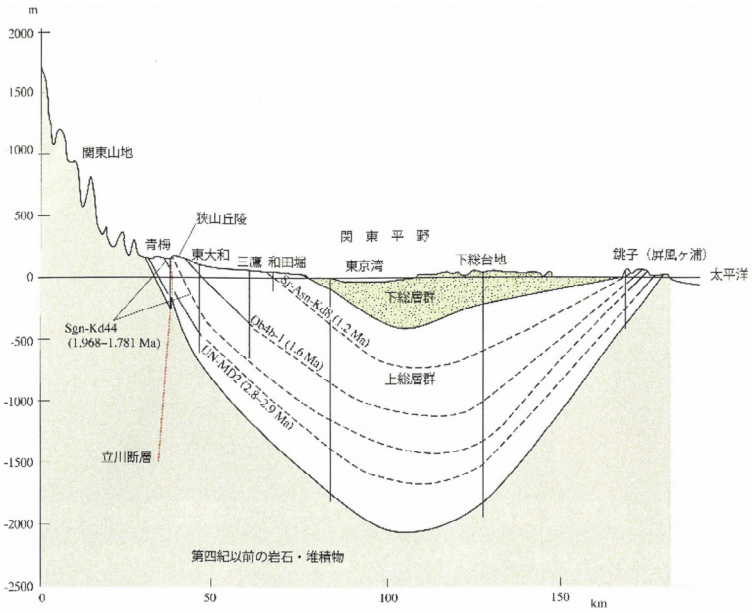
図－３　関東平野における比圧力水頭分布

各自治体から公開されている最新の観測結果ならびに，基盤地図情報 10m メッシュ標高データを用いて作成
下総層群（清川層）の基底標高は，菊池・貝塚（1972）[5] を参照

また，鈴木(2020)[4]によって示された関東平野中央付近の東西想定断面（図－４）によると，上総層群は，最深部では地下約 2,000m にも達し，関東平野の中央に向かって傾斜している。

下総層群ならびに沖積層は，上総層群を被覆して堆積し，先述の図－３に示すように，その末端は海面下に連続していると推察される。故に，沖積層が厚く堆積する低地と台地では，比圧力水頭の傾向が大きく異なることから，両者は直接的には連続していない可能性もある。

以上述べたように，関東平野一帯の水文地質構造は複雑であるが，比圧力水頭に着目して整理を行うことで，帯水層の水理的な連続性や共通性を可視化することが可能となり，本手法の有用性を確認した。



図－４　関東平野中央付近の東西想定断面

鈴木(2020)[4]による

断面は図－３の青梅-銚子を結ぶ側線

４．まとめと今後の展望

本研究では，比圧力水頭という新たな指標を用いることで，関東平野における低地と台地の帯水層が，水理的に直接連続していない可能性について報告した。新たに考案した比圧力水頭は，各自治体が実施している地下水モニタリングデータを用いて，数値的に帯水層の連続性を検討する手法として有用であると考えられる。加えて，全水頭からだけでは，地下水位上昇の収束判断ができないなかで，比圧力水頭は今後の地下水保全と適正利用の管理目標値の一つになる可能性も秘めている。今後は，関東平野同様に地盤沈下の再発防止を目的とした揚水規制においても，比圧力水頭の空間分布を算出し,水質等のトレーサーから帯水層の連続性や地下水の流動特性を検証することで,広域的な地下水流動場を把握する際の客観的かつ合理的な解析手法としての活用が期待される。

参考文献

１）令和元年地盤沈下調査報告書（2020）：東京都建設局 東京都土木技術支援・人材育成センター

２）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−東京都を主体にして−, 日本応用地質学会，平成 21 年度特別講演およびシンポジウム予稿集.

３）新藤 静夫（1969）：武蔵野台地の地下地質, 地学雑誌，78,449～470.

４）鈴木 毅彦（2020）：上総層群のテフラから復元する東北日本弧における巨大噴火史と関東平野の形成史，日本地質学会関東支部シンポジウム, 21～24.

５）菊地隆男・貝塚爽平（1972）：関東平野地下の成田層群．日本地質学会第 79 年学術大会「地盤と地下水に関する公害」討論会資料，99～110.