

大阪平野における地下水問題

(財)地域地盤環境研究所
主席研究員 長屋淳一

1. はじめに

大阪平野は戦前・戦後の大規模な工業用揚水等によって、大幅な地下水位低下とそれに伴う激しい地盤沈下が進行したが、揚水規制が実施する以降は地下水位も上昇し、地盤沈下もほとんど見られなくなっている。最近では逆に、高い地下水位(水圧)が地下構造物の建設工事に対して障害となるケースも多く、それらの対策が必要になっている。また、地下水位の上昇に伴う浮力や水圧の増大により、地下水位低下時期に建設された地下構造物が浮き上がったり漏水したりする危険性もでてきている。さらに、地震時には高い地下水位が地盤の液状化の要因となるため、揚水により人工的に地下水位を下げる事が検討されている。地下水の有効利用を視野においた適正揚水により地下水位を調整することが考えられるが、この場合には、言うまでもなく地盤沈下を再発させないことが前提となる。ここでは、このような共通認識のもとで産官学により設立された「地下水地盤環境に関する研究協議会」¹⁾(以下、研究協議会とする。)により収集された地下水情報をもと

に、大阪平野の地下水の歴史を紹介し、建設工事に伴う地下水の諸問題や地下水地盤環境問題の実態と対策を概観する。

2. 大阪平野地下水位・地盤沈下の歴史

図1に大阪市内に地盤沈下が最も激しかった西大阪地区における、揚水量・地下水位・地盤沈下の変動状況を示す。大阪市が1958年に「工業用水法」、59年に「大阪市地盤沈下防止条例」、さらに62年に「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」(通称ビル用水法)が順次実施されることにより地下水位が著しく回復し、地盤沈下もほぼ停止に至った。戦前・戦後の地下水揚水量の増減が、直接的に地下水位の上下や地盤沈下速度に影響を与えていることは明らかである。地盤沈下最盛期の第4期後半に、地下水位はOP.-25~-30m(OP.0m=TP.-1.3m)まで低下し、その低下時期の平均沈下速度は10cm/年以上となっているが、その後は急減し、環境庁基準の2cm/年以下に収まっている。

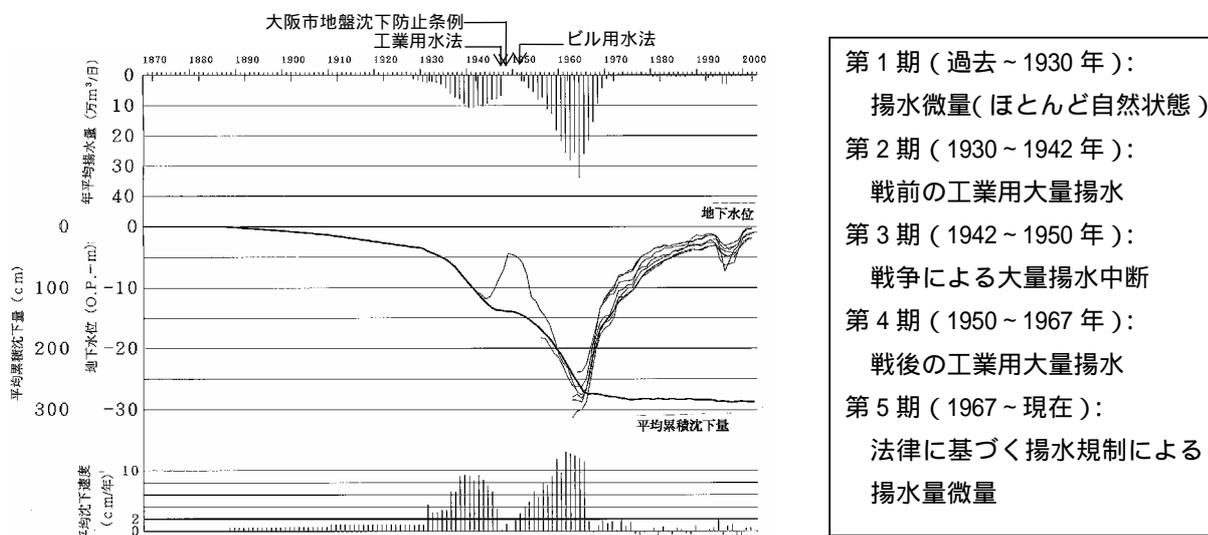


図1. 西大阪地域における長期的揚水量・地下水位・地盤沈下変動状況

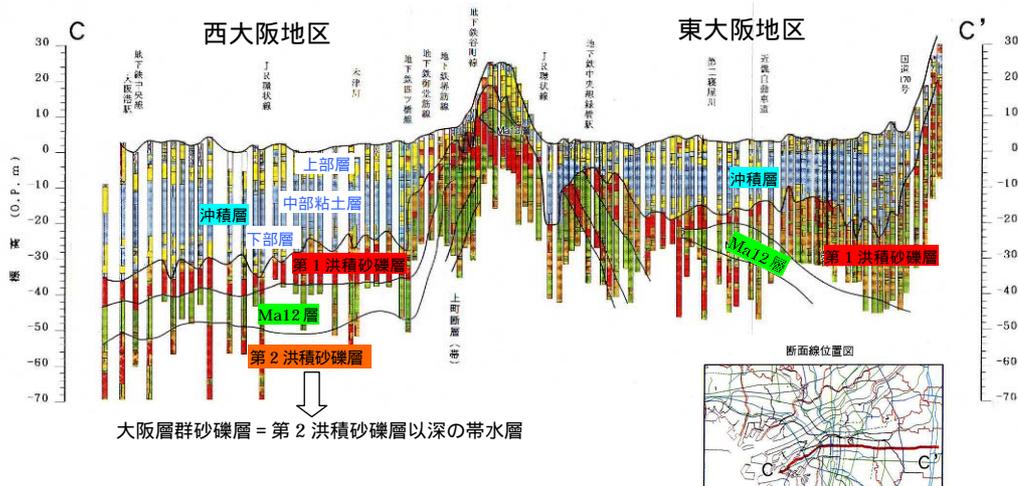


図2. 大阪市内における東西方向の代表的な推定地層断面図(「関西地盤」の図)に加筆

3. 大阪地下水の構造

大阪平野では多数のボ - リングデ - タを中心に地盤情報のデ - タベ - スにより, 帯水層構造を含む地盤構造がある程度明らかにされている²⁾。図2は大阪市域における代表的な地層断面図である, 上部より沖積層, 第1洪積砂礫層(ほぼ従来の天満礫層に相当), 大阪層群砂礫層(第2天満礫層以深の複数の帯水層を総括)の3層にわけている。大阪平野の地盤構造の特徴として, 南北方向の上町断層や上町台地により地層または帯水層が西大阪地域と東大阪地域に大きく2つに分れることが挙げられる。

図3に大阪市内における地下水位経時変化図(帯水層グループ別)を示す。沖積層は上部層・中部粘土層・下部層の3層から構成されるが, 地表面直下の上部層の地下水は自由地下水と考えられる。沖積層の地下水位には降雨量の多い夏季に高く, 降雨量の少ない冬季に低くなるといった季節変動がわずかに見られるものの, 第1洪積砂礫層や大阪層群砂礫層といった他の被圧帯水層に見られるような大規模な地下水位変動はみられないことから, 沖積層の中部に遮水能力が高い粘土層の存在によりこれら被圧帯水層とはほとんど連続していないと考えられる。また, 一般的には平野部の自由地下水は河川水や海水と連続していると考えられているが, 西大阪地区の自由地下水の水位が, 海面や感潮河川の水位(ほとんど海面と等しい)よりも常時1~1.5m程度高いにもかかわらず, 自由地下水が塩水

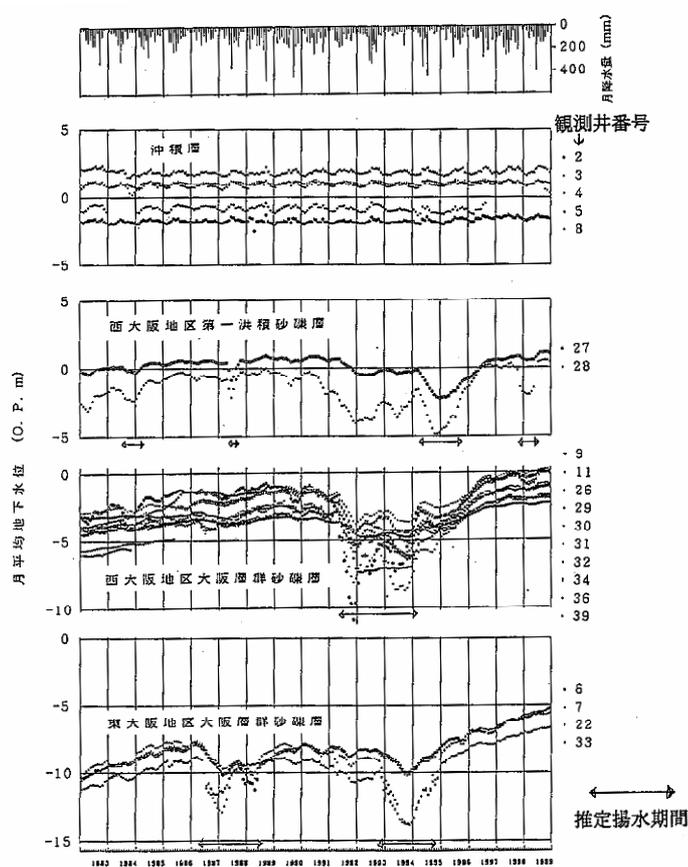


図3. 大阪市内における最近の地下水位(水頭)経時変化図(帯水層グループ別)

化していない場合もあることから, 自由地下水が全面的には海水や河川水と連続していないことが指摘されている³⁾⁴⁾。

図3により, 西大阪地区において第1洪積砂礫層と同大阪層群砂礫層の両グル - プの地下水位経時変化

と揚水時期(特に、1992～1994年の後者揚水時期と1995～1996年の前者揚水時期)を詳細に比較すると、お互いの揚水による地下水位の低下が見てとれる。この2つの帯水層は、Ma12の粘土層を挟んで上下に分布しており、両帯水層は何らかの経路(粘土層の不連続部・ボ・リング孔跡・観測井自体などが推定される。)で連続しているようである。また、東大阪地区大阪層群砂礫層グループの中でも西大阪地区に近い観測井番号33(蒲生)や7(鳴野)は、西大阪地区大阪層群砂礫層の各観測井とも地下水位の相関が高く(相関係数0.9以上)、上町断層あるいは上町台地を通して連続している(地下水が流動している)可能性が高い。すなわち、被圧帯水層の3グループはそれぞれ何らかの形で部分的あるいは間接的に連続している。さらに、被圧帯水層と海との連続性に関連して、第1洪積砂礫層(天満砂礫層)の塩分濃度が、一時的な地下水位低下時期の1990年台に上昇していることが指摘されている。梅田付近で約6000ppmと海水の1/3程度の高濃度であることや塩分濃度が海岸に近い程大きくなっていることが確認されている⁵⁾。これは海底において被圧地下水が海水と直接的に連続している可能性を示しているが、化石海水の可能性も含め更なる検討が必要である。なお、降水量および揚水量と地下水位の関係については重相関係数により別途検討されている⁶⁾。

4. 地下水に関する問題および対策

4.1. 地下水流動保全工法・地下水位低下工法の諸問題と対策

地下水は供給と需要のバランスをもって自然の流れを形成しており、揚水が供給を上回ると水位低下が顕著になる。また地下水の自然の流れがある中に線状地下構造物を作ると、上流側では水位上昇(ダムアップ)、下流側では水位低下(ダムダウン)が発生する。地下構造物を築造する場合は、自然の流れを極力乱さない様に配慮すべきであるが、やむを得ない場合には地下遮断構造物に通水機能を付けて、地下水流動保全を図る通水工法が採用する⁷⁾。通水工法は、目的・機能によって数種類に分類されるが、土留壁に取水および注水の井戸機能をもつ工法が技術およびコストの両面で優れ

ている。この場合、特に井戸の完成度が重要であり、長期的に目詰まりを起こさせない様な井戸構造と井戸仕上げおよびメンテナンスの方法など、今後の開発が期待される。一方、環境問題との調和を考えると、建設工事に伴う揚水は対象域内だけの水位低下が図れる程度とし、揚水に伴う水位低下による地盤沈下などを極力抑制する必要がある。このため、揚水が不必要な帯水層の遮水方法やスクリーンの改良を含む小口径小揚量ディープウェルの開発などが有効である。また、揚水井と注水井を併用して、周辺への水位低下を起こさない工法があるが、これについても注水井の目詰り抑制に関する技術開発が必要である。

4.2. 遮水工法の諸問題と対策 野田出水事故(パイピング)を例として

平成4年4月に、大阪市福島区海老江7の国道2号の地下を走る片福連絡線建設工事現場で地下21mを掘削作業中、大量の地下水が突然噴出した。出水後すぐに工事を中止したが、地上のアスファルト道路の歩道部分が幅2.5m長さ30mにわたり最大30cm陥没し、付近の民家などに被害がでた。事故原因については「異常出水対策技術委員会」(委員長 柴田 徹 京都大学教授(当時))によって審議され、その結果が1992年6月17日の毎日新聞(京都地区版)に報道されているが、現場状況は以下のように推定された。

出水した地下水は天満砂礫層とその上部にある沖積層からのものである。

この付近の天満砂礫層の水頭はG.L. -2～-3mと高い。

沖積層下部に、粒径が均質で流動化しやすい砂質土層が存在する。

以上の地盤条件のもとで、土留壁の継ぎ目から天満砂礫層の高圧の被圧地下水が出水した可能性が高いと結論づけている。土留壁の背面と前面の水頭差が大きい場合には動水勾配が非常に大きくなり、何らかの欠損部があればパイピングが発生する可能性が高い。ここでも土留壁の継ぎ目が欠損部となり、砂層や砂礫層でのパイピングによる地下侵食が進行し局所的な地盤沈下が発生したものと考えられる。なお、昭和50年

には野田と比較的近い大阪駅前でも地下掘削工事中に、天満砂礫層とその上部にある沖積層において同様の出水事故が発生している⁸⁾が、これらに共通する条件として、高い地下水位(または大きな水頭差)と大きな透水係数(または透水量係数)が挙げられる。

4.3. 地下水上昇による浮力増加問題と対策 明治生命ビルの浮力対策を例として

地下水位が低い時期に建造した地下構造物の中には、水位が現状まで回復することを想定して浮力の検討設計をしていない場合が多い。この問題は東京におけるJR新幹線上野駅の例が有名であるが、大阪においても発生している。文献⁹⁾によると、大阪明治生命館(仮称)の建て替え工事に際して地下躯体を再利用する計画が進められたが、浮力による浮き上がりが問題となった。すなわち 1995 年の建設当時、G.L. - 10m程度であった地下水位が最近では G.L. - 2.5m ~ 3mまで上昇し、上階を解体した際の重量減による浮き上がりの恐れが生じたため、その対策として地下階にカウンタ - ウェイトとして重量コンクリートを打設し工事が進められた。

4.4. 地震に伴う液状化問題と対策

地震時の液状化には地下水位の影響が大きい。これは水圧が高いと液状化抵抗を減ずることによるためだが、液状化は一般に地下浅部の緩い砂層に起こりやすいので、自由(不圧)地下水の地下水位が問題となる。先に述べたように、大阪平野の自由地下水の下部には一般に厚い沖積粘土層が介在するため、天満層など

の被圧地下水とは不連続となっているが、沖積粘土層が介在していない地域や沖積粘土層下部の緩い沖積砂層は、被圧地下水位の変動の影響を受けるため、水位上昇に伴って液状化が発生しやすくなる可能性がある。この対策として揚水による地下水位低下が効果的と考えられ、その経済効果も試算されている¹⁰⁾が、地下水の揚水に対しては特に沖積粘土層における地盤沈下再発の可能性も指摘されており慎重論も多い¹¹⁾。

5. 地下水管理

地下水に関連した諸問題に対しては、地下水や地盤の地域特性の実態や問題点を明らかにし、関連する機関や専門分野の情報の集積交換、研究や問題解決の手法提言等の場としての学術的な協議会を組織して総合的に取り組む必要がある。関西においても地下水に関する情報を網羅的に収集し、解析・研究した上で今後の地下水地盤環境問題に対して適切に対処するための情報を提供する機関として、産官学の共通認識から、全国に先駆けて 1993 年 6 月に大阪を中心として地下水地盤環境に関する研究協議会が設立された。

研究協議会が設立以来、主に大阪、神戸、京都間の地質、地下水の水位、水質に関する情報を収集し、蓄積されたデータを整備して多くの研究者や技術者に活用されるために、地下水地盤環境情報のデータベース化・GIS化が進められている。図4に地下水情報のデータベース化システム図を示す。

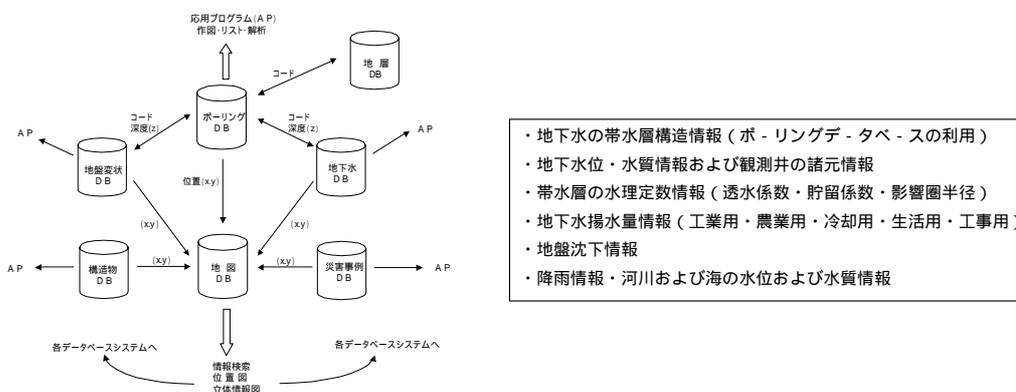


図4. 地下水情報のデータベース化システム図

6. おわりに

60年代に地下水の低下は一時的に大きな社会問題となったが、近年、地下開発に伴う建設事業の拡大と大深度地下利用の発展に伴い、逆に高い地下水圧が課題となり、密閉型シールド工法、無人化ケーソン工法、または連続地中壁などが改良・開発され、高水圧下でも信頼性の高い工事が行えるようになってきた。

一方、地下水を大量に汲み上げる揚水工事は地盤沈下の再発につながりかねないが、注水工法の併用や井戸またはスクリーンの最適配置計画により、工事域に限定した小範囲の地下水位低下をはかることができる。工事の安全性の向上や事業費の削減につなげることができる。

また、地下水地盤環境の保全も今後の重要な課題である。例えば線状地下構造物の計画、実施および維持管理においては、地下水流動保全対策や構造物への漏水防止技術の研究開発がますます重要となってくる。また、地下水汚染を防止しその水質を保全するためには、事業者等に対して法令による有害物質の地下浸透の禁止を徹底的に周知するとともに、汚染された地下水に対する能率的な調査・分析技術や浄化技術のさらなる開発が期待されている。

快適な生活環境を持続していくためには、地下水に関してもその環境保全との調和をはかることが21世紀の重要な課題となることが認識されてきた。地下水に係わる諸問題に対して調和のある解決を図るためには、地下水観測網をさらに充実させて、地下水の挙動の実態把握、有効利用の目的と方法、地下水地盤環境保全の目標、あるいは地下建設技術や地下水環境保全技術開発の動向と展望などを総合的に検討していく必要があると思われる。このような社会情勢や地下水地盤環境の変化の中で、本協議会が活動しているように地下水情報を収集分析してゆくことは、今後益々重要度を増すものと考えられる。

7. 参考文献

1) 霜上民生, 橋本正 (1993) 地下水環境情報の観測網について, 地下水地盤環境に関するシンポジウム発表

論文集.

2) 「関西地盤」(1992) ((社)土質工学会関西支部・関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究委員会・地下空間の活用と技術に関する研究協議会編).

3) 橋本正, 飯田智之, 宇野尚雄, 神谷浩二 (2000) 大阪平野の地下水位変動の特徴とその影響要因, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2000 発表論文集.

4) 橋本正, 飯田智之, 沖泰三 (2001) 大阪平野における地下水地盤環境に関する研究協議会の動向, 地下水技術, 43(9).

5) 鶴巻道二 (1992) 大阪平野における被圧地下水の塩水化について, 地下水技術, 34(10)

6) 神谷浩二, 宇野尚雄, 柘植良吾 (2001) 大阪平野の地下水位回復から読み取れること, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2001 発表論文集.

7) 「地下水流動保全工法マニュアル(試案)」(2001) 地下水地盤環境に関する研究協議会・地下水流動保全工法に関する研究委員会

8) 柴田徹 (1988) 「関西における地盤問題の中から」(社)土質工学会関西支部, 三十周年記念誌

9) 岡田篤生, 岡泰子 (2000) 浮力とたたかうビル, 日経アーキテクチャ (No.661)

10) 地下水制御が地盤環境に及ぼす影響評価に関する調査研究委員会 (2002) 土木学会関西支部平成 14 年度地下水制御が地盤環境に及ぼす影響評価講習・研究討論会テキスト

11) 色摩勝司 (2002) 大阪市における地下水・地盤問題へのアプローチ, 上記テキスト