

大阪における地下水問題

大阪府土木部

戸上 拓也

(財) 地域 地盤 環境 研究所 橋本 正

1. はじめに

大阪平野でも関東平野や濃尾平野と同様、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、揚水規制が功を奏してそれ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、その対策としてかなりの労力と費用が必要となっている。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はじめています。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。5.1 節)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. 大阪における地下水の揚水・地下水位・地盤沈下の歴史

今でこそ常識となっているが、地盤沈下の主原因が地下水の過剰揚水であることがわかったのは、それほど古い話ではない。地盤沈下の原因として当初は地殻変動説・地層の自然収縮説・海面上昇説など様々な要因が考えられ、地下水の過剰揚水説は災害科学研究所の和達博士らにより昭和 10 年代にはじめて主張されたが、その説が広く受け入れられるようになったのは、第二次大戦前後の揚水量・地下水位・地盤沈下量の相関関係が明らかになってからである。さらに、地盤沈下の弊害が広く認識され、法律や条例により地下水の揚水が厳しく制限されたのは、台風に伴う高潮により海面下の地盤沈下地帯で人命や財産に甚大な被害を蒙ってからであった。

図-1 に示す大阪平野でも同様の地盤沈下の歴史を持ち、このあたりの事情については、大阪府や大阪市により繰り返し報告されてきた^{2), 3)}が、ここでは大阪市、なかでも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・地盤沈下の歴史



図-1 大阪平野のランドサット画像
(黒枠は図-3 の範囲に対応する。)

の全体像を把握することを目的にして、従来の部分的情報^{2), 3), 5)}をつなぎ合わせた図-2により、地盤沈下開始前から最近までの経年変化を概観する。まず、各データについて説明する。

地下水揚水量

1954年(昭和29年)以降の地下水揚水量データは大阪府・市によりまとめられたものであるが、それ以前の揚水量については、地下水揚水量との相関が非常に良い大阪府全体の工業出荷額(昭和40年換算)³⁾などから推定した。

地下水位

後述するように、上町台地(断層)以西の西大阪地域における被圧地下水の水位は例外的なものを除き、深度にかかわらず同様の経年変化を示すので代表的なものを示している。1940～1950年台の貴重な地下水位データはひとつしかないが九条観測井におけるものである。

地盤沈下量

同じ地点における、地盤沈下開始前から現在まで連続した地盤沈下量の観測データはない。これまで、それぞれ異なる地盤沈下量の観測開始年を基準(沈下量0)として、いくつかの水準測量地点における相対的な累積沈下量の経年変化が同じ図に示される場合が多かったが、地盤沈下の全体像が分かりにくいきらいがあった。ここでは、地点ごとの正確な沈下量よりも平均的な地盤沈下の概要を知るために、各観測地点における沈下速度(相対沈下量/観測期間)を平均し(その値を棒グラフで示す。)、それを累積して平均的な沈下量を求めた。

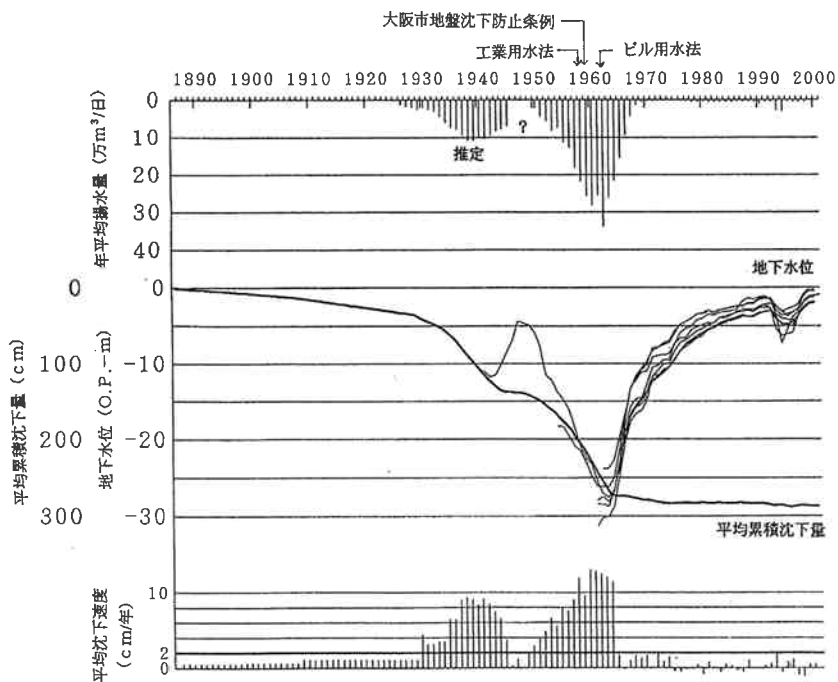


図-2 西大阪地域における長期的揚水量・地下水位・地盤沈下変動状況

以上のデータをまとめた図-2より西大阪地域の地下水の歴史に関して以下の区分ができる。

- 第1期：過去 ～ 1930年（昭和5年）頃 ：微量揚水（ほとんど自然状態）
 第2期：1930年頃 ～ 1942年（昭和17年）頃 ：戦前の工業用大量揚水
 第3期：1942年頃 ～ 1950年（昭和25年）頃 ：戦中・戦後の大量揚水中断
 第4期：1950年頃 ～ 1967年（昭和42年）頃 ：戦後の工業用大量揚水
 第5期：1967年頃 ～ 現在 ：法律・条例に基づく揚水規制後の微量揚水

大阪市内では1958年（昭和33年）に「工業用水法」、1959年（同34年）に「大阪市地盤沈下防止条例」、さらに1962年（同37年）には、より強力な「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）が逐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するに至ったが、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白である。地盤沈下最盛期の第4期後半に、地下水位はO.P.-25～-30m（ただし、O.P.0m=T.P.-1.3mである）まで低下している。その地下水位低下時期の平均沈下速度は10cm/年以上であるが、その後は急減し、環境庁基準の2cm/年以下におさまっている。なお、図-2に示す戦前、戦後の2度にわたる大量の地下水揚水とそれに伴う地下水位や地盤沈下量の変化パターンは、多少の時期のずれや量の違いは別として、東京や名古屋などが国の大都市における変化パターンと共通している。

3. 大阪における地下水の実態

3.1 帯水層構造

大阪平野では多数のボーリングデータを中心に地盤情報のデータベース化が進められた結果、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⁴⁾。図-3は大阪市域における代表的な地層断面図であるが、ここでは便宜的に上部より沖積層、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。

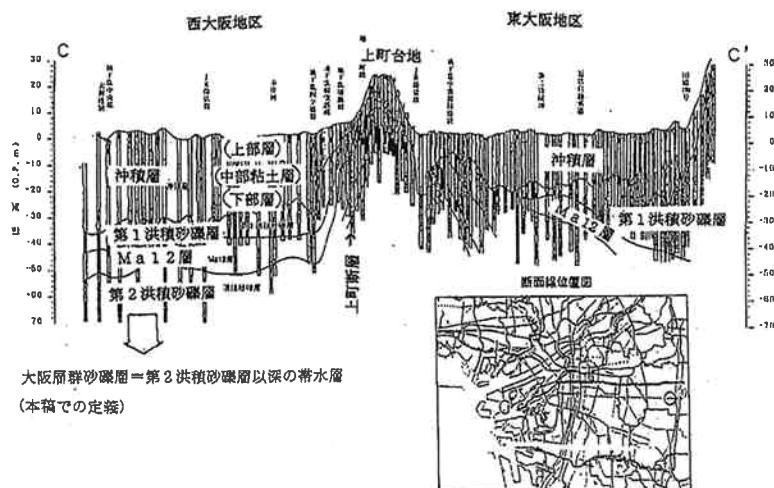


図-3 大阪市内における東西方向の代表的な推定地層断面図（「関西地盤」の図に加筆）

3.2 帯水層別地下水位変動と帯水層の連続性

研究協議会では、地盤沈下等の監視のために古くから設置されている国土交通省（旧建設省）・大阪府・大阪市の地下水観測井と、地下工事や調査のために比較的最近設置され工事終了後に本協議会が引き継いだ地下水観測井の地下水情報を収集整理しているが、観測井の位置図を図-4に、主要な観測井の諸元を表-1に示す。表中の地下水位観測対象の推定帯水層は、「関西地盤」⁴⁾に掲載されている地質断面図を参考として推定したものである。

表-1 主な地下水観測井諸元一覧表（グループ別）

グループ名	番号	観測井	管理者	地盤高 (O.P.m)	スクリーン深さ (G.L.-m)	推定帯水層
沖積層 (上部層)	2	野田	建設省	0.46	2.2~10.2	沖積層
	3	住之江	#	3.69	2.9~10.5	#
	4	大宮	#	3.79	2.7~8.7	#
	5	生野	#	5.49	2.2~18.2	#
	8	南恵加島	#	2.12	2.9~6.9	#
西大阪地区第一 洪積砂礫層	27	鶴町B	大阪府	3.70	25.0~30.0	第1洪積砂礫層
	28	此花	#	1.35	23.0~28.0	#
西大阪地区 大阪層群砂礫層	9	大和田	建設省	-0.24	40.1~48.6	大阪層群砂礫層
	11	豊中	大阪府	3.85	24.9~47.0	#
	26	天保山B	大阪府	3.58	96.0~100.5	#
	29	姫島	#	1.47	63.0~68.0	#
	30	十三	#	4.34	96.6~100.0	#
	31	中之島A	#	4.02	91.0~96.0	#
	32	# B	#	3.99	178.0~183.0	#
	34	港A	#	2.51	348.0~353.0	#
	36	# C	#	2.51	183.0~188.0	#
	39	柴島	#	4.85	170.0~175.0	#
東大阪地区 大阪層群砂礫層	6	新森小路	建設省	2.66	51.2~68.2	大阪層群砂礫層
	7	鷺野	#	2.49	23.2~27.2	#
	22	鴻池2	大阪府	4.22	170.0~191.0	#
	33	菰生	大阪府	2.44	91.0~96.0	#

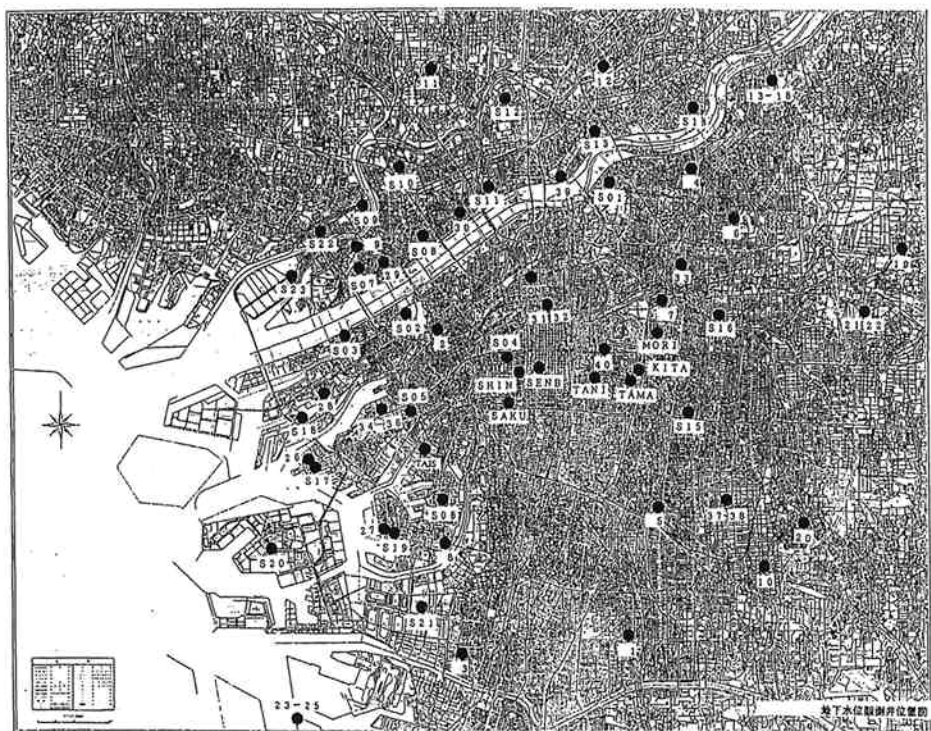


図-4 地下水観測井位置図

図-5 に示すように、最近 20 年弱の地下水位変動の類似性から、自由（不圧）地下水・西大阪地区第 1 洪積砂礫層・同地区大阪層群砂礫層・東大阪地区大阪層群砂礫層の 4 つのグループに分けることができるが、その変動原因と帯水層の連続性に関する検討結果^{5), 6)}を以下に示す。

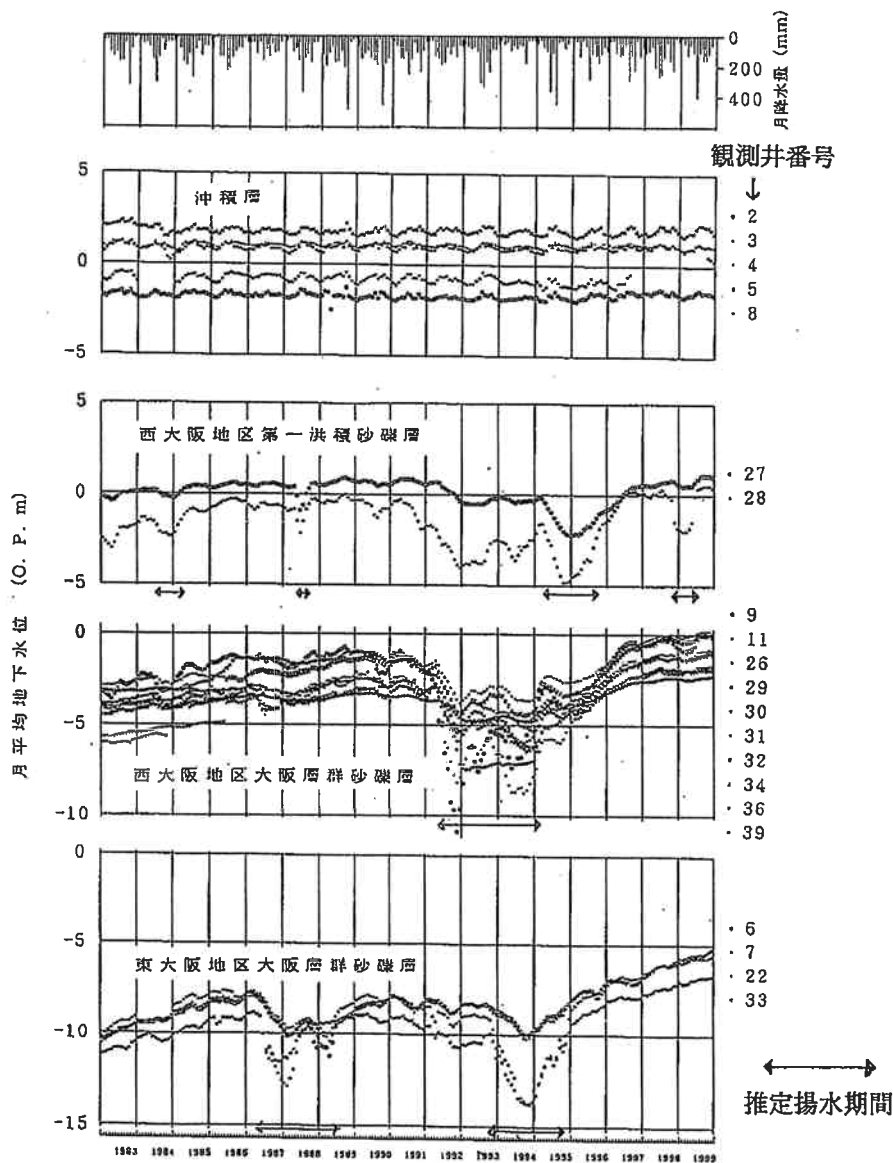


図-5 大阪市内における最近の地下水位（水頭）経時変化図（帯水層グループ別）

沖積層の自由（不圧）地下水

図-3 に示すように、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（被圧地下水の帯水層）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、沖積層とこれらの被圧帯水層とはほとんど連続していないように見える。これは、沖積層における中部粘土層の遮水能力の高さによるものと考えられる。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地下水位が、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。

被圧帯水層の地下水

西大阪地区第1洪積砂礫層と大阪層群砂礫層の両グループの地下水位経時変化と両グループの揚水時期との関係（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、お互いのグループの揚水による地下水位低下の影響が見てとれる。この2つの帯水層は、同じ西大阪地区で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・ボーリング孔跡・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（嶋野）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ようである。さらに、被圧帯水層と海との連続性に関連して、西大阪地区の第1洪積砂礫層（天満砂礫層）の塩素イオン濃度が約6000ppmと海水の1/3程度の高濃度であることや塩素イオン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⁷⁾。これは海底で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、化石水的高塩化物地下水⁷⁾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⁸⁾。

3.3 水理定数

研究協議会の活動の一環として、地下工事に先立ち実施された多数の揚水試験結果が再検討された⁹⁾が、それによると大阪市街地中心部の梅田・天満付近の第1・第2洪積砂礫層（第1、第2天満層）で、透水係数は 10^{-1} (cm/sec) オーダー、透水量係数（透水係数×帯水層厚）は 10^0 (m²/min) オーダーと、他の地区や他の帯水層と比較して1オーダー以上大きい。また、実施工時の揚水に伴う周辺地域の地下水位低下は広域的にみた場合の大規模な揚水試験とみなすことが可能であるが、その例を以下に示す。西大阪地区大阪層群砂礫層のグループにおける1992～1996年の地下水位低下（図-5参照）は、梅田付近での工事に伴う第1および第2洪積砂礫層の揚水に対応していると推定されるが、特に初期の1992年の揚水対象層は第2洪積砂礫層のみということであった。そこで、地下水位が最低となったときのデータを用い、定常状態を仮定して解析を試みた。

図-6 は揚水中心からの距離の対数と地下水位低下量の関係を示したものであるが、揚水中心からみて西側の工事用観測井 a～e のデータはほとんど一直線上にプロットされ（◇印）、理想的な定常井戸理論（Thiem 式）が適用できる。そこで直線勾配と推定総揚水量をあてはめて計算すると、透水量係数 T は $2 \text{ m}^2/\text{min}$ と非常に大きな値（大阪市内の揚水試験結果によると、透水量係数 T (m^2/min) は、 10^{-1} 乗オーダーが多い。）となる。また、図に示すように影響圏半径 R は 23.5 km と大阪地下水盆の半径に匹敵するような大きな値となっている。

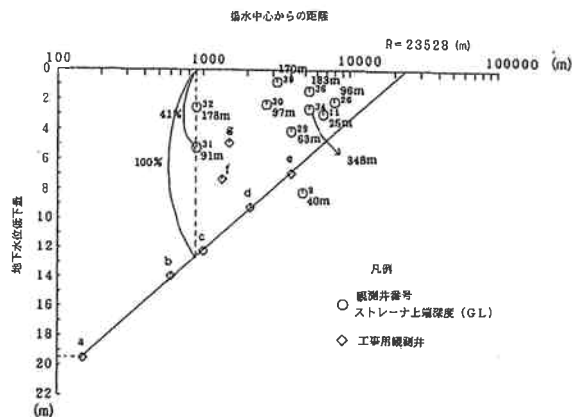


図-6 西大阪地区第2 洪積砂礫層揚水時の地下水位低下。

大数字：観測井番号，

小数字：ストレーナ上端深度（GL-m）

4. 地下水に関する諸問題と対策

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、例えば、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開発されてきている¹⁰⁾。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ようである。この場合、特に井戸の（作成）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。このためには、必要な深度だけの揚水をする方法とか井戸や小口径井戸の本数を増やすことにより、井戸配置を最適化する方法が考えられる。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。

- ① 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。
- ② この付近の天満砂礫層の水頭は G.L. -2~-3m と高い。
- ③ 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おおくなり、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¹¹⁾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 地下水位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 J R 新幹線山手線の例が有名であるが、大阪においても発生している。文献¹²⁾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ー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¹³⁾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¹⁴⁾。

5. 地下水管理にむけて

5.1 地下水地盤環境に関する研究協議会¹⁾

以上述べてきた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、あるいは研究や問題解決の手法提言等の場としての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を設置する必要がある。このような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標記研究協議会（現座長：京大名誉教授、柴田 徹 氏）が設立された。

5.2 地下水関連情報の充実化とデータベース化

研究協議会では設立以来、主に地下水の水位と水質に関する情報を収集してきたが、淀川と大和

- ・地下水の帯水層構造情報（ボーリングデータベースの利用）
- ・地下水位・水質情報および観測井の諸元情報
- ・帯水層の水理定数情報（透水係数・貯留係数・影響圏半径）
- ・地下水揚水量情報（工業用・農業用・冷却用・生活用・工事用）
- ・地盤沈下情報
- ・降雨情報・河川および海の水位および水質情報

- ・データ入力管理 …各種データの入力作業支援と入力状況管理。
- ・入力データのインデックスライブラリー管理 …DB 化されている情報内容の管理

—209—

- ・データ検索…地図上での情報検索，データ種別・内容による情報検索
- ・基本データ出力 …集積データの位置図（GIS 化），データ時系列図等
- ・編集データ出力 …検索条件に対して複数の情報を重ね合わせて出力
（例：地域，地層，時間をキーに複数の観測データを抽出し，加工して分布図等に出力）

6. まとめ

大阪平野の地下水に関連した本研究および従来研究の結果をまとめると以下ようになる。

- ・大阪市域では，戦前および戦後の 2 度にわたる大規模な工業揚水により広範囲の地下水位低下と地盤沈下を経験したが，その歴史に関しては 5 つの時期に区分できる。
- ・自由（不圧）地下水と河川水・海水とは全面的には連続していない。
- ・自由地下水は被圧地下水とも連続していない。
- ・被圧帯水層は上町台地（断層）を挟んで，西大阪地区と東大阪地区に分けられ，互いの地区の揚水による地下水位低下の影響は小さい。
- ・天満砂礫層の被圧地下水は海水と連続している可能性がある。
- ・大阪市の中心部（梅田付近）における第 1 洪積砂礫層（第 1 天満礫層）および第 2 洪積砂礫層（第 2 天満礫層）の透水量係数（ $\text{m}^2/\text{分}$ ）は 10 の 0 乗オーダー，同じく透水係数（ cm/sec ）は 10 の -1 乗オーダーと極めて大きい。また，影響圏半径も 10 km 以上と非常に大きいために，その揚水による地下水位（水頭）低下の影響は西大阪地区全域におよぶ。
- ・天満砂礫層など地下水位が高く，透水係数または透水量係数が大きな被圧帯水層で柱列式土留壁などによる地下水の遮水工法を採用する場合，遮水壁のわずかな欠損部からパイピングが進行し，大規模な出水事故が発生する可能性があるために注意が必要である。
- ・環境に配慮した様々な地下水流動保全工法や地下水位低下工法が開発されている。
- ・地盤沈下最盛期の地下水位低下時期に建設された地下構造物に関して，地下水位上昇による浮力対策が必要なケースが発生している。
- ・地震時の液化化対策として地下水位を低下させる場合には地盤沈下を再発させないことが前提であり，そのためには地下水関連情報のデータベース化・GIS 化が不可欠である。

7. おわりに

地下水を取り巻く社会環境も，ここ数十年で随分変わってきた。特に都市部において，1960 年以前には，地下水の過剰な揚水により地盤沈下が発生し大きな社会問題となったため法律による揚水規制が行われた。その後，地下水位の回復が見られたが，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ったが，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れば，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。さらに、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。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、貴重なデータを提供していただいた「地下水地盤環境に関する研究協議会」の会員各位、地下水の塩水化状況についてご教示いただいた日本地下水理化学研究所の鶴巻道二氏（研究協議会前座長）および、帯水層の水理定数や連続性についてご教示いただいた宇野尚雄岐阜大学名誉教授に対して心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 霜上民生・橋本正：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，pp.107-118，1993.
- 2) 戸上拓也：地下水位変動と地盤沈下，地下水地盤環境に関するシンポジウム 発表論文集，pp.49-52，1993.
- 3) 大阪地盤沈下総合対策協議会：大阪地盤沈下対策誌，1972.
- 4) (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：「関西地盤」，1992.
- 5) 橋本正・飯田智之・宇野尚雄・神谷浩二：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，pp.65-78，2000.
- 6) 橋本正・飯田智之・沖泰三：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 巻 9 号，pp.20-34，2001.
- 7) 鶴巻道二：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 巻第 10 号，pp.37-50，2001.
- 8) 神谷浩二・宇野尚雄・柘植良吾：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，pp.35-40，2001.
- 9) 霜上民生・岸尾俊茂・鎌田敏正・有本弘孝・小林圭・沖泰三：大阪地盤帯水層の水理特性，地下水地盤環境に関するシンポジウム '95 発表論文集，pp.21-38，1995.
- 10) 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：「地下水流動保全工法マニュアル（試案）」，2001.
- 11) 柴田 徹：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，pp.99-104，1988.
- 12) 岡田篤生・岡泰子：浮力とたたかうビル，日経アーキテクチュア (No.661)，pp.102-117，2000.

- 1 3) 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：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，5-9～5-52, 2002.
- 1 4) 色摩勝司：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，P-7～P-8, 2002.