

大阪平野の地下水変動について

大阪府立工業高等専門学校 正会員 佐藤 邦明

1. はじめに

大阪平野において地下水が工学的に世人の関心を呼び始めたのは主として地盤沈下現象との関連においてであり昭和に入ってからであろう。昭和8年初めて水準測量によって大阪付近の地盤沈下は量的に報告された。以後、止ることなく続いた沈下は阪神地方を襲った大型台風(室戸、ジェーン、第二室戸)という苛酷な試練を与え高潮対策、工業用水道等関連事業を余儀なくさせ、地下水揚水の法的規制、禁止をもたらした。¹⁾ その間、地盤沈下に対する先人の努力は多大、多岐に及ぶが、その一端は大阪平野の深層ボーリング、膨大な地下水・沈下観測資料にも見られる。現在、地盤沈下は周知のように大阪市内ではほとんど止んでいるが、府下の東大阪、泉州地域で劇甚である。しかし、他の大都市についても言えるように阪神地域においても近年の水不足から、地下水の利用を平野部全域にわたって適正化しようという努力が真剣になされている。そのためには従来の関連事の経過・実態をまず知ることが先決であり、長期の予測を踏まえた検討が必要とされる。

ここでは大阪平野の Basin、地下水挙動を巨視的に捉え、地下水の変動と沈下特性を把握し、地下水文学的立場より水収支問題を考えてみる。

2. Basinと地下水の巨視的挙動の概略

大阪平野は、その形成の地質学的プロセスはさておき、大阪湾に面し周囲和泉、生駒、北摂連山でかこまれ、台地、低い丘陵をもつ総面積 1600 km^2 に及ぶ近畿地方第一の平野である。基岩は主として花こう岩であり、平野部では地下水が豊富で全体が盆状をなしている。Basinの内部の様子は深層ボーリング・地質図等からある程度までは判明しているが、特に深部に不明なことが多い。

図-1は重力法により地下岩盤(あるいは類似層)のコンターを推定したものである。²⁾ これより平野の Basinは中央部に南北にのびる高い峰があり、大阪湾・東大阪付近に低所があって、南部では東から西に急斜面になっていることが判る。帯水層は神戸層群、二上層群、大阪層群、こう積層、段丘層、ちゅう積層が古い順に推積、形成しており、平野部の中央を東西に見れば、図-3のような概念断面となる。³⁾ 地質学的に六甲地殻変動期以降に古い大阪湾の沈降につづき生駒・金剛・淡路島が隆起して千里・上町台地が上昇形成されたと説明されており、複雑な断層が発達している。⁴⁾ さらに、平野部の南域で図-4のような地質状況が筆者を含む調査グループによって明らかにされた(図-1の点線断面で)。大阪層群最上部は海成粘土 Ma6 より上部(砂れき多い)、主部とは Ma0~Ma6(粘土多い)までであり、最下部は砂れきの多い層である。最近の深層ボーリング(1000m余)により、大阪層群最下部と花こう岩基岩の間に従来大阪層群と呼ばれたものと明確に違った層の存在が確認された。

つぎに、地下水の平面的な挙動を大ざっぱに把握するため、多くの既設井戸、観測井の調査結果から地下水静水位コンターを示したものが図-2である。⁵⁾ 図中、大阪市、尼崎市、その他一部の市では工業用水法、建築物用地下水の採取の規制に関する法律等で揚水が規制・禁止されているため除外した。

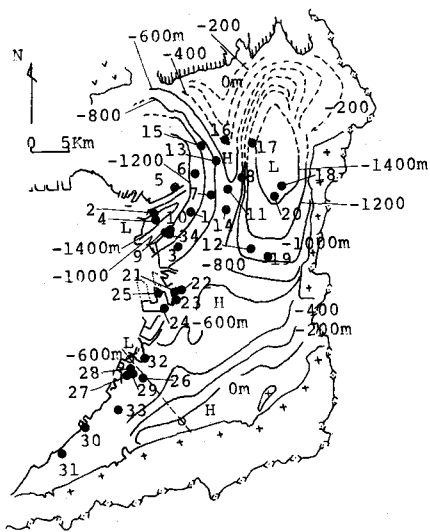


図-1 岩盤コンター (O.P.基準) と観測井の位置

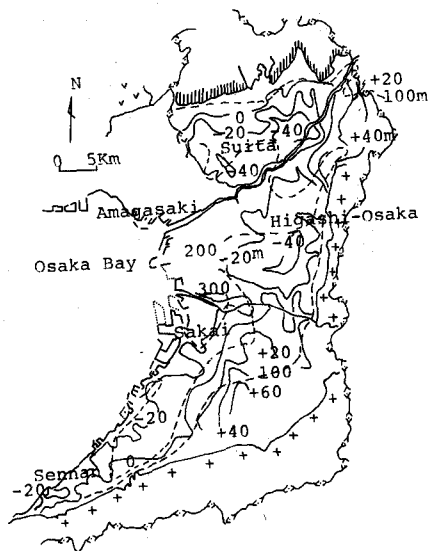


図-2 水位コンター (O.P.基準) と既設井戸等深度線

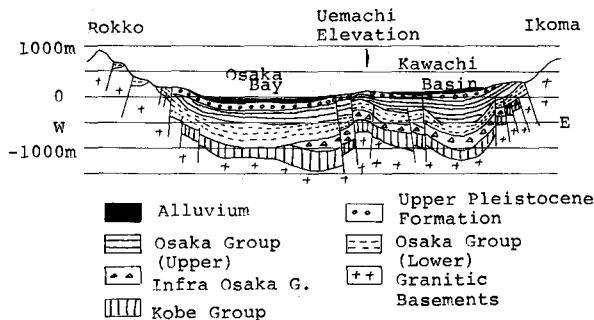


図-3 平野部 (東西) 中央の地質概念図

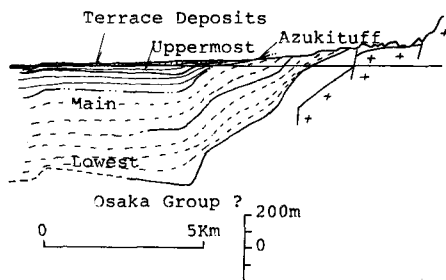


図-4 泉州地域の地質状況

また、山本⁶⁾が調べた既設井戸の等深度コンターを参考のため示しておいた。これら地下水位コンターより前述した地盤沈下の著るしい地域で地下水が低いことを含め全体の動きが知れる。

3. 地下水観測結果と変動特性

現在、大阪市、府下には34カ所に58本の既設地下水位・地盤沈下観測井(観測停止、廃止のものを含む)がある。図-1にその位置を示しているが、周知のごとく大阪市は早くから地盤沈下に苦しめられていたため観測記録は古くから残っており、府下のものは比較的新しい。表-1は図-1中の番号に対応する井戸の深度を掲げたもので、同一地点でも地層が一樣でないため深度によって地下水位・沈下は違い、変動も異なる。図中、(b)、(c)が大阪市内、(d)、(e)が北摂・東大阪地域、(f)、(g)が堺・泉北地域、さらに、(h)、(i)は泉州地域と分けておいた。地下水位は泉州地域のを除けば、ゆっくりと上昇しており、回復・涵養が進んでいると考えてよい。

ここで、特に長期間資料のある大阪市内の場合に注目して水位変化の経年特性を取り上げてみる。図-5・a)の年降雨量の経年変化から地下水位変化が降雨に大きく依存しているとは考えられず、むしろ

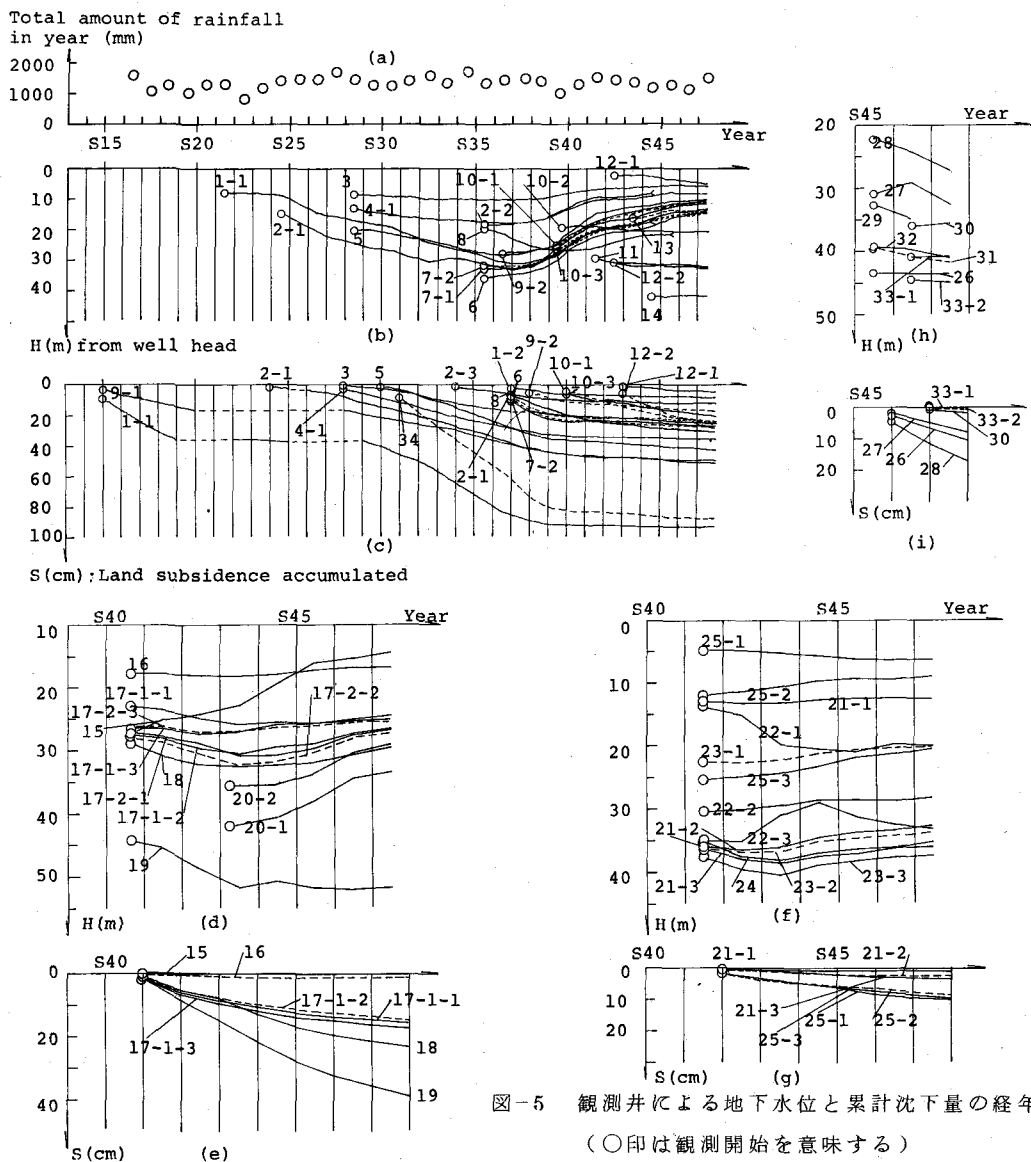
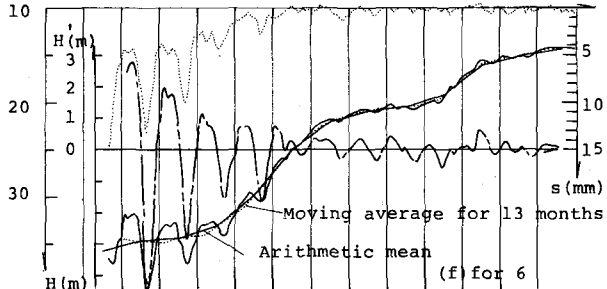
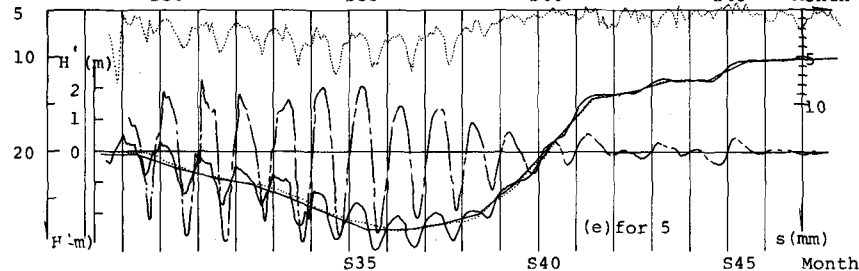
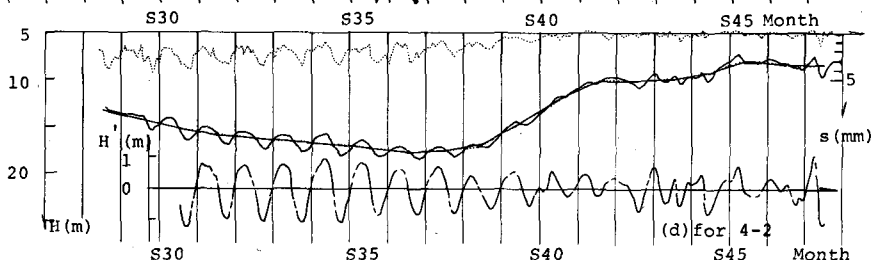
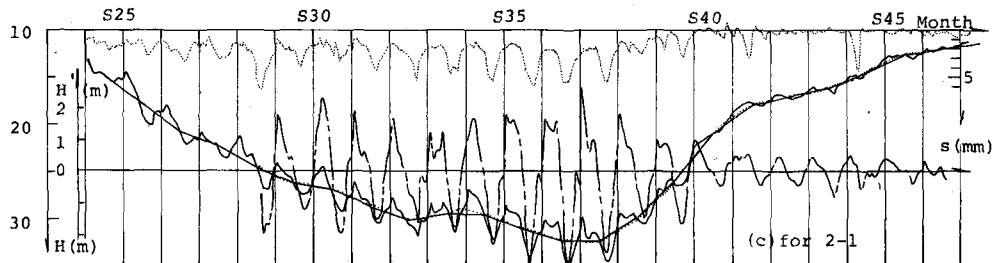
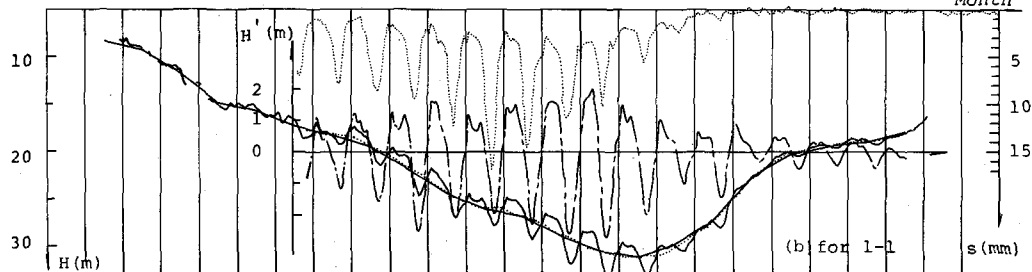
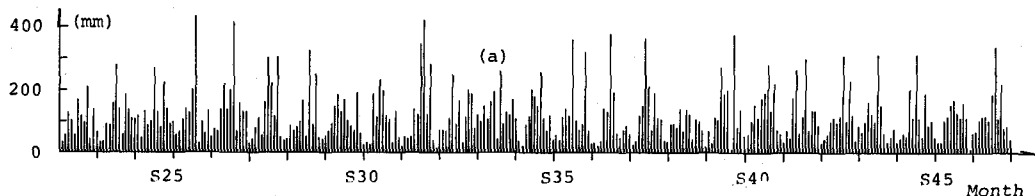


図-5 観測井による地下水位と累計沈下量の経年変化
(○印は観測開始を意味する)

ろ図-7⁷⁾に示した地下水総揚水量の経年変化に関係していることが判かる。つまり、工業用水法（昭和31年6月制定）による第一次指定規制（昭和34年1月施行）が大阪市西北部に及ぶが、建築物用の揚水量が急増すること、さらに法律そのものの拘束力の弱さのため揚水全量は増加する。しかし、昭和37年8月には工業用水法の一部改正と建築物用地下水の採取の規制に関する法律の施行により揚水量は急激に減少する。したがって、昭和37年に地下水位は最低となり、以降、第二・三・四・五次指定と順次規制範囲が広がり、併せ工業用水道の給水範囲も拡大され、かつ建築物用の揚水も急に減ってくるため、急に回復に向う。結局、地下水位の経年変化は揚水量に依存し、揚水量は法的規制・禁止の経過に依存するということになる。別の言葉で言えば、地下水位の変化はほとんど人為的操作に委ねられたといえよう。このことは地下水変化・挙動がいかん人爲作用に敏感であることを示すもので

Rainfall in month



あり、逆に捉えれば、地下水は人工的に制御できるということを暗示しているものと思う。しかし、たとえ水工学的に制御できても環境保全という立場から沈下の問題は残る。

つきに、地下水位の月変動を大阪市の観測結

— Monthly variation of phreatic level
 --- Steady variation
 Land subsidence

図-6 大阪市内の観測井による水位、地盤沈下の月変動と定常化変動

表-1 観測井番号と深度

D:Depth of Well(m)									
No	D(m)	No	D	No	D	No	D	No	D
1-1	176	8	96	16	68	21-2	150	26	154
1-2	33	9-1	33	17-1	50	21-3	245	27	150
2-1	93	9-2	104	17-1	100	22-1	50	28	300
2-2	35	10-1	354	17-1	250	22-2	150	29	91
2-3	40	10-2	606	17-2	50	22-3	254	30	156
3	30	10-3	185	17-2	100	23-1	50	31	200
4-1	30	11	300	17-2	250	23-2	150	32	400
4-2	30	12-1	13	18	50	23-3	250	33-1	140
5	68	12-2	175	19	150	24	300	33-2	202
6	100	13	175	20-1	100	25-1	50	34	104
7-1	96	14	175	20-2	200	25-2	150		
7-2	186	15	47	21-1	48	25-3	300		

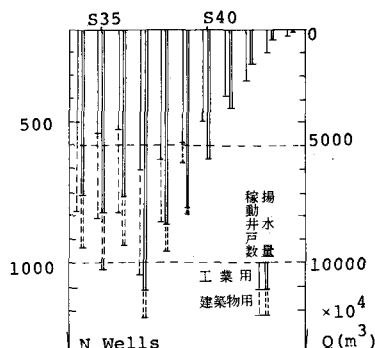


図-7 大阪市内の総揚水量の経年変化
(昭和34～36年は吐出口2インチ以上、
昭和37年以降は1インチ以上調査)

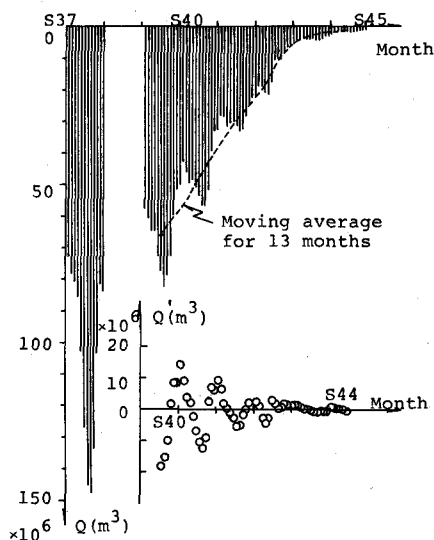


図-8 大阪市内の総揚水量の月変動
と定常化変動

果から検討する。

図-6は井戸番号1-1, 2-1, 4-2, 5, 6の場合の地下水・地盤沈下月変動を示したものである。地下水・沈下ともに季節変動が認められ、ほぼ1年周期である。振幅そのものは揚水量の増加に伴ない増大し、昭和37年より急に減少している。この点は図-8の総揚水量の月変動と同一の傾向と判断される。さらに、特に注目したいのは図-6中の定常化地下水変動(13カ月単純移動平均値から観測値を引いた値)と図-8の定常化揚水量変動を対比して、揚水量変動が規則的減衰変動であるのに比べ地下水変動は昭和40年ごろから若干不規則に減衰し、徐々に一定振幅変動に近づくことである。つまり、揚水量がある程度小さくなると、図-6(a)に示した月降雨量の影響が地下水変動に顕著に現われてくるものと言える。いわゆる、自然地下水変動に近づく。

4. 適正揚水に関する考察

適正揚水という概念自体に二・三の問題⁸⁾はあると考えられるが、ここでは一応地下水文学的に若干水収支を考察してみる。そこで、まず地下水位の変化・変動の要因を取出すと、揚水量、浸透による直接・間接涵養、回復、地下水文区相互の水交換があげられる。揚水量は大阪市では500～3500^{m³}/日程度がほとんど300m以浅より、各層取水で、あたかも面状に揚水されてきた。つぎに、直接涵養は浸透により直接地面より地下に供給されるもので、地域の都市化によって著るしく減少すると考えられ、地下水涵養までに長時間を要する性質のものである。たとえば、鶴巻ら⁹⁾は東大阪地域で水質調査より地下100mに達するに20年近く要すると報告している。また、間接涵養は一度河川・湖沼等に流入した雨水が徐々に水圧変化によって浸透涵養されるもので、直接・間接涵養は実際上区別しにくい、概念的には区別できる。さらに、水位回復はまったく揚水に伴う水理学的性質で決まるも

ので、たとえ地下水涵養が皆無でも起こり得るものである。水交換はある水文区から他地下水文区への流入・出であり、たとえば大阪平野全体からすれば、図-1より東・西・南区と大きく三区分されよう。

前述の諸要因を念頭に図-6において吟味した地下水変動特性を考える時、直接・間接浸透は降雨に依存し、水位回復・地下水文区相互の交換は揚水量に関係するという結論を得る。そこで、先のべたように、実際の観測結果から見掛け上地下水変動は揚水量と降雨に強く影響されているという知見から、つぎの関係を設定してもよからう。

$$H(t) \sim -\alpha \lambda R(t-t') + \beta Q(t), \quad (\alpha, \lambda < 1), \quad (1)$$

ここで、 H ；地表よりの地下水位、 α ；浸透率、 λ ；地層の平均空隙率、 R ；降雨量、 t' ；浸透時差、 β ；長さの二乗の次元をもつ水文区定数、 Q ；揚水量、 t ；時間である。

この式(1)の関係は少なくとも図-6で示した程度の観測精度からいえるものであり、厳密には水理学的な非線型タームが付加されるものと思う。図-6に示した観測結果は式(1)の関係からすれば、昭和40年以前で地下水位は右辺第二項に関係し、以降は主として第一項に起因するというものである。したがって、ある程度長期に見れば、 R はほぼ定常的に設定できるから、揚水量関数 Q を適当に制御すれば、地下水位変化・変動が予知できるよう。そこで、適正揚水の定義に問題が残ることになる。

5. お わ り に

本研究では主として地下水そのものに焦点をしばって述べたわけであるが、実際には環境保全に伴う地盤沈下の問題がありさらに詳細な検討が要求される。地下水位と地盤沈下はある精度をこえようと極めて微妙な関係をもつが、上述の考え方である程度地下水挙動を予測・制御できるものと思う。また、今後は地質、水質、水工、環境といった方面から総合的に捉え、従来の局所的な議論を集約検討する必要がある。最後に、本研究機会を与えていただいた大阪大学工学部、室田明教授、教養部、中世古幸次郎助教授、さらに資料収集に協力された大阪府都市河川課、企業局、大阪市環境保健局の各所に深甚の謝意を表わしたい。

参考文献・資料

- 1) 大阪地盤沈下対策協議会、大阪地盤沈下対策誌、昭和47年
- 2) 室田明・佐藤邦明、土木学会第27回年次学術講演会講演概要集、昭和47年、P.673
- 3) Editorial Committee for Technical Report on Osaka Land Subsidence, Report on Land Subsidence in Osaka, Sept. 1969, P.81.
- 4) 日本建築学会関西支部・土質工学会関西支部共編、大阪地盤図、1966、コロナ社
- 5) 前出2)
- 6) 山本莊毅、アーバンクボタ、№8、昭和48年、P.9.
- 7) 前出1)、P.78.
- 8) 酒井軍治郎、応用地下水学、朝倉書店、昭和42年、P.180.
- 9) 鶴巻道二・長沢幹雄、東大阪地域の地下水系調査報告、大阪府、昭和45年、P.42.