

ワークショップ

“地下水と地盤環境”に関する論文報告集

平成6年5月

地下水地盤環境に関する研究協議会

ま え が き

この論文報告集は、地下水地盤環境に関する研究協議会の設立（平成5年6月23日）を前に、有志らにより開催されたワークショップ”地下水と地盤環境”（平成4年3月14日、大阪市 中央電気クラブにて、主催：(財)大阪土質試験所、(財)日本地下水理化学研究所）における発表論文を中心としてとりまとめたものです。

以下にワークショップ”地下水と地盤環境”の開催主旨を示します。

●ワークショップ”地下水と地盤環境” 開催の主旨

大阪においては長らく地盤沈下の発生が見られたため、取水制限を設けて地下水位の回復が図られ沈下が防止された経緯がある。しかしながら、地下水位の上昇に伴って、高い水圧や豊富な水量を有する帯水層における建築や土木の地盤工事が困難になったり、地震時の液状化などの防災面においても問題が指摘されるようになってきた。また道路などの路面被覆により雨水の地下浸透やその涵養が困難になること等により、内水災害問題が発生している。また河川自体の汚染や塩水化、地下水の汚染が広く見いだされている状況にある。さらに温泉ボーリングによる深層地下水の採取は、地下水の有効利用の一つであるが、地盤沈下などとの関連が不明であるなど、地下水と地盤環境の問題が指摘されている。

以上のような問題は、産官学の組織を結び、地盤や地下水、河川および水循環等の関連する学問分野を総合化することで解決に向けて有効に取り組むことが出来ると考えられる。

これらの地域環境問題に対しては、水や地盤の地域特性の実態や問題点をまず明らかにし、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の提言等の場としてワークショップを開催する運びとなった。

最後に、当論文報告集への論文の掲載を快諾して頂いた各氏に対して心よりお礼申し上げます。

平成6年5月

地下水地盤環境に関する研究協議会

ワークショップ

”地下水と地盤環境”に関する論文報告集

目 次

大阪府における地盤沈下と地下水規制の現状	1
大阪府環境保健部水質課 藤田豊英	
大阪府における地下水の水質汚染の現状	12
大阪府環境保健部水質課 石谷 壽	
日本における地質汚染	24
千葉県水質保全研究所地盤環境研究室 楡井 久	
都市域の水収支と水環境	66
大阪大学工学部 村岡浩爾	
福井平野の地下水の現状と分析	73
建設省近畿地方建設局 霜上民生	
掘削揚水による地下水汚染	88
株式会社 大林組 金田 宏	
地下水と地盤震害	102
京都大学工学部 柴田 徹	
地盤情報データベース	105
財団法人 大阪土質試験所 諏訪靖二	
地下水地盤環境の観測網について－大阪平野を対象とする試案－	149
建設省近畿地方建設局 霜上民生	
財団法人 大阪土質試験所 橋本 正	
財団法人 日本地下水理化学研究所 鶴巻道二	

大阪府環境保健部環境局
水質課 藤田豊英

1. はじめに

地盤はいったん沈下すれば再び現状に回復することはほとんど不可能であり、地盤の沈下を放置すると台風等による高潮被害、豪雨による浸水被害など、そのもたらす影響は広範かつ甚大なものとなる。

大阪においても過去において激しい地盤沈下のため、幾度となく台風による高潮被害をこうむってきた。このため、大阪においては早くから地下水採取規制等の地盤沈下対策を実施してきた結果、最近では沈下は沈静化してきている。大阪府では府下全域において「地盤沈下を進行させないこと」を環境保全目標として地盤環境保全対策に取り組んでおり、その現状について報告する。

2. 地盤沈下

大阪における地盤沈下は、昭和初期に大阪市内において地盤沈下の現象が指摘され、昭和9年の室戸台風による高潮被害が甚大であったことから注目されるようになった。地盤沈下の進行は戦争直後、一時停止したものの、社会経済の復興とともに工業用やビル街の冷房用・水洗用として地下水利用が活発になるとともに再びその激しさを増し、昭和35年頃のピーク時には20cm以上の年間沈下量を記録した。その結果、昭和36年の第二室戸台風により、再び甚大な高潮被害を受けることとなった。激化する地盤沈下に対処するため、大阪市では、すでに地下水の採取規制や代替水源としての工業用水道の建設などの対策を講じていたが、その効果が現れたのは、昭和38年以降で、その後、地盤沈下は急速に沈静化していった。

一方、この頃から、大阪府北部の北摂地域、東部の東大阪地域及び南部の泉州地域において、工業の発展にともなう地下水利用によって、地盤沈下が目立ち始め、とくに東大阪では、昭和42年頃には年間最大20cm以上の激しい沈下を記録した。このため、これらの地域についても地盤沈下に対処するため、地下水採取規制が順次実施されてきた。その結果、大阪府下における地盤沈下は最近では全般的に沈静化してきている（図1）。

大阪における地盤沈下は、主として地下水を過剰にくみ上げることによって地下水位が低下し、それが地層の圧密収縮をもたらすことによって生じてきた。したがって、地下水採取規制による採取量の減少は、地下水位の回復をもたらし、それにとまって、地盤沈下も沈静化することになった。大阪府・大阪市では、地盤沈下観測所において地

盤変動と地下水位の観測を行っているが、地盤沈下観測所のある地域の地下水採取量と地下水位との間には相関関係が認められる。地下水採取量と地下水位及び水準測量による累積沈下量の相関関係の例を図 2～図 4 に示す。

3. 地下水採取の規制状況

大阪における地下水採取の規制は、昭和33年に大阪市内の一部が「工業用水法」の指定地域となり、工業用の地下水採取が規制されたことに始まる。また、昭和34年からは「大阪市地盤沈下防止条例」により、その他の用途の地下水採取も規制された。しかしながら、その後も地盤沈下は停止せず、その地域を拡大する傾向さえみせた。このため、昭和37年には大阪市内に「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」が施行されビル用の地下水採取が規制されるとともに、同年には「工業用水法」も地盤沈下の防止に重点を置いた改正がなされ、さらに、大阪市内における指定地域も昭和37年、38年、41年と拡大された。また、地盤沈下が目立ち始めた大阪市周辺地域に対しても昭和40年に北摂地域、昭和41年に東大阪地域、昭和52年に泉州地域が、それぞれ「工業用水法」の指定地域となり、工業用の地下水採取が規制された。さらに、「大阪府公害防止条例（以下「府条例」という）」に基づき、昭和46年に東大阪地域の上水道事業用の地下水採取を規制し、泉州地域に対しては工業用水法の指定に先立つ昭和50年に工業用の地下水採取を規制した。

現在、大阪府下においては、地盤沈下の防止を図るため、工業用水法（大阪市区、北摂地域、東大阪地域、泉州地域の計17市1町）、建築物用地下水の採取の規制に関する法律（大阪市区）及び府条例（東大阪地域の7市：上水道事業用）に基づく地下水採取の規制を実施しているほか、枚方市、東大阪市、大東市、島本町においても、それぞれの条例に基づき地下水採取の規制を実施している。

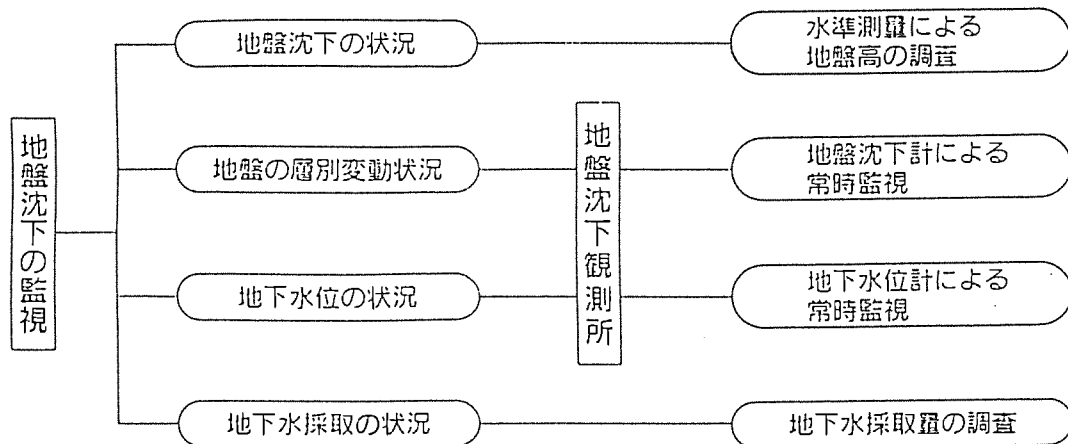
4. 地盤沈下の監視体制

大阪府下の地盤沈下地域は、大阪市区、北摂地域、東大阪地域、泉州地域の4地域に大別され、これらの地域を中心として地盤沈下の監視をおこなっている。

現在、府下における地盤沈下の監視は、次の3つの方法によって実施している。

- ① 水準測量による地盤高の調査
- ② 地盤沈下観測所における地下水位等の調査
- ③ 地下水採取量の調査

地盤沈下の監視体制



(1) 水準測量

ア 水準測量の概要

地盤沈下現象を定量的にとらえるためには、水準測量による方法が最も一般的である。

水準測量とは、地域のある基準点を不動の点として、各水準点の標高を測量するもので、ある年の測量結果と前回の測量結果とを比較することで地盤高の変動、すなわち、地盤沈下の状況を把握することができる。

イ 大阪における水準測量実施の経過

大阪において地盤沈下の状況を把握するために水準測量を始めたのは昭和9年のことであった。この水準測量は大阪市が独自に実施したものであり、当初、水準点91点について調査を開始したが、その後は調査範囲・水準点数を拡大しながら実施していた。昭和38年以降は、「阪神地区地盤沈下広域水準測量」の一環として、国土地理院の指導のもとに調査を実施している。

大阪府は、昭和38年から北摂・東大阪地域等において調査を実施していたが、昭和41年の異常潮位により岸和田市の一部が浸水し地盤沈下が問題となったことから、昭和42年からは泉州地域においても調査を実施している。現在、大阪府下では、国土地理院、大阪府、大阪市、東大阪市、堺市、守口市、枚方市によって毎年水準測量を実施しており、平成2年度には路線延長847kmに及ぶ水準点613点について実施した。

(2) 地盤沈下・地下水位観測所

地盤沈下は、地下水の過剰な採取と土質構成に極めて深い関連をもつものである。

大阪府と大阪市では地盤沈下の状況をより科学的に把握するため地盤沈下観測所を設置し、層別収縮量と地下水位の観測を行っている。

現在、大阪では大阪市の11ヶ所、大阪府の19ヶ所計30ヶ所の観測所で合計49本の観測井を用いて地下水位あるいは層別収縮量の監視を行っている（図5、表1、表2）。

(3) 地下水採取量の調査

大阪府では昭和47年以降「大阪府公害防止条例」に基づき大阪市内を含めた地下水採取量の測定義務地域内において、揚水機の吐出口断面積が6 cm²を超える揚水設備で地下水を採取しているものから毎年報告書を徴収している。また、昭和47年以前においても大阪市・大阪府が地下水採取量の調査を行ってきた。

昭和38年に93万4千m³/日であった府域の地下水採取量は法的規制の強化、工業用水道の建設による代替水の確保、水使用の合理化等の対策の推進により漸次減少傾向を示し、昭和55年には38万2千m³/日となり、昭和38年からの17年間で約40%に減少した。それ以降はほぼ横ばい傾向が続いており、平成2年には34万6千m³/日となっている（図6、表3、表4）。

用途別の地下水採取量は、昭和38年に工業用が全体の80.8%、上水用が16.5%であったが、平成2年には工業用が35.5%、上水用が41.0%となり、昭和56年頃から上水用の占める割合が工業用よりも大きくなっている。これは、工業用の地下水採取が法的規制を受けたのに対し、上水用については東大阪地域を除いては全く規制を受けていないことによるものと考えられる。

5. おわりに

地下水は貴重な資源であるため、有効に利用していくことも必要であるが、地下水の過剰採取が地盤沈下の原因となることから、地下水を利用するためには地盤沈下を起こさせない範囲（安全採取量・地下水位）を把握する必要がある。また、地下水を資源として保全・利用するためにはその汚染防止を図っていくことが重要である。

大阪府では地盤環境保全のため、今後、大阪市をはじめとする府下市町村と連携して積極的に情報交換を行い、地盤環境に対する理解を深めていくとともに、地盤環境保全対策について調査検討を行っていくこととしている。

図-1 大阪における代表的な地点の地盤高の変動状況

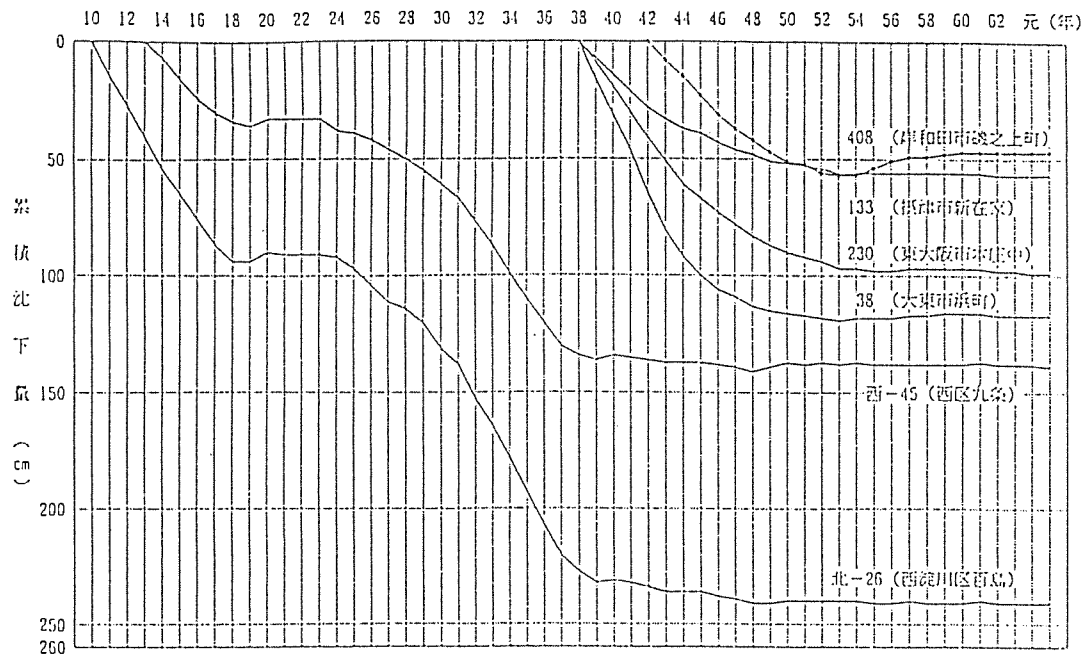


図-2 地下水採取量と地下水位、累積沈下量の相関関係（大阪市域）

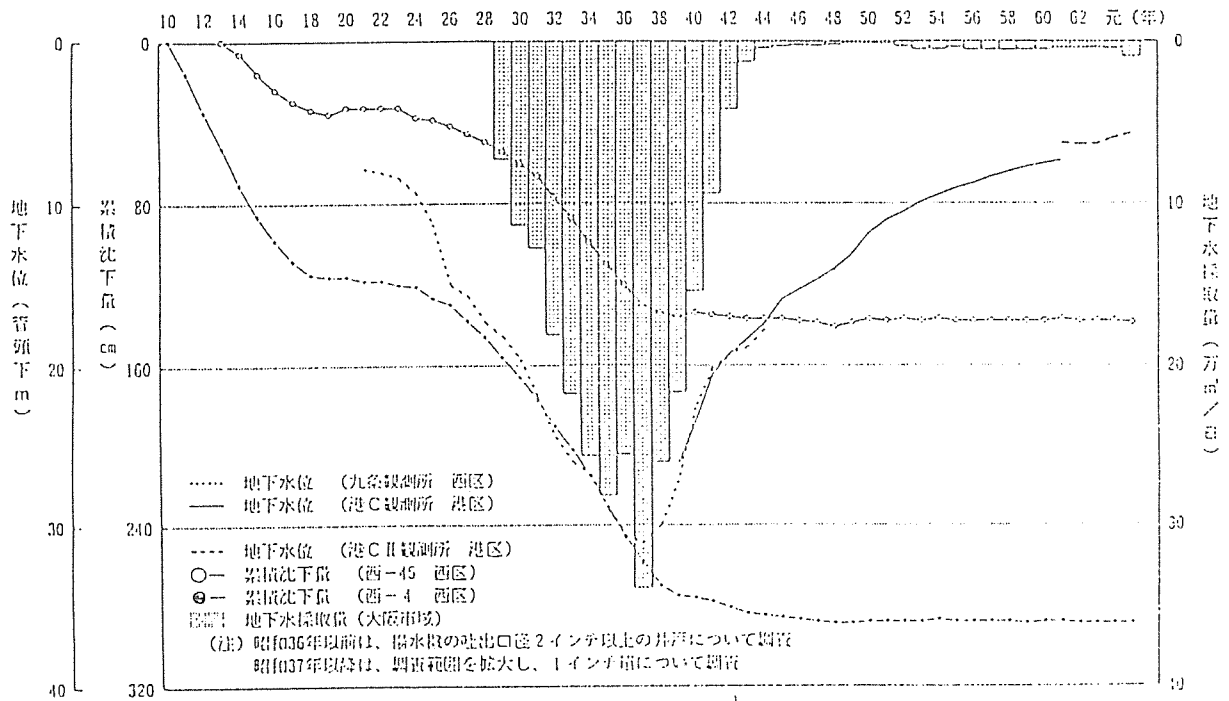


図-3 地下水採取量と地下水位、累積沈下量の相関関係（東大阪地域）

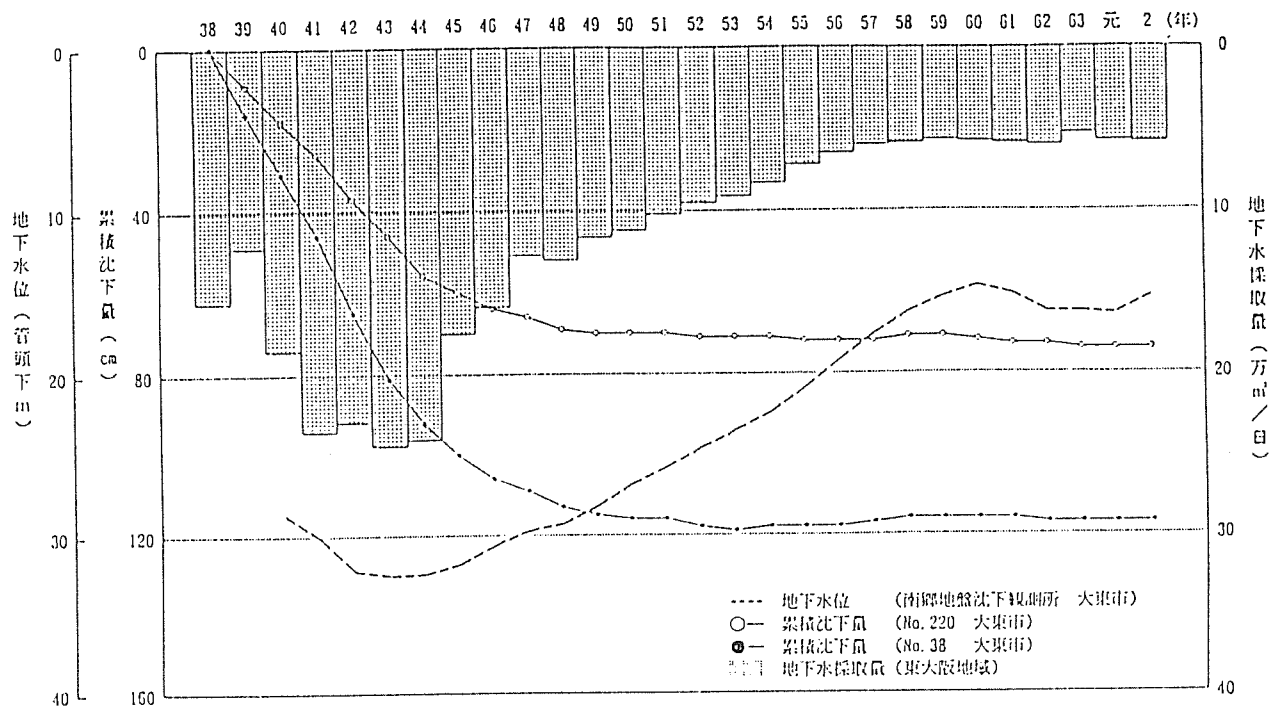
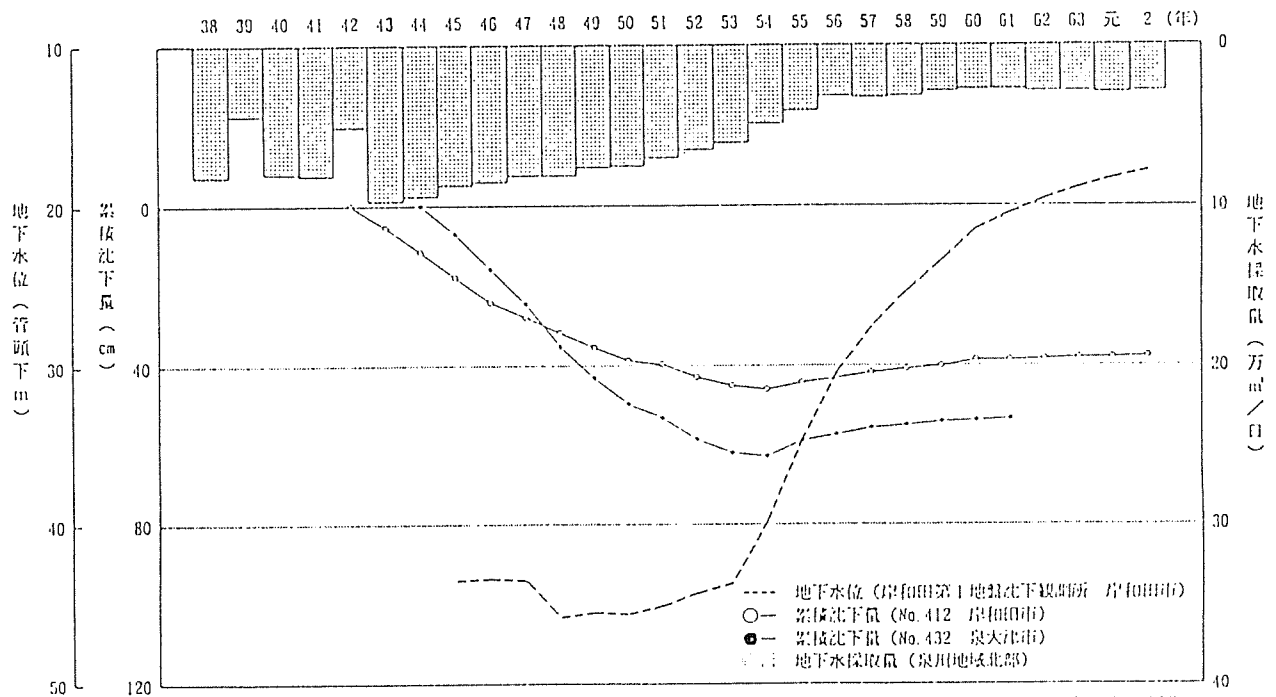


図-4 地下水採取量と地下水位、累積沈下量の相関関係（泉州地域北部）



泉州地域北部：高石市、泉大津市、和泉市、岸和田市、貝塚市、忠岡町

表－１ 大阪市地盤沈下観測所一覧表

平成３年３月現在

	観測所名	位 置	深度 (m)	ストレーナーの 位 置 (m)	一重管 二重管 の 別	観測種別	沈下計 の倍率	水位計 の倍率
1	天保山 B	港区築港 4 市バス操車場内	104	96～101	◎	水 位	－	1/5
2	鶴 町 A	大正区鶴町 2	30	－	◎	沈 下	20	－
	鶴 町 B	港湾局機械工場内	30	25～30	○	水 位	－	1/5
3	島屋町 B	此花区島屋町 5 住友金属工業(株)敷地内	30	25～30	○	水 位	－	1/5
4	姫 島	西淀川区姫島 4 姫島公園内	30	63～68	○	水 位	－	1/5
5	十 三	淀川区十三元今里 1 十三公園内	100	97～100	○	水 位	－	1/5
6	中之島 A	北区中之島 1	96	91～96	◎	沈下・水位	20	1/5
	中之島 B	中之島公園内	186	178～183	◎	沈下・水位	20	1/5
7	蒲 生	城東区中央 3 蒲生公園内	96	91～96	◎	水 位	－	1/5
8	港(Ⅱ) A	港区田中 3	357	348～353	◎	沈下・水位	20	1/5
	港(Ⅱ) B		465	441～446	○	水 位	－	1/5
	港(Ⅱ) C		192	183～188	◎	沈下・水位	20	1/30
9	生 野 A	生野区巽東 4	沈下 17 水位 13	14～17	◎	沈下・水位	20	1/5
	生 野 B	巽配水場内	沈下 200 水位 175	170～180	◎	沈下・水位	20	1/5
10	柴 島	東淀川区柴島 1 柴島浄水場内	175	170～175	○	水 位	－	1/5
11	馬 場 町	中央区大手前 中央体育館脇	175	145～145	○	水 位	－	1/5

備考：観測所11ヶ所、観測井16本、うち地盤沈下7本、地下水位15本

表－２ 大阪府地盤沈下観測所一覧表

平成３年３月現在

地 域	観測所名	位 置	深度 (m)	ストレーナーの 位 置 (m)	一重管 二重管 の 別	観測種別	沈下計 の倍率	水位計 の倍率
北 摂	豊 中	豊中市庄内幸町 4 市立第 6 中学校内	47	25～47	◎	沈下・水位	20	1/5
	吹 田	吹田市中之島 3 市立第 3 中学校内	68	19～33	◎	沈下・水位	20	1/5

地域	観測所名	位置	深度 (m)	ストレーナーの 位置 (m)	一重管 二重管 の別	観測種別	沈下計 の倍率	水位計 の倍率
東 大 阪	庭窪第1	守口市淀江1 大阪市水道局庭窪 浄水場内	50	34~50	◎	沈下・水位	20	1/5
			100	60~85	◎	沈下・水位	20	1/5
			250	208~239	◎	沈下・水位	20	1/5
	庭窪第2	守口市淀江1 大阪市水道局庭窪 浄水場内	50	32~45	○	水位	—	1/25
			100	59~101	○	水位	—	1/5
			250	208~239	○	水位	—	1/5
	南郷	大東市太子田1 市立南郷小学校内	50	38~50	◎	沈下・水位	20	1/5
	鴻池	東大阪市南鴻池1 市立成和小学校内	100	92~97	○	水位	—	1/5
			200	170~191	○	水位	—	1/5
	長瀬	東大阪市 市立長瀬東小学校内	150	130~140	◎	沈下・水位	20	1/5
堺 ・ 泉 北	堺第1	堺市大浜西町 大浜公園内	50	28~50	◎	沈下・水位	20	1/5
			156	64~140	◎	沈下・水位	20	1/5
			250	174~230	◎	沈下・水位	20	1/5
	堺第2	堺市大浜北町4 大浜公園内	50	17~50	○	水位	—	1/5
			150	52~146	○	水位	—	1/5
			254	103~237	○	水位	—	1/5
	堺第3	堺市大浜西町 出島漁港用地内	50	24~47	○	水位	—	1/5
			150	61~130	○	水位	—	1/5
			250	174~249	○	水位	—	1/5
	堺第4	堺市石津西町 大阪府臨海センター内	300	167~273	○	水位	—	1/5
	堺第5	堺市築港新町3 堺6区先端	50	25~50	◎	沈下・水位	20	1/5
			150	68~132	◎	沈下・水位	20	1/5
			300	161~299	◎	沈下・水位	20	1/5
泉 州	泉大津	泉大津市東雲町 東雲公園内	400	240~274	○	水位	—	1/5
	岸和田第1	岸和田市中井町1 府水道部ポンプ場内	154	113~119	◎	沈下・水位	20	1/5
	岸和田第2	岸和田市春木大国町 天の川下水ポンプ場内	150	128~134	◎	沈下・水位	20	1/5
	岸和田第3	岸和田市磯之上町3 磯之上下水処理場内	300	261~288	◎	沈下・水位	20	1/5
	貝塚	貝塚市半田 岸和田貝塚清掃工場内	140	127~132	◎	沈下・水位	20	1/5
			202	191~195	◎	沈下・水位	20	1/5
	泉佐野	泉佐野市住吉町 泉佐野住吉汚水処理場内	156	133~145	◎	沈下・水位	20	1/5
	泉南	泉南市柳井 市立柳井小学校内	200	154~172	○	沈下・水位	20	1/5

備考：観測所19ヶ所、観測井33本、うち地盤沈下20本、地下水位33本

図-5 地盤沈下観測所の位置

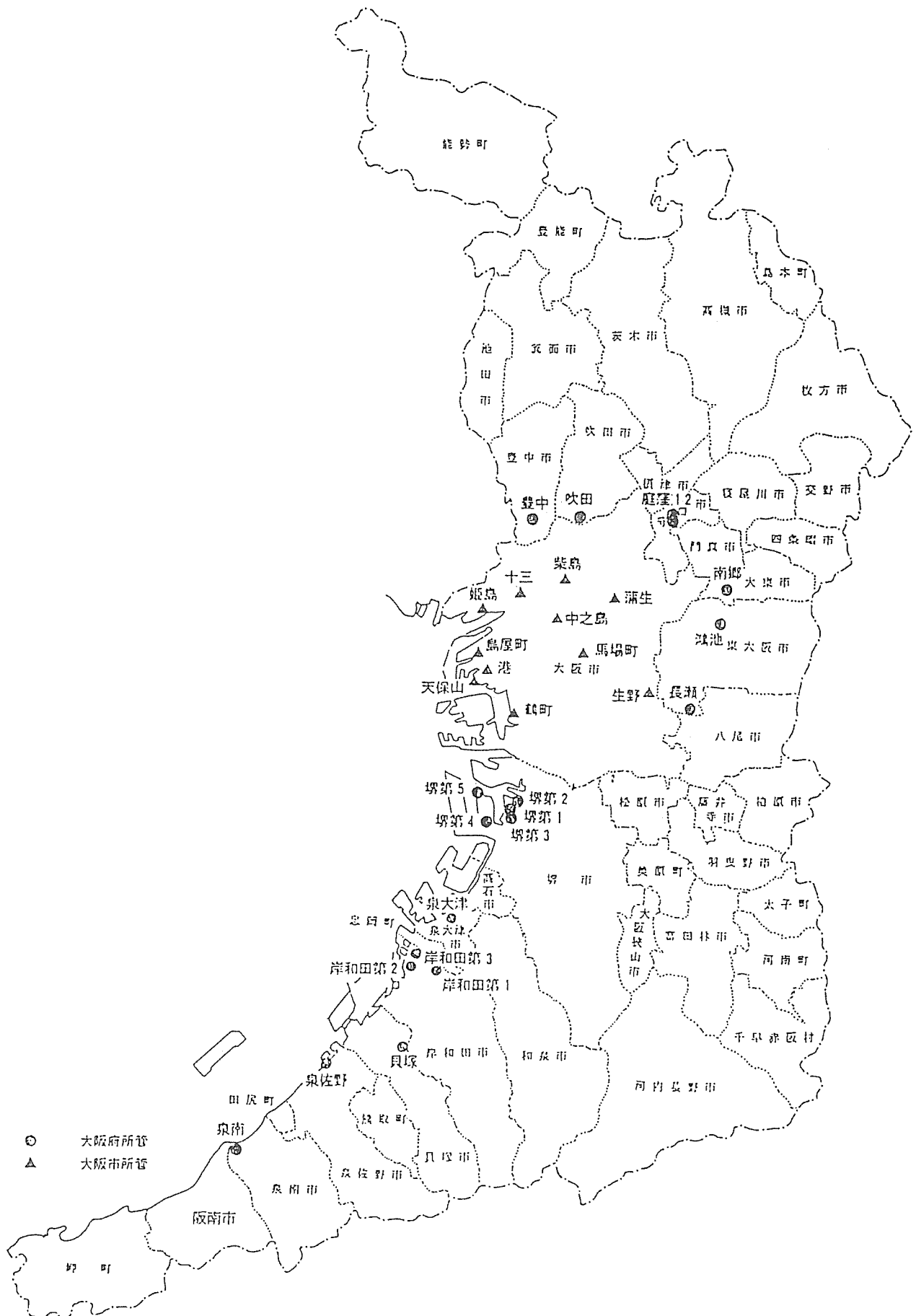


図-6 地下水採取量の推移

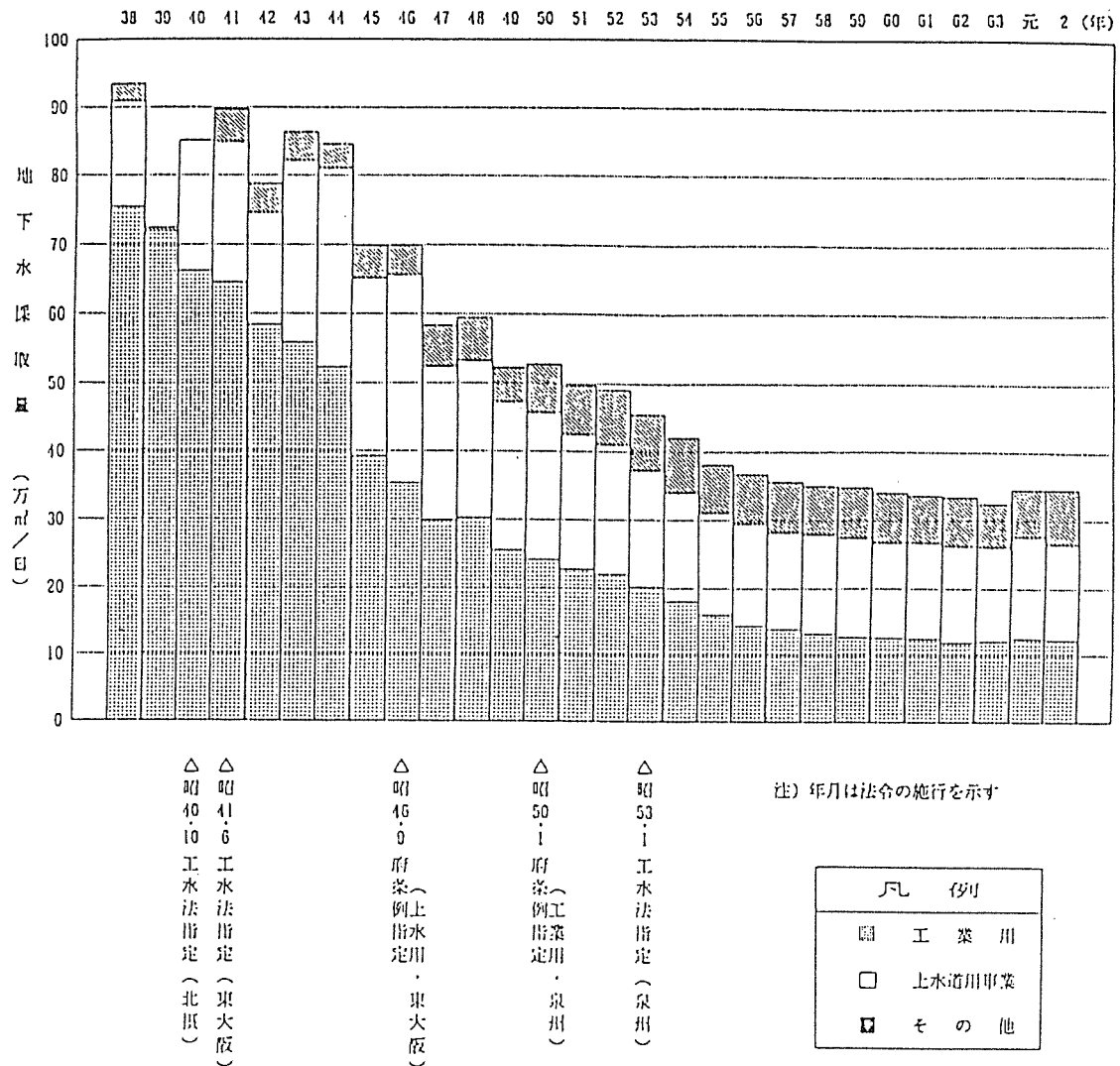


表-3 大阪府における地下水採取量(平成2年)

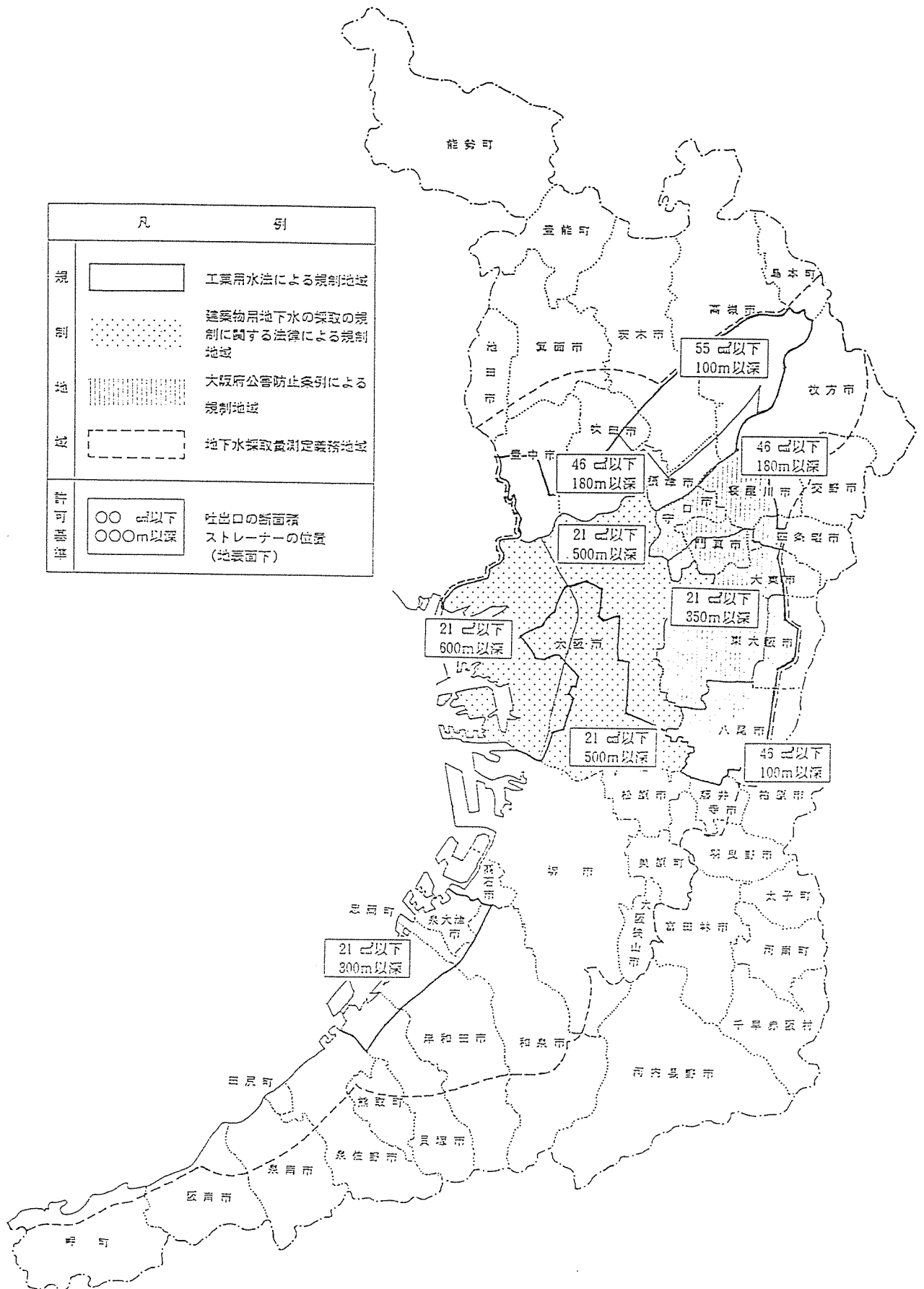
	工業用	上水用	農業用	その他	合計	割合
大阪市	98	0	9,460	253	9,811	2.8
北摂地域	34,263	92,509	8,389	20,245	155,406	44.9
東大阪地域	34,173	0	12,311	12,348	58,832	17.0
南河内地域	6,647	15,801	1,401	1,305	25,154	7.3
堺市	12,472	55	149	4,070	16,746	4.8
泉州地域	35,413	33,688	1,096	10,187	80,384	23.2
府合計	123,066	142,053	32,806	48,408	346,333	100.0

(単位: m³/日)

表-4 地下水採取井戸本数(平成2年)

	工業用	上水用	農業用	その他	合計
大阪市	7	0	500	5	512
北摂地域	83	62	20	59	224
東大阪地域	115	0	122	48	285
南河内地域	30	18	13	10	71
堺市	64	3	26	21	114
泉州地域	88	32	4	36	160
府合計	387	115	685	179	1,366

■法律、条例による地下水採取規制図



大阪府環境保健部環境局
水質課 石谷 寿

地下水汚染の未然防止等を目的に一部改正された水質汚濁防止法（平成元年6月改正）に基づき、平成元年度から測定計画を定めて地下水質の常時監視を実施するとともに、有害物質等を使用している工場・事業場に対し排水規制や地下浸透の規制を行っている。

I 地下水質常時監視の結果

1) 概況調査

府域の全体的な地下水質の概況を把握するため、府域を2kmメッシュに区画し、必要な区画から順次、計画的に水質測定を実施した。

1. 平成元年度

167地点の井戸水について水質汚濁防止法に定められた有害物質を対象に測定を行ったが、11地点で有害物質のいずれかを検出し、内1地点でテトラクロロエチレンが評価基準（平成元年9月14日付け環境庁水質保全局長通知による）を超過していた。

表 1 平成元年度地下水質調査検出地点（概況調査）

測定地点		検出項目			
地点番号	所在地	鉛 (mg/ℓ)	砒素 (mg/ℓ)	トリクロロエレン (mg/ℓ)	テトラクロロエレン (mg/ℓ)
22	河内長野市上原町	0.07			
34	羽曳野市広瀬				0.0012
39	美原町今井			0.016	
43	柏原市国分東条町			0.012	
70-2	門真市柳田町		0.020		
89	吹田市津雲台			0.016	
98	交野市幾野	0.03			
123	大阪市西淀川区大野			0.009	0.0005
141	大阪市天王寺区上本町			0.025	0.033
146	大阪市天王寺区四天王寺			0.010	0.0046
154	大阪市平野区加美正覚寺				0.0014

(注) 「検出項目」の空欄は定量下限未満。

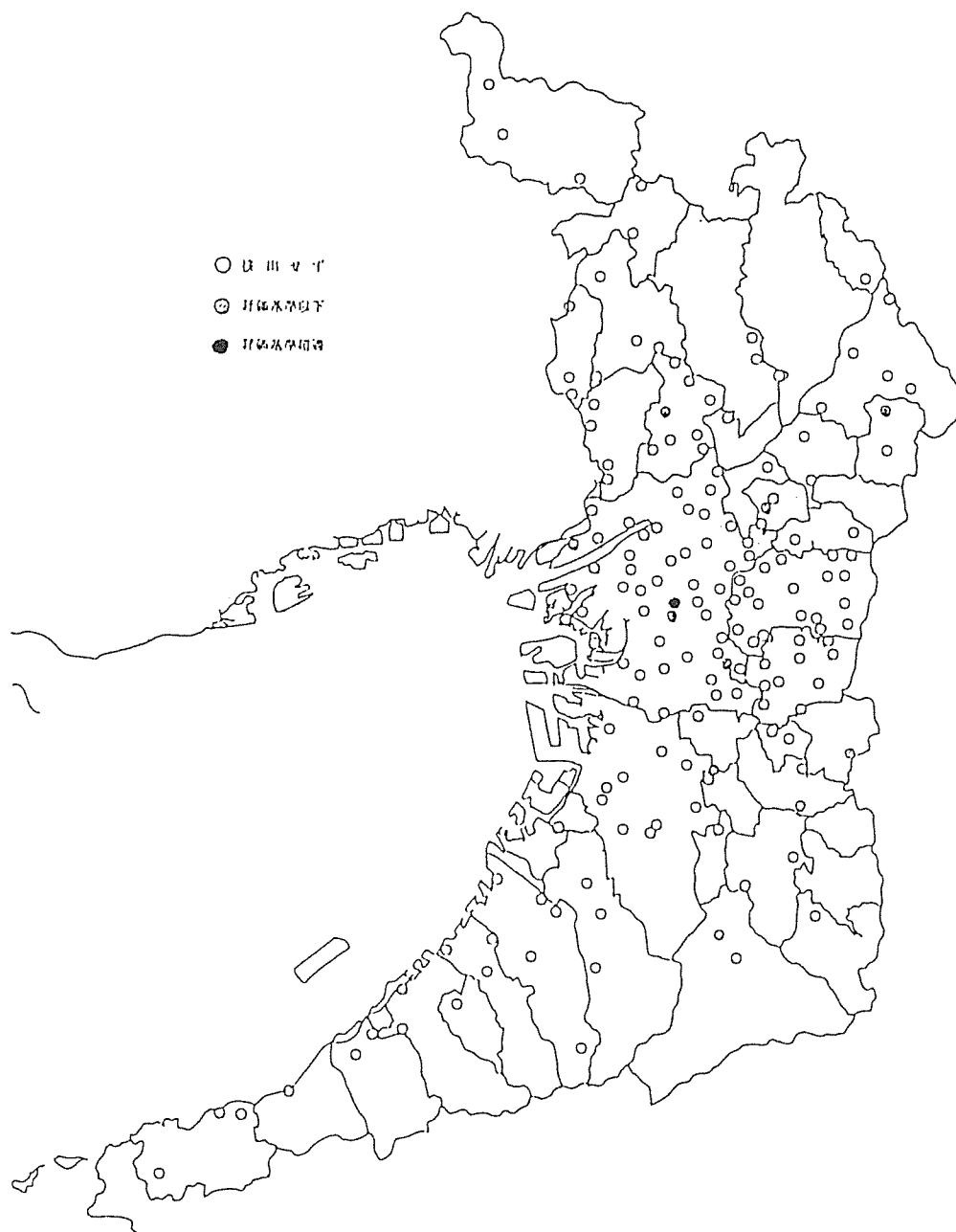
地点番号は測定計画に定めた番号

表 — 2 評価基準（地下水質）

有害物質の種類	評価基準
カドミウム及びその化合物	0.01 mg/ℓ 以下
シアン化合物	検出されないこと
有機磷化合物（パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン、及びEPNに限る。）	検出されないこと
鉛及びその化合物	0.1 mg/ℓ 以下
六価クロム化合物	0.05 mg/ℓ 以下
砒素及びその化合物	0.05 mg/ℓ 以下
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	0.0005 mg/ℓ 以下
アルキル水銀化合物	検出されないこと
PCB	検出されないこと
トリクロロエチレン	0.03 mg/ℓ 以下
テトラクロロエチレン	0.01 mg/ℓ 以下

- ① 平成元年9月14日付け環境庁水質保全局長通知による。
 ② 参考：水道水の暫定水質基準（昭和59年2月18日付け厚生省環境衛生局水道環境部長通知）
 トリクロロエチレン 0.03 mg/ℓ 以下
 テトラクロロエチレン 0.01 mg/ℓ 以下
 1,1,1-トリクロロエタン 0.3 mg/ℓ 以下

図 — 1 概況調査測定地点図（平成元年度）



2. 平成2年度

145地点の井戸水について、概況調査を実施したが、21地点で有害物質のいずれかを検出し、うち鉛、砒素、総水銀、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンが各1地点の計5地点で評価基準を超過していた。

表 — 3 平成2年度地下水質調査検出地点（概況調査）

測定地点		検出項目				
地点 番号	所在地	鉛 (mg/ℓ)	砒素 (mg/ℓ)	総水銀 (mg/ℓ)	トリクロロエチレン (mg/ℓ)	テトラクロロエチレン (mg/ℓ)
15	岸和田市内畑町		0.014			
23	忠岡町忠岡南					0.0033
31	堺市草部		0.006			
33	堺市下田町		0.010			
35	堺市戎町		0.007			
37	堺市高松				0.006	
39	富田林市木戸山	0.49†				
44	堺市新金岡				0.003	
50	大阪市東住吉区鷹合					0.0008
53	東大阪市太平寺				0.045†	
55	柏原市大泉		0.007			
76	東大阪市加納					0.0017
77	大阪市北区長柄東					0.0012
83	門真市柳田町		0.048			
94	豊中市蛍池西町					0.0050
97-1	豊中市向丘	0.03				
98	池田市城南					0.0009
116	枚方市津田北町			0.0009†		
118	枚方市出屋敷西町				0.008	0.075†
132	高槻市安満新町		0.49†			
134	高槻市東上牧		0.015			

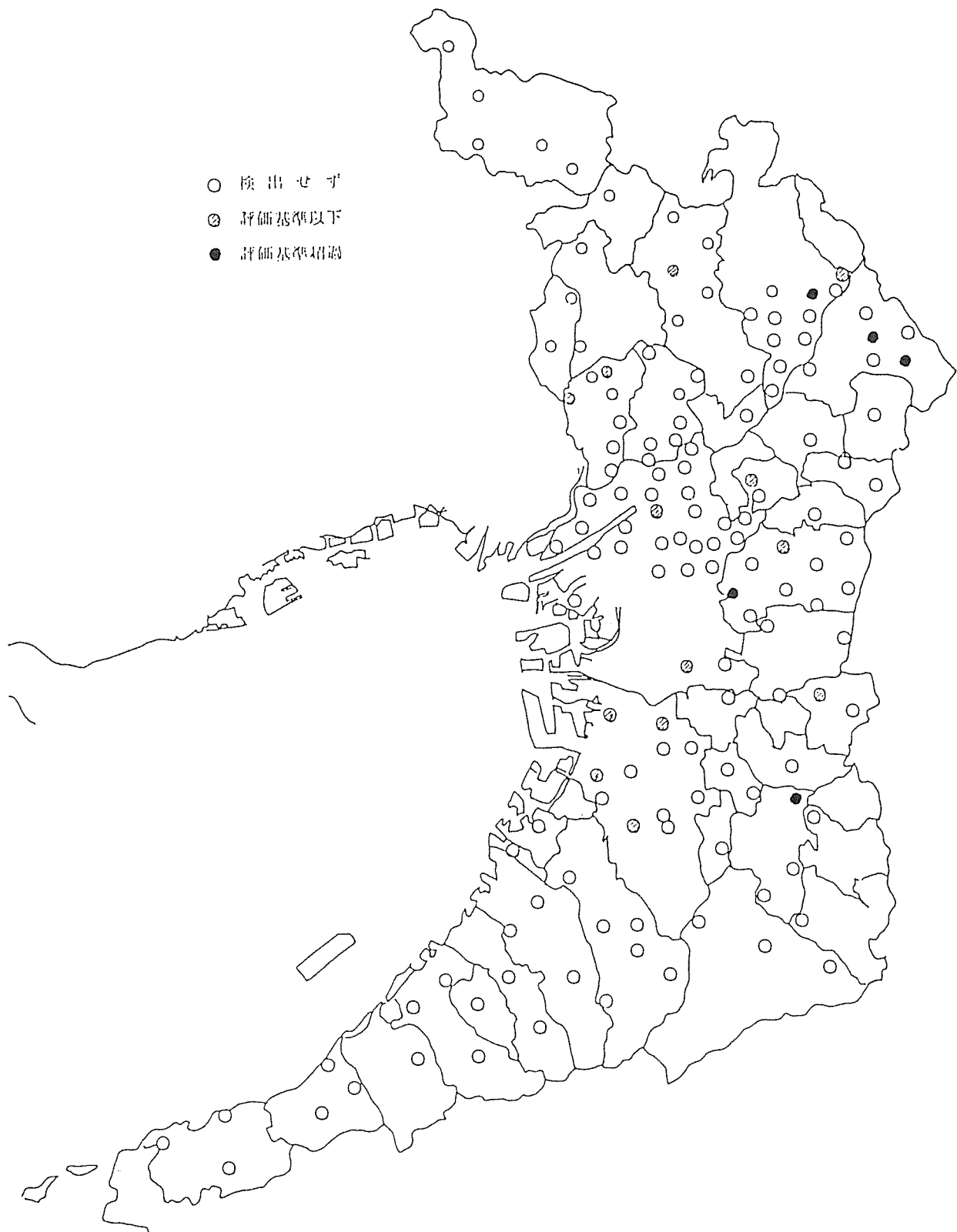
① 「検出項目」の空欄は定量下限未満。

† 印は評価基準を超過

地点番号は測定計画に定めた番号

図 2

概況調査測定地点図（平成 2 年度）



2) 汚染井戸周辺地区調査

概況調査等の地下水質調査の結果、有害物質等が検出され、周辺に地下水汚染が懸念される地区について、汚染範囲等を確認するために実施した。

概況調査で有害物質等を検出した地区（平成元年度及び2年度の一部）及び昭和63年度に行った「大阪府飲用井戸水質実態調査」の結果トリクロロエチレン等を暫定水質基準（評価基準値に同じ）未満ではあったが検出した地区等について本調査を平成2年度に実施した。なお、「大阪府飲用井戸水質実態調査」でトリクロロエチレン等を暫定水質基準を超えて検出した地区については、当時、本調査実施の上、汚染範囲を確認した。（現在定期モニタリング調査を行っている。）

32地区において計383井戸の水質調査等を行った結果、評価基準を超過した井戸のある11地区について大略の汚染範囲を推定した。これらの地区については、定期モニタリング調査を実施し汚染状況の監視を行うなど必要な対策を継続している。

表 4 平成2年度汚染井戸周辺地区調査結果（評価基準超過地区について）

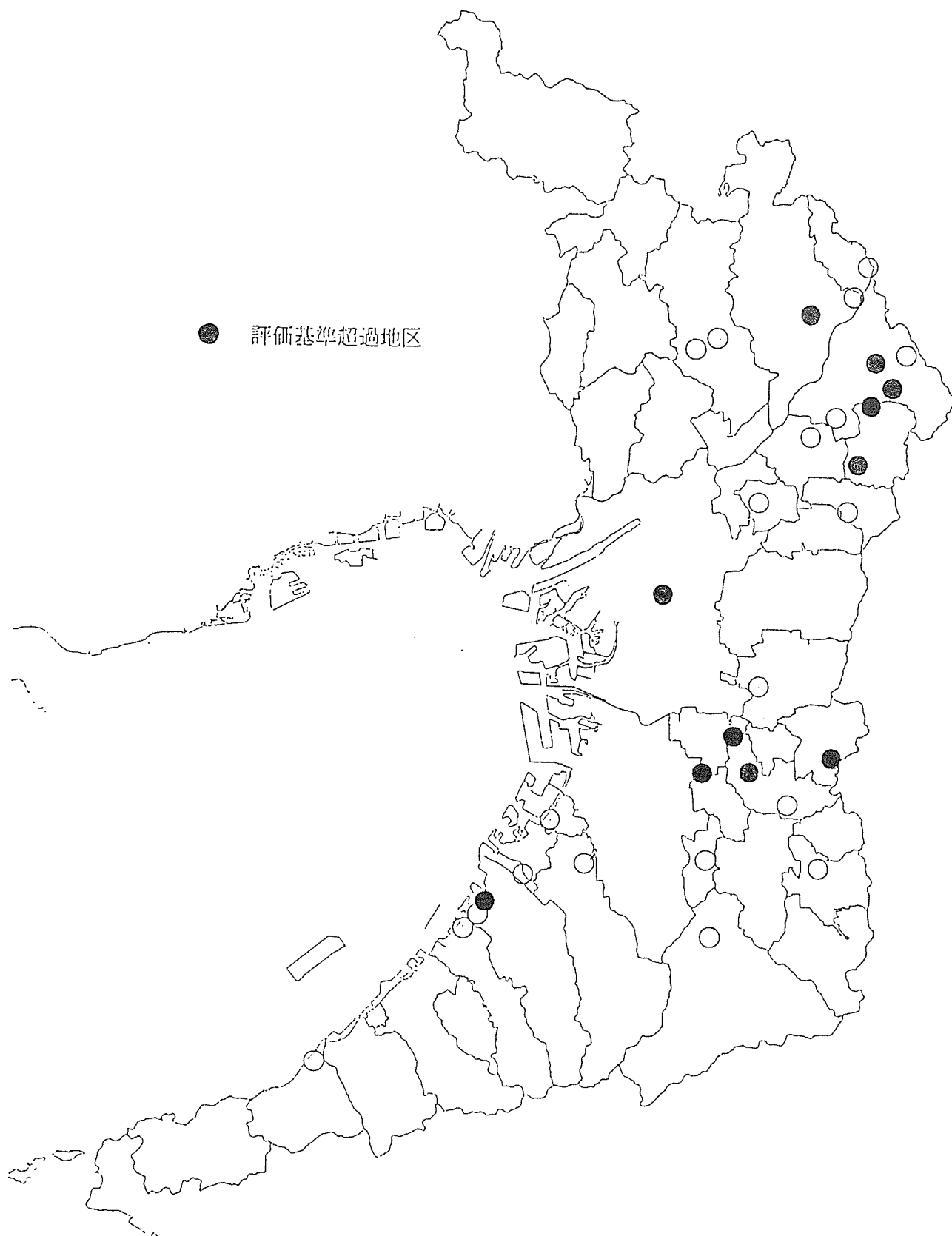
番号	地区名	調査井戸数	項目	評価基準 超過井戸数	最高濃度 (mg/l)	汚染範囲等
1	岸和田市 岸城町	25(7)	T C E P C E	1(0) 1(1)	0.037 0.020	南側半径約300mの円内
2	松原市一津屋	28(15)	T C E P C E	2(0) 3(0)	0.088 0.79	南側半径約300mの円内
3	羽曳野市 はびきの	22(12)	P C E	4(3)	0.026	周辺半径約500mの円内
4	美原町今井	14(2)	T C E P C E	1(0) 2(0)	0.060 0.069	周辺半径約300mの円内
5	柏原市国分 東条町	9(2)	T C E	1(0)	0.054	周辺半径約500mの円内
6	大阪市天王寺 区上本町	4(0)	T C E P C E	0 0	0.012 0.0045	周辺半径約500mの円内
7	交野市幾野	8(0)	T C E P C E	2(0) 3(0)	0.40 2.4	周辺半径約300mの円内
8	交野市南星台	4(3)	総水銀	0	< 0.0005	周辺半径500m以内に検出井戸なし
9	枚方市出屋敷 西町	4(0)	T C E P C E	0 0	< 0.002 < 0.0005	周辺半径300m以内に検出井戸なし
10	枚方市津田 北町	5(2)	総水銀	0	< 0.0005	周辺半径300m以内に検出井戸なし
11	高槻市安満 新町	19(5)	砒素	1(1)	0.06	南側半径約700mの円内

(注) () 内は内数で飲用井戸数を示す。

T C E : トリクロロエチレン

P C E : テトラクロロエチレン

図－3 汚染井戸周辺地区調査（平成2年度）の調査地区



3) 定期モニタリング調査

有害物質による地下水汚染が判明している地区について、汚染の継続的な監視調査を実施した。

平成元年度は、一部の水道水源井戸で昭和56年にトリクロロエチレン等による汚染が判明している高槻市、島本町、昭和63年度の「大阪府飲用井戸水質実態調査」でトリクロロエチレン等が暫定水質基準を超過した地区等の12地区について計22井戸で汚染物質の測定を行った。さらに、平成2年度は2地区（7井戸）を追加して計29井戸で汚染物質の測定を行った。その結果、いずれの地区も汚染の状況は継続していた。

図 4 定期モニタリング調査測定地点図（平成2年度）

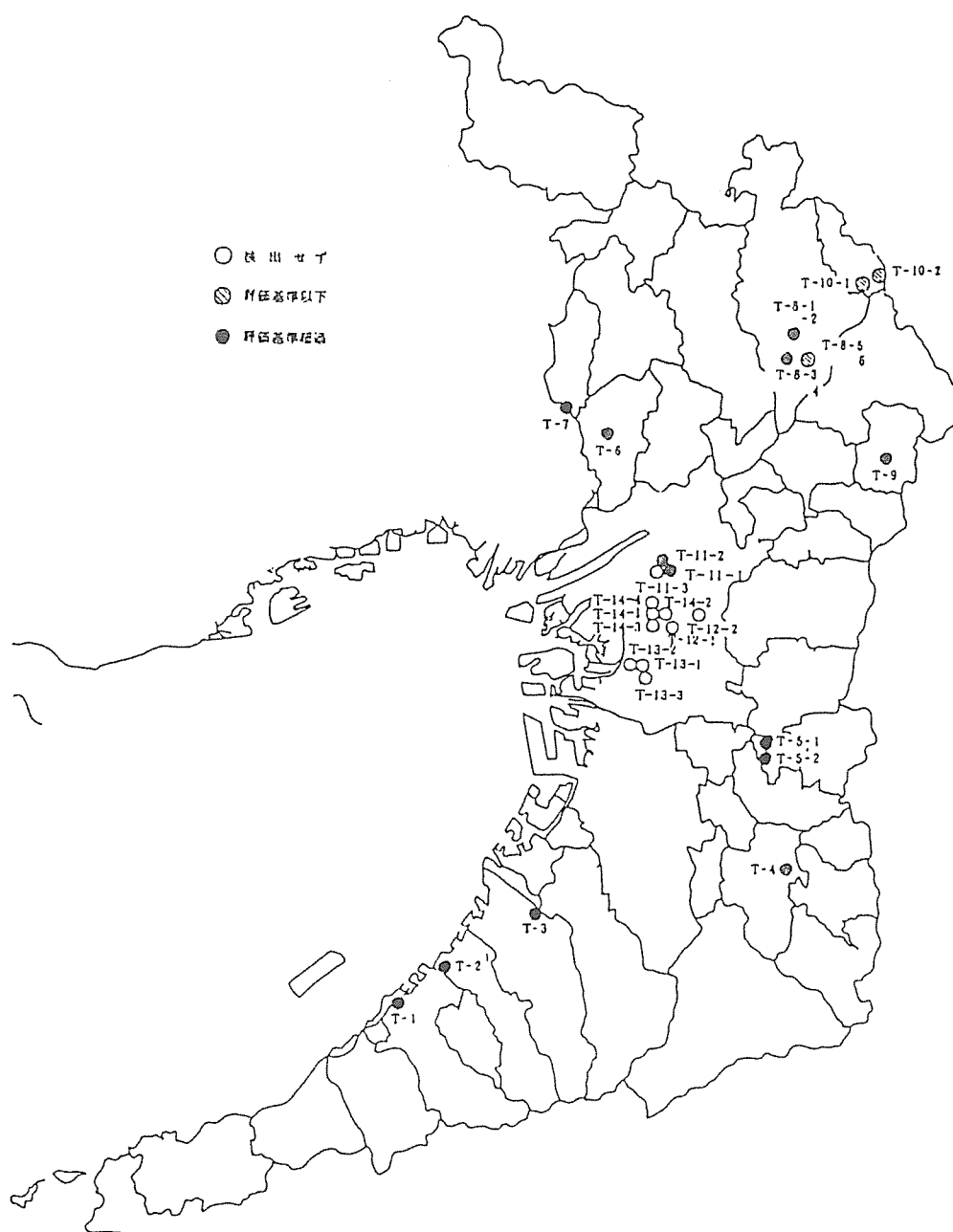


表 5 定期モニタリング調査結果

測 定 地 点			平 成 元 年 度				平 成 2 年 度				調査井戸の諸元	
番 号	所 在 地		調査日	トリクロロエチレン (mg/l)	トリクロロエチレン (mg/l)	1,1,1-トリクロロエチレン (mg/l)	調査日	トリクロロエチレン (mg/l)	トリクロロエチレン (mg/l)	1,1,1-トリクロロエチレン (mg/l)	深 度 (m)	飲 用 の 無 有
T-1	泉佐野市	野出町	3/7	0.007	0.035	ND	8/24	0.006	0.030	0.014	不明	
							1/22	0.007	0.040	0.021		
T-2	貝塚市	沢	2/21	0.12	2.0	〃	8/24	0.16	2.4	ND	11.2	
							1/22	0.16	0.80	〃		
T-3	岸和田市	西大路町	2/19	0.042	ND	〃	8/24	0.031	ND	〃	150	
							1/22	0.047	〃	〃		
T-4	富田林市	山中田	3/9	0.003	0.062	〃	8/28	0.003	0.020	〃	4	
							2/12	0.002	0.027	〃		
T-5-1	藤井寺市	小山	2/21	ND	0.048	〃	8/9	ND	0.047	〃	4.5	
							2/14	〃	0.074	〃		
T-5-2	藤井寺市	藤井寺	2/21	0.044	2.2	〃	8/9	0.049	2.4	〃	7.5	
							2/14	0.021	1.5	〃		
T-6	豊中市	中桜塚	3/13	0.009	0.013	〃	2/14	0.020	0.030	〃	12	
T-7	池田市	豊島南	3/6	0.029	0.086	1.2	8/2	0.027	0.054	0.61	不 明	
							2/12	0.047	0.11	0.44		
T-8-1	高槻市	桃園町	10/2	2.9	ND	ND	4/2	3.8	ND	ND	53.3	
			11/22	3.0	〃	〃	8/8	4.0	〃	〃		
			3/1	3.9	〃	〃	12/5	2.6	〃	〃		
T-8-2	高槻市	桃園町	10/2	7.2	〃	〃	4/2	7.6	〃	〃	37.1	
			11/22	6.6	〃	〃	8/8	7.5	〃	〃		
			3/1	8.0	〃	〃	12/5	5.7	〃	〃		
T-8-3	高槻市	下田部町	10/2	0.002	〃	〃	4/2	0.002	〃	〃	55.4	
			11/22	ND	〃	〃	8/8	0.002	〃	〃		
			3/1	0.003	〃	〃	12/5	0.032	〃	〃		
T-8-4	高槻市	下田部町	10/2	0.670	〃	〃	4/2	0.22	〃	〃	40	
			11/22	0.530	〃	〃	8/8	0.49	〃	〃		
			3/1	0.530	〃	〃	12/5	0.46	〃	〃		
T-8-5	高槻市	西冠	10/2	ND	〃	〃	4/2	0.025	〃	〃	53	
			11/22	0.270	〃	〃	8/8	ND	〃	〃		
			3/1	0.320	〃	〃	12/5	0.023	〃	〃		
T-8-6	高槻市	西冠	10/2	ND	〃	〃	4/2	ND	〃	〃	27	
			11/22	〃	〃	〃	8/8	0.017	〃	〃		
			3/1	〃	〃	〃	12/5	ND	〃	〃		
T-9	交野市	私市	3/7	〃	0.018	〃	8/8	0.003	0.054	0.001	3	
							2/6	ND	0.021	ND		
T-10-1	島本町	広瀬	2/21	0.034	ND	〃	4/25	0.027	ND	〃	96	飲用あり
							11/16	0.024	〃	〃		
T-10-2	島本町	広瀬	2/21	ND	0.0025	〃	4/25	ND	0.0020	〃	40	飲用あり
							11/16	〃	0.0060	〃		
T-11-1	大阪市	北区同心	2/21	0.002	0.0051	0.013	2/20	0.002	0.029	0.004	100	
T-11-2	大阪市	北区天神橋	2/21	0.020	0.038	0.006	2/20	0.022	0.15	0.002	30	
T-11-3	大阪市	北区西天満	2/21	ND	ND	ND	2/20	ND	ND	ND	150	
T-12-1	大阪市	天王寺区上本町	2/21	0.007	〃	〃	2/25	〃	〃	〃	不明	
T-12-2	大阪市	東成区玉津	2/21	ND	0.0013	〃	2/20	〃	〃	〃	80	
T-13-1	大阪市	西成区千本北	—	—	—	—	2/22	〃	〃	〃	8	
T-13-2	大阪市	西成区千本北	—	—	—	—	2/22	〃	〃	〃	5	
T-13-3	大阪市	西成区岸里東	—	—	—	—	2/22	〃	〃	〃	5	
T-14-1	大阪市	中央区道頓堀	—	—	—	—	2/21	〃	〃	〃	17	
T-14-2	大阪市	中央区東心斎橋	—	—	—	—	2/22	0.012	〃	〃	17	
T-14-3	大阪市	中央区難波	—	—	—	—	2/21	〃	〃	〃	20	
T-14-4	大阪市	中央区東心斎橋	—	—	—	—	2/21	〃	〃	〃	12	

注) ND:検出下限値未満 (トリクロロエチレン <0.002 ;トリクロロエチレン <0.0005 ;1,1,1-トリクロロエチレン <0.001)

Ⅱ 地下水汚染防止対策

「トリクロロエチレン等の排出に係る暫定指導指針」（昭和 59 年 8 月、平成元年 4 月一部改正）、「四塩化炭素の排出に係る暫定指導指針」（平成元年 4 月）及び水質汚濁防止法に基づき、有害物質等を使用している工場・事業場に対し立入検査等を実施し、これらの物質を地下に浸透させないよう特定施設、処理施設及びその他関連施設の適正な管理・使用等について指導を行い地下水汚染の未然防止に努めている。

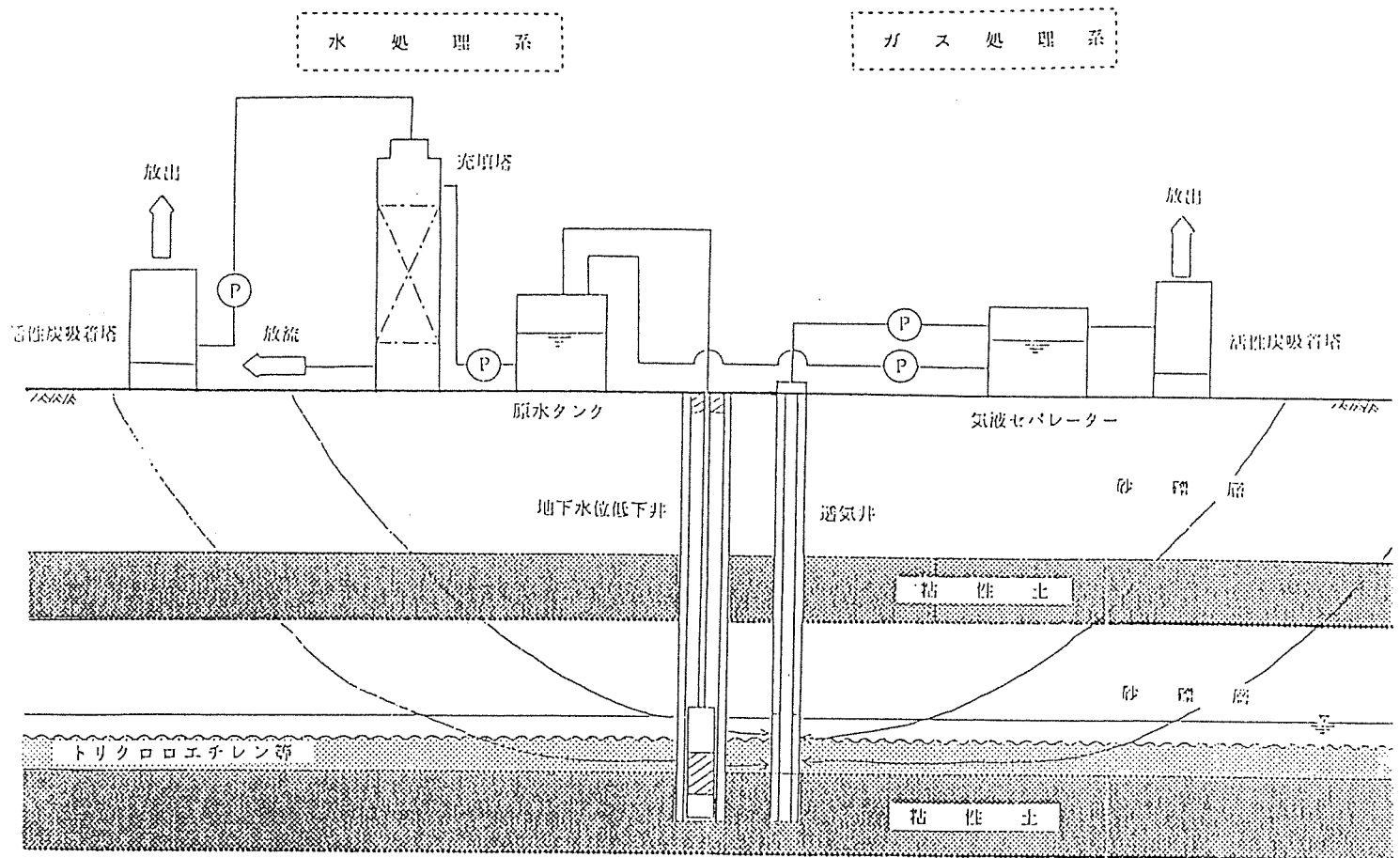
また、地下水汚染が判明した場合には、「大阪府地下水質保全対策要領」に基づき、府及び市町村等の関係機関と協力して汚染井戸周辺地区調査を実施するとともに、汚染井戸の所有者に対して飲用指導を行う等の必要な対策を講じている。さらに、周辺の工場・事業場に対し汚染物質に係る調査等を実施したが、地下水の流向の把握が困難なこと、過去の汚染である可能性等の理由から明確な原因の究明には至っていない。

なお、昭和 56 年に一部の水道水源井戸でトリクロロエチレンの汚染が判明した高槻市においては、曝気処理により安全に給水を行うとともに、その原因究明のため平面分布調査等詳細な汚染機構解明調査を環境庁等の協力のもとに実施している。さらに、平成 3 年度には、汚染の除去方法についての検討も行っている。（表－6、図－5）

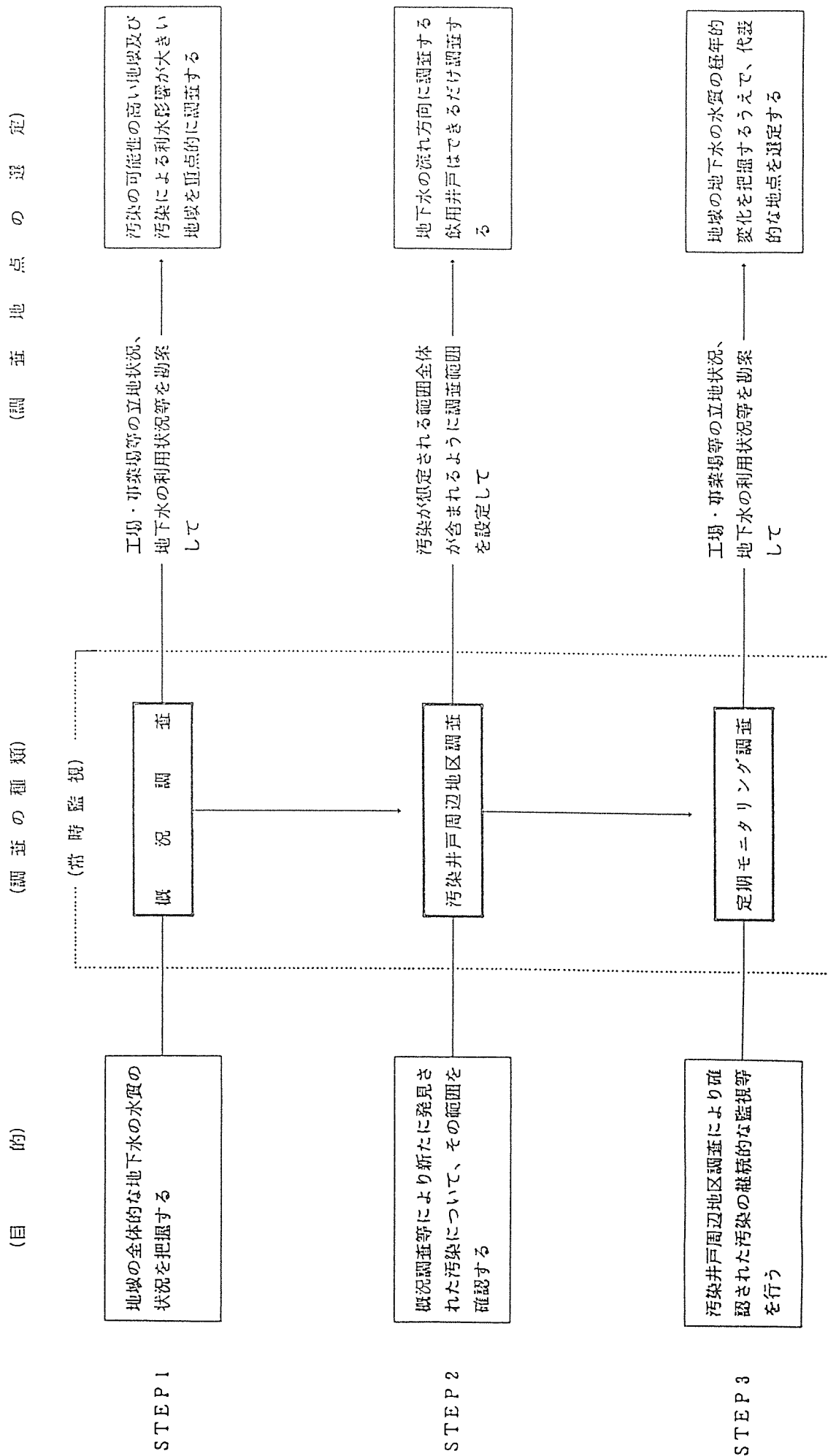
表－6 高槻市における地下水汚染対策

年度	調査内容	結果等
昭和58～61年度	・周辺地区調査 (地下水質、工場・事業場調査)	・市中南部の約 2 Km× 2 Kmを汚染範囲と推定
昭和 62 年度	・汚染範囲内の2 ヶ所でボーリング調査	・汚染は地下約60mの帯水層までおよぶ ・トリクロロエチレンとその分解物である1,2-ジクロロエチレン等も高濃度に検出
昭和 63 年度	・約 2 Km× 2 Kmの地域で汚染物質の平面分布調査（フィンガープリント法）	・汚染地区内に 3 ヶ所の高濃度分布地域が判明
平成元年度	・3 ヶ所の高濃度分布地域についてさらに詳細な平面分布調査	・それぞれの地域で、幾つかの高濃度なスポットを検出
平成2年度	・モデルとして一分布地域の高濃度スポットについて3 ヶ所でボーリング調査	・地下約 7 m付近の土壌と、約35m付近の地下水が高濃度に汚染していることが判明
平成3年度	・地下約 7 mの土壌について、土壌ガス浄化システムによる汚染除去方法についての検討	

図-5 土壌ガス浄化システム (SVEシステム) 概念図

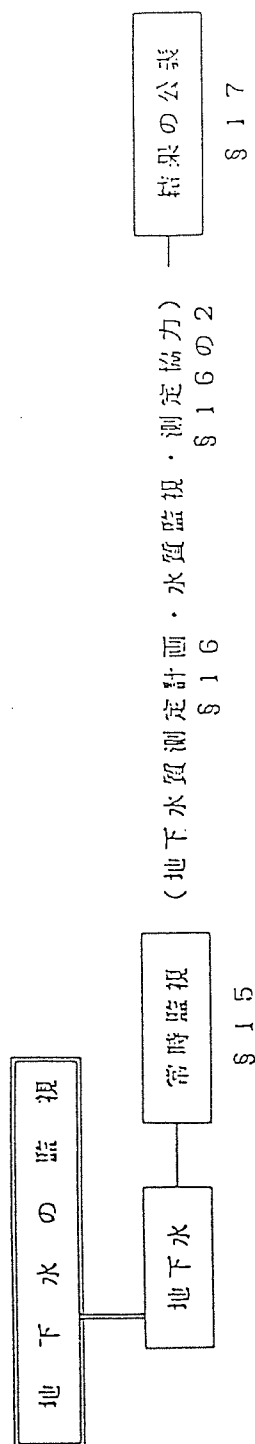


地下水調査の概念図

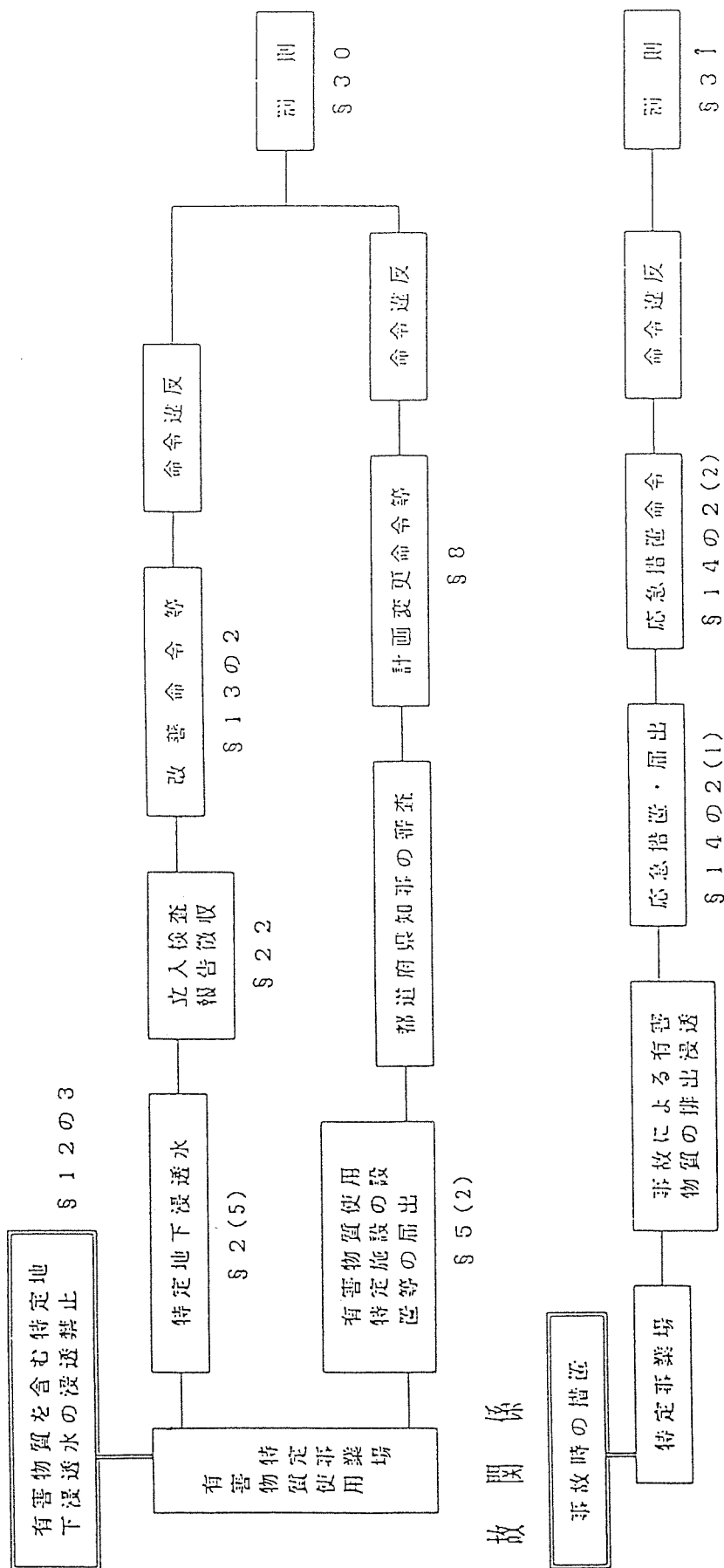


水質汚濁防止法による規制等の体系について

I 地下水関係



II 事故関係



地質汚染と地層汚染・地下水汚染・地下空気汚染

の

調査・対策の基本

楢 井 久

(千葉県水質保全研究所地盤環境研究室)

はじめに

米国で、地下水汚染をはじめとした地質汚染の調査・対策が、真剣におこなわれていることは、広く知られていることである。一方、汚染の規模では、我が国も劣っていない。対岸の火事でないことを知っておく必要があろう。

したがって、はじめに地下水汚染などの地質汚染についての定義を、簡単に述べ、次に米国における地下水汚染対策を推進しているスーパー・フュンド法の概略とそれによる調査・対策の仕組みを述べるが、我が国の地質汚染調査者の参考になれば幸いである。さらに、我が国における地質汚染責任当事者に関しての現状解釈を行ってみると、ひと事でない深刻さが再認識できるであろう。

そのような日本のなかで、とにかく環境庁が地下水汚染に対する行政的レベルを一段上げ、献身的な環境地質技術者達による、米国に負けない地下水汚染をはじめとした地質汚染調査法と対策が芽を出し、確立させてきている。

最後に、このような一連の流れの中の調査法の概論を重点的に述べてみることにする。

1 地質汚染としての地下水汚染

人間が生活している地盤（地表面）の下には、固体、液体そして気体からなる地質体が存在する。地質体構成要素である固体は、一般的に、シルト質砂層といったように同一層相を単位として、その層相にみあって命名されている地層（表層の土壌層も含む）である。これらは礫・砂・シルト・粘土・有機質腐植物などの粒子の集合体である。さらに間隙や亀裂のある火成岩や石灰岩などの岩体、あるいは人間によって形成された埋め立て層・盛土層なども地層として扱われる。これらの人工地層は、ガラス瓶・冷蔵庫・ビニール袋・固体有害物質などからなる固体廃棄物層であることもある。

一方、地層の間隙に存在する地下水・かん水（天然ガスを含む）・石油といった天然の液体や、人間が使用し排液となった液体などまでも含む。そのなかには使用済みのエンジン・オイルもあれば、使用過程のミスから漏れ出した有機塩素系化合物もあれば、意図的に地下浸透させた排液もある。

これら、人間によって造られた物質と地層を構成する粒子との相互作用によって、人間側に不利に、地層やその間隙にある空気そして水が物理・化学的に変化する現象が、地層汚染(Contaminated Sediments)・地下空気汚染(Ground Air Pollution)・地下水汚染(Ground Water Contamination)である。これらを、併せて、地質汚染と呼ばれている。

地下水汚染とは、大地上から、人工的汚染物質（以下汚染物質と呼ぶ）あるいは汚染物質から雨水などで溶出した汚染水が、地層中の間隙の水を汚染することである。一方、地層汚染は、汚染物質、汚染水や地下空気（地下汚染空気も含む）が地層中を通過する過程に、地層の構成物質を汚染物質で被覆あるいは変質させる現象である。しかし、現場では、地層汚染と地下水汚染の各条件を明確に定義づけることは、あまり意味を持たない。便宜上、地層の間隙を、重力で自由に流れる自由水の汚染が地下水汚染で、吸着水（結合水）まで汚染されていれば地層汚染に及んでいると理解しておくのが無難である（図1-1）。

地下空気汚染は、地下にある汚染物質（固体廃棄物も含む）・汚染地下

水などの有害物質が気化し、通気帯にある地層の間隙や空洞にある空気を汚染する現象であるが、酸素欠乏空気のように地層の構成粒子と空気との化学反応によって形成されるものも含まれる。

2 スーパー・ファンドと地下水汚染

2・1 スーパー・ファンド法とは

ナイアガラの滝に近いラブ運河に、ダイオキシンなどの有害物質をドラム缶詰めにして約2000トンを投棄し、その埋立跡地利用過程で、深刻な地質汚染が発生した。この事件は、米国で最大級の公害問題に発展した。スーパー・ファンド法は、ラブ運河事件やドラム缶の谷事件などが契機となって、1980年12月に成立したものである。法律の正式名称は The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA) (包括的環境対処補償責任法) と呼ばれている。この法律がスーパー・ファンド法と呼ばれる由縁は、政府自身が地域の土地をはじめとした汚染施設の浄化を実施する権限をもち、そのための基金を持っていることである。この基金の資金源は、石油製品などの租税などからなっている。設立当初の基金は約2200億円であったが、この内容ではClean up 未達成が多く、1986年10月連邦議会はSuperfund Amendments and Reauthorization Act (SARA法) (スーパー・ファンド修正および再授權法) を成立させ、基金を約1.2兆円に増額し、浄化計画を実施してきている。スーパー・ファンド法の目的は、汚染地域または汚染している可能性のある地域を浄化することであるが、その場合に汚染の責任者に直接浄化をさせる場合と、国が汚染責任者に代わって、基金の費用で浄化対策をし、その費用を汚染責任者に請求する場合の2ケースがある。

まず、汚染施設及び原因を突き止めるため、過去に有害物質を使用または廃棄した場所の報告を、その使用者に義務づけ、その報告リストの中から、とくに高濃度危険地域の National Priority List (NPL) (全米浄化対策優先順位表) (図1-2) を作成し、このリストの優先順に、その汚染責任者に対策を命令し (Potentially Responsible Parties Letter), 進

められている。対策の命令は3回まで発令されるが、3回目の対策請求は、会社の存続にも関係する強権があり、汚染責任者はほとんど従っている。また、汚染責任者に問題がある場合には、政府が代行対策を行うが同時にその対策費を請求している。

西暦2000年までに、汚染地域で、NPLのリストに載る汚染地域は、2100箇所、載らない汚染地域が30,000箇所にたっすと言われ、対策費は70兆円になると、Environmental Protection Agency (EPA) (アメリカ環境保護庁) は予測していると言われている。

一方、この法律の内容は、まず企業は過失の有無を問わず、責任を問われる。そして、汚染関係者が複数の場合は、連帯責任となり、複数の当事者が、浄化費の全額を支払わされる。また、この法律は遡及性があり、スーパー・ファンド法制定以前に合法的廃棄が行われても、それが有害であれば抗弁ができない。

さらに、スーパー・ファンド法における責任当事者は、以下の者が該当する。a. 汚染施設の現在の所有者または運営者 b. 有害廃棄物が処理された時点での当該施設の所有者または運営者 c. 有害廃棄物を産出し、その後これを処理した者 d. 汚染施設への有害物質の輸送業者が潜在的責任当事者となる。

スーパー・ファンド法では、購入した土地で地下水汚染や地層汚染といった地質汚染が発生していれば、土地購入者にも、責任が生じる。その場合の抗弁として、不可抗力・戦争・第三者の行為の3点が抗弁理由であったが、スーパー・ファンド法のSARA修正法案で善意の購入者 (Innocent Purchaser) の抗弁も追加された。しかし、この場合に抗弁によって責任を逃れられるのは、購入時に汚染を知らなかっただけでは、抗弁にならず。購入時にあらゆる調査をしたが、それでも知る方法がなかったことを立証する必要があることである。

2・2 スーパー・ファンド法適用現場 (Superfund Site(S.S.))

サンフランシスコ湾南岸地域での例

地下水汚染をはじめとした地質汚染のスーパー・ファンド法適用現場（S.S.）には，米国環境保護庁（EPA）と州政府の環境行政部門が，その対策にあたっている（地質家が適材適所に配置されている）．具体的に，サンフランシスコ湾南岸（シリコン・バレー付近）における地下水汚染現場におけるスーパー・ファンド法の適用状況を説明してみる．この地域では，1989年11月6日現在，地下水汚染として把握された現場として141地点存在し，その中にスーパー・ファンドの適用を受けている現場が，1990年5月現在で29存在している．その中には，日本でも地下水汚染問題で有名になったFAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORP: Bernal Rd. San Jose の現場も含まれている．いずれの現場も，工場名・住所・操業状態・指導監督の行政機関・スタッフ構成にいたるまで公表されている．

次に，シリコン・バレーのほぼ中心に位置し，スーパー・ファンド法の適用を，受けたIntel-Santa Clara 3（第3工場）での地下水汚染の調査から対策までの経緯を説明する．この地下水汚染は，1982年6月に，サンフランシスコ湾地域水質保全局（RWQCB）の漏水検査実施によって発覚したものである．汚染物質は，揮発性有機化合物（VOCs）のトリクロロ・エチレン（TCE）とフロン（Freon 113）であった．

1984年10月にEPAによってSuprefund site に指定される．汚染企業は，EPAによってSuperfund Siteに指定されると，EPAから指導監督を委嘱されたRWQCBと住民との協議をもとに，EPAの命令による地下水回春調査（Remedial Investigation（RI））・最適対策調査（Feasibility Study（FS））を実施することになる（行政の指導監督下でも，企業が全く調査を実施しない場合もあるそうである．その場合，連邦政府から調査・対策請求が3回まで出されるそうであるが，3回目の請求は，会社の存続に関係するような強権があり，いかなる会社も従っているようである）．

この一連の流れは，三者が合議で進行される組織になっている．州政府水質保全局（Regional Water Qualities Board（RWQCB））は，その調査計画と調査過程を，定期的にFact Sheet #（図1-3・4）として，一般に公開している．また，加害企業側から提出された調査結果や調査手法を，住民

が調査検討する場合、スーパー・ファンドから、住民のコンサルタント料や調査費が支出されている。

そして、人間の生命と環境を守る観点から、地下水汚染にたいする最終汚染除去目標値（Groundwater Cleanup Goals）が決定され（図1-5・6）、それに向かって、対策が実施されている。一般には、地層汚染・地下空気汚染の安全性も検討されているが、この現場では、汚染源が消滅しているため除去目標値は、さだめられてない。

2・3 米国のSARA法下での地質汚染責任当事者と日本での地質汚染責任当事者

スーパー・ファンド法のSARA修正法では、さきに述べたように、加害者と被害者の不明確な汚染地質では、その土地の所有者も、地質汚染責任当事者と解釈されている。例えば、汚染廃棄物層や汚染地下水からなる土地を所有し、汚染問題が発生すると、その所有者の責任になる。先祖伝来引き継いだ土地でも、自然災害・戦争・被告となった土地所有者の従業員や代理人以外の者の作為または無作為の場合・土地の売買で、汚染地質を知るすべがなく取得した場合、ただしこの場合、無責を主張するための抗弁は、土地取得する前に、汚染状況を可能なかぎり入念な環境地質学的手段で調査していたにもかかわらず、それでも知ることが出来なかったことの証明ができなければ有効な抗弁とはならない。

このような理由から、土地の購入者はもちろん、購入者への融資銀行は、事前の地質環境調査を入念に実施する。すなわち、汚染が発覚すると土地価格が低下するのみでなく、汚染の処理対策までもが、土地所得者の責任となり、融資返済不可能になるからである。また行政機関でも、各土地の売買者の依頼に応じて、汚染地質の状況についての認定もしている。

したがって、汚染地質からなる土地を知らずに取得した者と売り手との間には、訴訟問題が発生している。州政府の担当官によれば、この種の訴訟も、地下水汚染や汚染廃棄物に対して、国民に注意を払わせる意味で、意義があるという見解である。

一方、我が国では、土地ノ所有権ハ法令ノ制限内ニ於テソノ土地ノ上下ニ及フと民法207条で述べられている。したがって、土地の下にある固体（鉱業法が定義する鉱物などを除く）・液体である地下水（石油などは前例と同じく鉱業法の定義に入る）・気体（天然ガスは石油に同じ）よりな地質は、すべて土地所有者のものである。ちなみに、地下の固体集団が汚染したのが地層汚染であり、地下の液体が汚染したのが地下水汚染であり、地質中の空気が汚染したのが地下空気汚染である。このような理由から、汚染地層もすべて土地所有者のもものと解釈される。

そこで、我が国において、加害者不明な地質汚染や廃棄物層の問題に限って、その責任問題を法的に解釈してみただけでも、その責任当事者に土地所有者も該当しそうである。やはり、自己の土地・法人所有の土地・売買の際の土地は、可能な限り正確な地質環境調査を実施しておくことが肝心である。

3 地下水汚染調査概論

3・1 地下水汚染の調査・対策・監視の基本

地下水汚染の調査と対策において最も重要なことは、地域住民の健康を保証し、地域の環境資源を永続的に利用できるように配慮することである。すなわち、その地下水汚染での健康や環境資源に関する評価（Baseline Publ Health Evaluation）をし、少なくとも汚染する前に使用していた地下水質以上の水を、供給することが原則であり、また帯水層内の地下水質を、汚染前の地下水質に回春させることである。

次に、地下水汚染が発生した現場において、原因調査や汚染機構の解明が狂っていたら、そのあとの対策は、こじつけたものとなり悲劇的な事となる。はじめの正しい汚染機構の解明が、その後の対策を、汚染機構に沿った効果的で順調なものにする。

したがって、地下水汚染機構の解明にあつたては、大きくみて次の3つの観点を心がけておくことが基本となる。①汚染物質の移動の場となる帯水層や難透水層の連続性・不連続性、そして帯水層や難透水層の透水性や

貯留性に関する均一・不均一性といった場の性状を解明すること。また、地下水面より上位にある土壌層や通気帯に関しても前述と同じ解明を行うこと。②汚染物質を移動拡散させる地下水涵養機構や地下水流動の機構を解明すること。また、③汚染している物質が土壌層から通気帯を流下して地下水面に到達するまでの汚染物質の分布と挙動、そして地下水層に入っている汚染物質の挙動を明らかにすること。

その理由として、①と②の条件は、汚染物質の移動と拡散・吸着を決定するからである。①は汚染物質や汚染物質移動媒体の移動経路を明らかにすることである。すなわち汚染現場での地層における地下水の含み具合や透し具合を知ることである。②は主な汚染物質移動媒体である雨水や地下水に関する浸透や流動機構を知ることである。すなわち、移動媒体の一つである雨水は、地表面から地層中の最も浸透しやすい場を、重力によって流下し、地下水面に到達する。次に、もう一つの移動媒体である地下水の圧力分布を知り、地下水の流れを知ることである。地下水の流れは、天気図での等圧線の分布から、風向を知ると同じである。したがって、①と②から、移動媒体である雨水がどのように流下し、帯水層に到達した雨水が、どちらからどちらへ流れているということを知ることができる。

その上ではじめて、汚染物質の分布・挙動の説明が科学的な証拠にもとづいたものとなる。特に、地下水汚染の場合、地下水の流動のほかに、汚染物質の移動・拡散あるいは吸着といった現象が微細な帯水層単位における地下水流動に左右されるため、他の地下水公害問題の場合よりもより精度の高い①②の段階の調査が必要になってくる。

対策では、③の調査結果に基づいて、④汚染源の撤去と汚染地下水の処理・汚染地層の洗浄が、基本である。そして、⑤対策効果の確認と被害の拡大防止といった二重の観点からの監視が重要である。スーパー・フェンド法下の調査では地下水回春調査(Remedial Investigation(RI))と最適対策調査(Feasibility Study(FS))が、①～③と④⑤に、それぞれ対応させることができる。

3・2 調査・対策の手順

この手順は、その現場と社会の実状にあわせて、いかに効率良く、地下水汚染や地層汚染をなくすかのためのものである。日本における公害問題や環境問題には、日本なりの性格があり、地下水汚染問題もその例外ではない。その実状を踏まえ、止揚する観点から、次のような調査と対策を示す。調査汚染被害の事前調査と対策――汚染機構解明(RI)――診断・予測と対策の決定(FS)――汚染物質除去対策――監視(モニタリング)。日本の多くの調査・対策現場では、実状に合わせ、この流れ図にそって行うのが合理的である(図1-7)。

一方、米国環境保護庁(EPA)は、汚染に関する地下水回春調査(RI)の妥当性を加害者である企業に提出させ、住民の合意のもとに最終的クリーン・アップ対策の展開・評価(Feasibility study (FS))と言ったステップで行っている。この一連の作業は、連邦スーパーファンド・プログラム(Federal Superfund program)として実施されている。調査・対策に関する技術的面では、日本と変わりはない。しかし、法的・行政的面ではかなりことなる。

3. 3 被害の事前調査と対策

地下水汚染問題が発生すると、汚染水が検出された井戸周辺地域から、一定の距離内に入る井戸水の地下水質調査を行う。そして、汚染井戸の出現する方向に、調査の範囲を拡大していく。その際に調査した井戸の井戸台帳を作成しておく。特に、汚染した井戸の位置・井戸深度・ストレーナ深度・正確な水位の測定結果、地下水質の分析値を記載する。

次に、この台帳の資料を基に、濃度コンターを描き、地下水水頭図作成し、汚染水塊(地下水汚染プリュム(Plume))の上流(Upgradient)・下流(Down-gradient)そして深度を決定する。そして、この段階で、まず正常な地下水が供給できるおおよその井戸位置及び深度が決定でき、清浄な地下水供給体制をとることが可能となる。また、汚染地下水が浄化処理することで、どこまで健全な水として使用可能かも検討することができる。

一方、河川水を水源とする水道の敷設で、問題解決が図られることが多い。しかし、それらの水には、滅菌に伴う塩素使用でトリハロ・メタンが

形成され、有害性の程度においては、汚染地下水にまさる場合もあり、必ずしも好ましい解決法ではない。ちなみに、事前調査で得られる資料は、調査・対策といった目的に、作られたものでないため、正確性に乏しく、あくまでも予察段階での資料でしかないことを、知っておくことが、肝心である。ただし、このレベル段階でも汚染濃度の継続的モニターは必要である。

3. 4 汚染機構解明

3. 4. 1 汚染源の調査

地下水汚染の汚染源は、広域的に使用される汚染物質以外、局部に限定されるのが一般的である。したがって、井戸への廃液投棄といった場合を除き、浸透池や浸透柵による廃液の地下浸透、排水溝からの漏れ、タンク・地下配管からの漏液といったように地表近傍にあることが多い。

局部的に限定される汚染源を探索する場合、汚染源の範囲を決定し、速やかに除去することが主目的となるので、現場では、汚染濃度の高精度の分析値よりも、広範囲な相対的汚染濃度を知ることが重要となる。したがって、汚染物質に関して、迅速かつ低経費の定性的または半定量的分析手法を必要とする。すなわち、汚染物質に見合った、簡易分析法を準備する必要がある。

この汚染源調査に関する観点は、汚染物質が有害金属で場合であれ、有害有機物場合であれ基本的に変わらない。

汚染物質が、最近地下水汚染物質として問題になってきたトリクロロエチレンなどの揮発性物質などの場合にも、表層部の汚染位置を比較的容易に調査する方法がある。この方法は、君津市で発生した先端産業地下水汚染現場で開発されてきたもので、君津式表層汚染簡易調査法と呼ばれている。

穿孔器により適当な深度の孔をあけた後、地層ガス (Soil gas) の汚染濃度をガス検知管を用いて測定することにより、地層汚染の有無・程度を調べるものである。すなわち、揮発性物質による汚染の場合、地層中に地下空気汚染現象が認められることを利用している。まず、地表地質条件

に応じて穿孔することになる。表層付近が比較的軟らかい場合、ボーリング・バーとよばれている携帯型の打撃式穿孔器が用いられる。表面がアスファルト層などで被覆されている場合は、電動ドリルやボーリング・マシンを用いて被覆層に孔をあけた後、ボーリング・バーにより穿孔する。また、表層付近が礫層からなる場合は、鉄管を打ち込んで穿孔することもある。

つぎに、ガス検知管を、ステンレス管などの延長管の先端に取り付け、孔の底部まで降ろした後、延長管のもう一方に接続したガス吸引機で一定量の孔内ガスを吸引する。汚染濃度に応じて低濃度用や高濃度用の検知管を使い分ける必要がある。汚染濃度の予測がつかない場合は、低濃度用を使用し、スケール・オーバーしたら、測定孔の近傍に新たに穿孔して測定する。

実際には、調査範囲の面積にもよるが、現場に3m～5m程度の荒いメッシュを引き、その交点で上記の測定を行なう。そして、汚染が検出された地点があれば、その周辺で、1m程度の間隔で測定することにより、表層汚染分布を詳しく把握することができる。このように、現場ですぐ測定値が得られるため、測定結果に対応しながら迅速に調査できることが、この調査法の優れた点であり、表層付近の汚染部の検出に有効な手段である（図）。

表層の汚染部を検出する方法として、他にフィンガー・プリント法がある。この方法は、表層近傍の地下に、少量の活性炭をいれた容器を一定期間置いて地層ガスを吸着させ、これを回収した後、質量分析機にかけて、吸着したガスの成分を調べる方法である。検出感度が高く、低濃度の地層ガスも測定が可能であることから浅い帯水層の汚染範囲の特定にも使われている場合がある。しかし、迅速性にかけるのと測定単価が高い。ちなみに、この手法は石油・ガス探査手段の一つである。

以上のような方法により、汚染源となる表層汚染部の位置を検出することができる、しかし、汚染源が表層部でない場合、たとえば井戸への廃液投棄といった場合には、これらの方法では汚染源の特定ができない。また、

表層汚染部が発見された場合でも、発見された表層汚染部と、地下にみられる汚染とのつながりを明らかにしない限り、汚染源としての特定はできない。したがって、この調査段階では、あくまで汚染源として可能性の高い場所が発見されたにすぎないと認識しておくのが無難であり、以下に述べる各段階の地下地質汚染調査が行われて、始めて、正確な汚染源が決定されてゆくのである（1－8）。

3. 4. 2 汚染物質移動経路解明の地下地質調査

1) 地下地質調査と地層汚染調査

地層汚染や地下水汚染といった地質汚染にともなう地質調査は、地下における汚染物質の存在様式と移動様式を明らかにし、いかに有効でかつ経済的な対策を立てるかが前提となる。したがって、従来の地下水資源の開発や保全といった場合の層序解明よりも1オーダーあるいは2オーダー高い精度を必要とする。しかし、地質調査に関する基本的態度に変化のあるものではない。

そして、一般的な地表地質露頭を主体とした地質層序確立の調査手法が基礎になることは当然であるが、地表地質調査法についての詳細は、適当な単行本が、多くあるので、そちらを参考にさせていただくことにする。ただし、地下水汚染調査をはじめとした地質汚染調査の主体は、ボーリング調査でもあるので、従来の地質調査の感覚のほかに、汚染物質が流体あるいは気体となって地層のどの部分を、最も流動しやすいか、あるいは吸着しやすいかといった点を、特に注意して調査をする必要がある。

したがって、第四紀層を帯水層とした地域が、地下水汚染現場ならば、さらに地層中のラミナ（葉理）・地層中のチャネル（溝）・化石床といった堆積学の知識、土壌層中における草木の根・ミミズ・モグラなどの生痕または貝などの水棲生物の生痕に関する古生物学的知識なども取り入れる必要がある。また、火山山麓などでの地下水汚染現場ならば当然火山碎屑物の堆積構造や溶岩などの発泡から冷却にいたる過程の知識も必要となる。さらに、裂か水などの場合は、断層破碎帯の規則性・岩石中の裂か・節理・層理などの構造地質学の知識あるいは岩体の空洞や孔隙率などの知識も

必要とする。

このように、地層の詳細な組織構造を知る必要があるのは、地下水中の汚染物質の移動が、帯水層中の地下水の流動に左右されることは当然として、地層中の微細な水ミチや汚染物質の密度や動粘性係数の関係などにも、大きく左右されるからである（図1-9・10）。

2) ボーリングによる地質調査・地層汚染調査と地下水観測井

地下地質の調査にあたっては、既存の試料（地質柱状図）を活用することは言うまでもないが、しかし、既存の資料だけでは、不十分な場合が多く、あくまでも補助的なものであることに、変わりはない。そして、地層汚染の状況に至っては、全く未知である。そこで、地質ボーリングによる調査を行うことになる。この地質ボーリング調査は、つぎのような多目的な活用を行う観点から実施すると、対策効果および経済的效果があがる。

第1は、地質ボーリング・コア（以下地質コアと呼ぶ）による実物の地質試料やボーリング孔を利用した電気検層から微細な水ミチをふくめた帯水層単元の把握ができる。また、地質コアの化学分析から地層の汚染分布が把握できる。この場合に、地質コアの採取と電気検層の測定高度基準点は、同一でなければならない。なお、有機塩素系化合物による地層汚染や地下水汚染の分析は、地層や地下水水中の有機塩素化合物をガス化し、3-4-1でのべたガス検知管で簡易に、現場で測定する方法がある（図1-11）。

第2は、地層汚染の分布状況から、地下水汚染の状況を予測し、各観測井のストレーナを各帯水層の厚さに対応して計画的にセットすることが可能である（図1-12）。また、地質ボーリング孔も地下水位・水質観測井系の一部として、計画的に使用することができる。

第3として、その後の地下水・水質のモニタリングのための観測井として、地下水位の観測と地下水質の観測が継続的にできる。また、第4として、汚染物質を地下から汲みだすといった対策のための井戸として利用することもできる。

こうした多目的な活用法を考えながら、地質ボーリングの位置・深度・

ストレーナ位置・井戸口径・井戸仕上げの方法などを決定していく必要がある。

しかし、調査の初期の段階から全地質ボーリング計画の内容が、すべてを決定して取りかかれる場合はまれである。はじめは、さきに述べた既存の地質柱状図による概查的資料から調査の基本方針を作り、それを基礎として地質ボーリングを行い、調査の進み具合に応じて、順次最も効率のよい場所や深度を選定しながら次の地質ボーリング調査・観測井の位置をきめていくのが費用効率を上げることになる。

また、地下水汚染調査の地質ボーリングでは、次の2点について特に注意する必要がある。掘削泥水が汚染されるので、主汚染帯水層より下位の帯水層へ掘り進む場合などは、常に汚染のない泥水に管理しておく必要がある。また汚染された泥水の処理については、環境的処理基準をみたしてから、一般泥水と同じ処理を行う必要がある。

観測井の設置に当たっては、次のような点に気をつける必要がある。井戸深度は、帯水層の構造を良く知った上で決めることは言うまでもないが、目的の帯水層が決まったら、別の帯水層の地下水を乱さないようにすることが必要である。特に目的の井戸深度近くになったら慎重に掘り進むことが大事で、下の帯水層まで掘り進んでしまうと地下水汚染を広げてしまうことさえありうるので、井戸底を目的の帯水層の下位の難透水層を突き抜けないように止めることが肝心である。また、井戸仕上げのときに遮水に失敗すると、これもまた、地下水汚染を別の帯水層に広げることになりかねない。また、井戸仕上げにともなう井戸洗いに使用された水の排水先は、汚染地下水処理施設でなければならぬのは当然である。また、揚水試験に関しては、対策井であれ観測井であれ、段階揚水試験・連続揚水試験ともに、基本的にかわりはないが、観測時の揚水井と観測井の水位測定と汚染物質の濃度を測定を定期的しておく必要がある。また、連続揚水試験時に汚染濃度が低下する場合は、揚水・停止のパルスの揚水と水位と濃度の測定が必要である。ちなみに、いずれの場合にも、揚水した汚染地下水を、処理施設に排水することは、井戸洗いの場合と変わりはない。

観測井の材質であるが、地盤沈下などの観測井であると、鉄管が用いられる場合が多いが、特殊な地下水汚染の場合以外には、塩化ビニール管がこのましい。

3. 4. 3 プリウム（汚染地下水塊）の移動方向

各観測井の地下水位の資料から、各帯水層の地下水頭図を作成し、地下水の流動方向を知ることにつけるが、地下水汚染調査では、使用する地下水位の測定精度が、地質調査と観測井設置の際の基準点を使用し、原則としてmmとする。

また、観測井のストレーナ位置は、1帯水層に1ストレーナであることが、地下水環境を調査する場合の原則であることは、先にも述べてきているが、帯水層単元が細かく複雑な場合、多層にまたがる場合もある。その地質条件下で汚染帯水層が数枚の薄層であることが、地層汚染調査や地下水質の調査から把握されている場合、パッカーによる遮水で目的とした薄層の汚染帯水層のみの水圧を測定したり、薄層間で微流速計を使用し流速・方向を判断することがある。しかし、この場合に数点のみの測定値だと、木を見て森をみずとなり、大勢を見失うことがある。地形的感覚から地下水流動系を推定すると、大きなミスを犯すことがあるので、原則に沿った水位測定データによる流動方向の判断が必要である。局所的流動系・中間的地下水流動系・広域的地下水流動系にともなうそれぞれの地下水の流動方向は、その地域や帯水層によってことなることがある。また、最近の大規模地下水揚水とその規制によって、自然の流動系は、破壊されている場合が多い。

汚染物質が地下水に流入してから形成される、プリウムの形態は、基本的に地下水の流動方向に規制されるので、各汚染帯水層の地下水の流動方向や垂直断面の流動方向を知るために、各水頭図を作成する必要がある。

3. 4. 4 プリウムの汚染濃度調査と地層汚染の分布

地下水採取深度は、ストレーナの中間の位置、3点から採取するのであれば、上端・中間・下端から採取するのが望ましい。ストレーナが長ければ、さらにさきの各採取深度の中間からも採取する。定点観測の場合も同

じである。

そして、pHなどの採水時に必要な一般測定項目や汚染物質の簡易分析などは、汚染現場に応じて迅速に行うこと。同時に、さらに公定法などの精度の高い値が、必要な場合には、汚染物質分析用の事前処理も素早く実施する。つぎに、採水試料を、可能な限り早く分析機関に搬入する。試料の採水から分析機関で分析に至るまでの時間と事前処理の有無などは、分析技術上の誤差よりも大きい場合があるので、十分な注意を要する。

各帯水層の平面地層汚染分布図と垂直地層汚染分布図を作成する。次に、各帯水層の平面地下水汚染分布図と垂直地下水汚染分布図を作成する。大局的には、地層汚染のプリュムと地下水汚染のプリュムは類似するが、細部にわたっては、違う。この違いは、地下水汚染揚水対策の際に大きな意味を持ってくる。

この調査段階になると、さきのプリュムも移動方向の予測と地層汚染・地下水汚染の各プリュムの規模から、地下水汚染の全体的規模とそのプリュムの拡大方向が把握される。

また、プリュムの移動した方向を知る目的から、汚染源と仮定される地点にトレーサー物質を投入し、各観測井の濃度の時間変化からプリュムの移動経路と汚染濃度調査の再現を行うことがある（図1-13）。

3. 4. 5 地下水汚染のシミュレーション

地下水汚染の数値シミュレーション・モデルで、世界的に最も有名なモデルの一つを見てみることにする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(b D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - V_i \frac{\partial C}{\partial x_i} + \frac{W(C-C')}{\epsilon b} + \frac{C I E M}{\epsilon},$$

ここで、

- C : 溶質の濃度 $M L^{-3}$
t : 時間 T
b : 帯水層の厚さ L

D_{ij} : 分散テンソル, $L^2 T^{-1}$, $i=1, 2, j=1, 2$

x_i : 空間座標 L

V_i : 液体の見かけの速度 $L T^{-1}$

W : ソース液体の帯水層への流入 ($W < 0$) $L T^{-1}$

ε : 孔隙率 無次元

C' : ソース液体における溶質の濃度 $M L^{-3}$

$CHEM$: 帯水層単位体積あたりの化学反応

ソース (+) シンク (-) $M L^{-3} T^{-1}$

ここに述べた地下水汚染の理論的一般式は、2次元の溶質移動モデルで、汚染質の2次元移流と拡散を対象としている。そして、それは、均質で単一の孔隙率および液体の密度を仮定している (Konikow and Grove, 1977)。

この式は、地下水流動を前提として汚染拡散が展開されている。したがって、精度の高い各帯水層ごとの地下水流動調査の資料が、必要となる。次に、現実の地下水汚染プルームの運動と類似させることになる。しかし、地層汚染プルームや地下水汚染プルームの実態が不正確で、かつ、さきの地下水流動が不正確であると、出力時の一つの時間断面で一見適合していても、汚染物質の移動が遅いことや、汚染地層からの汚染物質の流出のため、出力された汚染濃度の時系列変化に、狂いきたし、注意を要する。このような問題点を克服し、せいこくを得たシミュレーションは、対策の検討や、対策の実施過程では、有効である。

しかし、シミュレーション結果のみから因果原因や機構が解明されたといった報告もあるが、この態度は、大変な間違いである。機構解明の補助手段、あるいはその機構を再現し、機構の正確さ検討する場合として、シミュレーションが使用される場合がある。

一般には、シミュレーション以前に、汚染機構は解明されてなければならないものである。脳ガンといった診断が、シミュレーションでくだされることがないのと同じことである。

正確なモデルが構築されたら、汚染地下水プルームの時系列的濃度変化・拡大方向が予想され、一応の汚染地下水揚水対策の効果予測も可能とな

る（図1-14）。

問題点としては、化学物質の地下での化学反応、あるいは複合汚染物質間の化学反応といった機構的に不明な点がありシミュレーションにまで乗らない部分もある。

3・5 診断・予測と対策手法の決定

ここまで述べてきた各調査の精度が高ければ、診断・予測の精度も高く、当然最善の対策が可能になる。また、この過程は、人間ドッグでの各検査データをもとに、診察が行われ、病名と治療法が決定される段階と類似している。さなわち、スーパー・フェンド法下の最適対策調査(FS)の検討は、この段階で行われることになる。

したがって、診断・予測と対策手法の決定は、はじめから調査に携わってきた環境地質調査団が行う必要がある。その調査団員は、地下地質に関する十分な知識と技術に裏打ちされていると同時に、一応の地下水汚染調査の手法は習得している必要がある。なお、調査団には、公表されている地下水汚染現場の調査・対策（無責任な現場もあるため、公表されてなければ、意味がない）にあたり、少なくとも5回以上の経験を持つベテランが一人参加していることが望ましい。診断・予測にあたって、最も重要なことは、環境地質調査者の担当現場の地下地質環境から汚染状態に至るまでの調査経過を、過去の各担当現場のそれらと比較検討し、調査団員の議論をへて、経験科学的予測を行うことである。その過程で、地下水汚染シミュレーションや各種の補助的予測手段を使用するのは有効である。

診断・予測の結果をもとに、次に述べる各対策から、その現場に最も適した方法を、組合せて実施することになる。そして、対策の効果も経験科学的に予測しておくのが環境地質調査の常識である。

ちなみに、ここまで説明すれば、地下水汚染調査が、機械の操作のようにマニュアルを手本に、行うものではないことが、理解できるであろう。行ったとしても、それは無責任な調査の証し理解されよう。

3・6 対策

汚染対策では、大きくみて次の2つが、主な方法である。(1)汚染地層の撤去・地層中の汚染物質の追い出し(汚染空気の吸引法や汚染地質のヒーテング法など)、そして同時に行う汚染地下水の揚水と各汚染物質の処理。(2)汚染地層・汚染地下水の拡大阻止。

(1)の場合は、汚染源となる最高濃度地層汚染部の撤去や汚染物質の地層からの追い出しが優先すると同時に、高濃度汚染地下水揚水(Ground water extraction)が優先する。撤去または追い出しいずれの場合であれ、最高濃度地層汚染部近傍の高濃度汚染地下水塊の揚水を同時進行させると、汚染地層の処理量が増し、対策の効率を上げる。汚染物質の撤去・追い出し・揚水いずれの場合にも、前もって汚染物質についての処理手段を検討しておくことが、必要性であることは、言うまでもない。

汚染地下水の揚水処理では、前もって各観測井の揚水試験時に測定しておいた汚染濃度変化データから、地層汚染プリュームと汚染地下水プリュームの規模も助案し、濃度が最も濃く、またその濃度の変化量が最も大きい観測井から揚水を開始するか、またはその付近に揚水井を改めて掘削し揚水するのが、原則となる。一般的に、高濃度汚染地下水は、汚染源付近に存在する。

この揚水の開始から、各観測井の水位と濃度変化は、継続的に測定をする必要がある。その濃度変化から次の効果ある揚水プランを実施して行くことになる。この段階で透水係数などの帯水層係数がより正確にわかる場合が多い。このことは、その後のシミュレーションの精度を高めるための手段でもある。また、連続揚水で濃度が低下傾向にある揚水井からの揚水の場合には、パルス状に揚水と停止を繰り返すことが、汚染除去の効果を上げる。

なお、撤去した汚染地層や追い出した汚染物質、そして揚水された汚染地下水は、環境基準に見合った処理をする必要がある。一般に汚染地層は、(1)高温の焼却処理や(2)粉碎形加温乾燥機処理が行われている。また、(3)汚染地質から汚染物質のみの追い出し、などがある。汚染地下水の処理で

は、多くの場合(4)曝気装置（エアー・ストリッパー）による曝気方式で行われてきている。(1)をのぞいて、いずれの場合にも大気系へ排出することになるので、市街地などでの汚染空気の排出にあたっては、大気汚染にならないように、(5)活性炭処理などを施す必要がある。この場合に、諸外国では、(6)紫外線・(7)微生物などの処理も行われている。一方、大気中の有機塩素化合物の場合、太陽の紫外線で多くが破壊されていると言われている。

(2)の場合は、汚染水の流動阻止用トレンチにも幾つかの種類が存在する。その一つは、汚染地下水の流動を完全に阻止するトレンチを構築し、溜った汚染地下水を揚水処理する方法である。すなわち、ベントナイトやセメント・ミルクによって遮断され、阻止されダム・アップした汚染地下水を汲み上げ処理する方法である。その処理水を、さらにトレンチの外側に注入し、プリュムの下流側を浄化する手段である。しかし、この後半の対策は、日本では、法律上実施困難である。

もう一つは、吸着効果剤を埋めた透水性トレンチを作り、汚染水がトレンチを通過すれば処理される仕組みである。この方法は、六価クロム汚染の現場で使用されている。

(1)(2)いずれの場合にも、環境地質調査団の経験とシュミュレーションを併用して経験科学的に予測し、各対策の効果と地下水質の回復の時期を、汚染地域に住む人たちに知らせる必要がある。

3・7 地下水汚染現場のモニタリング

地下水汚染のモニタリングの場合、大きくは、2つの目的がある。すなわち、予測された対策の効果の監視と周辺地域への汚染拡大監視。

したがって、モニタリングの設置位置については、つぎのようなことが、必要条件となる。モニターを、汚染源に最も近い付近に置く。汚染濃度の最も高濃度の部分に置く。汚染物質使用場付近に置く。表層から置く

観測は、汚染濃度と水位を定期的に測定する必要がある。濃度測定用の採水にあたっては、3・4・4の場合と同じである。また、年に二度程度

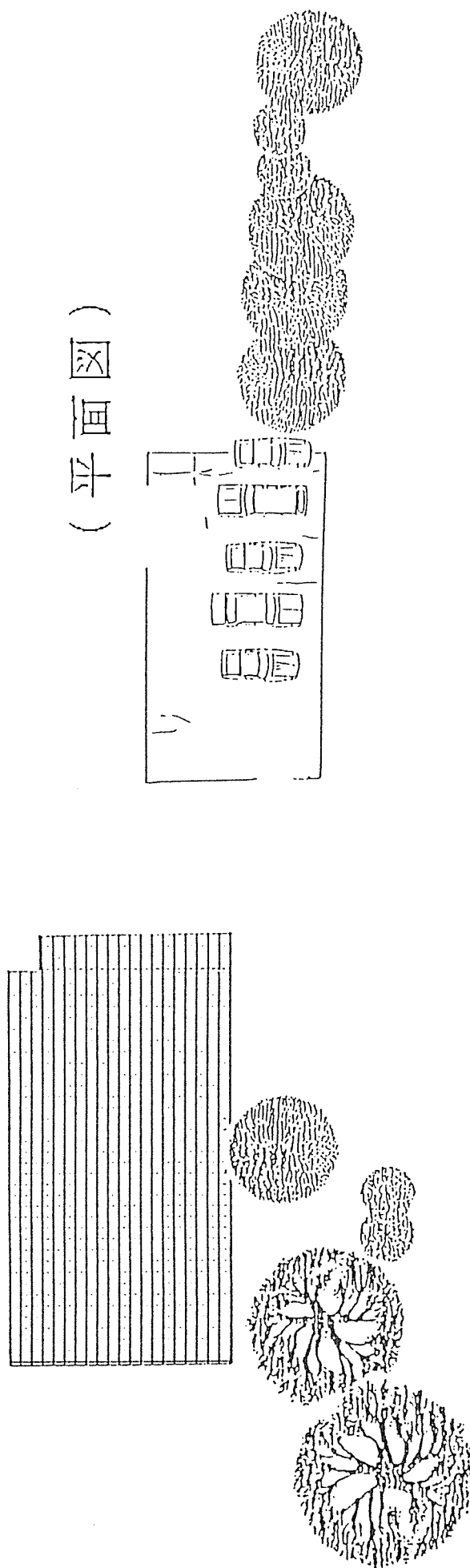
は、周辺の揚水状況もモニターできる体制が必要である。また、対策実施中に地層汚染濃度の低下をチェックする地質ボーリングを、プリュムの高濃度であった部分に掘削する必要がある。

最終的には、対策・モニターの試行錯誤で、地層汚染のプリュムと地下水汚染のプリュムを小さくして行くことである。その過程でシミュレーション・モデルもさらに正確な観測データで再構築され、予測の精度を高める。

おわりに

この概論は、佐藤賢司・鈴木善計・品田芳二郎とともにに行った調査結果、古野邦雄・風岡 修の両名とサンフランシスコ湾南岸地域の地下水汚染の調査・対策についてカルフォルニア州水質保全局で、プレゼンテーションとディスカッションを行った際の資料と同局の資料、古野邦雄が米国で行ってきた地下水シミュレーション結果、東京海上火災の山口・後藤両氏の資料を基にまとめたものである。また、このような概論になる過程で、加害者ではあったが、日本において地下水汚染の調査・対策に対して誠意のあった三信興業株式会社・東芝コンポーネント君津工場の名前を忘れてはならない。

稲毛セミコンダクター 第1工場



(側面図)

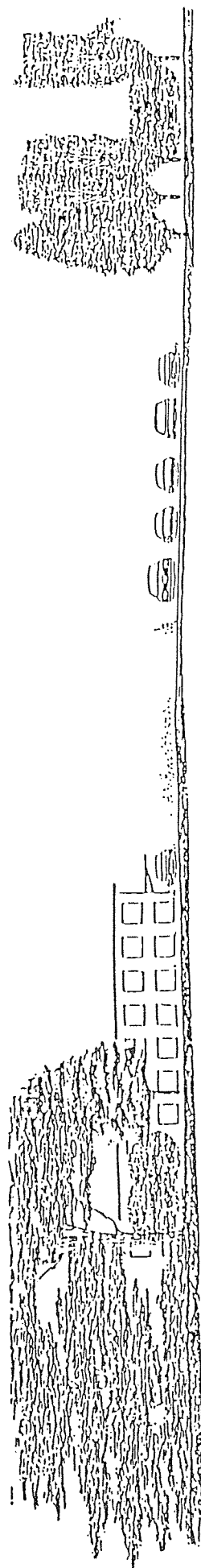


図 1 - 1 (A) 地下水汚染現場の地表面図

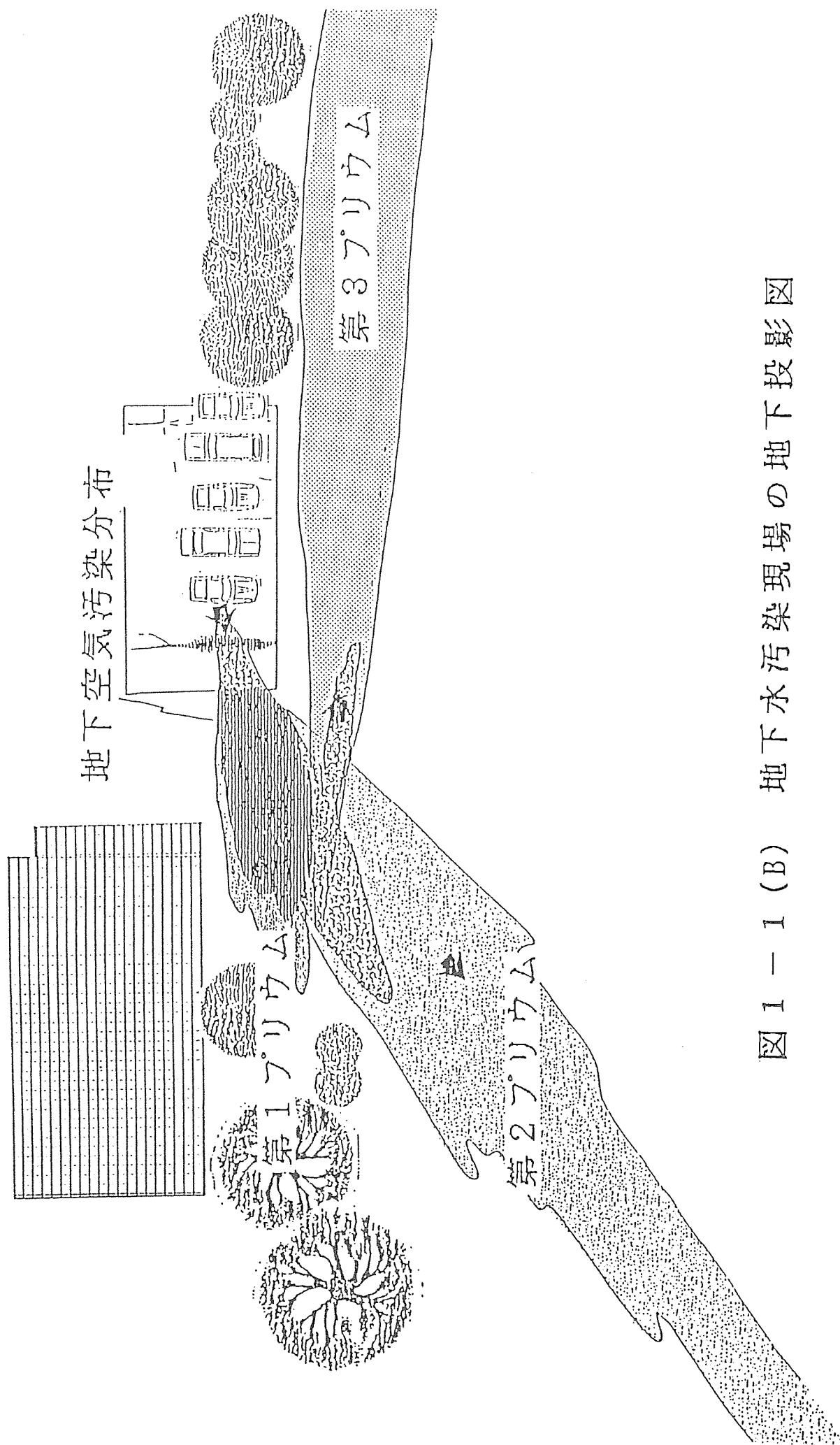


図 1 - 1 (B) 地下水汚染現場の地下投影図

DROPPED (10/4/89)

ALPHABETICAL LIST OF NATIONAL PRIORITY CASES - FINAL, PROPOSED AND PROPOSED FOR DROP

ITE	NPL	CASE NAME	STREET ADDRESS	CITY/ZIP	LEAD	---STAFF---
14	F	AMD-1901/902	901 THOMPSON PL	SUNNYVALE/94086	RWRB	RIG
030	F	ADVANCED MICRO DEVICES (MONOLITHIC MEM.)	1165 EAST ARQUES AVE.	SUNNYVALE/CA/94086	RHOCB	HM SKM BO
005	P	ADVANCED MICRO DEVICES: BLDG. 915	915 DEGUIGHE DR BLDG 915	SUNNYVALE/CA/94086	RHOCB	RCG JJ
004	F	APPLIED MATERIALS	3050 BOWERS AVE	SANTA CLARA/CA/95054	RHOCB	GK AJM RG
099	P	CTS PRINTEX INC.	1950 COLONY ST	MOUNTAIN VIEW/CA/94043	RHOCB	RHC MB
121	D	FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORP: ELLIS ST.	464 ELLIS ST	MOUNTAIN VIEW/CA/94042	EPA	GRK LMT RR
135	P-F	FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORP: BERNAL RD.	101 BERNAL ROAD	SAN JOSE/CA/95119	RHOCB	HM RHC TP
135	P	FEI MICROWAVE, INC. (TRW MICROWAVE, INC.)	825 STEWART DRIVE	SUNNYVALE/CA/94086	RHOCB	RCG
150	D	HEWLETT-PACKARD: 1501 PAGE MILL RD	1501 PAGE MILL RD	PALO ALTO/CA/94304	RHOCB	GK RHC AL
151	P	HEWLETT-PACKARD: 640 PAGE MILL RD	640 PAGE MILL RD	PALO ALTO/CA/94304	RHOCB	GE RHC
159	F	INTEL CORP - MOUNTAIN VIEW	365 EAST MIDDLEFIELD RD	MOUNTAIN VIEW/CA/94039	EPA	GRK LMT RR
151	F	INTEL FACILITY III	2880 NORTHWESTERN PARKWAY	SANTA CLARA/CA/95051	RHOCB	RHC GHS T.P
158	D	INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES	5600 COTTLE ROAD	SAN JOSE/CA/95153	RHOCB	WKB DK
164	P	INTERSIL: TANTAU AVE	10900 TANTAU AVE	CUPERTINO/CA/94088	RHOCB	JOW
107	P-F	JASCO CHEMICAL CORPORATION: VILLA ST.	1710 VILLA ST.	MOUNTAIN VIEW/CA/94042	EPA	RS RHC
171	F-F	LORENTZ BARREL & DRUM CO.	1515 S. 10TH ST	SAN JOSE/CA/95112	EPA	JH GHB SB
152	F	MICRO STORAGE/INTEL MAGNETICS	2986-3000 OAKHEAD VILLAGE DR	SANTA CLARA/CA/95051	RHOCB	RHC GHB TP
179	F	MOFFETT NAVAL AIR STATION	NAVAL AIR STATION	MOFFETT FIELD/CA/94035	RHOCB	LH LMT LH
194	F	NATIONAL SEMICONDUCTOR CORP.	2900 SEMICONDUCTOR DR	SANTA CLARA/CA/95050	RHOCB	HM SKM BO
102	F	RAYTHEON COMPANY	350 ELLIS ST BOX 7018	MOUNTAIN VIEW/CA/94039	EPA	GRK LMT RR
110	P	SIEMENS CORP	19000 HOMESTEAD RD	CUPERTINO/CA/95014	RHOCB	JOW
114	D	SIGNETICS: 811 E. ARQUES	811 E ARQUES AVE	SUNNYVALE/CA/94086	RHOCB	RCG TP
118	P	SOLVENT SERVICE	1021 BERRYESSA ROAD	SAN JOSE/CA/95133	RHOCB	LHM
120	P	SPECTRA-PHYSICS, INC.	1250 WEST MIDDLEFIELD ROAD	MOUNTAIN VIEW/CA/94043	RHOCB	JOW CK
124	F-F	SYNTEK BUILDING ONE	3050 CORONADO BLVD	SANTA CLARA/CA/95054	RHOCB	JH GHB HH
128	F	TELEDYNE-SEMICONDUCTOR	1300 TERRA BELLA AVE	MOUNTAIN VIEW/CA/94043	RHOCB	JOW CK
137	D-F	VAN WATERS & ROGERS, INC.	2256 JUNCTION AVE.	SAN JOSE/CA/95131	RHOCB	GE LMT TP
141	F	WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION	401 E. HENDY AVENUE	SUNNYVALE/CA/94086	EPA	HM GHS TP
148	D	ZOECON/RHONE POULENC	1990 BAY ROAD	EAST PALO ALTO/CA/94303	DOHS	RS BK MR

* F @ 10/4/89 Npl update

* D dropped 10/4/89 Npl update

SAN MATEO COUNTY

図 1 - 2 シリコン・バレー地域 (サンフランシスコ湾南部地域) のスーパー・
ファンド法下における浄化対策優先順位表 (California RWQCB:1989)

Table #1 Schedule of Events Intel Santa Clara 3

September 1989	Intel submits draft RI/FS (two months early)
November 1989	Draft RI/FS due
February 1990	Revised RI/FS due
March 1990	Fact Sheet #2 describing cleanup alternatives being evaluated
April 1990	Intel submits final RI/FS report
	Board staff prepares proposed Remedial Action Plan (RAP) and Tentative Site Cleanup Requirements Order (Tentative Order)
	Fact Sheet #3 explaining proposed RAP and Tentative Order and opportunity for public comment
	Public comment period on Intel SC3 begins
May 1990	Board staff holds community meeting
	Board hears comments on RAP and Tentative Order at regular Board meeting
June 1990	Board staff prepares response to public comments (Responsiveness Summary) and revises proposed Tentative Order
July 1990	Board holds final public hearing adopting RAP and final Site Cleanup Requirements Order
August - Sept. 1990	Fact Sheet #4 explaining final RAP and Order distributed to public

図 1 - 3 Intel Santa Clara III での地下水汚染調査・対策の経緯と行動計画
 が Fact Sheet #1 (1989年1月発行)として広報されている (California
 RWQCB:1989)

Table #1 Schedule of Events for Intel Santa Clara 3

February 1990	Intel submits final RI/FS report, February 16, 1990
March 1990	Board staff prepares proposed Remedial Action Plan (RAP) and Tentative Site Cleanup Requirements Order (Tentative Order)
April 1990	Distribute Fact Sheet #2 describing cleanup alternatives, proposed RAP and Tentative Order and opportunity for public comment Board hears comments on RAP and Tentative Order at regular Board meeting Public comment period on Intel SC3 begins April 18, 1990
May 1990	Board staff holds community meeting, May 2, 1990
June 1990	Board staff prepares response to public comments (Responsiveness Summary) and revises proposed Tentative Order
July 1990	Board holds final public hearing adopting RAP and final Site Cleanup Requirements Order, July 18, 1990
August - Sept. 1990	Fact Sheet #3 explaining final RAP and Order distributed to public Intel SC3 begins final Remedial Design and Remedial Action

図 1 - 4 Intel Santa Clara IIIでの地下水汚染調査・対策の経緯と行動計画
Fact Sheet #1に引続き, Fact Sheet #2 (1990年4月)で, 経緯と行動
計画が広報されている (California RWQCB:1990)

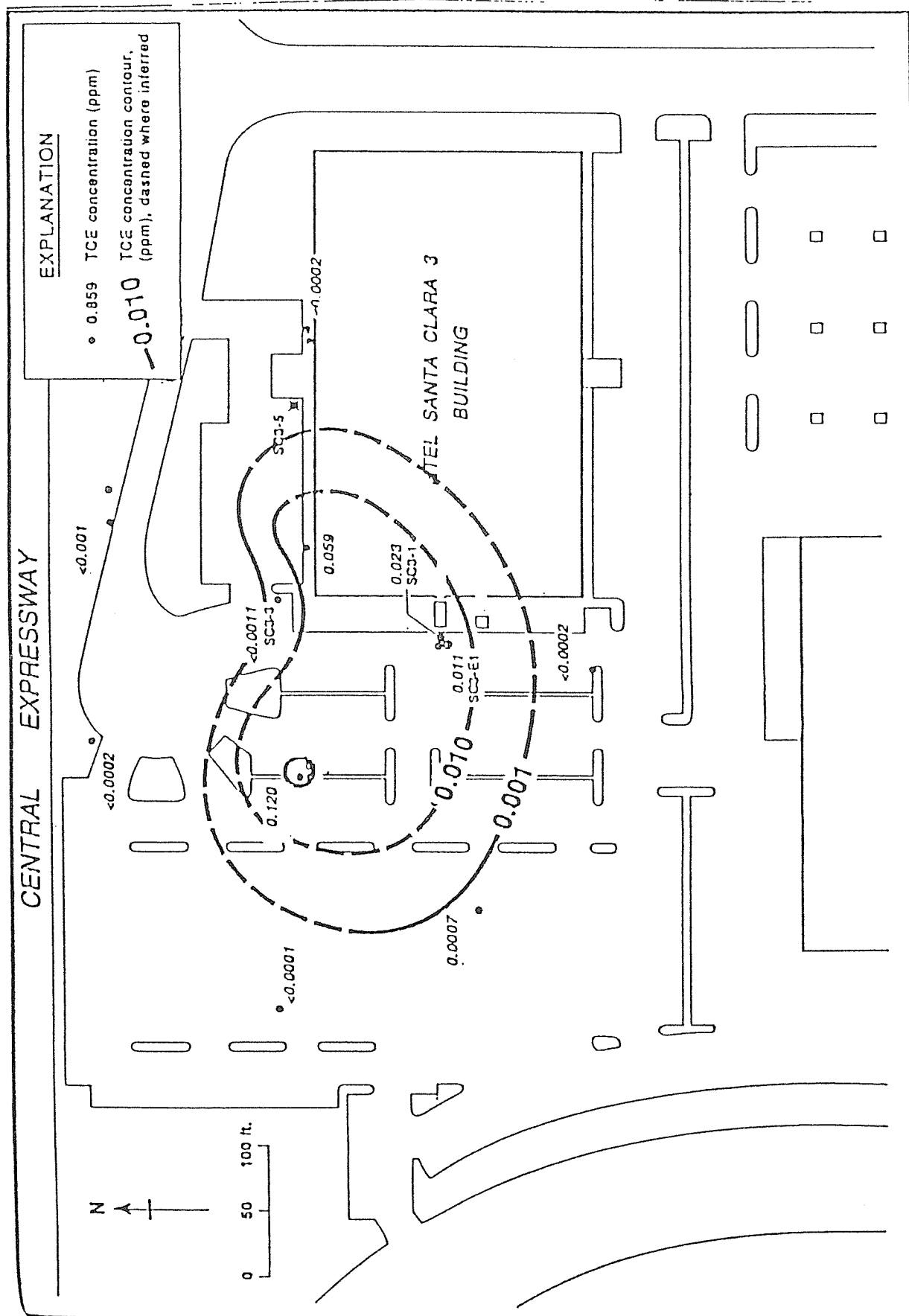


図1-5 Intel Santa Clara III におけるトリクロエチレン(TCE)の地下水汚染分布とモニタリング (観測井配置) (1989年8月16日) (California RWQCB:1990)

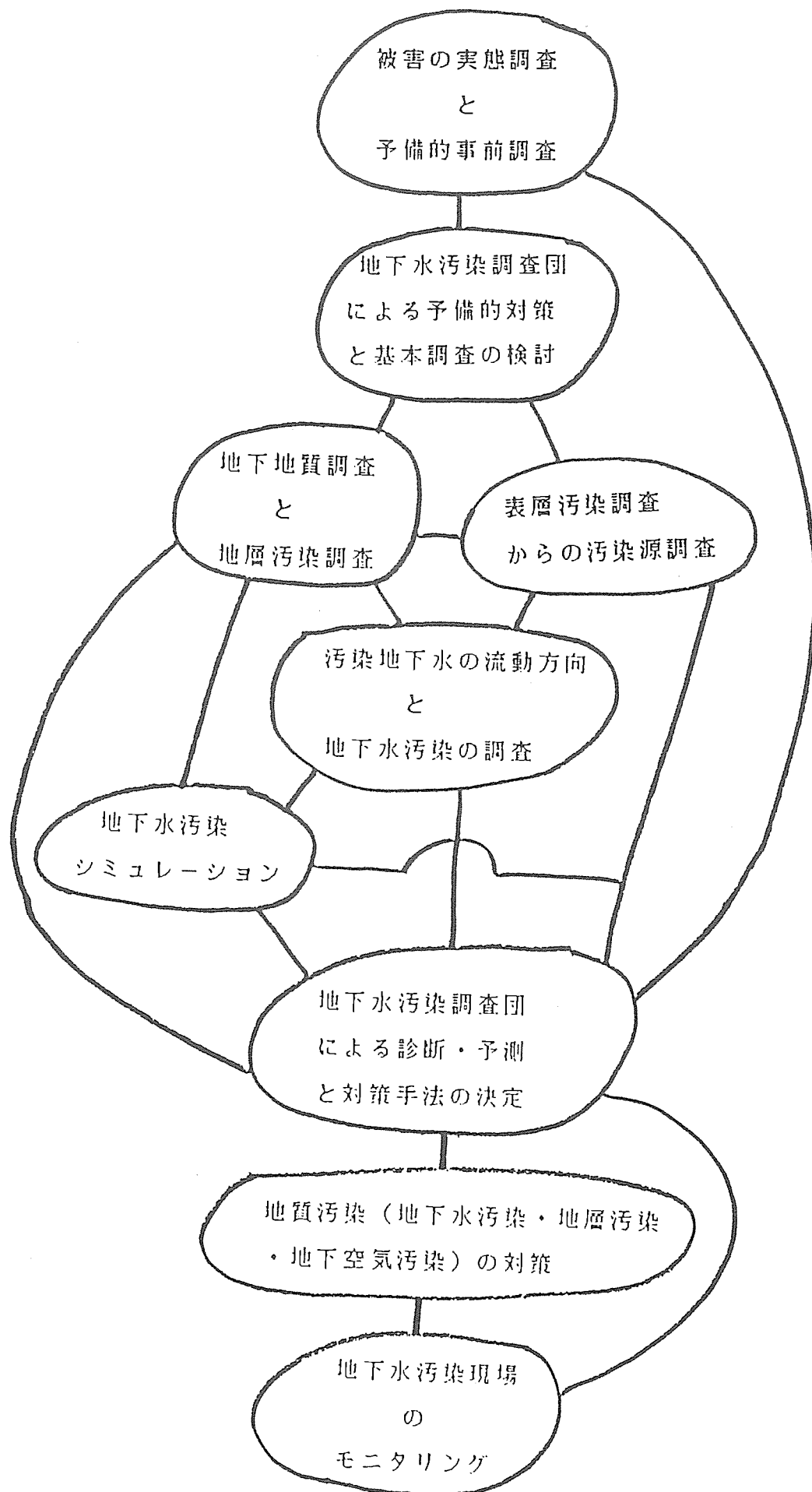


図 1 - 7 地下水汚染調査の流れ図

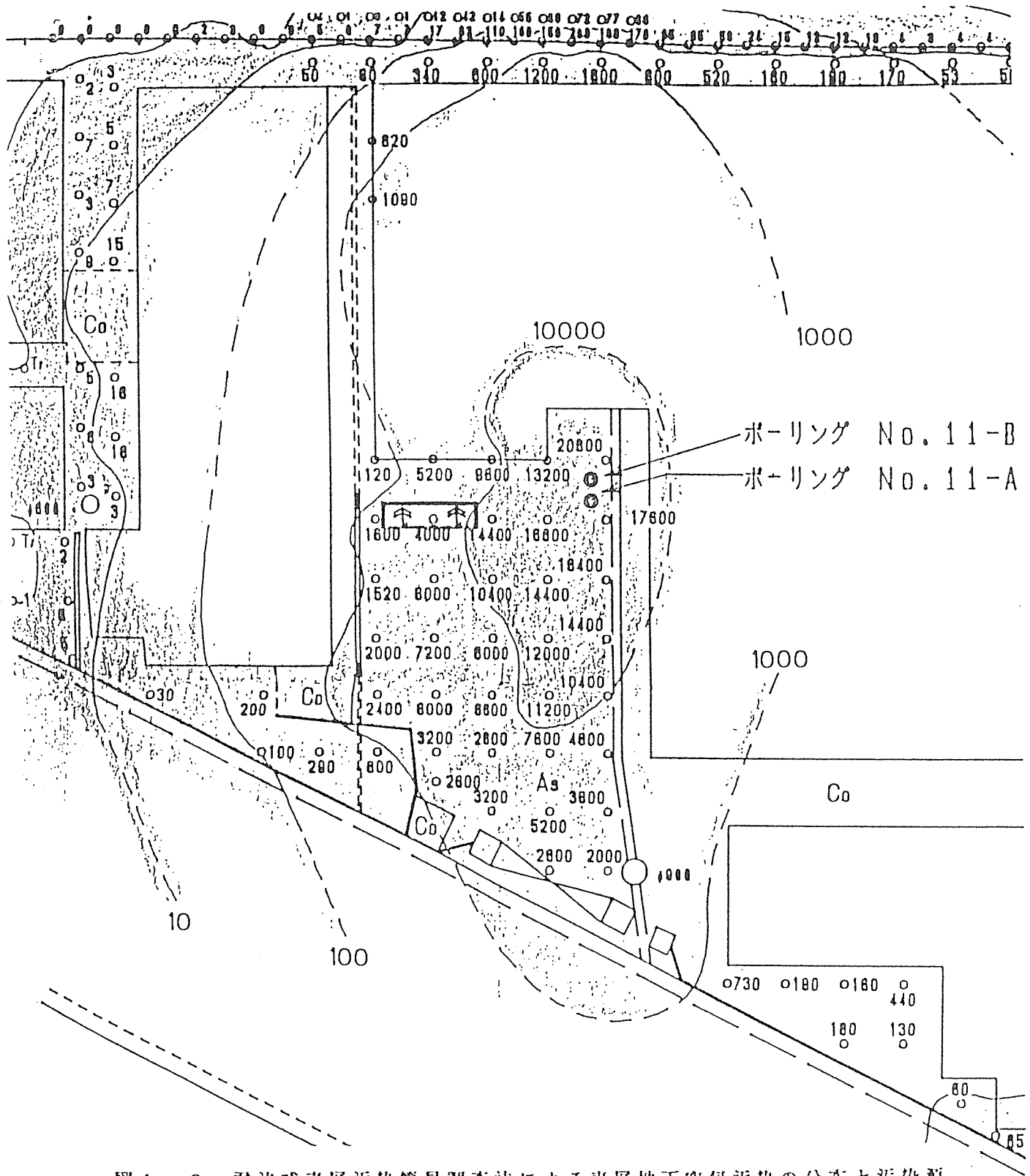
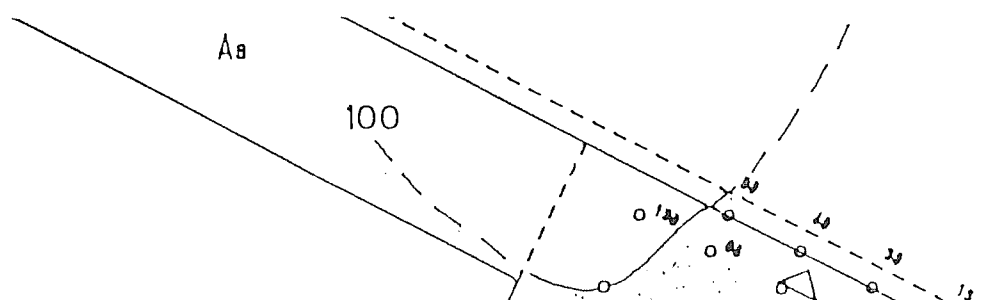


図 1 - 8 君津式表層汚染簡易調査法による表層地下空気汚染の分布と汚染源

単位 : p p m



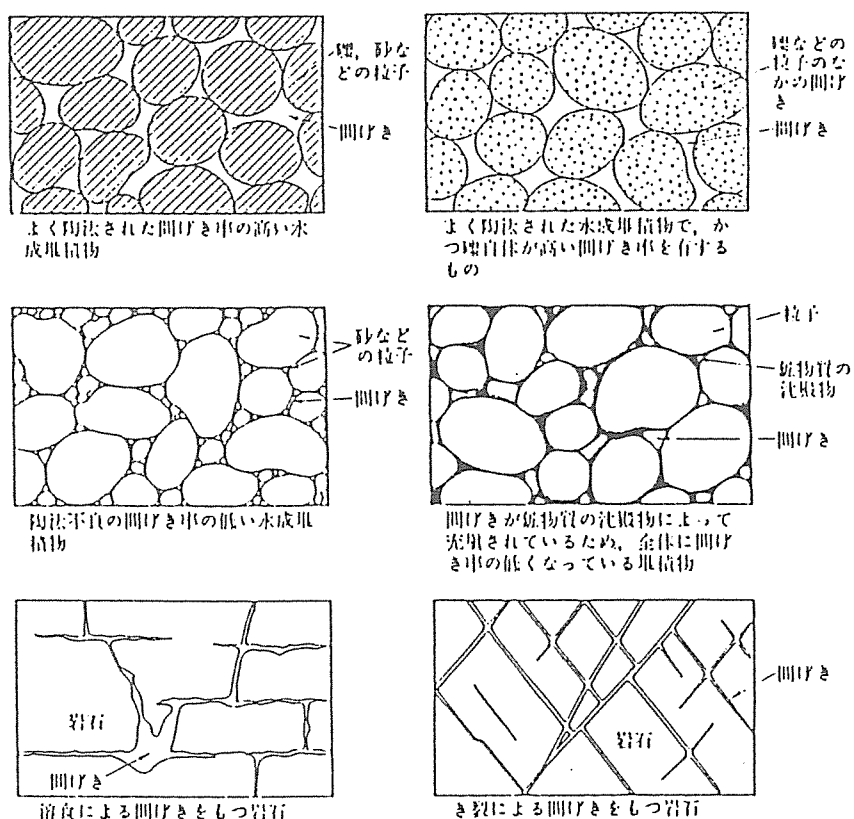
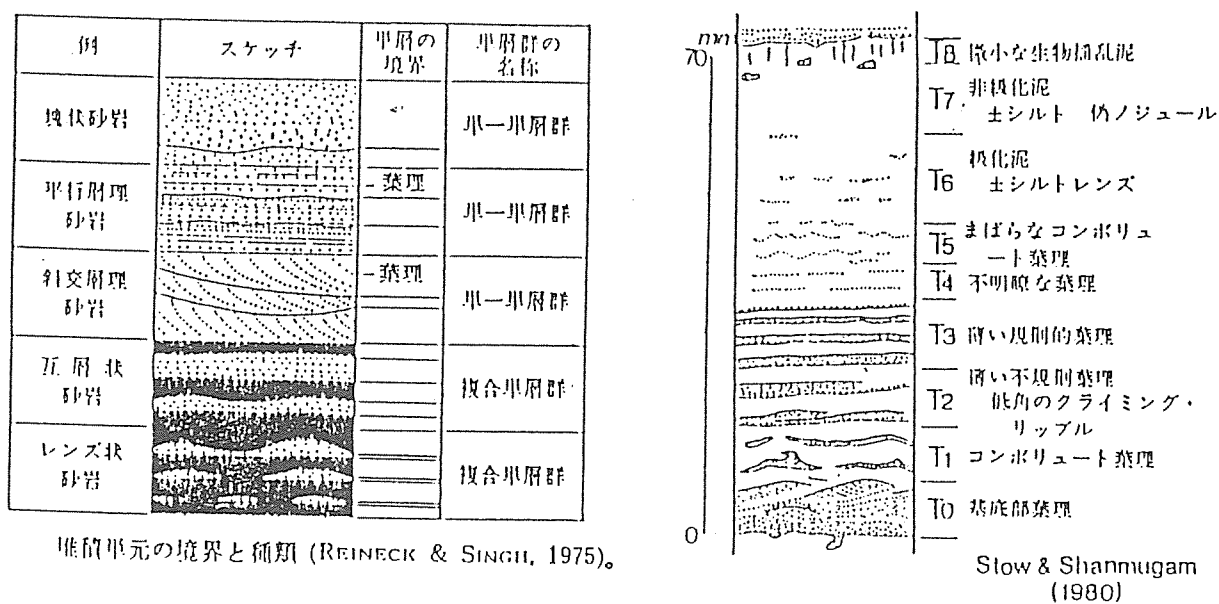


図 1 - 9 地層の組織と間隙の種類 (Meinzerによる)

(地下水資源学 (水収支研究グループ) から)



細粒タービダイトの堆積構造モデル

図 1 - 10 地層の堆積構造

(堆積物の研究 (砂屑性堆積物研究会) から)

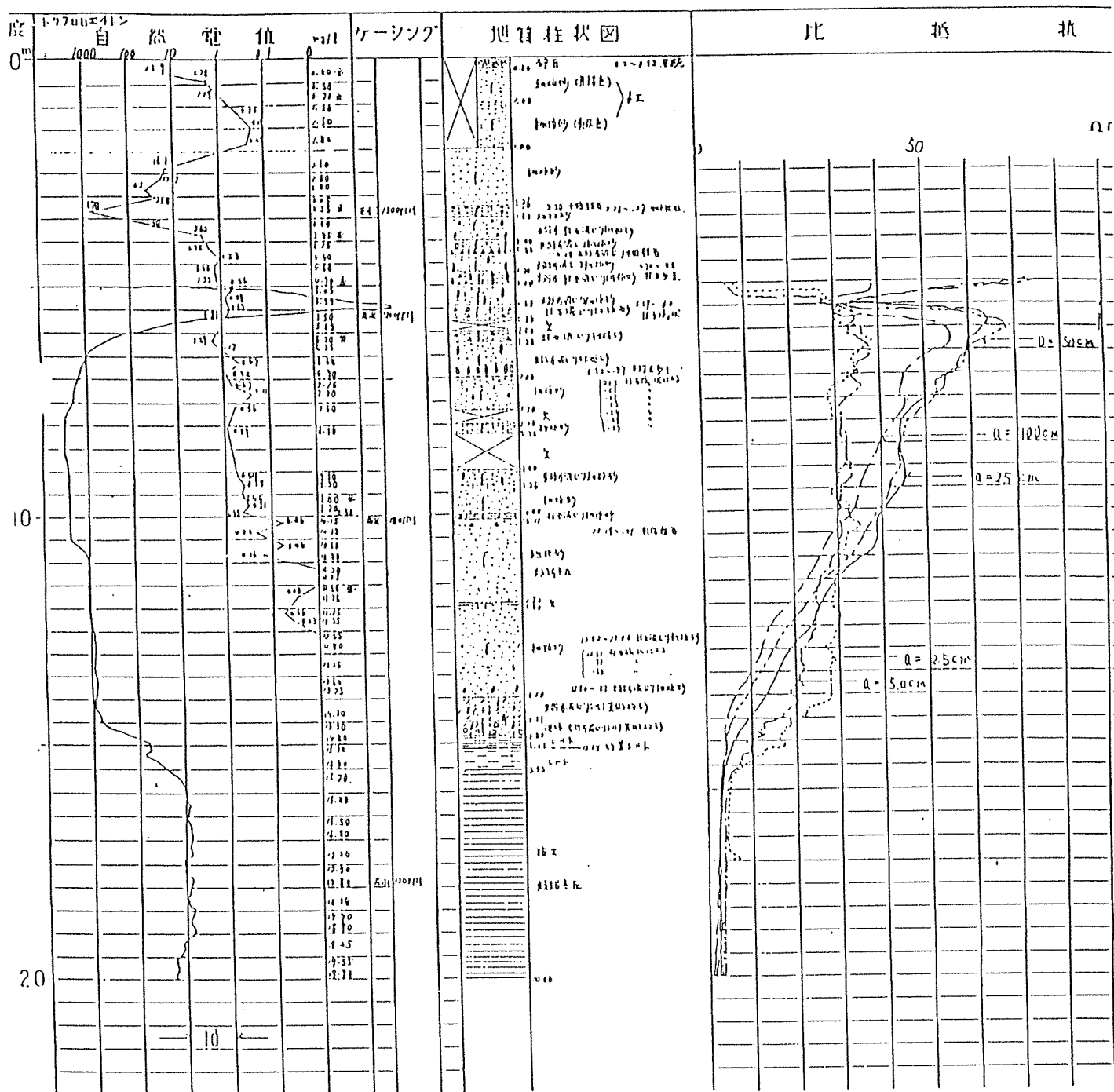


図 1 - 1 1 地質柱状図と地層汚染柱状図

観測井仕上図(ボーリングNo.1)

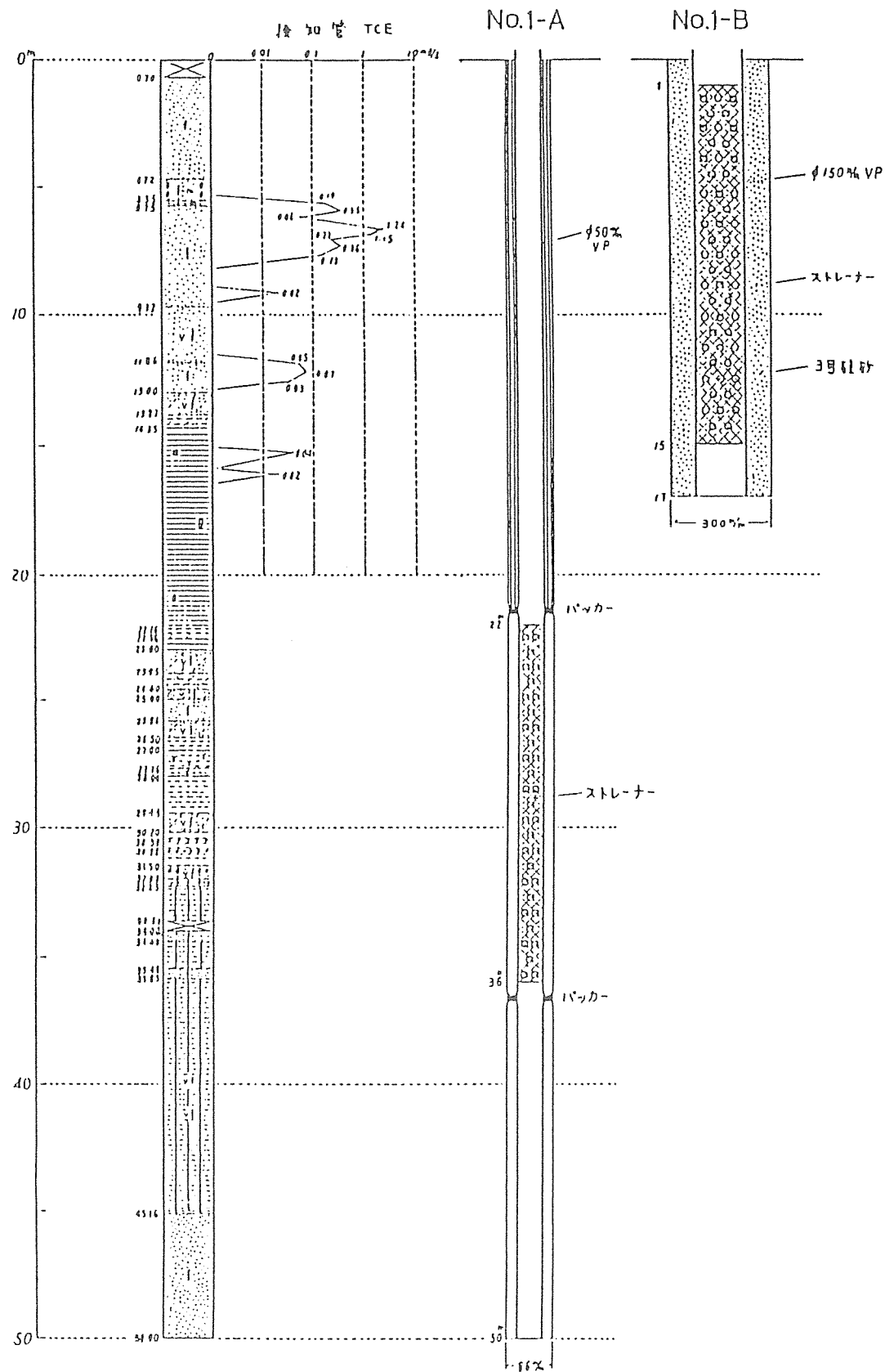


図 1 - 1 2 地質汚染柱状図と地下水汚染観測井の設置図

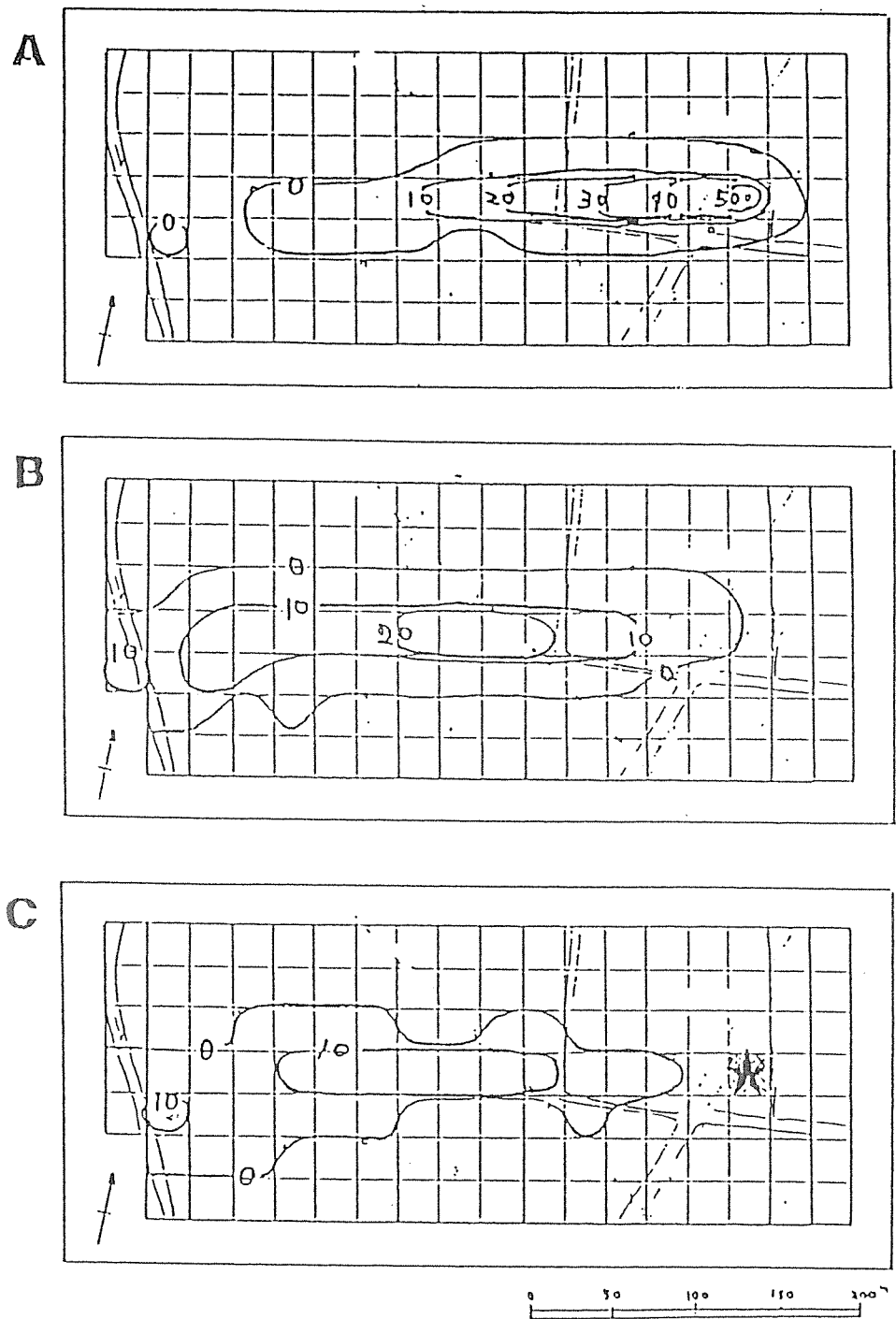


図 1 - 1 4 地下水汚染シミュレーション計算例

A : 計算結果 (現在)

B : 計算結果 1 0 年後 (揚水なし)

C : 計算結果 1 0 年後 (★ 印にて連続揚水)

実線 : 濃度等値線 (間隔は 10 mg/L)

数字 : 濃度 (単位は mg/L)

なお, B, C の計算においては, 地下水中への新たな汚染質の流入はないものとしてある.

地下水は 大切な環境資源

やさしく使おうみんなの地下水



自噴する地下水

有機塩素系化学物質による地下汚染の防止

千葉県環境部

きれいな水を次世代へ

日本では、縄文時代以前から、地下水が飲み水として利用されてきました。

現在、私たちもまた、安心して地下水を飲み水などに利用しています。

これは、地質環境が有する自然浄化機能と貯水能力により、安全で安定した地下水供給がなされてきたからです。

しかし、最近では、産業の技術革新に伴い、様々な化学物質が私たちの身近で利用されるようになりましたが、これらの中には、毒性、難分解性の物質もあります。

そして、環境、とりわけ地質環境にこれらの物質が入った場合、その使用量が多いため、地質環境が本来有している浄化能力を超えるところとなり、広範囲で深刻な地下水汚染へと進行します。

化学物質がもたらす有用性、利便性という恩恵に浴することは当然ですが、かけがえのない地下水の価値を再認識していただくとともに、これまで、表流水がたどった汚染や汚濁の道を、地下水で繰り返さないためにも、私たちは、今、何ができるのか、何をすべきか、真剣に考えなければならない大切な時期にあるといえます。

地球上の水は、絶えず循環をくり返しています。

海や川から蒸発して雲になり、また、雨や雪となって再び陸地に降ります。

それらが地下水や川となり、やがてまた海へ流れていきます。

では、一体地球上にはどのくらいの水があるのでしょうか。

地球には、約14億km³の水があるといわれており、そのうち97%は海水で、淡水はわずか3%程度しかありません。

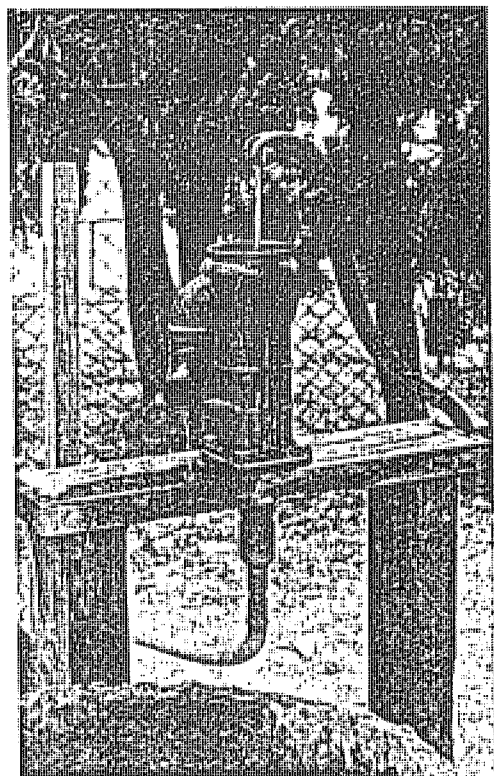
しかも、この淡水のうち約70%は南極や北極の氷であり私たちの身の回りでは使える水は、全体の0.8%にすぎません。

そして、この使える水の中では、河川や湖沼のような表流水に比べ、地下水は圧倒的に多く、約90%を占めているといわれています。

このように、私たちが使っている水の大部分を占めている地下水も、最近、開発による森林の減少等により、湧水が枯渇したり、減少したりという現象が起こっており、いまや限りある貴重な資源となりつつあります。

私たちは、この貴重な地下水を大切に使いそして、きれいな地下水として次の世代へ引き継ごうではありませんか。

私たちが、きれいな水を受け継いだように。



手押しポンプ

トリクロロエチレン等による地下水汚染

我が国における地下水汚染は、米国における地下水汚染問題の発生等の状況を契機とし、昭和57年度に環境庁が地下水の水質状況について、全国的な実態調査を実施した結果、有機塩素化合物による地下水汚染が広範に見られることが明らかになりました。

このため、厚生省は昭和59年2月「トリクロロエチレン等に係る水道水の暫定水質基準」を、また、環境庁は同年8月「トリクロロエチレン等の排水に係る暫定指導指針」を定め、事業場等の指導を行ってきました。

また、平成元年3月に、国は、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンを「水質汚濁防止法」の有害物質に指定するとともに、同年6月に法の一部改正を行い、地下水汚染未然防止に関する規定が強化されました。

千葉県においても、昭和59年度から事業場等の井戸の水質調査を行ってきましたが、トリクロロエチレン等による地下水汚染が県内各地で発見されたことから、平成元年1月「千葉県地下水汚染防止対策指導要綱」を定め、県と市町村が協力して地下水汚染防止対策に努めているところです。

地下水の特質は、地表水の場合と異なり、一般的に流動が緩やかであるため、汚染物質の希釈が期待できず、揮発も少なく、微量でも有害物質により一旦汚染されると、その影響が長期間にわたり継続すると考えられています。

したがって、地下水が汚染された場合は、汚染物質を除去しない限り、いつまでも地下に残留し、少しずつ移動、拡大すると考えられています。

そのため、汚染が確認された場合は、汚染物質を除去するため、汚染機構解明及びその機構に添った対策を実施しなければなりません。

しかしながら、汚染された地下水質を復元するためには、汚染原因の究明や地下における汚染物質の状況等を把握してから、適切な場所で汚染物質を除去することが必要ですので、長期的かつ多額の費用を要することになります。

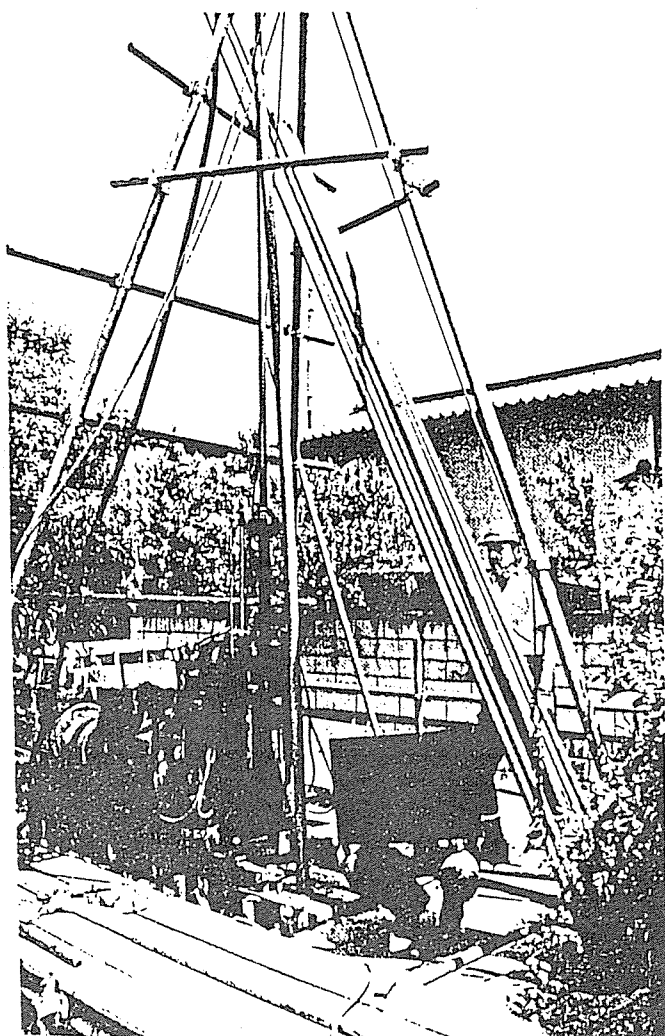
したがって、今後、新たな地下水汚染を起こさないことが何よりも重要であり、地下水汚染の未然防止を図り、良好な水質を維持することは、国民の健康を保護し、生活環境を保全する上で重要かつ緊急の課題となっています。

汚染原因者の責務

公害に関する費用負担のあり方については、汚染者負担を基本として考えられております。

地下水汚染が確認された場合、その水質を復元するためには、汚染範囲の確認、汚染機構の解明、汚染物質の除去等、長期的かつ多額の費用を要することとなり、また、地域住民に対する不安の払拭や地域の将来に対する責任等、汚染原因者の責務は非常に大きいものとなります。

化学物質は、事業活動等において、非常に有効なものである反面、環境にとっては、その扱い方により非常に危険なものになりますので、使用方法、管理方法等に十分注意し、自分の事業場が汚染原因者とならないよう、十分に気をつけましょう。



地質ボーリング調査

有機塩素化合物の性状、 人体影響等

トリクロロエチレン等有機塩素化合物は、無色透明の液体で、不燃性、揮発性、水に難溶であり、優れた脱脂作用を持っている。

人体影響としては、物質により差はあるが、高濃度の場合、頭痛、めまい、吐き気等を起こすとされ人に対する発癌性の疑いが持たれている。

規制基準について

トリクロロエチレン等の有機塩素化合物を取り扱う事業者が、水質汚濁防止法及び千葉県地下水汚染防止対策指導要綱に規定する物質を排水として排出する場合や事業場内に井戸を有する場合は、次表のとおり規制を受けますので、排出基準等を遵守するよう、対象物質を適正に管理してください。

有機塩素化合物排出基準等一覧表

物 質 名	基 準 (mg/ℓ)		
	排 水 基 準	地下浸透基準	井戸水の基準
トリクロロエチレン	0.3以下	禁 止	0.03以下
テトラクロロエチレン	0.1以下	禁 止	0.01以下
1,1,1-トリクロロエタン	3以下	禁 止	0.3以下
四 塩 化 炭 素	0.03以下	禁 止	0.003以下

設置届、自主検査等

- 対象物質を使用して事業活動を行うものは、対象物質使用施設等設置届を市町村長を経由して知事に提出する。(変更、廃止も同様)
- 事業者は、事業場内の排水及び井戸水の自主検査を実施し記録する。
- 事業者は、漏出等の事故が発生した場合は、適切な措置を講ずるとともにその経緯を市町村長を経由して知事に報告する。

地下水汚染等が確認された場合

- 敷地内の土壌や井戸から汚染が確認された場合は、独自で処理をせず、県及び市町村に報告のうえ、適切な措置を協議すること。

汚染防止措置について

汚染防止のため、次の項目をチェックしましょう。

【保管場所について】

- 屋外に設置されている場合、屋根等で雨水の侵入を防いでいるか。
- 腐食で漏出しないようになっているか。
- 移し替え時に、飛散防止策がとられ、かつ周囲にこぼれないようになっているか。
- 薬液及び廃液は、倒れても漏出しない容器に入れて保管されているか。

【使用装置について】

- 溶剤槽、配管等の継目、弁等からの漏出はないか。
- 使用装置は、飛散防止の構造となっているか。解放の場合、気化した物質を吸着・回収できる構造となっているか。

【床面について】

- 床は地下浸透防止の構造となっているか。また、こぼれても回収できる側溝、受け皿等があるか。
- 床面及び防液堤等のひび割れはないか。

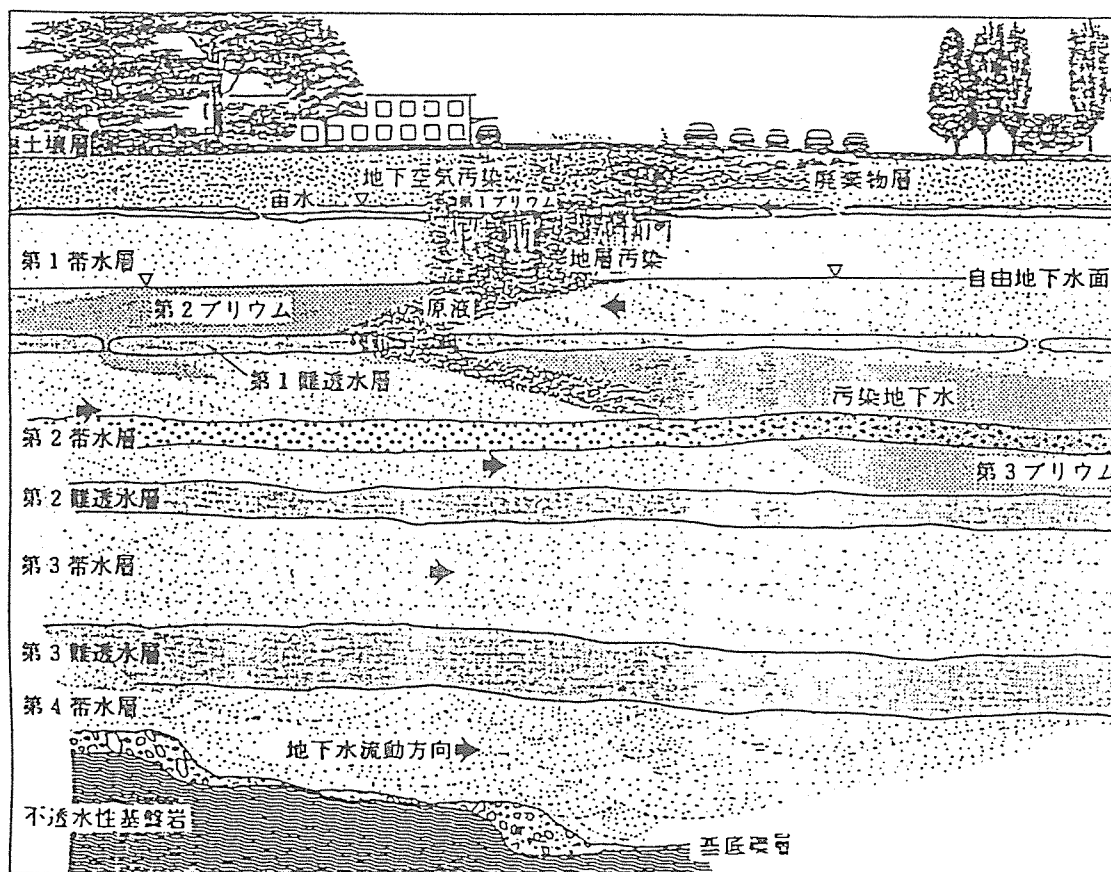
【処理装置について】

- 曝気は不足していないか。
- 活性炭等の吸着能力は維持されているか。
- 処理槽や配管等からの液漏れはないか。
- 定期的に自主測定を実施し、基準遵守を確認しているか。
- 日常点検、定期点検等により、装置の適正な管理を行っているか。

【廃液、廃棄物の処分量について】

- 廃液、廃棄物の処分量を帳簿に記録し、回収量に異状がないか点検しているか。

有機塩素化合物による地下水汚染のしくみ



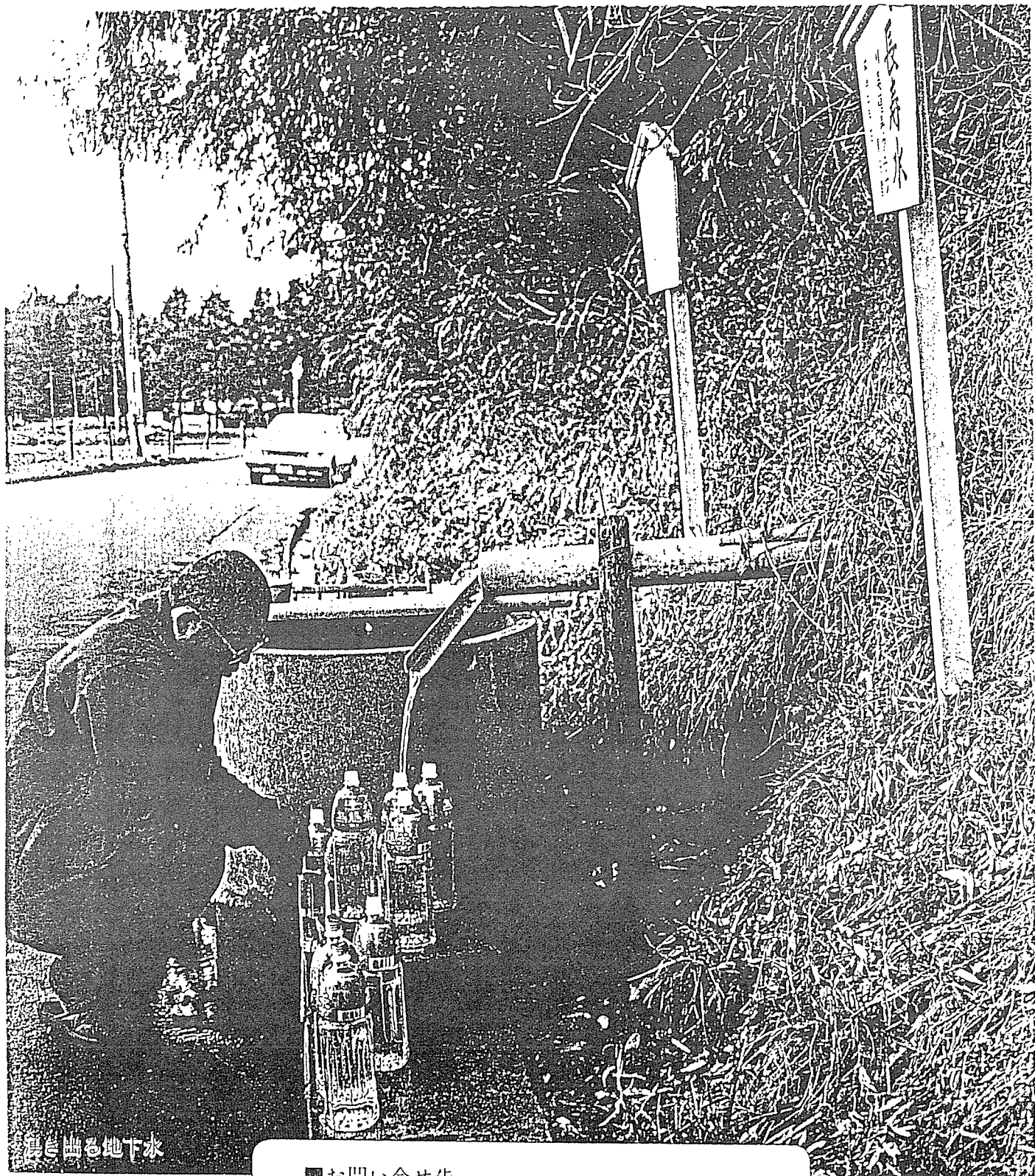
「楡井原図」

人間が生活している大地は、固体・液体・気体で構成されている。

固体として礫・砂・泥の粒子、液体として固体廃棄物などの間隔中に存在する地下水・石油・人間が使用した廃液等、気体として普通の空気・石油・天然ガスに関係するガス等である。

このような固体・液体・気体からなる地質環境を、人工的物質又は人間活動によって地層やその間隔にある地下水及び地下空気を物理的、化学的、生物的に人間側に不利に変化させる現象が地層汚染(土壌汚染、土汚染も含む)、地下水汚染及び地下空気汚染であり、この3つの汚染を総称して地質汚染と呼んでいる。

多くの場合、汚染物質の投棄・浸透により地層汚染が発生し、その地層汚染が発生源となって地下水汚染、地下空気汚染が発生する機構となっている。



■お問い合わせ先

千葉県環境部水質保全課
地下水汚染対策室

〒260-91

千葉市中央区市場町1番1号 TEL 043 (223) 3826

このパンフレットは再生紙を使用しています。

都市域の水収支と水環境

大阪大学工学部 村岡 浩爾

はじめに

大都市の水環境は自然の循環系から断絶し、極めて歪んだ循環形態を持っており、その結果内水問題はもちろんのこと、水環境の持つ豊かさの確保にも問題が生じている。将来の都市構造に関して環境保全型都市の形成が提案されている今日、現況を把握した上で、自然の循環系に回復させる努力と、現況を最小限度認めた上で新規の循環システムをどのように開発して行くかが当面の問題である。これらに対しては土壌浸透トレンチや透水性舗装のように浸透させる方法と、地下貯留や表面貯留の機構を推進させるなど、既に適用されている方法もあるわけである。

一方、このような水量制御のほかに、水が物質やエネルギーを運ぶ媒体であることから、物質やエネルギーの動きからみた都市域の水環境に着目する視点もある。特に省エネルギー、ヒート・アイランド、地球環境といった観点から、都市域の給排水システムに伴う熱現象に着目することもできる。以上のようなことについて概略を記述したい。

1. 大阪の水収支

都市の水収支に関しては、大阪以外でも東京都、武蔵野市、三鷹市、神戸市などでもまとめられている。ここでは大阪の広域モデルとして淀川、大和川、生駒山系、大阪湾に囲まれた

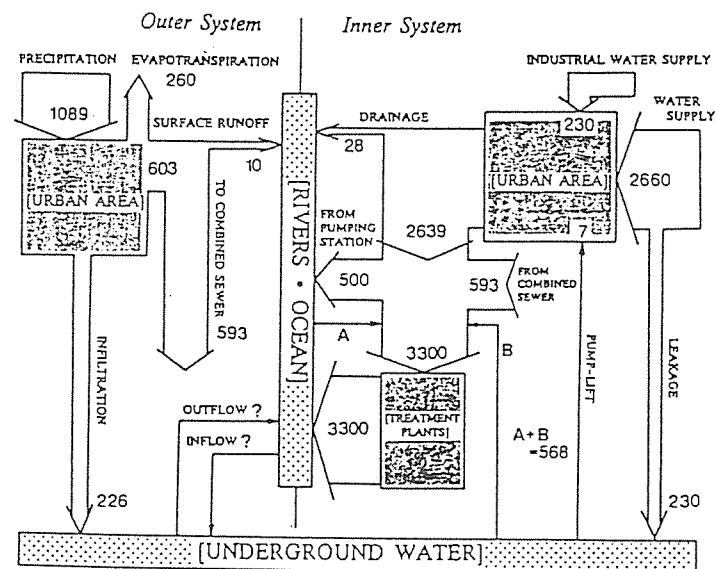


図1 大阪市24区の年間水収支(昭和60年度, 単位: mm)¹⁾

566km²の地域と、そこに含まれる大阪市24区だけのモデル地域について水収支をまとめてみる。

降水、蒸発散のある大気系から鉛直下向きに見た水環境系は、地表系（土地利用の関連で論ぜられる水空間系）、給排水系（人工的な水移動経路）、土壌系（浸透後の水の行方を対象とする系）、地下水系と区別することができ、本来、この全体を包括する水収支論があっていいはずである。しかし、それを行うことは極めて困難である。特に地下水系に関して、自由地下水の上層部分の挙動を考えるだけでも未知の点が多く、まして深層地下水を対象とするのはそこへの水の涵養、平面的な地下水盆の設定等解明されていない事柄が多い。従ってここでは地表系や、給排水系でまとめられる水収支を取り上げている。

図1は大阪市24区の年間水収支図である¹⁾。外的システム(outer system)とは主として自然要因の水量を示し、内的システム(inner system)とは人為起源の水量を示している。この年は寡雨であったが（年降雨量1089mm）、その約2.5倍に当たる給水量を主として淀川から取水している。東京23区部においても給水量は約2500mmある²⁾。このように都市は人為的な経路によって雨量を大きく上回る水量が移動しているのである。

図中で示しているごとく、給水系からの漏水が230mmあり、大都会ではどこもこの程度の漏水が存在するようである。それだけでなく、図中のA、Bで示した河川からと地下水の下水路に流入する量が合わせて568mmある。この値は既知量（もしくは推定可能量）の収支から求めた値であって、必ずしもその実態が究明されているものではないが、大阪市では土壌系空間辺りにダブダブと水があるような感じである。地盤沈下の沈静化によって地下水位の回復が著しいこと、低平地であることから、このことは水政策、水対策を一層難しくしているとみられる。

2. 土壌浸透トレンチによる浸透促進

どの都市をみても、その都市化の進行と合わせ、不浸透面積率は大きく、このことが流出形態を自然のそれから大きく歪めている。表1³⁾でみる通り、大阪市区では75%が不浸透面積で占められている。東京23区では65%である。虫明⁴⁾はこれにかかわる都市化が水循環に及ぼす影響として、人口の高密度化と市街地の拡大・高密度化の二面があると指摘している。この系統にかかわる要素は複雑であるが、対処すべき問題としては水資源問題、汚濁制御問題、都市小河川の流量涸渇、洪水制御問題があるが、ここでは先ず流域の水循環の量的問題を考える。

表1 主な都市域の水文諸量³⁾

対象地域	神戸市	大阪市 ¹⁾	大阪10市 ¹⁾	東京23区 ²⁾	練馬区 ²⁾	武蔵野市 ¹⁾	三鷹市 ¹⁾
対象年度	1989年度	1985年度	1985年度	1980年度	1986年度	1973年	1973年
不浸透面積率	29%	75%	60%	65%	59%	87%	62%
降水量	1411	1089	1157	1500	1500	1299	1299
蒸発散量	505	260	330	400	370	79	224
表面流出量	400	603	527	800	650	1166	923
浸透量	506	226	300	300	410	54	152
上水給水量	554	2890	1873	2500	1360	1544	1299
漏水量	39	230	131	310	200	174	72
下水管渠への地下水浸出量	56	568	476	300	0	161	48

台地や丘陵地の都市化による水循環への影響要因は、① 表土の改廃と転圧、② 不浸透域の拡大、③ 雨水排水系の強化、としてとらえられる。多摩ニュータウン区域の自然流域(長池)と都市化流域(永山)モデルの観測から都市化によって蒸発散がかなり減少し、直接流出による洪水流出が著しく、地下水流出成分が激減することが認められる。東京の神田川、石神井川、目黒川程度の規模の流域で、林地、畑地の状態から建物、舗装面などの不浸透面で60%程度覆われたと推定すると、都市化以前に100年に1回の豪雨で発生していた大洪水と同じ規模の洪水が、都市化後には年2~3回の中規模洪水で生ずることになる。都市化によっていかにドラスティックに大洪水が起こるかがわかる。

以上のことから、都市化によって変貌し破壊された水循環をいかに自然の水循環に戻すかが重要な課題であることが理解されよう。その対策として雨水浸透促進法があり、本来これは水循環保全対策(河道改修、放水路、調整池、雨水貯留、地下浸透等)の一環もしくは支援技術として考えられてきたが、複雑な都市水循環システムの中でこの役割と効果を検討せねばならない。すなわち、洪水流出抑制対策としてこれまでさまざまな貯留型施設が位置づけられてきたのに対し、近年浸透型の施設が加えられるようになってきた。雨水浸透促進法はここ数年研究や実施が進み、単に洪水流出抑制対策だけでなく non-point source からの汚濁負荷流出の抑制、地下水涵養については平常時の河川流量の増強といった総合的な水循環保全という意義があり、まさにエコロジカルな手法である。

この浸透装置を用いて昭島市のモデル地区において現地調査がなされている。これをもとに、それぞれが10年、30年、50年、70年、100年のリターン・ペリオドをもつ5つのモデル降雨に対し、浸透装置の有無による流出カット効果が算定され、その結果が図2に示されている。図中、(a)は降雨ピーク時の流出率、(b)は流出した全水量の流出率を示しており、浸透装置の効果がよく表されている。

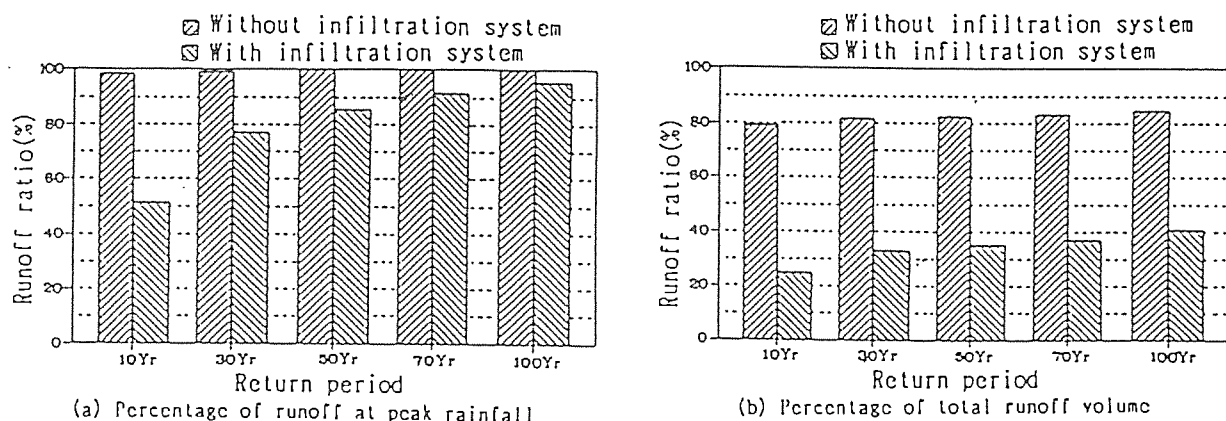


図2 浸透システムの有無による流出減少効果³⁾

3. 透水性舗装の機能と効果

透水性舗装も雨水を浸透させる工法である。従来の舗装技術は耐久性と水密性に主眼がおかれ、路床部といわれる地盤部分への水の浸透を極力避ける構造がとられてきた。そのため都市

化が進み、舗装面積が拡大されるに従って、雨水の地中への浸透が減少し、表面流出が増大して水循環を不自然なものにしている。また短時間の流出は、下水処理に対する負荷増大にもつながる。

三浦らのまとめと研究によると⁵⁾、透水機能をもつ舗装は1930年代アメリカで開発され、浸透させた水を道路側面へ排水させるというもので、わが国でもこの機能が受け継がれ、雨水を一時貯留させると同時に地中下方に浸透させる構造が開発、推進されている。これは貯留効果をねらうものであるが、同時に地表面や地中温度を低下させたり路面蒸発機能を促進させることにより、微気候や土壌生態系の改善も期待されている。

東京都における透水性舗装は昭和58年より本格的に実施されている。東京都のまとめによると、平成元年度末までの累計実施面積は区部で 1,144千㎡(1,548個所)、多摩地区で 1,383千㎡(1,833個所)である。これは歩道部で実施された実績であり、全歩道面積に対する実績率は、区部において9.2%、多摩地区では3.9%である。その後も定常的に増加の傾向にあり、民間の駐車場等でも多用されている。一方、車道部については環状7号線で約7,000㎡、都道・府中町田線で約5,000㎡の施工実績があり、今後も施工が検討されている。東京都・板橋区をモデル地区とし、浸透域（透水性舗装を適用）と不浸透域（屋根面積より算定）を定め、地目別流出係数によりモデル地区の流出量を算定した。さらに板橋区内に試験施工した透水性舗装の表層部（空隙率20%が維持されているものと仮定）と路床部の透水係数をもとに貯水能を算定し、流出制御効果を表2のように得ている。また、地中水の蒸発は、気象環境である外的要因（日射量、気温、湿度、降雨量など）と地中環境である内的要因（表面温度、地中温度、含水比、土のサクションなど）によって影響を受けるが、屋外実験により舗装面および地中温度分布を測定し、通常舗装、透水性舗装の差異を検討している。この結果は透水性舗装は暖まり易く冷め易いため、通常舗装より全体に温度が低いが、このことは地中水の蒸発にかかわる潜熱の影響が及んでいるとみられる。

このような透水性舗装であっても、目詰まり、耐久性、コスト高等の今後解決すべき問題もある。

表2 透水性舗装の処理能力⁵⁾

	板橋地域	常盤台地域	志村地域	赤塚地域	高島平地域
流 出 量 m ³	552,789	476,761	687,409	566,140	848,915
貯 水 能 m ³	113,400	129,420	135,252	156,348	354,870
流出抑制効果 %	20.5	27.1	19.6	27.6	41.8

4. 都市下水の排熱利用

都市では大量のエネルギーが消費される。これらは製品生産、交通システム、地域環境の保全、生活環境の維持等に費やされ、これによる社会環境と社会基盤が良好に機能する結果となる。しかし、当然排熱エネルギーも大きい。都市で発生した廃熱は大半が大気に放熱する。従って市街地の小空間熱環境のみならず、市街地を含む地域の微気候にも影響を及ぼしていると思われる。また、福岡市の全消費エネルギーの約9%が水系に捨てられているという研究のあ

るごとく⁶⁾、都市における熱消費が給排水システムを通じて行われる部分がある。一方で地球温暖化問題と関連する二酸化炭素の排出抑制が叫ばれ、エコボリスの形成の必要性も論議される昨今において、熱の再利用、すなわち廃熱のエネルギー回収について実用化を目指す動きもある。

下水はシステムが整備されていることから、ヒートポンプなどによる熱回収のやり易い対象である。既に下水処理排熱利用が以下のように実施されている。

(1) 幕張新都心ハイテク・ビジネス地区

熱供給対象面積は48.9haと広く、業務・研究施設エリアと商業施設エリアに分けられている。供給能力は情報化都市構想にふさわしく冷熱に重点がおかれ、冷熱用原単位75kcal/m²・h、給湯負荷を含めた温熱用原単位60kcal/m²・hまでの負荷増大に対応可能となっている。日本初の下水処理水利用の熱源ヒートポンプシステム技術が採用された地域である。

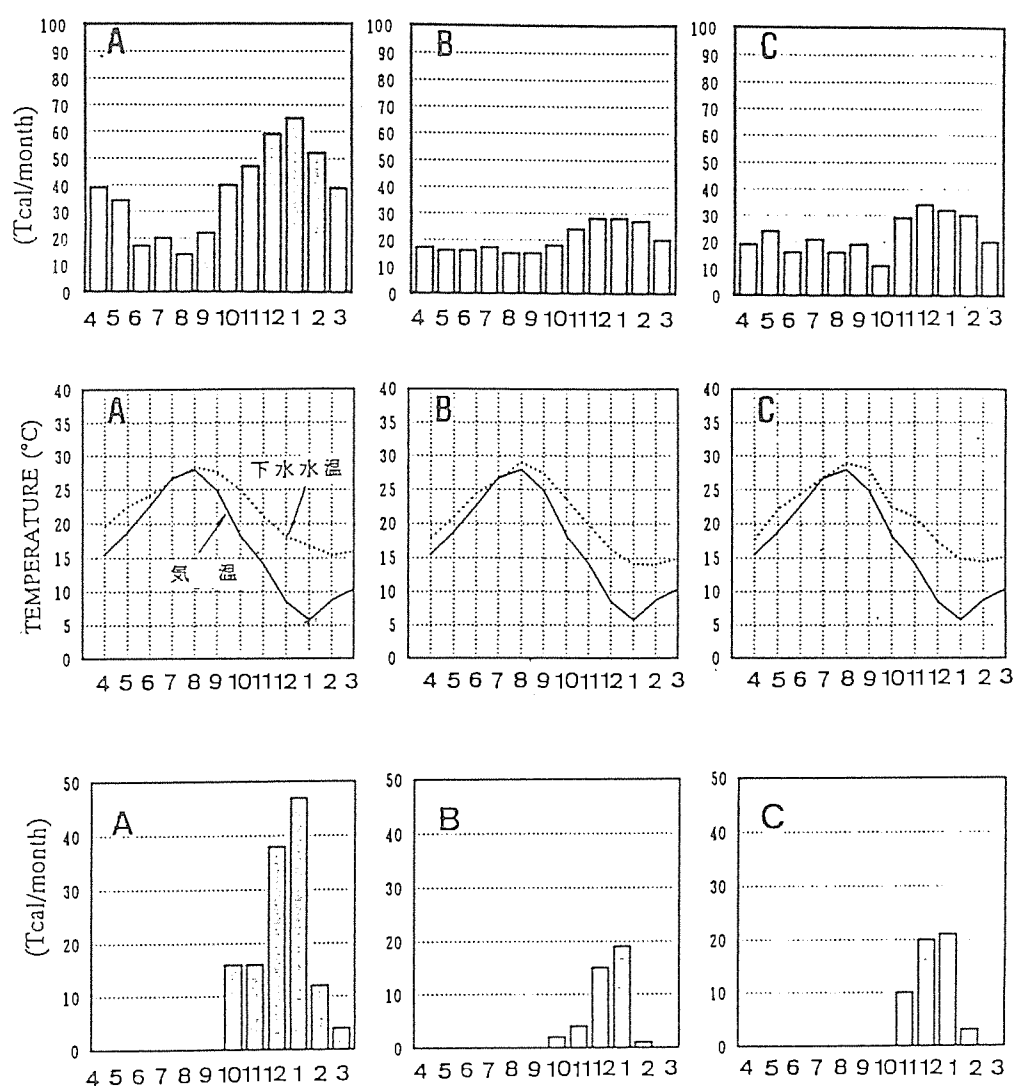


図3 上段：処理水の熱エネルギー、中段：処理水温と気温の季節変化、
下段：利用可能熱エネルギー、A：津守処理場、B：海老江処理場、C：中浜処理場

(2) 大阪市咲くやこの花館

守口市下水処理場から下水処理水の供給を受け、夏期29℃以下、冬期12℃以上の水温を利用して夏期、中間期、冬期のパターンで熱エネルギーを回収する。

(3) 海外における事例

スウェーデン・ウプサラの地域暖房プラントを始め、フィンランドを含む北欧の各所で実施されている。

大阪市域の下水道処理区域の12箇所の下水处理場の排水データより、排熱利用の可能性を検討してみる。

図3は代表的にA, B, Cの3処理場を対象として、0℃を基準とした処理水の熱エネルギー(上段)、その水温と気温の季節変化(中段)、水温と気温の差が5℃以上の熱量を利用可能エネルギーとして計算したもの(下段)を示している。

対象地域では総消費エネルギー量: 63,000 Tcal(年間、以下同様)、家庭用暖房・給湯のための消費エネルギー量: 5,000 Tcal、下水流入エネルギー量: 2,400 Tcalと見積られている。これに対し、図3下段の総量として求められる回収可能量は580 Tcalである。1人1日当りで比較すると、暖房・給湯で消費するエネルギーが5,200 kcal、回収可能量が620 kcalとなって消費量のおよそ1/9のエネルギーが回収によってまかなえる勘定となる。

あとがき

大阪市域の水収支は、他の大都市と同様、自然水循環経路と異なった経路で、多量の水量が移動している。また自然の水循環そのものが土地利用の変化等により歪んだものとなっている。自然回復という観点から、浸透促進施設についても述べたが、大阪の土壌圏の水の状態を考えれば、必ずしも浸透促進が効果抜群の手法であるとは言いきれない。また、低平地の多い大阪では流出形態の不利が加わって内水対策が重要な課題であり、貯水トンネル、遊水池のような貯留施設が不可欠であるが、この方面に関しても水環境特性の把握が必要であろう。更に環境保全型都市の形成に向かって、水の再利用だけでなく、下水熱の回収も十分活用しなくてはならないと思う。

(参考文献)

- 1) 村岡浩爾・瀬岡正彦: メッシュデータを用いた都市水文サイクルの定量化の試み、水文・水資源学会1991年研究発表会要旨集, 1991, pp.70-73.
- 2) 虫明功臣: 都市の水循環システム — 都市水文学のフレームワーク —、水文・水資源学会誌, Vol.2, No.1, 1989, pp.23-32.
- 3) 西村康之・瀬岡正彦・村岡浩爾: 神戸市域における水収支の算定、土木学会関西支部平成4年度年次学術講演会(投稿中).
- 4) 虫明功臣: 都市と水循環、環境情報科学, Vol.19, No.2, 1990, pp.28-34.

- 5) 三浦裕二・岩井茂雄：環境システム研究, Vol.17, 1989, p.70.
- 6) 三好伸浩・楠田哲也・井村秀文：都市における下水廃熱の利用性に関する研究、環境システム研究, Vol.18, 1990, pp.118-123.
- 7) 瀬岡正彦・村岡浩爾：都市域水循環に係わる物質・熱現象について ― 大阪市とその周辺を対象として ― 、土木学会関西支部平成4年度年次学術講演会(投稿中).

福井平野の地下水の現状と分析

近畿地方建設局企画部企画課

霜上 民生

地下水は、古来人々の日常生活に不可欠なものとして、各種の用水のため広範な利用がなされてきた。

地表水との比較における地下水の利点は、井戸等により容易に、かつ安価に利用できること、水質が良くしかも季節的に安定していること、地下水は法律的に「私水」とみなされていること等にある。また、地下水は目に見えない存在ではあるが、大地の構成要素の一つであり、しかもその涵養・流動の速度は極めて遅いという地表水とは違った特徴を有している。

しかし、地下水は、水の循環機構の上からも、また、社会・経済的な意味においても、河川水等地表水と相補うものであって、これらを総合的に管理して初めて実効ある地下水保全と地下水に係る障害の防止を図ることが可能となる。

ここでは、国土保全並びに水資源としての地下水の合理的利用に向けて、福井平野(ここでは坂井平野と武生盆地を併せて福井平野と称する)の地下水について現状を把握するとともにその分析を行った結果を報告する。

1. 地下水域の概要

1. 1 地域の概要

福井平野は福井県の北部に位置し、九頭竜川とその支川日野川に沿って発達する南北約40km、東西約10kmの平野である。土地利用のうえでは、平野の大部分は農業地帯であるが、そのほぼ中央を南北に縦断する北陸本線に沿って、北から福井市、鯖江市、武生市等の都市が連なっている。

九頭竜川は、岐阜県境の急峻な油坂峠に源を発し大野盆地を経て福井平野に流入する北陸地方有数の河川で、流域内の豊富な降水量のもとで豊か

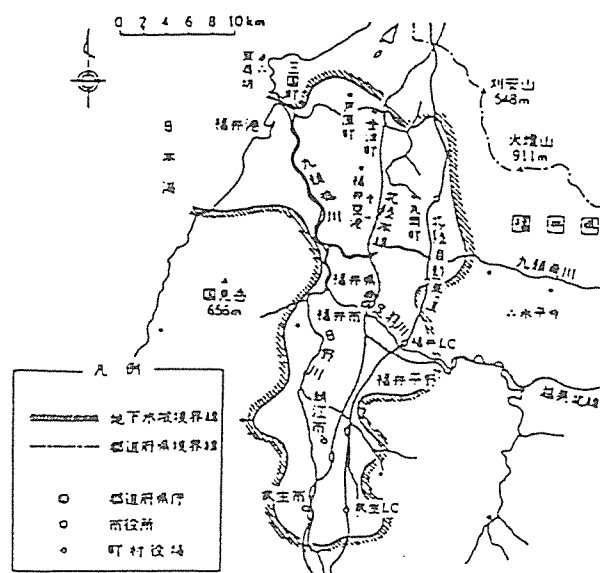


図-1 福井平野の概要と地下水域

な流量を誇る幹川流路延長116kmにも及ぶ一級河川である。また、その支川日野川は、三国ヶ岳の夜叉ヶ池にその源を発し、福井市内で足羽川等をあわせながら、九頭竜川本流に合流する幹川流路延長71.5kmである。

1. 2 地形・地質概要

福井平野はその周囲を、標高100~500mの山地

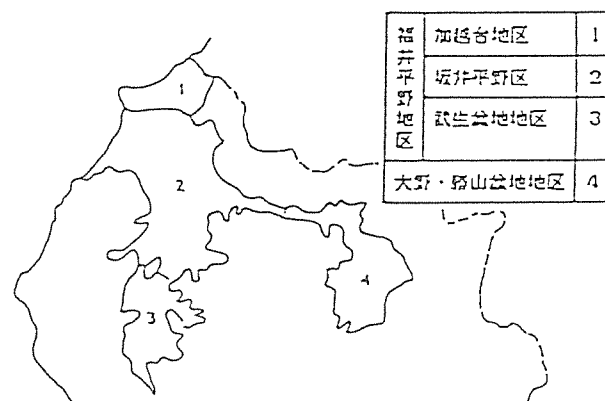


図-2 福井平野の地形分布

(西部は丹生山地、東部は越前中央山地)に囲まれており、平野内には足羽山、八幡山、丸山などの孤立丘が散在している。福井平野の地形は大局的には図-2に示すように、北の加越台地、南の武生盆地及び中央の坂井平野に区分されるが、加越台地は坂井平野との水理地質学的関係に乏しいため、ここでは検討の対象から除外している。

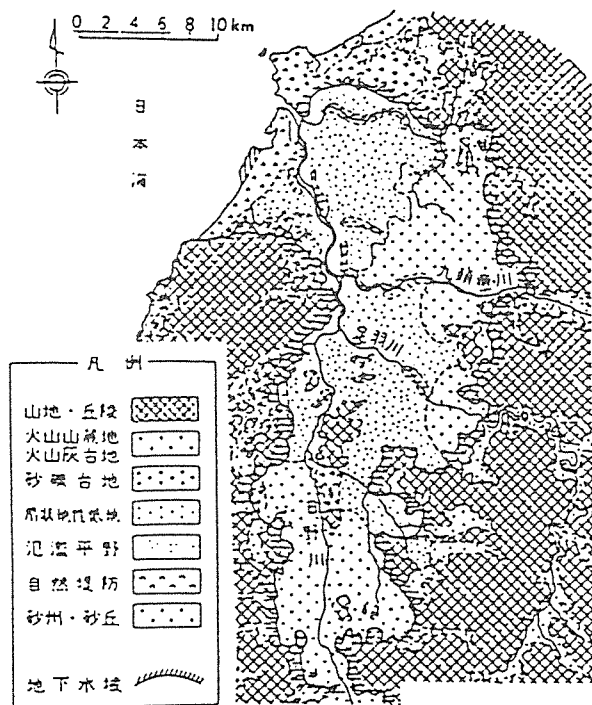


図-3 福井平野の地形分類
(「土地分類図・福井県」を簡略化)

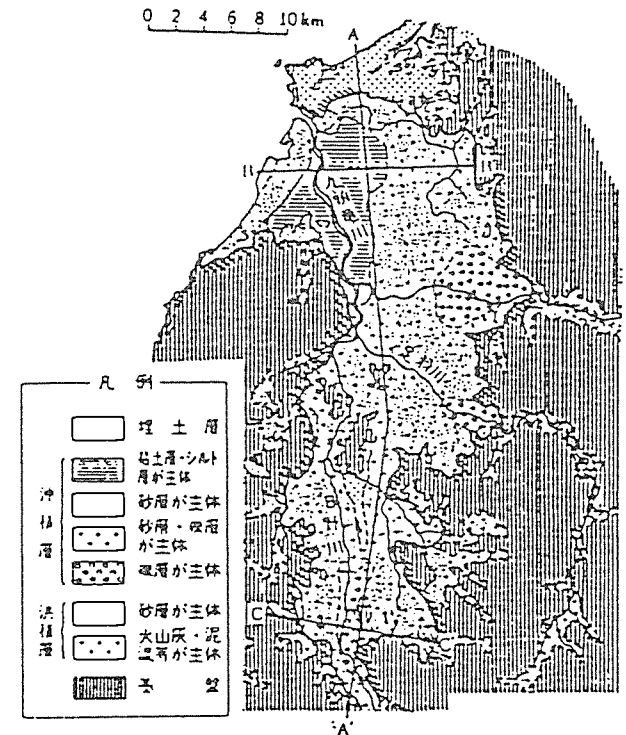


図-4 福井平野の地質概要
(「土地分類図・福井県」を簡略化)

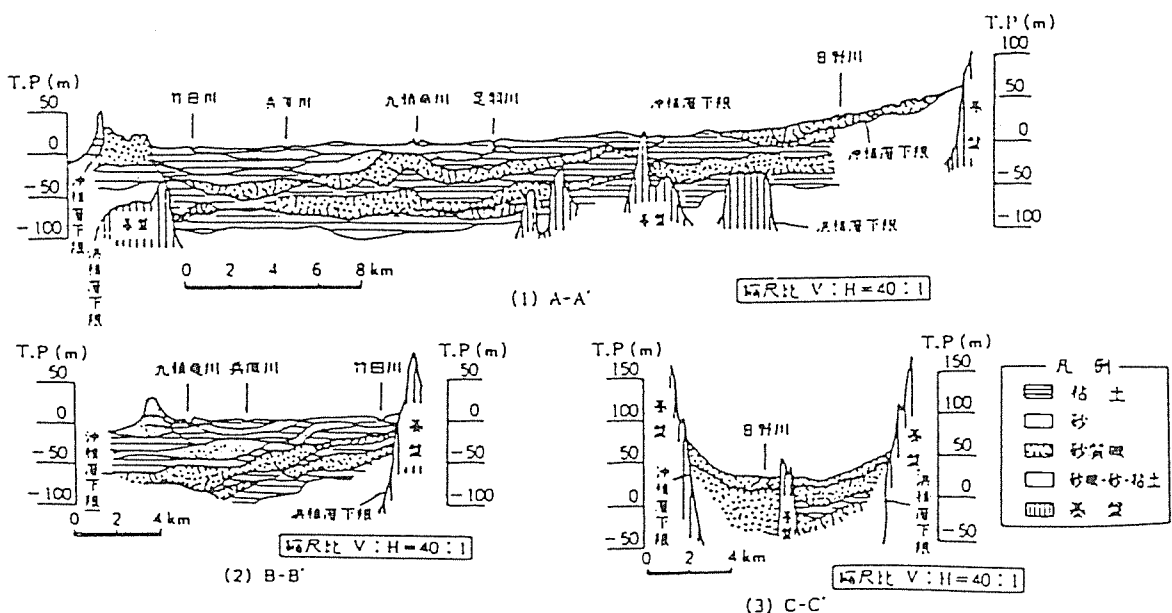


図-5 地質断面図

三里浜と称される海岸砂丘が平野を閉鎖するように海岸線に沿って発達しており、その最高部は標高30mにも達している。

次に地質的に見ると、坂井平野については、砂丘の背後に広がる沖積低地に軟弱な粘土層を主体とする厚い沖積層が発達している。平野下に伏在する洪積層は粘土層と砂・砂礫の互層で、全層厚は100m以上と考えられる。概して南部では礫質土が、北部では粘性土質が優勢のようである。また、武生盆地では、日野川の中～上流域であることを反映し、沖積層は礫質土が優勢であり、その層厚は10m～20m程度である。また、洪積層も概

ね礫質土によって構成され、坂井平野下の砂礫層に連続しているものと考えられる。

1. 3 水理地質構造

既往資料によれば、福井平野の地質構成とその水理地質学的な特徴は表-1に示したとおりである。

(1) 沖積層

坂井平野の沖積層は粘性土を主体としており、良質な帯水層は存在しないが、竹田川、九頭竜川、足羽川が坂井平野に流入する地域では、貧弱ではあるが扇状地性の砂礫層が分布しており、比較的良好な不圧水が存在している。

表-1 福井平野の地質構成とその水理地質学的特徴

時代	区分記号	坂井平野区			鯖江・武生盆地		
		地質	水理定数等	地質	水理定数等		
沖積統	Ad	(三里浜)砂丘砂 (30~40)	新砂丘: N=10~25 旧砂丘: N=35~55				
	AC ₁	粘土・シルト (25~30)	粘土: N=0~3	粘土 (0~100)			
	AS	砂 (5~15)	砂: N=20~40 砂礫: N=≥45				
	AC ₂	粘土・シルト・砂質粘土 (10~45)	粘土: N=0~10				
洪積統	DG ₁	砂礫・砂 (5~35)	K=1×10 ⁻¹ ~9×10 ⁻² SY=100~300	砂礫・粘土混り砂礫 (5~25)	K=n×10 ⁻¹ ~10 ⁻¹ N=35~40 Ω=350~400		
	DC ₁	粘土 (5~25)		粘土・礫混り粘土 (5~35)	N=15~25		
	DG ₂	砂礫(粘土をはさむ) (5~35)	SY=100~300	砂礫・砂・粘土混り砂礫 (10~35)	K=n×10 ⁻² ~10 ⁻⁴ N≥50 Ω=200~250		
	DC ₂	粘土・礫混り粘土 (2~20)		粘土・粘土混り砂 (10~25)	Ω=100~150		
	D~T	砂・礫・粘土 (20+)		砂礫・粘土互層 (40+)	Ω=100~200		
第三系	Tu Tm Tv	各種・凹凸に富む		各種・凹凸に富む			

注: (): 層厚(m), K: 透水係数(m/秒), SY: 比湧出量(m³/日/m)

Ω: 比抵抗値(Ω-m), N: 標準貫入試験値

○: 不圧帯水層, ○: 帯水能のよい不圧帯水層, ◎: 被圧帯水層

◎: 帯水能のよい被圧帯水層, ×: 無圧層

引用: 「福井県の水理地質と地下水」昭和52年3月, 地陸農政局計画部

武生盆地では、礫質土が優勢であり良質な帯水層を形成している。地下水の賦存状態からみると、武生市域は扇状地の性格が強く不圧水として存在しているが、鯖江市域では表層部に粘性土層が分布する地域があり、そこでは被圧状態となっている。

(2) 洪積層

坂井平野では、粘土と砂・砂礫の互層で全層厚は100m以上と考えられる。概して南部では礫質土層が、北部では粘性土層が優勢のようである。顕著な砂礫層としてはDg 1、Dg 2の2層が確認されているが、更に下位に数層の帯水層も存在する。Dg 1層の連続性は極めて良好である。ただし、地下水利用の対象としては、扇状周辺部を除くと、Dg 2層に比較して少ないようである。Dg 2層は地下水の賦存状態が良好で主要な採水層となっている。

武生盆地の洪積層は概ね礫質土によって構成され、良質な帯水層となっている。ただし、層相が類似しているため、沖積層との区分、あるいはDg 1層とDg 2層の区分は明確ではなく、全体として不圧水に近い性状の地下水を賦存するものと考えられる。

1. 4 気象・水文特性

福井平野の気象は、日本海型に属しており、その降水量は、梅雨期及び台風期のピークの外に、

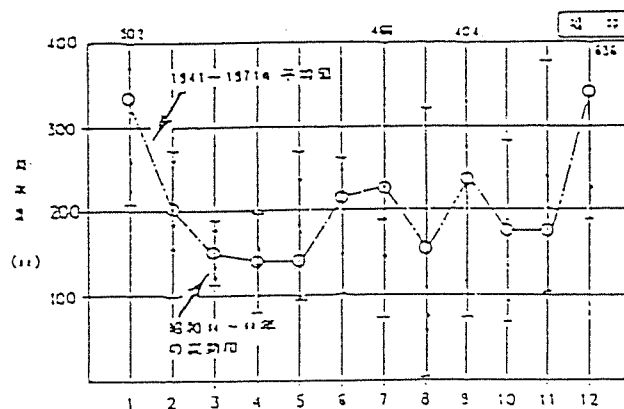


図-6 最近の降水量の実態(昭和54～60)

冬季の降雪による最も高いピークが存在することが特徴である。(図-6 参照)

2. 地下水性状

2. 1 地下水位

(1) 地下水観測

福井平野に賦存する地下水は浅層不圧地下水と、深層被圧地下水とに分けることができる。

図-7、図-8に代表的な観測所における地下水位の経年的な変化を示した。これらによれば次のような特徴を読みとることができる。

- ・浅層不圧地下水位(As層、Ag層)の年間変動量は1～2mとあまり大きくない。一般に不圧地下水は夏期に高く冬期に低い傾向があるが、本地域においてはそのような傾向はとく

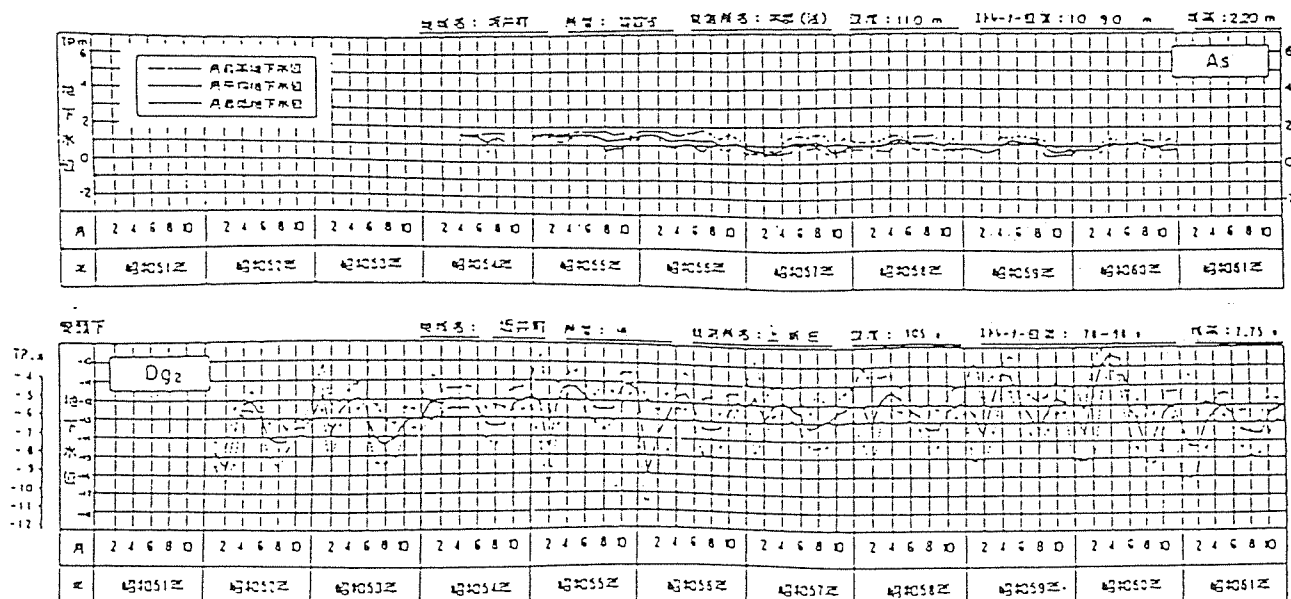


図-7 地下水の経時変化

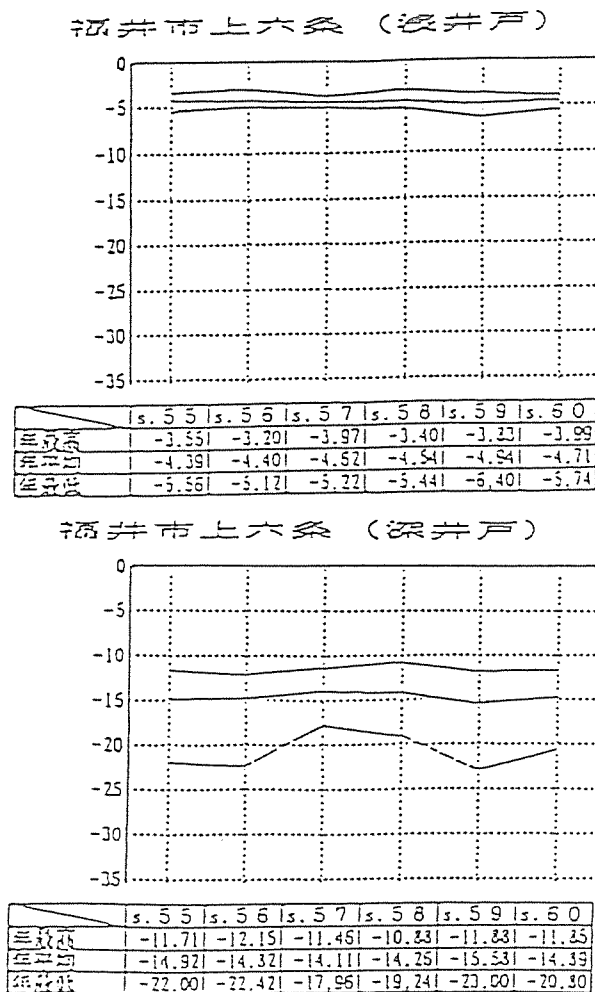


図-8 年平均地下水位経年変化

に見受けられない。

- ・深層地下水位(Dg 1 層、Dg 2 層～D-T層)の年間変動量は平均的には5 m程度、最大10 m程度であり、浅層地下水に比較して年間変動量は大きい。さらに変動の状況は春、秋に地下水位が高く、夏、冬には逆に低くなっており、特に冬期は極端に低くなっている。これは夏期の冷房用水あるいは生活用水の需要増加と冬期の消雪用水が関係しているものと考えられる。
- ・昭和55年～60年の経年変化(年平均地下水位)を見ると地下水位はほぼ横ばいである。

(2)地下水頭の平面的分布

地下水頭の平面的な分布を把握する方法としては、一斉水位観測あるいは観測井の同日時の記録より推定する方法がある。

既往資料を収集したところ、福井平野では、一

斉水位観測が9回実施されていた。なお、これらは福井市街地付近を中心としたものであり、すべてDg 2 層～D-T層に相当する地下水位の記録であった。そのうち代表的なものを図-9に示した。

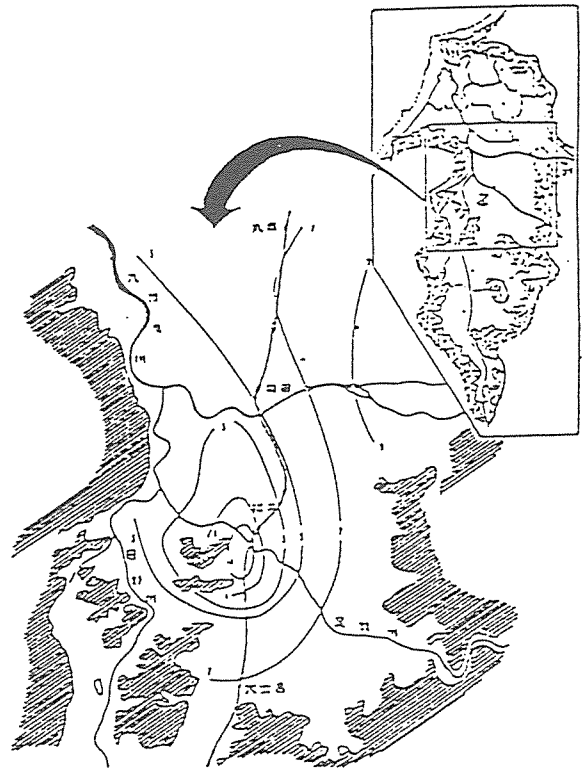


図-9 地下水位分布(1) (T.Pm)
(一斉測水結果：昭和37年)
(出典：福井県水理(地下水)地質図及び説明書)

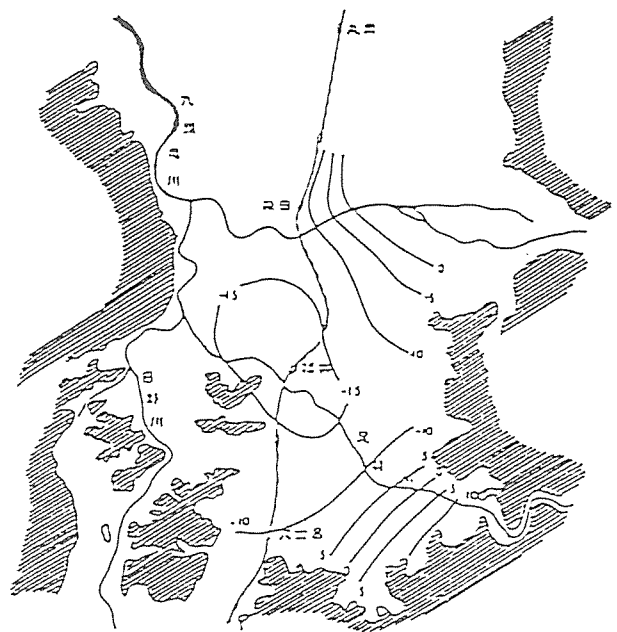


図-9 地下水位分布(2) (T.Pm)
(一斉測水結果：昭和61年2月)
建設省調査資料より

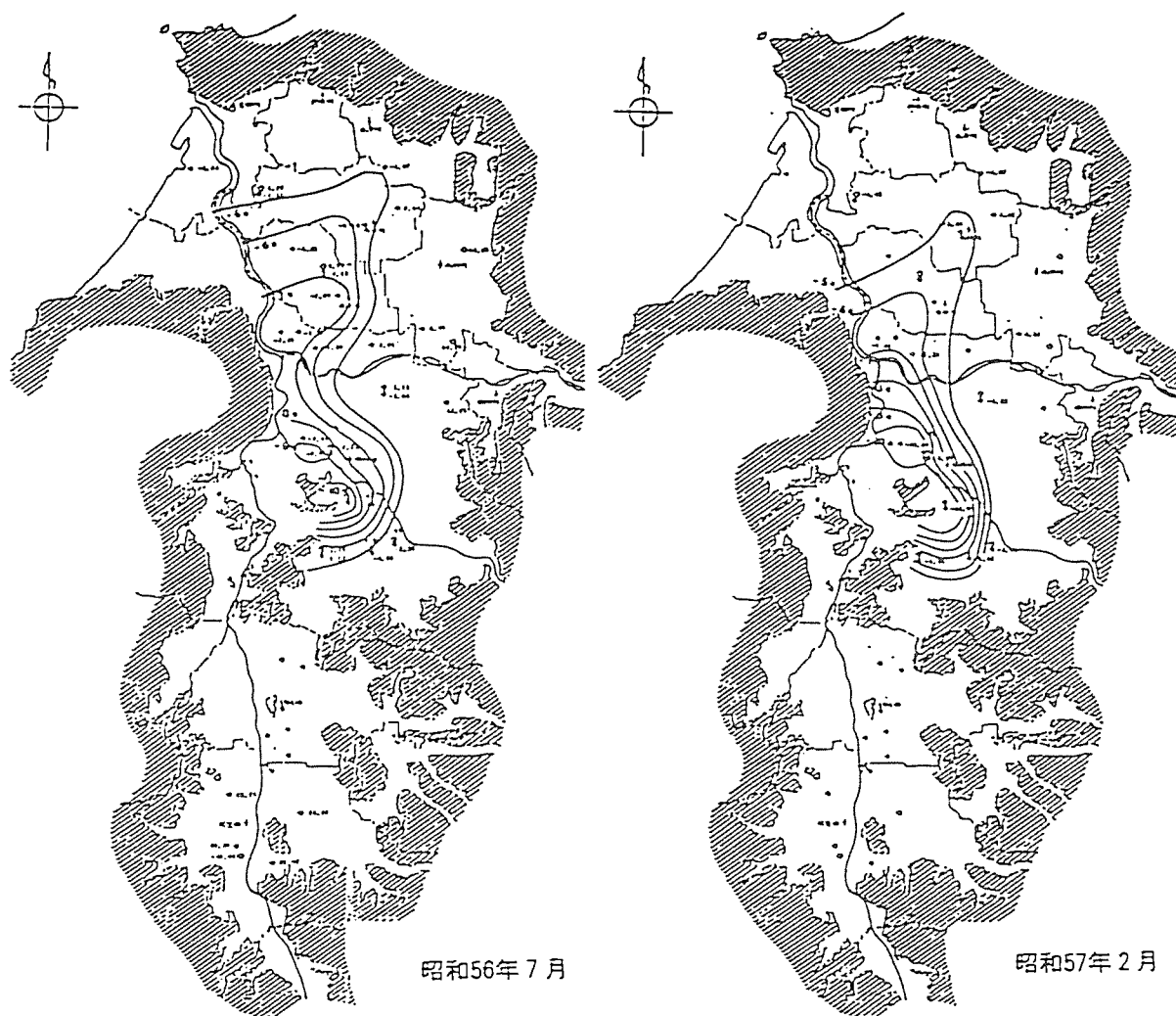


図-10 地下水位分布 (帯水層 : Dg2, DT)

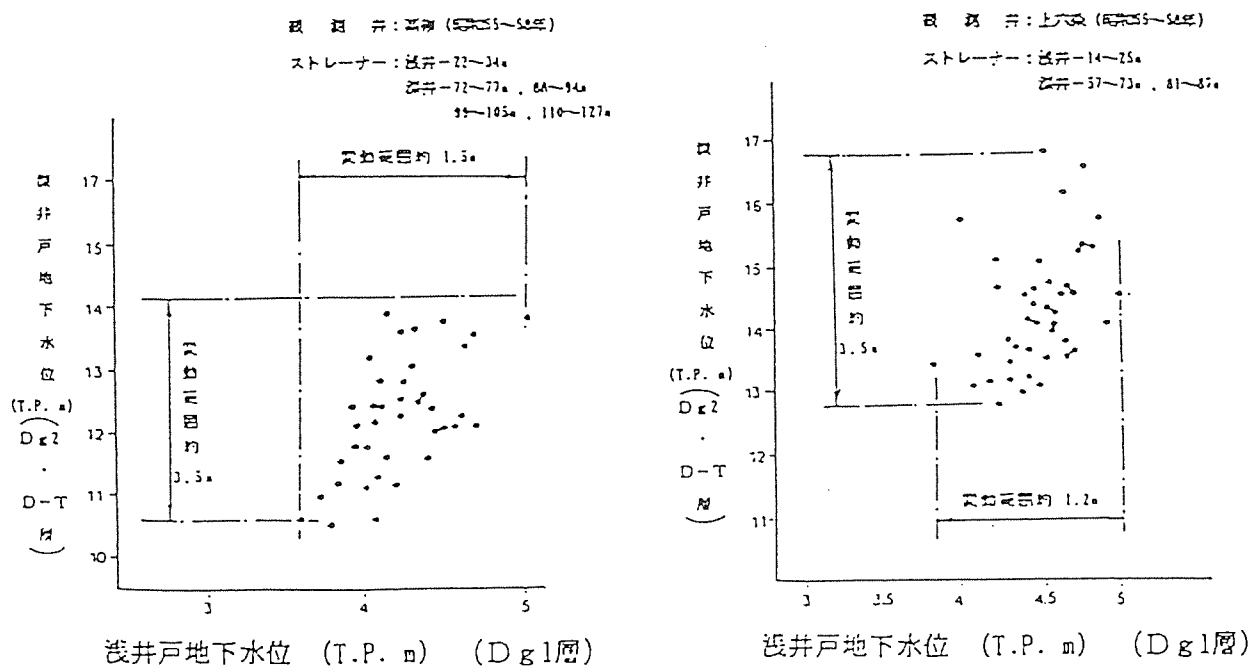


図-11 浅層地下水位井と深層地下水位との関係

これによると、昭和37年当時、既に足羽山山麓を中心に-1 m (T.P.)の水頭低下の「目玉」が発生しているが、九頭竜川右岸では、広範囲な自噴帯が分布している。

一方、図-10は各地下水位観測所の記録から推定した昭和56年7月及び昭和57年2月の平均地下水位等高線図である。これらの図をみると、福井市街地を中心として同心円状の水頭分布が特徴的である。

(3) 帯水層間の地下水位の関係

洪積層における主な帯水層であるDg 1層とDg 2層の地下水位の関係を2ヶ所の地下水位観測所について調べた結果が図-11である。Dg 1層の地下水位とDg 2層の地下水位は、この図をみる限りにおいては、明瞭な関係は認められないようである。

また、沖積層の地下水位と洪積層のDg 1層の地下水位についても、図-7をみるかぎりにおいては明瞭な関係はないものと考えられる。

(4) 地下水と河川水との関係

坂井平野における河川水位と地下水位の経年変化を河川近傍の観測所を抽出して調べてみた結果

が図-12である。この図からは、大略次のようなことが言えそうである。

- ・ 深層被地下水位と河川水位との間には明瞭な関係は認められない。
- ・ 浅層不圧地下水位と河川水位との間には、若干の関係が認められる。

2. 2 地下水質

(1) 地下水質の経年変化

代表的な水源井の地下水質の経年変化を示したものが図-13である。これらによると坂井町の第6簡水の塩素濃度及び硬度の増加が大きくなっている。この傾向はこの地に三国町の浜西郷水源井においても見られ、その結果昭和54年から水源として使用していない。塩分濃度の高い地域は海岸から比較的近い距離にあり、地下水の塩水化現象と考えられる。なお、他の水源では鯖江市にある水源井に見られるように、地下水質に経年的に大きな変化は見られない。

(2) 地下水質の季節変化

地域別、地層別に、昭和60年のpH、Cl、NO₂-N、NO₃-N、T-N、硬度、アルカリ度について季節的变化を見たものが図-14である。これを

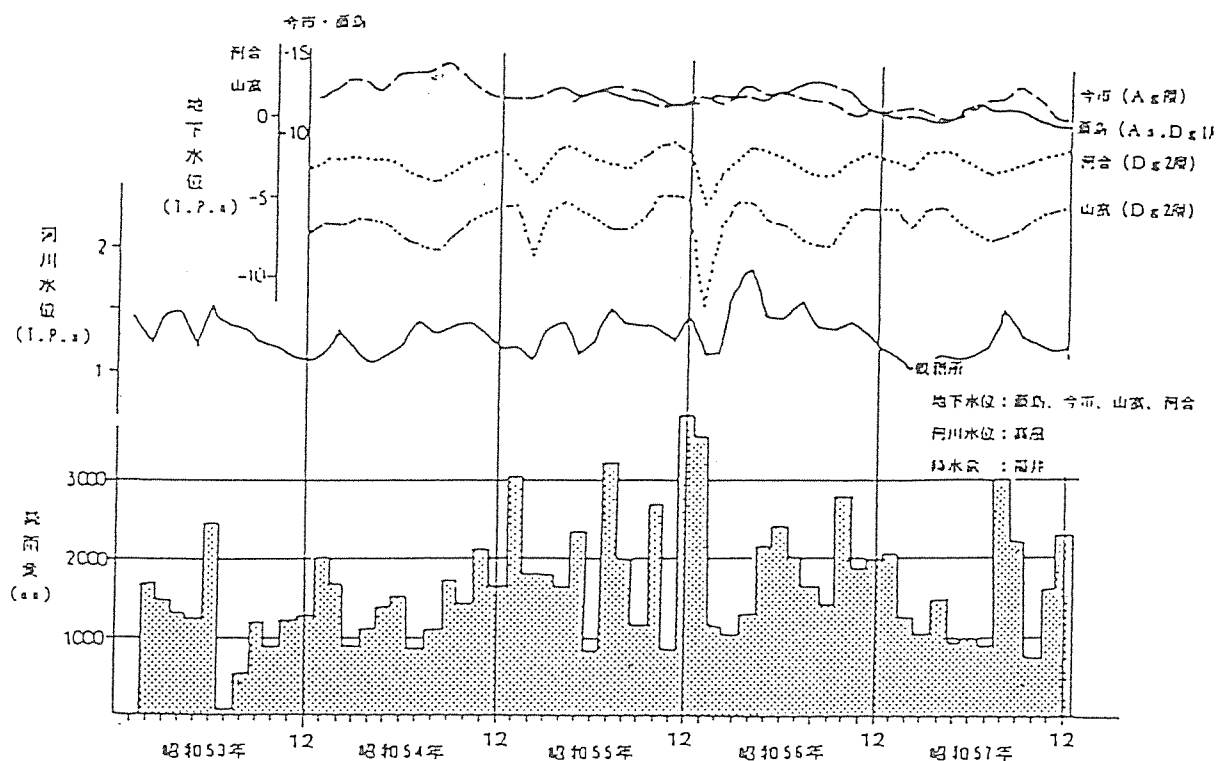


図-12 河川水位・地下水位・降雨量との関係

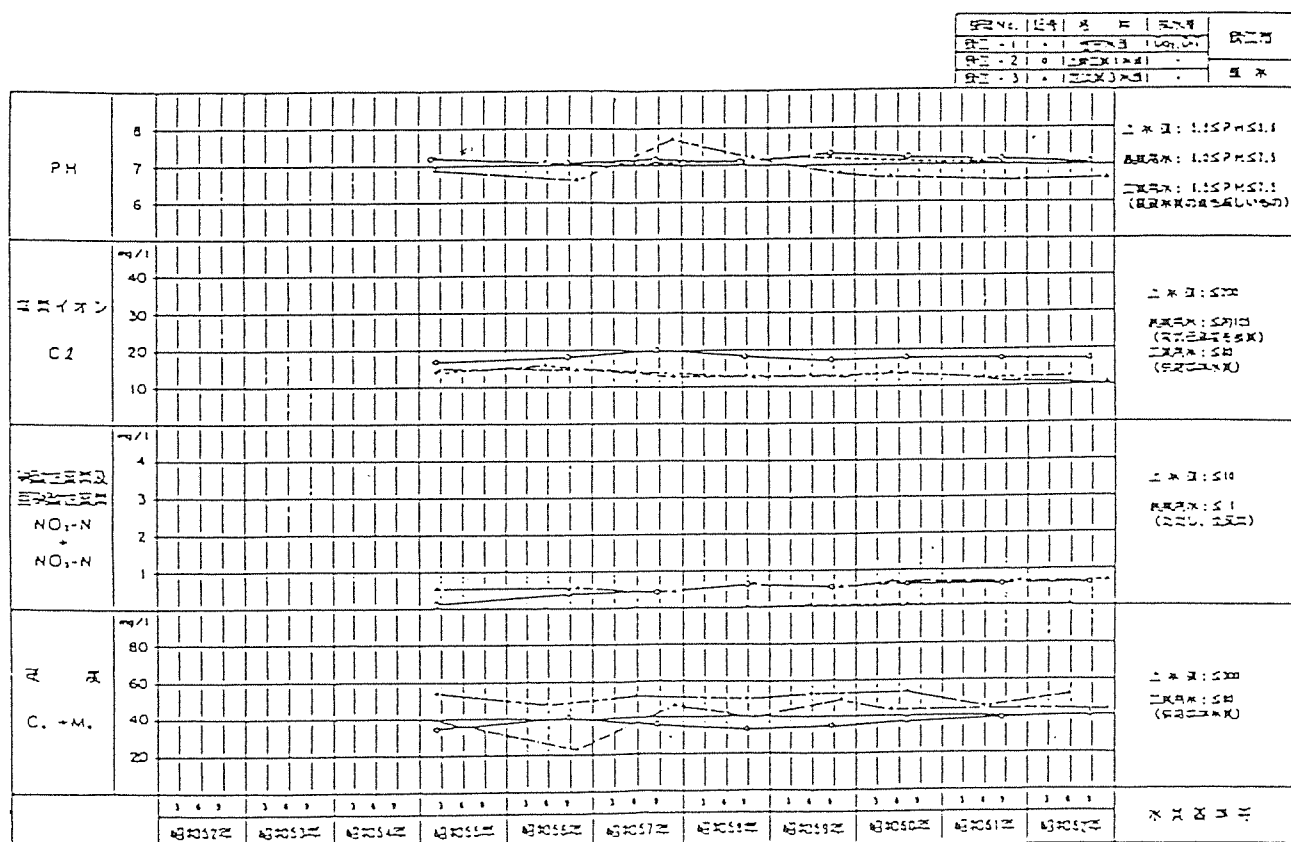
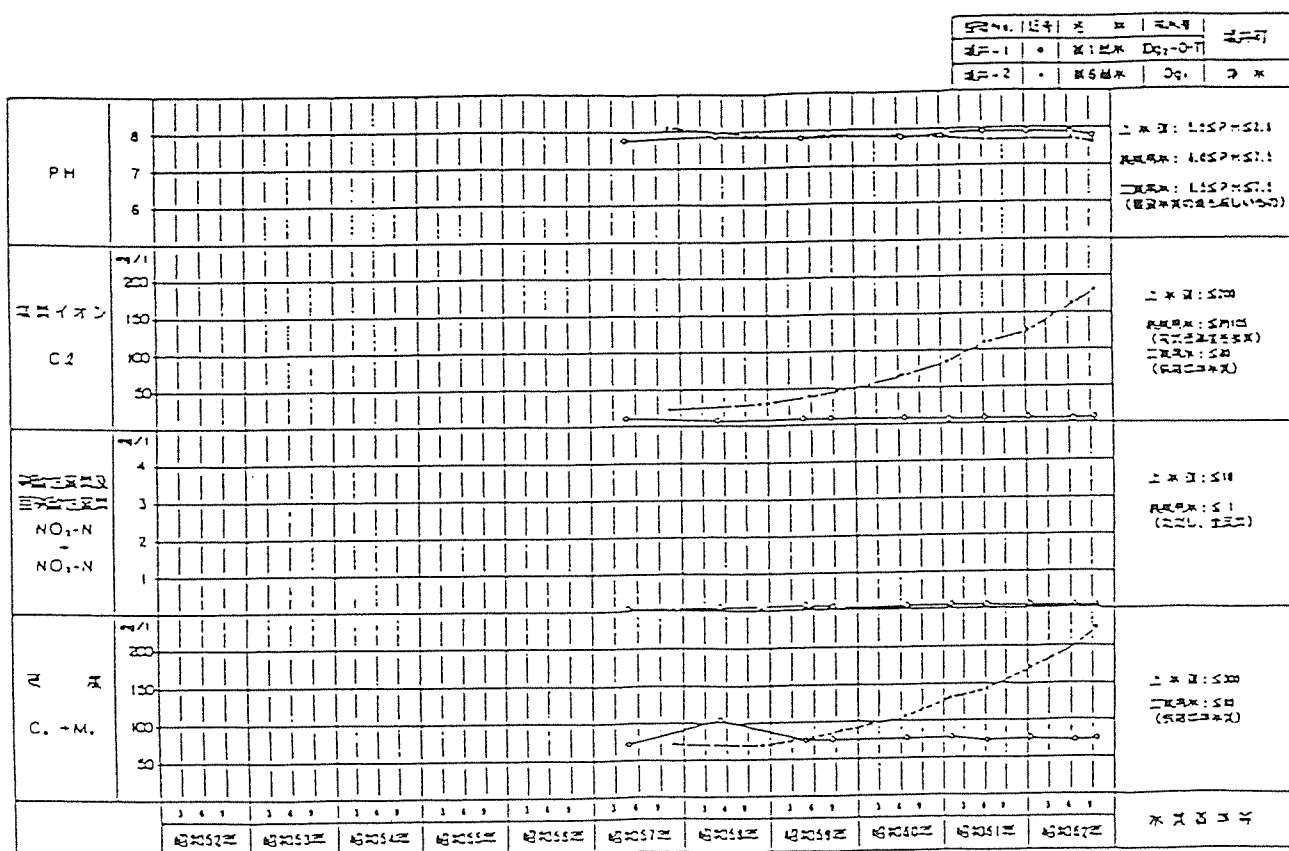


図-13 地下水質の経時変化

地下水水質年表 (琵琶湖河川局、昭和60年)

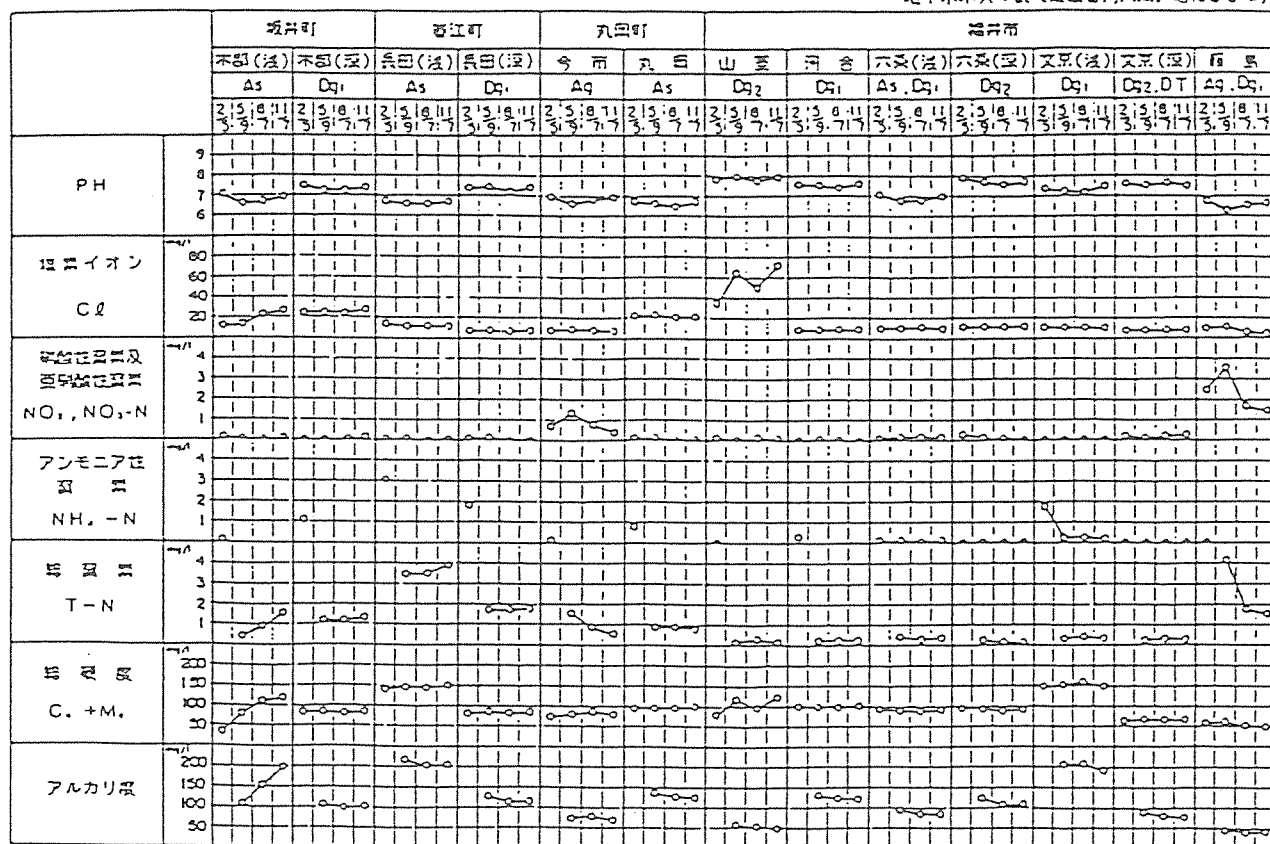


図-14 地下水質の季節変化

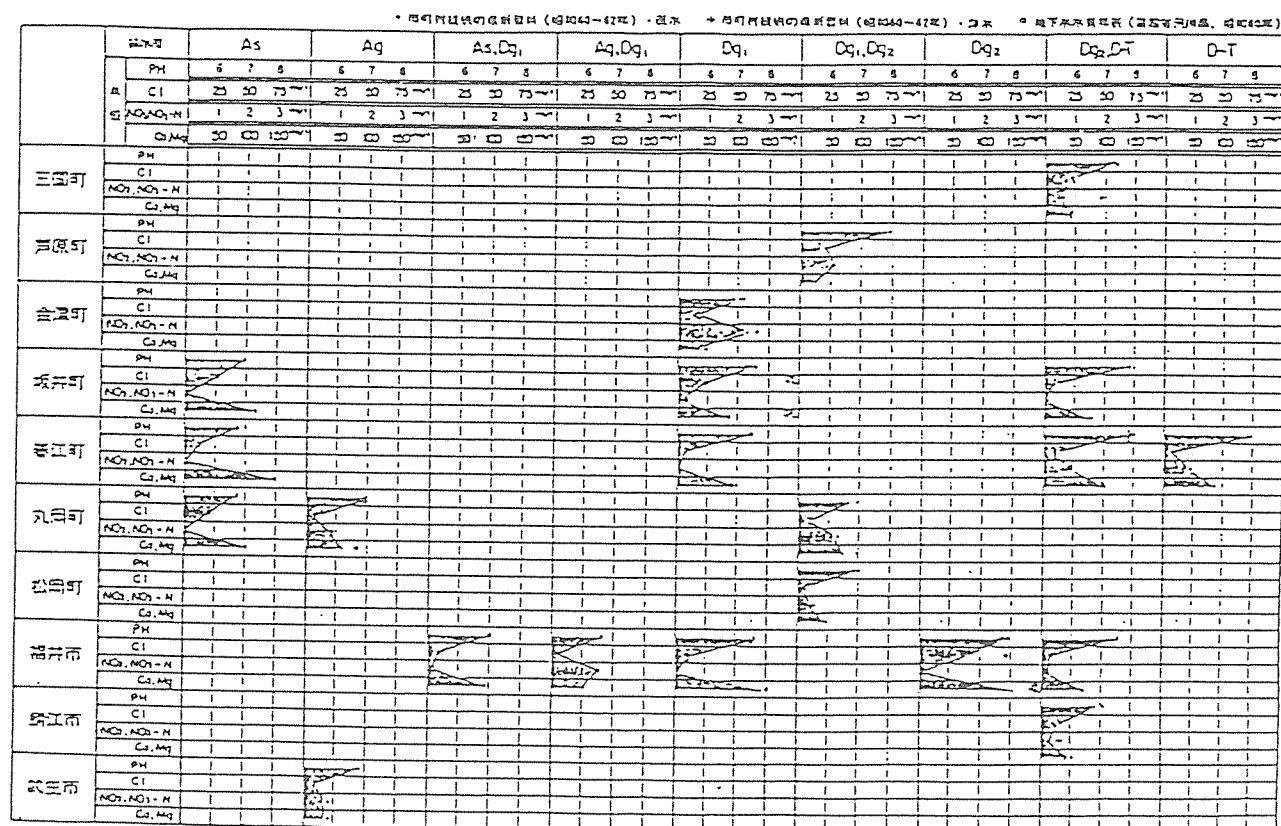


図-15 地域別地下水質分布

見るかぎり、季節的な変化が認められるものは、福井市山室のCl、福井市藤島のT-Nであり、他は特に季節的に大きく変化するようではない。

(3)地域別、地層別の地下水質

図-15は、市町別、帯水層(採取層)別に、pH、Cl、NO₂-N、NO₃-N及びCa+Mgについてとりまとめたものである。図示のとおり、地域別及び地層別についても、大きな差はないようである。(図の中では類似の形式)

3. 地下水利用

当地域は従来から豊富な地下水に恵まれており、生活用水や工業用水の水源として利用されている。地下水揚水量は、表-2に示されるように、生活用水約5,800万m³/年、工業用水約7,000万m³/年となっており、これを経年的に示したものが図-16である。これによると、生活用水はほぼ横ばい状態であるが、工業用水は減少傾向となっている。地下水への依存率は、低い地域である鯖江市で約50

%であるが、ほかはおおむね70%以上となっており、全体で約74%と非常にその依存率が高い。また、当地域は生活用水、工業用水のみならず、最近では消雪用水としての利用も飛躍的に増大しており、量的に言えば当地域の年間全体地下水量の約2%を占めるに過ぎないが、短期間に利用されることから地下水位への影響が大きいと思われる。

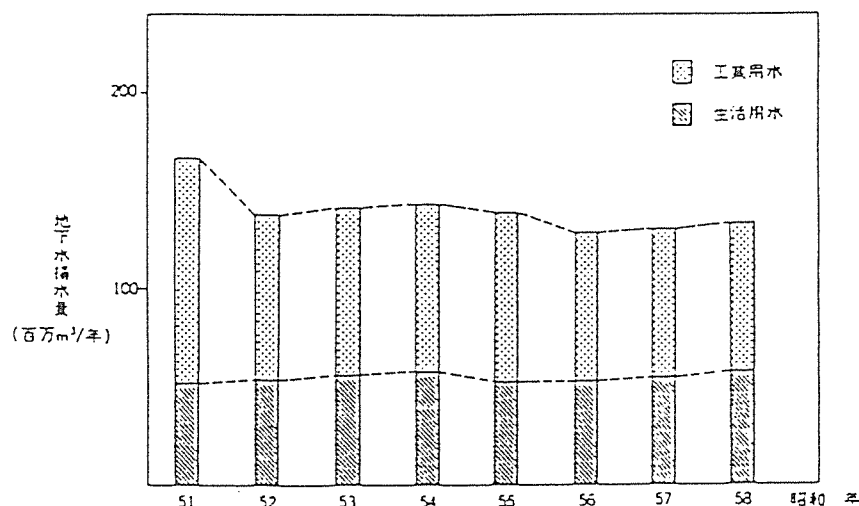


図-16 地下水揚量の経年変化

出典：工業用水・工業統計調査報告書(福井県)

：生活用水・水道統計(厚生省)

表-2 地下水利用状況

(昭和58年現在)

市町村	生活用水			工業用水			合 計		
	全取水量 (万m ³ /年)	地下水取水量 (万m ³ /年)	依存率 (%)	全取水量 (万m ³ /年)	地下水取水量 (万m ³ /年)	依存率 (%)	全取水量 (万m ³ /年)	地下水取水量 (万m ³ /年)	依存率 (%)
福井市	3,932	3,019	76.8	4,711	3,351	71.1	8,643	6,070	73.7
鯖江市	941	737	78.3	2,132	771	36.2	3,073	1,508	49.1
武生市	845	845	100.0	1,582	1,199	75.8	2,427	2,044	84.2
春江町	231	231	100.0	540	529	98.0	771	760	98.6
坂井町	—	—	—	137	129	93.8	137	129	94.2
丸岡町	323	323	100.0	558	522	93.5	881	845	95.9
三国町	336	336	100.0	89	29	32.9	425	365	85.9
芦原町	221	221	100.0	1	0.5	40.0	222	221.5	99.8
金津町	126	126	100.0	745	475	63.7	871	601	69.0
合 計	6,955	5,838	83.9	10,495	7,005.5	66.8	17,450	12,843.5	73.6

4. 地下水障害

4. 1 地盤沈下

昭和49年度の国の環境白書の中で福井平野が地盤沈下の一地域に指摘されて問題が表面化した。これは、水準測量の結果に基づくものである。現在、福井平野の水準測量は、福井県及び国土地理院で実施されている。

福井県は、この地盤沈下指摘の事態を重視し、地盤沈下の防止について早急に対応するため、昭和50年10月に「福井平野地盤沈下対策要綱」を制定した。なお、この要綱で地盤沈下の著しい福井市南部地域(約15km²)を地盤沈下対象地域に指定し、地下水採取量の報告の徹底、地下水の新規採取の抑制や水利用の節水合理化推進などの行政指導を実施してきた。また、福井県及び福井市においては、地盤沈下観測体制を強化することを目的として、表-3に示す地盤沈下観測所を設置している。

(1) 水準測量による地盤変動量

図-17に最近の10ヶ年間の水準測量結果を示した。さらに図-18に福井市を縦貫する一等水準点の観測年別沈下量を過去にさかのぼって示した。

これらの観測結果によれば福井市内の地盤沈下は昭和36年頃から大きく現れてきたが(水準点番号906:福井市下荒井)、昭和50年以降は大きな沈下傾向は示していないようである。しかし、沈下は継続的に続いている地域もある。

これらによれば地域毎の沈下量の大きさは概念的に

芦原町>福井市街南部>福井市街北部

>坂井町>春江町>三国町

となっているようであり、福井市の東南部、鯖江市、丸岡町などはほとんど沈下は生じていない。これらの地域は軟弱な粘性土層の層厚が薄いとこ

表-3 地盤沈下観測所

観測所名	所在地	井戸 深さ	観測項目		所在地
			地盤 沈下	地下 水位	
1 木田観測所 (昭51.4.28)	福井市木田1丁目1360 明倫中学校校庭	23 m	○	○	県市
		130 m	○	○	
2 下荒井観測所 (昭51.5.1)	福井市下荒井町 八幡神社境内	25 m	×	○	県市
		51 m	○	○	
3 香山観測所 (昭59.4.1)	福井市文京3丁目13-1 香山小学校校庭	43 m	○	○	市
		150 m	○	○	

(注) ()内は観測開始日

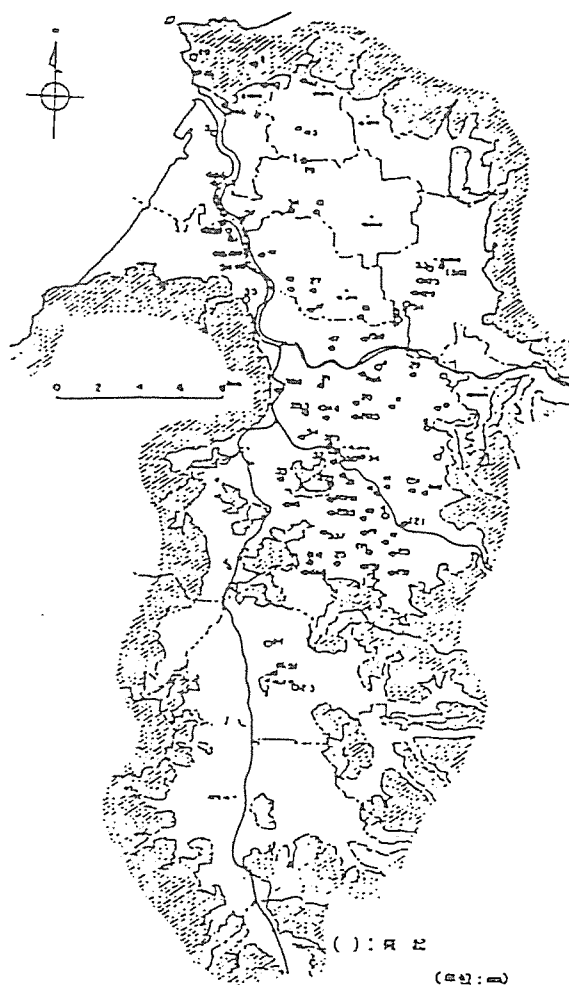
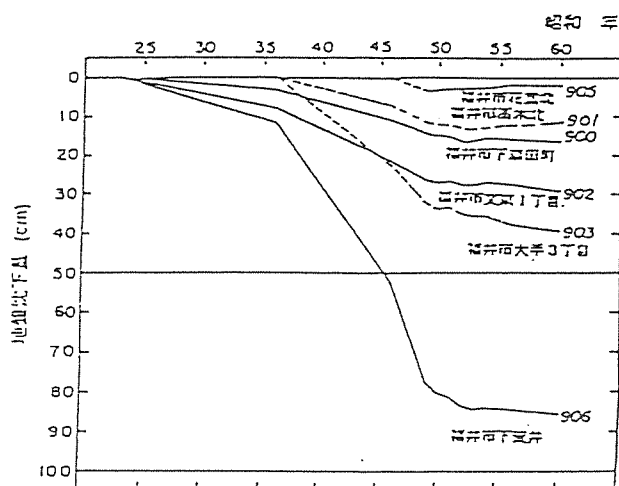


図-17 地盤沈下量(昭和51~60年)

図-18 水準測量成果に基づく地盤沈下の動向
(環境白書(福井県)をもとに作成)

ろや、分布していないところでもある。

年間1 cm以上の沈下が記録された地点数は昭和52年をピークとし、その後は非常に少なくなっている。これは規制の効果が現れているものと考え

られる。しかし、昭和51年より継続的に沈下を生じている地点もあり、これらの地点では今後の沈下の動向について注意すべきと思われる。

(2)地盤沈下観測所の記録

地盤沈下観測所の記録は水準測量結果と違い、経時的・地層別にその変化を把握することができることから地盤沈下のメカニズムを解明するのに有効な資料となる。

表-3に示す観測所の記録を図-19に示す。木田28m井の水位はDg 1層の水位、沈下量はDg 1層以浅、すなわち沖積層(主として粘性土層)の収縮量を表す。木田130m井は基盤岩まで達しており、水位はDg 2層〜D-T層の水位を、収縮量は木田における沖積層と洪積層の収縮量の総計を表

すことになる。

図-19から観測地点の地下水位と地盤沈下の特徴について次のようなことがいえる。

地下水位の記録は年2回の周期をもっており、水位低下期は概ね、

夏期…6月～8月

冬期…12月～2月

となっている。一方、地盤沈下も概ね同様な周期及び期間をもっている。地下水位低下の原因としては、前者はビル冷房用・生活用としての利用増によるもの、後者は消雪用水によるものと考えられる。

地下水低下量については、各観測所及び期間によって異なるが、夏期については各観測所とも経

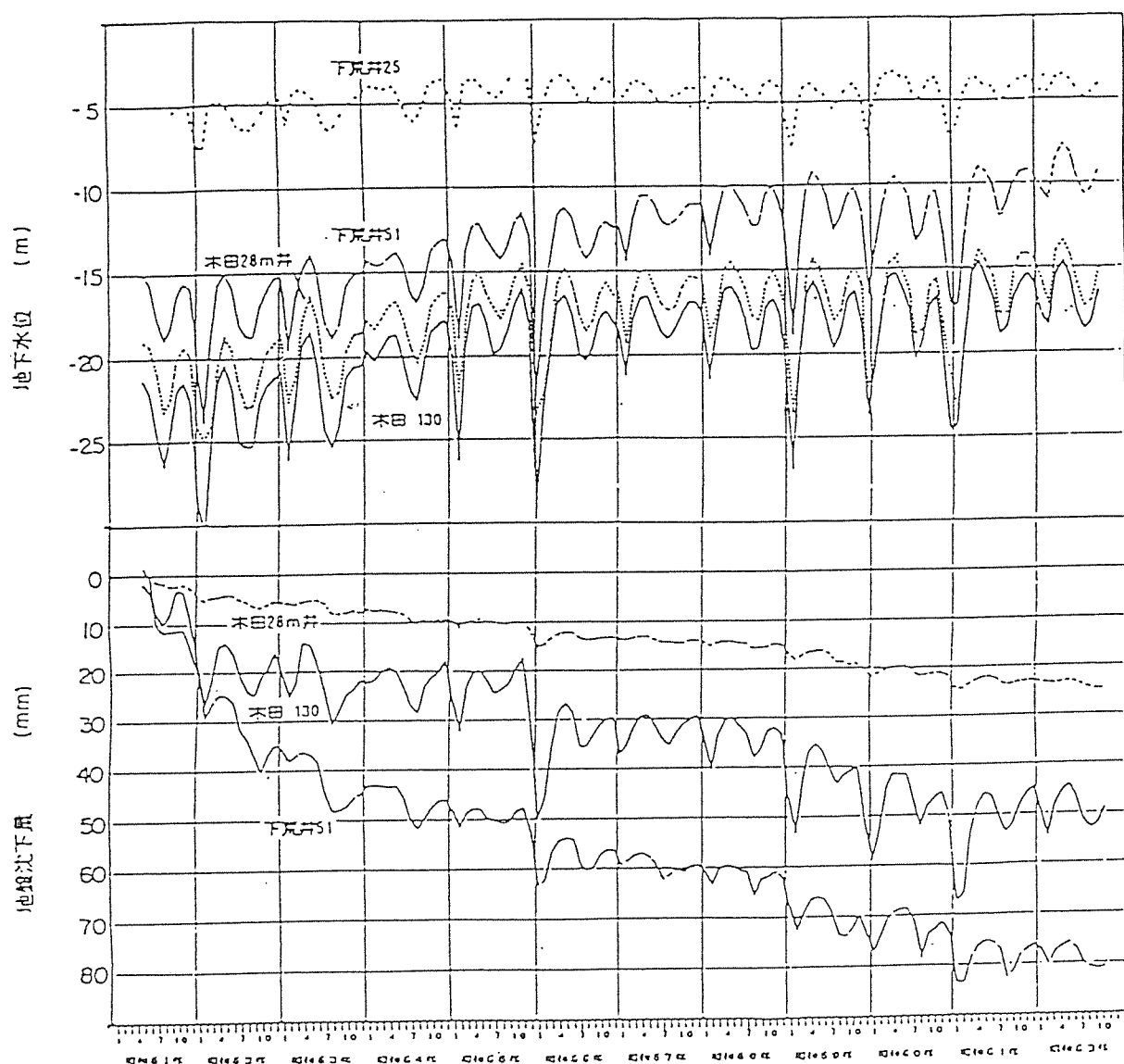


図-19 福井市の地盤沈下と地下水位の関係

年的に大きな差はなく3～5 m程度、冬期については気象条件(特に降雪量)に大きく影響されて年毎に異なり、最大は15 m、最小で3 m程度である。

沈下傾向については、木田28 m井と130 m井とは大きく異なる。28 m井では年間の沈下量は小さいが、毎年のように約1～2 mm程度沈下傾向が認められる。一方、130 m井は地下水位の変化と同様な季節的な大きな変化がある。冬期の変化に着目すると、変化の傾向は年毎に異なり、沈下が回復している年や完全には回復していない年がみられる。これに対して、夏期の地盤沈下は、夏が過ぎれば沈下が回復している年が多い。このことから、夏期における地下水位低下量は許容地下水位低下量の範囲にあることが概ね推察される。言い換えれば木田130 m井(洪積層+沖積層)では夏期における沈下は弾性的なものであり、冬期の沈下は、ある水準の地下水位(=許容地下水位)以下に低下した場合、塑性的な沈下(非可逆的な変形)となり年間沈下量として現れているようである。

4. 2 地下水塩水化

前述のとおり、海岸から比較的近い距離にある地点では、塩素イオン濃度が上昇傾向を示しており、福井平野の地下水障害としては、地盤沈下のみならず、地下水の塩水化を生じているものと考えられる。

5. 地下水利用と地下水障害の関連性

5. 1 地下水障害と地盤沈下の関係

(1) 地下水位と地盤沈下の関係

図-19に示された地盤沈下及び地下水位の観測結果を見ると、地下水位は季節的な変動が大きく、特に冬期の地下水位低下が著しいが、経年的にみると地下水位は徐々に上昇している。一方、地盤沈下についてみると、季節的な変動は地下水位と類似した傾向となっているが、経年的にみると、徐々に沈下が進行している。すなわち、地下水位の変化のパターンと地盤沈下のパターンが極めて類似していることから、現状の地盤沈下の推移も地下水位に深く関わっているのは間違いないところであると推測される。

木田観測所では、

28 m井—地下水位：Dg 1層の水位

—沈下量：Dg 1層よりの上記の収縮量

130 m井—地下水位：Dg 2～D-T層の水位

—沈下量：D-T層より上記の収縮量

を対象として各々の測定を行っている。すなわち、130 m井については、沈下量は沖積層と洪積層の合計沈下量になり、28 m井の沈下量は沖積層の沈下量を表すことになる。従って、洪積層の沈下量は次のようにして求められる。

$$\text{洪積層の沈下量} = (\text{130 m井の沈下量}) - (\text{28 m井の沈下量})$$

図-20は、沖積層における地下水位変動量と残留沈下量との関係を、図-21は洪積層における地下水位変動量と残留沈下量との関係を示したものである。

図-20、図-21をみると、冬期と夏期では異なるものの、残留沈下量と地下水位変動量の相関性は高く、地下水位低下量がある程度を超えると沈下が残留し、地盤沈下として累積していくことが理解できる。そして、その限度となる地下水位低下量を許容地下水位低下量と考えることができる。

なお、冬期と夏期の差は時間効果を反映したもので、冬期における短期的かつ大きな地下水位低下量と、夏期における相対的に長期的かつ小さな地下水位低下量がほぼ同等の効果(地盤沈下の原

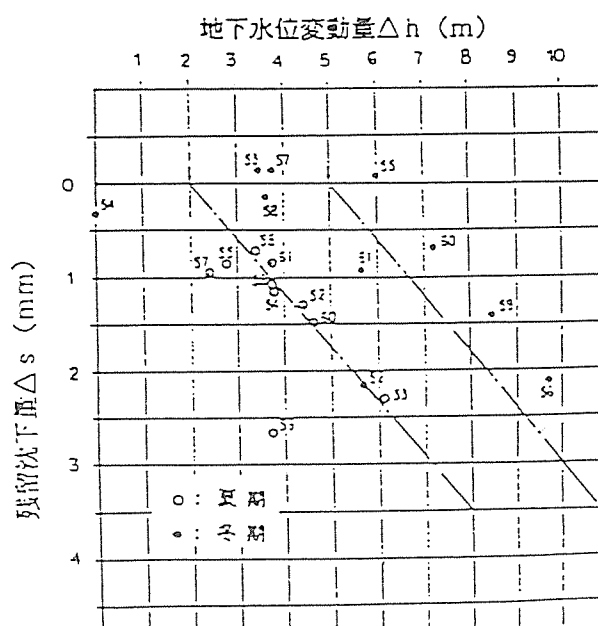


図-20 沖積層の残留沈下量と地下水位変動量との関係

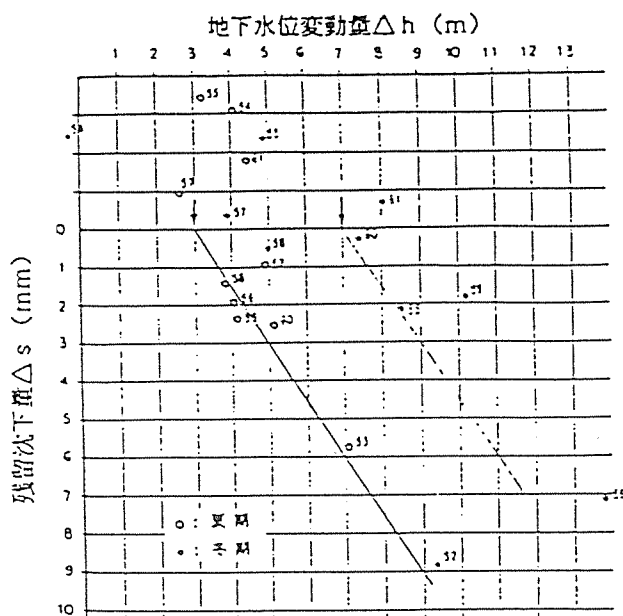


図-21 洪積層の残留沈下量と地下水位変動量との関係

因として)を発揮していることを示しているといえる。

以上から、福井市を中心とする現状の地盤沈下は、冬期および夏期の地下水位低下量に強く支配されていると推察される。

(2)降雪量と地盤沈下量の関係

降雪量と地盤沈下量との間に直接的な因果関係はないが、降雪量に応じて消雪用水としての地下水利用量が増すと、当然のことながら地下水位は低下することになるから、降雪量との相関性も考えることができる。これを裏付けるものが図-22で、降雪量と残留沈下量の関係には比較的良好な

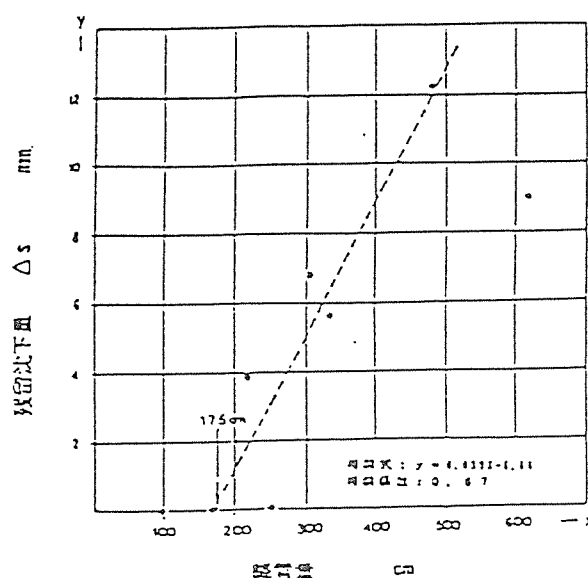


図-22 降雨量と残留沈下量の関係

相関性が見られ、冬期の地下水位低下の要因として消雪用水の揚水が予想外に大きいことを示すひとつの傍証と言えそうである。なお、大胆な考察をすれば、降雪量が175cmを越えると地盤沈下が残留するというとも言えそうである。

5. 2 揚水量と地下水位の関係

地下水揚水量については、なかなかその実態が把握しきれないのが現状であり、今回の調査においても、その実態の把握はできなかったのが現実である。しかし、今回福井市域について、より実態に近いであろうと思われる揚水量データを基に地下水位と地下水揚水量との関係、地下水位変動量と地下水揚水量の関係を検討してみた。検討に

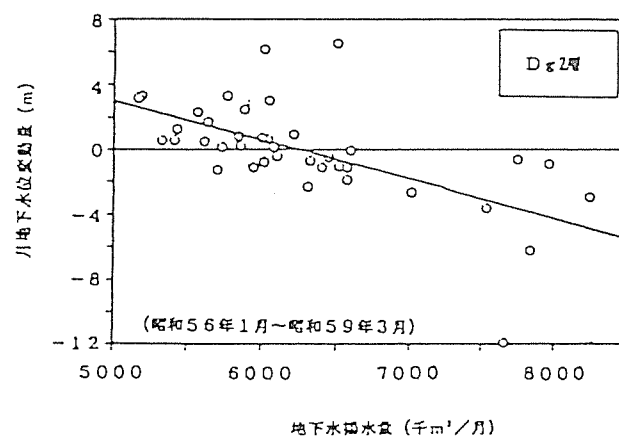
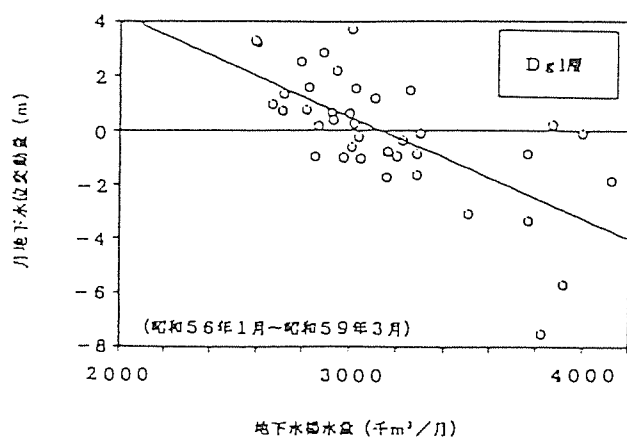


図-23 月地下水位変動量と地下揚水量の関係
(木田観測所の水位と福井市域の揚水量)

は、地下水位として木田観測所における地下水位記録を用いた。Dg 1 層、Dg 2 層それぞれの採水層への配分は、Dg 1 層 $\frac{1}{3}$ 、Dg 2 層 $\frac{2}{3}$ とした。地下水位変動量と地下水揚水量の関係を図-23に示した。

この図からは次のような考察ができる。

- ・Dg 1 層において地下水変動量“0”となる地下水揚水量は $3,100,000 \text{ m}^3/\text{月}$ (日換算すれば $103,000 \text{ m}^3/\text{日}$)と推定される。
- ・Dg 2 層において地下水変動量“0”となる地下水揚水量は $6,200,000 \text{ m}^3/\text{月}$ (日換算すれば $207,000 \text{ m}^3/\text{日}$)と推定される。

この図で注意をはらう必要のある点は、地下水位は地下水涵養量と地下水揚水量との収支の結果であるという点であり、同じ地下水揚水量でも地下水涵養量が変動すれば地下水位も変動するということである。

6. 福井平野の地下水に関する課題

以上、福井平野の現状について整理・分析したその結果、次のような課題が抽出される。

1) 地下水観測の継続実施と地下水利用実態の把握

地下水の観測は、地下水管理の基礎となるものである。このため、地下水位、地下水障害等地下水の状況について観測体制を整備するとともに、観測を継続実施する必要がある。また、既存資料も含め、より正確な地下水利用実態の把握に努めることも必要である。

2) 地下水の利用等に関する調査の推進

本地域の地下水環境の現状からみると、冬期及び夏期の地下水揚水量を削減することが必要である。冬期の多量な地下水の揚水は消雪用としての利用が、また、夏場の多量な地下水の揚水は都市

活動用としての利用が原因と推定され、これらの需要は今後益々増大すると予測される。このため、地下水・地表水それぞれの特徴を生かし、利用目的に沿うような適切な水利用ができるよう、地表水への転換、地下水の涵養等、地表水と一体となった総合的な地下水利用の検討を進める必要がある。また、地下水の塩水化、水質汚染等についても調査・検討を進める必要がある。

3) 地下水障害防止対策の推進

地下水の適正な利用が図れるよう、水源の表流水転換をはじめとして、長期・短期、ハード・ソフトのそれぞれの観点に立脚し、実施可能なものからその具体化を図り、対策を推進する必要がある。

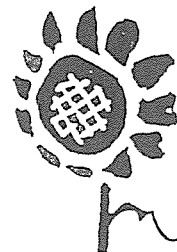
4) 地下水利用者への地下水についての啓蒙

福井平野の地下水は、経年的には供給と揚水との微妙なバランスの上で成立しており、水循環の上からも一ヶ所の事象が他地域へ及ぼす。このため、地下水利用者に対し地下水の保全の重要性について認識させるとともに、地下水利用者自らが積極的に合理的な利用を図るよう広報等、各種啓蒙活動を行うことが必要と考えられる。

5) 関係機関の協力

地下水は、水の循環機構の上からも広域的にとらえることが必要であり、また、様々な要素を含むものであるため、関係する機関が相互に協力し、共通の認識のもとで地下水問題の解決を図ることが必要である。

以上のような福井平野の地下水をとりまく、状況を考えると、国土保全並びに水資源としての地下水の合理的利用という観点から、地下水環境を保全・改善するための総合的な地下水管理を進める必要がある。



掘削揚水による地下水汚染

(株) 大林組
金田 宏

本店建築FBシート				物件名	山留壁に近接した井戸水の汚染			
要 旨		敷地境界から約15mも離れた井戸の水質が、山留工事により悪化し、井戸水を使用していた温泉からクレームが出た。上部砂層の土質を詳細に調査したところ、計画の2000倍の値の透水係数を有する地層が採まっていた。井戸は新たに掘り代えた。						
1. 悪さの状況		□ 井戸水位の上昇と水質悪化の現象 図-1に示す敷地内に設けた観測孔(自由水対象)2ヶ所と井戸の水位、水質を調べながら、隣接建物養生のための地盤改良(薬液注入)工事を施工したところ、地下水位の上昇(50~90mm)が認められた。 地下水が上昇した原因としては、 ① 薬液注入工事により地下水流を遮断し、上流側に地下水の貯留が生じた。 ② 雨が降った。 ③ 旧建家の解体後下水道に流れていた水が、地中に浸透した。 こと等が考えられるが、その後井戸に近接した山留工事の施工に伴って、井戸水の水質悪化が認められるようになった。						
2. 原因・是正処置		① 地質調査報告書による当該地盤の透水性の値(k=5×10 ⁻³ cm/sec、As層)から考えて、井戸と敷地境界(≒山留施工位置)との距離が約15mあることから、山留壁施工による井戸への影響はないものと判断していたが、水質の悪化が認められたため、上部砂層(As層)の透水性を再度調査することとした。 1次掘削で露出した土質を目視調査したところ、GL-2.5m付近に厚さ約30cmの水道と思われる地層を確認し、粒度試験を行ってその地層の透水性を推定することとした。 粒土試験の結果をもとに、クレーガによる透水性係数を求めたところ、その値はk=1×10 ⁻¹ ~1×10 ⁰ cm/secと、地質調査報告書によるAs層の値に対し、20~200倍の透水性の地層が挟まれていることが明らかとなった。 以上の記録および調査より、水質悪化の原因として、次のような事柄が挙げられる。 ① 地質調査報告書からは推察出来ないような大きい透水性の地盤が介在していた地盤に、山留工事を行ったため掘削溜液の一部がこの地盤を透水し井戸水に混入した。 ② 薬液注入工事頃より地下水位の上昇が生じていたところに、山留工事によって地下水の揚水範囲も変化し、この透水性の大きい地盤の水を振動させ、井戸周辺の細砂を動かしたことに伴い、ストレーナより一部の微細砂が井戸に流入した。						
3. 今後の課題 (再発防止対策)		付近に井戸がある場合、上部砂層の透水係数は、バラツキが非常に大きいので、標準貫入試験の資料採取を連続して行い(75cmピッチで行う)、粒径を確認して粒度分析試験を実施し、透水係数を確認する等の対応が必要である。						

図-1 山留壁、井戸、観測井の配置

図-2 水質悪化の要因

図-2 水質悪化の要因

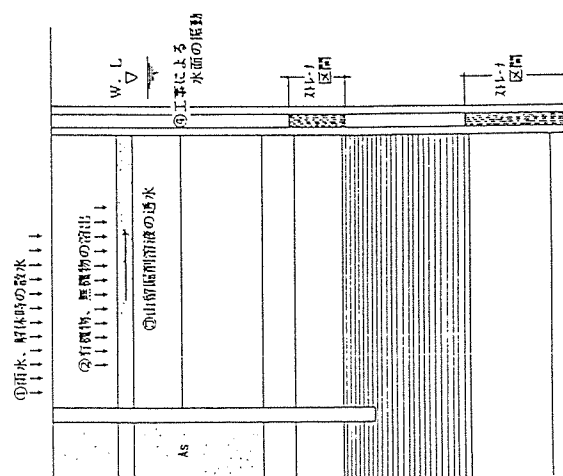


図-2はこれらの様子を示したものである。

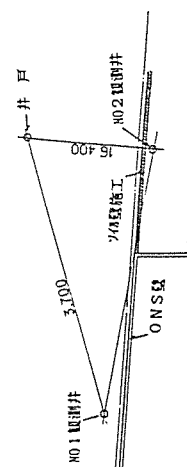
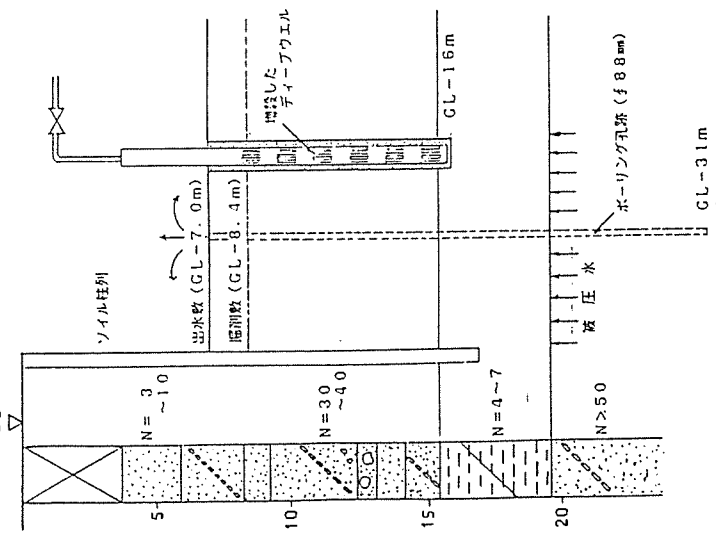


図-1 山留壁、井戸、観測井の配置

本店建築F B シ ー ト				物件名	地質調査ボーリング孔からの出水		建 築	03	10	2
要 旨		地下陥削中、地質調査ボーリング孔跡と思われる場所から出水した。ボーリング孔の位置がはつきりしないため、薬液注入での止水が困難であった。そのため、ディーブウエルを増設することによって水位を下げた。					作成日 '87/ 9/30			
1. 悪さの状況		<p>GL-7.0 mまで陥削したところ地盤面からの湧水が、ボーリング状態となった。このままでは、支持地盤である砂層を乱してしまうし、陥削を進めることも危険であると判断した。</p> 								
2. 原因		<p>地質調査ボーリング実施後、ボーリング孔の閉塞が完全でなかったため、左図に示すようにGL-18.8 m以深にある砂層からの被圧水が湧水した。</p>								
3. 是正処置		<p>下記の理由により、ディーブウエルを1本増設した。</p> <p>(1) ボーリング孔の位置が確認できないため、薬液注入の効果は少ない。</p> <p>(2) 陥削数まであと1.4 mであり、ディーブウエルで水位を下げる事が可能である。</p> <p>尚、湧水量は、500~3000 ㎥/分で、対策に要した費用は約100万円（下水使用料は除く）であった。</p>								
4. 今後の課題（再発防止対策）		<p>下記の事項を遵守すること。</p> <ul style="list-style-type: none">当社でボーリングを実施する場合は、業者に対して確実な閉塞を行うように指示するとともに、閉塞の確認を行う。施主、設計事務所ですでに実施している場合は、ボーリングの位置および閉塞の状況を、陥削工事着手前に確認しておく。閉塞は、上部よりセメントペーストを流し込むのではなく、ロッドを挿入して先端から注入する。								

建設工事に伴う地下水の挙動

株式会社 大林組 金田 宏

1. 大阪の地下水

1. 1 地下水の変動と地下工事

大阪平野の地盤沈下の原因が、地下水過剰揚水であると判明し、昭和37年ようやくその原因である地下水採取に対し、厳しい規制のいわゆる地下水規制二法が制定され、事実上、地下水利用が禁止された。その後、尼崎市、西大阪における地盤沈下は鈍化した。図1¹⁾は大阪の帯水層の水位変動を示したもので、上記のことを如実に示している。すなわち、地下水採取が禁止された昭和37年までは地下水位は急激に低下し、地下水規制後昭和40年までに地下水位は急激に回復した。その後も徐々にではあるが水位の回復がみられ、現在もその過程にあり、一部ではO.P.±0を越えている。

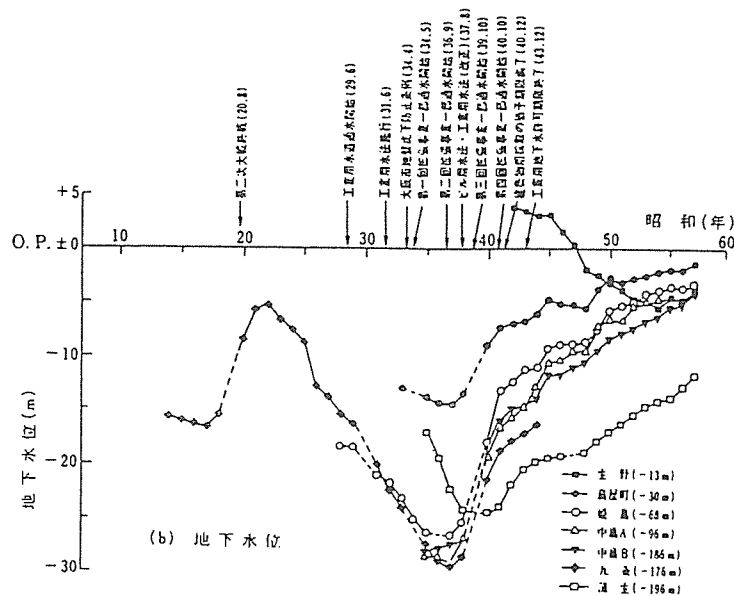


図1 地下水規制による地下水位の変動

さて工事面では、昭和30年代から根切り深さが深く、大規模な地下工事を伴う事例が増え、地下水規制以前は天満砂礫層の水を大阪層群砂礫層に復水したり、数少ないディープウェルで地下水位を低下させることにより、大阪駅近辺でO.P. -20mに近い地下工事を施工していた。

しかし、地下水位が回復するに従い、地下工事は水との戦いになり、特に、下水使用料の高騰が地下工法の決定上、重要な要素となる場合が多く、地下水対策として掘削場内を完全に遮水する工法が採用されるようになった。

このような施工環境の違いは、山留壁の小さな欠陥が大きな出水事故につながる場合もあり、深い地下工事を非常にむずかしくしている。また、地下掘削に限らず、場所打ち杭の施工においても、地下水位のバランスを誤ると掘削孔底でボイリングを起こす可能性があり、支持力低下の原因となり、注意が必要である。

1. 2 透水性

西大阪で根切り深さが深い地下工事になると、遮水工法を採用して上部にある被圧水を遮水しておいても、その下にある被圧帯水層の被圧により根切り底がヒービングする場合がある。これを防ぐには下部の被圧を

下げるための揚水がどうしても必要となる。工事中は揚水量と地下水位の変動を絶えず観測し、工事の安全性と周辺への影響を確認している。

ここでは、大阪市中心部で地下工事に伴って被圧地下水位を低下させた場合、各滞水層の地下水位がどのように変動し、また、同一滞水層での水頭低下による影響がどのあたりまで及んでいるかを調査したもの²⁾と、各種観測結果をもとに逆算した透水係数を揚水試験などから求めた透水係数と比較した地下水分解³⁾とから、狭い範囲ではあるが大阪地盤の透水性につき考察した。

(1) 滞水層の地下水位変動

図2は地下水位の変動を測定した地点と現場透水試験を行った地点を示したものである。

地下水位の変動は大文字で示されているが、地点B、CおよびEの揚水によってほかの地点の各滞水層の地下水位がどのように変動したかを図3に示している。また、図4には地下水位測定点の柱状図と滞水層(W_1 , W_2)を示した。

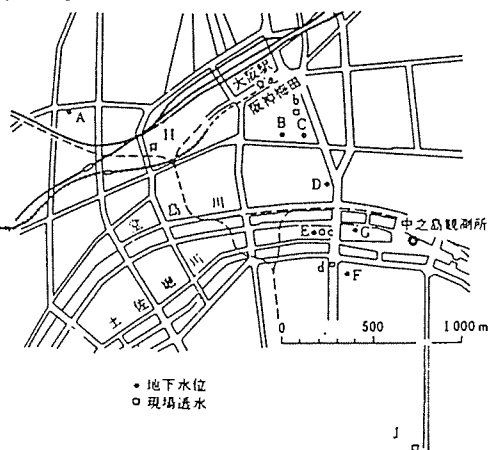


図2 地下水位変動測定位置・現場透水試験位置

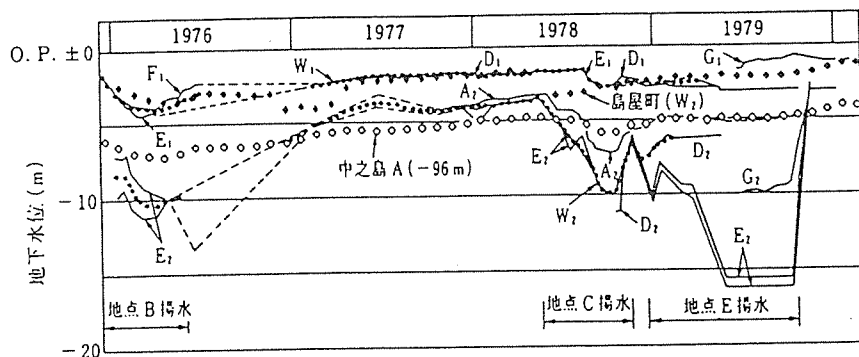


図3 地下水位変動測定結果

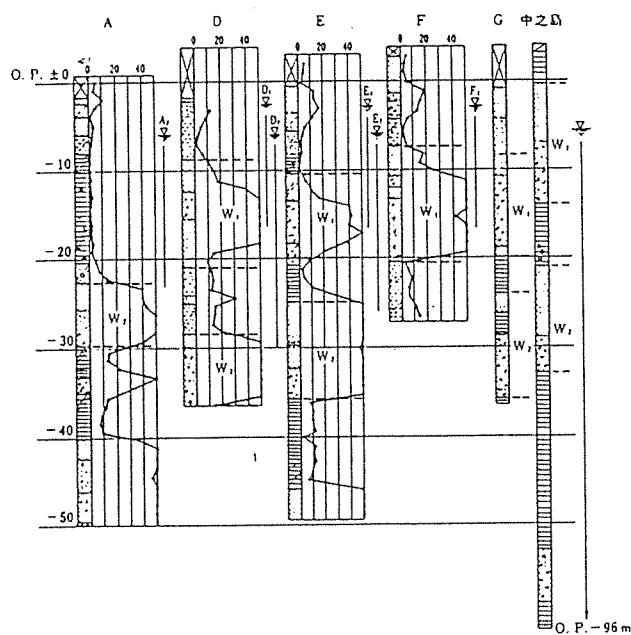


図4 地下水位変動測定位置柱状図

図3の実線は各地点での実測値であるが、それから揚水地点以外の場所での滞水層の水位変動をモデル化したものを・印で示す。また、図中に大阪市が定期的に行っている地下水位観測結果から、上記水位測定箇所付近の中之島A(-96m、上部亜層群中の砂礫層々)の結果を併記した。図の下部に地点B、C、Eでの天満砂礫層からの揚水時期を示した。天満砂礫層からの揚水により各滞水層とも水位変動を示していることが図から読み取れる。このような水位の変動から地層の層序を判断することができるとすれば、滞水層上位より W_1 、 W_2 と呼ぶなら、 W_1 は従来天満砂礫に含めていた貝殻混じり沖積砂層($N>30$)に存在し、 W_2 は天満砂礫層にあるものと考えてよい。

西大阪の滞水層は北西部では滞水層の砂礫層がよく連続しているが、南部では砂層になったり、砂層と粘土層の互層に変わったりする。港付近ではわりあいはっきりした滞水層があり、この地区の滞水層に対し、地表下30~40m、60~80mおよび100m前後、140m前後、180m前後の砂・砂礫層はそれぞれ第1、2…滞水層と呼ばれており、第1滞水層は天満砂礫層と呼ばれていたが、実状はこれが二つの滞水層からなっているように、従来からの滞水層は複数のもので構成されている。このことは、地下工事を行うにあたってディープウェルを設ける場合は、その深さとストレーナーの位置について十分に配慮が必要であることを示している。

また図3からは、地点B、Cの揚水により500m離れた地点Eの W_2 層は5m以上の水位低下を示し、地点Cの揚水により、1.3km離れた地点Aの W_2 層は4m近くの水位低下がみられる。地点Eの揚水の場合は、200m離れた地点Gの水位低下は7m以上で、 W_2 層はかなりの透水性を示すことがわかる。図5は地点Cの揚水による地点AとEの水頭低下を示している。

前述したように W_1 層と W_2 層とは水位の変動量から連続していないことがわかるが、興味ある現象として W_1 層と中之島Aの滞水層の水位はほぼ3mの水位差で平行に変化を示している。

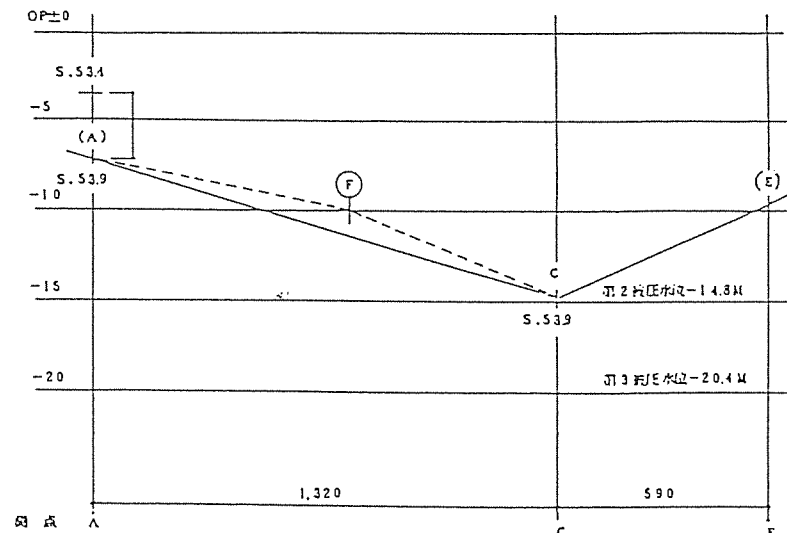


図5 第2被圧水頭低下による影響線

(2) 透水係数

一般に、透水係数の推定方法に大きく分けて、土粒子の粒度分布からの計算式、現場透水試験法（単孔式、多孔式）と、工事中の揚水盤からの逆算法の三つの方法がある。また、解析手法としては定常、非定常解析があり、これらの方法・手法によって求められた透水係数は相当大的な差があり、工事計画をむずかしくしている。

地下水流の逆解析を行って最善の方法・手法を、図2に示された地点Gで確かめた。

工事中は第1被圧滞水層（以下A層と略称する）と第2被圧滞水層（以下B層）の水位を下げ、水位観測を自由水層及びA・B層で行った。図7は定常状態の水位より逆算したA・B層の透水係数で、図8に示す粒度分布からの値、及び図9に示す現場揚水試験の結果と比較すると、幅はあるがAとB層の透水係数はほぼ 0.05m/min ($8 \times 10^{-2}\text{cm/s}$)あたりと思われる。

比較的均一と思われる地層でも、各層内でかなり透水性に変化がある。このため、層全体として透水係数を合理的に評価するには、原位置での多孔式揚水試験が最善である。今後、実際の揚水量と比較した精度のよい地下水データの集積から、大阪地盤各層の透水性を把握していくことが重要である。

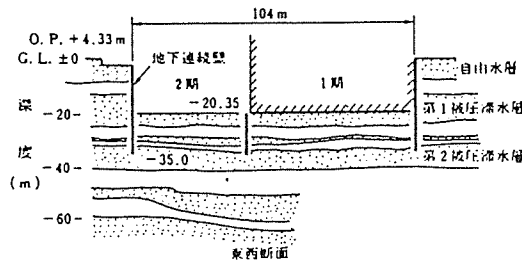


図6 土層断面図と根切り工事

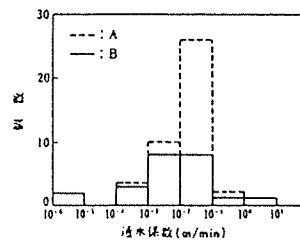


図8 粒度分布の D_{50} より求めた透水係数のヒストグラム

	A層	B層
総数	42	23
平均	5.9×10^{-2}	1.0×10^{-1}
標準偏差	1.1×10^{-1}	4.1×10^{-1}

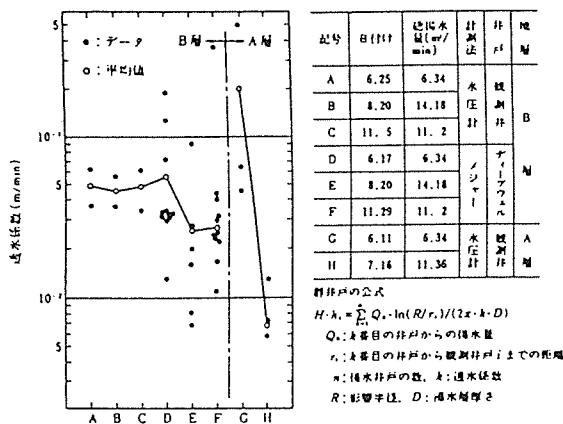


図7 定常状態の水位より逆算した透水係数

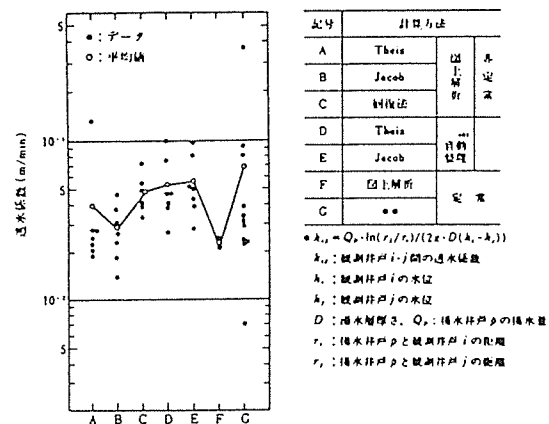


図9 多孔揚水試験で求めた透水係数 (A層)

1. 3 大阪層群上部砂礫層の透水性

被圧地下水位が $O.P. \pm 0$ に近くなると、 $O.P. - 20\text{m}$ に近い地下工事では、天満砂礫層以深の被圧地下水位を低下させなければ、盤ぶくれが発生し、変形分だけ被圧滞水層が緩み、その変形が大きくなると根切り底面が破壊する。

このようなことから、最近の大型地下工事では大阪層群上部砂礫層を対象にした現場揚水試験が行われており、また、工事中の揚水量からの逆算法により、この地層の透水性をある程度把握することができるようになった。現場揚水試験が行われた地点は、図2に示すH、I、Jで、J点では、逆算法により透水係数を求めている。表1は、これらの数値をまとめたもので、透水係数の大略値として $1 \sim 4 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ を求めることができる。この値は、前述の天満砂礫層に比べ相当大きな値となっており揚水計画時には充分注意し

ておかなければならない。ついでに、各点の被圧水頭を示したが、同じ敷地内でも1.5m以上の差が認められている。

表1 大阪層群上部砂礫層の透水係数

観測点	被圧水頭 (OP)	k cm/s	
		揚水試験	逆算法
H	-1.47 ~ -3.0 90.5	$1.5 \sim 3.9 \times 10^{-1}$	—
I	-0.84 90.2	1.6×10^{-1}	—
J	-1.30 89.2	$4.9 \sim 6.5 \times 10^{-2}$	8×10^{-2}

ところで、H点とJ点は約2km離れているが、J点での工事に伴う揚水時にH点での水位観測孔の水位変化を測点したので、図10に示した。図11と12は、両地点の土質柱状図と被圧水位を示しているが、天満層と大阪層群上部砂礫層との被圧水位変動は同じ動きをしており、また相当顕著な動きをしていることから透水性の面では同一と考えてよいようである。

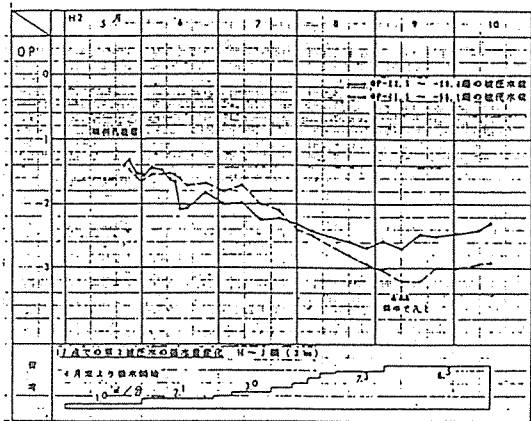


図10 J点の揚水量とH点の水位低下線

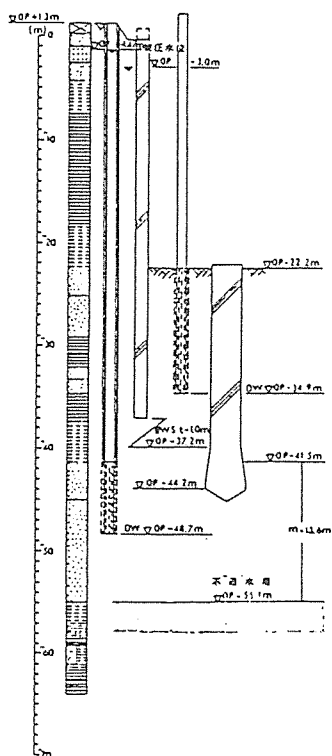


図11 H点の土質柱状図と地下工事

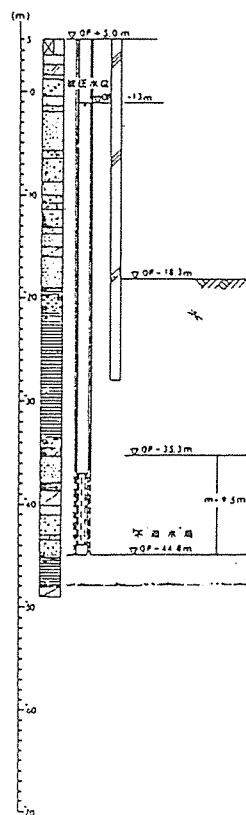


図12 J点の土質柱状図と地下工事

2. 地下水による現象

2. 1 ボイリングの発生

不透水層を通してのボイリングは、山留壁先端の過剰間隙水圧によるものでなく、計算により安全性を確かめることはできない。

遮水工法を採用した場合、a)不透水層の層厚が薄い b)鉛直方向に粒度組成が違ふ c)山留壁・杭などが不透水層を貫通している d)旧ボーリング孔の跡がグラウトされていない e)古井戸が深く設置されているなどの要因があり、被圧水頭差が大きくなるとボイリングが発生する。この現象は、始めの内は泡を伴ったパイピング状態であるが、徐々に（場合によれば急激に）出水が多くなってボイリング状態となるため、薬液注入の対応ができない場合が多い。以下に遮水工法を採用した時のボイリング事故例を紹介する。

1) 事例 1

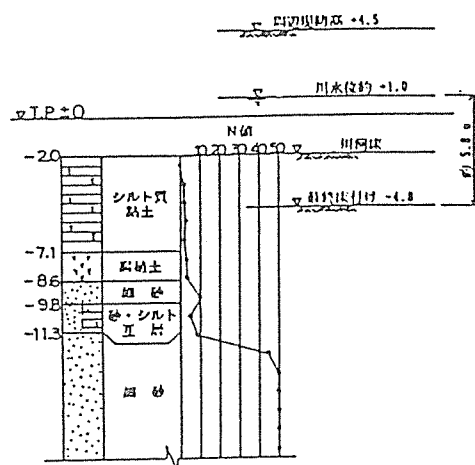


図 1 3 土質図

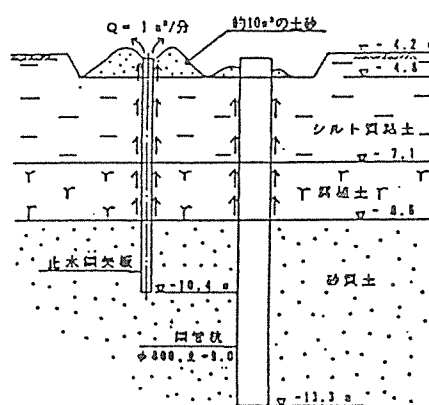


図 1 4 被圧水噴出概要図

この現場では、被圧水頭差が 5.2m で湧水の現象が現れ、3 日後に約 10 m³ の土砂と共に、1 m³ / 分の異常出水となった。被圧水噴出後実施したボーリング調査の結果、支持層が深さ約 2.5m にわたって緩んでいることが確認された。対応策として場内に注水し、新たに外周に遮水壁を造り、ディープウェルを運転しながら工事を進めたが、約 8 ケ月工期が遅れた。

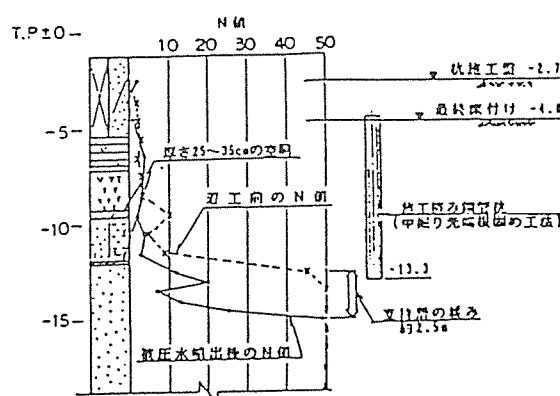


図 1 5 被圧水噴出後の土質調査結果

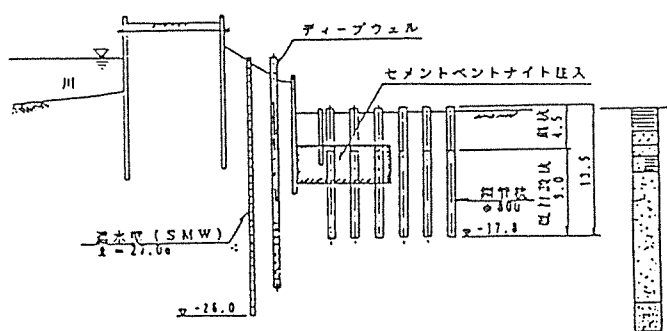


図 1 6 対策工事断面図

2) 事例 2

この事例では、被圧水頭差が5.33mで、矢板廻りから僅かの湧水があり、敷地内より薬液注入を行っていたが効果が無く、その間に2～3ヶ所から0.2～0.3m³/分の湧水が発生し、手の付けられない状態となった。場内を満水にしてディープウェルを設置して、排水工法で敷きを付けたが、大きなボイリング位置では、投入した砂袋が約2m下までもぐり込んでいた。

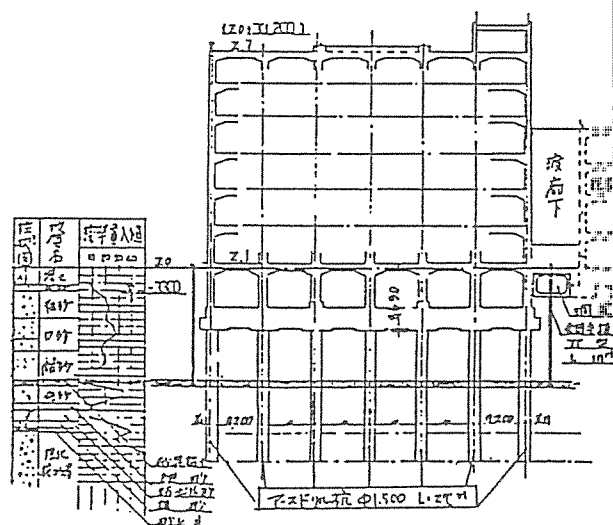


図 17 土質図と建物断面図

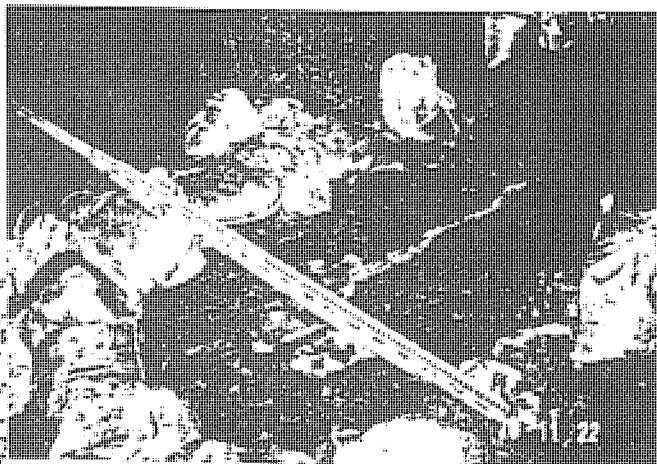


写真 1 敷地中央からのボイリング



写真 2 排水完了後の矢板周辺

3) 事例 3

被圧水頭差 4.3mの地点で、写真3に示すような急激な出水があった。位置を調査したところボーリング孔の跡であることが判った。出水は 0.5m³/分以上あり、グラウトがむずかしいことからまず減圧井戸を設けようとしたが、ボイリングを止めることができず、外部にディープウェルを設けて水圧をできる限り下げ、何とか工事を進めることができた。減圧井戸は地中梁を貫通していたため、コンクリート打設直前にバルブを止め止水を行った。

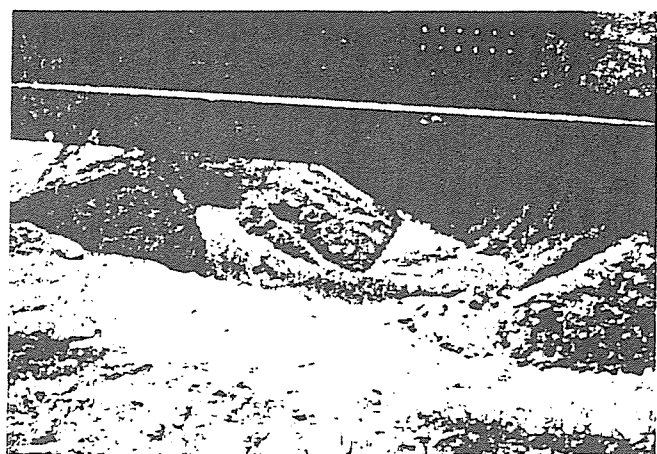
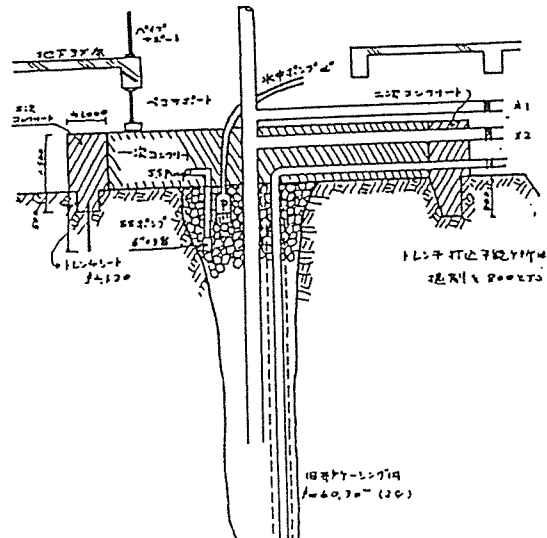


写真 3 ボーリング孔跡からの出水

4) 事例 4

古い深井戸からの出水事例である。被圧水頭差10mで4本の井戸の閉塞にかかり、3本まで比較的容易に止水が終わった。ところが残りの1本からの水量が次第に増し始め、径3.0~3.5mとなって5~7m³/分の出水となった。閉塞は水を流しながらバルクヘッドコンクリートを打設し、グラウト注入で止水したが昼夜80日を要した。

図18 バルクヘッドコンクリート工法



このように遮水工法を採用した時のボイリング現象については、絶えず危険を孕んでいるわけで、被圧水頭差が5mを超えると、常に初期現象の発見に努め、対応を素早く行って工事を進めなければならない。

ことに逆打工法のように、杭に設計応力に近い荷重が働いているような場合は、躯体への影響が大きく出るのは明かである。また緊急の対応も、明確な位置からの出水で、かつ0.1m³/分程度のものならば、薬液注入による対応も可能であるが、それを超える量の出水では不可能と言わざるを得ない。一般的な対応策である注水も掘削面積が広い場合には、有効な手段とはなりにくい。

2. 2 地下躯体への被圧水の侵入

掘削によりリバウンドした地盤は建物の荷重がかかるに従ってセットするが、超高層ビルのように高層部の廻りに低層部が接続している場合はその接続部で問題が発生する。

図19は、中之島西端に建つ32階の超高層ビルであるが、図20¹⁾に示した位置での地盤の層序が同じであることから上部洪積層のリバウンド量は約40%と推定できる。この建物は逆打工事によって行われたが、建物が建ち上がるに従い、まずコア廻りのセットが鉄骨柱に顕著に現われ、鉄骨柱の長さを3回調整して建方を完了させた。図21は高さ120mの位置における鉄骨柱の鉛直誤差を示したもので、5、6通りのセ

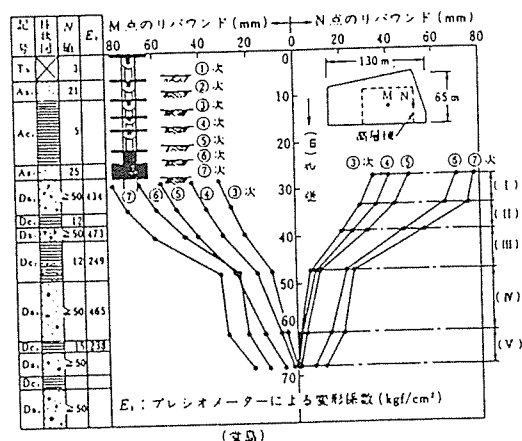
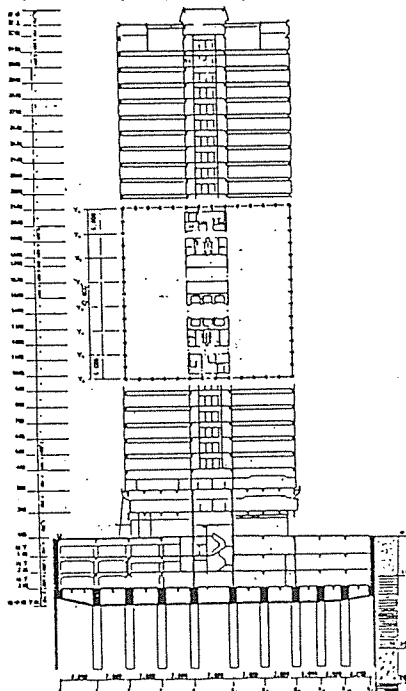


図20 上部洪積層におけるリバウンド実測例

図19 超高層ビルの一例

ット量が大きく現れていることがよく分かる。その後地盤のセット量の差が3, 8通りの地中梁に及び低壁の一部に亀裂を見るようになり、杭先端から上昇して来た被圧水が湧出するまでになった。ここから侵入した被圧水は塩素イオン濃度が高く(1650 P.P.M.を示した試料もある)、地中梁の中に蓄められた設備のための温水および冷水を汚染さすこととなった。湧水が完全に止まるまで建物竣工後2年も要した。

地下工事に伴うリバウンドについても、地下水の挙動をふまえて検討しなければならない例として紹介した。

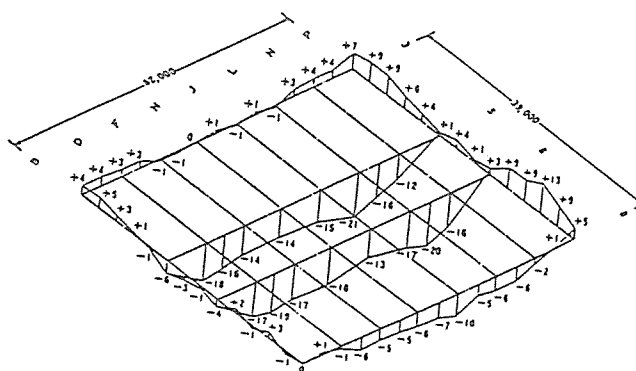


図 2 1 最終節の鉄骨柱の鉛直誤差

2. 3 地中壁工事中の洪積粘土の崩落

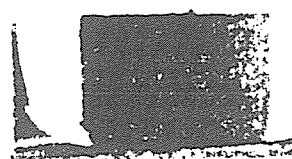
地中連続壁を施工中に、Ma12以深の洪積粘土が崩落する現象が見られる。これは、洪積粘土層中の潜在クラックの存在によるもので、現在 Ma8までの事例を経験しているが、Ma9以深の崩壊は相当大的なものとなるため泥水管理(特に粘性の維持)に注意しなければならない。

洪積粘土の泥水掘削における崩壊性について検討するため、清水に浸漬して崩壊性を観察すると、写真4～写真7に示すように潜在クラックのある粘土は、5～20分後にはクラックの増大や崩壊が生じ、2時間から長くても1～2日後にはほぼ終了する。

同じ試料をポリマーおよびベントナイト泥水による浸漬試験を行うと、クラックは入るが崩壊は発生しないことが確かめられている。しかし、現場での施工では、機械の衝撃や安定液の変化などにより、写真8にあるような崩落が発生する。この現場は上町台地の西縁にあり、図22に土質柱状図を示す。なお、写真8は、掘削で現された崩壊部分の粘土層の状況で、試料を採取して花粉分析を行ったところ、Ma8と確認された。



写真 8 崩壊した粘土



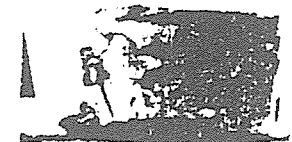
浸水直後、



浸水1時間後



浸水2時間後、



浸水1日後

写真 4～7 清水浸漬結果

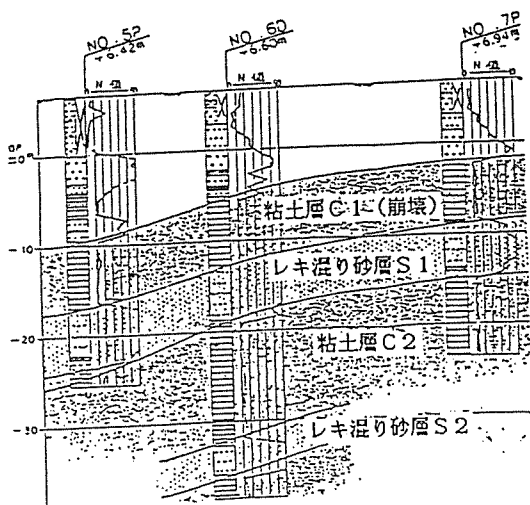


図 2 2 土質柱状図

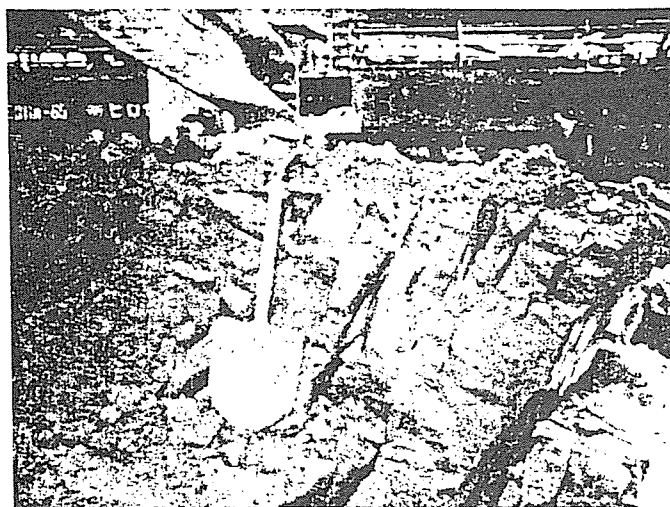


写真 9 掘り出されたクラック粘土

2. 4 逸泥による地下水の汚染

場所打ち杭や地中連続壁工事で使用する安定液が、透水係数の大きな地層で逸泥することがある。

図 23 に実測例⁹⁾が示されているが、時間当たりの逸泥量すなわち逸泥速度は、透水係数が $2 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 以上で顕著になるようである。ただ、天満層を対象とした事例から判断するとこの値は、 $5 \sim 8 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ に相当していると思われる。(注：図の透水係数は土質調査報告書のものを採用している。)

逸泥の程度に影響する要因には、a) 地盤の透水係数 b) 地下水位と地下水流 c) 泥水の流動特性 d) 泥水中の粗粒材の粒度分布と濃度 が挙げられるが、a), b) は地盤条件として変更がむずかしいが、c), d) は泥水の性状に関するもので、泥水の管理により、逸泥の量(速度)を抑えることが可能である。

図 24⁹⁾ は各地の工事現場での観測井により、あるいは掘削時に土質を調査することにより泥水の浸透範囲を実測したものである。ここに示した事例は逸泥防止対策を講じているが、逸泥を防止しても、透水係数の増大につれて浸透範囲は広がっており、ある範囲についての地下水は汚染されることを示している。

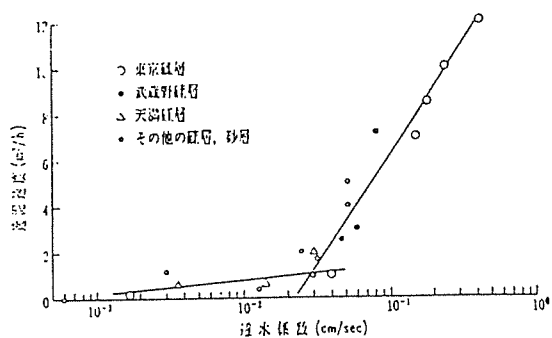


図 2 3 砂礫層における透水係数と逸泥との関係

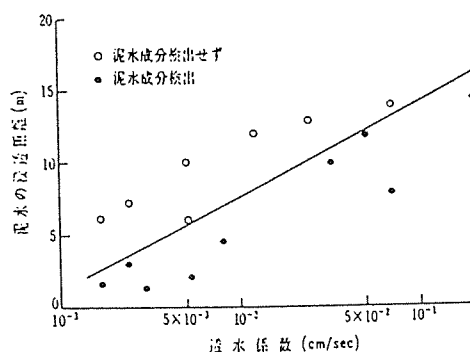


図 2 4 泥水の浸透範囲と地盤の透水係数

引用および参考文献

- 1) 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会編(1988):「新編大阪地盤図」pp31
- 2) 大阪地盤区分図委員会:地盤区分図に関する研究:建設省建築研究所(1979)
- 3) 寺田邦雄、高幣喜文:建築根切り工事での地下水流の逆解析例:原位置透水試験法および地下水調査に関するシンポジウム発表論文集:土質工学会 pp151~156(1985)
- 4) 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会編(1988):「新編大阪地盤図」pp51
- 5) 喜田大三、川地武、秋野知之、地中連続壁工法と水:土と基礎 pp73~80 (1979)

日本は地盤沈下の先進国であり、大阪市は地下水汲み上げ規制の先進都市と言える。この地下水規制に関しては、大阪地盤を対象とした和達・広野の「地下水位と地盤沈下の因果論（1940年頃）」に負うところが極めて大きい。

地下水位が回復したため不都合を生じたという事例は、掘削工事などにみることができるが、耐震問題として取り上げられた例は少ない。ここでは、地盤の液状化と地震応答について述べる。

1. 液状化

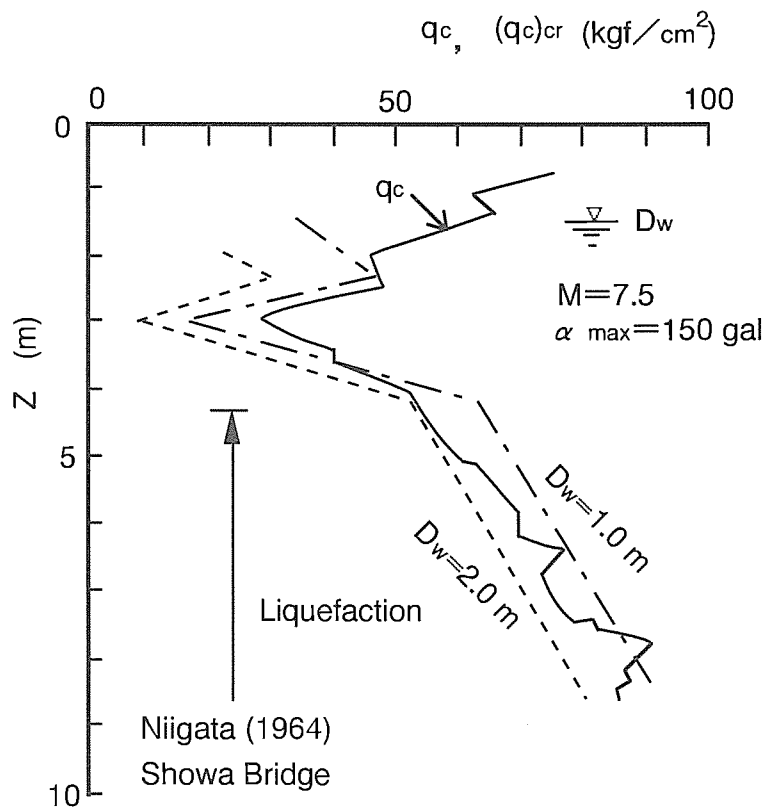
新潟地震（1964年）の際に、昭和大橋がドラマチックな倒壊をした。その後の調査により、当該地盤はGL-4m以深の層で液状化したことが明らかにされている。

図－1は、コーン貫入試験（CPT）を用いた液状化予測法を適用した結果である。

現在の地下水位はGL-1.5m、コーン指数 q_c は図中の実線で示すような分布をしている。

1964年地震当時の地下水位(D_w)は不明であるので、いま $D_w=1.0\text{m}$ および 2.0m と仮定した時、液状化発生の限界コーン指数(q_c)_{cr}を求めた。その結果、(q_c)_{cr}は $D_w=1.0\text{m}$ に対して一点鎖線、 $D_w=2.0\text{m}$ に対して破線のような曲線が得られる。

現状の q_c 値が地震前のものを表していると仮定するならば、 $D_w \leq 1.0\text{m}$ では液状化、 $D_w \geq 2.0\text{m}$ では非液状化と推定される。これは地下水位1.0mの差が液状化発生の鍵を握っていたという典型例といえよう。



図－1

2. 地盤の地震応答

2.1 地盤のモデル化

① 基盤レベルは深層ボーリングOD-1より、P波速度の急変する第三紀層上面（GL-700m）とした。

② 地盤の層厚、層序、各層の単位体積重量、およびS波速度 V_s については、150m以浅は最近の地盤調査結果に基づいて決定した。150m以深は推定である。

例えばせん断剛性 G は、有効拘束圧 σ'_0 との間に $G \propto \sqrt{\sigma'_0}$ の関係があるので、地下水位がGL-1.5m（現在）とGL-30m（旧）の有効土被り圧を計算し、その比の平方根で変化させた。

減衰定数は、振動数に依存しない定値減衰とし、 Q 値=20、すなわち $h=2.5\%$ とした。

③ 図-2 にS波速度の深さ方向分布を示す。地下水位がGL-30mから-1.5mまで回復することにより、100m以浅の V_s は10～15%程度減少する。しかし深くなると水位変化の影響は5%以下と少ない。

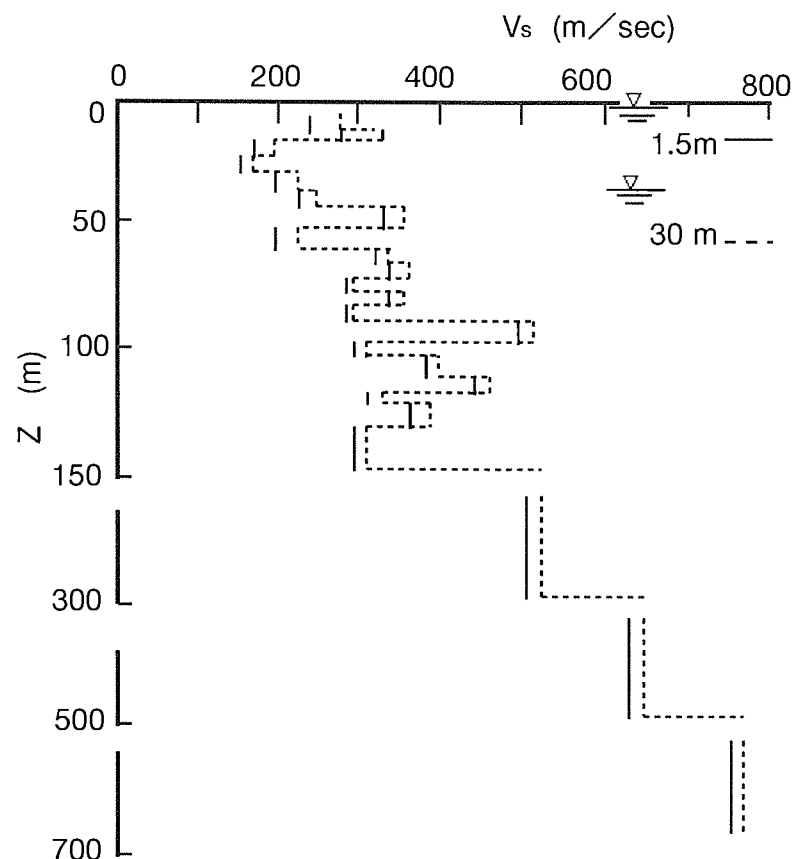


図-2

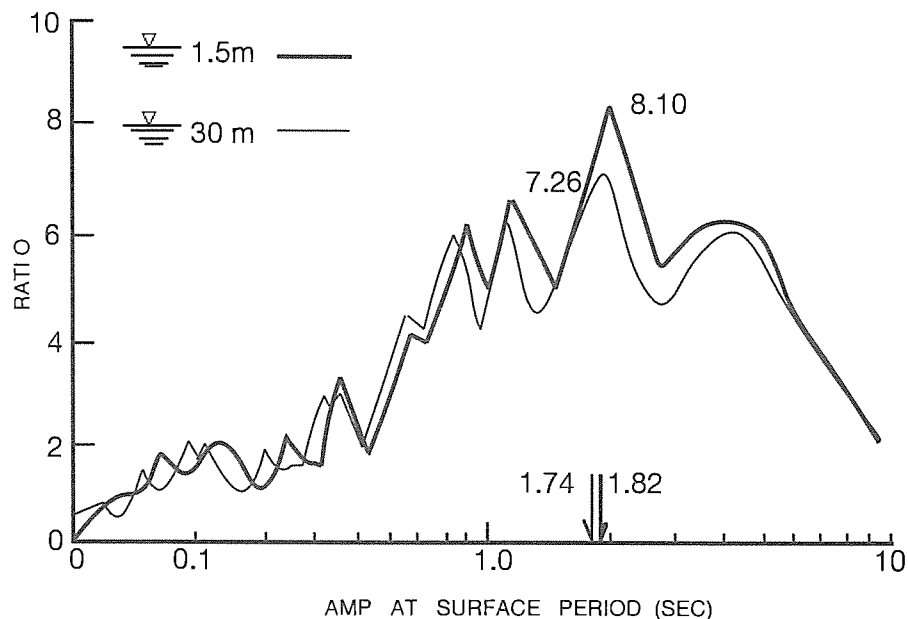
2.2 地震応答

① 重複反射理論で地盤応答の増巾率を求めた。また地震時の応答の差をみるために、El CENTRO 地震波（El CENTRO 地盤の基盤に戻した波）を現在の地下水位の地盤

（新）および地下水位が深い地盤（旧）の両基盤に入れ、地表面で得られた波の応答スペクトルを求めた。地盤は弾性体とし、地震波は特に大きさの調整をしていない。よって応答は非常に大きい、あくまで両者の相対的な比較のために行ったものである。

② 地下水位が下がった時期の地盤（旧）は有効土被り圧が大きく、せん断剛性が大きい。これに対して地下水位が回復してくるとせん断剛性が小さくなり、固有周期は大きくなる。増巾率の図-3をみると、増巾率が最大の周期は1.74秒→1.82

秒，また増巾率も7.26→8.10と大きくなる様子がみられる。



図－3

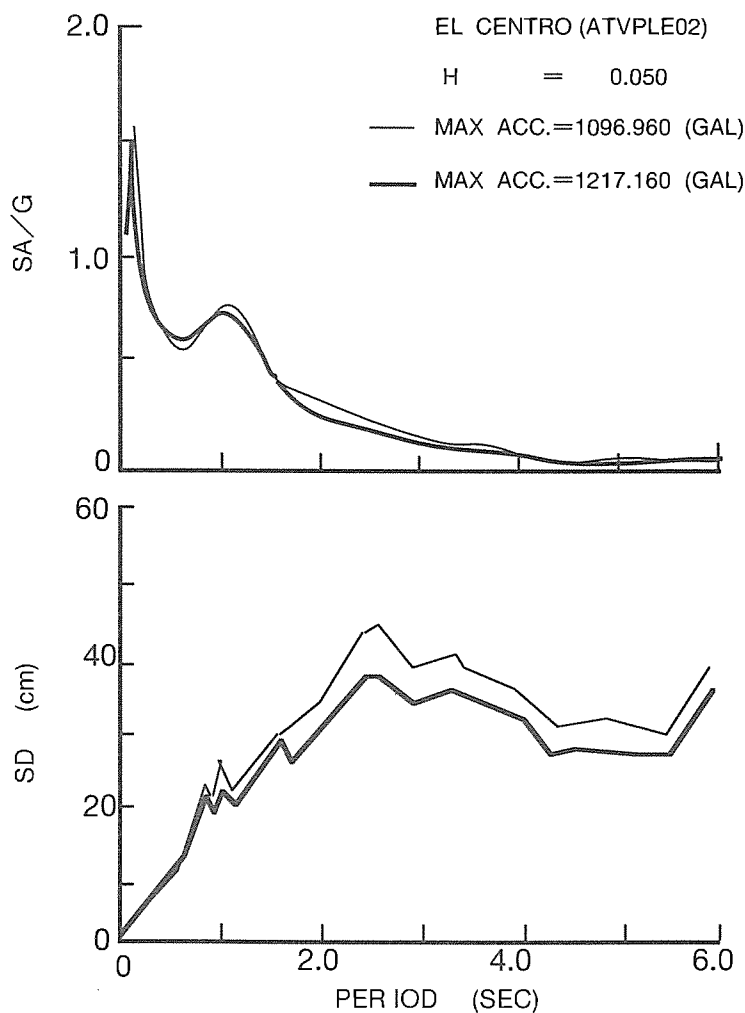
③ 地盤の増巾率の差が

地震時応答に表れる程度を知るために，1例としてEl CENTRO 1940 NSを基盤に戻した人工地震波を入れてみた。GL-700mに入力して得られた地表面の波の応力スペクトルを図－4に示す。

地表面の波の最大加速度比を求めると，

$$\frac{1097}{1217} = 0.90。$$

地下水位が高く剛性の低い地盤では加速度が小さくなり，変位が大きくなる。今回の計算では地表面加速度で1割程度小さく，速度は1割，変位は4割大きくなった。1つの人口地震波のみで定量的な推論はできないが，地下水位が高くなると変位は大きくなるであろう。



図－4

ワークショップ ” 地下水と地盤環境 ”

地盤工学情報データベース

(財)大阪土質試験所

副所長 諏訪 靖二

1. 地盤工学情報データベースとは
2. 地盤調査（土質・地質調査）情報データベースについて
3. 地盤工学情報データベースの活用例
地盤調査（土質・地質調査）情報，地盤沈下情報，事故
情報，地下水情報，液状化情報，その他

地盤工学データベースの構築とその利用

諏訪 靖二*・岩崎 好規*・福田 光治*・山本 浩司*

A Data Base System for Regional Geotechnical Study

Seiji SUWA*, Yoshinori IWASAKI*, Mituharu FUKUDA* and Kouji YAMAMOTO*

Abstract: Recent developments of computer have made enable us to handle a large amount of data of geotechnical informations. We describe a general concept of the regional geotechnical data base system developed to handle all informations obtained from in-situ test results of geotechnical boring as well as laboratory results given by the sampled soil not only physical but also mechanical properties.

We show some examples of the output given by the system in Osaka region. These data system is good for geotechnical study of the region with interests.

However, to make use of these data system in relation with various fields of the regional planning including the developments of underground space, we need more broader connections with the regional data of geology, topography and underground hydrology as well as the data of the special distribution of the existing underground structures. We have adopted these wider data base components into the geotechnical data base system in narrow sense with only boring and soil data and we are developing the upper grade system, which may be called the geotechnical data base system in broad sense and further show an example of this application.

1. はじめに

あるプロジェクトを計画・設計・実施しようとする場合には、フィージビリティスタディ (FS) や環境影響評価が一番最初に行なわれる。その中でも最も大事な項目の一つが地盤である。この場合の「地盤」とは地盤そのものの成り立ちのみならず、地盤の上や地下に存在する隣接する構築物をはじめ地盤の挙動まで含めた非常に幅広い情報を意味している。このような観点で地盤に関する情報を眺めてみると、一般的に地盤情報と思われる土質・地質調査 (ボーリング調査) 結果だけでなく、地図、地形、地質、地下水、地盤変状、地下埋設管、地下構築物などの種々雑多な情報まで含んでいることは今更説明するまでもないことである。

したがって、「地盤情報」という場合には今までのようにボーリング柱状図、土質試験、原位置試験結果のみに限定する狭義の地盤情報と、先に述べたように地形、地質、地下水、地盤変状、地下埋設管、地下構築物なども含めた広義の地盤情報の二つに分類できる。

これまで、「地盤情報」と言えば狭義に使用されており、地盤情報 (土質・地質調査結果) のデータベース化が近年盛んに叫ばれて実施されている。しかしながらその中でも土質・地質調査結果を全て (ボーリング柱状図から現位置・土質試験結果まで) 網羅したような完全な形で実用に供されているものは数えるほどしかないのが実状であり (岩崎ほか, 1984 a; 岩崎ほか, 1984 b; 石井, 1985; 石村・中山, 1986), ほとんどは柱状図データベースとでもいうべきものである。

しかしながら、何時までも狭義の地盤情報に関するデータベース (それも主流はボーリング柱状図データベース) にこだわっていては、地盤工学の発展に大きな

* (財) 大阪土質試験所
Geo-Research Inst., Osaka Soil Test Lab.

貢献が望めないで、地盤工学の新たな発展のためにも広義の地盤情報の活用が計られるべきであろう。

そこでここでは広義の地盤情報を「地盤工学情報」と呼び狭義の地盤情報と区別する。このような「地盤工学情報」のデータベースについては研究の緒についたところであるが、地盤工学情報のデータベースに関する研究は必要不可欠であり、必ず地盤工学の発展に寄与するものと確信している。

筆者らはこのような観点で「地盤工学情報データベース」の構築を行っており、それを紹介しながら、地盤工学情報データベースの問題点について検討することにする。

2. 地盤工学情報の特徴

地盤工学情報には次のようなものがあり、それらの特徴について説明する。

- 地盤（土質・地質）調査情報
- 地質学的情報
- 地球物理学的情報
- 地図・地形情報
- 地下水調査情報
- 施工情報
- 沈下・水平変位等の地盤変状情報
- 構造物（特に地下構造物）情報
- 地盤災害・事故情報
- その他

地盤（土質・地質）調査情報は今まで地盤情報と言われているもので、ボーリングを主体とした土質・地質調査結果を中心としたものであり、地盤工学情報の中でも最も基本的なものの一つである。

地盤調査情報のデータベース化についてはわが国でも古くから取り組まれており、約20年の歴史を持っている。当初は地震防災検討のためのものでボーリング柱状図のデータベース化が主であった（幾志ほか、1971a；幾志ほか、1971b）。その後ボーリング柱状図だけでなく全ての土質試験結果をデータベース化するようになり、地盤図発刊のための基礎資料作成（土質工学会関西支部・関西地質調査業協会、1987；土質工学会中部支部、1988）、行政情報の管理・再利用（徳善ほか、1976）、土質調査報告書の整理・簡素化・再利用（山本ほか、1979a；山本ほか、1979b；山本ほか、1980a；山本ほか、1980b）、地域地盤研究の手段（岩崎ほか、1984a；土質工学会関西支部大阪湾海底の地盤研究委員会、1990；岩崎ほか、1984b；岩崎ほか、1989；岩崎ほか、1991；山本ほか、1979a；山本ほか、1979b；山本ほか、1980a；山本ほか、1980b）

として利用されるようになり、現在に至っている。

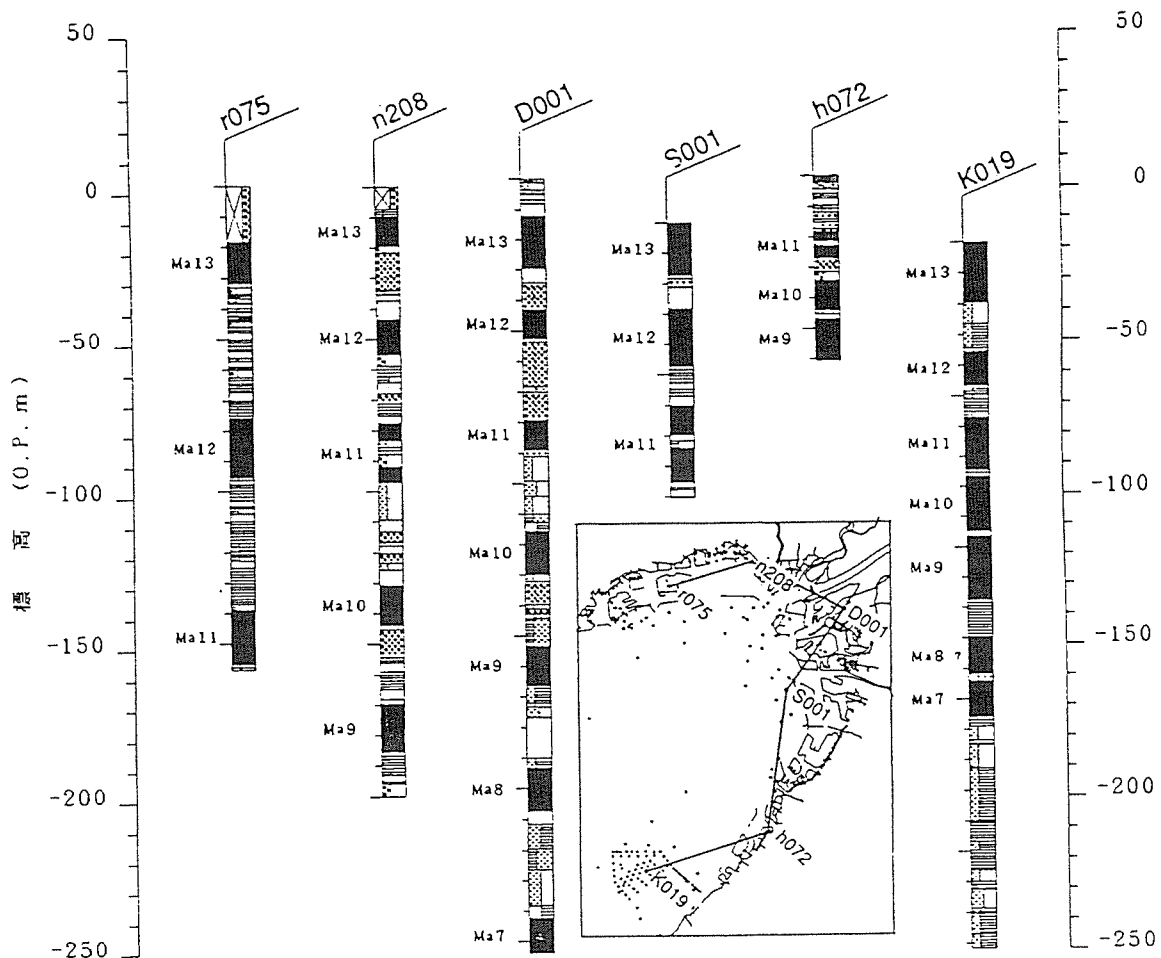
データベース化するための情報としてはボーリング地点、調査時期、柱状図、標準貫入試験結果、室内土質試験結果（物理定数、一軸圧縮強度定数、圧密定数、三軸試験、その他）などが一般的なものである。この他には、最近増加してきた定率ひずみ圧密試験、繰返し圧密試験、多段階載荷圧密試験などの特殊試験やボーリング孔を用いて行なわれる各種検層試験、原位置試験などの結果も当然含まれている。

また、調査としては最も多い未固結堆積層を対象とした土質調査だけでなく、山地や岩盤を対象とした地質調査がある。岩盤対象となると柱状図情報でもコアの状況を示す R. Q. D. など岩盤特有の情報があり土質調査とは異なる情報のデータベース化が必要となる。

超軟弱地盤から岩盤までの情報をほとんど洩れなく取り込んだデータベースとしては我が国でも2、3の例（岩崎ほか、1984a；岩崎ほか、1984b；石井、1985；石村・中山、1986）が見られるのみであり、ほとんどは柱状図データベースである。その詳細な地盤調査情報データベースシステム（岩崎ほか、1984a；岩崎ほか、1984b）の一つは、土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会（委員長：赤井浩一）が行った「大阪湾海底地盤情報データベース」の構築に用いられており、多量のデータを用いて大阪湾海底地盤の研究が行なわれ成果を公表している（土質工学会関西支部大阪湾海底の地盤研究委員会、1990）。また陸域の大深度地盤の研究を行っている土質工学会関西支部・関西の大深度地盤および地質構造とその特性の研究委員会（委員長：足立紀尚）が構築している陸域の「関西地区地盤情報データベース」にも用いられている。

地質学的情報というのは一般的な地質図、ボーリングコアや露頭観察による単層での地質学的情報、さらにはコアに対して地質学的分析調査を行なって求められた微化石、火山灰、貝化石、花粉化石、絶対地質年代等の情報、そして最もポピュラーな沖積・洪積の区別などである。特に関西国際空港の土質調査の時に行われた微化石分析を主体とした地質学的調査結果（中世古ほか、1984）は大きな成果を上げ、その後の未固結堆積層における地質学的調査の指針となっている。

関西地域においては、地層名、海成粘土のナンバー（Ma ナンバー）や微化石（ナンノ、珪藻、有孔虫、貝形虫、シリコ化石等）の種とその産出頻度、火山灰の鉱物、色、火山ガラスなどと産出状況、花粉化石の種とその産出状況、¹⁴Cやフィッシュトラック分析などによる絶対地質年代、帯磁方向の分析に基づく磁性年代、沖積・



第1図 「大阪湾海底地盤情報データベース」における地質学的情報出力例

洪積の区分、断層情報、などの多数の情報が地質学的情報としてデータベース化の対象になっている。これらのうち土質・地質調査情報と同一レベルで扱えるものは今までの地盤情報データベースに取り込み、新たな取り組みが必要となる地質図などについては新たなデータベース化の方策を検討しなければならない。土質工学会関西支部の「大阪湾海底地盤情報データベース」(土質工学会関西支部大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990)においてこれらの一部は実用化され同一地層の対比・分析に威力を発揮している。このような例を第1図に示す。

地球物理学的情報というのは、地盤に関する情報のうち先に述べた地盤(土質・地質)調査情報、地質学的情報と後で述べる地下水情報を除いた全てのものを指し、断層なども含んだ地下構造、地温、温泉、地震動特性、重力異常値、反射法・屈折法弾性波探査、地震探査、電気探査などの情報のことである。例えば断層、地震動、重力異常値、弾性波探査情報のデータ構造を考えてみると次のようになる。

- 断層：位置、走向・傾斜、幅、長さ、活動履歴

- 地震動：震源、波形
- 重力異常値：測定位置、測定値、補正值、マップ
- 弾性波探査：探査法(反射/屈折)、測線位置、測線長、記録、解析図

地下構造とは地層の堆積構造(走向、傾斜、層厚、深度など)や断層情報などのことであり、地質学的情報の中に含めるかどうかについては今後の課題であろう。

地図・地形情報は文字どおり地表面の水際線、鉄道、道路、街路区画などと標高コンター、地形的特徴(山地、平地、扇状地、台地など)、植生などのように国土地理院の各種地形図に表現されているような情報のことである。現在、これらの情報に関しては、デジタルマッピング技術の発達により、地理情報システム(GIS)として行政情報など種々の属性情報と結合して計画・管理などに多様な利用がなされている。

地盤工学データベースにおいて地図情報はボーリングの位置などの表示・検索に欠かすことのできないものであり、国土地理院の地形図(1/1万, 1/2.5万, 1/5万)程度は最低必要であり、場合によっては自治体で作成し

ている1/5000～1/1000程度の地図やプロジェクトで作成する1/300～1/500程度の精度のものも必要になる場合がある。

地図・地形図情報をデータベース化する方法としては、既存の国土地理院発行の地形図を画像読み取り装置でデジタル化するラスタ型データ方式と地形図を点と折れ線でデジタル化するベクタ型データ方式がある。

ラスタ型データ方式は、データの作成が機械的に行えるのでベクタ型データ方式に比べて作成に要する時間と経費が少なくすむが、個々の情報（例えば、行政界、道路、鉄道等）を識別し、自由な加工（例えば、拡大、縮小、回転、色分け）を行う場合にはベクタ型データ方式が有利である。筆者らがを行っているベクタ型データ方式の例については後掲する。ラスタ型データ方式の例としては、「東京都地盤情報データベースシステム」(石村・中山, 1986)が上げられる。

地下水調査情報とは、土質調査などで行なわれる地下水位調査、簡易な揚・注水試験や大規模な揚水試験から得られる地下水定数（自由地下水、被圧地下水、地下水位、透水係数、透水量係数、貯留係数、漏水係数など）、地盤沈下監視のために行なわれる地下水位の観測データ、水質データ、水温データなどのことをいい、特に地下水位のように時系列データも取り扱う必要がある。これらのデータは地層（滞水層）ごとに区別してデータベース化することが必要である。

施工情報とは、盛土、埋立、護岸などの築造・造成工事における施工状況（施工時期、盛土・埋立厚さなど）の記録のことであり、沈下や変形情報とリンクして利用される。各種データ解釈のために欠かすことができない情報であり、また後々のためにもきちんと整理しておかなければならない。例えば埋立工事における埋立履歴は土地利用の計画を立てる上で貴重な情報であると共に、沈下状況を把握したり解析したりする状況分析に必要不可欠なものである。

地盤変状情報とは、地盤の沈下や水平変位などの定量的に扱われるデータや情報を指し、ゆっくりした地すべり地での各種計測値も含まれる。しかし、計測する間もなく発生する斜面崩壊などのように定量的な取扱が困難なものは地盤災害・事故情報で扱うものとする。

例としては、建設省・自治体などが毎年測量している水準測量結果や地盤沈下データ、埋立地などにおける多数の地表面沈下データや詳細な計測が行なわれている層別の沈下データ、埋立地の新設護岸や既設護岸における地表面や地中の水平変位データなどが上げられる。これらのデータの特徴は位置（三次元）、デジタル値、時系

列、多量ということである。特に地中の変位を挿入式傾斜計などで計測している場合には深度方向データの時系列処理ということで多量のデータを扱うことになる。

構造物情報とは地中に埋設されたライフライン系（水道、下水道、ガス、電気、通信、他）のパイプ類、洞道、シールドや地下鉄、自動車トンネルなどの大規模地下構造物さらには建築物の地下構造（基礎形式も含む）などの位置と深度と形態に関する情報であり、都市における基本的な情報として極めて利用価値の高い情報である。この情報は位置、深度、長さ、広さなどの三次元情報を有するので、地図・地形図情報データベースと非常に密接に関係している。

地盤災害・事故情報とは各種災害や事故の中で地盤と関係のあるものを指し、例えば河川堤防の崩壊、掘削土留めの崩壊、施工時の事故、道路陥没、地震時の液状化発生箇所、斜面崩壊、落石現場、地割れ箇所、断層変位箇所などがある。

これらの情報は、発生場所（三次元位置）や時期などと共に現象を詳細に記録したデータベースにする必要がある。この情報は過去の災害例や事故例を参照することによって同様な災害や事故を未然に防ぐために重要なものであり、各種プロジェクトの基本計画段階でも有効な情報として活用できるものである。

また災害予防のために現在災害は発生していないが将来その可能性があるものとして調査が断続的あるいは継続的に行われている場合がある。一例として道路沿いや施設近辺の急斜面情報（場所、位置、地質・土質、盛土/切土、斜面勾配・長・幅、植生、斜面防護工、崩壊履歴など）のデータベース化が上げられる。

3. 地盤工学情報のデータベース化

地盤工学情報のデータベース化について、まず全体のシステムについて説明し、その後前章で説明した項目ごとに説明することにする。

3.1 地盤工学データベースシステム

地盤工学情報を概念的に示せば第2図のようになっている。各情報は必ず位置情報（ x, y, z ）が必要なので、この位置情報を地図データベースにリンクさせることによって各情報のデータベースは連結される。

地盤工学データベース・システムは第3図のようなる。図を見れば分かるように、これは各項目ごとのデータベースを有機的に結合させたものである。その中心に位置するのは地図データベースであり、この地図DBを介して各項目ごとの情報データベースを結び付けられるようにしたものである。したがって個々の項目ごとのDB

地盤工学データベースの構築とその利用

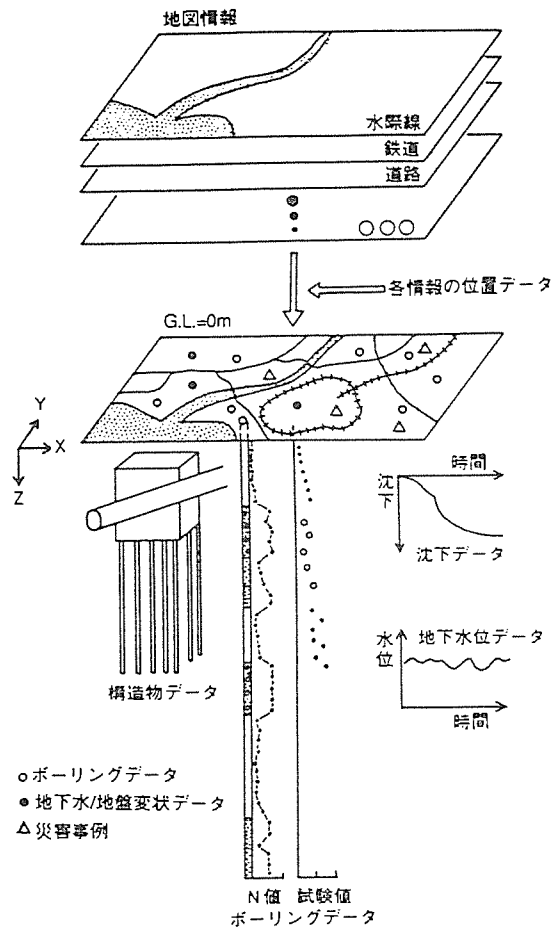
はそれぞれ単独で稼働できるようになっており、通常の作業ではほとんど単独で利用している。

しかしながら、地盤変状データベースや地下水データベースは地盤調査データベースと密接に関係しており、同時に利用されることが多いので、コードを介して連結できるようになっている。

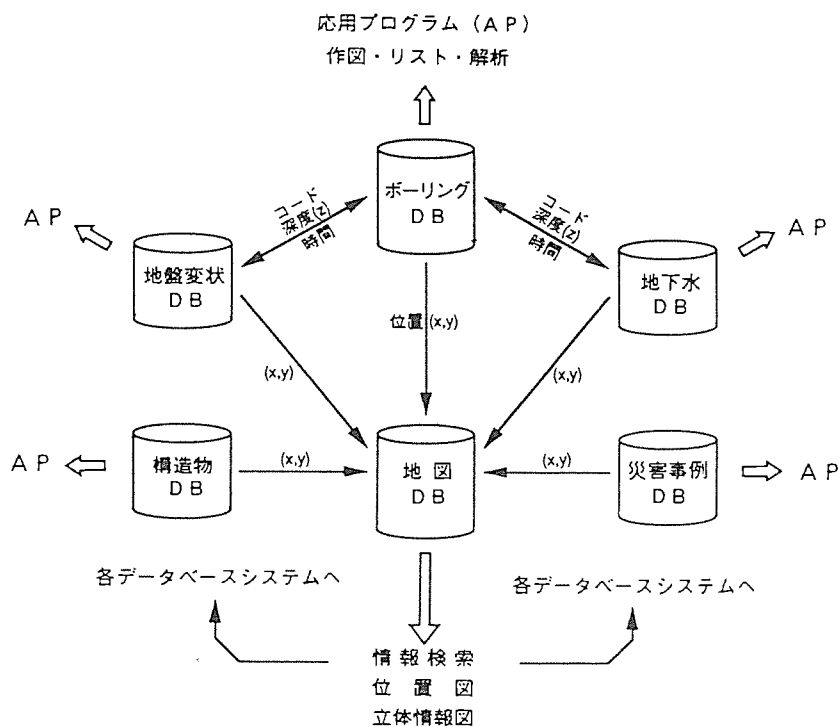
3.2 地盤調査情報のデータベース化

筆者らが運用している地盤情報データベースシステムについては、土質・地質調査結果から得られるほとんどのものはデータベース化され、新たに必要項目の追加も可能である。このデータベースシステムの詳細は文献(岩崎ほか, 1984a; 岩崎ほか, 1984b; 岩崎ほか, 1989; 山本浩司ほか, 1987; 土質工学会関西支部大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990; 岩崎ほか, 1991) に詳しいのでここでは簡単に紹介する。

データベースシステムは第4図に示すようにホストデータベース(HDB)とローカルデータベース(LDB)の2本立てになっている。HDBはエンジニアリング・ワークステーション(EWS)や大型コンピュータの使用を想定しており、大量データの高速検索に重点を置いている。LDBはパーソナルコンピュータ(PC)の使用を想定し、おもに入力管理を行なうデータベースとして位置づけられる。しかし、PCでも最近は大容量の記憶装置が付加できるので、小地域のデータベース(ボーリング柱



第2図 地盤工学情報の構成概念



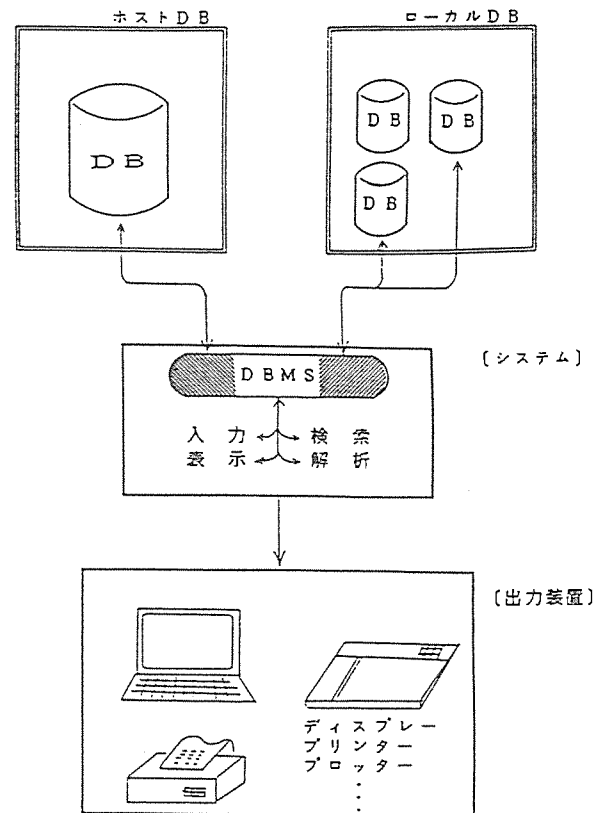
第3図 地盤工学情報データベースのシステム構成

状図主体なら1万本程度、海上の調査のように土質試験がフルにあるものならば500本程度)ならば検索の高速性が確保できるために、LDBも入力管理のみならず、検索・出力などの使用にも十分耐えることができるものである。データ入力に用いるPCは最近のノート型PCで十分な役目を果たしている。

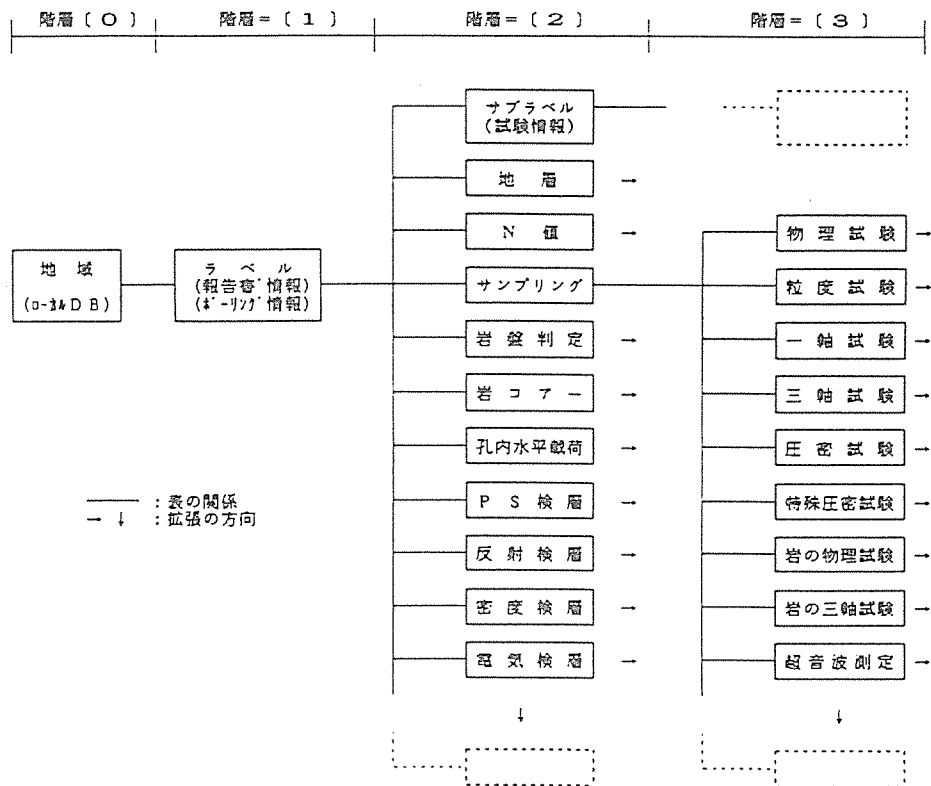
データベース化される土質・地質調査データの項目は第1表に示すようなものであり、これらのデータ項目相互の関係は第5図のようになっている。地盤としては超軟弱地盤から岩盤まで扱えるようになっており、その出力例を第6～11図に示す。第6,7図は各々軟弱地盤と岩盤の柱状図例である。第8図は未固結地盤の土性図であり、粒度組成、土粒子比重、コンシステンシー、一軸圧縮強さなどを図化できるようになっている。第9～11図は圧密試験結果($e-\log p$, $\log c_v-\log p$, $\log m_v-\log p$)である。

3.3 地盤調査以外の情報のデータベース化

地盤調査データ以外のデータベース化について全て説明するには紙数が足りないので、主なものを2,3説明する。



第4図 地盤調査情報データベースのシステム構成

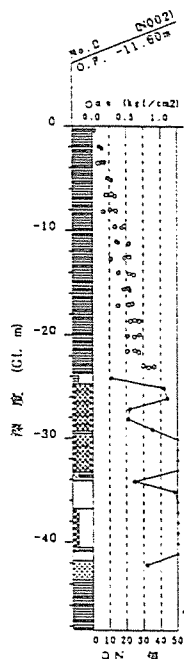


第5図 地盤調査情報のモデル化 (関係表のつながり)

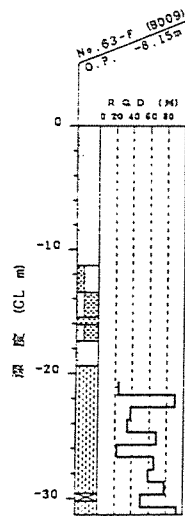
地盤工学データベースの構築とその利用

第1表 地盤調査情報のデータ入力項目

階層	テーブル名	データ項目
0	地 域	地域（ローカルDB）コード：ローカルDBタイトル，登録年月日
1	ラベル	報告書コード：保管No.，報告書名（主，副題），発行者・調査者コード，ボーリング本数 ボーリングコード：調査孔名，調査場所，調査期間，データ入力状況，入力年月日， 標高基準，地盤高，掘進長，地下水位，位置座標（任意座標），位置座標（北緯，東経）
2	サブラベル	ボーリングコード：地盤状況，サンプリング数（P.T.D.S.C），N値個数， データ有無のフラッグ（物理試験，一軸試験，三軸試験，圧密試験，特殊圧密試験， 孔内水平載荷試験，PS検層，その他）
	地 層	ボーリングコード，地層No.：層基底深度，地層種別コード（土質，岩）， 土質・岩相名（主，質，混），色調，混入物，成状，地質年代，地質名，備考（岩名）
	N 値	ボーリングコード，N値No.：試験深度（上端，下端），N値・打撃長（各10cm毎の値）
	サンプリング	ボーリングコード，ボーリングNo.：採取深度（上端，下端），採取方法コード， 回収率（回収長，押込長），サンプラー内の試験位置（物理，一軸，三軸，圧密）
	岩 盤 判 定	ボーリングコード，岩判定No.：岩相深度（上端，下端），孔径，岩盤状況，コア形状， 割れ目間隔，気泡の有無，備考（記事など）
	岩 コ ア ー	ボーリングコード，岩No.：岩相深度（上端，下端），データ種別コード，RQD， 亀裂・層理面（傾斜角，方位），備考（記事など）
	岩の三軸試験	ボーリングコード，岩三軸試験No.：試験深度（上端，下端），試験条件（UU，CU，CD）， c， ϕ ，c'， ϕ' （破壊強度，残留強度），供試体条件は三軸試験で入力
	孔内水平載荷	ボーリングコード，載荷試験No.：試験深度，装置コード，静止土圧，降伏圧，破壊圧， 地盤係数，静弾性係数，中間半径，換算に用いたポアソン比
	P S 検 層	ボーリングコード，PS検層No.：検層深度（上端，下端），方法コード，P波・S波速度， 密度とその引用種別，板たたき法の測点データ（深度，伝播時間）
	反 射 検 層	ボーリングコード，反射検層No.：検層深度，P波速度，伝播時間
	密 度 検 層	ボーリングコード，密度検層No.：検層深度，密度
	電 気 検 層	ボーリングコード，電気検層No.：検層深度，比抵抗値
3	物 理 試 験	ボーリングNo.，物理試験No.：粒度組成（礫，砂，シルト，粘土），液性限界，塑性限界， 日本統一分類，土質名，土粒子の密度，自然含水比，湿潤密度，間隙比，飽和度
	粒 度 試 験	ボーリングNo.，粒度試験No.：最大粒径，粒径加積曲線（粒径，通過質量百分率）
	一 軸 試 験	ボーリングNo.，一軸試験No.：条件コード（繰り返し），供試体条件（高さ，直径， 単位重量，含水比，間隙比，飽和度），一軸圧縮強度，破壊ひずみ，変形係数，ポアソン比， 力計容量，圧縮速さ
	三 軸 試 験	ボーリングNo.，三軸試験No.：試験条件（UU，CU，CD），c， ϕ ，c'， ϕ' （正規・過圧密） 試料の状態，供試体成形法，排水条件，圧縮方法，ひずみ・応力速度，力計容量， 供試体条件（高さ，直径，単位重量，含水比，間隙比，飽和度），圧密時間，体積圧縮量， 側圧，軸差応力，破壊ひずみ，破壊時間隙水圧，間隙圧係数，間隙比，体積ひずみ
	圧 密 試 験	ボーリングNo.，圧密試験No.：試験条件（繰り返し），圧密降伏応力，圧縮指数，圧密係数 供試体初期条件（断面積，高さ，乾燥重量，実質部の高さ，含水比，間隙比，飽和度），時間J-d 試験値（圧密圧力，圧密量，t90かt50，一次圧密量）または （圧密圧力，間隙比，体積圧縮係数，圧密係数）
	特殊圧密試験	（多段階圧密，小載荷圧密の試験データ） 内容は圧密試験に同じ
	岩の物理試験	ボーリングNo.，岩物理試験No.：土粒子比重，自然含水比，間隙比，飽和度， 含水率，吸水率，有効間隙率
	超音波測定	ボーリングNo.，超音波測定No.：（高さ，直径，重量），P波・S波（時間，速度），密度



第6図 土質柱状図の出力例
(qu と N 値を併記)



第7図 岩相柱状図の出力例
(R, Q, D. を併記)

(1) 地図・地形情報

地図・地形については国土地理院発行の1/1万～1/5万の地形図の凡例を見れば分かるように多数の情報があるので、どのような情報をデータベース化するかという基本的な検討が大切である。さらに、先に述べたようにラス型データ方式とするのかベクタ型データ方式とするのかの検討は、後々の利用まで考えて検討することが大切である。

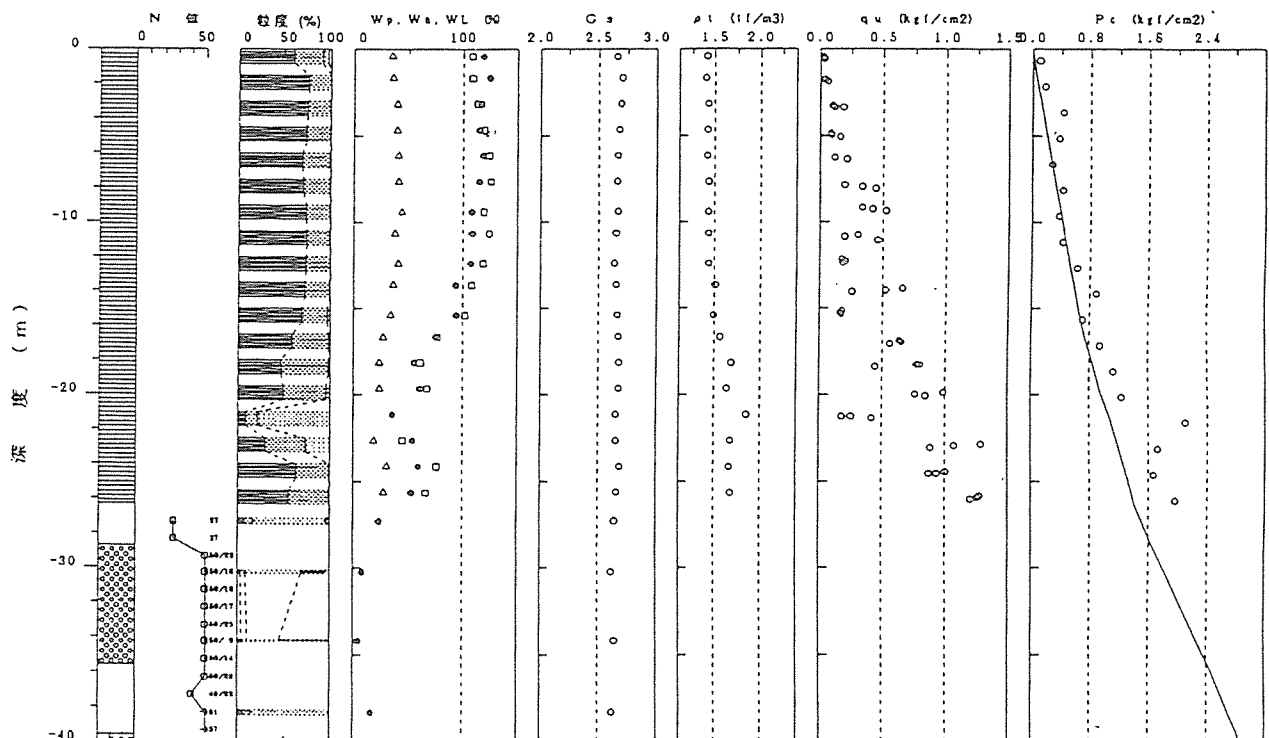
筆者らは次のような地図・地形情報をベクタ型データ方式でデータベース化している。

- 水際線 (河川も含む)
- 道路 (一般道路, 高速道路)
- 鉄道 (地下鉄含む)
- 街区 (1/1万の地形図に記載してあるもの)
- 市街地と山地の境界

ベクタ型データ方式とした理由は、それが「地盤工学情報データベース・システム」の中核をなすものであり、

【報告書名】*****
 (孔名) No. E (場所) 大阪港沖
 地盤高: O.P. -12.50 (m) 掘進長: 92.28 (m) 地下水位: GL- --- (m)

Rep. CODE: ***
 Ser. CODE: ***

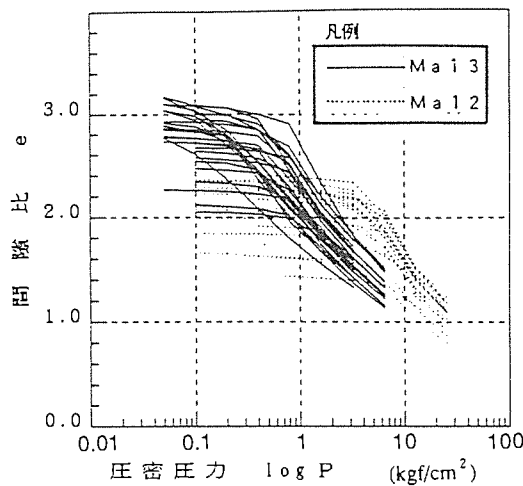


第8図 土性図出力例

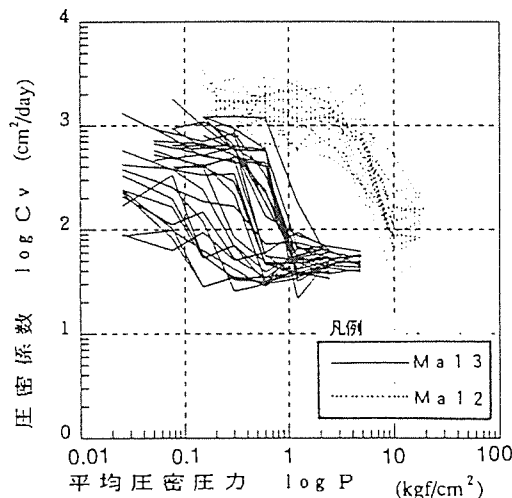
地下構造物データベースのように三次元情報を持つものとのリンクが必要であり、地図情報を大縮尺から小縮尺まで図化させようとするば適宜情報を省略・付加することが自由にできなければならない点にあった。

これらの情報は 1/1 万の地形図上で幅があるものは全てポリゴン（多角形）情報としてデータベース化してあるので、道路、鉄道、河川などは色分けしての表現などが自由にでき、不必要な情報を消して出力することも容易である。

地盤情報 DB とリンクさせて土質調査位置を示した出力例を第 12 図に示す。



第 9 図 圧密曲線 (e - $\log p$) の出力例



第 10 図 圧密係数 (c_v) の出力例

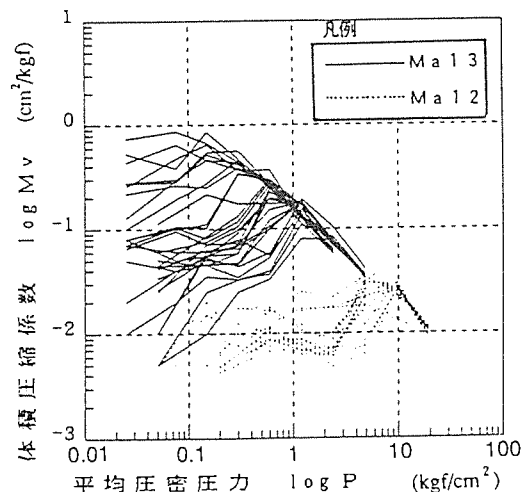
(2) 地盤変状情報

地盤変状情報とは沈下、水平変位、土圧、間隙水圧などのように定量的取扱をする計測値が主体であり、その概念図を示すと第 13 図のようになる。

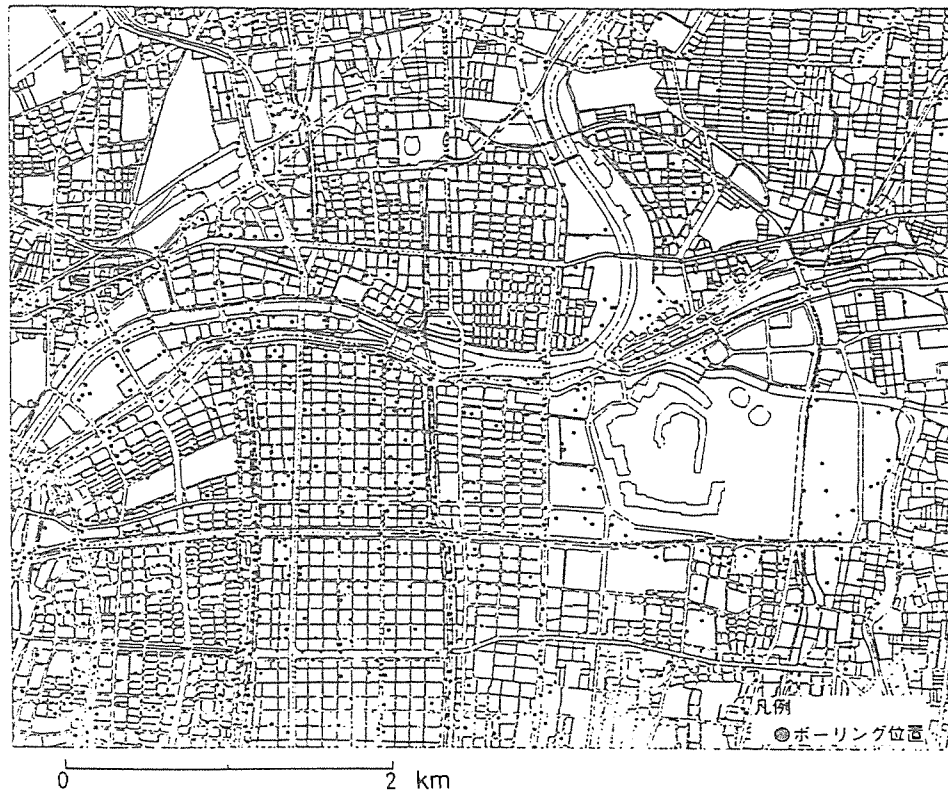
沈下や水平変位データにはまず測定ポイント（位置、緯度・経度、標高）があり、次に計測値そのものがある。そして計測値そのものには加減乗除などの操作を加えて地盤の沈下やある地層の圧縮量やある深さの水平変位等を算出する。したがって、このようなデータのデータベース化に当たっては計測値そのものをデータベース化し、それを用いて沈下量や圧縮量を算出し利用できるようにすれば、計測データのチェックなどにも役立てることができる。

地盤沈下や埋立地での沈下は多数の側点、時系列データが多量に得られるという特徴がある。データにはまず計測値そのものがあり、その計測値と換算係数を用いて沈下や地層の圧縮量に換算する計算が必ず行なわれる。また、その中には層別沈下データのように 1 点において測定深度の異なるデータが多数得られるために、層別の沈下量に換算したり、またひずみに換算したりするためデータ相互間で加減乗除などの操作が行なわれることもある。

水平変位のデータは一般的には挿入式傾斜計や固定式で測定されることが多く、深度ごとに多数のデータが時系列で得られる特徴がある。これらのデータは深度方向ごとに計測値があり、これを用いて水平変位を求めるための積分計算が行なわれるので、このような加減乗除の操作が行なえるようにしておく必要がある。



第 11 図 体積圧縮係数 (m_v) の出力例



第 12 図 ベクタ型地図情報の上にボーリング位置情報を投影した表示例

沈下データは施工管理によく用いられ、各種沈下予測法（宮川法、星埜法、曲線定規法、他）などの応用ソフトとして整備しておくべきである。また沈下量と水平変位を用いて安定管理が行なわれるが、これにも対応できるように応用ソフトを整備すべきである。

このように、地盤変状データベースはデータの追加が絶えず行われることに特徴があり、システム作成において留意すべきことである。また、地盤変状データベースの利用価値を高めるためには、理論沈下予測やデータベース化されたデータとの比較、実測値による沈下予測法、盛土安定判定法などの応用ソフトの充実を計る必要がある。

沈下データベースの処理例を第 14 図に示す。

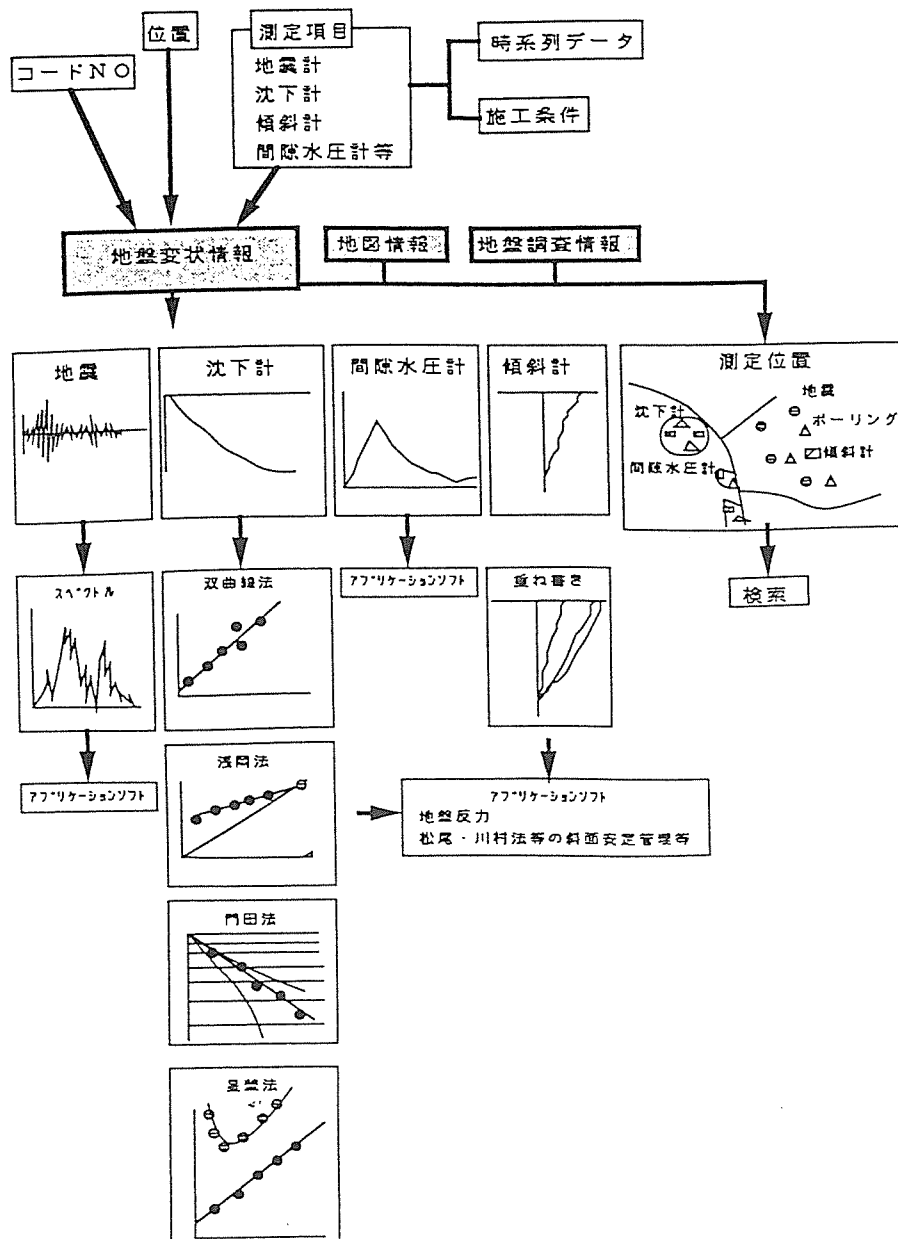
(3) 災害・事故情報

過去の災害や事故情報は、設計・施工に当たって貴重な情報を与えてくれるものであり、再度同様な事故を繰り返すことがないように役立てることができる。

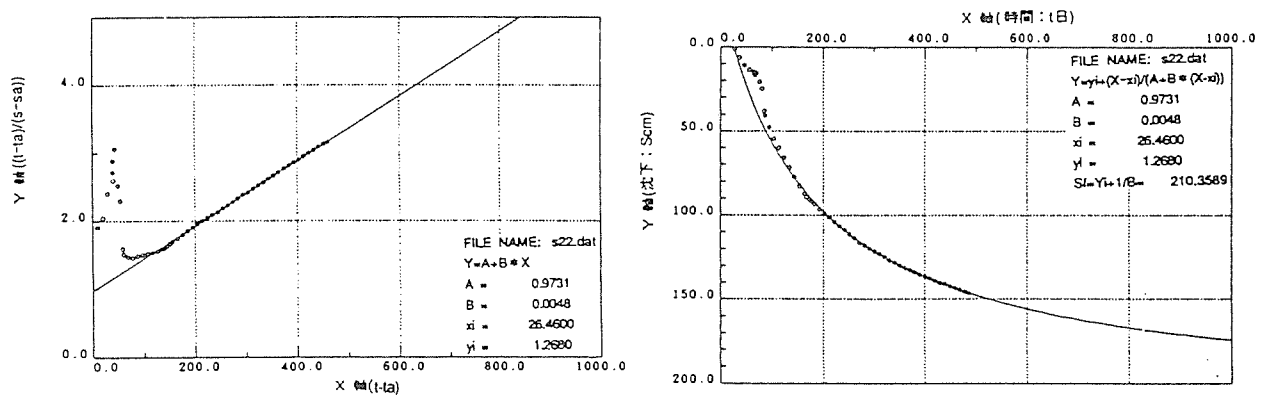
災害・事故情報には多種多様な情報がありこれらをどのようにデータベース化するのが大事である。地盤災害・事故情報の概念を第 15 図に示す。地盤災害・事故には発生時期（西暦、季節）、位置（緯度・経度、点、線、小範囲、大範囲）、災害の種類・内容（河川堤防の崩壊、掘削土留めの崩壊、施工時の事故、道路陥没、地震時の液状化発生箇所、斜面崩壊、落石現場、地割れ箇所、断層変位箇所など）、災害・事故発生時や前後の気象状況などがあり、定性的記述と一部は定量的データ（災害の大きさ、深さ、気温、雨量など）も取り扱わなければならない。第 2 表には入力情報の例を示す。

このような「地盤災害・事故情報データベース」の一例を第 16 図に示す。これは大阪市内における地盤に関する事故例の情報を新聞記事から抽出し地図上にプロットしたものである。このデータベースから抽出した災害別件数を図化したものを第 17 図に示す。

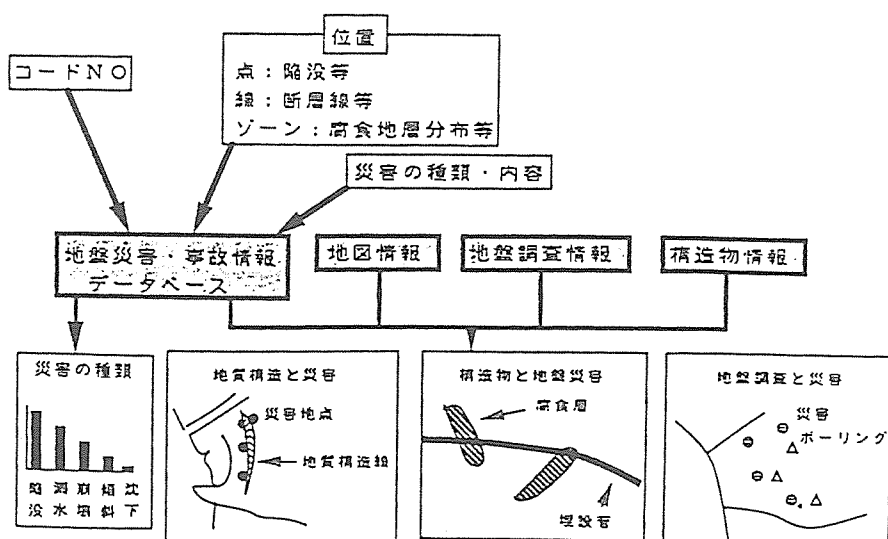
地盤工学データベースの構築とその利用



第13図 地盤変状情報データベースのシステム概念



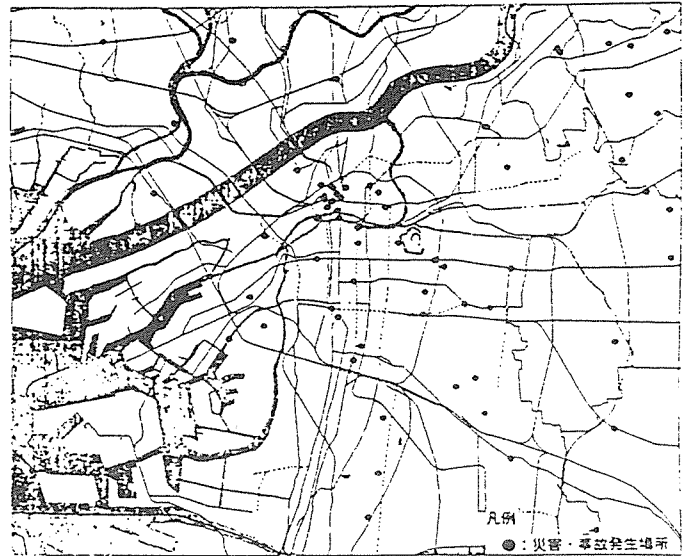
第14図 沈下情報の処理例（沈下グラフと双曲線法の適用）



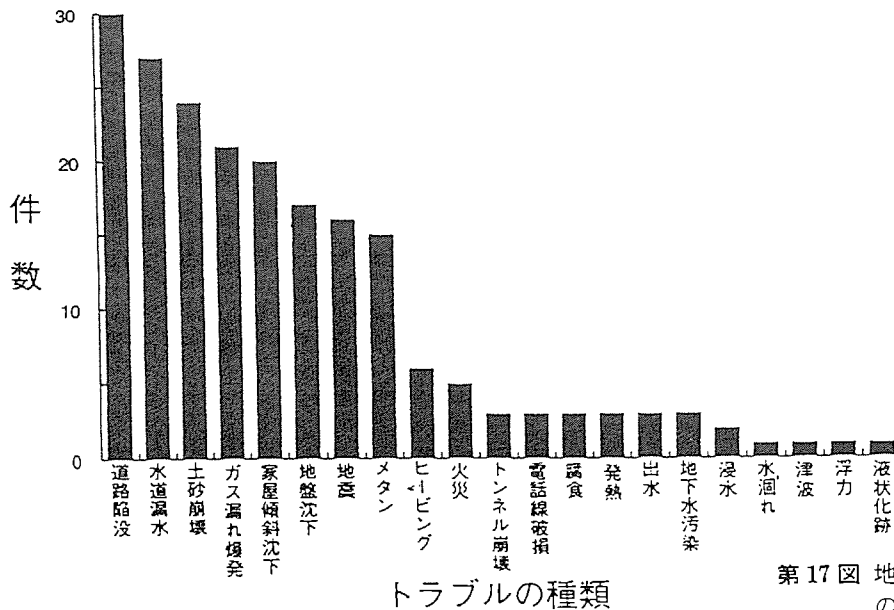
第15図 地盤災害・事故情報データベースのシステム概念

第2表 災害事例のデータ内容例

コード No.	
位置 座標	緯度・経度 直角座標 標高 (T.P., D.L., O.P., 他) 深度 (G.L.)
構 造 物	(1) 道 路 陥没 亀裂 滑り
	(2) ガ ス ガス漏れ ガス爆発 火災
	(3) 電 気 停電 切断 傾斜 火災
	(4) 電 話 不通 切断 傾斜
	(5) 上水道 断水 漏水
	(6) 下水道 漏水(内部へ) 漏水(外部へ) オーバーフロー
	(7) 地下鉄 不通 漏水 火災 亀裂 水没 沈下 隆起
	(8) 地下街 亀裂 傾斜 沈下 隆起 火災 水没 漏水
	(9) 建 物 亀裂 傾斜 沈下 隆起 火災 漏水
施 工	(10) 工事現場の種類 道路 ガス 電気 電話 水道 下水道 地下鉄 地下街 建物
	(11) 土止め・山留め 工法: 柱列杭 横矢板 連続壁 ケーソン 深度: 現象: 側壁から水流出 底盤から水噴出 土砂崩壊 壁傾斜 はらみ 火災 メタン 地震
	(12) シールド 工法: 圧気 泥水 気泡 セグメント: 鋼性 グクティル 注入: 同時 直径: 深度: 現象: 切羽土砂流出 切羽水流出 切羽崩壊 メタン 発熱 火災 地震
	(13) 推進工法 切羽崩壊 メタン 火災 地震
	(14) NATM 切羽崩壊 メタン 火災 地震
	(15) その他のトンネル 切羽崩壊 崩壊
	(16) 基 礎 杭の種類: 鋼管開端 鋼管閉端 場所打杭 杭径: 深度: 現象: 騒音 振動 沈下 傾斜 破損
	(17) 埋立・盛土 工法: 埋立 盛土 現象: 沈下 傾斜
	(18) 環 境 地下水低下 ダムアップ 一酸化中毒 腐食 発熱 地盤沈下
	(19) 地 震 建築物被害の有無 1/17/17被害の有無 液状化被害の有無
	(20) 地盤条件 腐蝕物層 盛土層 埋立層 沖積粘性土層 沖積砂層 沖積砂礫層 洪積粘性土層 洪積砂層 洪積砂礫層 断層
	(21) 人身災害 死亡 死亡原因 負傷者 負傷名



第16図 地盤災害・事故発生位置の出力例



第17図 地盤災害・事故の現象別発生件数の解析例

4. ま と め

地盤工学情報データベースについて論述してきたが、今後の地盤工学の発展を担う一分野になりうるものであり、かつ育てて行かなければならないものである。

データベースというものはそれを駆使して何かを引き出すことに意義があり、あくまで手段にしか過ぎないが、多量のデータが蓄積されることにより利用の幅や奥行きが広がり新たな展開が期待できる。

また、データベースの構築に当たってはそれを利用する立場の人も関わって、次のような点に配慮して開発することが必要である。

- 誰でも容易に利用できる。

- データの量についてはできる限り多くし、必要データの選定は利用者に任せる。
- コンピュータの発達には目ざましいものがあるので、記述型データについてもコード化することなく入力するのが望ましい。
- コンピュータのハードに依存しないシステムにする。
- 利用者の要望に応じて応用ソフトの充実が心がけられる。

今後の地盤工学データベースのあるべき姿とその一例を示したが、今後解決すべき課題も多く、今後の研究の進展に期待したい。

文 献

- 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会, 1987, 新編大阪地盤図.
- 土質工学会関西支部大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990, 大阪湾海底地盤.
- 土質工学会中部支部, 1987, 最新名古屋地盤図.
- 石井一郎, 1985, 土質データベースシステムの開発について, 運輸省港湾技術研究所港湾技研資料, no.515.
- 石村賢二, 中山俊雄, 1986, 地盤情報システムにおける地質柱状図データベース化, 昭和61年度東京都土木技術研究所年報, 259-266.
- 岩崎好規・諏訪靖二・山本浩司・安永文夫・福田光治, 1984 a, リレーショナル・データベースとしての地盤情報とその応用. 第19回土質工学研究発表会, 土質工学会, 7-8.
- 岩崎好規, 諏訪靖二, 山本浩司, 1984 b, 地盤情報のデータベース化とその応用. 第9回電算機利用に関するシンポジウム, 土木学会, 113-116.
- 岩崎好規, 諏訪靖二, 山本浩司, 1989, 地盤情報データベースの構築理念と汎用システムの開発. 第34回土質工学シンポジウム, 土質工学会, 195-202.
- 岩崎好規, 諏訪靖二, 山本浩司, 1991, 地域地盤地質情報に対する地盤工学データベース・システムの開発と構築理念, 情報地質学会論文集, 情報地質, 1, no.1, 103-113.
- 幾志新吉, 菅原正巳, 清水良作, 1971, 電算機による都市地盤土質柱状図資料の位置検索法 (第一報), 土と基礎, 19, no.4, 23-30.
- 幾志新吉, 菅原正巳, 清水良作, 1971, 電算機による都市地盤土質柱状図資料の位置検索法 (第二報), 土と基礎, 19, no.4, 9-14.
- 中世古幸次郎編著, 1984, 関西国際空港地盤地質調査.
- 徳善温, 中山俊雄, 石村賢二, 1976, 地質柱状図の電算化について, 昭和51年度東京都土木技術研究所年報, 133-139.
- 山本嘉一郎, 諏訪靖二, 中堀和英, 1979 a, 土質情報管理システム (SOIL) について, 土質工学会第14回土質工学研究発表会, 1-4.
- 山本嘉一郎, 諏訪靖二, 池森珪祐, 1979 b, 土質情報管理システム (SOIL) について (その2), 土木学会第34回年次学術講演会, 第III部, 138-139.
- 山本嘉一郎, 諏訪靖二, 池森珪祐, 1980 a, 土質情報管理システム (SOIL) について (その3), 土質工学会第15回土質工学研究発表会, 1-4.
- 山本嘉一郎, 諏訪靖二, 池森珪祐, 1980 b, 土質情報管理システム (SOIL) について (その4), 土木学会第34回年次学術講演会, 第III部, 325-326.
- 山本浩司, 諏訪靖二, 山本嘉一郎, 1987, 汎用 DBMS を用いたパーソナルコンピュータによる地盤情報データベースの作成. 土木学会第42回年次学術講演会, 第III部, 640-641.

沖積地盤の特性について

諏訪 靖二*・岩崎 好規*・山本 浩司*・松山 紀香*

Characteristics of Alluvial Deposits in Holocene Age based upon Regional Geotechnical Data Base System

Seiji SUWA*, Yoshinori IWASAKI*, Kouji YAMAMOTO* and Noriko MATSUYAMA*

Abstract: This paper summarizes the present knowledge of geological and geotechnical characteristics of alluvial soils deposited in Holocene age in Kansai area based upon the latest data base of the regional boring information including soil tests.

The area are divided into several regions of three zones of Osaka Bay, Two zones of Osaka Plain, two zones of Kyoto Basin and Kobe area based geological setting as well as geotechnical properties.

The definition of the holocene deposits in Osaka area had been changed recently from the simple judgement of the SPT blow number of the lower sand formation to the consideration of depositary-process of the layer. The holocene deposits of the new definition shows different contour lines of the thickness in two zones of Tenma district in central Osaka and southern Osaka district.

Geotechnical characteristics of alluvial clay formations are compared between two areas of Osaka Bay and Osaka Plain. Several characteristics of physical as well as mechanical properties are shown. The degrees of the micro fossils of plankton found in the soil specimen are found to correlate with consistency characteristics of the clay. The main reason is believed that plankton in sea water increases with the temperature which associates with higher sea level change and the outer sea water with high concentration of salt flows into Osaka Bay where the depository environment changes from fresh to marine sea water.

1. は じ め に

関西の地盤に関する研究は古くは戦前にさかのぼることができるが(山根, 1930), 大きな発展を見たのは戦後になってからである。とくに経済の復興期を経て高度経済成長に向かう時期に地盤沈下による浸水被害が多発したので, 行政, 経済界, 学会の官民学が一致協力して地盤沈下防止に取り組み, 地下水汲み上げ規制を実施して地盤沈下を止めることに成功した。地盤に関する研究もこの時期に大きく進歩し, 大深度地盤の情報も多量に蓄

積され, それらの成果が 1966 年の「大阪地盤図」(日本建築学会近畿支部・土質工学会関西支部, 1966)に結集したのである。その後の経過については「新編大阪地盤図」(土質工学会関西支部・関西地質調査業協会, 1987)に詳しいので興味のある方はそちらを参照していただくとして, 簡単に関西地区の地盤に関する研究成果の一覧を第 1 表に示す。

1987 年の「新編大阪地盤図」以降の経過は以下のとおりである。関西国際空港の建設(運輸省港湾技術研究所, 1984)やフェニックス(広域処理場整備事業)計画の進展(大阪湾広域臨海環境整備センター, (財)大阪土質試験所, 1984), さらにウォータフロント開発の機運に押されるように大阪湾海底地盤の研究が行われるようにな

* (財)大阪土質試験所

Geo-Research Institute, Osaka Soil Test Lab.

第1表

大阪地盤図	(委員長：繁尾 隆三)	1966年
大阪地盤－洪積層の研究－	(委員長：村山 朔郎)	1977年
京都市の地盤について	(委員長：小堀 輝二)	1978年
大阪地区地盤区分図	(委員長：西垣 好彦)	1980年
神戸の地盤	(監 修：藤田 和夫)	1980年
泉州地域の洪積層における地盤沈下に関する調査研究	(委員長：村山 朔郎)	1981年
関西国際空港地盤地質調査	(中世古幸次郎編著)	1984年
大阪湾泉州沖海底地盤の工学的性質	(運輸省港湾技術研究所)	1984年
土質解析調査報告書	(大阪湾広域圏海環境整備センター・(財)大阪土質試験所)	1984年
新編大阪地盤図	(委員長：柴田 徹)	1987年
大阪湾海底地盤	(委員長：赤井 浩一)	1990年
地下空間の活用と技術に関する研究協議会	(座 長：土岐 憲三)	1989年～
関西の大深度地盤および地質構造とその特性の研究委員会	(委員長：足立 紀尚)	1989年～
大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会	(委員長：松井 保)	1991年～

*：大阪湾奥部の海底地盤の特性研究

り、土質工学会関西支部に「大阪湾海底の地盤研究委員会（委員長：赤井浩一）」が1985年に発足した。委員会では研究のために「大阪湾海底地盤情報データベース」を構築し、データベースを駆使して研究を行い、その成果として1990年に「大阪湾海底地盤」（土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会、1990）を発刊した。この委員会は1991年3月に役目を終えて終了したが、その遺産「大阪湾海底地盤情報データベース」を利用し、さらに新たなデータを付加して大阪湾海底地盤の研究を進めようということで、土質工学会関西支部「大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会（委員長：松井保）」が1991年7月から活動を開始している。

関西地質調査業協会では「新編大阪地盤図」の発刊後から、「丘陵地地盤研究会」を組織し泉北の丘陵地帯の洪積地盤を対象にした研究を開始し、既に成果の一部が発表されている（本田ほか、1991；中山ほか、1991）。

また、先の地下高騰を契機として大都市においては地下空間利用の機運が高まり、地下空間利用の可能性の研究が盛んに行われるようになってきた。関西でも関西の地盤に立脚した研究を行うということで「地下空間の活用と技術に関する研究協議会（座長：土岐憲三）」が学官民の協力のもとで1989年に発足し研究を続けている（土岐ほか、1990）。その中でも特に関西の大深度地盤の地質・土質工学的な研究を行い、地下空間の活用に役立てようということで土質工学会関西支部に「関西の大深度地盤および地質構造とその特性の研究委員会（委員長：

足立紀尚）」が発足し現在研究を続けている（土学会関西支部・土質工学会関西支部、1990）。この委員会では、研究を進めるために積極的に「地盤情報データベース」を駆使することになった。そのために、行政、公益企業などの協力のもとに「大阪湾海底地盤情報データベース」と共通の構造を有する「陸域における関西地区地盤情報データベース」を構築して研究を進めている。この研究委員会が終了する今から1年後には、関西地区の陸域地盤についてのまとめが行われる予定であり、大きな成果が期待されている。

このように最近の地盤研究において重要なことは「地盤情報データベース」の構築・活用であり、高度な研究に十分耐えるデータ量、データの品質ならびにデータベースシステムが必要である。このようなデータベースシステムについては本書の筆者らの別稿を参照していただきたい。

沖積層という場合、定義によって堆積年代を1万年前以降（完新世）、2万年前以降（ウルム氷期最盛期以降）の2つが考えられるが、関西には2万年前から1万年前にかけての堆積物がほとんど見つかっていないので、ここでは主に1万年前以降を沖積層として扱うことにする。

関西地区全域にわたる沖積層の地域性を詳細に対比・比較するだけのデータの蓄積・整備が、現時点では十分なされていないので、ここでは大阪平野の沖積層を中心にして、陸域と海域の沖積層についても対比を行なうものとする。

2. 関西の沖積地盤の概要

関西には大阪市、神戸市、京都市と政令指定都市が僅か直径100 km圏内に集中しており、その圏内には奈良市も含まれてしまうし、大阪市の西から南にかけて広がっている大阪湾（沖積粘土層が厚く堆積している）もほとんどこの圏内に包含される。これらの地盤を地域ごとに見てみると次のような特徴を各々持っている。

大阪市を中心とした大阪平野は淀川、旧大和川、猪名川、武庫川などの大河川の扇状地と三角州からなり、沖積層が厚く堆積した低地帯を形成している。それに対して大阪市内の上町台地、阪神間の伊丹丘陵、北摂の千里丘陵、東部の枚方丘陵、堺市から南部の泉州地域はほとんどが洪積堆積物で覆われている。

低地帯の沖積堆積物は地表面付近から下位に向かって緩い砂質土、軟弱な沖積粘土、砂質土、洪積砂礫層と続いている。しかし、茨木市、摂津市、枚方市、守口市のような淀川の後背部や東大阪では緩い上部砂質土の上に

粘性土が堆積している場合が多く見られる。

大阪湾の海底になると、海底面から軟弱な沖積粘土が厚く堆積し、下位に向かって沖積粘性土、沖積砂質土、洪積砂礫・砂質土層と続いている。

神戸市は山間部や内陸部を除くと、ほとんどが沖積の扇状地性の砂質堆積物からなり、良好な地盤を構成している（神戸市，1980）。旧海岸線（戦前頃）は白砂青松で知られた海岸が連なり、海水浴場で知られていたが、この沖積の砂層の下位には薄く沖積粘土層が堆積している。また沖合いの海底には軟弱な沖積粘土が厚く堆積している。

京都市は、中心の市街地部が賀茂川、堀川などの北部の山間部から流れ込んでいる河川が運んできた砂質土主体の扇状地性の平地である。南部は桂川、淀川、木津川などの大河川による沖積性の低平地であり、地表面付近は砂質土が主体であるが、この下位には沖積の粘性土が堆積している（藤原，1982）。

大阪湾には沖積層が厚く堆積していることが知られているが、地盤は旧海岸線付近と沖合の2つに大別される。すなわち戦前までの旧海岸線付近の海底面には砂層が堆積しており、良好な海水浴場を形成し地域住民の憩いの場所であった。しかし沖合にでると海底の砂層は消え、海底から軟弱な粘土層が出現している。堺から南の泉州海岸も昭和30年代までは海水浴場としてよく知られていたが、阪神間にはない磯浜の海岸が多く見られた。泉州地域の海岸では洪積層が直接海に接しており、洪積の砂質土層が波に洗われて礫だけ取り残されてできたのが磯浜である。しかしこの泉州海岸でも沖合いに1 kmも出れば、海底から軟弱な沖積粘土層が堆積している。

戦前から昭和30年代頃まで進められてきた沿岸に張りついた埋立地は、沖積砂質土が海底に分布していたこともあって埋立も容易に行なわれてきた。しかし、最近の埋立は関西国際空港を例に出すまでもなくほとんどが軟弱な沖積粘性土の上に造成されている。ただ例外は大阪府の埋立地で、泉州沿岸の海底が洪積層で覆われているために、周辺海域の浚渫による埋立でも比較的容易に経済的な埋立が行われてきた。

大阪湾の東半分すなわち神戸から阪神間、大阪、泉州の沖合には海底から沖積粘土層が厚く堆積していることが知られている（藤田・鎌田，1964）。そしてこの沖積粘土の土質工学的性質には後背地の地形・地質に対応するような地域性が見られることが明らかになっている（中世古・諏訪ほか，1987；諏訪・山本，1989；諏訪ほか，1990）。このことについては後述する。

3. 沖積層の層序

沖積層は、一般的に次のように分類することが行われている。

- 上部沖積層（Au層）
- 中部沖積層（Am層）
- 下部沖積層（Al層）

上部沖積層は最も新しい堆積物、縄文海進以後の海面停滞期から若干の海退期を経て現在に至る堆積物とされている。大阪平野では主に砂質堆積物からなりN値が10以下の緩くて均等係数の小さい砂が数m～10m程度堆積している。この砂は液状化の可能性が高く、地震時対策が要求される地層である。また、淀川や旧大和川の後背部にはこの砂の上に沖積の粘性土の堆積がみられ、きわめて軟弱な地盤を形成している。大阪湾においては上部沖積層に相当するものは粘性土層であり、中部沖積層も粘性土層なのでこの境界を定めることは容易ではない。物性的にも顕著な差がなく、沿岸部においてのみ上部が若干低塑性なことぐらいであり（谷本ほか，1983）、境界は明確ではない。

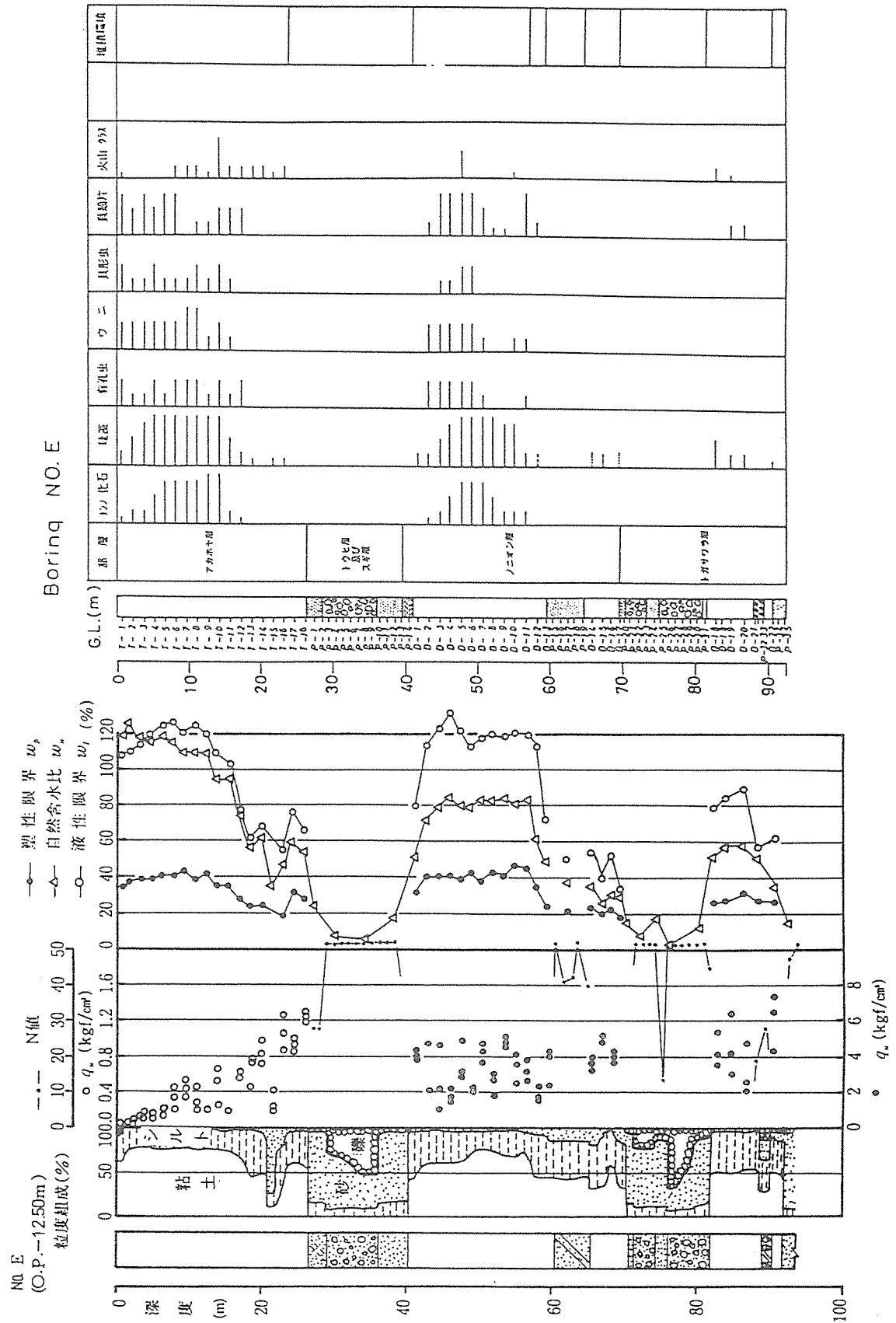
中部沖積層は縄文海進頃の堆積物で軟弱な粘土を主体にしており、内陸になるほどシルトの含有が増えるようである。陸域にはこの粘土層はまさに中部沖積層として存在するが、海域では先にも述べたように上部沖積層と中部沖積層の境界は定かではない。

下部沖積層は中部沖積層が粘性土層主体なのに対し、砂質土主体であり、シルト層や粘性土層を挟み複雑な層相を示している。粘性土も中部沖積に比べると極めて低塑性なので境界を定めることは可能であろう。しかし物性的には深さ方向に徐々に変化しているので、連続試料から層相の変化をよく読み取らないと、境界を定めるのが困難なことも確かである。

第1図に大阪湾でのボーリングによる土質工学的性質と地質学的性質の対比を示す（大阪湾広域臨海環境整備センター・財大阪土質試験所，1984）。この図から明らかなように、沖積下部の低塑性な粘性土や砂質土の互層が出現するのはナンノ化石の第1層準下限から下位である。このようなことから海域の沖積層においてはナンノ化石第1層準下限から下位を下部沖積層と見なしてよいようである。陸域については微化石分析結果が少ないので、このように層を分けることの是非については今後の課題である。

4. 各地区の沖積層

関西の代表的な大都市である、大阪、神戸、京都の沖



第1図 土質特性と地質特性の対比

沖積地盤の特性について

積地盤と大阪湾海底の沖積地盤の概要を第3図、第5図の地層断面図に基づいて説明する。

4.1 大阪平野

大阪平野の沖積層を考える場合に、地域的に分割して比較するのが便利である。大阪平野の堆積・発達過程を考慮して次のように分類できる。

- 東大阪低地（淀川の影響が少なくなる付近以南から大和川まで、すなわち旧大和川の影響が大きい地域）
- 北大阪低地（淀川付近と以北、すなわち淀川の影響が大きい地域）
- 西大阪低地（尼崎市の東半分を含む、淀川と猪名川の影響が大きくかつ海域の影響が大きい地域）
- 阪神間低地（尼崎市の西半分と西宮市、すなわち武庫川の影響が大きい地域）

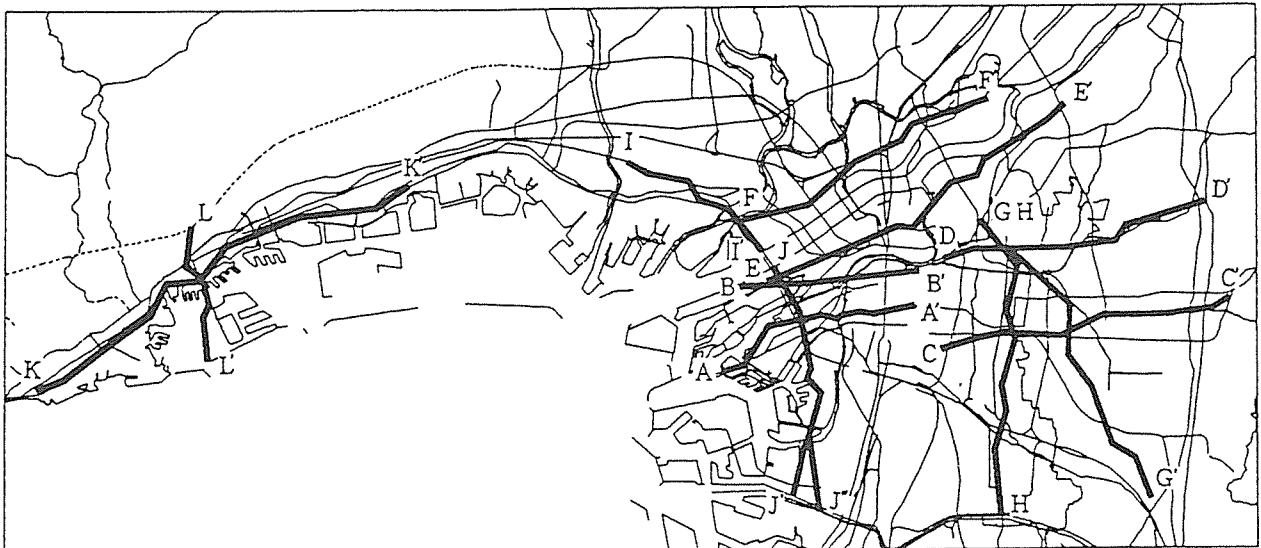
また、上町台地や南大阪（大和川以南）は、ほとんど沖積層の堆積が見られない洪積台地なので、地域分類からは除く。

以上のような地域を念頭において沖積層を中心に地層

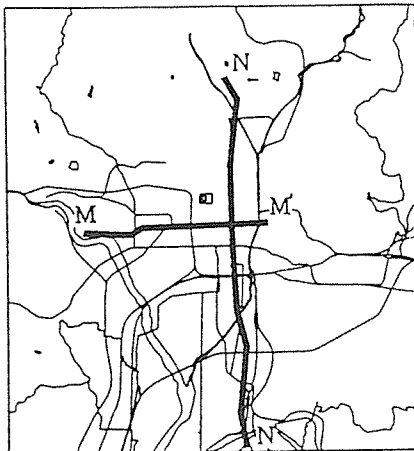
断面図から大阪平野の地層構成について説明する。

第2図の平面図に示す測線について地層断面図を作成した。その地層断面図を第3(1)～3(4)図に示す。この地層断面図は断面A～Jが大阪平野、断面K、Lが神戸市、断面M、Nが京都市となっている。

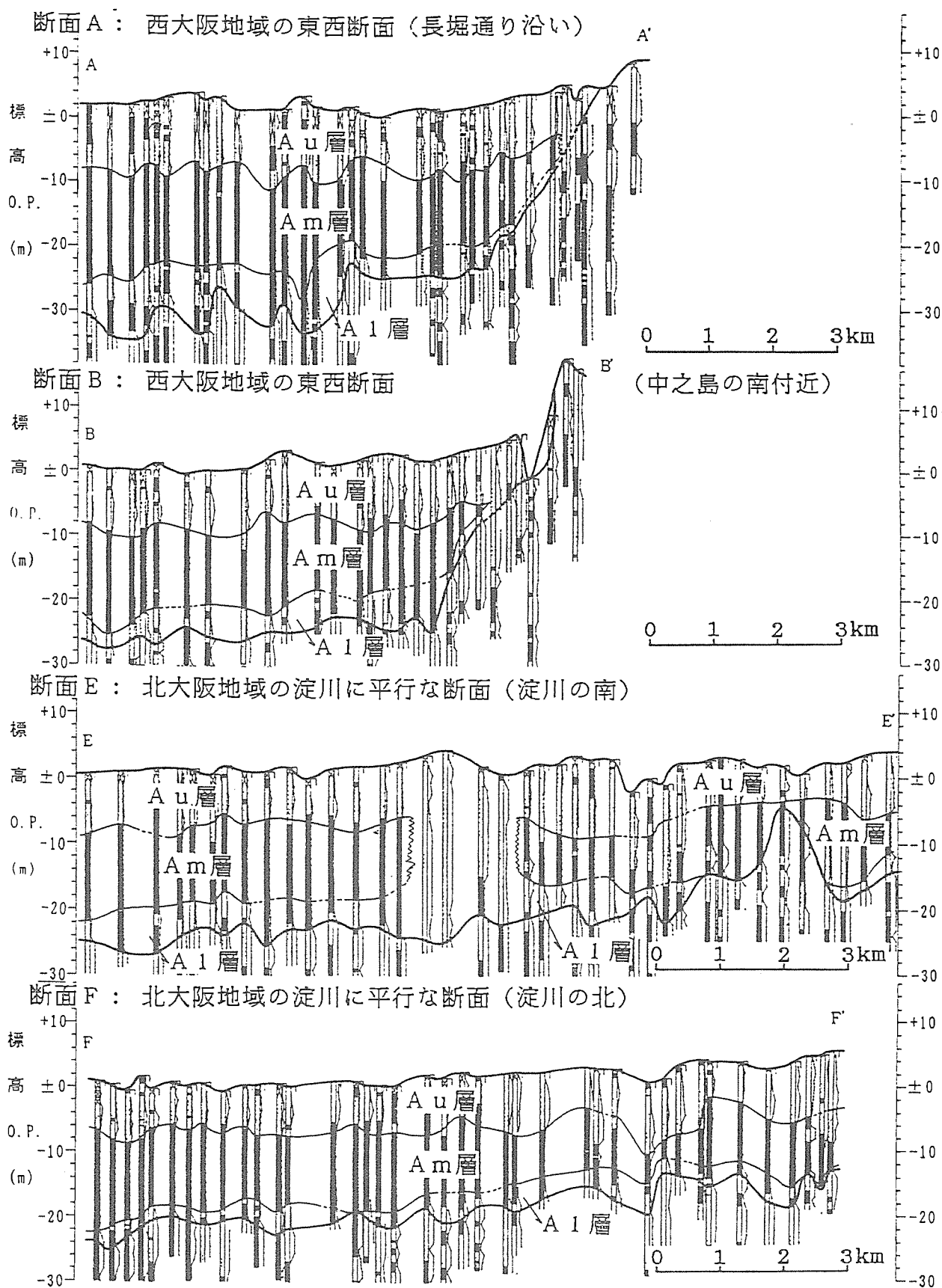
- 断面A：西大阪地域の東西断面（長堀通り沿い）
- 断面B：西大阪地域の東西断面（中之島の南付近）
- 断面C：東大阪地域の東西断面（長堀通りの延長）
- 断面D：東大阪地域の東西断面（寝屋川沿い）
- 断面E：北大阪地域の淀川に平行な断面（淀川の南）
- 断面F：北大阪地域の淀川に平行な断面（淀川の北）
- 断面G：東大阪地域の南北断面（旧大和川沿い）
- 断面H：東大阪地域の南北断面（内環状線沿い）
- 断面I：阪神間東西断面（2号線～43号線）
- 断面J：西大阪地域の南北断面（木津川より西）
- 断面K：神戸地域の東西断面（2号線付近）
- 断面L：神戸地域の南北断面（三宮付近）
- 断面M：京都地域の東西断面（五条付近）



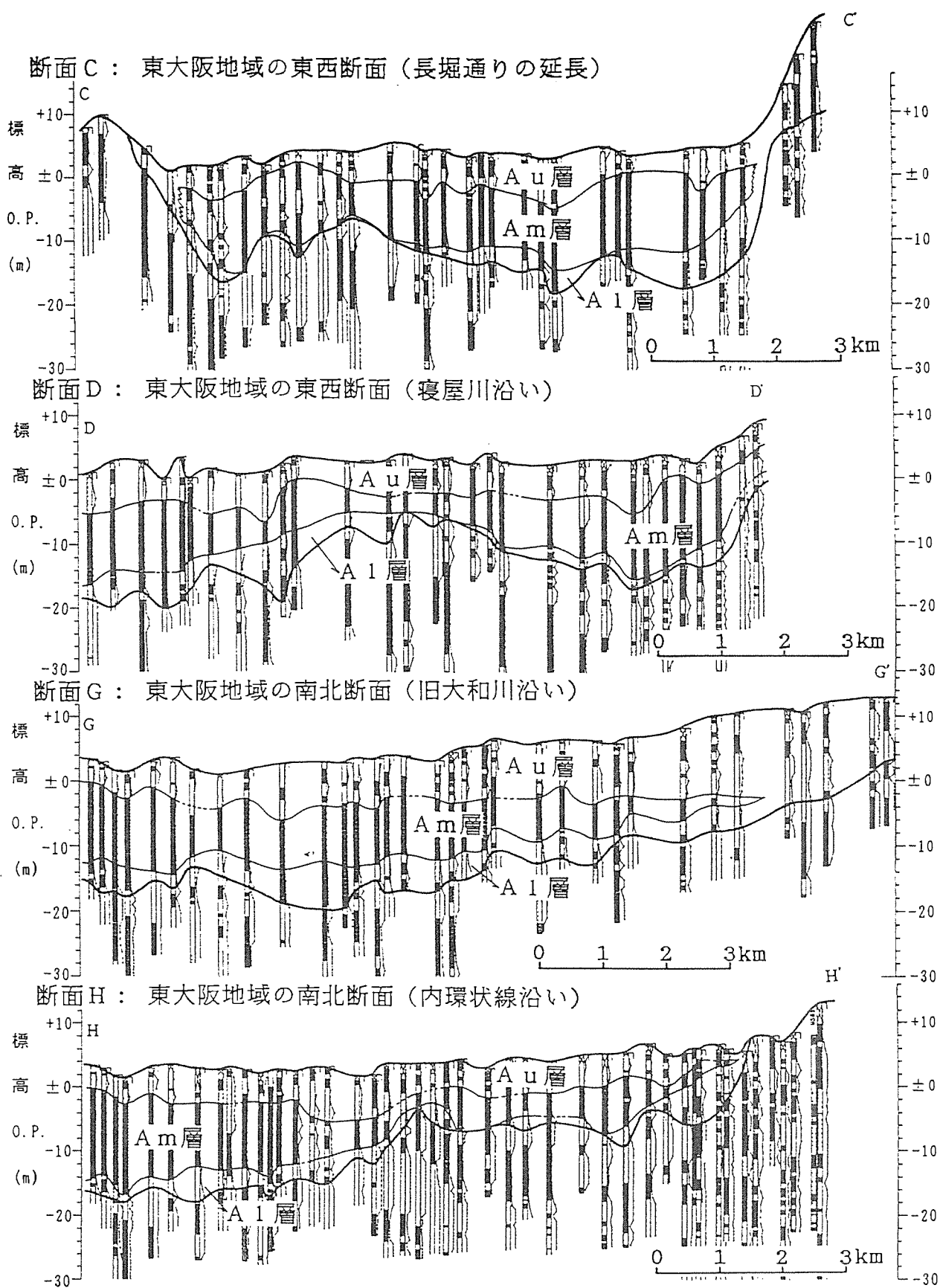
第2図 (a) 地層断面線位置図（神戸市～大阪市）



第2図 (b) 地層断面線位置図（京都市）



第3(1)図 陸域の地層断面図



第3(2)図 陸域の地層断面図

断面 N：京都地域の南北断面（堀川通り付近）

これらの地層断面のうち、大阪平野の東西断面は西大阪と東大阪ではぼつながつて見れるように、見開きページの左右に配してある。すなわち断面 A と C、断面 B と D である。また阪神間東西の断面 I と西大阪南北の断面 J は淀川を挟んでつながるようになっている。

なお、これらの断面図を作成するに当たって留意した点は既刊の地盤図などで採用されていない断面線を採用したこと、沖積と洪積の境界を原則として「新編大阪地盤図」の考え方に準拠して沖積基底面を決めてある。天満地区における N 値の高い砂層の評価が「大阪地盤図」と「新編大阪地盤図」で異なっており、「大阪地盤図」ではこの層を洪積とし、「新編大阪地盤図」では沖積としている。その違いを地図上に表すと第 4 図のようになり、違いの大きな場所が「新編大阪地盤図」で指摘された天満地区だけではなく、大和川より北の東大阪地域にも見られる。しかし、この地域は天満地区とは逆に、「大阪地盤図」で沖積層が厚く、「新編大阪地盤図」では薄くなっている。

「大阪地盤図」での沖積・洪積の境界は、支持層としての適切な評価を与えるために、主に N 値の大きさによって境界を定めたことが上げられる。すなわち、

沖積層＝悪い地盤

洪積層＝良い地盤

というイメージで地盤が認識されていることに合わせたものである。このようなことから大和川北の東大阪地域は上町台地の続きでありながら N 値が小さいために沖積層と判断されたのであろう。「大阪地盤図」における N 値によって沖積・洪積の境界を定める方法は、地盤図を利用する人々が地盤や土質に深い知識を持ち合わせていないことなどを考慮してのことであり（日本建築学会近畿支部、土質工学会関西支部、1966）、それなりに十分意義のある分類であったことは事実である。したがって、「新編大阪地盤図」において沖積・洪積の境界が変わったからといって、N 値の高い層が支持層としての価値を失ったわけではないので注意が必要である。

これらの断面図から次のような沖積層の特性が浮かび上がってくる。

西大阪地域は、概して東大阪地域より沖積層が厚く、特に中部の粘土層が厚くなっている。

また同じ西大阪地域でも、東西断面で南から北に順にみると（断面 A、B、E、F）、北ほど沖積層の層厚が大である。特に中部沖積層（Am 層）は、断面 A では約 15 m、断面 B および E では約 12.5 m、断面 F では約 10 m である。

断面 A、B の沖積層の分布の東端では、上町断層の影響により洪積層の上面深度が浅くなり、その分沖積層の層厚は薄くなり、粘土主体の Am 層は消滅してゆく。あるいは Am 層は粘土主体から砂主体へと層変わりしていることも考えられる。そして沖積層の全く分布しない地点がある。いずれにせよ上町断層近傍での沖積層の認定および沖積層内の区分には課題が残されている。例えば、大阪市中心部の地下鉄堺筋線付近のボーリング試料において、O.P.-7.2 m～-11.7 m の砂礫層から出土した材化石の¹⁴C 年代は 7460±80 であり、さらに下位の -12.7～-14.7 m より出土した貝化石の¹⁴C 年代は 7340±70 であった（Mitamura, M., 1991）。N 値を重視した従来の見解によれば、この付近は O.P.-7.2 m より下位の地層は洪積層とされていたところであるが、¹⁴C による値からはまぎれもない沖積層となる。

断面 E と F は淀川を挟んでの東西断面であるが、地質状況はかなり異なる。淀川の南側では、天満付近に厚い砂～砂礫層が発達する。この砂主体の地層は先に述べたように、「大阪地盤図」ではいわゆる天満砂堆として洪積層とされていたが、「新編大阪地盤図」では沖積層とされたものである。断面 E 上では、Am 層は粘土主体の地層としてとらえ、この砂堆により東西に分離して表現した。このことは Am 層が堆積する時、すでに天満砂堆がある程度形成されており、砂堆のまわりに粘土が堆積したことを意味する。一方、天満付近では Am 層は粘土主体から砂主体層に変化し、天満以外の場所では粘土が堆積する環境であるが、天満では砂層が堆積する環境であった可能性もある。

断面 E では沖積砂堆以外に森小路付近に、洪積層の背斜構造が存在するため、洪積層の上面深度が浅くなった地域がある。そこでは沖積層の厚さはわずか 6 m 内外である。しかし沖積層の層区分からみれば、この背斜構造は沖積層には及んでいない。

断面 F では、沖積層は一樣な厚さでほぼ水平に分布しており、何等構造的ものはみられない。

東大阪地域では、いわゆる河内盆地の浅い皿を埋めるように沖積層は分布している（断面 C、D、G、H）。盆地中央では沖積層の層厚は約 20 m 前後であるが、周辺では薄くなっている。断面 C の東西断面でみると、上町台地の東側では、洪積層の上面深度が急に深くなり谷状を示し、厚い沖積層が埋めている。一旦洪積層の上面深度が上がり、沖積層の層厚は薄くなるが、東にむかって洪積層の上面深度は下がり、沖積層は厚くなっている。しかし、断面 C の東端では、生駒断層の影響で沖積層の基底は急に上昇し、層厚は減ずる。同様に断面 D において

沖積地盤の特性について

も、洪積層の上面深度には凹凸がみられ、東西両端にやや深く、中央部分は浅い。それに呼応して沖積層の層厚も東西両端で厚く、中央部分では薄い。東大阪地域では、沖積層は洪積層の谷を埋めるように分布し、Am層は沖積層が厚い東西両端で層厚が大である。

断面 H の南北断面でみると、北ほど沖積層の層厚は厚く、それにともない Am 層の層厚も大となる。盆地中央より南では、南から延びた洪積台地のため洪積層の上面深度が急に浅くなり、それにともない沖積層が薄くなる。沖積層は平野区喜連付近より南には分布しない。断面 G では、旧大和川に沿っているため、河内盆地の奥深くまで厚く沖積層が分布しており、断面 H でみられたような洪積台地はみられない。しかし、粘土主体の Am 層は南東へ行くほど薄くなり、消滅する。

大阪湾を取り囲む断面図（断面 I, J）でみると、沖積層は淀川南側付近で最も厚く、約 28 m 内外の層厚がある。西に行くにしたがって沖積層の層厚は減じ、武庫川より西では、沖積層の厚さは約 13 m 内外に薄くなる。Al 層、Am 層の発達が悪くなり、特に Am 層は急速に層厚を減じる。淀川より南では、沖積層はほぼ同じ層厚を保っているが、住之江区付近より南では、徐々に層厚を減ずる。Am 層は、層厚約 15~12.5 m と安定しており、ほぼ水平に分布する。しかし、住之江区付近からは、断面線の位置をやや東側に採ると、断面 J の右端に添付した断面図のように、洪積層上面深度が急に上がり、沖積層は急に薄くなる。

4.2 神戸の沖積地盤

神戸の沖積地盤について第 3 (3) 図に示す断面図から簡単に説明する。断面 K は、国道 2 号線（一部国道 43 号線）に沿ったほぼ湾岸に並行な東西断面である。一方、断面 L は、断面 K と直交する方向で、三宮付近の山麓から埋立地にかけての南北断面である。

両断面からみると、神戸市内とくに陸域では、西大阪地域などに比べて、全般に粗粒な堆積物、砂~砂礫で構成されている。そのため地表面からわずか数 m で N 値が非常に大きくなる。N 値は、礫の混入率や礫径により大きく変わるので、沖積層/洪積層の判定の目安として N 値を参考にすることは注意を要する。

大阪平野下で特徴的であった Am 層のような粘土主体の層準は、かつて海域であった埋立地域を除いてみられない（断面 L）。埋立地域における粘土主体の Am 層を陸域に追跡すると、国道 2 号線付近から山側では粘土層は分布しない。粘土が分布しなくなる位置はほぼ標高 4 m 付近にあたるが、この付近には微高地の末端をなす低い崖が延びる。この崖はかつての縄文海進の侵食作用に

よって形成されたと考えられおり、標高 4 m というのは、かつての縄文海進がおよんだ範囲を示す（神戸市、1980；前田、1980）。

大阪湾に厚い沖積層が堆積していた頃、標高 4 m より山側では、粗い扇状地性の堆積物や土石流的な堆積物が山麓より押しだして広く分布している。この粗粒堆積物は、海域の粘土主体の堆積物と同時異層の関係にあると思われる。山麓の堆積物は粗粒であり、N 値も大であるので、下位の洪積層との区分はできなかった。¹⁴C、花粉分析などによる年代測定結果が待たれる。

同様に、湾岸線と並行な断面 K では、砂~砂礫層の厚い互層が分布している。従来では、礫を含まない砂層の N 値 20 前後で沖積層と洪積層の区分をしていたようであるが（神戸市、1980）、両者の区分はボーリング資料だけでは困難な場合が多い。したがって、断面 K の沖積層の下底面を示す線は、N 値から考慮した沖積層と洪積層の境界であり、地質学的分析に基づいて評価したものではない。

4.3 京都の沖積地盤

京都の中心部の地盤は先に述べたように北部山地から流下する賀茂川、堀川などの扇状地性の平坦地であり、地下水の豊富な砂質地盤が主体である。

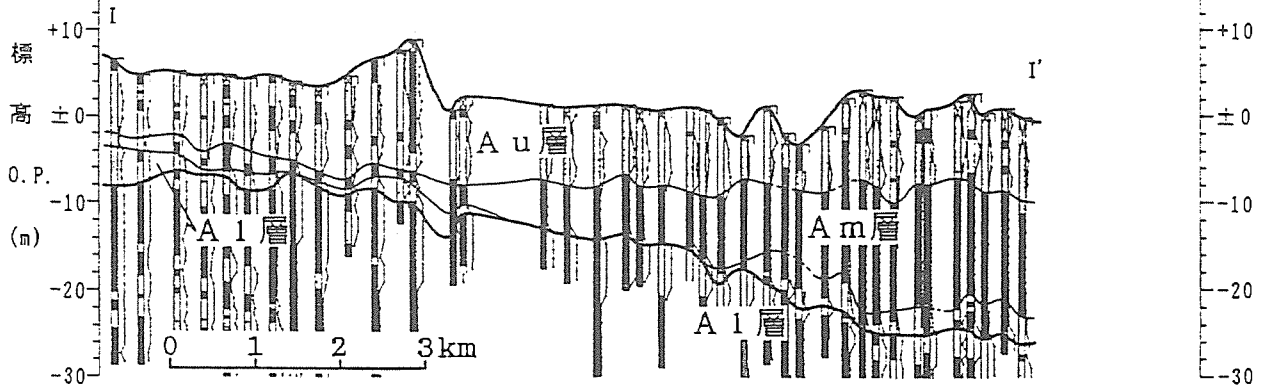
京都の沖積地盤について第 3 (4) 図に示す断面図から簡単に説明する。断面 M は、五条通りにほぼ並行な東西断面である。一方、断面 N は、断面 M と直交する方向で、堀川通りの南北断面である。

両断面からみると、京都市内は、大阪平野に比べて、全般に粗粒な堆積物、砂~砂礫で構成されている。そのため地表面付近に粘土層や砂層が分布しているところ以外は、地表面下より N 値が大となる。N 値は、礫の混入率や礫径により大きく変わるので、沖積層/洪積層の判定の目安として N 値を参考にすることは注意を要する。

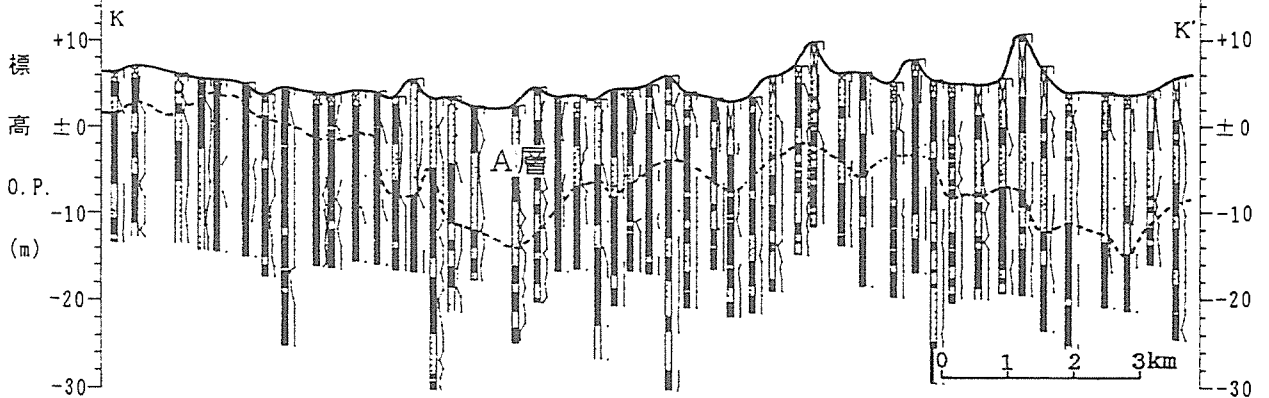
大阪平野下で特徴的であった Am 層のような粘土主体の層準は、南部の小椋池付近の緩い砂と粘土の互層に相当すると思われる（断面 N）。この細粒堆積物を北に追跡すると徐々に薄くなり、京都駅付近から北側では分布しない。

京都市内の中央部より北側では、粗い扇状地性の堆積物が周辺の山地より押しだしてきている。この北部の粗粒堆積物は、南部の細粒物主体の堆積物と同時異層の関係を保ちながら盆地を広く覆っていると思われる。扇状地性の堆積物は粗粒であり、N 値も大であるので、下位の洪積層との区分は、ボーリング資料だけでは困難であった。¹⁴C、花粉分析などによる年代測定結果が待たれる。

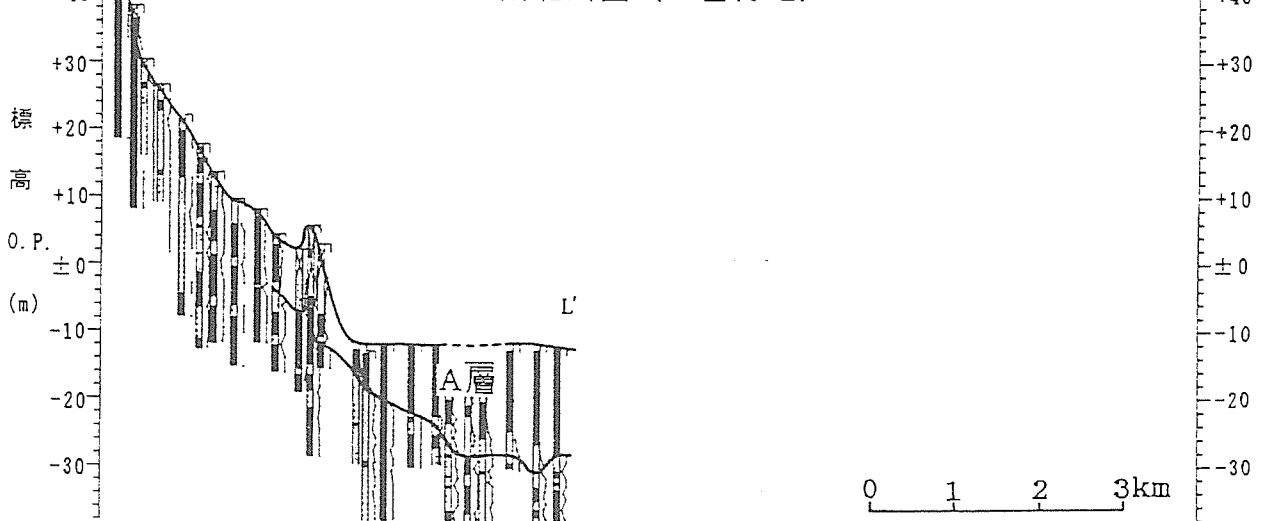
断面 I : 阪神間東西断面 (2 号線 ~ 43 号線)



断面 K : 神戸地域の東西断面 (2 号線付近)

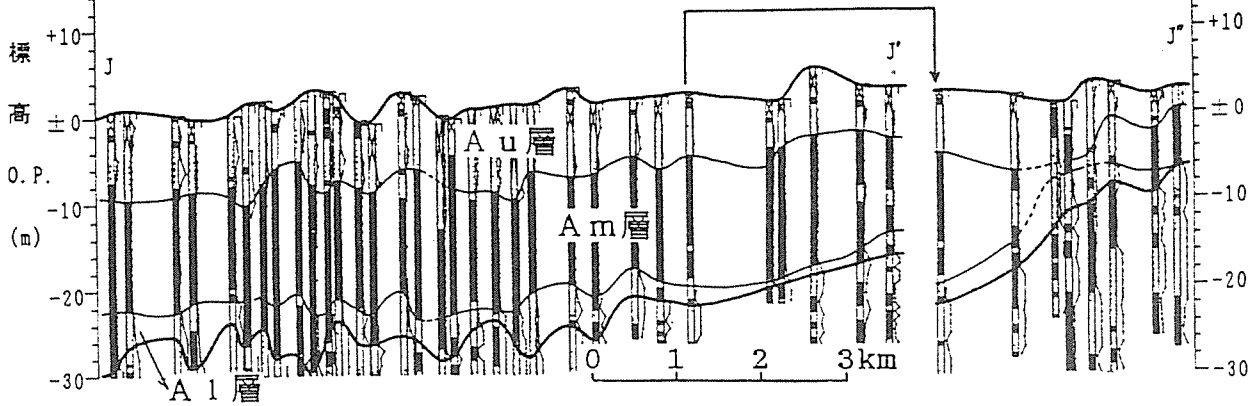


断面 L : 神戸地域の南北断面 (三宮付近)

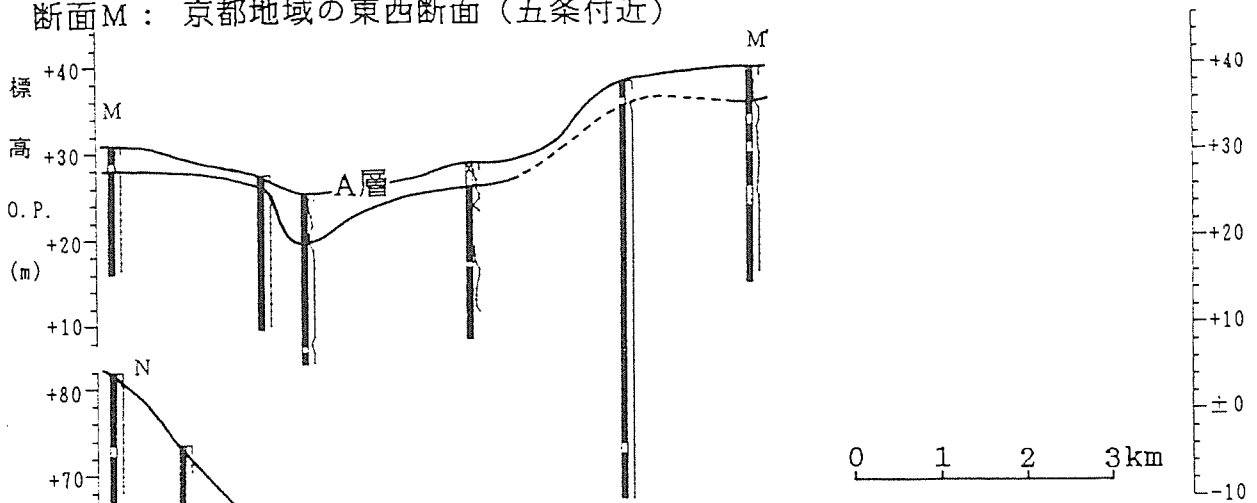


第 3 (3) 図 陸域の地層断面図

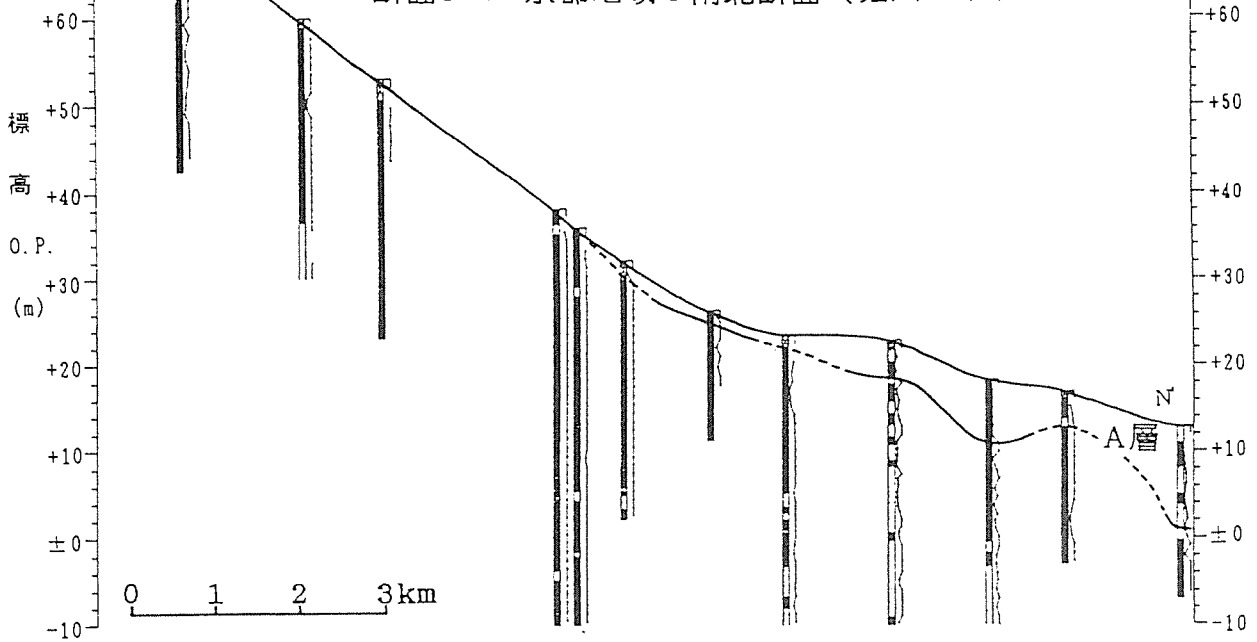
断面J：西大阪地域の南北断面（木津川より西）



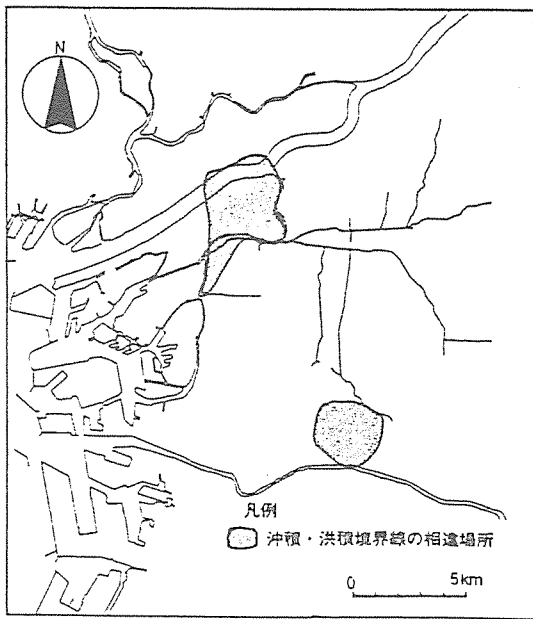
断面M：京都地域の東西断面（五条付近）



断面N：京都地域の南北断面（堀川通り付近）



第3(4)図 陸域の地層断面図



第4図 新・旧大阪地盤図における沖積・洪積境界の相違場所

一方、東西断面でみると(断面 M)、地表面付近の粘土主体層の層厚は2~3 m であるが、部分的に厚い地点もある。この細粒物主体層は、粗粒堆積物の谷を埋めるように堆積していると考えられる。沖積層の下底面を示す線は神戸と同様に N 値から判断したものであり、地質学的分析に基づいて評価したものではない。

4.4 大阪湾の沖積層

第5図に大阪湾の沿岸沿いとこれに直交した断面を示す。これを見れば分かるように大阪湾には沖積粘土が厚く堆積している。これを陸域と同様に上部、中部、下部沖積層と分類することは簡単ではない。第1図に示したように、特に上部と中部はいずれも粘土であり、土質工学的性質や地質学的性質の深度分布からみても境界を求めることは困難である。中部と下部については先に述べたようにナンノ化石第1層準下限深度でもって分類が可能である。海域で下部沖積層を追跡すると、大阪沖付近ではナンノ化石第1層準下限より下位が砂質土と粘性土層の互層的な層相を示しているが、神戸沖においてはナンノ化石第1層準下限より下位においても中部層と変わらない物性の粘性土層であり、層相だけから境界を定めるのが困難な地域も見られる。

過去の研究から(中世古・諏訪ほか, 1987; 諏訪・山本, 1989; 諏訪ほか, 1990; Research Committee on Seabed Deposits in Osaka Bay, JSSMFE Kansai Branch, 1990; 土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990), 海域の沖積粘土の土質工学的性質には地域性が見られ、次の3地域に分類できることが知ら

れている。

- 神戸沖(神戸市と芦屋市の境界を海上に延長した線から西の区域)
- 大阪沖(芦屋市沖から阪神間沖、大阪港沖を経て堺・泉大津沖ぐらゐまで)
- 泉南沖(泉大津沖から南に下がり関西国際空港海域に至る区域)

そして各々の地域の沖積粘土層の土質特性をそれぞれ「神戸型」「大阪型」「泉南型」と呼んでいる(中世古・諏訪ほか, 1987; Research Committee on Seabed Deposits in Osaka Bay, JSSMFE Kansai Branch, 1990; 土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990)。各地盤の特徴を相対的に説明すると以下になる。

- 「神戸型」: 液性限界が低い, 粘土分含有量が少ない, 含水比が低い, 圧縮性が小さい, 圧密速度が速い
- 「大阪型」: 液性限界が高い, 粘土分含有量が多い, 含水比が高い, 圧縮性が大, 圧密速度が遅い
- 「泉南型」: 液性限界がやや高い, 粘土分含有量がやや多い, 含水比がやや高い, 圧縮性がやや大きい, 圧密速度が中ぐらい

このように「大阪型」が粘土分の多い粘土らしい粘土からなり、これの反対にシルトの多い粘土が「神戸型」であり、この中間に「泉南型」が位置している。

大阪湾を大きな地域でみると、明らかに土質特性に差が見られ地域性があるが、もっと狭い範囲でも地域性が見られることが判明している(木山ほか, 1987; 諏訪ほか, 1988a; 山本ほか, 1988; 諏訪ほか, 1988b)。特に神戸港の東西方向や大阪港のような大河川の河口と沖合いのように1~2 Km の範囲の中でも土性に変化があるので注意が必要である。

5. 沖積層の工学的性質

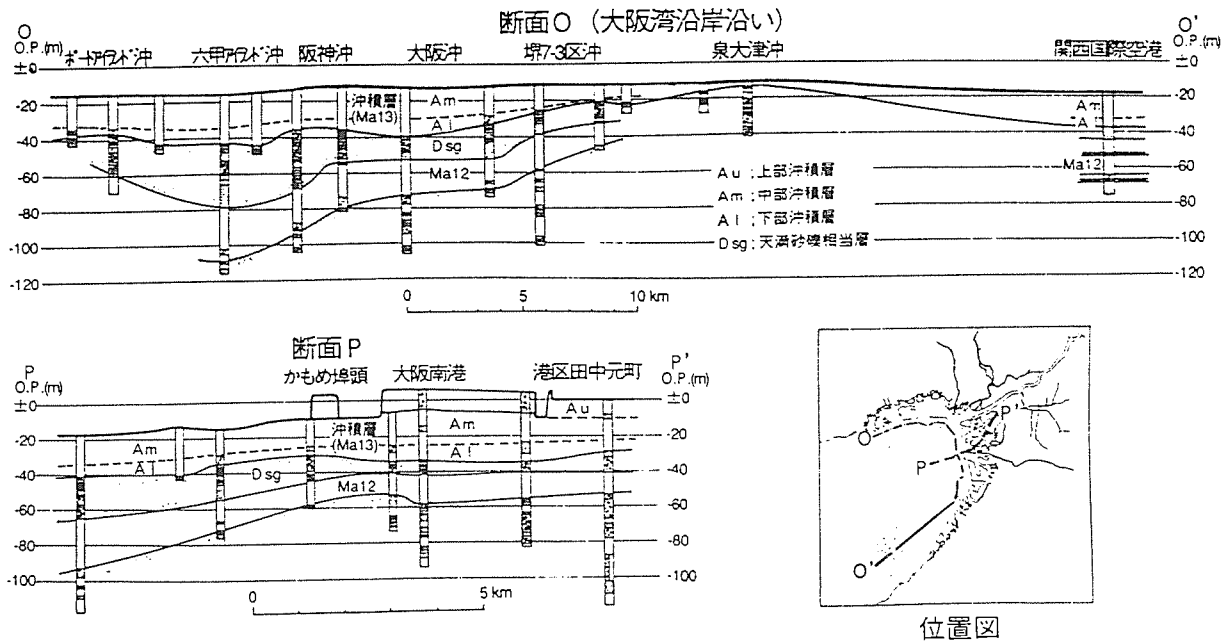
沖積層の土質工学的性質について上部沖積層(特に陸域の砂質土層)、中部沖積層(粘土層)、下部沖積層(砂質土層/粘性土層)について各々説明する。

5.1 上部沖積層(Au層: 主として砂層)

上部沖積の砂層については、物理的性質のうち粒度などについては「新編大阪地盤図」に詳しい。簡単に説明すると均等係数が3~10 と小さく、液状化の対象になる砂層である。

N 値の深度分布を見ると上部と下部で N 値の傾向の異なることが分かる。すなわち地表面から4~5 m 付近までは N 値も10 以下の非常に緩い~緩い砂層であるが、それ以深は N 値10~20 程度の中位の砂層である。この様相は大阪平野全域の上部沖積砂層に対して見られ

沖積地盤の特性について



第5図 海域の地層断面図

る。

この砂層は液状化の可能性が高く（柴田ほか，1987），新設構造物に対しては当然のこと，既設構造物に対しても液状化の影響評価を実施し，対策が検討される時期にきているのではなかろうか。

また，東大阪や北大阪の低地帯には，上部沖積砂層のさらに上に低塑性の粘性土の堆積が見られる．そのために砂層の地下水が被圧している場所もある．

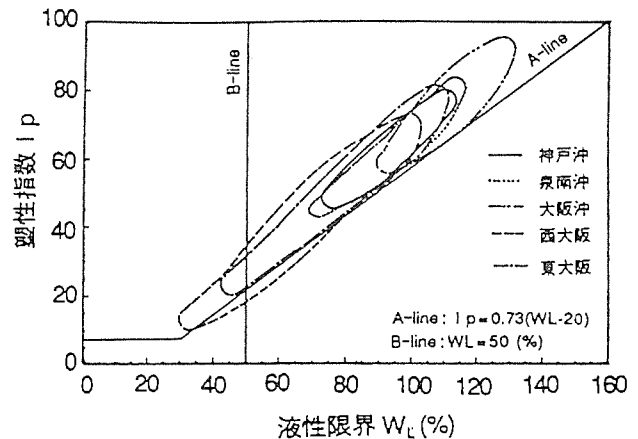
5.2 中部沖積層（Am層；主に粘土層）

中部沖積層はほとんど粘土層であり，N値は2以下で非常に柔らかく，N値=0の部分がほとんどである．粘土の物理的性質，力学的性質，動的特性ともに多数の調査が行われているので，大体の物性は把握されており，地域的な特性もほぼ判明している．そこで，同時期に堆積したと考えられる地層を陸域の西大阪，東大阪，海域の神戸沖，大阪沖，泉南沖の5つの地域に分けて物性比較を行うことにする．以下の図の作成に用いたデータは「大阪地盤図」「新編大阪地盤図」「大阪湾海底地盤」の図から読み取ったものを使用した．

塑性図を第6図に示す．これによれば液性限界は

- 陸域 西大阪 30～105% ⑤
- 東大阪 40～110% ④
- 海域 神戸沖 75～113% ③
- 大阪沖 90～132% ①
- 泉南沖 70～117% ②

のようになっている．最後の①～⑤の数字は液性限界の



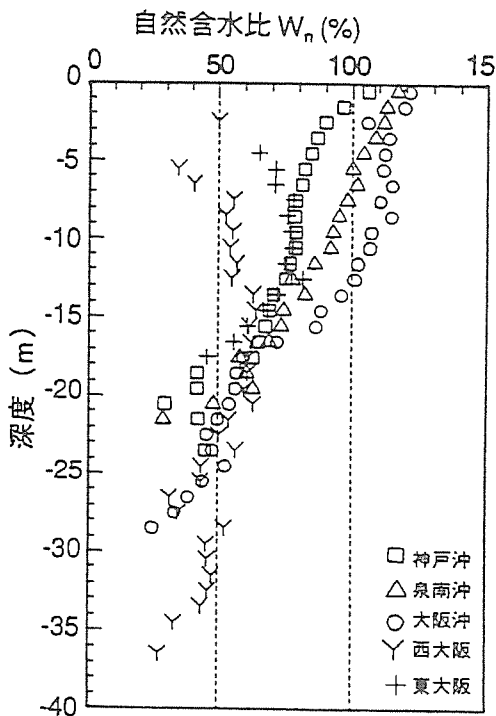
第6図 塑性図

最大値が大きい順である．海域が陸域より大きく，陸域では西大阪より東大阪が大きくなっている．

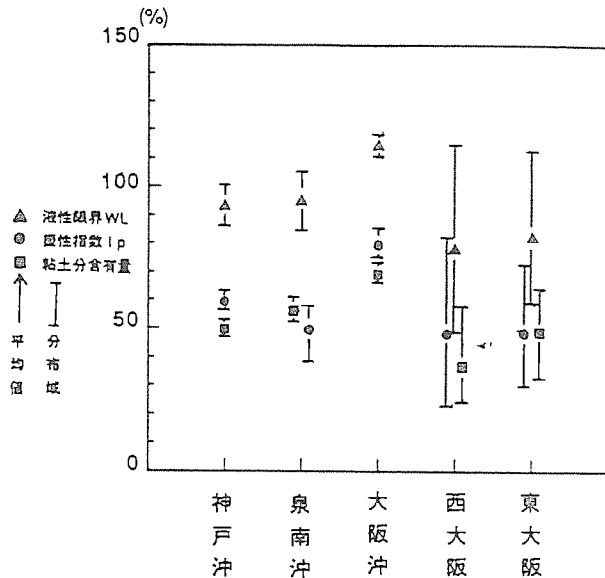
第7図は自然含水比の平均値の深度分布である．陸域では深度5～20m，海域では深度2～15mのデータと比較すると

		平均値の分布		全データの分布	
陸域	西大阪	55～65%	⑤	30～78%	
	東大阪	65～78%	④	40～100%	
海域	神戸沖	75～106%	③	65～120%	
	大阪沖	90～120%	①	85～130%	
	泉南沖	75～116%	②	75～125%	

平均値の最大値で見ても，全データの最大値で見ても大きい順番は同じで，先の液性限界の順番と一致しており，



第7図 自然含水比（平均値）の深度分布図



第8図 コンシステンシー比較図

含水比と液性限界に密接な関係があること分かる。

第8図はこの液性限界、塑性指数、粘土分含有量をまとめたもので、分布幅と平均値を地域ごとに示している。図によれば粘土分含有量と液性限界、塑性指数には相関がみられ、粘土分含有量が多いと液性限界、塑性指数ともに大きくなる傾向がみられる。粘土分含有量でみると東大阪が西大阪より多く、それに合わせて液性・塑性限界も大きくなっている。西大阪と大阪沖の粘土分含有量は、西大阪より沖合いの大阪沖が粘土分含有量が多く液性・塑性限界も大きくなっている。これは河川から運ば

れた細粒分が河川から遠いところほどより細粒なものが運ばれることで説明ができる。ところが、東大阪と西大阪では、東大阪の粘土分が西大阪より多く、西大阪と大阪沖の関係とは異なっている。これについては次のように考えることができる。東大阪の粘土は旧大和川が運搬した細粒分が主体なのに対し、西大阪や大阪沖では淀川、猪名川、武庫川などが運搬堆積した細粒分が主体であることを伺わせる。これについては今のところ仮説であるが、粘性土の物性の、より小地域に分割しての比較・検討から明らかにすることができよう。

第9図に一軸圧縮強度 (q_u) の平均値の深度分布を示す。これによれば粘着力 ($c=q_u/2$) の深度分布を

$$c=K \cdot Z$$

ただし、 c : 粘着力 (単位 tf/m^2)

K : 係数

Z : 深度 (単位 m)

一軸圧縮強度 (q_u) から $c=q_u/2$ として粘着力に換算し、係数 K を求めると

陸域 西大阪 $K=0.32$ ④

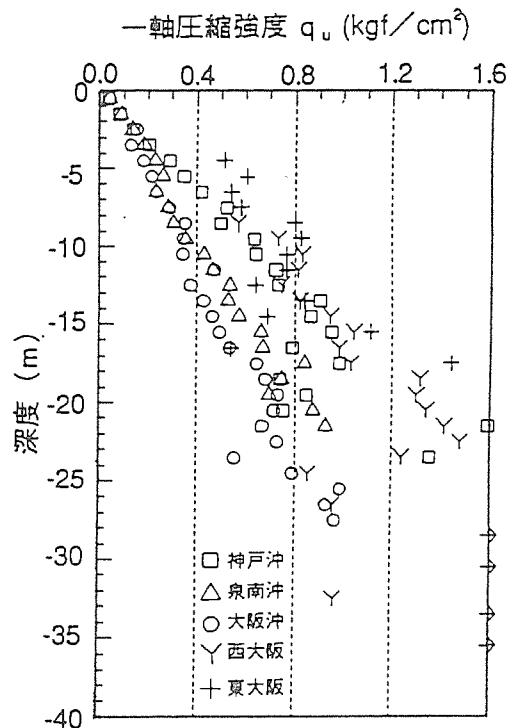
東大阪 $K=0.35$ ⑤

海域 神戸沖 $K=0.31$ ③

大阪沖 $K=0.17$ ①

泉南沖 $K=0.21$ ②

となり、 K の小さいほうから順序をつけたのが①～⑤である。海域の粘土層では物理特性と同じ順序であり、こ



第9図 一軸圧縮強度（平均値）の深度分布図

沖積地盤の特性について

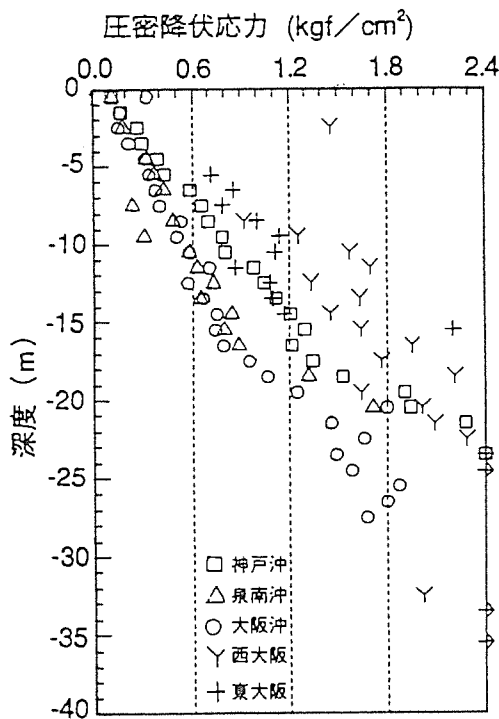
れも含水比が大きいものが一軸圧縮強度が小さいということで説明ができる。しかし、陸域においては物理特性の傾向と逆転しており、先に述べた物理特性の違いだけでは東大阪粘土の力学的特性の説明は困難であり、粘土鉱物そのものが異なっていることも考えられる。

第10図は圧密降伏応力 (p_c) の平均値の深度分布図である。これによれば大阪沖と泉南沖は僅かに過圧密 ($O.C.R.=1.1\sim1.2$) であり、その度合は高含水比ほど小さくなっている。しかし、神戸沖はほぼ $O.C.R.=1.3\sim1.7$ (平均=1.5) であり、他の地域に比べて大きな過圧密比を示している。陸域の西大阪と東大阪においては $O.C.R.=1.1\sim1.3$ (平均=1.2) であり、以前の地下水汲み上げによる水位低下 (水位低下量=20~25m) の影響を考慮すると適当な過圧密度と考えられる。

第11, 12図はそれぞれ圧縮指数 (C_c) と圧縮比 ($m=C_c/(1+e_0)$) の平均値の深度分布である。一般に圧縮性の大小は圧縮指数 (C_c) の大小で表されるといわれているが、圧縮指数を用いた沈下計算法を考えれば分かるように、沈下量の大きさは初期間隙比 (e_0) の大きさにも影響されるので圧縮性の大小を考える場合には圧縮指数 (C_c) を初期体積比 ($f=1+e_0$) で除した圧縮比 (m) で比較するのが正確に比較できることになる。

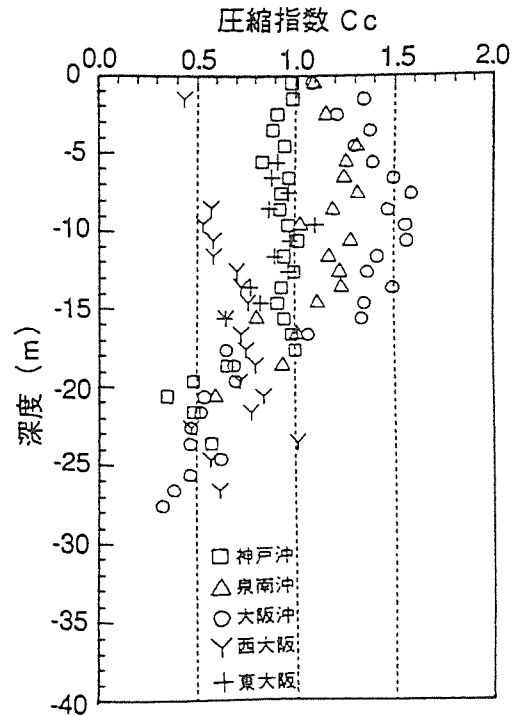
圧縮指数と圧縮比の大きさは

陸域	西大阪	$C_c=0.80$ ⑤	$m=0.29$ ⑤
	東大阪	$C_c=0.95$ ③	$m=0.36$ ②

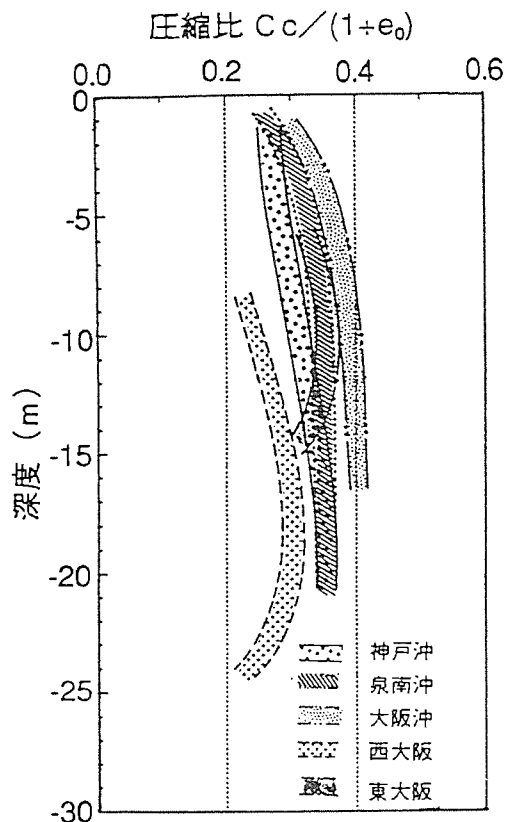


第10図 圧密降伏応力 (平均値) の深度分布図

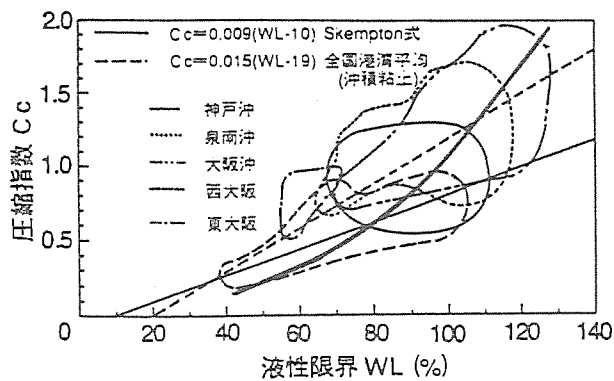
海域	神戸沖	$C_c=0.90$ ④	$m=0.31$ ④
	大阪沖	$C_c=1.45$ ①	$m=0.38$ ①
	泉南沖	$C_c=1.25$ ②	$m=0.35$ ③



第11図 圧縮指数 (平均値) の深度分布図



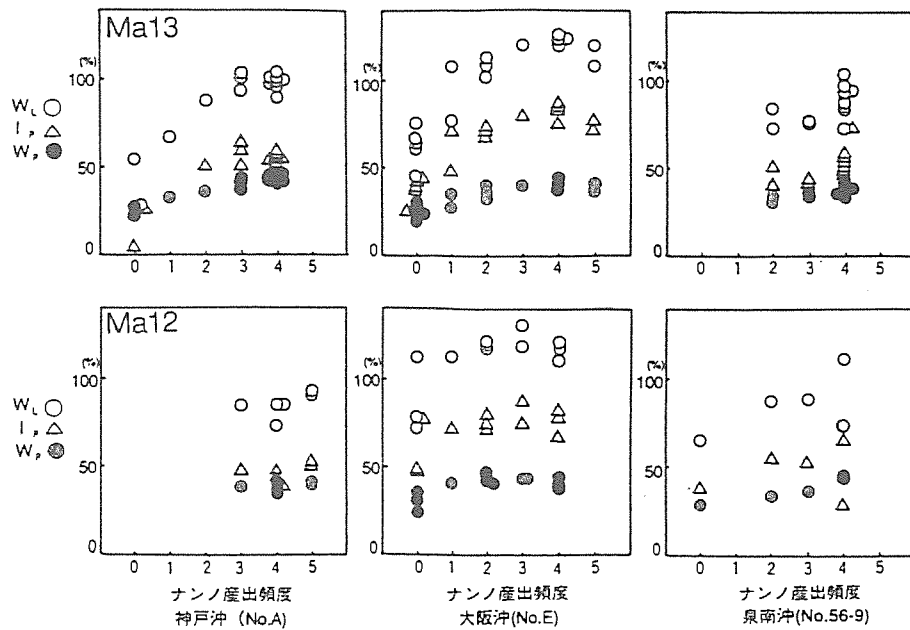
第12図 圧縮比 (平均値) の深度分布図



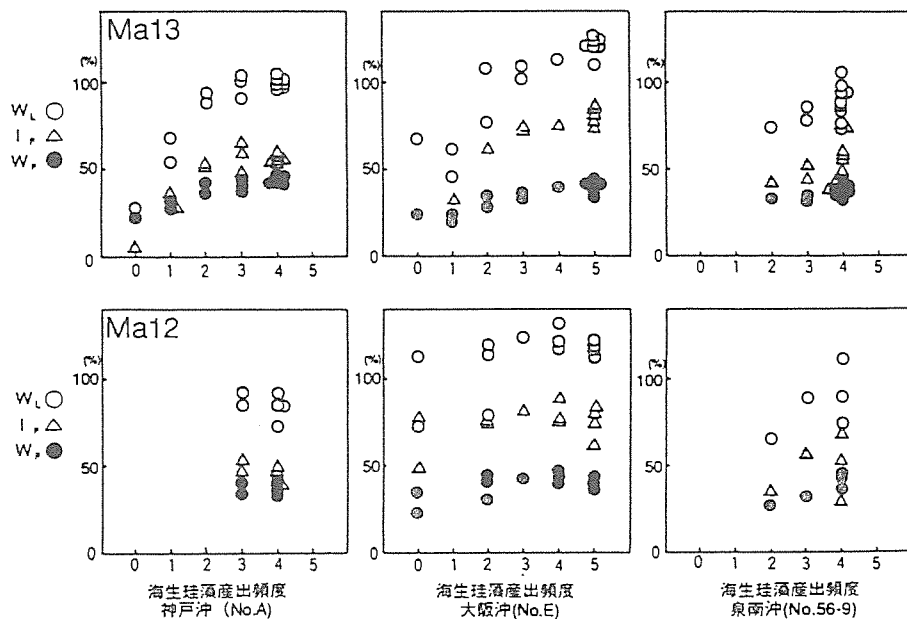
第 13 図 圧縮指数と液性限界

となり、圧縮指数の大きい順序と圧縮比の大きい順序が若干異なっているのが分かる。大阪沖、泉南沖はいずれも圧縮性が大きく、その次に東大阪が位置しているのは鋭敏粘土によるものと考えられる。

第 13 図には圧縮指数と液性限界の関係を分布域で示す。西大阪は Skempton 線に一致しているが、東大阪はこれより大きく上にはずれ、全国港湾平均よりも若干上に位置している。海域のものは全国港湾の平均線上にある。しかし、東大阪のみ除いて見れば、図中に入れた太い線のような傾向がある。陸域のデータは「大阪地盤図」のものを用いており、当時の土質調査においてはサンプル



第 14 (1) 図 ナンノ化石の産出頻度とコンシステンシー



第 14 (2) 図 海棲珪藻化石の産出頻度とコンシステンシー

リングから試験にいたる調査・試験技術が現在のように規格化されていなかったために、データの品質が現在のものより劣っていることも考えられる(諏訪ほか, 1987)。そのために陸域のデータについては最吟味が必要と考えており、今後の課題としたい。

以上見てきたように沖積の粘性土層の特性の違いについては、次のような原因が考えられる。

- ① 堆積物が異なる。
- ② 堆積環境の違い。

堆積物については粒度組成が異なることや、主として粘土鉱物を運搬・堆積する河川が地域によって異なっており、堆積物の補給源の違いによるものの可能性が高いことは既に指摘されているとおりである(中世古・諏訪ほか, 1987; 土質工学会関西支部大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990)。また堆積環境による違いは粘土鉱物が堆積したときの水の諸条件、すなわち一例を上げれば、海水、汽水、淡水のようにどのような水中で堆積したかが粘土の特性を決定する要因になる。このような条件を定量的に判断するものの一つとして塩分濃度がある。ところが、中世古らが関西国際空港の事前土質調査で地層層序の決定方法として開発したものに微化石分析があり(中世古ほか, 1984)、この中でもナンノ化石は外洋性の海水中に棲息する非常に微小なプランクトンであり、その棲息量が塩分濃度と比例関係を持つと思われるし、珪藻化石には海生～汽水生～淡水生のものがあり、海生の珪藻化石の棲息量が塩分濃度に比例すると考えられる。そこでナンノ化石、珪藻化石の産出量とコンシステンシーを比較したものを第14図に示す(諏訪ほか, 1990)。産出量の0, 1, …, 5は中世古らの分類による、なし、非常に少ない(VR)、少ない(R)、普通(C)、多い(A)、非常に多い(VA)に対応している(大阪湾広域臨海環境整備センター・(財)大阪土質試験所, 1984)。これによればナンノ化石と珪藻化石の産出量とコンシステンシーには相関がみられる。このように堆積当時の塩分濃度を表す指標として微化石(ナンノ化石、海生珪藻化石)が有効なことを示している。

東大阪粘土が鋭敏なのは塩分溶脱(リーチング)によるものといわれているが、堆積時の塩分濃度については推定の域を出ていない(日本建築学会近畿支部・土質工学会関西支部, 1966; 奥田ほか, 1980)。リーチングを検討する場合には堆積時の塩分濃度を正確に推定することが重要であるが、微化石(ナンノ化石、珪藻化石)の種や産出頻度を一つの指標にすれば堆積当時の塩分濃度状況の推定が可能になり、リーチングに関する結論も明確なものになることが期待できる。

5.3 下部沖積層

下部沖積層についてはほとんどが砂質土であるが、このあいだに挟在している粘性土もあり、場所によっては複雑な層相を示している。この層は前田が大阪港付近で南港層と名付けており(前田, 1980)、特に大阪港付近では複雑な層相を示している。

砂層のN値は10~30程度あり、中位の状態である。粘性土のN値は低くほとんど0程度である。

6. ま と め

以上見てきたように、最近になって大阪湾の地盤特性が明らかになってきたことで、沖積粘性土層については、大阪平野から大阪湾まで広い地域の土性を比較・検討することが可能になってきた。その結果、次のようなことが明らかになった。

陸域の上部沖積層は砂質土主体であり、N値が低く、またN値の大きさから上部と下部に分類できる。いずれにしても液状化の可能性が大きい地層である。これに相当する砂層は海域には存在しない。

中部沖積層は粘性土からなり、東大阪、西大阪の土質特性は堆積物と堆積環境によるものが大きい。海域においては厚い粘性土層からなり、神戸、大阪、泉南と土性の違いが見られる。

下部沖積層については、陸域では堆積物が粗粒になっていることで同定が比較的容易であり、海域では下部にも粘性土が続いている場合が多くて同定が困難であるが、ナンノ化石の第1層準下限から下位を下部とすることも一つの選択である。

今後も「関西地区地盤情報データベース」を充実させ、課題解明に向けてデータベースを駆使して地盤研究に役立たせ、皆様のお役に立てればと存念する次第である。

この原稿をまとめるに当たって、上記「大阪地盤図」、「新編大阪地盤図」、「大阪湾海底地盤」から図面等を介してデータを引用させていただきました。さらに、「関西の大深度地盤および地質構造とその特性の研究」委員会での成果の一部(地盤情報データベース)を利用させていただきましたことを記しお礼申し上げます。

引用図からの読み取り、作図を手伝っていただきました井上陽介君((財)大阪土質試験所所員)に謝意を表します。

文 献

- 土質工学会関西支部・関西地質調査業協会, 1987, 新編大阪地盤図。
土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会, 1990,

- 大阪湾海底地盤.
土木学会関西支部・土質工学会関西支部, 1990, 関西の大深度地盤特性講演シンポジウム.
- 藤田和夫・鎌田清吉, 1964, 大阪湾の地質. 大阪湾音波探査委員会.
- 藤原重彦, 1982, 京都市の地盤について. 応用地質学会関西支部, 応用地質学最近の研究, 121~130.
- 本田雄二ほか, 1991, 泉北地域の地盤構成について. 土質工学会第26回土質工学研究発表会, 65-66.
- 木山正明・諏訪靖二・山本浩司, 1987, 大阪港海底粘土の土質工学的性質について. 土質工学会関西支部, 海底地盤に関するシンポジウム, 189-194.
- 神戸市, 1980, 神戸の地盤.
- 前田保夫, 1980, 縄文の海と森. 蒼樹書房, 238 p.
- Mitamura, M., 1991, Radiocarbon Measurement and ^{14}C Ages of Holocene Deposits in the Eastern Margin in the West Osaka Area, Southwest Japan. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 34, Art. 3, 75-84.
- 中世古幸次郎編著, 1984, 関西国際空港地盤地質調査, 災害科学研究所.
- 中世古幸次郎・諏訪靖二ほか, 1987, 大阪湾海底地盤の地質特性と土質工学的性質について. 土質工学会関西支部, 海底地盤に関するシンポジウム, 21-48.
- 中山義久ほか, 1991, 泉北地域に分布する洪積層の土質特性. 土質工学会第26回土質工学研究発表会, 67-68.
- 日本建築学会近畿支部・土質工学会関西支部, 1966, 大阪地盤図.
- 奥田庸雄・西垣好彦・鶴巻道二, 1980, 沖積粘土のリーチングに関する一考察. 土質工学会第15回土質工学研究発表会, 149-152.
- 大阪湾広域臨海環境整備センター・(財)大阪土質試験所, 1984, 土質解析調査報告書.
- Research Committee on Seabed Deposits in Osaka Bay, JSSMFE Kansai Branch, 1990, Geotechnical Information of Seabed Deposits in Osaka Bay. *Kansai International Geotech Forum '90*, 71-82.
- 柴田徹・岩崎好規・諏訪靖二・山本浩司, 1987, ボーリングデータベースによる大阪地盤の液状化ポテンシャルゾーニング. 土木学会関西支部, 都市防災シンポジウム, 87-92.
- 諏訪靖二・山本浩司・山内淑人・武田弘一, 1987, 軟弱粘土の q_u 値を変化させる要因に関する一考察. 土質工学会第22回土質工学研究発表会, 109-110.
- 諏訪靖二・山本浩司・木山正明・山本嘉一郎, 1988 a, 大阪港海底粘土の物理的性質からみた地域性. 土質工学会第23回土質工学研究発表会, 33-34.
- 諏訪靖二・山本浩司・木山正明, 1988 b, 大阪港沖積粘土の地域性について. 土木学会第43回年次学術講演会, 466-467.
- 諏訪靖二・山本浩司, 1989, 大阪湾海底の沖積粘土層と洪積粘土層(Ma 12)の土質工学的性質について. 土質工学会第24回土質工学研究発表会, 129-130.
- 諏訪靖二・山本浩司・福田光治・濱田晃之, 1990, 大阪湾海底地盤の土質工学的性質について. 応用地質学会平成2年度研究発表会講演論文集, 13-16.
- 谷本喜一・田中泰雄・山田和彦・岡井崇彦, 1983, 阪神地区海底地盤の土質工学的性質について. 建設工学研究所報告, no. 25, 101-105.
- 土岐憲三・足立紀尚・松井保, 1990, 関西における地下空間の活用と技術に関する研究動向. 土木学会地下空間利用シンポジウム 1990.
- 運輸省港湾技術研究所, 1984, 大阪湾泉州沖海底地盤の土質工学的性質. 港湾技研資料, no. 498.
- 山本浩司・諏訪靖二・木山正明・山本嘉一郎, 1988, 大阪港海底粘土の力学的性質からみた地域性. 土質工学会第23回土質工学研究発表会, 35-36.
- 山根新次, 1930, 大阪市地質概観. 小川博士還暦記念地質論, 187-203.

地域地盤地質情報に対する地盤工学データベース・システムの開発と構築理念*

岩崎 好規**・諏訪 靖二**・山本 浩司**

Concept and Development of Geotechnical Data Base System for Regional Ground and Geological Information*

Yoshinori IWASAKI**, Seiji SUWA** and Kouji YAMAMOTO**

ABSTRACT : The computerization, which has made affordable to handle abundant data by a Personal Computer (PC), is now expanding its usage for several organizations to introduce geological ground data base system using such information as geological boring log.

The Geo-Research Institute, Osaka Soil Test Lab., has developed the geotechnical data base system for regional ground and geological information which is characterized as follows ;

- (1) To handle general geology ranging very soft soil condition to rock ground.
- (2) To accept not only boring log information but also basic results of physical and mechanical results obtained by laboratory tests.
- (3) To construct relational data base to establish effective and easy data handling system to analyse regional characteristics by comparison and extraction.
- (4) To introduce hard independent environment to have more freedom under the present situation of the rapid change of the hard-ware system itself.
- (5) To develop a local system (rather PC level of computer) for inputting data, in addition to a host system (the larger sized computer) for handling the whole integrated information to obtain effective combination of various level of available computer resources.

The paper describes the general concept of the geotechnical data base system developed in Geo-Research Inst., and shows some results of regional ground characteristics in Osaka area as an example of output of the system developed.

KEY WORDS : Data Base, Regional Ground, Geological Information, Boring

1. はじめに

21世紀への扉が開かれようとする今、コンピュータと通信処理技術の融合がもたらした取り扱う情報量の拡大化による情報の質的変化は、我々の社会生活に新たな付加価値を与えようとしている。建設の分野においても、建設プロジェクトの各段階での意志決定などにおいて、これらの巨大化した情報を使いこなすことが重要な課題となりつつある。

さて、高度情報化における情報技術を支える要素に、データベースがある。データベース (DB : Data Base) とは、情報基地の意であり、いわゆる戦略用語としての意味合いが強い。DB自体は、コンピュータの能力を活用して様々

な利用者が種々のデータを共同で利用できるように工夫した共用ファイルとして定義されるが、一般には、システムをも含めて広義の意味で“データベース”と言う場合が多い。建設の分野においても、数種のDBが構築されており、既に情報提供を開始した例もある (日本建設情報総合センター, 1989)。しかしながら、その半数は文献抄録などの二次情報を提供する文献DBであり、詳細な情報を得たいとする要求から地盤調査で得られる生の試験値のような一次情報を扱うファクトDBの構築が望まれる状況にある。そのファクトDBの一つに、地盤情報DBがある。地盤情報には、地盤調査試験、地形、地下水位、地盤変動、地下構築物など種々の情報があるが、現時点では、主に地盤調査情報のデータベース化が進められている。地盤情報DB構築の試みは1970年代初頭に始まり (幾志・菅原・清水, 1971), その後、コンピュータ技術の発達とともに数多くの構築が進められ、最近では数例が実用化の域に達してい

* 日本地質学会第97年討論会 (1990年, 横浜) で一部講演

** (財) 大阪土質試験所 Osaka Soil Test Lab., 3-1-23 Nishi-Honmachi, Nishi-ku, Osaka 550, Japan

る（石井，1985；石村・中山，1986）。しかし，それらの多くは土質柱状図を主体としたDBであり，建設全般への利用を目的とした構築はほとんどなされていない。

そこで，著者らは，建設全般への利用を目指して超軟弱な地盤から岩盤までの地盤調査（ボーリング調査）データを対象とした地盤情報DBシステムの開発を行ってきた（岩崎・諏訪・山本，1989）。本文では，当システムの開発に際して重視したDBの構築理念について言及した上で，地盤調査試験DBシステムの概要と応用例について述べる。

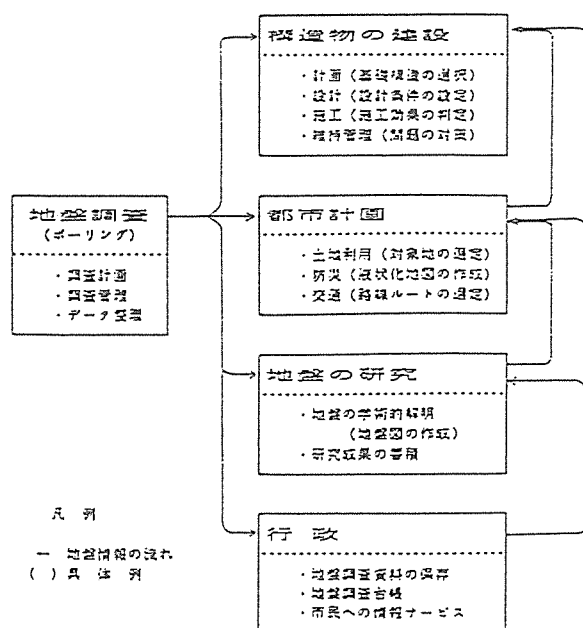
2. 地盤情報とデータベース化の意義

地盤調査は，構造物の建設を目的として実施されることがほとんどである。そのことから，地盤情報は「調査—計画—設計—施工—維持」の流れの中で，まずその役割を果たすことになる。すなわち，調査・計画の段階において地盤情報は，既存の構造物情報，その施工例・失敗例・計測例に関する情報，気象等の自然条件情報などと並列に位置する基礎情報として扱われる。そして，設計の段階では，基準設計法，汎用設計法，研究レベルの設計法を適用する際の設計モデル地盤に形を変え，さらに施工の段階では，施工法や現場計測工法の決定を行うための情報となる。よって，建設の各段階で要求される地盤情報の領域は常に変化し，加えて構造物の種類や設計法によっても必要とされる地盤情報の質と量は同一でない。

一方，都市計画，地盤の研究，行政面などにおいては，地盤（調査）情報を総て必要とするわけではなく，その利用は二次的であると言える。例えば，液状化の検討には，地層，地下水位， N 値， D_{50} 程度の情報があれば設計基準に基づいた検討は十分に可能である。

第1図に，地盤調査情報の流れとDBの用途について前述の内容をまとめた。構築中のものも含め現状の地盤情報DBは，都市計画や地盤の研究への運用に重点を置いたものがほとんどで，地盤情報の二次的な活用において成果をあげてきた。例えば，地盤の研究では，東京都総合地盤図，新編大阪地盤図，最新名古屋地盤図などが地盤情報DBを中核とした研究によって作成されている。都市計画では，大阪市域の液状化検討・耐震検討（柴田・岩崎・諏訪・山本，1987；吉川・岩崎・田居，1987），東京都の液状化予測（東京都土木技術研究所，1987）など，地盤情報DBを用いて防災計画に関わる検討が数多く実施されている。これらはともに，大量の地盤情報をもって新たな地盤工学的価値を見いだそうとする試みであって，その点において現状の地盤情報DBが果たした役割は大きいと考えられる。

しかしながら，昨今のコンピュータ技術の革新，人工知能（AI：Artificial Intelligence）に代表されるコンピュータの新しい利用技術の出現は，21世紀へ向けて地盤工学さ



第1図 地盤調査情報の流れとデータベースの用途

らには建設分野全体に対しても新たな技術展開を生み出そうとしている。そのような現状にあって，これまで地盤情報DBがあまり活用されなかった分野，つまり構造物の建設という地盤調査本来の目的への運用が今後予想され，現在すでに実用化が進む設計支援システムや，将来実現するかもしれないAIを応用したエキスパート・システム（Expert System）による自動設計システムとの連結を考慮した地盤情報DBの構築が必要と考えられる。これらに，要求される情報は，緻密であり，かつ幅広く，現状の地盤情報DBでは対応が難しい。また，これらのシステム実現の是非にかかわらず，国民の資産である地盤（調査）情報を綿密に調査報告書を再現できるまでのレベルで高度にデータベース化することは，将来，財政の効率的運用が要求される社会情勢の中では，社会資本の蓄積に有用であり，新たな空間（例えば，海空間，地下空間）の利用を計る上でも貴重な基礎資料として役立つと考えられる。

以上のことから，地盤情報をデータベース化する意義は大きいと考えられ，その利用価値を高めるためにも多種の地盤情報を詳細にデータベース化することが，地盤情報DBの構築理念としてまず重視すべき点と考えられる。

3. 地盤調査情報のデータベース化

3.1 データベース化の現状と課題

現状の地盤情報DBは，主にボーリング調査の情報をデータベース化（以下，地盤調査試験DBと称す）している（諏訪・山本・山本・山本，1987；風間・岩崎・堀井，1989）。公表された地盤調査試験DBは，まず扱う情報の種類（量）で大きく2分される。ひとつは，ボーリング柱状図（地

層、 N 値)を主体としたデータベース化を行っているグループで、土質試験データを扱う場合は一覧表の結果(代表値)程度に留めている。もうひとつは、柱状図はもとより土質試験データの詳細(試験値)に至るまでのデータベース化を行っているグループである。前者は、陸域部を対象としたDBをはじめとして、ほとんどのDBの方式となっている。後者は、海域部を対象としたDBに数例見られ、著者の一人が以前から取り組んできた方式である(諏訪・山本・池森, 1980)。

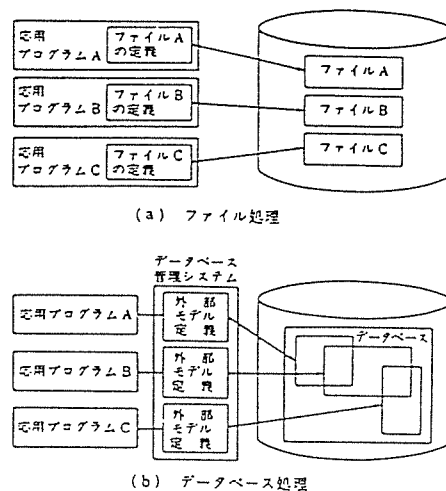
また、システムの構成についても2つの指向がある。ひとつは、大型汎用コンピュータを用いたもの、もうひとつは、パーソナルコンピュータ(以下、パソコンと称す)を用いたものである。前者は、DBを管理するシステム(DBMS: Data Base Management System)に汎用DBMSを用いる場合がほとんどであり、実用化された地盤調査試験DBの主流をなす。後者は、近年のパソコン機能(演算速度、記憶容量、外部記憶補助装置)の急速な発展とともに構築が始まったもので、狭い地域を対象としたものに多く、DBMSは独自に開発される場合が多いが、用途を限れば汎用DBMSを利用することも可能である(山本浩・諏訪・山本嘉, 1987)。

この様に、地盤調査試験DBの構築に関する現状は必ずしも統制されていない。DBのあり方としては、日時・場所を問わず末端の利用者(専門家に限らず一般人も)にあらゆる情報を提供でき、将来的にも永続するシステムであることが理想であるが、現状は用途を限定していたり、システムの永続性を考慮していない場合が多い。つまり、入力情報の面からは、例えば圧密試験の全データがなければ圧密沈下の詳細検討を行うことはできないし、システムの面からは、例えば汎用DBMSの使用は機種に限定されるためコンピュータの更新に伴ったシステムの再築や、パソコンの利用を制限することにもなる。しかし実際には、多種の地盤調査情報をデータベース化するには極めて多くの人力を必要とするため、情報の使用頻度(重要度)と経済性の面から入力情報の制約は当然あり、DBMSについても独自に開発するには相当の労力と技能を必要とするため、汎用DBMSを用いたハード依存型のDBが構築される現状にある。

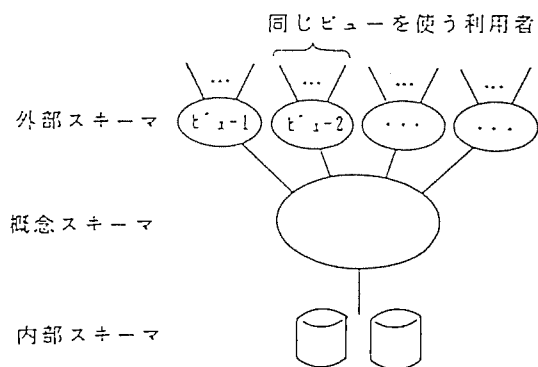
よって、地盤調査試験DBが果たすべき役割を将来的により広げるためには、①効率的に多種の地盤調査情報を蓄積でき、②大型汎用機のみならずパソコン上でも活用できる、ハード非依存型のDBシステムを開発することが重要な課題と考えられる。

3.2 データベースの基本概念とシステム開発

前述の様なDBシステムを開発するにあたっての留意点を述べる。第2図にファイル処理とDB処理の違いを、第3



第2図 ファイル処理とデータベース処理
(諏訪・山本嘉・山本浩他, 1987)



第3図 データベース・システムの三層構成法
(上林, 1984)

図にDBシステムの三層構成法を概念図で示す。改めて述べるまでもないが、DBシステムを独自に開発する場合には、この2つの概念を基としたシステム設計を行うことが重要である。

DBとしての基本は、応用プログラムから独立してデータを管理・運用することにある。つまり、DB処理では、データ量の増大やデータ項目の変更に対してファイルの一元的な管理が行えるが、ファイル処理では、応用プログラム個々にファイルの定義や操作を行う必要がありファイル管理に限界が生じる。これは、データの独立性を意味しており、その実現のために三層構成法の考え方がある。三層構成法は、DBの構成を3つのスキーマ(あるいはモデル)、つまりコンピュータ内部の物理的なスキーマ、DBの外部に位置する応用プログラムや利用者の見方(ビュー)のスキーマ、ビューを包括した概念の論理的なスキーマに分割してデータの独立性を達成する考え方である。この方法に限ら

ず、データの独立性に対して自由度の高いシステム化が、DBシステムの開発に際して留意すべき点と考える。

ところで、地盤調査試験DBの特徴は、①扱うデータの種類の多い、②用途が多様であり表示・解析機能の利用度が高い、ことにある。それゆえ、地盤調査試験DBにおいてはデータの独立性を保つことが重要な課題であり、高度なシステム化が要求される。しかしその反面、地盤調査試験DBには「新たな地点の情報が追加されることはあるが、一度入力された内容の更新は希であり、主として読み出し専用で用いられる」という特徴も有するので、その開発には当面オンライン更新に関する複雑な機能を付加する必要はない。また、地盤調査試験DBでは応用プログラム（AP：Application Program）に対する比重が大きいため、DBMSの操作言語（DML：Data Manipulation Language）にプログラミング言語の拡張として扱える親言語方式を採用して、その開発に柔軟性を持たせる必要がある。

4. データベース・システムの開発

以上の構築理念を基として、1982年頃より地盤調査試験DBシステムの開発に取り組んできた（岩崎・諏訪・山本他、1984；岩崎・諏訪・山本、1984）。具体的には、①あらゆる地盤調査情報のデータベース化、②機種に依存しないDBMSとAP、③FORTRANによるDML、④リレーショナルなデータ構造、⑤漢字処理など、の実現を基本思想として、汎用性の高いDBシステムの開発を目指した。

4.1 地盤調査情報のモデル化と入力データ

地盤調査試験DBシステムの設計に際し、まず現実世界の地盤調査情報を概念的にモデル化した。モデル化の方法は、他のDBでも同様な考え方が採用されており、基本的には一般化していると言える（石井、1985；諏訪・山本嘉・山本浩他、1987）。

一般に地盤調査情報は、『調査地域 — 調査地点 —（地層 —）深度 — 試験・検層データ』の順に情報がつながっている。この特性を利用すれば、ボーリング調査情報は次の様に大別される。

- ① 調査に関する情報（ラベルデータ）
- ② 柱状図（地層、N値）、サンプリング、
現位置試験、物理検層の各情報
- ③ 土質試験情報（物理試験、一軸試験、
三軸試験、圧密試験など）

各々は、地点毎あるいは地点—深度毎に一つにまとまる組の集まりであり、①—②—③の階層順に関係づけられる。例えば、地層情報は地層深度毎に土質名、色調、混入物等が一组となり、土質試験情報はサンプリング深度毎に各試験データが一组となる。よって、地盤調査情報は、複

数の組に分割でき、その各々は表の形で表現できる。このモデルで元のデータ構造を再現するには、階層関係をたどって各表の結合を行えばよい。この形式は、関係（リレーショナル）モデルと呼ばれ、データの独立性やモデル作成の容易さなどに優れていると言われている。当システムでは、この考え方によって地盤調査情報を第4図に示す関係表のつながりでモデル化した。図中において、枠で囲まれた内容が一つの関係表を示しており、各関係表の間には従属関係が階層づけられている。従属関係は、0～3の4ランクを設定した。また、図中において「—」の印は、新たな関係表が追加可能な位置を示している。

第1表に、現時点での設定入力データを示す。表中における区分は、前述の各関係表に対応しており、各々の関係表はハッチで示すデータ項目をキーとして結合される。また、各表のデータ項目については、ほとんどのデータが数値データであり値そのものに意味があるので、データベース化のための加工は行っていない。ただし、文字データの内でAPが判別処理を必要とするデータ項目については加工を行っている。例えば、地層情報の土質・岩相名、色調、混入物、成状、地質年代はコード化を施している。その手法は、著者のひとりが土質について提案している方法を採用したが（諏訪・山本・池森、1980）、岩盤情報も一体化するために、地層種別のコードを新たに加えた。同コードは、地層の種別〔土質、堆積岩、火成岩、変成岩、空洞〕を示し、土質・岩相名のコードはその各々について決められている。

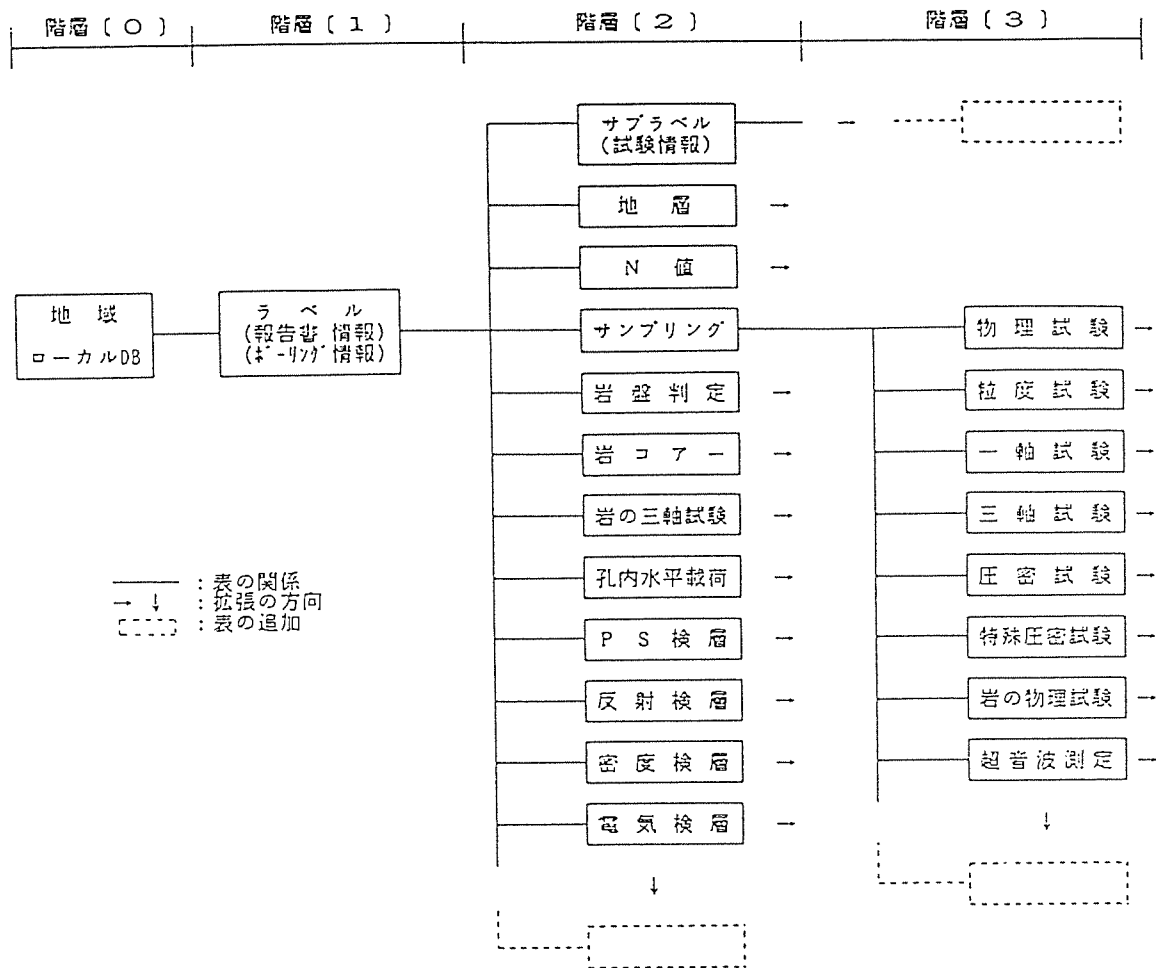
なお、データの入力には、パソコンを使った対話形式による入力APを用いている。対話形式による直接入力の方式は、入力記録を残したり、誤入力への対応を工夫できるなどの利点がある。

4.2 システムの構成

第5図にシステム構成の概略を示す。当システムでは、狭い地域を対象としたローカルDBと、それらを集積して集中管理するためのホストDBの2種類を考えた。

ローカルDBは、主にパソコンの使用を想定し、データの入力管理を行うDBとして位置づけた。記憶媒体としては、フロッピーディスク（FD：Floppy Disk）やハードディスク（HD：Hard Disk）を用いる。また、データ入力途中でもデータの参照が可能なシステム化を行い、地盤調査管理など、データ入力とシステム動作が並行する場合にも運用可能とした。

ホストDBは、ミニコンや大型コンピュータの使用を想定し、大量データの検索に重点を置き、ローカルDBの集中管理用のDBとした。記憶媒体としては、HDや光ディスク（OD：Optical Disk）を用いる。ホストDBへのデータ入



第 4 図 地盤調査情報のモデル化（関係表のつながり）

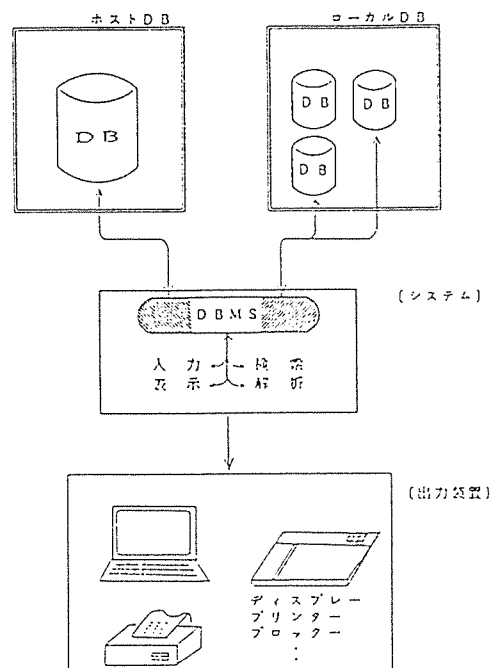
力は、ローカルDBをオフラインで転送・編集する形式を取った。

なお、両者の記憶密度は、調査長約 30m の標準的なボーリング調査で約 100 本 / 1 M バイトである。

4.3 ファイル構造とデータベース管理システム

地盤調査試験DBにおいてデータの検索は、ボーリング単位で行う場合が多く、データの抽出もボーリング毎に情報を読み込む動作を繰り返す行われることが多い。つまり、第 1 表のラベル・サブラベル情報のデータ項目から常に検索が始まると限定すれば、ファイル操作は単純なものとなる。このことを満足するように、ファイル構造とDBMSを設計した。

ファイルの構造は、ローカルDBでは 1 本のボーリングにつき 1 個のデータファイルとし、ホストDBでは関係表別にデータファイルを分割した。この他に、データファイル群の管理やデータ項目別の整列化を行うためのマネジメントファイルを作成し、データの追加、更新、拡張が関係表ごとに独立して行えるように管理している。例えば、



第 5 図 システム構成の概略

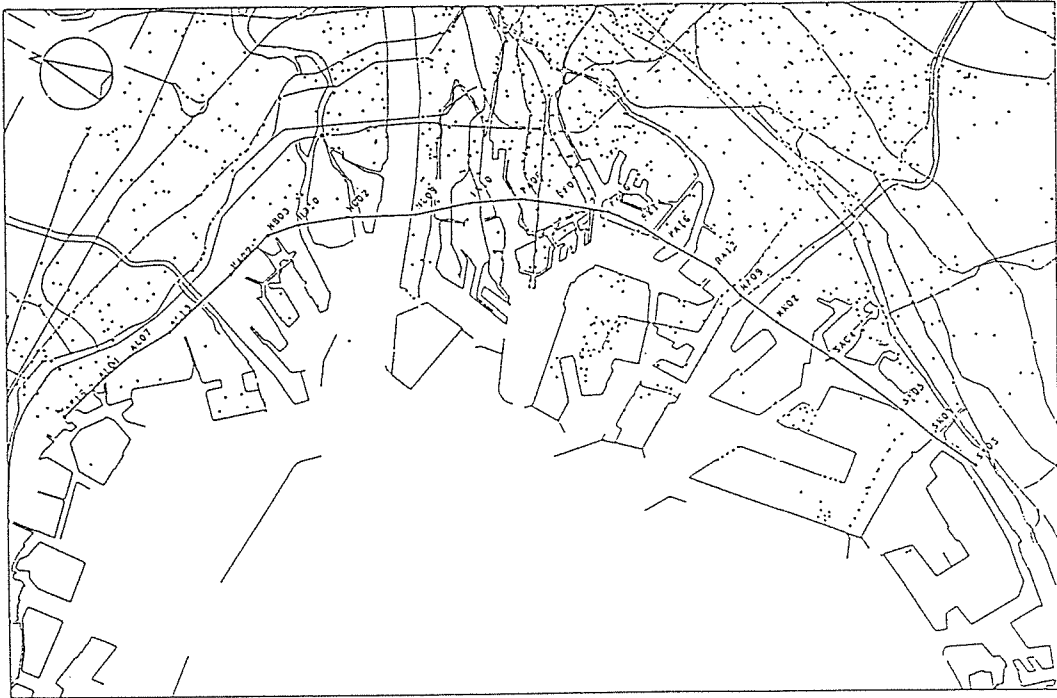
第 1 表 データベースの入力データ項目

階層	テーブル名	デ ー タ 項 目
0	地 域	地域(ローカルDB)コード:ローカルDBタイトル,登録年月日
1	ラベル	報告書コード:保管No.,報告書名(主,副題),発注者・調査者コード,ボーリング本数 ボーリングコード:調査孔名,調査場所,調査期間,データ入力状況,入力年月日, 標高基準,地盤高,掘進長,地下水位,位置座標(任意座標),位置座標(北緯,東経)
2	サブラベル	ボーリングコード:地盤状況,サンプリング数(P,T,D,S,C),N値個数, データ有無のフラッグ(物理試験,一軸試験,三軸試験,圧密試験,特殊圧密試験, 孔内水平載荷試験,P S 検層,その他)
	地 層	ボーリングコード,地層No.:層基底深度,地層種別コード(土質,岩), 土質・岩相名(主,質,混),色調,混入物,成状,地質年代,地質名,備考(岩名)
	N 値	ボーリングコード,N値No.:試験深度(上端,下端),N値・打撃長(各10cm毎の値)
	サンプリング	ボーリングコード,サンプリNo.:採取深度(上端,下端),採取方法コード, 回収率(回収長,押込長),サンプラー内の試験位置(物理,一軸,三軸,圧密)
	岩 盤 判 定	ボーリングコード,岩判定No.:岩相深度(上端,下端),孔径,岩盤状況,コア形状, 割れ目間隔,気泡の有無,備考(記事など)
	岩 コ ア ー	ボーリングコード,岩コアNo.:岩相深度(上端,下端),データ種別コード,R Q D, 亀裂・層理面(傾斜角,方位),備考(記事など)
	岩の三軸試験	ボーリングコード,岩三軸試験No.:試験深度(上端,下端),試験条件(UU,CU,CD), C, ϕ , C', ϕ' (破壊強度,残留強度),供試体条件は三軸試験で入力
	孔内水平載荷	ボーリングコード,載荷試験No.:試験深度,装置コード,静止土圧,降伏圧,破壊圧, 地盤係数,静弾性係数,中間半径,換算に用いたボアソン比
	P S 検 層	ボーリングコード,P S 検層No.:検層深度(上端,下端),方法コード,P波・S波速度, 密度とその引用種別,板たたき法の測点データ(深度,伝播時間)
	反 射 検 層	ボーリングコード,反射検層No.:検層深度,P波速度,伝播時間
3	密 度 検 層	ボーリングコード,密度検層No.:検層深度,密度
	電 気 検 層	ボーリングコード,電気検層No.:検層深度,比抵抗値
	物 理 試 験	サンプリNo.,物理試験No.:粒度組成(礫,砂,シルト,粘土),液性限界,塑性限界, 日本統一分類,土質名,土粒子比重,自然含水比,湿潤密度,間隙比,飽和度
	粒 度 試 験	サンプリNo.,粒度試験No.:最大粒径,粒径過積曲線(粒径,通過重量百分率)
	一 軸 試 験	サンプリNo.,一軸試験No.:条件コード(繰り返し),供試体条件(高さ,直径, 単位重量,含水比,間隙比,飽和度),一軸圧縮強度,破壊ひずみ,変形係数,ボアソン比, 力計容量,圧縮速さ
	三 軸 試 験	サンプリNo.,三軸試験No.:試験条件(UU,CU,CD),C, ϕ , C', ϕ' (正規・過圧密) 試料の状態,供試体成形法,排水条件,圧縮方法,ひずみ・応力速度,力計容量, 供試体条件(高さ,直径,単位重量,含水比,間隙比,飽和度),圧密時間,体積圧縮量, 側圧,軸差応力,破壊ひずみ,破壊時間隙水圧,間隙圧係数,間隙比,体積ひずみ
	圧 密 試 験	サンプリNo.,圧密試験No.:試験条件(繰り返し),圧密降伏応力,圧縮指数,圧密係数 供試体初期条件(断面積,高さ,乾燥重量,実質部の高さ,含水比,間隙比,飽和度),時間・ 試験値(圧密圧力,圧密度,t90かt50,一次圧密度)または (圧密圧力,間隙比,体積圧縮係数,圧密係数)
	特殊圧密試験	(多段階圧密,小載荷圧密の試験データ) 内容は圧密試験に同じ
	岩の物理試験	サンプリNo.,岩物理試験No.:土粒子比重,自然含水比,間隙比,飽和度, 含水率,吸水率,有効間隙率
	超音波測定	サンプリNo.,超音波測定No.: (高さ,直径,重量),P波・S波(時間,速度),密度

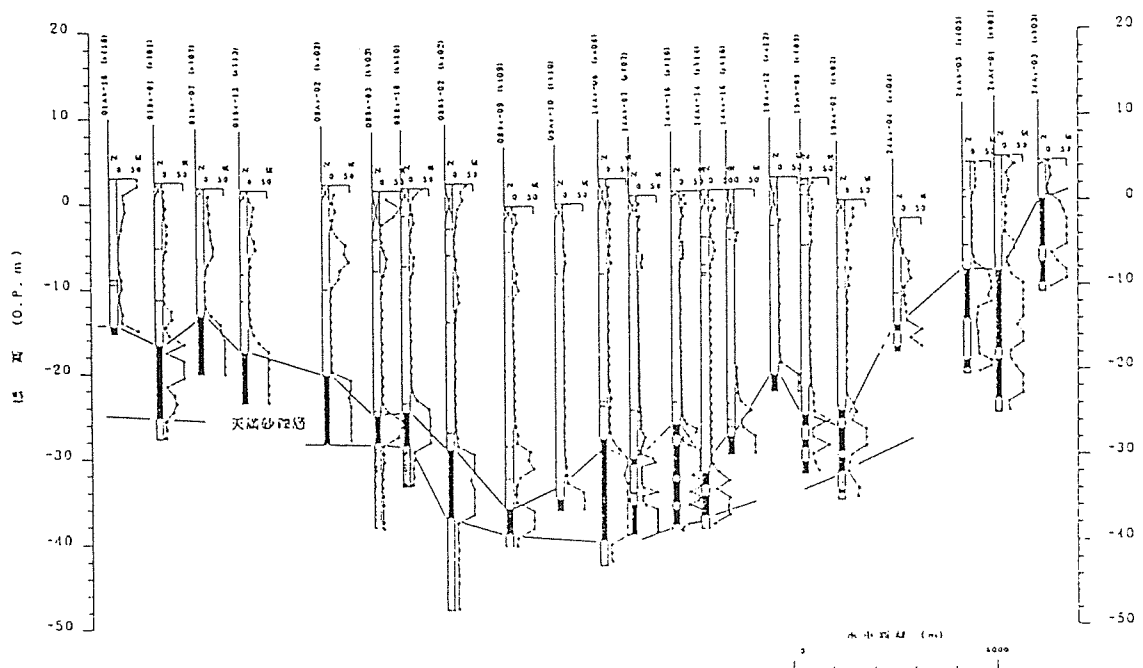
ローカルDBのデータ入力においては、関係表個々の登録と入力は順不同であり（階層順は規制される）、各表へデータを追加入力することも時間的制約を受けない。なお、ローカルDBでは、データファイルは文字列で書かれており、

即マスターファイルとして保存に供することができる。

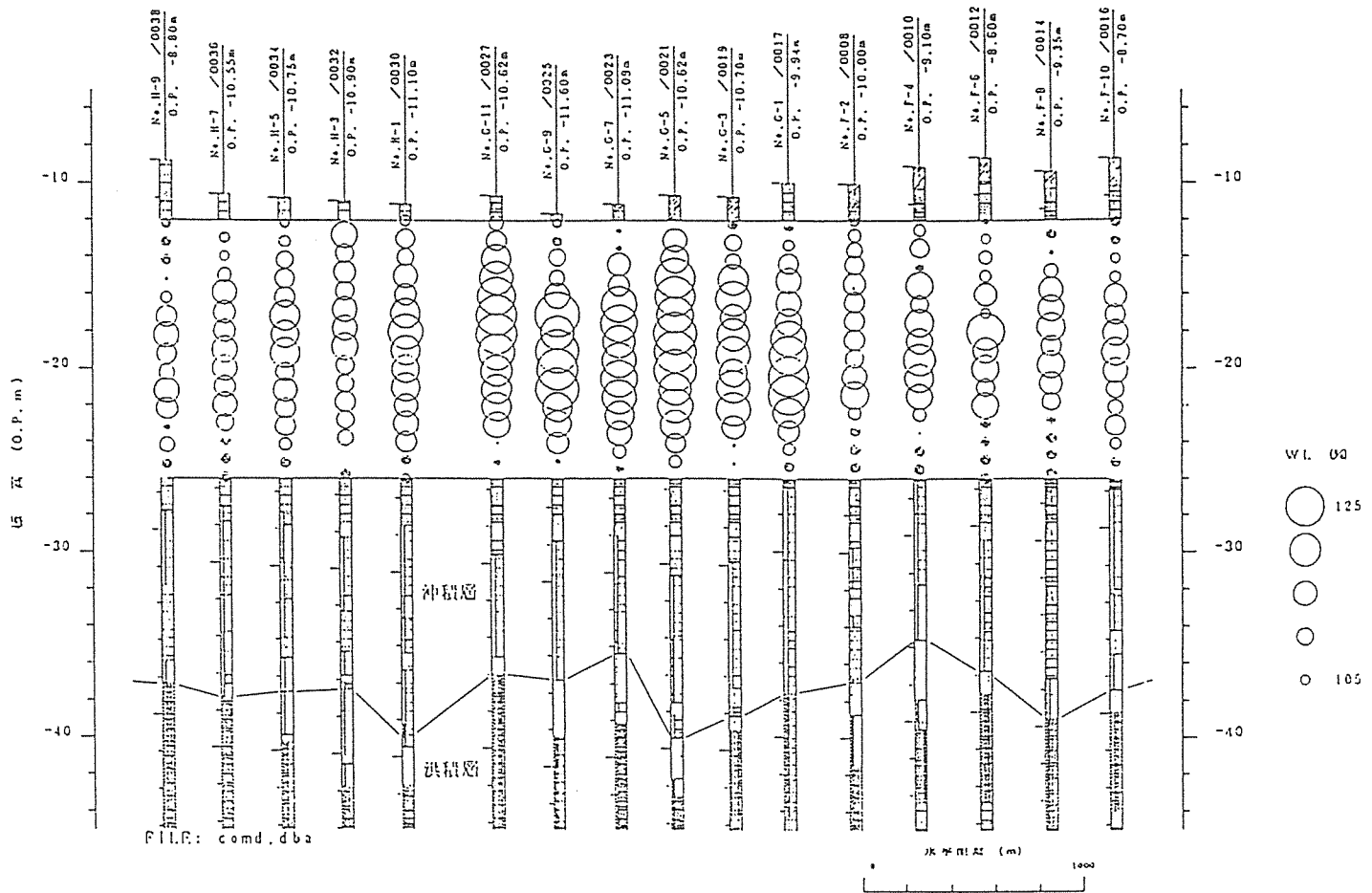
また、DBMSは、データ入出力の管理に重点を置き、種々の機能をライブラリーとしてパッケージ化した。この方式は、機能が悪いように思えるかもしれないが、AP



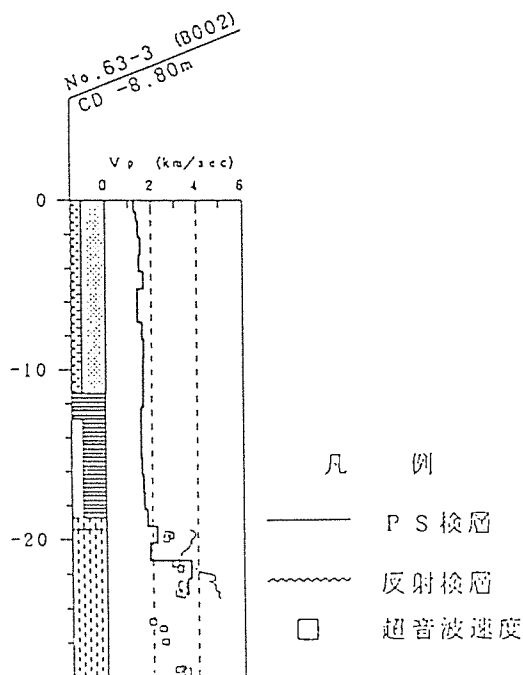
第 6 図 (a) 断面線の検索表示例



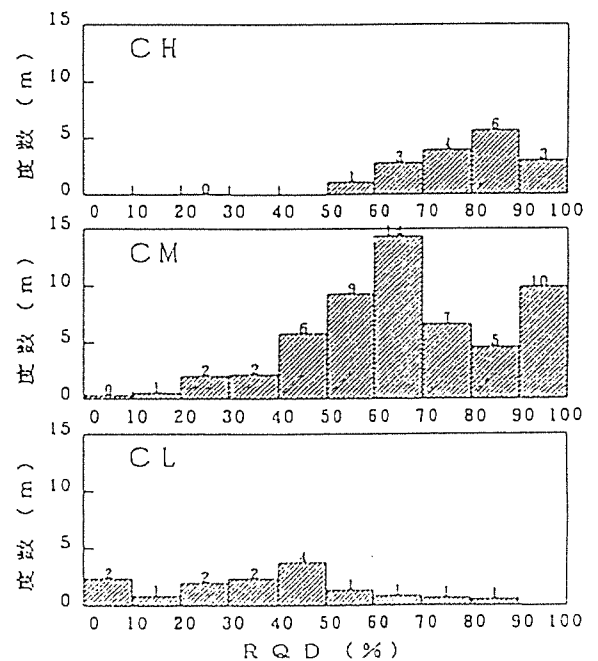
第 6 図 (b) 地層断面図の出力例



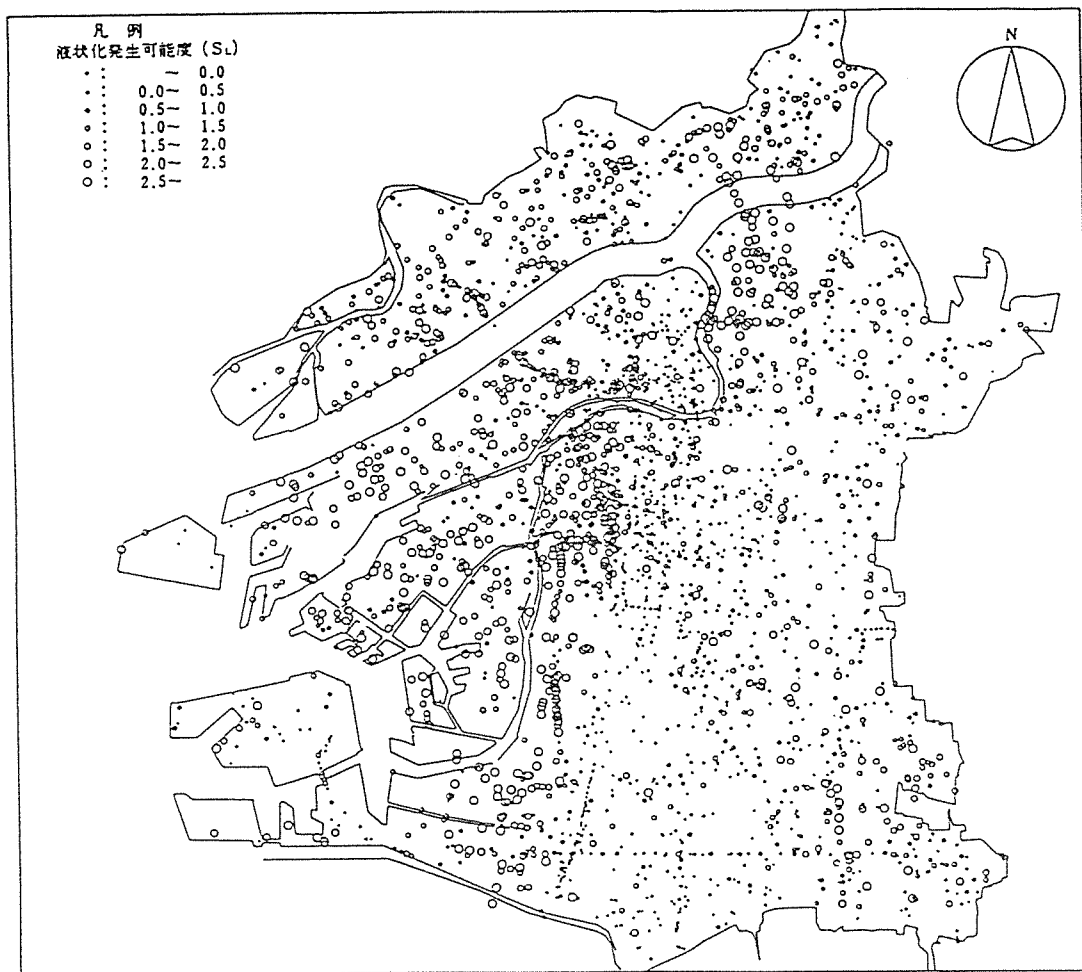
第 7 図 模式表示断面図の出力例



第 8 図 P波速度深度分布図の出力例



第 9 図 岩級別RQDヒストグラム出力例



第 10 図 上部沖積砂層の液状化難易度検討

に対する要求の多い地盤情報DBでは、種々のAPを開発する際にDBMSからの制約が少ない方が柔軟性がある良い。

4.4 応 用 例

現在、本システムには、対話形式によるデータ入力、位置図などによるボーリング検索、リスト・テキストファイル出力、基本的な図化出力（断面図、深度図、相関図、圧密関係図、物性値模式表示図など）、基本統計処理などのAPを備えている。以下では、基本的な図化出力の例を示す。

第 6 図は大阪平野で実施されたボーリングを用いて沿岸にそった断面図を作成した例である。DBでは位置図（a）の上で自由に断面を指定することができる。第 7 図は海底地盤沖積粘土層の液性限界（ W_L ）を模式的に表示した例である。同じ地層でも土質工学的性質は地域的に差がある場合が多く、DBを用いればその特性を視覚的に把握することも容易である。また、第 8、9 図には、孔内検層や室内試験のP波速度を土層図に併記した例、岩級別のRQD（Rock Quality Designation）をヒストグラムで図化した

例を各々示した。

また、当システムを開発する過程において、いくつかの応用的な活用を行った。第 10 図は、大阪市域の約 3,600 本のボーリングデータを用いて液状化の難易度判定を行った結果である（柴田・岩崎・諏訪・山本, 1987）。液状化検討には岩崎・龍岡の方法を用い、液状化発生可能性を定義し、地点毎の液状化難易度を円の大きさに模式的に表示した。

この他、海底地盤における土質工学的性質の地域性検討にも運用を行った（菊田・渡辺・岩崎, 1984；木山・諏訪・山本浩, 1987；中世古・諏訪他, 1987）。

5. おわりに

建設全般への利用を目的とした地盤情報DBの構築においては、その核となる地盤調査情報を詳細にデータベース化することが、その実現に向けての第一歩となる。開発を行った地盤調査試験DBシステムは、超軟弱な地盤から岩盤までの地盤調査データを処理でき、新たな情報に対しても処理領域を拡張することができる。また、DMLにFOR-

TRANを使用しているのでAPの作成が容易である。

現在、当所では、当システムを地盤調査管理、設計データの整理、地盤特性解析、都市防災に関する検討などに運用している。今後の課題として、マッピングシステムとの融合、三次元表示の実現、設計支援システムとの連結・運用などの研究を進めている。

文 献

- 石井一郎（1985） 土質データベースシステムの開発について。運輸省港湾技術研究所港湾技研資料，No.515。
- 石村賢二・中山俊雄（1986） 地盤情報システムにおける地質柱状図データベース化。昭和 61 年度東京都土木技術研究所年報，259-266。
- 岩崎好規・諏訪靖二・山本浩司・安永文夫・福田光治（1984） リレーショナル・データベースとしての地盤情報とその応用。第 19 回土質工学研究発表会，7-8。
- 岩崎好規・諏訪靖二・山本浩司（1984） 地盤情報のデータベース化とその応用。第 9 回電算機利用に関するシンポジウム，土木学会・土木情報システム委員会，113-116。
- 岩崎好規・諏訪靖二・山本浩司（1989） 地盤情報データベースの構築理念と汎用システムの開発。第 34 回土質工学シンポジウム，土質工学会，195-202。
- 上林弥彦（1984） データベース・システムの基礎，bit 別冊最近のデータベース・システムとその応用。共立出版，16-37。
- 風間秀彦・岩崎公俊・堀井克己（1989） 地盤情報データベースの現状と問題。土と基礎，37，No.1，11-16。
- 菊田升三・渡辺具能・岩崎好規（1984） 広島湾海底地盤の地盤工学的性質について。地盤と建設，土質工学会中国支部，2，No.1，1-12。
- 幾志新吉・菅原正巳・清水良作（1971） 電算機による都市地盤土質柱状図資料の一検索法（第一報）。土と基礎，99，No.4，23-30。
- 木山正明・諏訪靖二・山本浩司（1987） 大阪湾海底粘土の土質工学的性質について。海底地盤に関するシンポジウム，土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会，139-144。
- 柴田 徹・岩崎好規・諏訪靖二・山本浩司（1987） ボーリングデータベースによる大阪地盤の液状化ポテンシャルゾーニング。都市防災シンポジウム講演集，土木学会関西支部，87-92。
- 諏訪靖二・山本嘉一郎・池森瑋祐（1980） 土質調査管理システム（SOIL）について。第 15 回土質工学研究発表会，1-4。
- 諏訪靖二・山本嘉一郎・山本浩司・森島和也・荒木繁幸・伊藤信一・小野 諭・藤原重彦（1987） 新編大阪地盤図，第 5 章地盤情報のデータベース化。土質工学会関西支部・地質調査業協会編，コロナ社，65-79。
- 東京都土木技術研究所（1987） 東京低地の液状化予測。東京都
- 中世古幸次郎・福代倫男・関塚良光・来馬章雄・木山正明・脇 茂行・田村健一郎・野口秀喜・諏訪靖二（1987） 大阪湾海底地盤の地質特性と土質工学的性質について。海底地盤に関するシンポジウム，土質工学会関西支部・大阪湾海底の地盤研究委員会，21-48。
- 日本建設情報総合センター（1989） 建設情報データベース JACIC NET。JACIC情報，4，No.1，p.101。
- 山本浩司・諏訪靖二・山本嘉一郎（1987） 汎用DBMS を用いたパーソナルコンピュータによる地盤情報データベースの作成。土木学会第 42 回年次学術講演会，第 3 部，640-641。
- 吉川宗治・岩崎好規・田居 優（1987） 大阪地域の地震防災とボーリングデータベースによる大阪地盤のサイクリックゾーニング。都市防災シンポジウム講演集，土木学会関西支部，81-86。

要 旨

地域地盤地質情報に対する地盤工学データベース・システムの開発と構築理念

：岩崎好規・諏訪靖二・山本浩司

パソコンレベルのコンピューターによる各種データの処理能力が向上し、それらを比較的容易に利用できるようになった現在、ボーリング柱状図を初めとする地盤情報のデータベース化が各機関において行われている。(財)大阪土質試験所においては、地域地盤情報の特性のデータベース化に当たって、次のようなシステム開発を目指した。

- ① 軟弱地盤から岩盤までのすべての地質地盤に適応できること。
- ② 柱状図データのみならず、室内土質試験、現位置試験結果も広範囲に取り入れること。
- ③ 地域地盤の特性の比較や抽出が容易にできるリレーショナル型のデータベースを構築すること。
- ④ 数年でハードが変革している現在、機種によらないハードインデペンデントなコンピューター作業環境を実現すること。
- ⑤ パソコンや大型コンピューターとの効率的かつ有機的な統合利用のために、主として入力用に独立に作動するパソコンレベル用のローカルシステム、さらにそれらを集積して管理するホストシステムの2システムで構成すること。

キーワード：データベース、地域地盤、地盤情報、ボーリング

(1990年8月4日受付, 1990年9月21日受理)

地下水地盤環境情報の観測網について

—大阪平野を対象とする試案—

霜上民生* 橋本 正** 鶴巻道二***

1. まえがき

近畿地方、特に大阪平野においては長らく地盤沈下の発生が見られたため、取水制限を設けて地下水位の回復が図られ沈下が防止された経緯がある。しかしながら、地下水位の上昇に伴って、高い水圧や豊富な水量を有する帯水層における建築や土木の地盤工事が困難になったり、地震時の液化化などの防災面においても問題が指摘されるようになってきた。また道路などの路面被覆により雨水の地下浸透やその涵養が困難になること等により、内水災害問題が発生している。また河川自体の汚染や塩水化、地下水の汚染が広く見いだされている状況にある。さらに温泉ボーリングによる深層地下水の採取は、地下水の有効利用の一つであるが、地盤沈下などとの関連が不明であるなど、地下水と地盤環境の問題が指摘されている。

現段階では、例えば個々の地下鉄工事等の際に局所的で一時的な地下水調査で対応しているにすぎず、それらの調査結果が、有効にかつシステムティックに運用されているとは言い難い。広域で長期間にわたる地下水問題に対応するためには、地下水に関わる情報の絶対量が不足しているのも事実である。

以上のような問題は、産官学の組織を結び、地盤や地下水、河川および水循環等の関連する学問分野を総合化することで解決に向けて有効に取り組むことができると考えられる。

これらの地域環境問題に対しては、水や地盤の地域特性の実態や問題点をまず明らかにし、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の提言等の場としての学際的な協議会を組織して総合的に取り組む必要がある。すな

わち、近畿地方において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。このような背景の中で地下水地盤環境に関する研究協議会の設立構想と地下水地盤環境情報網確立方針等について述べる。

2. 大阪平野の地下水の変動と連動性

大阪における地下水位の変化および地盤沈下は、地下水採取と深く関係しており、この歴史は古く昭和以前から観測がなされている。昭和に入ってから地下水位と地盤沈下の経時変化を図-1に示すが、大阪市内では昭和33年に「工業用水法」、同34年に「大阪市地盤沈下防止条例」、さらに同37年には「建築物用水地下水の採取規制」が逐次実施されることにより、その後地下水位は著しく回復し、地盤沈下もほぼ停止するに至った¹⁾。

西大阪の被圧地下水の水頭は、昭和37年頃に最大水位低下を生じ、地下30m付近まで低下しており、天満砂礫層の地下水も枯れかかっていた状態であったが、近年では地表面下数mの水頭まで地下水の回復がみられる。

これらの地下水位上昇は、地下工事には非常にやっかいなものであり、特に最近では掘削深度の増大と相まって、高水圧が土留壁や掘削面またはトンネル等に作用することによって、諸々の事故発生の原因となっている。

一方、地下掘削工事に際して盤ぶくれ防止等の目的から地下水の揚水が最近多くなってきている。特にビルの地下工事等で深い掘削を行う場合の天満砂礫層および第2天満砂礫層の揚水量は、両帯

* 建設省近畿地方建設局

** ㈱大阪土質試験所

*** ㈱日本地下水理化学研究所

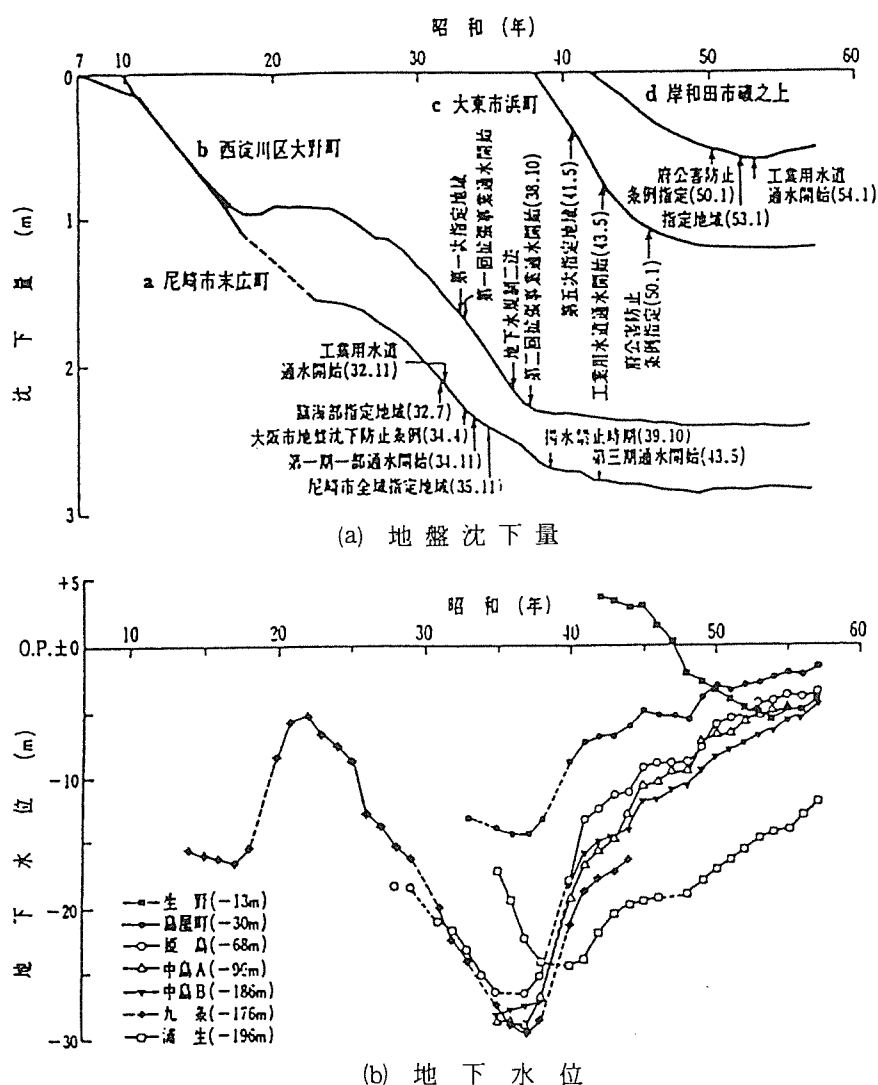


図-1 地下水位および地盤沈下量の変動と地下水規制状況¹⁾

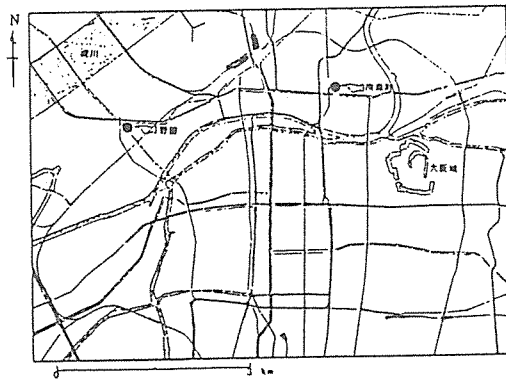
水層の透水性が大きいので揚水量も大きくなり、そのエネルギーと費用は莫大なものとなる。このような大量の揚水を行うと遠くまで水位低下が生じる。その観測事例を図-2に紹介する。観測地点は、野田と南森町(上町断層を挟んで東西2地点)であり、各地点で沖積砂層(As)、天満砂礫層(Tg)およびもう1枚下位の砂礫層(Og)等である。野田では、TgとOgが著しく水位変動しているのがわかる。1991年9月～1992年2月の地下水位変動は梅田付近での地下水位低下によるもの、1992年4月の地下水位変動は福島付近での出水に伴うものである。この図を詳細にみるとTgとOgとの連続性はみられず、別々の帯水層であることがわかる。同様に南森町も、上町断層を挟んでその東西

にかかわらず、As層およびAg層以外の帯水層に変動がみられる。また、地下水変動記録から考えると地下水低下の影響範囲は、数kmになることがある。

以上のように、被圧帯水層の水頭は、広範囲まで殆ど時間遅れがなく連動しており、多くの地下掘削工事に伴って、大阪市内では数mの水頭変動が頻発していることが考えられる。

3. 地下水の水質に係わる諸問題

地下掘削工事において地下水位低下工法が採用される場合は、西大阪地域においては、被圧帯水層である天満礫層(W1)の地下水を揚水することになる。地震時の液状化対策として、地下水位を



地下水観測位置

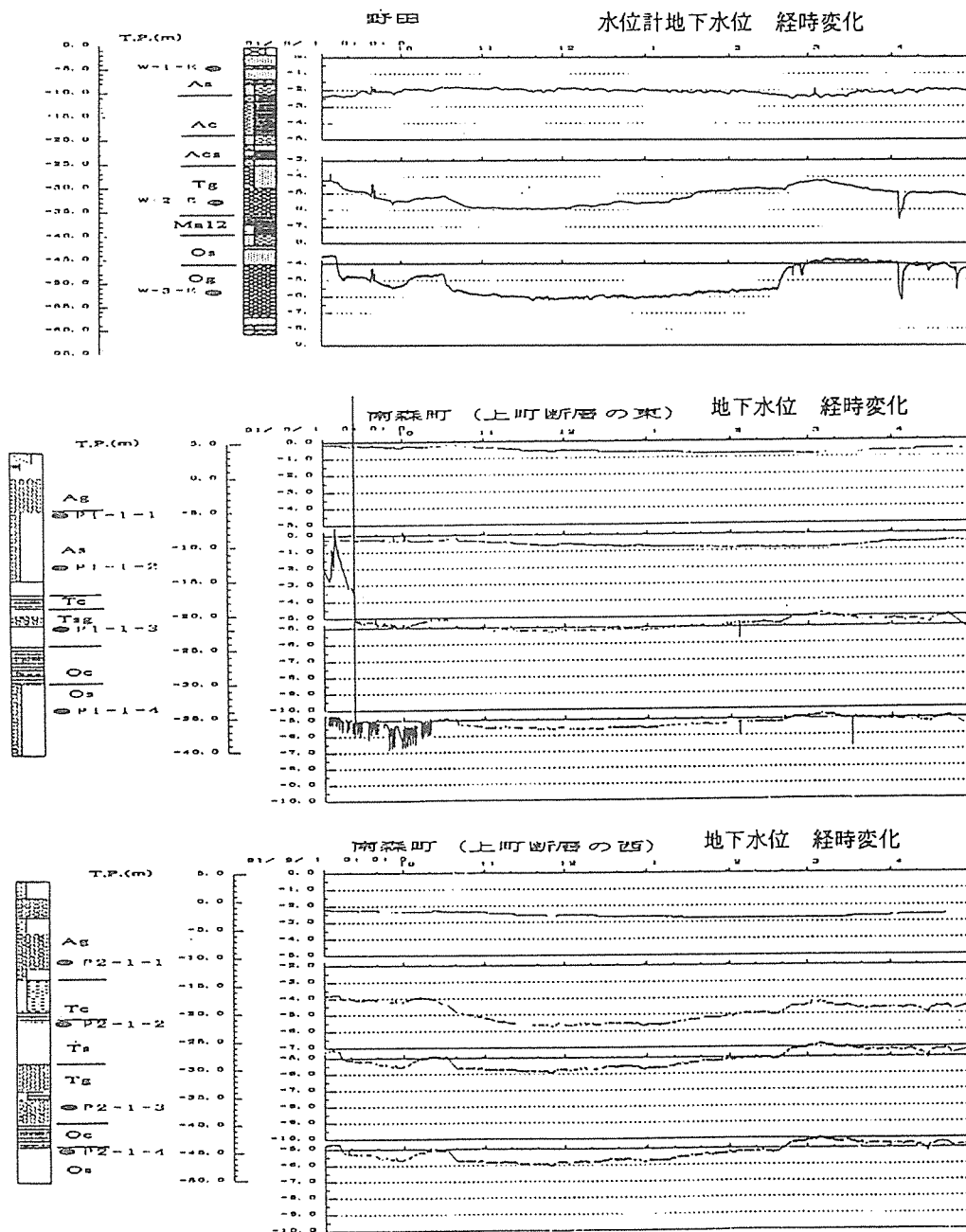


図-2 沖積砂層および天満礫層の地下水位観測事例

表-1 地下水対策としての揚水に係わる問題点と水質のチェックポイント

揚水目的	(A)地下掘削のための 水位低下	(B)地震時の 液状化対策
揚水対象	被圧地下水	浅層の自由地下水
揚水箇所	特定の地区に集中	広域に分散
揚水期間	限定	長期連続
揚水量	大量・集中	少量・分散
影響圏	大 (Tが大でSが小)	小 (Tが小でSが大)
水の処置	排水>利用	利用>排水
水質の チェック ポイント	H ₂ S; 臭気 CH ₄ ; 爆発危険性 Fe; 排水基準 Cl ⁻ ;	Cl ⁻ 硬度 Fe, Mn (熱利用)

下げておく必要があると指摘されているが、この場合は自由地下水を汲み上げることになる。このように地下水対策は2つのケースに分けられると考え、それぞれのケースに対応する問題点を整理すると表-1のようになる。

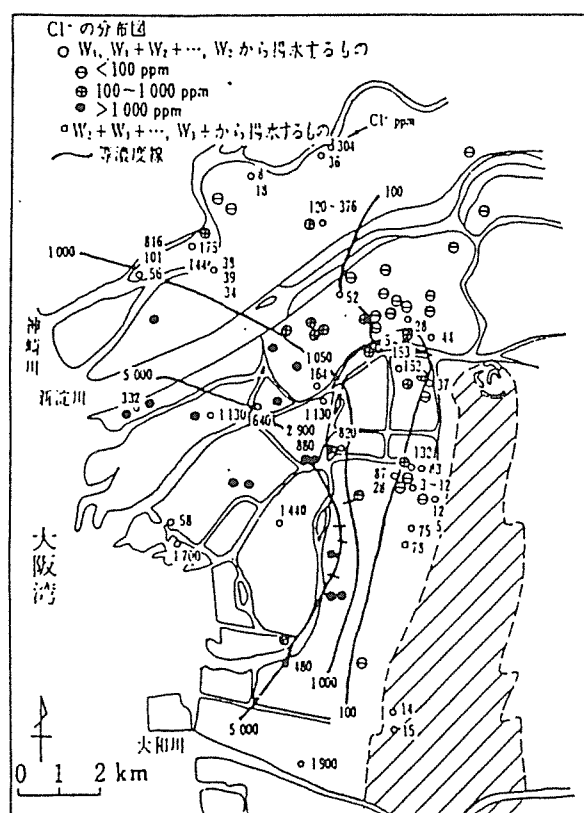
目的(A)の地下水は、特定の地区において大量の

揚水が行われるという点で利用し易い対象であるが、揚水期間が限られていることによって恒久的な利用対象とはなり難く、河川や下水管へ排水することになる。目的(B)の地下水は、広域に比較的少量の揚水点を分散させなければならないという欠点はあるものの、長期にわたる連続揚水となるので、その水の利用法を検討しておく必要がある。表の下段には、排水と利用の面から、水質についてのチェックポイントをあげた。

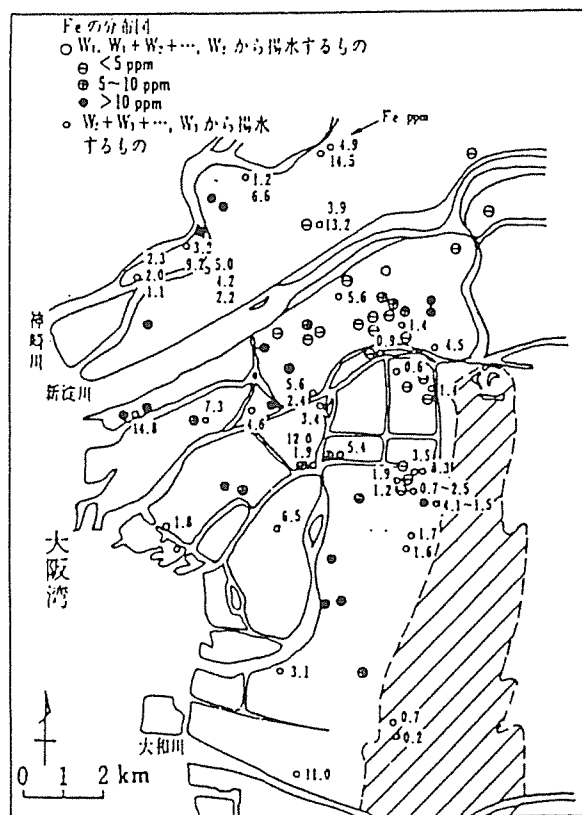
3.1 河川・下水への放流

大阪市内では多くの河川が埋め立てられたので、河川へ直接放流することが可能な地区は少ないであろう。可能な限り河川への放流を計画し、維持用水としての効果を期待すべきである。

(1) 塩化物イオン……塩水化が著しい西大阪の第1・2帯水層(天満礫層)では、図-3の(A)に示すように2,000~3,000mg/ℓ、あるいはそれ以上の濃度をもった地下水に遭遇することがある²⁾。大阪市内の河川は、市域の南を限る大和川を除いては、すべて感潮河川であるから、Cl⁻濃度が放



(A)



(B)

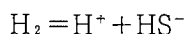
図-3 西大阪の被圧地下水の塩化物イオン(A)と鉄(B)の濃度分布図²⁾

流するにあたっての問題となることはないであろう。下水へ放流する場合は、処理水を中水道として、あるいは工業用水として利用する計画と関係する。Cl⁻濃度の高い水は、雑用水としても好ましくないからである。

(2) 硫化水素……硫酸還元反応によって生成するH₂Sは、地層中で硫化物(たとえばFeS)になっていて、地下水に溶存していることは少ないが、ときには強い臭気を放つ地下水が汲み上げられることがある。悪臭成分としてのH₂Sの濃度は、発生源の敷地限界における規制基準値が0.02~0.2 ppmとなっている。また、ヒトのH₂S臭に対する閾値は0.0005~0.025 ppmとなっている。H₂Sの濃度が1 mg/ℓの地下水を毎分1 m³汲み上げているとする。空気中のその濃度を0.02 ppmとするには、毎分50 m³以上の空気希釈しなければならない。H₂Sの対空気比重は1.19であるから、強制通風しなければ停滞する。H₂Sの放出を防ぐには、次のような方法がある。

① H₂Sの溶存量が多い地下水の汲み上げを避ける。梅田・野田地区の天満礫層にはH₂Sは少なく、その上位にある沖積層下部の細砂~シルト層に含まれていることが多い。

② H₂Sは解離定数(K₁)が約10⁻⁷の弱酸であり、次式の関係によりpH 7 (H⁺=10⁻⁷)ではH₂SとHS⁻との存在比が1 : 1となり、pHが高くなるとH₂Sの存在比が小さくなる。



$$[H^+] [HS^-] / [H_2S] \approx 10^{-7}$$

下水の放流基準のpH 8.7までpHを高くすると、H₂Sの存在比を数%にまで少なくすることができ

る。ただし、放流先でpHが低下すると、H₂Sが多くなる危険性がある。

③ 塩素による分解法、活性炭による吸着法などがある³⁾。

臭気の問題のほかに、鋼材に対する腐食性についても留意する必要がある。

(3) メタン……もう一つのガス成分として、メタン(CH₄)をあげておく必要がある。メタンは無臭であるが、可燃性であって爆発限界が5.3~14.0 vol%の危険なガスである。沖積砂層でも粘土・シルト層を狭有する場合に、また被圧地下水についても地質条件によって、メタン含有量の多い地下水を産することがある。東大阪地域における測定例を、表-2にあげる²⁾。鴻池試験井群の50 m井では、溶存ガス量が43.5 ml/ℓ、そのガス中のCH₄の割合は94%と測定されているので、CH₄の溶存量は40.9 ml/ℓとなる。メタンの溶解度(分圧が1 atmであるとき)は20℃で33.1 ml/ℓであるから、かなり過飽和の状態で存在している。このような地下水をポンプから直接下水へ吐出すると、下水管のなかでメタンを放出するおそれがある。

(4) 鉄……河川・下水へ放流する水には、BOD, COD, SS, 油類含有量などいくつかの排水基準がある。地下水を下水へ放流する場合、溶解性鉄について10 mg/ℓ以下と定められているが、図-3の(B)にみられるように、塩水化地下水は全般的にこの値を上回っている。大阪市域の東部にも、10 mg/ℓ以上となっている地下水が点在している。このような地下水を河川へ放流する場合には、水酸化鉄(III)の褐色沈殿を生じ景観を損なう恐れがある。

表-2 東大阪地域の試験井についての調査結果の抜粋(1967.12~1968.3調査)²⁾

試験井	ストレーナ (m)	静水位 (m)	水温 (℃)	アルカリ度 (meq/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	COD (mg/l)	溶存ガス (ml/l)	CH ₄ (%)
鴻池 50m	45~50	33.4	18.3	6.23	40.8	1.3	13.8	43.5	94
100m	92~97	41.7	19.9	4.81	5.7	3.6	8.5	29.5	72
200m	175~193	42.7	23.3	4.12	212	1.2	11.4	35.8	69
庭窪 50m	31~45	30.5	16.5	2.68	165	2.4	5.6	19.3	22
100m	59~101	32.1	17.4	2.52	185	2.3	4.1	24.2	40
250m	208~238	27.1	21.0	2.48	3.3	1.2	3.6	15.7	5

3.2 利用の可能性

利用法を検討するには、地下水の恒久的な汲み上げを可能とする諸条件、とくに汲み上げを規制する法律・条例の見直しが前提となろうが、ここでは諸条件にこだわらずいくつかの問題点をあげる。

(1) 飲料水……大阪市内では、水道料金以下のコストで水処理することは困難であり、現実性に欠けるが、非常時の水源として良質の地下水が得られる井戸をリストアップしておくことが望ましい。

(2) 雑用水(中水)……一般には除鉄処理が必要になるので、雨水の利用よりも困難であろう。地区と深度によっては、鉄・マンガンが少なく利用が可能と思われる地下水がある。

(3) 河川維持用水……比較的に多量の地下水が取水できる天満礫層の地下水が対象になるであろうが、鉄の含有量が多いものについては、さきに述べたような問題がある。

(4) 熱利用……天満礫層の地下水の水温は17～18℃であって、冷房用水として最適である。

表-1の目的(A)の揚水が、特定の工事を対象とするものではなく、地域としての工事の安全性を高めるものとして実施されることも考えられる。この場合の地下水利用の方法は、その水質と揚水地点の状況に応じて、例えば地域冷暖房や人工河川など多面的に考えることができる。

3.3 復水(リチャージ)工法

揚水による地下水位の低下、あるいは地盤の圧密沈下を防止することを目的として、揚水された地下水を地盤中に注入(リチャージ)する工法が採用されることがある。図-4にその概要を示した⁴⁾。この工法で問題になるのは注入井の目詰まりであって、その原因として次の5つの因子があげられている⁵⁾。

- ① 注入水中の懸濁物(SS)
- ② 帯水層内での化学変化
- ③ 注入井または帯水層での微生物の増加
- ④ 注入水中の空気
- ⑤ 帯水層への注水による土粒子の配列の変化

これらの因子のうち、①～④は水質に関係するものであり、たとえば Fe^{2+} 含有量の多い地下水

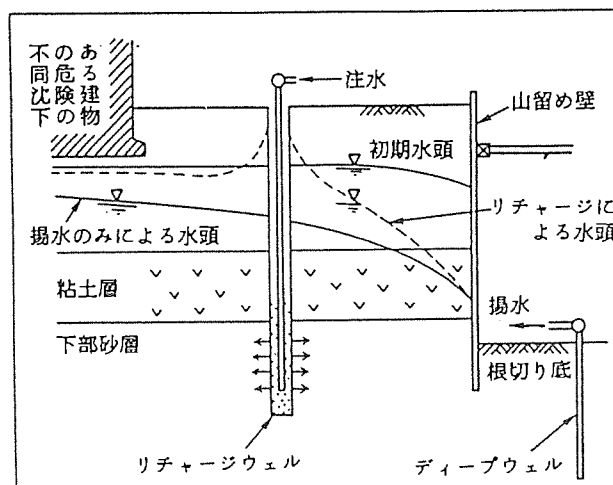


図-4 リチャージ工法の概念図⁴⁾

は、①と②の点から注入を困難にする。目詰まりのメカニズムとその対応策については、多くの研究が報告されている⁶⁾。

4. 地下水地盤環境情報網の整備

大阪平野中心部における地下水位および地盤沈下の観測点は表-3に示すように建設省が設置した9地点と、大阪府および大阪市が設置した11地点がある。建設省のものは河川と関連が深い浅層の帯水層を対象とするものが多く、一方大阪府、大阪市のものは、逆に深層のものが多い。

ところが、現状の地下工事等で問題となる帯水層は、第1天満層や第2天満層など、G.L.-20m～-60m位の帯水層であり、これらの観測点が非常に少ないのが現状である。

すなわち、現段階では、建設省、大阪府、大阪市などの機関がある限られた地点で、地下水位や地盤沈下を定位置・定期的に観測しており、また地下工事に際して、個々の現場で局所的で一時的な地下水調査が実施されているにすぎず、それらの調査結果が、有効かつシステムティックに運用されているとは言い難い。広域で長期間にわたる地下水問題に対応するためには、地下水に係わる情報の絶対量が不足しているのも事実である。

以上の問題に対応するために、図-5の地下水地盤環境情報の整備(案)に示すように当面、淀川、寝屋川および大和川で囲まれた沖積平野を対象に1～3kmメッシュで50ヶ所程度の情報ネットワーク

表-3 大阪平野中心部における既存の地下水位・地盤沈下観測点

	No.	観測所名	所在地	観測期間	観測種別	管の深さ(m)	ストレナー深度(m)
建設省	1	長居	東住吉区鷹合町		W	20.5	2.2~20.2
	2	野田	福島区吉野5丁目9-50		W	10.5	2.2~10.2
	3	住之江	住之江区吉野御崎町8-1-6		W	10.6	2.9~10.5
	4	大宮	旭区大宮4-9-16		W	9.0	2.7~8.7
	5	生野	生野区林寺6-6-7		W	18.5	2.2~18.2
	6	新森小路	旭区新森6-3-13		W	68.2	51.2~68.2
	7	南恩加島	大正区恩加島3丁目6-11		W	6.9	2.9~6.9
	8	大和田	西淀川区大和田4-3-43		W	49.0	40.1~48.6
	9	加美東	平野区加美東5丁目9-25		W	45.4	32.6~45.4
大阪府 大阪市	1	天保山B	港区築港4丁目(市バス操車場内)	S.36.3~現	W	104.0	96~100.5
	2	鶴町A	大正区鶴町2丁目(港湾局機械工場内)	S26.12~現	S	30.0	—
		鶴町B	〃	S28.1~現	W	30.0	25~30
	3	島屋B	此花区島屋5丁目(住友金属工業(株)敷地内)	S28.7~現	W	30.0	25~30
	4	姫島	西淀川区姫島4丁目(姫島公園内)	S28.7~現	W	68.0	63~68
	5	十三	淀川区十三元今里1丁目(十三公園内)	S.35.7~現	W	100.0	96.6~100
	6	中之島A	北区中之島1丁目(中之島公園内)	S.35.7~現	S・W	96.0	91~96
		中之島B	〃	S.35.7~現	S・W	186.0	178~183
	7	蒲生	城東区中央3丁目(蒲生公園内)	S.35.7~現	W	96.0	91~96
	8	港(II)A	港区田中3丁目	S61.6~現	S・W	357.0	348~353
		港(II)B	〃	S61.6~現	W	465.0	441~446
		港(II)C	〃	S61.6~現	S・W	192.0	183~188
	9	生野A	生野区東巽4丁目(巽配水場内)	S.42.4~現	S・W	S17,W13	13.5~16.5
		生野B	〃	S.42.4~現	S・W	S200,W175	170~180
	10	柴島	東淀川区柴島1丁目(柴島浄水場内)	S.42.4~現	W	175.0	170~175
	11	馬場町	中央区大手前4丁目1(中央体育館敷地内)	S.42.4~現	W	175.0	144.7~149.7

クを構築することを提案する。また、必要に応じて地盤沈下観測点の設置・観測を行う必要がある。それ以降は更により広範囲でより詳細な情報網の整備を目差し、それらの情報がより有効に活用できるよう技術面での整備も必要となる。

地下水地盤環境情報システムは、図-6に示すように各帯水層の地下水位、水質、揚水量等に関する情報をリアルタイムに情報センターのコンピュータに収集・分析し、これを工事中の現場事務所や設計事務所等の地下水情報が必要な組織に提供するものである。

また、地下水に関する情報をまとめることにより、図-7に示すように帯水層の水質・水理特性、水収支問題または地盤の耐震性や地盤沈下等の都市防災などの研究や地下工事の揚水計画、揚水試

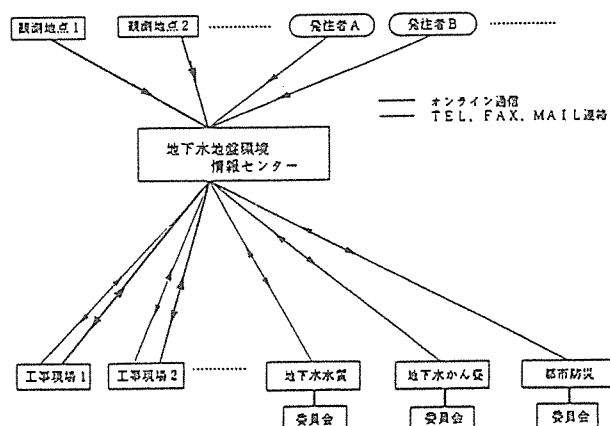


図-6 地下水地盤環境情報システム

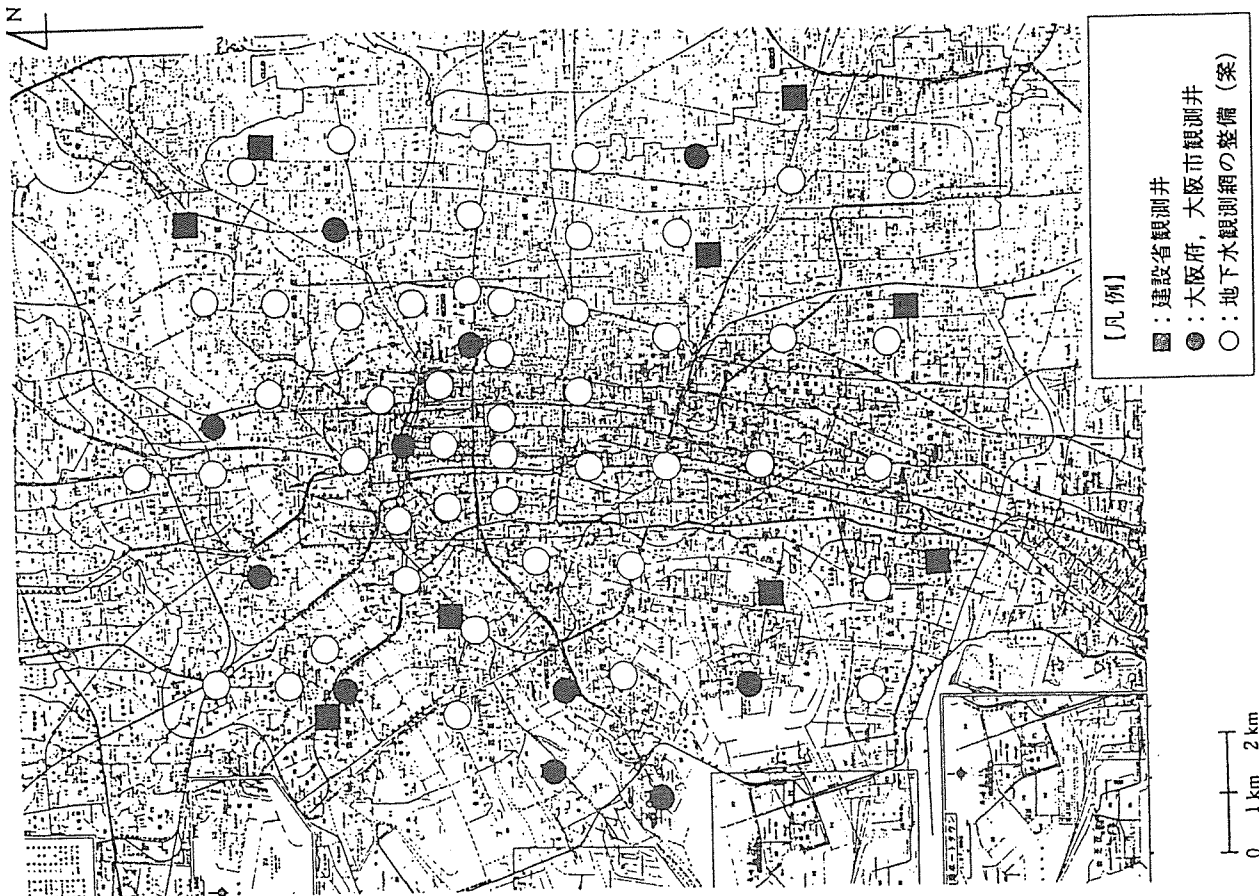


図-5 地下水地盤環境情報網の整備案

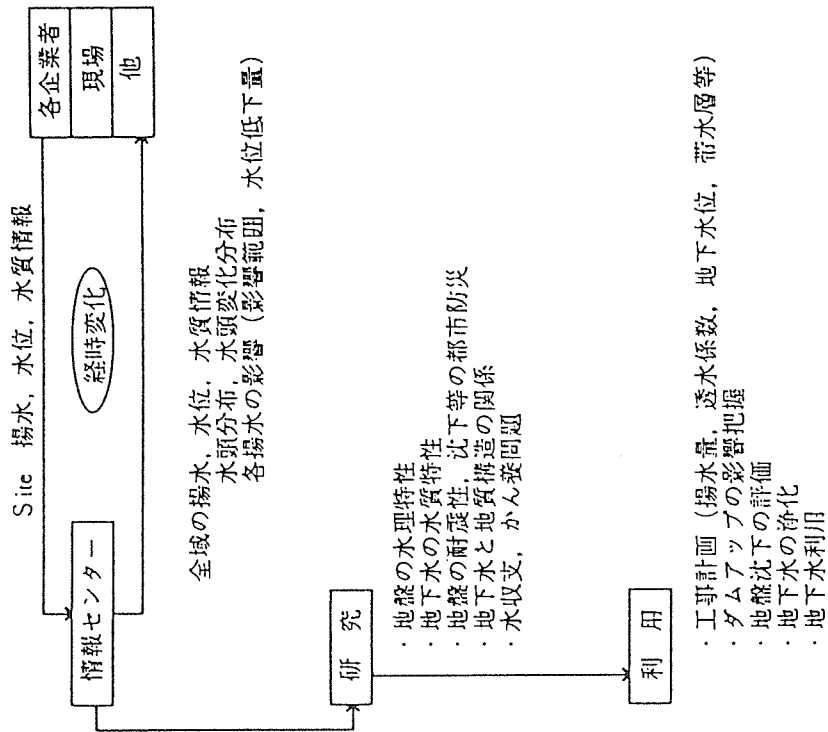


図-7 地下水地盤環境情報網の利用

験の解釈、遮水壁によるダムアップの影響把握、地盤沈下の評価、地下水の浄化の検討、または地下水位の制御とその有効利用等に役立てることができる。

5. 地下水地盤環境に関する研究協議会の設立

このような地下水地盤環境情報網を構築・運営していくためには、この問題に関連する分野の諸団体や学識経験者等が集まり、地下水地盤環境に関する協議会を設立する必要がある。

協議会の会員は、工事発注者、各種協会、研究機関および学識経験者等により組織する。地下水地盤環境情報システムの構築は、主に工事発注者を中心として図-8に示す水位計の設置と自動計測・オンライン化を図ることによって観測網を整備する役割を分担し、協議会は、地下水に関する情報の収集・分析・提供を主な役割とする。

また、情報ネットワークシステムは図-9の概念図に示すように発注者担当の観測点からデータローガーとモデムを介して通信回線により協議会の情報センターにオンラインで結ばれ、ここで情報を収集・分析し、その情報を協議会員にオンラインまたは報告書等のオフラインで送ることができる。

協議会はその下に常設の地下水地盤環境情報センターと、必要に応じて設ける各種研究委員会によって構成される。情報センターでは、上記情報の収集・分析・提供を主要な業務とし、研究委員

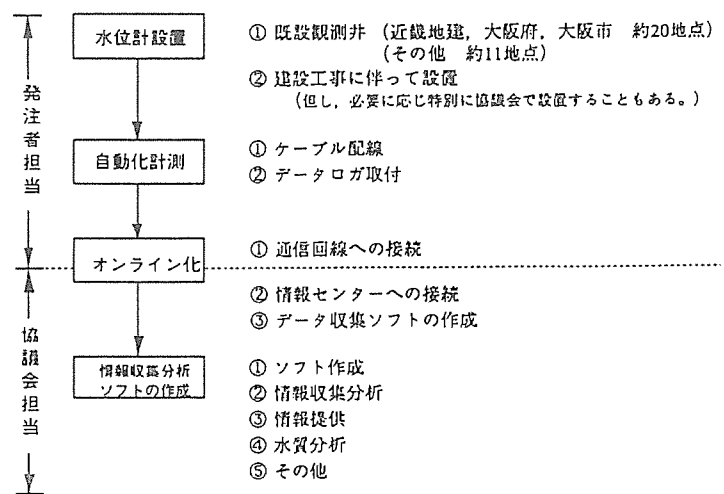


図-8 地下水地盤環境情報システムの構築内容

会は、これらの地下水に関する情報の収集・分析結果に基づき、地盤の水理特性、水質に関する研究、ボーリングデータベースと連携した地下水と地質に関する研究、地盤沈下、地盤の耐震問題など地下水に係わる都市防災に関する研究、将来的な地下水の有効な利用に関する研究などを行う。観測結果をベースにしたこれらの研究結果は、今後の地下工事計画または、都市防災や地下水の有効利用等も考慮した安全で快適な今後の都市計画に生かされることと思われる。

6. 地下水地盤環境情報システム構築に当たっての周辺新技術の紹介

6.1 ワークステーションシステムの開発^{7, 8)}

図-9に示すように各観測点からの多数の情報をリアルタイムに自動収集したり、逆に収集・分

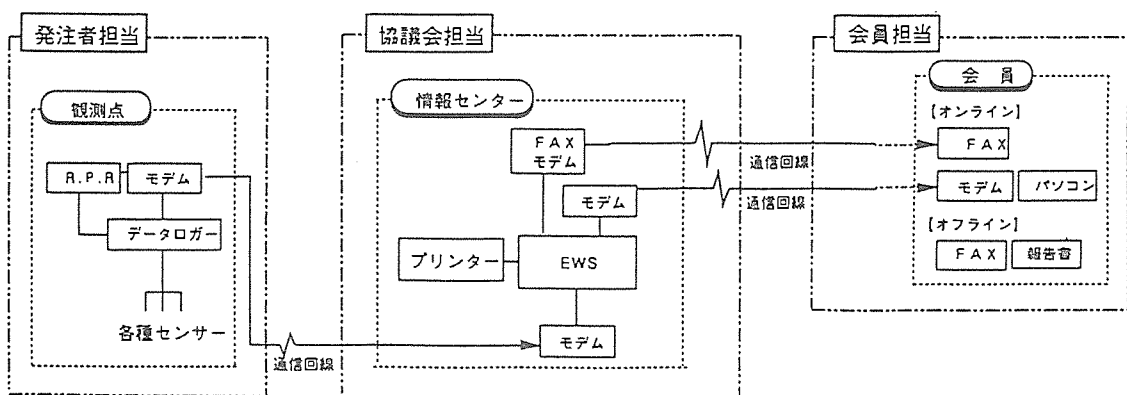


図-9 情報ネットワークシステムの概念図

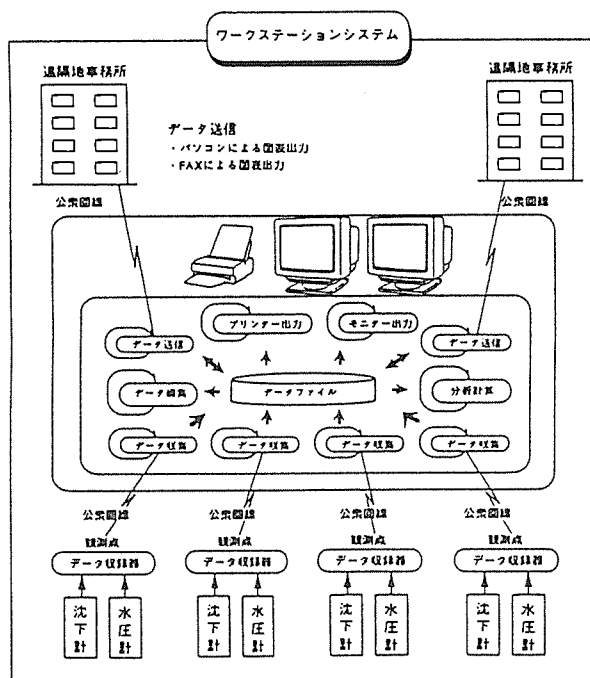


図-10 ワークステーションによる現場計測および情報処理機能説明図^{7, 8)}

析データを送る場合にパソコンまたはFAXなど多種の通信機能を持ち、データ収集、分析計算、記録、表示・印刷、送信などを同時処理できるマルチ機能をもつワークステーションシステムを図-10に紹介する。

6.2 地下水採取型間隙水圧計の開発

間隙水圧計は自動計測の場合は殆どが電気式間隙水圧計が用いられる。電気式間隙水圧計は、小型でありケーブル1本で測定できるため、図-11の間隙水圧計標準設置図例に示すようにボーリング孔内に多点で設置可能である⁹⁾。

この設置方法は図-12に示すように各帯水層間

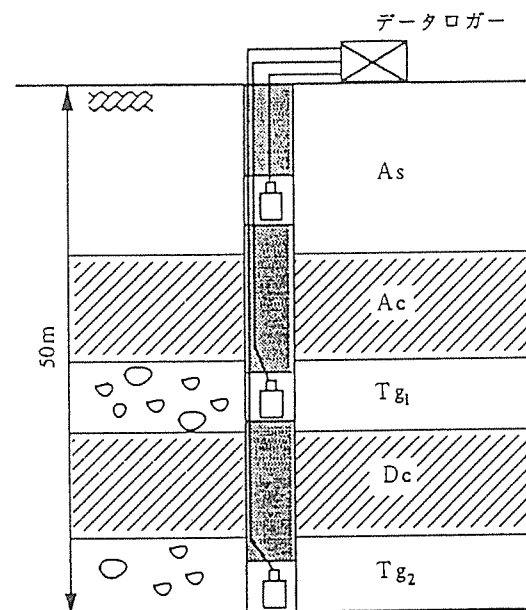


図-11 間隙水圧計標準設置図例⁹⁾

- (1) ボーリング $\phi 116\text{mm}$
- (2) 砂の投入
- (3) 間隙水圧計の挿入
- (4) 砂の投入
- (5) ベントナイトベレットの投入
- (6) 設置完了

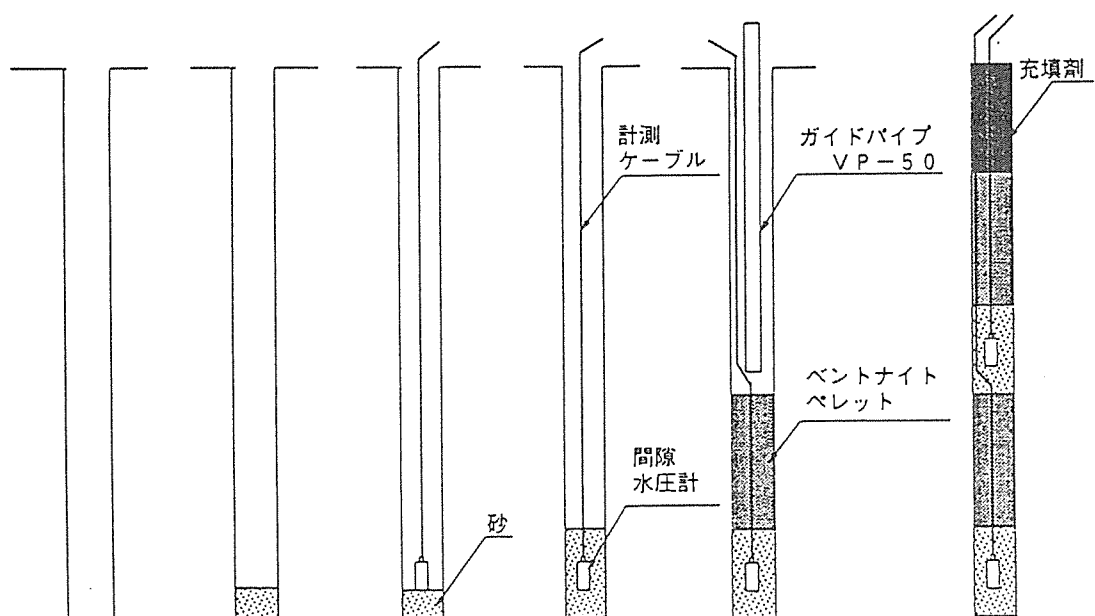
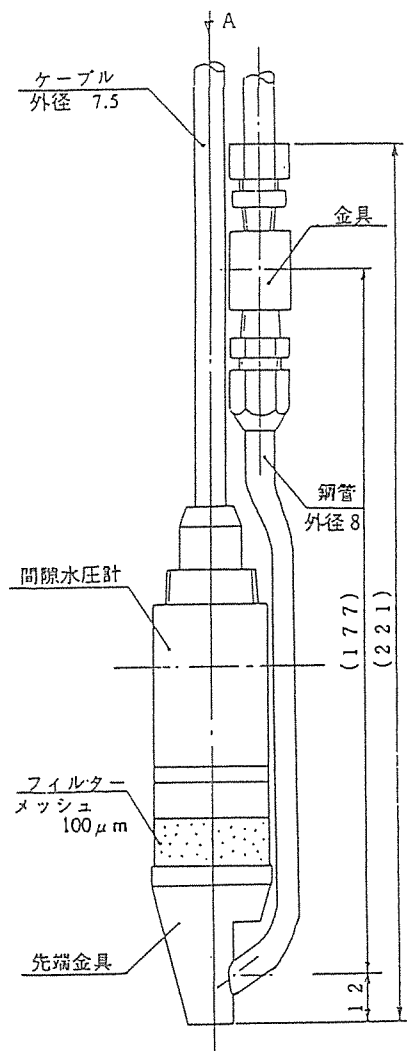


図-12 間隙水圧計設置方法

図-13 地下水採取型水管式間隙水圧計¹⁰⁾

のベントナイトペレットやベントナイトセメント等の遮水材で遮水を行う必要がある。

この様に1本のボーリング孔内に多点で間隙水圧計を設置する方法は経済的で地上の占有面積が少ないなど非常に有効であるが、地下水の採取ができないことや電気的間隙水圧計に関しては、長期間計測の安定度を検定することができないことなどの短所をもつ。そこで図-13に示すような水管式間隙水圧計を開発した¹⁰⁾。

この原理は図-14に示すように間隙水圧計のフィルター部に水管を接続し、地表から空気圧を作用させることによって地下水の採取が可能となる。また作用させる空気圧を測定しながら所定の水頭まで徐々に加圧して、それ以上空気を送っても空気圧の増加がみられない空気圧の換算水圧水頭

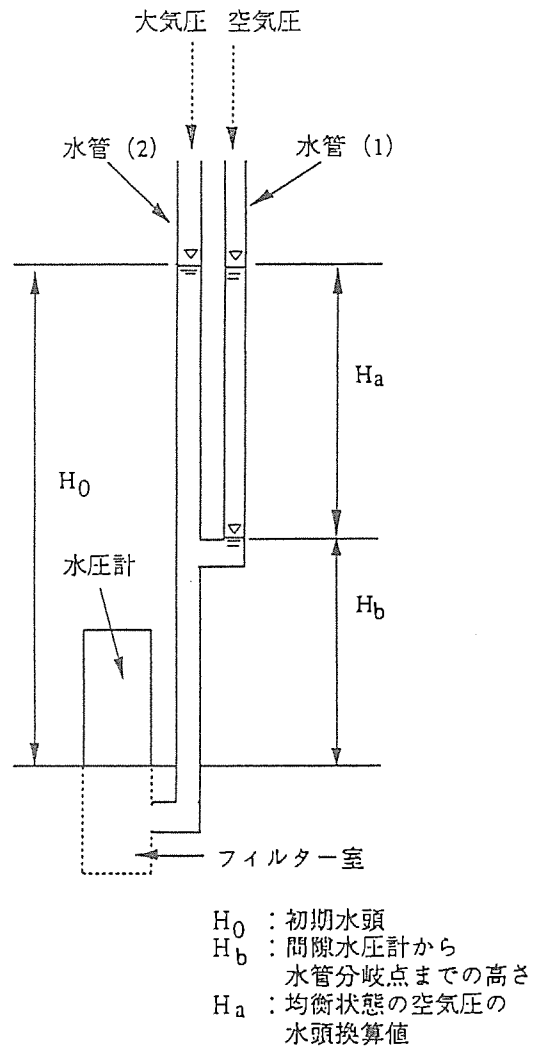


図-14 水管式間隙水圧計の測定原理

H_a を知ることによって間隙水圧計に作用している水頭を $H_0 = H_a + H_b$ として求めることができる。

6.3 水圧計により採取した試水の水質分析

前項にあげた間隙水圧計にはフィルター部が設けられているので、定期的に水圧計内部の水を排除して、フィルターの目詰まりを除くようにすることが望ましい。このような点検作業を兼ねて、地下水の採取を行うことになる。水圧計部分の内容積は、約25mlとなっているので、その数倍の水を排水することとし、初めの約200mlは捨てる。水質分析用の試水採取量は約200mlとなる。

水質分析の項目は、水質組成の比較検討を可能とし、かつ水利用（または排水）上の障害のチェックができるものであることが要求される、組成の検討には主要成分が対象となり、アニオンとして

アルカリ度、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、カチオンとして Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、(Fe^{2+})の測定値が不可欠である。障害のチェックには、 Cl^- 、 Fe (溶存)とともにCOD、ガス成分(H_2S 、 CH_4)などの測値を得ることが望ましい。さきに述べたような少量の試料により、これらの測値を得るため、下記の方法を採用する。

- ① 採水のための加圧は窒素ガスとする。
- ② 最初の流出水によって、硫化物を検知管法により、メタンをヘッドスペース法により検出する。
- ③ 試水のpHを測定する。少容量型のpH電極をもちいる。
- ④ 試水の電導度を測定し、その水によって4.8アルカリ度を滴定法で測定する。測定後の試水を保存し、原子吸光法によりカチオンを定量する。溶存ケイ酸もこの試水を用い、吸光光度法によって定量する。
- ⑤ 別に10ml程度の試水を保存し、イオンクロマトグラフ法によりアニオンを定量する。
- ⑥ CODの測定には多量の試水を要するので、TOCを測定する。COD とTOCとの関係を把握しておく必要がある。

7. あとがき

首都圏や近畿圏などの大都市の平野部において、近年、地下水の回復がはかられてきて地下水がかなり高いところまで上昇している。

一方、都市機能を充実させるべく地下空間の有効利用の面から、地下掘削工事が増大し、これらは大深度、大型化の傾向にある。

この様な状況下で、広域的な運動をしている地下水に関する情報をこれに関連する各種団体が協調して収集し、これらの情報に基づいて安全で経済的な地下工事を行うとともに、これらのデータ

をベースにして地下水・地盤環境の問題に関する研究を進めることは、今後の安全、快適かつ経済的な調和のとれた都市整備を進める上で非常に重要なことと思われる。この目的で準備中の地下水地盤環境に関する研究協議会の設立運営に、関係各位の御協力が是非必要である。

参 考 文 献

- 1) 西垣好彦(1988): 地盤災害地盤沈下、(社)土質工学会関西支部、三十周年記念誌
- 2) 鶴巻道二(1977): 大阪コウ積層の地下水。「大阪地盤」、土質工学会、pp.55~93.
- 3) 工業用水協会編(1958): 工業用水便覧。産業図書K.K. pp.527~529.
- 4) 棚竹中土木(1990): <工法紹介>リチャージ工法。基礎工、Vol.18, No.8, p.117.
- 5) 西垣誠(1990): 被圧水および高地下水位地域での基礎工の設計と施工の問題点。基礎工、Vol.18, No.8, pp.26~32.
- 6) たとえば、上田年比古・神野健二・安田裕・重藤恵昭(1982): 地下水人工涵養時の目づまりについて—目づまりのメカニズムと再揚水の効果。第2回水資源に関するシンポジウム、411~416.
- 7) 早川清・松本隆志・澤田純男・本郷隆夫(1992): 現場計測工法におけるワークステーションの活用、第46回土木学会年次学術講演第6部、pp8~9.
- 8) 水原勝由・橋本正・小西憲一・早川清・松本隆志(1992): ワークステーションを用いた種々の現場計測システム例、(社)土質工学会四国支部
- 9) 岩崎好規・坂本稔・大西翼美・本郷隆夫・菱本信一(1979): 間げき水圧計単孔多点埋設方法について、第14回土質工学研究発表会、pp61~62.
- 10) 橋本正・中山淳・矢部興一(1993): 地下水採取型水管式間隙水圧計の開発、第48回土木学会年次学術講演発表予定

ワークショップ

“地下水と地盤環境” に関する論文報告集

平成6年5月23日 印刷

平成6年5月23日 発行

発 行 者 地下水地盤環境に関する研究協議会
大阪市西区西本町3丁目1番23号
(財) 大阪土質試験所内
TEL (06) 5 3 6 - 1 7 4 1

印 刷 所 株式会社 淀川工技社
大阪市中中央区大手通1丁目2番1号
TEL (06) 9 4 3 - 8 7 6 5
