観測井地下水の濁りに関する調査研究

毛利 光 男* 加瀬 隆 雄* 貫 上 佳 則**

Field Investigation of Turbid Groundwater in Monitoring Well

Mitsuo MOURI*, Takao KASE* and Yoshinori KANJO**

* Soil Remediation Division, Engineering Headquarters, SHIMIZU Corporation, 1-2-3 Shibaura, Minato-ku, Tokyo 105-8007, Japan

** Department of Urban Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan

Abstract

The grain-size distribution of turbidity, water chemistry, and the size of fine particles associated with contaminants in turbid groundwater were investigated in existing monitoring wells. Groundwater monitoring wells are used in obtaining general information on groundwater quality and specific information on concentrations and specification of mobile contaminants in the vicinity of a monitoring well. This information is used in determining whether a given facility is currently in compliance with regulations. Turbidity (fine particles) are present in monitoring wells as a result of well installation in a stratum containing many fine particles (e.g., clay and silt) at a depth of less than GL-10m, well development, prior purging, sampling events, and natural colloidal transport and deposition over time. It is crucial that samples obtained from monitoring wells accurately reflect in situ mobile contaminant concentrations. The filtration of groundwater samples may remove both mobile fine particles/colloids and artifact particles. The most common groundwater purging method is to purge a monitoring well using bailers or pumps to remove 3 to 5 casing volumes to obtain formation water. In this paper, the concept and numerical formulas of a well-purging model are introduced and discussed. The calculation result shows that prepurging more than 3 casing volumes ensures a sampling of well water which is similar to formation water. The differences between filter pack and gravel pack (filter media #2 - #4) and the method of selecting the sizes of filter media were surveyed and discussed with the aim of installing a monitoring well in a stratum containing many fine particles.

Key words: monitoring well, turbid groundwater, particle-size distribution, groundwater-purging model, filter pack

1. はじめに

地下水モニタリングは次の目的で行われることが多い。

- ・ 行政による予防的な地下水汚染の広域監視
- ・ 地下水の環境（汚染）調査
- ・ 飲料水源の質的な保護
- ・ 廃棄物処分場や油類・薬品施設からの漏出検知
- ・ 工場などによる予防的な監視
- ・ 浄化工事の進捗管理

地下水観測井を適切な位置に設置して、目標とする帯水層から代表的な地下水試料を採取して分析することによって、汚染物質の検知、汚染状況の把握、浄化作業の監視などの地下水水質モニタリングを行うことができる。

水道水源として地下水を取水する場合には、できるだけ透水性が優れ、水質が良く、水位の安定した良好な帯水層を選択してスクリーンを挿入する。採水する帯水層の条件としては、礫層、砂礫層、砂層の順に好ましい¹⁾。

環境庁（現 環境省）の土壌汚染調査によると重金属類、

VOCsともに深度5m以浅の汚染が多いこと、30mよりも深い深度での汚染事例は少ないことが報告されている²⁾。このため、環境調査で設置される地下水観測井は、不圧地下水を対象とする10m未満のものが多く、スクリーンを設ける帯水層も水源用井戸のように礫層や砂礫層ではなく、細粒子を多く含む細砂層にスクリーンを設ける場合もある。環境調査では敷地全域に数多くの観測井を配置してモニタリングを行うため、一般的に井戸管径の小さな（内径φ50mm程度）かつ安価な構造の観測井が用いられる。また連続的な揚水ではなく定期／不定期に地下水試料を採取する場合がほとんどである。このため、環境調査用の地下水観測井に濁質が含まれていることがいろいろと報告されている³⁻⁵⁾。しかし、どの粒度の微細粒子がどの程度含まれているかについては、ほとんど報告されていない。微細粒子の粒度、微細粒子と汚染物質濃度の関連については、帯水層の粒度構成、スクリーン（有孔管）構造、フィルターパックの構成、井戸洗浄方法、地下水の水質、採水前パージ方法、採水頻度、採水方法

* 清水建設株式会社エンジニアリング事業本部土壌環境本部 〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 シーパンスS館

** 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻都市リサイクル工学分野 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138

など多くの要因に関係するため一般化が難しい。今後より多くの知見を積み重ねていくことが重要と考える。

日本では地下水汚染調査においては、濁質を除くため調査対象物質が第二種特定有害物質（重金属類）、第三種特定有害物質（農薬）の場合に限り、試料を10分から30分程度静置した後の上澄み液を濾過処理（0.45μmメンブランフィルター）することが認められている⁶⁾が、アメリカでは観測井から採取した試料の濁りを除去するために室内分析に先立って現場濾過を行ってはならないと規定されている⁷⁻⁹⁾。これは、濾過処理によって汚染物質の移動に係るコロイド粒子（0.01～1μm）の一部が取り除かれてしまうためである。

AEMSプロジェクトのメンバーが研究開発を進めている高度環境監視システム(Advance Monitoring System, 略称AEMS)¹⁰⁻¹³⁾では、生産地域の周囲に設置した観測井にバイオセンサを備え付け、地下水の水質を常時監視することにより、施設からの有害物質の漏出を早期に検知する新しい環境モニタリングの実現を目指している。高度環境モニタリングは、微量にしか含まれない汚染物質の濃度をできるだけ正しく把握することを目的としている。地下水中の微細粒子は、バイオセンサの検出素子である脂質二分子膜に悪影響を与え汚染物検出の妨げになることが懸念される。このため、AEMS用の地下水観測井はフィルター構造やサンプリング方法などに由来する人為的な要因による1μm以上の微細粒子をできるだけ含まないことが望まれる。

本調査研究では、人為的な要因による濁質成分を最小限に抑えて代表的な地下水試料を採取する観点から、観測井地下水の濁りの実態調査と、濁りの発生と関連の深い採水前ページ、観測井、フィルター層の粒度構成の検討を行った。はじめに既設観測井において地下水濁質の粒度分布、濁質粒度と汚染物質濃度との関係を調査した。粒度分布測定は、濁質粒子の移動性を考える上で非常に重要である。次に、濁りを増加させる大きな要因の一つである採水前ページの数学モデルを提示して、採水前に井戸容量の3～5倍量をページすることの意味を考察した。さらに、観測井構造に関する文献調査を基にフィルター材の粒度の比較検討を行った。

2. 観測井地下水の水質・濁質調査

坂本ら⁵⁾は濁りを有する地下水サンプルを分析する場合に0.45μmメンブランフィルターによる濾過操作を追加し、濾過前と濾過後の地下水濃度を比較した。その結果、鉛(Pb)や砒素(As)の重金属については、濾過後の地下水濃度が小さくなること、すなわちこれらの重金属は微細粒子に吸着していたことを報告している。

環境調査用の地下水観測井に微細粒子が含まれる要因には、以下のことが挙げられる。

- 1) 環境調査用の地下水観測井はGL-10m未満の細砂層にスクリーンを設置する場合があること
- 2) 首都圏沿岸部の工業地域の土壌は欧米で報告される事例の土壌に比べて細粒子分の割合が高い場合が多いこと
- 3) フィルターパックよりも粗いグラベルパック（豆砂利）が用いられていること
- 4) 採水前ページと地下水採取に低流量水中ポンプ(Bladder pumpなど)が採用されていないこと

今回は、濁りを有する既設観測井の地下水を採水前ページ後に採取し、濁質の粒度分布、地下水水質、及び濾過操作の影響、粒度別の重金属量などを調べた。尚、調査を行った観測井は、東京湾沿岸部の工業地帯に位置している。土壌・地下水汚染の調査のため、多数の観測井がこの地域一帯に設置されている。

2.1 粒度分布調査

東京湾沿岸部にある既設観測井-A、Bは運河に面した同じ敷地内にあり、スクリーンはGL-6m～GL-8mの細粒子分を含む細砂層に設置されている。地下水位はGL-2m程度である。スクリーンはVP管に0.5～1cmの丸穴をあけ30メッ

Table 1 Groundwater chemistry of the monitoring wells-A, B

0.45μm-membrane filtration	Monitoring well-A		Monitoring well-B	
	None	Done	None	Done
Water temperature (°C)	19	-	19	-
pH (-)	7.5	-	8.1	-
Electric conductivity (μS・cm ⁻¹)	5,070	-	2,450	-
SS (mg・l ⁻¹)	247	-	21	-
Soluble evaporation residuals (mg・l ⁻¹)	-	3,420	-	1,590
Total organic carbon, TOC (mg・l ⁻¹)	-	14	-	8.4
Chloride ion, Cl (mg・l ⁻¹)	-	1,070	-	306
Sodium, Na (mg・l ⁻¹)	-	760	-	290
Calcium, Ca (mg・l ⁻¹)	-	300	-	130
Magnesium, Mg (mg・l ⁻¹)	-	60	-	46
Manganese, Mn (mg・l ⁻¹)	-	0.40	-	0.14
Iron, Fe (mg・l ⁻¹)	-	0.06	-	0.22
Lead, Pb (mg・l ⁻¹)	0.033	0.009	0.002	<0.001
Arsenic, As (mg・l ⁻¹)	0.02	0.007	0.005	0.004
Boron, B (mg・l ⁻¹)	0.7	0.5	0.9	0.8
Fluorine, F (mg・l ⁻¹)	0.43	0.42	0.87	0.86

Fig. 1 Particle-size distributions of turbid groundwater in the monitoring wells-A and B

シュ（0.52mm目）の網巻きしたものであり、フィルター層は2号珪砂を充填している。採水前パージと地下水採水は、吸引ポンプを用いて行った。観測井の井戸容量の4倍量をパージした後で地下水試料を採取した。パージに当たっては水位計を用いて地下水位を測定し、汲み上げに伴う地下水位の低下が微小であることを確認しながら行った。粒度分布を分析するサンプルは2つの小型容器に分注し、片方の容器には分散剤（界面活性剤溶液）を添加した。地下水中の微細粒子の粒度分布は、レーザー回折／散乱式粒度分布測定装置LA-910（堀場製作所製）を用いて測定した。粒度の測定範囲は0.02 μm ～1000 μm に設定した。分散媒であるヘキサメタリン酸ナトリウム0.3 wt%水溶液300mlに微細懸濁粒子試料を乾重値として1～2g加えて調整した後、装置内で超音波を5分間照射して微細懸濁粒子を十分に分散した後、粒度測定を行った。

観測井-A, Bから採取した地下水試料の水質分析結果をTable 1に示す。カルシウムやナトリウム等の一般的な水質項目については、0.45 μm メンブランフィルターによる濾過後の試料のみ分析を行った。重金属については微細粒子への吸着が考えられるため、濾過前と濾過後の両方の試料について分析を行った。Table 1より観測井-AとBの水質はかなり異なることが認められる。以下に水質の特性を要約する。

- pHはAが7.5, Bが8.1と中性域にあった。
- 電気伝導度と溶解性蒸発残留物濃度の値は通常の地下水に比べてかなり高い。海水の影響を受けているものと考えられる。Aの値はBのその約2倍であった。
- 蒸発残留物の主な構成成分は、塩化物イオン、ナトリウム、カルシウム、マグネシウムなどであった。
- SSについては、Aは247 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ とBの21 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ に比べてかなり大きな値であった。

SS濃度が高いことから、観測井-Aでは採水前パージの際に観測井底部の堆積物の一部を巻き上げたものと思われる。

0.45 μm メンブランフィルターによる観測井-A, Bの地下水試料の濾過前と濾過後の鉛、砒素、ホウ素、フッ素の値をTable 1の下段に示す。観測井-Aでは、鉛(Pb)と砒素(As)が濾過によって濃度が減少することが顕著に認められた。この結果は、坂本ら⁵⁾の報告内容と同様である。ホウ素(B)とフッ素(F)については、濾過操作による減少は相対的に小さかった。

粒度分布の分析結果をFig.1に示す。Fig.1より観測井-A, Bに含まれる濁質の粒度分布はよく似ていること、濁質は概ね0.2～20 μm の範囲に分布していること、粒子径のピークは約0.6 μm と約10 μm にあることが認められる。

井戸に含まれる濁質の一般的な生成要因をFig.2¹⁴⁾に示す。井戸孔壁から流入する土壌粒子、地下水によって運ばれる微細粒子、井戸底部の堆積物の巻き上げによる細粒子などが主に濁質を構成していると考えられている。今回の調査では、約10 μm を中心とする分布は井戸孔壁から流入した土壌粒子であること、約0.6 μm を中心とする分布は地下水によって運ばれた微細粒子であることが推測される。溶解性鉄の酸化物も微細粒子になりやすいが、鉄濃度は0.06 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, 0.22 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Table 1参照)と低濃度であったため、鉄の酸化物はそれほど多くはないものと考えられる。

Fig.1より濁質成分の中で移動性を有する微細粒子の存

在は十分考慮に入れる必要があることがわかる。

2.2 濾過の影響、粒度別の重金属

東京湾沿岸部の別サイトにある既設観測井-C～Fの地下水試料を用いて、粒度別の水銀の存在割合を調べた。既設観測井-C～Fは、感潮河川に面した同じ敷地内にあり、スクリーンはGL-6m～GL-10mの細粒子分を含む細砂層に設置されている。地下水位は約GL-2mである。スクリーンとフィルター層の構造は観測井-A, Bとほぼ同じである。地下水試料の採取は、採水器を用いて行った。この地下水の特徴は、蒸発残留物濃度が2200～3400 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と高いこと、鉄濃度が24～78 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と高いこと、pHが9.2～10.4とアルカリ領域にあること、微細な懸濁粒子を多く含むこと等であった。また、全水銀濃度は4～16 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。観測井-C～Fの地下水試料を採取した後、10分程度静置して得られた上澄み液を0.45 μm と5 μm の濾紙によって分画し、それぞれの水銀(Total-Hg)濃度を分析した。地下水試料の水銀の存在割合をFig.3に示す。Fig.3より観測井-C, Dでは水銀は主に0.45 μm 以下のサイズに含まれていること、観測井-E, Fでは水銀は主に5 μm 以上のサイズに含まれていることが分かる。すなわち、観測井-E, Fでは水銀は移動性が乏しい5 μm 以上の土壌粒子に吸着しており、観測井-C, Dでは水銀は溶存態コロイド粒子に吸着して存在していると考えられる。観測井-C, Dと観測井-E, Fの地下水中の水銀の存在形態の違いは、pH及び塩化物濃度による溶解度の違い、観測井周辺土壌が含む有機物（腐植質）量の大小に起因するように推測されるが、今回の調査では原因は特定できていない。観測井-C～Fでは、地下水と一緒に移動

Fig. 2 Illustration of factors leading to turbid groundwater in a monitoring well¹⁴⁾

Fig. 3 Mercury (Hg) distribution in turbid groundwater

すると考えられるサイズ (0.45 μm 以下)、及びその中間のサイズ (0.45 μm ～5 μm) のそれぞれに水銀が存在していることがわかった。濁りのある試料の場合、0.45 μm メンブランフィルターによる濾過処理を行うと地下水と一緒に移動する成分を過小評価する可能性が高いことが示唆される。

3. 採水前パージのモデル解析

3.1 採水前パージの必要性

採水前パージは地下水採取に先立ち、観測井内に長時間にわたり溜まっている停滞水を除去して、帯水層の代表的なサンプルを採取するために行う。ASTM (D-4448-01)¹⁵⁾ は、観測井内に地下水が長時間にわたり滞留すると、井戸孔壁や大気に接することから以下の変化が起きる可能性を指摘している。

- ・大気に接して酸化作用が起きる。大気と接触することによって地下水酸素濃度が深度とともに変化する。
- ・大気中に揮発性ガスが揮散する。
- ・地表からの浸透物が加わる。

環境省のマニュアル⁶⁾は採水前パージの必要性を以下のように記している。

1) 常時揚水していない観測井では、孔壁が安定していないことや水が滞留していることから、採水した試料に濁質を含んでいることが多い。濁質は孔壁からの土壌粒子成分や地下水中の溶解性鉄が井戸内で酸化された酸化物の場合もある。

2) パージのための排水量については、井戸内滞水量の3～5倍量を目安とし、目視または透視度測定で濁りが無くなり、pH、電気伝導率および水温が安定していることを確認する。

3.2 モデル解析

環境省のマニュアル⁶⁾では、採水前パージとして観測井容量の3倍量～5倍量の水を汲み上げることが記載されているが、その理由は明記されていない。的確な地下水環境モニタリングを行うためには、採水した試料が観測井周辺の地下水の水質を代表している必要がある。このため、採水前パージとして井戸容量の3～5倍量を汲み上げることと観測井内の水質の関連について、以下に示す数学モデルを基に検討を行った。

地下水採取の概念図をFig.4に示す。数学モデル化に当たっては、下記1)～3)の仮定を行う。

Fig. 4 Groundwater purging well

1) 観測井地下水を汲み上げた際、汲み上げた量と等量の地層水 (formation water) が井戸内へ流入する。

2) 観測井内の物質濃度は一様である。(完全混合)

3) 観測井周囲の地層水の物質濃度は一様である。(流入する地層水の水質は一定)

上記の仮定より、(1)式が導ける。

$$\Delta(VC_w) = (C_i - C_w)r\Delta t \quad (1)$$

ここで、 V : 観測井容量、 C_i : 観測井へ流入する地下水の汚染物質濃度、 C_w : 観測井内の汚染物質濃度、 r : 汲み上げ流量 (= 周辺地層から観測井へ流入する地下水流量) である。

(1)式の両辺を Δt で割って極限をとる。

$$dC_w/dt = (C_i - C_w)r/V \quad (2)$$

(2)式より、 t 時間後の観測井内の汚染物質濃度は(3)式で計算できる。

$$\begin{aligned} C_w(t) &= e^{-rt/V} C_w(0) + e^{-rt/V} (r/V) \cdot \int_0^t (C_i \cdot e^{rt/V}) dt \\ &= e^{-rt/V} C_w(0) + C_i(1 - e^{-rt/V}) \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式によって、井戸容量に対する汲み上げ量 ($rt/V=1$ は、井戸容量の1倍量を汲み上げたことを意味する) と観測井内の汚染物質濃度との関係を計算することができる。

観測井地下水の汚染物質濃度が、観測井周囲の地層水の汚染物質濃度の75%値、50%値、0%値まで低減していた場合について計算を行った。計算結果をFig.5に示す。

初期の観測井地下水が周囲の地層水に含まれている汚染物質を全く含んでいない $C_w(0)=0\%$ の場合でも、観測井容量の3倍量以上の水を汲み上げて周囲の地層水と交換することにより、観測井地下水の対象汚染物質濃度は、地層水の濃度とほぼ等しくなることが認められる。

本モデル解析より長時間滞留している観測井では、採水前パージは必須であること、必要なパージ量は対象物質濃度の変化 (低減) 量によって異なること、観測井容量の3倍量以上のパージを行うと、地層水とほぼ同等の地下水を確実に採取できることがわかった。採水前パージは濁りを発生させる大きな要因のひとつであるが、周囲の地層水と同じ水質の地下水を採取するためには省くことはできないと考える。

4. 観測井フィルター層

海外 (アメリカ、オーストラリアなど) の観測井の構造を調べるとフィルター材の粒径の定め方が日本と大きく異なることが認められた。このため、観測井の構造とフィルター材の粒度の定め方を整理した上で細粒子を含む細砂～砂層にスクリーンを設置する場合のフィルター材粒度をASTMに従って求め、日本の珪砂 (2号～4号) の粒度との比較検討を行った。

4.1 観測井の構造

ボーリング孔内にケーシングが建て込まれ、地下水採取層 (帯水層) の深度に設置したスクリーンから地下水がケーシング内に入る。スクリーンとボーリング孔壁の間のスペースにはフィルターパックが充填される。上部のケーシングとボーリング孔壁との間の間隙は、二次フィルターパック、グラウト、ベントナイト、純セメントグラウトなど

Fig. 5 Pollutant concentration of well water versus well purging volume, Pollutant conc. (%) of the y-axis is the ratio of the pollutant conc. of well water to the pollutant conc. of formation water

で順に充填される。日本の標準的な観測井では、フィルターパックよりも粗いグラベルパック（5～10mmの細礫（豆砂利））がよく用いられている。

スクリーンは網巻きた有孔管を用いる。有孔管の孔が十分に小さく、フィルターパックで目詰まりを防ぐことができる場合には網巻きは不要である。スロットサイズは地層およびフィルターパック材の粒径分布に関係する。スリット幅が0.15mm程度のPVC管は十分に小さい孔の有孔管とみなせる^{16,17)}。

4.2 フィルター層

フィルターパック (filter pack) はスクリーンに接する地層を安定させることを目的として設けられる。フィルターパック材には化学的に不活性で非反応性材料である洗浄された堅いケイ酸粒子が適している。ASTM (D5092-90) によるとフィルターパックの粒度は次のように定めるのがよいとされている¹⁶⁾。

- 1) 地層の粒径が細かく均一であるとき、フィルターパックとなる砂のD30は、地層のD30の4から10倍とする。
 - 2) 地層の粒径分布が不均一でシルトサイズ粒子を含むときは6から10倍とする。
 - 3) フィルターパックの均等係数Uc (60%粒径/10%粒径 = D60/D10)は2.5以下とする。
 - 4) 粒径分布曲線は滑らかで緩やかな曲線を描くこと
- 上記1)～4)に従って、細粒子を含む細砂～砂層にスクリーンを設置する場合に充填するフィルターパックの粒度分布を地層 (formation) の粒度、日本の珪砂 (filter media 2号～4号) の粒度と比較した一例をFig.6に示す。日本では2号珪砂は観測井のフィルター材としてよく用いられるが、細かい4号珪砂は観測井にはあまり使用されない。Fig.6に示したフィルターパックの均等係数Uc (D60/D10)は1.9、フィルター材のD30は地層のD30の約9倍である。この場合のフィルターパックの粒度は日本の2号珪砂、3号珪砂よりも小さく、3号珪砂と4号珪砂の間に位置している。

細かいサイズのフィルター材を充填するとボーリング孔壁に付着する細粒物質の膜を井戸洗浄で取り除くのに時間がかかる、もしくは井戸洗浄によって細粒物質の膜を完全に取り除くことができない場合がある。しかし、

Fig. 6 Grain-size distributions of filter pack, filter media, and formation for design of monitoring well

微量な汚染物質をできるだけ正しく検出するためには、ASTMで推奨される細かいフィルター材か、それに比較的近い3号や4号珪砂を使用する必要があると考える。

5. まとめ

本調査研究では人為的な要因による濁質成分を最小限に抑えて代表的な地下水試料を採取する観点から、観測井地下水の濁りの実態調査と、濁りの発生と関連の深い採水前パージ、観測井、フィルター層の粒度構成の検討を行った。得られた主な結果を以下に要約する。

1) 東京湾沿岸部の汚染サイトに設置された観測井に含まれる濁質の粒度分布を調べたところ、濁質は概ね0.2～20µmの範囲に分布していた。約10µmを中心とする分布は井戸孔壁から流入した土壌粒子であること、約0.6µmを中心とする分布は地下水と一緒に移動する微細粒子であるものと推測される。

2) 濁りのある地下水の水銀形態を調べたところ、水銀は5µm以上、0.45µm～5µm、0.45µm以下の分画に存在していることがわかった。濁りのある試料を0.45µmで濾過処理すると、地下水と一緒に移動する成分を過小評価する可能性が高いと考えられる。

3) 採水前パージの数学モデルを提示し、井戸容量の3～5倍をパージすることの意味を考察した。モデル解析結果より、観測井容量の3倍以上のパージを行うと、地層水とほぼ同等の水質の地下水を確実に採取できることがわかった。

4) 細粒子を含む細砂～砂層にスクリーンを設置する場合は井戸内へ細粒子が流入しやすい。この場合のフィルターパックの粒度をASTM D5092に従って検討を行った。このような細粒子を含む帯水層に観測井を設置する場合のフィルターパック粒度は、ASTMが推奨する定め方に従うと日本でよく用いられる2号珪砂よりも小さく、3号珪砂と4号珪砂の間であることがわかった。

高度環境モニタリングでは微量にしか含まれない汚染物質の濃度をできるだけ正しく把握することを目的にしている。バイオセンサによる汚染物検出の妨げになりやすい微細粒子をできるだけ含まない地下水観測井構造の検討をさらに進める予定である。

謝 辞

本調査研究は、IMS国際共同研究補助事業のAEMS(Advanced Environmental Monitoring System)プロジェクト(メンバー:清水建設株式会社、株式会社東芝、東芝EIコントロールシステム株式会社、エイブル株式会社、国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、富山県立大学、大阪市立大学)の一環として行われた。研究の実施に当っては、清水建設株式会社エンジニアリング事業本部土壌環境本部の斎藤章氏、磯直子氏、及び大日本環境エンジニアリング株式会社の青鹿勝之氏、寒河江貴子氏から多大な協力を受けた。Gricks Drilling社(Australia)のStan Gricks氏からは、オーストラリアの観測井構造を含む井戸全般に関する技術資料とフィルター層に関する助言を頂いた。地下水中の微細粒子の挙動については、Mirarco社(Canada)のGraeme Spires博士から有益な助言を受けた。ここに記して謝意を表します。

(原稿受付 2004年 8月 5日)

(原稿受理 2004年12月30日)

参 考 文 献

- 1) 厚生省監修 (1990) 水道施設設計指針・解説, pp.110-111, pp.128-129, 日本水道協会.
- 2) 環境省環境管理局水環境部 (2002) 平成12年度土壌汚染調査・対策事例及び対応状況に関する調査結果の概要、環境省ホームページ (<http://www.cnv.go.jp/water/report/h14-01>), 1-17.
- 3) Puls R. W. and Barcelona M. J. (1996) Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground-water Sampling Procedures, EPA/540/S-95-504, 1-10, United States Environmental Protection Agency.
- 4) 山内仁ら (2002) 地下水サンプリングが水質に及ぼす影響, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 (第8回), 25-28.
- 5) 坂本大ら (1998) 地下水汚染調査における地下水サンプリング時の留意点, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 (第6回), 287-290.
- 6) 環境省監修, (社)土壌環境センター編 (2003) 土壌対策汚染法に基づく調査及び措置の技術的手法の解説, Appendix 6-1 ~6-3, (社)土壌環境センター.
- 7) Backhus, D.A., Ryan, J.N., Groher, D.M., MacFarlane, J.K., and Gschwend, P.M. (1993) Sampling Colloids and Colloid-associated Contaminants in Ground Water, Ground Water Sampling - A Workshop Summary, EPA/600/R-94/205, 21-25.
- 8) White, C. (1993) A Study of the Impact of Monitoring Well Purging and Filtering Techniques on Metals Concentrations in Groundwater Samples from the Auburn Road Landfill Site in Londonderry, N.H., Ground Water Sampling - A Workshop Summary, EPA/600/R-94/205, 33-36.
- 9) Pohlmann, K.F., Icopini, G.A. and Rosal, C.G. (1993) Evaluation of Field-Filtration Variables for Representative Samples of Trace Metals in Ground Water, Ground Water Sampling - A Workshop Summary, EPA/600/R-94/205, 39-42.
- 10) Mouri M., Ishimori Y., Kawano K., Uchida H., Ishikawa Y., Tamiya E., and Ishizuka M. (2004) Overview of the AEMS project, *Proc. of SPIE*, **5270**, 78-75.
- 11) 毛利光男, 石森義雄, 川野浩一郎, 打田宏志, 石川陽一, 民谷栄一, 石塚勝 (2004) 高度環境監視システムによる汚染物質の早期検出, 水環境学会誌, **27**(2), 131-136.
- 12) Ishimori, Y., Kawano, K., Shinozaki, T., Mouri, M., Kase, T., Tamiya, E., and Ishizuka, M. (2002) Development of an eco-sensor for the continuous monitoring of environmental volatile organic chlorinated compounds, *Measurement Science and Technology*, **13**, 1786-1792.
- 13) Ishimori Y., Kawano K., Murahashi M., and Tamiya E. (2003) Development of eco-sensor based on bilayer lipid membrane for the continuous monitoring of environmental pollutants, *Proc. of SPIE*, **5270**, 86-93.
- 14) Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (1997) Minimum construction requirements for water bores in Australia.
- 15) ASTM (2001) Standard Guide for Sampling Ground-water Monitoring Wells, 1-17, D4448-01.
- 16) ASTM (1990) Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Aquifers, 1-14, D5092-90.
- 17) Aller L. and Gardner (1993) Well design, construction and development, Ground Water Sampling - A Workshop Summary, EPA/600/R-94/205, 72-81.
- 18) 土質調査法改定編集委員会編 (1995) 地盤調査法, pp.276-278, pp.340-341, 地盤工学会.
- 19) Wiedemeier T. H., Rifai H. S., Newell C.J., and Wilson J. T. (1999) Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface, pp.564-579, John Wiley & Sons, INC..
- 20) 日本水環境学会関西支部編 (1995) 地下水・土壌汚染の現状と対策, pp.52-60, 環境技術研究会.
- 21) 水収支研究グループ (1993) 地下水資源・環境論—その理論と実践, pp.213-224, 共立出版, 東京.
- 22) 地下水問題研究会編 (1991) 地下水汚染論—その基礎と応用, pp.146-151, 共立出版, 東京.
- 23) 日本工業規格調査会 (2000) 水質—サンプリング—第11部: 地下水のサンプリングの指針, 1-10, JIS K 0410-3-11.