

## 亜鉛メッキ工場における重金属類汚染地層対策および 地下水の汚染機構と浄化対策

岡野英樹<sup>1</sup>、武島俊達<sup>1</sup>、岡見智章<sup>1</sup>、大島健太<sup>1</sup>、片桐章<sup>1</sup>、  
和田信彦<sup>1</sup>、尾毛谷茂有<sup>2</sup>、小原崇嗣<sup>2</sup>、山崎洋平<sup>2</sup>

1: (株)アステック 〒132-0035 東京都江戸川区平井 5-21-3(ガーデン欣志)

2: 浅野さく泉管工(株) 〒278-0004 千葉県野田市横内 42-11

### The heavy metal pollution stratum treatment , and pollution mechanism and treatment of the underground water in the formation of zinc-plating plant

Hideki OKANO<sup>1</sup>, Toshikatsu TAKESHIMA<sup>1</sup>, Tomoaki OKAMI<sup>1</sup>, Kenta OSHIMA<sup>1</sup>, Akira KATAGIRI<sup>1</sup>,  
Nobuhiko WADA<sup>1</sup>, Shigenao OKETANI<sup>2</sup>, Takatsugu OBARA<sup>2</sup>, Youhei YAMAZAKI<sup>2</sup>

1: Astec Co., Ltd Garden Kinshi building, 5-21-3, Hirai, Edogawa-ku, Tokyo 132-0035 Japan

2: Asano Well Boring Co., Ltd 42-11, Yokouchi, Noda City, Chiba 278-0004 Japan

#### Abstract

It was closed for autumn in 2007 whether it was the zinc metal plating factory where a business was done from a local city for around 1970 years in Kanto area. Outline of soil survey was conducted simultaneously with the closing. As a result, cadmium, lead, cyanide, fluorine was confirmed soil contamination, soil contamination was confirmed by the range of each substance ( soil pollution survey conducted by another company overview ). That contaminated groundwater has been confirmed at the time of this survey, contaminated area was unclear. After that inside of pollution stratum treatment works is made more remediation by request from a landowner, The construction of geochemical confinement of heavy metals the pollution soil measures construction was taken charge and executed. Survey of groundwater is also performed as the run-up of pollution stratum treatment works, the result, and, after pollution stratum treatment works, pollution groundwater treatment works were put into effect. As a result, We were able to treatment heavy metal polluted groundwater smoothly by quitting supply of the pollution ( removing a polluter and high density pollution soil ) , and by calling in fresh groundwater again.

**Key Words:** *The heavy metal pollution, The zinc-plating plant, stratum treatment , The underground water treatment*

#### はじめに

2007年秋に関東地方の地方都市で1970年代初めごろから稼働されていた亜鉛メッキ工場が閉鎖された。閉鎖とほぼ同時に土壤汚染概況調査が実施された。その結果、カドミウム、鉛、シアン、ふっ素の土壤汚染が確認され、各物質による土壤汚染の範囲が確定された(土壤汚染概況調査は他社が実施)。この調査時点で汚染地下水が確認されたが、汚染範囲は不明確であった。その後、土地所有者からの依頼により汚染土対策工事のうち、我々が不溶化工事を担当し実施した。このとき、汚染地下水の範囲が不明確であったことから、汚染土対策工事の前段として地下水調査もおこない、汚染土対策工事に引き続いて地下水調査結果をもとに汚染地下水対策工事を実施した。その結果、汚染源除去と高濃度汚染土を除去・不溶化により地下地質への汚染の供給を絶つことによって、また、新鮮な地下水を呼び込むことで、重金属類に汚染された地下水を1年弱という短期間でスムーズに浄化することが可能となった。以下、これらの対策工事について報告する。

## 汚染土対策工事

### 対策計画と施工結果

対象地はFig. 1に示すような亜鉛メッキ工場である。図の上部方面にメッキ設備が集中し、図の中央～下部範囲は製品置場や事務所として使用されていた。汚染土壌の対策は、土壤汚染対策法での含有量基準(150mg/kg)超過もしくは第二溶出量基準(0.30mg/L)を超過した土壌(2,200.69m<sup>3</sup>)は掘削除去して場外処理(土壌洗浄+管理型処分場埋立)とし、第二溶出量基準以下～溶出量基準(0.01mg/L)超過の土壌(3,352.18m<sup>3</sup>)は不溶化処理と計画された。Fig. 2に汚染土対策の種別を示し、Table. 1に汚染土対策数量を示す。このうち、我々は不溶化工としてシーリングソイル工法を用いて処理をおこなった(汚染源であるメッキ設備の撤去と土壌の場外搬出は別会社が担当)。Fig. 3に汚染土対策計画の断面例を示し、Fig. 4にシーリングソイル工法実施時の施工状況を示す。シーリングソイルとしてpH調整した処理土(pH7~8)は、75m<sup>3</sup>ごと(1施工レーン分)に採取し公定法分析にて溶出量基準以下であることを確認したうえで場内に埋め戻した。2009年9月末現在、敷地境界付近で地下水モニタリングを実施しているが、地下水基準値超過は認められていない。

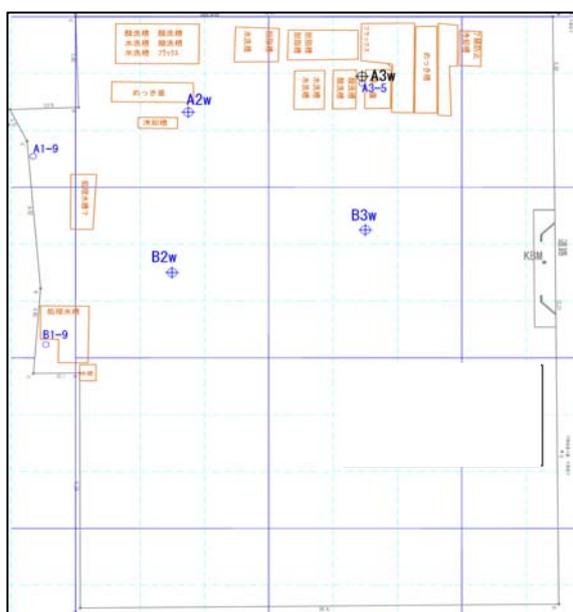


Fig.1 Plating equipment installation of the target area.  
 [対象地のメッキ設備配置図]

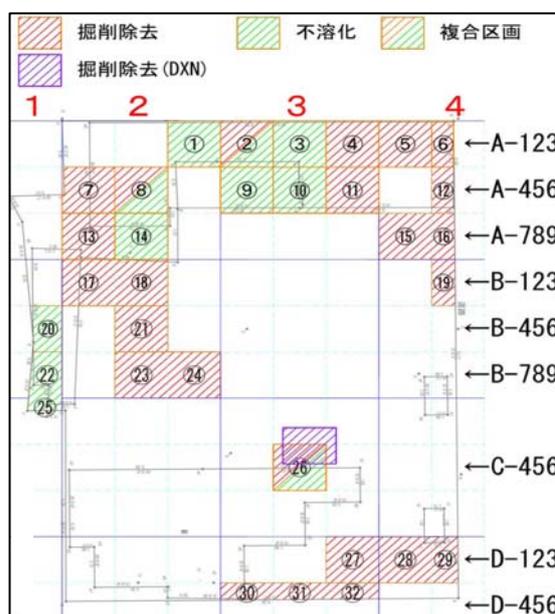
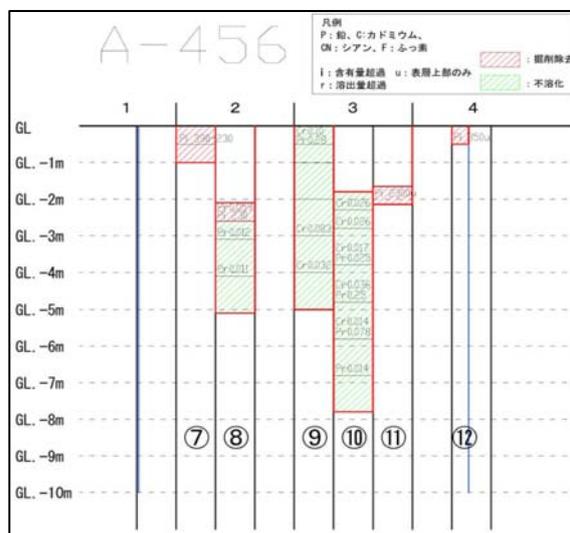


Fig.2 The classification of pollution soil treatment.  
 [汚染土対策の種別]

Table.1 Pollution soil measures amount.  
 [汚染土対策数量]

対策対象土量 5,552.87m <sup>3</sup>	
場外処分土量 2,200.69m <sup>3</sup>	不溶化埋戻し土量 3,352.18m <sup>3</sup>

Fig.3 The section situation of the pollution soil treatment plan. [汚染土対策計画の断面状況] →





**Fig.4** The construction situation at the time of the sealing soil method of construction enforcement. [シーリングソイル工法実施時の施工状況]

### 地下水調査と汚染対策

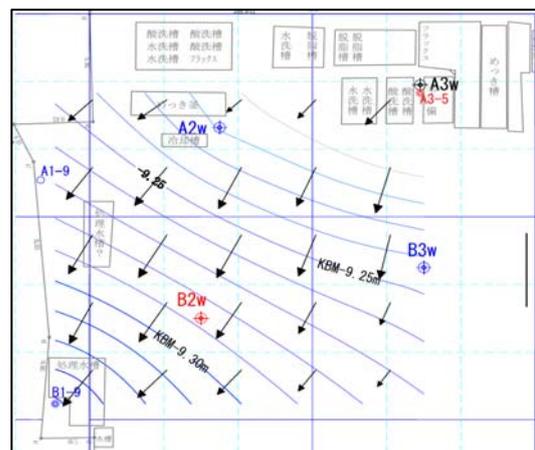
#### 地下水調査結果

敷地内のメッキ設備跡地で実施された調査ボーリングでカドミウムと鉛の地下水基準超過が認められた (Cd:0.25mg/L、Pb:0.14mg/L)。汚染土対策工事が実施される直前まで地下水の汚染状況が不明であったため、汚染土対策工事前段に地下水調査を実施した。

汚染地下水と同じ帯水層(深度 5.6m以深の砂層)を対象として深度 6~12m間をスクリーンとした観測井を3箇所設置し、その帯水層の底面確認と下位帯水層の状況確認のため深度 55.4mまでコア試料を採取して深度 17~30m間をスクリーンとした観測井を1箇所設置した。

その結果、下位の帯水層には汚染が認められず、コア観察と孔内検層結果から深度 12~15m付近のやや固結したシルト混じり砂層で帯水層が区分されていると判断した。また、深度 9m以浅のコアは、pH5以下と酸性側にあることが判明した(メッキ作業工程で錆除去を目的に塩酸が使用される)。

上位の帯水層では、汚染源と考えられるメッキ設備跡地から図面斜め左下方向にある新規観測井1箇所 でカドミウムと鉛の地下水汚染を確認した (B2w、Cd:0.041mg/L、Pb:0.026mg/L、pH4.3)。推定される地下水汚染の平面範囲を Fig. 6 に示す。対象地では Fig. 7 に示す汚染モデル図のように、メッキ設備からカドミウム等の重金属類が溶けた低 pH 水が地下へ漏洩することにより深度 12m付近までの上位帯水層が汚染されたと推定し、この帯水層を地下水対策範囲と判断した。



**Fig.6** Location of groundwater observation wells and groundwater flow direction. [地下水観測井位置と地下水流向]

**Fig.5** A geological feature and ratio resistance and core simple pH result of a measurement. [地質と比抵抗およびコア簡易 pH測定結果]



Fig.7 An estimated plane range of the polluted groundwater.  
 [地下水汚染の推定平面範囲]

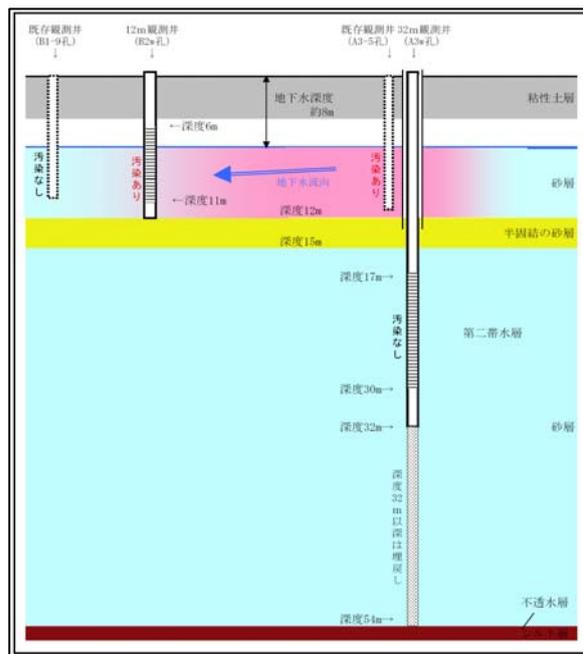


Fig.8 Model of the polluted groundwater.  
 [地下水汚染のモデル図]

### 地下水対策計画

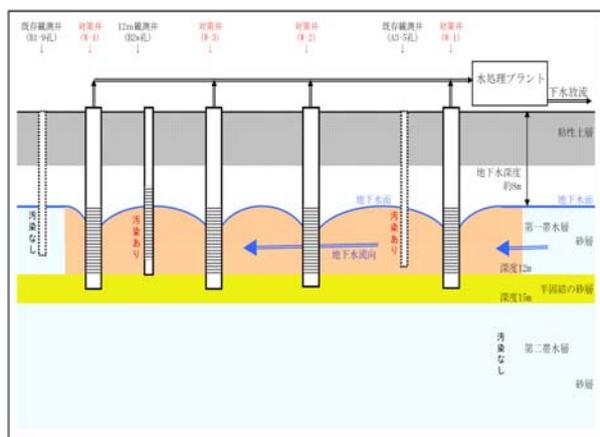
地下水汚染対策の対象物質は、メッキ作業時に漏洩したと推定されるカドミウムと鉛である。メッキ作業時に塩酸を使用していたという履歴と、コア試料の簡易 pH 試験結果、および地下水の pH が 4 程度であることから、汚染源周辺の地下水も酸性化していると推定した。

このことから、地下水中でのカドミウムと鉛は酸性溶液中にイオンとして存在していると判断した。対策手法としては、地下水を揚水しカドミウムと鉛を地下から排出させる事と、揚水によって新鮮な地下水を周辺地域から呼び寄せて pH 値を中性域に戻す事を目標とした。

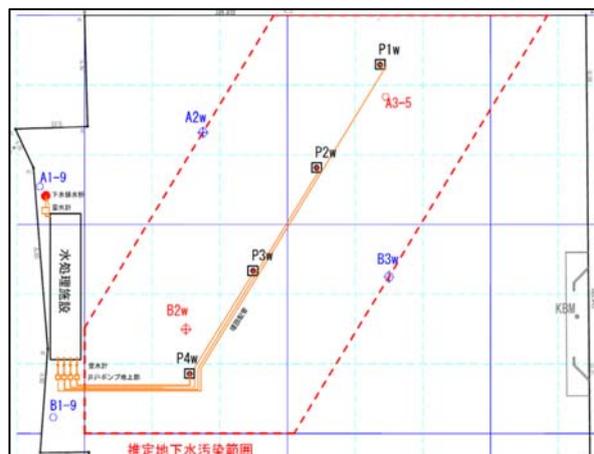
調査結果をもとにして Table. 2 に示すような対策計画を立案した。まず、対策面積と帯水層厚さ(≒地下水の厚さ)等から有効容積を求め、その土地のかん養率から 1 年間の地下水容量を求めた。そして、地質状況から帯水層定数を推定し、単位時間あたりの揚水可能な地下水量と現実的な井戸本数を設定した。Fig. 9 に揚水対策井設置図を示し、Fig. 10 に揚水井設置位置図を示す。計算上は 5.2 ヶ月で範囲内の地下水を入れ換えることになるが、揚水期間は安全をみて約 2 倍の 10 ヶ月と設定した。

Table.2 Groundwater treatment examination. [地下水対策検討表]

☆対象容積の計算		
A. 面積 (m <sup>2</sup> )	2,354	
B. 地下水層の厚さ (m)	4	
C. 全体積 (m <sup>3</sup> )	9,416	= A × B
D. 有孔空隙率 (%)	30%	
E. 有効容積 (m <sup>3</sup> )	2,825	= C × D
F. 土地周辺の年降水量 (mm)	1,305	自治体地下水保全計画より
G. 降水のかん養率 (%)	23%	自治体地下水保全計画より
H. 年間涵養量 (m <sup>3</sup> )	707	= A × F × G
I. 対象容積 (m <sup>3</sup> )	3,531	= E + H
◎井戸の影響圏の計算 (シーハルトの経験式)		
定数	2,000	
透水係数 (cm/sec)	2.50E-03	一般的な細砂
水位低下量 (m)	3	深度 8 m → 深度 1.1 m へ
影響半径 (m)	30.00	
◎井戸 1 本あたり揚水量の推定計算 (チームの井戸公式)		
帯水層の層厚 (m)	4	
水位低下量 (m)	3	深度 8 m → 深度 1.1 m へ
透水係数 (cm/sec)	2.50E-03	一般的な細砂
影響半径 (m)	30.00	
井戸半径 (cm)	5	
日揚水量 (m <sup>3</sup> )	25.46	m <sup>3</sup> /24時間
毎時揚水量 (m <sup>3</sup> )	1.061	m <sup>3</sup> /時間
毎分揚水量 (L)	17.68	L/分
★揚水時間の計算		
井戸本数 (本)	4	本
運転時間 (時間)	8	時間
1 日 8 時間の運転量 (m <sup>3</sup> )	33.9	m <sup>3</sup>
必要日数 (日)	104	日
必要月数 (20日間運転)	5.2	ヶ月



**Fig.9** A pumping well setting diagrammatical view in a higher aquifer. [上位帯水層 揚水対策井設置概略図]



**Fig.10** A pumping well setting position. (P: Pumping Well, Other Circles: Monitoring Well) [揚水井設置位置図]

### 地下水対策結果

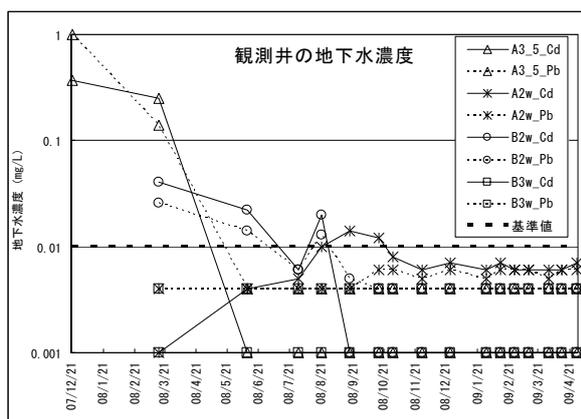
汚染土対策工事が終了した直後の2008年6月中に揚水井と汚染地下水処理設備を設置して、7月から地下水揚水処理をおこない、対象物質のカドミウムと鉛が地下水環境基準以下となった10ヶ月後の2009年4月まで揚水を継続した。なお、汚染地下水処理設備での処理水は、下水使用の許可をうけたうえで最寄り下水道へ放流した。Table. 3 に揚水実績表を示す。揚水量は計算で求めた地下水容量の2.4倍程度となったが、前述のとおり当初の計画が地下水容量が入れ替わる期間の約2倍を前提としているため、計画量と実績量は大きくズレていないと評価される。

観測井と揚水井における対象物質のカドミウムと鉛の地下水濃度経時変化をFig. 11とFig. 12にそれぞれ示す。観測井では、ほとんどが汚染土対策工事後に地下水基準以下になっており、汚染源の除去と高濃度汚染土の改良が功を奏していると考えられる。対して揚水井では、基準値以下となるのに地下水対策開始(揚水開始)から7~9ヶ月を要している。これは揚水することにより、汚染された周辺地下水を呼び込むためであり、それだけ地下水浄化が進められたと判断される。

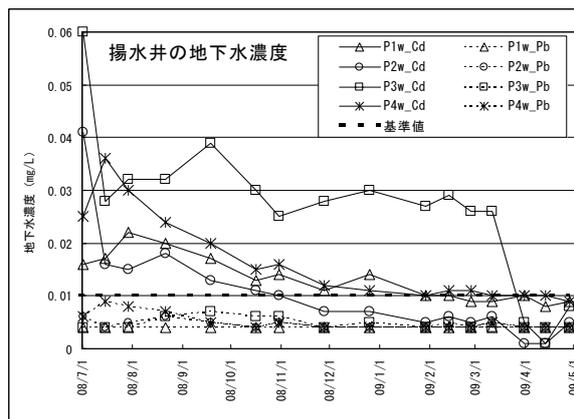
観測井と揚水井における地下水のpHの経時変化をFig. 13とFig. 14にそれぞれ示す。観測井では、地下水対策開始から約3ヶ月後にほとんどの地点でpH6以上となり、地下水対策工事終了までほぼ中性の状態を維持している。ただし、A2wの1孔のみpHが徐々に低下し、pH4.5程度で安定している。これは地下水流向の上流部(A2wを挟んで揚水井と反対側)に低pHの部分が残留し、徐々に低pH地下水が流入していることを示すものかも知れない。しかし、A2wでのカドミウムと鉛の地下水濃度は、一時基準値以上になったものの、その後は基準値以下が継続していることから、今後もこの状況が継続していくと思われる。揚水井では、もとの汚染源に近いP1wが揚水開始からpH6であり汚染土対策の影響と思われる、その他の揚水井は前述の地下水濃度の経時変化と同様に中性付近に戻るのに8~9ヶ月を要している。

**Table.3** A pumping results. [揚水実績一覧表]

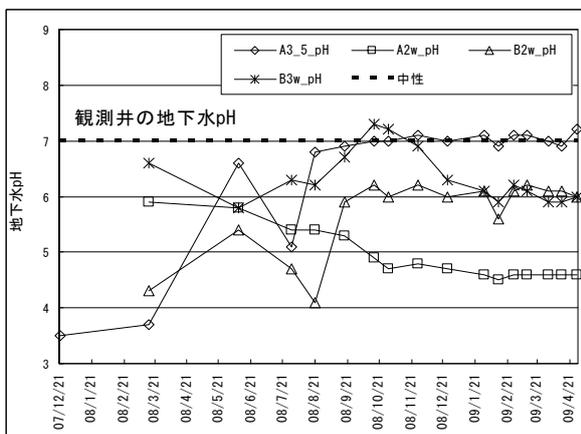
年月	汚染範囲内の推定地下水容量: 3531 m3				月揚水量 合計(m3)	月揚水量 累計(m3)	揚水率 (%)	
	揚水量(m3)							
	P1w	P2w	P3w	P4w				
H20年	7月	228.260	136.863	257.497	430.476	1053.096	1053.096	29.8%
	8月	165.696	114.815	188.449	385.684	854.644	1907.740	54.0%
	9月	183.531	125.909	180.023	430.878	920.341	2828.081	80.1%
	10月	134.741	140.973	230.901	474.999	981.614	3809.695	107.9%
	11月	126.979	126.332	258.100	419.513	930.924	4740.619	134.3%
H21年	12月	227.105	119.504	255.758	333.688	936.055	5676.674	160.8%
	1月	194.326	138.338	220.463	298.127	851.254	6527.928	184.9%
	2月	144.634	146.725	283.249	305.926	880.534	7408.462	209.8%
	3月	61.714	97.668	240.124	314.507	714.013	8122.475	230.0%
4月	45.677	12.119	31.618	303.608	393.022	8515.497	241.2%	
累計	1512.663	1159.246	2146.182	3697.406	8515.497	-	-	



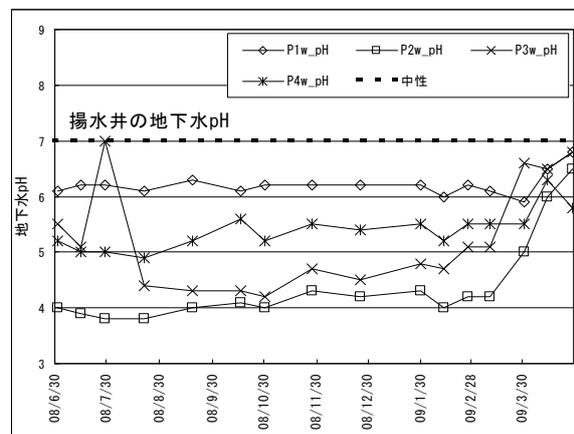
**Fig.11** Cd/Pb levels of the observation well ground water and change at time. [観測井地下水のCd・Pb濃度経時変化]



**Fig.12** Cd/Pb levels of the pumping well ground water and change at time. [揚水井地下水のCd・Pb濃度経時変化]



**Fig.13** pH of the observation well ground water and change at time. [観測井地下水のpH経時変化]



**Fig.14** pH of the pumping well ground water and change at time. [揚水井地下水のpH経時変化]

### さいごに

今回の対策では地下水のみのだけでなく、汚染源であるメッキ設備の除去と不溶化等の汚染土対策をおこなったことから、短期間に地下水基準まで低減させることができたものと思われる。また、地下水調査をおこない地下水構造と汚染機構を把握したうえで工事を進めたことで、効率の良い対策が可能となったのであろう。やはり地質汚染対策には、汚染源の除去はもちろんのこと汚染機構解明が重要であることを再認識した次第である。なお、今回の揚水した汚染地下水の処理水は、対策開始前の検討時間があまり取れなかったことと還元井の設置にまで予算がまわらなかったことから下水放流とした。しかし、下水使用許可に関わる申請手続きの手間や1年間弱の下水使用料を検討すると、当初から還元井による地下浸透を進めた場合の費用と遜色がなかった。費用だけでなく地下資源の保全の意味からも、今後は処理水の地下浸透の検討を視野に入れて地質汚染対策を進めていきたい。

### 文 献

水収支研究グループ編, 1993, 地下水資源・環境論 ―その理論と実践―, 共立出版, pp350.  
 公害防止の技術と法規編集委員会編, 2007, 新・公害防止の技術と法規 2007〈水質編〉, (社)産業環境管理協会, pp422.