

下総台地における6価クロム地下水汚染機構*

佐藤賢司**・古野邦雄**・原 雄**・奥田庸雄**・高梨祐司**・榎井 久**

The Mechanism of Groundwater Pollution by Cr⁶⁺
at the Shimofusa Plateau, Chiba PrefectureKenzi SATOH, Kunio FURUNO, Yu HARA, Tsuneo OKUDA,
Yuuji TAKANASHI and Hisashi NIREI

Abstract The manufacturing plant located on the Shimofusa Plateau has made a subsurface permeation of waste water containing a large quantity of Cr⁶⁺ during the years from 1965 to 1971. In March, 1981, it was observed that a well water of a house on the west to this plant turned yellow due to Cr⁶⁺. The deposits at depths of less than 60 m in this region consist of the highest horizon of the Shimofusa group, the Joso clay bed, the Kanto loam formation, and surface soil in ascending order. The perched water exists in the sediments above the Joso clay. There are three aquifers in highest horizon of the Shimofusa group. The upper one is unconfined aquifer and the lower two are confined aquifers. The mechanism of this groundwater pollution is as follows. The waste water containing Cr⁶⁺ stored in two pits descended vertically from the two pits to the perched water zone through the Kanto loam formation. As a flow of perched water this Cr⁶⁺ moved southward and descended to unconfined aquifer in the region where the Joso clay bed thinned out. In addition, Cr⁶⁺ descended to unconfined aquifer moved to north-west as a flow of groundwater of the unconfined aquifer. Moreover, a portion of Cr⁶⁺ in the unconfined aquifer moved to confined aquifer just below, as the leakage of groundwater.

はじめに

地下水汚染は地下水資源を破壊するだけでなく、人の健康をも脅かすものであり、近年、大きな社会的問題となっている。

この問題解決の前提として、単に、地下水汚染地域における汚染物質の平面的な分布調査のみでなく、帶水層単元（水収支研究グループ、1976）の確立と同時に、地下水流动系を踏えた地下水汚染機構を解明してゆく必要がある。

ちなみに、等者らは、下総台地に発生した6価クロム(Cr⁶⁺)による地下水汚染***について調査する

機会を得たので、本稿では、この地下水汚染地域の地下地質・地下水流动系・汚染物質の分布についての調査結果と、これらの調査結果から解明された地下水汚染機構について述べる。

地下水汚染の経緯

この地下水汚染が発生した場所は、東京湾東岸にある標高約30 mの下総台地である。この台地上にある工場(S工場)が、1965年から1971年後半にかけて金属表面処理工程に使用したCr⁶⁺を多量に含む廃液を地下浸透した。

1981年3月に、S工場に隣接する民家の井戸水がCr⁶⁺で黄変する現象が認められた。

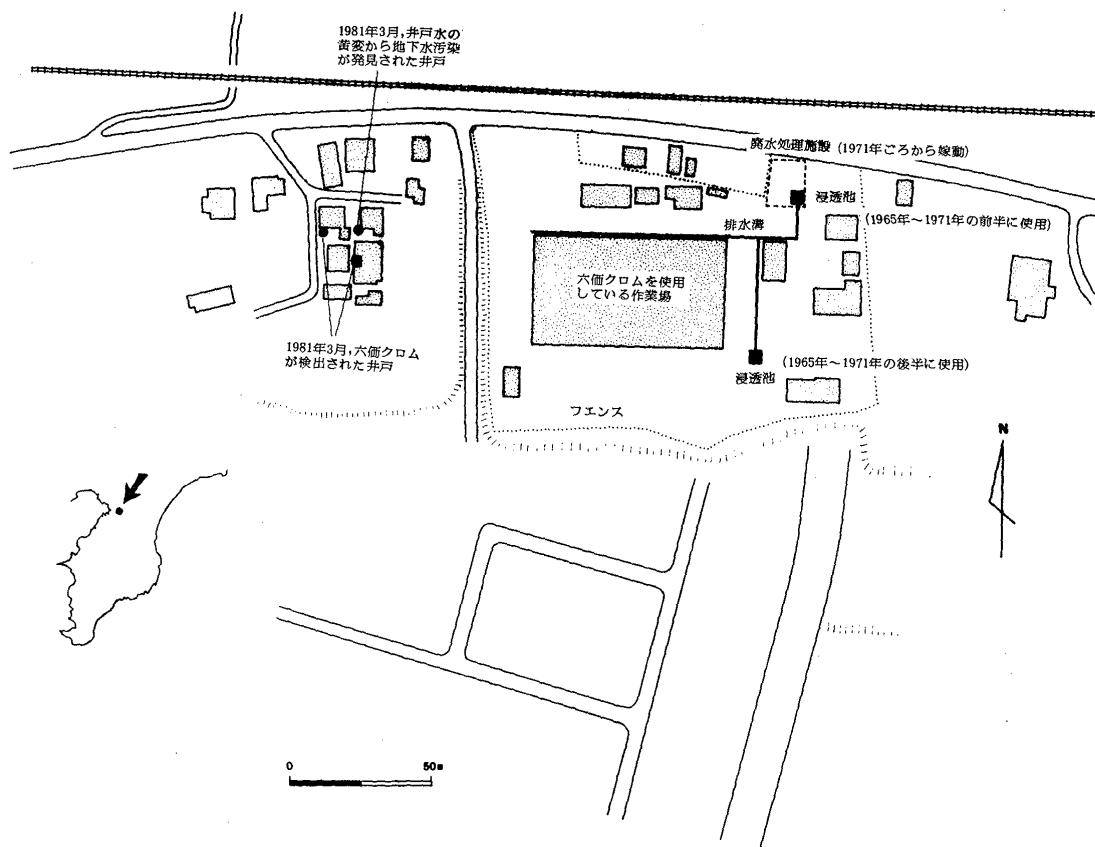
地下浸透が行われた浸透池から、この井戸までの距離は約150 m(水平距離)である。この地下水汚染の経緯をまとめると、第1図のようになる。なお、現段階では、S工場の使用済廃液は、排水処理プラントにより処理されている。

前述の過去においてCr⁶⁺を含む廃液の地下浸透

* 日本地質学会第89年学術大会で一部講演(古野ら: 1982, 原ら: 1982, 佐藤ら: 1982)

** 千葉県公害研究所地盤沈下研究室, Land Subsidence Section, Chiba Prefectural Research Institute for Environmental Pollution (CRIEP), Inage Kaigan 3-5-1, Chiba City, 281 Japan.

*** Cr⁶⁺地下水汚染は、東京都(東京都, 1975)や滋賀県(中村ら, 1977)など、各地で発生している。



第1図 地下水汚染の経緯を示す図

に用いられた浸透池は、第1図にみられるように、2カ所にあった。そのうち北側の浸透液は、地下浸透期間の初期に使用されているもので、主には、南側の浸透池が使用されていた。これらの浸透池は、関東ローム層を素掘りしたものである。その規模は、ともに、幅約4m、深さ約3mである。地下浸透したCr⁶⁺の量については、正確な資料がなく不明である。

一方、黄変した井戸水に関するCr⁶⁺の分析結果(千葉県衛生研究所、1981 MS)によると、その濃度は27 ppmであった。さらに、広域的に分布する井戸の水質検査によると、地下水の黄変した井戸を所有する民家の隣りにある2軒の民家の井戸水からも0.1 ppm～0.4 ppmのCr⁶⁺が検出されている。Cr⁶⁺が検出されたこれら3つの井戸の深度は、22m～27mの範囲にある。

地下水汚染現場での調査方法

地下水汚染現場での地下水汚染機構を解明する目的から、オールコア採取用の地質ボーリングを39地

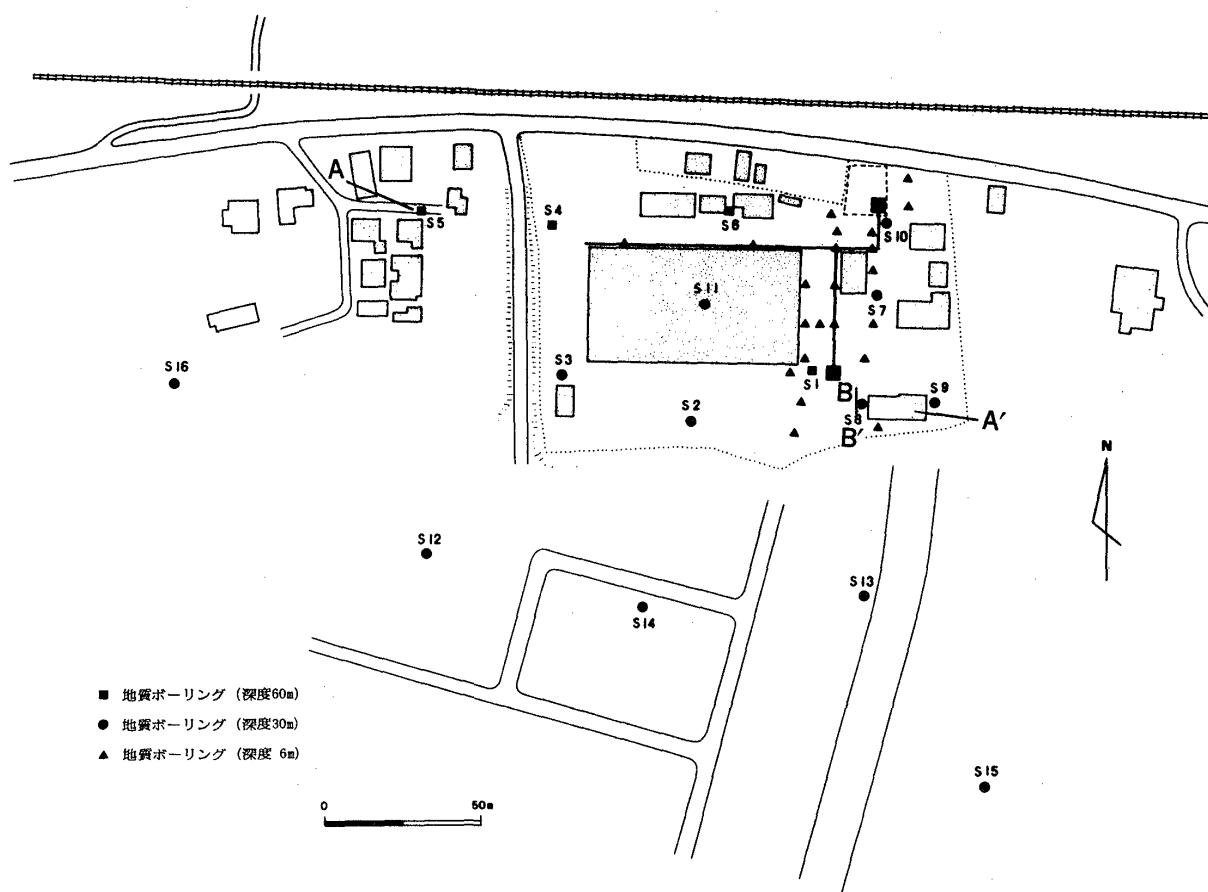
第1表 地下水位観測井の設置状況

設置地点	1地点あたりの地下水位観測井数	地下水位観測井の深度
深度60mの地質ボーリング地点(4地点)	3	60m・30m・20m
深度30mの地質ボーリング地点(12地点)	2	30m・20m
深度6mの地質ボーリング地点(23地点)	1	6m

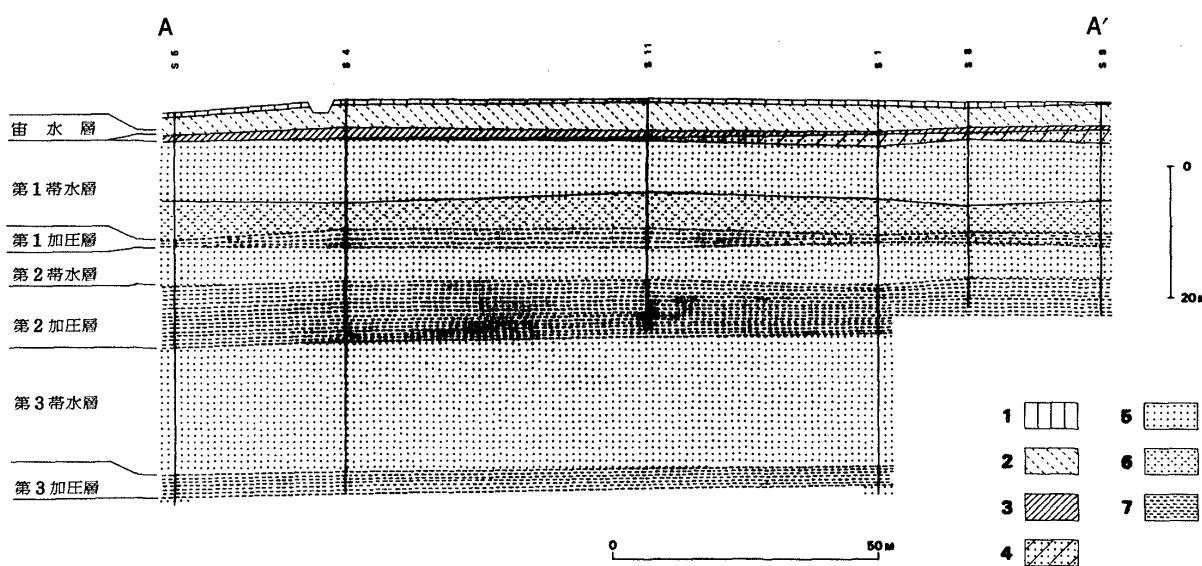
点で行った。実施期間は、1981年5月から9月までである。地質ボーリングの深度は、4地点が60m、12地点が30mそして23地点が6mである(第1表、第2図)。

また、地質ボーリング坑を利用して地下水位観測井を設置すると同時に、各地質ボーリング地点における帶水層別の地下水位を観測する目的から、同一地点に、新たに20井の地下水位観測井を設置した。地下水位観測井の総数は59井である。なお、その詳細は、第1表に示すとおりである。

地下水位の測定は、携帯型水位測定器により行った。また、本稿で使用している地下水位の基準は、



第2図 地質ボーリング位置図



第3図 地下地質断面図

1 : 表土, 2 : 関東ローム層, 3 : 凝灰質粘土層, 4 : 凝灰質砂層, 5 : 砂層,

6 : 粘土まじり砂層, 7 : 泥層

断面線の位置は第2図に示してある。

南側地下浸透池の地点(S1)に設けた深度60mの地下水位観測井(S1-1)の管頭である。したがって、地下水位はS1-1地下水位観測井の管頭から地下水水面までの深度で示される。

地質ボーリングにより採取された地質試料は、Cr⁶⁺の分析に用いた。分析した試料数は583である。試料の分析にあたっては、採取した各地質試料から約5gを分取し、水100mlを加えて振とうした。そして、溶出したCr⁶⁺をジフェニルカルバジドにより発色定量した(環境庁, 1975)。なお、Cr⁶⁺濃度の表示は、湿潤状態の地質試料の重量に対する溶出したCr⁶⁺の重量の割合を用いている。

地下地質と帯水層単元

地質ボーリングによる調査地域の地下地質の状態は、下位より、砂層と泥層の互層からなる下総層群の最上部・常総粘土層(菊地, 1981)・関東ローム層・黒色土壤からなる。

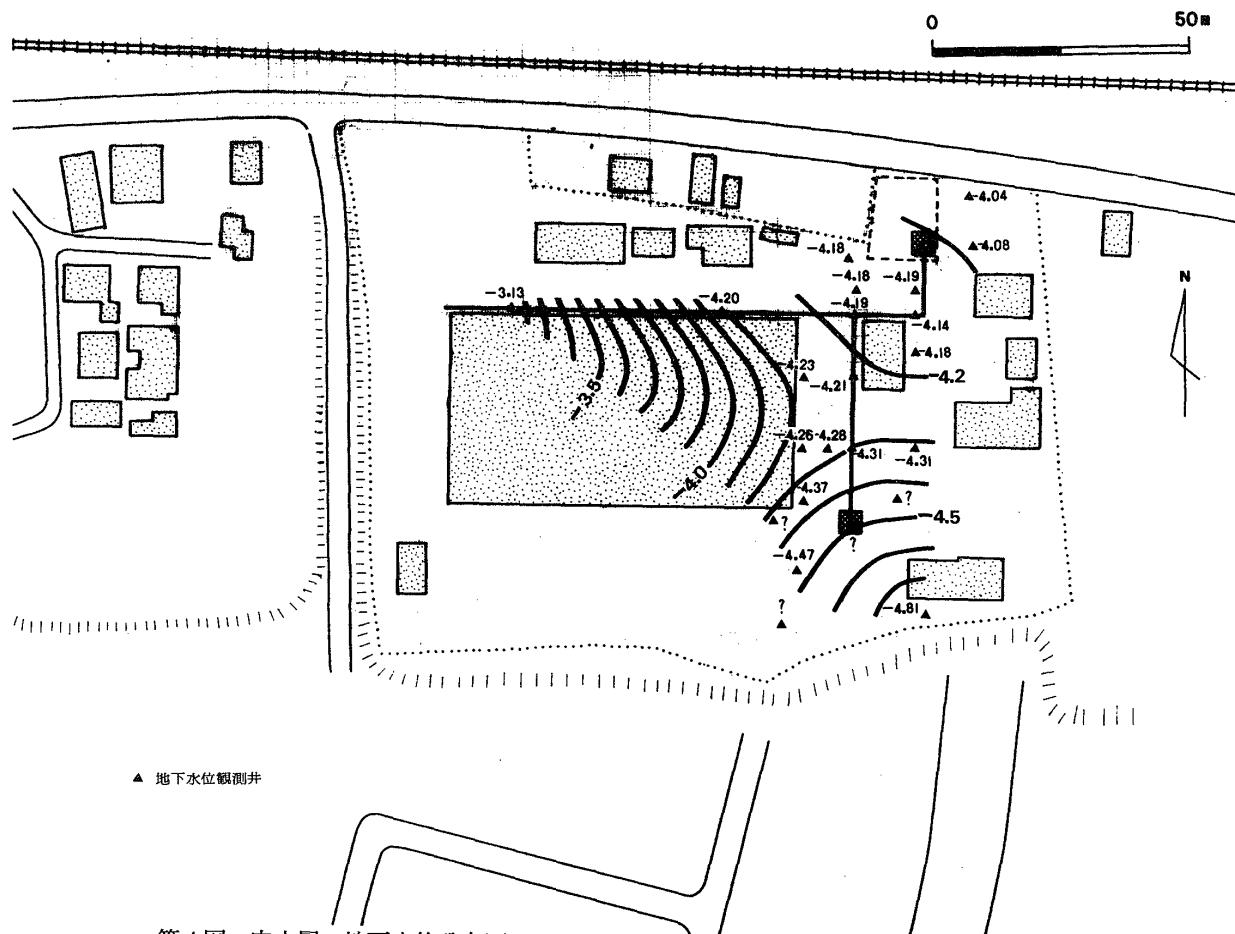
ここでみられる下総層群中にある3つの砂層中に

は地下水が存在し、それぞれ帯水層をなしている。本稿では、これらの帯水層に、上位のものから順に、第1帯水層・第2帯水層・第3帯水層とよぶこととする。また、各帯水層の下位にある泥層を、上位のものから順に、第1加圧層・第2加圧層・第3加圧層とよぶこととする。第1帯水層は不圧帯水層であり、第2帯水層と第3帯水層は被圧帯水層である。また、第1帯水層は、下半部と上半部で、わずかに層相を異にしている。すなわち、下半部は粘土質細砂、上半部は細砂といったそれぞれの層相を示す(第3図)。

これらの帯水層とは別に、常総粘土層の上位で、かつ関東ローム層の最下部に宙水(吉村ら, 1936)が存在し、宙水層を形成している。

地下水流动系

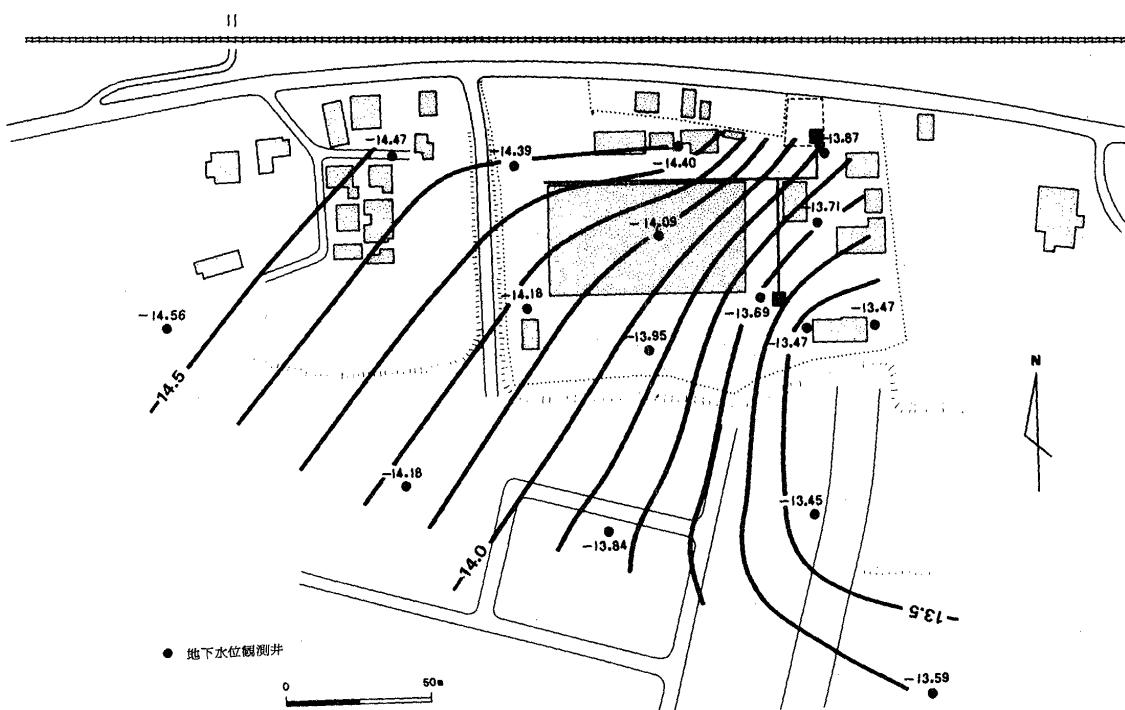
宙水層・第1帯水層・第2帯水層の地下水位分布を、それぞれ、第4図・第5図・第6図に示す。これらの図から読みとれる各帯水層の地下水流动系は



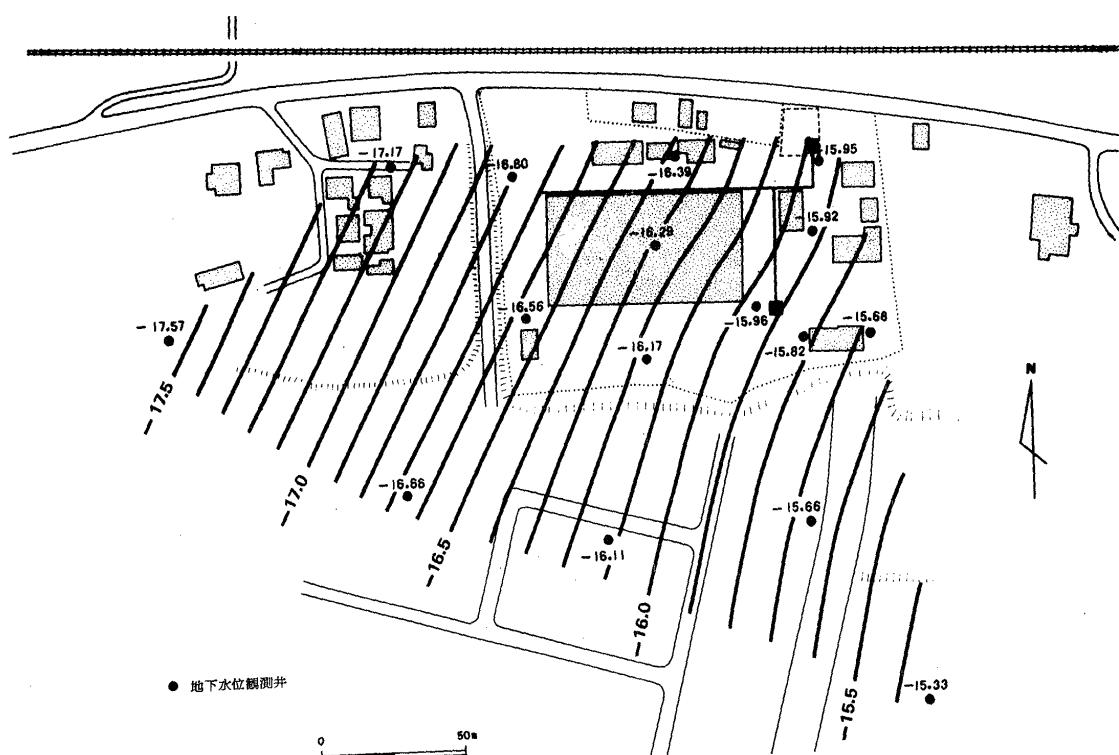
第4図 宙水層の地下水位分布図

地下水位は南側浸透池付近にある深度60mの地下水位観測井の管頭を基準にしている。単位はメートル。1981年10月9日測定。

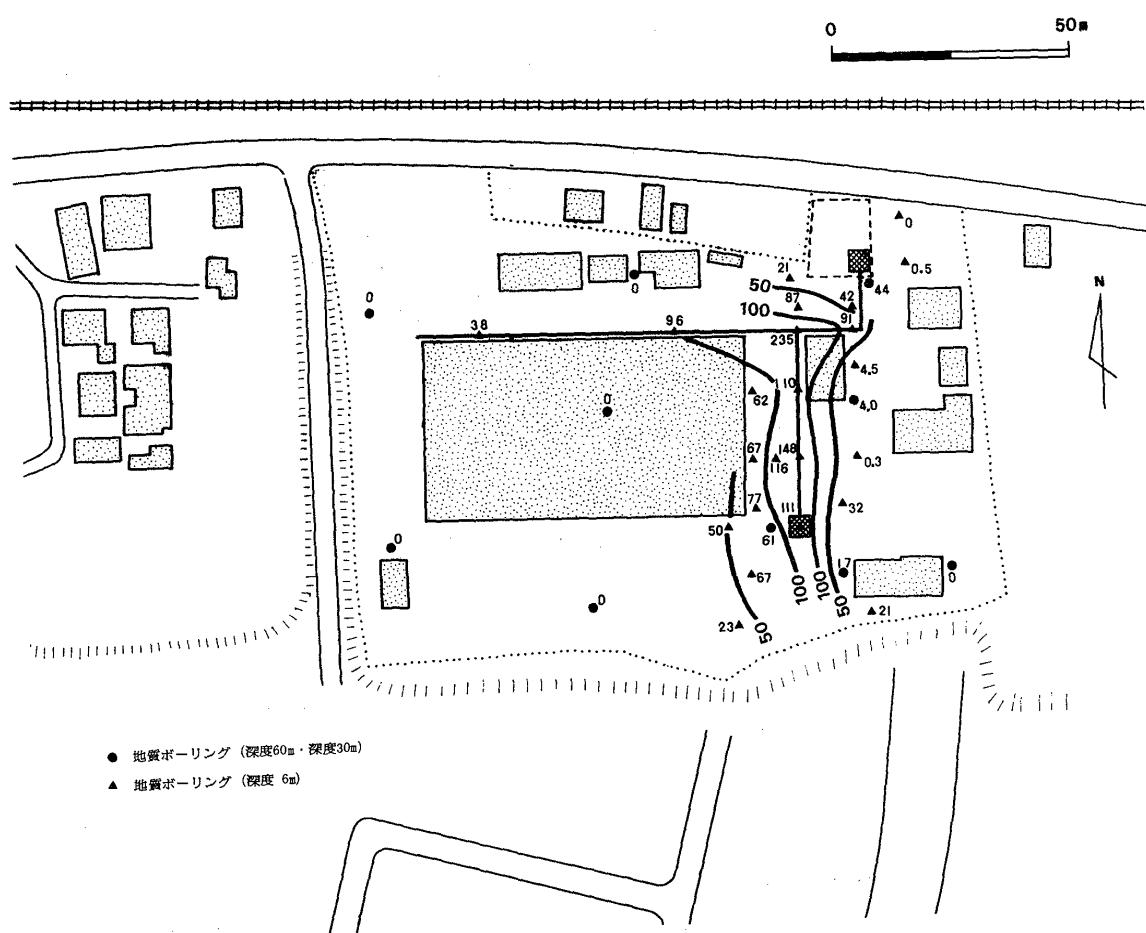
下総台地におきた六価クロム地下水汚染機構



第5図 第1帶水層の地下水位分布図
地下水位は南側浸透池付近にある深度60mの地下水位観測井の管頭を基準にしてい
る。単位はメートル。1981年10月9日測定。



第6図 第2帶水層の地下水位分布図
地下水位は南側浸透池付近にある深度60mの地下水位観測井の管頭を基準にしてい
る。単位はメートル。1981年10月9日測定。



第7図 地下水層・常総粘土層のCr⁶⁺汚染分布図
温潤状態の地質ボーリングコアの重量に対する溶出Cr⁶⁺の重量比 (ppm)

以下のとおりである.*

宙水層の地下水位分布は、南方に開いた谷状をなしている。そして、S工場敷地の東半部にある宙水は、南側浸透池の近傍を通り、さらに南～南東方向へと流動している。これに対して、第1帶水層の地下水は、調査地域の南東部と北端部を除いて、北西方向に流動している。そして、第2帶水層の地下水は、調査地域の全域にわたって、北西方方向に流動している。さらに、図には示さなかつたが、第3帶水層においても、第2帶水層の場合と同じく、北西方に地下水位が低下している。すなわち、第1帶水層に深の帶水層では、いずれの帶水層においても、北

垂直方向の地下水流动が支配的である。

つぎに、第1帶水層・第2帶水層・第3帶水層の各地下水位を比較すると、下位の帶水層の地下水位ほど低くなっている。したがって、これらの帶水層間では、上位の帶水層にある地下水の一部が、加圧層を通過して、より下位の帶水層へ漏水していくことが予想される。

ところで、第1帶水層の地下水位、すなわち自由地下水水面の深度は、第1帶水層中における粘土質細砂層（下半部）と細砂層（上半部）の境界とはほぼ一致している。第1帶水層中の粘土質細砂層の下半部が細砂層の上半部に較べて透水性が悪く、かつ地下水の流動が遅いという理由から、第1帶水層内の層相の境界付近に自由地下水水面が形成されると思われる。

- * 汚染源からの汚染物質の移動を説明するため、地下水流动について上位の帶水層から述べる。

Cr⁶⁺の分布とCr⁶⁺地下水汚染機構

○関東ローム層(宙水層を除く)のCr⁶⁺汚染

浸透池・排水溝の直下では、地質試料で、最高 507 ppm の高濃度の Cr⁶⁺が検出された。しかし、他の地点における地質試料からは、関東ローム層に汚染がみられなかった。この事実は、浸透池だけでなく排水溝からも廃液の地下浸透があったことを示すとともに、地下浸透した廃液が、地表から宙水層まで、ほぼ垂直に関東ローム層を降下したことを示している。

○宙水層のCr⁶⁺汚染

前述したように常総粘土層の上位に形成された宙水層が汚染されている地点では、垂直的にみて常総粘土層のほぼ全層の地質試料に汚染が認められた。したがって、ここでは、宙水層と常総粘土層を一括して扱うことにする。常総粘土層を含む宙水層の汚染分布は、第 7 図に示した。この図は、各地質ボーリング調査地点の常総粘土層を含む宙水層部からの地質試料に検出された Cr⁶⁺濃度の最高値をもとに作成したものである。常総粘土層を含む宙水層の地質試料の Cr⁶⁺濃度は、浸透池・排水溝の直下でもっと高く、ほとんどの地点で 100 ppm を超えている。そして、Cr⁶⁺濃度が 50 ppm を超える地域は、東西方向の排水溝の一部・南北方向の排水溝・南側浸透池から約 10 m~20 m の範囲である。しかも、同地域は、南側浸透池の南方へも延びている。このような汚染分布範囲は、前述した宙水の流動方向と調和している。

○第 1 帯水層のCr⁶⁺汚染

第 1 帯水層での Cr⁶⁺汚染状態は、ほぼ地下水水面を境として異なっている。自由地下水面より上位の部分では、南側浸透池の南東 20 m、すなわち S 8 地質ボーリング地点において、宙水層から第 1 帯水層までの各地質試料から、連続して汚染が認められた。しかし、他の地点では、自由地下水面より上位の砂層における地質試料には、Cr⁶⁺汚染が認められなかった。この現象は、宙水層から第 1 帯水層への汚染の進行が、限られた地点で行われていることを示しているものである。

例えば第 8 図は、常総粘土層以浅の Cr⁶⁺汚染土壤を撤去対策作業時にみられた露頭のスケッチである

(第 2 図)。Cr⁶⁺汚染水の垂直移動があると思われる S 8 地質ボーリング地点は、この露頭スケッチの北

端(左端)近くから東方(奥)へ約 2 m の地点にある。露頭の北側にみられる常総粘土層の層厚は約 50 cm であるが、露頭の北端から 2 m の地点より南側では常総粘土層がせん滅している。すなわち、上記の S 8 地質ボーリング地点は、この汚染土壤撤去時に作られた露頭における常総粘土層せん滅地域に接していることがわかる。このことから、宙水層から第 1 帯水層への地下水の降下は、常総粘土層がせん滅している地域で進行していることが推察される。

そして、このような自由地下水面より上位における Cr⁶⁺の垂直汚染現象は、南側浸透池の南方の常総粘土層欠除地域でも認められる。

一方、自由地下水面より下位の部分では、第 1 加圧層まで汚染がみられるところも存在する。したがって、つぎに第 1 帯水層と第 1 加圧層の Cr⁶⁺汚染状態を一括して説明することにする。第 9 図は、第 7 図とおなじく、各地質ボーリング調査地点の第 1 帯水層と第 1 加圧層からの各地質試料に検出された Cr⁶⁺濃度の最高値をとってあらわしたものである。南側浸透池の南方約 70 m にある S 13 地質ボーリング地点、および、南側浸透池の西方約 85 m にある S 3 地質ボーリング地点では、ともに最高 29 ppm の Cr⁶⁺が検出された。そして、Cr⁶⁺濃度が 10 ppm を超える汚染地域は、調査地域の南東部から北西方向へと舌状にのびた形をしめしている。これは、第 1 帯水層へ降下した Cr⁶⁺が、第 1 帯水層の地下水流動により、北西方向に移動しているためと考えられる。

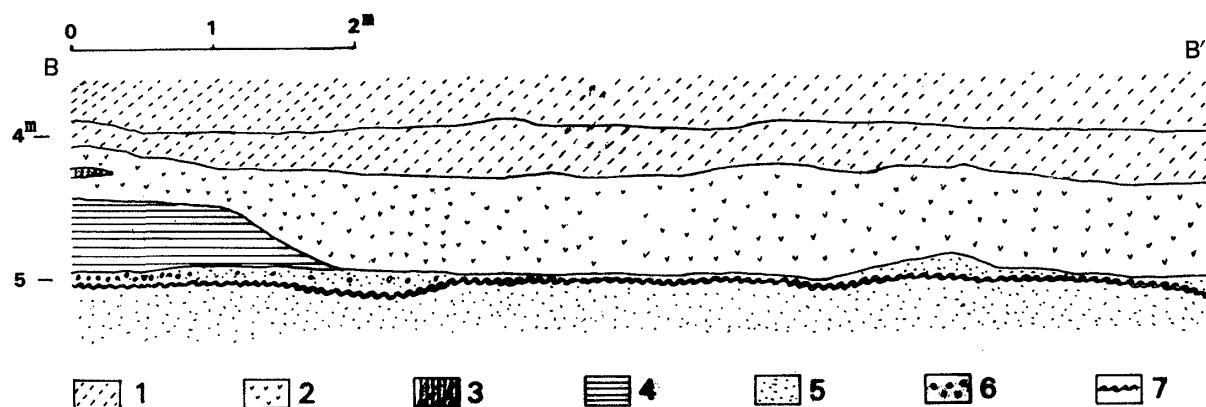
○第 2 帯水層のCr⁶⁺汚染

井戸水の黄変が発見された民家に近い S 5 地質ボーリング地点で、地質試料から 0.6 ppm の濃度を示す Cr⁶⁺が検出された。しかし、他の地質ボーリング調査地点における、第 2 帯水層の地質試料には、Cr⁶⁺汚染はみられなかった。

前述の Cr⁶⁺が検出された地点は、第 1 帯水層の汚染分布地域の北西端、すなわち、第 1 帯水層における汚染水塊の前面(フロント)に近接している。したがって、この地点における第 2 帯水層から検出された Cr⁶⁺は、第 1 帯水層から第 2 帯水層へと漏水をともなう地下水流動によって、第 2 帯水層へ進入したものと思われる。

○第 2 加圧層以深のCr⁶⁺汚染

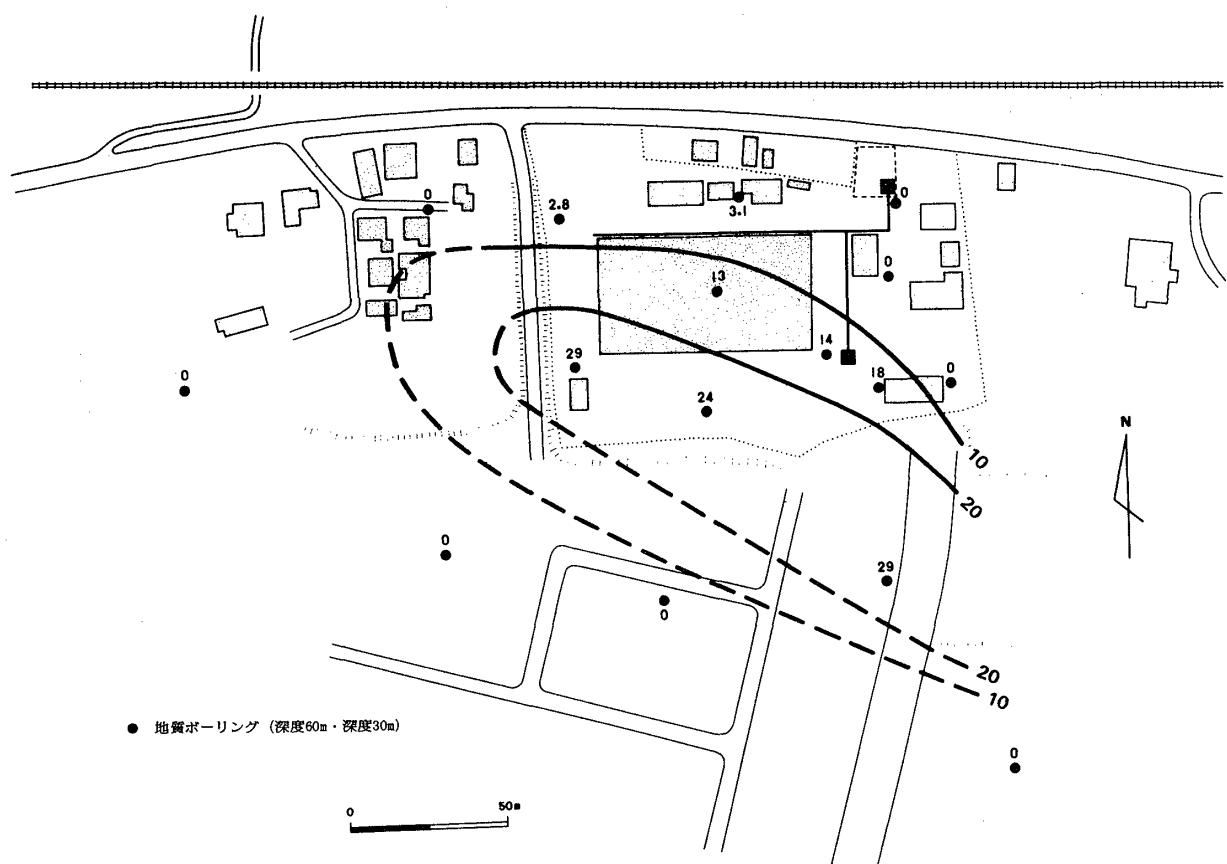
第 2 加圧層以深の層準の地質試料には、Cr⁶⁺が検出されていない。



第8図 汚染土壤の撤去工事により南側浸透池の東方10mの地点でみられた露頭のスケッチ

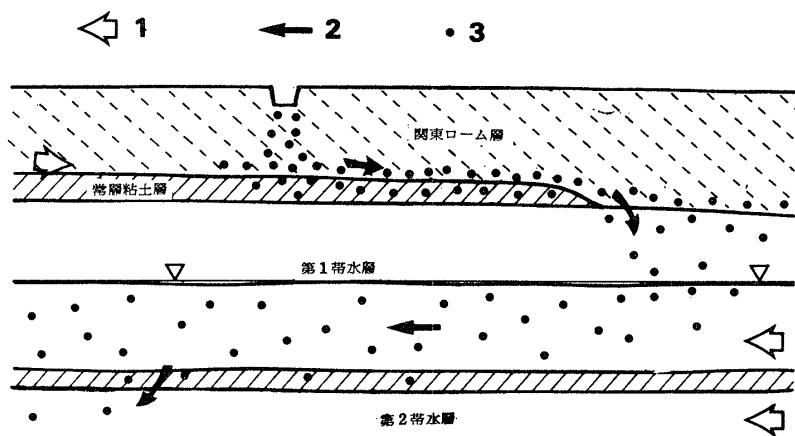
1:関東ローム層, 2:水つきローム, 3:東京軽石層, 4:常総粘土層, 5:凝灰質砂層, 6:礫, 7:褐鉄鉱

露頭の位置は第2図に示してある



第9図 第1帶水層・第1加圧層のCr⁶⁺汚染分布図

湿潤状態の地質ボーリングコアの重量に対する溶出Cr⁶⁺の重量比 (ppm)



第10図 地下水汚染機構の概念図

1: 地下水の流動方向, 2: Cr⁶⁺の移動方向, 3: Cr⁶⁺

ま と め

このCr⁶⁺地下水汚染の汚染機構は、以下のようにあると考えられる(第10図)。

1. Cr⁶⁺を含む廃液は、浸透池・排水溝から、関東ローム層を垂直降下して宙水層に至った。
2. 宙水の流動により、Cr⁶⁺は南方へ移動するとともに、常総粘土層のせん滅している地域から第1帶水層へ降下した。
3. 第1帶水層に降下したCr⁶⁺は、第1帶水層の地下水流動により、北西方向に移動した。
4. 第1帶水層のCr⁶⁺の一部は、第1帶水層から第2帶水層への漏水とともに、第2帶水層へ進入した。

この調査を行った時期は、S工場が廃液の地下浸透を停止してから約10年後である。それにもかかわらず、関東ローム層から高濃度のCr⁶⁺が検出されている。このことは、汚染物質の吸着作用が強いことを示している。今後は、吸着作用についても調査し、汚染機構の解明を深めたい。

謝 辞

最後になるが、この地下水汚染事故により召集された千葉県・千葉市六価クロム地下水汚染事故検

討会議の方々は、筆者らに調査の機会を与えて下さった。また、S工場の従業員の方々は、ハードな調査に心よく御協力いただいた。そして、都市地質学全国協議会・水収支研究グループの方々は、発表の機会を与えて下さるとともに、心のこもった助言をいただいた。また、千葉県公害研究所長白鳥孝治博士・同次長太田久雄氏には、常日頃研究をはじめ種々の点でお世話になった。

以上の方々に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 環境庁, 1975: 底質調査方法. 環水管第120号.
- 菊地隆男, 1981: 常総粘土層の堆積環境. 地質学論集, 20, 129-145.
- 水収支研究グループ, 1976: 地下水盆の管理, 1-233.
- 中村昇一・園正・田中勝美・大野達雄, 1977: 滋賀県草津市矢倉地区における地下水の六価クロム汚染について. 滋賀衛環セ所報, 13, 41-48.
- 東京都, 1975: 6価クロム鉱滓による環境汚染調査結果報告書.
- 吉村信吉・山本莊毅, 1936: 千葉市西郊下総台地の地下水・陸水類, 6, 74-84.