

茨城県神栖町における汚染メカニズム解明のための調査中間報告書〈概要版〉

1. 概要

平成15年3月に木崎地区の飲用井戸（A井戸）から、環境基準の450倍の高濃度のヒ素が検出され、さらに同年4月にA井戸の西方約1kmに位置するB地区においても井戸水から環境基準の43倍の濃度のヒ素が検出されました。その後の分析によりこのヒ素は、通常自然界には存在しない、旧軍の化学兵器に起因すると考えられる有機ヒ素化合物（ジフェニルアルシン酸）であることが判明しました。

これを受け、環境省、茨城県及び神栖町は、汚染源の特定および汚染メカニズムの解明のため、A井戸およびB地区の半径500mの外周に設置したABトラック内すべての飲用井戸の水質調査、A井戸及びB地区を主体に200本の環境ボーリング等の調査を行いました（図1、2）。

その結果、A井戸から南東に約90m離れた地点から極めて高濃度のジフェニルアルシン酸が確認されたことから、この付近に汚染源がある可能性が高いとして掘削調査を行いました（図3）。

平成17年1月には、埋土層中から極めて高濃度のジフェニルアルシン酸に汚染されたコンクリート様の塊を発見しました（図4）。

コンクリート様の塊及び周辺環境からは、高濃度のジフェニルアルシン酸は検出されるものの、毒ガス成分は全く検出されず、あか剤の筒等といった毒ガス弾を疑わせるようなものも発見されませんでした（図5）。また塊中から、製造年月が平成5年6月の空き缶が発見されました（図6）。このため、平成5年以降にジフェニルアルシン酸そのものがコンクリートのようなものにまぜられて投入された可能性が高いと思われます。

また、地下水流れの状況等から考えると、A井戸の汚染源は、このコンクリート様の塊である可能性は高いと思われます。また、B地区の汚染についてもA井戸に達した汚染が地下水を通じて移動し引き起こされた可能性が高いと思われます（図7）。

A井戸周辺及びB地区にこれとは別の汚染源が存在する可能性は完全には否定できないため、当面は地下水モニタリングを継続しコンクリート様の塊撤去後の地下水中の濃度変化を中心に解析を進めていく必要があります。

2. 調査内容（図8）

1) データ収集

地歴情報、地形地質データ、水文データ、水利用実態等の情報を収集した。

2) 現地調査

地下水・土壌の汚染状況、水理地質状況、地下水流動、地下水位変動等を把握した。

A井戸南東90メートル地点で汚染源掘削調査を行った結果、高濃度のジフェニルアルシン酸に汚染された巨大なコンクリート様の塊を発見した。塊の分析を行うとともに、塊周辺の土壌の汚染状況、地層状況、出土物等を把握した。

3) 地下水汚染シミュレーション

最初に、データ収集等により得られた条件をもとに、広域地下水シミュレーションを行い、平成5年以降の地下水位の変動を再現した。次に、広域地下水シミュレーションで得られた地下水位条件で、A井戸南東90メートル地点で発見された塊が汚染源とした場合に、現在のA井戸等の地下水汚染状況が再現できるかどうかの地下水汚染シミュレーションを行った。

4) 汚染メカニズム解明

1)～3)で得られた調査データをもとに、A井戸等の汚染メカニズムを総合的に検討した。

3. 調査結果

1) 掘削調査

①コンクリート様の塊の形状等

コンクリート様の塊は、掘削範囲の中で大小あわせて3個体発見され、その大きさと重量は、東西10m×南北8m×深さ2m、20.3トンと東西1.5m×南北4m×深さ2m、5.6トンと東西2m×南北1m×深さ0.5m、0.97トンであった。また、これら3つの塊以外にもコンクリート様の小片が多数発見されており、コンクリート様の塊の総量は約52トンと推計される。これらはすべて同一層準から発見されていることから、同一時期に投入された可能性が高い。また、コンクリートの形状や重量から、固まった状態のものを搬入することは現実的に困難であること等から、現場で流し込まれたものと考えられる（図9）。

②コンクリート様の塊の分析結果

コンクリート様の塊及び周辺環境からは、これまでのところ毒ガス成分（マスタード、ルイサイト、ジフェニルシアノアルシン、ジフェニルクロロアルシン等）は全く検出されず、またあか剤の筒等の残骸といった毒ガス弾を疑わせるようなものも発見されなかった（図5）。あか剤（ジフェニルシアノアルシン、ジフェニルクロロアルシン）が投入されていたとすると、ジフェニルアルシン酸への分解経路で発生するビスオキシドが相当量検出されるとも考えられるが、今回はほとんど検出されていない。このため、ジフェニルアルシン酸そのものが投入された可能性が極めて高い。

コンクリート様の塊のモルタル部分からは、最高で11000ppm（可搬式蛍光X線法による）の総ヒ素、4900ppm（ヒ素換算値）のジフェニルアルシン酸が検出された（水溶出量）。また、コンクリート様の塊に散在する小さな白色物や、コンクリート様の塊の中から発見されたビン中の白色粉からも数千ppm（ヒ素換算値）のジフェニルアルシン酸が検出されている。これらのことから、当初のジフェニルアルシン酸の濃度は少なくとも数千ppm以上あったことが推察される。また、現在確認された最高のジフェニルアルシン酸濃度が、コンクリート様の塊全体に分布していたと仮定し、当初コンクリート様の塊に含まれていたジフェニルアルシン酸の総量を推計すると、180kg程度になった。

③コンクリート様の塊の成分・状態等

コンクリート様の塊自体の成分、構成、状態等を確認したところ、すべて同様の構成物と組成からなっており、同一の作成物であると考えられる。また掘削時の観察およびボーリングコアの詳細観察の結果、コンクリート様の塊内部の構造は一様でなく、土壌（粘性土等）の薄層を挟んでおり、コンクリート様の塊内部の粘性土は塊周辺の粘性土と同様のものであることが分かった。また、コンクリート様の塊自体は、空隙が多く土壌分も含んでおり、一般的なコンクリートと比べて軟質でもろい状態であった。

④表層地層状況

コンクリート様の塊周辺の表層土を観察した結果、コンクリート様の塊直上およびその周辺に、さらなる掘削を行った痕跡（新たな埋土による表層の擾乱等）は確認できないことから、一旦埋め戻した後に再度掘削してコンクリート様の塊を投入したとは考えられず、いけす埋め戻し時又はこれに近接する時期にコンクリート様の塊が投入されたものと考えられる。

⑤コンクリート様の塊周辺の地層状況および周辺土壌中から発見されたもの

環境ボーリングおよび掘削調査の結果、掘削調査範囲の深度2～4 mまでに、粘性土層として特徴的に連続して分布する地層があり、その中にコンクリート様の塊があることが分かった。その粘性土層中にはコンクリート様の塊以外に、空き缶、番線、コンクリート殻、廃材等の廃棄物が多数発見された（図10）。これらのことより、コンクリート様の塊は、廃棄物混じりの土壌を投入する際、同時期に流し込まれた可能性が高い（図9）。

⑥掘削時に発見された空き缶等の人工物

掘削調査の結果、コンクリート様の塊中および周辺埋土地層内から多数の人工物が発見されたが、これらのうち、コンクリート様の塊中から発見された飲用空き缶の製造年月日は平成5年6月28日であった（図6）。

また、コンクリート様の塊周辺の埋土層中から散らばって発見された大量の空き缶類は、そのほとんどが平成5年製造であり、最新のものは、平成5年10月19日であった。

⑦地歴情報

この地点の地歴は、昭和58年までに砂利採取及び埋め戻しが行われており、その後平成4年にはいけすとして利用された経緯があった。

⑧証言情報

いけすの埋め戻し時期の関係者に聴取を行ったが、コンクリート様の

塊に関する証言は得られなかった。

2) 水理地質

ABトラック内の水理地質は、深さ30m付近に分布する粘土層を基盤に、その上位に形成された透水性の良い砂・砂礫地盤から構成されている。中でも粘土層直上の砂礫層（深さ25m～30m付近）は、非常に透水性が高い。

ABトラックおよびその周辺では、昭和40年代から現在まで、コンクリート骨材となる砂利が採取され、いたる所で深さ10m程度の掘削が行われていた。砂利採取後の埋め戻しは、粗粒分を抜き取った砂や近傍の山砂等（透水性の低い土）で埋め戻されたため、表層の水理地質分布は極めて複雑となっている。

3) 地下水流動、地下水位変動

①ABトラック内

現在まで、平均的降雨における地下水の流動は、大局的にはA井戸からB地区に向かう方向にある。

平成16年10月の豪雨以降、地下水位は急激に上昇し、地下水流れは、ABトラック中心付近を頂部に高水位部が形成され、南西に向かう系統と南東に向かう系統に分かれている（図11）。

②A井戸付近

A井戸付近の深さ25m以深には、透水性の高い砂礫層が広く分布し、非常に良い帯水層となっている。また、地下水流速も浅層部に比べ速い（0.2～0.5m/日程度：実流速）。

一方、深さ20m以浅では、均質で細粒な砂が主体となり、近傍に最大深度20m程度の透水性の低い埋土層がA井戸南やA井戸東方に分布する影響で、浅層の地下水は、下部砂礫層に比べ非常に複雑で緩慢（0.01m/日程度：実流速）な流動となっている。

また、A井戸南東90mからA井戸にかけての流向は、A井戸および周辺の揚水等の影響でA井戸南東90mからA井戸に向かう流れとなる。

4) 土壌、地下水汚染状況

A井戸付近における高濃度地下水汚染は、観測当初からA井戸から南東と南西にそれぞれ10m程度離れたNo37孔（深度30m：14ppm（ヒ素換算値））とNo39孔（深度30m：19ppm（ヒ素換算値））付近を中心に認められ、深部ほど高濃度で浅層に行くに従い濃度が低下する傾向にあった。その後の

定期的な観測においても、同様の傾向が認められ、2004年夏季における分析では、A井戸直近のNo34孔の深度30mで33.6ppm（ヒ素換算値）が認められ、2005年春季の分析ではNo34孔直近のNo72でこれまでの最高の34.3ppm（ヒ素換算値）が認められた（図12）。

A井戸南東90m付近の高濃度地下水汚染は、No124孔の深度6～10mの間で100～120ppm（ヒ素換算値）、深度15m以深で14～35ppm（ヒ素換算値）が確認され、浅層部の濃度が高い。また周辺部で100ppm（ヒ素換算値）を越えるのは、No124から西約10mにあるNo109孔の深度8～10mだけで、その他の箇所の濃度は高くても数ppm（ヒ素換算値）であり、高濃度域は非常に局所的である（図13）。

また、No124孔直近のNo123孔ボーリングコア試料中のコンクリート様の塊における溶出試験では、3200ppm（ヒ素換算値）のジフェニルアルシン酸（比重1.012）が検出された。

A井戸とA井戸南東90mの間については、データ数が少ないものの深部で濃度が高く、浅層部で濃度が薄い傾向が見られる。

B地区では、観測当初B地区中心付近にあるNo170孔の深さ15mから0.45ppm（ヒ素換算値）が確認され、周辺に向かって薄くなる傾向が見られたが、その後の観測により、汚染が全体として西側に移動している可能性が示唆される（図14、15）。

AB間では、深度30m付近の砂礫層中の濃度が比較的高く、平成16年10月の豪雨後を除いてほぼ連続しているが、浅層部では連続性が見られない（図16）。

A井戸の汚染は、深度別の地下水分析および揚水による地下水分析の結果、深部ほど高濃度であることが分かった。また揚水前の地下水からは、非常に低濃度のものしか検出されず、揚水量の増加に伴って濃度が増加する傾向が見られる。

拡散してしまっている地下水中のジフェニルアルシン酸の総量は100kg程度、掘削により除去された土壌中に含有していたジフェニルアルシン酸量は11kg程度とそれぞれ推計される。当初に塊中に含まれていたジフェニルアルシン酸の総量は180kg（ヒ素換算値）と推計されるため、推計量による収支は、ある程度整合がとれているものと考えられる。

5) 広域地下水シミュレーション

①現況再現解析

ボーリング調査結果等をもとに地盤モデルを作成し、これに降雨条件、揚水条件等の諸条件を入力して、地下水位の再現を行った結果、現地測定結果から得られる地下水位とおおむね一致した（図17）。

②10年非定常解析

現況再現解析で用いたモデルに平成5年～平成16年までの降雨条件等を入力し、コンクリート様の塊が投入されてから現在に至る約10年間の地下水位を再現した（図18）。

6) 地下水汚染シミュレーション

2)～5)から、A井戸南東90m付近に、平成5年6月以降にジフェニルアルシン酸を含むコンクリート様の塊が投入されて以降のA井戸等の汚染メカニズムは、次の様に考えられる。

- ①A井戸南東90m付近に投入されたコンクリート様の塊中に含まれていたジフェニルアルシン酸が地下水中に溶出し、しかもジフェニルアルシン酸を高濃度に含む水は、周辺地下水より重いため、汚染を拡散しながら降下浸透した。
- ②深部の砂礫層まで到達したジフェニルアルシン酸は、地下水の速い流れに乗って砂礫層中をA井戸方向へ動いた。一方で浅層部の汚染は、周辺地盤の透水性および周辺の埋土の影響等を受け、流速が小さい中で拡散した。
- ③A井戸では、揚水によってA井戸近傍に分布する高濃度の汚染プルームを吸い込んだ。
- ④深部の砂礫層中の汚染物質は、砂礫層中の速い流れに乗って、西方向へ流れ、B地区に到達した。

広域地下水シミュレーションで得られた10年非定常解析結果や水理地質条件で、平成5年10月にA井戸南東90m付近に投入されたコンクリート様の塊から高濃度のジフェニルアルシン酸（3200ppm：ヒ素換算値）が溶出した場合に、①～④のような汚染メカニズムが再現されるかどうかの地下水汚染シミュレーションを行った。

その結果、コンクリート様の塊から溶出した高濃度のジフェニルアルシン酸を含む地下水が、降下浸透し、浅層部ではA井戸方向にゆっくりと拡散するとともに、深部の砂礫層に達すると速い流れに乗って、A井戸の南を汚染プルームの中心部が通過し、西方へ流れることが再現された(図19、20)。

またA井戸では、コンクリート様の塊から溶出し地下水の流れに乗って移流・拡散してきた汚染プルームを吸い込み、シミュレーション結果からは平成10年10月くらいから1ppm(ヒ素換算値)を越える濃度が検出される可能性が得られた。

また、A井戸近傍の深部砂礫層中を通過した汚染プルームは、地下水位測定結果およびシミュレーション結果の流向流速から見る限り、2~10年程度でB地区に到達すると考えられる。

以上のことより、シミュレーション結果と実測値が矛盾しないことが確認され、B地区の汚染についてもA井戸付近にある汚染が汚染源になりうるということが分かった。

4. A井戸等の汚染メカニズムについて

1) コンクリート様の塊

① コンクリート様の塊の性状、投入方法

コンクリート様の塊等に含まれているジフェニルアルシン酸は、旧軍がくしゃみ剤等として利用していたジフェニルシアノアルシン、ジフェニルクロロアルシン等の毒ガス成分が分解したのではなく、ジフェニルアルシン酸そのものである可能性が極めて高い。ジフェニルアルシン酸約180kg(ヒ素換算値、現時点での推定値)が約52トンのコンクリートのようなものに混ぜられて投入された可能性が高い。

② 投入時期

コンクリート様の塊の投入時期は、平成5年6月28日以降の、いけすの埋め戻し時又はこれに近接する時期の可能性が極めて高い。

③ コンクリート様の塊の原因者

いけすの埋め戻し時期の関係者に任意の聴取を行ったが、コンクリート様の塊の原因者は特定できなかった。引き続き聞き取り調査等を継続していく必要がある。

④ ジフェニルアルシン酸の製造・保有情報及び戦後における発見・処理情報

旧軍は戦時中にジフェニルアルシン酸を原料としてくしゃみ剤を製造していたが、これまでの情報収集の結果、神栖町における当該化学物質の製造、保有、移送、払い下げ等に係る情報は得られなかった。他方、戦後の文献でジフェニルアルシン酸の合成実験例の記述が見られるが、戦後にジフェニルアルシン酸が大量に製造された事実は現時点までに確認されておらず、神栖町で発見されたジフェニルアルシン酸は旧軍に関連するものである可能性が高い。

2) A井戸等の汚染メカニズムについて（図7）

A井戸南東90m付近で発見されたコンクリート様の塊が、A井戸の地下水汚染の汚染源である可能性は高い。また、B地区の汚染についても、A井戸付近に達した汚染が深層部の地下水を通じて西方向に移動して引き起こされた可能性が高い。A井戸周辺及びB地区にこれとは別の汚染源が存在する可能性は完全には否定できないが、現時点で別の汚染源の存在を示唆する確実な知見は得られていない。このため、当面は地下水モニタリングを継続し、地下水中の濃度変化（コンクリート様の塊の撤去後）を中心に解析を継続するとともに、必要に応じて追加調査を行う必要がある。