## 数値シミュレーションによる 青森・岩手県境不 法投棄現場の 1,4-ジオキサン地下水汚染対策の 検討

## -不法投棄廃棄物撤去後の凝灰角礫岩風化帯を 対象として-

石井 一英1・古市 徹2・酒井 泰輔3

 <sup>1</sup>正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目) E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp
 <sup>2</sup>正会員 北海道大学教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目) E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp
 3時会員 北海道大学教授 工学報告件工学コース (〒060-8628 札幌市北区北 12 条西 8 丁目)

3非会員 北海道大学学生 工学部衛生工学コース (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

青森・岩手不法投棄現場では、全量撤去終了後もなお1,4-ジオキサンの地下水汚染に対する汚染修復対 策を検討する必要がある。そこで本研究では、1,4-ジオキサン汚染地下水流入防止対策を検討するために、 全量撤去に伴い新たな調査で判明した凝灰角礫岩風化帯の帯水層を考慮した地形・地質構造モデルを新た に構築し、特に県境の鋼矢板の根入れが浅い部分の凝灰角礫岩風化帯の地下水流れを推定し、1,4-ジオキ サンの地下水汚染予測を行った。その結果、岩手県側の鋼矢板の根入れが浅い部分から青森県側に1,4-ジ オキサンの汚染地下水が流入している可能性を示した。また、汚染地下水流入防止対策として、鋼矢板の 再施工に加えて新規揚水井戸の必要性を示した。

Key Words: illegal dumping, after removal of all waste, 1, 4-dioxane, weathered zone of tuff breccia,

#### 1. 研究背景と目的

近年,産業廃棄物の不法投棄による土壌・地下水 汚染問題が深刻化している.産業廃棄物中に含まれ る有害化学物質が土壌に浸透し,地下水によって広 範囲に拡散し,周辺環境に大きな影響を及ぼす恐れ がある.修復対策には莫大な費用,時間が必要であ るため,効率的な修復対策を選定することが非常に 重要である.修復対策を選定するためにはまず現場 の汚染状況を把握するために調査が必要であるが, 調査データは点的なもので現場の汚染状況の全体像 の把握が難しい.そこで点的なデータを面的,立体 的に補間することで全体像の把握を容易にすること ができる数値シミュレーションが効果的である.数 値シミュレーションは調査データから全体像を把握 することができるだけでなく,将来に予想される現 場状況の変化を反映させて解析を行う将来予測も可 能なため土壌・地下水汚染問題の修復対策選定によ く使用されている<sup>1)</sup>.

本研究対象となる青森・岩手県境不法投棄事案は 日本最大級の不法投棄現場であり,平成11年の発覚 当初から,110万tもの不法投棄された廃棄物中の揮 発性有機化合物(Volatile Organic Compound, VOC)等 の有害物質によって汚染された地下水の拡散が懸念 された<sup>2)</sup>.青森県側は汚染拡散防止対策を行いなが ら全量撤去をしているが,岩手県側は汚染拡散防止 対策をせずに全量撤去を行う方針であったため,上 流側である岩手県側から下流側である青森県側への 汚染地下水流入が懸念されていた.そこで県境北部 を除いた県境に,鋼矢板を設置(既設綱矢板と言う) し,地下水揚水することで廃棄物撤去作業を行って きた.そして,両県共に平成25年度末までに廃棄物 全量撤去が完了した.

しかし, 平成 21 年に新たに環境基準項目に追加さ



図-1 青森・岩手県境不法投棄現場の平面図(地図上側 が北方向)

れた1.4-ジオキサンによって、廃棄物層下の地山の 帯水層が汚染されていることが発覚したことから、 新たに1.4-ジオキサンの汚染修復対策を行う必要性 が生じた、また、県境北部の綱矢板が無い部分で、 岩手県側から青森県側に汚染地下水流入の恐れがあ ると解析例がある<sup>3,4)</sup>.これより県境北部に新たに 鋼矢板を設置することで、両県を完全に分断し、そ れぞれの県で1.4-ジオキサンによる地下水汚染修復 を進めようとしている、しかし、不透水性地盤と考 えられてきた凝灰角礫岩の上部が風化しており、帯 水層を形成していることが,廃棄物全量撤去に伴う 新たな調査により判明した。また、既設の鋼矢板の 根入れが浅いために、その根入れの足りない風化帯 を通して汚染地下水が、岩手県側から青森県側へ流 入する恐れがあることも指摘されている. このこと は、下流である青森県側の汚染地下水の修復が進ま ないといった問題が生じることを意味する.

解析対象である1,4-ジオキサンの性質は水溶性が 非常に高く、土壌吸着がほとんどなく、微生物分解 もほとんどしないことから、1,4-ジオキサンは VOC と比べて地下水流れに大きく依存して移動すると考 えられる.そのため、1,4-ジオキサンの解析には地 下水流れモデルの精度が非常に重要となる<sup>5)</sup>.地下 水流れモデルの精度は主に現場の地形・地質構造の モデリング、観測地下水位データ数やその精度に依 るので、廃棄物全量撤去に伴って実施された最新の 地形・地質調査データに基づき過去のモデル<sup>4)</sup>の更 新を行う必要がある.さらに、今回新たに凝灰角礫 岩風化帯部分をモデル化することにより、風化帯部 分に流入する汚染地下水を解析対象とする必要があ る.

そこで本研究では、青森・岩手県境不法投棄現場 での1,4-ジオキサン地下水汚染対策の検討のため に、数値シミュレーションを用い、①凝灰角礫岩風 化帯の地下水流れをモデル化し、岩手県から青森県 に流入する汚染地下水の量と質を定量的に解析す る,そして②岩手県から青森県への汚染地下水流入 防止対策を検討することを目的とした.

#### 2. 青森・岩手県境不法投棄事案の課題

#### (1) 概要

本現場は青森県三戸郡田子町,岩手県二戸市山間 部にまたがる原野約 27ha に位置する不法投棄現場 である.平成3年,産業廃棄物処理業者が揮発性有 機化合物を含む廃棄物の不法投棄を開始した.不法 投棄された廃棄物は発覚した平成11年当時の調査 によると青森県側67万m<sup>3</sup>(その後85万m<sup>3</sup>),岩手 県側21万m<sup>3</sup>の合計88万m<sup>3</sup>であった.投棄された 廃棄物種類はバーク堆肥,汚泥,RDF状廃棄物,ド ラム缶,廃油,医療系廃棄物であり,検出された化学 物質はジクロロメタン,トリクロロエチレンなどの VOC である<sup>2)</sup>.

#### (2) 修復対策事業の経緯と課題

平成12年から14年にかけて現場の汚染状況の調 査が行われ,廃棄物及び地下水のVOC汚染が判明 した.図-1のように平成17年から汚染拡散防止対 策として青森県側の西と南側のラインに鉛直遮水壁 を施工,平成18年から廃棄物全量撤去を開始,そし て平成25年度末に全量撤去が完了した.しかし,平 成21年の環境基準項目追加により1,4-ジオキサン による地山の帯水層の地下水汚染の修復対策も必要 とされた.

対象現場の岩手県側には分水嶺があり(図-1).県 境と分水嶺の間の地下水が岩手県側から青森県側に 流入する、そのため廃棄物撤去時には、土留め工と して鋼矢板が設置された(既設鋼矢板). また, 1,4-ジオキサン汚染地下水の流出が懸念されたため 未 設置だった県境北部に新規に鋼矢板が設置されるこ とになった(平成25年度中に完成),今回,廃棄物 全量撤去に伴って行われた最新の調査で、これまで 難透水性と評価されてきた凝灰角礫岩の上部に風化 部分があることが判明した。そして、その凝灰角礫 岩風化帯が帯水層を形成している. 既設鋼矢板には 根入れが浅い部分があり、その根入れが凝灰角礫岩 風化帯の途中までしかないため、凝灰角礫岩風化帯 の帯水層を通って汚染地下水が岩手県から青森県に 流入する恐れがある.このことは、下流側の青森県 側の修復を効率的に進めることができないといった 問題につながる、本研究では、これらの課題に着目 して解析を行う.



図-2 地下水中の1,4-ジオキサン濃度分布

#### (3) 1,4-ジオキサン地下水汚染調査結果

本研究の対象現場では,環境基準値を大幅に上回る1,4-ジオキサンの濃度が検出されている.図-2は,青森県側と岩手県側の1,4-ジオキサン濃度の観測値である.なお,両県共に汚染源に関する詳細な調査は行われておらず,正確な位置や大きさは分かっていない.

#### 凝灰角礫岩風化帯の 1,4-ジオキサン地下水 汚染解析

(1) モデル化の目的

本研究のモデル化の目的を凝灰角礫岩風化帯の地 下水流れをモデル化し,岩手県から青森県に流入す る汚染地下水の量と質を定量的に解析すること,及 び岩手県から青森県への汚染地下水の流入防止対策 を検討することとする.

- (2) モデル化の手順
- a) 解析プログラムの選定

本研究では 3 次元解析が可能な「Geomodeler (ジー エムラボ社)」を使用した.

b) 地形・地質モデル

現場地図の標高データ,地質調査による断面図(各 地層深度),計算領域,鋼矢板を設定し,現場の3次 元地形・地質モデルを構築した.

#### c) 地下水流れモデル

降雨浸透量,各観測地下水位,流量,揚水量を設定 し、3次元解析により,観測水位と計算水位の差を最 小化するように透水係数を推定した.なお、3次元 地下水モデルの基本方程式(定常)は式(1)である<sup>7)</sup>.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = 0$$
(1)

ここで, K:透水係数 (m/day), h:地下水頭 (m), W:単位体積当たりの流入出 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) である.

#### d) 汚染物質輸送モデル

汚染源に相対汚染濃度を1として設定し、3次元 移流分散解析により汚染濃度分布を推定した.汚染 物質の輸送は非定常で計算した.本研究では1,4-ジ オキサンの移流分散方程式として,式(2)及び式(3) を用いる.

$$R\theta\rho\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta\rho D_{ij}\frac{\partial c}{\partial x_i}\right) - \theta\rho V_i\frac{\partial c}{\partial x_i} - R\theta\rho\lambda c + Q_c \qquad (2)$$

$$R = \left(1 + \frac{\rho_d}{n} K_d\right) \tag{3}$$

ここで, *R*:遅延係数(-),  $\theta$ :体積含水率(-),  $\rho$ : 流体密度=1(kg/L), *c*:濃度(kg/m<sup>3</sup>), *D*:分散テンソ  $\nu$ (m<sup>2</sup>/day), *V*:実流速(m/day),  $\lambda$ :減衰定数=0 (1/day), *Q<sub>c</sub>*:源泉項(kg/m<sup>3</sup>), *K<sub>d</sub>*:飽和土に対する分 配係数(mL/g),  $\rho_d$ :土の乾燥密度(g/cm<sup>3</sup>), *n*:間 隙率(-) である.

分散テンソルDは式(4)(5)で表される.

$$D_{xx} = \alpha_L \frac{V_x V_x}{\|V\|} + \alpha_T \frac{V_y V_y}{\|V\|} + \alpha_T \frac{V_z V_z}{\|V\|}$$
(4)

$$D_{xy} = D_{yx} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_x V_y}{\|V\|}$$
(5)

 $a_L$ : 縦分散長 (m),  $a_T$ : 横分散長 (m)

d) 将来予測

将来的な現場の状況の変化を反映させたモデルに より,将来の地下水流れと汚染分布の推移を解析し た.

#### (3) 地下水流れモデルの構築

#### a) 計算領域

両県の現場の平面図を基図にした.計算領域は, 青森県側は鉛直遮水壁近傍の観測井戸,岩手県側も 観測井戸のある点を結んで設定し,計算領域は東西 に約 700m,南北に 500m,そして深度方向は約 50m とした(図-3).

#### b) 廃棄物全量撤去後の地形・地質モデル

図-3のように断面ラインを計30箇所設定し,各 ラインに地質断面図を入力した.青森県側は平成25 年度の調査をもとに作成された最新の断面図を,岩 手県側は過去の解析<sup>3)</sup>で使用された断面図を使用した.

地質情報としては、地表に近い順に「盛土」,「降下 火砕物 2」,「ローム層」,「降下火砕物 1」,「火砕物堆 積物」,「凝灰角礫岩(風化帯)」,「凝灰角礫岩」の計 7層を取り扱うことにした.有限要素は全て 15m 間



図-4 境界条件及び揚水井戸の位置

隔で設定した. 鋼矢板を計算領域内の県境部に設定 し,綱矢板の深度は,実際の工事時の設計<sup>6)</sup>に基づき, 新規鋼矢板と既設鋼矢板の根入れが十分にされてい る部分に関しては20~30m,既設鋼矢板の根入れが 浅い部分に関しては凝灰角礫岩風化帯に根入れがと どまるように12mとした.

#### c) 降雨,水位データ及び揚水井戸の条件

まずは年間の平均的な地下水流れを表現したモデ ルを構築するため、地下水位は平成25年の8月の地 下水位の一斉調査結果を用いた<sup>4)</sup>.現場降水量が2. カ月後の現場地下水位に反映されているため平成25 年6月の降水量から蒸発量を考慮して浸透量(1.0 mm/day)を算出し、降雨として与えた、揚水位置に 関しては、図-4で示した、青森県側の揚水井戸では、 ①、②、③で合計150(m<sup>3</sup>/day)を揚水し岩手県側で は④、⑤、⑥で合計65(m<sup>3</sup>/day)揚水している.

#### d) 透水係数の推定

観測水位と計算水位の誤差の二乗和が最小になる ように透水係数を推定する.本研究では現場地質を 「盛土」、「降下火砕物 2」、「ローム層」、「降下火砕物 1| 「火砕流堆積物」「凝灰角礫岩(風化帯)|「凝灰 角礫岩|の7層で解析を行うため7つの透水係数を 変数として推定することが理想だが、現場地下水流 れに大きく影響していると考えられる「降下火砕物 2」、「降下火砕物1」、「火砕流堆積物」「凝灰角礫岩(風 化帯)|.「凝灰角礫岩」の5層の透水係数を変数とし て最適化を行った. 推定方法としては本研究で用い る Geomodeler では透水係数の最適化を2つずつし か行うことができないため、まず変数として扱う5 の層の中で最も重要である「凝灰角礫岩(風化帯)」 と「凝灰角礫岩」の透水係数の最適化を行った。そ してその後に、残りの変数である「降下火砕物1」、 「火砕物堆積物」、の2つを行い、最後に「降下火砕 物2」の透水係数を最適化し、以上の操作を繰り返す ことでより計算水位と図-5に位置を示す27箇所観 測水位の誤差を小さくした.なお、境界条件は図-4 に示す通り鉛直遮水壁の部分は流速=0, それ以外は 水位一定条件である. 境界条件及び初期地下水位 は、平成25年8月の一斉調査データから作成された 地下水位コンターを用いた.

推定の結果,最も誤差の二乗和が最小に近づいた (図-6)と判断したため表-1のように透水係数を決 定した.また、本研究では鋼矢板の透水係数を十分 に遮水機能があるとされる値を3段階で与え、1× 10<sup>-6</sup>(cm/s),1×10<sup>-7</sup>(cm/s),1×10<sup>-8</sup>(cm/s) と設定しそれぞれで透水係数を決定する<sup>7)</sup>.また、 今回は新規鋼矢板を設置する前の地下水位データを 用いたため、新規鋼矢板設置前の透水係数を推定し たことになる.なお、表-1では本現場地下水流れに 比較的影響の少ない、盛土、ローム層の2つは過去 の推定値<sup>3)</sup>、影響が大きいと判断した降下火砕物 1,2、火砕物堆積物、凝灰角礫岩、凝灰角礫岩(風化 帯)は先に述べたように推定値である.

#### (4) 県境の凝灰角礫岩風化帯から流入する地下水の 量の推定

県境北部の綱矢板を設置し、さらに前節で構築し た地下水流れモデルにおいて、鋼矢板に3パターン の透水係数を与えた上で、県境の凝灰角礫岩風化帯 からどのくらいの地下水が岩手県から青森県に流入 するかを定量的に解析した.図-7に、綱矢板の透水 係数を1×10<sup>-8</sup>(cm/s)とした場合の地下水位コン ター図を示した.大局的には、岩手県側の分水嶺よ りも西側の地下水は、青森県側に県境を越えて地下 水が流れていることが分かる.図-8に綱矢板設置ラ インにおける凝灰角礫岩風化帯に相当する要素ごと の地下水流量(岩手県側から青森県側が正)を示し



図-5 観測井戸の位置



図-6 計算地下水位と観測地下水位の比較(網矢板の 透水係数 = 1 × 10<sup>-8</sup> (cm/s)の時)

**表-1** 推定された透水係数(綱矢板の透水係数=1× 10<sup>-8</sup> (cm/s)の時)

地層	透水係数(cm/s)
	推定値
盛土	$4.55 \times 10^{-3}$
降下火砕物2	$6.68 \times 10^{-3}$
火砕物堆積物	$4.83 \times 10^{-4}$
降下火砕物1	$2.22 \times 10^{-3}$
ローム層	$1.00 \times 10^{-4}$
凝灰角礫岩(風化帯)	2.51 × 10 <sup>−4</sup>
凝灰角礫岩	5.81 × 10 <sup>−5</sup>
鋼矢板	1.00 × 10 <sup>-8</sup>

た.また,綱矢板の各透水係数ごとの地下水量を図 -9に示した.これより,根入れ深さが浅い部分に相 当する部分は,綱矢板は実際には無いので,他の部 分に比べて地下水流量が多くなっていることが分か る.県境鋼矢板の根入れが浅い部分の凝灰角礫岩風 化帯を流れる汚染地下水の総量を,綱矢板の透水係 数毎に解析した結果,11~16 (t/day)と推定された. 綱矢板の透水係数が小さい場合ほど,綱矢板の下部 にある風化帯を通過する地下水流量が多くなってい る.



図-7 地下水位コンター図(鋼矢板透水係数 10<sup>-8</sup>cm/s 時)



図-8 県境の凝灰角礫岩風化帯部分の地下水流量(鋼矢板透水係数10<sup>-8</sup> cm/s時)(図中のaとbは図-7に対応)

### 4. 凝灰角礫岩風化帯の 1,4-ジオキサン地下水 汚染解析と流入防止対策の検討

#### (1) 1,4-ジオキサンの汚染解析

1.4-ジオキサンの汚染解析の目的は、1.4-ジオキ サンが既設鋼矢板の凝灰角礫岩風化帯の帯水層を 通って岩手県から青森県に流入しているかを確認す るということである。また、汚染地下水流入防止対 策として鋼矢板を再施工するかそれに加えて新規揚 水場を設置するべきかを考察する、地形・地質モデ ル.地下水流れモデルは第3章で構築したモデルを そのまま用いる.汚染源に関しては、岩手県側では 1.4-ジオキサンの汚染源の調査はされていない。そ のため、本研究での汚染源の位置は、1,4-ジオキサ ンの観測結果を参考にすることで汚染源を想定せざ るを得ない. 岩手県側の1,4-ジオキサンの観測濃度 を参考に汚染源位置を設定したものを図-10に示し. A~Cの3か所に設定することにした.汚染源はど れも相対濃度1,地下水流れの上流側に相当する境 界に境界条件として相対濃度0を与えた.計算時間 は汚染源設置から10年後まで1年単位で設定した。



図-9 凝灰角礫岩風化帯を通過する地下水量(各綱矢 板透水係数時)



図-10 想定した汚染源位置(A, B, C)



図-11 汚染将来予測(10年後,汚染源A,凝灰角礫岩風 化帯部分の表示)

なお,地下水流れは定常流とした.本解析は,トレー サとしての役割の意味で汚染源を与えることにな る.

#### (2) 凝灰角礫岩風化帯から流入する地下水質の推定

汚染源を3か所に設置し,各鋼矢板の透水係数に て汚染分布の予測を行った.なお,今回はその中で も最も鋼矢板の透水係数が低い10<sup>-8</sup>(cm/s)時のも のを図-11及び図-12,図-13に示す.なお,これら の図は,凝灰角礫岩風化帯の地層部分を表示したも のである.これらより,想定された汚染源A,B,Cい ずれの場合でも既設鋼矢板のラインを越えて汚染地 下水が青森県側に流入していると推測された.また 図-8から根入れ深さが十分であると考えられる領域 (要素20~23)でも地下水流量は0ではないことか ら,汚染源AとCの場合,既存綱矢板の南部分を通 過している.汚染の広がり方の範囲で言えば,根入 れ深さが不十分な領域を通過した汚染の方が,広が り方の範囲は大きい.

#### (3) 流入防止対策案の検討

前節の結果から1,4-ジオキサンが岩手県側から青 森県側へ流出していることが判明した.よって鋼矢 板の根入れが浅かった部分の根入れを凝灰角礫岩風 化帯よりも深く根入れすることと,岩手県側県境北 部で揚水することで汚染地下水の流出の防止対策を 検討する.そこで,第3章で構築した地形・地質モ デルの既設綱矢板の根入れが浅い部分について,風 化帯の途中で止まっていた根入れ深度を12mから 20mに変更した.なお,地下水流れは定常流とした. そして,最も鋼矢板が不透水性である鋼矢板の透水 係数は10<sup>-8</sup> (cm/s),また最も根入れが浅い鋼矢板 部分に汚染地下水が流入していた汚染源Bの場合で 汚染流防止対策を予測した.

その結果を図-14と図-15に示す.

①鋼矢板の根入れのみを変更(12m→20m)した
 場合(図-14)

汚染分布を見ると,汚染の広がりが抑えられてい るが,十分ではない.さらに,鋼矢板の根入れが深 くなったため,図-12 でみられた汚染地下水の移動 が鋼矢板によって遮られたが,未だ下流方向に汚染 が広がることが予測された.

②鋼矢板の根入れ変更+新規揚水井戸追加(図-15) 鋼矢板根入れ深さ変更及び汚染地下水の揚水井戸 (50 t/day)の追加後を行うことで、岩手県から青森 県に汚染が流入量を抑制することができた.よっ て、鋼矢板の根入れのみでは汚染防止を完了させる には不十分で、新規揚水井戸を追加する必要がある ことを示すことができた.



図-12 汚染将来予測(10年後,汚染源B,凝灰角礫岩風 化帯部分の表示)



図-13 汚染将来予測(10年後,汚染源C,凝灰角礫岩風 化帯部分の表示)



図-14 綱矢板の根入れ深さのみ変更した場合の汚染将 来予測(10年後,汚染源 B,凝灰角礫岩風化帯部 分の表示)



図-15 綱矢板の根入れ深さの変更と新規揚水井戸を追 加した場合の汚染将来予測(10年後,汚染源 B, 凝灰角礫岩風化帯部分の表示)

### 5. 結論

本研究により廃棄物撤去後の現場を地形・地質構 造,地下水流動に関してモデル化することができた. これにより以下のことが明らかになった.

- ①県境部分に設置されている鋼矢板の根入れが不 十分であるために。
- ①-1 凝灰角礫岩風化帯から 11~16 (t/ day)の地下 水が岩手県から青森県に流入していることを明 らかにした.
- ①-2 汚染源と疑われる場所を想定した解析により、1,4-ジオキサンが岩手県から青森県に流入していると推定された。
- ②今後,青森県側の風化帯の地下水の修復を効率 的に進めるためには、県境の鋼矢板の根入れを 深くする、さらに揚水井戸を追加する必要性を 示した。

#### 謝辞

本研究にご協力いただいた青森県に感謝申し上げま す.

#### 参考文献

- 古市徹監修,土壌地下水汚染診断・修復支援システム 開発研究会編著:土壌・地下水汚染-循環共生をめざ した修復と再生-,(株)オーム社,2006
- 古市徹,西則雄編著:不法投棄のない循環型社会づくり一不法投棄対策のアーカイブス化一,環境新聞社, 2009
- 伊黒千早,古市徹,石井一英,金相烈: 3次元数値シ ミュレーションによる修復対策後の地下水流動変化

に基づく1,4-ジオキサンの拡散予測-青森・岩手県 境不法投棄事案の恒久対策を目指して-,土木学会論 文集 G. Vol. 68, No. 6, pp. Ⅱ 265-272, 2012

- 4) 岡島優人,古市徹,石井一英:数値シミュレーション による青森・岩手県境不法投棄現場の廃棄物全量撤去 後の1,4-ジオキサン地下水汚染予測,第41回環境シ ステム研究論文発表会講演集,pp.311-317,2013
- 5) R. Hem, T. Furuichi, K. Ishii and Y. C. Weng: A New Approach for Prediction of 1, 4-Dioxane Distribution in

Groundwater at an Illegal Dumping Site in Japan, 土木学会 論文集 G, Vol. 69, No. 6, pp. II247-258, 2013.

- 6) 青森県担当者へのヒアリング
- 7) 小泉哲也,神藤明彦,土田孝,山本修司,小笹裕昭, 山田耕一,小久保裕:鋼矢板継手部における透水量に 関する実験と考察,土木学会第56回年次学術講演会, VⅡ-019, pp. 38-39, 2001

(2014.7.11受付)

## STUDY OF COUNTERMEASURES FOR 1, 4-DIOXANE GROUNDWATER CONTAMINATION AT AOMORI-IWATE ILLEGAL DUMPING SITE BY NUMERICAL SIMULATION

# - FOCUS ON THE WEATHERED ZONE OF TUFF BRECCIA UNDER THE ILLEGAL DUMPED WASTES

#### Kazuei ISHII, Toru FURUICHI and Taisuke SAKAI

In Aomori-Iwate illegal dumping site, it is necessary to conduct measures for groundwater contamination by 1, 4-dioxane even after removal of all waste. However, a latest investigation revealed that the upper zone of tuff breccia was weathered and had an aquifer, through which the 1, 4-dioxane contaminated groundwater can flow from Iwate side to Aomori side. This is a critical issue for groundwater remediation in Aomori side. This study developed a new geophysical and geological structure model considering the weathered zone of tuff breccia after the total waste is removal and estimated a groundwater flow rate through the weathered zone. We also estimated 1, 4-dioxane distribution in groundwater. As a result, 1, 4-dioxane contaminated groundwater can flow from Iwate side to Aomori side through the weathered area where the depth of steel sheet piles is not enough. For a measure to prevent the inflow of contaminated groundwater, both construction of the steel sheet piles with enough depth and a new pumping well are required.