

京都大学工学部 学生員 ○田中 有紀
 京都大学大学院 正会員 乾 徹
 京都大学大学院 正会員 勝見 武
 京都大学大学院 フェロー 嘉門 雅史

1. はじめに

廃棄物の不法投棄に起因する地盤汚染例が近年増加しているが、その際にはサイト条件を考慮して技術的、経済的に適切な対策を選択・実施し、周辺環境へのリスクを低減する必要がある。本研究では、廃棄物の不法投棄に起因するダイオキシン類による地盤汚染サイトを対象とし、対策工の実施効果を数値解析により評価した。当該サイトは、汚染範囲が広いこと掘削除去は費用を要し、地すべりが懸念される傾斜地に位置することから、粘土層まで遮水壁を設けると地下水位を上昇させて斜面の安定性を損なう危険性がある。そこで表面被覆による雨水浸透を抑制工を立案し、汚染拡大の長期抑制効果を移流分散解析によって検討した。

2. 解析手法

既存の移流分散有限要素解析コード「Dtransu-2D-EL」¹⁾を用いて、2次元飽和・不飽和浸透流・移流分散解析を行った。対象サイトは主に風化安山岩によって構成されていることから、解析対象断面は風化安山岩による単一地層であるとし、解析パラメータは文献²⁾などに基づいて表-1のように設定した。ダイオキシン類は有機物に吸着しやすいことから、解析において土中におけるダイオキシン類の吸着効果を考慮しないと過大な安全側の評価になる。そこで文献³⁾に示されているダイオキシン類に対するオクタノール-水分配係数 $K_{ow} = 10^{6.2}$ と、土壌内の有機物炭素含有量比⁴⁾ $f_{oc} = 1.7 \times 10^{-4}$ (砂質土に相当) を、分配係数の定義式 $K_d = f_{oc} \times K_{oc}$ 、 $\log K_{oc} = 0.72 \times \log K_{ow} + 0.49$ (Schwarzenbach et al. 1981) に代入して得られる値 164 を遅延係数として用いた。初期・境界条件は、以下の6つについて設定した。

(1) 初期圧力水頭 0.0 m 地点、(2) 全水頭固定地点、(3) 浸出点は当該サイトの地盤調査結果を参考に図-2 に示す通り設定した。(4) 固定流量として、排水トンネルが通過している地点に $0.5 \text{ m}^3/\text{day}$ の流出量を設定し、地下水面が現状に合うようにした (図-2 ◎)。(5) 降雨データは、22 年分の平年値を実際の降水量とし、解析での降雨量は、年降水量を一日あたりに換算した $4.2 \times 10^{-3} \text{ m/day}$ とし、降雨量の 30% が一律に地中に浸透するとした。(6) 汚染源範囲については、汚染調査で土壌含有量基準の $1,000 \text{ pg-TEQ/g}$

を超えるダイオキシン類が検出された水平位置 152.0 m ~ 264.0 m の部分の廃棄物層に固定濃度 1.0 (無次元数) を与えた。以上の解析条件を踏まえて、非定常解析を 50 年分を行った。解析は、無対策ケース、および汚染範囲真上の地表面を被覆し、その範囲の降雨浸透を遮断した対策後ケースの 2 種類を行った。

3. 解析結果とその考察

浸透流が定常状態に達した 1 年後以降の地下水位の解析結果と地下水位の実測値の比較を行ったところ (図-3)、水位差は 1.0 m 未満であることから、ほぼ現状の地下水位を再現できていると言える。解析によ

表-1 使用したパラメータ

透水係数 K (m/s)	2.9×10^{-5}
有効間隙率 θ (-)	0.2
縦分散長 α_L (m)	15
横分散長 α_T (m)	1.5
K_r - S_w - P 曲線	図 1
分子拡散係数 D_m (m^2/s)	6.5×10^{-10}
遅延係数 R_d (-)	164

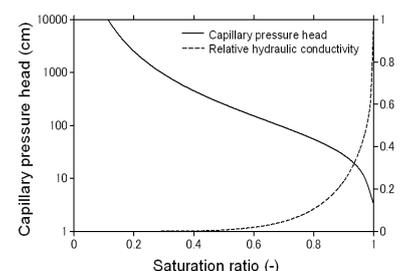


図-1 K_r - S_w - P 曲線

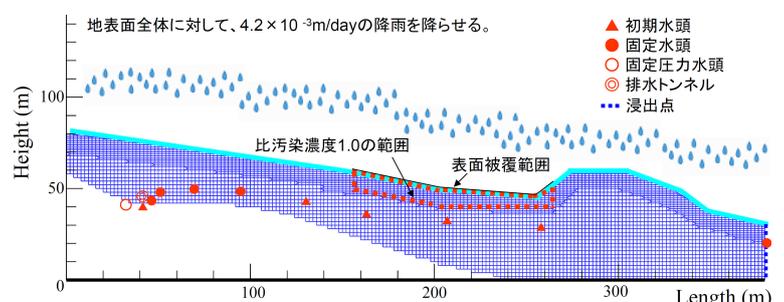


図-2 解析断面と設定した境界・初期条件

て得られた対策前後の地下水の実流速ベクトル図を図-4に示す。なお、図-4は表面被覆を行った範囲の一部について、地表面から10 m深さの範囲を拡大したものである(図-3中の枠内)。対策前では一律に地下水流れは鉛直成分が卓越しているのに対し、対策後は降雨が浸透しないため、水平方向の流れが卓越していることが分かる。

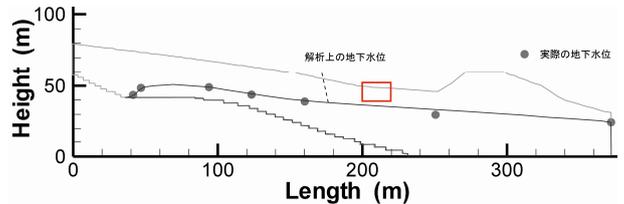


図-3 地下水位の解析値と実測値の比較

流速の大きさは、水平成分は対策前後で相違はないものの、降雨が浸透しないため鉛直成分が大幅に小さくなることから、小さくなっている。

2つの解析条件における50年後の移流分散解析結果として、解析領域における汚染濃度を汚染源濃度の比濃度で示したものを図-5に示す。図-4に示した通り、表面被覆によって地下水流れの流速が小さくなり、鉛直方向への流れも大幅に小さくなる。したがって、移流、分散双方による汚染物質の移動が抑制され、汚染範囲が大幅に小さくなる。本サイトでは、汚染源の間隙水中のダイオキシン類濃度が未知であるため、解析によって得られる地下水中の汚染濃度が環境基準値を上回るかどうかでは判断できない。したがって、ここでは汚染範囲の地下水流れ方向下流側の境界、すなわち水平位置264.0 mの地点の地下水における比濃度の最大値(以下、 C_{264} とする)を、対策前後で比較することによって対策効果を評価した。対策前後の C_{264} の経時変化を図-6に示す。ダイオキシン類は地盤中の有機物に吸着する性質を持つことから、無対策条件であっても、 C_{264} は34%となり汚染源の1/3程度となった。一方、表面被覆による対策後については、 C_{264} は8.5%となり汚染源の1/10程度となった。以上のことから、当該サイトにおける対策として表面被覆による降雨浸透の遮断は有効であり、汚染範囲、濃度ともに抑制効果があるといえる。

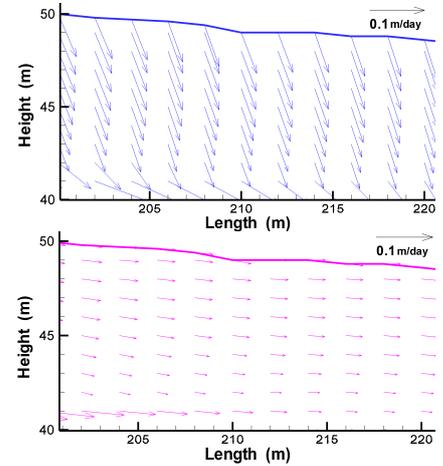


図-4 汚染範囲における地下水流速分布(上:対策前、下:対策後)

対策前後の C_{264} の経時変化を図-6に示す。ダイオキシン類は地盤中の有機物に吸着する性質を持つことから、無対策条件であっても、 C_{264} は34%となり汚染源の1/3程度となった。一方、表面被覆による対策後については、 C_{264} は8.5%となり汚染源の1/10程度となった。以上のことから、当該サイトにおける対策として表面被覆による降雨浸透の遮断は有効であり、汚染範囲、濃度ともに抑制効果があるといえる。

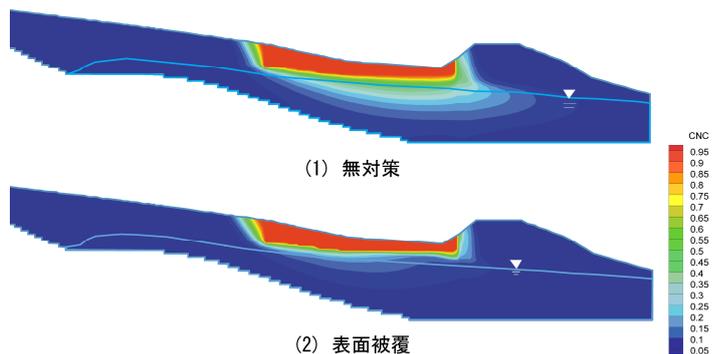


図-5 移流分散解析結果(50年経過後)

5. おわりに

ダイオキシン類は地盤への吸着性が高いことから、対策を行わない場合であっても、地下水中の汚染濃度は汚染源濃度の1/3程度となる解析結果となった。しかし、表面被覆を行うことによって対策を行わない場合の1/4程度の汚染濃度に抑制できることが明らかになった。本研究では用いるパラメータ値に幅がある場合に安全側になる値を採用してきたが、対象サイトのより詳細な地盤調査、汚染調査結果に基づくパラメータ値を用いて解析を行うことで、より対策効果の評価に対する信頼性が高まると考えられる。

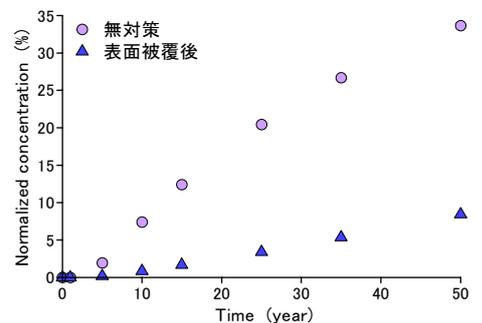


図-6 対策前後の C_{264} の経時変化

【参考文献】

- 1) 西垣 誠・菱谷智幸・橋本 学・河野伊一郎 (1995):飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析的手法に関する研究, 土木学会論文集, Vol.511/III-30, pp.135-144.
- 2) 國眼 定・太田 英将・林 義隆・北方泰憲 (2005): 地下水モデルを用いた地下水排除工の評価方法, 日本地すべり学会誌, Vol.42, No.3 pp.236-245.
- 3) 環境省: ダイオキシン類の挙動, <http://www.env.go.jp/>.
- 4) Spitz, K. and Moreno, J. (1996): A practical guide to groundwater and solute transport modeling, John and Willey & Sons, p.392.