

### VOCs 汚染多層地盤を対象とした生物処理による原位置浄化事例

(株)大林組	正会員	○竹崎 聡	正会員	西田 憲司
同上	正会員	日笠山 徹巳	正会員	渡辺 郁夫
日本貨物鉄道(株)		庄司 岬		山道 恒夫
同上		三吉野 育人		

1. はじめに 対象地ではシルト層と砂層からなる多層地盤に VOCs 汚染が存在し、対策の低コスト化を図るため生物処理による原位置浄化を適用した。本報では、その適用状況を紹介する。

2. 対象地の状況 対象地の地層構成を図-1 に示す。原位置浄化の対象は GL-4~-10m の第2 難透水層（以下、シルト層）、GL-10~-27m の第2 帯水層（以下、砂層）であった。汚染状況は、シルト層でテトラクロロエチレン（以下、PCE）土壌溶出量最大 3.4mg/L、シス-1,2-ジクロロエチレン（以下、cis-DCE）間隙水濃度最大 11mg/L、砂層で cis-DCE 土壌溶出量最大 0.11mg/L、PCE、cis-DCE 地下水濃度最大 0.097mg/L であった。間隙水および地下水の分析<sup>1)</sup>により、両層に塩化ビニル分解酵素遺伝子をもつ菌の存在は確認されていた。処理範囲の平面積は、シルト層 4,500m<sup>2</sup>、砂層 3,600m<sup>2</sup>であった。

3. 適用した原位置浄化方法 生物処理による原位置浄化の方法は、液体状の栄養材を井戸から地盤中に注入するもの<sup>2)</sup>もあるが、本事例は、シルト層も浄化対象であるため、それに適用実績のあるスラリー状栄養材<sup>3)</sup>を用いた。この栄養材の地盤への供給は、地中に打設した管の内部に栄養材を投入し、その後、管を引き抜き、栄養材を地盤中に充填することにより行う。栄養材の平面充填間隔は、ほぼ同じ土質での施工実績を参考に、シルト層は0.8m 間隔、砂層は1.6m間隔とした。両層の栄養材充填はほぼ同一場所で行われるが、充填位置の重複が生じないこと、また、施工時に管の鉛直性は管理するものの、地中での接合リスクを低減させる目的で、両層の栄養材充填位置は、図-2のとおり、できるだけ離れるように配置した。

4. 施工状況および結果 (1) 施工状況 栄養材の必要量は、地盤の間隙量・酸化還元状況等を考慮し、既往の実績に基づき層ごとに決定した。その充填深度は同材の既往実績<sup>3)</sup>を参考に対象層の下端より地表面部までとした。栄養材充填箇所数は、シルト層 7,100 箇所、砂層 1,400 箇所であったが、作業場所が錯綜しないよう削孔機械を複数台配置した結果、約3箇月間で充填作業を完了した。汚染物質の浸透箇所とみられる場所は、すでに掘削により汚染が除去されていたため、観測井は、その場所からみて地下水流れの下流側で、地下水または間隙水の濃度が最も高い箇所に、対象層ごとに個別に配置し、そのストレーナーも対象層ごとに設置した。また、栄養材充填箇所との位置関係は図-3 に示すとおりであり、栄養材充填箇所より最も遠い位置とした。

(2) 結果 観測井におけるシルト層間隙水または砂層地下水の VOCs 濃度、TOC 濃度および ORP を図-4、5 に示す。ここでの経過日数0日目は、観測井周囲4箇所を栄養材充填を完了した日である。

シルト層の VOCs 濃度は、46日経過時点より 1,1-ジクロロエチレン（以下、1,1-DCE）が低下し始め、60日目以降 cis-DCE も低下し、経過日数 107日目にすべての測定対象物質で地下水基準適合となった。

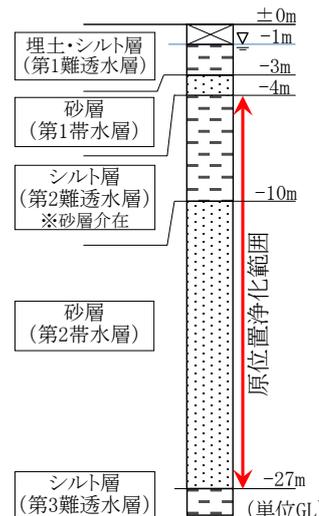


図-1 地層構成および原位置処理範囲

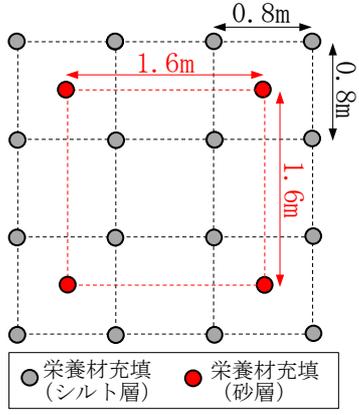


図-2 栄養材充填の平面配置

キーワード VOCs, 汚染, 多層地盤, 生物分解, 難透水層, 徐放性栄養材

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB 棟 (株)大林組 環境技術第一部 TEL03-5769-1054

シルト層のTOC濃度は経過日数18日には2,900mg/Lまで増加し、層中の栄養材浸透が確認された。既往実績<sup>3)</sup>においてTOC濃度が1,000mg/Lを超えるまでに必要な日数は138日(栄養材充填箇所より35cmの位置)であり、それと比較すると、極めて迅速に栄養材が観測井に到達していた。その理由の一つとして、水の流れは明確ではないが、シルト層に介在する砂層中の水による移流で栄養材が広がったと考えられる。その後、TOC濃度は増減を繰り返すが、浄化確認時で1,000mg/Lであった。一方、VOCs分解は栄養材の浸透が確認できる18日目でも確認できず、1,1-DCE分解の確認できる60日目まで遅延している。原因の一つとして、微生物馴養に要した期間であることが挙げられ、実際、ORPも32日目以降少なくとも60日目までは、栄養材存在

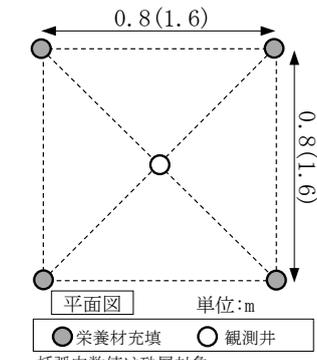


図-3 栄養材充填位置と観測井の位置関係

下でも変化が見られなく、微生物が活性化していない状況であった。

砂層のVOCs濃度は栄養材充填後よりPCEおよびTCEで変化がみられるが、PCEは18日目以降より低下を開始、TCEは栄養材充填4日目以降で低下傾向を示すが、それらの完全分解が確認できるのは経過日数46日目であった。その後、経過日数60日目以降cis-DCEで濃度低下が確認され、経過日数74日目にてすべての測定対象物質で地下水基準適合を確認した。

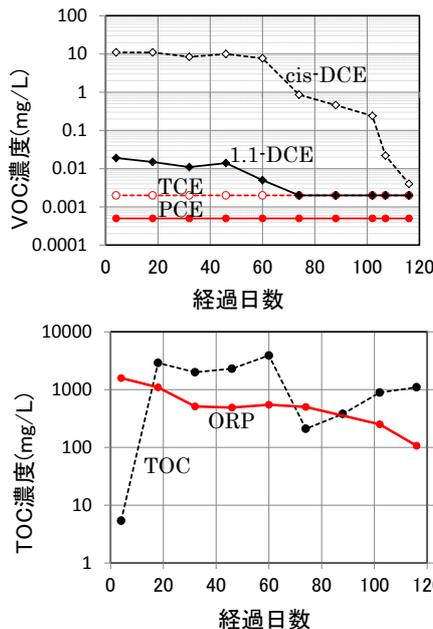


図-4 シルト層のVOCs濃度、TOC濃度およびORPの変化

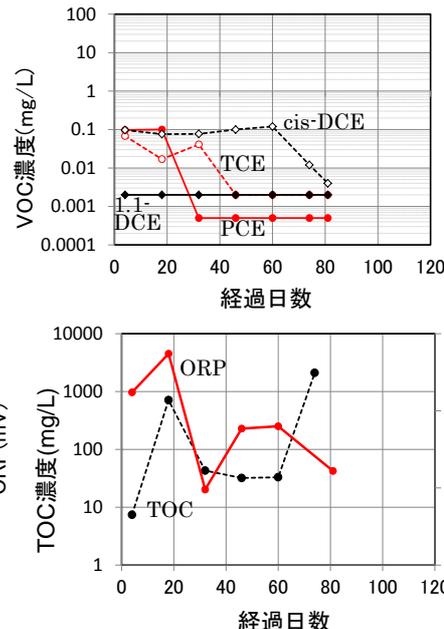


図-5 砂層のVOCs濃度、TOC濃度およびORPの変化

砂層のTOC濃度は、経過日数18日目までには上昇傾向が確認され、その後増減を伴うものの、浄化確認まで栄養材は存在しており、枯渇する状況にはなかった。対象地砂層の地下水流速は約10cm/day(実流速)と推定されるため、栄養材が地下水の移流により短期間で広がったと推定される。ORPは18日目以降32日目にかけて、-200mVまで急激に低下しており、微生物が短期間で活性化していたものと推察される。同時期にPCEの分解も行われていることから、それが確認できる。さらに、微生物による脱塩素反応はPCE、TCE、DCEの順となる<sup>4)</sup>が、砂層における濃度低下順も同じであったため、同様の反応が生じていると考えられる。

なお、土壌溶出量については、ボーリング調査によってシルト層および砂層で基準適合が確認されている。

**5. おわりに** 難透水性のシルト層を含む多層地盤のVOCs汚染に対し、徐放性微生物栄養材による原位置浄化を適用した結果、地下水基準および土壌溶出量基準の適合を確認できた。また、地層種類を問わず、栄養材充填間隔を既往結果に基づき設定することの妥当性も確認できた。今後は、基準適合の維持状態を確認するため、地下水質の継続モニタリングを実施する予定である。

**参考文献** 1)四本瑞世, 緒方浩基, 千野裕之: *Dehalococoides* 属細菌の検出およびVOCs分解における菌の挙動について, 第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.130-135, 2009. 2)竹崎聡, 西田憲司, 緒方浩基, 四本瑞世, 峠和男: 生物分解処理を用いたVOC汚染地下水の流出防止技術(第四報), 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, pp.353-354, 2011. 3)竹崎聡, 西田憲司, 日笠山徹巳: 難透水層VOC汚染に関する生物分解の適用性確認, 土木学会第68回年次学術講演会講演概要集, pp.149-150, 2011. 4)平田健正, 中島誠 監修: 最新の土壌・地下水汚染原位置浄化技術, シーエムシー出版, p.144, 2012.