ダイオキシン類汚染土壌の自然減衰促進条件化における微生物群集構造の変化について

長野工業高等専門学校　非会員　立野　菜緒
同　正会員　畠　俊郎
（独）土木研究所　非会員　森　啓年

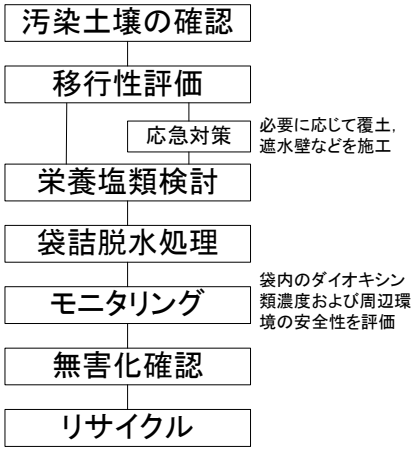
1.はじめに

微量でも非常に強い毒性を持つことで知られるダイオキシン類に汚染された土壌・底泥の処理に関する社会的関心が高まっている．汚染された土壌・底泥を浄化・修復させる技術が各種開発されているが，高額な浄化費用が必要となる．そのため，人および周辺環境への影響を最小限に抑えつつ安価にダイオキシン類を無害化させる技術が求められている．本研究では，安価な処理技術として微生物機能による自然減衰効果を人為的に促進する ENA (Enhanced Natural Attenuation)技術に着目している．本文では，実汚染土を対象とした実証試験の結果より，袋詰脱水処理と ENA 技術を組み合わせた新しい浄化技術の適用性について報告する．

2.ダイオキシン類汚染土壌のリスク管理型保管方法

2-1.袋詰脱水処理と ENA 技術の組み合わせによる新たな管理法の提案

ダイオキシン類を含む土壌・底泥を安価かつ安全に処理する手法として，透水性を持つジオテキスタイル製袋に充填することで外界と隔離する袋詰脱水処理工法と原位置に生息する微生物機能の促進により無害化を行う ENA の組み合わせに着目した．実現場への適用を想定した処理フローを**図―１**に示す．本技術では，１）土壌への吸着性が強いダイオキシン類に汚染された土壌を袋内に封じ込めることにより人への暴露経路を遮断できる，２）微生物機能（主に還元的脱塩素反応）を促進させることで，長期的な無害化効果を期待できる，３）透水性を持つ袋内で処理を行うため，周辺環境を通じた水分・栄養塩類の補給が可能である，との利点が考えられる．袋内への充填時に栄養塩類および分解微生物を添加することで工学的にダイオキシン類の無害化が促進されるかどうかの検証を目的とした実証試験を行った．



図―１　提案技術の適用フロー

2-2.小型袋を用いた実証試験の概要

実証試験に用いた土壌サンプルの物理化学特性を**表―１**に，充填時のスラリー組成を**表―２**にそれぞれ示す．試験には，国内の実汚染サイトで採取された高濃度のダイオキシン類を含む土壌を用いた．

既往の研究より対象土においてダイオキシン類の還元的脱塩素能を持つ Dehalococcoides 属（以下 DHC と称す）の存在と，酢酸を含む栄養塩類の添加による活性化が確認されている[1)]．本実験では，さらなる分解の促進を目的として同じく DHC 属の生育が確認されている蓮田土壌およびグラニュールを添加することとした．栄養塩類に関しては，実施工を想定して必要最低限にとどめることとし，ダイオキシン類の還元的脱塩素促進に効果があるとされる酢酸のみを添加することとした．分析項目として，袋内への充填に伴う拡散の危険性評価を目的とした濁度と，PCR-DGGE 法による微生物群集構造解析およびダイオキシン類濃度の測定を実施した．

表―１　試料の物理化学特性

試料名		土壌
一般	土粒子の密度τ_s(g/cm^3)	2.618
	自然含水比w_n(%)	36.4
粒度	礫分(%)	21
	砂分(%)	36
	シルト分(%)	25
	粘土分(%)	18
	最大粒径(mm)	19
コンシステンシー特性	液性限界w_L(%)	55.3
	塑性限界w_P(%)	31.6
	塑性指数I_P	23.7
分類	地盤材料の分類名	シルト質礫質砂（高液性限界）
	分類記号	(SMHG)
土のpH		7.6 (20℃)
有機物含有量(%)		1.4
有機体炭素(mg/l)		14
酸化還元電位(mV)		170

3.実験結果および考察

3-1.初期充填時における濁度の推移

充填完了後の排水を対象とした濁度の測定結果を**図―２**に示す．濁度は時間の経過とともに低下し，排水開始後 30 分で 10NTU 以下までの低下が認められた．ダイオキシン類は粒子として移行することから，施工完了後速やかに周辺への拡散リスクを低減させる効果が明らかとなった．

3-2.培養期間中における微生物群集構造の推移

培養サンプルから ISOIL for Beads Beating にて全 DNA を抽出し，16SrDNA をターゲットとした GC-341f と 534r のプライマーセットによる PCR を行った．PCR の温度条件は 94℃ 10 分，94℃20 秒→55℃20 秒→72℃40 秒×35 サイクル，72℃を 2 分の後，4℃を維持した．PCR 産物について，アクリルアミドゲルの濃度を 30～60%，130V　300min の条件で DGGE（DCode Bio-Rad 社製）を行い，SYBR Green I で染色した．結果を**図－３**に示す．図左端の DHC は Dehalococcoides 属のバンドを表す．培養期間を通じて微生物群集構造が複雑に変化する傾向が認められた．DHC 属のバンドについては培養開始から徐々に顕著となる傾向が確認できることから，培養期間を通じて DHC 属が活発に増殖していると推察される．14days において顕著なバンドが検出されていないため，DNA の再抽出も含めた検討を行う計画である．

3-3.培養期間におけるダイオキシン類濃度の推移

培養期間中におけるダイオキシン類濃度の推移を**図―４**に示す．培養開始から 3 ヶ月後にかけて還元的脱塩素に伴う TEQ 濃度の上昇が認められた．その後，時間の経過とともに TEQ 濃度が低下する傾向が認められた．TEQ 濃度は上昇するものの，袋詰脱水処理により暴露経路が遮断されていることからモニタリングにより安全性は確保できると考えている．

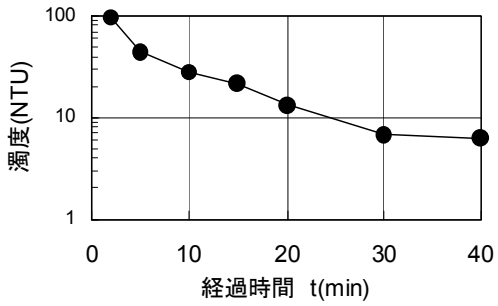
4.まとめ

ダイオキシン類を含む土壌・底泥のリスク管理型保管を目的とし，袋詰脱水処理と ENA の組み合わせによる処理技術の適用性について検討した．得られた知見を以下に示す．

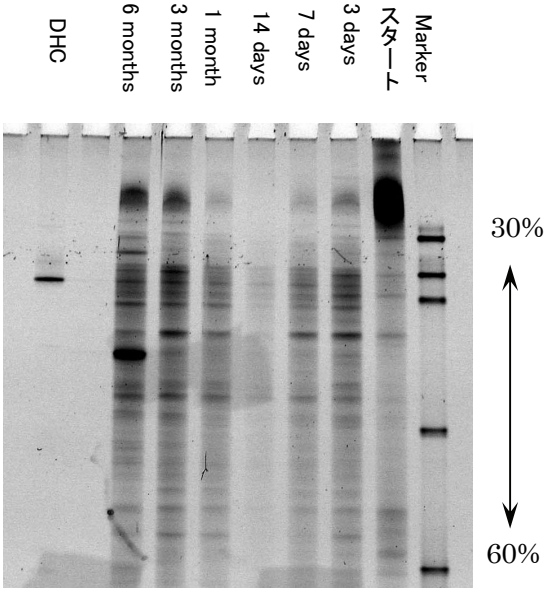
- ●汚染土壌・底泥の袋詰脱水処理工法の適用により，高含水比土壌の脱水を促進しながら，ダイオキシン類汚染土壌の暴露経路を遮断することができる．
- ●微生物群集構造は複雑に変化するものの，DHC 属は安定的に検出されたことから，長期的な無害化効果を発揮する可能性がある．

表－２　充填時のスラリー組成

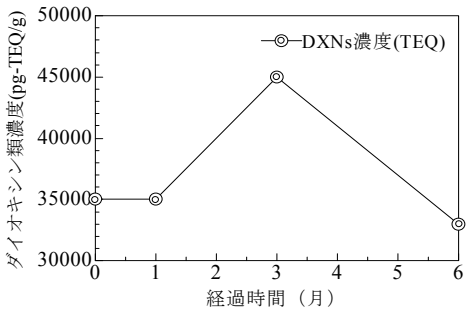
汚染土試料		土壌	単位
		30	(L)
微生物	グラニュール	1.36	
	蓮田土壌	1.36	
栄養塩（酢酸）		1.36	
合計		34.08	
初期含水比		96.1	(%)



図―２　初期充填時における濁度の推移



図―３　微生物群集構造の推移



図―４　ダイオキシン類濃度の推移

（参考文献）1):畠俊郎,栗栖太，桑野玲子，矢木修身：ダイオキシン類汚染土壌の嫌気性微生物を利用した分解処理技術の開発，土と基礎，vol.52,No.10,pp.15-17,2004.