鉄粉と微生物栄養剤を併用した原位置 VOCs 浄化手法の開発

（株）大林組　正会員　○森　一星　緒方　浩基
フェロー　西田　憲司
正会員　佐藤　祐輔　日笠山　徹巳

１．はじめに

揮発性有機化合物（以下，VOCs）による土壌地下水汚染の浄化手法に原位置鉄粉混合工法がある．同工法は機械攪拌による施工のため土質を問わず適用可能であり，高濃度汚染を短期間で浄化できるとされてきた．

しかし，鉄粉が地盤中でVOCsの分解効果を維持できる期間は数週間程度と短い．ここで問題となるのが，2017年4月に土壌汚染対策法の特定有害物質に追加されたクロロエチレン（以下，CE）である．CEはトリクロロエチレン（以下，TCE）等が鉄粉により分解される際に生成される．CEの地下水基準は親物質であるTCE等と比較して1オーダー低い．そのため，従来の鉄粉混合工法では，CEが生成されると地下水基準適合まで再施工の手間・コスト増も含め長期間を要すことが懸念された．

こうした課題を解決するため，微生物浄化手法に着目した．すなわち，徐放性栄養剤を利用する微生物浄化手法はゆるやかな VOCs 分解を長期間持続でき，事実，粘性汚染土壌においても浄化実績がある．よって，鉄粉混合工法と組み合わせることが有効と考えた．ここでは，開発の第一歩として室内試験によりその効果を評価したので以下に報告する．

２．鉄粉との併用に適した微生物栄養剤の選定試験

2.1 目的

水溶性微生物栄養剤は，地下水に速やかに溶解して有機物濃度を上昇させ，微生物を活性化させる．一方でこの有機物が VOCs 分解用鉄粉表面に吸着すると，鉄粉と VOCs の接触を阻害することが懸念される．よって鉄粉が分解効果を発揮している間は，地下水中の有機物濃度を抑制可能な栄養剤を新たに選定する必要があった．そこで，種々の難水溶性栄養剤を用いた選定のための室内試験を行った．

2.2 方法

500mL 三角フラスコに，栄養剤 20g，水道水 400mL を添加して密栓し，大型振とう機で振とう攪拌した．添加 1,4,7 日目の溶液中の総有機炭素濃度（以下，TOC）を測定した．

2.3 結果

試験結果を図-1 に示す．試験に供した栄養剤のうち，馬鈴薯デンプンおよび，コーンデンプンは 7 日後の溶液中 TOC 濃度を比較的低く保つことができ，鉄粉との併用に適した栄養剤であると考えられた．

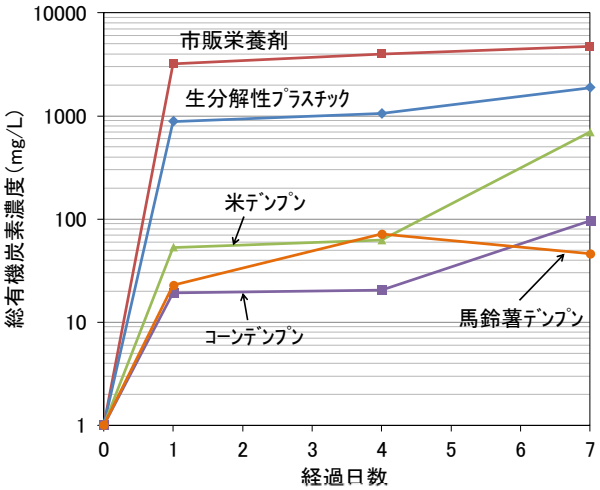

図-1 栄養剤選定試験結果

表-1 分解阻害影響確認試験条件

	鉄粉	栄養剤	水道水	cis-DCE 飽和溶液
CASE1	-	-	38mL	0.4mL
CASE2	鉄粉① 0.8g	-		
CASE3		ｺｰﾝﾃﾞﾝﾌﾟﾝ0.2g		
CASE4		馬鈴薯ﾃﾞﾝﾌﾟﾝ0.2g		
CASE5		水溶性栄養剤0.2g		
CASE6	鉄粉② 0.8g	-		
CASE7		ｺｰﾝﾃﾞﾝﾌﾟﾝ0.2g		
CASE8		馬鈴薯ﾃﾞﾝﾌﾟﾝ0.2g		
CASE9		水溶性栄養剤0.2g		
CASE10	鉄粉③ 0.8g	-		
CASE11		ｺｰﾝﾃﾞﾝﾌﾟﾝ0.2g		
CASE12		馬鈴薯ﾃﾞﾝﾌﾟﾝ0.2g		
CASE13		水溶性栄養剤0.2g		

３．鉄粉に対する栄養剤の分解阻害影響確認試験

3.1 目的

2 章で選定した栄養剤が，実際に鉄粉の VOCs 分解を阻害しないことを確認する室内試験を行った．鉄粉は市販品①～③の 3 種類を確認した．

キーワード　VOCs，原位置，鉄粉，生物分解，室内試験
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　ＴＥＬ03-5769-1054

© Japan Society of Civil Engineers

3.2 方法

40mL バイアル瓶に，表-1 に示す資材を添加し，ミックスローターで攪拌しながら，1 日おきに溶液中のシス-1,2-ジクロロエチレン（以下，cis-DCE）濃度を測定した．比較対象として，水溶性の栄養剤を添加したケースも実施した．

3.3 結果

CASE1~CASE5（鉄粉①を添加）の試験結果を図-2 に示す．2 章での考察どおり馬鈴薯デンプンとコーンデンプンは鉄粉の VOCs 分解をほとんど阻害しないことを確認できた．これ以外の CASE も同様の結果であった．

4．実汚染土を用いた長期分解性確認試験

4.1 目的

鉄粉と栄養剤の併用により，鉄粉の効果低下後も VOCs 分解効果を維持できることを確認するため，汚染現場（TCE, cis-DCE）の土壌（シルト質細砂）を用い室内試験を行った．

4.2 方法

100mL ガラス瓶に表-2 に示す資材を添加して密栓し，振とう機で振とう攪拌後，20～25℃で静置し液相中の TCE, cis-DCE, トランス-1,2-ジクロロエチレン（以下, trans-DCE），1,1-DCE，CE 濃度の継時変化を測定した．試験期間中に全測定物質定量下限値未満となった時点で TCE 飽和水溶液 1.5mL を追添加した．濃度は基本的に GC-PID(定量下限値 0.01mg/L)により測定，試験終了前数回は CE 地下水基準適合確認のため GC-MS(定量下限値 0.001mg/L)により測定した．

4.3 結果

CASE1 は濃度にほとんど変化が見られなかった．CASE2 の試験結果を図-3，CASE3 を図-4 にそれぞれ示す．CASE2 は試験開始から 200 日後も CE が地下水基準不適合であった．CASE3 はよく分解が進み，62 日で全測定物質を定量下限値未満まで分解した．TCE 飽和溶水液追添加後も時間経過とともに全測定物質定量下限値未満となり長期間分解効果を維持できた．CASE4 も同様であった．

5．おわりに

室内試験により，鉄粉との併用に適した微生物栄養剤を選定した．選定した栄養剤以外にも有機物溶出速度の小さいデンプンであれば同様の効果が得られると推察される．

室内試験により，従来の鉄粉混合工法では CE の浄化に長期間を要す条件下でも，今回開発した手法を用いることで，再施工なく一度の施工で浄化できる可能性を見出した．

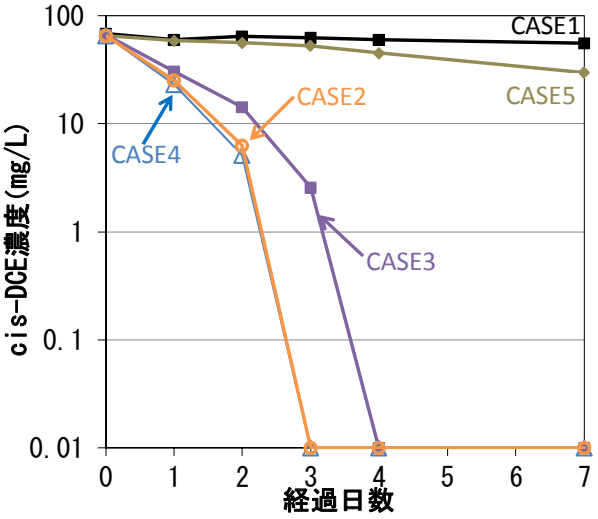

図-2 分解阻害影響確認試験結果（鉄粉①）

表-2 長期分解性確認試験条件

	鉄粉	栄養剤	実汚染土	脱イオン水	TCE飽和溶液	VOC分解菌液
CASE1	-	-	80g	60mL	2mL	1mL
CASE2	鉄粉① 1.6g	-				
CASE3	鉄粉① 0.8g	ｺｰﾝﾃﾞﾝﾌﾟﾝ 0.24g				
CASE4		馬鈴薯ﾃﾞﾝﾌﾟﾝ 0.24g				

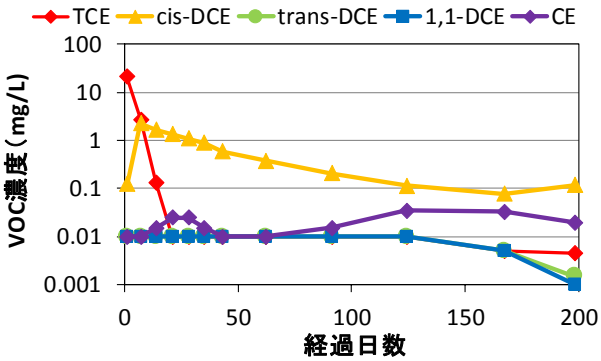

図-3 長期分解性確認試験結果（CASE2）

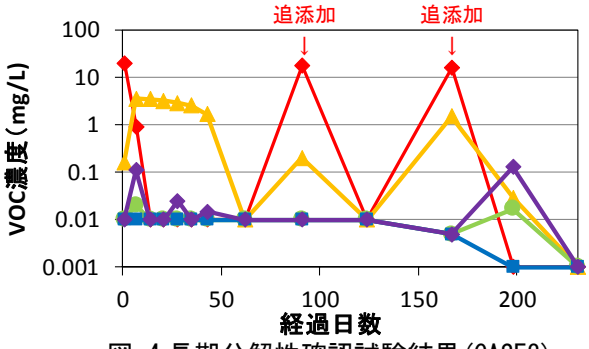

図-4 長期分解性確認試験結果（CASE3）

参考文献

1)田中薫,他:深層混合処理による気泡を用いた原位置鉄粉混合システムの開発,材料学会誌65巻1号,pp62~67,2016.

2)緒方浩基,他:VOCs汚染地盤バイオ浄化用高性能・高機能栄養材の開発,大林組技術研究所報No.75,2011.

© Japan Society of Civil Engineers