ベンゼン汚染土の微生物処理における前培養効果の検討（その１）
－室内バッチ試験－

（株）大林組　正会員　○大島　義徳
（株）大林組　正会員　三好　悟
（株）大林組　正会員　新村　亮

１．はじめに

ベンゼンは平成 15 年に施行された土壌汚染対策法の規制対象物質である（溶出量規制値 0.01mg/L）．ベンゼンで汚染された土壌は、掘削して処理する他に原位置で微生物酸化することで浄化できる [1)]．一般的に、原位置での浄化処理は、掘削による処理に比べて確実性が低く処理時間が長くなるため、より効果の高い工法の開発が望まれている．筆者らは地上部で分解微生物を増やす前培養処理（以下、前培養方式という）を行うことで、原位置での微生物処理を効率化する工法を考案し、室内試験でその効果を検証した．

２．前培養を含む工法の概要

前培養方式の概要を図１に示す．地上プラントで、地中では制御することが難しい温度、酸素濃度、pH などを適切に保ち、少量の現地土を微生物源として加えて撹拌養生する前培養工程を行う．このとき唯一の炭素源として浄化対象物質のベンゼンを加えて、ベンゼン分解活性を選択的に高める．ベンゼンが全て分解したことを確認した後、培養液を地下に注入する．

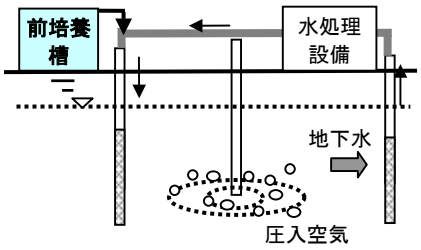

図1　工法イメージ

３．供試土の性状

試験に用いた 2 種類の供試土の性状を表 1 に示す．2 種類とも同一のサイトから採取したもので、アルカリ性を示す粘土混じり砂礫土であった．TOC から推定されるように、両汚染土ともに高濃度の有機物を含有しており、TOC 量は供試土 A の方が多くベンゼン含有量もやや多かった．

表 1　供試土の性状

	供試土A	供試土B
ベンゼン溶出量(mg/L)	0.36	0.14
ベンゼン含有量(mg/kg-dry)	8.5	1.2
TOC（% :w/w-dry)	11	1.4
含水比（%）	41	32

４．供試土の微生物トリータビリティ試験

供試土 A について、微生物処理のトリータビリティ試験を実施した．試験概要を図２に､作成した試験体の一覧を表２に示す.この試験では、供試土に分解菌が存在し土に大きな生育阻害要因がない場合に、4～5 日程度でベンゼン濃度が大きく減少する [2)]．

表 2　ﾄﾘｰﾀﾋﾞﾘﾃｨｰ試験の試験体作成条件

土の種類	水分/乾土 (w/w)	気相:固液相 (v/v)
1　供試土 A	29	7:10
2　滅菌済供試土 A	29	7:10

図 3 に液相ベンゼン濃度の変化を示す．１ヶ月後でも試験体１と試験体２にベンゼン濃度の有意な差がないため、供試土 A は微生物分解を極めて期待しにくい土であると推定された．

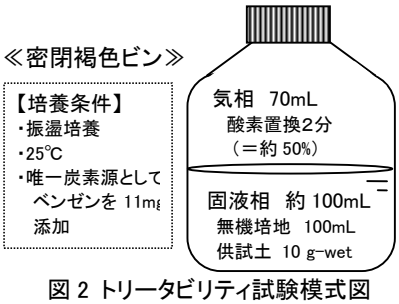

図 2 トリータビリティ試験模式図

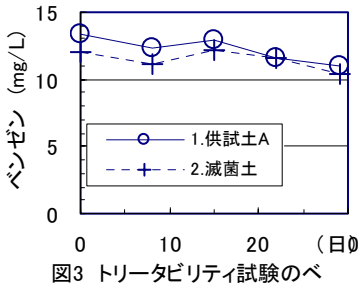

図3 トリータビリティ試験のベンゼン濃度の経過

５．分解培養試験

上述の試験と同じ条件で、供試土 A に前培養液を添加する試験を行った．前培養液は、以下のように作成した．まず、供試土 A で作成したカラムに無機栄養培地を１ヶ月にわたって通水し、ベンゼン分解活性を高めた．その後、図 2 と同様の培養系に、カラム土を 1g 加え、ベンゼンが検出限界未満（0.25mg/L）になるまで培養した．

キーワード　原位置浄化工法、微生物浄化、前培養、好気分解、ベンゼン
連絡先　〒204-8558　東京都清瀬市下清戸 4-640　（株）大林組　技術研究所　TEL.0424-95-1060

表 2 の試験体 1 に前培養液を 1mL 添加したものを試験体 3 とした．図 3 に試験体 1 ～3 のベンゼン濃度を示す．試験体 3 では 6 日後にはベンゼンが検出限界の 0.25 mg/L 未満に低下した．

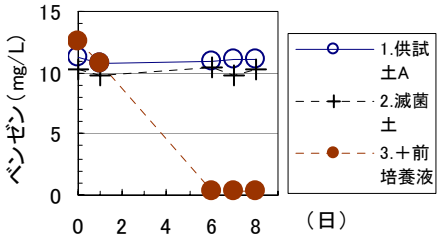

図4　前培養液添加試験のベンゼン濃度の経過

6．スラリー系での室内試験

上述のように水分が乾土の約 30 倍の液系では、前培養液を添加することでベンゼン分解速度が向上する効果が見られたが、より現実に近い条件での効果を検証するために、土の比率の高い条件で培養試験を行った．試験体の作成条件を表 3 に示す．図 2 の試験条件との相違は、水/土の比率を変更したこと、気相の体積比率を大きくしたこと、ベンゼン添加量を 4 倍に増やしたこと、および、供試土 B を用いたことである．

表 3　分解試験の試験体作成条件 2

	土の種類	水分／乾土 (w/w)	気相:固液相 (v/v)	前培養液の添加
3	供試土 A	29	7:10	あり
4	ガラスビーズ	―	9:7	あり
5	供試土 B	9.1	9:7	なし
6	供試土 B	4.5	9:7	なし
7	供試土 B	1.5	9:7	なし
8	供試土 B	9.1	9:7	あり
9	供試土 B	4.5	9:7	あり
10	供試土 B	1.5	9:7	あり

表 4 に試験体に含まれるベンゼン量の測定結果を示す．ここでは、液相ベンゼン濃度と水分の質量の積を液中ベンゼン量、土のベンゼン含有率と乾土質量の積を土中ベンゼン量とし、それらの和をベンゼン量とした．液相ベンゼン濃度と土のベンゼン含有率はそれぞれメタノール抽出を行って GC/MS で定量した[3]．試験体 4 では、土の代わりにガラスビーズを入れて前培養液を添加しないため、微生物によるベンゼンの分解は起こらない．ベンゼン量が徐々に減少するのは、系外への漏洩によると推定される．前培養液を添加していない試験体 5 から 7 で土中のベンゼン量が増加しており、液相に添加したベンゼンが土に吸着されたと考えられる．

表4　試験体に含まれるベンゼン量（mg）

		前培養液なし（試験体4～7）			前培養液添加（試験体8～10）		
		開始時	6日後	13日後	開始時	6日後	13日後
ガラスビーズ	液中	4.8	4.0	3.0	―	―	―
	土中	―	―	―	―	―	―
水/土=9.1	液中	5.0	4.8	3.0	4.4	0.88	0.88
	土中	0.067	0.15	0.31	0.028	0.085	0.085
水/土=4.5	液中	3.8	3.3	2.3	4.2	1.9	1.9
	土中	0.29	0.39	0.45	0.3	0.3	0.3
水/土=1.5	液中	3.4	2.1	1.5	3.1	1.6	1.6
	土中	0.86	1.4	1.6	1.4	1.5	1.5

図 4 に培養開始から 13 日後のベンゼン分解率と水と土の質量比の関係を示す．ベンゼン分解率として、微生物による分解がなかったと考えられる試験体 4 のベンゼン量に対する減少量の比を求めた（0 未満の場合は 0%とした）．前培養液を添加しなかった試験体では分解率が数%程度であり、13 日ではベンゼンがほぼ分解されないことが示された．前培養液を添加した試験体では、土の比率が少ない場合には有意なベンゼン分解が確認されたが、土の比率が高まるにつれて分解が起こりにくくなり、水／土比が 1.5 の場合には有意な分解が確認されなかった．これは土の増加に伴い微生物とベンゼンの接触効率が悪くなることや、土由来の有機物がベンゼンとの競合基質として働くため分解効率が低下したことが原因と考えられる．

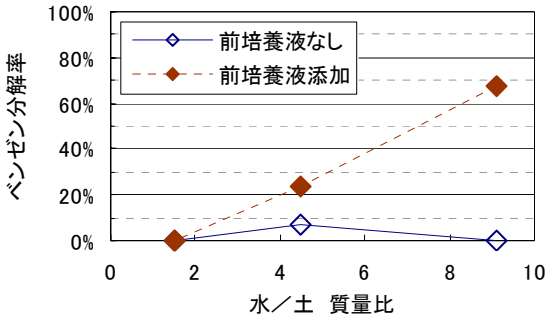

図5　13日後のベンゼン分解率
分解率=（供試体のベンゼン量－試験体4のベンゼン量）/試験体4のベンゼン量

7．まとめ

土の比率の少ないスラリー系における培養試験で、前培養した液を元の土に小量加えることによってベンゼン分解活性が向上することが確認された．今後は、実際の地盤条件に近いカラム試験や土槽試験などによる検証や、他の土での検証を行う予定である．

参考文献

1）　石川ら：難透水性ベンゼン汚染土壌を対象とした原位置浄化技術，土壌環境センター技術ニュース NO.9，2004
2）　大島ら：ベンゼン汚染土のバイオレメディエーションにおける微生物活性の評価手法，第 10 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，2004
3）　宮本ら：土壌の低沸点有機汚染物質含有量の測定方法，水環境学会誌　第 18 巻 477-488，1995