

生物処理法によるベンゼン汚染土壌浄化技術の研究

－ 切り返し法による浄化効果とベンゼン揮発量の評価 －

鹿島技術研究所 ○正会員 河合 達司
正会員 大塚 誠治

1. はじめに

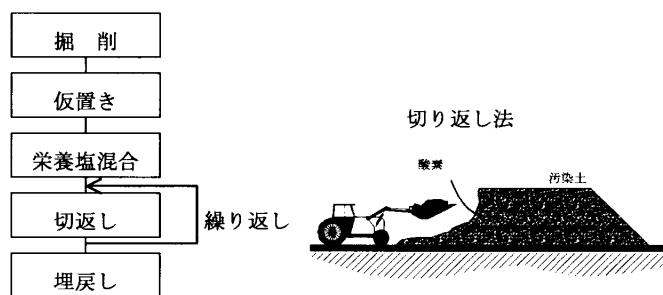
有機溶剤であるベンゼンは、土壌や地下水での環境基準値（0.01mg/L）が定められている環境汚染物質である。最近、このベンゼンによる土壌や地下水汚染が、石油精製プラントや化学工場等において顕在化する事例が増えている。これらの処理は主に原位置処理法（地盤を掘削せず浄化する方法）であるガス吸引法や揚水処理法が適用されるが、実際には工事期間内にこれらの方法では浄化できない部分が生じ、場外搬出処分等の対策が必要な場合がある。生物処理法は場外搬出等の方法と比較すると、低コストな浄化技術として期待されている。

今回は、原位置処理法による短期間での処理が難しい「シルトまじり細砂」を主体としたベンゼン汚染土壌を対象とし、土壌を掘削した後、オンサイト（汚染サイト敷地内）で生物処理を行う技術の開発を目的とし、その浄化効果とともに処理に伴い発生するベンゼン量の評価を、実証実験等を通じて試みた事例について報告する。

2. 生物処理法に関して

生物処理法では、汚染土壌中に土着のベンゼン分解微生物を利用し、ベンゼンを分解・除去する。汚染土壌に酸素や栄養塩（窒素源等の肥料に似た薬剤）を供給し、この分解微生物を活性化させ、ベンゼンの分解を促進させる。

生物処理法は掘削を伴わない原位置処理法にも適用可能であるが、ガス吸引法や揚水処理法等の原位置処理法と同様に浄化効果や浄化期間が対象地盤の特性に大きく影響を受ける。本実証実験サイトでは、浄化期間が定められていた、より確実な浄化効果が得られる「切り返し法」（汚染土壌を掘削し、栄養塩を添加した土壌を切り返すことで酸素を供給し生物処理する方法）（図－1）を採用した。



図－1 切り返し法による生物浄化フロー及び概念

3. 実験方法

1) 室内実験

生物処理による効果は、サイトごとにより大きく異なるため、まず始めに対象とする汚染土壌を用いた生物処理室内実験を行い、浄化効果や浄化期間などの適用性を事前に検討した。処理サイトで実施したオールコアボーリング試料2gを用い、栄養塩を含んだ培地を20ml加え、テフロンライナー付ブチルゴム栓でバイアル瓶内に密封した後、所定量のベンゼンを加え、30℃で培養を行った。気相部のベンゼン濃度の経時的な変化をPID-GCにより測定し、ベンゼン分解特性を把握した。なお、土壌試料は約1m毎に深さ7.7mまで7試料を採取し、その分解特性を比較した。

2) 実証実験

次に、実汚染サイトにおいて「切り返し法」により浄化実証実験を行った。約150m³の汚染土壌を用い、必要な栄養塩を添加した後、土壌を50cm高のパイル状に積み上げ、1日1回の頻度で重機による切り返しを行った。一日ごとに土壌試料を採取し、PID-GCを用いたヘッドスペース法によりベンゼン濃度を測定した。

3) 揮発量の評価

ベンゼンは揮発性の高い物質であるため、掘削した汚染土壌を開放系である屋外において浄化する際には、大気中への揮発を考慮する必要がある。このため「切り返し法」を行った際に、どれだけのベンゼンが揮発し、周辺の環境にどれだけの影響を与えるかを評価することを目的として、現場での「切り返し法」による浄化実験を4日間行い、ベンゼン揮発量を測定するとともに周辺環境への影響の評価を試みた。ベンゼン揮発量は、土を切り返す際に発生する量と土壌表面から発生する量の和として評価した。土を切り返す際に発生する量は、

キーワード：バイオレメディエーション、土壌汚染、ベンゼン、環境影響評価、生物分解

連絡先（東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社技術研究所 TEL 0424-89-7072 FAX 0424-89-7086）

切り返し前後でのベンゼン濃度の変化を測定した。また、土壌表面から発生する量は、ステンレス製の閉空間を作成し、一定量の窒素ガスを流入し、容器内のベンゼン濃度を検知管により経時的に測定し、土壌表面からのベンゼン発生速度を測定した。生物分解量は、ベンゼン減少量からこれらの量を差し引いた値とした。

4. 実験結果

1) 室内実験

深度別に採取した土壌試料を用いて行った室内試験時のベンゼン濃度の経時変化を図-2に示す。いずれの深度の土壌試料に関しても培養開始40～50時間で、ベンゼン濃度が初期濃度約5.5mg/Lから土壌環境基準値の10分の1の0.001mg/L程度まで分解除去できることが確認された。

2) 実証実験

実証実験時のベンゼン濃度の変化を図-3に示す。現場での実証実験に用いた汚染土のベンゼン初期濃度は1.60(mg/L)であり、現場においても「切り返し法」により約3日間で土壌環境基準値以下となることが確認された。室内実験よりも分解速度が遅い理由の一つとして、土中温度が室内培養温度よりも低いことが考えられる。

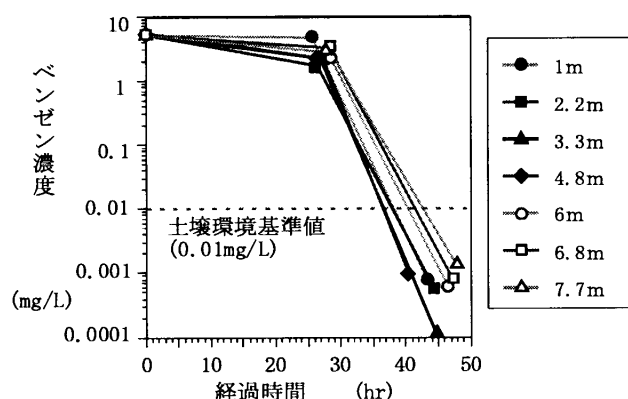


図-2 対象汚染土壌を用いた室内実験結果

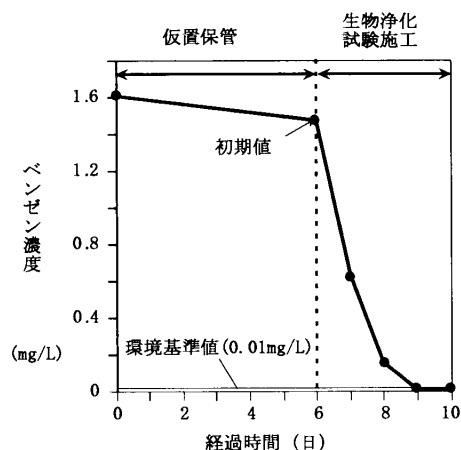


図-3 試験施工時のベンゼン濃度変化

3) 揮発量の評価

土を切り返す際に発生する量は、切り返し前後でのベンゼン濃度測定結果の単純平均の差より、切り返し前の濃度の7.8%が大気中への揮発すると評価した。また、土壌表面から発生する量の測定結果として、単位面積あたりのベンゼン発生速度 E_i ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{min}$)の経時変化を図-4に示す。実験開始後1時間までは、装置内に存在している空気の影響により近似曲線からはずれる結果となるが、その後は、経過時間とともにほぼ指数関数的に減少することが確認された。この近似曲線を基に、土壌表面からの発生量を算出した。

以上の検討により今回の「切り返し法」による生物処理では、浄化されたベンゼンのうち85%が生物分解によるもので、15%が大気中に揮発したものと推定された。生物処理工事では約8,000 m^3 の土量の処理を行ったが、全工事期間内の大気中へのベンゼン総排出量は、この揮発量の推定値より9.8kg/年と推算された。これは平均的なガソリンスタンド1軒が1年間に放出するベンゼン量とほぼ等しい値であり、環境への影響もこれと同等であると考えられる。

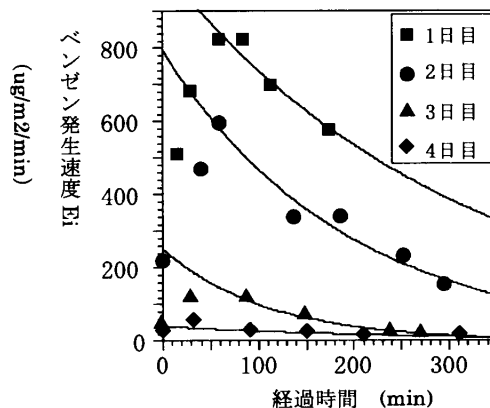


図-4 表面からのベンゼン発生速度変化

5. おわりに

十分な室内事前検討や現場試験施工を行うことにより、工事期間内に十分な浄化効果を得ることができるベンゼン汚染浄化技術を開発した。加えて、ベンゼンの揮発量の評価により、生物処理法に伴い発生するベンゼンの環境影響評価が可能となった。

ただし、すべてのサイトでこのような生物処理法が低コストで適用できるとはいえない。たとえば、分解微生物を土壌に添加する方法を検討する必要がある場合や、土質条件によっては揮発量を低減する装置が別途必要な場合も考えられる。これらのケースにおいて、コストアップを最小限に抑えるための技術開発が、今後の課題であると考え、更なる検討を進める予定である。