

VII-276 生物による重質油汚染土壌の浄化検討

鹿島建設技術研究所 正会員 河合 達司 坂本 育子
澤田 瑞恵 大塚 誠治

1. はじめに

近年、低いエネルギー投入で汚染物質を分解、無害化するという特長を持ったバイオレメディエーション技術が、汚染土壌の新規な処理技術として注目されている。

本報文では、石油精製過程で生じた重質油分と硫酸を多量に含んだ精製スラッジ（硫酸ピッチ）により汚染された土壌にバイオレメディエーションを適用するため、汚染土壌の性状や生物処理条件について検討した結果について報告する。

2. 汚染土壌の性状

汚染現場の土壌のサイトキャラクタリゼーションとして、土質分析、物理化学的分析、生物学的分析の性状把握を行った結果を表-1に示す。

汚染土は粒径の粗い壤質砂土であることから、土中に空気や栄養物質等を供給する事は比較的容易であると考えられる。pHが4.5と酸性を示したのは精製過程で添加された硫酸によるものと思われ、微生物の活性化には中性に調整する必要があると考えられる。含水率は11.1%と低く、微生物処理できる限界に近い。場合によっては、何らかの水分調整材を添加する必要があると考えられる。汚染物質である油物質は、ヘキサン及びトルエン抽出量ともに約20,000(mg/kg)程度の濃度を示した。微生物が油物質を分解する際には、窒素源が必要とされるが、各々の形態の窒素は、油の濃度に比べると極めて濃度が低い。C/Nコードによる炭素(C)と窒素(N)の総量の比(C/N比)は124.7:1であった。従って、窒素源を栄養塩として汚染土に添加する必要があると考えられる。銅などの重金属は微生物を阻害するほど高濃度に含まれておらず、またフラスコレベルでの微生物処理適用試験からもこれらの阻害物質の影響がないことを確認した。汚染土壌中に存在する従属栄養細菌数は、通常の土壌に $10^5 \sim 10^8$ (個/g)存在するといわれているが、汚染土壌中の菌濃度は 4.15×10^3 (個/g)と低く、汚染土壌中の微生物活性は低いものと推測された。

以上の性状分析より現場の土壌環境条件では微生物による汚染物質の分解が進まないと推測され、汚染物質の生分解を促進させるには、人為的に土壌環境を微生物が活性化する条件に作出し、制御する必要があると考えられる。

3. 実験方法

図-1のような固相式生物浄化システムを模擬した土壌カラム試験装置を用いて窒素源の添加量を検討した。試験に供した土壌試料量は500mlである。

窒素源として硝酸アンモニウムを各々のカラムに、表-2のC/N比になるよう添加した後、底部より流量50ml/minで空気を供給し、室温22℃、含水率とpHが一定の条件で培養した。定期的にと菌数、ATP量、ヘキサン抽出量を測定した。また、培養前と培養後の土壌の油物質の成分をイアトロスキャンを用いて分析した。

4. 実験結果及び考察

図-2, 3のように、C/N比が10であるRUN 4は、培養開始後から従属栄養細菌数及びATP量の増加が認められ、他の100倍～1000倍量まで増加した。菌数とATP量の間には高い相関

表-1 汚染土壌の性状

分析項目	分析結果
I. 土質分析	
1. 土壌土性	L S (壤質砂土)
II. 物理化学的分析	
1. pH	4.5
2. 含水率	11.10 %
3. 油分 (n-ヘキサン抽出)	19,200 (mg/kg)
4. 油分 (トルエン抽出)	23,300 (mg/kg)
5. 7-メチル態窒素	4.9 (mg/kg)
6. 硝酸態窒素	1.0 (mg/kg)
7. 亜硝酸態窒素	<0.1 (mg/kg)
8. C/N比	124.7:1
9. 有効態リン酸	7.0 (mg/kg)
10. 硫酸イオン	0.06 %
11. カルシウム	0.57 (mg/kg)
12. 重金属 (銅、水銀等)	<0.05 (mg/kg)
III. 生物学的分析	
1. 従属栄養細菌数	4.15×10^3 (個/g)

キーワード：土壌汚染、バイオレメディエーション、生物分解、浄化、油

連絡先：〒182 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設技術研究所 第六研究部 河合 達司

($r = 0.88$) が認められ、ATP量は微生物の活性を示す指標として有用であることが示された。

また図-4のように培養80日後では、RUN 4においてヘキサン抽出量が35%除去されたのに対して、RUN 1～3は、20%程度の除去率を示した。微生物活性の結果と総合的に判断すると、CN比が10程度の窒素源が本汚染土壌の分解に必要であることが示唆された。

この培養80日後の土壌と培養前の汚染土壌中の油物質の成分をイアトロスキャンを用いて分析を行った。図-5のように、汚染物質中には、微生物分解されやすい飽和炭化水素と芳香族炭化水素が30%程度含まれ、微生物分解が極めて難しいレジン、アスファルテンが70%含まれていた。すべてのケースで、飽和炭化水素、非極性芳香族、極性芳香族の大幅な減少が認められた。また、アスファルテンの減少とレジンの増加が認められるものの、RUN 4を除いてレジンとアスファルテンの総和はほとんど変化しなかったことから、これらの難分解物質の分解が生物浄化の律速となるものと推測された。

比較的分解しやすい飽和炭化水素や芳香族炭化水素が80日後も完全に除去されなかった理由の一つとして、レジンやアスファルテンのマトリックスで覆われた内側に存在する場合に微生物が直接分解できないことが考えられる。従って、何らかの物理化学的な手法を用いてこれらの難分解物質による壁が除去されれば、バイオアベイラビリティの改善と共に微生物による分解効率は一層向上するものと期待される。

5. まとめ

硫酸ピッチ汚染土壌は、栄養塩と空気を十分供給することにより、約3カ月で40%程度の生物除去が可能であった。添加する窒素源の量はCN比で10程度であった。従属栄養細菌数とATP量の間には高い相関($r = 0.88$)が認められ、ATP量は微生物の活性を示す指標として有用であった。今後は、空気供給量等のその他の分解条件を決定すると共に、気泡連行法等の物理化学的手法との組合せを検討する予定である。

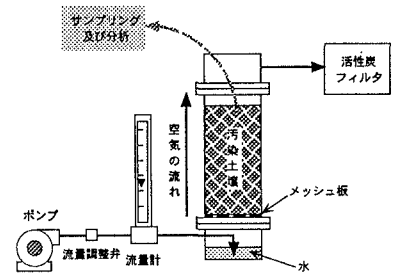


図-2 土壌カラム試験装置模式図

表-2 土壌カラム試験条件

カラム系列	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
C/N比	147.5	75.0	30.0	10.0

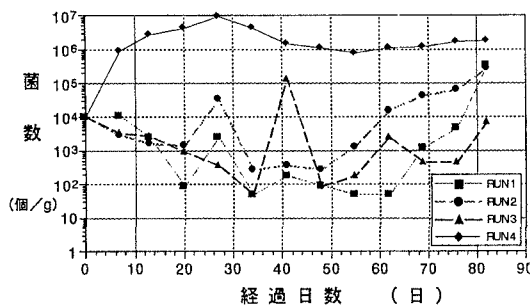


図-2 生物処理時の菌数の経時変化

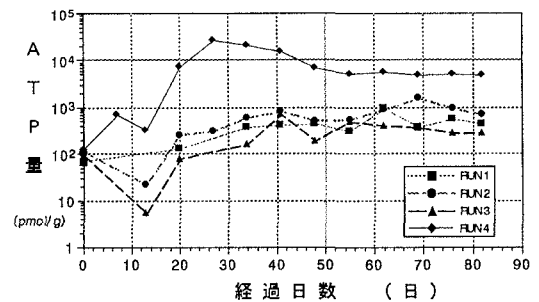


図-3 生物処理時のATP経時変化

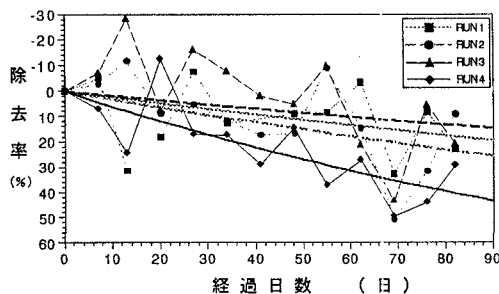


図-4 生物処理時のヘキサン抽出油分の経時変化

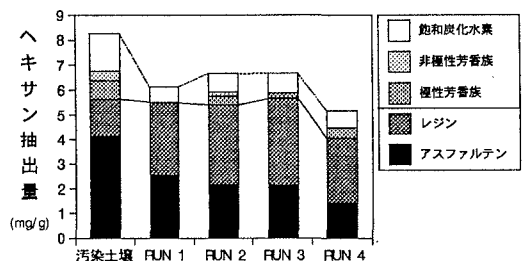


図-5 生物処理による硫酸ピッチ成分の変化