

バイオパイル工法によるエステル類含有土壌浄化の室内実験評価と大規模工事適用

鹿島建設	正会員	○河野	麻衣子
鹿島建設		河合	達司
鹿島建設	正会員	川端	淳一
東邦ガス	正会員	桐山	久
東邦ガス		岡嶋	正志

1. はじめに

汚染土に大気中の酸素を供給し、油の微生物分解を促進させるバイオパイル工法による油処理は、他の工法より低コストでの処理を実現できるが、浄化に要する期間が長く、温度等の環境条件の影響が大きい。特に、低温になる冬期とそれ以外の季節における浄化速度には大きな差があり、温度影響による浄化速度の影響を加味した施工計画が求められる。そこで事前に室内試験を実施して、温度環境による浄化特性の評価を行い、それに基づく施工計画を立案した上で浄化工事を実施した。

2. 室内実験

300 ml ロット瓶に、初期 TPH 濃度約 3000 mg/kg の土壌 150 g と栄養塩を加えた後に密閉し、恒温槽内において培養し、4 ケ月間分解状況をモニタリングした。恒温槽は 5、10、15、20、30、40、50℃ の 7 ケースの温度を設定した。現場モニタリング手法の有効性の検討をするために、気相部のガスは土壌ガス測定器 Ecoprobe5 (RS Dynamics 社製) により、気相中油成分を毎日測定した。気相中油成分は IR (赤外吸収分析) による測定値 (以下、TP 濃度と示す) と、PID (光イオン化検出器) による測定値 (PID 濃度示す) により、評価した。分解に伴い気相部の酸素濃度が低下した場合は、純酸素を添加し、酸素濃度を常に 15% 以上に保持した。

また TPH 濃度は 1 週間毎に約 1 g の土壌を採取し、溶媒 H-997 により油分を抽出した後、油分濃度計 OCMA-305 (堀場製作所製) を用い赤外吸収法により測定した。本工事での浄化対象物質であるエステル類化合物 ($C_{24}H_{38}O_4$) は総石油炭化水素 (TPH) 濃度 (mg/kg) と高い相関を示すことから、TPH 濃度 (mg/kg) を指標として評価した。

3. 試験結果

TPH 濃度の低下は、各温度毎に一次反応として近似できると仮定し、分解速度を (式 1) の分解係数 k (/日) として算出した。

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (\text{式 1})$$

C : TPH 濃度、 C_0 : 初期 TPH 濃度、 k : 分解係数 (/日)、 t : 経過時間 (/日)

分解係数は 30℃ で最大となり、10℃ 以下で大きく減少し、5℃ では 30℃ の約 1/2 程度に低下した。一方、40～50℃ の高温側では、分解係数は緩やかに減少し、50℃ では 5℃ と同様に 30℃ の約

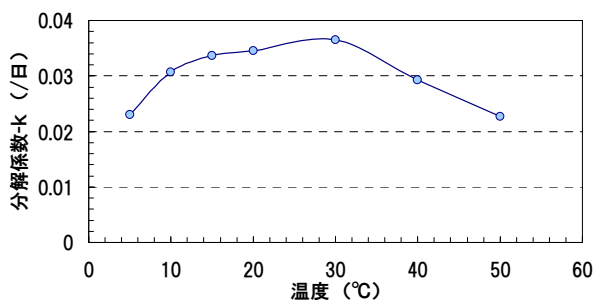


図-1 分解係数 k の温度依存特性

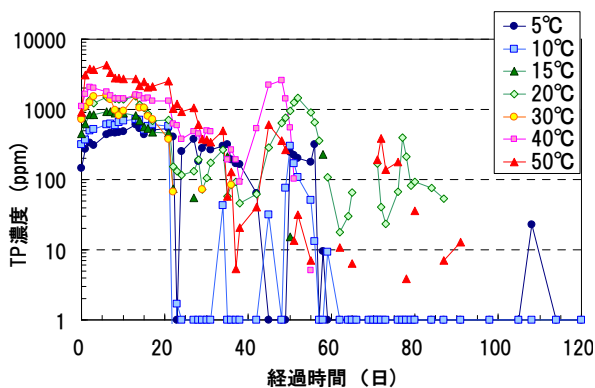


図-2 TP 濃度の経時変化

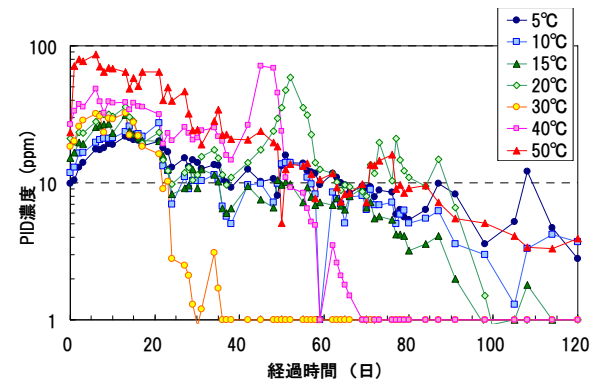


図-3 PID 濃度の経時変化

キーワード バイオパイル工法, エステル類, 分解係数, バイオレメディエーション, 土壌・地下水汚染

連絡先 〒182-0025 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設 (株) TEL 042-489-7614

1/2 程度まで低下した (図-1)。以上より、TPH 濃度を初期の 3000 mg/kg から浄化目標値 500 mg/kg まで低減する場合、15～30℃では浄化期間は約 2 ヶ月と推定された。また、濃度低減が収束し、5～10℃の低温側及び 40～50℃の高温側では約 3～4 ヶ月の浄化期間が必要であると推定された。気相中油成分の TP 及び PID 濃度も、30℃での濃度低下が最も速く、5℃、50℃での濃度低下が最も遅いなど、TPH 濃度の経時変化と同様の傾向を示した (図-2、3)。

4. 工事概要

浄化工事は、敷地面積 50,000 m² の化学工場跡地で実施された。浄化対象土量は 18,600 m³ でありバイオパイル工法としては国内でも有数の大規模工事である。汚染土壌の TPH 濃度は平均約 4,000 mg/kg であり、浄化に要する期間は室内試験結果より 30℃では約 2 ヶ月、5℃で約 4 ヶ月と予測した。現場では、TPH 濃度、Ecoprobe5 による土壌ガス測定、土壌温度、油膜、油臭を測定した。TPH 濃度、油膜・油臭の浄化基準については表-1 に示す。

表-1 浄化判定基準

項目	浄化条件
油臭	①または② ①無臭 ②やっと感じ取れるにおい
油膜	①または② ①液面に濁りが観察されない ②液面にわずかに濁りが観察される
TPH	500 mg/kg 以下

5. 工事結果

※TPH 試験法、油膜・油臭測定法は油汚染対策ガイドラインに準拠¹⁾

バイオパイルによる処理ケースの中から TPH 濃度が 5100 mg/kg と最も高かったケースでの結果を報告する。処理時の土壌温度は、夏場に施工したため、2 ヶ月近く 30℃付近を維持し、平均土壌温度は約 27.1℃であった。TPH 濃度の減衰を推定するために経時的に TP、PID 濃度を測定し、60 日を過ぎた後に測定値の収束が確認された (図-4)。

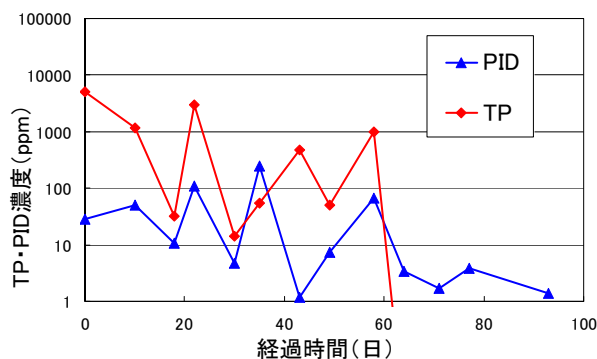


図-4 TP・PID 濃度の経時変化

また、経時的に油膜・油臭も測定し、浄化基準を達成後、TPH 濃度を測定し、基準 (500 mg/kg) 以下を確認することで浄化の終了を判定した。その結果、油膜・油臭は、開始から 94 日 (約 3 ヶ月) 後に基準を達成した (図-5)。TPH 濃度は、初期値と 94 日後のみ測定し、94 日目に N.D. (検出限界 100 mg/kg 以下) になった。初期 TPH 濃度 5100 mg/kg が基準値 500 mg/kg を下回るために必要な浄化期間 (TPH の基準達成期間) と 94 日後の TPH 濃度を室内実験結果 (式 1) により推定した。その結果 TPH の基準達成期間は 67 日、94 日後の TPH 濃度は 199 mg/kg と推定された。ここで平均温度 27.1℃での分解係数 k は、図-3 より推定した 0.0345 (1/日) を用いた。一方、現場での測定結果より TP、PID 濃度 (図-3) は 80 日後以降は非常に小さい値に収束し、94 日後には油臭、油膜ともほぼなくなった。以上より現場の測定はほぼ室内での予測と同様の結果となった。

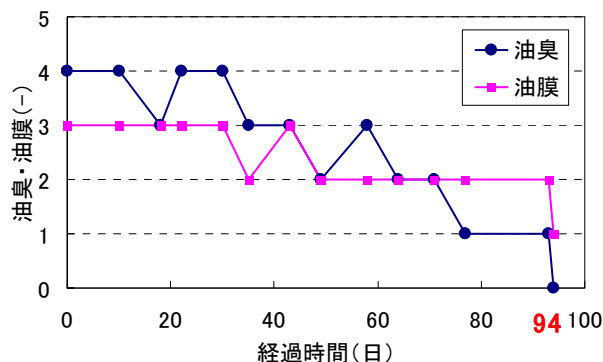


図-5 油膜・油臭経時変化

6. まとめ

本検討では室内実験より、初期 TPH 濃度を平均濃度 4100 mg/kg と仮定すると、30℃の温度条件では約 2 ヶ月、冬季を想定した低温環境 (5℃) でも約 3～4 ヶ月の期間があれば、TPH 濃度、油膜、油臭に関して十分な低減効果を得ることができると推定された。Ecoprobe5 を用いた TP、PID 濃度は、油臭・油膜と似た低減傾向を示し、エステル類の分解速度を相対的に評価でき、現場でのモニタリング手法として有効であり、それらの測定結果は、ほぼ室内試験結果で予測されたものと同様の傾向を示した。

7. 参考文献

- 1) 中央環境審議会土壌農薬部会 (2006)：油汚染対策ガイドライン、環境省、P90～108