

# 可燃性ガスが確認されたVOC汚染地盤における対策工

## — 防爆対策としてエアースパーキングを併用した土壤ガス吸引工の施工 —

佐野 洋\* 伊藤 浩\*\*

**要約：**ごみを混入する埋土・盛土地盤などで多く見られる可燃性ガスが混在した揮発性有機化合物による汚染地盤での土壤ガス吸引工法による浄化対策において、防爆対策としてエアースパーキング工法を併用した。汚染物質は揮発性有機塩素化合物のトリクロロエチレンおよびその分解生成物、可燃性ガスはメタンが主体であった。ガス吸引開始時点では、爆発限界を超過する地盤中の可燃性ガスが約2週間程度で全て爆発限界濃度以下に低下し、また処理中のガス濃度低下の効果も確認された。汚染物質である揮発性有機塩素化合物に対しては、可燃性ガスが存在する部分では、可燃性ガスの除去後に汚染物質の除去が進んだ。

**キーワード：**土壤ガス吸引, エアースパーキング, 揮発性有機化合物, 可燃性ガス

**目次：** 1. はじめに  
2. 汚染等の状況  
3. 工法概要

4. 結果  
5. まとめ

### 1. はじめに

平成15年の土壤汚染対策法の施行を契機に、土壤汚染対策法や関係自治体条例が適用される法令上の調査だけでなく、土地取引等に係る自主的な調査も増えている。自主的な調査では、工場跡地等の特定有害物質を使用していた履歴の無い土地であっても、地盤に埋土・盛土が行われているとこれらの材料内に混入したごみなどに起因する汚染が判明することもある。

このような地盤においては、汚染物質の種類や分布などについて、通常の工場跡地に見られるようなパターンは見られず、同時に使用される可能性のない物質が混在したり、浄化対策等を実施する際に、混在する物質が対策に悪影響を及ぼすケースがある。特に、有機性のごみが混入する地盤では、メタンや硫化水素などの可燃性ガスが発生することが多く、浄化対策にあたっては、爆発に対する安全性や悪臭にも留意する必要がある。

このように可燃性ガスが混在した揮発性有機化合物によって汚染された地盤でのガス吸引工法において、防爆対策として空気注入工法（エアースパーキング工法）を併用することとした。本論文では、これら対策工の概要とエアースパーキング工法の効果について報告する。

### 2. 汚染等の状況

#### 2.1 調査状況

埋土中に混入した物質に由来して存在した特定有害物質は、第一種特定物質である揮発性有機化合物のトリクロロエチレン（TCE）および分解生成物のシス-1,2-ジクロロエチレン（cis-1,2-DCE）である。これらは、土壤汚染対策法に準じた調査、および汚染源が埋土中にある可能性があるためボーリング調査が実施され、汚染の状

況が確認された。

可燃性ガスについては、図1のように可燃性ガス測定機器にテフロンチューブを接続して先端をボーリング孔内におろして、可燃性ガスの濃度を測定した。

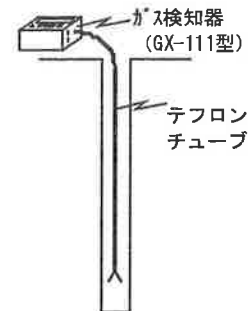


図1 可燃性ガス調査

#### 2.2 分布状況

土壤調査により、確認された物質及び濃度最大値を表1に示す。揮発性有機化合物のトリクロロエチレンおよび分解生成物のシス-1,2-ジクロロエチレンについては、第二溶出量基準値を超過する部分が存在していた。

また、可燃性ガスについては、メタンの最大値が4.1vol%を示し爆発限界範囲に達する可能性も考えられた。なお、硫化水素や一酸化炭素についての爆発可能性は極めて低いと考えられた。

表1 物質及び実測濃度

物質名称		指定基準値 (mg/L)	第二溶出量 基準値 (mg/L)	最大値 (mg/L)
揮発性 有機 化合物	シス-1,2- ジクロロエチレン	0.04	0.4	1.4
	トリクロロエチレン	0.03	0.3	8.6
物質名称		爆発限界 (容量%)	就労上の 抑制値	最大値
可燃 性 ガス	メタン	5.3~14	1.5%	4.1%
	硫化水素	4.3~45	10ppm	9.0ppm
	一酸化炭素	12.5~74	100ppm	260ppm

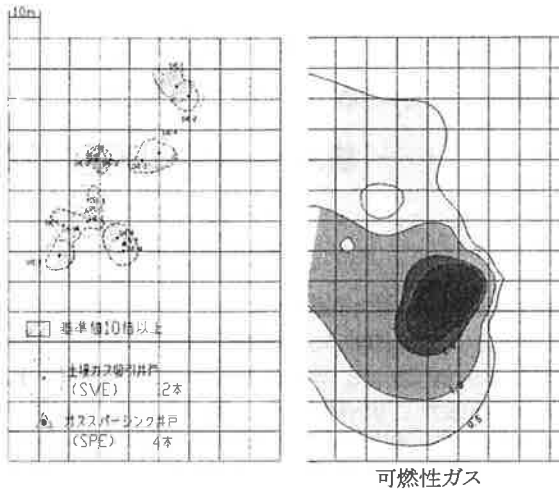


図2 VOCと可燃性ガスの分布

揮発性有機化合物の第二溶出量基準値超過範囲を図2に示す。これらの分布については、埋土材料中の混入物由来のものであるため、一般的な工場等からの漏洩や浸透によるものと異なり、サイト内で点在するような分布状態であった。

また、当サイトにおける可燃性ガスのうち濃度的に爆発の可能性が認められたメタンの分布範囲も図2に示す。揮発性有機化合物の濃度分布やホットスポットなどは一致しないが、共存している部分があり、埋土中の揮発性有機化合物ガスを吸引する際に、可燃性ガスを同時に吸引する可能性が考えられた。

### 3. 工法概要

#### 3.1 工法選定

当サイトでは、最終的な浄化対策として、重金属を含む複合汚染が確認されていること、一部にごみ等が混入することなどから掘削除去処分が実施される。

部分的に存在する揮発性有機化合物の第二溶出量基準値超過範囲に対しては、掘削時・運搬時の揮発散リスクの低減のため、掘削除去の前処理として、原位置での土壤ガス吸引工法を採用することとした。

このガス吸引の際に、可燃性ガスを同時に吸引し濃度が爆発範囲内に入ると爆発を引き起こす可能性が考えられた。そこで、爆発防止の対策として、地盤中の可燃性ガス濃度を低下させる方法として空気注入工法（エアースパーキング工法）を併用することとした。

#### 3.2 土壤ガス吸引工法

土壤ガス吸引工法は、吸引井戸を汚染土壤中に設置し、真空ポンプにより土壤中の揮発性有機化合物を含むガスを吸引する工法である。吸引された揮発性有機化合物を含むガスはガス中の有機化合物を吸着や分解により除去する。土壤ガス吸引工法の設備概要を表2および図3に示す。なお、ガス処理には紫外線光触媒装置を用いた促進酸化分解法による分解処理を用いた。

土壤ガス吸引井戸を設置するにあたり、土壤ガス吸引の影響径については、砂質土における概略値 8~20m および経験値より、10m と仮定し、第二溶出量基準値超過範囲について、12箇所の吸引井戸を設置した。

土壤ガス吸引工法の効果確認方法は、吸引井戸において、ガス濃度の経時変化のモニタリングを検知管により行った。土壤溶出量に対する土壤ガスの管理は、過去の事例からトリクロロエチレンにおいて、第二溶出量基準

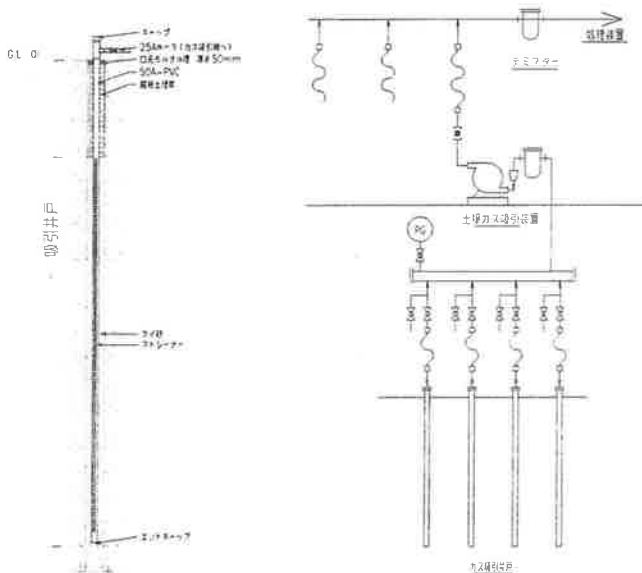


図3 ガス吸引工設備

表2 設備一覧

#### 設置井戸

ガス吸引井戸	
基本構造	掘削径 φ180
井戸	50A-VP管

各井戸	井戸深度	ストレーナ位置
SEV-1,2	GL-11.0m	GL-7.0~11.0m
SEV-3,4	GL-7.0m	GL-3.0~7.0m
SEV-5	GL-8.0m	GL-7.0~8.0m
SEV-6,7	GL-7.0m	GL-6.0~7.0m
SEV-8,9,10	GL-8.0m	GL-8.0~9.0m
SEV-11,12	GL-4.0m	GL-3.0~4.0m

#### スパーキング井戸

スパーキング井戸	
基本構造	掘削径 φ210
井戸	50A-VP管

各井戸	井戸深度	ストレーナ位置
SPE-3	GL-6.0m	GL-4.0~6.0m
SPE-4	GL-6.5m	GL-5.5~6.5m
SPE-5	GL-5.0m	GL-4.0~5.0m
SPE-6	GL-8.0m	GL-7.0~8.0m

#### ガス吸引装置

プロア	200V 1.9kW
能力	約50m <sup>3</sup> /h

以下の目安として吸引ガス濃度が概ね 20ppm との値が得られていたことから、これを管理目標値とした。吸引ガスでこの値を一定期間継続することを確認した後、実際に土壌を採取して公定法分析により確認することとした。

### 3.4 エアースパージング工法

可燃性ガスのメタンについては、土壌ガス吸引井戸内の濃度を測定し、爆発限界 5.3%の約3割にあたる 1.5%を確認した場所について、防爆のためエアースパージング用井戸を設置し、スパージングを併用して土壌ガス吸引を実施した。事前の調査では、メタンの最高濃度が 4.1%であったが、施工前の測定では、最高濃度 67%であった。そこで、12 箇所の井戸のうち、8 箇所の井戸に対して、4 箇所のスパージング井戸を設置、メタンが検出されなくなるまでスパージングを実施するものとした。スパージング井戸の構造は、吸引井戸構造と同様とした。

## 4. 結果

### 4.1 可燃性ガス(メタン)の処理結果

各吸引井戸におけるメタンの濃度経時変化を図4に示す。メタン高濃度分布箇所に近い SVE-6~12 については、初期値から爆発限界の下限値を超える値を示し、ガス吸引を開始するとともに、さらにメタンガス濃度が上昇した。メタン高濃度分布箇所から離れた SVE-1~4 については初期値はかなり低く、ガス吸引の開始後も若干の濃度上昇であった。メタンガスの高濃度地点は、スパージングを開始後、約1週間後にメタンガス濃度が爆発限界下限値を下回るようになり、その後は爆発限界下限値未満で安定し、約1ヶ月後にメタンの濃度が下限値未満となり、スパージングを停止した。

また、スパージング前の吸引井戸のメタンガス濃度(平均値)とスパージング後である処理装置入口におけるメタンガス濃度も図4に併せて示す。例えば7日では、スパージング前の井戸側のガス濃度が爆発限

界を超過する約 17%であるのに対し、スパージング後では爆発限界を超えない 4%程度に低下しており、スパージングによる効果が得られていることが確認できた。

### 4.2 揮発性有機塩素系化合物(トリクロロエチレン)の処理結果

吸引井戸におけるトリクロロエチレンのモニタリング結果を図5に示す。可燃性ガスの影響については、メタン高濃度分布箇所から離れた吸引井戸 (SVE-1~4) においては、吸引開始直後に最も VOC ガス濃度が高く、時間の経過とともに減少していく傾向が見られた。一方でメタン高濃度分布箇所に近い吸引井戸については、吸引開始直後よりも吸引を開始後しばらく時間が経ってからの方が濃度が高くなり、その後、場所によって差は見られるものの、徐々に低下していく傾向が見られた。これは、メタン高濃度分布箇所に近い井戸では、吸引開始直後には、汚染物質であるトリクロロエチレンなどよりも沸点が低く揮発性が高いため土中で移動しやすいメタンを先に吸引し、その後、メタンガスが低濃度になった状態で、トリクロロエチレンなどのガス化や移動が進んだものと考えられる。

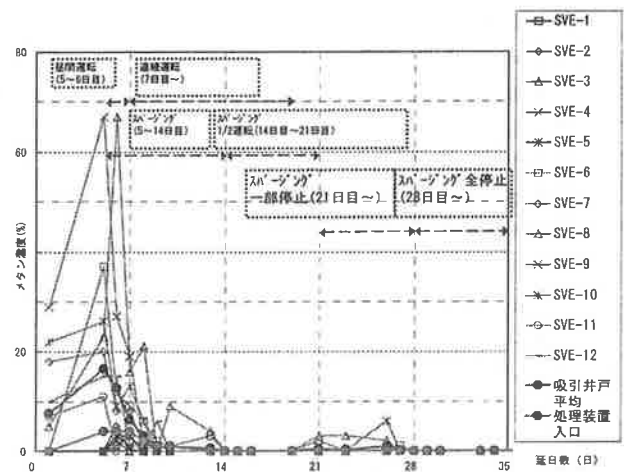


図4 各井戸のメタンガス濃度

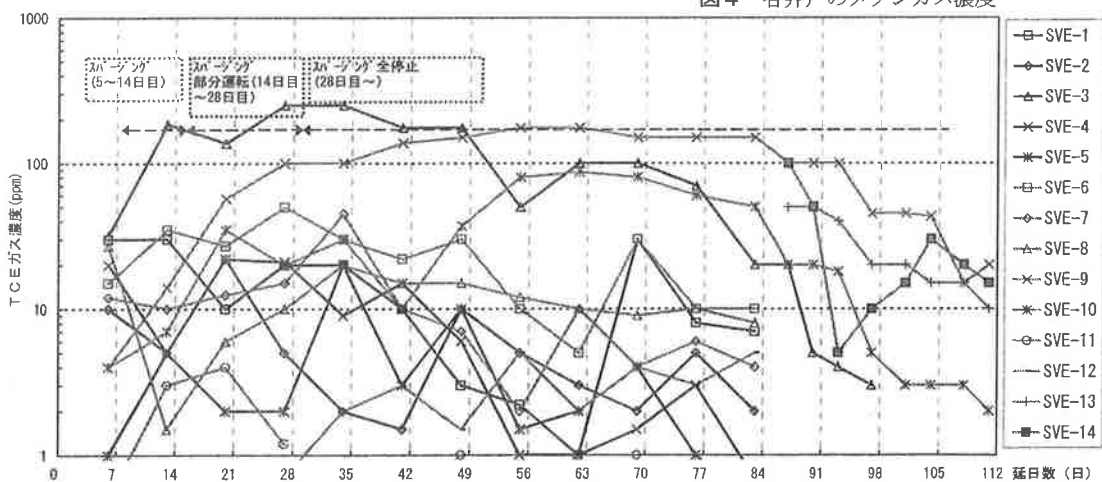


図5 各井戸のTCEガス濃度

### 4.3 効果確認結果

汚染物質の浄化状況については、吸引開始2ヶ月後に、12本の吸引井戸のうち9本は、トリクロロエチレンのガス濃度管理目標値(20ppm)以下となった。そこで、公定法分析による確認分析を実施した。その結果、10本の井戸では、目標濃度である第二溶出量基準値以下の結果を得られた。目標濃度以下に達しなかった2本の井戸(浄化対象範囲は1箇所)では、土壌ガスが100ppm以上であり、濃度低減の見られないため、対策として、吸引井戸を2箇所追加した。土壌ガス井戸追加後約2週間、ガス濃度が45ppmに低下した時点で、土壌を採取し再度公定法分析を行った。その結果目標濃度以下となり、土壌ガス吸引工を完了した。

効果確認時に得られたトリクロロエチレン浄化のガス濃度と、公定法による土壌溶出量を比較した結果を、図6に示す。今回管理目標値とした20ppmVでは、溶出量の目標濃度である0.3mg/lの1/3程度の値であり、結果のばらつきや安全率を考慮すればほぼ妥当な結果であった。

また、トリクロロエチレンのガス中濃度について、各吸引井戸での濃度の平均値、光触媒処理装置入口での濃度、処理装置排気の濃度の測定結果を図7に示す。処理装置側での濃度は概ね各吸引井戸での濃度の平均値を示した。また排気ガスについては、全て検出限界未満であり処理が問題なく行われていること確認した。

装置側での処理風量については、概ね想定風量以下であり、処理装置の処理能力の選定は妥当であった。

### 5. まとめ

埋土地盤に多い可燃性ガスが混在した場合の土壌汚染対策として、エアースパージングを併用した土壌ガス吸引工

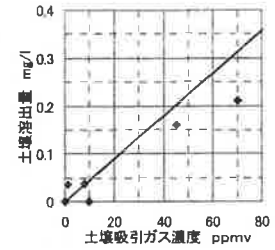


図6 ガス濃度と溶出量の施工を実施した。その結果、以下の知見を得られた。

- ①エアースパージングは地盤中の可燃性ガスの早期除去および防爆のためのガス濃度低下に有効である。
- ②汚染物質である揮発性有機塩素化合物に対しては、可燃性ガスが存在する部分では、可燃性ガスの除去後に汚染物質の除去が進んだ。

各工法は確立された工法ではあるが、特殊な条件下で併用する場合の設計・運転には経験に頼らざるを得ない部分が多い。今後、設計・運転手法の正確性の向上を図りたい。

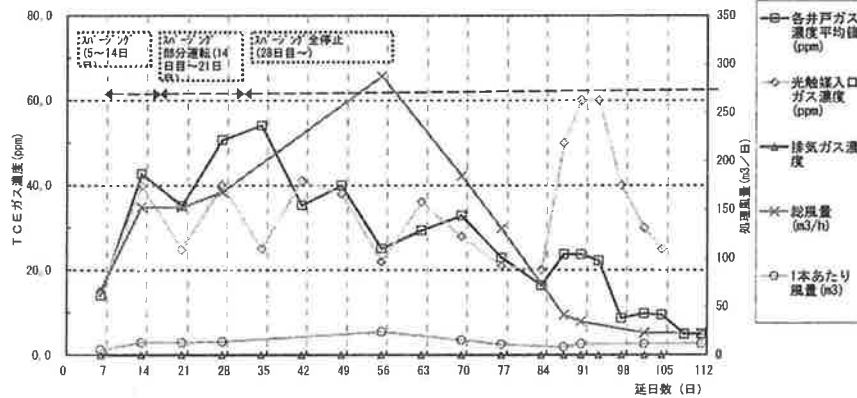


図7 ガスの処理結果

### 謝辞

本データ収集にあたり、施主・現場担当者・協力業者の方々に多大なるご協力をいただきました。末筆ながら関係各位に厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 地盤環境技術研究会：土壌汚染対策技術、(関)日科技連出版社

## THE WORK EXPAMPLE OF SOIL VAPOR EXTRACTION FROM THE CONTAMINATED SOIL EXISTING FLAMMABILITY GAS AND VOC

H.Sano H.Ito

The site existing flammability gas of soil contaminated VOC (Volatile Organic Compounds) site, Soil Vapor Extraction need to work with Air Sparging for protection from the explosion.

There are generally flammability gas from wasted material and garbage in the embankment or filling soil. The soil is contaminated by VOC (TCE cis-1,2-DCE). The main composition of flammability gas is methane gas. In the initial stage, the methane gas was over the explosion level. The density of methane gas reduced to under the explosion level by Soil Vapor Extraction and Air Sparging during two weeks. In the area of existing flammability gas, the soil purification of VOC was started after the purification of flammability gas