

# 可燃性ガスの存在するVOC汚染地盤における ガス吸引工の設計・施工事例

佐野 洋<sup>1</sup>・伊藤 浩<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東急建設株式会社 首都圏本部 土木事業部 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14)

<sup>2</sup>正会員 東急建設株式会社 土木エンジニアリング部 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14)

埋土地盤において埋土材料の中に混入していた揮発性有機化合物に由来すると考えられる土壤汚染が発見された。これと同時に、埋土材料の有機物に起因すると思われるメタンや硫化水素などの可燃性ガスの存在が確認された。地盤中の可燃性ガス濃度は、部分的に爆発限界を超過していた。汚染物質に対する原位置浄化対策としては、土壤ガス吸引工法を採用することとしたが、地盤中の可燃性ガス吸引の際に、爆発を引き起こす可能性が考えられた。そこで、地盤中で可燃性ガス濃度を下げる方法として空気注入（エアースパーキング）を併用した。本稿では、これらの施工状況および結果等について報告する。

**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

## 1. はじめに

過去に埋立が行われた地盤において、埋立材料の中に混入していた揮発性有機化合物（VOC）に由来すると考えられる土壤汚染（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）が発見された。これと同時に、埋立材料中の有機物に起因すると考えられる可燃性ガス（メタン，硫化水素，一酸化炭素）の存在が確認された。なお、これらの汚染範囲には、重金属類による汚染も確認されている。

基本的な浄化対策としては、重金属類との複合的な汚染であることを主な理由に掘削除去を実施することとなった。このうち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、掘削時および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実施することとした。一方で、当サイトにおいては、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（エアースパーキング工）を併用することとした。また吸引したガスの処理については、活性炭吸着と光触媒分解の

比較検討を行った結果、光触媒分解を採用することとした。

## 2. 汚染物質等の状況

埋立材料中の混入物による土壤汚染の可能性が判明したため、土壤調査を行った。

揮発性有機化合物（VOC）については、概況調査として30m格子（900m<sup>2</sup>）に1点の表層土壤ガス調査を実施した。表層土壤ガスが検出された地点においては、高濃度地点の絞り込みおよび、絞り込んだ地点でのボーリング調査を土壤汚染対策法に準拠するように実施した。

表層土壤ガス調査に加え、汚染源が埋土中にある可能性があるため、30m格子（900m<sup>2</sup>）に1点、深度10mまでボーリング調査を実施し、汚染の状況を確認した。

また、可燃性ガスについては、土壤調査時に削孔した深度10mのボーリング孔を利用し、図-1に示すように、可燃性ガス測定機器（ガスモニター）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、濃度を測定した。

土壤調査により、確認された物質及び最大値を表-1に示す。

揮発性有機化合物のシス-1,2-ジクロロエチレン、トリ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することがわかった。これらについては、埋立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。(図-2参照)

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。硫化水素や一酸化炭素については爆発の可能性は極めて低いと判断した。

### 3. 対策計画

基本的な浄化対策として、汚染範囲において、重金属類の汚染も確認されていること、一部にコンクリートなどのガラや廃棄物等が混入していることなどから、最終的には掘削除去処分を実施することとした。

このうち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、掘削時および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壌ガス吸引工法を実施し、第二溶出量基準値以下まで濃度を低減させてから掘削の施工を開始することとした。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。

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、ホットスポットとは一致しないが、共存している部分があり、土中の揮発性有機化合物ガスを吸引する際に、メタン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、地盤中のメタンガス濃度を低下させる方法として空気注入工(エアースパーキング工)を併用することとした。

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

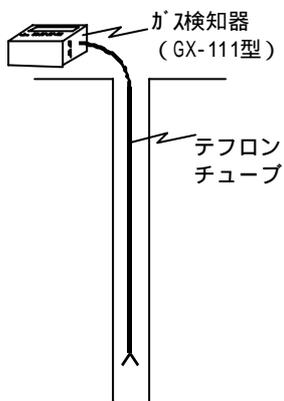


図-1 可燃性ガス調査

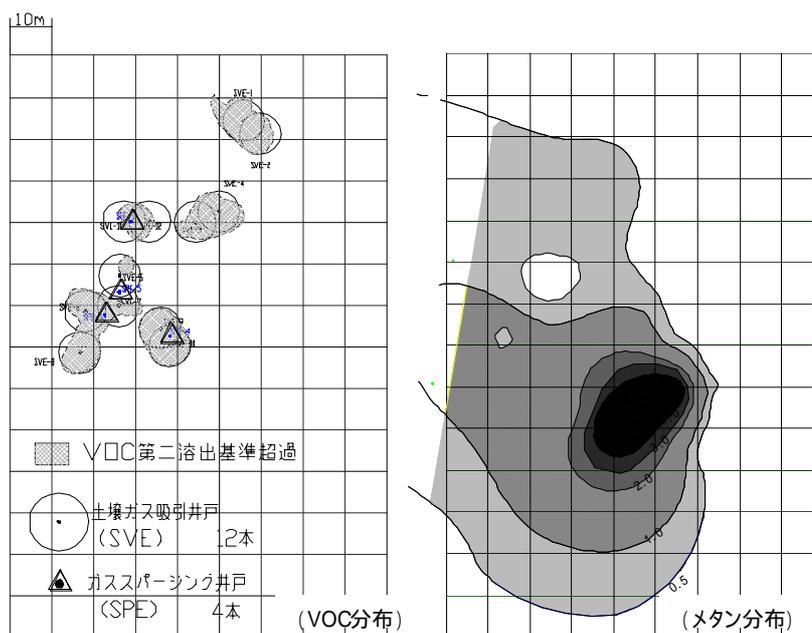


図-2 揮発性有機化合物および可燃性ガスの分布

## (1) 土壌ガス吸引工

土壌ガス吸引工法は、吸引井戸を汚染土壌中に設置し、真空ポンプにより土壌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。吸引されたガス中の揮発性有機化合物は吸着や分解によって除去する必要があるが、本件では、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採用した。土壌ガス吸引工の設備概要を表-2および図-3に示す。また、設置状況を写真-1に示す。

土壌ガス吸引井戸を設置するにあたり、土壌ガス吸引の影響半径<sup>1)</sup>については、埋土材料が砂主体であったことから、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。また各吸引井戸のストレーナ位置は、ボーリング調査によって得られた揮発性有機化合物の深度分布に応じて設定した。なお施工対象となる地層には地下水は存在しなかった。

土壌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行うこととした。土壌溶出量に対する土壌ガスの管理は、過去のいくつかの事例からトリクロロエチレンにおいて、土壌溶出量が第二溶出量基準以下になる吸引ガス濃度として概ね20ppmの値として得られているので、これを管理目標値とした。吸引ガスにおいてこの値以下が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基準値以下であることを確認した場合

表-2 土壌ガス吸引工設備  
設置井戸

ガス吸引井戸		
基本構造	掘削径	180
	井戸	50A-VP管
各井戸	井戸深度	ストレーナ位置
SVE-1,2	GL-11.0m	GL-7.0～11.0m
SVE-3,4	GL-7.0m	GL-3.0～7.0m
SVE-5	GL-8.0m	GL-7.0～8.0m
SVE-6,7	GL-7.0m	GL-6.0～7.0m
SVE-8,9,10	GL-9.0m	GL-8.0～9.0m
SVE-11,12	GL-4.0m	GL-3.0～4.0m

スパージング井戸		
基本構造	掘削径	210
	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

ブローア	200V 1.9kW
能力	約50m <sup>3</sup> /h

に、前処理完了とすることとした。

## (2) エアースパージング工

可燃性ガスであるメタンについては、土壌ガス吸引井戸内のメタンガス濃度を測定し、爆発限界5.3%の30%であるメタンガス濃度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行うこととした。

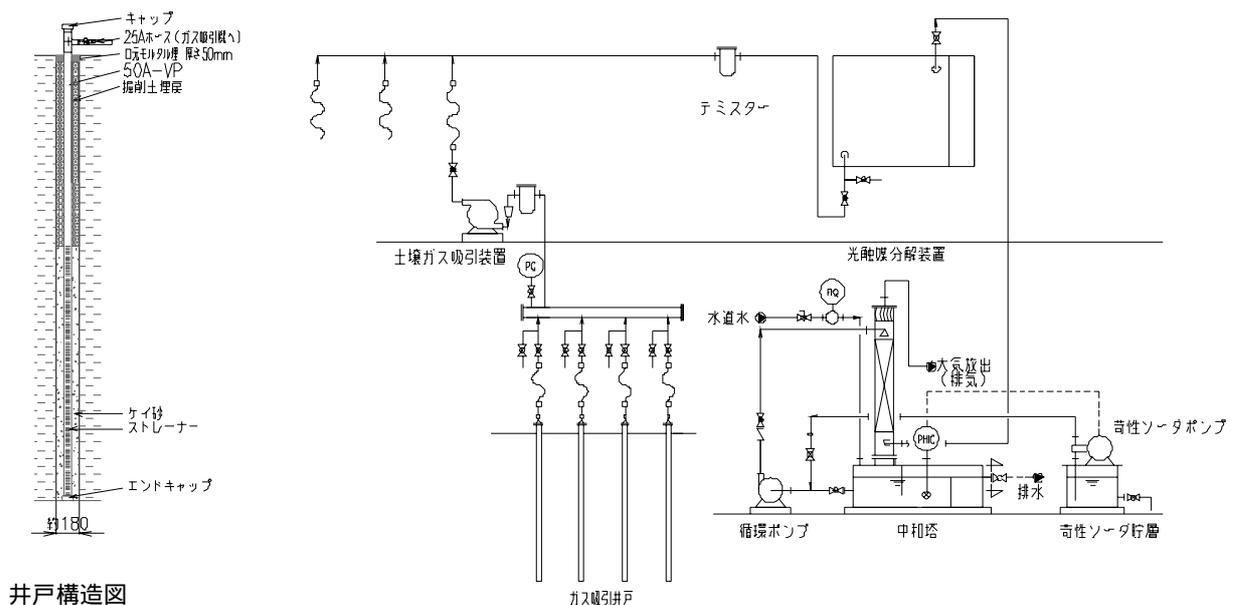


図-3 土壌ガス吸引工 設備図



(吸引装置)



(吸引井戸)

写真-1 設備の設置状況

事前調査では、メタンガスの最高濃度が4.1%であったが、各井戸内における施工前の測定では、最高メタン濃度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。

### (3) 光触媒によるガス処理の採用

揮発性有機化合物(VOC)の処理として、ランニングコスト面から紫外線・光触媒を用いた促進酸化分解法による分解処理装置を採用した。

表-3 分解装置の仕様

形式	紫外線 + 光触媒分解方式
動力	200V 16kW
処理量	240m <sup>3</sup> /h
処理能力	200g/h (VOC)

## 4. 施工結果

### (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-5に示す。例えば7日日では、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4%程度に低下しており、スパージングの効果が確認できた。

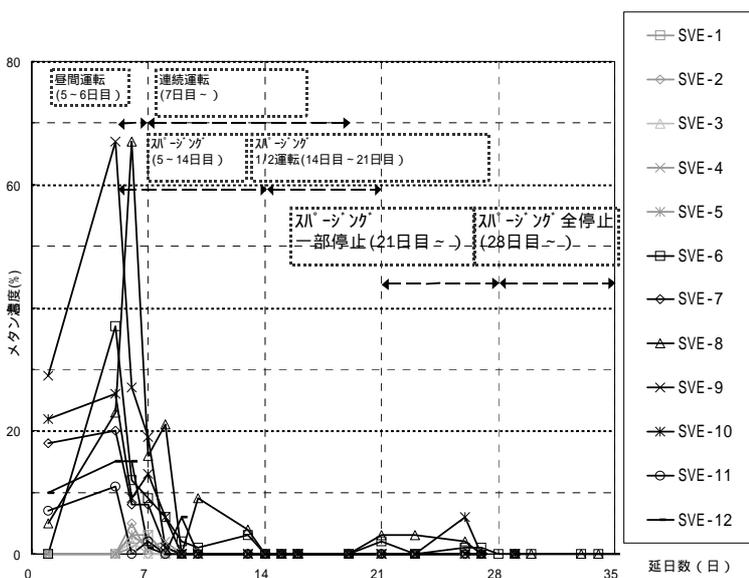


図-4 各井戸のメタンガス濃度変化

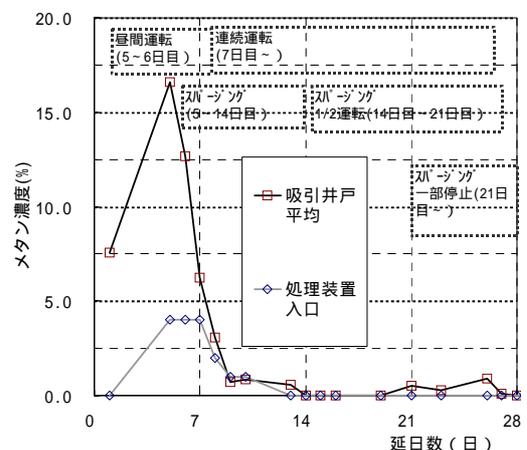


図-5 スパージング前後のメタンガス濃度変化

## (2) 揮発性有機化合物 (VOC) の処理結果

各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-6 に示す。

### a) 可燃性ガスの影響

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 (SVE-5~12) については、吸引開始直後よりもしばらく時間が経ってからのほうが濃度が高くなり、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。

### b) 汚染物質の浄化状況

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、土壤ガスが100ppm以上

であり、濃度低減が見られないため、追加の対策として、さらに吸引井戸を2箇所設置した。土壤ガス井戸追加後約2週間、ガス濃度が45ppmに低下した時点で、土壤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、土壤ガス吸引工を完了した。

### c) 管理目標値の比較

浄化効果確認時に得られたトリクロロエチレンのガス濃度と、公定法分析による土壤溶出量を比較した結果を、図-7 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。

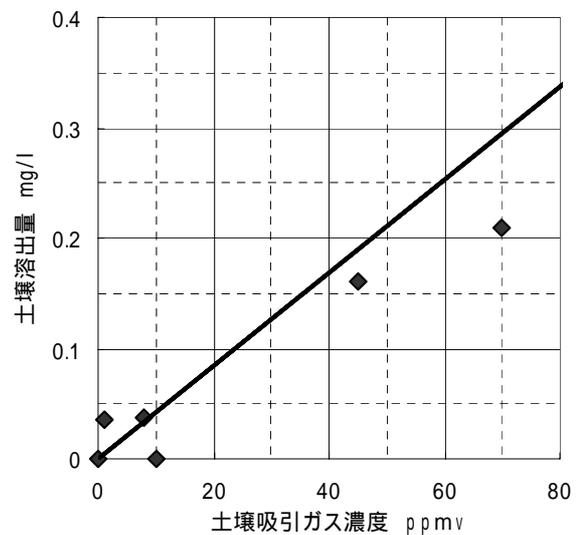


図-7 溶出量とガス濃度

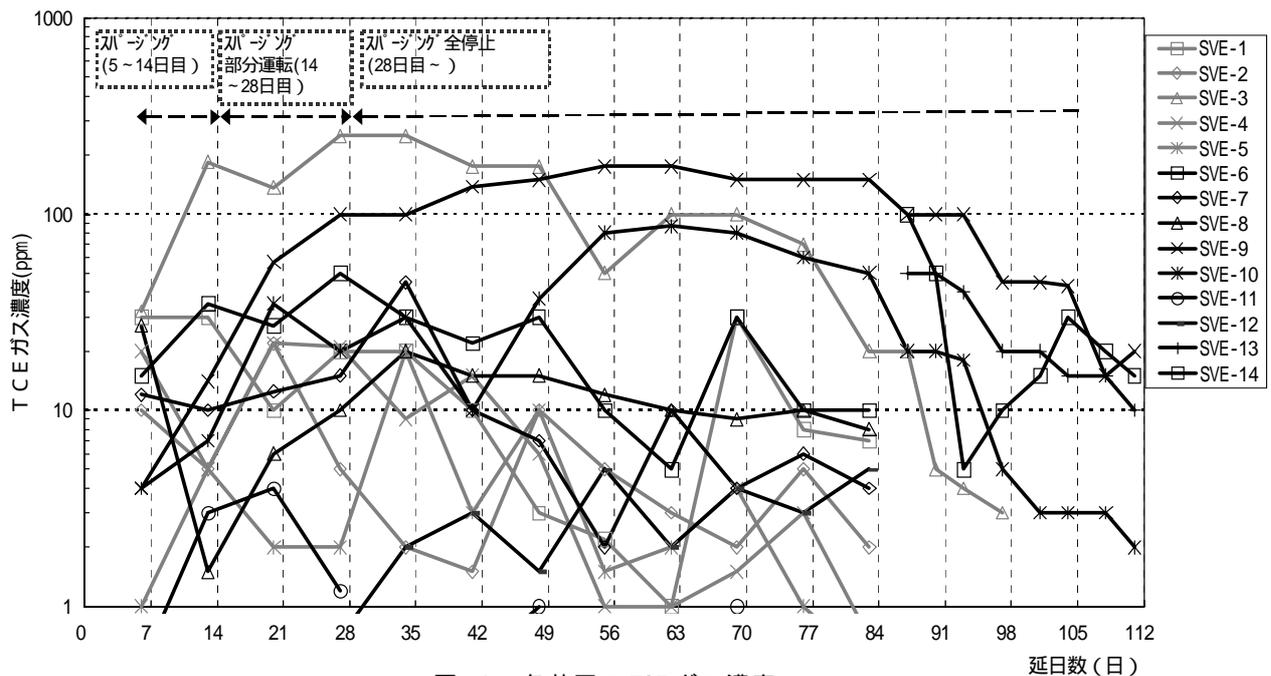


図-6 各井戸の TCE ガス濃度

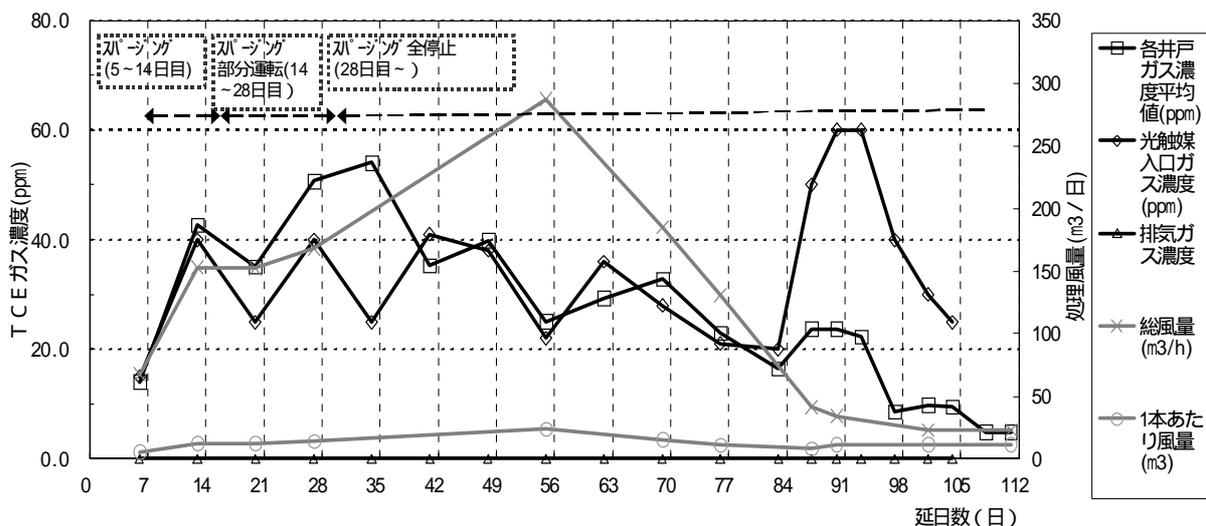


図-8 各地点での TCE ガス濃度と処理風量

また、トリクロロエチレン (TCE) 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 8 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を確認した。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、エアースパーキングを併用し

た土壌ガス吸引工の施工を実施した。その結果、以下の知見を得られた。

エアースパーキ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。

汚染物質である揮発性有機化合物に対しては、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・運転手法の精確性の向上を図りたい。

## 参考文献

- 1) 地盤環境技術研究会：土壌汚染対策技術，(株)日科技連出版社