

# 廃棄物最終処分場における通気設備を用いた廃棄物の早期安定化工法の開発 — 板状通気材を用いた廃棄物の早期安定化実証実験の経過報告 —

椿 雅俊\*

**要約：** 廃棄物最終処分場において、早期に維持管理を必要としない状態にする安定化促進技術が求められている。維持管理期間が短縮できれば、管理コストの削減や跡地の有効利用が図れるといったメリットが得られる。本研究では、廃棄物の埋立て時に通気および注水設備を設置することによって維持管理期間の短縮を図るための技術として、廃棄物層内に設置した板状通気材の空隙を利用して廃棄物層内へ積極的に空気や水を注入し好氣的雰囲気に変更する工法の有効性を検討している。本工法の有効性を確認するために、実在処分場内にて、板状排水材の通気および注水性能の確認、埋立て作業時における施工性の確認、廃棄物の安定化度等の確認を行った。その結果、実験開始後1ヶ月であるが、廃棄物の早期安定化に対して本工法は有効であることが確認された。

**キーワード：** 廃棄物、最終処分場、安定化、維持管理、通気

- 目次：**
- 1. はじめに
  - 2. 安定化促進設備について
  - 3. 廃棄物最終処分場における実規模実験
  - 4. 考察
  - 5. おわりに

## 1. はじめに

廃棄物最終処分場では、維持管理の負担を低減する観点から埋立て終了後、早期に維持管理を必要としない状態（廃止要件の適合）にする安定化促進技術が求められている。維持管理期間が短縮できれば、管理コストの削減や跡地の有効利用が図れるといったメリットが得られる。廃棄物の安定化促進工法は通常、埋立て完了後（閉鎖）に廃棄物層内にパイプ等を打設し、空気や水を送り込み廃棄物層内の環境を好氣的環境に改善する工法が代表的である。

本研究では、廃棄物の埋立て時に通気および注水設備を設置することによって維持管理期間のさらなる短縮を図るための工法を検討してきた。昨年度は通気材の基本的性能、通気効果の確認を目的として実在処分場の一面において基礎実験を実施した。

本報告では基礎実験で得られた結果を基に行った実規模実験について報告する。

## 2. 安定化促進設備について

### 2.1 通気材料

本工法において使用する通気材（水、空気ともに注入可能であるがここでは通気材と記す）は、土木工事等で土中排水材として利用されている板状排水材（以降、板状通気材と称す）を通気材として使用する。材料の選定要因は、①埋立て作業と同時期に

設備設置が可能であること、②通気・注水能力が十分ににあること、③設置時間、設置コストが従来方法に比べて有利なことである。表1に従来工法との比較を示す。また本工法で使用している板状通気材を写真1示す。

表1 安定化工法の比較

比較項目	水平通気材工法	垂直管埋込工法(従来工法)
施工方法	人力による敷設	ボーリング掘削方式
設備設置時期	埋立て供用中から	埋立て完了(閉鎖)後
通気材料	水平排水材	塩ビ穿孔管等
メリット	材料は地盤に透脱するため様々な形状に対して設置が可能	通気管の構造は単純
デメリット	通気材と送気部との接続に加工が必要となる。	基本的に埋立てが完了した部分でのみ設置可能
設備設置コスト	地盤状況、穿孔深度に左右されない	地盤状況、穿孔深度に左右される
通気材料コスト	材料自体は安価であるが加工費がかかる	孔用品のための安価

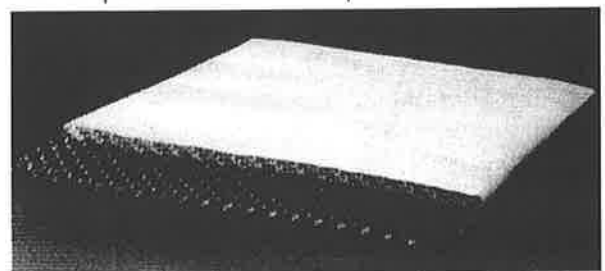


写真1 板状通気材

\* 土木研究室

## 2.2 板状通気材を利用した通気・注水システムの概要

板状通気材による通気・注水システムの概略を図1に示す。

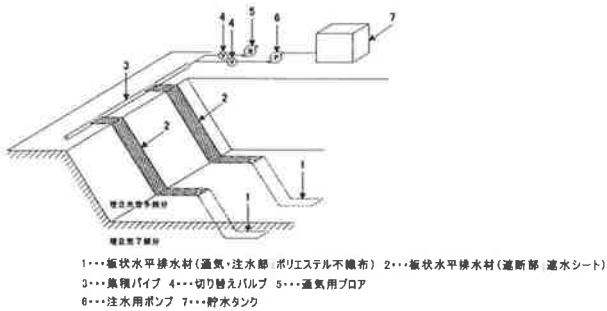


図1 通気・注水システムの概略

## 2.3 板状通気材

板状排水材の主な用途は、土中水の水平排水を目的とし、軟弱地盤上の盛土、地山からの湧水処理等で使用されている。表2にその特徴を示す。

表2 板状通気材の特徴

特徴	
①	目詰まりの無いフィルターと耐圧性能に優れた芯体構造により、長期にわたり高い排水能力が維持できる
②	フィルターと芯体ともに高強度で高い柔軟性を持ち、地盤の変化にも追従するため、折れや切断の心配が無い
③	軽量であるため施工性が良い
材質	
芯体:硬質塩化ビニル フィルター:ポリエステル長繊維不織布	
耐圧強度:250~500kN/m <sup>2</sup> 寸法:10(t)×300(B)*	
透水係数:10 <sup>1</sup> cm/s以上(水平), 10 <sup>-2</sup> cm/s以上(垂直)	
*本研究で使用した材料規格	
耐久性	
①	芯体、フィルター材ともに酸、アルカリに対する耐久性は問題ない。
②	高濃度のアルカリに関しては物性が低下する可能性がある。
③	塩化ビニルに関しては紫外線の影響を受けやすいことがある。

廃棄物処分場における使用条件は、

- ① 耐圧性：一般的な処分場の埋立て高さは5~20m程度である（大規模処分場では埋立て高さが50m程度になる場合もある。）。
- ② 耐久性：処分場に収集される廃棄物は様々な種類があり、耐酸性、耐アルカリ性、耐発熱性等が要求される。

①については、本研究で使用する板状通気材の耐圧強度は、250~500kN/m<sup>2</sup>であり、廃棄物の単位体積重量を一般的な土の単位体積重量 ( $\gamma=1.8t/m^3$ ) と同等とすれば、板状通気材は、約14~28mまでの埋立て高さの処分場に使用できる。②については表2の耐久性より芯材、フィルター材ともに酸、アルカリに対して問題ない。また紫外線に関しても、土や廃棄物によって埋設されるため直接紫外線があたることはない。材料の耐熱性は約80℃の熱水に対して変形することが確認された。処分場において、廃棄物層内の温度は高温時で80℃以上に達

することがあるが、断続的に外気を送っていることから板状通気材を処分場で通気・注水設備として使用することは基本的に問題ない。

## 3. 廃棄物最終処分場における実規模実験

### 3.1 実験概要

#### 3.1.1 実験場所および廃棄物の諸性状

首都圏某民間産業廃棄物処分場の埋立て敷地内に平成17年4月下旬~5月上旬にかけて設備設置作業を実施した。実験対象廃棄物容量約3,000m<sup>3</sup>(約2,300ト)。実験対象地における埋立て廃棄物の主な性状は、シュレッダーダスト、汚泥、焼却灰である。表3に廃棄物の諸性状を示す。

表3 廃棄物の諸性状

廃棄物種類	構成比率(%)	熱灼減量(%)	密度
汚泥	40	69.8	0.56
シュレッダーダスト	40	37.5	0.65
焼却灰	20	2.8	1.36

#### 3.1.2 実験設備

##### 1) 通気空気量の算定

安定化促進設備の規模を決定するために、通気に必要な空気量を算定する。ここでは以下の順序で必要空気量を算定し通気・注水設備の規模を決める。【算出手順】

- ① 二酸化炭素(炭素量として表現)1g発生するために必要な空気量
- ② 実験エリアに必要な空気量(廃棄物の性状から算出)
- ③ 板状通気材の基礎実験から得られた敷設間隔によって通気材1本あたりに必要な空気量を算出
- ④ 板状通気材の基本的敷設配列を決定する。

##### 【算出】

① 炭素のモル質量=12g/mol, 酸素のモル質量=32g/mol, 二酸化炭素炭素換算量1g処理するために必要な酸素量は $=2.67/32=8.34 \times 10^{-2} \text{mol}$ となり必要な酸素容量は、 $8.34 \times 10^{-2} (\text{mol}) \times 22.4 (\text{L/mol}) = 1.87 \text{L}$  空気中の酸素濃度を20%とすると必要な空気量は、 $1.87 \times 100/20 = 9.35 \text{L-空気}$ となる。

② 表3において各廃棄物の熱灼減量を有機物(炭素換算量)として計算すると、実験エリアに埋立てられた廃棄物1tonあたりに必要な空気量は、約4,000m<sup>3</sup>-空気となる。実験エリアの埋め立て容量は、約3,000m<sup>3</sup>(2,300ト)であるのでエリアに必要な空気量は、 $4,000 \times 2,300 = 9.2 \times 10^6 \text{m}^3\text{-空気}$ とな

る。これを1年間で処理するとすれば、約  $17.5\text{m}^3/\text{min}/\text{y}$  となる。

③ 次に、板状通気材1本あたりに必要な通気量を算出する。昨年度実施した板状通気材の基礎実験で、有効な通気材の敷設間隔は4mであった。板状通気材1本あたりに必要な通気量は、約  $190,000\text{m}^3$ -空気となる。1年間の通気運転で処理を行うとすれば、通気材1本あたりの通気空気量は、 $375\text{L}/\text{min}$  必要である。

以上より本実験において必要な板状通気材の本数は基本的には、 $17.5/0.375=47$  本となる。実験エリアの形状等を考慮した実際の使用本数は、42本とした。

各断面ブロックにおける廃棄物の容量と必要通気量を表4に示す。また、実験エリアの標準断面においてブロック分けした図を図2に示す。

表4 実験エリア断面図における必要空気量

断面ブロック	廃棄物量(L=4m当たり)	必要通気量(空気量)
1	51.4t	400L/min/y
2-4	48.4t	380L/min/y
5	44.1t	340L/min/y
6	21.8t	170L/min/y
7	24.8t	200L/min/y

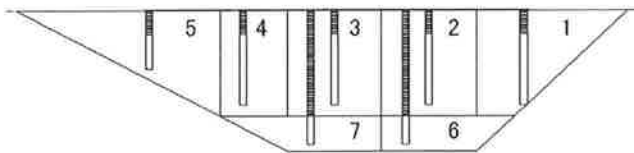


図2 実験エリア断面図

以上より実験エリアにおける板状通気材のレイアウトを決定した。

2) 板状通気材

本実験で使用した板状通気材の規格を表5に示す。板状通気材1本あたりの基本長は、10m(Aタイプ)、14m(Bタイプ)の2タイプを用意した。使用数量は、Aタイプが34本(延長340m)、Bタイプが8本(延長112m)である。通気部はAタイプでは全長、Bタイプにおいては先端部4mを通気部とし残り10mは袋状塩ビシートによって遮蔽している。写真2に板状通気材を示す。

表5 板状通気材の企画

材質		寸法		
芯材	フィルター	厚さ(mm)	幅(mm)	巻長さ(m)
硬質塩化ビニル	ポリエステル 長繊維不織布	10	300	50
耐圧強度		透水係数(cm/sec)		
kN/m <sup>2</sup>		水平方向	垂直方向	
	250	$1.0 \times 10^1$ 以上	$1.0 \times 10^{-2}$ 以上	

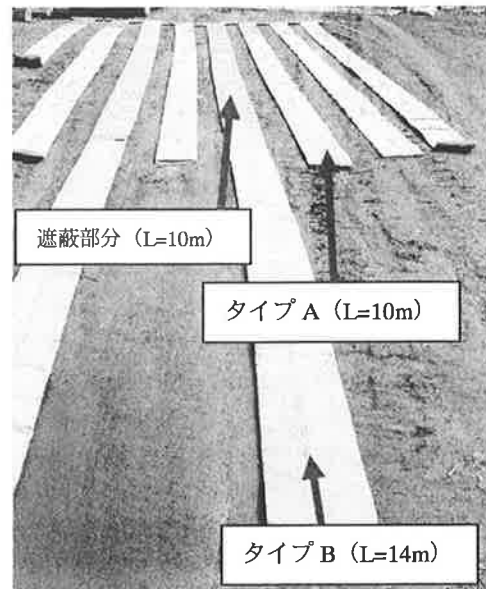


写真2 板状通気材形状

3) 使用資機材

通気を行うための設備として、最大送風  $8.0\text{m}^3/\text{min}$  の送風プロアを2台使用した。また、連続通気運転を実施すると廃棄物層内が乾燥する恐れがある。これは廃棄物中の有機物を分解する微生物に悪影響を与える。そのため廃棄物層内の乾燥を防ぐ目的で通気ライン中に100Lの注水用タンクを2台設置し通気運転を行った。

4) モニタリング設備

通気・注水実験中に廃棄物層内の通気状態、ガス、地中温度等を観測する目的で実験エリア内にモニタリング用の有孔管(塩ビ有孔管  $\phi 50\text{mm}$ ,  $L=4\text{m}$ ,  $8\text{m}$ )を15箇所(4m:12箇所, 8m:3箇所)に設置した。

5) 実験設備概要

実験設備の概要図を図3に示す。

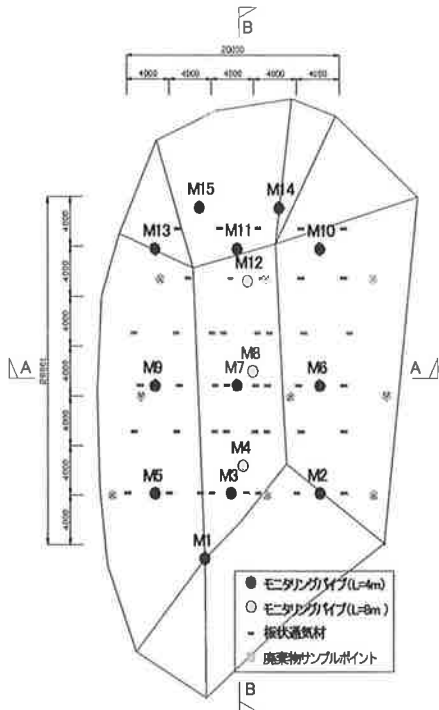


図3 実験設備概要

### 3.2 通気・注水実験

平成17年8月4日より通気を開始した。板状通気材1本あたりの通気量は、タイプA (L=10m×32本) が350L/min, タイプB (L=14m×8本) が200L/min (総通気量=32×350+8×200=12.8m<sup>3</sup>/min) で運転を開始し、下記の項目についてモニタリングを行い、通気運転による廃棄物の安定化促進の効果を評価する。通気運転期間は、約一年を予定している。

#### 3.2.1 モニタリング項目

通気によって廃棄物の安定化促進の効果を見るために、以下の項目についてモニタリングを実施した。

- ① 沈下測量：廃棄物の減容化による廃棄物沈下量を水準測量にて計測する。
- ② ガス濃度：通気運転開始前と運転中のガス濃度の変化をモニタリングパイプにて測定する。ガスの種類は、メタンガス (CH<sub>4</sub>)、酸素 (O<sub>2</sub>)、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 窒素ガスの4種類である。
- ③ 廃棄物層内温度：熱電対温度センサにて廃棄物層内の温度を測定する。通気空気および外気温も測定する。
- ④ 廃棄物サンプル：廃棄物サンプルを採取し、BOD、COD等の化学分析を行う。

測定頻度は、①、④が毎月1回程度、②、③は毎月2回程度とする。

### 3.2.2 測定結果

通気運転は、一年間を予定しているため、ここでは実験の経過を報告する。各項目におけるモニタリングの経過を下記に示す。

#### 1) 廃棄物沈下量

図4に示すように実験エリア内18箇所において地盤高を水準測量にて測定した。

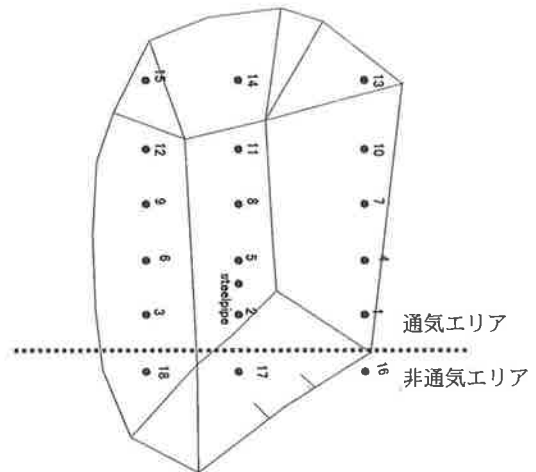


図4 廃棄物の沈下量測量ポイント

No.16~18は非通気エリア、エリア内に鋼管杭 (steel pipe) を下層の覆土層まで打設し実験エリアにおける廃棄物層の沈下と相対観測ができるようにした。沈下測量の経過をNo.1~No.9に関して図5に、No.10~18に関して図6に示す。

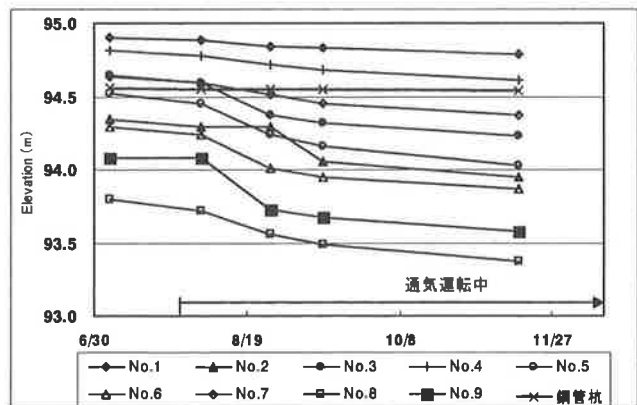


図5 No.1~No.9における廃棄物沈下量

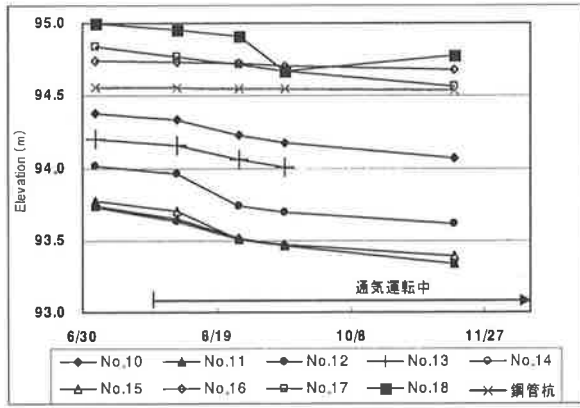


図6 No. 10～No. 18における廃棄物沈下量

7/5～11/16 (133日間)における沈下量の平均は、54mm、最大値は100mmであった。

この期間は、通気運転は行っていない。また鋼管杭の沈下量はわずか5mmであり、このことから、廃棄物中の水分が排出されて沈下しているか、廃棄物中の有機物の分解による減容化が徐々に進行していることが伺える。通気運転を開始した8/4～11/16 (93日間)における沈下量はさらに加速し、この期間における沈下量の平均は、129mm、最大値は347mmであった。

2) ガス濃度、廃棄物層内温度

図3に示したモニタリングパイプ内のガスをガスモニター (GA2000PLUS 英国製) で測定した。測定項目は、メタンガス (CH<sub>4</sub>)、酸素 (O<sub>2</sub>)、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、窒素ガスの4種類である。またモニタリング管外側に熱電対温度センサ (T型) を配置し、廃棄物層内の温度を測定した。温度モニタリングに関しては、データロガーを設置し、6時間毎に温度データを採取している。7/22～8/29までの測定結果を図7～図11に示す。ガス濃度測定は15箇所について測定した。その中でM1, M3, M4, M7, M8について掲載した。また、M1地点は、非通気エリア、M3, 7地点は地盤-4m部。M4, 8地点は地盤-8m部のモニタリングを行っている。

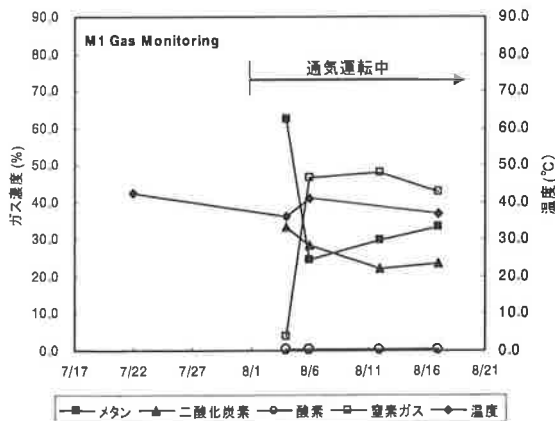


図7 M1 ガス濃度および層内温度

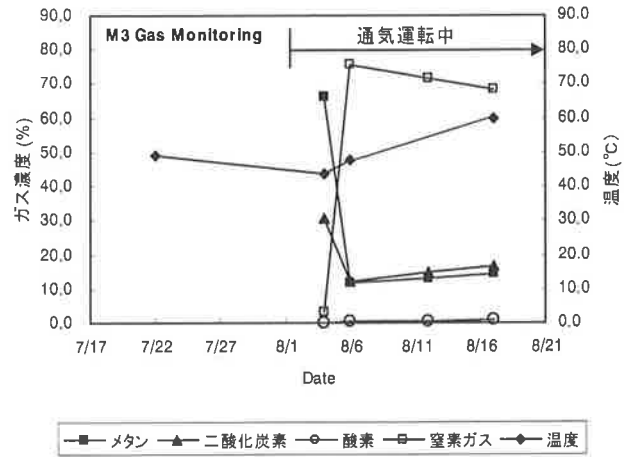


図8 M3 ガス濃度および層内温度

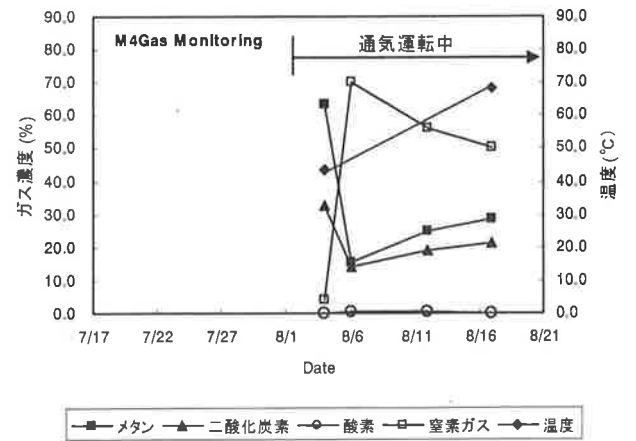


図9 M4 ガス濃度および層内温度

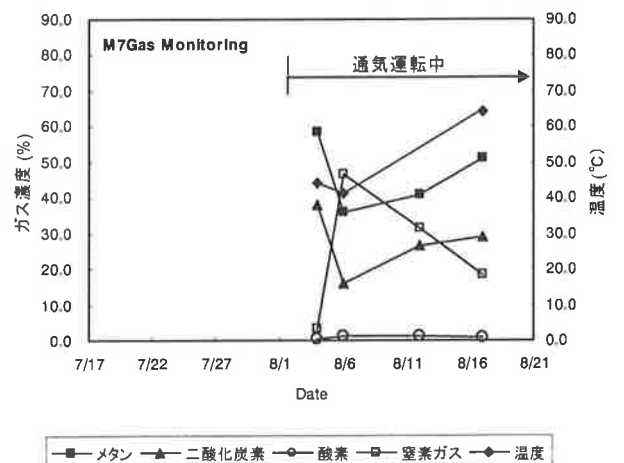


図10 M7 ガス濃度および層内温度

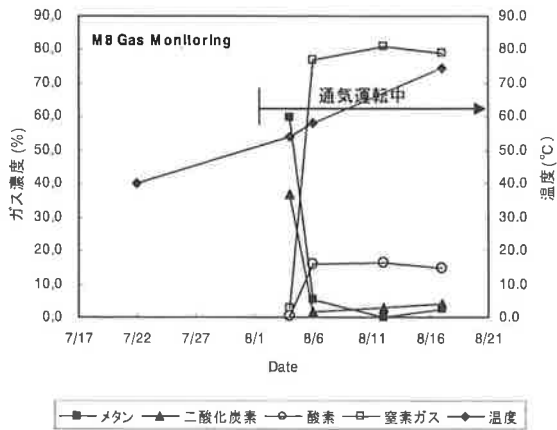


図 11 M8 ガス濃度および層内温度

ガス濃度の測定結果から、どの地点でも、メタンガス、二酸化炭素濃度が下がり、窒素ガス濃度が上がっている。温度に関して、通気を行っていないM1地点では40℃以下で大きな増減はないが、通気を行っている各地点では、温度の上昇が見られる。

### 3) 廃棄物サンプル、通気空気量について

廃棄物埋立ておよび通気運転開始前、通気運転開始1ヵ月後に廃棄物のサンプルを採取した。分析結果がすべて出ていないので結論できないが、廃棄物の安定化が進行していることは確認されている。主な分析項目は生物化学的酸素消費量 (BOD)、化学的酸素消費量 (COD)、全窒素、有機体炭素等である。

実験における通気量は計画時では、タイプAが350L/min、タイプBでは200L/minであったが、通気運転開始直後におけるそれぞれの空気量は、タイプAが平均250L/min、タイプBの平均通気量は200L/minであった。タイプBの通気量は計画通りであったが、タイプAでは計画空気量よりも少なかった。

## 4. 考察

### 4.1 地盤沈下について

通気運転を行っていない期間 (7/5-8/4) よりも通気運転中 (8/4-11/16) の方が沈下量は多かった。また、廃棄物層下の覆土層に支持している鋼管杭はほとんど沈下していない。このことから、通気運転開始後に廃棄物層内が嫌気的環境から好気的環境へ移行し、好気性微生物の活発な働きにより廃棄物中の有機物が嫌気的環境下よりも早く分解されていることが伺える。

廃棄物層内への通気により廃棄物の減容化が通常の準好気性埋立地よりも早期により進行すれば、廃棄物処分場の再生化を考える上で有効であると考えられる。

### 4.2 ガス濃度に関して

通気を開始してまもなく、ほとんどの地点で廃棄物層内のメタンガス濃度、二酸化炭素濃度が減少し、空気 (酸素濃度、窒素ガス濃度) が上昇した。これは、廃棄物層内のガスが通気を行うことによって空気で押し出されていると考えたが、多くのモニタリング地点での通気中の廃棄物層内のガスの構成を見ると、酸素濃度は数パーセント~10パーセント程度と通常空気中の酸素濃度と比較して非常に少ない (空気中の酸素は濃度21%) ことがわかる。廃棄物層内を通過した空気中の酸素は好気性微生物に消費され、その働きによりメタンガスが分解されていると考えられる。そのために多くの地点でのガス濃度は、メタンガス濃度、酸素濃度が低く、窒素ガス濃度は高くなっているものと推測される。

### 4.3 廃棄物層内温度に関して

廃棄物層内の温度に関しても通気後、地中温度は60~85℃となり、ほとんどの地点で急激に上昇している。廃棄物層内が嫌気的環境から好気的環境へと移行し、有機物の中でも分子構造が単純な易分解性有機物がまず分解される。このときの微生物の分解エネルギーによる温度は約30~50℃程度といわれている。その後、難分解性の有機物を分解するために、高温菌と呼ばれる微生物が活性化される。このときの廃棄物層内温度は、約65~80℃程度といわれている。本実験エリアにおいてもかなり高温状態となっており、微生物の活動が起こっていることが伺える。また、温度が低い地点 (30~40℃程度) ではメタンガス濃度が高く空気濃度も低くなっている。これは、その地点の廃棄物層内に空気が到達しておらず、通気運転前の状態と同様に嫌気性分解が進行していると考えられる。

温度の上昇が顕著な地点は、メタンガスの濃度も減少しており、窒素ガス、酸素濃度は上昇している。この地点では好気分解が進行していると考えられる。

ただし、高温菌が活動するための最適な温度環境は70℃以下が適しているといわれており、現状からさらに温度上昇が見られるようになると、通気量、注水量等をコントロールする必要がある。9/4現在、さらに地中温度が上昇したため、フロアによる空気量を50%減にして通気運転を再開している。フロアからの空気の温度もかなりの高温 (約60℃) でありそれも影響している可能性もある。空気量変更後の送風温度は約50℃、廃棄物層内温度も多少減少している。

## 5. おわりに

本来、土中の排水材として使用されている水平排水材を廃棄物中に敷設し、通気材として利用し、廃棄物の安定化促進の効果について実験を行っている。通気運転を開始してまだ、4ヶ月あまりしか経過していないが、その効果は、地盤沈下、層内ガス濃度、地中温度を見る限りでは、有効である。沈下に関しては通気前と通期中では明らかに違いが出ており、今後の測定にも期待が持てる。廃棄物処分場の新設が困難なのは立地場所の確保が困難なのではなく、周辺環境に対する不安が他のインフラ設備に比べ非常に大きなウェイトを占めていると考えられる。処分場の計画段階から、維持管理期間の短縮を考慮し、その効果によって跡地利用も早くできるということは、周辺環境に対しても配慮した処分場といえるのではないだろうか。本実験はまだ継続中であり今後も様々なデータを採取し、周辺環境にやさしい廃棄物処分場の建設、効率的な維持管理が行えるよう本研究開発を進めていきたい。

## 謝 辞

本研究開発の共同研究者である、大平興産株式会社山上毅氏、山上旭氏、大岡健三氏、森和男氏に厚く御礼を申し上げます。また、本実験における設備設置、運転管理、運転計測において多大な御支援、ご協力を頂いた、首都圏本部土木事業部施工統括部大塚山作業所の皆様にも厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 椿 雅俊：板状排水材を用いた通気・注水/集水・吸気設備の基礎研究、最終処分場における積極的な水・空気流入方法の検討、東急建設技術発表会論文集、30-C10
- 2) 田中信壽：環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理、技報堂出版、2000

## Development of an early stabilization method of a waste with air injection facilities in landfill

An early stabilization experiment of a waste with the board-shaped air injection materials

M.Tsubaki

In the landfill, the stabilization technology of the waste is required with the purpose which shortens the maintenance. If shortening in maintenance period becomes possible, it can assure the reduction of management cost and the effective utilization of completed landfill site. In this research, positively the air and the water are filled to the waste inside layer making use of the air gap of the plate shaped air injection material which is installed in the waste inside layer as a technology in order to assure shortening in maintenance period by installing air injection and pouring water equipment when reclaiming the waste, and effectiveness of the construction method which is altered in aerobic atmosphere is examined. In order to verify the effectiveness of this construction method, at the landfill which is in operation, air injection of the plate shaped draining material and verification of pouring water efficiency, verification of the operation characteristic in during filling work and verification of stabilization advance extent of the waste it did.

From start of experiment four months. In regard to the stabilization of the waste, it could verify this construction method that it is effective.