

圧気工法による廃棄物地盤の環境改善

小野 諭¹・加藤照己²・阪本廣行³・山田裕己⁴・石川浩次⁵

¹正会員 中央開発株式会社 (〒564-0062 大阪府吹田市垂水町 3-34-12)

E-mail:satoshi_ono@ckc-unet.ocn.ne.jp

²日本道路公団 (〒510-0832 三重県四日市市伊倉 1-2-14)

³フェロー会員 株式会社フジタ (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 5-8-10)

⁴正会員 株式会社フジタ (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 5-8-10)

⁵正会員 工博 中央開発株式会社 (〒169-8612 東京都新宿区西早稲田 3-13-5)

本論文では、廃棄物処分場跡地利用のためのガス対策事例研究として、基礎工事期間中の廃棄物地盤改良（環境改善）に関する検討を行った。事例は、国土開発幹線自動車道である第二名神高速道路の湾岸桑名インターチェンジを、産業廃棄物処分場に高架構造で建設する工事である。基礎工事時の環境改善および安全対策として、埋立地層内に空気を吹き込み、その流れを利用して埋立ガスを排出する‘圧気工法’を実施した。圧気工法により、ガス濃度を早期に安全なレベルまで低下させ、内部環境を改善することができた。本事例を通じ廃棄物地盤を改善する対策技術の調査研究を行い、累積送気量に対する地盤改良率（対策後濃度/初期ガス濃度）の関係を推定する方法を示した。

Key Words : reuse of completed landfill, pneumatic method, discharge of gas, waste, reclaimed ground landfill gas

1. 序論

今日、地球の温暖化と海面上昇、オゾン層の破壊、酸性雨、森林破壊、海洋汚染などが地球環境問題として提起され、さらに環境ホルモンによる生命体への危機と生態系の破壊なども環境との係りの中で問題視されている。足元では、生活系における地盤環境に対して土壌・地下水汚染が忍び寄り、やがて、地下に浸透した有害物質は長期間に亘る移動や蓄積を経て、地下水や大気を媒介に人体へと侵入する、と言う危険性が潜在している。しかし、健康被害と汚染源との間の時間的・地理的な乖離（文献¹⁾では地下水汚染の広がる速度は概略的に数百 m/年）が因果関係の特定を著しく困難にしていると言える。

次世代へ良好な環境を残すためには、埋立廃棄物が汚染源とならぬよう地盤工学的手法に基づいた、周辺環境と調和した永続的な共存というスタンスがとられる必要がある²⁾。廃棄物が埋立てられ覆土された処分場跡地、いわゆる廃棄物地盤³⁾の環境改善

（地盤改良・早期安定化）は、土木工学・地球環境学・地盤工学としての重要なアプローチである。我々が廃棄物と共存するためには、立地面・構造面からの管理とともに、最終処分場に集積された多様な化学物質が生活系に影響を及ぼさないように環境リスク管理を十分に行う必要がある^{4), 5)}。

こうした観点より、本論文では廃棄物地盤上での道路構築を目的としたガス対策事例研究として、環境改善策の検討を行った。事例は、三重県桑名市の揖斐川河口部を通過する第二名神高速道路の湾岸桑名インターチェンジの建設工事であり、その大部分が産業廃棄物処分場の架空部に計画され、道路本線およびランプ部は廃棄物の掘削を伴う橋脚工事となった。事前調査結果より、ガス発生や浸出水水質に関して施工および周辺環境への影響が懸念された。そのため、基礎工事期間中の環境対策（環境改善および安全対策）を目的に、埋立地層内に空気を吹き込み、その流れを利用してガス排出する‘圧気工法’を実施し早期に内部環境を改善したものである。

2. 廃棄物地盤における埋立ガス対策の概説

表 - 1 各種ガス抜き対策工の比較

(1) 埋立ガス対策の既往研究

a) ガス抜き工法の基本

廃棄物地盤改良（環境改善）のためのガス抜き対策工法を表 - 1⁶⁾ に示す。対策の基本は、埋立ガスを制御し埋立地層内に滞らせずに、安全な濃度範囲内で大気中に速やかに排出することである。

これらの対策工法には以下の効果が期待できる。

- ①気圧力差による物理的なガス抜きと、空気置換、
- ②層内の酸素濃度が上昇し嫌気性から好気性へ推移、
- ③酸化による温度上昇で、嫌気性微生物の活動が低下し、還元性ガスの発生を抑制。

対策工の特徴としては、自然排出工法(I)は、経済性や維持管理の面で優れており、長期的な管理が可能である。強制的な送気・吸引工法は、機械設備や運転経費を必要とするが効率的なガス対策により跡地を早期・短期利用する建設工事に適する。特に圧気工法(III or IV)は、埋立地層内に空気圧を与えガス流れの圧力勾配を大きくすることが可能で、送排出管の配置を広げられ設備費は相対的に低廉となる。さらに、送気量の増加によって、内部環境を早期に好気性雰囲気に変え、短期間に環境対策が行える。

ガス抜き工を実施する場合、周辺環境への影響を考慮し悪臭物質を取り除く必要がある。脱臭・消臭技術には、物理化学的処理（燃烧法や吸着法）と、生物処理（土壌脱臭や曝気式脱臭）がある⁷⁾。

b) 処分場での埋立ガス対策

厚生労働省は、安定型処分場における硫化水素ガスの発生原因について、福岡県、滋賀県の事例等から、基本的なメカニズムを推論している⁸⁾。これより、①高濃度な硫酸イオン、②有機物、③嫌気性条件、④水分、⑤硫酸塩還元菌等、が存在条件であり、硫酸塩を含む廃棄物（石膏ボード等）も供給源となりうることを提示している。

当面の対策として、i) 火山灰等を 30~50cm 敷設し硫化水素ガスを酸化鉄に固定させる、ii) ガス排出管による換気は徐かに行って改善を図る、とされており、換気によって埋立処分場内部を好気性雰囲気へ地盤改良する方法は、環境に好ましい工法であると考察できる。

c) 空気流入による地盤内部の環境変化

有機物の分解過程は関与するバクテリアによって好気性分解と嫌気性分解に区別される。廃棄物地盤においては、初期には内部の酸素によって好気性となるが、埋立後 1~2 年経過すると酸素が消費されて酸欠状態となり、次に嫌気性分解が盛んになる。嫌気性分解ではメタン、二酸化炭素、アンモニアや硫

名称	I 自然排出工法	II 吸引排出工法	III 圧気工法 (強制送気工)	IV 圧気工法 (送気・吸引併用工)
工法の特徴	煙突効果を用いた自然排気による排出	吸引装置を用いた強制吸引による排出	圧気装置を用いた強制送気による排出(空気置換、好気性化)	圧気装置と吸引装置を用いた送気・吸引併用による排出(空気置換、好気性化)
工法の詳細				
経済性	設備費 △, 運転費 ◎	設備費 △, 運転費 ○	設備費 ○, 運転費 △	設備費 ○, 運転費 △
排気効果	×	△	○	◎
脱臭効果	△	○	△	◎
施工実績	○	△	○	○
総合評価	△	△	○	◎

C: 圧気装置, V: 吸引装置, P: 脱臭装置

化水素が発生する。好気性では酸化発熱によって地中温度が 50~60℃ 程度まで上昇し、嫌気性条件下では 30~40℃ の中温菌の活動域となる⁹⁾。そこで、圧気工法を施工することによって埋立地層内部が好気性環境に変化し、ガス対策が効果的に発揮される。

(2) 埋立ガス対策の施工事例

圧気工法による埋立ガス対策の施工事例を表 - 2 に示す¹³⁾。一般廃棄物埋立地の事例 Site A¹⁰⁾ では、プレロードと圧気工法(III)により埋立ガスの排出促進を行い、改善効果が得られた。産業廃棄物埋立地の事例 Site B¹⁴⁾ では、埋立ガスの排出口を地上高く設置し埋立地層内への送気口との高低差を設けた。排出口には地上風によって発揮された吸出力（煙突効果）が生じ、それによって埋立地層内に空気の流れが伝播してガス抜きが促進される自然排出工法(I)と、圧気工法(III)を実施した。送気による埋立ガスの押し出し排除と同時に好気性雰囲気への推移、地盤改良・安定化効果が得られた。

Site C¹⁵⁾ においては、埋立ガス対策のための試験施工を行い、事前に、排出効率・改善効果並びに脱臭効果に関する予備施工を行った。跡地の管理技術としては、沈下、ガス、水質の制御が主体となる。この内ガス抜き工は、埋立ガスによる環境リスクを軽減して、跡地を安全かつ高度に利用するための方策として有効であり、しかも十分な効果が得られる工法である¹⁶⁾。そこで、Site C において得られた知見について以下に述べる。

表 - 2 廃棄物地盤におけるガス抜き圧工の総括表

施工サイト	Site A (文献 10)	Site B (文献 11)	Site C (文献 12)
埋立地概要	廃棄物種類	一般廃棄物	産業廃棄物
	埋立時期	昭和 30 年代前半	昭和 40 年代後半～50 年代後半
	埋立時期	昭和 30 年代前半	昭和 40 年代後半～50 年代後半
	埋立時期	昭和 30 年代前半	昭和 40 年代後半～50 年代後半
ガス抜き工	面積 (m ²)	3,600	12,000
	最大層厚 (m)	6 (平均 2.8m)	25 (平均 15m)
	容量 (m ³)	約 10,000	約 180,000
	容量 (m ³)	約 10,000	約 180,000
埋立地状況	対策工施工時期	昭和 59 年	平成 7 年
	採用工法	強制送気工法	自然排出工法 + 強制送気工法
	対象範囲 (m ²)	敷地全区域 10,000	敷地全区域 180,000
	ガス抜き設備 (孔数)	送気孔 23 ヶ所 排気孔 30 ヶ所	送気孔 18 ヶ所 排気孔 16 ヶ所
	施工期間	累計 236.5 時間 (間欠稼働)	4 ヶ月延べ 960 時間 (昼間稼働)
	圧気総量 (m ³)	14,190	288,000
	圧気総量/対象土量比率	1.5	1.6
埋立地状況	特徴	プレロード工法との併用	二種類のガス抜き工を連続施工
	特徴	プレロード工法との併用	二種類のガス抜き工を連続施工
埋立地状況	施工前のガス濃度	酸素 0.26～0.58%・メタン 63.6～78.5%・二酸化炭素 18.0～31.0%・硫化水素, アンモニア	酸素 3.7%・メタン 29.5%・硫化水素 163ppm・二酸化炭素 7.5% (平均)
	施工後のガス濃度	酸素 10%以上 メタン 3%以下	酸素 2.5%・メタン 2.2% 硫化水素 0.49ppm・二酸化炭素 5%

3. 廃棄物地盤における道路建設の概要

(1) 処分場の概要

当該処分場の規模は、面積 5.1ha、容積 42.5 万 m³ である。地盤面より 10m まで掘り下げ、4～10m の高さまで産業廃棄物を埋立てている。構造としては、底面に厚さ 1.5mm の超軟質ビニールシートを敷設し、その上部に浸出水の集水施設を設けた管理型処分場であり、場内の水位が上昇するとポンプアップして水処理施設へ送られる仕組みである。

埋立廃棄物は、汚泥 20 万 m³、ガラス陶磁器くず 6 万 m³、鉱さい 4.3 万 m³ が全体の 71% を占めている。有機汚泥、動植物性残渣等が 4.6 万 m³ 含まれており、嫌気性消化によってガス化、液化が進んでいる。場内のモニタリング井における事前のガス分析結果では、メタン 4～92%、硫化水素 0～111ppm、GL±0m トルエン 9～452ppm 等の濃度で埋立地層内にガスが滞留している¹⁷⁾。

基礎工事に際して、場内の汚水処理や有害ガスの発生に関して以下に示す影響が懸念された。

- ① 悪臭発生に伴う周辺環境や作業環境への影響,
- ② 作業員の中毒や酸素欠乏等の健康・生命への影響, GL-40m
- ③ 可燃性ガスの自然発火や建設機械稼働時の爆発・引火等の工事災害の可能性, 等。

(2) 道路建設工事の概要

第二名神高速道路の湾岸桑名インターチェンジは、揖斐川河口部に設けられるシングルトランペット構造形式である。高速道路本線およびランプ部は高架構造となり、図 - 1 に示すように処分場内に橋脚を 7 基設置する計画である。橋脚基礎は、図 - 2 に示すように GL-45m 付近を支持層とする鋼管矢板基礎構造である。

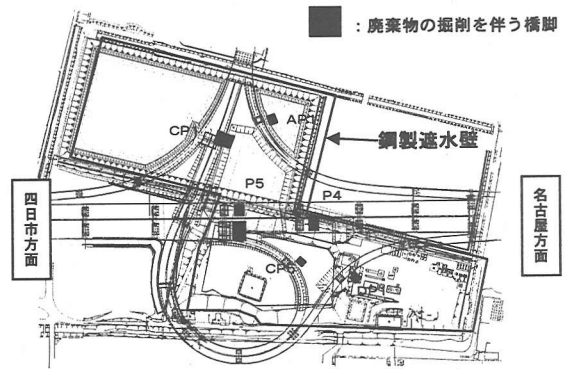


図 - 1 廃棄物処分場平面図

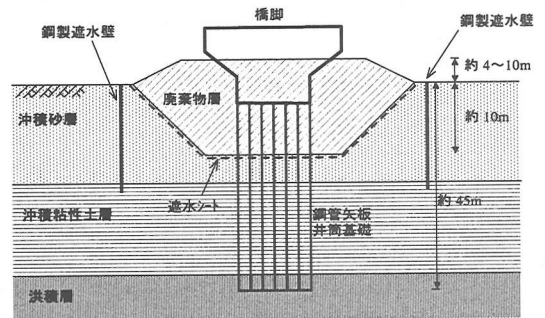


図 - 2 橋脚基礎工事の概要

基礎地盤は廃棄物層、砂層と軟弱なシルト層が 40m まで厚く堆積しており、橋脚の設置に際しては鋼管矢板を支持層まで打設する必要がある。

そのために、鋼管矢板で囲まれた内部の廃棄物を掘削除去する必要があり、橋脚部工事において埋立ガス対策（ガス抜き）工を実施した。

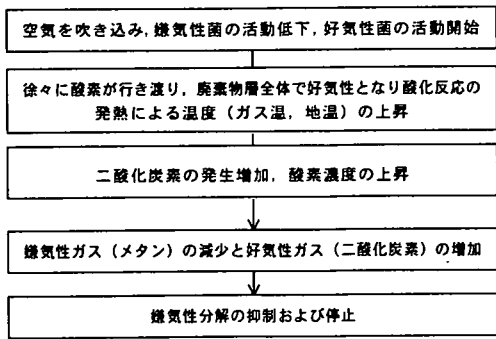


図 - 5 ガス抜き圧気工による廃棄物層内の環境変化

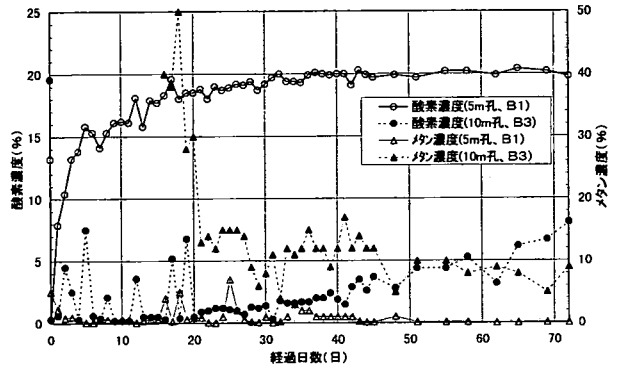


図 - 7 酸素・メタン濃度の経時変化

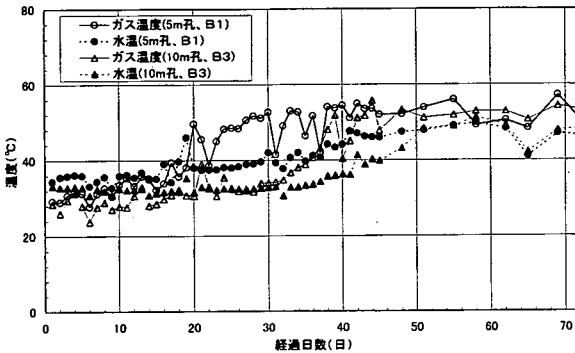


図 - 6 ガス温度・水温の経時変化

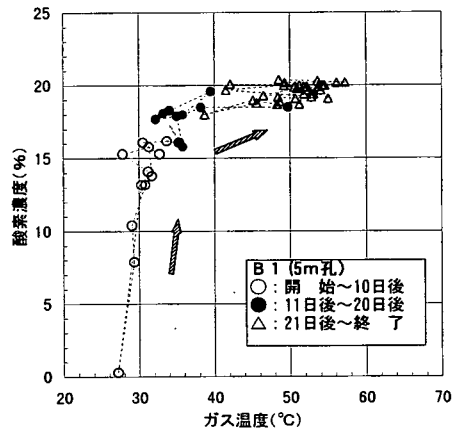


図 - 8 酸素濃度とガス温度の関係

②酸化発熱

送気開始からのガス温度および水温の経時変化を図 - 6 に示す。空気の供給に従って酸素量が増加し酸化および好気性分解が促進された。孔内ガスおよび水温は、50℃程度まで上昇し酸化発熱したと考えられる。

③孔内ガス濃度の変化

送気による酸素・メタン濃度の変化を図 - 7 に示す。送気孔より 5m 離れた排出孔では、酸素濃度は 20% まで増加し、メタンガス濃度は 1~2% に減少し内部環境が改善された。

④好気性分解

送気状態における酸素濃度-ガス温度の関係を、図 - 8 に示す。送気によって、酸素濃度は 20% まで増えそれに伴いガス温度が 50℃ 程度まで上昇した。これは好気性分解の結果と判断される。

田中は、内径 25cm のカラムに、32cm のごみを充填した加湿通気実験を行っている²⁰⁾。実験によると通気後、カラム内温度は 1 日で初期ピーク、中温菌の活動である 40℃ 程度となった。次に、3~7 日に再び上昇して 60℃ (高温菌の活動) に達し、大きな酸素消費と発熱を伴う反応となった。この分解には好気性分解で約 3 週間、嫌気性で約 4 年を要したとしている。

すなわち、送気による好気性促進は、嫌気性状態に比べ地中温度の上昇と同時に分解速度に関して非常に優位であり地盤安定化に寄与すると判断される。

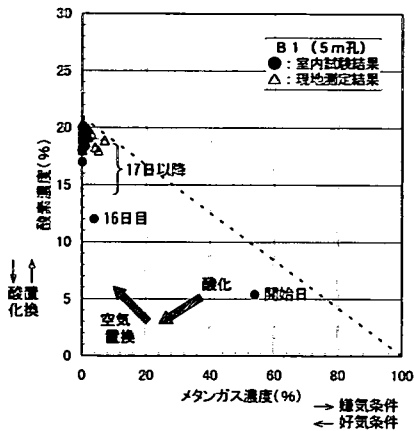


図 - 9 酸素濃度とメタンガス濃度の関係

b) 試験工による効果

①空気置換効果

送気状態での酸素-メタン濃度の関係を図-9に示す。横軸のメタン濃度は、好気性～嫌気性条件の指標を表し、縦軸の酸素濃度は、酸化（酸素消費）状態と空気置換（好気性雰囲気への推移）を表す指標となる。つまり、図中矢印の方向にガス濃度が変化し、環境改善されると予測される。

送気によりメタン濃度は減少し続けるが酸素濃度は一旦減少（酸化）が起き、その後上昇（空気置換）するという2段階推移を呈して地盤環境の改善が進行するものと推測される。なお、酸化は温度上昇とも関連し、空気置換は、送気量と排出ガスの体積比率、地盤の透気性、間隙率、均質性等に依存するものと考えられる。

②地盤環境の改善効果

累積送気量-メタン濃度の関係を図-10に示す。メタン濃度を1.5%以下とするのに要する送気量は平均して4,000 m³ (B1地点において2,000m³, B2で6,000 m³)である。送気量はガス抜き対象土量（半径5m, 深さ4mが影響範囲と考えられ300m³程度）に対して約13倍と求まる。

累積送気量と酸素濃度の関係を図-11に示す。酸素濃度を18%以上とするのには、累積送気量は平均18,000m³ (B1; 10,000m³, B2; 28,000m³)であり対象土量の約60倍に相当する。さらに19%以上に対して平均25,000m³ (B1; 15,000m³, B2; 35,000m³)であり、対象土量の80倍の送気量（空気容量）が必要であることが予測された。

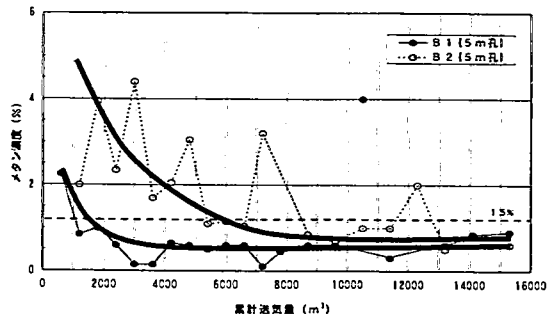


図 - 10 累積送気量とメタンガス濃度の関係

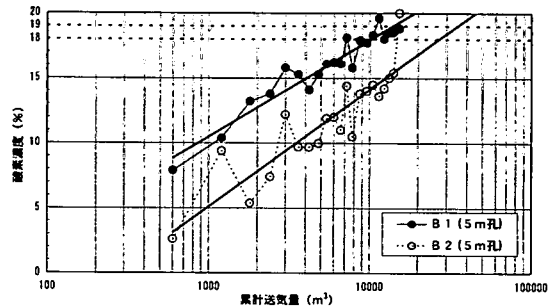


図 - 11 累積送気量と酸素濃度の関係

③土壌脱臭装置による脱臭効果

排出ガスは微生物の浄化作用を利用した土壌脱臭装置により、悪臭成分を除去した。その結果、アンモニア、二硫化メチル、トリメチルアミン、アセトアルデヒド、キシレンはほぼ100%除去され、トルエンは88%除去され、高い脱臭効果が得られた²¹⁾。

(2) 埋立ガス対策の試験施工結果

試験施工の結果、以下の事実が判明した。

- i) 送気孔より5m離れた排出孔では、埋立ガスが空気置換され、ガス対策効果が明確に現れた。
- ii) 送気孔より10mの範囲においては、40日経過頃から対策効果が徐々に現れ始めた。
- iii) 給気孔C1（図-4のB5への自然送気）によって埋立ガスが排出され、埋立地層内部の環境が改善（酸素濃度の2~3%増加）された。
- iv) 送気孔より20mの位置では、試験施工の期間内では明確なガス対策効果は得られなかった。

酸素濃度の増加あるいはメタンガス濃度の減少は、具体的な空気置換効果を表すものであり、累積送気量とガス濃度の関係から施工管理基準を決定した。

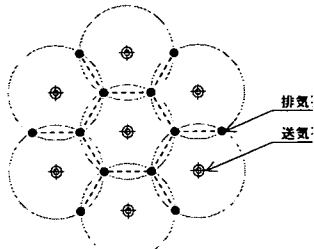


図 - 12 多眼ハニカム型ガス抜き工の配置モデル

表 - 4 ガス抜き施工ステップおよび管理基準

ステップ	施工時期	管理基準	考え方
一次ガス抜き	全旋回産廃置換工開始前	メタン濃度 1.5%以下	特に爆発・引火の危険性があり、メタン濃度が問題となる
二次ガス抜き	井筒内掘削開始前	酸素濃度 19%以上 メタン濃度 1.5%以下	井筒内での作業のため、特に注意が必要であり、最も厳しい条件で設定
三次ガス抜き (CP1のみ)	井筒外掘削開始前	酸素濃度 18%以上 メタン濃度 1.5%以下	地表に近い状態での作業であり、井筒内掘削より若干緩和した条件で設定

5. 廃棄物地盤における埋立ガス対策工

(1) 掘削工事における埋立ガス対策

a) ガス抜き対策工の施工計画

ガス抜き試験施工の結果より、以下の効果が期待できた。

- i) 酸欠、爆発・引火等に対する安全性確保、火気類が常時使用できることによる作業能率の向上、
- ii) 掘削等の工事における周辺居住区への悪臭ガスの排出を抑制（ガス濃度の低下）、
- iii) 施工時に必要以上の過大な安全対策費を掛ける必要が無く、施工コスト縮減への寄与。

こうした試験施工の効果を踏まえ、基礎掘削工事に対する埋立ガス対策工の施工指針ならびに方法を検討し、次の施工計画を立案し実施した²²⁾。

- ①送気孔と排出孔の設置間隔は 5m とし、埋立地層内に複雑・不均質に存在する有害ガスを一様に効率よく排出し、空気置換できる「多眼ハニカム型」圧気-吸引排出工法（図 - 12）を考案した。
- ②施工ステップおよびガス濃度の管理基準を、表 - 4 の通りとした。
- ③圧気・吸引設備は 24 時間連続稼働とし、土壤脱臭装置を介して大気中に放出することとした。

b) 対策工の実施工

処分場内に設置される橋脚は鋼管矢板井筒基礎であり、地下 10m までの埋立地層内での鋼管矢板打設、井筒内掘削を行う。図 - 13 に基礎工事およびガス対策工の施工フローを示す。CP1 橋脚におけるガス抜き対策を図 - 14 に示す。

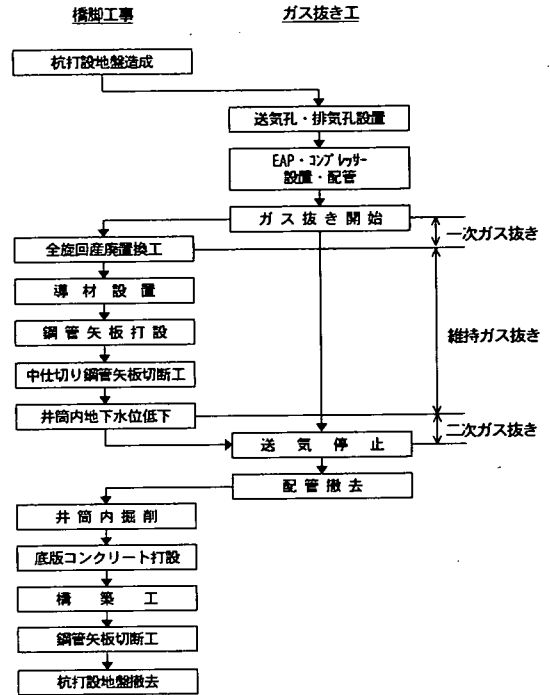


図 - 13 ガス抜き工と橋梁工事との関連フロー図

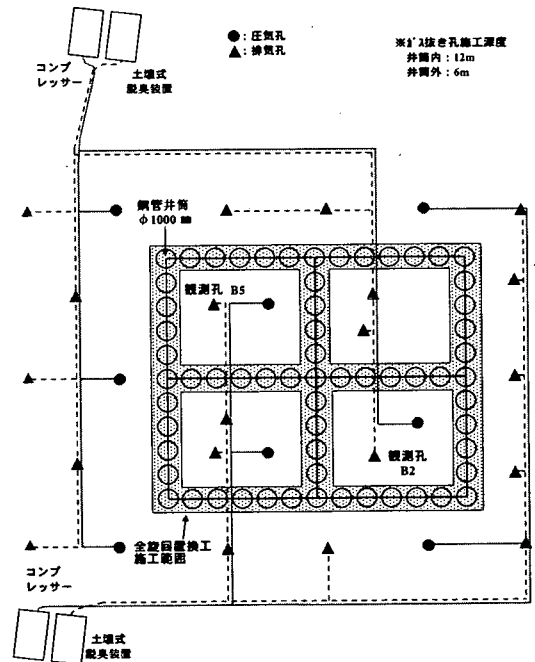


図 - 14 事前ガス抜き工配置図 (CP1 橋脚)

表 - 5 ガス抜き工の所要日数 (CP1 橋脚)

ステップ	対象産廃土量 (m ³)	所要圧気量 (対象産廃土量×20・80・60倍)	所要圧気日数	
			計算日数 (3.7m ³ /min × 60min × 24hour)	計画日数
一次ガス抜き	2,050	41,000	5.7	10
二次ガス抜き	1,320	105,600	14.7	20
三次ガス抜き	3,520	211,200	29.3	35

圧気装置及び吸気装置は 3.7m³/min の能力のものを 2セットとする

送気孔、排出孔はそれぞれ井筒内外に千鳥状に配置し、井筒外側は地下水水位以下 1m (GL - 6m) まで、井筒内は床付け以下 1m (GL - 12m) まで設置した。コンプレッサーでの送気と吸気ファンを毎分 3.7m³ で 24 時間運転とした。表 - 5 に計画ガス抜きの所要日数を示す。

c) 対策工の効果

①メタン濃度

メタンガス濃度の経時変化を図 - 15 に示す。一次ガス抜き (管理基準値：メタン濃度 1.5%以下) においては、計画所要日数 (10 日間) で管理基準値をクリアした。鋼管矢板打設時に、打設前および継杭 (3 本継) の溶接前に鋼管の内外でガス計測を行っているが、メタン濃度は殆ど 0% となっており、ガス対策工の効果が顕著であった。

②酸素濃度

酸素濃度の経時変化を図 - 16 に示す。ガス抜き開始後 20 日で管理基準 (酸素濃度 19%) を満足した。ただし、障害物撤去工等の作業において圧気・吸引ホースを一時的に取り外したため、観測孔の一つでは、16% から 8% 程度に低下した。この圧気システム停止による影響はメタン濃度にも現れ、一時的に 3% まで上昇した。

③地中ガス温度

ガス温度の経時変化は、ガス抜き開始後約 10 日で当初の 30℃ から 80℃ 近くまで上昇し、その後 50℃ 付近まで下がり安定した。送気により埋立地層内で好気性分解が急激に起こり、それに伴う発熱によってガス温度が上昇した。そして、酸化現象の飽和による分解の停滞か、あるいは送気の停止による還元状態の復活により温度が低下したと考えられる。しかし、当初の 30℃ より 20℃ 程度高く、好気性分解が引続き行われていると判断できる。

④脱臭効果

土壌脱臭装置により、アンモニア等はほぼ 100% 除去され処理後の濃度は 0ppm、またトルエンは 88% が除去され 80ppm 以下の濃度となった。

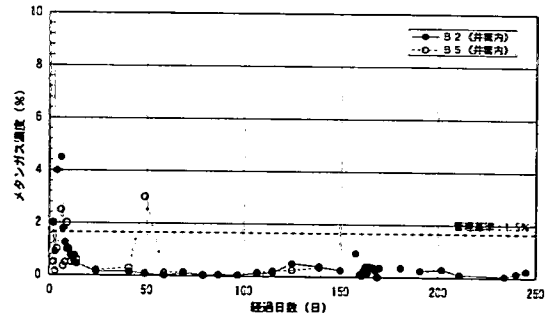


図 - 15 メタンガス濃度の経時変化 (CP1 橋脚)

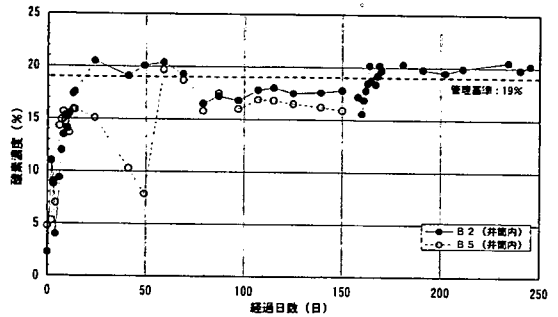


図 - 16 酸素濃度の経時変化 (CP1 橋脚)

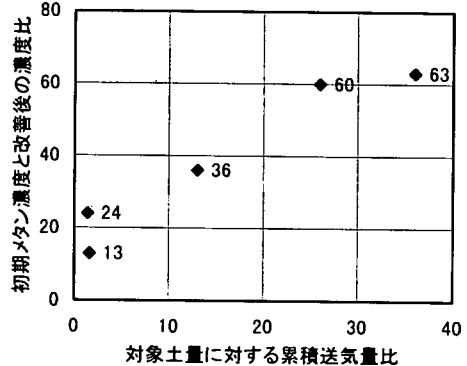


図 - 17 メタンガス濃度変化と送気量との関係

(2) 埋立ガス対策による環境保全

処分場内の掘削工事において、爆発性ガスや悪臭に対する環境保全対策を実施した。数地点での検討結果、約 30~90% の初期メタンガス濃度を 1.5~3% に低減させたデータに基づき、埋立地層内への送気量と環境改善の関係を図 - 17 に表した。横軸は対象土量に対する累積送気量の比率 (倍率) を示し、縦軸は初期のメタン濃度と対策 (改善) 後の濃度比を示す。

工事の安全性確保に着目した場合、初期メタンガス濃度と改善目標濃度より空気送入量が推定される。すなわち、埋立ガスが濃度 60%であったものを 2%まで下げ、1/30 に通減するのに必要となる送気量は改善対象範囲土量の概略 10 倍となる。このようにガス抜き工は、掘削等の工事に先行して埋立ガスを空気置換でき、環境対策に非常に有効であり、かつ施工上重要な情報を与える。

6. 結論

本研究では、廃棄物地盤を跡地利用する際のガス対策事例研究として、廃棄物の掘削を伴う工事の環境保全対策について検討した。基礎工事期間中の環境対策（環境改善および安全対策）を目的に、埋立地層内に空気を吹き込み、その流れを利用して埋立ガスを排出する「圧気工法」を実施した。この工法は送気による酸素濃度の増加と、空気の流れを利用した内部ガスの押し出し効果が期待され、早期に埋立地層内の環境を改善することができる。得られた結果を要約すると以下の通りである。

- 1) 圧気工法によって送気孔周辺の埋立ガスが空気置換され、改良効果が明確に現れた。本事例では半径 5m の範囲の排出孔で確認した。
- 2) ガス抜き試験工によって、本工事における施工管理基準を設定することが可能となった。本事例ではメタンガス濃度を 1.5%以下とする場合、対象土量に対して約 13 倍、酸素濃度 18%以上の場合では約 60 倍、19%以上で約 80 倍の送気量（空気容量）が必要であるとの結果が得られた。
- 3) 施工時の安全性確保、火気類の使用が常時可能になることに伴う作業能率の向上、過大な安全対策や周辺居住区への環境保全等を行う必要がなく、全体工事へのコスト縮減に寄与することができた。
- 4) 廃棄物地盤での工事は、予備試験施工を行い、ガス抜きの効果を確認した上で、対象地域全体における適切な工事計画・実施が肝要と考えられる。
- 5) ガス抜き対策工は、圧気および吸引排出を継続することが必要である。送気を中断した場合には、残留している有機物により酸素が消費され、再び無酸素状態になり嫌気性分解が始まることになる。すなわち、埋立ガス濃度は現状維持ではなく元の状態に戻るため、施工期間や仮設、本設等の工事目的に応じたガス抜き対策計画が求められる。
- 6) 廃棄物処分場跡地でのガスの発生状況は、処分場の内容物や経過期間等により異なると思われる。今回の試験施工による送気量の推定が本工事にお

いても有効であることが確認された。従って今後このような事例でのガス抜き管の間隔、送気量の検討に関しては事前の試験施工が有効となると考えられる。

廃棄物を土木材料として有効利用した工事に比べて、地盤としての取組みに関しては公表データは非常に少ない²³⁾。結論として、廃棄物地盤における基礎工事は埋立ガス対策としての試験施工、ガス抜き本施工ならびに廃棄物の掘削と続ける中で、有害ガスに対する工事中の安全と周辺環境保全に関して予防・対策・処置をしながら、施工することが基本であると考えられる。また、対策工の配置設計思想および実施結果は、他のサイトにおける廃棄物地盤の有効利用に際して、十分な参考情報を提供するものと考えられる。

謝辞：本事例、Site C の道路建設は、廃棄物地盤の積極的利用にまでは立脚していないが、周辺環境保全に対して積極的な活動を取り入れた。なお環境対策に関しては、福岡大学花嶋教授を委員長とする第二名神高速道路産廃処分場内における施工検討委員会からの示唆に富むご討議ご指導を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤縄克之：汚染される地下水、共立出版、1990。
- 2) 嘉門雅史：建設廃棄物のリサイクル、地質と調査、No. 85、p. 1、2000。
- 3) 玉川弘志、竹本久夫、石川浩次、小野諭：廃棄物地盤の環境改善としての圧気工法、土と基礎、Vol. 45、No. 7、pp. 30-32、1997。
- 4) 嘉門雅史、岡田純治、小野諭：廃棄物処分場の計画から施工まで、廃棄物と建設発生土の地盤工学的有効利用、地盤工学会、pp. 139-196、1998。
- 5) 嘉門雅史、玉野富雄、勝見武、小野諭：廃棄物の埋立処分・処分場の跡地利用とリスク管理—山から海へ、そして地下へ—、土と基礎、Vol. 47、No. 1、pp. 19-22、1999。
- 6) 小野諭：早期安定化と跡地の維持管理、環境技術、Vol. 29、No. 2、pp. 57-62、2000。
- 7) 石黒辰吉：臭気対策の基礎と実際、オーム社、1997。
- 8) 厚生省水道環境部産業廃棄物対策室：廃棄物最終処分場における硫化水素対策検討会報告書骨子、2000年9月6日。
- 9) 松藤康司：廃棄物埋立の微生物分解過程に関する研究、関西学院大学学位論文。
- 10) 石川浩次、小野諭：プレロードおよびガス抜き工による廃棄物地盤の改良事例、土と基礎、Vol. 40、

No. 6, pp. 41-44. 1992. 6.

- 11) 小野諭：廃棄物地盤の調査・対策と跡地利用，第2回環境地盤工学シンポジウム，地盤工学会，pp. 99-104. 1997.
- 12) 小野諭，加藤照己，朝田泰，山田裕己，石川浩次，福原誠：産業廃棄物処分場跡地における工事の環境保全対策（1），土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ - B 364, 2000.
- 13) 小野諭，石川浩次，福原誠：廃棄物地盤の跡地利用とガス抜き圧気工法，土木学会第56回年次学術講演会，Ⅲ - B319, 2001.
- 14) 中世古幸次郎，石川浩次，小野諭：廃棄物埋立地の跡地利用と地盤調査，第1回環境地盤工学シンポジウム，土質工学会，pp. 157-164，1994.
- 15) Ono, S., Ishikawa, K. and Fukuhara, M.: Environmental Improvement by Pneumatic Method to Utilize Waste Landfill, *Creation of New Geo-Environment, Fourth Kansai International Geotechnical Forum* JGS, pp. 113-118, 2000.
- 16) 小野諭：廃棄物の処理処分・廃棄物地盤の跡地利用と地盤改良技術，材料，Vol. 49, No. 11, pp. 1249 - 1254, 2000.
- 17) 山田裕己，加藤照己，朝田泰，阪本廣行，石川浩次：産業廃棄物処分場跡地における工事の環境保全対策（2），土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ - B365, 2000.
- 18) 山田裕己，加藤照己，砂金克明，朝田泰，阪本廣行，石川浩次，小野諭，福原誠：産業廃棄物処分場跡地における工事の環境保全対策，第4回環境地盤工学シンポジウム，地盤工学会，2001.
- 19) 小野諭，加藤照己，朝田泰，阪本廣行，山田裕己，石川浩次，福原誠：廃棄物処分場跡地における道路建設の環境保全対策について（2）-ガス抜き事例について-，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，廃棄物学会，pp. 1135-1137，2000.
- 20) 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，p. 242, 2000.
- 21) 阪本廣行，朝田泰，山田裕己，加藤照己，小野諭，石川浩次，福原誠：廃棄物処分場跡地における道路建設の環境保全対策について（1）-発生ガス対策について-，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，廃棄物学会，pp. 1132-1134，2000.
- 22) 福原誠，加藤照己，砂金克明，朝田泰，阪本廣行，山田裕己，石川浩次，小野諭：廃棄物処分場跡地における高速道路建設-地盤環境改善としてのガス抜き工法とその適用-，第4回環境地盤工学シンポジウム，地盤工学会，2001.
- 23) 岡田純治，小野諭，久保田耕司：廃棄物処分場の跡地利用，廃棄物学会誌，Vol. 12, No. 3, pp. 170-182，2000. 5.

(2001. 9. 3 受付)

ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT BY PNEUMATIC METHOD TO UTILIZE WASTE LANDFILLS

Satoshi ONO, Terumi KATO, Hiroyuki SAKAMOTO,
Hiromi YAMADA and Kouji ISHIKAWA

The interchange of the expressway is now under construction on the industrial waste disposal site. It is predicted that some environmental trouble will arise. So we consider that we must evaluate safety from a standpoint of environmental geotechnics.

In this paper, we describe the pneumatic improvement method to utilize for waste sites by means of disposal system of a waste landfill gas. To discharge landfill gas, we installed the exhaled-inhaled system in the waste landfill. Judging from the results of gas distribution extent and gas concentration, the pneumatic method will be useful to environmental improvement. The high level safety of landfill gas was confirmed by becoming aerobic conditions into ground.