

II-5-3-7 汚泥処理工程での脱水ケーキからの腐敗ガス発生による問題とその対策について

愛知県
(財)愛知水と緑の公社
○久保裕志
森田義和 金島知巳
丸山 司

1. はじめに

流域下水道の終末処理場において、汚泥脱水ケーキから発生した腐敗ガスにより、焼却炉への送泥経路の一部が高圧となり、設備が破損するトラブルがあった。原因は、密閉された環境内で脱水ケーキから生成した腐敗ガスであった。また、そのガスにはメタンが含まれており、管理方法によっては爆発等のより重大な事故発生の原因となりがねない状況であった。そこで、このようなリスクが存在すると思われる稼働中の複数の実設備を調査・点検するとともに、脱水ケーキが密閉条件下で腐敗したときの発生ガスの成分と特性について実験を行った。本稿では、これらの調査、実験から得られた結果と、今後の管理上の留意点について得られた知見を報告する。

2. トラブルの概要

間欠運転を行っているA処理場の流動焼却炉で、定量フィーダー下部の汚泥圧送ポンプ押込部の鋼板製カバーの溶接部が破壊し、破裂音とともに汚泥が噴出した。時期は夏場であり内部温度はかなり上昇していたとみられる。同設備は直ちに使用停止とし、調査を開始した。ここで同様の構造をもつB処理場の設備について、類似箇所が発生したガスを採取し分析したところ、その成分はメタン18%、CO₂ 63%、硫化水素2000ppmであった。同処理場には汚泥消化プロセスはなく、腐敗ガス中に高濃度のメタンを含むことは予想外であった。メタンは空気と混ざると5%~15%程度で爆発するため、取り扱いに留意しなければ重大な事故を招くおそれがある。そこで各種の汚泥を用い腐敗ガス発生実験を行うこととした。

表-1 実験条件および汚泥の性状

3. ガス発生実験

3-1 実験方法

現場状況を再現するため採取汚泥を密閉容器に充填し、35℃の恒温槽に入れ、腐敗ガスを発生させる実験を行った。用いた汚泥は、A,B,C,Dの4箇所の終末処理場の高分子系脱水ケーキであり、いずれも消化は行われていない。このうちC,Dについては凝集剤にポリ鉄を併用している。Aについては脱水したばかりの汚泥(A-新鮮)と焼却炉への送泥経路から採取した腐敗が進行したと思われる汚泥(A-腐敗)を用いた。Bについても同様に新鮮な汚泥(B-新鮮)と送泥経路で長期間付着して腐敗した汚泥を混合したもの(B-腐敗)を用いた。C,Dについてはいずれも脱水したばかりの新鮮な汚泥を用いた。実験は耐圧容器に入れてそのまま保持し、発生ガスによる圧力上昇を計測(実験Ⅰ)と、発生ガスを大気圧下でデドラーバッグに採取して定期的に回収し、発生ガス量と成分の経時変化を調査(実験Ⅱ)とを行った。各実験に用いた汚泥および実験条件を表-1に示す。

3-2 実験結果

(1)密閉条件下でのガス圧力の変化(実験Ⅰ)

結果を図-1に示す。試料はA処理場のものを用いた。新鮮汚泥は開始直後から内圧が急激に上昇し始め、2日後には0.343MPa(約3.4気圧)となった。その後もガス圧は上昇し、4日後には0.382MPaのピークに達した後、減少に転じ0.15MPa程度で安定した。一旦上昇したガス圧が再び減少した理由は明確ではなく、急激に発生したCO₂の気液平衡に至る過渡的現象ではないかと推測しているが、今後の検証課題である。

一方、腐敗汚泥は開始直後からの急激なガス圧上昇は見られなかったも

汚泥名	凝集剤	消化	設定温度	実験日数	汚泥量	pH		TS		強酸減量	
						開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時
			℃	day	kg			%	%	%	%
(実験Ⅰ)											
A-新鮮	高分子	無	35	55	2.00	5.4	6.0	22.3	20.7	79.8	78.7
A-腐敗	高分子	無	35	55	2.00	6.2	6.2	18.9	18.1	79.5	78.6
(実験Ⅱ)											
A-新鮮	高分子	無	35	31	2.00	5.4	6.1	22.3	19.8	79.8	78.4
A-腐敗	高分子	無	35	31	2.00	6.2	6.7	18.9	18.2	79.5	78.7
B-新鮮	高分子	無	35	30	2.07	6.4	6.5	24.6	21.4	85.7	84.0
B-腐敗	高分子	無	35	30	1.54	7.3	6.5	19.6	18.7	85.3	78.1
C-新鮮	高分子・ポリ鉄	無	35	30	2.03	5.5	6.3	22.5	20.5	83.9	81.8
D-新鮮	高分子・ポリ鉄	無	35	30	2.00	6.2	7.1	19.9	17.1	83.5	81.3

※(実験Ⅰ:密閉容器内でのガス圧上昇測定)

(実験Ⅱ:大気圧下でのガスの発生量と成分測定実験)

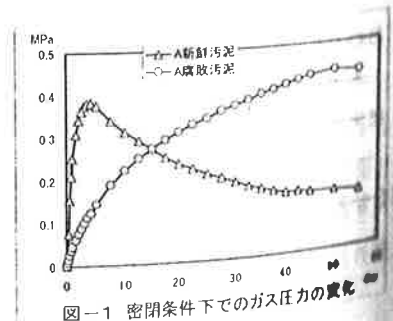


図-1 密閉条件下でのガス圧力の変化

の、ガス圧は連続的に上昇し、30日後には0.366MPa、50日後には0.433MPaに達した。これらのことから、汚泥の性状により差異はあるが、脱水ケーキが密閉された環境下におかれ夏場の高温条件が重なった場合、数日から1ヶ月の間で腐敗ガスによる内圧は4気圧に達することがあることが認められた。

(2)ガス発生量と成分の調査(実験Ⅱ)

ガス発生量の経時変化を図-2に示す。発生量は脱水ケーキ湿重量あたりの累積ガス量で示した。汚泥の種類により発生量が異なるが、新鮮な汚泥では当初の2~3日で急激に発生する。その後発生量は減少するが、ガス発生は継続し、1ヶ月を過ぎてもなお発生が続く。腐敗汚泥では、発生速度は小さいが同様の傾向をたどる。

次に発生ガス中のメタンについて、サンプリング毎の個別試料の濃度の変化を図-3に、累積ガス平均濃度の変化を図-4に示す。発生ガス中のメタン濃度は試料により様々であったが、開始当初は濃度が低く、時間とともに高くなる傾向が多く、試料で見られた。なおA汚泥のみは開始4日後以降は大きな濃度変化はなかった。

表-2に実験期間全体での発生ガス量と成分を示す。発生ガスの主成分はCO₂であるが、いずれもメタンを含み、その量は平均で7~35%であった。発生ガス量は10~62ml/g-VTSの範囲であったが、腐敗汚泥では小さく、試料採取時に既にガス発生が進んでいたことが示唆される。なお、下水道施設設計指針によれば汚泥消化設備におけるガス発生量は500~600ml/g-VTSとされており、今回の実験での発生ガス量はこれに比べて小さいことから、実験条件を引き続き保持した場合、さらにガス発生が長期にわたり継続することが推測される。また、発生ガスには硫化水素が平均値で50~8000ppmの範囲で含まれており、最大値は12000ppmであった。このことから、発生ガスが外部に遺漏した場合、悪臭はもとより、作業環境としての安全なレベル(硫化水素に関して10ppm以下)を超えるおそれがあり、十分な配慮が必要であるといえる。なお、C,D汚泥においては発生量がA,Bに比べて小さいが、これは濃縮・脱水の過程でポリ鉄が添加されていることによるものと判断される。

ちなみに、密閉条件下でガス圧を上昇させた実験Ⅰについても最終的なガス成分を測定したところ、実験Ⅱとほぼ同様の組成であり、内圧の有無による発生ガス成分の違いは認められなかった。

3.3 実験結果のまとめ

これらの実験から得られた結果は次の通りである。
i)発生する腐敗ガスの圧力は4気圧以上に達し、そのガスは数日の間にピーク圧力に達することがある。
ii)ガス成分は汚泥性状により差があるが、成分にメタンを含む。長期滞留した汚泥からはメタン濃度の高いガスが発生することが多い。また高濃度の硫化水素を含むことがある。

4. 現場の危険箇所の調査と対応の検討

以上の実験結果をもとに、汚泥腐敗ガスの滞留・蓄積のおそれのある箇所および条件について、複数の処理場について調査を行い、危険箇所の特定、管理上の留意事項、改良の必要性、今後の建設時の課題等について整理した。調査の留意点は、①脱水ケーキが密閉された配管や容器内に滞留しやすい箇所はないか ②間欠運転や号機切り替えにより脱水ケーキが管内に滞留したままで流れが停止しないか ③腐敗ガスが発生して内圧が高まったときガスが抜けるか、等である。その結果、いくつかの危険箇所が判明した。そ

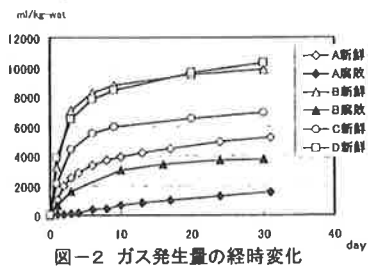


図-2 ガス発生量の経時変化

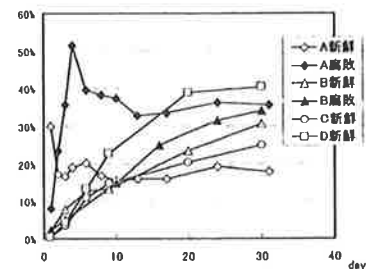


図-3 発生ガス中のメタン濃度(個別試料)

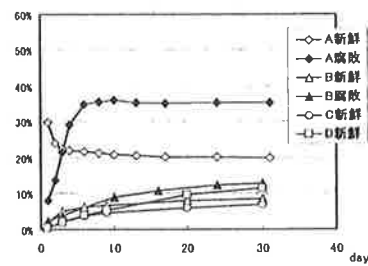


図-4 発生ガス中のメタン濃度(累積平均)

表-2 発生ガス量および成分(実験Ⅱ)

汚泥名	発生ガス成分			脱水ケーキ1g当たり 発生ガス量 ml/g	VTS1g当たり 発生ガス量 ml/g-VTS	VTS1g当たり 発生CH ₄ ガス量 ml/g-VTS
	CO ₂ %	CH ₄ %	H ₂ S ppm			
A-新鮮	80	20	3300 (1600~4700)	5.2	29.3	5.9
A-腐敗	65	35	450 (110~1100)	1.6	10.5	3.7
B-新鮮	90	9	8100 (120~12000)	9.8	46.4	4.0
B-腐敗	87	13	1500 (830~2500)	3.8	22.6	2.9
C-新鮮	93	7	140 (10~260)	6.9	36.7	2.6
D-新鮮	88	12	53 (1~85)	10.3	62.0	7.1

の対策は次の通りである。

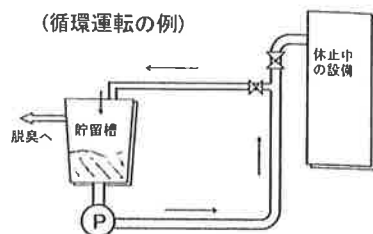
i) 維持管理上の必要措置および改良

- ・腐敗ガス蓄積についてのリスクをスタッフが認識し、管理する設備について危険箇所を承知すること。
- ・日常的にガス圧を確認し、確実な換気を確認するとともに、必要に応じて手動でのガス抜きを励行すること。
- ・間欠運転の場合、運転再開時に休止中に蓄積した発生ガスの影響を低減する運転方法(戻し配管を用いた循環運転等)を工夫すること。
- ・長期休止に入る施設の汚泥配管は、汚泥を排出するか内部を水に置き換えた後、運転を停止する等の工夫をすること。
- ・また、上記対応が可能なように必要に応じて配管経路、バルブ位置変更、ガス抜き管の増設等の改良を行うこと。

(汚泥滞留・腐敗防止のための改造例)



(循環運転の例)



(圧送配管のチェックポイント)

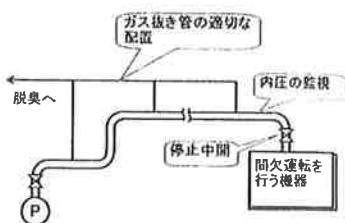


図-5 汚泥腐敗対策のイメージ

5. まとめ

いくつかの消化を行っていない下水汚泥脱水ケーキについて密閉容器内で腐敗させたところ、短期間でメタンガスを含む腐敗ガスが発生し、その内圧は4日後に4気圧に達する場合があった。このことをもとに既設の処理場の脱水ケーキ圧送系について危険箇所の調査を行い、維持管理面からの対応と今後の設計上配慮すべき事項を整理した。

汚泥脱水ケーキの送泥システムの設計にあたっては、その物理的性状のみをとらえるのではなく、短期間に腐敗して高圧の可燃性ガスを発生するという特性の理解が重要である。プラント建設メーカーにあっては、その認識と対応に関する情報をユーザーに正しく伝え、マニュアル等へ明記する義務があると考えられる。これらについて総括的な見地から気づいた点は次の通りである。

- 近年、脱水ケーキの送泥系がバルコンに代わり密閉された配管を用いる圧送方式が主流になってきているが、このことは環境影響防止の面からは臭気対策の強化につながるものの、腐敗ガスによるトラブル発生リスクを増大させている側面があり、そのことの認識が必要である。
- 一般に汚泥系からの臭気を含んだ発生ガスは、脱臭系へ送られるか、焼却炉の場合は炉内へ吹き込む等の措置がとられるが、可燃性ガスであるメタンが含まれる場合、その引き起こすリスクを想定したシステム設計の視点が必要である。ちなみに汚泥焼却炉においては、まれに原因の特定できない燃焼不安定が発生するが、腐敗ガスの挙動が関わっている可能性があり、関連について検討の余地がある。
- 一般に、設計、建設、管理の各段階を通し、システムの保安や安全確保に関することは各関係者が積極的に情報交換を行うべきである。特に、重大な事故に発展するおそれのある情報は、他のプラントでの類似の事故情報も含めて、広く共有する必要がある。そのことにより、根本的な対策が不可能な場合でも当面の間の対症療法的な措置をとることでリスク軽減を図ることも可能となり、重大な事故を回避することができる。

以上について、我々も些細な不具合を見逃さず、その情報を共有・活用し、より安全で効率的な管理を行えるよう努力していきたいと思っている。最後にデータ収集と実験遂行に協力いただいた関係諸氏に謝意を表します。

問合せ先：(財)愛知水と緑の公社下水道部管理課 tel 052-971-3045 / E-mail awg-g-ij@plato.plala.or.jp