

運河における悪臭発生に関する調査・研究

堀 口 孝 男*・堀 江 毅**・菊 地 政 信***・小 島 伸 一****

1. 悪臭について

港湾における運河筋で悪臭問題が顕著に現われてきたのは昭和40年代後半からである。東京港の場合では47年以降で、江東地区、芝浦地区、京浜地区などがその代表的な地域である。悪臭は大気中に臭いをもつガス体が混入拡散し、もっぱら人間の嗅細胞に反応するもので人間に不快感を与え、その濃度が大きくなれば人の意識、感覚に異常を生じさせ、物質いかにによっては致死状態になる恐れもある。典型的な悪臭を発する物質は悪臭防止法で規定され、表―1 に示される 8 物質が対象となっている。

表―1 悪臭の規制対象となる物質

悪 臭 物 質	各臭気強度表示と物質濃度との関係 (ppm)				
	臭気強度 1	臭気強度 2	臭気強度 3	臭気強度 4	臭気強度 5
ア ン モ ニ ア NH ₃	0.15	0.59	2.3	9.2	37
硫 化 水 素 H ₂ S	0.0005	0.0056	0.063	0.72	8.1
メチルメルカプタン CH ₃ SH	0.00012	0.00065	0.0041	0.026	0.16
硫化メチル (CH ₃) ₂ S	0.00012	0.0023	0.044	0.83	16
トリメチルアミン (CH ₃) ₃ N	0.00011	0.0014	0.019	0.24	3
アセトアルデヒド CH ₃ CHO	0.0015	0.015	0.15	1.4	14
ス チ レ ン C ₆ H ₆	0.033	0.17	0.84	4.3	22
二 硫 化 メ チ ル (CH ₃) ₂ S ₂	0.00028	0.0029	0.03	0.31	3.2

出典:日本環境衛生センター、悪臭物質の測定等に関する研究

一つの事例として屎尿処理場の貯留槽における悪臭分析例を示すと、アンモニア 5～50 ppm、硫化水素 250～300 ppm、アミン類 5～10 ppm、メルカプタン類 1～2 ppm、アルデヒド類 1～21 ppm、インドール類 0.01～0.02 ppm というような結果が得られている。アンモニアは鼻や眼を刺激する特異臭をもち、硫化水素は腐卵臭を感じさせる。アミン類は魚の腐敗した生ぐさい臭気を発し、メルカプタン類は玉ねぎの腐敗臭やニンニク臭を放つ。アルデヒド類は刺激性の化学臭をもち、インドー

ル類は糞臭を感じさせる物質である。ここで臭気に関する量的表現を説明すると、臭気強度、臭気度、臭気濃度の 3 種類がある。臭気強度は感應式の強度表示法で臭気強度 0 は無臭、1 は非常にかすか、2 はかすか、3 は容易に感じる、4 は強い、5 は非常に強く感ずる、6 段階法である。臭気度は臭気成分を含む気体試料を 2 倍ずつ希釈してゆき、*n* 回希釈して臭いを感じなくなったときの *n* の値をいう。また臭気濃度は臭気成分を含む気体試料を無臭空気で希釈してゆき、臭気を感じられなくなるまで希釈したときの希釈倍率をいう。したがって臭気濃度 100 を臭気度に換算すれば、 $2^n=100$ より $n=\log 100/\log 2\div6.6$ で示される。

2. 東京湾における運河の悪臭

(1) 概 況

対象とする運河地域は江東地区、芝浦地区、京浜地区で、定常的な観測点 St. 1～St. 5, St. 6～St. 11, St. 12～St. 15 をそれぞれの地区に設定してある。62年の観測は St. 1～St. 10までであったが、63年以降は15地点で行われている。図―1 は62年、平成 2 年の調査から悪臭の発生状況を示したもので、運河が内陸部に深く入ったところで、陸起源の有機負荷が大きく海水交換の悪い個所で悪臭が発生する傾向を示している。各地区の運河沿い住民 104 名を対象にしたアンケート調査の結果では、約90%の人が臭いを感知しており、臭気は5月頃から発生し始め8月に最も多くなっている。これは水温の上昇に伴い生物活動が活発化し、それより悪臭の発生が増大することと、窓を開けている機会が多くなることに符合しているようにみられる。悪臭の程度では「やや強く臭う」、「強く臭う」が約40%を占め、程度の差はあれ一年中臭うと回答したものは約10%存在している。悪臭が感知される気象、海象条件との関係では、降雨のときが約43%、干潮のとき約33%の結果が得られており、降雨による流量増加が運河の水質、底質に攪乱

* 正会員 工博 東京都立大学工学部教授
** 正会員 工博 港湾技術研究所 海洋水理部長
*** 正会員 東京都港湾局 技術管理課長
**** 正会員 新日本気象海洋株式会社

St. 5~St. 7 で平均 5 l/m^2 , St. 8~St. 10 で平均約 1.4 l/m^2 の値を得ている。採取されたガスのうち H_2S は概略 $140\sim 320 \text{ ppm}$ の濃度をもっていた。さらに注目されるのは、現場におけるガス捕集調査によると、水圧がガス発生 の制限要因と考えられ、その効果は圧力による底泥中へのガスの封じ込めと、水中への溶解を減少させる傾向にあるものと推定される。図-3 は St. 3 における潮位による水深変化とガス量の発生量と累積量との関係を示したもので、水深が 2 m より浅くなるとガス発生が急激に増大することを示している。

運河護岸際に堆積している底泥から発生する H_2S 濃度を 38 地点で調査したところ、図-4 のような結果が得られた。すなわち底泥の性状がヘドロで、ORP が -300 mV 以下になると H_2S 濃度は指数関数的に増加し、相関度も比較的高いことが認められる。

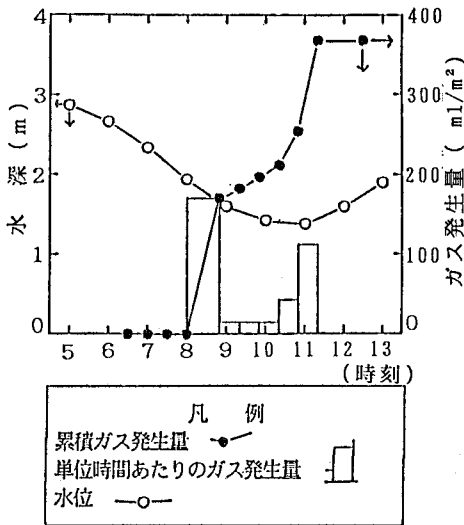


図-3 ガス発生量と水深との関係

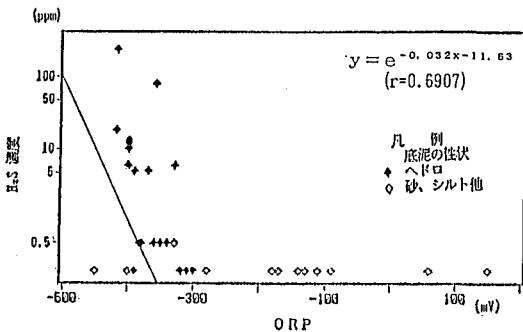


図-4 硫化水素濃度と ORP との関係

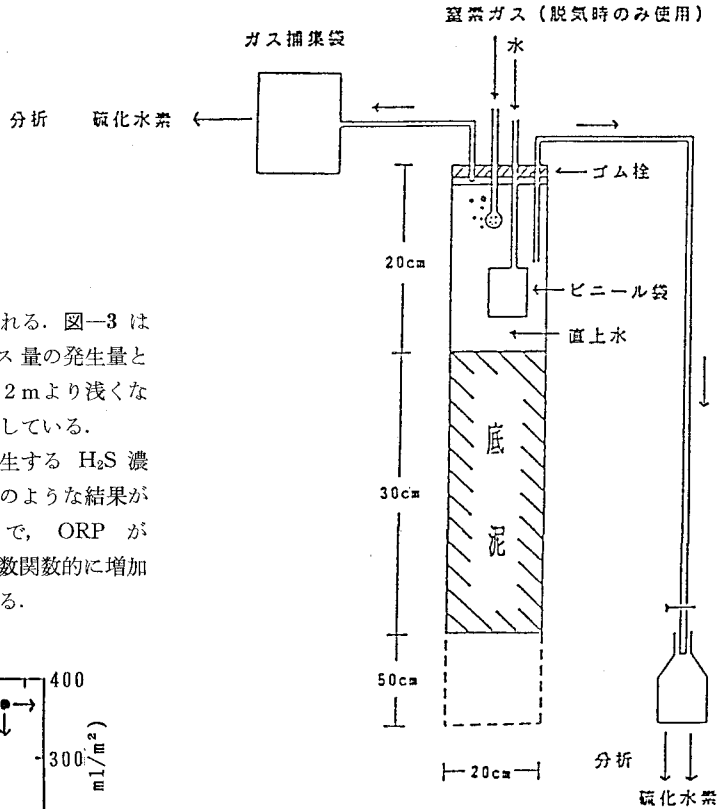


図-2 室内実験装置の概要

(3) 室内実験による検討

室内実験の結果の一部は前節の説明に利用されているが、本節では H_2S 発生と底質との関係ならびに悪臭対策の効果予測などに重点をおいて検討を進める。

悪臭に関係が深い底質の物理的性質を考察すると、図-4 に現れているように底質の粒径が砂、シルトの領域にあるとき、ORP の負の値が大きくなっても H_2S の発生濃度は低いことが指摘される。その他の物理的性質として底質の間隙比に相当する含水比は、ガス体の発生に有利な空間を提供する因子として考えられる。そこで20日目の H_2S 発生量と含水比との相関をとってみると図-5 のように示される。ここで△印は63年の検体結果であり、□印は平成元年のそれである。相関係数はかなり大きい値を示している。

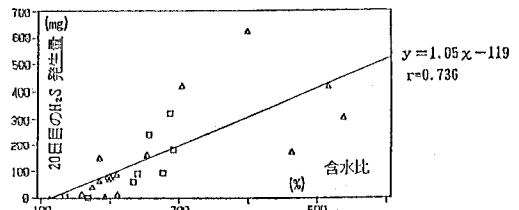


図-5 H_2S 発生量と含水比との関係

底質の化学的性質と H_2S の20日目発生量とを、予想される有機物の分解、還元状態の指標を示す底質の硫化物量、COD、T-N、T-P、強熱減量などとの相関で表わすと、図-6 のようになる。

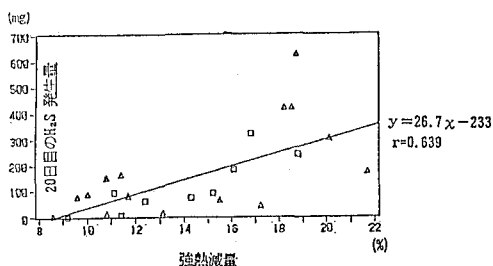
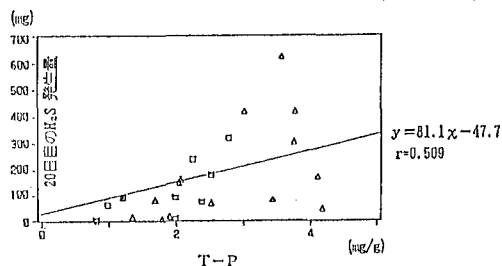
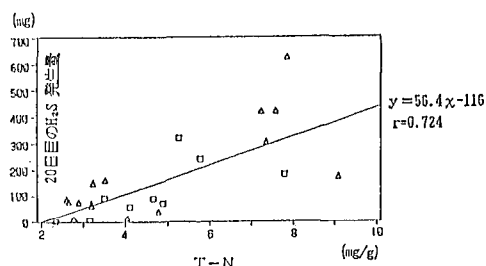
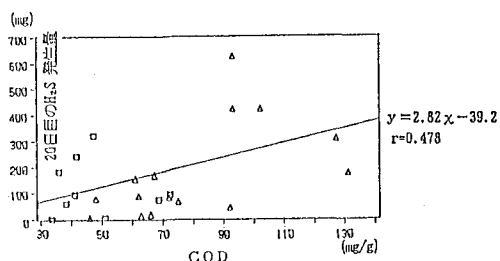
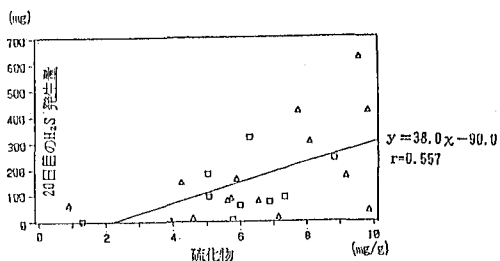


図-6 底質の各因子と H_2S 発生量との関係

以上の因子のうち、各因子間の相関度をみると表-2 のようになり、強熱減量は T-N、T-P との相関が高く、硫化物はもとより ORP と関係が深く、強熱減量、T-P との相関も比較的高い。含水比は物理的性質を表現する別の性格のものとみるならば、影響度の大きい因子を COD、T-N、含水比、硫化物の4項目とみることができる。各因子の組合わせをいろいろ変えて重回帰分析を行ったところ、全項目を用いた重回帰分析による相関係数、寄与率がそれぞれ 0.861、0.741 に対し、上記4項目の組合わせでは 0.860、0.740 の結果となっており、これより4項目の因子で H_2S のガス発生量の概略は十分に表現できるものとみられる。

表-2 各因子間の相関係数

No	組合せ	r
1	T-N * 強熱減量	0.904
2	T-P * 強熱減量	0.819
3	T-N * 含水比	0.796
4	COD * T-P	0.759
5	COD * 含水比	0.725
6	T-N * T-P	0.725
7	T-N * 硫化物	0.715
8	強熱減量 * 硫化物	0.704
9	COD * 強熱減量	0.698
10	含水比 * 強熱減量	0.686
11	T-P * 硫化物	0.664
12	COD * T-N	0.639
13	COD * 硫化物	0.629
13	含水比 * 硫化物	0.595
15	T-P * 含水比	0.563

悪臭防止対策として浚渫の効果を実験で予測してみると、底泥検体長 75 cm からの全ガス発生量と、その上層泥 50 cm を除去した検体で直上水深を同じ 25 cm にした全ガス発生量を調べると 1/5 程度に減少している。これを H_2S の発生量で表現すると St. 9、St. 11 の例では図-7 のようになる。下層泥の含水比は、上層泥のそれが 200% 以上であるのに比し、100% のオーダーで半分以下に減少しているの、圧密による空隙の減少はかなり効果的な寄与をなしているものといえよう。

一方、覆砂の実験で通常の 30 cm 厚さで被覆すると、表層の浮泥層の圧密が大きく影響し、全ガス発生量の経時変化は覆砂をしないときよりも図-8 の上図のように増大している。しかし H_2S の発生はその大部分が液体に溶解することから、この覆砂によって H_2S の液体への溶解が阻害され、図-8 の下図のように極端に減少している。

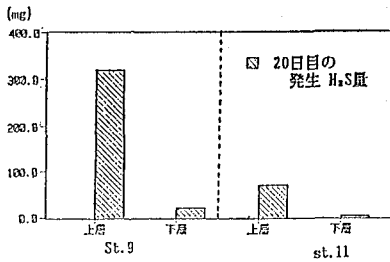
表一3 東京港底泥評価基準

T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	COD (mg/g)	含水比 (%)	評価点	判定
0.99* 以下	0.46** 以下	12.8* 以下	200未満	0	合計点が 8以上で 除去
	0.65 以下			1	
1.00 以下	0.74 //	12.9 以下		2	
1.01 //	0.82 //	19.9 //		3	
1.34 //	0.91 //	26.6 //		4	
1.68 //	0.99 //	33.2 //		5	
2.02 //	1.07 //	39.9 //		6	
2.35 //	1.16 //	46.5 //		7	除去
2.69 //	1.25 //	53.2 //	200以上	8	

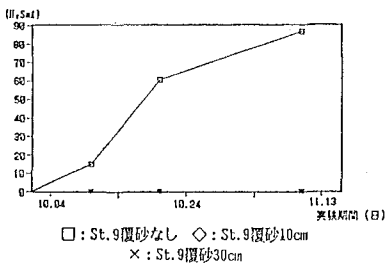
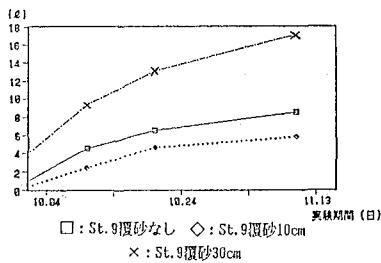
* 運河部における在来層と考えられる底質値

(T-N : 0.99mg/g, T-P : 0.61mg/g, COD : 12.8mg/g, 昭和59年度東京港運河部汚泥堆積特性調査 St. 4, 5, 6, 10下層の平均値)

** T-P : 0.64mg/g以下は計算上評価点が1以下となるため除去対象外とした。



図一7 ガス発生に対する汚泥の除去効果 (H_2S の発生量に対して)



図一8 全ガス・ H_2S ガス発生と覆砂との関係

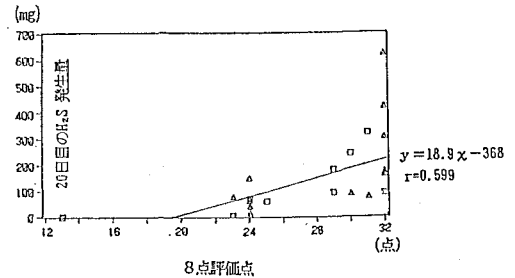
(4) 東京港の底泥評価基準との関係

東京港の底泥評価基準は62年4月に改正されて今日に至っているものである。その内容は従来の実績を踏まえて見直されたもので、表一3に示す内容となっている。

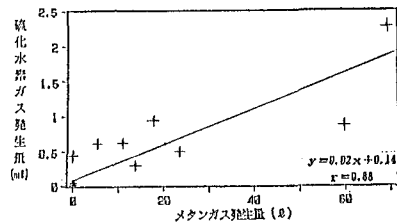
判定は合計点が8以上になると底泥を除去することになっており、これを8点評価法とよんでいる。一方、底泥の試料を評価基準に照らして評価点を与え、この底泥試料と H_2S の20日目の発生量との関係を調査すると図一9のようになる。評価点の高いところではばらつきは大きい、評価点の12以下では H_2S の発生はほとんどみられない。したがって、現行の評価基準に基づく汚泥浚渫は悪臭対策となり得るものと判断される。

3. 今後の調査研究の方向

これまで述べてきた事項は従来の環境工学的な手法に基づいているもので、新しい手法の開発には至っていない。この小論でとりあげた悪臭問題を含めて今後の手法として、微生物学と生物物理化学の知見をとり込む必要が痛感される時期となっている。たとえば、図一10は今回の室内実験で得られたメタンガス発生量と H_2S ガス発生量との関係を示したものであるが、メタン生成菌と硫酸還元菌の底質内の分布は明らかとなっていない。



図一9 8点評価点と H_2S 発生量



図一10 メタンガス発生量と H_2S ガス発生量との関係

参考文献

- 東京都港湾局 (1987): 底泥評価基準。
- 国部 進 (1990): 新しい脱臭技術, 工業調査会, pp. 274-286。
- 東京都港湾局・新日本気象海洋(株) (1991): 東京港運河部汚泥堆積特性調査報告書。