

## 停滞性汽水域での悪臭ガス発生に関する調査

(株)建設技術研究所 正会員 堀田哲夫  
(株)建設技術研究所 正会員 陳飛勇  
(株)建設技術研究所 正会員 東海林光

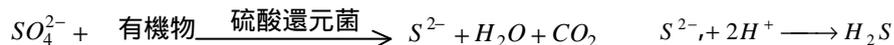
### 1. はじめに

湾岸域の運河水域奥部や自流入の少ない都市河川の汽水域等では、昭和40年代後半頃から、春から秋にかけて主に干潮時に水面から悪臭ガスが発生し、周囲に悪臭問題を発生させてきた。その後、ヘドロの浚渫や下水道整備等によりその程度は軽減されてはきているものの、未だ悪臭の発生が見られているようである。<sup>1)</sup> 本論文は、悪臭問題の発生が激しかった昭和53,54年頃に筆者が関わった悪臭発生機構解明調査の概要を、その後の知見も加えて取りまとめたものである。

### 2. 嫌気性分解ガスの発生機構

嫌気性分解ガスの主な成分は、メタン、炭酸ガス及び硫化水素ガスであるが、前者2つは無臭であり、悪臭の主な原因となっているのは硫化水素で、量的には最大でも2%程度と少ないものの、卵の腐敗臭を呈し有毒である。この硫化水素( $H_2S$ )の発生過程としては、たん白質中に含まれる硫黄に起因するものもあるが、ここではより一般的で豊富な硫酸イオンが存在する汽水域停滞水域の嫌気性底泥での発生を取り扱っている。

硫化水素ガスの発生機構は、一般に次のように説明される。汽水域の底泥中のように、硫酸イオンが豊富に存在する条件下では底泥中では硫酸イオンを電子受容体として有機物の嫌気性分解が起こり、その結果として硫化水素が生成される。その反応は次式で表され、pHが8以下ではガス体の $H_2S$ も発生し水中に放出される。



しかしながら一般には底泥中には不溶性の3価の鉄化合物( $Fe(OH)_3$ ,  $Fe_2(PO_4)_2$ 等)がある程度存在しており、還元状態になると2価の鉄となり水中に溶け出してくる。この $Fe^{2+}$ は硫化水素とすぐ反応し硫化第一鉄の沈殿物が生成され黒色化する。しかしながら多量に $H_2S$ が生成されると間隙水中のみならず、水中でも $H_2S$ ,  $HS^-$ ,  $S^{2-}$ の硫化物イオンが検出されるようになる。一般に間隙水中のpHはそれ程高くないことから、底泥中で生成された硫化水素のうち一部分は小さな気泡として底泥中に貯えられ、残りが水中に溶解する。そして前者は、水位が下がり底泥の気泡保持能が低下するとともに瞬時に放出され、水中へ溶解しながら大気中に放出される。また後者は、一部分が水中の溶存酸素により酸化され、一部分が表層より大気中へ気散されるが、酸化速度が大きいいためその量は相対的に小さい。

### 3. 硫化水素発生機構のモデル化

対象とした運河水域では、硫酸イオンが水中に豊富に存在することから、硫化水素の発生は底泥中のみで起こるものとし、その生成・蓄積機構、水中での挙動及び大気中への放出機構、水中での溶存酸素、BODの挙動をモデル化することとした。この他鉄等金属イオンの存在、底泥中の有機物濃度の変化、水中のpHの変化も影響要因として考えられるが、当該水域では金属イオン濃度が低いこと、底泥中の有機物は大量に存在すること、そして水中のpHについては7.5程度と比較的安定していることから要因から除外し、前述の現象を大きく支配している因子のみを対象として抽出し、図1のような形でモデル化を行った。

---

キーワード：嫌気性分解ガス、硫化水素、汽水域、底泥、硫酸還元菌  
連絡先：〒103-8430 東京都中央区日本橋本町4-9-11

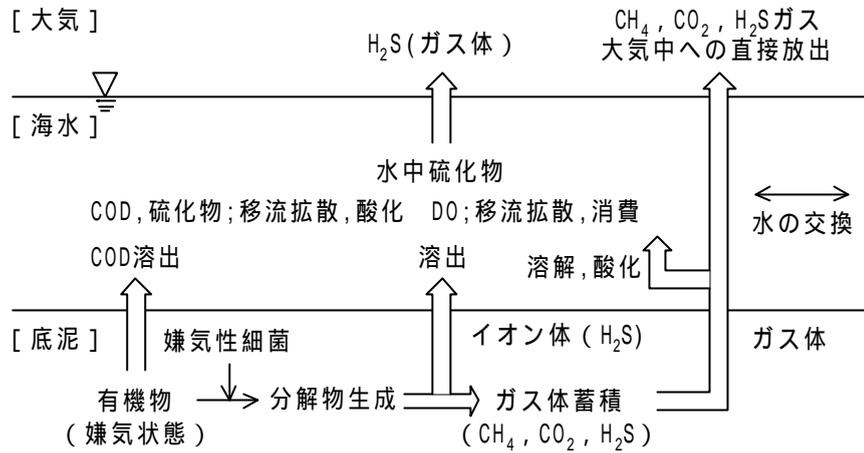


図1 嫌気性分解ガス発生及び水質変化機構模式図

(1) 嫌気性分解ガス発生モデル

悪臭の要因となる硫化水素は、量が少なく、かつその挙動も複雑であることから、ほとんど全てがガス体で生成され保存性物質とみなせるメタンガス（65%）、炭酸ガス（35%）で嫌気性分解ガスが構成されているものと考えて底泥中でのガスの生成と蓄積そして水位低下に伴う底泥面からのガスの放出、そして海水中を減衰しながら通過し大気中へ放出される過程をモデル化することとした。

$$\frac{dW_{ai}}{dt} = P_{ai} - b_i W_{ai} \quad \dots\dots\dots (1) \text{ (底泥モデル)}$$

$W_{ai}$  : 底泥中ガス蓄積量 ( $g/m^2$ ) ,  $i$  : 分割水域 No.

$P_{ai}$  : 底泥中ガス生成速度 ( $g/m^2/日$ ) (浮泥層, 底泥強熱減量, 泥温の関数形)

$b_i$  : 底泥面から海水中へのガス放出率 (1/日) , ( $0.72 / (\text{水深} + 0.7)^4$ )

また底泥面で海水中に放出されたガス ( $W_a$ ) は水面に到達するまでに指数関数的に減衰するとして、次式でモデル化を行った。

$$R_{ai} = b_i W_{ai} e^{-r_a H_i} \quad \dots\dots\dots (2) \text{ (大気中放出モデル)}$$

$R_{ai}$  : 大気中放出速度 ( $g/m^2/日$ ) ,  $r_a$  : 海水中減衰係数 (1/m) ,  $H_i$  : 水深 (m)

(2) 硫化水素ガス発生モデル

他の2つの成分と異なり底泥中で生成された硫化水素は、イオン体及びガス体の2つの形態をとることから、生成した硫化水素を2つの成分に分けて扱った。この場合、海水中での減衰は、溶存酸素の関数形とした。

$$\frac{dW_i}{dt} = (1 - a_i) P_i - b_i W_i \quad \dots\dots\dots (3) \text{ (底泥モデル)}$$

$W_i$  : 底泥中ガス  $H_2S$  ガス蓄積量 ( $mg/m^2$ ) ,  $P_i$  : 底泥中総硫化物生成速度 ( $mg/m^2/日$ )

$a_i$  : 底泥面から海水中へのイオン体硫化物溶出率 (1 -  $a_i$  がガス体生成率で強熱減量の関数)

$b_i$  : 底泥面から海水中へのガス体放出率 (1/日)

$$R_i = b_i W_i e^{-g_i H_i} \quad \dots\dots\dots (4) \text{ (大気中放出モデル)}$$

$R_i$  : 大気中放出速度 ( $g/m^2/日$ ) ,  $g_i$  : 海水中減衰係数 (1/m) , ( $0.075 \cdot DO + 0.56$ )

(3) 水質モデル

流動を連続の式で与え、水質指標として COD, 硫化物 ( $S^{2-}$  表示) 及び DO の3指標を採用し、分割された水域内では完全混合であると仮定して、次式を基本にモデル化を行った。ただし、硫化水素の減少係数は DO 濃度によって大きく変化するとされており、DO 濃度を考慮した2分子反応としてある。

$$\frac{d}{dt}(C_i V_i) = C_{i-1} Q_{i-1} - C_i Q_i + E_i A_i - K_c C_i V_i (+ \text{溶解} - \text{気散}) \quad \dots (5)$$

$C_i$  : 海水中の水質濃度 (mg/ℓ),  $V_i$  : 水域容量 (m<sup>3</sup>)

$Q_i$  : 水域間移動水量 (m<sup>3</sup>/sec),  $E_i$  : 底泥からの溶出速度 (g/m<sup>2</sup>/日)

$A_i$  : 有効水域面積 (m<sup>2</sup>),  $K_c$  : 減少係数 (1/日)

指標 \ 要因	溶出	減少	気散	溶解	特記
COD					
硫化物					0.76・DO
DO					

#### 4. 現地への適用結果

各種定数同定のための室内実験等を実施した上で、運河水域で流況、水質、底質及びガス発生量調査を実施し、それらの現象へのモデルの適用性を検討した。

##### (1) 嫌気性分解ガスの発生現象

モデル定数に関連した室内実験を実施して各種定数の同定定式化を行った上で、11月に8日間実施された底泥面での嫌気性分解ガス発生量調査(日単位)結果とモデルでの再現計算結果を比較して図2に示す。ただし、水位低下に伴う底泥からのガス放出率( )の推定は、実験では困難であることから試算により設定してある。この期間は小潮から大潮への移行期間であり、最小水深が小さくなる傾向にあるが、それにつれて嫌気性分解ガスの底泥面での日発生量が増大しており、その傾向をモデルでも良く表現している。また図3は、硫化水素ガスでの状況を計算値で時刻単位で見たものであり、潮位が低下しない期間はガスが底泥中に蓄積され、大潮に近づき水深が小さくなるにつれ水位低下時に多量のガス発生が起こることが表現されている。

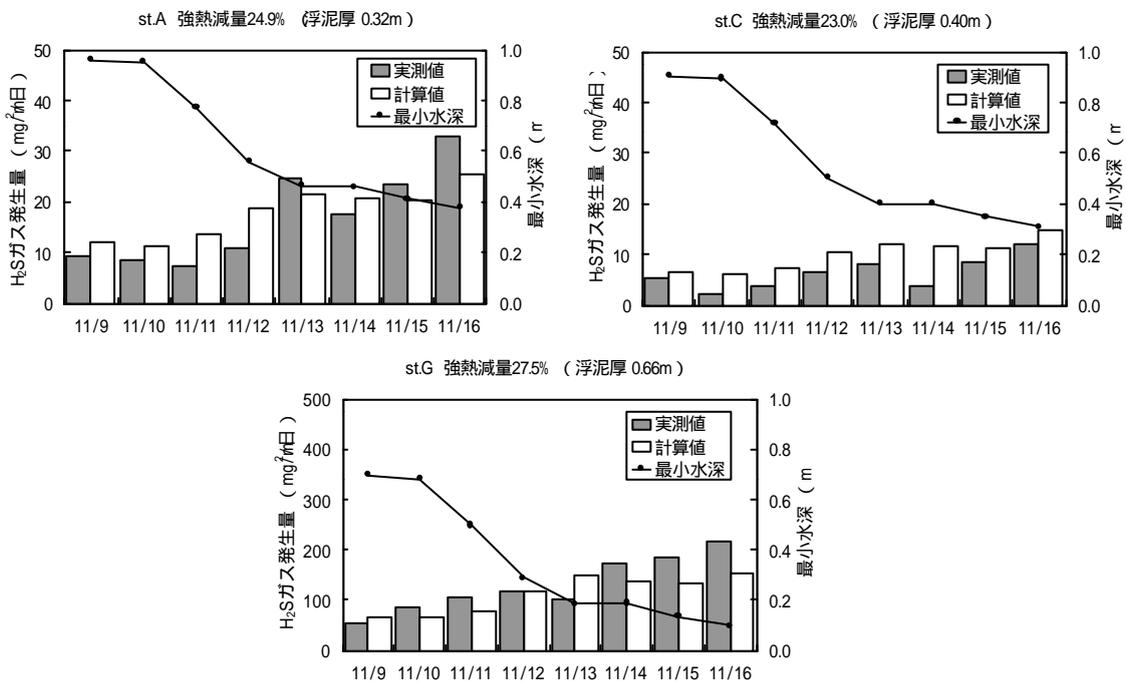


図2 底泥面 H<sub>2</sub>S ガス日発生量検証図

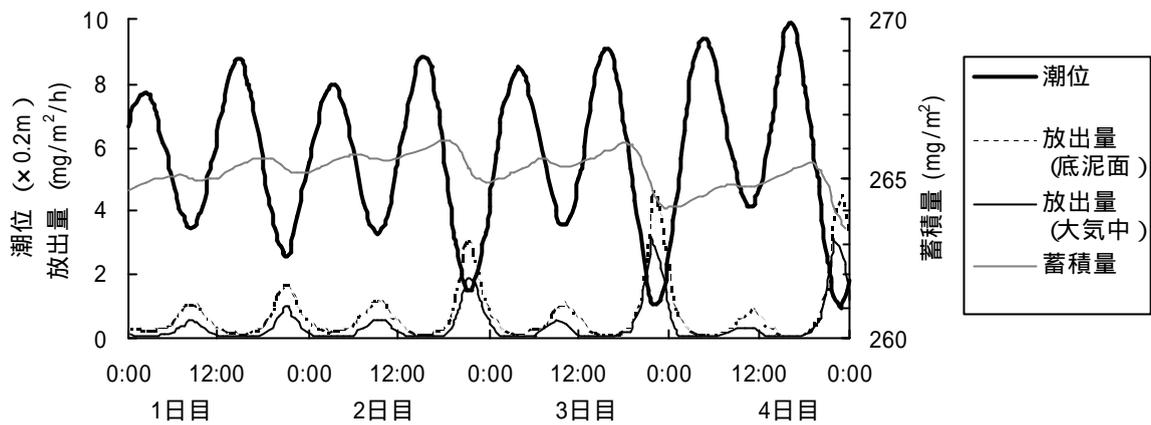


図3 A地点 潮位・H<sub>2</sub>S ガス蓄積量・放出量関係図

(2) 水質変化現象

別地点の検証結果ではあるが、硫化物の影響で干潮時に DO が低下し、満潮時にはやや改善される傾向が概ね表現されている(図4)。ただしこのケースでは硫化物の濃度が低く、水中から大気中への気散量はわずかであった。

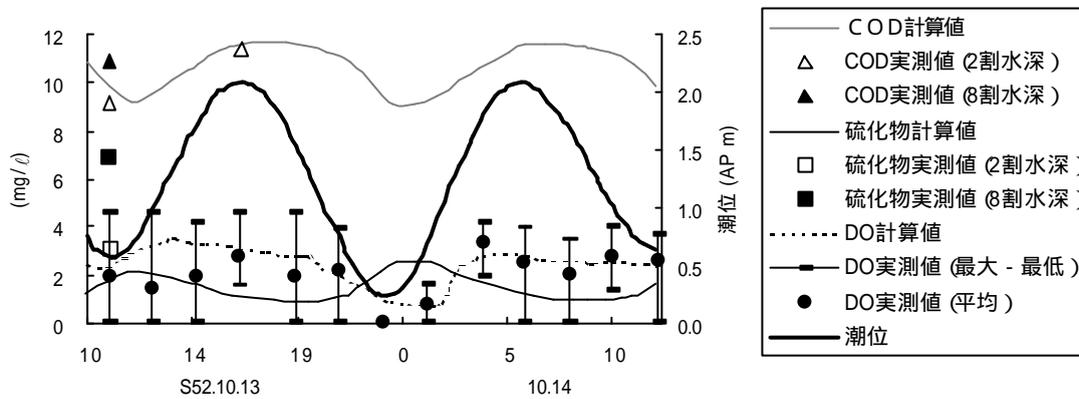


図4 水質検証図

5. 結論

一見複雑な現象でも、室内実験，現地調査をうまく活用して現象を大きく支配する重要な因子を抽出できれば、簡単なモデルでも現象の予測が可能であることが明らかとなった。

参考文献

1) 堀口孝男 他；運河における悪臭発生に関する調査研究，海洋工学論文集，第38巻，pp901~905，1991