

長距離圧送における硫化水素抑制対策及び圧送管閉塞に関する検討

A CONTROL METHOD FOR HYDROGEN SULFIDE AND THE INVESTIGATION OF OBSTRUCTION OF PRESSURED FLOWS IN LONG DISTANCE PIPES

大久保有芳*

Tomoyoshi OHKUBO

The sanitary sewage relay pump designed last year had the problem of Hydrogen sulfide generations in the 4,100m pipe, system that resulted in a real pump head of about 60m. Inspection revealed Hydrogen sulfide generations in the pressure pipe, were higher than standard value. Air feeding system control system, that was economical and easy, was selected as the method for Hydrogen sulfide control.

Flushing by the sewage circulation as the stream abstraction of pressure pipe was proposed. Velocity of flushing and the control system are described in this paper.

Key Words: hydrogen sulfide, air feeding system, flushing

1. ま え が き

近年、中小規模の市町村を中心に下水道整備が進められているが、このような市町村では処理人口当りの管渠距離が長くなり、起伏に富んだ地形での污水管敷設となる為、圧送方式を採用するケースが増加している。

特に農村地域や山間地域では、主要污水幹線と集落との距離が離れている場合が多いため、このような地域で圧送方式を採用した場合、長距離圧送方式となる。

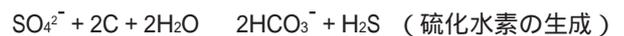
污水を長距離圧送した場合、管路内に空気が供給されないため、污水の嫌気化により管内で硫化水素が発生して圧送管路末端で悪臭や腐食問題が生じる。

污水が嫌気化状態になると、硫酸イオンが嫌気性細菌である硫酸塩還元細菌により還元され、硫化水素が生成する。

管内で生成した硫化水素は、圧送管路終点のマンホールや着水井等の吐出し部分で空気中に放散され、臭気の原因となる。さらに、吐出し部分の表面で好気性細菌である硫黄酸化細菌により硫化水素から硫酸が生成し、管内腐食等の原因となる。

これらの反応を化学式で示すと、以下の様に示される。

(硫酸塩還元細菌)



(硫黄酸化細菌)



また、長距離圧送となれば、圧送管途中にマンホール設置が出来ない事より、維持管理が困難である。その為、管内の土砂等の堆積による管内閉塞を引き起こす恐れもある。

本報告では、一昨年度業務である污水中継ポンプ場(以後ポンプ場と称す)の検討内容を事例に挙げ、硫化水素抑制対策及び管内閉塞対策の検討について述べる。

2. 検 討 諸 元

計画汚水量(時間最大) : 2.729m³/min

(日最大) : 1.444m³/min

(日平均) : 1.167m³/min

圧送距離 : 約4,100m (図-1参照)

実揚程 : 約60.0m (図-1参照)

圧送管径 : 200mm × 2条(常時2条送水)

圧送管については、計画区域全体の污水を圧送する重要性および維持管理を考慮し、200mm × 2条管とした。

* 大阪支店 技術第一部

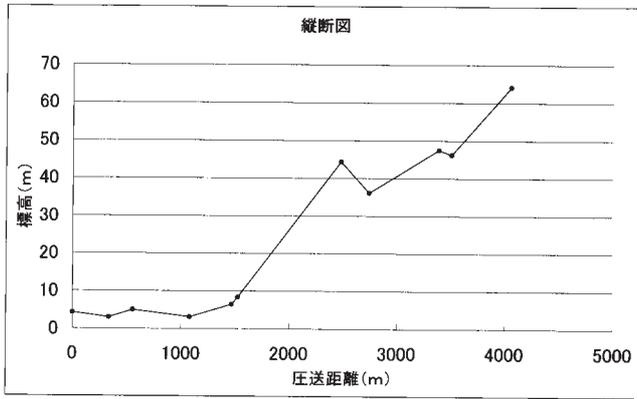


図 - 1 縦断面図

3. 検討内容

検討内容を下記に示す。

- 圧送管内における硫化水素の発生量を予測式から求めた。
- a)の結果から、硫化水素抑制対策として種々の方法の中から経済的かつ維持管理の容易な空気注入システムを選定し、硫化水素抑制に必要な空気注入量を算出式から求めた。
- 圧送管内へ空気注入した場合の全揚程が空気注入しない場合のそれと比較してどの程度差異が生じるか圧力損失・全揚程を算出し比較した。
- 長距離圧送であることから、圧送管内が土砂の堆積等により閉塞した場合、メンテナンスが困難であるため、管内閉塞防止に必要な最小流速（常時堆積しないための流速）を検討し、ポンプ場における閉塞防止の為の運転方法を提案した。

4. 検討結果

(1) 硫化水素抑制対策

1) 硫化水素生成予測

圧送管内における硫化物の生成については、いくつかの予測式が提案されているが、ここではEPAの予測式¹⁾を用いた。

なお、EPAでは硫化物濃度が1.0~1.5mg/l（場合によってはそれ以下）であると臭気や腐食問題につながり、抑制対策を講じる必要があるとされている。

EPA式

$$S_2 = S_1 + M \cdot t \cdot [EBOD(4/D + 1.57)] \quad (1)$$

ここで、 S_2 = 時刻 t_2 における予測硫化物濃度 (mg/l)

S_1 = 時刻 t_1 における硫化物濃度 (mg/l)

= 最大0.5mg/l (注入部)

$t = t_2 - t_1$ = 一定の勾配、管径および流量時における一定管路間の流下時間

$$= 4,100\text{m} \div (0.73\text{m/s} \times 60 \times 60) = 1.56 \text{ (時)}$$

M = 硫化物フラックス係数 = 1.0×10^{-3}

$$EBOD = BOD_5 \times 1.07^{(T-20)} = 200 \times 1.07^{(30-20)} = 393.4 \text{ (mg/l)}$$

S = 硫化物濃度 (mg/l)

D = 管径 = 0.20 (m)

T = 汚水温度 (夏場) = 30²⁾ (安全を見て)

以上の値を用いて、(1)式について硫化物濃度を予測した結果、

$$S_2 = 13.24\text{mg/l}$$

となり、前述した1.0~1.5mg/lを超えることから、ポンプ場より圧送される汚水については硫化水素抑制対策を講じる必要がある。

2) 硫化水素抑制対策の方法

硫化水素抑制対策として種々の方法が提案されている(下記参照)が、ポンプ場では最も経済的であり、維持管理の容易な空気注入システムを採用した。

(硫化水素抑制対策の方法)

- 運転管理(掃流による沈殿防止や管内洗管)
- 嫌気化防止(酸素注入、空気注入)
- 化学的酸化(Cl_2 、 H_2O_2 、 KmnO_4 等の添加)
- 硫酸塩の還元防止(酸素源としての NO_3^- 添加)
- 沈殿(FeSO_4 等の金属塩の添加)
- pH調整(強アルカリ剤の添加)

3) 空気注入量の検討

1)において予測した硫化物濃度を抑制するのに必要となる空気注入量を検討した。

必要空気注入量の算定は、以下に挙げる(2)(3)式³⁾を用いる。

必要空気注入量(下水温度15)

$$Q_a = (R_r + 4 R_e/D \times 10^{-3}) \pi D^2 L / 72,000 \quad (2)$$

ここで、 Q_a : 必要空気注入量 (Nm^3/min)

R_r : 浮遊バイオマスによる酸素消費速度³⁾
= 6mg/l · hr (下水温度15)

R_e : バイオフィルムによる酸素消費速度³⁾
= 700mg/ m^3 · hr (下水温度15)

L : 圧送距離 4,100m

D : 管径 200mm

水温補正

$$Q_{at} = Q_{a15} \times 1.07^{(T-15)} \quad (3)$$

T : 下水温度

Q_{at} : 温度 t における空気注入量

Q_{a15} : 温度 15 における空気注入量

以上の(2)(3)式を用いて、夏場および冬場の空気注入量を算出した。注入量は安全を見込んで計算値の2倍の注入量とした。なお、下水温度は夏場30、冬場15とした。結果及び浮遊バイオマス、バイオフィーム概要図を表-1、図-2に示す。

表-1 空気注入量計算結果

夏場	0.789 Nm ³ / min
冬場	0.286 Nm ³ / min

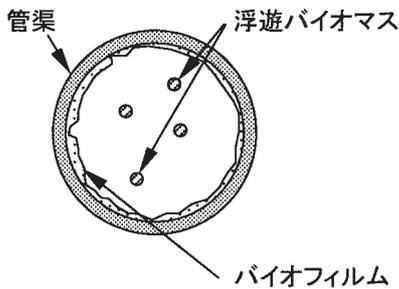
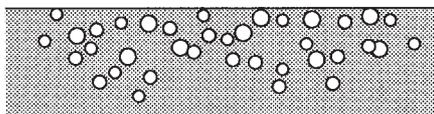
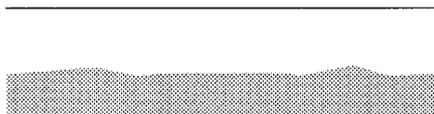


図-2 浮遊バイオマス及びバイオフィームの概要

(混合流) 空気と汚水が一樣に混ざっている状態(上り勾配)



(分離流) 空気と汚水が完全に分離している状態(下り勾配)



(間欠流) 空気と汚水が交互に流れる状態(上り勾配)

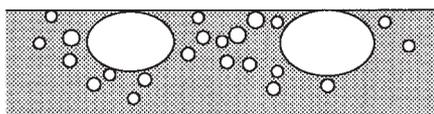


図-3 気液2相流の流れ模式図

表-2 圧力損失および全揚程の比較

	空気注入しない場合		空気注入した場合	
	圧力損失	全揚程	圧力損失	全揚程
夏場	約16.7m	約82.1m	約24.0m	約90.0m
冬場	約16.7m	約82.1m	約25.5m	約92.0m

4) 全揚程の計算

圧送管内に空気を注入することにより、管内の流れは気と液体の混合した気液2相流となる。

気液2相流では、満管で流れる場合と水理的に異なる流れ(図-3参照)となるため、事前に圧力損失を検討しておく必要がある。

ここでは、空気注入しない場合の全揚程と空気注入した場合の全揚程を比較して、どの程度増減するか検討を行った。

空気注入した場合の圧力損失の推定方法は、以下の)

~) 式⁴⁾を用いて検討する。

) 混合流モデル式

) 分離流モデル式

) 間欠流モデル式

) 損失水頭の計算式

以上の) ~) の式を用いて空気注入した場合の圧力損失・全揚程を算出し、空気注入しない場合の圧力損失・全揚程と比較すると、表-2のようになる。

表より、空気注入した場合の全揚程は、空気注入しない場合の全揚程に比べ1割程度高くなる。

(2) 圧送管内閉塞対策の検討

1) 管内閉塞対策の検討

圧送管は吐き口まで密閉状態となることより、管内に土砂が堆積し閉塞する恐れがある。

管内閉塞対策としては、以下の対策が挙げられる。

ピグによる洗管

フラッシングによる洗管

管路途中に泥吐等の施設を設ける

これらのうち、ピグによる洗管はポンプ場内にピグ射出装置を設置するほか、到達点にも回収装置を設置する必要がある。このため設備費が高価となる上、配管延長が長いことから、ピグが途中で停止した場合、圧送管自体も使用不可能となるため不採用とし、フラッシングおよび泥吐の設置を行うものとした。

2) 圧送管内閉塞防止に必要な最小流速の検討

管内に土砂が堆積するのを防止するためには、堆積防止に必要な流速で汚水を圧送しなければならない。

管内に土砂が堆積するのを防止するのに必要な最小流速は、以下の式⁵⁾を用いて算定する。

表 - 3 最小流速の検討

勾配 \ 限界摩擦速度	-0.21	0.51	-0.20	0.49	1.92	2.12	-1.81	0.1	-0.63	1.90
u*c=2.35cm/sec	0.3618	0.3649	0.3618	0.3648	0.3709	0.3717	0.3548	0.3631	0.3599	0.3708
u*c=3.73cm/sec	0.5958	0.6009	0.5959	0.6008	0.6109	0.6123	0.5843	0.598	0.5928	0.6107
u*c=4.97cm/sec	0.8123	0.8193	0.8124	0.8191	0.8328	0.8347	0.7966	0.8153	0.8082	0.8326

$$V_c = 0.248 \times CH \times u_*c^{1.08} \times R^{0.09} \times \{ \sin(\beta + \theta) / \sin\theta \}^{0.54} \quad (4)$$

ここで、Vc：土砂堆積防止に必要な最小流速（m/s）

CH：流速係数（=110）

u*c：勾配が0の場合、管底に堆積している

土砂の限界摩擦速度

土砂粒径1mmのとき、=2.35cm/s

土砂粒径2mmのとき、=3.73cm/s

土砂粒径3mmのとき、=4.97cm/s

：圧送管の勾配

：土砂の静止摩擦角（=45°）

R：径深（=D/4）

上式を用いて各スパンの最小流速を粒径ごとに求めると表-3の如くなる。

表より、土砂堆積防止に必要な最小流速Vcは、土砂粒径3mm（土砂の限界摩擦速度4.97cm/s）のときもっとも急勾配（勾配2.12）なスパンの流速（0.84m/s）以上あればよい。

3) フラッシングに必要な流量

2)の検討結果から、閉塞防止に必要な最小流速は0.84m/sであることより、フラッシングに必要な流量および所要時間は以下の通りとなる。

（フラッシングに必要な流量）

$$Q = \pi D^2 / 4 \times V$$

ここで、D：管径（=200mm）

V：管内流速（=Vc=0.84m/s）

$$Q = 0.026 \text{ m}^3/\text{s} = 1.58 \text{ m}^3/\text{min} \cdot \text{条}$$

（所要時間）

$$4,100 \text{ m} \div 0.84 \text{ m/s} = 4,881 \text{ s}$$

$$82 \text{ min}$$

しかしながら、通常時には日平均汚水量（=1.167m³/min）程度しか汚水が流入しないため、1.58（m³/min）-1.167（m³/min）=0.413（m³/min）の水量が不足する。したがって、不足する水量を上水で補う必要があるが、上水の引

込み管径が75～100mmとなり不経済であること、ポンプ場の存在する地域は水が豊富な地域でないことから、上水での供給は不可能であると考えられる。このことより、ここでは圧送した汚水を圧送管（2条管）内で循環させ、不足する水量を補う方式で検討した。

4) 汚水循環によるフラッシングの運転方法

圧送管内に汚水を充満させた状態で、ポンプ・バルブ等の操作により2条管を用いて汚水を循環させフラッシングを行う。

フラッシング運転時には、圧力損失が大きくなることより空気注入は考慮せず、往路についてはポンプ圧送、復路については自然流下によりポンプ井に汚水を循環させる。フラッシング運転は、その頻度が少ない（年1・2回程度）ためバルブ類は全て手動とし、ポンプ場と圧送先とで連携してバルブ操作を行うものとする。

操作手順は以下の通りである。

通常運転時

ポンプ井への戻り管のバルブは常時閉、圧送先の連結バルブも常時閉

フラッシング開始時

ポンプ場内の連結バルブを閉、ポンプ井への戻り管のバルブを開、吐き口のバルブ閉

フラッシング終了時

循環汚水と流入汚水でフラッシングに必要な流量1.58m³/min・条が確保でき、フラッシングがかかる。

しばらく後、ポンプ井の水位が上昇してくるため通常運転に戻す

5. 終わりに

検討結果より、圧送管内において硫化水素が発生する事が予測されるため、ポンプ場供用開始後、管内における硫化水素の生成濃度及び空気注入による抑制効果について追跡調査を行う必要がある。

参考文献

- 1) 下水道業務管理センター：EPA設計マニュアル 下水道施設の臭気と腐食対策、1988
- 2) 日本下水道協会：下水道統計 平成6年

- 3) Boon, A. G. : Septicity in Sewers : Causes, Consequences and containment. J. IWEM
4) 下水道圧送管路研究会 : 空気注入システムによる圧送管路の硫化水

- 素抑制対策、平成8年4月
5) 吉本国春ら : 圧送における土砂の堆積防止に必要な最小流速について、下水道協会誌論文集、Vol.30、No.357