

空気注入システムによる圧送管路の 硫化水素抑制対策

下水道圧送管路研究会

目 次

1. はじめに	1
2. 圧送管路における硫化水素問題	1
2.1 硫化水素発生メカニズム	1
2.2 硫化物生成の予測方法	2
3. 硫化水素抑制対策の種類	3
4. 空気注入手法の概要	4
5. 空気注入量の算定	4
6. 空気注入時の水理計算方法	6
7. 空気注入手法適用の可否の判断	9
8. 空気注入手法の設計手順および留意点	10
8.1 空気注入手法の設計手順	10
8.2 空気注入手法に関する留意点	11
9. 空気注入手法の実施例	12
9.1 宮城県柴田郡川崎町での実施例	12
9.2 神戸市での実施	15
9.3 福井県九頭竜川流域下水道での実施例	16
10. 空気注入手法の維持管理費の調査例	19
10.1 調査管路および空気注入施設の概要	19
10.2 調査時の状況	19
10.3 維持管理費の計算結果	20
11. おわりに	21
<参考文献>	21

1. はじめに

圧送管路内で汚水が長時間滞留すると、汚水中に酸素が供給されないため嫌気化が進行し、一般に硫化水素が発生しやすいと言われている。硫化水素はコンクリート施設の腐食を引き起こし、また悪臭の原因でもあるため、近年我が国でも硫化水素対策の重要性が認識されるようになってきた。そのため、様々な硫化水素抑制手法が提案され、基礎的な研究¹⁾もなされてきているが、これらの中で空気注入手法は既にいくつかの実施設で採用され、その硫化水素抑制効果が確認されている^{2) 3) 4) 5)}。

空気注入手法の考え方と硫化水素抑制効果、および維持管理費などについて、実施設での調査結果も含めてここに紹介する。

2. 圧送管路における硫化水素問題

2.1 硫化水素発生メカニズム

汚水圧送管路における硫化水素問題を図1に示す。圧送管路内で汚水が嫌気的な状態になると、硫酸イオンが嫌気性細菌である硫酸塩還元細菌によって還元され、硫化物が生成する。圧送管路内で生成した硫化物は、管路末端のマンホールや着水井などの吐き出し部分で空气中に硫化水素として放散され、悪臭の原因となる。さらに、その周辺で好気性細菌である硫黄酸化細菌によって硫化水素から硫酸が生成され、コンクリート施設の腐食を引き起こす。

ただし、圧送管路内は、通常満流状態であるため硫化水素が放散されることはなく、圧送管路自体への悪影響の心配はない。

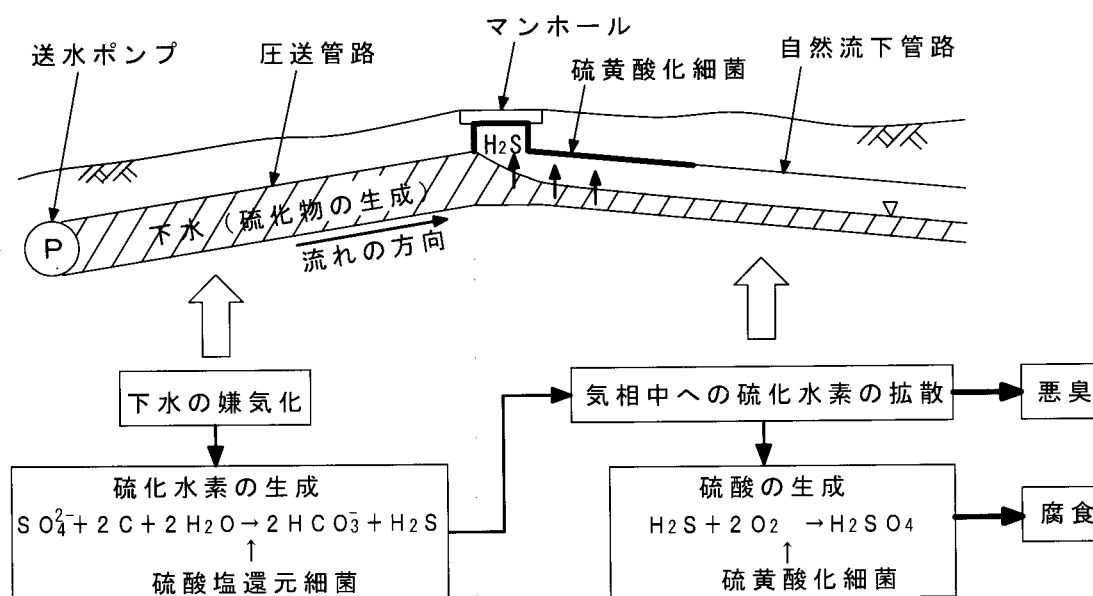


図1 汚水圧送管路における硫化水素問題のメカニズム

2.2 硫化物生成の予測方法

圧送管路における硫化物の生成速度については、いくつかの予測式^{6) 7) 8) 9)}が提案されている。これらの中の代表的なものとして、アメリカ環境保護庁（EPA）設計マニュアル⁶⁾の式を(1)式に示す。ただし、ここで用いられている式中の係数は経験的に決定されたものであり、条件が異なれば数値も異なることを考慮しておく必要がある。

また、圧送管路での硫化物生成量は(1)式を変形した(2)式で求めることができる。参考までに、(2)式を用いた硫化物生成量の計算例を図2に示す。

なお、EPA設計マニュアル⁶⁾では、溶存硫化物濃度が1.0～1.5mg/l以上あると（場合によっては、1.0mg/l未満の場合でも）臭気や腐食問題につながると報告されている。また、pH7.0で溶存硫化物濃度2mg/lの汚水が閉空間にある場合には、300ppmの硫化水素濃度が検出できるとしている。

$$\frac{dS}{dT} = M \times \text{BOD} \times 1.07^{(t-20)} \times \left(\frac{4}{D} + 1.57 \right) \quad (1)$$

dS/dT : 硫化物生成速度 [mg/(l・hr)]

M : 係数（圧送管路については経験的に0.001が妥当である）

BOD : BOD濃度 (mg/l)

t : 汚水水温 (°C)

D : 管径 (m)

$$S = M \times \text{BOD} \times 1.07^{(t-20)} \times \left(\frac{4}{D} + 1.57 \right) \times \frac{L}{3600 \times V} \quad (2)$$

S : 圧送管路での硫化物生成量 (mg/l)

L : 管路長 (m)

V : 汚水平均流速 (m/sec) = 計画汚水量 / 管路断面積

備考：汚水平均流速Vは、ポンプ停止時も考慮した1日当たりの平均流速であり、ポンプの送水能力を意味するものではない。

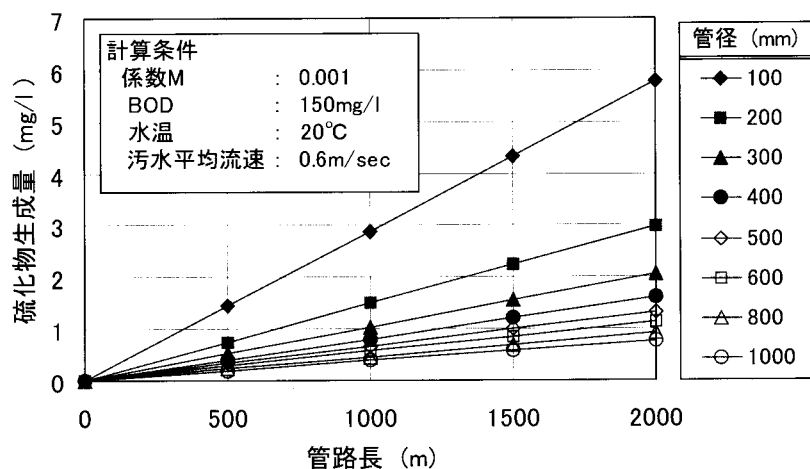


図2 硫化物生成量の計算例

さらに、EPA設計マニュアルでは、表1に示すように酸化還元電位（ORP）が負の場合にのみ硫酸塩還元反応により硫化物が生成されるとしているため、これらの指標も参考にすればよい。

表1 ORPと硫化物の生成

ORP (mV)	状 況
+50	嫌気性細菌の活動はない
0	微弱な嫌気性細菌の活動
-100~-200	嫌気性細菌の活動にとって最大の効率
-50~-300	硫酸塩還元細菌による硫化物生成に好条件

3. 硫化水素抑制対策の種類

圧送管路における硫化水素抑制対策については種々の方法が提案されており、その代表的なものを図3に示す⁶⁾。これらの対策は、各々の管路の状況に応じて適切な方法を選択して導入すべきものである。ただし、汚水の性状や管路末端などの状況によっては必ずしも必要なわけではない。

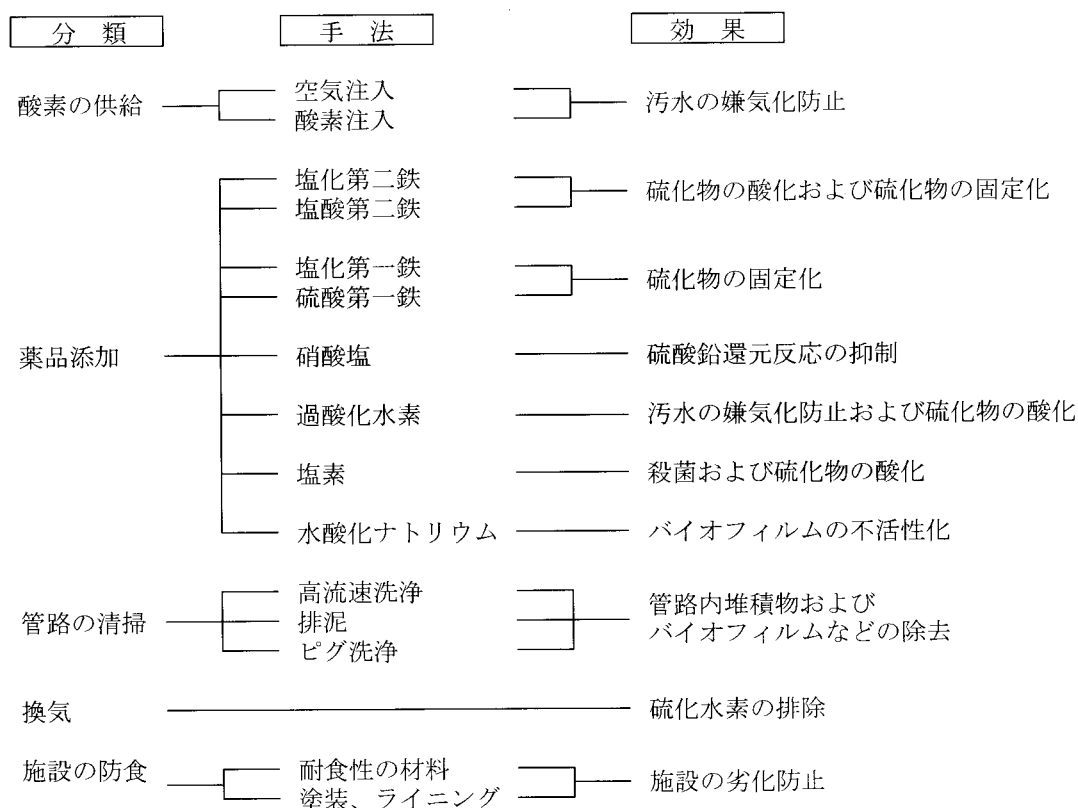


図3 硫化水素抑制対策の例

4. 空気注入手法の概要

空気注入手法とは、図4に示すように圧送管路内に直接空気を注入し、汚水と空気を一緒に流すことで下水を好気性に保持し、硫化物の生成を抑制するものである。その特徴を以下に示す。

- ①必要な設備は、コンプレッサー、圧力タンク、空気流量計などの単純な機器である（図4参照）。
- ②取り扱いが簡単で、厳密な制御は必要でない。
- ③直接の維持管理費は、主にコンプレッサーの電気代である。
- ④汚水の性状をあまり変質させない。
- ⑤満流時と水理的に異なる流れとなるため、事前に圧力損失を検討しておく必要がある。

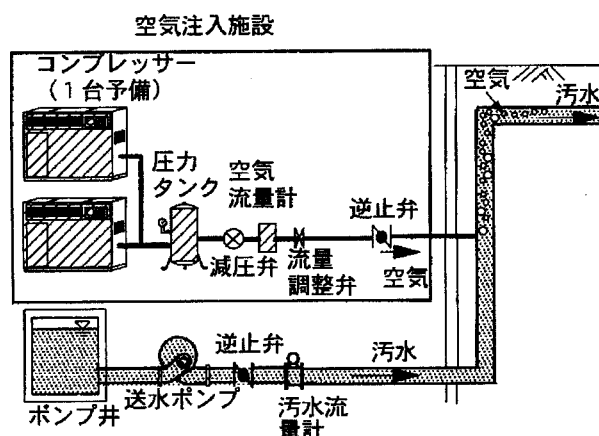


図4 空気注入施設の典型的な例

5. 空気注入量の算定方法

硫化物の生成を抑制するために必要な空気量の算定方法は、数種のものが提案されている。ここでは、管路内で浮遊バイオマスとバイオフィルム（図5参照）によって消費される酸素を補うことにより嫌気化を防止できると考え、これによる必要空気注入量の算定方法を示す。管路内で消費される酸素量は(3)式によって表される⁶⁾。

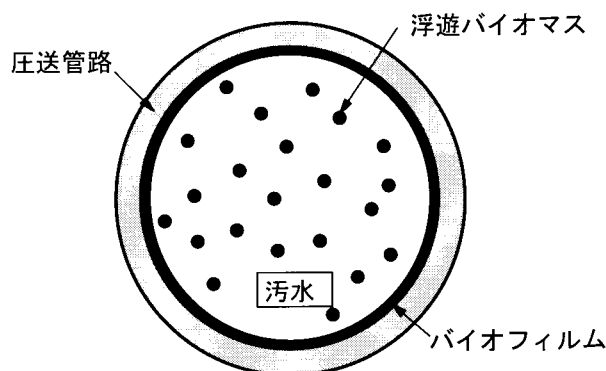


図5 管路内の酸素消費モデル

$$W = \left(R_r + \frac{4 R_e}{D} \times 10^{-3} \right) \times \frac{\pi D^2 \times L}{4} \quad (3)$$

- W : 酸素消費量 (gO₂/hr)
 R : 浮遊バイオマスによる酸素消費速度 [mg/(l·hr)]
 R_e : バイオフィルムによる酸素消費速度 [mg/(m²·hr)]
 D : 管径 (m)
 L : 管路長 (m)

各水温において管路内で消費される酸素量に相当する空気量（大気圧下での空気量として）は、空気中の酸素濃度を21%、標準的な R_r 、 R_e として水温15℃での値を採用した場合、(4)式に変形して求められる。

$$Q_A = \left(R_r + \frac{4 R_e}{D} \times 10^{-3} \right) \times \frac{\pi D^2 \times L}{72000} \times \Theta^{t-15} \quad (4)$$

- Q_A : 消費される酸素量を供給するために必要な空気注入量 (m³/min)
 t : 汚水水温 (°C)
 Θ : 温度補正係数 (通常1.07が用いられる)

浮遊バイオマスによる酸素消費速度 R_r 、バイオフィルムによる酸素消費速度 R_e についてはいくつかの測定値^{1) 6) 10) 11)}が報告されているが、 R_r を6mg/(l·hr) (15℃時)¹⁰⁾、 R_e を700mg/(m²·hr) (15℃時)¹⁰⁾として、空気注入量を求めればよい。なお、実際の空気注入量は、安全を考慮して以上の手順で求めた値の1.5倍程度の量にすることを推奨する。

参考までに、(4)式を用いた空気注入量の計算例を図6に示す。

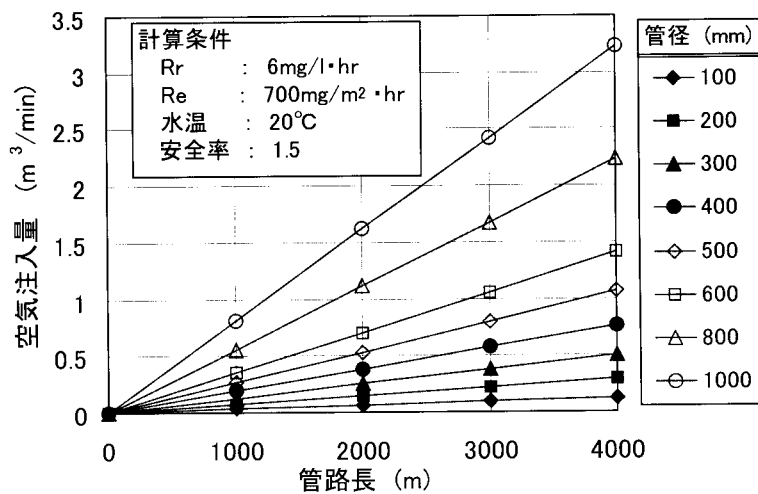


図6 空気注入量の計算例

6. 空気注入時の水理計算方法

圧送管路に空気を注入することにより、管路内の流れは気液2相流となる。気液2相流では汚水のみが満管で流れる場合と水理的に異なる流れとなるので、事前に圧力損失などを検討しておく必要がある。一般的に、気液2相流の流れは混合流、分離流、間欠流の3つに分けることができる（図7参照）。

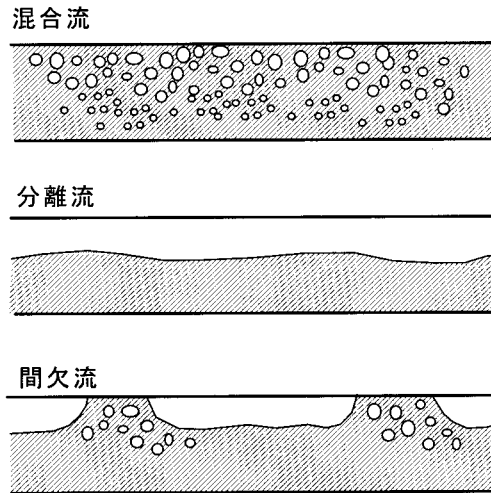


図7 気液2相流の流れの状況

圧送管路に空気を注入した場合の水理特性については、表2に示す計算手法が提案されている^{12) 13)}。計算の際には管路を上りこう配部、水平部、下りこう配部に分割し、以下の要領で圧力損失の計算を行う。

- ①上りこう配部は間欠流とし、エアーリフト効果を考慮する。
- ②水平部は間欠流とし、エアーリフト効果を考慮しない。
- ③下りこう配部は、自然流下状態または間欠流となると想定し、どちらか大きい方の値を用いる。

表2 気液2相流の圧力損失計算式

①基本式	②混合流モデル式
$J_L = Q_L / A_1$	$I_M = n^2 J_M^2 (\rho_M / \rho_L) / R^{4/3}$
$J_A = \{ 0.1013 / (0.1013 + P) \} \times Q_A / A_1$	$\alpha_M = J_A / J_M$
$\rho_A = \{ 0.1013 / (0.1013 + P) \} \times \rho_{A0}$	$J_M = J_L + J_A$
	$\rho_M = (J_A \rho_A + J_L \rho_L) / J_M$

③分離流モデル式

$$I_S = n^2 \left\{ J_L + J_A \left(\rho_A / \rho_L \right)^{1/2} \right\}^2 / R^{4/3}$$

$$\alpha = \frac{\left(\rho_A / \rho_L \right)^{1/2} J_A}{\left(\rho_A / \rho_L \right)^{1/2} J_A + J_L}$$

④間欠流モデル式

$$I_{TP} = I_M^m \times I_S^{(1-m)}$$

$$\alpha_{TP} = \frac{J_A}{J_A + J_L / \left[k_1 \left\{ 100 (P + 0.1013) / g \right\}^{0.25} \right] + 0.35 (g D)^{0.5}}$$

⑤間欠流モデルでエアーリフト効果を考慮した式

⑥自然流下モデル式

$$I_F = I_{TP} - \alpha_{TP} H_A / L$$

$$I_g = H_A / L$$

J_L : 水容積流束 (m³/sec)、 J_A : 空気容積流束 (m³/sec)、 Q_L : 下水流量 (m³/sec)、

Q_A : 空気流量 (m³/sec)、 P : 管内圧力 (MPa)、 A_1 : 管断面積 (m²)、 ρ_A : 空気密度 (kg/m³)、

ρ_{A0} : 大気圧下での空気密度≒1.16 (kg/m³)、 I_M : 混合流モデルでの損失水頭こう配 (m/m)、

n : Manning式の粗度係数、 J_M : 気液2相の容積流束 (m³/sec)、

ρ_M : 気液2相の平均密度 (kg/m³)、 ρ_L : 水密度≒1000 (kg/m³)、 R : 径深 (m)、

α_M : 混合流モデルでのボイド率、 I_S : 分離流モデルでの損失水頭こう配 (m/m)、

α_S : 分離流モデルでのボイド率、 I_{TP} : 間欠流モデルでの損失水頭こう配 (m/m)、

α_{TP} : 間欠流モデルでのボイド率、 m : 調整係数、 k_1 : 液層流量換算係数、

g : 重力加速度 (≒9.8m/sec²)、 D : 管径 (m)、

I_F : 間欠流モデル(エアーリフト効果あり)での損失水頭こう配 (m/m)、 H_A : 管路高低差 (m)、

L : 管路長 (m)、 I_g : 自然流下モデルでの損失水頭こう配 (m/m)

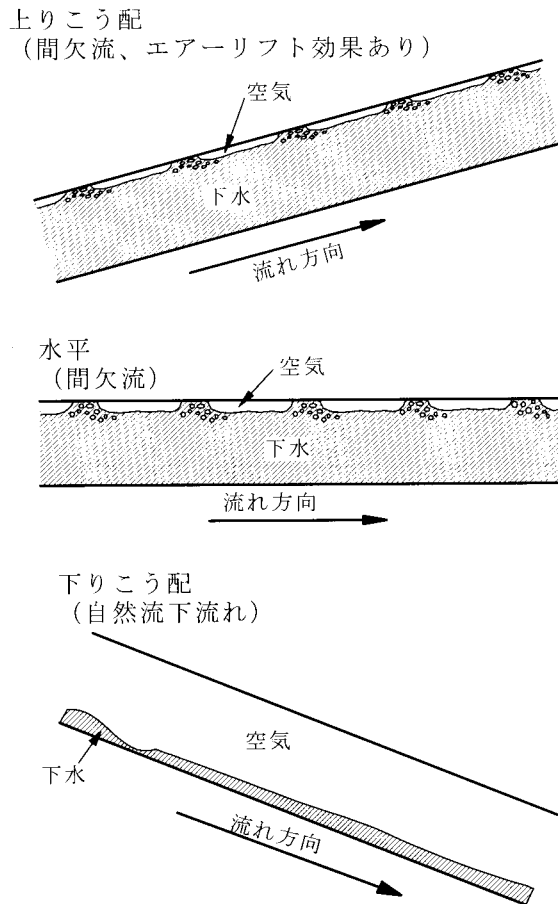


図8 各こう配での流れの状況

表3に空気注入時と満流時の圧力損失の比較を示す。空気注入時の圧力損失は管路形状によって大きく異なり、特に下りこう配部で圧力損失が大きくなるため、設計を行う時に注意が必要である。また、上りこう配部では、管断面に占める気相部の比率（以下、ボイド率という）が大きくなると、エアリフト効果（空気が下水を持ち上げる力）の影響により満流時と比較して圧力損失は小さくなる。

表3 空気注入時と満流時の圧力損失の比較

管路こう配	圧力損失
上りこう配部	気液2相流ではエアリフト効果が働くため、空気注入時の方が圧力損失は小さくなる。ボイド率が大きいほど、エアリフト効果の影響は大きくなる。
水平部	空気注入時と満流時で圧力損失にほとんど差はない。
下りこう配部	空気注入時には管内が自然流下状態になるため、圧力損失が大きくなる。

7. 空気注入手法適用の可否の判断

前述のように、空気注入時の流れの状況は管路形状によって大きく異なり、その概要は以下ようになる（図8参照）。

①上りこう配部および水平部

間欠流となり、空気は管頂部を下水流速より高速で流れる。また、ボイド率は小さく、管断面の大部分を下水が占める。

②下りこう配部

自然流下と同様の流れとなり、管底部を下水が流れる。ボイド率は大きくなり、管断面の大部分を空気が占め、下水の比率はわずかである。また、下りこう配部全線にわたり空気がつながった状態になる。

そこで、管路形状によって以下に示す2ケースに分けて、空気注入手法の適用の可否を判断する。

(1) 管路全線が上りこう配または水平の場合

①特徴

全線にわたり圧縮された空気の管断面に占める割合は小さい。そのため、仮に他工事などの影響で管が破損した場合にも、その影響は空気注入時と満流時とでほとんど差異はないと推測される。

②空気注入手法適用の可否の判断方法

満流時と同様の管路の安全性検討を行えば、全揚程に関わらず空気注入手法を適用できる。ただし、空気配管には必ず減圧弁を設置し、空気配管内の圧力が過度に高くなるようにする必要がある。

(2) 管路の一部に下りこう配がある場合

①特徴

下りこう配部では管断面の大部分を空気が占めるため、仮に他工事などの影響で管が破損した場合、多大な被害が発生することもある。

②空気注入手法適用の可否の判断方法

下りこう配部が存在する管路に空気注入を行うことで、管内圧力が高くなる場合、空気注入手法適用の可否の判断は表4による。全揚程は、表2中の式を用いて計算を行う。

表4 空気注入手法適用の可否の判断方法

全揚程(m)	コンプレッサーの種類	適用可否の判断
50未満	低圧	空気注入手法を適用できる。
50以上 65未満		空気注入手法を適用できるが、管内圧力が高くなるため、他の硫化水素抑制対策を適用することを推奨する。空気注入手法を適用する場合には、安全に対する十分な配慮が必要である。
65以上	中圧	管破損時などの影響を考慮すると、空気注入手法を適用すべきではないと考える。

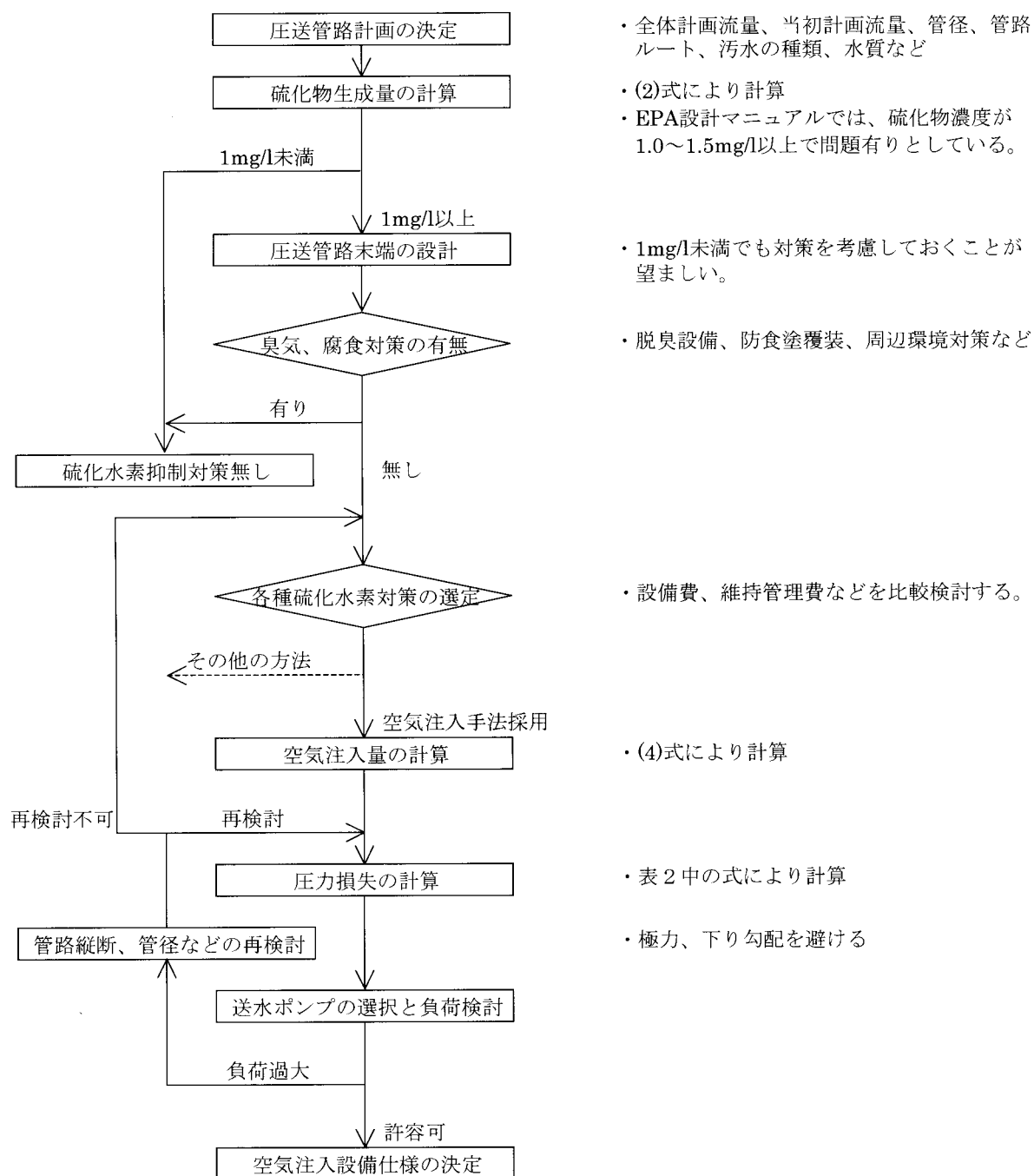
備考) 全揚程は、将来計画を考慮したポンプ運転条件について計算を行う。

8. 空気注入手法の設計手順および留意点

圧送管路を設計する際に、硫化水素抑制対策として空気注入手法を採用する場合の設計手順や留意点を以下に述べる。

8.1 空気注入手法の設計手順

空気注入手法の設計手順の一例を図9に示す。



- 全体計画流量、当初計画流量、管径、管路ルート、汚水の種類、水質など

- (2)式により計算
- EPA設計マニュアルでは、硫化物濃度が1.0～1.5mg/l以上で問題有りとしている。

- 1mg/l未満でも対策を考慮しておくことが望ましい。

- 脱臭設備、防食塗覆装、周辺環境対策など

- 設備費、維持管理費などを比較検討する。

- (4)式により計算

- 表2中の式により計算

- 極力、下り勾配を避ける

図9 空気注入手法の設計手順の例

8.2 空気注入手法に関する留意点

空気注入手法の設計上、あるいは維持管理上における主な留意点を以下に述べる。

①空気注入は1日24時間連続実施

間欠運転などによる送水ポンプ停止時も、空気注入は連続して行う。

②空気弁の補修弁の閉鎖

空気注入実施時には、補修弁を閉じておき空気弁は使用しない。ただし、竣工検査時の管内充水や緊急時の汚水排水のために、要所には空気弁を設けておく。

③空気注入点の場所およびレベル

空気注入点は必ず流量計の下流側でかつ流量計よりレベル的に高い位置とし、流量計や送水ポンプが空気の逆流などの影響を受けないようにする（図4参照）。

④コンプレッサーの台数

コンプレッサーは、保守点検や不具合発生を考慮して、予備機を設置しておくことが望ましい（図4参照）。

⑤適切な送水ポンプの選定

事前に圧力損失の検討を十分行い、適切な能力の送水ポンプを選定する。

⑥下りこう配を減らした管路設計

空気注入時の圧力損失は満流時に比べ下りこう配部で増大するため、極力下りこう配を避けて管路設計することが望ましい。

⑦多重圧送時の逆流防止対策

多重圧送のように管路途中に流入部がある場合には、支管への逆流を防止するため、支管側の送水ポンプの能力検討などを行なっておく必要がある。

⑧汚水水質の変化

空気注入を行うことで汚水の水質に大きな変化はなく、ORPや溶存酸素濃度が上昇（汚水の好気化）する程度である。

9. 空気注入手法の実施例

9.1 宮城県柴田郡川崎町での実施例⁵⁾

宮城県柴田郡川崎町殿では、収集された生活排水を町中心部から約10km下流にある釜房環境浄化センターに幹線管渠で送水しており、幹線の上流部約3.5kmで圧送方式を採用している。平成9年から硫化水素対策として空気注入を実施している。

9.1.1 管路の概要

空気注入手法を採用した管路の概要は以下の通りである（図10参照）。また、空気注入施設の状況を写真1に示す。

- ①管路名称 : 大針中継ポンプ場圧送管路
- ②管径×管路長 : $\phi 350\text{mm} \times 3477\text{m}$
- ③管種 : ダクタイル管（内面モルタルライニング）
- ④下水の種類 : 主に家庭排水
- ⑤供用開始年 : 昭和60年
- ⑥空気注入開始年 : 平成9年（予備試験を平成8年に実施）

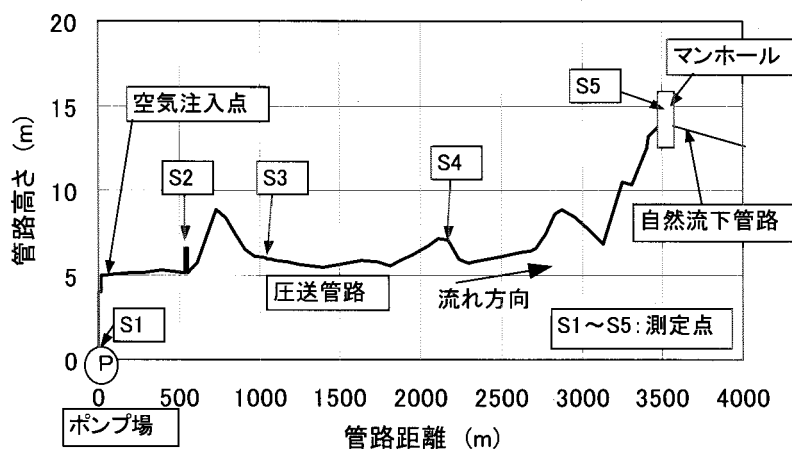


図10 管路の概要

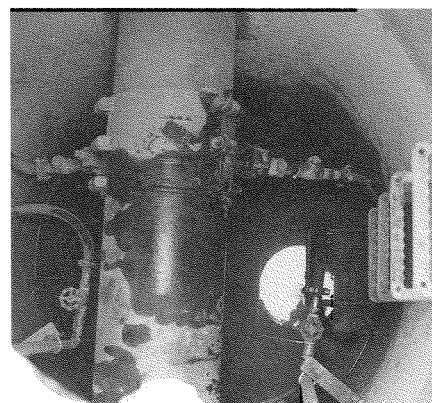
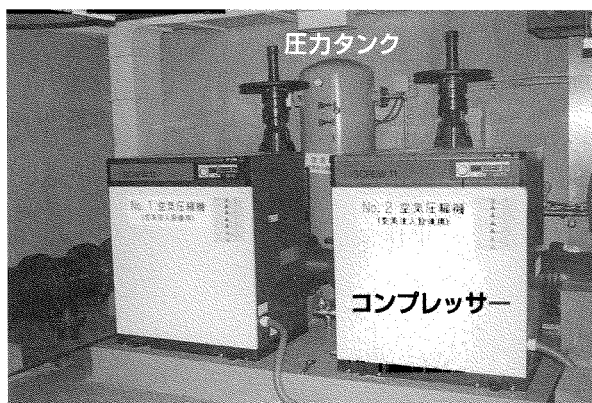


写真1 空気注入施設の状況

9.1.2 空気注入による硫化水素抑制効果

空気注入開始前日、空気注入開始当日および空気注入開始1週間後の管路末端マンホール内での気相中硫化水素濃度測定結果を図11に示す。硫化水素濃度は、空気注入開始前日には最大で380ppm、空気注入開始当日の空気注入前には最大で500ppm以上と高濃度であった。それに対し、空気注入開始2時間後から硫化水素濃度は徐々に低下し、4.5時間後には20ppm以下となり、空気注入開始から短時間で硫化水素抑制効果が現れた。空気注入開始から1週間後の測定では、硫化水素濃度は最大で10ppmと空気注入前と比較して非常に低くなっており、測定時間の大半はほとんど検出されなかった。

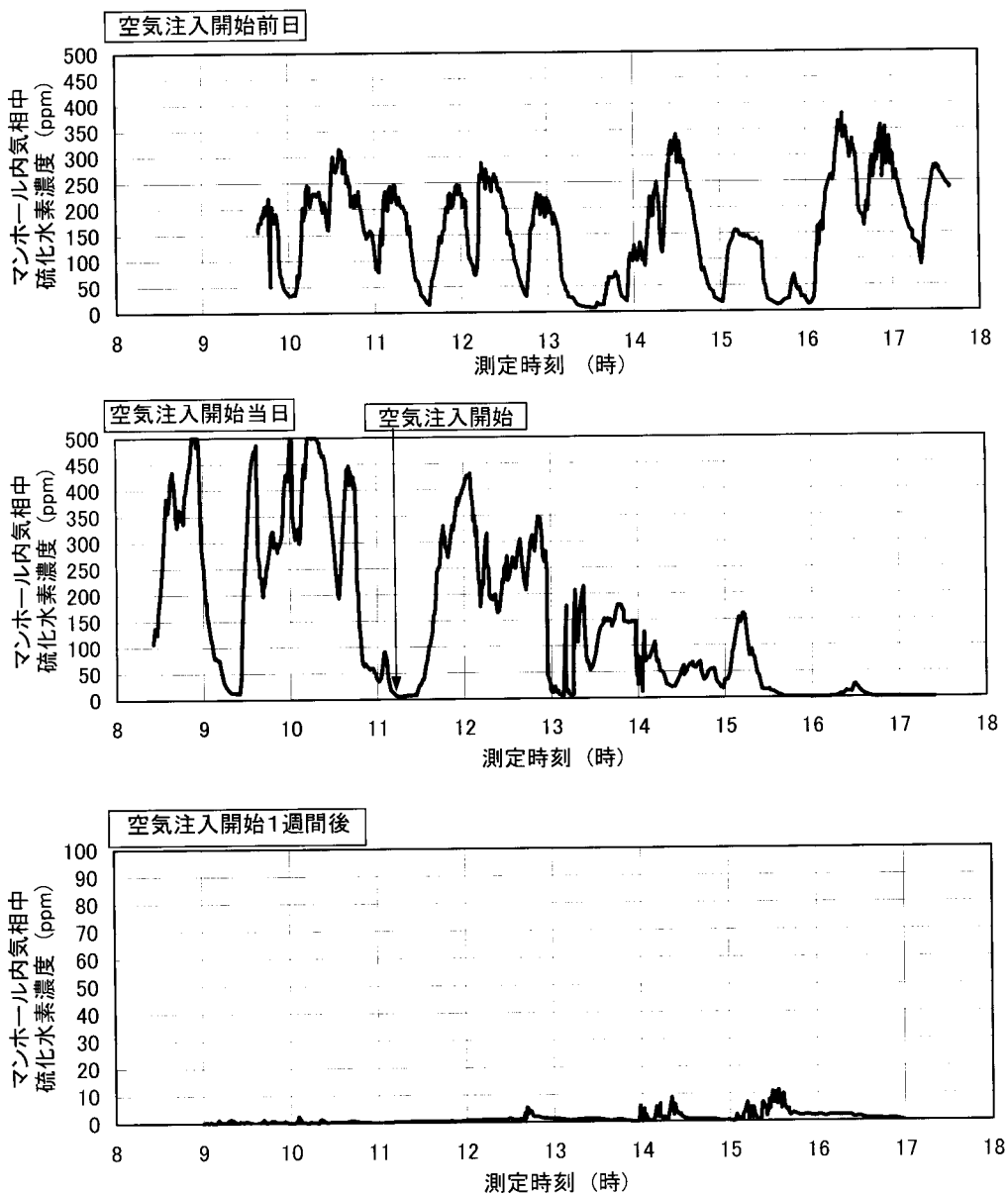


図11 圧送管路末端のマンホール内気相中硫化水素濃度の測定結果

9.1.3 水理特性の調査結果

(1) 満流時と空気注入時の比較

満流時と空気注入時の比較を表5に示す。ポンプ吐出圧は、空気注入時には満流時と比較して5.9~6.4m高くなっており、同時に下水流量は約25%低下した。これは、空気を注入することで、管路での圧力損失が大きくなったためである。

表5 満流時と空気注入時の比較

ケース	空気注入量 m ³ /min	下水流量 m ³ /min	ポンプ吐出圧 m
①	なし (満流)	2.90	18.4
②	0.371	2.22	24.3
③	0.124	2.14	24.8

(2) 管路内圧力の挙動

図12に満流時および空気注入時における管路内圧力（図10の測定点S2）の挙動を示す。満流時には、ポンプ停止直後に急激な圧力の低下が生じ、その後変動を繰り返していた。一方、空気注入時のポンプ停止直後は緩やかな圧力低下を示し、満流時のような急激な圧力変動は見られなかった。このように空気注入時にウォーターハンマー現象が生じなかった理由として、注入された空気がエアークッションとして働いたためと推測される。

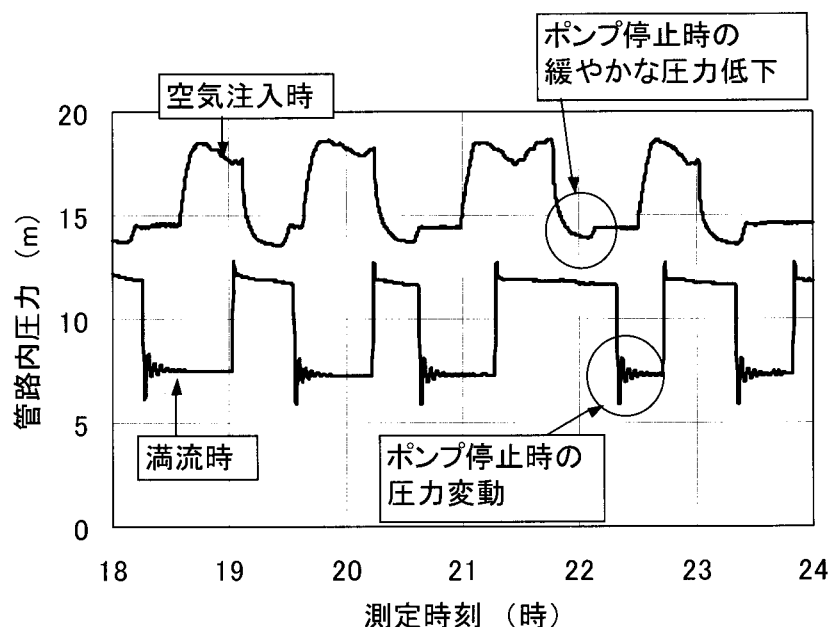


図12 管路内の圧力挙動

(3) 管路内圧力の計算値と実測値の比較

表 2 中の式で計算した管路内圧力と実測値の比較結果を図 1 3 に示す。全ての測定点で計算値と実測値は比較的良好に合っており、本管路ではこの計算式により圧力損失をほぼ正確に求められることが実証された。

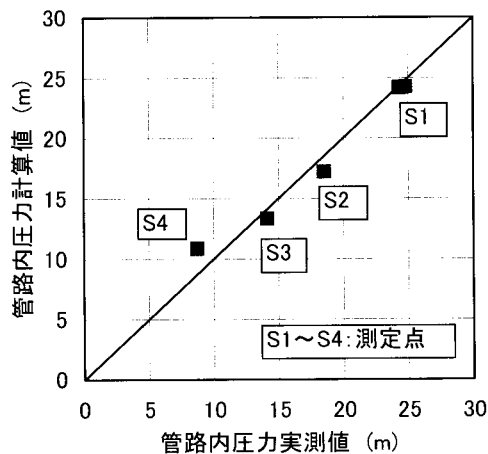


図 1 3 管路内圧力の計算値と実測値の比較

9.2 神戸市での実施例^{2) 12)}

神戸市殿では、内陸部に立地する住宅・産業団地の汚水送水幹線に圧送方式を採用している。供用開始直後から硫化水素抑制のために空気注入を実施している。

9.2.1 管路の概要

空気注入手法を採用した管路の概要は以下の通りである（図 1 4 参照）。

- ①管路名称 : 岩岡幹線
- ②管径×管路長 : $\phi 350\text{mm} \times 3462\text{m}$ (2条管路)
- ③管種 : ダクタイル管 (内面モルタルライニング)
- ④下水の種類 : 主に家庭排水および工場排水
- ⑤供用開始年度 : 平成2年
- ⑥空気注入開始年度 : 平成2年

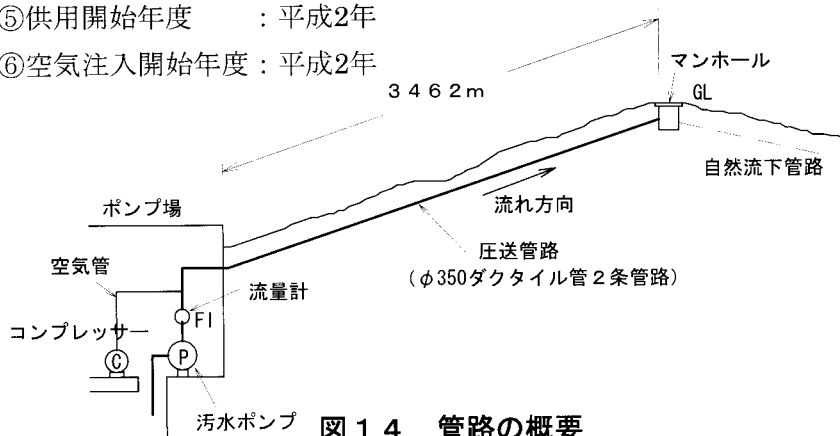


図 1 4 管路の概要

9.2.2 空気注入による硫化水素抑制効果

圧送管路末端マンホール内での気相中硫化水素の測定結果の一例を、図15に示す²⁾。空気注入を実施しなかった場合、硫化水素濃度は最大で150ppm以上に達していた。それに対し空気を注入した場合、硫化水素濃度はピーク時で5ppm以下に抑制されており、空気注入による硫化水素抑制効果が確認された。

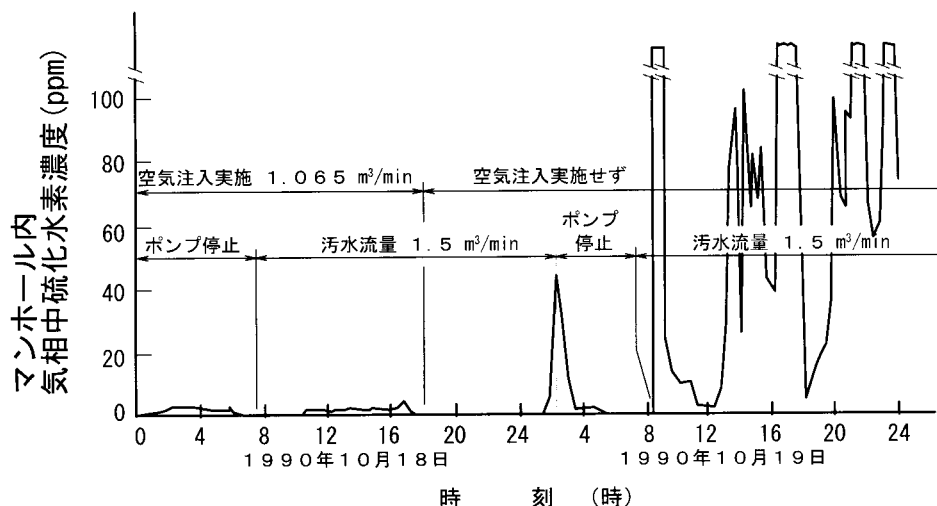


図15 圧送管路末端のマンホール内気相中硫化水素濃度の測定結果

9.3 福井県九頭竜川流域下水道での実施例⁴⁾

福井県九頭竜川流域下水道殿の処理区域は平坦で広い田園地帯であり、収集された汚水は数カ所のポンプ場から圧送管路で九頭竜川浄化センターまで長距離送水されている。主な幹線の一つである南部幹線で、硫化水素抑制対策として空気注入を実施している。

9.3.1 管路の概要

空気注入手法を採用した管路の概要は以下の通りである（図16参照）。

- ①管路名称 : 南部幹線（兵庫川ポンプ場→九頭竜川浄化センター）
- ②管径×管路長 : $\phi 400\text{mm} \times 6228\text{m}$ （2条管路）
管路の途中に春江ポンプ場からの合流（ $\phi 350\text{mm}$ ）あり
- ③管種 : ダクタイト管（内面モルタルライニング）
- ④下水の種類 : 主に家庭排水
- ⑤供用開始年度 : 昭和62年
- ⑥空気注入開始年度 : 平成9年

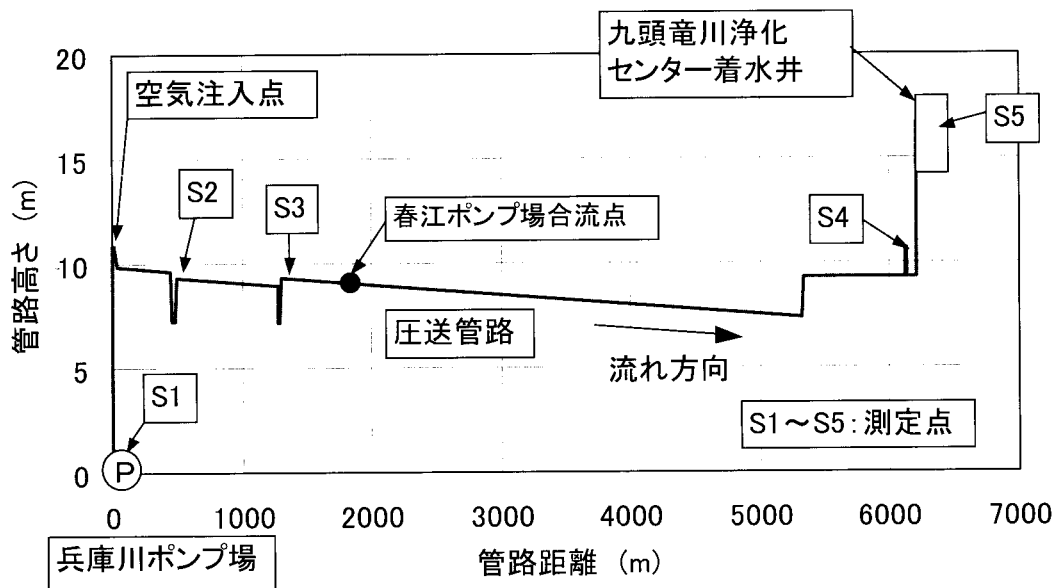


図 16 管路の概要

9.3.2 空気注入による硫化水素抑制効果

九頭竜川浄化センター着水井内（測定点S5）での気相中硫化水素濃度調査結果を図 17 に示す。空気注入開始前には最大600ppm程度と非常に高濃度の硫化水素が発生していた。それに対し、空気注入を行うと硫化水素濃度は15ppm以下と空気注入前と比較して低くなっており、空気注入による硫化水素抑制効果が確認された。

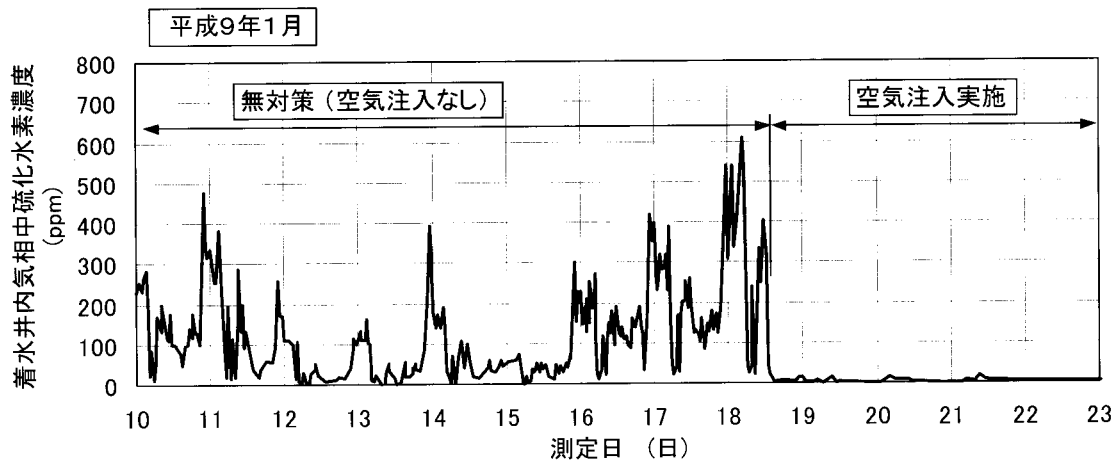


図 17 着水井内気相中硫化水素濃度の測定結果

9.3.3 水理特性の調査結果

(1) 満流時と空気注入時の比較

空気注入量および汚水流量を変化させて、表6に示す8ケースで調査を行った。送水ポンプ2台運転時のポンプ吐出圧は、満流時に33.5mであったものが、空気注入時には注入量に関わらず37.4mと3.9m程度高くなっていた。同時に、汚水流量は満流時の7.10m³/minに対し、空気注入時には6.12~6.22m³/minと約13%低下した。これは、空気を注入することで、管路での圧力損失が大きくなったためである。

表6 水理調査時の運転条件およびポンプ吐出圧

ケース	送水ポンプ 運転条件	空気注入量 m ³ /min	下水流量 m ³ /min	ポンプ吐出圧 m
①	2台運転	なし(満流)	7.10	33.5
②	2台運転	1.02	6.22	37.4
③		1.71	6.22	37.4
④		2.89	6.12	37.4
⑤	1台運転	1.03	3.93	30.4
⑥		1.58	3.90	29.8
⑦		1.71	3.83	30.4
⑧		3.38	3.82	30.6

備考) 汚水流量および空気注入量は管路1条当たりの量を示す。

(2) 管路内圧力の計算値と実測値の比較

表2中の式で計算した管路内圧力と実測値の比較結果を図18に示す(図中のケースは表4参照)。汚水流量や空気注入量に関わらず、全ての測定点で計算値と実測値はよく合っており、本管路でもこの計算式により圧力損失をほぼ正確に求められることが実証された。

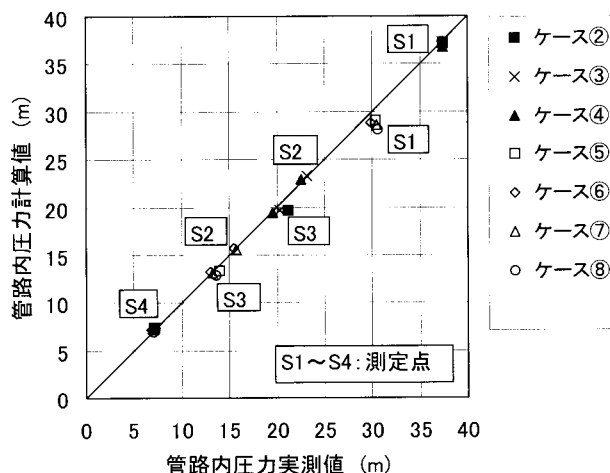


図18 管内圧力の計算値と実測値の比較

10. 空気注入手法の維持管理費の調査例

10.1 調査管路および空気注入施設の概要

空気注入手法の維持管理費の調査を、表7に示す3箇所の管路で実施した¹⁵⁾。なお、維持管理費の調査を実施した管路は、前節の空気注入手法実施例で示した管路とは同一ではない。

表7 調査管路および空気注入施設の概要

管路	管路名		A	B	C
	管 径		φ 500mm (2条)	φ 400mm (2条)	φ 350mm
	延 長		約1500m	約6200m	約3500m
空気 注 入 施 設	コンプレッサー	空気量	1.05m ³ /min	3.70m ³ /min	1.55m ³ /min
		吐出圧力	0.83MPa	0.69MPa	0.83MPa
		モータ出力	7.5kW	22kW	11kW
		台数	2台(1台は予備)	2台(1台は予備)	2台(1台は予備)
	圧力タンク	容量	0.15m ³	0.7m ³	0.7m ³
		台数	2台	2台	1台
	空気流量計	型式	フロート式流量計	渦流量計	渦流量計
		個数	2個	2個	1個
	空気注入配管		1式	1式	1式
	制御盤、電気施設など		1式	1式	1式

備考) 空気注入施設の一般的な配置については図4を参照。

10.2 調査時の状況

維持管理費調査実施時の下水水温と空気注入施設の運転状況を表8に示す。

表8 維持管理費調査時の状況

管路名	A	B	C
調査時期	平成10年12月	平成10年10月	平成10年11月
下水水温	19℃	24℃	18℃
空気注入量	1.00m ³ /min	3.44m ³ /min	0.36m ³ /min
コンプレッサー稼働時間	24時間/日	24時間/日	5.5時間/日

10.3 維持管理費の計算結果

空気注入施設の直接の維持管理費は、主にコンプレッサーの電力費である。ただし、空気注入を行うと満流時と比較して圧力損失が大きくなるため、送水量が少なくなる。そのため、送水ポンプの稼働時間が長くなり、その分電力費が余分に必要となる。そこで、コンプレッサー電力費とポンプ稼働時間の延長分の電力費が、実際に必要な空気注入のための維持管理費と考えることができる。

表9～11に3ヶ所の管路の維持管理費の調査結果を示す。汚水送水量1m³当りの空気注入維持管理費は、0.24～0.86円/m³と比較的安価であることが確認された。これは、下水道維持管理費（人件費、ポンプ場や処理場の電力費、薬品代など）の平成8年度の全国平均値 71円/m³¹⁶⁾に対し0.34～1.21%であった。

表9 空気注入に必要な電力量と維持管理費（管路A）

	コンプレッサー	ポンプ稼働時間延長分	合計
1日当り電力量	177kWh/日	122kWh/日	299kWh/日
1日当り維持管理費	2,124円/日	1,464円/日	3,588円/日
送水量1m ³ 当り維持管理費	0.14円/m ³	0.10円/m ³	0.24円/m ³

備考1) 電力量および維持管理費は管路2条当たりの結果を示す。

備考2) 電力料金の単価は12.0円/kWhと設定した。

表10 空気注入に必要な電力量と維持管理費（管路B）

	コンプレッサー	ポンプ稼働時間延長分	合計
1日当り電力量	590kWh/日	158kWh/日	748kWh/日
1日当り維持管理費	5,959円/日	1,596円/日	7,555円/日
送水量1m ³ 当り維持管理費	0.50円/m ³	0.13円/m ³	0.64円/m ³

備考1) 電力量および維持管理費は管路2条当たりの結果を示す。

備考2) 調査時には、安全を考慮して硫化水素抑制に必要な量以上の空気が注入されていた。従って、注人量の制御を行えば維持管理費を削減できる可能性がある。

備考3) 電力料金の単価は10.1円/kWhと設定した。

表11 空気注入に必要な電力量と維持管理費（管路C）

	コンプレッサー	ポンプ稼働時間延長分	合計
1日当り電力量	56kWh/日	53kWh/日	109kWh/日
1日当り維持管理費	644円/日	610円/日	1,254円/日
送水量1m ³ 当り維持管理費	0.44円/m ³	0.42円/m ³	0.86円/m ³

備考1) 電力料金の単価は11.5円/kWhと設定した。

11. おわりに

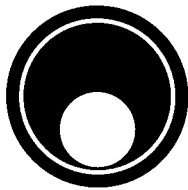
下水道整備の中心は中小市町村に移りつつあり、今後効率的な下水道整備を進める上で圧送方式の役割はより大きくなっていくと考えられる。こうした中、圧送方式の最大の技術的課題であった硫化水素問題も、近年の技術開発によって合理的に解決できるようになってきている。本資料では、硫化水素抑制対策の一つである圧送管路への空気注入手法を取り上げ、考え方や効果について実施での例を含めて紹介した。

今後圧送方式を採用される場合、あるいは硫化水素抑制対策を検討される場合に、参考資料として利用していただければ幸いである。

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所共同研究報告書 第194号：下水道施設における経済的な硫化水素対策技術の開発に関する共同研究報告書 (1998)
- 2) 田中直也, 竹中恭三：圧送汚水幹線への空気注入による圧力損失の検討, 第31回下水道研究発表会講演集 (1994)
- 3) 佐藤秀朗, 木下勲, 田中直也：圧送汚水幹線への空気注入の事例, 月刊下水道, Vol.18, No.4 (1995)
- 4) 泉宏導：圧送方式の維持管理の事例, 月刊下水道, Vol.22, No.2 (1999)
- 5) 佐藤典敬, 越智孝敏, 能勢正樹, 堀江崇：空気注入による硫化水素抑制手法に関する調査事例, 下水道協会誌, Vol.36, No.446 (1999)
- 6) US EPA : Design Manual, Odor and corrosion control in sanitary sewerage systems and treatment plants.(1985)
(日本語版：(財)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))
- 7) Boon,A.G., Lister.A.R. : Formation of Sulphide in Rising Main Sewers and Its Prevention by Injection of Oxygen. Prog. Water Tech. Pergamon Press (1975)
- 8) Thistlethwayte,D.K.B. : The Control of Sulphide in Sewerage Systems, Butterworth Pty Ltd. Australia (1972)
- 9) Hvitved-Jacobsen,T. : Hydrogen Sulphide Control in Municipal Sewer, Pretreatment in Chemical Water and Wastewater Treatment, Springer Verlag Berlin Heidelberg (1988)
- 10) Boon,A.G. : Septicity in Sewers ,Causes, Consequences and Containment, Water Science & Technology, Vol.31, No.7 (1995)

- 11) Cao, Y.S., Alaerts, J.D. : Aerobic biodegradation and microbial population in a channel with suspended and attached biomass. Specialized International Conference "The Sewer as a Physical, Chemical and Biological Reactor ", Conference Document (1994)
- 12) 亀田泰武, 森田泰次郎 : 200mm管における気液二相流実験, 混相流, Vol.7, No.3 (1993)
- 13) 亀田泰武 : 下水道圧送管における空気注入の基礎研究, 東京大学学位論文 (1994)
- 14) 竹中恭三, 大西修, 田中直也, 赤松尚 : 空気注入による圧送汚水幹線の硫化水素対策, ダクタイル鉄管, No.53 (1992)
- 15) 二宮 一, 越智 孝敏 : 空気注入による硫化水素抑制対策の維持管理費について, 第36回下水道研究発表会講演集 (1999)
- 16) 日本下水道協会 : 下水道事業の基本的課題について (1998)



下水道圧送管路研究会

事務局：〒103-8310 東京都中央区日本橋室町3-1-3
(株)クボタ東京本社内)

TEL.03-3245-3096

FAX.03-3245-3186

<http://www.assouken.gr.jp/>

1996.4.

2002.7.1000