

圧送管合流人孔における硫化水素、メタンガス対策事業の立案

(株)極東技工コンサルタント 東日本技術本部 濱田 寛己

圧送幹線吐出口である特殊人孔において、下水道施設の腐食劣化を引き起こす硫化水素の発生、また、揮発性ガスであるメタンガスが発生していることから、段階的な硫化水素対策、メタンガス対策事業の立案を行った。圧送管内の汚水滞留時間が長く、嫌気化が進行することにより、人孔内貯留槽からガスの気中拡散が発生したことが腐食劣化を引き起こしていると想定される。対策技術として、発生源対策、腐食抑制対策、防食対策に分類し、ハード、ソフト対策の観点から、本特殊人孔の状況に適した対策を立案することで、硫化水素、メタンガスの段階的対策事業を実施する方針とした。

Key Words : 硫化水素対策、メタンガス対策、段階的対策事業

1. はじめに

近年、硫化水素の発生に起因する下水道施設の腐食劣化が問題視されており、構造強度の低下を起因とした下水道管路施設の損壊や道路陥没等の二次災害の発生を防ぐために、下水道施設の適切な運用方針を立案する必要がある。

本事例は、圧送幹線が 3 系統合流する特殊人孔において、硫化水素の発生に伴う腐食劣化が進行しているため、硫化水素の発生原因を究明し、対策事業の検討、維持管理方針の提案を行った。また、揮発性ガスであるメタンガスについても、本人孔からの発生を確認したため、爆発事故を防ぐための対策方針を検討した。

2. 対象施設の概要

対象施設である C 特殊人孔は、K 中継ポンプ場から送水される A 圧送幹線 2 条（以降、「A-1 圧送幹線、A-2 圧送幹線」）、S ポンプ場から送水される B 圧送幹線 1 条が流入する人孔である。本人孔は圧送後の汚水を攪乱させない構造形式の污水溜り構造を採用しており、越流堰により 3 槽に分かれている。ポンプ停止時は、越流堰上端まで水位があり、稼働時には越流堰を越え、下流に流下する。

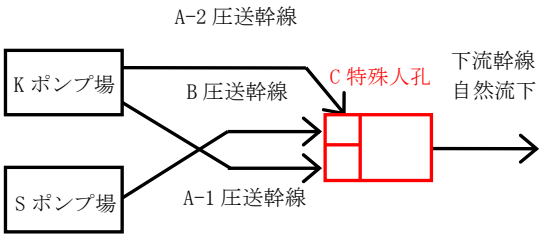


図-1. 対象施設概要図

表-1. 流入管、流出管諸元

分類	名称	管種	管径 (mm)	延長 (km)
流入管	A-1 圧送幹線	ダクタイル 鋳鉄管	φ 500mm	2.16
	A-2 圧送幹線		φ 500mm	2.45
	B 圧送幹線		φ 600mm	1.77
流出管	下流幹線	更生管	φ 1,100mm	0.09

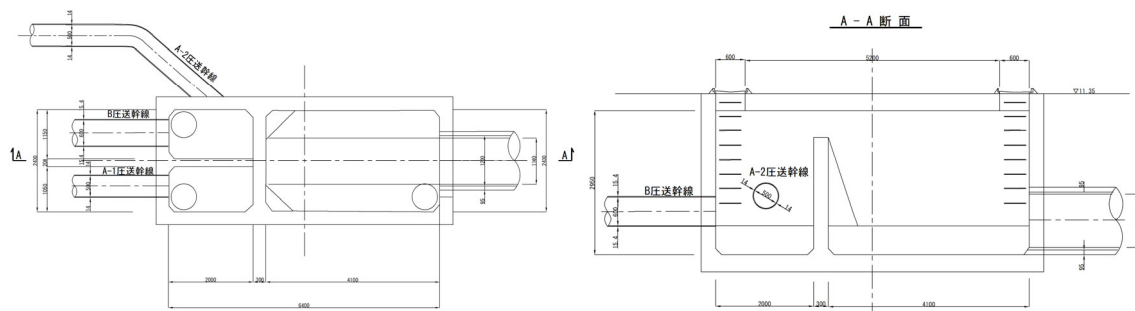


図-2. C 特殊人孔構造図

3. 硫化水素およびメタンガス発生状況

C 特殊人孔内では、硫化水素およびメタンガス濃度の測定が行われており、調査結果は表-2 のとおりである。測定結果の年平均値より、硫化水素、メタンガスともに人孔入坑基準値である 10ppm、30%LEL を超える値が測定された。また、硫化水素の年平均濃度が 50ppm を上回り、腐食環境条件 I 種¹⁾に分類されることから、対策が必要である。メタンガスについては、爆発下限界 100%LEL を下回っているが、入坑基準値以上であることから、同様に対策を図る方針とした。

表-2. C 特殊人孔内ガス濃度測定結果

	平成26年度												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年平均
可燃性ガス (%LEL)	54	21	36	28	29	32	38	11	43	28	31	14	31
硫化水素 (ppm)	87.7	39.6	150<	150<	35.4	5.1	150<	99.2	53.0	120.2	30.2	-	59

※赤字はマンホール入坑基準（メタンガス許容濃度30%LEL、硫化水素濃度10ppm）を超える計測値

－：計測器の不具合により、データなし

4. 硫化水素の発生予測、発生原因

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、本計画においては EPA の予測式を用いて発生要因の検証を行った。下水中の溶存硫化水素の濃度を算出し、ヘンリーの法則による気相中の硫化水素ガスへの放散量としてグラフ換算を行うことでモデル的な硫化水素濃度の予測を実施することが可能である。

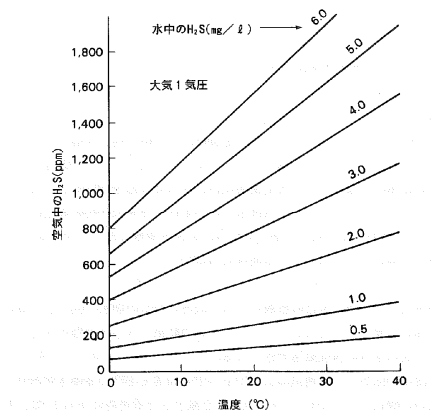


図-3. 気相中での平衡硫化水素濃度¹⁾

右記の表-3、表-4に示すとおり、事業計画上の流量と実流量が異なるため、2ケースにおいて気相硫化水素濃度の算定を行った。気相硫化水素濃度の観測最高値は1425ppmであり、実流量を対象としたA-2圧送幹線の予測値とほぼ一致している。発生原因として、現況流量の方が少なく、流速も遅いため、圧送管内の滞留時間が長くなることから、圧送管内での嫌気化が進行し、溶存硫化水素濃度が高くなったことが原因であると考えられる。

また、人孔構造上、流入槽に汚水を貯留する構造であるため、堰高の天端を基準水位とした場合、本基準水位より高い位置の圧送管は存在しない。このため、圧送管は常時満管であり、気中拡散は人孔内で発生する。あわせて、同槽内に汚泥が堆積し、本槽から硫化水素、メタンガスの発生も考えられる。

5. 対策提案

硫化水素、メタンガスはともに、嫌気状態における下水、汚泥中の微生物反応により発生するため、嫌気化の防止、汚泥の除去など、両者に有効な対策を図る必要がある。腐食対策における一般的な分類を右記

表-5に示す。

- ①発生源対策（空気等の注入、薬品添加、洗浄等）
- ②腐食抑制（人孔改造）
- ③防食（ライニング）
- ④事故防止（換気）

表-3. 事業計画量における気相硫化水素濃度予測

項目	単位	A-1圧送幹線	A-2圧送幹線	B圧送幹線
流量	m ³ /s	0.14	0.14	0.45
流速	m/s	0.71	0.71	1.59
滞留時間	hr	2.68	2.79	1.14
硫化物の生成速度	mg/L/hr	2.69	2.69	2.31
硫化物濃度	mg/L	7.20	7.50	2.60
溶存硫化水素濃度	mg/L	3.60	3.75	1.30
気相硫化水素濃度	ppm	1100	1180	370

表-4. 実流量における気相硫化水素濃度予測

項目	単位	A-1圧送幹線	A-2圧送幹線	B圧送幹線
流量	m ³ /s	0.08	0.08	0.30
流速	m/s	0.41	0.41	1.06
滞留時間	hr	3.3	3.49	1.30
硫化物の生成速度	mg/L/hr	2.69	2.69	2.31
硫化物濃度	mg/L	8.90	9.39	3.00
溶存硫化水素濃度	mg/L	4.45	4.70	1.50
気相硫化水素濃度	ppm	1350	1430	430

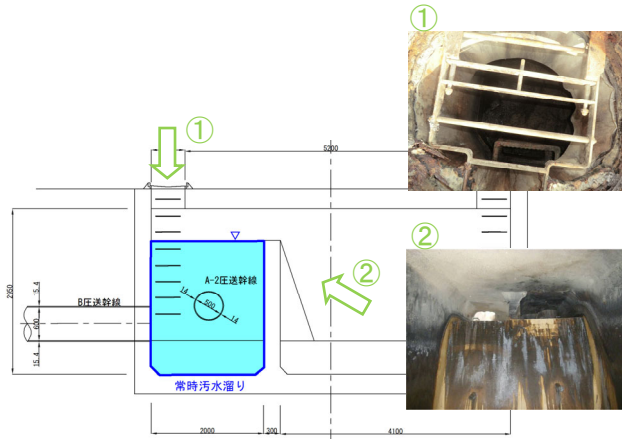


図-4. C 特殊人孔内状況

表-5. 硫化水素、メタンガスに対する一般的な対策

				硫化水素	メタンガス		
対策技術	発生源対策	水質	工場排水、温泉排水などの規制、海水侵入の防止	下水中に硫黄成分やメタンを含む特殊排水が混入する場合に有効な対策	○	○	
			空気注入		下水を好気状態に保つ	○	○
			酸素注入		下水を好気状態に保つ	○	○
			薬品添加による嫌気化防止		硫化塩還元、メタン生成反応の防止	○	○
			薬品添加による硫化物の酸化・固化		溶存硫化物を酸化、固化	○	×
			ビッグ洗浄		汚泥の排除、下水を好気性状態に保つ	○	○
			フラッシング・送水速度(間隔)の変更等		汚泥の排除、下水を好気性状態に保つ	○	○
		人孔	定期清掃	汚泥の排除	○	○	
	換気設備の設置		ハード対策	人孔内の硫化水素、メタンガスの希釈	○	○	
	人孔改造			合流部の空気攪乱を防止	○	×	
腐食抑制	防食	防食ライニング	コンクリートの被覆による防食	○	×		
事故防止		作業時の換気	7/7対策	作業時の事故防止	○	○	

前項の一般的な対策事項を踏まえ、本計画に即した対策評価を行った。対策事業は表-6 のとおりである。

表-6. 対策評価一覧表

				対策評価 硫化水素 発生	評価概要	概算費用		
						イニシャルコスト (千円)	ランニングコスト (千円/年)	10年間のライフサイクルコスト (千円/年)
対策技術	発生源対策	水質	工場排水、温泉排水などの規制、海水侵入の防止	△	A-1圧送幹線に工業用水の流入がある。硫化水素については、汚水滞留時間が長い、一般的な下水の水質であっても硫化水素の発生が予測される。	-	-	-
			空気注入	△	マンホールポンプなど小規模施設に有効な工法であり、管径、延長、縦断形にアップダウンが多いことから今回条件に不適であり、効果が期待できない可能性がある。また空気注入後に揚程が増加するため、必要に応じてポンプ改造を行い、揚程の増加を図る。	A-1圧送幹線 : 40,000 A-2圧送幹線 : 45,000 B圧送幹線 : 45,000 計 130,000	A-1圧送幹線 : 1,452 A-2圧送幹線 : 2,130 B圧送幹線 : 2,130 計 5,712	A-1圧送幹線 : 5,000 A-2圧送幹線 : 7,000 B圧送幹線 : 7,000 計 19,000
		圧送管	酸素注入	○	今回現場条件に適合する。設備導入のためのイニシャルコストが他対策と比較して高価である。	A-1圧送幹線 : 135,000 A-2圧送幹線 : 145,000 B圧送幹線 : 160,000 計 440,000	A-1圧送幹線 : 4,453 A-2圧送幹線 : 6,098 B圧送幹線 : 4,453 計 15,004	A-1圧送幹線 : 18,000 A-2圧送幹線 : 21,000 B圧送幹線 : 20,000 計 59,000
			薬品(硝酸塩)添加による嫌気化防止	△	現況で実施中であるが、硫化水素、メタンガスの減少が見られない。B圧送幹線については、下水の滞留時間が短いため効果が発現していない可能性がある。薬品費が高価であるため、ライフサイクルコストにおいて酸素注入に劣る。	A-1,A-2圧送幹線 : 12,000 B圧送幹線 : 10,500 計 22,500	A-1圧送幹線 : 19,116 A-2圧送幹線 : 28,460 B圧送幹線 : 20,517 計 68,093	A-1,A-2圧送幹線 : 49,000 B圧送幹線 : 22,000 計 70,000
		人孔	薬品(ポリ鉄)添加による硫化物の酸化・固化	×	硫化物濃度、口径、流量が大きく、必要な薬品量が膨大となる(1,500kg/日程度)ため、対策として適切でない。また、A-1圧送幹線については、注入率が300mg/Lを越えるため、pH低下が懸念される。	A-1,A-2圧送幹線 : 19,800 B圧送幹線 : 10,100 計 29,900	A-1圧送幹線 : 107,553 A-2圧送幹線 : 170,275 B圧送幹線 : 124,898 計 402,726	A-1,A-2圧送幹線 : 280,000 B圧送幹線 : 126,000 計 406,000
			ピグ洗浄	×	圧送管延長が長く、伏せ越し箇所が多いため適用困難である。	-	-	-
	腐食抑制	防食	フラッシング・送水速度(開閉)の変更等	○	ポンプ施設の調整が可能であれば有効である。	-	-	-
			定期清掃	△	今回設計において流入槽を清掃後ガス濃度を確認したが、変化が見られなかった。汚泥の堆積はガス発生要因になるため、定期的実施することが好ましい。	-	C特殊人孔 : 730	C特殊人孔 : 240 (3年に1回の清掃の場合)
		事故防止	換気設備の設置	×	類似条件の人孔に実施後、メタンガスの減少が確認された。一方硫化水素の変化は確認されなかった。	C特殊人孔 : 1,580	-	C特殊人孔 : 158
			人孔改造	×	現況で発生ガスの放散が抑えられる汚水溜りタイプの人孔構造となっている。	-	-	-

※○:適用可能であり対策として有効と考えられる対策、△:部分的に適用可能または条件により効果が期待できる対策、×:適用困難または効果が期待できない対策

発生源対策手法として、本現場状況に適合するものは、酸素注入、フラッシングである。空気注入はマンホールポンプ等の小規模施設に有効な工法であり、計算の結果、空気注入後に増加した揚程に対し、既設ポンプ能力による揚程が不足することより、ポンプの改造能力増強が必要となるため、酸素注入を適用する。また、薬品添加については現況で添加の実施を行っているが、硫化水素、メタンガスの減少傾向が見られないこと、ライフサイクルコストにおいて酸素注入に劣ることから、不採用とした。圧送管内堆積物の除去は、洗浄工により対策可能であるが、ピグ洗浄は圧送距離、伏せ越し構造が多いことから、適用は困難であるため、高流速で圧送するフラッシングが効果的である。定期清掃については、清掃実施時に大きな変化は見られなかったが、人孔内の汚泥堆積はガス発生要因となるため、定期的実施することとした。人孔のハード対策として、メタンガスを放散する換気設備の設置、防食対策として塗布ライニングを実施し、腐食対策を図ることとした。

【対策技術】

【発生源対策】

圧送管 : 酸素注入、フラッシング
人孔 : 定期清掃、換気設備

【防食対策】

人孔 : 防食ライニング

図-5. 採用対策技術

以下に、選定した対策技術の概要を示す。

(1) 酸素注入（硫化水素、メタンガス対策）

圧送管路内に酸素発生機から得られる高濃度酸素を注入し、汚水を好気性に保持し、硫化物の生成を抑制する技術である。屋内配置を原則とし、注入ガス量が少なく、溶解速度が大きいため、圧送管中の残存ガス量が少なく、圧力損失が小さい。圧送管内嫌気化による硫化水素、メタンガスの発生対策として、好気性の確保に有効である。

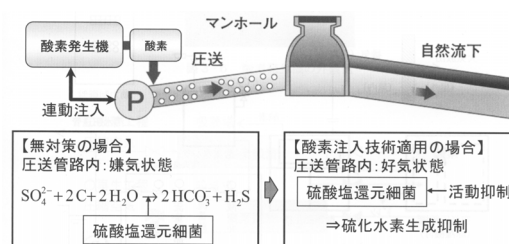


図-6. 酸素注入技術の原理と概要

表-7. 抑制設備の規格算定

圧送管路等の設計基本条件			決定酸素量	酸素注入機器の規格				適用
圧送管名称	管内径	管延長	酸素量	酸素発生装置		空気 圧縮機	酸素 タンク 容量	
	D	L						
	m	m	Nm3/hr	m3/hr	KW	KW	m3	
A-1圧送幹線	0.500	2,159	15.04	18	1.0	22	1.7	可
A-2圧送幹線	0.500	2,451	17.08	24	1.5	30	2.2	可
B圧送幹線	0.600	1,767	16.32	18	1.0	22	1.7	可

(2) 圧送管清掃（硫化水素、メタンガス対策）

高流速洗浄（フラッシング）は、ポンプにより処理水または汚水を送水し、通常運転よりも高流速化することで管路内の汚泥を排出する方法である。

(3) 換気設備の設置（メタンガス対策）

C 特殊人孔内に発生しているメタンガスへの簡易的な対策として、換気設備の設置を行う。人孔から近傍の用水の護岸まで換気管を布設し、排気口にベンチレーター等を設置し、換気を実施する。悪臭の問題が懸念されるため、排気口に活性炭フィルターを設け臭気を除去する方針とする。

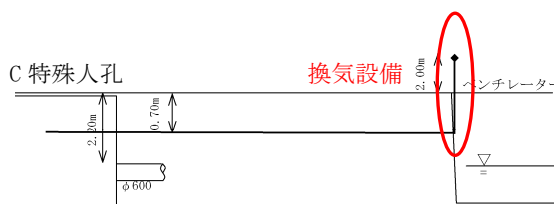


図-7. 換気設備概要図

(4) 防食ライニング（硫化水素対策）

C 特殊人孔内のコンクリート表面を被覆することで、硫化水素ガス発生環境下で硫酸が生成された場合でも、施設の腐食を防ぐことができる。なお、本人孔は平成 16 年度にライニング塗布工事が一度なされており、塗布箇所は一部剥離が見受けられたが、防食効果が発揮されている。ただし、塗布型ライニングの寿命は 10 年程度であり、剥離状況から、ライニングの更新が必要である。

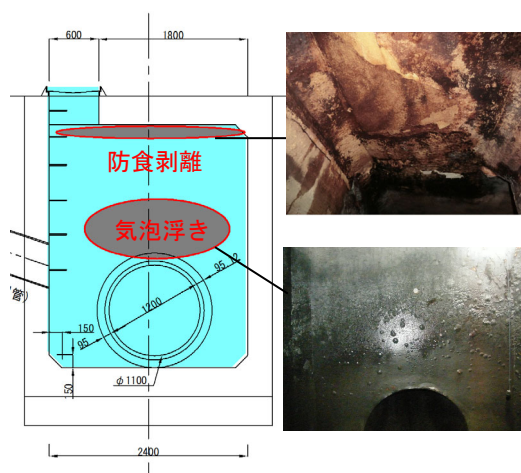


図-8. 人孔調査状況

6. 対策事業、維持管理スケジュール

硫化水素、メタンガスの対策は、対策の主眼、対象施設より多面的なアプローチが考えられる。対策方法で事業費の差が大きいため、段階的な対策計画を立案し、事業の効果を確認しながら対策を進めていくこととする。

(1) 段階 1：防食ライニング（+定期清掃）

現況剥離、更新が必要

(2) 段階 2：換気設備の設置

メタンガス対策、爆発事故の防止

(3) 段階 3：フラッシング

圧送管内の発生源除去

(4) 段階 4：酸素注入

圧送管内の嫌気化防止

表-8. 段階的対策案一覧

段階	10年間の ライフサイクルコスト (千円/年)	硫化水素対策		硫化水素・メタン対策		メタン対策
		定期清掃 費用込み	防食ライニング	酸素注入	フラッシング・ 送水速度(間隔) の変更等	
段階0		240				(○)
段階1	10,200	1,000 1,240	○			(○)
段階2	11,780	1,158 1,398	↓			(○) ○
段階3	11,780	1,158 1,398	↓		○	(○) ↓
段階4	451,780	60,158 60,398	↓	○		(○) ↓

※1:定期清掃は硫化水素、メタンガスの発生源の排除、また適正な維持管理の一環として、全ての段階に括弧書きで追記する。

上記対策を踏まえ、また、定期的な維持管理の実施も含め、段階的な事業スケジュールを表-9 に示す。現況で防食剥離が見受けられる防食ライニングの再実施、換気設備の設置を行い、あわせて定期的な維持管理（フラッシング）によるソフト対策を実施することで、経過を適宜確認する。内部防食耐用年数 10 年経過後、前段階の対策事業効果、点検調査結果から、総合的に判断する。

表-9. 事業計画スケジュール（20 年）

項目		H28				H32				H37				H42				H47	計	備考		
対策事業	防食ライニング	設計	8,000							8,000									16,000	10年ごとに更新		
		工事		10,000							10,000								20,000			
	換気設備	設計	1,000																1,000	2,000		
		工事		2,000															2,000			
	硫化水素・メタンガス抑制対策	設計								10,000	5,000								15,000	酸素注入施設を想定		
		工事											440,000						440,000			
計		9,000	12,000							18,000	15,000	440,000							494,000			
維持管理	巡視		140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	2,800	1回/年頻度		
	点検				140				140			140			140			140	840	1回/3年頻度		
	清掃			730			730			730			730			730			730	4,380	1回/3年頻度	
	計		140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	8,020		
合計		9,140	12,140	1,010	140	140	1,010	140	140	1,010	18,140	16,010	440,140	140	1,010	140	140	1,010	140	140	502,000	

7. おわりに

硫化水素、メタンガスの対策については、発生源の抑制、発生先の腐食対策、定期的な維持管理を段階的に実施することにより、現実的な対策事業の立案を図ることが可能となった。ただし、各事業の実施効果を確認しながら次に必要な事業を実施する必要がある、適正な管理が今後も求められる。

【参考文献】

- 1) 下水道管路施設腐食対策の手引き（案） 社団法人日本下水道協会