

「桂川2号幹線の酸素注入設備の有効的な運転方法及び保全方法の検討について」
調査研究報告書（令和3年度）

公益財団法人山梨県下水道公社
桂川清流センター

1 目的

桂川流域下水道の桂川2号幹線には、管路腐食対策のため、平成23年度に川合中継ポンプ場、平成24年度に松留中継ポンプ場に酸素発生機を利用した酸素注入設備が導入されている。

酸素注入設備を有効に活用するためには、汚水性状や季節変動の影響を受ける硫化水素の発生状況に応じ、適正な酸素注入量が得られるよう運転管理する必要があり、これまで試行錯誤を繰り返しながら運用を行っている。また、供用開始から約10年が経過し、各機器の老朽化が加速する懸念があることから、突発的故障や能力低下等に対して適切な保全処置を講じていく必要がある。

本調査研究では、酸素注入設備の運転管理のノウハウ集約のため、過年度の運転状況と硫化水素のモニタリング結果等を考察し、酸素注入設備の運転管理方法を整理するとともに、当該設備の機能確保や延命化のため、予備品保有や定期点検等の活用方策を考察し、酸素注入設備の保全方法を整理することとした。

2 調査対象施設の概要について

松留中継ポンプ場及び川合中継ポンプ場については、桂川2号幹線において上野原市から流入する汚水を桂川清流センターまで送水するため、それぞれ約3km、約2kmの圧送区間を送水している。

2.1 酸素注入設備の概要

松留中継ポンプ場及び川合中継ポンプ場酸素注入設備の外観写真を写真-1、写真-2、機器構成とフローを図1に示す。本設備は、空気圧縮機・空気タンク・酸素発生機・酸素タンク・昇圧器から構成される。汚水送水中の圧送管路内に高濃度（濃度90%以上）の酸素を注入することにより、管路内の後段設備での硫化水素の発生を抑制し、設備の腐食劣化の抑制並びに安全性を確保する。



写真-1 松留中継ポンプ場酸素注入設備
(手前から現場動力制御盤・酸素発生機)

(松留中継ポンプ場)



写真-2 川合中継ポンプ場酸素注入設備
(手前から酸素タンク・昇圧器・酸素発生機・空気圧縮機)

(川合中継ポンプ場)

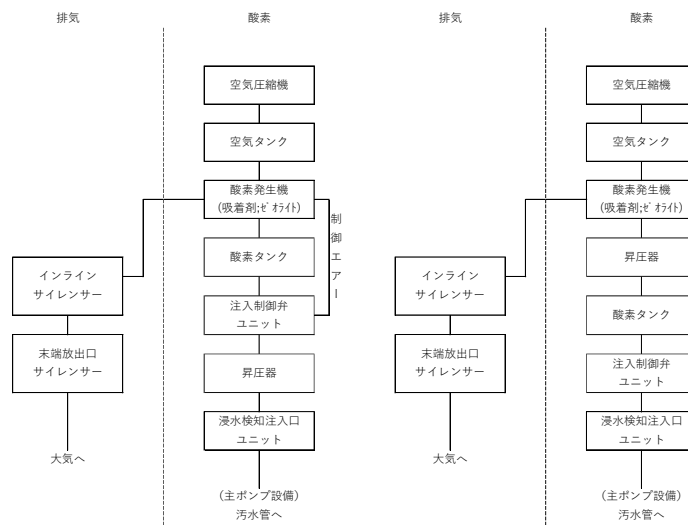


図1 酸素注入設備の機器構成とフロー

2. 2 酸素注入設備の運転制御

酸素注入設備の運転制御概要を表1に示す。両中継ポンプ場は設備仕様がやや異なる他、運転制御についても松留は污水ポンプとの連動運転に加え、タイマー設定による定時運転が可能となっている。また、シーズンタイマーに関しては川合がシーズン毎（年4期間）の設定に対して松留は月毎の設定が可能である。比例注入の演算方式も異なっている。

表1 酸素注入設備の運転制御概要

項目	仕様		備考
	松留中継ポンプ場	川合中継ポンプ場	
設備仕様	注入量	15Nm ³ /hr	12Nm ³ /hr
	酸素濃度	90%以上	90%以上
運転制御	運転停止	①汚水ポンプ起動停止による連動運転 ②24hタイマー設定による定時運転 ③上記①+②	①汚水ポンプ起動停止による連動運転 通常運転 松留→①又は③ 川合→①
	注入量	①定量注入(任意設定値による定量注入※日中・夜間の切替可) ②比例注入(汚水流量・水温・任意係数による自動演算による比例注入※日中・夜間の切替可)	①シーズンタイマーによる定量注入(任意設定値による定量注入※日中・夜間の切替可) ②比例注入(汚水流量に対して任意比率による比例注入※日中・夜間の切替可)
	シーズンタイマー	年間設定可(月毎、日中・夜間)	年間設定可(3ヵ月毎、日中・夜間)

3 運転状況等

平成28年度以降の運転状況と硫化水素ガスのモニタリング結果等を考察し、酸素注入設備の運転管理方法を整理する。両中継ポンプ場の基本とする運転設定を表2に示す。

表2 基本とする運転設定

設定項目	松留中継ポンプ場	川合中継ポンプ場	備考	
制御	定量注入 (汚水ポンプ連動)	定量注入 (汚水ポンプ連動)	松留はタイマーによる定時運転を夏季に併用	
注入量 (m ³ /hr)	夜間	12~15	7~11	圧送出口モニタリング結果により調整
	昼間	8~12	6~10	
夜間時間	19:00~5:00	22:00~8:00		

3. 1 運転状況及び硫化水素モニタリング結果について

3. 1. 1 松留中継ポンプ場

平成29年度の硫化水素モニタリング結果を図2に示す。(硫化水素モニタリング結果は硫化水素連続測定器による5分置き計測値の1日平均値を集計した。※3. 1. 2も同様)

- 各年度とも気温が上昇する夏季を中心として酸素注入量を増強して運転対応している。
- 平成29年度の8月~9月は酸素注入量を増強しているが硫化水素濃度が上昇している。酸素注入量の不足が原因（特に水量が少なく滞留時間が長くなる朝方が発生し易い）であり、これを補うため9月途中から必要に応じ夜間のタイマー運転を実施することとしている。以降の年度についても夏季を中心としタイマー運転を実施し、比較的安定した抑制効果が得られている。ただし設備故障等により酸素注入量が不足している期間は除く。
- その他、松留中継ポンプ場の週点検日、污水ポンプのインバーター制御による送水量の増加時に硫化水素が発生しやすい傾向が認められる。
- 夏季に、故障が頻発しやすい傾向が認められる。その都度、数時間程度の運転停止となる。
- 大雨により流入下水水量が増加する場合は、電力抑制のため酸素注入を停止している。

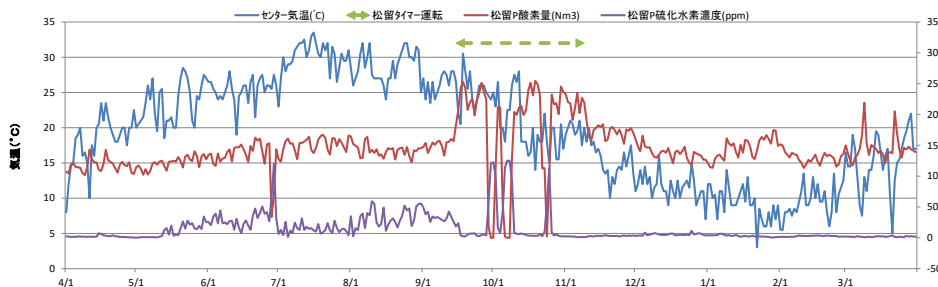


図2 松留中継ポンプ場・酸素注入量と硫化水素濃度(平成29年度)

3. 1. 2 川合中継ポンプ場

平成29年度の硫化水素モニタリング結果を図3に示す。

- 各年度とも気温が上昇する夏季を中心として酸素注入量を増強して運転対応している。
- 平成29年度の3月は設備不具合の影響により酸素注入量が不足している。この期間を除くと安定した抑制効果が得られている。
- その他、松留又は川合中継ポンプ場の週点検日、污水ポンプのインバーター制御による送水量の増加時に硫化水素が発生しやすい傾向が認められる。また、夏季に故障が頻発しやすい傾向や大雨時に電力抑制のため酸素注入を停止していることは松留と同様である。

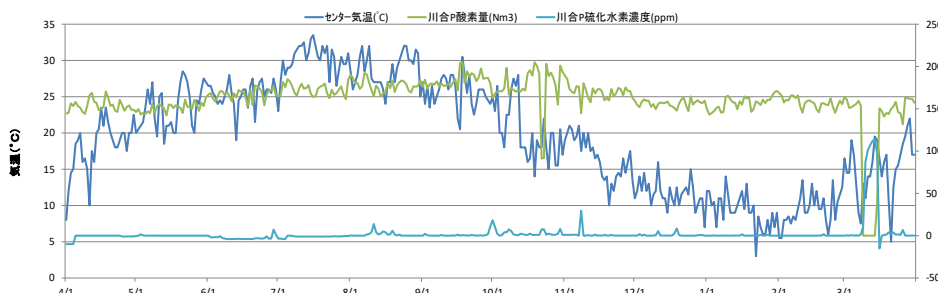


図3 川合中継ポンプ場・酸素注入量と硫化水素濃度(平成29年度)

3. 2 硫化水素発生時の状況について

硫化水素発生時の状況については以下があげられる。

- ・酸素注入量の不足が特に夏季の松留中継ポンプ場において認められる。これは川合中継ポンプ場と比較して圧送延長が長く水量は少ないことから、滞留時間が長く酸素必要量が設備能力を上回っていることが原因である。
- ・汚濁負荷の増加
松留中継ポンプ場において滞留したスカムを週点検時にフラッシングを実施している。
→松留圧送管路出口及び下流側の川合圧送管路出口において硫化水素が発生し易くなる傾向が認められる。
- ・その他、汚水ポンプ送水量の増加時、空気圧縮機や昇圧器の故障により、酸素注入設備が運転できない場合に硫化水素が発生し易くなる。

3. 3 硫化水素発生時の対処について

松留中継ポンプ場では夏季の酸素注入量の不足傾向を補うため、平成29年度以降、夜間のタイマー運転を実施している。一方で運転時間の短縮が電力量の低減に繋がるため、現状のタイマー設定が適切か、令和3年9月～10月にデータ検証を行うこととした。表3にタイマー設定及びモニタリング結果(0:00～8:00)を示す。

表3 松留中継ポンプ場タイマー設定、抑制効果

期間	設定				硫化水素(ppm)		抑制効果	
	定時運転※夜間:19:00～5:00	タイマー運転		最大	平均			
		連続	間欠(1回/1h)					
Run①	(夜間/昼間) 15/12 (Nm ³ /hr)	19:00～0:00	1:00	15min	6.0	1.4	△	
9/7～9/13			2:00					
Run②		19:00～1:00	3:00	30min	5.0	1.2		○
9/14～9/20			4:00					
Run③	19:00～0:00	2:00	15min	9.0	1.5	△		
9/21～9/27		3:00						
Run④	19:00～1:00	3:00	30min	3.0	1.0		○	
9/28～10/6		4:00						

今回の調査では、タイマー運転の設定について、連続運転(19:00～0:00又は19:00～1:00)と間欠運転(15min又は30min)の組み合わせでモニタリング結果を比較したが、結果として間欠運転は15minよりも30minの方が効果的であった。一方で連続運転に関しては19:00～0:00又は19:00～1:00で大きな差は認められなかった。省エネルギーの観点から19:00～0:00が適切と考えられる。

4 保全状況等

当該設備の機能確保や延命化のため、予備品保有や定期点検等の活用方を考察し、酸素注入設備の保全方法を整理する。

4. 1 故障発生及び対応状況について

4. 1. 1 故障発生状況について

1) 機器故障・不具合・調整報告件数

年度別の機器故障・不具合・調整報告件数を図4に示す。松留、川合ともに供用開始以降、年々増加する傾向を示している。これは設備の経年劣化が進行していることが一因と考えられる。

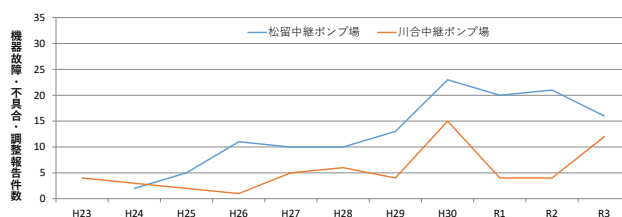


図4 機器故障・不具合・調整報告件数

2) 機器故障・不具合・調整報告件数の設備別内訳

設備別の機器故障・不具合・調整報告件数の内訳を図5、図6に示す。

松留、川合ともに空気圧縮機、酸素発生機、昇圧器に関する内容が多くを占めている。また、その他としては松留で注入制御弁ユニットに関するものが多く発生している。

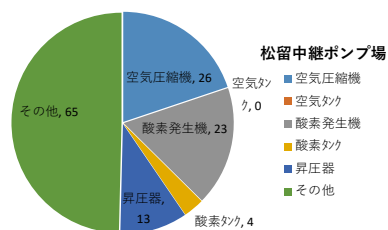


図5 機器故障・不具合・調整報告件数(設備別内訳)

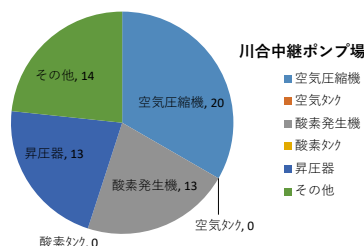


図6 機器故障・不具合・調整報告件数(設備別内訳)

4. 1. 2 故障対応状況について

両中継ポンプ場における故障対応状況の概要については以下のとおりである。

(松留中継ポンプ場)

- ・駆動ベルトの交換、吸着剤の交換は専門業者(メーカー含む)に対応を依頼する必要がある。
- ・必要な部品を確保すればメンテにて対応可能なケースが少なくない。

(川合中継ポンプ場)

- ・プーリー、駆動ベルト、オイルシールの交換は専門業者(メーカー含む)に対応を依頼する必要がある。
- ・必要な部品を確保すればメンテにて対応可能なケースが少なくない。

4. 2 設備の機能確保や延命化について

点検実施要領に掲載される酸素注入設備の主な点検内容と両中継ポンプ場における点検頻度は以下のとおりである。

- ・両中継ポンプ場の点検内容、点検頻度は点検実施要領を概ね満足し、また、機器の状態や過去の故障発生等が考慮され設定されている。
- ・各機器の分解点検については、費用が高額のため未実施となっており、延命化の観点において実施時期の判断や財源確保が今後の課題である。

4. 3 予備品保有や定期点検等の活用方策について

4. 3. 1 予備品保有について

過去の機器故障、不具合発生状況より、必要な予備品を表4に示す。必要な予備品を確保することにより、運転停止期間の短縮に有効と考えられる。

表4 必要な予備品

ポンプ場	機器名称	必要な予備品
松留	酸素発生機・注入弁	減圧弁
	酸素発生機	ダイヤフラム
	酸素発生機	Oリング
	昇圧器	バルブアセンブリ
	酸素発生機・酸素タンク	アクチュエータ
川合	昇圧器	ダイヤフラム
	昇圧器	バルブアセンブリ
	昇圧器	ダイヤフラム

4. 3. 2 定期点検等の活用方策について

過去の機器故障、不具合発生状況より、設備機器が有している機能を適正に発揮、維持させるために必要となる内容を重点的に実施していくことが望ましい。また、下水道ストックマネジメントにおいては、老朽化した下水道施設を戦略的に維持管理・改築し機能を継続的に発揮していく必要があるとしており、この手法としては点検結果を踏まえた健全度の調査及び長期的な改築事業のシナリオ設定を踏まえ、修繕・改築の必要性を判断することとしている。設備の延命化やLCCの観点からは運転管理等包括委託で実施する施設機能確認結果の活用も有効と考えられる。

5 有効的な運転方法

5. 1 酸素注入量と電力

両中継ポンプ場における酸素注入量と電力の相関について、平成28年度から令和3年12月までの重相関係数を表5に示す。

表5 酸素注入量と電力

年度	重相関係数		備考
	松留	川合	
H28	0.6751	0.2180	
H29	0.7458	0.1776	
H30	0.9085	0.3335	
R1	0.5991	0.0796	
R2	0.7750	0.3484	
R3	0.8525	0.3966	R3.12まで
平均	0.7593	0.2590	

- ・松留については、各年度とも酸素注入量と電力に高い相関性が認められる。一方、川合については、各年度とも酸素注入量と電力に相関が認められない。
- ・松留は川合と比較して圧送延長が長く水量は少ないことから滞留時間が長く酸素必要量が多くなっている。このことが松留における全体の電力に占める酸素注入設備の比率を高めている。このため、特に松留は酸素注入量が過剰にならないように調整していくことが、電力の抑制に重要といえる。

5. 2 モニタリングによる必要酸素量の設定について

酸素注入設備の必要酸素量については、理論値による設定が一般的であるが、当センターにおいては、水量が少なく水質が不安定なことから直近及び過去のモニタリング結果による設定調整を実施している。表6に酸素注入量の設定(例)を示す。この注入量が概ね基本となっているが、各中継ポンプ場からの圧送出口に設置した連続測定器によるモニタリング結果を1回/月の頻度で確認し、設定変更のタイミングや設定値の調整を実施しており、この方法は有効と考えられる。

表6 酸素注入量の設定(例)

月	注入量設定値(m3/hr)		備考
	松留 (夜間/昼間)	川合 (夜間/昼間)	
4	14/10	8/7	
5	15/11	9/8	
6	15/11	9/8	松留ダイヤ運転
7	15/11	9/8	松留ダイヤ運転
8	15/12	10/8	松留ダイヤ運転
9	15/12	10/8	松留ダイヤ運転
10	15/12	9/7	松留ダイヤ運転
11	14/11	9/6	
12	13/10	9/6	
1	13/9	8/6	
2	12/8	7/6	
3	13/9	8/7	
夜間時間	19:00~5:00	22:00~8:00	

5. 3 運転停止時のバックアップ

運転停止時のバックアップが課題であり、現状における酸素注入設備以外の技術としては薬品の添加による方法、空気注入による方法が考えられる。ただし、いずれの方法についても設備面や効果面及び流入下水や脱水汚泥性状への影響など課題があるため、今後も新規技術の開発も含め情報収集を継続する必要がある。

6 結果のまとめ

6. 1 運転状況等

○硫化水素発生時の状況

- ・ 酸素注入量の不足が特に夏季の松留中継ポンプ場において認められる。これは川合中継ポンプ場と比較して圧送延長が長く水量は少ないことから、滞留時間が長く酸素必要量が設備能力を上回っていることが原因である。
- ・ 汚濁負荷の増加や汚水ポンプ送水量の増加時、空気圧縮機や昇圧器の故障により酸素注入設備が運転できない場合に硫化水素が発生し易くなる。

○硫化水素発生時の対処

- ・ 松留中継ポンプ場では夏季の酸素注入量の不足傾向を補うため夜間のタイマー運転を実施している。タイマー運転の設定について、間欠運転は15minよりも30minの方が効果的であった。連続運転に関しては19:00~0:00が適切と考えられる。

6. 2 保全状況等

○故障発生及び対応状況

- ・ 故障発生状況は、松留、川合ともに供用開始以降、報告件数が年々増加する傾向を示している。これは設備の経年劣化が進行していることが一因と考えられる。
- ・ 機器故障・不具合・調整報告件数の設備別内訳については、松留、川合ともに空気圧縮機、酸素発生機、昇圧器に関する内容が多くを占めている。また、その他としては松留で注入制御弁ユニットに関するものが多く発生している。
- ・ 故障対応状況は、必要な部品を確保すればメンテにて対応可能なケースが少なくない。

○設備の機能確保や延命化

- ・ 両中継ポンプ場の点検内容、点検頻度は点検実施要領を概ね満足し、また、機器の状態や過去の故障発生等が考慮され設定されている。
- ・ 各機器の分解点検は、費用が高額のため未実施となっており、延命化の観点において実施時期の判断や財源確保が今後の課題である。

○予備品保有や定期点検等の活用方策

- ・ 過去の機器故障、不具合発生状況より、必要な予備品を確保することにより、運転停止期間の短縮に有効と考えられる。
- ・ 定期点検等の活用方策は、過去の機器故障、不具合発生状況より、設備機器が有している機能を適正に発揮、維持させるために必要となる内容を重点的に実施していくことが望ましい。

6. 3 有効的な運転方法

○酸素注入量と電力

- ・ 松留は川合と比較して圧送延長が長く水量は少ないことから滞留時間が長く酸素必要量が多くなっている。このことが松留における全体の電力に占める酸素注入設備の比率を高めている。

○モニタリングによる必要酸素量の設定について

- ・ 酸素注入設備の必要酸素量は、当センターにおいては、水量が少なく水質が不安定なことから直近及び過去のモニタリング結果による設定調整を実施しており、この方法は有効と考えられる。

○運転停止時のバックアップ

- ・ 運転停止時のバックアップが課題であり、今後も新規技術の開発も含め情報収集を継続する必要がある。