

圧送方式による下水管路施設 設計および維持管理マニュアル

下水道圧送管路研究会

目 次

I. 圧送管路施設の設計手法	1
1. ポンプ施設の設計計算	1
1.1 ポンプ場形式の分類	1
1.2 検討フローチャート	2
1.3 ポンプ場形式	2
1.4 主ポンプ設備	3
1.4.1 検討フローチャート	3
1.4.2 ポンプ台数分割	4
1.4.3 ポンプ口径の選定	4
1.4.4 ポンプ全揚程の考え方	4
1.4.5 電動機出力	6
1.4.6 ポンプ形式の選定	7
1.4.7 電動機形式	9
1.5 配管・弁類	10
1.5.1 配管計画上の留意事項	10
1.5.2 バルブ形式の概要	10
1.6 ウォーターハンマー	11
1.6.1 概要	11
1.6.2 水撃圧軽減策	11
1.7 沈砂池周辺機器	12
1.7.1 概要	12
1.7.2 計画上の留意点	12
1.8 電気設備	13
1.8.1 検討フローチャート	13
1.8.2 受電方式	13
1.8.3 変圧器	14
1.8.4 配電電圧	14
1.8.5 盤構成	15
1.8.6 自家発電設備	15
2. 管路施設の基本設計	19
2.1 管径の計算	19
2.1.1 ヘーゼン・ウィリアムス (Hazen-Williams) 式	19
2.1.2 流速係数C	19
2.1.3 流速	19
2.1.4 流量計算図表	19

2.2	管厚計算	20
2.2.1	管厚計算式の誘導	20
2.2.2	土圧分布により定まる係数 (K_f 、 K_t)	22
2.2.3	たわみ計算式	23
2.2.4	内圧	24
2.2.5	外圧	24
2.3	管路付帯設備	28
2.3.1	空気弁、仕切弁など弁類の選択・設置	28
2.3.2	排出設備	32
2.3.3	ピグ洗管施設	33
2.4	多条圧送方式	34
2.5	多重圧送方式	35
2.6	竣工検査	35
II	圧送管路施設の維持管理	37
1.	ポンプ施設の維持管理	37
1.1	点検	37
1.1.1	点検の種類	37
1.1.2	日常点検	37
1.1.3	定期点検	38
1.2	定期整備	38
1.3	点検整備計画	38
1.4	設備の供用開始前に用意しておくべき書類	38
1.4.1	設備台帳	38
1.4.2	定期点検・整備チェックリスト	38
2.	管路施設の維持管理	44
2.1	管路の維持管理上の留意点	44
2.2	管路の洗管	44
2.2.1	高流速による洗管方法	44
2.2.2	ピグによる洗管方法	46
2.2.3	洗管の周期	49
2.3	硫化水素対策	49
2.3.1	硫化水素問題のメカニズム	49
2.3.2	硫化物の生成予測	50
2.3.3	硫化水素対策の種類	52
2.3.4	硫化水素対策の実施例	52
2.3.4.1	実験施設	52
2.3.4.2	空気注入手法	53

2.3.4.3 酸素注入手法	56
2.3.4.4 硝酸塩注入手法	57
2.3.4.5 硫化水素対策費用のコスト比較	59
2.4 付帯設備の維持管理	59
2.4.1 空気弁の維持管理	59
2.4.2 排出設備の維持管理	60
2.5 管路機能の維持管理	61
2.5.1 管路機能の点検	61
2.5.2 管路の健全性診断	61
3. 監視制御施設	63
3.1 監視制御方式の種類	63
3.2 小規模施設の監視制御設備	66
4. 異常時への対応	67
4.1 災害など緊急時の対策	67
4.1.1 地震	67
4.1.2 水害	68
4.1.3 水質異常	68
4.1.4 火災など	68
4.1.5 施設の故障	68
4.2 防災体制の整備	68
<参考文献>	70

I. 圧送管路施設の設計手法

圧送管路施設を構成する主要なものは、ポンプ場施設と管路施設である。設計手法の概要を以下に述べる。

1. ポンプ施設の設計計算

ポンプ場の種類は、①排水ポンプ場 ②中継ポンプ場 ③処理場内ポンプ場 ④その他、に区分される。

1.1 ポンプ場形式の分類

ポンプ場形式は、規模、構成機器などにより下記の3種類に分類される。

- ① マンホール形式ポンプ場
- ② 簡易形式ポンプ場
- ③ 標準形式ポンプ場

表 1. 1 ポンプ場形式の概要

ポンプ場形式	マンホール形式 ポンプ場	簡易形式ポンプ場	標準形式ポンプ場
規 模 (計画下水量)	3 m ³ /分 以下	3 ~ 10 m ³ /分	3 m ³ /分 以上
構造形式	プレキャスト組立 マンホール	鉄筋コンクリート造	鉄筋コンクリート造
流入ゲート	無	手動または電動	電 動
除砂設備	無	砂溜り	自重式沈砂池
除塵設備	無	手搔スクリーンまたは 自動除塵機	自動除塵機
ポンプ設備	水中ポンプ	水中ポンプまたは 槽外ポンプ	水中ポンプまたは 槽外ポンプ
電気設備	◎低圧受電 ◎自家発電機は無し ◎パトライトまたは非 常通報装置	◎低圧受電または高圧 受電 ◎必要に応じ自家発電 機を設置 ◎非常通報装置または テレメータ装置	◎低圧受電または高圧 受電 ◎自家発電機を設置 ◎非常通報装置または テレメータ装置
換気脱臭設備	無	必要に応じ検討	必要に応じ検討

出典：建設省 土木研究所資料第3308号 P68 ¹⁾

1.2 検討フローチャート

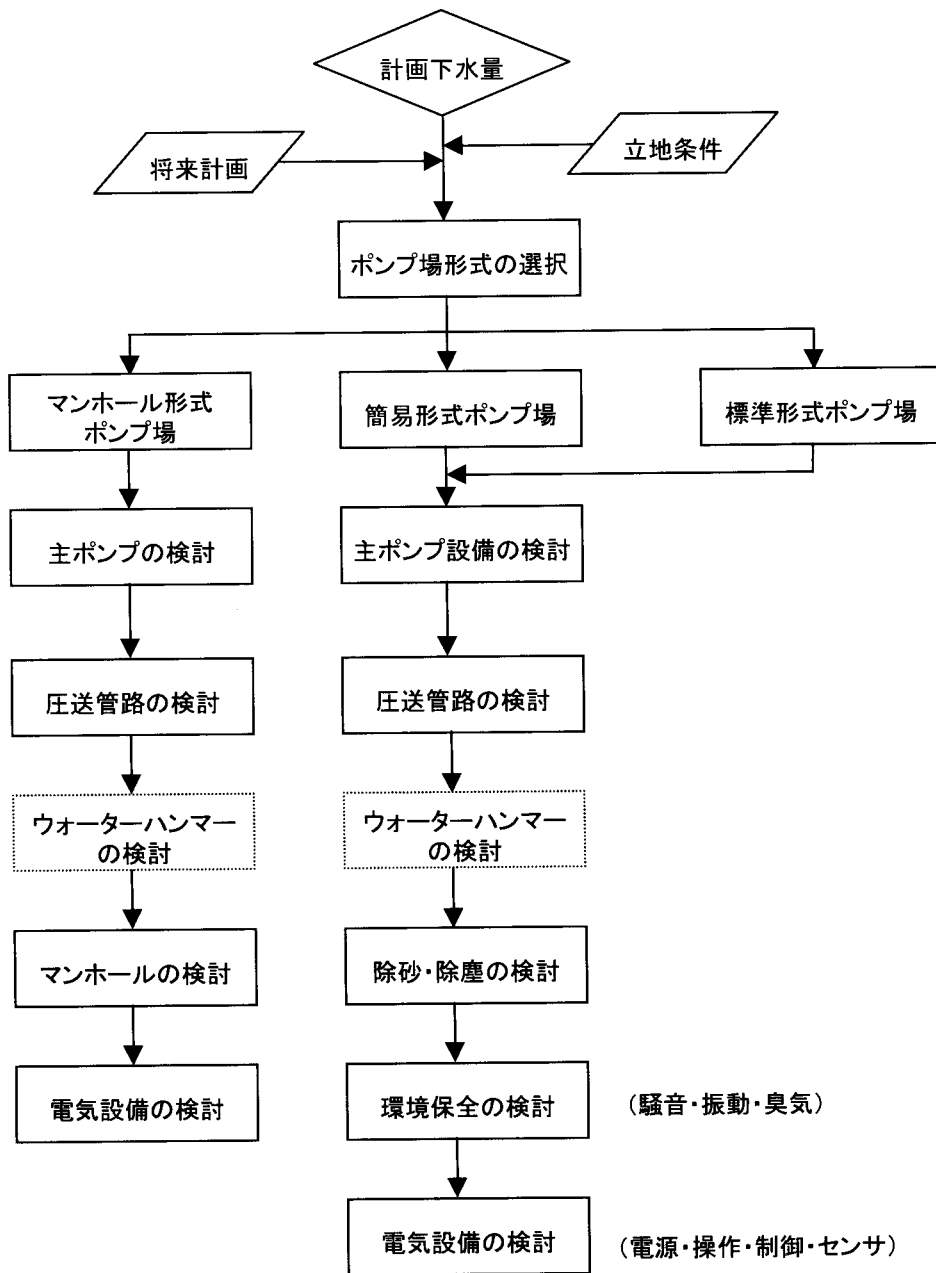


図 1. 1 ポンプ場の検討フローチャート

1.3 ポンプ場形式

ポンプ場形式の選定は、計画下水量、施設の重要度、立地条件、経済性などによって決定されるものである。

以下に計画下水量を基本とした選定の一例を示す。

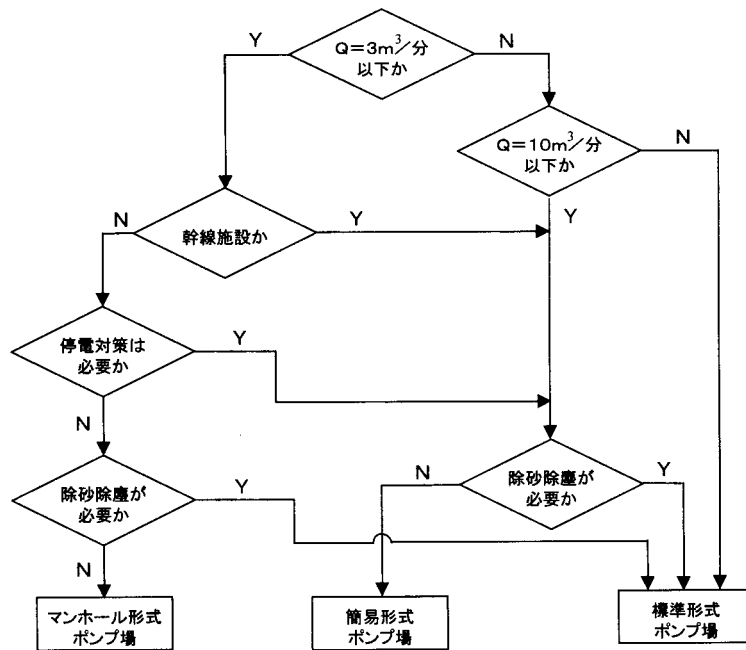
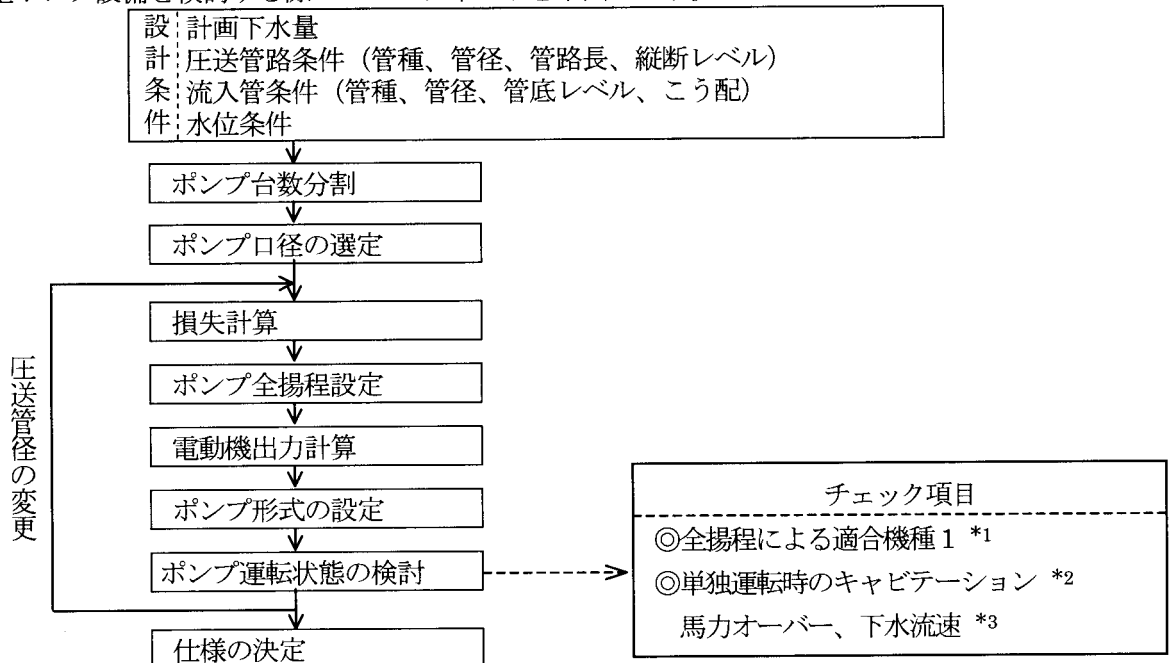


図 1. 2 計画下水量を基本としたポンプ場形式検討のフロー

1.4 主ポンプ設備

1.4.1 検討フローチャート

主ポンプ設備を検討する際のフローチャートを下図に示す。



備考1) 着脱式水中ポンプは、全揚程が30m以内とする。

備考2) 水中ポンプおよび槽外ポンプ(押し込み)の場合、最大運転時水量が、最大効率水量比140%以内であれば、キャビテーションが発生しないと判断しても良い。

備考3) 下水流速は、単独運転時において、0.6m/秒以上とすることが望ましい。

図 1. 3 主ポンプ設備検討のフローチャート

1.4.2 ポンプ台数分割

ポンプの設置台数は、計画下水量、ポンプ場形式などを考慮する必要があるが、下表を目安とする。

表 1. 2 ポンプ台数分割の目安

マンホール形式ポンプ場	簡易形式ポンプ場	標準形式ポンプ場
2台 (内1台予備)	2～6台 (内1台予備)	

表 1. 3 汚水ポンプの設置例

ポンプ能力 設置台数	ケース	小	中	大
3台	1	—	$1/2 \cdot Q \times 3$ 台 (1)	—
4台	1	$1/4 \cdot Q \times 2$ 台	—	$2/4 \cdot Q \times 2$ 台 (1)
	2	$1/6 \cdot Q \times 1$ 台	$2/6 \cdot Q \times 1$ 台	$3/6 \cdot Q \times 2$ 台 (1)
5台	1	$1/8 \cdot Q \times 2$ 台	$2/8 \cdot Q \times 1$ 台	$4/8 \cdot Q \times 2$ 台 (1)
	2	$1/8 \cdot Q \times 1$ 台	$2/8 \cdot Q \times 2$ 台	$3/8 \cdot Q \times 2$ 台 (1)
6台	1	$1/10 \cdot Q \times 2$ 台	$2/10 \cdot Q \times 2$ 台	$4/10 \cdot Q \times 2$ 台 (1)
	2	$1/13 \cdot Q \times 1$ 台	$2/13 \cdot Q \times 2$ 台	$4/13 \cdot Q \times 3$ 台 (1)

備考1) 計画汚水量をQとする。

備考2) () 内は予備台数。

備考3) ケース1, 2は、流入下水量の変動幅などにより選択する。

出典：下水道施設計画・設計指針と解説 前編 P260 ²⁾

1.4.3 ポンプ口径の選定

ポンプ口径は次式より算出する。

$$D = 146 (Q_p / V)^{1/2} \dots\dots\dots (1.1)$$

ここに、D : ポンプ吸込み口径 (mm)

Q_p : ポンプ吐出量 (m³/分)

V : 吸込み流速 1.5 ~ 3.0 (m/秒)

1.4.4 ポンプ全揚程の考え方

(1) ポンプの全揚程の計算

$$H = H_a + h_{lp} + h_l + h_z \dots\dots\dots (1.2)$$

ここに、H : ポンプ全揚程 (m)

H_a : ポンプ実揚程 (m)

h_{lp} : ポンプ廻り配管損失 (m)

h_l : 圧送管路損失 (m)

h_z : 残留速度水頭 (m)

① 圧送管路末端が最頂部の場合

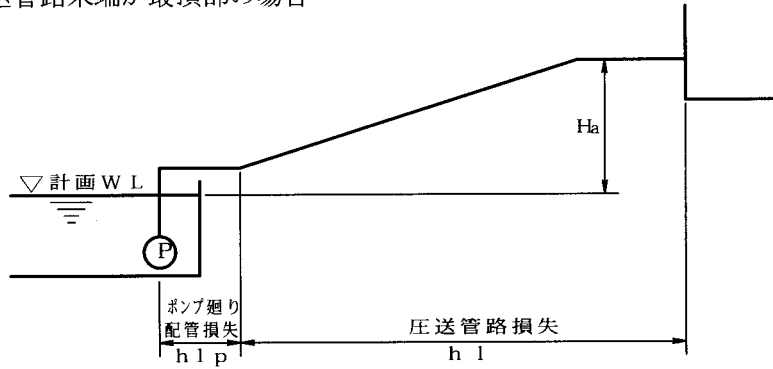


図 1. 4 圧送管路の縦断図(1)

$$H_a = (\text{圧送管路末端管頂レベル}) - (\text{計画WL})$$

$$h_{1p} = (\text{ポンプ廻り配管の直管摩擦損失}) + (\text{弁類、曲り合流などの諸損失})$$

ここで、直管摩擦損失はダルシー・ワイズバッハ式により計算する。

$$h_1 = (\text{圧送管路の直管摩擦損失}) + (\text{弁類、曲りなどの諸損失})$$

ここで、直管摩擦損失はヘーゼン・ウィリアムス式により計算する。

$$h_z = \frac{V^2}{2g} \quad [V : \text{下水流速 (m/秒)}, g : \text{重力の加速度 (m/秒}^2)]$$

② 圧送管路途中に最頂部がある場合

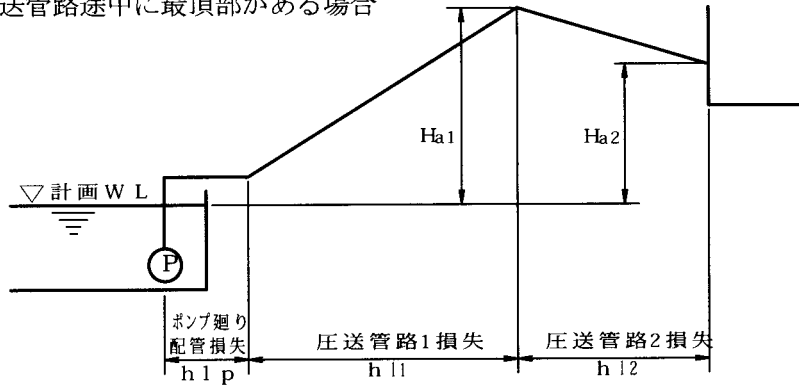


図 1. 5 圧送管路の縦断図(2)

$$H_{a1} = (\text{圧送管路最高レベル}) - (\text{計画WL})$$

$$H_{a2} = (\text{圧送管路末端管頂レベル}) - (\text{計画WL})$$

h_{1p} : 前項と同一

h_{11} : 前項の h_1 と同一 (ただし圧送管路 1 の範囲)

h_{12} : 前項の h_1 と同一 (ただし圧送管路 2 の範囲)

h_z : 前項と同一

$$H_1 = H_{a1} + h_{1p} + h_{11} + h_z$$

$$H_2 = H_{a2} + h_{1p} + h_{11} + h_{12} + h_z$$

H_1 、 H_2 のうち、いずれかの大きいものをポンプ全揚程 H とする。

(2) 管路摩擦損失の計算

一般に使用される配管では、レイノズル数 (Re) は乱流域 ($Re > 2320$) となり、乱流となる。乱流下における管路摩擦損失は実用的に下記の方法にて計算する。

①ダルシー・ワイズバッハ (Darcy-Weisbach) 式

ダルシー・ワイズバッハ式は比較的管路の短い場合に広く用いられ、ポンプ廻りの計算に使用する。

$$hf = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (1.3)$$

ここに、 hf : 直管の摩擦損失水頭 (m)

λ : 摩擦損失係数

新しいダクタイル管 $\lambda = \{0.02 + 1/(2000 \cdot D)\} \times 1.5$

一般のダクタイル管 $\lambda = \{0.0144 + 9.5/(1000 \cdot V)\} \times 1.5$

1.5 : 腐食を考慮した係数

L : 吸込管、吐出管系中の直線部分だけの長さ (m)

D : 直線部分の管径 (m)

V : 下水流速 (m/秒)

g : 重力の加速度 (m/秒²)

②ヘーゼン・ウィリアムス (Hazen-Williams) 式

ヘーゼン・ウィリアムス式は比較的管路の長い場合に広く用いられ、圧送管路の計算に使用する (管径の計算の項に詳述)。

③その他の損失計算式

例えば、片落ち管やT字管部分での損失計算に下式を用いる場合がある。

$$hf = f \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (1.4)$$

ここに、 f : 損失係数

1.4.5 電動機出力

電動機出力は、ポンプの全転範囲内でモータが過負荷にならない様に決定する。

$$L = \frac{0.163}{\eta \cdot P} \gamma \cdot Q \cdot H (1 + \alpha) \dots\dots\dots (1.5)$$

ここに、 L : 電動機出力 (kW)

γ : 比重 (下水 = 1.0、汚泥の場合は含水率より決定)

Q : ポンプ吐出量 (m³/分)

H : ポンプ全揚程 (m)

ηP : ポンプ効率 *1

α : 余裕率 (一般には 0.15程度)

備考1) ポンプ効率は、口径、羽根車形状などで大きく左右される。特に、下水ポンプは、下水中の夾雑物による閉塞を考え、上水道ポンプに比べ効率を犠牲にする場合が多い。下表にその例を示す。また、標準枠の範囲のポンプはメーカーカタログを引用すると便利である。

表 1. 4 設備排水用水中モータポンプ効率

吐出量 m ³ /分	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
A効率*1 %	30	35.5	38.5	43	46	47.5	49	51	53	55.5	57	59	60
B効率*2 %	24.5	29	31.5	35.5	37.5	39	40	42	43.5	45.5	46.5	48.5	49

備考1) A効率：最高効率、備考2) B効率：規定吐出量効率

表 1. 5 立軸斜流渦巻ポンプ

ポンプ口径 mm	300	350	400	450	500
効 率 %	68	70	72	74	77

1.4.6 ポンプ形式の選定

(1) 概要

下水ポンプ場に使用される水中ポンプと槽外ポンプの比較を示す。

表 1. 6 水中ポンプと槽外ポンプ

	水中ポンプ (着脱式)	槽外ポンプ (流れ込み)
据付状態		
概 要	<p>ポンプ井にポンプを直接水没させる。電動機は陸用モータをポンプ主軸に直結させ、メカニカルシールで浸水を保護する。あらかじめ着脱装置を槽内に固定させ、ポンプはガイドに沿って自重により着脱させる。</p>	<p>ドライピットにポンプ・モータを設置させる。ポンプの据付高さは、ポンプ井WL以下にさせる。ポンプ吸込側に止水用として手動弁が必要となる。</p>
適用羽根車形式	<p>ボルテックス スクリーウ渦巻 2枚羽根</p>	<p>スクリーウ渦巻 2枚羽根</p>
維持管理上	<p>目視点検ができないので月に一回程度絶縁抵抗測定を行う必要がある。</p>	<p>目視点検が可能。</p>
スペース上	<p>右に比べると省スペースとなる。</p>	<p>左よりスペースが大きくなる。</p>
その他の留意事項	<p>全揚程30m以下に適用するのが望ましい。フライホイールを内蔵させる場合の制約がある。</p>	<p>ポンプの据付状態により横軸と立軸に区分される。</p>

(2) 羽根車形式の比較

表 1. 7 羽根車形式の比較

項目 \ タイプ		ボルテックスタイプ	スクリーュー渦巻タイプ	2枚羽根タイプ
口径 (mm)		50 ~ 100	80 ~ 150	200 ~ 500
能力	出力 kW	0.4 ~ 7.5	1.5 ~ 30	5.5 ~
	Q m ³ /分	0.05 ~ 1.5	0.5 ~ 3.5	2 ~ 45
	H m	1.5 ~ 17	3 ~ 30	3 ~ 50
特徴		浄化槽の原水用、汚泥移送用に設計されたポンプであり、固形物、繊維質の夾雑物を含む汚物に適している（ノンクログタイプよりさらに大きな通路面積を確保している）。	1枚羽を有する汚物用ポンプであり、通路面積が広いにもかかわらず高効率である。高揚程用に適する。	羽根形状に独自の工夫をこらし高効率で、しかも無閉塞性に優れたポンプである。低揚程から高揚程まで巾広く対応が可能である。スクリーュータイプに比べ、スラストが小さいので軸受はコンパクトである。
欠点		ポンプ効率が犠牲になっている（通路面積を最重視しているため）。	過少流量域で使用した場合、振動、騒音が増加することもある。	小口径（150φ以下）では他のポンプに比べて通路面積がやや小さい。
維持管理		他に比較し、つまり、からみが少ない。	無閉塞性は2枚羽根とボルテックスのほぼ中間に位置する。	スクリーュー渦巻タイプと同様つまり、からみは少ない。
特性上の比較	無閉塞性	◎	○	○
	効率	△	◎	◎
	部分流量域での運転	○	△	○
	バランス	○	△	○
	軸動力特性	右上り	飽和	飽和
	揚程範囲	中低揚程	中高揚程	中低高揚程
	揚程こう配	緩やか	急	急
	摘要	小容量用として最適	長距離圧送用に適す	中・大容量用として最適

出典：下水道施設計画・設計指針と解説 前編 P342²⁾

1.4.7 電動機形式

電動機形式を決定するための参考資料を以下の表に示す。

表 1. 8 ポンプおよび電動機形式

ポンプ形式		電動機形式	
		かご形	巻線形
水中ポンプ		○	—
槽外ポンプ	横 軸	○	○
	立 軸	○	○

表 1. 9 電動機形式と起動方法

		直 入	人-△	リアクトル	コンドルファ	二次抵抗
かご形	出力11kW未満	○	△	△	△	—
	出力11kW以上	△	○	○	○	—
巻線形		—	—	—	—	○

○：一般的に適用される △：通常適用されない

表 1. 10 電動機の標準出力（JEM1188準拠）

電 圧	標準出力 (kW)
低 圧	0.75, 1.5, 2.2, 3.7, 5.5, 7.5, 11,
200V/220V	15, 18.5, 22, 30, 37, 45, 55, 75,
400V/440V	90, 110, 132, 150

表 1. 11 電動機極数と同期速度 (分⁻¹)

極数	50 Hz	60 Hz	極数	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600	16	375	450
4	1500	1800	18	333	400
6	1000	1200	20	300	360
8	750	900	22	273	327
10	600	720	24	250	300
12	500	600	26	231	277
14	428	514	28	214	257

表 1. 12 選定上の留意事項

形 式	留 意 事 項
かご形	<ul style="list-style-type: none"> ・屋内に設置される場合は、防滴保護形を標準とする。 ・絶縁はE種またはF種を標準とする。 ・負荷GD²の制約、反覆使用限度があるので、その適性を検討する必要がある。 ・小出力の標準枠がない。(一般的に 55 kW 以上に適用)
巻線形	<ul style="list-style-type: none"> ・始動電流、始動トルクを調整する事ができる。 ・かご形に比べて構造は複雑で高価となる。

1.5 配管・弁類

1.5.1 配管計画上の留意事項

- ① 使用する材質は、球状黒鉛鋳鉄品 (FCD) を標準とする。
- ② ポンプ吸込側は、空気溜まりが生じない様、中高配管などは避ける。
- ③ ポンプと吐出弁の間には、メンテナンスを考え、ルーズフランジを設ける。
- ④ 曲管、T字管など、水流の変化する所には、配管支持台を設ける。
- ⑤ ポンプ場建屋出口と圧送管路の接続部は、不等沈下対策として伸縮可撓継手を設ける。

1.5.2 バルブ形式の概要

表 1. 13 バルブ形式の概要

バルブ形式	機 種	設置場所		備 考
		ポンプ吸込側	ポンプ吐出側	
手動外ネジ仕切弁	止 水	○	○	一般的には、吸込側手動、吐出側電動が望ましい。
電動外ネジ仕切弁	止 水	○	○	
普通スイング式	逆流防止	—	○	ウォーターハンマーの最高圧力対策として、緩閉が使用される。
緩閉スイング式	逆流防止	—	○	

備考) 流量制御にバルブを用いることは閉塞上好ましくない。

1.6 ウォーターハンマー

1.6.1 概要

圧送管路内の流速が急激に変化し、圧力が過渡的に変動する現象を水撃現象（ウォーターハンマー）という。水撃現象は、回転体のGD²値、管路長、下水流速など条件によって異なる。許容値を越える水撃圧は、機器、管路の破損の懸念があるので、これを回避する必要がある。

1.6.2 水撃圧軽減策

下水ポンプにおける水撃圧軽減策は、一般に下項と考えられる。

表 1. 1 4 水撃圧軽減策

項 目	効 果	内 容
圧送管路自体の変更	昇圧、水柱分離対策	・縦断レベルなどの再検討。
フライホイールの付加	水柱分離対策	・ポンプもしくはポンプ系に慣性力の大きいフライホイールを付加させる。
エアーベッセル	同 上	・ポンプの出口にエアーベッセル（圧力タンク）を取付ける。 ・エアーベッセル内の下水を定期的に入れ替える必要がある。
緩閉逆止弁	昇圧対策	・逆止弁にダッシュポットを取付け、徐々に閉鎖していく。

1.7 沈砂池周辺機器

1.7.1 概要

沈砂池周辺機器は、下項の組合せで構成される。

- ① 角落し（流入、流出 など）
- ② ゲート（流入、流出、連絡 など）
- ③ 除塵機器（スクリーン、自動除塵機、コンベヤ、脱水機、ホッパ など）
- ④ 除砂機器（沈砂池、揚砂機、洗浄機、コンベヤ、ホッパ など）

1.7.2 計画上の留意点

計画上の留意点を下表に示す。

表 1. 15 沈砂池周辺計画上の留意点

名 称	設置目的	計画上の留意事項
角落し	機器、水槽などの維持管理上設置	ステンレス製もしくは、合成木材製が一般的に使用される。
ゲート	ポンプ場内の機器の保護もしくは維持管理上設置	<ul style="list-style-type: none"> ・開口部の流速は 1.0m/秒以下とする。 ・ゲートの幅/高 = 1/1.5 を標準とする。
除塵機器	下水中の浮遊物・夾雑物を除去し、ポンプの閉塞を防止するため設置	<ul style="list-style-type: none"> ・スクリーンかす量（目安値） 流入量1000 m³ 当り 0.001 ～0.015 m³ ・形式の分類 手掻スクリーン 連続式自動除塵機 間欠式自動除塵機
除砂機器	下水中の砂を除去し、ポンプの摩擦防止、土砂の堆積（ポンプ井、圧送管路）防止のために設置	<ul style="list-style-type: none"> ・標準沈砂池設計値 <ul style="list-style-type: none"> ・目標 補集粒径 0.2mm 以上を 50%以上除去 ・標準値 砂の比重 2.65 沈降速度 0.021 m/秒 平均流速 0.3 m/秒 ・揚砂形式の分類 バケットコンベヤ グラブバケット ポンプ(サンド、ジェット)揚砂 ・集砂形式の分類 スクリュウコンベヤ バケットコンベヤ フライトコンベヤ

1.8 電気設備

1.8.1 検討フローチャート

電気設備を検討する際のフローを下図に示す。

設	機器容量計画
計	運転操作計画
条	監視計装計画
件	建築付帯設備（照明・換気・防災）計画

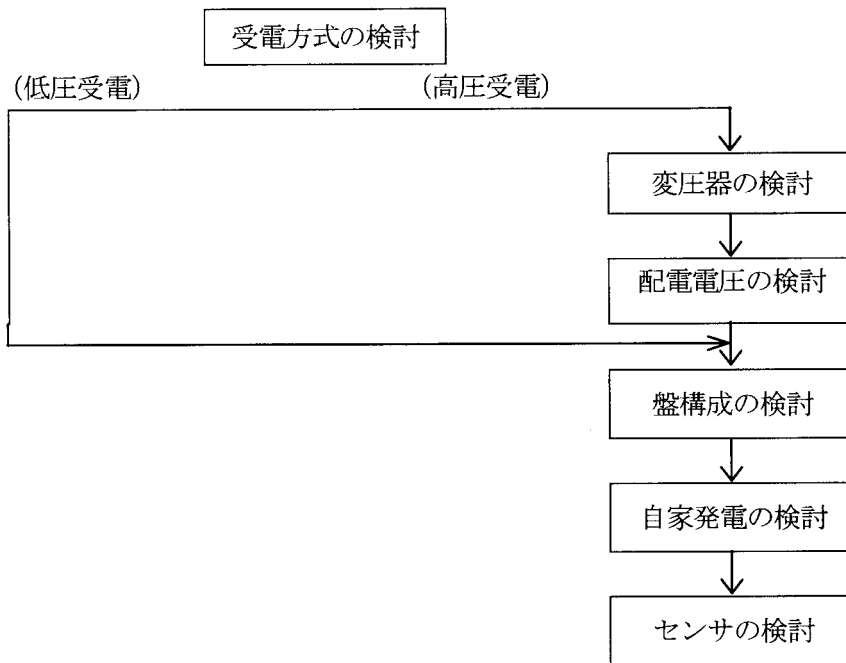


図 1. 6 電気設備検討のフローチャート

1.8.2 受電方式

受電方式には、用途・規模などにより各種の方式があるが、一般的に下水ポンプ場では、低圧受電および高圧受電の2種類が考えられる（下図参照）。

表 1. 16 受電方式

	低圧受電	高圧受電	
		甲	乙
一般的な定義	契約電力が 50kW未満	契約電力が 50kW以上500kW未満	契約電力が 500kW以上2000kW未満
受電電圧	100V、200V	6000V	

備考) 契約電力の算出は、電力会社の供給規定により行うものとする。

また、低圧受電の場合は、100V系負荷と200V系負荷の合算値である。

1.8.3 変圧器

電力会社の受電電圧（6000V）をポンプ場内の動力負荷、照明負荷電圧に降圧するために変圧器を設置する。変圧器の種類としては、油入、乾式、SF6ガス変圧器の3種類に大別させるが、一般には乾式の含浸モールド形の使用が多くなってきた。

以下に変圧器の容量計算を示す。

(1) 動力用変圧器

$$\text{変圧器容量 (kVA)} = \text{総設備容量 (kW)} \times \frac{\beta \cdot \alpha}{\phi \cdot \eta} \dots\dots\dots (1.6)$$

ここに、 ϕ : 総合力率 0.85
 η : 総合効率 0.85
 β : 需要率 0.7
 α : 余裕率 1.1

備考) 総設備容量は予備機を除く。

(2) 照明用変圧器

$$\text{変圧器容量 (kVA)} = \text{総設備電力 (kVA)} \cdot \beta \cdot \alpha \dots\dots\dots (1.7)$$

ここに、 β : 需要率 0.7 (コンセントを含む)
 α : 余裕率 1.1

1.8.4 配電電圧

配電電圧は、①機器の容量 ②盤と機器間の距離 ③代替品の市販性、などを考慮して決定する。

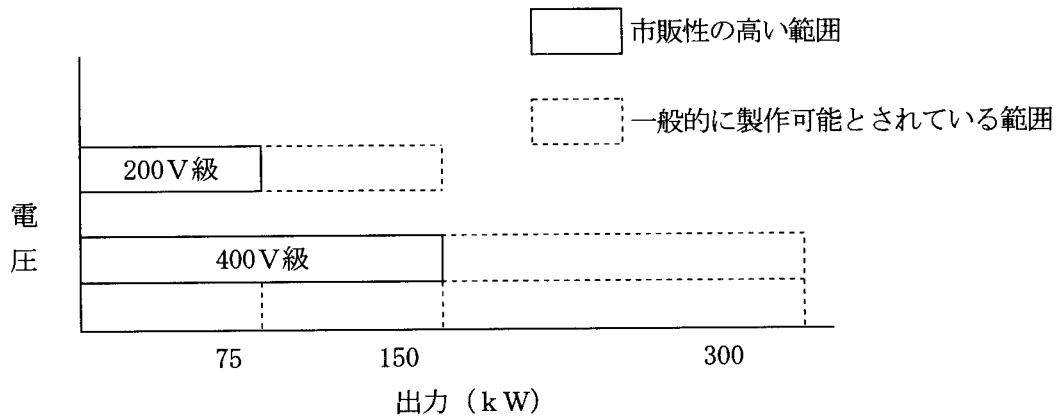


図 1. 7 低圧三相誘導電動機定格出力と電圧

1.8.5 盤構成

下水ポンプ場で使用される盤には、概略次のものがある。

- ① 高圧受配電盤
- ② 低圧配電盤
- ③ コントロールセンタ
- ④ 補助継電器盤
- ⑤ 計装盤
- ⑥ 直流電源盤
- ⑦ 監視・操作盤
- ⑧ テレメータ盤
- ⑨ 現場操作盤

これらをコンパクトに計画する事が必要である。また、設置場所は、現場操作盤以外は、冠水の危険性がない地盤面以上の電気室に設ける事が望ましい。

1.8.6 自家発電設備

停電時対策として、非常用発電（自家発電設備）を設ける。一般的には、発電機、エンジン、盤、補機などをまとめたパッケージタイプがよく使用されている。以下に容量計算を示す。（日本下水道事業団 設計基準³⁾より）

(1) 発電機出力

発電設備の発電機容量は、次の算式により算出した容量のうちで最も大きい容量以上とする。

①全負荷定常運転に必要とする容量 PG1 (kVA)

$$PG1 = \frac{\Sigma P0}{\eta L \cdot \phi L} \alpha \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

ここに、 $\Sigma P0$ ：自家発電対象負荷出力（予備機は除く）の総和 (kW)

ηL ：負荷の総合効率 0.85

ϕL ：負荷の総合力率 0.8

α ：需要率 0.8

単相負荷は倍して、3相負荷に換算する。

②許容電圧降下から必要とする容量 PG2 (kVA)

$$PG2 = P_m \cdot \beta \cdot C \cdot X d' \frac{1 - \Delta E}{\Delta E} \dots\dots\dots (1.9)$$

ここに、 P_m : 最大容量の電動機出力 (kW)
 β : 最大容量の 1 kW 当りの始動 (kVA : 表1.17参照)
 C : 始動方式による係数 (表1.17参照)
 X d' : 発電機定数 0.3
 ΔE : 許容電圧降下率 0.25

③最大容量の電動機を最後に始動するために必要とする容量 PG3 (kVA)

$$PG3 = \frac{\frac{\sum P_0 \cdot \alpha}{\eta L} - \frac{P_m}{\eta_m} + P_m \cdot \beta \cdot C \cdot \phi S}{\gamma \cdot \phi G} \dots\dots\dots (1.10)$$

ここに、 ΣP₀ : 自家発電対象負荷出力(予備機は除く)の総和 (kW)
 ηL : 負荷の総合効率 0.85
 α : 需要率 0.8
 P_m : 最大容量の電動機出力 (kW)
 η_m : 最大容量の電動機効率 0.85
 β : 最大容量の 1 kW 当りの始動 (kVA : 表1.17参照)
 C : 始動方式による係数 (表1.17参照)
 φS : 最大容量の始動力率 巻線形 0.8、かご形 0.4
 γG : 発電機の瞬時過負荷耐量 1.5
 φG : 発電機力率 0.8

表 1. 17 始動方式による始動 (kVA)

	始動方式	β × C	
かご形	直入始動	7.2 × 1.0	
	人-△始動	7.2 × 2/3	
	リアクトル始動	50 %	7.2 × 0.5
		65 %	7.2 × 0.65
		80 %	7.2 × 0.8
	コンドルファ始動	50 %	7.2 × 0.25
65 %		7.2 × 0.42	
80 %		7.2 × 0.64	
巻線形		1.2	

(2) 原動機出力

発電設備の原動機容量は、次の算式により算出した容量のうちで、最も大きい容量以上とする。

①全負荷定常運転に必要とする容量 PE1 (PS)

$$PE1 = \frac{PG \cdot \phi G}{\eta G} \times 1.36 \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

ここに、PG：発電機出力（発電機出力計算において確定した値）（kVA）

ϕG ：発電機力率 0.8

ηG ：発電機効率（表1.18参照）

②最大容量の電動機を最後に始動するために必要とする容量 PE2 (PS)

a. 瞬時過負荷耐量より求まる容量

$$PE2-1 = \frac{PG3 \cdot \phi G \cdot \gamma G}{\eta G \cdot \gamma E} \times 1.36 \quad \dots\dots\dots (1.12)$$

ここに、 γE ：原動機の瞬時過負荷耐量 1.1

（ディーゼル機関、ガスタービン共）

ϕG ：発電機力率 0.8

γG ：発電機の瞬時過負荷耐量 1.5

ηG ：発電機効率（表1.18参照）

b. 許容負荷投入率より求まる容量

$$PE2-2 = \frac{Pm \cdot \beta \cdot C \cdot \phi S}{\eta G \cdot k} \times 1.36 \quad \dots\dots\dots (1.13)$$

ここに、k：許容負荷投入率（図1.8参照）

Pm：最大容量の電動機出力（kVA）

β ：最大容量の1kW当りの始動（kVA：表1.17参照）

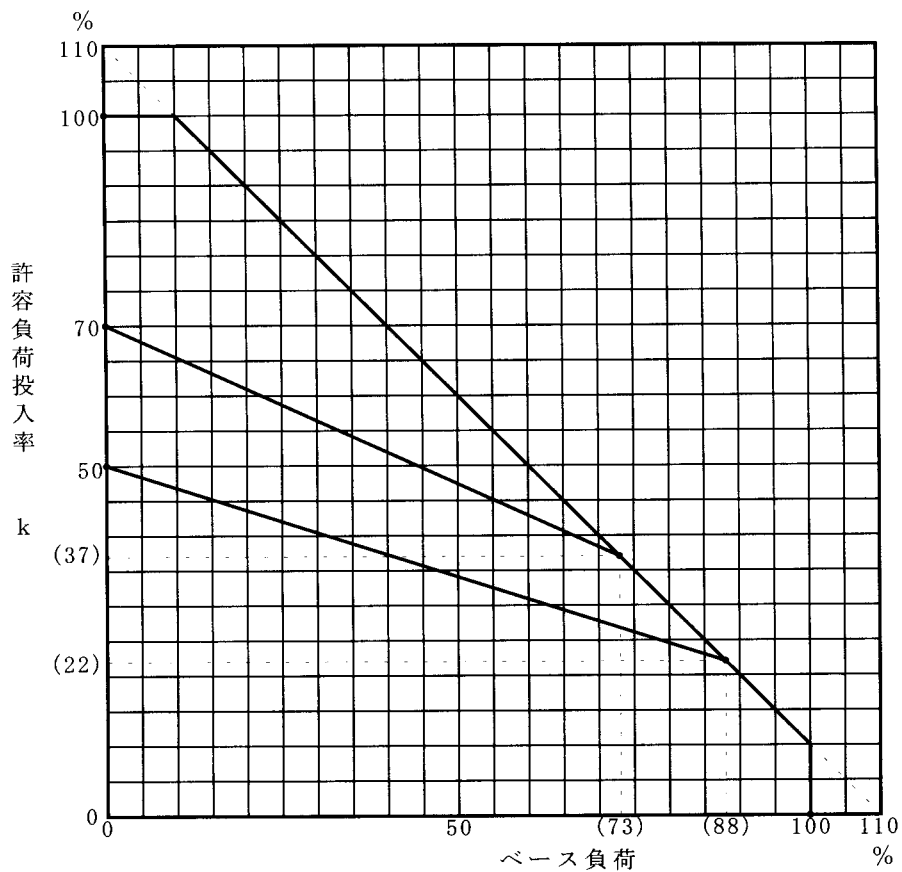
C：始動方式による係数（表1.17参照）

ϕS ：最大容量の始動力率 巻線形 0.8、かご形 0.4

ηG ：発電機効率（表1.18参照）

表 1. 18 発電機効率

定格出力 (kVA)	η_G 効率 %		定格出力 (kVA)	η_G 効率 %	
	2極～8極	10極～18極		2極～8極	10極～18極
20	79.0	—	375	90.6	—
37.5	82.5	—	500	91.3	—
50	84.3	—	625	91.9	—
62.5	85.2	—	750	92.3	91.7
75	85.7	—	875	92.5	92.0
100	86.7	—	1,000	92.8	92.3
125	87.6	—	1,250	93.2	92.8
150	88.1	—	1,500	93.4	93.1
200	88.9	—	2,000	93.8	93.5
250	89.5	—	2,500	93.9	93.7
300	90.0	—	3,125	94.0	93.8



(注) I : 100% 投入可能な原動機
 II : 70% 投入可能な原動機
 III : 50% 投入可能な原動機

図 1. 8 原動機負荷投入許容線図

2. 管路施設の基本設計

2.1 管径の計算

圧送管路の管径は、計画下水量をもとに以下の要領で決定する。

2.1.1 ヘーゼン・ウィリアムス (Hazen-Williams) 式

圧送管路の流量の計算には一般に(1.14)式のヘーゼン・ウィリアムス式を用いる。

$$Q = A \cdot V$$
$$V = 0.84935 \cdot C \cdot R^{0.62} \cdot I^{0.54} \dots\dots\dots (1.14)$$

- ここに、Q：下水流量 (m³/秒)
- A：流水の断面積 (m²)
- V：下水流速 (m/秒)
- C：流速係数
- R：径深 (m) (=D/4)
- D：管径 (m)
- I：動水こう配 (h/L)
- h：管路長L (m)に対する摩擦損失水頭 (m)

2.1.2 流速係数C

流速係数Cの値は、管内面の粗度、屈曲、分岐などの数で異なるが、これら屈曲損失などを含め110を標準とする。なお、直線部のみ(屈曲損失などを別途計算する)の場合は130を標準とする。

2.1.3 流速

下水流速は、沈殿物が堆積しないよう最小流速を0.6m/秒とし、管内面や内面のモルタルライニング、塗装などに損傷が起らないよう最大流速は3.0m/秒程度とする。なお、理想的な流速は1.0~1.8m/秒程度であるが、流速の増加に伴い管内摩擦損失水頭が増加するため、経済的な圧送ポンプの選定が行えるよう管径と流速の関係にも考慮する必要がある。

2.1.4 流量計算図表

下水流量、動水こう配、下水流速、管径の計算図表を図1.9に示す。

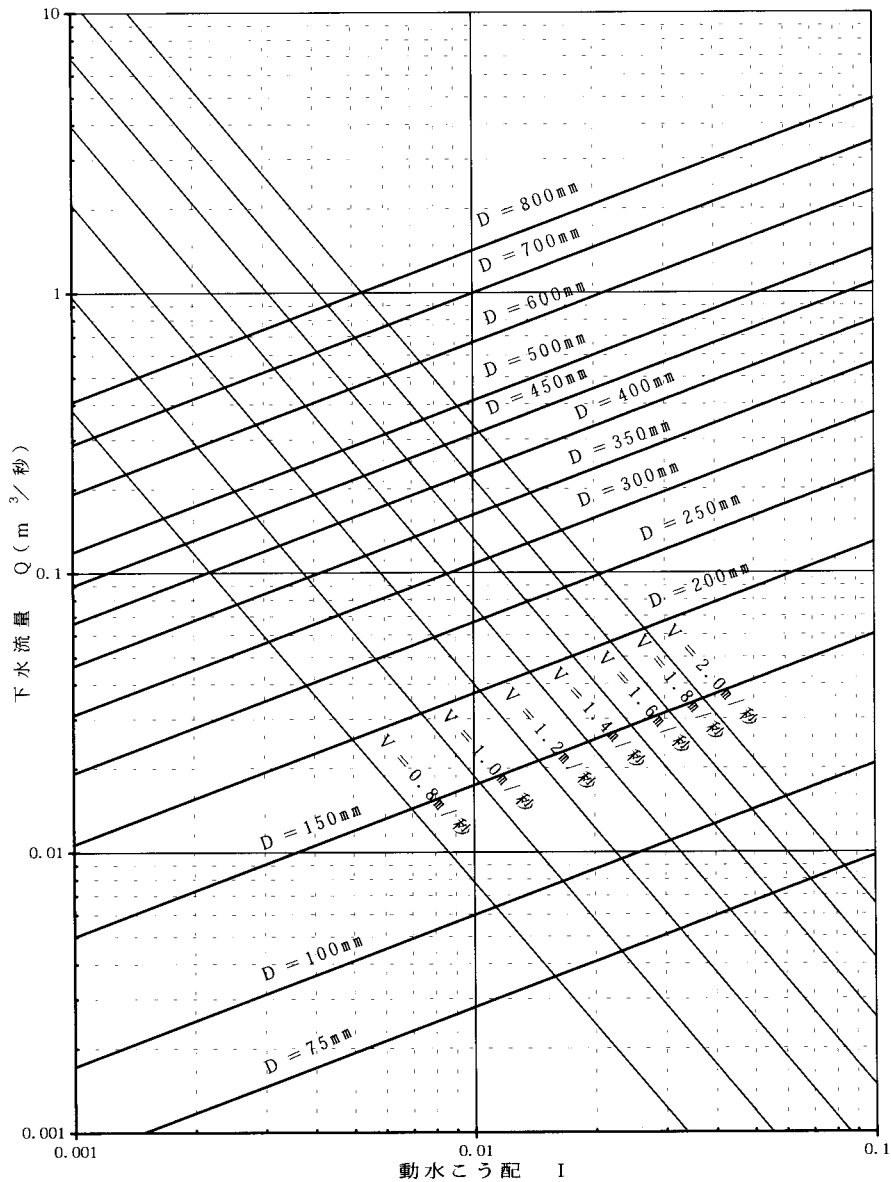


図 1. 9 下水流量、動水こう配、下水流速、管径の計算図表 (C=110)

2.2 管厚計算

圧送管路に用いられる管種は、ダクトイル管、鋼管、塩化ビニル管など様々であるが、最も多く用いられている管種はダクトイル管である。そこで、ここでは設計手法の例としてダクトイル管の管厚設計手法を示す。

2.2.1 管厚計算式の誘導

静水圧、水撃圧、土かぶりによる土圧および活荷重による土圧がすべて同時に作用するとして、管厚計算式を求める。

内圧によって発生する引張応力は、次式で表される。

$$\sigma_t = \frac{(P_s + P_d) d}{2t} \dots\dots\dots (1.15)$$

ここに、 σ_t : 内圧によって発生する引張応力 (N/mm²)

P_s : 静水圧 (MPa)

P_d : 水撃圧 (MPa)

d : 管内径 (mm)

t : 管厚 (mm)

外圧によって発生する曲げ応力は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{M_f + M_t}{Z} \dots\dots\dots (1.16)$$

ここに、 σ_b : 外圧によって発生する曲げ応力 (N/mm²)

M_f : 土かぶりにより発生する曲げモーメント (N・mm)

(= $K_f \cdot W_f \cdot R^2$)

K_f : 土かぶりによる土圧分布により定まる係数

W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

R : 管平均半径 (mm)

M_t : 活荷重により発生する曲げモーメント (N・mm)

(= $K_t \cdot W_t \cdot R^2$)

K_t : 活荷重による土圧分布により定まる係数

W_t : 活荷重による土圧 (kN/m²)

Z : 管の断面係数 (mm³) ($= \frac{b \cdot t^2}{6}$)

b : 管長 (mm) (単位長さで考えれば $b = 1$)

したがって、単位長さ当たりの曲げ応力は、次式で表される。

$$\sigma_b = \frac{6(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)R^2}{t^2} \dots\dots\dots (1.17)$$

σ_b は曲げ応力であるから引張応力に換算するために 0.7 を乗じ、許容応力を σ_s とすると、管厚は次式を満足するように決定すればよいことになる。

$$\sigma_t + 0.7 \sigma_b = \sigma_s \dots\dots\dots (1.18)$$

さらに、静水圧に対し安全率	2.5
水撃圧に対し安全率	2.0
土かぶりによる土圧に対し安全率	2.0
活荷重による土圧に対し安全率	2.0

を見込むと、式(1.18)は式(1.19)のようになる。

$$2.5 \sigma_{ts} + 2.0 \sigma_{td} + 1.4 \sigma_b = S \dots\dots\dots (1.19)$$

ここに、 σ_{ts} : 静水圧による応力 (N/mm²) $(= \frac{P_s \cdot d}{2t})$

σ_{td} : 水撃圧による応力 (N/mm²) $(= \frac{P_d \cdot d}{2t})$

S : ダクタイル管の引張強さ (420N/mm²)

ここで、 $R = \frac{D_m}{2}$ と置いて、式(1.17)を式(1.19)に代入すると式(1.20)になる。

$$S \cdot t^2 - (1.25 P_s + P_d) d \cdot t - 2.1 (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) D_m^2 = 0 \quad \dots\dots (1.20)$$

ここに、 D_m : 管の平均径 (mm)

ここで、 $D_m \doteq D$ (管径mm) と置いて、 t について解くと次式になる。

$$t = \frac{(1.25 P_s + P_d) + \left\{ (1.25 P_s + P_d)^2 + 8.4 (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) S \right\}^{1/2}}{2S} D \quad \dots\dots (1.21)$$

式(1.21)で算出した管厚は正味管厚であるので、これに腐食に対する余裕 (2mm)、
 鋳造上の余裕 (10%または1mm) を加算すると計算管厚は、次式により求める。

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= (t+2) \times 1.1 && t+2 \geq 10\text{mmの場合} \\ T_1 &= (t+2) + 1 && t+2 < 10\text{mmの場合} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1.22)$$

ここに、 t : 式(1.21)より求めた正味管厚 (mm)

T_1 : 式(1.22)より求めた計算管厚 (mm)

計算管厚(T_1)より、規格管厚(T)を選定する。

2.2.2 土圧分布により定まる係数 (K_f 、 K_t)

ダクタイル管の場合の土圧分布は、数多くの埋設実験の結果から図1.10、1.11のようになる。

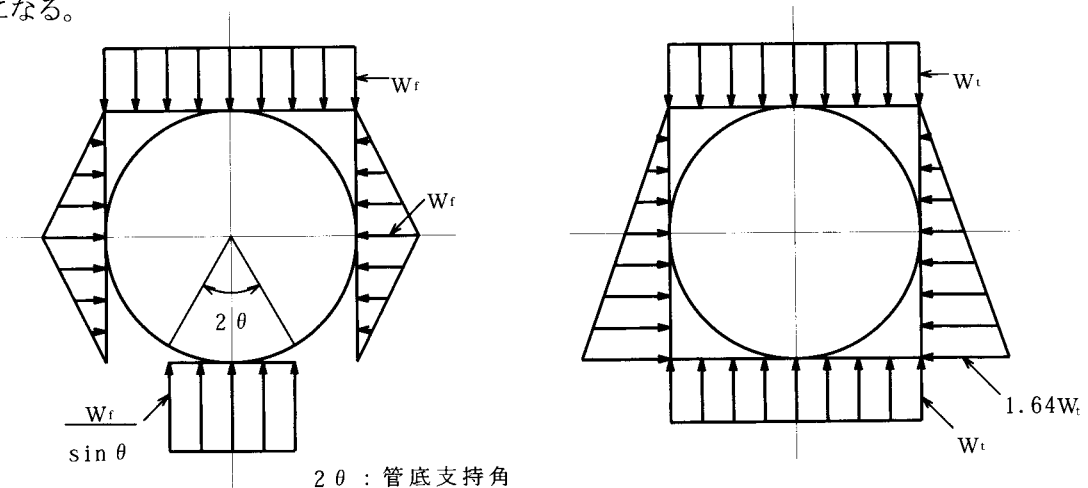


図 1. 10 土かぶりによる土圧分布 図 1. 11 活荷重による土圧分布

この時、係数 K_f 、 K_t は表1.19、1.20のようになる。

表1.19 K_f の値

位置 \ 2θ	0°	40°	60°	90°	120°	180°
管 頂	145×10^{-6}	140×10^{-6}	132×10^{-6}	120×10^{-6}	108×10^{-6}	96×10^{-6}
管 底	433×10^{-6}	281×10^{-6}	223×10^{-6}	160×10^{-6}	122×10^{-6}	96×10^{-6}

表1.20 K_t の値

管 頂	76×10^{-6}
管 底	11×10^{-6}

管厚計算に当たっては管頂および管底の両方につき計算し、いずれか厚くなる方を採用する。一般に土かぶりが深くなれば管底の方が厚くなり、土かぶりが浅くて活荷重が大きい時は管頂の方が厚くなる。

2.2.3 たわみ計算式

土かぶりと活荷重による垂直たわみの計算式を以下に示す。

(1) 土かぶりによる垂直たわみ

$$\delta_v = K \frac{W_f \cdot R^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots (1.23)$$

ここに、 δ_v : 土かぶりによる垂直たわみ (mm)

W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

R : 管半径 (mm)

E : ダクタイル管の弾性係数 (1.6×10^5 N/mm²)

I : 断面2次モーメント (mm⁴) ($I = \frac{b \cdot t_1^2}{12}$)

単位長さで考えれば、 $b = 1$ 、 $\therefore I = \frac{t_1^2}{12}$

t_1 は、規格管厚(T)より鑄造上の余裕を差し引いた管厚である。

K : 管底支持角により定まる係数 (表1.21参照)

表1.21 管底支持角と係数Kとの関係

管底支持角	0°	40°	60°	90°	120°	180°
K	122×10^{-6}	111×10^{-6}	100×10^{-6}	84×10^{-6}	70×10^{-6}	58×10^{-6}

(2) 活荷重による垂直たわみ

$$\delta_v' = 30 \times 10^{-6} \frac{W_t \cdot R^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots (1.24)$$

ここに、 δ_v' : 活荷重による垂直たわみ (mm)

W_t : 活荷重による土圧 (kN/m²)

(3) 合計たわみ

$$\delta = \delta_v + \delta_v' \dots\dots\dots (1.25)$$

設計たわみ率 (たわみ/管径) は、3%以下に制限している。

2.2.4 内圧

ポンプ圧送の場合の静水圧と水撃圧について以下に示す。

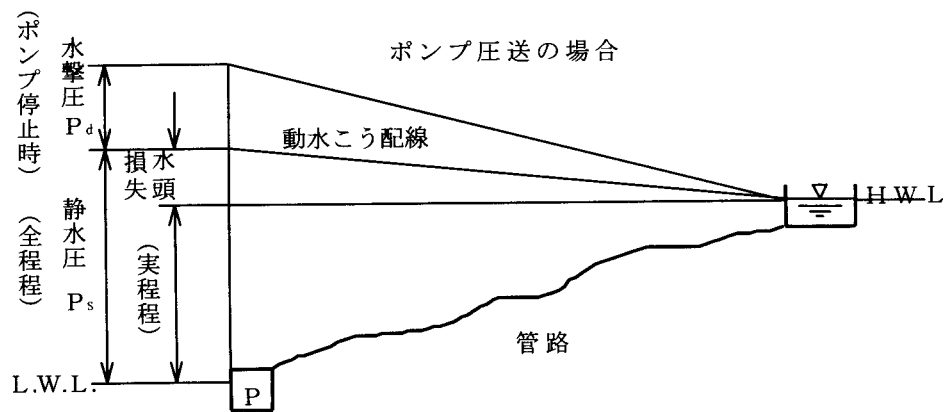


図1. 12 静水圧と水撃圧

(1) 静水圧

全揚程の水圧とする。

(2) 水撃圧

水撃圧は計算によって求めることができるが、計算によらない場合は次による。

静水圧が0.44MPa未満の場合は、その100%、静水圧が0.44MPa以上の場合はその60%または0.44MPaのいずれか大きい値。

(土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」⁴⁾より)

2.2.5 外圧

(1) 土かぶりによる土圧

土かぶりによる土圧の計算式としては、ヤンセン公式が実際とよく合致する。

なお、土かぶりが2m以下の場合は、垂直公式でも大差なく、計算も簡単であるのでこれによる。

①垂直公式

$$W_f = \gamma \cdot H \quad \dots\dots\dots (1.26)$$

ここに、 W_f : 垂直土圧 (kN/m²)
 γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)
 H : 土かぶり深さ (m)

②ヤンセン公式

$$W_f = \frac{\gamma}{-2K \tan \phi} \left(1 - e^{-2K \tan \phi \cdot \frac{H}{B}}\right) B \quad \dots\dots\dots (1.27)$$

ここに、 W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)
 γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)
 K : ランキン係数 $\left(= \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}\right)$
 ϕ : 土の内部摩擦角 (°)
 H : 土かぶり深さ (m)
 B : 管頂部の溝幅 (m)
 e : 自然対数の底

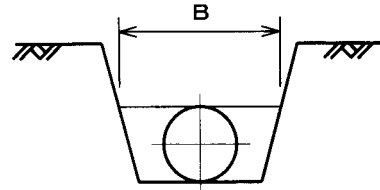


図 1. 13 溝幅

備考) 土かぶり深さ H が 2m を超える場合で、ヤンセン公式による土圧が $H = 2m$ の垂直公式による土圧より小さい場合は、 $H = 2m$ の垂直公式による土圧を採用する。

(2) 活荷重による土圧

トラックなどの集中荷重が地上に作用し、地下の埋設管に荷重が伝達されるような場合は、ブーシネスク式が実測値とよく合致する。

ブーシネスク式を以下に示す。

$$\begin{aligned} p &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^2}{H_s^6} P \quad \dots\dots\dots (1.28) \\ &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^2}{(H^2 + r^2)^{6/2}} P \\ &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^2}{(H^2 + x^2 + z^2)^{6/2}} P \end{aligned}$$

ここに、 p : 地下の任意の点 A' における垂直圧力(kN/m²)

P : 集中荷重(kN)

H : A' の表面下の深さ(m)

H_s : P の作用点から A' 点までの傾斜した距離(m)

r : H_s の水平成分

x : r の横方向成分

z : r の軸方向成分

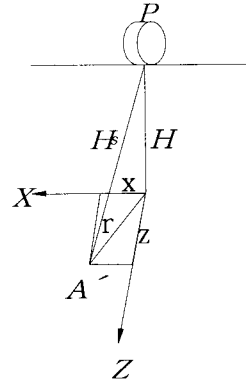


図1. 14 トラック荷重

また、式(1.28)は

$$\phi = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^2}{(H^2 + x^2 + z^2)^{6/2}}$$

とおくと、次式となる。

$$p = \phi \cdot P \quad \dots\dots\dots (1.29)$$

ただし、式(1.29)によって求まるのは地下の任意の一点における圧力である。そのため管に作用する全体の荷重を求めるには、管上の p を積算しなければならない。厳密には積分して求めなければならないが、非常に複雑であるため管をいくつかの正方形で区分し、その中央に作用する圧力 $p \times$ 正方形面積を以て正方形全体にかかる荷重とし、正方形にかかる荷重を全部加え合わせて全体にかかる荷重とする方法をとる。

以上より、活荷重による土圧は、次式により求める。

$$W_t = (1 + i) \alpha \cdot P \quad \dots\dots\dots (1.30)$$

ここに、 W_t : 活荷重による土圧 (kN/m²)

i : 衝撃係数 (0.5)

α : 輪荷重係数 ($= \frac{\sum \phi a}{\sum a}$)

a : 正方形面積 (m²)

P : トラック後輪の片側にかかる荷重 (kN)

表1. 22 トラック荷重

単位 : kN

荷重	総重量	前輪荷重	後輪荷重(P)	備考
T-25	245	24.5	98	道路橋示方書・同解説 ⁵⁾
T-20	196	19.6	78.4	

$H-\alpha$ 線図(土かぶり深さ H と輪荷重係数 α の関係)を図1.15、1.16に示す。

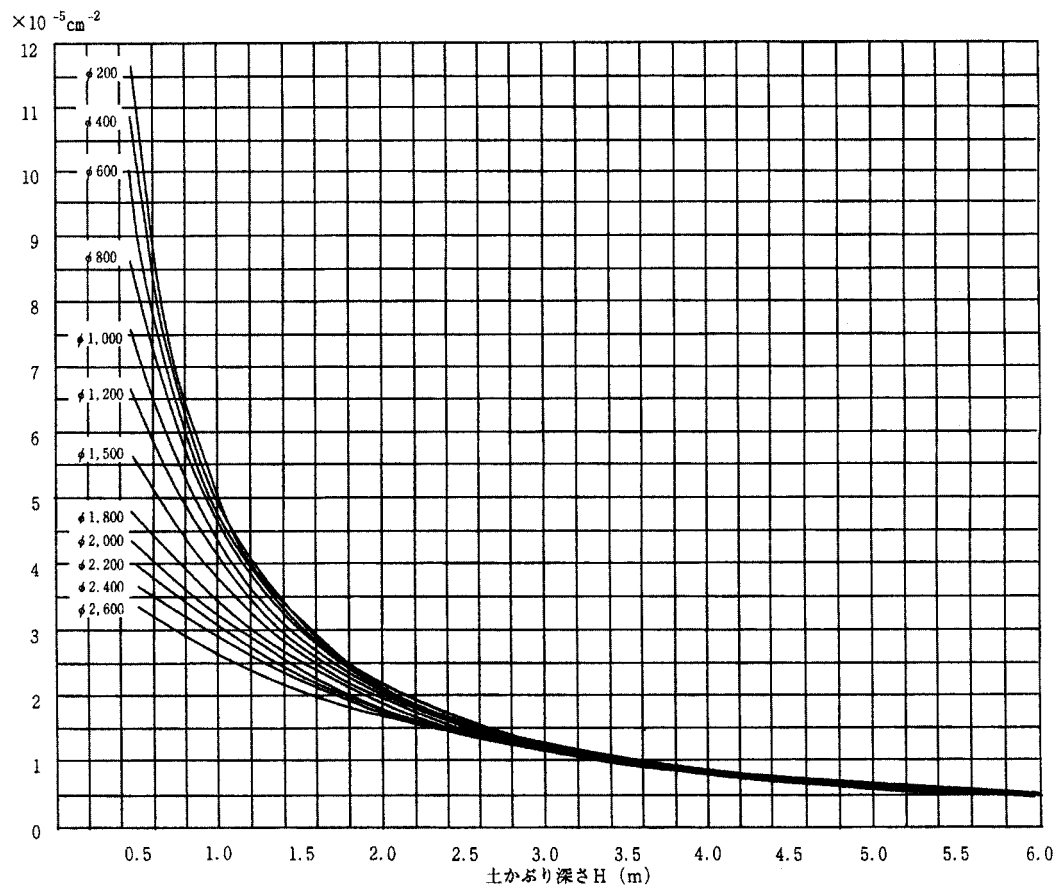


図 1. 15 輪荷重係数 α の線図 (トラック 2 台の場合)

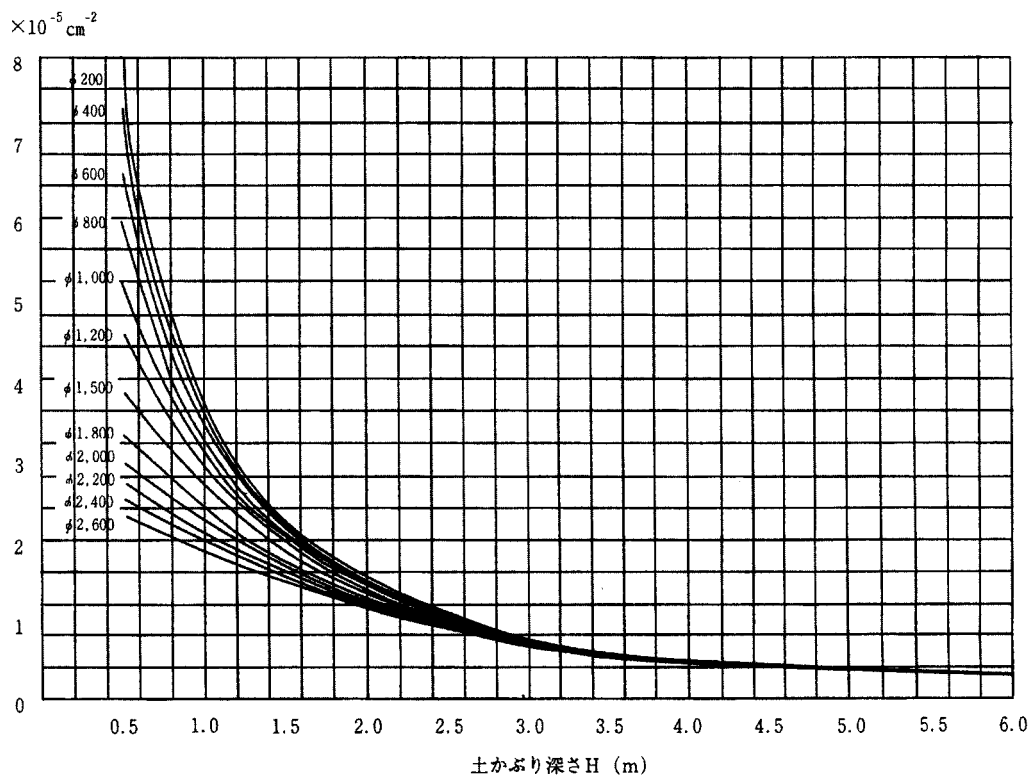


図 1. 16 輪荷重係数 α の線図 (トラック 1 台の場合)

2.3 管路付帯設備

2.3.1 空気弁、仕切弁など弁類の選択・設置

圧送管路には必要に応じて遮断用、管路切替用、ドレン(排出)用、吸排気用などのバルブを設置する。

(1) 遮断用および管路切替用のバルブ

圧送管路ではピグによる洗管を考慮して、バルブ全開時に100%の通過断面が得られる仕切弁形式のバルブを使用する。

仕切弁には、ソフトシール形と金属弁座形があるが、弁箱底部に異物が堆積しないソフトシール仕切弁を原則として使用する。また、ネジ部に異物が付着しない外ネジ式を使用する。なお、埋設深さおよび据付姿勢の関係から、ソフトシール仕切弁が設置困難な場合は偏心構造弁の使用を検討する。

(2) ドレン用のバルブ

ドレン用のバルブは、操作力、全開全閉回転数などの操作性を考慮し、偏心構造弁を原則として使用する。

(3) 吸排気用のバルブ

圧送管路の凸部などの空気の溜まりやすい箇所には、下水用空気弁を設置する。また、こう配のない管路でも1km当たり2～3カ所設置するのが望ましい。

下水用空気弁はフロートなどへの異物の付着が進行するため、空気弁の下部に補修弁を設置し、点検清掃などの維持管理のための作業スペースを確保する必要がある。なお、ウォーターハンマー対策として上水道では空気弁を設置する場合があるが、下水道管路では空気弁によるウォーターハンマー対策は望ましくない。下図に据付参考例を示す。

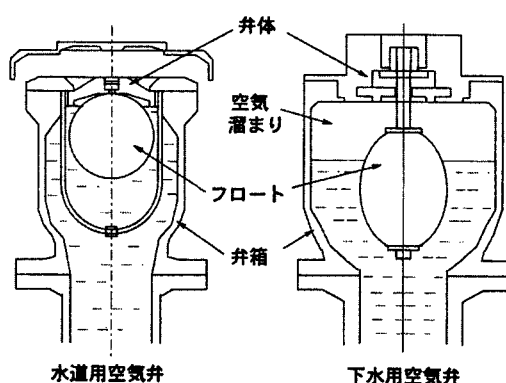


図 1. 17 下水用空気弁の構造例

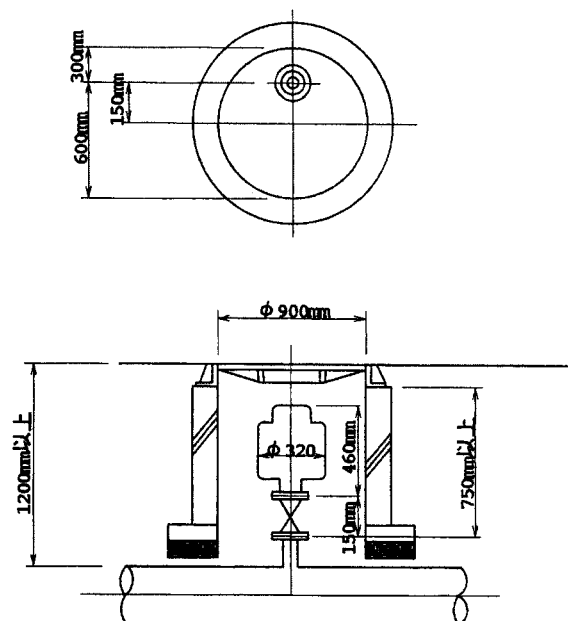


図 1. 18 下水用空気弁の据付け参考例

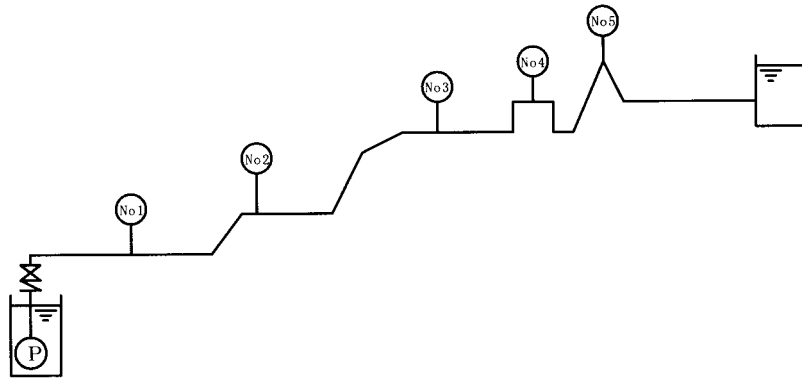


図1. 19 下水用空気弁の管路設置例

各バルブの用途、機能、諸元に関する資料を以降に掲載する。

表1. 23 バルブの選定表

	外ネジ式 ソフトソール 仕切弁	外ネジ式 金属弁座 仕切弁	下水用 空気弁 (補修弁付)	偏心 構造弁
遮断用	◎	○	—	—
管路切替用	◎	○	—	—
吸排気用	—	—	◎	—
ドレン用	○	—	—	◎

備考)◎は最適を、○は的を意味する。

出典：建設省 土木研究所資料第3308号 P82 ¹⁾

表 1.24 バルブの機能一覧表

	ソフトシール仕切弁	金属弁座仕切弁	下水道用空気弁	偏心構造弁	逆止弁	逆止弁
形式	外ネジ式	外ネジ式	補修弁付	—	スイング式	フラップ式
呼び径(mm)	φ 50～φ 500	φ 600～φ 1000	φ 75	φ 75～φ 500	φ 50～φ 1000	φ 300～φ 1000
使用圧力 (MPa)	0.75	0.44	0.75	0.44	0.44	0.05
最高許容圧力 (MPa)	1.3	0.98	1.72	—	0.98	—
適用規格	JWWA B120	JIS B2062準拠	—	—	—	—
フランジ寸法	JIS G5527 (ダクタイル鋳鉄異形管) RF形 7.5K(水道フランジ)に接続可能					
止水性	良好	良好	良好	良好	良好	多少の漏れあり
止水方向の制限	なし	なし	—	あり	あり	あり
特長	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全開時の圧力損失が小さい。 2. 堅牢で耐久性がある。 3. 弾性シートのため止水性がよく、操作が軽快である。 4. 弁箱底部がストレートで凹溝がないので異物堆積がない。 5. 部品交換が容易である。 6. 内外面エポキシ樹脂粉体塗装、弁体はゴムライニング。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全開時の圧力損失が小さい。 2. 堅牢で耐久性がある。 3. 弁座の耐久性が優れている。 4. 内面にエポキシ樹脂粉体塗装を施すことができる。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 汚水、汚泥の吹き出しを防止する構造になっている。 2. ゴミ、土砂、泥が詰まりにくい構造になっている。 3. 内外面にエポキシ樹脂粉体塗装。 4. 補修弁を閉じれば、システムの運転を止めずに点検などの維持管理ができる。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 仕切弁に比べ、高さ寸法が小さく、操作トルクも小さい。 2. 流路がストレートのため汚泥などに適している。 3. トップエントリー構造のため弁箱を配管より取り外すことなく内部点検ができる。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 弁体の自重で閉止し少ない背圧で逆流を防止できる。 2. 急止型と緩止型がある。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 管端用である。 2. 急激な逆流の防止。
問題点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全開、全閉使用が原則で中間の使用には適さない。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 全開、全閉使用が原則で中間の使用には適さない。 2. 弁箱底部には砂などの異物が堆積しやすい。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 屋内の使用では臭気対策が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. メーカーによっては全開時に100%の通過断面が得られないものもある。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 弁体自体が抵抗となるため圧力損失が大きい。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 多少の漏れがある。
使用上の留意点 (含、保守など)	<ol style="list-style-type: none"> 1. できる限り据付姿勢は立形とする。 2. 粉体塗装に傷を付けないよう据付時の取り扱いに注意が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. できる限り据付姿勢は立形とする。 2. 据付姿勢がやむをえず横型になる場合は横型用の仕切弁を使用する。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 空気弁室が必要である。 2. 補修弁が必要である。 3. 起動、停止の多い運転に使用する場合は汚泥堆積防止のため点検周期に注意を要する。 4. 分解する時は、事前にエア抜きを行い、圧力がゼロになったことを必ず確認する。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 据付時止水方向に制限があるので、注意が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ウォーターハンマーに対する検討を必要とし、それに伴いハンマー防止構造を考慮すること。 	

出典：建設省 土木研究所資料第3308号 P83'

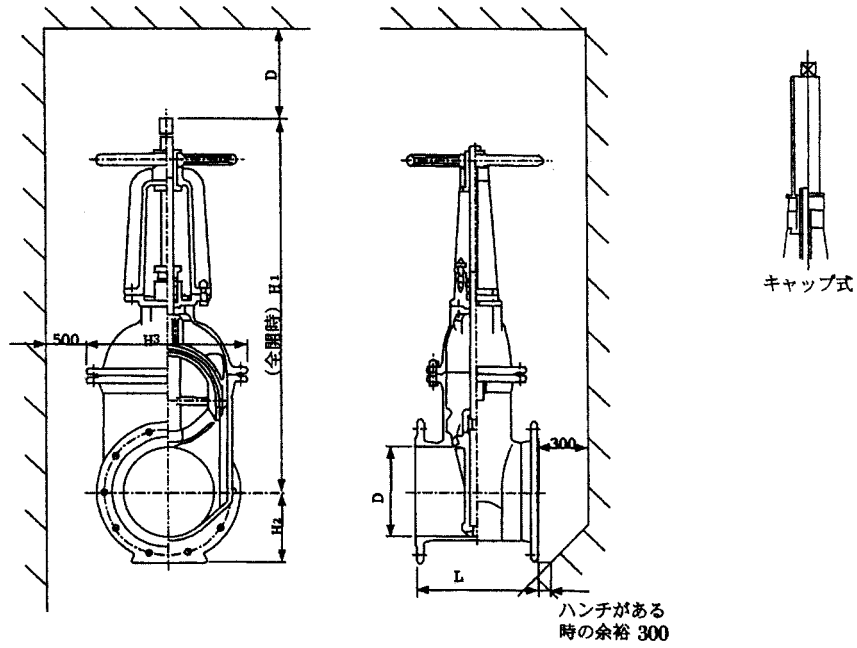


図 1. 20 ソフトシール仕切弁の形状例

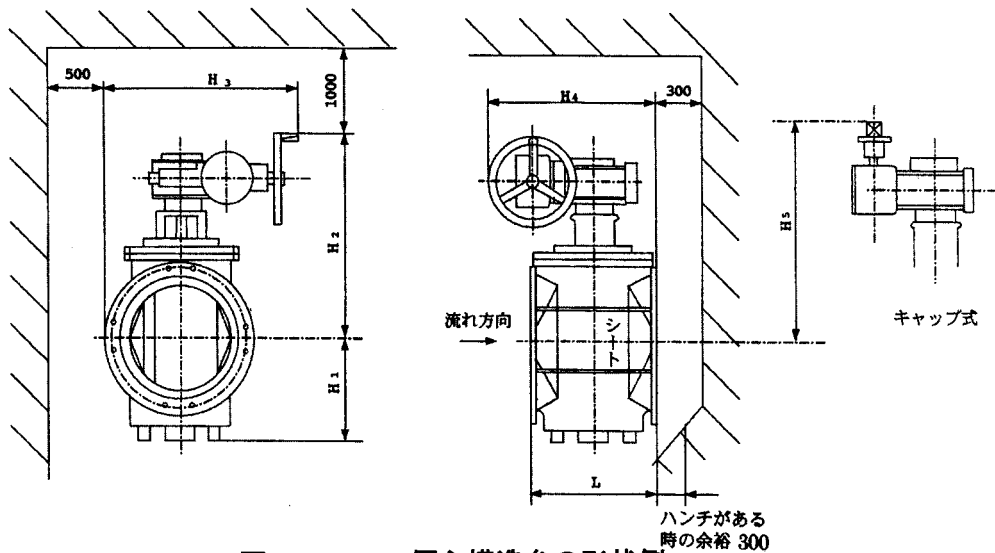


図 1. 21 偏心構造弁の形状例

表 1. 25 ソフトシール仕切弁寸法例 (mm)

呼び径	面間	
D	L	H1
75	240	570
100	250	670
150	280	920
200	300	1120
250	380	1380
300	400	1590
350	430	1800
400	470	1990
450	500	2210
500	530	2360

表 1. 26 偏心構造弁寸法例 (mm)

呼び径	面間					
D	L	H1	H2	H3	H4	H5
75	240	150	480	360	305	665
100	250	160	480	370	310	665
150	280	210	530	400	330	700
200	300	240	590	450	410	735
250	380	270	650	520	450	790
300	450	320	800	540	580	840
350	470	350	820	610	600	865
400	500	390	890	740	670	935
450	560	430	990	880	800	1000
500	620	470	1010	900	900	1050

2.3.2 排出設備

汚水や汚泥を長距離圧送する場合、固形物などが沈殿、堆積して管路を閉塞し、通水能力が小さくなることがある。また、堆積物は硫化水素などの有害ガスの発生原因となる。そのため適切な方法で定期的に堆積物を管路外に排出しなければならない。

圧送管路の凹部には堆積物が溜まり易いので、このような場所には下図に示すような排出設備を設置するのが望ましい。排出時の作業性から排出管の管径は150mm以上が一般的である。排出設備の設置場所の選定にあたっては、堆積物の溜まりやすい場所で周囲の環境、排出物の処分方法を検討し、決定しなければならない。

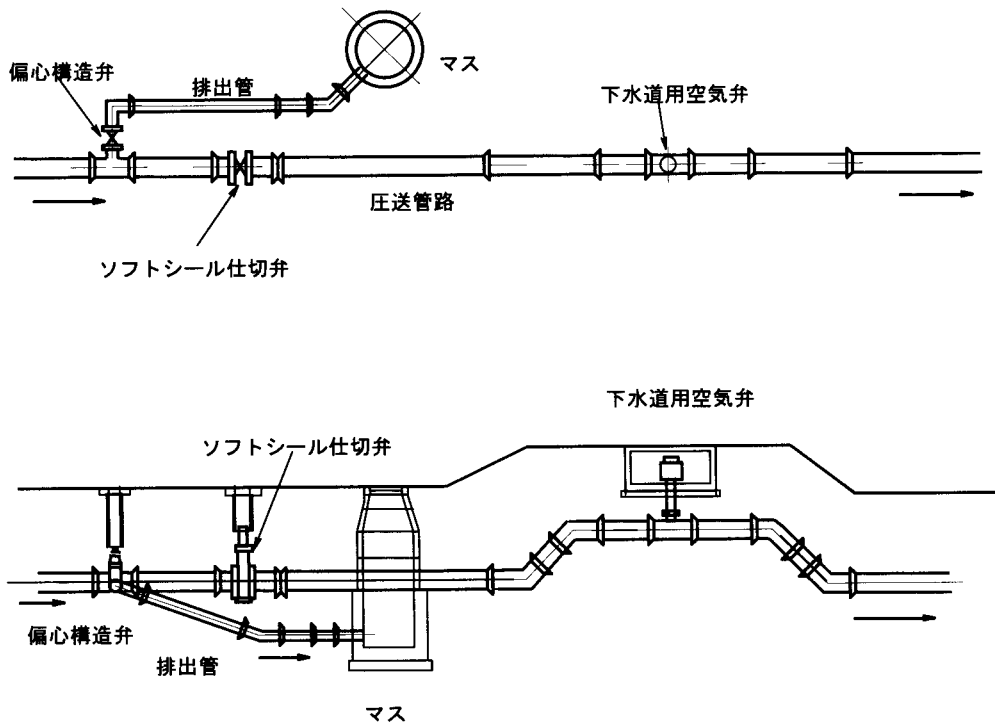


図 1. 22 排出設備の例 出典：建設省 土木研究所資料第3308号 P87

表 1. 27 排出設備の設置例

	伏越し	上越し
配管パターン		
空気弁の設置	管路凸部に設置する。(図のAの位置)	
排出設備の設置	管路の凹部に設置する。(図のDの位置)	

2.3.3 ピグ洗管施設

(1) 概要

ピグ洗管施設は、圧送管路内に管内径より若干大きい発泡ポリウレタン製のピグを挿入し、ピグに水压を加え管路内を移動させることにより、堆積物や管壁の付着物などの異物を排出するものである。この施設は、主にピグの発射装置（ピグランチャー）とピグの回収装置（ピグキャッチャー）からなり、下水ポンプの圧力を利用すれば、内径が変わらない限り長距離の管路を一度に洗管できるという特長がある。

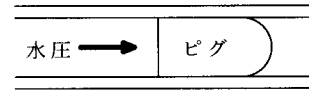


図1.23 ピグ洗管の方法

(2) 施設の概略

ポンプ施設に設置するピグ発射装置の概要を図に示す。

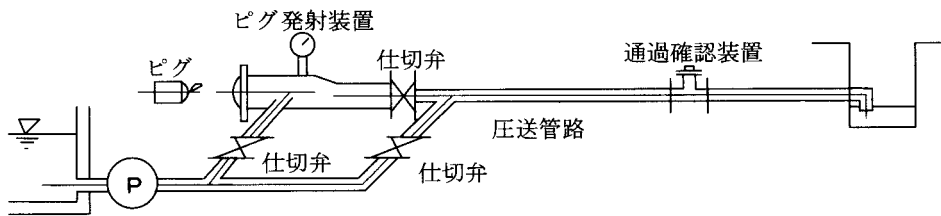
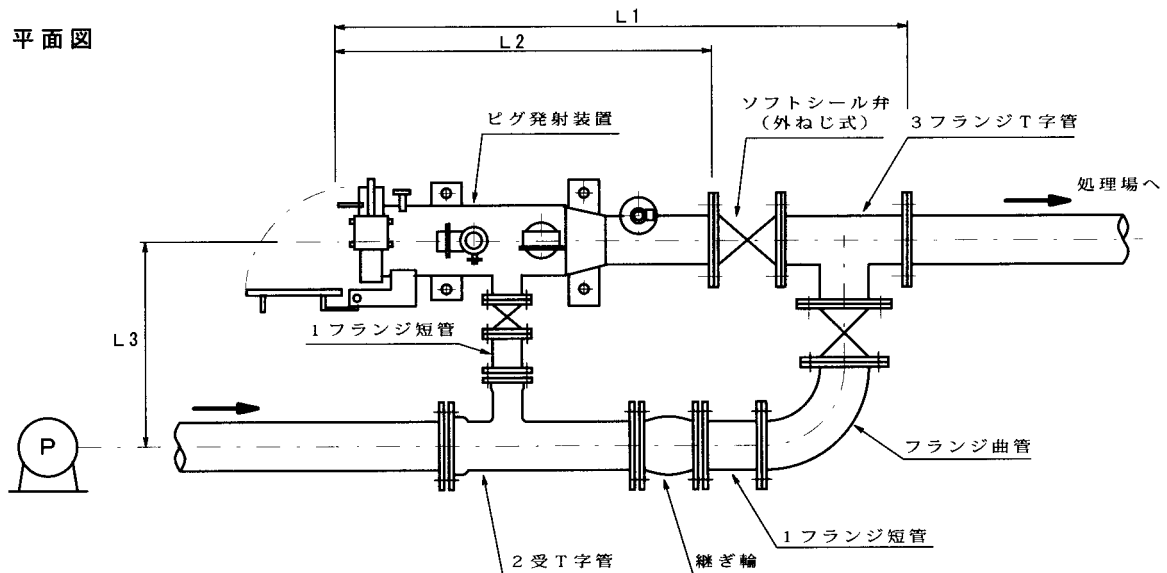
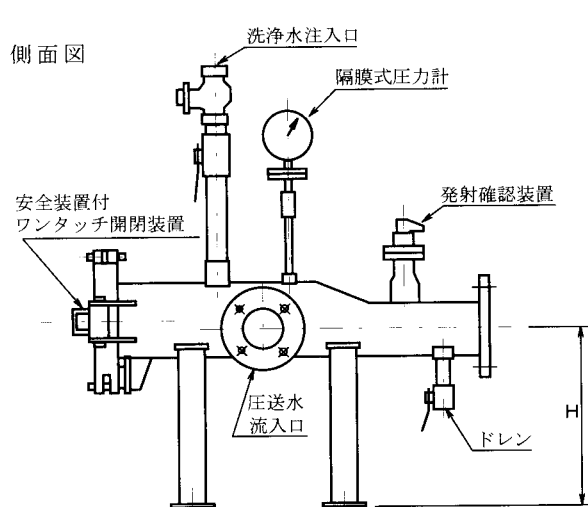


図1.24 ピグ洗管施設の概要

平面図





単位：mm

呼び径	L1	L2	L3	H
100		1020		500
150	1819	1160	927	500
200	2156	1350	1005	500
250	2671	1640	1096	700
300	3026	1850	1313	700
350	3256	2120	1384	700
400	3876	2600	1525	1000
450	4126	2630	1586	1000
500	4396	2900	1757	1000
600	5166	3500	1958	1000

図1. 25 ピグ発射装置廻りの配管例 (標準タイプ)

(3) ピグ洗管施設設置上の留意点

管路途中にはピグが通らないような計器 (流量計・濃度計など) やバルブ (バタフライ弁・ストップ弁など) を設置しないようにする。ピグ通過の可否に留意して管路設計しておかないと、完成後ピグを通せないことがある。また、ピグ洗管時にピグの通過を確認するために、数カ所ピグシグナルを設置しておくことが望ましい。

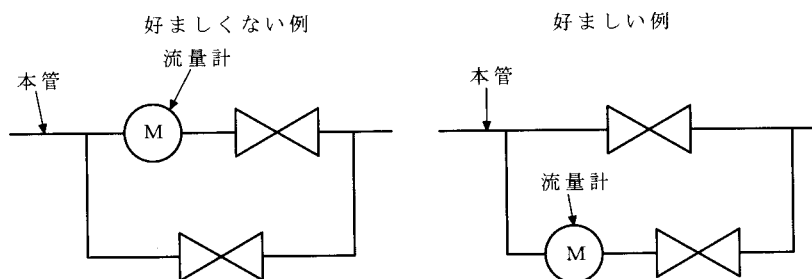


図1. 26 バルブ・流量計の設置例

2.4 多条圧送方式

圧送方式の下水道管路は、自然流下方式の管路に比べて管路布設費が安価であるため、下水流量の増加に合わせた段階的な拡張が行い易いといわれる。また、長期的な維持管理や危機回避を考えると、1条管路より多条管路の方が望ましい。このような多条圧送方式を採用する場合には、下図に示すような各管路間の連絡管を設けておき、事故などによる送水停止の危険性を分散回避する。なお、多条圧送管路を設計する場合、各管路での全揚程が等しくなるように流量配分を行い、かつ各管路で適切な流速が確保されるように管径を設定することが重要である。

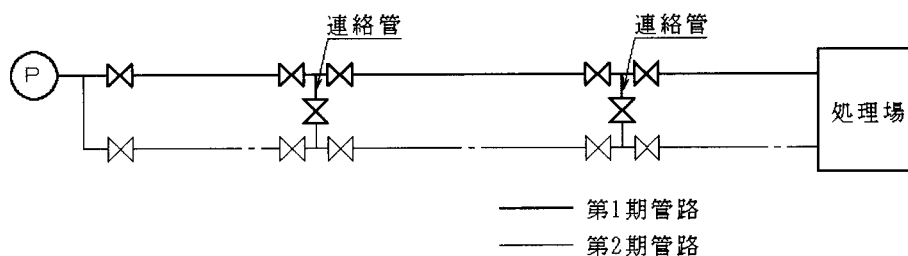


図 1. 27 多条圧送管路の連絡管、弁の設置例

2.5 多重圧送方式

自然流下方式においては比較的簡単に合流部を設けることが可能であるが、圧送方式で合流部を設ける場合、圧力的な整合を図る必要がある。合流部のある圧送方式を多重圧送方式と呼び、その設計上の留意点は以下の通りである。

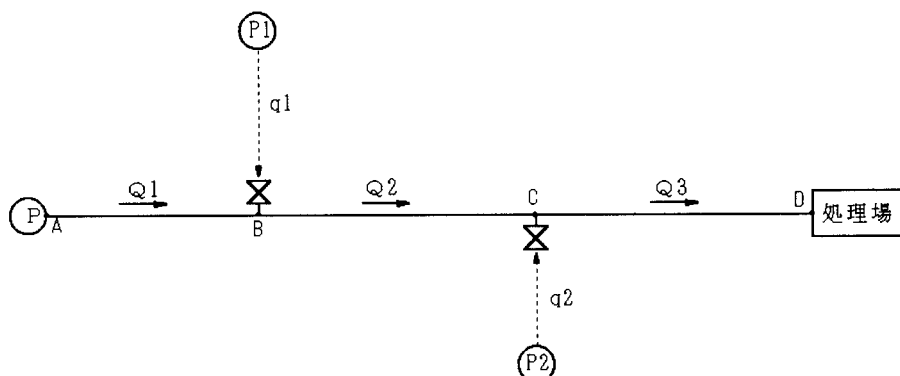


図 1. 28 多重圧送方式

①各ポンプの全揚程は、全てのポンプが同時起動した場合を考慮して計算する。

すなわち、A-B間の圧力損失は流量 Q_1 で計算する。

B-C間の圧力損失は流量 $Q_2 (= Q_1 + q_1)$ で計算する。

C-D間の圧力損失は流量 $Q_3 (= Q_1 + q_1 + q_2)$ で計算する。

ただし、合流管路側のポンプ P_1 、 P_2 の稼働時間が極めて短く、また幹線のポンプ P も間欠的に稼働している場合は、この限りではない。

②将来合流の可能性がある場合には、幹線から分岐を設けバルブ止めしておく。

2.6 竣工検査

管路の敷設完了後、管路の水密性、安全性を確認するため、必要に応じて水圧試験を行う。一般的に、小口径管路では管路水圧試験（管内に充水、加圧し、その圧力降下状況により、管路の漏水の有無を判断する試験）が適用され、大口径ではテストバンドによる継手部の水密試験が適用されている。特に、管路水圧試験は水圧試験方法として広く採用されている。

一方、下水道の圧送管路の簡便な試験方法として空気加圧による試験方法を求める要望があるが、この方法は爆裂等の危険（死亡事故につながる場合もある）があり、また空気漏洩の判断も技術的に困難である。

以上の状況を踏まえ、ここでは管路水圧試験実施時の留意事項を以下にあげる。

(1) 管路水圧試験の留意点

- ① 管路の充水は、原則として管路の低い方から、管路内空気の排出状況を確認しながら、ゆっくりと行うことが望ましい。
- ② 管路の水圧試験は、管路内の残留空気を少なくするために、充水後一昼夜程度経過してから行うことが望ましい。
- ③ 試験水圧は設計水圧とし、加圧後 1 時間程度の管路異常の確認および圧力計測を行う。
- ④ 漏水以外の種々の要因により、測定圧力は初期圧力から降下することがある。このため、急激な圧力降下が起こらない場合は合格とする。
- ⑤ なお、圧力を一定に保ち、その間の補給水量を測定する方法もあるが、この場合は補給水量が時間経過とともに減少した場合は漏水なしと判定する。

(2) バルブの機能の確認および使用条件

管路中に設置されたバルブ自体の機能については、バルブの工場試験結果や管路の水圧試験時に確認する。

①バルブの工場試験

- a. 耐圧試験 : バルブを開いた状態で水圧を加え、各部に異常のないことを試験する。
- b. 弁座の漏れ試験 : バルブを閉じた状態で、片側に使用圧力程度の水圧を加え、弁座に漏れがないことを試験する。

②管路水圧試験時のバルブへの留意点

管路の水圧試験を行う場合は、原則としてバルブを開いた状態で行う。バルブ間で水圧試験を実施する場合は、バルブの使用圧力を越えない試験圧力とする。

③バルブの使用条件

管路の水圧試験後は、通水に備えてバルブの開閉状況および流れ方向を確認しておく必要がある。バルブは、原則として全開または全閉で使用する。中間開度での長期間の使用は、潰食(キャビテーション・エロージョン)の発生などの原因となるので、極力避ける。

(3) ポンプ吐出圧と下水流量の確認

管路の竣工検査時にポンプ出口における圧力(吐出圧)と下水流量を把握し、ポンプ性能曲線(Q-H曲線)上にプロットしておけば、後々ポンプ性能や管路通水抵抗の変動を把握する上で便利であるので、初期運転点の把握を推奨する。

II 圧送管路施設の維持管理

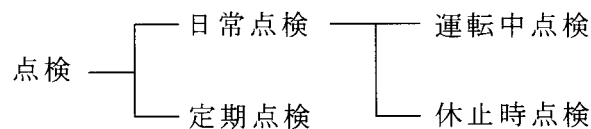
1. ポンプ施設の維持管理

ポンプ施設の維持管理活動は、定期的な点検と整備が主なものである。
以下に点検と整備の概要を示す。

1.1 点検

1.1.1 点検の種類

点検には、その内容と周期により次の種類に区分される。



1.1.2 日常点検

原則として毎日行う点検で、主として目視、聴覚、臭覚、触診などの人間の五感を用いて行う。その内容は外観や作動状況など信頼性の確認が中心で、運転中に行うものと、休止中に行うものがあり、主な内容は次のようなものである。

(1) 運転中点検

- ① 外観に異常はないか。（接合部などで油、水漏れ、空気漏れなどが
ないか）
- ② 計器の値は正常か、指針の振れは大きくないか。
（送水量、圧力、温度、回転数、トルク、出力、電圧、電流値など）
- ③ 回転のガタつき、ブレはないか。
- ④ 制御関連装置の作動は正常か。
（作動弁、電磁弁、液面計、リミットスイッチ、圧力、リレーなど）
- ⑤ 異常音、異常振動はないか。
- ⑥ 油滴、水滴などの量は適量か。
- ⑦ 制御盤表示灯の点灯に異常はないか。 など

(2) 休止時点検

- ① 外観に異常はないか。（塵埃、油、水漏れ、ゆるみなど）
- ② 潤滑油、グリースなどは規定量あるか。
- ③ 計器はゼロ点などの正常値を示しているか。
- ④ 盤類の切替開閉器、操作スイッチ、表示灯ランプチェックなどの状態は正常か。
- ⑤ 2次巻線電動機のブラシなどの清掃および目視点検。
（スリップリング面の状態、埃、カーボン粉などの付着） など

1.1.3 定期点検

摩擦、劣化、軸芯の狂いの程度、消耗品の残量などをチェックする点検で、簡単な器具（ものさし、液面計、温度計、テスターなど）を用いた測定が中心となる。定期点検の周期は機器、部品により異なり、必要に応じて部品の交換や消耗品の補充を行う。

1.2 定期整備

定期点検のうち、特に機器の分解および部品などの交換を伴うものを定期整備（オーバーホール）と呼び、摩擦、疲労劣化による故障の予防と機能回復を目的に実施する。

定期整備は高度な技能を要する作業であり、専門業者に委託して行うのが一般的である。また、製作工場への持ち帰りなど再使用までの日数と費用がかさむため、時期の策定や予算の確保など、長期的な計画に基づき実施する必要がある。

1.3 点検整備計画

設備の維持管理を行うには、完成図書などに基づき、使用する機器の形式、構造、性能などをよく理解し、整理しておく必要がある。また、供用を開始した後は運転の状況や点検・整備を実施した時期や結果を克明に記録し、以降の維持管理計画の策定に有効利用すべきである。

1.4 設備の供用開始前に用意しておく良い書類

1.4.1 設備台帳

設備の来歴を記録するもので、機器毎に管理カードを作成し、管理番号、仕様、製造業者名、製造番号、予備品の有無などを記入する。設備の供用開始後は、異常の発生状況、補修の内容と時期などを記録する。機器毎の管理カードと一緒に、構造図や取り扱い説明書、消耗品リストなどを揃えておけば、構造の理解や部品の発注に便利である。

1.4.2 定期点検・整備チェックリスト

対象とする整備に必要な点検整備の項目、内容、手段、判定基準、周期などを機器毎に一覧表にまとめておけば、計画的かつ効率的に点検・整備を実施することができる。

表2.1にポンプの点検項目表の例を、表2.2にポンプの整備項目表の例を、表2.3に保守点検報告書の例を、表2.4にポンプ検査報告書の例を、表2.5にメンテナンス点検表の例を示す。

表 2. 1 ポンプの点検項目表の例

装置区分	点検項目	点検内容	定期点検		臨時点検	
			月点検	年点検		
共通	吸込槽	土砂の堆積	—	測定	—	
		水位	目視	測定	—	
	ケーシング	水抜き弁	調整	—	—	
		振動	指触	測定	—	
	計器	圧力計	ゼロ指針	—	調整	—
			配管	—	目視	—
その他	全般	音	聴覚	聴覚	—	
		塗装	—	—	—	
槽外型ポンプ	主軸及び軸受	主軸	芯出し※1	—	測定	—
			錆	—	目視	—
			摩耗 ※1	—	目視	—
	軸受	軸受	温度・振動	指触	測定	—
			摩耗	—	—	—
			温度	指触	指触	—
	グランドパッキン	グランドパッキン	封水量	目視	目視	—
			劣化	—	—	—
			油脂量(質)	目視	目視	—
	潤滑関係	軸受	オイルリングの回転	目視	目視	—
			油漏れ	目視	目視	—
			指示	—	目視	—
計器	温度計	配管	—	目視	—	
		フロースイッチ	作動	目視	分解	—
水中モータポンプ	本体	軸受	—	—	—	
		メカニカルシールの油漏れ	—	目視	—	
	モータ他	絶縁抵抗	—	測定	—	
		モータ	—	—	—	

出典：(財)下水道新技術推進機構「下水道の雨水貯留池施設における維持管理設備技術マニュアル(資料編)」⁶⁾

表 2. 2 ポンプの整備点検項目表の例

装置 区分	整備項目	整備内容	定期点検			
			5年整備	10年整備		
共通	吸込槽	土砂の堆積	清掃	清掃		
		水位	測定	測定		
	ケーシング	水抜き弁	—	—		
		振動	測定	測定		
	計器	圧力計	ゼロ指針	交換	交換	
		配管	目視	目視		
	その他	全般	音	聴覚	聴覚	
			塗装	目視	目視	
	槽外型 ポンプ	主軸 及び 軸受	主軸	芯出し※1	測定	測定
				錆	清掃	清掃
摩耗 ※1				目視	測定	
軸受		軸受	温度・振動	測定	測定	
			摩耗	—	測定	
			温度	指触	指触	
グランドパッキン		グランドパッキン	封水量	目視	目視	
			劣化	目視	交換	
			油脂量(質)	交換	交換	
潤滑 関係		軸受	オイルリングの回転	目視	目視	
			油漏れ	目視	目視	
			指示	目視	目視	
計器		温度計	配管	目視	目視	
			フロースイッチ	作動	分解	交換
水中 モータ ポンプ	本体	軸受	—	交換		
		メカニカルシールの 油漏れ	交換	交換		
	モータ他	絶縁抵抗	測定	測定		
		モータ	—	分解		

出典：(財)下水道新技術推進機構「下水道の雨水貯留池施設における維持管理設備技術マニュアル(資料編)」⁶⁾

表 2.3 保守点検報告書 (例)

平成 年 月 日 点検 点検者氏名

ポンプ場

ポンプ番号	口径	電動機出力	電圧	定電流	全揚程	絶縁抵抗			ポンプ外観	ケーブル外観	付属品外観	油量	油質	手廻し状態	回転部異物	芯振れ	騒音振動	その他
						吐出量	負荷電流	絶縁抵抗										
1	mm 300	kW 22	V 200	A	m 5.824	m ³ /分 10.56	A 65	MΩ 100	良	良	良	良	良	良	良	良	良	
2	mm 300	kW 22	V 200	A	m 5.824	m ³ /分 10.56	A 65	MΩ 100	良	良	良	良	良	良	良	良	良	
3	mm	kW	V	A	m	m ³ /分	A	MΩ										
4	mm	kW	V	A	m	m ³ /分	A	MΩ										

No. 1、No. 2 ポンプ共オイル交換しました。

No. 1 No. 2
ウェアリング寸法測定 R 260.0 259.9
S 260.5 260.4
許容スキマmax. 1.119mm 0.25 0.25

吐出管・弁類	ポンプ番号	吐出管外観	弁外観	弁開閉状態	その他	
					異常なし	異常あり
	1	良	良	良	良	
	2	良	良	良	良	
	3					
	4					

水位関係	外観	締切部の弛み	ほこりなど	水位表示	起動確認	停止確認

ポンプ井及びスクリーン関係	スクリーン外観	スクリーン附着状態	覆蓋外観	沈砂状態	浮遊物	その他

ポンプ番号	計器の状態	表示球切れ	自動運転	手動運転	保護継電器動作	外観	音響	絶縁抵抗	その他
2	良	良	良	良	良	良	良		
3									
4									

ポンプ操作盤関係	記事

出典：(財)下水道新技術推進機構「下水道の雨水貯留池施設における維持管理設備技術マニュアル(資料編)」⁶⁾

表 2. 4 ポンプ検査報告書 (例)

No.
No.
No.

御注文者	殿	工事名称	
検査日	年 月 日	機器番号	
立会検査官名	殿	機器名称	
		検査場所	

ポンプ仕様		電動機仕様	
ポンプ形式	型	出力	1.1 kW
口径	200 mm	電圧	400 V
全揚程	1.0 m	定格電流	23.5
吐出量	4.0 m ³ /分	周波数	50 Hz
回転数	S. S 1500 r.p.m	極数	4 極
ポンプ製造番号		絶縁階級	E 種
台数	1 台	起動方式	直入

検査項目

項目	方法	結果	備考
1 無負荷始動検査	電流および視覚・触覚・聴覚にて確認	異常なし 合格	振動・騒音
2 絶縁抵抗検査	500Vメガ-計にて各相間測定	1000MΩ以上 合格	20MΩ以上 JIS A 8604 JIS B 8325
3 耐電圧検査	2E+1000 [V] E: 定格電圧	1800V印加 合格	1分間印加 JIS A 8604 JIS B 8325
4 外観検査	視覚・触覚	異常なし 合格	

検査 担当者	
-----------	--

検査 責任者	
-----------	--

立会 検査官	
-----------	--

出典：(財)下水道新技術推進機構「下水道の雨水貯留池施設における維持管理設備技術マニュアル(資料編)」⁶⁾

表 2. 5 メンテナンス点検表 (例)

官公庁、機関、公共企業体			
契約書 No.		設置年月日	年 月 日
現場 (施設) 名		据付場所名称	
点検立会人確認印	印または サイン	ポンプ用途	

●点検項目

確認事項	ポンプ形式	ポンプ製造 No.	契約有効期限	操作盤形式容量	始動方式
			年 月 日		

※契約時に施されていた特別の保護回路および付属設備・機器の状況に変化はありませんか

測定項目	電 圧	電 流	絶縁抵抗	ポンプ累積運転時間	制御水位	水質 (pH、固形物混入度)
測定値	V	A	MΩ	時間	m	
正常値	V	A	MΩ		m	
判 定						

点検項目

ポンプ部	据付状況	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 不安定	<input type="checkbox"/> 対策必要		
	運転音	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> やや高い	<input type="checkbox"/> 異常	<input type="checkbox"/> 対策必要	
	潤滑油 量	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> やや少ない	<input type="checkbox"/> 非常に少ない		
	質	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> やや劣化	<input type="checkbox"/> 汚濁有		
	羽根車摩耗	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> やや摩耗後味	<input type="checkbox"/> 摩耗		
	サクシオンカバー摩耗	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> やや摩耗	<input type="checkbox"/> 摩耗	<input type="checkbox"/> 対策必要	
ポンプ性能	吐出量					
	吐出圧					
	配管関係					
配管関係	配管の状態	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 腐食	<input type="checkbox"/> 対策必要	水漏れ <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	
	圧力計の指示値	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> やや異常	<input type="checkbox"/> 異常		
	バルブ類の機能	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> やや異常	<input type="checkbox"/> 異常		
	脱着装置の作動状態＝脱着作動	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 異常			
	＝接合部の水漏れ		<input type="checkbox"/> 無し	<input type="checkbox"/> 有り	<input type="checkbox"/> 即修修理必要	
	＝腐食		<input type="checkbox"/> 無し	<input type="checkbox"/> 有り	<input type="checkbox"/> 対策必要	
操作盤関係	リレー・スイッチ類	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良	<input type="checkbox"/> 修理必要	<input type="checkbox"/> 取換え	
	液面検出器	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良	異常増水時制御スイッチの作動状況	<input type="checkbox"/> 良 <input type="checkbox"/> 不良	
	電圧計	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良			
	電流計	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良			
	絶縁状況	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良	<input type="checkbox"/> 修理必要		
	警報機器類	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良			
	パイロットランプ	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良			
	接続端子の状態	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良			
	水槽の状態	運転水位	<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良	異常増水検知水位	<input type="checkbox"/> 良 <input type="checkbox"/> 不良
		浮遊物・堆積物	<input type="checkbox"/> 無し	<input type="checkbox"/> 有り	<input type="checkbox"/> 対策必要	
土砂の沈砂処理		<input type="checkbox"/> 必要なし	<input type="checkbox"/> 必要	<input type="checkbox"/> 対策必要		
スカムの異常付着		<input type="checkbox"/> 無し	<input type="checkbox"/> 有り	<input type="checkbox"/> 対策必要		
前処理用スクリーンの状態		<input type="checkbox"/> 良	<input type="checkbox"/> 不良	<input type="checkbox"/> 改善を要す		

点検日	年 月 日
点検担当者	印

出典：(財)下水道新技術推進機構「下水道の雨水貯留池施設における維持管理設備技術マニュアル(資料編)」⁶⁾

2. 管路施設の維持管理

2.1 管路の維持管理上の留意点

自然流下管路の場合、口径が比較的大きいことやマンホールが設置されているため、管内面の観察や人手による補修がよく行われている。しかし、圧送管路は口径が小さいことや圧力が負荷されているため、このような管内面からの直接的な対応は困難であることが多い。そのため、圧送管路は普段から確実に維持管理を行い、常にその機能を維持しておくことが重要となる。圧送管路の機能が損なわれる事例、あるいは維持管理上留意すべき事として以下の事項があげられる。

- ① 管路内での固形物などの堆積
- ② 管壁へのスライム（バイオフィーム）などの付着
- ③ 硫化水素による悪臭・施設劣化
- ④ 空気弁などの付帯設備の作動不良
- ⑤ 管体の破損、接合部の不具合による漏水

①、②については定期的に管路内の洗管を行うことにより原則的に対応できる。③については近年種々の対策が開発されてきている。④については、定期的な保守・点検により対応する。⑤についてはポンプの稼働条件のチェックや管路周辺の観察により対応する。各々の具体的な内容を以下に記す。

2.2 管路の洗管

2.2.1 高流速による洗管方法

圧送管路の洗管方法の1つとして、高流速でポンプ運転を行い管路内の堆積物や管壁付着物を排出する高流速洗管（フラッシング）がある。

高流速洗管方法の概要を以下に示す。

(1) 高流速洗管の準備

- ① 高流速運転するため、あらかじめ使用する水量を計算し、運転時間を定めておく。
- ② 使用水量は少なくとも管路容積以上を確保し、できれば管路容積の2倍以上が望ましい。
- ③ 洗管に使用する水は清水や処理水であることが望ましいが、下水をそのまま用いても差し支えない。
- ④ 高流速洗管を実施した場合、一時的に処理場への負荷が増大するので、あらかじめ処理場負荷を考慮しておく。

(2) 下水流速の設定（出典：下水道協会誌 Vol.25 No.293⁷⁾）

管路のこう配、固形物の径と比重、下水流速などの関係から、堆積物排出のための限界掃流速 V は次式で計算されると報告されている。なお、通常時の運転流速が限界掃流速 V より大きい場合、同じ流速で運転しても管壁に付着したバイオフィームを除去することはできないので、予備ポンプなどを利用して、より高流速を確保する必要がある。

$$V = V_1 - V_2$$

$$= \sqrt{\frac{8\beta}{f} g(S-1)d \cdot \cos \theta} - \sqrt{\frac{4g}{3C} (S-1)d \cdot \sin \theta} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

ここに、 V_1 : 固形物が沈殿した後、
再び流出される限界掃流速 (m/秒)

V_2 : 固形物の沈殿速度 (m/秒)

β : 常数 (=0.06)

g : 重力加速度 (=9.8m/秒²)

S : 土粒子の比重 (=2.65)

d : 土粒子の粒径 (m)

f : 摩擦係数 (=0.03)

θ : 管の上昇角度

C : 土粒子の抵抗係数
(=2.15, $d \geq 0.001$ m)

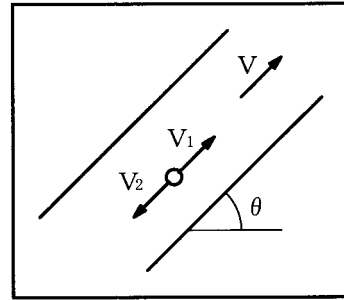


図 2. 1 圧送管路内限界掃流速

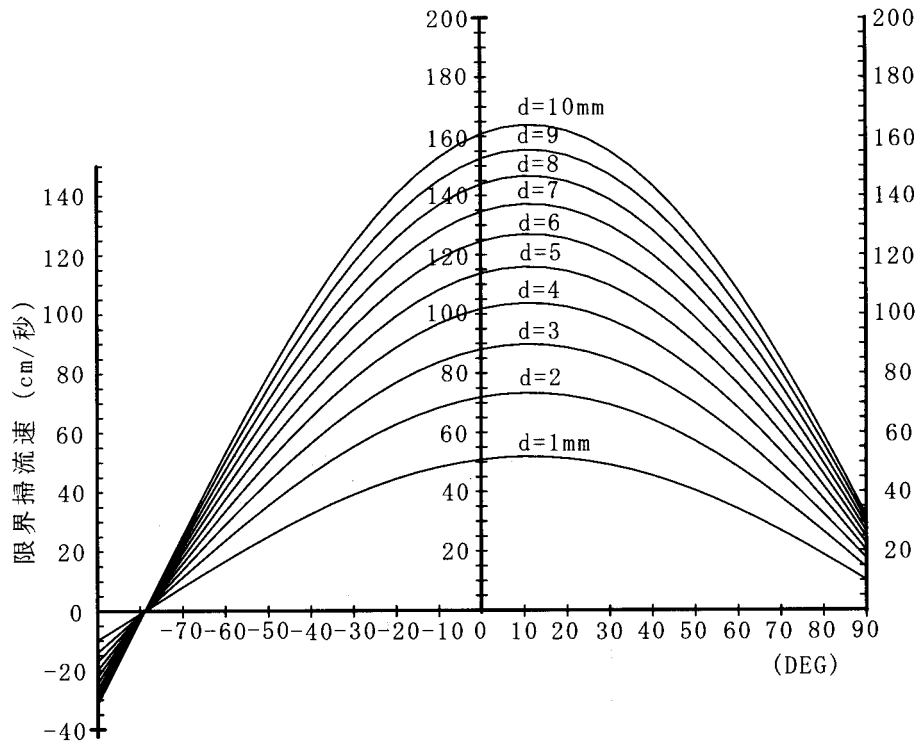


図 2. 2 砂の限界掃流速と圧送角度

2.2.2 ピグによる洗管方法

I. の2.3.3項に示したピグ洗管装置による洗管方法を以下に記す。

(1) ピグ洗管の準備

ピグ洗管を実施する場合、以下の準備を行う。

①必要水量の計算と確保

ピグ洗管に要する水量は式 (2.2) で計算される。

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot V \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、 Q : 必要水量 (m³)

k₁ : Leak係数 (=1.05)

k₂ : 充水係数 (=1.05)

k₃ : 安全係数 (=1.2)

V : 管路容積 (m³)

ピグ洗管に必要な水量がポンプ井の容量などにより確保出来ない場合は、必ずしも一度に洗管を行う必要はないが、再度水量の確保が出来次第、継続して洗管作業を行う。また、洗管に使用する水は清水や処理水であることが望ましいが、下水をそのまま用いても差し支えない。

②ポンプ必要揚程の計算

ピグ洗管時には、ピグの走行抵抗により通常通水時より高いポンプ吐出圧が必要となる。経験則によるピグ洗管時に必要なポンプ揚程の考え方を以下に示す。

$$\text{ポンプ揚程} = H + h_1 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ここに、 H : 通常通水時の全揚程 (m)

h₁ : ピグ発射水圧 (m)

表 2. 6 ポンプ必要揚程のデータ

管径 (mm)	h ₁ (m)	管径 (mm)	h ₁ (m)
100	10	350	5
150	10	400	5
200	10	450	5
250	10	500	5
300	10	600	5

以上に示したように、ピグ洗管時には安全をみると通常通水時の全揚程に5～10m 加えたポンプ揚程が必要とされることになるが、現実に上記の圧力が必要となるのは、ピグ発射時や管路中に極めて曲がり部が多い場合など希であり、一般には通常通水時の+ α 程度の圧力で洗管可能である。下図に $\phi 100\text{mm} \times$ 管路長900m の管路でピグ洗管を実施した際の流量・圧力データを例示するが、ピグ洗管時には曲がり部を通過する際などで数m の圧力上昇が認められるが、それ以外は通常通水時の圧力と大差ないことが分かる。

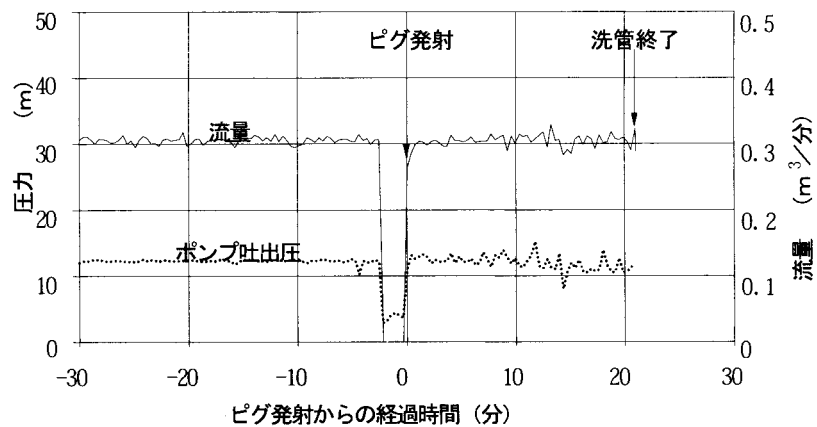


図2. 3 ピグ洗管時の流量・圧力測定例

出典：建設省 土木研究所共同研究報告書整理番号第194号 P82⁸⁾

③管路形状の検討

管路形状によってはピグが通過出来ない場合があるため、以下の要領でピグが管路を通過可能か検討しておく。

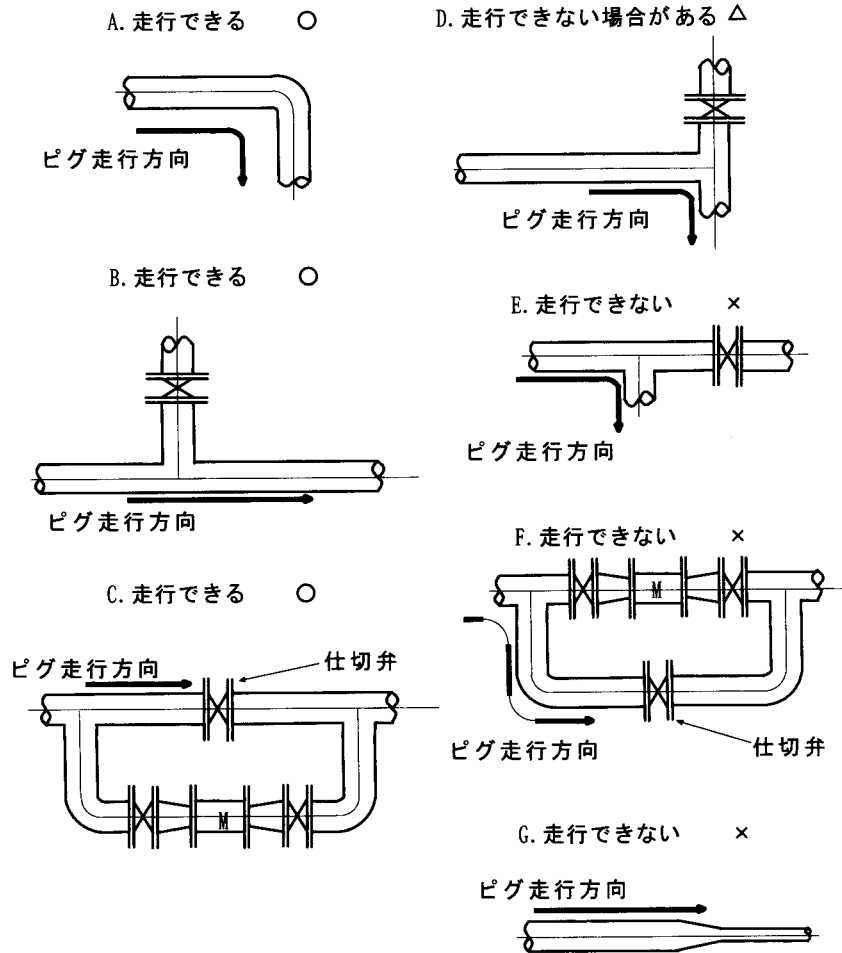


図2. 4 管路形状によるピグ通過の可否

④ピグの選択

ピグには様々な種類があるが、圧送管路用としてはC形全面コーティングタイプ、またはクリスクロスタイプが適当である。しかし、長期間ピグ洗管を実施していない場合や初めてピグ洗管を実施する場合、ポンプ必要揚程が不足する可能性がある場合などは、あらかじめ軟質のスポンジタイプのピグにより走行可能なことを確認する。

⑤管路の準備

管路に設置されたピグシグナルが通過確認可能な状態にあることを確認する。また、管路末端でピグを回収できるように準備する。

以上の準備終了後、ピグ洗管を開始する。

(2) 留意事項

ピグ洗管により、管路内滞留ガスが末端で排出されるが、高濃度のメタンや硫化水素が発生している場合があり、いずれも可燃性であることや濃度によっては人体に有害であるので、換気などを考慮しておく必要がある。

2.2.3 洗管の周期

高流速洗管、ピグ洗管とも、その目的によって洗管周期は異なる。硫化水素の発生防止のために洗管を実施する場合には、一旦除去したスライム（バイオフィーム）が再び付着する時期に合わせて短期間のインターバルで洗管を実施する必要がある。また、堆積物の除去などによる通水能力の回復や、スライムの固着を防止するために洗管する場合は、比較的長期間のインターバルをおくことができる。各々の目的による洗管周期の目安を以下に示す。

①硫化水素の発生防止：1～2週間に1度

②通水能力の回復：年2回程度

2.3 硫化水素対策

硫化水素による悪臭や施設劣化問題は、近年、下水道施設の維持管理を行う上で重要視されるようになってきている。

2.3.1 硫化水素問題のメカニズム

圧送管路における硫化水素問題のメカニズムを下図に示す。圧送管路内で下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気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ほとんどない。

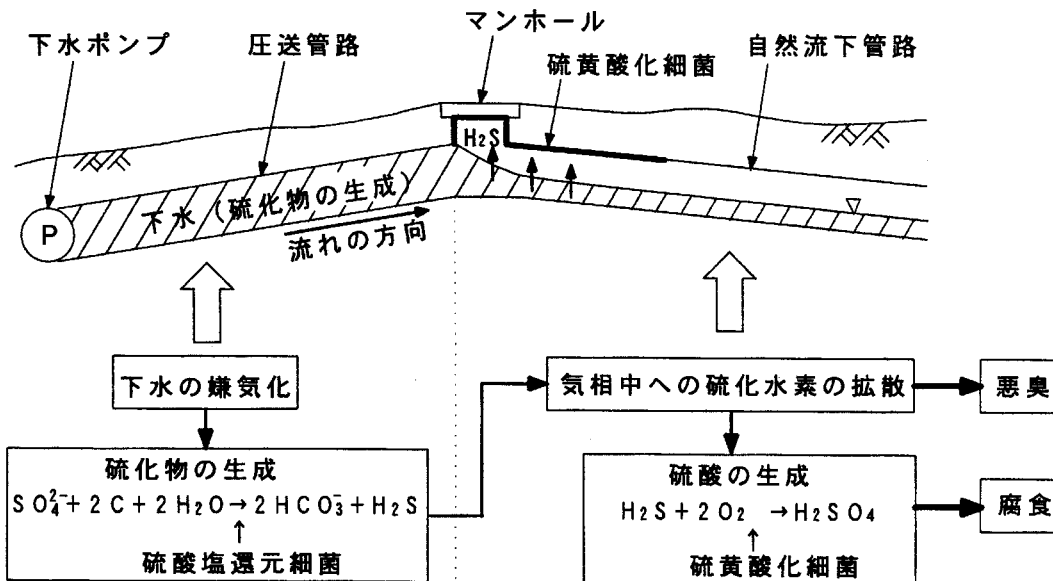


図 2. 5 圧送管路における硫化水素問題のメカニズム

2.3.2 硫化物の生成予測

硫化水素のもととなる管路内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⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾が提案されているので、以下に紹介する。硫化水素による臭気や腐食問題が生じるかどうかを予測、判定する場合には、これらの式を参考に用いればよい。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。

なお、EPA設計マニュアル⁹⁾では硫化物濃度が1.0～1.5mg/l(場合によってはそれ以下)あると、臭気や腐食問題につながるとしている。またpH7.0、溶存硫化物2mg/lの下水が閉空間にある場合には、300ppmの硫化水素濃度が検出されるとしている。

①EPAの式⁹⁾

$$\frac{dS}{dS} = M \cdot \text{BOD} \cdot 1.07^{(t-20)} \left(\frac{4}{D} + 1.57 \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

ここに、 dS/dT : 硫化物生成速度 [mg/(l・時)]

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 : 下水水温 (°C)

D : 管径 (m)

②Boon & Listerの式¹⁰⁾

$$\frac{dS}{dT} = 0.228 \times 10^{-2} \cdot \text{COD}_{Cr} \cdot 1.07^{(t-20)} \left(\frac{4}{D} + 1.6 \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

ここに、 COD_{Cr} : COD_{Cr} 濃度 (mg/l)

③Thistlethwayteの式¹¹⁾

$$\frac{dS}{dT} = 0.518 \times 10^{-2} \text{BOD}^{0.2} \cdot (\text{SO}_4)^{0.4} \cdot V \cdot 1.139^{(t-20)} \left(\frac{4}{D} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

ここに、 SO_4 : 硫酸塩濃度 (mg/l)

V : 下水流速 (m/秒)

④Nielsen,Raunkjer,Hvitved-Jacobsenの式¹²⁾

$$\frac{dS}{dT} = a \cdot (\text{COD}_{sol} - 50)^{0.6} \cdot 1.03^{(T-20)} \times \left(\frac{4}{D} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

ここに、 COD_{sol} : 溶解性 COD_{Cr} 濃度 (mg/l)

a : 下水の性状による係数

一般の汚水 $a = 1.0 \sim 2.0 \times 10^{-3}$

一般と食品工業排水の混合 $a = 3.0 \sim 6.0 \times 10^{-3}$

食品工業排水 $a = 7.0 \sim 10.0 \times 10^{-3}$

2.3.3 硫化水素対策の種類

圧送管路における硫化水素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2.6に示す¹⁾。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、下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。

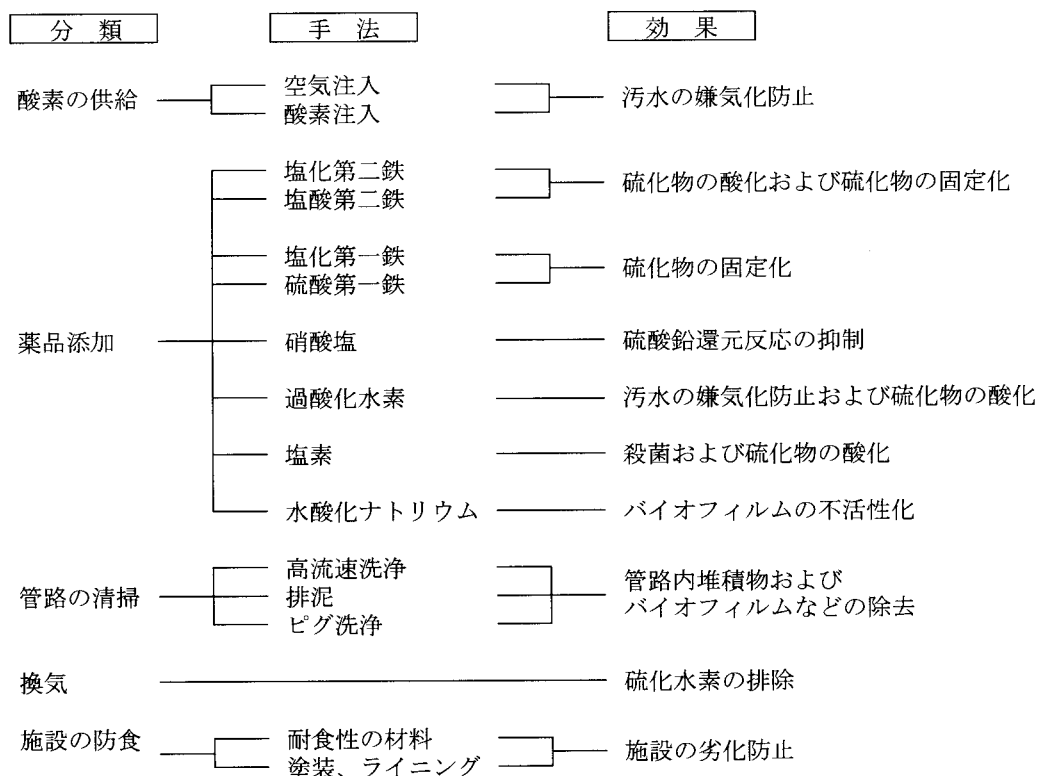


図 2. 6 硫化水素対策の例

2.3.4 硫化水素対策の実施例

圧送管路内の硫化水素抑制対策の例として建設省土木研究所において実施された研究成果を以下に紹介する。(出典：建設省 土木研究所共同研究報告書整理番号第194号⁸⁾)

2.3.4.1 実験施設

実験施設の概要を図2.7に示す。この施設は、管径100mm、延長約1.8kmの圧送管路とポンプ施設などからなっている。実験管路で用いる下水は処理場の初沈流入マンホールより取水し、嫌気性調整槽に貯留されて、酸化還元電位（以下、ORPという）、溶存酸素（以下、DOという）濃度をそれぞれ約-100mV以下、0.1mg/l以下に調整した上で送水する。実験管路は、延長1.8kmを直列で送水あるいは0.9km×2系列で並列に送水することが可能であり、硫化水素抑制対策の実験時には一方の系列を無対策の対照系とすることができる。

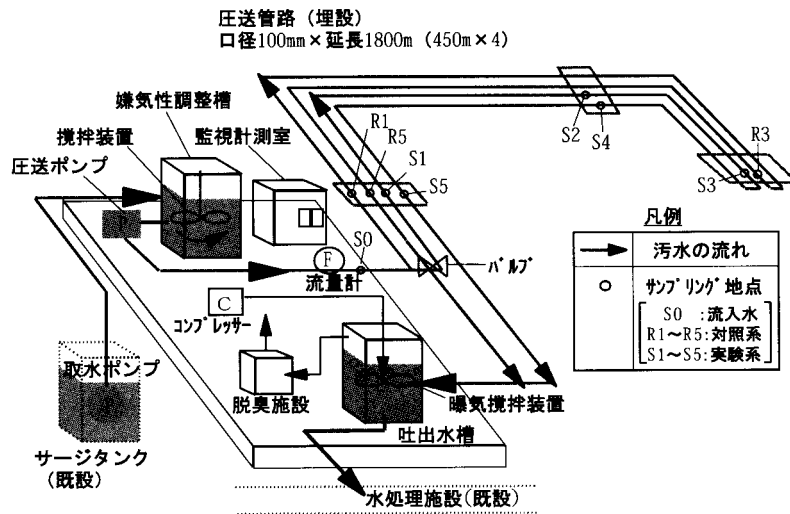


図 2. 7 実験施設の概要

2.3.4.2 空気注入手法

管路内で下水が嫌気状態になると、硫酸塩還元細菌の活動によって下水中の硫酸イオンが還元され、硫化物が生成する。空気注入手法とは、圧送管路入口より管路内に空気を注入し下水と空気を一緒に流すことで下水を好気性に保持し、硫化物の生成を防止するものである。

(1) 圧送管路内での酸素収支

空気注入管路中での空気と下水の状況は図2.8のように表され、その酸素収支は式(2.8)で表される。

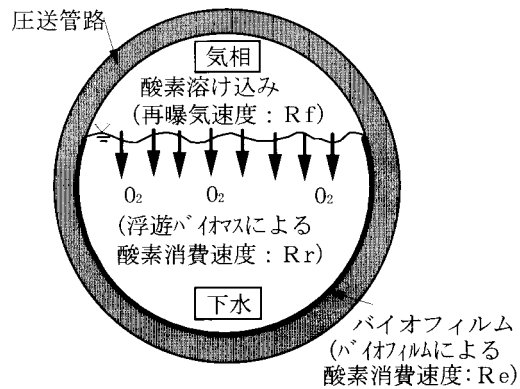


図 2. 8 空気注入管路内での酸素収支

$$\frac{dD_0}{dt} = R_f - R_r - \frac{R_e}{R} - \frac{dD_s}{dt} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

ここに、D₀ : 溶存酸素濃度 (mg/l)
t : 時間 (時)
R_f : 気相からの酸素の再曝気速度 [mg/(l・時)]
R_r : 浮遊バイオマスによる酸素消費速度 [mg/(l・時)]
R_e : バイオフィルムによる酸素消費速度 [g/(m²・時)]
R : 径深 (m)
[=液層部断面積A(m²)/潤辺長(バイオフィルムが付着している周長(m))]
D_s : 硫化物酸化のための溶存酸素濃度 (mg/l)

また、R_fは式(2.9)で求めることができる。

$$R_f = \Delta O_x \frac{Q_{air} \times 10^2 \times 32}{A \cdot L \times 22.4 \times 100} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

ここに、ΔO_x : 測定区間当たりの気相中酸素濃度減少量 (%)
Q_{air} : 空気注入量 (m³/時)
L : 管路区間長 (m)

(2) 空気注入量の算定法

管路内の酸素収支モデル(2.8)式において、酸素の消費に関する項はR_r、R_e、D_sの3つである。空気注入地点で下水中に硫化物が生成されていないもの(D_s=0)とすると、管路内で消費される酸素量は、下式で求められる。

$$W = \left(R_r + \frac{4R_e}{D} \right) \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

ここに、W : 酸素消費量 (gO₂/時)
D : 管径 (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、次式に変形して求められる。

$$Q_A = \left(R_r + \frac{4R_e}{D} \right) \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{72000} \Theta^{t-16} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

ここに、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/分)
t : 下水水温 (℃)
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 、バイオフィー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が報告されているが、 R_r を $6\text{mg}/(1\cdot\text{時})$ (15°C 時)¹³⁾、 R_e を $0.7\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{時})$ (15°C 時)¹³⁾として、空気注入量を求めればよいと考える。

(3) 硫化水素抑制効果

空気注入量を(2.11)式を用いて算出し、それに各々1.5および3.0の安全率を見込んだ2条件の空気注入量における溶存硫化物濃度の測定結果を図2.9に示す。

空気注入を行なった管路では全ての条件において、入口部に若干存在した溶存硫化物が空気注入直後に急激に減少し、末端では検出されなくなった。一方、無対策の対照系管路末端では溶存硫化物濃度が $3.6\sim 6.8\text{mg}/\text{l}$ 程度発生していた(図は省略)。適切な量の空気注入を行った場合、管路末端においてほぼ完全に溶存硫化物の生成を抑制できることが確認された。

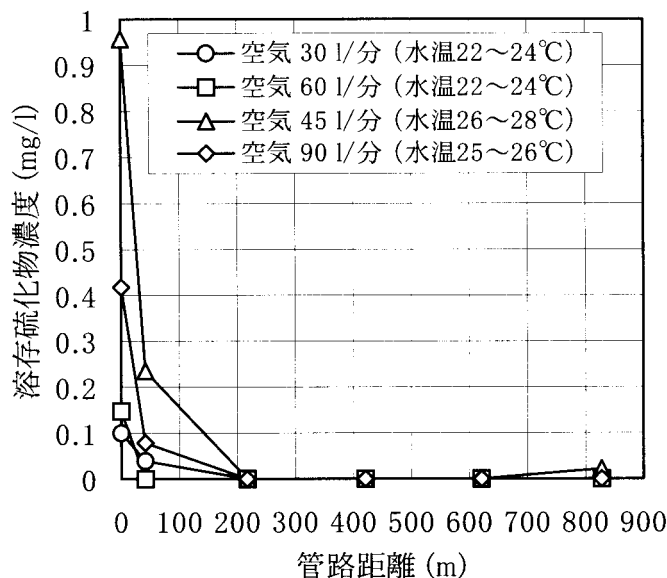


図2.9 空気注入手法による溶存硫化物抑制効果

(4) 酸素消費速度

圧送管路へ空気注入手法を適用する際には、浮遊バイオマスおよびバイオフィームによる酸素消費速度(R_r および R_e)をもとに、対象管路で消費される酸素量を予測し、その量に見合ったコンプレッサーなどの設備諸元を定めることが重要である。そこで、 R_r 、 R_e の値を測定を行った。図2.10、図2.11に示すように、 R_r 、 R_e の測定結果はばらつきが大きい、結果は既往文献値¹²⁾と概ね同じ範囲であった。

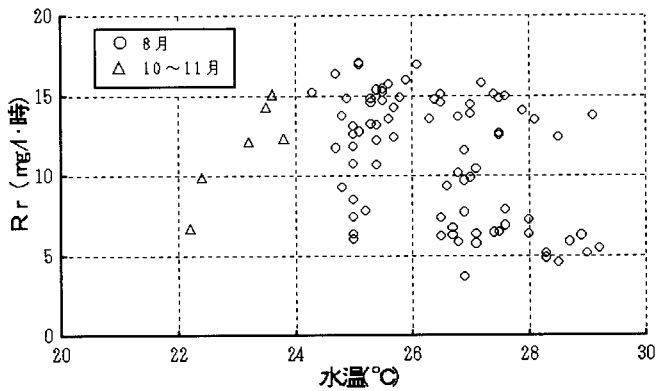


図 2. 10 Rrの測定結果

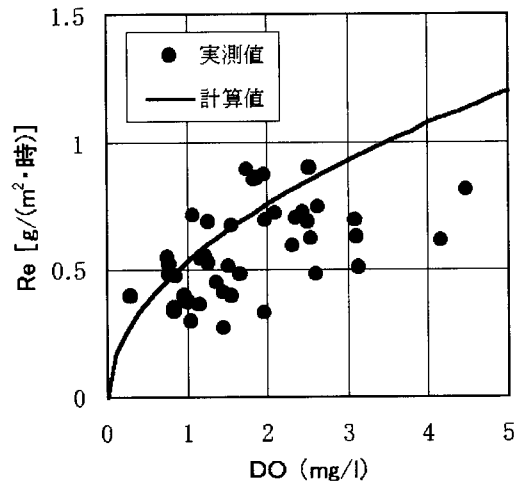


図 2. 11 Reの測定結果

2.3.4.3 酸素注入手法

原理は空気注入と同様であるが、注入物質に純酸素を用いている。酸素は空気と比べ溶解量が多いことから、より多量の酸素を下水中に供給することが可能である。

(1) 硫化水素抑制効果

酸素注入法では、空気注入と同様に(2.10)式に文献値¹²⁾を代入して注入量を算出した。本管路では、酸素注入量の計算値は、下水水温18°Cの場合3.2 l/分、25°Cの場合5.0 l/分であり、酸素注入量を計算値と計算値よりさらに低い量に設定して実験を行った。溶存硫化物濃度の測定結果を図2.12に示す。

図に示すように、文献値より少ない酸素注入量で溶存硫化物を抑制することができた。これは下水性状などの違いによる差異と思われる。なお実験期間中、無対策の対照系管路末端の溶存硫化物濃度は2.5~7.2mg/lであった(図は省略)。

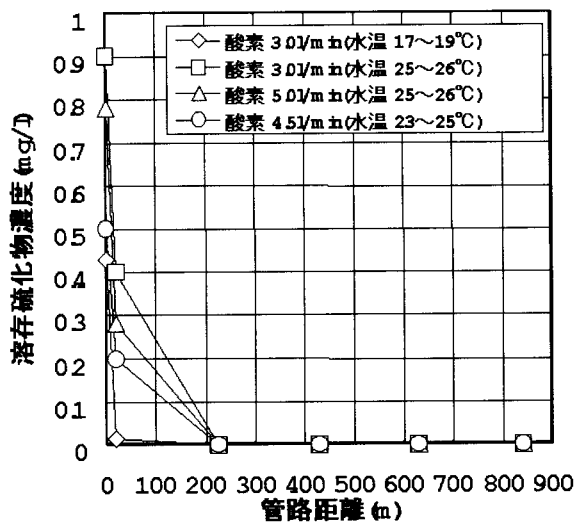


図 2. 12 酸素注入手法による溶存硫化物抑制効果

(2) 酸素消費速度

空気注入手法と同様に、浮遊バイオマスおよびバイオフィームによる酸素消費速度 (R_r および R_e) の測定を行った。その結果、 R_r は、冬期 (平均水温 18.6°C) において $6.1\sim 6.7\text{mg}/(1\cdot\text{時})$ 、夏期 (平均水温 25.1°C) において $7.8\sim 10.8\text{mg}/(1\cdot\text{時})$ であった。また、 R_e は、冬期で $0.76\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{時})$ 、夏期で $1.18\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{時})$ であった。このように、 R_r 、 R_e の測定結果は既往文献値¹³⁾と概ね同じ範囲であった。

2.3.4.4 硝酸塩注入手法

空気・酸素注入のように分子状酸素 (O_2) を供給するのではなく、酸素源として硝酸塩 (NO_3^-) を供給して硫化物を抑制する手法である。本手法では任意の量の酸素 (原子) を大量に添加することが可能である。

(1) 硫化水素抑制効果

硝酸塩注入手法では、必要注入量を定めるために注入量を数ケース変化させながら管路末端での溶存硫化物濃度を測定した。測定結果の一例を図2.13に示す。適切な量の硝酸塩が注入されれば、溶存硫化物は安定的に抑制されていた。また、必要注入量は水温により大きく異なることが確認された (図は省略)。なお実験期間中、無対策の対照系管路末端の溶存硫化物濃度は $3.2\sim 5.6\text{mg}/\text{l}$ 程度であった。

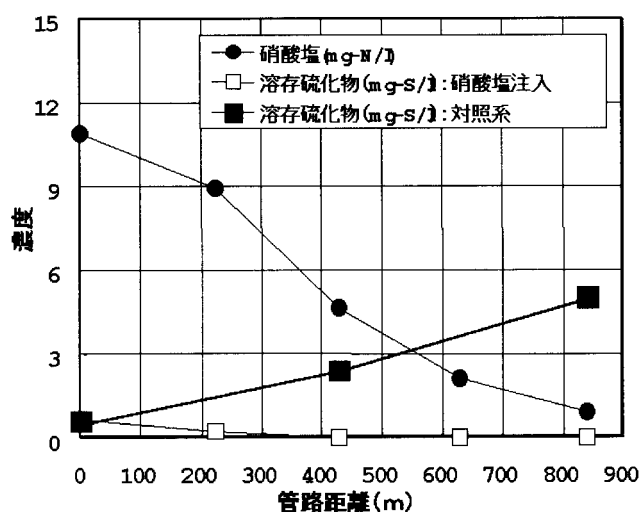


図2.13 硝酸塩注入手法による溶存硫化物抑制効果 (7月測定)

(2) 硝酸塩消費速度

硝酸塩の消費も酸素と同様に、下水中の浮遊バイオマスと管壁のバイオフィームにより消費される。硝酸塩消費速度は式(2.8)のうち D_0 を硝酸塩濃度に読み替えるとともに、管路内に気相部が存在しないため R_f の項を除くことにより表される。浮遊バイオマスによる硝酸塩の消費速度を測定した結果、 $1.2\sim 2.2\text{mgN}/(1\cdot\text{時})$ であった。また、図2.14に示すように、バイオフィームによる硝酸塩消費速度と硝酸塩濃度との間に相関があることが確認された。

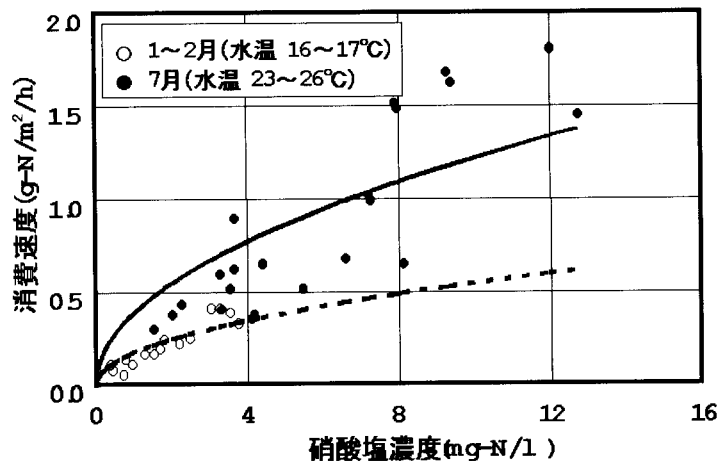


図2. 14 硝酸塩消費速度と硝酸塩濃度

(3) 硝酸塩による硫化物除去効果

ここまで述べてきた手法は、いずれも管路内の嫌気化を防ぐことによって溶存硫化物の生成を抑制するものだが、一方で既に溶存硫化物が生成している場合にそれが気相中に放散する前に除去する手法もあり、硝酸塩注入手法ではこの効果も期待できる。

実験管路を直列に接続し、管路前半部で溶存硫化物を生成させ、中間点で硝酸塩を注入して溶存硫化物の変化を確認した場合の調査結果を図2.15に示す。溶存硫化物は硝酸塩注入直後より急速に減少し、注入後の管路内滞留時間約50分の間にすべて除去された。硫化物は硝酸塩添加により、硫酸イオンまで酸化されたものと思われる。

また、硝酸塩消費速度と硝酸塩濃度の関係は、溶存硫化物の有無にかかわらず（すなわち入口注入でも中間注入でも）大差がないことが確認された。したがって硝酸塩を圧送管路に注入する場合、中間注入による方が、消費速度は変わらずかつ硝酸塩を消費する対象管路長が短縮されるために、注入量の低減が期待でき対策費用も縮減できると推定される。

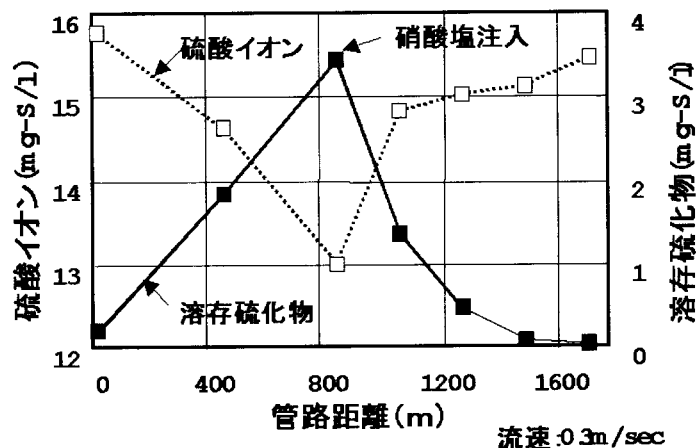


図2. 15 硝酸塩による溶存硫化物除去効果

2.3.4.5 硫化水素対策費用のコスト比較

上述した3つの硫化水素対策手法のコスト比較を表2.7の想定条件に基づいて行った。コスト比較結果を表2.8に示す。

表2.7 想定条件

	内容
管径および延長	φ400×4320m
管路形状	ほぼ平坦
下水流速(流量)	1.2m/秒(13029m ³ /日)
下水温度	夏期(92日):25℃、他の季節(273日):19℃

表2.8 コスト比較結果

	ケース	利率	物価 上昇率	設備費 (万円)	維持管理費 (万円)	平均コスト	
						(万円/年)	(円/m ³)
空気注入手法	I	3%	1%	301	122.0	155.0	0.33
	II	5%		301	122.0	158.0	—
酸素注入手法	I	3%	1%	2000	60.5	212.0	0.45
	II	5%		2000	60.5	238.0	—
硝酸塩 注入手法	I	3%	1%	142	1028.3	1141.9	2.4
	II	5%		142	1028.3	1136.7	—

上記のように、各硫化水素対策費用は安価なもの順に、空気注入手法、酸素注入手法、硝酸塩注入手法となるが、この結果はあくまでも想定条件内でのものである。例えば空気注入手法はアップダウンが激しい管路に適用した場合、ポンプ揚程の増大によりランニングコストを上昇させ、また硝酸塩注入手法は注入位置やポンプ運転条件次第では大幅に安価になる場合もある。このため、必ずしも表2.8の結果が実態を反映させているとはいえないので、実際の管路条件から個別に試算することが必要である。

2.4 付帯設備の維持管理

2.4.1 空気弁の維持管理

下水中には様々な異物が含まれているため、それらが空気弁内に多量に侵入付着した場合には、作動不良の原因となる。また、長期間使用していると弁内の付着物が増加し、フロートの円滑な動きを妨げることがある。そのため、空気弁を正常に機能させるには、定期的な保守・点検が必要である。

実施することが望ましい通常点検項目、定期点検項目などの例を表2.9、2.10に示す。なお、表中の点検箇所、内容、周期などは目安であり、特に周期については不具合が生じた場合には、さらに期間を短縮して実施することが望ましい。

表 2. 9 通常点検内容

点検箇所	内容	周期	点検方法	判定基準	処置	備考
バルブ 全体	外面塗装	6ヶ月	目視	錆、剥離のないこと	補修塗装	
	開閉状態	6ヶ月	目視	正常に作動すること	確認、原因調査	補修弁
	異常音	1ヶ月	聴覚	異常音のないこと	原因調査	ボルトナットのゆるみ
フランジ部	漏水	1ヶ月	目視	下水漏れのないこと	ボルトナットの増締め	
弁箱、カバーなどの耐圧接合部	漏水	1ヶ月	目視	下水漏れのないこと	ボルトナットの増締め	
空気孔部	漏水	1ヶ月	目視	下水漏れのないこと	漏水個所の調査	
補修弁	漏水	6ヶ月	作動	全閉で止水すること 常時は全開になっていること		
弁室	水没	1ヶ月	目視	人孔ふたより侵水のないこと	排水、清掃後不良部品の取替え	人孔ふた式の弁室に設置のもの

表 2. 10 定期点検内容

点検箇所	内容	周期	判定基準	処置	備考
フランジ部	漏水	6ヶ月	下水漏れのないこと	ガスケットの取替え	
弁箱、カバーなどの耐圧接合部	漏水	6ヶ月	下水漏れのないこと	Oリングの取替え	
	Oリングの劣化	6ヶ月	下水漏れのないこと	分解時に取替え	
接水部	漏水	6ヶ月	付着物がないこと 有害な腐食がないこと	洗浄 補修または取替え	弁箱・フロート
小空気孔弁座	漏水	6ヶ月	下水漏れのないこと	清掃または取替え	
大空気孔弁座	漏水	6ヶ月	下水漏れのないこと	清掃または取替え	
フロート弁体	漏水	6ヶ月	傷・変形のないこと	取替え	
ダイヤフラム	漏水	6ヶ月	傷・変形のないこと	取替え	

2.4.2 ドレン設備の維持管理

管路途中にドレン設備を設けた場合、定期的に堆積物などの排出を行わなければならない。その周期は年2回程度とし、堆積物の状況に応じて期間を短縮、もしくは延長する。なお、排出作業時には、バキュームカーの手配など、排出物の運搬・処理などの準備も必要である。

2.5 管路機能の維持管理

2.5.1 管路機能の点検

圧送管路においてその機能を阻害する要因として、通常の状態と考えられるものは、堆積物や管壁の付着物、あるいはガス溜まりの発生による通水抵抗の増大がある。また、極めて希に管体損傷や管体接合部の不具合による漏水も考えられる。

こうした事態を早期に発見・対応するためには、日常の維持管理が重要となる。そのため管路機能を以下の要領で点検する。

表 2. 1 1 管路機能の点検

	点検内容	周期	対応方法
管路布設ルート	目視で異常のないことを確認	6ヶ月	異常が認められた場合は、直ちに補修を行う
流量	流量計の値を読みとる	1ヶ月	供用初期における流量・吐出圧と比較し、大きな流量低下と吐出圧上昇が認められた場合には管路内の洗管を行う なお、運転点がポンプのQ-H曲線上で変動する場合は管路の異常であるが、Q-H曲線から離れた場合はポンプの異常である
ポンプ吐出圧	ポンプ稼働時の吐出圧を読みとる	1ヶ月	

2.5.2 管路の健全性診断¹⁴⁾

圧送管路は通常満流状態になり、管路の大部分の箇所では硫化水素に起因する腐食は起こらない。しかし、図2.16のような管路形状の場合、圧送管路となるのは H_1 部分のみで、動水こう配線より高い所に位置した下りこう配となる H_2 部分は自然流下状態となる。管路内に気相部があると、そこで硫化水素ガスとして放散され、IIの3.1項で示したような硫化水素腐食が圧送管路でも起こる可能性がある。圧送管路の維持管理を効率的に行うためには、こうした硫化水素腐食の可能性が高い箇所を絞り込み、腐食の有無を確認した上で、劣化区間に限定して対策を講じるべきである。

以下に、劣化区間を特定するための具体的な手順と内容を記すが、図2.17に示すように診断の手順は4段階に区分される。

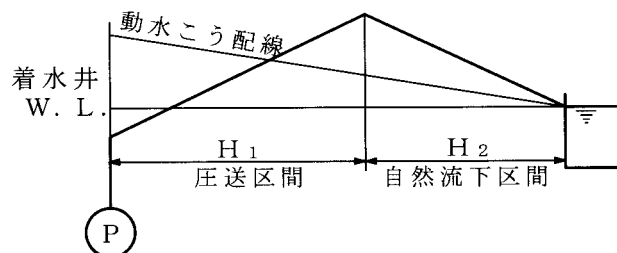


図 2. 1 6 部分的に自然流下状態となる管路縦断例

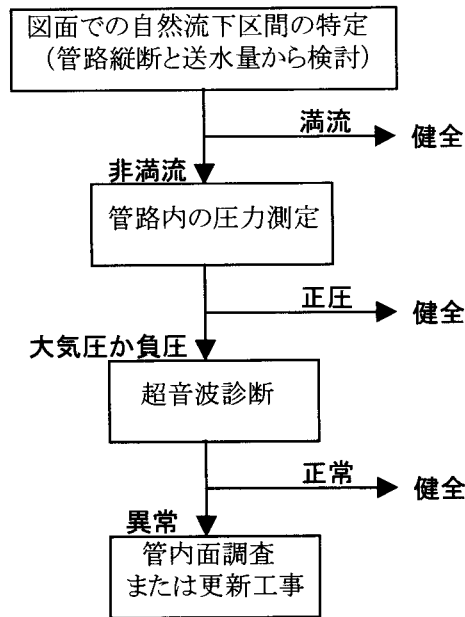


図2. 17 管路の診断手順

(1) 図面での自然流下区間の特定

管路縦断図と送水量のデータをもとに管路内が自然流下となる区間（硫化水素存在区間）を推定する。判断基準としては、以下の3つの条件を全て満たす区間となる。

- ① 管路レベルが動水こう配線のレベルより上にある下りこう配区間
- ② 管路こう配（下りこう配の傾き）が動水こう配より大きい区間
- ③ 上記の①、②に該当し、さらに下流側により高いレベルの管路が存在していない区間

(2) 管路内の圧力測定

自然流下と推定された区間の管路内圧力を測定することにより、自然流下かどうかの確認や自由水面の位置の推定が可能となる。管路内圧力が、常時ほぼ大気圧または負圧となる区間は、常に自然流下となっていると判断され、図面で自然流下区間と推定された区間をさらに絞り込むことが可能となる。なお、管路内圧力の測定は、通常は空気弁などを利用して行えば簡便である。

(3) 超音波による管外面からの診断

前段までの検討結果により管路内の自然流下区間（＝硫化水素存在区間）が特定されたことになるが、そこで必ず硫化水素腐食が発生するわけではない。例えば、多量の硫化水素が発生し、管路が劣化した区間でも、エポキシ樹脂粉体塗装されたダクタイル管やタールエポキシ樹脂塗装の鋼管には全く異常が発生していなかった事例もあり、管材自体の耐食性が大いに影響する。そのため、管内面を観察し確認することが望ましいが、管内TVカメラや直接目視のいずれにしても送水停止や排水などの大掛かりな作業が必要である。そこで管外面から超音波を用いて内面の腐食の有無を判断すれば、送水を中断する必要が無く、簡便で経済的である。

超音波による診断は、被測定素材中を伝播する超音波の境界面での反射を利用したものである。超音波の伝播・反射を利用して通常は厚さの測定や内部の探傷が行われるが、超音波の伝播方向と境界面との角度によって反射波の強弱が生じる。伝播方向に対し境界面が垂直な場合には大きな反射波が得られるが、境界面が傾いている場合は反射波が小さくなる。同様に腐食が生じた凹凸の境界面では反射波が散乱する。実際に超音波の反射波を観察すると、図2.18に示すように内面状況によって波形に差異が生じ、その特徴から内面腐食の有無が判断可能となる。

この超音波による診断方法は以下の場合に適用できる。

- ・均質な材質であれば、管の材質を問わない。
- ・管路内流体の有無、種類を問わない。

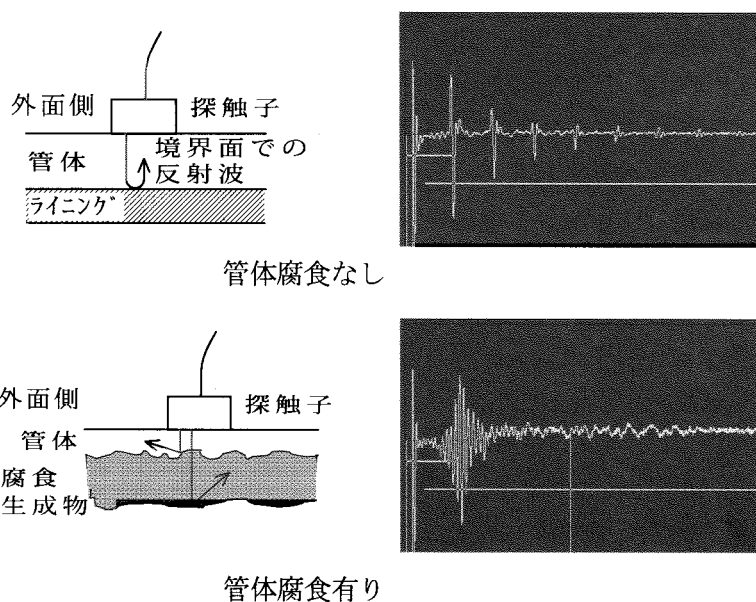


図2.18 境界面の差異による超音波の反射波形

3. 監視制御施設

3.1 監視制御方式の種類

(以下、下水道施設計画・設計指針と解説²⁾による)

下水道施設の総合管理と密接な関係を持つ監視制御は、施設の運用と管理が合理的、かつ効率的に行えるものでなければならない。圧送管路施設の監視制御もこうした監視制御施設の一部として含まれる。監視制御には、運転管理の形態および監視制御システムの形態を考え合わせると次の6つの方式に分けられる。

(1) 個別監視操作方式

主要な機器や処理過程を直接監視しながら、一般には現場または機側において操作を行う方式である。

(2) 中央監視個別操作方式

個別監視操作方式に、中央監視室に施設全体の運転状況を監視出来る機能を持たせた方式である。監視情報をフィードバックすることによって全体の合理的な管理が行えるものである。

(3) 中央監視制御（操作）方式

施設全体の監視および操作を行う中央監視室を設け、集中的に監視制御を行う方式である。なお、集中制御とは、制御機能のハード構成が機能的にも、また、位置的にも一箇所に集中設置されるものである。

(4) 拠点監視分散制御方式

拠点施設をいくつかの系統（〇〇系および××系）またはサブシステム（ポンプ場、水処理施設、汚泥処理施設など）に区分し、その区別毎に監視制御の拠点（拠点監視室）を設け、集中的に監視および制御を行う方式である。分散制御とは、制御機能のハード構成が機能分割され、かつ、分散設置されることによって一つの故障が全体に波及する危険を避け、システム全体の信頼性を高めるものである。

(5) 中央監視分散制御方式

監視操作を中央監視制御（操作）方式と同様に、中央監視室一箇所で集中的に行い、制御機能を拠点監視分散制御方式と同様に、分散設置する方式である。

(6) 中央管理形拠点監視分散制御方式

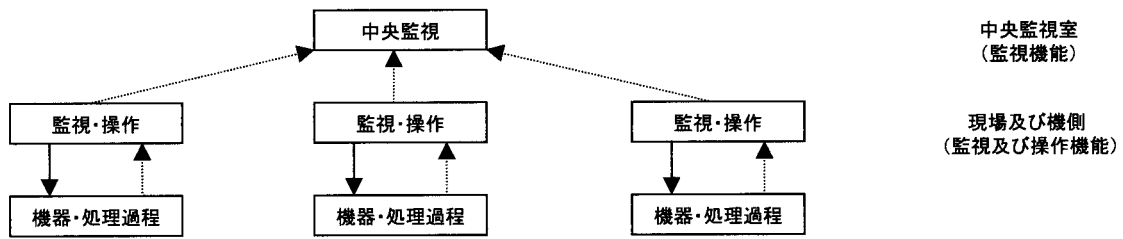
拠点監視分散制御方式に施設全体の運転を統括する管理機能（中央管理室）を付加した方式である。この方式における拠点監視室（ローカル監視室）の集中制御機能は、中央の統括管理機能のバックアップ監視制御システムとして考え、常時監視は行わない。

以下に、監視制御方式の分類を図示する。

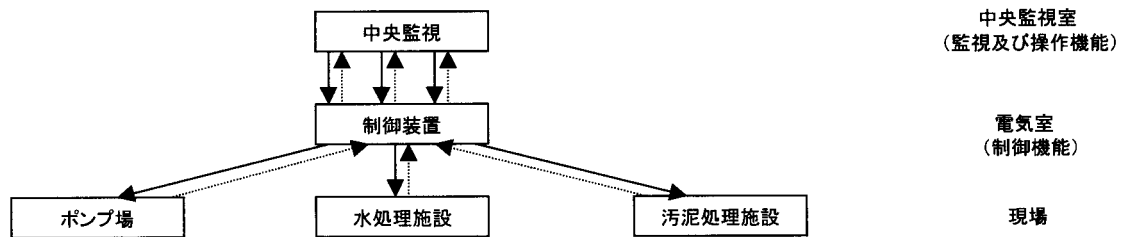
(1) 個別監視操作方式



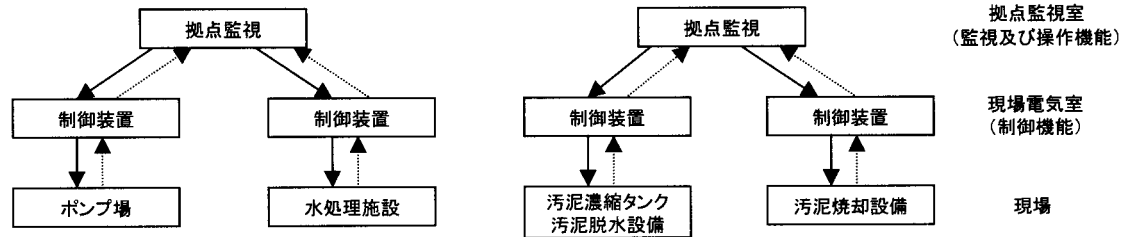
(2) 中央監視個別操作方式



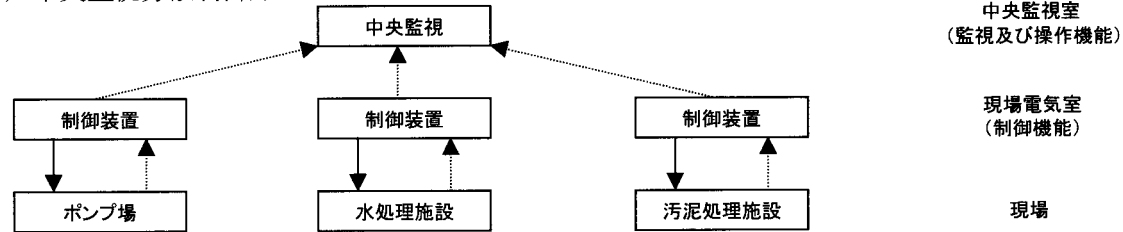
(3) 中央監視制御（操作）方式



(4) 拠点監視分散制御方式



(5) 中央監視分散制御方式



(6) 中央管理形拠点監視分散制御方式

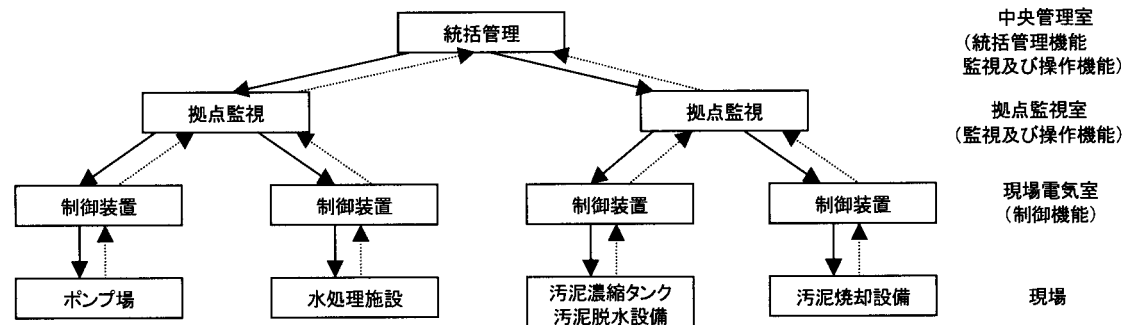


図 2. 19 監視制御方式の分類

このほか、拠点監視分散制御方式で、二拠点集中化を行い、一方の拠点監視室に中央管理形拠点監視分散方式と同様に、統括管理機能を持たせる方式がある。

ポンプ場および処理場における監視制御機能は、施設全体の運転管理を効率的に行えるよう、設備や機器および処理過程の状況を計測、表示などによって把握し、これを望ましい方向に操作または制御、あるいは、故障などの異常事態に対して迅速に対応するためのものである。監視制御方式の選定にあたっては、これらの監視制御機能を備えるとともに、供用開始当初の対策並びに将来の計装技術の動向と進歩およびシステムを構成する機器、装置の耐用年数などを考慮して、それぞれの施設の有する特性に適合した方式を選択する。

監視制御方式を考える場合の施設の規模は、単に処理能力だけでなく、施設の面積や機器および制御対象数によって定める。これらを加味したものとして、施設の規模別監視制御方式を下表に例示する。

表 2. 1 2 規模別監視制御方式

施設の規模	監視制御方式
小規模	個別監視操作方式 中央監視個別操作方式 中央監視制御（操作）方式
中規模	中央監視制御（操作）方式 拠点監視分散制御方式 中央監視分散制御方式
大規模	拠点監視分散制御方式 中央監視分散制御方式 中央管理形拠点監視分散制御方式

3.2 小規模施設の監視制御設備

(以下、(財)下水道業務管理センター マンホール形式ポンプ場・設計指針(案)¹⁵⁾による)
マンホール形式ポンプ場などのような小規模施設においても維持管理を行う上で、監視制御設備を設けることが望ましいが、建設費および維持管理体制に留意して、省力化の観点から遠方監視方式および自動制御を考慮した監視制御方式の導入を検討する。

ここでは、小規模施設としてマンホール形式ポンプ場の場合について例示する。マンホール形式ポンプ場においては、停電や機器の損傷、不具合、水位の異常上昇などの異常事態に対応するために緊急時の対策設備として以下の各項を検討する。

- ①ポンプ操作盤に取り付けられている保護継電器、電流計、電圧計、電力積算計などを利用して、故障および異常運転を発見し、処置する。
- ②異常時の通報は回転灯によることを標準とし、近隣住民の理解と協力を得ることを前提として電話通報などにより対応する。

また、汚水量が多い場合、重要なポンプ場である場合、付近に協力を得られる住民がない場合などは電話回線を用いた自動通報システムを用いることが望ましい。図2.20に電話通報システムの例を示す。

さらに、ポンプ場の数が多い場合には、Ⅱの3.1項に記載した監視制御方式の導入を考慮する。

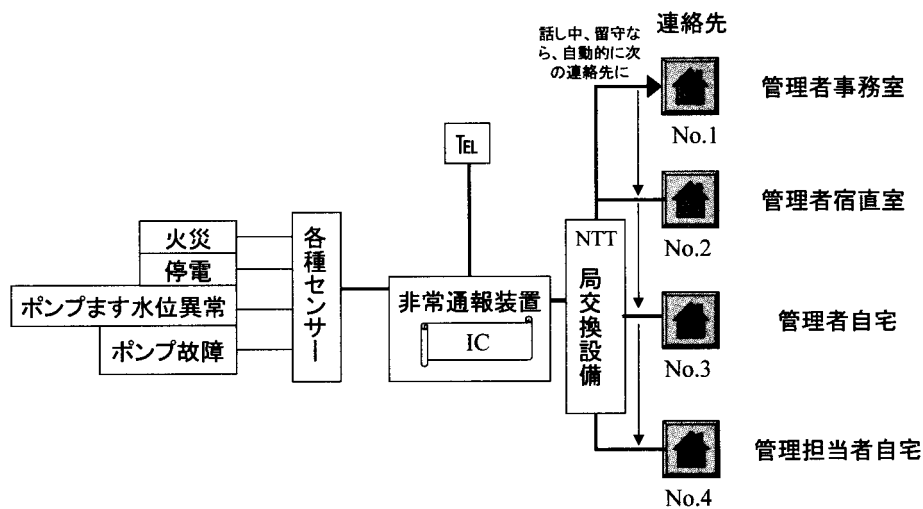


図 2. 20 遠方自動通報システムの例

4. 異常時への対応

(以下、下水道維持管理指針 管路施設編¹⁶⁾による)

4.1 災害など緊急時の対策

自然災害や不慮の事故などで、社会生活の基盤となっている下水道施設の機能が失われるとすれば、その影響は計り知れないものがある。したがって、常日頃からこれらの緊急事態を想定した災害対策を取っておくことが肝要であり、そのための防災組織・体制を整えておく必要がある。そこでは以下の事項が重要となる。

- ①災害の種類や規模を想定した動員体制を整備すること。
- ②明確な連絡、通報体制を整えること。
- ③防災機械・器具、応急資材などを整備し、所在を明確にしておくこと。
- ④定期的な訓練、研修、講習などを実施すること。
- ⑤常日頃から緊急事態への対応に心掛けると共に、危険箇所や災害を受けやすい箇所などを把握しておくこと。

以下に下水道施設における緊急事態として想定される事項をあげる。

4.1.1 地震

地震の規模や震源地、地質などによっては下水道施設が破壊または破損され、処理場での処理機能の停止や、管きよ・ポンプ場での下水の流下・移送機能の停止などが予想される。

したがって、地震災害による機能停止が起これぬよう日常から施設の構造・構成に配慮し、地震発生時には下水道の各施設の再点検・復旧作業などが必要となる。

4.1.2 水害

台風などの集中豪雨時には、管路施設やポンプ場・処理場の能力を超える雨水が流入し、しばしば、家屋の浸水や道路冠水およびマンホールふたの飛散などを引き起こし、時には人命に関わる災害となることも少なくない。

したがって、地域的な降雨量および放流先水域や管路施設の状況、また、浸水などの発生状況を的確に把握し、臨機応変の対応策をとれるようにしておくことが必要である。

4.1.3 水質異常

流入下水の水質異常については、水処理機能に長時間にわたり重大な影響を与えるとともにそれにより放流水域に甚大な被害をもたらすこともありうる。この対応については、原因が流入水によるものと処理場内部によるものとに分かれるのでそれぞれのケースについて検討しておく必要がある。

したがって、水質異常に対しては、その発見場所に応じた具体的な対応方法を定めておく必要がある。

4.1.4 火災など

火災、あるいはガス爆発などは、その発生場所によっては下水の流下・移送機能や処理機能などに影響を与えることが予想され、場合によっては処理場流入水の制限などが必要となる。

したがって、中継ポンプ場での揚水量の制限や地域住民に対する下水道使用の制限などが必要であり、その対応方法を定めておく必要がある。

4.1.5 施設の故障

施設・設備の事故は、大きく管路施設の事故、電気事故、機械事故に分かれ、その発生場所や規模によっては流入機能、処理機能を阻害し、市民生活や周辺環境に深刻な影響を及ぼすこととなる。

例えば、管路の損傷に伴って発生する陥没事故の場合、通行中の人や車両、また、付近に埋設されている地下埋設管に重大な損害を与えるため、関係機関への迅速な通報、住民への工法、そして速やかなる復旧が必要となる。

4.2 防災体制の整備

自然災害や不慮の事故などの緊急事態に対処するためには、防災組織・体制を確立しておくことが重要である。防災組織・体制は、下水道の規模および立地条件、事業執行体制、維持管理体制、あるいは単独公共下水道、流域下水道、流域関連公共下水道などの種別によって、その大きさ、規模は異なる。しかし、防災機能を発揮させるための基本的な構成要素に変わりはなく、以下にその例を示す。

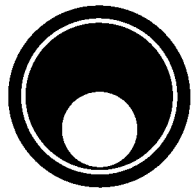


図2. 21 災害および事故対策の組織・体制の例

以上

<参考文献>

- 1) 建設省土木研究所資料 第3308号：下水道幹線圧送検討資料集 (1994)
- 2) (社)日本下水道協会下水道：下水道施設計画・設計指針と解説 (1994)
- 3) (社)日本下水道事業団：設計基準
- 4) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」(1998)
- 5) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (1996)
- 6) (財)下水道新技術推進機構：下水道の雨水貯留池施設における維持管理整備 技術マニュアル(資料編) (1995)
- 7) 三品文雄,川口幸男,境好雄：下水圧送管路における硫化水素生成に関する一考察,
下水道協会誌,Vol.325, No.293 (1988)
- 8) 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)
- 9) 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))
- 10) 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)
- 11) Thistlethwayte,D.K.B. : The Control of Sulphide in Sewerage Systems, Butterworth Pty Ltd. Australia (1972)
- 12) Nielsen.P.H,Raunkjer.K,Hvitved-Jacobsen,T. : Sulfide Production and Wastewater Quality in
Pressure Mains, Water Science & Technology, Vol.37, No.1 (1998)
- 13) Boon,A.G. : Septicity in Sewers ,Causes, Consequences and Containment, Water
Science & Technology, Vol.31, No.7 (1995)
- 14) 加藤昌彦：経済的な送泥管劣化診断方法, 月刊下水道,Vol.24,No.2 (2001)
- 15) (財)下水道業務管理センター：マンホール形式ポンプ場・設計指針(案) (1987)



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/>