

第3章 制御方式

3.1 制御方式の分類と定義

制御とは、機械や装置をその目的に適合するように操作することをいう。

また、機器の運転操作には狭義での「操作」と「制御」がある。

3.1.1 操作と制御の定義

本指針では操作と制御は次のように定義する。

操作 (Operation) …… 操作員の手動（釦押下げ等の任意の動作）によって機械や装置を働かせること。（「手動制御」と呼ばれることが一般的であるが、農業用排水施設の管理では慣例上「操作」を用いているため、ここでは「操作」として定義する）。

制御 (Control) …… 操作するために必要な運転条件、方法等をPLC等に組み込んだ制御装置等を介して機械や装置を働かせること。

3.1.2 操作形態

操作形態は、目的、規模、使用条件、設置条件、並びに使用頻度などを検討した上で全体の運用を考慮して決定する。具体的には操作位置と操作・制御方式により分類される。

(1) 操作位置の分類

操作位置には運転操作を行う場所がどこにあるかにより区分したもので、図 3.1-1 はゲート操作の場合について例示したものである。

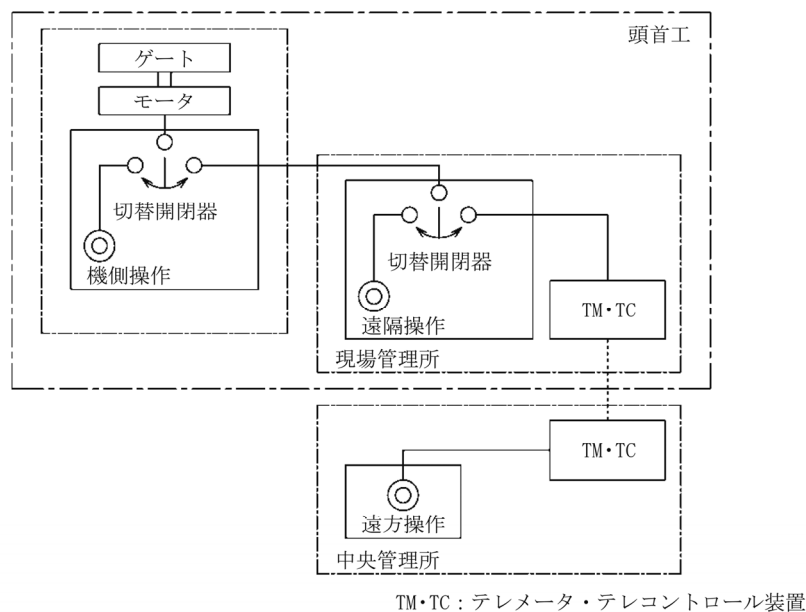


図 3.1-1 操作位置の分類（例）

① 機側操作

機側操作は、例えばゲート本体に隣接した場所に機側操作盤を設置して、ゲートの運転状態と操作状況を示す表示装置などを目視しながらゲートの始動並びに停止操作を行う方式をいう。

また、機側操作はゲートの点検整備や故障時等の操作あるいは試運転調整を行うためにも用いられる。

なお、機側操作では各機器はそれぞれ単独操作によって行われる場合が多く、例えばゲート本体の操作、潤滑油ポンプの操作などを行う場合に、運転操作員が各機器の正常な動作を確認しながら、それぞれの機器を単独に操作することになる。

② 遠隔操作

遠隔操作は、例えば複数門あるゲート施設全体の運転操作を専用の監視操作室などから操作する方式で、監視操作室がゲート本体の据付位置から離れた場所に設置される場合に採用される。

この操作方式は、ゲートの運転状態を監視操作盤上に表示して、これらの計器を目視しながらゲートの運転を、連動操作（又は半連動操作）によって行うものである。

なお、この操作方式の場合は、点検整備時や故障時等の操作あるいは初期の試運転調整を容易にするために、機側操作盤を設置して各機器の操作を単独に行う必要がある。

機側操作盤内には、操作位置の選択開閉器が設置されているほか、緊急操作用の開閉器を設置して事故が発生した場合等にはゲート等を緊急停止できるようにする。

③ 遠方操作

遠方操作は、水管理施設から遠く離れた中央管理所から有線又は無線によりテレメータ(TM)やテレコントロール(TC)を利用して、運転操作を行うもので、複数箇所の現場を集中管理して遠方から運転操作を行う場合に適した方式である。

この場合には、中央管理所内に運転状態の表示装置、データ処理装置などの必要な装置を設置する。しかし、中央管理所を設けると全体の設備が増加するので、施設規模、目的、投資効果、水管理全体の運営管理などを総合的に検討して採用の範囲及び採否を決定する。

(2) 操作・制御の種類

操作・制御の種類と内容例を表 3.1-1 に表す。

表 3.1-1 操作・制御の種類と内容（例）

操 作 形 態	内 容
手 動 操 作	操作開閉器によりゲートなどの開度調整などを任意に行うもので、操作の最も基本的なものである。本操作は、他の総ての操作に優先し、かつ他の制御形態のバックアップとして使用される。
手 動 設 定 値 制 御	開度、流量、水位、圧力等が一定に保たれるよう、制御目標値を直接設定し、ゲートなどを制御するものである。
自 動 設 定 値 制 御	各種データから設定された制御目標値に対する操作量を自動的に演算し、ゲートなどを制御するものである。

(3) 操作・制御の優先順位

操作・制御の優先順位は次の原則に従うものとする。

- ① 操作を行う場所は機側、遠隔、遠方の順とし機側最優先とする。
- ② 操作を行う手段は手動、自動の順とし、手動優先とする。

各種操作形態に優先順位を付し、図 3.1-2 に示す。

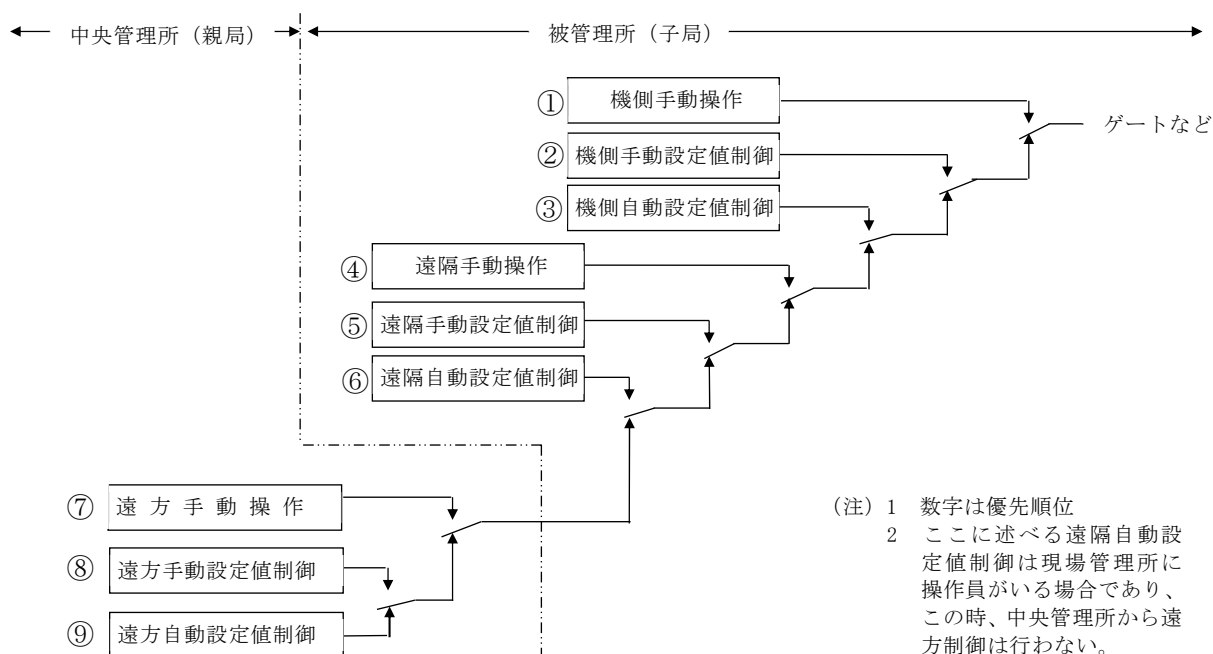


図 3.1-2 優先順位概念図

3.1.3 自動制御の形態

(1) 自動制御の構成

例えばポンプ設備の自動制御は、需要水量の変動により変化する制御対象（流量、水位、圧力など）を計測し、これを制御系にフィードバックして、目標値との偏差から、制御手段（ポンプ台数制御、吐出開度制御、回転速度制御など）を使って制御対象の制御量をできるだけ速く目標値に近づけることがその目的である。図 3.1-3 に自動制御の基本構成を、図 3.1-4 に調節計外観例を示す。

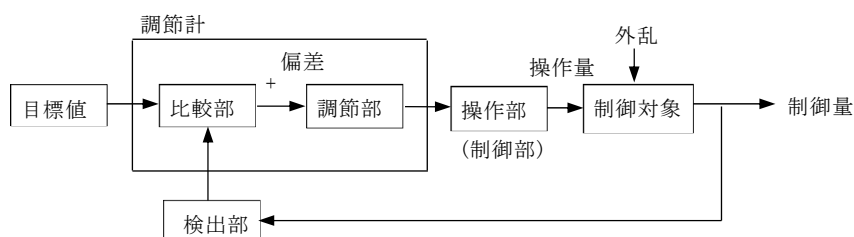


図 3.1-3 自動制御の基本構成

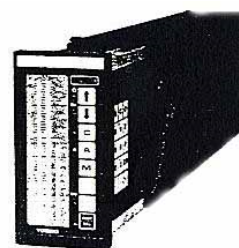


図 3.1-4 調節計外観例

調節部の調節機能では、偏差量を入力して操作部（制御部と呼ぶこともある。）の動作の強弱や変

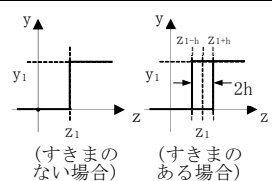
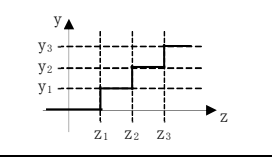
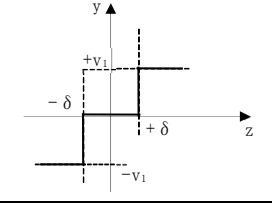
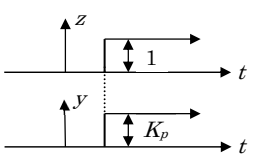
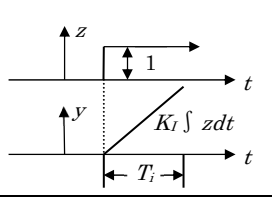
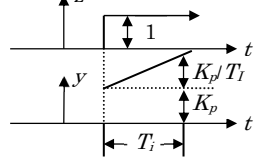
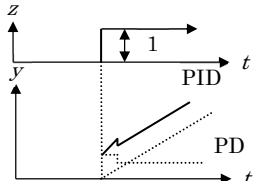
化のさせ方を設定することが可能で、この設定により、制御系の安定性や応答性を決めることができる。

(2) 調節機能の種類

制御系の調節機能には、不連続動作のものと、連続動作のものがある。

表 3.1-2 に各種の調節機能例を示す。

表 3.1-2 各種の調節機能（例）

調節機能	略称	出力	調節量	入出力の関係	特長
不連続動作	二位置動作 (オン・オフ)	$z < z_1, y = 0$ $z > z_1, y = y_1$	$2h$		制御量が目標値より大か、小かによって操作量を最小か最大かにする方式で最も簡単であるがハンチングに注意を要する。
	多位置動作	$z < z_1, y = 0$ $z_1 \leq z \leq z_2, y = y_2$	$z_1, z_2, \dots$		二位置動作では制御が強すぎる場合に操作量を何段かに分けて動作させる。
	単速度動作	$+\delta < z, v = +v_1$ $-\delta < z < +\delta, v = 0$ $z < -\delta, v = -v_1$	2δ		動作信号がある範囲をこえると一定の速度で操作量を増減するので自己平均性のある系に適する。
連続動作	比例動作	$y = K_p \cdot z$	K_p		操作量が偏差に比例するだけで最も簡単であるが制御量が目標値からずれて落ちつき残留偏差(オフセット)を生ずる。
	積分動作	$y = K_I \int z dt$ 但し $K_I = K_p \cdot \frac{1}{T_I}$	K_p, T_I		操作量の変化の速さが動作信号に比例する場合で一般的に P 動作と組み合わせて使用する。
	比例+積分動作	$y = K_p \left(z + \frac{1}{T_I} \int z dt \right)$	K_p, T_I		操作量が偏差だけでなくその時間的積分量に比例するので残留偏差を 0 とすることができ制御量を目標値に保てる。
	比例+積分+微分動作	$y = K_p \left(z + \frac{1}{T_I} \int z dt + T_D \frac{dz}{dt} \right)$	K_p, T_I, T_D		PI 動作の残留偏差を 0 とする性質と PD 動作の応答を速くする性質を合わせているのでプロセス制御にはよく用いられている。

記号 y : 出力 (操作量)、 z : 偏差、 $2h$: 動作すきま、 v : 操作速度、 2δ : 中立帯、 K_p : 比例感度、

$100/K_p$: 比例帯、 K_I : 積分動作係数、 T_I : 積分時間、 T_D : 微分時間

① 不連続動作の調節機能

(a) 二位置動作

二位置動作は別名 ON/OFF 動作とも呼ばれている。ポンプ制御等 (ON/OFF 制御) に使用され、「制御対象の制御量が目標値より大きい小さいかによって操作量を最大か、最小かにする」方式である。一般に、始動水位 (又は圧力) と停止水位 (又は圧力) の間に幅をとり、オンとオフの間に不感帯 (動作すきま) をもたせて振動を防止する。

(b) 多位置動作

二位置動作は制御動作が強すぎる場合に使用される。「操作量を何段階かに分けて、段階的に操作量の指令を出す」方式で、ポンプ制御の場合は台数が 2 台以上ある設備の ON/OFF 制御 (運転台数制御) に使用される。

(c) 単速度動作、多速度動作

単速度制御は偏差値がある範囲を越えると、一種類の一定の速度で操作量を増減する調節機能で、この動作信号を出さない範囲を「中立帯」と呼んでいる。

また、偏差量の大きさにより 2 種類以上の速度で操作量を増減させる調節機能を多速度動作と呼んでいる。

② 連続動作の調節機能

(a) 比例動作 (P 動作)

P 動作は、操作量が偏差に比例して連続的に変化する動作である。

操作量を常に偏差に比例させているので、制御対象の制御量は目標値とずれて落ちつくので残留偏差 (オフセット) を生ずることになる。

P 動作はそれ自身すぐれた要素を持っているが、残留偏差 (オフセット) を生じるので、この欠点を補う積分動作 (I 動作) と併用することが多い。

比例調節系における制御は次式による。

$$y = K_p \cdot z = \frac{100}{p} \cdot z$$

p は比例感度の逆数で比例帯と呼ばれ、出力を 100% 変化させるのに必要な偏差をパーセントで表わしたものであり、比例動作の強さを表わす定数である。値が小さい程感度が高い。しかし、検出部、操作部の遅れがあるため余り小さくするとハンチングの原因となる。

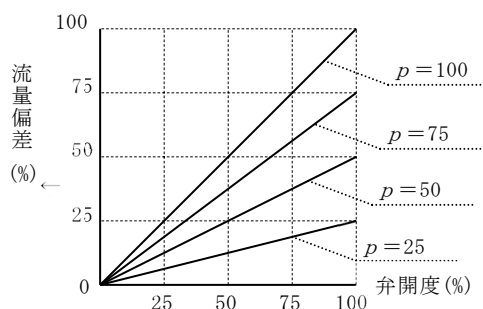


図 3.1-5 弁で流量を制御するときの比例帯 P (例)

(b) 積分動作（I 動作）

I 動作とは、操作量が偏差の時間積分に比例する動作をいう。

操作量の変化の速さが偏差量に比例するもので、別名、比例速度動作と呼ばれる。偏差 z が存在する限り操作量 y が発生するので I 制御では偏差 z がなくなる。

このため、I 動作単独の調節機能を使用することはないが、P 動作（比例動作）の欠点である残留偏差（オフセット）を消すことができるので、PI 動作（比例＋積分動作）として使用される。

I 動作は次式による。

$$y = \frac{1}{T_I} \int z dt \quad T_I; \text{積分時間}$$

(c) 比例＋積分動作（PI 動作）

PI 動作は、オフセットがなく制御対象の制御量を目標値に近づけることができるので広く使用されている。ただし、時定数の大きい系では、系の振動周期が長くなり、応答も遅く制御系全体の安定性も悪くなる。PI 動作は時定数があまり大きくない場合の、①設定流量制御、②設定吐出圧制御、③推定末端圧制御などに適している。

PI 動作は制御系を常に目標値に保つことができるが積分時間 T_I の値が小さい場合ハンチングの原因となり、逆に大きくとりすぎると制御応答性が遅くなるので注意すること。

PI 動作は次式による。

$$y = K_p \left(z + \frac{1}{T_I} \int z dt \right)$$

(d) 比例＋積分＋微分動作（PID 動作）

PI 動作に微分動作（D 動作）を加えたもので時定数の比較的大きい系で応答性を速くすることができる。したがって、時定数の大きい下記のような系では広く使用されている。

- ア 表面積が大きく大容量の吐水槽の設定水位制御
- イ 長い送水管路の末端にある吐水槽の設定水位制御
- ウ 設定末端圧制御などに使用される。

PID 動作は、次式による。

$$y = K_p \left(z + \frac{1}{T_I} \int z dt + T_D \frac{dz}{dt} \right)$$

(3) 制御対象と調節動作

図 3.1-6 は各制御のプロセスの応答傾向を示すもので（プロセスの特性により応答は変化するが、傾向は同じようになる。）、P 動作だけの場合にはオフセットが残る。PI 動作とすると、オフセットはなくなるが位相が遅れるため、P 動作だけの場合に比べて安定性が悪くなり、より振動的な応答となる。PD 動作では、制御量の変動が押えられるからハンチングは小さくなるが、オフセットが残る。PID 動作では K_p 、 T_I 、 T_D を適当に調節すれば、ハンチングも比較的小さく、オフセットをなくすることができる。

また、水の制御系に対する適正な制御の条件は次のとおりである。

- ① 残留偏差が小さいか零であること。
- ② 外乱に対する修正の立ち上がりが速いこと。
- ③ オーバーシュート（目標値に対して制御量が行き過ぎる）が小さいこと。

上記を満足する調節機能はPI 動作又はPID 動作である。

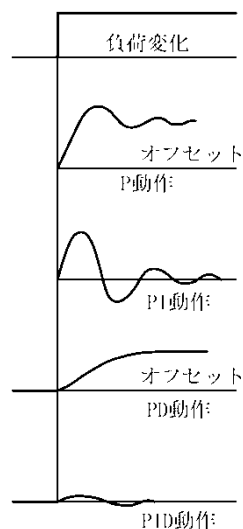


図 3.1-6 各制御動作の応答傾向

このような各制御の傾向に対し、水管理制御システムにおける水位、流量、圧力等の変動時間の程度（時定数）に対する選定には概ね表 3.1-3 が目安となる。

また制御対象に適した動作を表 3.1-4 に示す。

表 3.1-3 時定数と調節機能

時定数	～数秒	数秒～数分	数分～数十分
調節機能	PI 動作	PID 動作	PI 動作＋タイムサンプル

表 3.1-4 制御対象に適した動作

プロセス特性	インディシャル応答の形	適当な制御動作	制御対象
零次比例		I 動作 PI 動作	流量制御
一次遅れ		P 動作、PI 動作 オン・オフ動作	水位、圧力制御
積分		P 動作	水位制御
高次遅れ		PID 動作	水位、流量、圧力制御

3.2 ゲートの制御

ゲートの制御方式検討フローを図 3.2-1 に示す。

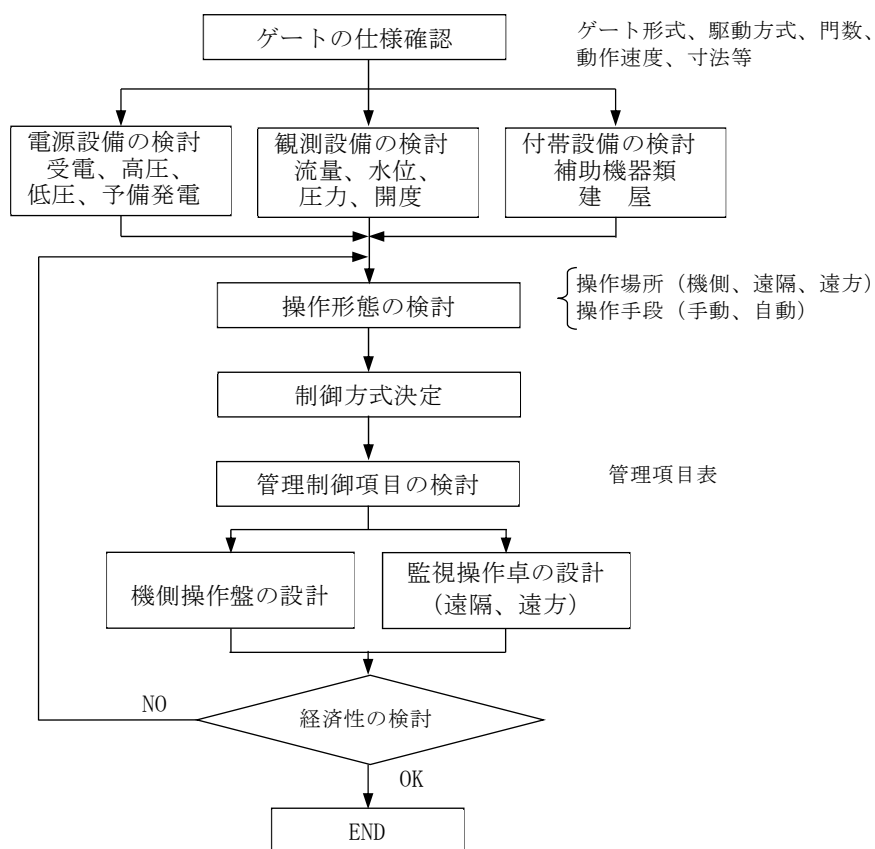


図 3.2-1 ゲートの制御方式検討フロー

本項では、ゲートの制御で一般的に使用されている全開／全閉制御方式、設定値制御方式、自動制御方式について述べる。

必要に応じて、これらの各方式を組合せて用いるものとし、その分類は表 3.2-1 のとおりである。

表 3. 2-1 制御方式

制 御 方 式			1 全開／全閉制御Ⅰ型	2 全開／全閉制御Ⅱ型	3 設定開度制御	4 設定水位制御Ⅰ型	5 設定水位制御Ⅱ型	6 設定水位制御Ⅲ型	7 設定流量制御Ⅰ型	8 設定流量制御Ⅱ型	9 設定流量制御Ⅲ型	10 設定比率分水制御	11 定量放流制御	12 定率放流制御	備 考
条 件 に 全 開 ／ 全 閉 動 作 す る も の	設定値固定		○												電極棒など設定が固定されているもの
	設定値可変			○											指示計警報接点、水位計リミット接点など手動で設定を変えることのできるもの
条 件 に 定 め ら れ た 値 に 動 作 す る も の	動 作 量 の 演 算 を し な い も の	施設動作量を指示するもの			○										設定を手動で変えられるもの、開度を目標値として施設を制御する
		制御目標値を指示すると、不感帯内に納まるよう施設が動作するもの				○			○						設定を手動で変えられるもので、水位、流量などを目標値として施設を制御する
	動 作 量 を 演 算 に よ っ て 求 め る も の	制御目標値が一定のもの					○	○		○	○				さらに、P 動作、PI 動作などの演算機能を有する
		制御目標値が定められたルールによって変化するもの										○	○	○	

3. 2. 1 各制御方式の説明

(1) 全開／全閉制御Ⅰ型

全開／全閉制御Ⅰ型は機械的又は電氣的に固定された水位などの上限値又は下限値によりゲートの全開／全閉動作（二位置動作）を行う方式である。

この方式は、ポンプの台数制御や河川の油圧転倒ゲートに使用されることが多い。本方式を採用する時は次の点を考慮すること。

- ① 制御頻度の多い場合は適用しない。
- ② 上限値、下限値に変更のある場合は適用しない。
- ③ 一般に不感帯がないため上限値、下限値の初期設定幅は大きくすること。

本方式の例を図 3. 2-2 に示す。

なお、以降の制御方式を説明する図において比較部及び調節部には、不感帯、休止時間などを設定できる機能が必要である。

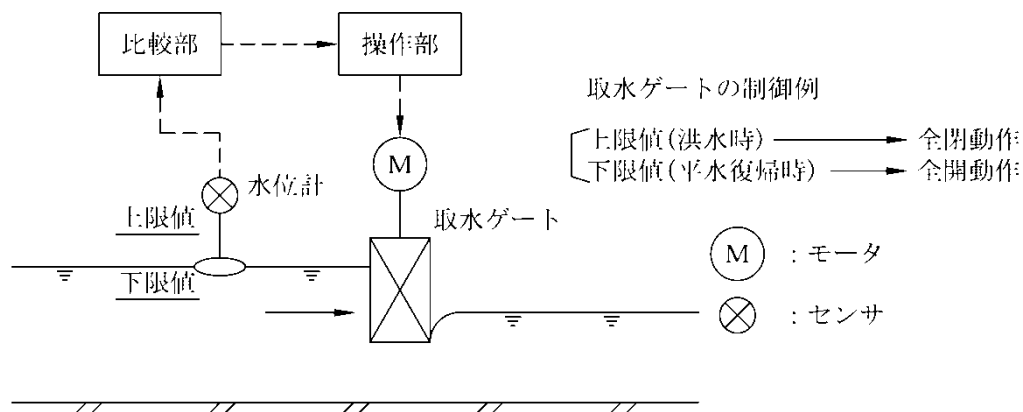


図 3.2-2 全開／全閉制御Ⅰ型（例）

(2) 全開／全閉制御Ⅱ型

全開／全閉制御Ⅱ型は、機械的又は電氣的に設定可変な水位、流量の上限値又は下限値により、ゲートの全開／全閉動作（二位置動作）を行う方式である。

この方式は、任意の上限値、下限値を手動にて設定し接点出力により制御を行うものである。本方式の例を図 3.2-3 に示す。

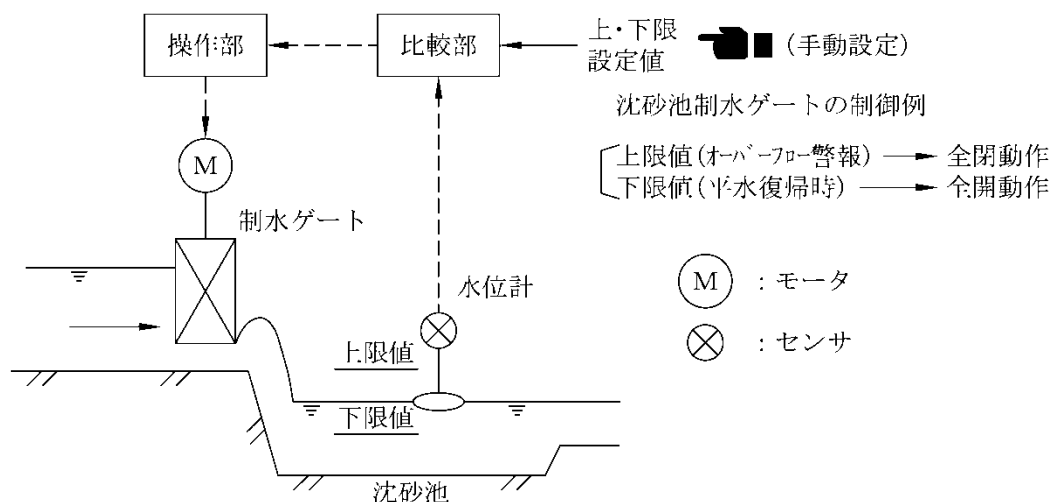


図 3.2-3 全開／全閉制御Ⅱ型（例）

(3) 設定開度制御

設定水位制御、設定流量制御が水位、流量等が制御目標値であるのに対して、本方式はゲート自体の動作量を設定するものである。従って設定開度に到達すれば動作は完了する（二位置動作）。

本方式は次の場合に適用する。

- ① 手動操作でゲートを操作するとき、動作時間が長いため、自動的に停止させたい場合。
- ② 遠方手動操作する場合伝送時間が長く設定結果がとれない場合。

本方式の例を図 3.2-4 に示す。

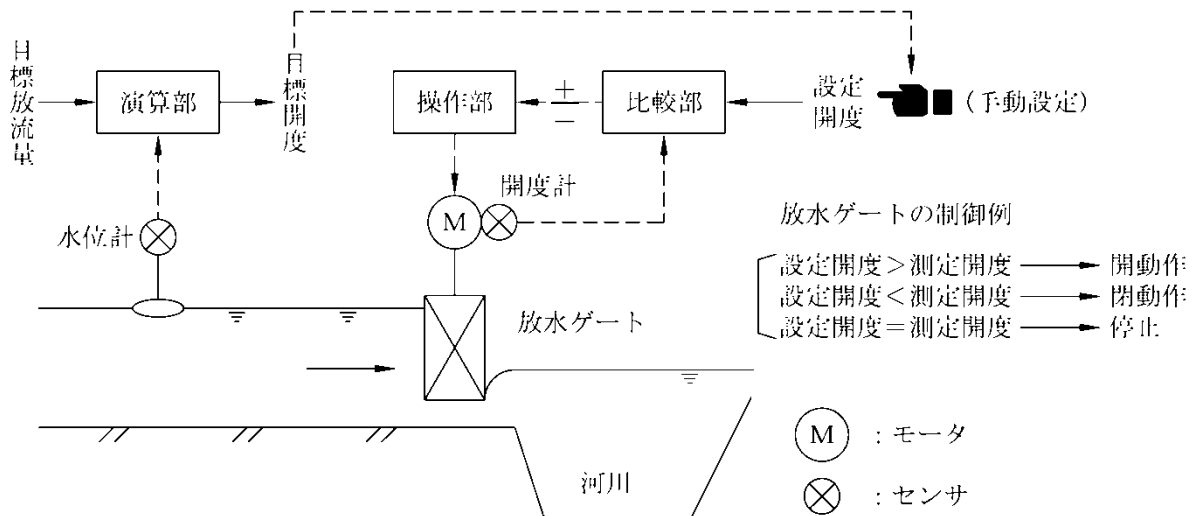


図 3.2-4 設定開度制御（例）

(4) 設定水位制御 I 型

設定水位制御 I 型は、設定水位によりゲートを制御する場合には演算機構を用いず、警報設定器等により許容範囲逸脱を検知して起動し、同様に警報設定器等により目標水位到達を検知して動作完了する二位置動作を行う方式である。

本方式は演算機構を一切持たないためハンチング防止上、次の点を考慮すること。

- ① 単位制御量を小さくする、制御間隔を広くする（具体的には 1 回制御してから、次に制御するまでの時間間隔）などによって、制御応答時間を長くする。
- ② 許容変動幅を大きくする。
- ③ 水位変動頻度が激しい場合適用しない。

本方式の例を図 3.2-5 に示す。

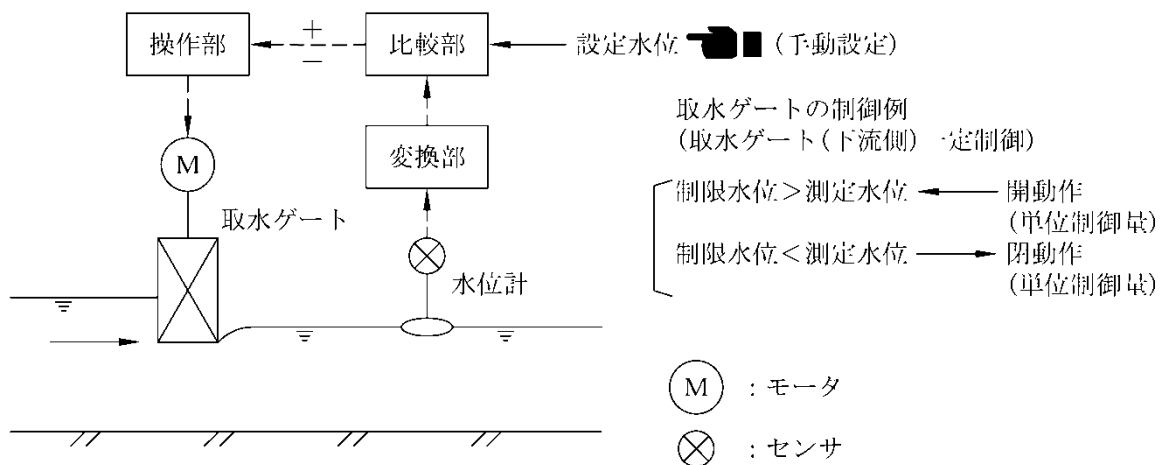


図 3.2-5 設定水位制御 I 型（例）

(5) 設定水位制御Ⅱ型

設定水位制御Ⅱ型は、設定水位によりゲートを制御する場合に、調節計（デジタルコントローラ等）の演算機構を用いて定値制御を行う方式である。

本方式で用いる演算機能はP制御又はPI制御を行うものとし、その例を図3.2-6に示す。

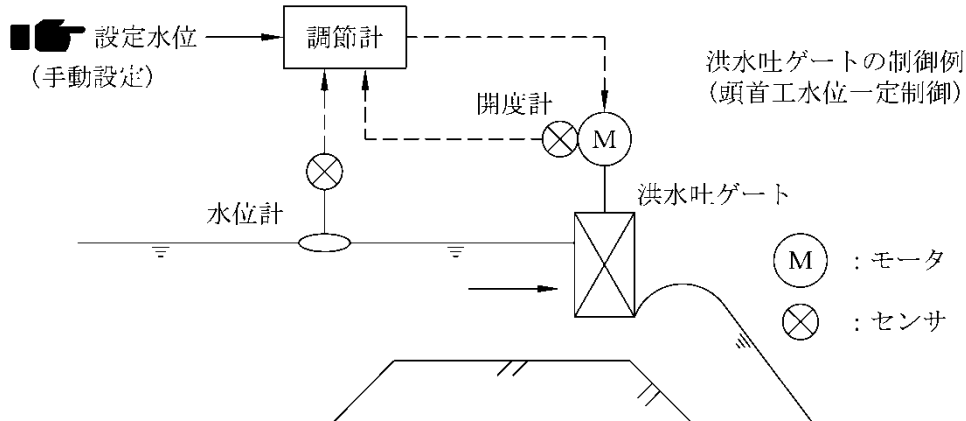


図 3.2-6 設定水位制御Ⅱ型（例）

(6) 設定水位制御Ⅲ型

設定水位制御Ⅲ型は水位偏差方式とも呼ばれ、ダムや大規模頭首工のゲート制御に用いられる。

予め設定された制御開始水位（設定水位）と現在水位との差（水位偏差）に応じてゲートを調節するもので、水位の定常偏差は生じるが、水位偏差と放流能力の関係を定めておくことにより、施設の操作が円滑に行われ、過渡的変動が少なく安定した制御を行うことができる。

本方式の動作概要は次のとおりである。この制御にはデータ処理装置による演算が必要となる。

① 制御開始水位と制御水位幅

次式によるものとする。

$$H_o = H_s + \Delta H$$

H_o : 最大制御水位

H_s : 制御開始水位（設定水位）

ΔH : 制御水位幅

② 制御水位幅と制御ステップ

制御水位幅内水位を1～3cm単位で区切り、これを制御ステップとする。

ダムの水位を設定水位に保つための目標放流量は次式により求める。

$$Q_{ob} = f(h)$$

$= g(i)$ $g(i)$: 2次式又は実験式とする。

水位と放流量の関係を図3.2-7に示す。

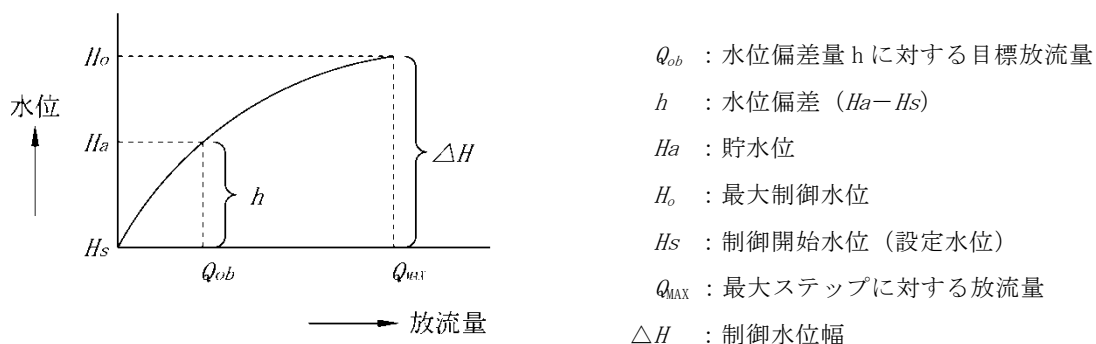


図 3.2-7 定水位制御説明図

ゲートは②で定めたステップを順次操作させることとし、1回の操作で2ステップ以上飛越操作をしてはならない。

本方式の例を図 3.2-8 に示す。

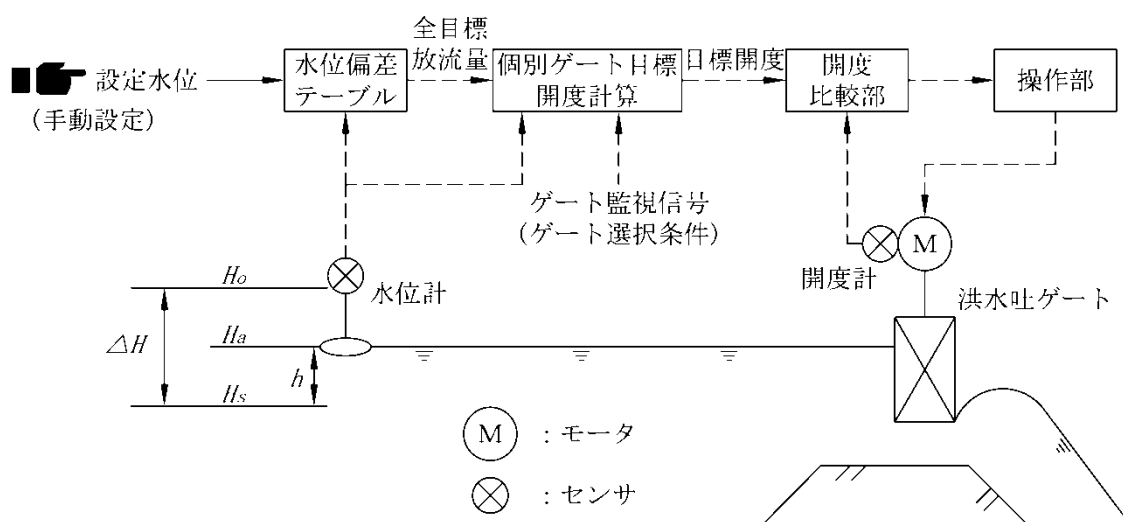


図 3.2-8 設定水位制御Ⅲ型 (例)

(7) 設定流量制御Ⅰ型

設定流量制御Ⅰ型は、設定流量によりゲートを制御する場合に演算機構を用いず二位置制御を行う方式である。

下流がパイプラインであるときは、下流側への空気混入を防ぐために適切な流量を設定する必要がある。さらに、全閉する場合は、末端の取水量が0となったことを確認したのち全閉としなければならない。

制御目標流量は次式による。

$$Q_o = Q_s \pm \Delta Q$$

Q_o : 制御目標流量

Q_s : 設定流量

ΔQ : 流量許容変動幅

本方式は演算機構を一切持たないため、ハンチング防止上、次の点を考慮すること。

- ① 単位制御量を小さくする、制御間隔を広くするなどによって制御応答時間を長くする。
- ② 許容変動幅を大きくする。
- ③ 流量変動頻度が激しい場合適用しない。

本方式の例を図 3.2-9 に示す。

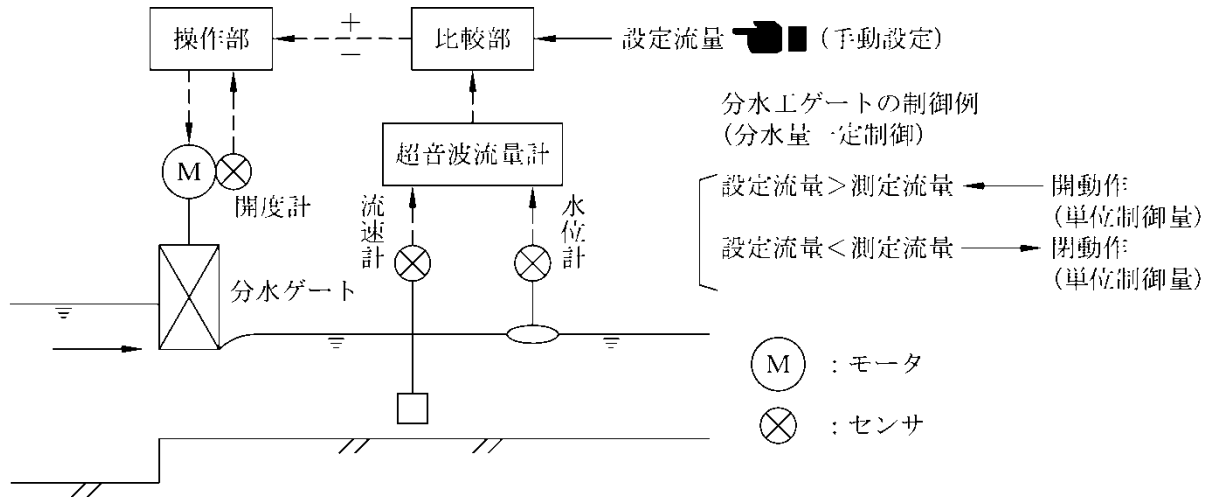


図 3.2-9 設定流量制御 I 型（例）

(8) 設定流量制御 II 型

設定流量制御 II 型は、設定流量によりゲートを制御する場合に、調節計（デジタルコントローラなど）の演算機構を用い、定値制御を行う制御方式である。

下流がパイプラインであるときは、下流側への空気混入を防ぐために適切な流量を設定する必要がある。さらに、全閉する場合は、末端の取水量が 0 となったことを確認したのち全閉としなければならない。

本制御方式で用いる演算機能は P 動作又は PI 動作を行う。（P 動作、PI 動作は第 II 編 3.1.3 項(2)参照。）

本方式の例を図 3.2-10 に示す。

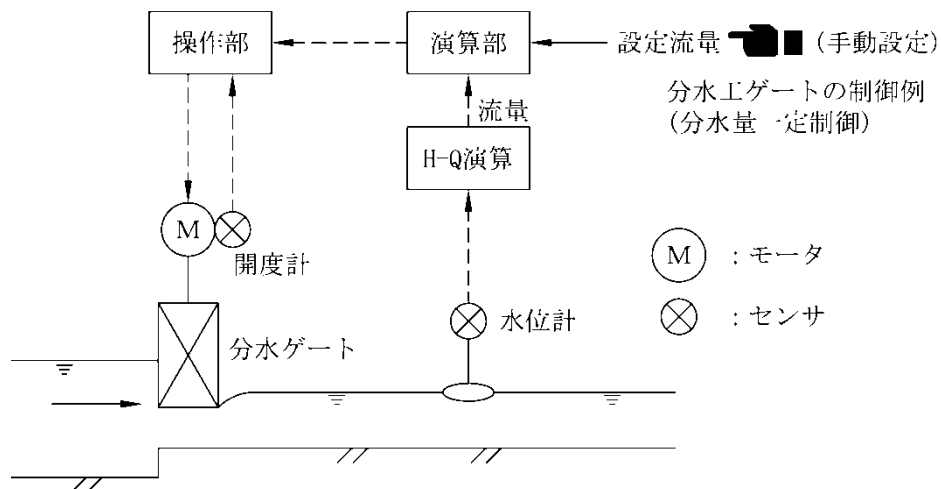


図 3.2-10 設定流量制御 II 型（例）

(9) 設定流量制御Ⅲ型

設定流量制御Ⅲ型は頭首工における洪水時に適用され、データ処理装置と設定値制御装置を用いて管理者によって設定された流量を目標放流量とする追値制御を行う制御方式である。

本方式は、設定された流量（目標放流量）と現在の貯水位に基づき各ゲートの目標開度を算出し、その目標開度に一致するまでゲートの制御を行うものである。

本方式の例を図 3.2-11 に示す。

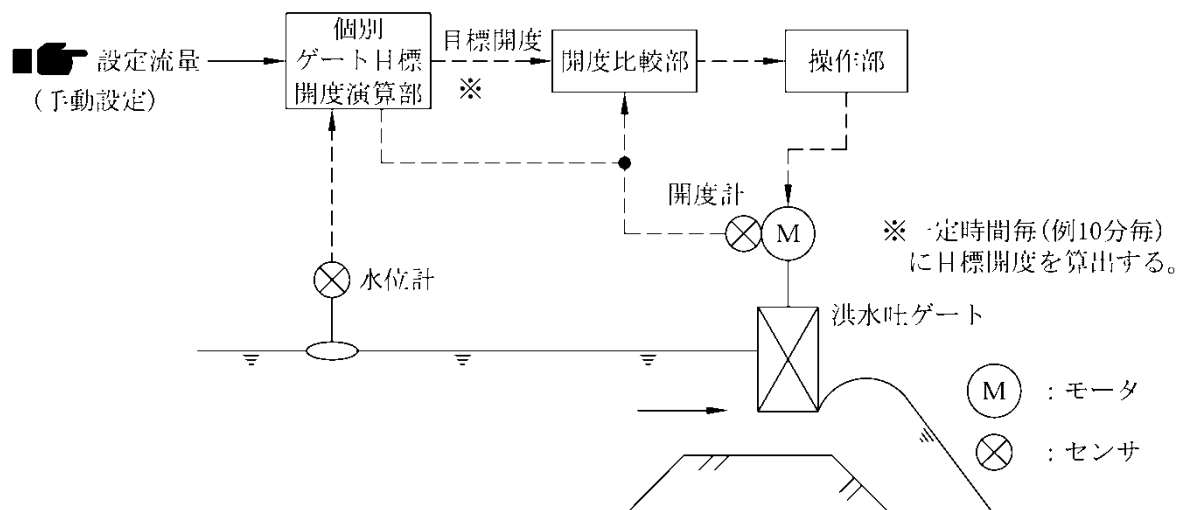


図 3.2-11 設定流量制御Ⅲ型（例）

(10) 設定比率分水制御

設定比率分水制御は図 3.2-12 に示すような分水工において用水路上流から供給される用水をゲートなどの設備により一定の比率で分水する制御である。

制御方式は次によるものとする。

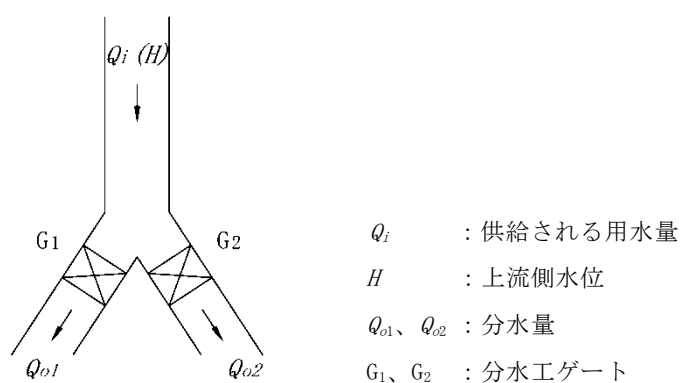


図 3.2-12 分水工模式（例）

① 分水の比率

$$Q_i = Q_{o1} + Q_{o2}$$

$$Q_{o1} / Q_{o2} = K \text{ (一定)}$$

② 流量の把握

流量計により測定するものとするが、流量計を設置しない場合は原則として次の方法による。

Q_i : 分土工ゲートの直接の影響を受けない直上流水位 H により把握する ($H \rightarrow Q$ 変換)。

Q_{o1} 、 Q_{o2} : G_1 、 G_2 のゲート開度と水位により求める。

③ 分水比率とゲート開度

(a) 分水比率は予め定めた数種類とする。

(b) 分水比率 K に対応した水位 (流量) とゲート開度配分 (分水量) はあらかじめ定めておく。

(c) 水位 H にはゲートのハンチングを防止するために一定の幅 (不感帯) を設けておくことが望ましい。

④ ゲートの制御

分土工ゲートは水位に応じ与えられたゲート開度配分を保つように制御を行う。

また、本方式は、次の条件下で用いるものとする。

(a) オープンループ制御とする。

(b) 分土工下流水位は考慮に入れないので、下流条件を加味した制御を行う場合は、あらかじめシミュレーションなどにより下流条件を加味しゲート開度を配分する。

本制御方式で用いる演算機能は P 制御又は PI 制御を行うためのものである。本方式の適用例を図 3.2-13 に示す。

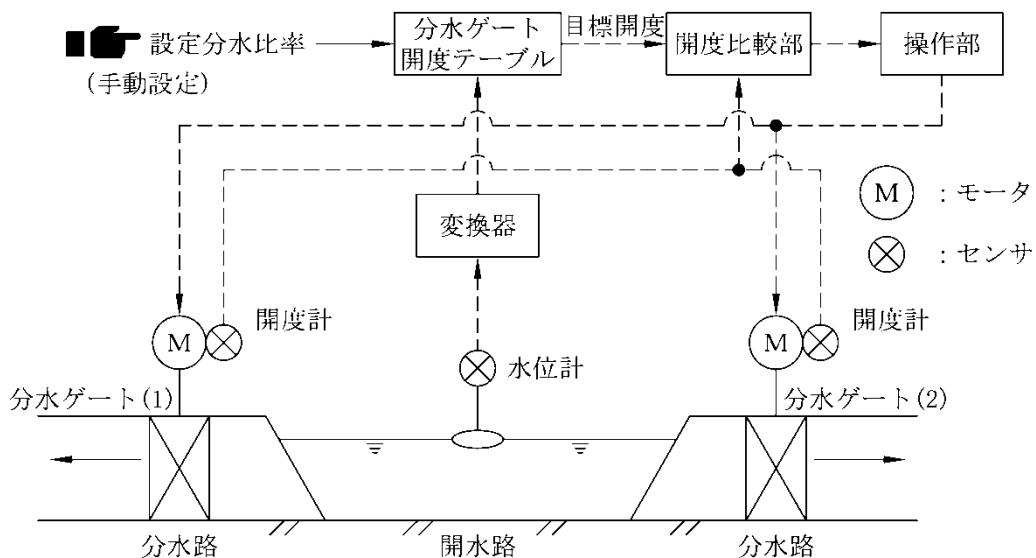


図 3.2-13 設定比率制御 (例)

(11) 定量放流制御

定量放流制御は洪水時、目標放流量を維持する制御である。

目標放流量は定量放流制御が開始された時の放流量とし、制御放流量は次式による。

$$Q_{od} = Q_{ob} \pm \Delta Q$$

Q_{od} : 制御放流量

Q_{ob} : 目標放流量

ΔQ : 放流量許容変動量

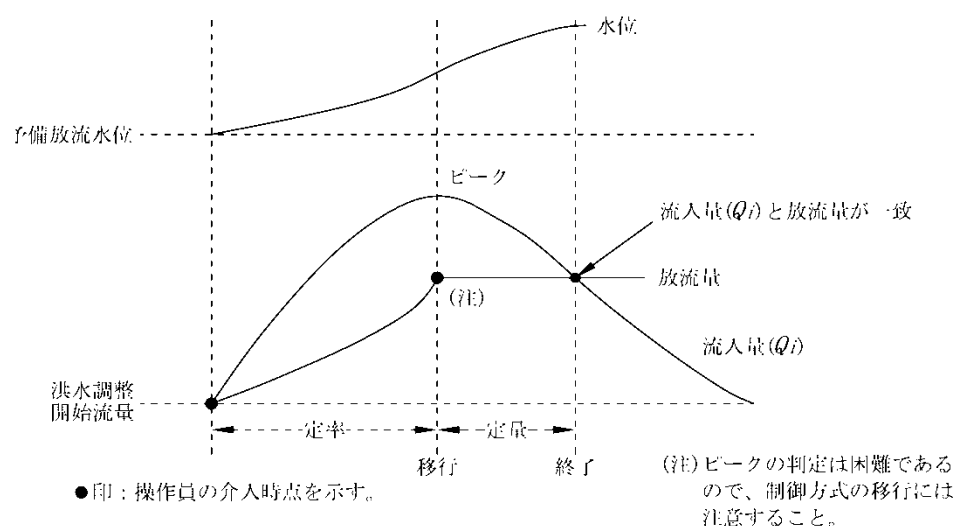
定率放流制御中に、流入量 Q_i が前回のピーク値に到達し更に増加する場合には、定量放流制御に移行する。

定量放流制御の終了条件は、流入量と放流量が一致した場合とする。

本制御方式で用いる演算機能はPI 制御又はPID 制御を行うためのものである。

定率放流制御から定量放流制御への洪水調節操作を図 3. 2-14 に示す。

また、本制御方式の適用例を図 3. 2-15 に示す。



(定率、定量放流制御方式による洪水調節操作)

図 3. 2-14 定量放流制御の開始終了条件

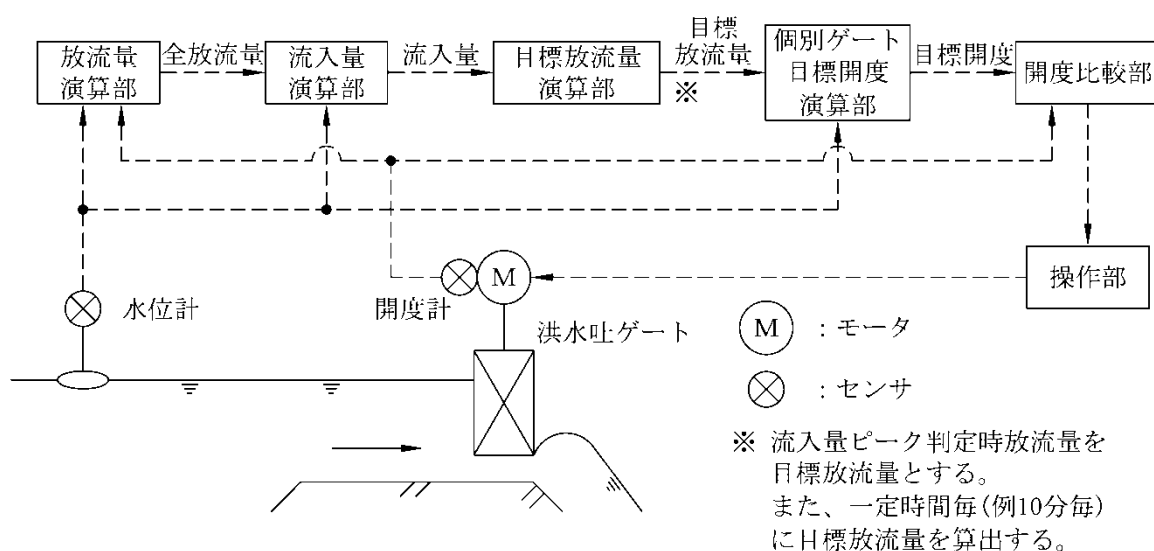


図 3. 2-15 定率・定量放流制御 (例)

(12) 定率放流制御

定率放流制御はダムなどにおいて洪水時にピークカットのため流入量に対して一定比率で放流する制御方式である。

目標放流量は次式によって求める。

$$Q_{ob}=K(Q_i-Q_f)+Q_f$$

Q_{ob} : 目標放流量 (取水流量を含む総放流量)

Q_i : 流入量

Q_f : 洪水調節開始流量

K : 放流比率

制御放流量は次式による。

$$Q_{od}=Q_{ob}\pm\Delta Q$$

Q_{od} : 制御放流量

Q_{ob} : 目標放流量

ΔQ : 放流量許容変動量

定率放流制御の開始は、流入量が増加中であつ洪水調整開始流入量以上の場合であり、終了は流入量が計画高水流量以下でピークに到達した場合とする。

本制御方式で用いる演算機能はPI制御又はPID制御を行う。本制御方式の適用例は図3.2-15と同一である。

3.2.2 各制御方式の適用

ダム、頭首工、用水路において一般的に使用されているゲート制御方式の例を表 3.2-2 に示す。これらの制御方式から施設の規模、制御頻度、制御精度などを勘案し、適切な方式を選定する。

表 3.2-2 ダム、頭首工、用水路制御方式（例）

施設区分	制御方式 設備名		1 全開／全閉制御 I 型	2 全開／全閉制御 II 型	3 設定開度制御	4 設定水位制御 I 型	5 設定水位制御 II 型	6 設定水位制御 III 型	7 設定流量制御 I 型	8 設定流量制御 II 型	9 設定流量制御 III 型	10 設定比率分水制御	11 定量放流制御	12 定率放流制御
ダム	洪水吐ゲート	平水時						○		○				
		洪水時						○		○	○		○	○
	取水ゲート		○		○									
頭首工	取水堰ゲート	平水時				○	○	○	○					
		洪水時	○	○										
	取水ゲート	平水時							○	○				
		洪水時	○						○	○				
用水路	調整ゲート		○	○	○									
	分水ゲート					○			○	○		○		
	放水ゲート		○	○	○									

(1) ダム用ゲート

ダムにおいては、かんがい期の取水管理は長期的観点から行う必要があり、また、洪水を安全に流下させる必要がある。ここではダムの制御対象を洪水吐ゲート、取水ゲートとして各々の制御方式を述べる。

なお、ダム用ゲートの制御方式の検討に当たっては、河川管理者との協議により、「ダム管理用制御処理設備 標準設計仕様書（国土交通省）」に基づくものとされることがあるため、事前に確認を行うことが必要である。

① 平水時の制御方式（取水ゲート）

平水時は取水ゲートの制御が中心となる。制御方式は表 3.2-3 による。なお、この制御方式は機側マイナーループで行われるのが一般的である。

表 3.2-3 平水時の制御方式（取水ゲート）

制 御 方 式	設定開度制御	設定開度の単位：1 cm 又は 1 % (FS)
	全開／全閉制御 I 型	—
設定開度の変更	運転条件による。	
制御の開始、終了	手動操作	
水位許容変動幅	無し	
流量の演算	無し	

（注） FS：フルスパン又はフルスケールと読み、測定スパンの全範囲を示し、その範囲の精度。

② 洪水時の制御方式（洪水吐ゲート）

洪水時におけるダム管理運用は平水時に比べて、その回数、日数が年間を通し非常に少ない。

しかしながら、下流への放流の影響を考慮すると放流の操作には最大限の注意を払われなければならない。

洪水が予測される場合のダムからの放流操作は貯水位が一定の水位又は一定の流入量を超えるまでは低水時制御とし、これ以上の水位又は流入量のある時を洪水時制御として各制御方式を使い分けるものとする。

ここでは、一般に使用される制御方式について示すが、ダムによりゲートの形式が異なり、運用形態にも相違があるので、採用に当たっては十分に検討の上、決定する必要がある。

(a) 低水時制御

低水時の制御方式は表 3.2-4 による。

表 3.2-4 低水時の制御方式（洪水吐ゲート）

制 御 方 式	設定水位制御Ⅲ型	設定の単位：1 cm
	設定流量制御Ⅱ型	設定の単位：1 m ³ /s
設定水位・流量の変更	手動操作	
制御の開始、終了	手動操作	
水位・流量許容変動幅	ゲートの種類、規模による。	
放 流 量 の 演 算	単位時間の貯留量、流入量と放流量の差から求める。	

(b) 洪水時制御

洪水時の制御方式は表 3.2-5 による。

表 3.2-5 洪水時の制御方式（洪水吐ゲート）

制 御 方 式	設定水位制御Ⅲ型	設定の単位： 1 cm 設定の単位：ゲートの種類、規模による。
	設定流量制御Ⅱ型	
	設定流量制御Ⅲ型	
	定量放流制御	
	定率放流制御	
設定値の設定変更	手動操作	
水位許容変動幅	ゲートの種類、規模による。	
放 流 量 の 演 算	単位時間の貯留量、流入量と放流量の差から求める。	
制御方式の切換	手動操作	
ゲート作動順序	予め指定して、起動時間差を設ける。	
ゲート動作制限	ゲートの種類、規模による。	
制御の開始、終了	手動操作	

ある洪水波形を仮定した場合における洪水吐ゲートの各制御方式の適用例を図 3.2-16 に示す。

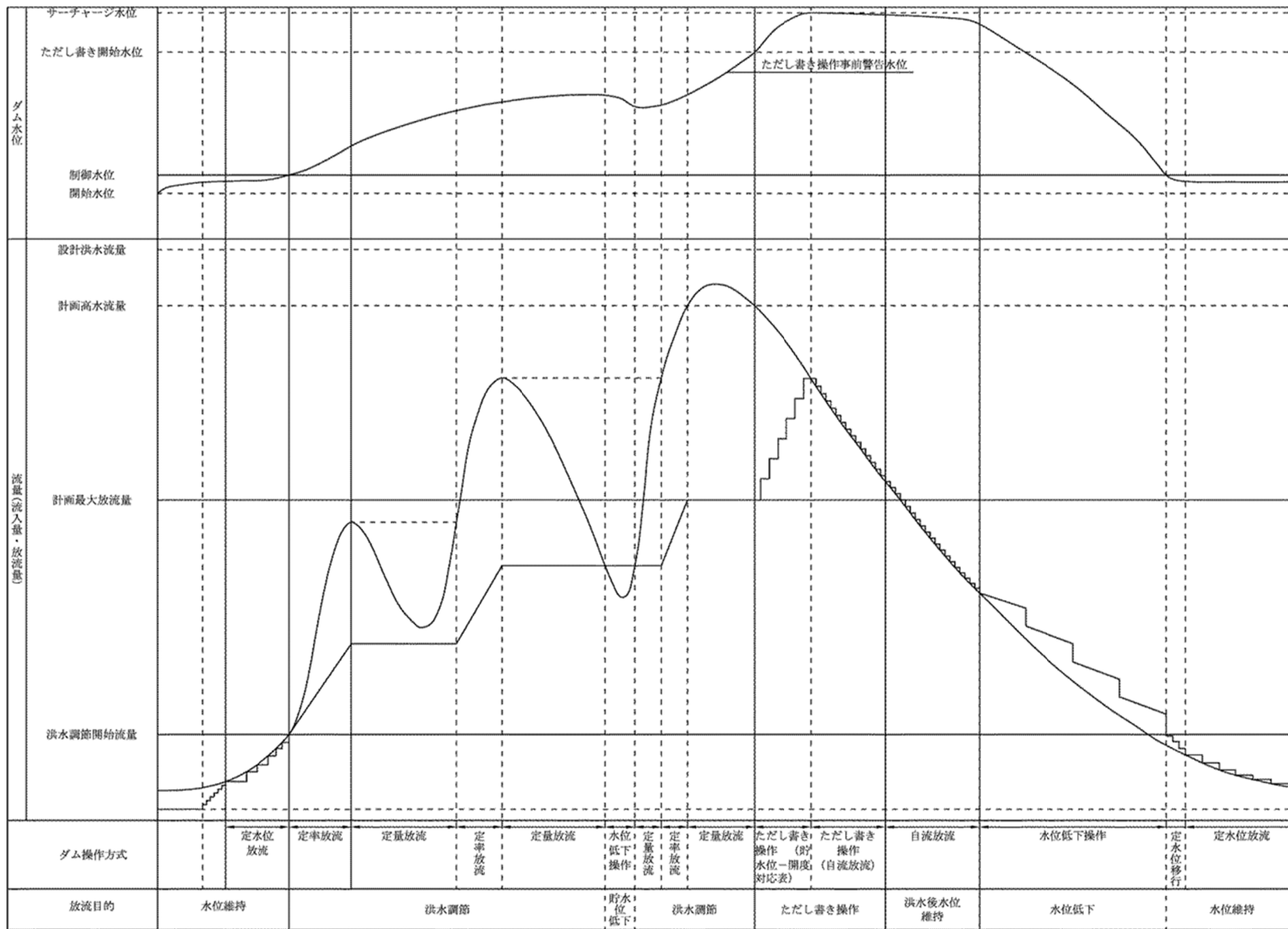


図 3.2-16 ある洪水波形に対する制御方式 (例)

(2) 頭首工

頭首工においては堰上流側を一定水位以上に保ち用水路に必要な流量の用水を取水する。本項では図 3.2-17 の頭首工ゲート設備構成を例として、それぞれのゲート設備に対する制御方式について述べる。

なお、頭首工ゲートの制御方式の検討に当たっては、河川管理者との協議により、「ダム管理用制御処理設備 標準設計仕様書（国土交通省）」に基づくものとされることがあるため、事前に確認を行う必要がある。

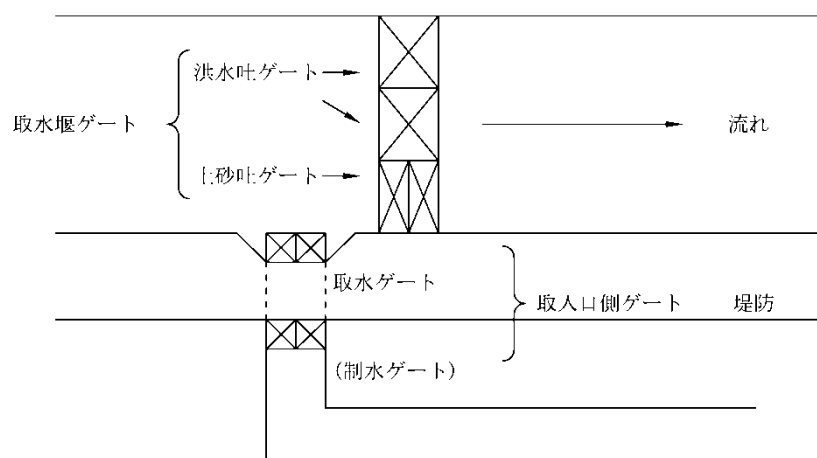


図 3.2-17 頭首工ゲート設備構成図（例）

① 平水時の制御方式

(a) 取水堰ゲートの制御

平水時の取水堰ゲートは、取水ゲート地点における取水水位を確保するため、取水が可能である水位を下限とし、利水上の障害が生じない水位を上限とする範囲内で水位制御を行う。

下流への義務放流量が決められている場合は、魚道又はバイパス管方式などの土木構造物で対応するのが一般的であるが、それが困難な場合は土砂吐ゲート（２段扉の場合の上段扉）等の制御により対応する。

取水堰ゲートの制御方式と留意事項は表 3.2-6 のとおりである。

表 3.2-6 平水時の制御方式（取水堰ゲート）

制 御 方 式	設定水位制御Ⅰ型	設定の単位：1 cm
	設定水位制御Ⅱ型	設定の単位：1 cm
	設定水位制御Ⅲ型	設定の単位：1 cm
	設定流量制御Ⅰ型	ゲートの種類、規模による
設 定 値 の 変 更	手動操作	
水 位 許 容 変 動 幅	ゲートの種類、規模による	
放 流 量 の 演 算	堰上流水位とゲート開度から演算	
制 御 の 開 始 、 終 了	手動操作	

(注) 河川水位変動の激しい場合、設定水位制御Ⅰ型はハンチングを生ずることがあるので適用には注意を要する。

(b) 取水ゲート

取入流量は河川の水位変動に伴って変化するため、取水ゲートの制御方式を決定する際には、ハンチングを起こさないよう制御の応答性に留意し、適切な制御が行えるよう検討する必要がある。

取水ゲートの制御方式と留意事項は表 3.2-7 のとおりである。

表 3.2-7 平水時の制御方式（取水ゲート）

制 御 方 式	設定流量制御Ⅰ型	設定流量の単位は ゲートの種類・規模による
	設定流量制御Ⅱ型	
設定取水量の変更	手動操作	
流量許容変動幅	規模と地区の実情により決定	
流 量 の 演 算	上流水位、下流水位とゲート開度による計算式 又は、流量計による計測	
制御の開始、終了	手動操作	

(c) 制水ゲート

保守用のため通常時全開、保守時全閉で用いられる。

② 洪水時の制御方式

洪水時、頭首工は流水の自然流下を妨げることのない運用操作を行う。

(a) 取水堰ゲートの制御

取水堰ゲートの洪水時の操作は、下流への放流による河川の急激な水位上昇につながらないこと等、河川上下流の安全を考慮して行う必要がある。したがって、洪水時の取水堰ゲートは目視確認による手動操作を原則とする。

なお、条件によっては表 3.2-8 に示す全開／全閉制御が適用できる場合もある（油圧転倒ゲートやラバーゲートなど）が、採用に当たっては十分に検討する必要がある。

表 3.2-8 洪水時の制御方式（取水堰ゲート）

制 御 方 式	全開／全閉制御Ⅰ型	
	全開／全閉制御Ⅱ型	
全開／全閉の条件	全開／全閉制御Ⅰ型	管理上定められる水位固定値（全開時のみ）
	全開／全閉制御Ⅱ型	管理上定められる水位可変値
条 件 の 変 更	手動操作	
制御の開始、終了	手動操作	

(b) 取水ゲートの制御

河川から地区内への洪水流入等を遮断するため、河川や水路の状況を考慮しながら全閉操作する必要がある。頭首工ゲートと同様に目視確認による手動操作を原則とするが、条件によっては表 3.2-9 に示す全開／全閉制御、設定流量制御Ⅱ型を適用できる場合もある。

表 3.2-9 洪水時の制御方式（取水ゲート）

制 御 方 式	全開／全閉制御Ⅰ型	—
	設定流量制御Ⅰ型	取水に上水道、工業用水がある場合に適用することが多い。平水時の制御と同様である。
	設定流量制御Ⅱ型	
制御の開始、終了	手動操作	
	全開／全閉制御Ⅰ型の全開制御開始時は水位による自動制御	

(3) 用水路（開水路ゲート）

用水路に設けられるゲート設備は取水された水を安全・確実に流下させ、計画に応じた分水を適切に行うことを目的に設置される。調整ゲートで分水水位を調整し、分水ゲートでは分水量の調整を行う。降雨時等には、取水を中止し、放水ゲートを全開とするのが一般的である。

用水路施設のゲート設備構成の例を図 3.2-18 に示す。

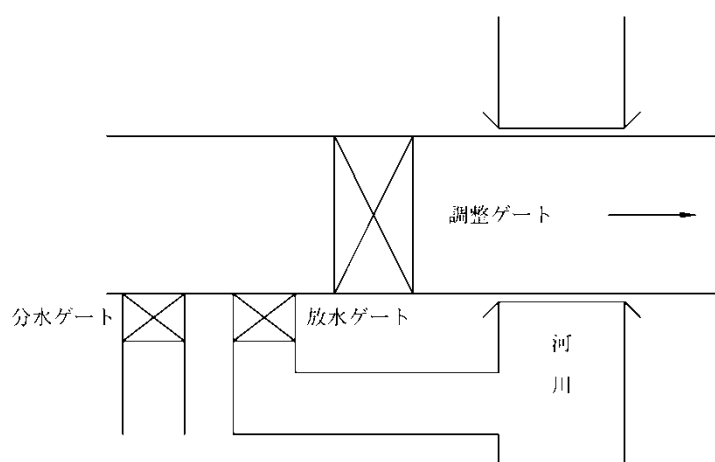


図 3.2-18 用水路施設構成（例）

① 調整ゲート

調整ゲートは、幹線水路途中に設けられ、必要な分水位の調整を行う。

また、降雨時、事故時等に水路の閉鎖を行うため全開／全閉制御を行う場合もある。

調整ゲートの制御方式の例を表 3.2-10 に示す。

表 3.2-10 調整ゲートの制御方式（例）

制 御 方 式	設定開度制御	設定開度の単位：1 cm 又は 1 % (FS)
	全開／全閉制御Ⅰ型	—
	全開／全閉制御Ⅱ型	—
水位許容変動幅	運転条件による。	
設定水位の変更	手動操作	
設定開度の変更	自動又は管理者による手動操作	
制御の開始、終了	手動操作	

(注) FS：フルスパン又はフルスケールと読み、測定スパンの全範囲を示し、その範囲の精度。

② 分水ゲート

分水工は、分水水路側と幹線水路側又は複数の分水水路に一定の比率で分水する等のために設けられる構造物である。ゲートの開閉により分水量を制御するものをゲート分水工と呼び、開水路では分水水位を制御する方法、分水流量を制御する方法等がある。分水ゲートで一般的に用いられている制御方式の例を表 3. 2-11 に示す。

表 3. 2-11 分水ゲートの制御方式（例）

制 御 方 式	設定水位制御Ⅰ型	設定水位の単位：1 cm
	設定流量制御Ⅰ型	設定流量の単位：ゲートの種類・規模により決定
	設定流量制御Ⅱ型	
	設定比率分水制御	流量許容変動幅：水位（上下流又は上流）とゲート開度による計算式又は流量計による計測。
設 定 値 の 変 更	設定水位・流量	手動操作
	設定比率	規模と地区の実績により決定
流 量 の 演 算	水位（上下流又は上流）とゲート開度による計算式又は流量計による計測。	
制御の開始、終了	手動操作	

③ 放水ゲート

放水工は、降雨等により不要になった用水路内の水を安全に河川等へ放水流下させることが必要である。したがって、目視確認による現地での手動操作が原則であるが、管理上の諸要因により制御が必要な場合もあり、適用に当たっては監視体制も含めて十分な検討が必要である。

放水ゲートを制御する場合の制御方式の例を表 3. 2-12 に示す。

表 3. 2-12 放水ゲートの制御方式（例）

制 御 方 式	全開／全閉制御Ⅰ型	全開／全閉の条件：管理上定められる水位固定値
	全開／全閉制御Ⅱ型	全開／全閉の条件：管理上定められる水位可変値
	設定開度制御	設定開度の単位：1 cm 又は 1 %（FS）
条 件 の 変 更	全開／全閉制御Ⅰ型	固定レベルスイッチの交換
	全開／全閉制御Ⅱ型	設定水位：手動操作
	設定開度制御	設定開度：手動操作
制 御 の 開 始、終 了	手動操作 全開／全閉制御の開始は自動制御	

（注） FS：フルスパン又はフルスケールと読み、測定スパンの全範囲を示し、その範囲の精度。

3.3 バルブの制御

3.3.1 バルブの制御に適用される制御方式

本項では、水管理制御システムで一般的に使用されているバルブの制御方式について述べる。

バルブの制御に用いられる制御方式の適用例を表 3.3-1 に示す。

バルブの制御方式検討フローを図 3.3-1 に示す。

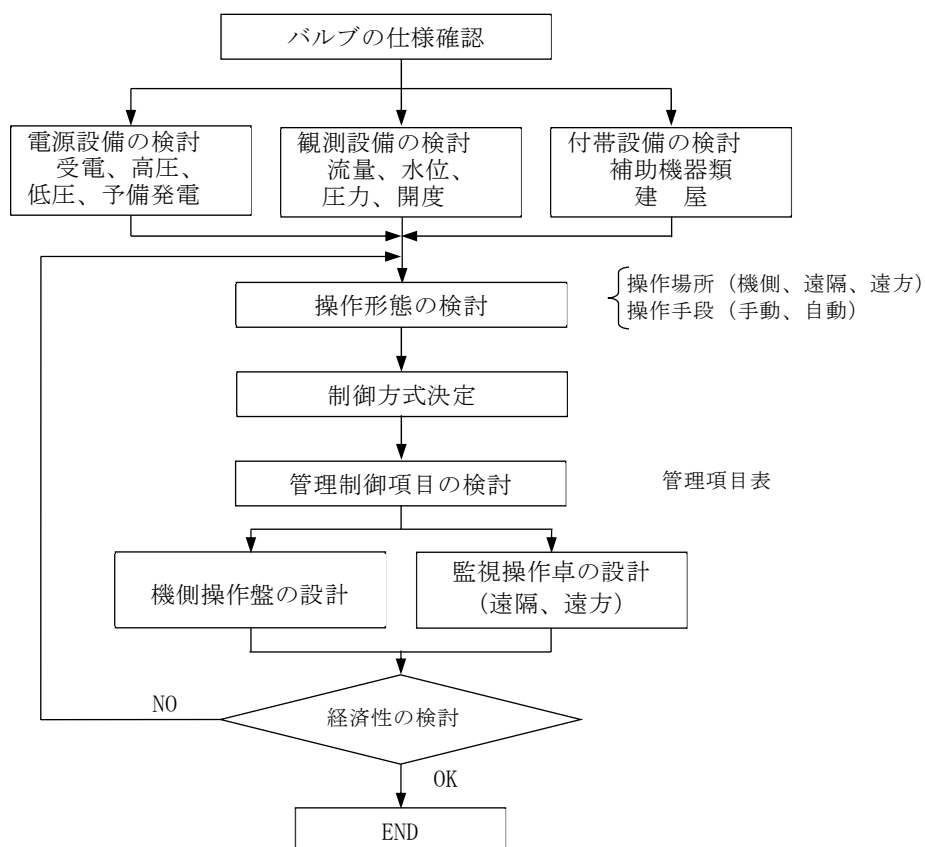


図 3.3-1 バルブの制御方式検討フロー

表 3.3-1 バルブの制御方式適用（例）

制 御 方 式			1 設定開度制御	2 設定流量制御Ⅰ型	3 設定流量制御Ⅱ型	4 設定圧力制御Ⅰ型	5 設定圧力制御Ⅱ型	備 考
条件により定められた値に動作するもの	動作量の演算をしないもの	施設動作量を指示するもの	○					設定を手動で変えられるもので、開度を目標値として施設を制御する
		制御目標値を指示すると、不感帯内に納まるよう施設が動作するもの		○		○		設定を手動で変えられるもので、水位、流量などを目標値として施設を制御する
	動作量を演算によって求めるもの	制御目標値が一定のもの			○		○	さらに、P 制御、PI 制御などの演算処理を有する。
		制御目標値が定められたルールによって変化するもの						

3.3.2 各制御方式の説明

(1) 設定開度制御

第Ⅱ編 3.2.1 項(3)参照

(2) 設定流量制御Ⅰ型

第Ⅱ編 3.2.1 項(7)参照

(3) 設定流量制御Ⅱ型

第Ⅱ編 3.2.1 項(8)参照

(4) 設定圧力制御Ⅰ型

設定圧力制御Ⅰ型は、設定圧力によりバルブを制御する場合に演算機能を用いず、二位置制御を行う制御方式である。

制御目標圧力は次式による。

$$P_o = P_s \pm \Delta P$$

P_o : 制御目標圧力

P_s : 制御圧力

ΔP : 圧力許容変動幅

本制御方式は演算機構を一切持たないため、ハンチング防止上次の点を考慮すること。

- ① 単位制御量を小さくするか、あるいは制御間隔を広くすることによって制御応答時間を長くする。
- ② 許容変動幅を大きくする。

- ③ 圧力変動頻度が激しい場合適用しない。
本制御方式の適用例を図 3.3-2 に示す。

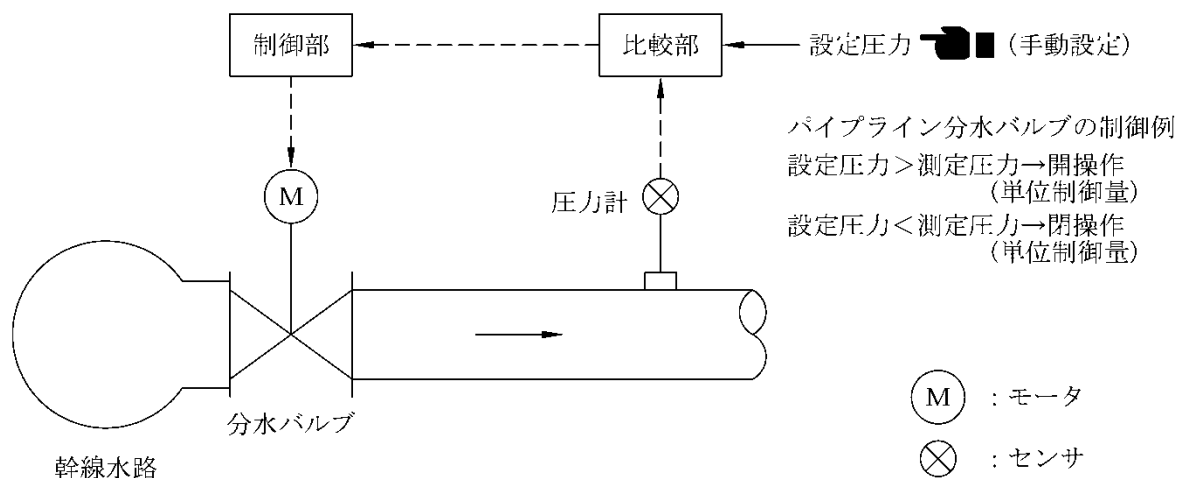


図 3.3-2 設定圧力制御 I 型 (例)

(5) 設定圧力制御 II 型

設定圧力制御 II 型は、設定圧力によりバルブを制御する場合に処理装置や調節計（デジタルコントローラ等）の演算機構を用い、定値制御を行う制御方式である。

本制御方式で用いる演算機能は P 動作又は PI 動作を行うためのものである。

*P 動作、PI 動作は、第 II 編 3.1.3 項(2)参照。

本制御方式の適用例を図 3.3-3 に示す。

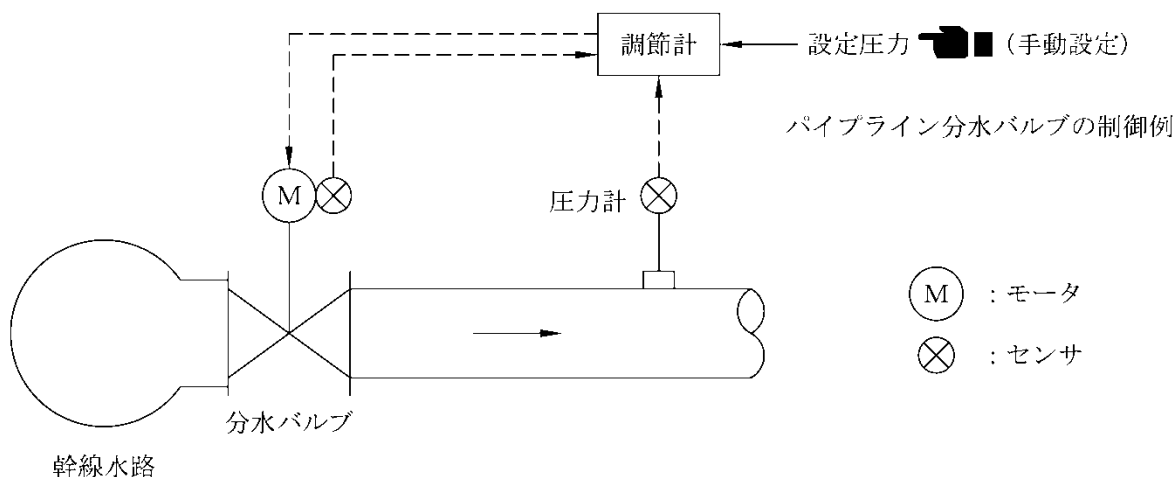


図 3.3-3 設定圧力制御 II 型 (例)

3.3.3 各制御方式の適用

バルブの制御は基本的にゲートの制御と同様である。ここでは、ダム、用水路に設置されるバルブについて一般的に使用されるバルブの制御方式について述べる。表 3.3-2 にバルブの制御方式の例を示すが、施設の規模、制御頻度、制御精度等を勘案、適切な制御方式を適用する。

表 3.3-2 ダム、用水路におけるバルブの制御方式（例）

施設区分	設備名	制御方式				
		1 設定開度制御	2 設定流量制御Ⅰ型	3 設定流量制御Ⅱ型	4 設定圧力制御Ⅰ型	5 設定圧力制御Ⅱ型
ダム	放流バルブ	○		○		
用水路	分水バルブ		○	○	○	○

(1) 放流バルブの制御

取水設備により取水された水は取水トンネルを通じてダム堤体下流の河川又は水路へ放流バルブにより放流される。放流バルブはダム堤体下流側に設けられる。

放流バルブの用途には、農業用水等を取水するために用いるものと、管理上定められた下流責任放流量を流下させるために用いるもの等がある。

また、放流バルブにはフィクストコーンバルブ、ホロージェットバルブ等の高圧バルブが用いられる。

なお、ジェットフローゲート、高圧スライドゲート等の放流用ゲート設備についても本放流バルブの制御方式に準じる。

表 3.3-3 に放流バルブの制御方式の例を示す。

表 3.3-3 放流バルブの制御方式（例）

設定開度制御	設定開度の単位	1 cm 又は 1 % (FS)
	設定開度の変更	管理者の手動操作
	制御の開始、終了	管理者の手動操作
設定流量制御Ⅱ型	設定流量の単位	管理上必要な単位
	許容流量変動幅	バルブの種類、規模による。
	流量の演算	貯水池水位とバルブ開度から演算又は流量計による計測
	設定流量の変更	管理者の手動操作
	制御の開始、終了	管理者の手動操作

(注) FS：フルスパン又はフルスケールと読み、測定スパンの全範囲を示し、その範囲の精度。

(2) 分水バルブ

分水工は、流入する流量を分水側と幹線側又は複数の分水工に一定の比率で分水する等のために設けられる構造物である。管水路ではバルブの開閉により圧力や分水量を制御するのが一般的である。

分水バルブの制御方式は設定流量制御、設定圧力制御があるが、分水バルブ同士の干渉や制御の

ハンチングに留意して選定するものとする。

分水バルブの制御方式の例を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-4 分水バルブの制御方式（例）

設定流量制御 Ⅰ型、Ⅱ型	設定流量の単位	規模により決定
	流量許容変動幅	規模と地区の実情により決定
	流量の演算	流量計による計測など
	設定流量の変更	管理者による手動操作
	制御の開始、終了	自動又は管理者による手動操作
設定圧力制御 Ⅰ型、Ⅱ型	設定圧力の単位	0.01M Pa 又は 10kPa
	圧力許容変動幅	規模と地区の実情により決定
	圧力の演算	圧力計による計測
	設定圧力の変更	管理者による手動操作
	制御の開始、終了	自動又は管理者による手動操作

3.4 ポンプの制御

ポンプの運転制御方式は、用水の確実な取水と洪水の安全な排水を図るために、信頼性が高く効率的なものとしなければならない。

3.4.1 制御方式の検討

ポンプの制御方式は、施設目的に適合したポンプ施設全体の操作形態、データ伝送方式、表示方式などを検討するものとする。

ポンプの制御方式検討フローを図 3.4-1 に示す。

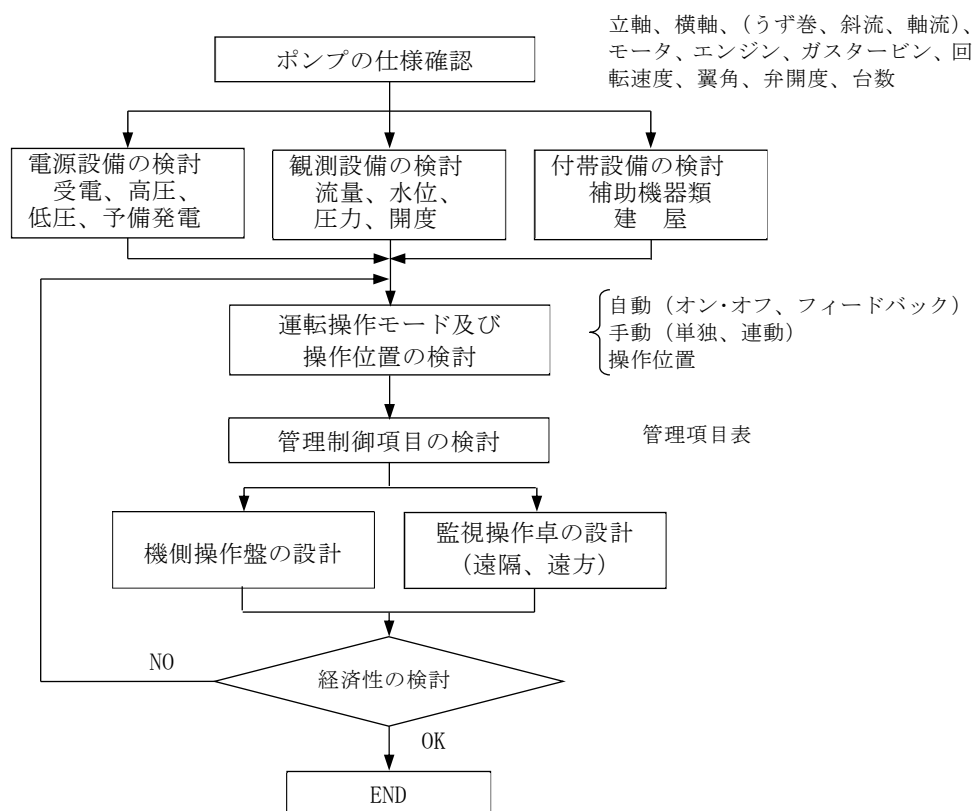


図 3.4-1 ポンプの制御方式検討フロー

3.4.2 ポンプの送水形態

ポンプ設備を計画する場合に配慮する点は、①信頼性が高い、②ランニングコストの低減、③管理しやすい、④総合的にみて経済的であることなどであることから、ポンプの制御方式もこれらの項目を満足させるものにする必要がある。また、ポンプの制御方式は、ポンプの送水形態に適したもので、効率的な水管理ができるものとする必要がある。

(1) 用水系の送水形態

用水系の送水形態は、受益面積の規模、水源からかんがいする地域までの距離、地形などにより左右されるが、おおむね送水ポンプ系と配水ポンプ系に分けられる。

① 送水ポンプ系

水源である湖沼や河川から導水した用水をポンプ場で揚水して送水管路で吐水槽に送り、開水路でかんがい地域まで導水する形態がその一つである。水田を対象とした場合に多くみられる例を図 3.4-2 に示す。

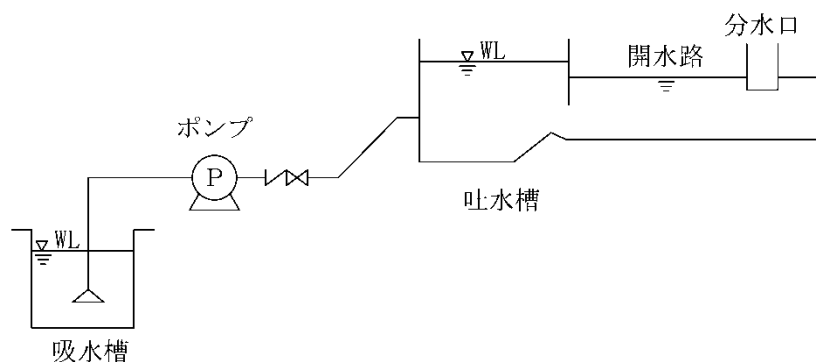


図 3.4-2 送水形態 I（例）

また、水路のパイプライン化に合わせ、吐水槽に揚水後、開水路でなく管路で送水する形態も多くなっている。その例を図 3.4-3 に示す。

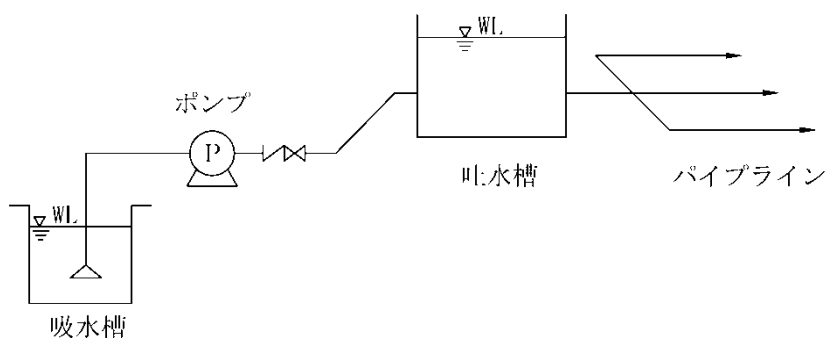


図 3.4-3 送水形態 II（例）

この両形態は、いずれも、かんがい対象が主に水田であることから、揚水された水はファームポンドなどの調整施設を介することなく、水田まで送水することが多い。

畑地かんがいの場合は、水源からファームポンドまでの幹線用水路区間においてポンプを利用したタイプがある。その例を図 3.4-4 に示す。

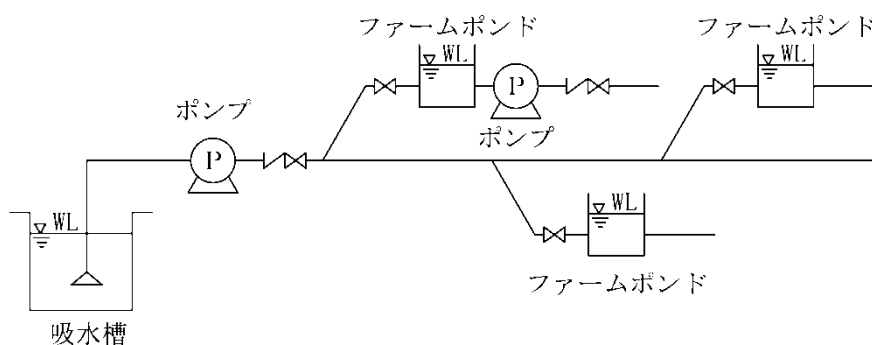


図 3.4-4 パイプラインによる幹線送水（例）

また、水田、畑地が混在している地域では、ポンプによる揚水後の開水路の途中から、畑地かんがい用に更にポンプ揚水する形態もある。その例を図 3. 4-5 に示す。

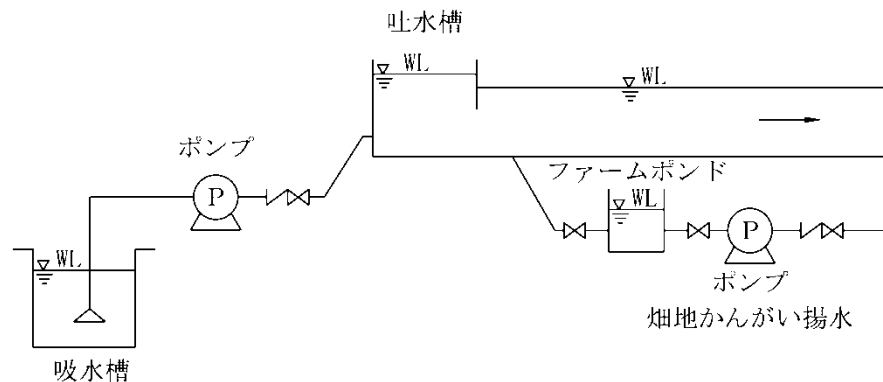


図 3. 4-5 開水路による幹線送水（例）

このほかに、パイプラインによる送水でかんがいする場所までの距離が長い、かんがいする場所が高地にある場合では、需要水量の状況によって一段揚水のほかに二段揚水にする形態などがある。

この場合、二段目のポンプ機場を増圧ポンプ機場と呼ぶが、その形態には三つのタイプがある。

- (a) 直接加圧方式 (図 3. 4-6)
- (b) 直接加圧方式（バイパス管路付） (図 3. 4-7)
- (c) 分離型加圧方式（バイパス管路付） (図 3. 4-8)

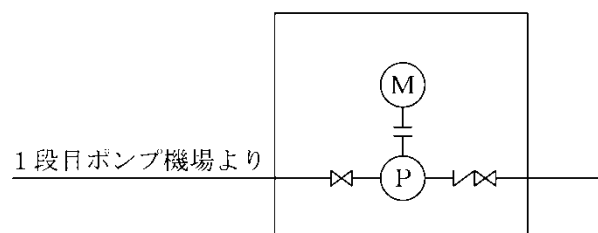


図 3. 4-6 直接加圧方式（例）

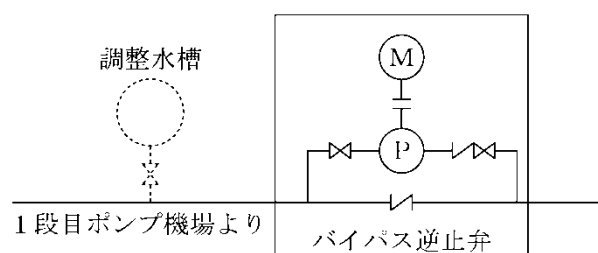


図 3. 4-7 直接加圧方式（バイパス管路付）（例）

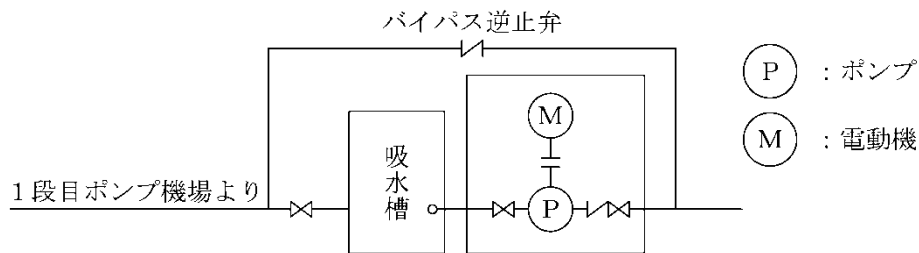


図 3.4-8 分離型加圧方式（バイパス管路付）（例）

② 配水ポンプ系

配水ポンプ系は送水ポンプ系が幹線送水を行うのに対し特に末端への配水を行う形態である。

代表的な例としては、ファームポンド以降での畑地かんがいの配水ポンプ系がある。この形態では、

- (a) ポンプ → 吐水槽 → 管路の方式
- (b) 吐水槽の代りに圧力水を利用する方式
- (c) 直接加圧する方式

などがありその例を図 3.4-9 に示す。

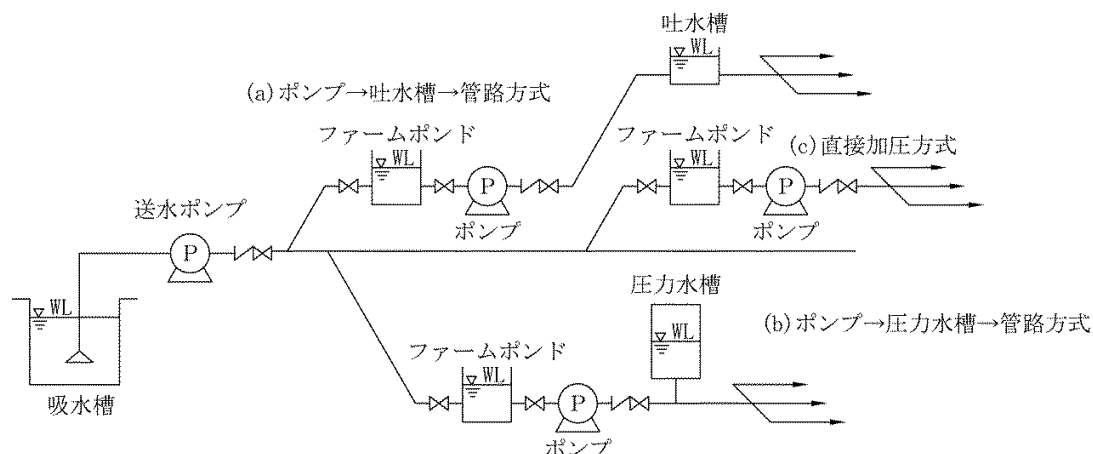


図 3.4-9 配水ポンプの各形態（例）

いずれの方式も需要端の水使用に可能な限り自由度を与えるようにしている。

さらに、水田においても需要端ブロックでの水田パイプラインの加圧用としてポンプが使用され、吐水槽や圧力水槽などを設置して、末端の水需要に応じた送水ができるよう工夫されている。

(2) 排水系の送水形態

農地を対象とする排水には、常時、受益地域の排水路内の水位を基準水位の範囲内に維持するために行う「常時排水」と、降雨時に受益地域内で洪水の氾濫や、湛水（水田対象の場合、一定時間内の湛水は許容される）を防止するために行う「洪水時排水」がある。

これらの排水を行う方法としては「自然排水」とポンプを利用した「機械（ポンプ）排水」とがある。

排水方法は、できるだけ自然排水を採用することが望ましいが、排水時期（常時か、洪水時か）地域の地形、受益面積の規模、流出特性、外水位などを検討して決定される。

本項では自然排水とポンプ排水を併用した常時と洪水時の排水形態について記述する。

① 常時の排水形態

常時排水も洪水時排水も、排水ポンプ機場の位置は図 3.4-10 に示すとおり受益地域内の最低部で排水路末端の排水水門に最も近い位置に設置されるのが一般的である。

排水系の送水形態の特徴の一つは、排水ポンプ機場の吐出管路が短く、吐水槽を通して排水河川へつながり、主に吸込側の排水路内の水位又は流量を制御することである。

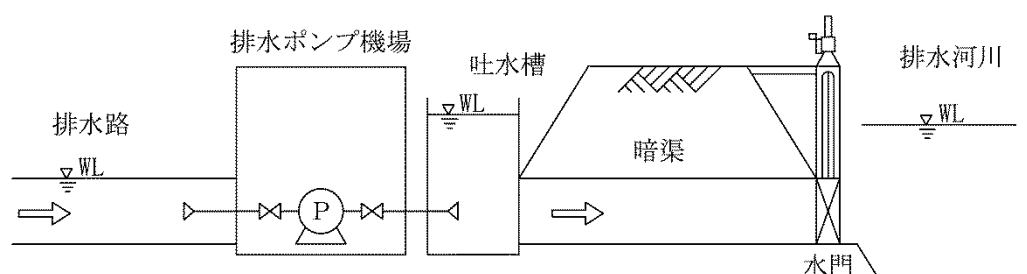


図 3.4-10 排水ポンプの送水形態（例）

常時排水は、基準内水位の範囲が排水河川の水位よりも低い場合に常時用排水ポンプをオンオフ制御して、常時排水を行うのが一般的である。

また、水田の汎用化に伴い、地域内の基準内水位を低く維持する傾向にあるが、地盤の低い地域などでは、この常時排水を自然排水でなく常にポンプで行う場合が多くなっている。

② 洪水時の排水形態

洪水時の排水も初期の排水河川水位が低い間は自然排水が主体となるが、排水河川水位が上昇して自然排水が困難になった場合にポンプ排水に切替えるのが一般的である。農地の許容湛水位を超えないように吸込側排水路内の水位を制御することで、内水位一定制御などが行われている場合が多い。洪水時の流出量の変化や排水河川の水位上昇などは洪水時の降雨強度などにより異なるものであるが、急激に変化している状況下においても自然排水からポンプ排水への切替えが確実にできる必要がある。

3.4.3 操作モードと操作位置

表 3.4-1 にポンプの運転操作モードと操作位置の対応表を示す。

運転操作モード及び操作位置は、送水施設の規模、送水系統の範囲などについて検討し、個々のポンプ場の設置条件や管理体制を勘案した上で選択することが必要である。

(1) 運転操作モード

ここでは操作モードを以下のように分類する。

① 手動オンオフ

操作員が手動で運転、停止を行う方式である。

② 自動オンオフ

機械設備あるいは遠方の制御装置により運転、停止を自動的に行う方式である。

③ 自動設定値

機械設備の制御装置により設定値制御を行う方式である。

(2) 操作位置

操作位置による分類は以下のとおりである。

① 機側操作

ポンプ場においては機器を目視確認できる場所に機側操作盤を設置して行う操作。小規模ポンプ施設では、機側操作のみの場合が多い。

② 遠隔操作

操作室の操作卓から機器を一括監視しながら行う操作。

③ 遠方操作

ポンプ場から離れた中央管理所等から伝送装置を介して行う操作。複数のポンプ場を一括管理する形態の場合などに用いられる。

表 3.4-1 運転操作モードと操作位置

No.	運転操作モード	操 作 位 置			操作位置図
		機 側 (含電気室)	遠 隔 (操作室)	遠 方	
1	手動オンオフ	○	—	—	
	自動オンオフ	○	—	—	
	自動設定値	○	—	—	
2	手動オンオフ	○	—	○	
	自動オンオフ	○	—	○	
	自動設定値	○	—	○	
3	手動オンオフ	○	○	—	
	自動オンオフ	—	○	—	
	自動設定値	—	○	—	
4	手動オンオフ	○	○	○	
	自動オンオフ	—	○	○	
	自動設定値	—	○	○	

3.4.4 ポンプの水路条件と制御方式

用水ポンプ場や排水ポンプ場における水路条件とポンプ制御方式の適用例を表 3.4-2 に示す。

表 3.4-2 ポンプ制御方式の適用例

区 分	制 御 方 式 水 路 条 件			設 定 流 量 制 御	流 量 プ ロ グ ラ ム 制 御	設 定 水 位 制 御 (時定数小)	設 定 水 位 制 御 (時定数大)	水 位 プ ロ グ ラ ム 制 御	設 定 吐 出 圧 制 御	設 定 末 端 圧 制 御 (演算)	設 定 末 端 圧 制 御 (直接計測)	設 定 末 端 圧 制 御	設 定 水 槽 圧 力 制 御	設 定 内 水 位 制 御
用 水 ポ ン プ 場	吐出管 系に水 槽有り	水位制御 不可能		○										
			需要水量変動予測可能		○									
		水位制御 可能	ポンプ～水槽間時間遅れ 小			○								
			〃 〃 大				○							
			需要水量変動予測可能					○						
	吐出管 系に水 槽無し	管路のみ	需要水量変動に対する末 端圧力変動小						○					
			需要水量変動に対する末 端圧力変動大						○	○				
			同上、かつ連結ポンプ系									○		
排 水 ポ ン プ 場													○	
加 圧 ポ ン プ 場	吐出管 系に水 槽有り	水位制御 不可能		○										
			需要水量変動予測可能		○									
		水位制御 可能			○									
			需要水量変動予測可能						○					
	吐出管 系に水 槽無し	管路のみ	需要水量変動に対する末 端圧力変動小						○					
			需要水量変動に対する末 端圧力変動大							○	○			
	吐 出 管 系 に 圧 力 水 槽 有 り													○

本表における、各制御方式について以下に記述するが、電動機の回転速度を変えて吐出量を調節する回転速度制御方式をポンプの制御手段として例示している。

その他の手段については次項（第Ⅱ編 3.4.5 項）に示す。

(1) 用水ポンプ場の場合

① 流量制御

流量制御は一般に吐出管系に調整用としての水槽を持っていて、何らかの理由で水位制御が不可能な場合に適する。

(a) 設定流量制御

需要水量の変動を十分吸収しうる水槽を持つ水系に適する供給主導形の制御方式である。流量の目標値をあらかじめ設定器により設定しておき、ポンプの吐出側にある流量計で計測した値をフィードバックして設定値との偏差を出し、それにより電動機の変速機速度を変えて吐出流量を目標値に近づけようとする方式である。

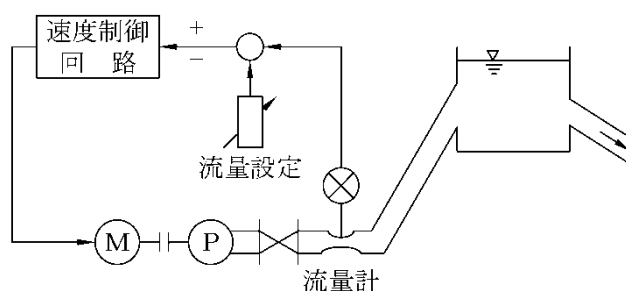


図 3.4-11 設定流量制御系統図

(b) 流量プログラム制御

需要流量の変動をある程度予測でき、設定したプログラム値と実際の需要水量との差を吸収しうる水槽を持つ水系に適する供給主導形の制御方式である。

流量の目標値をあらかじめ段階を設けて設定し、目標値は計画的に変化する仕組みになっている。制御系は設定値制御の場合と全く同じで、吐出流量と設定値との偏差により電動機の変速機速度を変えて吐出量を設定値に近づけようとする方式である。

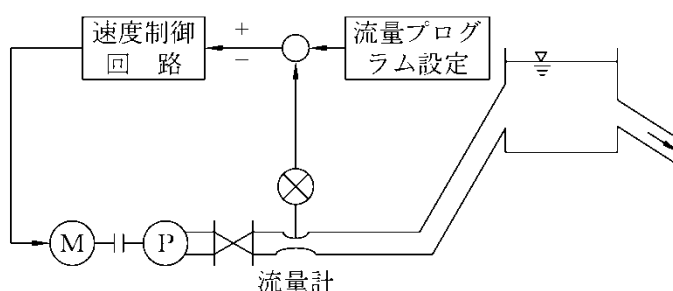


図 3.4-12 流量プログラム制御系統図

② 水位制御

水位設定は一般に吐出管系に水槽があり、水槽とポンプ場の距離が比較的短く、時間遅れが少ないか、距離が長くても時間遅れ分を吸収できる水槽を持つ水系に適する。

(a) 設定水位制御（時定数が小さい場合）

水位の目標値はあらかじめ設定器により設定しておき、水槽に設けた水位計で計測した値と設定値との偏差により電動機の変速機速度を変えて水槽水位を目標値に近づけようとするものである。

需要水量が急変するような水系においては、補助ループとして水槽出口に流量計を設置して需要水量の変動を測定してフィードバックし、制御系の感度を上げておく必要がある。

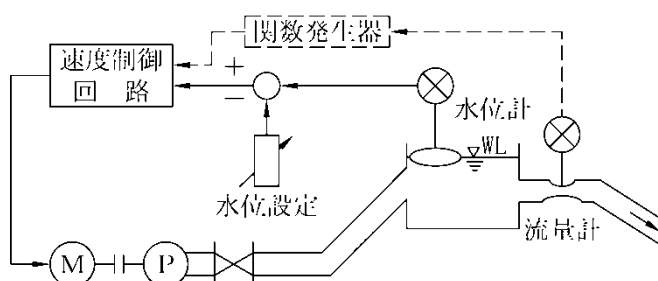


図 3.4-13 設定水位制御系統図

(b) 設定水位制御（時定数が大きい場合）

ポンプの吐出管が短く、長い開水路を経た先の水位を制御するケースで制御は(a)とほとんど同じであるが、時間遅れが大きいため制御してからその結果が水槽水位へ表れるまでの時間を OFF TIME とする間欠制御を行う必要がある。

本方式で、水を無駄にしないためにはかなり大きな水槽を必要とする。

設定水位制御は、結果として需要量に追随して送水することとなり、(a) (b) ともに需要主導型制御方式である。

(c) 水位プログラム制御

需要水量の変動をある程度予測でき、できるだけ送水量を変動させない制御方式で水槽の容量をフルに活用する方式である。

水位の目標は需要水量が多い時には水位を低く、需要水量が少ない時には水位を高く設定する。

制御の基本的系統は設定水位制御と同じで、目標値が計画的に変動するのが唯一の違いである。本方式を採用すると結果として送水量の変動はなだらかになり、需要主導型と供給主導型の中間の制御方式である。

③ 圧力制御

圧力制御は一般に吐出側が管路だけの水系（例えば末端がディスクバルブの場合）の場合に適する制御方式である。

圧力制御はどの方式も典型的な需要主導型制御方式である。

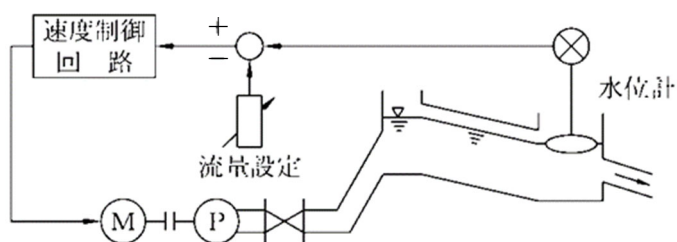


図 3.4-14 設定水位制御系統図

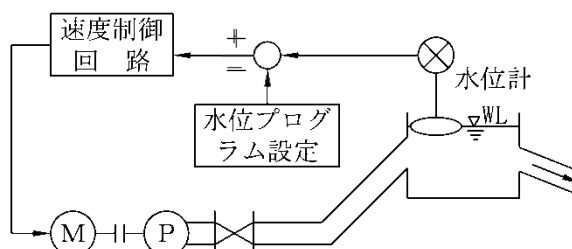


図 3.4-15 水位プログラム制御系統図

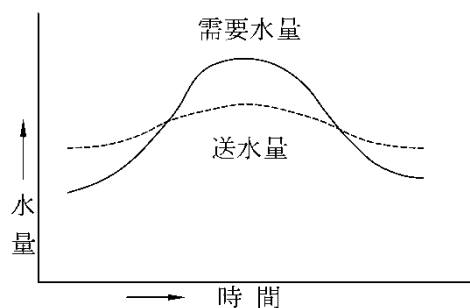


図 3.4-16 需要水量の時間的変化

(a) 設定吐出圧制御

ポンプと需要側が比較的近く、需要水量が変わっても末端圧力の変動が小さい場合に適する。圧力の目標値は設定器によりあらかじめ設定し、ポンプの吐出側にある圧力計で計測した値との偏差により、電動機の変速機速度を変えて吐出圧力を設定値に近づけようとする制御方式である。

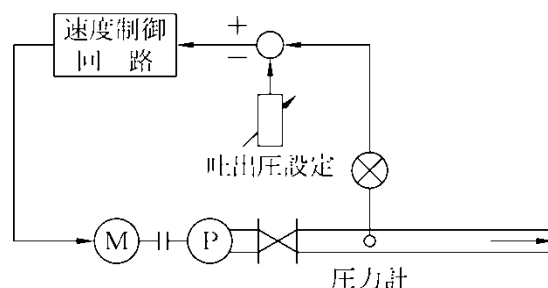


図 3.4-17 設定吐出圧制御系統図

(b) 設定末端圧制御（演算方式）

ポンプの吐出管路に分岐が全然ないか、あっても微少な場合で、管路の任意点の圧力を一定に保つ制御方式である。

ポンプの吐出管路は分岐がなく単純なのでポンプ場と任意点間の損失水頭は容易に計算できる。したがって制御系には次のような演算を行う関数発生器を設ける。

$$H=f(Q)=KQ^n+H_0$$

H：吐出圧力の目標値

K：管路定数

Q：管路の流量

n：損失水頭計算の乗数（ヘーゼンウィリアムス $n=1.85$ ）

H_0 ：任意点圧力の目標値

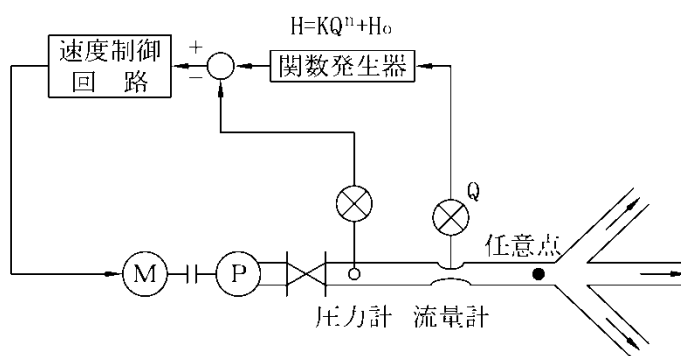


図 3.4-18(A) 設定末端圧制御（演算方式）系統図

このような関数発生器を設けることにより、吐出側流量計の計測値（Q）を入力に入れると吐出圧力の目標値（H）が出力としてでる。この目標値と吐出側圧力計で計算した値との偏差で、吐出圧力を目標値に近づけるような制御方式で、結果として任意点の圧力を設定値に近づける制御をしていることになる。

(c) 設定末端圧制御（直接計測方式）

吐出管路が多数分岐しており、そのうちの任意点の圧力を一定に保つような場合に適する制御方式である。任意点圧力の目標値は設定器であらかじめ設定しておき、任意点で計測した圧力をポンプ場へフィードバックし、両者の偏差により電動機の変速機速度を変えて任意点の圧力を設定値に保つ制御である。

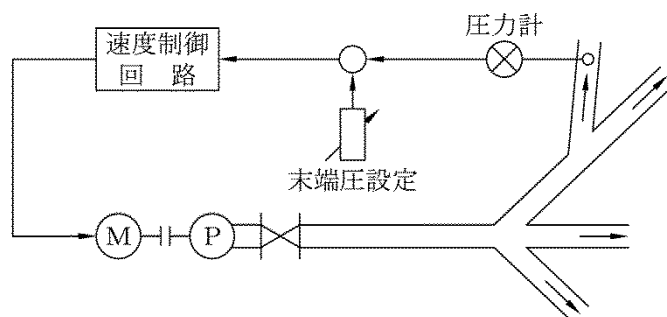


図 3.4-18(B) 設定末端圧制御（直接計測方式）系統図

(d) 管路で直列に連結したポンプによる設定末端圧制御

図 3.4-19 に管路で直列に連結したポンプにより設定末端圧制御（演算方式）を速度制御で行う場合の系統を示す。

図中 P_1 は任意点における設定圧力制御を、 P_2 は各ポンプの揚程配分制御を行うことになっている。すなわち、 P_2 ポンプの目標値は流量に対する揚程（ポンプの吐出し圧力と吸い込み圧力の差）を予め設定し、ポンプの吐出し側と吸込側にある圧力計で測定した値の差（吐出し圧力-吸込圧力）をフィードバックして目標値との偏差を出し、その偏差により P_2 ポンプの揚程を目標値に近づけようとする。一方、 P_1 は次のような制御を行う。

P_1 ポンプの目標値を次のように定める。

$$H=f(Q)=KQ^n+H_0-H_p$$

ここに H_p : P_2 ポンプの揚程目標値 (m)

KQ^n : P_1 ポンプにより管路の任意点までの流量による損失水頭 (m)

上記を目標値に設定末端圧制御（演算方式）を行う。このように両者を制御することにより安定した運転状態が得られる。

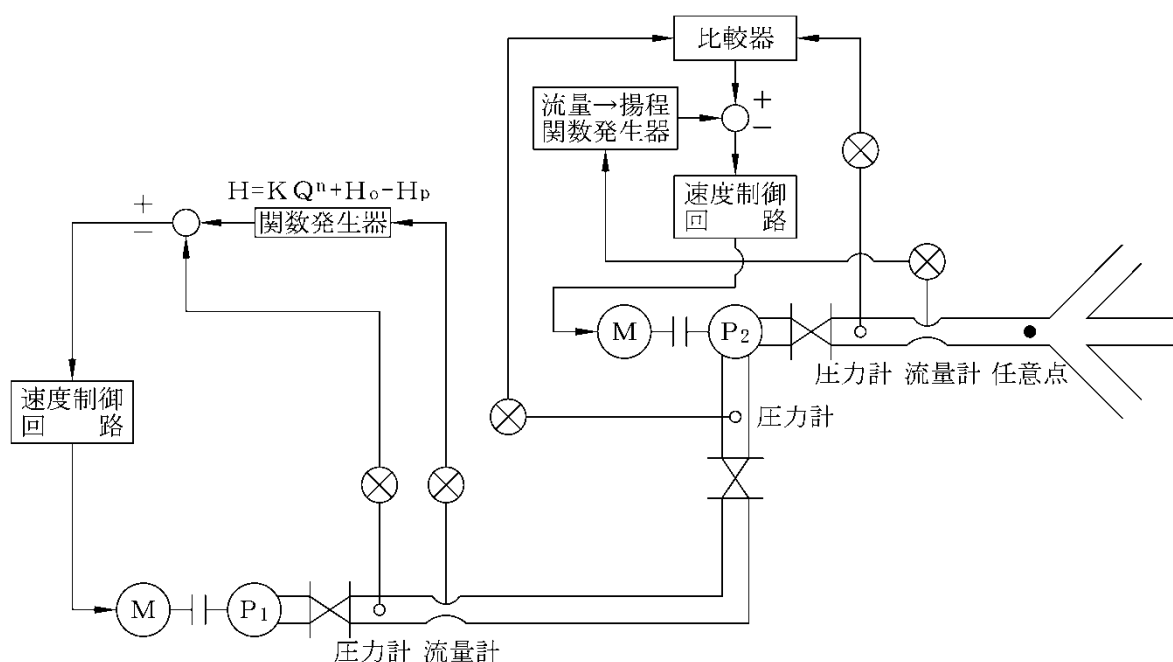


図 3.4-19 管路で直列に連結したポンプによる設定末端制御系統図

(2) 排水ポンプ場の場合

一般に排水ポンプは、内水排水が目的であるから、内水位制御方式を基本とするが、豪雨時等に電動機やディーゼル機関等の原動機的能力を限界まで使う原動機負荷制御を組み合わせる場合もある。

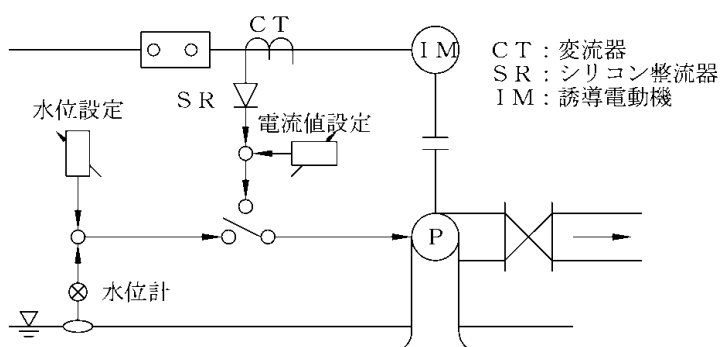


図 3.4-20 設定電動機負荷制御及び設定内水位制御

① 設定電動機負荷制御及び設定内水位制御

図 3.4-20 に設定内水位制御に設定電動機負荷制御を組合わせて翼角度を調整する場合の系統を示す。

排水運転は設定内水位制御を行い、電動機の定格電流値を設定器により人為的に設定し、一方電動機の負荷電流値をフィードバックして両者の偏差により翼角度を調整して、電動機の負荷電流を定格値に近づけるようにするものである。

② 設定ディーゼル機関負荷制御及び設定内水位制御

図 3.4-21 に設定内水位定

値制御に設定ディーゼル機関負荷制御を組合わせて翼角度を調整する場合の系統を示す。

ディーゼル機関の出力と回転速度は、一定の関係にあるからディーゼル機関の定格出力に相当する回転速度を設定器により人為的に設定し、ディーゼル機関に取付けた速度計により計測したディーゼル機関の回転速度をフィードバックして両者の偏差により翼角度の回転速度を設定値に近づけようとするものである。

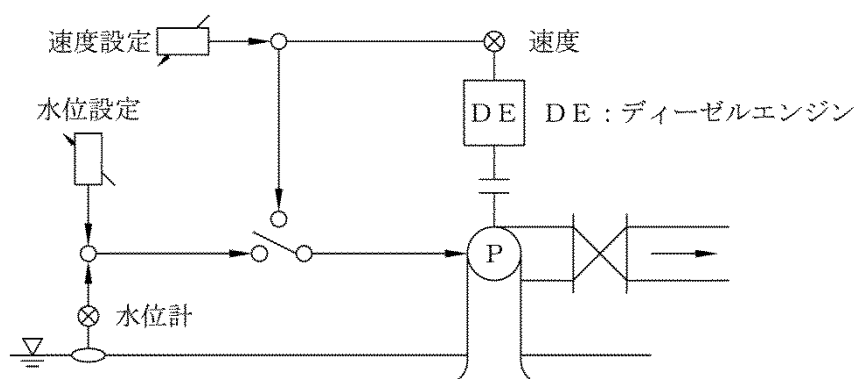


図 3.4-21 設定ディーゼル機関負荷制御及び設定内水位制御

3.4.5 ポンプの制御方式

ポンプ運転点は送水管路特性とポンプ特性との交点で求められ、制御方式としては台数制御、弁開度制御、回転速度制御、翼角度制御等がある。弁開度制御は送水管路特性を変えてポンプ特性との交点を移動させ制御するのに対し、台数、回転速度、翼角度制御はポンプの特性を変えて送水管路特性との交点を移動させて制御する方法である。

ポンプの制御方式を選定するに当たっては、ポンプの特性を十分検討する必要がある。

図 3.4-22 にポンプの各種制御方式とその特性を示す。

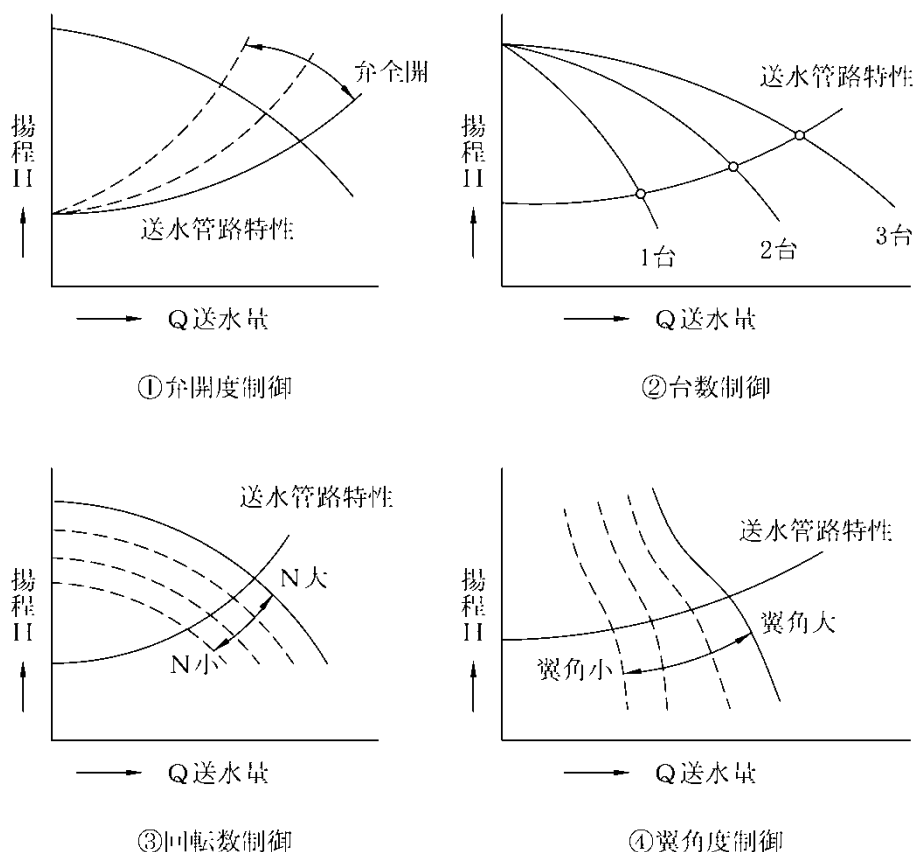


図 3.4-22 ポンプの制御方式と特性

ポンプ形式に対する適用可能な制御方式を表 3.4-3 に示す。

表 3.4-3 ポンプ形式と制御方式

ポンプ形式 制御方式	渦巻ポンプ	斜流ポンプ	軸流ポンプ
台数制御	○	○	○
弁開度制御	△ ※1	△ ※1	△ ※1
回転速度制御	○	○	△ ※2
翼角度制御	× ※3	△ ※4	○

(注) ○：適、△：条件付き適、×：不適

※1 弁開度制御は他の方法より運転効率が悪いので一般には採用しない方がよいが、小規模ポンプで計画流量の 60%程度までは、採用してもよい。

※2 運転範囲が不安定領域に入らないよう確認する必要がある。

※3 渦巻ポンプの翼角度制御は製作上の制約から極めて困難である。

※4 全揚程 25m 以上では製作上多少の問題がある。

(1) 台数制御

水位等の制御目標に応じてポンプの始動・停止や2台以上のポンプの台数増減を行う制御方式である。

大容量ポンプの制御では、使用する電動機の形式、容量に応じて始動頻度を少なくするような計画設計を行うことが重要である。特にかご形誘導電動機の場合、始動時の発熱により電動機回転子バー及びエンドリングに熱膨張による機械的応力が生じ、短時間内に始動・停止を繰り返すと回転子を損傷するおそれがあるため、必要に応じて、台数制御以外の制御方式の採用を検討する必要がある。

始動頻度としては 10kW 以下の小形電動機で 5～10 分間に 1 回以下、100kW 程度までのものについては 20～30 分間に 1 回以下、300kW 程度の大形電動機では 30 分間～1 時間に 1 回以下になるようにすることが望ましい。

図 3.4-23 に流量によるポンプ運転台数制御のフローシート、図 3.4-24 に水位とポンプ運転台数の関係の例を示す。

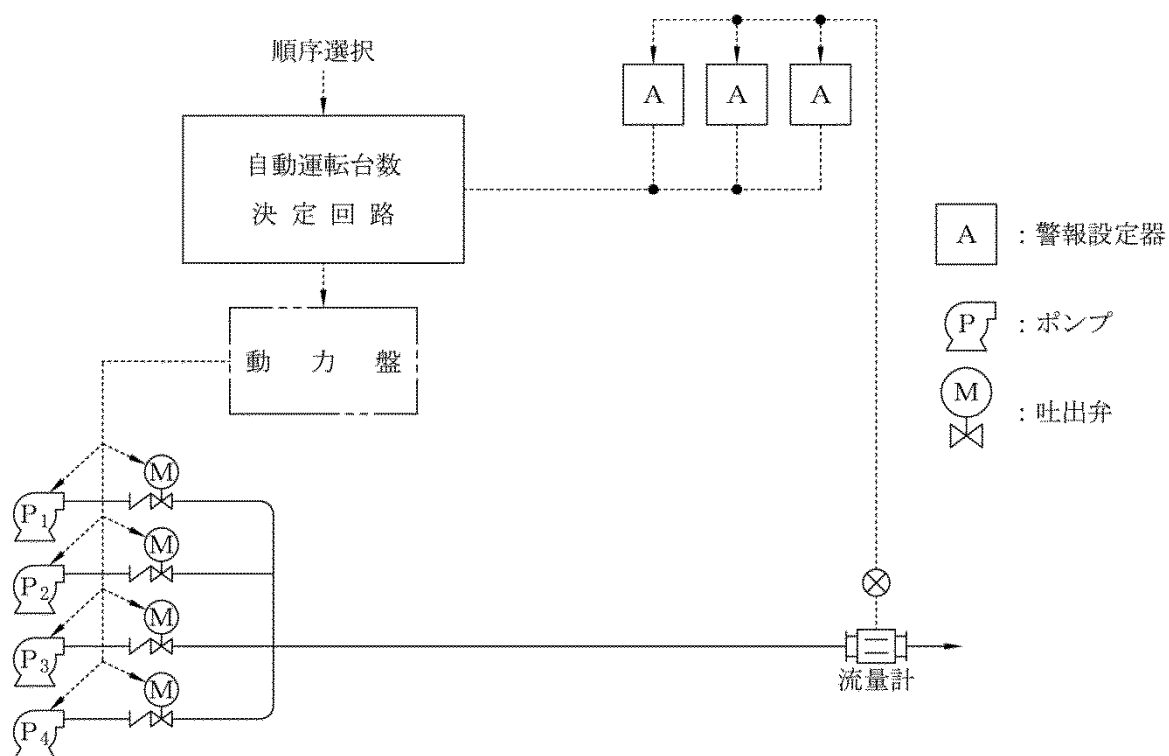


図 3.4-23 フローシート

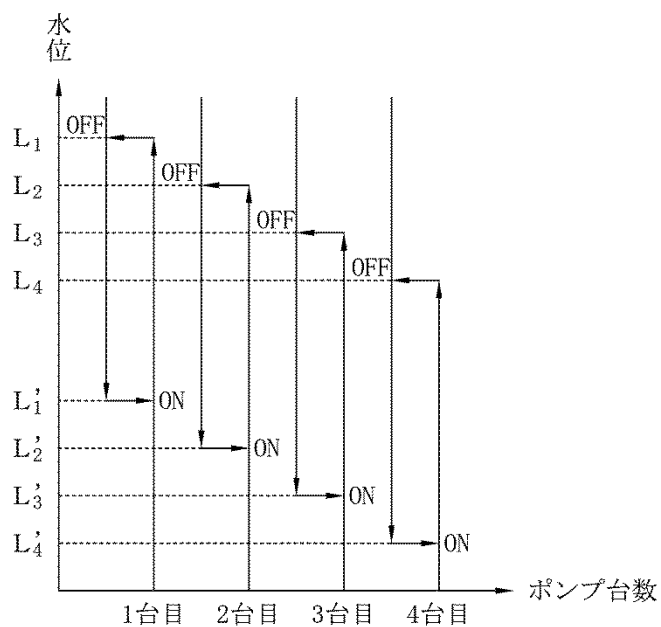
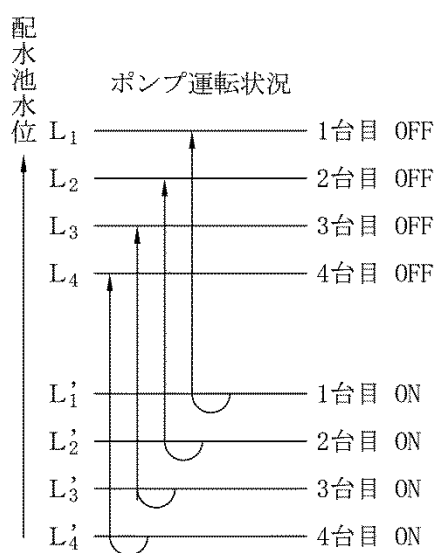
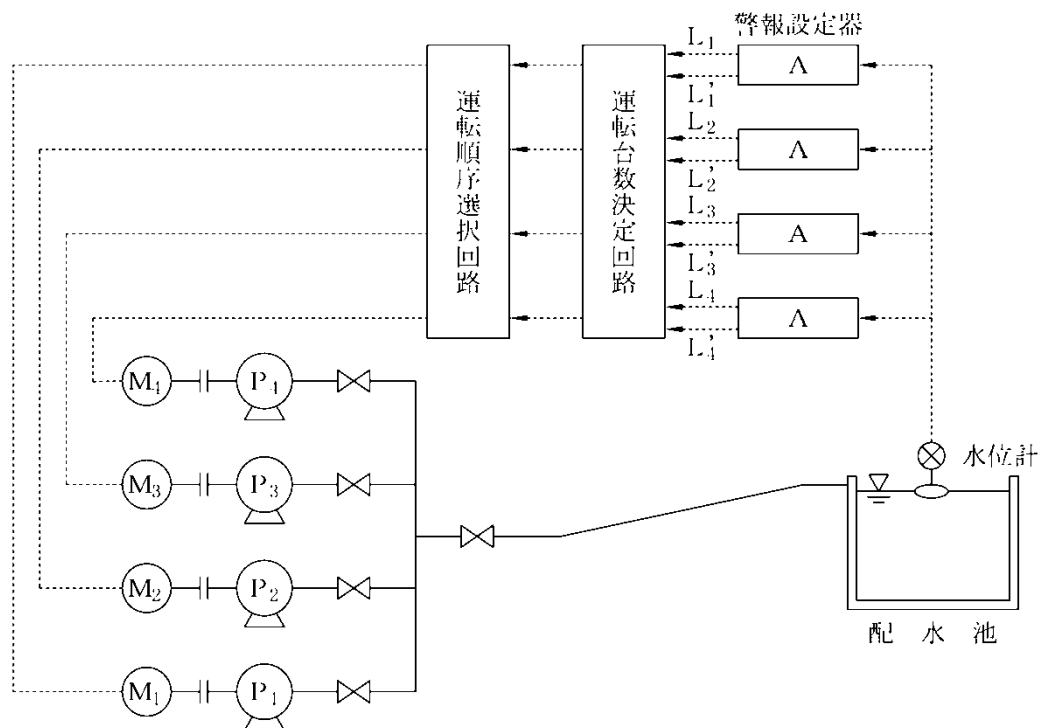


図 3.4-24 水位とポンプ運転台数の関係(例)

(2) 弁開度制御

ポンプの吐出弁の開度を変えて吐出量を調整する方式である。図 3.4-25 のように各開度において①-①'、②-②'、③-③' が弁の絞りによる損失となりポンプ効率は他の制御方法より悪くなるため採用に当たっては経済比較を行う必要がある。また、弁のキャビテーション及び振動についても検討する必要がある。

弁の設置位置はポンプごとの吐出弁とする方法と、合流管に設ける方法とがある。前者の場合は各ポンプの開度を揃えるバランス回路を必要とし、後者の場合では制御範囲を広くする必要がある時は小口径の副弁を加えるとよい（図 3.4-26 参照）。

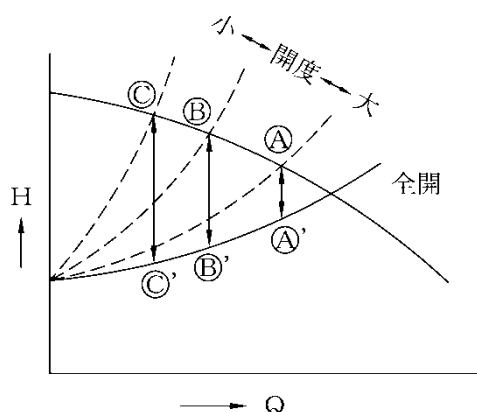


図 3.4-25 弁開度特性

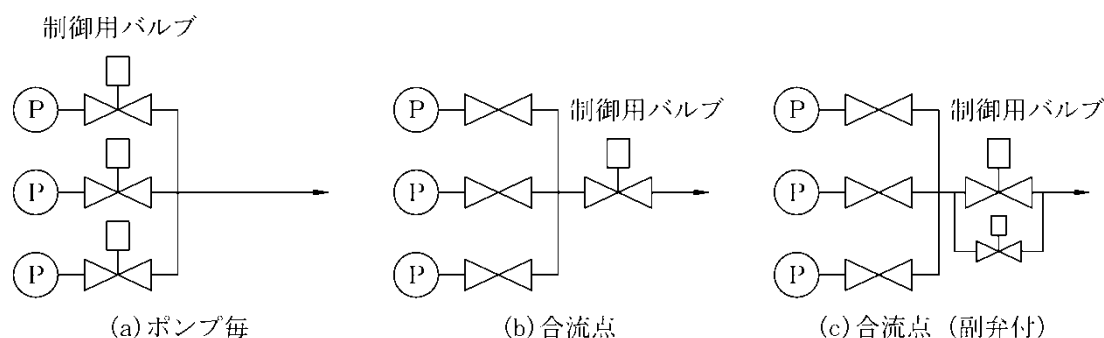


図 3.4-26 制御用バルブの設置位置

吐出量の調整範囲が広く、小水量（ポンプ設計流量の 20%～25%以下）まで制御する場合は、弁のキャビテーション、ポンプの振動、騒音が問題となることが多い。

この場合は図 3.4-27 のようなバイパス弁で制御することにより小水量運転は可能となる。

例えば図 3.4-28 において、バイパス弁を開いた運転点を③とすると送水量は①-②、バイパス量は②-③、運転点を④とすると送水量は①-④、バイパス量は④-⑤となり、送水量は少なくとも、ポンプの運転点は設計点付近の水量となり振動、騒音の問題を解消できる。本方法も運転効率はこの制御方式より悪くなるため、採用に当たっては経済比較を行う必要がある。

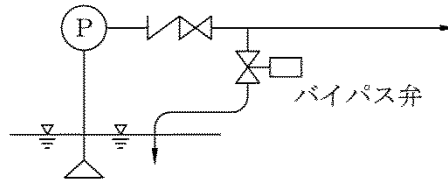


図 3.4-27 バイパス弁制御

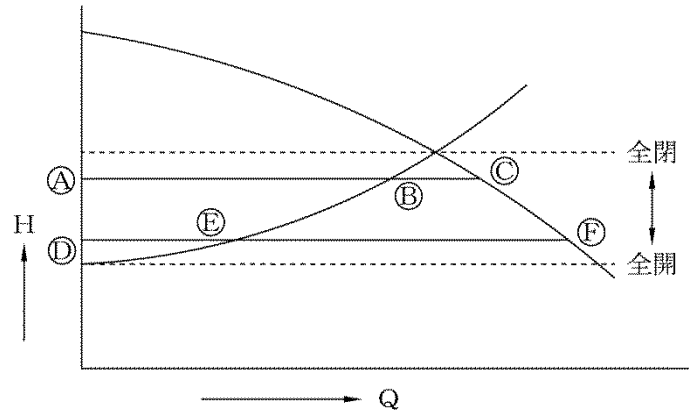


図 3.4-28 バイパス弁制御特性

(3) 回転速度制御

① ポンプの回転速度制御の特徴

ポンプの回転速度制御には次のような特徴がある。これら特徴を検討の上、制御方式を決定する必要がある。

- (a) ポンプの軸動力は回転速度の 3 乗に比例する。
- (b) ポンプの羽根車が持つ慣性効果 (GD2) は小さいので、送水管路特性との関係を検討して、制御範囲を決定する必要がある。
- (c) ポンプの揚程は回転速度の 2 乗に比例するので、送水管路特性との関係を検討して、制御範囲を決定する必要がある。
- (d) 台数制御に比べ、設備は複雑となる。

ポンプの吐出量 (Q) 揚程 (H) 軸動力 (P) と回転速度 (N) の間には次のような関係が成立するので、この関係を応用して回転速度制御を行う。図 3.4-29 に回転速度制御の特性を示す。

$$Q = (N/N_0) Q_0, H = (N/N_0)^2 H_0, P = (N/N_0)^3 P_0$$

Q_0 : 設計点吐出量

H_0 : 設計点揚程

P_0 : 設計点軸動力

N_0 : 設計回転速度

図 3.4-29 でもわかるように回転速度制御を行う場合、小水量になるほど弁開度制御に比べて軸動力が低減する。

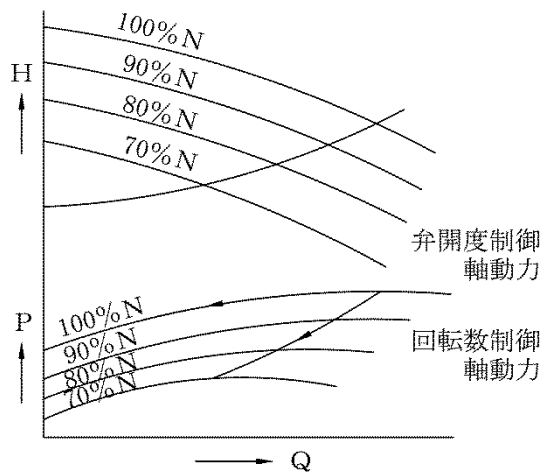
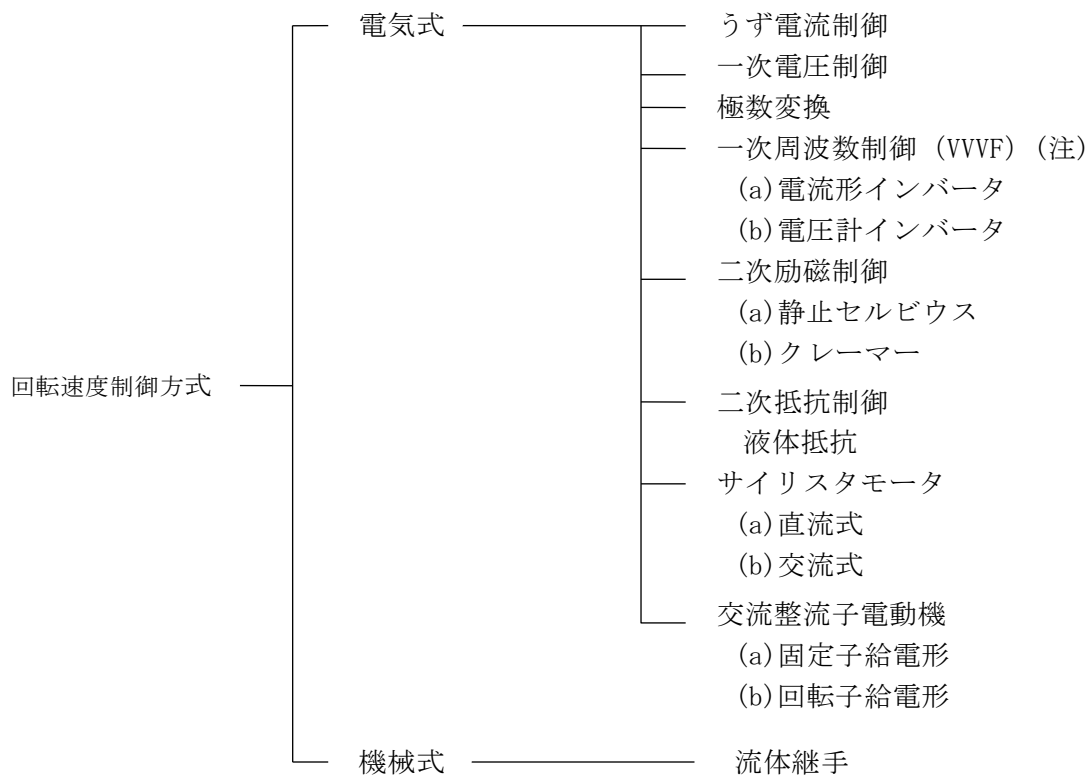


図 3.4-29 回転速度制御特性

② 回転速度制御方式の分類

回転速度制御方式には各種の方法があるが代表的な種類を図 3.4-30 に示す。



(注) VVVF=Variable Voltage Variable Frequency

図 3.4-30 回転速度制御方式の分類

次に代表的な回転速度制御方式について説明する。

(a) 二次抵抗制御

巻線形誘導電動機の二次側に抵抗器を挿入し、抵抗値を増減させることによりトルク特性を変えて回転速度制御を行うもので、その特徴をあげると次のとおりである。

- a) 液体抵抗器を使用すると無段階（連続的）の制御が行える。
- b) 制御範囲は一般に 100～60%程度である。
- c) 他の回転速度制御方式に比べて価格が安い。
- d) 二次電力は全て二次抵抗で熱となるので特に低速領域で総合効率が低下する。
- e) 容量が大きい場合は冷却水設備が必要となる。
- f) 定期的に電動機のスリップリング、ブラシあるいは液体抵抗器の電極などの点検や取替えが必要となる。
- g) 中容量以下のポンプで、制御範囲が比較的小さい場合に適している。

図 3.4-31 に二次抵抗制御の構成図を示す。

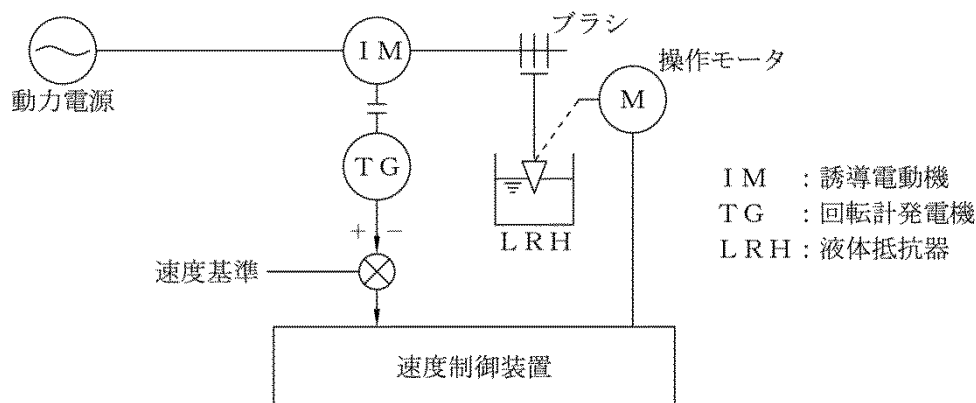


図 3.4-31 二次抵抗制御構成図

二次抵抗制御による効率 (η_T) は次のように近似される。

$$\eta_T = P_o / (P_o + L_R + L_M)$$

P_o : 回転速度 N_s の時の電動機出力 $= P_R \cdot N_s^3$

L_R : 二次抵抗による損失 $= P_R \cdot N_s^2 (1 - N_s)$

L_M : 電動機損失 $= P_o (1 / \eta_m - 1)$

P_R : 電動機定格出力

η_T : $N_s / \{1 + N_s (1 / \eta_m - 1)\}$

η_m : 出力 P_o 、回転速度 N_s の時の電動機効率

ただし N_s = 実回転速度 / 定格回転速度

(b) うず電流制御

この方式は、かご形誘導電動機とうず電流継手を組み合わせたものである。

励磁コイルを直流励磁するとインダクタによりドラムの内側に磁束の疎密を生じ、このドラムが回転すると、その内面にうず電流が流れ、磁界との相互作用により、インダクタはドラムと同じ方向に回転することになる。

回転速度制御範囲が広く、無段階な調整ができるが、うず電流損失が発生して総合効率が悪いので小・中容量機に使用される。

なお、軸出力は電動機出力からカップリング損失を差し引いたものとなるため(10～20%)、電動機の出力選定はこの分を加えたものとする必要がある。図 3.4-32 にうず電流制御構成図を、図 3.4-33 に電磁継手の構成図を示す。

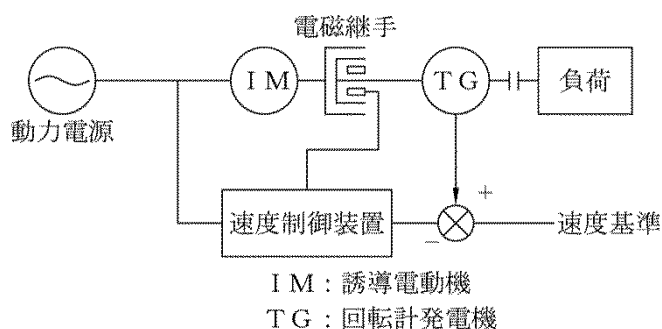


図 3.4-32 うず電流制御構成図

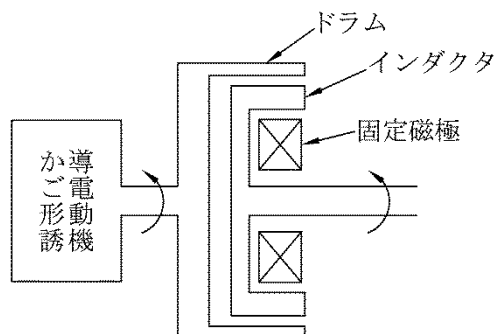


図 3.4-33 電磁継手の構成図

(c) 二次励磁制御

誘導電動機のすべりが二次電圧に比例することを利用し、二次電圧を制御することによりすべり S を変化させて回転速度制御を行うもので、静止セルビウス方式がその代表例である。

静止セルビウス方式はすべり電力をサイリスタインバータにより電源に返還するものであり二次電圧の制御はインバータの制御進み角 γ を変化させて行う。

静止セルビウス方式は、次の特徴がある。

- a) 総合効率が低い。
- b) 高精度の制御が可能である。
- c) 誘導電動機複数台の一括制御が可能である。
- d) 装置が複雑で高価となる。
- e) 大容量のポンプで、高精度の回転速度制御を連続的に必要とする用途に適している。

また、回転速度制御範囲が広がる程二次電圧が高くなるので、回転速度制御範囲は十分検討し、最も経済的なセルビウス装置となるようにしなければならない。

図 3.4-34 に方式の構成図を、図 3.4-35 に制御特性をそれぞれ示す。

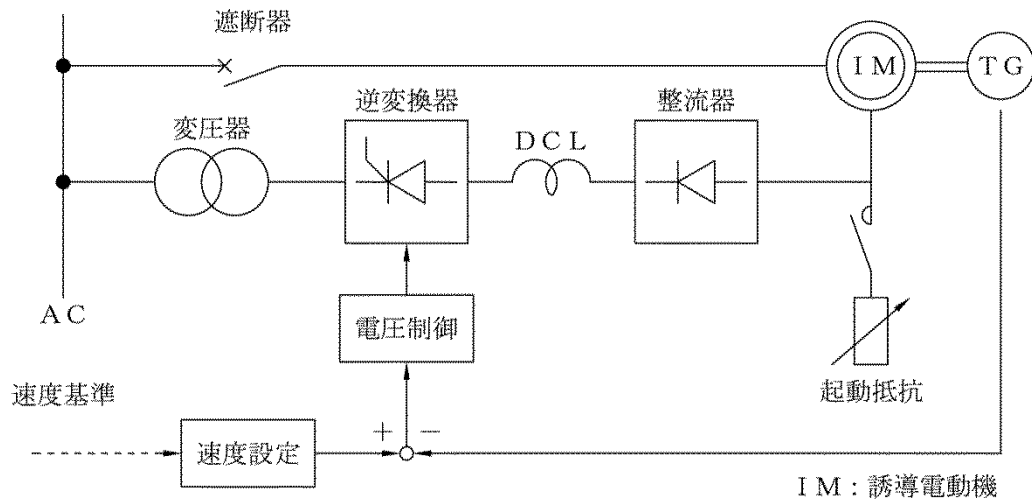


図 3.4-34 静止セルビウス方式構成図

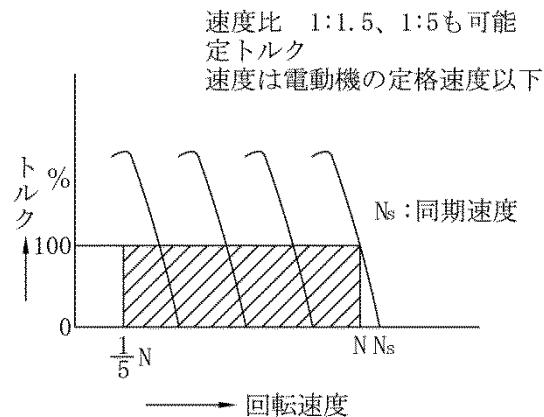


図 3.4-35 静止セルビウス方式制御特性

(d) 一次周波数制御

交流電動機は、供給周波数と電圧を可変することにより回転速度制御を行うことができる。周波数変換装置は交流電源を一旦直流に変換するコンバータ部と、これを強制転流によって再び可変周波数の交流に変換するインバータ部から構成され、商用電源周波数に関係なく広範囲で高精度の制御が可能である。制御方式としてはV/F制御、SF制御、ベクトル制御などがある。

V/F 制御は電動機の 1 次端子電圧 V と周波数 F の比を一定とすることによりギャップの磁束密度を最適値に保つ制御方式である。

SF 制御は、誘導電動機の発生トルクが、すべり周波数（SF）と回転磁界の強さに依存する性質を利用したもので、電動機を検出し、すべり周波数を制御することにより制御性を向上できる。特に電動機を急加減速する場合や負荷が激しく変動した場合の制御性に優れているが、装置は複雑で高価となる。

ベクトル制御は電動機に流れる電流を界磁ベクトル成分と電流ベクトル成分に分解して制御することにより制御性の向上を実現したものである。

図 3.4-36 に一次周波数制御の特性を、図 3.4-37 に回転速度制御の構成図例を示す。

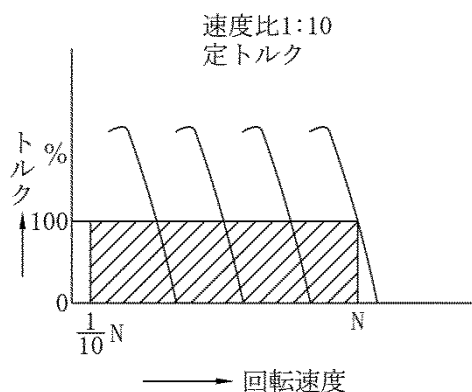


図 3.4-36 一次周波数制御の特性（電圧形インバータ）

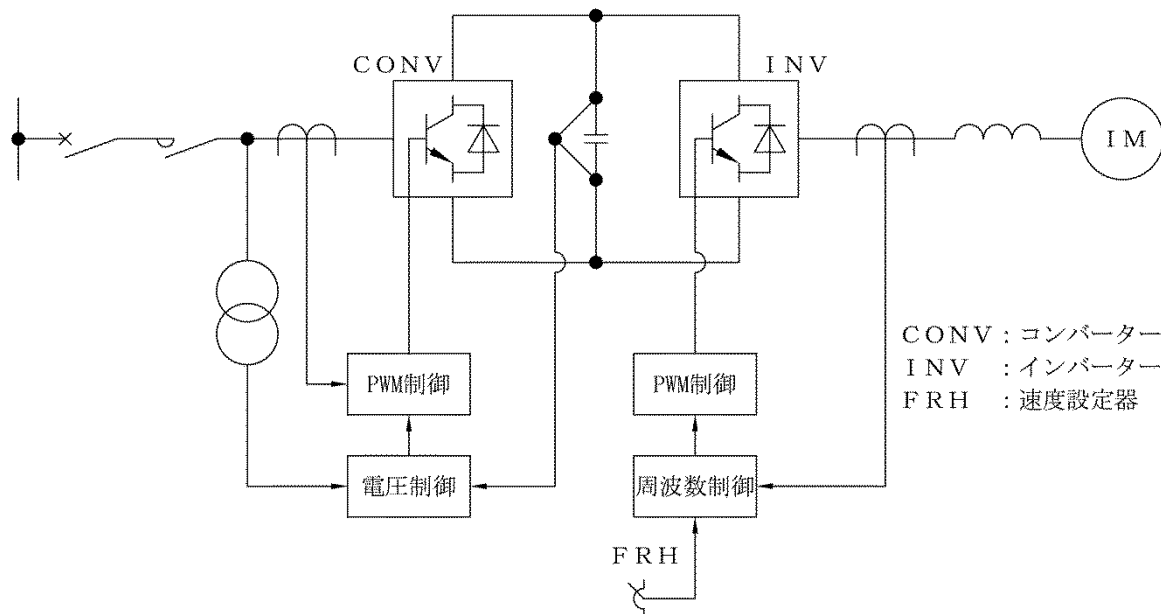


図 3.4-37 回転速度制御構成図例（PWM 制御）

近年はインバータ部にパワートランジスタを用いたパルス幅変調方式の電圧形インバータ（PWM インバータ）が普及している。トランジスタインバータは、転流回路を必要としないので高周波化が容易で、運転効率が低いという特徴があり、中容量のポンプを回転速度制御する場合に適している。

(e) 流体継手

可変速の流体継手は、すくい管の操作により流体継手羽根車内の油量を増減させて、伝達トルクを変えることにより回転速度を制御するものであり、エンジン駆動のポンプを回転速度制御する場合に適している。

$$\eta = N_2 / N_1 \times 100 - L_M$$

$$= 100 - L_M$$

N_1 : 入力軸回転速度

N_2 : 出力軸回転速度

L_M : 流体継手のメカニカル損失 2 ~ 3 %

 低回転速度において 4 ~ 5 %

表 3.4-4 に代表的な回転速度制御方式の比較を示す。

表 3.4-4 回転速度制御方式の比較

速度制御方式		二次抵抗	一次電圧制御	一次周波数制御	セルビウス方式	うず電流制御	流体継手
電動機種類		巻線型誘導電動機	かご型誘導電動機	かご型誘導電動機	巻線型誘導電動機	かご型誘導電動機及び渦電流カップリング	かご型誘導電動機
主要制御装置		二次抵抗器	一次電圧制御装置	コンバータ及びインバータ	二次励磁装置	励磁調整装置	インペラ、ランナ、すくい管
概略結線図 (原理構成図)							
速度トルク特性							
実用回転速度調整範囲(%)		60～100%	20～100%	10～100%	50～100%	10～100%	25～100
経済的容量範囲(kW)		22～1,000	1.5～75	15～300	15～8,000	0.4～75	15～10,000
精度(高速時)(±%)		2%	1%	0.5%	1%	1%	0.6%
総合効率	100%負荷(%)	95～88	90～85	大90～小80	93～88	80～75	95～90
	60"負荷(%)	80～75	87～82	87～77	91～86	68～63	85～75
力率(%)		79～90%	40～85%	40～85%	40～70%	70～90%	40～85%
応答性		劣る。		優れている。		劣る。	劣る。
保守対象		スリップリング、ブラシ			スリップリング、ブラシ		
制御器の大きさ		小	中	中	大	小	中
特徴	利点/欠点	- 装置がシンプルで、かつ安価である - 効率（特に低速において）が悪い - 大容量では抵抗器の冷却装置が必要 - 適応性、精度が劣る	- 装置がコンパクトでインシャルコストが安い - 低速での効率、力率が悪い - 制御特性が良い - ブラシなしで保守が簡単 - 比較的小容量に適する	- ブラシなしで保守が簡単 - 瞬時停電対策が容易 - 多数の電動機の揃った運転に適している - オープンループの制御が可能	- 効率が良好である - 回転速度範囲が小さい - 高圧大容量機が製作可能 - 普通のセルビウスは回生運転できない - バックアップ運転が容易	- ブラシなしで保守が簡単 - 制御装置が簡単で小形 - 低価格 - 回転速度により効率が決まるので最高速度付近で運転する負荷に適している - 制御性の点から急加減速のない負荷に適している	- ブラシなしで保守が簡単 - 流体（油）のクッション作用により振動を緩和し、円滑な動力伝達が可能 - 構造が簡単

(4) 翼角度制御

翼角度による制御は軸流ポンプ、斜流ポンプの用水及び排水量の制御をする場合に適する。この制御は吐出量は水位に応じて翼の角度を調整する方法で水力学的に理に叶った方法であり、制御範囲（設計流量の10%程度まで可能）も広く、低揚程の設備では優れた制御方法である。

翼角度制御をした場合のポンプ特性を図3.4-38に示す。

翼角度制御の場合、ポンプの回転速度は定速で翼の角度を変えて流量を調整するので、翼角度を変えた時、流量はほぼ比例して減少するが揚程方向の低下が極めて少ないのが特長である。

したがって、図の最高効率点（設計点）の軌跡をみても分かるとおり、全揚程の割合が大きい（50%以上）方が効率の良い運転ができ、回転速度制御と異なった特長をもっている。

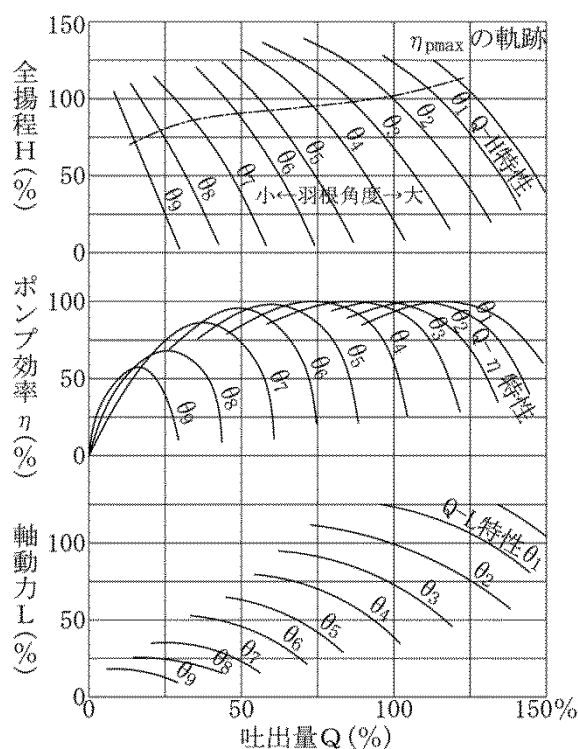


図 3.4-38 翼角度制御のポンプ特性

3.4.6 ポンプ制御の適用上の留意点

(1) ストールの防止

軸流ポンプ（比速度 N_s が 1,200～2,000）においては、流量が要項点の 70% 程度以下となる範囲で、ストール現象と呼ばれる過負荷状態（軸動力比 120% 以上）となり、運転を避ける必要がある。

（図 3.4-39 軸動力曲線における $N_s=1,500$ 曲線を参照）

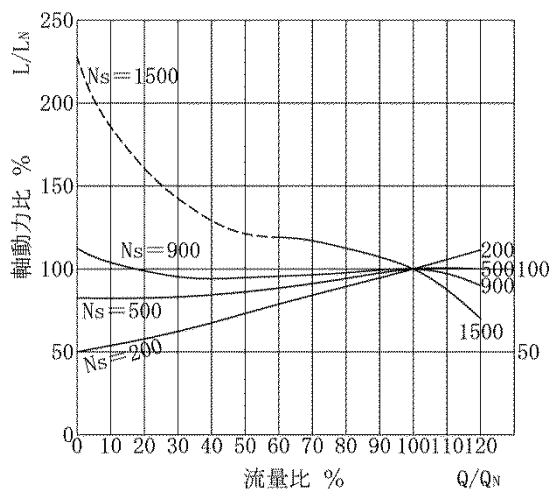


図 3.4-39 軸動力曲線

(2) キャビテーションの防止

ポンプのキャビテーションは計画流量より多い流量範囲で発生しやすいが、この領域は事前に分かっているのでこの範囲の運転を避けるため、図 3.4-40 に示すように、運転台数を増加させたり、弁を絞ったりして運転点を変えてキャビテーションを防止する。

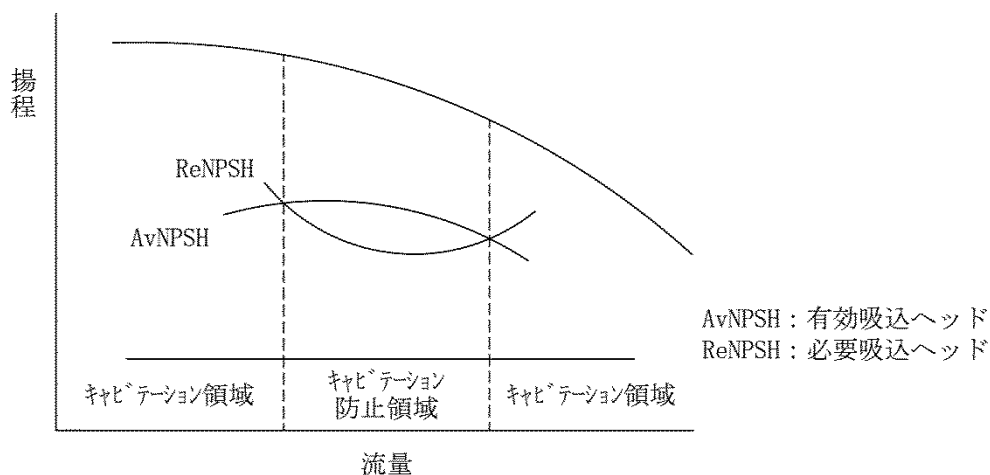


図 3.4-40 キャビテーション防止制御(例)