第 2 編　パイプライン

（白紙）

第２編　パイプライン　目次

第１章　総　　論

1.1　指針の主旨 1-1
1.2　パイプラインの定義及び適用範囲 1-1
1.3　パイプラインの組織 1-1
1.4　パイプラインの区分・分類 1-2
　1.4.1　パイプラインの区分 1-2
　1.4.2　パイプラインの分類 1-3
1.5　設計の基本 1-8
1.6　設計の手順 1-8
　1.6.1　システム設計の手順 1-8
　1.6.2　施設設計の手順 1-11
1.7　関係法令の遵守 1-13
1.8　リサイクル計画 1-13
1.9　環境に配慮した用水計画 1-13
1.10　参考とすべき文献 1-13

第２章　調　　査

2.1　調査計画 2-1

第３章　基本設計

3.1　総則 3-1
3.2　設計流量 3-1
　3.2.1　設計流量の定義 3-1
　3.2.2　設計流量に対する留意事項 3-2
3.3　設計水圧 3-3
　3.3.1　設計水圧の定義と単位 3-3
　3.3.2　設計水圧の留意事項 3-3
3.4　水理ユニット 3-6
3.5　設計流量に対する機能確保 3-7
3.6　比較設計 3-8
　3.6.1　基本事項 3-8
　3.6.2　比較設計の留意点 3-8
　3.6.3　経済比較の方法 3-8
3.7　管種の選定 3-9

第 4 章　水理設計

4.1　総則.....4-1
4.2　水理設計.....4-2
4.2.1　許容設計流速.....4-2
4.2.2　平均流速公式.....4-3
4.2.3　水理計算.....4-3
4.3　水撃圧の計算.....4-5
4.3.1　水撃圧の推定方法.....4-5
4.3.2　経験則による水撃圧の推定.....4-6

第 5 章　構造設計

5.1　総則.....5-1
5.2　埋設深.....5-2
5.3　基礎工法の選定.....5-4
5.3.1　管体の基礎工法.....5-4
5.3.2　基礎及び埋戻し材料.....5-8
5.4　管体の構造計算.....5-9
5.4.1　荷重.....5-9
5.4.2　管体の横断方向の設計.....5-11
5.4.3　管体の縦断方向の設計.....5-13
5.5　スラスト力の検討.....5-14
5.5.1　一般事項.....5-14
5.5.2　検討箇所及び順序.....5-14
5.5.3　スラスト力の検討.....5-15
5.5.4　スラスト力の対策.....5-15
5.6　傾斜部管路の設計.....5-17
5.6.1　傾斜部管路の定義.....5-17
5.6.2　検討すべき事項.....5-17
5.6.3　地山斜面の安定.....5-17
5.6.4　管体の安定.....5-18
5.6.5　埋戻し土の安定.....5-22
5.6.6　止水壁の設置と湧水対策.....5-22
5.6.7　段落部における布設勾配.....5-23
5.7　防食.....5-24
5.8　耐震設計.....5-24

第 6 章　施　　工

6.1　施工 6-1
6.1.1　施工工程 6-1
6.1.2　施工計画における留意事項 6-2
6.2　管路の埋設 6-3
6.2.1　掘削法勾配 6-3
6.2.2　管の掘削断面寸法 6-4
6.2.3　基礎および埋戻し材料 6-8
6.2.4　基礎および埋戻し工 6-9
6.3　通水試験 6-10
6.3.1　試験の方法 6-10
6.3.2　漏水試験 6-10
6.3.3　水圧試験 6-12
6.3.4　漏水箇所の探知と補修 6-12

第 7 章　保全管理

7.1　総則 7-1
7.2　パイプラインの機能と性能 7-1
7.3　機能診断調査 7-2
7.4　機能診断評価 7-4
7.5　対策工法の選定 7-6

（白紙）

第1章　総　論

第1章　総　論　　目次

1.1　指針の主旨 1-1
1.2　パイプラインの定義及び適用範囲 1-1
1.3　パイプラインの組織 1-1
1.4　パイプラインの区分・分類 1-2
1.4.1　パイプラインの区分 1-2
1.4.2　パイプラインの分類 1-3
1.5　設計の基本 1-8
1.6　設計の手順 1-8
1.6.1　システム設計の手順 1-8
1.6.2　施設設計の手順 1-11
1.7　関係法令の遵守 1-13
1.8　リサイクル計画 1-13
1.9　環境に配慮した用水計画 1-13
1.10　参考とすべき文献 1-13

第1章　総　　論

1.1　指針の主旨

本指針は、北海道の農業農村整備事業における用排水路の計画設計に当たって、必要となる標準的事項について、基本的な考え方を示すものであり、本編はパイプラインを対象とする。

用排水路の設計は、本指針に定められた基本的な事項を遵守し、個々の設計及び施工の際には、その目的、位置、規模、自然条件、社会的諸条件及び施工条件等の実情に即し、かつ、環境との調和や景観に配慮し適切に行わなければならない。

用排水路の計画設計における一般的、基本的な事項については、次の基準に準拠する。

「土地改良事業計画設計基準 設計 水路工」（平成 26 年 3 月　農林水産省農村振興局）

「土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン」（令和 3 年 6 月　農林水産省農村振興局）

「土地改良事業計画設計基準 計画 排水」（平成 31 年 3 月　農林水産省農村振興局）

本指針は、北海道の地域性を考慮し、設計技術者が用排水路の新設又は改修の計画設計に当たって、必要となる標準的事項についてその考え方・配慮すべき点を定めたものである。

標準事項とは、用排水路の必要な水理機能を確保し、構造的条件に対応する事項を示す。

用排水路の設計を行う上で必要となる標準的事項のうち、この指針で定めていない事項については、現地の個別の諸条件を反映して関連する技術書等を参考にしながら、的確な判断により決定することがそれぞれの設計技術者に求められる。参考とすべき文献を「**1.10** 参考とすべき文献」に明示した。

1.2　パイプラインの定義及び適用範囲

この指針でいうパイプラインとは、既製管を埋設して造成する圧力管路によって農業用水を送配水する水路組織であり、管路とその附帯施設から構成される。

本指針が対象とする圧力管路とは、口径 3,000㎜ 以下の既製管を埋設して造成する使用静水頭 100m 未満の管路をいい、農業用水とはかんがい用水として使用可能な真水をいう。

1.3　パイプラインの組織

パイプラインは、次の施設から構成され、これらが合理的かつ有機的に組合された一連の系として、一体となってその機能を発揮するよう十分配慮しなければならない。

（1）通水施設　（2）調整施設　（3）調圧施設　（4）ポンプ施設（5）分水施設　（6）量水施設
（7）通気施設　（8）保護施設　（9）管理施設　（10）安全施設

(1)　通水施設

パイプラインの主体をなすもので、直管、異形管および継手等からなる送配水管路である。

(2)　調整施設

用水の円滑な配分調整、効率的な水利用および水路の補修、点検時における水の確保を図るため、パイプライン上の目的に応じた位置に設ける施設である。

(3) 調圧施設

分水工および給水栓から各ほ場への給水に必要な水圧、水量を調節する施設と、パイプライン内の余剰圧力を減圧調節する施設の 2 種類に大別される。

(4) ポンプ施設

水源がかんがい地区より低い場合、自然圧のみでは必要な水圧が得られない場合、ポンプ施設が組入れられる。

(5) 分水施設

送水系パイプライン間もしくは送水系パイプラインから配水系パイプラインへと分水するためのものと、直接かんがいするものがある。前者を分水工、後者を給水栓と呼ぶ。

(6) 量水施設

対象地域の適正な配水管理のため設置される量水計およびその他の付帯施設がある。

(7) 通気施設

管内の滞留空気の排除と通水停止時における管内への空気の吸入を目的として設ける。

(8) 保護施設

パイプラインに発生する異常な圧力変動等を軽減、排除し、またはパイプラインの安全を保持するため設ける施設である。

(9) 管理施設

用水の円滑な配分および諸施設の維持管理を行うための施設である。

(10) 安全施設

水管理者および第三者の安全を確保するためのものである。

1.4 パイプラインの区分・分類

パイプラインは、その機能、水理特性及び各条件から次のように区分・分類される。

(1) パイプラインの区分　　送水系、配水系

(2) パイプラインの分類　　機構上（形式）、水圧（水圧区分）、配管（配管方式）、送配水（送配水方式）

1.4.1 パイプラインの区分

管水路は、その機能、水理特性及び水管理等の面から、次のように区分される。

パイプライン ─┬─ 送水系パイプライン
　　└─ 配水系パイプライン

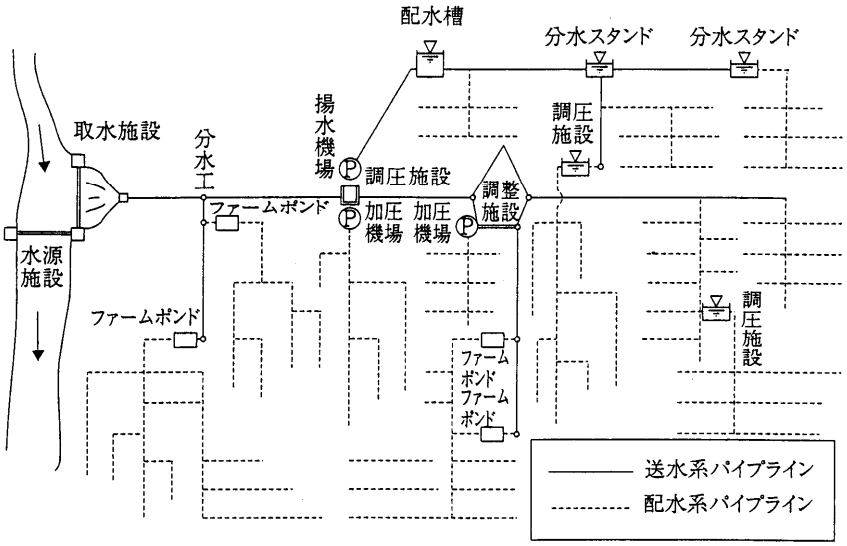
(1) 送水系パイプライン

送水系パイプラインは、水源から幹線及び支線水路を通じ調整施設、調圧施設または分水工まで、用水を安全、確実、適切に送水する機能を持つものである。（**図-1.4.1**(a)参照）

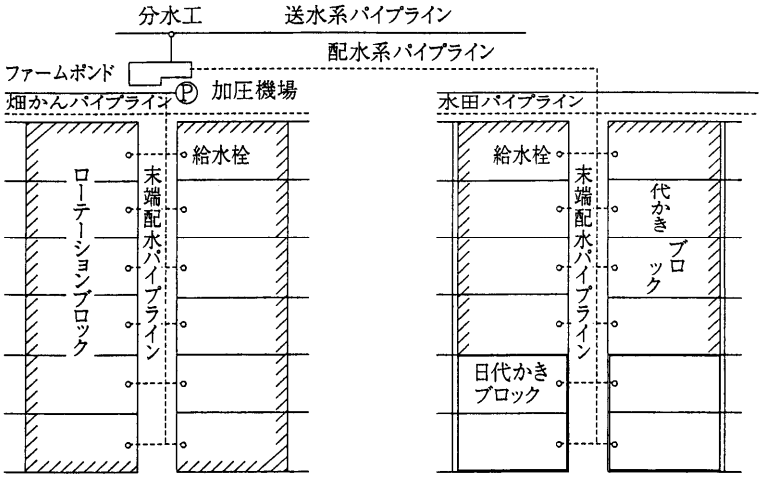
(2) 配水系パイプライン

配水系パイプラインは、送水系パイプラインの調整施設、調圧施設、分水工もしくは水源からほ場内配管によって末端給水栓まで、必要とする用水を安全、確実、かつ適正に配水する機能を持つもの

である。(**図-1.4.1**(b)参照)



(a)　送水系、配水系パイプラインの配置例



(b)　配水系パイプラインの配置例

図-1.4.1　送水系、配水系パイプラインの概念図

1.4.2 パイプラインの分類

パイプラインは、その機構、水圧、配管及び送配水の各条件から、**図-1.4.2** に示すように分類される。

それぞれの形式または区分によってその特性が異なるので、設計の考え方、検討すべき内容、水管理の方法等にも差異がある。設計に当たっては、この点を認識しておく必要がある。

- パイプライン
  - (1)機構上(パイプライン形式)
    - オープンタイプ
    - クローズドタイプ
      - クローズドタイプ
      - セミクローズドタイプ
  - (2)水圧(水圧区分)
    - 高圧パイプライン
    - 低圧パイプライン
  - (3)配管(配管方式)
    - 樹枝状配管
    - 管網配管
  - (4)送配水(送配水方式)
    - 自然圧式(自然流下式)
    - ポンプ圧送式
      - 配水槽式
      - 圧力水槽式
      - ポンプ圧送式

図-1.4.2　パイプラインの分類

(1)　機構上の分類(パイプライン形式)

パイプラインの機構上、オープンタイプとクローズドタイプに大別し、さらにクローズドタイプをクローズドタイプ（完全クローズドタイプ）とセミクローズドタイプに分類する。

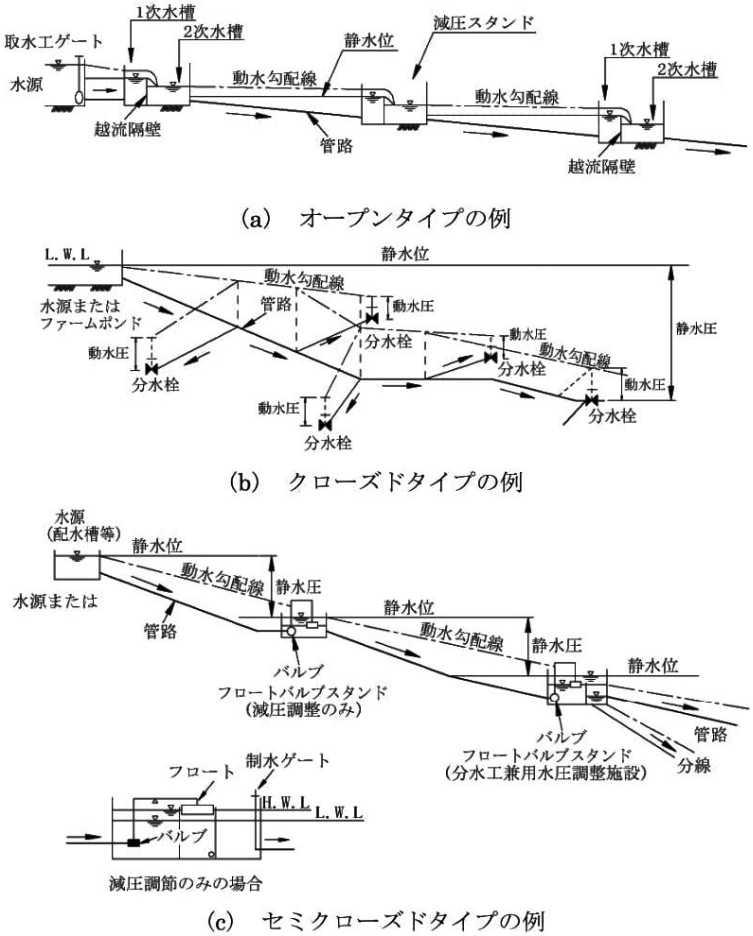


図-1.4.3　パイプラインの機構上の分類例

表-1.4.1　パイプライン形式の特徴

区　分	オープンタイプ	クローズドタイプ	セミクローズドタイプ
施設の構成及び適用	①パイプラインに沿った要所要所に自由水面を持つスタンド(立上がり)を配置した形式である。 ②スタンドには調圧作用の他に分水工や放水工等の機能を兼用させるのが一般的である。 ③スタンド間に直分水工（給水栓）を設ける場合は、分水工直下のスタンドの水位を調節して水頭を確保する。 ④本形式は調整池までの幹線水路や水田かんがい用水路に多く用いられる。 ⑤開水路に準じた水路形式であり、余水はすべて放流されるから、節水の必要がある地区では調整池等を設けて無効放流を防ぐ必要がある。	①上流から末端まで閉管路で流水が連続し、末端の給水栓を開くことにより所要の水量及び水圧を得る形式である。 ②特に給水圧力を必要とする用水路に最適である。	①フロート弁類を連続的に用いることにより構成される形式である。 ②下流側のバルブを開閉しない限り水の流動は生じないので、オープンタイプのような無効放流はない。 ③水田かんがい用水路として、オープンタイプに代わって利用されることが多い。 ④クローズドタイプでは管路にかかる静水圧が大きくなり過ぎる場合に、静水圧を切る目的で用いられることが多い。
管　　路	①スタンド間の高低差を規制することによって低圧管を用いることができる反面、スタンド位置で減圧されるので、口径が大きくなる傾向がある。	①水頭を有効に利用できる反面、高圧管の使用が必要となる。 ②標高差を最大限に活用できるので、オープンタイプに比して口径を小さくでき、急傾斜地ではオープンタイプより管路費は安くなることもある。	①一般にオープンタイプより、高圧管の使用が必要となる。 ②フロートバルブを適当に設けることによってクローズドタイプよりも低圧管の使用が可能となる。
分水の調節	①スタンド位置に分水工を設置する場合、スタンドの構造に工夫を加えれば分水量の調節が比較的容易かつ正確にできる。	①同一配管系統中の一部の給水栓を開放すると、直ちに他の分水量に影響するという欠点がある。 ②このような場合も定量分水することができる分水装置が考えられるが、工費がかさむ。	①フロートバルブスタンドに分水施設を併設すればある程度の分水量の調節ができるので、クローズドタイプよりも若干有利である。
水管理損失	①水管理損失は、開水路と同様に大きい。 ②必要に応じて調整池等を設けて無効放流を防ぐ方策を講じる。(特に 24 時間かんがいを行わない畑地かんがいの場合等)	①水管理損失は少ない。	①水管理損失は少ない。

(2) 水圧からの分類(水圧区分)

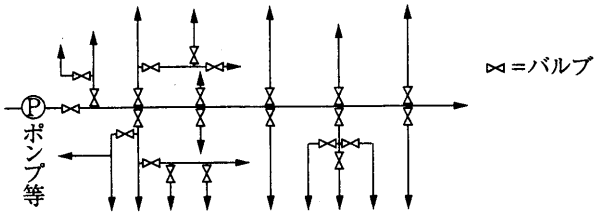
水圧区分は、送水系パイプラインと配水系パイプラインのそれぞれについて、**表-1.4.2** に示すように区分する。

表-1.4.2 水圧区分

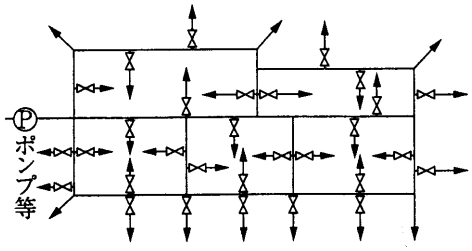
区　分	高圧パイプライン	低圧パイプライン
送水系 パイプライン	送水系では、パイプラインに作用する最大使用静水頭が 100m以上のものを高圧パイプラインとする。	送水系では、パイプラインに作用する最大使用静水頭が 100m未満のものを低圧パイプラインとする。
配水系 パイプライン	配水系では、末端給水栓(散水栓)で、おおむね 0.15MPa 以上の水圧を必要とする主として畑地かんがいに用いるものを高圧パイプラインとする。	配水系では、末端給水栓の必要水圧が小さい(おおむね0.15MPa未満)主として水田かんがいに用いるものを低圧パイプラインとする。

(3) 配管上の分類(配管方式)

パイプラインの配管方式には、樹枝状配管と管網配管とがある。



(a)樹枝状配管方式の例



(b)管網配管方式の例

図-1.4.4 パイプラインの配管方式の分類例

表-1.4.3 配管方式の概要

方　式　区　分	配管方式の概要
樹 枝 状 配 管	流路が幹線、支線及び派線と順次分岐し、水は上流から下流に向って一定方向に流れる方式
管　網　配　管	分岐点が網目状に連結していて、使用給水栓の位置、制御バルブの開閉等の関係により、管内の水は正逆いずれの方向にも流れ得る方式

(4) 送配水上の分類(送配水方式)

パイプラインの送配水方式は、自然圧式(自然流下式)とポンプ圧送式に大別され、さらにポンプ圧送式を配水槽式、圧力水槽式、ポンプ直送式に分類する。

表-1.4.4 送配水方式の概要

送配水方式		送配水方式の概要
自然圧式		地形上の自然落差を利用して送配水する方法
ポンプ圧送式	配水槽式	送水あるいは配水のために必要な水頭が得られる場所に配水槽を設け、それにいったんポンプ等で揚水したのち、自然圧式で送配水する方法
	圧力水槽式	ポンプ直送の場合で、特に水撃圧防止、自動運転及び頻繁な断続運転を回避する目的で、ポンプの吐出口近くに圧力水槽を設ける方法
	ポンプ直送式	所定の落差が地形上得られない場合や所定の水圧が必要な場合、直接ポンプによって圧送する方法

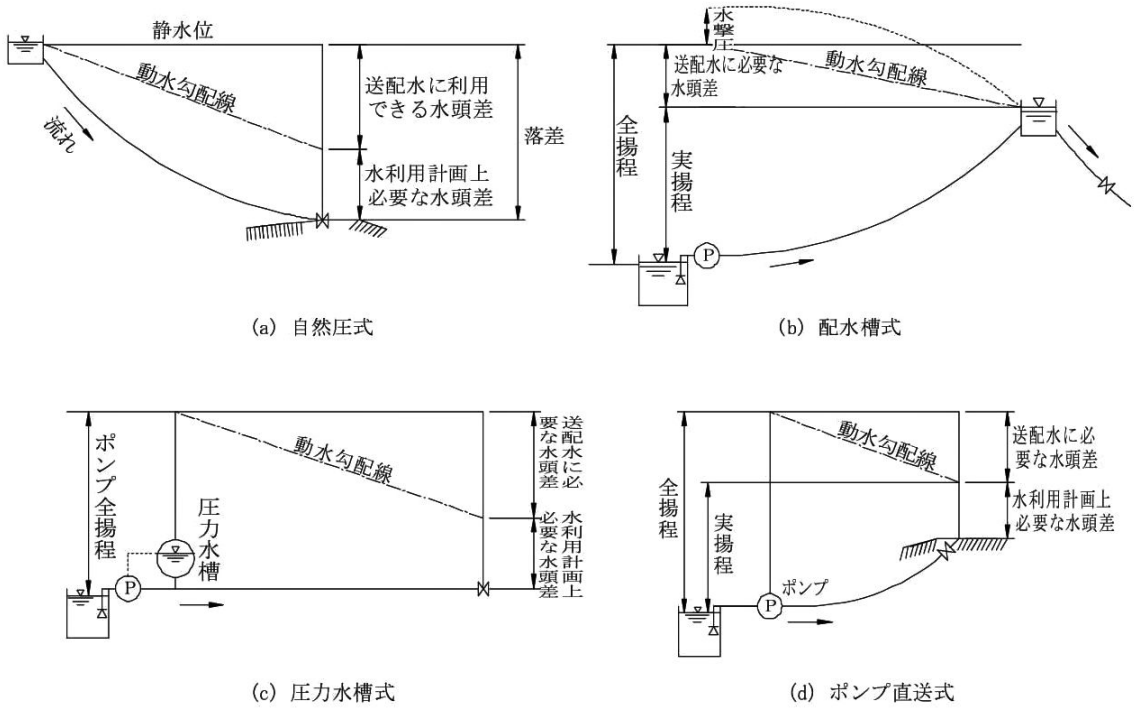


図-1.4.5 パイプラインの送配水方式の分類

1.5　設計の基本

パイプラインの設計は、その目的、立地条件等を的確に把握した上で行うものとし、一連の系として必要な機能性と安全性を確保し、合理的な管理ができ、かつ経済的な施設となるように行うとともに、周辺の環境との調和にも配慮しなければならない。

パイプラインに必要な機能性と安全性とは、パイプラインを構成する諸施設の機能が一つのシステムとして有機的に結合し、水利用計画に合致した合理的な水管理ができるとともに、施設に作用する内外圧荷重に対して安全かつ所要の耐久性を有することである。

合理的な管理とは、水管理が容易であり用水の効率利用が図れること、施設の保守･管理が容易であり施設の維持管理費用が安いこと等である。また、経済的な施設の設計を行うためには、パイプラインの建設と管理がともに経済的に行われ、かつ環境との調和に配慮しつつ、総合的な検討を行わなければならない。

1.6　設計の手順

パイプラインの設計は、現地の自然的、社会的諸条件を基にして、骨格となるものから順次細部のものへと適切かつ合理的な手順で行わなければならない。

パイプラインの設計は、次の手順で行うことを原則とするが、それぞれの段階の作業は、相互に整合をとりながら合理的に進めなければならない。

① 水利用計画、管理体制及び現地条件の把握（調査）

② パイプラインの設計（用水系統、設計流量、設計水圧、路線及びパイプラインの構成、設計流量・運用管理・維持管理に対する機能確保の検討、妥当性の判断、測量、確認）

③ 施設設計（各施設の水理解析、構造設計、妥当性の判断、施工図面の作成、数量計算）

また各段階において、採用し得る複数の案が考えられる場合には、適宜、総合的な比較検討を行い、その結果から最適なものを選定しなければならない。

1.6.1 システム設計の手順

パイプラインシステムの設計手順は、**図-1.6.1** に示すとおりである。

同図の「路線及びパイプラインの構成の選定」に当たっては、最初に送水系と配水系に機能を区分し、続いて送水側の供給条件と配水側の需要条件とを緩衝する調整池、調圧水槽、分水施設等の施設を配置しながら進める。次に、区分したそれぞれについて、地形条件、かんがい方式、水利用形態等を検討の上、管体と各種附帯施設を概定していくものとする。

実際の作業に当たっては、適宜点検を行い、必要に応じて総合的な検討を繰返しながらパイプラインシステムを決定する。

パイプラインのシステムの設計を行う場合に考慮すべき事項は次のとおりである。

① 水利用の目的から見た基本特性

パイプラインは、水利用の目的から、水田かんがい用、畑地かんがい用及び併用パイプラインシステムに分類される。水田かんがい用パイプラインの水圧は一般に低圧で使用されることが多く、また畑地かんがい用パイプラインの場合は高圧で使用されることが多い。これらのパイプラインの設計に当たっては、それぞれの水使用条件を十分に把握して水頭配分及び通水断面を検討しなければならない。

② 系全体として圧力の均衡がとれ、局部的な大量取水によってその付近で極端な圧力低下をきたすことのないパイプラインであること。

管内圧力の調和は主として配管方式によって差が現れてくる。一般に、管網配管の方が系内の圧力の均衡を保ちやすいが、その採用に当たっては、使用目的及び施設費の関係を考慮しなければならない。

③ 水量及びエネルギーの損失が少なく、送配水上効率のよいパイプラインの配置とすること。

各管種の特性を考慮し、エネルギー損失が少ないことが望ましく、系内の各部位における所要の圧力に対して効果的な配管及び管種、口径の組合わせを適切に行って、水頭を有効に配分する設計上の考慮が大切である。

④ 水管理が容易で、用水の効率的利用が図れること。

機能的なパイプラインの条件は、地区内のいかなる地点でも必要とする用水量を所要の圧力をもって容易に供給することができることである。特に、施設を自動化して水管理労力を省くことが必要とされる場合には、それに対応可能なシステムとする必要がある。

⑤ 保守、管理が容易で、施設の総合費用が安いこと。

樹枝状配管では、途中に管の破裂等の故障が生じたとき、その影響は下流の全域にわたるが、管網配管の場合は流路の切替えによって被害範囲が小さくてすむ。重要な路線には、適宜調整池または複線化（ダブル配管）等で修理期間中の下流への通水中断による支障を軽減する配慮も必要である。

⑥ パイプラインシステムを効果的に運営するために水管理体制を確立すること。

施設として優れたパイプラインシステムを建設しても、それを効率的に運営することができなければ大きな効果を期待することはできない。このためには水管理体制を充実し、限られた用水を最も効率的に使うことが重要である。

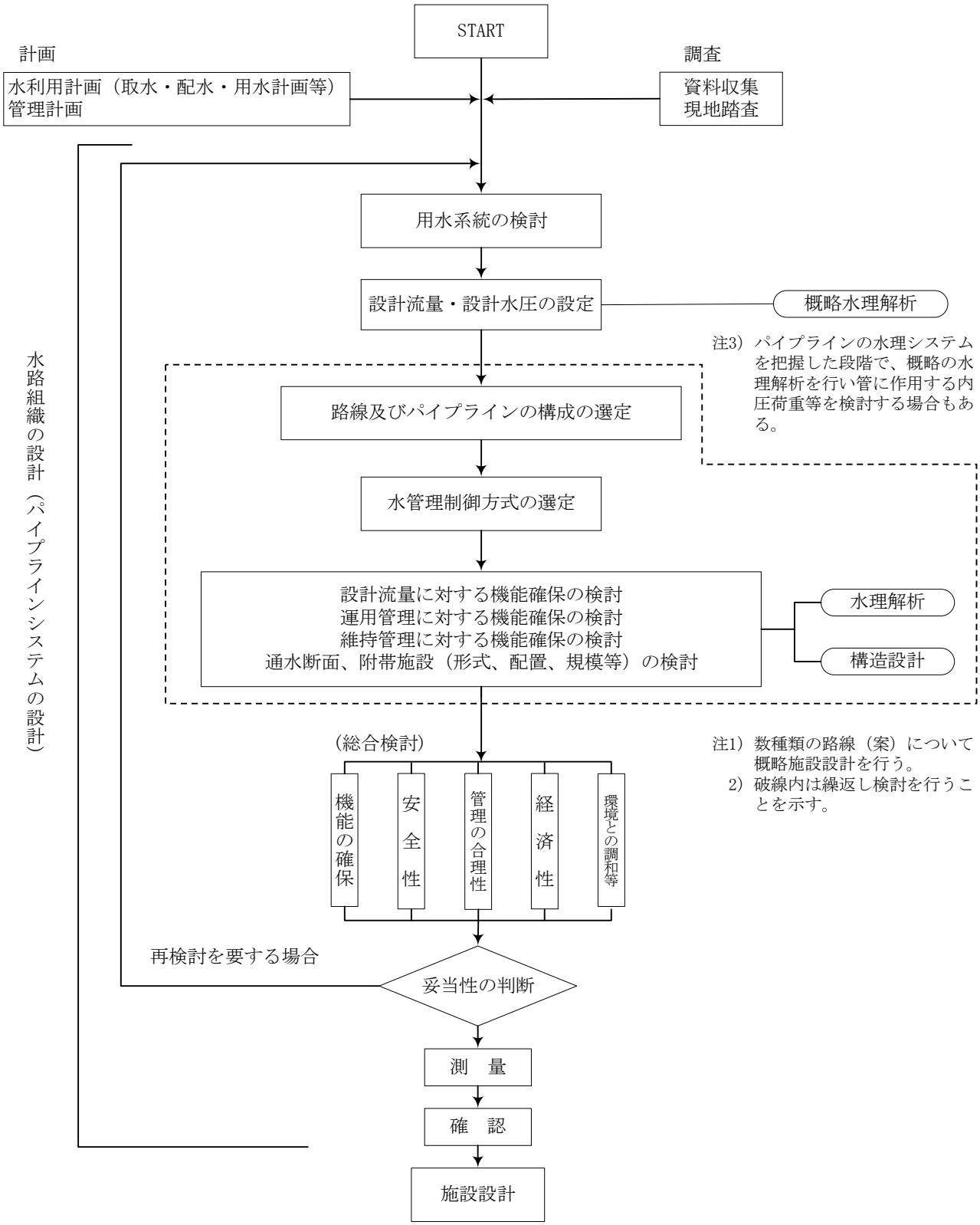


図-1.6.1　パイプラインシステムの設計概念図

1.6.2 施設設計の手順

施設設計の手順は、**図-1.6.2** に示すとおりである。

施設設計は、前項により概定されたパイプラインを構成する管路及び各種附帯施設について、水理解析、構造設計、妥当性の判断、施工図面の作成・数量計算の順にこれを進めるものとする。

なお、妥当性の判断結果によっては、適宜パイプラインシステムの設計にまでフィードバックして、適否を点検しながらパイプラインシステム及び施設設計を確定するものとする。

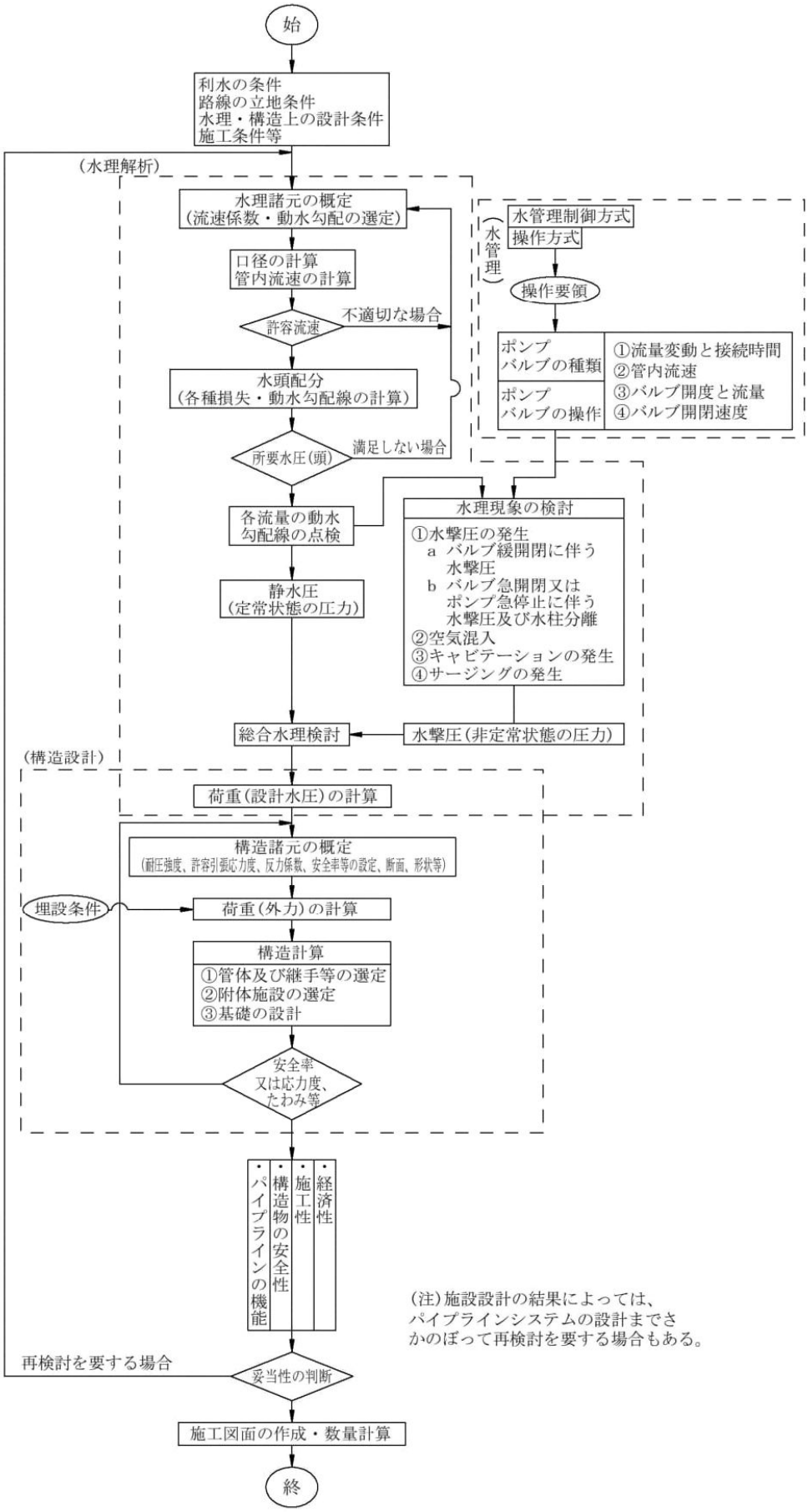


図-1.6.2　施設設計の手順

1.7　関係法令の遵守

設計に当たっては、関係法令等を遵守するとともに、関連する他の計画と整合を図らなければならない。

パイプラインの路線又は工事の内容によっては、河川法、道路法及び環境保全を目的とする各種の法令等に関する規制を受けるので、設計に当たっては、関係機関と事前に協議し、関係法令等の規定に基づいて設計しなければならない。また、パイプラインの設計に当たっては、パイプラインの通過が予定される河川･道路等の施設整備計画及び各種土地利用計画等と整合がとれるよう調整を行わなければならない。

詳細については、「土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン **4-1**」による。

1.8　リサイクル計画

建設事業の計画・設計段階から施工段階までの各段階、積算、完了の各執行段階において、リサイクル計画書を作成する。

詳細については、「第１編　開水路 **1.8**」による。

1.9　環境に配慮した用水計画

パイプラインの調査計画、設計に当たっては、地域の実情に応じた環境との調和に配慮し行わなければならない。

「地域の実情に応じた環境との調和に配慮する」とは、当該パイプラインの設置が、現況の地下水脈その他の自然環境や景観に対して、負の影響を与えることのないよう配慮を加えると同時に、条件が整えば自然環境の増進や景観整備に積極的に貢献することについても検討を行うことである。

1.10 参考とすべき文献

本指針に示されていない事項は、下記の基準、指針、示方書等を参考とすること。

(1)　水路全般

「土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン」　（令和３年 農林水産省農村振興局）
「土地改良事業計画設計基準 設計 水路工」　（平成 26 年 農林水産省農村振興局）
「土地改良事業計画設計基準 設計 ポンプ場」　（平成 30 年 農林水産省農村振興局）
「土地改良事業計画設計指針 耐震設計」　（平成 27 年 農林水産省農村振興局）
「畑地かんがい用パイプライン 計画設計資料」　（平成 14 年 ㈳北海道土地改良設計技術協会）
「農業水利施設の長寿命化のための手引き」　（平成 27 年　農林水産省農村振興局）
「農業水利施設の機能保全の手引き」　（平成 27 年　農林水産省農村振興局）
「農業水利施設の機能保全の手引き（パイプライン）」　（平成 28 年　農林水産省農村振興局）

「農業水利施設の機能保全の手引き（開水路）」　（平成 28 年　農林水産省農村振興局）
「農業水利施設の機能保全の手引き（頭首工）」　（平成 28 年　農林水産省農村振興局）
「農業水利施設の機能保全の手引き（頭首工（ゲート設備））」（平成 22 年　農林水産省農村振興局）
「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】（案）」
（平成 27 年　農林水産省農村振興局）
「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【パイプライン編】（案）」
（平成 29 年　農林水産省農村振興局）

(2) コンクリート

「2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】」　（平成 30 年　土木学会）

(3) その他

「よりよき設計のためにここが知りたい Q&A」　（平成 15 年　農林水産省農振興局）
「建設副産物適正処理マニュアル」　（平成 14 年　北海道農政部）
「現場技術者のための設計のチェックポイント（案）
−水路工・パイプライン編」　（平成 15 年　（社）土地改良測量設計技術協会）
「パイプラインシステムハンドブック（著者　猿渡良一）」　（平成 10 年　山海堂）

※記載年は、文献の制定又は発刊年であるため、改正等が行われている場合は、最新のものを参考とすること。

第 2 章　調　査

第2章　調　査　　目次

2.1　　調査計画 2-1

第2章　　調　　査

2.1　調査計画

調査は、パイプラインの路線選定、工種、施設設計、施工方法及び管理計画の検討に必要な基礎資料を得るために行うものである。従って、調査はその初期の段階から系統的に計画性を持って実施することが望ましい。

各調査段階に対応した調査の手順を**図-2.1.1** に示す。

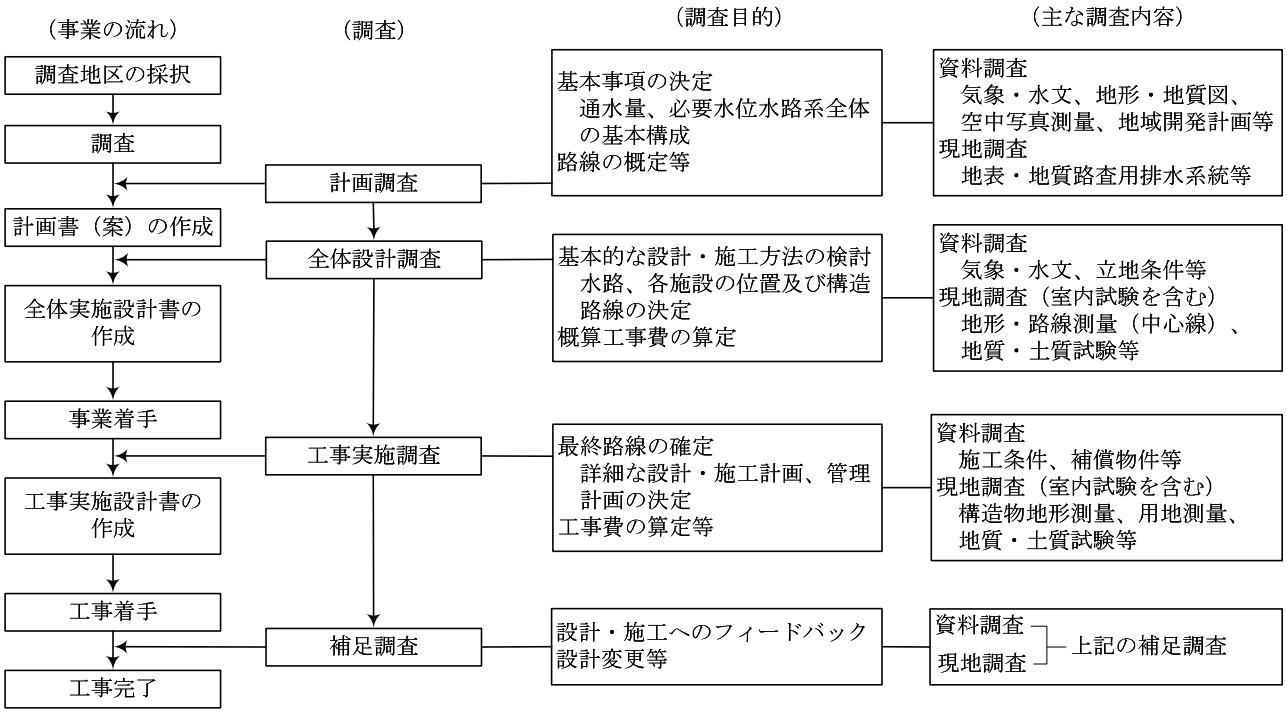


図-2.1.1　調査の手順

調査の詳細については、「第 1 編 開水路 **2.1**」による。

（白紙）

第 3 章　基本設計

第 3 章　基本設計　　目次

3.1　総則.....3-1
3.2　設計流量.....3-1
3.2.1　設計流量の定義.....3-1
3.2.2　設計流量に対する留意事項.....3-2
3.3　設計水圧.....3-3
3.3.1　設計水圧の定義と単位.....3-3
3.3.2　設計水圧の留意事項.....3-3
3.4　水理ユニット.....3-6
3.5　設計流量に対する機能確保.....3-7
3.6　比較設計.....3-8
3.6.1　基本事項.....3-8
3.6.2　比較設計の留意点.....3-8
3.6.3　経済比較の方法.....3-8
3.7　管種の選定.....3-9

第3章　基本設計

3.1　総則

把握した現地の自然的、社会的諸条件を基にして、細部の設計の基礎となる基本設計を行わなければならない。

基本設計においては、パイプラインが備えるべき基本的な機能に関する条件を定め、これに基づいてパイプラインの基本的な諸元を決定する。

パイプラインが備えるべき基本的な機能に関する条件とは、設計流量、取水位及び各地点における所要水頭であり、基本設計において決定するパイプラインの基本的諸元とは、パイプラインの路線位置、パイプライン形式、パイプラインを構成する各附帯施設の配置、水利用計画に基づく流量、所要水頭、施設容量等である。

従って、基本設計では、計画されたパイプラインシステムが対象地区の実情に合致しているか照査を含めて検討することが重要であり、これは細部設計に先立って必ず実施しなければならない。当該受益地の立地条件や標高等の地形的条件等により種々の比較路線等が考えられるが、それらを含めて経済性のみならず機能性及び安全性、操作性等を総合的に検討しなければならない。これらの目的から設計図は全体が見渡せる程度の縮尺のものを使用することが望ましい。

3.2　設計流量

パイプラインの設計に用いる設計流量は、用水計画から必要とされる期別・用水系統別の最大流量とする。

3.2.1 設計流量の定義

パイプラインの設計に使用する流量には、計画最大流量、最多頻度流量、最小流量が考えられるが、本指針では計画最大流量を設計流量とする。

通常、パイプライン施設の規模（口径、水槽類）は設計流量を基に決定されるが、断面、構造等の決定にはそれ以外の流量についても必要に応じ検討を行う。パイプラインシステムの設計においては、設計流量よりも小さな流量時の挙動に留意する必要がある。

設計に用いる流量とそれぞれの検討項目は、**表-3.2.1** に示すとおりである。

表-3.2.1　設計に用いる流量

Case	対象流量	検討項目
1	計画最大流量	パイプライン口径の決定、布設縦断の決定（動水勾配線の検討）、最大及び最小流速の検討、水撃圧の検討、機器類の仕様検討（バルブ制御機能、キャビテーションの検討を含む）
2	最多頻度流量	動水勾配線の検討、機器類の仕様検討（バルブ制御機能、キャビテーションの検討を含む）
3	最小流量	動水勾配線の検討、機器類の仕様検討（バルブ制御機能、キャビテーションの検討を含む）

① Case－1

対象流量を定める場合、水管理体制を明確にし、実際に行われるであろう水管理をも想定して検討しなければならない。通常、計画最大流量になることが多い。

② Case－2

オープンタイプパイプラインの場合、管路の布設縦断によっては通水量により管内の水は自由水面を持った流れになることがあるので、当該箇所には適切な対策を講ずる必要がある。

また、クローズドもしくはセミクローズドタイプパイプラインの場合、バルブの制御機能やキャビテーションに対する安全性を検討する必要がある。対象流量は最多頻度流量を目安とするが、流量変化が定かでない場合には、計画最大流量の 50%程度を用いる。

③ Case－3

オープンタイプパイプラインにおいて、非かんがい期に通水が計画されている場合（たとえば、維持用水、凍結防止用水等）については、Case－2 と同様の理由で検討を行う。対象流量が定かでない場合は、計画最大流量の 20%程度を用いる。

3.2.2 設計流量に対する留意事項

設計流量は、パイプラインシステムの設計の基本条件となるものであり、計画最大流量、最多頻度流量、最小流量等のその検討に当たっては、以下の点に留意しなければならない。

① パイプラインシステムの設計に用いる計画最大流量、最多頻度流量、最小流量の流量諸元は、原則として日平均流量である。

② 計画最大流量、最多頻度流量、最小流量の検討に当たっては、水利用計画に基づくかんがい期間を通じた期別の用水量グラフを描くことが特に重要である。

③ パイプラインシステムでは、流量の変化等流況に変動があった場合、水撃圧やサージングが発生し、特に水撃圧についてはその程度によってパイプラインスステムの破壊をもたらすことがある。従って、水理設計段階で、水撃圧やサージングの発生状況を解析的に検討し、システムの安全性を確認することが重要である。

④ 末端部における用水量の検討に関しては、ローテーションブロックを考慮することを標準とする。

3.3　設計水圧

パイプラインの設計に用いる設計水圧は、静水圧（又は動水圧）に水撃圧を加えたものとする。

設計水圧の決定に際しては次の事項に留意する必要がある。

① 農業用パイプラインでは、管体及び弁等附帯施設の安全性と経済性の観点から、システムに作用する使用静水頭は100m未満になるよう設計する場合が多い。

② 末端での有効水頭には、かんがいに必要な水頭に施工の状況及び水管理の状況等を考慮した余裕水頭を加算することが望ましい。

3.3.1 設計水圧の定義と単位

パイプラインシステムの設計において用いられる水圧の定義と単位は、**表-3.3.1** に示すとおりである。

表-3.3.1　設計に用いる流量

水　　圧	定　義　と　単　位
① 静 水 圧	静止した水がパイプ内に作用する圧力（ＭＰa）
② 動 水 圧	流れが発生している時のパイプ内に作用する圧力（ＭＰa）
③ 静 水 頭	静水圧を水柱の高さに換算した値（m）
④ 動 水 頭	動水圧を水柱の高さに換算した値（m）
⑤ 動水勾配	パイプラインの１点にガラス管を立てると、水はその点の圧力水頭に相当する高さまで上昇する。パイプラインに沿ってこの水面を連ねた線を動水勾配線（圧力水頭線ともいう）といい、その勾配を動水勾配という。（‰）
⑥ 静 水 位	静水頭を標高で表した値（m）
⑦ 動 水 位	動水頭を標高で表した値（m）
⑧ 水 撃 圧	バルブ操作及びポンプの起動又は停止により生ずる急激な流量の変動に伴って発生する圧力（ＭＰa）
⑨ 設計水圧	施設の耐圧強度を決定するために用いる水圧で、静水圧（又は動水圧）+水撃圧とする。（ＭＰa）
⑩ 常用水圧 使用水圧	通常バルブ類の耐水圧強度を表示する場合、常用水圧又は使用水圧という言葉が用いられるが、これは水撃圧を考慮した上で静水圧を用いて使用圧力を示したものである。（ＭＰa）
⑪ 圧力水頭	パイプラインに作用する圧力（又は水頭）を総称して呼ぶ場合に用いるもので、動水圧（水頭）、静水圧（水頭）及び水撃圧等を指す。

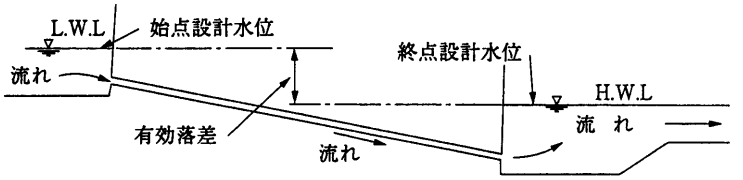
3.3.2 設計水圧の留意事項

パイプラインシステムの設計に当たって、設計水圧を検討する場合の留意事項は、以下のとおりである。

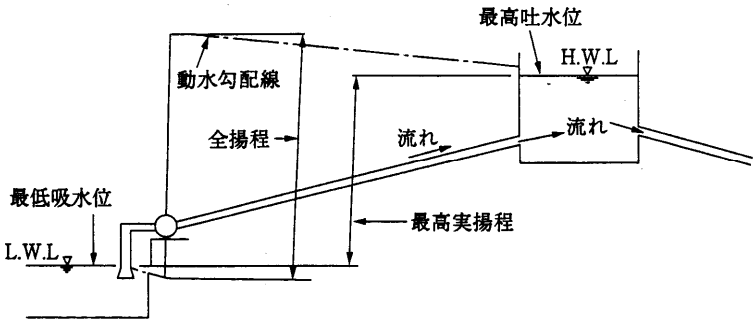
(1) 設計水位（静水位）

管径決定に用いる設計水位は計画最大流量時を基準とし、始点においては管理上起こり得る最低水

位を用い、終点または分水点等の供給される側においては管理上起こり得る最高水位を用いるものとする。設計水位は**図-3.3.1**に示すとおりである。



自然圧方式



ポンプ送水方式

図-3.3.1　水理設計に用いる水位

(2) 動水圧（動水位）

動水位の検討は、以下の事項について行うことが望ましい。

① 動水勾配は、パイプラインの始点水位から設計流速の範囲内で、末端で必要とする圧力を十分満足するようにして決定する。

② 上記により求めた末端圧力が末端必要圧力を超える場合には、**図-3.3.2**の例に示すように適当な減圧施設を設けて圧力の調節を行うこともある。

③ 動水位線が管頂以下になってはならない。もし動水位線が管頂を下回る場合には、管内水圧が大気圧以下となり、水中の空気が分離し通水の妨げとなる。このため、路線位置を変更するかまたは調圧用接続水槽等の設置を検討する。なお、管頂より動水位線までの余裕水頭はいかなる流量時においても0.5m以上確保することが望ましい。（**図-3.3.3**参照）

ただし、水管理操作等によって流況が非定常になった場合、このような余裕水頭の小さい地点で負圧が発生してパイプラインの破壊をもたらすこともある。従って、余裕水頭が小さい場合は、水撃圧を検討してパイプラインの安全性を確認しなければならない。

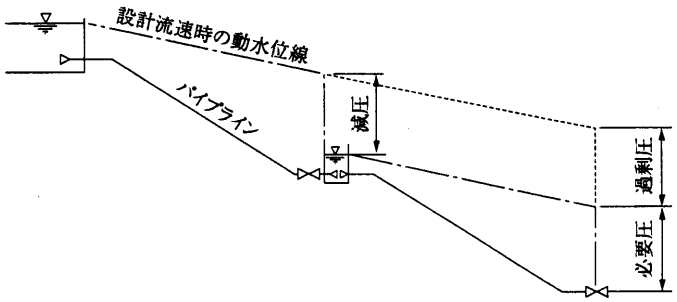


図-3.3.2　動水位と減圧施設の配置

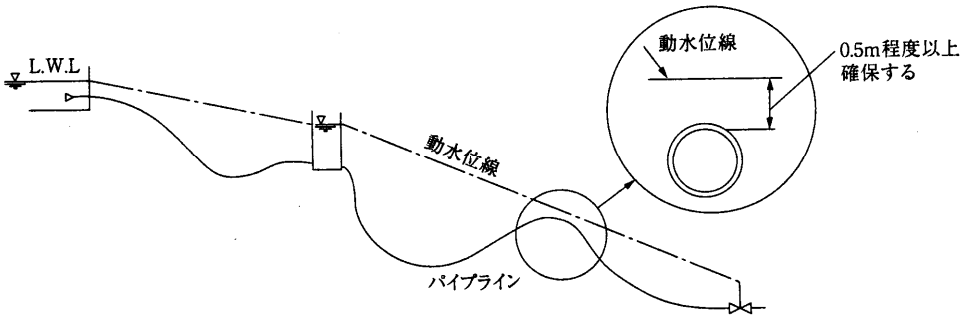


図-3.3.3　動水位線とパイプライン管頂の関係

(3)　末端余裕水頭

パイプラインの管径決定における水理計算において、水理計算の精度、施工の状況、水管理の状況等に対する余裕として、送水系パイプラインの末端接続水槽の計画水位（又は分水位）は、かんがいに必要な末端水位（又は分水位）にそれまでの区間の全損失水頭の 10%若しくは地区状況に応じた適切な値を加算することが望ましい。(**図-3.3.4** 参照)

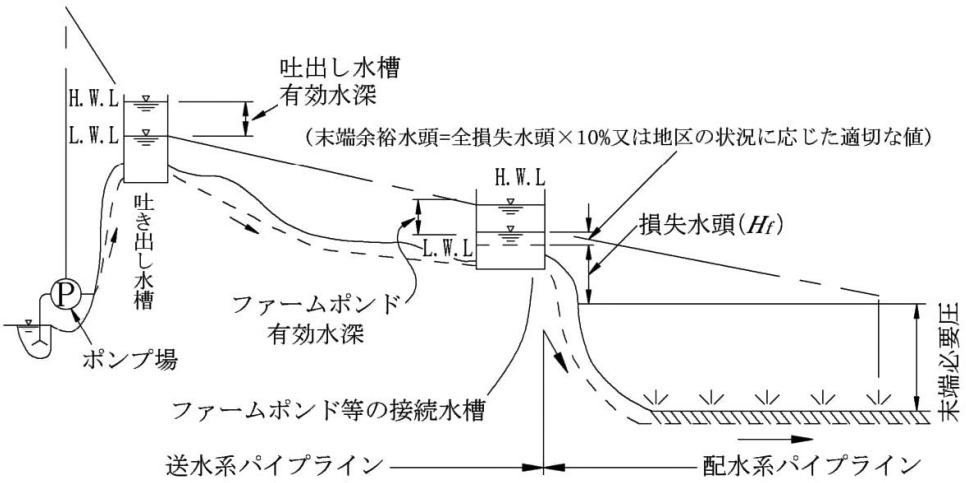


図-3.3.4　末端余裕水頭

3.4　水理ユニット

パイプラインシステムでは、１地点における水管理操作が、その周辺の他地点あるいはシステム全体の圧力および流量にさまざまな影響を及ぼす。従って、パイプラインシステムを設計する場合、その水理検討はシステム内の圧力または流量を境界条件として直接互いに影響を及ぼし合う範囲にある施設群を一体とするサブシステムごとに進めなければならない。このように、境界条件によって一体化して取扱わなければならない施設群を水理ユニットと呼ぶ。

水理ユニットの構成例を**図-3.4.1** に示す。

a)　幹線系の場合（**図-3.4.1**(a)参照）

点線で囲んだ３つの水理ユニットが設定されている。境界条件はいずれも水位境界である。本例の水理ユニットは、水管理上からは幹線系の水理ユニットとして取扱われる。

b)　支線系の場合（**図-3.4.1**(b)参照）

上記の a.幹線系のＡ分水槽から出る支線における水理ユニットの構成例である。境界条件は、減圧施設による水位（圧力）境界と定流量弁（バルブＢ）による流量境界である。水管理上からは、支線系の水理ユニットとして取扱われる。

c)　末端系の場合（**図-3.4.1**(c)参照）

上記 b.支線系の定流量弁（バルブＢ）が支配するパイプライン系において、複数の給水栓とそれを接続する管路及び分水弁をひとつの水理ユニットとしている。必要があれば、この水理ユニットをさらに分割することも可能である。

d)　水田と畑の併用パイプラインの場合（**図-3.4.1**(d)参照）

水田系統を減圧する必要があるので、畑と水田に分けて水理ユニットを設定している。実線で示した部分が末端系の水理ユニットである。

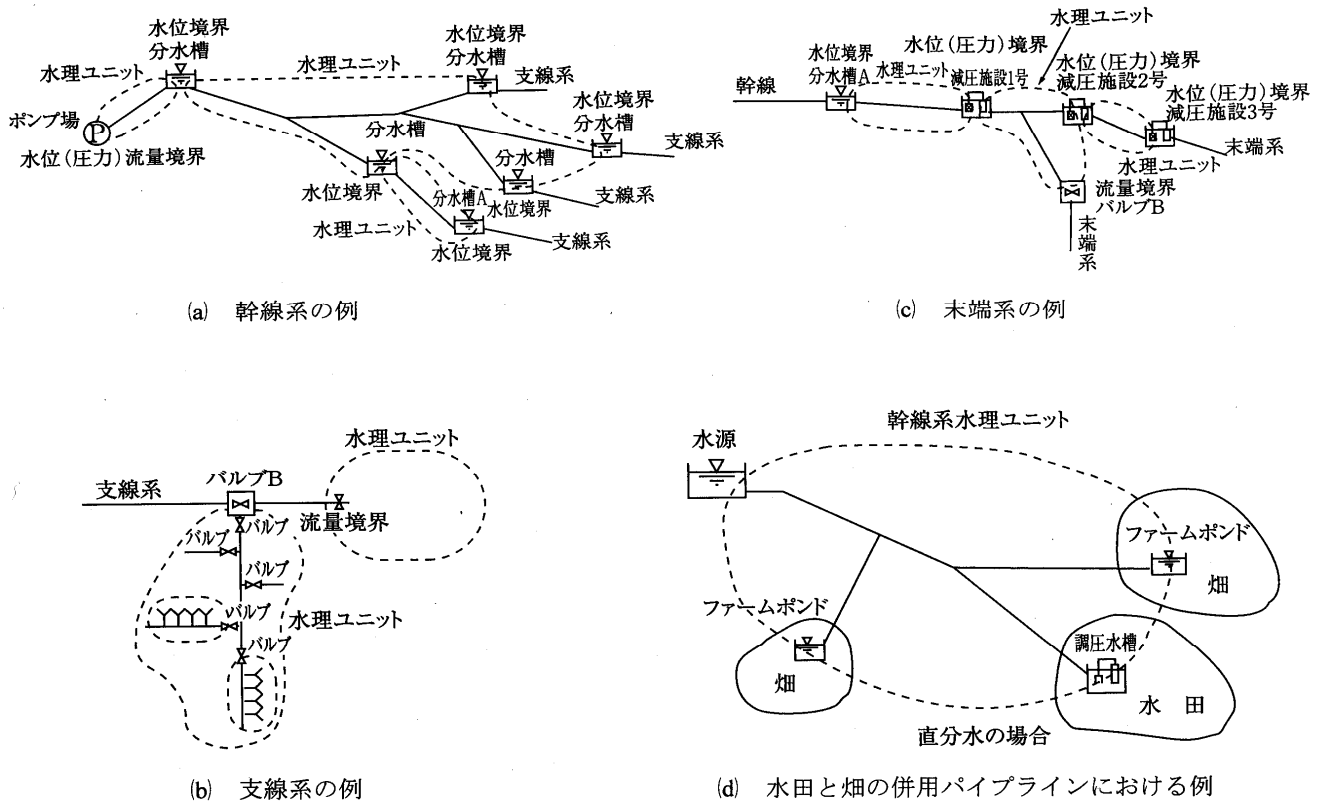


図-3.4.1 水理ユニットの構成例

3.5 設計流量に対する機能確保

パイプラインは、設計流量を確実に通水できる規模と必要な機能が確保されていなければならない。確保すべき規模と機能は、次のとおりである。

(1) 水理ユニット内の適切な水頭配分と通水断面の確保

水理ユニットの両端に与えられた設計流量と水頭を基に、管種を選定し、許容流速と水理ユニット内平均流速を考慮して水理ユニット内各部の水頭配分を適切に行う。

配分された水頭を基に、水理計算により管種別の規格管径を設定する。

(2) 水理ユニット間の結合

水理ユニット間の結合は、原則として流量、水位を介して行うものとする。境界条件は、上下流の水理ユニットの実通水能力の調整に必要な条件を基本に決定する。

(3) 設計流量通水時の機能の検討（水理計算）

前項(1)で求めた管種と管径について、与えられた境界条件に対して各水理ユニットごとに水理計算を行い、設計流量が確保できることを確認し、管種・管径を決定する。

設計流量に対する機能確保によって決定された施設は、水管理、施設管理の運用に当たって生ずる諸条件に対しても必要な機能が確保されていなければならない。具体的には、最多頻度流量及び最小流量等の設計流量以外の流量に対して、水理ユニット内の流況、水理ユニット間の連携機能及び水理ユニット内部の過度現象等の検討を行うことが必要である。

3.6　比較設計

3.6.1 基本事項

パイプラインの設計において、計画上から要求される送配水機能を満たした上で、安全性、合理性及び経済性を確保するために、比較検討は必要不可欠である。

比較設計はいくつかの代替案を設定して、それぞれについて機能性と経済性を検討し、その総合検討から最終的に最適案を選定する。このために、比較設計作業は繁雑になることが多い。

パイプラインシステムの比較設計を進める上での基本事項は、以下のとおりである。

① 比較設計の目的を明確にすること。

② 比較設計の要素を的確に抽出すること。

③ 比較設計の代替案は設計精度を統一し、かつ同一の精度で経済性を検討すること。

3.6.2 比較設計の留意点

比較設計を実施する場合の留意点は、以下のとおりである。

① 一般に経済性と機能性及び安全性は相反する関係にある。従って、比較設計の実施に当たっては、そのコンセプト（経済性を重視するのか、あるいは経済性を犠牲にしても機能性と安全性を重視するのか）をはっきりさせることが特に求められる。

② 経済性の比較設計において、各代替案のコスト差が 2 倍を超えるような場合は、比較設計としてほとんど意味がない。従って、代替案の選定はパイプラインシステムの全体的な観点から慎重に選ばなければならない。また、比較設計の実施に当たっては、コスト算定の精度を十分に勘案しなければならない。

③ 比較設計の結果は、各代替案について比較要素別（たとえば、送配水の機能性、水理的な特性、水管理の操作性、経済性等）に特徴を対比できるように列記することが望ましい。

④ 総合検討は、受益地の自然的、社会的条件を考慮し、かつパイプラインシステムの維持管理主体（土地改良区等）となる組織の能力を勘案することが特に重要である。

3.6.3 経済比較の方法

パイプラインの経済比較には、以下の 2 つの方法がある。

(1) ランニングコストによる場合

代替案によって、年間の維持管理経費に大きな差があり、それが管理主体の経費に大きく影響すると想定される場合である。この代表的なケースとして、ポンプ送水系パイプラインの設計流速の比較設計が挙げられる。ポンプ送水系パイプラインでは、管路施設にかかる維持管理費とポンプ施設にかかる維持管理費は相反する関係にある。このような場合には、各代替案別にランニングコストを算定し、その結果から最適案を選定する。

(2) イニシャルコストによる場合

いずれの代替案とも年間の維持管理経費は相対的な関係にあり、イニシャルコストによって経済比較が可能な場合である。自然流下系パイプラインの路線検討等の比較設計は、大部分がイニシャルコストによる比較設計で十分な場合が多い。

3.7　管種の選定

管体及び継手（以下、「管種」と称す）は、JIS 又はその他の規格品の中から、必要な水理条件、構造条件及び施工条件を満足し、その特性が十分生かせるものを選定する。

管種選定の一般的な手順は、以下のとおりである。

① 水理検討を行い、パイプラインの管径を概定する。

② パイプラインの形式、送水方式等の施設条件から設計水圧を概定する。

③ 水理検討の結果を基にして、管種、規格を概定し、継手の水密性、管の耐水圧強度等を検討し使用管種を概定する。

④ 選び出された管について構造設計の検討を行う。

⑤ 以上の技術的検討においても数種類の管が対象になっている場合は、経済比較とともに対象パイプラインが埋設される位置の立地条件、施工条件、維持管理及び施設の重要度等からの総合的な検討を行い、使用管種を決定する。

パイプラインに使用する管種は、作用する水圧に耐えられるものを使用しなければならない。内水圧による使用管種の目安は、継手による場合と管体による場合に分けられ、継手による場合は水密性及び耐水圧強度、管体による場合は耐水圧強度によって検討を行う。管種によっては、継手の水密性能よりも管体の耐水圧強度が小さい管種がある。

表-3.7.1 は、継手の水密性能又は耐水圧強度からの作用水圧の目安、**表-3.7.2** は管種別管体の耐水圧強度からの作用水圧の目安を示したものであり、両表を併用して使用管種の目安を立てることが可能である。ただし、**表-3.7.2** に示す値は外圧荷重が作用しない状態で求めた管体の耐水圧強度である。

JIS 又はその他の規格に基づいて製造・販売されている既製管の中で、農業用パイプラインによく使用される管の規格および特性は、**表-3.7.3** に示すとおりである。なお、**表-3.7.3** に示すポリエチレン管については、主に中口径以上を対象に JIS 規格に代わる国際規格対応製品が規格化されている。このため、選定にあたっては、設計水圧、応力度計算時の安全率等について十分検討を行い、その特性が十分生かせるものを選定する。

既成管の管体及び継手の設計については「土地改良事業計画設計基準設計パイプライン **5**」による。

表-3.7.1　設計水圧による使用管種の目安(継手の水密性能または耐水圧強度からの目安)

管　　種		設計水圧 (MPa)	備　　考
遠心力鉄筋コンクリート管 (RC)		0.24	JIS A 5372 B 形の継手に適用
コア式プレストレストコンクリート管 (PC)	(1 種) 標準形 押輪形	 0.6 0.9	 JIS A 5373、PCPA 2 に適用 PCPA 5 に適用
ダクタイル鋳鉄管 (DCI)	AL1 種 AL2 種	1.0	JDPA G 1053 に適用
硬質ポリ塩化ビニル管 (PVC)	VP	1.0	JIS K 6741、JIS K 6742 JWWA K 129、JWWA K 131、 JWWA K 130 AS20、AS25、AS25-1、AS33 } に適用
ポリエチレン管 (PE)	(一般用) 2 種 3 種 (水道配水用)	注 8) 1.0	JIS K 6761、バット溶着、電気融着 メカニカル接合に適用 JWWA K 144、PTC K 03　電気融着、メカニカル接合に適用
強化プラスチック複合管 (FRPM)	(1 種)	1.11	JIS A 5350、B 形、C 形、 T 形継手に適用
ガラス繊維強化 ポリエチレン管 (PEGF)	(1 種) (2 種) (3 種)	注 11)	JIS K 6799 に適用

注 1)　設計水圧は本表を上限とする。

2)　継手の構造は JIS 及び協会規格等に定められているものとする。ただし、継手部の構造が改良された場合は、この限りでない。

3)　鋼管については管厚により一概に設計水圧は定められないが、参考までに示せば $\sigma = P \cdot D / 2t$ (σ = 引張応力N/mm²、P = 管内水圧 MPa、t = 管厚(mm)、D = 管内径(mm)) の式により $\sigma = \sigma_a$ =170N/mm²、D/t =110 の場合、P = 3MPa 程度となる。

4)　ALW 形以外のダクタイル鋳鉄管については特に設計水圧の上限を示さないが、T 形、K 形継手は保証水圧 の1/2 (小数2位以下切捨) を限度とする。

5)　硬質ポリ塩化ビニル管の設計水圧は JIS K 6741 により定めた。

6)　この他の管種及び継手等で、JIS に最高使用圧力 (静水圧) 等が規定されているものはこれによる。

7)　伸縮可とう継手等については、JIS 及びメーカー規格を検討し、管体及び管の継手と同等以上の耐圧、水密性能を有するものを使用する。

8)　ポリエチレン管 (一般用) の設計水圧は、Naday の式 $P = 2\sigma t/(D-t)\cdot 1/c$ (P =管内水圧 MPa、σ =長期静水強度 MPa、t =管厚(mm)、D_c=管外径(mm)、c =設計係数 2) により求める。

9)　ポリエチレン管 (水道配水用) の設計水圧は、日本水道協会規格 (JWWA K 144) により 1.0MPa とした。

10)　強化プラスチック複合管の設計水圧は、試験内圧の 1/2 に限界ひずみ比 (0.85) を乗じた値としている。

11)　ガラス繊維強化ポリエチレン管の設計水圧は、Naday の式 $P = 2\sigma t/(D+t)\cdot 1/c$ (P =管内水圧 MPa、σ =長期静水強度 MPa、t =管厚(mm)、D =管内径(mm)、c =設計係数 2) により求める。

12)　本表に示す耐水圧強度は、JIS 規格等により水圧が規定される管種以外は原則として、水圧下曲げ偏心載荷試験の条件により定めた値である。

表-3.7.2　設計水圧による使用管種の目安(管体の耐水圧強度からの目安)

管　　種		設計水圧 (MPa)	備　　考
遠心力鉄筋コンクリート管 (RC)	2K	0.13	φ150～1,350㎜ (φ1,500～3,000㎜) B形の継手に適用 (　)はNC形に適用
	4K	0.26	φ150～1,350㎜ (φ1,500～3,000㎜)	JIS A 5372
	6K	0.40	φ150～800㎜
コア式プレストレストコンクリート管(PC)	1種	1.33	φ 500～ 1,650㎜	JIS A 5373 PCPA 2 に適用
	2種	1.06	φ 500～ 2,100㎜	
	3種	0.80	φ 500～ 2,400㎜	
	4種	0.53	φ 500～ 2,400㎜	
	5種	0.40	φ 500～ 2,400㎜	
ダクタイル鋳鉄管(DCI)	AL1種 AL2種	1.0	φ300～1500㎜　JDPA G 1053に適用
硬質ポリ塩化ビニル管 (PVC)	VH	1.25	VH φ50～300㎜	AS60に適用
	VP	1.0	VP φ13～300㎜	JIS K 6741、JIS K 6742
	VM	0.8	VM φ350～500㎜	AS20、AS25
	VU	0.6	VU φ40～600㎜	JWWA K 129、AS33に適用
ポリエチレン管(PE)	(一般用)	注3)	
	2種		φ 10～ 800㎜　JIS K 6761(2種)に適用
	3種		公称外径25～800㎜　JIS K 6761(3種)に適用
	(水道配水用)	1.0	φ50～300㎜　JWWA K 144、PTC K 03に適用
強化プラスチック複合管 (FRPM)	1種	1.11	φ 200～3,000㎜　JIS A 5350に適用
	2種	0.89	
	3種	0.60	
	4種	0.43	
	5種	0.21	
ガラス繊維強化 ポリエチレン管(PEGF)	1種 2種 3種	注6)	φ300～2,000㎜　JIS K 6799に適用

注1)　設計水圧は本表を限度とする。

2)　硬質ポリ塩化ビニル管の設計水圧はJIS K 6741により定めた。

3)　ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ管(一般用)の設計水圧は、Nadayの式$P=2\sigma t/(D-t)\cdot 1/c$($P$＝管内水圧MPa、$\sigma$＝長期静水強度MPa、$t$＝管厚(㎜)、$D_c$＝管外径(㎜)、$c$＝設計係数2)により求める。

4)　PTC：配水用ポリエチレンパイプシステム協会規格

5)　強化プラスチック複合管の設計水圧は、試験内圧の1/2に限界ひずみ比(0.85)を乗じた値としている。

6)　ガラス繊維強化ポリエチレン管の設計水圧は、Nadayの式$P=2\sigma t/(D+t)\cdot 1/c$($P$＝管内水圧MPa、$\sigma$＝長期静水強度MPa、$t$＝管厚(㎜)、$D$＝管内径(㎜)、$c$＝設計係数2)により求める。

表-3.7.3　既製管種一覧表（参考）

管　種			規格	口径（呼び径）	特　　性
不とう性管	コンクリート管	遠心力鉄筋コンクリート管	JIS A 5372	150～3,000 mm	耐食性及び耐久性が大きい。電食のおそれがない。重量が比較的大きい。内面の粗度の変化はほとんどない。A 形管でも継手構造により可とう性が期待でき、B 形、NC 形管は継手の可とう性がある。低圧パイプラインに適する。
		コア式プレストレスト コンクリート管	JIS A 5373	500～2,000 mm	耐食性・耐久性及び耐荷重性が大きい。電食のおそれがない。重量は比較的大きい。内面の粗度の変化はほとんどない。継手の可とう性がある。
とう性管	ダクタイル鋳鉄管	ダクタイル鋳鉄管	JIS G 5526	75～2,600 mm	強度及び耐久性が大きい。内面は普通モルタルライニングするので、さびこぶの発生を防止できる。外面塗装は合成樹脂塗料を使っている。重量が比較的大きい。電食のおそれが少ない。内、外圧の大きい管路、軟弱地盤の管路等に適する。耐震性の継手構造もある。
		ダクタイル鋳鉄異形管	JIS G 5527	75～2,600 mm	
		農業用水用ダクタイル鋳鉄管	JDPA G1027	300～2,600 mm	
		推進工法用ダクタイル鋳鉄管	JDPA G1029	250～2,600 mm	
		ＡＬＷ形ダクタイル鋳鉄管 3)	JDPA 1053	300～1,500 mm	
	鋼管	水輸送用塗覆装鋼管	JIS G 3443	80A～3,000A	強度が大きい。耐久性に富み、靭性、延性がよい。耐衝撃性に優れている。重量は比較的軽い。内面液状エポキシ樹脂による塗装、外面アスファルトビニロンクロスで防食性がある。電食のおそれのある箇所は電食防止措置が必要である。また継手の水密性は高い。耐震性に優れる。水管橋に適し、内外圧の大きい管路、軟弱地盤の管路等に適する。 注）配管用炭素鋼鋼管と配管用アーク溶接炭素鋼鋼管および圧力配管用炭素鋼鋼管は原管であり、埋設に際しては内面塗覆装、外面塗覆装をする。
		水輸送用塗覆装鋼管異形管	JIS G 3443	80A～3,000A	
		水道用亜鉛めっき鋼管	JIS G 3442	10A～300A	
		配管用炭素鋼鋼管	JIS G 3452	6A～500A	
		配管用アーク溶接炭素鋼鋼管	JIS G 3457	350A～2,000A	
		圧力配管用炭素鋼鋼管	JIS G 3454	6A～650A	
	硬質ポリ塩化ビニル管	硬質ポリ塩化ビニル管	JIS K 6741	13～700 mm	軽量で取扱いが容易であり、接合は TS(接着)または RR(ゴム輪)方式であるため、スピーデイな施工ができる。耐久性、耐食性、耐電食性に優れ、管の内面粗度は変化が小さく滑らかである。特に RR は伸縮性と可とう性も備え、軟弱地盤の管路にも適する。
		水道用硬質ポリ塩化ビニル管	JIS K 6742	13～150 mm	
		水道用硬質ポリ塩化ビニル管 継手	JIS K 6743	13～150 mm	
	ポリエチレン管	一般用ポリエチレン管	JIS K 6761	13～300 mm	軽量、耐衝撃性、耐食性が大きい。電食のおそれがない。内面が平滑で摩擦抵抗が小さい。管は可とう性に富み、軟弱地盤の管路にも適する。
		水道用ポリエチレン二層管	JIS K 6762	13～50 mm	
	強化プラスチック複合管	強化プラスチック複合管	JIS A 5350	200～3,000 mm	軽量で運搬施工が容易である。耐食性、耐磨耗性、耐電食性、耐衝撃性、耐クリープ性が大きい。内面粗度は変化が小さく滑らかである。継手の可とう性があり、軟弱地盤の管路に適する。
	ガラス繊維強化ポリエチレン管	ガラス繊維強化 ポリエチレン管	JIS K 6799	300～2,000 mm	軽量、耐衝撃性、耐食性が大きい。電食のおそれがない。内面が平滑で摩耗抵抗が小さい。一体管路であるため水密性が高い。管は可とう性に富み、軟弱地盤の管路にも適用する。

注 1)　JIS：日本産業規格　　JDPA：日本ダクタイル鋳鉄管協会企画

注 2)　管種によっては口径 3,000 ㎜を超える規格もあるので、検討の際には必ず各種試験結果の確認を行い、安全性の確認を行う必要がある。

注 3)　JDPA G 1053 に掲載されている AL1 種管を採用する場合には、本基準及び技術書に従った設計・施工を行うものとする。

第 4 章　水理設計

第 4 章　水理設計　　目次

4.1　総則.....4-1
4.2　水理設計.....4-2
4.2.1　許容設計流速.....4-2
4.2.2　平均流速公式.....4-3
4.2.3　水理計算.....4-3
4.3　水撃圧の計算.....4-5
4.3.1　水撃圧の推定方法.....4-5
4.3.2　経験則による水撃圧の推定.....4-6

第4章　水理設計

4.1　総則

管路の水理現象の検討は、定常的な水理現象と非定常的な水理現象について解析を行うものとする。

パイプラインの水理解析は、対象とするパイプライン組織が水利用計画のいかなる条件のもとでも計画最大流量までの用水量を安全確実に通水し得るように、パイプラインの通水断面及び附帯施設の規模、附帯施設の制御方式を検討し、パイプライン組織がその機能を十分に果たせるように検討することを目的とする。

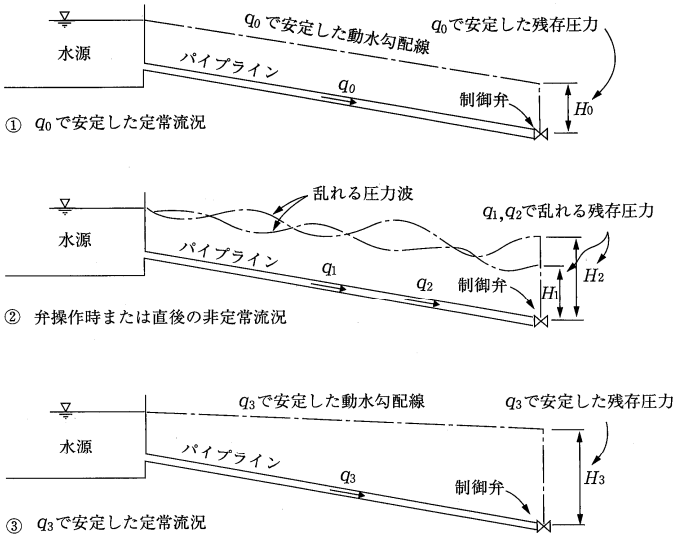
パイプラインに発生する水理現象は、パイプライン中の流体のおかれた状況によって以下の二つに分類される。

① 定常状態の水理現象

パイプライン中の流速及び圧力が時間的に変化せず、一定に保持されている状態の流況である。

② 非定常状態の水理現象

パイプライン中の流速及び圧力が時間的に変化し、流況が乱れている状態の流況である。この流況はバルブ等、何らかの外的要因によってパイプライン中の流況を変化させた場合に発生し、長い時間を経過すると新たな定常流況へ流れが安定していく。



ただし,①弁操作前,②弁操作時または直後,③弁操作終了後長時間を経た状況を示している。

図-4.1.1　定常流況と非定常流況との関係

送配水路の定常的な水理現象の検討は、水利用計画に基づく流量を適正な流速で輸送するために必要な口径及び水頭を求めることを目的とし、管路の状況等を考慮して適切な水理設計を行うものとする。

送配水路の非定常的な水理現象の検討は、管路及び各種の附帯施設の安全性と機能性が確保できるよう、施設及び機器の操作に伴う過渡現象の把握を目的とし、管路における水撃圧（ウォーターハンマ）、管路途中等に自由水面がある場合のサージング等の計算が対象となるが、本指針ではこのうち、水撃圧の計算について解説する。

4.2　水理設計

パイプラインシステムの水理設計は、水利用計画の範囲内で管理上起こり得る最低給水位及び最高到達水位のもとでも、計画最大流量を安全に流し得る能力を与えるための通水断面、すなわち管径の選定を目的とする。

4.2.1 許容設計流速

管内の許容設計流速は、次の①によるほか、送配水方式別に②又は③によるものとする。

① 許容最大流速及び許容最小流速

a) 管内の許容最大流速は、管内面の摩耗を防止するため、コンクリートの場合は 3m/s、それ以外（モルタルライニングを含む）の場合は 5m/s とする。なお、この値以内であっても、小口径管については、バルブ操作時間が数秒と短く、水撃圧が非常に大きくなるため平均流速は 1m/s 以内が望ましい。

b) 許容最小流速は、水中の浮遊土砂等が管内に沈殿することを避けるため、設計流量時で 0.3m/s 以上とする。配水管で防除、施肥と多目的に使用する場合等は、0.6m/s 以上とすることが望ましい。

c) 放水工、余水吐等の一時的に水が流れる管路構造物の許容最大流速はａ）の 1.5 倍以内とする。

② 自然圧式管路の許容平均流速

水理ユニット内の平均流速（管路縦断方向の加重平均値）は原則として 2.0m/s 以下とする（流速のバラツキは平均値の 10%以下が望ましい）。ただし、経済的な観点から、水撃圧等の影響を検証し安全を確かめた場合は 2.5m/s まで高めてもよい。

③ ポンプ圧送式管路の許容平均流速

ポンプ圧送式管路の平均流速は、ポンプ施設の設備費、管路の建設費及び電気料金等の維持管理費を考慮の上、最も経済的になる流速（管径）を選定しなければならない。この際、水理ユニット内の平均流速（管路縦断方向の加重平均値）は自然圧式管路と同様、原則として 2.0m/s 以下とする。ただし、経済性を高めるためから、水撃圧等の影響を検証し安全を確かめた場合は 2.5m/s まで高めてもよい。口径と経済流速の範囲の目安は、**表-4.2.1** に示すとおりである。

表-4.2.1　ポンプ圧送式の平均流速（目安）

口径（mm）	平均流速（m/s）
75 ～ 150	0.7 ～ 1.0
200 ～ 400	0.9 ～ 1.6
450 ～ 800	1.2 ～ 1.8
900 ～ 1,500	1.3 ～ 2.0
1,600 ～ 3,000	1.4 ～ 2.5

上記②、③の水撃圧による安全性の検証については、「土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン **8**」による。

4.2.2 平均流速公式

定常的な水理計算に用いる平均流速公式は、ヘーゼン・ウィリアムス公式の適用を原則とする。なお、管水路系の組織の一部を構成する開水路の水理計算は、原則としてマニング公式を使用する。

ヘーゼン・ウィリアムス公式は、**式（4.2.1）**で与えられる。

$$V=0.849\ C\cdot R^{0.63}\cdot I^{0.54} \quad \cdots\cdots (4.2.1)$$

ここに、

V ：平均流速（m/s）

C ：流速係数（**表-4.2.2** 参照）

R ：径深（m）

I ：動水勾配

式（4.2.1）を基に、円形管について次の各式が誘導される。

$$V=0.355\,C\cdot D^{0.63}\cdot I^{0.54} \quad \cdots\cdots (4.2.2)$$

$$Q=0.279\,C\cdot D^{2.63}\cdot I^{0.54} \quad \cdots\cdots (4.2.3)$$

$$D=1.626\,C^{-0.38}\cdot Q^{0.38}\cdot I^{-0.21} \quad \cdots\cdots (4.2.4)$$

$$I=h_f/L=10.67\,C^{-1.85}\cdot D^{-4.87}\cdot Q^{1.85} \quad \cdots\cdots (4.2.5)$$

ここに、

D ：管内径（m）

h_f ：摩擦損失水頭（m）

Q ：流量（m^3/s）

L ：管路長（m）

4.2.3 水理計算

水理計算は利用可能なエネルギを有効に利用して、計画最大用水量を流し得る最小断面を求めることを目的とする。最小断面は、パイプライン口径を想定し計画最大流量について、設計上の摩擦損失水頭及び各種損失水頭を以下のように計算することによって求められる。

(1) 摩擦損失水頭

パイプラインの摩擦損失水頭は、ヘーゼン・ウィリアムス公式により求める。パイプライン組織の水利用計画から得られた設計流量に対して、**表-4.2.2** から使用管種の流速係数 C の値を定め、**式（4.2.6）**より求める。

$$h_f=10.67\,C^{-1.85}\cdot D^{-4.87}\cdot Q^{1.85}\cdot L \quad \cdots\cdots (4.2.6)$$

ここに、

h_f：摩擦損失水頭（m）

C ：流速係数（**表-4.2.2** 参照）

D ：管内径（m）

Q ：設計流量（m^3/s）

L ：損失水頭を求める区間の延長（m）

(2) 各種損失水頭

パイプラインの縦横断線形の設計に応じて、以下の各種損失水頭を計算によって求めることを標準とする。ただし、口径 300mm 以下、かつ設計水圧 1.0MPa 以下の小口径管の定常水理計算については、曲管、分岐管、片落管等の異形管類及び制水弁類の局所損失水頭が摩擦損失水頭に比べて小さいので、全摩擦損失水頭の 10%を各種損失水頭としてもよい。

各種損失水頭の算定にあたっては「土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン **7.2.5**」による。

① 流入による損失水頭
② 流出による損失水頭
③ 湾曲及び屈折による損失水頭
④ 断面変化による損失水頭
⑤ 分流による損失水頭
⑥ 合流による損失水頭
⑦ バルブによる損失水頭
⑧ 量水器による損失水頭
⑨ スクリーンによる損失水頭

表-4.2.2 流速係数 C の値

管（内面の状態）	流速係数 C		
	最大値	最小値	標準値
鋳鉄管（塗装なし）	150	80	100
鋼　管（塗装なし）	150	90	100
水道用液状エポキシ樹脂塗装管（鋼）注1)			
φ800mm 以上	—	—	130
φ700～600mm	—	—	120
φ500～350mm	—	—	110
φ300mm 以下	—	—	100
モルタルライニング管（鋳鉄）	150	120	130
遠心力鉄筋コンクリート管	140	120	130
プレストレストコンクリート管	140	120	130
硬質ポリ塩化ビニル管注2)	160	140	150
ポリエチレン管注2)	170	130	150
強化プラスチック複合管注2)	160	—	150

注1) JIS G 3443-4 によるエポキシ樹脂塗装が内面に施されているが、十分な経年変化後の水理データがないことから、タールエポキシ樹脂塗装と同等として扱い本表の値を適用してよい。
ただし、呼び径 800 mm以上については、暫定標準値として C =150 を適用してよい。
また、呼び径 800mm 未満で、現場溶接部の内面塗装を行わない場合には本表の値を適用する。
なお、現場溶接部の内面塗装を十分な管理の下で行う場合、C =150 を適用することができる。
2) 呼び径 150mm 以下の管路では、C =140 を標準とする。
3) ALW 形ダクタイル鋳鉄管（シリカエポキシ樹脂粉体塗装）は十分な実績や経年変化後の水理データがないことから、暫定標準値として C =140 を適用してよい。
4) ガラス繊維強化ポリエチレン管については、ポリエチレン管と同等の流速係数とする。

4.3　水撃圧の計算

水撃圧の予測は、計算による方法を原則とする。ただし、給水栓を有する水田配水系パイプラインで低圧（静水圧 0.35MPa 未満）の場合は、経験則による方法で水撃圧の推定を行ってもよい。

4.3.1 水撃圧の推定方法

計算による水撃圧の予測方法には以下があるが、理論解法は適用範囲が水槽～単一管路～バルブのような単純な系に限られており、多くの分岐を含むようなパイプラインシステムの水撃圧を予測する場合は数値解法によることが望ましい。数値解法による水撃圧の予測は、特性曲線法及び中心差分法のいずれも適用できる。また、給水栓を有する水田配水系パイプラインで低圧（静水圧 0.35MPa 未満）の場合やパイプライン形式がオープンタイプである場合は、経験則による方法で水撃圧の推定を行ってもよい。

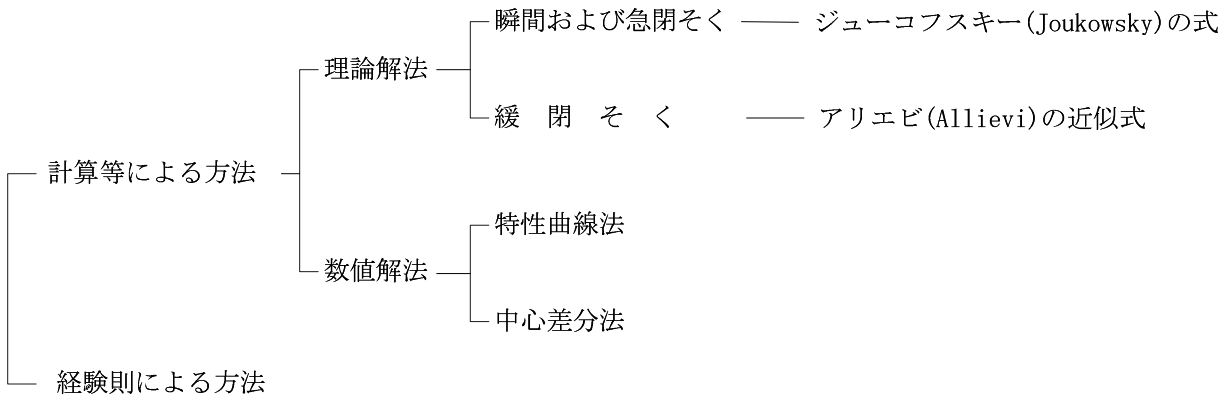


図-4.3.1　水撃圧の予測方法

水撃圧を正しく予測するには、必ず計算による方法で値を求め、この結果について経験則による値との対比を行って適切に水撃圧を予測する。

計算による方法の値が経験則による値を上回る場合には、バルブ等の操作速度を遅くすること等により、軽減する方法を講じて経験則の値を下回るように処置する。処置が可能な場合は経験則の値を使用してもよい。安全性等を十分検討した上で処置が不可能な場合は、計算による値を使用する。

計算による方法の値が経験則による値を下回る場合には、計算による方法に含まれていない不確定要素及び安全性に配慮し、経験則の値を使用してもよい。ただし、不確定要素や安全性の面で技術的な問題等を解決している場合は、専門技術者と協議を行い水撃圧の採用値を決定する。

数値解法以外の推定方法は、バルブ操作による水撃圧の上昇圧のみを扱っているため、負圧の検討など下降圧が問題となる場合は、数値解法によらなければならない。ただし、ポンプ動力の停止による場合の水撃圧は、簡易計算図表等により行うことができる。(「土地改良事業計画設計基準　設計　ポンプ場」参照)

なお、計算による水撃圧の検討を行う範囲は、水理的な境界線で区切られる水理ユニットを基本とするため、上流に計画等がある場合は、それに準拠して水撃圧の予測を行う。

数値解析による水撃圧の予測については、「土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン **8.3.4**」による。

4.3.2 経験則による水撃圧の推定

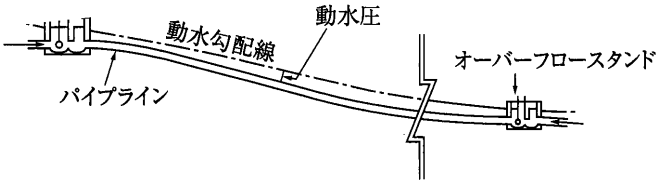
(1) 自然圧送方式の水撃圧

a) オープンタイプの場合

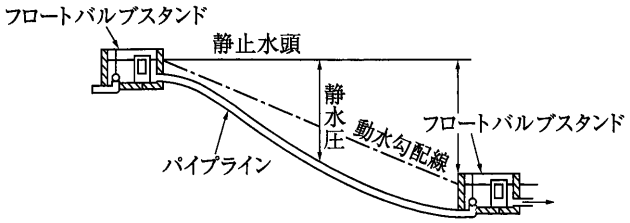
水撃圧は設計流量が流下時の動水勾配線による水圧の 20%とする。(**図-4.3.2**(a)参照)

b) クローズド及びセミクローズドタイプの場合

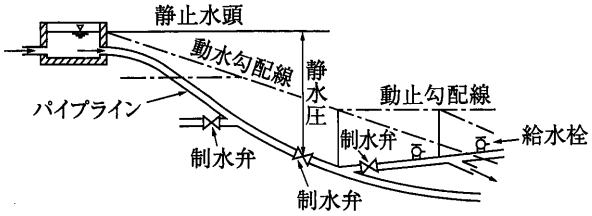
静水圧が 0.35MPa 未満の場合は静水圧の 100%とする。静水圧が 0.35MPa 以上の場合は静水圧の 40%、または 0.35MPa のうち大きい値とする。(**図-4.3.2**(b)、(c) 参照)



(a) オープンタイプ



(b) セミクローズドタイプ



(c) クローズドタイプ

図-4.3.2 パイプラインの静水圧及び動水圧

(2) ポンプ系パイプラインの水撃圧

ポンプ系パイプラインの水撃圧計算は、「土地改良事業計画設計基準 設計 パイプライン **8.3.5**」による。