

2.6.9 水道配水用ポリエチレン管の管種選定

水道配水用ポリエチレン管の管種・管厚は、以下の3項目により照査する。

- ① 内圧による管厚計算
- ② 外圧による曲げ周応力の計算
- ③ たわみ率の計算

(1) 内圧による管厚計算

内圧による管厚の照査は、次式により行う。

$$t \geq \frac{P \cdot D}{2\sigma + P}$$

ここに、

- t : 最小管厚 (mm)
- P : 使用圧力 (MPa)
- σ : 設計応力 (=5.0MPa : 長期静水圧強度 10MPa ÷ 安全率 2 = 5.0MPa)
- D : 外径 (mm)

水道配水用ポリエチレン管 (JWWA K 144) の管種ごとの最小管厚 t 、管厚中心半径 r 、断面係数 Z 、断面二次モーメント I を下表に示す。

表-2.6.23 水道配水用ポリエチレン管の管厚等諸元

呼び径	外径 (mm)	管厚 (mm)	管厚中心 半径 (mm)	断面二次モーメント (mm ⁴ /mm)	備 考
50	63	5.8	28.6	16.3	
75	90	8.2	40.9	45.9	
100	125	11.4	56.8	123.5	
150	180	16.4	81.8	367.6	
200	250	22.7	113.7	974.8	PTC 規格 K03:2016

(2) 外圧による曲げ周応力計算

土圧及び活荷重による管の曲げ周応力は次式により計算する。

$$\sigma_b = 12 \left(\frac{r}{t} \right)^2 \left\{ K - \frac{F_r \cdot E' \cdot r^3}{12(E \cdot I + 0.06146 E' \cdot r^3)} \right\} \cdot P_v$$

ここに、

- σ_b : 土圧及び輪圧によって生じる埋設管の曲げ周応力 (N/mm²)
- r : 管厚中心半径 (mm)
- t : 管厚 (mm)
- K : モーメント係数 (表-2.6.24 参照 : 通常は K_b を用いる)
- F_r : 支承角によって決まる係数 (表-2.6.25 参照)

E' : 埋戻し土の受働土圧係数 (MPa) (表-2.6.26 参照。つき固め「なし」を標準とする)

E : 管材の曲げ弾性率 (=1,000MPa)

I : 断面二次モーメント (mm^4/mm)

$$I = \frac{t^3}{12}$$

P_v : 管頂における鉛直荷重 (MPa, N/mm^2) (=土圧+自動車荷重)

表-2.6.24 モーメント係数 K

モーメント係数		支 承 角					
		0°	30°	60°	90°	120°	180°
K	管 底 K_b	0.294	0.235	0.189	0.157	0.138	0.125
	管 側 K_t	0.150	0.148	0.143	0.137	0.131	0.125
	管 頂 K_s	0.153	0.152	0.147	0.140	0.133	0.125

表-2.6.25 支承角係数 F_r

支 承 角	0°	30°	60°	90°	120°	180°
支承角係数 F_r	0.110	0.108	0.103	0.096	0.089	0.083

表-2.6.26 埋戻し土の受働土圧係数 (E')

土 質	土 質		
	砂	砂質壤土	ローム
つき固め			
あ り	10.0	7.0	4.0
な し	1.0 以下	1.0 以下	1.0 以下

注) つき固めなし: 地山程度

管の許容応力度は、規格により定められている管の材質の強さ 20MPa に対して安全率 2.5 を見込み、 $20 \div 2.5 = 8.0$ (MPa) とする。

計算により得られた曲げ周応力が、許容応力度 8.0MPa 以内となるかどうかを確認する。

(3) たわみ率の計算

土圧及び活荷重によるたわみ率は次式により計算する。

$$\frac{\delta}{2r} = \frac{F_d \cdot F_r \cdot r^3}{E \cdot I + 0.06146 E' \cdot r^3} \cdot P_v \times 100$$

ここに、

$\frac{\delta}{2r}$: たわみ率 (%)

δ : 土圧及び輪圧によって生じる埋設管のたわみ (mm)

F_d : 埋戻し土の締め具合の遅延係数 (=1.5)

計算により得られたたわみ率が、許容たわみ率 5%以内となることを確認する。

2.6.10 電食及び腐食対策

金属管の腐食は、下図のように自然腐食と電食に大別される。

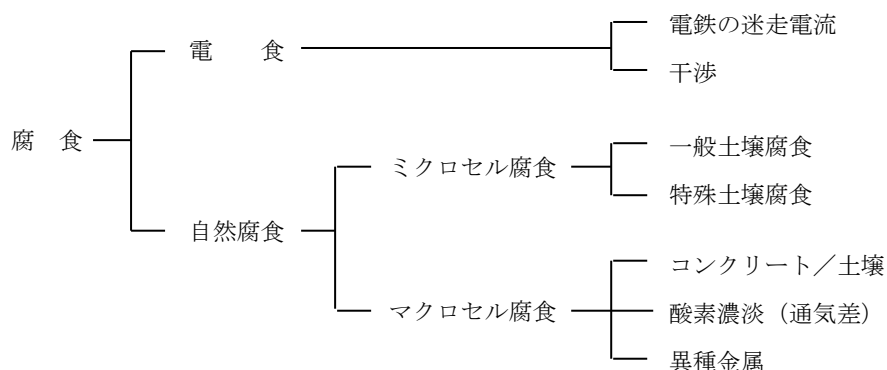


図-2.6.8 金属管の腐食の分類

自然腐食は、腐食電池の形成状況により、マイクロセル腐食とマクロセル腐食に区分される。また電食とは、直流電気鉄道の漏れ電流及び電気防食設備の防食電流によって生じる腐食をいう。

(1) 電食対策

電気軌道に近接、平行あるいは交差して管を布設する場合には、あらかじめ電食防止上適切な措置をとっておく。布設する金属管の電食防止方法としては次のような方法を挙げることができる。各方法の詳細は「水道施設設計指針」を参照のこと。

- ① 外部電源法
- ② 選択排流法
- ③ 強制排流法
- ④ 流電陽極法
- ⑤ 継手の絶縁化
- ⑥ 遮断

(2) 自然腐食対策

A ミクロセル腐食対策

マイクロセル腐食は、金属管の表面上の微視（マイクロ）的な局部電池作用によって生じる腐食作用である。腐食性の強い土壌や、酸、塩水等の侵食を受けるおそれのある地帯では、できる限り金属管の使用を避けるべきであるが、やむを得ず金属管を採用する場合には、次のような方法によりマイクロセル腐食を防止する措置をとる。

- ① コンクリート巻き立て
- ② 各種防食テープ巻き
- ③ ポリエチレンスリーブによる管体の被覆
- ④ 外面防食（アスファルト系又はエポキシ系塗装及びプラスチック系被覆等による）

- ⑤ 継手の防食対策（ボルトナット類をステンレス、低合金ダクタイル、腐食酸化被膜処理、合成樹脂被覆のものとするか、又はポリエチレンスリーブを使用する）

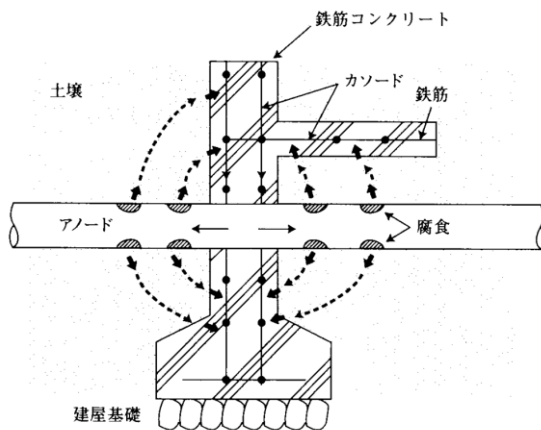
B マクロセル腐食対策

マクロセル腐食は、構造物において部分的な環境の差や材質の差から金属管表面の一部分が陽極部となり、他の部分が陰極部となって、両者が巨大（マクロ）な腐食電池を構成することによって生じる。

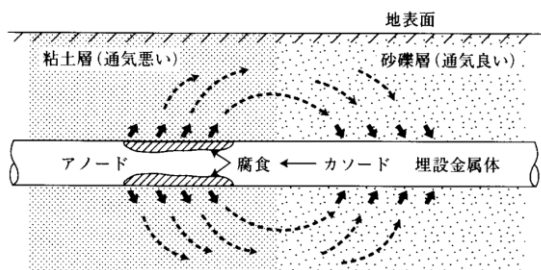
マクロセル（巨大腐食電池）の陽極部と陰極部の位置と規模は、一般に測定などにより区分することができる。

管のコンクリート貫通部や、異種土壌間の布設及び異種金属管の接続部には、次のような方法によってマクロセル腐食を防止する適切な措置をとる。

- ① コンクリート壁の貫通部、配管支持金具及び各種の設備機器の基礎アンカ等がコンクリート中の鉄筋と接触（導通）しないように設計上考慮するか、あるいはその部分を絶縁処理する。
- ② コンクリート構造物の埋戻しに際しては、防食被覆の損傷によるマクロセル腐食の発生を防ぐため、特に念入りに施工する。
- ③ 絶縁継手を使用する。



(a) コンクリート中の鉄筋と管が接触する場合



(b) 土質に差異がある場合

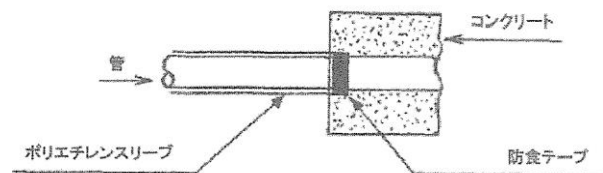


図-2.6.10 ダクタイル鋳鉄管の末端処理

図-2.6.9 マクロセル腐食の例

2.6.11 伸縮継手

- (1) 軟弱地盤や構造物との取り合い部など不同沈下のおそれのある箇所及び地震時に挙動の違いが生じる箇所には、たわみ性の大きい伸縮可とう継手を設ける。

軟弱地盤など不同沈下が広範囲に生じると予測される場所については、管路全体に可とう性の大きな伸縮継手を用いる。水管橋、伏越部等構造物との取り合い部に可とう性のある伸縮継手を用いる場合は、推定沈下量を吸収できる可とう性だけで選定するのではなく、内外圧、耐久性及び水密性に対する安全性を検討のうえ、最適なものを選定する。

- (2) 伸縮自在でない継手を用いた管路の露出配管部には、20～30mの間隔に伸縮継手を設ける。

水管橋などの露出部は、温度変化による管の伸縮が大きくなるから、伸縮継手を挿入する。

- (3) 溶接継手鋼管を布設する場合には、必要に応じ伸縮継手を設ける。

溶接接合の鋼管を布設する際には、伸縮継手をほとんど用いない設計も行われているが、バルブの前後には伸縮継手を挿入する。この場合は、片圧に対する抜け出し防止対策が必要である。

T字管にも必要に応じて伸縮継手を設ける。この場合にも、不平均力の影響を考慮して、挿入場所を決定する。鋼管布設における最後の接合箇所においては、溶接による熱応力を小さくするため、伸縮継手を設けることが望ましい。

- (4) 基幹管路に設ける伸縮継手は、離脱防止機能をもつものが望ましい。

基幹管路における伸縮継手は、常時の伸縮機能に加え、地震時における変位についても吸収可能な構造のものを選定する。特に埋設管路にあつては、変位状態の常時確認が難しいため、離脱防止機能をもつ伸縮継手を選定することが望ましい。

2.7 異形管防護

管内の圧力によるスラスト力（不平均力）に対抗するため、離脱防止継手、離脱防止金具又はコンクリートブロックによって異形管を防護しなければならない。ただし、溶接継手の鋼管・ステンレス鋼管及び溶着継手の水道配水用ポリエチレン管においては、異形管防護を省略することができる。

2.7.1 スラスト力の計算

曲管やT字管、片落管などの異形管部においては、管内圧力によって管体の横方向あるいは抜け出し方向にスラスト力（不平均力）が発生する。このようなスラスト力に対抗するため、離脱防止金具、離脱防止継手あるいはコンクリートブロックによる異形管防護のための措置をとる必要がある。

防護コンクリートによりスラスト力に抵抗しようとする場合、または離脱防止継手によりスラスト力に抵抗しようとする場合にはスラスト力の算出が必要となる。この場合のスラスト力の算定は、次のように行う。なお、スラスト力の算定に使用する管内水圧は、静水圧に水撃圧を加えた値とする。この場合の水撃圧は、自然流下系においては経験的な値として硬質ポリ塩化ビニル管及び水道配水用ポリエチレン管では 250kN/m²、ダクタイル鋳鉄管及び鋼管では 550kN/m²を用いる。ポンプ圧送系においてはパーマキアン図表などによる計算値を使用する。

【独自】

(1) 水平曲管のスラスト力

水平曲管にかかるスラスト力は、次式によって計算する。

$$P = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2}$$

ここに、

P : 水圧により曲がり部に働く外向きの合力 (kN)

p : 管内水圧 (kN/m²)

A : 管断面積 (外径を用いる) (m²)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2, D_2 : \text{管の実外径 (m)}$$

θ : 曲がり角度 (°)

(2) 垂直曲管のスラスト力

垂直曲管にかかるスラスト力は、次式によって計算する。

$$P_1 = P \cdot \sin \frac{\theta}{2}$$

$$P_2 = P \cdot \cos \frac{\theta}{2}$$

ここに、

P_1 : スラスト力 P の水平分力 (kN)

P_2 : スラスト力 P の垂直分力 (kN)

(3) 片落管のスラスト力

片落管にかかるスラスト力は、次式によって計算する。

$$P = p \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

ここに、

P : 水圧により曲がり部に働く外向きの合力 (kN)

p : 管内水圧 (kN/m²)

D : 大口径側実外径 (m)

d : 小口径側実外径 (m)

2.7.2 離脱防止金具及びダクタイトル鋳鉄管の離脱防止継手

スラスト力を受ける異形管の前後においては、離脱防止継手を有する管種又は離脱防止金具を用いて異形管防護とする。離脱防止継手を有する管種としては、ダクタイトル鋳鉄管のうち NS 形のほか、大口径管用として UF 形、中口径管用として KF 形がある。

離脱防止金具は、小口径（呼び径 300mm 程度まで）で管外周面の拘束力が十分に期待できる場合に採用できるものとする。離脱防止金具はダクタイトル鋳鉄管の K 形継手及び T 形継手用、硬質ポリ塩化ビニル管の RR 形（ゴム輪形）継手用がある。

離脱防止金具及び離脱防止継手を使用しなければならない位置は、スラスト力に対抗するのに必要な管路の一体化長さを算定することによって定める。なお、ダクタイトル鋳鉄管の K 形、T 形及び硬質塩化ビニル管ゴム輪形継手の場合、曲管に隣接する前後の継手 1 つ分については原則として離脱防止金具を使用する。

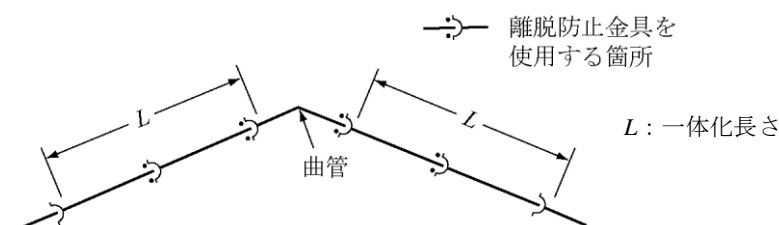


図-2.7.1 離脱防止金具の使用箇所

離脱防止金具と離脱防止継手では一体化長さの計算方法が異なっており、それぞれの計算方法を以下に示す。

(1) 離脱防止金具のための一体化長さの計算方法

① 水平曲管に使用する場合

水平曲管に離脱防止金具を用いる場合、曲管に作用する不平均力に対し、曲管に隣接した直管 1 本分の受働土圧抵抗力と一体化長さ分の摩擦抵抗力が作用すると考える。

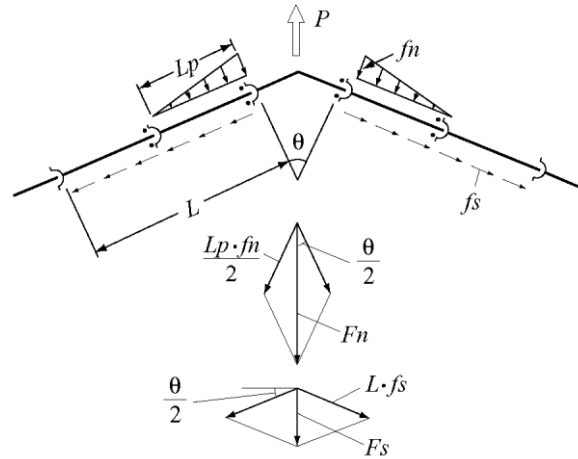


図-2.7.2 水平曲管に使用する場合

まず次式によって L' を求める。

$$L' \geq \frac{S_f \times p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \mu \cdot \gamma \cdot H_c \cdot \pi \cdot D_2 + \frac{1}{4} \cos \frac{\theta}{2} \cdot C e' \cdot \gamma (h_2^2 - h_1^2) R}$$

ここに、

L' : 初期計算による一体化長さ (m)

L_p : 曲管に隣接する直管 1 本の長さ (m)

S_f : 安全率 (一般に 1.25 とする)

p : 管内水圧 (kN/m^2)

A : 管の断面積 (m) ($= \frac{\pi}{4} \cdot D_2$)

θ : 管の曲がり角度 ($^\circ$)

μ : 管と土の摩擦係数 (表-2.7.1 参照)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3) (表-2.7.2 参照)

H_c : 管芯までの土かぶり (m) ($= h_1 + \frac{D_2}{2}$)

D_2 : 管の実外径 (m)

h_1 : 管頂までの土かぶり (m)

h_2 : 管底までの土かぶり (m)

$C e'$: 受働土圧係数 ($= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$)

ϕ : 土の内部摩擦角 ($^\circ$) (表-2.7.2 参照)

R : 円形断面による減少率 ($= 1/2$ とする)

このとき L' が $L' \leq L_p$ を満足する場合、一体化長さ $L=L'$ とする。

$L' > L_p$ となる場合には、次式によって L を求める。

$$L \geq \frac{S_f \times p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \cos \frac{\theta}{2} \cdot L_p \cdot C_e' \cdot \gamma (h_2^2 - h_1^2) R}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \mu \cdot \gamma \cdot H_c \cdot \pi \cdot D_2}$$

表-2.7.1 管と土の摩擦係数

管種 地盤の種類	ダクタイル 鋳鉄管		硬質ポリ塩化ビニル管
	ポリエチレンスリーブあり	ポリエチレンスリーブなし	
硬い地盤	0.4	0.5	0.3
中位の地盤	0.3	0.4	
軟弱地盤	0.2	0.3	

表-2.7.2 土砂の単位体積重量と内部摩擦角

種別	状態	単位体積重量 (kN/m ³)	内部摩擦角 (°)
普通土	乾燥したもの	14	30 ~ 40
	水分のあるもの	16	45
	水で飽和したもの	18	25 ~ 30
砂	乾燥したもの	16	30 ~ 35
	水分のあるもの	18	40
	水で飽和したもの	20	20 ~ 25
粘土混じり砂	乾燥したもの	15	40 ~ 45
	水分のあるもの	19	20 ~ 25
粘土	乾燥したもの	16	40 ~ 45
	水分のあるもの	20	20 ~ 25
	水で飽和したもの	—	14 ~ 20
シルト		17	10 ~ 20

② 垂直曲管に使用する場合

垂直曲管に離脱防止金具を使用する場合、水圧による抜け出し力 $p \cdot A$ に対して一体化長さ分の摩擦抵抗力のみが作用すると考える。

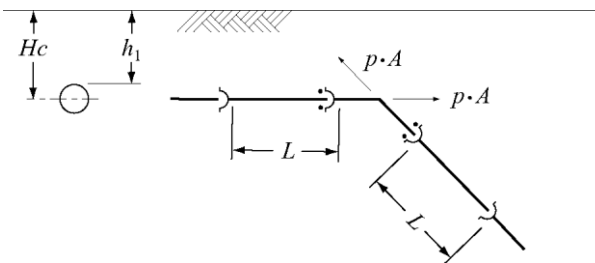


図-2.7.3 垂直曲管に使用する場合

一体化長さ L は次式によって求める。

$$L \geq \frac{S_f \cdot p \cdot D_2}{4\mu \cdot \gamma \cdot (h_1 + D_2/2)}$$

ここに、

- L : 管路一体化長さ (m)
- S_f : 安全率 (一般に 1.25 とする)
- p : 管内水圧 (kN/m^2)
- D_2 : 管の実外径 (m)
- μ : 管と土の摩擦係数 (表-2.7.1 参照)
- γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3) (表-2.7.2 参照)
- h_1 : 管頂までの土かぶり (m)

③ T字管に使用する場合

T字管に離脱防止金具を使用する場合、分岐管路にのみ離脱防止金具を使用する。分岐側における抜け出し力 $p \cdot A$ に対して一体化長さ分の摩擦抵抗力のみが作用すると考える。

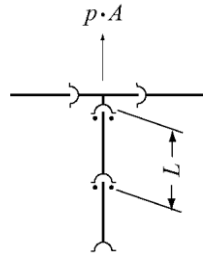


図-2.7.4 T字管に使用する場合

一体化長さの計算式は、垂直曲管に使用する場合と同じ式によって求める。

なお、本管側両端にも離脱防止金具を使用すれば、本管側面の受働土圧を考慮することができ、分岐管側に必要な一体化長さを短縮することができる。この場合の具体的な計算方法については、「水道用硬質ポリ塩化ビニル管技術資料<規格・設計偏>」(塩化ビニル管・継手協会)などを参考にするとよい。

(2) 離脱防止継手のための一体化長さの計算方法

離脱防止継手のための一体化長さの計算は、次のような考え方による。

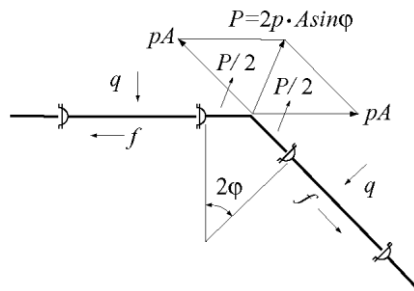


図-2.7.5 離脱防止継手における一体化長さの考え方

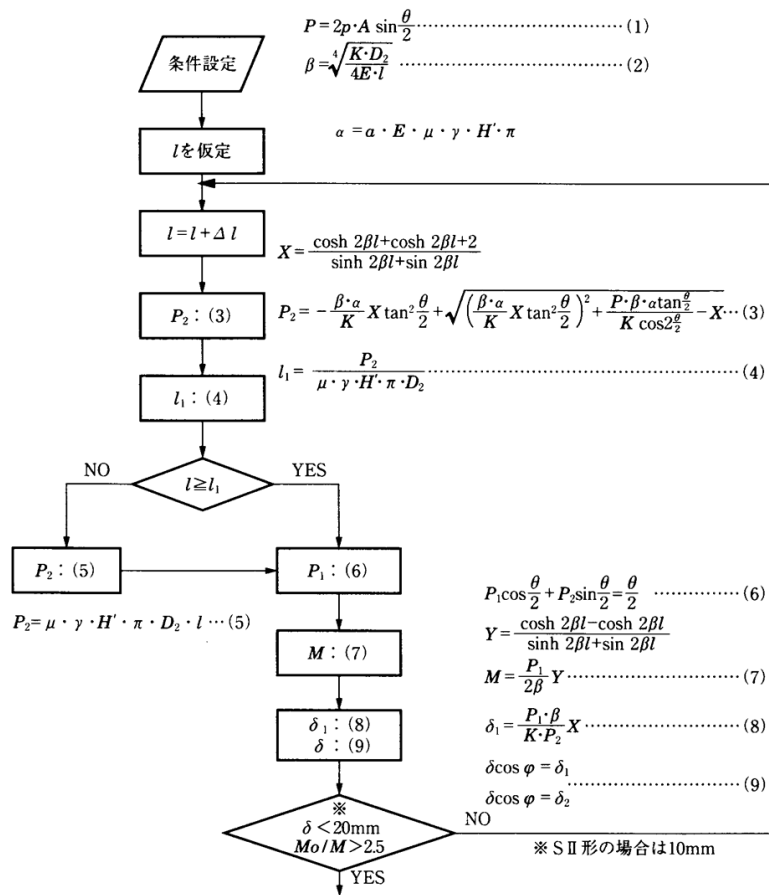
上図において $f > p \cdot A$ (主として垂直曲がり、伏越部) 又は $\bar{f} + \bar{q} > \bar{P}/2$ (水平曲がり) を満

足するように計算する。

離脱防止継手による曲管の一体化長さの計算方法は、図-2.7.6のフローチャートにしたがって計算する。

計算の手順は以下のとおりである。

- ① (1)式により不平均力 P を求める。
- ② l を仮定し、(3)式より軸力 P_2 を求め、(4)式より有効長 l_1 を求める。
- ③ $l \geq l_1$ の場合は、(6)式より横力 P_1 を求める。
- ④ $l < l_1$ の場合は、改めて(5)式より P_2 を求め、(6)式より P_1 を求める。
- ⑤ (7)式より曲げモーメント M を求める。
- ⑥ (8)式及び(9)式より異形管部の移動量 δ を求める。
- ⑦ $\delta < 0.020\text{m}$ (NS形 $\phi 75 \sim 450$ の場合は 0.010m)、 M の安全率が 2.5 以上であるかどうかをチェックし、満足していない場合はもう一度①～⑥の計算を繰り返し、⑦の条件を満足するまで繰り返し計算を行う。



ここに、

P : 曲管に働く不平均力 (kN)	α : 管鉄部の断面積 (m ²)
p : 設計水圧 (MPa)	$\alpha = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)$
θ : 曲管の曲り角 (度)	μ : 土と管との摩擦係数
A : 通水断面積 (m ²)	γ : 埋戻し土の単位体積重量 (kN/m ³)
K : 地盤反力係数	H' : 有効土被り (m)
D_2 : 管外径 (m)	$H' = H + \frac{D_2}{2}$
E : ダグタイル鑄鉄の弾性係数 (1.6×10 ⁸ kN/mm ²)	H : 土被り (m)
I : 管鉄部の断面2次モーメント (m ⁴)	l : 片側の一体化長さ (m)
$I = \frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_1^4)$	Mo : KF形、UF形継手の限界曲げモーメント (kN・m)
D_1 : 管内径 (m)	M : 継手に発生するモーメント (kN・m)

図-2.7.6 離脱防止継手による一体化長さ計算フロー

小口径管（呼び径 75mm～450mm）については、より簡易に一体化長さを算定できるよう、標準的な条件において一体化長さを整理した一覧表が用意されている（表-2.7.3～2.7.5）。表の利用に当たっては適用条件が定められており、適用条件等の詳細については「NS 形・S 形ダグタイル鉄管管路の設計」（ダグタイル鉄管協会）を参照のこと。 【独自】

2.7.3 コンクリートブロックによる異形管防護

小口径管路以外の管路で、離脱防止継手を用いない場合や、管外周面の拘束力を期待できない場合には、コンクリートブロックによる異形管防護を行う。

コンクリートブロックの大きさの決定については、「水道施設設計指針 2012、7.5.9 異形管防護」を参照のこと。

表-2.7.3 離脱防止継手 (NS 形、GX 形) の一体化長さ (曲管部及び T 字管部 : 呼び径 75~300mm)

(単位 m)

呼び径	曲 管 部 ¹⁾						T 字 管 部 ²⁾					
	22.5° 以下		22.5° を超え 45° 以下		45° を超え 90° 以下							
	設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)					
	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3				
75	1	1	1	1	1	4	1	1				
100						5*						
150						6						
200					8	6						
250					2				6	11	2	7
300					7				7	16	7	13

※ NS 形 (E 種管) の場合は、6m となる。

注 1) 単独曲管部では曲管の両側に一体化長さを確保する。

2) 枝管の呼び径で判断し、枝管側に表中の一体化長さを確保する。なお、本管側の一体化長さは呼び径によらず両側とも 1m とする。

備考 1) 適用条件 : 土かぶり 0.6m 以上、埋戻しは砂質土による一般的な埋戻しと N 値 5 程度以上の締固めによる。

2) 表中の設計水圧は、0.75MPa は 0.75MPa 以下の場合、1.3MPa は 0.75MPa を超え 1.3MPa 以下の場合に適用する。なお、設計水圧は静水圧と水撃圧を加えたものとする。

3) ポリエチレンスリーブの有無に関わらず、上表の値を適用する。

4) 曲管が 2 個以上の複合曲管部で 90° を超え 112.5° 以下の角度であれば、上表の 45° を超え 90° 以下の曲管の一体化長さをそのまま適用できる。ただし、112.5° を超える角度については管端部の一体化長さをを用いる。

表-2.7.4 離脱防止継手 (NS 形、GX 形) の一体化長さ¹⁾ (曲管部 : 呼び径 350~450mm)

(単位 m)

呼び径	土かぶり 1.2m						土かぶり 1.5m					
	22.5° 以下		22.5° を超え 45° 以下		45° を超え 90° 以下		22.5° 以下		22.5° を超え 45° 以下		45° を超え 90° 以下	
	設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)	
	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3
350	1	2	3	7	8	15	1	2	3	7	7	13
400			4		9	17			4		8	15
450			3		9	10			19		3	4

表-2.7.5 離脱防止継手 (NS 形、GX 形) の一体化長さ²⁾ (T 字管部 : 呼び径 350~450mm)

(単位 m)

本管側 呼び径	枝管側 呼び径	土かぶり 1.2m		土かぶり 1.5m			
		設計水圧 (MPa)		本管側 呼び径	枝管側 呼び径	設計水圧 (MPa)	
		0.75	1.3			0.75	1.3
350	350	7	14	350	350	7	13
400	300	6	12	400	300	5	10
	400	7	16		400	400	7
450	300	5	12	450	300	4	10
	450	8	18		450	450	8

注 1) 単独曲管部では曲管の両側に一体化長さを確保する。

2) 枝管の呼び径で判断し、枝管側に表中の一体化長さを確保する。なお、本管側の一体化長さは呼び径によらず両側とも 1m とする。

3) 枝管が表-2.7.5 に示す呼び径より小さい場合は、表-2.7.3 の T 字管部の値を用いてよい。

- 備考 1) 適用条件：土かぶり 1.2m 以上、埋戻しは砂質土による一般的な埋戻しと N 値 5 程度以上の締固めによる。
- 2) 表中の設計水圧は、0.75MPa は 0.75MPa 以下の場合、1.3MPa は 0.75MPa を超え 1.3MPa 以下の場合に適用する。
なお、設計水圧は静水圧と水撃圧を加えたものとする。
- 3) ポリエチレンスリーブの有無に関わらず、上表の値を適用する。
- 4) 曲管が 2 個以上の複合曲管部で 90° を超え 112.5° 以下の角度であれば、上表の 45° を超え 90° 以下の曲管の一体化長さをそのまま適用できる。ただし、 112.5° を超える角度については管端部の一体化長さをを用いる。

2.8 耐震設計

営農飲雑用水管路の耐震設計は、水道法の適用を受ける施設となる場合及び地域防災上の重要度も含めた各管路施設の重要性を十分に検討し、耐震性の高い管種の採用を検討するとともに、特に大口径の管路については応答変位法による耐震性の照査を行うものとする。

2.8.1 耐震設計の適用範囲

営農飲雑用水管路は、家畜用水や畑作用水といった農家経済を支える用水の供給を行うほか、地域に対して飲用水を供給する役割をも担っている。したがって地域のライフラインとしての重要性を有する施設ということができ、地震時にも安定して用水供給できることが強く求められる場合がある。

したがって営農飲雑用水管路の設計に当たっては、施設の重要度を個別に判断し、重要度が高いと判断された路線については「水道施設耐震工法指針・解説」にもとづいて管路の耐震性を確保する。施設の重要度を判断するための参考として、以下に検討フローを示す。

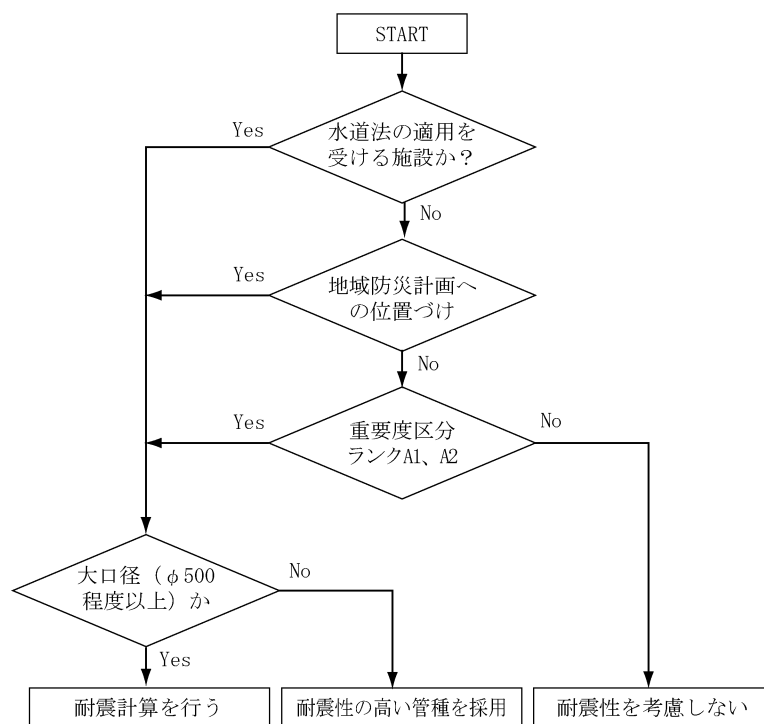


図-2.8.1 耐震検討フロー

水道法の適用を受ける施設となる場合及び地域防災計画において、当該営農飲雑用水施設及び区域が地域の緊急用水として位置づけられている場合には、耐震性を有する管種を採用する等の方法により管路の耐震性を確保する必要がある。また、個別管路の重要度を判断したときに「水道施設耐震工法指針・解説」におけるランク A1 または A2 といった重要な施設に分類される場合も同様に管路の耐震性を確保する。

さらに、大口径（φ500 程度以上）の管路については、耐震計算により管路の耐震性を照査する。

また、特に重要性が高いと判断される管路、あるいは断層横断部または軟弱地盤上に敷設される管路については、過去の実績や地域の実情に応じて、施設管理者と協議を行ったうえで耐震性の検討を行う。

※ 管種・継手ごとの耐震適合性は、「水道施設耐震工法指針・解説」（2022 年版）Ⅱ 参考資料編 表-参 2-1.9 を参照。

2.8.2 施設の重要度

図-2.8.1において、「水道施設耐震工法指針・解説」（2022年版）のランク A1 または A2 に位置づけられるかどうかを検討するが、このときの重要度区分を表-2.8.1 に示す。

表-2.8.1 水道施設における重要度区分

水道施設の重要度の区分	対象となる水道施設
ランク A1 の水道施設	表-2.8.2 に示す重要な水道施設のうち、ランク A2 の水道施設以外の水道施設
ランク A2 の水道施設	表-2.8.2 に示す重要な水道施設のうち、次の 1) 及び 2) のいずれにも該当する水道施設 1) 代替施設がある水道施設 2) 破損した場合に重大な二次被害を生ずる恐れが低い水道施設
ランク B の水道施設	上記ランク A1、ランク A2 以外の水道施設

表-2.8.2 重要な水道施設

重要な水道施設	(1) 取水施設、貯水施設、導水施設、浄水施設及び送水施設 (2) 配水施設のうち、破損した場合に重大な二次被害を生ずる恐れが高いもの (3) 配水施設のうち、(2)の施設以外の施設であって、次に掲げるもの (i) 配水本管（配水管のうち、給水管の分岐のないものをいう。以下同じ） (ii) 配水本管に接続するポンプ場 (iii) 配水本管に接続する配水池等（配水池及び配水のために容量を調節する設備をいう。以下同じ） (iv) 配水本管を有しない水道における最大容量を有する配水池等
---------	--

2.8.3 耐震計算

水道施設の要求性能に対する限界状態は、以下のとおりとする。

① 限界状態 1

使用性を満たす最低の限界状態（例えば、管材や継手には軽微な変形・変位があるが漏水せずに継続使用できる状態）

② 限界状態 2

復旧性を満たす最低の限界状態（例えば、管材の一部に大きな塑性変形が認められる、または継手変位が大きく離脱防止機構が作動しているが、材料の破断・継手離脱に十分な裕度を確保されていて漏水が生じていない状態）

③ 限界状態 3

安全性を満たす最低の限界状態（例えば、池状コンクリート構造物において、貯留機能や外部からの汚染防止機能、通水機能、処理機能が低下する場合があるが、安全性は確保できている状態）

レベル 1 及びレベル 2 地震動に対して、保持すべき耐震性能を下表に示す。ここで、レベル 1 地震動とは構造物の供用期間中に数回発生する確率を有する程度の地震動をいい、レベル 2 地震動とは発生確率は低いが大きな影響をもたらす地震動のことをいう。

表-2.8.3 重要度の区分別の要求性能に対する照査に用いる設計地震動と限界状態

重要度の区分	要求性能	設計地震動		限界状態		
		レベル1地震動	レベル2地震動	限界状態1	限界状態2	限界状態3
ランク A1 の水道施設	使用性	○	-	○	-	-
	復旧性	-	○	-	○	-
	安全性	-	○	-	-	○
ランク A2 の水道施設	使用性	○	-	○	-	-
	復旧性	-	-	-	-	-
	安全性	-	○	-	-	○
ランク B の水道施設	使用性	-	-	-	-	-
	復旧性	○	-	-	○	-
	安全性	○	-	-	-	○

- ・ ランク A1 の施設では、レベル2地震動に対する復旧性の保持により、安全性が確保される。
- ・ ランク A2 の施設では、復旧性に対する要求性能の確保を求めない。
- ・ ランク B の施設では、使用性に対する要求性能の確保を求めない。
- ・ ランク B の施設では、レベル1地震動に対して復旧性に対する要求性能の確保を基本とする。復旧性の保持により、安全性が確保される。
- ・ ランク B の施設のうち、構造的な損傷はあるが断面修復等によって機能回復が図れる施設は、レベル1地震動に対して安全性に対する要求性能のみを確保する。

上に示す原則的な取り扱いを踏まえると同時に、施設の維持管理及び運用を担う市町村の水道ビジョンや地域防災計画、近傍施設の整備水準等を勘案し、総合的な判断に基づいて各管路に必要とされる耐震性能を定義する。

具体的な耐震計算の方法については、「水道施設耐震工法指針・解説」を参照のこと。

2.9 附帯施設

営農飲雑用水管路の附帯施設は、設置されるべき地点の地形条件その他の設置条件を踏まえ、管路系全体の安全性を確保できるよう配慮して設計する。

2.9.1 遮断用バルブ及び制御用バルブ

遮断用バルブとしては仕切弁、バタフライ弁が、流量、水圧の制御用バルブとしてはバタフライ弁、コーン弁が多く用いられている。これらのバルブの機能について比較検討し、最も適切なバルブを適所に配置する。

遮断用バルブ及び制御用バルブの選定及び設置における留意事項は、次のとおりである。

(1) 管路の水理条件、設置目的等に適合する機能を持つこと。

遮断用バルブは、通常弁体の全開、全閉により管路内水流の通水及び遮断を行うものである。

制御用バルブは、配水区域内の動水圧をできるだけ一定に保ち、水需要に応じた必要水量を給水するため、区域内の土地の高低、建築物の規模等の地域特性、配水本管・支管の配置状況に応じ、バルブの開度調整によって適切に水量、水圧の制御ができる必要がある。

バルブの取付け方法としては、フランジ継手接合が一般的であるが、NS形継手等の継手を持つバルブも普及している。

(2) 配水操作及び管路の維持管理に必要な場所であること。

バルブ設置箇所を具体的に例示すると、次のとおりである。

① 配水本管

- ・ 管路の始点、分岐点、交差部、水管橋・伏越部の両端、配水管の分岐部付近に設けるほか、管路が長い時には1~3kmごとに設置する。
- ・ 標高差が大きく長い斜面の上部及び下部には必ず設置する。

② 配水支管

- ・ 配水本管からの分岐部、水管橋・伏越部の両端、排水管の分岐部付近には必ず設置する。
- ・ 分岐部、交差部には配水支管網の構成状況に応じて設置する。

(3) 水質に影響を与えない。

遮断用バルブ、制御用バルブとも、長年にわたる使用の間に、弁箱や弁体の塗装の劣化によって錆が発生し、赤水の原因となったりまたは開閉を困難にさせる原因にもなっている。これらバルブに用いる塗装については、塗膜としての性状に優れ、水質悪化の原因とならない塗料を用いる。

(4) 必要に応じ、管径400mm以上のバルブにはバイパス弁を設けるか又は副弁内蔵型のバルブを使用する。

一般に遮断用バルブは、全閉状態からの開弁操作開始時や閉弁操作時の終了直前に、バルブ開閉に要するトルクが大きくなる。このトルクは、弁体に働く水圧が高いほど、また管径が大きくなるほど大きくなる。

そのため水圧が0.40MPa程度以上で、管径400mm以上のバルブには、本管よりも管径が数段小さいバイパスを設け、それにバルブを設置するか、副弁内蔵型のバルブを設置し、本弁の開閉に

先立ち、このバイパス弁を開閉して下流側に通水し、上・下流の圧力差を軽減して、本弁の開閉を容易にすることが必要である。上・下流の圧力差があっても、バタフライ弁などを使用すれば、容易にバルブの開閉が可能となる。

(5) バルブ室の構造は堅牢で、バルブの操作、点検に支障がないこと。

一般にバルブ室は、管径 400mm 以上の配水本管弁に対して設置されるが、交通量の多い場所、自動車が通過する道路下にバルブ室を設ける場合は、これらに耐える堅牢な構造とする。

管径 350mm 以下のバルブには弁筐（きょう）を用いるが、バルブの周囲に砕石基礎工などを施し、そのうえに筐をおき、埋戻し後十分に締固め、筐の傾きなどによってバルブの開閉に支障をきたすことのないようにする。

(6) バルブ室前後の管路の安定性を図る。

バルブ室は、バルブと一体構造になり重量が大となるので、できるだけ地盤の良好な場所を選んで設置する。

やむを得ず軟弱な地盤や液状化のおそれがある砂質地盤等に設置する時は、基礎工や地盤改良等を行う。特にバルブ室付近の管路は、地盤の不同沈下や液状化の際にバルブ室とは異なった挙動を呈し、事故発生の可能性が大きいため適切な対策を講じ、管路の安定性を確保する。

2.9.2 空気弁

管路の凸部には、水中に溶存する空気が分離してたまりやすく、この空気が円滑な通水を妨げ、時には管路の事故を誘発することもあるため、適切に排除することが必要である。

管路に充水するときは、管内の空気を適切に排除する必要があり、工事又は作業上の必要から断水し、管内の空気を排除する時は、適切な吸気が必要となる。

このような目的を果たすため、管路には、適所に空気弁を配置する。空気弁を設置する際の留意事項は、次のとおりである。

- (1) 管路の凸部その他適所に設ける。
- (2) 空気弁は、水道用急速空気弁を採用し、適切な口径を選択する。
- (3) 空気弁には、補修弁を設ける。
- (4) 空気弁室の構造は堅牢で、空気弁の管理が容易なものとする。
- (5) 適切な凍結防止対策を講じる。

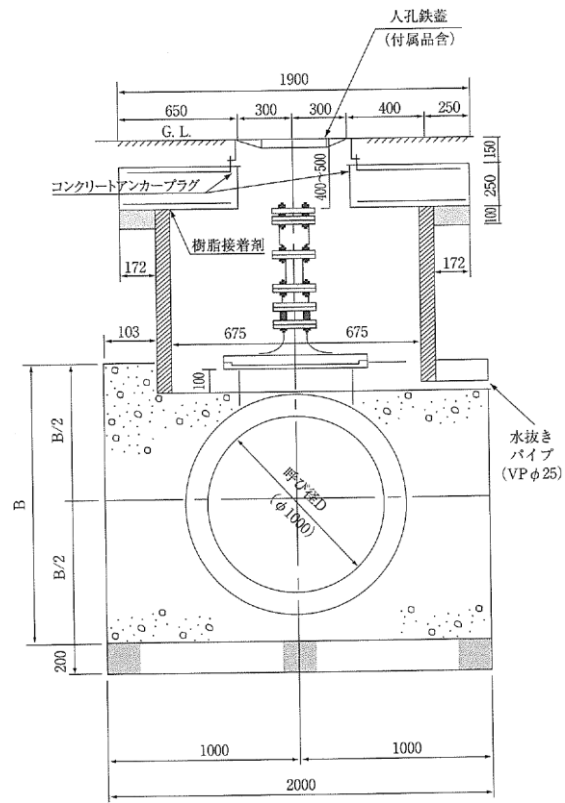


図-2.9.1 空気弁の例 (急速空気弁)

2.9.3 減圧弁

減圧弁は、用水供給の安定性を図る観点から、設計流量時に各給水地点において動水圧をなるべく一定に保つ役割を持つ。すなわち、適正動水圧を大きく超過する場合に、水圧制御用バルブの制御範囲を超える水圧を減圧して、配水区域内で適正動水圧の維持を図るために用いられる。

オート弁は、一次側、二次側の水圧によって作動する自動弁であり、各種パイロット弁、電磁弁、絞り機構の組合せによって、

- ① 少量使用時減圧、多量使用時全開
- ② 夜間減圧、昼間全開
- ③ 夜間、昼間の二段減圧

等の減圧が可能であり、配水管の減圧用として多用されている。

これらの減圧弁の特性、減圧幅、維持管理の容易性、経済性等について検討し、適切な機種を選択する。

なお、一般の減圧弁では、完全に止水状態にある場合には一次側と二次側が直結し、静水圧は二次側へ連続した状態となる。すなわち、静水圧 0.75MPa 以下という条件を確保するために減圧弁を設けようとする場合には、静水圧制御ができる減圧弁とするかどうかの検討が必要である。

減圧弁が減圧効果を発揮するために必要な流量（最小調整可能流量）は 50l/min 程度であり、一般の給水栓 1 栓分にも満たない小流量である。しかし山間地の営農飲雑用水施設では減圧弁より下流の栓数が少なくなるケースが多く、夜間など完全止水状態になる可能性は高い。このような状態が予想される場合には、完全止水状態においても一次側と二次側の静水圧を遮断することが可能な減圧弁を採用するか、安全弁から減圧に必要な水量の排水を行うことによって対応する。

安全弁からの排水によって減圧弁の減圧効果を得ようとする場合には、2 段以上の減圧弁の設置による圧力脈動の発生に注意が必要である。また、長時間の排水がありうるため、安全弁からの排水は確実な排水が見込める場所に導くようにする。

減圧弁が故障した場合や、維持管理を行っている間の通水を確保するため、バイパス管を設ける。バイパス管は本管と同口径か 1 段下の管径とする。バイパス管に通水している時には、上流側と下流側は連続しており、減圧効果がなくなっているため、下流における管の破損を防ぐためにバイパス管と本管の接続部より下流に安全弁を設置する。減圧弁周辺の標準的な配管について、図-2.9.2 に示す。

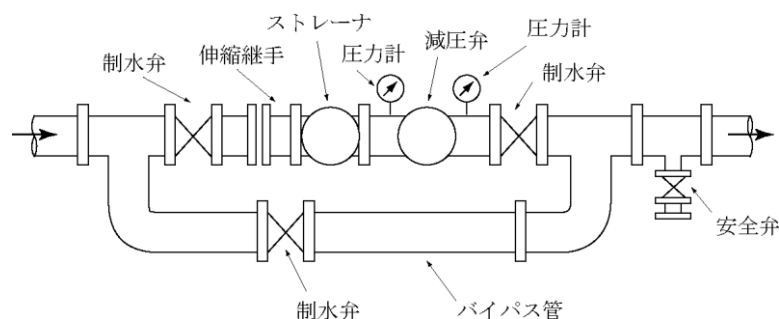


図-2.9.2 減圧弁周辺の標準的な配管

2.9.4 排水（排泥）設備

排水設備は、管の布設時における夾雑物の排出、管内に発生した濁水などの排水及び工事ならびに事故等非常時の管内水排水のために設置する。排水設備を設置する際の留意事項は次のとおりである。

- (1) 配水本管路の低部で、河川、用水路、下水管渠等の付近を選んで設ける。

排水設備は、管路の低部で排水ができる水路などの付近に設けることが望ましい。また、排水管分岐箇所近くの適切な箇所にバルブを設置して、効率的に排水できるようにする。

排水管路からの吐出口は、水路などからの汚水の逆流を防止するため、水路などの高水位より高い位置に設置する。放流水面が管底より高い場合には、管内水を完全に排水するため、排水管路の途中に排水柵を設けてポンプ排水をする必要がある。

排水管路の吐出口付近が、放流によって侵食される懸念がある場合は、コンクリート、蛇籠、捨石等の保護工を施す。また、排水柵を鉄筋コンクリート造りとして吐き口からの噴出水の水勢をそぎ、その越流口の幅をできるだけ大きくして流速を減じ放流する方法もある。

- (2) 支管網内の適所を選んで設ける。

配水支管においても適所に排水設備を設置する。管網内の低地に排水先がある場合には、その近くに設置する。

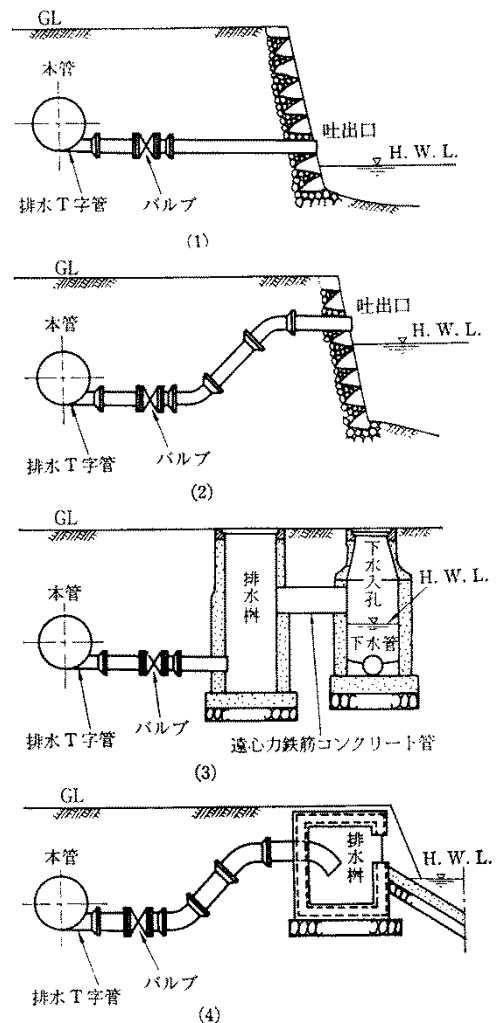
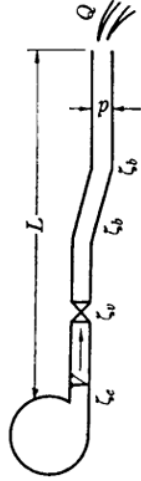


図-2.9.3 排水工の例

L=50m (単位:m³/min)

開口面積(m ²)	L=50m (単位:m ³ /min)													
	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	全開	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	全開
開口面積(m ²)	0.0099	0.0027	0.0034	0.0046	0.0057	0.0067	0.0079	0.0094	0.0173	0.0315	0.0420	0.0516	0.0601	0.0707
スピンドル回転数	1.7	3.5	5.2	7.0	8.6	10.4	13.8	3.1	6.7	9.2	12.3	15.4	18.2	24.6
本管水圧 (MPa)	0.05	0.74	0.85	0.91	0.93	0.95	0.95	0.05	6.0	8.0	9.2	9.8	10.2	10.5
	0.10	1.05	1.21	1.29	1.31	1.33	1.35	4.2	8.4	11.3	13.0	13.9	14.4	14.8
	0.15	1.27	1.48	1.57	1.61	1.63	1.65	5.1	10.3	13.9	15.9	17.0	17.7	18.1
	0.20	1.48	1.70	1.82	1.86	1.90	1.90	5.9	12.0	16.1	18.5	20.1	20.6	21.2
	0.25	1.65	1.91	2.05	2.09	2.11	2.12	6.6	13.4	18.0	20.7	22.4	23.0	23.7
	0.30	1.80	2.11	2.24	2.27	2.31	2.33	7.3	14.7	19.7	22.7	24.5	25.2	26.0
	0.35	1.95	2.26	2.39	2.46	2.48	2.52	7.5	15.9	21.3	24.5	26.5	27.3	28.1
	0.40	2.09	2.43	2.56	2.63	2.67	2.69	8.3	17.0	22.7	25.2	28.3	29.4	30.0
開口面積(m ²)	0.0021	0.0050	0.0077	0.0091	0.0127	0.0149	0.0177	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	全開
スピンドル回転数	2.2	4.4	6.5	8.9	11.1	13.3	17.7	3.7	7.4	11.1	14.8	18.4	22.1	29.5
本管水圧 (MPa)	0.05	1.9	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	4.3	8.9	12.3	14.5	15.7	16.5	17.0
	0.10	2.7	3.3	3.6	3.7	3.8	3.9	6.0	12.7	17.4	20.5	22.2	23.3	24.0
	0.15	3.3	4.0	4.4	4.6	4.6	4.7	7.4	15.5	21.3	25.0	27.2	28.6	29.4
	0.20	3.8	4.7	5.1	5.3	5.4	5.4	8.6	17.9	24.7	29.0	31.5	32.9	34.0
	0.25	4.2	5.2	5.6	5.9	6.0	6.1	9.6	20.0	27.6	32.4	35.3	36.8	38.0
	0.30	4.6	5.7	6.2	6.4	6.6	6.6	10.5	21.9	30.2	35.5	38.6	40.3	41.6
	0.35	5.0	6.1	6.7	7.0	7.1	7.2	11.3	23.7	32.6	38.3	41.6	43.5	45.0
	0.40	5.3	6.6	7.1	7.4	7.6	7.7	12.1	25.3	34.9	41.0	44.5	46.7	48.0
開口面積(m ²)	0.0040	0.0090	0.0137	0.0186	0.0228	0.0267	0.0314	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	全開
スピンドル回転数	3.0	5.9	8.9	11.8	14.7	17.7	23.6	4.3	8.6	12.9	17.2	21.5	25.9	34.5
本管水圧 (MPa)	0.05	1.9	3.6	4.5	5.2	6.0	6.1	7.7	16.4	23.5	28.4	31.6	33.4	34.8
	0.10	2.6	5.1	6.3	7.4	8.0	8.1	10.9	23.3	33.3	40.1	44.6	47.3	49.2
	0.15	3.2	6.3	7.7	9.0	9.8	10.0	13.3	28.5	40.8	49.1	54.7	58.0	60.2
	0.20	3.7	7.3	9.0	10.4	11.3	11.5	15.4	32.9	47.0	56.7	63.2	66.8	69.5
	0.25	4.2	8.1	9.9	11.6	12.6	12.8	17.2	36.8	52.7	63.4	70.6	74.8	77.7
	0.30	4.6	8.9	10.9	12.7	13.4	14.1	18.8	40.3	57.6	69.5	77.3	81.8	85.1
	0.35	4.9	9.6	11.8	13.8	14.5	15.2	20.3	43.6	62.3	70.1	83.5	88.5	92.0
	0.40	5.3	10.2	12.6	14.7	15.5	16.3	21.7	46.6	66.6	80.2	89.2	94.5	98.3

(計算の条件)



$$H = \left(\zeta_c + \zeta_b + 2\zeta_a + \lambda \frac{L}{d} + 1 \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$= \left(1.6 + \zeta_a + \lambda \frac{L}{d} \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$\therefore v = \frac{4.43}{\sqrt{1.6 + \zeta_a + \lambda \frac{L}{d}}} \sqrt{H}$$

$$\text{流量 } Q \text{ は } Q = \frac{\pi}{4} d^2 v$$

$$= \frac{\pi}{4} d^2 \frac{4.43}{\sqrt{1.6 + \zeta_a + \lambda \frac{L}{d}}} \sqrt{H} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

ここに、

H: 本管水圧 (m)

L: 排水管管長 (m)

d: 排水管管径 (m)

ζ_a : 流入損失係数 (0.5)

ζ_b : 曲管損失係数 (0.04)

ζ_c : バルブ損失係数

λ : 排水管摩擦損失係数

(新管, ライニングなし)

バルブの開度と ζ_c との関係

開度	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	全開
ζ_c	90	16	5.5	2.3	1.0	0.385	0

管径と λ との関係

管径	100	150	200	250	300	400
λ	0.045	0.040	0.036	0.031	0.027	0.024

図-2.9.4 排水排水量概算表

2.9.5 橋梁添架工

営農飲雑用水管路の河川横断は、管路が一般的に公道路肩に布設されること、及び管径が比較的小さいことなどから、橋梁添架工によって対応することが多い。

橋梁添架工は、橋梁上部工に吊り下げ等の方法により管路を固定する方法である。橋梁添架によって、管体に対してはスパン間で引張方向の応力が働き、管を固定する支持金具は支持方法によって異なる応力が働く。また支持金具を橋梁上部工に固定するアンカーの検討も必要となる。

また橋梁に対しては管体重量及び管内水重が载荷されることになるため、管径が特に小さい場合を除いては、橋梁に対する安全性の照査が必要である。

また北海道のような寒冷地では、架空部の断熱検討を行う必要がある。

(1) 橋梁添架工設計の手順

一般的な橋梁添架工の設計フローを下に示す。

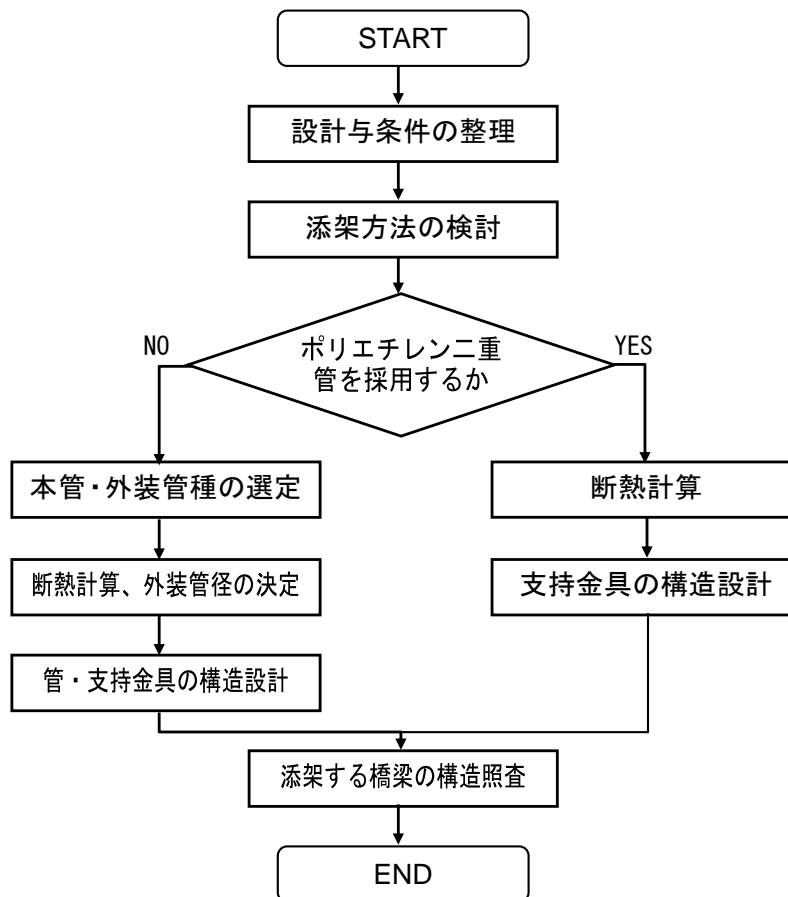


図-2.9.5 橋梁添架工設計フロー

(2) 添架位置及び形式

橋梁添架工の添架位置及び形式は、添架する橋梁の形式や維持管理の方法を踏まえて決定する。河川管理者、又は道路管理者による指示がある場合にはその指示によるものとする。

① 床版下吊下

橋梁の床版下に吊下金具を設置し、これにより管を固定する方法である。積雪の影響を受

けないため構造的に有利で、雨水にさらされないことから維持管理上も有利であることが多い。

管を吊下げても河川断面を阻害しないことが設置の条件である。

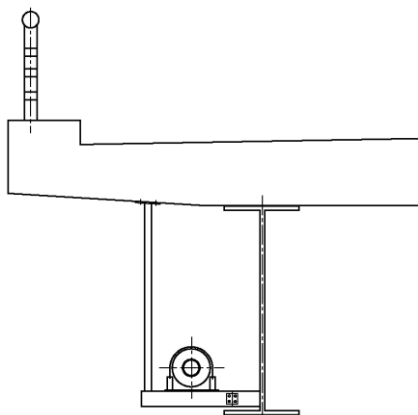


図-2.9.6 床版下吊下タイプ断面図（例）

② 地覆側面固定

地覆の側面にL型の支持金具を設置し、管を固定する方法である。上部工側面に管が張り出している形であるため、管を橋上から目視することが可能で、維持管理作業は比較的容易である。

積雪及び雨水が直接作用する位置にあるため、構造計算時には積雪荷重を考慮する必要がある。また雨水や日光による塗装の劣化が生じやすい。

基本的にどの形式の橋梁にも添架可能である。

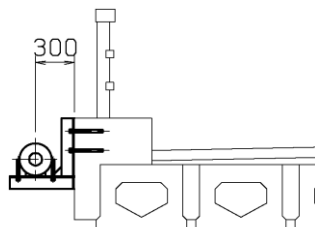


図-2.9.7 地覆側面固定タイプ断面図（例）

③ パイプビーム

橋台側面や翼壁のみに管を固定し、橋梁上部工に管が接しない方法である。橋長が短かく、上記の2方法よりも経済的に有利な場合に限り適用する。



図-2.9.8 パイプビーム方式の形状

(3) 管種の選定

橋梁添架工の管種は、管理者による維持管理方針を考慮して決定する。管種によって構造部材として扱うことができない場合があるので留意する。なお、河川管理者や道路管理者による指示がある場合には、その指示によるものとする。

① 本管

橋梁添架では本管が構造部材となる場合があり、このとき管には曲げ応力が作用するため、管の継手が応力に耐え得る構造を有している必要がある。外装管を構造部材とする場合には、必要な内圧に耐え得る管種とする。

またフランジや押輪による継手では管外側に張り出す部分が多くなり、部分的に外装管径を大きくする必要が生じるため、継手部ができる限り外側に張り出すことのない管種を用いるのが望ましい。

本管は外装管及び断熱材に囲まれており、漏水が生じても補修作業が困難であるため、長期にわたって腐食等による漏水が生じない材質が望ましい。

表-2.9.1 本管に利用可能な主な管種

管 種	特 徴
ステンレス鋼管	溶接により完全な一体構造となる。腐食に強く維持管理費が少ない。重量が大きく高価。
水道配水用ポリエチレン管	軽量で安価。融着又は溶着により完全な継手構造となるが、管体の引張強度が低いいため構造部材としては不適。

配管用炭素鋼鋼管、亜鉛めっき鋼管は水道法により上水道用途としての使用は不可とされている。また、水輸送用塗覆装鋼管（STW）やその他のライニング鋼管は、溶接接合によって内面のライニングが傷み腐食の原因となるため、端部にステンレス鋼管を継ぐ等の加工が必要となる。

② 外装管

本管により全体を支える構造とする場合には、外装管はできる限り軽く、風雨や積雪による劣化が少ない管種を選定する。

外装管を構造部材とする場合には、必要な応力に耐え得る管種を選定する。埋設部の外装管は、土圧に耐え得る管種が必要であり、一般的には一般構造用炭素鋼鋼管（STK）が用いられている。

表-2.9.2 外装管に利用可能な主な管種

管 種	特 徴	外 面 塗 装	
		架 空 部	埋 設 部
スパイラル管 (ステンレス鋼材)	管厚が薄く軽量で腐食に強い。構造部材としては不適。	不要	—
スパイラル管 (一般構造用圧延鋼材)	軽量である。構造部材としては不適。	エポキシ+ ポリウレタン系	—
ステンレス鋼鋼管	腐食に強く、維持管理が不要。	不要	不要
一般構造用炭素鋼鋼管	安価で構造的にも強靱だが腐食に弱く、再塗装が必要。	エポキシ+ ポリウレタン系	エポキシ系

※ 上記以外の塗装については、「機械工事塗装要領（案）・同解説」（日本建設機械化協会）に基づいて適切に選定すること。

③ 断熱送水用パイプ

本管と外装管及び断熱材が一体形成された、断熱送水用パイプが市販されており、近年採用実績が増えてきている。

このような一体形成された断熱送水パイプを採用する場合には、本管や外装管に示す特性を踏まえた上で経済性、維持管理等について総合的に検討し管種を選定する。

表-2.9.2-1 本管と外装管及び断熱材が一体形成された管種

管 種	特 徴
断熱ポリエチレン二重管	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軽量、長尺で取扱い及び施工が容易。 ・ 本管はステンレス鋼帯で補強しているものもあり、高い内圧に対応。 ・ 本管はアラミド繊維等で補強しているものもあり、高い内圧に対応。 ・ 外装管に波付鋼管やステンレス管を採用し、高い外圧強度を有する。 ・ 硬質発泡ポリウレタンの断熱層により凍結防止。

(4) 支持間隔

通水管の支持間隔は、下表に示す間隔を標準とする。ただし、伸縮可とう管及び弁類は両側近傍を支持することを原則とする。

表-2.9.3 支持間隔

管 径 (本管呼び径)	支 持 間 隔
80A	2.0m 以内
100A~150A	3.0m 以内
200A~350A	4.0m 以内
400A 以上	6.0m 以内

「WSP007-2023 水管橋設計基準」 (日本水道鋼管協会)

(5) 断熱計算

冬期間の凍結防止のため、橋梁添架工は凍結防止のための断熱材を設ける。断熱材の厚さは、現地の気象条件を加味して断熱計算により決定する。

① 断熱計算の方法

断熱計算は、次式によることを標準とする。なお、次式と同様の意味の式は数多く示されているので、それを用いてもよい。

$$t_f = C \cdot R \cdot \ln \frac{T_\infty - T_{i0}}{T_\infty}$$

$$t_{cf} = \frac{Q_{L0}}{q_{out}} \cdot r$$

$$R = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_{p1}} \ln \frac{d_1}{d_w} + \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_{p2}} \ln \frac{d_o}{d_2} + \frac{2}{d_o} \frac{1}{h_o} \right)$$

$$C = c_i \cdot \frac{\pi d_w^2}{4} \rho_l + c_{p1} \cdot w_{p1} + \frac{2d_1 + d_2}{3(d_1 + d_2)} c_i \cdot w_i + c_{p2} \cdot w_{p2}$$

$$Q_{L0} = \frac{\pi d_w^2}{4} \rho_l \cdot L$$

$$q_{out} = \frac{1}{R} (T_f - T_\infty)$$

ここに、

t_f : 凍結開始までの時間 (hr)

t_{cf} : 凍結開始から、管内断面の $r\%$ が凍結するまでの時間 (hr)

R : 熱抵抗 (hr・°C/kcal)

C : 管内水を含む管全体の熱容量 (kcal)

Q_{L0} : 内水の全てが凍結することにより奪われる総熱量 (kcal)

T_∞ : 外部温度 (°C)

T_{i0} : 管内水の初期温度 (°C)

T_f : 凍結温度 (°C)
 q_{out} : 凍結時に放出される時間当たり熱量 (kcal/hr)
 d_w : 本管内径 (m)
 d_1 : 本管外径 (m)
 d_2 : 外装管内径 (m)
 d_o : 外装管外径 (m)
 λ_{p1} : 本管の熱伝導率 (W/(m・°C))
 λ_i : 保温材の熱伝導率 (W/(m・°C))
 λ_{p2} : 外装管の熱伝導率 (W/(m・°C))
 h_o : 外表面熱伝達率 (W/(m²・°C))
 c_l : 水の比熱 (kcal/(kg・°C))
 c_{p1} : 本管の比熱 (kcal/(kg・°C))
 c_i : 保温材の比熱 (kcal/(kg・°C))
 c_{p2} : 外装管の比熱 (kcal/(kg・°C))
 L : 水の凝固熱 (kcal/kg)
 ρ_l : 水の密度 (kg/m³)

「建築設備の凍結防止 計画と実務」 ((社)空気調和・衛生工学会)

熱抵抗 R の計算において、外表面熱伝達率 h_o を無限大と考えることにより、最終項を省略する場合がある。また、熱容量 C の計算においては、管内水のみを考慮し、第2項以降を省略する場合がある。このようにして項を省略して算定した結果はいずれも安全側となる。

一般的に用いられている各種材料の熱係数は下表のとおり。

表-2.9.4 各種材料の熱係数 (一般的な値)

材 料 名	熱 係 数
ステンレス鋼	熱伝導率 16 W/(m・°C)
炭素鋼	熱伝導率 52 W/(m・°C)
硬質ウレタンフォーム	熱伝導率 0.024 W/(m・°C) (JIS A 9501)
水	比熱 1.0kcal/(kg・°C)、凝固熱 79.7kcal/kg、密度 1000kg/m ³

② 気温及び水温の設定

断熱計算に使う外部温度は、当該地域近傍の気象官署における10年確率最低気温を用いる。確率計算は、岩井法などによるものとする。

断熱計算に使う水温は、配水管が凍結深より下に地中埋設されていることから、浅層の地下水温と近似していると考えられる。平均気温と浅層地下水温の関係は次式により推定することができる。

$$T_e = 0.83T_a + 3.7$$

ここに、

T_e : 恒温層上限地中温度 (=恒温層以浅の地下水年平均温度) (°C)

T_a : 年平均気温(°C)

「地下水ハンドブック」 ((株)建設産業調査会)

北海道の年間平均気温は 5.5~9.8°C (道内の主要な気象官署の平年値) であり、ここから浅層地下水の水温を推定すると 8.3~11.8°Cとなる。これに安全を考慮して標準的な水温を 5°Cとする。

③ 断熱計算による外装管径の考え方

通水停止に伴う管内水の凍結は、管の断面積の 25~30%程度まで進行すると管路としての機能に大きな影響を与える。

一方、補修工事等による非常時の通水停止は、数時間から 1 日程度となることが多い。なお、各戸給水では夜間に水使用がなくなることによって実質的な通水停止状態となるが、本線管路においては管内に若干の水の移動があるものと考えられる。

以上より、橋梁添架工は非常時の通水停止に対応しうる断熱性能を有するものとし、管内水の 25%が凍結するまでの時間が 1 日 (24 時間) 以上となるよう、外装管径を定めるものとする。

(6) 構造計算

橋梁添架工本体、及び添架する橋梁がともに構造的に安全であることを確認する。橋梁添架工本体の構造計算は、「WSP007-2023 水管橋設計基準」(日本水道鋼管協会;以下「水管橋設計基準」と記す)に準じて行うものとする。

① 荷重

橋梁添架工で考慮する荷重は、次のとおりである。

- 1) 死荷重 (D)
- 2) 内圧 (IP)
- 3) 雪荷重 (SW)
- 4) 通行荷重 (L) (通常は考慮しない)
- 5) 風荷重 (WS)
- 6) 温度変化の影響 (TH)
- 7) 地震の影響 (EQ)

荷重の組み合わせに対する荷重組み合わせ係数及び荷重係数は、「水管橋設計基準」に示される値を用いる。

② 材料の強度

各管種ごとの強度の特性値を、表-2.9.5 に示す。

表-2.9.5 各管種の強度の特性値

管 種	引張降伏・圧縮降伏 応力度(N/mm ²)	せん断降伏応力度 (N/mm ²)
水輸送用塗覆装鋼管(STW290)	175	100
水輸送用塗覆装鋼管(STW400)	225	130
一般構造用炭素鋼鋼管(SS400)	235	135
ステンレス鋼管(SUS304)	205	115

「WSP007-2023 水管橋設計基準」 (日本水道鋼管協会)

③ 管の構造計算

管本体の構造照査は、次の項目について行う。

- a. 円周方向応力度
- b. 管軸方向応力度
- c. せん断応力度

それぞれの応力度に対し、限界状態 1 (使用性を満足する状態) 及び限界状態 3 (安全性を満足する状態) について調査・解析係数、部材・構造係数、抵抗係数を考慮して照査する。照査の方法の詳細は「水管橋設計基準」によるものとする。

円周方向応力度 (内圧による引張応力度) は、次式による。

$$\sigma_t = \frac{P \cdot r_i}{t}$$

ここに、

σ_t : 内圧による引張応力度 (N/mm²)

P : 内圧 (MPa)

r_i : 管内半径 (mm)

t : 管厚 (mm)

「WSP007-2023 水管橋設計基準」 (日本水道鋼管協会)

- 管軸方向応力度は、次式による。

$$\sigma_t, \sigma_c = \frac{N}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここに、

σ_t : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_c : 軸方向圧縮応力度 (N/mm²)

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

N : 軸方向力 (N)

M : 曲げモーメント (N・mm)

$$M_{\max} = 0.125w \cdot L^2$$

M_{\max} : 最大曲げモーメント (kN・m)

w : 等分布荷重 (kN/m)

L : 支持間隔 (m)

A : 部材の断面積 (mm²)

Z : 部材の断面係数 (mm³)

「WSP007-2023 水管橋設計基準」 (日本水道鋼管協会)

せん断応力度は、次式による。

$$\tau = \frac{2Q}{A}$$

ここに、

τ : 管軸に直角方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (N) = R : 支点反力 (N)

$$R = 1.25w \cdot L$$

R : 支点反力 (N)

w : 等分布荷重 (N/mm)

L : 支持間隔 (mm)

A : 管の断面積 (mm²)

「WSP007-2023 水管橋設計基準」 (日本水道鋼管協会)

④ たわみの検討

垂直及び水平荷重による添架管のたわみ量を算定し、許容値以下となることを照査する。
たわみの許容値は下表のとおりである。

表-2.9.6 たわみの許容値

形 式	許容たわみ
パイプビーム形式	L / 350

「WSP007-2023 水管橋設計基準」 (日本水道鋼管協会)

たわみ量の計算は次式による。

$$\delta_{h,v} = \frac{5 \cdot w_{h,v} \cdot L^4}{384EI}$$

ここに、

$\delta_{h,v}$: 垂直及び水平たわみ量 (mm)

$w_{h,v}$: 垂直及び水平当分布荷重 (N/mm)

L : 支持間隔 (mm)

E : ヤング係数 (N/mm²)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

⑤ 支持金具の構造計算

支持金具については、添架形式及び支持金具の形状によって構造解析の方法が異なる。したがって支持金具の形状に応じた適当な構造解析を行うものとする。

支持金具にかかる鉛直荷重は、各々の支持金具に対して左右の支点間隔の 1/2 ずつの荷重がかかるものとする。水平荷重は、風荷重及び地震荷重の大なる方を採用する。

アンカーボルトについては、コンクリートの引抜耐力とアンカーボルトにかかる引抜力を比較して安全であることを照査する。また、横向きにアンカーボルトを打ち込む場合には、アンカーボルト本体のせん断応力度についても照査する。

⑥ 添架する橋梁の構造照査

橋梁添架工の重量を載荷した場合の橋梁側の構造照査は、橋梁（道路）管理者との協議により必要性を検討したうえで行うものとする。

構造照査は、橋梁添架管、水重、支持金具、付帯設備の全ての重量を算定し、これらを合計して橋梁添架工全体の重量とする。算定した橋梁添架工全体の重量を所定の位置に載荷し、橋梁上部工及び下部工の構造上の安全性を確認する。

2.9.6 伏越工

伏越しとは、河川、運河、鉄道、道路及び埋設構造物等の横断箇所を一旦下げて、それらの下に管を布設することをいう。

伏越しの計画・設計に当たっては、横断工法、布設位置、埋設深さ、延長、施工時期及び将来計画等に関係機関と協議のうえ決定する。

伏越工について留意すべき点は以下のとおりである。

- ① 伏越前後の取付け管の布設は、緩勾配とし、屈曲部は必要に応じてコンクリート支台に定着させる。
- ② 伏越部における基礎工は、基礎地盤の性状や荷重の状態等を勘案のうえ決定する。
- ③ 伏越管は、護岸その他の箇所に、埋設位置を示す標識を設ける。
- ④ 沿岸部で津波被害の想定される地域における重要な管路は伏越しすることが望ましい。

2.9.7 水管橋

水管橋は、河川、道路及び鉄道等を架空横断するためのもので、橋梁添架工によることができない場合に採用する。水管橋の計画、設計に当たっては、地形、地質、障害物、環境及び将来計画について調査するとともに、施設管理者と打合せのうえ、承認を得る必要がある。なお、沿岸部で津波被害

の想定される地域の重要な管路については、可能な限り伏越し工法を採用することが望ましい。

水管橋の選定フローを図-2.9.9に、構造形式の例を図-2.9.10に示す。水管橋の設計における留意点は以下のとおりである。

- ① 管径、支間長、架設地点の地理的条件及び景観との調和を考慮して、最も適切な構造形式を選ぶ。
- ② 自重、水圧、地震力、風圧及び積雪荷重等に対して安全であること。
- ③ 支持部分は、管の水圧、地震力、温度変化等に対して安全な構造とする。
- ④ 橋台付近の埋設管には、可とう性のある伸縮継手を設け、屈曲部には必要に応じて防護工を施す。
- ⑤ 橋脚は、必要に応じて衝突物に対する防護工を施す。
- ⑥ 水管橋の最も高い位置に空気弁を設ける。寒冷地にあつては、適当な防凍工を施す。また、必要に応じて管理歩廊を設ける。
- ⑦ 水管橋には適切な落橋防止措置を講じる。
- ⑧ 水管橋には適切な防食措置を講じる。

水管橋の設計計算については、「水管橋設計基準」によるものとする。

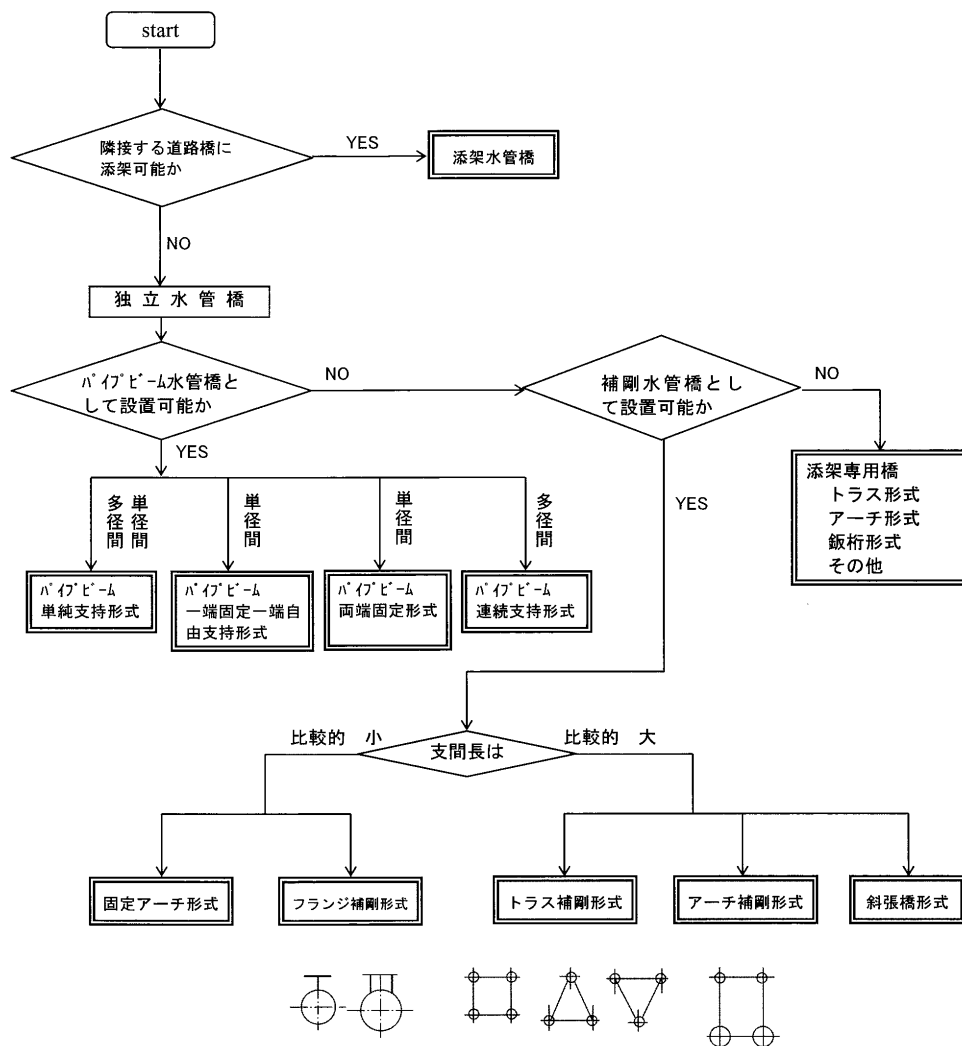


図-2.9.9 水管橋の選定フロー

形 式	構 造 形 式	概 説
パイプ ビーム 形式		<p>水道管をリングサポート、サドルサポートによって支持する。伸縮継手、サポートの構造で角変位および伸縮を吸収する。</p> <p>類似構造形式として、一端自由一端固定支持、連続支持、両端固定等がある。</p>
補 剛 形 式	<p>フランジ補剛形式</p> <p>断面形状</p>	<p>水道管にT型π型等のフランジ補鋼を設け水道管の剛性を補う形式である。</p> <p>補剛取付の位置は管頂が一般的であるが管下側もある。</p>
	<p>トラス補剛形式</p> <p>断面形状</p>	<p>水道管をトラス上下弦材として利用したものでパイプの特性を有効に利用した形式。</p> <p>トラスの形状によって三角トラス形式、ボックス型トラス形式等がある。</p>
	<p>ランガー補剛形式</p> <p>断面形状</p>	<p>水道管を補剛アーチ橋の補剛桁に用い上弦材の格点から垂直吊材によって水道管を吊った形式。</p> <p>各部材は軸力主体で決定されるため合理的な形式である。</p>
	<p>ニールセンローゼ補剛形式</p> <p>断面形状</p> <p>(シングルワーレントラス形式)</p>	<p>水道管を補材アーチ橋の補剛桁に利用したものでアーチ上弦材(連続曲線形)の格点から斜め吊材によって水道管を吊った形式。</p>
	<p>斜張橋補剛形式</p> <p>断面形状</p>	<p>水道管を連続パイプビーム橋としそれを塔より張り渡した斜ケーブルで補強した形式。</p> <p>この形式は特に風の影響を受け易いので十分な配慮が必要である。</p>
橋梁添架形式	<p>サドルサポート形式</p> <p>鋼道路橋 水道管 PC道路橋</p>	<p>構造上はパイプビーム形式に相当する。</p> <p>橋体利用による工費、場所等の軽減となる。</p> <p>水道管と道路橋との相対的な各種変位の対策、サポートは地震時荷重に十分なる強度、付属設備及び架設方法の検討を要す。</p>

図-2.9.10 水管橋形式一覽