

5-1

水理設計

5-1-1 概要

1 水理設計の必要性

水道の蛇口から水が出るためには、圧力が必要である。水が管の中を流れる距離が長くなると摩擦などによる抵抗力(摩擦損失)が大きくなり、蛇口での圧力が不足して水が出なくなる。また、水が管の中を流れる速度(流速)が速過ぎると内面のライニングなどを傷め、遅過ぎると滞留時間が長くなり、残留塩素の低下や水質への影響が出てくる。

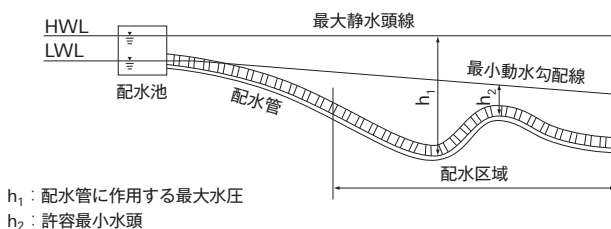
従って、水を送る高低差またはポンプの全揚程、距離、流量などから、適切な管径を事前に計算して、必要な圧力が得られるかなど確認しておく必要がある。

2 配水方式

① 自然流下式とポンプ加圧式

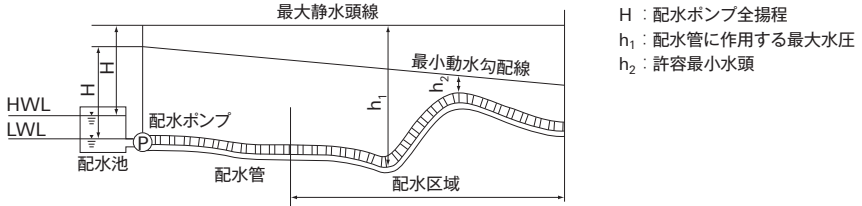
水道の配水の方式には、高い所から低い所へ重力を利用して水を流す自然流下式と低い所から高い所へポンプなどで水を押し上げて流すポンプ加圧式がある。

●図表5-1-1-1 自然流下式



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

● 図表5-1-1-2 ポンプ加圧式

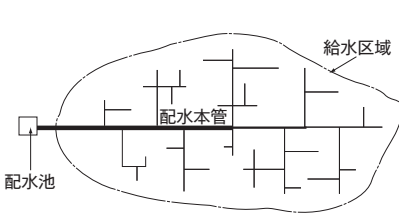


『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

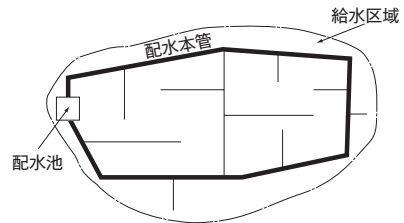
② 配管方式

配管方式には、樹枝状配管、環状配管、管網配管の3種類があり、給水区域の地形や地盤の高低差、水需要量、経済性などを考えて選択する必要がある。また、蛇口の圧力や到達時間の平均化や、災害時の復旧の効率化が図られるブロック化などもあるが、管路更新時などの断水範囲を最小化するためには、環状配管、管網配管にすることが望ましい。

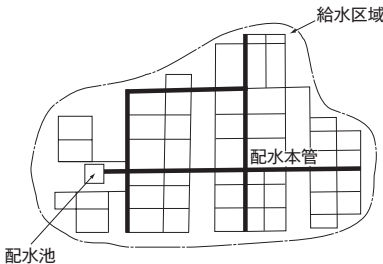
● 図表5-1-1-3 樹枝状配管



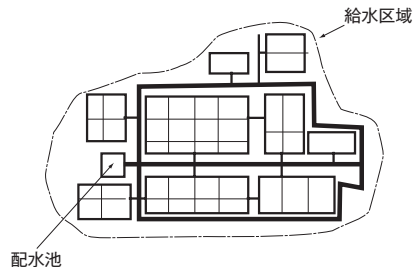
● 図表5-1-1-4 環状配管



● 図表5-1-1-5 管網配管



● 図表5-1-1-6 ブロック化



●図表5-1-1-7 配管方式の特徴

配管方式	長 所	短 所
樹枝状配管 <ul style="list-style-type: none"> ● 給水区域の中央部に配水本管を通し、ここから樹枝状に枝管を分岐していく配管方法。 ● 給水区域が細長い場合や放射状に広がっているときに適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 管網解析が比較的容易にできる。 ● 水の流れ方向や断水範囲が把握しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 上流側に事故が発生すると下流側が全面的に断水する。 ● 時間最大時などに圧力変化が発生しやすい。 ● 末端部の水が停滞しやすく、水質劣化の恐れがある。
環状配管 <ul style="list-style-type: none"> ● 給水区域の周囲近くに配水本管を環状に配置し、この間を枝管で連絡する配管方法。 ● 宅地開発など新規開発の場合に適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 樹枝状配管より冗長性があり、水圧変動が軽減される。 ● 断水影響範囲を比較的小さくできる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 樹枝状配管に比べると基幹管路延長が長くなる。
管網配管 <ul style="list-style-type: none"> ● 環状配管の中の支管がメッシュ状になっている配管方法。 ● ある程度の人口が密集している所に適する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水需要に対して冗長性があり、水圧変動が小さくできる。 ● 断水影響範囲を小さくできる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 管網解析などは計算ソフトが必要である。 ● 水質事故などの原因が特定しにくい。
ブロック化 <ul style="list-style-type: none"> ● 幹線と支管を明確に分け、管網の中をブロックに区切った配管方法。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水圧・水質の均てん化が図りやすい。 ● 濁水などの範囲が把握しやすい。 ● 災害時の復旧などが行いやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ブロック境界で滞留水が発生しやすい。 ● 管網整備延長が長くなる。

5-1-2 水理公式

1 水理公式の種類

水理公式は、管径の大きさや管内面の粗さなどにより各種水理公式を使い分ける必要がある。ここでは、各種水理公式の紹介と、代表的なヘーゼン・ウィリアムス公式とマンニング公式の計算法について紹介する。

単一管路の場合は、図表5-1-2-1に示す公式を用いて計算することができるが、管路が管網になったときには計算が複雑になる。手計算ではハーディ・クロス法が用いられていたが、最近では「5-1-4 管網解析」に示す市販のパソコンソフトなどを用いることにより短時間で計算できる。

● 図表5-1-2-1 水理公式の種類と特徴

種類	特徴
ヘーゼン・ウィリアムス	実験式であり、呼び径75以上の粗滑遷移領域に適用される。上水道、下水道、農業用水などの満流で流れる管路に用いられる。
ダルシー・ワイスバッハ	理論的に考えて合理的な式であり、ポンプ場内の配管など比較的短い場合に適用される。
マンニング	レイノルズ数および相対粗度の大きい壁面上の流れに対して精度が良く、下水道、河川などの自然流下に適用される。
ウェストン	主に呼び径50以下の給水管に適用される。

2 ヘーゼン・ウィリアムス公式

ヘーゼン・ウィリアムス公式は実験公式であり、呼び径75以上、内面が比較的滑らかな管、水の流れが遷移領域に比較的合うとされている。詳しくは「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JCPA T23」の「3.3.1 管径の決定」を参照のこと。

$$V = 0.35464 C_H \cdot D^{0.63} \cdot I^{0.54}$$

$$Q = 0.27853 C_H \cdot D^{2.63} \cdot I^{0.54}$$

$$D = 1.6258 C_H^{-0.38} \cdot Q^{0.38} \cdot I^{-0.205}$$

$$I = 10.666 C_H^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85}$$

$$h = 10.666 C_H^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

$$C_H = 3.5903 Q \cdot D^{-2.63} \cdot I^{-0.54}$$

ここに、V：平均流速(m/s)

D：管内径(m)

I：動水勾配

L：管路長(m)

Q：流量(m³/s)

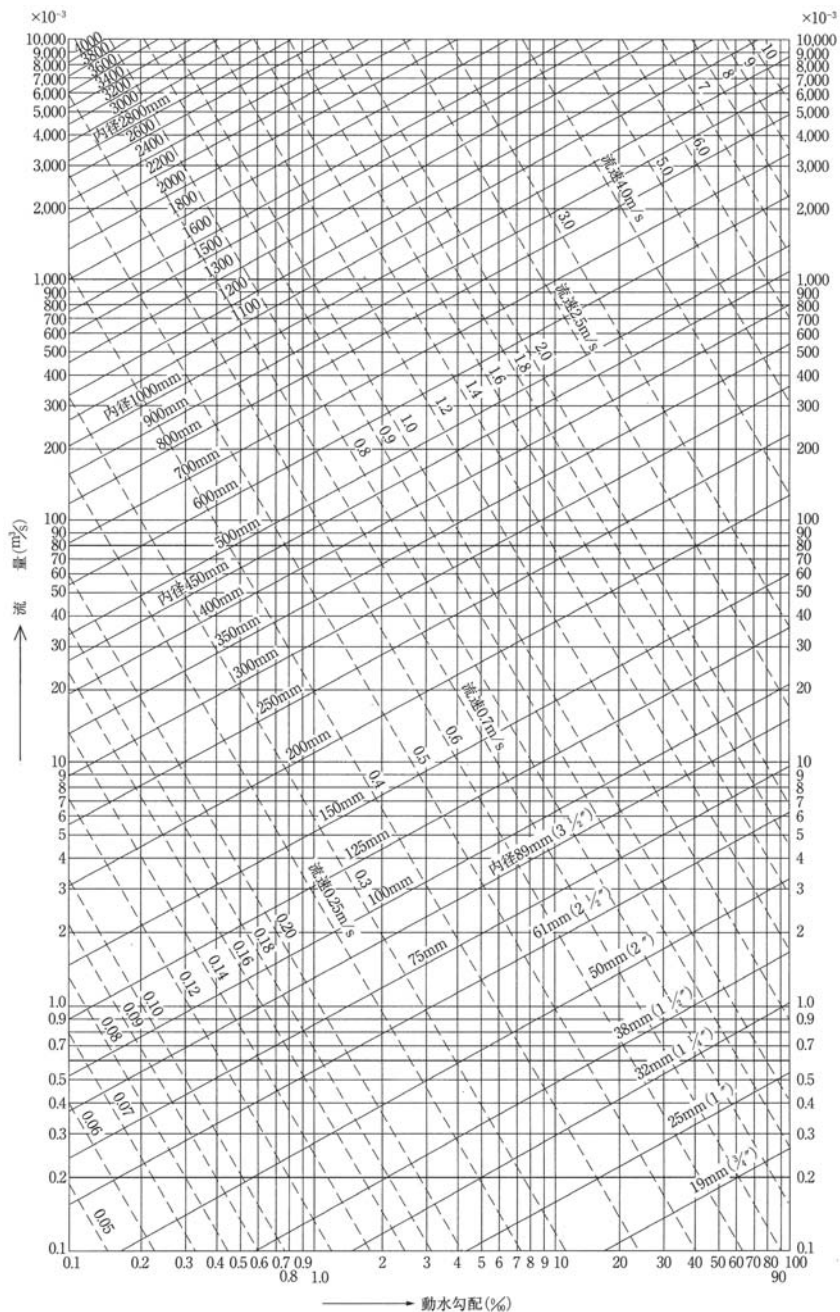
h：摩擦損失水頭(m)

C_H：流速係数

ヘーゼン・ウィリアムス公式のC_H値(流速係数)は、管路の屈曲部、分岐部などの損失を含めて110を標準としている。

C_H値110の場合のヘーゼン・ウィリアムス公式図表を図表5-1-2-2に示す。

●図表5-1-2-2 ヘーゼン・ウィリアムス公式図表 (C_H 値110)



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

① 上水道における C_H 値

上水道における C_H 値(新設管の場合)を図表5-1-2-3に示す。

●図表5-1-2-3 設計上の C_H 値

計算条件	C_H 値
屈曲部損失などを含んだ管路全体	110
直線部のみ	130

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

既設管路の整備あるいは改良時にもその C_H 値を知ることが必要となる場合がある。管内面にモルタルライニングなどが施されていない場合には、通水年数および水質の影響でかなり異なるので調査の必要がある。詳しくは『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)の「7.5.5 管径」を参照のこと。

上水道の呼び径1000以下では約8割がエポキシ樹脂粉体塗装管になっているので、以下にエポキシ樹脂粉体塗装管の C_H 値の測定結果を示す。

●図表5-1-2-4 エポキシ樹脂粉体塗装管の C_H 値の実測例(呼び径150)

流量(m^3/s)	流速(m/s)	摩擦損失水頭(mm)	C_H 値
0.0098	0.55	17	155
0.0191	1.07	59	156
0.0290	1.62	124	158
0.0388	2.17	215	157
0.0486	2.71	318	159
0.0579	3.23	441	159

備考 供試管は内面エポキシ樹脂粉体塗装の直管呼び径150(内径測定平均値151.0mm)、測定区間は9.54m。

●図表5-1-2-5 エポキシ樹脂粉体塗装管の C_H 値の実測例(呼び径200)

流量(m^3/s)	流速(m/s)	摩擦損失水頭(mm)	C_H 値
0.0147	0.45	78	151
0.0202	0.62	134	155
0.0250	0.77	200	155
0.0302	0.93	276	157
0.0360	1.11	373	159
0.0397	1.22	465	156
0.0456	1.40	580	159
0.0503	1.55	689	160

備考 供試管は内面エポキシ樹脂粉体塗装の直管呼び径200(内径測定平均値203.3mm)、測定区間は84m。

② 下水道における C_H 値

管路の屈曲部、分岐部などの損失を含めて110を標準とする。詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版〈前編〉』（日本下水道協会）
- ・「下水道用ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T30」（日本ダクタイル鉄管協会）

③ 農業用水における C_H 値

C_H 値は、図表5-1-2-6の通りであり、モルタルライニング管の標準値は130とされている。

●図表5-1-2-6 農業用水の C_H 値

管（内面の状態）		C_H 値		
		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塗装管（鋼） ^{注1}	呼び径800以上	-	-	130
	呼び径600～700	-	-	120
	呼び径350～500	-	-	110
	呼び径300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運用してよい。また、呼び径800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。ただし、現場溶接部の内面塗装を十分な管理の下で行う場合は、 C_H 値130を適用することができる。

注2 呼び径150以下の管路では、 C_H 値140を標準とする。

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「バイブライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）より

なお、全損失水頭は、摩擦損失水頭（ヘーゼン・ウィリアムス公式）と各種損失水頭（流入、流出、湾曲など）の合計値として算出することに留意が必要である。

2015(平成27)年2月に規格化された「JDBA G 1053 ALW形ダクタイル鋳鉄管」では、従来のモルタルライニングやエポキシ樹脂粉体塗装に代わる新たな内面塗装仕様として、シリカエポキシ樹脂塗装（エポキシ樹脂塗料に無機系材料を混合した塗料）が採用された。

図表5-1-2-7に新たな内面塗装の C_H 値の測定結果を示す。なお、 C_H 値は、試験管路内の継手部を含めた管路距離約10mの直線区間における摩擦損失水頭をマンメータによって測定し、算出した。

●図表5-1-2-7 シリカエポキシ樹脂塗装の C_H 値

C_H 値 (参考値)	試験結果 (呼び径300)
150	(粉体) 平均163.5 (154.9~169.2) 注1
	(液状) 平均168.5 (158.2~175.1) 注1

注1 約0.5m/s～4.5m/sの8種類の流速条件で、摩擦損失水頭を約20回測定し、その平均値から C_H 値を算出。

備考 呼び径150以上に適用する。

3 マニング公式

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

ここに、 V ：平均流速 (m/s)

n ：粗度係数 (一般に0.010～0.013)

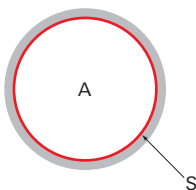
R ：径深^{注1} (m)

I ：動水勾配 ($\frac{h}{L}$)

h ：高低差 (m)

L ：管路長 (m)

注1 流水断面積を管と流水との接触長さ S で除したものの。



$$R = \frac{A}{S}$$

ここに、 R ：径深

A ：流水断面積 (m²)

S ：潤辺 (m) (管と流水との接触長さ)

●図表5-1-2-8 マニング公式の粗度係数n

管の種類	粗度係数n
鉄筋コンクリート管渠などの工場製品(陶管を含む)および現場打ち鉄筋コンクリート管渠、ダクタイル鉄管(モルタルライニング)	0.013
硬質塩化ビニル管および強化プラスチック複合管、ダクタイル鉄管(合成樹脂ライニング)	0.010

『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)』(日本下水道協会)より

5-1-3 管径の算定

1 管径の算定方法

一般に管路の設計においては、管路の中を流れる水の流量が設定されれば、管路の全ての取出し点での最小動水圧が確保できるような管径を設定することができる。自然流下式の場合は、流量が確保できる管径が経済的管径となる。ポンプ加压式の場合には、その建設費(特に管径による違い)と維持管理費(ポンプの電力費)の合計が最小になる経済的な管径を定める。

また、管路内に濁質が滞留しないための最小流速、内面のライニングなどへの損傷を防ぐための最大流速なども考慮する必要がある。

・ 自然流下式の場合

必要な流量および圧力により管径が決定できる。

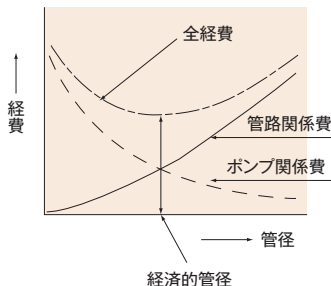
・ ポンプ加压式の場合

管径とポンプの関係は、管径を小さくすると布設費は低減できるが、ポンプおよび電力費が増加する反比例の関係にあり、図表5-1-3-1のように、管路布設費とポンプおよび電力費の和が最小となるような呼び径を選定する。

水道の配水管などにおいては、消火用水の水量により管径が算定される場合がある。また、維持管理や工事の断水時の水運用などを考慮して、配水ブロック内のループ化や配水ブロック内幹線を設ける場合など、必ずしも管網解析のみで呼び径が決定されるわけではない。

実際の呼び径の選定は、既設管の呼び径や管内流速などからいくつかの呼び径に絞られる場合が多く、その中で経済的な呼び径を選ぶことが多い。

●図表5-1-3-1 ポンプ加圧式の場合の管径の算定



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

2 最小動水圧および流速など

管網解析により管径を算定する際には、下記の規定を満たすように管径を定める。

① 上水道における基準

配水管の最小動水圧は「水道施設の技術的基準を定める省令」に定められている。また水理公式はヘーゼン・ウィリアムス公式を用いる。

●図表5-1-3-2 上水道の水圧の基準

項目	水圧
最小動水圧	150kPa (0.15MPa)
消火栓使用時	正圧が保たれていること
最大静水圧	740kPa (0.74MPa)

「水道施設の技術的基準を定める省令」より

直結給水の場合の最小動水圧については図表5-1-3-3による。

●図表5-1-3-3 直結給水の場合の最小動水圧

項目	最小動水圧 (MPa)
2階建て	0.15～0.20
3階建て	0.20～0.25
4階建て	0.25～0.30
5階建て	0.30～0.35

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

● 図表5-1-3-4 上水道の配水方式による管内流速

方式	基準
自然流下式	導水管の許容最大限度3.0m/s程度とする
ポンプ加圧式	経済的な流速とする

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

● 図表5-1-3-5 火災時の流量計算

計画給水人口	計算方法
計画給水人口10万人を超える場合	計画時間最大配水量に十分余裕があり、平常時の場合と同様に計算する
計画給水人口10万人以下の場合	計画一日最大給水量と消火用水量との合計とするのが望ましい

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

② 工業用水道における基準

● 図表5-1-3-6 工業用水道の最小動水圧

項目	基準
最小動水圧	49kPa (0.049MPa)

『工業用水道施設の技術的基準を定める省令』より

● 図表5-1-3-7 工業用水道の管内流速

項目	基準
導水管渠がコンクリートの場合	3m/s 以下
導水管渠が鋼または铸铁の場合	6m/s 以下

『工業用水道施設の技術的基準を定める省令』より

③ 下水道における基準

最小動水圧については特に規定されていないが、流量計算は、自然流下方式では Manning 公式を、圧送方式ではヘーゼン・ウィリアムス公式を用いる。管径^{*1}および流速については図表5-1-3-8による。

なお、一つの建築物から出る汚水の一部を排除する排水管で管路延長が3m以下かつ、勾配が100分の3以上の場合は最小管径75とすることができる。

*1 『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)』(日本下水道協会)では管径を用いているので、ここでは呼び径を管径とした。

●図表5-1-3-8 下水道の最小管径および流速（自然流下方式）

種 類	最小管径 (mm)	最小流速 (m/s)	最大流速 (m/s)
污水管渠	200	0.6	3.0
雨水管渠	250	0.8	3.0
圧送下水	75	0.6	3.0

『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)』(日本下水道協会)より

●図表5-1-3-9 下水道の勾配に関する規定（自然流下方式）

排水人口(人)	排水管の管径 (mm)	勾 配
150未満	100以上	2.0/100以上
150以上 300未満	150以上	1.5/100以上
300以上	200以上	1.2/100以上

『下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版(前編)』(日本下水道協会)より

④ 農業用水における基準

最小動水圧については特に規定されていないが、水理公式は原則としてヘーゼン・ウィリアムス公式を用いる。詳しくは『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）の「9-1 定常的な水理現象の解析」を参照のこと。

●図表5-1-3-10 農業用水の管内流速

項 目	基 準
許容最大流速	コンクリートの場合3m/s、コンクリート以外（モルタルライニングを含む）の場合5m/s(放水工、余水吐などの一時的に流れる構造物は基準の1.5倍以内)
許容最小流速	0.3m/s(防除、施肥と多目的に使用する場合は0.6m/s)

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会)より

●図表5-1-3-11 農業用水の送配水方式による管内流速

方 式	基 準
自然圧式	水理ユニット内の流速の平均値の限界は2.0m/s以下が望ましい。
	経済的な観点から平均速度の限界値を2.5m/sまで高めてもよい。
ポンプ圧送式	流速(管径)は経済比較により決定するのが望ましい。 ^{注1}
	許容平均流速は2.0m/s以内が望ましいが、限界値を2.5m/sとする。

注1 設計流速の目安は図表5-1-3-12による。

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会)より

●図表5-1-3-12 農業用水のポンプ圧送の場合の平均流速

管径 (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
900～1500	1.3～2.0
1600～3000	1.4～2.5

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）より

5-1-4 管網解析

1 管網解析の手法

管網解析とは、一般に満流の管路の定常流解析を指す。具体的には水源（配水池など）の水位、管路の諸元（呼び径、延長など）、管路中の節点の流出水量、節点の地盤高などの条件から流量、流速、流向と水圧を求める。管網解析の手法は大別して流量法とエネルギー位法がある。いずれも繰返し計算を必要とするため、管網解析ソフトが開発されている。

●図表5-1-4-1 管網解析の手法

手法	特徴
流量法	各管路の流量を未知数として計算する。（例：ハーデイ・クロス法）
エネルギー位法	節点エネルギー位法や水位法とも呼ばれる。節点のエネルギー位を未知数として、各節点の流量条件を満足させるエネルギー位を求める。

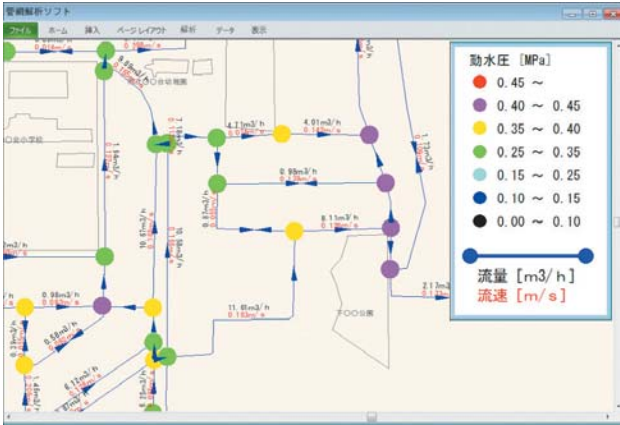
2 管網解析ソフト

管網解析ソフトは、計画管路の呼び径、流量、流速、流向の算出のみならず、管路の維持管理業務の中で下記のような業務の支援にも活用できる。

- ・ 直結給水検討時の配水管圧力検討
- ・ 配水管網のブロック化検討
- ・ 渇水時の圧力コントロール

- ・ 断水時の影響検討
- ・ 管路の重要度評価
- ・ 出水不良の解消
- ・ 洗管計画の作成
- ・ 水の滞留地域の特定制策など

● 図表5-1-4-2 管網解析ソフトの例



「技術資料」(管総研)より

3 管網解析に必要なデータ

管網解析には次のデータが必要である。

- ① 管網図(各管路を節点で結んだ模式図)
- ② 管路の管径、延長、 C_H 値
- ③ 各節点の地盤高
- ④ ポンプやバルブの諸元(揚程など)
- ⑤ 配水池など水源の水位(HWL、LWL)
- ⑥ 各管路、節点の取だし水量

取だし水量を決める際に、以下のような項目を調査する必要がある。

- ・ 一日平均使用水量 = 一人一日平均使用水量 × 給水人口
(管網計算上は、大口需要者は別にして加算する場合もある)
- ・ 一日平均給水量 = 一日平均使用水量 ÷ 有収率
- ・ 一日最大給水量 = 一日平均給水量 ÷ 負荷率
- ・ 時間最大給水量 = 一日最大給水量 ÷ 24 × 時間係数

5-1-5 水撃圧

1 水撃圧の概要

バルブの急開閉やポンプの急激な始動・停止などにより管路内を充満して流れている水の速度が急激に変化すると、管内圧力が急上昇・急低下することがある。これをウォーターハンマ(水撃作用)という。このウォーターハンマにより発生する水撃圧の大きさは、管内の流速の変化の大きさや管路の長さ、管材質(弾性係数)、ポンプの慣性力の大きさなどにより異なる。詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・『水道用バルブハンドブック』(日本水道協会)の「2.1.5 バルブ操作と水撃作用」
「7.1.1 水撃作用軽減対策」
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)の「8.2 ポンプ設備」
- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 J DPA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)の「3.3.3 水撃圧の検討」

① 上水道における水撃圧

水撃圧は計算により予測できるが、計算によらない場合(樹枝状配管や管網配管など)には、管材質の弾性係数の違いにより以下のように定められている。

●図表5-1-5-1 管材質による水撃圧

管材質	水撃圧 (MPa)
ダクタイル鉄管、鋼管およびステンレス鋼管	0.45~0.55
硬質ポリ塩化ビニル管および水道配水用ポリエチレン管	0.25

〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

② 下水道(圧送)における水撃圧

下水道(圧送)における水撃圧は計算によって求めることができるが、計算式によらない場合は、図表5-1-5-2および図表5-1-5-3のように定められている(農林水産省の基準と同じである)。

詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・「JSWAS G-1-2016 下水道用ダクタイル鋳鉄管」(日本下水道協会)

- 『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）

③ 農業用水における水撃圧

水撃圧を予測する方法は、計算などによる方法と経験則による方法に大別される。計算などによる水撃圧の解析法には、単純な管路についての理論解法と複雑な管路についての数値解析があり、予測は計算による方法を原則とする。計算によらない場合は、過去の設計事例、施工事例などの経験則を採用する。図表5-1-5-2および図表5-1-5-3は、経験則から導かれた水撃圧の一例である。

●図表5-1-5-2 自然圧式（クロースドタイプおよびセミクロースドタイプ）における水撃圧

静水圧	水撃圧
0.35MPa未満	静水圧の100%
0.35MPa以上	静水圧の40%または0.35MPaのどちらか大きい方

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）より

●図表5-1-5-3 ポンプ圧送式における水撃圧

動水圧	水撃圧
0.45MPa未満	動水圧の100%
0.45MPa以上	動水圧の60%または0.45MPaのどちらか大きい方

『土地改良事業計画設計基準及び運用・解説：設計「パイプライン」基準、基準の運用、基準及び運用の解説、技術書：平成21年3月』（農業農村工学会）より

2 水撃圧対策

水撃圧の基本的な対策は、最低圧力勾配線を求めて、負圧を6～7m未満に抑えることである。

① サージタンクの設置や管路の縦断位置

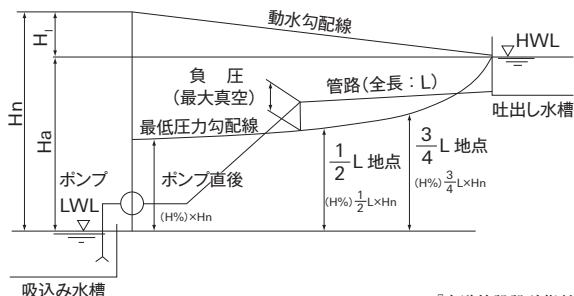
水撃圧を予測する方法には、逐次計算法、図式計算法および性能曲線法があり、複雑な管路やバルブ制御などを含む場合は、専用ソフトなどにより計算を行うのが一般的である。

なお、簡単な管路系においては、簡易計算図表（パーマキアンの線図）によって最低

圧力を予測することが可能である。簡易計算図表から読み取ったポンプ出口、管路の1/2地点、3/4地点の最低圧力から管路の最低圧力勾配線図の作成を行う。

管路縦断より低い最低圧力勾配線図の中で、負圧が約10mになると水柱分離が生じるので、負圧が5～7m以上の場合には、サージタンクの設置や管路の縦断位置を下げるなどの対策が必要となる。

●図表5-1-5-4 最低圧力勾配線図



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

② ポンプにおけるフライホールや緩閉逆止弁の設置

動力遮断後、ポンプの回転数は急速に低下し、しばらくは慣性でポンプは正方向に回転するが、吐出量が減少し、吐出方向に動く管路内の水圧が下がり、水柱分離が起こることがある。これはフライホイールを付けるなどポンプの回転体慣性力 (GD^2) を大きくすることにより、低減することができる。

正転逆流領域の逆流が始まると、ほぼ同時に逆止弁が閉鎖するので、急激に圧力が上昇する。これは油圧ダッシュポットを付属させた緩閉逆止弁で低減することができる。

③ バルブの開閉時間

自然流下系の管路においても、また、ポンプ系の管路においてもバルブを急開、急閉塞した場合にウォーターハンマが発生するので、開閉時間を長く取る必要がある。バルブが急閉塞する場合の水撃圧は、ジューコフスキーの式により求めることができ、緩閉塞した場合はアリエビの式が用いられる。

急閉塞か緩閉塞かの区分は、以下の計算式で判定する。

$$T \leq \frac{2L}{a} \text{ の場合は急閉塞になる。}$$

ここに、 T : バルブを閉塞するに要する時間 (秒)

L : 管路の長さ (m)

a : 圧力波の伝播速度 (m/s)

管内水撃波 (圧力波) の伝播速度は次式で計算できる。

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_w}{g} \left(\frac{1}{K_w} + \frac{1}{E} \cdot \frac{D}{t} \right)}}$$

ここに、 a : 水撃波の伝播速度 (m/s)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

K_w : 水の体積弾性係数 (=2.19×10⁶ kN/m² (20℃))

E : ダクタイル鉄管の弾性係数 (=1.6×10⁸ kN/m²)

D : 管内径 (m)

t : 管厚 (m)

5-2

管厚計算

5-2-1 基本的な考え方

1 荷重

ダクタイル鉄管の管厚計算は実験結果から以下の荷重が同時に働くものとして計算される。

●図表5-2-1-1 管厚計算において用いる荷重

項目	荷重
内圧	静水圧(最高使用水圧)、水撃圧
外圧	土かぶりによる土圧、路面荷重による土圧

2 安全率

ダクタイル鉄管の管厚計算の安全率を以下に示す。

●図表5-2-1-2 安全率

項目	安全率
静水圧	2.5
水撃圧	2.0
土かぶりによる土圧	2.0
路面荷重による土圧	2.0

3 管厚の種類

●図表5-2-1-3 管厚の種類と記号および適用呼び径

種類	記号	適用呼び径
1種管	D1	75～2600
2種管	D2	400～2600
3種管	D3	75～2600
4種管	D4	600～2600
5種管 ^{注1}	D5	600～2600
PF種管 ^{注2}	DPF	300～2600
S種管	DS	50～1000
P種管 ^{注3}	DP	700～1500
E種管	DE	75～150

注1 JDDPA G 1029など推進管にのみ規定されている。

注2 呼び径300～700はJDDPA G 1029など推進管にのみ規定されている。

注3 2017年10月の規格改正により廃止になった。

備考 農業用水用ダクタイル鉄管の管種は、「JDDPA G 1027-2016 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」「JDDPA G 1053 ALW形ダクタイル鉄管」を参照のこと。

4 管厚の種類の設定

「JWWA G 113-2015 水道用ダクタイル鋳鉄管」「JWWA G 114-2015 水道用ダクタイル鋳鉄異形管」の「資料」に管厚計算方法および直管の管厚の種類の設定表が掲載されている。図表5-2-1-4に示すような通常の設計条件下では、ダクタイル鉄管の管厚は内外圧に対して安全性が確保できるようになっている。しかし、高水圧、土かぶりが深い場合、均一でない地盤(片持ち張り状態、大きな不陸^{ふりく}など)の場合には計算による確認が必要である。

管厚の種類の設定の詳細および下水道、農業用水のダクタイル鉄管は、以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDDPA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル鉄管管路のてびき JDDPA T26」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「下水道用ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDDPA T30」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「JSWAS G-1-2016 下水道用ダクタイル鋳鉄管」(日本下水道協会)
- ・「農業用水用ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDDPA T32」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ALW形ダクタイル鉄管 JDDPA T60」(日本ダクタイル鉄管協会)

- ・「JDBA G 1027-2016 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計『パイプライン』」(農業農村工学会、平成21年3月)

●図表5-2-1-4 管厚の種類の選定表

呼び径	土かぶり (m)											
	1.2				1.8				3			
	静水圧 (MPa)				静水圧 (MPa)				静水圧 (MPa)			
	1.5	1	0.75	0.45	1.5	1	0.75	0.45	1.5	1	0.75	0.45
50~300	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3
600	3	4	4	4	3	4	4	4	2	4	4	4
700	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4
800	3	4	4	4	3	4	4	4	2	3	4	4
900	3	4	4	4	3	4	4	4	2	3	4	4
1000	3	4	4	4	3	4	4	4	2	3	4	4

備考1 設計条件は下表により、数値は管厚の種類(1種管、2種管、3種管、4種管)を示す。

項目	設計条件
布設状態	平底溝
管底支持角	60°
路面荷重	245kNトラック2台並行同時通過
水撃圧	0.55MPa
土の単位体積重量	18kN/m ³

備考2 S種管は呼び径350、450を除き、本表の全ての条件で使用できる。

備考3 E種管(呼び径75~150)の設計水圧は1.3MPa以下となっており、本表の静水圧0.75MPa以下では全ての条件で使用できる。

備考4 呼び径1100~2600、その他の条件はJWWA G 113-2015、JWWA G 114-2015を参照のこと。

5-2-2 管厚計算

① 内圧によって発生する引張応力

$$\sigma_t = \sigma_{ts} + \sigma_{td} = \frac{(P_s + P_d)d}{2t} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-2-1}$$

$$\sigma_{ts} = \frac{P_s \cdot d}{2t}$$

$$\sigma_{td} = \frac{P_d \cdot d}{2t}$$

- ここに、 σ_t : 内圧によって発生する引張応力
 σ_{ts} : 静水圧によって発生する引張応力
 σ_{td} : 水撃圧によって発生する引張応力
 P_s : 静水圧
 P_d : 水撃圧
 d : 管内径
 t : 正味管厚

② 外圧によって発生する曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_f + M_t}{Z} = \frac{6(M_f + M_t)}{t^2} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-2-2}$$

- ここに、 σ_b : 外圧によって発生する曲げ応力
 M_f : 土かぶりによる土圧によって発生する曲げモーメント
 M_t : 路面荷重により発生する曲げモーメント
 Z : 断面係数 $\left(\frac{b \cdot t^2}{6} \right)$
 b : 管長 (単位長さで考えれば、 $b=1$)

土かぶりによる土圧 W_f は、土かぶりが浅い場合は垂直公式を用いてもよいが、一般には土かぶりが深い場合は実際とよく合致するヤンセン公式を用いる。

土かぶりによる土圧 W_f によって発生する曲げモーメント M_f 、路面荷重により発生する曲げモーメント M_t は、次の式による。

$$M_f = K_f \cdot W_f \cdot R^2 \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-3}$$

$$M_t = K_t \cdot W_t \cdot R^2 \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-4}$$

従って、単位長さ当たりの曲げ応力は、式5-2-2-5で表される。

$$\sigma_b = \frac{6(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)R^2}{t^2} \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-5}$$

管厚計算に当たっては、管頂および管底の両方について計算し、いずれか大きい方を採用する。

ここに、 W_f : 土かぶりによる土圧 (「5-2-6 土かぶりによる土圧」参照)

W_t : 路面荷重による土圧 (「5-2-7 路面荷重による土圧」参照)

K_f : 土かぶりによる曲げモーメント係数

K_t : 路面荷重による曲げモーメント係数

R : 管半径

3 合成応力

合成応力を求めるためには、曲げ応力 σ_b を引張応力に換算するために0.7を乗じる。この合成応力が許容応力 σ_z を満足する必要がある。

$$\sigma_t + 0.7 \sigma_b = \sigma_z \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-6}$$

4 管厚計算式

$$\sigma_t = \sigma_{ts} + \sigma_{td}$$

さらに、 静水圧に対する安全率	2.5
水撃圧に対する安全率	2.0
土かぶりによる土圧に対する安全率	2.0
路面荷重による土圧安全率	2.0
管材の引張強さ	S

とすると、

$$2.5 \sigma_{ts} + 2.0 \sigma_{td} + 1.4 \sigma_b = S \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-7}$$

従って、

$$2.5 \frac{P_s \cdot d}{2t} + 2.0 \frac{P_d \cdot d}{2t} + 1.4 \frac{6(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t)R^2}{t^2} = S \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-8}$$

ここで、 $R = \frac{D_m}{2}$ とおくと、

$$S \cdot t^2 - (1.25P_s + P_d) d \cdot t - 2.1 (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) D_m^2 = 0 \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-9}$$

ここに、 D_m : 管厚中心直径

ここで、 $D_m \doteq D$ (呼び径) とおいて、 t について解くと式5-2-2-10になる。

$$t = \frac{(1.25P_s + P_d) + \sqrt{(1.25P_s + P_d)^2 + 8.4 (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) S}}{2S} D \dots \text{式 5-2-2-10}$$

となる。

ここに、 t : 正味管厚 (mm)

P_s : 静水圧 (MPa)

P_d : 水撃圧 (MPa)

K_f : 土かぶりによる曲げモーメント係数

K_t : 路面荷重による曲げモーメント係数

W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

W_t : 路面荷重による土圧 (kN/m²)

S : 管材の引張強さ (= 420N/mm²)

D : 管の呼び径 (mm)

式5-2-2-10で計算した管厚は正味管厚であるので、これに腐食に対する余裕2mmを加算し、これらに対して鑄造上の余裕10%または1mmを加算すると計算管厚は、式5-2-2-11により求められる。

$$\begin{aligned} t+2 \geq 10\text{mm} \text{ の場合 } & T_1 = (t+2) \times 1.1 \\ t+2 < 10\text{mm} \text{ の場合 } & T_1 = (t+2) + 1 \end{aligned} \dots\dots\dots \text{式 5-2-2-11}$$

ここに、 t : 式5-2-2-10より求めた正味管厚 (mm)

T_1 : 式5-2-2-11より求めた計算管厚 (mm)

計算管厚 T_1 より、規格管厚 T を選定する。

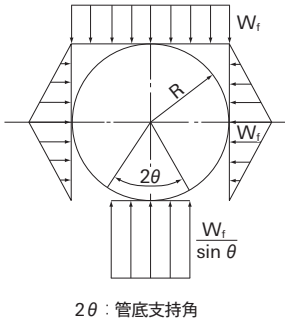
● 図表5-2-2-1 管底支持角により定まる係数 K_f

位置	管底支持角 (2θ)					
	0°	40°	60°	90°	120°	180°
管頂	145×10^{-6}	140×10^{-6}	132×10^{-6}	121×10^{-6}	108×10^{-6}	96×10^{-6}
管底	433×10^{-6}	281×10^{-6}	223×10^{-6}	160×10^{-6}	122×10^{-6}	96×10^{-6}

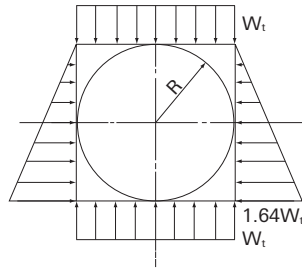
● 図表5-2-2-2 路面荷重により定まる係数 K_t

項目	K_t
管頂	76×10^{-6}
管底	11×10^{-6}

●図表5-2-2-3 土圧分布
土かぶりによる土圧



路面荷重による土圧



5-2-3 たわみ量の計算

土かぶりと路面荷重による土圧による垂直たわみ量の計算式を以下に示す。

① 土かぶりによる土圧による垂直たわみ量

$$\delta_f = k_f \frac{W_f \cdot R^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots \text{式 5-2-3-1}$$

ここに、 k_f : 土かぶりによる土圧によるたわみ係数

δ_f : 土かぶりによる土圧による垂直たわみ量 (mm)

W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

R : 管半径 (mm)

E : ダクタイル鉄管の弾性係数 (= 1.6 × 10⁵N/mm²)

I : 断面2次モーメント (mm⁴)

$$I = \frac{t_2^3}{12} \quad (\text{単位長さで考えた場合})$$

t_2 : たわみ計算管厚 (mm)

t_2 は規格管厚 T より铸造上の余裕(10%または1mm)を差し引いた管厚である。

$$T - 1 \geq 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T / 1.1 \dots\dots\dots \text{式 5-2-3-2}$$

$$T - 1 < 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T - 1$$

● 図表5-2-3-1 管底支持角により定まる係数 k_t

管底支持角(2θ)					
0°	40°	60°	90°	120°	180°
122×10^6	111×10^6	100×10^6	84×10^6	70×10^6	58×10^6

② 路面荷重による土圧による垂直たわみ量

$$\delta_t = k_t \frac{W_t \cdot R^4}{E \cdot I} \dots\dots\dots \text{式5-2-3-3}$$

ここに、 δ_t : 路面荷重による土圧による垂直たわみ量(mm)

W_t : 路面荷重による土圧(kN/m²)

k_t : 路面荷重による土圧によるたわみ係数(=30×10⁻⁶)

③ 合計たわみ量

$$\delta = \delta_f + \delta_t \dots\dots\dots \text{式5-2-3-4}$$

ここに、 δ : 合計たわみ量(mm)

④ たわみ率

$$\delta_r = \frac{\delta}{D} \times 100 \dots\dots\dots \text{式5-2-3-5}$$

ここに、 δ_r : たわみ率(%)

D : 呼び径(mm)

設計たわみ率 δ_r は、モルタルライニングのクラック発生などを考慮して一般に3%以下とする。

⑤ 実測値との比較

たわみ量の実測値と計算値との比較を図表5-2-3-2に示す(実験状況は図表5-2-6-4を参照)。

● 図表5-2-3-2 たわみ量の実測値と計算値との比較

呼び径	管厚(mm)	基礎	土かぶり(m)	突固め	管底支持角(2θ)	実測値(mm)	計算値(mm)
1350	17.5	平底溝	2	なし	0	14.93	14.7
				あり	60	11.17	11.3

6 たわみ量と管底支持角

東京都の呼び径1600および名古屋市の呼び径1800のダクタイル鉄管管路のたわみ量実測値から管底支持角を推定した。90°基礎の場合は120°～180°、平底溝の場合は60°以上、平底溝で突き固めた場合はほぼ120°の管底支持角が得られる。

●図表5-2-3-3 たわみ量の実測値と管底支持角

呼び径	管厚 ^{注1} (mm)	土質	基礎	土 かぶり (m)	突 固め	たわみ 量実 測値 (mm)	たわみ量計算値(mm)				
							管底支持角(2θ)				
							0°	60°	90°	120°	180°
1600	25.0 (15)	関東 ローム	90°	2.2	なし	3.0	6.5	5.3	4.5	3.7	3.1
				3.2	なし	3.7	8.4	6.9	5.8	4.8	4.0
		シルト	平底溝	2.1	なし	4.8	8.7	7.2	6.0	5.0	4.2
1800	22.5 (12)	粘土	平底溝	2.5	あり	10.4	17.7	15.5	—	10.2	8.4
		シルト		4.0	あり	14.9	26.1	21.4	—	15.0	12.4
1650	22.5 (12)	シルト	平底溝 管頂ま で砂を 置換え	2.1	なし	5.3	10.4	8.6	7.2	6.0	5.0
			3.2	なし	9.1	15.0	12.3	10.3	8.6	7.1	
2200	28.0 (15)	シルト	平底溝 管底突 固め	2.0	なし	10.5	18.3	15.0	12.6	10.5	8.7
			3.6	なし	16.4	28.4	23.3	19.6	16.3	13.5	

注1 ()内はライニング厚。

5-2-4 構造計算

管の構造計算には応力計算管厚、たわみ計算管厚を用いる。

① 応力に対する検証

応力計算管厚 t_1 は規格管厚 T から铸造上の余裕および腐食に対する余裕を引いたものとする。

$$\begin{aligned}
 T-1 \geq 10\text{mm} \text{の場合} \quad t_1 &= T / 1.1 - 2 \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-1} \\
 T-1 < 10\text{mm} \text{の場合} \quad t_1 &= T - 1 - 2
 \end{aligned}$$

ここに、 T : 規格管厚 (mm)

t_1 : 応力計算管厚 (mm)

応力計算管厚 t_1 を用いて、式5-2-4-2～4より合成応力を求めて、管材の引張強さと比較して応力に対する安全性を検証する。

$$\sigma_z = 2.5\sigma_{ts} + 2.0\sigma_{td} + 1.4\sigma_b < S \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-2}$$

ここに、 σ_{ts} : 静水圧によって発生する引張応力 (N/mm²)

σ_{td} : 水撃圧によって発生する引張応力 (N/mm²)

σ_b : 外圧によって発生する曲げ応力 (N/mm²)

S : 管材の引張強さ (= 420N/mm²)

② たわみ量に対する検証

たわみ計算管厚 t_2 は規格管厚 T から鑄造上の余裕を引いたものとする。

$$T \geq 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T / 1.1 \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-3}$$

$$T < 10\text{mm} \text{ の場合 } t_2 = T - 1$$

たわみ量計算管厚 t_2 を用いて、式5-2-3-1～4より合計たわみ量よりたわみ率 δ_r を求める。設計たわみ率3%と比較してたわみ率に対する安全性を検証する。

$$\delta_r = \frac{\delta}{D} \times 100 \leq 3\% \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-4-4}$$

ここに、 δ_r : たわみ率

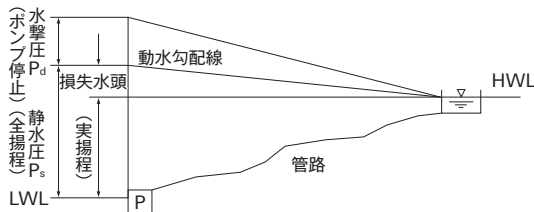
δ : 合計たわみ量 (mm)

D : 呼び径 (mm)

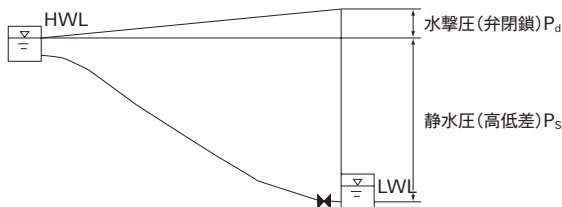
5-2-5 静水圧 (最大使用圧力) と水撃圧

ポンプ加圧式の場合の静水圧と水撃圧について以下に示す。

● 図表5-2-5-1 ポンプ加圧式の場合の静水圧と水撃圧



●図表5-2-5-2 自然流下式の場合の静水圧と水撃圧



●図表5-2-5-3 静水圧と水撃圧の基準

項目	基準
静水圧 P_s	ポンプ加圧式の場合は全揚程の水圧とする
	自然流下の場合はHWLとLWLの高低差
水撃圧 P_d	配水管から給水管に分岐する箇所での配水管の最大静水圧が740kPa (0.74MPa) ^{注1} を超えないこと
	ダクタイル鉄管 450～550kPa (0.45～0.55 MPa) ^{注2} 硬質塩化ビニル管 250kPa (0.25MPa) ^{注2}

注1 「水道施設の技術的基準を定める省令」より

注2 値は『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）より

5-2-6 土かぶりによる土圧

1 土圧の計算式

土かぶりによる土圧の計算式としては図表5-2-6-1に示すようにヤンセン公式が実測値とよく合致する。ただし、土かぶりが2m以下の場合、垂直公式でも大差なく、計算も簡単であるので垂直公式がよく使用されている。土かぶりが2mを超える場合は、土かぶり2m時の垂直公式の値とヤンセン公式で求めた値の大きい方を採用する。土留めに矢板を使用する場合は垂直公式を用いる。

① 垂直公式

$$W_f = \gamma \cdot H \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-6-1}$$

ここに、 W_f : 垂直土圧 (kN/m²)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 土かぶり (m)

② ヤンセン公式

$$W_f = \frac{\gamma}{2K \cdot \tan \phi} \left(1 - e^{-2K \cdot \tan \phi \cdot \frac{H}{B}} \right) \cdot B \quad \dots\dots\dots \text{式 5-2-6-2}$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-2-6-3}$$

ここに、 W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

K : ランキン (Rankine) 係数

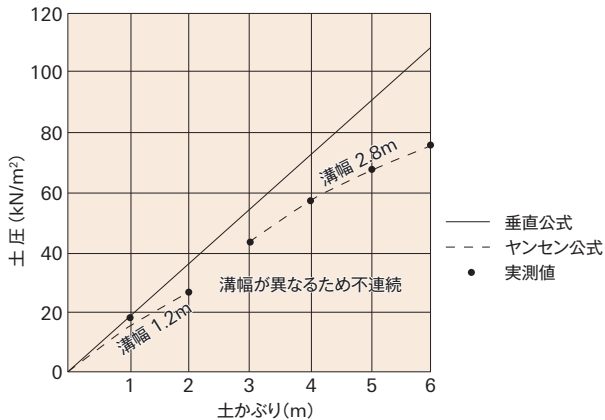
ϕ : 土の内部摩擦角 (°)

H : 土かぶり (m)

B : 溝幅 (m)

e : 自然対数の底

●図表5-2-6-1 土かぶり6mの実験における実測値と計算値



備考 ダクタイル鉄管呼び径700を土かぶり4mの溝に布設。

土かぶり2mに達したときに矢板を引き抜き、溝幅を1.2mから2.8mに拡大し、地上2mまで盛土を行った。

2 土の単位体積重量と内部摩擦角

式5-2-6-1～3における土の単位体積重量 γ と土の内部摩擦角 ϕ の例を以下に示す。

●図表5-2-6-2 土の単位体積重量と内部摩擦角

土質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)
土砂(乾燥したものの)	14	35~40
土砂(自然の湿り)	16	45
土砂(充分湿ったもの)	18	27
粘土質土砂(乾燥したものの)	15	40~46
粘土質土砂(湿ったもの)	19	20~25
粘土(乾燥したものの)	16	40~50
粘土(湿ったもの)	20	20~25
砂(乾燥したものの)	15.8~16.5	30~35
砂(自然の湿り)	18	40
砂(充分湿ったもの)	20	25
砂利(乾燥したものの)	18~18.5	35~40
砂利(濡れたもの)	18.6	25
玉石(角立ったもの)	18	45
玉石(丸みのもの)	18	30

東京工学研究会編『設計施工土木工学公式便覧』(鉄道図書局)より

土かぶり1m、溝幅1m、土の単位体積重量18kN/m³などの条件で土かぶりが浅い場合は、内部摩擦角は土かぶりによる土圧には大きく影響しない。

●図表5-2-6-3 内部摩擦角と土圧の関係

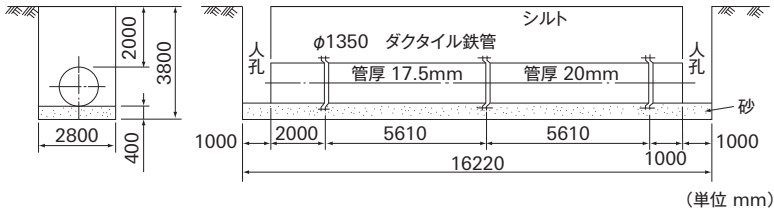
内部摩擦角 ϕ (°)	土かぶりによる土圧 Wf (kN/m ²)
10	15.4
20	15.1
30	15.0
40	15.1
50	15.4

3 埋戻しによる管体発生応力

埋戻土によって、管体各部にそれぞれ異なる応力を発生するが、最大応力は管中央円周方向に生じる。円周方向応力と管軸方向応力を比較すると前者が大きく、また、円周方向応力の中では管中央部かんそくが大きい。中でも、管底が最大である。管側

の土を埋め戻すときに突き固めた場合と突き固めない場合では、突き固めない場合の方が大きい。埋設実験の状況と実験結果を示す。

● 図表5-2-6-4 埋設実験状況

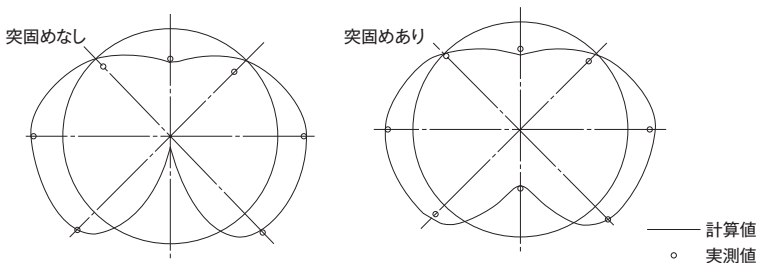


● 図表5-2-6-5 管中央部発生応力および曲げモーメント (呼び径1350、管厚17.5mm)

測定箇所	突固めなし		突固めあり	
	応力 (N/mm ²)	曲げモーメント (kN・m)	応力 (N/mm ²)	曲げモーメント (kN・m)
上部	42.4	2.17	37.4	1.91
斜右上部	19.3	0.99	15.7	0.80
右側部	38.0	1.94	30.7	1.57
斜右下部	33.3	1.71	26.1	1.33
下部	137.3	7.01	69.3	3.54
斜左下部	35.1	1.79	15.6	0.79
左側部	35.0	1.78	35.2	1.80
斜左上部	17.3	0.89	7.0	0.35

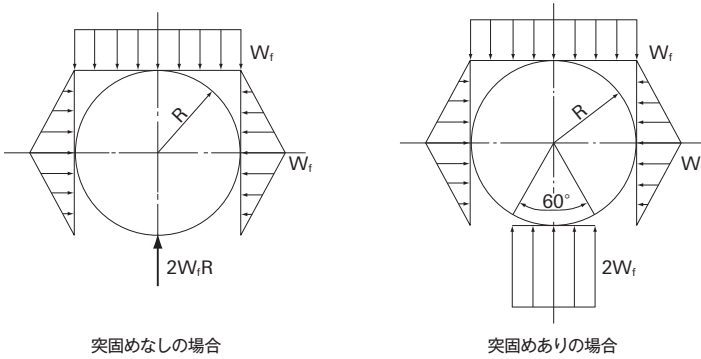
図表5-2-6-5を線図化したものが、図表5-2-6-6であるが、計算値と実測値が合致しているのがよく分かる。

● 図表5-2-6-6 埋戻土による曲げモーメント線図 (呼び径1350、管厚17.5mm、土かぶり2m)



図表5-2-6-7は計算値に用いた土圧分布であるが、突固めなしの場合には、点支持に近いことが分かる。

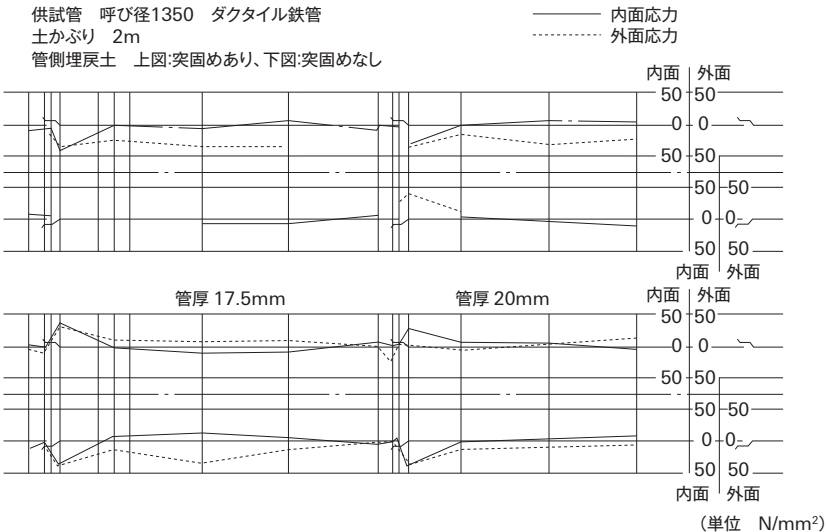
●図表5-2-6-7 計算値に用いた埋戻土による土圧分布



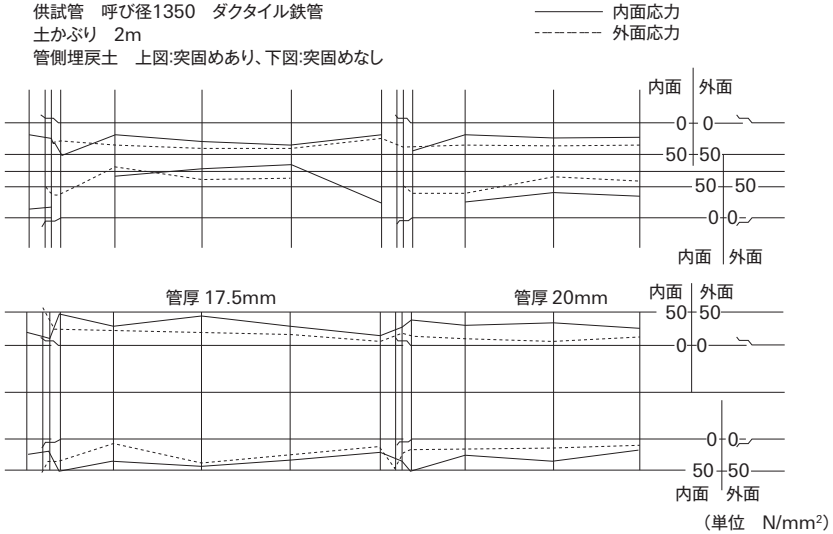
管軸方向応力(図表5-2-6-8)と円周方向応力(図表5-2-6-9)を比較すると管軸方向応力の発生が小さいことが分かる。また円周方向応力は管中央部の発生応力が大きいことが分かる。

管軸方向に見た管軸方向応力と円周方向応力のグラフを以下に示す。

●図表5-2-6-8 管軸方向応力



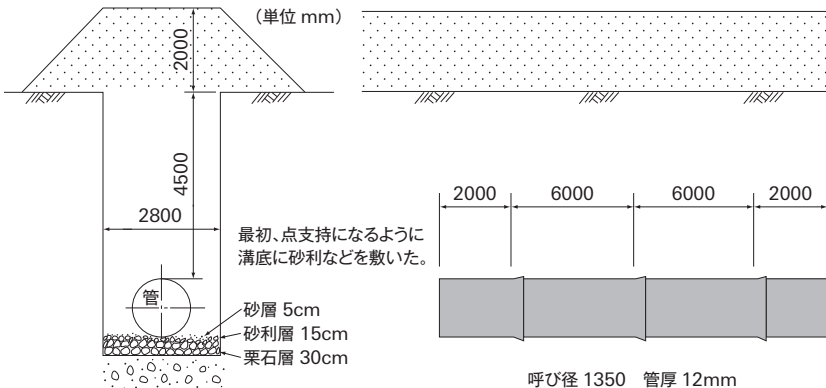
● 図表5-2-6-9 円周方向応力



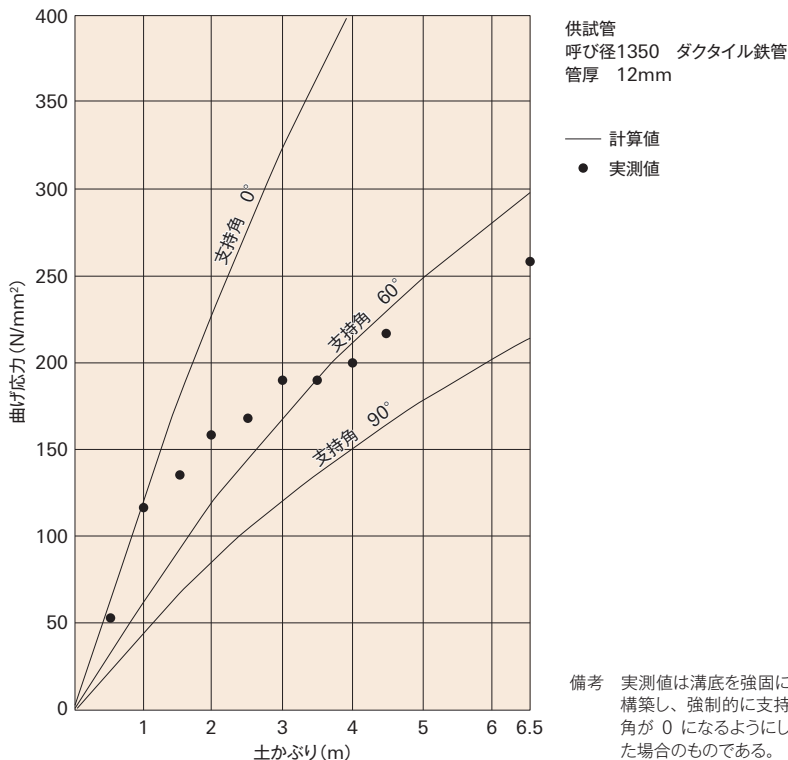
4 土かぶりが深い場合の管体発生応力

最初、点支持になるように溝底に砂層、砂利層、栗石層を形成し、硬いものとした。最大応力は管底に発生し、土かぶりが深くなると管体発生応力は大きくなるが、管の変形により管底支持角が増加し、土かぶり4mでは、管底支持角60°を上回った。

● 図表5-2-6-10 土かぶりが深い場合の管底支持角の確認実験状況 呼び径1350



●図表5-2-6-11 土かぶりが多い場合の管底支持角の変化



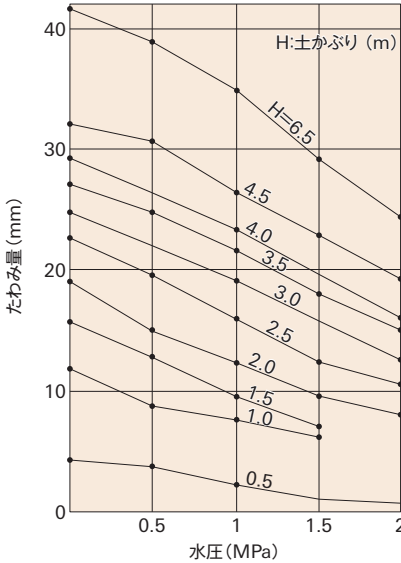
5 埋戻しと水圧負荷による管体発生応力

管を埋設して土かぶりによる土圧がかかると、管の垂直方向の径が減少して管体に曲げ応力が発生する。そこに水圧が内面から働いた場合には、管を真円に戻そうとする力が働き、図表5-2-6-12のように管のたわみ量が復元し、曲げ応力は緩和されるが、水圧による引張応力は増加する。図表5-2-6-13にその実験の結果を示す。

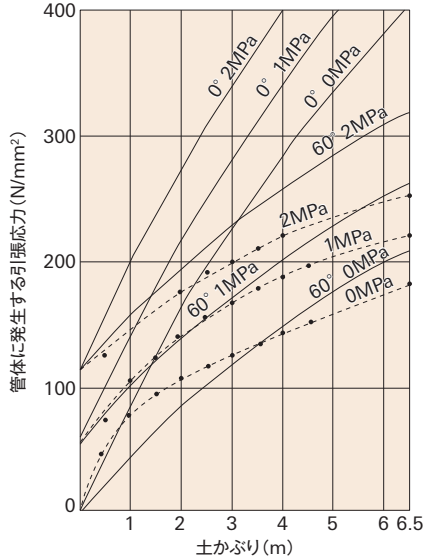
実測値水圧1MPa、2MPaのグラフから管底支持角60°の計算値よりも発生応力が小さいことが分かる。

実験は溝底を強固にし、管底支持角が最初は0°であったが、次第に増加し、最終的には管底支持角60°の計算値よりも下回ったので、計算上の管底支持角を60°としてもよいことを示唆している。

●図表5-2-6-12 水圧負荷による
たわみ量の復元(実測値)
(呼び径1350、管厚12mm)



●図表5-2-6-13 土圧と水圧負荷による
管体発生応力
(呼び径1350、管厚12mm)



---●--- 実測値 ——— 計算値
備考 数値は管底支持角(°)と水圧(MPa)を示す。

5-2-7 路面荷重による土圧

1 土圧の計算式

トラックの車輪などの集中荷重が地表面に作用し、埋設管に荷重が伝達されるような場合は、下記のブーシネスク式を用いる。

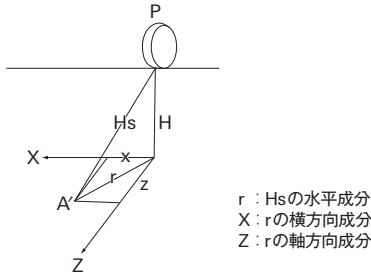
$$\begin{aligned}
 p &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{H_s^5} P \\
 &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2 + r^2)^{5/2}} P \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-1} \\
 &= \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2 + X^2 + Z^2)^{5/2}} P
 \end{aligned}$$

ここに、 p : 地下の任意のA'点における垂直圧力(kN/m²)

P : 集中荷重(kN)

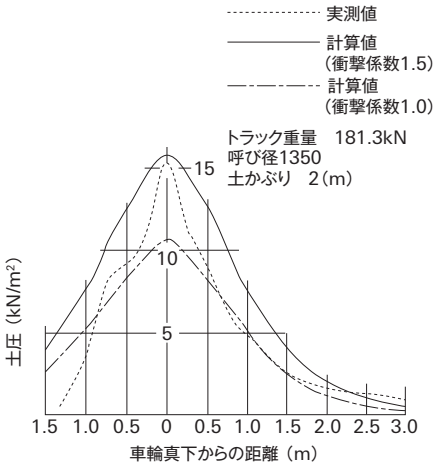
H : A' 点の地表面下の深さ (m)
 Hs : Pの作用点から A' 点までの傾斜した距離 (m)

●図表5-2-7-1 集中荷重(路面荷重)Pの成分

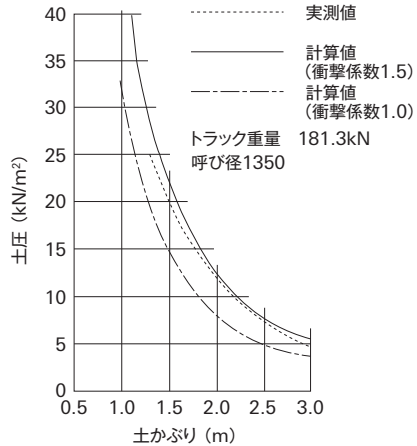


埋設実験での実測値とブーシネスク式による計算値を図表5-2-7-2、3に示す。車輪直下の土圧は、衝撃係数を1.5とした場合に計算値とよく合っている。

●図表5-2-7-2 管頂線上の土圧分布



●図表5-2-7-3 各土かぶりにおける車輪直下の土圧



ブーシネスク式で

$$\frac{3}{2\pi} \cdot \frac{H^3}{(H^2 + X^2 + Z^2)^{5/2}} = \phi \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-2}$$

とおくと、 $p = \phi \cdot P$

ただし、この式によって求まるのは地下の任意の一点における圧力である。そのため管に作用する全体の荷重を求めるには、管上のpを積算しなければならない。

厳密には積分して求めねばならないが、非常に複雑であるため管をいくつかの正

方形で区分し、その中央に作用する圧力 p ×正方形面積を正方形全体にかかる荷重とし、正方形にかかる荷重を全部加え合わせて全体にかかる荷重とする方法をとる。

以上より、路面荷重による土圧は、次式により求める。

$$W_t = 1.5a \cdot P \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-3}$$

$$P = \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{2} U \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-4}$$

$$a = \frac{\Sigma(\phi \cdot a)}{\Sigma a} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-5}$$

ここに、 W_t : 路面荷重による土圧 (kN/m²)

P : トラック1後輪荷重 (kN)

U : トラック重量 (kN)

1.5 : 衝撃係数

a : 呼び径、土かぶりにより定まる係数 (m⁻²)

a : 正方形面積 (m²)

一般に、 a を求めるのに図表5-2-7-4のような線図を利用すれば便利であるが、次式によって求めることもできる。

$$F(A,B,H) = 0.25 - \frac{1}{2\pi} \left\{ \sin^{-1} \left(H \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + H^2}{(A^2 + H^2)(B^2 + H^2)}} \right) - \frac{A \cdot B \cdot H}{\sqrt{A^2 + B^2 + H^2}} \left(\frac{1}{A^2 + H^2} + \frac{1}{B^2 + H^2} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-6}$$

[トラック2台の場合]

$$S_h = F(3.3, B, H) + F(1.5, B, H) + F(0.5, B, H) - F(1.3, B, H)$$

$$a = \frac{4S_h}{2D} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-7}$$

[トラック1台の場合]

$$S_h = F(0.1, B, H) + F(1.9, B, H)$$

$$a = \frac{4S_h}{2D} \quad \dots\dots\dots \text{式5-2-7-8}$$

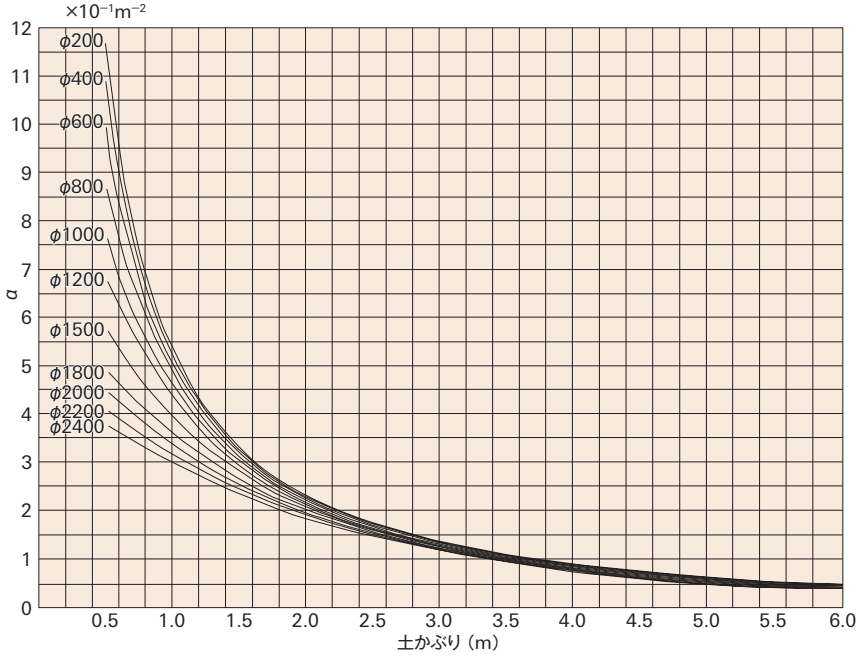
ここに、 D : 呼び径 (m)

H : 土かぶり (m)

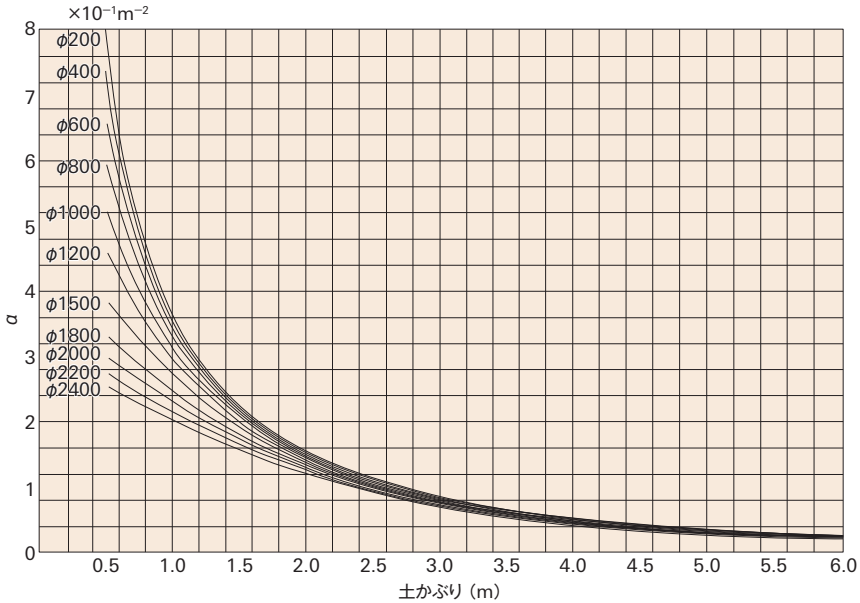
A : 管軸方向長さ (m)

B : $D/2$ (m)

● 図表5-2-7-4 トラック荷重による土圧計算のための係数 α の線図(トラック2台の場合)



● 図表5-2-7-5 トラック荷重による土圧計算のための係数 α の線図(トラック1台の場合)



2 路面荷重による管体発生応力

① 呼び径1350、土かぶり2mの場合

平底溝に呼び径1350(管厚17.5mm)のダクティル鉄管を土かぶり2mで埋設しトラックを通過させて管体の発生応力を測定した。

●図表5-2-7-6 トラック荷重の実測条件

突固め	トラック荷重 (kN)
なし	181
あり	167

トラック通過に伴う管体発生応力は、トラックの位置により大きく異なり、場合によっては引張と圧縮が逆になることもある。トラックが通過する間に生じた最大応力を下記に示す。

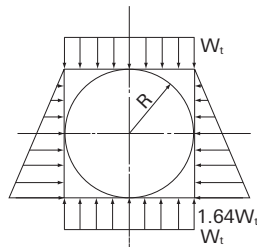
●図表5-2-7-7 トラック通過による管中央部最大応力

(単位: N/mm²)

測定位置	突固めなし	突固めあり
上	3.43	3.14
斜め上	1.76	1.86
横	2.94	2.74
斜め下	0.59	0.39
下	0.49	0.29

- ・ トラック通過による管体発生応力は小さい(埋戻土による発生応力は最大140N/mm²)。
- ・ 最大発生応力は管頂に生じる。従って埋戻土によるものとトラックによるものと同時に作用しても最大応力の上昇はほとんどない。
- ・ 突固めによる発生応力の差異はほとんどない(埋戻土による発生応力は突固めの有無により約2倍の違いがあった)。
- ・ 図表5-2-7-8に示す土圧分布が実際とよく合うことが分かった。

●図表5-2-7-8 トラック通過時の土圧分布



●図表5-2-7-9 トラック通過により管中央部に発生する曲げモーメント (単位:kN・m)

測定位置	実測値	計算値
上	0.39	0.36
斜め上	0.13	0.11
横	0.18	0.20
斜め下	0.14	0.11
下	0.03	0.05

② 呼び径300、土かぶり0.6mの場合

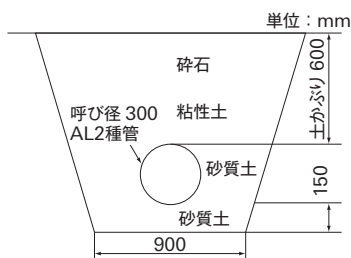
1) 目的

浅層埋設など厳しい埋設条件でも、トラック荷重に対して管体強度に問題がないことを確認する。

2) 試験方法

図表5-2-7-10に示す条件で管を埋設した後、T-25トラックを走行させて活荷重を負荷し、管体に生じるひずみを計測した。浅層埋設の実験には、呼び径300で管厚が薄い主に農業用水に使用されているALW形のAL2種管(供試管の管厚は規格公差内最小管厚の2.5mm)を使用した。土かぶりは設計基準の最小0.6mとし、水圧は負荷しない条件で行った。

●図表5-2-7-10 埋設条件



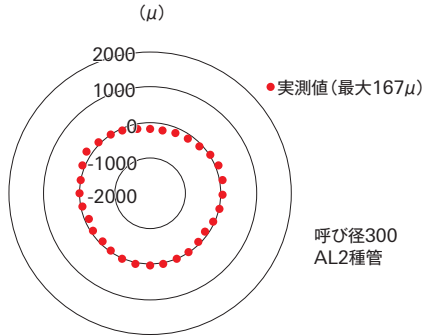
●図表5-2-7-11 試験状況



3) 試験結果

曲げひずみはほとんど発生しておらず、この埋設条件であれば問題ないことが確認された。

●図表5-2-7-12 管体ひずみ計測結果



3 トラック通過による衝撃の影響

トラックが通過する場合の衝撃による重量増加を測定した。一般には30%あるいは50%増とされているが、実際には土かぶり深さによって異なる。図表2-5-7-13から分かるように土かぶり0.5mでは50%増程度であるが、土かぶり1.5mになると測定位置「上」(管頂部)の実測値は、衝撃係数1.0の計算値よりも小さく、衝撃による割増は必要ないことが分かる。

●図表5-2-7-13 管体発生応力による衝撃係数の検証

(単位: N/mm²)

測定位置	土かぶり0.5m			土かぶり1.0m			土かぶり1.5m		
	実測値	計算値		実測値	計算値		実測値	計算値	
		衝撃係数			衝撃係数			衝撃係数	
		1.0	1.5		1.0	1.5		1.0	1.5
上	64.6	44.8	66.4	16.4	12.9	19.3	7.2	9.3	13.9
斜め上	19.5	14.6	21.9	14.8	4.7	6.4	0.7	3.0	4.6
横	20.2	26.3	39.3	12.4	7.6	11.5	6.1	5.8	8.3
斜め下	6.6	14.0	20.9	3.7	4.1	6.1	0.1	2.9	4.4
下	19.2	6.4	9.6	8.7	1.9	2.8	4.5	1.4	2.1

備考 呼び径700(管厚10mm)、平底溝、突固めなし、通過させたトラックの1後輪荷重は以下の通り。

土かぶり (m)	通過させたトラックの1後輪荷重 (kN)
0.5	89.5
1.0	74.4
1.5	66.8

5-2-8 管底支持角

平底溝で埋戻し時に管側の埋戻土を突き固めなくとも、管底あるいは管側に十分土が回るように留意すれば、一般には 60° 以上の管底支持角が期待できる。また、たとえ初期において管底支持角が 0° であっても、土かぶりの増大に従って管底支持角が増し、さらに水圧を負荷すれば曲げ応力は減少するという事実から、一般的な埋設条件下では、管底支持角 60° としても安全である。

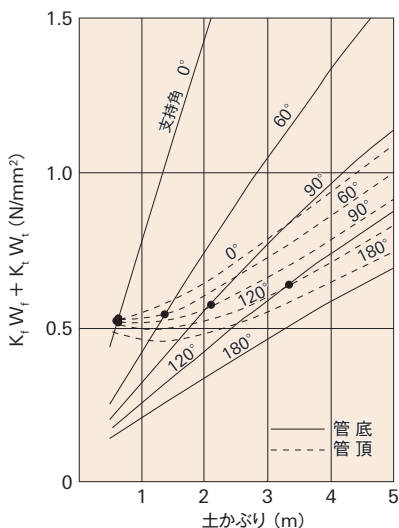
ただし、管底に接する溝底の地盤が特に硬い場合には、管底支持角が多少小さくなることも考えられるので、このような場合は 40° 程度の管底支持角を見込む方が安全である。従って、管厚計算に当たっては、特例を除き、一般には管底支持角を図表5-2-8-1のように考える。

●図表5-2-8-1 各埋設条件に対する管底支持角

区分	埋設条件	管底支持角
A	一般的な地盤の場合	60°
	溝底が強固な場合で溝底に砂を置く場合	
	溝底が強固な場合で埋戻土を砂で置き換える場合	
B	溝底が強固な場合	40°

同じ管底支持角であれば、土かぶりが浅い場合には管頂に、土かぶりが深い場合には管底に最大応力が発生する。管底支持角が 60° の場合は、図表5-2-8-2から分かるように、おおよそ土かぶり1.4m程度で最大発生応力の位置が管頂から管底に変わる。

●図表5-2-8-2 管頂、管底選択図



5-2-9 特殊な条件の管厚計算

ダクタイル鉄管は管体の強度が高いために通常の配管では管軸方向の検討は行わないが、小口径において管の一部が固定される場合や下部にコンクリート構造物、他の管路、障害物などが直接当たるような場合には管軸方向の検討が必要である。

$$M_R \geq M \cdot S$$

ここに、 M : 管の管軸方向に作用する曲げモーメント (kN・m)

M_R : 管の管軸方向の抵抗曲げモーメント (kN・m)

S : 安全率 (2.0以上)

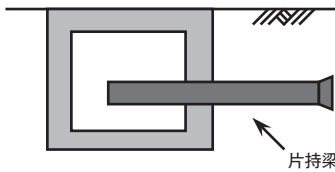
$$M_R = \sigma_b \cdot Z$$

ここに、 σ_b : 管の引張強度 (= $420 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$)

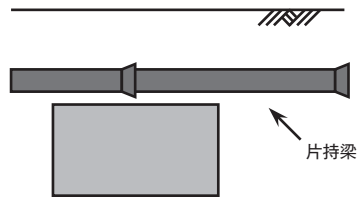
Z : 管の断面係数 (m^3)

● 図表5-2-9-1 管軸方向の計算または対策が必要な場合

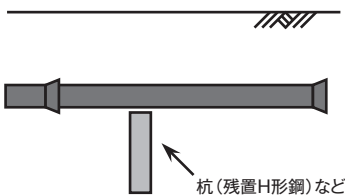
① 構造物で管が固定されている場合



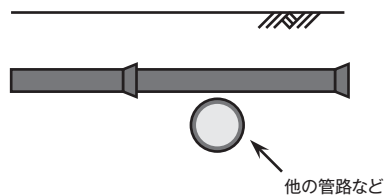
② 構造物が下にあり管が載っている場合



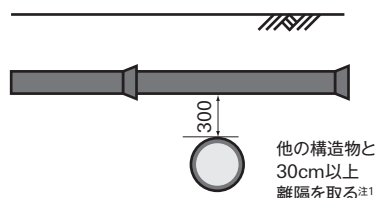
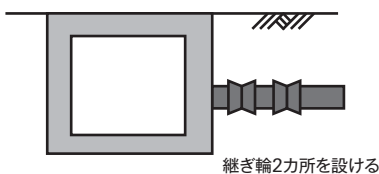
③ 管の下に杭など障害物がある場合



④ 他の管路と交差している場合



● 図表5-2-9-2 対応策の配管事例



注1 『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)では距離は30cm以上とされる。

5-3

耐震設計

5-3-1 基本的な考え方

わが国は世界有数の地震発生国であり、都市の巨大化、産業規模の大型化などに伴い、上下水道、工業用水道、農業用水などに使用される管路はライフラインとしての重要性が増している。

2013(平成25)年に策定された厚生労働省の新水道ビジョンにおいても「安全、強靱、持続」のスローガンのもと、「基幹管路(導水管、送水管、配水本管など)の耐震化率を100%にする」という施策目標が掲げられている。

上水道においては、ダクタイル鉄管の耐震継手管^{*2}の出荷比率は約93.8%(2016<平成28>年度)に達しており、新設管のほとんどは耐震継手管を布設していることになる。しかし、基幹管路^{*3}の耐震適合率は37.2%(2015<平成27>年度末)であり、更新率も0.74%(2015<平成27>年度)と低い水準になっている。従って、大規模地震や災害発生時にも水を安定供給するためには、既設の上水道の一般継手管を耐震継手管に更新することが急務である。

*2 耐震継手管とは「レベル2地震動において、管路の破損や継手の離脱等の被害が軽微な管」「液状化等による地盤変状に対しても、上記と同等の耐震性能を有する管」と「管路の耐震化に関する検討報告書 平成26年6月」(平成25年度管路の耐震化に関する検討会)で説明されている。

*3 基幹管路は、導水管、送水管および配水本管を指す。配水本管については、「水道施設の技術的基準を定める省令」の「第1条第7号イ(3)」を基本とするが、水道事業の規模、配水区域の広がり、市街地の状況、配水管の口径・流量・配置状況等を勘案して、水道事業者等において適切に定めるものとする。災害拠点病院、避難所などの重要給水施設に供給する管路は、口径を問わず、基幹管路として扱うことが望ましい。

1 耐震継手管路の特徴

大きな伸縮性と屈曲性を備える耐震継手管で構成された管路は、大きな地盤変位に対して、ちょうど埋設された鎖のように各継手部が伸縮・屈曲しながら追従する。また、一つの継手が限界まで抜け出した後も、離脱防止機構によって隣の管を次々と引っ張ることで、離脱せずに管路全体で大きな変位を吸収できる。これを鎖構造

管路という。耐震継手管路については、「2-2 管体・管路」を参照のこと。

耐震継手管路に用いられる接合形式には、GX形、NS形、S形、US形、PN形、UF形、NS形(E種管)、S50形などがある。

2 耐震継手管路の実績

耐震継手管路は布設されて以来40年経過しているが、地震による被害は報告されていない。1995(平成7)年の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)、2011(平成23)年の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)、2016(平成28)年の熊本地震などの巨大地震においても、埋立地、造成地、液状化発生地域に埋設された耐震継手管路に被害はなかった。震度6強以上の1995(平成7)年以降の総布設延長は約2810kmになる。

●図表5-3-1-1 耐震継手管(S形、SⅡ形、NS形)の実績例

地震名	発生日月	最大震度	布設都市	布設延長
兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災) ^{注1}	1995(平成7)年 1月17日	7	神戸市、西宮市、 芦屋市	270km
鳥取県西部地震 ^{注2}	2000(平成12)年 10月6日	6強	米子市、境港市	12km
新潟県中越地震 ^{注3}	2004(平成16)年 10月23日	7	長岡市、十日町市、 柏崎市、山古志地域	20km
能登半島地震 ^{注4}	2007(平成19)年 3月25日	6強	輪島市、穴水町、 七尾市	19km
新潟県中越沖地震 ^{注5}	2007(平成19)年 7月16日	6強	柏崎市、刈羽村、 長岡市	130km
東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) ^{注6}	2011(平成23)年 3月11日	7	仙台市、 東北地域他	1780km
熊本地震 ^{注7}	2016(平成28)年 4月14～16日	7	熊本市、益城町、 三石町	約30km

注1 日本水道協会「1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析」(1996年5月)より

注2 米子市水道局「鳥取県西部地震震災報告書」(2001年3月)より

注3 新潟県中越地震水道現地調査団(厚生労働省健康局水道課)「新潟県中越地震水道被害調査報告書」(2005年2月)より

注4 厚生労働省健康局水道課「平成19年(2007年)能登半島地震水道施設被害等調査報告書」(2007年8月)より

注5 厚生労働省健康局水道課「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震水道施設被害等調査報告書」(2008年3月)より

注6 日本水道協会「平成23年(2011年)東日本大震災における管本体と管路付属設備の被害調査報告書」(2012年9月)より

注7 厚生労働省健康局水道課「平成28年(2016年)熊本地震水道施設被害等現地調査団報告書」より

3 「水道施設の技術的基準を定める省令」による規定

水道施設の耐震性能は、「水道施設の技術的基準を定める省令」第一条七で「施

設の重要度に応じて、地震力に対して安全な構造であるとともに、地震により生ずる液状化、側方流動等によって生ずる影響に配慮されたものであること」と定められていたが、2008(平成20)年3月28日号外厚生労働省令第60号〔第五次改正〕(健水発0408001号平成20年4月8日)の改正で、水道施設の重要度(図表5-3-1-2)に応じたレベル1地震動、レベル2地震動(図表5-3-1-3)に対する水道施設の保有すべき耐震性能が定められた(図表5-3-1-4)。

●図表5-3-1-2 水道施設の重要度による分類

重要な水道施設	(1) 取水施設、貯水施設、導水施設、浄水施設、送水施設 (2) 配水施設のうち、重大な二次災害を生じるおそれの高いもの (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。配水本管及びこれに接続するポンプ場、配水池等、並びに配水本管を有しない水道における最大の容量の配水池等
それ以外の施設	・ 上記以外の施設 配水支管、末端部の小規模な配水池など

備考1 「破損した場合に重大な二次被害を生ずるおそれが高いもの」とは、破損した場合に住民の財産等に直接重大な損害を及ぼすおそれが高い施設、塩素などの危険物の流出を招き周辺の生活環境等に重大な被害を及ぼすおそれが高い施設等をいう(健水発0408001号)。

備考2 当該水道において最大でない配水池等についても重要度の高い配水池等についてはより高い耐震性能が確保されることが望ましい(健水発0408001号)。

「水道施設の技術的基準を定める省令」より

●図表5-3-1-3 レベル1、レベル2地震動の定義

レベル1地震動	当該施設の設置地点において発生するものと想定される地震動のうち、当該施設の供用期間中に発生する可能性の高いもの
レベル2地震動	当該施設の設置地点において発生するものと想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するもの

「水道施設の技術的基準を定める省令」より

●図表5-3-1-4 水道施設の重要度と備えるべき耐震性能基準

水道施設の重要性	対レベル1地震動	対レベル2地震動
重要な水道施設	健全な機能を損なわない	生じる損傷が軽微であって、機能に重大な影響を及ぼさない
それ以外の施設	生じる損傷が軽微であって、機能に重大な影響を及ぼさない	—

備考1 「健全な機能を損なわない」とは、施設の設計能力を損なわないことをいう(健水発0408001号)。

備考2 「機能に重大な影響を及ぼさない」とは、一定の機能低下をきたしたとしても、速やかに施設の機能が回復できる程度の影響に留まることをいう(健水発0408001号)。

備考3 施設全体として備えるべき耐震性能が確保されるよう、構造物と一体をなして施設の機能の維持に深く関わる機械設備、電気設備、計装設備、施設内の配管についても、その耐震性能に配慮すること(健水発0408001号)。

「水道施設の技術的基準を定める省令」より

4 管種・継手ごとの耐震性能の評価

「平成18年度管路の耐震化に関する検討会報告書」において、過去の地震における管路被害実績データ等を踏まえ、「管種・継手ごとの耐震適合性」が検討され評価された。

2011(平成23)年9月の「平成23年(2011年)東日本大震災水道施設被害等現地調査団報告書」を踏まえて、2012(平成24)年に「水道施設設計指針」が改訂された。「7.5.3 管種」に配水管の特徴、「表-7.5.3 管種・継手ごとの耐震適合性」(図表5-3-1-5)が掲載されている。

その後「東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書(平成25年3月)」がまとめられ、東日本大震災の被害状況が明確になり、改めて管路・管種の耐震性能を再評価するために設置された「平成25年度管路の耐震化に関する検討会」の報告書が2014(平成26)年6月に出されたが、管種ごとの耐震性能の評価に変更はなかった。

●図表5-3-1-5 管種・継手ごとの耐震適合性

管種・継手	配水支管が備えるべき耐震性能	基幹管路が備えるべき耐震性能	
	レベル1地震動に対して、個々に軽微な被害が生じて、その機能保持が可能であること。	レベル1地震動に対して、原則として無被害であること。	レベル2地震動に対して、個々に軽微な被害が生じて、その機能保持が可能であること。
ダクタイル鋳鉄管(NS形継手等)	○	○	○
ダクタイル鋳鉄管(K形継手等)	○	○	注1
ダクタイル鋳鉄管(A形継手等)	○	△	×
鋳鉄管	×	×	×
鋼管(溶接継手)	○	○	○
配水用ポリエチレン管(融着継手) ^{注2}	○	○	注3
水道用ポリエチレン二層管(冷間継手)	○	△	×
硬質塩化ビニル管(RRロング継手) ^{注4}	○	注5	
硬質塩化ビニル管(RR継手)	○	△	×

管種・継手	配水支管が備えるべき耐震性能	基幹管路が備えるべき耐震性能	
	レベル1地震動に対して、個々に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。	レベル1地震動に対して、原則として無被害であること。	レベル2地震動に対して、個々に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。
硬質塩化ビニル管(TS継手)	×	×	×
石綿セメント管	×	×	×

注1 ダクタイル鋳鉄管(K形継手等)は、埋立地など悪い地盤において一部被害は見られたが、岩盤・洪積層などにおいて、低い被害率を示していることから良い地盤においては、基幹管路が備えるべきレベル2地震動に対する耐震性能を満たすものと整理することができる。

注2 水道配水用ポリエチレン管(融着継手)の使用期間が短く、被災経験が十分でないことから、十分に耐震性能が検証されるには、なお時間を要すると考えられる。

注3 水道配水用ポリエチレン管(融着継手)は良い地盤におけるレベル2地震(新潟県中越地震)で被害がなかった(フランジ継手においては被害があった)が、布設延長が十分に長いとはいえないこと、悪い地盤における被災経験がないことから、耐震性能が検証されるには、なお時間を要すると考えられる。

注4 硬質塩化ビニル管(RR ロング継手)は、RR継手よりも継手伸縮性能が優れているが、使用期間が短く、被災経験もほとんどないことから、十分に耐震性能が検証されるには、なお時間を要すると考えられる。

注5 硬質塩化ビニル管(RR ロング継手)の基幹管路が備えるべき耐震性能を判断する被災経験はない。

備考 ○：耐震適合性あり

×：耐震適合性なし

△：被害率が比較的に低い、明確に耐震適合性ありとし難いもの

厚生労働省「管路の耐震化に関する検討会報告書」(平成19年3月)より

5 『水道施設耐震工法指針・解説 2009』による規定

日本水道協会発行の『水道施設耐震工法指針・解説 2009』の以下の章に詳細な耐震設計法が記述されている。

- ・ 総論 3.2 埋設管路の耐震計算法
- ・ 総論解説編 VII 埋設管路の耐震設計法

●図表5-3-1-6 水道管路の重要度区分

重要度区分	対象となる水道管路
ランクA1	重要な水道管路 ^{注1} のうち、ランクA2以外の管路
ランクA2	重要な水道管路のうち、次の①および②のいずれにも該当する管路 ①代替管路がある管路 ②破損した場合に重大な二次被害を生じる恐れが低い管路
ランクB	A1、A2ランク以外の管路

注1 重要な水道管路とは次のものを指す。

- ・ 導水管路および送水管路
- ・ 配水管路のうち、破損した場合に重大な二次災害を生じる恐れが高いもの
- ・ 配水本管(配水管のうち、給水分岐のないもの)

『水道施設耐震工法指針・解説 2009』(日本水道協会)より(抜粋)

水道管路はその重要度により区分され、その区分により求められる耐震性能が異なる。

耐震計算の応答変位法に用いる地盤ひずみ(管軸方向)は、地盤変位と波長から求められるが、均一地盤内に地震波動が伝播すると想定したときの地盤ひずみである。しかし過去の地震被害から、地盤の不均一性(不整形性)が高い地盤や地盤条件の変化域に管路被害が集中することが明らかになっている。

埋設管路の求められる耐震性能は、レベル1地震動、レベル2地震動により異なり、地震動ごとに求められる耐震性能と照査基準は図表5-3-1-7の通りである。

●図表5-3-1-7 埋設管路の耐震性能と照査基準

項目	耐震性能1 ^{注3}	耐震性能2 ^{注3}
レベル1地震動の耐震性能 ^{注1}	ランクA1、ランクA2	ランクB
レベル2地震動の耐震性能	—	ランクA1、ランクA2
一体構造管路	(原則として弾性域検討) 管体応力 \leq 降伏点応力 管体ひずみ \leq 許容ひずみ	(塑性域検討) 管体ひずみ \leq 許容ひずみ
鎖構造管路 ^{注2}	(管体・弾性域検討) 管体応力 \leq 許容応力 継手部伸縮量 \leq 設計照査用最大伸縮量	(管体・弾性域検討) 管体応力 \leq 許容応力 継手部伸縮量 \leq 設計照査用最大伸縮量

注1 液状化等の地盤変状により地盤ひずみが著しく増大する場合、レベル1地震動に対する埋設管路の耐震性能の照査は、ランクA1、ランクA2であっても耐震性能2を満足することを照査する。

注2 離脱防止機能を有する鎖構造管路は、一つの継手の継手部伸縮量が設計照査用最大伸縮量を超えた場合でも、隣接する管を引張ることで管路全体として地盤変位を吸収できるため、これを照査するものとする。

注3 耐震性能1：地震によって健全な機能を損なわない性能

耐震性能2：地震によって生じる損傷が軽微であって、地震後に必要とする修復が軽微なものにとどまり、機能に重大な影響を及ぼさない性能

備考 埋設管路は漏水発生の有無で耐震性能が規定されるため、保持すべき耐震性能は2までとした。

『水道施設耐震工法指針・解説 2009』(日本水道協会)より

ダクタイル鉄管の耐震設計の詳細については、以下の資料を参照のこと。

- ・『水道施設耐震工法指針・解説 2009』「3.5 水管橋及び水路橋の耐震計算法」(日本水道協会)
- ・『K形継手等を有するダクタイル鋳鉄管の耐震適合地盤判定支援ハンドブック』(水道技術研究センター、2010年)
- ・「地震と管路について JDDPA T05」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル管路の耐震設計について」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDDPA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JDDPA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)

- ・『下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－』（日本下水道協会）
- ・「工業用水道施設更新・耐震・アセットマネジメント指針 第3編 耐震対策指針」（経済産業省、2013年）
- ・「土地改良事業設計指針『耐震設計』（農林水産省、2016年）

5-3-2 耐震設計の留意点と耐震計算

本節では『水道施設耐震工法指針・解説 2009』（日本水道協会）に基づいて耐震設計の留意点と耐震計算の方法をまとめた。

1 基本的な考え方

ダクタイル鉄管の耐震計算は、応答変位法を用いて算定することを原則とし、地震動レベル1とレベル2について、それぞれによる管体応力が耐力（弾性域）以下、および継手部の伸縮量が設計照査用最大伸び量以下となるかで照査する。

- ・耐震性能の照査は、常時荷重と地震の影響とを組み合わせた状態で行う。常時荷重としては、設計内圧、自動車荷重などの活荷重、温度変化、不同沈下などを考慮する。
- ・ダクタイル鉄管の場合は弾性域の検討とし、管と地盤とのすべりは考慮しない。
- ・水道管路の重要度や特別な地盤条件に応じた設計を行う必要がある場合には、設計地震動に対する耐震性照査を行い、断層横断部、地盤変状部、構造物との接続部など、大きな変位が予想される箇所については管割方法などの変更により十分な耐震性照査を行う。

しかし、水道管路は広い区域を対象として布設されるため、全ての埋設管路の耐震設計において、詳細な地盤調査を行い、地盤の動的解析などを実施することは困難である。

このため、一般的な条件における設計では、過去の被災経験から、規格化された耐震継手管の安全性は実証されているため、全ての新設管路の設計に対して個別に耐震計算を行う必要はない。

2 地質・地形上検討を要する場所

管路は良好な地盤に埋設することが望ましいが、条件によっては良好でない地盤に埋設せざるを得ない場合がある。地盤の状態は地形、層序^{*4}、層厚、各層の強度および地下水位などにより定まる。特に次に示すような地盤は地盤条件が悪いものとされており、注意が必要である。

- ・ 盛土地盤、地すべり、山崩れ、山腹崩壊の生じやすい地盤
- ・ 山稜のりきの法先、法肩のりかた、その他地形の急激に変化する場所
- ・ 傾斜地盤(斜面、坂)
- ・ 土層の変化界、すなわち力学的性質の異なる土層の境界部分
- ・ 軟弱な表層が厚い地盤
- ・ 埋立地、護岸(海、河川)近傍の地盤
- ・ 地震時に液状化および側方流動の可能性がある地盤
- ・ 活断層近傍

*4 地盤の古い地層から上位の新しい地層への重なり方

3 構造上検討を要する場所とその対策

- ・ 構造物、弁室などに固定された管路の取出し部分には、必要に応じて伸縮可とう性を有するものを設ける。
- ・ シールド、共同溝内管路などの立上り部分は相対変位による変形を受けやすいためにコンクリートなどで防護する必要がある。
- ・ 異形管部の一体化長さの両端など継手伸縮量が大きくなる場合は必要に応じて、伸縮量を吸収する対策が必要である。

4 管路における地震対策

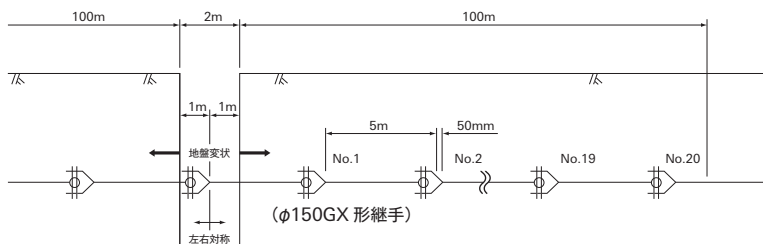
- ・ 管路と他の埋設物が近接している部分(少なくとも30cm以上は隔離を保つ)。
- ・ 呼び径800以上の管路には、震災その他事故時に内部からの点検を可能とするため、適切な位置に人孔を設ける。
- ・ 延長が長い管路の途中には遮断弁を設けるなど、震災その他事故時に影響の最小化を図るための対策が必要である。

- ・ダクタイル鉄管の継手を屈曲させる場合には許容曲げ角度内で曲げて布設する。
- ・配水池の排水管の漏水は二次災害につながるので、耐震継手管を使用する。
- ・通常地震動の管軸方向ひずみは耐震継手で吸収可能であるが、一体化部や構造物との取合部、断層帯などでは必要箇所に継ぎ輪(または長尺継ぎ輪)などを用いる。

5 地割れなどに対する変位吸収量

耐震継手管が有する $3DkN$ (D :呼び径)の離脱防止性能は、管と地盤の摩擦力を $1kN/m^2$ とすると、100m分の管と地盤の摩擦力に等しい。従って、耐震継手管路は100m分の変位吸収量を有しており、継手部の伸縮量は管長の $\pm 1\%$ であるから管路としての変位吸収量は $\pm 1m$ になる。地割れなどの場合、片側で1m、両側で2mの変位が吸収できる。

●図表5-3-2-1 管軸方向の地盤変位吸収量



6 管軸直角方向の変位吸収量

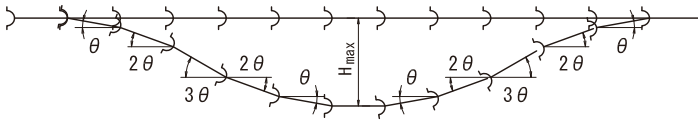
側方流動や地盤沈下などの管軸直角方向の地盤変状が発生した場合の変位吸収量の例を示す。

$$H_{\max} = L_p (\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta + \dots + \tan 3\theta + \tan 2\theta + \tan \theta)$$

ここに、 L_p : 管1本分の長さ

θ : 継手1個当たりの最大屈曲角(°)

●図表5-3-2-2 管軸直角方向の地盤変位吸収量



7 液状化対策

地盤の液状化とは、砂質地盤が地震動の繰返し応力により、急激にその強度と剛性を喪失し、あたかも地盤全体が液体のように振る舞う現象である。液状化の判定を行う必要がある砂質土層は以下の通りである。液状化に対する抵抗率 F_L 値を算出し、この値が1.0以下の土層は液状化の可能性ありとみなすことができる。

$$F_L = \frac{R}{L}$$

ここに、 F_L : 液状化に対する抵抗率

R : 地盤の動的せん断強度比

L : 地震時せん断の応力比

●図表5-3-2-3 液状化の判定を行う必要がある砂質土層

地下水位が現地盤面から10m以浅にあり、かつ現地盤面から25m以内の深さに存在する飽和土層

細粒分含有率 F_c ^{注1}が35%以下の土層、または F_c が35%を超えても塑性指数 I_p ^{注2}が15以下の土層

平均粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層

注1 土の乾燥質量に対して金属製網ふるい75 μ m通過分の乾燥質量が占める割合を、百分率で表したものを。

注2 液性限界(土が液状から塑性になる)と塑性限界(土が塑性から半個体になる)の含水比の差で表される。

兵庫県南部地震をはじめ過去の主な地震において、一般継手の管路の被害は地割れや液状化、地盤沈下などの埋設された管路に大きな変位をもたらす地盤変状の発生した場所で多く発生している。

地盤変状の発生した場所では、地盤が大きく変形し脆性状態^{ぜいせい}に達しているため、一般継手の管路では、地盤を弾性状態として考える応答変位法による耐震設計のみでは不十分であり、別途耐震性能の照査が必要である。

耐震継手管路(鎖構造管路)の場合には液状化地盤でも管路機能を保持しており、伸縮・屈曲性がありかつ離脱防止機能がある耐震継手により管路が地盤の動きに追

従している結果である。

地震時において管路の周辺地盤が液状化すると、過剰間隙水圧が発生し、管路底面には過剰間隙水圧による揚圧力が作用して、管路を浮上させる恐れがある。液状化判定の結果、液状化の可能性があると判定された場合には、過剰間隙水圧による揚圧力に対して、十分な抵抗力を有するかを照査する必要がある。

8 側方流動の発生が予想される地域での管路設計

側方流動は液状化した地盤が護岸の移動や傾斜地盤におけるわずかな不均衡力によって生じる現象で、地盤の液体的な振る舞いによって生じるものと考えられている。従って、側方流動による地盤の変位量を高い精度で予測することは極めて難しいが、埋立地などの護岸が大きく移動する可能性がある場合には、地盤引張ひずみは1.2～2.0%、護岸線より100m以上離れた場所では、1.0～1.5%の範囲としてよいが、管路の重要度、復旧の難易度などを基に適切に設定すればよい。側方流動によって生じる地盤の圧縮ひずみは1.0～1.5%の範囲の値とする。

傾斜した液状化地盤の変位は次式による。

$$\delta_G = k \cdot H \cdot \theta$$

ここに、 δ_G : 地盤の水平変位量 (m)

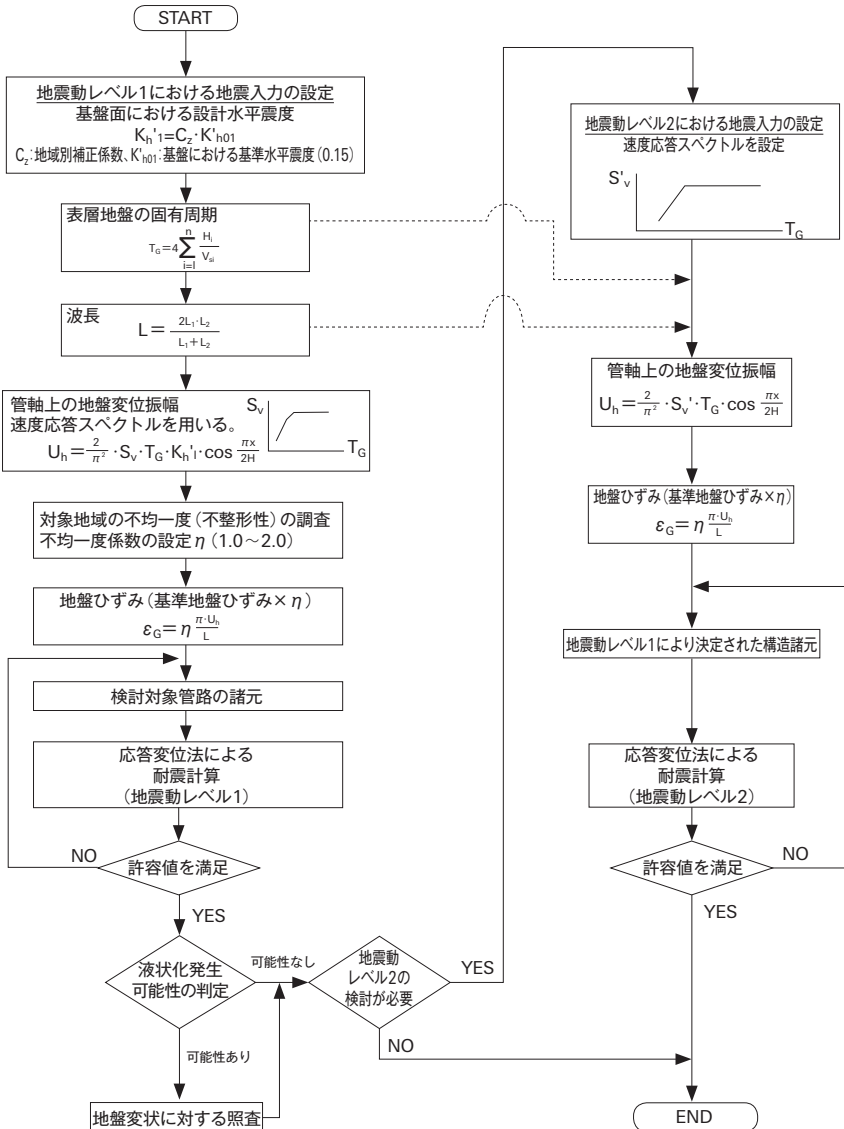
k : 0.77～0.96

H : 液状化層厚の総和 (m)

θ : 地表面の傾き (%)

9 一般埋設部の耐震計算（応答変位法）

●図表5-3-2-4 埋設管路の耐震計算の手順



NS形呼び径500(S種管)の計算事例を以下に示す。

【計算条件】

管外径	: $D_2=0.528\text{m}$
規格管厚	: $T=0.0085\text{ m}$
計算管厚 ^{注1}	: $t_2=0.0075\text{ m} (=t - 0.001)$
管長	: $l=6\text{m}$
土かぶり	: $h=1.20\text{m}$
土の単位体積重量	: $\gamma_t=17\text{kN/m}^3$
鉛直方向地盤反力係数	: $K_V=10000\text{kN/m}^3$
設計内圧	: $P_i=1.30\text{MPa}=1300\text{kN/m}^2$
自動車荷重	: $P_m=100\text{kN/輪}(T-25)$
温度変化	: $\Delta T=20^\circ\text{C}$
地域別補正係数の地域区分 ^{注2}	: 地域区分 A ($C_z=1.0$)
管路の重要度ランク ^{注3}	: ランク A1
重畳係数 ^{注4}	: 3.12
地盤の不均一度係数 ^{注5}	: $\eta=2.0$ (極めて不均一)

注1 鋳造公差を差し引いたもの。

注2 地域により、0.7、0.8、0.9、1.0とする。

注3 図表5-3-1-6参照 (A1、A2、Bの分類がある)。

注4 レベル1地震動の管体ひずみの計算式では、5成分の波が同時に管路に作用したときに最大になり、1成分の3.12倍となる。1.0~3.12の範囲で設定は可能であるが、設計においては最大値の3.12を適用するのが一般的である。レベル2地震動は、実際の観測結果を基に算出しているので、重畳係数は考慮しない。

注5 地盤の不均一度係数 η を以下に示す。

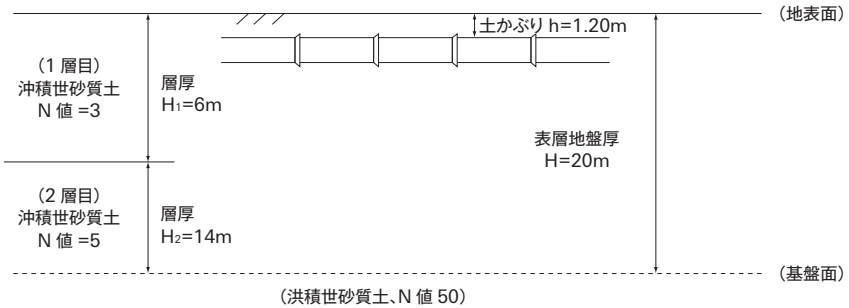
●図表5-3-2-5 地盤の不均一度係数 η

不均一の程度	地盤の不均一度係数 η	地盤条件
均一	1.0	洪積地盤、均一な沖積台地
不均一	1.4	層厚の変化がやや激しい沖積地盤、普通の丘陵宅造地
極めて不均一	2.0	河川流域、おぼれ谷などの非常に不均一な沖積地盤、大規模な切土・盛土の造成地

備考 洪積地盤であっても平坦でない地形の場合には、不均一地盤とみなす。

なお、ダクタイル鉄管の耐震計算は計算ソフトを用いて行うこともできる。

【地盤モデル】



【計算結果】

項目		レベル1	レベル2	
管体応力 (kN/m^2)	常時	設計内圧 ($P_i=1.30\text{MPa}$)	12631	
		自動車荷重 (T-25)	16077	
	地震時		11477	27986 (37960) 注2
	軸方向応力合計		40185	56694 (66668) 注2
	(参考)許容応力		270000	270000
	評価		○	○(○) 注2
継手伸縮量 (mm)	常時	設計内圧 ($P_i=1.30\text{MPa}$)	0.47	
		自動車荷重 (T-25)	0.60	
		温度変化 ($\Delta t=20^\circ\text{C}$)	1.20	
		不同沈下 (20cm)	0.67	
	地震時		6.55 (6.78) 注2	54.99 (55.58) 注2
	伸縮量合計		9.49 (9.72) 注2	57.93 (59.52) 注2
	(参考)設計照査用最大伸び量 注1,3		60	60
	評価		○(○) 注2	○(○) 注2
継手屈曲角度 ($^\circ$)	地震時		$0^\circ 2' 18$	$0^\circ 19' 11$
	(参考)地震時の最大屈曲角度		$7^\circ 0'$	$7^\circ 0'$
	評価		○	○

注1 継手を許容屈曲角度まで曲げて配管した場合の継手の伸出し量を示す。

注2 ()内は簡便計算式で求めた場合を示す。

注3 離脱防止機能を有する鎖構造管路は、一つの継手の継手部伸縮量が設計照査用伸量を超えた場合でも、隣接する管を引っ張ることで管路全体として地盤変位を吸収できるため、これを照査するものとする。

【水道施設耐震工法指針・解説 2009】(日本水道協会)より

5-4

異形管防護

5-4-1 異形管防護の必要性

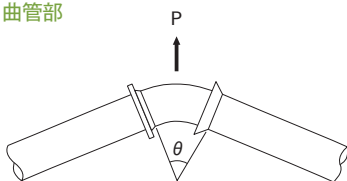
ダクタイル鉄管管路の曲管部、T字管部、片落管部、管端部および仕切弁部などの異形管部には不平均力 P (管内で水圧が不均衡に作用した結果として発生する、管路をある方向に動かそうとする力)が働く。不平均力が働くと管路中の一般継手や耐震継手が伸縮することにより管路が地中で動き、特に一般継手の場合は継手が離脱する恐れがある。

不平均力対策としては、離脱防止継手などを用いて管路を一体化(継手部分が伸縮・屈曲しないよう固定)する方法や異形管部に防護コンクリートを打設する方法がある。また、配管状態によってはこれらを併用する場合もある。

離脱防止継手には、ライナを使用した直管受口(GX形、S50形、NS形など)、耐震継手の異形管受口(継ぎ輪を除く)、UF形がある。

●図表5-4-1-1 不平均力の作用箇所

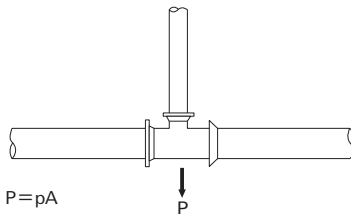
曲管部



$$P=2pA\sin\frac{\theta}{2}$$

ここに、 P :不平均力、 p :水圧
 A :管の断面積、 θ :曲管角度

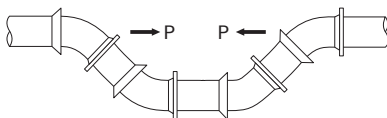
T字管部



$$P=pA'$$

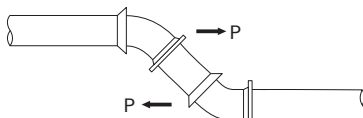
ここに、 A' :分岐管の断面積

伏越し部



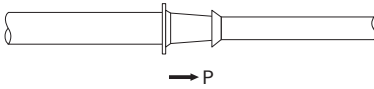
$$P=pA$$

Sベント部



$$P=pA$$

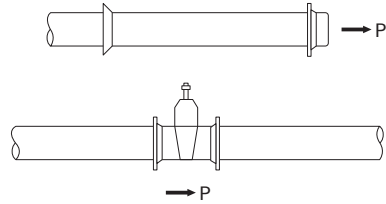
片落管部



$$P=p(A-a)$$

A-a: 片落管前後の管の断面積の差

管端部および仕切弁部



$$P=pA$$

5-4-2 不平均力の大きさ

●図表5-4-2-1 水圧0.1MPa当たりの不平均力早見表

(単位:kN)

呼び径	曲管部 ^{注1}					T字管 ^{注2} 栓・仕切弁
	90°曲管	45°曲管	22 1/2°曲管	11 1/4°曲管	5 5/8°曲管	
50	0.51	0.28	0.14	0.07	0.04	0.36
75	0.96	0.52	0.27	0.13	0.07	0.68
100	1.55	0.84	0.43	0.21	0.11	1.09
150	3.17	1.72	0.88	0.44	0.22	2.24
200	5.38	2.91	1.48	0.75	0.37	3.80
250	8.19	4.43	2.26	1.14	0.57	5.79
300	11.57	6.26	3.19	1.60	0.80	8.18
350	15.54	8.41	4.29	2.15	1.08	10.99
400	20.12	10.89	5.55	2.79	1.40	14.23
450	25.25	13.67	6.97	3.50	1.75	17.86
500	30.97	16.76	8.54	4.29	2.15	21.90
600	44.20	23.92	12.19	6.13	3.07	31.25
700	59.68	32.30	16.47	8.27	4.14	42.20
800	77.63	42.01	21.42	10.76	5.39	54.89
900	97.93	53.00	27.02	13.58	6.80	69.25
1000	120.37	65.14	33.21	16.68	8.35	85.11
1100	145.36	78.67	40.11	20.15	10.09	102.79
1200	172.44	93.32	47.58	23.90	11.97	121.93
1350	217.70	117.82	60.06	30.18	15.11	153.94
1500	268.23	145.16	74.00	37.18	18.61	189.67
1600	302.39	163.65	83.43	41.92	20.98	213.82
1650	321.38	173.93	88.67	44.55	22.30	227.25

呼び径	曲管部 ^{注1}					T字管 ^{注2} ・ 栓・仕切弁
	90°曲管	45°曲管	22 1/2°曲管	11 1/4°曲管	5 5/8°曲管	
1800	379.32	205.29	104.65	52.58	26.34	268.22
2000	471.80	255.34	130.17	65.40	32.76	333.62
2100	520.14	281.50	143.51	72.10	36.11	367.79
2200	577.40	312.49	159.30	80.04	40.09	408.28
2400	671.07	363.18	185.15	93.02	46.59	474.52
2600	800.15	433.04	220.76	110.91	55.55	565.79

注1 図表5-4-1-1の曲管部の不平均力Pを示す。

注2 図表5-4-1-1のT字管部、伏越し部、Sベンド部、栓および仕切弁部の不平均力Pに相当する。

なお、片落管部の不平均力は小管側の口径によるため省略した。

備考 各不平均力は外径 D_2 で計算した。

「ダクタイル鉄管管路の設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)より

5-4-3 一体化による異形管防護

1 一般事項

管路の一体化による異形管防護では、異形管部に作用する不平均力に対して、管と土との間に発生する摩擦力、管背面の地盤反力、継手の曲げ剛性を利用して管路が動かないようにするのが基本的な考え方である。また、不平均力に対抗するために一体化が必要な管の延長を「一体化長さ」という。

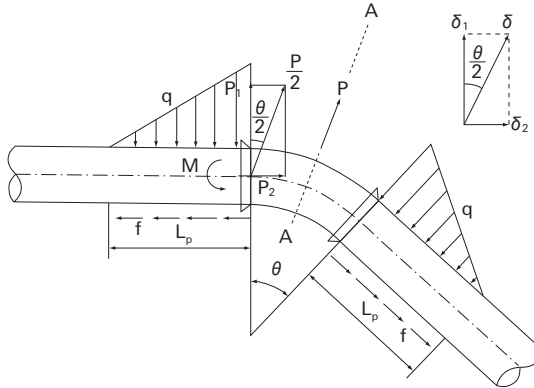
ここで、水平曲管部を例として挙げると、曲管部には図表5-4-3-1に示すような不平均力Pが作用する。これに対して管と土との摩擦力 f および管背面からの地盤反力 q により管路が動かないようにすることを考えるが、そのときに曲管部の継手に作用する曲げモーメント M に対して十分な安全率を確保し、かつ曲管の移動量 δ が許容値以下となるよう一体化長さを設定する。なお、曲管部背面に作用する地盤反力や曲管の変形は無視する。

一般的な設計条件下で使用されるGX形、S50形、NS形、NS形(E種管)管路の曲管部およびT字管部については、一体化長さ早見表が公表されており、それには設計条件に対して一体化すべき管の延長が記されている。これにより、中大口径管路に比べて配管延長が長く、施工時の設計変更が頻繁に行われる小口径耐震継手管については、一体化長さの設計が簡略化されている。

詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T35」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「NS形ダクタイル鉄管(E種管)管路の設計 JDP A T62」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T57」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「S50形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T59」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)

●図表5-4-3-1 不平均力と作用する力と抵抗力



「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T35」(日本ダクタイル鉄管協会)より

2 早見表による一体化長さの決定

離脱防止継手による異形管防護は、不平均力による管の移動を防止するのに必要な一体化長さを求め、その範囲内にある継手を離脱防止継手とすることを原則とする。鎖構造管路の呼び径50～450の曲管部およびT字管部については、一定の管路条件を満たす場合、早見表から一体化長さを求めることができる。一方、呼び径500以上および早見表の適用管路条件に当てはまらない場合は、それぞれの土かぶり、設計水圧といった管路条件から異形管部の形状ごとに定められた計算式によって求める。詳細については前述の技術資料を参照のこと。

① 適用管路の条件

図表5-4-3-2の条件を一つでも満足しない場合には計算式によって一体化長さを求める。

●図表5-4-3-2 適用管路の条件

項目	内容	
呼び径	50～300	350～450
接合形式	GX形、S50形、NS形、NS形(E種管)	
設計水圧	1.3MPa以下	
土かぶり	0.6m以上	1.2m以上
埋戻条件	一般的な埋戻土 ^{注1} でN値5程度以上の締固めによる	

注1 一般的な埋戻土とは、①原則として塩分の少ない良質の砂あるいは良質土。②掘削土を埋戻土に使用する場合は、良質土であることと、粘土塊や転石、木根など異物を除去したもの。

② 曲管部およびT字管部の一体化長さ早見表(呼び径50～300)

これらは異形管に隣接する管の最低限の必要一体化長さを示したものである。また、一体化長さに異形管の長さを含めないものとする。

●図表5-4-3-3 曲管部およびT字管部の一体化長さ早見表(呼び径50～300) (単位:m)

呼び径	曲管部 ^{注1}						T字管部 ^{注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			
50	1	1	1	1	1	1	1	1			
75						4					
100						5 ^{注3}					
150					4	6			6		
200					8						
250					2	6				11	2
300					2	7			7	16	7

注1 単独曲管部では曲管の両側に表中の値以上の一体化長さを確保する。

注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。

注3 NS形(E種管)の場合は4mとする。

備考1 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。

備考2 ポリエチレンスリーブの有無にかかわらず、本表の値を適用する。

備考3 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、本表の45°を超え90°以下の曲管部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用いる。

備考4 土かぶり0.6m以上に適用する。

③ 曲管部およびT字管部の一体化長さ早見表(呼び径350~450)

● 図表5-4-3-4 曲管部^{注1}の一体化長さ早見表(呼び径350~450)

(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			3		8	15			3		7	13	
400	1	2		7		9	17	1	2		7		
450		3		4		9	10	19		4		8	16

注1 単独曲管部では曲管の両側に表中の値以上の一体化長さを確保する。

備考1 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。

備考2 ポリエチレンスリーブの有無にかかわらず、本表の値を適用する。

備考3 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、本表の45°を超え90°以下の曲管部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用いる。

備考4 GX形の呼び径は400のみである。呼び径500以上については、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計JCPA T35」を参照のこと。

● 図表5-4-3-5 T字管部^{注1}の一体化長さ早見表(呼び径350~450)

(単位:m)

本管側 呼び径	枝管側 ^{注2} 呼び径	土かぶり1.2m		土かぶり1.5m	
		設計水圧 (MPa)		設計水圧 (MPa)	
		0.75	1.3	0.75	1.3
350	350	7	14	7	13
400	300	6	12	5	10
	400	7	16	7	15
450	300	5	12	4	10
	450	8	18	8	17

注1 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。

注2 枝管の呼び径が本表の呼び径よりも小さい場合は、図表5-4-3-3のT字管の呼び径の一体化長さを用いてもよい。

備考1 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。

備考2 ポリエチレンスリーブの有無にかかわらず、本表の値を適用する。

備考3 GX形の呼び径は400のみである。呼び径500以上については、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計JCPA T35」を参照のこと。

④ 管端部および仕切弁部の一体化長さ(呼び径50~400)

● 図表5-4-3-6 管端部および仕切弁部の一体化長さ早見表

(単位:m)

呼び径	土かぶりh	h=0.6m		h=0.8m		h=1.0m		h=1.2m		h=1.4m	
	水圧 (MPa) 摩擦 係数 ^{注1}	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3
50	0.4	4.5	7.0	3.5	5.5	2.5	4.5	2.5	4.0	2.0	3.5
	0.3 ^{注2}	5.5	9.5	4.5	7.5	3.5	6.0	3.0	5.0	2.5	4.5
75	0.4	5.5	9.5	4.5	7.0	3.5	6.0	3.0	5.0	2.5	4.5
	0.3 ^{注2}	7.5	12.5	5.5	9.5	4.5	8.0	4.0	6.5	3.5	5.5
100	0.4	7.0	11.5	5.5	9.0	4.5	7.5	3.5	6.0	3.0	5.5
	0.3 ^{注2}	9.0	15.5	7.0	12.0	5.5	9.5	5.0	8.0	4.0	7.0
150	0.4	9.5	16.0	7.0	12.5	6.0	10.0	5.0	8.5	4.5	7.5
	0.3 ^{注2}	12.5	21.0	9.5	16.5	8.0	13.5	6.5	11.5	6.0	10.0
200	0.4	11.5	20.0	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.0	5.5	9.5
	0.3 ^{注2}	15.5	26.5	12.0	20.5	10.0	17.0	8.5	14.5	7.0	12.0
250	0.4	14.0	23.5	11.0	18.5	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.5
	0.3 ^{注2}	18.5	31.5	14.5	25.0	12.0	20.5	10.0	17.5	9.0	15.0
300	0.4	16.0	27.0	12.5	21.5	10.5	18.0	9.0	15.5	8.0	13.5
	0.3 ^{注2}	21.0	36.0	16.5	28.5	14.0	24.0	12.0	20.5	10.5	17.5
400	0.4		—	—	—	—	—	11.5	19.5	10.0	17.0
	0.3 ^{注2}	—	—	—	—	—	—	15.0	25.5	13.0	22.5

注1 管と土の間で起こる摩擦係数。

注2 ポリエチレンスリーブを使用した場合の摩擦係数。

備考 NS形の管端部および仕切弁部の一体化長さ早見表は、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T35」を参照のこと。

⑤ 片落管部の一体化長さ(呼び径50~400)

● 図表5-4-3-7 片落管部の一体化長さ早見表

(単位:m)

呼び径		土かぶりh		h=0.6m		h=0.8m		h=1.0m		h=1.2m		h=1.4m		
		水圧 (MPa)	摩擦 係数 ^{注1}	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	0.75	1.3	
大管	小管													
75	50	0.4	2.5	4.5	2.0	3.5	2.0	3.0	1.5	2.5	1.5	2.0		
		0.3 ^{注2}	3.5	6.0	2.5	4.5	2.5	3.5	2.0	3.0	1.5	3.0		
100	75	0.4	2.5	4.5	2.0	3.5	2.0	3.0	1.5	2.5	1.5	2.0		
		0.3 ^{注2}	3.5	6.0	3.0	4.5	2.5	4.0	2.0	3.5	1.5	3.0		
150	100	0.4	5.0	8.5	4.0	6.5	3.0	5.5	2.5	4.5	2.5	4.0		
		0.3 ^{注2}	6.5	11.0	5.0	8.5	4.0	7.0	3.5	6.0	3.0	5.0		
200	150	0.4	5.0	8.5	4.0	6.5	3.0	5.5	3.0	4.5	2.5	4.0		
		0.3 ^{注2}	6.5	11.0	5.0	8.5	4.0	7.0	3.5	6.0	3.0	5.5		
250	200	0.4	5.0	8.5	4.0	6.5	3.5	5.5	3.0	4.5	2.5	4.0		
		0.3 ^{注2}	6.5	11.0	5.0	8.5	4.5	7.0	3.5	6.0	3.0	5.5		
300	100	0.4	13.5	23.5	11.0	18.5	9.0	15.5	8.0	13.5	7.0	11.5		
		0.3 ^{注2}	18.0	31.5	14.5	25.0	12.0	20.5	10.5	17.5	9.0	15.5		
	150	0.4	11.5	20.0	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.0	5.5	10.0		
		0.3 ^{注2}	15.5	26.5	12.0	21.0	10.0	17.5	8.5	15.0	7.5	13.0		
	200	0.4	8.5	14.5	7.0	11.5	5.5	9.5	5.0	8.5	4.5	7.5		
		0.3 ^{注2}	11.5	19.5	9.0	15.5	7.5	13.0	6.5	11.0	5.5	9.5		
	250	0.4	5.0	8.0	4.0	6.5	3.0	5.5	3.0	4.5	2.5	4.0		
		0.3 ^{注2}	6.5	10.5	5.0	8.5	4.0	7.0	3.5	6.0	3.0	5.5		
400	200	0.4	—	—	—	—	—	—	8.5	14.5	7.5	12.5		
		0.3 ^{注2}	—	—	—	—	—	—	11.0	19.0	9.5	16.5		
	300	0.4	—	—	—	—	—	—	5.0	8.5	4.5	7.5		
		0.3 ^{注2}	—	—	—	—	—	—	6.5	11.0	5.5	9.5		

注1 管と土の間で起こる摩擦係数。

注2 ポリエチレンスリーブを使用した場合の摩擦係数。

備考 NS形の片落管部の一体化長さ早見表は、「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T35」を参照のこと。

3 一体化長さ早見表の適用例

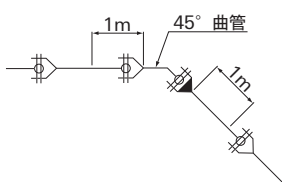
本設計法は、一体化長さを計算により求めるのではなく、早見表を用いて単独および複数の異形管の不平均力に対する一体化長さを求める方法である。以下に適用事例を挙げ説明する。なお、図中の一体化長さは呼び径150、設計水圧1.3MPaの例である。より多くの事例については前述の技術資料を参照のこと。

1 曲管部

曲管部の一体化長さは、複数の曲管が直結あるいは近接している場合でも、個々の曲管の曲がり角度で判断していくことを基本とする。すなわち、一体化長さを確保しようとする直管につながる曲管の曲がり角度で判断すればよい。このとき、計算により設計する場合のようにSベンド部、伏越し部、切回し部、ひねり配管部といった配管形態を特に考慮する必要はない。

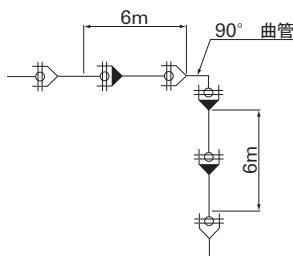
●図表5-4-3-8 単独曲管部の一体化長さ

例①…45°曲管



45°曲管の前後に1m確保する。

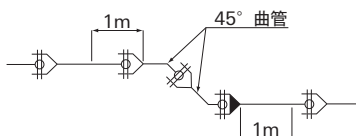
例②…90°曲管



90°曲管の前後に6mを確保する。

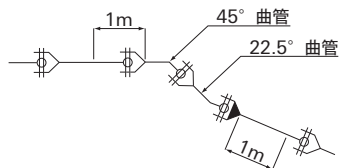
●図表5-4-3-9 組合せ曲管の一体化長さ

例①…Sベント45°曲管



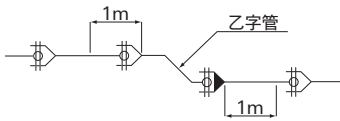
45°曲管の前後にそれぞれ1mを確保する。

例②…Sベント45°+22.5°曲管



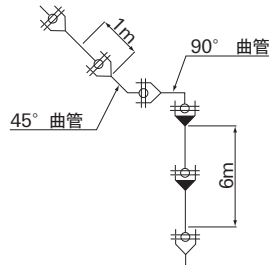
45°曲管側と22.5°曲管側にそれぞれ1mを確保する。

例③…乙字管



乙字管の前後にそれぞれ1m(45°曲管の一体化長さ)を確保する。

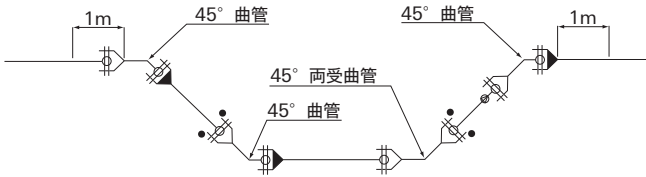
例④…Sベント45°+90°曲管



45°曲管側に1m、90°曲管側に6mを確保する。

●図表5-4-3-10 組合せ曲管の一体化長さ

例①…45°曲管の伏越し



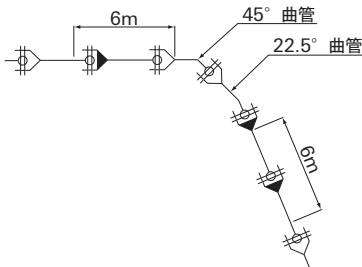
左右の45°曲管の外側にそれぞれ1mを確保する(曲管間が全て一体化された伏越し、切り返し配管の例)。

例外として、曲管が同一面で曲がり角度が大きくなる方向に直結された場合は、それらの曲がり角度を合計した複合曲管部として取り扱う(図5-4-3-11例①②)。

さらに、これらの曲管の間に直管あるいは切管が挟まる場合については、挟まる直管の長さが1m未満であれば曲がり角度を合計した複合曲管部として扱い、1m以上の場合にはそれぞれを単独の曲管部として取り扱うものとする(図5-4-3-11例③④)。

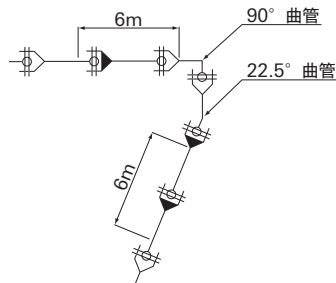
●図表5-4-3-11 複合曲管部

例①…45°+22.5°曲管



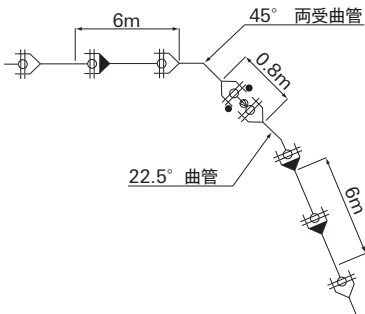
曲がり角度が大きくなる方向にあり、合成角が45°を超えているため、それぞれ6mを確保する。

例②…90°+22.5°曲管



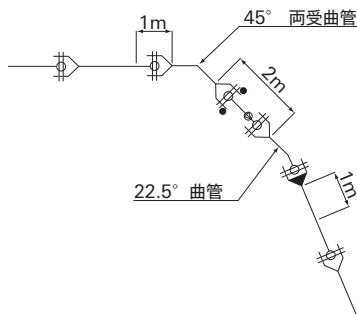
90°曲管と22.5°曲管を曲がり角度が大きくなる方向に直結すると、複合曲管としての曲がり角度が90°を超えるが、90°曲管の一体化長さを適用する。

例③…曲管の切管が1m未満



曲管間に挟まる管が1m未満であるため、同様に複合曲管部として扱い、それぞれ6mを確保する(曲管間も一体化する)。なお、切管長さは原則として1m以上とするため、本配管は説明用の事例である。

例④…曲管の切管が1m以上



曲管間に挟まる管が1m以上であるため、それぞれ単独曲管部として扱い、各々1mを確保する(曲管間は一体化する)。

2 T字管部

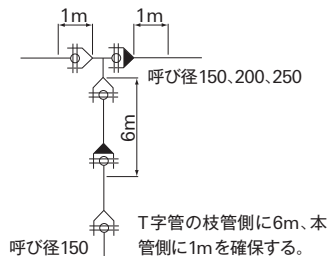
T字管部の一体化長さは枝管の呼び径で判断し、枝管側に一体化長さを確保する。本管側は、呼び径によらずT字管の両側にそれぞれ1mを確保する。

図表5-4-3-13～15に異形管部が近接した複合異形管部の設計水圧1.3MPa、土かぶり0.8mの場合の設計例を示す。ただし、呼び径150の仕切弁あるいは呼び径150×100の片落管の一体化長さは、一体化長さの早見表図表5-4-3-6、7により12.5m、6.5mとした。

●図表5-4-3-12 単独T字管部

●図表5-4-3-12 単独T字管部

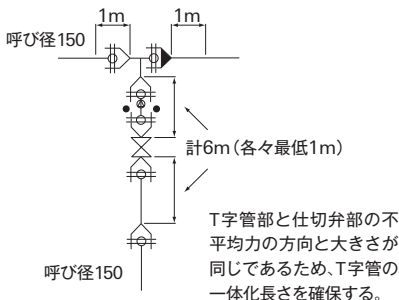
例①…枝管側の一体化長さ



T字管の枝管側に6m、本管側に1mを確保する。

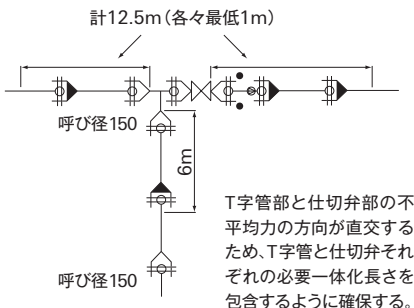
●図表5-4-3-13 T字管+仕切弁部

例①…枝管側に仕切弁



T字管部と仕切弁部の不平均力の方向と大きさが同じであるため、T字管の一体化長さを確保する。

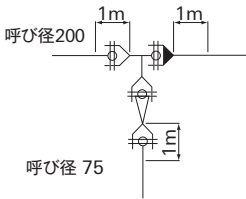
例②…本管側に仕切弁



T字管部と仕切弁部の不平均力の方向が直交するため、T字管と仕切弁それぞれの必要一体化長さを包含するように確保する。

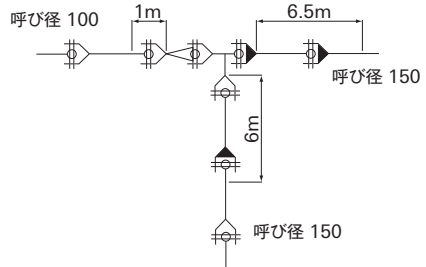
● 図表5-4-3-14 T字管+片落管部

例①…枝管側に片落管



T字管部の不平均力の一部が片落管で相殺されるため、枝管の呼び径を75として一体化長さを確保する。

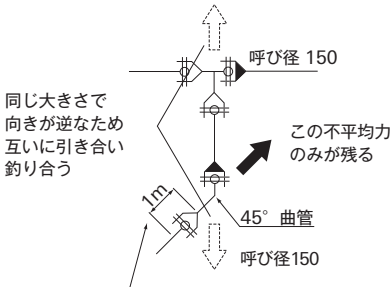
例②…本管側に片落管



T字管と片落管の不平均力の向きが直交するため、T字管の一体化長さを確保したうえに、さらに片落管の一体化長さを本管の呼び径の大きい側に確保する。

● 図表5-4-3-15 T字管+曲管部

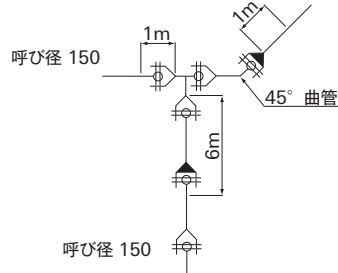
例①…T字の枝管に曲管



残った45°曲管に作用する不平均力に対する一体化長さを確保する。

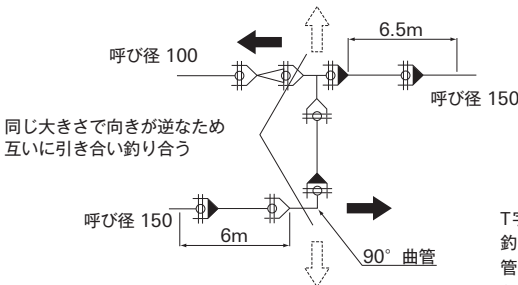
T字管の枝管から45°曲管までが一体化されているため、T字管部の不平均力は曲管部と釣り合う。このため、45°曲管の一体化長さを片側に確保する。

例②…本管側に曲管



T字管と45°曲管の一体化長さをそれぞれ確保する。この場合、T字管と曲管が直結されているため、上記の一体化で両方を包含している。

例③…T字の枝管に曲管、本管に片落管



T字管に生じる不平均力と90°曲管の不平均力の釣り合いを考えると、90°曲管の不平均力と片落管の不平均力が残ることになる。従って、90°曲管と片落管の一体化長さだけを確保する。

4 適用時の留意点

① 適用範囲外の管路

早見表による一体化長さは、以下の管路には適用できないため注意が必要である。

1) 設計水圧が1.3MPaを超える管路

この場合の曲管部およびT字管部の一体化長さは、早見表を適用できないため従来からの計算式により算出する（計算方法については「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JCPA T35」を参照）。

2) 直管の継手が離脱する可能性のある一般継手管路

埋設実験によると、本資料の一体化長さを適用した場合の異形管部の移動量は十分に小さく、その安全性は実証されたものであるが、将来、必要な対策を施さずに他工事等で異形管部の近傍が掘削された場合などの安全性までを考慮したものではない。このため、直管の継手が離脱する可能性がある一般継手のK形、T形管路で異形管部のみにGX形を使用する管路には適用しない。

② すでに設計された管路への対応

従来からの計算式により算出された一体化長さは、通常早見表の一体化長さよりも長く、水圧による不平均力に対してより安全側となる。このため、既設あるいはすでに設計された管路に対する布設替えや設計変更等の対応は不要である。

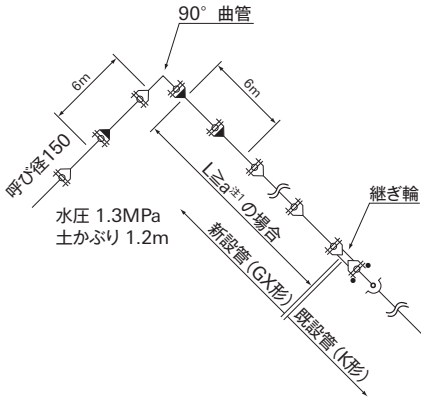
③ 既設管路などとの接続

K形、T形などの既設の一般継手管路と新設の耐震継手管路の連絡部には、早見表の一体化長さは適用できない。従って、連絡部は計算による従来の考え方で必要な一体化長さを確保するか、連絡部に防護コンクリートを打設するなどの対策を施すことになる。

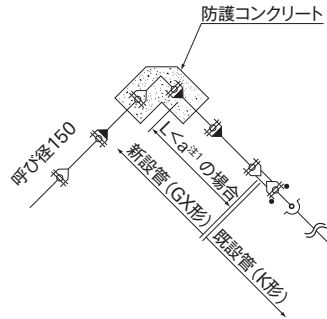
ただし、連絡部そのものに不平均力が生じておらず、かつ連絡部に最も近い新設管の不平均力作用箇所までの離隔距離 L が早見表の一体化長さの2倍あるいは計算による従来の一体化長さ以上に離れている場合は、連絡部から十分離れているものとみなし、その不平均力作用箇所には早見表の一体化長さをとってもよい。

● 図表5-4-3-16 既設管路との連絡部

例①…新設管の曲管が連絡部から十分離れている ($L \geq a^{注1}$)



例②…新設管の曲管が連絡部から十分離れていない ($L < a^{注1}$)



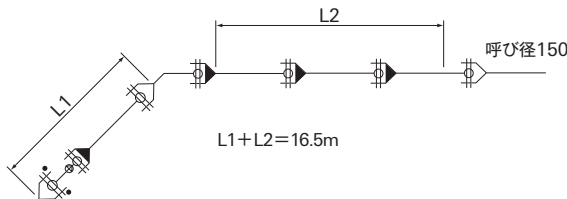
注1 aは早見表の一体化長さの2倍を示し、異形管と既設管との距離Lがa以上の長さがある場合に早見表が適用できる。

④ 管端部および仕切弁部近傍に曲管がある場合の一体化長さ

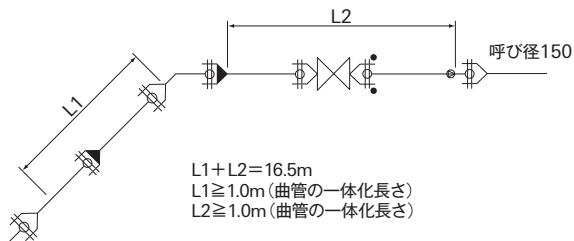
管端部および仕切弁部近傍に曲管がある場合は、早見表の一体化長さを適用するのではなく管端部の一体化長さを確保する。この管端部の一体化長さを確保する場所は、図表5-4-3-17例①のように曲管の両側に管端部の一体化長さを分けて確保してもよい。また単独曲管部、Sベンドおよび伏越し部等の曲管部の近傍に仕切弁がある場合についても、例②、③のように管端部の一体化長さを曲管の両側や仕切弁を挟んで確保してもよい。ただし、曲管部も一体化長さを確保すること。

● 図表5-4-3-17 管端部および仕切弁部近傍に曲管がある場合の一体化長さ

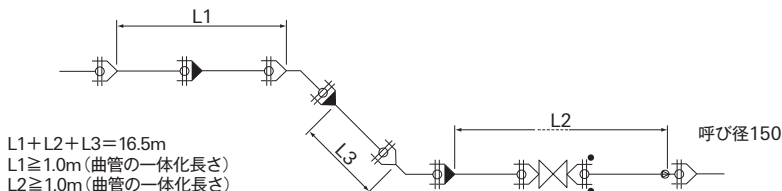
例①…管端部近傍に曲管



例②…仕切弁部近傍に曲管



例③…仕切弁部近傍にSベンド



5 呼び径400における一体化長さの注意点

一体化長さを確保する方法は、呼び径50～300の考え方と同じである。

しかし、以下の条件の管路においては一体化長さを確保する考え方が異なるので注意が必要である。

- 1) 45°を超え90°以下の曲管(複合曲管では112.5°まで)を含む複数の曲管で構成された管路
- 2) T字管とその枝管側に曲管を含む管路

詳しくは「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 J DPA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

6 水圧

水圧は0.75MPa、1.3MPaの2種類であり、これと異なる水圧の一体化長さを比例配分するなどして求めることはできない。

7 事業者の設計基準との整合

事業者が本手法による設計法を採用していない場合は、事業者からの指示を優先するものとする。

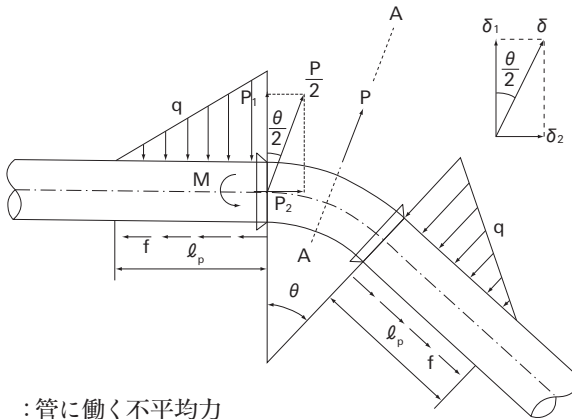
5 計算式による一体化長さの求め方

ここでは例として水平曲管部の一体化長さの求め方を説明する。

曲管部には不平均力 P が作用するが、ここで図表5-4-3-18のように曲管両側の継手それぞれに不平均力 $P/2$ が作用するものとする。それに対して一体化された直管部(一体化長さ: L_p)には管背面から地盤反力 q および管と地盤の摩擦力 f が作用し、曲管部が不平均力 P の方向に δ だけ移動するものとする。曲管部に作用する土圧や曲管の変形については無視する。

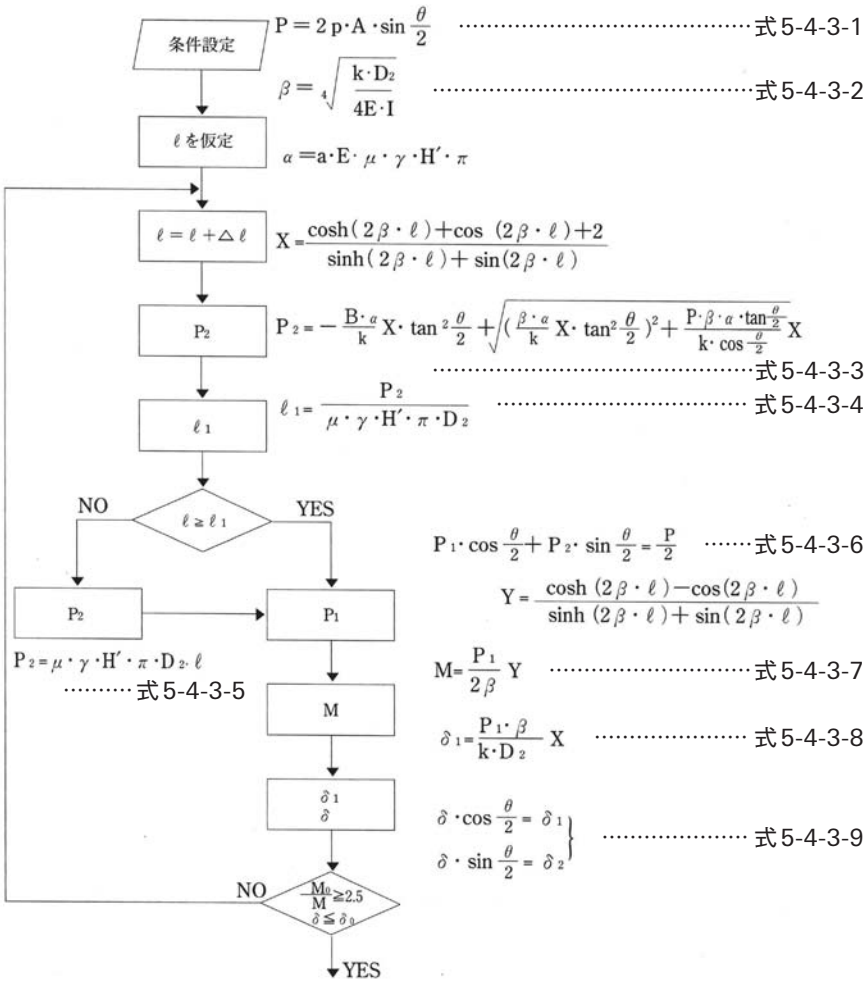
必要となる一体化長さについては、曲管部の継手に作用する曲げモーメント M が離脱防止継手の限界曲げモーメント M_0 に対して安全率2.5以上を確保するとともに、曲管部の移動量 δ が許容移動量 δ_0 (図表5-4-3-20参照)以下となるのに最低限必要な値を、図表5-4-3-19に示す繰返し計算によって求める。計算では、一体化された直管部を弾性床土上の梁と見なして継手部に作用する力(管軸直角方向: P_1 、管軸方向: P_2)、曲げモーメント M 、継手の移動量 δ を算出する。

●図表5-4-3-18 水平曲管部の一体化した箇所作用する力



- ここに、 P : 管に働く不平均力
 P_1 : 継手部に作用する管軸直角方向の力 (kN)
 P_2 : 継手部に作用する管軸方向の力 (kN)
 θ : 曲管の曲がり角 (°)
 M : 継手に発生する曲げモーメント (kN・m)
 q : 地盤反力
 f : 管と土の摩擦力
 l : 片側の一体化長さ (m)

●図表5-4-3-19 一体化長さの計算手順



- ここに、P : 管に働く不平均力 (kN)
- P_1 : 継手部に作用する管軸直角方向の力 (kN)
- P_2 : 継手部に作用する管軸方向の力 (kN)
- p : 設計水圧 (kN/m²)、設計水圧 (MPa) × 10³
- θ : 曲管の曲がり角 (°)
- A : 管断面積 (m²)
- k : 地盤反力係数 (= 3000 kN/m³)

D_2 : 管外径 (m)

E : ダクタイル鋳鉄の弾性係数 ($= 1.6 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$)

I : 管鉄部の断面2次モーメント (m^4)

$$I = \frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_1^4)$$

D_1 : 管鉄部の内径 (m)

a : 管鉄部の断面積 (m^2)

$$a = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)$$

μ : 土と管との摩擦係数

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

H' : 有効土かぶり (m)

$$H' = H + \frac{D_2}{2}$$

H : 土かぶり (m)

ℓ : 片側の一体化長さ (m)

M_0 : 離脱防止継手の限界曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

M : 継手に発生する曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

δ : 異形管部の移動量

δ_0 : 異形管部の許容移動量

計算の手順

- ①式5-4-3-1により不平均力Pを求める。
- ② ℓ を仮定し、式5-4-3-3より管軸方向に作用する力 P_2 を求め、式5-4-3-4より有効長 ℓ_1 を求める。
- ③ $\ell \geq \ell_1$ の場合は、式5-4-3-6より管軸直角方向に作用する力横力 P_1 を求める。
- ④ $\ell < \ell_1$ の場合は、改めて式5-4-3-5より P_2 を求め、式5-4-3-6より P_1 を求める。
- ⑤式5-4-3-7より曲げモーメントMを求める。
- ⑥式5-4-3-8および式5-4-3-9より異形管部の移動量 δ を求める。
- ⑦Mの安全率が2.5以上かつ $\delta \leq \delta_0$ であるかどうかをチェックし、満足していない場合は ℓ を増加(+ $\Delta \ell$)して仮定し直し、もう一度①～⑥を計算する。最終的に⑦の条件を満足するまで繰り返し計算を行う。

●図表5-4-3-20 異形管部の許容移動量 δ_0

接合形式	許容移動量 δ_0 (mm)
GX形 S50形 NS形(呼び径75~450) NS形E種管(呼び径75~150)	10
NS形(呼び径500~1000) UF形	20

●図表5-4-3-21 地盤反力係数 k

土の性質	地盤反力係数 k (kN/m^3)
非常に軟弱なシルトまたは粘土	2800~14000
軟弱なシルトまたは粘土	14000~28000
普通の粘土	28000~140000
硬い粘土	140000~
砂(付着なし)	28000~83000

土質とポリエチレンスリーブの有無に応じて一般に以下の値を使用する。

●図表5-4-3-22 管と土との摩擦係数 μ

地盤の種類	摩擦係数 μ	
	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
中位の地盤	0.3	0.4
軟弱地盤	0.2	0.3

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

土の単位体積重量 γ は普通の地盤では $16\sim 18\text{kN/m}^3$ を使用するのが一般的である。

●図表5-4-3-23 土の単位体積重量 γ と内部摩擦角 ϕ

種別	状態	単位体積重量 γ (kN/m^3)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
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

種 別	状 態	単位体積重量 γ (kN/m^3)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
砂	乾燥したもの	16	30~35
	水分のあるもの	18	40
粘土混り土	水で飽和したもの	20	20~25
	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

〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

● 図表5-4-3-24 離脱防止継手の限界曲げモーメント M_0 と限界水圧 P_0

呼び径	限界曲げモーメント M_0 ($\text{kN} \cdot \text{m}$) ^{注1}					限界水圧 P_0 (MPa) ^{注2}
	GX形	S50形	NS形	NS形 (E種管)	UF形	UF形
50	—	2.1	—	—	—	—
75	4.4	—	4.4	4.4	—	—
100	7.4	—	7.4	7.4	—	—
150	17	—	17	17	—	—
200	24	—	24	—	—	—
250	35	—	35	—	—	—
300	64	—	64	—	—	—
350	—	—	81	—	—	—
400	130	—	130	—	—	—
450	—	—	170	—	—	—
500	—	—	360	—	—	—
600	—	—	540	—	—	—
700	—	—	820	—	—	—
800	—	—	1180	—	1180	7.5
900	—	—	1630	—	1630	7.5
1000	—	—	2010	—	2010	7.5
1100	—	—	—	—	2600	7.2
1200	—	—	—	—	3140	7.1
1350	—	—	—	—	4360	6.0

呼び径	限界曲げモーメント M_0 ($\text{kN} \cdot \text{m}$) ^{注1}					限界水圧 P_0 (MPa) ^{注2}
	GX形	S50形	NS形	NS形 (E種管)	UF形	UF形
1500	—	—	—	—	5150	6.0
1600	—	—	—	—	6670	6.0
1650	—	—	—	—	7310	6.0
1800	—	—	—	—	9270	5.9
2000	—	—	—	—	12600	5.8
2100	—	—	—	—	14000	5.6
2200	—	—	—	—	16100	5.5
2400	—	—	—	—	20300	5.5
2600	—	—	—	—	32300	6.8

注1 限界曲げモーメントとは、水圧が作用しない状態で発生応力が弾性限界に達したときの曲げモーメントを示す。

注2 限界水圧とは、曲げモーメントが作用しない状態で発生応力が弾性限界に達したときの内水圧を示す。

5-4-4 防護コンクリートによる異形管防護

1 一般事項

不平均力による管の移動、継手部の離脱を防護コンクリートで防止する場合には、次の点に注意することが必要である。

- ①防護コンクリートは、管の継手部を抱き込んで一体化するように打設するので、強度が必要である。防護工の形状など、場合によっては鉄筋を使用する。
- ②防護コンクリートの背面の土質が悪い場合は、埋戻土を砂で入れ替えるなどして、支持力を増大させるようにする。
- ③防護コンクリートの地耐力が不足するような地盤では、防護コンクリートの打設を控えるか、砂基礎、碎石基礎やぐり石基礎などを用いて地耐力の確保を図る必要がある。

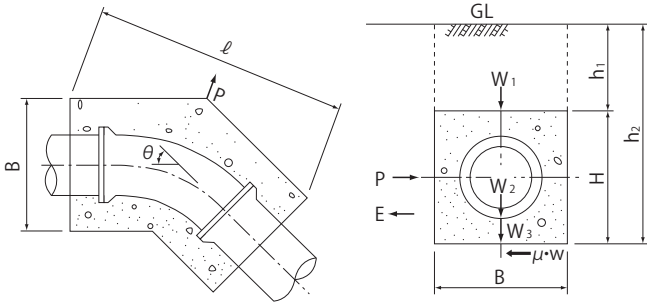
詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)

2 水平曲管部の設計方法

水平曲管部の防護コンクリートの計算は、図表5-4-4-1に示すように、土かぶりによる荷重 W_1 、管および水の重量 W_2 、防護コンクリートの重量 W_3 による防護コンクリート底面と土との摩擦抵抗力 $\mu \cdot W$ と、防護コンクリート背面の受働土圧による抵抗力 E の合力が不平均力 P に抵抗するという考え方を基本とする。

●図表5-4-4-1 防護コンクリートに作用する力(水平曲管部)



【計算方法】

次式の条件を満足するように計算する。

$$P = 2p \cdot A \cdot \sin \frac{\theta}{2} < \frac{\mu \cdot W + E}{S_f} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-1}$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$E = \frac{1}{2} C_e \cdot \gamma_s (h_2^2 - h_1^2)$$

$$C_e = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

- ここに、 P : 曲管部の不平均力 (kN)
- p : 設計水圧 (kN/m²)、設計水圧 (MPa) $\times 10^3$
- A : 管断面積 (m²)
- θ : 曲管の角度 (°)
- μ : コンクリートと土の摩擦係数 (=0.5)
- W : コンクリートの底面にかかる総重量 (kN)
- W_1 : 土かぶりによる荷重 (kN)

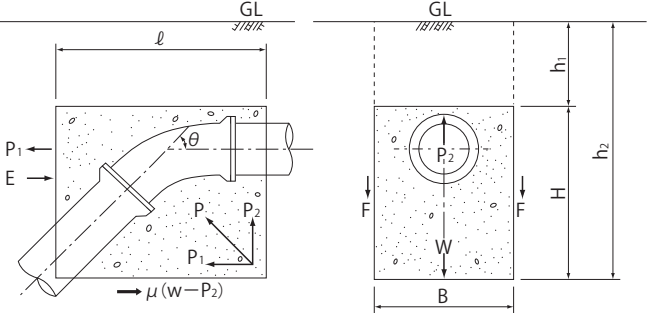
Chapter 1 Chapter 2 Chapter 3 Chapter 4 Chapter 5 Chapter 6 Chapter 7 Appendix

- W_2 : 管および水の重量 (kN)
- W_3 : コンクリートの重量 (kN)
- E : コンクリート背面の受働土圧抵抗力 (kN)
- C_e : 受働土圧係数
- γ_s : 土の単位体積重量 (kN/m³)
- h_1 : 土かぶり (m)
- h_2 : コンクリート底面高 (m)
- ℓ : コンクリート背面の投影長 (m)
- ϕ : 土の内部摩擦角 (°)
- S_f : 安全率 (1.5以上とする)

3 垂直上向きに不平均力がかかる場合

図表5-4-4-2に示すように、不平均力Pを水平方向の不平均力 P_1 と垂直方向の不平均力 P_2 に分けて、 P_1 に対しては、防護コンクリート底面の摩擦抵抗力 $\mu(W - P_2)$ と防護コンクリート背面の受働土圧抵抗力Eにより抵抗する。垂直方向 P_2 に対しては、防護コンクリート底面に働く重量と側面の主働土圧による摩擦抵抗力Fにより抵抗する考え方を基本とする。

●図表5-4-4-2 防護コンクリートに作用する力(垂直上向き曲管部)



【計算方法】

水平分力および垂直分力は、次式により求める。

$$P_1 = P \cdot \sin \frac{\theta}{2} < \frac{\mu(W - P_2) + E}{S_f} \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-2}$$

$$P_2 = 2p \cdot \cos \frac{\theta}{2} < \frac{W + F}{S_f} \dots\dots\dots \text{式5-4-4-3}$$

$$F = \frac{1}{2} Ce' \cdot \gamma_s (h_2^2 - h_1^2) \cdot 2(B + \ell) \mu$$

$$Ce' = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

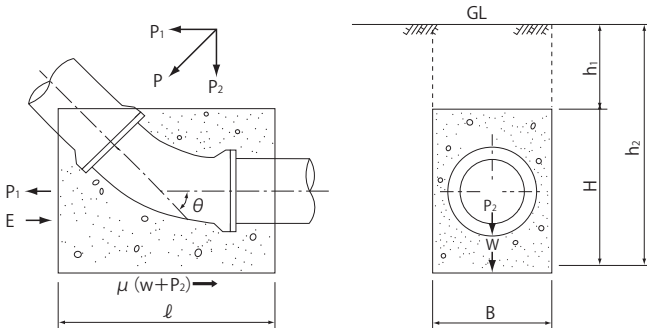
- ここに、 P_1 : 不平均力Pの水平分力(kN)
 P_2 : 不平均力Pの垂直分力(kN)
 W : コンクリートおよびコンクリート上部の土の重量
 $\mu (W - P_2)$: コンクリート底面と土との摩擦抵抗力(kN)
 F : コンクリート側面の主働土圧による摩擦抵抗力(kN)
 Ce' : 主働土圧係数
 B : コンクリートの幅(m)
 ℓ : コンクリートの長さ(m)

他の記号は前述の記号に準じる。

4 垂直下向きに不平均力がかかる場合

図5-4-4-3に示すように、不平均力Pを水平方向の不平均力 P_1 と垂直方向の不平均力 P_2 に分けて、 P_1 に対しては、防護コンクリート底面の摩擦抵抗力 $\mu (W + P_2)$ と防護コンクリート背面の受働土圧抵抗力Eにより抵抗する。垂直方向 P_2 に対しては、防護コンクリート底面に働く重量と不平均力を足した荷重が地耐力よりも小さければよいとする考え方を基本とする。

●図表5-4-4-3 防護コンクリートに作用する力(垂直下向き曲管部)



水平分力および垂直分力は、次式により求める。

$$P_1 = P \cdot \sin \frac{\theta}{2} < \frac{\mu (W + P_2) + E}{S_f} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-4}$$

$$P_2 = P \cdot \cos \frac{\theta}{2} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-5}$$

$$\frac{W + P_2}{B \cdot \ell} < \sigma \quad \dots\dots\dots \text{式 5-4-4-6}$$

ここに、 σ ：地耐力 (kN/m²)

他の記号は前述の記号に準じる。

地耐力(地盤の許容支持力)が不足する場合は、基礎杭を用いる。

●図表5-4-4-4 地耐力 σ

土の種類	地耐力 (kN/m ²)	土の種類	地耐力 (kN/m ²)
粘土	50～200	硬い砂	500～700
砂混り土	300～400	硬い小岩	500～800
水分の多い砂	10～300	土岩、砂岩	700～2500
水分の少ない砂	300～500	硬い岩	2000～5000

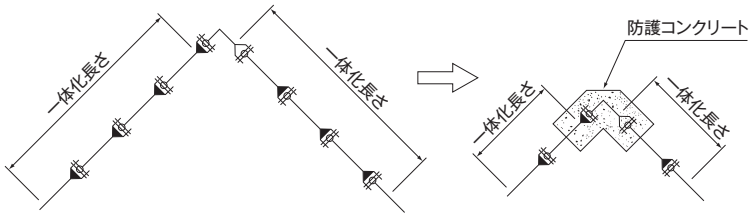
〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

5-4-5 防護コンクリートと離脱防止継手の併用

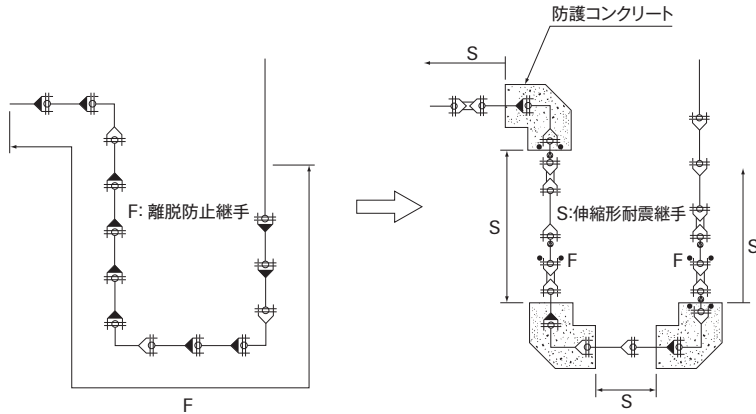
呼び径が大きい高水圧管路や配水場内等の異形管が多い複雑な管路では、一体化長さが長くなり管路のほとんどが離脱防止継手による剛構造管路にならざるを得ない場合が生じる。その結果、鎖構造管路の機能を十分に発揮できないと判断される場合には、必要に応じて防護コンクリートの適用を検討するべきである。

図表5-4-5-1および図表5-4-5-2に防護コンクリートを併用して一体化長さを短縮する場合の例を示す。一体化長さが連続して50mを超える場合には防護コンクリートを併用することが望ましい。

● 図表5-4-5-1 単独曲管部における併用の例



● 図表5-4-5-2 曲管が複数個ある管路における併用の例



注1 管路を一体化した部分は離脱防止継手により剛構造管路となる。剛構造管路では施工時に直管継手を曲げて配管することができないため、その配管形状は異形管の屈曲角度(例えば45°)に制限されてしまう。このような施工上の制約を避けるため一体化長さの最大値は50m以内としている。

5-4-6

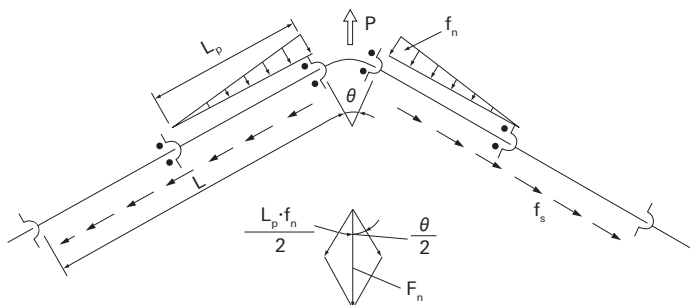
離脱防止金具(特殊押輪など)による 異形管防護(参考)

T形、K形といった一般継手の場合、防護コンクリートによる異形管防護方法に加え、以下の条件を満たせば離脱防止金具(特殊押輪など)による異形管防護も可能である。

- ・ 使用水圧(静水圧+水撃圧)が³、メーカー(製造業者)の定める離脱防止金具の許容水圧以下であること。
- ・ 軟弱地盤や不同沈下の生じる恐れのない地盤であること。
- ・ 腐食性地盤でないこと。

図表5-4-6-1に水平曲管の場合に計算に考慮する力を示す。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で曲管部の移動を防止する。

●図表5-4-6-1 水平曲管部の離脱防止金具を用いた一体化長さに作用する力



P : 不平均力 (kN)

θ : 曲管の角度 ($^{\circ}$)

L_p : 曲管に隣接する直管1本の長さ (m)

L : 管路一体化長さ (m)

f_n : 単位長さ当たりの受働土圧抵抗 (kN/m)

f_s : 単位長さ当たりの摩擦抵抗 (kN/m)

詳しくは『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)を参照のこと。

5-5

付属設備

5-5-1 付属設備の種類

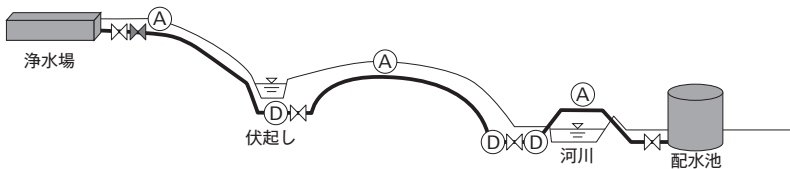
ダクタイル鉄管管路の付属設備（バルブ、空気弁、消火栓、減圧弁、排水設備、人孔、給水装置など）の種類、機能、設置場所などについて概要を示す。

詳しくは以下の技術資料を参照のこと。

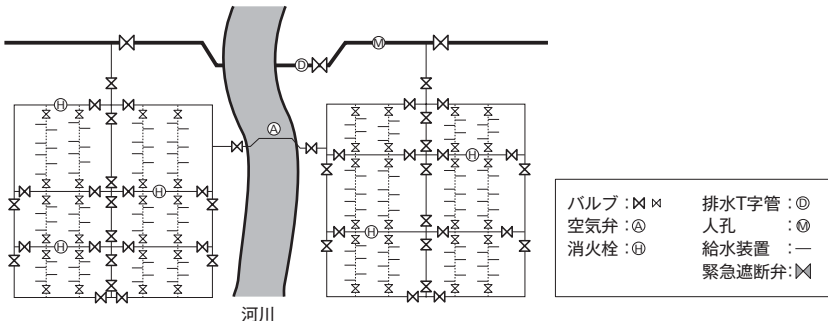
- ・『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）
- ・『水道用バルブハンドブック 2015』（日本水道協会）
- ・『水道用バルブ便覧 改訂四版』（水道バルブ工業会、2015年）
- ・『水道用バルブ維持管理マニュアル』（日本水道協会、2004年）
- ・「ダクタイル鉄管管路のてびき JDP A T26」（日本ダクタイル鉄管協会）

●図表5-5-1-1 主な付属設備の設置場所

送水管



配水管



5-5-2 バルブ

1 機能および設置場所

バルブは、管路内の水を遮断できるように、以下の場所に設置するのが望ましい。

- ・ 管路の始点、分岐点、排水設備、工事途中の終点部の下流側
- ・ 配水池、伏越し部、水管橋、連絡管、軌道横断箇所の前
- ・ 高低差がある長い傾斜管路などの前後
- ・ 導・送水管、配水本管では1000～3000m間隔
- ・ 配水管では、配水本管からの分岐部、水管橋、伏越し部の両側、排水管の分岐部付近には必ず設置
- ・ 配水支管の分岐部、交差部には、配水支管網の状況に応じて設置
- ・ 配水管が長いときは、500～1000m間隔^{*5}
- ・ 呼び径400以上の管にはバイパス管とバイパス弁、または充水機能を有した弁を設ける

*5 東京都水道局の事例、それ以外は『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）による。

2 種類

バルブの種類を図表5-5-2-1に示す。

なお、バルブの選定に当たっては、以下の資料を参照のこと。

- ・ 『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）
- ・ 『水道用バルブハンドブック 2015』（日本水道協会）
- ・ 『水道用バルブ便覧 改訂四版』（水道バルブ工業会、2015年）

●図表5-5-2-1 バルブの種類

種類	接合形式	管厚の種類	呼び径
水道用ソフトシール仕切弁 ^{注1}	GX形 ^{注3}	3種 ^{注5}	75～300・400
		4種 ^{注5}	75～300
	NS形 ^{注4}	3種 ^{注5}	75～400
		4種 ^{注5}	75～300

種 類	接合形式	種 類	呼び径
水道用ソフトシール仕切弁 (JWWA B 120-2017)	フランジ形	2種、3種 ^{注5}	50～500
		4種 ^{注5}	50～300
水道用バタフライ弁 ^{注2}	NS形 ^{注4}	2種、3種 ^{注6}	300～1000
水道用バタフライ弁 (JWWA B 138-2013)	フランジ形	1種、2種、3種 ^{注6}	200～1500
水道用大口径バタフライ弁 (JWWA B 121-2013)	フランジ形	1種、2種、3種 ^{注7}	1600～2600
水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁 (JWWA B 122-2013)	フランジ形	2種、3種 ^{注5}	50～500
		4種、5種 ^{注5}	50～300

注1 バルブ本体はJWWA B 120-2013に準ずる。

注2 バルブ本体はJWWA B 138-2013に準ずる。

注3 GX形：呼び径75～300は両受け、受挿し。呼び径400は両受けのみ。

注4 NS形：呼び径75～1000の受口の形式はJWWA G 113・114-2015に準拠。

注5 ソフトシール仕切弁の呼び径75～300は両受け、受挿し。呼び径350、400は両受けのみ。バタフライ弁は両受のみ。

注6 種類は以下の通りとする。

(単位:MPa)

種 類	呼び圧力(記号)	使用圧力	最高許容圧力	全閉時の最大差圧
2種	7.5K	0.75	1.3	0.75
3種	10K	1.0	1.4	1.0
4種	16K	1.6	2.2	1.6
5種	20K	2.0	2.8	2.0

注6 1種、2種、3種は以下の通りとする。

(単位:MPa)

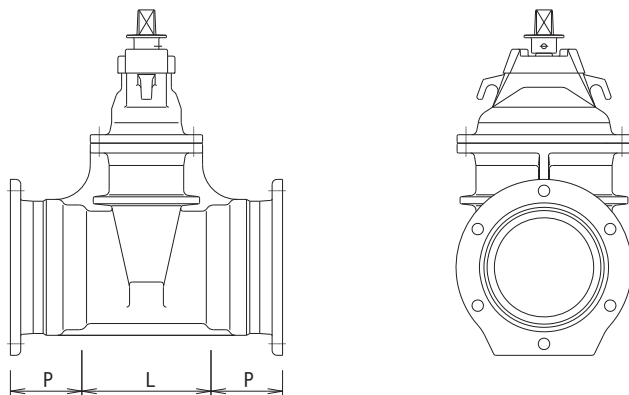
種 類	呼び圧力 (記号)	使用圧力	最高許容圧力	全閉時の最大 差圧	最大流速	
					(m/s)	
1種	A	4.5K	0.45	1.0	0.45	3
	B					6
2種	A	7.5K	0.75	1.3	0.75	3
	B					6
3種	A	10K	1.0	1.4	1.0	3
	B					6

注7 1種、2種、3種は以下の通りとする。

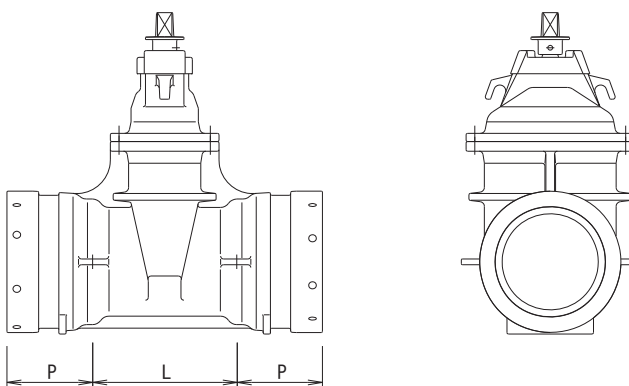
(単位:MPa)

種 類	呼び圧力 (記号)	最高許容圧力	最大流速	
			(m/s)	
1種	A	4.5K	1.0	3
	B			6
2種	A	7.5K	1.3	3
	B			6
3種	A	10K	1.4	3
	B			6

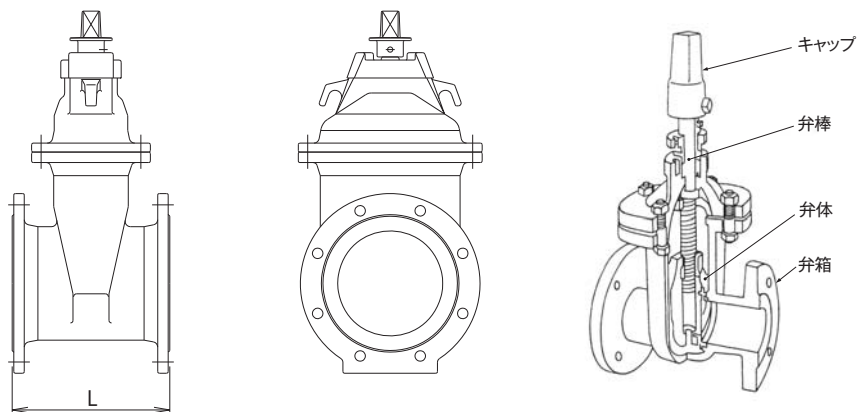
●図表5-5-2-2 ソフトシール仕切弁の例(GX形)



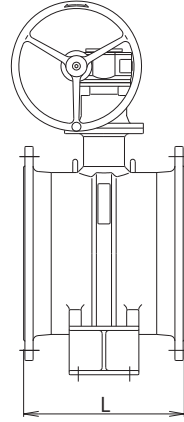
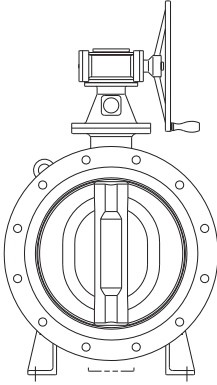
●図表5-5-2-3 ソフトシール仕切弁の例(NS形)



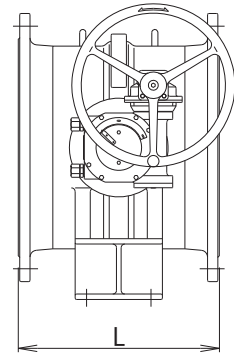
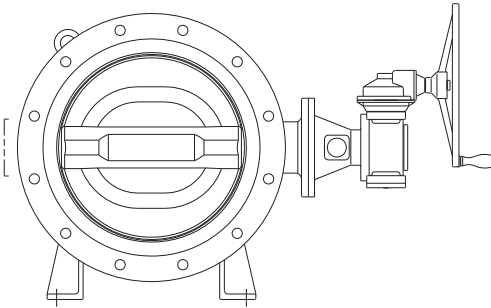
●図表5-5-2-4 ソフトシール仕切弁の例(フランジ形)



● 図表5-5-2-5 バタフライ弁の例(立形)



● 図表5-5-2-6 バタフライ弁の例(横形)



● 図表5-5-2-7 バルブの有効長および面間寸法L

(単位:mm)

呼び径	接合形式							
	GX形			NS形			フランジ形	
	ソフトシール弁		バタフライ弁	ソフトシール弁		バタフライ弁	仕切弁 ^{注1}	バタフライ弁
	両受け	受挿し	両受け	両受け	受挿し	両受け		
50	—	—	—	—	—	—	180	—
75	180	490	—	200	500	—	240	—
100	180	490	—	200	500	—	250	—
125	—	—	—	—	—	—	260	—
150	220	550	—	250	550	—	280	—
200	260	610	—	300	600	—	300	300
250	300	680	—	350	650	—	380	380

呼び径	接合形式							
	GX形			NS形			フランジ形	
	ソフトシール弁		バタフライ弁	ソフトシール弁		バタフライ弁	仕切弁 ^{注1}	バタフライ弁
	両受け	受挿し	両受け	両受け	受挿し	両受け		
300	400	700	300	450	725	290	400	400
350	—	—	—	500	—	360	430	430
400	500	—	500	550	—	450	470	470
450	—	—	—	—	—	470	500	500
500	—	—	—	—	—	460	530	530
600	—	—	—	—	—	480	560	560
700	—	—	—	—	—	520	610	610
800	—	—	—	—	—	540	690	690
900	—	—	—	—	—	600	740	740
1000	—	—	—	—	—	840	770	770
1100	—	—	—	—	—	—	800	800
1200	—	—	—	—	—	—	820	820
1350	—	—	—	—	—	—	850	850
1500	—	—	—	—	—	—	900	900

注1 2種、3種の場合。

備考 ーは2016年10月現在に存在しないもの。

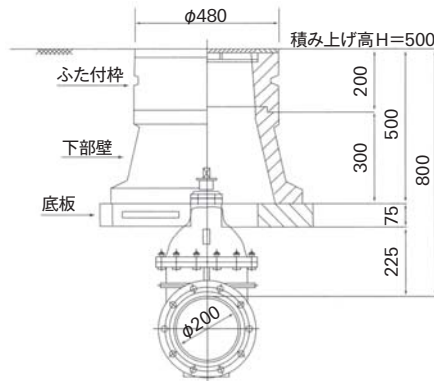
Lは両受の場合は有効長、フランジ形の場合は面間寸法である。

3 弁筐とバルブ室

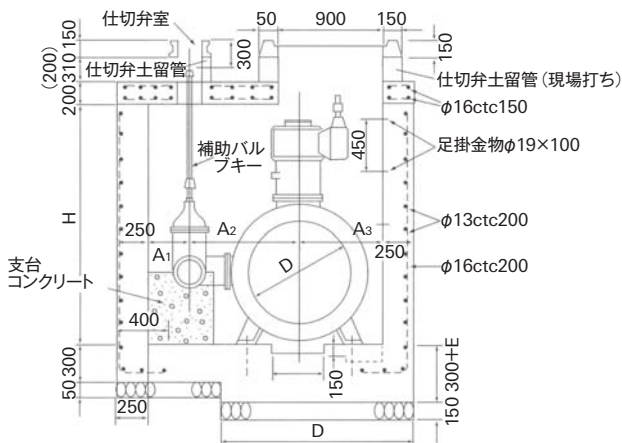
一般的にバルブ室は、呼び径400以上の配水本管に設置され、呼び径350以下のバルブには弁筐^{べんきょう}を用いる。GX形、NS形などの伸縮離脱防止機能を有する耐震継手では、バルブ室を設置せず弁筐にする場合がある。

●図表5-5-2-8 弁筐とバルブ室の構造(例)

弁筐(呼び径350以下)



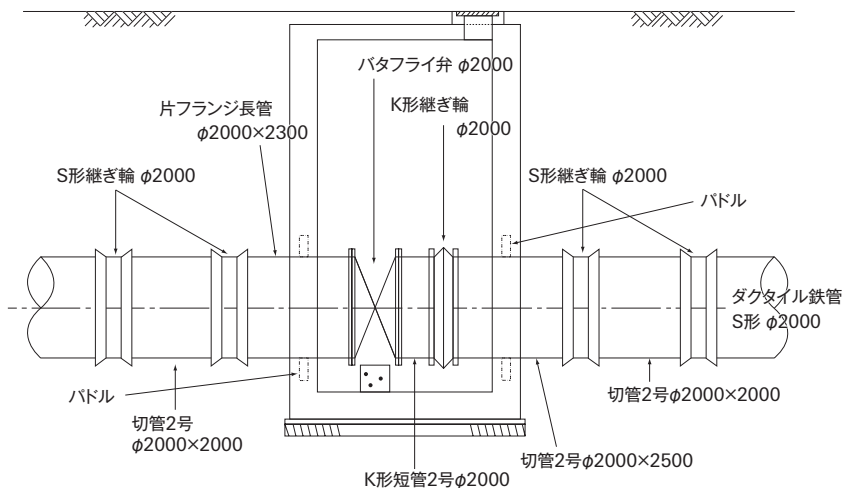
バルブ室(呼び径400以上)



〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

耐震継手管路でバルブ室を設けフランジ形を用いる場合には、バルブ室の前後に継ぎ輪などを設け、バルブ室と管路の相対変異を大きな伸縮代により吸収するような構造が望ましい。

●図表5-5-2-9 耐震継手管路の弁室周りの配管



『水道施設耐震工法指針・解説 2009』(日本水道協会)より

5-5-3 空気弁

1 機能および設置場所

管路内に空気が滞留すると、流量が制限されるほか管路の破裂事故を招くこともあるので、空気弁を設置して自動的に排気し、常に満流の状態で行れるようにする必要がある。また管内の水を排水する際の吸気用に設ける。空気弁の設置場所には以下の場所がある。

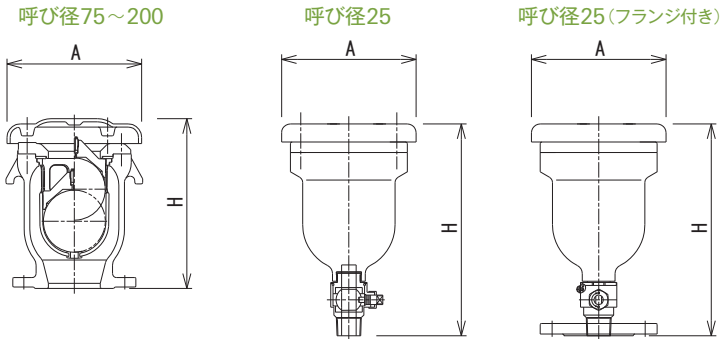
- ・ 管路の布設勾配が変化する場合の凸部。
- ・ 管路延長が長い配水本管などでは、1～3kmの間隔でバルブが設けられるので、バルブ間には必ず設ける。
- ・ 水管橋の凸部。
- ・ 排水時の吸気のために管路が一定勾配であれば、高い方に設置されているバルブの直下流部。

2 種類

① 急速空気弁 (JWWA B 137-2013)

単口空気弁と双口空気弁 (旧 JIS B 2063) は、2002 (平成14) 年2月20日に日本規格協会の規格から廃止され、小空気孔と大空気孔が一つの弁箱内にある急速空気弁 (JWWA B 137) が2002 (平成14) 年5月22日に制定された。

●図表5-5-3-1 急速空気弁の構造、形状 (例)



●図表5-5-3-2 空気弁の種類

(単位: MPa)

種類	呼び圧力 (記号)	使用圧力	最高許容圧力
2種	7.5K	0.75	1.3
3種	10K	1.0	1.4
4種	16K	1.6	2.2

〔水道用バルブ便覧 改訂四版〕 (水道バルブ工業会、2015年) より

●図表5-5-3-3 呼び径および接続部の形状

種類	接続部の形状	呼び径
2種、3種、4種	フランジ形	75・100・150・200
	ねじ込み形 ^{注1}	25

注1 取り付け部をフランジ付きとするときには、『水道用バルブ便覧 改訂四版』 (水道バルブ工業会) の「付表7」のフランジを用いる。

〔水道用バルブ便覧 改訂四版〕 (水道バルブ工業会、2015年) より

●図表5-5-3-4 急速空気弁の寸法(JWWA B 137)

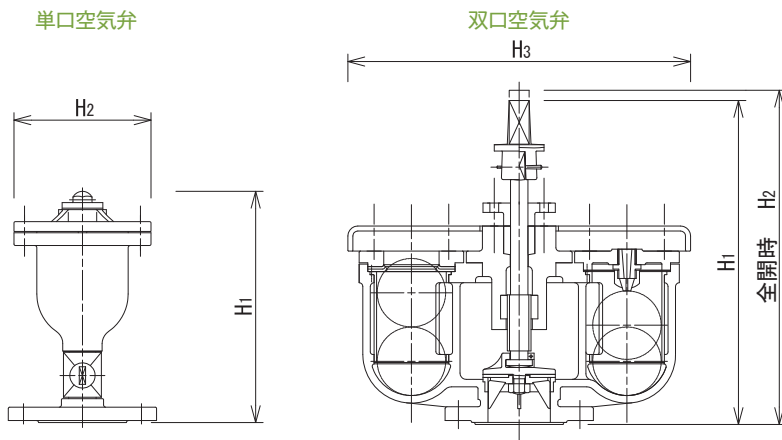
呼び径	高さ(最大) H (mm)	カバーの外径(最大) A (mm)	質量(参考) (kg)
25	420	260	30
75	390	320	35
100	410	360	45
150	500	450	90
200	660	600	215

『水道用バルブ便覧 改訂四版』(水道バルブ工業会、2015年)より

② 単口、双口空気弁(旧 JIS B 2063)

従来使用されてきた空気弁で、小空気孔のみの単口、小空気孔と大空気孔が別々の弁箱に分かれて多量の排気・吸気および少量の排気・吸気に対応した双口空気弁がある。

●図表5-5-3-5 単口、双口空気弁の構造、形状



●図表5-5-3-6 単口空気弁の種類と寸法

(単位: mm)

呼び径	2種		3種		4種		質量(参考) (kg)
	H ₁	H ₂	H ₁	H ₂	H ₁	H ₂	
13	230	185	—	—	—	—	12
20	225	195	—	—	—	—	15
25	235	200	250	220	300	260	16

『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

●図表5-5-3-7 双口空気弁の種類と寸法

(単位:mm)

呼び径	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄ ^{注1}	質量(参考) (kg)
75	460	485	515	200	70
100	530	565	560	230	90
150	610	660	675	305	160

注1 H₄は、H₃の短辺の寸法を示す。

〔水道用バルブハンドブック 2015〕(日本水道協会)より

3 耐震性

東日本大震災などで送水管や配水本管の古い空気弁が地震の影響で破損した事例があり、現在の製品は耐震性が改善されているので、古い空気弁などは最新の耐震性の高い空気弁に交換することが望ましい。

5-5-4 消火栓

1 機能および設置場所

消火栓は消防活動に便利な場所を選び、建物などの状況に応じてその設置場所を決める。配水本管からの分岐部付近、道路交差点付近などの消防活動に有利な場所に設ける。沿線の建物の状況に応じ100～200m間隔で設置し(消防当局と事前協議が心要)、消火栓には補修弁を取り付ける。

消火栓を設置する配水支管は原則として、呼び径150以上とし、単口消火栓を設ける。呼び径300以上の配水管には双口消火栓を用いるが、設置条件によってはこの限りでない。またできるだけ大きい呼び径の管に取り付けることが望ましい。消火栓の口金の口径は原則として65mmとする。

寒冷地および積雪地域では、不凍式の地上式消火栓を用いる。

●図表5-5-4-1 消火栓排水量の換算表

(単位:m³/min)

本管の水圧 (MPa)	ホースの長さ						
	6m	8m	10m	12m	14m	16m	20m
0.05	0.90	0.82	0.76	0.72	0.67	0.64	0.59
0.10	1.26	1.16	1.03	1.01	0.95	0.90	0.83

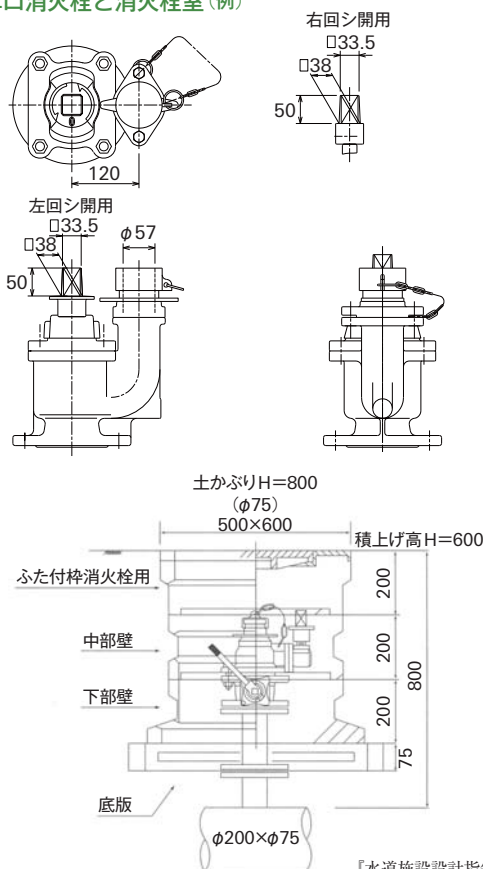
本管の水圧 (MPa)	ホースの長さ						
	6m	8m	10m	12m	14m	16m	20m
0.15	1.55	1.42	1.32	1.24	1.17	1.11	1.02
0.2	1.79	1.64	1.52	1.43	1.35	1.25	1.17
0.3	2.2	2	1.87	1.75	1.65	1.56	1.44
0.4	2.78	2.55	2.38	2.22	2.08	1.97	1.82

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

2 種類

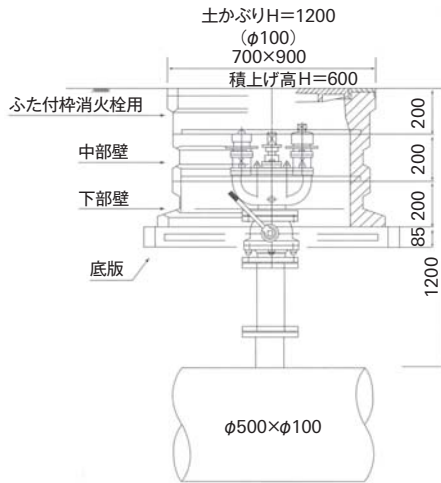
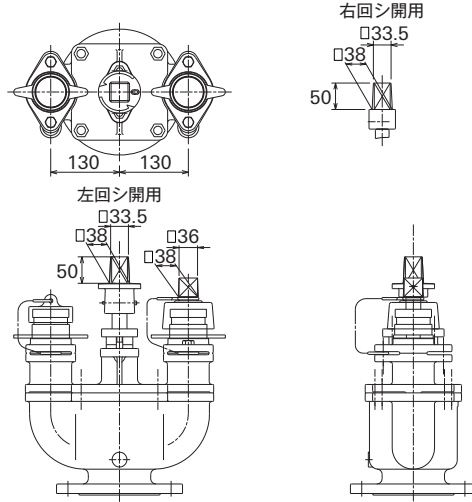
消火栓には、単口消火栓と双口消火栓があり、JWWA B 103-2013に規定されている。

●図表5-5-4-2 単口消火栓と消火栓室(例)



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

● 図表5-5-4-3 双口消火栓と消火栓室 (例)



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

5-5-5 減圧弁（オート弁）

1 機能および設置場所

減圧弁は管路下流側の圧力を下げ、配水区域の適正動水圧を維持したり、渇水時の水圧調整に用い、二次側の水圧を一次側の水圧より低い、あるいは一定水圧に保持する調整弁である。減圧弁には、弁体上部にセットされたばねの強さと、水圧ピストンまたはダイヤフラムがバランスを取って弁体を作動させる直動式と、パイロット弁が圧力変化を感知して弁体を制御するパイロット式がある。減圧弁には同じ呼び径または1口径下のバイパス管路を設置する。

設置場所の一例を以下に示す。

- ・ 水圧による低地区での障害発生を防止するために、高地区と低地区の連絡管に設置する。
- ・ ポンプ圧送で配水するとき、部分的に高水圧となる地区がある場合に、その低地区への分岐箇所を設置する。
- ・ 配水池の流入側などで流量制御を行うとき、落差の関係で流量制御弁1台では適正な制御範囲から外れる場合に、圧力調整用として減圧弁を直列に併用設置する。

2 種類

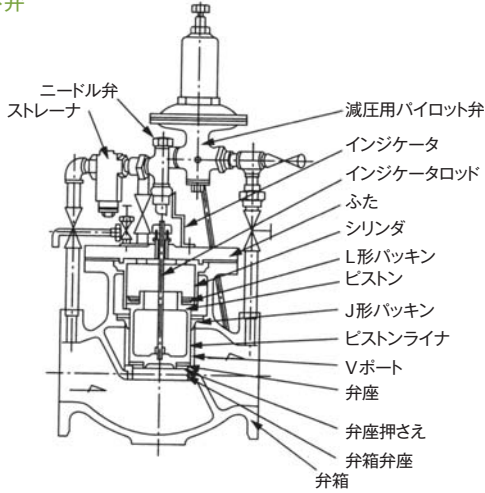
●図表5-5-5-1 減圧弁の種類

直動式	ピストン形
	ダイヤフラム形
パイロット式	主弁ピストン形
	主弁ダイヤフラム形

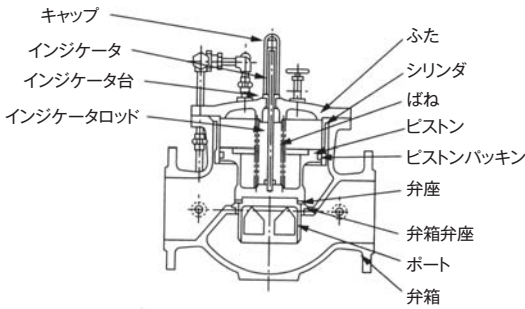
【水道用バルブハンドブック 2015】(日本水道協会)より

●図表5-5-5-2 減圧弁の種類(例)

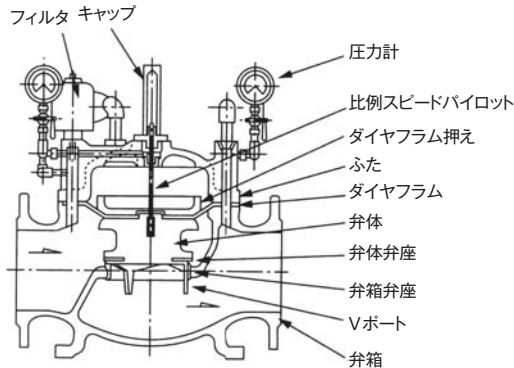
主弁ピストン形オート弁



主弁ピストン形オート弁



主弁ダイヤフラム形オート弁

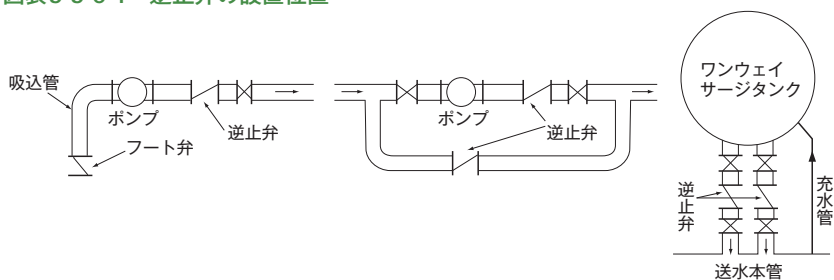


5-5-6 逆止弁

1 機能および設置場所

ポンプ吐出し側、ワンウェイサージタンクの流入、流出管に圧力上昇緩和や逆流防止のために設置する。

●図表5-5-6-1 逆止弁の設置位置



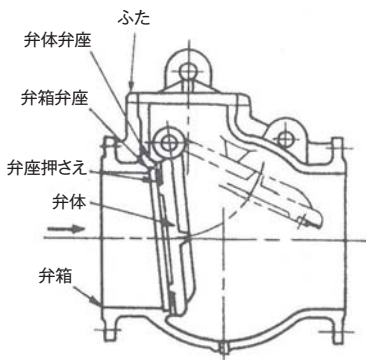
『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

2 種類

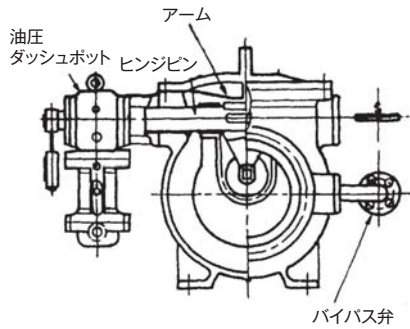
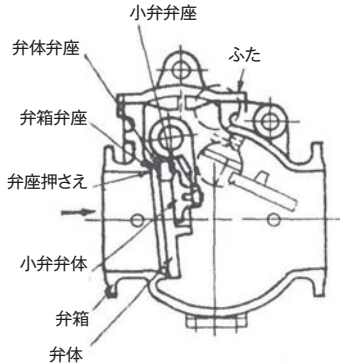
逆止弁にはいろいろな種類があるが、代表的なスイング逆止弁、主弁緩閉式スイング逆止弁を図表5-5-6-2に示す。

●図表5-5-6-2 逆止弁の種類(例)

スイング逆止弁



主弁緩閉式スイング逆止弁



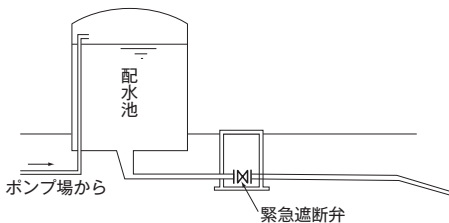
『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

5-5-7 緊急遮断弁

1 機能および設置場所

配水池や災害時に緊急用飲料水を確保するための貯水槽には、水の流出や濁水の流入を防止するための緊急遮断弁を設置することが望ましい。緊急遮断弁には動作方法によって信号式および自力式に分類される。信号式は、別途設置した地震計や流量計と連動させ、異常信号の受信によって流れを緊急遮断させる。自力式は、流量検知機構が管破損時の異常流速を自らキャッチし、弁体と直結するウェイトで流れを緊急遮断させる。自力式の場合、電源は不要である。

●図表5-5-7-1 緊急遮断弁の設置位置

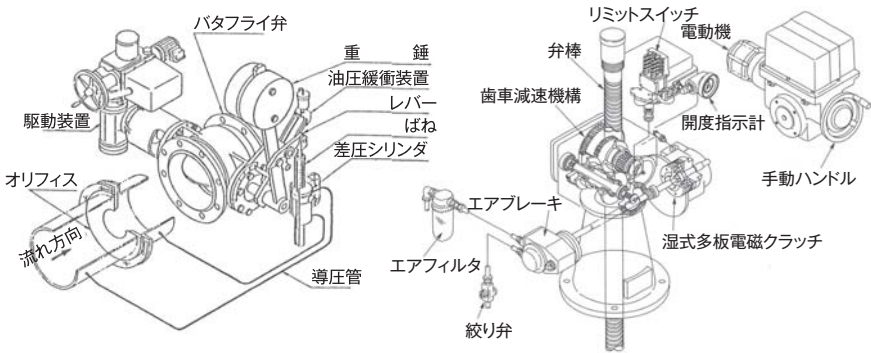


『水道用バルブハンドブック 2015』(日本水道協会)より

2 種類

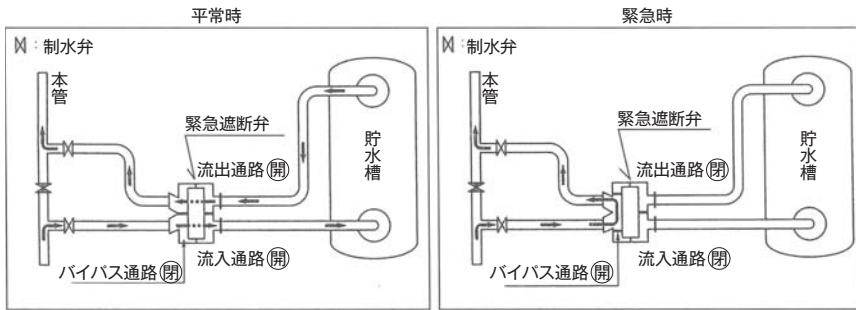
緊急遮断弁には、地震時に配水池の水の流出を防ぐための緊急遮断弁や、貯水槽と配水管を切り離す機能を持つ貯水槽用緊急遮断弁がある。

●図表5-5-7-2 緊急遮断弁の構造(例)



【水道用バルブハンドブック 2015】(日本水道協会)より

●図表5-5-7-3 貯水槽用緊急遮断弁の配置と流れ

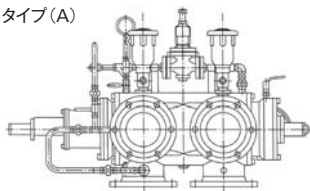


【ダクタイル鉄管による耐震貯水槽 JDP A T38】(日本ダクタイル鉄管協会)より

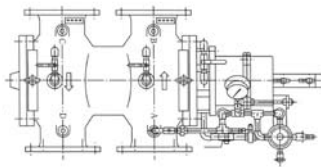
●図表5-5-7-4 貯水槽用緊急遮断弁の構造

貯水槽用緊急遮断弁スプール形

タイプ(A)

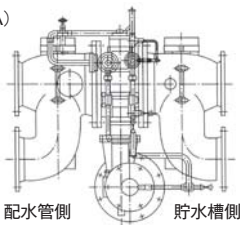


タイプ(B)

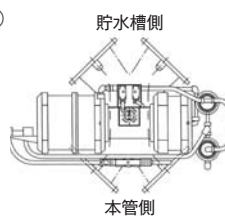


貯水槽用緊急遮断弁バタフライ弁形

タイプ(A)



タイプ(B)



【水道用バルブハンドブック 2015】(日本水道協会)より

5-5-8 排水設備

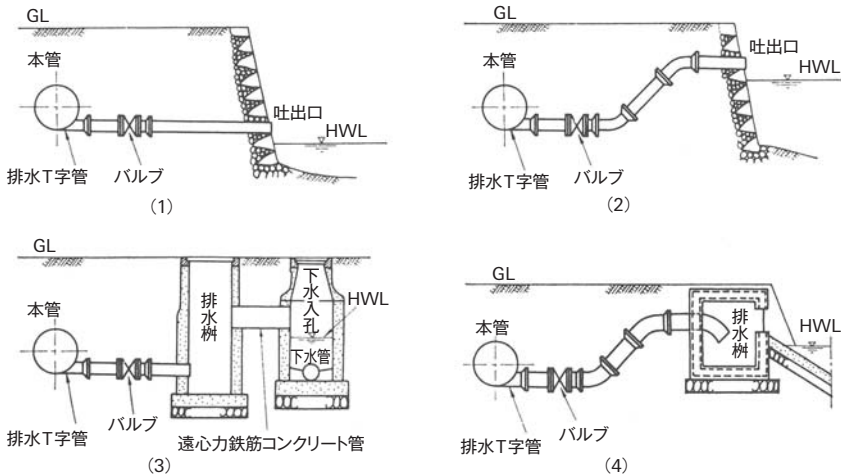
1 機能および設置場所

排水設備は、管路内を空にしたり、洗管や水質保全のために水を排水する目的で設ける。河川、水道管渠、側溝などのある場所で、なるべく管路の凹部に設ける。下流・上流両側の管路の排水ができるように排水設備の前後にバルブを設ける。可能な限り排水量に適合した呼び径にすることが望ましいが、一時的に大量の排水をすると水路などに影響を与えるため、排水管の呼び径が制約されることがある。排水管路からの吐出口は、放流先の水路などの高水位より高い位置に配置する。放流水面が管底より高いときは、管路内を完全に排水するために排水柵を設けてポンプ排水する必要がある。

●図表5-5-8-1 排水管の呼び径

本管呼び径	200~300	350~400	450~600	700~900	1000~2600
排水管呼び径	100	150	200	300	400

●図表5-5-8-2 排水設備の設置例



〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

5-5-10 給水装置

1 機能および設置場所

給水装置とは、配水管から分岐した給水管とこれに付属する器具によって需要者に水を供給する装置をいう。給水方式は図表5-5-10-1の通りである。

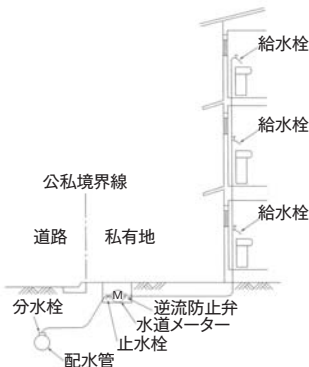
●図表5-5-10-1 給水方式の分類

給水方式		説明
直結直圧式		配水管の動水圧で直接給水する方式
直結増圧式	直結増圧式(直送式)	給水管の途中に増圧設備を設ける方式
	直結増圧式(高置水槽式)	増圧したのち高置水槽から給水する方式
	直結多段型	建物を上下に分け、多段で給水する方式
	直結並列型	建物を左右に分け、給水する方式
受水槽式	単段高置水槽式	受水槽後に加圧し、高置水槽から給水する方式
	多段高置水槽式	受水槽後に加圧し、多段の高置水槽から給水する方式
	圧力水槽式	受水槽後に加圧し、圧力水槽から給水する方式
	ポンプ直送式	受水槽後に加圧し、直接給水する方式
直結・受水槽併用式		1つの建物で、直結と受水槽を併用する方式

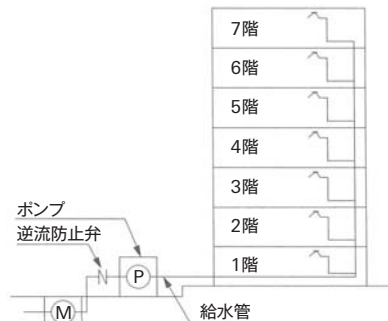
給水方式は給水栓の高さ、水量、使用用途、維持管理、需要者の要望、配水管の整備状況などを考慮して決定する(図表5-5-10-2、3)。

●図表5-5-10-2 直結式給水の例

直結直圧式(3階建住宅)の例



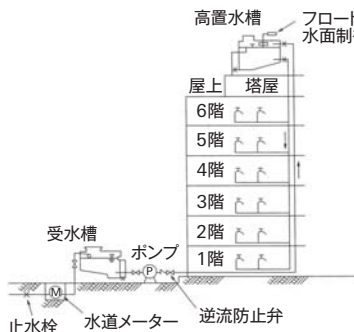
直結増圧式(直送式)の例



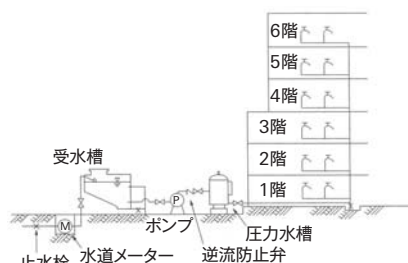
【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

●図表5-5-10-3 受水槽式給水の例

単段高置水槽式の例



圧力水槽式の例



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

2 分水栓

分水栓は、配水管に直接取り付けられ、給水管を取り出すための器具である。

① 管に直接ねじを切って分水する場合

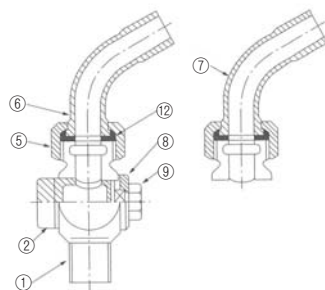
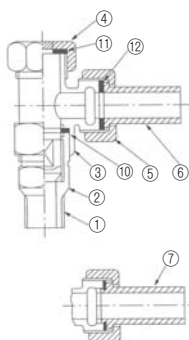
甲形分水栓と乙形分水栓(図表5-5-10-4)があり、甲形はねじ式で給水管は分水栓に直角に接続される。また乙形は止水コックが取り付けられ、給水管は60°または90°に取り出される。

なお、ダクタイル鉄管の呼び径300以下の3種管から分水する場合は、管厚の関係からサドル付き分水栓を使わなければならない。

●図表5-5-10-4 甲形および乙形分水栓の例

(1) 甲形(水平対向取出し用)

(2) 乙形(60°上方向取出し用)



部品番号	部品名称
①	下胴(1)
	胴
②	止め乙ま(1)
	閉止(2)
③	上胴
④	止めナット
⑤	袋ナット
⑥	ソケット
⑦	ガイドソケット
⑧	座金
⑨	ガスケット
⑩	ガスケット
⑪	ガスケット
⑫	ガスケット

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

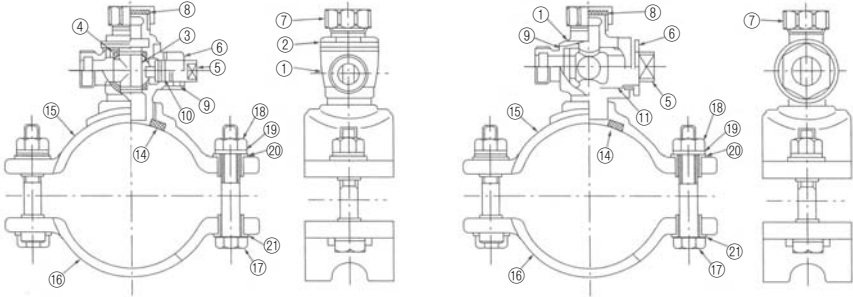
② サドル付き分水栓 (JWWA B 117)

サドル付き分水栓 (図表5-5-10-5) は、バンドとボルトによって配水管に取り付けられた後、穿孔し、給水管を分岐、取り出す構造になっている。

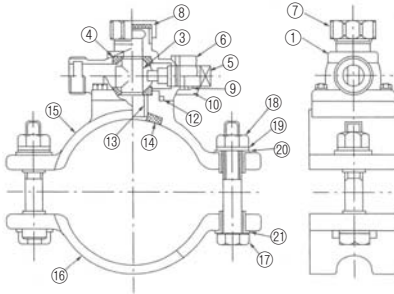
●図表5-5-10-5 サドル付き分水栓の例

(1) 止水機構ボール式 (ねじ式)

(3) 止水機構コック式



(2) 止水機構ボール式 (フランジ式)



部品番号	部品名称
①	胴
②	ボール押さえ
③	ボール
④	ボールシート
⑤	栓棒 (1) (2) 閉止 (3)
⑥	保護ナット (1) (2) 止めナット (3)

部品番号	部品名称
⑦	キャップ
⑧	ガスケット
⑨	止めピン
⑩⑪⑫	Oリング
⑬	ブッシュ
⑭	サドル取付ガスケット
⑮	サドル

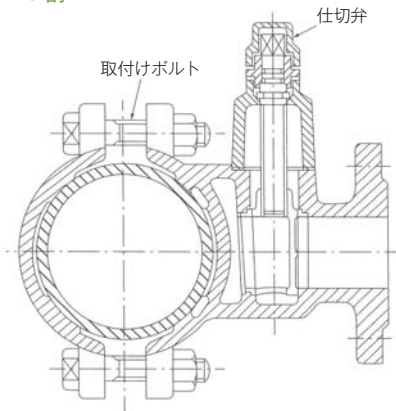
部品番号	部品名称
⑯	バンド
⑰⑱	ボルト・ナット
⑲	平座金
⑳㉑	絶縁体

『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

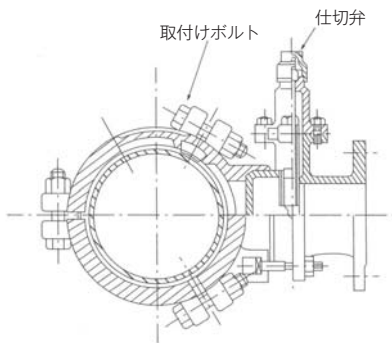
③ 割T字管

割T字管は、ダクタイル鋳鉄製の割T字形の分岐帯に仕切弁を仕込み、一体として配水管にボルトを用いて取り付ける構造のもので、二つ割と三つ割がある (図表5-5-10-6)。最近では、耐震構造の製品も開発されている。

●図表5-5-10-6 割T字管
二つ割



三つ割



〔水道施設設計指針 2012〕(日本水道協会)より

3 穿孔工事

① サドル付き分水栓の穿孔要領

- ・ サドルをバンドとボルトでしっかりと取り付ける。
- ・ 穿孔機を取り付け、ドリルによって穿孔する。
- ・ ドリルを引き抜き、サドルロックを閉じる。
- ・ 穿孔機を取り除き、キャップを締め穿孔作業を完了する。
- ・ 穿孔部などの防食のために、防食コアを装着することが好ましい。

② エポキシ樹脂粉体塗装管の穿孔の注意点

1) モルタルライニング管と同様な方法

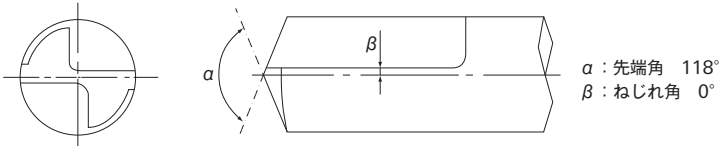
モルタルライニング管と同様な方法でも穿孔が可能であるが、ドリルの摩耗度などの管理が不十分な場合、塗膜の貫通不良や欠けなどが発生しやすい。

2) エポキシ樹脂粉体塗装管に適した方法

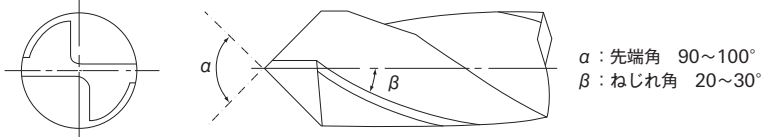
- ・ 穿孔機は電動式あるいは簡易電動機を用いる。
- ・ ドリルはエポキシ樹脂粉体塗装管に適した先端角が鋭角(90°程度)でひねりが5°~30°のものを用いる。

●図表5-5-10-7 ドリルの形状

モルタルライニング管用



エポキシ樹脂粉体塗装管用



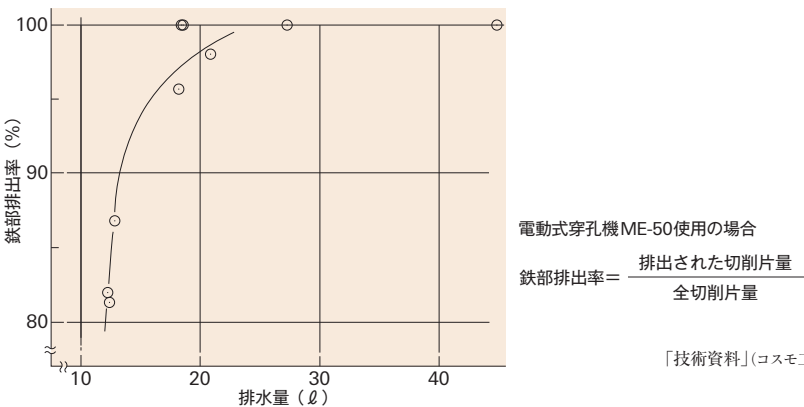
「内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクタイル鉄管について JDP A T47」(日本ダクタイル鉄管協会)より

③ その他

1) 穿孔時の切粉排出

モルタルライニング管、エポキシ樹脂粉体塗装管を問わず、穿孔作業と同時に十分な排水を行い、切削片を全て管外へ排出する。

●図表5-5-10-8 排水量と切削片の排出率



2) ドリル使用上の注意

エポキシ樹脂粉体塗装管用のドリルとモルタルライニング管用のドリルを共用せず、専用のドリルを使用すること。モルタルライニング管を穿孔すると刃先の摩耗が極度に進行するため、同じドリルを用いるとエポキシ樹脂粉体塗膜の切削に支障を来すこととなる。

5-6

軟弱地盤対策

5-6-1 軟弱地盤の定義

軟弱地盤の大部分は、沖積層細粒土地盤である。定義は明確ではないが、一般に次のようなものを軟弱地盤として扱う。

- ・ 軟弱地盤は、主として粘土やシルトのような微細な粒子に富んだ軟らかい土で、間隙の大きい有機質土または泥炭、緩い砂などから成る土層によって構成され、地下水位が高く、盛土や構造物の安定・沈下に影響を与える恐れのある地盤をいう。
- ・ 地盤の軟弱さの判定は一般的にボーリング調査時に行われる標準貫入試験方法(JIS A 1219)によって得られるN値によって判断する。N値とは重さ63.5kg(±0.5kg)のハンマを760mm(±10mm)自由落下させ標準貫入試験用サンプラーと呼ばれる銅製円筒300mm打ち込むのに要する打撃回数のことであり、N値がだいたい0～4程度のものを軟弱地盤と呼んでいる。
- ・ 一軸圧縮強さを基に判断する場合は、60kN/m²以下を目安とする。

軟弱地盤の詳細については、以下の技術資料および図表5-6-1-1～5を参照のこと。

- ・ 『道路橋示方書・同解説』(日本道路協会、2012年)
- ・ 『道路土工 軟弱地盤対策工指針(平成24年度版)』(日本道路協会)
- ・ 『土木・建築技術者のための軟弱地盤ハンドブック』(建設産業調査会、1981年)

● 図表5-6-1-1 軟弱地盤の判定基準(非砂質地盤の場合)

標準貫入試験N	コーン指数 ^{注1} q _c (kN/m ²)	判定
4以上	400以上	安定についてはだいたい問題はない。
2～4	200～400	一般にすべり破壊のおそれはない。軟弱層が厚い場合には沈下について一応の調査を要する。
0～2	0～200	すべり破壊と沈下に対し、十分な調査が必要である。

注1 一軸圧縮強度q_uから判断する場合には、q_c ≒ 5q_uと仮定する。

農林水産省農村振興局整備部設計課監修『土地改良事業計画設計基準 設計「農道」基準書 技術書』(農業土木学会、平成17年3月)より

● 図表5-6-1-2 細粒土の自然含水比による区分

自然含水比 (%)	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	適用土	盛土の安定および沈下
40以下	60以下	深い位置にある圧密の進んだ沖積粘土、乾いた表土、洪積粘土(火山灰土を除く)。	沈下、安定について、ほとんど問題がない。
40～70	60～40	一般の沖積粘土。	沈下について検討を要する。盛土高が高くなると安定性が問題となる。
70～100	40以下	比較的浅い位置にある沖積粘土(有機物を混入している場合が多い)。	沈下対策が問題となる。安定についても注意を要する。
100～300	40以下	有機物の多い沖積粘土	全沈下量、残留沈下量とも大。安全対策には十分な検討が必要。
300以上	30以下	有機質土	全沈下量、残留沈下量とも極めて大。安全対策には十分な検討が必要。

農林水産省農村振興局整備部設計課監修『土地改良事業計画設計基準 設計「農道」基準書 技術書』(農業土木学会、平成17年3月)より

● 図表5-6-1-3 高速道路における軟弱地盤の目安

地 盤	泥炭質地盤および粘土質地盤		砂質地盤
	全層厚10m未満	全層厚10m以上	
N値	4以下	6以下	10以下
q _u (kN/m ²)	60以下	100以下	—
q _c (kN/m ²)	800以下	1200以下	4000以下

q_u：一軸圧縮強さ

q_c：機械式コーン貫入試験によるコーン指数

『設計要領 第一集 土工保全編・土工建設編(平成28年8月)』(高速道路総合技術研究所)より

● 図表5-6-1-4 JR(旧国鉄)における先行調査結果の判定基準(標準貫入試験)

N 値	層厚(その他)	判 定
0	2m以上	軟弱地盤
2以下	5m以上	
4以下	10m以上	
30以上	3m以上	支持層
	(その下に軟弱層がないとき)	

『軟弱地盤の調査・設計・施工法』(土質工学会)より

● 図表5-6-1-5 地盤の許容応力度

地 盤	長期に生ずる力に対する許容応力度 ^{注1} (kN/m ²)
岩盤	1000
固結した砂	500

地盤	長期に生ずる力に対する許容応力度 ^{注1} (kN/m ²)
土丹盤	300
密実な礫層	300
密実な砂質地盤	200
砂質地盤 (地震時に液状化のおそれのないものに限る。)	50
堅い粘土質地盤	100
粘土質地盤	20
堅いローム層	100
ローム層	50

注1 短期に生ずる力に対する許容応力度は、長期に生ずる力に対する許容応力度のそれぞれの数値の2倍とする。
「建築基準法施行令 第93条」より

5-6-2 沈下量の計算

軟弱地盤に管を埋設する場合、圧密沈下を生じることがある。管の重量、管内水の重量および埋戻土などを考慮して、管底部での土圧増加分を計算し、それによって沈下量を推定する。

詳しくは「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDBA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

1 計算方法

沈下量の計算式としては、次のような3種のものがある。

$$\delta = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} H \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-2-1}$$

$$\delta = m_v \cdot \Delta P \cdot H \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-2-2}$$

$$\delta = \frac{C_c}{1 + e_0} H \cdot \log \frac{P + \Delta P}{P} \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-2-3}$$

- ここに、 δ : 圧密沈下量 (m)
 e_0 : 現地盤の初期間隙比
 e : 載荷後の間隙比
 H : 圧密される層の厚さ (m)

- m_v : 土の体積変化率(体積圧縮係数) (m^2/kN)
- C_c : 土の圧縮指数
- P : 原地盤の先行荷重 (kN/m^2)
- ΔP : 各層での増加荷重 (kN/m^2)

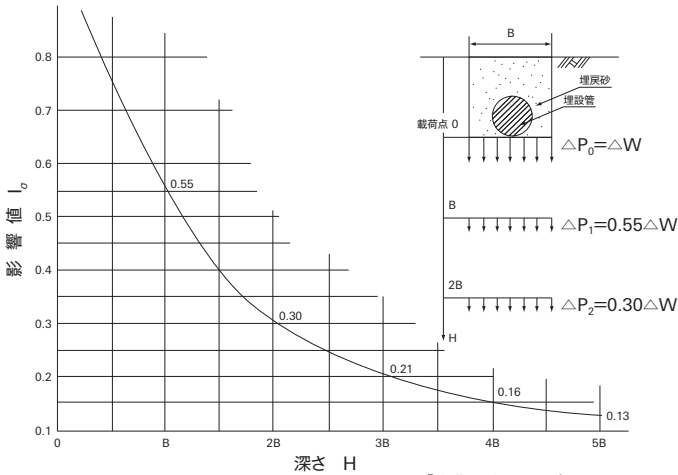
ここで、地盤に増加荷重が作用して圧密沈下する場合、荷重点に近い層の圧密量に比べて下層部の圧密量は小さくなる。増加荷重の深さによる荷重の減少係数を影響値 I_σ という。

$$\Delta P = I_\sigma \cdot \Delta W \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-2-4}$$

ここに、 I_σ : 深さによる影響値

ΔW : 載荷点の増加荷重 (kN/m^2)

● 図表5-6-2-1 深さによる影響値 I_σ



【基礎工学ハンドブック】(朝倉書店、1964年)より

● 図表5-6-2-2 体積変化率 m_v

地盤の種類	体積変化率 m_v の値 (m^2/kN)
密な砂	$2 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$
緩い砂	$10 \times 10^{-5} \sim 20 \times 10^{-5}$
過密粘土	$5 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-5}$
普通の粘土	$50 \times 10^{-5} \sim 80 \times 10^{-5}$
腐植土を含む緩い砂、粘土	$100 \times 10^{-5} \sim 300 \times 10^{-5}$
腐植土	$300 \times 10^{-5} \sim 700 \times 10^{-5}$

「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)より

2 計算例

軟弱地盤に管を埋設した場合の沈下量の推定を、前述の式5-6-2-2で行った計算例を次に示す。

【計算条件】

管種 : ダクタイル鉄管

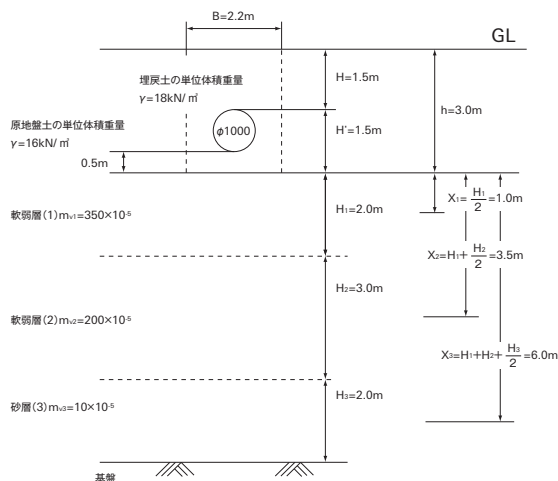
呼び径 : 1000

管厚の種類 : 2種管

内面 : モルタルライニング

管の埋設条件および地盤条件は図表5-6-2-3に示す。

●図表5-6-2-3 管埋設状況と地盤条件



「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JCPA T23」(日本ダクタイル鉄管協会)より

【計算結果】

●図表5-6-2-4 沈下量δの計算結果

層番号	土の体積変化率 m_v (m^2/kN)	軟弱中心 深さ $X_{1\sim3}$ (m)	深さ／掘削幅 (X/B)	深さによる 影響値 l_0	層厚 $H_{1\sim3}$ (m)	沈下量 δ (m)
軟弱層(1)	360×10^{-5}	1.0	0.5	0.78	2.0	0.025
軟弱層(2)	200×10^{-5}	3.5	1.6	0.38	3.0	0.010
砂層(3)	10×10^{-5}	6.0	2.7	0.23	2.0	0.000
合計						0.035

これより総沈下量 δ は約3.5cmと予想される。

推定沈下量の計算を各点について行い、これに基づいて配管設計を検討する。

5-6-3 沈下対策

1 変位吸収量の算定

軟弱地盤では、配管工事に伴って仮設道路用の盛土を行ったり、埋戻土を砂に入れ替えたりすることによって掘削前よりも大きな荷重が地盤に作用し、不同沈下が発生することがある。また、普通地盤から軟弱地盤へと緩やかに地層が変化している場合も同様の不同沈下が生じる。

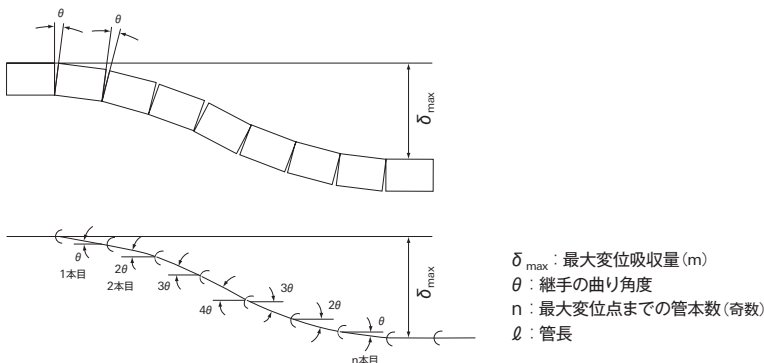
伸縮離脱防止継手管は継手に伸縮・屈曲性を有するため図表5-6-3-1に示すように管路の継手部が伸縮および屈曲し、このような地盤沈下に無理なく追従する。この場合の最大変位吸収量 δ_{\max} は式5-6-3-1で計算できる。

地震時に地盤の液状化が予想される地域では、地震動によって地盤が水平方向に流れるように移動する現象(液状化による地盤の側方流動)が発生することがあるが、最大変位吸収量 δ_{\max} は同様に計算できる。

●図表5-6-3-1 沈下量に対する最大変位吸収量

$$\delta_{\max} \doteq \ell (2\tan\theta + 2\tan2\theta + 2\tan3\theta + \cdots + 2\tan\frac{n-1}{2}\theta + \tan\frac{n+1}{2}\theta)$$

..... 式5-6-3-1



δ_{\max} : 最大変位吸収量 (m)
 θ : 継手の曲り角度
 n : 最大変位点までの管本数 (奇数)
 ℓ : 管長

一例として、ダクタイル鉄管1本当当たりの管長6m、全管路延長90m(15本)の中央部で順応できる変位吸収量を計算すると以下ようになる。

●図表5-6-3-2 変位吸収量の計算事例

曲り角度 θ ^{注1}	30'	1°	1° 30'	2°
変位吸収量 δ (m)	0.84	1.68	2.52	3.36

注1 呼び径900の継手の許容曲げ角度は2°である。これより小さな呼び径の許容曲げ角度は大きく、大きな呼び径の許容曲げ角度は小さい(図表5-6-3-5参照)。

特に大きな地盤沈下が予想される場合は、伸縮離脱防止継手を有するGX形、NS形、S形、US形などの耐震継手管による鎖構造管路が効果的である。この管路は、継手が伸縮および屈曲することによって地盤の動きに無理なく追従し、かつ最終的に離脱防止機能が働き、地震時はもちろんのこと軟弱地盤でも継手が離脱することがないためライフラインの確保に適している。

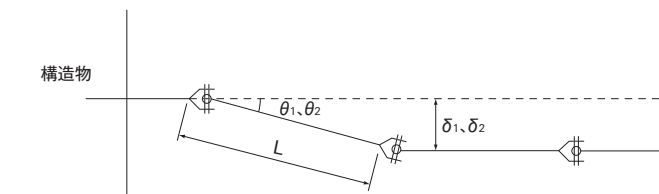
2 急激な地盤変状に対する対策

構造物との取合部や、硬い地盤から軟らかい地盤(例えば切土から盛土)へと地層が変化する箇所などでは、大きな変位が局部的に発生する可能性が高い。従って、あらかじめ以下のような対策を施しておくことが望ましい。

① 伸縮離脱防止継手による変位量の吸収

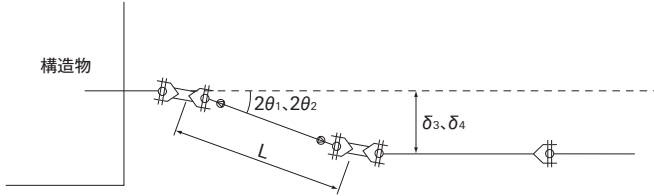
構造物との取合部に伸縮離脱防止継手を2個以上設けることにより、変位量を吸収することができる。さらに継ぎ輪を使用することで、より大きな変位量を吸収することができる。

●図表5-6-3-3 伸縮離脱防止継手による変位量の吸収(変位量が小さい場合)



「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JDBA T57」(日本ダクタイル鉄管協会)より

●図表5-6-3-4 継ぎ輪による変位量の吸収(変位量大きい場合)



「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T57」(日本ダクタイル鉄管協会)より

この場合に吸収できる地盤変位量は次式より求める。ここに、継手屈曲角度は配管施工時の許容曲げ角度で計算しており、設計時はこの範囲で検討することが望ましい。

$$\delta_1 = L \cdot \tan \theta_1 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-2}$$

$$\delta_3 = L \cdot \tan 2\theta_1 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-3}$$

ここに、 δ_1 または δ_3 : 直管の継手または継ぎ輪によって吸収可能な地盤変位量 (設計時)

L : 切管の管長

θ_1 : 継手1カ所当たりの許容曲げ角度

なお、継手は地震時や地盤沈下時には最大屈曲角度まで曲がり得るため、最大の変位吸収量は次式より求める。

$$\delta_2 = L \cdot \tan \theta_2 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-4}$$

$$\delta_4 = L \cdot \tan 2\theta_2 \quad \dots\dots\dots \text{式 5-6-3-5}$$

ここに、 δ_2 : 直管の継手または継ぎ輪によって吸収可能な地盤変位量

L : 切管の管長

θ_2 : 地震時や地盤沈下時の最大屈曲角度(許容曲げ角度の2倍)

伸縮離脱防止継手の継ぎ輪2個を用いた場合の変位吸収量を示す(計算値は継手の許容曲げ角度の2倍を用いた)。

●図表5-6-3-5 継ぎ輪2個を用いた場合の変位吸収量(US形を除く)

呼び径	継手の許容曲げ角度 θ_1 (°)	継ぎ輪の許容曲げ角度 $\theta_1 \times 2$ (°)	変位吸収量 (mm)			
			切管の管長			
			L=2m	L=3m	L=4m	L=5m
50	4°	8°	281	421	—	—
75	4°	8°	281	421	—	—
100	4°	8°	281	421	562	—
150	4°	8°	281	421	562	702

呼び径	継手の 許容曲げ角度 θ_1 (°)	継ぎ輪の 許容曲げ角度 $\theta_1 \times 2$ (°)	変位吸収量 (mm)			
			切管の管長			
			L = 2m	L = 3m	L = 4m	L = 5m
200	4°	8°	281	421	562	702
250	4°	8°	281	421	562	702
300	3°	6°	210	315	420	525
350	3°	6°	210	315	420	525
400	3°	6°	210	315	420	525
450	3°	6°	210	315	420	525
500	3° 20′	6° 40′	233	350	467	583
600	2° 50′	5° 40′	198	297	396	495
700	2° 30′	5°	174	262	349	437
800	2° 10′	4° 20′	151	227	303	379
900	2°	4°	139	209	279	349
1000	1° 50′	3° 40′	127	191	255	319
1100	1° 40′	3° 20′	116	174	232	290
1200	1° 30′	3°	104	157	209	262
1350	1° 30′	3°	104	157	209	262
1500	1° 30′	3°	104	157	209	262
1600	1° 30′	3°	104	157	209	262
1650	1° 30′	3°	104	157	209	262
1800	1° 30′	3°	104	157	209	262
2000	1° 30′	3°	104	157	209	262
2100	1° 30′	3°	104	157	209	262
2200	1° 30′	3°	104	157	209	262
2400	1° 30′	3°	104	157	209	262
2600	1° 30′	3°	104	157	209	262

備考 各接合形式の呼び径は以下の通りである。

S50形：50

GX形：75～300・400

NS形：75～1000

NS形 (E種管)：75～150

S形：1100～2600

●図表5-6-3-6 継ぎ輪2個を用いた場合の変位吸収量(US形の場合)

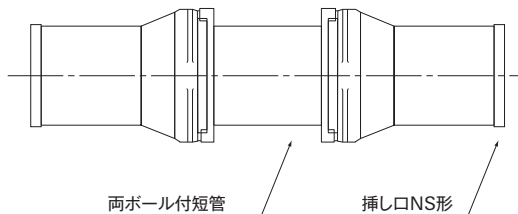
呼び径	継手の 許容曲げ角度 $\theta_1(^{\circ})$	継ぎ輪の 許容曲げ角度 $\theta_1 \times 2(^{\circ})$	変位吸収量(mm)		
			切管の管長		
			L=2m	L=3m	L=4m
800	2° 10′	4° 20′	151	227	303
900	2°	4°	139	209	279
1000	1° 50′	3° 40′	127	191	255
1100	1° 40′	3° 20′	116	174	232
1200	1° 30′	3°	104	157	209
1350	1° 30′	3°	104	157	209
1500	1° 30′	3°	104	157	209
1600	1° 10′	2° 20′	81	122	—
1650	1° 05′	2° 10′	75	113	—
1800	1°	2°	69	104	—
2000	1°	2°	69	104	—
2100	1°	2°	69	104	—
2200	1°	2°	69	104	—
2400	1°	2°	69	104	—
2600	1°	2°	69	104	—

3 伸縮可とう管による変位量の吸収

軟弱地盤や構造物との取合部など不同沈下の恐れのある箇所には、大きな変位を吸収するためのユニットであるボール式ダクタイトル鉄可とう管を用いることもでき、これには図表5-6-3-7の両挿しタイプや呼び径によりGX形などもある。

詳しくは『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)を参照のこと。

●図表5-6-3-7 伸縮可とう管の例



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

5-6-4 軟弱地盤での配管の留意点

軟弱地盤での配管では以下の点に留意すること。

- ・ 埋設溝を掘削するに当たっては、周囲への影響、安全対策、作業性を考慮した上で土留め、地下水対策および地盤改良などの工法を決定する。
- ・ 地盤によって、砂基礎、杭基礎などの基礎工を考慮する必要がある。
- ・ 埋戻しの転圧は定められた層ごとに丁寧に行う。埋戻し中および埋戻し直後の沈下は大きいので、ワイヤロープなどで管を吊った状態で埋め戻し、初期沈下が収まるまで養生をする。
- ・ 管路の不規則な沈下を防止するために、埋戻しが終わった管路上には、工事中の掘削土・器材などを置かないようにし、局部的に大きな荷重がかからないようにする。
- ・ 地下水位が高い場合、埋戻しが完了するまでは浮上りの恐れがあるので、埋戻しは配管完了後すみやかに行う。

5-7

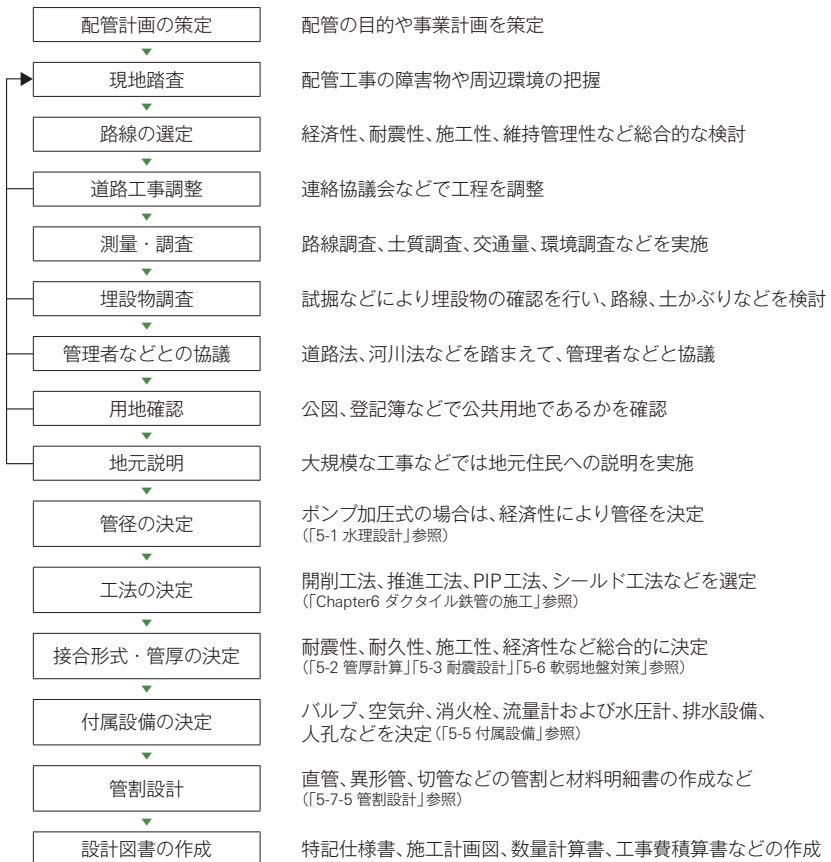
配管設計

5-7-1 配管設計の手順

1 配管設計の全体概要

導・送水管、配水本管、配水支管の配管設計の手順の例を以下に示す。

●図表5-7-1-1 配管設計の手順



2 関連資料

接合形式別の詳細な設計方法については、以下の技術資料を参照のこと。

- ・「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T23」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「ダクタイル鉄管管路 配管設計標準マニュアル(配管図面製作用) JDP A T27」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「NS形・S形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T35」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「GX形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T57」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「S50形ダクタイル鉄管管路の設計 JDP A T59」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「NS形ダクタイル鉄管(E種管)管路の設計 JDP A T62」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)
- ・「下水道用 ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T30」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「農業用水用 ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDP A T32」(日本ダクタイル鉄管協会)

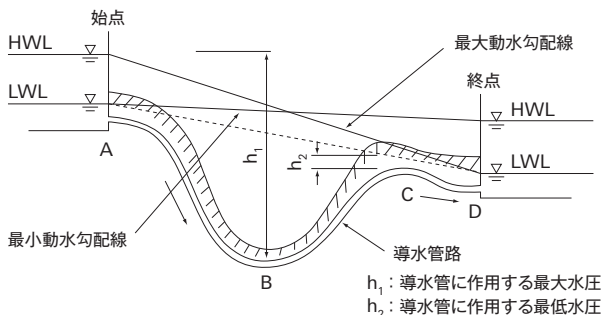
5-7-2 管径の算定

詳細な水理、水撃圧の計算方法などは「5-1 水理設計」を参照のこと。

1 動水勾配線

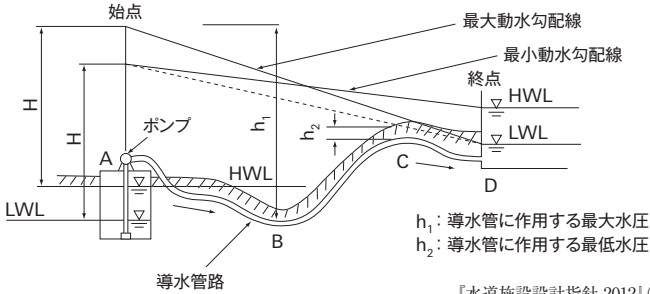
管径を算定する場合は、始点のLWL(最低水位)と終点のHWL(最高水位)を結んだ最小動水勾配線を基に算出する。

●図表5-7-2-1 自然流下式の動水勾配線



【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

● 図表5-7-2-2 ポンプ加圧式の動水勾配線

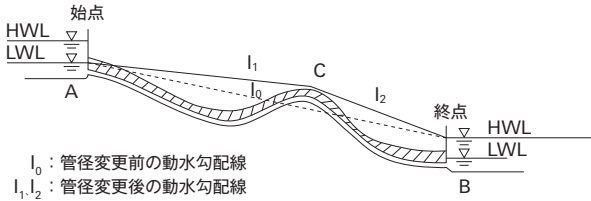


『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

2 管路の路線

管路の路線は、最小動水勾配線以下に設定して、常に管内が負圧になることは避ける。

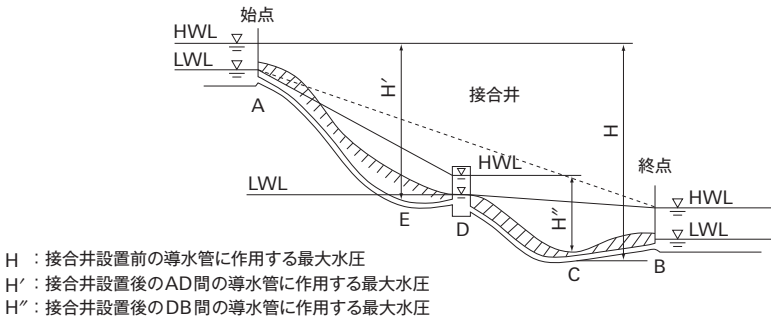
● 図表5-7-2-3 管路と最小動水勾配線の関係(負圧を避ける場合)



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

管路に働く最大静水圧が高圧となる場合には、接合井を設けて圧力を自由水面で開放する。

● 図表5-7-2-4 管路と最小動水勾配線の関係(高圧を避ける場合)



『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)より

5-7-3 埋設位置および深さ

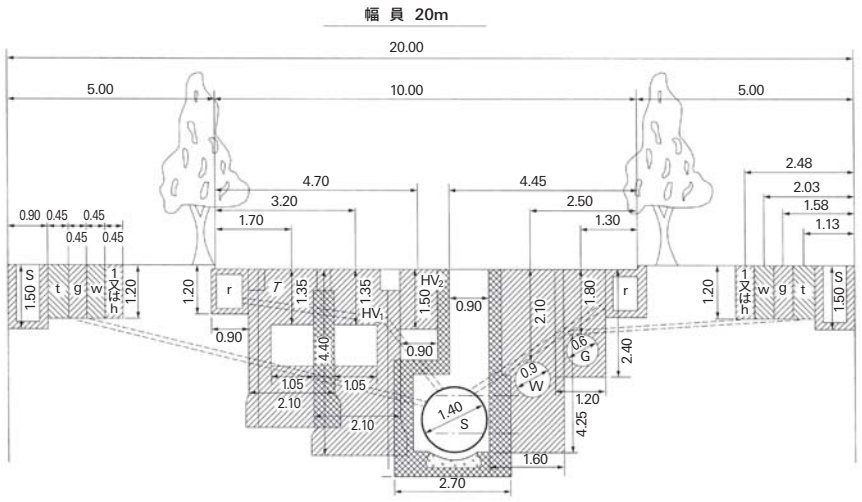
1 埋設位置

配水管は、維持管理の容易性に配慮し、原則として道路(公道)に布設する。この場合、配水本管は道路中央寄りに、配水支管は給水管分岐の都合上、なるべく道路の片側よりに布設する。

道路幅員が広い場合には、需要者への給水の利便性、給水管の漏水防止を図るために、両側の歩道または車道の両側に布設する。

河川敷、軌道敷、私有地に管を埋設する場合には、当該管理者あるいは土地所有

●図表5-7-3-1 道路占用埋設物の配置標準図例(福山市)



- 1 本図例の縮尺は百分の一とする。
- 2 本図例は通常北西又は西面として実地に適用するものとする。
- 3 本図例に於ける路下管線路の標示は右表に依る。

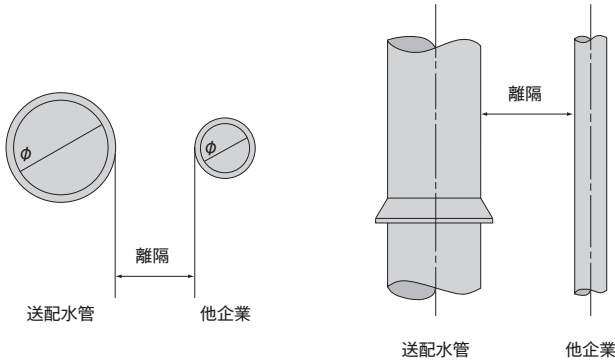
凡 例			
路下管線路種別	本線	支線	摘要
電信電話線	T	t	
高圧電線	HV ₁	HV ₂	HV ₁ はダクト式 HV ₂ はトラフ式
電燈低圧線		i	
水道管	W	w	
下水管	S	s	sは汚水枳、rは雨水枳
瓦斯管	G	g	

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

者と協議の上、使用承認を取る。

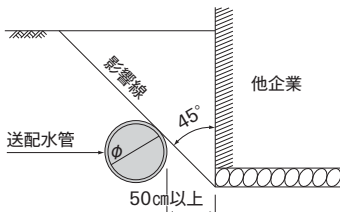
「配水管を他の地下埋設物と交差または近接して布設するときは、少なくとも0.3m以上の間隔を保つ」と『水道施設設計指針 2012』の「7.5.6 埋設位置及び深さ」にはあるが、ガス管、下水道管、電線など、他企業側でも基準を設けている場合もあるので、確認が必要である。また、管径の大きさにより交差する場合、並行して布設する場合の構造物との離隔が規定されている場合もある。交差する場合には、45°以上で交差するなどの規定もある。

●図表5-7-3-2 他の埋設物との離隔例
並行布設



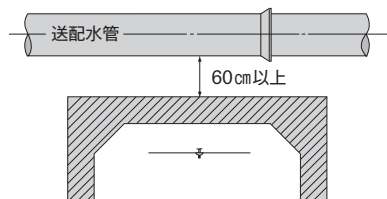
送配水管	離隔
φ 450以下	30cm以上
φ 500～φ 900	50cm以上
φ 1000～φ 1350	100cm以上
φ 1500～φ 1800	150cm以上
φ 2000以上	200cm以上

構造物の影響範囲

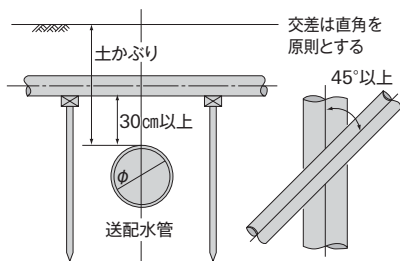


45°の影響線内に送配水管が入る場合は別途協議によるものとする。

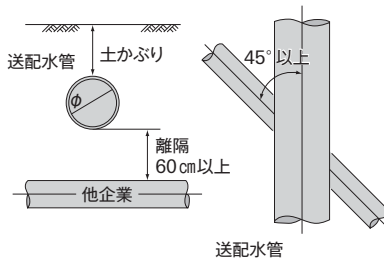
構造物の上を通過する場合



上面横断する場合



下面横断する場合



「地下埋設協議基準」
 (宮城県仙南・仙塩広域水道事務所工業用水道管理事務所HP)より(抜粋)

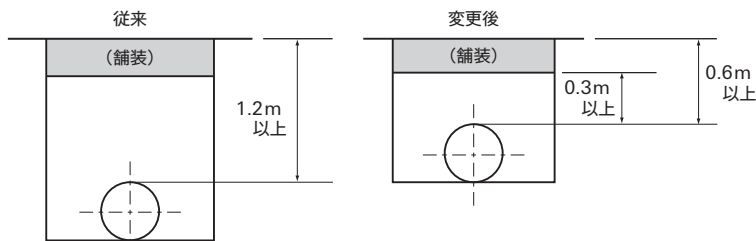
2 埋設深さ

「道路法施行令」(昭和27年政令第479号)では、土かぶりの標準は1.2mと規定されているが、水管橋取付部の堤防横断箇所や他の埋設物と交差の関係上で、土かぶりを標準、または規定値まで取れない場合は、道路管理者または河川管理者と協議の上、土かぶりを0.6mまで減少することができる。

水道管の浅層埋設については、「電線、水管、ガス管又は下水道管を道路の地下に設ける場合における埋設の深さ等について」(平成11年3月31日建設省道政発第32号・建設省道国発第5号、「浅層化通達」)により、「水管の頂部と路面との距離は、当該水管を

●図表5-7-3-3 浅層埋設における最小土かぶり

区分	最小土かぶりの規定
車道	車道の最小土かぶりは舗装の厚さに0.3mを加えた値以上とし、かつ下記の値以下としないこと。 ・上下水道、ガス、下水道(本線以外)、電話線：0.6m ・下水道本線：1.0m
歩道	歩道の最小土かぶりは0.6m以下としないこと。建設省道路局通達では、歩道の最小土かぶりは0.5mとなっているが、建設省道路局事務連絡により、別途条件について連絡があるまで0.6mの運用となる。



備考 上記の舗装厚さは、路面から路盤の載荷面までの距離をいう。

設ける道路の舗装の厚さに0.3mを加えた値(当該値が0.6mに満たない場合には、0.6m)以下としないこと」の運用規定が出されている。

浅層埋設において対象となるダクタイル鉄管の呼び径は75～300である。ただし、呼び径50～350は浅層埋設でも管体、継手部の強度、性能面で問題はない。道路管理者の判断により使用可能である(「水道管の浅層埋設に伴う管路並びに付属器具に関する技術的検討報告書」平成11年10月、日本水道協会)。最小土かぶりの詳細については「ダクタイル鉄管の浅層埋設について」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

5-7-4 管種の決定

管種は、図表5-7-4-1の項目などを十分検討して選定する必要がある。

●図表5-7-4-1 管種の検討項目

項目	解説	
内圧	最大静水圧と水撃圧に対して安全であること。同一路線でも水圧に応じて区間ごとに管種、管厚を変える場合もある。	
外圧	埋設管の場合は土かぶりによる土圧と路面荷重に対して安全であること。水管橋では、自重、水重、地震荷重、風荷重、積雪荷重、保温材の荷重に対して安全であること。	
継手性能 施工性	継手には一般継手、離脱防止継手および伸縮離脱防止継手があるが、地震対策として、継手が伸縮、屈曲して離脱しない伸縮離脱防止継手が一般的である。	
使用条件	水質	送配水管では、水道水の残留塩素や遊離炭酸の影響を受けにくいものを使用する。導水管等の原水では、砂などの影響も考える必要がある。また無ライニング管、モルタルライニング管では、ランゲリア指数 ^{注1)} の改善などを考慮する必要がある。
	地盤・土質	埋設地盤の液状化、側方流動、軟弱地盤の不同沈下が生じる場所では、伸縮離脱防止継手が一般的である。また、土壌の腐食性を調査し、特に腐食性の高い環境下ではポリエチレンスリーブなど防食対策を適用する。
	地下水	地下水位が高く湧水が多い場合には、施工にその影響の少ないものを選定する。地下水に腐食性のある場合には、ポリエチレンスリーブなど防食対策を適用する。
	埋設物	他の埋設物と交差もしくは近接する場合には、少なくとも0.3m以上の隔離を保つこと。
	路面荷重・交通量	大きな路面荷重がかかる場合には管厚の安全性検討が必要である。交通量に応じて、PIP(パイプインパイプ)工法など非開削工法の検討を行う。

項目		解説
各種配管	異形管部	一般的には離脱防止継手を用いる。高水圧管路や一体化長さが50mを超える場合には、コンクリート防護を併用するとともに、必要に応じて継ぎ輪などを設け、一体化長さを50m以下にする。
	構造物周り	地震時の大きな伸縮量、不同沈下による変位量を想定して、管体強度が強く、継手の伸縮性・屈曲性のある材料を選定する。
	水管橋・橋梁添架配管	軸方向に伸縮性のある継手が好ましく、剛継手の場合には伸縮可とう管が必要である。 管体および継手材料、外面塗装に耐候性のある外面特殊塗装(JDPA G 1029)などを選定する。
	地上配管 (露出配管)	
	軌道付近	電食防止に留意し、絶縁継手や電気抵抗の大きい管種を用いる。
	トンネル・シールド内配管	接合が管内作業になるので、施工性の良いもの、施工時間が短いものを選定する。また、長距離施工の場合には、仮設設備が少ない方が好ましい。
	PIP工法	掘削は立坑のみであり、交通への影響が軽減される。また挿入延長が長ければ経済的である。
	推進工法	推力に十分耐えるもので、接合作業時間が短く、推進抵抗の小さいものが望ましい。
	軟弱地盤	地盤沈下に際して、管体に大きな力が作用しないよう、伸縮離脱防止継手管および継ぎ輪などの使用が望ましい。
	断層通過部	地震力に耐える十分な強度を有するもので、継手が伸縮および屈曲することによって地盤の動きに無理なく追従し、最終的には離脱が防止できるものが適する。大きな変位に対しては長尺継ぎ輪などを適宜配置する。
経済的要件		管および接合費・管布設工事費・維持管理費の総和をできるだけ小さくするように配慮すべきであるが、何よりも安全性と耐久性をよく考慮に入れて、前述の技術的要件を満足することが必要である。

注1 ランゲリア指数が小さいほど炭酸カルシウムは溶解しやすく、腐食性が強いことを示している。快適水質項目の目標値は「-1程度以上とし、極力0に近づけること」とされている。

〔ダクタイル鉄管管路のてびき JDPA T26〕(日本ダクタイル鉄管協会)より(改変)

●図表5-7-4-2 管種の特徴

種類	長所	短所
ダクタイル鉄管	<ul style="list-style-type: none"> 管体強度が大きく、靱性に富み、衝撃に強い。 耐久性がある。 K、T、U形などの柔構造継手は、継手の伸び、屈曲により地盤の変動に順応できる。 GX、NS、US形などの鎖構造継手は、柔構造継手よりも大きな伸縮に対応でき、さらに離脱防止機能を有するので、より大きな地盤変動に対応できる。 施工性が良い。 	<ul style="list-style-type: none"> 重量は比較的重い。 継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。 内外面の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。 K、T、U形などの柔構造継手は、地震時の地盤の液化化や亀裂などの地盤変状により伸縮(伸び)量が限界以上になれば離脱する。

種類	長所	短所
鋼管	<ul style="list-style-type: none"> ・管体強度が大きい。靱性に富み、衝撃に強い。 ・耐久性がある ・溶接継手により一体化ができ、地盤の変動には管体の強度および変形能力で対応する。地盤変動が大きなところでは、伸縮継手の使用または厚肉化で対応できる。 ・加工性が良い。 ・防食性の良い外面防食材料(ポリウレタンまたはポリエチレン)を被覆した管がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接技術は、専門技術が必要とするが、自動溶接もある。 ・電食に対する配慮が必要である。 ・内外面の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。
硬質塩化ビニル管	<ul style="list-style-type: none"> ・耐食性に優れている。 ・重量が軽く施工性が良い。 ・内面粗度が変化しない。 ・RRロング継手は、RR継手よりも継手伸縮性が優れている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・管体強度は金属管に比べると小さい。低温時において耐衝撃性が低下する。 ・熱、紫外線に弱い。 ・シンナーなどの有機溶剤により軟化する。 ・継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。 ・RRロング継手は、使用期間が短く、被災経験もほとんどないことから使用に当たっては十分な耐震性の検証が必要である。
配水用 ポリエチレン管	<ul style="list-style-type: none"> ・耐食性に優れている。 ・重量が軽く施工性が良い。 ・融着継手により一体化ができ、管体に柔軟性があるため地盤変動に追従できる。 ・内面粗度が変化しない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・管体強度は金属管に比べると小さい。 ・熱、紫外線に弱い。 ・有機溶剤による浸透に注意する必要がある。 ・融着継手では、雨天時や湧水地盤での施工が困難である。 ・融着継手の接合には、コントローラーや特殊な工具を必要とする。 ・悪い地盤における被災経験がないことから、使用に当たっては十分な耐震性の検証が必要である。

【水道施設設計指針 2012】(日本水道協会)より

● 図表5-7-4-3 ダクタイル鉄管の種類 (2017年3月現在)

接合形式 ^{注1}	呼び径	管厚の種類	
GX形	75~300・400	1種管、S種管	
NS形	75~450	1種管、3種管	
	500~1000	S種管	
NS形(E種管)	75~150	E種管	
S50形	50	S種管	
S形	1100~2600	1種管、2種管、3種管	
US形	800~2600	1種管、2種管、3種管	
PN形 (JP方式及びCP方式)	JP方式	300~1500	1種管
	CP方式	700~1500	P種管

接合形式 ^{注1}	呼び径	管厚の種類
PN形	300・350	1種管
	400	1種管、2種管
	500	1種管、2種管、3種管
	600～1500	1種管、2種管、3種管、4種管
PⅡ形	300・350	1種管
	400	1種管、2種管
	500	1種管、2種管、3種管
	600～1350	1種管、2種管、3種管、4種管
UF形	800～2600	PF種管
K形	75～350	1種管、3種管
	400～500	1種管、2種管、3種管
	600～2600	1種管、2種管、3種管、4種管、(5種管) ^{注2}
T形	75～350	1種管、3種管
	400～500	1種管、2種管、3種管
	600～2000	1種管、2種管、3種管、4種管、(5種管) ^{注2}
U形	800～2600	1種管、2種管、3種管、4種管
		1種管、2種管、3種管、4種管、(5種管) ^{注2}
フランジ形	75～2600	DF(異形管の管種は1種類のみ)
T形推進管	250	1種管、3種管
	300～350	1種管、3種管
	400～500	1種管、2種管、3種管
	600～700	1種管、2種管、3種管、4種管、5種管
U形推進管	800～2600	1種管、2種管、3種管、4種管、5種管、(PF種管) ^{注3}
US形推進管	800～2600	1種管、2種管、3種管、4種管、(PF種管) ^{注3}
LUF形(貯水槽用)	1500	15.5mm
	2000	19.5mm
	2600	25.0mm
FGX形(水管橋用)	75～300	7.5m
FT形(水管橋用)	75～350	7.5mm

注1 各接合形式の詳細は「Chapter3 ダクタイル鉄管の継手」を参照のこと。

注2 「JSWAS G-1 下水道用ダクタイル鋳鉄管(呼び径75～2600)」のみに規定されている。

注3 US形—U形などの先頭管に用いられる。

備考 農業用水用ダクタイル鉄管の管種は、「JDPA G 1027-2016 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」を参照のこと。

5-7-5 管割設計

1 管割設計の手順

具体的な管割設計の手順の例を以下に示す。

●図表5-7-5-1 管割設計の手順

配管条件の確認	呼び径、水圧、土かぶり、地盤・地質、路面荷重、配管路線の確認
管厚の選定	管種選定表または管厚計算により選定。一般的には管種により決まるが、必要に応じて計算で確認（「5-2 管厚計算」参照）
接合形式の選定	布設工法などより選定
配管路線の確認	分岐部、伏越し部、付属設備などの位置を決定
曲管の選定	屈曲角、分岐角度により曲管の選定を行い、組合せを決定
付属設備の管割検討	バルブ、空気弁、消火栓、排水施設、人孔などを決定
異形管防護の検討	離脱防止継手管による一体化、防護コンクリートなどの決定（「5-4 異形管防護」参照）
管割、切管長さの決定	直線部、曲管部、T字管部、伏越し部など直管本数および切管長さの決定
継ぎ輪位置の決定	施工順序（方向）などから結び配管用継ぎ輪の位置を決定
配管図の作成	平面図、縦断図（中大口径の場合）の作成
材料明細書の作成	使用材料の明細書および切管組合せ表の作成
数量計算書の作成	配管延長、接合箇所数、土工工事の数量などの明細書を作成
工事費積算書の作成	数量計算書を基に工事費積算書を作成

2 管厚の選定

管厚の選定については、「JWWA G 113-2015 水道用ダクタイル鋳鉄管」の資料「表1 直管の管種選定表」を参照のこと。

図表5-7-5-2より通常の使用条件では、呼び径500以下は3種管、S種管、E種管、呼び径600～1000は4種管とS種管で安全なことが分かる。呼び径1100以上については、「ダクタイル鉄管管路 設計と施工 JDDPA T23」の「表17 直管の管種選定表(支

持角60°の場合)」を参照のこと。

切管用挿し口リング(継ぎ輪用を除く)を使用する場合には、1種管を用いる必要がある。土かぶり深い場合、水圧が高い場合などは、「5-2 管厚計算」を参照し、管厚に対する安全性の検討が必要である。また、管厚計算以外の要素(耐食性・他工事による損傷など)を考慮する場合は、より安全性の高いものを使用する場合もある。

●図表5-7-5-2 管厚の種類を選定表(呼び径1000以下、静水圧0.75MPa以下、土かぶり2.1m以下)

呼び径	土かぶり(m)							
	2.1		1.8		1.5		1.2	
	静水圧(MPa)		静水圧(MPa)		静水圧(MPa)		静水圧(MPa)	
	0.75	0.45	0.75	0.45	0.75	0.45	0.75	0.45
50	S	S	S	S	S	S	S	S
75	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E
100	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E
150	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E	3・S・E
200	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
250	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
300	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
350	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
450	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S	3・S
600	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
700	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
800	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
900	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S
1000	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S	4・S

備考1 計算条件：平底溝、管底支持角60°、直管材料の引張強さ420N/mm²、輪荷重245kN(トラック2台同時通過(衝撃係数1.5))、水撃圧0.55MPa、土の単位体積重量18kN/m³。

備考2 表内の数字・アルファベットは管種(3種管、4種管、S種管、E種管)を示す。

3 接合形式の選定

呼び径、工法などから適切な接合形式を選定する。

● 図表5-7-5-3 工法別接合形式一覧(2017年3月現在)

工 法	接合形式(呼び径) ^{注1}		離脱防止継手など ^{注2}
開削工法 (共同溝、添架水管橋、 露出配管など含む)	GX形(75~300・400)		GX形異形管
			直管受口+ライナ
			G-Link ^{注3}
	S50形(50)		抜け止め押輪
	NS形(75~1000)		NS形異形管
			直管受口+ライナ
	NS形(E種管)(75~150)		N-Link
			直管受口+ライナ
	S形(1100~2600)		UF形
	US形(800~2600)		UF形
T形(75~2000)		離脱防止金具 (種類により適用呼び径が異なる)	
K形(75~2600)			
U形(800~2600)		UF形	
トンネル内配管工法	US形(800~2600)		UF形
	PN形(700~1500)		—
	U形(800~2600)		UF形
PIP(パイプインパイプ)工法	PN形 (JP方式及びCP方式)	JP方式 (300~1500)	—
		CP方式 (700~1500)	—
	PN形(300~1500)		—
	PⅡ形(300~1350)		—
推進工法	T形推進管(250~700)		—
	U形推進管(800~1500)		—
	US形推進管(800~1500)		—
貯水槽	LUF形(1500~2600)、 UF形(1500~2600) ^{注4}		—
水管橋 (タイプⅠ、タイプⅡ ^{注5})	GX形(75~300・400)		FGX形 ^{注6}
	NS形(75~600)		FT形 ^{注6}

注1 各接合形式の形状や詳細は「Chapter3 ダクタイル鉄管の継手」を参照のこと。

注2 継手部に離脱防止機能を持たせるための方法を示した。

注3 呼び径400のG-Linkはなく、挿しロリングのみである。

注4 通常はLUF形を使用するが、U字形、W字形ではUF形を使用する場合がある。

注5 水管橋のタイプⅡは呼び径75~350のみである。

注6 FGX形は呼び径300以下、FT形は呼び径350以下のみである。

4 直管、異形管およびバルブの種類

ここでは、GX形を例に説明する。

●図表5-7-5-4 GX形の直管

呼び径	管長	管厚の種類
75・100	4m	1種管、S種管
150～250	5m	1種管、S種管
300・400	6m	1種管、S種管

●図表5-7-5-5 GX形の異形管

分類		種類
曲管	片受	90°、45°、22 1/2°、11 1/4°、5 5/8°
	両受	45°、22 1/2°
T字管		二受T字管、フランジ付きT字管、うず巻式フランジ付きT字管 ^{注1} 、浅層埋設形フランジ付きT字管 ^{注2} 、排水T字管 ^{注3}
その他		片落管、継ぎ輪、帽、乙字管、両受短管

注1 呼び径75～300のみ

注2 呼び径75～250のみ

注3 呼び径300・400のみ

●図表5-7-5-6 切管ユニット

種類	呼び径
P-Link (直管用)	75～300
G-Link (異形管用)	75～300

●図表5-7-5-7 GX形ソフトシール仕切弁の種類

分類		呼び径
GX形 ^{注1}	両受タイプ	75～300・400
	受挿しタイプ ^{注2}	75～300

注1 呼び圧力は10Kと16Kの2種類がある。

注2 規格外品である。

5 GX形呼び径150の設計事例

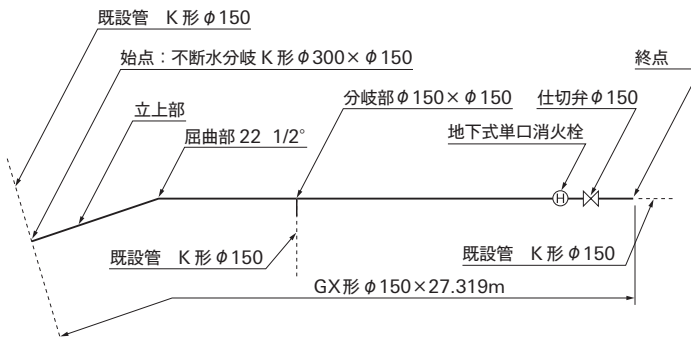
① 配管条件の確認

配管設計するために必要な呼び径、接合形式、配管始点・終点、分岐部、屈曲部、伏越し部、付属設備（バルブ、空気弁、排水施設、消火栓など）の位置や角度、延長などの確認を行う。

●図表5-7-5-8 配管条件の確認項目（GX形呼び径150）

項目	確認内容
呼び径	150
延長	27.319m（平面延長）
接合形式	GX形
管厚の種類	S種管（6.5mm）
土かぶり	H=0.8m
始点（既設管）の接合形式	K形 φ150（挿し口）
終点（既設管）の接合形式	K形 φ150（挿し口）
分岐部（既設管）の接合形式	K形 φ150（挿し口）
分岐部	1力所 φ150×φ150
屈曲部	約22 1/2°
立上部	1力所
仕切弁	1力所 φ150
地下式単口消火栓	1力所 φ75

●図表5-7-5-9 配管の確認（GX形呼び径150）



② 使用する異形管およびバルブの決定

● 図表5-7-5-10 使用する異形管およびバルブの決定 (GX形呼び径150)

項 目		異形管およびバルブ
不断水分岐	1カ所	耐震形不断水割T字管 $\phi 300 \times \phi 150$
立上部	1カ所 $h=400$	GX形 両受短管 $\phi 150$ 、片受曲管 $22 \ 1/2^\circ \times 1$ 個
		両受曲管 $22 \ 1/2^\circ \times 1$ 個
屈曲部	1カ所 約 $22 \ 1/2^\circ$	曲管 $22 \ 1/2^\circ \times 1$ 個
分岐部	1カ所	二受T字管 $\phi 150 \times \phi 150$
消火栓	1カ所	フランジ付きT字管 $\phi 150 \times \phi 75$
		補修弁 $\phi 75$ 、地下式単口消火栓 $\phi 75$
仕切弁	1カ所	GX形 両受ソフトシール仕切弁 $\phi 150$

③ 異形管防護の検討

異形管防護の一体化長さは「5-4 異形管防護」を参照のこと。

異形管防護の一体化長さを以下に示す。

● 図表5-7-5-11 一体化長さ早見表の選定条件 (GX形呼び径150)

項 目	条 件
呼び径	150
土かぶり	0.8m (0.6m以上)
設計水圧	0.75MPa

● 図表5-7-5-12 曲管部、T字管部および仕切弁部の一体化長さ (GX形呼び径150)

項 目	一体化長さ
始点の不断水分岐から曲管 $22 \ 1/2^\circ$ まで	全体を一体化するので、曲管部に1m以上
T字管部	本管に1m以上、分岐側も1m以上
仕切弁部	仕切弁前後に7.0m以上

6 管割に必要な寸法など

① 管割に必要な各種寸法

ここではGX形を例に説明する。異形管の寸法は『便覧』(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

●図表5-7-5-13 ライナ・P-Linkの使用による伸び量

(単位:mm)

呼び径	ライナ			P-Link	
	ライナ幅 (A)	標準胴付 寸法(Y)	ライナによる 伸び量 (A-Y)	P-Linkの 有効長	P-Linkの 伸び量
75	74	45	29	180	17
100	74	45	29	180	20
150	99	60	39	210	23
200	99	60	39	220	22
250	99	60	39	220	23
300	126	72	54	267	20
400	130	75	55	—	—

●図表5-7-5-14 配管設計に必要な寸法表

(単位:mm)

呼び径	継ぎ輪の標準 胴付寸法	両受短管の 有効長	仕切弁の 有効長
75	190	20	180
100	200	20	180
150	240	20	220
200	250	20	260
250	250	20	300
300	300	20	400
400	300	20	500

●図表5-7-5-15 最小切管寸法

(単位:mm)

呼び径	最小切管長さ			
	切管ユニットを使用する場合		切管用挿しロリングを使用する場合	
	甲切管	乙切管	甲切管	乙切管
75	660	770	700	770
100	660	770	720	770
150	680	770	740	770
200	680	770	740	770
250	680	770	740	770
300	720	820	760	820
400	—	—	970	1020

備考1 切管ユニットを使用する場合の各寸法は、切断加工をエンジンカッターで行う場合について示した。

備考2 切管用挿しロリングを使用する場合の各寸法は、切断・溝切加工をパイプ切削切断機で行う場合について示した。

備考3 各寸法は、管の切断、接合・解体に必要な最小寸法をおのおの算出し、それらのうち最も長い値を示した。なお、切管ユニットを使用する場合の寸法はP-Linkの有効長は含んでいない。

備考4 切断部の外径または外周長を実測し、外径許容差を満足していることを確認する必要がある。

備考5 本寸法は継ぎ輪の預け代を考慮していない。そのような配管(せめ等)を行う場合の切管寸法は、別途検討すること。

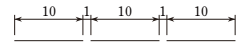
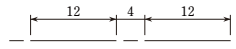
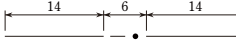
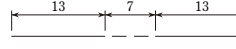
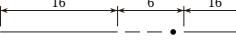
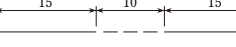
② 管割に用いる記号

1) 配水管の標示





●図表5-7-5-16 管種の文字記号例

管種	文字記号	管種	文字記号
石綿セメント管	ACP φ○○	耐衝撃性硬質塩化ビニル管	HIVP φ○○
亜鉛めっき管	GP φ○○	硬質塩化ビニルライニング鋼管	SGP-VA または SGP-VB φ○○
塗覆装鋼管	SP φ○○	鋼板巻込み石綿セメント管	SACP φ○○
铸铁管	CIP φ○○	プレストレストコンクリート管	PCP φ○○
ダクタイル鉄管	DIP φ○○	配水用ポリエチレン管	PP φ○○
硬質塩化ビニル管	VP φ○○		

● 図表5-7-5-17 管径の符号例


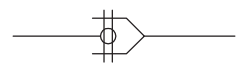
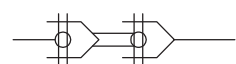

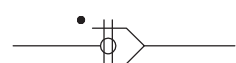
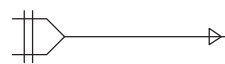
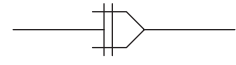

呼び径	符 号	呼び径	符 号
75		200	
100		250	
150		300	

● 図表5-7-5-18 工事別の色表示例

区 分	色・線種	区 分	色・線種
計画		撤去	
新設		廃止	
既設			

2) 継手・異形管・付属設備のシンボル

● 図表5-7-5-19 継手のシンボル(例)

接合形式(呼び径)	略記号	管割時のシンボル
GX形(75~300・400)		
		P-Link 
		ラインナ使用 
		G-Link 
NS形(75~1000)		
		ラインナ使用 



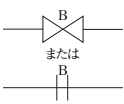


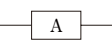



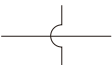



接合形式 (呼び径)	略記号	管割時のシンボル
NS形 (E種管) (75~150)		
		ライン使用
		N-Link
S形 (1100~2600)		
US形 (800~2600)		
PN形 (300~1500)		
P II形 (300~1350)		
UF形 (800~2600)		
S50形 (50)		
		ライン使用
		抜け止め押輪
K形 (75~2600)		
		離脱防止金具付き

接合形式(呼び径)	略記号	管割時のシンボル
T形(75~2000)		 離脱防止金具付き
U形(800~2600)		
フランジ(50~2600) RF形-GF形		
フランジ(50~600) RF形-RF形		

●図表5-7-5-20 異形管のシンボル(GX形の例)

名称		シンボル	名称	シンボル	
二受T字管			排水T字管		
片落管	受挿し		継ぎ輪		
	挿し受		両受短管		
曲管	90°		乙字管		
	45°		帽		
	22 1/2°		短管	1号	
	11 1/4°			2号	
	5 5/8°		P-Link		
フランジ付きT字管			G-Link		

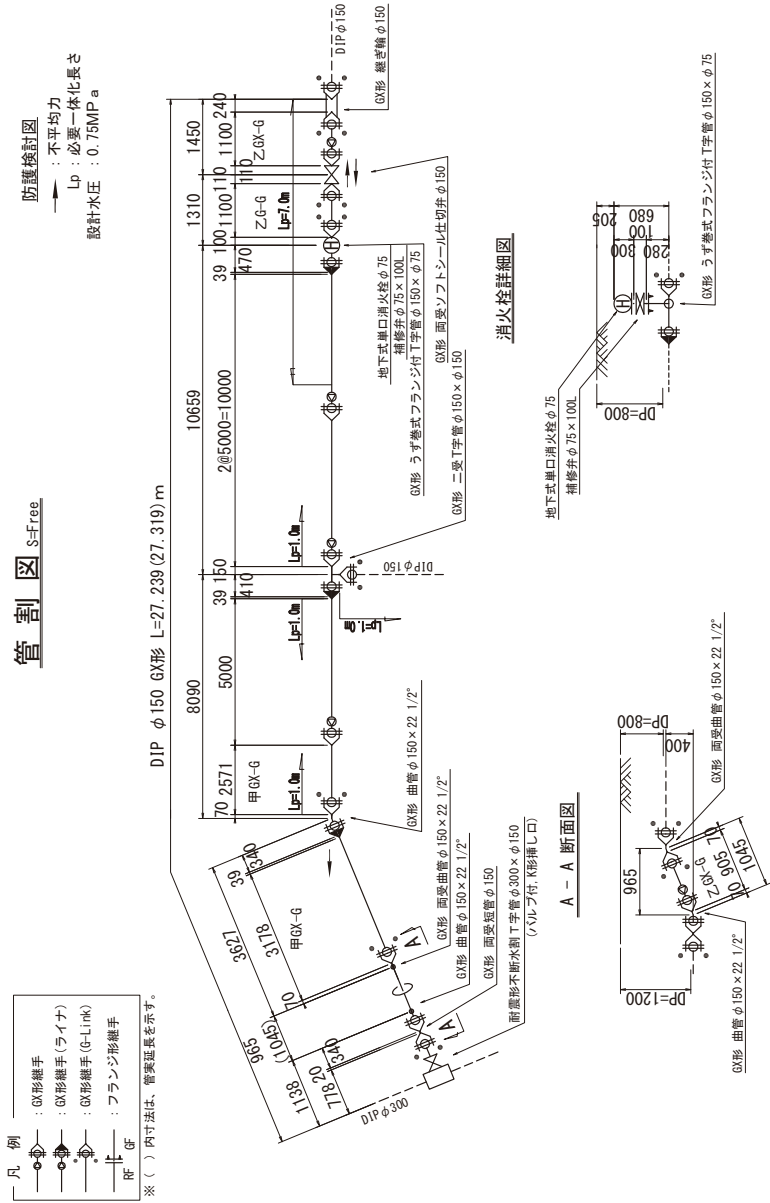
●図表5-7-5-21 付属設備のシンボル例

名 称		シンボル	名 称		シンボル
制水弁	仕切弁		空気弁	単口	
	バタフライ弁			双口	
逆止弁		急速			
消火栓	地上式単口		片落管		
	地上式双口		管の交差		
	地下式単口		メーター		
	地下式双口				

7 管割図および材料明細書

1 GX形呼び径150の場合

● 図表5-7-5-22 管割図の例 (GX形呼び径150)



●図表5-7-5-23 材料明細書の例 (GX形呼び径150)

名 称	形状・寸法	管 厚	単 位	数 量	備 考
GX形 直管	φ150×5000L	S種	本	3	
GX形 切用管	φ150×5000L	S種	本	2	切管組合せ表より
GX形 二受T字管	φ150×φ150		個	1	
GX形 曲管	φ150×22 1/2°		個	2	
GX形 両受曲管	φ150×22 1/2°		個	1	
GX形 継ぎ輪	φ150		個	1	
GX形 両受短管	φ150		個	1	
GX形 うず巻式フランジ付きT字管	φ150×φ75		個	1	
GX形 両受ソフトシール仕切弁	φ150		基	1	
補修弁	φ75×100L		基	1	
地下式単口消火栓	φ75×300L		基	1	
GX形 ライナ	φ150		個	3	
GX形 異形管用接合部品	φ150		組	4	
GX形 異形管用接合部品 (G-Link)	φ150		組	9	
フランジ接合材	φ75 GF		組	1	
フランジ接合材	φ75 RF		組	1	
耐震形不断水割T字管	φ300×φ150		個	1	バルブ付き、K形挿し口

備考 GX形の直管用接合部品は管材料に含まれているため、別途計上する必要はない。

●図表5-7-5-24 切管組合せ表の例 (GX形呼び径150)

切管組合せ	原管形状	管 厚	有効長 (mm)	残管長 (mm)	切管箇所数	挿し口加工数	備 考
	GX-GX	S種	4083	917	2	G-2 P-0	
	GX-GX	S種	4771	229	3	G-4 P-0	
合計			8854	1146	5	G-6 P-0	

●図表5-7-5-26 材料明細書の例 (NS形呼び径500)

名 称	形状・寸法	管 厚	単 位	数 量	備 考
NS形 直管	φ500×6000L	S種	本	3	
NS形 切用管	φ500×6000L	S種	本	2	切管組合せ表より
NS形 曲管	φ500×45°		個	3	
NS形 曲管	φ500×22 1/2°		個	1	
NS形 両受曲管	φ500×45°		個	1	
NS形 継ぎ輪	φ500		個	1	
NS形 フランジ付きT字管	φ500×φ75		個	1	
NS形 両受バタフライ管	φ500		基	1	
フランジ短管	φ75×500L		個	1	
フランジ短管	φ75×300L		個	1	
補修弁	φ75×150L		基	1	
急速空気弁	φ75×200L		基	1	
NS形 継ぎ輪用特殊割押輪	φ500		個	1	接合部品含む
NS形 切管用挿しロリング	φ500		個	6	
NS形 ライナ	φ500		個	2	
NS形 バタフライ弁用接合部品	φ500		組	2	
フランジ接合材	φ75 GF		組	3	
フランジ接合材	φ75 RF		組	1	

●図表5-7-5-27 切管組合せ表の例 (NS形呼び径500)

切管組合せ	原管形状	管 厚	有効長 (mm)	残管長 (mm)	切管箇所数	挿し口加工数	備 考
	NS-NS	S種	4298	1702	2	2	
	NS-NS	S種	5542	458	3	4	
合計			9840	2160	5	6	

5-8

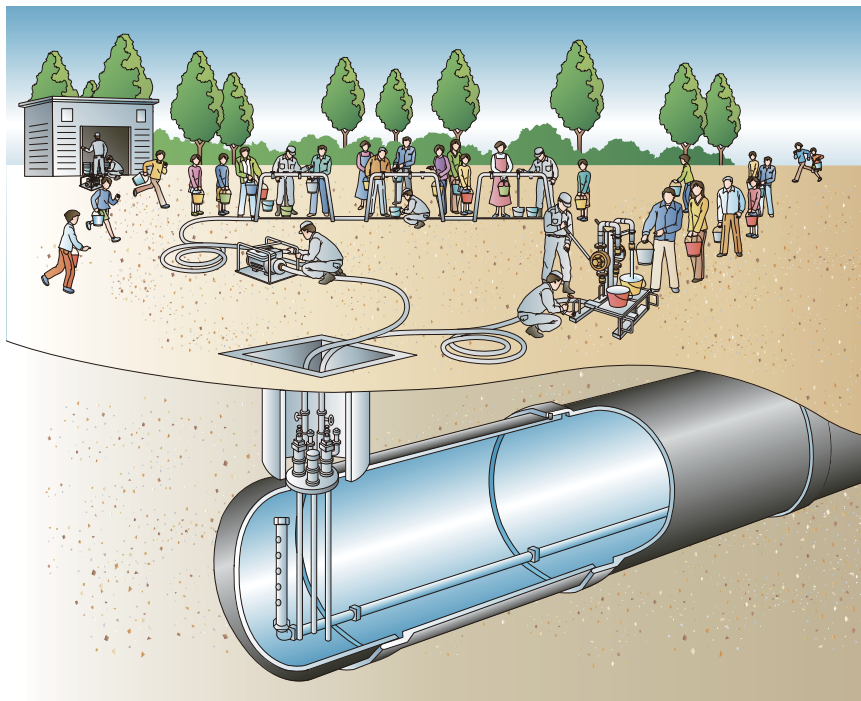
貯水槽

5-8-1 概要

ダクタイル鉄管製の貯水槽は、配水管の一部に大口径ダクタイル鉄管を組み込み、平常時は水道管路の一部として機能するが、地震時に他の管路部分が破損した場合、緊急遮断弁が作動することにより、飲料水が貯水槽に貯留され、緊急用水源として活用することができるものである。すでに全国の多くの事業者の公園や公共施設などに設置されている。

また、ここで取り上げる貯水槽は、日本消防設備安全センターの「二次製品等飲

●図表5-8-1-1 貯水槽の給水状況



「クボタダクタイル鉄管製貯水槽〈耐震用・緊急用〉」より

●図表5-8-1-2 貯水槽の特徴

項目	特徴
認定	日本消防設備安全センター「二次製品等飲料水兼用耐震性貯水槽認定基準」の認定品である(一部の形式を除く)。
材料強度	引張強さ420N/mm ² 以上、伸び10%以上で強靱である。
耐震性	耐震継手を使用しており、阪神・淡路大震災や東日本大震災でも耐えた実績がある。
水密性	耐震継手を使用しており、水密性も優れている。
耐久性	ダクタイル鉄管は優れた耐食性を有している。
水の停滞性	配水管路の一部として水の停滞がなく、常に清浄な水が確保される。
設置場所	貯水規模および形式が選択でき、埋設型であり、設置場所の制約が少ない。
施工性	ダクタイル鉄管は施工性が良く、工期を短縮できる。

●図表5-8-1-3 二次製品等飲料水兼用耐震性貯水槽認定基準による貯水槽の区分

項目	型式	内容
設置場所	I型	公園などの自動車の進入がない場所(10kN/m ² の等分布荷重を考慮)
	II型	自動車荷重200kN
	III型	自動車荷重250kN
容量	40m ³ 型	実内容量40m ³ 以上60m ³ 未満
	60m ³ 型	実内容量60m ³ 以上100m ³ 未満
	100m ³ 型	実内容量100m ³ 以上
内水圧	普通圧型	0.74MPa(最高許容圧力1.23MPa)
	高圧型	1.23MPa(最高許容圧力1.72MPa)

料水兼用耐震性貯水槽認定基準」を満たした製品である(一部の形式を除く)。詳細については以下の技術資料を参照のこと。

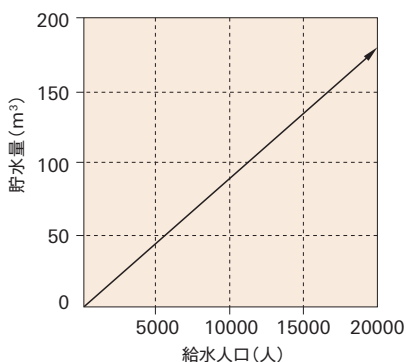
- ・「ダクタイル鉄管による耐震貯水槽 JDP A T38」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・「JDP A G 1041-2013 ダクタイル鋳鉄製貯水槽(耐震用・緊急用)」(日本ダクタイル鉄管協会)
- ・『水道施設設計指針 2012』(日本水道協会)
- ・「耐震性貯水槽の設計手引き及び管理マニュアル」(日本消防設備安全センター)

5-8-2 種類と継手の構造

1 必要貯水量

貯水槽の容量は計画避難人口に基づいて決定することができる。例えば、必要飲料水を $3\ell/\text{人}\cdot\text{日}$ (『水道施設耐震工法指針・解説 2009』)とし、1万人に対し3日間給水する場合の必要貯水量は 90m^3 となるため、 100m^3 タイプを設置することになる。

●図表5-8-2-1 給水人口と貯水量 (1人1日 3ℓ を3日間給水した場合)



2 公称貯水容量

公称貯水容量 40m^3 、 50m^3 、 60m^3 、 100m^3 の直線形の外、直管と曲管を組み合わせさせてU字形、W字形の配管形状とすることにより、さまざまな容量を設計できる。過去の最大容量は 1500m^3 である。

●図表5-8-2-2 耐震貯水槽の配管形状

直線形



U字形



W字形



「クボタダクタイル鉄管製貯水槽〈耐震用・緊急用〉」より

●図表5-8-2-3 公称貯水容量別配管材料

貯水槽の 呼び径	公称貯水 容量 (m ³)	帽の 長さ (m)	直線部				栓の 長さ (m)	総延長 (m)
			5m管の 本数	4m管の 本数	3m管の 本数	全 長		
1500	40	1.425	1	4	—	21	1.425	23.85
	50		2	4	—	26		28.85
	60		4	3	—	32		34.85
2000	40	1.52	—	2	1	11	1.52	14.04
	50		2	1	—	14		17.04
	60		1	3	—	17		20.04
	100		6	—	—	30		33.04
2600	60	1.64	—	—	3	9	1.64	12.28
	100		—	4	—	16		19.28

3 種類

貯水槽は、その構造により図表5-8-2-4の3種類に分類される。各種類で特徴があるので、設計に際しては最適なものを選択する。

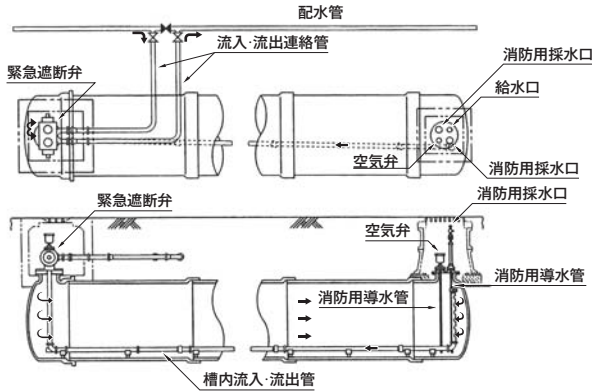
●図表5-8-2-4 貯水槽の種類

種 類	内 容	特 徴
集中Ⅱ型	流入・流出管が片側の弁室に集約され、緊急遮断弁が搭載型である形式	緊急遮断弁が搭載型であり、弁室工事費が安価である。給水室が片側に集約されており、現在はこのタイプが主流である。
分散型	流入・流出管が両側にあり、緊急遮断弁が別置型である形式	緊急遮断弁が搭載型でなく、弁室を別に設ける必要があり、メンテナンス時に配管を解体する必要がある。また給水室が両側に設けられる。
集中Ⅰ型	流入・流出管が片側にあり、緊急遮断弁が搭載型でない形式	緊急遮断弁の搭載型ができる前の型式で、弁室を別に設ける必要があり、現在は新設ではほとんど使用されていない。

備考 集中Ⅱ型が最もよく使われている。分散型が次に使われ、集中Ⅰ型はほとんど使われないためこの順に記載した。

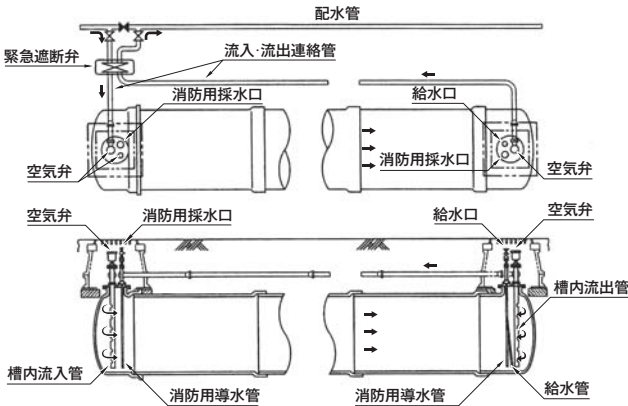
● 図表5-8-2-5 集中Ⅱ型の概要図

☒：制水弁



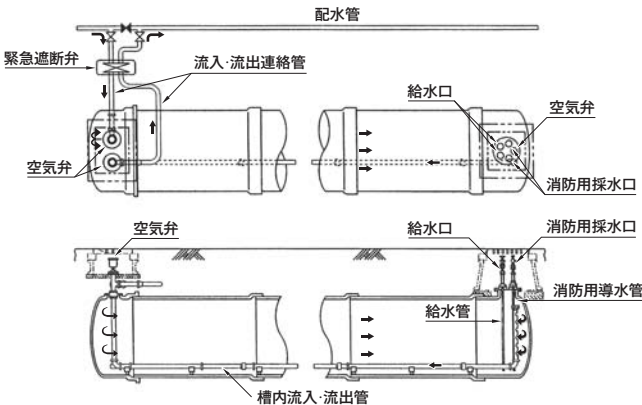
● 図表5-8-2-6 分散型の概要図

☒：制水弁



● 図表5-8-2-7 集中Ⅰ型の概要図

☒：制水弁



4 継手の構造

貯水槽の継手構造は図表5-8-2-8の通りである。

●図表5-8-2-8 貯水槽の継手構造

接合形式	使用箇所	継手構造
LUF形	100m ³ 以下の直管部に使用する。	
UF形	U字形やW字形の曲管などに使用する。	
S形	100m ³ を超える場合などで、貯水槽の全長が長くなる場合は直管部に挿入する。	

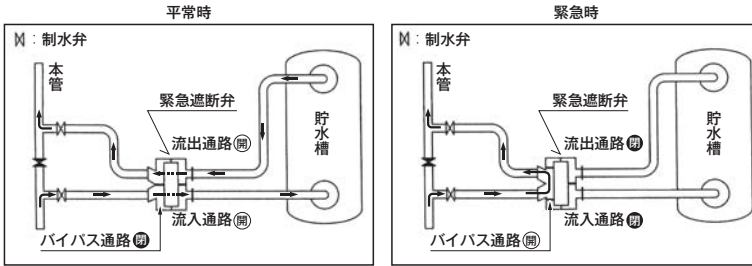
備考 貯水槽で使用されるUF形、LUF形は、継手部のモルタル充填範囲が一般管路の場合と異なるので注意をする。

5 貯水方式による分類

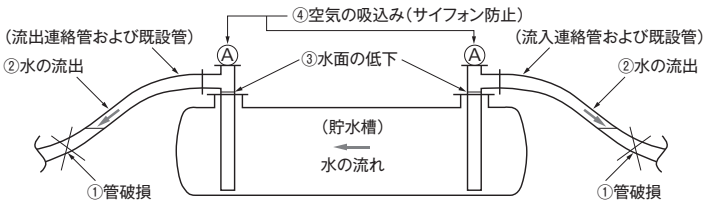
●図表5-8-2-9 貯水方式による分類

貯水方式	内容
強制貯水方式	配水管と貯水槽を接続する流入・流出管路に緊急遮断弁を設け、弁部に内蔵された検知装置により自動的に弁を開閉させて、貯水槽に水を蓄えるものである。緊急遮断弁には、水圧低下によって開閉する水圧感知型や地震計からの外部信号によって開閉する震度感知型などがある(図表5-8-2-10を参照のこと)。
自然貯水方式	流入側、流出側の管にそれぞれ空気弁を設け、万一サイフォン作用が働いても空気弁の機能により貯水槽内の水の流出を防止して、貯水する方式である。ただし、上下流の既設管が空気弁よりも高い位置にある場合は、高い方の管の破損箇所から濁水が槽内に混入する恐れがあり、設計上注意を要する(図表5-8-2-11を参照のこと)。

●図表5-8-2-10 強制貯水方式



●図表5-8-2-11 自然貯水方式



備考 ①から④はサイフォンが防止されている順序を示す。

6 給水方式の種類

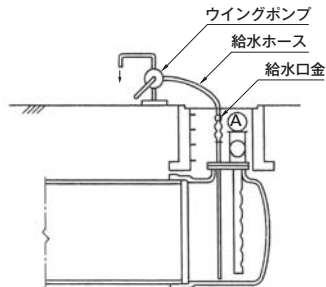
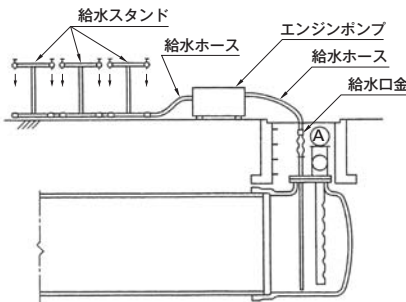
●図表5-8-2-12 給水方式の種類

給水方式	内容
動力式	貯水槽の人孔部に取水用の給水口金を設け、エンジンポンプなどを接続して、給水スタンドや給水タンクなどの給水設備に送水する。
手動式	ウイングポンプや手動ポンプを用いて給水する方式である。

●図表5-8-2-13 給水スタンドによる給水方式

動力式(エンジンポンプの例)

手動式(ウイングポンプの例)



●図表5-8-2-14 給水用資機材

給水用ホース



ウイングポンプ



エンジンポンプ



給水用スタンド



5-8-3 安全性の検討

安全性の検討は、日本消防設備安全センターの認定基準に従って行う。

平常時の安全性の検討では、①内圧（静水圧および水撃圧）、土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体応力、②土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率、③内圧により貯水槽両端に発生する不平均力が継手の離脱防止力以下か、④地下水により浮上しないか、⑤地盤沈下が発生しないかなどを検討する。

地震時の安全性の検討では、①内圧、土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体応力（地震時動水圧は、静水圧や水撃圧と比べてほとんど影響しない程度であるため考慮しない）、②土かぶりによる土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率、③内圧により貯水槽両端に発生する不平均力が継手の離脱防止力以下か、④地震時の管と周辺地盤との摩擦力に対する安全性などを検討する。計算管厚、土圧分布、曲げモーメント係数などは平常時の検討に準じる。

詳しくは「ダクタイトル管による耐震貯水槽 JDP A T38」を参照のこと。

【検討条件】

100m³貯水槽（呼び径2600）の計算例

・呼び径 D	: 2600mm
・管外径 D ₂	: 2684mm
・管厚 T	: 25.0mm (4.5種管)
・土かぶり H	: 1.6m
・静水圧 P _s	: 0.74MPa
・水撃圧 P _d	: 0.49 MPa
・路面荷重	: (平常時)自動車荷重として 250kNトラック (地震時)上載荷重として10kN/m ²

- ・貯水槽の全長 L_A : 19.28m
- ・土の単位体積重量 γ_s : 17.7kN/m³
- ・飽和土の単位体積重量 γ_f : 19.3kN/m³
- ・水の単位体積重量 γ_w : 9.8kN/m³
- ・ダクタイル鋳鉄の単位体積重量 γ_d : 70.1kN/m³
- ・ダクタイル鋳鉄の引張強さ σ_0 : 420N/mm²
- ・管底支持角 θ : 90°
- ・設計水平震度 k_h : 0.288
- ・設計垂直震度 k_v : 0.144 (=0.5 k_h)

【検討結果】

●図表5-8-3-1 平常時の安全性検討

項目	検討結果(例)	判定
管体応力(σ)	内圧、土圧、路面荷重により発生する管体応力($\sigma_0=373.46\text{N/mm}^2$)が、ダクタイル鉄管の引張り強さ($\sigma_0=420\text{N/mm}^2$)より小さいので安全である。	OK
たわみ(δ)	土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率($\delta=2.44\%$)が、設計たわみ率($\delta_0=3\%$)より小さいので安全である。	OK
継手の離脱防止力	内圧(水圧)により貯水槽両端に発生する不平均力($F_p=6959.2\text{kN}$)が、継手の離脱防止力(7800kN)よりも小さいので安全である。	OK
浮上を防止できる地下水位(X)	浮上を防止できる地下水位($X=-0.57\text{m}$)以下であれば安全である。	OK
地盤沈下	貯水槽の重量(1488.3kN)が、置換される土の重量(=1930.8kN)よりも軽いために沈下は発生しない。	OK

●図表5-8-3-2 地震時の安全性検討

項目	検討結果(例)	判定
管体応力(σ')	内圧、土圧、路面荷重により発生する管体応力($\sigma'=372.07\text{N/mm}^2$)が、ダクタイル鉄管の引張り強さ($\sigma_0=420\text{N/mm}^2$)より小さいので安全である。	OK
たわみ(δ')	土圧、路面荷重により発生する管体のたわみ率($\delta'=2.37\%$)が、設計たわみ率($\delta_0=3\%$)より小さいので安全である。	OK
継手の離脱防止力	地盤のひずみまたは変状により管に作用する力の最大値は貯水槽全長の1/2相当の管と土の摩擦力($F_m=1269.8\text{kN}$)に等しい。これは継手の離脱防止力(7800kN)よりも小さいので安全である。	OK

5-8-4 設計の留意点

1 設置場所

貯水槽の設置に当たっては、以下の条件を満たす場所が望ましい。

- ・ 点検、修理および水質検査などの維持管理が容易に行える。
- ・ 設置、応急給水などに支障が生じない広さを持つ。
- ・ 下流側に一定の需要があり、滞留水による水質劣化を防止できる。

2 管の基礎

貯水槽は一般に使用されている大口径管であり、管の基礎は砂基礎で底面を平らにならしておく程度でよい。

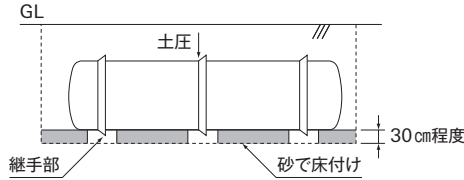
貯水槽の設置によって地盤の圧密沈下を促進する可能性は低いことから、一般にコンクリート床版は必要でない。逆に、堅固なコンクリート床版を設置し、埋戻土の突固めを行わないと、管とコンクリート面とが点接触した状態となり、設置後の土かぶりによる土圧や通行車両などの上載荷重が作用したときに、床版との接触点に応力が集中して管の安全性を損なう危険性が高くなる。

ただし、軟弱地盤で地耐力を向上させる必要がある場合は、碎石を敷いたり、コンクリート床版を設置することがある。コンクリート床版を打設する必要がある場合は、管と床版との間に少なくとも30cm以上の砂を敷き、十分に突固めを行うことが望ましい。

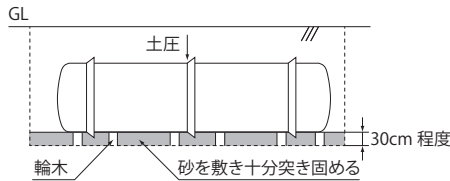
3 管の支持方法

軟弱地盤などで施工時の管の安定上輪木を使用する場合はあらかじめ輪木の上面まで砂を敷き、十分突き固めておくなどの対策を行って、輪木との接触点に応力が集中しないように管底全体で支承させるよう配慮することが望ましい。また、管の支持やレベル調整のため、砂袋を使用する方法もある。

●図表5-8-4-1 砂を使用する管の支持方法



●図表5-8-4-2 砂と輪木を使用する管の支持方法



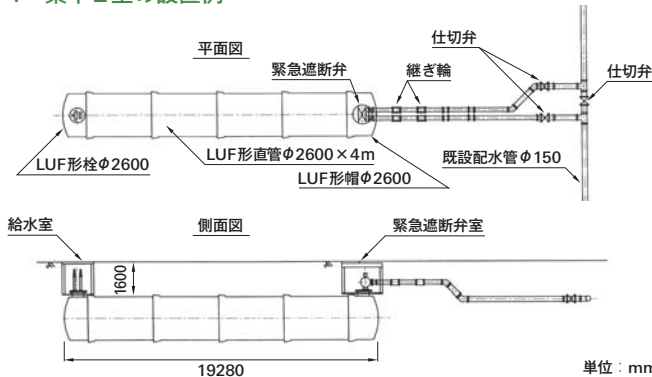
4 液状化に対する安全性

液状化に対する貯水槽の浮上対策には、地盤改良、非液状化材料による埋戻しなど液状化防止対策の他、コンクリートを打設して貯水槽重量を増加させるなどの浮上対策がある。

5-8-5 設置例

集中Ⅱ型の貯水槽 (100m³) の設置事例を以下に示す。

●図表5-8-5-1 集中Ⅱ型の設置例



単位：mm

●図表5-8-5-2 集中Ⅱ型の仕様例

項目	仕様
形式	集中Ⅱ型(接合形式：LUF形)
貯留方式	強制貯水方式
貯水容量	100m ³
呼び径	2600(流入管：呼び径100)
全長	19.28m
設置場所	給食センター駐車場

5-8-6 メンテナンス

貯水槽を災害時に適正に機能させるために、適切な間隔での貯水槽内、緊急遮断弁などのメンテナンスが必要である。

① 槽内、給水室

デッキブラシなどを用いて清掃を行い、底部に溜まった堆積物は丁寧に拭き取る。清掃は定期的に行うのが望ましい。

② 配管

本体、給水管、導水管などの腐食、塗装、継手状況、変形などの目視チェックを行い、異常がある場合は補修、交換を行う。

③ 緊急遮断弁

緊急遮断弁のメンテナンスは、メーカーにより違いがあるが、一般に配管の接合部などの水漏れの有無、遮断弁およびバルブの状態、開閉動作などの作動確認を行う。実際のメンテナンスは、遮断弁のメーカーに依頼をして定期的に行うのが望ましい。

④ 付属設備

給水設備、消火栓、空気弁などはフランジ継手を解体して行う。解体した付属設備は汚れを拭き取り、錆がある場合は塗料で補修する。なお、再接合時は解体した

ボルト、ナット、パッキンは再使用せず、新品と交換する。

●図表5-8-6-1 槽内排水：水中ポンプ2台



●図表5-8-6-2 高圧洗浄による清掃



5-8-7 滞留水の水質確保

貯水槽では、定期的に水質調査を行い、季節的、時間的な変化を把握し、緊急時にも十分な水質を確保できるようにすることが望ましい。

1 モデル実験の結果

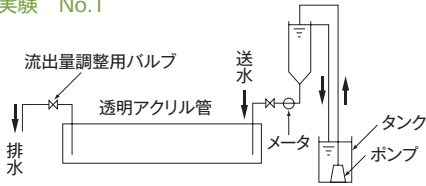
貯水槽内の水質状況はメチレンブルーを使用したモデル実験によって確認している。その結果を以下に示す。

●図表5-8-7-1 モデル実験結果

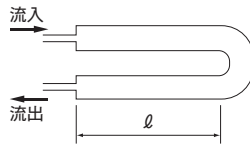
No.	呼び径 (D)	管長 l (m)	管長/呼び径 (l/D)	流速 (m/s)	水が入れ 替わった水量 (流入量/貯水槽容量)
1	100	2.8	28	4×10^{-3}	4~5倍
		2.1	21	2×10^{-3}	4~5倍
		1.4	14	1×10^{-3}	4~5倍
2	100	6	60	10×10^{-3}	約4倍
3	200	1.46	7.3	1.59×10^{-3}	4~5倍
4	500	3	6	2.16×10^{-3}	4~5倍

●図表5-8-7-2 実験方法

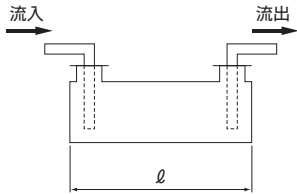
実験 No.1



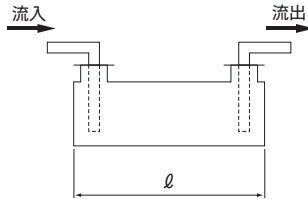
実験 No.2



実験 No.3



実験 No.4

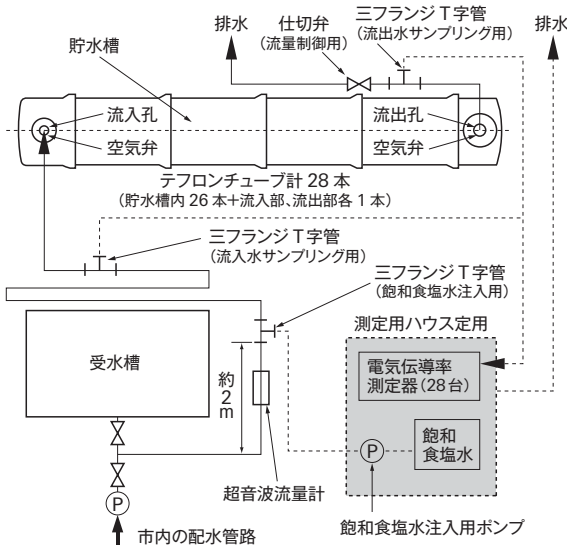


2 現地調査結果 (その1)

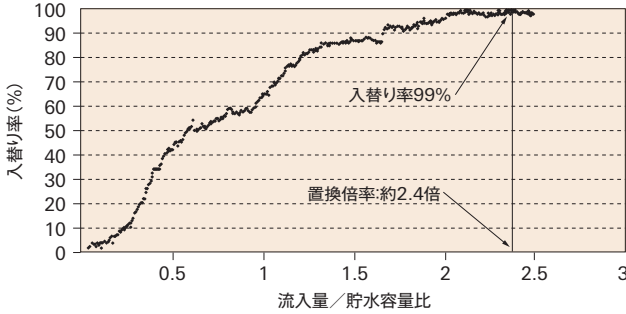
モデル実験に加えて、既設貯水槽で流入水(電気伝導度約 $270 \mu\text{s}/\text{cm}$)に飽和食塩水を混入したトレーサ水(電気伝導度約 $650 \mu\text{s}/\text{cm}$)を流すことにより、貯水槽(呼び径 $2600 \times 19.3\text{m}$:貯水容量 100m^3 、日流量 100m^3)の入替り性能を調査した。

調査結果は、貯水槽容量 100m^3 の約2.5~3倍で入れ替わることが分かった。

●図表5-8-7-3 現地調査方法



●図表5-8-7-4 現地調査結果



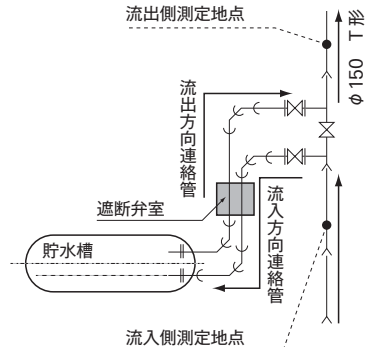
3 現地調査結果 (その2)

A都市の既設貯水槽で流入量を変化させて、残留塩素濃度の変化を測定した結果、以下のことが分かった。

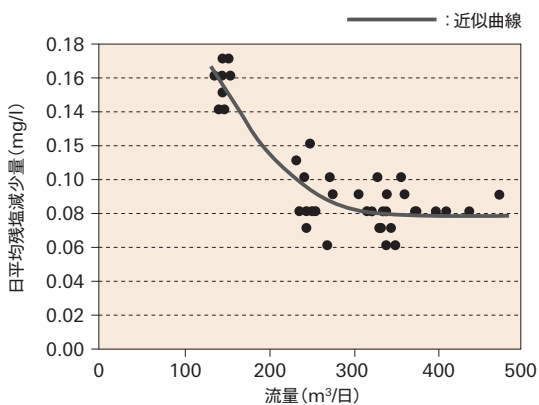
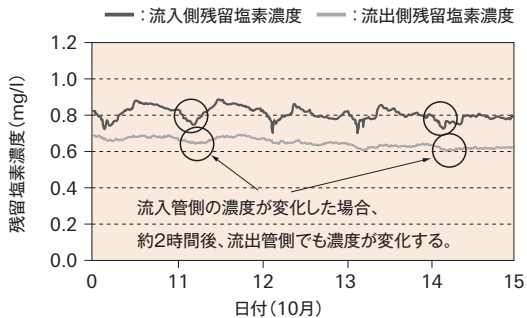
- ・ 流入管近傍で攪拌混合された流入水は比較的流速が速い領域を通り、流出管近傍に比較的短時間で到達し、流出管近傍の水を攪拌混合しながら流出していくと考えられる。
- ・ 日流量の増大に伴って、残留塩素濃度の減少の度合いが小さくなる。貯水槽(呼び径2600×19.3m)の場合は、日流量約300m³以上でほぼ一定となった。
- ・ 流入水の残留塩素濃度が0.9mg/l程度の場合では、貯水容量100m³の貯水槽で日流量200m³以上を確保できれば、残留塩素濃度減少量は約0.1mg/l以下である。

●図表5-8-7-5 貯水槽の概要および現地調査方法

項目	内容
呼び径および長さ	φ2600×19.3m
形式	集中I型
流入管・流出管口径	φ150
貯水容量	100m ³
日流量	約140m ³ ~480m ³ (時間変動あり)
流量測定	流入側連絡管部にて、内面設置型超音波流量計を用いて測定
水質測定	流入側・流出側連絡管部にて、残留塩素濃度を測定
測定期間	平成10年9月初旬~10月下旬
布設年度	平成9年度



● 図表5-8-7-6 現地調査結果



5-9

水管橋

5-9-1 概要と形式

1 概要

ダクタイル鉄管製の水管橋には、架空部に継手部が2つ設けられたタイプⅠと3つ以上設けられたタイプⅡがある。どちらのタイプも温度変化による管の伸縮や不同沈下、相対移動によって発生する変化を吸収できるようにゲルバー形式となっている。そのため架空部両端の継手部は伸縮・屈曲性および離脱防止性を有するGX形、NS形を使用している。

詳細については、以下の技術資料を参照のこと。

- ・『水道施設設計指針 2012』（日本水道協会）
- ・「ダクタイル鉄管による水管橋の設計と施工 JDP A T41」（日本ダクタイル鉄管協会）
- ・「JDP A G 1043-2014 ダクタイル鋳鉄製水管橋」（日本ダクタイル鉄管協会）
- ・「JDP A Z 2009-2011 ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装」（日本ダクタイル鉄管協会）

●図表5-9-1-1 ダクタイル鉄管製水管橋の特徴

項目	特徴
施工性	メカニカル継手またはブッシュオン継手なので、簡単な工具でスピーディに接合できる。
管体強度	ダクタイル鉄管の引張強さは $420\text{N}/\text{mm}^2$ と大きい。
耐久性	管外面は露出配管用のダクタイル鉄管外面特殊塗装を、また、管内面は防食性と衛生面に優れたエポキシ樹脂粉体塗装を施しているため、優れた耐久性を有している。
経済性	管材料費が安い。また、現地溶接が不要で短時間で架設できるため架設費も節減できる。さらに、耐久性に優れているため維持管理費用も少なく済む。
温度変化への順応性	温度変化による管の伸縮は、GX形またはNS形の伸縮余裕度で吸収できる。
耐震性	地震時の橋上部の不同沈下や相対移動によって管に発生する変位を、GX形またはNS形の継手が伸縮および屈曲することによって無理なく吸収する。また、継手部が最大まで伸び出しても離脱防止機能が働き離脱しない。これらの機能により高い耐震性を備えている。

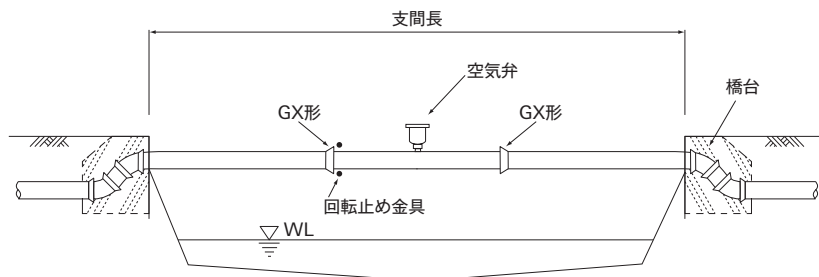
項目	特徴
景観	水管橋は、いずれもキャンバを設定できるので、安定した線形を実現できる。 また、外面特殊塗装は色を選定できる。

2 形式

① タイプⅠ (対象呼び径75～600)

図表5-9-1-2に示すようにGX形またはNS形直管3本で構成されたものをタイプⅠという。

●図表5-9-1-2 ダクタイル鉄管製の水管橋(タイプⅠ)の構造例(直管3本の場合)



●図表5-9-1-3 ダクタイル鉄管製の水管橋(タイプⅠ)の呼び径別最大支間長

呼び径	最大支間長 (m)	接合形式
75・100	11	GX形またはNS形
150～250	14	GX形またはNS形
300	16	GX形またはNS形
350	16	NS形
400	16	GX形またはNS形
450～600	15	NS形

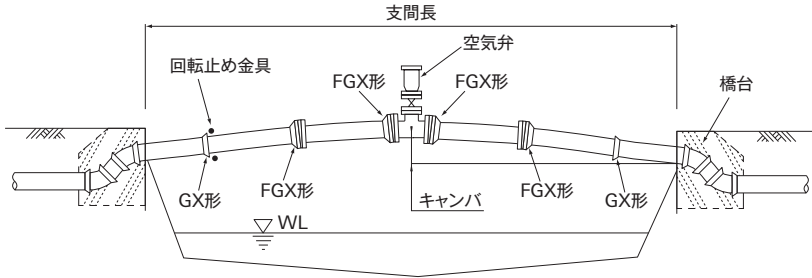
備考 積雪および外装保温荷重などを考慮しない最大支間長である。

② タイプⅡ (対象呼び径75～350)

タイプⅠの中央の管を、図表5-9-1-4に示すように剛構造のFGX形またはFT形を持つ複数の管による配管に置き換えたものをタイプⅡという。タイプⅡはタイプⅠ

と異なり、中央部の剛構造管路を長く取ることができるために最大支間長を長くすることができる。

● 図表5-9-1-4 ダクタイト鉄管製の水管橋(タイプII)の構造例(長支間の場合)

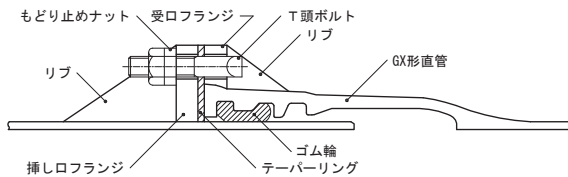


● 図表5-9-1-5 ダクタイト鉄管製の水管橋(タイプII)の呼び径別最大支間長

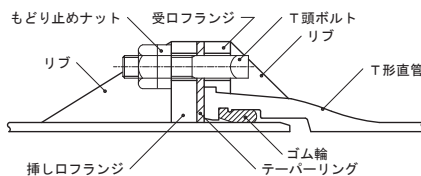
呼び径	最大支間長 (m)	接合形式
75	17	FGX形とGX形またはFT形とNS形
100	18	FGX形とGX形またはFT形とNS形
150	23.5	FGX形とGX形またはFT形とNS形
200~300	25	FGX形とGX形またはFT形とNS形
350	25	FT形とNS形

備考 積雪および外装保温荷重などを考慮しない最大支間長である。

● 図表5-9-1-6 FGX形の継手構造(呼び径75~300)



● 図表5-9-1-7 FT形の継手構造(呼び径75~350)



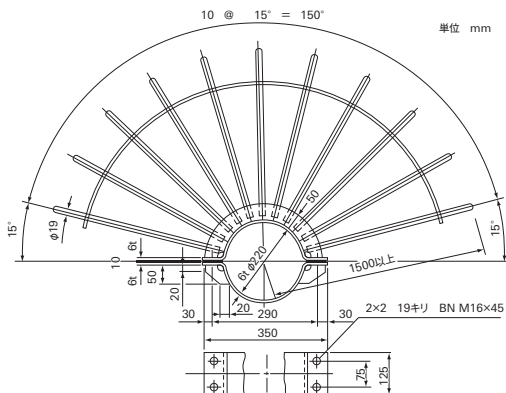
3 付帯設備

●図表5-9-1-8 付帯設備の留意点

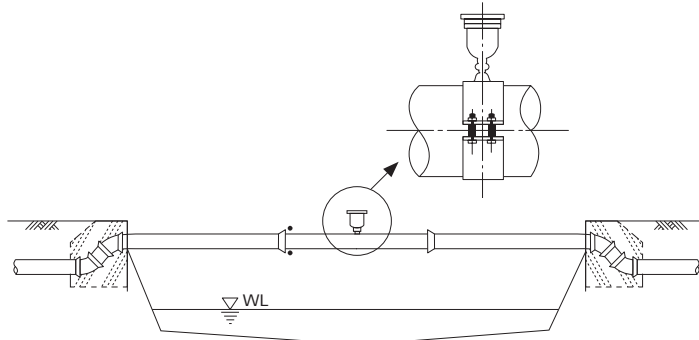
項目	説明	
防渡柵	防渡柵は必要に応じて設ける。	
空気弁 ^{注1}	水管橋部でキャンバの最も高い位置に設けることを原則とする。	
	タイプⅠ	分岐サドルを取り付け、これに空気弁を設置する。
	タイプⅡ	FGX形フランジ付きT字管またはFT形フランジ付きT字管に空気弁を取り付ける。
	呼び径 500以上	NS形フランジ付きT字管を橋台内に設置し、これに空気弁を取り付けることを原則とする。

注1 空気弁は急速空気弁または双口空気弁を使用する。

●図表5-9-1-9 防渡柵の例（呼び径200の場合）



●図表5-9-1-10 空気弁の例（タイプⅠで分岐サドルを取り付ける場合）



4 キャンバと塗装

●図表5-9-1-11 キャンバと塗装

項目	説明	
キャンバ	空気弁の効果および美観上の理由から支間長の1/200程度のキャンバを設けることが望ましい。	
内面塗装	タイプⅠ	エポキシ樹脂粉体塗装 ^{注1} を標準とする。 モルタルライニング ^{注2} も可能である。
	タイプⅡ	エポキシ樹脂粉体塗装 ^{注1} 。
外面塗装	管が露出することを考慮して外面特殊塗装(JDPA Z 2009の種類CC)を施す。	

注1 「JIS G 5528 内面エポキシ樹脂粉体塗装」

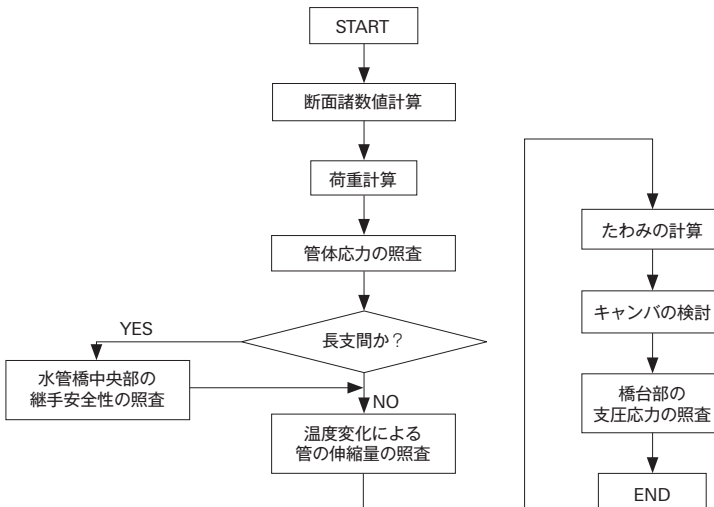
注2 「JIS A 5314 モルタルライニング」

5-9-2 設計

1 設計の手順

設計は図表5-9-2-1に示す手順に基づき行う。構造計算については、「ダクタイル鉄管による水管橋の設計と施工 JDPA T41」(日本ダクタイル鉄管協会)を参照のこと。

●図表5-9-2-1 設計の手順



2 構造計算に使用する諸数値

●図表5-9-2-2 構造計算に使用する諸数値の例

項目	諸数値
管厚の種類	呼び径450以下は1種、500・600はS種
最大支間長	図表5-9-1-3、5を参照
設計管厚	$t = \text{規格管厚}(T) - \text{許容差}(0.001)$ (m)
設計水圧	$P = \text{静水圧} + \text{水撃圧}$ (MPa)
地震荷重	$K_h = 0.3$ (水平震度)
風荷重	1.5kN/m ² (風速40m/s相当、円筒体)
積雪荷重	必要に応じて考慮する。 参考：一般地区1.5kN/m ³ 、多雪地区3.5kN/m ³
外装保温荷重	必要に応じて考慮する。
鉄部の温度変化	$\Delta T = 60^\circ\text{C}$ (-20~40°C): 寒冷地域 50°C (-10~40°C): 一般地域
コンクリートの許容支圧応力	$\sigma_{ca} = 6.0 \times 10^3 \text{kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の弾性係数	$E = 1.6 \times 10^8 \text{kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の許容引張応力	$\sigma_a = 1.4 \times 10^5 \text{kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の許容せん断応力	$\tau_a = 0.8 \times 10^5 \text{kN/m}^2$
ダクタイル鉄管の線膨張係数	$\alpha = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

5-9-3 設置事例

●図表5-9-3-1 大阪府豊中市FT形(タイプII)呼び径250×18.9m

施工中



施工完了



●図表5-9-3-2 静岡県浜松市
FT形(タイプII) 呼び径350×22.23m

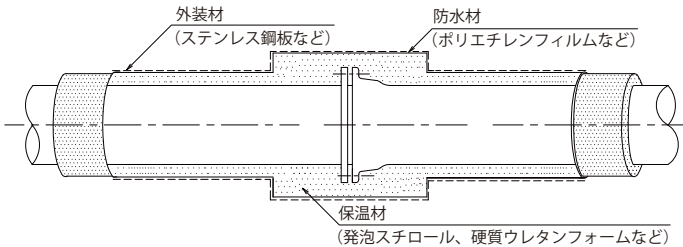


●図表5-9-3-3 秋田県横手市
FT形(タイプII 外装保温付き) 呼び径250×17.8m



寒冷地において管内の水が凍結する恐れがある場合は、管の外周に適切な防凍工を施す。防凍工としては、一般に管の外周に硬質ウレタンフォームなどの保温材を巻き、その周囲を外装材で保護する工法が多く採用されている。

●図表5-9-3-4 ダクタイト鉄管製の水管橋の防凍工

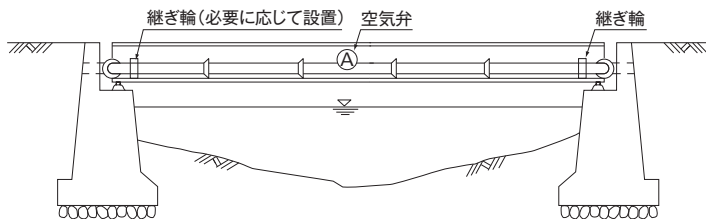


〔水道施設設計指針・解説 2012〕(日本水道協会)より

5-9-4 橋梁添架配管

支間長が長い場合は橋梁に添架したり、専用のプレートガーターやトラスを組んでその上に配管する。この場合、橋梁および管の温度伸縮や橋梁の振動などが管に伝わり、継手が伸縮する可能性がある。また、過去の地震では管の支持金具が破損して管が垂れ下がった事例も見られた。このため、橋梁添架配管には伸縮離脱防止継手であるGX形、NS形などを用いることが望ましい。

●図表5-9-4-1 設置例

●図表5-9-4-2 山口県山陽小野田市
GX形呼び径150・200●図表5-9-4-3 大阪府大阪市
S II形呼び径400×2条污水圧送管

管の支持は、橋梁の主桁、あるいは補桁などに鋼材などで適当な形の支持金具や吊り金具などを取り付けて行う。橋梁の形状に沿って配管するために曲管を添架するなど、水圧による不平均力が作用する管の場合には、その力を保持できる支持金具を使用する必要がある。また、橋梁添架配管の耐震性を高めるため、支持金具の形状・寸法や橋梁取付部のアンカーボルトなどの設計に当たっては、管重や水重に加えて震度法による地震荷重も考慮することが望ましい。

●図表5-9-4-4 橋梁添架配管の支持金具例

