

# ダクティル鉄管による 水管橋の設計と施工

JDPA T 41



一般社団法人  
日本ダクティル鉄管協会



# 目 次

1. はじめに .....	1
2. 水管橋の構造および特長 .....	2
2.1 構 造 .....	2
2.2 特 長 .....	3
3. 水管橋の構成 .....	4
3.1 構 成 .....	4
3.2 継手の種類 .....	4
3.3 付帯設備 .....	7
3.3.1 防渡柵 .....	7
3.3.2 空気弁 .....	7
3.3.3 歩廊 .....	8
3.4 キャンバ .....	8
3.5 防 食 .....	8
4. 設 計 .....	9
4.1 設計の流れ .....	9
4.2 設計条件 .....	10
4.3 管断面の諸数値 .....	11
4.4 荷 重 .....	12
4.5 管体応力 .....	13
4.6 FGX形、FT形継手の安全性 .....	16
4.7 温度変化による管の伸縮量 .....	16
4.8 鉛直たわみ量(タイプⅠの場合) .....	16
4.9 長支間水管橋の管路線形(タイプⅡ 5本使用の場合) .....	16
4.10 橋台部分の支圧応力 .....	21
5. 設計計算例 .....	23
5.1 構 造 .....	23
5.2 使用材料 .....	23
5.3 計算条件 .....	23
5.4 管断面の諸数値 .....	24
5.5 荷 重 .....	25
5.6 管体応力 .....	26
5.7 FGX形継手の安全性 .....	27
5.8 温度変化による管の伸縮量 .....	28
5.9 管路線形(タイプⅡ 5本使用の場合) .....	28
5.10 橋台部分の支圧応力 .....	31

6. 水管橋の施工 .....	32
6.1 水管橋架設工事の手順 .....	32
6.2 事前調査 .....	33
6.3 架設工法の選定 .....	33
6.4 各架設工法の施工手順 .....	35
6.4.1 ステージングを用いる一括吊り込み工法の施工手順 .....	35
6.4.2 ステージングを用いる単管吊り込み工法の施工手順 .....	41
6.4.3 ステージングを用いない固定金具工法の施工手順 .....	42
7. 水管橋前後の不同沈下対策 .....	44
8. 防凍工 .....	44
9. 橋梁添架配管 .....	45
10. 参考資料 .....	46
10.1 基本となる指針 .....	46
10.2 詳細設計の基準 .....	50
10.3 関連法規 .....	50
10.4 諸数値 .....	50
10.5 FGX形継手の接合要領 .....	52

## 1. はじめに

ダクタイル鉄管による水管橋はこれまで、高い管体強度や継手性能の向上により直管3本を組み合わせた単独のパイプビーム水管橋が数多く使用されてきた。また、呼び径350以下では、水管橋専用継手（FGX形及びFT形継手）を用いることで、長支間の水管橋にも広く適用されている。

本資料は、主として呼び径600以下のダクタイル鉄管によるパイプビーム水管橋の設計及び施工に関する要点をまとめたものである。

## 2. 水管橋の構造および特長

### 2.1 構造

ダクティル水管橋は、両端を橋台コンクリートで巻き込んだ固定支持とし、架空部はGX形管またはNS形管を使用する。これらの継手は耐震継手で伸縮・可とう性を有し、モーメントを伝達しないので、この水管橋はゲルバー形式となる。

なお、美観上、水管橋の架空部にはキャンバを設けることが望ましいとされている。両側の耐震継手のいずれか一方には市販の回転止め金具を取り付ける必要がある。

図1に直管3本で構成した例を示す。この形式をタイプIと呼ぶ。

長支間の水管橋（呼び径 350 以下）では、タイプIの中央の1本の管の代わりに、FGX形管またはFT形管を用いて一体化した管路を使用する。

図2にFGX形またはFT形を使用した長支間水管橋の構造例を示す。この形式をタイプII（5本及び7本使用がある（フランジ付きT字管を含む））と呼ぶ。

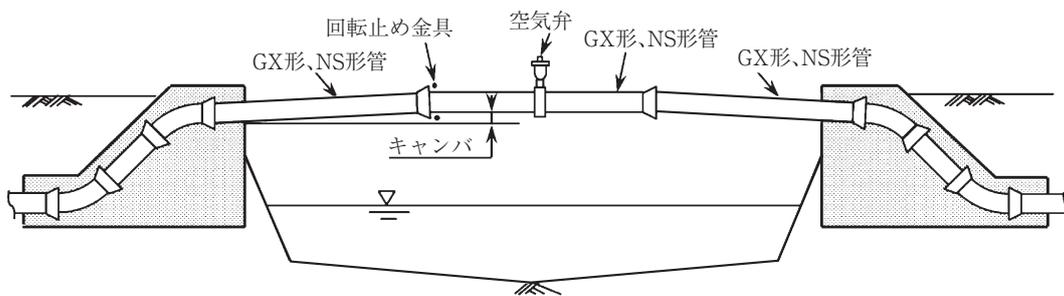
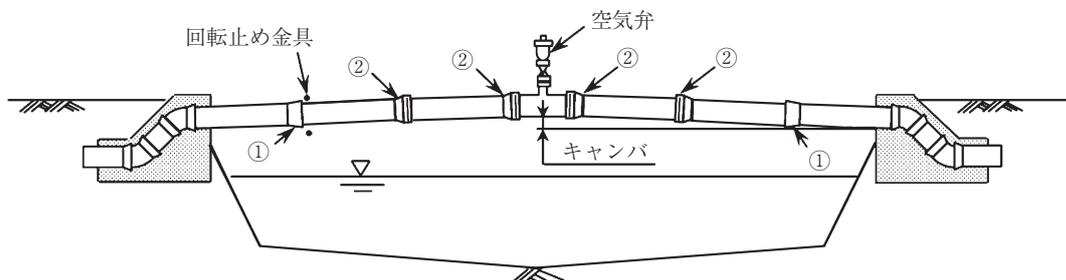


図1 ダクティル水管橋(タイプIの例)



種類	GX形水管橋	NS形水管橋
①	GX形	NS形
②	FGX形	FT形

図2 ダクティル水管橋(タイプII 7本使用の例)

## 2.2 特長

- (1) 施工性  
継手は簡単な工具でスピーディに接合・架設できる。
- (2) 管体強度  
ダクタイル鉄管の引張強さは420N/mm<sup>2</sup>であり、他の管種に比べ大きい。
- (3) 耐久性  
管外面は露出配管用のダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装、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が施されているため、優れた耐久性を有している。
- (4) 経済性  
他の水管橋用管材に比べ管材料費が安価である。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。耐久性に優れているため維持管理費用も低減できる。
- (5) 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形継手の伸縮余裕代で吸収できる。
- (6) 耐震性  
耐震性に優れたGX形管またはNS形管を使用しているため、地震時に生じる橋台部の不同沈下や相対変位は、継手の伸縮・屈曲性及び離脱防止性によって無理なく吸収する。
- (7) 景観  
GX形、NS形、FGX形、FT形継手は、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。

### 3. 水管橋の構成

#### 3.1 構成

図3に示すように、水管橋はダクタイル鉄管を主体とする上部構造と橋台・橋脚を主体とする下部構造から構成される。本資料では、主として水管橋の上部構造について解説する。

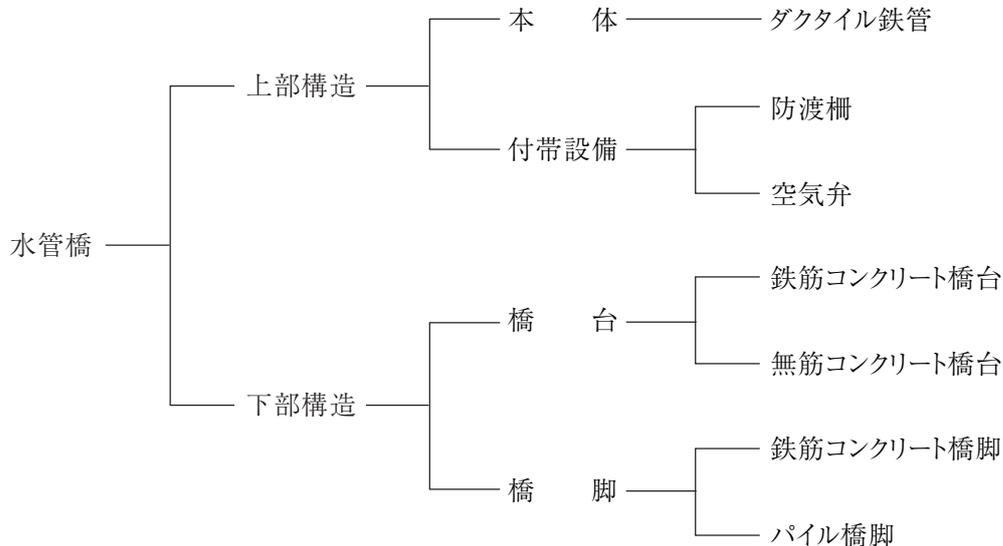


図3 水管橋の構成

なお、橋台部には曲管が使用されることが多いため、内圧による不平均力や回転モーメントを考慮した下部構造の設計が別途必要である。

下部構造の設計における関係基準は、下記の通りである。

- (1) 道路橋示方書・同解説IV下部構造編（公益社団法人 日本道路協会）
- (2) 建築基礎構造設計規準（一般社団法人 日本建築学会）
- (3) 建築鋼ぐい基礎設計施工規準（一般社団法人 日本建築学会）
- (4) コンクリート標準示方書（公益社団法人 土木学会）

#### 3.2 継手の種類

水管橋には、大きな伸縮・屈曲性及び離脱防止性を備えたGX形、NS形継手を使用する。図4～図6にGX形、NS形継手を示す。

また、呼び径350以下の長支間の場合は、FGX形またはFT形継手を合わせて使用する。FGX形、FT形継手は図7、図8に示すように、GX形やT形継手にフランジとリブを設けることで、曲げ剛性を高め大きな曲げモーメントに耐えるように設計されたものである。このため、T頭ボルト・もどり止めナットの材質は強度の高いSUS403を用いている。また、受口・挿し口のフランジ間にテーパリングを使用して、任意のキャンバを設定することができる。

表1、表2に各継手の主な性能を示す。

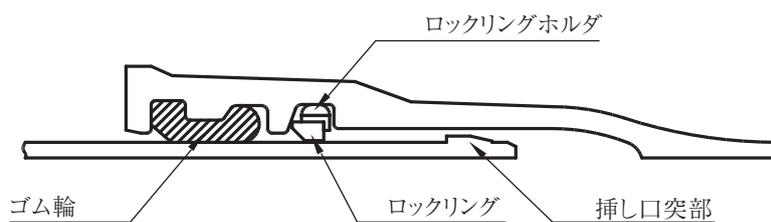


図4 GX形継手(呼び径75~450)

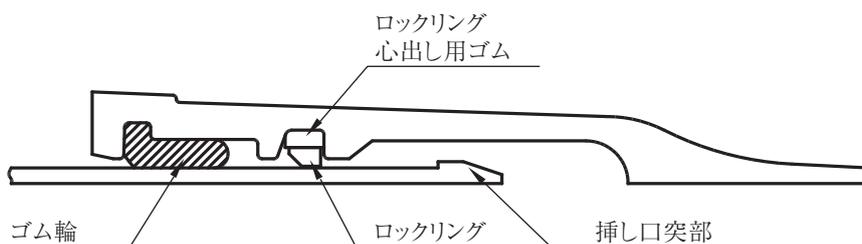


図5 NS形継手(呼び径75~450)

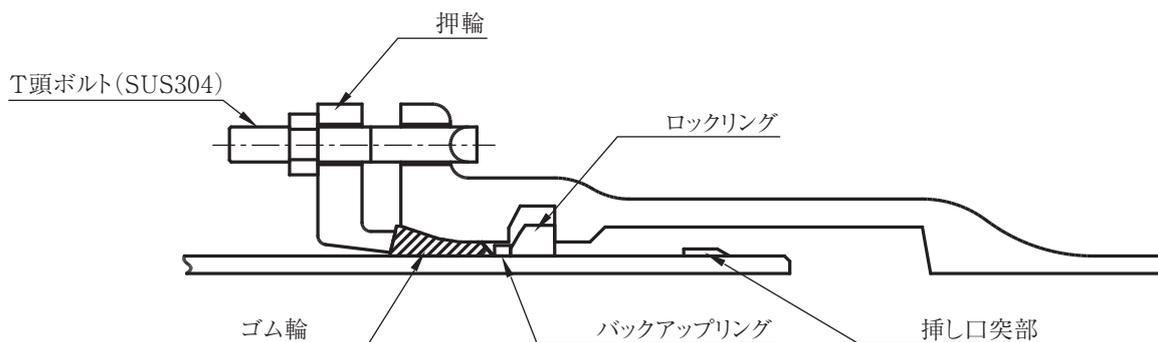


図6 NS形継手(呼び径500以上)

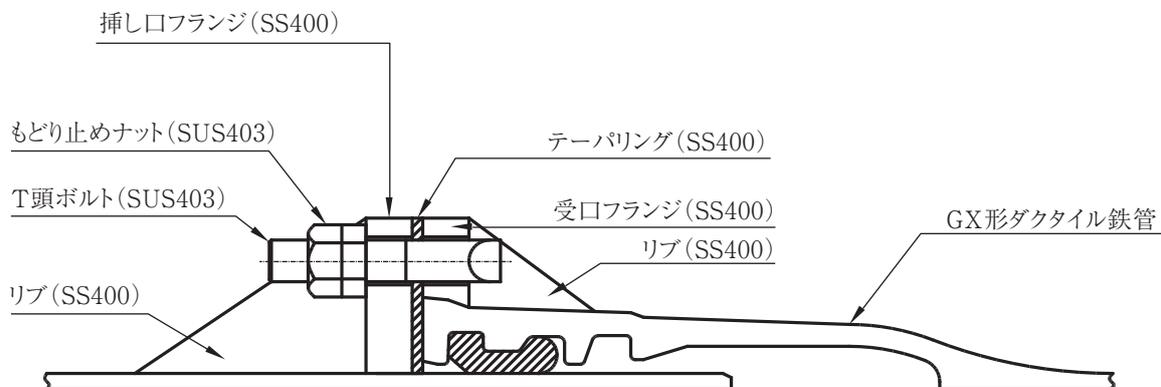


図7 FGX形継手(呼び径75~300)

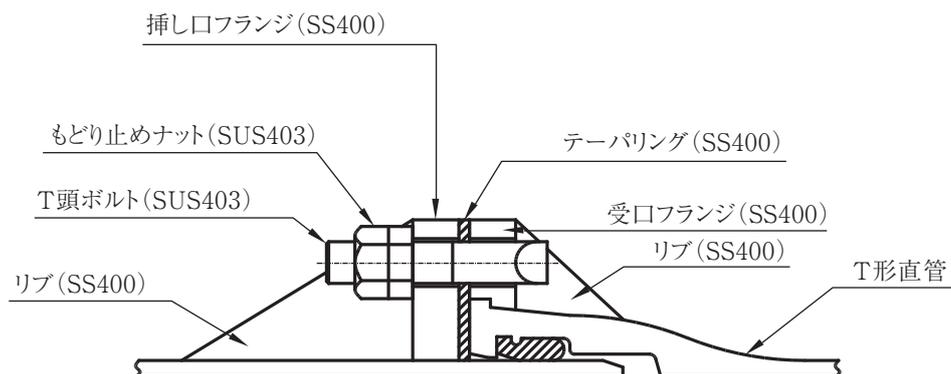


図8 FT形継手(呼び径75～350)

表1 GX形、NS形継手の性能

接合形式	呼び径	許容伸縮量 (mm)	許容曲げ角度	離脱防止力 (kN)
GX形	75	± 42	4° 00'	225
	100	± 41	4° 00'	300
	150	± 54	4° 00'	450
	200	± 52	4° 00'	600
	250	± 50	4° 00'	750
	300	± 60	4° 00'	900
	350	± 60	4° 00'	1050
	400	± 60	4° 00'	1200
	450	± 60	4° 00'	1350
NS形	75	± 42	4° 00'	225
	100	± 41	4° 00'	300
	150	± 54	4° 00'	450
	200	± 52	4° 00'	600
	250	± 50	4° 00'	750
	300	± 60	3° 00'	900
	350	± 60	3° 00'	1050
	400	± 60	3° 00'	1200
	450	± 60	3° 00'	1350
	500	± 60	3° 20'	1500
	600	± 60	2° 50'	1800

備考 許容伸縮量は継手1カ所当りを示す。

表2 FGX形、FT形継手の許容曲げモーメント

呼び径	許容曲げモーメント (kN・m)	呼び径	許容曲げモーメント (kN・m)
75	4.9	250	40.2
100	7.85	300	61.8
150	18.6	350	85.3
200	31.4		

備考 但し、FGX形は、呼び径75～300のみ。

### 3.3 付帯設備

#### 3.3.1 防渡柵

防渡柵は必要に応じて設ける。図9に一例を示す。

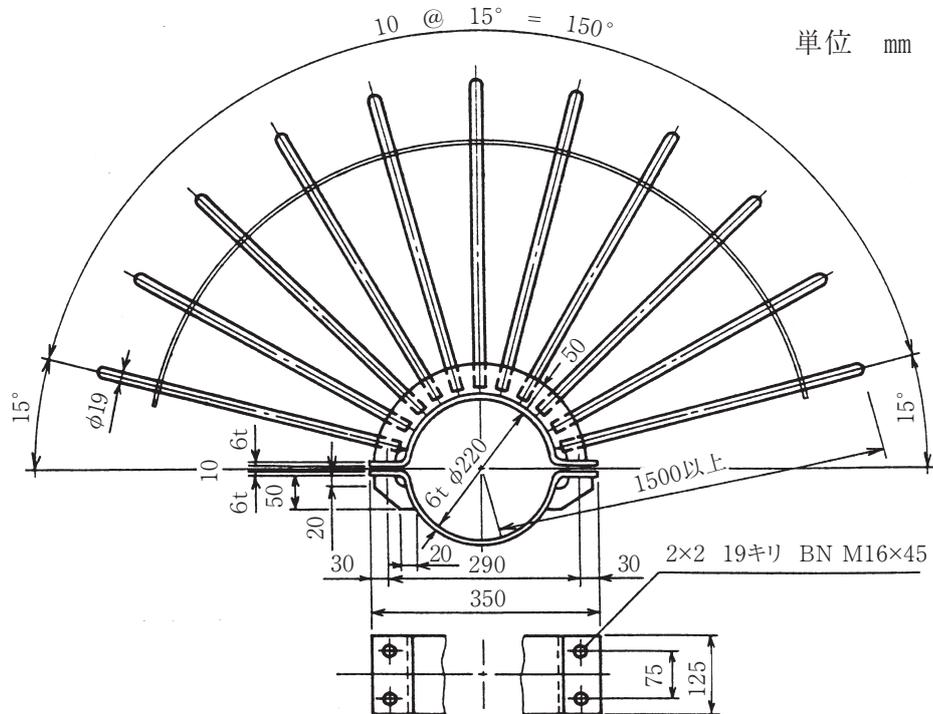


図9 防渡柵の例(呼び径200の場合)

#### 3.3.2 空気弁

空気弁は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。また、空気弁の取り付けは呼び径やタイプに応じて下記の方法による。

##### (1) 呼び径 450 以下の場合

- ① タイプIの場合は分岐サドルを取り付け、これに空気弁を設置する。

図10に分岐サドルを使用したときの設置例を示す。

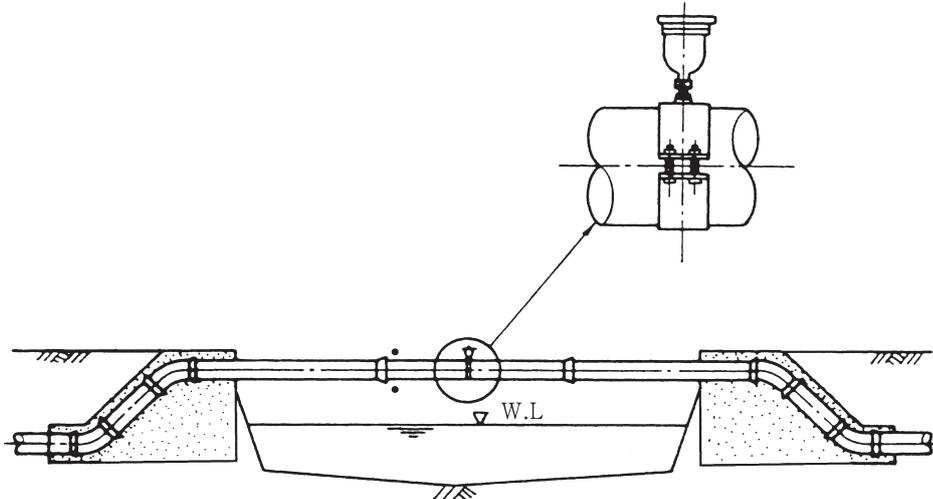


図10 分岐サドルを使用して取り付ける場合

② タイプⅡの場合は、FGX 形フランジ付き T 字管または FT 形フランジ付き T 字管に空気弁等を取り付ける。

(2) 呼び径 500 以上の場合

NS 形フランジ付き T 字管を橋台内に設置し、これに空気弁等を取り付けることを原則とする。空気弁は急速空気弁または双口空気弁を使用する。

### 3.3.3 歩廊

歩廊は必要に応じて設ける。

## 3.4 キャンバ

空気弁の効果および美観上の観点から、水管橋の支間長の 1/200 程度のキャンバを設けることが望ましい。

## 3.5 防食

管の内面塗装は、エポキシ樹脂粉体塗装を標準とする。タイプⅠの場合はモルタルライニングも可能である。外面の塗装は管が露出することを考慮して外面特殊塗装を施す。また、付帯設備の外面も本体と同様の塗装を行うものとする。

図 11 に内外面の塗装の規格を示す。

管内面	内面エポキシ樹脂粉体塗装	JIS G 5528
	モルタルライニング	JIS A 5314
管外面	ダクタイトル鋳鉄管外面特殊塗装	JDPA Z 2009の種類CC

図 11 管の塗装

## 4. 設計

### 4.1 設計の流れ

設計の流れを図 12 に示す。

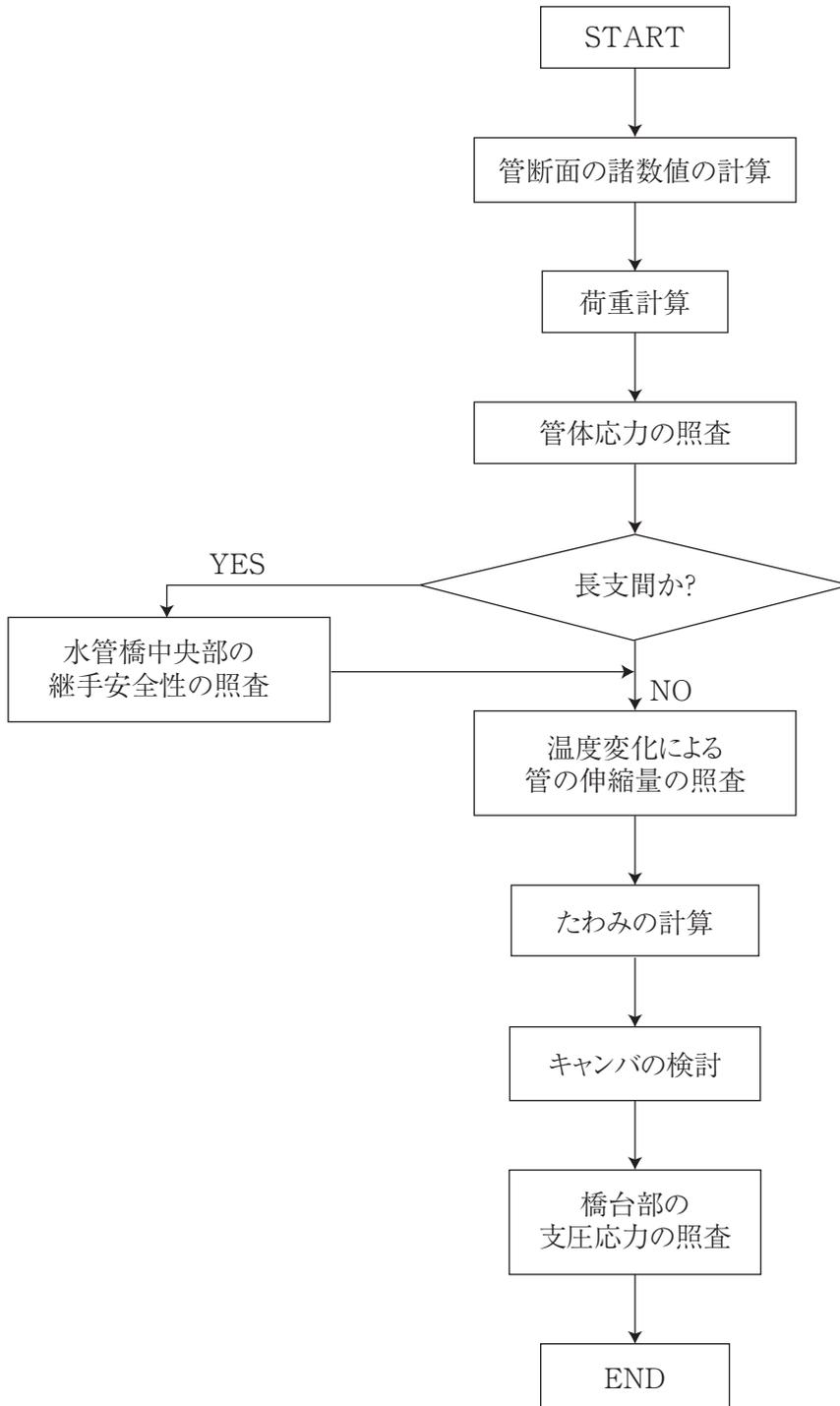


図 12 設計の流れ

## 4.2 設計条件

- (1) 管厚 呼び径 450 以下は 1 種、500・600 は S 種管  
(内面粉体塗装)
- (2) 最大支間長  
表 3 に積雪、保温材などを考慮しない最大支間長を示す。

表3 最大支間長

呼び径	タイプ I		タイプ II	
	支間長 L (m)	橋梁部接合形式	支間長 L (m)	橋梁部接合形式
75	11.0	GX 形、NS 形	17.0	FGX 形、GX 形 FT 形、NS 形
100			18.0	
150	14.0		23.5	
200・250			25.0	
300	16.0			
350				
400				
450	15.0		NS 形	
500・600				

- (3) 設計管厚 (t)  $t = \text{規格管厚} - \text{許容差}$   
規格管厚  $T - 0.001 \leq 0.01\text{m}$  のとき、  
 $t = T - 0.001 \text{ (m)}$
- (4) 設計水圧  $p = \text{静水圧} + \text{水撃圧} \text{ (MPa} = 10^3\text{kN/m}^2\text{)}$
- (5) 地震荷重 (水平震度)  $k_h = 0.3$
- (6) 風荷重 (円筒体)  $1.5\text{kN/m}^2$  (風速 40m/s 相当)
- (7) 積雪荷重 必要に応じて考慮する。  
(参考)  
一般地区  $1.5\text{kN/m}^2$   
多雪地区  $3.5\text{kN/m}^2$
- (8) 外装保温荷重 必要に応じて考慮する。
- (9) 鉄部の温度変化  $\Delta T = 60^\circ\text{C}$  ( $-20 \sim 40^\circ\text{C}$ ) : 寒冷地域  
 $50^\circ\text{C}$  ( $-10 \sim 40^\circ\text{C}$ ) : 一般地域
- (10) コンクリートの許容支圧応力  $\sigma_{ca} = 6.0 \times 10^3\text{kN/m}^2$
- (11) ダクタイル鉄管の弾性係数  $E = 1.6 \times 10^8\text{kN/m}^2$
- (12) ダクタイル鉄管の許容引張応力  $\sigma_a = 1.4 \times 10^5\text{kN/m}^2$
- (13) ダクタイル鉄管の許容せん断応力  $\tau_a = 0.8 \times 10^5\text{kN/m}^2$
- (14) ダクタイル鉄管の線膨張係数  $a = 1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$

### 4.3 管断面の諸数値

(1) 応力計算に用いる管厚

応力計算では安全性の面から設計管厚（規格管厚から鑄造公差を差し引いた管厚）を用いる。

$$t = T - 0.001 \quad \text{ここに、} t : \text{設計管厚 (m)} \quad T : \text{規格管厚}$$

(2) 応力計算に用いる管内径

$$D_1 = D_2 - 2t \quad \text{ここに、} D_1 : \text{応力計算に用いる管の内径 (m)}$$

$D_2 : \text{管の外径 (m)}$   
 $t : \text{設計管厚 (m)}$

(3) たわみ計算に用いる管内径

たわみ（キャンバ）計算では、実際の管厚に近い規格管厚を用いる方がたわみをより正確に算出できる。この場合の管内径は次式を用いる。

$$D_i = D_2 - 2T \quad \text{ここに、} D_i : \text{たわみ計算に用いる管の内径 (m)}$$

$D_2 : \text{管の外径 (m)}$   
 $T : \text{規格管厚 (m)}$

(4) 管鉄部の断面積

$$A = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \quad \text{ここに、} A : \text{管鉄部の断面積 (m}^2\text{)}$$

$D_1 : \text{応力計算に用いる管の内径 (= } D_2 - 2t \text{ m)}$   
 $D_2 : \text{管の外径 (m)}$   
 $t : \text{設計管厚 (m)}$

(5) 管の断面係数

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D_2^4 - D_1^4)}{D_2} \quad \text{ここに、} Z : \text{管の断面係数 (m}^3\text{)}$$

(6) 管の断面 2 次モーメント

キャンバを確保するためのたわみの計算で使用する管の断面 2 次モーメントは、規格管厚を用いる。

$$I = \frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_1^4) \quad \text{ここに、} I : \text{管の断面 2 次モーメント (m}^4\text{)}$$

$D_i : \text{たわみ計算に用いる管の内径 (= } D_2 - 2T \text{ m)}$   
 $T : \text{規格管厚 (m)}$

## 4.4 荷重

### (1) 鉛直荷重

#### ① 平常時

平常時の鉛直荷重は管自重と管内水重を考える。

$$w_1 = w_p + w_w \quad \text{ここに、} w_1 : \text{平常時の鉛直荷重 (kN/m)}$$

$w_p$  : 管自重 (kN/m)

$w_w$  : 管内水重 (kN/m)

#### ② 積雪時

積雪荷重の検討が必要な場合は、架設場所の実情に即した値を使用する。

$$w_2 = k_s \cdot h_s \cdot D_2$$

備考 保温材のある場合は、 $D_2$  の代わりに  $D_2'$  で計算する。

ここに、 $w_2$  : 積雪による鉛直荷重 (kN/m)

$k_s$  : 単位体積当たりの積雪重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$h_s$  : 積雪量 (m)

$D_2$  : 管外径 (m)

$D_2'$  : 保温材外径 (m)

#### ③ 保温材使用時

保温材のある場合は、保温材重量を加える。

$$w_t : \text{保温材重量 (kN/m)}$$

#### ④ 鉛直荷重

鉛直荷重は次式で求める。

##### 1) 平常時

$$w = w_1 \quad \text{ここに、} w : \text{鉛直荷重 (kN/m)}$$

##### 2) 積雪および保温材を考慮する場合

$$w = w_1 + w_2 + w_t$$

### (2) 水平荷重

#### ① 地震荷重

地震荷重は平常時の鉛直荷重に対して水平震度を考慮する。

$$w_{h1} = w \cdot k_h \quad \text{ここに、} w_{h1} : \text{地震荷重 (kN/m)}$$

$k_h$  : 水平震度

#### ② 風荷重

風荷重は設計基準風速 40m/s の時に円筒体に加わる荷重として、次式で求める。

$$w_{h2} = 1.5 \times D_2 \quad \text{ここに、} w_{h2} : \text{風荷重 (kN/m)}$$

③ 水平荷重

水平荷重は地震荷重と風荷重のいずれか大きい方を用いる。

すなわち、

$$W_h = W_{h1} \dots\dots\dots W_{h1} \geq W_{h2} \text{ のとき}$$

または、

$$W_h = W_{h2} \dots\dots\dots W_{h1} < W_{h2} \text{ のとき}$$

となる。

(3) 合成荷重

水管橋に作用する曲げモーメントの計算には上記鉛直荷重  $w$  と水平荷重  $w_h$  を合成したものを用いる。

$$w_{cb} = \sqrt{w^2 + w_h^2}$$

ここに、 $w_{cb}$  : 合成荷重 (kN/m)

### 4.5 管体応力

(1) 水圧による応力

$$\sigma_0 = \frac{p \cdot D_1}{2t}$$

ここに、 $\sigma_0$  : 水圧による応力 (kN/m<sup>2</sup>)

$p$  : 設計水圧 (MPa = 10<sup>3</sup>kN/m<sup>2</sup>)

$D_1$  : 管の内径 (m)

(2) 合成荷重および空気弁による管の応力

合成荷重と空気弁による管の応力の検討は、2ヶ所の GX 形または NS 形継手部がヒンジとなり、管に作用する曲げモーメントが伝達されなくなるから、GX 形または NS 形継手間の中央部と橋台から GX 形または NS 形継手までの両端部に分けて行う。

① 水管橋中央の管 (単純支持梁部) の応力

水管橋の中央の管は、等分布荷重 (合成荷重)  $w_{cb}$  および集中荷重 (空気弁重量)  $W_A$  を受ける両端自由の単純支持梁と考える。

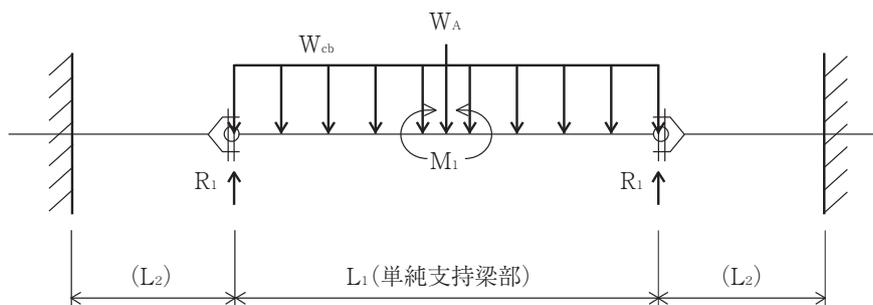


図 13 水管橋中央部の荷重状態

1) 管中央の曲げモーメント

$$M_1 = \frac{w_{cb} \cdot L_1^2}{8} + \frac{W_A \cdot L_1^2}{4}$$

ここに、 $M_1$ ：水管橋中央の曲げモーメント (kN・m)  
 $L_1$ ：水管橋中央部 (単純支持梁部) の管長 (m)  
 $W_A$ ：空気弁重量 (kN)

2) 管両端の支持反力

$$R_1 = \frac{w_{cb} \cdot L_1 + W_A}{2}$$

ここに、 $R_1$ ：水管橋中央の管の両端支持反力 (kN)

3) 管中央の応力

管中央の曲げ応力を引張応力に換算する。

$$\sigma_{t1} = 0.7 \times \frac{M_1}{Z}$$

ここに、 $\sigma_{t1}$ ：水管橋中央の曲げ応力の引張応力換算値 (kN/m<sup>2</sup>)

② 水管橋両端の管 (片持ち梁部) の応力

水管橋両端の管はいずれも先端に集中荷重  $R_1$  と全長に等分布荷重 (合成荷重)  $w_{cb}$  を受ける片持ち梁と考える。

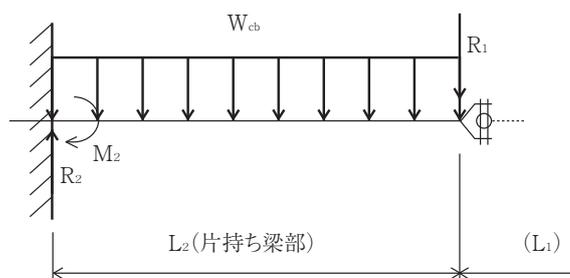


図 14 両端部の荷重状態

1) 管固定端の曲げモーメント

$$M_2 = R_1 \cdot L_2 + \frac{w_{cb} \cdot L_2^2}{2}$$

ここに、 $M_2$ ：水管橋固定端の曲げモーメント (kN・m)  
 $L_2$ ：水管橋両端 (片持ち梁部) の管長 (m)

2) 管固定端の支持反力

$$R_2 = R_1 + w_{cb} \cdot L_2$$

ここに、 $R_2$ ：水管橋固定端の支持反力 (kN)

3) 管固定端の応力

管固定端の曲げ応力を引張応力に換算する。

$$\sigma_{t2} = 0.7 \times \frac{M_2}{Z}$$

ここに、 $\sigma_{t2}$ ：水管橋固定端の曲げ応力の引張応力換算値 (kN/m<sup>2</sup>)

4) 管固定端部のせん断応力

$$\tau = \frac{R_2}{A}$$

ここに、 $\tau$ ：水管橋固定端のせん断応力 (kN/m<sup>2</sup>)

(3) 管の応力の合成

管の強度の照査は水圧による応力、曲げ応力の引張応力への換算値およびせん断応力を合成して許容応力との対比で行う。ここで、許容応力は地震荷重と風荷重などの従荷重(短期荷重)を考慮しているため、許容引張応力 $\sigma_a$ に対し、地震荷重が風荷重より大きい場合は50%、風荷重が地震荷重より大きい場合は25%の割増しを行うものとする。

$$\begin{aligned}\sigma_{ta} &= 1.5 \times \sigma_a \\ &= 1.5 \times 1.4 \times 10^5 = 2.10 \times 10^5 \text{ (kN/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

あるいは、

$$\begin{aligned}\sigma_{ta} &= 1.25 \times \sigma_a \\ &= 1.25 \times 1.4 \times 10^5 = 1.75 \times 10^5 \text{ (kN/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

ここに、 $\sigma_{ta}$ ：割増許容引張応力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_a$ ：許容引張応力 (kN/m<sup>2</sup>)

① 水管橋の中央の管(単純支持梁部)の合成応力

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_{t1}^2} - \sigma_0 \cdot \sigma_{t1}$$

ここに、 $\sigma_1$ ：水管橋中央部の合成応力 (kN/m<sup>2</sup>)

② 水管橋両端の管（片持ち梁部）の合成応力

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_{t2}^2 - \sigma_0 \cdot \sigma_{t2} + 3\tau^2}$$

ここに、 $\sigma_2$ ：水管橋固定端部の合成応力 (kN/m<sup>2</sup>)

#### 4.6 FGX形、FT形継手の安全性

タイプⅡの場合は、単純支持梁部のFGX形フランジ付きT字管のFGX形継手またはFT形フランジ付きT字管のFT形継手に最大の曲げモーメントM<sub>1</sub>が作用するため、FGX形、FT形継手の許容曲げモーメントM<sub>J</sub>と対比して安全性を確認する。

$$M_1 < M_J$$

ここに、M<sub>J</sub>：FGX形、FT形継手の許容曲げモーメント (kN・m)

#### 4.7 温度変化による管の伸縮量

温度変化による管の伸縮量は次式で求める。

$$\Delta L = \Delta T \cdot a \cdot L$$

ここに、 $\Delta L$ ：管の伸縮量 (m)

$\Delta T$ ：管の温度変化 (°C)

$a$ ：ダクタイル鉄管の線膨張係数 (1/°C)

#### 4.8 鉛直たわみ量(タイプⅠの場合)

タイプⅠの場合の鉛直荷重による水管橋中央部のたわみ量は次式で求める。

$$\begin{aligned} \delta_m &= \frac{1}{E \cdot I} \left( \frac{w \cdot L_2^4}{8} + \frac{R_1 \cdot L_2^3}{3} + \frac{5w \cdot L_1^4}{384} \right) \\ &= \frac{w}{384E \cdot I} (48L_2^4 + 64L_1 \cdot L_2^3 + 5L_1^4) \end{aligned}$$

ここに、 $\delta_m$ ：水管橋中央のたわみ量 (m)

$E$ ：ダクタイル鉄管の弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)

#### 4.9 長支間水管橋の管路線形(タイプⅡ 5本タイプの場合)

(1) 供用時の線形

美観を確保するため、管路の供用状態で各継手が水管橋の両端部（Ⅰ、Ⅲ）と中央のキャンバ高さ部（Ⅱ）の3点を通過する円弧上にくるようにする。

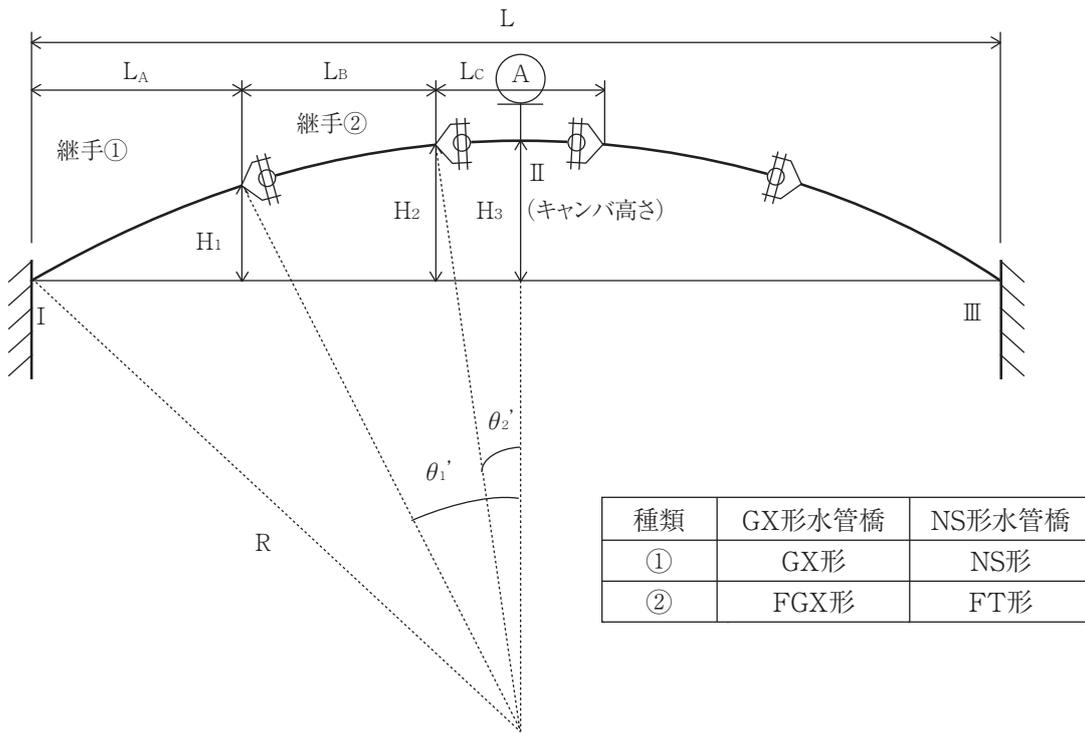


図 15 管路線形

① キャンバ高さ

管路中央部の円弧高さ（キャンバ高さ）は次式で求まる。

$$H_3 = L/a_c$$

ここに、 $H_3$ ：管路中央部の円弧高さ (m)

$a_c$ ：キャンバ (200 分の 1)

② 曲率半径

円弧の曲率半径は次式で計算される。

$$R = \frac{L^2}{8H_3} + \frac{H_3}{2}$$

ここに、 $R$ ：円弧の曲率半径 (m)

③ 円弧中心に対する継手位置

円弧中心に対する水管橋中央部から各継手までの角度は、次式で求まる。

$$\theta_2' = 2\sin^{-1} \{L_c/(4R)\}$$

$$\theta_1' = \theta_2' + 2\sin^{-1} \{L_B/(2R)\}$$

ここに、 $\theta_2'$ ：水管橋中心部から継手②までの角度 (°)

$\theta_1'$ ：水管橋中心部から継手①までの角度 (°)

$L_c$ ：FGX 形 (FT 形) フランジ付き T 字管の長さ (m)

$L_B$ ：FGX - GX 形 (FT - NS 形) 管の長さ (m)

④ 供用時の継手高さ

以上より、供用時の継手高さは次式で求まる。

$$H_1 = H_3 - R(1 - \cos\theta_1')$$

$$H_2 = H_3 - R(1 - \cos\theta_2')$$

ここに、 $H_1$ ：継手①の供用時高さ (m)

$H_2$ ：継手②の供用時高さ (m)

(2) 継手部のたわみ量

管重のみが作用した場合、および管重と水重が作用した場合の各継手部のたわみ量は次式で求める。

① 自重のみの場合 (通水前の状態)

$$\delta_{11} = \frac{L_2^3}{24E \cdot I} \{3w_p \cdot L_2 + 4(w_p \cdot L_1 + W_A)\}$$

ここに、 $\delta_{11}$ ：継手①の自重によるたわみ量 (m)

$$\begin{aligned} \delta_{21} = \delta_{11} + \frac{L_1^3}{96E \cdot I} \left[ 4w_p \cdot L_1 \left\{ \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 2 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 \right. \right. \\ \left. \left. + \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^4 \right\} + W_A \left\{ 6 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 8 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 \right\} \right] \end{aligned}$$

ここに、 $\delta_{21}$ ：継手②での自重によるたわみ量 (m)

$$\delta_{31} = \delta_{11} + \frac{L_1^3}{384E \cdot I} (5w_p \cdot L_1 + 8W_A)$$

ここに、 $\delta_{31}$ ：自重による中心部での仮想値 (m)

② 自重および水重が作用した場合 (通水後の状態)

$$\delta_{12} = \frac{L_2^3}{24E \cdot I} \{3w \cdot L_2 + 4(w \cdot L_1 + W_A)\}$$

ここに、 $\delta_{12}$ ：継手①の自重および水重によるたわみ量 (m)

$$\begin{aligned} \delta_{22} = \delta_{12} + \frac{L_1^3}{96E \cdot I} \left[ 4w \cdot L_1 \left\{ \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 2 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 + \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^4 \right\} \right. \\ \left. + W_A \left\{ 6 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 8 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 \right\} \right] \end{aligned}$$

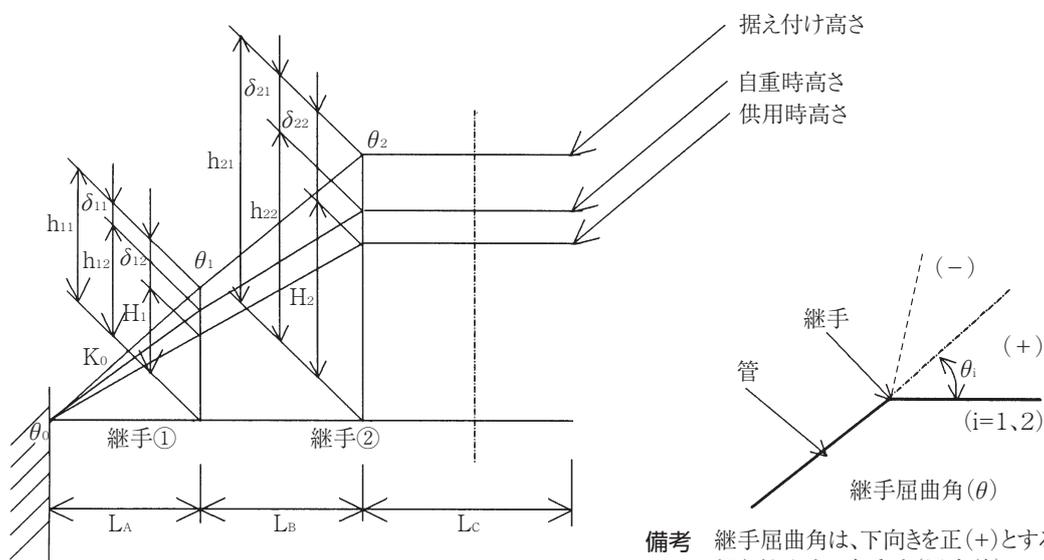
ここに、 $\delta_{22}$ ：継手②の自重および水重によるたわみ量 (m)

$$\delta_{32} = \delta_{12} + \frac{L_1^3}{384E \cdot I} (5w \cdot L_1 + 8W_A)$$

ここに、 $\delta_{32}$ ：自重および水重による中心部の仮想値 (m)

(3) 架設時の据え付け高さ

架設時の据え付け高さを図 16 に示す。据え付け高さ ( $h_{11}$ 、 $h_{21}$ ) は、供用時の継手高さ ( $H_1$ 、 $H_2$ ) に、前頁で計算した自重および水重による管のたわみ量 ( $\delta_{12}$ 、 $\delta_{22}$ ) を加えたものとする。



種類	GX形水管橋	NS形水管橋
①	GX形	NS形
②	FGX形	FT形

備考 継手屈曲角は、下向きを正(+)とする。据え付け時や自重時(通水前)には、継手①の屈曲角 $\theta_1$ が負となる場合がある。ただし、このような場合でも供用時(通水時)は $\theta_1$ は正となる。

図 16 管路線形(架設時の据え付け高さ)

① 橋台巻込み部

1) 据え付け角度

$$\theta_0 = \sin^{-1} (h_{11}/L_A)$$

ここに、 $\theta_0$ ：橋台巻込み部の据え付け角度 (°)

$L_A$ ：水管橋両端 (片持ち梁部) の管長 (m) (=  $L_2$ )

2) 据え付け勾配

$$K_0 = h_{11}/L_A \times 100$$

ここに、 $K_0$ ：橋台巻込み部の据え付け勾配 (%)

② 継手① (GX 形または NS 形)

1) 据え付け高さ

$$h_{11} = H_1 + \delta_{12}$$

ここに、 $h_{11}$ ：継手①の据え付け高さ (m)

2) 自重時高さ

$$h_{12} = h_{11} - \delta_{11}$$

ここに、 $h_{12}$ ：継手①の自重時高さ (m)

3) 供用時高さ

$$H_1 \text{ (P18 参照)}$$

ここに、 $H_1$ ：継手①の供用時高さ (m)

4) 継手屈曲角

$$\theta_1 = \theta_0 - \sin^{-1}\{(h_{21} - h_{11})/L_B\}$$

ここに、 $\theta_1$ ：継手①の継手屈曲角 (°)

③ 継手② (FGX 形または FT 形)

1) 据え付け高さ

$$h_{21} = H_2 + \delta_{22}$$

ここに、 $h_{21}$ ：継手②の据え付け高さ (m)

2) 自重時高さ

$$h_{22} = h_{21} - \delta_{21}$$

ここに、 $h_{22}$ ：継手②の自重時高さ (m)

3) 供用時高さ

$$H_2 \text{ (P18 参照)}$$

ここに、 $H_2$ ：継手②の供用時高さ (m)

4) 継手屈曲角

$$\theta_2 = \theta_0 - \theta_1$$

ここに、 $\theta_2$ ：継手②の継手屈曲角 (°)

④ 管中央部 (仮想値)

1) 据え付け高さ

$$h_{31} = H_3 + \delta_{32}$$

ここに、 $h_{31}$ ：管中央部の据え付け高さ (m)

2) 自重時高さ

$$h_{32} = h_{31} - \delta_{31}$$

ここに、 $h_{32}$ ：管中央部の自重時高さ (m)

3) 供用時高さ

$H_3$  (P17 参照)

ここに、 $H_3$ ：キャンバ高さ (m)

(4) テーパーリングの厚さ

継手② (FGX 形、FT 形) に上記の屈曲角を設定するため、接合時にテーパリングを装着する。

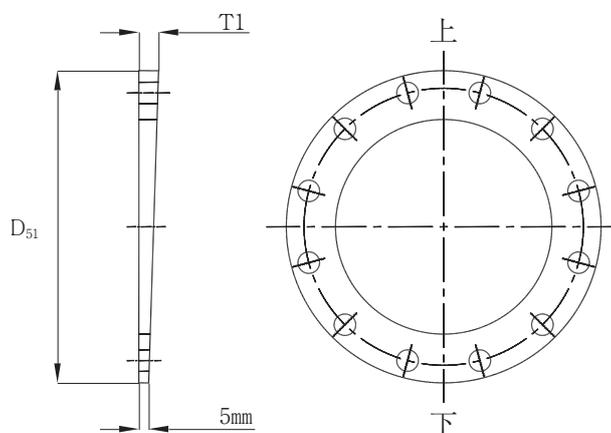


図17 テーパーリング

$$T_1 = 5 + D_{51} \cdot \tan \theta_2$$

ここに、 $T_1$ ：テーパリングの厚さ (mm)

$D_{51}$ ：テーパリングの外径 (mm)

4.10 橋台部分の支圧応力

水管橋両端の管を固定している橋台部のコンクリート巻き込み部の支圧応力は図18に示す関係から求める。

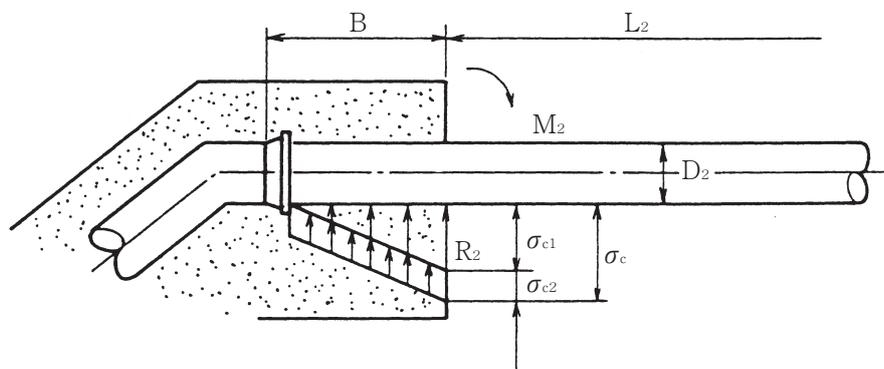


図18 橋台のコンクリート支圧応力

① 固定端曲げモーメントに対するコンクリート支圧応力

$$\left(\frac{1}{2} B \cdot D_2 \cdot \sigma_{c1}\right) \cdot \frac{2}{3} B = M_2$$

$$\therefore \sigma_{c1} = \frac{3M_2}{B^2 \cdot D_2}$$

ここに、 $\sigma_{c1}$ ：固定端曲げモーメントによるコンクリートの支圧応力 (kN/m<sup>2</sup>)

B：コンクリート巻き込み長 (m)

<参考>  $\phi$  75 ~ 250 …0.5m

$\phi$  300 ~ 400 …1.0m

$\phi$  450 ~ 600 …1.5m

② 固定端反力によるコンクリートの支圧応力

$$\sigma_{c2} = \frac{R_2}{B \cdot D_2}$$

ここに、 $\sigma_{c2}$ ：固定端反力によるコンクリートの支圧応力 (kN/m<sup>2</sup>)

③ コンクリートの支圧応力

コンクリートの支圧応力は許容支圧応力以下とする。

$$\sigma_c = \sigma_{c1} + \sigma_{c2} \leq \sigma_{ca}$$

ここに、 $\sigma_c$ ：コンクリートの支圧応力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_{ca}$ ：コンクリートの許容支圧応力 (=  $6.0 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>)

## 5. 設計計算例

4章に基づいたタイプII (5本使用、GX形水管橋) の設計計算例を以下に示す。なお、NS形水管橋も同じ方法で計算できる。

### 5.1 構造

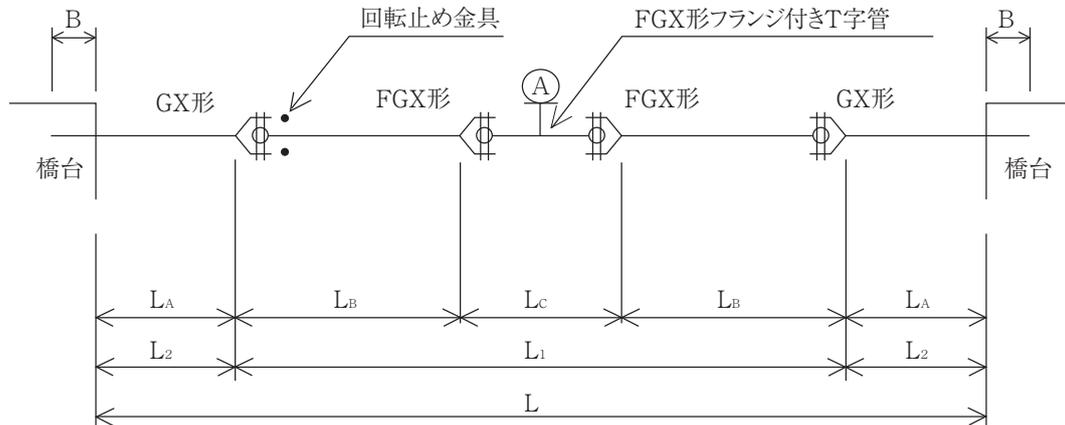


図19 構造

### 5.2 使用材料

(1) FGX形甲切管	$\phi 200 \times 4050$	2本
(2) GX形直管	$\phi 200 \times 5000$	2本
(3) FGX形フランジ付きT字管	$\phi 200 \times \phi 75$	1個
(4) 空気弁	$\phi 25$ (コック付き)	1個

### 5.3 計算条件

(1) 呼び径	$D = 0.200\text{m}$
(2) 管外径	$D_2 = 0.220\text{m}$
(3) 管種	FGX形、GX形ダクタイル鉄管 (1種管)
(4) 管厚	$T = 0.0075\text{m}$
(5) 形式	両端固定支持パイプビーム
(6) 支間長	$L = 18\text{m}$
①水管橋中央部 (単純支持梁部) 長さ	$L_1 = 9.0\text{m} (= 2L_B + L_C)$
②水管橋両端部 (片持ち梁部) 長さ	$L_2 = 4.5\text{m} (= L_A)$
(7) 管体重量 (表4参照)	$W_L = 8.08\text{kN}$ (質量 823.8kg)
(8) 空気弁	
①種類	$\phi 25$ (コック付き)
②重量 (補修弁含む)	$W_A = 0.220\text{kN}$
(9) テーパーリング外径	$D_{51} = 379\text{mm}$
(10) 橋台巻き込み長	$B = 0.5\text{m}$
(11) 設計水圧 (静水圧+水撃圧)	$p = 1.3\text{MPa} = 1300\text{kN/m}^2$
(12) 水平震度	$k_h = 0.3$

(13) 風荷重	1.5kN/m <sup>2</sup> (風速 40m/s 相当)
(14) 積雪荷重	考慮せず
(15) 保温材	考慮せず
(16) 管架設部の温度変化	$\Delta T = 50^{\circ}\text{C}$ ( - 10 ~ 40 $^{\circ}\text{C}$ )
(17) コンクリートの許容支圧応力	$\sigma_{ca} = 6.0 \times 10^3 \text{kN/m}^2$
(18) ダクタイル鉄管の弾性係数	$E = 1.6 \times 10^8 \text{kN/m}^2$
(19) ダクタイル鉄管の許容引張応力	$\sigma_a = 1.4 \times 10^5 \text{kN/m}^2$
(20) ダクタイル鉄管の許容せん断応力	$\tau_a = 0.8 \times 10^5 \text{kN/m}^2$
(21) ダクタイル鉄管の線膨張係数	$\alpha = 1.0 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$
(22) 水の単位体積重量	$\gamma_w = 9.81 \text{kN/m}^3$
(23) キャンバ	$a_c = 200 \text{ 分の } 1$

表4 水管橋質量算出表

部品名	質量	数量	計
直管	35.80 kg/m	17.10m	612.2 kg
GX 形直管受口凸部	25.0 kg/箇所	2箇所	50.0 kg
GX 形直管挿し口凸部	0.360kg/箇所	2箇所	0.7 kg
FGX 形受口凸部	34.27 kg/箇所	2箇所	68.5 kg
FGX 形 F 付き T 字管	81.4 kg/個	1個	81.4 kg
FGX 形付属品 (ゴム輪、ボルト)	5.486kg/箇所	2箇所	11.0 kg
水管橋質量計			計 823.8 kg

#### 5.4 管断面の諸数値

- (1) 応力計算に用いる管厚

$$\begin{aligned}
 t &= T - 0.001 \\
 &= 0.0075 - 0.001 = 0.0065\text{m}
 \end{aligned}$$

- (2) 応力計算に用いる管内径

$$\begin{aligned}
 D_1 &= D_2 - 2t \\
 &= 0.220 - 2 \times 0.0065 = 0.207\text{m}
 \end{aligned}$$

- (3) たわみ計算に用いる管内径

$$\begin{aligned}
 D_i &= D_2 - 2T \\
 &= 0.220 - 2 \times 0.0075 = 0.205\text{m}
 \end{aligned}$$

- (4) 管断面積

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \\
 &= \frac{\pi}{4} \times (0.220^2 - 0.207^2) = 4.36 \times 10^{-3} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

(5) 管の断面係数

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D_2^4 - D_1^4)}{D_2} \\ &= \frac{\pi}{32} \times \frac{(0.220^4 - 0.207^4)}{0.220} = 2.26 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

(6) 断面二次モーメント

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} \cdot (D_2^4 - D_1^4) \\ &= \frac{\pi}{64} \cdot (0.220^4 - 0.205^4) = 2.83 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

## 5.5 荷重

(1) 鉛直荷重

① 管自重

$$w_p = \frac{W_L}{L} = \frac{8.08}{18.0} = 0.449 \text{ kN/m}$$

② 管内水重

$$\begin{aligned} w_w &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \gamma_w \\ &= \frac{\pi}{4} \times 0.200^2 \times 9.81 = 0.308 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

③ 鉛直荷重

$$w = 0.449 + 0.308 = 0.757 \text{ kN/m}$$

(2) 水平荷重

① 地震荷重

$$w_{h1} = w \cdot k_h = 0.757 \times 0.3 = 0.227 \text{ kN/m}$$

② 風荷重

$$w_{h2} = 1.5 \times D_2 = 1.5 \times 0.22 = 0.330 \text{ kN/m}$$

③ 水平荷重

$$w_{h1} < w_{h2} \text{ より } w_h = w_{h2} = 0.330 \text{ kN/m}$$

(3) 合成荷重

$$\begin{aligned} w_{cb} &= \sqrt{w^2 + w_h^2} \\ &= \sqrt{0.757^2 + 0.330^2} = 0.826 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

## 5.6 管体応力

### (1) 水圧による応力

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= \frac{p \cdot D_1}{2t} \\ &= \frac{1300 \times 0.207}{2 \times 0.0065} = 2.07 \times 10^4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

### (2) 合成荷重および空気弁による管の応力

#### ① 水管橋中央の管（単純支持梁部）の応力

##### 1) 管中央の曲げモーメント

$$\begin{aligned}M_1 &= \frac{w_{cb} \cdot L_1^2}{8} + \frac{W_A \cdot L_1}{4} \\ &= \frac{0.826 \times 9.0^2}{8} + \frac{0.220 \times 9.0}{4} = 8.86 \text{ kN} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

##### 2) 管両端の支持反力

$$R_1 = \frac{w_{cb} \cdot L_1 + W_A}{2} = \frac{0.826 \times 9.0 + 0.220}{2} = 3.83 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

##### 3) 管中央の応力

管中央の曲げ応力を引張応力に換算する。

$$\begin{aligned}\sigma_{t1} &= \pm 0.7 \times \frac{M_1}{Z} \\ &= \pm 0.7 \times \frac{8.86}{2.26 \times 10^{-4}} = \pm 2.74 \times 10^4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

#### ② 水管橋両端の管（片持ち梁部）の応力

##### 1) 管固定端の曲げモーメント

$$\begin{aligned}M_2 &= R_1 \cdot L_2 + \frac{w_{cb} \cdot L_2^2}{2} \\ &= 3.83 \times 4.5 + \frac{0.826 \times 4.5^2}{2} = 25.60 \text{ kN} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

##### 2) 管固定端の支持応力

$$\begin{aligned}R_2 &= R_1 + w_{cb} \cdot L_2 \\ &= 3.83 + 0.826 \times 4.5 = 7.55 \text{ kN}\end{aligned}$$

3) 管固定端の応力

管固定端の曲げ応力を引張応力に換算する。

$$\begin{aligned}\sigma_{t2} &= \pm 0.7 \times \frac{M_2}{Z} \\ &= \pm 0.7 \times \frac{25.60}{2.26 \times 10^{-4}} = \pm 7.93 \times 10^4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

4) 管固定端部のせん断応力

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{R_2}{A} \\ &= \frac{7.55}{4.36 \times 10^{-3}} = 1.73 \times 10^3 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

(3) 管の応力の合成

① 水管橋中央の管 (単純支持梁部)

合成応力が最大になるのは $\sigma_0$ と $\sigma_{t1}$ が異符号の場合であるので $\sigma_{t1}$ を負として計算する。

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_{t1}^2 - \sigma_0 \cdot \sigma_{t1}} \\ &= \sqrt{(2.07 \times 10^4)^2 + (-2.74 \times 10^4)^2 - 2.07 \times 10^4 \times (-2.74 \times 10^4)} \\ &= 4.18 \times 10^4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

② 水管橋両端の管 (片持ち梁部)

前頁と同様にして、 $\sigma_{t2}$ を負として求める。

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_{t2}^2 - \sigma_0 \cdot \sigma_{t2} + 3\tau^2} \\ &= \sqrt{(2.07 \times 10^4)^2 + (-7.93 \times 10^4)^2 - 2.07 \times 10^4 \times (-7.93 \times 10^4) + 3 \times (1.73 \times 10^3)^2} \\ &= 9.15 \times 10^4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

以上より、管の合成応力は中央部および両端部ともに許容応力 $\sigma_{ta} = 1.75 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 以下であるので安全である。

## 5.7 FGX形継手の安全性

FGX 形継手部に作用する曲げモーメント  $M_1 = 8.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$

FGX 形継手の許容曲げモーメント  $M_J = 31.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$

したがって、 $M_1 < M_J$ よりFGX形継手の強度は問題ないものと考えられる。

## 5.8 温度変化による管の伸縮量

$$\begin{aligned}\Delta L &= \Delta T \cdot \alpha \cdot L \\ &= 50 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 18 = 0.009\text{m}\end{aligned}$$

管の伸縮量は GX 形継手の許容伸縮量 ( $\pm 0.05\text{m}$ ) の範囲内である。したがって、温度変化による管の伸縮は GX 形継手で十分に吸収できる。

## 5.9 管路線形(タイプII 5本使用の場合)

### (1) 供用時の線形

#### ① キャンバ高さ

$$\begin{aligned}H_3 &= L/a_c \\ &= 18/200 = 0.090\text{m}\end{aligned}$$

#### ② 曲率半径

$$\begin{aligned}R &= \frac{L^2}{8H_3} + \frac{H_3}{2} \\ &= \frac{18^2}{8 \times 0.090} + \frac{0.090}{2} = 450.0\text{m}\end{aligned}$$

#### ③ 円弧中心に対する継手位置

$$\begin{aligned}\theta_2' &= 2\sin^{-1}\{L_C/(4R)\} \\ &= 2\sin^{-1}\{0.90/(4 \times 450.0)\} = 0.06^\circ \\ \theta_1' &= \theta_2' + 2\sin^{-1}\{L_B/(2R)\} \\ &= 0.06 + 2\sin^{-1}\{4.05/(2 \times 450.0)\} = 0.58^\circ\end{aligned}$$

#### ④ 供用時の継手高さ

$$\begin{aligned}H_1 &= H_3 - R(1 - \cos\theta_1') \\ &= 0.090 - 450.0(1 - \cos 0.58) = 0.067\text{m} \\ H_2 &= H_3 - R(1 - \cos\theta_2') \\ &= 0.090 - 450.0(1 - \cos 0.06) = 0.090\text{m}\end{aligned}$$

### (2) 継手部のたわみ量

#### ① 自重のみの場合(通水前の状態)

$$\begin{aligned}\delta_{11} &= \frac{L_2^3}{24E \cdot I} \{3w_p \cdot L_2 + 4(w_p \cdot L_1 + W_A)\} \\ &= \frac{4.5^3}{24 \times 1.6 \times 10^8 \times 2.83 \times 10^{-5}} \times \{3 \times 0.449 \times 4.5 + 4 \times (0.449 \times 9.0 + 0.220)\} \\ &= 0.019\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\delta_{21} &= \delta_{11} + \frac{L_1^3}{96E \cdot I} \left[ 4w_p \cdot L_1 \left\{ \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 2 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^4 \right\} + W_A \left\{ 6 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 8 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 \right\} \right] \\
&= 0.019 + \frac{9.0^3}{96 \times 1.6 \times 10^8 \times 2.83 \times 10^{-5}} \times \left[ 4 \times 0.449 \times 9.0 \right. \\
&\quad \left. \times \left\{ \left[ \frac{4.05}{9.0} \right] - 2 \times \left[ \frac{4.05}{9.0} \right]^3 + \left[ \frac{4.05}{9.0} \right]^4 \right\} + 0.220 \right. \\
&\quad \left. \times \left\{ 6 \times \left[ \frac{4.05}{9.0} \right] - 8 \times \left[ \frac{4.05}{9.0} \right]^3 \right\} \right] = 0.028\text{m} \\
\delta_{31} &= \delta_{11} + \frac{L_1^3}{384E \cdot I} (5w_p \cdot L_1 + 8W_A) \\
&= 0.019 + \frac{9.0^3}{384 \times 1.6 \times 10^8 \times 2.83 \times 10^{-5}} (5 \times 0.449 \times 9.0 + 8 \times 0.220) \\
&= 0.028\text{m} \text{ (中央部の仮想値)}
\end{aligned}$$

② 自重および水重が作用した場合（通水後の状態）

$$\begin{aligned}
\delta_{12} &= \frac{L_2^3}{24E \cdot I} \{ 3w \cdot L_2 + 4(w \cdot L_1 + W_A) \} \\
&= \frac{4.5^3}{24 \times 1.6 \times 10^8 \times 2.83 \times 10^{-5}} \times \{ 3 \times 0.757 \times 4.5 + 4 \times (0.757 \times 9.0 + 0.220) \} \\
&= 0.032\text{m} \\
\delta_{22} &= \delta_{12} + \frac{L_1^3}{96E \cdot I} \left[ 4w \cdot L_1 \left\{ \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 2 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^4 \right\} + W_A \left\{ 6 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right] - 8 \left[ \frac{L_B}{L_1} \right]^3 \right\} \right] \\
&= 0.032 + \frac{9.0^3}{96 \times 1.6 \times 10^8 \times 2.83 \times 10^{-5}} \times \left[ 4 \times 0.757 \times 9.0 \right. \\
&\quad \left. \times \left\{ \left[ \frac{4.05}{9.0} \right] - 2 \times \left[ \frac{4.05}{9.0} \right]^3 + \left[ \frac{4.05}{9.0} \right]^4 \right\} + 0.220 \right. \\
&\quad \left. \times \left\{ 6 \times \left[ \frac{4.05}{9.0} \right] - 8 \times \left[ \frac{4.05}{9.0} \right]^3 \right\} \right] = 0.047\text{m} \\
\delta_{32} &= \delta_{12} + \frac{L_1^3}{384E \cdot I} (5w \cdot L_1 + 8W_A) \\
&= 0.032 + \frac{9.0^3}{384 \times 1.6 \times 10^8 \times 2.83 \times 10^{-5}} (5 \times 0.757 \times 9.0 + 8 \times 0.220) \\
&= 0.047\text{m} \text{ (中央部の仮想値)}
\end{aligned}$$

(3) 架設時の据え付け高さ

① 橋台巻込み部

1) 据え付け角度

$$\begin{aligned}\theta_0 &= \sin^{-1}(h_{11}/L_A) \\ &= \sin^{-1}(0.099/4.5) = 1.26^\circ\end{aligned}$$

2) 据え付け勾配

$$\begin{aligned}K_0 &= (h_{11}/L_A) \times 100 \\ &= (0.099/4.5) \times 100 = 2.20\%\end{aligned}$$

② 継手① (GX 形)

1) 据え付け高さ

$$\begin{aligned}h_{11} &= H_1 + \delta_{12} \\ &= 0.067 + 0.032 = 0.099\text{m}\end{aligned}$$

2) 自重時高さ

$$\begin{aligned}h_{12} &= h_{11} - \delta_{11} \\ &= 0.099 - 0.019 = 0.080\text{m}\end{aligned}$$

3) 供用時高さ

$$\text{P28 より、} H_1 = 0.067\text{m}$$

4) 継手屈曲角

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \theta_0 - \sin^{-1}\{(h_{21} - h_{11})/L_B\} \\ &= 1.26 - \sin^{-1}\{(0.137 - 0.099)/4.05\} \\ &= 0.72^\circ\end{aligned}$$

③ 継手② (FGX 形)

1) 据え付け高さ

$$\begin{aligned}h_{21} &= H_2 + \delta_{22} \\ &= 0.090 + 0.047 = 0.137\text{m}\end{aligned}$$

2) 自重時高さ

$$\begin{aligned}h_{22} &= h_{21} - \delta_{21} \\ h_{22} &= 0.137 - 0.028 = 0.109\text{m}\end{aligned}$$

3) 供用時高さ

$$\text{P28 より、} H_2 = 0.090\text{m}$$

4) 継手屈曲角

$$\begin{aligned}\theta_2 &= \theta_0 - \theta_1 \\ &= 1.26 - 0.72 = 0.54^\circ\end{aligned}$$

④ 管中央部 (仮想値)

1) 据え付け高さ

$$\begin{aligned}h_{31} &= H_3 + \delta_{32} \\ &= 0.090 + 0.047 = 0.137\text{m}\end{aligned}$$

2) 自重時高さ

$$\begin{aligned}h_{32} &= h_{31} - \delta_{31} \\ &= 0.137 - 0.028 = 0.109\text{m}\end{aligned}$$

3) 供用時高さ

$$\text{P28 より、} H_3 = 0.090\text{m}$$

(4) テーパーリングの厚さ

$$\begin{aligned}T_1 &= 5 + D_{51} \cdot \tan\theta_2 \\ &= 5 + 379 \times \tan 0.54^\circ = 9\text{mm}\end{aligned}$$

### 5.10 橋台部分の支圧応力

(1) 固定曲げモーメントによるコンクリートの支圧応力

$$\begin{aligned}\sigma_{c1} &= \frac{3M_2}{B^2 \cdot D_2} \\ &= \frac{3 \times 25.60}{0.5^2 \times 0.220} = 1.396 \times 10^3 \text{kN/m}^2\end{aligned}$$

(2) 固定端反力によるコンクリートの支圧応力

$$\begin{aligned}\sigma_{c2} &= \frac{R_2}{B \cdot D_2} \\ &= \frac{7.55}{0.5 \times 0.220} = 0.069 \times 10^3 \text{kN/m}^2\end{aligned}$$

(3) コンクリートの支圧応力

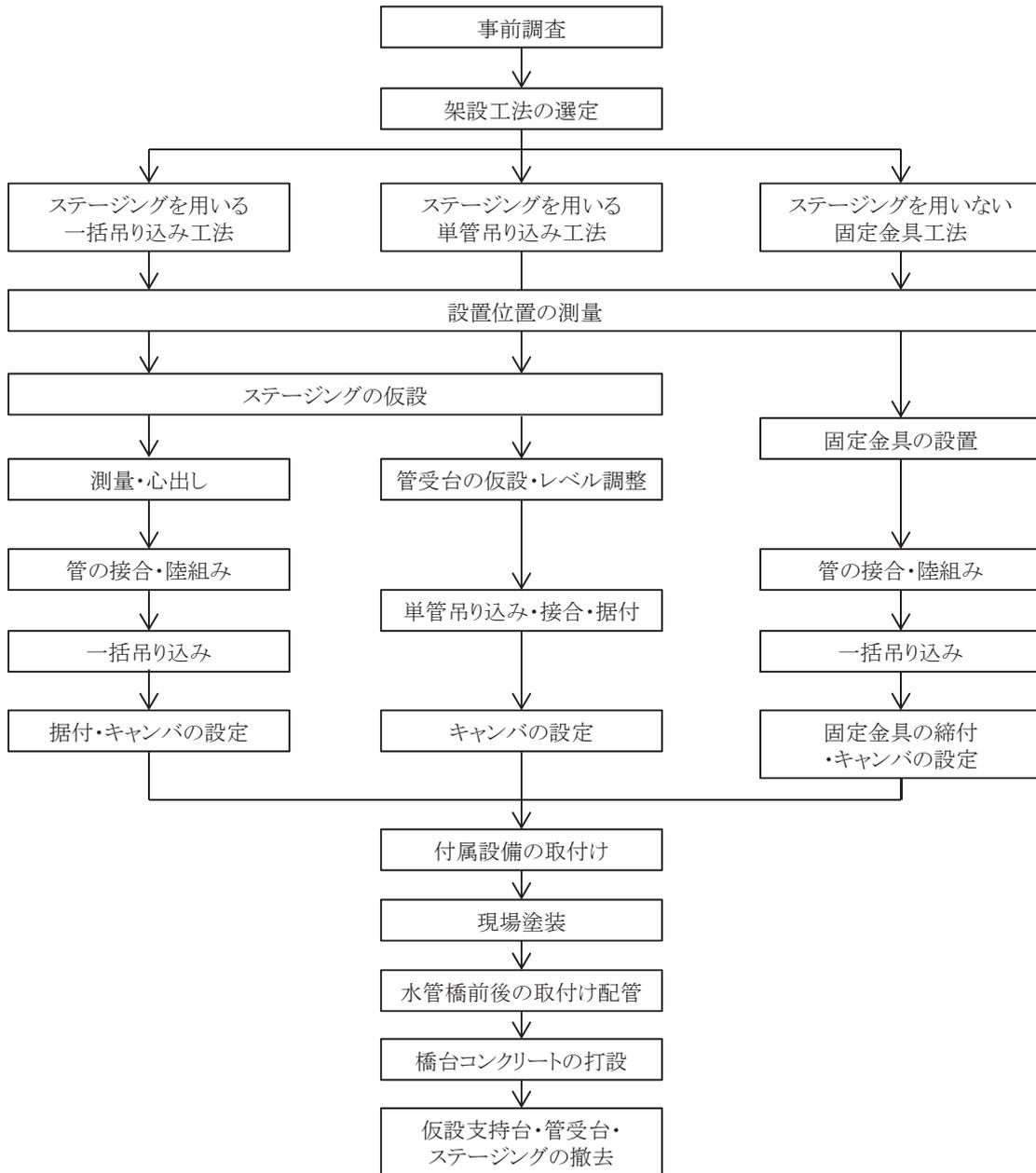
$$\begin{aligned}\sigma_c &= \sigma_{c1} + \sigma_{c2} \\ &= 1.396 \times 10^3 + 0.069 \times 10^3 = 1.465 \times 10^3 \text{kN/m}^2\end{aligned}$$

支圧応力はコンクリートの許容支圧応力  $\sigma_{ca} = 6.0 \times 10^3 \text{kN/m}^2$  以下であるので安全である。

## 6. 水管橋の施工

### 6.1 水管橋架設工事の手順

ダクタイル鉄管によるパイプビーム水管橋の架設工事は、下図に示す手順で施工する。



※ステー징とは、水管橋を架設するために設置する支保工のこと。

図20 水管橋架設工事の手順

## 6.2 事前調査

表5に、水管橋の架設工事における事前調査項目を示す。

表5 水管橋の架設工事における事前調査項目

項目	調査内容
自然条件	地形、地質、気象
河川状況	河川幅、水位、流量、流速、船舶交通
下部構造	橋台の寸法、構造
搬入部材	部材の最大寸法、最大重量
工事用地	資材置場、陸組み用地、重機設置用地
道路状況	搬入路、交通量
障害物	電線類、樹木、建築物ほか既設構造物

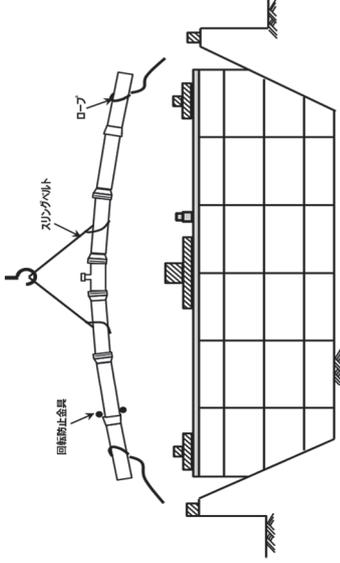
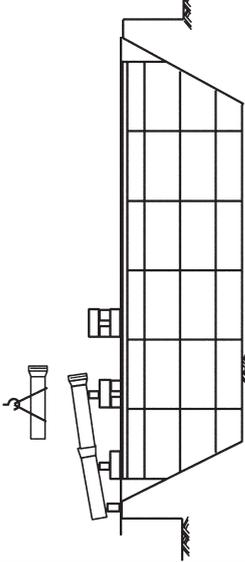
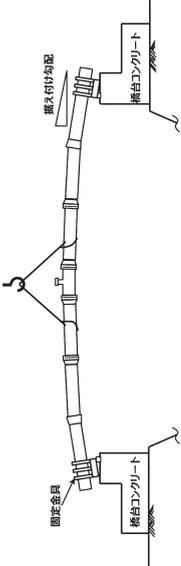
## 6.3 架設工法の選定

ダクタイル鉄管によるパイプビーム水管橋の架設工法は、「ステージングを用いる一括吊り込み工法」、「ステージングを用いる単管吊り込み工法」及び「ステージングを用いない固定金具工法」の3種類に分けられ、その内、「ステージングを用いる一括吊り込み工法」が最も多く用いられる工法である。

施工環境等の事前調査を行い、各工法の特徴から安全で経済的な工法を選定する必要がある。

表6に架設工法の概要を示す。

表6 架設工法の概要

工法名	ステージングを用いる一括吊り込み工法	ステージングを用いる単管吊り込み工法	ステージングを用いない固定金具工法
	<p>陸組みした水管橋を、トラッククレーンにより一括で吊り上げ、事前に河川内に設置したステージング上に据え付ける工法である。</p> <p>ステージングは鋼管足場を用いることが多く、水管橋の全長にわたって設置する。</p>	<p>事前に河川内に設置したステージング上で、管を一本ずつ吊り込み・接合・据付を行う工法である。</p> <p>ステージングは鋼管足場を用いることが多く、水管橋の全長にわたって設置する。</p>	<p>陸組みした水管橋を、トラッククレーンにより一括で吊り上げ、事前に設置した固定金具に据え付け、固定する工法である。</p>
概要			
特徴	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)一度に吊り込みむため短時間に架設できる。</li> <li>2)キャンパの調整が容易である。</li> <li>3)現場での外面塗装がステージング上で容易にできる。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)一括吊り込み工法と比べ、トラッククレーンの能力が小さくできる。</li> <li>2)キャンパの設定が容易である。</li> <li>3)現場での外面塗装がステージング上で容易にできる。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)一度に吊り込みむため短時間に架設できる。</li> <li>2)河岸高の高さや河川水量に関係なく架設できる。</li> <li>3)キャンパの調整は、固定金具により行う。水管橋を吊り降ろして、繰返しキャンパ高さを確認する必要がある。</li> <li>4)現場での外面塗装を行うため、簡易な塗装用足場が必要である。</li> </ol>
施工環境条件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)道路橋上、堤防上などに吊り込み用重機を安全に設置できる場所があること。</li> <li>2)河川内にステージングの設置が容易であること(河岸高さが低い、河川水量が少ない等)。</li> <li>3)陸組みスペースが道路上や河川敷内で確保できること。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)道路橋上、堤防上などに吊り込み用重機を安全に設置できる場所があること。</li> <li>2)河川内にステージングの設置が容易であること(河岸高さが低い、河川水量が少ない等)。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1)道路橋上、堤防上などに吊り込み用重機を安全に設置できる場所があること。</li> <li>2)陸組みスペースが道路上や河川敷内で確保できること。</li> </ol>

## 6.4 各架設工法の施工手順

本項ではタイプⅡ（7本使用）の施工手順を以下に示す。タイプⅡ（5本使用）及びタイプⅠはこれに準ずる。

架設工事にあたっては、下記の事項に留意する。

- ① 架設工事において使用するクレーンなどの重機類、チェンブロックやスリングベルトなどの吊具類、ラチェットレンチやレバーホイストなどの接合工具類などは指定したものや専用のものを使用し、常に点検を行い、正常なものを使用すること。
- ② 各作業は労働安全衛生規則や規準など、各々該当する法規を遵守して施工し、安全には常に注意すること。

### 6.4.1 ステージングを用いる一括吊り込み工法の施工手順

#### (1) 橋台打設部の掘削

- ① 設計図に基づき、所定の位置を掘削する。
- ② ベースコンクリートを打設する。

#### (2) 設置位置の測量

- ① レベル測量  
橋台の設置高さ、水管橋の据え付け高さなどをレベル測量し、丁張りを設置して基準高さをマークする。
- ② 方位測量  
トランシットで水管橋の据え付け方向などを測量し、ベースコンクリート上に墨入れする。
- ③ 水平距離  
スチールテープなどで水管橋の支間距離と位置を測量し、ベースコンクリート上に墨入れする。

#### (3) ステージングの設置

ステージングは、河川の全幅にわたって設置する。ステージングの上面は、管の接合・付帯設備の設置・外面塗装などの作業が安全かつ円滑に行えるスペースを確保する。

ステージングは、水管橋の架設時から橋台コンクリートの養生完了時まで水管橋を安定して支持する必要があるため、沈下したり、風や通行車両等によって振動しないよう対策を講じる必要がある。特に、河床が軟弱な場合は沈下防止対策を講じる必要がある。

また、これらは外面塗装時にも使用するため、ステージング上面は管下から500mm程度下げて設置し、塗装時の作業空間を確保しておくことが望ましい。

ステージング設置後、両岸のベースコンクリートの墨入れを基準に管心位置をステージング上にマーキングしておく。

図 21 にステージングの設置概要、図 22 にステージングの構造断面例を示す。

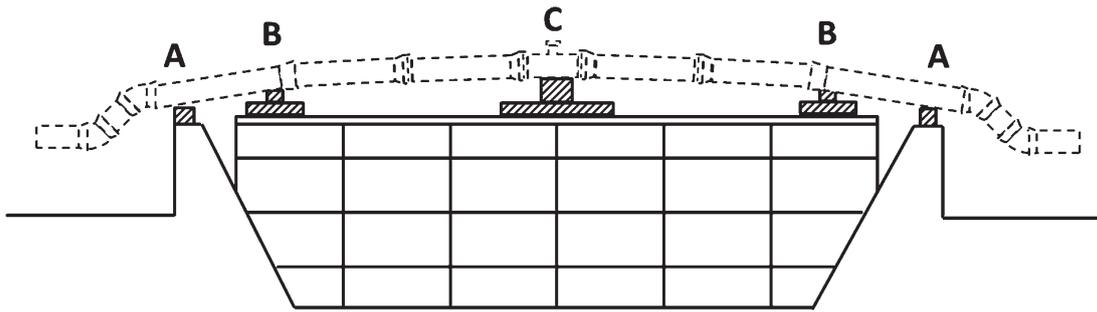


図21 ステージングの設置概要

① A部

水管橋の計画高さや軸線位置を正確に合わせる必要がある。橋台コンクリートを打設した後は、水管橋は動かせなくなるため、管受台（木材等）を用いて、水管橋の計画高さや軸線を調整する。

なお、図21は河岸法面を想定した例である。

② B部

水管橋のキャンバの設定は、橋台コンクリートから張り出すGX形管またはNS形管の据え付け勾配によるところが大きい。そのため、このB部（GX形管またはNS形管の受口近傍）の高さは、架設時の据え付け高さに合わせる必要がある。

③ C部

フランジ付きT字管（FGX形またはFT形）の下に管受台を設置する。水管橋中央部（GX形またはNS形継手間）の管重量を支持できる大きさの管受台とする。このC部の高さは設計時の据え付け高さ以上にする必要がある。

また、空気弁を垂直に取り付けるため、フランジ付きT字管のフランジ面が傾かないように目視で調整した後、水管橋のローリング防止を行う必要がある。

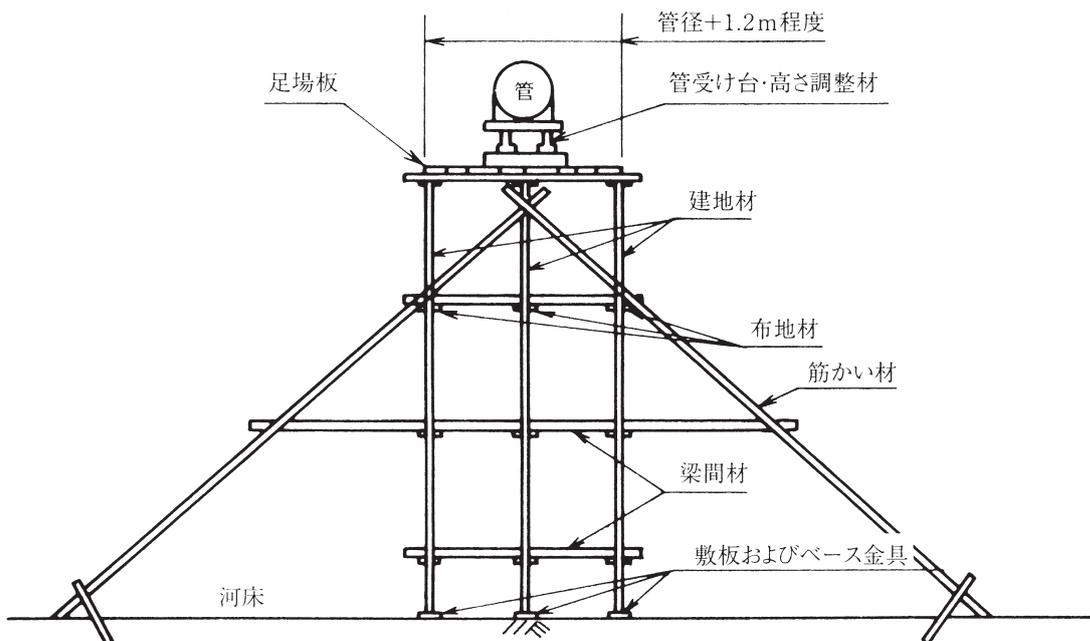


図22 ステージングの構造断面例

#### (4) 水管橋の陸組み

水管橋の陸組みを行う場所は、架設場所に近く、管の吊り込みや接合を行うために十分な広さがある橋梁上、道路上または河川敷内などとする。

図 23 に示すように、水管橋の陸組みは架設状態と同様に、フランジ付き T 字管のフランジ面を上向き水平<sup>\*</sup>にして行う。そのため、管受台として使用する枕木は管 1 本につき 1 ヶ所以上設け、枕木の高さは継手の接合ができるように地面から 30cm 以上確保する。枕木の高さはレベル測量により設定し、それぞれの位置で設計時の管の据え付け高さに合わせて高低差を設ける。

陸組みの手順は、まず、中央のフランジ付き T 字管をフランジ面が上向き水平になるように据え付けた後、左右交互に FGX 形管または FT 形管を接合する。最後に両端の GX 形管または NS 形管を接合する。

FGX 形および FT 形継手の接合要領は 10.5 節 (P.50、FGX 形継手の接合要領)、GX 形および NS 形継手の接合要領は日本ダクタイル鉄管協会発行の接合要領書 (JDPA W16, W12) に従って正しく接合する。FGX 形または FT 形継手は、各継手ごとに受口、テーパリング、挿し口の組み合わせが決められており、受口フランジ、テーパリング、挿し口フランジの外周部に継手 No. と合マークが打刻されている (P.50、図 35 参照)。管接合時はこれらの打刻が上にくるようにする。

なお、現場合合わせ用の調整管がある場合は、設計図あるいは測量結果により前もって所定の長さに切管した後、切管端面および受口内で水と接する挿し口外面の特殊塗装部にダクタイル鉄管切管鉄部用塗料を塗布し、十分硬化してから接合する必要がある。

※ フランジ面を横向きに陸組みすると、一括吊り込み時に両端の GX 形管または NS 形管が大きく屈曲し、吊り込みが困難となるため避けるべきである。タイプ I の場合は、あらかじめ管の所定の位置にせん孔し分岐サドルを取り付け、分岐サドルを上にする。

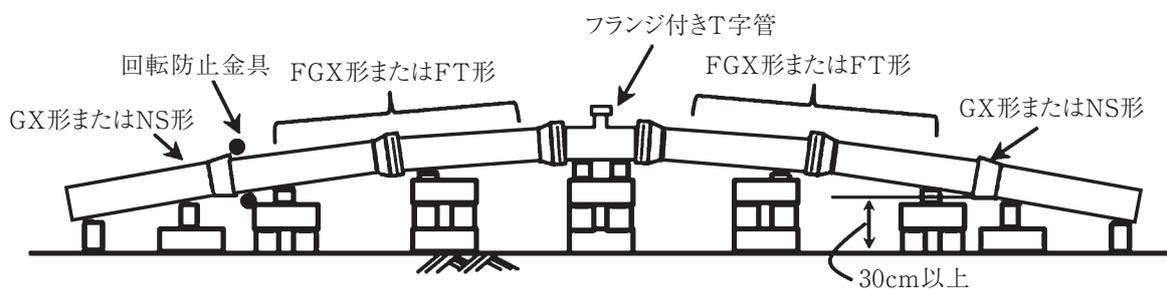


図 23 陸組みの方法

(5) ステージング上の管受台のセット

図 24 に示す通り、一括吊り込みした水管橋を支持するため、ステージング上に管受台（枕木等）を水管橋の据え付け高さに合うようにセットする。水管橋の据え付け高さの調整のため、あらかじめ管受台近くに手動ジャッキ等を準備する。

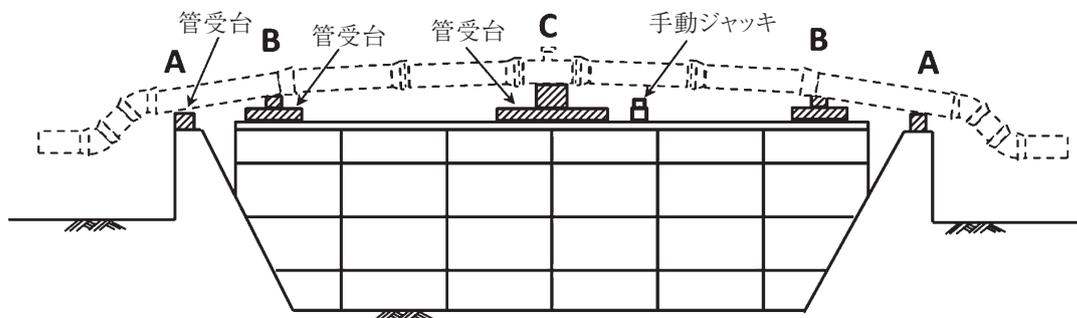


図 24 管受台のセット

(6) 水管橋の一括吊り込み・据え付け

陸組みした水管橋をクレーンで吊り上げ、ステージングの上に静かに据え置く。この時、後で組み付ける空気弁等が傾かないように、フランジ付き T 字管のフランジ面は上向き水平にしなければならない。

吊具は、外面特殊塗装を損傷しないようにスリングベルトを使用する。ワイヤロープを使用する場合は、管周りにゴム板を巻くなどの対策が必要である。

なお、クレーンや吊具は、架設位置や水管橋質量を確認して適切なものを選定する。

また、吊上げ時に両端の GX 形管または NS 形管にはロープを繋いでおけば、水管橋の軸心を合わせやすい。

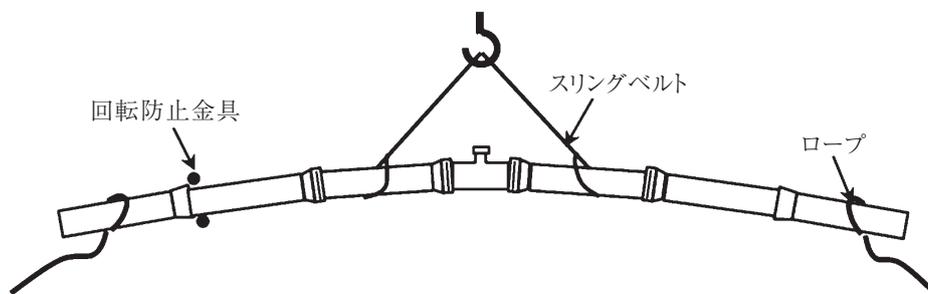


図 25 水管橋の吊り込み

(7) 水管橋の据え付け高さの調整（キャンバの設定）及び固定

以下の手順に従って、図 26 及び図 27 に示す a) ～ c) の位置（計 5 か所）の高さをレベル測量し、据え付け高さを調整する。据え付け高さの調整は、手動ジャッキ等で管を押し上げ管受台との間に薄板等を挟んで行う。各位置毎に、据え付け高さの調整が終了したら、その後の作業によって水管橋がローリングしないように管受台との間に木製くさび等を設置し固定する。

なお、据え付け高さの測量にあたっては、水管橋の据え付け前後で高さが上下する場合があるため、据え付け高さの確認は繰返し行う必要がある。

また、据え付け高さの調整作業中は、水管橋が管受台から落下しないように、水管橋全体を吊り下げたスリングベルトは外さないこと。

- ① a) の高さを測量する。設計図の水管橋の設置高さに合うよう調整する。
- ② b) の高さを測量する。b) の高さは、a) の高さに  $h_{11}$  (設計計算書記載の架設時の据え付け高さ) を足し合わせた高さに合うよう調整する。
- ③ c) の高さを測量する。c) の高さは、a) の高さに  $h_{31}$  (7本) もしくは  $h_{21}$  (5本) (設計計算書記載の架設時の据え付け高さ) を足し合わせた高さに合うように調整する。フランジ付き T 字管のフランジ面を水平にする。

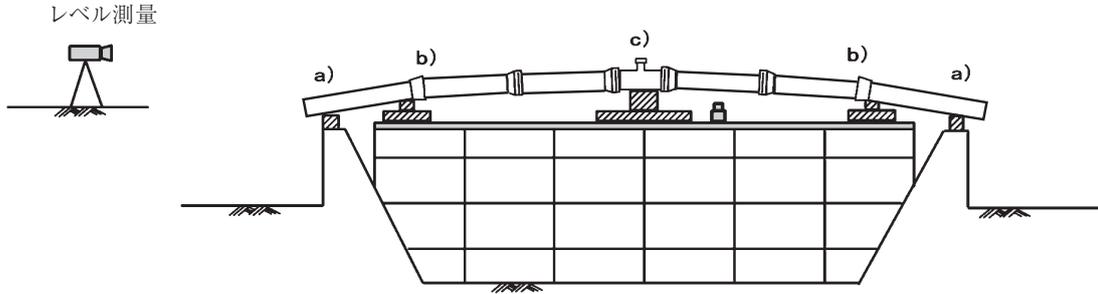


図26 水管橋の据え付け高さの測量

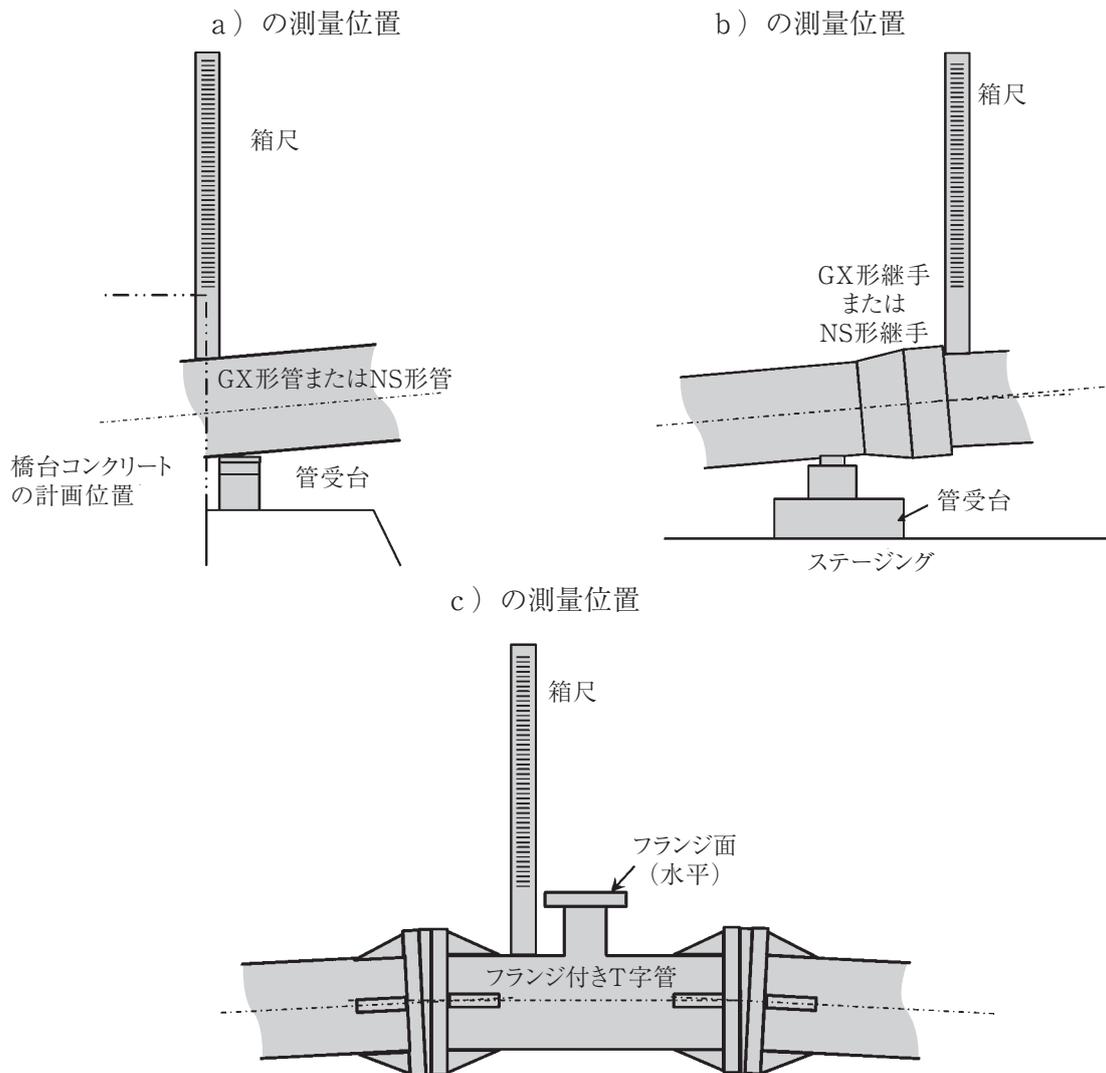


図27 据え付け高さの測量位置

- (8) 水管橋前後の配管  
設計図に基づいて、水管橋前後の管路（橋台部及びその前後）を配管する。
- (9) 水管橋据え付け位置の最終確認  
水管橋前後の配管完了後に、水管橋の据え付け高さ、軸心及びフランジ付き T 字管のフランジ面が水平であることを再確認する。
- (10) 付帯設備の設置  
空気弁、防渡柵を所定の位置に設置する。
- (11) 橋台コンクリートの打設・養生  
水管橋が動かないように十分注意しながら、型枠の組み立て、橋台コンクリートの打設作業を行う。その後、橋台コンクリートの所定の強度がでるまで十分養生する。
- (12) ステージング上の管受台の撤去  
橋台コンクリートの養生後、ステージング上の管受台などを撤去する。  
橋台コンクリートが十分に固まっていない場合、水管橋の高さが下がってしまうため、特に注意が必要である。
- (13) 外面塗装用足場の設置  
ステージングを塗装の作業床（足場）とする。
- (14) 外面塗装
- ① 下塗り塗装の補修  
中塗り・上塗り前に下塗り塗装に損傷の有無を確認し、損傷箇所があれば、エポキシ樹脂塗料で補修する。
  - ② 中塗り・上塗り塗装  
下塗り塗装の補修部分が十分硬化した後、中塗り・上塗り塗装としてポリウレタン樹脂塗料を 2 層塗装する。ポリウレタン樹脂塗料は、ダクタイル 鋳鉄管外面特殊塗装 (JDPA Z 2009<sup>2011</sup>) の解説に規定されている CC 塗料を使用する。塗料は、塗料製造者の指定した混合比になるように調合し、有効期限内に使用する。塗膜厚は、中塗り、上塗りともそれぞれ 20 $\mu$ m 以上とし、塗りむら、塗りもれ、異物の付着などがなく、均一な塗膜が得られるように行う。塗り重ねるときは、塗料製造業者の指定する塗装間隔で塗装する必要がある。また、現場塗装は、水管橋本体だけでなく、空気弁、押輪、ボルト・ナット、防渡柵、分岐サドル（タイプ I の場合）などの付帯設備にも同じ塗料で塗装する。
- (15) ステージングの撤去  
ステージングを解体・撤去する。

#### 6.4.2 ステージングを用いる単管吊り込み工法の施工手順

前述の一括吊り込み工法に比べ、水管橋架設場所の近くに陸組みする場所がない、あるいは水管橋全体を吊り上げるトラッククレーンの設置場所がない場合に、当工法を選定することとなる。

以下、前述の工法と異なるところだけを記載する。

(1) 管受台の設置

水管橋の設置位置および各継手の位置をステージング上にマーキングし、管受台をマーキングに合わせて設置する。管受台は管1本につき1ヶ所以上とし、設計書に示された架設時の据え付け高さに概ね合うようにあらかじめ高さを調整しておく。

(2) 管の吊り込み・据え付け・接合

両端いずれかの橋台コンクリート側から管を1本ずつ吊り込み、管受台に据え付けながら継手を順次接合していく。

(3) 水管橋の据え付け高さの調整

各継手付近をクレーンで吊り上げるか、継手の下に設置した手動ジャッキ等を用いて、管と管受台の間に薄板を挿入し、各継手が所定の据え付け高さとなるよう調整する。

### 6.4.3 ステージングを用いない固定金具工法の施工手順

上述の2つの工法に比べ、水管橋架設場所の近くに陸組みする場所はあるが、河岸高が高い、もしくは河川水量が多くステージングの設置が困難な場合に、当工法を選定することとなる。

なお、当工法では、橋台コンクリートに固定金具を巻き込む方法と、固定金具を永久構造物として露出する場合の2種類があるが、維持管理性や美観上から前者が一般的に選定される。

以下、上述の2つの工法と異なるところだけを記載する。

#### (1) 固定金具の設置前の作業

設計図に基づいて水管橋の架設位置を測量し、固定金具を設置する橋台コンクリートの型枠を組み立て、固定金具の設置位置を墨入れする。当工法では、固定金具の位置や高さによって水管橋の架設位置が決定するため、固定金具の設置位置は慎重に確認しなければならない。

固定金具を橋台コンクリートに巻き込む場合は、橋台コンクリートを下部（固定金具を設置）と上部（固定金具を巻き込み）の2回に分けて打設する必要がある。その場合、施工時に水管橋の重量で下部コンクリートが転倒しないよう、あらかじめ安定計算を実施しなければならない。

#### (2) 固定金具の設置

図28に固定金具の構造及び設置例を示す。固定金具の設置方法には、橋台コンクリート打設後にアンカーボルトで固定金具を固定する方法と、橋台コンクリート打設前に固定金具の固定台（ベース）をコンクリート内の鉄筋に固定する方法がある。アンカーボルトで固定する場合はアンカーボルトが強度を発揮できるように十分養生期間を設けること。

固定金具は、設計書に記載された橋台巻き込み部の据え付け勾配を設定できるように、薄板などで据え付け勾配を調整できる構造としなければならない。

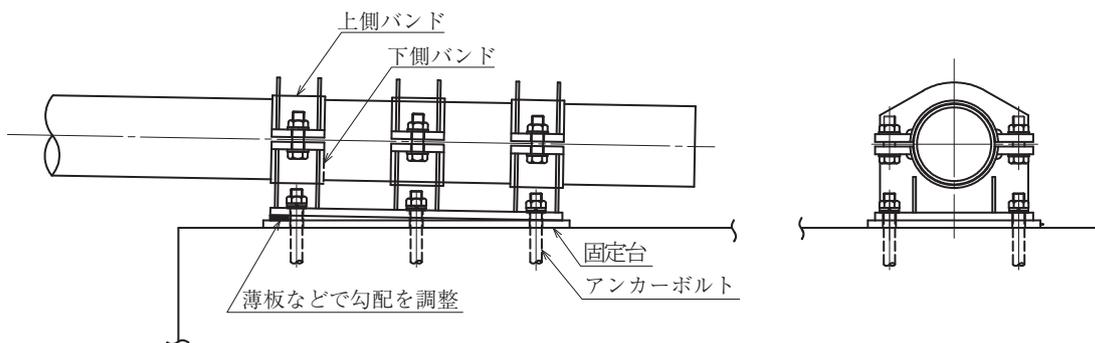


図28 固定金具の構造および設置例

#### (3) 水管橋の一括吊り込み・据え付け

水管橋を陸組みし空気弁等を組み付ける。空気弁等が傾かないように、陸組みした水管橋を一括で吊り込み、固定金具（下側）に据え付けた後、水管橋両端の長さ

と固定金具の位置が間違っていないことを確認して、固定金具（上側）で固定する。

固定金具が動かないことを確認しながら、トラッククレーンを徐々に下げ水管橋

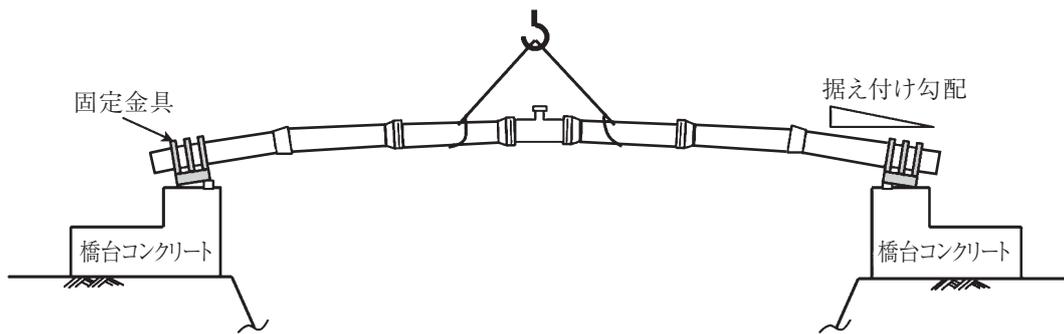
を吊り降ろす。

その後、両側の固定金具の据え付け勾配をレベル測量する。設計書通りの据え付け勾配になっていない場合、片側ずつ GX 形または NS 形継手近くをトラッククレーンで吊り上げ、固定金具の下に薄板を挿しこみ固定金具の据え付け勾配を調整する。

なお、据え付け勾配の調整にあたっては、管の吊り上げ前後で勾配が変化する場合があるため、据え付け勾配の確認は繰り返し行う必要がある。

また、水管橋の軸心や中央部の架設高さ等は目視で問題ないことを確認する。

(固定金具で固定)



(据え付け勾配の調整)

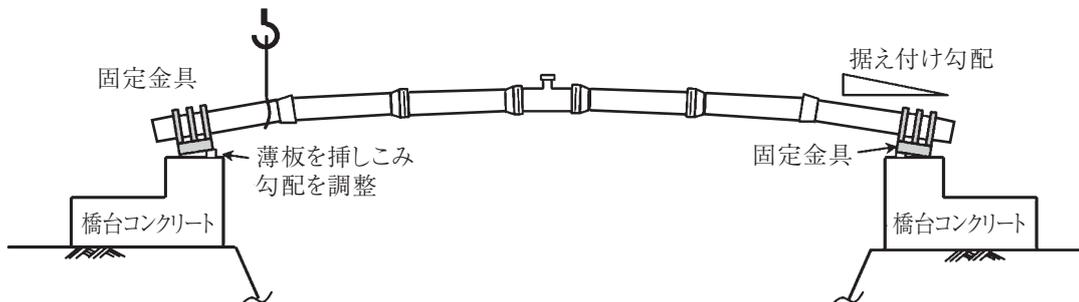


図29 固定金具工法における水管橋の据え付け方法

(4) 橋台コンクリートの打設

橋台コンクリート内の前後の管を配管後、型枠を設け、上部の橋台コンクリートを打設する。

(5) 外面塗装用足場の設置

塗装の足場(吊り足場等)を仮設し、外面塗装する。

## 7. 水管橋前後の不同沈下対策

河川を横断する水管橋の前後においては、軟弱地盤が多く、管路の不同沈下対策が必要である。図30に示すように、橋台コンクリートと埋設配管との連絡部には継ぎ輪を2個以上使用し、不同沈下を吸収できるようにしておくことが望ましい。

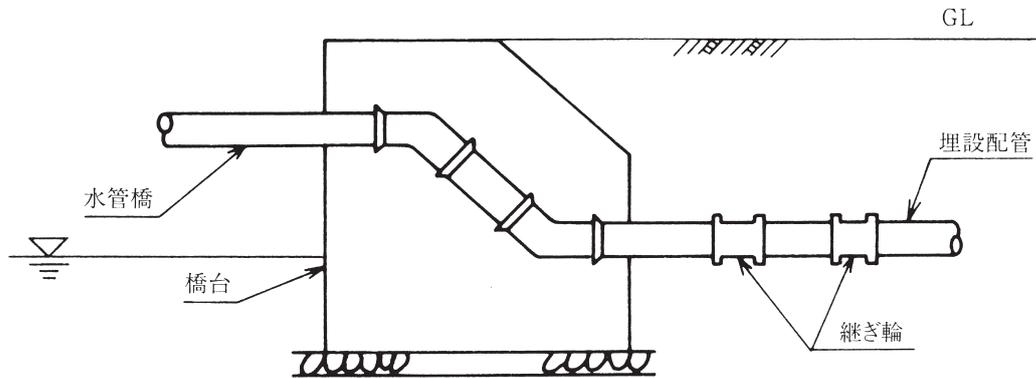


図30 水管橋前後の不同沈下対策例

## 8. 防凍工

「水道施設設計指針」にも記載されているように、寒冷地においては適切な防凍工を施す必要がある。図31に防凍工の例を示す。

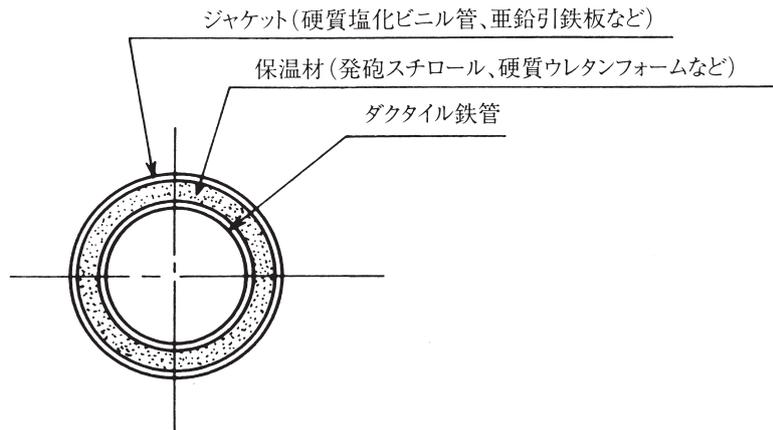


図31 防凍工

## 9. 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添架管が垂れ下がった事例も見られる。

このため、添架する管路はGX形、NS形管による鎖構造管路としておくことが望ましい。

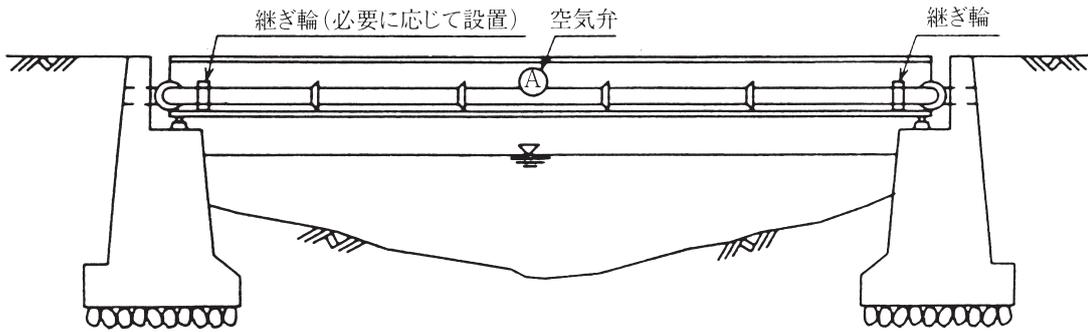


図32 橋梁添架配管例

添架管の支持は、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は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、添架配管の耐震性を高めるため、支持金具の形状・寸法や橋梁取り付け部のアンカーボルトなどの設計にあたっては、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。

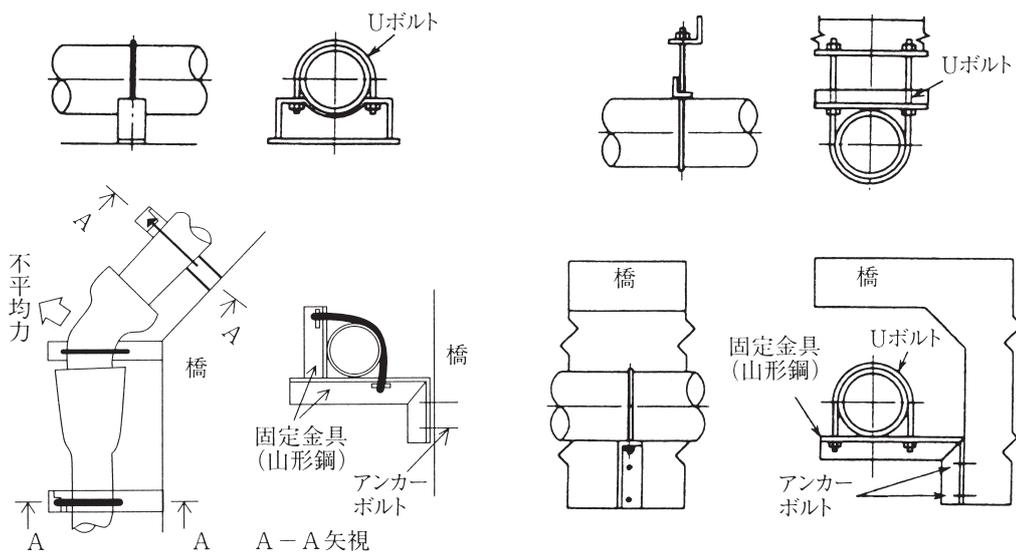


図33 添架管支持例

## 10. 参考資料

### 10. 1 基本となる指針

水道施設設計指針(2012)の中の7.5.14 水管橋及び橋梁添架管に従う。また、耐震性能の照査については、水道施設耐震工法指針・解説(2022年版) I 本編 4.8 水管橋および水路橋の耐震計算と性能照査に従う。

【公益社団法人 日本水道協会 水道施設設計指針(2012年版) p.485 抜粋】

#### 7.5.14 水管橋及び橋梁添架管

水管橋及び橋梁添架管は、次の各項による。

##### 1. 水管橋

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

##### 2. 橋梁添架管

- 1) 橋梁の可動端の位置に合わせて、必要に応じて伸縮継手を設ける。
- 2) 橋台付近の埋設管には、可撓性のある伸縮継手を設け、屈曲部には所要の防護工を施す。
- 3) 添架管の最も高い位置に空気弁を設ける。また、寒冷地にあつては適当な防凍工を施す。
- 4) 添架管には適切な防食措置を講じる。

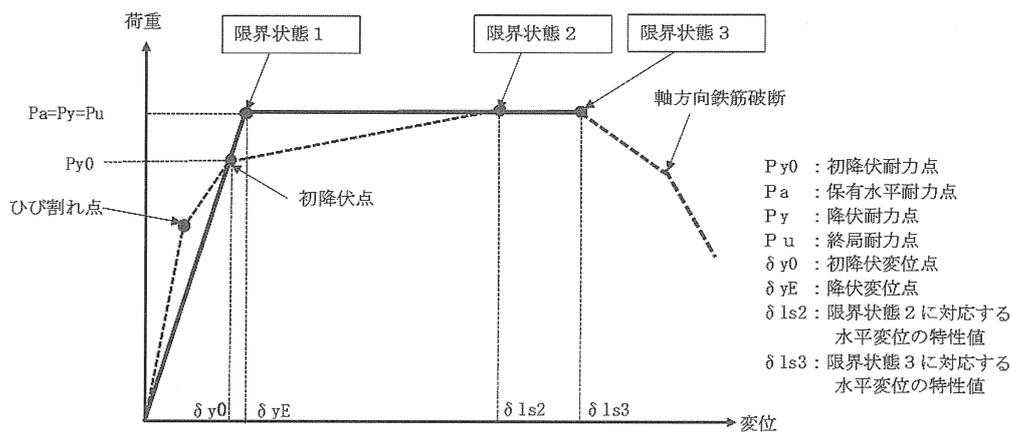
##### 3. ダクタイル鋳鉄製水管橋及び橋梁添架管

基本的な性能は **1. 水管橋**及び **2. 橋梁添架管**に準じるが、以下の点が異なる。

- 1) 水管橋の構造形式
- 2) 設計上考慮する荷重に対する変位
- 3) 橋台部付近の埋設管の構造
- 4) 露出部の外面塗装方法

表-4.8.1 水管橋の限界状態と照査基準

限界状態のランク		限界状態1（使用性）	限界状態2（復旧性）	限界状態3（安全性）
水道施設の要求性能 （「3.1.4 耐震設計の原則」の記述）		使用性は、設定した地震作用等に対して、水道施設が継続的に使用できるための性能	復旧性は、地震の影響等により低下した水道施設の性能を早期に復旧できる性能	安全性は、設定した地震作用等に対して、水道施設機能に重大な影響を及ぼすような損傷が発生しない性能。さらに、利用者や周辺の人の生命や財産を脅かさないための性能
施設機能面から要求される水管橋の限界状態		管体、主構、支承、伸縮可撓管に軽微な変形や、下部構造に軽微なひび割れは発生するが、漏水せずに地震後も継続使用できる限界の状態	下部構造の一部に塑性変形が認められるが、材料の破断・伸縮可撓管の離脱はせずに、早期に修復できる限界の状態	水管橋の落橋、下部構造の崩壊は避けられるが、漏水が断続的に生じて応急対策ならびに水管橋の本復旧が必要な限界の状態
力学的挙動から要求される水管橋の損傷状態		荷重を支持する能力が損なわれない限界の状態	部分的に荷重支持する能力の低下として一部の部材等に損傷や残留変位が生じているものの、組み合わせる状況において求める水管橋の荷重支持能力を確保するために必要な強度や剛性を確保できる限界の状態	これを超えると部材等としての荷重を支持する能力が完全に失われる限界の状態
照査対象		上部構造		
水管橋の上部構造の損傷状態		管体、主構、支承、伸縮可撓管に軽微な変形は発生するが、水密性を確保し、地震発生直後においても機能回復のための修復を必要としない限界の状態	支承、伸縮可撓管のずれの修復等、機能回復のために軽微な修復を必要とする	水管橋の落橋は避けられるが、構造的な損傷が一部にあり機能回復のために断面修復等の本復旧を必要とする
水管橋の部材ごとの限界状態に対する照査項目	主構部	鋼部材の応答値	鋼部材の応答値	鋼部材の応答値
	支承部	鋼部材の応答値	鋼部材の応答値	鋼部材の応答値
	水管橋の上部構造、支承は修復性や耐力の急激な低下のおそれなどの観点から、鋼部材は塑性化を期待する部材としないことを基本			
照査対象		下部構造		
水管橋の下部構造の損傷状態		軽微なひび割れは発生するが、地震発生直後においても機能回復のための修復を必要としない状態	一部に塑性変形が認められ、ひび割れの修復等、機能回復のために軽微な修復を必要とする	下部構造の崩壊は避けられるが、構造的な損傷が一部にあり機能回復のために断面修復等の本復旧を必要とする
水管橋の部材ごとの限界状態に対する照査項目	橋台 フーチング (底版)	曲げモーメント せん断力	曲げモーメント せん断力	曲げモーメント せん断力
	フーチングは、橋台、橋脚に作用する断面力を基礎に確実に伝達させる部材であるため、部材等の塑性化を生じさせないことを基本			
	橋脚	曲げモーメント せん断力	曲げモーメント せん断力 水平変位 残留変位	曲げモーメント せん断力 水平変位
	杭基礎	曲げモーメント せん断力	曲げモーメント せん断力 応答塑性率 応答変位	曲げモーメント せん断力 応答塑性率 応答変位
直接基礎	鉛直荷重 水平荷重 転倒モーメント	鉛直荷重 水平荷重 転倒モーメント	鉛直荷重 水平荷重 転倒モーメント	
留意事項				
※水管橋は、地震により破損した場合に復旧が困難であったり、重大な二次被害が発生するおそれがあるため、配水支管の水管橋であってもランクA1、ランクA2の水道施設と位置づけることが望ましい				



限界状態	限界状態 1	限界状態 2	限界状態 3
損傷状態	健全な状態 [弾性変形以内]	損傷が軽微であってエネルギー吸収が安定して期待できる状態 [許容塑性変形以内]	かぶりコンクリートの剥落・軸方向鉄筋のはらみ出しが始まる状態 [終局塑性変形以内]

限界状態1の点は、完全弾性型の骨格曲線における弾性限界点であり、これは、初降伏変位を超えても、側方にある軸方向鉄筋の効果により、剛性が急激に低下することはない点でありエネルギー一定則で仮定している完全弾性型の骨格曲線とも一致する。

図4.8.4 曲げ破壊型の単柱の鉄筋コンクリート橋脚の限界状態と損傷状態  
出典 日本道路協会 道路橋示方書・同解説V耐震工法編

表-3.5.1 水管橋及び水路橋の耐震性能と照査基準

耐震性能	耐震性能 1	耐震性能 2
限界状態	表-2.5.1 のとおり	表-2.5.1 のとおり
レベル 1 地震動の耐震性能	ランク A1、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
下部構造 橋台の照査基準	発生応力 ≤ 許容応力	発生応力 ≤ 許容応力
下部構造 橋脚の照査基準	発生応力 ≤ 許容応力	慣性力 ≤ 地震時保有水平耐力 残留変位 ≤ 許容残留変位
下部構造 基礎の照査基準 <sup>※1</sup>	支持力 ≤ 許容支持力 発生応力 ≤ 許容応力 応答変位 ≤ 許容変位	設計水平地震力 ≤ 基礎の降伏耐力 作用せん断力 ≤ せん断耐力 応答変位 ≤ 許容変位
下部構造 フーチングの照査基準	発生応力 ≤ 許容応力	作用曲げモーメント ≤ 降伏曲げモーメント 作用せん断力 ≤ せん断耐力
上部構造主構部の照査基準 <sup>※2</sup>	発生応力 ≤ 許容応力	レベル 1 に対し 発生応力 ≤ 許容応力
上部構造支承部、落橋防止構造の照査基準 <sup>※3</sup>	発生応力 ≤ 許容応力	レベル 2 に対し 発生応力 ≤ 許容応力
落橋防止構造の移動可能量の照査基準 <sup>※4</sup>	落橋防止構造の移動可能量は、伸縮可撓管の許容伸縮量を超えないこと	

※1: 基礎については、橋脚基礎、橋台基礎があり、部材応力照査、安定照査、基礎に非線形性を考慮する場合には応答塑性率の照査、応答変位の照査を行う。

※2: 上部構造主構部は、管体、トラス弦材、横構、アーチ材、吊材等を示す。

※3: 上部構造支承部、落橋防止構造は、リングサポート、支承、橋門構、サドルサポート、支持金物、落橋防止構造等を示す。

※4: 伸縮可撓管の許容伸縮量は、温度変化、橋脚橋台変位、地盤歪み、設置誤差、たわみによる桁移動量、余裕量等を適切に組み合わせて設定する。

## 10. 2 詳細設計の基準

- (1) 水道施設設計指針 (公益社団法人 日本水道協会)
- (2) ダクタイル管路配管設計標準マニュアル (一般社団法人 日本ダクタイル鉄管協会)
- (3) 水門鉄管技術基準 (一般社団法人 電力土木技術協会)
- (4) 水管橋設計基準 (日本水道鋼管協会)
- (5) 鋼道路橋設計製作示方書・解説 (公益社団法人 日本道路協会)

## 10. 3 関連法規

水道法  
河川法  
労働安全衛生法  
道路交通法  
騒音規制法  
その他

## 10. 4 諸数値

- (1) ダクタイル鉄管の断面諸数値を表7に示す。

表7 ダクタイル鉄管の断面諸数値

D (mm)	D <sub>2</sub> (mm)	T (mm)	t (mm)	I (m <sup>4</sup> )	Z (m <sup>3</sup> )	A (m <sup>2</sup> )
75	93.0	7.5	6.5	$1.66 \times 10^{-6}$	$3.57 \times 10^{-5}$	$1.77 \times 10^{-3}$
100	118.0	7.5	6.5	$3.55 \times 10^{-6}$	$6.02 \times 10^{-5}$	$2.28 \times 10^{-3}$
150	169.0	7.5	6.5	$1.10 \times 10^{-5}$	$1.30 \times 10^{-4}$	$3.32 \times 10^{-3}$
200	220.0	7.5	6.5	$2.49 \times 10^{-5}$	$2.26 \times 10^{-4}$	$4.36 \times 10^{-3}$
250	271.6	7.5	6.5	$4.76 \times 10^{-5}$	$3.50 \times 10^{-4}$	$5.41 \times 10^{-3}$
300	322.8	7.5	6.5	$8.08 \times 10^{-5}$	$5.01 \times 10^{-4}$	$6.46 \times 10^{-3}$
350	374.0	7.5	6.5	$1.27 \times 10^{-4}$	$6.78 \times 10^{-4}$	$7.50 \times 10^{-3}$
400	425.6	8.5	7.5	$2.15 \times 10^{-4}$	$1.01 \times 10^{-3}$	$9.85 \times 10^{-3}$
450	476.8	9.0	8.0	$3.24 \times 10^{-4}$	$1.36 \times 10^{-3}$	$1.18 \times 10^{-2}$
500	528.0	8.5	7.5	$4.15 \times 10^{-4}$	$1.57 \times 10^{-3}$	$1.23 \times 10^{-2}$
600	630.8	10.0	9.0	$8.50 \times 10^{-4}$	$2.69 \times 10^{-3}$	$1.76 \times 10^{-2}$

※呼び径 75 ~ 450 : GX 形・NS 形 1 種管、呼び径 500・600 : NS 形 S 種管

記号の説明 D : 呼び径  
D<sub>2</sub> : 管外径  
T : 規格管厚  
t : 計算管厚  
I : 管の断面二次モーメント (規格管厚による)  
Z : 管の断面係数  
A : 管鉄部の断面積

(2) ダクタイル鉄管の管長 1m 当たり各種荷重を表8に示す。

**表8 ダクタイル鉄管の管長 1m 当たりの荷重**

D (mm)	W <sub>p</sub> * (kN/m)	W <sub>w</sub> (kN/m)
75	0.141	0.043
100	0.182	0.077
150	0.267	0.173
200	0.351	0.308
250	0.436	0.482
300	0.521	0.693
350	0.605	0.944
400	0.780	1.233
450	0.927	1.560
500	0.972	1.926
600	1.367	2.774

※呼び径 75～450：GX形・NS形1種管、呼び径 500・600：NS形S種管

記号の説明     D   ：呼び径  
                   W<sub>p</sub>   ：管自重  
                   W<sub>w</sub>   ：管内水重

(3) FGX形管、FT形管、GX形管およびNS形管の主要寸法を表9に示す。

**表9 FGX形管、FT形管、GX形管およびNS形管の主要寸法**

単位 mm

呼び径	管厚 T	外径 D <sub>2</sub>	受口外径 D' <sub>5</sub> , D <sub>5</sub>				有効長 L	参考質量 (kg)			
			FGX形	FT形	GX形	NS形		FGX形	FT形	GX形	NS形
75	7.5	93.0	241	218	159	161	4000	77.0	69.4	66.2	69.6
100	7.5	118.0	270	247	190	190	4000	99.7	90.2	85.8	89.6
150	7.5	169.0	322	304	242	242	5000	173.5	160.9	153	159
200	7.5	220.0	379	358	294	294	5000	227.3	210.3	202	208
250	7.5	271.6	440	418	346	346	5000	284.8	264.1	250	257
300	7.5	322.8	504	473	408	408	6000	410.0	372	366	373
350	7.5	374.0	—	554	465	465	6000	—	444.4	428	434

## 10. 5 FGX形継手の接合要領(FT形継手も同じ方法で接合できる)

### (1) 受口内面、挿し口外面の清掃

ゴム輪が入る受口内面の異物を取り除き、ウエスなどで清掃する。

### (2) ゴム輪の装着

ゴム輪を清掃し、図34に示す形にして受口内におさめる。ふくらんでいる所を手やプラスチックハンマなどで押し込み、ゴム輪内面を指で触り、部分的な浮きがないことを確認する。

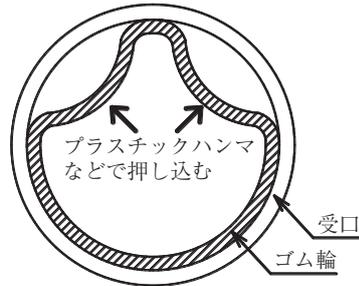


図34 ゴム輪の装着

### (3) テーパーリングのセット

挿し口にテーパリングをセットする。このとき、受口のフランジとテーパリングの最大厚み部に打刻された継手 No. と合マークを合わせる。また、最大厚み部 T1 寸法を測定しておく((6) のゴム輪の位置確認の時に必要)。

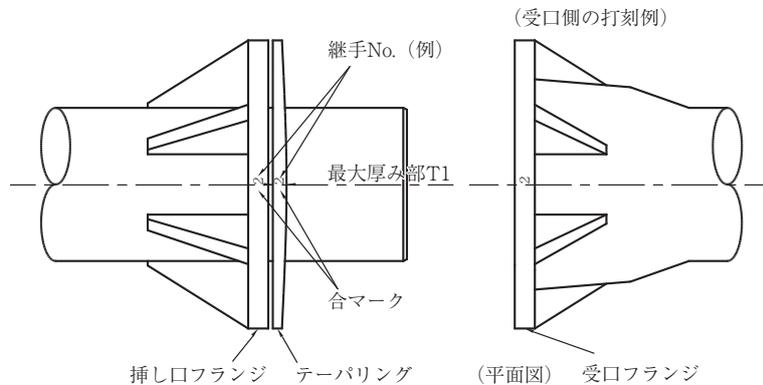


図35 テーパーリングのセット(および打刻の例)

### (4) 滑剤の塗布

ゴム輪および挿し口外面にダクタイト鉄管継手用滑剤を塗布する。

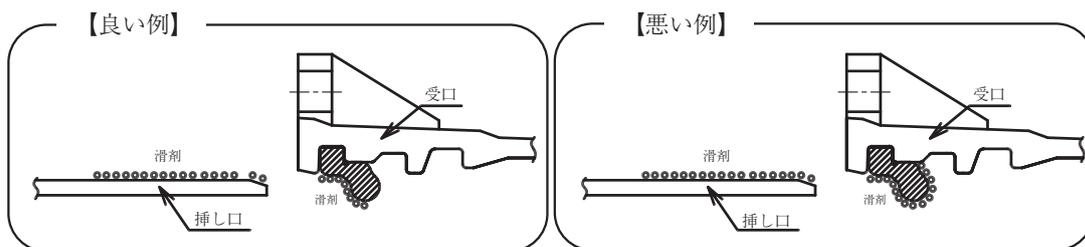


図36 滑剤の塗布

(5) 管の接合

受口および挿し口フランジの2ヵ所に引き込み用寸切りボルトをセットし、ナットを締めこんで受口に挿し口を引き込む。

参考 引き込み用寸切りボルトの寸法 (別途準備する。)

- ・  $\phi$  75 ~  $\phi$  200 : M20 × 280mm 以上
- ・  $\phi$  250、 $\phi$  300 : M24 × 320mm 以上
- ・  $\phi$  350 : M30 × 230mm 以上

(6) ゴム輪の位置確認

フランジ部に設けられた円周4ヵ所のゴム輪位置確認用スリット (図37) から、受口と挿し口の隙間に専用のチェックゲージ (図38) を挿し込み、ゴム輪がずれていないか確認する。

FGX形継手の場合は、その入り込み量 (b) が表10に示す合格範囲内であることを確認する。厚さ2mm側で測定したチェックゲージの入り込み量 (b) が合格範囲外であった場合は、厚さ4mm側を挿し込み、再度 (b) 寸法を測定する (2mmのチェックゲージで合格範囲外でも、4mmのチェックゲージで合格範囲内であれば良い)。

なお、呼び径300FGX形継手は厚さ2mmのチェックゲージを用い、厚さ4mmは用いない。

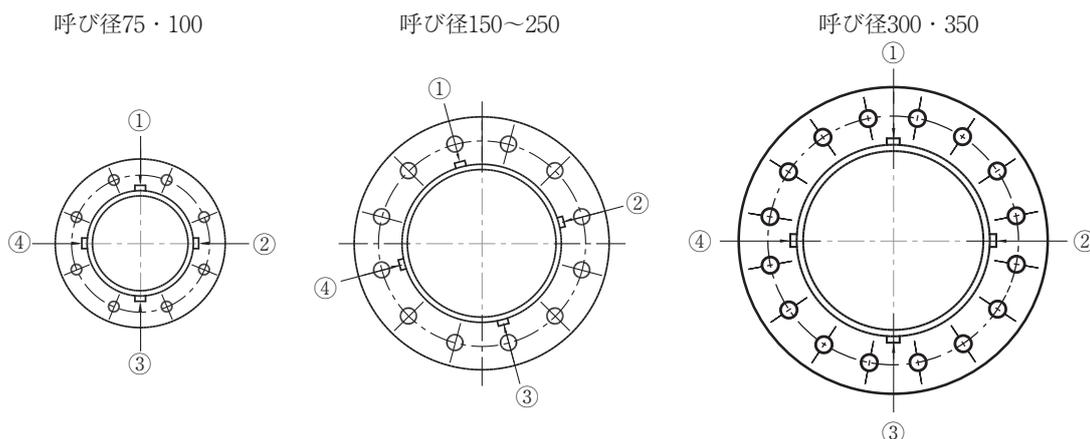


図37 ゴム輪位置確認用スリットの位置

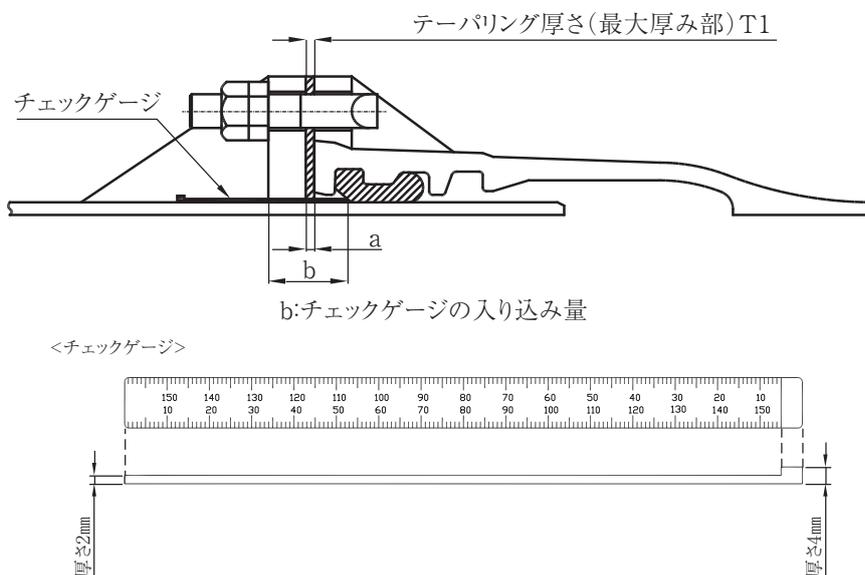


図38 チェックゲージを用いたゴム輪の位置確認

表 10 チェックゲージ入り込み量の合格範囲(2mm、4mm共通)

単位：mm

呼び径	T1	①	②	③	④	呼び径	T1	①	②	③	④
75	5	29~39	29~39	29~39	29~39	200	5	38~48	38~48	38~48	38~48
	6	30~40	30~40	29~39	30~40		6	39~49	39~49	38~48	38~48
	7	30~40	30~40	30~40	30~40		7	40~50	39~49	38~48	39~49
	8	31~41	31~41	30~40	31~41		8	40~50	40~50	39~49	39~49
	9	32~42	31~41	30~40	31~41		9	41~51	40~50	39~49	40~50
	10	33~43	32~42	30~40	32~42		10	42~52	41~51	39~49	40~50
	11	33~43	32~42	31~41	32~42		11	43~53	41~51	39~49	41~51
	12	34~44	33~43	31~41	33~43		12	44~54	42~52	39~49	41~51
	13	35~45	33~43	31~41	33~43		13	44~54	43~53	40~50	41~51
	14	36~46	34~44	31~41	34~44		14	45~55	43~53	40~50	42~52
	15	36~46	34~44	32~42	34~44		15	46~56	44~54	40~50	42~52
16	37~47	35~45	32~42	35~45	16	47~57	44~54	40~50	43~53		
呼び径	T1	①	②	③	④	呼び径	T1	①	②	③	④
100	5	32~42	32~42	32~42	32~42	250	5	41~51	41~51	41~51	41~51
	6	33~43	33~43	32~42	33~43		6	42~52	42~52	41~51	41~51
	7	33~43	33~43	33~43	33~43		7	43~53	42~52	41~51	42~52
	8	34~44	34~44	33~43	34~44		8	43~53	43~53	42~52	42~52
	9	35~45	34~44	33~43	34~44		9	44~54	43~53	42~52	43~53
	10	36~46	35~45	33~43	35~45		10	45~55	44~54	42~52	43~53
	11	36~46	35~45	34~44	35~45		11	46~56	45~55	42~52	43~53
	12	37~47	36~46	34~44	36~46		12	47~57	45~55	42~52	44~54
	13	38~48	36~46	34~44	36~46		13	48~58	46~56	42~52	44~54
	14	39~49	37~47	34~44	37~47		14	48~58	46~56	43~53	45~55
	15	39~49	37~47	35~45	37~47		15	49~59	47~57	43~53	45~55
16	40~50	38~48	35~45	38~48	16	50~60	47~57	43~53	46~56		
呼び径	T1	①	②	③	④	呼び径	T1	①	②	③	④
150	5	38~48	38~48	38~48	38~48	300	5	44~54	44~54	44~54	44~54
	6	39~49	39~49	38~48	38~48		6	45~55	45~55	44~54	45~55
	7	40~50	39~49	38~48	39~49		7	46~56	45~55	44~54	45~56
	8	40~50	40~50	39~49	39~49		8	47~57	46~56	44~54	46~56
	9	41~51	40~50	39~49	40~50		9	47~57	46~56	45~55	46~56
	10	42~52	41~51	39~49	40~50		10	48~58	47~57	45~55	47~57
	11	43~53	41~51	39~49	41~51		11	49~59	47~57	45~55	47~57
	12	43~53	42~52	40~50	41~51		12	50~60	48~58	45~55	48~58
	13	44~54	43~53	40~50	41~51		13	51~61	48~58	45~55	48~58
	14	45~55	43~53	40~50	42~52		14	52~62	49~59	45~55	49~59
	15	46~56	44~54	40~50	42~52		15	52~62	49~59	46~56	49~59
16	47~57	44~54	40~50	43~53	16	53~63	50~60	46~56	50~60		

(7) T 頭ボルトおよびもどり止めナットの締め付け

引き込み用ボルトを取り外し、T 頭ボルトともどり止めナットを締め付ける。このとき、片側の管をクレーンで吊るなどして、管の重さが T 頭ボルト・ナットにかからないようにする。

参考 もどり止めナットの締め付け手順

① 下ナットを T 頭ボルトに入れ、トルクレンチで下記の規定トルクまで確実に締め付ける。

- ・呼び径 75 ～呼び径 200 : 50N・m
- ・呼び径 250、呼び径 300 : 70N・m
- ・呼び径 350 : 100N・m

② 上ナットをボルトに入れてスパナなどで十分締め付ける。このとき、上ナットだけを回すようにし、上ナットと下ナットの両方にスパナがかからないように注意する。

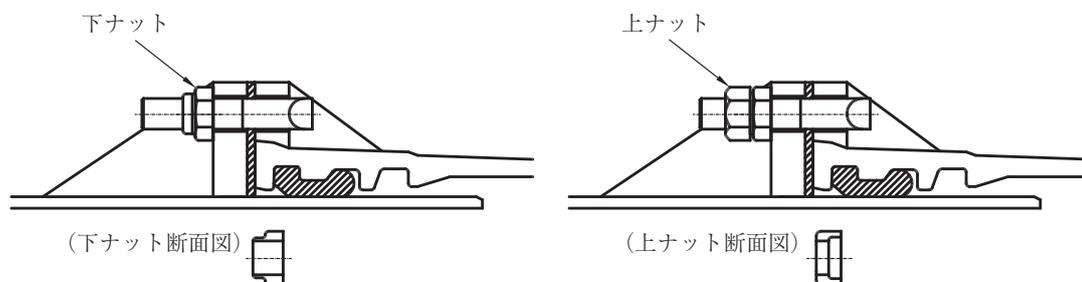


図 39 もどり止めナットの締め付け

MEMO



技術資料の内容は、製品の仕様変更などで予告なく変更される場合があります。当協会のホームページから最新の技術資料がダウンロードできますので、お手持ちの技術資料をご確認ください。

# 一般社団法人 日本ダクタイル鉄管協会

<https://www.jdpa.gr.jp>

本部・関東支部	東京都千代田区九段南4丁目8番9号(日本水道会館) 電話 03(3264)6655(代) FAX 03(3264)5075
関西支部	大阪市中央区南船場4丁目12番12号(ニッセイ心斎橋ウエスト) 電話 06(6245)0401 FAX 06(6245)0300
北海道支部	札幌市中央区北2条西2丁目41番地(札幌2・2ビル) 電話 011(251)8710 FAX 011(522)5310
東北支部	仙台市青葉区本町2丁目5番1号(オーク仙台ビル) 電話 022(261)0462 FAX 022(399)6590
中部支部	名古屋市中村区名駅3丁目22番8号(大東海ビル) 電話 052(561)3075 FAX 052(433)8338
中国四国支部	広島市中区立町2番23号(野村不動産広島ビル) 電話 082(545)3596 FAX 082(545)3586
九州支部	福岡市中央区天神2丁目14番2号(福岡証券ビル) 電話 092(771)8928 FAX 092(406)2256