6-4 推進工法

推進工法は19世紀末ごろに米国の鉄道横断工事で最初に採用された。日本では、戦後の1948(昭和23)年に軌道下横断工事として、呼び径600のさや管工事が採用されたのが最初という報告がある。その後、道路交通事情や埋設物などの関係で開削工法が困難な場合の非開削工法として用いられてきた。

また開削工法と比較して、騒音、振動、粉じんの低減、住民への影響の軽減など環境上も優れていることから、ダクタイル鉄管の推進工法は1970(昭和45)年ごろから数多く採用されてきたが、最近ではヒューム管による推進技術が向上し、長距離、カーブ推進が可能になり、ヒューム管をさや管として、ダクタイル鉄管を本管として挿入または持込みによる配管工法が増えてきている。

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推進工法 JDPA T33」(日本ダクタイル鉄管協会)
- 「JDPA G 1029 推進工法用ダクタイル鋳鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)
- 「JSWAS G-2 下水道推進工法用ダクタイル鋳鉄管」(日本下水道協会)
- 『推進工法体系Ⅰ』(日本推進技術協会、2016年)
- 『推進工法体系Ⅱ』(日本推進技術協会、2016年)

6-4-1 推進工法用ダクタイル鉄管

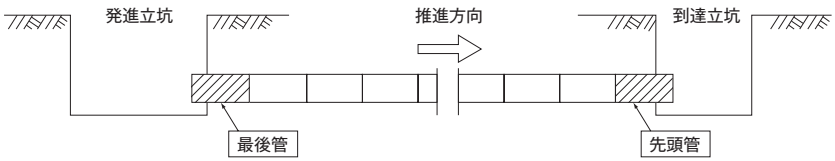
1 種類

推進工法用ダクタイル鉄管にはT形、U形、US形の3種類がある。これらはいずれも管の外面を鉄筋コンクリートで巻くことによって、直管受口の凸部をなくし、管外面を平滑にし、推進抵抗力が小さくなるようにしたものである。詳しくは「3-8 推進工法用の継手」を参照のこと。

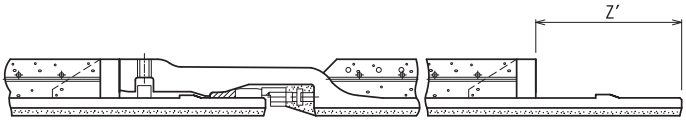
2 挿し口の接合形式によるZ′寸法

推進管路の両端は、接合形式によって、先頭管の挿し口、最後管の受口の形状が変わる場合がある。先頭管の挿し口のZ′寸法は、接続する接合形式によって変更する必要がある。

●図表6-4-1-1　先頭管、最後管



●図表6-4-1-2　Z′寸法の例（US形推進管〈LS方式〉）



Z′寸法は、推進管挿し口端部から外装（フランジ）までの寸法である。

●図表6-4-1-3　挿し口部のZ′寸法

（単位：mm）

呼び径	先頭管 挿し口の接合形式		標準管、最後管 挿し口の接合形式			
	NS形以外	NS形	T形	U形	UF形	US形
250	250	400	109	—	—	—
300	300	400	110	—	—	—
350	300	400	125	—	—	—
400	300	400	125	—	—	—
450	300	400	125	—	—	—
500	300	500	130	—	—	—
600	330	500	135	—	—	—
700	360	500	150	—	—	—
800	360	500	—	160	180	300
900	360	500	—	160	180	300
1000	380	530	—	165	185	325
1100	380	—	—	165	185	325
1200	380	—	—	165	185	325

呼び径	先頭管 挿し口の接合形式		標準管、最後管 挿し口の接合形式			
	NS形以外	NS形	T形	U形	UF形	US形
1350	420	—	—	175	195	345
1500	420	—	—	180	200	370
1600	440	—	—	180	200	350
1650	440	—	—	180	200	350
1800	480	—	—	180	200	350
2000	530	—	—	185	205	375
2100	590	—	—	190	210	385
2200	590	—	—	195	215	395
2400	640	—	—	205	225	415
2600	700	—	—	265	280	430

6-4-2 推力に対する抵抗力

推進工法用ダクタイル鉄管の推力に対する抵抗力を図表6-4-2-1に示す。

●図表6-4-2-1　管厚の種類別許容抵抗力（T形、U形、UF形、US形）注1、2

（単位：kN）

呼び径	管厚の種類					
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	PF管種
250	1670	—	1470	—	—	—
300	2060	—	1770	—	—	—
350	2450	—	1770	—	—	—
400	2840	2450	2160	—	—	—
450	2840	2840	2450	—	—	—
500	3730	3300	2840	—	—	—
600	3730	3730	3730	3330	2450	—
700	6570	5790	4810	3730	2840	—
800	6570	6570	5790	4810	3730	7550
900	6570	6570	6570	5790	4220	8530
1000	9020	9020	8040	6860	5200	6960
1100	9020	9020	9020	8040	5790	7650

呼び径	管厚の種類					
	1種管	2種管	3種管	4種管	5種管	PF管種
1200	9020	9020	9020	8630	6280	8340
1350	9020	9020	9020	9020	7450	15890
1500	12360	12360	12360	12360	9320	17650
1600	12360	12360	12360	12360	10000	14910
1650	12360	12360	12360	12360	10690	15400
1800	12360	12360	12360	12360	12160	16670
2000	16870	16870	16870	16870	15400	18630
2100	16870	16870	16870	16870	16820	22560
2200	16870	16870	16870	16870	16870	27950
2400	16870	16870	16870	16870	16870	38150
2600	23240	23240	23240	23240	23240	41680

注1　管厚は、許容差内最小管厚として計算した。数値は推力を管に均等に作用させ、真っすぐに推進した場合の値である。

注2　曲線推進は、U形、US形（LS方式）のみ適用可能である。曲線推進での許容抵抗力は、表以下の値になり、曲線の概要や延長によって施工できない場合があるので、検討が必要になる。

6-4-3 推進工事

1 調査

調査の目的は路線、立坑位置、管の埋設深さ、施工方法、補助工法などを決定するための資料を得ること、かつ工事を安全で経済的に実施することである。

調査は立地条件調査、支障物件調査、地形および地盤調査、環境保全のための調査に大別できる。調査結果は推進工法採用の可否、推進工法のルート選定および線形などの計画・設計、施工方法や環境保全対策などの検討、そして工事完成後は維持管理のための資料ともなるので、このことを十分に考慮して調査を行わなければならない。

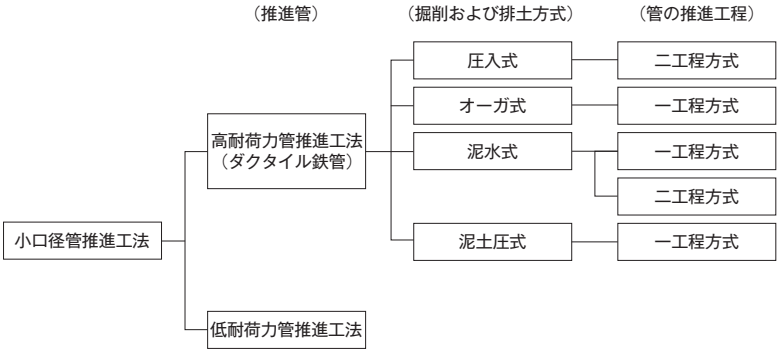
2 推進工法の選定

推進工法は切刃の構造、掘削方法、土砂処理方法などにより分類される。

❶ 小口径管推進工法（呼び径700以下）

推進工法用ダクタイル鉄管での小口径管推進工法は、高耐荷力管推進工法と低耐荷力管推進工法に大別され、高耐荷力管推進工法はさらに掘削および排土方式、管の推進工程により細分類される。

●図表6-4-3-1　小口径管推進工法の分類（T形）

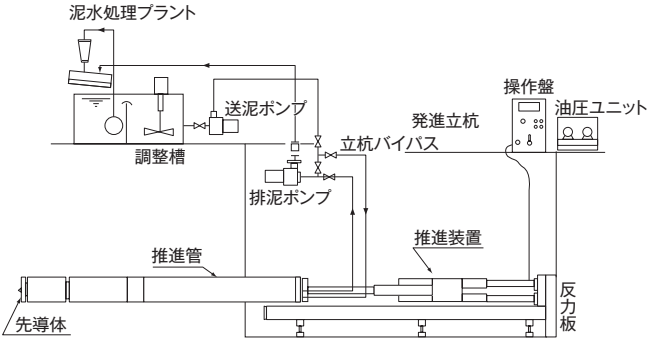


1）　泥水式

泥水式は先導体のカッタチャンバ内を泥水で満たし、その泥水圧を切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図る。掘削土は泥水と混合し排泥水として坑外へ流体輸送される。排泥水は坑外に設けた泥水処理設備により土砂と泥水に分離され、泥水は送泥水として再び切羽に送られる。推進工程には一工程方式と二工程方式とがある。

適用土質の範囲は粘性土、砂質土、砂礫土であり、粗石・巨石、軟岩・中軟岩対応の専用機もある。最大推進延長の目安は一工程方式で標準管の場合、120～160m程度である。

●図表6-4-3-2　泥水式（一工程方式の例）

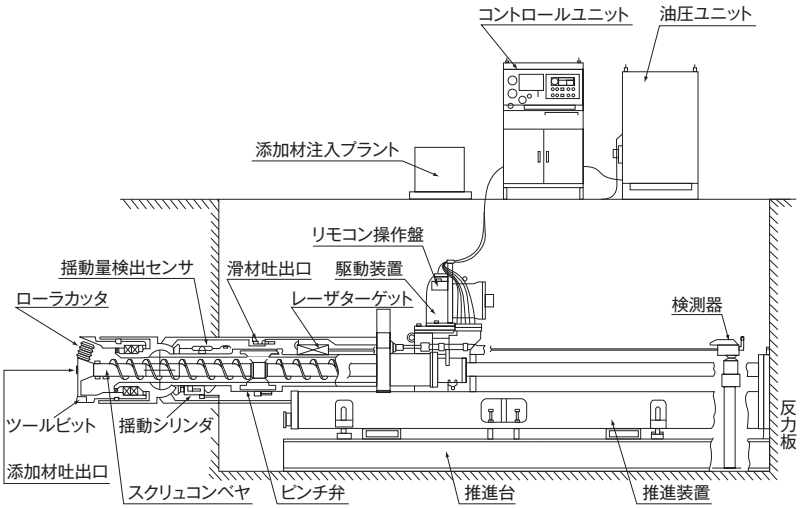


2） 泥土圧式

泥土圧式は先導体のカッタチャンバ内を泥土で満たし、その泥土の圧力を切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図る。掘削土（泥土）は、ピンチ弁または圧送排土ゲートの開閉により、排土量を調整しながら排出される。管の推進工程は一工程方式である。

適用土質の範囲は粘性土、砂質土、砂礫土であり、粗石・巨石まで対応することができる。最大推進延長の目安はスクリュ排土方式で標準管の場合、60～80m程度である。また圧送排土方式および吸引排土方式で標準管の場合は140～160m程度である。

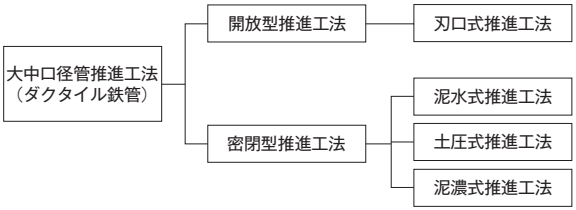
●図表6-4-3-3　泥土圧式（一工程方式・スクリュ排土方式）



❷ 大中口径管推進工法（呼び径800以上）

大中口径管推進工法は切羽が自立している場合に用いられる開放型推進工法と地下水圧と土圧に対抗して推進するため各種の機能を備えた密閉型推進工法がある。

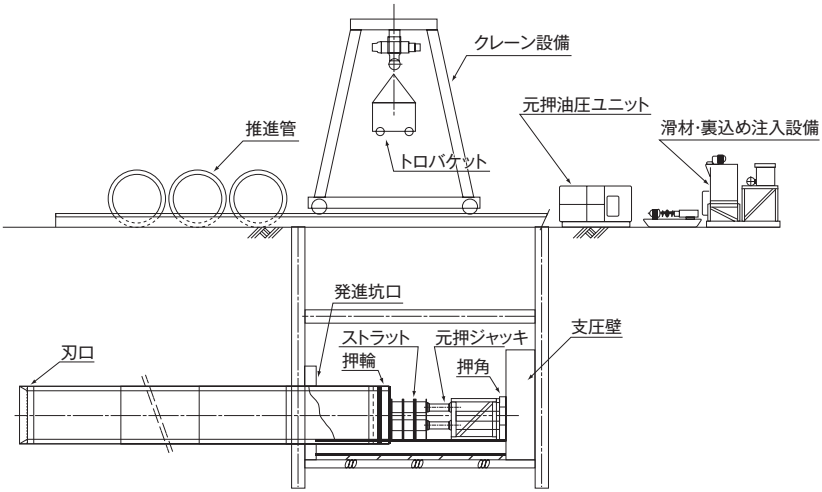
●図表6-4-3-4　大中口径管推進工法の分類（U形、UF形、US形）



1） 刃口式推進工法

刃口式推進工法は推進管の先端に刃口を装着し、立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠（かんきょ）を構築する工法である。本工法は切羽からの出水がなく、自立していることが必要条件であり、各種の補助工法を用いることが多い。切羽の掘削は人力による場合がほとんどである。

●図表6-4-3-5　刃口式推進工法

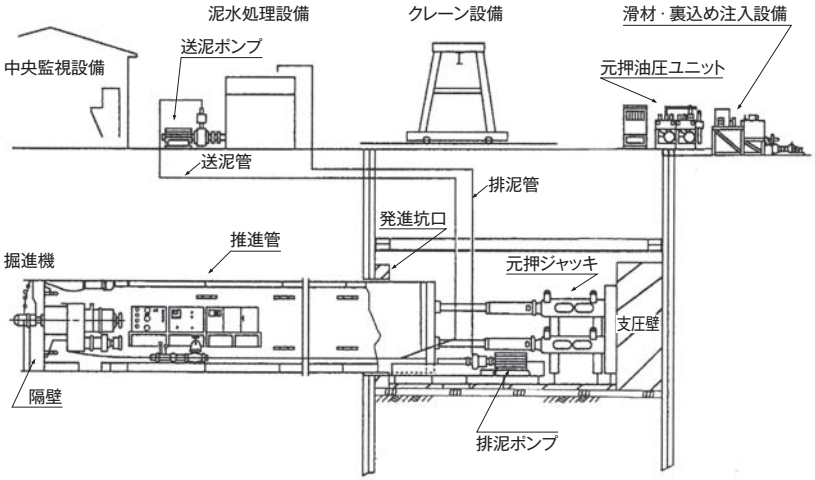


2） 泥水式推進工法

泥水式推進工法は切羽と隔壁間のカッタチャンバ内を泥水で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図り、カッタヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。

掘削土は泥水と混合して排泥水として坑外へ流体輸送され、排泥水は坑外に設けた泥水処理設備により土砂と泥水に分離される。泥水は送泥水として再び切羽へ送られ、送泥水、排泥水の管路系統は循環回路になっている。適用土質の範囲は、粘性土（N値10未満）、砂質土（N値50未満）、砂礫土（礫含有率30%以上80%未満）、硬質土（一軸圧縮強度200MN/m^2未満）である。

●図表6-4-3-6　泥水式推進工法

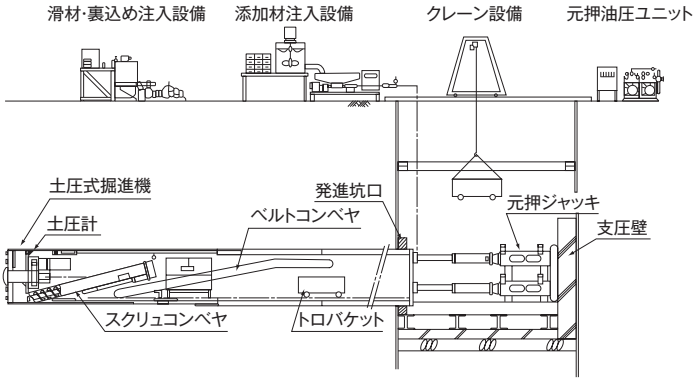


3）　土圧式推進工法

土圧式推進工法は切羽と隔壁間のカッタチャンバ内およびスクリュコンベヤ内を掘削土砂あるいは土砂（泥土）で満たし、その土砂（泥土）の圧力を切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することにより切羽の安定を図り、カッターヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。

掘削土は連続的に排出され、土砂はトロバケット、圧送ポンプあるいは吸引装置により坑外に搬出される。適用土質の範囲は粘性土（N値10未満）、砂質土（N値50未満）、砂礫土（礫含有率30％以上80％未満）、硬質土（一軸圧縮強度200MN/m^2未満）である。

●図表6-4-3-7　土圧式推進工法

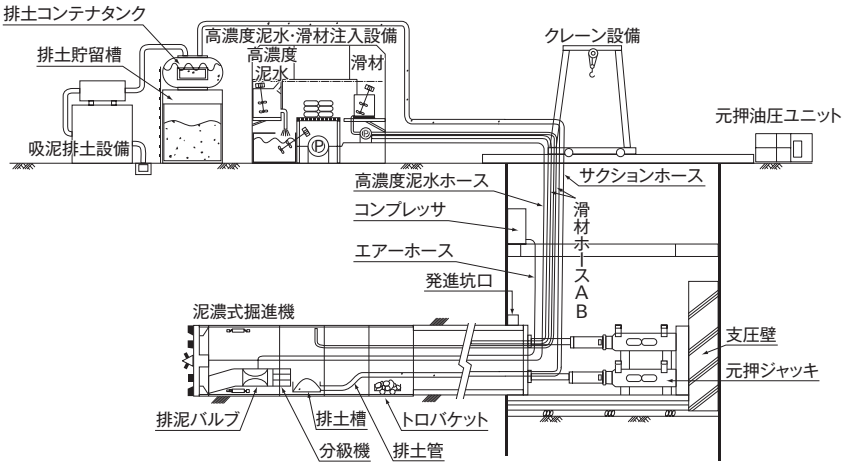


4） 泥濃式推進工法

泥濃式推進工法は切羽と隔壁間のカッタチャンバ内を掘削土砂と高濃度泥水と攪拌混合した土砂（泥土）で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に、泥土の圧力を保持することにより切羽の安定を図り、カッターヘッドで掘削しながら立坑に設けた元押ジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。

掘削土は間欠的に排土槽へ排出される。排土は搬送可能な粒径以下に分級され、吸引力により坑外へ搬出される。適用土質の範囲は粘性土（N値10未満）、砂質土（N値50未満）、砂礫土（礫含有率30％以上80％未満）、硬質土（一軸圧縮強度200MN/m^{2}未満）である。

●図表6-4-3-8　泥濃式推進工法



6-4-4 推進時の留意点

1 アダプタの取付け

推進装置は一般にヒューム管または鋼管を対象として開発されたもので、ダクタイル鉄管と管の外径が異なるので、アダプタを推進機に取り付けて推進する必要がある。ダクタイル鉄管とヒューム管の推進管の外径を図表6-4-4-1に示す。

●図表6-4-4-1　推進工法用ダクタイル鉄管とヒューム管の外径

（単位：mm）

呼び径[注1]	外径 D_5		呼び径[注1]	外径 D_5	
	ダクタイル鉄管	ヒューム管		ダクタイル鉄管	ヒューム管
250	334	360	1200	1362〈1390〉	1430
300	386	414	1350	1521〈1546〉	1600
350	450	470	1500	1679〈1705〉	1780
400	502	526	1600	1786〈1805〉	—
450	555	584	1650	1839〈1856〉	1950
500	608	640	1800	1990〈2003〉	2120
600	713	760	2000	2209〈2220〉	2350
700	831	880	2100	2314〈2326〉	—
800	938〈973〉	960	2200	2433〈2445〉	2580
900	1043〈1077〉	1080	2400	2617〈2630〉	2810
1000	1151〈1183〉	1200	2600	2865〈2874〉	3040
1100	1258〈1288〉	1310			

注1　呼び径250～700はT形、呼び径800～2600はU形、US形。外径の〈　〉内はUS形の場合を示す。

2　有効長

ダクタイル鉄管とヒューム管は管の有効長が異なるので、推進工法の種類により適用できない場合がある。その場合は適用可能な管の長さに調整して製造することが可能である。

●図表6-4-4-2　推進管の最大有効長

（単位：mm）

呼び径	最大有効長	
	ダクタイル鉄管	ヒューム管
250	4000、5000	2000
300	4000、6000	
350～1500		2430
1600～2200	4000、5000	
2400・2600	4000、5000[注1]	

注1　4種管のみである。

3 管内養生

掘削土砂の運搬時など、ダクタイル鉄管内に機材を搬入する場合は、管内面の塗装、ライニングを保護するためにゴム板などを管内面に敷き養生する必要がある。

6-4-5 推進力の計算式

1 基本式

総推進力Fは、先端抵抗力F_0、管にかかる等分布荷重および自重による摩擦抵抗力F_1、管と土との付着力F_2の総和で表される。詳細については「ダクタイル鉄管による推進工法 JDPA T33」および『下水道推進工法の指針と解説 2010』(日本下水道協会)を参照のこと。カーブ推進の場合は、地盤反力により背面からの力を受けるので別途検討を要する。

$$F = F_0 + F_1 + F_2 \quad \cdots\cdots \text{式6-4-5-1}$$

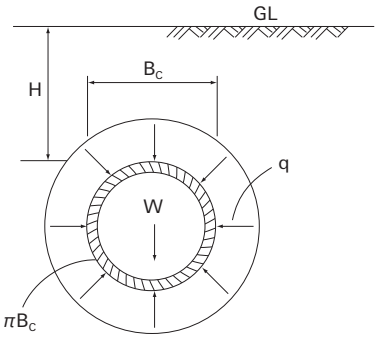
ここに、 F　：総推進力(kN)

F_0　：先端抵抗力(kN)

F_1　：摩擦抵抗力(kN)

F_2　：付着力(kN)

●図表6-4-5-1　推進諸抵抗



❶ 先端抵抗力F_0

先端抵抗力は一般に先端刃先抵抗と呼ばれるものであり、標準貫入試験から求めたN値で表した式を用いる。

$F_0 = 10.0 \times 1.32 \pi B_c \cdot N$ ……式6-4-5-2

ここに、 B_c：推進管外径＝D_5'（m）

N ：標準貫入試験から求めたN値

❷ 摩擦抵抗力F_1

$F_1 = \mu'(\pi B_c q + W)L$

ここに、 μ' ：管と土との摩擦係数 ……式6-4-5-3

$$\mu' = \tan\delta = \tan\frac{\phi}{2}$$ 全断面加圧と仮定

δ ：管と土との摩擦角（°）

ϕ ：土の内部摩擦角（°）

q ：管にかかる等分布荷重（kN/m^2）

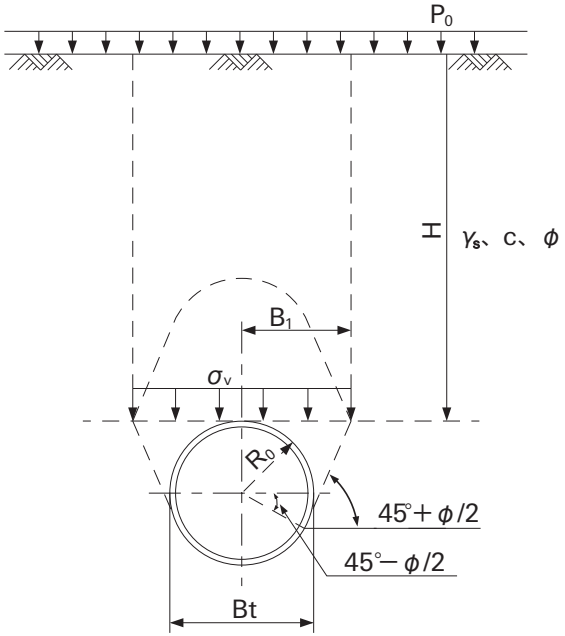
W ：管の単位重量（kN/m）

L ：推進延長（m）

1） 緩み土圧による管にかかる等分布荷重q_1

推進管は深い位置に埋設されるので、一般に管にかかる等分布荷重の計算は緩み土圧により求める。

●図表6-4-5-2　均一地盤におけるテルツァギーの緩み土圧による管にかかる等分布荷重



$$q_1 = \sigma_v = \frac{B_1\left(\gamma_s - \frac{c}{B_1}\right)}{K_0 \cdot \tan\phi}\left(1 - e^{-K_0 \cdot \tan\phi \cdot \frac{H}{B_1}}\right) + P_0 \cdot e^{-K_0 \cdot \tan\phi \cdot \frac{H}{B_1}}$$ ……式6-4-5-4

$$B_1 = R_0 \cdot \cot\left(\frac{45° + \frac{\phi}{2}}{2}\right)$$

$\phi = 0$の場合

$$q_1 = \sigma_v = \left(\gamma_s - \frac{c}{B_1}\right)H + P_0$$ ……式6-4-5-5

ここに、　q_1　：緩み土圧による管にかかる等分布荷重(kN/m²)

σ_v　：テルツァギーの緩み土圧による鉛直土圧(kN/m²)

B_1　：片側緩み幅(m)

γ_s　：土の単位体積重量(kN/m³)

c　：土の粘着力(kN/m²)

W　：管の単位重量(kN/m)

K_0　：水平土圧と垂直土圧の比(通常K=1.0としてよい)

ϕ　：土の内部摩擦角(°)

μ' ：管と土との摩擦係数

e ：自然対数の底

H ：土かぶり（m）

p_0 ：上載荷重（＝10kN/m²）

R_0 ：土の緩み幅を考慮した掘削半径（m）

$R_0 = B_c / 2 +$ 土の緩み幅または $B_t / 2$

B_t ：土の緩みを考慮した掘削径（m）

2） 垂直土圧による管にかかる等分布荷重 q_2

$q_2 = w + p$ …… 式6-4-5-6

ここに、 q_2 ：垂直土圧による管にかかる等分布荷重（kN/m²）

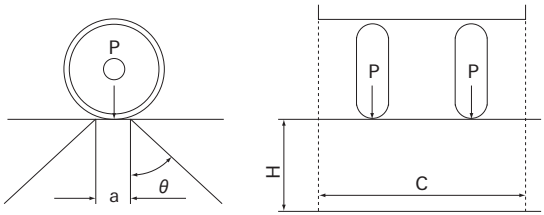
w ：垂直土圧による等分布荷重（kN/m²）

$w = \gamma_s H$

p ：路面荷重による等分布荷重（kN/m²）

路面荷重による等分布荷重は、輪荷重が**図表6-4-5-3**のように地中に分布するものとする。設計自動車荷重は250kN（『道路橋示方書・同解説』〈日本道路協会〉に定められた後輪荷重）として路面荷重による等分布荷重を求める。

●図表6-4-5-3　路面荷重による等分布荷重



$$p = \frac{2P(1+i)\cdot\beta}{C(a+2H\cdot\tan\theta)}$$ …… 式6-4-5-7

ここに、 p ：路面荷重による等分布荷重（kN/m²）

P ：後輪荷重（＝100kN）

a ：タイヤの接地長（＝0.2m）

C ：車両の占有幅（＝2.75m）

θ ：荷重の分布角（一般に45°）

i ：衝撃係数（図表6-4-5-4）

β ：低減係数（図表6-4-5-5）

●図表6-4-5-4　衝撃係数i

H(m)	H≦1.5	1.5＜H＜6.5	6.5≦H
衝撃係数	0.5	0.65-0.1H	0

●図表6-4-5-5　低減係数β

H(m)	H≦1mかつ内径B≧4mの場合	左記以外の場合
低減係数	1.0	0.9

なお、大型車の乗り入れがないことが確実な場合は、別途検討するものとする。

3）　付着力F_2

管と土との単位当たり付着力C′は、土の粘着力が大きくなると相対的に小さくなる。一般に管と土の付着力は、大きくとも10.0(kN/m²)程度と考えてよい。

$$F_2 = \pi B_c C' L \quad \cdots\cdots \text{式6-4-5-8}$$

ここに、 C′　：管と土との単位当たり付着力(kN/m²)

●図表6-4-5-6　標準的な土質とその特性値

土　質	特性値[注1]			
	φ(°)	N	C′(kN/m²)	μ′
軟弱土	15	4	10	0.1317
普通土	20	10	5	0.1763
普通土	30	15	0	0.2679
高質土	40	30	0	0.3640

注1　φは土の内部摩擦角、Nは標準貫入試験によるN値、C′は管と土との付着力、μ′は管と土との摩擦係数(tan φ／2)を示す。

2　下水道協会式

次式は式6-4-5-1(基本式)の修正式であり、自立可能な地山における刃口式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + \alpha \cdot \pi B_c \cdot \tau_a \cdot L + W \cdot \mu' \cdot L \quad \cdots\cdots \text{式6-4-5-9}$$

$$\tau_a = \sigma \cdot \mu' + C'$$

$$\sigma = \beta \cdot q$$

$$\mu' = \tan\delta$$

$$F_0 = 10.0 \times 1.32 \cdot \pi \cdot Bs \cdot N'$$

ここに、 F ：総推進力（kN）

F_0 ：先端抵抗力（kN）

B_c ：管外径（m）

B_s ：先導体（刃口・掘進機）外径（m）

α ：管と土との摩擦抵抗の生じる範囲にかかる係数（＝0.50～0.75）

τ_a ：管と土との単位当たりせん断力（kN/m²）

q ：管にかかる等分布荷重（kN/m²）

W ：管の単位重量（kN/m）

μ' ：管と土との摩擦係数

σ ：管にかかる周辺荷重（kN/m²）

β ：管にかかる周辺荷重の係数（＝1.0～1.5）

δ ：管と土との摩擦角（°）（全断面加圧につき $\delta = \dfrac{\phi}{2}$ と仮定する）

C' ：管と土との単位当たり付着力（kN/m²）

N' ：切羽芯抜きをした場合の貫入抵抗値

普通土（粘性土）	1.0
砂質土	2.5
硬質土	3.0

L ：推進延長（m）

3 泥水・土圧式算定式

次式は大中口径管の泥水・土圧式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + f_0 \cdot L \quad \cdots\cdots \text{式 6-4-5-10}$$

$$F_0 = (P_w + P_e) \cdot \pi \cdot \left(\frac{B_s}{2}\right)^2$$

$$f_0 = \beta\,[(\pi B_c \cdot q + W)\,\mu' + \pi B_c \cdot C']$$

ここに、 F ：総推進力（kN）

F_0 ：先端抵抗力（kN）

f_0 ：周面抵抗力（kN/m）

L ：推進延長（m）

P_w ：カッタチャンバ内圧力（kN/m²）

泥水式　P_w＝地下水圧＋20.0（kN/m²）

土圧式　砂質土の場合：

P_w＝主働土圧＋地下水圧＋ΔP（ΔP＝20～50kN/m²）

粘性土の場合：P_w＝静止土圧を用いる。

P_e　：切削抵抗力（kN/m²）

P_e＝N値×10.0（kN/m²）

ただし、N ＜ 15 の場合は P_e＝150（kN/m²）とする。

N ＞ 50 の場合は P_e＝500（kN/m²）とする。

B_s　：掘進機外径（m）

B_c　：管外径（m）

q　：管にかかる等分布荷重（kN/m²）

W　：管の単位重量（kN/m）

μ'　：管と土との摩擦係数

$$\mu' = \tan\frac{\phi}{2}$$

ϕ　：内部摩擦角

C′　：管と土との付着力（kN/m²）

粘性土（N ＜ 10）：C′＝8

固結土（N ≧ 10）：C′＝5

β　：推進力低減係数

●図表6-4-5-7　土質別のβ標準値

土　質		推進力低減係数β
普通土	粘性土	0.35
	砂質土	0.45
	砂礫土[注1]	0.50
粗石混り土	砂礫土（1）[注2]	0.60
	砂礫土（2）[注3]	0.70
硬質土	硬質土（1）[注4]	0.35
	硬質土（2）[注5]	0.35

注1　砂礫土：礫径20mm未満、礫含有率30%未満。
注2　砂礫土（1）：最大砂礫径20㎜以上で最大礫径は掘進機外径の20%未満かつ400㎜以下、礫含有率は30%以上80%未満。
注3　砂礫土（2）：礫径は砂礫土（1）以外、礫含有率は30%以上80%未満。
注4　硬質土（1）：N値10以上で一軸圧縮強度は5MN/m²未満。
注5　硬質土（2）：一軸圧縮強度は5MN/m²以上200MN/m²未満。
備考　β値は標準値を基本とし、施工条件により±0.05の範囲で採用する。

4 泥濃式算定式

次式は大中口径管の泥濃式推進工法に適用する。

$F = F_0 + f \cdot S \cdot L$ …… 式6-4-5-11

$$F_0 = (P_e + P_w) \cdot \pi \cdot \left(\frac{B_s}{2}\right)$$

$$f = 2 + 3 \cdot \left(\frac{G}{100}\right)^2 + 27 \cdot \left(\frac{G}{100}\right) \cdot M^2$$

ここに、 F ：総推進力(kN)

F_0 ：先端抵抗力(kN)

S ：管外周長(m)

L ：推進延長(m)

P_e ：切羽単位面積当たり抵抗力(kN/m²)

$P_e = 4.0 \times N$値

$N < 1$の場合は$P_e = 4.0$(kN/m²)とする。

P_w ：カッタチャンバ内の泥土圧力(kN/m²)

$P_w =$ (地下水圧 + 20.0)(kN/m²)

B_s ：掘進機外径(m)

f ：管周面抵抗力(kN/m²)

G ：礫率(%)

M ：最大礫長径／管外径

6-4-6 管厚計算

管厚に関する安全性の検討、たわみの計算式は「5-2 管厚計算」を参照のこと。ただし、管底支持角は90°としてよい。

6-4-7 曲線推進

1 留意点

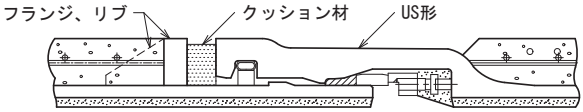
曲線推進の計画に際しては、推進管を安全確実に推進するために、以下の点に留意し推進管列に関わる検討と曲線造成のための掘進方法に関わる検討を行わなければならない。

- 曲線線形の各点における推進力の計算と推進抵抗力低減対策
- 推進力伝達材（クッション材）の形状、厚さ、材質
- 側方地盤反力に対する管の耐荷力
- 曲線推進時の管の軸方向の耐荷力
- 推進管継手部の開口長と継手の止水性
- 元押部における推進力に対する管の軸方向の耐荷力

2 接合形式

推進工法用ダクタイル鉄管を使用する場合、推進が曲線であることから接合形式はU形、US形（LS方式）が適用可能である。

●図表6-4-7-1　曲線用の推進工法用ダクタイル鉄管



備考　クッション材は、材質および発泡倍率によって圧縮性状が異なるので、圧縮率の増大に比べて、応力度の上昇が緩やかなものを使用するなど、適切な材質を選定する必要がある。クッション材の配置と厚さは現場の諸条件によって選定する。

3 直管または切管による曲線配管の検討

曲線配管を行う場合、継手の許容曲げ角度を全て見込んで設計すると施工時の余裕がなくなり、施工誤差などを継手で吸収できなくなる。このため、許容曲げ角度に余裕を見て設計することが望ましい。一般的には許容曲げ角度の1/2を設計曲げ角度として設計を行う場合が多い。直管または切管で曲線配管する場合の有効長は

次式により求める。

$$L = 2R\tan\frac{\theta_a}{2}$$

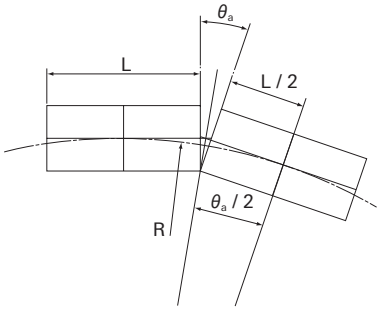
L　：管の有効長（m）

R　：曲線半径（m）

θ　：許容曲げ角度（°）

θ_a　：設計曲げ角度（$=\frac{\theta}{2}$）

●図表6-4-7-2　直管または切管による曲線配管の有効長



●図表6-4-7-3　設計曲げ角度（許容曲げ角度の1/2）と管の有効長から求まる最小曲線半径

呼び径	許容曲げ角度（°）	設計曲げ角度（°）	最小曲線半径（m） 有効長				
			2m	3m	4m	5m	6m
800	2° 10′	1° 05′	106	159	212	265	318
900	2° 00′	1° 00′	115	172	230	287	344
1000	1° 50′	0° 55′	126	188	251	313	376
1100	1° 40′	0° 50′	138	207	276	344	413
1200	1° 30′	0° 45′	153	230	306	382	459
1350	1° 30′	0° 45′	153	230	306	382	459
1500	1° 30′	0° 45′	153	230	306	382	459
1600	1° 10′	0° 35′	197	295	393	492	—
1650	1° 05′	0° 32′ 30′′	212	318	424	529	—
1800	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2000	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2100	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2200	1° 00′	0° 30′	230	344	459	573	—
2400	1° 00′	0° 30′	230	344	459	—	—
2600	1° 30′ （1° 00′）	0° 45′ （0° 30′）	153 （230）	230 （344）	306 （459）	—	—

備考　（　）内はUS形を示す。

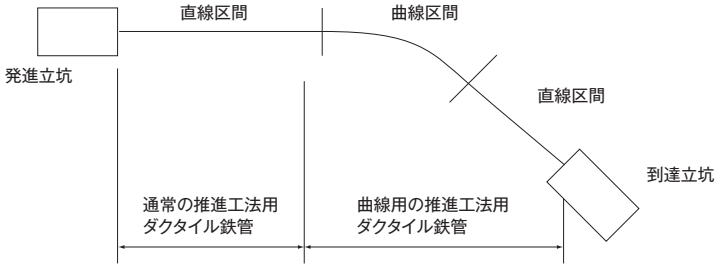
4 許容耐荷力

曲線推進部の管の許容耐荷力は設計曲げ角度と曲線部の推進力を考慮して算定する。

5 配管例

曲線用の推進工法用ダクタイル鉄管は曲線施工時に曲線部を通過する推進管全てに適用する。

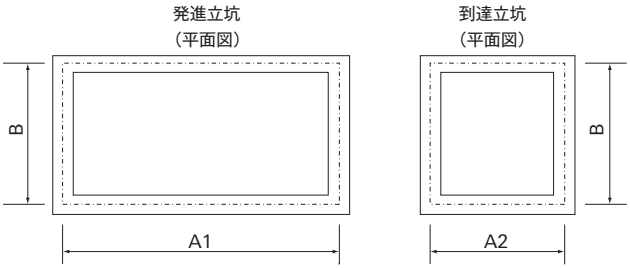
●図表6-4-7-4　曲線推進時の配管例



6 発進・到達立坑

立坑寸法は推進方式、現場条件などによって異なるので推進作業に必要なスペースを考慮して決定する。

●図表6-4-7-5　発進・到達立坑の参考寸法



（単位：m）

呼び径	刃口式推進工法	泥水式推進工法		土圧式推進工法		泥濃式推進工法		幅
	A1	A1	A2	A1	A2	A1	A2	B
800	7.6	8.4	4.8	8.4	4.8	8.4	4.0	3.2
900	7.6	8.4	4.8	8.4	4.8	8.4	4.0	3.2
1000	8.0	8.8	4.8	8.8	4.8	8.8	4.0	3.2
1100	8.0	8.8	4.8	8.8	4.8	8.8	4.0	3.6
1200	8.0	8.8	4.8	8.8	5.2	8.8	4.0	3.6
1350	8.0	8.8	5.2	8.8	5.2	8.8	4.0	3.6
1500	8.0	8.8	5.2	8.8	5.2	8.8	4.0	4.0
1600	8.0	8.8	5.6	8.8	5.2	8.8	4.4	4.0
1650	8.0	8.8	5.6	8.8	5.2	8.8	4.4	4.4
1800	8.0	9.2	5.6	9.2	5.6	9.2	4.4	4.8
2000	8.0	9.2	5.6	9.2	5.6	9.2	4.4	4.8
2100	8.0	9.2	5.6	9.2	6.0	9.2	4.4	5.2
2200	8.0	9.2	5.6	9.2	6.0	9.2	4.4	5.2
2400	8.4	9.2	5.6	9.2	6.0	—	—	5.6
2600	8.4	9.2	5.6	9.2	6.4	—	—	6.0

6-4-8 支圧壁

支圧壁は背面支持力が得られる大きさで、推進反力に十分耐えられる構造でなければならない。また、回転モーメントが働かないような位置に設置すること。

支圧壁の大きさはランキンの受働土圧式を用いて決定する。

$$R = \alpha \cdot B \left(\gamma_s \cdot H^2 \cdot \frac{K_p}{2} + 2c \cdot H \sqrt{K_p} + \gamma_s \cdot h \cdot H \cdot K_p \right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式6-4-8-1}$$

ここに、 R ：地山の支持力（kN）

α ：係数（＝1.5～2.5。通常は2）

B ：支圧壁の幅（m）

γ_s ：土の単位体積重量（kN/m³）

H ：支圧壁の高さ（m）

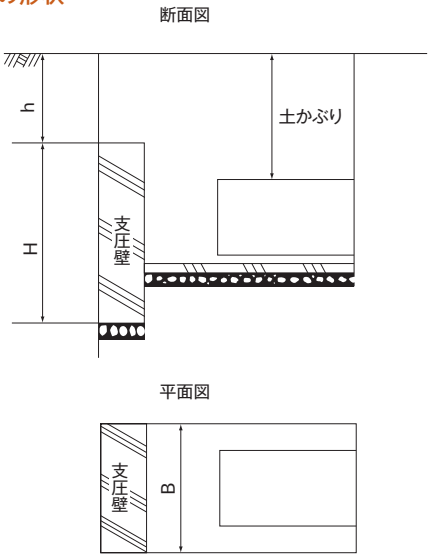
K_p ：受働土圧係数〔$= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$〕

ϕ　：土の内部摩擦角（°）

c　：土の粘着力（kN/m²）

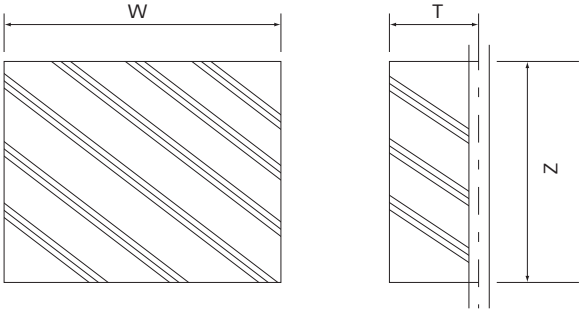
h　：地表からの深さ（m）

●図表6-4-8-1　支圧壁の形状



支圧壁の厚みについては、鋼材などを用いて、できるだけコンクリートには圧縮力が働くようにするのが望ましいが、推進力が働く鋼材の始点から支圧壁端部までを片持梁と仮定して、無筋コンクリートに作用する曲げモーメントに対して、コンクリートの引張強度による抵抗モーメントを用いて安全性の検討を行う。無筋コンクリートの支圧壁の抵抗モーメントが不足する場合、鉄筋による補強の検討を行うことが必要である。支圧壁の厚みは図表6-4-8-2を参照のこと。

●図表6-4-8-2　支圧壁寸法



呼び径	支圧壁の寸法			型枠（m²）	コンクリート（m³）
	W（m）	Z（m）	T（m）		
φ800	2.00	1.80	0.60	5.76	2.16
φ900	2.00	2.00	0.60	6.40	2.40
φ1000	2.20	2.00	0.70	7.20	3.08
φ1100	2.40	2.20	0.70	8.36	3.70
φ1200	2.80	2.40	0.70	10.08	4.70
φ1350	3.20	2.60	0.70	11.96	5.82
φ1500	3.50	3.00	0.70	14.70	7.35
φ1650	3.80	3.20	0.80	17.28	9.73
φ1800	3.90	3.40	1.00	20.06	13.26
φ2000	4.00	3.60	1.00	21.60	14.40
φ2200	4.20	3.80	1.00	23.56	15.96
φ2400	4.40	4.00	1.00	25.60	17.60
φ2600	4.60	4.30	1.00	28.38	19.78

備考　上記寸法表に示す支圧壁の大きさは経験値を含めたヒューム管推進工法協会の標準的な大きさである。施工条件によっては寸法変更を行うことがある。

「ヒューム管推進工法 設計・積算・技術資料 泥濃式（φ800～φ2600）〈平成24年度版〉」（ヒューム管推進工法協会）より

6-4-9 補助工法

推進工法では土質条件によって施工の難易度が大きく左右される。特に地山が不安定で切羽の崩落、地表面の陥没あるいは地盤沈下の恐れのある場合、または近接する構造物、埋設物などの防護や立坑、支圧壁を補強する場合には地盤改良が必要である。

補助工法は単独または併用によって、安全かつ経済的な方法で地山の安定を図る必要がある。補助工法としては、地盤改良工法、地下水位低下工法、圧気工法、凍結工法などがある。

6-4-10 滑材、裏込めおよび注入孔

1 滑材

滑材は推進抵抗を減少させ、また地山の緩みを防ぎ、かつ止水を目的として行う。注入に当たっては、滑材の種類、注入圧、注入量等を検討し、滑材が管全周に行き渡るように注入する。滑材には、混合（標準型）滑材、一体型混合滑材、粒状型滑材、固結型滑材、遅硬性滑材などがある。

●図表6-4-10-1　滑材配合例（m^3当たり）

項　目	数　量
ベントナイト	100kg
マッドオイル	40ℓ
固化剤	2kg
CMC注1	2kg
水	0.9m^3

注1　カルボキシメチルセルロース（セルロース系水溶性高分子）

2 裏込め

裏込めは推進完了後、推進管と地山との間隙を充填し、地山の緩みを防止するために行う。注入に当たっては、裏込め材の流出に注意しながら、注入圧力・注入量の管理を確実に行う必要がある。

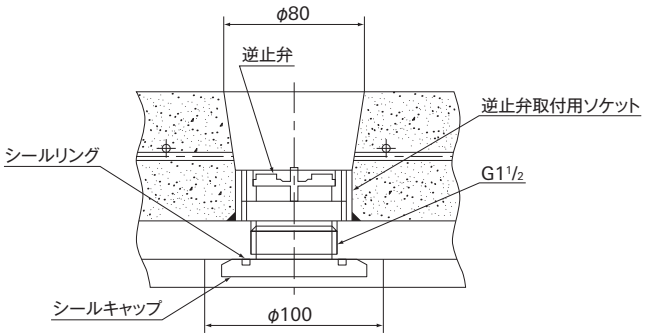
●図表6-4-10-2　裏込め配合材（m^3当たり）

項　目	数　量
セメント	500kg
フライアッシュ	250kg
ベントナイト	100kg
分散剤	4kg
目詰材	5kg
水	0.7m^3

3 注入孔

呼び径800以上の推進工法用ダクタイル鉄管には、必要に応じて図6-4-10-3に示す注入孔を設けることができる。また注入孔には図表6-4-10-3に示すように、逆止弁を取り付けたものも使用できる。

●図表6-4-10-3　逆止弁付き注入孔の構造



4 注入孔の水圧試験方法

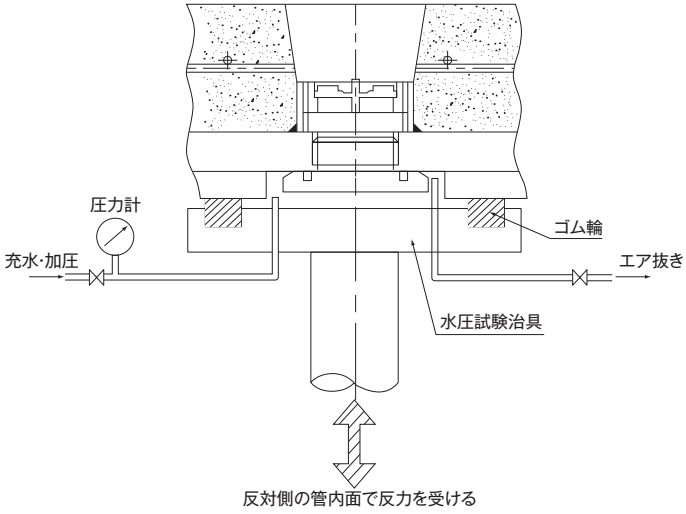
推進工法用ダクタイル鉄管にて管路を構築する場合には、継手部の水密性検査とは別に注入孔の水圧試験が必要である。

注入孔の水圧試験は、以下の手順に従って行う。

- 注入作業終了後、管体ねじ部の異物をきれいに取り除く。
- シールキャップの溝の中に、シールリングを確実に取り付ける。
- 管内面にシールキャップ面が当たる（メタルタッチ）まで十分締め付ける。
- シールキャップの止水性を確認する場合は、テストバンドや図表6-4-10-4に示す方法などで水圧試験を行う。なお、このときの試験水圧は0.49MPaとし、5分経過後に0.39MPa以上あれば合格としてよい。
- 水圧試験合格後、シールキャップ部分をエポキシ樹脂などで充填する。このとき、樹脂は硬化するまで十分養生する。

なお、注入孔を使用しない場合についても、必ず上記方法でシールキャップを取り付ける。

●図表6-4-10-4　注入孔の水圧試験



6-4-11 管の接合

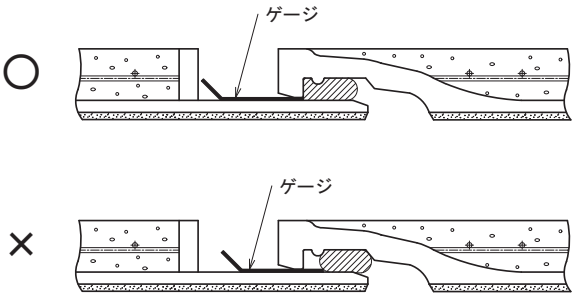
接合形式によって接合方法が異なるため、接合方法およびチェックシートなどの詳細は日本ダクタイル鉄管協会が発行する接合形式別の接合要領書を参照のこと。なお、共通する場合の留意事項を以下に示す。

- 管の接合に従事する配管工は、関係機関にてダクタイル鉄管についての技能講習を受講した者、またはダクタイル鉄管の豊富な配管経験を有する者が適当である。
- 配管工は作業着手に当たって、接合形式、構造、接合部品および接合の要点につき熟知しておく。
- 接合要領書に基づいて接合を行い、接合結果をチェックシートに記録する。

1 T形

- 管の心出しを行った後、挿し口を受口に挿入する。このとき受口端面と挿し口フランジ面の間隔をゴム輪が確認できる程度（約40mm）空けておく。
- ゴム輪の確認は受口と挿し口の隙間に薄板のゲージを挿し込み、ゴム輪が正しい位置にあることを確認する。

●図表6-4-11-1　T形推進管のゴム輪の確認

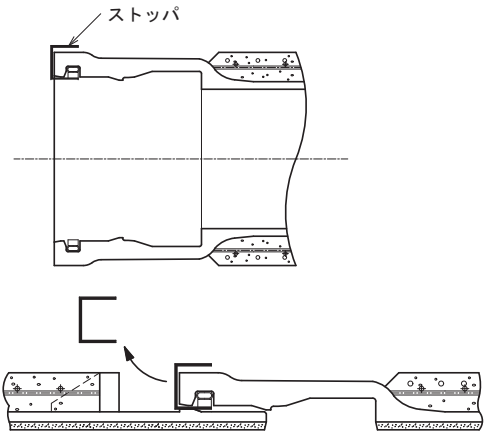


2　US形（LS方式）

・ストッパはロックリングの分割部を管頂部にした状態で、シャコ万力等を使用して拡大し、全ての呼び径において、図表6-4-11-2に示すように拡大したロックリングの分割部に装着する。

・管の心出しを行った後、挿し口を受口に挿入する。挿し口突部がロックリングに当たるまで挿入し、ストッパを外してロックリングを挿し口に抱き付かせる。その後、受口端面とフランジ面が当たるまで挿入する。

●図表6-4-11-2　US形推進管のストッパのセットと撤去



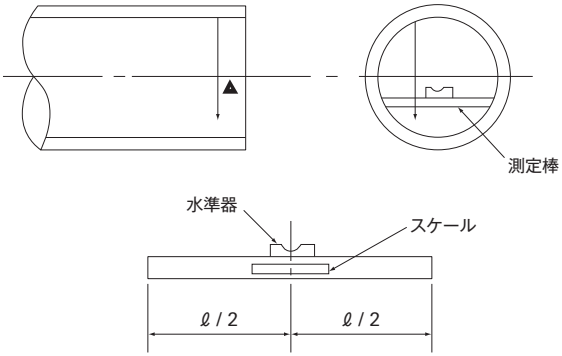
6-4-12 計測工

計測工は推進管が安全に、かつ計画線上に正しく配管されるように導くためのものであり、正確に行う必要がある。

1） 管の蛇行

基本的には1本推進するごとに全管の挿し口端と受口端の間隔を上下、左右2カ所について測定する。

2） ローリング

基本的には1本推進するごとに全管の挿し口端で管内頂部に付けた印より下げ振りを下ろし、管内に当てた測定棒の中心とのずれを測定する。

●図表6-4-12-1　ローリングの計測