

ダクティル鉄管による 推進工法

JDPA T 33



一般社団法人
日本ダクティル鉄管協会

目 次

はじめに	1
1. 推進工法用ダクタイル鉄管.....	2
1.1 特 長	2
1.2 種類と構造	2
1.3 先頭管、最後管および異種継手管.....	4
1.4 性 能	9
2. 推進工事	11
2.1 調 査	11
2.2 推進工法の選定	12
2.3 主な推進工法の概要(参考資料)	13
2.4 ダクタイル鉄管推進時の留意点	18
2.5 管に作用する荷重	20
2.6 推進力	23
2.7 管厚計算	29
2.8 曲線推進	33
2.9 発進・到達立坑	35
2.10 支圧壁	37
2.11 補助工法	38
2.12 注入工	38
3. 施 工	41
3.1 推進管類の取り扱い	41
3.2 推進工	41
3.3 継手接合	42
3.4 計測工	43
4. 資 料	45
4.1 T形チェックシート	45
4.2 U形チェックシート	46
4.3 US形チェックシート	47

はじめに

推進工法は、19世紀末頃にアメリカの鉄道横断工事で最初に採用された。日本では、戦後の昭和23年に軌道下横断工事として、さや管口径600mmの工事が採用されたのが、最初という報告がある。その後、道路交通事情や地下埋設物などの関係で開削工法が困難な場合の管路布設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、環境にも優れていることから、数多く採用されてきた。

本書は、推進工法で使用するダクタイル鉄管についての規格、特長や推進工法に関する事項を解説したものである。なお、本書で取り扱う、ダクタイル鉄管の規格^{※1}と参照した推進工法の技術資料^{※2}を以下に示す。

※1 ダクタイル鉄管の規格

- ・一般社団法人 日本ダクタイル鉄管協会
「推進工法用ダクタイル鋳鉄管 J DPA G 1029」
- ・公益社団法人 日本下水道協会
「下水道推進工法用ダクタイル鋳鉄管 JSWAS G-2」

※2 推進工法の技術資料

- ・公益社団法人 日本推進技術協会
「推進工法体系 I 推進工法技術編」
「推進工法体系 II 計画設計・施工管理・基礎知識編」

1. 推進工法用ダクタイトイル鉄管

1.1 特長

(1) 高強度

ダクタイトイル鉄管は、圧縮に強い性質があるので大きな推力に耐える。

(2) 施工性

接合がスピーディに行え、雨中、湿気など気象条件にあまり左右されることなく接合できる。管の長さは、4 m、5 m、または6 mであり、必要に応じて管路の方向修正が可能である。

(3) 継手の水密性

継手は、いずれも水道用として多くの使用実績があるT形、U形およびUS形継手であり、高い水密性を有している。

(4) 耐地盤変動

T形、U形は可とう性を発揮して地盤の変動に順応できる。US形は伸縮・可とう性に加えて、離脱防止機能を有しているため、耐震用、堤体樋管、耐地盤変動管路に適している。

1.2 種類と構造

推進工法用ダクタイトイル鉄管は表1に示すようにT形、U形および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、直管受口の凸部を均し、推進抵抗力が小さくなるようにしたものである。

表1 推進工法用ダクタイトイル鉄管(JDPA G 1029)

接合形式	呼び径	管長(m)	管種
T形	250～700	4,6 ¹⁾	1～5種 ²⁾
U形	800～1500	4,6	1～5種
	1600～2200	4,5	
	2400・2600	4	
US形	800～1500	4,6	1～4種
	1600～2200	4,5	
	2400・2600	4	

注 1) T形呼び径250は管長4 mと5 m。

2) 呼び径により異なる。

(1) T形

T形直管を鉄筋コンクリートで外装したもので、推力の伝達は挿し口部に溶接したフランジを介して行う。フランジは推力伝達を目的としたものであり、推進完了後は、可とう性の継手が不同沈下に順応する。水密性はT形と同じで、適用呼び径は250～700である。

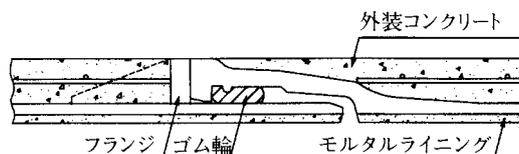


図1 T形推進工法用ダクタイトイル鉄管

(2) U形

U形直管を鉄筋コンクリートで外装したもので、推力の伝達は挿し口部に溶接したフランジを介して行う。

フランジは推力伝達を目的としたものであり、推進完了後は、可とう性の継手が不同沈下に順応する。水密性はU形と同じで、適用呼び径は800～2600である。

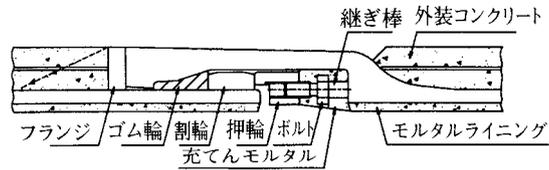


図2 U形推進工法用ダクタイル鉄管

(3) US形

US形直管を鉄筋コンクリートで外装したもので、推力の伝達は挿し口部に溶接したフランジを介して行う。フランジは推力伝達を目的としたものであり、推進完了後は、伸縮可とう性のある離脱防止構造の継手が鎖構造耐震管路をつくることことができる。水密性は、U形継手、US形継手と同じで、適用呼び径はU形と同じく800～2600である。

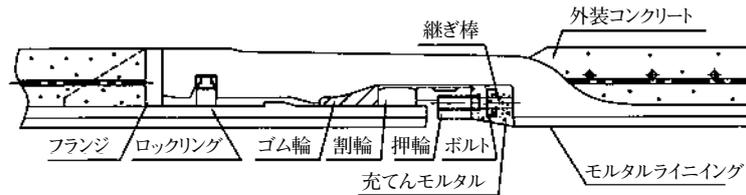


図3 US形推進工法用ダクタイル鉄管

1.3 先頭管、最後管および異種継手管

推進区間と開削区間とは、異なる継手を用いることがあり、その場合は発進・到達立坑内の配管で、開削区間で用いる継手種類に変更する必要がある。

発進・到達立坑内で、開削区間で用いる継手に変更するには、推進区間の先頭管の挿し口、最後管の受口を開削区間の継手の種類に合わせた異種継手管を用いることが一般的である。

なお、先頭管、最後管および異種継手管の種類は次の通りである。

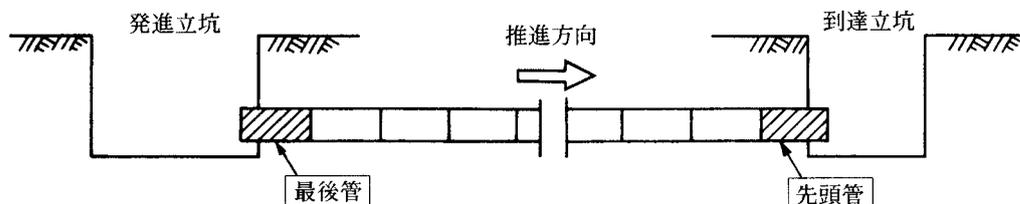


図4 先頭管と最後管

表2 先頭管、最後管および異種継手管の種類

先頭管	最後管	異種継手管
T形 (250~700)	T形 (250~700)	U-UF形 (800~2600)
T-K形 (250~700)	K-T形 (250~700)	UF-U形 (800~2600)
T-NS形 (250~700)	NS-T形 (250~700)	US-UF形 (800~2600)
U形 (800~2600)	U形 (800~2600)	UF-US形 (800~2600)
U-K形 (800~2600)	K-U形 (800~2600)	* UF-UF形 (800~2600)
U-NS形 (800~1000)	UF-U形 (800~2600)	
U-T形 (800~2000)	NS-U形 (800~1000)	
U-UF形 (800~2600)	US形 (800~2600)	
US形 (800~2600)	UF-US形 (800~2600)	
US-NS形 (800~1000)	NS-US形 (800~1000)	
US-UF形 (800~2600)		

備考 1. 表中、接合形式の組合わせは、受口部-挿し口部であり、()内は呼び径(mm)の範囲を示す。

2. *印は、US形管路用を示す。

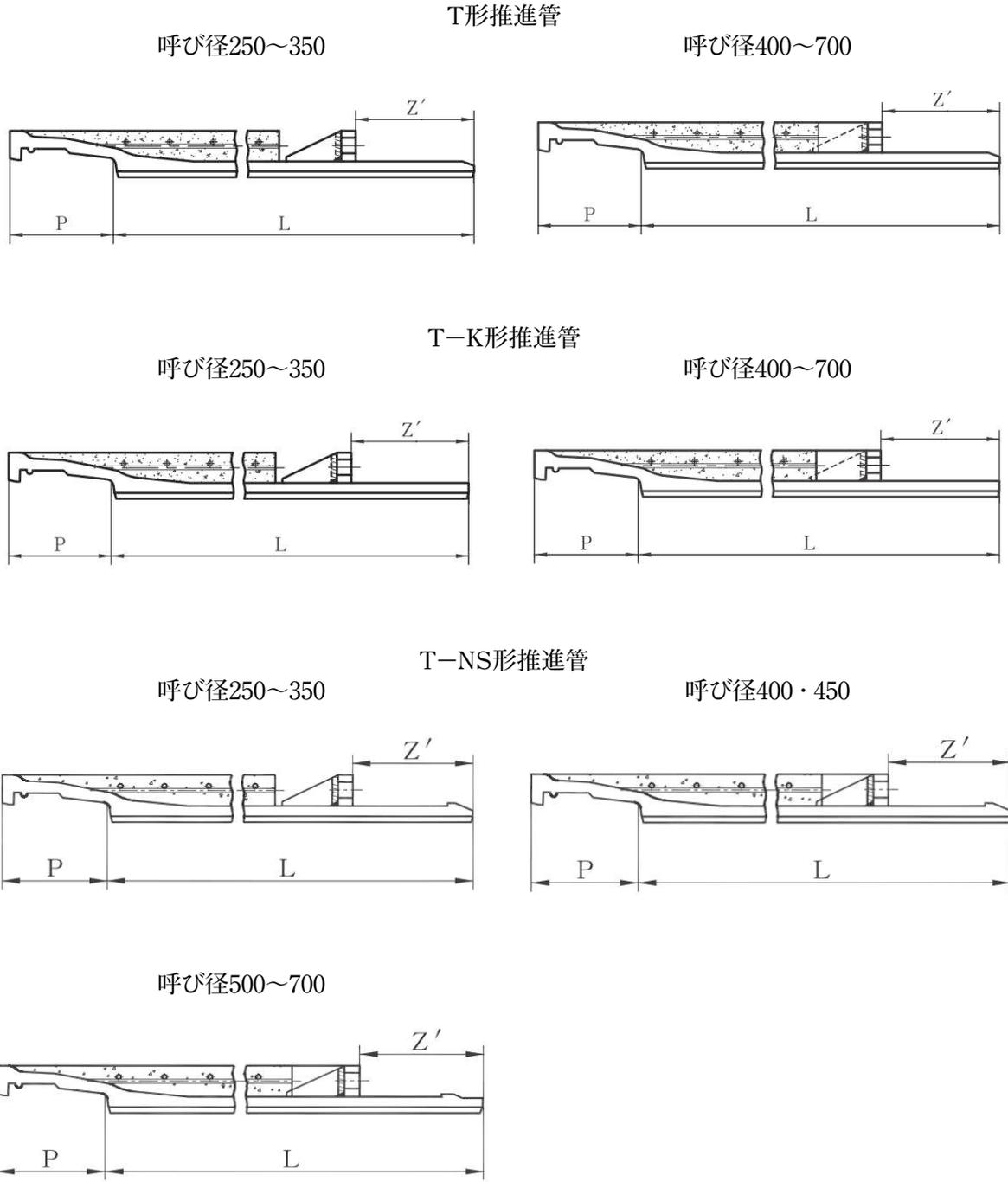


図5 推進工法用ダクタイル鉄管(先頭管、受口T形)

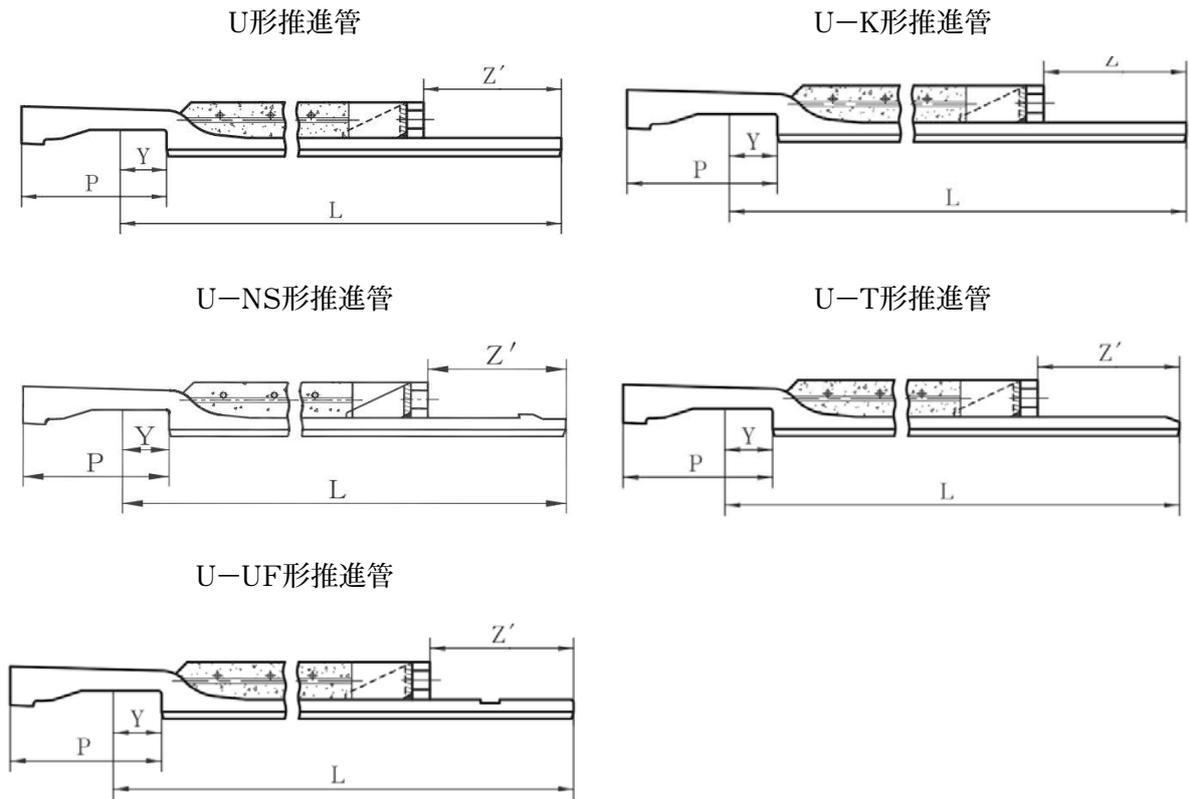


図6 推進工法用ダクティル鉄管(先頭管、受口U形)

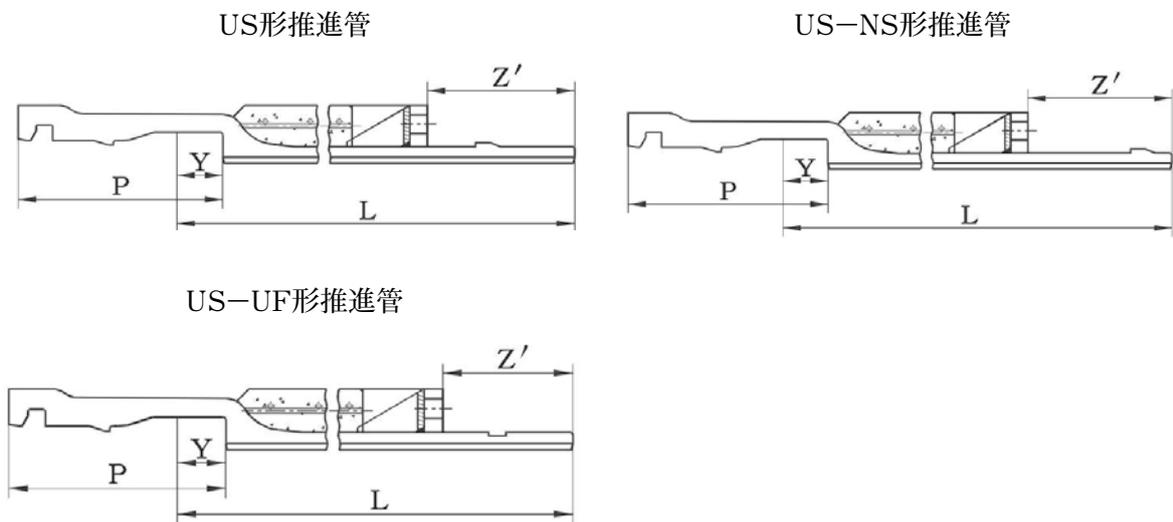


図7 推進工法用形ダクティル鉄管(先頭管、受口US形)

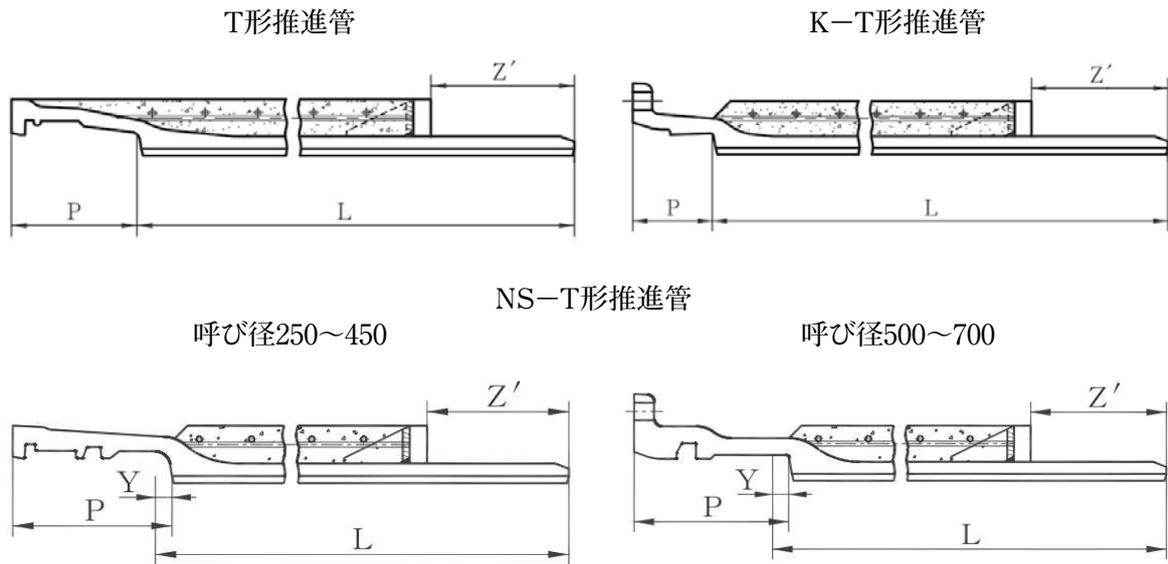


図8 推進工法用形ダクトイル鉄管(最後管、挿し口T形)

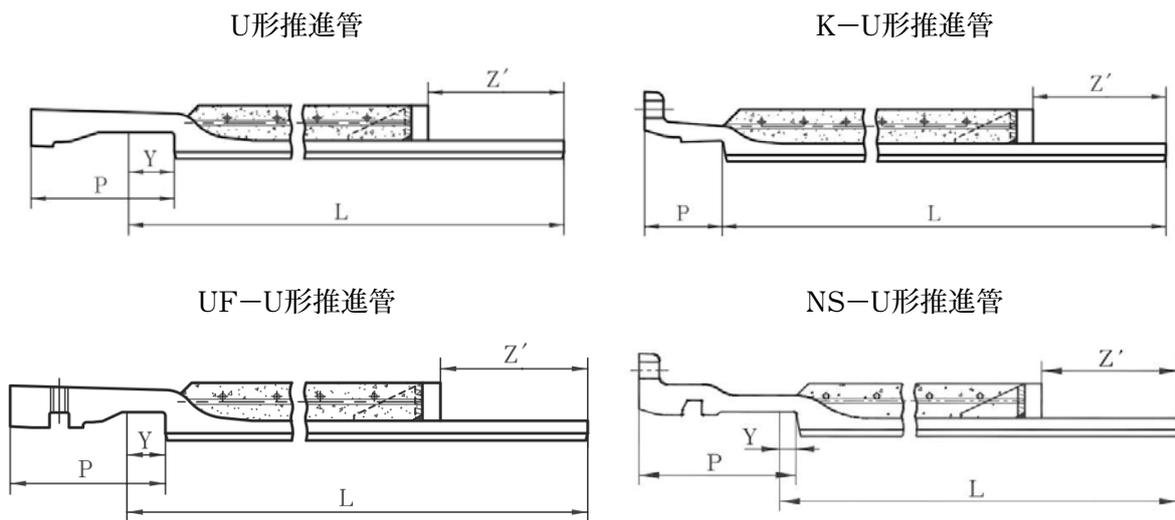
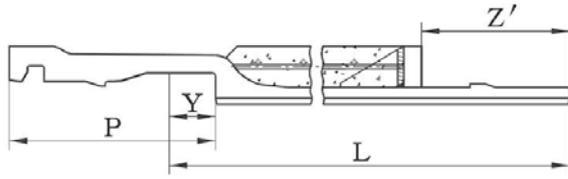
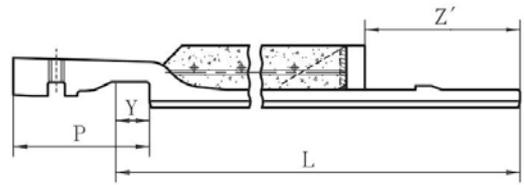


図9 推進工法用形ダクトイル鉄管(最後管、挿し口U形)

US形推進管



UF-US形推進管



NS-US形推進管

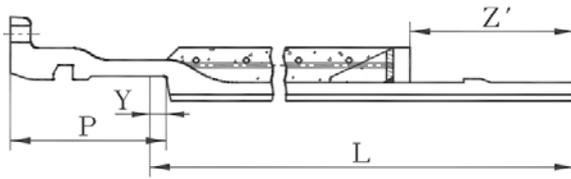


図10 推進工法用形ダクタイトイル鉄管(最後管、挿し口US形)

表3 挿し口部のZ'寸法表

単位 mm

呼び径 D	先頭管の挿し口形式		最後管の挿し口形式			
	T形、U形、UF形、US形、K形	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	530	—	160	180	300
1000	380	—	—	165	185	325
1100	380	—	—	165	185	325
1200	380	—	—	165	185	325
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

備考 先頭管の挿し口部のZ'寸法は、先頭管の構造標準化を考慮して1種類とした。

1.4 性能

(1) 水密性

推進工法用ダクタイル鉄管の水密機構は、T形、U形およびUS形ダクタイル鉄管の継手そのものであり、高い水密性を持っている。

実験例を示すと表4の通りである。

表4 水密性実験結果

接合形式	呼び径	負荷水圧 (MPa)	継手の状況
T形	600	2.4	異状なし
U形	1000		
	1500		
	2000		
US形	1500		
	2000		
	2600		

(2) 推力に対する抵抗

T形、U形およびUS形とも推力に対して表5に示す抵抗力を持っている。

表5 管種別許容抵抗力(T形・U形・US形)

単位 kN

呼び径	管 種				
	D1	D2	D3	D4	D5
D					
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
900	6570	6570	6570	5790	4220
1000	9020	9020	8040	6860	5200
1100	9020	9020	9020	8040	5790
1200	9020	9020	9020	8630	6280
1350	9020	9020	9020	9020	7450
1500	12360	12360	12360	12360	9320
1600	12360	12360	12360	12360	10000
1650	12360	12360	12360	12360	10690
1800	12360	12360	12360	12360	12160
2000	16870	16870	16870	16870	15400
2100	16870	16870	16870	16870	16820
2200	16870	16870	16870	16870	16870
2400	16870	16870	16870	16870	16870
2600	23240	23240	23240	23240	23240

備考 1. 管厚は、許容差内最小管厚として計算した。

2. 数値は、推力を管に均等に作用させ真っ直ぐに推進した場合の値である。

注 1. 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5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。

2. 推進工事

2.1 調査

調査の目的は、路線、立坑位置、管きよの深さ、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等に大別できる。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計画などの計画・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。

(1) 立地条件調査

立地条件調査とは、主にルート選定と推進工法採用の可否決定、推進工の規模、内容の選定に用いられ、工事実施上の資料としても利用される。立地条件調査は次の項目について行わなければならない。

- ①土地利用および権利関係
- ②将来計画
- ③道路種別と交通状況
- ④工事用地確保の難易度
- ⑤河川、湖沼、海の状況
- ⑥工事用電力および給排水施設

(2) 支障物件等調査

路線のルート選定に先だって、直接支障があるかまたは影響範囲にある諸物件について、十分調査しておかなければならない。支障物件等調査は次の項目について行わなければならない。

- ①地上、地下構造物
- ②埋設物および架空線
- ③井戸および古井戸
- ④構造物跡、仮設工事跡
- ⑤その他

(3) 地形および地盤調査

地形および地盤条件は、推進工法の設計および施工の難易を大きく左右するので、その調査を入念に行わなければならない。地形および地盤調査は次の項目について行わなければならない。

- ①地形、古地形
- ②地層構成
- ③土質
- ④地下水
- ⑤酸欠空気、有害ガスの有無

(4) 環境保全のための調査

環境保全のための調査では、推進工事により周辺環境へ影響を及ぼすと予測される。ここに挙げる項目に関して、施工前と施工中に調査を実施し、環境保全のための設計および施工管理の資料として用いる。

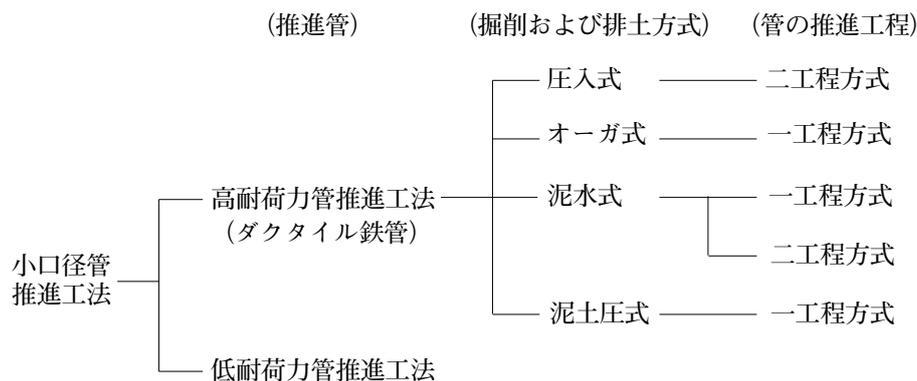
- ①騒音、振動
- ②地盤変状
- ③地下水
- ④薬液注入、泥水、滑材および裏込め注入等の地下水への影響
- ⑤建設副産物の処理方法および再利用
- ⑥土壌汚染
- ⑦その他

2.2 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。

(1) 小口径管推進工法(呼び径700以下)

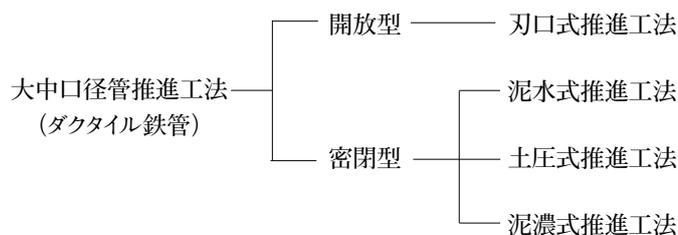
ダクタイル鉄管での小口径管推進工法は、高耐荷力管推進工法に大別され、さらに掘削および排土方式、管の推進工程により細分類される。



(2) 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。

これらの工法は、ダクタイル鉄管の推進施工が可能である。



(3) 鋼製管推進工法

鋼製管推進工法は、推進した鋼管をさや管として用いて鋼管内に硬質塩化ビニル管等の本管を敷設する「鋼製さや管推進工法」と対象本管まで推進した鋼管内に取付管用の特殊支管を付けた硬質塩化ビニル管を挿入し本管に接続する「取付管推進工法」に分類される。

この工法は、ダクタイル鉄管の推進施工が不可である。

(4) 改築推進工法

既設管を新設管に推進工法により入替え、本来の機能を回復させる工法が改築推進工法であり、方式として立坑を構築するタイプと既設マンホールを使用する方式の二種類がある。

この工法は、ダクタイル鉄管の推進施工が不可である。

(5) 超大口径管推進工法

超大口径管推進工法は、大中小口径管推進工法と同様に、刃口式推進工法、泥水式推進工法、土圧式推進工法のうち施工条件に応じいずれかの工法を適用し、通常より大型化した掘削機や推進設備を用い、2分割推進管を地中に圧入する管路の構築工法である。

この工法は、ダクタイル鉄管の推進施工が不可である。

2.3 主な推進工法の概要（参考資料）

主な推進工法の概要を以下に示す。

(1) 小口径管推進工法(高耐荷力管推進工法)

1) 圧入式

圧入式は、先導体および誘導管を圧入後、これをガイドとして推進工法用管を推進する二工程方式である。

第一工程では、先導体と誘導管を無排土で到達立坑まで圧入する。先導体の精度管理は、基準線に沿うよう先導体内の圧密ジャッキヘッドの誘導機能により推進方向を制御する。

第二工程では、誘導管後部に拡大カッタヘッドと推進工法用管を接続し、拡大カッタヘッドにより地山を掘削し、掘削土砂は誘導管内のスクリュにより到達立坑側へ排土しながら推進工法用管を推進する。

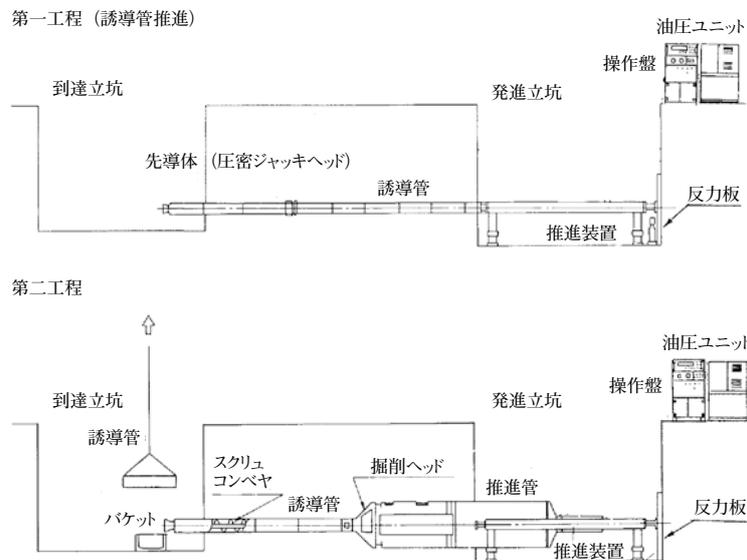


図11 圧入式の例

2) オーガ式

オーガ式は、先導体内にオーガカッタヘッドおよびスクリュを装着し、これらの回転により掘削、排土を行いながら、先導体に推進工法用管を直接接続し推進する一工程方式である。

先導体の精度管理は、基準線に沿うよう先導体内に装備した方向制御ジャッキを用い掘進方向を制御する。オーガカッタヘッドにより掘削された土砂は、スクリュ排土方式により発進立坑まで排土される。オーガカッタヘッドの駆動は、立坑内の推進装置に組込まれた駆動源による立坑内駆動方式である。

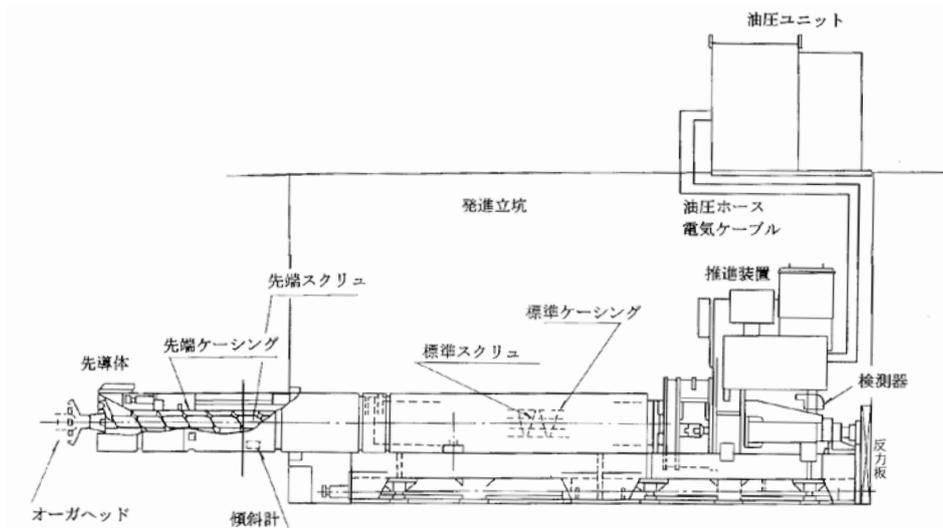


図12 オーガ式の例

3) 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、切羽面に作用する土圧および地下水圧に見合う圧力に、泥水の流量調整により泥水圧を適正に保持させることで、切羽の安定を図る。

先導体の精度管理は、基準線に沿うよう先導体内に装備した方向制御ジャッキにより掘進方向を制御する。

カッタヘッドで制御された掘削土砂は、泥水と混合され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。

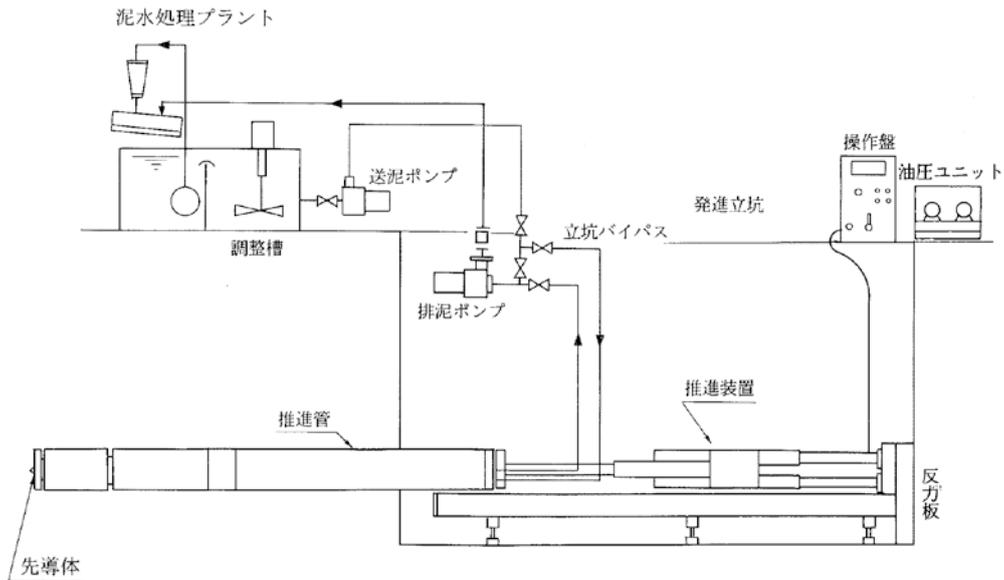


図13 泥水式の例

4) 泥土圧式

泥土圧式は、先導体のカッタチャンバ内を掘削土砂と添加材をかくはん混練りした泥土で満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に、スクリュの回転調整、ピンチ弁や、圧送排土ゲートの開閉操作で泥土の圧力を適正に保持することにより切羽の安定を図る。先導体の精度管理は、基準線に沿うよう先導体内に装備した方向制御ジャッキにより掘進方向を制御する。

カッタヘッドで掘削された掘削土砂(泥土)は、掘進速度に見合うよう、スクリュや圧送ポンプ等により、排土量を調整しながら排出される。

排土方式には、スクリュで行う方式(スクリュ排土方式)と、圧送ポンプにより排土する方式(圧送排土方式)および吸引装置により排土する方式(吸引排土方式)がある。

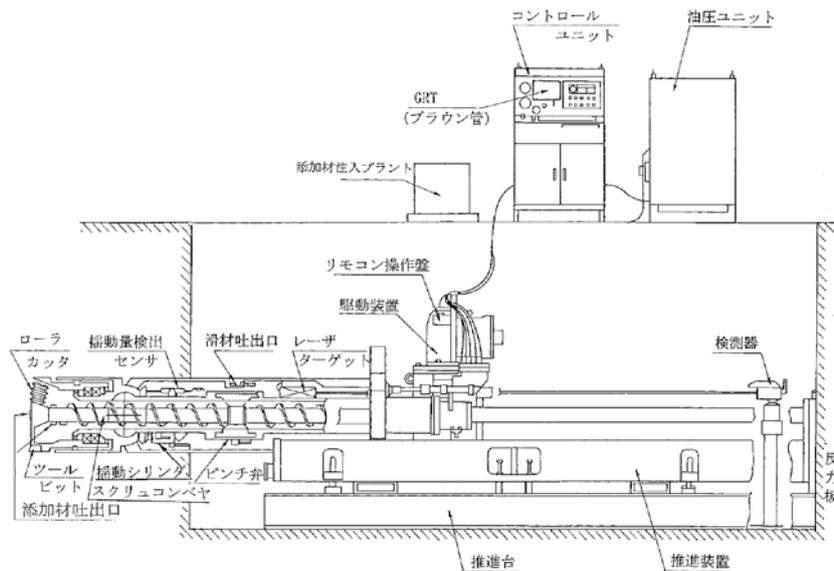


図14 泥土圧式(スクリュ排土方式)の例

(2) 大口径管推進工法

1) 刃口式推進工法

刃口式推進工法は、管列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工法用管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。本工法は、切羽が自立していることが必要条件であり、かつ地下水の湧出(湧水)がないことが望まれるため、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が、バックホウ、ブームカッタ等を装備した(半)機械掘り式や部分開放型(ブラインド式)の刃口を用いる方式もある。掘削土砂の搬出は、一般にトロバケットで行う。

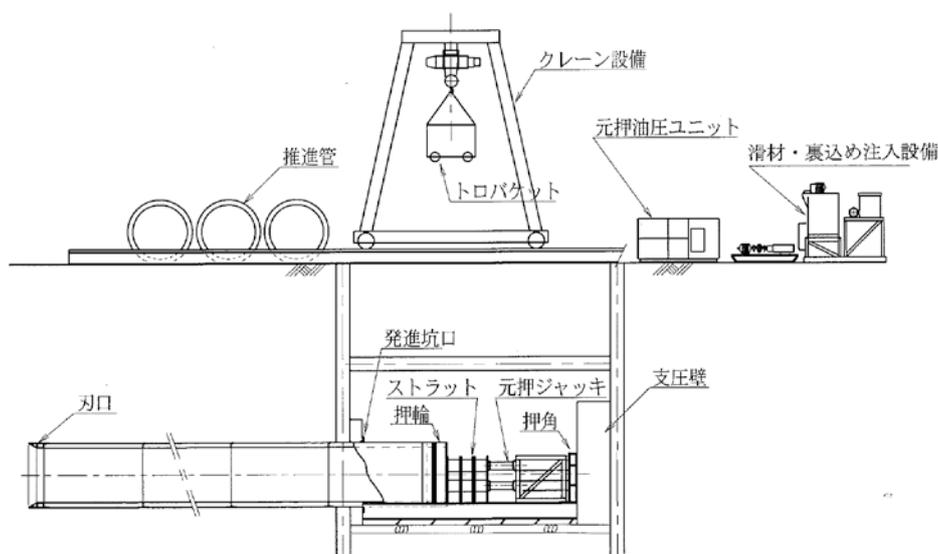


図15 刃口式推進工法の例

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、泥水の圧力を適正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工法用管を地中に圧入して管路を構築する工法である。

掘削土砂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、泥水は送泥水として再び切羽へ送られる。なお送泥水、排泥水の管路系統は循環回路になっている。

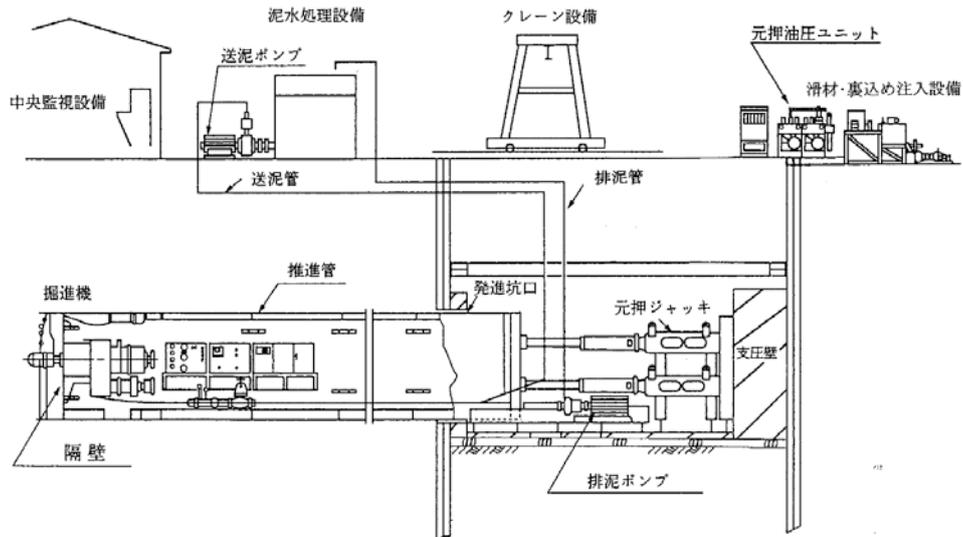


図16 泥水式推進工法の例

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掘削土砂と添加材とをかくはん(攪拌)混練りして塑性流動化した土砂(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、充満させた土砂(泥土)の圧力を適正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工法用管を地中に圧入して管路を構築する工法である。

掘削土砂は、掘進速度に見合うようなスクリュコンベヤの回転数で排土量を調整しながら、連続的に排出される。排出された土砂は、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する。

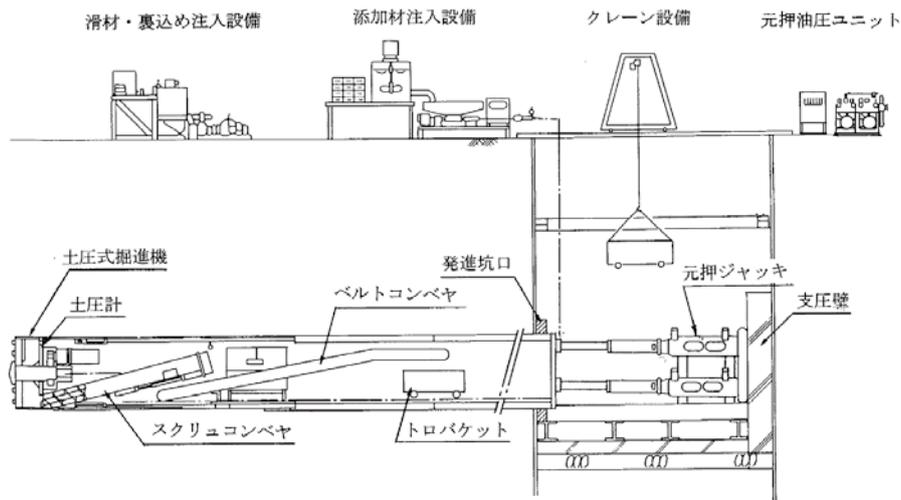


図17 土圧式推進工法の例

4) 泥濃式推進工法

泥濃式推進工法は、切羽と隔壁間のカタチャンバ内を掘削土砂と高濃度泥水とをかくはん（攪拌）混合した土砂（泥土）で満たし、適正に圧力を保持することにより切羽の安定を図り、カ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工法用管を地中に圧入して管渠を構築する工法である。

掘削土砂は、掘進機内の排泥バルブを開閉することにより間欠的に排土槽へ排出され、排土槽から吸引力により坑外に搬送される。礫層での排土は搬送できる径の礫と搬送できない径の礫に分級され、搬送できない大きな礫はトロバケットにより搬出される。

坑外に搬送された掘削土砂は、排土貯留槽を経て汚泥吸引車による直接運搬処分やふるいを用いた一次分離処理処分、固化処理後のダンプトラックによる運搬処分などが行われる。

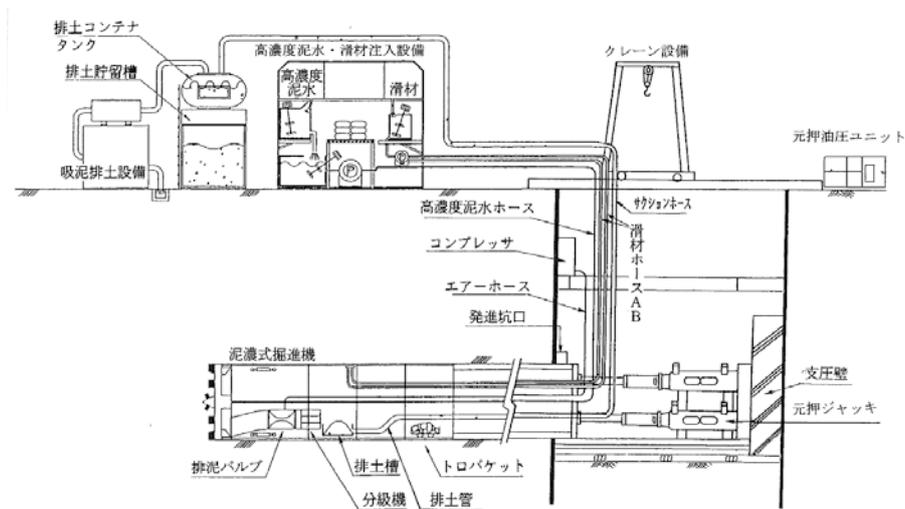


図18 泥濃式推進工法の例

2.4 ダクタイル鉄管推進時の留意点

(1) アダプタの取り付け

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あるから、ダクタイル鉄管とは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施工する必要がある。

ダクタイル鉄管とヒューム管の推進管の外径を表6に示す。

表6 推進管の外径

呼び径	管外径(mm)		呼び径	管外径(mm)	
	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			

備考 ()内はUS形継手を示す。

(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、推進工法により適用できない可能性がある。その場合は、適用可能な管の長さに切断する必要がある。

ダクタイル鉄管とヒューム管の最大有効長を表7に示す。

表7 推進管の最大有効長

呼び径	最大有効長(mm)	
	ダクタイル鉄管	ヒューム管
250	4000、5000	2000
300	4000、6000	
350～1500	4000、5000	2430
1600～2200	4000	
2400、2600		

(3) 管内養生

掘削土砂の運搬時等、ダクタイル鉄管内に機材を使用する場合は、管内面の塗装を保護するために、ゴム板等を管内面に養生する必要がある。

2.5 管に作用する荷重

管の自重は推進力の算定においては考慮するが、鉛直方向の管の耐荷力の検討では考慮しない。

鉛直土圧は土かぶりにより直土圧と緩み土圧を使い分け、推進工法では全ての地盤で土水一体として鉛直土圧を算出する。直土圧を採用した場合は、鉛直土圧に活荷重を加算するが、緩み土圧を採用した場合は、活荷重は式中に考慮されているので加算しない。

(1) 直土圧

直土圧は、土かぶりが $2D$ (D : 管外径) または 2 m 程度以下と比較的小さく、土のアーチング効果への信頼性が低いと判断される場合や緩み高さ (h_o) が土かぶり (H) に比べ大きくなる場合に採用する。直土圧を採用した場合の管に作用する等分布荷重は、式 (1) に示すように活荷重を考慮し、鉛直荷重と活荷重の和として表される。

$$h_o = \sigma_v / \gamma > H$$

ここに、

σ_v : テルツァギーの緩み土圧 (kN/m^2) 式 (4) 参照

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

(2) 緩み土圧

緩み土圧は、土のアーチング効果に信頼がおけると判断できる場合に採用する。緩み土圧の計算方法には一般的にテルツァギーの式が採用され、土かぶり 10 m 程度以内に計画される場合は原則として均一地盤、それを超える場合は多層地盤として計算する。

2.5.1 直土圧

等分布荷重は式 (1) に示すように土による鉛直等分布荷重と活荷重との和である。

$$q = w + p \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

q : 管に作用する等分布荷重 (kN/m^2)

w : 土による鉛直等分布荷重 (kN/m^2)

p : 活荷重 (kN/m^2)

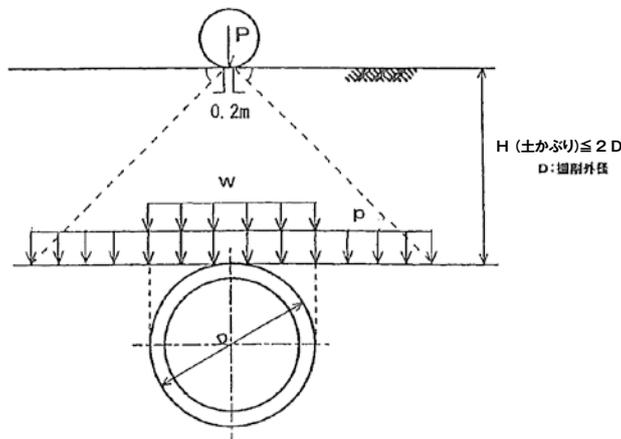


図19 管に作用する鉛直荷重(直土圧)

(1) 土による鉛直等分布荷重

$$w = \gamma H \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

w : 土による鉛直等分布荷重 (kN/m²)

γ : 土による単位体積重量 (kN/m³)

H : 土かぶり (m)

(2) 活荷重

活荷重は、輪荷重が図20のように地中に分布するものとする。

ここに、設計自動車荷重を250kN(「道路橋示方書・同解説」に定められた後輪荷重)として活荷重を求めると式(3)になる。

$$p = \frac{2P(1+i) \times \beta}{C(a+2H \cdot \tan\theta)} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

p : 活荷重 (kN/m²)

H : 土かぶり (m)

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 (表8)

β : 低減係数 (表9)

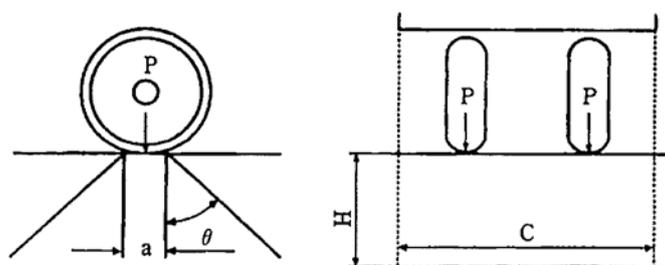


図20 輪荷重の分布

表8 衝撃係数

H (m)	$H \leq 1.5$	$1.5 < H < 6.5$	$6.5 \leq H$
i	0.5	$0.65 - 0.1H$	0

表9 低減係数

	土かぶり $H \leq 1$ mかつ 内径 $B \geq 4$ mの場合	左記以外の場合
β	1.0	0.9

2.5.2 緩み土圧

等分布荷重は式(4)、(6)の第二項で活荷重の影響を考慮しているので、活荷重をあらためて加算する必要はない。

(1) 均一地盤における緩み土圧の基本式

$$q = \sigma_v = \frac{B1(\gamma - c/B1)}{K_0 \cdot \tan \phi} (1 - e^{-K_0 \tan \phi \cdot H/B1}) + p_0 \cdot e^{-K_0 \tan \phi \cdot H/B1} \dots\dots\dots (4)$$

$$B1 = R_0 \cdot \cot \left(\frac{45^\circ + \phi/2}{2} \right)$$

$$\phi = 0 \text{ 場合 } \quad q = \sigma_v = (\gamma - c/B1) \cdot H + p_0 \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

- q : 管に作用する等分布荷重 (kN/m²)
- σ_v : テルツァギーの緩み土圧 (kN/m²)
- K₀ : 水平土圧と鉛直土圧との比 (通常K₀=1としてよい)
- ϕ : 土の内部摩擦角 (°)
- p₀ : 上載荷重 (=10kN/m²)
- γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)
- c : 土の粘着力 (kN/m²)
- R₀ : 掘削半径 (m)
- R₀ = Bc/2 + b
- b : 管外周ゆるみ範囲 b = 0.04m
- Bc : 管外径 (m)
- H : 土かぶり (m)

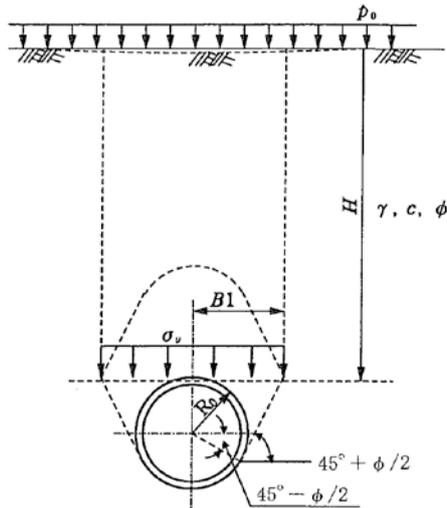


図21 均一地盤における緩み土圧

(2) 多層地盤における緩み土圧の基本式

$$\sigma_{v1} = \frac{B1(\gamma_1 - c_1/B1)}{K_0 \cdot \tan \phi_1} (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_1 \cdot H1/B1}) + p_0 \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_1 \cdot H1/B1}$$

$$\sigma_{v2} = \frac{B1(\gamma_2 - c_2/B1)}{K_0 \cdot \tan \phi_2} (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_2 \cdot H_2/B1}) + \sigma_{v1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_2 \cdot H_2/B1}$$

$$\sigma_{vi} = \frac{B1(\gamma_i - c_i/B1)}{K_0 \cdot \tan \phi_i} (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_i \cdot H_i/B1}) + \sigma_{vi-1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_i \cdot H_i/B1}$$

$$q = \sigma_{vn} = \frac{B1(\gamma_n - c_n/B1)}{K_0 \cdot \tan \phi_n} (1 - e^{-K_0 \cdot \tan \phi_n \cdot H_n/B1}) + \sigma_{vn-1} \cdot e^{-K_0 \cdot \tan \phi_n \cdot H_n/B1}$$

..... (6)

$$B1 = R_0 \cdot \cot \left(\frac{45^\circ + \phi_n/2}{2} \right)$$

$$\phi_i = 0 \text{ 場合} \quad \sigma_{vi} = (\gamma_i - c_i/B1) \cdot H_i + \sigma_{vi-1} \quad \text{..... (7)}$$

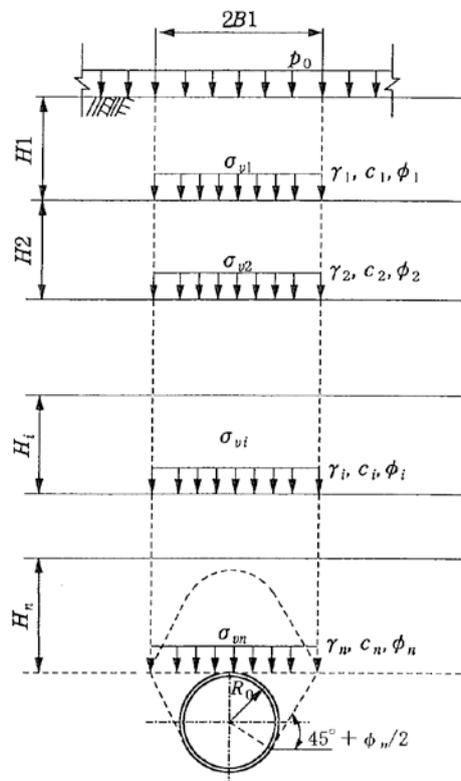


図22 多層地盤における緩み土圧

2.6 推進力

推力の計算式には、工法によって各種あり、主なものを次に示す。

2.6.1 基本式

本式は推進工法における基本式を示すものである。

総推進力は、式 (8) に示す推進諸抵抗力の総和で表される。

$$F = F_0 + \{(\pi B_c q + W)\mu' + \pi B_c \cdot C'\}L \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

- F : 総推進力(kN)
- F₀ : 先端抵抗力(kN)
- 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
- C' : 管と土との付着力(kN/m²)
- L : 推進延長(m)

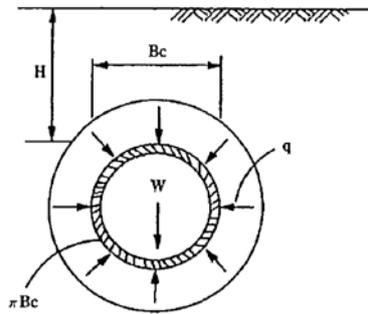


図23 総推進力の考え方

総推進力(F)は、管の周囲(πB_c)に等分布荷重(q)が働き、さらに管と土との付着力(C')は、管の周囲(πB_c)に働くものとした。さらに、管の単位重量(W)による管と土との間の摩擦抵抗力および先端抵抗力が加わるものとして計算する。

(1) 先端抵抗力

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。

$$F_0 = 10.0 \times 1.32\pi B_c \cdot N \text{ (kN)}$$

ここに、

- F₀ : 先端抵抗力(kN)
- B_c : 管外径(m)
- N : 標準貫入試験から求めたN値

(2) 等分布荷重

管にかかる等分布荷重は「2.5 管に作用する荷重」に示す算定式により求める。

(3) 管と土との摩擦係数

管と土との摩擦係数は、下式で表される。

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

ここに、

μ' : 管と土との摩擦係数

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

ϕ : 土の内部摩擦角(°)

(4) 管と土との付着力

管と土との付着力(C')は、粘性土の場合に粘着力が大きくなると付着力は粘着力より小さくなる。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。

(5) 標準的な土質

表10 標準的な土質とその特性値

土質 \ 特性値	ϕ (°)	N	C' (kN/m ²)	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
硬質土	40	30	0	0.3640

備考 表中、 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(= $\tan \frac{\phi}{2}$)を示す。

2.6.2 下水道協会式

式(9)は式(8)(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。

$$F = F_0 + \alpha \cdot \pi B_c \cdot \tau_a \cdot L + W \cdot \mu' \cdot L \quad \dots\dots\dots (9)$$

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

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

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

$$F_0 = 10.0 \times 1.32 \cdot \pi \cdot B_s \cdot N \text{ (kN)}$$

ここに、

F : 総推進力(kN)

F₀ : 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 $\delta = \frac{\phi}{2}$ と仮定する)
 C' : 管と土との付着力 (kN/m²)
 N' : 切羽心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)

2.6.3 泥水・土圧式算定式

式(10)は大口径管の泥水・土圧式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + f_0 \cdot L \quad \dots\dots\dots (10)$$

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

$$f_0 = \beta \{ (\pi B_c \cdot q + W) \mu' + \pi B_c \cdot C' \}$$

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 $P_w = \text{地下水圧} + 20.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

土圧式 (砂質土の場合)

$P_w = \text{主働土圧} + \text{地下水圧} + \Delta P \text{ (}\Delta P = 20 \sim 50 \text{ kN/m}^2\text{)}$

(粘性土の場合)

$P_w = \text{静止土圧を用いる。}$

P_e : 切削抵抗力 (kN/m²)

$P_e = N \text{値} \times 10.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

ただし、 $N < 15$ の場合は $P_e = 150 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

$N > 50$ の場合は $P_e = 500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ 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 ($N \geq 10$) : $C' = 5$
 β : 推進力低減係数

表11 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*	0.50
粗石混り土	砂 礫 土(1)*	0.60
	砂 礫 土(2)*	0.70
硬質土	硬 質 土(1)*	0.35
	硬 質 土(2)*	0.35

注 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。

* 砂礫土 : 礫径20mm未満、礫含有率30%未満。

砂礫土(1) : 最大礫径20mm以上で最大礫径は掘進機外径の20%未満かつ400mm以下、礫含有率は、30%以上80%未満。

砂礫土(2) : 礫径は砂礫土(1)以外、礫含有率は30%以上80%未満。

硬質土(1) : N値10以上で一軸圧縮強度は5MN/m²未満。

硬質土(2) : 一軸圧縮強度は5MN/m²以上200MN/m²未満。

2.6.4 泥濃式算定式

式(11)は大口径管の泥濃式推進工法に適用する。

$$F = F_o + f \cdot S \cdot L \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$F_o = (P_e + P_w) \cdot \pi \cdot (B_s/2)^2$$

$$f = 2 + 3 \cdot (G/100)^2 + 27 \cdot (G/100) \cdot M^2$$

ここに、

- F : 総推進力 (kN)
- F_o : 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)
 $P_w = (\text{地下水圧} + 20.0)$ (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

2.6.5 高耐荷力泥水・泥土圧式算定式

式(12)は小口径管推進工法、高耐荷力管推進工法の泥水式・泥土圧式に適用する。

$$F = F_o + f \cdot S \cdot L \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$F_o = \alpha \cdot \pi \cdot (B_c/2)^2$$

ここに、

- F : 総推進力 (kN)
- F_o : 先端抵抗力 (kN)
- f : 周面抵抗力係数 (kN/m²)
- S : 管外周長 (m)
- α : 先端抵抗力係数 (kN/m²)
- B_s : 先導体外径 (m) (通常 B_s = B_c としてよい)
- B_c : 管外径 (m)
- L : 推進延長 (m)

表12 土質別先端抵抗力係数および周面抵抗力係数

	砂質土、粘性土	砂礫土	硬質土
先端抵抗力係数 α (kN/m ²)	1,200	1,750	1,500
周面抵抗力係数 f (kN/m ²)	3.0	4.5	2.5

2.7 管厚計算

2.7.1 ダクタイル鉄管の管厚計算式の誘導

推進工法用ダクタイル鉄管の管厚計算式は、静水圧、水撃圧、土かぶりによる土圧および活荷重に土圧を全部同時に考慮している。

内圧によって発生する引張応力 σ_t は

$$\sigma_t = \sigma_{ts} + \sigma_{td} = \frac{(P_s + P_d)d}{2t}$$
$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ts} &= \frac{P_s \cdot d}{2t} \\ \sigma_{td} &= \frac{P_d \cdot d}{2t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

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応力
 σ_{td} : 水撃圧によって発生する応力
 P_s : 最大使用圧力(静水圧)
 P_d : 水撃圧
 d : 管内径
 t : 管厚

外圧によって発生する曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{(M_f + M_t)}{Z} \dots\dots\dots (14)$$
$$Z = \frac{b \cdot t^2}{6}$$

ここに、 σ_b : 外圧によって発生する曲げ応力
 M_f : 土かぶりによって発生する曲げモーメント
 M_t : 活荷重により発生する曲げモーメント
 Z : 断面係数
 b : 管長(単位長さで考えれば、 $b=1$)
 t : 管厚

したがって、単位長さ当たりの曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{6(M_f + M_t)}{t^2} \dots\dots\dots (15)$$

土かぶりによって発生する曲げモーメント M_f 、活荷重により発生する曲げモーメント M_t は、

$$M_f = K_f \cdot W_f \cdot R^2$$

$$M_t = K_t \cdot W_t \cdot R^2$$

ここに、 K_f, K_t : 管底支持角により定まる係数

W_f : 土かぶりによる土圧

W_t : 活荷重による土圧

R : 管平均半径

これらを(15)に代入すると

$$\sigma_b = \frac{6(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) R^2}{t^2} \dots\dots\dots (16)$$

となる。

σ_b は曲げ応力であるから、引張応力に換算するために0.7を乗じ、許容応力を σ_z とすると、管厚は次式を満足するように決定すればよいことになる。

$$\sigma_t + 0.7\sigma_b = \sigma_z \dots\dots\dots (17)$$

さらに、静水圧に対し安全率 2.5

水撃圧に対し安全率 2.0

土かぶりによる土圧安全率 2.0

活荷重による土圧安全率 2.0

を見込み、管材の引張強さを S とすると、(17) 式は、

$$2.5\sigma_{ts} + 2.0\sigma_{td} + 1.4\sigma_b = S \dots\dots\dots (18)$$

$R = \frac{D_m}{2}$ において、(18) 式に(13)式、(16)式を代入すると、(D_m : 管の平均径)

$$S \cdot t^2 - (1.25P_s + P_d) d \cdot t - 2.1(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) D_m^2 = 0$$

$D_m \doteq D$ において t について解くと、(D : 呼び径)

$$t = \frac{(1.25P_s + P_d) + \sqrt{(1.25P_s + P_d)^2 + 8.4(K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) S}}{2S} D \dots\dots\dots (19)$$

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, K_t : 管底支持角により定まる係数 (表13,14による)

W_f : 土かぶりによる土圧 (kN/m²)

W_t : 活荷重による土圧 (kN/m²)

S : 管材の引張強さ (420N/mm²)

D : 呼び径 (mm)

(19)式で算出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)、鑄造上の余裕(10%または1mm)を加算すると計算管厚は、(20)式により求める。

$$T_1 = (t + 2) \times 1.1 \text{mm} \quad t + 2 \geq 10 \text{mm} \text{の場合} \dots\dots\dots (20)$$

$$T_1 = \{(t + 2) + 1\} \text{mm} \quad t + 2 < 10 \text{mm} \text{の場合}$$

ここに、

t : 正味管厚(mm)

T₁ : 計算管厚(mm)

計算管厚(T₁)より、規格管厚(T)を選定する。

土圧分布および係数K_f、K_t

ダクタイル鉄管の場合の土圧分布は、数多くの埋設実験の結果から図24、図25のようになるとする。

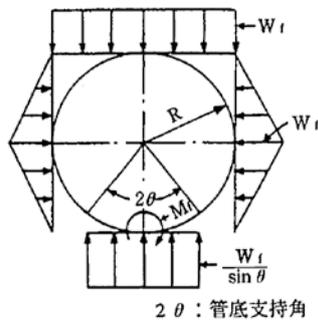


図24 土かぶりによる荷重分布

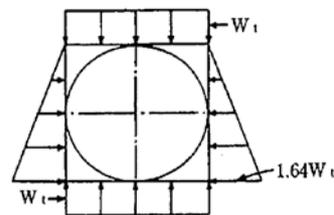


図25 路面荷重による荷重分布

K_fの値を表13に示し、K_tの値を表14に示す。

K_fは管底の支持角によって定まる係数で、一般の埋め戻し時に管側のつき固めが行われたり、管径が大きくなれば管底支持角も大きくなる。

表13 K_fの値

管底支持角 位置	40°	60°	90°	120°	180°
管頂	140×10 ⁻⁶	132×10 ⁻⁶	121×10 ⁻⁶	108×10 ⁻⁶	96×10 ⁻⁶
管底	281×10 ⁻⁶	223×10 ⁻⁶	160×10 ⁻⁶	122×10 ⁻⁶	96×10 ⁻⁶

表14 K_tの値

管頂	76×10 ⁻⁶
管底	11×10 ⁻⁶

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、いずれか厚くなる方を採用する。

2.7.2 たわみ計算式

(1) 土かぶりによる垂直たわみ

$$\delta_v = K \frac{W_f \cdot R^4}{EI}$$

ここに、

δ_v : 土かぶりによる垂直たわみ (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 : 慣性モーメント (mm⁴/mm) $\left(\frac{bt_1^3}{12} \right)$

単位長さで考えれば、 $b = 1$ 、 $\therefore I = \frac{t_1^3}{12}$

t_1 は、規格管厚 (T) より鑄造上の余裕を差し引いた管厚である。

K : 管底支持角により定める係数 (表15)

表15 管底支持角と係数Kとの関係

管底支持角	0°	40°	60°	90°	120°	180°
K	122×10 ⁻⁶	111×10 ⁻⁶	100×10 ⁻⁶	84×10 ⁻⁶	70×10 ⁻⁶	58×10 ⁻⁶

(2) 活荷重による垂直たわみ

$$\delta_v' = 30 \times 10^{-6} \frac{W_t \cdot R^4}{EI}$$

ここに、

δ_v' : 活荷重による垂直たわみ (mm)

W_t : 活荷重による土圧 (kN/m²)

(3) 合計たわみ

$$\delta = \delta_v + \delta_v'$$

設計たわみ率 (合計たわみ / 呼び径) は一般に 3 % 以下とする。

2.8 曲線推進

2.8.1 概要

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、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。

- (1) 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
- (2) 推進力伝達材(クッション材)の形状、厚さ、材質
- (3) 側方地盤反力に対する管の耐荷力
- (4) 曲線推進時の管の軸方向の耐荷力
- (5) 推進管継手部の開口長と継手の止水性
- (6) 元押部における推進力に対する管の軸方向の耐荷力

2.8.2 工法

推進工法用ダクタイトル鉄管を使用する場合、継手は推進施工、継手構造等により、U形、US形(LS方式)が適用可能である。

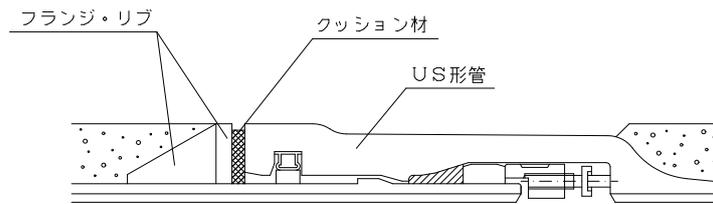


図26 曲線推進工法(U形LS方式)

2.8.3 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、施工誤差等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計算を行う場合が多い。直管または切管で曲線配管する場合の有効長は次式より求まる。

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

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 ($= \frac{\theta}{2}$)

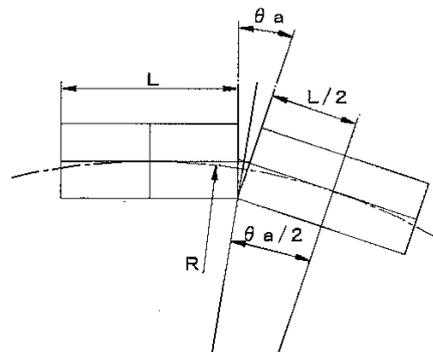


図27 直管または切管による曲線配管

表16 設計曲げ角度(許容曲げ角度の1/2)と管長から求まる最小曲線半径(m)

呼び径	許容曲げ角度(°)	設計曲げ角度(°)	管長(m)				
			2	3	4	5	6
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形継手を示す。

2.8.4 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。

2.8.5 クッション材

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。

2.8.6 配管例

曲線施工時に曲線部を通過する推進管すべてに適用する。

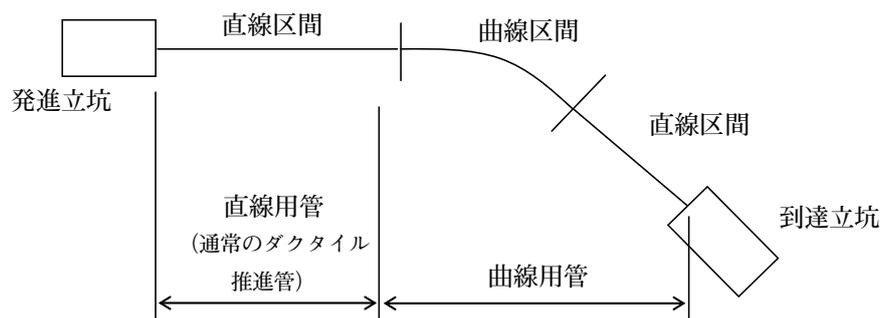


図28 曲線推進時の配管例

2.9 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推進作業に必要なスペースを考慮して決定する。

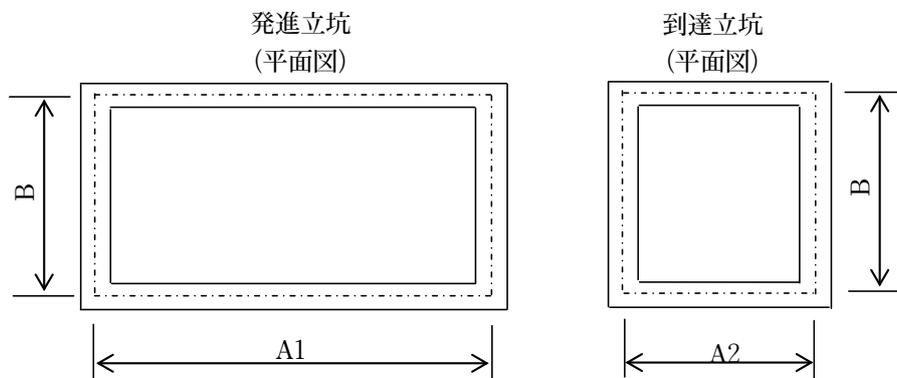


図29 発進・到達立坑

(1) 刃口推進工法

表17 立坑寸法表(参考寸法)

呼び径	立坑寸法(m)	
	A1	B
800	7.6	3.2
900		
1000	8.0	3.6
1100		
1200		
1350		
1500		4.0
1600		
1650		4.4
1800		4.8
2000	5.2	
2100		
2200	8.4	5.6
2400		6.0
2600		

備考 ・立坑寸法は、鋼矢板Ⅲ型使用時を示す。
 ・4m管を使用し、標準的な施工の場合の寸法を示す。

(2) 泥水式推進工法

表18 立坑寸法表(参考寸法)

呼び径	立坑寸法 (m)			
	A1	A2	B	
800	8.4	4.8	3.2	
900				
1000	8.8		5.2	3.6
1100				
1200				
1350		9.2	5.6	4.0
1500				
1600	5.6		4.4	
1650				
1800				
2000			4.8	
2100				
2200				
2400	5.2			
2600				

備考 ・立坑寸法は、鋼矢板Ⅲ型使用時を示す。
 ・4m管を使用し、標準的な施工の場合の寸法を示す。
 ・施工する推進機械により、寸法が異なることがある。

(3) 土圧式推進工法

表19 立坑寸法表(参考寸法)

呼び径	立坑寸法 (m)			
	A1	A2	B	
800	8.4	4.8	3.2	
900				
1000	8.8		5.2	3.6
1100				
1200				
1350		9.2	5.6	4.0
1500				
1600	5.6		4.4	
1650				
1800				
2000			4.8	
2100				
2200				
2400	5.2			
2600				

備考 ・立坑寸法は、鋼矢板Ⅲ型使用時を示す。
 ・4m管を使用し、標準的な施工の場合の寸法を示す。
 ・施工する推進機械により、寸法が異なることがある。

(4) 泥濃式推進工法

表20 立坑寸法表(参考寸法)

呼び径	立坑寸法 (m)		
	A1	A2	B
800	8.4	4.0	3.2
900			
1000	8.8		3.6
1100			
1200			
1350			4.0
1500			
1600	4.4	4.4	
1650			
1800		9.2	4.8
2000			
2100			
2200			

備考 ・立坑寸法は、鋼矢板Ⅲ型使用時を示す。
 ・4m管を使用し、標準的な施工の場合の寸法を示す。
 ・施工する推進機械により、寸法が異なることがある。

2.10 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無ければならない。支圧壁の大きさは次式で求める。

$$R = \alpha \cdot B \left(\gamma \cdot H^2 \frac{K_p}{2} + 2C \cdot H \sqrt{K_p} + \gamma \cdot h \cdot H \cdot K_p \right)$$

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 : 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 [= $\tan^2(45^\circ + \phi/2)$]
 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)

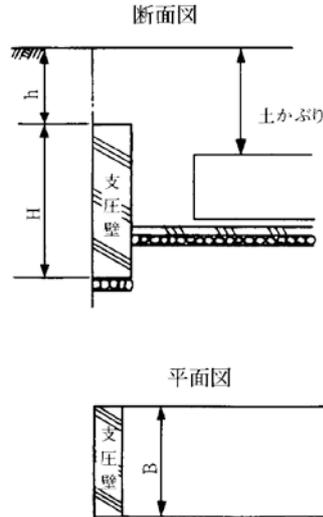


図30 支圧壁

2.11 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おそれのある場合、または近接する構造物、埋設物などの防護や立坑、反力受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。

2.12 注入工

2.12.1 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。

表21 混合配合例(参考)(m^3 当たり)

項目	数量
ベントナイト	100 (kg)
マッドオイル	40 (ℓ)
固化剤	2 (kg)
C M C	2 (kg)
水	0.9 (m^3)

2.12.2 裏込

裏込は推進完了後、推進管と地山との空隙を充填し、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。

表22 裏込め配合例(参考)(m³当たり)

項目	数量
セメント	500 (kg)
フライアッシュ	250 (kg)
ベントナイト	100 (kg)
分散剤	4 (kg)
目詰材	5 (kg)
水	0.7 (m ³)

2.12.3 推進工法用ダクタイトル鉄管の注入孔

(1) 構造

呼び径800以上の推進工法用ダクタイトル鉄管には、必要に応じて図31に示す注入孔を設けることができる。

また、注入孔には図32に示したように、逆止弁を取付けたものも使用できる。

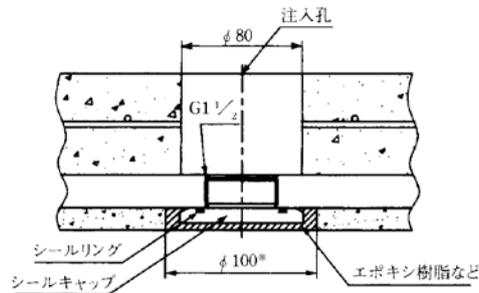


図31 注入孔の構造

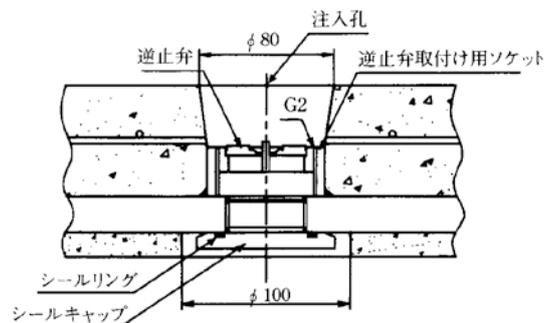


図32 逆止弁付き注入孔の構造

(2) 水圧試験方法

- ① 注入作業終了後、管体ねじ部の異物をきれいに取り除く。
- ② 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。
- ③ 管内面に、シールキャップ面が当たるまで(メタルタッチ)十分締め付ける。
- ④ シールキャップの止水性を確認する場合は、水圧テストバンドや図33に示す方法などで水圧試験を行う。なお、この時の試験圧力は0.5MPaとし、5分間経過後に0.4MPa以上あれば合格として良い。
- ⑤ 図31に示す※の範囲を清掃して十分乾燥させた後、エポキシ樹脂などで充填する。この時、樹脂は硬化するまで十分養生すること。

備考 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こと。

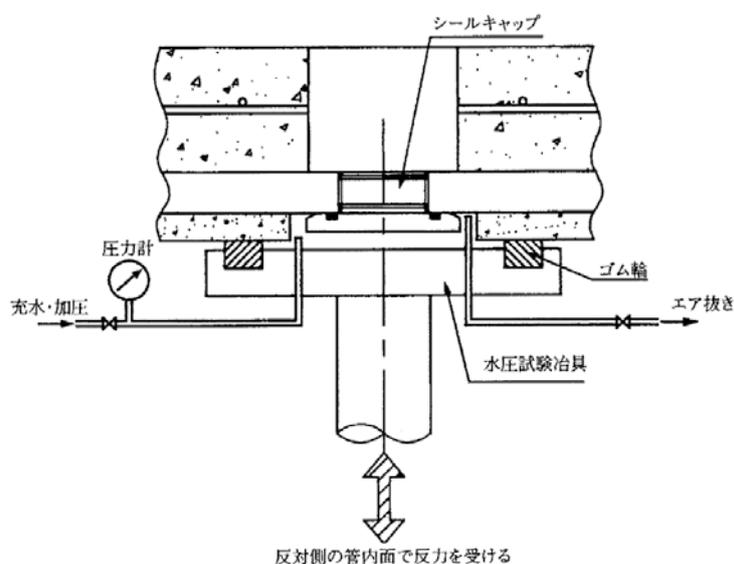


図33 注入孔部の水圧試験方法

3. 施 工

3.1 推進管類の取り扱い

- ① 推進管の変形、外装や内装に損傷などが生じないように、慎重かつ丁寧に扱う。
- ② 吊り具は、推進管に損傷を与えないものを選び、2点吊りを原則とし、管の重心に注意して行う。
- ③ 保管中は推進管の両側を歯止めをする。
- ④ ゴムは紫外線、熱などの劣化防止のため、ゴム輪は屋内に保管し、梱包ケースから取り出したあとはできるだけ早く使用する。
- ⑤ ゴム輪は、油、溶剤が付着しないように注意して使用する。

3.2 推進工

(1) 切羽の安定

推進工法においては、切羽の崩壊は掘削作業に支障をきたすばかりでなく、地山の緩み、陥没を招くこともあるので、最も適切な方法により切羽の安定を図らなければならない。

(2) 掘削

掘削は、原則として先掘り、余掘りあるいは土砂の取込み過ぎをしてはならない。

(3) 地盤変動とその防止対策

地盤変動は、周辺に及ぼす影響が大きいため常に監視し、これを防止するように努めなければならない。

推進工法では、掘削、土留め、推進、裏込注入等の各作業について入念な管理を行い、地盤の変動防止に努めなければならない。

(4) 推進作業

推進作業は、地山の土質により、切羽、推進管、反力受などの安定、保護を図りながら、適切な推進ジャッキの配置と推進力で、管を所定の高さ、勾配および水平方向に正確に進むようにしなければならない。推進管を急激に修正すると継手部に大きな曲げモーメントが作用し、継手部を破壊する恐れがあるので、蛇行やローリングをできるだけ防ぐ。

推進作業は、推進管を破損しないように管の強度を十分に考慮し、許容抵抗力以内で行う必要がある。推力が管の許容抵抗力を超える可能性がある場合は、滑材注入および地山の安定を行い、推力の低減をはかる。また、推進中に推力が急激に上昇した場合は、推進を一時中止し、その原因を調べ安全を確認してから推進する必要がある。

(5) 推進管の施工

- ① 推進管を吊り込み、据え付ける前には必ず受口表示マーク(管種、接合形式など)を確認する。また、管の内面を十分清掃し、異物などが無いことを確認した上でメーカーマークの中心を管頂にして据え付ける。
- ② 推進の先頭には先頭管を用いる。また、標準管、先頭管、最後管、異種継手管の接合形式が異なることがあるので、あらかじめ確認する。
- ③ 推進管の向きは、挿し口側を前方とし、受口側は後方とする。受口端部には押輪を当ててジャッキの推力が均等に作用するように留意する。

3.3 継手接合

(1) 一般事項

- ① 継手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。
- ② 配管工は、作業着手に当たって継手の形式、構造、接合部品および接合の要点につき熟知しておく。
- ③ 各種継手の接合は、当協会が発行している接合要領書に基づいて行い、接合結果を4.資料のチェックシートに記録する。

(2) 接合の要点

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)あけておく。
- ・ゴム輪の確認は、受口と挿し口のすき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。

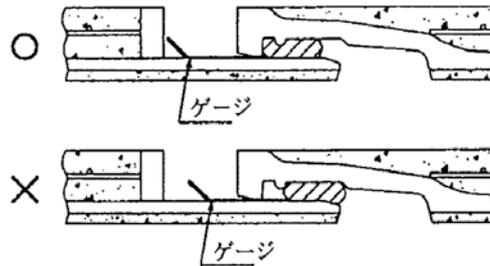


図34 ゴム輪の確認

② U形

- ・管の心出しを行った後、受口端面と挿し口フランジ面が接触するまで挿し口を受口に挿入する。

③ US形(LS方式)

- ・ストップのセットは、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ロックリングを拡大し、全ての呼び径において、図35に示すように、拡大したロックリングの分割部にストップをセットする。

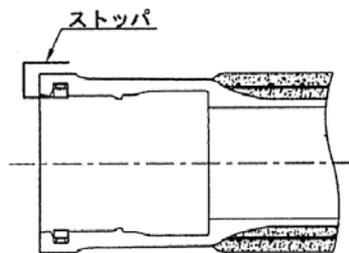


図35 ストップのセット

- ・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あたるまで挿入し、ストップを外してロックリングを挿し口に抱きつかせる。その後、受口端面とフランジ面が

あたるまで挿入する。

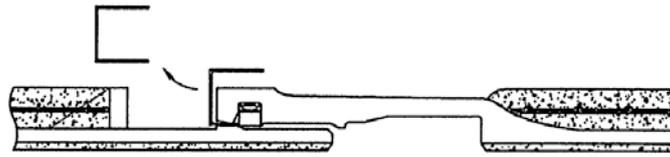


図36 ストップアの撤去

3.4 計測工

計測工は、推進管が安全に、しかも計画線上を正確に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1本の管を推進完了するごとに、全管の挿し口端、受口端で測定する。

(2) ローリング

基本的に1本の管を推進完了するごとに、全管の挿し口端で測定する。測定方法は、管内頂部につけたマーキングより下げ振りを下し、管内にあてた測定棒の中心とのずれを読む。

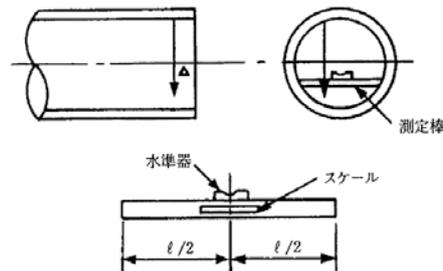


図37 ローリングの計測

(3) 曲線部

曲線部では曲線半径、曲線長、推進管径により視準距離が限られるので、工事条件に適合した効率的な測量方法の検討を行わなければならない。

(4) 推力

推進中は、常に油圧ポンプの圧力計を監視し、異常の有無を確認しておく必要がある。基本的に1本推進ごとに推力を測定し、記録しておく。

(5) 胴付間隔

管の接合完了後、接合した継手の胴付間隔を必ず測定し、さらに他の継手の胴付間隔も測定する。

(6) 路面沈下

推進開始前に、適当な間隔で路面の水平測量を行い、推進完了後、同じ位置を測量して、前後の測定値から沈下の有無を調べる。

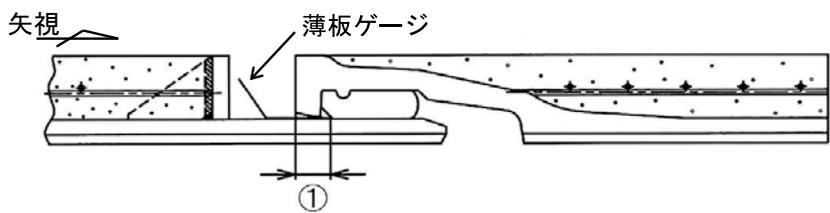
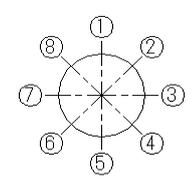
(7) その他

蛇行修正の際には刃口での修正量を必ず測定する。また、推進に伴い土質が変化すること
があるため、土質の観察も適宜行う。

4. 資料

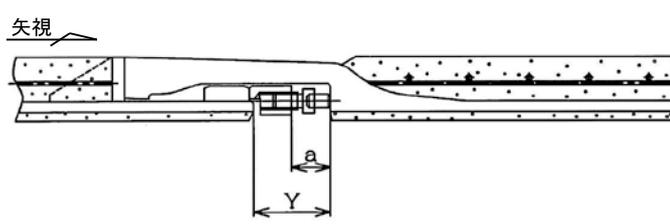
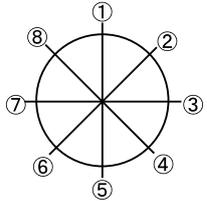
4.1 T形チェックシート

表23 T-D形継手チェックシート(例)

T-D形継手チェックシート								年 月 日		
工事名										配管工
図面No.・測点										
呼び径										
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>矢視</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>測定位置</p>  </div> </div> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;">注) 呼び径300以下の場合 1,3,5,7の4ヶ所とする</p>										
管 No.										
管の種類										
略 図										
継 手 No.										
清 掃										
滑 剤										
受口溝の確認										
①受口端面～ ゴム輪の間隔	①									
	②									
	③									
	④									
	⑤									
	⑥									
	⑦									
	⑧									
判 定										

4.2 U形チェックシート

表24 U-D形継手チェックシート(例)

U-D形継手 チェックシート							年 月 日		
工事名							配管工		
図面No.・測点									
呼び径									
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p>  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">備考 呼び径1500以下の場合 ①③⑤⑦の4ヶ所とする。</p>									
管 No.									
管の種類									
略 図									
継 手 No.									
清 掃									
滑 剤									
留 め 具									
受口底部～ 押輪の間隔(a) または 締め付けトルク (N・m) ※1	①								1
	②								
	③								
	④								
	⑤								
	⑥								
	⑦								
	⑧								
胴付間隔(Y) ※2	①								1
	②								
	③								
	④								
	⑤								
	⑥								
	⑦								
	⑧								
判 定									

判定基準 ※1 a寸法が締め付け完了時のa寸法内であること。ただし、締め付けトルクが非常に大きくなり、そこまでのねじ出しが困難な場合は、所定の締め付けトルクに達した時点で締め付け完了とする。

※2 Y寸法は曲げ配管時に許容胴付間隔 ℓ 以内であること。

4.3 US形チェックシート

表25 US-D形継手チェックシート(例)

US-D形継手 チェックシート		年 月 日		
工事名				配管工
図面No.・測点				
呼び径				

1 ロックリング分割部間隔

備考: 呼び径1500以下の場合
①③⑤⑦の4ヶ所とする。

2 矢視

管 No.							
管の種類							
略 図							
継 手 No.							—
清 掃							—
滑 剤							—
ロックリング 分割部間隔(a) ^{※1}	a ₁						1
	a ₂						
留 め 具							—
受口底部～ 押輪の間隔(b) または 締め付けトルク ^{※2} (N・m)	①						2
	②						
	③						
	④						
	⑤						
	⑥						
	⑦						
	⑧						
胴付間隔(Y) ^{※3}	①						2
	②						
	③						
	④						
	⑤						
	⑥						
	⑦						
	⑧						
判 定							—

判定基準 ※1 ロックリング分割部間隔の判定基準 【LS方式】 呼び径 800～1500 : a₂ ≤ a₁ + 5mm 呼び径1600～2600 : a₂ ≤ a₁ + 8mm
 ※2 b寸法が 締め付け完了時のb寸法内であること。ただし、締め付けトルクが非常に大きくなり、そこまでのねじ出しが困難な場合は、所定の締め付けトルクに達した時点で締め付け完了とする。
 ※3 Y寸法は 曲げ配管時に許容胴付間隔 ℓ 以内であること。

一般社団法人

日本ダクタイトル鉄管協会

<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（NL仙台広瀬通ビル） 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