

低圧型ダクタイル鋳鉄管を採用した導水路設計

A design of driving channel using low water pressure type Ductile Iron Pipe.

水工事業本部 水工第2部 鳥井 英雄¹⁾
 水工事業本部 水工第2部 酒井 雅徳²⁾



概要 (Abstract)

我が国の河川整備事業は、治水・利水対策を重点に整備を展開してきたが、国民ニーズの多様化、高度化に伴い、河川が本来有する河川生態や自然景観の保全等、健全な水循環及び良好な水環境の創出が求められるようになった。

今後の河川整備は、これまでの治水・利水機能を目的とした整備に加え、身近な水辺空間や河川景観等、河川環境に対する配慮が強く求められている。

本論文は、このような観点から、水質悪化が著しい河川(全国 34 河川)に対して、閉鎖性水域における水質環境基準の達成維持と水環境の改善を目的とした事業「清流ルネッサンスⅡ」の一環として計画された導水施設の設計業務について報告するものである。

1. はじめに(事業概要)

当該事業^{注)}は、水質悪化が著しい石狩川水系茨戸川及びその流入河川にあたる札幌北部地区(北区、東区、中央区の一部)の河川を対象とし、閉鎖性水域の水質環境基準の達成維持、水環境の改善を目的として計画された事業である。

上記の水環境の改善では、創成川ルート、石狩川ルート及び雁来ルートの3つのルートから浄化用水を取水し、茨戸川へ導水することにより、健全な水循環及び良好な水環境の創出を図る計画であり、本業務は、この3ルートのうち雁来川ルートの一部を実施するものである。



写真-1 茨戸川清流ルネッサンスⅡ事業イメージ
 出典:「茨戸川清流ルネッサンスⅡ」HP より抜粋。

◆浄化用水の導水ルート

・対象導水ルート：雁来ルート（ポンプ圧送）

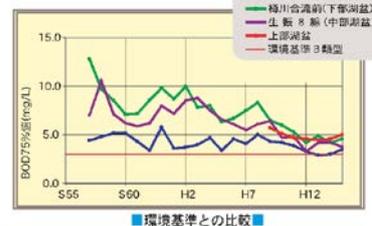
改善対策	対 策	効 果 と 課 題
河道の浚渫等	札幌北部地区河川の浚渫等	汚濁物質の除去・景観の保全
浄化用水 (維持用水) の導水	創成川ルート(自然流下)	3ルートの導水を実施した場合には3mg/L以下を概ね達成
	雁来ルート(ポンプ圧送)	札幌北部地区河川・茨戸川への効果が見込める 導水元河川の維持流量確保 導水元河川の適正な流量維持
	石狩川ルート(自然流下)	

◆茨戸川の水質環境基準

水質環境基準とは、環境基本法に基づき、「人の健康の保護」と「生活環境の保全」を維持するために公共用水域に対して設けられた基準であり、利水目的及び水域(河川・湖沼・海域)毎に類型が指定されている。

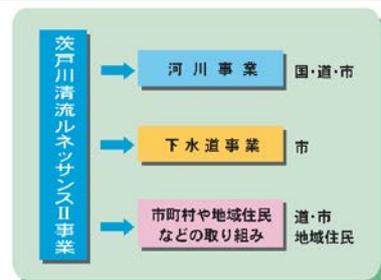
[茨戸川類型指標]

河川B類型
 BOD : 3mg/l 以下
 SS : 25mg/l 以下



◆茨戸川清流ルネッサンスⅡ事業

茨戸川の水環境改善のための施策は、大きく3つの事業からなる。



注):「茨戸川清流ルネッサンスⅡ:水環境改善の緊急行動計画」

地元市町村等と河川管理者、下水道管理者及び関係機関が一体となって、水環境改善事業を総合的、緊急的かつ重点的に実施することを目的とした、アクション・プログラム。

2. 導水管路の概要

業務対象である雁来導水ルートは、全長約5.10 km、うち業務対象路線は取水地点となる雁来排水機場から上流約3.60 kmの区間である。

対象施設は、河川管理施設としては事例の少ない圧力管(内圧管)による導水を予定しており、該当基準及び指針等が無いことから、「土地改良事業計画設計基準:パイプライン」を参考として各施設の計画・検討を実施した。

導水管路の施設概要を以下に示す。

[施設概要]

- ◆パイプライン形式:クローズドタイプ
- ◆送配水方式:ポンプ圧送式
- ◆計画送水量:Q=1.00m³/s

3. 管径及び管種の検討

3.1 管径の決定

ポンプ圧送式管路の場合の管径決定は、管路内流速とポンプ揚程、言い換えれば管関係費とポンプ関係費(設備費、運転費等)との関係で決定される。

管径を小さくすると管関係費は下がるが、流速が上昇、管内損失水頭の増加に伴いポンプ揚程が高くなるため、ポンプ関係費が高価となる。

このため、各々のインシヤルコスト及びランニングコストとを比較し、最適となる管径及び流速を設定することとなる。

表-1 管径及び流速と経済性比較

管路諸条件		φ800	φ900	φ1000	φ1100
呼び径	mm	φ800	φ900	φ1000	φ1100
管内流速	m/s	1.99	1.57	1.27	1.05
実揚程	m/s	6.67	6.72	6.77	6.82
送水管C値		130	130	130	130
送水管長さ	m	5100	5100	5100	5100
管路摩擦損失	m	23.76	13.39	8.02	5.04
ポンプ吐出量(1機当)	m ³ /s	0.5	0.5	0.5	0.5
ポンプ全揚程	m	30.5	20.2	14.8	11.9
ポンプ効率	%	79	79	79	79
電動機定格出力	kW	250	160	110	90
同出力計算結果	kW	208.1	137.9	101	81.2
消費電力(0.5m ³ /s)	kW	189.2	125.3	91.8	73.8
消費電力(1.0m ³ /s)	kW	378.4	250.6	183.6	147.6
経済性					
インシヤル:ポンプ設備	百万円	322	290	277	275
インシヤル:管路	百万円	1,183	1,209	1,301	1,382
ランニング:電気料	百万円	647	440	331	273
ライフサイクル	百万円	2,152	1,938	1,909	1,930

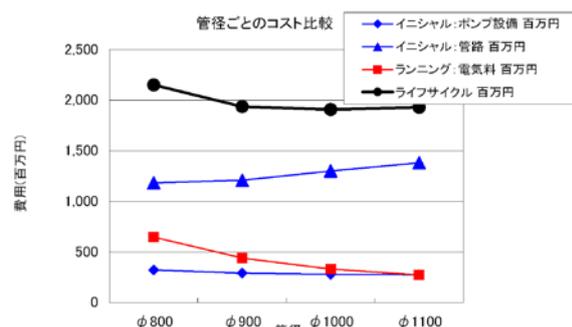
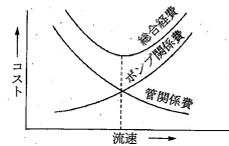


図-1 管径ごとのコスト比較

表-2 ポンプ圧送方式における平均流速の目安

口径 (mm)	平均流速 (m/s)
75 ~ 150	0.7 ~ 1.0
200 ~ 400	0.9 ~ 1.6
450 ~ 800	1.2 ~ 1.8
900 ~ 1,500	1.3 ~ 2.0
1,600 ~ 3,000	1.4 ~ 2.5



出典:「土地改良事業計画設計基準:パイプライン:P175」

3.2 管体及び継手選定

管体及び継手は、必要な水理条件、構造条件及び施工条件を満足し、その特性を十分活かせるものを選定する。

特に圧送管で使用される管渠性能では、継手部における水密性が重要となるため、この継手部の製造精度が要求される。

(1) 管種の種類

内水圧が生じる場合の適応可能な管種には、主に以下の管種が抽出される。

- ・遠心力鉄筋コンクリート管
- ・コア式プレストレスコンクリート管
- ・強化プラスチック複合管
- ・ダクタイル鋳鉄管
- ・水道配水用ポリエチレン管

(2) 管種の選定

当該施設における管径及び内水圧等の使用条件、決定管種は以下のとおりである。

【使用条件】

- ・必要管径 : φ1000mm
- ・設計水圧 : P=0.50MPa

上記の使用条件と埋設箇所における地盤条件の適合性、信頼性、経済性等についての比較検討を行い、適管種を選定する。

【管種の決定】

- ・ダクタイル鋳鉄管φ1000 TL形継手

内圧管として使用実績の多いダクタイル鋳鉄管は、その使用用途や埋設条件等に応じて、継手形式及び管種(管厚)を選定する。

主な管種及び継手形式の概要を以下に示す。

表-3 ダクタイル鋳鉄管の種類及び記号

種類	記号	呼び径	管厚
1種管	D1	75~2600	大 ↑ ↓ 小
2種管	D2	400~2600	
3種管	D3	75~2600	
4種管	D4	600~2600	
5種管	D5	600~2600	
農A種管	DA	600~2600	
農B種管	DB	300~2600	
農C種管	DC	1600~2600	
農D種管	DD	800~2600	

※農A種管～農D種管は農業用水用規格

表-4 継手形式の種類と特徴

継手の種類	特徴
K 形	水密性を高めた継手で、異形管(曲管)等に使用される継手
T 形	接合及び施工が容易な継手
U 形	トンネル内や開削溝幅の狭い場所に適している継手
S 形	優れた耐震性能を有している継手
TL 形	低圧型の継手で、管体強度は T 形とほぼ変わらず、ダクタイル管の課題である経済性に特化した継手

(3) 低圧型ダクタイル鋳鉄管の提案

上記の使用条件における管種としては、通常、強化プラスチック複合管とダクタイル鋳鉄管のいずれかが選定されるが、両者の比較では、管の材料強度、水密性及び耐震性(地盤追従性)等、管材性能では、ダクタイル鋳鉄管が有利であるものの、管材料費が高価であることから、高内圧あるいは大深度等の厳しい条件下以外での採用が困難であった。

本業務で提案、採用した低圧型ダクタイル鋳鉄管(TL-W 形)は、この欠点を解消するため、保証水圧 1.0MPa 以下(設計水圧 0.5MPa 以下)に下げることによって、水密性確保において重要となる継手部の製作精度(加工精度)を引下げ、これにより管材の製造コストを安価にした製品である。

上記により、従来のダクタイル鋳鉄管と比較し、継手部における保証水圧は低下したものの、それ以外の継手性能及び管材強度は、通常のダクタイル鋳鉄管と同等の性能を有する。



写真-2 継手接合状況[TLW 形継手]

NETIS 登録番号:HK-100005-A



写真-3 水圧試験状況

表-5 管材比較

	低圧型ダクタイル鋳鉄管 DCIP:TLW 形	強化プラスチック複合管 FRPM
管材性能	管材料強度 曲げ強度:600MN/m ² 引張強度:420MN/m ²	管材料強度 曲げ強度:226MN/m ² 引張強度:186MN/m ²
水密性能	保証水圧:1.0MPa 設計水圧:0.5MPa	※使用条件により異なるが、最大 0.50MPa 程度。
管材料費	呼び径 1500 mm 比較 概算:103,200 円/m 経済比率:1.000	呼び径 1500 mm 比較 概算:126,800 円/m 経済比率:1.230

3.3 内圧管設計における留意点

内水圧が作用する管渠設計では、自然流下による管渠と比較して、以下に対する留意が必要である。

[基本的留意点]

- ①設計水圧(水撃圧及び動水圧)の設定
- ②管厚計算時の内外圧の考え方
- ③スラスト力(不平均力)に対する対応

(1) 設計水圧

ダクタイル鋳鉄管に作用する設計水圧は、静止した水が管内に作用する圧力(静水圧)に加え、バルブ操作等により生じる急激な流量変動に伴って発生する圧力(水撃圧)を考慮しなければならないことに留意が必要である。

この水撃圧は、送配水方式及びパイプライン形式や静水圧によって設定する値が異なるが、一般的には静水圧と同等程度の水撃圧を見込んで設計水圧を設定する。

$$\text{設計水圧} = \text{静水圧} + \text{水撃圧}$$

(2) 管厚計算[水圧試験状況]

ダクタイル鋳鉄管の応力計算上での必要管厚は、内外圧が同時に作用するとき、管体に作用する縁応力度が、管材の許容応力度以内であることを条件として導いた次式により求める。

更に、上記により算出した必要管厚に管厚公差余裕及び腐食代を見込んだ値を公称管厚として設定することに留意が必要である。

$$\text{必要管厚 } t \geq \frac{0.5D \cdot H + \sqrt{(0.5D \cdot H)^2 + 24\alpha \cdot \sigma_a \cdot M}}{2\sigma_a}$$

(3) スラスト力(不平均力)の検討

内水圧が作用する管路には、パイプラインの屈曲部や制水弁等に、水圧の不均衡等によって管を動かそうとする力が発生し、この作用力をスラスト力(不平均力)という。

このスラスト力により管体が移動、継手の離脱等が懸念される場合には、必要に応じて離脱防止対策を施すことに留意が必要である。

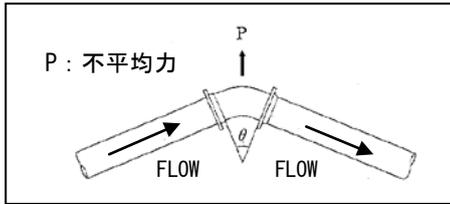


図-2 スラスト力の考え方

スラスト力(不平均力)対策としては、スラスト力の生じる箇所にコンクリートブロックを設置し、管体と一体的に機能させてスラスト力に抵抗させる方法や、離脱防止金具を用いてスラスト力が作用する継手箇所に接合し、一体化構造とすることでスラスト力に抵抗させる方法等がある。

これらの対策は、施工条件や周辺状況、鎖構造管路としての耐震性等を考慮して選定する。

4. 付属設備の検討

4.1 付属設備の構成

パイプラインは、その使用目的、送配水方式、管理方式及び地形等の条件に応じ所要の付属設備を配置し、パイプラインシステムの機能を発揮させ、かつ全体の安全性を確保することが重要となる。

付属設備はそのパイプラインに求められる機能により様々な設備が存在するが、通常、設置が必要となる付属設備としては、制水弁(仕切弁)、通気施設(空気弁)、排泥施設(分水施設)等が挙げられる。

4.2 通気施設(空気弁)

空気弁室の設置目的は、管内からの空気の排除と管内への空気の供給とにある。空気が管内に集積すると、流れが不規則となり通水能力の低下に繋がることから、管内の空気を自動的に排除する必要がある。

空気弁室の設置が必要となる位置は、主に平坦な勾配から急に下り勾配となる地点、上り及び下り勾配の路線に設けられた制水弁室の各々直下流及び直上流等が挙げられる。

設計基準によると起伏のない区間でも延長が長い箇所では 400~500mに一箇所程度設置することが望ましいとしている。

主な通気施設の設置箇所を図-3 に示す。



図-3 空気弁及び制水弁の設置位置

出典:「土地改良事業計画設計基準:パイプライン:P468」

4.3 制水弁室

制水弁は事故の復旧補修や点検、管路の洗浄排水等によりパイプラインの流水を遮断することを目的として設置する。選定にあたっては設計水圧に耐えうる強固な構造物を持ち、操作が容易で耐久性のあるものを選定する必要がある。

制水弁は配水計画及び施設管理上必要な地点に配置することとし、図-3 に示す箇所に設置することが望ましい。

4.4 排泥施設

排泥施設の設置目的は、パイプラインの維持管理、補修時等において管内の水、泥等を排出するための施設である。

排泥施設は、上述したようにパイプライン内の水、泥等を完全に排除するため、路線の低位部で河川や排水路等の排水先が近い地点に設けることが望ましい。

排泥施設の設置位置は主に下図に準じ、設置する。

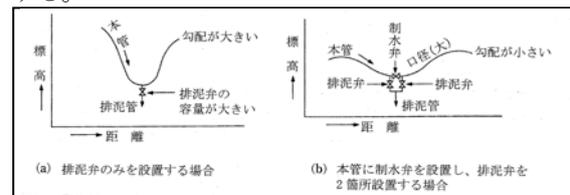


図-4 排泥施設の設置位置

出典:「土地改良事業計画設計基準:パイプライン:P485」

5. おわりに(今後の課題)

本文では、浄化用水の導水施設である導水管の設計概要と内圧管設計における基本的な留意点について記述した。

今回採用した低圧型ダクタイル鋳鉄管 (NETIS 登録) は、耐震性及び地盤の追従性等が高く、従来のダクタイル鋳鉄管の欠点であった経済性(管材費)についても、低コストでの製作が可能となり解消されている。

ダクタイル鋳鉄管は、内圧管(特に高圧管)としての使用実績の多い管材であり、本来の特性である「鎖構造管路」としての地盤追従性が高い。

したがって、軟弱地盤下での埋設や耐震管路としても適用性の高い管材でもあり、今後、柔構造樋門や耐震性能等を要する水路への積極的活用が望まれる。

[参考文献]

- ◆土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計パイプライン
- ◆水道施設設計指針:(社)日本水道協会
- ◆ダクタイル管路 設計と施工:日本ダクタイル鉄管協会