

ライフサイクルコストを考慮した 排水機場の設計について

帯広開発建設部 帯広農業事務所 第3工事課 ○小野 和也
齋藤 耕平

国営新川二期土地改良事業で改修する上統内排水機場の設計において、近年の排水機場設計における建設費及び維持管理費の実績からライフサイクルコストの検討結果を報告するものである。

キーワード：ライフサイクルコスト、長寿命化、維持・管理

I. はじめに

本地区は、北海道中川郡幕別町及び同郡豊頃町に位置する1,625haの畑作地帯であり、小麦、豆類、てんさい及びびばれいしょに、にんじん等の野菜類又は飼料作物を栽培し肉用牛を飼養する畜産を組み合わせた農業経営が展開されている。

地区内の排水施設は、国営新川土地改良事業（以下「前歴事業」という。）(昭和49年度～昭和61年度)等により整備されたが、降雨条件の変化による流出量の増加や地盤沈下に伴い、排水機及び排水路の排水能力が不足し湛水被害が生じており、農業生産性が低下するとともに、効率的な農作業に支障をきたしている。

また、排水機場は経年的な劣化により、施設の維持管理に多大な費用と労力を要している。

このため、国営新川二期土地改良事業（以下「本事業」という。）では、排水機場及び排水路を整備することにより、農地の湛水被害の解消及び施設の維持管理の軽減を図り、農業生産性の向上及び農業経営の安定に資するものである。

本報告では、既設排水の現状・課題を考慮し、近年の排水機場設計における建設費及び維持管理費の実績からライフサイクルコストの検討結果を報告するものである。

II. 施設の概要

1. 施設概要

本地区の主要施設である上統内排水機場（以下「排水機場（既設）」という。）は、前歴事業により建設された排水機場であり、昭和57年(1982年)に竣工された。新川二期地区は、十勝川を排水本川とする排水区域であり、常時排水は地区内の4つの排水樋門（二里塚樋門、上統内樋門、新川樋門、明野樋門）からそれぞれ十勝川に自

然排水するが、洪水時排水は一連の内水排水区域となり、排水機場（既設）に付帯する上統内樋門から十勝川に機械排水する流域である。（図-1）

排水機場（既設）の排水樋門である上統内排水樋門は、平成9年（1997年）に十勝川河川改修工事に改修されており、施設の状態は健全であるため、本事業の対象外である。

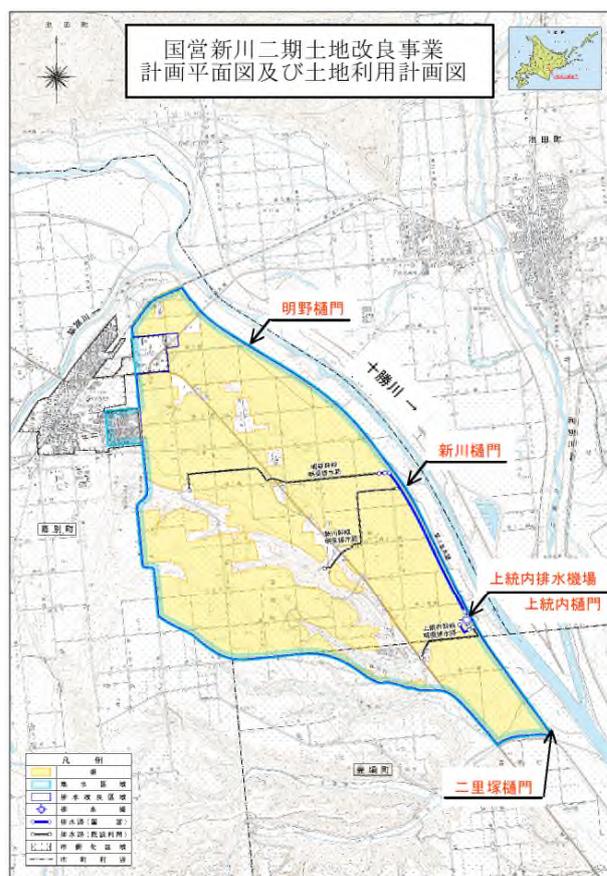


図-1 新川二期地区と排水機場位置図

2. 設備の概要

排水機場（既設）は建設後約40年が経過し、機械電気設備は、耐用年数を超過しているため交換部品の製造中止による応急対応等による単独操作となり、配管系統が煩雑なため操作員の運転操作や点検作業に多大な労力を要しておりシステムの改善等が課題になっている。

本事業では現状の課題を考慮し計画機場のポンプ設備選定は、信頼性・経済性・保守性に留意した機器とし、維持管理コスト縮減と操作・制御の簡素化、操作員の労力低減を図る計画としている。既設機場と計画機場の諸元は以下のとおりである。（表－1）

表－1 新旧機場諸元一覧表

項目	既設機場	計画機場
排水量	17.0 m ³ /s	27.0 m ³ /s
ポンプ形式	横軸斜流ポンプ	横軸斜流ポンプ
口径	φ1,650 mm	φ2,000 mm
台数	3台	3台
吐出量	(5.67 m ³ /s/台)	(9.00 m ³ /s/台)
全揚程	4.6 m	4.7 m
原動機形式	ディーゼル機関	ディーゼル機関
原動機出力	520 PS (383 kW)	600 kW
受電設備	高圧受電	低圧受電

1PS≒0.736kW

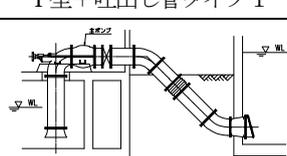
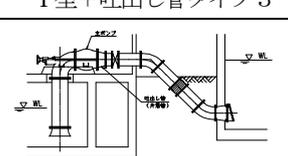
Ⅲ. 計画機場ポンプ設備におけるライフサイクルコストの検討

1. 主ポンプ

(1) 主ポンプ形式

主ポンプ形式は、ポンプ据付高さとかびテーションの検討結果から、洪水時排水の主ポンプ（φ2,000×3台）は、「I型+吐出し管タイプ1（φ2,000）」と「I型+吐出し管タイプ3（φ1,800）」の採用が可能である。

表－2 横軸ポンプ型式と吐出し管形式の組合せの比較

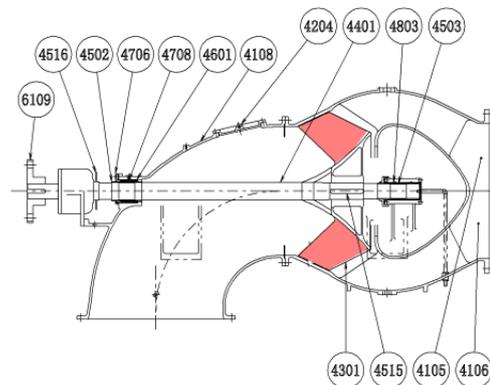
I型+吐出し管タイプ1	I型+吐出し管タイプ3
	
吐出し管は、片落ち管+I型主ポンプより1ランク小さい管径。	
建設費（土木・建築・設備）	
1,261,750(千円) (1.00)	1,276,710(千円) (1.01)
維持管理費（20年）	
4,700(千円) (1.00)	5,000(千円) (1.06)

「I型+吐出し管タイプ3（φ1,800）」は、吐出しバルブ、吐出し管等が安価となるが、損失水頭の増加によりポンプ出力が大きくなること、レデューサ（片落ち管）が必要であり建屋及び吸込水槽が大きくなることから、比較検討の結果、主ポンプ吐出し管の損失水頭が少なく、原動機出力が小さく、維持管理費が低減できる「I型+吐出し管タイプ1」を採用した。

(2) 材質

主ポンプに使用する材料は、設置場所、使用条件を検討し、安全かつ経済的で保守管理も考慮した最も適したものを選定する必要がある。

インペラの材質は、耐食性、高速流によるキャビテーション及びエロージョンに対する抵抗性、遠心応力・振動応力に対する強度が要求される。（図－2）（表－3）



図－2 横軸斜流ポンプの構造

表－3 主ポンプ材質

番号	名称	材質
4105	上部ケーシング	FC250
4106	下部ケーシング	FC250
4108	吸込ケーシング	FC250
4204	点検カバー	FC250
4301	インペラ	SCS13
4401	主軸	S35C
4502	軸封部スリーブ	SUS304
4503	水中軸受スリーブ	SUS304
4515	インペラキー	S45C
4516	水切りツバ	CAC406
4601	無給水軸封装置	メカニカルシール
4706		
4708		
4803	水中軸受	特殊合金
6109	軸継手	FC200

計画機場は、ポンプ据え付けの高さを既往最高内水位と排水解析によるポンプ無可動時最高水位以上で決定している。吐出水槽に隔壁を設置して有害なキャビテーションを起さないようにポンプの据付高さと回転速度を定めたことで、許容値に近似した計画となるため、耐キャ

ビテーション材料を使用する方が望ましい施設である。

また、地区内の排水であることから腐食性は少なく回転数も小さいが、洪水時に土砂も含む排水も考えられるため、耐摩耗性に優れる材質が有効である。インペラの材質は、長寿命化の観点から主要部材質を耐食性と耐摩耗性に優れるオーステナイト系ステンレス鋼（SCS13）を採用した。

(3) 軸封装置

主ポンプの軸封部は、ポンプ内への空気混入を防止するため、①封水を行う方式と②無給水軸封装置とする場合がある。無給水軸封装置とした場合は水量が不要となり、エンジンの冷却方式とともにポンプ設備全体の信頼性と機器の簡素化を図るため無給水軸封装置を採用した。横軸斜流ポンプの無給水軸封装置は、「メカニカルシール」、「フローティングシール」が採用できるが、落水に対する信頼性と、軸封装置の維持管理において回転体を分解しないで交換が可能であり、密閉性、耐久性に優れるメカニカルシールとした。

2. 主原動機

主ポンプ駆動用の原動機は、洪水時排水専用ポンプであり、保守管理性、信頼性の面で実績の多いディーゼル機関を採用している。ディーゼル機関の運転は、燃料の他、冷却水、潤滑油、高圧空気等の供給と確保のため広範囲かつ複雑な補機設備を必要とする。

(1) 冷却方式

機関の冷却は、大量の冷却水を必要とし、水量の確保と、経済性の観点から、吸込水槽や井戸から原水を取水して使用する方式が採られる。この原水の水質や出水期の塵芥等は、原水取水系の機能低下を生じさせ、機関停止の要因となり、設備全般の信頼性を低下させる。この課題に対して設備の簡素化と相まってラジエータ方式の採用により原水を不要とし、信頼性の向上を図った。

ラジエータ方式は、一般に機関出力により400kW以下は「機付ラジエータ方式」、400kW超は「別置きラジエータ方式」となる。本機場では、機関出力は600kWであり、「別置きラジエータ」となるが、近年、「機付きラジエータ方式」のエンジンもあるため、比較検討により維持管理、コスト、点検整備等考慮して「別置きラジエータ」を採用した。（表-4）

選定理由は、以下を評価して決定した。

- ① 建設費と維持管理費（30年）で第1案が有利である。
- ② 駆動系機器（エンジン、減速機、排風ダクト）に加えて、換気設備や自家発電設備を含めると経済性（建設費）で大きな差はない。
- ③ 第2案は、12気筒のエンジン（第1案は、標準の6気筒エンジン）であること、換気設備の数が多くな

ること、自家発電設備の出力が大きくなることから将来の維持管理費用が大きくなる。

- ④ 第1案は、機付ラジエータ冷却方式と同様に冷却水系統の簡略化がなされ、不凍液を用いることで寒冷地対応が可能である。
- ⑤ 第1案は、同規模排水機場での納入実績あり、エンジンに関する道内での緊急時体制が整っている。
- ⑥ 本出力での第2案（機付ラジエータ冷却方式）は、納入可能メーカーが1社のみであり、且つ汎用エンジンの使用によりエンジンクランク軸の歪みを確認する指標となるデフレクション管理ができない。

表-4 冷却方式の比較

第1案 別置きラジエータ案	第2案 機付きラジエータ案
原動機の各部を冷却するのに必要な冷却水（不凍液）を原動機軸端ポンプで循環し、屋外の別置きラジエータで冷却する。	原動機の各部を冷却するのに必要な冷却水（不凍液）を原動機軸端ポンプで循環し、機付ラジエータで冷却する。
駆動系機器設備費	
540,500(千円) (1.00)	462,600(千円) (0.86)
換気設備・自家発電設備費	
108,100(千円) (1.00)	150,700(千円) (1.39)
建設費（建築）	
145,400(千円) (1.00)	149,700(千円) (1.03)
維持管理費（30年）	
241,200(千円) (1.00)	405,900(千円) (1.68)
合計	
1,035,200(千円) (1.00)	1,168,900(千円) (1.13)

(2) 燃料系統補機設備

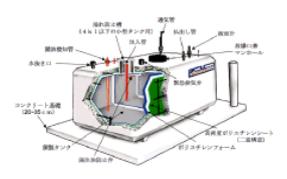
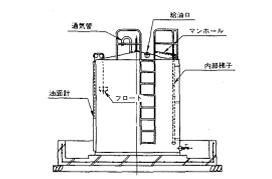
本機場の燃料貯油槽は、点検及び維持管理に有利な屋外の地上据置式貯油槽とした。屋外地上式タンクは、「コンボルト型地上タンク」と「鋼板製地上タンク」があり、比較検討から「コンボルト型地上タンク」を採用した。（表-5）

これまで、一般に採用されていた鋼板製の地上タンクは、定期的な屋外露出部の塗装補修が必要で、タンク底面の（裏側）の防食管理、防油堤内の水抜き管理等に課題があったが、「コンボルト式地上タンク」は、下記のようにほぼメンテナンスが不要で、「本体工事費＋維持管理費」のライフサイクルコストに優れ、信頼性・耐候性・維持管理において有利であり採用した。

- ① 鋼製のタンク本体がコンクリートで覆われているため、外力により損傷する可能性が低い。

- ② 二重構造で、防油堤一体型の屋外貯蔵タンクとして 認定されるほど漏油する危険性が少ないため、信頼性は高い。
- ③ 送油配管はタンク内の油面高より高い位置（タンク上面）から接続された配管で送りだされるため、送油配管が損傷しても燃料が漏油することが無い。
- ④ コンクリート被覆やポリスチレンフォームの断熱効果により、外気温の影響が少なく結露が少ないので、地下タンクと同様に底部に水分が溜まり難い。

表一五 燃料貯油槽形式の比較

第1案 コンポレト型地上タンク	第2案 鋼板製地上タンク
	
<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製タンクをポリエチレンフォームと鉄筋コンクリートで覆い、外部衝撃や外部腐食環境からタンク本体遮断している。 ・二重防油構造となっているため、防油堤が不要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製タンクを、屋外地上部のコンクリート造の防油堤に設置する。 ・タンク室から漏洩があった場合は、防油堤により屋外敷地への漏洩拡散を防止する。
12[kℓ]×1基	12[kℓ]×1基
建設費（基礎工、設備費）	
13,480(千円) (1.00)	9,430(千円) (0.70)
維持管理費（30年）	
— (0.00)	5,069(千円) (1.00)
合計	
13,480(千円) (1.00)	14,499(千円) (1.08)

3. 電気設備

(1) 受電方式

排水ポンプ設備は、出水時に商用電源が停電した場合にも排水機能を維持できるよう運転時に必要な全ての電力を自家発電設備より供給できるものとする。

計画機場は、負荷容量より商用電源の場合、契約種別は高圧受電となる。維持管理面を考慮すると電気料金が安価な低圧受電とし、自家発電設備による運転が有効である。次の2案より受電方式を選定した。（表一六）

第1案 高圧受電案（50kW以上 2,000kW未満）

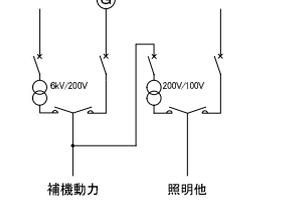
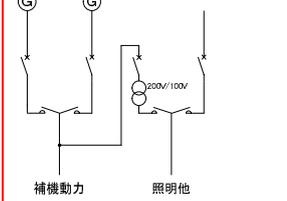
- ・高圧受変電設備+自家発電設備（予備機）
- +保守用低圧電力（電灯・通年）

第2案 低圧受電案（50kW未満）

- ・自家発電設備（常用機、予備機）
- +保守用低圧電力（電灯・通年）

比較検討は、設備費（設備費/耐用年数）、維持管理費（年間の保安費用）、運転費（年間の電気料金、燃料費）による比較検討から第2案の低圧受電案を採用した。（表一六）

表一六 受電方式の比較

第1案 高圧受電案		第2案 低圧受電案	
高圧受電 3φ3W 6.6kV	自家発電電源 (予備) 3φ3W 200V	低圧受電 1φ3W 200-100V	自家発電電源 (常用+予備) 3φ3W 200V
			
補機動力	照明他	補機動力	照明他
<ul style="list-style-type: none"> ・高圧受電のため、高圧受電設備、高圧変圧器が必要である。 ・停電時は自家発電設備（補機用）にて電力を供給する。 ・高圧受電設備と自家発電設備の保安費用が必要となる。 		<ul style="list-style-type: none"> ・補機動力を常時自家発電設備にて供給するため、主ポンプ運転時には必ず自家発電設備を起動させる。 ・高圧受電の基本料金が不要でありランニングコストを抑えることができる。 ・自家発電設備は故障対策として予備機を設ける。2台分の保安費用が必要となる。 	
設備費			
187,000(千円)	(0.99)	189,000(千円)	(1.00)
維持管理費（20年）			
31,800(千円)	(2.24)	14,180(千円)	(1.00)
合計			
218,800(千円)	(1.08)	203,180(千円)	(1.00)

(2) 配電設備

自家発電装置より供給された低圧電源を各補機に給電すると共に運転制御を行う配電設備である補機関係の回路は、「低圧補機電動機盤」及び「コントロールセンタ」より選定した。

① 低圧補機電動機盤

低圧の補機電動機の主回路を収納し、計器、スイッチ、表示器等を設ける。一般に各主ポンプ・エンジンに関わる機器と補機設備に分けられ各「主ポンプ盤」及び「補機盤」で構成する。

② コントロールセンタ

受変電設備より供給された低圧電源を各負荷に給電する。コントロールセンタの1面当りの標準積段数は最小ユニットサイズで、片面形7段程度で収納できる。

経済的で、設置面積も小さくなるコントロールセンタを採用した。（表一七）

表一七 配電設備の比較

低圧補機電動機盤	コントロールセンタ
主ポンプ盤及び補機盤で構成 ・NO.1~3主ポンプ盤×3面 (W800mm×D800mm×H2350mm) ・補機盤×1面 (W800mm×D800mm×H2350mm)	コントロールセンタで構成 ・コントロールセンタ×5面 (W600mm×D600mm×H2350mm)
設備費	
32,000(千円) (1.07)	30,000(千円) (1.00)

4. 操作設備

運転監視操作制御設備は、ポンプ設備、電気設備の他、水門設備、除塵設備等を監視操作制御する設備である。運転支援機能は、運転操作支援、故障対応支援、記録・情報管理等を行うことによって、確実な排水運転、異常時の速やかな対応、合理的な保守管理を可能とするためのものであり、機場規模、管理体制等を考慮して決定した。運転監視操作制御設備には、ポンプ場設備の概略状況を表示し、ポンプ設備等の運転状況、故障、水位、圧力等を表示する機能、及びポンプ場設備の運転操作を行うための操作スイッチと、状態の表示を行う操作する機能を有するものとした。

経済性と耐用年数が長く維持管理面で有利な操作卓方式（ミニグラフィックパネル一体形）を採用した。（表－8）

表－8 操作卓方式の比較

案1：操作卓方式 ミニグラフィックパネル一体形	案2：PLC+FA-PC+ ハード操作スイッチボックス
<ul style="list-style-type: none"> ・遠方手動操作装置の伝送部及び制御部はPLCで構成する。 ・操作表示器は従来型の専用操作卓で構成する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠方手動操作装置の伝送部及び制御部はPLCで構成する。 ・操作表示器は端末2台とハード操作スイッチボックスで構成する。
本体の耐用年数は15年程度。電源部等は10年程度。	FA-PCは10年程度毎に更新が必要となる。
設備費 22,000(千円) (1.00)	24,000(千円) (1.09)

IV. まとめ

本地区の排水機場の設計に当たっては、信頼性と経済性の双方を満足する機器選定を行い、補機設備を含むポンプ機械電気設備は、設備費用、操作性、維持費用などを考慮し選定した。

特に、ライフサイクルコストにおける信頼性では、原水取水によるポンプ設備の停止が懸念されるため、主ポンプの軸封装置を無注水軸封装置としたほか、主原動機の冷却方式を原水不要とするラジエータ方式を採用した。

経済性では、ポンプ各設備において設備費、維持管理費の比較検討を行い、約6,500(千円/年)のライフサイクルコスト削減を図った。これらの検討を踏まえた新旧機場設備の比較を下表に示す。（表－9）

表－9 新旧機場の比較

項目	既設機場	計画機場
排水量	17.0 m ³ /s	27.0 m ³ /s
ポンプ形式	横軸斜流ポンプ	横軸斜流ポンプ
口径・台数	φ1,650 mm×3台	φ2,000 mm×3台
原動機形式	ディーゼル機関	ディーゼル機関
原動機出力	383 kW	600 kW
吐出し管タイプ	I型+タイプ1	I型+タイプ1
材質	インペラ 炭素鋼 鋼 SC450	インペラ ステンレス鋼 鋼 SCS13
軸封装置	グランドパッキン	無注水軸封装置
原動機冷却方式	二次冷却方式	別置ラジエータ方式
燃料貯油槽	鋼板製地上タンク	コンボルト型地上タンク
受電設備	高圧受電 補機用自家発電設備	低圧受電 常用自家発電設備
配電設備	主ポンプ盤+補機盤	コントロールセンタ
操作設備	操作盤+監視盤 グラフィックパネル付	操作卓方式 ミニグラフィックパネル 一体形

V. おわりに

排水機場は大雨による洪水期に運転され、年間の稼働頻度は少ない施設であるが、運転には確実な始動と連続運転能力が求められ、高い信頼性が要求される。

ポンプ施設の高信頼性を保持するには、定期的な点検・整備や管理運転は必須作業となり、点検整備や運転費等の維持管理費、労力の軽減が求められる。

今後、道内において数多くの排水機場が老朽化し更新時期を向かえることになる。機場設計に当たっては、建設費と維持管理費（動力費・点検整備費など）の両面を考慮したコスト削減も求められ、システムを簡素化して効率的で信頼性の高い施設とすることで、地元負担軽減と危機管理を両立する排水管理を実現することが課題になっている。

この報告がライフサイクルコストの軽減、施設の長寿命化など今後のポンプ設備計画の参考となればと考えている。

謝辞：本報告の作成にあたり、関係する皆様に対して、紙面を借りて深く感謝致します。