

排水機場におけるメンテナンス省力化

トランスフォーメーション

立軸斜流からコラム形水中ポンプへ

国土交通省 北海道開発局

○石川 真大

久保 恭伸

(株)荏原製作所

梶本 哲弘

1. はじめに

地域の人命・財産を守る治水施設である排水機場の機械設備は、近年地球温暖化の影響等による気候変動、環境変化への対応が求められ、経年劣化への対応、信頼性向上とともに維持管理の省力化も課題となっている。

これらの対策のうちの一つとして無水化が進められているが、その中でも既存施設の形態、条件等により様々な無水化の方法が存在する。そこで更新時期を迎えている赤平排水機場において、コスト削減・メンテナンス性向上も実現するためにポンプ型式を変更するという、新たな方法の検討を行うこととした。

2. 排水機場の無水化とその種類

排水機場の無水化とは、冬期間においても排水機場を迅速に稼働することを考慮し、これまで行われていた水抜きなどの凍結予防処置の必要が無い機械設備に更新することで、様々な方法が存在するが、代表的な次の5つの内容を簡潔に紹介する。

2.1 主原動機は無水化

主ポンプを駆動するための主原動機は、エンジン、モーター等があるが、エンジンの場合、通常、発熱するエンジン本体を冷やす冷却水（以下一次冷却水と呼ぶ）を循環させている。一冷却水は循環する中でエンジンの熱を吸収し高温となるため、これを冷却する必要がある。そこで別な系統からの冷却水（以下、二次冷却水）と熱交換させることで、冷やされた一次冷却水がまたエンジンに循環していく仕組みとなっている（代表的な冷却方式）。

この仕組みにおいては、一次冷却水に精水を使用し、二次冷却水に河川水を使用することが多い。そのため冬期間前には低温時の凍結膨張による機器破損を防ぐために、水抜き作業が必要となると同時に、冬期間に排水ポンプの稼働が急遽必要に

なったときには、冷却水の確保、機器系統への充填のため2、3日を要することとなる。そこで一次冷却水に不凍液を用い、一般的な自動車と同じ方式であるラジエーターで、一次冷却水を冷却するラジエーター式のエンジンとすることが主原動機の無水化である。写真-1に無水化前と無水化後の主原動機を示す。上が無水化前、下が無水化後のラジエーター式主原動機である。



写真-1 主原動機無水化前(上)後(下)

2.2 減速機の無水化

主原動機からの回転を主ポンプインペラ（羽根車）に伝えるには回転数の違いから歯車を用いた減速機を設ける必要がある。歯車にはとても大きな力が加わるため稼働中には熱が発生する。これを冷却するために、冷却水を循環させているのが水冷式減速機である。ただし、水を使うため、前項同様に冬期の水抜きが必要であり、これを歯車軸に直結したファンにより、空冷する方式に変更するのが減速機の無水化である。写真-2 に無水化前後の減速機を示す。上が無水化前の横軸遊星歯車減速機で、冷却水を循環させ冷却している。下が横軸平行歯車減速機で白丸部分が歯車軸直結ファンである。

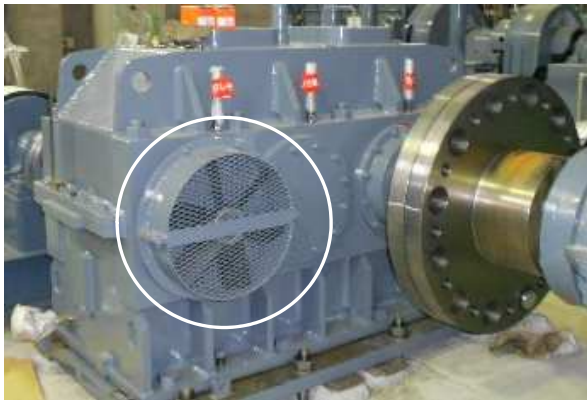


写真-2 減速機の無水化前(上)後(下)

2.3 主ポンプの軸封部の無水化

主ポンプインペラを駆動する軸は、ポンプケースを貫通し原動機から動力を伝えるが、貫通部分の空気吸い込みを防ぐのと冷却のため、注水タイプのシーリングが多く使われてきた。これを無注水式の軸受けに変更することで、メンテナンスフリーと長寿命化を狙ったのが軸封部の無水化である。

無注水式なので冬期の水抜きが不要、また稼働中における信頼性も向上する。図-1 に軸封部のシーリング方式についてイメージを示す。左側がパッキンを用いた注水タイプのシーリング、右側がメカ

ニカルシールと呼ばれるメンテナンスフリーのシーリングで、無注水式でありポンプ軸に装着され一緒に回転する回転環と固定環とのシール面で水密を行うため、ポンプ軸の摩耗を防ぐことができる。

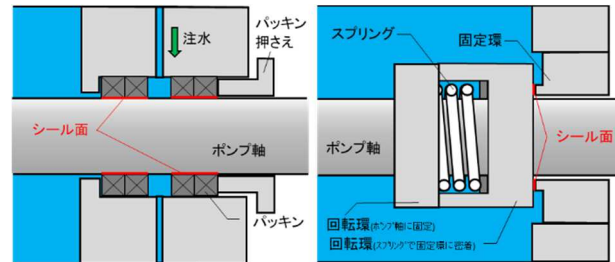


図-1 軸封部のシーリング方式

2.4 真空ポンプの無水化

主ポンプを駆動するためには、ポンプケース中のインペラが水で満たされている必要があるが、横軸ポンプの場合、排水運転水位でもインペラが水に満たされることはないのが通常であるため、ポンプケース内の空気を抜き取り、水を満たすために真空ポンプを使用する。排水機場の真空ポンプには大きく分けてポンプケース内部の水と遠心力を利用して吸気排気するものと、ポンプケース内に二つ組み込まれた、まゆ型断面のロータを回転させることで吸気排気を行うものがあり、後者は真空ポンプ内に水がないことから乾式と呼ばれ、凍結予防のための水抜きが不要である。

2.5 関連機器及び制御系統の適正化

前項までの各無水化に関連し、操作盤、制御系統、関連機器を更新することが必要となるが、これに伴い制御方式の見直し、操作機器のメンテナンス性、操作性の改善、将来的なアフターサービスにも配慮して適正化を行うことも、無水化に付随する内容の一つである。

今回、これら5つの従来からの無水化に加えて、救急排水場で使用されているコラム形水中ポンプへの変更も新しく検討要素の一つとした。コラム形水中ポンプの一般図を図-2 に、救急排水場に設置されている状況を写真-3 示す。

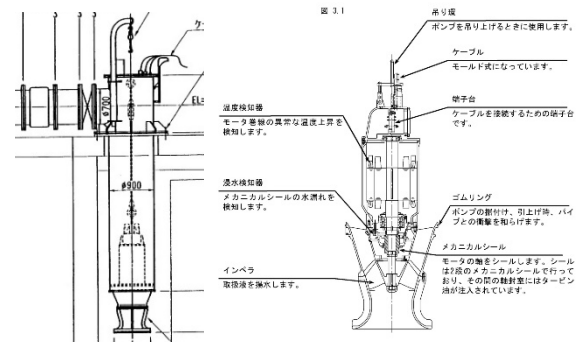


図-2 コラムパイプ(左)とコラム形水中ポンプ(右)



写真-3 吐出管とコラムパイプ(上) コラム形水中ポンプ
挿入設置状況(下)

コラム形水中ポンプは、あらかじめ設置された鋼管製のコラムパイプ内部に挿入し設置するタイプの水中ポンプで、自家発電機から供給される電力で駆動するため、補機類が少なく、水抜きも必要がなくなることから無水化と位置づけることができる。

3. 検討対象施設について

検討対象施設は、更新時期を迎えた空知川河川事務所管内の赤平排水機場である。赤平排水機場は赤平市の中心に近い場所に位置し、立軸斜流ポンプ2台を有している。主要諸元について表-1に、機場状況を写真-4に示す。

表-1 赤平排水機場主要諸元

設備名称	赤平排水機場	
完成年度	昭和59年	
主ポンプ	型式	立軸斜流
	口径(mm)×台数	800×2
	1台当り吐出量(m ³ /s)	1.5
	全揚程(m)	4.4
減速機	型式	直交軸歯車
	台数	2
主原動機	型式	ディーゼル
	出力	140ps
	冷却方式	水冷(二次冷却)
	使用燃料	A重油
	台数	2
真空ポンプ	-	
天井クレーン	型式	手動
	吊荷重	8t



写真-4 赤平排水機場全景(上)と機械設備(下)

既存赤平排水機場の特徴は、立軸斜流ポンプで排水作業を行う水位では、インペラが水面下にあるため、水を引き込むための真空ポンプが存在しないことである。そのため、先に示した無水化の項目の一つ、真空ポンプについては不要である。また、立軸のポンプであることから、コラム形水中ポンプの設置方向とも合致し、吐出量についても1.5m³/sと大きくないことから構造物などに大きな変更を加えなくてもコラム形水中ポンプへ変更できることが挙げられる。

4. 既存排水機場のコラム形水中ポンプ化

1章で触れたとおり、排水機場の機械設備更新に当たっては無水化を進めるとともに、コスト削減も視野に入れる必要がある。経済比較においては、更新設置時のインシヤルコスト、設置後の管理、メンテナンスなどにかかるランニングコストを考慮するが、インシヤルコストを把握するためには、まず既存排水機場からコラム形水中ポンプへの変更の際に生じる課題を解決する必要がある。

通常の無水化に比べて、ポンプ型式の変更は大規模な改造を伴うことが多いが、赤平排水機場でコラム形水中ポンプに型式変更する場合において課題となる点は次の4つが考えられた。

4.1 ポンプ取付床開口部の拡幅

既存の主ポンプの揚程は4.4mで、コラム形水中ポンプの揚程は低くても6mである。機場の吐水管や吐水槽などの施設は、既存の揚程をもとに設計されており、コラム形水中ポンプの揚程を下げるために、インペラの回転数を下げる必要があった。その方法は減速機を搭載する、もしくはモーター（電動機）の極数を増やすことが考えられるが、どちらの場合もポンプ径が大きくなり、既存の開口部を拡幅しなければならないことがわかった。

そこで、拡幅した際の床構造への影響を確認したところ、直径1.85mまでは構造上の大きな変更を加えなくても対応可能であり、コラム形水中ポンプの直径0.8mのタイプが使用可能であることが確認された。

4.2 床荷重の増加

床にかかる荷重は、既存の立軸ポンプでは減速機、ポンプ本体、ポンプ本体に貯まる水の合計重量であり、変更後のコラム形水中ポンプでは、コラムポンプ本体、コラムパイプ、コラムパイプに貯まる水の合計重量となる。両者を比較すると、モーター分の重さやポンプの直径が大きくなることから、後者のコラム形水中ポンプの方が重くなる。そこで増加した重量で床の強度に問題がないか構造照査を行ったところ、許容範囲に収まることを確認した。なお、増加する重量を計算するときは各ポンプメーカー製品の中での最重量荷重を用いている。

4.3 自家用発電機の設置場所

モーター駆動に大きな電力を必要とするコラム形水中ポンプの場合は、既存の自家用発電機では容量が足りないため、大型の自家用発電機に更新する必要がある。また発電機は万一の故障なども考慮し2台設置が基準で定められており、既存の発電機室には収まりきらないことは明らかであった。そのため、ポンプ室内に1台を設置した場合、他の機器、設備に影響を及ぼさないか、クレーン作業に支障がないか、後述する3Dモデルを活用し配置を検討したところ、通路スペースが若干狭くはなるものの、設置可能であることを確認し、発電機室に1台、ポンプ室に1台と分けて設置することとした。

4.4 機場内天井クレーンの能力

非出水期である冬期間は、コラム形水中ポンプをクレーンでコラムパイプから抜き出し、ポンプ室に保管する。当機場の天井クレーンは、既設の立軸ポンプを吊り上げるため、8.0tの吊り荷重能力を有しており、変更後のコラム形水中ポンプも8.0t以下が条件であった。仮に8.0t以上のポンプを吊り上げようとする、既設天井クレーンを変更する必要が生じ、そのために機場の天井を一旦

撤去し、そこからクレーン装置の撤去、設置作業となるため、仮設費を含めた施工費だけで経済比較するまでもなくコストがかかりすぎることは明らかであった。これより各ポンプメーカーの製品について、重量を調査したところ、8.0t以下の条件を満足するものがあり、既存の天井クレーンがそのまま使用可能であることを確認した。また、あわせて吊り上げ高さを確保できるかも確認するため、ポンプ本体の全高も調べ、吊り上げ、移動、ポンプ室設置の一連動作が同天井クレーンで行えることを確認した。

5. 無水化更新の経済比較とメリット比較

無水化更新の経済比較は、従来から行われている、ポンプ型式を変更しないで主原動機や補機類を更新する代表的な無水化と、ポンプ型式をコラム形水中ポンプに変更し、関連する機器まで全て更新する無水化の二つで行った。前者については、赤平排水機場既存施設の構成から2章で説明した主原動機の無水化、減速機の無水化、関連機器及び制御系統の適正化、後者については、コラム形水中ポンプへの変更、自家用発電機の更新、関連機器及び制御系統の適正化がイニシャルコスト比較項目である。結果を表-2に示す。

表-2 経済比較（単位：百万円）

		従来方式での 無水化	コラム形 水中ポンプ化
イニシャル コスト	主原動機無水化	164.8	-
	減速機無水化	47.2	-
	コラム形水中 ポンプへの変更	-	173.6
	自家用発電機 の更新	-	191.4
	関連機器及び制御系 統の適正化	4.8	48
ランニング コスト (50年)	定期整備費・更新費	771.6	707.6
	点検費	100	37
	修繕費	34.7	2.4
トータルコスト		1123.1	1160

表-3 メリット・デメリット比較

		従来方式での 無水化	コラム形 水中ポンプ化
メリット	点検項目数の削減	×	○
	容易な操作手順	△	○
	ポンプ故障時の早期 復旧対応	×	○
	原動機の現地での 小分整整備	○	×
デメリット	冬期に係るポンプ 撤去設置	○	×
	油脂類の補給・取替	×	○
	稼働中の不具合頻度	○	△

また運用、管理面におけるメリット・デメリット比較を表-3に示す。

トータルコストでは設置時における機器費用の高さからコラム形水中ポンプ化の方がコスト高となったが、運用管理面の比較ではコラム形水中ポンプ化により構成部品が少数化されることで、点検項目数の削減や操作性の面で優位性が得られる結果となった。表-2の経済比較におけるランニングコストの点検費や修繕費でコラム形水中ポンプ化が低く抑えられているのは、まさにメンテナンスや管理面で手間がかからないことを示しており、昨今、排水機場だけでなく各河川施設を管理する現場においても人員不足、高齢化が進んでいること考えると、省力化、メンテナンス性の向上は重要な要素である。

また、コラム形水中ポンプの利点として予備のコラムポンプを準備することで、故障時にポンプを入れ替えて早期復旧を図ることができる。これにより、冗長性の確保も可能となる。

よって、本赤平排水機場の無水化では、これらのメリットが受けられるコラム形水中ポンプ化を採用し、機械設備更新工事を実施することとした。

6. 3Dモデル等を活用した施工管理

本工事は、受注者の提案により将来的にBIM・CIMに繋がる取組を実施している。現地詳細調査時において建屋内外を3Dスキャナで計測し、3Dモデルを作成することによって、更新後の各機械設備、機器の配置検討を行う際に取り回し、必要スペース等を視覚的に把握しやすくした。

この3Dモデルを用いて受発注者間だけでなく、関係機関に対しても工事概要を説明することで、説明時間の短縮、理解度の向上を図ることができ、関係先においても好評であった。写真-6,7に3Dモデルによる機器配置検討画面（排気消音器、ポンプ吊り上げイメージ）を示す。

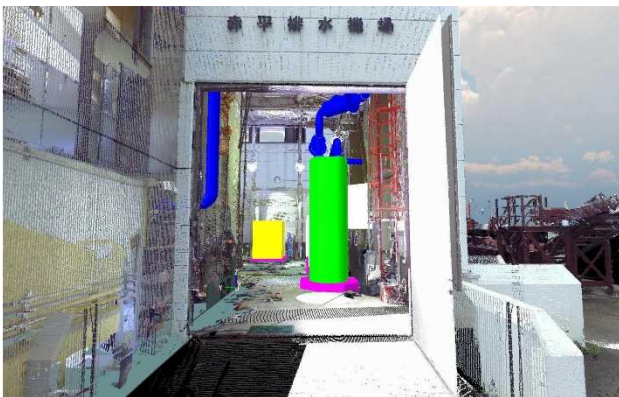


写真-6 3Dモデルによる機器配置検討(排気消音器)

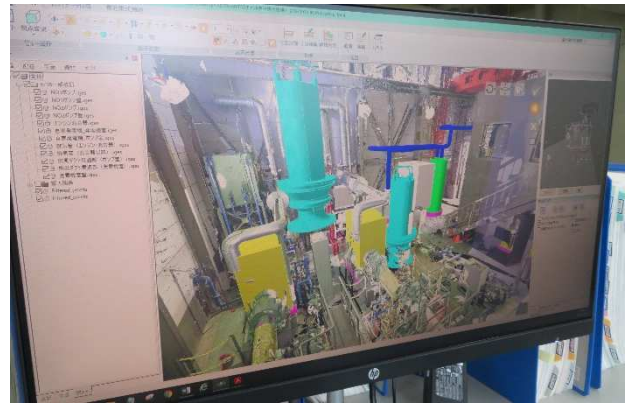


写真-7 3Dモデルによる機器配置検討
(ポンプ吊り上げイメージ)

施工上においては、従来、既設吐出管との取り合いを決める際、現合配管という仮組の管で現地にて寸法合わせを行い、一度工場に戻してから本組立を行っていたが、3Dスキャナで既設管の位置寸法を計測し、そのデータから3Dモデル、製作図作成、本組立を行うことで、現地での現合配管の作業を省くことが可能となった。これにより、約1カ月の製作期間短縮、20人ほどの省人化が可能となり、限られた工期の中で生産性が向上した。写真-8に既設吐出管3D計測状況、そこから作成した3Dモデルを示す。

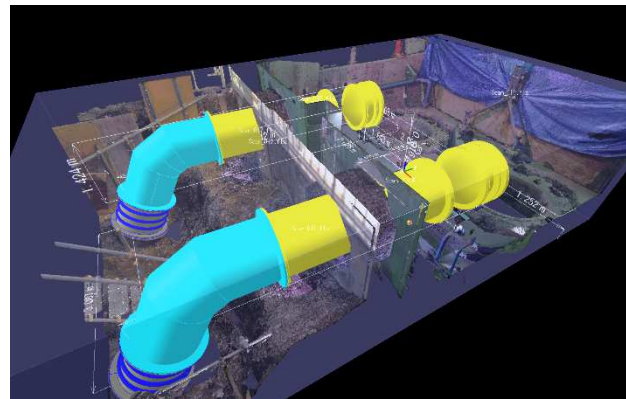


写真-8 既設吐出管 3D レーザースキャナ計測状況(上)
と 3Dモデル(下)

さらに打合せ等においては、段階確認時に工事現場で遠隔通信機器を準備して頂くことによって、現地と職場事務室もしくはテレワーク中の自宅との間で、20回以上の遠隔臨場を実施した。遠隔臨場では回線状況や電波状況により、音声映像が乱れることや現場での作業音を拾ってしまうなどの課題はあるものの、寸法確認時のスケールの目盛り、施工状況を視認するには十分であり、天候状況等で現地まで赴くことができない場合にも有効な手段であると考え。写真-9に遠隔臨場の画面、現地で使用している遠隔機器を示す。

本工事内容は、ポンプ型式の変更を伴うことから現地の詳細調査も重要で工程や管理項目も増えており、とくに機器の配置場所、配管の取り回しについては事前の検討業務成果ではわからない部分も多々あったが、3Dモデルの利用と遠隔臨場を活用することにより、工程の変更にも臨機に対応でき効率的に施工を進めることができた。

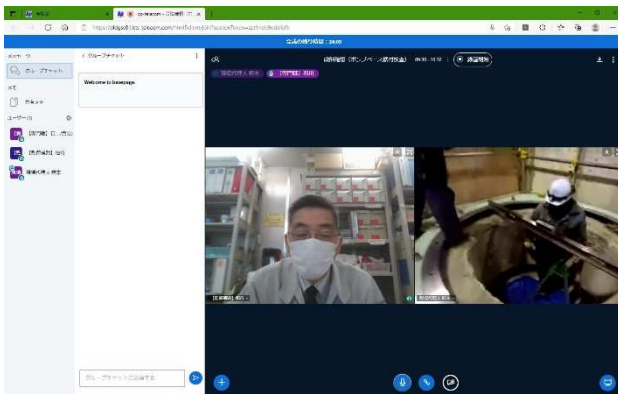


写真-9 遠隔臨場画面(上：工事情報共有システム)と遠隔機器(下：タブレット，ルーター，マイク)

7. まとめ

更新時期を迎えた排水機場の機械設備において、冬期対策，コスト縮減，メンテナンス性向上の観点で、従来の無水化手法から新たな手法の検討を行った。対象施設の赤平排水機場では、立軸斜流ポン

プからコラム形水中ポンプへの大転換が実施可能であることが確認され、従来の無水化との経済比較やメリット・デメリット比較を行い、管理運用面における人員不足や高齢化などの課題に対して、総合的に優位性が示された。なお、他の既存排水機場のコラム形水中ポンプ化での無水化については、排水能力、排水ポンプ型式、機場の設備、運用条件などにより判断が違ってくると考えられるが、今回の赤平排水機場での検討項目や過程を参考に判断することができると思慮する。

最後に本工事の施工については3Dモデルの利用、遠隔臨場を活用することで、ポンプ型式の大転換という難易度の高い施工内容を効率的かつ確実に進めることができ、工期内で無事完了することができた。本排水機場は、本年8月中旬の前線による大雨の際に更新後初となる実稼働運転を行い、本来の排水能力を十分に発揮することを確認した。

今後は今回のような実稼働運転状況および日頃の維持管理状況の把握を行い、長期的なメンテナンス費用についても明らかにしていくことで、排水機場の機能を確実に果たしつつ、維持管理の効率化を進める手法にも役立て、関係者の負担軽減に貢献していきたいと考える。

謝辞：本論文執筆にあたり、資料提供および現場施工での調整、各種手続きに御協力頂いた空知川河川事務所、並びに赤平市関係各位に深く感謝申し上げます。