

既設コンクリートケーシングを用いたポンプの排水能力アップ (三領排水機場ポンプ設備更新工事)

大澤博之* 清水 栄**
立花浩一** 轡田敏幸**

Increase in Pump Performance Using the Existing Structural Design (Reconstruction of the Pump Facility at the Sanryo Drainage Pump Station)

by Hiroyuki OSAWA, Sakae SHIMIZU, Koichi TACHIBANA, & Toshiyuki KUTSUWADA

This paper reports the reconstruction of the Sanryo Drainage Pump Station first constructed over 40 years ago. Regardless of constraints, such as the reuse of the existing casing, increased pump capacity, and change of the impeller type, pump efficiency was increased by about 5%. A new technique was used to level the pump base on-site. Through the reuse of the existing casing, the renewal of the vertical volute type pump with concrete casing was successfully completed, a job that was previously considered impossible to complete within six months of dry season. These results provide a guideline for the future reconstruction of large-scale drainage pump stations.

Keywords: Concrete casing, Reconstruction, Increase in pump performance, Vertical volute type mixed flow pump, Reuse, Underground structure, Drainage pump station, Dry season, Impeller, Pump efficiency

1. はじめに

三領排水機場は、埼玉県南部のさいたま市、川口市、戸田市、蕨市にまたがる菖蒲川流域の人口密集地域を洪水被害から守るため、荒川に合流する地点に建設されたものである。1968年に当時の建設省により建設された当機場は、コンクリートケーシングポンプの先駆けとなる機場であった。その後埼玉県に移管、維持管理されてきたが、建設から40年以上が経過し、設備の老朽化による信頼性の低下と維持管理費の増加が懸案となっていたため、排水機場の更新工事が行われることとなった。

当社は、ポンプ設備に関わる機械設備・電気設備の更新工事を受注し、2009年12月から2012年3月にわたり機器製作と現地更新工事を行った。

本工事では、当社がこれまでに施工した更新工事の経験・技術を基に、本工事特有の課題に対して新しい工夫をして解決し、無事に竣工できた。次に概要を紹介する。

2. 既設の懸案事項と工事方針

三領排水機場は、ディーゼルエンジン駆動の10 m³/s立軸渦巻斜流ポンプ3台と高圧電動機駆動の5 m³/sチューブラポンプ1台からなる総排水量35 m³/sの機場である。

2-1 当機場が抱える課題

①10 m³/s立軸渦巻斜流ポンプは建設から40年を経過しており、機器の老朽化と維持管理費の増加が懸案となっていた。

②5 m³/sチューブラポンプは電動機駆動の排水ポンプで、稼動しない期間にも掛かる高圧受電の基本契約料が大きな負担となっていた。

③電気設備は、製造中止となっている部品が散見され、部品調達も困難な状況となり機場の信頼性が低下していた。

2-2 更新工事の方針

前項の懸案事項を踏まえ、更新工事は次のような方針で発注された。

* 風水力機械カンパニー 国内事業統括 社会システム技術・建設統括部 風水力プロジェクト室 設計グループ

** 同 技術生産統括 富津工場 ポンプ・技術第一室 国内ポンプグループ

** 同 国内事業統括 東京支社 社会システム建設室 建設第二グループ

** 同 同 北陸支社 社会システム技術・建設グループ

①建築の耐震補強は必要であるが、土木・建築は継続使用可能との判断から、設備全体として必要最小限の更新とする。具体的には、土木と一体化している既設ポンプコンクリートケーシングを継続使用し、ポンプ回転体を更新する。

②電動機駆動のチューブラポンプを廃止し、エンジン駆動ポンプの能力増強を図ることで、契約電力の低減を行う。機場総排水量を確保するため、更新ポンプはエンジン駆動の立軸斜流ポンプ3台だけとし、排水量の増加

(10 m³/s ⇒ 11.67 m³/s) を行う。

③既設機場は河川水を使用した二次冷却方式であったが、補機系統が簡素なラジエータ冷却方式に変更し信頼性向上を図る。

3. 機場の概要（新旧仕様の比較）

表に更新前後の設備仕様と更新の要点を、**図1**に更新後の機場配置平面図、**図2**に断面図を示す。

表 更新前後の主な設備仕様
Table Summary of reconstruction

設備名 Equipment	更新前 Before	更新後 After	備考 Remarks
主ポンプ設備 Pump	口径2100 mm立軸渦巻斜流ポンプ Vertical volute type mixed flow pump 10 m ³ /s × 5.7 m × 860 kW 二床式 Double-floor type	口径2100 mm立軸渦巻斜流ポンプ Vertical volute type mixed flow pump 11.67 m ³ /s × 6.6 m (18m ³ /s × 1.5 m) × 1200 kW 二床式 Double-floor type	コンクリートケーシングは継続使用 Reuse: Existing concrete casing only
	口径1500 mm横軸斜流チューブラポンプ Horizontal mixed flow tubular pump 5 m ³ /s × 7.65 m × 550 kW	廃止 Abolition	
主原動機設備 Driver	4サイクルディーゼル機関 Four-cycle diesel engine 860 kW × 1000 min ⁻¹ 二次冷却方式 Secondary cooling system	4サイクルディーゼル機関 Four-cycle diesel engine 1200 kW × 1000 min ⁻¹ ラジエータ冷却方式（高温系） Separate radiator system (Higher temperature cooling water line)	
動力伝達装置 Reducing gear and fluid coupling	直交軸歯車減速機（潤滑油槽 別置き形） Two-stage bevel gear reducer (Separated lubricant tank) 二次冷却水方式 Secondary cooling system	直交軸歯車減速機（潤滑油槽一体形） Two-stage bevel gear reducer (Unitary lubricant tank) ラジエータ冷却方式（低温系） Separate radiator system (Lower temperature cooling water line)	
	充排油形流体継手 Oil-filled fluid coupling 伝達動力 860 kW 1000/980 min ⁻¹ Transmission power 二次冷却水方式 Secondary cooling system	充排油形流体継手 Oil-filled fluid coupling 伝達動力 1200 kW 1000/980 min ⁻¹ Transmission power ラジエータ冷却方式（低温系） Separate radiator system (Lower temperature cooling water line) 固定速×2台、可変速×1台 Fixed speed type × 2 sets, Variable speed type × 1 set	可変速機は、廃止するチューブラポンプの機能を補完 The variable speed type is used to compensate for the drainage function of the abolished tubular pump.
系統機器設備 (燃料系統) Auxiliary equipment (Fuel oil system)	燃料小出槽 1600 L Fuel service tank	燃料小出槽 3200 L Fuel service tank	50 kL × 2基 燃料貯油槽は既設継続使用 50 kL × 2 tanks (Fuel tanks are reused.)
系統機器設備 (冷却水系統) Auxiliary equipment (Cooling water system)	二次冷却水方式 Secondary cooling system 原水取水ポンプ×3台、冷却水ポンプ×3台 オートストレーナ×2台 Raw water intake pump × 3 sets, Cooling water pump × 2 sets, Auto strainer × 2 sets	別置ラジエータ方式（低・高温2系統形） Separate radiator system (Two functions) 2.2 kW × 3台, 70 dB (A) 2.2 kW × 3 sets, 70 dB (A)	冷却水補機の点数減 Simplified cooling water system
電源設備 Electric power equipment	受電 三相3線式 6.6 kW 50 Hz Power receiving TR 750 kVA 6.6 kV/3.3 kV TR 300 kVA 6.6 kV/210 V 自家発 In-house generator ポンプ設備用 100 kVA × 2台（同期） For pump system (Synchronous) 非常用 250 kVA × 1台 For emergency	受電 三相3線式 6.6 kW 50 Hz Power receiving TR 300 kVA 6.6 kV/210 V 自家発 In-house generator ポンプ設備用 125 kVA × 2台 For pump system 非常用 250 kVA × 1台 For emergency	トランスはトップランナーモールド Replace the transformer with the top runner type
操作制御設備 Control system	コントロールセンタ方式 Control center type	動力制御盤方式 Local control panel type	

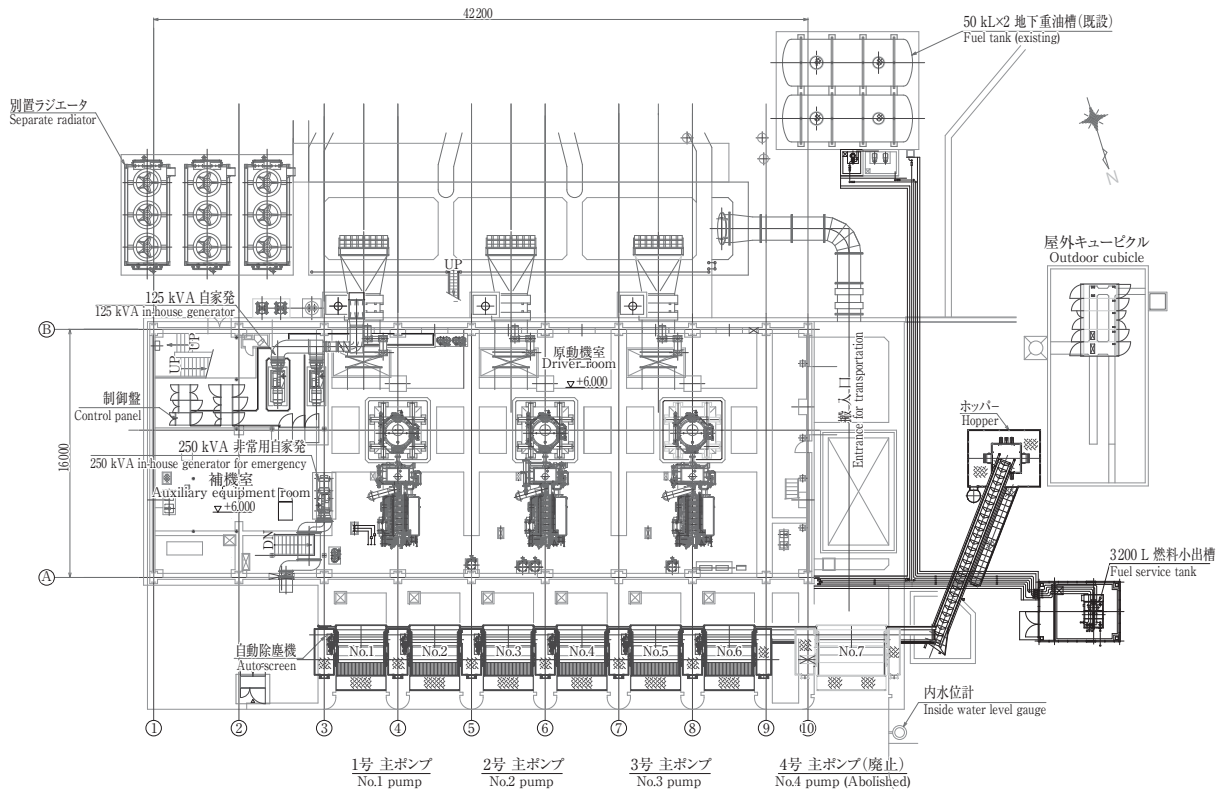


図1 改修工事後の機場配置平面図

Fig. 1 Pump station layout after reconstruction (plan view)

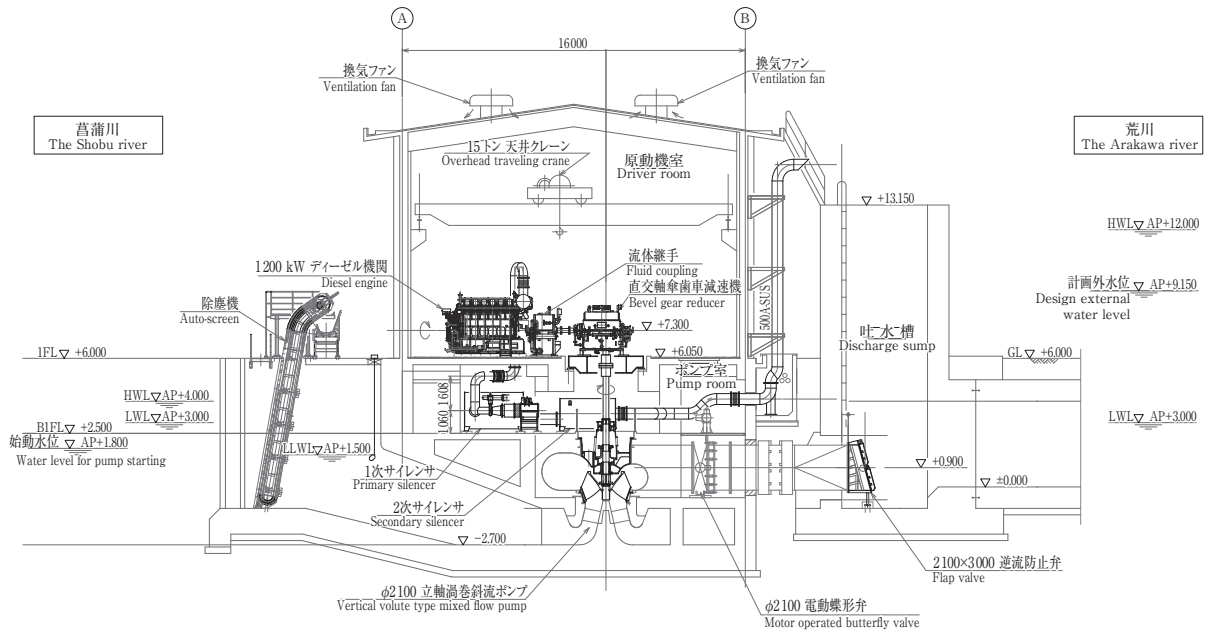


図2 改修工事後の機場断面図

Fig. 2 Pump station layout after reconstruction (sectional view)



更新前
Before reconstruction



更新後
After reconstruction

12-106 01/237

写真1 更新前後のポンプ室内全景

Photo 1 View of the pump room before and after reconstruction

また、写真1に更新前後のポンプ室全景を示す。廃止するチューブラポンプの小水量運転範囲を担うため2号主ポンプの流体継手は可変速タイプとしている。

4. 更新工事の課題と対応

更新工事は3期に分けて実施されたが、既設機場を継続使用しながら更新するため、厳しい制約下での工事となった。各工事の概要と、各課題への対応について本項に示す。

4-1 工事期間と制約

各工事の工事期間と更新工事の制約は次のとおりである。

(1) 1期工事：ポンプ設備製作工

工 期：2009年12月～2011年3月末

工事内容：模型ポンプ、主ポンプ設備3式及び操作制御設備の設計・製作

工事制約：全体工程の制約を受けて、模型試験から各機器設計・製作を約11箇月で行う必要があった。

(2) 2期工事：ポンプ設備据付工

工 期：2010年6月～2011年3月末

工事内容：1, 2号ポンプ設備の撤去・据付及び電源設備の設計・製作

工事制約：現地工事は、非出水期の6箇月(10月～3月)に限られ、この期間に2台のポンプ設備を1台ずつ連続して更新する。更新期間中は、更新対象号機以外は排水運転可能な状態とする。

(3) 3期工事：3号主ポンプ設備据付工

工 期：2011年10月末～2012年3月末

工事内容：3号ポンプ設備の撤去・据付及び電源設備の更新工事

工事制約：更新期間中は、更新対象号機以外は排水運転可能な状態とする。

4-2 課題と対応

(1) ポンプ能力向上

更新ポンプは、既設コンクリートケーシングを継続使用するという制約のなかで、ポンプ能力を向上（排水量の増加）する必要がある。また、既設の機場総排水量を確保する観点から、最低実揚程における流量も規定されており、要点と合わせた2点縛りという厳しい仕様となっていた。更新ポンプの要項は、流量増加に伴う流路損失分若干の揚程増加があるものの、全揚程の増加を抑えて吐出し量を増量する必要があった。このため、ポンプ能力向上には単なる回転速度アップや羽根車径の変更ではなく、新規の羽根車設計が必要となった。CFD（数値流体解析）や最新の設計手法を駆使した結果、オープン羽根（既設はクローズ羽根）を採用したにもかかわらず、既設よりも約5%アップの80%をはるかに超える最高効率を達成することができた。また、既設コンクリートケーシングの寸法制約から、回転体の新規設計に伴い更新する部品についても、二つ割構造にするなどの対応を行っている。図3に更新前後のポンプ性能曲線を、写真2に更新前後の羽根車を示す。また、写真3には二つ割構造としたケーシングライナを示す。

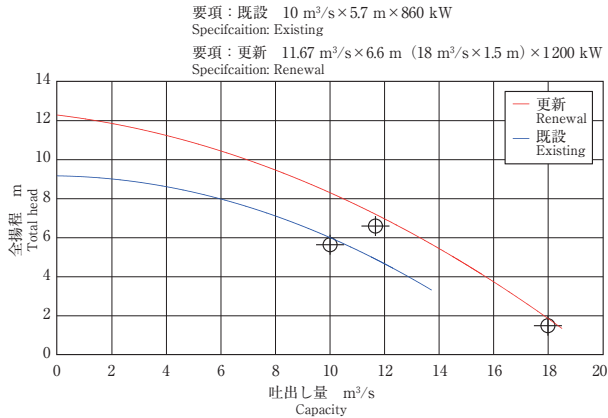


図3 更新前後の実物ポンプ性能曲線(JIS B 8327-2002基準で換算)
Fig. 3 Characteristic curves of the existing and renewed pumps (converted according to JIS B 8327-2002)



12-106 03/237

写真3 二つ割構造としたケーシングライナ
Photo 3 Casing liner (2-pieces split type)



更新前
Existing impeller



更新後
Renewed impeller

12-106 02/237

写真2 更新前後の主ポンプ回転体
Photo 2 Impeller before and after renewal

(2) 既設ケーシングの継続使用

更新ポンプの設計に際しては、当機場の点検整備の記録及び点検業者へのヒアリングにより、既設コンクリートケーシングは健全であることが想定できたが、吸込側の案内羽根には壊食等が懸念された。このため更新ポンプの模型ポンプでは、既設設計に対して吸込側案内羽根を規定量短くした設計を行った。現地では、模型ポンプに合わせて壊食部分を補修することなく、案内羽根損傷部分を切断した。一方、吐出しケーシングは想定どおり健全な状態であり、素地調整（3種ケレン）を実施後、接水部塗装を施工することで十分に機能維持することができた。写真4に吸込側案内羽根の壊食状況を、写真5に改修前後の吐出しケーシングを示す。

(3) ポンプのレベル調整・据付

既設ポンプ更新だけでなく、ポンプ点検整備においてポンプ本体を再据付する場合には、機場の不等沈下によりポンプが傾いている場合が多いため、ポンプ据付面のレベル調整が課題となる。多くの場合は、既設ベースの撤去再据付や既設ベースと更新ポンプとの間に調整ベースを用いることで解決してきた。当機場では、ポンプ1台を実質約2.5箇月で撤去・更新する必要があるが、今までの手法では工程上無理があった。そこで今回はエポキシ樹脂系のセルフレベルング剤をベース面に施工することで本課題に対応することとした。その結果、施工前の据付面レベルは49/100 mmと許容値を大幅に超えていたが、施工後は6/100 mmに改善することができた。本工法は、現場だけの施工・工程管理で行うことが可能であり、短期間で更新する本工事においては極めて有効な手法である。写真6にセルフレベル施工後のベース



吸込側案内羽根全景
View of the suction vane



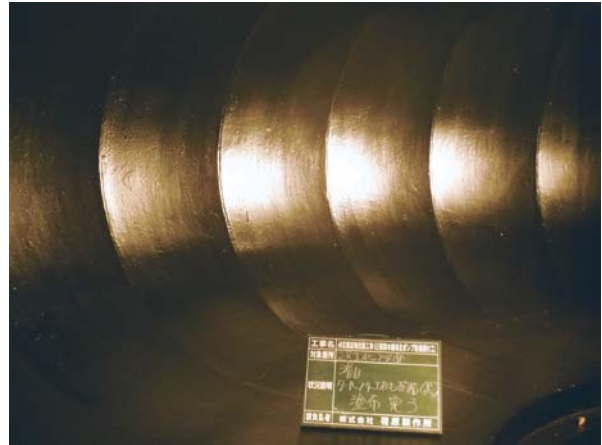
案内羽根壊食状況
Erosion at the suction vane

12-106 04/237

写真4 吸込側案内羽根の壊食状況
Photo 4 Erosion at the existing suction vane



更新前
Before renovation



更新後
After renovation

12-106 05/237

写真5 改修前後の吐出しケーシング内面
Photo 5 Volute casing inner face before and after renovation



12-106 06/237

写真6 セルフレベル施工後のベース面
Photo 6 Surface of the pump base after self-leveling

面を示す。

また既設コンクリートケーシングを継続使用するため、更新する部品には次に示すような配慮を行い、現地掘付期間を短縮するための工夫を行っている。

①当ポンプは2床式のスラスト荷重を歯車減速機で受ける形式であり、軸受は、歯車減速機（スラスト）、中間軸受（ラジアル）部、水中軸受部の3箇所に設けられている。回転体の芯だしが容易なように、はめあいとする中間軸受ケーシングに組立て裕度をもたせた。

②既設躯体と取り合うポンプケーシングは、取付けボルトの裕度を通常より大きくし、中間軸受けケーシングと合わせて組立て裕度をもたせた。

③歯車減速機架台は、既設は輸送制限から一部現地

溶接構造であったが、本工事では部材の剛性を上げることで輸送制限内に収まる一体構造とし組立工程を短縮した。

（4）新旧設備の併用

ポンプは、1台毎の更新でかつ更新・既設の併用運転が必要であった。機械設備は前述のように、冷却方式等補機設備も異なるため、併用運転期間は補機設備も併用可能なように機場の配置や小配管経路を工夫して対応した。一方電気設備は既設のコントロールセンタ方式に対して、本工事では動力制御盤方式の設計となっていた。当機場の電気室には余地がなく新旧電気設備を電気室に併設できないため、監視操作卓を除く操作制御盤は原動機室に配置するように設計されていた。既設は原動機室の配線にケーブルラックを用いていたので、原動機室に設置する更新盤類は配線ピットを用いることで、新旧配線経路を別々に確保するなど新旧併用に対する工夫を行った。

（5）関連工事への対応

ポンプ設備更新後には建築耐震補強工事が予定されており、更新機器の小配管・電線は新規に建屋を貫通する開口を設けられなかったため、消防法への対応で閉塞する窓部を通すなどの工夫を行った。また当機場のように、建設から40余年を経過した機場の更新では、ポンプ設備の更新に合わせて、現在の消防法（一般取扱所）へ対応する工事が必要となる。具体的には、建築設備の窓閉塞、建築設備の耐火工事（アスベスト撤去含む）、避雷針工事などを1台目の更新に合わせて実施し、別途工事の除

塵設備更新工事との調整を含め、複雑な工事であったがネットワーク工程による適切な工程管理を行うことで対応した。

5. おわりに

当機場のように都市部にある排水機場を更新する場合、新たに用地を確保してポンプ場を建設することは困難である。また機場が供用中であれば、更新工事は非出水期の約6箇月という制約を受け、極めて厳しい現地工程が課せられる。一般に機械・電気設備の寿命に対してコンクリート構造物である土木・建築構造物の寿命は通常2倍以上と言われており、再利用が望まれている。これまで、コンクリートケーシングのポンプでは非出水期の6箇月ではとても更新は無理だと考えられていたが、本工事では土木構造物と一体のコンクリートケーシングを再使用することで更新が可能なることを実証できた。これは今後の機場更新におけるモデルケースの一つとなり得るものである。

最後に、現地工事はポンプ設備工事に加えて複数の工種工事が短期に集中・錯綜する難工事となったが、無事故で工事を竣工することができた。これらは、本工事施工においてご協力を頂いた協力会社、遠隔監視や更新期間中の取り合い確認などご協力頂いた国土交通省荒川下流工事事務所及び工事全体に対して多大なるご協力とご指導を頂いた埼玉県さいたま県土整備事務所の関係各位に負うところが多く、ここに心から謝意を表す。