

電動化排水機場の信頼性等を考慮した発電機構成の比較検討

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 ○ 澤口 重夫
永長 哲也
岸 寛人

1. はじめに

河川用排水機場ポンプ設備は、内水被害から国民の生命と財産を守る重要な社会基盤設備である。本設備は、昨今の老朽化の進行による故障の懸念や線状降水帯の発生など降雨の激化による運転機会の増加など、取り巻く環境が厳しい状況でも出水時には確実な運転が求められる。このようなことから施設管理者、点検技術者等は設備の維持管理に多くの労力と時間を要しており、その負担は大きい。一方、設備の管理を担う技術者の扱い手不足への対応が喫緊の課題となっており、本設備の維持管理の省力化、効率化による生産性向上が求められている。

これらの課題に対する技術的な対応としては、排水機場ポンプ設備の主原動機を現在の主流であるディーゼル機関から比較的簡素な構造の電動機へ転換を行う電動化を図ることで、点検の省力化と故障の低減が期待できる。なお、過年度の検討結果から主原動機を電動化するうえで必要となる電源設備は、ディーゼル発電機が最も実用的であることがわかっている。

そこで、小規模排水機場(5 m³/s 以下)を例としてディーゼル発電機構成(発電容量と設置台数の組み合わせ)について、信頼性、経済性を考慮して検討したので報告する。

2. 排水機場ポンプ設備構造と維持管理の概要

排水機場ポンプ設備の主要機器は、ポンプを駆動するための主原動機(ディーゼル機関、ガスタービン機関等)、動力を適正なトルクと回転数でポン

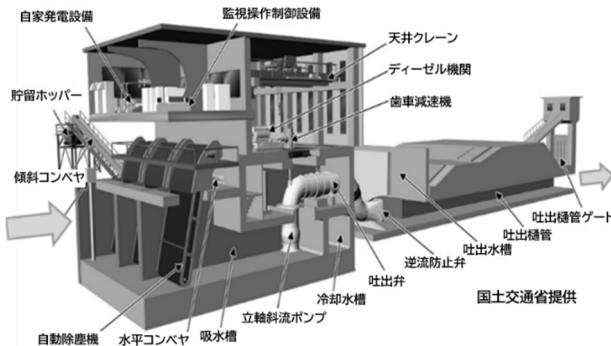


図-1 排水機場ポンプ設備の機器構成事例

プに伝達する減速機(平歯車又は遊星歯車減速機等)、羽根構造で回転力により排水を行う主ポンプ(横軸斜流又は立軸斜流等)で構成され、その他機器は、原動機の運転に必要な系統機器やポンプの運転停止を指令する操作制御設備、停電時でも運転に必要な設備内電源を確保できる自家発電設備などで構成される(図-1)。ポンプ特性は現場条件等により様々である。また、ポンプは通常、複数台設置されている。緊急時の確実な運転に万全を期するため、施設管理者は常日頃からポンプ設備の運転状態及び機器の調子を確認する必要があるが、その一環として管理運転による月点検や年点検を操作員や点検技術者に委託している。なお、故障の際には、速やかな復旧対応が求められる。

3. 主原動機の電動化

3.1 排水機場ポンプ設備の装置別故障割合

昭和57年から令和2年における国土交通省の排水機場ポンプ設備の装置別故障割合は図-2¹⁾のとおりであり、主原動機の故障割合が最も高いことから、この装置に着目した改善検討が維持管理性の向上に大いに貢献できると考えられる。

また、国土交通省における主原動機の機関別設置割合は図-3に示すとおりであり、ディーゼル機

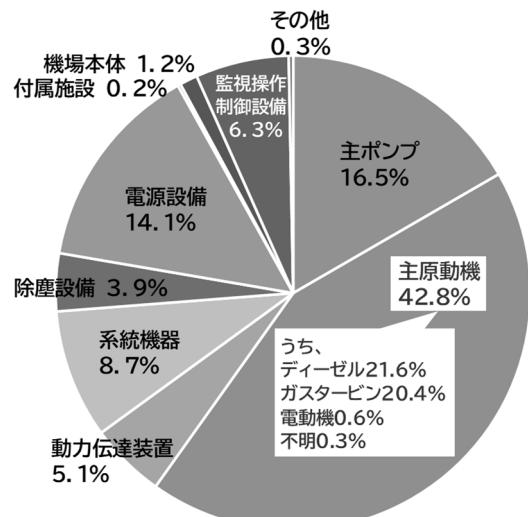


図-2 排水機場ポンプ設備の装置別故障割合(S57～R2)

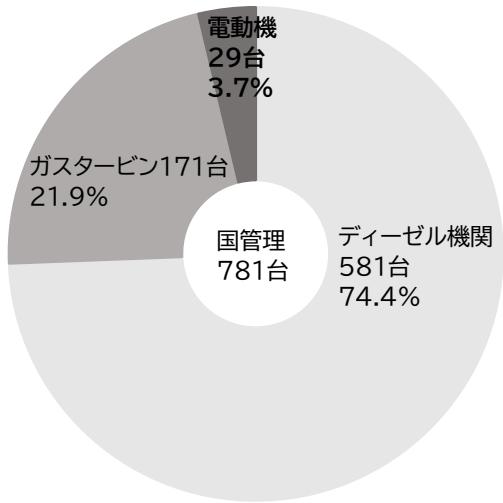


図-3 主原動機の機関別設置割合（国土交通省）

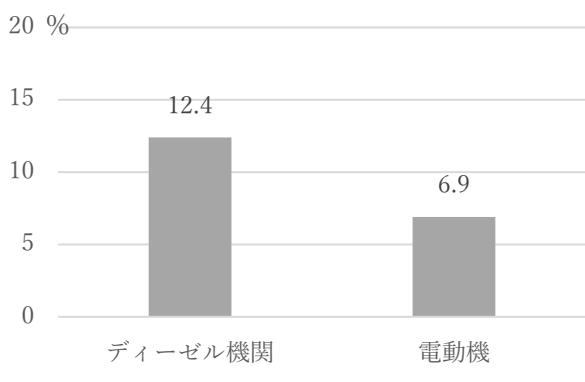


図-4 主原動機故障割合の比較（件数／総台数）

が 74.4%と大半を占めるほか、ガスタービンが 21.9%，電動機はわずか 3.7%となっている。

3.2 ディーゼル機関と電動機の故障割合の比較

国土交通省が管理する排水機場の主原動機の機関設置割合を図-3 に示す。主原動機の設置台数当たりに換算すると図-4 に示すようにディーゼル機関が 12.4%，電動機は 6.9%となり、電動機はディーゼル機関に比較し、半分程度の故障割合となっている。

3.3 ディーゼル機関と電動機の年点検項目の比較

ディーゼル機関と電動機の点検項目数を比較するため、河川ポンプ設備点検・整備標準要領（案）（H28.3版）²⁾に基づき集計した結果を図-5 に示す。図-5 から、電動機はディーゼル機関に比較し、点検項目数が 83%少ないことがわかる。その理由として電動機はディーゼル機関に比較し、構造が簡素なのにに対し、ディーゼル機関は構造が複雑かつ始動、冷却、潤滑など補機類の装備が多いことによる。また、主原動機の年点検における標準工数に占める割合は国土交通省機械設備工事積算基準（令和5年度版）³⁾によると、ディーゼル機関では全体工数の約3割なのに対し、電動機では約1割に収まる。

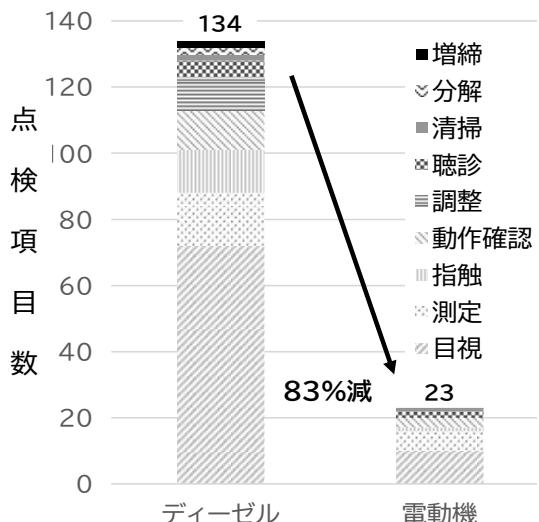


図-5 主原動機の年点検項目数の比較

表-1 電動化機場想定モデルの機器構成(現行 想定総排水量 5 m³/s)

| 種別 | 主機関 | 出力 | 台数 |
|-------|---------|-------|-----------|
| 主原動機 | ディーゼル機関 | 300kW | 2 台 |
| 自家発電機 | ディーゼル機関 | 50kVA | 2 台(予備含む) |

このことから主原動機をディーゼル機関から電動機に転換できれば維持管理性の向上への貢献が期待できる。

4. ディーゼル発電機の構成と信頼性の評価

排水機場ポンプ設備の電動化をするに伴い必要となる自家発電設備の設置台数と電気容量の構成について信頼性を考慮して検討した。

4.1 電動化で必要となる電気の総容量

検討の対象とする電動化機場想定規模は、施設数の多い小規模排水機場（排水量 5 m³/s 以下）とし、その構成はディーゼル機関出力 300kW(2 台)、自家発電機 50kVA(1 台)とした。（表-1）なお、この排水機場を電動化した場合、電動機 2 台分(300kW)の運転に必要な電気容量に制御装置などの排水機場内で使用する電気容量を加えると総容量として 725kVA 必要であると試算する。

4.2 ディーゼル発電機の構成と信頼性の評価

排水機場ポンプ設備の構成機器の故障率から運転できるポンプ台数の確率を求め、信頼性を評価した。故障率は、設備を構成する主要機器の故障件数を推定総運転時間で除した値を%指標に換算した。故障率の試算例を図-6 に示す。なお、本故障率は国土交通省の直轄排水機場のデータに基づき算出した。

4.2.1 予備機ありの場合

検討した発電機の構成は以下のとおりである。

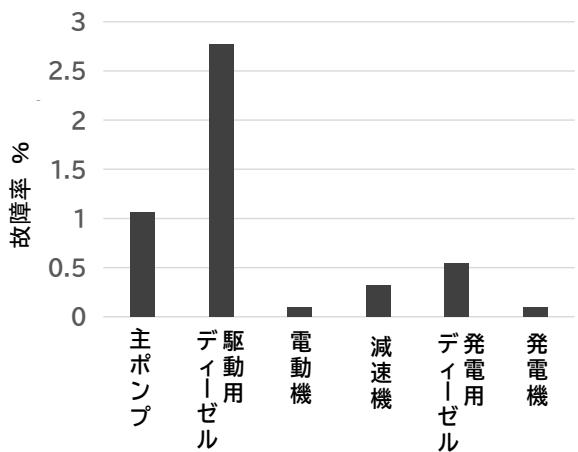


図-6 主要機器故障率（運転時間当たり）

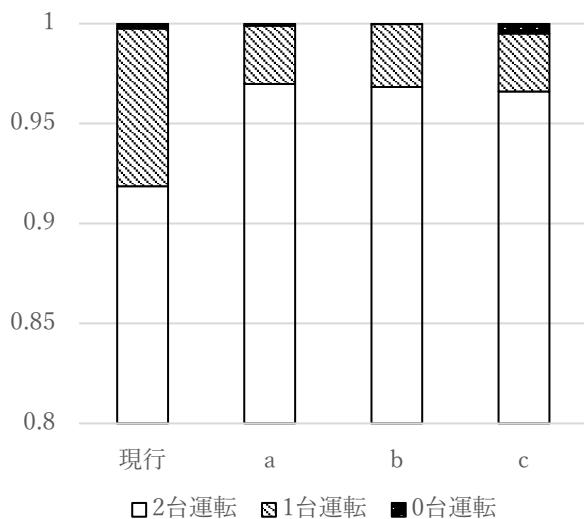


図-7 発電機台数ごとのポンプ運転可能台数の試算（予備機あり）

- ・ a 750kVA×2台（常用1台+予備1台）
aは、常用発電機1台で必要となる電気の総容量を発電する。同容量の発電機を予備とする。
 - ・ b 375kVA×3台（常用2台+予備1台）
bは、常用発電機2台で必要となる電気の総容量を発電する。発電機1台分の容量を予備とする。
 - ・ c 250kVA×4台（常用3台+予備1台）
cは、常用発電機3台で必要となる電気の総容量を発電する。発電機1台分の容量を予備とする。
- 発電機台数ごとの運転可能台数を試算した結果を図-7に示す。いずれの構成でも現行よりも主ポンプ2台運転できる確率が向上している。以上のことからディーゼル機関と比較して、電動機の信頼性が高いことがポンプ運転の信頼性の向上に直接的に寄与していると認識できる。

4.2.2 予備機なしの場合

検討した発電機の構成は以下のとおりである。

- ・ d 375kVA×2台（常用2台+予備なし）
dは、bの構成のうち予備機を除いたもので常用

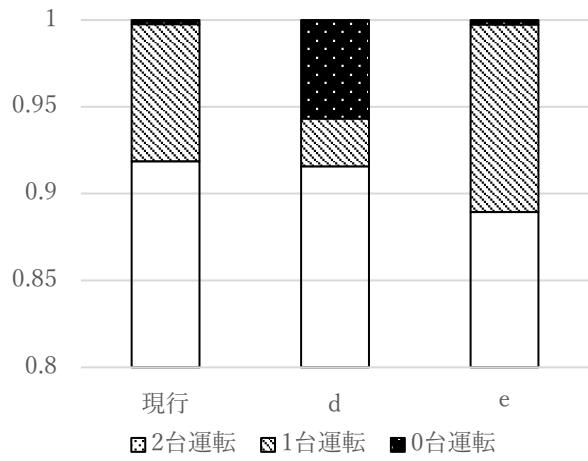


図-8 発電機台数とポンプ運転可能台数の試算（予備機なし）

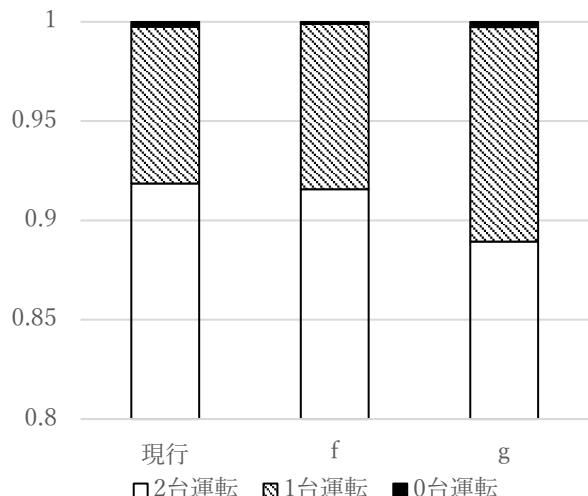


図-9 発電機台数とポンプ運転可能台数の試算（予備機なし容量増）

- 2台で総容量を発電する。
 - ・ e 250kVA×3台（常用3台+予備なし）
eは、cの構成のうち予備機を除いたもので常用3台で総容量を発電する。
- 発電機台数と運転可能台数を試算した結果を図-8に示す。dの構成では、現行の2台運転できる可能性と同等であるが、0台運転（運転できない）確率が現行より上がる結果となった。eの構成では現行よりも2台運転できる可能性は低下し、現行と0台運転の確率も同等程度の結果となった。発電機の予備機を設けていないため、発電機が故障した際、必要とする電気容量が貯えず電動機を運転できる台数が減るため、信頼性が低い結果となった。

4.2.3 予備機なしで容量増の場合

検討した発電機の構成は以下のとおりである。

- ・ f 400kVA×2台（常用2台+予備なし）
fは、dの台数のまま発電容量を増やした構成として常用2台で発電する。

- ・g 300kVA×3台（常用3台+予備なし）
gはeの台数のまま発電容量を増やした構成として常用3台で発電する。

発電機台数と運転可能台数を試算した結果を図-9に示す。fの構成では、2台運転できる可能性は現行と同等程度で、0台運転の確率は現行より下がる結果となった。gの構成では現行よりも2台運転できる可能性は低下し、0台運転の確率は現行より上がる結果となった。今回の構成では予備機ありに比べると信頼性は向上しなかったものの2台運転できる確率は現行と同等か下がる場合もあるが、発電容量によっては、0台運転の確率が現行より下がるものもあった。

5. ディーゼル発電機の構成と経済性の評価

前項で評価した発電機の構成について、経済性を評価した。経済性としては、機器費用（購入費）と維持管理費用（点検費用）から50年間のライフサイクルコストを算出した。機器費用は見積とし、点検費用は「国土交通省機械設備工事積算基準 令和6年度版」を使用して月点検・年点検の工数から算出した。発電機の構成別のライフサイクルコストを算出した結果を図-10に示す。

aを除く各発電機構成で現行よりもライフサイクルコストが低く良好な結果となった。現行よりも電動化機場の方が点検費用を抑えられるためと考えられる。aの構成では、点検費用は抑えられるものの容量の大きな発電機を必要とするため、機器購入費が高価となり現行よりも高い結果となった。

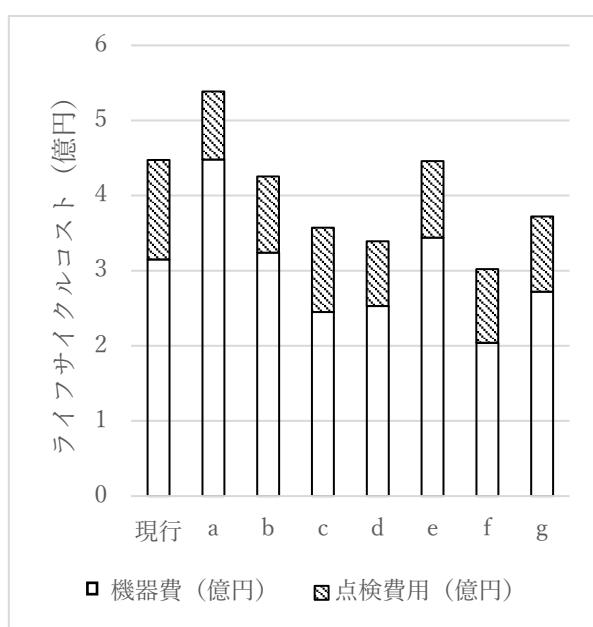


図-10 発電機構成別のライフサイクルコスト(50年)

6. まとめ

本報告では、排水機場ポンプ設備の主原動機を電動機とした場合の電源となる発電機の容量と台数の構成について信頼性、経済性について評価を行った。

① 信頼性

- ・発電機の予備機を設置する場合、ディーゼル機関よりも故障の少ない電動機を使用することで信頼性は向上する。
- ・発電機の予備機を設置しない場合、全台数運転できる確率は現行と同等程度でも構成によっては0台運転の可能性が高く信頼性が低下することがある。

② 経済性

- ・今回の構成では電動化によりライフサイクルコストは点検費用が抑えられるため減少する。ただし、発電機の容量と台数によっては、機器購入費が大きく増加しライフサイクルコストが増加するので信頼性と機器購入費のバランスを考慮する必要がある。

7. 最後に

本報告では、排水機場ポンプ設備の電動化に向けて電源設備となる発電機の構成について信頼性と経済性について検討したが、発電機の台数や大きさによっては設置面積や重量等も増え建屋内に設置できない場合もあり、設置場所の検討を要する場合もある。引き続き電動化機場の提案に向けて、様々な課題の解決に向けて検討をすすめていきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省 社会資本整備審議会 河川分科会 河川機械設備小委員会 第2回：配布資料 資料4 中間報告(案)説明資料, P12, 2021.5.21
- 2) 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課施工安全企画室：河川ポンプ設備点検・整備標準要領(案), pp.41-45, pp.51-53, 2016.3
- 3) 一般財団法人建設物価調査会：令和5年度版国土交通省機械設備工事積算基準, pp.423-425, 2023.5