

# 排水機場の操作制御方法標準化による 維持管理の効率化について

星野 恒人

関東地方整備局 関東技術事務所 施設技術課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1) .

排水機場は、台風等の大雨時に内水をポンプにより強制排水することで内水被害の軽減を目的として設置されている施設で、その多くが高度成長期に建設された施設で老朽化が進む一方、近年は気候変動によるゲリラ豪雨などが多く、確実な稼働が求められ、ますます重要度が高まっている。排水機場は、様々に機器で構成されており、その中でも監視操作制御設備は、排水機場全体の運転状態を的確に把握し、所定の運転操作が行える機能を有しているため、頭脳的な役割を果たしているが、施設毎の特異性により様々な問題がある。それらの問題を解決するため、技術基準の改定も視野に入れた操作制御方法の標準化を検討した。

キーワード 排水機場, 監視操作制御設備, 操作制御方法標準化, 技術基準改定

## 1. はじめに

令和元年10月に発生した台風19号による大雨は、日本各地に河川氾濫や土砂災害等の甚大な被害をもたらしたことは記憶に新しいが、近年気候環境の変化に伴う集中豪雨等が頻発している。これら大雨による水災害の被害軽減を目的として設置されている排水機場は、その多くが高度成長期に建設され老朽化が進む一方で、ますます重要度が高まっている。排水機場内に設置されている排水ポンプ設備は、監視操作制御設備、主ポンプ設備、主ポンプ駆動設備、系統機器設備及び電源設備等で構成されており、このうち監視操作制御設備は、排水ポンプ設備全体の構成機器の運転状態を的確に把握し、所定の運転操作が行える機能を有しているため、頭脳的な役割を果たしている。

一方で、この監視操作制御設備は施設毎の特異性により、次に挙げる問題が生じている。

- ・施設管理者、点検員、操作員は施設毎に操作制御方法を理解・習得する必要があり負担が大きい。
- ・施設毎の操作制御設備や方法の違いに応じて、故障時の危機管理対応も施設毎に異なる。
- ・使用機器が多様で特注品が多いことから、修理や更新時のコストが高い。
- ・点検・整備・運転従事者の高齢化とともに、操作制

御知識習得の困難さも相まって担い手が不足。

これらの問題を解決するために、「人材の安定確保」、「信頼性確保」及び「コスト縮減」を可能にする監視操作制御設備の実現が課題となっている。そのため、「揚排水ポンプ設備技術基準」(以下「技術基準」という。))の改訂も視野に入れた操作制御の設計の考え方を標準化するための検討を行い、その成果を「操作制御標準化設計(案)」(以下「標準設計(案)」という。))としてとりまとめたので、その概要を報告する。

## 2. 操作制御方法標準化の検討内容について

検討を行うにあたり、検討対象施設は関東地方整備局管内の排水機場37施設とした。しかし、その設備構成、制御内容は多種多様であり設計根拠を全て明らかにすることは現実的でない。そこで、排水機場の制御において重要な「始動インターロック」、「重故障・軽故障」に着目して調査・検討を行うと共に、効率的に進めるために設備構成の類型化を図った。

## 3. 操作制御に関する整理項目と着目点

設備構成や装置形式による制御の違いを確認するため技術基準等を参考に、整理項目と着目点を抽出した。さ

表-1 整理項目と着目点（一部抜粋）

整理項目	着目点
ポンプ型式	・立軸、横軸による違い ・軸流、斜流、渦巻きによる違い
口径・1台当たり吐出量	・規模による違い ・一般的な鋳鉄製のポンプとコンクリートケーシングの違い
原動機型式・出力	・ディーゼル機関、ガスタービン、電動機による違い ・規模による違い
吐出弁	・バタフライ弁、コンクリートケーシング機場のゲート弁、サイフォンにより吐出弁が設置されていない機場の違い
主ポンプ/水中軸受	・無水化機場と旧式の注水をしている機場の違い
動力伝達装置 クラッチ型式	・クラッチ無し、遠心クラッチ、油圧クラッチ、流体継手による違い
完成年月	・年代による違い ・背景として技術基準かメーカーの設計思想か調査、検討

らに、抽出した整理項目の内容を一覧表に整理した。表-1に整理項目及び着目点を一部抜粋したものを示す。

#### 4. 操作制御方法の類型化

関東地方整備局管内の排水機場37施設の「設備構成」と「制御方法（始動インターロック、重故障・軽故障）」について整理し、類型の設定を行った。

整理結果により、ポンプ形式及び原動機形式においては、機器構成によって制御方法に明確な違いがあり、一つの類型にまとめるのは困難と判断した。

一方、減速機形式、冷却方式については、部分的な違いであり、これらを全て別の類型にすると類型の数が多くなり標準設計に適用可能な施設が少なくなる。よって、類型を分けずに、一つの類型の中で違いを区分した。

この設定方法により、ポンプ形式と原動機形式を分類し表-2に示す7類型を設定した。

この結果から、排水機場で最も実績が多いディーゼル機関駆動方式（類型1,2,5,6）について、標準設計（案）をとりまとめることにした。

表-2 ポンプ形式と原動機形式による類型

類型	ポンプ形式・原動機形式	施設数	主ポンプ台数
類型1	立軸斜流ポンプ・ディーゼル機関駆動	22機場	51台
類型2	立軸軸流ポンプ・ディーゼル機関駆動	4機場	9台
類型3	立軸斜流ポンプ・ガスタービン駆動	5機場	14台
類型4	立軸軸流ポンプ・ガスタービン駆動	1機場	1台
類型5	横軸斜流ポンプ・ディーゼル機関駆動	3機場	12台
類型6	横軸軸流ポンプ・ディーゼル機関駆動	1機場	2台
類型7	タイプ1～6以外（電動機駆動等）	4機場	15台
合計		37機場	104台

#### 5. ポンプ始動条件の施設毎の相違について

表-3は、排水機場のポンプ始動条件を施設毎に整理した表を一部抜粋したものである。

表-3 ポンプ始動条件一覧（一部抜粋）

番号	始動条件	技術基準	立軸斜流					
			A 排水機場	B 排水機場	C 排水機場	D 排水機場	E 排水機場	F 排水機場
1	吸水槽水位規定以上	○	○	○	○	○	○	○
2	膨脹タンク・高架水槽水位規定以上	○	○	○	○	○	○	○
3	空気槽圧力規定以上	○	×	○	×	×	×	○
4	燃料小出槽油面規定以上	○	×	○	×	×	×	○
5	吐出弁規定開度	×	×	○	○	×	×	○
6	他のポンプが始動中でない	○	○	○	○	○	○	×
7	重故障が発生していない	○	○	○	○	○	○	○
8	軽故障が発生していない	○	×	×	×	×	×	×
9	各切換開閉器が所定位置にある	○	×	○	×	○	×	×
以下、技術基準に記載されていない始動条件(その他重要なものに該当)								
10	停止動作中でない	—	○	○	○	×	×	×
11	翼角始動位置	—	○	×	×	×	×	×
12	燃料緊急遮断弁開	—	○	×	×	×	×	×
13	機関初期潤滑油ポンプ正常	—	×	×	×	×	×	○
14	減速機油面正常	—	×	○	×	×	×	×
15	減速機潤滑油ポンプ正常	—	×	×	×	×	○	○
16	クラッチ入	—	×	○	×	×	×	×

各施設と始動条件の番号1,2及び7は技術基準と完全に一致している。番号5は技術基準では始動条件ではないが、実際には始動条件としている施設がある。番号3,4,6,8及び9は、施設間により不一致となっている。なお、番号10～16は、技術基準では「その他重要なもの」として各施設が任意に設定した始動条件の一部である。

いずれにしても、始動条件の設定において施設間にはばらつきがあることが分かる。

#### 6. 排水機場の機器構成について

図-1（次頁参照）は、排水機場の機器構成を把握するため、設備・機器構成ツリー図を作成したもののうち「類型1」について抜粋したものである。

ツリーでは、類型1に分類された施設で用いられている機器や部品が多岐にわたることがわかる。標準設計（案）の適用効果を高める方法の一つとして、操作制御方法の種類は少なくすることが有効と考えられるため、機器の構成と操作制御の関係を以下の視点で整理した。

- ・始動インターロックおよび重故障の共通点と相違点
- ・既設施設が施工された時期の技術的な背景

その結果、要素（機器・部品）毎に施設数の多い代表的な構成の組合せを「基本構成」と位置付け、その他を「派生構成」とする方法を採用した。

なお、動力伝達装置に関しては、「クラッチ無し」と「流体継手別置き」が同数で一番多い結果となったが、設置から30～40年以上経過している装置のため、今後の更新を考慮にいて、近年、中・小型ポンプで採用事例が増えつつある「油圧クラッチ内蔵減速機」を基本とした。クラッチを設ける理由は、ディーゼル機関更新において近年過給器の高圧縮化により小型・軽量の機種を選



図-1 設備・機器構成ツリー図 (類型1)

定する傾向にあり始動トルクが小さくなることから、主ポンプの始動に必要なトルクを確保するためである。また、クラッチと同様の役割を担う流体継手は、大出力又は回転数制御を行う場合に利用されており、大型ポンプでは流体継手内蔵減速機（複合減速機）の採用事例も多いが、中・小型ポンプでは採用事例は少ない。

基本構成を以下に示す。

■基本構成

- ・主ポンプ：立軸斜流ポンプ（無水化）
- ・主原動機：ディーゼル機関
- ・減速機：油圧クラッチ内蔵型
- ・その他：吐出弁（電動バタフライ弁）

7. 標準設計（案）の作成

(1) 始動インターロック項目について

始動インターロック（排水ポンプを始動するために必要な条件）に関しては、確実な運転が求められる施設という特性から排水運転の始動性を優先し、次の2つの条件に合致する項目は始動条件から除外することとした。

- ・直ちに重大な故障が発生しない
- ・始動後の運転継続が可能

これは、始動インターロック項目を減らすことにより、始動条件が成立しないリスクを小さくし、排水運転不能な状況に陥ることを避ける狙いがある。

以上の観点から、表-4に示す始動条件項目について見直しを行った。ここでは、見直しを行った始動条件項目のうち「空気槽圧力規定以上」について紹介する。

表-4 ポンプ始動条件の見直し

凡例 ○：始動条件 △：備考の条件のとき始動条件 ×：始動条件でない

始動条件項目	技術基準	標準設計	備考
吸水槽水位規定以上	○	○	
膨脹タンク・高架水槽 水位規定以上	○	×	
空気槽圧力規定以上	○	×	
燃料小出槽油面規定以上	○	×	
真空ポンプ用補水槽 水位規定以上	△	△	横軸P
吐出弁規定開度	△	×	軸流P
吐出樋門ゲート全開	×	×	
自然流下ゲート全閉	×	×	
他のポンプが始動中でない	○	○	
重故障が発生していない	○	○	
軽故障が発生していない	○	×	
各切換開閉器が所定位置にある	○	○	

■空気槽圧力規定以上

（類型1の対象22機場のうちこの項目を始動条件としている施設数：5機場）

技術基準では、「単独運転操作で始動可能な圧力がある場合でも、連動運転操作や半連動運転操作では空気を使い切ってしまうおそれがあるのでインターロックをする」としている。実際に、機関始動渋滞発生時に始動電磁弁開状態が継続された場合、圧縮空気を使い切ってしまう可能性がある。

なお、機関始動渋滞に関しては、技術基準では軽故障だが、実際は重故障としている施設もある。重故障の場合は、無通電により始動電磁弁は閉じられる。軽故障の場合は、通電状態により始動電磁弁は開いたままになる（ただし、機関始動渋滞が軽故障の場合でも、始動電磁弁を閉じる設計としているメーカーもある。）。この始動電磁弁の挙動に関して、エンジンメーカーは、機関始動渋滞発生時に空気を噴出し続けると、気化した燃料が煙道内に流入し、煙道内異常燃焼（爆発）につながるため、始動電磁弁を閉じることを推奨している。

一方、「空気槽圧力規定以上」を始動インターロックから除外した場合のリスクとして、空気槽圧力が低く始動することができず、空気圧縮機により充填完了するまでポンプ始動が遅れることが挙げられる。ただし、排水機場の基本を習熟している操作員であれば、このような事が起こる可能性は非常に低いと考えられる。また、「機関始動渋滞」が軽故障の場合は、非常停止を押すまで、始動弁は解放のまま空気を放出するミス懸念があるが、重故障とする事で、始動電磁弁を閉じ、非常停止の押し忘れによる圧縮空気を使い切るミスを防止できる。

以上を踏まえ、機関始動渋滞が発生した際には、始動電磁弁を閉じることを標準とすることにより、連動運転操作、半連動運転操作においても空気を使い切るおそれはないため、「空気槽圧力規定以上」を始動インターロックから除外した。

表-5 重故障項目の見直し

凡例 ○：重故障項目 ×：重故障項目としない（軽故障項目）

重故障項目		技術基準	標準設計
運転水位	吸水槽水位異常低下	○	○
主ポンプ	スラスト軸受温度異常上昇	○	○
	潤滑水量不足	○	○
減速機	歯車減速機潤滑圧異常低下	○	○
主原動機	内燃機関過速度	○	○
	潤滑油温度上昇	○	×（軽）
	内燃機関潤滑油圧異常低下	○	○
	内燃機関冷却水量不足	○	○
	内燃機関冷却水温度異常上昇	○	○
	燃料小出槽油面異常低下	○	○

(2) 重故障項目について

操作制御の標準化においては重故障項目の統一を図ることも重要となる。そこで、重故障に関しては、機器が「直ちに重大な故障が発生しない」項目は除外し、重故障項目を絞り込むこととした（表-5参照）。その結果、重故障から軽故障に変更し重故障項目数を絞り込むことができた「潤滑油温度上昇」について紹介する。

■主原動機潤滑油温度上昇

（類型1の対象22機場のうちこの項目を始動条件としている施設数：7機場）

エンジンメーカーにヒアリングした結果、エンジンに不具合が生じた際には、一般的に潤滑油温度より冷却水温度に反応が出やすいとことが分かった。そのため、重故障項目に「内燃機関冷却水温度異常上昇」があれば、「主原動機潤滑油温度上昇」は除外しても影響がないと考えられる。

ここで、ディーゼル機関の冷却水系統を図-2に示す。冷却水系統においては、潤滑油冷却器、空気冷却器（インタークーラー）の冷却も含んでいるが、冷却水温度管理において重要な箇所は、ディーゼル機関本体のジャケット系出口の温度である。理由は、ジャケット系出口がピストンとピストン上部の燃焼室付近にあり、この場所はディーゼル機関で最も熱、荷重、摩擦の負荷変動の影響を受けるからである。そのため、エンジン不具合の有無を判断するうえで重要な箇所でもあり、冷却水温度、気筒毎の排気温度等で状態監視をしている。冷却水のジャケットは、ディーゼル機関のピストン周辺にあり、異常摩耗により摩擦熱が上昇した場合、冷却水

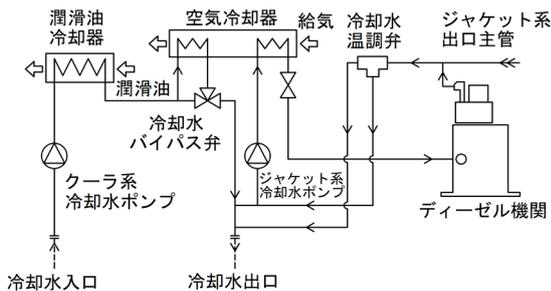


図-2 ディーゼル機関の冷却水系統

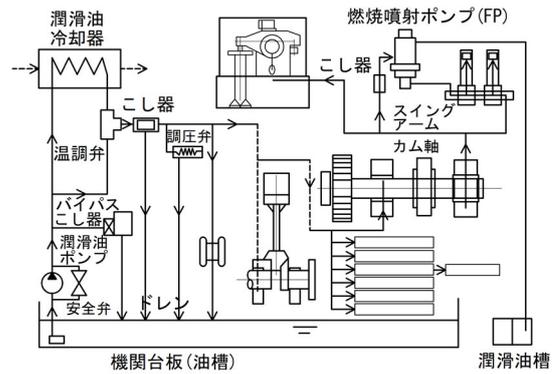


図-3 ディーゼル機関の潤滑油系統

温度上昇に直接的に影響する。また、冷却水温度が管理温度以上となった場合にはピストン焼きつき防止のためにエンジンを停止する必要があることから、冷却水温度上昇は重故障としている。

潤滑油は、図-3の潤滑油系統に示す通り、ディーゼル機関の機関機付潤滑油ポンプにより、クランクシャフト、ピストン等の摺動部の潤滑を担っており、また過給機、弁、スイングアーム等の各部にも供給されているため、潤滑油は確実な供給が必要なことから、「潤滑油圧力異常低下」を重故障としている。

一方、「潤滑油温度上昇」は、各部の摺動部の温度上昇、潤滑油冷却不足等の要因が考えられるが、先に異常が現われる他の温度、圧力と合わせて状態監視しながら運転継続可能である。このような事から、エンジンメーカーでは潤滑油温度異常を軽故障として管理している。

以上を踏まえ、「潤滑油温度上昇」は他の温度、圧力を監視しながら運転可能なため重故障とせず、軽故障とした。この対応によりセンサー不具合による停止リスクを抑えることができる。

8. おわりに

今回の検討では、排水機場のディーゼル機関駆動方式における「始動条件」や「重故障・軽故障」項目において、「直ちに重大な故障が発生しない」項目を除外することで、排水運転の始動性や運転継続性を向上させることができた。

これらを「標準設計(案)」としてとりまとめると共に、理解を深めるための「操作制御標準設計【解説】」も併せて作成した。

また、現在進行形ではあるが、これらの成果を反映させた技術基準の改定に向けて関係機関（本省、協会等）との調整を図っているところであり、その結果、本成果が全国全ての排水機場に適用されることで、排水機場の操作制御方法が統一化され、「人材の安定確保」、「信頼性確保」及び「コスト縮減」を可能とする監視操作制御設備の実現が期待できると考えている。