

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検討について

木戸口 充 きどぐち みつる | 国土交通省 関東地方整備局
 関東技術事務所 施設技術課

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、頭腦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。

- ①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。
- ②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。
- ③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。
- ④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っている。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。）としてとりまとめる予定のため、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

操作制御方法標準化に向けて、次の図-1に示した流れで検討を行っている。また、検討対象施設は関東地方整備局管理の排水機場37施設としたが、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」、「制御フロー」に着目して調査・検討を行い、効率的に進めるために設備構成の類型化を図ることとした。

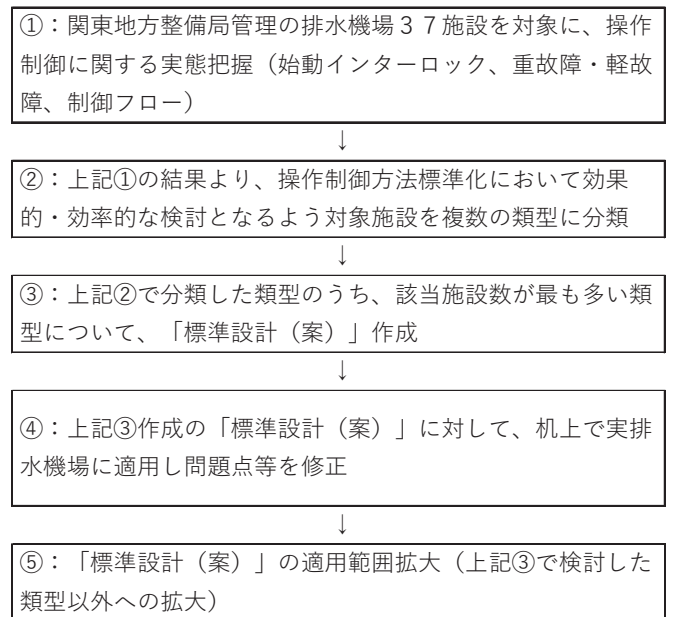


図-1 作業の流れ

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。

表-1 制御の違いを明確にするための整理項目と着目点（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
吐出し弁	・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し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

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（制御フロー、始動インターロック及び重故障・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一2に示す7類型を設定した。

表一2 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

この結果から、まずは対象施設数が最も多い「類型1：立軸斜流ポンプ・ディーゼル機関」について、標準設計（案）をとりまとめることにした。

5. ポンプ始動条件の施設毎の相違について

表一3は、「類型1：立軸斜流ポンプ・ディーゼル機関」の施設におけるポンプ始動条件を、施設毎に整理した表を一部抜粋したものである。

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。

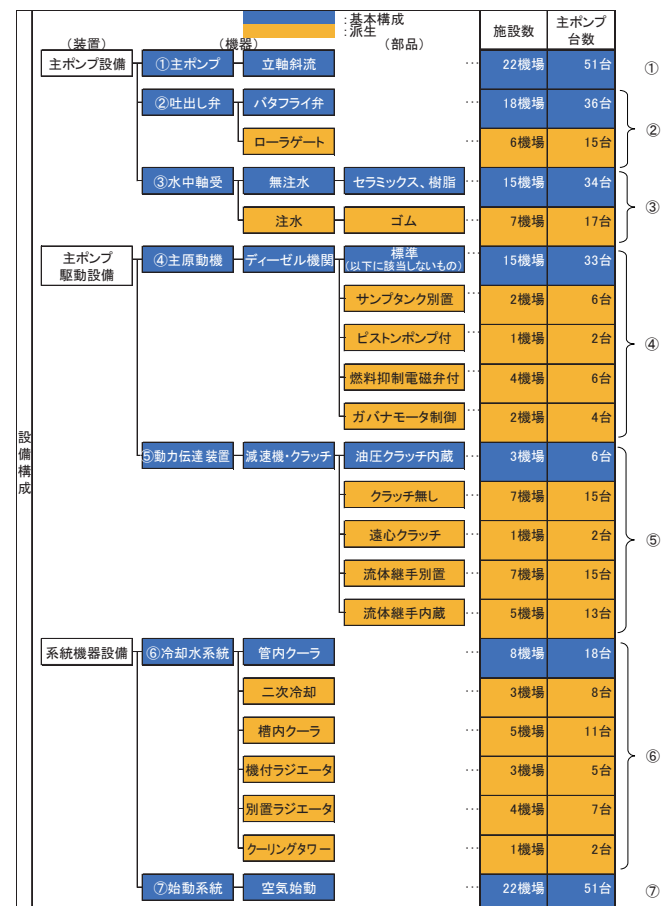
表一3 ポンプ始動条件一覧（一部抜粋）

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	—	×	○	×	×	×	

凡例 ○：始動条件 ×：始動条件でない —：技術基準に明記されていない

6. 類型1の機器構成について

類型1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。（図一2）



※②吐出し弁、④主原動機、⑤動力伝達装置、⑥冷却水系統は同一機場でも号機により構成が異なるケースがある。

図一2 設備・機器構成ツリー図（類型1：基本及び派生）

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1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
- 制御フローの共通点と相違点
- 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入れて、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（管内クーラ冷却、空気始動）
- 減速機：油圧クラッチ内蔵型
- その他：吐出し弁（電動バタフライ弁：コンクリートケーシングでない）

7. 標準設計（案）作成に向けて

（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、防災の観点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。

ここで、始動インターロックから除外できる可能性があると考えている項目のうちの1つを紹介する。

■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、始動電磁弁は開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なくなるため、「空気槽圧力規定以上」を始動インターロックから外せる可能性があると考えている。

（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、機器が直ちに致命的な故障をしない項目は除外し、重故障項目を絞り込むこととした。ここで、重故障から軽故障に変更できる可能性があると考えている項目のうちの1つを紹介する。

■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ている。

ここで、ディーゼル機関の冷却水系統を図-3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。

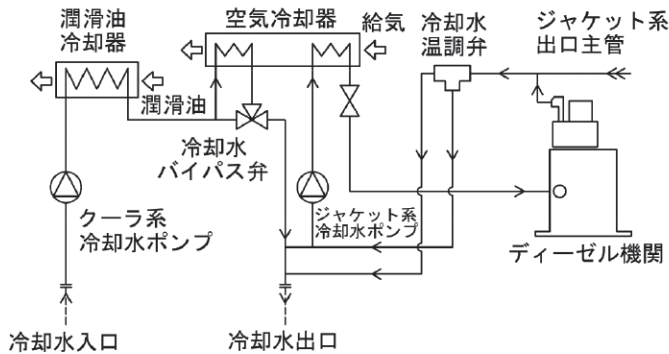


図-3 ディーゼル機関の冷却水系統

冷却水のジャケットは、ディーゼル機関断面（図-4）の水色に示す通り、ピストン周辺にあり、異常摩擦により摩擦熱が上昇した場合、冷却水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。

潤滑油はディーゼル機関断面（図-4）の黄色部分であり、クランクシャフト、ピストンの摺動部の潤滑を行っている。

その他、潤滑油は図-5の潤滑油系統に示す通り、機関機付の潤滑油ポンプにより過給機、弁、スイングアーム等の各部に供給されている。そのため、潤滑油の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。

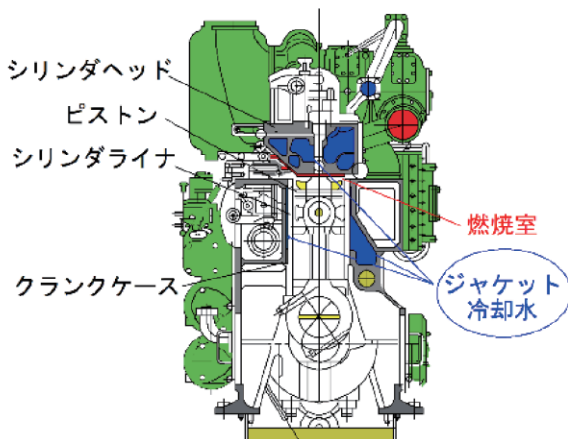


図-4 ディーゼル機関断面図

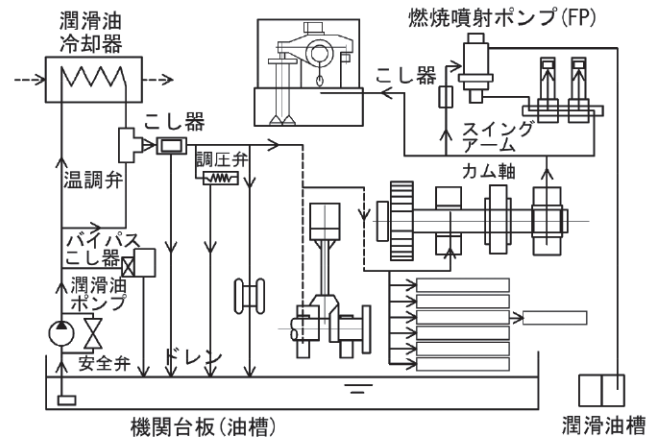


図-5 ディーゼル機関の潤滑油系統

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、軽故障とすることが可能と考えている。この対応によりセンサー不具合による停止を回避することも可能となる。なお、「内燃機関冷却水温度異常上昇」及び「内燃機関潤滑油圧異常低下」は重故障とする必要はある。

8. おわりに

今回の報告では、操作制御方法の標準化において、表-2の類型1（立軸斜流・ディーゼル機関）をメインに紹介したが、作成している標準設計（案）の適用範囲は最終的に類型2（立軸軸流・ディーゼル機関）、類型5（横軸斜流・ディーゼル機関）、類型6（横軸軸流・ディーゼル機関）も含めた全てのディーゼル機関駆動方式まで拡大させる予定である。なお、標準設計（案）は、机上で実際の排水機場に適用して問題点を検証し、実態に適合したものへの見直し作業も行っている。

また、標準設計（案）の普及を目的としていることから、併せて理解を深めるための「解説」も作成しているところである。特に「解説」においては、現在施設ごとに「その他重要なもの」として任意に設定している項目について、その取り扱いを具体的に分かりやすく記載し、施設間でのばらつきを少なくする配慮が必要であると考えている。