

排水ポンプ車の多様な運用の可能性について

水上 紀明¹

¹関東地方整備局 関東技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

[現 関東技術事務所 防災技術課]

現在、各地で過去に類を見ない多様な災害が数多く発生しており、排水ポンプ車の活動範囲も通常堤防での内水排除だけでなく、高規格堤防での長距離排水に伴う高揚程での排水能力、さらに震災や高潮等における排水時間の長期化についても対応が求められている。このため排水ポンプ車は広域的な適応能力だけでなく、継続的かつ確実な排水作業も必要とされており、機械であるが故に避けられない故障についても臨機応変な対応等が求められることになる。

本報告では、排水ポンプ車における適応範囲の拡大に資するため長距離高揚程条件での排水試験と、排水ポンプ故障時の対応方法の多岐化を目的とした排水ポンプの相互運転試験を実施したので、その試験結果と今後の展望等について報告する。

キーワード：災害対応、災害対策用機械、排水ポンプ車、高揚程ポンプ

1. はじめに

排水ポンプ車は約40年前から研究開発が重ねられ、近年においてはチタン合金等新素材を活用しての軽量コンパクトな排水ポンプが開発されており、現在では表-1に示す4種類の排水ポンプが実用化され、全国の各地方整備局の排水ポンプ車に搭載・配備されている。

表-1 排水ポンプの種類別性能

タイプ	標準型	高揚程型	タンデム型	軽量型
排水量 (m ³ /min)	7.5	3.75	5.0	5.0
口径	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
電動機 出力	18 kW	18 kW	12 kW	12 kW
揚程	10 m	20 m	10 m	10 m
重量	37 kg	38 kg	33 kg	23 kg

排水ポンプの高性能化と軽量化に伴い人力のみで設置・撤去が可能となったため、高揚程かつ長距離排水箇所といった比較的設置が困難な箇所でも排水ポンプによる作業が行われつつある。

一方で、近年の局地的集中豪雨等が多発しており、かつ震災や高潮での被災時では排水時間の長期化も懸念されている。このように多岐にわたる排水ポンプ車の運用が想定されることから、排水ポンプの配備において故障時の対応として複数台配備や排水ポンプ予備機といった複数段階の事前準備を講じる必要性が求められている。

2. 長距離高揚程における排水ポンプ設置の検討

近年治水能力の向上を目的として、高規格堤防の整備

が全国各地で進められている。これらの箇所では堤防破壊や越水等の被害が生じる可能性は低いが、高規格堤防未整備箇所や支川での発災等から流出した河川水が高規格堤防整備箇所の堤内側に湛水する事態が発生している。このような状況下でも、標準型の排水ポンプ運用で問題ないか以下の検討を行った。

(1) 排水ポンプの可能排水揚程及びホース延長の確認

関東地整の直轄管理区間において、長距離高揚程の排水条件となる箇所について現状把握を行った。各河川事務所の協力を得て各管理区間の1km毎の河道断面図を入手し、河川の堤内側に湛水が発生した場合に想定される実揚程（法尻から堤防高）と排水ホース敷設延長（堤内側堤防法尻+5m（ポンプ投入位置を想定）から堤外側第一小段まで）を計算し、長距離高揚程が必要な箇所を抽出した。ちなみに、長距離・高揚程箇所とは、ポンプ性能曲線や損失計算から求められた、排水ポンプ車に標準装備される標準型排水ポンプより高揚程型排水ポンプの方が吐出量が多くなる全揚程14.5m以上の箇所とした。

計算結果を図-1に示すが、高規格堤防の整備が進めら

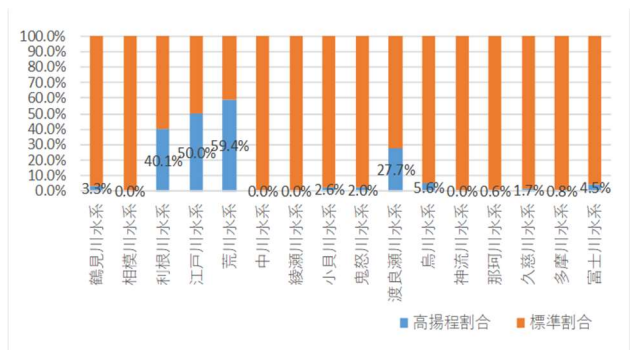


図-1 関東管内における高揚程ポンプ必要割合

れている利根川、荒川及び江戸川の約50%の箇所において、長距離高揚程での排水作業が想定される現場であることが分かった。

(2) 長距離高揚程条件下での排水試験

関東地整管内の堤防では高揚程ポンプを採用すべき箇所が数多く存在することが判明したため、机上の排水量計算に対する正確性の確認が必要と判断し実排水試験を実施した。また、排水距離が長距離化した場合の課題として、排水ポンプ用動力ケーブル延長化に起因する電力ロス増による排水量の低下、さらに多数の排水ホース曲がり箇所発生による排水量低下、並びに排水ポンプ設置時間の長時間化等の課題も同時に発生する可能性が考えられるため、これらの実証実験も併せて実施した。試験条件イメージ図及び使用した排水ポンプと流量計を図-2,3,4に示す。

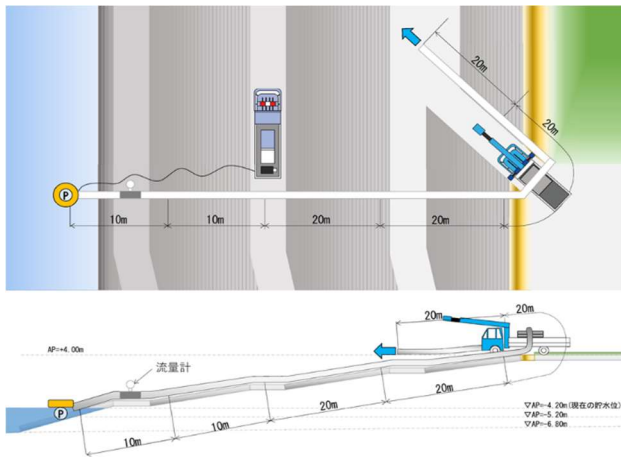


図-2 排水試験イメージ図



図-3 排水ポンプ (左：標準型 右：高揚程型)



流量計仕様
測定方式：電磁式
測定範囲：0.02～9.53m³/min
口径：200A (取付部)

図-4 流量計

a) 排水ポンプ形式による排水性能確認

長距離高揚程条件下での排水性能試験結果を表-2に示す。試験時の実揚程 (H=10.8m) については高揚程ポンプの吐出量並びに全揚程共に机上計算での結果と同じで、ホース曲がり追加による排水量低下量も小さかった。これは高揚程ポンプの方が吐出圧が大きいいため、排水ポン

プ近辺で発生するホース曲がりに起因するホース潰れ量も比較的小さくなるため、排水ホースの断面が確保され排水量減少の原因となる排水ホースの潰れに起因する排水量減少が低減したためと考えられる。一方、標準ポンプは机上計算より3割程度低く全揚程結果も机上計算より低く算出された。また吐出圧も常時変動していることからポンプが脈動し振動していた可能性がある。これは机上計算で使用する製作メーカーが測定・作成したポンプ性能の測定範囲外であり、不安定領域での運転であることを示しており、現場でのホース曲がり等により損失上昇した条件で長時間運転を行った場合、ポンプ故障の原因となる可能性がある。

通常の堤防と比較して高規格堤防では堤防法面延長が長距離化し、配管損失により堤防高が同じでも実揚程が上昇し排水量が低下する。かつ実験結果より、吐出配管でのサイホン形成による排水補助効果も発生しないことが分かったため、(1)の記述でも記載した全揚程14.5m以上となる堤防高8m程度からは高揚程ポンプの使用を考慮すべきであることが確認出来た。

表-2 実排水試験結果

計算方式	項目	標準ポンプ		高揚程ポンプ	
性能曲線 及び 机上計算	吐出量 (m ³ /min)	4.8		4.68	
	全揚程	15.498		16.578	
実験結果	吐出量 (m ³ /min)	3.31	3.00	4.68	4.49
	全揚程	13.77	13.26	16.58	16.16
	吐出圧 (MP)	0.13	0.14	0.15	0.16

※実排水試験結果は2回の結果を記載

b) 電力ケーブル長の排水量への影響

ケーブル長と排水量の関係を表-3に示すが、排水ポンプ製作メーカーからのヒアリングでは電力ケーブル延長80mが最大とされていたが、120mまで延長しても排水量に対して大きな影響は見受けられなかった。

これは排水ポンプに採用されているモータが通常採用される誘導モータではなく同期モータであるため、誘導モータのコイルへの電力量変化とは異なり、同期モータの回転を制御する電力周波数がケーブル長に影響されに

表-3 電源ケーブル長と吐出量 (m³/min)

ケーブル長		60m	80m	100m	120m
低揚程 (実揚程 7.8m)	吐出量	6.37	6.34	6.35	6.35
	吐出圧 (MP)	0.115	0.115	0.115	0.115
高揚程 (実揚程 10.8m)	吐出量	3.00	2.80	2.80	2.57
	吐出圧 (MP)	0.135	0.140	0.140	0.140

くいこと、さらに排水ポンプはモータ動力への負荷変動が少ないといったモータ自体の運転条件から電力ケーブル長延長化による影響が少なかったためと考えられる。

ただし、ポンプメーカーでは実排水運転の現場条件を考慮した損失変動や負荷上昇を見込んでおり、実際の現場では最大80mとするのが望ましい。

c) 設置時間

排水距離を50mと100mで1台設置に要した時間から全台設置完了までの設置時間試算結果を表4に示す。

運搬経路の傾斜も多少影響したが、長距離運搬による移動と排水ホース間の接続調整（ホース取り回し微調整等（1箇所当たりのホース接続時間は状況により変動が大きいため評価しない。））に時間を要しており、ホース積み下ろしを含む準備作業や発電機・ポンプ運転に関しては設置延長の影響はなかった。

長距離排水が想定される箇所の多くは緩傾斜堤防等の堤防法面が比較的平坦な箇所と考えられる。このため今後は排水ホースの接続性向上や運搬機器の開発が排水ポンプ車の作業性向上に大きく寄与されると考えられる。

表4 設置時間の試算結果

ホース長	50m(平坦地)	100m(斜路)
排水ポンプ車到着		
準備	0時10分00秒	0時10分00秒
1台目設置	0時07分25秒	0時19分05秒
段取	0時03分00秒	0時03分00秒
2台目設置	0時07分25秒	0時19分05秒
段取	0時03分00秒	0時03分00秒
3台目設置	0時07分25秒	0時19分05秒
段取	0時03分00秒	0時03分00秒
4台目設置	0時07分25秒	0時19分05秒
段取	0時03分00秒	0時03分00秒
発電機運転	0時05分00秒	0時05分00秒
排水開始		
合計	0時56分40秒	1時43分20秒

3. 故障時における相互運転の検討

排水ポンプ車の運転時における故障は、湛水箇所の浮遊物や砂泥の吸込によるスクリーン損傷やインペラの摩擦等の故障が多く、故障が発生した場合には排水ポンプを交換せざるを得ない。

一般的に排水ポンプ車に搭載されている排水ポンプは、搭載されている操作盤内のインバータと排水ポンプ（同期型モータ）の接続において同一製作会社以外の接続は不可と取扱説明書に記載されている。そのため、排水作業中において排水ポンプに故障が発生した際に、緊急時の代替手段として製作会社の異なる操作盤（インバータ）と排水ポンプ（同期型モータ）を接続し運転することが求められることを想定し、相互接続を可能とするべくイ

ンバータの各種設定を相互運転用にする設定方法の確認と実排水試験を行った。

(1) 排水ポンプ制御盤と排水ポンプの各設定確認

a) 排水ポンプ用電源ケーブルの配線状況について

排水ポンプ制御盤と排水ポンプを接続させるには、排水ポンプの水中ケーブルに採用されている防水コネクタを確実に接続し、かつ交流電力の3相（U相、V相、W相）及びアースが同一箇所接続される必要がある。このため、現在当事務所に配備されている(株)荏原製作所（以下E社と記す。）と(株)クボタ（以下K社と記す。）の両社における排水ポンプ車の完成図書から配線位置を確認した。防水コネクタの一般図を図-5に示す。

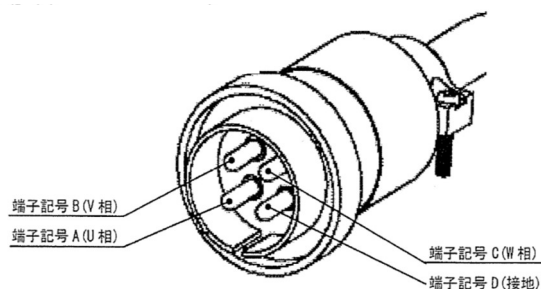


図-5 防水コネクタ一般図

関東地整の排水ポンプ車購入時の方針として、排水ポンプが故障しても同一排水ポンプメーカーであれば導入年度が異なる場合でも流用可能とするために、防水コネクタの型番を統一している。この防水コネクタの統一指針は排水ポンプ車製作メーカーを問わず統一していたため、水中コネクタの相互接続は可能であった。

また、交流配線の各層配線とアース位置も同一であったため、配線接続箇所のメーカー間差異による操作盤内等での配線接続替えは不要であることが分かった

b) インバータの設定について

E社とK社におけるインバータの各設定値を確認した結果、排水ポンプ用に設定される各設定値43項目のうち約30項目について異なっていることが判明した。このため両社の設定値比較表を作成し、両社技術者へのヒアリングを実施して、差異が生じていた各設定値の内容、入力単位、両社間の整合等を確認した。その結果各モータの極数や最大周波数等のモータ固有の特性により再設定せざるを得ない設定値13項目以外は再設定する必要がないことを確認した。

再設定を要する設定値は、相互接続する排水ポンプが元々の操作盤で設定されているインバータ設定値を採用したが、本来インバータ諸数値はモータ単体で設定するものであり、特に同期モータの始動性に大きく影響を与えるモータのd軸及びq軸インダクタンス（PM用）とモータの誘起電圧係数（PM用）に関しては、相互接続状態

で陸上での微速運転を行い各特性値の設定と計測を複数回試行して設定した。

(2) 実証試験

インバータ盤の各種設定が完了した後に、大気中での微速運転と水中での単独連続運転を実施し、運転時の異常音や脈動等の異常状態が発生した場合に症状が分かり易い方法での運転を始めに行った。その後排水ホース接続状態での低揚程連続排水運転、揚程1m及び3mでの連続排水運転の3段階で徐々にモータ負荷を上昇させ、相互運転での排水運転状況を確認した。

排水運転試験結果としては、K社制御盤にE社排水ポンプを接続しても、またE社制御盤にK社排水ポンプを接続しても、排水能力100%運転において大きな異音や脈動・回転起動渋滞等を発生させることなく運転することができ、本検討において設定したインバータ盤設定値の適合性を確認することができた。



写真-1 排水ポンプ相互接続状況
(K社操作盤とE社排水ポンプ)

(3) マニュアル作成

現地でのインバータ設定変更作業を元に、実際に相互運転の実施が必要とされた時を想定したインバータ盤設定値変更方法と変更開始時及び終了時の注意事項等を網羅したマニュアルの作成を行った。

今回の実証実験でも同様であるが、両メーカーへのヒアリング結果としてインバータ設定変更状態での運転時に発生した故障は排水ポンプ車製メーカーの責任範囲外であり、以後の故障発生時にも修理等の対応自体不可能となることがヒアリングで判明しており、相互運転以後の排水ポンプ取扱環境の変化を承知の上で実施することが重要であることが分かった。

特にインバータ設定変更13項目のうち、1項目でも入力漏れ・入力ミスがあった場合にも起動・運転しないばかりか、即故障の上修理不可となる可能性があることも明らかとなった。

これらの前提条件を認識したうえでの相互運転実施と

なるため、変更操作方法の分かり易さと同時に操作により危惧されることを、より明確にしたマニュアルの作成を行った。

4. まとめ

今回実施した検討において、今後も継続される高規格堤防の整備拡大に伴い長距離高揚程条件での排水作業要望箇所も拡大すると想定されるが、標準ポンプから高揚程ポンプに切り替えて排水運転を行うことで、排水ポンプ車の適用箇所の拡大を図ることが出来た。また高揚程ポンプを使用すると、より多量な排水能力を発揮できる被災想定箇所の整理を行うことが出来たので、これらの高揚程ポンプを採用すべき箇所を記載した管理平面図を作成し、排水ホース延長を計算した資料と航空写真を共に整理し、万一の出動準備の際に役立てられる参考資料を作成した。また一方で、実証実験により長距離排水箇所では、設置作業の労力過大が生じると言った別の課題も浮き彫りとなった。

次に製作メーカーが異なる排水ポンプ制御盤と排水ポンプの相互接続による排水運転においては、設定作業に細心の注意を払う必要があるが、運転自体は可能であり、万一の故障発生時においても、対処方法の1つが確立でき、排水運転のより確実な継続手法の一助とすることが出来た。

今後は長距離での排水試験や令和元年度に発生した台風19号及び台風21号等で実施した地下構造物等狭隘部での排水作業を踏まえ、排水ホースの潰れによる排水量低減防止対策を検討し、更なる排水ポンプ車の適用箇所の拡大を図る予定である。