

局所豪雨に起因する浸水防止のための先行待機型ポンプシステムの開発と実用性に関する研究

* ** ***
奥野長晴、井上一、岩崎貴之

* 東京都下水道局施設建設部長
** 東京都下水道局施設建設部設備設計課長
*** 東京都下水道局施設建設部設備設計課計装係長
東京都新宿区西新宿 2-8-1

概 要

都心部では局所的に降雨強度 50mm/h以上の豪雨が頻発するようになってきた。この豪雨の出現する時間と場所と強度の正確な予測の困難なことが、従来型の雨水ポンプの運転を困難にしている。ポンプがフル稼働する前に雨水流入量が急増し、その結果、沈砂池床上に水位が上昇する危険がないわけではなかったからである。

この問題解決の切り札として、流入量が増大する前に稼働できるポンプ、つまり、無負荷運転のできるポンプ（先行待機型ポンプ）をポンプ場・処理場に設置し、その効果を数年かけて調査を行ってきた。

その結果、① オペレータの負担の大幅軽減、② 出水・浸水防止の信頼性の向上、③ 揚水制御の単純化、という面で大きな成果を得ている。

キーワード

都市型水害 雨水ポンプ 雨水排水ポンプ場 都市降雨 雨水 急襲豪雨 先行待機 運転管理 運転支援

1. はじめに

近年、高密度化と緑地・空地の減少及び舗装率の上昇に伴い、都市における雨水の保水機能が低下している。一方、局所的豪雨が頻発し、このため、降雨発生から短時間に多量の雨水がポンプ所に流入するようになってきた。起動水位に達していないと運転できない従来型ポンプでは、ポンプ場に流入する雨水量の変化に制御システムが追従できず、常に沈砂池床上に出水の心配が尽きなかった。このため、ポンプ起動のタイミングにオペレータの神業を必要としていた。このような問題を解決するため、急襲豪雨に対応できるポンプとして「先行待機型ポンプ」を開発し、これを雨水ポンプに積極的に採用してきた。現在、19か所の処理場・ポンプ場に67台設置済みである。

2. 先行待機型ポンプの概要

従来型ポンプは、水位が羽根車部に達する前に運転すると振動が大きくなるので、水位が羽根車よりも上であることがポンプ起動の必須条件である。これに対し、先行待機型ポンプとは、水位が羽根車部のときケーシング内に均等に空気を吸い込ませる構造とすることと、全体の剛性を高めるとの方法により、振動を抑制して、あらゆる水位で運転できるようにしたポンプである。

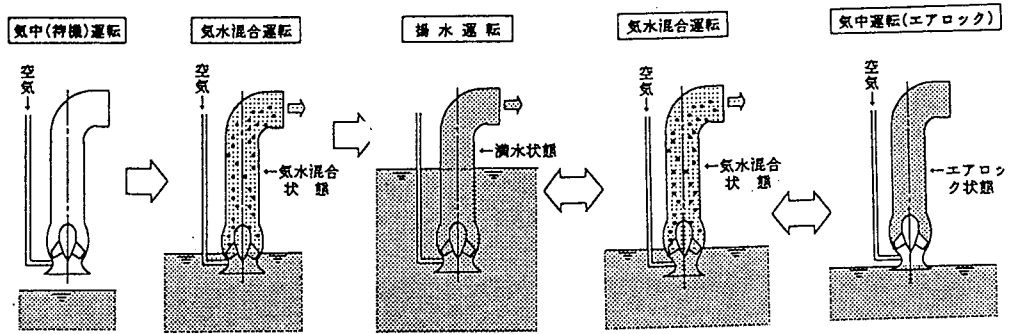
(1) 作動原理（図1参照）

先行待機型ポンプの作動原理は、次のとおりである。

① 起動時

- a. 気中運転（待機運転）：水位が低く、まだ羽根車が大気中にあるうちに運転を開始する。

図1 先行待機型ポンプの作動原理



- b. 気水混合運転：水位が上昇し、羽根車部に水位のある時の運転で、空気と水が混合された状態で一部揚水を行う運転である。この状態のとき、ポンプが最も振動する。
- c. 揚水運転：水位が羽根車より上にある時の運転で、従来型ポンプと同様の運転状態である。

② 運転時

- a. 揚水運転：水位が羽根車より上にある時、揚水運転を行う。
 - b. 気水混合運転：水位下降により水位が羽根車部にある時、空気を吸い込みながら気水混合状態で揚水運転を行う。
 - c. 気中運転（エアロック運転）：水位が低下し、水位が羽根車下部にある時（揚水遮断水位）、空気を吸い込んで羽根車下部の雨水をポンプ井に落し、気中運転をする。このとき、羽根車上部の雨水は、ポンプが回転しているためすぐには落下せず、ポンプは雨水をかかえたまま運転する。（これをエアロック状態という。）
- 運転中は、上記のa－b－cの動作を水位状況により自動的に行う。

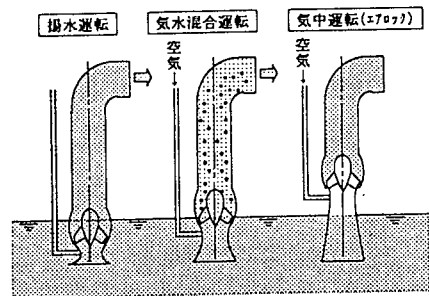
3. 先行待機型ポンプの羽根車高さのステップ配置

先行待機型ポンプは、水位により自動的に気中・気水混合・揚水運転を行うので、すべてのポンプの羽根車を同一レベルにした場合、揚水可能水位に達した時、運転中のポンプは同時に揚水を始める。

この時、急激に負荷電流が増加し、発電設備が追従できず、発電設備の停止につながる恐れがある。また、すべてのポンプが一斉に気中・気水混合・揚水運転をするため、水位は一定に保たれるが、頻繁に運転切り替えを繰り返すため、使用電力（電流）が脈動的に変動する。このことから、電源設備への急激な負荷増を防止するため、

ポンプ毎に羽根車の高さを3種類に変えてステップ配置し、流入量が少ない時は羽根車のレベルが低いポンプのみが揚水運転し、流入量が多い時は全台が揚水運転となるようにする。これにより、段階的にポンプに負荷がかかるため、水位の変動はあるが、使用電力（電流）の変動を安定させることができる。

図2 羽根車のステップ配置



4. 先行待機型ポンプの制御システム

雨水ポンプは、運転頻度が少ないので、回転数制御は行わず固定速運転を行う。

このため、従来型ポンプでは、1台当りの運転・停止の水位差を十分に取って起動頻度を押さえると共に、運転可能水位内に全台の運転・停止水位を設定しなければならない。しかしながら、運転可能水位差が十分に確保できることが難しいのが実態である。このため、経験と勘により水位設定を行わなければならない、また、受水量の推移による設定変更も必要となる。

これに対し、先行待機型ポンプでは、雨水がポンプ場に流入する前に運転を開始（待機運転）し、その後は水位の

変動に対応して、自動的に揚水・気中運転にシフトするので、次のようなシンプルな運転制御システムとなっている。（図3）

- ① 上流管渠に水位計を設置し、上流管渠水位・流入渠水位・ポンプ井水位のうちいずれかの水位が規定水位以上となったとき、あらかじめ決めておいたポンプは待機運転状態に入る。
- ② 上流管渠水位計は、ポンプ場への流達時間が15～30分となるマンホールに設置する。
- ③ 先行待機運転するポンプの号機は、あらかじめオペレータが選択する。
- ④ 先行待機を選択していないポンプは、ポンプ井水位による台数制御とする。

図3 先行待機型ポンプの制御システム

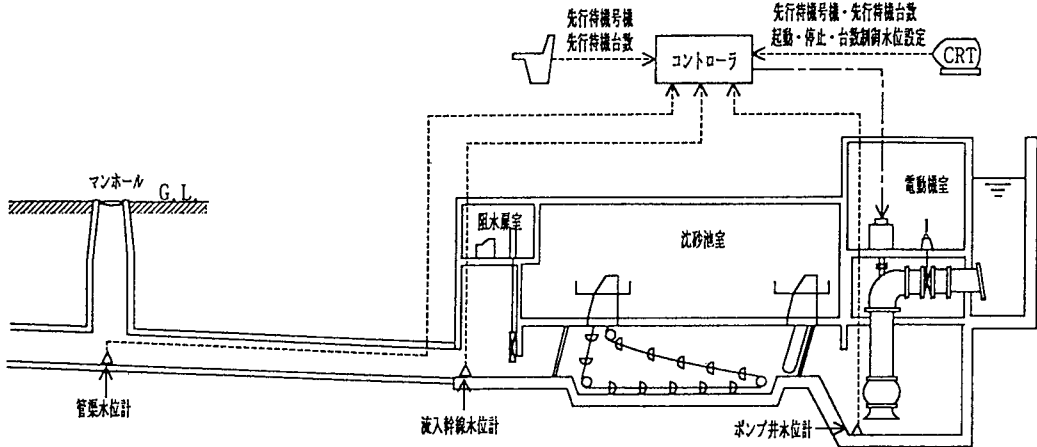


図4に従来型ポンプと先行待機型ポンプを運転した場合のポンプ井水位の変動とポンプの運転状況の例を示す。

従来型ポンプは、水位（受水量）の変動に対してポンプの運転・停止で対応するため、ポンプのオンオフの頻度が多く、水位の変動も大きくなっている。これに対し、先行待機型ポンプは、羽根車のステップ配置と併せて、水位の変動に速やかに対応するため、従来型ポンプよりも低めの水位を保っている。また、ポンプのオンオフの頻度も少なめとなっている。

5. 設計上の注意事項

(1) 比速度 (Ns)

全揚程による比速度の選定は、おおむね表1のとおりとする。（ただし、斜流ポンプ）

(2) エアロック運転時の温度上昇

エアロック運転時は、水がポンプ内部に確保され、ポンプの回転により水温が上昇する。このため、軸受・メカニカルシール等の焼き付け等の危険があり、対策を必要とする。温度上昇対策としては、現在、次の対策が考えられている。

① 制御方法による対策

一定時間気中運転を行った場合、ポンプを停止する。この場合、再起動するには次の条件を満足する必要がある。a. ポンプが逆転していないこと。b. 始動制御器が始動位置であること。c. 電動機の始動頻度により支障をきたさないこと。

② ポンプ構造等による対策

現在、各種の対策を検討している。

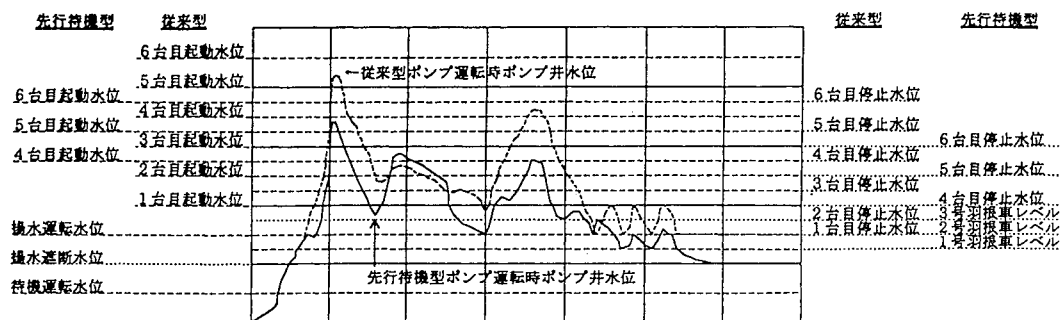
(3) 床荷重条件等

先行待機型ポンプは、従来型ポンプより10%程度重く、また、振動も大きいので、設計時に床・梁の強度等につ

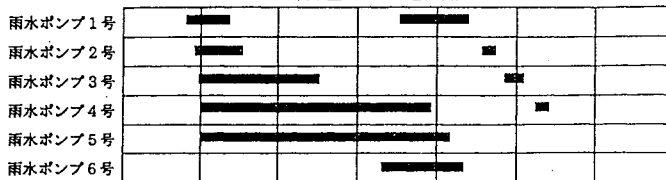
表1 全揚程対Ns

全揚程	Ns
5m未満	800～1400
5～10m	800～1300
10～20m	600～1000
20～30m	450～800

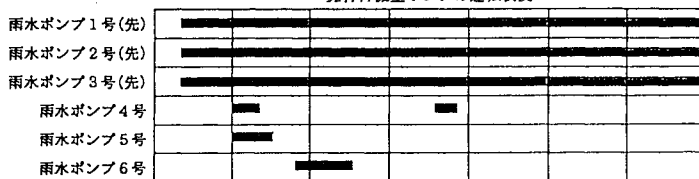
図4 先行待機型ポンプ運転時の水位変動



従来型ポンプの運転状況



先行待機型ポンプの運転状況



(先)は、先行待機を選択

いて検討しておく必要がある。

6. 運転実績結果

初期の先行待機型ポンプ(気中・気水搅拌を低速で運転するもの)は、昭和60年度(1984)に設置し、平成3年度(1990)からは現在の全速先行待機型ポンプを設置し、4年間運転してきた。その運転結果をまとめると次のとおりである。

- ① 先行待機型ポンプは、あらゆる水位で運転できることから、運転・停止のわずらわしさもなく、運転しやすい。
- ② ポンプの起動は、管渠水位計・流入渠水位計・ポンプ井水位計による水位検出による運転指令のみでよく、このため、制御回路がシンプルである。また、アメッシュ500のデータにより急襲豪雨が予想される場合は、操作員の判断によって待機運転を行うことができ、操作員の精神的負担軽減が大きい。
- ③ トラブルの発生はほとんどなく、いかなる水位でも運転が可能であることと合わせ、設備の信頼性が高い。
- ④ 振動・騒音については、問題となっていない。

7. おわりに

先行待機型ポンプは、あらゆる水位で運転できるポンプであるため、雨水がポンプ所に流入する前にポンプを運転することができ、急襲豪雨等に対する画期的なポンプといえる。このことから、操作員に対する精神的負担の軽減は著しいものがある。また、先行待機型ポンプは、一度運転すれば自動的に揚水・気中運転を行うため、従来型ポンプと比べ運転制御方式がシンプルにすることができ、自動制御システムが故障してもオペレータが手動でポンプに始動指令を与えればよく、安全性が向上する。

このことから、先行待機型ポンプの価格は、従来型ポンプより20~30%程度割高であるが、設備の信頼性の向上という点から十分に効果のあるものである。なお、雨水ポンプの性格上運転実績が少ないが、今後調査を進め、アメッシュ500と組み合わせた流入予測システムの確立も含め、自動制御システムの拡充を図りたいと考えている。