

〈研究発表〉

ポンプ場の運転停止水位決定支援ツールの活用

大石 亮, 加藤清治, 齊藤誕, 古畑良国, 大島信夫, 三村史郎

(株)明電舎 (〒141-6229 品川区大崎 2-1-1 E-mail: ooishi-a@mb.meidensha.co.jp)

概要

雨水ポンプ場の水位変動を机上検討するシミュレーションモデルを構築し、実機運用前のポンプ運転停止水位検討に利用した。施設の変更に伴うポンプ運転停止水位の再設定を行ったが、それに対し大雨に伴う流入水量増加があってもポンプ井の水位を安全に保てるかどうかは事前に予測しづらかった。そこで、仮想的な大雨を入力して水位変動を確認できるシミュレーションで事前評価を行い、安定な排水を行える水位設定値を見いだす方法を採用した。実測に基づくポンプ井水位の変化速度が再現できた後、もっともポンプ井水位が上がる仮想流入パターンを試行しても既設のポンプ動作ロジックで対応できることを確認できた。

キーワード: ポンプ場, シミュレーション, 水位制御

1. はじめに

1.1 背景

雨水ポンプ場は、主に大雨の時に、雨水管渠により集められた雨水をくみ上げ、川や海に強制的に放流することで浸水を防ぐための施設である。管渠から流入した雨水は沈砂池とスクリーンを通過して夾雑物を除かれた後、ポンプ井に貯留される(Fig. 1)。雨水はポンプ井からポンプにより汲み上げられ川や海に排除されるが、大雨によりポンプ井の水位が急上昇する場合やそれが予想される場合は、ポンプの動作量や動作台数を増やすことで流入に見合う吐き出し水量を確保して対処する。

設置されたポンプの合計吐き出し水量が十分でも、ポンプに起動指令を与えてから目標の吐き出し水量を確保するまでの時間遅れのために、ポンプ井の水位を低く保つことが困難になる場合もあり得る。そこで、ポンプに起動停止指令を出すタイミングを規定するロジックが重要となる。

1.2 目的

本件では、ポンプ井の水位の上下動を検知してポンプ回転数・動作台数を変化させるロジックについて、実機運用前のポンプ運転停止水位検討を行った。そのために、雨水ポンプ場の水位変動を机上検討するシミュレーションモデルを構築した。

今回対象とした広島市庚午ポンプ場では、これまで連通していた庚午系と草津系の2系統のポンプ井をつなぐバイパス管を塞ぎ、両系を独立させての運用を検討している。庚午系は草津系よりも底面が低いので、既設の運転停止水位では、庚午系のポンプを優先的に稼働させる

設定になっていた(Fig. 1)。したがってシステムを仕切る際には、それぞれの系で妥当な運転停止水位を定め直す必要があった。

そこで、運用後の大雨時の動作確認を待つことなく運転停止水位等の設定値を決めるために、仮想的な大雨を入力して水位変動を事前評価できるシミュレーションを構築した。今回は、庚午ポンプ場の草津系を想定した検討について報告する。

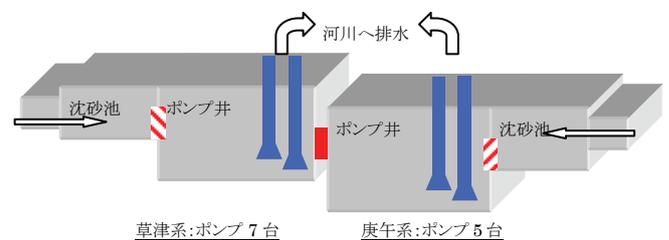


Fig. 1: Kougo pump station

2. シミュレーションによるプラントモデル構築

2.1 プラントの概要

ポンプ場の庚午、草津それぞれの系統は4台および6台ディーゼルエンジン(DE)ポンプと、1台ずつの電動ポンプを備える。主な動作ルールは、ポンプ井水位の上昇または下降に応じてポンプの動作台数を指定順序で1台ずつ増加または減少させることである。したがって雨水流入時には、各ポンプの起動/停止水位の設定が、ポンプの動作時間や排水量と、それらによりポンプ井水位を安全な高さに抑えられるかに影響を与える。庚午ポンプ場の排水先は河川であるため、吐き出し水量や速度の制約はない。そこで今回は、ポンプ井の水位を抑えることを優

先目標にした。

ポンプ場の挙動を表現するモデルの構築には、シミュレーション作成に適した数値解析ツールである MATLAB と Simulink を使用した。モデルの構成は、流入水量と吐き出し水量に応じてポンプ井の水位が変動する物理モデルと、作動回転数から吐き出し水量を決めるポンプモデル、主に水位を検知してポンプの作動台数と回転数を決める制御ロジックモデルから成る (Fig. 2)。

図で各モデルをつなぐ矢印のうち、流入水量のみが完全に外的要因による入力値である。それ以外の総吐出量やポンプ井水位はいずれも、出力でもあり入力でもある内部変数として扱っている。今回はポンプ井水位とその変化を主な監視対象としているが、シミュレーションの目的によっては総吐出量とその変化や、ポンプの起動停止回数などを優先監視対象にもできるようにしている。

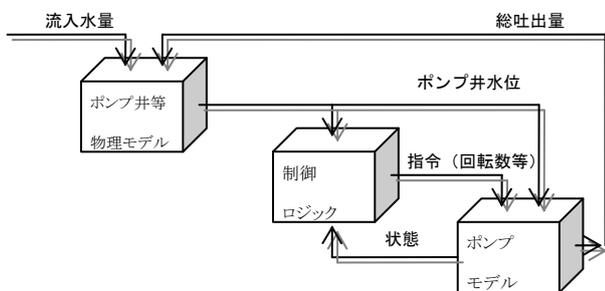


Fig. 2: Modeled pump station

2.2 各モデルの概要

物理モデルは、流入渠→沈砂池→ポンプ井の水の流れを表現するために、水位差をなくす方向に水が移動し、移動時にそれぞれ抵抗を与える設計とした。これは実機ではスクリーンを通過する部分を想定している。

ポンプモデルは、複数台のポンプに回転数を設定し、そこから吐出水量が決まる。回転数は、要求回転数から応答特性や DE のクラッチ動作ルール等の機構をふまえて実際の回転数が発生する仕様とした。また各機の試験運転結果から作成した Q-H 曲線を内包し、水頭差に応じた吐出水量が生成される。

制御ロジックモデルは、実際の制御に準じる動作を設定し、主に次のロジックから成る。

- ・通常運転: ポンプ井水位を検知し、各ポンプが個別に起動水位で起動、停止水位で停止する。
- ・擬似先行待機運転: 水位上昇率を検知し、起動水位に先んじて DE の起動からアイドルまでを行う。

3. シミュレーション

3.1 シミュレーション条件

シミュレーションの検討対象として、以下の 2 通りの条

件を設定した。

(1) 試験運転の再現

ポンプ井・沈砂池の水位を上げておき、流入を停止した状態でポンプ動作を開始させる。ポンプ井水位の下降速度を実測値と比較し、ポンプの応答性など設定条件の妥当性を確認する。

(2) 仮想降雨

降雨時流入水量の推定値から、急激な流入水量増加を含む流入水量変動パターンを作成する。その流入条件下でのポンプ井の水位変動を確認し、ポンプ起動停止水位の妥当性を検討する。

このような手順を採ったのは、実際の降雨時の流入水量変化が大まかにしか把握できないためである。

3.2 ポンプ実機動作の再現

シミュレーション上のポンプの挙動を再現するために、ポンプ動作の応答性に関わる因子は物理的特性からプログラム上のものまでを含めて表現した。

前述のシミュレーション条件(1)と(2)の場合も、DE は停止状態から稼働開始するので、実際にポンプによる吐出が発生するまでには時間差がある。その遅れ時間には、実機の試験運転で確認した、停止状態から定格回転数に達するまでの時間を与えた。

また定格回転数より低い実用最低回転数(アイドル回転数と等しい)に達した時点で DE のクラッチが入り、その時点から吐出流量が発生する。

ほかに、以下のような実際の DE ポンプの動作条件についても、シミュレーションでも同等の動作をするようにしてある。

- ・DE ポンプは振動や吸気の原因から同時起動を防止し、小容量のものから順に間をおいて起動する。
- ・DE ポンプが複数台動作する際は、すべて同じ比回転数(それぞれの定格回転数に対する比で表現)で動作する揃速運転を行う。
- ・ポンプ停止後の一定時間は実用最低回転数で待機し、短い間隔を置いての起動指令に備える。

4. シミュレーション結果

4.1 シミュレーション結果

(1) 試験運転

草津ポンプ場を想定したモデルを構築し、実機と同じポンプの運転停止水位を 7 台のポンプに対し設定した。開始水位を-4.70TPm(海拔メートル)に設定し、実機・シミュレーションともにポンプを始動した。

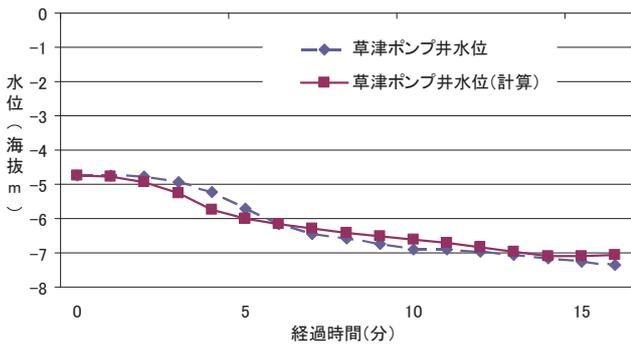


Fig. 3: Test operation with its simulation

Fig. 3 の通り、実測およびシミュレーションの水位がおおむね同等に推移したことで、ポンプ応答特性の再現性は確認できたと見なした。

(2) 仮想降雨

入力としての雨天時流入パターンの決定にあたり、単位時間あたりの流入水量がポンプ全台合計の最大吐出量をやや下回る水量をピーク流入水量として規定した。このピークを目安に、ポンプ井水位が上がりやすい課題として次の2つを連続的に与えた。

- (a) 流入水量が 0 の状態から 1 分程度でピーク流入水量に達する。
- (b) その後流入水量は減るが、ポンプ井水位はまだ下がっておらず 2 台程度のポンプが稼働中の状態から、やはり 1 分程度で再びピーク流入水量に達する。

なおシミュレーション開始時のポンプ井には、ポンプが水を吸い上げられる最低限の水位を設定した。これは事前の降雨などの影響が残っていない条件を想定している。

検討の過程では、厳しい条件を想定して一方ではポンプ井の水位を上げるように流入水量変動の時刻などを繰り返し微調整した。また他方では、それに対応できるようにポンプは十分排水しつつも頻繁な運転停止をしないよう、運転停止水位を調整した。

いくつか条件を変えた検討の結果、沈砂池とポンプ井の容量の余裕から、(a)では(b)と比べ問題にならない程度の水位上昇しか起こらなかった。また、(b)で最も水位上昇が起こりやすかったのは、水位が上昇傾向にありつつもポンプの追加起動水位に到達する直前に、流入水量が急増する場合であるとわかった。

このようにして設定した流入水量のうち、もっとも水位が高くなったものを Fig.4 内の点線に示した。流入水量を急上昇させた時間帯は横軸の経過時間で 5~7 分が(a)、83~84 分が(b)にそれぞれ相当する。同 Fig.4 の実線にはポンプ吐出量を重ねて記した。これらの流入および

吐出水量の結果としてのポンプ井の水位変動を Fig.5 に示した。(a)の結果としての最高水位は-6.2m であるのに対し、(b)の結果としての最高水位は-3.2m となった。これらの水位は施設の許容範囲にあることを確認している。

Fig. 6 は、このときの各ポンプの動作を示したものである。必要時には迅速にポンプが起動できていることが見てとれる。ここでポンプを動作させる方式は、流入水量を検知しているものではなく、ポンプ井水位に応じて起動停止しているのだが、それでもおおむね流入水量の増減に追従できている。すなわち、本件のロジックでも水量の急増に十分対応できることを確認しながら、運転停止水位を適正に調整することができた。

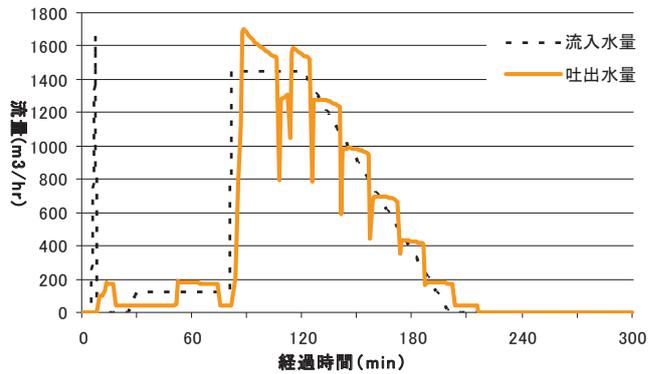


Fig. 4: Inflow with outflow(drainage by pumps)

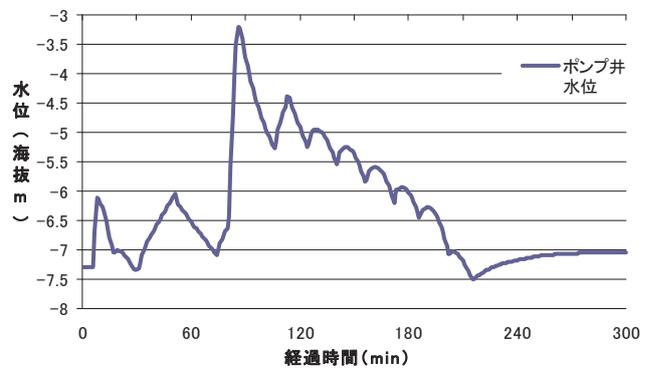


Fig. 5: Water level of wet well

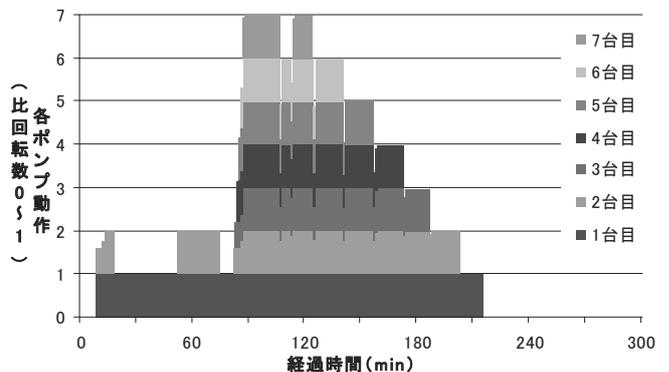


Fig. 6: Operation of pumps

5. まとめ

雨水ポンプ場の水位変動とポンプの挙動をシミュレーションにより事前検討し、大雨時の流入水量増加に対しても安定な排水を行える水位設定値を見いだせた。また、

厳しいタイミングで流入水量増加を与えても、既存の運転ロジックでポンプ運転開始が間に合い、対応できることを確認できた。