

揚排水機場設計の留意点

Point of Attention in Designing Pump Station

水工事業本部 水工第2部 齋藤 秀樹



概要(Abstract)

揚水機場と排水機場は、ポンプで水を汲み上げるための施設である。揚水機場は堤外から堤内へ水をポンプアップする利水施設であり、排水機場は堤内の水を堤外へ排水する治水施設である。機場設備は、吸水槽、吐水槽、揚排水樋門の他、除塵設備やポンプ設備等の機械設備、ポンプ設備や操作室を格納する上屋など、さまざまな施設で成り立ち、河川構造物の中では比較的規模が大きく、かつ重要な施設である。

本文では、一般的な揚排水機場の設計の他、排水量の変更や堤防拡幅に伴う施設の改造や移設設計、建築確認申請についての留意点について紹介するものである。

1. はじめに

平地の少ない我が国にとって治水は極めて重要、かつ欠くことのできない事業である。水を治めるために、川に沿って堤防を築き、流域を河川の氾濫から防御する。また、堤防にトンネル(樋門)を掘り、堤内地に降った雨水を河川へ排水する。大雨で河川水位が上昇すると樋門のゲートを開け、樋門を通じて河川の水が堤内に逆流するのを防止する。(図-1)

排水機場は、このように河川水位上昇による逆流防止のため、樋門のゲートを閉じ自然排水が不可能となった際に、ポンプによって内水を強制的に河川へ排水するための治水施設である。(図-2)

一方、揚水機場は排水機場とは反対に、農業用水や工業用水を河川からポンプで汲み上げるための利水施設である。

自然界で水は「高さより低きに流れる」が、揚排水機場は、人工的(強制的)に低い所にある水を高いところにくみ上げる治水・利水施設である。

以下、本文では揚排水機場を設計する際の留意点について記述する。

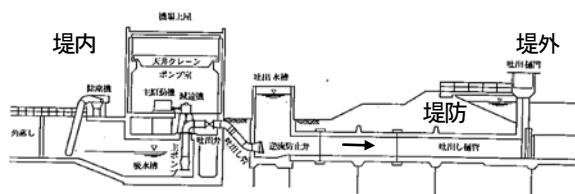


図-1 排水機場断面図

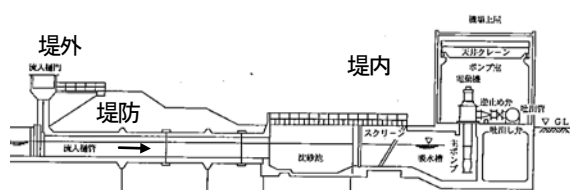


図-2 揚水機場断面図¹⁾

2. ロス(損失)と水理計算の基本について

ロス(損失)は損失や水頭差とも言い、水が流れる過程で失われるエネルギーのことである。水が流れる時、上流よりも下流の水位が低い、これは上流よりも下流の方が水の持つ位置エネルギーが小さいことを示しており、この上流と下流のエネルギー差がロスである。

また、水面が連続し穏やかに流れている場合、下流の水位が上昇すると、上流の水位も上昇する。しかし、中間地点に堰を設けるなどしてロスを増やすと、上流の水位は上昇するが、下流の水位は上昇しない。即ち、水位は下流側に支配される。

したがって、ロス計算では下流側の水位を初期条件とし、これにロス(摩擦や屈曲、断面変化等)を加算して上流側の水位を算定する。排水機場の吐水槽水位や揚水機場の吸水位は、河川の水位を起算水位とし、それにロスを加算して算定する。

3. 揚排水機場の性能

揚排水機場の性能は、揚程と揚排水量に支配さ

れる。揚程とは、ポンプで水を汲み上げるときの高さであり、吸込み側と吐出し側の水位差のことである。

また、水が管路の中を流れるときに働く摩擦や屈曲、急縮等による影響、即ち“ロス”を揚程に加算したものを全揚程と言い、通常これを「ポンプ全揚程」と称している。(図-3)

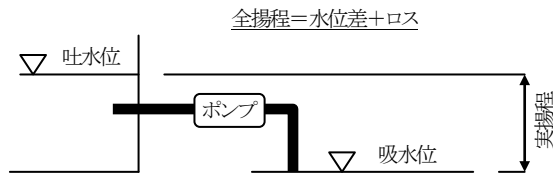


図-3 揚程の概要

排水量は、実績の洪水規模や費用対効果等から勘案して決定する。また、対象地区の用水計画に基づくとともに、年間を通じての揚水量の変動を考慮して決定する。

4. ポンプ形式

ポンプの形式は、軸形式、機種形式、据付形式の組合せから成る。軸形式はポンプの軸の向きを表し、「立軸形」、「横軸形」、「斜軸形」などがある。機種形式には、「軸流形」、「斜流形」、「渦巻形」がある。

軸流形は羽根車から吐き出される水の流れが、ポンプの主軸と同心な円筒面上にあるものであり、簡単に言えば水を軸方向に吐き出す形式である。

斜流形は、吐き出される水の流れが主軸の中心を軸とする円錐面上にあり、これは水を軸に対して斜めに吐き出す形式である。(図-4)

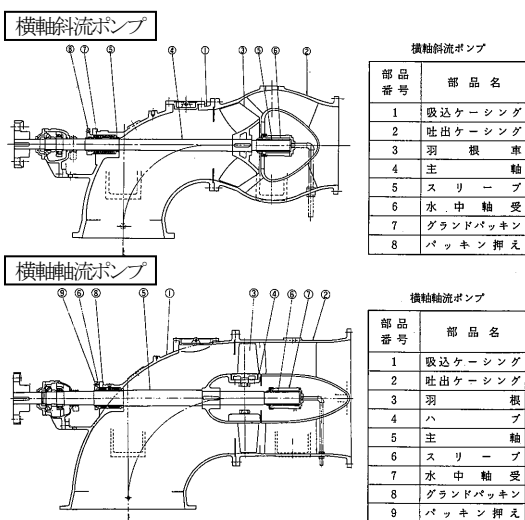


図-4 横軸形ポンプ¹⁾

ポンプ形式の選定にあたっては、揚排水量および揚程から適合する形式を選定する。

設置するポンプの台数は、多ければ流量の変化に柔軟に対応出来るが工事費が高くなる。また、故障に備えた予備機の設置の有無も考慮し、最適なポンプ台数を決定する必要がある。

5. 吸水槽の役割と設計上の留意点

ストローで水を吸い込む場合、蛇口から出た水を直接吸い込むよりは、一旦コップに水を溜めてから吸い込む方が効率がよい。同様に揚排水機場においても、流れの中に直接吸込み管を挿入することはせず、一旦水を溜めて落ち着かせてから吸水する。このように吸水槽は、ストローで水を吸い込む際のコップに該当する施設と言える。

水槽内の流れが落ち着かず渦が発生すると、ポンプが水とともに空気を吸い込んでしまい、故障の原因となる。したがって、吸水槽を設計する際は、渦流が発生しないように以下に留意する必要がある。

- ・ 流速の急激な変化が起こる水路断面積の変化を避ける
- ・ 流れの方向を急に変えるような形状を避ける
- ・ オープン形吸水槽の場合、各主ポンプの間には相互の渦が干渉しないように仕切壁を設ける

6. 吐水槽の役割と設計上の留意点

水の状態を落ち着かせ、ポンプへの悪影響を防止する役割を担っている吸水槽に対し、吐水槽はポンプから吐き出される水による樋門や対岸等への悪影響を防止するための施設である。

吐水槽の設計では、吐水管より吐き出された水が、スムーズに吐水槽内に流れ込むように形状を決定する必要がある。

また、ポンプが急始動や急停止をすると、吐水槽内の水面が上昇・下降の振動を起こし、これをサージングと呼ぶが、吐水槽の天端高はサージング発生時の最高水位以上となるよう設計する。

7. 揚排水機場樋門の設計上の留意点

7.1 函体横断方向の設計

通常の排水樋門では、函渠の横断方向の計算において、各スパンの荷重条件として最も不利となる最大土被り部にて構造計算を実施する。これに対し排水機場樋門では、吐水位相当の内水圧が作用するため、外圧が最小となる断面についても検討する必要がある。また、2連以上の樋門で一部の断面の

みに内水圧が作用し、偏載荷となる場合についても検討する必要がある。(図-5)

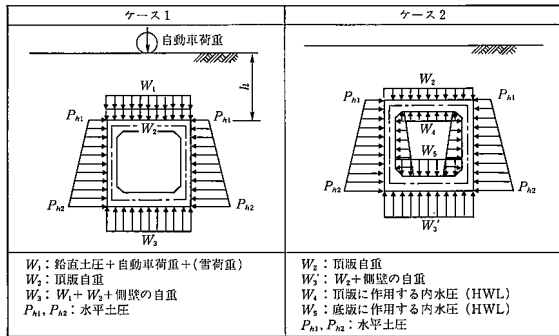


図-5 函体横断方向計算荷重ケース⁴⁾

7.2 キャンバー盛土

キャンバー盛土は、基礎地盤の沈下を許容する柔構造樋門において、予め盛土により函体を上げ越すことで、地盤の沈下に伴う樋門の実質的な沈下量を抑制させるために設置する。

キャンバー盛土を実施する場合、排水樋門や排水機場樋門では、即時沈下量と圧密沈下量の1/2相当のキャンバー盛土を設置する。これに対し、揚水機場では函渠の高止まりによる通水断面阻害とそれに伴う取水障害を防止する必要がある。そのため、キャンバー盛土は、圧密沈下量に比べ推定精度が高い即時沈下量相当とする。

8. 既設揚排水機場の改造設計について

堤防断面の拡幅や計画流量の変更に伴い、既設の揚排水機場の移設や能力アップ等が必要とされた場合の留意点と事例について、以下に記述する。

8.1 排水機場の堤防拡幅時の対策事例

堤内において堤脚付近に工作物を設置する場合には、「2Hルール」に加え、吐水槽を堤防法尻から5メートル以上離す必要がある。(図-6)

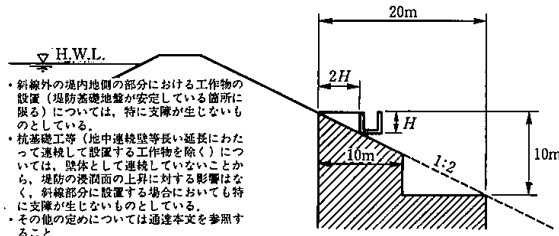


図-6 2Hルール⁵⁾

堤防拡幅等で既存の吐水槽がこれらの条件をクリア出来なくなる場合、工事費が莫大に掛かる全面改築を避け、吐水槽および樋門のみを移設する事例

がある。(図-7)吐水槽と樋門を移設する場合、ポンプから河川までの延長が伸び、増設前よりもロスが増加する。そのため、増設後の揚程が既存のポンプの揚程以下であるか確認が必要となる。

揚程がポンプ性能以上となる場合は、原動機出力の見直し、或いは樋門断面の見直し等の対策が考えられ、経済性、施工性等から最適と判断される対策を選定することとなる。

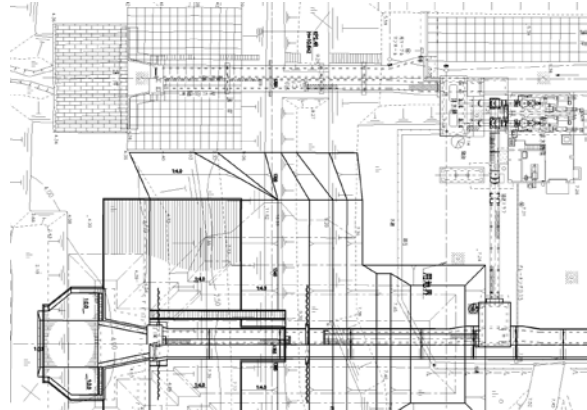


図-7 排水樋門及び吐水槽の移設事例

8.2 揚水機場の取水水位低下対策事例

浚渫工事などの影響で河川の水位が低下すると、揚水機場で取水障害が発生する。吸水槽の敷高を下げることで対応が可能な場合があるが、工事規模が大きいこと、取水期間を避けて施工する必要があり、工期の問題もある。

このような取水障害が発生した揚水機場での対策として、河岸に取水施設を設置し、河岸のポンプで既設の吸水槽に水を供給し、吸水水位を確保した事例があり、以下のメリットがある。(図-8)

- ①現況施設を有効に利用することで、工期短縮、コスト削減、廃棄物減量化を図れる
- ②既設の取水口を余水吐として利用することで、水の過剰供給を防止し安定した取水が可能である
- ③用地買収、堤防開削に伴う仮締切が不要となる

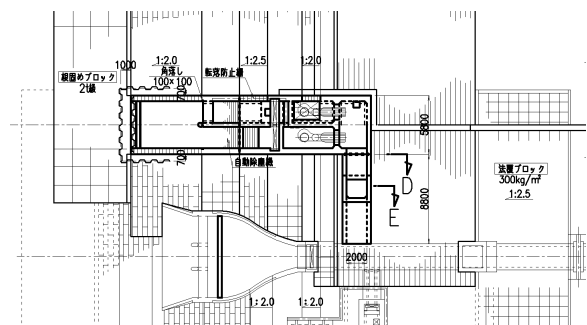


図-8 河岸揚水ポンプ設置事例

9. ポンプ増設に対する留意点

ポンプ設備を増設する場合、既存施設の排水性能に関わる諸条件に影響を及ぼすことがあるため、増設後も既存施設の機能維持が可能であるか確認する必要がある。以下では、ポンプ施設増設による既存施設への影響検討について記述する。

9.1 吐水位及び揚程への影響

計画排水量の変更によりポンプを増設する際に、増設後も増設前と同じ樋門から排水する場合、樋門の断面が変わらずに排水量が増加するため、樋門内の流速が早まり、樋門内の摩擦によるロスが大きくなる。

下流側のロスの増加は上流側水位に影響し、この場合、吐水位がポンプ増設前よりも上昇する。そのため吐水位と吸水水位の差、即ち揚程が大きくなる。

9.2 既存施設への影響

前述の通り、揚程の変化はポンプ性能の負荷要因に直結するため、ポンプ増設後の既設ポンプへの影響を確認し、必要に応じて原動機出力の見直し等の対策を講じる。

また、吐水位の上昇に対しては、計画流量増加に伴うロスを見込んだ吐水位からサージングの検討を行い、吐水槽天端高や水位上昇に伴う内水圧の増加に対する構造耐力に問題がないかを確認する必要がある。

10 建築確認申請について

揚排水機場では、土木工事である吸水槽および地中梁の上部に建築工事の上屋が設置されるため、これらは上屋の基礎と言う位置づけとなり、建築確認が必要とされる。

対象となる構造物は、建築基準法で定める許容応力度を満足することや、上屋から土木躯体への伝達荷重を確実に構造計算で反映されることなどが要件となる。

以下、揚排水機場の建築確認への対応の中で、各部の構造計算で配慮すべき事項について記述する。

10.1 地中梁の設計

揚排水機場の地中梁は、吸水槽と分離して建築構造として設計を行うことが多いが、地中梁の工事を吸水槽工事と同時期に実施するなどの理由で、基礎杭も含め土木構造物として設計する場合があ

る。このような場合、上屋からの伝達荷重を考慮するとともに、荷重の考え方について建築の手法を取り入れた構造解析が必要である。

また、土木施設としての地中梁設計仕様は、常時および耐震レベル1対応であるため、通常は許容応力度法で設計する。対して上部構造(上屋)は保有水平耐力法を用いたレベル2の設計を行うため、土木手法による許容応力度設計法とともに、地中梁を建築側のモデルとして一貫計算プログラムに取り込み、建築基準法を満足しているかの確認を行う等の対応が考えられる。

10.2 基礎杭の設計

基礎杭の設計は、計算手法において土木分野と建築分野とで解釈の相違がある場合、土木分野の手法と建築分野の手法の両方を行い、安全性を確認することになる。

この際、土木の手法では吸水槽の満水時を長期(常時)として計算するが、建築の手法では満水状態は災害時の極めて短期間と捉えるため、建築手法による杭の検証計算に対する荷重ケースを以下のように変更するなどの対応が必要となる。

- 長期 : 非災害時における空水状態
- 短期 : 地震動発生時(空水状態)

11. おわりに

平成 19 年に建築基準法が改正され土木構造部の建築確認が必要となった。建築確認では、建築構造計算と土木構造計算が連動していないため、建築構造計算に変更が生じる度に、伝達荷重を修正し設計計算書を作成し直す必要があるなど、多大な労力と時間を要した事例がある。

今後は、土木構造物を対象とした建築確認申請の在り方や法整備についての行政の柔軟な対応に期待するとともに、構造計算の効率化、マニュアル化が課題である。

参考文献

- 1) 揚排水ポンプ設備設計指針(案): (社)河川ポンプ施設技術協会
- 2) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「ポンプ場」
:(社)農業土木学会
- 3) 建築基礎構造設計指針: 日本建築学会
- 4) 柔構造樋門設計の手引き: (財)国土開発技術研究センター
- 5) 河川管理施設等構造令: (財)国土開発技術研究センター