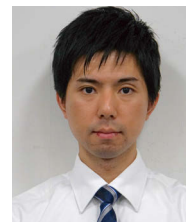


水害時の沈殿機能確保に資する 耐水型汚泥ポンプ設備に関する 共同研究

研究第二部 研究員
高瀬 遼介



1 研究概要

近年、気候変動の影響と考えられる豪雨災害が頻発しており、令和元年東日本台風や令和2年7月豪雨においては、下水道施設そのものが河川氾濫や内水氾濫に見舞われ、設備の水没等により施設が機能停止に陥るなどの課題が浮き彫りとなり、耐水化対策が急務となっています。令和2年に国土交通省に設置された「気候変動を踏まえた都市浸水対策に関する検討会」では、段階的な耐水化対策の進め方が明示されており、耐水化対策により5年程度で受変電設備やポンプ設備等の揚水機能を確保し、10年程度で余剰汚泥ポンプ等の沈殿機能を確保する旨が提言されました。

本研究は、水没しても運転可能な耐水型ポンプを中心とした汚泥ポンプ設備の耐水化を沈殿機能確保のための一手法と位置づけ、その適用範囲や要求性能のほか、設計から維持管理等の各段階における手順や留意点等を検討し、耐水型汚泥ポンプ設備を導入するために必要な措置等を取りまとめました。

2 研究体制

2.1 研究体制

新明和工業(株), 太平洋機工(株), ラサ商事(株), (公財) 日本下水道新技術機構

2.2 研究期間

令和4年1月～令和5年9月

3 研究内容

本研究では、浸水時においても継続的に汚泥ポンプを運転させるために必要な各種設備を抽出し、その機能と耐水化の手法を調査・検討しました。その上で、各下水処理施設の状況に応じた耐水化対策手法を提示し、現状に合わせた効率的な汚泥ポンプ耐水化の手順を体系化しました。

4 研究結果

4.1 汚泥ポンプ設備の概要

本研究で対象となる各種汚泥ポンプ設備について、その概要と耐水化手法の有無等を調査しました。浸水時での汚泥ポンプの運転に必要な、耐水化の対象となる汚泥ポンプ設備を図-1に示しています。対象となる設備は、汚泥ポンプ本体、配管機材、計測機器、電気系統設備に大別され、各種機器における浸水時の動作状況と、その耐水化手法を検討しました。

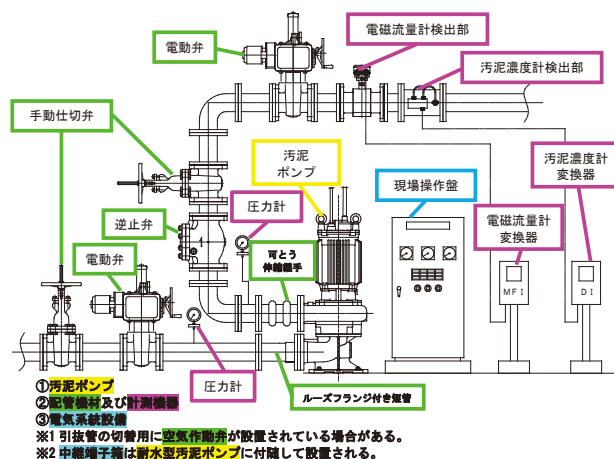


図-1 一般的な汚泥ポンプ設備の概要図

4.1.1 耐水型汚泥ポンプについて

一般的に汚泥ポンプとして使用されている陸上汚泥ポンプは、浸水によりモーター部に水が達すると、短絡等により運転不能となります。また、破損に至らずとも、モーターおよびポンプの軸受といった箇所における発錆等のリスクが高まり、不具合の発生確率が増加するため、浸水後はポンプ部を含め分解整備を行い、内部乾燥や軸受の交換が必要です。一方、耐水型汚泥ポンプは、陸上汚泥ポンプと同等の送水性能を備え、耐水モーター（水中・気中とも連続運転可能なモーター）を一体型としたポンプです。図-2に示す通り、水中ポンプと基本構造が同様であるため、浸水しても不具合等が発生せず継続して運転が可能となります。また、耐水型汚泥ポンプは、モーター部に冷却機構を備えているため、通常的水中ポンプと違い、気中においても連続して運転が可能です。

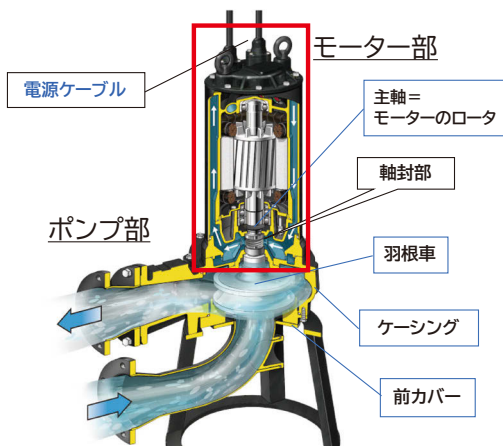


図-2 耐水型汚泥ポンプの概要図

4.1.2 配管機材、計測機器、電気系統設備について

配管機材、計測機器、電気系統設備について、各機器の耐水化の可能性を、メーカーヒアリングを基に表-1として整理しました。

本研究においては、IP68対応の製品を導入することで耐水化が可能としていますが、IP68の試験条件はメーカーおよび製品によって異なるため、浸水シミュレーション等により把握している想定浸水深、浸水時間を考慮して、更新する製品がそれに耐え得る性能を有することをメーカーに確認する必要があります。また、高所移設に関しては、あらかじめ対策をする対象外力を設定した上で、浸水シミュレーションを行い、想定される浸水深より高所に設置することが要求されます。圧力計については、IP68対応の製品がなく、また機器の性質上、ポンプの近傍に設置されるため高所移設ができず、耐水化が困難です。ただし、圧力計が浸水、破損しても汚泥ポンプ自体は運転可能であるため、本研究においては、圧力計の耐水化を考慮しないこととしています。

4.2 汚泥ポンプ設備耐水化計画の検討

4.2.1 耐水化計画の概要

本研究では、汚泥ポンプ設備の耐水化を検討する際の手順を図-3のように設定しました。

表-1 耐水化対策一覧

【汚泥ポンプ設備各種機器の耐水化対応一覧】

| 機器名称 | 耐水化対応 |
|----------|----------------------------|
| 手動仕切弁 | 市販標準品が耐水性あり |
| 逆止弁 | 市販標準品が耐水性あり |
| 電動弁 | IP68対応製品あり |
| 空気作動弁 | IP68対応製品なし・耐水化手法は高所設置のみ |
| 圧力計 | IP68対応品なし・高所設置不可 |
| 電磁流量計検出部 | IP68対応製品あり |
| 電磁流量計変換器 | IP68対応製品なし・IP68対応筐体に格納 |
| 汚泥濃度計検出部 | IP68対応製品なし・耐水化手法は高所設置のみ |
| 汚泥濃度計変換器 | IP68対応製品なし・IP68対応筐体に格納 |
| 現場操作盤 | IP68対応製品・筐体なし・耐水化手法は高所設置のみ |
| 中継端子箱 | IP68対応筐体あり |

IP68

JIS C 0920において「潜水状態での使用に対して保護する」と規定されている規格

試験条件は、IP67（水深0.15~1m・30分）より厳しい条件の浸水・時間

- IP68対応による防水化可能
- 高所設置による耐水化
- 耐水化困難

4.2.2 基礎調査

基礎調査においては、ストックマネジメント事業計画や、施設全体の耐水化計画等の上位計画を収集・整理し、対策の対象となる外力、浸水時における水処理機能や汚泥処理機能の有無等を確認します。

4.2.3 方針検討

基礎調査で把握した情報を基に、図-4に示す耐水型汚泥ポンプの導入パターンを定めます。本研究では、改築・更新時に、沈殿機能の確保を優先し、初沈汚泥ポンプのみを耐水化するパターンと、必要に応じて余剰汚泥ポンプも耐水化するパターンを想定し、新設時には、沈殿機能の確保に加えて、浸水時においても水処理機能が維持されている場合を考慮し、水処理機能の確保に資する返送汚泥ポンプの耐水化も含めた

導入パターンを想定しました。

また、基礎調査によって対象の汚泥ポンプ設備の現状を把握し、現状の浸水対策レベルを参照して、目標とする浸水対策レベル（表-2参照）を決定し、そのレベルに達するために必要な措置を取りまとめ、汚泥ポンプ設備耐水化計画の方針とします。

4.2.4 諸元整理

策定した方針に基づいて、各種設備に必要な性能の諸元を定めます。本研究では、各種汚泥ポンプ設備の耐水化状況に応じた浸水対策レベルを設定し、各レベルで必要な対応を表-2にまとめました。本研究においては、各種弁が開状態である等の一定の条件では浸水時においても汚泥ポンプの運転が期待でき、沈殿機能の確保を見込むことが可能となる、浸水対策レベル3以上を目標とし、施設の状況に応じてそれ以上のレベルを目標とするように定めています。

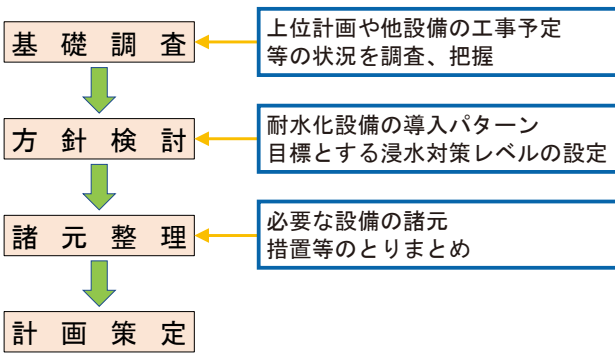


図-3 汚泥ポンプ設備耐水化計画策定フロー

| | | 要求機能 | 対象施設 | 対象汚泥ポンプ |
|-------|-------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 改築・更新 | パターン1 | 沈殿機能の確保 | 最初沈殿池 | 初沈汚泥ポンプ |
| | パターン2 | 沈殿機能の確保 | 最初沈殿池 最終沈殿池 | 初沈汚泥ポンプ 余剰汚泥ポンプ |
| 主に新設 | パターン3 | 沈殿機能の確保 水処理機能の確保 | 最初沈殿池 反応タンク 最終沈殿池 | 初沈汚泥ポンプ 返送汚泥ポンプ 余剰汚泥ポンプ |

図-4 耐水型汚泥ポンプの導入パターン

表-2 浸水対策レベル一覧

| 浸水対策レベル表 | | ポンプ | 電気系統 | | 弁類 | | | | 計測機器 | | | | 床排水用 水中ポンプ | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | 中継端子箱 | 現場操作盤 | 手動弁 逆止弁 | 電動弁 | 空気 作動弁 | 空気 圧縮機 | 検出器 | | 変換器 | | | |
| 浸水時運転状況 | | 汚泥ポンプ | | | | | | | 電磁 流量計 検出部 | 汚泥 濃度計 検出部 | 電磁 流量計 変換器 | 汚泥 濃度計 変換器 | 床排水用 水中ポンプ | |
| 既設 の 改築 ・ 更新 | レベル1 | ◆汚泥ポンプ運転不能 | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 既設 | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 中継端子箱 現場操作盤 耐水化 | |
| | | 浸水時の動作・状況: | × | × | × | ○ | × | × | × | × | × | × | ○ | |
| | レベル2 | ◆汚泥ポンプ運転不能 (早期復旧可能) | 耐水型 | 高所設置 または IP68対応 | 耐水性なし | 既設 | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 中継端子箱 現場操作盤 耐水化 | |
| | | 浸水時の動作・状況: | ○ | ○ | × | ○ | × | × | × | × | × | × | × | ○ |
| | レベル3 | ◆汚泥ポンプ運転可能 (手動操作) | 耐水型 | 高所設置 または IP68対応 | 耐水性なし 浸水時の 回路切断 | 既設 | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 中継端子箱 現場操作盤 耐水化 | |
| | | 浸水時の動作・状況: | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × | ○ |
| レベル4 | ◆汚泥ポンプ運転可能 (電動弁遠隔操作) | 耐水型 | 高所設置 または IP68対応 | 耐水性なし 浸水時の 回路切断 | 既設 | IP68 対応製品 | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 耐水性なし | 中継端子箱 現場操作盤 耐水化 | |
| | 水時の動作・状況: | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | ○ | |
| レベル5 | ◆汚泥ポンプ運転可能 (条件付き自動運転) | 耐水型 | 高所設置 または IP68対応 | 耐水性なし 浸水時の 回路切断 | 既設 | IP68 対応製品 | 耐水性なし | 耐水性なし | 高所設置 または IP68対応 | 高所設置 または IP68対応 | 高所設置 または IP68対応 | 高所設置 または IP68対応 | 中継端子箱 現場操作盤 耐水化 | |
| | 浸水時の動作・状況: | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 新設 | レベル6 | ◆汚泥ポンプ運転可能 (平時と同等の運転) | 耐水型 | IP68対応 | 高所設置 浸水時の 回路切断 | 市販 標準製品 | IP68 対応製品 | 高所設置 | 高所設置 | 高所設置 または IP68対応 | 高所設置 または IP68対応 | 高所設置 または IP68対応 | 高所設置 または IP68対応 | 中継端子箱 現場操作盤 耐水化 |
| | | 浸水時の動作・状況: | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

4.3 汚泥ポンプ設備耐水化設計の検討

4.3.1 設計の概要

策定した汚泥ポンプ設備耐水化計画で決定された導入パターンおよび目標とする浸水対策レベルに基づき、各種設備の耐水化について図-5に示すフローに基づいて検討・設計します。ポンプ設備の基本的な設計手法については「揚排水ポンプ設備技術基準・同解説 令和2年1月」（一般社団法人 河川ポンプ施設技術協会）」等を参照するものとし、本研究では特に耐水化対策に必要な検討項目について検討しました。

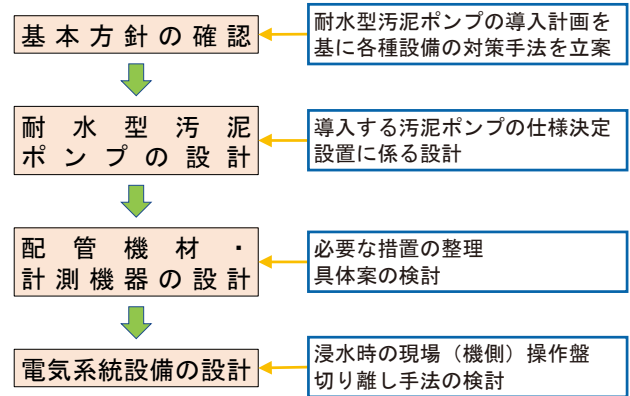


図-5 耐水型汚泥ポンプ設備の設計手順（例）

4.3.2 基本方針の確認

汚泥ポンプ設備の耐水化に際しては、耐水化のために必要な措置について、目標とする浸水対策レベルを踏まえ、ポンプ設備の現状に合わせ、表-1を参照するなどして機器ごとに取りまとめます。現場（機側）操作盤は、その構造上、IP68対応による耐水化ができず、耐水化が困難であるため、浸水深が現場（機側）操作盤に達する前に、現場（機側）操作盤の回路を汚泥ポンプ設備から切断し、汚泥ポンプ設備全体の電気系統設備を保護することが、汚泥ポンプ設備全体の耐水化対策として有効です。その上で、汚泥ポンプの制御は電気室から操作できるように回路を切り替えることが必要です。回路切断については、図-6に示すように、管廊またはポンプ室に浸水を検知する水位計を設置する等の措置をとり、浸水を検知し自動的に回路を切り替える機構を構築することで、人為的ミスやポンプ室への立ち入りによる二次被害を防止することができます。

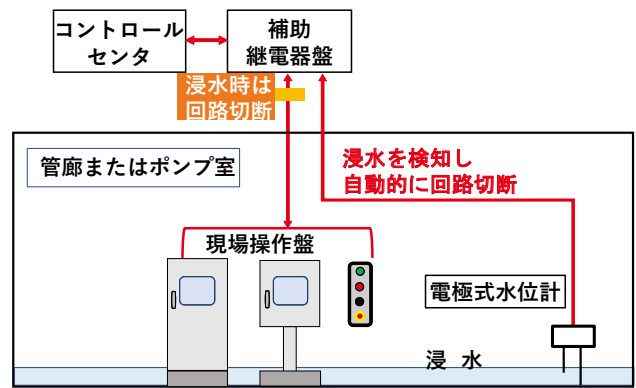


図-6 回路自動切替機構の例

4.3.3 耐水型汚泥ポンプの設計

耐水型汚泥ポンプの導入に際しては、特に既設の陸上ポンプからの更新時において、主要な駆動方式、据付方式の違いに注意します。また、耐水型汚泥ポンプの冷却方式について、導入する汚泥ポンプ設備の状況に合わせた選定が必要となります。

(1) 駆動方式

汚泥ポンプを更新する際、他の設備への影響を低減するため、可能な限り既設と同等のポンプ・モーター仕様とすることが望ましいと考えられます。しかし、Vベルト駆動が主流の陸上ポンプから、水中ポンプと

同じ直結駆動型の耐水型汚泥ポンプへ更新する際は、その駆動方式の違いにより送水性能に差異が生じます。したがって、モーター性能や羽根車寸法を調整する、必要に応じてインバータ（VVVF）を導入する等の措置を講じます。

(2) 据付方式

据付方式について、陸上ポンプは横型据付ですが、耐水型汚泥ポンプは立型据付が主流です。立型据付は重心が高くなり、陸上ポンプに対し吸込口、吐出口の位置に差異が生じるため、より強固な基礎の構築や、配管の変更が必要となります。

(3) 冷却方式

耐水型汚泥ポンプは自然冷却（空冷）式、内部（循環）冷却式、強制冷却式という3種類の冷却方式があり、それぞれに特徴があります。各冷却方式の概要を表-3にまとめました。

表-3 冷却方式一覧

| 名称 | 自然冷却（空冷）式 | 内部（循環）冷却式 | 強制冷却式 |
|-----|---|--|--|
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"> • 空気中に放熱 • 構造自体の大型化や冷却フィン部の突出 • 質量や体積が大きい • 冷却液不要 • 整備性に優れる | <ul style="list-style-type: none"> • 内部の冷却水路で冷却 • 熱は揚液に放熱 • 環境を問わず冷却可能 • 冷却液としてオイルまたはクーラント液 • 冷却液の定期的な交換が必要 | <ul style="list-style-type: none"> • 内部の冷却水路で冷却 • 揚液を冷却液として使用 • 冷却効率は安定して高い • 揚液中のきょう雑物で水路が閉塞する可能性あり • 返送汚泥、余剰汚泥の送泥に限り適用可能 |
| 概略図 | | | |

4.3.4 電気系統設備の設計

汚泥ポンプ設備の浸水対策には、電気系統設備の耐水化が不可欠であるため、各浸水対策レベルに応じて電気系統設備を更新します。

(1) 浸水対策レベル3・4

浸水対策レベル3・4では、浸水の危険性がある現場（機側）操作盤と管廊またはポンプ室内の電気系統設備を、必要に応じて汚泥ポンプ設備から切り離し、電気室から汚泥ポンプを制御することが可能となるように改造します。電気室側での手動での切断手段に加え、図-6に示しているような、管廊またはポンプ室に電極式水位計、フロートスイッチを設置し、連動させることで浸水を検知したときに自動的に回路が切断される機構を組み込みます。

(2) 浸水対策レベル5・6

浸水対策レベル5・6では、現場（機側）操作盤自体に耐水性を付与します。IP68対応による防水化は困難であるため、高所設置によって耐水化します。その際、汚泥ポンプ近傍での操作を可能とするため、IP68対応のスイッチボックスを増設し、維持管理性を確保することが望ましいと考えられます。

5 まとめ

本研究は、「下水道施設の耐水化計画および対策立案に関する手引き 2021年3月」（公益財団法人 日本下水道新技術機構）で提示されている、各種下水処理施設における耐水化メニューのさらなる拡充を目指して行ったものです。本研究の成果が各地方自治体における下水処理施設の耐水化対策としての止水板や防護壁設置などと並ぶ手法として活用され、汚泥ポンプ設備の耐水化がさらに推進されることを期待します。