

ポンプ吸込水槽の高流速化設計における水理挙動の検討

独立行政法人土木研究所 ○正会員 山本 幸広
同 上 正会員 吉田 正

1. はじめに

揚排水機場は設備の機能や信頼性の確保とともに、設備の簡易化、メンテナンスフリー化、低コスト化が求められており、このため小中規模の排水機場については、標準的な構造や寸法が定められ設計コストの縮減が図られている。この標準的な構造では、流入水路から水を低速で引き込み、一旦水槽に溜めた後にポンプで吸い上げる形になっている。そのため、大きな水槽が必要となり、吸水槽の寸法が揚排水機場の建屋など土木構造物の敷地面積に大きく影響している。しかし、最近では揚排水機場の建設用地の取得が困難になりつつあり、効率的な構造に改修して限られた敷地面積で大きな吸込容量を発揮させることが求められている。とりわけポンプ吸込水槽について、省スペースで高流速化が可能な水路形状の開発が強く望まれている。高流速化においては、振動・騒音の発生やポンプ性能の低下につながる有害な渦の発生を防止し、寸法精度や設計・施工上の課題を整理する必要がある。

このため、小・中規模の排水機場における吸込水槽形状の小型化を新たに提案し、模型実験等により有害な渦の発生など水理特性を明らかにするための研究を実施し、高流速化吸込水槽の標準寸法を提案した。これらの成果により、単機排水能力 $10\text{m}^3/\text{s}$ 以下の揚排水ポンプ設備において、吸水槽内流速を従来より 30%程度早くしても渦の発生しない吸水槽の寸法・水深が規定され、平成 13 年 2 月に発行された揚排水ポンプ設備設計指針(案)に反映された。

本報告では、吸込水槽高流速化の概略と高流速化における水理挙動の検討について紹介する。

2. 吸込水槽の高流速化

2-1 概念 図-1 に小・中規模の排水機場における高流速化の概念をしめす。揚排水機場の高流速化は図-2 に示すポンプ入口部流速 V_2 および呑口部流速 V_1 の高速化を図るものである。これにより旧基準の水槽と同等の揚排水機場と同等の揚排水量を確保しつつ吸水槽の縮小化が可能となり、吸込水槽建設時の掘削土量やコンクリート打設量の縮減が可能となる。しかし、ポンプ入口部流速 V_2 とポンプ吸込流速 V_p のバランスが悪いと、キャビテーション等によりポンプ効率は低下する。このため、模型実験等により吸込水槽の形状ごとに渦発生状況の確認および流路各寸法の最適化を行う必要がある。

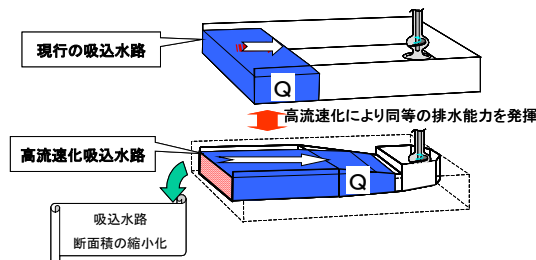


図-1 高流速化の概念

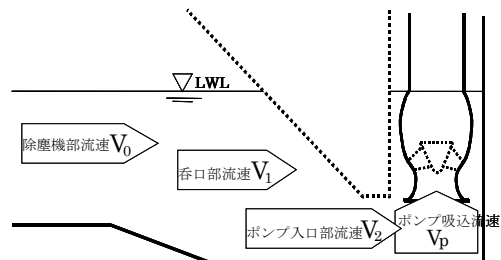


図-2 流路の構造と各部の流速

2-2 適用範囲 高流速化吸込水槽の標準化検討範囲は、従来基準と同様にポンプ口径 $2,000\text{mm}$ 以下の範囲を検討する。また、流路高流速化の対象は、除塵機からポンプ入口までとした。

2-3 基本構造の検討 表-1 に提案した高流速化吸込水槽の基本形状を示す。(1)オープン形：従来基準におけるオープン形吸込水槽の計画吐出量においては $V_1=0.3\text{m/s}$ としていたが、従来形状における予備的なモデル水槽実験を行ったところ $V_1=0.4\text{m/s}$ において空気吸込渦が発生した。このため高流速化にあたって、従来の中小型の水槽形状に、水面からの空気吸込渦を防止するための突っ込み整流板、壁面からの水中渦を防止するための整流板で底面には十字型になったものを加えた水槽形状を提案した。

(2)セミクローズ形：これまでに大規模排水機場で高流速化されている事例は、いずれも渦発生防止策として流路内の自由表面をなくして水流全てを拘束するクローズ形の吸込水路となっている。クローズ形は水流の抑制力や渦発生防止能力が高い反面、複雑な形状であるために二次コンクリートや鋼製の構造物が採用されるためにコスト面・工程面・メンテナンス面で課題が残る。そこで、二次コンクリートの施工量を極力抑える形状、また土木構

表-1 吊下げポンプによる高流速化吸込水槽の基本構造

ピット形状	オープン形	セミクローズ形
概略形状		

キーワード：吸水槽、渦判定、水中渦、空気吸込渦、排水機場

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 Tel 029-879-6757 Fax:029-879-6732 E-mail:yamamoto@pwri.go.jp

造物と機械設備の設計施工領域を分けて、一般的に用いられている吊り下げ式の立軸ポンプを使用する形状を基本構造として、クローズ形吸込水路の水流抑制力が効果的な部分を参考に、より水量の拘束が可能なオープン形吸水槽としてセミクローズ形を提案した。

3. 検証実験

3-1 模型試験設備 吸込水槽の模型試験は、日本機械学会基準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」JSME S004-1984 に準拠して実施する。一般的な試験装置例を図-3 に示す。試験設備は、測定中水位が一定に保たれ、必要に応じて水位を上下できることが望まれる。図-3 に示す例は吸込管から吸い上げた水量を水槽の上流に回す回流式となっているが、これは水位を一定に保つのが容易であることから広く用いられており、今回もこの方式を採用する。

3-2 実験条件とパラメータ パラメータ振り分けは一例としてオープン形式について表-2 に示す通りとした。パターン数削減のため実験は限界が判断できるまで行い、余裕があると見なせる実験項目は省略してもよいものとした。

3-3 渦発生検証試験 空気吸込渦試験は、最も渦を発生しやすい最低水位まで実験を行い、しかも同じ水位でも最大流量付近まで試験を行い、それぞれの水槽形状において、目標流速までの試験を行う。また水中渦も基本的には最低水位、最大流量で試験を行う。但し、水面の波立ちが激しくなることが予想される場合や、流速を実物と一致させることで空気吸込渦が生じてしまう場合は、必要に応じて自由表面にふたをするか、水位を上げて試験を行う。これは水中渦の発生にはベルマウス近傍の流れが支配的に影響し、水面付近の流れはあまり影響しないことによる。渦の観察は、いずれも一つの条件に対して2分間目視観察し、その渦の発生回数も調べる。

試験結果の判定は、吸水槽の模型試験により発生する渦の形態を確認して行う。排水ポンプは最小没水深さでの運転が短時間であり、多少の空気混入は許されるので、空気吸込渦は、断続渦5回/2分以下を許容する。水中渦は振動、騒音の原因になることが予想されるため許容しない。ただし水中に混入した空気が糸状に連なった程度のもので渦の中心に空洞部の見られないものは許容する。

4. 実験結果

実験結果の一例としてオープン形における結果を表-3 に示す。実験結果に基づき標準化を行う高流速吸込水槽寸法諸元を決定した。

5. まとめ

揚排水機場の小型化によるコスト縮減を目標として、従来基準より高流速化したポンプ吸込水槽を新たに提案し、有害な渦の発生や効率低下がどの程度起こるかを調査するために、模型実験等によりポンプ吸込水槽における水理特性を明らかにした。その結果から、ポンプ口径 2000mm 以下の中・小型の揚排水機場において、オープン形、セミクローズ形からなる高流速化吸込水槽の形状及び寸法の標準化案をとりまとめ、揚排水ポンプ設備設計指針(案)の改訂版に反映された。

参考文献

- (1) 日本機械学会, ポンプ吸込水槽の模型試験法, 日本機械学会基準 JSME S 004 (1984.1)
- (2) 河川ポンプ施設技術協会, 揚排水ポンプ設備設計指針(案)同解説

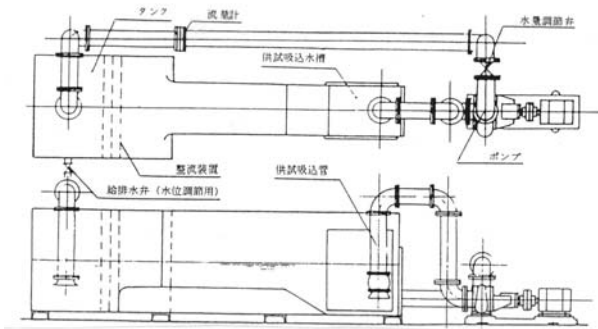


図-3 一般的な吸込水槽模型試験設備の例

表-2 高流速オープン形式の実験パラメータ

(1) 基本寸法決定(3×2×3×1=18パターン)

項目	パラメータ	目的
(1)	水路幅 W	2.7D、2.4D、2.2D 有効な水路幅決定
(2)	ボトムクリアランス C	0.5D、0.75D 水中渦対応
(3)	没水深さ S	1.50D、1.25D、1.0D 限界値確認
(4)	背面間隔 F	1.1D、0.85D* (*従来水槽との関係から不採用)
略図		

- (2) 渦流防止対策(6 ケース×水位 3=18パターン)
- (3) マウンドの影響(7 ケース×水位 3=21パターン)
- (4) バッフルのズレ(3 ケース)

表-3 各パラメータ結果一覧表(高流速オープン形)

パラメータ	実験結果
水路幅 W	マウンドがない場合であれば、W=2.4D まで縮小可能であるが、マウンド設置した場合は更に高流速となるため W=2.7D まで縮小可能となる。またマウンドがない場合は W=2.7D、2.4D を比較するとポンプ最大流量に対し、W=2.7D では 20% 程度の余裕があるが、W=2.4D では余裕はなくなる。マウンド付きでは W=2.4D は渦が発生するため W=2.7D とする。
ボトムクリアランス C	C=0.5D まで縮小可能である。ただしポンプ最大流量に対する余裕は少なく、C=0.75D にくれば、20% 程度渦発生限界流速が低下する。またポンプ性能へ影響が出やすいことから C=0.75D とする。
バッククリアランス F	F=0.85D では、ポンプと吸水槽後壁のクリアランスから後壁縦整流板が設置できず、水中渦が発生する。よってその水中渦対策が可能な F=1.1D とする。
渦流防止対策	空気吸込渦に対しては、突込整流板が有効である。その時、水面から 0.3D 没水させることが有効である。また水中渦に対しては底面・後壁縦整流板が渦抑制に効果があり、その断面形状を台形とすることが必要である。また後壁縦整流板は施工性を考慮し、水面から突出させた形状とする。したがって、吸水槽の高流速化を達成するためには、突込整流板と底面・後壁縦整流板を合わせて設置することで空気吸込渦、水中渦の発生を同時に抑制することができ、吸水槽の高流速化が可能となる。
マウンド高さや角度	ポンプ計画流量 (100%Q) 時にマウンド上部の流速は 0.5m/s が限界でその高さは 0.5D で、その時の設置位置は土木掘削量低減の観点から、ポンプ中心から 3D 上流に設置するものとする。また接続勾配は 30° とする。
没水深さ S	マウンドを設置した場合を考慮すれば、没水深さ S=1.5D としなければ計画最大流量 (130%Q) を満足しない。したがって S=1.5D とする。
バッフルのずれ量	水路幅に対して、7.5% 以内の施工時のずれであれば渦発生に対しては影響はない。