

小・中規模の揚排水機場における建設コスト縮減のための流路高流速化

村松敏光* 持丸修一** 水上紀明***

1. まえがき

揚排水機場は設備の機能と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いる。このため小・中規模の揚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水槽に吊り下げられた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、揚排水機場の用地もポンプ自体に比べ比較的広いものとなっている。

しかし、最近では揚排水機場の建設用地の取得が困難である。このため小・中規模の揚排水機場においてもより効率的な構造とし、限られた敷地面積で大きな容量とすることが求められている。

一方、標準的な構造・寸法の定められない大型の揚排水機場では、水槽からポンプまでの水の流れを高速化することによって土木構造物の規模を縮小する取組みがなされている。この流速の高速化（以下、高流速化と言う）を小・中規模の揚排水機場に適用することが考えられるが、高流速化においては、有害な渦の発生防止や寸法精度等の設計・施工上の課題を整理する必要がある。しかし、小・中規模の揚排水機場においては、高流速化に必要な実験やシミュレーションを大規模な揚排水機場と同等レベルまで行うことは現実的でない。

そこで、大規模な揚排水機場で実用化されつつある水槽内の高流速化技術を小・中規模の揚排水機場にも適用し、標準化を図るために技術的課題の整理と標準化の方針案を取りまとめた。

Higher Speed Water Channels to Middle Size Pumping Station for Cost Reduction

2. 揚排水機場の高流速化について

図-1に小・中規模の揚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 の高速化を図ることにより、現行基準の水槽と同等の揚排水量を確保しつつ、水槽（吸水槽）断面積の縮小化を図ることを目的としている。河川等から除塵機に至る引き込み部の流速 V_0 は、流況等から定められるもので、ポンプの特性や揚排水機場建屋とは切り離して検討できるので、ここでは対象とはしていない。

揚排水機場の水槽断面積の縮小によって、掘削土量やコンクリートボリュームの削減が図られる。また、ポンプ入口部流速 V_2 の高速化によって

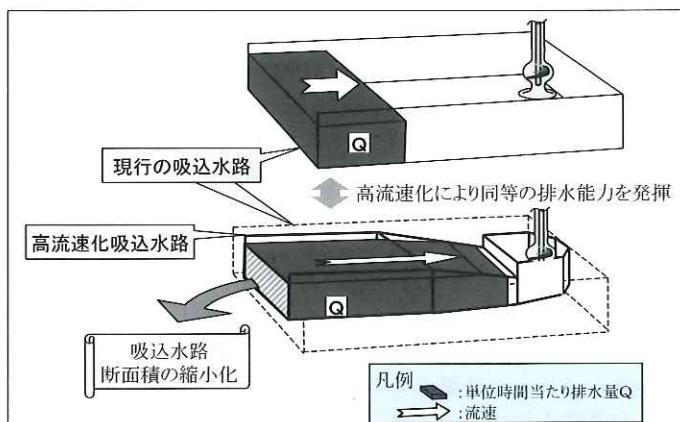


図-1 高流速化の概念

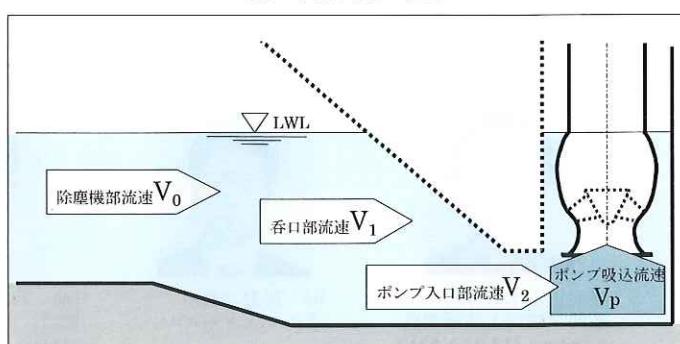
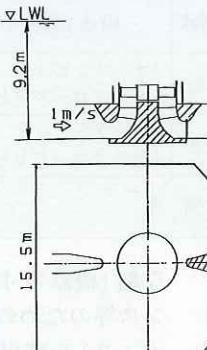
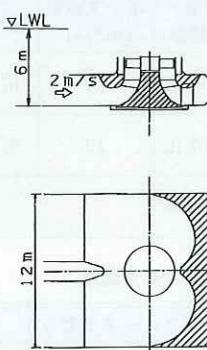
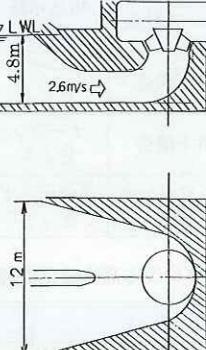


図-2 流路の構造と各部の流速

表-1 大規模揚排水機場 ($50\text{m}^3/\text{s}$) における高流速化事例

	低流速の事例	高流速化事例1	高流速化事例2	米国工兵隊標準
概略形状 概略寸法 (ハッキング: 二次コンクリート)				
吸込水路*	広い (100%)	狭い (77%)	狭い (77%)	最も狭い (62%)
底盤深さ*	深い (100%)	浅い (65%)	最も浅い (52%)	浅い (65%)

* () 内の数値は低流速事例を 100%とした時の比率を示す。

ポンプ吸込流速 V_p を高速化することができ、ポンプ設備関係の小型・軽量化が図れるため、揚排水機場の建設費の低減効果も大きいと期待されている。

しかし、ポンプ設備部分での水流の高速化はポンプ効率が低下するため、主原動機の燃料消費量増大および流路・配管各部での摩擦抵抗の増大を招く。また、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、キョビテーションが発生するなど、効率的なポンプの運転が困難になる。このため設計に当たっては、これらの流速を適切に設定する必要がある。また施工面では、流路およびポンプ近傍の土木構造物に高い精度が要求されることなどにも留意する必要がある。

3. 標準構造の検討

高速流路の標準化の検討にあたっては、次の基本方針を設定した。

(1) 適用範囲

流路高流速化の対象は、除塵機からポンプ入口までとする。

(2) 基本構造

現在、我が国や米国の工兵隊標準のように大型の排水機場で高流速化されている事例は、表-1 に

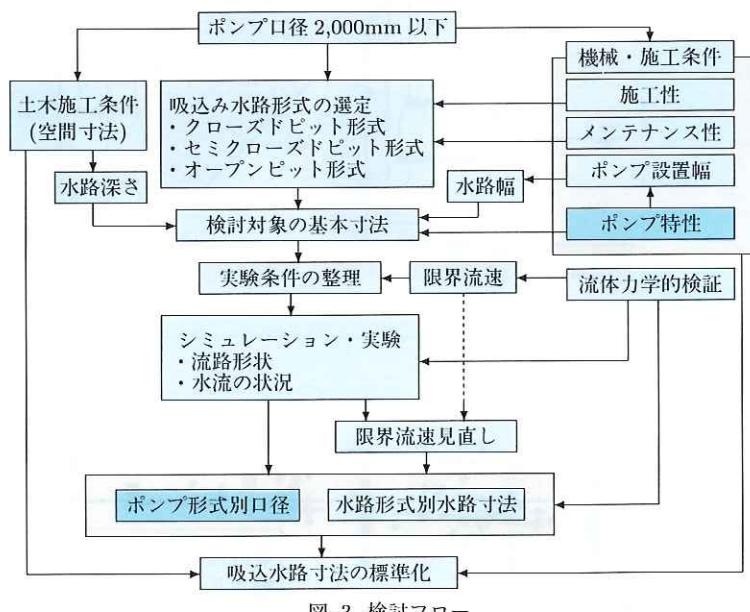


図-3 検討フロー

示すようにいずれもクローズドピット形式となっている。このクローズドピット形式では、二次コンクリート施工量が多くなり、不経済である。また、ポンプ設計を待たなければ土木構造物の基本的な構造が決定できないという問題がある。その際、米国工兵隊標準のように吸込ベント部を鋼構造物で構成することも考えられるが、常時水中に設置されるためメンテナンスに課題が残る。

そこで、土木構造物と機械設備の設計・施工分界点を明確にして設計および構造を単純化とともに、機械設備工事における二次コンクリート

表-2 標準化の範囲と効果

ポンプ口径 (mm)	現行基準				高流速標準化			
	ポンプ容量 (m ³ /s)	ポンプ形式	吸込水路 形状	標準・ 非標準	ポンプ容量 (m ³ /s)	ポンプ形式	吸込水路形状	標準化 の効果
1,800	8	吊下構造	オープン ピット	標準化	10	吊下構造	・オープンピット ・セミクローズドピット	効果あり
2,000	10	吊下構造	オープン ピット	標準化	12	吊下構造	・オープンピット ・セミクローズドピット	効果不明
>2,000	>10	コンクリート 構造	クローズド ピット	非標準		同左		—

表-3 吊下げポンプによる高流速化揚排水機場の基本構造

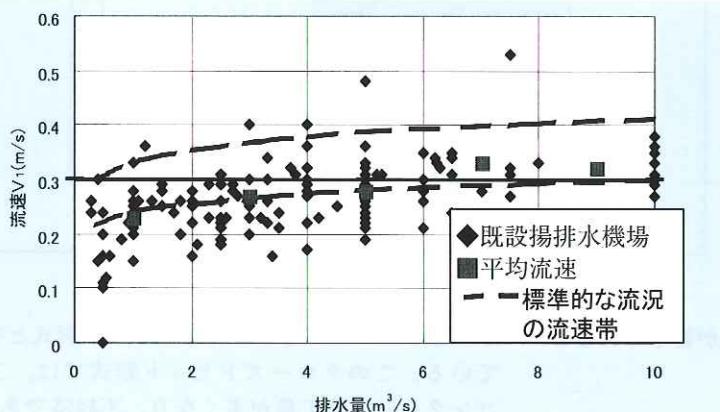
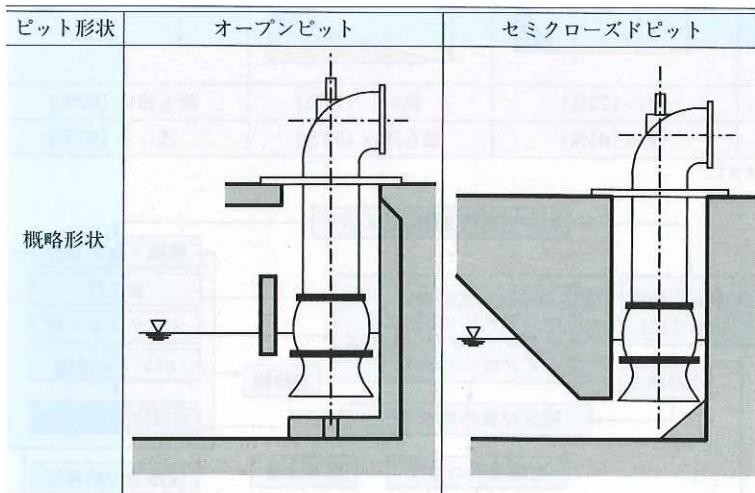


図-4 ポンプ呑み口部の流速

施工量を極力縮小するため、一般的に用いられている吊り下げ形のポンプを利用するオープンピット形式およびセミクローズドピット形式を基本構造として検討する。

(3) 基本寸法

基本寸法として流路の幅は、その上部に設置されるポンプや主原動機といったポンプに付属する機械設備により決定するため、これら設備に必要

な幅（機器の寸法とメンテナンス等のための機器間所要スペース）を確保できる範囲で設定する。設定に当たっては、近年ポンプの主原動機として用いられ始めているガスタービンや小型化されたディーゼルエンジンの利用も反映させる。

また、セミクローズドピット形式では流路の各所に開口部が設けられる。この開口部の最小寸法は施工時の型枠設置作業やコンクリート打設作業を考慮して設定する。

(4) ポンプの高流速化（ポンプの高比速度化）

ポンプ内における高流速化に深く関わる比速度 N_S は、流路の高流速化に対応する範囲で検討する。

(5) 評価指標

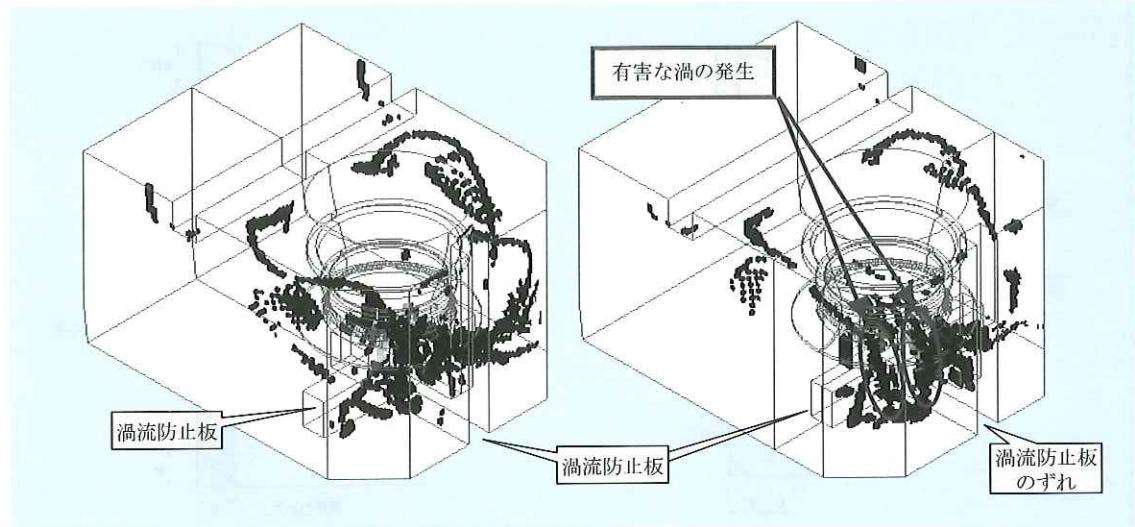
評価指標としては施工性、メンテナンス性、コストとする。施工性は構造物の施工、機械設備の設置などの障害がないことを条件とする。メンテナンス性は5年以内に実施

される点検、維持、修繕を対象とする。コストはポンプなどの機械設備の製作および土木構造物の施工に関わるコストを対象とする。これらに基づく基本的な検討フローは図-3 のとおりである。

4. 検討結果

4.1 適用範囲

高流速吸込水路の標準化検討範囲は、「揚排水ポン



(a) 涡流防止板のずれが無いとき

(b) 涡流防止板がずれているとき

図-5 オープンピットのシミュレーション結果

ポンプ口径 2,000mm における高流速化ポンプの標準化は、今後「揚排水ポンプ設備設計指針(案)」の改定において検討することとする。

4.2 基本構造

ポンプ入口部では、水平な流れを垂直に変更する必要がある。これにより有害な渦が発生すると、ポンプの運転に悪影響を与える。このため吸水槽内の流れに対するシミュレーションを行い、吸水槽の形状を検討した。渦発生防止には、全ての流れを拘束するクローズドピット形式が理想的であるが、前述した理由から設計・施工の容易さを考慮し、ここではオープンピット形式およびより水流の拘束が可能なセミクローズドピット形式で検討する。また、ポンプや吐出配管などポンプ設備関係は高流速化により設備全体を縮小化させるとともに、ポンプは吸水槽形式に合わせ吊り下げ方式とし、これに対応する土木構造については有害な渦発生を防止する工夫を図った。

なお、オープンピット形式の底部に鋼製の吸込流路を構築する方式もあるが、前述したとおりこの方法では防錆等のメンテナンスなどに問題がある。このため、既設機場における排水能力アップなどの個別事業において経済性等を検討した上で、限定的に適用することとし、標準化しないこととした。

4.3 高流速化の限界

ポンプ近傍の水流の条件は、フルード数(相似則により、寸法比の 0.2 乗の流速比になる)に依存するため、大型の揚排水機場で用いられている

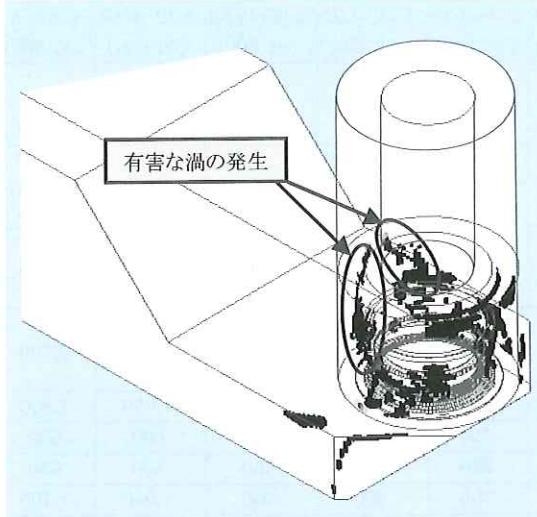
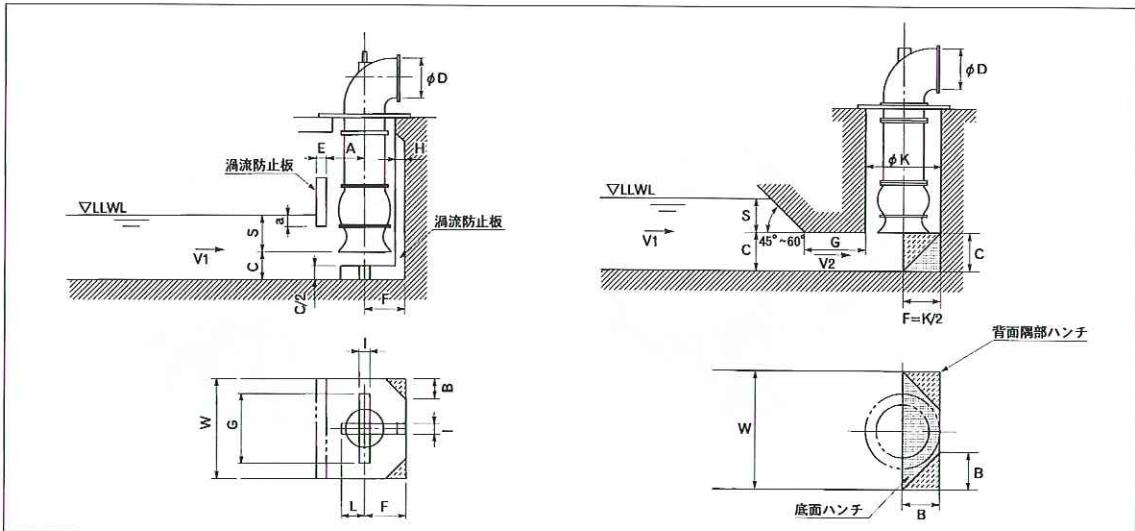


図-6 セミクローズドピットのシミュレーション結果
ポンプ設備設計指針(案)」で標準寸法が規定されているポンプ容量と吸込水路形状の関係を踏まえて整理した。

この基準では、表-2 に示すようにポンプの吐出量 $10m^3/s$ までを標準化している。これに対応するポンプは口径 2,000mm までで、流路はオープンピット形式とされているので、今回はポンプ口径 2,000mm 以下の範囲を検討する。ただし、ポンプ口径 2,000mm については、その高流速化の得失に不明な点が多いため、その標準化は今後の検討課題とした。

従って、今回の高流速化ポンプの標準化範囲はポンプ口径 1,800mm 以下の部分とした。なお、



(a) オープンピット

(b) セミクローズドピット

オープンピット形式の各寸法

ポンプ計画吐出量 (m³/s)[従来口径]	0.83~1.17 (φ700)	1.17~1.5 (φ800)	1.5~1.92 (φ900)	1.92~2.5 (φ1,000)	2.5~3.33 (φ1,200)	3.33~4.25 (φ1,350)	4.25~5.42 (φ1,500)	5.42~6.67 (φ1,650)	6.67~8 (φ1,800)
W(水路幅) (2.7D) [従来は3.0D]	1,900	2,100	2,400	2,700	3,200	3,600	4,000	4,400	4,800
F(背面距離) (従来同一)[従来 は約1.0~1.3D]	800	900	1,000	1,100	1,300	1,500	1,650	1,800	2,000
C(底面間隔) (0.75D) [従来は1.0D]	500	600	650	750	900	1,000	1,100	1,250	1,400
S(没水深さ) (1.5D) [従来は約1.5D]	1,050	1,200	1,350	1,500	1,800	2,000	2,250	2,450	2,700
A	700	800	900	1,000	1,200	1,350	1,500	1,650	1,800
E	250	250	300	300	350	400	450	500	550
a	200	250	300	300	350	400	450	500	550
L	450	500	550	600	700	800	900	1,000	1,100
B	350	400	450	500	600	700	750	850	900
G	1,300	1,500	1,700	1,900	2,200	2,500	2,800	3,100	3,400
H	150	200	200	200	250	350	350	400	450
I	175	200	250	250	300	350	350	400	450

セミクローズドピット形式の各寸法

ポンプ計画吐出量 (m³/s)[従来口径]	3.33~4.25 (φ1,350)	4.25~5.42 (φ1,500)	5.42~6.67 (φ1,650)	6.67~8 (φ1,800)
W(水路幅)(2.7D)[従来は3.0D]	3,600	4,000	4,400	4,800
K(ポンプ開口径)(従来通り)	2,300	2,600	2,900	3,100
C(底面間隔)(0.75D)[従来は1.0D]	1,000	1,100	1,250	1,400
S(没水深さ)(1.0D)[従来は約1.5D]	1,350	1,500	1,650	1,800
G(吸込直線部)*	500以上	500以上	500以上	500以上
B(背面隅部)(K/2)	1,150	1,300	1,450	1,550
F(背面距離)(K/2)	1,150	1,300	1,450	1,550

* G(吸込直線部)については土木構造に合わせ長さを変える

図-7 揚排水機場における高流速化吸水槽の標準化寸法(案)

流速をそのまま小型のポンプに適用することはできない。そこで、既存のクローズドピット形式の流速や、図-4 に示すオープンピット形式での流速を参考に呑口部流速 V_1 は $0.4 \sim 0.6 \text{ m/s}$ 、ポンプ入口部流速 V_2 は 1.2 m/s を適用限界流速とした。なお、実際のポンプは、水位条件によっては、設計点より 2 割程度多い流量まで扱うことになるので、シミュレーションでは、これら基準流速よりも速い条件で検討した。

なお、ポンプの高流速化(高 N_s 化)については、個別に実験して設定することも可能であるが、入口部流速など全体のバランスを考慮し、斜流ポンプで $N_s=1300$ 、軸流ポンプで $N_s=2000$ を標準とした。

4.4 流路の標準寸法

流路標準寸法の設定の基本となるポンプの数列は、既設機場での対応も可能とするため、現行の基準で採用されている数列を用いた。また、有害な渦を防止し、スムーズにポンプまで導流するため、基本的な構造寸法については、シミュレーションを行って決定した。

4.5 シミュレーション結果

図-5 および図-6 に吸水槽のシミュレーション結果を示す。

オープンピット形式では、渦流防止板の位置がずれると渦の発生を誘発する。図-5 はオープンピット形式でのシミュレーションにおいて、渦の恐れの有る個所をプロットしたものであるが、図-5(b) のように渦流防止板が 10%ずれた場合には、ポンプ下部に垂直に近い形で連続して渦の発生がみられる。

セミクローズドピット形式のシミュレーション結果を図-6 に示すが、ポンプに向かってきた流れがポンプ開口部内の背面部側で上向きの流れとなり、反対の水路側では下向きの流れになる。これに伴って、ポンプ開口部の水路側左右で渦の発生

が懸念されるプロットが縦に連続している。本シミュレーションはポンプ開口部とベルマウスとの隙間が 10%の時であるが、ポンプ開口部内の有害な渦の発生を防止するためには、ポンプ開口部の隙間を 10%より小さくする必要がある。

これらシミュレーション結果から、図-7 に示すような個所について標準的な寸法を提案した。このうち、渦流防止板の位置及びポンプ開口部の施工精度については、上述の有害な渦の発生可能性を考慮し、ポンプ口径の 5% 以内になるように設定している。

5. まとめ

今回、コンピュータシミュレーションをベースに、揚排水機場の高流速化技術を小・中規模の揚排水機場に適用し、施設の小型化によるコスト縮減を目指すことが可能になった。現在の試算では、数パーセントの縮減効果であるが、標準化が進むことによって、施工上の工夫がなされ、さらに大きな縮減につながるものと考える。また、流況の変化等に伴って、増設の際に、当所施工より大きな容量のポンプを必要とするケースもあり、施設の改築や新たな構造物の設置をすることなく対応できる場合も少なくないと考える。

ただし、駆体構造物の施工に高い精度を要求されることや、主原動機の燃料消費量増大の問題など、課題の検討が残されており、具体的な標準化にあたっては関係機関と十分協議していく必要がある。

最後に、本研究は(社)河川ポンプ施設技術協会と共同研究で取り組み、同協会の鈴木部長をはじめとする関係者に謝辞を申し上げる。

参考文献

- (社) 河川ポンプ施設技術協会: 揚排水ポンプ設備技術基準(案) 同解説・揚排水ポンプ設備設計指針(案) 同解説(平成 8 年 3 月発刊)

村松敏光*



(財)先端建設技術センター
普及振興部長
(前)建設省土木研究所
材料施工部機械研究室長
Toshimitsu MURAMATSU

持丸修一**



建設省関東地方建設局
関東技術事務所機械課長
(前)機械研究室主任研究員
Shuichi MOCHIMARU

水上紀明***



建設省土木研究所材料施工部
機械研究室
Noriaki MIZUKAMI