

# 国内最大級50m<sup>3</sup>/sポンプ更新における模型ポンプ試験及び三次元測量を用いた計測について

兼子 将<sup>1</sup>・齊藤 勝紀

<sup>1</sup>関東地方整備局 江戸川河川事務所 施設管理課 (〒278-0005 千葉県野田市宮崎134)

排水機場に設置される主ポンプにおいては、工場製作完了時に規定の性能を満たしているかを確認する性能確認を行っている。基本的には設置される実機ポンプを用い、製作工場等の計測用水槽にて性能確認を行うが、今回の八潮排水機場に設置されるような大規模ポンプにおいては、実機での性能確認が行えないため、実機と同形状の模型ポンプを製作し、模型ポンプでの性能確認を元に換算した値を用いて性能確認としている。

本報告では実機ポンプから模型ポンプへ性能等を換算する際の計算方法や、従来の計測方法に加え三次元測量を用いた計測での結果等を報告するものである。

キーワード 八潮排水機場, 50m<sup>3</sup>/s, 模型ポンプ, 羽根車, 三次元測量

## 1. はじめに

令和4年度に江戸川河川事務所にて発注した、R4八潮排水機場ポンプ設備更新工事（以降「本工事」という）は当事務所で管理をしている八潮排水機場3号ポンプ設備（以降「本設備」という）を更新するものである。工事概要については図-1のとおり。また、八潮排水機場のポンプ設備諸元を図-2に示す。

工事内容における主ポンプ更新では主ポンプの工場製作が含まれており、この工場製作には製作完了後、工

場における試験水槽を用いて、規定の性能を満たしているかの性能確認を行うこととしている。しかし、更新する本設備は口径が4,000mm、吐出量が50m<sup>3</sup>/sという大規模な設備であることに加え、吸込水路が高流速化形状であり、吸込側閉水路の形状も主ポンプの性能に関わることから、吸込側閉水路を含めた実機ポンプを用いての性能試験が不可能である。

このため、大口径ポンプの性能試験を工場にて行う際は日本産業規格（JIS規格）（以降「JIS規格」という）にて定められている模型ポンプを使用しての性能試験を行うこととしている。

事務所名	江戸川河川事務所	担当	施設管理課
河川名	綾瀬川放水路		
工事場所	埼玉県八潮市鶴ヶ曾根地先		
工事名	R4八潮排水機場ポンプ設備更新工事		
契約方式	一般競争入札【技術提案評価型S型(WTO)】 簡易評価型・施工体制確認型		
工期	令和5年2月10日～令和8年3月31日【約38ヶ月】		
工事概要	本工事は、八潮排水機場の信頼性確保を目的として、ポンプ設備の更新を行うものである。		
工事内容	ポンプ設備更新 1式 3号主ポンプ更新 1式 3号主原動機更新 1式 3号減速機更新 1式 補機類新設 1式 監視操作制御設備 撤去・新設・既設改造および更新 1式		

図-1 工事概要

## 2. 模型ポンプ

### (1) 適用範囲

<sup>1</sup>JIS規格JIS B 8327:1989「模型による性能試験方法」

形式	機番	1号	2号	3号
用途		排水・浄化	排水	排水
ポンプ形式		立軸軸流ポンプ (コンクリートケーシング)		
吐出量(m <sup>3</sup> /秒)		25		50
口径(mm)		3,300		4,000
全揚程(m)		2.4		2.7
全体計画台数(台)		1	1	1

図-2 八潮排水機場ポンプ設備諸元

(以降「JIS B 8327」という)より大形の遠心ポンプ、斜流ポンプ及び軸流ポンプを対象としている。図-2で示したとおり、本設備は大形の立軸軸流ポンプであることから本規格が適用される。なお、JIS B 8327では大形ポンプの定義はされていないが本設備の排水量は50m<sup>3</sup>を排水する設備であり、これは全国的に見ても大形ポンプになるため本規格が適用されていると考える。

## (2) 模型ポンプの範囲

模型ポンプとして製作する範囲は、高流速化となる吸込側閉水路の形状も主ポンプ性能に関わることから、図-3に示すとおりポンプ吸込口と吐出し口とで区切られた部分をJIS B 8327では模型ポンプの範囲としているが、実際に模型ポンプでの試験を行った際は吸込側閉水路入口から吐出し口までを作成し試験を行った。

## (3) 模型ポンプの大きさ

本工事を発注するにあたり模型ポンプの大きさについては、模型ポンプは工場での性能試験可能な大きさとし、約1/12.7の大きさで作成され、羽根車の寸法で比較すると、実機の直径3,996mmに対して315mmの寸法となる。(図-4参照)

## (4) 模型ポンプの寸法範囲

模型ポンプを作成するにあたり、以下の条件が適合さ

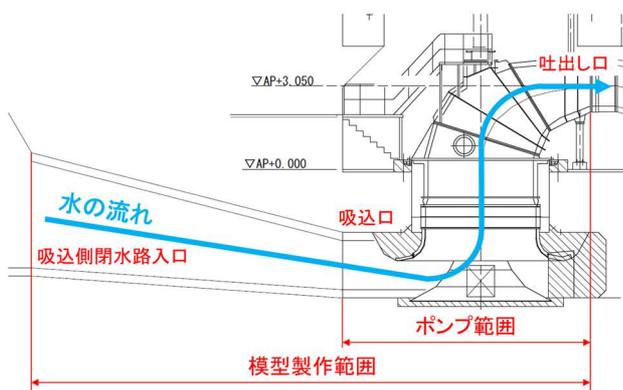


図-3 模型ポンプ範囲



図-4 八潮排水機場3号既設ポンプ及び模型ポンプ

れていなければ模型ポンプとしては成立しない。(JIS B 8327)

### a) レイノルズ数

模型ポンプのレイノルズ数は遠心ポンプ、斜流ポンプ及び軸流ポンプともに $2 \times 10^6$ 以上でなければならない。

### b) 羽根車の寸法

模型ポンプの羽根車寸法は、羽根車最大外径寸法300mm以上とする。また、可動羽根では、設計取付け角における最大外径とする。ただし、製作精度が確保できる場合には、羽根車最大外径を受渡当事者間の協定によって取り決めてもよい。

### c) 全揚程

模型ポンプの全揚程は、a)及びb)を満足するとともに、性能測定の精度が確保できるように決定する。

以上の寸法範囲を満たしていない場合は模型ポンプとして性能試験を行うことができない。

## (5) 模型ポンプから実機ポンプへの性能換算

模型ポンプから実機ポンプへ性能を換算する場合、各規格ごとに決まった公式があるが本資料では吐出し量の性能換算について記載する。吐出し量性能についての換算式は次の式の通りである。

$$Q_P = Q_M \left( \frac{n_P}{n_M} \right) \left( \frac{D_P}{D_M} \right)^3$$

ここで、  
 $Q_P$ ：実機ポンプの吐出し量 (m<sup>3</sup>/s)  
 $Q_M$ ：模型ポンプの吐出し量 (m<sup>3</sup>/s)  
 $n_P$ ：実機ポンプの回転速度 (min<sup>-1</sup>)  
 $n_M$ ：模型ポンプの計画回転速度 (min<sup>-1</sup>)  
 $D_P$ ：実機ポンプの代表寸法 (m)  
 $D_M$ ：模型ポンプの代表寸法 (m)

上記換算式に図-5に示す数値を当てはめた際の計算について次に示す。

項目	数値
模型ポンプの吐出し量(m <sup>3</sup> /s)	18.65/60
実機ポンプの回転速度(min <sup>-1</sup> )	82.5
模型ポンプの計画回転速度(min <sup>-1</sup> )	1047
実機ポンプの代表寸法(m)	3.996
模型ポンプの代表寸法(m)	0.315

図-5 模型ポンプ性能試験数値

実機ポンプ吐出し量 (m<sup>3</sup>/s)

$$Q_p = 18.65/60 \times (82.5/1047) \times (3.996/0.315)^3 \\ = 50.00 (\text{m}^3/\text{s})$$

よって、模型ポンプから実機ポンプへ性能を換算した場合、性能を満足していることが確認できる。

### 3. 羽根車形状計測

主ポンプにおける羽根車の形状は、企業毎の技術や経験、知識を基に設計されており、性能上最も重要な役割を有している。羽根車の寸法等が設計上の寸法どおりに製作できていない場合、ポンプ本体の性能に大きく関わってくるため羽根の形状の出来形管理が性能確認の上で極めて重要である。

本工事における羽根車形状の計測には、従来の三次元座標測定機を使用した寸法計測 (JIS B 8327より) に加え、より高精度な計測を行うため、ICT施工における三次元出来形計測の面管理で用いられるレーザースキャ

ナを用いての三次元測量を行った。

#### (1) 従来の計測方法

三次元座標測定機先端に取り付けられているプローブと呼ばれるものに計測物を三次元的に接触させることにより、接触した点の座標で計測を行っている。(図-6参照) また、実際に計測した箇所を図-7に示す。

#### (2) 三次元測量を用いた計測方法

今回、三次元測量を行う際は図-8に示すスキャナ及びレーザートラッカーを使用し計測を行った。使用した機器の測定精度は±60μm程であり、十分な精度を有している。図-9に示すとおり計測方法としてはレーザートラッカーの半径5m内に計測する機器を置き、部品の周りをスキャナを用いて計測を行った。計測はスキャナを用いて計測しており、レーザートラッカーについてはスキャナの位置情報を把握するために使用している。レーザートラッカーを使用することによりスキャナで計測したデータを三次元的に読み込むことが可能になっている。



図-6 三次元測量を用いた計測状況

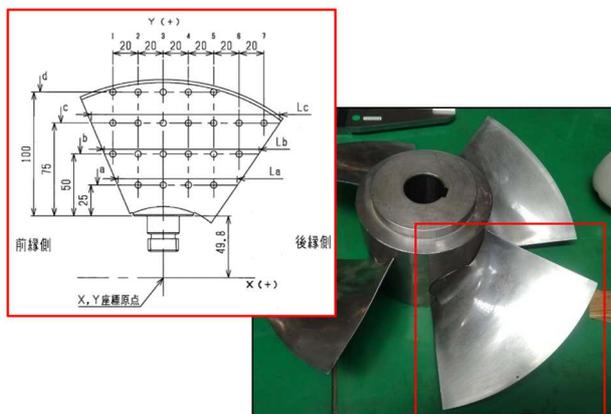


図-7 三次元測量を用いた計測箇所



図-8 計測機器



図-9 三次元測量による計測状況

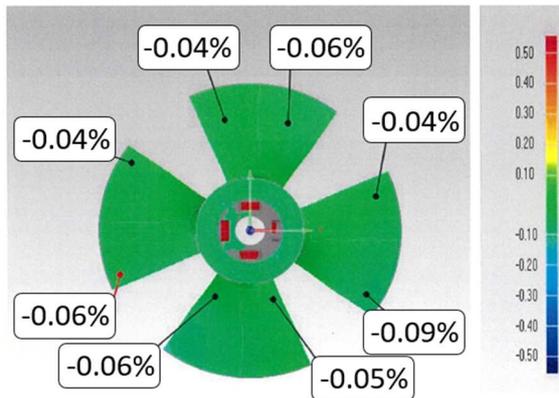


図-10 三次元測量による計測結果（負圧面側）

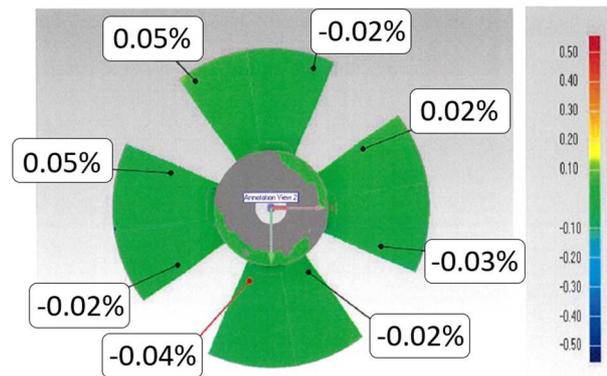


図-11 三次元測量による計測結果（圧力面側）

羽根車の三次元測量結果（ヒートマップ）を図-10、図-11に示す。各計測箇所によって許容値が±0.1%以内の場合は緑色に着色される。許容値を超えて計測された場合は緑色から赤色に近づいていき、許容値未満の場合は緑色から青色に近づいていく。

三次元測量を用いることにより、三次元座標計測での各点計測結果だけでなく、羽根車全面を計測するため、より高精度且つ一目で確認することができる。

本工事で行った三次元測量による計測方法は他メーカーへ同様の品質管理方法を実施しているかヒアリングを行った結果、三次元を用いた測量は他でも行っていたが他メーカーでは外形寸法等の従来管理項目のみで使用しており、今回行った全体の面的な管理についてはおそらく全国初である。

#### 4. まとめ

本工事で作成した模型ポンプについては2024年6月に工場にて性能試験を行った。前述のとおり、模型ポンプにて計測した数値を実機ポンプへ換算した場合、基準及び仕様書を満足する数値であることが確認出来た。

寸法の計測については、従来の計測方法でも基準を十分に満たしていることを確認できたが、三次元測量を用いた計測を行ったことにより、面全体での管理を行うことができた。

そのため、従来の計測方法による数箇所以外の箇所においても基準を満たしていることが確認できるようになった。また、設計値に対して実測値が許容値内に収まっているかを確認するために着色することにより、一目で全体が許容値内に収まっているか確認することが容易になった。

現在、実機ポンプは工場製作を進めており、2025年度に実機の寸法確認が予定されているが、今回の模型ポンプ試験と同様に従来の計測方法と併せ三次元測量を用いた計測方法も行う予定である。今回作成した三次元測量データの確認同様、実機ポンプでの三次元測量データとBIM/CIMの設計値データとの比較確認を行い、今後の品質向上に努めるほか、羽根車形状を三次元測量していくことにより、将来おこなっていく排水機場の修繕工事でオーバーホールをした際に製作時の三次元データと比較し、補修方法の検討等で有効に活用していく。

謝辞：本論文を執筆するにあたり、本工事を受注していただいた日立インダストリアルプロダクツ株式会社の皆様及び江戸川河川事務所の職員の皆様等、多くの方々から様々な助言、ご協力を頂きました。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 日本産業規格：JIS B 8327:1989「模型による性能試験方法」