

国内最大級 50m³/sポンプ更新 ～三次元測量を用いた模型ポンプと実機ポンプ との品質管理＜実機編＞～

島田 駿之介¹・菅 貴史

¹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)

排水機場の主ポンプは製作完了時に性能試験を実施するが、今回工事を実施した八潮排水機場のポンプは大型であり、実機での性能試験が困難である。このため、日本産業規格に基づき、模型ポンプにより性能試験を実施した。実機ポンプの製作にあたっては、性能試験の結果を再現するため、模型ポンプと相似的な形状で製作する必要がある。現状ではポンプの品質管理において、各点の寸法を測定する“点での管理”が行われているが、本工事では三次元測量を導入し“面での管理”を実施した。その結果、点と点の間についても許容寸法に収まっていることが確認できた。昨年度、前任者が論じた<模型編>に続き、<実機編>として論ずるものである。

キーワード 八潮排水機場, 国内最大級, 三次元測量, 品質管理, 寸法確認

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修繕工事（以下「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（以下「本設備」という。）を更新するものである。工事概要を表-1、八潮排水機場のポンプ設備諸元を表-2に示す。

通常、新たに製作した主ポンプは、工場の試験水槽を用いて性能試験を行うこととしている。しかし、本設備は口径4,000mm、吐出量50m³/sと国内最大級の設備規模であることに加え、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による試験水槽での性能試験が不可能である。

このため、本工事では日本産業規格（JIS規格）のJIS B 8327:1989「模型による性能試験方法」¹⁾（以下「JIS B 8327」という。）に基づき、性能試験を実施した。

模型ポンプの品質管理でも三次元測量を実施しており、本論文では、その結果に基づいて製作した実機ポンプの品質管理について論ずる。

2. 模型ポンプ（既報告概要）

(1) 模型ポンプの大きさ

模型ポンプは工場での性能試験が可能な大きさとし、実物の羽根車の直径3,996mmに対して模型ポンプの羽根車は直径315mmで製作した（約1/13スケール）。JIS B 8327では模型ポンプの最大外径寸法は300mm以上、レイノルズ数は 2×10^6 以上と定められており、これらの要件を満たすものとしている。

表-1 工事概要

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か月】		
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・既設改造及び更新 1式		

表-2 八潮排水機場ポンプ設備諸元

機番	1号	2号	3号
形式	立軸軸流ポンプ (コンクリートケーシング)		立軸軸流ポンプ (吐出しベント型)
ポンプ形式	立軸軸流ポンプ (コンクリートケーシング)		立軸軸流ポンプ (吐出しベント型)
吐出量(m ³ /s)	25	25	50
口径(mm)	3,300	3,300	4,000
全揚程(m)	24	24	27

(2) 模型ポンプでの測定概要・結果

本工事ではJIS B 8327に定められたとおり模型ポンプを製作し、その模型に対して三次元測量を実施した。詳細については後述するが、三次元測量とは、点群データを取得して三次元座標情報に基づいて形状を測定する方法である。測量結果は表-3に示すとおりである。

寸法はいずれの測定点においても、許容値内に収まっており、性能試験においても実機換算吐出量が50m³/sと一致した。従って、本工事で製作した模型ポンプは十分な性能を満たしていることが確認できた。

3. 品質管理

品質管理と一口にいても、材料特性、溶接部の健全性、寸法精度、塗装状態など、多岐にわたる確認項目が存在する。これらはいずれも製品の品質を左右する重要な項目であるが、本論文では模型編と同様に実機において、寸法の管理に焦点を当て、従来の管理方法と三次元測量による管理方法の検証を進めていく。

(1) 品質管理の重要性

性能試験の結果を満足する実機ポンプを製作するにあたり、JIS B 8327では、模型ポンプとその対応する主要部の流路を形成する部分が相似的な形状でなければならない旨が定められている。すなわち、実機ポンプは模型ポンプと相似した大きさで製作する必要がある。

しかし、羽根車形状は三次元的に湾曲した複雑な形状をしているため、全ての寸法が相似的な大きさになっているかを確認することは容易ではない。加えて、いずれ

か一点でも相似的な大きさから外れた寸法になっていると、それだけでポンプ性能が低下し、設計上想定していた吐出量を確保することができない可能性がある。このため、寸法の品質管理は設計どおりの性能を確保するにあたり、非常に重要な項目である。

模型および実機ポンプの許容寸法差についてはJIS B 8327で規定されている。本工事においては、この規定値に準拠して品質管理を行い、模型試験で得られた性能を実機において再現する。

(2) 現状の品質管理

これまで寸法測定には、ノギス、マイクロメータ、プローブといった測定器具が用いられてきた。これらの測定器具は校正済みであり、精度が保証されているものの、測定者の技能差に起因する人為的誤差が懸念される。また、これらは点での測定となるため、設計値どおりに製作されているかを確認するには、図-1に示すように、JIS B 8327に定められた多数箇所での測定を行う必要がある。さらに、各測定点で得られた値は許容寸法差に収まっていたとしても、その測定点の間に許容寸法差から外れる領域が存在する可能性も考えられる。

このように、現状の品質管理は一定の有効性を有しているものの、改善の余地が残されている。

(3) 近年の品質管理

近年では、現状の測定方法に加えて「三次元測量」と称される測定技術も使われるようになった。三次元測量を行うことにより、点ではなく面としての測定が可能となる。その結果、現状では把握が困難であった「点と点の間が許容寸法差から逸脱しているか否か」ということを測定結果から確認することが可能となった。

表-3 三次元測量の結果（模型ポンプ）

測定位置※	許容値	実測値 (圧力面)	実測値 (負圧面)
A001	±0.1 %以内 (参考)	-0.04 % (-0.13 mm)	-0.06 % (0.18 mm)
A002		-0.02 % (-0.05 mm)	-0.05 % (-0.16 mm)
A003		-0.03 % (-0.09 mm)	-0.09 % (-0.28 mm)
A004		0.02 % (0.06 mm)	-0.04 % (-0.14 mm)
A005		-0.02 % (-0.06 mm)	-0.06 % (0.18 mm)
A006		0.05 % (0.16 mm)	-0.04 % (0.13 mm)
A007		0.05 % (0.13 mm)	-0.04 % (-0.14 mm)
A008		-0.02 % (0.07 mm)	-0.06 % (-0.18 mm)

※図-6, 7参照

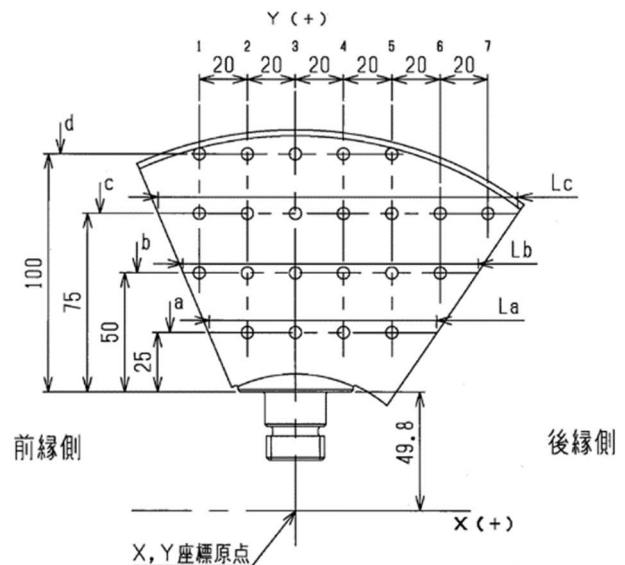


図-1 模型ポンプ（羽根車）の寸法測定点

4. 実機ポンプ（今回報告概要）

(1) 実機ポンプの製作

実機ポンプは、鋳造工程により基本的な外形を成形し、模型ポンプと相似した形状になるように機械加工を施すことで所定の形状に仕上げた(図-2)。写真は羽根1枚であるが、これを4枚製作し、ハブと呼ばれる中心部分と組み合わせることで、羽根車となる。製作した実機ポンプについては、形状の相似性が保たれているか確認する必要がある。本工事では、施工管理基準に従い、現状の寸法測定を実施した上で、参考として寸法精度および形状誤差の有無を評価することを目的に三次元測定を実施した。

(2) 三次元測定

三次元測定とは、測定対象物の点群データを取得し、各点の三次元座標情報に基づいて形状および寸法を定量的に把握する方法である。本工事では、図-3に示すレーザートラッカーおよびスキャナーを用いて三次元測定を実施した。スキャナーは測定対象物の表面にレーザー光を照射し、その反射光を検出することで、連続的な点群データを取得する装置である。一方で、レーザートラッカーはスキャナーの角度および距離を測定し、その位置情報を空間内の三次元座標として取得する装置である。

両装置を同期して使用することにより、測定対象物全体の形状を測定することが可能となる(図-4)。なお、今



図-2 羽根車ハネ（実機ポンプ）の写真（左：鋳造完成時、右：機械加工完了時）



図-3 スキャナー（左）、レーザートラッカー（右）の写真

回使用した機器の測定精度は $\pm 60\mu\text{m}$ 程度である。

(3) 測定方法

本工事では実施した三次元測定の様子を図-5に示す。測定は4枚のハネをハブに組み付けて羽根車としての形状に整えた後、圧力面側、負圧面側の両面についてそれぞれ行った。レーザートラッカーを所定位置に固定し、測定作業者がスキャナーを携行して測定対象物の周囲を移動することで測定を実施した。

(4) 測定結果

三次元測定により得られた結果を図-6、図-7（ヒートマップ）および表4（測定値）に示す。

測定値が許容値をプラス方向に外れると赤色、マイナス方向に外れると青色で表示される。本工事の測定結果では全体が緑色となっており、許容値内に収まっていることが確認できる。圧力面側の根元部分に一部赤い箇所が見られるが、ここはJIS B 8327で定められている測定箇所ではなく、ポンプの性能に影響を与えないため、品質に問題はない。

5. おわりに

本工事では令和6年度に実施した模型ポンプの性能試験の結果を踏まえ、令和7年度に実機ポンプの製作を行っ

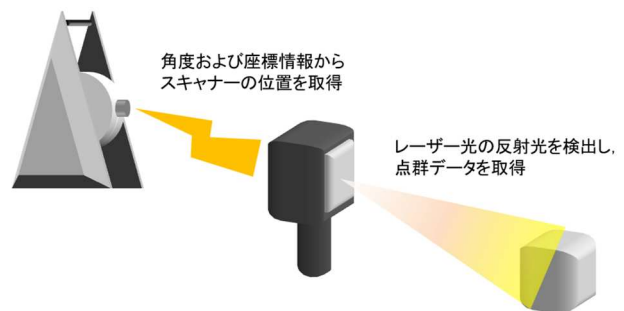


図-4 三次元測定の仕組み

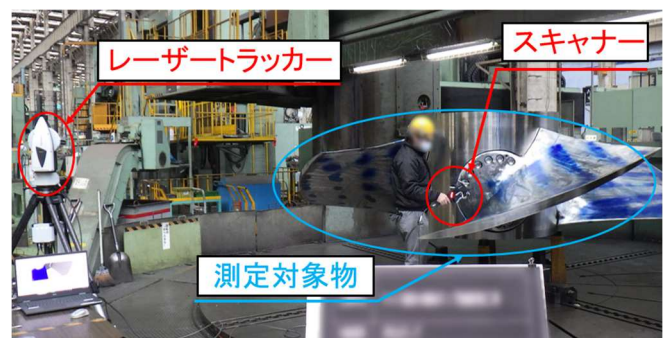


図-5 実機ポンプ三次元測定時の様子

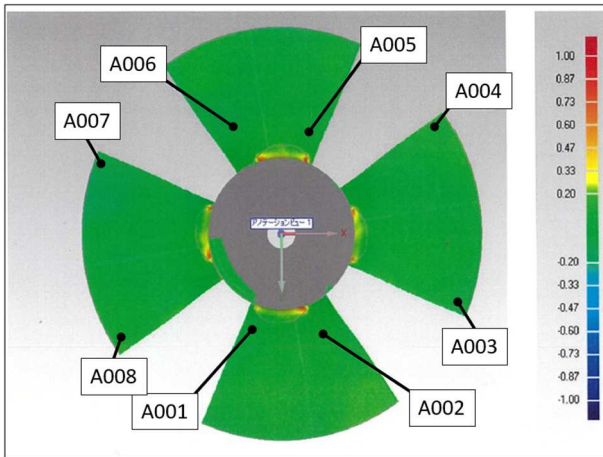


図-6 三次元測量の結果（圧力面側）（実機ポンプ）

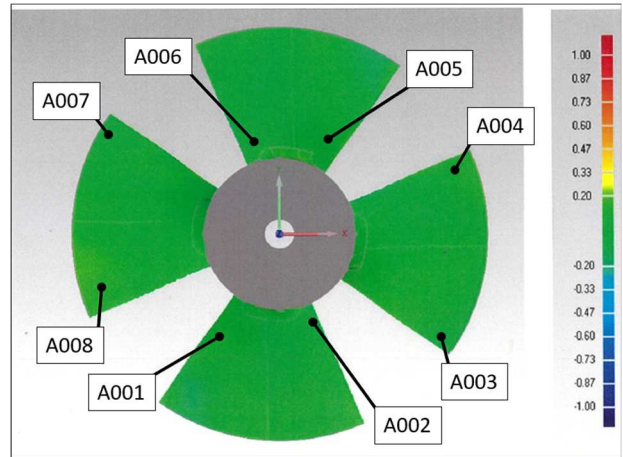


図-7 三次元測量の結果（負圧面側）（実機ポンプ）

た。性能試験どおりの能力を発揮させるためには、実機ポンプは模型ポンプと相似的な形状で製作する必要があった。この品質管理として、現状の寸法測定に加え、三次元測量を実施した。

現状の測定方法においても、寸法が基準を満足していることは確認できたが、三次元測量を実施したことにより、点ではなく面での管理が可能となった。

これにより、現状の点での管理では確認が不可能であった、点と点の間の領域についても許容値内に収まっていることが確認できた。また、三次元測量結果をヒートマップとして可視化することで、許容値から逸脱している箇所を一目で把握することが可能となった。

今回は実機ポンプの品質管理を目的に三次元測量を活用したが、測定した羽根車形状を三次元データとして保存することで、将来的に排水機場の修繕工事で分解整備を行う際に、製作時のデータと比較することが可能となり、形状変化の把握や補修方法の検討に活用できる。

現在、面での管理として三次元測量を実施している工事は少ないが、前述の活用方法により、本手法は長期的な設備の維持管理という面でも有効な品質管理の技術になると考える。そのため、将来的に三次元測量を普及させるとともに、機械設備台帳などと体系的に連携させ、今後の修繕を見据えた一体的な維持管理システムを確立していくべきである。

表-4 三次元測量の結果（実機ポンプ）

測定位置	許容値	実測値 (圧力面)	実測値 (負圧面)
A001	±0.2 %以内 (参考)	-0.08 % (-3.22 mm)	0.10 % (4.14 mm)
A002		0.09 % (3.76 mm)	-0.06 % (-2.57 mm)
A003		-0.10 % (-4.10 mm)	-0.06 % (-2.41 mm)
A004		0.12 % (4.64 mm)	0.12 % (4.64 mm)
A005		0.05 % (1.91 mm)	0.02 % (0.60 mm)
A006		-0.07 % (-2.73 mm)	0.09 % (3.64 mm)
A007		-0.15 % (-6.13 mm)	-0.02 % (-0.91 mm)
A008		0.11 % (4.20 mm)	0.16 % (6.56 mm)

謝辞： 本論文を執筆するにあたり、本工事の受注者である日立インダストリアルプロダクツ株式会社の皆様をはじめ、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