

大規模送水システムにおける大容量、高揚程多段ポンプの開発

1. はじめに

アメリカカリフォルニア州は、北部の豊富な水資源を南部の大都市に配水する多目的送水プロジェクトを継続的に進めている。エドモントンポンプ場はその送水システムの中で最重要の基幹ポンプ場であり、全揚程 600m の世界最大級の大型ポンプ 14 台が設置されている。近年、既設ポンプの経年劣化による効率低下とキャビテーション損傷に伴う保守管理費の増加が問題となっており、これらの改善策として老朽化したポンプ 4 台を更新するプロジェクトがスタートした。本プロジェクトを受注した(株)日立プラントテクノロジー(以下、当社)は、長年蓄積してきた独自技術と最新の CFD 解析を適用した水力設計を行い、同クラスにおける世界最高水準の効率と性能を達成した多段ポンプを開発した。また、構造設計の最適化と高品質な製造技術により信頼性の高い大型ポンプの製作を実現した。本稿ではこの多段ポンプの開発技術を紹介する。

2. 既設ポンプの課題

更新対象となる既設の 4 台のポンプは、運転点において初段羽根車および吸込ケーシングにキャビテーションが発生していた。そのため、キャビテーションの発生に伴う羽根車の性能低下とポンプ効率の低下が大きな問題となっていた。さらには、キャビテーションによる振動と騒音の発生と初段羽根車、および吸込ケーシングの深刻なエロージョン損傷の問題も抱えていた。ポンプの性能低下は、駆動機である同期電動機の電力消費量の増加を招き、また、エロージョン損傷はその修理と対策のメンテナンス費用を増大させ、加えて主要部品の経年劣化も激しいことからメンテナンス期間が長期に及ぶことも大きな問題となっていた。今後、将来的な水需要の増加とポンプ設備の重要性を考えると、高性能で信頼性の高いポンプに更新することが最も有効な解決策と判断され、世界最高水準のポンプ効率と優れた吸込性能を要求仕様としたポンプへのリプレース計画が実現した。

3. 開発技術

図 1 にポンプ構造を示す。多段ディフューザポンプは、ポンプ性能を決定する水力形状の構成要素が多岐にわたるため、その相互影響を把握して最適設計を行うことが重要となる。水力設

計には最新の CFD (Computational Fluid Dynamics) 技術を多用し、内部の流れの様子を数値計算にて把握する(図 2)とともに、実験計画法を用いたパラメータ設計を実施し、形状変化に対するポンプ性能への影響感度を網羅的、かつ体系的に検討することにより水力形状の最適設計を実現した⁽¹⁾⁽²⁾。

信頼性にかかわるポンプの吸込性能については、初段羽根車にダメージを与えるキャビテーションの発生を抑制することに重点を置き、図 3 に示すようなシャフトを回り込んで羽根車へ流れを誘導する予旋回型の吸込ケーシングを採用した⁽³⁾。さらに CFD を用いて形状の最適化を図り、周方向に均一で、羽根車入口において乱れない適切な速度の流れを実現することにより、低い吸込圧力でもキャビテーションの発生を抑制する水力形状を設計することに成功した。図 3 に対称型と予旋回型ケーシングの流れの比較を示す。

これらの技術については、実物をスケールダウンしたモデルポンプによって性能確認試験を実施し、実物 4 段ポンプとして世界最高水準である効率 92% 以上を達成することを確認した。さらにキャビテーション損傷については、運転 8 000 時間経過後も特に損傷も見られず、良好な表面を呈していることを確認し、これらの高性能ポンプ設計技術の妥当性、および今後の長期運用に対しても問題ないことを実証した。

高性能と信頼性向上を両立する課題として羽根車の加工精度と材料品質とともに向上させる製造技術が必要となった。実物ポンプはクローズド羽根車では過去に前例のない 1 ピース鍛造材から NC 機械による削り出し加工法を開発し、実用化した。本技術は羽根プロフィール精度の向上と自動加工によるリピータ効果で寸法精度のばらつきを小さくできる利点がある。

4. おわりに

今回開発した大容量、高揚程多段ポンプの初号機はすでに運転を開始し、高い効率と優れた性能を実証している。効率改善は駆動機の電力消費量削減に大きな効果があり、設備の省エネルギー化を可能とした。また、エネルギー消費の低減は地球温暖化の要因となる CO₂ 排出削減にも寄与できる。今後、残り 3 台を予定どおりに完了し、

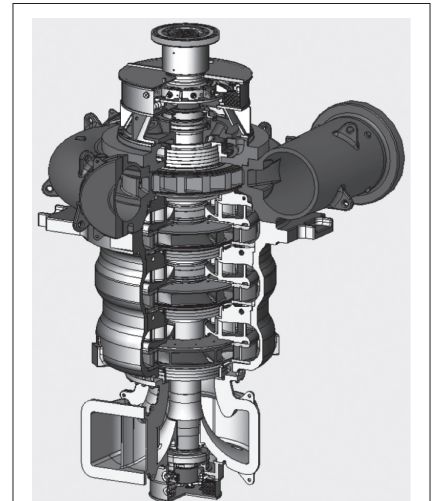


図 1 高揚程多段ポンプの構造

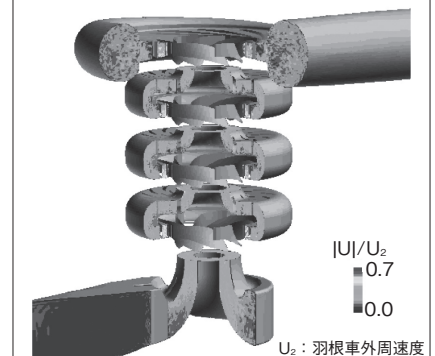


図 2 CFD による 4 段ポンプの計算結果

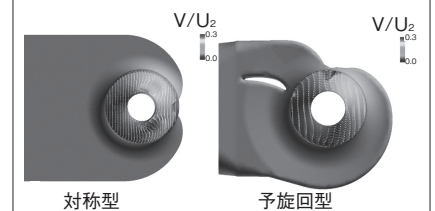


図 3 吸込ケーシングの計算結果

貴重な水の安定供給を続けて多くの人々の生活に貢献していきたいと考えている。

(原稿受付 2009 年 8 月 24 日)

[長原孝英 (株)日立プラントテクノロジー]

●文献

- (1) Nagahara, T., ほか, Investigation of Hydraulic Design for High Performance Multi-Stage Pump Using CFD, ASME FEDSM, 2009-78418, (2009).
- (2) Nagahara, T., ほか, Investigation of the Flow Field in a Multistage Pump by Using LES, ASME FEDSM, 2005-77319, (2005).
- (3) Nagahara, T., ほか, Investigation of a Suction Bend and Impeller Configuration to Improve the Cavitation Performance by Use of CFD, 23rd IAHR Symposium, (2006-10).