

発電用水車ランナ(羽根車)の強度計算

研究・開発機関 : 田中水力株式会社、神奈川県立産業技術総合研究所
 利用施設 : 研究所内施設 PC利用(CPU: Corei5 4コア・2.8GHz、メモリ: 32GB)
 計算規模 : FEMシミュレーション用のメッシュ数: 約5~10万要素、2~3分程度
 利用ソフトウェア: Autodesk Inventor (3Dモデリング)、ANSYS DesignSpace、ANSYS Mechanical Pro (FEMシミュレーション)

Before

- 発電用水車ランナは、管路を流れてきた水の流入エネルギーを回転運動に変換するものです。
- 内部の軸付近に水が流れ、この水が軸に当たってしまうと効率損失となるので、軸径を細く設計するのが理想的ですが、構造が複雑なため、強度計算を行うことが困難でした。

After

- 図面から作成した3DモデルによるFEMシミュレーションを行うことによって、ランナ内部の軸たわみ量(変形量)や応力分布を事前に把握することができ、それらの数値が様々な設計条件で変化する状況も確認できるようになりました。
- これにより、ランナ内部の軸を適切に細く設計でき、水車効率の改善が可能となりました。

背景と目的

流れる水を利用してランナと呼ばれる羽根車を回転させ、水の位置エネルギーを電気エネルギーに変える水力発電は、CO2を発生させないクリーンなエネルギーとして、近年注目を集めています。

特に小規模水力発電は流れる水とある程度の設置スペースさえあれば、どこでも電気を生み出すことが可能であり、河川が多く、水資源が豊富にある地域では、小規模水力発電に興味を示す自治体や企業も増えています。

クロスフロー水車(図1)ではランナの軸(図2)付近に水が流れますが、この流れがランナに命中せずに軸に当たってしまうと効率損失になるので、可能な限り細くするのが理想的です。

しかし、そのための適切な強度検討を手計算で行うのは構造が複雑で結果を得るのが困難でした。

そこで、ランナについて、図面から3Dモデルを作成し、ランナ内部の軸たわみ量(変形量)、応力分布をFEM(有限要素法)シミュレーションして事前に把握することを目的として、この開発を始めました。

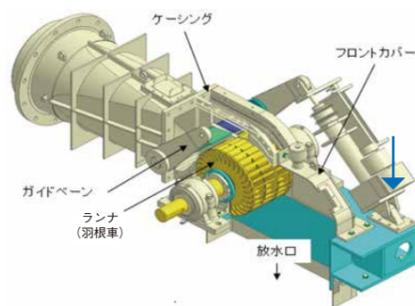


図1 発電用クロスフロー水車



図2 水車ランナ軸

■ 利用成果

今回のシミュレーションでは、荷重は水流を想定した静荷重とするので、まず3Dモデリングソフトで、実際に水流を受ける羽根部分や強度に寄与しないと思われる部分を簡略化した3Dモデルを作成しました。

シミュレーション条件

図3に示すように、水流を想定した荷重は、下(-Z軸)方向に5060Nとし、荷重を加えるのは羽根を想定した1面もしくは3面としました。拘束条件は、軸を支えるベアリングに相当する部分は上下には動きませんが、回転軸方向には多少動く(たわむ)ことが想定されるので、単純に両端固定とはせず、複数の変位(B、C、E点)を組み合わせることで、実際の拘束条件を近似しました。

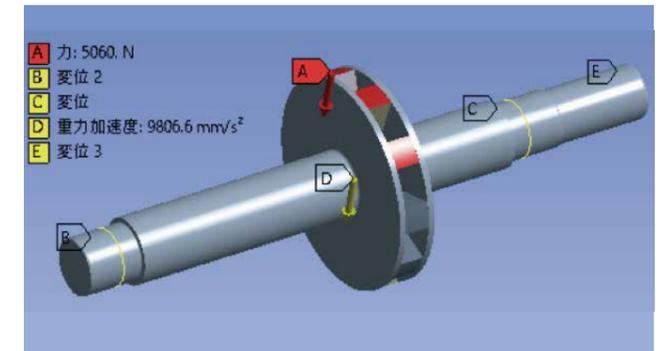


図3 シミュレーション条件

シミュレーション結果

図4、図5にシミュレーションの結果を示します。

共に、荷重の加わる部分が3面の場合のもので、図4の等高線図は水車ランナ軸の相当応力の分布を示しています。色が赤に近い部分ほど応力の値が大きいことを示しており、最も破壊しやすい部分と想定されます。羽根が間に入る、軸の直径が小さくなっている部分が最大値となっていますが、値は16.195MPa、1面の場合でも16.422MPaなので、材料(SUS304)の降伏強さ(205MPa)と比較して余裕があるとわかりました。

この部分はR5のフィレット(丸み)がついていますが、設計条件が許せばRの半径を大きくすることで、より強度に余裕を持たせることも可能です。図5は水車ランナ軸の変形量を示していますが、軸たわみ量が見やすいように上下(Z軸)方向の変形量のみ表示しています。軸たわみ量の最大値は0.04135mm(1面の場合0.04131mm)となり、使用上問題ないことが確認できました。

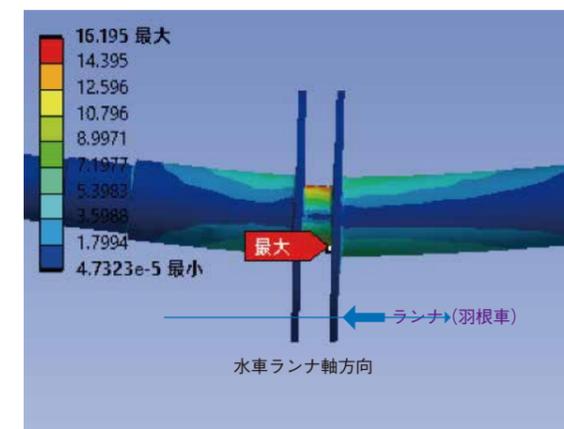


図4 水車ランナ軸の相当応力分布

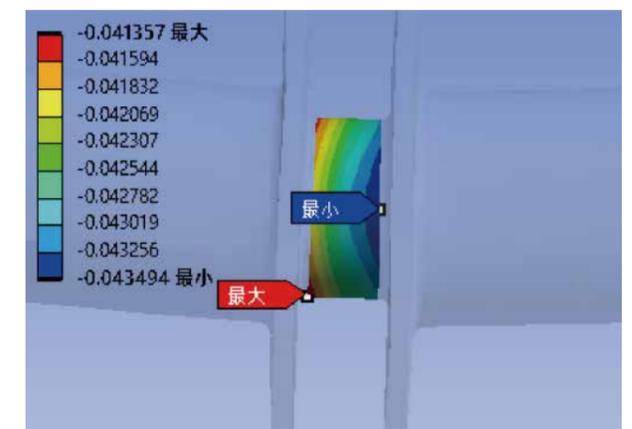


図5 軸たわみ量(変形量)

以上のように3DモデルとFEMシミュレーションを用いることで、応力集中がないこと、また材料強度を超える応力が発生しないことが確認できました。これにより、これまでよりランナ内部の軸を細く設計することができ、水車効率の改善が可能となりました。