

デジタル写真解析による水車摩耗量測定

水車摩耗量測定の精度向上

Abrasion Measurement of Hydro Turbine based on Digital Image Analysis

Improvement of Hydro Turbine Abrasion Measurement Accuracy

(工務技術センター 水力課)

(Hydropower Section, Electrical Engineering Technology Center)

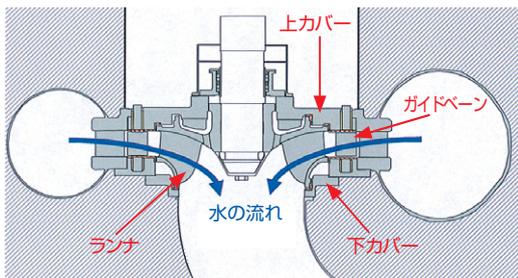
水車摩耗量測定は、水車修理周期を見極めるうえで重要な測定であるが、測定点が非常に多くまた、摩耗状況により測定方法を変える必要がある。この結果、測定に多くの労力を費やしているだけでなく、測定誤差が発生する。そこで、本研究では水車摩耗量測定の効率化および精度向上に向けて、最新三次元デジタル写真解析技術の評価し、水車摩耗量測定への適用検証を行った上で、解析システムの最適化を図った。

We periodically measure the amount of the abrasion of hydro turbines in order to decide the timing of the repair works. The measurement work is time consuming due to a lot of measurement points. And measurement error is caused, because we need to change the measurement method according to the place or amount of the abrasion. Then, we evaluated the commercial 3D digital image analysis system through the trial measurements and customized it in order to apply it to the measurement of the turbine abrasions and improve the efficiency and accuracy of the measurement.

1 目的および背景

水車部品のうち、第1図に示すとおりランナ、上カバー、ガイドベーン等が主機運転中に流水に曝される。これらの部品は、水中の土砂による摩耗やキャビテーションによる壊食が発生するため、普通点検等で摩耗量を確認して、個々の部品に設定されている許容値および管理値に到達するまでの時期を予測し、修理時期を判断している。この摩耗量測定は、測定点が非常に多くまた、摩耗状況により測定方法を変える必要があり、多くの労力を費やしているだけでなく、測定誤差が発生する。

そこで、本研究では、既存の三次元デジタル写真解析システムを評価し、水車摩耗量測定に応用した場合の解析上の問題点を抽出するとともにその対策を実施することにより、写真解析による水車摩耗量測定技術を確立した。



第1図 水車断面図

2 解析システムの課題抽出と撮影方法の検討

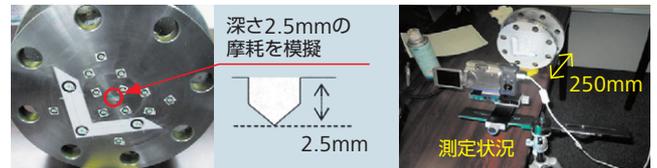
三次元デジタル写真解析には、市販のデジタルカメラが使用でき、特殊な技術を必要としない市販の三次元写真解析システムを適用した。本解析システムでは物体を2ヶ所から撮影し、視差情報から三次元の形状を求める技術(ステレオ画像法)を応用している。

適用にあたって、写真解析の精度検証および最適撮影方法の把握のために、水車部品と同じ材質の金属被写体を用いて、検証試験を実施した(第2図参照)。試験にお

いては水車摩耗量測定の撮影環境である暗所を模擬して実施した。

試験の結果、カメラ画素数、絞り、シャッタースピードなどは、計測結果に殆ど影響を与えないことが分かった。しかし、被写体の単調な金属表面では、特徴点がとらえにくく三次元画像認識が難しいことや、表面で光が反射(ハレーション)するために、測定結果に1~2mmの誤差が生じた。

そこで、第1表に示した誤差原因と対策を検討するとともに、第2図の被写体に深さ2.5mmの穴を施し、その測定結果から、対策の効果を確認した。この結果、誤差0.1mm程度の測定精度が得られた。



第2図 金属被写体を用いた検証試験状況

第1表 誤差原因とその対策による効果

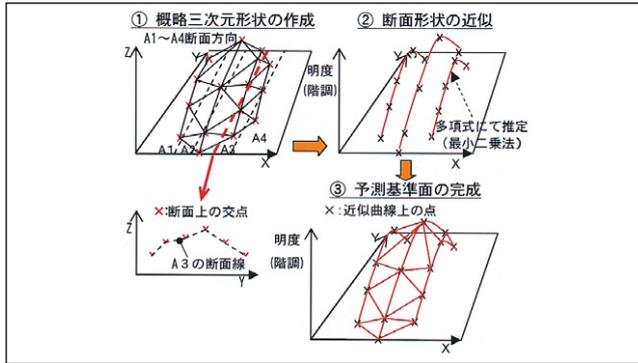
誤差原因	対策	効果
① ソフトウェア内で座標軸を明確に定義できない	直角三角基準の貼付	直角三角(2辺長50mm)座標基準シートで測定精度向上
② 被写体表面の特徴が少ない	目玉シールの貼付	コントラストが明確になり測定精度向上
③ ハレーションが発生する	現像液の塗布	高照度においてもハレーションを防止
④ 被写体表面の特徴が少ない 暗所で十分な照明が得られない	プロジェクターで模様を照射	特徴を明確に照射
		十分な照度が確保可能

3 デジタル写真解析システムの最適化

3.1 深さ測定の基準面設定プログラムの開発

市販のソフトウェアの機能では、測定基準面を平面でしか設定ができず、水車ランナの湾曲する表面に沿った基準面の設定が出来ずに、測定誤差が大きかった。そこ

で、水車ランナの翼面形状に沿った基準曲面が設定でき、その基準面から摩耗深さを測定評価できる機能を開発した。



第3図 基準面設定のアルゴリズム

3.2 深さ測定の基準曲面設定アルゴリズム

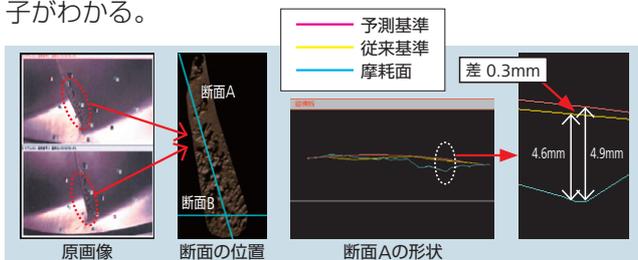
基準曲面の設定アルゴリズムについて、第3図および以下に手順を示す。

- ①デジタル写真撮影したデータから、概略三次元形状を作成する。
- ②概略三次元形状を等間隔の断面上で多項式近似し、なめらかな曲線を作成する。
- ③近似曲線上の点に対して三角網を生成し、基準曲面を作成する。

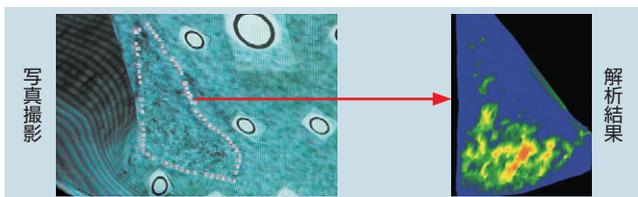
4 開発ソフトによる検証結果

4.1 解析検証試験結果

開発ソフトを用いた検証試験を実施した結果、従来の基準面と比較して開発基準面は、ランナ翼本来の形状に近い設定ができた。第4図の例では、従来と今回の方法で0.3mm(6%)の精度向上となっている。また、発電所で実物水車の計測を試行し、摩耗量を色分けした結果を第5図に示す。この時、従来の手測定および解析による摩耗深さは、それぞれ2mmと、2.351mmであり、解析システムが実際の摩耗状況を正確に測定できている様子がわかる。



第4図 解析検証結果



第5図 実際の水車の摩耗量測定例

4.2 写真解析の適用範囲

発電所等における実物水車の計測を通じて解析に必要な撮影条件および適用可能な水車が得られたため、第2表にまとめる。

第2表 解析条件および解析可能な水車

項目	測定箇所	測定箇所		備考
		ランナ入口側	ランナ出口側	
フランス水車	立軸	○	○	水車出力: 10,000kW以上
	横軸	×	○*	
ベルト水車		○		ランナバケット内面測定
撮影条件 (共通)	・プロジェクター投影距離: 1200mm以上確保できること ・摩耗撮影点に死角なくプロジェクター投影できること			

4.3 現地での写真撮影方法

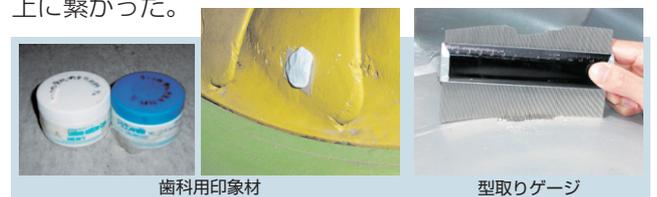
現地で写真解析を行う場合の写真撮影方法について、第6図に示す。壊食・摩耗部位にプロジェクターで模様を投影した状態で、デジタルカメラで写真撮影を行い、パソコンにインストールした解析ソフトを用いて、解析を行う。



第6図 写真撮影方法

4.4 従来の摩耗量測定との比較

キャビテーション壊食等の摩耗形状は複雑で、目視等により最深部を特定して、第7図に示す歯科用印象材や型取りゲージ・ノギス等で測定を行うが、器具の取扱い方で1~2mmの誤差が生じ、精度よく測定することが難しく、摩耗量を過大および過小評価する恐れがあった。しかし、デジタル写真解析による摩耗解析では、測定器の扱いによる誤差が減少できて、誤差0.1mm程度の測定精度を保つことが可能であり、摩耗量測定の精度向上に繋がった。



第7図 従来の摩耗量測定方法

5 まとめ

デジタル写真解析システムの最適化により、測定環境(撮影条件)により制約はあるものの、精度よく摩耗量・壊食量を解析評価できることを確認した。この結果、キャビテーション壊食の著しい発電所において、壊食量管理の精度向上により、的確なランナ取替時期の判断が可能となった。

