

ペルトン水車の流力的トピック

平成13年12月14日

富士電機株式会社・環境システム事業部
久志本 昌一／技術士(機械部門)

<講演補助資料;講演当日配付>

- ①富士電機カタログ(HC46a)「ペルトン水車」
(PDFファイル添付; Acrobat Reader Ver.4.x 以上により閲覧可能)
- ②富士時報(1983/Vol.56, No.8号)記事;「最近のペルトン水車」
- ③日経メカニカル(1981/10/12号、P60,61)記事
- ④ビデオ映写「ペルトン水車模型実験でのバケット周りの流況観察」; 約5分

1. ペルトン水車概要

1.1 ペルトン水車の流力的特長

- ①高落差・小流量(⇒低比速度)向きである。
- ②フランシス水車に比べ、最高効率はやや劣る。
- ③部分負荷特性が極めて良好である。
 - a. 水車効率の落ち込みが少ない。⇒ 年間発生電力量の増大
 - b. 軽負荷側の運転制限が無い。⇒ 流れ込み式発電所に特に有利
- ④多ノズル構成にして、ノズル数切替え運転が出来る。⇒ ③での特徴の増幅
- ⑤多ノズル機(6射、5射)での、ジェット干渉の流力問題が有る。⇒ 適用選定上での注意
- ⑥デフレクタ操作による水流制御が可能である。
 - a. 鉄管水圧上昇が極小にしうる。⇒ 長大水道管路の途中への水車設置の実例
 - b. デフレクタ放流運転が可能である。⇒ 余水路省略の実例
- ⑦放水面水面押下げ運転が可能 ⇒ 洪水位が高い場合の無効落差の縮小

1.2 ペルトン水車の技術動向

1) 水車の形式;

大きく分類しペルトン水車(衝動型)、フランシス水車(反動遠心型)、カプラン水車(反動軸流型)の3種類に区分できる。

ペルトン水車は高落差・低流量(即ち低比速度)に適した形式であり、従来の実績では落差300m以上の発電所に適用されている。

2) 技術開発の進展;

- ①ペルトン水車は、30年以上前の時点で既に90%に近い水車効率が達成されていた事、未開発の高落差水力地点が減少してしまった事から、技術開発が停滞していた時期があった。一方、1970年代の石油危機を契機に、未利用水力の有効利用機運が高揚した。そのため、他の水車形式には無いペルトン水車の際立った特長を生かすべく、技術開発が再び進められて来た。それにより、適用可能な領域もより低落差・より大流量の範囲(即ち高比速度化)に拡大されるようになって来た。
- ②ペルトン水車を大出力化する手段の一つとして、1ランナに対する運転ノズル数を増やす方法が有り、最大6ノズルの運転が技術的に可能である。そのため、世界の記録的大容量ペルトン水車の大部分は、6ノズル又は5ノズルを有している。世界最大容量機は、ノルウェー・Sy Sima 発電所の350MW/台、落差 908.5m、5ノズルである。また、日本最大容量機は、黒部川第四発電所の95.8MW/台、落差 580m、6ノズルである。
- ③水車の基本性能に関する技術開発のみではなく、水力発電所システムをよりフレキシブルに運営する目的のための技術開発も進んでいる。例えば、長大な上水道パイプラインの途中に設置され未利用落差を回収するためのペルトン水車技術や、デフレクタによる水流制御により発電所の余水路を省略する技術などが有る。

3) ジェット干渉について;

- ①6ノズルペルトン水車の設計や、運転適用範囲を計画する場合は、「ジェット干渉」と呼ばれる流力的な問題を考慮する必要がある。ジェット干渉は、4ノズル以下の場合には全く問題にならない現象であり、5、6ノズル 特に6ノズル機に顕著となる。本現象は、水車の最高効率点より大流量側および低落差側で生じ、水車効率が急激に低下してしまう。そのため、実物水車の運転範囲がジェット干渉領域に入らぬよう、事前に模型実験により水車特性の十分な確認が必要となる。
- ②6ノズルペルトン水車をより高比速度の水力地点へと適用領域を拡大するためには、ジェット干渉が発生しにくい流力形状(特にランナやバケットの形状)を開発する必要がある。これには理論検討に他に実験レベルでの非常に高度な研究が要され、ペルトン水車メーカーの技術レベルを押し量る指標にもなりうる。

2. 流力的トピック

2.1 ランナ・バケット周りフローパターンの研究

2.1.1 模型実験による流況観察

(注;講演にて紹介済の画像の幾つかについては、添付PDFファイルの資料内写真として掲載されているので参照されたい。)

ペルトン水車ランナバケットの流れは時間依存流れとなり、定常流れとして取り扱う事が可能なフランシス水車ランナ流れとは全く状況が異なる。

このため、現在では反動ランナの開発に積極的に取り入れられている計算流れ解析(CFD)は、今の時点では適用が困難である。従って、ペルトン水車の流力開発のためには、実験流れ解析が最も有力かつ確実な手段となっている。

富士電機では、水力実験室にてランナの高速時間依存流れを16mmフィルムでの高速度撮影(4000、2000 コマ/秒)し、スローモーションで映写することにより実験流況解析を実施した(講演

当日、ビデオ画像映写)。

画像解析により、バケット内の流れの時間変化を克明に知ることができ、ジェット干渉や水車効率の改善に結びつく「バケット切り欠き部」からの流出流れの実態が詳細に解析できた。

また、バケット流出流れと隣接バケットとの相対関係や、ハウジング内での流出水の挙動など、机上では予測困難な現象も把握することができた。

2.1.2 計算流れ解析(CFD)の進展状況

現時点では、実験流れ解析が主たる研究手段であるが、ペルトン水車へのCFDの適用の取組みも行われつつある。

神奈川大学・久保田教授らにより、コマ送り法という方法により時間依存するバケット内流れの状況を近似的にCFD解析する研究が進められている。

(参考文献; 「ターボ機械」第27巻6号、1996年6月・記事「ペルトン水車のCFD」)

2.2 デフレクタ周りフローパターンの研究

デフレクタは、負荷遮断時および非常停止時に操作し、ノズルから噴出するジェットの方向をランナから逸らす機能(ランナにエネルギーを与えない)を持つ。

デフレクタはノズルの開度に関係無く水流を遮断し、ランナを停止させる事が出来るため、水圧鉄管内の流量変化(結果的に水圧上昇をも)を極めて小さくすることが可能である(この時、ノズルは非常にゆっくり閉鎖する)。そのため、僅かな水圧上昇しか許されない鉄管長さが数十kmもある発電所にも採用が可能である。

ここで、デフレクタはランナ等に比べてマイナーな存在であったため、デフレクタ周りのフローパターンは、これまで殆ど研究されて来なかった。

或るペルトン水車発電所において、非常停止時(デフレクタ作動時)にランナが「逆転」してしまうという珍現象が発生した。この解明のため、模型実験によりデフレクタ周辺の流れを実験解析した。その結果、デフレクタ受水部の形状(大きさ)が不十分なため、逸らされたジェットの一部分が期待された方向にガイドされず、ランナ背面に衝突している事が判明、逆転の原因が明確となり問題解決が可能となった。

本件は、従来は気に留めていなかった問題ではあるが、実験により謙虚に流れを観察する事により、早期に問題を解決に到った好例である。

2.3 放水トンネル内の気泡流れの研究

ペルトン水車は衝動水車であるので、ランナは空中で運転される。ここで発電所の計画に当たっては、放水位が洪水位に対して安全となるようランナ中心の標高が選定されるのが普通である。

ところが洪水位が極めて高い場合、通常の放水位においてはランナ中心から放水位までの無効落差が増大してしまう。

この洪水位の出現する可能性は稀である事が多いため、無効落差を縮小し年間発生電力量を増やす方法が「水面押し下げ運転」である。この運転のためには、放水トンネルは気密に製作し、運転中はハウジング内に給気して水面を一定に保つ。放水トンネル出口部にはカーテンバップルを設け、空気が逃げないようにする。

ところが、空気の一部は気泡として水流により外部に持ち去られるため、その空気量(必要給気量)の測定と、カーテンバップルの最適位置を究明する模型実験が行われた。

カーテンバップルの位置が水車に近いと、気泡により流出する空気量が多くなり、また位置が遠いと放水トンネルの建設にコストがより掛かることになる。

模型実験は、実物水車でのフルード数を合わせて実施した。放水トンネル側面から気泡流を観察してカーテンバップルの最適位置を究明することが出来た。

以上