

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 藤野浩一

本論文は「水撃圧の代数学的手法による解析と揚水発電所水路系への応用に関する研究」と題し、水路系や管路網に発生する水撃圧解析法の中の代数学的方法を統一的に再構築したものである。

第1章「序論」においては揚水発電所の発展経緯からその特徴を分析し、近年における建設費の縮減及び海外への技術移転に関して本研究の課題を整理した。揚水式発電所は1960年代末から高落差、高能率化が進み、様々な技術開発が必要となった。一様な管路が長く続く水力発電所の特徴を考慮すると、管路端での物理量だけによって水撃圧現象の分析が可能となる代数学的方法は、他の手法に比べて計算時間を大幅に短縮できる有利さがある。こうした特徴から代数学的方法は実務では用いられてきたが、理論的な背景、適用範囲などについては必ずしも十分に分析が進んでいない嫌いがあった。こうした考察に基づき、分析法の一般化、実機における体系的な観測、数値手法の比較検討により、利便性が高く、かつ信頼性のある体系の樹立を本研究の目的とした。

第2章「揚水発電所水路系における水理現象の特徴」では、導水路、導水路調圧水槽、水圧管路、ポンプ水車、放水路、放水路調圧水槽を含む系の特徴を述べている。とくに、ポンプ水車流量特性の複雑さ、送電系統からの周波数調整運転要請などの制約下における水撃圧解析の内容を明らかにした。

第3章は「管路網における水理現象の数値モデル化」であり、ネットワーク理論により一般化が図られた。水撃圧現象の分析は代数学的手法を適用し、管路の両端における物理量のみを用いて、高速な演算が可能となる。また、管路の抵抗については線形近似を導入し、基礎方程式系全体が行列表示できる定式化を行ない、一般性を高めた。これらの近似はマッハ数が小さいという前提条件のもとでは有効な手法であり、その適用性については現地の計測、より精緻な手法との比較により後段で検証されている。

第4章は「任意水路ネットワーク水撃圧解析プログラムの開発」と題され、第3章で定式化された基礎方程式を具体的に解く数値解析のプログラムを作成した。揚水式発電所で用いられるフランシス式の可逆ポンプ水車の運転状態は、流量-トルク-回転速度を軸とする三次元空間内の一個の局面で表され、この完全特性は模型実験によってのみ把握することが出来る。従来の過渡現象の解析法では、この曲面を二つの平面に投影した曲線を用いて解を追跡していたため、現実の三次元局面上にない点を誤って選択し、計算が不可能になることがしばしば見られた。本解析では特性曲線上の各測定点で構成される微小平面を考え、常に一つの面上或いは連続する面の間で計算を進める方式を考案した。これによって、安定した追跡を行なうことが可能となった。

第5章は「測定結果に基づく理論の検証」である。奥清津第二発電所においてポンプ水車単機の負荷・入力遮断並びに二つのポンプ水車の同時負荷・入力遮断、同時の負荷急増あるいは、ずれを伴った負荷遮断などの計測を行なった。現実の揚水発電所におけるこう

した大規模で綿密な計測結果は、それ自体として非常に貴重なものである。

本研究で開発された水撃圧解析手法により、実際の水路系各部における内圧と水斜回転数の時刻歴は計算により順当に予測できることが確認された。本研究で用いられた手法は、簡易でかつ信頼性の高い分析を可能にしたものと判断できる。但し、高速で回転する水車の翼の振動に依ると考えられる高周波振動、同じく高速で回転する水車出口部における吸出し管に現れる旋回流現象の効果などを扱うことは出来ない。これらは水撃圧現象を解析する基礎方程式には含まれていない二次的な現象であり、これらが卓越する部位においては一定の誤差を伴うことが判明した。したがって、各部位における圧力脈動を詳細に知るためには、観測結果の特性を十分に考察する必要がある。

第6章の第一の課題は、より精緻な数値計算手法と考えられる特性曲線法を用いた解析結果と比較することにより、本研究で用いた代数学的手法の適用範囲を確認することである。比較の結果に依れば、現地観測が行なわれたような水理条件に関しては、二つの手法の間には、殆ど差がないことが確認された。また、代数学的手法が成立する前提となっているマッハ数の影響についても特性曲線法の演算結果と比較することにより、適用範囲の上限が0.05と推定された。これは管路内の流速が毎秒20メートルとなったり、空気の混入率が0.2パーセントにも達するという条件に相当している。これらは現在構想されている揚水発電所では起こり得ない、極めて特殊な条件である。したがって、代数学的手法は揚水発電所の水撃圧解析を十分精度高く実行できることが確認された。この章の第二の課題は、代数学的解析法の利便性の確認である。今回開発された手法はパーソナルコンピュータに移植され、十分な能力を発揮できることが確認された。これにより世界のどこに居ても、水力発電所水路系に対する代替案を提示し、その挙動特性を短時間で解説することが可能となった。代数学的手法に依る計算時間は、特性曲線法の約1/6から1/8であることが確認された。こうした高い利便性を有する手法は、技術移転の可能性を大きく広げることが出来る。

第7章では得られた結論を取りまとめている。

本論文においては水路モデルの一般化、ポンプ水車の完全特性の解明、代数学的水撃圧解析法の適用範囲の明示など、高速で信頼性の高い解析手法が構築された。これにより今後の技術移転においても活用できる、一般的な揚水発電所水路設計体系が構築されたといえる。以上要するに、本論文で得られた成果はエネルギー工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。