

## 学位論文及び審査結果の要旨

氏名 向井 健朗

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 理工博甲第92号

学位授与年月日 令和5年9月15日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 理工学府・機械・材料・海洋系工学専攻

学位論文題目 高落差フランシス水車の起動過程においてランナ羽根に生じる過大な応力発生メカニズムに関する研究  
(Study on the mechanism of extraordinary stress on runner blade during start-up of high head Francis turbine)

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 松井 純  
横浜国立大学 教授 松本 裕昭  
横浜国立大学 教授 西野 耕一  
横浜国立大学 教授 百武 徹  
横浜国立大学 教授 荒木 拓人

## 論文及び審査結果の要旨

近年の水力発電においては再生可能エネルギーの調整電源としての役割が大きくなってきており、その起動過程における過大応力の評価は非常に重要なテーマである。この起動過程において発生する過大応力は、その発生のメカニズムについて明らかにされていないことから、対処療法的に対応しているのが現状である。本論文では高落差フランシス水車を対象として、起動過程で発生する過大応力のメカニズムを解明することを目的として研究を行った。

第1章では、本研究の背景と目的、研究対象とする水車について述べた。

第2章では、実物水車の実働応力測定を実施し、起動過程においてランダム性の高い過大な動的歪みがランナに発生していることを明らかにした。この特異な現象を、ドラムステイックで短時間にランダムに叩かれるドラムに例え、「ハイドロドラム(Hydro Drum)」と命名した。また、起動モードが歪みに与える影響を調査したところ、ハイドロドラムは定格回

転数の 35% (35%N)以下の限られた範囲で発生しており、歪みの大きさはガイドベーン開度に依存することがわかった。さらに、歪み波形の詳細な分析から、流体的な衝撃荷重がランナ羽根間の出口端付近で生じ、その衝撃荷重が羽根を負圧面側へと瞬時に変形させた後に引張歪みが羽根に生じていること、衝撃荷重が取り除かれた後、羽根は水中固有振動数で数回自由振動しながら減衰していることを示した。

第 3 章では、実物水車の相似模型を用いた模型試験を用いてハイドロドラム発生要因を調査した。その結果、ハイドロドラムはキャビテーションに関連する衝撃的な水圧荷重により生じることを明らかにした。また、キャビテーションモデルを導入した CFD の実施により、キャビテーションクラウドの連鎖的崩壊現象によってハイドロドラムが生じていることを示した。

第 4 章では、ハイドロドラムの一般的な強度指標を検討し、ランナ羽根入口における相対速度係数の周方向速度成分が良い指標となりうることを示した。

第 5 章は本研究で得られた成果を総括している。

これらの知見は、発電用水車に関する重要な知見であり、今後の水車設計に役立つと考えられる。以上から、本論文の手法や結論の重要性および新規性は高いものと認められ、本論文は博士（工学）の資格を十分に満たしているものと審査委員全員一致して判定した。