

## 審査の結果の要旨

氏名 山出 吉伸

飲用水を生成する上水ポンプ機場においては、取水槽とよばれる流路に設置された吸込み配管と吸込み配管内に設置されたポンプにより、河川や湖沼の水が吸い上げられる。吸込み配管に近づく流れの流速や水面高さ、吸込み配管の入口に設けられるベルマウスの直径などにより決まる、取水槽の運転条件によっては、ポンプに流入する流れの中に吸込み渦とよばれる渦が発生し、ポンプの振動や騒音の原因になったり、最悪の場合にはポンプが破損したりする場合がある。従来、取水槽内の流れを模擬する模型水槽試験において、流速や水面高さなどを変化させて渦が発生する条件を調べ、得られた知見に基づき、渦が発生しない運転条件が決められていた。また、模型水槽内の吸込み配管の近傍の流速分布や発生する渦の流速分布などを数値流体解析により予測し、模型水槽試験結果と比較した結果なども報告されているが、吸込み渦の起源やその形成メカニズムは明らかにされておらず、渦の非定常運動を詳細に言及した論文も報告されていなかった。

そのような状況の中で、本論文は最大 20 億の計算格子（計算メッシュ）を用いて模型水槽内の流れの大規模な非定常解析を実施し、吸込み渦の起源やその形成メカニズム、さらに、渦の非定常運動に関して調査した結果を報告したものであり、序論（第 1 章）、および結論（第 5 章）を含む、全 5 章から構成されている。

第 1 章において、上記のような研究の背景、従来研究、および本研究が解決しようとしている課題（目的）に言及した後、第 2 章において、本論文で用いた数値解析手法を説明している。本論文で用いた数値解析手法は、**Large Eddy Simulation (LES)** とよばれる乱流の解析方法である。特に、本論文では吸込み渦の起源を特定することを目的として、吸込み渦だけではなく、模型水槽の

底面や側面に発達する乱流境界層内の生成スケールの乱れも再現している。上記のように、模型水槽内の比較的大規模な渦である、吸込み渦を LES により再現した結果はいくつか報告されているものの、本論文のように、模型水槽の底面や壁面に発達する乱流境界層内の乱れも再現した研究例は報告されておらず、本論文の新規性の一つである。

第 3 章および第 4 章が本論文の主要な結果を示している。まず、第 3 章において、模型水槽全体の流れを LES 解析により再現している。模型水槽試験結果と数値解析結果とを比較することにより数値解析の精度を検証した後、水槽壁面の条件（境界層の状態）を 3 とおりに変化させた LES 解析を実施した。その結果、水槽の底面や側面から発生する、水中渦とよばれる吸込み渦の起源は境界層中の平均的な速度勾配（渦度）であり、乱流境界層中の渦は水中渦の発生に対して本質的な関与はしていないこと、水面から発生する、空気吸込み渦とよばれる吸込み渦の起源は吸込み配管の背後のはく離した流れに存在する渦度であることを明らかにした。また、時間平均流れを渦度の輸送方程式を用いて詳細に分析することにより、水中渦が形成されるメカニズム、すなわち、境界層中の渦度の軸の向きが変換されるメカニズムを明らかにした。

上記のように第 3 章に示した結果により、吸込み渦の起源やその形成メカニズムが解明できたが、渦の中心の静圧はあまり下がらず、模型水槽試験においてはキャビテーションにより渦が可視化されるという事実とは整合しなかった。そこで、第 4 章において、吸込み配管の直下の領域だけを対象として、さらに高いメッシュ解像度の LES 解析を実施した。この際、第 3 章の吸込み水槽全体の LES 解析で得られた流速分布を解析領域入口（模型水槽の底面近傍に相当する）の境界条件として与えるとともに、入口の旋回の強さを変化させて、それが渦の非定常挙動に与える影響を調査した。その結果、渦の中心の静圧は大幅に低下し、模型水槽試験によりキャビテーションを伴う渦が可視化されることと整合する結果が得られるとともに、スワール数とよばれる、入口の旋回強さと軸流速度との比を規定する無次元パラメータがある範囲になったときのみ、強い渦が発生することを明らかにした。さらに、渦の角運動量（旋回方向の運動量）が渦の中心に輸送され、強い渦が形成される過程も明らかにした。

以上、本研究において得られた数々の知見は工学的にも工業的にも価値の高いものであり、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。