

京都大学	博士 (工学)	氏名	Chen Peng-An
論文題目	Integration of multiple outlets'operation and sediment management options in the reservoir for increasing efficiency of turbidity current venting and clear water storage (ダム貯水池における濁水密度流排出効率および清水温存の向上を目的とする複数放水口操作および土砂管理の統合化に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本研究は、ダム貯水池の持続的管理を実現させるために重要となるダムの堆砂問題を解決する方策として、特に、大規模ダム貯水池において高濃度の土砂を含む洪水が流れ込んだ場合に形成される濁水密度流現象の予測と管理手法について、台湾の代表的な貯水ダムである石門ダムを対象に検討を行ったものであり、全体8章で構成されている。</p> <p>第1章では、論文の背景と研究目的、特に、台湾における水資源管理としてのダム貯水池の重要性、さらに、河川流域からの活発な土砂生産およびダム貯水池への堆砂進行の現状、これらを踏まえたダム貯水池を持続的に管理するための堆砂対策の重要性とその方法論について解説している。</p> <p>第2章では、ダム堆砂問題とその対策のうち、特に高濃度の濁水が流入する場合の流れの特徴を利用した堆砂対策手法に関して既往研究のレビューを行うとともに、これを制御する方策に関する研究課題について検討を行っている。特に、大規模ダム貯水池に対して高濃度の土砂を含む洪水が流れ込んだ場合に形成される濁水密度流の物理特性を規定する潜り点の形成、濁水密度流本体の流下過程(密度分布および流速分布など)について整理するとともに、これを適切に予測および管理するための3次元数値解析モデルの必要性について論じている。</p> <p>第3章では、本研究で対象とした台湾・石門ダムのダム堆砂問題の概要と、既往研究で実施された石門ダム貯水池を対象とする大規模水理模型実験で得られた知見について整理している。ここでは、濁水密度流現象を適切に予測するための支配パラメータを整理するとともに、石門ダムの新たな堆砂対策として導入が計画されている土砂バイパストンネルによる土砂排出効果の評価手法について検討を行っている。また、時間領域反射率測定法(TDR)による貯水池内のリアルタイム濁度計測手法についても検討を行い、このモニタリングデータも組み合わせることで洪水時の濁水密度流の発生および流下を予測することが可能であることを示している。</p> <p>第4章では、3次元数値解析モデル(TELEMAC-3D)の支配方程式、適用範囲、濁水密度流のシミュレーションに対する長所について説明し、支配パラメータに関する包括的な感度分析について論じている。決定された数値パラメータの結果は、濁水密度流の流下過程を理解し、ダムからの排出効率を高めるための効率的なシナリオを検討するために重要となる。</p> <p>第5章では、濁水密度流の流下過程についてより詳細に検討を行っている。特に、密度流を形成する貯水池内の流れ構造、密度流本体とフロント部の厚さ、流下速度、土砂の輸送プロセスおよび細粒土砂の堆積したダム湖底における土砂の堆積・巻き上げによる交換過程について議論を行っている。また、ダム湖に途中から支川が接続する場合の、支流からの洪水および土砂流入の影響および主流の濁水密度が貯水池幅の影響を受けて拡散する現象の取り扱いについても検討を行っている。</p> <p>第6章では、濁水密度流の排出効率を高めるための既存設備の課題について整理し、その改善方策</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	Chen Peng-An
<p>について検討を行っている。特に、非構造物対策として、ダムの底部放流口や土砂バイパストンネルを含む複数の排出口を設けた場合の効果およびこれらの効果的な運用による排砂操作、ゲート操作のタイミングおよび追加設備（二次的な土砂バイパストンネル）の活用による土砂排出効果の増分について推定している。さらに、構造物対策として、貯水池内の濁水密度流の流下を促進させるための、支流合流部の拡幅を抑えるために、潜り導流堤を構築する対策や、貯水池底部に掘削水路を設けて濁水密度流の横断方向への拡散を防止する対策などを提案し、その効果を検証している。その上で、ここで提案された堆砂対策を組み合わせる実施した場合の貯水池の持続可能性向上について考察している。</p> <p>第7章では、第6章で提案した改善方法に関して将来の洪水イベントの変動性に対応した有効性の変化について検討を行っている。ここでは、濁水密度流による堆砂対策の実行可能性について、洪水規模や流入土砂濃度などのパラメータが変化した場合の濁水密度流の挙動に与える影響を整理するとともに、これら条件の変化に対する濁水密度流のコントロール手法の技術的・経済的な妥当性を評価している。</p> <p>第8章では、ダム貯水池における濁水密度流の流下プロセスにおいて新しく発見された事項を要約し、排出効率の新しい概念を提案している。また、ダム貯水池の管理者向けの早期警報システムを開発することにより、貯水池における濁水密度流の制御を実管理へ応用するための鍵について重要な推奨事項を示している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、台湾・石門ダム貯水池を対象に、洪水時に形成される濁水密度流を3次元数値解析モデルを用いて検討を行い、ダム堆砂の軽減のためにその動態を予測するとともに、効果的な排出手法について系統的に研究したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 濁水密度流の発生・流下特性を把握するためには、潜り点の発生位置の予測が重要である。研究対象とした石門ダムでは、密度フルード数 (Frd) 0.5~0.8 程度で発生しており、得られたデータより、流入流量と土砂濃度の関数として密度フルード数の予測式を提案した。また、濁水密度流の流下速度は、鉛直方向の流速分布および濁度分布より推定が可能であり、これにより貯水池内の流下時間を推定することができる。なお、時間領域反射率測定法 (TDR) による貯水池内のリアルタイム濁度計測も組み合わせることで洪水時の濁水密度流の発生および流下を予測することが可能である。
2. 濁水密度流の効果的な排出のためには、1) 鉛直多層の放流口や貯水池中流部に土砂バイパストンネルを設置するなどにより多様な放流ルートを構築すること、および、2) 濁水密度流の到達時刻を予測し、これらからの放流タイミングを最適化するなどの非構造物対策が有効である。
3. 濁水密度流の排出効果をより向上させるためには、1) 支川合流部の密度流の拡散現象を防止するための潜り導流堤の構築、2) 密度流の横断方向への拡散を防止して流下を促進させるための貯水池底部への掘削水路の構築、3) 土砂バイパストンネルに濁水密度流を効果的に導くための導流パイプの設置などの構造物対策が有効である。
4. 3次元数値解析モデルを用いて、洪水流量や土砂濃度の組合せを変えた条件を設定して系統的な検討を行った結果、非構造物対策により最大 45% 程度、さらに構造物対策を組合せることで最大 62%、濁水密度流の排出効果を現状よりもそれぞれ増加させることを明らかにした。
5. これらの組合せによる濁水密度流対策により、ダム堆砂進行を遅らせることが可能であり、2100 年におけるダムの貯水容量の維持 (現状対策では 20% 以下まで低下するのを 40% まで向上) が可能である。

以上のように、本研究は、台湾・石門ダム貯水池を対象に、3次元数値解析モデルを用いて洪水時に発生する濁水密度流を高解像度で再現し、その発生・流下特性を明らかにするとともに、非構造物対策および構造物対策の組合せによる排出効果を検討したものである。特に、本研究で提案した濁水密度流の流下促進のための導流対策や、貯水池底部からの複数の放流口への導流対策などは新規性のある対策案であり、将来の持続的な水資源確保のために実際上寄与するところが少なくない、よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 4 年 2 月 16 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、(令和 6 年 3 月 30 日までの間) 当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 令和 4 年 6 月 23 日以降