

論文の内容の要旨

我が国では、堤防整備、河道整備、洪水調節施設の整備を進めることで、段階的に流域の治水安全度の向上を図ってきた。洪水調節施設は、河道を流下する洪水のピーク流量の低減や、洪水の遅達をもたらす点から有効な治水施設である。ダム貯水池は河川上流部に位置しており、ダムへの流入量、ダムからの放流量は、下流河川の治水計画や流域の洪水予測を行う上での与条件となることから、治水計画上重要な構造物である。一般に、ダム貯水池に洪水流が流入するとき、貯水池内の水面はほぼ水平に上昇するとみなして流入量、放流量を算定してきた。すなわち、現行のダム管理では、貯水池下流端のダム堤体付近で観測された 1 点の貯水位とゲートの式から放流量を算出し、ダム放流量と貯水池の水位-水量 (H-V) 関係からダム流入量を算定し管理が行われている。この手法は、貯水池内の洪水流量の連続関係を用いて、ダムへの流入量、ダムからの放流量の関係を簡易に推定可能であるが、複雑な形状を有するダム貯水池内の洪水流は、貯水池内を流動、貯留しながら時空間的に流量や水位波形を変形しつつ流下する。洪水時の貯水池内の流動、貯留、伝播メカニズムの力学的な検討に基づいて検証がなされなければならない。

本研究では、ダム貯水池に流入する洪水流の流動を現地ダムと大型模型実験で観測し、複雑な形状の貯水池流動を表現可能な準三次元貯水池解析モデルを開発する。次に、これを用い洪水流入量、放流量の定量的な評価を行い、安全で効率的、効果的なダム貯水池の管理につなげることを目的とする。以下に各章で示された主な内容について述べる

第 1 章 (序論) では、研究の背景、目的、および本研究の構成を述べている。

第 2 章「ダム貯水池内の洪水流下に関する既往の研究と本研究の位置づけ」では、ダム貯水池における洪水の流動、貯留、伝播機構に関する既往研究を概観し、洪水時のダム貯水池内の流動、貯留、伝播機構は、未だ十分に解明されておらず、貯水池の適切な管理上の課題解明が求められていること、このためには、洪水時に貯水池内で発生する三次元流れや、流速分布の変形機構の検討が必要なことを示している。

第 3 章「現地観測と大型水理模型実験によるダム貯水池内の洪水流動」では、草木ダム貯水池内の洪水流の流動、貯留、伝播の実態を明らかにするために、現地草木貯水池での観測とそれを 1/75 に縮尺化した草木貯水池水理模型を用い、貯水池洪水流動機構を詳細に調べ明らかにしている。現地貯水池では、ダム上流河川、草木ダム貯水池、ダム下流河川で時空間的な水位観測を行い、貯水池での洪水流動実態を明らかにしている。この観測結果と模型実験結果の分析から、草木貯水池では、流動特性の異なる上流区間、遷移区間、湛水区間の 3 つの特徴的な区間に分けられ、その中で遷移区間で洪水流入により地形性の大規模な渦の形成と干渉、貯水池底面付近の非平衡状態の流速分布による特異な流れ場の形成により貯水池三次元流れ場が生ずることを明らかにしている。

第4章「準三次元貯水池洪水流動解析法を用いたダム貯水池における洪水流の流動、伝播と洪水流入量、放流量の評価法」では、水理模型実験結果から見出された遷移区間における貯水池河床近傍の非平衡流速鉛直分布や大規模な地形性の渦構造の変化を表現するため、貯水池底近傍に渦層を考慮した貯水池流動準三次元解析モデルを開発した。解析モデルは、貯水池流速分布等流れの細部構造や、地形性の大規模渦の構造等、貯水池の特徴的な水理現象を説明でき、解析モデルによって上流河川～遷移領域～湛水域を流下する洪水流動を一体的に取り扱うことを可能にしている。さらに、ダム貯水池の上流河川、遷移域、湛水域に開発した準三次元貯水池流動解析法を、ダム下流河川には一般底面流速解析法を適用し、観測した水位の時系列データを解析に用い、ダムへの流入量、貯水池内の貯留量、ダムからの放流量のハイドログラフを算定し、算定した各流量が、上流河川流量、貯水池内の貯留量、下流河川の流量とほぼ対応することを明らかにした。これより時空間的な水面形の観測値を用いた貯水池流動準三次元解析モデルが、貯水池への流入量、貯水池からの放流量を算定するうえで、信頼できる方法であることを示した。

次に、ダム貯水池への中規模洪水、大規模洪水が流入した場合、現行のダム管理に問題がないかを調べるために貯水池水理模型実験を行い、これと準三次元貯水池洪水流解析と比較した。その結果、現行の貯水池貯留量評価法は、最大で約10%程度大きく見積もられていること、これは水位が最も高いダム堤体付近の水位がどこでも成立するとして貯水池の貯留量を評価していることに起因していることを明らかにしている。これより現行のダム管理は、貯水池貯留量に安全側の評価を与えており、ダム管理上有効な方法であると判断された。

第5章「河道化した小規模ダム貯水池における洪水流の流動と洪水流入量、放流量の評価法」では、土砂堆積により河道化が進行している貯水池の放流量に対し、観測水面形の時系列データと貯水池内の流動機構を考慮した一般底面流速解析法より高水流量、ダム流入量、ダム放流量を算定した結果、河道化したダム貯水池では、ダム放流地点の洪水流速水頭を放流ゲートの式に考慮し放流量算定を行うことが必要であることを示した。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果を総括している。今後の課題としては以下の項目があげられる。

(1) 貯水池規模、貯水池形状、流入洪水特性の違いにより、貯水池内の洪水流の流動や変形機構、貯留量が異なるものと考えられることから、他のダム貯水池についても同様の検討が望まれる。現行のダム貯水池管理方法によれば草木ダム貯水池では10%程度貯水池内の貯留量が大きめに見積もられているが、貯水池の容量、洪水流入量、貯水池からの放出量の関係によってこの貯留量分がどの程度の大きさになるか検討が必要である。

(2) 構築された貯水池流動解析モデルにより、貯水池底で生じる流れの検討が可能になった。このことは、現在、全国のダム貯水池で懸案となっている洪水流に伴って山地からの土砂がダム貯水池に流入し、ダムの機能を劣化させる堆砂問題に対して、洪水検討がなされなければならない。

論文審査の結果の要旨

本論文では、ダム貯水池に流入する洪水流の流動を現地ダム貯水池とそれを縮尺化した大型水理模型実験で観測し、複雑な形状を有する貯水池における流動を説明する準三次元貯水池流動解析モデルを開発している。この解析モデルを用いダム貯水池への洪水流入量、放流量の定量的な評価を行い、安全で効率的、効果的なダム貯水池の管理技術を提示することを目的としている。以下に審査結果を述べる。

草木ダム貯水池内の洪水流の流動、貯留、伝播の実態を明らかにするために、草木貯水池での観測とそれを 1/75 に縮尺化した草木貯水池水理模型を用い、貯水池洪水流動機構を詳細に調べ明らかにしている。現地貯水池では、ダム上流河川、草木ダム貯水池、ダム下流河川で時空間的な水位観測を行い、貯水池の洪水流動実態を明らかにした。この観測結果と模型実験結果の分析から、草木貯水池は流動特性の異なる上流区間、遷移区間、湛水区間の 3 つの特徴的な区間に分けられ、中でも遷移区間では洪水流入により地形性の大規模な渦の形成と干渉、貯水池底面付近の非平衡状態の流速分布による特異な流れ場の形成により貯水池三次元流動が生ずることを明らかにしている。次に、実験結果から見出された遷移区間における貯水池河床近傍の非平衡流速鉛直分布や大規模な地形性の渦構造の変化を表現するため、貯水池底近傍に渦層を考慮した貯水池流動準三次元解析モデルを開発した。解析モデルは、貯水池流速分布等流れの細部構造や、地形性の大規模渦の構造等、貯水池の特徴的な水理現象を説明でき、上流河川～遷移領域～湛水領域を流下する洪水流動を一体的に解析的に取り扱うことを可能にした。さらに、ダム貯水池の上流河川、遷移域、湛水域に準三次元貯水池流動解析法を、ダム下流河川には一般底面流速解析法を適用し、観測水位の時系列データを解析に用い、ダムへの流入量、貯水池内の貯留量、ダムからの放流量のハイドログラフを算定し、算定した各流量が上流河川流量、貯水池内の貯留量、下流河川の流量とほぼ対応することを明らかにした。これより時空間的な水面形の観測値を用いた貯水池流動準三次元解析モデルが、貯水池への流入量、貯水池からの放流量を算定するうえで、信頼できる方法であることを示した。

次に、ダム貯水池に中規模洪水、大規模洪水が流入した場合、現行のダム管理に問題がないかを調べるために貯水池水理模型実験と準三次元貯水池洪水流解析を実施し比較した。その結果、現行の貯水池貯留量評価法は、最大で約 10%程度大きく見積もっていること、これは水位が最も高いダム堤体付近の水位が貯水池内のどこでも成立するとして貯留量を評価していることに起因していることを明らかにした。この結果は現行のダム管理は、安全側の評価を与えており、ダム管理上有効な方法であると判断された。

最後に、土砂堆積により河道化が進行している貯水池の放流量に対し、観測水面形の時系列データと貯水池内の流動機構を考慮した一般底面流速解析法より高水流量、ダム流入量、ダム放流量を算定した結果、河道化したダム貯水池では、ダム放流地点の洪水流速水頭を放流ゲートの式に導入し、放流量算定を行うことが必要であることを示した。

以上、本論文はこれまで洪水水理現象の理解が十分進んでいなかったダム貯水池水理・管理の分野に対し、新しい学術、技術の体系を与えるものであり、本論文で明らかにされた成果は、学術上、河川工学上、重要な貢献を与えている。よって本論文は、博士 [工学] 論文として価値があるものと認める。