

6. 結論

6.1 結論

本研究では、効率的、効果的なダム管理に資するため、大型水理模型実験と準三次元貯水池流動解析法からダム貯水池内の洪水流の流動、伝播、貯留機構について詳細に分析を行った。また、観測データをもとに、現行のダム流入量、放流量の評価方法が有する課題を明らかにし、ダム流入量、放流の評価方法を示した。

以下に、本研究で得られた結論を示す。

第2章では、ダム貯水池における洪水波形の流動、貯留、伝播機構に関する既往検討を概観し、既往研究が有する課題を整理した。その上で、以下に示す本研究の位置づけを示した。

第3章では、ダム貯水池内を流下する洪水流の流動、貯留、伝播の実態を明らかにするために、草木ダム貯水池における洪水の現地観測と、草木ダム貯水池（草木湖）を模したダム貯水池水理模型を用いた流動実験によりダム貯水池内の流動を詳細に観測し、流動機構を分析した。

本研究で対象とする草木ダムでは、平成25年9月洪水、平成27年9月洪水を対象に、貯水池内およびその上・下流河川の洪水時の水面形の時間変化と上・下流河川の流量観測を実施している。しかし、危険を伴う現地観測で流動データを収集するには制約を伴う。このため、草木ダム貯水池の1/75水理模型を作成し、平成25年9月洪水を流下させ詳細な洪水流動のデータを得た。実験結果から、ダム貯水池内の流動は、貯水池上流区間、貯水池上流区間と下流の湛水区間の間にある遷移区間、湛水区間の3つの区間に分けられることを示した。これらの区間の内、遷移区間では、大きな運動量を持った上流域からの流れが流入し、貯水池全体の流れ構造を規定する重要な区間である。この区間の貯水池は、平面的な水面の広がりに加え、河床勾配の大きな変化により、底面付近で流速が小さくなり、流速の鉛直分布が非平衡状態となって流れることで特徴的な貯水池三次元流れを形成することが明らかとなった。このため、貯水池内の流動現象を詳細に評価するには、貯水池内の三次元的な流動機構の評価が必要であり、このために、遷移区間での底面の非平衡流れを考慮した準三次元貯水池流動解析法を構築し、観測と解析を用いた定量的な議論が必要であることを示した。

第4章では、ダム貯水池内の三次元的な洪水流動を説明できる数値解析モデルを構築し、貯水池内を流下する洪水流の流動、伝播、貯留機構を分析した。また、観測水面形の時系列データと準三次元貯水池流動解析法を用い、ダム流入量、放流量の評価法を検討した。

本解析モデルの特徴は、ダム貯水池内の縦横断的な地形変化による洪水の流動、変形を考慮するため、貯水池内の洪水流動を規定する河床勾配が縦断的に大きく変化する遷移区間における、河床近傍の非平衡流れと、それに伴う流速の鉛直分布の変化を、河床近傍に境界層的な渦層を考慮していることにある。このために、本研究では、洪水が大きな運動量をもって流下する主計算領域と、河床近傍での渦層域の2層から成る準三次元貯水池流動解析法を開発した。また、構築した準三次元貯水池流動解析法を大型水理模型実験に適用し、本解析法の妥当性を示した。

次に、縦横断的に詳細な洪水水位データ等が観測された草木ダム貯水池とその下流河川を対象に洪水流入量、放流量の評価法について検討した。ダム貯水池の湛水域、遷移域、上流河川には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、観測水面形の時系列データに基づき一体的に洪水流解析を実施することで、ダム貯水池への流入量ハイドログラフ、ダム貯水池からの放流量ハイドログラフを算定し、観測流量ハイドログラフと比較した。上流河川、貯水池内とその下流河川における観測流量と解析流量がほぼ対応し、観測水面形の時系列変化を用いた本解析法が、流量、貯留量の算定に有効なことが示された。この方法は、今後全国のダム貯水池の流入量、放流量、貯留量の検討の有力な手段になることが示された。

最後に、中規模洪水、大規模洪水が流入した場合に、現行のダム管理に問題が生じないかについて、中規模洪水と大規模洪水を対象とした大型水理模型実験と準三次元貯水池流動解析法を適用し検討した。その結果、遷移区間の流動による水平からの時空間的な変化に伴う貯留量変化を考慮しても、貯水池の大部分を占める湛水区間で水面がほぼ水平に上昇するために、現行の貯水池全体が水平に上昇するとした貯留量は、草木ダムで最大で約10%程度大きく見積もられることになった。これは、貯水池下端では流れの運動エネルギーが非常に小さく、水面高が貯水池内で最も高くなり、その高さが貯水池内でどこでも成立するとして貯留量を評価しているためである。洪水流入による流速分布等による貯留量の変化分は貯水池全体の貯留量に対しては、大きくないことを示している。この結果、現行のダム管理であるダム堤体付近の水位を指標とした管理は、安全側の貯留量を評価しており、実務上有効であることを示した。

第5章では、長年にわたりダム貯水池への土砂堆積による貯水池の河道化が進行している高津戸ダムでは、ダム放流量算定式から求めた流量とダム下流の高津戸地点の浮子を用いた観測流量の間には差異が生じていることが示されてきた。本章では、差異の要因を明らかにするために、高津戸ダム貯水池とその上下流河川を対象に観測された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により検討を行い、ダムへの流入量、ダムからの放流量、高津戸地点の高水流量を算定した。

土砂堆積が進行し河床が上昇した高津戸ダム貯水池内は、河道に近い流況にあり、対象とした平成27年9月洪水では、貯水池内の水面は河川のように縦断水面勾配を有し、堤

体付近で 3.0m/s 程度の流速が発生する。しかし、現行のダム放流量算定式は、接近流速水頭を無視しており、流速水頭を考慮していない式を用いた現行のダム放流量は、下流河道の観測流量よりも小さく算定され、接近速度水頭を考慮した修正式より求めた放流量は、下流河川の水面形の時間変化から求めた流量ハイドログラフおよび浮子による観測流量とほぼ一致した。これより、土砂の堆積により河道化した小規模ダムからの放流量には、接近速度水頭の項を付加した放流量式を用いる必要があることが示された。

6.2 今後の課題

今後は、貯水池特性の違い（湛水領域が長い、水深が浅い、湾曲・蛇行形状等）による影響分析が必要である。これは、本研究は、貯水容量の大きい草木ダム貯水池、土砂堆積の進行により河道化し貯水容量の小さい高津戸ダム貯水池を対象としたものであり、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が異なるためである。このため、他のダム貯水池についても同様の検討を実施し、本研究で得られた知見が有効であるか確認する必要がある。

また、ダム貯水池では、洪水管理だけでなく貯水池内の堆砂の進行に伴う貯水容量の減少が懸念されている。この貯水池土砂問題を解決するには、貯水池内の土砂堆砂箇所の予測や、効果的な排砂施設を検討するため、精度の高い土砂輸送モデルの構築が必要である。本研究で開発した準三次元貯水池流動解析法により、河床近傍の渦層域を考慮することで、貯水池底面の洪水流動を表現することが可能となった。貯水池内の土砂の移動は、外力となる河床底面の洪水流動により形成されるため、貯水池底面の流動が表現可能となることにより、土砂の輸送機構を詳細に分析することが可能となる。今後は、本解析モデルに土砂移動モデルを付加し、合理的な貯水池土砂管理に生かしていくことが必要である。

謝辞

私は、平成 20 年 4 月に株式会社建設技術研究所に入社し、河川計画に関する業務に携わってまいりました。その後 5 年が経過した平成 25 年 4 月に中央大学大学院博士後期課程に入学し「ダム貯水池における洪水流動解析と洪水流入量・放流量の評価方法に関する研究」を始め、この 3 年間で、多くの人に支えられながら、論文をまとめることができました。ここに記して感謝の意を表します。

本研究のテーマを与えて頂き、最後までご指導いただいた中央大学研究開発機構教授 福岡捷二先生には深甚の感謝の意を表します。研究の進捗が遅く、研究姿勢、先の見通しの甘い私に対し、福岡先生には、いつも厳しくご指導・ご鞭撻を賜りました。先生よりご指摘、ご指導いただいた内容は、私が修士の学生だった頃と変わっておらず、多大なご迷惑をおかけしました。そんな私を見捨てず、最後までご指導を賜りましたこと、深く、お礼申し上げます。今後は、河川技術者として成長した姿を見せられるよう技術力の向上に努め、先生に認められる技術者になるため励んでいきたいと思っております。

中央大学研究開発機構教授 内田龍彦先生には、研究に対する考え方、数値解析法、水理模型実験におきまして、多くのご助言、ご指導を頂きました。心より御礼申し上げます。特に、内田先生には、私の物事を考えるプロセスが甘い点を、厳しくご指摘いただきました。まだ、先生の要求されるレベルに達しておりませんが、ご指摘を少しでも改善できるよう、努めていきたいと思っております。ありがとうございました。

中央大学研究開発機構准教授 福田朝生先生、中央大学研究開発機構助教 後藤岳久先生、竹村吉晴先生、田端幸輔先生には、研究内容等について議論し、多くのアドバイスを頂きました。また、皆様の研究に対する熱心な取り組みが私にとって大きな刺激となり、研究を進めることができました。心より御礼申し上げます。

岩佐結子様、仲井いく子様には、研究室生活を送る上で多くのご配慮をいただきました。厚く御礼申し上げます。

福岡研究室の皆様には、研究に対する真摯な取り組みが、私にとって大きな刺激となり、研究を進めることができました。また、自分の研究が忙しい中、ダム貯水池の大型水理模型実験に参加いただきありがとうございました。学部 4 年生の大野様には、ダム貯水池の大型水理模型実験を実施するにあたり、多くのことを議論し、無事に実験を行うことができました。心より感謝致します。

国土交通省関東地方整備局渡良瀬川河川事務所、独立行政法人水資源機構の皆様には、草木ダム、高津戸ダムにおける貴重な現地観測データを提供いただきました。また、現地見学の場を与えて頂くなど、研究を進める上で様々な面でお世話になりました。ここに御礼申し上げます。

株式会社建設技術研究所水理センターの皆様には、ダム貯水池大型水理模型実験を実施するにあたり、実験経験が浅く、不慣れな私に対し、水理実験の基礎からご指導いただき、様々な面でお世話になりました。ここに御礼申し上げます。

株式会社建設技術研究所の西村達也東京本社副本社長，藤原直樹中部支社次長，天野光歩河川部長をはじめとする皆様には，社会人大学への進学をご理解いただき，在学中にも多大なご支援を賜りました。心より御礼申し上げます。

中央大学理工学部教授 榎山和男先生には，論文審査を通じて，解析法や研究の取りまとめ方等について貴重なご指摘とご助言を頂きました。心より御礼申し上げます。

中央大学理工学部教授 山田正先生，中央大学理工学部教授 有川太郎先生，中央大学理工学部教授 田口東先生，埼玉大学大学院理工学研究科教授 田中規夫先生には，ご多忙の中，論文審査を通じて有益なご指摘とご助言を賜りました。ここに御礼申し上げます。

最後になりましたが，博士後期課程への進学を理解し，支えて続けてくれた妻 里美に心より感謝致します。