

研究成果報告書

研 究 題 目		貯水池の土砂堆積と排砂機構の解析のための 非球形混合粒径土砂のオイラー型粒子充填モ デルの開発	実 施 年 度	
			2018 年度	
代 表 研 究 者	所 属	広島大学 大学院工学研究科 社会基盤環境工学		
	氏 名	内田 龍彦 印		
1. 研究の目的・背景				
今後の予測される地球温暖化に伴う、洪水、渇水頻度の強度の増大に対する適応策や温室効果ガスを排出しない再生可能エネルギー供給源を確保する緩和策の両面において、我が国においてダムに期待される役割は大きい。今後の厳しい財政状況、生産人口減、良好なダムサイトが有限であることなどから、ダムの有効活用案の検討は喫緊の課題である。この中で、ダムの容量を減少させる貯水池の土砂堆砂の対策は、持続可能なダム開発、ダム再生のための主要な検討課題となっている。ダム貯水池の土砂堆砂対策を検討するためには、貯水池の土砂堆砂量や水流による貯水池の土砂堆砂機構や排砂機構を精度よく見積もることができる解析モデルが不可欠である。 流域の上流域に設置されるダムには上流から巨石からシルトを含む広い粒度分布を有する土砂が貯水池内で分級作用を受けて堆砂する。分級作用を受けると粒度分布の変化に伴い、土砂の空隙率も変化すると考えられるが、現存する河床変動解析法では、分級作用と空隙率の変化を十分考慮することが出来ない。このことは、堆砂機構検討の前に、以下に述べるように上流からの土砂生産量とダム堆砂量の収支をきちんと比較することができないことを意味する。 砂礫、石礫河川において河床を構成する幅広い粒度分布に対して、流れによる河床変動解析を行う場合、平野によって提案された交換層の概念が広く応用されているが、空隙率と交換層厚は解析結果を支配する重要なパラメータにもかかわらず、半世紀近く経った現在でもその評価手法が確立されていない。即ち、交換層の考えは、空隙率を一定にすることに限ったものではないが、これまで空隙率を適切に評価する手法は確立されておらず、従来河床変動解析においては空隙率を一定にするために、礫床河川を砂が移動するなどの基本的な課題に対してさえ解析が困難となっている。例えば、粒径差が大きい二つの土砂が混ざり合うとき、空隙率一定の場合は保存される土砂体積は、細砂が粗礫に侵入するために保存されなくなる。これはダムなどの土砂堆砂、排砂問題を考える上で体積ベースの土砂量のみの土砂管理は不十分であり、粒度分布と空隙率が考慮できる解析法が必要であることを示している。 本研究では、非球形混合粒径土砂のオイラー型粒子充填理論の導出し、それを用いてダム貯水池などの広域空間で広い幅をもつ粒度分布の土砂の堆積と排砂機構を解析することのできる新しい混合粒径河床変動解析法を開発するものである。				

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

本研究では、オイラー型の新しい混合粒径河床変動解析法を開発するために、以下の研究小テーマで構成されている。

1. 非球形混合粒径土砂のオイラー型粒子充填理論の構築

- 1-1 二粒径粒子充填モデルに基づく球形混合粒径粒子の粒子充填理論を導き、粒子形状を考えない場合の粒度分布と空隙率の関係を理論的に導出する。
- 1-2 二粒径粒子充填モデルに基づき自然河床材料の形状特性とその評価手法を構築する。
- 1-3 任意の形状と粒径をもつ現地河床材料の粒度分布と空隙率の関係を解明する。

2. 新しい混合粒径河床変動解析法の開発

- 2-1 開発したオイラー型粒子充填理論を用い、静水中を沈降する土砂の堆積モデルを構築し、検証する。
- 2-2 流水中における混合粒径河床の表面土砂に作用するせん断応力を定式化し、2-1 のモデルと平面二次元解析法をカップリングし、新しい混合粒径河床材料解析法を開発する。
- 2-3 解析法を応用し、貯水池における土砂堆砂機構を解明し、有効な排砂対策を検討する。

1. について、球形粒子によって構築した理論を河川堆積土に応用し、球形の場合に定めた係数を用いた本解析法により、自然堆積土の空隙率が精度よく見積もれることを示した。2. について、まず、ライプニッツルールに基づき、混合粒径の河床変動解析の基礎方程式を導き、粒子の侵入可能空隙（available porosity）という新しい概念の導入の必要性和有用性を示し、これを用いた土砂堆積モデルを構築した。本解析法は、実験水路の有限厚さに堆積する現象も再現できることを示した。さらに、流水による分級作用と土砂堆積変化量特性を実験的に明らかにし、分級作用による土砂堆積の変化は無視できないものであることを明らかにした（本実験では1. 1倍）。堆積過程については概ね表現できたため、今後は侵食過程について本解析法が有効かをまず運動学的に検証し、次いで掃流力と浸食量の関係を定式化した後、流れの解析法とカップリングした新たな解析法を構築する予定である。以上より、概ね申請時の計画通り研究が進展した。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

本研究に関する最先端の研究情報を知るために学会に参加し、重要な研究情報を得ることが出来た。また、ダム、河川に堆積した自然堆積土を採取し、自然土砂による二粒径充填実験と混合粒径充填実験を行い、空隙率を調べた。流水による分級作用を明らかにするために、実験水路を改造し、ダム、河川に堆積した土砂の分級過程を明らかにした。概ね予算計画に沿って経費を使用した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

実験的に流水による分級作用と土砂堆積変化量特性を実験的に明らかにし、分級作用による土砂堆積の変化は無視できないものであることを明らかにしたことと、粒度分布から有限体積土厚下の空隙率を評価できるようにしたことは 意義が大きい。流れとカップリングした河床変動解析法の開発には課題を残すが、土石流の粒度分布から、初期堆積土砂の空隙率が計算できるため、理想的に分級された場合の土砂堆積量が概ね評価できることは実用面で有用である。即ち、ダム堆砂量の計測と併せれば現段階でも上記のような堆積変化量の見積もりが可能である。

本研究から、堆積過程については概ね表現できたため、今後は侵食仮定について本解析法が有効かをまず運動学的に検証する必要がある。これについては、現在取り組み始めている。そして、掃流力と侵食量の関係を定式化した後、流れの解析法とカップリングした新たな解析法を構築する。現在、土砂堆積問題は喫緊の課題とされているが、空隙率の変化を適切に評価するオイラー型の土砂輸送解析法は確立されていないために、本解析法は実用、応用される可能性が高いと考えられる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

- 1) 林 勇輔・内田 龍彦・河原 能久：分級作用に伴う混合粒径土砂の空隙率と体積変化，第 71 回 平成 31 年度土木学会中国支部研究発表会 II-32，2019.6.1，岡山大学津島キャンパス．
- 2) 林 勇輔・内田 龍彦・河原 能久：分級作用に伴う混合粒径土砂の空隙率と体積変化，令和元年度全国大会 第 74 回年次学術講演会，香川大学幸町キャンパス，発表予定．
- 3) 林 勇輔，内田龍彦，河原能久：分級作用に伴う混合粒径土砂の空隙率と体積の変化に関する基礎的研究，土木学会論文集，投稿中．
- 4) Tatsuhiko Uchida, Yoshihisa Kawahara, Yusuke Hayashi, Ayano Tateishi: Eulerian deposition model for sediment mixture in gravel-bed rivers with broad particle size distributions, Journal of hydraulic engineering, under review.