

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study on Large-scale 3-D Simulations for Driftwood Disasters
著者(和文)	SHENDAWEI
Author(English)	Dawei Shen
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第262号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:青木 尊之,肖 鋒,大西 領,伊井 仁志,門永 雅史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第262号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	SHEN DAWEI	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	青木 尊之	教授	門永 雅史	特任教授
	審査員	肖 鋒	教授		
		大西 領	教授		
伊井 仁志		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study on Large-scale 3-D Simulations for Driftwood Disasters (流木災害に関する大規模 3D シミュレーションの研究)」と題し、6 章より構成されている。

第 1 章「Introduction」では、流木により河川氾濫や土石流の被害が拡大することを説明し、流木災害を低減するために多数の流木捕捉工が設置されていることを述べている。多くの問題があるにもかかわらず小規模な実験しかできなく、測定できる内容も限定されていることを指摘している。また、これまでの流木を含んだ流れのシミュレーションは殆どが 2 次元計算であり、3 次元解析は狭い領域の低解像度計算であるため、実際の災害とは大きく乖離していることを問題点として述べている。本論文の目的は、流木を含んだ流れの大規模シミュレーションを実際の河川氾濫および砂防堰堤に適用し、流木が堆積する場所とその原因を明らかにすることと、捕捉工で流木がどのように捕捉され、それが流れの閉塞にどのように影響するかを明らかにすることであると述べている。

第 2 章「Numerical Method」では、流木を含んだ流れのシミュレーションを行うための数値計算手法を説明している。河川の速い流れに対して、安定で高精度計算を行うことのできるキュムラント型衝突項の格子ボルツマン法を用い、高レイノルズ数の流れに対し、陰的な LES (Large-Eddy Simulation) 渦粘性モデルが有効に働くことを述べている。空気と水の界面はフェーズフィールド法により識別し、空気の流体運動は水の流れへの影響が小さいとして、界面に大気圧を課して水の流れだけを解いている。流木の形状はレベルセット関数で表現され、計算格子の方向に沿わない形状に対する境界条件として流体計算に反映している。流木間の衝突や流木と構造物・河床との衝突は固体表面に微小球形粒子を配置し、個別要素法により計算している。これらを統合してシミュレーションを行うことにより、水の流れと流木との相互作用および構造物や河床との衝突が計算可能になることを述べている。

第 3 章「Adaptive Mesh Refinement Method」では、AMR (Adaptive Mesh Refinement) 法をキュムラント型衝突項の格子ボルツマン法に適用する方法について説明している。水と空気の界面および流木、堰堤構造物、河床などの複雑な形状の物体近傍に高解像度格子を動的に配置させることにより、総格子数を大幅に削減することができ、高精度かつ高効率な計算が可能になると述べている。また、空間充填曲線を用いて動的に計算領域を分割することにより、スーパーコンピュータの複数ノードを使った 3 次元大規模シミュレーションが可能になることを述べている。

第 4 章「3-D Simulation of Real River Flooding with Driftwood」では、2016 年の台風 10 号の豪雨で岩手県岩泉町に発生した河川氾濫に対し、実地形を元に 920m×280m の範囲を最小格子 16.5cm で、被害の大きかった 360m×120m の範囲を最小格子 7.8cm で計算している。1000 本の流木を含んだ流れを上流から流入させ、建物に挟まれた細い流路が閉塞することによる堆積、建物の角に流木が衝突し減速することによる堆積、建物の壁にほぼ垂直に流れが当たることにより生ずるよどみ領域での堆積が流木捕捉の主な原因であることを見出している。実際に大量の流木が堆積したエリアとシミュレーションの結果がかなりよく一致していて、実災害における浸水経路と流木の堆積をよく説明できているとしている。

第 5 章「3-D Simulation for Driftwood Trapping」では、実規模の不透過型堰堤に付設された流木捕捉工の効果を調べるために、最小格子 3.5cm のシミュレーションを実施している。さまざまな長さの 1000 本の流木を上流から投入し、流木長が捕捉工の鋼材間隔の 75%より長ければ、90%以上が捕捉されることを明らかにしている。また、水面下で捕捉される流木の分布が流木長に応じて変化することも見出している。さらに、捕捉工前面の水位の堰上げは、流木が捕捉されている領域の幅と空隙率の積がよい評価指標であることを明らかにしている。

第 6 章「Conclusions」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は多数の流木を含んだ流れのシミュレーションを行うことにより実災害をかなり再現することができ、防災のための流木捕捉工の効果を明らかにできることを実証したもので、工学上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) 論文として十分な価値を有すると認められる。