

## 論文審査の結果の要旨

氏名：BERETTA PICCOLI PIETRO MARCO

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：Experimental study on environmental improvements of alternated gravel mounts in straight channelized rivers during flood stages（洪水期における直線河道内に交互に設置した礫層マウントによる環境改善に関する研究）

審査委員：（主査） 教授 安田 陽一

（副査） 教授 高橋 正行

教授 関文夫

スイス連邦工科大学教授

Boes Robert Michael

BERETTA PICCOLI PIETRO MARCO 氏は河川環境の改善方法の一つとして取り組んだ一連の研究を学位論文としてまとめている。河川整備として、治水・利水・環境の観点から整備することが求められているが、実情として治水・利水に重点を置いた河道整備が行われている。その結果、河道が直線となり、水路化された単調な断面になっていることが多い。このことによって、水生生物にとっての隠れ家がなくなり棲息環境が厳しく捕食被害が起きやすい状態となっている。また、洪水時には、避難できる環境もないため、洪水後の生息密度が急激に低下する。沖積平野において河川勾配が大きく、洪水時に水位が堰上がることがなければ、流速が増大し、河床低下や河岸侵食が進み露岩する可能性がある。Beretta Piccoli 氏は河道断面を変更することなく、礫の積み上げと巨礫の石組みの組み合わせを交互に設置し、環境改善の可能性を検討してきた。平水時には蛇行する流れを形成させ、多様な流れが形成できるようにし、洪水時には、流下能力を低下させることなく、河床低下および河岸侵食防止につながり水生生物が避難できる環境を確保することが可能となるように、碎石（原型では割石として生産される栗石）を土台とし、その上に礫によるマウントを交互に設置することを提案している。このような視点で環境改善をするところみは独創性に優れ、類似な研究例がない。

BERETTA PICCOLI 氏による研究のポイントは交互に設置する水制工を含むマウントの構造を検討し、最適な構造を提案することである。構造の検討は3段階にわたって行われている。1段階目では、碎石のみで三角形のマウントを交互に設置した構造、2段階目では、巨礫を用いた石組み水制工を交互に設置し、かつ側壁に沿って石組みした構造、3段階目では1段階目に提案した三角形のマウントの輪郭を巨礫による石組みに変更し、側壁に沿っても石組みした構造としたものである。この研究では、体長0.2m以下の小型魚類の生息要件に焦点を当てている。多様な水生動物の生活史を考慮して避難場所を定義することは重要な点である。参考文献や水路内の生きた魚類を使った実験の結果に基づき、避難場所とは、対象種が適切な遊泳条件を見つける可能性のある流れ場と定義している。避難可能領域の流れ場は、2つの上限閾値によって定義している。すなわち、模型規模で時間平均速度は0.10 m/s以下、速度の標準偏差は0.07 m/s以下としている。これらの条件を満たす流れ場内は、すべて避難可能な水域に分類している。避難可能な水域とは、小魚類が本流や乱流から逃れるために、集合した岩の間の空きスペースで待機するとみなしている。碎石において空隙を生み出すが、この調査の対象種にとっては小さすぎるため測定が難しく考慮されていない。各マウントモデルの機能は、総避難体積（すなわち、全ての避難（可能）体積の合計）をマウント体積（すなわち、礫床上の細礫と中礫が占めるすべての空間）と比較することによって定量化している。フルードの相似則に基づき1/15の縮尺で実験が行われている。

学位論文の本論は1章から6章に分けて構成されている。

1章は研究背景、研究の着目点と目的、研究成果のポイントがまとめられている。

2章は実験概要の総括が記載されている。実験で使用した石材は細礫( $d_{50} = 0.016$  m)と中礫( $d_{50} = 0.063$  m)であり、細礫は玉石ではなく碎石を用いている。実験水路は滑面水路であることから、碎石を用いて土台を形成している。これは、露岩した状態を想定し碎石（原型では割石）を設置することで、増水しても土台が流出しにくい状態にした上で適切なマウント構造を検討する工夫をしている。検討している流量は $Q = 0.00370$  m<sup>3</sup>/s,  $0.00550$  m<sup>3</sup>/s,  $0.0588$  m<sup>3</sup>/s,  $0.155$  m<sup>3</sup>/sであり、流量規模による流況および流速場の変化、マウント構造の安定性、避難可能領域の変化を検討している。水路勾配を1/100とするこ

とで、水位がせき上げ状態にならず洪水時の流れが速くなり、避難環境として確保しにくい状態を想定している。

3章では、碎石状態の細礫のみを用いて三角形のマウント構造を交互に設置した場合が提案され、平水時から洪水時を想定した流況や流速場が検討され、流速場に基づいた水生生物の避難環境の領域の確保および構造の安定性から適切なマウント高さを定めた結果がまとめられている。また、碎石状態の細礫でマウントを形成しているため、構造が安定するための流量の上限があることが示されている。この章でまとめた一連の内容が査読付き海外の論文や国際会議の論文に掲載され、研究の発想や独創性について海外の研究者から高い評価を得ている。

4章では、碎石状態の細礫の土台の上に水路に直交するように中礫による石組み水制工を交互に設置した場合が提案され、洪水時の安定性、避難環境の拡大を目的に検討が行われた結果がまとめられている。長さ 0.60 m、幅 0.20 m、高さ 0.044 m の水制工で、中礫の 3 層構造で、礫を下流側に向けて接点が前後、左右、底面に確保できるように石組みした構造となっている。この場合の水制工の高さは 0.04 m としている。その石組み水制工を水路の両側に 0.80 m 間隔で交互に設置し、その周辺の流れに焦点を当てている。検討した流量規模では構造の安定性および土台の侵食防止を確認している。ここでは、水路の側面に沿ってさらに中礫を 3 層、下流に傾け内向きに石組みしている。石組み水制工の設置により、水路の全断面に沿って表面波が形成されている。ただし、水路の側面に沿って石組みを設置すると、側壁近くの流速が低減され、表面波は抑えられることを示している。各マウント構造の背後には大きな避難可能領域が確保された。すなわち、石組みによるマウントでは、それ自体の体積の 105% の体積を確保できることを確認した。この場合の課題は、各マウントの上流面に衝突する流れによって作用する流体力で水位上昇しやすく、水面の凹凸が形成されることを指摘している。この章でまとめた一連の内容が査読付きで掲載された洋書や国際会議の論文に掲載され、研究の展開や独創性について海外の研究者から高い評価を得ている。

5章では、3章で提案した三角形のマウントを基本に4章で得た成果を生かした複合型のマウントを提案している。すなわち、高さ 0.044 m、幅 0.65 m、長さ 0.50 m の三角形のマウントが水路の両側に沿って 0.80 m ごとに交互に設置され、各マウントの石組みは、下流に向かって 2 層で構成されマウントを補強している。石組みはマウントの形状に沿って設置され、マウントの安定性が高められている。水路の両側には、礫のマウントと同じ高さの玉石をさらに 2 層構造で石組みし、下流に向けて配置している。流況および流速場の検討結果から、側面に沿って設置された石組みにより、側面に沿った水面形はほぼ平坦であることを示した。さらに、石組みが各マウントの山頂を取り囲んでいるため、マウントの安定性が確認されている。ここで検討している流量規模の上限値で測定された平均水位は、4章で示した石組み水制工よりも低くなることを示している。三角形のマウントが流れを蛇行させ、避難可能な領域は、マウントの後方や中礫と細礫が接する隙間を中心に見られることを明らかにしている。この章で提案したマウント構造では、細礫と中礫の組み合わせが使用されているため、主流の流れや流量規模による影響をほとんど受けることなく、各マウント内部の空間はその体積の 23 % を占め、各マウントはそれ自体の約 40 % の総避難体積を確保することができることを結論づけている。この章でまとめた一連の内容が査読付き海外の論文や国際会議の論文に掲載され、研究の一連の展開や独創的な発想について海外の研究者から高い評価を得ている。

6章では、研究総括を示している。直線化された河道において棲息環境および避難環境を復元するためには、洪水時の安定性を考慮した上で細礫によって構成される三角形のマウントを中礫の石組みで保護し、平水時には蛇行した流れが形成され、洪水時には直線化する流れが形成されるように交互に設置することの有効性をまとめている。さらに、河岸（実験では水路側壁）に沿って石組みを行うことによって、側壁付近の流れの流速が抑えられ、増水時に避難領域および避難可能領域の増大が期待されることを示している。今後の研究では、実際の河川で検討する必要性を求める形で本論を結んでいる。

この論文内容は、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和 6 年 2 月 1 5 日