氏名（本籍）	原田　守啓（静岡県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 412 号
学位授与日付	平成 24 年 3 月 25 日
専　　攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	中小河川における流水抵抗特性と河道設計に関する水理学的研究 (Flow resistance and channel design in small and medium-sized rivers)
学位論文審査委員	(主査) 教授 李　富生 (副査) 名古屋工業大教授 冨永　晃宏　　教授 田中　光宏 教授 藤田　裕一郎

論文内容の要旨

本研究は，単断面河道において洪水の減勢と河道の安定に重要な役割を果たすと考えられる，河床面と護岸の粗度の機能に着目し，Einstein により提案された合成粗度係数算出方法の妥当性，川幅水深比*B/H*の効果等について，異なる粗度配置の水路における幅広い水理条件下での水理実験を主な手段として検証し，中小急流河川のより適切な改修方法を，断面形状と粗度配置の観点から検討したものである。

序論では，我が国の中小急流河川における河道災害の特徴と，中小河川改修における技術的課題に対する関係機関の対応状況，開水路流れに関する既往研究から指摘される水理学的な課題等について，網羅的に示した。

第2章では，我が国の中小河川において「単断面・河道掘削・立ち護岸」による改修が一般化した背景を考察するために，実務者が拠り所にしたと考えられる技術基準類・技術図書類をもとに，昭和初期以降の河道安定と河道の粗度係数の設定方法に関する考え方を整理した。

我が国の中小河川改修において，狭くて深い台形断面による改修が一般化した背景を明らかにするとともに，改修断面の特徴として，河川の規模と*B/H*に，明確な相関を確認した。また，中小河川単断面河道における２通りの粗度係数設定方法を実河川に適用し比較した結果，H10 以降導入された合成粗度係数より，旧来の計画粗度は最大20%程度大きく設定されていたことを明らかにした。

第3章では，*B/H*が小さい台形断面の実験水路において，底面に配置された粗度と側壁に配置された粗度が有する抵抗効果を検討するため，桟型粗度を適用した水理実験を行い，粗度係数の傾向について整理し，流速分布の測定値を用いて，底面と側面に配置した桟型粗度の抵抗特性について考察した。

水理実験から得られた粗度係数は，水深が増加するほど低下する傾向を示し，この傾向は粗度高さに対する相対水深により抵抗が変化する桟粗度の抵抗特性によって説明された。三次元流況計測では，かなり三次元性が強い立体的な構造を持った流れが観測され，底面に配置した粗度と側壁に配置した粗度が流れに及ぼす影響は異なることを確認した。一方，流速の鉛直分布を空間平均した結果，低層領域では乱流対数則が成立していることが確認された。

第4章では，幅水深比が小さい長方形断面の実験水路において，桟型粗度の設置条件を，底面配置，側壁配置，全面配置と変化させた水理実験を行い，底面粗度と側壁粗度の抵抗特性と，*B/H*が小さい水路における合成粗度係数の妥当性について考察を行った。

開水路の境界面せん断応力分布に関する過去の実験研究では，中小急流河川の実河道に相当するような，底面と側壁とで粗度条件が異なる場を扱った例は少なく，とくに，エネルギー勾配が大きい場における実験はほとんど行われていなかったことから，縦断勾配が 1/25 というかなり急勾配から1/400 の範囲までを実験の対象とした。

その結果，底面配置及び全面配置の*B/H*の変化に関する抵抗特性の傾向は，第3章に示した実験と同様に，鉛直二次元対数則に則った既知の抵抗特性により，桟型粗度高さに対する相対水深の変化としてよく説明されたが，実測された抵抗の大きさはやや低めであること，側壁配置の粗度の抵抗効果は限定的であることを確認した。

同時に，桟型粗度の抵抗特性は，縦断勾配 1/25～1/400 の広い範囲で，縦断勾配によらず，ほぼ流速係数が等しくなることが確認され，桟型粗度は従来の実測範囲よりもかなり急勾配の領域まで類似の安定した抵抗特性を有することを明らかにした。

また，Einstein の合成粗度係数を適用した結果，全体的に粗度係数が大きめに評価され，*B/H* が小さい断面ほどその差が大きいことを示し，隅角部を有した*B/H*が小さい断面において合成粗度係数を算出した際に生じる誤差の程度を明らかにした。

第5章では，底面粗度と側壁粗度の抵抗特性を，流れの三次元的構造と，せん断応力分布特性の観点から考察するため，第4章に示した水理実験から，代表的な 12 ケースを抽出して，断面内の主流速分布を詳細に計測した。計測した主流速分布に乱流対数則を適用して潤辺におけるせん断応力分布を推定した。せん断応力の非一様性の強い分布特性を適切に評価できたが，推定されたせん断応力の総量に，実測値との誤差が大きいケースもみられた。

せん断応力分布の推定結果から，*B/H*が大きい条件では，底面に作用するせん断応力は側壁から離れるにつれ上昇しており，かなり急勾配の水路であっても，側壁配置の粗度の抵抗効果が及ぶ領域は有限であることを確認した。

最後に，本実験の結果に，Einstein の Area Method を拡張した Yang and Lim のモデルの適用を検討し，底面と側壁の粗度の影響度合いを，領域分割の角度として検討することで，底面と側壁のせん断力の分配状況を良好に表現できることを示し，粗度配置が一様でなく，隅角部を持つ断面における流

水抵抗を簡易に記述するための方向性を示した。

論文審査結果の要旨

本申請論文における研究は，わが国のように，山間地域や扇状地など勾配の急な沖積地の中小河川に多数存在する単断面河道において頻発し，地方財政に大きな負担をもたらしている河床や河岸の極度の破壊を伴う洪水流による被災を軽減するために，流水の減勢と河道の安定に重要な役割を果たすことが期待される河床や護岸の粗度の水理学的機能に着目して行われたものである。すなわち，中小急流河川のより合理的で適切な改修方法を見出すために，流水の総体的運動エネルギー評価に直結するEinstein提案の合成粗度係数算出方法の妥当性や川幅Bと水深Hとの比（川幅水深比：B/H）が粗度の効果に及ぼす影響等について，幅広い水理条件下において異なる粗度配置の水路を用いた水理実験を実施して検討を加え，得られた結果に河道の断面形状と粗度要素の配置の観点から考察を行って，以下に示すような有用な知見を得ている。

初めに，わが国の中小急流河川における河道災害の特徴と中小河川改修における技術的課題に対する関係機関の取り組み状況に触れ，その変遷を実務者が拠り所にしたと考えられる技術基準類・技術図書類に基づいて分析し，わが国の中小河川において「単断面・河道掘削・立ち護岸」による狭くて深い台形断面の改修が一般化した背景を明らかにしている。同時に，河道規模とB/Hの値とには明確な相関関係があることを明確にするとともに，このような河道に対して平成10年に導入された合成粗度係数の算定手法を検証して，それ以前の粗度係数が最大で20%程度大きく河道粗度を見積もっていた可能性を指摘している。

ついで，開水路流れに関する既往研究から抽出された粗度効果に関する水理学的課題を整理した上で，桟型粗度を用いたB/Hの小さい台形断面水路実験における３次元流速分布測定に基づいて，底面配置粗度と側壁配置粗度とでは流れに及ぼす影響が異なって抵抗効果特性が相違する，すなわち，同一潤辺長では側壁配置の桟型粗度は底面配置の場合ほどの効果を持たないことを確認し，かつ，低層領域では乱流対数則が成立することを見出している。

また，桟型粗度の設置条件を底面配置，側壁配置，全面配置の３種とし，路床勾配を過去の実験的研究では未実施の範囲も含む1/25～1/400と広範囲に変化させたB/Hの小さい長方形断面水路実験によって，底面粗度と側壁粗度の抵抗特性とB/Hの小さい河道におけるEinsteinの合成粗度係数の妥当性について考察している。その結果，底面配置及び全面配置での桟型粗度のB/Hに対する抵抗特性の変化傾向は鉛直２次元流れの対数則に則った既知の評価式でほぼ予測可能であるが，側壁配置粗度の抵抗効果は限定的で側壁近傍に止まっているため，その適用が難しいことを明らかにしている。また，路床勾配が1/25～1/400の広い範囲において，流速係数が路床勾配によらずほぼ同様の変化特性を示すことを見出して，既往データの無い急な勾配の領域まで，桟型粗度が類似の安定した抵抗特性を有することを明確にしている。しかしながら，合成粗度係数算定手法では，全体的に粗度係数が大きめに評価され，その差はB/Hが小さいほど大きくなることを定量的に指摘している。

さらに，底面配置粗度と側壁配置粗度とにおける抵抗特性の相違を流れの３次元構造とせん断力分布の観点から考察するために，代表的な12の実験ケースについて，断面内の主流速分布を詳細に計測し，得られた流速分布の多くが乱流対数則に沿うことを示している。そこから，潤辺におけるせん断力分布を推定し，それが非一様性の強い分布であること，側壁配置粗度ではその抵抗効果の及ぶ領域が側壁付近に限定され，かつ，二次流の影響も明瞭であることを見出している。最後に，Einsteinの手法を拡張したYang and Limのモデルによって，本実験についても底面と側壁のせん断力の分配状況が良好に評価されることを示して，粗度配置が一様でない断面における流水抵抗の簡易予測手法に言及し，今後の課題を明確にしている。

以上のように，本論文は，中小急流河川のより合理的で適切な改修方法の確立に繋がる有用な知見を多数見出しており，河川工学上の課題解決に向けての大きな貢献が認められていて，工学的に高い意義を有しているものと判断される。

学位論文審査委員会では，以上の学位申請論文および発表論文（原著４編）を慎重に検討した結果，提出された論文は工学的な価値が高く，かつ，完成された内容を有しているものと認め，論文審査に合格と判定した。

最終試験結果の要旨

学位論文審査委員会では，申請者に対し，学位論文公聴会等において，学位申請論文および提出論文の基礎となる発表論文（以下の査読付論文４編）の内容と関連事項について質疑を行うとともに，別途，関連の研究や今後の問題点と解決への展望など，細部にわたる口頭試問を行った結果，適切な解答等を得たので，最終試験に合格と判定した。

発表論文

- 原田守啓，・藤田裕一郎：中小河川の断面形状と河道粗度設定手法の変遷に関する考察，土木学会水工学論文集，第56巻，2012.（印刷中）
- 原田守啓，藤田裕一郎：単断面河道における護岸粗度の抵抗特性と中小急流河川の護岸設計に関する一考察，土木学会水工学論文集，第54巻，pp.1009-1014，2010.
- 原田守啓，藤田裕一郎，山中貴之：中小急流河川における護岸粗度の抵抗特性に関する一考察，土木学会河川技術論文集，第16巻，pp.395-400, 2010.
- 原田守啓，松岡俊一郎，藤田裕一郎：粗度配置が異なる長方形断面開水路の抵抗特性とせん断応力分　布に関する実験的研究，土木学会水工学論文集，第56巻，2012.（印刷中）