

# 中小急流河川における護岸粗度の機能と掃流力分布に着目した改修手法の提案

もりひろ  
原田守啓<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大日コンサルタント株式会社 環境・水工部 (〒500-8384 岐阜県岐阜市藪田南3-1-21)

中小急流河川の改修を計画する上で、改修後の河道が計画した流下能力を発揮するだけでなく、出水時に河道の安定が損なわれないことが重要である。本研究は、単断面河道の河道計画に用いられる合成粗度係数の算出法の不確実性を指摘した上で、台形断面と矩形断面について粗度条件を変化させた水理実験を行い、中小急流河川における合成粗度係数算出法の適用性についての水理的な考察を示すとともに、河床面・護岸に作用する掃流力分布に着目した断面計画の考え方を提案するものである。

**Key Words** : 中小急流河川, 単断面河道, 合成粗度係数, 川幅水深比,  $B/H$ , 断面計画

## 1. はじめに

掘込河道の中小河川では、主に用地の制約から、河道の拡幅を最小限とし、単断面として河床を下げ、兩岸を立ち護岸にする改修が一般的である。

しかしながら、改修済みの河川において、写真-1のように、河道の安定が損なわれ、河床低下に起因して河道災害に至ったと考えられるケースも少なくない。同様の被害は全国各地で生じており、限られた公共投資に少なからず負担を生じている。

そのため、急流河川の河道改修では、計画構造物の力学的な照査にとどまらず、改修後の「河道の安定」を損なわない計画とすることが重要である。

この点に関し、「中小河川に関する河道計画の技術基準」<sup>1)</sup>では、河床を下げず、川幅を拡げることによって流下能力を確保して、掃流力を上げない改修を基本方針の一つとして提示しているが、このような改修を進めるには現実的な制約も多く、やむを得なく従来通り「単断面・河道掘削・立ち護岸」により改修せざるを得ない河川も現状では少なくないと考えられる。

また、川幅水深比が小さい単断面河道では、洪水時に護岸が潤辺に占める割合が大きくなるため、護岸粗度が出水時の流水の減勢に果たす役割は無視できないものと見なされ、護岸設計実務の拠り所となっている「改訂護岸の力学設計法」<sup>2)</sup>では、護岸には適切な粗度を設けること、中小河川単断面河道においては側岸の粗度を考慮した合成粗度係数（等価粗度係数）によって水理計算を行い、設計流速を



写真-1 改修済中小急流河川における河道災害の例  
(平成16年台風第23号出水, 岐阜県飛騨地方)

算出することを改訂の主旨の一つに唱っている。

このように、中小河川の河道計画及び護岸設計についての技術体系は整いつつあるが、中小急流河川の河道の安定の観点からは、河道計画手法についての技術的な検証・改良の余地があるように思われる。

そこで本論文では、中小急流河川における、より安全かつ経済的な改修方法を見出すことを目的とし、

- 1) 断面分割法による合成粗度係数が、川幅水深比  $B/H$  が小さい単断面水路において実河道の粗度を適切に評価しうるか
- 2) 中小急流河川の改修において、流下能力と河床の安定を両立するにあたって、留意すべき事項と適切な断面計画

といった点に着目して、岐阜大学にて台形断面と矩形断面について粗度条件を変化させた水理実験<sup>3)4)</sup>を行い、中小急流河川における合成粗度係数算出法の適用性についての水理的な考察を示すとともに、既往研究を踏まえて、河床面・護岸に作用する掃流力分布に着目した断面計画を提案するものである。



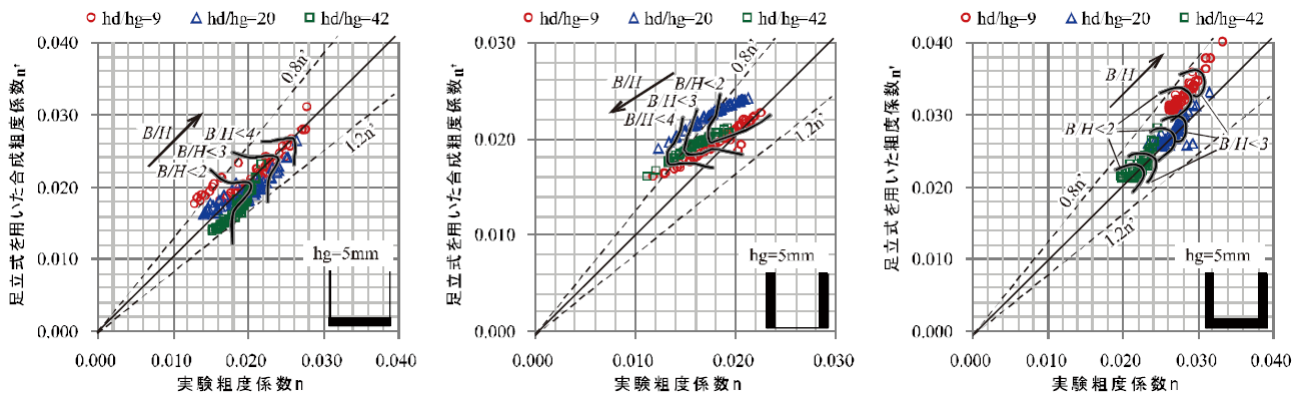


図-2 B/Hの変化に対する底面粗度，側壁粗度，全面粗度の抵抗特性 ( $h_g=5\text{mm}$ )

## (2) 既知の抵抗特性に基づく合成粗度係数との比較

足立<sup>10)</sup>は，栈粗度による粗度係数は，栈粗度間隔及び水深と粗度高さの比に大きく影響されることを示しており，栈型粗度の鉛直二次元対数則を(2)式にまとめている．なお，本式の適用領域は  $8 \leq h_d/h_g \leq 160$  であり，式中の  $H$  は鉛直二次元流れとみなした場合の水深を示す．

$$n = \frac{H^{1/6}}{\sqrt{g}} \left/ \left[ \left\{ 5.75 + 0.12 \left( \frac{h_d}{h_g} \right)^{0.8} \right\} \log_{10} \frac{H}{h_g} + 1.50 \log_{10} \frac{h_d}{h_g} - 1.91 \right] \right. \quad (2)$$

(1)式が成立しているとして栈粗度設置面が支配する領域の補正径深  $R'$  を算定して，(2)式の  $H$  に代入して栈粗度設置面の粗度係数を推定し，全潤辺の合成粗度係数を求めて，実験粗度係数と比較した結果を図-2に示す．

底面粗度については， $n$  が大きい領域では，合成粗度係数と実験粗度係数がよく一致するが， $n$  が小さい領域でのばらつきが大きく，合成粗度係数に対して  $\pm 10\%$  程度の差を生じている． $B/H$  が小さくなるにつれて，差が顕著になっている．

側壁粗度では，実験粗度係数が合成粗度係数を全体的に下回り，とくに  $n$  が小さくなるにつれて，実験粗度係数が合成粗度係数を下回る度合いが大きくなっていく． $B/H$  に着目すれば， $B/H$  が大きくなるにつれて，差が拡大することが確認される．

すなわち，側壁に配置した粗度の抵抗効果は，断面分割法により期待される程は作用しないことを示している．

## (3) 断面内の流速分布に基づく考察

$h_g=5\text{mm}$ ,  $h_d=45\text{mm}$ ,  $Q=18.0\ell$  のケースについて，水路中央区間の2本の栈粗度間の断面流速分布の主流速成分について，流下方向に断面間隔5mmで計測し，断面内各計測点の平均流速の計測値を流下方向に平均した断面流速分布を図-3に示す．

底面だけに粗度を配置したケースでは，最大流速点のもぐりこみが確認され， $B/H$  が大きいケースには，側壁の影響がより顕著に表れている．

側壁だけに粗度を配置したケースでは，側壁近傍の流速は低減されているが，その影響範囲は限定的であり，断面の高さ方向・横断方向に広く流速の大

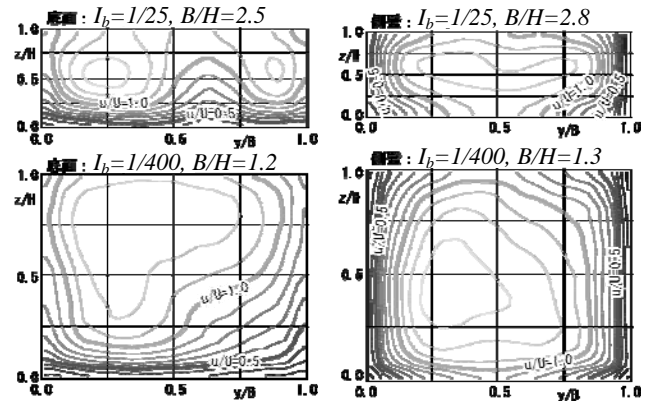


図-3 平均化した断面流速分布の比較

きい領域が広がっている．

## (4) 実験結果に対する考察

以上のように，側壁の粗度の流水抵抗効果は底面粗度の効果と比較すると弱いことを示したが，既往の研究も踏まえてこの原因を考察すれば，その原因は，開水路流れの基本である，重力の流下方向成分の分配のされ方にあると考えられる．

底面には常に鉛直方向に作用する重力の大半を示すその垂直成分が作用しており，路床底面や粗度要素にはその平行成分，すなわち重力の流下方向成分が必ず作用していることとなる．

幅が無限大の場合にはその釣り合いで流れの状態は決定され，等流であれば，乱れによる混合，すなわちレイノルズ応力とせん断応力分布の釣り合いから対数則分布となる．

これに対して，( $B/H$  が小さい単断面河道のように)有限幅の場合には，重力の流下方向成分の一部が側壁に働く流体力として負担されることとなるが，側壁に作用するせん断力は，流水の運動量を壁面に伝える乱流混合と二次流との作用に対する反力として定まるので，底面のように一様に近い分布とはならない．

これらのことから，各潤辺のManningの粗度係数から断面を分割して合成粗度係数を算出する方法は，側壁が垂直に近くなるほど，実際の粗度係数との差を生じやすいと推察され，また，側壁が潤辺に占める割合が高い単断面水路において，よりそれが顕著になると考えられる．

## 4. 結論と提案

### (1) 水理実験結果に基づく合成粗度係数の適用性

以下に、本研究で実施した水理実験の結論を示す。

- ・粗度が底面のみのケースでは、水路幅水深比 $B/H$ が小さい領域では、合成粗度係数と実験粗度係数の差が、断面効果により拡大する。
- ・底面、側壁、全面に粗度を配置したケースの比較から、側壁に配置した粗度は底面に配置した粗度に比して流れに対する抵抗が小さい。
- ・断面内流況の計測結果を併せた検討により、側壁に配置した粗度の抵抗の効果は、側壁近傍に限定されており、断面分割法に基づく合成粗度係数を適用した場合、側壁の粗度が大きめに評価される。
- ・以上より、断面分割法に基づく合成粗度係数は、側壁の粗度を過大評価する傾向がある。

### (2) 中小急流河川の改修にあたっての留意点と提案

本研究の成果を踏まえ、中小急流河川における改修時の留意点と、断面計画の考え方を提案する。

#### a) 河床面せん断力を閾値にして川幅水深比を設定

川幅水深比 $B/H$ を小さく設定した河道では、河床に比べて滑な護岸が潤辺に占める割合が高く、河床低下が生じ始めると、護岸が潤辺に占める割合がより高くなって、ますます粗度が低下する悪循環に陥る。また、本研究が示したとおり、側壁に配置した粗度は合成粗度係数で期待されるほどは機能しない。

そこで、河床面に作用するせん断力に閾値を設けて、少なくとも $B/H \geq 5$ を目安として川幅を設定することを提案する。

ただし、広げすぎると砂州発生領域に入ると、水衝部が生じて最大洗掘深が大きくなることから、出水時に形成される河床形態を見極めた上で、目標とする川の姿を勘案しながら川幅を設定する。

#### b) 河床面せん断力の評価には水深を用いる

河床面に作用するせん断力の照査や、河床変動計算を行う際は、摩擦速度や掃流力の算定に、径深 $R$ ではなく、水深 $h$  ( $h > R$ )を用いるべきである。

側壁の影響範囲は有限であって、側壁の影響が及ばない領域では河床面に対して鉛直二次元対数則が成立するから、水深による評価が適切である。

とくに、出水中に、上流から土砂の供給が見込めないもしくは少ない区間では、河床の骨格を構成する粒径が移動しはじめると、急激に河床低下が進むおそれがあることから、移動限界粒径の判定に細心の注意を払い、河床面せん断力の閾値の設定を行う。

#### c) 護岸粗度と法尻部の処理によって潤辺に作用するせん断力分布を滑らかにする

既往研究<sup>7)8)9)</sup>より、底面と側壁に挟まれる隅角部には、せん断力がほとんど作用せず、底面の中央付近でせん断力最大となることが分かっている。また、河床面が粗で護岸が滑な断面構成では、潤辺に作用

するせん断力の大部分を河床が受け持つことになるから、法尻部に寄せ石するなどして断面形状を滑らかにするとともに、護岸の低い位置にはある程度の粗度をもたせて、全潤辺にバランス良くせん断力を分配し、河床面の負担を軽減するべきである。

#### d) 施工時の配慮事項

護岸根入れ部の埋め戻しや河床整正時に、細かい材料が多く用いられると、それらが出水時に流失し、河床の骨格材料のかみ合わせが期待できなくなることから、埋め戻し材料の粒径に注意し、工事発注者・施工者への引き継ぎ事項とする。

これらの提案は、「中小河川の河道計画の技術基準」に提示された「川幅を拡げる改修」と方向性を同じくするものであるが、川幅の拡幅の度合いについて一定の論拠を与えるものであると考えている。

今後も研究を続け、提案の効果を実証して、中小急流河川の改修に係る実務に資する研究としていきたい。

**謝辞：**本研究は、岐阜大学社会人ドクターコースにおいて、藤田裕一郎教授（岐阜大学流域圏科学研究センター長）のご指導の下、実施しているものである。藤田教授、研究室スタッフの皆様並びに学生諸氏に深い感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省河川局：中小河川に関する河道計画の技術基準，2008。
- 2) 財団法人土木技術センター：改訂護岸の力学設計法，山海堂，2007。
- 3) 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，水工学論文集，第54巻，pp. 1009-1014，2010. 3
- 4) 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，河川技術論文集，第16巻，pp. 395-400，2010. 6
- 5) Einstein, H.A.: Formulas for Bed-Load Transportation, Trans. ASCE, vol. 107, pp. 575-577, 1942.
- 6) 禰津家久，中川博次：開水路流れの三次元乱流構造（縦渦）とそれに及ぼす自由水面の影響，京都大学防災研究所年報，第28号B-2，pp. 499-522，1985。
- 7) 石垣泰輔，今本博健，塩野耕二：開水路側壁近傍の壁面せん断力分布と流れの三次元構造について，水工学論文集，第39巻，pp. 711-766，1995。
- 8) 富永晃宏，江崎一博：開水路流の三次元乱流構造に及ぼす側壁および境界粗度の効果，第29回水理講演会論文集，pp. 827-832，1985。
- 9) 富永晃宏，江崎一博，禰津家久：台形断面開水路流の三次元乱流構造に関する実験的研究，土木学会論文集，第381号/II-7，pp. 55-63，1987。
- 10) 足立昭平：人工粗度の実験的研究，土木学会論文集，第104号，pp. 33-44，1964。