

中央大学理工学部 池 永 均、山田 正、○鍋田 博之

北見工業大学工学部 内島 邦秀 中央大学大学院 田辺 光一、尾崎 宏

1. はじめに: 跳水が頻繁に発生するような急流かつ河幅の狭い山地河川では、跳水によるエネルギー損失が抵抗の増大に起因すると考えられる。そこで著者らはこれまでに神奈川県丹沢の玄倉川、千葉県房総半島の養老川、東京都奥多摩の秋川について河床縦断形状を測定し、養老川については2回(1995年, 1993年)の観測結果を用いて、その幾何学的特性を明らかにし、跳水に起因するエネルギー損失を考慮した抵抗係数を理論的に導出してきた。本研究では、新たに埼玉県秩父の横瀬川と過去測定した養老川について再度測定し幾何学的特性を求め、跳水に起因するエネルギー損失を考慮した抵抗係数を求めている。また、山地河川の河床縦断形状の縮小模型を用いた実験が行われており、抵抗係数の理論値と実験値との比較検討を行っている。

2. 観測結果による幾何学的特性: 図1は、横瀬川及び養老川の河床縦断形状を示しており、前報⁽¹⁾で認められている結果と同様に、河床は部分的に直線から形成されるというセグメント説が横瀬川支流及び今回の養老川の観測結果においても成立していることがわかる。また、図1の養老川の二つの河床縦断形状は同区間のものである。河床高は若干異なっているが、形状が重要であり、この二つの河床縦断形状は殆ど変わっていないことがわかる。また図2より平均河床からの偏差を用いたスペクトル特性はほぼ同値の卓越波長が存在し、波数の-2乗で減衰しており同一の特性を示していることがわかる。以上より、著者らが行ってきた主流方向での河床縦断形状の測定が河床の幾何学的特性を十分に表している。また、横瀬川のスペクトル特性についても、前報と同様に共通の傾向が示されている。

3. 跳水によるエネルギー損失を考慮したマンギンの粗度係数の理論的な導出:

図3のように河床に突起がある場合の跳水の発生条件は著者らの一人である山田ら⁽²⁾によって(1)のように導かれており、実根の存在しない範囲で跳水が1回発生すると考えている。また、跳水によるエネルギー損失を考慮した粗度係数(以後、付加的なマンギンの粗度係数 n_i)は(2)式で与えられる。付加的なマンギン粗度係数 n_i の増加率は、底面摩擦によるマンギン粗度係数 n_r と付加的な n_i を加えた全体の粗度係数 n_{total} を n_r で除して求めており、(3)式で与えられる。本論では横瀬川と養老川の2回(1995年, 1993年)の観測により得られた河床縦断形状を用い、上流一様部の水理条件を一定にし、それぞれ上流一様部フルード数に対する跳水回数及び付加的なマンギン粗度係数の増加率 $n_{i, total}/n_r$ を求めている。

4. 実験概要: 著者らは抵抗則を詳細に検討するために、模型河床による実験を行っている。実験水路は全長9mあり、上流部(1.8m)は平坦河床部分であり、下流部(7.2m)は山地河川の縮小模型の河床である。実験は流れが射流になるまで流量を漸次増大させた後、流量を漸次減少させていくもので、流量、水面形、跳水回数を測定している。河床底面のマンギンの粗度係数 n_r は、流量、上流部の平坦河床部の水理条件からマンギンの平均流速公式を用いて求めている。一回の跳水によるエネルギー損失は跳水前後の水深

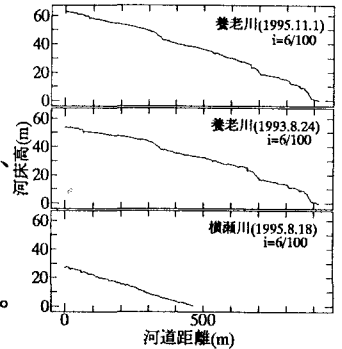


図1 山地河川の河床縦断形状

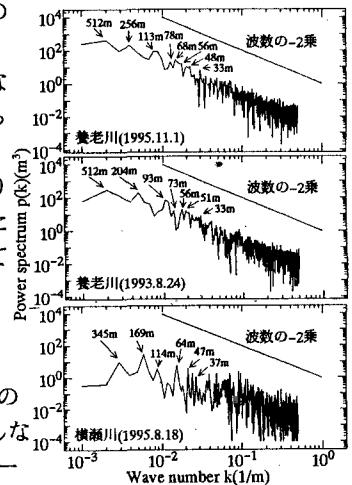


図2 山地河川のスペクトル特性

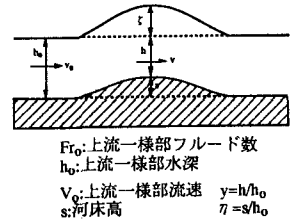


図3 河床に突起がある流れの概要図

$$\eta < 1 + \frac{1}{2} Fr_0^2 - \frac{3}{2} Fr_0^3 \quad (1)$$

$$n_i = \sqrt{\frac{4}{\eta}} \quad (2) \quad n = \frac{n_{total}}{n_r} \quad (3)$$

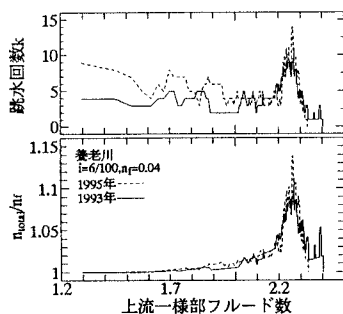


図4 跳水回数と付加的なマンニングの粗度係数の増加率

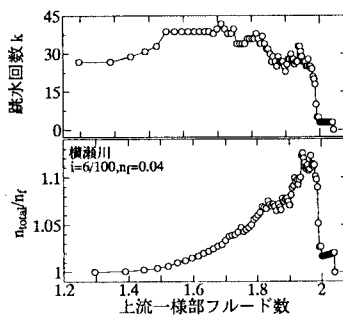


図5 跳水回数と付加的なマンニングの粗度係数の増加率

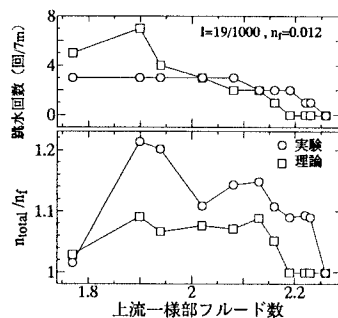
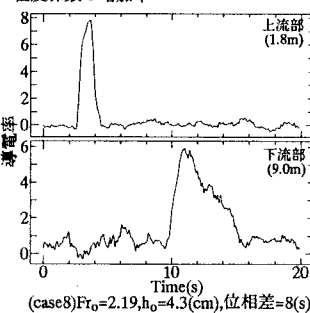
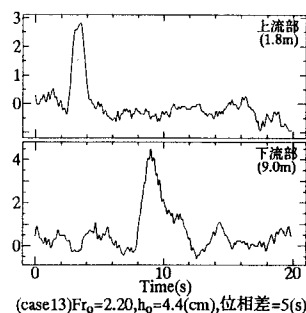


図6 跳水回数と粗度係数の増加率

から求め、付加的なマンニングの粗度係数 n_i の実験値は跳水によるエネルギー損失の和から求めている。また模型河床の上流部から塩水を流し、上下流部の(区間長7m)の導電率を測定し、塩水到達の時間遅れを求めることによりその区間内の平均流速を求めている。その値及び、上流一様部の水深 h 、実験水路の河床勾配 i を用い、マンニングの平均流速公式より区間内の粗度係数を算出している。



(case8) $Fr_0=2.19, h_0=4.3(\text{cm}),$ 位相差=8(s)



(case13) $Fr_0=2.20, h_0=4.4(\text{cm}),$ 位相差=5(s)

図7 導電率の時間的変化

5. 解析及び実験結果: 図4は養老川の1995年と1993年の観測河床における跳水回数と n_{total}/n_r を示している。図より、養老川の1995年と1993年の観測河床においては同じフルード数($Fr=2.27$)で n_{total}/n_r の最大値(約10%)を取り、両観測河床について同一の傾向がみられた。図5は横瀬川の跳水回数と n_{total}/n_r を示している。横瀬川についても前報と同様にあるフルード数で n_{total}/n_r の最大値をとる傾向が示され、 n_{total}/n_r の最大値は13%増であった。図6は n_{total}/n_r の実験値と理論値を比較したものである。図より実験値は跳水による損失だけでなく常流部の底面による損失も考慮しているため理論値よりも大きい値を示すが、粗度係数の実験値と理論値は同じフルード数でそれぞれの最大値を示しており、同様の傾向であることがいえる。図7は上流部の水理条件がほぼ同じ2ケース(case8, case13)の場合の導電率の計測結果を示している。case8とcase13の上流部、下流部の導電率のピーク値の位相差は上流部の水理条件が同じであるにもかかわらず、case8の方がcase13の1.6倍となっている。図8は、跳水回数と凹凸のある区間内の平均流速と上流一様部の流速の比及び、 n_{total}/n_r を示している。流速比はcase8がcase13の0.6倍に減少している。これはcase8では跳水が2回発生していることにより抵抗が増大しているために射流時の場合(case13)より流速が遅くなることを示している。 n_{total}/n_r は、case13の n_{total}/n_r がほぼ1.0倍であるのに対してcase8の n_{total}/n_r は1.6倍となっている。これは、跳水に起因するエネルギー損失が抵抗を増大させていることを示している。

<謝辞>本研究は科学研究費一般研究(c)(代表 山田 正)の援助を受けている。ここに記して謝意を表すものとする。

参考文献 [1] 寺本康宏、内島邦秀、山田正:山地部の急流河川における河床縦断形状、抵抗則及び水面形に関する基礎的研究 [2] 山田正、池内正幸、村上良宏:湍流を模擬した開水路流れの水面形遷移と抗則に関する研究、第30回水理講演会論文集、pp. 73-78, 1986。

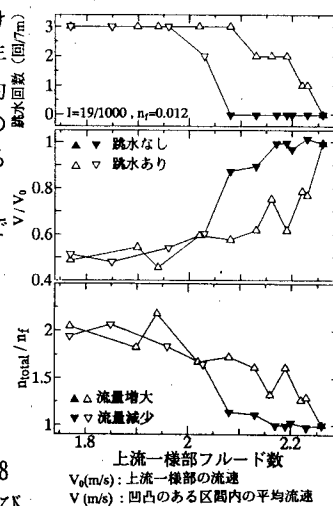


図8 跳水回数と区間内の流速比及び粗度係数の増加率