

(Ⅱ - 6) 山地河川の水面形と跳水によるエネルギー損失を考慮した抵抗係数に関する研究

中央大学理工学部 学生員 ○尾崎 宏
 北見工業大学工学部 正 員 内島 邦秀
 中央大学理工学部 正 員 山田 正

中央大学大学院 学生員 寺本 康宏
 中央大学大学院 学生員 田辺 光一

1. はじめに：河道内で跳水が頻繁に発生し、幅が狭く急峻な山地河川では跳水に起因するエネルギー損失が抵抗増大に深く関与すると考えられる。本研究は流況が異なるいくつかの山地河川(1,2次河川)の河床縦断形状を測定し、山地河川の幾何学的特性について考察している。また跳水に起因するエネルギー損失を考慮した抵抗係数及び水面形が理論的に導出され、その抵抗係数の理論値と実験値との比較検討を行ったものである。

2. 観測結果及び河床縦断形状スペクトル：著者らは、神奈川県丹沢の玄倉川、千葉県房総半島の養老川において河床縦断形状の測定を行ってきたが、双方ともに1/2.5万の地形図でみると2次河川であった^[1]。本研究で新たに対象とした河川は、東京都奥多摩に位置する秋川支流である。前述の2河川は、平均河床勾配がともに6/100の2次河川であるのに対し、秋川は平均河床勾配が9/100の急峻な1次河川である。秋川についてもこれまでと同様の観測を行った。図1は養老川支流と秋川支流の河床縦断形状を示しており、前報で玄倉川、養老川支流について認められた、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^[2]が秋川支流においても成立することがわかる。スペクトル特性についても河川の流況、地形、地質が異なるにもかかわらず卓越波長が基本波のほぼ整数倍となり、その高波数部分では波数の-2乗則で減衰することがわかっており、図2より1次河川である秋川においてもこの法則が成立することがわかる。

3. 跳水に起因するエネルギー損失を考慮した粗度係数の導出：河床に凹凸がある場合、常流及び射流の流れと射流から常流に遷移する際に跳水が発生する。河床に凸部がある流れにおいて、水面での摩擦なしBernoulli式と連続式から得られる無次元水深に関する3次式から実根の存在する条件は(1)式のように求められる。この3次式の実根の存在しない区間ではBernoulli式が成立しないことになり跳水が1回発生していると著者らは考えている。また跳水に起因するエネルギー損失を考慮した粗度係数は付加的なマンニングの粗度係数 n_1 として(2)式のように算出する。マンニングの粗度係数の増加率は底面のマンニングの粗度係数と付加的なマンニングの粗度係数を加えた全体のマンニングの粗度係数 n_{total} を求め、底面のマンニングの粗度係数 n_f に対する比として表す。本論では河床形状が抵抗の増大に与える影響を把握するために、上流一様部の水理条件を一定にし、養老川と秋川について、図1に示されている河床縦断形状において (a)

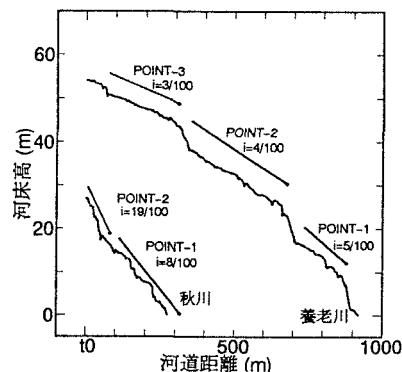


図1 山地河川の河床縦断形状

$$y^3 - y^2(1 + \frac{1}{2}Fr^2 - \eta) + \frac{1}{2}Fr^2 = 0 \quad (1)$$

$$n_j = \sqrt{\frac{h_{lj} h_0^{4/3}}{v_0^2 l}} \quad (2)$$

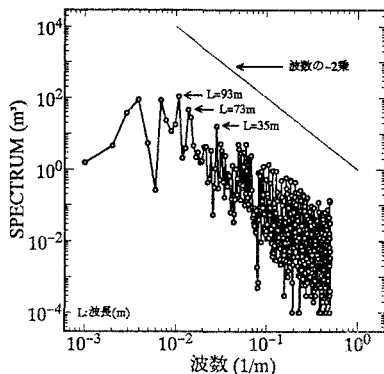


図2 山地河川のスペクトル特性

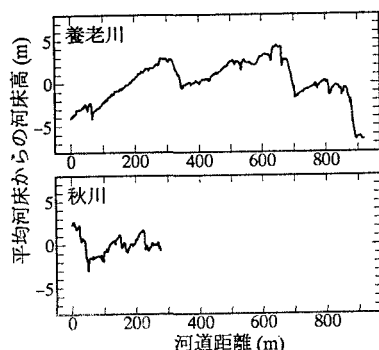


図3 平均河床からの偏差

全区間での平均河床からの偏差、(b)最も直線部が長い区間についてのその偏差、の2通りについて粗度係数の増加率を計算した。図3は養老川の(a)を示している。

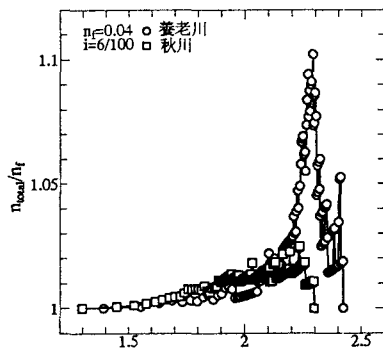
4. 解析結果：図4は両河川の(a)についての n_{total}/n_r を示しており、両河川とも、あるフルード数で n_{total}/n_r は最大値を示し、その値は養老川で11%増、秋川では2%増であった。図5は(b)についての n_{total}/n_r を示している。この場合についても同じ傾向を示し、その値は両河川ともに3%増であった。(a)、(b)について n_{total}/n_r の最大値は秋川ではほぼ一致し、養老川ではその値は大きく異なる。これは、図3の養老川に見られる大規模な河床高さの変化が秋川には存在しないからと考えられる。これは、秋川のような砂礫で河床が形成され河床の変動が小さい場合、洪水時に河床凹凸は底面粗度として働くため跳水に起因する付加的なマンギングの粗度係数は小さくなるためである。一方養老川では大規模な河床の変動が洪水時においても跳水を発生させ、付加的なマンギングの粗度係数は増大すると考えられる。

5. 付加的なマンギングの粗度係数の実験値：著者らは抵抗則を詳細に検討するために急勾配水路を用い、観測河床の模型実験を行っている。図6より、(1)式で計算された水面形は実験の水面形を良く表していることがわかる。従って水面形遷移を議論する際に(1)式を用いることの妥当性が示された。図7は、流量を増大させる場合(case1)と流量を減少させる場合(case2)の2通りについて、フルード数と跳水回数及び n_{total}/n_r の関係を示したものである。(case1)と(case2)は、それぞれ異なるフルード数で n_{total}/n_r の最大値を示し、(case1)は(case2)よりも大きなフルード数で最大値をとることがわかる。

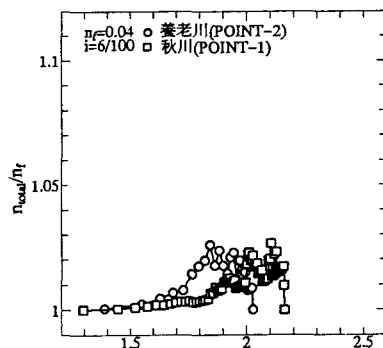
6. まとめ：(1)河床縦断形状は数百m単位の直線部で形成されている。(2)河床縦断形状のスペクトル特性は、卓越波長が存在し、それが基本波のほぼ整数倍になり、スペクトルの高波数部分は波数の-2乗則で減衰する。(4)洪水時には大規模な河床変動が跳水に起因する粗度係数を増大させている。(5)連続式と摩擦なしBernoulli方程式から導いた3次式は水面形を良く表す。(6)小規模な河床の凹凸は洪水時に底面摩擦として働く。

<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：都市急流河川に関するシンポジウム、プロシーディング、投稿中 [2]山本晃一：ミニ河川講座[1]～[5]、(財)河川情報センターニュース、1988-1989。 [3]山田正, 池内正幸, 村上良宏：渓流を模擬した開水路流れの水面形遷移と抵抗則に関する研究, 第30回水理講演会論文集, pp. 73-78, 1986。 [4]山田正, 池内正幸, 堀江良徳：不規則底面を持つ開水路流れに関する研究, 第38回年次学術講演会講演概要集第2部, pp. 605-606, 1984。



上流一様部フルード数
図4 付加的なマンギングの粗度係数の増加率



上流一様部フルード数
図5 付加的なマンギングの粗度係数の増加率

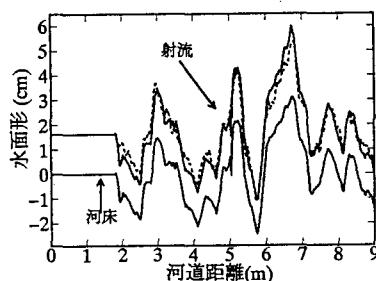


図6 理論(Bernoulli)と実験の水面形
($i=44/1000$, $n_r=0.012$, $Q=2.74 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$)

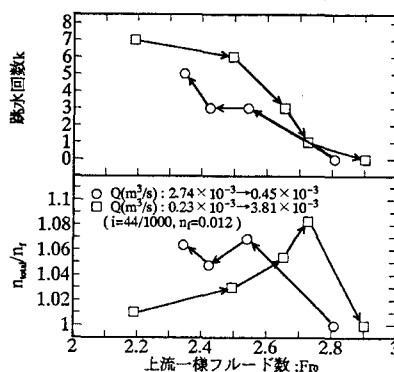


図7 跳水回数と付加的なマンギングの粗度係数の増加率