

# 礫床河川における水深予測手法の提案

## 水深の浅い流れにおける抵抗則

### Suggestion of Water Depth Forecast Method in Gravel-Bed Rivers

#### Resistance Equation in Shallow Water Flow

(電力技術研究所 水理G)

水力発電所の減水区間における流れや、「せせらぎ魚道」の流れのように水面上に巨礫が飛び出している流れの抵抗則について実験的に検討した。その結果、水面上に飛び出している石の面積割合を「粗度密度」と定義し、これと抵抗係数  $f$  の関係をつかむことにより従来よりも精度の高い抵抗則を開発した。

(Electric Power Research & Development Center, Hydraulics Group)

Experimental examinations were carried out on the resistance equation of streams in reduced water area in hydraulic power generation plants and streams with protruding rocks like in streams of "Boulders Paved Slope-Fishways." As a result, a resistance equation with higher precision than a conventional one has been developed by defining the area ratio of stone protruding above water-surface as the "Roughness Density," and grasping the relationship between that and friction factor  $f$ .

## 1 研究の背景

環境保全の意識が高まっているなか、既設の水力発電所においては、動植物の保護、景観・水質の保全等のため河川維持流量を放流するケースが増えている。河川維持流量としての放流量を決定するにあたっては、建設省と通産省の協議により1988年に設定されたガイドラインに従って放流量を3段階程度変えながら調査点において水深や水面幅を計測し、生物環境を保持するための流量を決定している。一方、新設水力発電所の河川維持流量決定や「せせらぎ魚道」の設計においては、流量を変えながらの試験放流は非常に困難であり、水深予測方法の確立が望まれている。

そこで、環境保全のための支援技術の一つとして、放流量と水深、水面幅の関係を明らかにする手法の研究に着手した。従来より使われているマンニングの流速公式は、洪水時や通常時のように河川流量が大きい場合において、流れの抵抗を表す粗度係数  $n$  についてほぼ妥当な値が示されており、これにより水深が予測できる。しかし、河川流量が少なく水深に比べて礫が大きい場合については、適正な抵抗値を予測することが困難となっている。本研究では、河床礫に対して水深が小さい場合の流れの抵抗則をつかむために、現地調査により粗度係数の実態をつかむとともに、抵抗を支配するパラメータについて実験的に検討した。

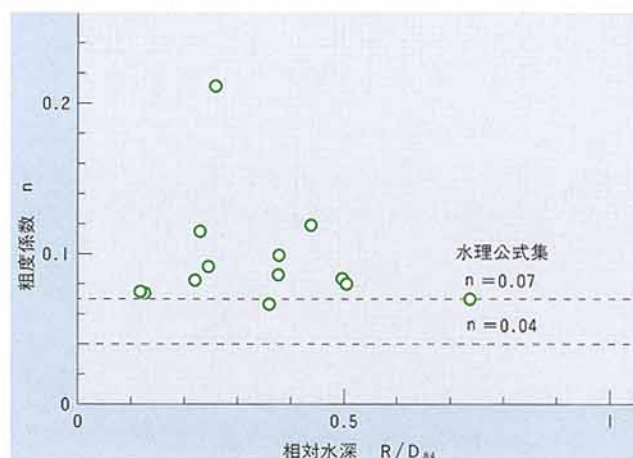
11河川を選定し、粗度係数の実測を行った。

主な測定項目は①横断測量、②流量測定、③河床礫の粒径測定である。以上の測定データについて、不等流の差分方程式を用いて粗度係数を逆算した。

粗度係数の逆算値は、第1図に示すように0.07~0.12となり、水理公式集(土木学会編)に掲載されている山地流路の値0.04~0.07よりもやや大きめであることがわかった。ここで、特に  $n$  が大きな値を示す河川は、段落ちの数多くて落差も大きい傾向がある。なお、横軸の  $R$  は、径深(=断面積/潤辺。潤辺は、河床に沿って測った線分の長さ)、 $D_{84}$  は、84%粒径(個数が100個の場合に小さい方から84番目の礫の大きさ)を示す。

### (2) 水理模型実験

現地データを用いて抵抗則を構築するには、さらにたくさんデータが必要であるが、現地データはバラツキが大きいため、現地河川を1/2.5に縮尺した室内模型実験を行い、水深や粗度密度、河床勾配の変化に対



第1図 粗度係数  $n$  の実測値

## 2 研究の概要

### (1) 現地調査

平成4年10月から12月にかけて、①河床勾配が1/100程度、②水深が平均20~30cm程度で流れる中部地区の

する抵抗係数  $f$  ( $=8gn^2/R^{1/3}$ ,  $g$ :重力加速度) の関係を求めることにより抵抗則の作成を試みた。

模型は、モルタルにより長さ20m、幅2.5m、勾配1/100の水路を造り、実験対象河川の粒度分布を模擬した自然石あるいは、人工球粗度を張り付けて河川を模擬した(第2図)。測定項目は、抵抗係数  $f$  の算定を目的として主に横断測量と粒径分布測定とした。

実験結果について、抵抗係数と相対水深の関係で示すと第3図のようになる。

### 3 抵抗則の検討

人工球粗度の実験データについて、抵抗係数と粗度密度の関係式を求め、既往研究における河床材料の標準偏差  $\sigma$  や水面勾配  $I$  に関する現地データを使って次のような抵抗則を提案した。

$$f = 2.9 \exp \left[ -ce^{3.51} e^{-0.8\sigma} (d/D_{84})^b \right]$$

ここに、 $b = 1.45\sigma^{-0.06}$ 、 $\sigma = \log(D_{84}/D_{50})$ 、 $D_{84}$ :84%粒径、 $D_{50}$ :50%粒径、 $c$ :粒径分布の測定法によって決まる定数、 $d$ :水深。



第2図 人工球粗度モデル

なお、粗度密度の計算は、次のように行った。流れ方向に  $L$  (m) それと直角に  $B$  (m) をとり、 $A=L \times B$  の測定範囲を設定する。水面上に出ている玉石の総面積を  $A$  で除して粗度密度を定義した。

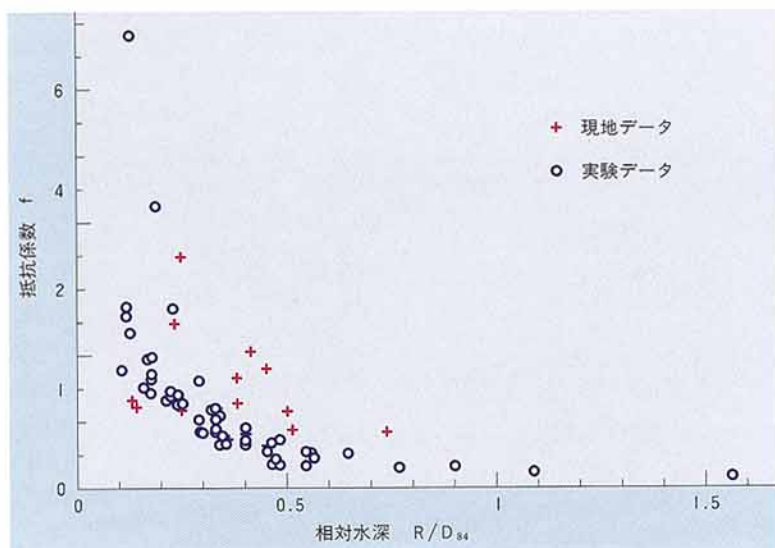
### 4 評価

$(8/f)^{1/2}$  について、今回提案した上式の適合性を Bathurst (1978) の実測データで検証すると第1表のようであり、Bathurst-Li-Simons式、Thompson-Campbell式、Kellerhals式、Hey式と比較して、適合性は非常に良好である。

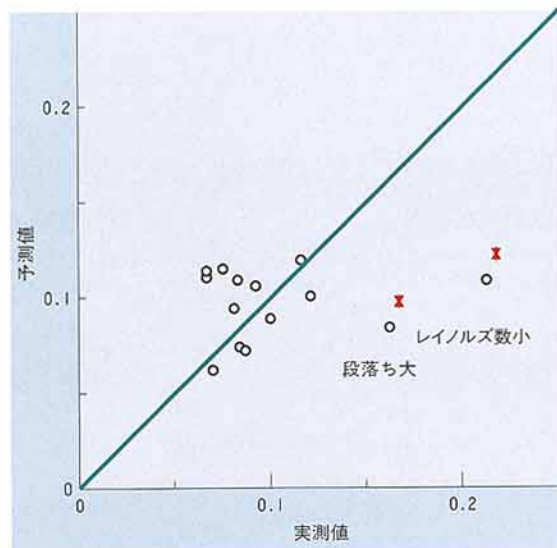
第4図は、この抵抗則により求めた粗度係数  $n$  と実測の  $n$  を比較したものである。実測の  $n$  が極端に大きい川は段落ちが大きい等、特殊なケースである。この2河川を除けば、予測値は実測値によく合っており、実設計に適用できると考える。実測データは様々な要因からデータがばらついており、今後この要因について解明していく必要がある。

第1表  $(8/f)^{1/2}$  の実測値と予測値

地点	流量 m <sup>3</sup> /s	相対水深 d/D <sub>84</sub> (d:水深)	実測値 (8/f) <sup>1/2</sup>	(8/f) <sup>1/2</sup> の予測値				
				今回提案 した式	Bathurst Li and Simons	Thompson and Campbell	Keller- hals	Hey
Whiddybank	0.90	0.452	2.18	1.96	1.83	0.61	1.54	0.77
	3.90	0.948	3.07	2.87	2.81	2.07	2.28	2.23
	7.20	1.169	3.50	3.47	3.34	2.83	2.68	2.92
Cronkley A	1.37	0.468	1.60	1.98	1.52	1.36	1.59	1.74
	4.00	0.888	2.50	2.74	2.16	2.10	2.13	2.47
	7.10	0.905	3.18	2.75	2.65	2.62	2.44	2.95
Cronkley B	1.10	0.739	2.35	2.39	1.89	1.53	2.08	2.19
	4.00	1.022	3.33	3.11	2.86	2.86	2.79	3.41
	7.10	1.331	4.22	4.30	3.38	3.39	3.23	3.88



第3図 抵抗係数  $f$  と相対水深の関係



第4図 粗度係数  $n$  の実測値と予測値