

Ⅱ-42 山地河川屈曲部における三次元乱流解析および 混合砂礫の流砂量式を考慮した河床変動計算

正会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 鈴木幸一

正会員 博(工) 愛媛大学助手 門田章宏

学生会員 学部生 矢野勝士

1. 緒言

山地河川においては複雑な河川形状が顕著に見られる。特に河川屈曲部において形状変化は急激であり、それに伴い流れ場は三次元完全乱流となっている。また、粒径分布において細砂から砂礫へと広範囲にわたる粒径分布が見られる。ゆえに以上のことを考慮した解析手法が山地河川解析で必要とされるが、乱流解析についてこれまで数々の研究が行われ、様々な解析手法が提案されてきている。その中でも記述の簡便さ、および解析精度の良好さなどから $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いた解析手法が一般的に行われている。ここで、本研究においては $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いた山地河川屈曲部における乱流解析を試み、かつその解析結果を基に混合砂礫での流砂量式を用いた河床変動計算を行う。図1に今回解析対象とした河川、台形近似した河川モデル、および河川における障害物配置を示す。



図1 河川モデルおよび障害物配置

2. 解析手法

1) 乱流計算における基礎式

i) 連続式 (1)

ii) 運動方程式(Reynolds 方程式) (2)

iii) $k-\varepsilon$ 乱流モデル: $\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ (3)

iv) 乱れエネルギーおよびエネルギー逸散率に関する輸送方程式:

$$\text{乱れエネルギー: } U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} + W \frac{\partial k}{\partial z} = G - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$\text{エネルギー逸散率: } U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + W \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \quad (5)$$

乱流解析においては運動方程式中の渦動粘性係数を乱れエネルギー k およびエネルギー逸散率 ε を用いてモデル化し、差分法をもって解析する。

2) 河床変動計算における基礎式

i) 混合砂礫の流砂量式: $q_{s*i} \left(= q_{si} / i_b \sqrt{sgd_i^3} \right) = K (\mu \varepsilon_i \tau_{*i} - \varepsilon_s \tau_{*ci})^m$ (6)

ii) 流砂の連続式: $\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{bs}}{\partial s} + \frac{\partial q_{bn}}{\partial n} \right) = 0$ (7)

河床変動計算を求める際以上の式を用い、流れが急変し逆流が生じるような流れにも適用できるように、各地点の流れの向きを考慮して式(7)に風上差分法を採用している。

3. 計算条件

乱流解析・河床変動計算における水理的条件・計算条件を表-1 に示す。ここで表-1 において，TAR：(Trapezoidal Area River)数値計算の上で立てたケース名である。また，TAR1：巨岩などの障害物(blockage)なし，TAR2：blockage 有りを示している。

case	Inflow discharge (m ³ /sec)	Calculation period of bed elevation (hour)	Grain size (m)			Distribution rate (%)		
			d1	d2	d3	d1	d2	d3
TAR1	600	1	0.002	0.250	0.550	1/3	1/3	1/3
TAR2-1	600	1	0.002	0.250	0.550	1/3	1/3	1/3
TAR2-2	580	1	0.002	0.250	0.550	1/3	1/3	1/3
TAR2-3	550	2	0.002	0.250	0.550	1/3	1/3	1/3
TAR2-4	530	3	0.002	0.250	0.550	1/3	1/3	1/3

表 1：計算条件

4. 計算結果

以下に障害物を配置したモデルにおける底面ベクトル図(U,W)および河床変動計算結果の一例を示す。

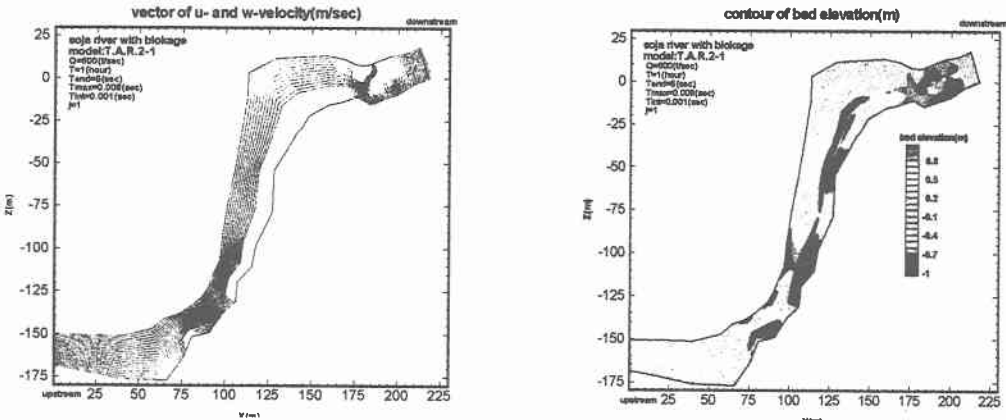


図 1，図 2：河床変動量のコンター図および流速 u,w のベクトル図

乱流解析の結果によれば山地河川における流れ場の様子を良好に表現しているといえる。屈曲部において流速は減少し，また，障害物背後においては渦の発生模様が表現されている。上の図 1 は河床での解析結果であるが，水面付近の解析結果によれば障害物の影響が水深方向にも及んでいることがわかる。流入流量が変化したケースにおいても同様の解析結果を得ている。

河床変動計算の結果を図 2 に示す。これによれば障害物付近において河床変動が顕著に見られる。特に河川下流部においては急激な洗掘および堆積が発生している。また河川中流部右岸低水護岸地域付近において洗掘が生じている。

4. 結語

本研究では山地河川屈曲部における流れ場および乱流構造を解析し，その解析結果を基に河床変動計算を行い，水理，土砂水理的特徴を検討および考察した。

参考文献

Adaptive Research 社：CFD2000 Theoretical Background
鈴木，門田，山本：各粒径砂礫への掃流力と限界掃流力の補正を考慮した粒径別流砂量の推定，土木学会論文集，第 621 号，pp.91-99，1999