

II-145 移動床水路に形成される河床粗度

中央大学理工学部 正員 林 泰造
中央大学大学院 学生員 ○緒方 泰

1. はじめに 移動床水路には河床物質の特性、水路・水流の特性に応じた河床波が発生・発達し、そのときの河床の形状抵抗を形成する。この抵抗値の正確な推定は河川の洪水予測の上で欠くことのできないものである。本研究は、従来の研究者による既発表の実験データ及び実際河川観測データ（総計約1500個）について解析し、洪水時の河床形状抵抗による粗度の予測精度向上のための研究を行ったものである。

2 “相対河床形状粗度”（Equivalent Bedform Roughness） 河床波がある場合のEinsteinの流速式は次式で示される。 $V/u_* = (2.3/\kappa) \log (12.27 \times R_b / k_s) \dots \dots \dots (1)$

ここに、 V ＝断面平均流速、 κ ＝カルマン定数、 x ＝滑面－粗面のtransition補正係数、 R_b ＝径深、 k_s ＝相当砂粒粗度。このEinsteinの式をここでは次のように書き直すこととする。

$$V/u_* = (2.3/\kappa_0) \log (12.27 R_s / \hat{k}_s) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 κ_0 ＝清水に対するカルマン定数（0.4）、 $\hat{k}_s$ ＝相対砂粒粗度（式（1）の κ の値の κ_0 からの変位及び x の値の1からの隔たりの影響を $\hat{k}_s$ の中に含めたもの）。式（2）から $\hat{k}_s$ は次式のように表される

$$\frac{\hat{k}_s}{d_s} = 12.27 \frac{R_b}{d_s} 10^{-\phi/5.57} \dots \dots (3)$$

ただし、 $\phi = V/u_*$ 、 d_s ＝平均粒径（ d_{50} をとる）

このように $\hat{k}_s$ は R_b と ϕ というグロスな2つの水理量だけで定められる量であり、河床形態をシュミレートした相当“砂粒”粗度に当たる。この意味で筆者らは今後この $\hat{k}_s$ を“相当河床形状粗度”（“Equivalent bedform roughness”）と称することとする。尾崎・石橋・白砂（1984）は式（3）を用いてこの $\hat{k}_s$ の値を、現地実験・模型実験及び実際河川で実測した既発表資料（2536個）に基づいて解析し、図-1の結果を発表している。筆者らは、この研究に、刺戟されて図-1では明らかなでない各種パラメータの $\hat{k}_s$ に及ぼす影響を解明するために、尾崎等の用いた従来のデータのうち、急流河川の特に上流部の値を除き、改めて残りデータの再解析を行った。本報はその再解析の報告である。取り扱った資料の一覧は表-1に示す。

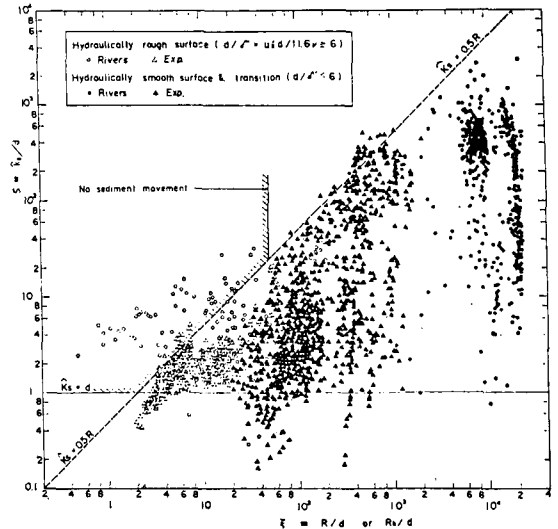


図-1 相当粗度 と 相対径深
（尾崎・石橋・白砂（1984））

3. 解析結果 図-2は、表-1のすべてのデータについて、尾崎等が計算した $\hat{k}_s$ の値をエネルギー勾配 S に対してプロットしたものである。1より小さい $\hat{k}_s/d_s$ の値が同図中に見られるのは、浮遊砂によるカルマン定数減少の影響が $\hat{k}_s$ の中に入っているためである。エネルギー勾配 S を $\hat{k}_s/d_s$ に対するパラメータとして取り上げ

表-1 解析を行った資料の一覧

	実験者・河川名	データ数	R_b/d_{50}	$d_{50}/\delta^* > 6$
実験	Gilbert	876	5~400	172
	Vanoni & Brooks	139	200~3,000	0
	Guy et al.	340	100~2,000	6
実際河川	Rio Grande	12	1,000~4,000	0
	斐伊川	36	60~800	23
	利根川（川俣）	96	900~15,000	0

$$\delta^* = \text{粘性底層厚さ} = 11.6\nu / u_*$$

るために S の全範囲を、図-2に示すような9つの小領域1,2,・・・,9に区分する。図-3は無次元相当河床形状粗度 $\hat{k}_s/d_s$ を S をパラメータとして grain-roughness 無次元せん断力 τ_* に対して図示したもので

ある。同図に見られるように、 $\hat{k}_s$ の値はSのいかんに関せず $\tau_* = 0.1 \sim 0.2$ の付近で極大となり、最大波高のduneが形成されることを示している。また $\tau_* > 0.6$ の範囲では、 $S > 0.002$ の勾配(subrange 5~9)に対して $\hat{k}_s$ の値は τ_* の値の増大とともに急激に増大するが、これはantiduneの形成を示しているものと思われる。次に図-4は図-3と同一のデータを比径深 R_b/d_s に対してプロットしたもので、図-1と同じものでありエネルギー勾配別曲線の包絡線が河床上に形成される最大波高 $\hat{k}_s/d_s = 0.5 R_b/d_s \dots (4)$

の関係を与えるものになっていることが認められる。図-3の関数関係 $\hat{k}_s = \text{func}(\tau_*, S) \dots (5)$

の存在はまた次式の関数関係の存在を暗示している。 $\tau_*' = \text{func}(\tau_*, S) \dots (6)$

図-5は図-2, 3, 4と同じデータを式(6)の形でプロットしたものであるが、この形の関数関係の存在が確認され従来のEngelundの式 $\tau_*' = 0.06 + 0.3 \tau_*^{3/2} \dots (7)$

に代わる実験式が新たに求められた(式記載省略)。次に

$\hat{k}_s/d_s = \text{func}(\tau_*, S) \dots (8)$ の関数式を検討するた

めに同じデータをプロットした図-6をみると、subrange 1-5 まではLower Regimeにおいて、図-3と同じような線がひけるが、勾配が大きくなるに従って、その多価性や複雑さが増大し、明確な関係性が認められなくなることがわかる。

4. 引用文献 尾崎幸男, 石橋毅, 白砂孝夫, 土木学会論文報告集324号, 1984, 15-21.

5. 謝辞 本研究の遂行に当り、数々の討議を寄せられた電研尾崎幸男博士 及び当時中大大学院学生南橋丈二(現NTT)及び岩下善一郎(現鹿島建設)の両氏に深甚なる謝意を表する。

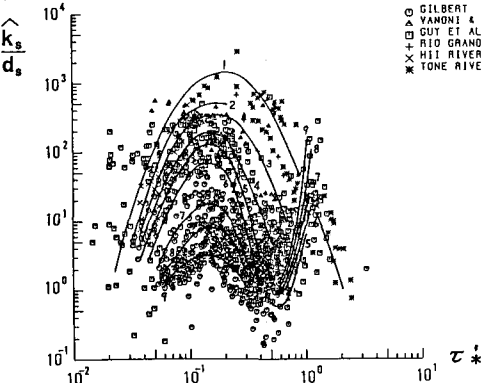


図-3 $\hat{k}_s/d_s$ と τ_{*b} との関係

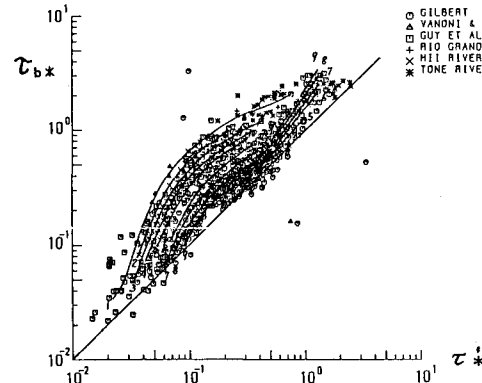


図-5 τ_{*b} と τ_{*b}' との関係

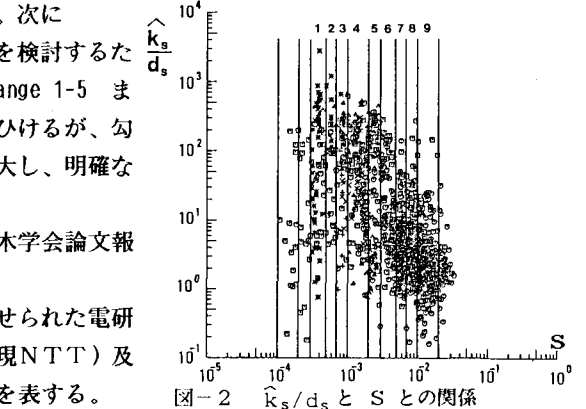


図-2 $\hat{k}_s/d_s$ とSとの関係

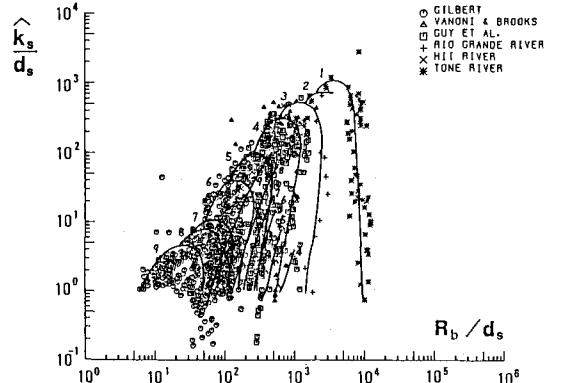


図-4 $\hat{k}_s/d_s$ と R_b/d_s との関係

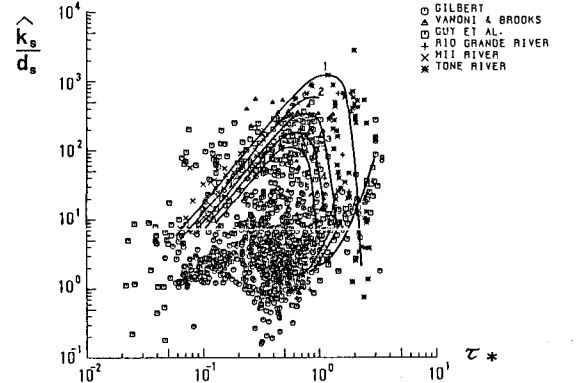


図-6 $\hat{k}_s/d_s$ と τ_{*b} との関係