

鳴瀬川、江合川における河床形態と粗度について

東北大学工学部 正 員 坂本龍雄

〃 〃 〇三王英寿

学生員 高橋 繁

高橋信行

1. 序

移動床河川の河床と流れの抵抗は定常的なものではなく、水流に対応して河床形態が変化しそれがまた水流に影響を与えるといった相互作用の過程を通じて複雑に変化するものであるため未解明の点ばかり残されている。このような現象を明らかにするためには、各種の河床形態の生成・消滅とそれに対応する流れに関する理論を樹立することが必要であるが、ここでは河川において実際に形成されている河床形態(主として小規模河床形態^(注1))とそれを構成する河床材およびその地点の流速、水深等に関する観測を行ない、更に同一河川の水位・流量観測記録を用いて不等流計算によって各流量に対する粗度係数を算定し、それらの結果に基づいて河床形態と抵抗について考察した。

2. 鳴瀬川、江合川における観測および結果とその考察

「仙台湾臨海地域における河川水の供給と保全に関する基礎的研究」に呼応して、鳥瀬川および北
上川支川の江合川を観測対象に選んだ。その観測地点の概略が図一に示されている。

ここでは比較的小流量時における現象（すなわち小規模河床形態の挙動が中心的役割を演ずる）について検討することを主な目的としているが、特に鳴瀬川の観測対象とした区間は河床がほとんど砂で構成されているのでこのような目的に対して適していると考えられる。

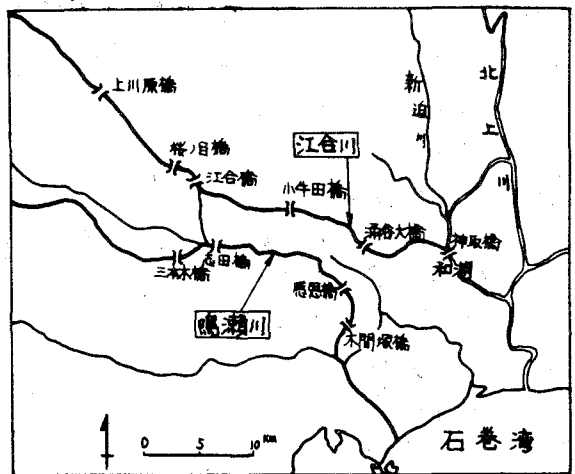


圖 1 觀測地点概略圖

(鳴瀨川)

鴨瀬川における観測は、三本木橋から木間塚橋まで延長約 22 Km の範囲にわたって、ボートで流下しながら連続的に行なわれた。観測期間は、昭和 47 年 7 月 17 日から同 21

河床形態（小規模河床形態）の測定方法としては、ゴム・ボートに超音波測深機を装備して流心に沿って流下させ、測深記録から河床波の波長、波高および水深を読みとった。測深記録は水深・時間曲線として得られるのであるが、ボートの流下速度を用いて時間間隔を流下距離に換算して波長を求め、また流水面が比較的滑らかで、ボートにつけた測深機送受波部の動揺が河床波の波高に較べて無

視できるように場合について波高を求めた。更に、河床形態の観測に並行して、流速（鉛直方向流速分布）の測定および河床材の採取が行なわれた。なお比較的水深が浅い場所で河床波がみられた場合には河床波の上流側斜面と下流側斜面の両方から河床材が採取されている。

以上の観測結果の一部が、表-1および図-2に示されている。

河床材については、平均粒径(d_{50})が下流に向って低下する傾向がみられる。また河床波の形状に関連づけて微視的に検討すると、図-2の粒径加積曲線で例示したように、上流側斜面から採取した試料の粒径に比較して下流側斜面から採取した試料のそれが多いことが明瞭である。このことは河床波上の砂の移動状況を示すものとして興味をもたれる。

地点及 流下距離	河床材		河床波		フルード数	水深
	比重 ρ_s	d_{50} (mm)	波長 λ (cm)	波高 ah (cm)	Fr	H (cm)
三本木橋	—	4.20	—	34.2	—	—
志田橋 5.25 km	2.50	3.94	57.8	24.1	0.286	86.8
	2.46	1.80	147.6	29.3	0.244	81.3
	2.50	1.88	165.9	21.1	0.229	58.9
	2.44	1.85	156.8	25.5	0.207	87.7
野田橋 6.7 km	2.50	0.75	191.8	33.8	0.205	70.5
	—	1.13	156.1	33.7	0.221	114.7
	2.51	1.02	190.8	24.9	0.233	64.0
	—	1.22	241.2	21.3	0.257	48.8
馬尾橋 5.0 km	2.51	1.29	289.2	32.2	0.283	69.1
	2.53	0.82	147.3	29.3	0.271	69.7
	2.51	0.89	168.9	26.2	0.325	65.9
木間堰	—	1.20	299.8	24.0	0.245	57.8

表-1

河床形態については、ほとんど全區間にわたって河床波が形成されていることが確認された。表-1に示された数値は各地点ごとの平均値であるが、これらは小規模河床形態の砂堆(Dune)に相当するものであると判断される。また局所的には砂漣(Ripple)も目視されたが、これに関する波長と波高の測定は測深機の精度の関係上今回はできなかった。

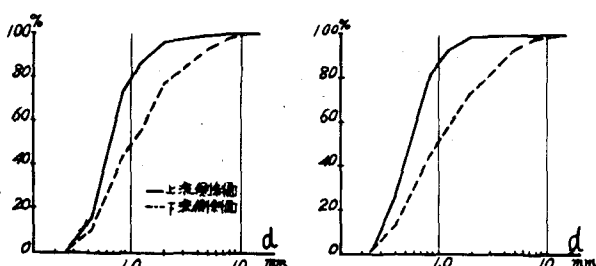


図-2

小規模河床形態の河床波の波長・波高等の大きさを決める要素として、主として射流のもとで生ずる反砂堆(Anti-Dune)については流れのフルード数(Fr)、砂堆や砂漣については河床材の特性(主として粒径 d と比重 S_s)および砂粒レイルズ数($Re = U_* d / \nu$)等を用いるとそれぞれの現象がかなりよく説明できることが現在明らかにされている。また砂堆と砂漣につい

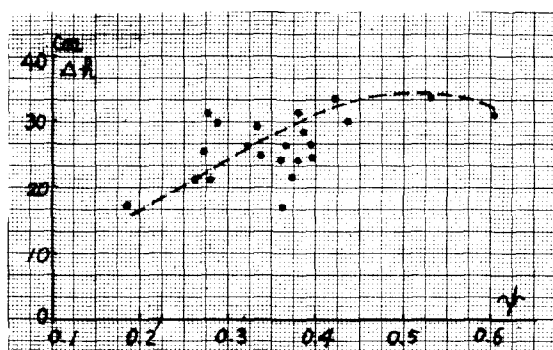


図-3

て、M.S. YALIN^(註2)は次元解析によって(1)式のような関係が成立するものとし、砂粒レイルズ数および $L/H = \phi(U_* d / \nu, H/d)$;ここに L :波長、 H :水深、 d :粒径、 ν :粘性係数、 U_* が H/d の大きな値に対応する砂堆の場合については関数 ϕ が一定となる傾向がありその常数として多くの実測値より $L/H \approx 5$ を与えている。今回の観測結果を整理すると $U_* d / \nu = 50 \sim 100$ の範囲で L/H

として1.7~5が得られ、 $\phi = -1$ とするとやや大きい値を示している。

著者等は^(注3)先に、河床波の形成過程で河床材の粒度特性がかなり重要な役割を演ずるものと考え、従来よく用いられている流体力学的安定理論の応用上、特に平衡あるいは安定状態を決める要素として波床波ウレスト付近における移動砂の浮流化(図-4)を解析にとり入れることを提案した。前述の河床波形の局所的位置に対応した河床材の粒度分布は、河床波のウレスト下流側の斜面において、移動砂のうち比較的粒径の小さいものの割合が小さいことを示しており、上記の考えのたさある程度うづけるものである。また、図-3には(2)式で表わされる無次元掃流力(ψ)

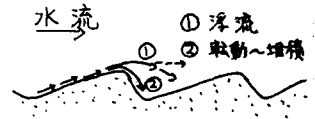


図-4

$$\psi = u_*^2 / \{ (\rho_s / \rho - 1) g d \} \text{----- (2)}$$

と河床波の波高(ΔR)との関係が示されている。これは(2)式中の粒径(d)として河床波のウレスト上流側から採取した河床材の平均粒径(d_{65})を用いた場合であるが、掃流力の大きいところで波高の上限がみられる。

(江合川)

江合川においては、上流の上川原橋付近より適当な地点ごとに河床材の採取を行ないながら、北上川と合流する和洲地点まで下った。この区間の河床の状況の概略を次に述べる。上川原橋から石の目橋付近においては河床が砂礫で構成されており、河道の弯曲と対応して交互砂礫堆の発達が顕著にみられる。河床材の粒径は下流に移るにしたがってかなり急激に細粒化し、小田原橋付近では完全に砂となり、ここで主流部では2~2.5mの波長をもつ砂堆がみられた。更に最下流の和洲付近においては音響測深機による連続的測定の結果、鳴瀬川と同様に砂堆に属する河床波が形成されていることが確かめられた。北上川との合流点においては砂州が発達しており、低流速部では砂遣がみられた。

和洲の合流点下流側の北上川右岸に灌漑用の取水口が設けられているが、取水口内に砂が堆積し、維持管理上の障害となっている。この堆砂の原因として、特に洪水時に江合川の合流点付近の砂遣や砂堆から巻き上げられた浮遊砂が北上川に流入し、付近の取水口内に沈殿することがとり上げられているのではないと思われる。

3. 河川流量に対する粗度の変化 (鳴瀬川について)

粗度(流k抵抗)は、水位あるいは流量、流速等の水理量と河床形態との相互作用の過程で変化するものであるが、水理量と河床材の条件に応じて形成される河床形態の種類すなわち砂遣、砂堆、平坦河床(Flat Bed)、反砂堆がほぼ明らかにされていることから、一応の定性的指標は得られる。ここでは、比較的流量が小さくかつ流れが主として常流であるような場合について、流量と粗度との関係を鳴瀬川の資料によって検討した。

一般に河川の粗度に対しては小規模河床形態以外に河道の形状、河床材の特性、河道内の植生や構造物など多くの要素が複合的に影響すると考えられるが、ここではそれら他の要素の影響ができるだけ除外されるように配慮されている。すなわち考察対象に選んだ鳴瀬川の河道区間は急変部が少なく、流水断面形も比較的よく整っている。また横断面形は多く複断面であるが、高水敷の部分では植生など

によって粗度が大きくなることが予想されるため、主として低水敷内に水位が納まるような流量時の資料に基づいて検討されている。更に河床材については、比較的一様な砂であるため河床形態が流れの変化に敏感に追従し、粗度の変化となって表われ易いと考えられる。

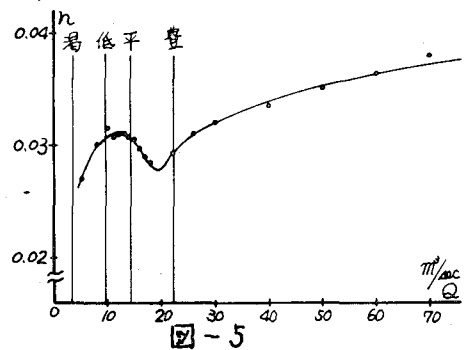
粗度の検討は、不等流計算によって各流量時の観測記録から求めた Manning の粗度係数に基づいて行なった。

不等流計算は、(3)式によって逐次近似計算を行なった。流量(Q)および粗度係数(n)をパラメーターとして試算を行ない、実測の水位記録と照合させることによって実際の粗度係数を推定している。計算断面間隔は 200 m、近似精度は水位に関して 1~5 mm である。

$$h_2 - h_1 = z_{b1} - z_{b2} + \frac{\alpha Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right) - \frac{Q^2}{2} \left(\frac{1}{K_1^2} + \frac{1}{K_2^2} \right) (\chi_2 - \chi_1) \text{ ----- (3)}$$

ここに $K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$, h : 水深, z_b : 河床高, χ : 距離往, 添字: 断面番号

計算結果が各流量と粗度係数の関係として図-5に示されている。なお同図には参考のため、鴨瀬川の豊水量、平水量、低水量、濁水量が記入されている。この結果の特徴として、低水量~平水量時に粗度係数に一つのピークがみられる。この極大値付近の流量($Q = 12 \text{ m}^3/\text{sec}$)時の不等流計算結果と河床材実測資料から各地点の砂粒レイノルズ数(Re)を計算すると、 $Re = 15.9 \sim 25.7$ が得られた。この値から、河床形態は砂漣と砂堆の遷移領域にほぼ相当すると判断される。



4. 結 語

以上の考察から次のようなことがいえる。

1) 鴨瀬川(三本木橋~木間塚橋)および江合川(小牛田橋~和洲)においては、通常の流量時に主として砂堆に属する河床波がほぼ全区間にわたって形成されている。また比較的小流量時には砂漣も生ずることが推定される。

2) これらの河床形態が形成されることによって、小流量時に粗度が比較的大きくなる傾向がある。これは低水時の水深維持に対して有利に作用していると考えられる。

3) 砂堆クレストの上流側斜面と下流側斜面から採取した河床材の粒度の違いから、移動砂がクレスト下流側において局所的に一部浮流化することのうづけが得られた。またクレスト上流側の河床材資料を用いて求めた掃流力と砂堆波高の関係は、河床波の形成過程に河床材粒度が上記の現象の形で影響することを示唆すると考えられる。

本文は、文部省科研費(特定研究)仙台湾臨海地域における河川水の復給と保全に関する基礎的研究(代表者: 岩崎敏夫教授)の援助をうけた調査研究結果の一部である。また、建設省北上川下流工事事務所調査課からは貴重な水文資料等の提供をうけた。ここに記して厚く謝意を表する

(注1) 各種河床形態の呼称は、土木学会小委員会(移動河床流れの粗度と河床形状)の提案しているものに従った。

(注2) M. S. Yalin: *Mechanics of Sediment Transport*, Pergamon Press, 1972

(注3) 坂本、三王: 第16回水理講演会, 1972