

東北大学工学部 正員 岩崎敏夫
 " " " 〇三王英寿
 " 大学院 学生員 庄子 隆

1. はし加さ

掃流砂量の算定に関しては従来多くの式が提案されているが、混合粒径の効果や遮蔽効果などをはじめ各種要素の影響について定量的に十分に解明されていない点があり、算定式の精度において改良の余地が大きいと思われる。ここでは、このような要素の一つとして重要である河床波をとりあげ、ほぼ様な粒径の砂を用いた実験を行ない、篠原・椿の式および芦田・道上の式にもとづいて掃流砂量算定上の問題点について検討した。実験においては、ほぼ一定の掃流力の範囲で流れのフルード数をかなり大幅に変化させることにより、主としてduneおよびanti-dune領域の河床波を考察対象としたが、その結果とくにanti-dune領域での有効掃流力に関して従来の算定法を修正する必要があることが指摘された。

2. 実験

幅80cm、長さ16mの側壁ガラス張りの可傾水路によって、河床波および掃流砂量に関する実験を行なった。底質としては、振動ふるい機によって選級したのち十分水洗して微細粒子を除去した一様粒径に近い川砂を使用した。その平均粒径は $d_m = 0.62\text{mm}$ および $d_m = 0.57\text{mm}$ であり、比重は $\gamma = 2.66$ である。

はじめ平坦にならした底床上に一定流量の通水を行ない、河床形の時間的变化を水路内の一点に固定したサーボ式砂面測定器によって30secごとに測定し、また水路下流端付近に設置した捕砂器によって5min.間隔で掃流砂量を測定した。水面勾配は、2m間隔で8点の水位をマノメーターで読みとることによって求めた。水路下流端の可動堰によって水位を調節し、さらに流量と水路勾配を変化させることによって、掃流力とフルード数に関する各種の組合せが得られるようにした。1回の通水時間は約2時間であり、この間河床波は発達過程を経てほぼ平衡状態に達している。実験結果の一部を次表に示した。

RUN	流量 (l/sec)	河床勾配	掃流砂量 q_b (cm ³ /sec)	水深 h (cm)	水面勾配 ($\times 10^3$)	無次元掃流力 τ_b	フルード数 F_r
3	20.3	1/500	0.029~0.088	3.60~6.15	2.14~3.22	0.101~0.138	0.73~0.90
5	30.0	1/500	0.028~0.186	4.80~8.40	1.62~3.27	0.112~0.192	0.58~0.84
8	39.2	0	0.033~0.236	6.45~11.20	0.89~2.95	0.115~0.224	0.49~0.72
10	20.8	0	0.004~0.040	4.00~5.75	1.13~1.87	0.066~0.084	0.65~0.84
15	12.6	0	0.002~0.005	3.05~3.40	1.15~1.33	0.036~0.043	0.80~0.94
32	39.0	0	0.091~0.204	6.50~11.50	1.60~2.98	0.158~0.263	0.54~0.76
33	30.0	1/500	0.082~0.199	5.25~7.95	2.73~3.63	0.180~0.227	0.76~0.82
34	20.8	1/250	0.133~0.152	2.75~4.70	4.69~5.32	0.179~0.201	1.11~1.21
35	15.2	1/200	0.085~0.125	2.30~3.40	5.61~6.16	0.150~0.182	1.28~1.49
36	18.0	1/250	0.115~0.127	2.75~4.15	4.56~5.19	0.159~0.178	1.18~1.26
37	13.5	1/200	0.090~0.123	1.75~3.20	5.27~6.13	0.126~0.171	1.23~1.55
38	13.7	1/200	0.082~0.110	1.85~3.35	5.05~6.09	0.123~0.157	1.41~1.71

3. 実験結果と有効掃流力について

河床波を伴う流れにおいては、その形状抵抗による流水のエネルギー損失のために実質的流砂量が減少すると考えられ、一般に掃流力を変数として流砂量の算定を行なう場合、掃流作用に対する有効掃流力の算定法が計算精度に大きく影響する。この点については従来のいくつかの掃流砂量式において考慮されていることであるが、とくに高フルード数領域の河床波を伴う場合に対しては問題が残されていると思われるので、改めて今回の実験値にもとづいて検討する。

まず、掃流作用に対する河床波の影響に関する詳細な考察のもとに得られた次の篠原・椿の式と今回の実験値とを比較すると図-1のようになる。

$$\Phi = 25 \tau_{*e}^{1.3} (\tau_{*e} - 0.8 \tau_{*c}), \tau_{*e} = \tau_{*c} \frac{\varphi}{\varphi_0}, U_{*e} = U_{*c} \sqrt{\varphi/\varphi_0}$$

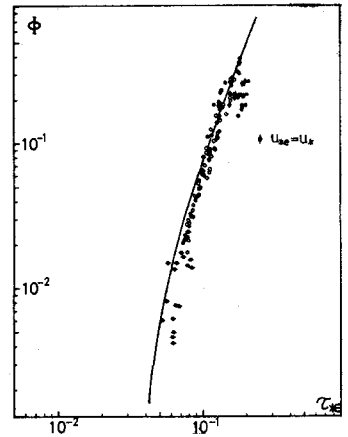


図-1

ここに $\Phi = g_b / \sqrt{S g d^3}$, $\varphi = U_m / U_{*c}$, $\varphi_0 = 6.0 + 5.75 \log_{10} (R/d_{65})$
 ここで用いたデータは30分間の平均値であり、河床形態は次の3種類に大別される。①低フルード数領域における平坦河床(○印)。②低フルード数領域における波状河床(ripple & dune):ただし、底質粒径の関係より、今回の実験において典型的な ripple は発生せず、大部分が2次元あるいは3次元の dune に区分される河床波である(○印)。③高フルード数領域における波状河床(anti-dune), (●印)。

図-1によって、篠原・椿の式は低フルード数領域における実験値とかなりよく一致していることがわかる。しかし、高フルード数領域で anti-dune の生じている場合には流砂量をやや過大に評価する傾向があり、このことは $U_{*e} = U_{*c}$ として算定した場合においてもみられる。

つぎに、下記の芦田・道上の式と実験値を比較した例を図-2に示した。

$$\Phi = 1.7 \tau_{*e}^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_{*e}}\right) \left(1 - \frac{U_{*c}}{U_{*e}}\right)$$

$$\text{ここに } U_m / U_{*e} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \{R/d(1 + 2\tau_{*c})\}$$

図-2においても、anti-dune 領域に対する傾向は図-1の場合とほぼ同様である。

以上の例で示されたように、低フルード数領域における河床波の影響については既に提案されている式によってかなり精度よく算定できる可能性がある。しかし、anti-dune を伴う流れの有効掃流力の算定に対しては検討の余地があり、ある程度流れの剝離を伴う形状抵抗や水面波によるエネルギー損失などについて検討する必要があると思われる。このための参考資料の一例として、流水抵抗の指標となる流速係数 ($\varphi = U_m / U_{*c}$) に関する実験値を図-3に示した。同図は、平坦河床ないし dune 領域 ($Fr < 1$) および anti-dune 領域 ($Fr > 1$) における流速係数と無次元掃流力 (τ_*) との関係を示すものであるが、各領域でそれぞれ特徴のある関係を呈している。

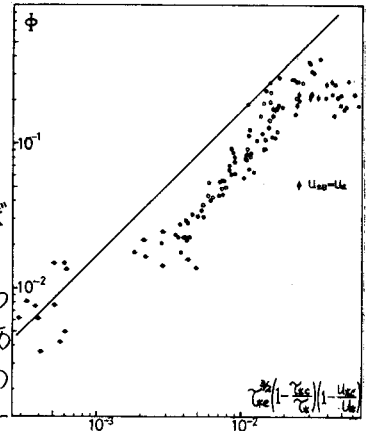


図-2

4. あとがき

ほぼ一様粒径の砂を用いて広範囲のフルード数領域における実験を行ない掃流砂量に与える河床波の影響について考察した結果、とくに高フルード数領域で河床波を伴う場合の有効掃流力に関する従来の算定法に修正の余地のあることが指摘された。しかし、実験範囲が狭いため十分な結論を出すに至っておらず、今後追加実験によってさらに検討を進めたいと考えている。

謝辞；実験に際して御協力いただいた卯花政孝技官および研修生の方々に厚く感謝の意を表する。

参考文献；1) 椿東一郎；砂運をともなう掃流作用について，土木学会誌 40-8，1955。

2) SHINOHARA, K. and TSUBAKI, T.; On the characteristics of Sand waves formed upon the Beds of the Open channels and Rivers, Rep. Res. Ins. App. Mech, Vol. VII, 1959.

3) 芦田・道上；移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集, No. 206, 1972.

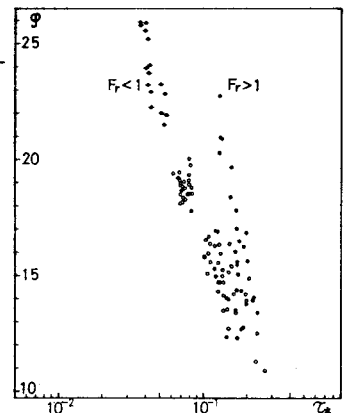


図-3