

II-207 階段状河床波の流水抵抗と掃流力分布

京都大学 防災研究所 正 江頭進治
 京都大学 防災研究所 正 菅田和男
 京都大学 大学院 学 西野隆之

1. 緒言 山地河道には一般に一連のステップピールからなる階段状河床波が形成されており、これは、その形成・破壊の過程と土砂貯留過程を通して、流砂量とその粒度分布を大きく支配している。そのため、山地河道における流砂現象は極めて複雑なものになっている。この問題を究明するためには、河床波の形成・破壊に伴う流砂機構に関する考察がなされる必要段階にあるが、これを進めるためには、河床波上の流れや、流れと河床波との相互作用等に関する研究が不可欠である。本研究はこのような観点から行い、しているものであり、ここではとくに、流れの抵抗則に関する考察を中心に、さらに、人工の階段状河床波上における掃流力の測定結果についても若干の考察を行う。

2. 流れの抵抗則 階段状河床波上の流れを形態別にすると、(1)ステップ上の流れ、(2)常流→常流、(3)射流→常流→射流、(4)射流→射流のように分類される。平均流のエネルギー散逸機構は、流れの速移がどのように起こるかによって少しづつ異なるが、(2)および(4)においては、表面摩擦とCrest下流における剝離渦がエネルギー散逸の主要因となる。(3)においては、これらに加えて、跳水によるものも主要因の一つになる。ここではまず、剝離渦に着目し、流水の剝離に伴う平均流のエネルギー散逸機構に関する巨視的な扱いを行い、抵抗則を導く。いま、剝離領域の抵抗係数を f_a とすれば、この区間は平均流のエネルギーの一部が剝離領域における乱れ(渦)の生成エネルギーに変換されているから、近似的に次式が成り立つはずである。

$$\frac{1}{8} f_a v^3 a \Delta = \int_A -u'w' \frac{dU}{dz} dA \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 v は断面平均流速、 Δ は河床波の波高、 $a\Delta$ は剝離長、 A は剝離領域の面積である。上式左辺は区間 $a\Delta$ における単位時間当たりのエネルギー散逸である。進行速度の概念なども用いて上式の各項を次のように近似する。

$$-u'w' = k_1 v We; \quad dU/dz = k_2 v/\bar{h}; \quad A = k_3 a \Delta^2/2 \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 We は進行速度、 \bar{h} は平均水深、 k_1, k_2, k_3 は実験的に求められる係数である。式(1)、(2)より、 f_a は次のように与えられる。

$$f_a = 4 K E \Delta / \bar{h} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 $K = k_1 k_2 k_3$ 、 E は進行係数であって、 $E = We/v$ のように定義され、2次元自由噴流の場合には $E \approx 0.08$ 程度の値になる。

つぎに再付着点より下流域の抵抗係数を f_s として、これに対する抵抗則に従うものとすれば、 f_s は次式で表される。

$$f_s = 8 / \{ 6.0 + 2.5 \ln(\bar{h}/k_s) \}^2 \quad \text{----- (4)}$$

ここで、階段状河床波の波長を λ とし、跳水によるエネルギー損失のない流れを対象とすれば、一波長間の平均抵抗係数 f は次式のよう表される。

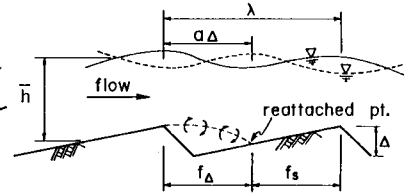


図-1 階段状河床波上の流れ、記号

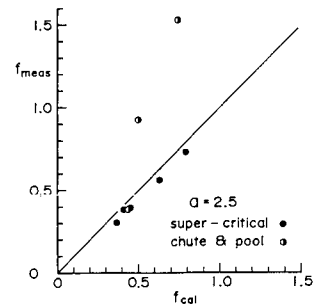


図-2 f に関する実験値と式(5)の比較(人工階段状河床波)

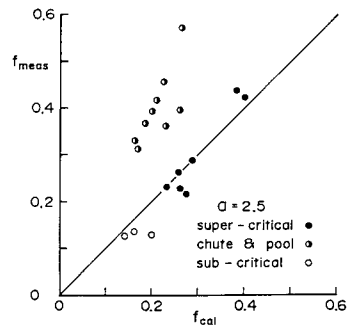


図-3 f に関する実験値と式(5)の比較(移動床)

$$f = f_a (\Delta d / \lambda) + f_s (1 - \Delta d / \lambda) \dots \dots \dots (5)$$

上式の適用性も検討するため、直径 $D = 2.4 \text{ cm}$ のガラス玉を用いて作成した階段状河床波 ($\lambda = 20 \text{ cm}$, $\Delta = 2.27 \text{ cm}$) において実験を行った。図-2は、これから得られたデータと式(5)とを比較したものである。さらに、図-3は、移動床における実験値と式(5)とを比較したものである。比較に際し、 f_a の係数は、 $K = 6$, $E = 0.08$ とし、 f_s においては $k_s = D$, あるいは $k_s = D_a$ (D_a はアーマーコートの平均粒径) としている。剝離長を定める係数 a には、後述の図-5も参考にし $a = 2.5$ が用いられている。さて、これらの図の比較が示すように、跳水と併し Chute & Pool 以外のデータについてみると、これらは式(5)によって適切に評価されている。

式(5)の一般性もさらに検討するため、足立の槽粗度に関する実験データも解析したものを図-4に示している。データ解析においては、Einsteinの方法によって側壁効果も除去している。 f_s には Blasius 則も用いている。また、上述の場合と同様に $K = 6$, $E = 0.08$ を採用し、槽粗度における剝離長は、粗度高の $8 \sim 10$ 倍程度になることも考慮して $a = 10$ も採用している。図の比較より分かるように、槽粗度流れの抵抗も式(5)によってかなりの確率で評価されるようである。

3. 階段状河床波上の掃流力分布

これまでの議論によれば、一次元的な意味での断面平均水理量の把握は可能である。ところが、階段状河床波の発達、破壊・変形過程などの流砂現象も議論していくためには、河床表面における掃流力分布に関する知見が必要である。その第一歩として、河床表面に存在する粒子の抗力測定法⁴⁾を考案し、これを用いて掃流力分布の測定を試みた。河床の条件は、 $\lambda = 20 \text{ cm}$, $\Delta = 2.27 \text{ cm}$, $i = \tan \theta = 0.1$ であり、表面には $D = 2.4 \text{ cm}$ のガラス玉が取り付けられている。単位幅流量は $313 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、縦断平均フルード数は 1.28 である。図-5は、この条件で得られた掃流力の縦断分布を示したものである。図には、水位、河床値とともに流速分布測定や可視化から得られた再付着点も示されている。まず、再付着点についてみると、これは Crest 下流 $2\Delta \sim 3\Delta$ の位置にある。このように剝離長が短いのは τ/D の小さい流れの特徴の一つである。つぎに掃流力分布についてみると、これは再付着点直後において 0 が負の値を示し、下流へ向ってほぼ直線的に増加している。これは、河床直後の水流が次第に加速されることに起因しているものと思われる。

4. 結語 本報においては、主として平均水理量予測の基礎となる流れの抵抗則について考察し、上述のようにほぼ満足すべき結果を得ている。さらに、階段状河床波上の掃流力分布も議論していくための第一段階として、掃流力の測定例を示した。最後に、九州大学助教授小松先生には進行係数に関するコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 池内・山田・村上: 30回水理講演会, 1986, pp.73-78. 2) 西本・菅田・江頭: 41回土木学会全国大会, II. 3) 足立昭平: 学位論文, 昭和36年, 4) 菅田・江頭・西野: 京大防災研年報, 29B-2, 1986.

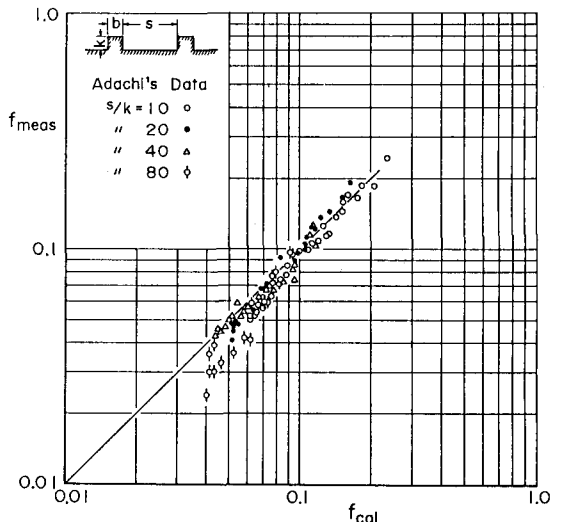


図-4 f₁に関する実験値と式(5)の比較(槽粗度)

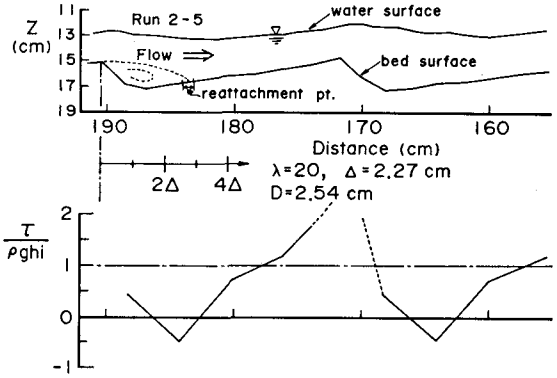


図-5 階段状河床波上の掃流力分布の測定例