

掃流過程の数値模擬に関する研究(1)

京都大学工学部	正員	中川 博次
京都大学工学部	正員	辻本 哲郎
京都大学大学院	学生員	○細川 泰廣

1. まえがき 砂れきの掃流過程では、流れ・河床形状・流砂が複雑にかうみ合い、しかもそれらかともに強いランダム特性をもつために現象の解析的取り扱いが困難な面が多い。従って、掃流砂の確率的な挙動を的確にシミュレーションすることから可能となれば、種々の条件を設定した数値実験を行なうことのでき、これにより新たな知見を得ることも期待できる。また逐次明らかになった性質を加味してモデルを改良することも容易である。これに鑑み、本論文はその第1歩として、stochastic modelを主体とした数値シミュレーションを実施し、砂粒レベルの運動特性にもとづいて掃流過程を検討するときに、派生して来る現象と実際現象とを比較し、若干の考察を行なったものである。

2. 掃流過程のモデル化 砂粒運動をstochastic modelで扱う場合、その特性量であるpick-up rateおよびstep lengthを決定する必要がある。まず、pick-up rateについては、著者らから先に導いた次式に示される無次元底面せん断応力 τ_* との関係式を用いる。¹⁾

$$p_{s*} = p_s \sqrt{d / (0.89 - 1)} g = F_0 \tau_* (1 - \tau_{*c} / \tau_*)^2 U (1 - \tau_{*c} / \tau_*)$$

また、step lengthについては、指数分布に従うと仮定し、その平均値は粒径に比例するとした。一方、水路中には水深のオーダーをもつマフロスケールの乱れが存在するという考え方があり、このことから無次元底面せん断応力の空間相関関数を $R(z) = R(0) e^{-\lambda |z|}$ と仮定して、乱れの場合をシミュレートした。なお、このような変動特性をもつランダム列は、white noiseを入力とした期待ランダム列を出力とする数値フィルターを用いて決定した。図-1は、シミュレートした無次元底面せん断応力の波数スペクトルである。以上のことから、図-2に示すような手順で、河床高の時間的变化を求めた。

(但し、 $U_* = 4.0 \text{ cm/sec}$, $d = 0.15 \text{ cm}$, $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$, $K = 1024$; こゝに Δx は距離の刻み巾、 K はデータ個数である。)

3. 実際現象への適用 《非平衡状態の場合》

以上に述べたモデルを、固定床から移動床へ遷移させることにより生ずる非平衡流砂現象へ適用する。この場合、固定床に近い所では河床高について統計的特性が時間的にはもちろゝ空間的にも

非定常過程となるため、エルゴード性を利用した解析が出来ず、とくに動特性についてその取り扱いは面倒になる。このため、ここではその静特性についてのみ考察した。図3および4は、50回試行を行なて求めた地点でのアンサンブル的な平均および分散の場所的ならびに時間的变化を示したものである。この図から、固定床近傍の非平衡性の著しい地点の方が、平衡状態に達していると思ふことの出来る地点よりも分散は小さく半分程度になっていることがわかる。すなわち、そこでは河床面が

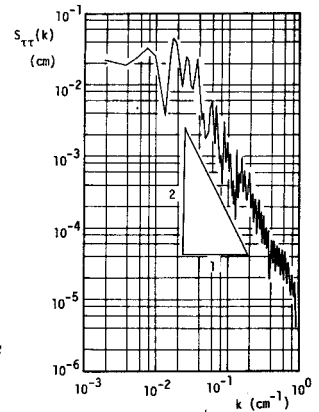


図-1 シミュレートした無次元底面せん断応力の波数スペクトル

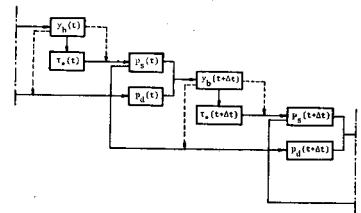


図-2 シミュレーション手順

常に低下するという傾向をもつために、ランダム特性がより小さくなっていると考えられる。

《平衡状態の場合》

次に、初めに平坦であ

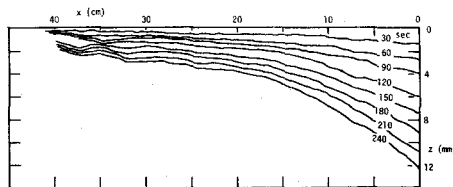


図-3 平均河床面の時間的变化

った河床が通水後全体としては流砂の平衡を保ちながら砂面の凹凸を増していく過程のスペクトル特性について考察する。この場合、シミュレーションの対象区間が平衡状態となるように下流側区間から流出する砂粒をPaの情報として上流から流入させるという方法で達成した。こうして求めた河床高の波数スペクトルの例を

図-5に示す。これは著者が前報²⁾の確率過程論で解析したもののシミュレーションに相当する。図からわかるように、高波数側でのパワーの急減が小さく、発達特性も分布形がそのままだといえる。実際現象と若干相違したスペクトル形となる。これは、床面の凹凸による砂粒運動の変化を無視したためで、次に剥離を考慮したシミュレーションを行なう。河床の凹凸が顕著になると、凸部によって形成された剥離領域では、この部分からの砂粒の飛び出しはなくなり、また上流から移動してきた砂粒はここに堆積するといった砂粒運動への影響が無視できなくなる。さて、図-6のように

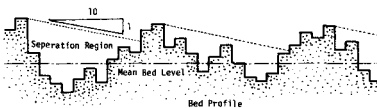


図-6 剥離域を考慮するモデル

剥離領域の凸部からreattachment pointまでの距離は、従来の研究を参考にして平均河床面からの突起高の10倍程度とし、また主流との干渉領域を直線分布で与えた。この結果得られたスペクトルの時間的变化を示したのが図-7である。この場合は、高波数域で日野による導かれた一3乗則の成立が認められ、また時間の経過とともに低波数域のパワーが増大するという実際現象とよく一致する結果となった。また、スペクトルモーメントより求めた卓越波長は、図-8のように時間の平方根に比例することが認められた。

4. あとがき 以上のことから、このようなシミュレーションモデルである程度掃流過程が説明できると考えられ、今後モデルの改良とその応用について研究を進めたい。

1) 中川, 辻本: 土木学会論文報告集, 1975.

2) 中川, 辻本, 矢田: 昭和52年度関西支部年講, 1977.

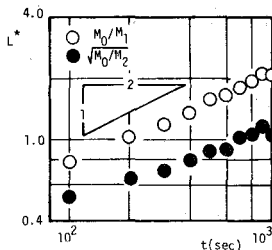


図-8 不規則砂面の卓越波長の時間的变化

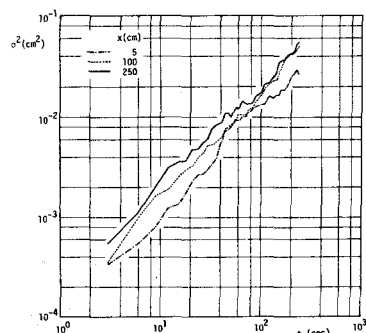


図-4 河床高分散の時間的变化

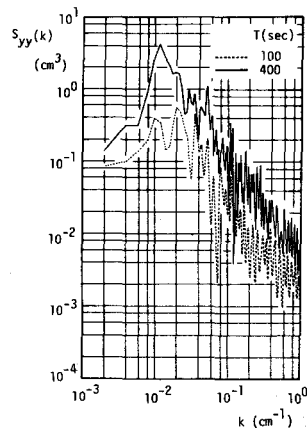


図-5 砂面の波数スペクトルの時間的变化(剥離を考慮せず)

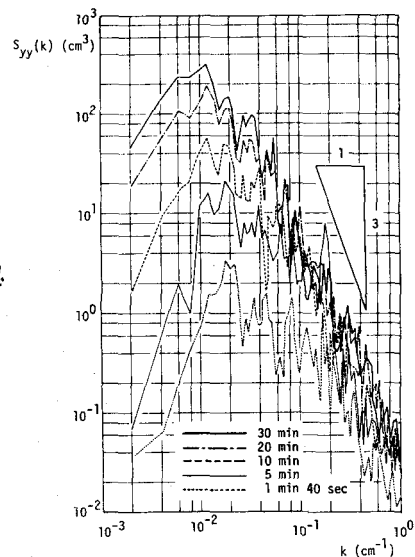


図-7 砂面の波数スペクトルの時間的变化(剥離を考慮)