

大日コンサルタント(株) 正員○岩田 雅幸
鳥取大学 工学部 正員 鈴木 幸一
鳥取大学 工学部 正員 道上 正規

1. はじめに 本研究は、河床低下防止を目的として設置される床固めの直下流部における局所洗掘現象の内部的機構を解明しようとするものであるが、とくに床固め上流域の河床低下に伴う床固め下流域への給砂量が時間的に変化する場合について局所洗掘現象を明らかにすることを目的としている。従来、床固め上流域からの給砂がない場合についてモデル解析を試みているが、本研究においても、このモデル解析法を修正して適用し、局所洗掘モデルの妥当性について検討した。

2. 最大洗掘深の時間的変化

図-1は、図-2における床固め直下流部の、最大洗掘深の時間的変化を示したものであり、無次元表示している。図中、 Z_{sm}/h_c に影響すると考えられるパラメータも付記しているが、 Z_{stf} は床固め設置点での最終的な全体的河床低下量であり、 h_c は限界水深、 d は平均砂粒径である。洗掘がある程度進行すると、主流水脈が潜り噴流状態となり急激な洗掘が生じる。その後、主流水脈が水面に移り波状跳水となって緩やかな埋め戻しが生じる。このような潜り噴流と波状跳水状態が交互に生じながら洗掘が徐々に進行していく。上流から給砂のある

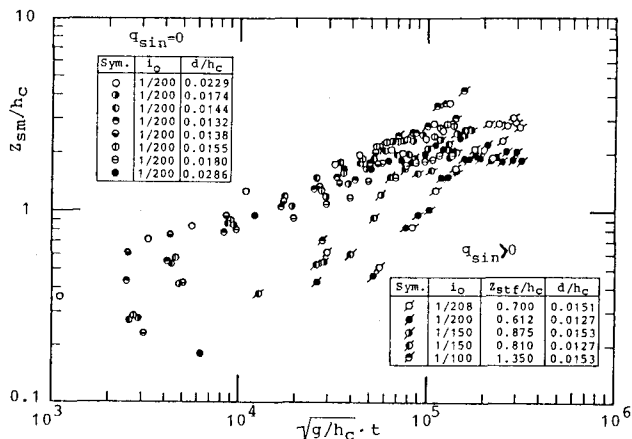


図-1 最大洗掘深の時間的変化

場合 ($q_{sin} > 0$)、各Runによって多少異なるものの無次元時間 $\sqrt{g/h_c} \cdot t$ が 1.0×10^5 程度までは潜り噴流とはならない。一方、床固め上流域からの流入砂がない場合 ($q_{sin} = 0$) には、 $\sqrt{g/h_c} \cdot t \approx 3 \times 10^5$ 程度ではじめて潜り噴流に移行していたので給砂のある場合には、潜り噴流に移行するのに時間的に大きく遅れることがわかる。

ただ、給砂のある場合も潜り噴流が生じた以降では給砂量も減るため、最終的な洗掘深は、給砂のない場合と同じ大きさとなり洗掘と埋め戻しを繰り返しながら徐々に増加していく。また、 Z_{stf}/h_c が大きいほど Z_{sm}/h_c は大きくなっているが、これは同一砂粒径では初期河床勾配が大きいほど Z_{sm}/h_c が大きく、また洗掘速度も大きいことを意味している。

3. 床固め上流域からの給砂量

床固めを越して床固め直下流部に流送される土砂量 q_{sin} は、図-2を参照して、床固め上流域の全体的河床低下量 z が求まっているからこれを $x = 0$ から $x = l_1$ まで積分することによって与えられ、

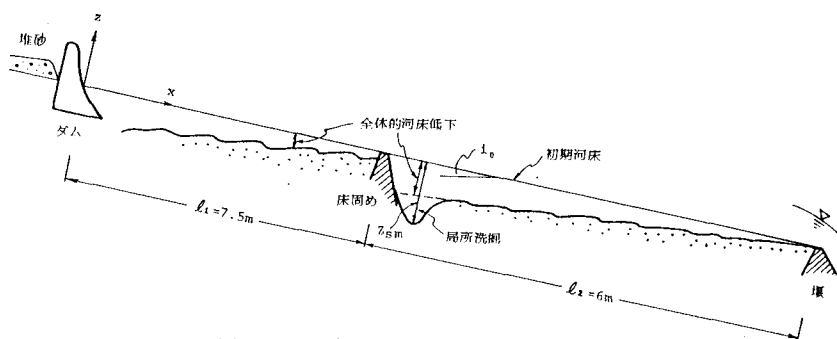


図-2 河床低下河道に設置された床固め

$$1) \quad g_{sin} = -(1-\lambda) \int_0^{l_1} \frac{\partial z}{\partial t} dx = 4K(i_0 - i_c)(1-\lambda) \sum_{n=0}^{\infty} \sin \frac{(2n+1)\pi}{2L} l_1 \cdot \frac{1}{(2n+1)\pi} \cdot \exp \left(-K \left\{ \frac{(2n+1)\pi}{2L} \right\}^2 t \right) \quad (1)$$

$$2) \quad g_{sin} = -(1-\lambda) \int_0^{l_1} \frac{\partial z^*}{\partial t^*} dx = 4K(i_0 - i_c)(1-\lambda) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n+1)\pi} \cdot \exp \left(-K \left\{ \frac{(2n+1)\pi}{2L} \right\}^2 (t - t_c) \right) \quad (2)$$

で表わされる。ただし、 i_0 ：元河床の勾配、 i_c ：河床砂の移動限界勾配、 λ ：砂の空隙率、 g ：単位幅流量 $A = v/u_*$ 、 v ：平均流速、 u_* ：摩擦速度、 t_c ：床固め上に限界水深が発生する時間、 $t^* = t - t_c$ 、 $i_0 = i_0 + (z_0 - z_{c1})/l_1$ 、 z_{c0} および z_{c1} は $t = t_c$ における $x = 0$ および $x = l_1$ 地点の z である。

4. 局所洗掘のモデル化

上流側から給砂のない場合 ($g_{sin} = 0$) の床固め直下流部の局所洗掘に関しては、すでにモデル解析を試みているが、給砂がありしかもその量が減少していく本研究の場合にも、 g_{sin} を考慮して修正して全く同様なモデル解析を行なうことができる。すなわち、床固め直下流部における非平衡状態の流砂の連続式において、床固め地点からの g_{sin} を (1) あるいは (2) 式で、時間的に減少する量として求めてその量を考慮して加えておけばよい。最終的に流砂の連続式は、図-3の記号を用いると、

$$\frac{\partial z_s}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \cdot \frac{1}{L} \left\{ g_{Bo}(x') - \int_0^{x'} g_{Bo}(x' - \xi) \right. \\ \left. \times \frac{1}{L} \exp \left(-\frac{\xi}{L} \right) d\xi - \frac{g_{Bo}(0) + L \frac{g_{sin}}{x_R - x_A}}{L + (x_R - x_A)} (x_R - x_A) \exp \left(-\frac{x'}{L} \right) \right\} \quad (3)$$

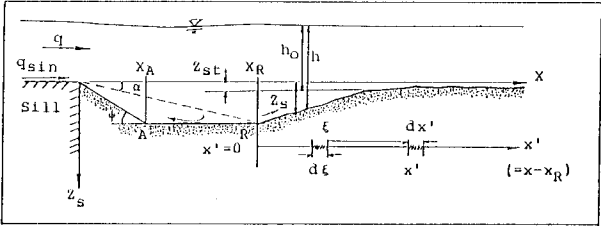


図-3 記号図

ここに、 L ：砂粒子の平均跳躍距離、 g_{Bo} ：平衡状態の流砂量である。各洗掘過程における流況をモデル化することによって河床面に作用するせん断力を求め、(3)式を数値解析することによって、洗掘深・洗掘孔形状の時間的な変化を求めることができる。図-4には比較的早く潜り噴流が生じる場合とそうでない場合の最大洗掘深の時間的な変化の例を示している。計算値と実測値とではとくに潜り噴流が生じ始める時間がかかなり違っており必ずしも計算は満足すべき結果を与えていない。この原因は潜り噴流から波状跳水あるいはその逆の流れの移行条件に問題があるのでありこれを正しく与えれば計算と実測結果とは比較的良好一致するものと思われる。

5. あとがき

上流からの給砂量 g_{sin} が次第に減少していく場合の床固め直下流部の局所洗掘特性を実験的に明らかにすることともに、 g_{sin} の変化を考慮したモデル解析を行ない、床固め直下流部の局所洗掘において特徴的な潜り噴流による急激な洗掘と波状跳水状態における埋め戻しの現象を明らかにしたが、潜り噴流と波状跳水相互間の流れの移行条件に若干のあいまいさが残されており、今後検討する必要がある。

参考文献

- 1) 道上・鈴木・川津：京都大学防災研究所年報，第25号B-2，1982。
- 2) 道上・鈴木：土木学会論文報告集，第323号，1982。

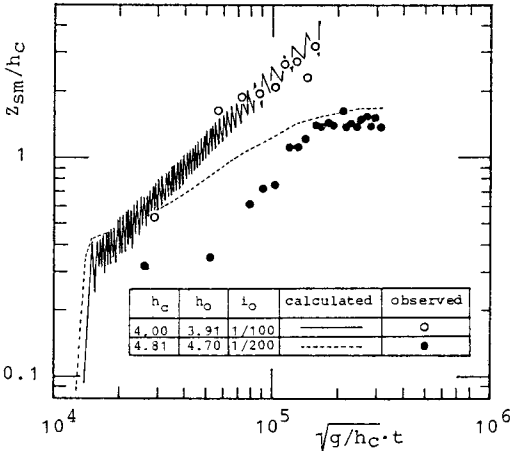


図-4 最大洗掘深の時間的な変化