

Ⅱ－6 近自然河道設計における一次元河床変動計算の利用

－ スリット付き床固め工上流の水みち形成過程 －

○(株)エコー建設コンサルタント 正会員 穴瀬康雄

(株)エコー建設コンサルタント 正会員 赤尾篤彦

徳島県川島土木事務所

藤枝主市

徳島大学工学部

正会員 岡部健士

1.はじめに 砂防河川には、多数の床固め工や砂防ダムが連続的に配置されており、水みちの切断・分離が著しい。水みちは、そこに住む水生生物にとって大切なコリドー（移動可能な生息空間）であり、これを連続化させる対策は、生態環境の大幅な改善をもたらすことが期待される。水みちの連続化には、堰堤の一部を切り欠いてスリットを設ける方法が有効である。既にいくつかの模型実験や試験施工がなされ、その有用性は検証されている^{1,2)}が、現場対応の設計方法が確立されるまでには至っていない。すなわち、水文特性に応じたスリット幾何諸元の決定方法や、上下流に形成される水みちの規模、さらに、この水みちがコリドーとして快適であるか否かを評価する指標など、検討すべき課題は多い。ここでは、スリット上流の水みち形成過程をシミュレートできる計算モデルを作成し、モデル河道へ適用した結果を紹介する。

2.基礎式ならびに計算方法 計算モデルは基本的に一次元モデルであるが、 $\frac{\partial Q}{\partial x}=0$ (1)

流況に応じて横断方向の解析範囲を変化させ、擬似的に流路幅の拡大・縮小を表現している³⁾。用いた基礎式は、式(1)および(2)に示した一次元不等流の連続式および運動方程式と、式(4)の流砂の連続式である。水面幅 $\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{2g} \frac{Q^2}{B_w^2 h^2}\right) + \frac{\partial H}{\partial x} = -i_e$ (2)

と流砂幅は水みち幅に等しいと仮定し、水みち幅は式(3)に示す芦田らのレジム則⁴⁾を用いて算定した。基礎式の文字表記は概ね慣例に従っており、 $B_w = \alpha \left(\frac{Q}{\sqrt{g d i_b}} \right)^{1/2}$ (3)

i_e :エネルギー勾配, i_b :河床勾配, α :係数(=1.4), d :粒径, z :水みち幅 B_w 内の平均河床位, q_b :単位幅流砂量である。そのほか対数型抵抗則と芦田・道上の流砂量式を使用した。 $\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B_w} \frac{\partial (B_w q_b)}{\partial x} = 0$ (4)

数値計算の手順は次のようである。まず、河道幾何条件や流量から水みち幅を決定し、標準逐次計算法によって不等流計算を行う。流路の形成過程においては、水みち幅や河床勾配が急変するため、常流と射流の混在が予想される。このような場合には、石川らの方法⁵⁾によって支配断面候補を探索し、各候補断面から常・射流の水面形を追跡したのち、比エネルギーの関係に矛盾が生じないように、上流から水位を決定してゆく方法が有用である。ついで、水理量から掃流力を求めて流砂量を計算し、河床変動計算を行う。先ほど同様、河床変動計算も常・射流に応じて差分方向を変えるなどの処理が必要である。常流の場合には後退（風上）差分、射流の場合には前進（風下）差分を適用する。また、全体の土砂収支に矛盾が生じないように、①跳水直前の射流断面では河床変動を一時的に固定する、②支配断面とその直下流の断面の流砂量の双方を両者の平均値に等しく置き直す処理を行った。これらの詳細については、文献 5)を参照されたい。計算メッシュは、水みち幅やスリット幅のスケールに合わせて、かなり細かく設定しておく。そして、レジム則から求められた水際が格子点間に位置する場合には、近い方の点に一致させる。

3.モデル河道への適用 図 1 に示すような、全長 100m 全幅 15m のモデル河道において流路形成シミュレーションを行った。下流端には、図 2 のようなスリット付き床固め工が設置されている。初期河床の縦断勾配は 1/340、ただし既存の水路実験結果を見ると、床固め直上にはスリット底を起点とする安息角程度の堆砂面が形成されていることから、下流端付近はこの形状を模した。横断勾配はつけていない。河床砂礫は $d=30\text{mm}$ の一様砂である。スリット近傍の急縮流れは剥離を伴うため、死水域を図 1 のように設定した。

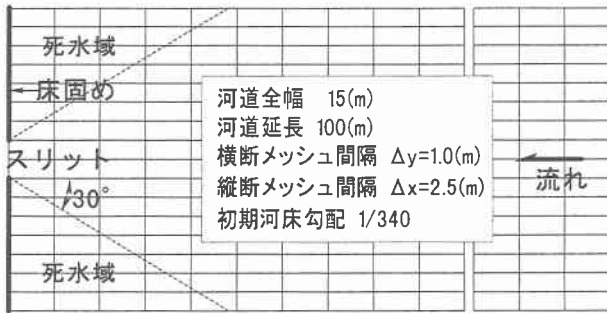


図1 モデル河道平面図

下流端水位は、流量を既知として四角堰の公式 $Q=1.8b(H-Z_s)^{3/2}$ から算出した。通水流量は $2(\text{m}^3/\text{s})$ である。

計算結果を図3および4に示す。図3を見ると、時間の経過に従って、下流から水みちが固定されてゆく様子や、河床勾配の変化点に発生する支配断面位置が上流に遡上していく現象などが、良好に再現されている。また、通水後5分および180分における水面形には、数値振動なども見られず、ほぼ妥当な解が得られている。図4は、通水後60分における河床位のコンター図である。追加距離10～20mのあたりでは、縦侵食が卓越し、急勾配河岸が形成されている。また、追加距離60m付近にある支配断面位置を始点とした流路の急縮も表現されている。

4.おわりに 本モデルが、流路形成シミュレーションに有用であることが示された。今後は、水理模型実験の再現計算などを行って、モデルの妥当性を検証する。

「参考文献」1)岡部ら:ベン工の付設によるスリット付き砂防ダムの改善に関する実験的検討, 水工学論文集, 第42巻, 1998. 2)水山ら:日影第1号上流砂防ダム水理模型実験等報告書, 土研資料, 第2584号, 1988. 3)芦田ら:床止め浸食制御機構に関する研究, 京大防災研報告, 第32号, B-2, 1989. 4)芦田ら:網状流路の流路変動と流砂量, 京大防災研報告, 第33号, B-2, 1990. 5)岡部:急流河川の1次元河床変動(その1および2), 砂防学会誌, Vol.50, No.3およびNo.4, 1997.

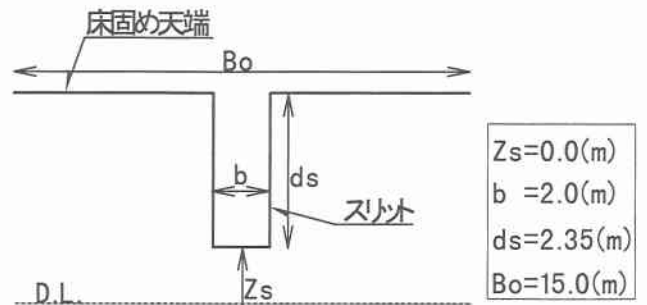


図2 スリット付き床固め工

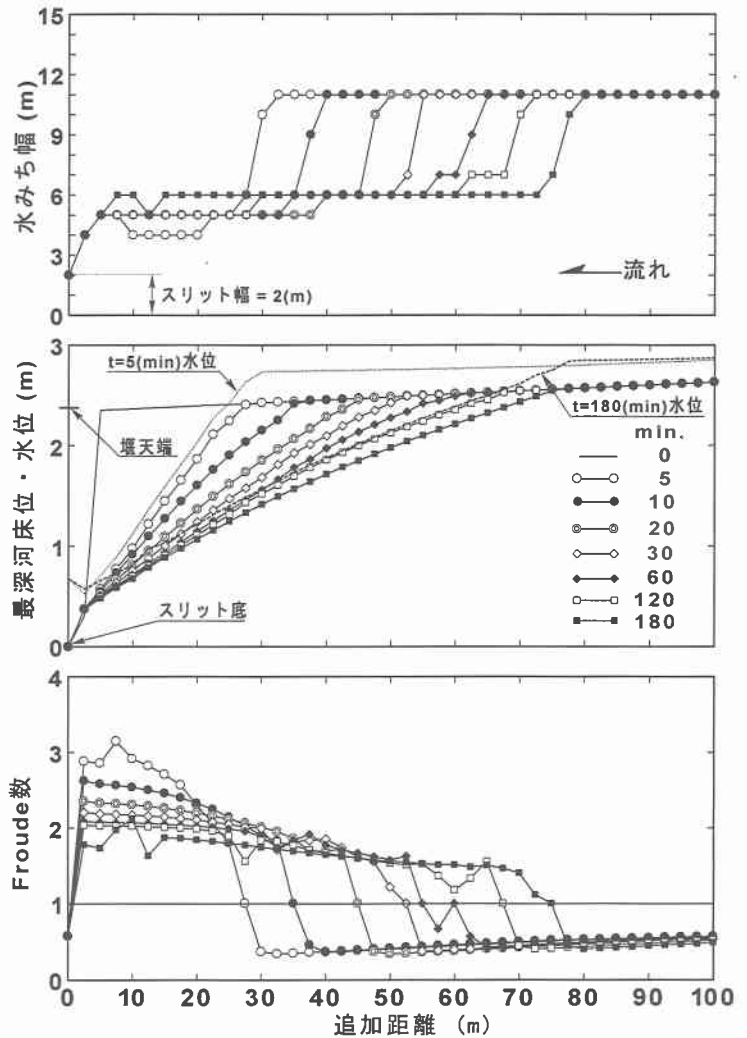


図3 シミュレーション結果

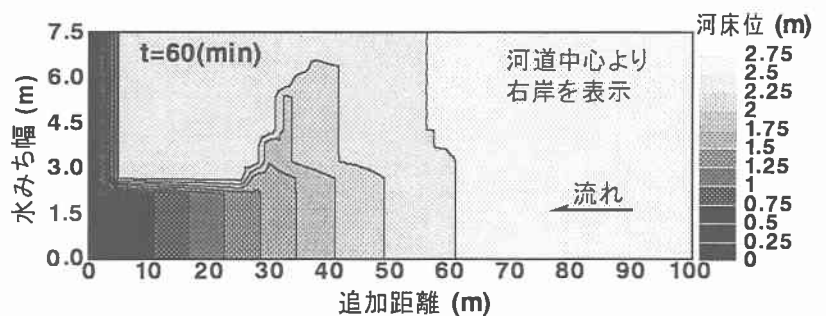


図4 河床位コンター図(60分後)