

建設省土木研究所 正員 須賀堯三  
正員 馬場洋二  
正員 ○ 徳永敏朗

ブロック群内の平均流速を二層流的な考え方で表現するモデルについて考察し、実験による検証を通してモデルの妥当性を確認した。さらに、土砂流失抑制という根固ブロックの一つの機能に関連して、ブロック群下の河床材料の移動開始時におけるブロック層内の平均流速と土砂の限界掃流力との関係を実験的に調べた。

1. 二層流モデルについて。二層流モデルの条件として、境界面をブロックの柱頭とし、上下層とともに等流の場合を考えた。ブロックの空隙率は、空隙の分布が一様であると仮定した。さらに、ブロックの種類・積み方の問題を空隙率で表わせると考えた。内部境界面のブロック柱頭部では局部的に流速がゼロとなる面が存在するが、その影響を無視することとし、ここでは単に境界面の平均的なマサツカのみを考えた。境界面において流速がゼロとなる面が多いようなブロックの場合は適用外とする。

連続式から、 $\rho_1 u_1 + \lambda \rho_2 u_2 = Q_0$ 、運動式のうち、境界面上に働く力と上層の水に働く力のつり合いから、 $i_{f1} - i_0 = 0$ 、下層の水に働く力と境界面・底面・ブロックに働く力のつり合いから、 $i_{f2} + i_b - i_0 = 0$  を基本式とする。式中、 $i_{f1} = \tau_1 / \rho_1 g R_1$ 、 $i_{f2} = (\tau_b - \tau_1) / \rho_2 g R_2 \lambda$ 、 $i_b = \beta C_0 (1 - \lambda) u_2^2 / 2g R_2 \lambda$ 、 $\tau_1 = f_1 \rho (u_1 - u_2)^2 / 2$ 、 $\tau_b = f_0 \rho u_2^2 / 2$ 、である。ブロックに働く力を考える時、抵抗面積になる  $A/b\lambda$  をここでは  $\beta(1 - \lambda)$  とした。およそ  $\beta$  は、一層積の場合 24 で二層積は 30 である。

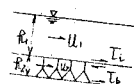
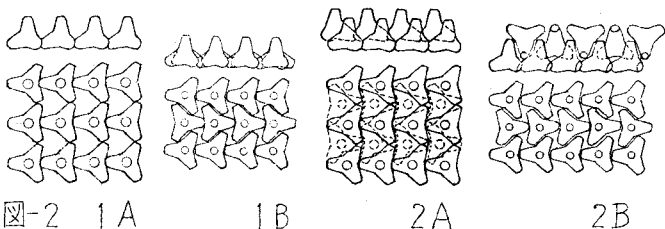


図-1

( $i_0$ : ブロックの抗力に基づく損失エネルギー勾配,  $i_{f1,2}$ : 上下層界面のせん断力に基づく損失エネルギー勾配,  $f_0$ : 界面のせん断係数,  $\lambda$ : 空隙率,  $i_b$ : 河床勾配,  $b$ : ブロック個の幅,  $\lambda$ : 流れ方向ブロック間隔,  $A$ : 流れ方向ブロック投影面積) 二層流モデルの各式を整理すると、 $u_2 = \sqrt{2g i_0 (R_1 + \lambda R_2) / \{f_0 + \beta C_0 (1 - \lambda)\}} = (Q_0 - f_1 \sqrt{2g R_1 i_0 / f_1}) / (R_1 + \lambda R_2) \dots (1)$ ,  $f_1 = 2g i_0 R_1^3 / \{Q_0 - (R_1 + \lambda R_2) \sqrt{2g i_0 (R_1 + \lambda R_2) / \{f_0 + \beta C_0 (1 - \lambda)\}}\} \dots (2)$  となる。空隙率の実際の分布等と二層流モデルに差があるかどうか確認する必要があるので、実験でブロック層内の流速を測定した。

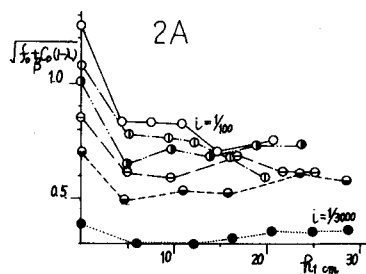
2. ブロック層内流速測定実験。使用水路は幅 60 cm、長さ 20 m の鋼製勾配可変水路である。ブロックはテトラポッドの 4 種型の  $1/25$  の模型を用いブロックの布設状態を図-2 のように 4 種類にした。水路床勾配を  $1/3000 \sim 1/100$  の 6 種類にし、水深をブロックの柱頭から約 35 cm くらいまで変化させマブロック層内の流速を等流状態で測定した。

流速の測定方法は上流より過マンガン酸カリウムとアンモニア水の混合溶液を注入し、下流の PH メーターで検出し、濃度の最大となる時間を測定した。その際、検出の遅れ時間を考慮した。



3. モデルによる流速の算出。(1)式において、 $f_0 + \beta C_0 (1 - \lambda)$  の値を逆算して、 $f_1$  による変化を調べてみると図-3 のようになる。 $f_0$  は小さな値であり  $\beta C_0$  は 0.3 ~ 2.6 くらいの値である。 $C_0$  は  $f_1$  によって変わるが、 $f_1 = 0$  の場合以外は同様な値であるので一定として平均値を用いた。

境界面付近に生じる渦の影響はわずかであると考えられるが、ブロックの種類・積み方等により流れ方が異なり渦の発生の方角も異なる。そのため  $f_1$  の値を求めるために、ブロックの上層のフルード数  $Fr$  と空隙率の関



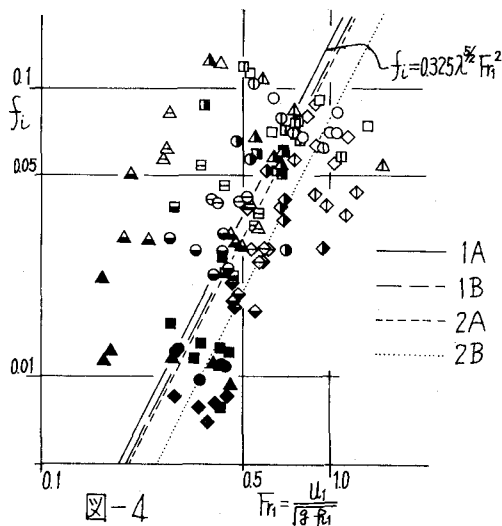


図-4

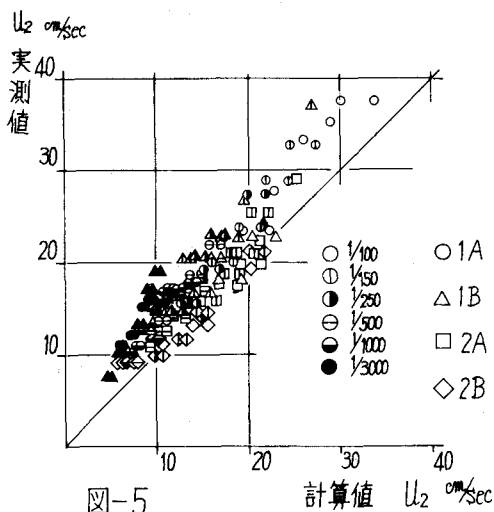


図-5

係で整理すると図-4のようになる。 $f_L = 0.325 \lambda^{1/2} Fr^2 = 0.325 \lambda^{1/2} Q_0^2 / g h_1^3$  ----- (3) これを(1)式に代入して $f_L$ の式を求めると次の6次式となる。 $\{f_0 + \theta G(1-\lambda)\} 2g^2 i_0 / 0.325 \lambda^{1/2} Q_0^2 \} f_L^6 - \{2g i_0 + 2g \sqrt{2} i_0 / 0.325 \lambda^{1/2} \{f_0 + \theta G(1-\lambda)\} \} f_L^5 - 6g i_0 \lambda f_L^4 - 6g i_0 \lambda^2 f_L^3 + \{f_0 + \theta G(1-\lambda)\} Q_0^2 - 2g i_0 \lambda^3 f_L^3 \} = 0$  ----- (4)

この $f_L$ を求め、(1)式で $U_2$ を求める。この $U_2$ を実験により求めた $U_2$ と比較すると(図-5)、二層流モデルの導入が良好な結果となっていることが分る。特に二層流の場合はかなり精度が高いと考えられる。

4. 河床材料移動限界時の平均流速と限界掃流力。ブロック群下の河床材料が動き出す時の水深・エネルギー勾配を測定した。使用水路・テトラポッドの布設状態等は、ブロック層内流速測定実験と同様である。ブロック群下には、粒径が1.4 mmと0.95 mmのものを5 m敷設し、流量を20 %sec ~ 140 %secと変えて実験を行った。ブロック群下の河床材料が1分間に4~5回移動するのを限界掃流力状態と考えた。そして、ブロック層内流速測定実験に於けるブロック群内平均流速 $U_2$ と河床勾配を軸にとり、上層水深 $h_1$ をパラメーターとした図に、河床材料移動限界時のエネルギー勾配と上層水深 $h_1$ の点を挿入したのが図-6である。その結果より、 $U_2$ を求めてみると、河床材料限界掃流力の約8倍となる。

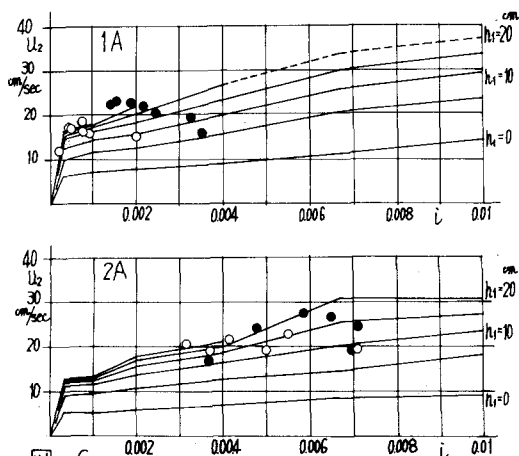
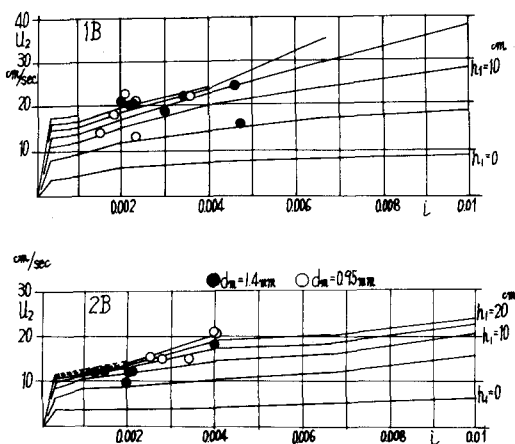


図-6



5. あとがき。二層流モデルにより、ブロック層内の平均流速を算出する方法を求め、それを実測値と比較して比較的良好的結果を得た。さらに、ブロック群下の河床材料が移動し始める時の水理量をブロック層内の平均流速で表わし、河床材料の限界掃流力の約8倍の時移動し始めることが判った。