

II-291 護床工下流部の流れの遷移と洗掘形状

明石工業高等専門学校 正員 神田 佳一
京都大学防災研究所 正員 村本 嘉雄
京都大学防災研究所 正員 藤田裕一郎

1. はじめに

著者らは、これまで、イボ型護床ブロックの粗面から移動床への粗度急変部における局所洗掘過程を対象とした研究を行っているが、本報では、既報¹⁾では述べなかった動的平衡状態における洗掘穴内の3次元的な流れ特性に関する実験結果について考察するとともに、実際河川の堰直下流に設置された護床工周辺の河床形状の実測と検討を行った。

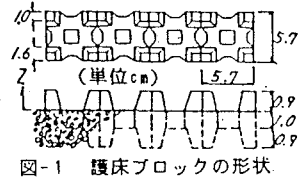
2. 実験の概要

実験には幅23cm、長さ4mのアクリル製長方形断面水路を用い、その上流部1.5mの区間に図-1

表-1 実験条件

No.	i	Q (l/s)	h _c (cm)	h _o (cm)	U _{so} (cm/s)
Run1	1/100	1.78	1.83	2.30	4.18

i : 河床勾配、Q : 流量、h_c : 限界水深、
h_o、U_{so} : 下流砂面上の等流水深及び摩擦速度



に示すイボ型ブロック（ホロースケア）を設置し、下流部は平均粒径 $d_m=1.5\text{mm}$ の様な砂（移動限界速度 $U_{*o}=3.08\text{cm/s}$ ）をイボ要素の底面高さまで敷き詰めた移動床とした。実験条件は表-1のとおりであって、通水後水路下流端から流出する砂を適宜ブロック上流端より給砂して動的洗掘状態を模擬し、河床の変形過程を側面からビデオカメラによって追跡するとともに、初期及び最終平衡状態における河床を固定して流下方向流速 U の3次元分布を3mm径の超小型プロベラ流速計を用いて詳細に測定した。水路の座標は、粗度変化点より流下方向に X 軸、左岸側壁より幅方向に Y 軸、イボ要素底面より鉛直上方に Z 軸をとっている。

3. 粗度急変部の流れの遷移と洗掘形状

図-2は、初期状態（ $t=0$ ）及び最終平衡状態（ $t=180\text{分}$ ）における流下方向各横断面の水面形、河床形状及び鉛直流速分布を示したものである。

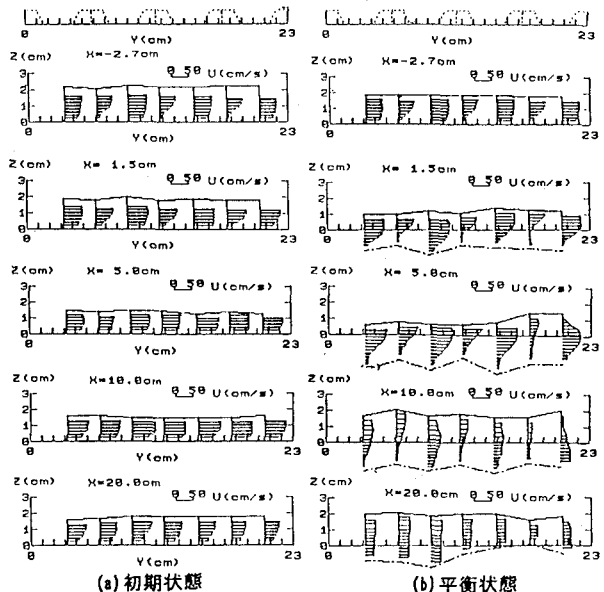


図-2 水面形、河床形状及び鉛直流速分布の横断変化

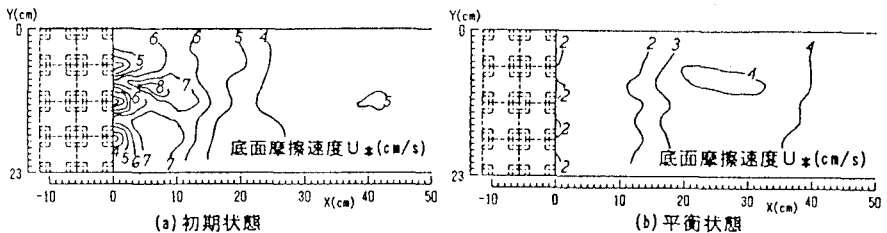


図-3 底面摩擦速度の等値線図

る。また、底面近傍 $Z=2\text{mm}$ の流速を用いて推定した底面摩擦速度 U_* の等値線図を図-3に示す。両図より、まず初期状態における護床工下流部の流れ特性について、以下のことが窺える。イボ型の粗度要素が直角格子に並んだホロースケアブロック上では、ブロック底面付近の流れはイボ要素の前面で遅く、要素間では速い流れとなるため、粗度変化直上・下流（ $X=-2.7\text{cm}$ 、 1.5cm ）では、流れがイボ要素間に集中し、

単位幅流量 q はイボ要素前方と比べて大きく、 U_* は3～5倍にも達していて、その位置における U_* は、せん断力計による直接測定の結果とほぼ対応している¹⁾。このような掃流力の横断変化は、 X の増加に従って流れの横方向拡散によって緩和され、流速分布、 U_* ともに横方向への拡散流が生じていて、砂粒子もイボ要素間からイボ要素前方へと流送されるものと思われる。

その結果、最終状態では図-2 (b)のように、各ブロック間の測線上で深掘れが著しくなり、横断方向に凹凸のある3次元的な河床形状を示す。尚、このような河床の形状特性は、洗掘の進行過程において時間的にほぼ相似であって¹⁾、最大洗掘深 Z_m は粗度変化点からその洗掘深の3～5倍の距離で生じ、平衡状態では、 $Z_m=2.4\text{cm}$ 、距離 $L=7.5\text{cm}$ である。そのときの洗掘穴内の流速分布は、粗度変化直下流（ $X=1.5\text{cm}$ ）の粗度要素間では最大流速点が水面近くにあり、底面近傍は流速がほぼ0に近い状態であって、段落ち直下の流れに似た特性を示している。粗度要素の前方では、底面から水深の1/2程度までは流速は一樣に小さな値となっており、 q は粗度要素間の約1/2である。洗掘穴の中央部（ $X=10\text{cm}$ ）では、主流水脈は河床面に沿う形で流れるため最大流速点は水面よりやや下側に移動するが、これは流れが集中している粗度要素間の測線上で顕著である。洗掘穴の下流斜面上（ $X=20\text{cm}$ ）では主流水脈は水深方向及びイボ要素の前方へも拡散されて、横断面内ではほぼ一樣な流速分布を示す。 U_* は、初期状態とは逆に粗度変化点直下流において、移動限界以下の最小値を示し流下方向に増加するが、横断方向にはほぼ一樣な分布を示している。

4. 河床形状に関する現地観測結果

観測地点は、加古川水系万願寺川（兵庫県小野市）下流部に設置された西脇井堰下流部（平均河床勾配1/200）の護床工（写真-1）であって、図-4に示すように水叩き及び護床工の長さはそれぞれ8.5m及び28.5mである。河床形状に関して水準測量を行った結果の一例（H2.7.24）を図-5に示す。図-5 (a)の護床工直下流部の横断面図を見れば、約20cmの河床位の凹凸が明確であり、実験と同様の3次元性状がここでも現れている。イボ粗度要素間では、洗掘穴が形成され（最大洗掘深 $Z_m=70\text{cm}$ ）、主流水脈はほぼ垂直に落下している。また、図-6は、測線T1に沿った縦断形状を平均河床勾配を補正し、最大洗掘深を用いて無次元表示して平衡状態での実験結果（ $Y=14.5\text{cm}$ ）と比較したものであって、最大洗掘深の発生位置及び洗掘穴上流斜面の勾配に関しては実験結果とよく一致している。一方、下流側斜面の形状は、その勾配が実験値に比べて緩やかであって、減水期の埋め戻し過程による変形を受けているものと考えられる。

5. おわりに

護床工下流部における洗掘穴内の流れ特性と洗掘形状について、実験及び現地観測からその特性を明らかにした。今後さらに、流量・河床勾配・下流水深などの水理条件に対して底面せん断力を定式化し、実河川のデータとの比較から、護床ブロックの効果及びその安定性に関して検討していきたい。

【参考文献】1) 神田・村本・藤田・金川・中村：護床工下流部の局所洗掘、水工学論文集、1991、pp. 501-506。



写真-1 観測地点（西脇井堰護床工）の流況

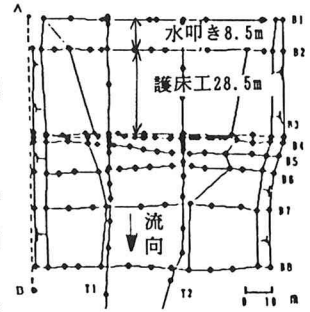


図-4 現地測量における測点

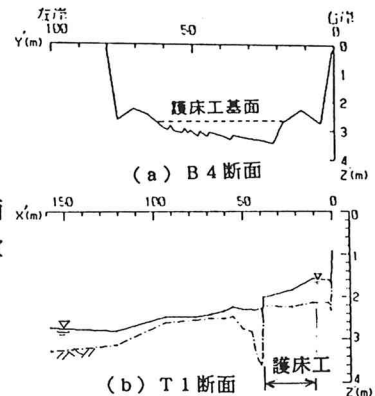


図-5 西脇井堰護床工下流部の縦横断面図

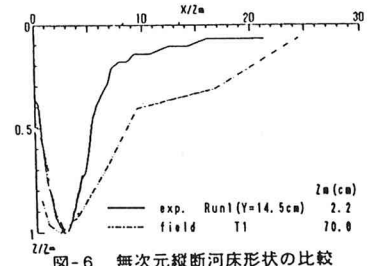


図-6 無次元縦断河床形状の比較