

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  
明石工業高等専門学校 正 員 神田 佳一  
京都大学工学部 学生員 ○北井 徹

1. はじめに 本研究は、護床工下流部の粗度急変部における河床洗掘について、イボ型護床ブロックの固定床から均一砂を敷き詰めた移動床への粗度急変部を対象とした実験を行い、動的洗掘及び静的洗掘過程における河床の変動特性について実験結果の検討を行った。また、現地測量の結果から河床形状及び最大洗掘深について実験結果との相似性及び適合性について検討した。

2. 実験の概要 実験は、鋼製可変勾配台に上載した幅40cm・全長1500cm・高さ30cmの木製長方形断面水路で行った。水路の上流5mの区間には図-1に示すホロースケアブロック護床工模型を幅方向に7列敷き並べ、その下流部は、平均粒径 $d_m=1.42\text{mm}$ のほぼ一様な砂をホロースケアブロックの基面高さまで均一に敷き詰めた移動床とした。実験条件を表-1に示す。護床工下流部砂床の洗掘過程は、一様区間における掃流力が河床材料の限界掃流力より小さい静的洗掘過程と、限界掃流力を越えて全体的な河床変動を伴う動的洗掘過程に分類できる。動的洗掘過程(RUN1)では、一様な砂面上においても砂が移動するので上流部からの砂の供給がなければ、護床工下流部では全体的な河床低下が生じ平衡状態が得られないので、給砂装置を用いて、予備実験で求めておいた一定量の砂を横断方向に一様に給砂した。結果の整理上、水路の座標系は、粗度変化点右岸の粗度基準面位置を原点として、流れ方向にX軸、横断方向にY軸、鉛直上方にZ軸をとった。

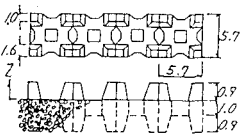


図-1 護床工ブロックの形状

表-1 実験条件

| 実験番号<br>No | 河床勾配<br>i | 流量<br>Q (l/s) | 等流水深 $h_s$ (cm) |      | 限界水深<br>$h_c$ (cm) | 摩擦速度 $U_*$ (cm/s) |      | 限界摩擦速度<br>$U_{*c}$ (cm/s) | 給砂条件<br>W (g/s) |
|------------|-----------|---------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|------|---------------------------|-----------------|
|            |           |               | 上流部             | 下流部  |                    | 上流部               | 下流部  |                           |                 |
| RUN1       | 1/100     | 4.10          | 2.95            | 2.41 | 2.21               | 5.02              | 4.59 | 3.05                      | 11.7            |
| RUN2       | 1/100     | 0.98          | 1.21            | 0.99 | 0.85               | 3.34              | 3.04 | 3.05                      | 無               |

置を原点として、流れ方向にX軸、横断方向にY軸、鉛直上方にZ軸をとった。

3. 護床工下流部の洗掘形状に関する考察 図-2は、それぞれRUN1, RUN2における初期状態 ( $t = 2\text{min}$ ) 及び最終平衡状態 ( $t = 60\text{min}$ ) における洗掘形状を鳥かん図で表したものである。本研究で用いたホロースケア護床工は、イボ要素が直角格子状に並んでいるために、ブロックの底面付近の流れは、イボ要素の前方で遅く、要素間では速くなる。このため、ブロック直下の洗掘形状は、両図に示すように、イボ要素間の延長上で深掘れが生じ、洗掘された砂の一部が流れの拡散によって下流方向とともに横方向にも運ばれて、洗掘穴の前方に堆積するという、横断面方向にも凹凸のある3次元的な形状を示す。図-2によって、RUN1とRUN2を比較してみると、RUN1では、給砂によってその上流から流れてきた砂が、ほとんどがブロックのイボ要素間を流下するため、及び、流量が大きいためにRUN2と比べてブロックのイボ要素前方とイボ要素間の流速の差が比較的小さいために、はっきりとした凹凸状の洗掘穴は現れにくい。即ち、両図を比較すると、ともに凹凸状の洗掘穴が見ら

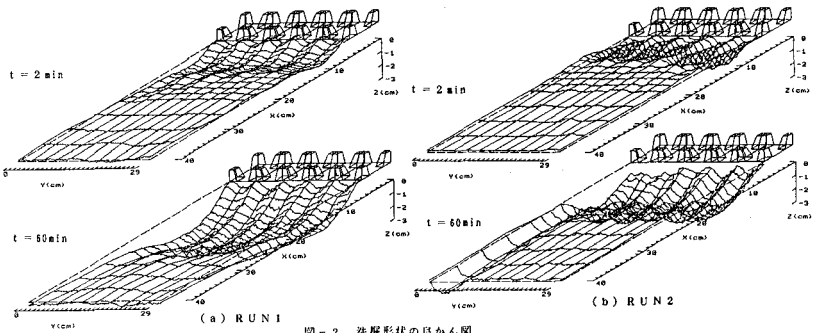


図-2 洗掘形状の鳥かん図

れるが、RUN2の方が高低差の大きい凹凸状の洗掘穴ができていたことが分かる。次に、RUN2においては、粗度変化点直下付近においてのみ掃流力が限界掃流力を越えるため、ブロック直下の砂は流されて下流に堆積する。RUN2において、流下方向 $x=10\sim40\text{cm}$ の付近に砂の堆積が見られた。また、 $x=10\sim40\text{cm}$ で堆積している砂は横断方向に関してイボ要素の下流とイボ要素間の下流に関係なく、ほぼ一様に堆積していることが分かる。このことから通水時間によって $x$ 方向の距離に差があるものの、 $x=10\sim15\text{cm}$ より下流では河床形状が横断方向についてほぼ一様になっていると考えられる。また、これはイボ要素間の速い流れがイボ要素前方に拡散して一様となり、流砂もこれに伴って運ばれ一様に堆積したものと考えられる。RUN1は河床全体において掃流力が限界掃流力を越えた流れになっているので下流に砂が堆積するということはないが、ブロック直下では大きな掃流力が発生して洗掘が進み、河床全体において、掃流力が給砂量に等しい流砂を起こす掃流力になる動的平衡状態へと近づいていく。

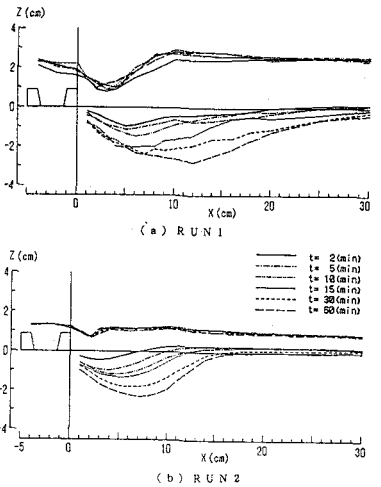
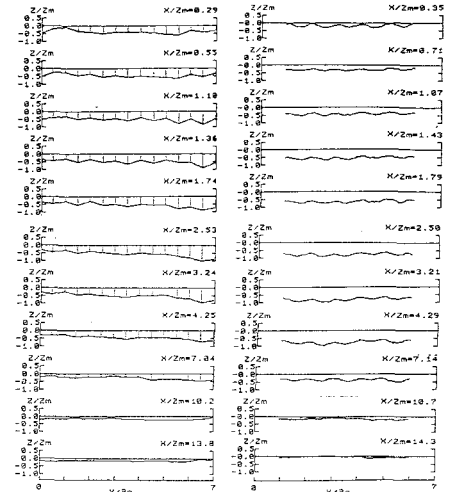


図-3 水面形及び横断方向に平均した河床形状の時間的变化

図-3はRUN1, RUN2における各時間の水面形及び横断方向に平均した河床形状の状態を表している。いずれの場合も、河床形状は時間とともに、洗掘の進行とともに変化するがほぼ相似な形状を保っているといえる。水面形については、それぞれどの時間においても $x=0\text{cm}$ の粗度変化点から勾配が急激に変化し、RUN1では $x=4\text{cm}$ 、RUN2では $x=2\text{cm}$ の点で跳水が発生しているが、この位置は洗掘が進行して洗掘穴が大きくなってもほとんど変わらないことが分かる。また、跳水後の水面形は、かなりなだらかな勾配となっており、次第に等流状態へと移行することがわかる。RUN2については水位の時間的变化は、ほとんど見られない。

**4. 護床工下流部の局所洗掘に関する現地調査** 現地調査は、加古川水系万願寺川下流部に設置された西脇井堰下流部の護床工を対象として行った。堰地点は川幅約70m、計画河床高24.6mであって、堰下流部の護床工は、一辺の長さ1.6m、イボ要素の高さ0.4mの3tホロスケアブロックを幅70m、長さ28.5mにわたって敷設したものである。今回の現地調査では河床の局所的な横断形状について護床工ブロックの粗度要素前面と要素間の縦断面における詳細な河床形状の計測を行った。図-4は、現地測量で得られた河床横断面図であって、護床工下流部の河床形状を最大洗掘深で無次元化し、RUN1の最終河床形状の実験結果とを比較したものである。図より現地の無次元河床形状は、河床勾配、河床材料及び流量条件が異なるにもかかわらず最大洗掘深の位置に関して実験値とほぼ一致している。一方、下流側洗掘面の形状は、その勾配が緩やかであって実験値とは多少異なっている、また、実験値と比較して部分的に明確な凹凸が現れていない、これは現地のデータが出水時の動的平衡状態のものではなく、減水期の埋め戻し過程による変形を受けていることによるものと推定される。



(a) 現地観測結果 (b) 実験結果 RUN1 (H. 9. 7.) (最終河床形状)

図-4 無次元横断河床形状の比較

**5. おわりに** 流れの条件により出水時及び出水後の最大洗掘深を予測することは重要な課題であり、系統的な模型実験結果に基づいた最大洗掘深の予測モデルの構築とともに、洪水時における河床変動に関する現地観測の手法を確立する必要がある。

【参考文献】 神田佳一：護床工下流部の局所洗掘, 水工学論文集第36巻、1992, pp. 43-48.