ジオテキスタイル製ふとん篭護床工下流部の河床変動に関する模型実験

明石高専　正会員　神田佳一
前田工繊（株）　正会員　前田英史

１．はじめに

堰や床止め工下流部の局所洗掘を防止するために設置される**護床工には、流れの作用に対する十分な抵抗と周辺の河床変動に追従するための屈とう性を有する構造が望ましい。**本研究では、**屈とう性に優れた環境に優しいジオテキスタイル製ふとん篭の護床工としての適用性を検討することを目的として、水理模型実験によりその洗掘防止機能及び合理的な設置法に**ついて考察する。

２．ふとん篭模型の基本特性

対象とした護床工模型は、**ジオテキスタイル製ふとん篭（**CUBE、**重量** 20kN）**の** 1/20 **模型で、図**-1 **に示すような箱型の繊維状風袋内に平均粒径** 8.2mm **の石材を詰めたものである。繊維材の直径は** 0.2mm、**メッシュ間隔は** 1mm **である。ふとん篭模型の寸法、砂面上での摩擦係数及び粗度係数などの基本特性を表**-1 **にまとめる。**

３．実験の概要

実験には、３種の一様砂（**平均**粒径 1.5mm、0.8mm **及び** 0.3mm）を 15cm の厚さで敷き均した幅 0.23m、長さ 6 mの長方形断面水路を用い、その上流部 2.5m区間に護床工として**ふとん篭模型を幅方向に** 4 **列敷設し、その天端高さを下流部の河床高さと一致させた。水路床勾配は** 1/100 **である。実験はまず、表**-2 **に示す河床条件及び動的流量条件のもとで** 90 **分間通水し、**護床工下部からの砂の吸出し量とそれによる護床工の沈下量及び水路下流端での流砂量を測定した。次に、CASE-1 と同じ条件で、水路下流端から流出する砂をそのまま水路上流部に給砂し、流砂の連続性を確保した動的平衡状態の下で護床工下流部の洗掘形状を詳細に測定した。さらに、下流部の洗掘防止策として、**ふとん篭模型の天端高さを初期河床位よりも低く設置した場合の**洗掘軽減効果についても検討した。

表-1　**ふとん篭模型の基本特性**

辺長 L	6.0 cm	中詰め材の粒径 D	3.5～15 mm 平均 8.2 mm
高さ H	2.1 cm	砂河床との摩擦係数 f	0.60
重量 W	1.2 N	マニングの粗度係数 n	2.0

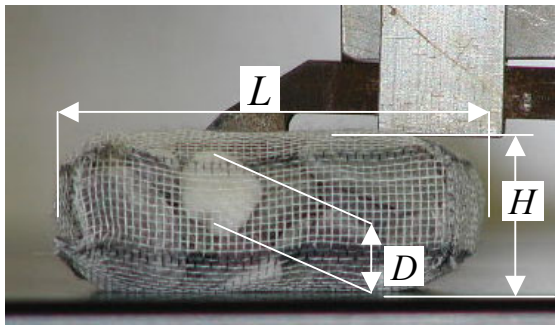

図-1　**ふとん篭模型**

表-2　**実験条件**

実験番号	流量 $Q(l/s)$	砂粒径 $d_S(mm)$	下流水深 $h_3(cm)$	給砂条件
Run1N	6.0	1.5	4.5	給砂無
Run2N	6.0	0.8	4.4	給砂無
Run3N	6.0	0.3	4.2	給砂無
Run1S	6.0	1.5	4.5	給砂有

４．結果及び考察

(1)護床工下部の砂の吸い出し特性

表-3 は、Run1N～3N について、通水時間内にふとん篭護床工下部から吸い出された河床砂量 Q_p とそれに伴うふとん篭の沈下量の最大値 Δ_P を示したものである。護床工上のフルード数は、いずれも F_r=0.8 程度であった。河床砂の平均粒径が**繊維材のメッシュ間隔より大きい** Run1N 及び同程度の Run2N では、Q_p、Δ_P はともに微少であり、ふとん篭下部からの砂の吸い出し現象は見られなかった。

Run3N（d_s=0.3mm）では、最大で 5mm 程度のふとん篭の沈下が見られたが、Q_p の大部分が隣接するふとん篭間の間隙から流失する砂であった。ふとん篭の内部を通過して吸い出される砂量は、ビデオ画像から推定すると 20%程度であり、**繊維材を通過する粒径に対しても、**ふとん篭によるフィルター効果[1)]が期待できるものと考えられる。

表-3　**護床工下部からの吸い出し砂量と沈下量**

実験番号	護床工からの吸い出し砂量 Q_p (g/min)	護床工の沈下量 Δ_P (mm)	Δ_P/H
Run1N	0	0	0
Run2N	1.5	1	0.1
Run3N	12.5	5	0.25

キーワード：語床工、ふとん篭、ジオテキスタイル、局所洗掘、水理模型実験
連絡先：〒674-8501　明石市魚住町西岡 679-3　TEL 078-946-6178　FAX 078-946-6184

(2) 護床工下流の局所洗掘特性

図-2 は、動的平衡条件（Run1S、通水 90 分後）におけるふとん篭護床工下流部の洗掘形状を示したものである。比較のため、同じ流量・河床条件下で行ったホロースケアブロック護床工の結果 [2]も示している。護床工直下流の洗掘形状は、護床工ブロックの形状や変形・屈とう性状に依存するが、ふとん篭護床工下流では水路幅方向にほぼ一様な河床低下が生じている。再下流端のふとん篭は、河床洗掘に伴って 1cm 程度沈下しているが、流下方向への変位は見られなかった。

洗掘穴の縦断形状は、通水初期を除いてほぼ時間的に相似であって、最大洗掘が生じた鉛直面に対して対象である。最大洗掘深 Z_mは 3.5cm、最大洗掘が生じる位置は護床工下流端から L_m=20cm であった。こられはいずれも、イボ型の粗度要素が格子状に配置されたホロースケアブロックの場合と比較すると 3 割程度小さな値であり、ふとん篭護床工の場合には、洗掘を助長させる粗度要素（中詰め材）背後に生じる乱れの効果が小さいものと考えられる。

(3)洗掘の軽減法に関する検討

護床工下流部の局所洗掘は、固定床から移動床への粗度の急変による河床せん断応力の増大と流砂の非平衡性によって生じる。筆者ら [3]は、洗掘穴内に運動量方程式を適用して洗掘過程における洗掘穴内の平均河床せん断応力 τ_0 と最大洗掘深 Z_mの関係を理論的に求め、洗掘深の発達とともに洗掘穴内の河床せん断応力が減少することを示している。このことから、護床工下流部の局所洗掘が生じる範囲において、洗掘が許容できる深さまでふとん篭の天端を下げて埋設すれば、その下流河床に作用する河床せん断応力は減少し、洗掘量は軽減されると考えられる。

Run4S は、Run1S と同じ流量条件で深さ 2cm（＝H ）、流下方向に 40cm（=2 L_m）の範囲でふとん篭を埋設したもの、Run5S は 20cm (= L_m) の範囲で埋設したものである。それらの通水後の河床形状に関する結果を**図-3** に示す。Run4S では、X=10～35cm において埋設したふとん篭上部の河床砂は全て流失しているが、X＞35cm の領域では、2cm 以上の河床洗掘は生じておらず、埋設したふとん篭による洗掘軽減効果が認められる。一方、Run5S では、埋設したふとん篭の設置長さが十分でないために、その下流端（X＝20cm）で埋設深さを超える河床低下が生じて、Run3S とほぼ同様の洗掘穴が発達した。これより、局所洗掘を軽減するために埋設するふとん篭の施工範囲としては、予測される L_mの 2 倍程度以上の長さが必要であろう。

5．おわりに

本研究では、**ジオテキスタイル製ふとん篭を**護床工として用いた場合の河床変動特性について実験的に検討するとともに、洗掘軽減対策としての有効な設置範囲・方法について言及した。最後に、本研究は前田工繊との共同研究として行われたこと付記するとともに、実験にご協力頂いた伊達佳規氏（(株）エステック）に感謝の意を表する。

参考文献

1）前野・藤田：河川技術論文集、2003.
2）神田・村本・藤田：土木学会論文集、1996.
3）神田・森本：水工学論文集、1999.

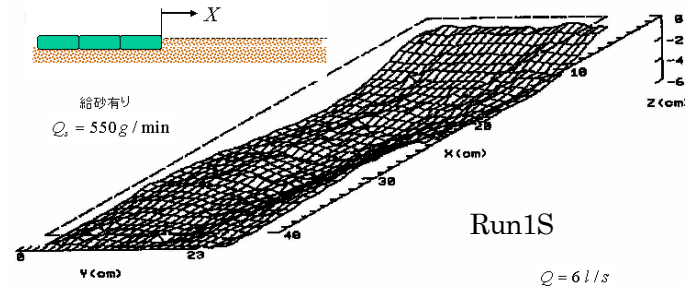

図-2　護床工下流の洗掘形状

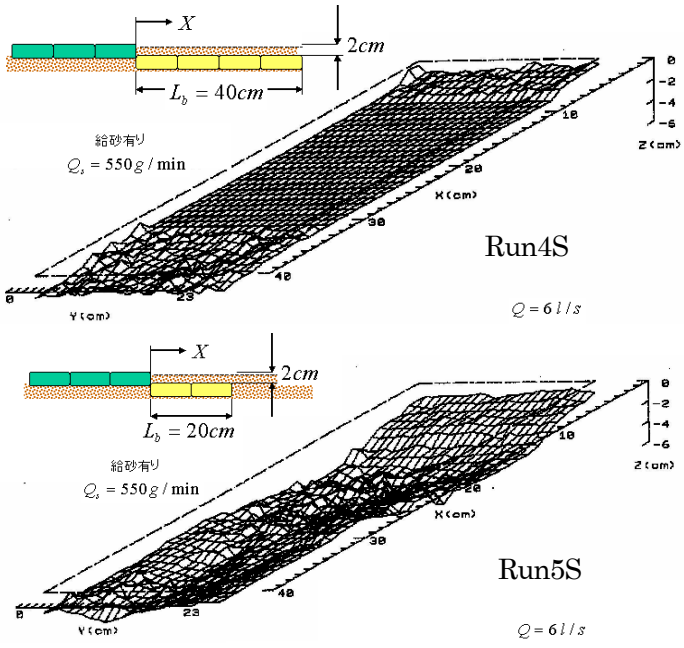

図-3　ふとん篭を埋設して設置した場合の洗掘形状