

1. まえがき

一般の河川における平面配置形状としては、直線と考えるより、むしろ曲線形状をなしているとみた方がよい。そのような河川弯曲部には遠心力が作用することもあり、二次流が発生、発達して、河床等を形成している土砂などは運搬され河床も河岸も変化することになる。

模型実験によってその河床変動の状況を把握しようとする場合、関係する要素はいろいろあるから、そのうちのあるものに目的を定めて実験を行なうことになる。

今回の河床変動実験においては、単一の180度弯曲部をもつ水路を用いて、内岸側と外岸側との河床状況の相違、弯曲部の偏角によってどのような差異が見られるのか、流下実験時間の違いによって河床状況はどのようになるのか等について、実験計画法の分散分析の手法を用いて整理してみた。

この実験的研究の目標とするところの一つは、実験する際、どのような点に注意すれば一般性のある、信頼に足る実験結果を得ることができるのかを知ろうとする点である。

2. 実験データについて

使用した水路は図-1に示すように、幅50cm、深さ35cmの単一弯曲部をもつ鋼製のものである。

最初印をつけた高さまで砂を水平になるように敷きならし、つぎに所定の流量の水を流し、その水面の高さを測る。一定時間流してから水を止め、河床の高さを再度測定する。その測定位置については、図-1に示したように流下方向に直線部では1m間隔に、また曲線部においては偏角30度ごとの点とした。横断方向については側壁に近い所では密に中央部は等間隔に、7点で測定した。

4回の実験を行ない流量は同一とし、流下実験時間等については表-1のようにした。

3. 分散分析について

最初、水を流す前の敷きならした河床について、水準を4回の実験のそれぞれにとり、つぎの計算式によりF分布の値を計算する。

確率変数としての平方和

$$\text{級間 } S_G = \sum_i n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

$$\text{級内 } S_{R(G)} = \sum_i \sum_j (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

自由度

$$k - 1$$

$$(n) - k$$

$$F = \frac{S_G}{(k-1)} \bigg/ \frac{S_{R(G)}}{(n) - k} \dots\dots (1)$$

ここに、 n_i は水準 i の反復数、 k は水準の数、 (n) は各 n_i を示す。

計算値は表-2のようになり、各実験前の河床につき、水平に敷きならしたつもりでもかなり違いがあることが検出された。

つぎに各実験における水深に相当するものについて検討する。これは、流下実験中測定した水面高と、一定の流下実験時間経過後、水流を止めて測定した河床高との差をとったものである。こ

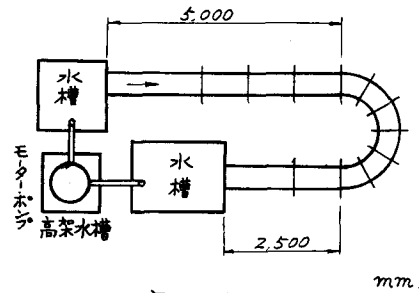


図-1 弯曲水路

表-1 実験諸量

	流量 (ℓ/s)	d50 (mm)	流下実験時間 (分)
Run 1	17.0	0.74	30
Run 2	17.0	0.74	90
Run 3	17.0	0.74	150
Run 4	17.0	0.74	200

表-2 初期河床の分散分析

要因	平方和 S	自由度 f	$U^2 = S/f$	F
級間 G	7.01	3	2.33	$15.51 > (F_{(0.01)}) = 3.78$
級内 R(G)	45.81	304	0.151	
総和 RG	52.82	307		

の値について、前と同様に Run1 ~ Run4 の4水準として計算をしたら表-3のようになった。この場合にも各実験間で水深の相違が検出されたが、F値としては、初期河床時のものよりかなり小さな値となった。

4. 弯曲の影響について

曲線部の水流に関しては、二次流が発達して河床面附近においては外岸側から内岸側へ向かう流れが生じてくると言われている。その二次流の影響を受けて河床の砂は内岸側へ運ばれて、そこに堆積するようになる。

また偏角に関しては、主流流速の曲率半径方向の分布は最初自由渦の理論に従って、内岸側の流速の方が大きい。偏角が増すにつれて、徐々に強制渦の考え方に一致するようになって、外岸側の流速の方が大きくなるように変化すると知られている。²⁾

これらの水流の特性に応じて、河床形も外岸側と内岸側とでは様子が異なってくるであろうし、また偏角が増すにつれて河床形態も変わってくるであろうと考えられる。したがってここでも水深に相当するものを確率変数として、分散分析を試みた。

まず内岸側と外岸側との相違については、水路横断方向の7点を水準にとり、Run1 ~ Run4 の各実験値について式(1)によりF分布の値を計算した。その結果を表-4に示した。

表-4 横断方向の水深の分散分析

この計算結果から、4回の実験すべてについて内岸側と外岸側との水深の相違が有意水準 $\alpha=0.01$ で検出されたことになる。

また偏角の増す方向への変化を見るために、水路弯曲部の偏角が0から180度まで30度ごとに区切って7箇所の水準とした。1水準の中には、横断方向の7箇所の水深を反復数にとった。各水深を確率変数として、前と同様に Run1 ~ Run4 の各場合について式(1)によりF分布の値を計算した。その結果を示すと表-5のようになった。

この結果から、弯曲部の流下方向への偏角の増加に従って水深が顕著に変化するという傾向は検出できなかった。しかし、流下実験後の河床形状を見ると、偏角が増すにつれて、内岸側に堆積部ができ、外岸側は洗掘部になる傾向が強まってくる。すなわち、横断方向の河床形状は偏角と共に変わって行くが、横断方向に平均してしまえば、流下方向の変化は見られないということになる。つまり、外岸側に深掘れが生じている分だけそれを埋め合わせるように、内岸側に大きな堆積ができていることになる。

5. あとがき

水路弯曲部における河床変動に関係してくる要素としては、弯曲角度、単一弯曲かそれとも複合弯曲か、曲率半径、水路幅、流量、底質砂の粒径、流下実験時間等が考えられる。これらのファクターの他に、水を流す前の初期河床状態も流下実験終了後の河床形に影響を及ぼすのではないだろうかと考えて、分散分析を試みたのであるが、今回の実験の場合、最初敷きならした際の河床高のF分布の値は大きく出て、各実験(Run1 ~ Run4)の初期河床としては、大きく散らばっていたわけであるが、流下実験後の河床形には、他の要素の影響の方が強く現われてきたようである。参考文献、リ印東；確率および統計、2)村本；弯曲部の流れ。

表-3 水深の分散分析

要因	平方和S	自由度f	$U^2=S/f$	F
級間G	62.31	3	20.77	$4.69 > (F_{(0.01)} = 3.78)$
級内R(G)	1346	304	4.43	
総R _G	1408	307		

	要因	平方和S	自由度f	$U^2=S/f$	F
Run1	級間G	171.1	6	28.51	$7.66 > (F_{(0.01)} = 3.10)$
	級内R(G)	260.6	70	3.72	
	総R _G	431.7	76		
Run2	級間G	19.49	6	3.25	$5.77 > (F_{(0.01)} = 3.10)$
	級内R(G)	39.38	70	0.56	
	総R _G	58.87	76		
Run3	級間G	212.3	6	35.39	$8.22 > (F_{(0.01)} = 3.10)$
	級内R(G)	301.5	70	4.31	
	総R _G	513.8	76		
Run4	級間G	67.99	6	11.33	$4.33 > (F_{(0.01)} = 3.10)$
	級内R(G)	183.3	70	2.62	
	総R _G	251.3	76		

表-5 主流方向の水深の分散分析

	要因	平方和S	自由度f	$U^2=S/f$	F
Run1	級間G	3.8	6	0.63	$0.173 < (F_{(0.05)} = 2.33)$
	級内R(G)	153	42	3.65	
	総R _G	157	48		
Run2	級間G	4.4	6	0.74	$0.725 < (F_{(0.05)} = 2.33)$
	級内R(G)	42.7	42	1.02	
	総R _G	47.1	48		
Run3	級間G	8.2	6	1.37	$0.127 < (F_{(0.05)} = 2.33)$
	級内R(G)	454	42	10.8	
	総R _G	462	48		
Run4	級間G	17.0	6	2.83	$0.562 < (F_{(0.05)} = 2.33)$
	級内R(G)	212	42	5.04	
	総R _G	229	48		