

建設省 土木研究所 正員 須賀 堯三

〇 渋谷武治

1. まえがき

模型を歪めるとは、実物に対し模型を幾何学的に相似形につくらないことである。この歪模型について、我々が行なった若干の実験的検討結果を以下に述べてみたいと思う。

現在、鹿島試験所で行なわれている河川の模型実験は、縮尺 $1/100$ 以上の大縮尺模型をつかって行なわれているが、実験には広い場所と多くの労力、費用を用し、1ケース当り非常に大がかりな実験となっている。もし、これらの模型実験がさらにコンパクトな形で行ない得るなら、場所、労力、時間そして費用も少なくてすみ経済的である。

しかし、模型を小さくすることは水深が十分得られないことになり、次のような問題を生ずることになる。1) 乱流が層流となることがある。2) 粘性がさいてくる。3) 水面の不規則な上下運動が影響する。4) 測定器の精度。5) 移動床で砂礫の移動が少なくその傾向がつかみにくい。等である。これらの問題を防ぐため模型を歪めることが必要となってくる。また、現在のように大縮尺の模型でも $1.5 \sim 2.0$ 程度の歪模型とせざるを得ない状態であり、歪による影響、あるいはどの程度まで模型を歪め得るかといった研究を行なうことは、模型実験を行なう上で非常に重要な課題である。

そこで、我々は表-1に示す4種の縮尺をもった実際の移動床模型(信濃川模型)を使って、河床変動、流況、水位等について、局所的(かん曲部の渦、河床の法面勾配等々)なものよりむしろ大きく全体的傾向の相似性について歪の影響を考えてみた。

2. 実験

実験は表-1に示す4種の縮尺をもった移動床模型を使って行なった。ただし、模型自体はNo.1、4の縮尺のもの2種(No.1の模型は信濃川 $13.0 \sim 23.0$ K 区間、No.4の模型は $11.0 \sim 29.5$ K)であり、No.2はNo.1の模型を、No.3はNo.4の模型をつかって行なった。すなわち、No.2、3については堤防法勾配のみ正しく縮尺通りとはなっていない。

また、実験に使用した河床材料はNo.1、2では60%粒至 0.23 mmの砂、No.3、4では60%粒至 0.21 mmの石炭粉である。さらに、実験No.4では流水の勢力を人為的に減ずる試みとして、 19.5 Kより上流約 20 mに金網(網目 25 mm、至 2.0 mm)を 20 cm 間隔に、横断方向は左右岸堤防全面、深さ方向は河床より水面上に必ず出るまでとした。これによる流砂に対する阻害の程度はわずかであって無視し得る。

模型 No	縮 尺 比		歪 度	河床 材料
	X	h	d	
1	100	100	1.0	砂
2	"	70	1.4	"
3	500	200	2.5	石炭粉
4	"	100	5.0	"

表-1 実験ケース

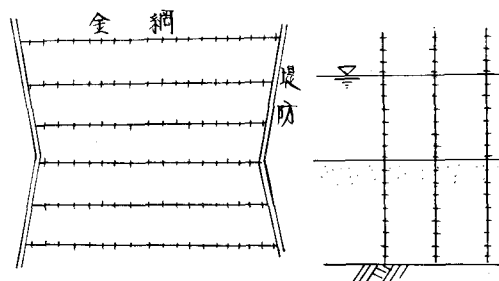


図-1 金網取付け状況

3. 水位について

開水路においては一般にフルードの相似が成り立つとして諸物理量の縮尺が求められている。したがって、流れの相似性を保つためにはフルード数の現地、模型比が常に1となる必要がある。

今、フルード則に基づく流量を流した時、現地と各縮尺別の平均的フルード数とを示すと、表-2のようになる。この表で、前4つは現地流量6000 m³/secの時の値だが、残り1つだけは3500 m³/secの時の値である。

現地 フルード数	$X=\frac{1}{100}$ $h=\frac{1}{100}$ $d=1.0$	$X=\frac{1}{100}$ $h=\frac{1}{70}$ $d=1.4$	$X=\frac{1}{500}$ $h=\frac{1}{200}$ $d=2.5$	$X=\frac{1}{500}$ $h=\frac{1}{100}$ $d=5.0$
0.483	0.251	0.266	0.181	0.473

表-2 フルード数

この表をみると、砂連の発生と金網の粗度によりいずれの縮尺ケース共にフルードの相似を満足しているとは必ずしも言えず、前3つの縮尺ケースではフルード数が小さすぎている。

では、フルード数を調節し、いかなる縮尺の模型でも流れを相似にするには何を考えたらよいか。今、フルード数を求める式にManning式を併用するとし $B \gg h$ として $R \approx h$ とおくと、

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} = \frac{1}{h/\sqrt{g}} h^{\frac{1}{6}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad \text{----- (1)}$$

となり、フルード数は粗度係数、水深によって調節できることがわかる。そして、粗度係数の変化は水位変化としてとらえることができるので、図-2に同一条件のもとでの現地、実験水位を示したが、いずれのケースも現地水位に少し高くなった。このことは、いずれのケースも現地に比し粗度係数が大となっていることを表わしている。そして式(1)から他の要素がわからないとすれば、粗度係数を小にすればフルード数は増す、またそのことは、水位を低下させる効果ももっている。

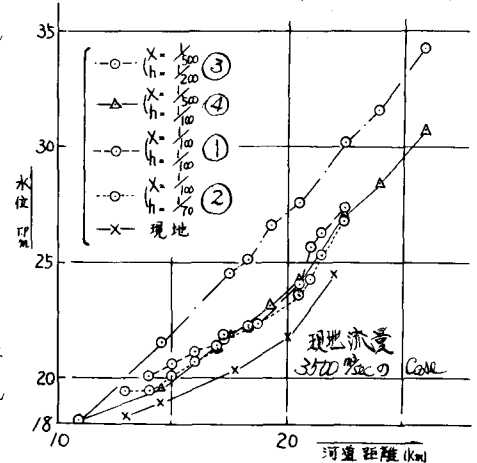


図-2 縮尺別水位図

以上のことから、表-2のうち前3つの縮尺ケースについては、フルード数を現地に近づける方向で調節可能(模型をさらに歪めることにより水深を増す、同時に河床摩擦による損失を減ずる。)であることがわかる。また最後のケースで、水位が現地に比し高いにもかかわらず、フルード数がかなり大きい値を示しているのは、平面縮尺の同じケースとも比較してみるとにより、砂連の影響の大きい実験ケースでは、有効水深(実際の流れに貢献している水深)のとり方として、単純に A/B で求めることの問題点を指摘しているといえよう。

前記のように、模型を歪めることによりフルード数をあわせることが可能であると述べたが、これは歪の効果が少ない場合においてすすめらることであり、流れに強く影響している彎曲部のある模型等においては歪めない方が良策であることは当然である。この場合には、河床材料を変える、あるいは流量を調節して河床摩擦を調節したり、模型全体を傾ける(歪ませるという意味でなく勾配だけを変える。)などした方がよいと考えらる。

また、歪模型では形状損失も異なってくるので、蛇行の局所洗掘の激しい場合、あるいは構造物が問題の場合などでは、この点の留意が必要であろう。

4. 流況について

流況の状況については、大縮尺模型の2ケースではその差はあまりみられず、またこの流況は現地流況にほぼ一致していたが、小縮尺模型の流況と比較した場合その差が図-3のように出た。つまり、大縮尺模型の流況に比し小縮尺模型の流況は若干直線性をみせていた。

現地 H/B	$X=1/100$ $h=1/100$ $d=1.0$	$X=1/100$ $h=1/70$ $d=1.4$	$X=1/500$ $h=1/200$ $d=2.5$	$X=1/500$ $h=1/100$ $d=5.0$
0.0066	0.0049	0.0072	0.0167	0.0174

表-3 水深(H)/川巾(B)

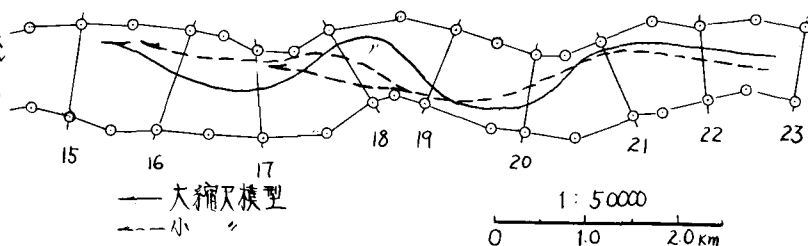


図-3 模型別流況図

このような現象のおこった要因としては、模型を平面的に縮小したが、それに

対し水深が同じ割合で縮小せず表-3に示すように h/B に差が生じたこと、これはわん曲部のらせん流の強さに影響を与えている。次に歪度が大きになり勾配が急になることにより、水流自体の持つ運動エネルギーが異なってきたこと。等が考えらる。

5. 河床変動について

次に河床変動についてその影響を考えてみる。実験に使用した河床材料は図-4に示す粒度分布をもった砂(大縮尺模型)と石炭粉(小縮尺模型)であり、それぞれの限界掃流力は岩垣式によると、砂 2.31 dyne/cm 、石炭粉 0.87 dyne/cm である。

河床変動に影響をおよぼす要素として掃流力および補給砂量が考えらるが、河床材料の限界掃流力との比として現地および各縮尺ごとに平均的値を示してみると表-4のようになり、模型を歪めるとに τ_0/τ_c が大きくなり現地現象と異なってきたのがわかる。これは当然の結果であり、限界掃流力の同じ河床材料のもとでは、模型を歪めることにより $\tau_0 = \rho g h I_e$ より水深およびエネルギー勾配が大きくなり、 τ_0 は大となる。さらに、現状の実験ケースでは小流量の河床変動を対象としていたため、歪度の大きい模型に限界掃流力の小さい河床材料を使用しているので、 τ_0/τ_c はより大きな値となった。この τ_0/τ_c の相異が河床変動に影響していることを示したのが図-5に示す信濃川模型の縮尺別河床変動図である。河床変動を論ずる場合には、その時間縮尺をいくらにとるかといった重要な問題もあるのであるが、ここでは、表-5にフルードの相似、流砂量の相似から土研式で求めた時間縮尺をあげる

現地 τ_0/τ_c	$X=1/100$ $h=1/100$ $d=1.0$	$X=1/100$ $h=1/70$ $d=1.4$	$X=1/500$ $h=1/200$ $d=2.5$	$X=1/500$ $h=1/100$ $d=5.0$
0.921	1.054	3.265	7.565	11.298

表-4 τ_0/τ_c

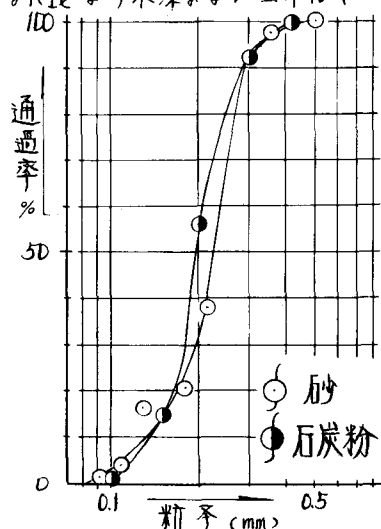


図-4 粒度曲線

にとどめ、(ただし、土研式を使って時間縮尺を求める場合、 F_p の値は現地、模型で等しいとした。) 出てきた結果を比較論ずるにとどめる。

つまり、大縮尺模型で歪度の小さい場合には前掲の表-4に示すように τ_0/τ_c が非常に小さく河床変動が少ない。しかし、小縮尺模型とすると河床の変動はかなり顕著であり、その傾向が明確に表われている。ただし、18.0k~19.0k付近で大小縮尺模型の間に洗掘位置の相異があるのは、流況の項でも述べたように歪めた模型の方が直線性をもった流況を示していたからであると思われる。

このことから、曲部の深掘れの位置あるいは洗掘について検討する実験において大きな歪度をもった実験を行なった場合、その解析にあたっては上記のような効果を考慮する必要がある。

6. あとがき

この稿では、歪模型実験を行なう場合の歪の影響について、多くの要素がみあって十分な解析ができなかったが小縮尺歪模型実験の問題点について述べた。今後は実験の目的によって歪模型に対する考え方を明

確にする必要があり、さらにいろいろなケースについての実験も行なってゆきたいと考えている。

	フルード	土研式
$X = 1/100$ $h = 1/100$	10.0	10.0
$X = 1/100$ $h = 1/70$	11.95	20.41
$X = 1/50$ $h = 1/200$	35.36	461.18
$X = 1/50$ $h = 1/100$	50.0	1844.7

表-5 時間縮尺

図-5 河床変動図

