

1. はじめに

治水および利水・利用を主目的とした堤防，ダム，堰などによるこれまでの河川整備は，治水および利水の安全度を向上させ，今日の社会・経済活動に貢献している。しかし，河道の掘削や直線化，コンクリートで固められた護岸，湖沼や湿地の干拓や埋立，ダムや堰による治水，利水面からの流量や水位の調節，ダムによる流砂の遮断など，さまざまな人為的行為により生物にとっての生育・生息環境は著しく悪化している。河川法改正に伴い，治水優先で進められてきた河川整備は，河川環境の整備と保全にも重点がおかれるようになり，木工沈床や蛇籠工のような伝統的な工法が見直されてきた。本研究では，木工沈床について研究する。木工沈床は伝統的な工法であるため，自然の素材を工夫して加工し，組み合わせ，機能を発揮させるために，試行錯誤を重ねて経験的に発展してきたものであるため，ほとんど研究がされていない。本研究では，木工沈床の水理学的な性質を知ることが目的としている。基本的に木工沈床の流水抵抗特性を調べることにした。これは，木工沈床を河岸または河床に設置した場合の河川水位への影響を予測する上で重要である。

実験では，河床に木工沈床モデルを設置し，流量を変化させて水深の変化を調べる。数値計算では，木工沈床にどのような抵抗を与えれば現象が再現できるのかを検討した。

2. 実験方法

実験水路は，全長 4m，幅  $B=10\text{cm}$  の勾配可変開水路を用いた。勾配は  $I=1/300$  である。実験に用いた木工沈床モデルは  $1/20$  縮尺の木工沈床で  $2\text{mm}$  と  $4\text{mm}$  のラミン丸棒を構造とした。概略図を図-1 に示す。中詰石は  $10\text{mm}$  と  $5\text{mm}$  の二つの石を使用し，設置数や流量を変化させ実験を行った。実験条件は表-1 に示す。水深は  $x=3.0\text{m}$  の位置の水深である。モデルは上流から  $x=1.2\text{m}$  の位置から流下方向に 1 列に設置した。ポイントゲージを使用して水面形を計測した。計測位置は  $x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2\text{m}$ ，モデルの前後， $x=2.0, 2.5, 3.0\text{m}$  とした。

3. 実験結果と考察

実験結果より得られた水位差( $x=3.0\text{m}$  の水深を基準にし， $x=0.6\text{m}$  の水深との差(図-2))の値を流量別に整理したものを図-3 に示し，すべてのケースでの水位差をモデルの数別に整理したものを図-4 に示す。図-3 より流量の増加につれて模型の上流側の水位差の上昇量が減少している。これは，流量の増加につれ模型高さや水深の差が大きくなるためであると考えられる。また，図-4 より粒径による水位差の変化はあまりないことがわかる。

表-1 実験ケース

CASE	中詰石の粒径 mm	模型数	水路勾配 s	流量 Q l/s	平均流速 $U_m$ m/s	水深 h m
case1a,d	10 (a~c)	1	1/300	0.268	0.2000	0.0134
case2a,d		2		0.268	0.2010	0.0133
case3a,d		3		0.268	0.2000	0.0134
case4a,d		4		0.268	0.2020	0.0133
case5a,d		5		0.268	0.2050	0.0131
case6a,d		6		0.268	0.2030	0.0132
case1b,e	5 (d~f)	1		0.885	0.3490	0.0254
case2b,e		2		0.885	0.3420	0.0258
case3b,e		3		0.885	0.3470	0.0255
case4b,e		4		0.885	0.3530	0.0251
case5b,e		5		0.885	0.3510	0.0252
case6b,e		6		0.885	0.3500	0.0253
case1c,f	5 (d~f)	1	1.366	0.4140	0.0330	
case2c,f		2	1.366	0.4130	0.0331	
case3c,f		3	1.366	0.4110	0.0332	
case4c,f		4	1.366	0.4150	0.0329	
case5c,f		5	1.366	0.4180	0.0327	
case6c,f		6	1.366	0.3980	0.0343	

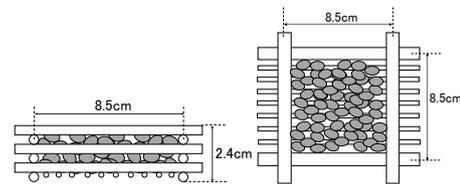


図-1 模型概略図

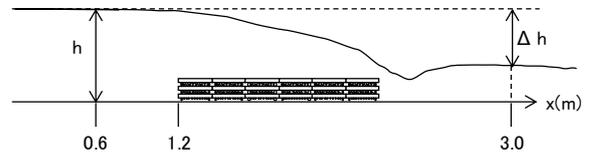


図-2 水位差

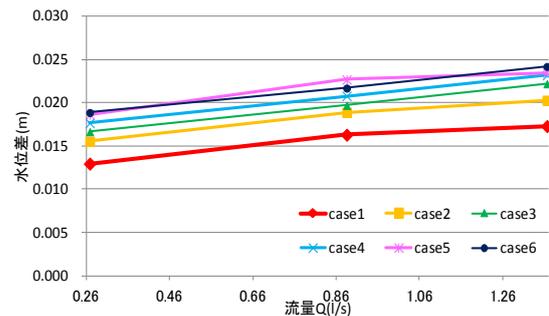


図-3 水位差と流量の関係

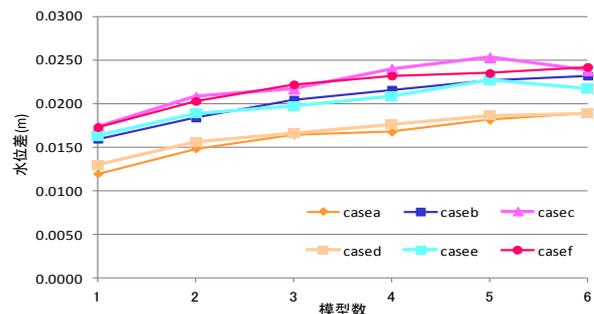


図-4 水位差と模型数の関係

#### 4. 木工沈床における抗力の求め方

木工沈床にどのような抵抗を与えれば水位上昇量が再現できるかを形状抵抗を組み込んだ数値計算によって検討する。水深平均された開水路平面 2 次元流れの運動方程式および連続式は次式で表される。

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu u}{\partial x} + \frac{\partial hu v}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial h \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial h \tau_{xy}}{\partial y} - F_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial hu v}{\partial x} + \frac{\partial hv v}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial h \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial h \tau_{yy}}{\partial y} - F_y \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここで、 $u$ ：流下方向水深平均流速、 $v$ ：横断方向水深平均流速、 $H=h+z$ 、 $z$ ：河床高、 $h$ ：水深、 $g$ ：重力加速度、 $\rho$ ：流体の密度、 $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{yy}$ ：水深平均レイノルズ応力、 $F_x$ 、 $F_y$ ：透過性構造物による  $x$ 、 $y$  方向の抗力である。式(1)、(2)を有限体積法により離散化を行い、水深の変化は連続式(3)から求める。連続式を運動量方程式と組み合わせ圧力補正式を導く SIMPLE 法を適用した。本研究で数値計算を行うには木工沈床が水没している場合の浸透流速を考慮する必要がある。木工沈床高さ  $h_R$  以下の平均流速を  $u_1$ 、これより上の平均流速を  $u_2$  とし、この比を  $\beta$  (式(4))とする。水深平均流速  $u$  に対する浸透流速  $u_1$  の比を  $\phi$  (式(5))とおく。

$$\beta = \frac{u_1}{u_2} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{u_1}{u} = \frac{\beta}{1-\alpha+\alpha\beta} \quad (5)$$

$\beta$  は実験によって求められる係数、 $\alpha = h_R/h$  である。水没した透過性構造物の抗力  $F_x$  は次式で表される。

$$F_x = \frac{1}{2} C_D \lambda h \alpha (\phi u)^2 \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{Nd}{bl}$$

ここで、 $C_D$ ：抗力係数、 $b$ ：木工沈床の幅、 $l$ ：木工沈床の長さ、 $d$ ：中詰石の径、 $N$ ：中詰石の面積当たりの個数である。

#### 5. 計算結果と考察

計算値が実験値に一致するように  $C_D \lambda$  の値を定めた。ここで  $\beta=0.5$  として計算を行い、計算に使用した  $C_D \lambda$  の値を表-2に、 $C_D \lambda$  の値の変化をグラフにしたものを図-5に示す。表-2、図-5より流量の違いや模型の数の違いにより  $C_D \lambda$  の値が変化してしまう。しかし、 $C_D \lambda$  の値は物体によって決まるものであり、本研究ではすべて同じ模型を使用して実験を行っているため、流量や模型の数により  $C_D \lambda$  の値に変化が生じないはずである。これを考慮するため  $\beta$  を次式で表した。

$$\beta = \left(\frac{h_R}{h}\right)^m \quad (7)$$

式(7)において、 $m=3$  とし  $C_D \lambda$  の値を 200 と設定し計算を

表-2  $C_D \lambda$  の値

石の粒径	CASE	抗力 $C_D \lambda$	石の粒径	CASE	抗力 $C_D \lambda$
石大	case1a	200	石小	case1d	230
	case2a	200		case2d	200
	case3a	150		case3d	150
	case4a	150		case4d	150
	case5a	150		case5d	150
	case6a	150		case6d	150
	case1b	90		case1e	100
	case2b	75		case2e	80
	case3b	65		case3e	60
	case4b	60		case4e	60
	case5b	50		case5e	60
	case6b	50		case6e	50
case1c	80	case1f	80		
case2c	65	case2f	65		
case3c	50	case3f	60		
case4c	50	case4f	50		
case5c	50	case5f	45		
case6c	40	case6f	40		

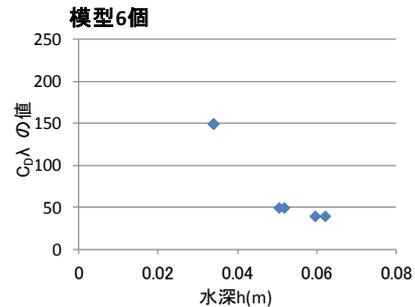


図-5 水深と  $C_D \lambda$  の値

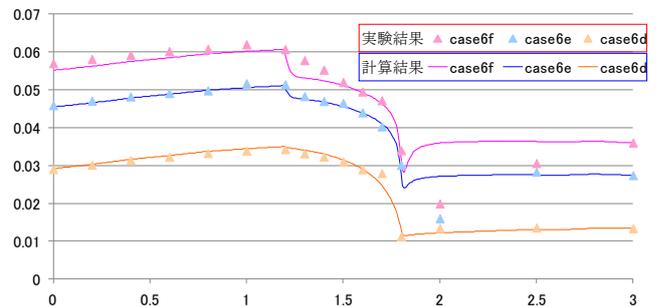


図-6 計算結果の比較

行った結果を図-6に示す。図-6より実験結果と計算結果がほぼ一致するため、浸透流速と上層流速の比  $\beta$  を一定であると考えたと実験ケース別に抗力の値に違いが出てしまうが、 $\beta$  を水深と模型高さの比の関数であると考えたと抗力は全て同じ値によって再現できた。よって木工沈床による抵抗を考える際には水深と模型高さの比が関わってくるのが考えられる。

#### 6. まとめ

木工沈床は流量や設置数により水深に変化が生じることがわかる。今回は水深の影響のみで研究を行っているため、実験での流速を測定し実際の流速分布を調べる必要があると考えられる。また、計算プログラムを使用し流速分布や流れの影響を考慮し、生態系への影響も考える必要がある。

参考文献：富野章 日本の伝統的河川工法[ I ] 2002