

牛柵工による流水抵抗とその水理特性に関する実験的研究

前橋工科大学大学院 学生会員 諸田恵士
 前橋工科大学工学部 正会員 土屋十圀

1. はじめに

近年、生態系に配慮した川づくりの中で河川伝統工法が見直されるようになった。河川伝統工法のうちで水制工である牛柵工は余り研究はなされていない。そこで本研究では実験水路にて模型の牛柵工を合流部および湾曲部に設置し、水制工がもたらす流水挙動の変化について把握することを目的とした。

2. 実験概要

図1に示す東京都平井川の合流湾曲部を縮尺1/20の模型で再現したものである。実験条件は表1のとおりであるが、現地の平井川には合流部に牛柵工を4基設置しており、これと同じ位置に設置した状態で実験を行った。更にこの実験水路は合流後に湾曲を有しており、牛柵工の設置位置を湾曲部にも移し実験を行った。また、流量は平井川での中規模洪水である流量240m³/sと小規模洪水時の流量112m³/sの2ケースで実験を行った。測定方法は流下方向と横断方向の2次元で一断面において図2のとおり測定した。

3. 実験結果と解析

(1) 流速分布

合流部に牛柵工を設置した場合の流水挙動を把握するために23における牛柵工がある場合とない場合の断面流速分布を比較した(図3)。牛柵工を設置しない場合、23では流心が1つになり合流した。しかし、牛柵工を設置した場合は牛柵工により流れが2つに隔てられた。この結果、合流部において牛柵工の影響により合流点が下流に移動したと考えられる。

次に湾曲部に牛柵工を設置した場合の流れの変化を見る。図4は湾曲部における横断方向の流速分布を平面図上にプロットしたものである。図4(a)は牛柵工がない場合の分布図であるが、このときの最大流速を示す流心は湾曲を終えた35,37では左岸に

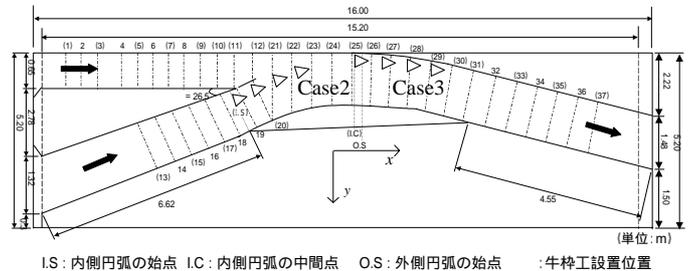


図1 実験水路平面図



写真1 牛柵工実験中

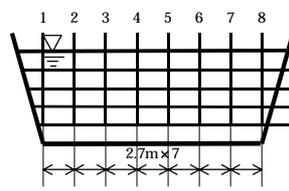


図2 断面測定点

表1 実験条件

	Case1	Case2	Case3
水制工	なし	牛柵工	
		合流部	湾曲部
流量(m ³ /s)	240, 112	240, 112	240, 112
河床勾配	1/340		
粗度係数	0.020 ~ 0.022		
模型縮尺	1/20		

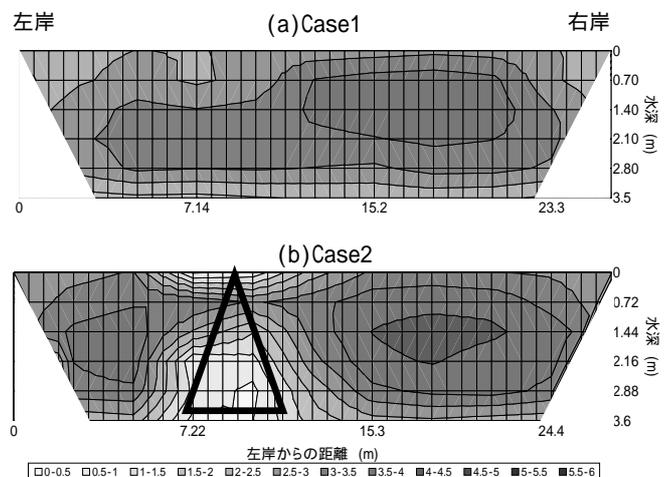


図3 23 流速分布(流量:240m³/s)

キーワード：牛柵工、流速分布、抗力係数、合成粗度係数

連絡先：〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1 027-265-0111 FAX027-265-3837

寄る偏流となっており、この地点の左岸では、河岸洗掘の危険性が高くなると予想される。しかし、牛柵工を湾曲部に設置すると、洗掘の危険性が高いと思われた 35,37 での流心は河道中心に移動しており、流向が変化したことがわかった。この結果、同じ地点での河岸洗掘の危険性は低くなったと推察される。

(2) 抗力係数

牛柵工のような水制構造物を河道に設置した場合、それ自体は流水の障害

表 2 各ケースの抗力係数

	240m ³ /s	112m ³ /s
Case2	0.44	1.01
Case3	0.75	1.07

要因になり抗力(流体力)が生じる。この牛柵工に作用する抗力の程度を評価する値として抗力係数 C_D を用いる。表 2 は各実験条件における抗力係数を算定した値である。112m³/s の場合には合流部設置(Case2)、湾曲部設置(Case3)とも $C_D = 1$ となっている。牛柵工は円柱型の丸太を材料としており、模型についても直径 1cm の丸棒を用いた。円柱杭の抗力係数 C_D は 1 に近い値であるといわれており¹⁾、円柱群とほぼ同じ抗力係数を示していることがわかった。しかし、240m³/s の場合には $C_D < 1$ となった。これは流量が増えることにより相対的に設置地点の流水体積に対する牛柵工の密度が減少した影響ではないかと考えられる。

(3) 合成粗度係数

牛柵工の流水体積に対する密度を λ とし、河道に設置された牛柵工の粗度を含んだ河床面の粗度係数を合成粗度係数 n_t とすると、 n_t は式(1)で示される。

$$n_t = n_{tc} = \sqrt{n_b^2 + \frac{2\lambda C_D h^3}{\pi g D (1-\lambda)}} \quad (1)$$

ここで、水路床の粗度係数 n_b 、円柱の直径 D 、水深 h 、とする。ただし、牛柵工の流水体積に対する密度 λ は次のとおり定義した。

$$\lambda = V_u / V \quad (2)$$

円柱杭や樹林帯とは異なり牛柵工は直立な円柱だけではないので、流水体積 V と牛柵工の体積 V_u の比率を密度とした。

表 2 の抗力係数をもとに、式(1)より合成粗度係数 n_t を求めた結果は表 3 のとお

表 3 抗力係数より計算した合成粗度

	240m ³ /s	112m ³ /s
Case2	0.037	0.041
Case3	0.040	0.042

表 4 マニングの式より計算した合成粗度

	240m ³ /s	112m ³ /s
Case2	0.049	0.064
Case3	0.042	0.041

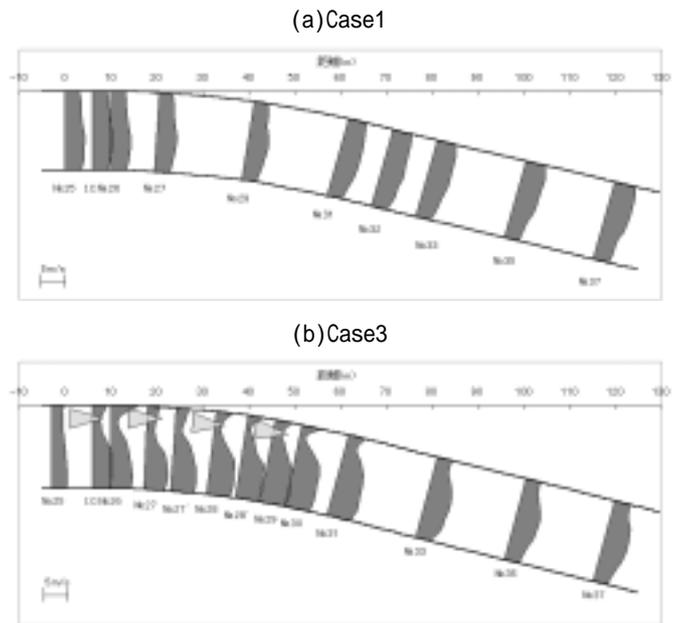


図 4 横断方向流速分布(流量:240m³/s)

りである。牛柵工なしの場合、河床面の粗度係数は実物大で 0.033 であるから牛柵工を設置したことにより粗度係数が約 10 ~ 25% 増加したことになる。

一方、合成粗度係数 n_t はエネルギー勾配 I_e 、水深 R 、断面流速 v を用いるとマンシングの平均流速公式より式(3)から求められる。

$$n_t = n_{te} = \frac{1}{v} R^{\frac{2}{3}} I_e^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

物理的には n_{tc} と n_{te} は等しい。表 4 は式(3)より計算した合成粗度であるが、Case3 に関してはこの 2 つの値は近い値を示した。しかし、Case2 については大きな差が見られた。これはエネルギー勾配線や流速の代表値として断面平均を用いたが、Case2 は合流部であるため代表値としての妥当性が低い。そのため、2 つの値の違いが生じたのではないかと考えられる。

4. まとめ

牛柵工は流向を変化させる効果とともに流れを 2 つに区分する効果がある。また、牛柵工の抗力係数は円柱杭と同様に $C_D = 1$ の結果が得られたが、流量の変化により相対的に牛柵工の密度が変化し、抗力係数は 1 を下回った。さらに、牛柵工の粗度を含む床面の合成粗度係数は河床面粗度の 1.1 ~ 1.25 倍となる。

参考文献

- 1) 河川工学(改訂増補版) 吉川秀夫著 朝倉書店
- 2) 林健次郎・藤井優宏・重村利幸 開水路中における円柱群に作用する流体力に関する実験 水工学論文集 第 45 巻 p.475 ~ p.480 (2001.2)