

斜行部を有する複断面開水路の流れ —高水敷上の樹木群が流れに及ぼす影響—

ABOUT THE CHANGE OF BEHAVIOR OF THE FLOW BY THE EXISTENCE OF TREES
ON THE FLOOD PLAIN IN SKEWED COMPOUND OPEN CHANNEL

西村賢¹・本溜博理²・浦山剛史³・福井吉孝⁴

Ken NISHIMURA, Hirohada MOTOTAMARI, Takefumi URAYAMA and Yoshitaka FUKUI

¹学生会員 東洋大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

²学生会員 東洋大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

³学生 東洋大学工学部環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

⁴正会員 工博 東洋大学工学部環境建設学科教授 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

Once in Japan, from a viewpoint of flow control in the river, too much vegetation and too many trees in the river was considered undesirable. But now, the existence of trees and grasses on the flood plain are thought to be desirable. Therefore, at present it is necessary to clear the flow behavior in the river influenced by such trees and vegetation. In this research, using a skewed channel, the behavior of flow in the main channel and the flood plain of a compound channel with a group of trees on the flood plain, was studied.

From experimental results, it is clear that the water level in the upper reach becomes higher by the existence of rods, and that secondary flow happen at the entrance of the skewed part and develop to form to spiral secondary flow in the skewed reach. But if trees are set on upstream side of skewed part, there is no serious problem in the river.

Key Words: skewed compound open channel, trees, spiral secondary flow

1. はじめに

我が国の河川の多くは低水路と高水敷を持つ複断面の開水路である。そしてその平面形状は、流下方向には不規則で、湾曲・蛇行、急縮・急拡などを多く持っている。その不規則な形状を持つ複断面開水路の水理量の解析は現在精力的に行われている。著者らはその湾曲・蛇行の解析の前段階として、水路を斜めに横切る斜行低水路を持つ単純化された複断面開水路を用いて模型実験を行った。この斜行水路は、単純な形状であり、厳密には湾曲ではない。しかし、直線水路では現れないが、湾曲水路で見られる現象が生じるので、湾曲水路の現象解明の手掛かりを得られる。本研究では、斜行部があることによって生じる①水位の上昇、②流速分布の変形、③斜行部内で生じる二次流、④そしてそれによって構成されるらせん流について検討するだけでなく、高水敷上の斜行部に沿って樹木帯を設置して、その樹木帯が流れに及ぼす影響を考える。なお、実際に斜行部に沿って樹木を植えようとするものではなく、

実河川では既にその様な箇所に樹木が生えていること、出水の後の短期間に自然に樹木が生えてくることはあるということを念頭に置いている。治水・利水重視の従来の立場から見ればそれらの存在は、管理上好ましくないとされてきた場所に、生えて成長した植生・樹木群が流れに及ぼす影響を及ぼすのか検討しておくことは、河川環境を考えていく上で有意義である。

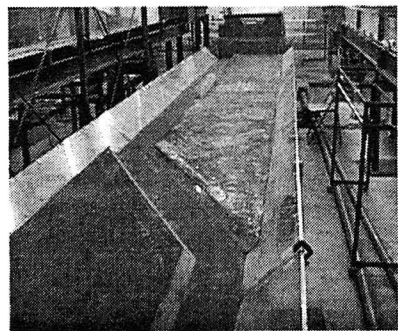


図-1 実験使用水路 (東洋大学水理水工実験室)

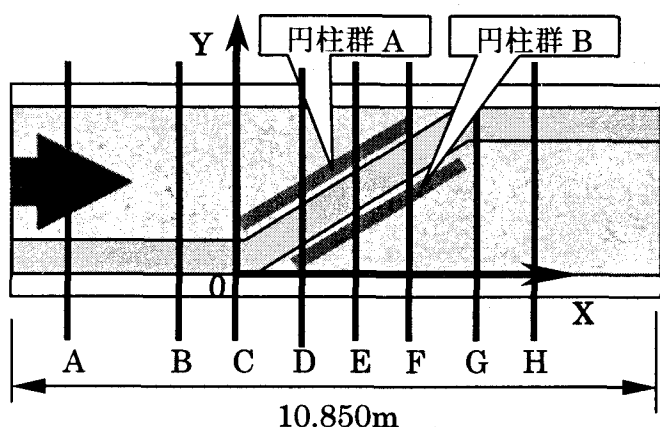


図-2 水路全体図

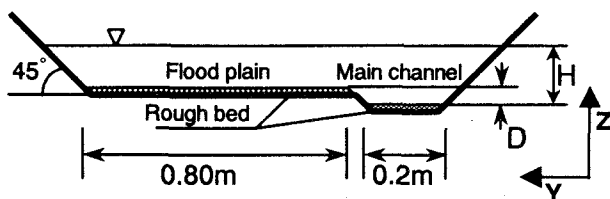


図-3 水路横断面図

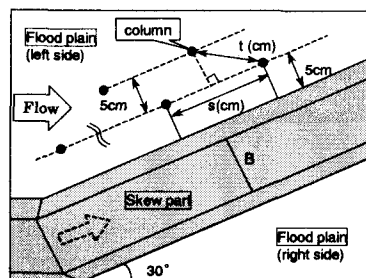


図-4 斜行部の円柱設置拡大概要図
(上流側設置例)

表-1 実験ケース・条件

Run	円柱本数	円柱設置箇所	円柱本数/1列	列数	s(cm)	t(cm)	s/d	Q(l/s)	H(cm)	D(cm)	
PR-1	0	—	—	—	—	—	—	4.2	5.0	5.0	
R1-1	0	—	0	—	—	—	—	14.2	8.0	5.0	
R1-2	7	A	7	1	21.29	—	42.57				
R1-3	14		14		10.64		21.29				
R2-1	0	—	0	—	—	—	—				26.6
R2-2	7	A	7	1	21.29	—	42.57				
R2-3	14		14		10.64		21.29				
R2-4	35		35		4.26		8.51				
R2-5	56		56		2.66		5.32				
R2-6	70		35	2	4.26	5.43	8.51				
R2-7	175			5							
R2-8	7	B	7	1	21.29	—	42.57				
R2-9	14		14		10.64		21.29				
R2-10	35		35		4.26		8.51				
R2-11	56		56		2.66	—	5.32				
R2-12	70		35	2							
R2-13	56 (28×2)	A・B	14	4(片側2列)	10.64	7.30	21.29				
R2-14	70(35×2)		35	2(片側1列)	4.26	5.43	8.51				
R2-15	140 (70×2)			4(片側2列)	4.26						

2. 実験概要

(1) 実験水路

実験水路の平面図を図-2、断面図を図-3に示す。全長10.850(m)・水路幅110.0(cm)・高水敷幅80.0(cm)・低水路高さD=5.0(cm)・低水路幅B=20.0(cm)・側壁勾配45°・河床勾配i=1/500の固定床複断面水路である。水路の中央部分に30°の角度で長さL=160(cm)の斜行低水路部を設けてある。水路床は低水路・高水敷共に砂利を貼り付けて粗面(粗度係数 $n=0.012$)にした。

(2) 実験条件・方法

実験は、低水路満杯水深のBankfull流と低水路水深H=8.0cm・12.5cmのOverbank流の3ケースで行った。樹木を擬した円柱の設置本数・箇所(斜行部沿い高水敷上左岸側“A”・右岸側“B”・両岸“A・B”)を変え実験を行った。実験ケースと諸条件を表-1・図-

4に示す。樹木として用いたのは直径 $d=5.0(\text{mm})$ の木製の円柱で、高さを水没しない高さとした。

実験は、水深をポイントゲージで測定し、流速をX-Y及びY-Z成分二次元電磁流速計で測定した。

3. 実験結果

(1) 水深

水路のほぼ中央部($y=55\text{cm}$)での水深の縦断変化を示したのが、図-5.1である。円柱群のあるなしに関わらず、水路の途中の底部に溝がある水路であるので、その溝の所すなわち斜行部上で大きい水深になる。斜行部上流側(左岸)に円柱を設置した場合、円柱群の上流側でなだらかに水深が増えており、斜行部上で最大水深を示している。しかし円柱がない場合と比べ最大水深の値に差異はない。一方、右岸に設置した場合は、斜行部分と円柱群の複合的な堰上げ効果により最大水深は大きくなり、その最大水

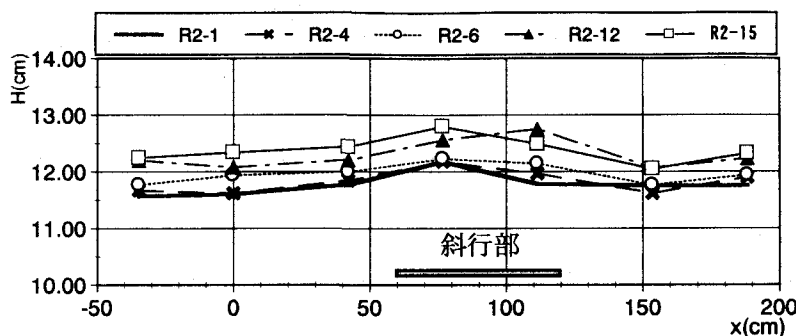


図-5.1 円柱設置箇所の違いによる縦断水深の比較 (y=55cm)

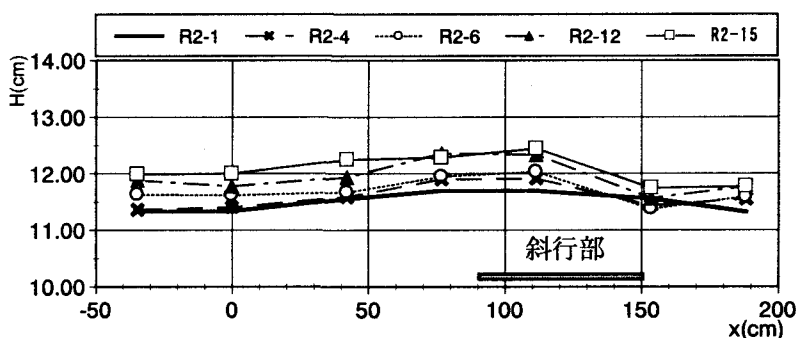


図-5.2 円柱設置箇所の違いによる縦断水深の比較 (y=75cm)

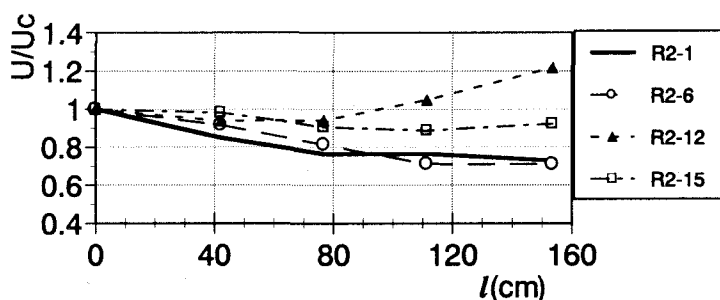


図-7 斜行部内の主流速変化(z=3cm)

深部は斜行部上の下流側に移る。両岸側に設置されると左・右岸に設置されたそれぞれの場合の特徴が同時に現れる水深になっている。またy=75 (cm) の縦断水深変化でも、斜行部上で高水深を示しており、高水深は斜行部に沿って移っていく。(図-5.2)

(2) 流速u-vベクトル・流速分布

z = 3cmでの流速ベクトルを図-6.1～6.4に示す。まず、全てのケースで、各断面での最大流速値を結んだ線(図中の太線)は、複断面蛇行流れと同様に斜行部出口付近で内岸へと移行している。これらの図からは、斜行低水路内の流れは円柱の有無の影響をあまり受けていないと言えるが、詳細に見てみると若干の違いがある。例えば左岸に円柱を設置した場合、左岸に円柱がないR2-1やR2-12に比べ左岸高水敷からの流れ込みが弱まることから最大流速生起箇所が斜行低水路の中央付近に寄っている。

さらにz=9cmでの流速uの縦断変化(図-8)を見ると円柱群の存在の影響が顕著にでている。特に右岸側すなわち下流側に円柱群を設置する(図-8.3)と、

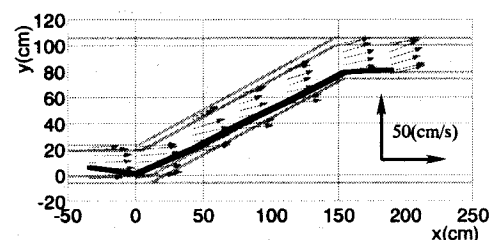


図-6.1 流速uvベクトル (R2-1) z=3cm

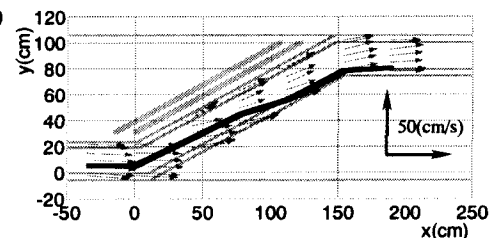


図-6.2 流速uvベクトル (R2-6) z=3cm

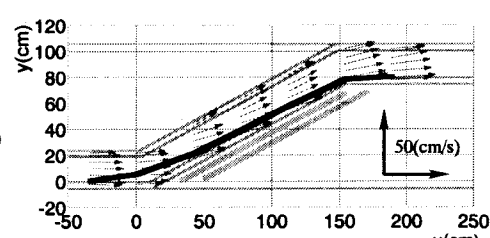


図-6.3 流速uvベクトル (R2-12) z=3cm

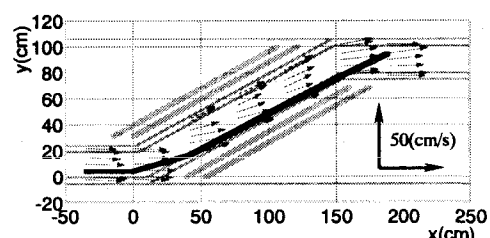


図-6.4 流速uvベクトル (R2-15) z=3cm

斜行部内での水面勾配が大きくなるので、流速が大きくなる(図-7)。その一方、円柱群の下流側(右岸高水敷)への流れの供給が少なくなり、その下流側で極端な流速の減少を起こす。なお、図-7の横軸の“l”はC～G断面間で各断面までの斜行部に沿ったC断面からの距離である。縦軸は斜行部低水路内のz=3cmにおける各断面最大主流速(U)を斜行部入口手前C断面の最大主流速(U_0)で無次元化した。円柱群が左岸にあると、円柱群の下流端の円柱と水路左岸の壁面との間隔が狭まる。その時、円柱群の最も下流にある円柱と壁面との間に速い流れが生じる。また、両岸設置(R2-15)の高水敷流れは左岸のみ・右岸のみの特徴を含んだ流れになっている。

斜行部内中央付近E・F断面での流速uの鉛直分布の変化を図-9.1・図-9.2に示す。左岸側に円柱がなく右岸側に円柱群があると、先に述べたように斜行部内での水面勾配が大きくなり、流速Uが大きくなる。

(3) 斜行部内の流速変化・流速ベクトルの向き

斜行部内での流速の増減を図-7に示す。右岸高水

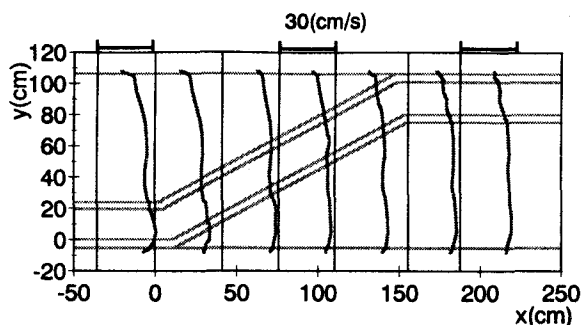


図-8.1 流速 u の縦断変化 (R2-1) $z=9\text{cm}$

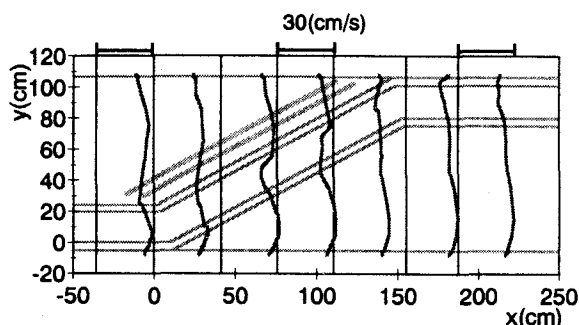


図-8.2 流速 u の縦断変化 (R2-6) $z=9\text{cm}$

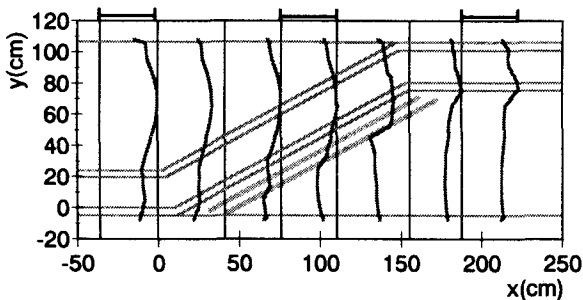


図-8.3 流速 u の縦断変化 (R2-12) $z=9\text{cm}$

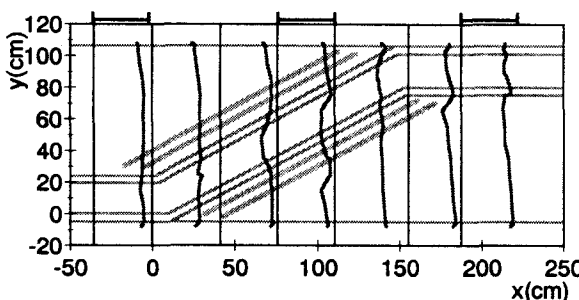


図-8.3 流速 u の縦断変化 (R2-15) $z=9\text{cm}$

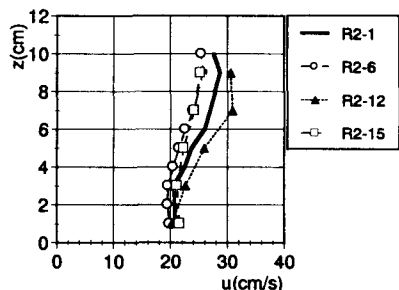


図-9.1 流速 u の鉛直分布 (E断面中央)

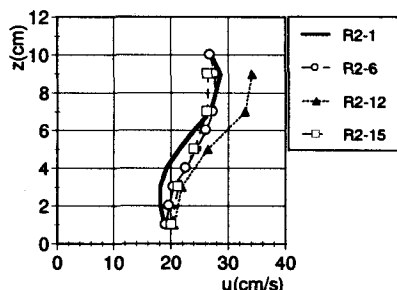


図-9.2 流速 u の鉛直分布 (F断面中央)

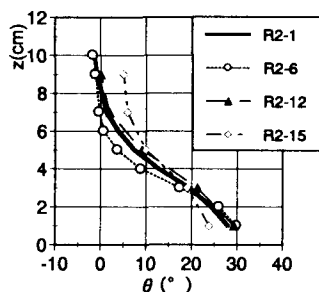


図-10.1 uv ベクトルの傾き θ (E断面中央)

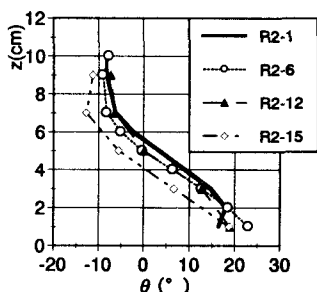


図-10.2 uv ベクトルの傾き θ (G断面中央)

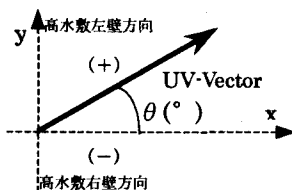


図-10.3 uv ベクトルの傾き θ 概要

敷上に設置した場合は、その円柱群によって低水路と同じ方向の流れが作られる。上流からは左岸壁面近くを速い流れが来るので、斜行部出口付近では流れが集中し、その部分での流速は斜行部入口付近に比べ増大している。

福岡ら³⁾は湾曲複断面開水路で高水敷上の水深が大きくなると、高水敷からの流れの作用で河床の洗堀深は単断面の場合と比べて小さくなると報告しているが、本研究では、右岸側に設置されるケース以外で特に左岸に円柱群を設置した場合は、斜行部内での流速の増加が無いので、洗堀に対する恐れは少ない。

E・G断面での低水路中央付近の流速 uv ベクトルの傾き θ の鉛直分布を図-10.1・図-10.2に示す。斜行部

内の底面近くでは斜行水路に沿って流れ($\theta=30^\circ$)、水面付近では、全体の水路に沿って($\theta=0^\circ$)流れている。ただ、兩岸に設置した場合は、円柱群の間を斜行して流れている傾向がある。

また斜行部出口直後のG断面では、底面近くでは、斜行に近い角度で流れているが、水面付近では水路中央の早い流れに引張られる形で流れは水路中央に向く。なお、この断面では断面全体に広がる二次流セルが形成されている。

(4) 二次流

既往の研究で、複断面蛇行流路における二次流は、蛇行による遠心力の作用と高水敷流れの低水路への流れ込みの結果発生し、流下するに連れて発達

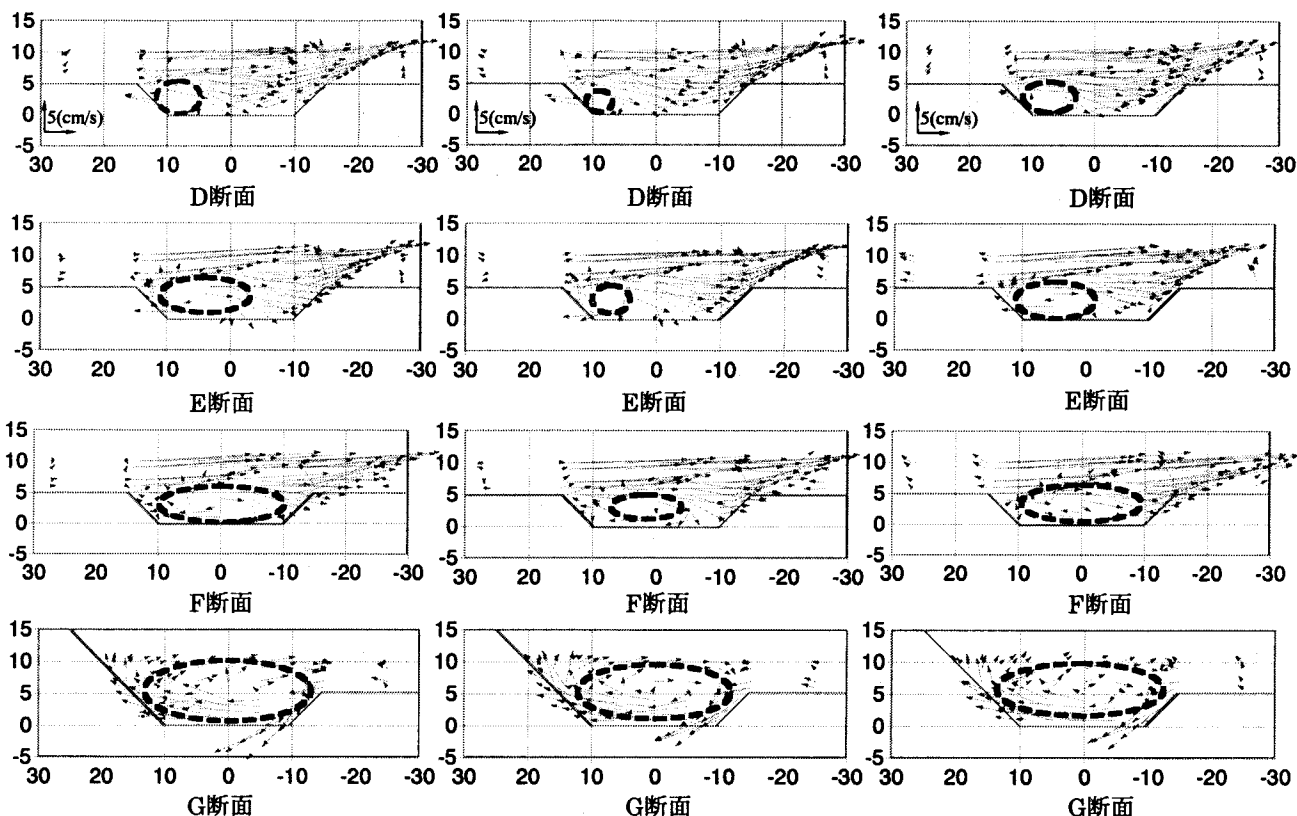


図-11.1
二次流セルの発達 (R2-1)

図-11.2
二次流セルの発達 (R2-6)

図-11.3
二次流セルの発達 (R2-12)

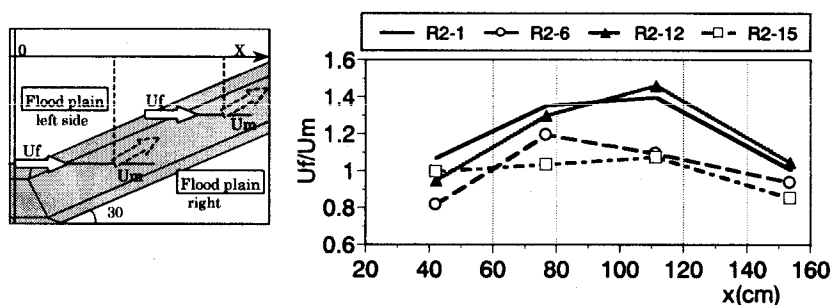


図-12 接近流速（高水敷流れ）と低水路内流速の比

して、らせん流が生じるといわれている。本研究の複断面斜行流れにおいても同様な結果になった。各ケースの二次流セルの発達過程を図-11に示す。

斜行部内に生じる二次流セルの発生・規模は高水敷流れと斜行部を流れてくる流れの大小関係に影響を受ける。図-12は高水敷上の接近流速（ U_f ）と低水路中央での流速（ U_m ）との比を示している。この比が二次流セルの規模に大きく影響を与えることは明らかである。例えば、円柱群が左岸側にある（R2-6・R2-15）と高水敷上の接近流速が減少して、その結果斜行部内には小規模な二次流セルしか生じなくなる。

(5) レイノルズ応力

斜行部内E・F断面でのレイノルズ応力の鉛直分布を図-13（ $-\overline{v'w'}$ ）・図-14（ $-\overline{u'w'}$ ）に示す。左岸高水敷上に円柱を設置してある場合（R2-6・R2-15）は、鉛直方向の乱れが小さい。これは図-8.2からも分かるように

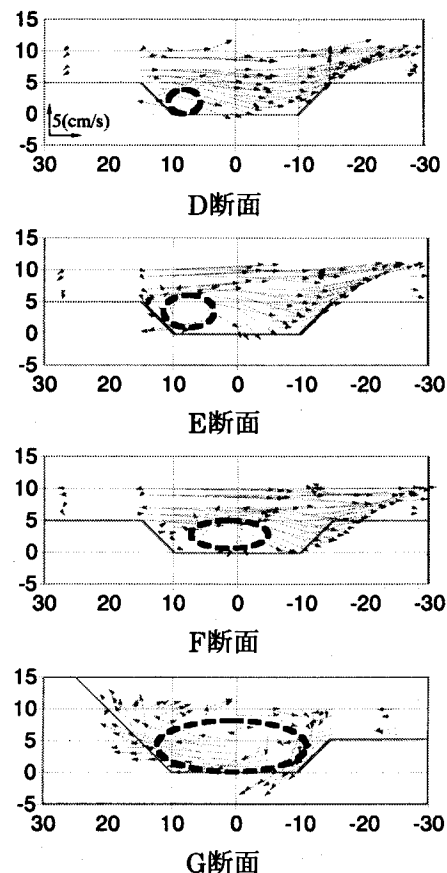


図-11.4
二次流セルの発達 (R2-15)

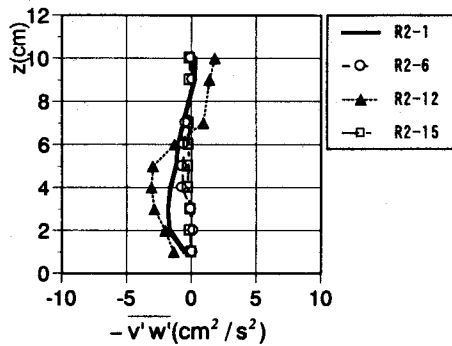


図-13 $-\overline{v'w'}$ の鉛直分布 (E断面中央)

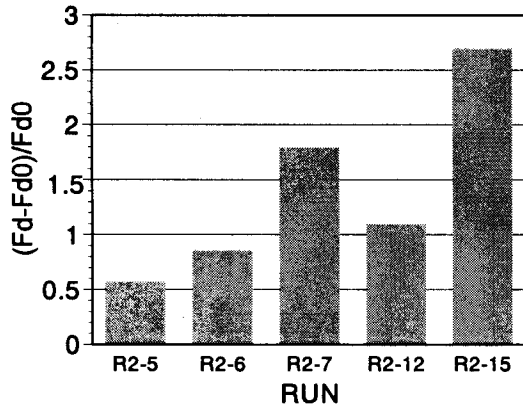


図-15 抗力

高水敷流れが左岸の円柱群通過後減速し、それから斜行部上を横切るため、斜行低水路への流入が小規模で乱れがほとんど生じないためである。

(6) 抗力

運動量式から水路形状抵抗力・底面剪断力を含んだ全抗力 F_d を算出し、円柱のない場合の抗力 F_{d0} を用いて無次元化した。その結果を図-15に示す。高水敷上右岸に円柱群を設置したR2-12では、左岸に設置したR2-6よりも抗力は大きくなっている。これは右岸側に設置した場合、円柱群を通過後高水敷上の流速が広範囲にわたって減少するためである。また円柱本数が最も多いR2-7よりも本数の少ないR2-15の場合の方が大きな抗力を示すのは、R2-15では円柱群が右岸にも設置されているからである。設置箇所が同じであれば、円柱本数が大きくなると抗力は増大する。また同じ密度でも円柱群の存在箇所によって、抗力の値は異なる。密度が同じなら左岸側（上流側）に円柱群がある場合の方が他のケースより、抗力は小さくなる。

5. まとめ

- 1) 水深は斜行部で最大になる。
- 2) 斜行部に沿って円柱群を設置すると、斜行部上流の水位はせき上げられて上昇するが、左岸側つまり上流側に設置された場合は、上昇度は少ない。
- 3) 円柱が左岸側に置かれた場合は、斜行部内の二次

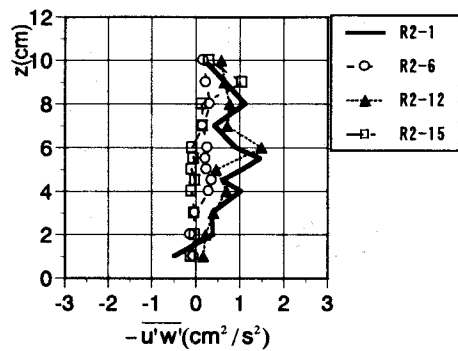


図-14.1 $-\overline{u'w'}$ の鉛直分布 (E断面中央)

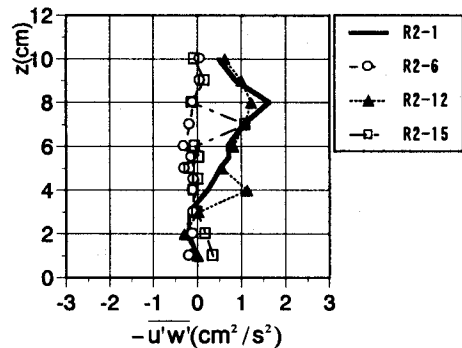


図-14.2 $-\overline{u'w'}$ の鉛直分布 (F断面中央)

流セルの規模は小さく、流速も小さくなっており、河岸浸食・河床洗堀に対しての恐れは無いと言える。

- 4) 円柱群が左岸側に置かれた場合、斜行部内で流速は減少する。
- 5) 円柱群が左岸側に置かれた場合、抗力はこのケースより小さい。

以上のことより、斜行部沿いの樹木としては、左岸側、すなわち上流側に設置された場合は、若干の水位上昇はあるものの大きな不都合は生じないし、環境の面からも良いと言える。ただし、樹木群の密度については詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) Sellin, R.H.J.: Hydraulic performance of a skewed two-stage flood channel, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.33, 1995, No.1, pp.43-64.
- 2) Irvine, D.A., Jasen, H.K.: Observation on flows in skewed compound channels. Proc. Instn. Civ. Engrs Water, Marit. & Energy, 1995, 112, Sept., pp. 249-259
- 3) 福岡捷二, 渡辺明英, 加村大輔, 岡田将治: 複断面水路における流砂量, 河床変動の実験的研究, 水工学論文集第41巻, pp.883-888, 1997.
- 4) 石垣泰輔, 武藤裕則, 沢井健二: 複断面蛇行開水路流れの構造と低水路の河床形態に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第42号, B-2, 1999, pp. 225-234

(2000.10.2受付)