

水制に関する一実験¹⁾

(特に水制がその下流側の流速、水深に及ぼす影響について)

佐々木 八郎^{*}
吉田 俊彌^{**}
草間 孝志^{***}

(信州大学工学部土木工学教室)

I ま え が き

幾組かの水制が設置された場合に、それらが流れに及ぼす影響に関しては、さきに実際河川の場合²⁾および模型水路の場合³⁾について一部報告をした。しかし、水制の問題はかなり複雑であつて、その機構を詳らかにすることはきわめて困難と考えられる。そこで筆者等は先に行つたこれら実験の条件を一層簡単にして、水制を特定の形状および配置に限定し、考察を行わんとした。

謝 辞

本実験は昭和29年度文部省科学試験研究によるものの一で、同主任研究者結城朝恭博士の懇切な御指導をうけ、また長野県土木部当局並びに建設技官青木康夫氏の御協力を煩わしたものである。ここに衷心より謝意を表する。

II 実験設備と方法

(1) 設備 実験水路は巾 $B=40\text{cm}$ 、深さ 15cm 、長さ 6m の木製ペンキ仕上水路^{*}を使用し(詳細は文献3)参照)、水制は杉材で、その高さ 8cm 、巾 5cm 、水制長 b を $5, 8, 10\text{cm}$ の3種とした。水制頭部⁴⁾の形は、流れに対して大きな一要素になるが、これの影響に関しては別の機会にゆずることとし、この実験においては頭部に半径 1.5cm の丸味をもたしたものの1種を使用することとした(図-1)。

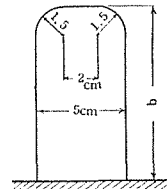


図-1 水制の形状(平面図)

移動床に用いた砂(犀川水系梓川橋附近産、比重2.64)はA, B 2種とし、その平均粒径 d_m はA砂は 1.6mm (篩目 $1.7\sim 1.5\text{mm}$)、B砂は 1.0mm (同 $1.2\sim 0.7\text{mm}$) で

* 信州大学助教授

** 信州大学 師

*** 信州大学助 手

* この水路は松本建設事務所の厚意ある作製による。御協力いただいた同所々長青沼安之氏、工務課長田中敏仁氏、主任技師中島万喜治氏の各位ならびに観測に従事された本学部学生齊藤勇他4君に深い謝意を表する。

ある。流速測定にはピトー管（外径2 mm）を、水深測定にはポイントゲージをそれぞれ使用した。

(2) 方法 水路内送水方法は文献(3)におけると同様であるから省略する。

流速は $v = \{g(h_d - h_s)\}^{1/2}$ によりもとめた。(ただし h_d, h_s はそれぞれ 30° 傾斜マノメーターの動圧管および静圧管の読みとす)。なお流速は流深の中央深において縦均速 v を表わすものと仮定して、ここにピトー管を沈めた。流速と水深とは、水路に描いた4 cm 角碁盤目の各節点について測定した。流向にはピトー管に附した約 2 cm の絹糸の示す流線を探り、これを附属の分度盤で読取つた。

本実験では、前記の水制ただ1対を左右岸から直角に対称に設置しただけである。観測の組合せは次表の範囲である。

表-1 実験の範囲

	水制長 b cm	水路床勾配 i	流量 Q l/sec	砂の d_m mm	水路巾 B cm
固定床	5, 8, 10	$1/200, 1/500$	0.8, 1.0, 1.2 1.5, 1.8, 2.0	敷砂なし	40
移動床	8, 10	$1/200$	同上	1.6 (A砂) 1.0 (B砂)	同上

移動床において用いた敷砂厚は 3 cm であるが、水制頭部附近は洗掘いちじるしく底板が現われ易く下流に与える影響が大きいので、A砂をワニス貼りした板を用意し、予め移動床の底に敷設した。

III 実験結果とその考察（固定床）

(1) 流速および水深 水制附近における流速および水深の分布を示せば凡そ 図-2 のようである。

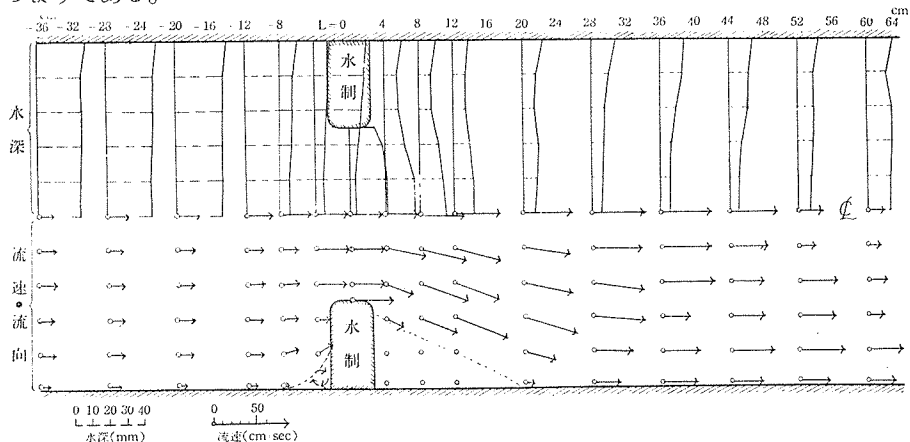


図-2 水制附近の流速，流向および水深分布図 ($b=10\text{cm}$, $i=1/500$, $Q=1.5\text{ l/sec}$ の例)

上図は一例を示したに過ぎないのであるが、本実験においては、何れも水制下流側は上流側に比して、水深においては減少を示し、流速においては増大を示している。流向は上流側に微かに中心寄り (converging flow) を生じ、下流側はかなり岸寄り (diverging flow) を生ずる部分が現われ、水制上流側隅に渦流部を、下流側隅に瀾水部

(dead region) を生じている。

いま、この水路における水制を設けない場合の等流水深 h_0 ならびに等流流速 v_0 の測定値を掲げれば表-2 のようである。

表-2 等流水深 h_0 (cm), 等流流速 v_0 (cm/sec)

Q(l/sec)	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	3.0	
$i=1/200$	h_0	0.72	0.85	0.98	1.17	1.33	1.40	1.91
	v_0	27.8	29.4	30.6	32.0	33.8	35.7	39.2
$i=1/500$	h_0	0.84	0.98	1.12	1.33	1.46	1.58	2.08
	v_0	23.8	25.5	26.8	28.2	30.8	31.8	36.2

水制を設けた場合の水深、流速をそれぞれ h, v で表わし、各相当する i, Q ごとに $h/h_0, v/v_0$ をとつてみる。図-3 は $b=10\text{cm}, i=1/200, Q=2.0\text{ l/sec}$ のときの $h/h_0, v/v_0$ の分布を示した一例である。

本実験では、水路横断面についてみれば、流速は大体において流心部が大で、側壁附近(岸)が最小であるが、その中間分布は必ずしも単峯型減衰状を示さず、断面によっては複峯型分布が現われる。この傾向は水深の横断面分布にも現われる場合がある。

なお、水制部分から直下流にかけては、かえつて流心部を外れたところに2峯型の最大流速がみられることが多い。

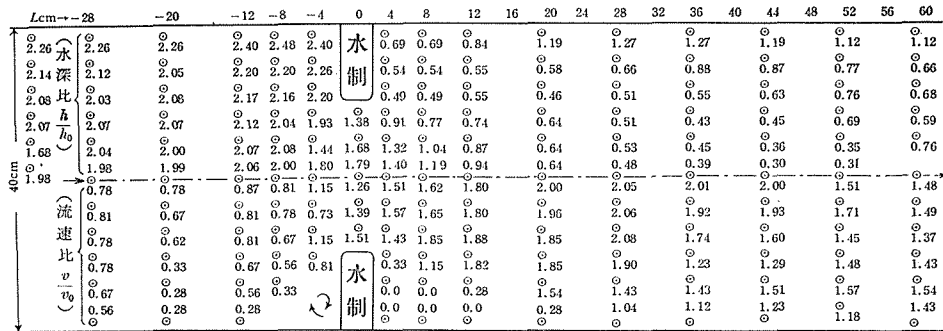


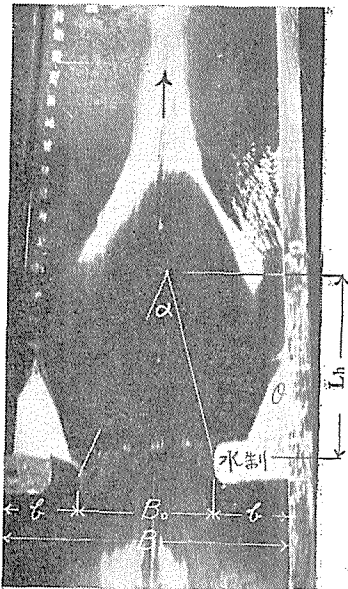
図-3 $h/h_0, v/v_0$ 分布図

($b=10\text{cm}, i=1/200, Q=2.0\text{ l/sec}$ の例; ただし $h_0=1.40\text{cm}, v_0=35.7\text{cm/sec}$)

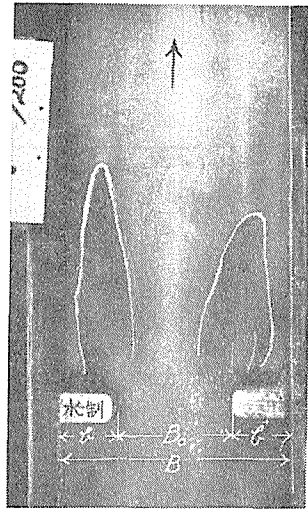
(2) 水制下流の波の線と副流

水制下流水面には流れの方向とは別に下流に向つて鍍(やじり)型の波線の発生がみられた。この波線は Mach 波ではなからうかと考えられる。写真-1, 2 および図-4 はその例を示す。

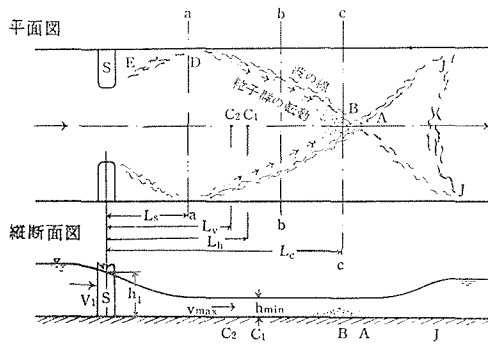
このやじりの根にあたる線の外側-やや直角三角形をした E なる部分-は dead region となつている。また尖端 A 附近は流速の減衰がみられる。波の線の内側に近接しこれに



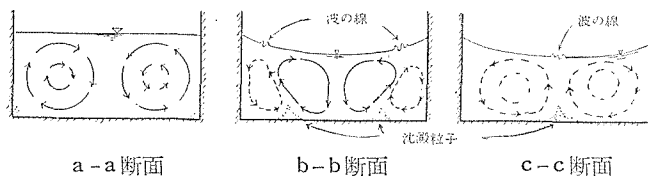
写真—1 固定床
 $i=1/200$, $b=10\text{cm}$, $Q=1.2\text{ l/sec}$



写真—2 移動床
 $i=1/200$, $b=10\text{cm}$
 $Q=1.0\text{ l/sec}$ (30分)
 敷砂 $d_m=1.0\text{mm}$



図—4 水制下流部の波線



図—5

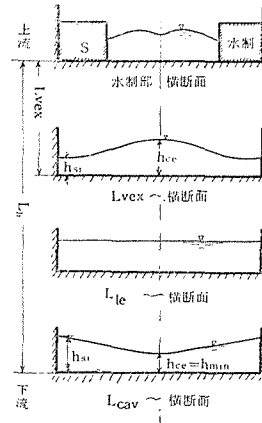
平行し、沈澱物の微粒子が列をなして底面を中心寄りに動きBに向つて移動するのがみられる。Bの上流部に最小水深 h_{min} の点 C_1 、最大流速 v_{max} の点 C_2 がみられる（後

述)。Bのやや下流に J—J なる跳水現象によると思われる線がみられる場合がある。ピトー管によつて、底流の大きさならびにその方向を測定することはできなかつたが、これら微粒子列の移動現象から、水制下流部にはこの場合図—5のように互に消長する2対の副流が存するのであろうかと想像する。波の線とみられるものは2種の方向相反する副流の境界の潮目にあたるものではなからうかと考える。

(3) 横断水面形の変化 (図—6)

水面の横断面形は水制地点からそのやや下流側にかけて凸状をなし、またほぼ L_h 附近では反対に最も凹状をなす。それらの反曲断面とみられる L_{le} がその中間のやや上流側に現われる。なお水制上流部は微かに凹形をなすように認められた。

ここに、 L_h, L_v をそれぞれ水制から C_1 および C_2 までの距離とし、 L_h, L_v の実測値を表—3に掲げる。また水制下流 4 cm の距離における (すなわち $L_{vex} = 4 \text{ cm}$ と探る) 水位横断面からその最大水深 h_{ce} 、最小水深 h_{si} をとり、また水制下流 L_h の距離における最小水深 h_{ce} (すなわち h_{min})、最大水深 h_{si} をそれぞれ探つて同表中に掲げる。



図—6

(4) 水制下流部流心の縦断面および $h_{ce}/h_0, v_{ce}/v_0$ について

一般に水制下流において流心に沿う h_{ce}/h_0 値は水制の長さ に比例し (図—7 (a) はその一例を示す)、また流量に比例して (図—7 (b) はその一例を示す) 増減する傾向がみられる。

いま、 $h_{ce}/h_0 = \min$ なる点にたいする $2L_h/B_0$ と Q との関係を b, i 別に図示すれば図—8 のようになる。

前掲表—3によれば L_v は L_h よりも幾分小さい傾向が現われているが、もしこれを等しいものとみるときは、最大流速の点はほぼ最小水深の点となり、したがつて図—8のような関係は v_{max} の点についてもほぼ同様であろうと考えられる。すなわち $h_{ce}/h_0 = \min$ 或は $v_{ce}/v_0 = \max$ の点の位置は b, Q, i によつて影響をうけ、 α はこの場合 $24 \sim 90^\circ$ に変化している。また β は $43 \sim 71^\circ$ 平均 51° 前後、その b, Q, i にたいする傾向は α と似る。

(5) h_{min}/h_1 および v_{max}/v_0 と Froude 数

いま水制部の平均水深を h_1 にて表わせば、同地点における Froude 数 F_1 は

4)

表一 3

<i>i</i>	<i>Q</i> l/sec	<i>b</i> cm	<i>F</i> ₁	<i>h</i> ₁ mm	水制から <i>Lh</i> 下 流における		水制から 4cm 下流における		<i>v</i> _{max} cm/sec	<i>L</i> _h cm	<i>L</i> _v cm	<i>L</i> _s cm
					<i>h</i> _{ce} = <i>h</i> _{min}	<i>h</i> _{si} mm	<i>h</i> _{ce} mm	<i>h</i> _{si} mm				
					(最小)	(最大)	(最大)	(最小)				
1/500	0.8	5	0.76	10.8	8.9	10.0	10.0	10.0	28	14	8	—
		8	0.82	11.9	7.0	11.0	10.7	10.0	37	16	16	20
		10	0.84	13.2	5.2	8.7	14.6	13.1	45	28	20	24
	1.0	5	0.78	12.3	9.7	13.0	11.3	11.0	31	16	20	—
		8	0.86	13.4	6.6	12.5	12.5	11.0	43	20	20	22
		10	0.90	14.7	4.0	8.9	13.0	7.6	52	32	30	22
	1.2	5	0.79	13.8	10.8	14.1	12.8	12.0	35	18	12	20
		8	0.89	14.8	6.9	13.8	14.0	11.7	46	22	22	16
		10	0.93	16.2	4.5	10.5	15.0	8.8	56	36	34	18
	1.5	5	0.80	15.8	11.5	17.0	15.0	13.6	39	20	20	20
		8	0.90	16.9	7.9	14.0	15.8	10.0	51	28	28	20
		10	0.95	18.5	4.6	11.2	17.8	9.9	59	42	36	18
	1.8	5	0.82	17.7	11.8	17.0	15.8	14.1	46	20	20	16
		8	0.92	19.0	7.2	16.0	18.4	10.0	60	30	28	21
		10	0.96	20.8	5.0	13.0	19.1	8.6	65	44	24	19
	2.0	5	0.86	18.3	12.0	18.5	19.0	15.8	48	20	12	16
		8	0.95	19.9	6.5	17.5	19.2	10.2	65	36	32	18
		10	0.97	22.2	5.3	15.0	22.0	9.2	74	46	44	20
1/200	0.8	5	0.89	9.8	5.6	9.0	8.9	6.4	40	24	20	20
		8	0.91	11.1	5.4	11.0	10.2	8.0	47	28	28	24
		10	0.95	12.2	3.7	7.3	10.7	4.9	48	36	28	24
	1.0	5	0.92	11.0	5.1	10.5	10.5	6.7	44	28	28	—
		8	0.93	12.7	4.1	10.0	11.7	6.5	54	32	28	20
		10	0.96	14.1	4.0	9.1	13.0	6.1	53	40	32	24
	1.2	5	0.92	12.5	5.6	12.5	11.9	7.2	49	28	28	14
		8	0.95	14.2	4.9	11.5	13.1	6.2	55	36	32	20
		10	0.96	15.9	4.0	10.0	15.0	6.5	65	42	36	20
	1.5	5	0.93	14.4	7.1	14.0	14.2	8.9	51	32	28	14
		8	0.96	16.3	5.0	14.0	15.3	6.9	59	38	36	20
		10	0.97	18.3	5.0	13.1	20.3	8.7	68	44	36	20
	1.8	5	0.93	16.1	6.6	14.5	15.0	7.5	57	32	28	16
		8	0.98	18.3	5.5	13.0	17.3	7.6	67	44	44	20
		10	0.99	20.4	4.6	13.0	19.2	7.4	60	46	44	22
	2.0	5	0.95	17.2	6.8	18.0	16.7	11.1	57	32	28	12
		8	0.99	19.4	5.6	12.5	19.1	8.0	68	46	36	12
		10	1.02	21.5	4.2	16.7	19.6	6.9	73	48	32	20

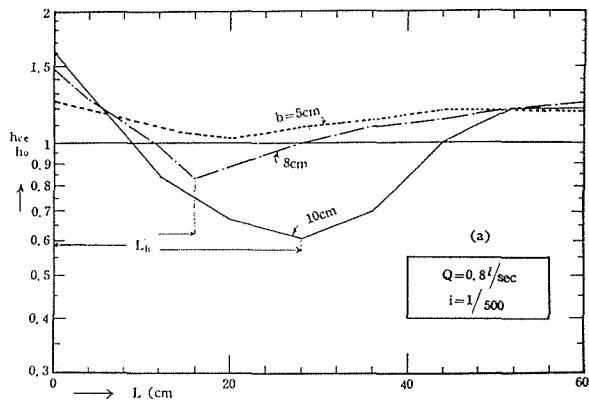


図-7(a)

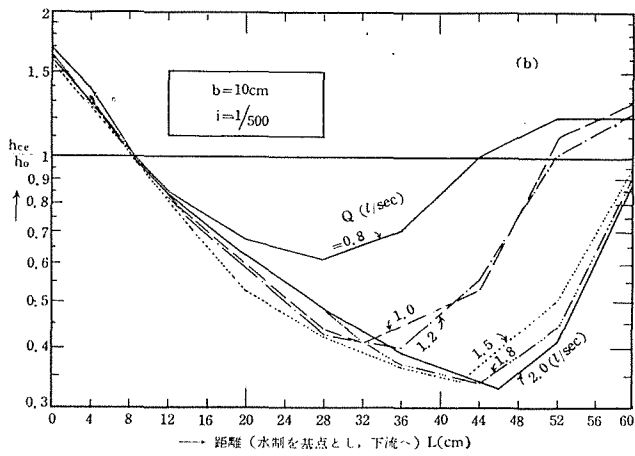


図-7(b)

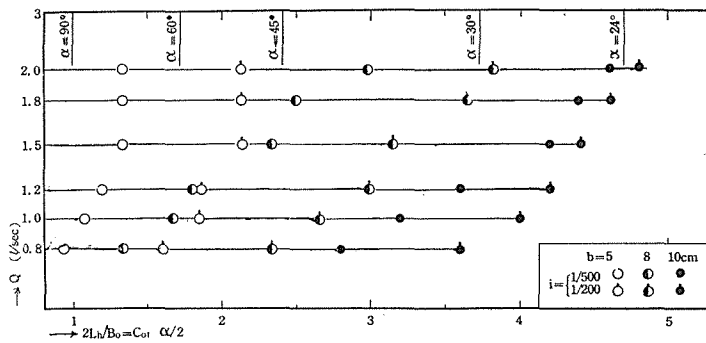


図-8

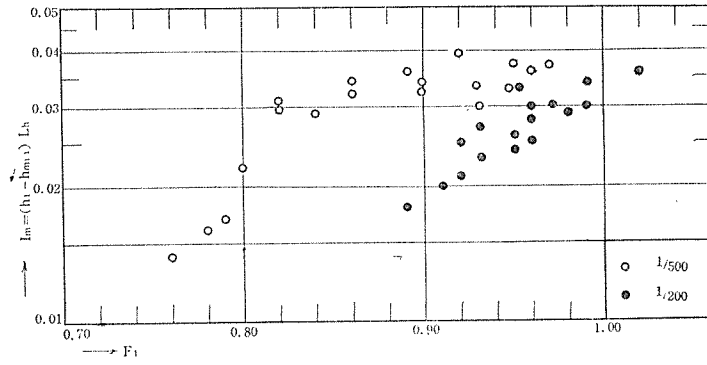


図-11

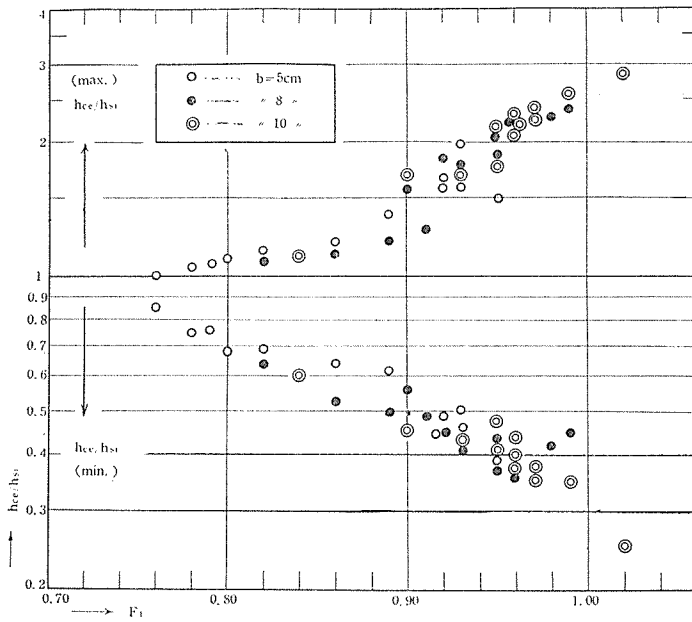


図-12

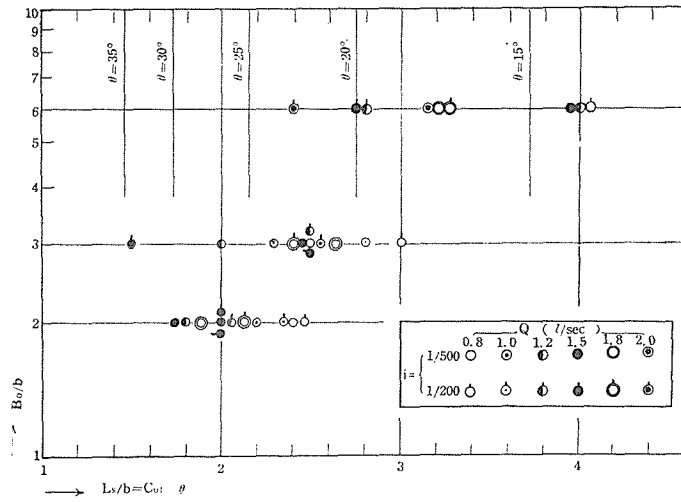


図-13

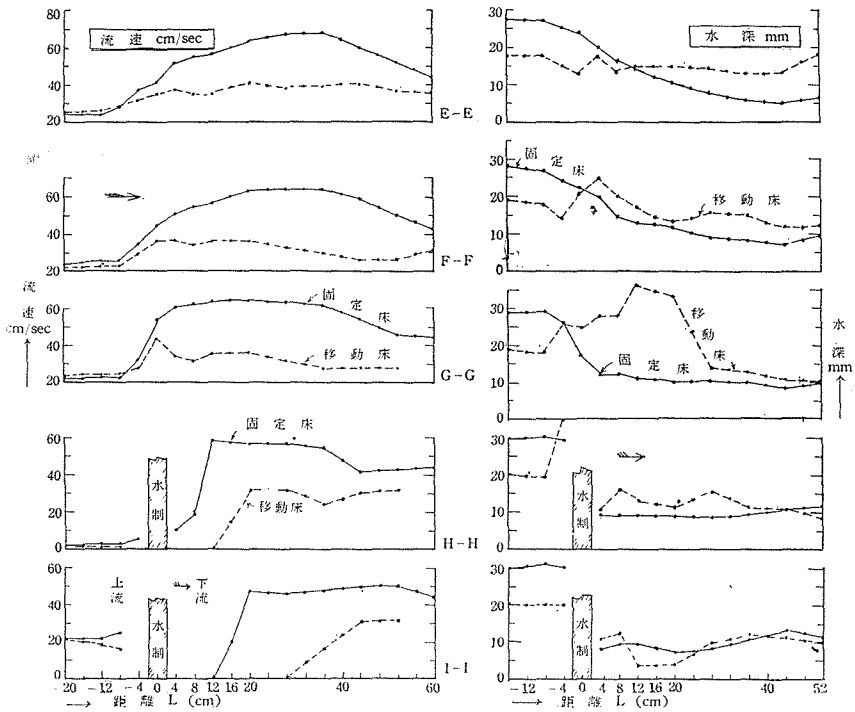


図-14 流速および水深の縦断面図
 ($b=10\text{cm}$, $Q=1.5\text{ l/sec}$, $i=1/200$, $d_m=1.6\text{mm}$ の例)
 (実線: 固定床, 点線: 移動床)

Ⅳ 参考実験（移動床）

(1) 流向の偏倚

敷砂を施したすなわち移動床における水制前後の流向の偏倚は、固定床の場合ほど明瞭ではない。

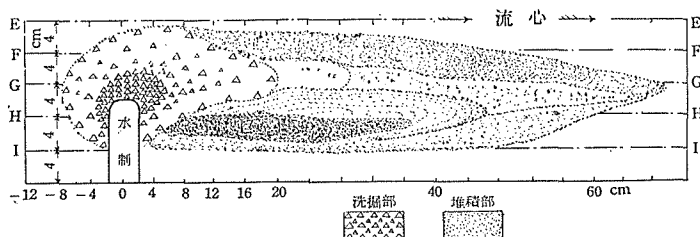
(2) 流速と水深の変移

水制の上流と下流における流速と水深の変移は固定床におけるほど顕著ではない。いまそれを示す一例として $b=10\text{cm}$, $Q=1.5\text{l/sec}$, $i=1/200$ の場合をとつて、両者の流速、水深の縦断面を掲げて比較に供する（図—14）。

同図において、移動床の水深が水制附近で凹凸甚だしく表わされているのは、この場合洗掘もしくは堆積の高さが水位に加算もしくは減算されているためである。流心についてみると（E—E），固定床に比すれば、移動床では、水制部の水深および水制下流側水面勾配ならびに前記 L_v , L_h はいずれもいくぶん小さ目になる傾向が認められる。

(3) 敷砂の洗掘と堆積

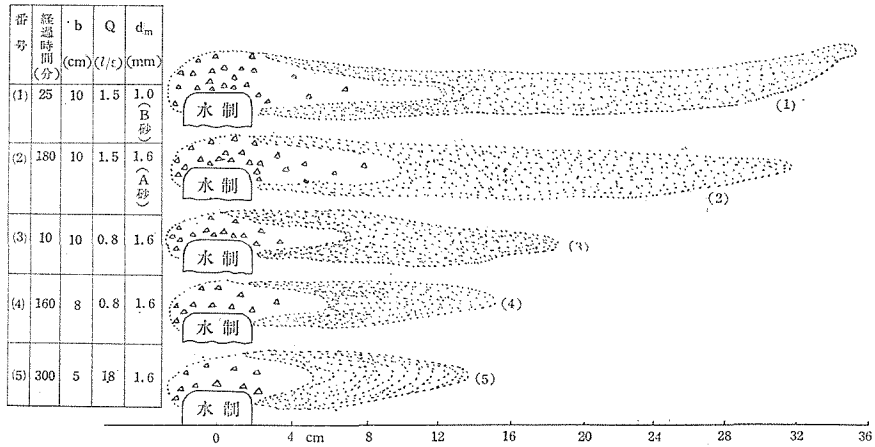
両床を比較して顕著な相違は、固定床に現われた波の線や跳水とみられる現象が移動床にはこの場合みられなかつたことである。同一流量、同一水路勾配にたいする流速については、水制上流側にあつては両者大差は認められないが、下流側にあつては、移動床は固定床に比しかなりの流速減衰が見られる。同じく水深においては、ほぼこれと反対に増大するのが認められる。砂の移動方向は、固定床にみられた流線の方向と必らずしも一致しない。そして、水制頭部寄りの流速が、水路中心部よりもかえつて大となる傾向は固定床におけると同様であつて、水制頭部に接する床面は速やかに洗掘を受け、頭部下流に流心にはほぼ平行し、翼断面状の堆積部が次第に形成される（図—15）。この堆積の成長につれ、固定床において $15\sim 35^\circ$ を示した θ の値は移動床ではほとんど零に近いものとなつた。すなわち壁面に沿うかなりの下流まで流速はほとんど検知しえざるにいたつた。



図—15 水制附近の洗掘と堆積平面図

($b=10\text{cm}$, $Q=1.5\text{l/sec}$, $i=1/200$, $T=7^\circ\text{C}$, A砂, 流水時間3時間後)

この砂洲堆積成長の度はある程度 b , Q , i ならびに通水の経過時間（A砂ではある程度の時間ののちは一種の平衡状態に達するように認められるが）に依存することく、またA砂よりもB砂においていちぢるしい傾向がみられる（図—16例）。以上のうち水制の長さは洗掘-堆積にたいして特に関係が深いように認められる。



図—16 移動床における洗掘-堆積の長さ ($i=1/200$)

なお、本実験では、水制地点水路中心部においてはほとんど洗掘もしくは堆積の現象は認められなかった。

V む す び

本報告は、水制部の Froude 数が $0.76 \sim 1.02$ というせまい範囲の一実験であるが、水制設置による下流側の流速の増加および水深の低下の程度は、水制の長さ、流量、水路勾配と関係が深いことを示している。水制による縮小-拡散-反射の流れの結果、固定床においては波線の発生がみられ、 α, θ は水制下流部に生ずる副流分布状態に関与するものごとくである。移動床においては、固定床にくらべると同じ流量ならびに勾配では明瞭な波線は認められず、また砂の移動方向は固定床にみられた流線の方向とは必ずしも一致しないことが認められた。

本実験が水制の合理的寸法決定のための一資料ともなれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 第11回土木学会年次学術講演会にて発表 (1955).
- 2) 結城・佐々木・佐藤・吉田「女鳥羽川の砂礫について」信州大学工学部研究報告, No. 2, 1953.
- 3) 結城・佐々木・青木・吉田・草間「水制と蛇行に関する一実験」同No. 3, 1954.
- 4) Kindsvater and Carter, Tranquil flow through open-channel constrictions, Proc. A. S. C. E., Vol. 80, No. 467, 1954.
- 5) 本間仁「射流の拡散」土木学会誌, Vol. 28, No. 8, p. 703, 1942.

Summary**AN EXPERIMENTAL STUDY ABOUT SPUR-DYKES**

**(Especially, about the influences of spur-dykes upon the
velocity and depth distributions in downward stream)**

by

Hachirō SASAKI, Shun-ya YOSHIDA and
Takashi KUSAMA

(Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering)

The writers tried to know experimentally how the properties of downward stream are affected by a pair of spur-dykes.

In results, in the case of immovable bed, it is accepted that the degree of velocity-increase and of depth-decrease in the stream are closely correlated with the discharge, bottom-slope and especially with the dimensions of the spur-dykes. Furthermore, in the case of movable bed, it is also accepted that the similar tendencies as in the case of the immovable do not always occur.