

IV. 護岸・水制の工法と効果について

本 局 河 川 課
土木試験所河川研究室
札幌開発建設部治水課
小樽開発建設部工務課
函館開発建設部工務課
室蘭開発建設部工務課
旭川開発建設部治水課
留萌開発建設部工務課
網走開発建設部治水課
帯広開発建設部治水課
釧路開発建設部工務課
石狩川治水事務所工務課
石狩川治水事務所調査課

1. ま え が き

築堤を保護し、流れを規制するため、護岸や水制がよく用いられる。しかし、水理学的に最も有効な工種を選択する指針は要望が多いにもかかわらず、まだ判然としたものが見当たらない現状である。近年、護岸および水制の流れに与える影響を水理学的に考案し、粗度としての働きから、効果を判定しようとする試みが行なわれてきた。今回は、道内各直轄河川に施工されている護岸工、水制工の大勢を明らかにするとともに、模型実験や理論などから推定した効果の判定法の是非を現地の実測によって裏付けをした。

2. 現 況 調 査

昭和36年度において、護岸については表IV-1、水制については表IV-2のような調査票を作成し、各開発建設部河川担当者によって必要事項を記入の上、集計を行なったが、統計上一部疑問の点があったので、昭和37年度において更に調査対象箇所をまして、その完成を計った。

この集計によって、道内主要河川の護岸、水制の設置箇所や大きさなどが明らかになったと考えられるが、なお、記入事項の欠けているものがあったので、今後その充当が必要と思われる。

3. 調 査 票 の 解 析

集計された調査票から、次の項目について解析し、考察を加えた。

1) 工種別護岸工の耐久年数

各河川ごとに水質や設置された箇所条件により、施工された護岸の腐朽破損度が異なっているのは十分予想されることであるが、今回は、とにかく全道的な傾向を知るという観点から、昨年に引続いて同様の関係を求めてみた。

2) 護岸延長と河幅(計画低水路幅)の関係

土木施工法や河川工学などの参考書によると、低水路護岸の延長は、河幅の2倍以上が望ましいとされているが、本道では、どの程度の施工がされているかを検討してみた。

3) 低水路幅と水制長の関係

本道では、計画低水路幅と水制のつき出し長さの関係がどうなっているかを考察した。

表 IV-1 護岸調査票

河川名	位置	護岸名
目的	種類	
延長	幅	施工高
縦断勾配	河幅	低水路幅
設置年月		
護岸の現在の状況 (腐朽, 破損の程度)		
護岸設置後の主な河状の変化 (自然, 人工の別)		
計画高水流量	計画高水勾配	計画河床勾配
計画高水位	平均低水位	平均河床高
護岸設置後の最大洪水の生起 年月日と規模 (水位, 流量)		河状係数
融雪洪水位		
被災状況		
被害の原因		
復旧 (補修) 状況		
摘要		
(出水時の流下物など)		

表 IV-2 水制調査票

河川名	位置	水制名
目的	種類	
部材の形状寸法		
1本の水制の長さ	1本の水制の幅	施工高
水制の配置	方向	間隔
		本数
		長さ
縦断勾配	河幅	低水路幅
設置年月		
水制の現在の状況 (腐朽, 破損の程度)		
水制設置後の主な河状の変化 (自然, 人工の別)		
計画高水流量	計画高水勾配	計画河床勾配
計画高水位	平均低水位	平均河床高
水制設置後の最大洪水の生起 年月日と規模 (水位, 流量)		河床係数
融雪洪水位		
被災状況		
被害の原因		
復旧 (補修) 状況		
摘要		
(出水時の流下物など)		

表 IV-3 各種護岸の経年腐朽破損度一覧表(1,268箇所)

年 腐 朽 度	鉄 線 蛇 籠						コンクリートブロック単床						凸, L, I 十字型 コンクリートブロック								
	外 観			L. W. L 以下			外 観			外 観			外 観			外 観					
	①	②	③	F	①	②	③	F	①	②	③	F	①	②	③	F	①	②	③	F	
0	27	1	0	1.02	9	0	0	1.00	4	0	0	1.00	10	0	0	1.00	1	0	1	1.00	
1	75	17	0	1.18	58	3	0	1.05	14	0	0	1.00	10	0	0	1.00	3	0	0	1.00	
2	54	10	2	1.21	21	10	3	1.47	11	2	0	1.15	3	0	1	1.50	1	0	0	1.00	
3	46	17	7	1.44	23	23	4	1.62	9	4	0	1.31	5	1	0	1.17	0	0	0	—	
4	58	38	6	1.49	6	27	5	1.97	17	2	0	1.10	1	1	0	1.50	3	1	0	1.25	
5	75	52	12	1.55	9	33	14	2.09	15	9	3	1.56	3	1	0	1.50	3	1	1	1.60	
6	40	40	7	1.62	4	26	8	2.16	4	5	0	1.55	4	0	0	1.00	6	3	0	1.33	
7	23	47	21	1.98	2	16	17	2.43	1	2	0	1.67	6	2	0	1.25	4	0	1	1.40	
8	25	44	35	2.10	1	10	35	2.74	0	3	1	2.25	0	2	1	2.33	2	0	1	1.67	
9	9	21	49	2.51	0	11	37	2.77	0	3	0	2.00	0	3	0	2.00	1	0	1	2.00	
10	11	22	40	2.54	2	11	25	2.61	0	2	1	2.33	0	2	1	2.33	3	2	2	1.86	
11	5	4	41	2.72	0	5	11	2.69	5	4	11	2.69	0	5	11	2.69	0	0	0	—	
12	4	4	23	2.60	0	1	12	2.93	0	1	12	2.93	0	1	12	2.93	0	0	0	—	
13	2	4	9	2.46	0	2	11	2.85	0	2	11	2.85	0	2	11	2.85	0	0	0	—	
14	0	1	1	2.50	0	1	3	2.75	0	1	3	2.75	0	1	3	2.75	0	0	0	—	
15	0	1	2	2.67	0	1	0	—	0	1	0	—	0	1	0	—	0	0	0	—	
16	0	0	1	3.00	0	0	0	—	0	0	0	—	0	0	0	—	0	0	0	—	
17	1	1	1	2.00	0	2	0	—	0	2	0	—	0	2	0	—	0	2	0	—	
18	0	0	1	3.00	0	1	1	3.00	0	0	1	3.00	0	0	1	3.00	0	0	1	3.00	
19	0	0	2	3.00	0	2	0	3.00	0	2	0	3.00	0	2	0	3.00	0	0	2	3.00	
20	0	0	1	3.00	0	1	0	3.00	0	1	0	3.00	0	1	0	3.00	0	0	1	3.00	
20以上	0	1	18	≒3.00	0	1	7	3.00	75	32	1	(113)	42	11	2	(55)	27	7	7	(41)	
計	455	325	279	(1059)																	
%				83.5								8.9				4.4					3.2

4) 水制の施工高と計画水深の関係

建設省土木研究所における全国傾向では、計画水深の50%くらいがもっとも多く用いられていることがわかっていて。これを本道の場合を比べてみた。

4. 解析およびその結果と考察

1) 護岸の腐朽度

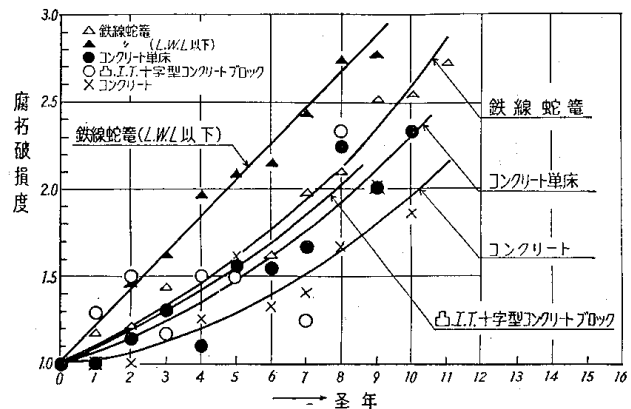
調査表では、腐朽度を外観およびL.W.L上または下に区別し、腐朽の度合を1, 2, 3であらわした。それぞれの年別標本数を n_i とすれば、その年の腐朽度 F は

$$F = (1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3) / \sum n_i \tag{1}$$

であらわされると仮定し、この値と経年数との関係を表IV-3のようにまとめ、図IV-1に示した。

この図から、次のことがいえよう。

- i 年数がたつと護岸のいたみかたは甚だしくなる。
- ii 鉄線蛇籠の寿命はほぼ11年であって、その機能を保持できるのは大体4年とみてよい。
- iii コンクリートブロック単床工など、コンクリート製護岸は約14年耐用するが、機能を保持できるのは約7年で、蛇籠の約2倍もつ。
- iv 他のコンクリート護岸は、標本数が少ないため、図示するにいたらなかったが、少なくとも単床工と同程度に耐用すると考えられる。
- v 標本数が少ないので、はっきりとはいえないが、外観とL.W.L以下との差は蛇籠ほど甚だしくないようである。
- vi 表IV-4は、勾配別の腐朽破損度を調べた結果であるが、下流(勾配小)ほど腐朽破損度が大きくなる傾向がみられる。これは、下流ほど水質が悪化し、かつ水に接する期間が長いことの影響が現われていると



図IV-1 護岸工の経年腐朽破損度

表IV-4 勾配別護岸工の腐朽破損度

勾配	鉄線蛇籠				コンクリート			
	①	②	③	F	①	②	③	F
$> \frac{1}{50}$	0	0	0		0	0	0	
$\frac{1}{51} \sim \frac{1}{100}$	1	1	3	1.40	2	1	0	1.33
$\frac{1}{101} \sim \frac{1}{200}$	10	4	3	1.76	7	4	1	1.50
$\frac{1}{201} \sim \frac{1}{500}$	29	18	16	1.80	35	9	1	1.24
$\frac{1}{501} \sim \frac{1}{1000}$	28	26	14	1.80	38	19	7	1.52
$\frac{1}{1001} \sim \frac{1}{5000}$	22	10	14	2.00	43	15	8	1.47
$< \frac{1}{5000}$	2	0	3	2.20	3	7	0	1.70
計	92	59	49	2.00	128	55	17	2.00

考えられる。また、吸出しの現象によるものも原因になっていると思われる。

2) 護岸の延長

護岸延長と計画低水路幅との比を調べ、その分布を図示すると図 IV-2 のようになる。図 IV-2 では比の区分を整数にしたが、これをさらに細分すると $\frac{L}{B} \leq 0.6$ 以下のものが全体の 16% に達する。このことは、本道における護岸工種として、過去および現在でも応急手当的(主として災害復旧)に用いられることが多いことを示している。

逆にいうと、本道では、低水路固定のための工事がまだ十分でないことを意味している。しかしながら、値の大きなものがあることは、本格的改修工事も行なわれるようになったことを示している。

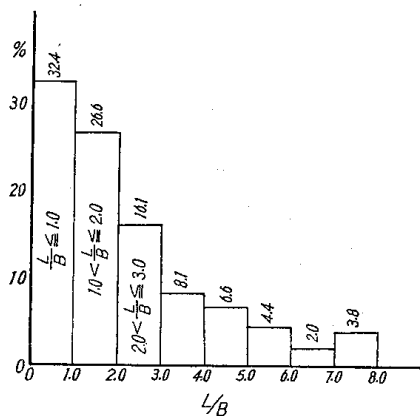


図 IV-2 護岸延長の分布

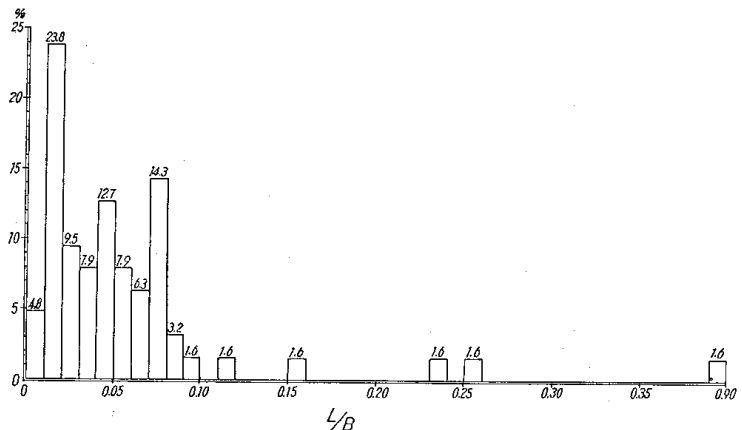


図 IV-3 水制のつき出し長さ

3) 水制のつき出し長さ

図 IV-3 は水制のつき出し長さとして計画低水路幅の比の分布を示したものである。これによると、0.05 以下が約 60%、0.08 以下では約 90% となっている。これは、本道では水制の長さとして大体計画低水路幅の 4~5% が用いられていることを示している。

4) 水制の施工高

図 IV-4 は、 $\frac{\text{施工高} - \text{河床高}}{\text{計画高水位} - \text{河床高}}$ の分布を示したものである。

これによると、比が 0.5 のものが 50% であり、 $0.3 < \frac{h}{H} \leq 0.7$ のものが約 85% で、建設省土木研究所で調査した全国的なものと同傾向が等しい。

5. 護岸・水制の効果の判定

護岸および水制には大別して、次のような機能があると考えられる。

- | | | | |
|----|---|----|-----------------------|
| 護岸 | { | i | 水路を固定し、河岸の洗掘を防止する。 |
| | | ii | 河床と異なった粗度を持たせ流れを減速する。 |
| 水制 | { | i | 流れの方向をかえる。すなわち、水はね作用。 |
| | | ii | 河岸の流速をおとして、土砂の堆積を計る。 |

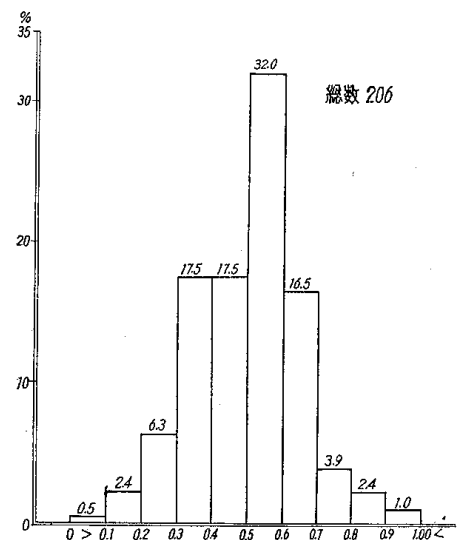


図 IV-4 水制の施工高

したがって、効果を判定するには、それぞれ二つの観点があるが、今回は、ii の減速効果について考察を進めた。

いま、流速分布が、対数分布をすると仮定すると、

河床に対しては

$$\frac{u_1}{u_{*1}} = 8.5 + 5.75 \log \frac{z}{k_{s1}} \quad (2)$$

- $u_1 = z$ における流速 m/sec
 $u_{*1} =$ 河床のマサツ速度 m/sec
 $z =$ 河床からの高さ m
 $k_{s1} =$ 河床の相当粗度 m

河岸(護岸や水制が設置されている)に対しては

$$\frac{u_2}{u_{*2}} = 8.5 + 5.75 \log \frac{y}{k_{s2}} \quad (3)$$

- $u_2 = y$ における流速 m/sec
 $u_{*2} =$ 河岸のマサツ速度 m/sec
 $y =$ 河岸からの距離 m
 $k_{s2} =$ 河岸(護岸または水制)の相当粗度 m

が成立するはずである。一般形として

$$\frac{u}{u_*} = 8.5 + 5.75 \log \frac{D}{k_s} \quad (4)$$

を用いて変形すると

$$u = u_* (8.5 - 5.75 \log k_s) + 5.75 u_* \log D \quad (5)$$

となり、流速を観測してセミログ紙にプロットし、その分布の勾配 n をよみとることにより

$$u_* = \frac{n}{5.75} \quad (6)$$

からマサツ速度を求めることができる。さらに、この値を(5)に入れることにより、河床、河岸の相当粗度 k_{s1} ,

表 IV—5 矩形水路に換算した y および z

m/sec u	y										z		
	m H	0.125	0.250	0.500	0.750	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25		
0													
0.10									0.08	0.12	0.48		
0.15	0.01	0.01	0.02	0.03	0.07	0.07	0.08	0.18	0.38	0.62	0.08	0.10	
0.20	0.02	0.03	0.04	0.08	0.13	0.18	0.23	0.50	0.68	0.88	0.12	0.12	
0.25	0.04	0.05	0.08	0.15	0.23	0.28	0.40	0.68	1.00	1.32	0.18	0.17	
0.30	0.07	0.07	0.10	0.22	0.31	0.38	0.60	0.98	1.30	1.62	0.22	0.20	
0.35	0.12	0.10	0.14	0.33	0.48	0.58	0.85	1.30	1.50	1.88	0.26	0.23	
0.40	0.15	0.15	0.19	0.45	0.63	0.79	1.12	1.43	1.72		0.30	0.26	
0.45	0.18	0.20	0.35	0.72	0.98	1.20	1.50	1.76			0.37	0.30	
0.50	0.20	0.30	0.52	1.03	1.27	1.52	2.00				0.42	0.35	
0.55	0.34	0.46	0.79	1.28	1.72						0.58	0.46	
0.60		0.80	0.18	1.95							0.87	0.74	
0.65			1.50								1.40	1.25	
0.70											1.65	1.52	
0.75											1.95	1.80	
0.80											2.10	2.08	

k_{s2} を推定できる。減速効果は、 $\frac{k_{s2}}{k_{s1}} = r$ によって表わし得る。すなわち、 $r \leq 1$ なら、減速効果はなく、 $r > 1$ であれば、減速効果があることになる。実際には k_{s2} は水深によって変化するので、その平均値 \bar{k}_{s2} と比較することになる。

1) 護岸の減速効果の実測(表 IV-5)

図 IV-5 は、石狩川江別事業所上流に設置された凸型ブロック護岸工法面付近の断面流速分布図である。この分布図から、小川の方法¹⁾によって x 方向、 y 方向の分布をよみとり、セミログ紙にプロットすると図 IV-6 のようになって 1) の考え方がよいことを示している。

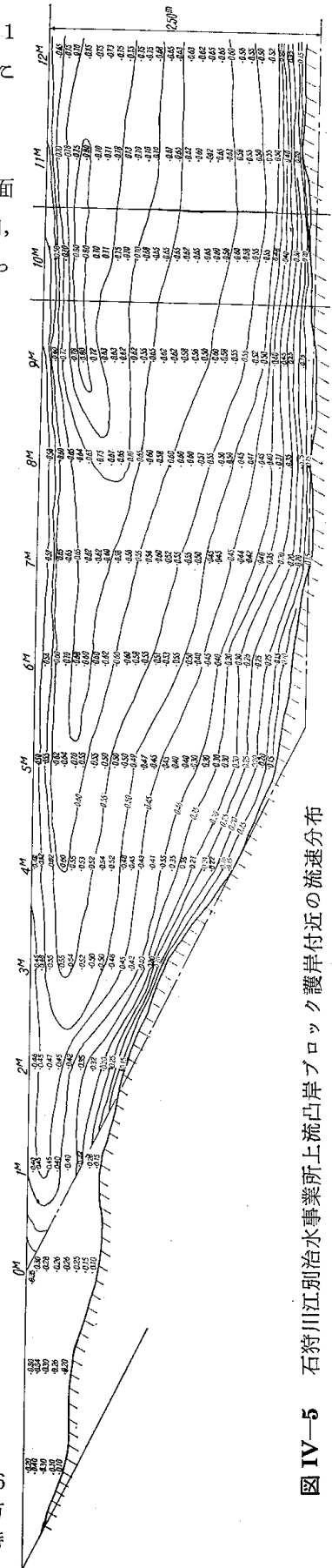
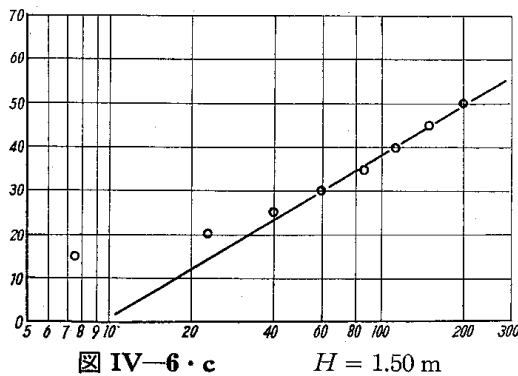
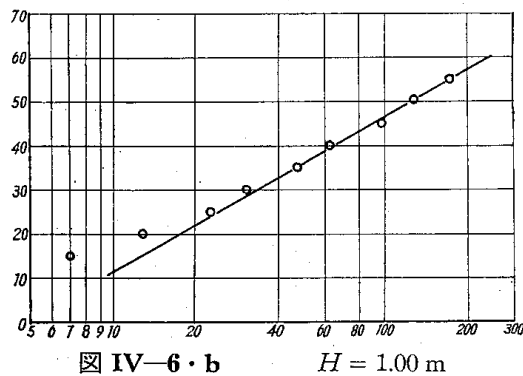
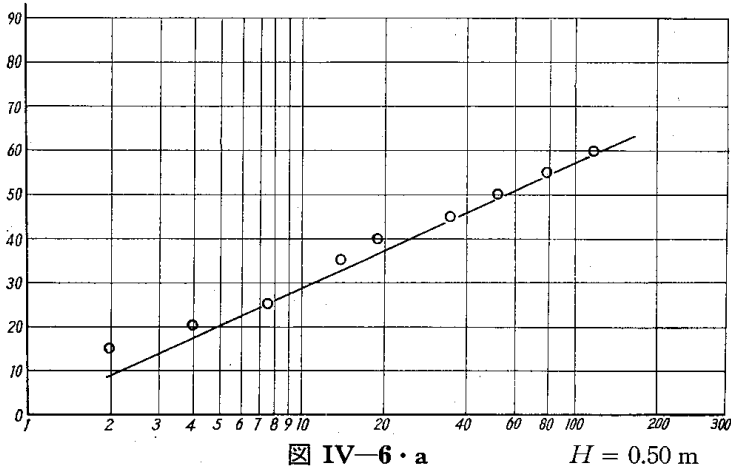


図 IV-5 石狩川江別治水事業所上流凸岸ブロック護岸付近の流速分布

1) 土試月報第 105 号 昭 37.3 護岸の減速効果と流速分布；小川. 昭和 36 年度開発局技術研究発表会報文集護岸法面付近の流速分布算定の一方 法；小川. 土木学会北海道支部技術資料 17 号 昭 36. 2 護岸の水理学特 性；岸, 小川, 池田.

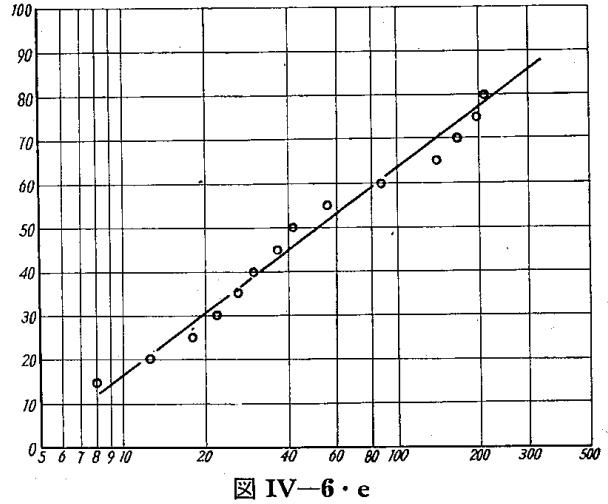
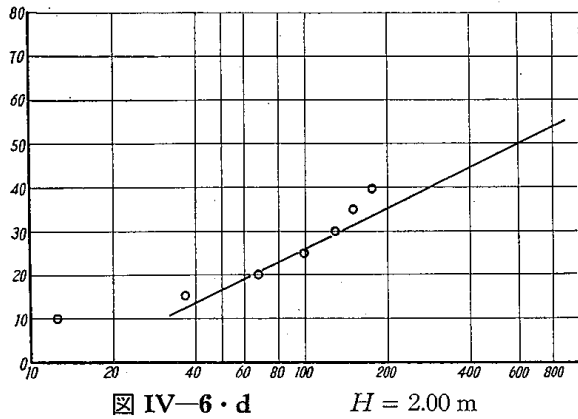


表 IV-6

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
z	$\frac{8.5}{5.75}$	u と y の差 (u_*)	$y = 100$ のときの u	$\frac{\text{差}}{5.75}$ (u_*2)	5.75 u_*	$\frac{\text{③}}{\text{⑤}}$	$\frac{\text{④}-\text{⑥}}{\text{⑤}}$ ($\log k_2$)	k_{s2}	
0.125	1.478	0.20	0.53	0.035	0.201	2.636	-1.158	0.069	
0.250		0.32	0.67	0.055	0.316	2.120	-0.642	0.223	
0.500		0.28	0.57	0.048	0.276	2.065	-0.587	0.259	
0.750		0.29	0.49	0.050	0.287	1.707	-0.229	0.469	
1.000		0.34	0.46	0.059	0.339	1.356	0.122	1.322	
1.250		0.31	0.43	0.054	0.310	1.387	0.091	1.021	
1.500		0.37	0.38	0.064	0.368	1.032	0.446	1.497	
1.750		0.36	0.30	0.063	0.362	0.828	0.650	4.462	
2.000		0.30	0.26	0.052	0.299	0.869	0.609	4.061	
2.250		0.34	0.21	0.059	0.339	0.619	0.859	4.559	
平均			$\bar{u}_{*1} = 0.054$				$\bar{k}_{s2} = 1.794$		
①		0.46	0.62	0.080	0.460	1.347	0.131	1.350	$\bar{k}_{s2}/\bar{k}_{s1} = 1.513$
②		0.47	0.65	0.082	0.471	1.380	0.098	1.022	
平均			$\bar{u}_{*2} = 0.081$				$\bar{k}_{s2} = 1.186$		

表 IV-6 は実測値を(1)によって整理した値であって、護岸の平均の水理的粗さ \bar{k}_{s2} は河床の水理的粗さ \bar{k}_{s1} の約 1.5 倍になっている。これは、明らかに減速効果のあることをあらわしている。

2) 水制の減速効果の実測

護岸の場合では、河の断面が台形であって、 \bar{k}_{s2} が深土によって異なることを考慮せねばならなかったが、水制の場合は、水制の先端で考えると、水制高を越えない流れであるとき、断面は短形でかつ減速効果を論ずるに平面的であるとして、そう的をはずれていないと考えられる。表 IV-7 は十勝川河口トイトッキ水制工付近の流速を浮子の同一時間内の移動を 3 台のトランシットで追跡することによって観測した結果を小川・内山²⁾の方

2) 土木学会北海道支部技術資料 18 号 昭 37. 2 クイ出し水制の実験的考察；山岡，小川，内山。
建設省第 16 回直轄技術研究会 昭 37. 11 クイ出し水制に関する研究；町田，小川，内山。

表 IV-7

粗度の種類	調査時の諸量	上流水制 よりの距離 $l(m)$	l/c	流速分布 の分配 n	マサツ速度 u_* (m/s)	平均マサツ速度 \bar{u}_* (m/s)	
$\eta = 0.186$ $\lambda = 5.37$	流量 $Q = 188.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 水位 $H = 0.31 \text{ m}$ (大津観測所) 干潮時 平均水制長 $km = 17.5 \text{ m}$ 水制間隔 $c = 94.0 \text{ m}$	20.0	0.213	0.42	0.0731	0.0560	
		30.0	0.319	0.38	0.0661		
		39.5	0.420	0.35	0.0609		
		49.3	0.525	0.32	0.0557		
		59.1	0.629	0.30	0.0522		
		69.1	0.735	0.25	0.0435		
		78.4	0.834	0.21	0.0365		
		粗度常数 A	$\log 10 \alpha$	相当 粗度率 α	平均相当 粗度率 α_m	相当 粗度 $ks(m)$	u_*/\bar{u}_*
		8.68	1.9687	0.9305		16.27	1.30
		9.40	1.8434	0.6973		12.19	1.18
		10.35	1.6780	0.4764	0.3836	8.38	1.09
		11.67	1.4480	0.2806		4.91	0.99
		13.14	1.1925	0.1558		2.72	0.93
		14.10	1.0260	0.1062		1.86	0.78
		16.60	2.5900	0.0389		0.68	0.65

法で整理したものである。この計算手順には α (相当粗度率) の考へが入っているが、原理的には 5-1 と同じである。図 IV-7 は実測流速分布の例である。この付近では河床の \bar{k}_{s1} は、まず 1.0 m (おそらくは 10^{-2} の Order) をこえることはないので $\bar{k}_{s2}/\bar{k}_{s1} > 1$ であって、やはり減速効果のあることがたしかめられる。

6. 総括

以上の考察や、すでに行なわれた実験的、あるいは理論的な研究から次のことがいえよう。

1) 護岸工について

- イ. 鉄線蛇籠工の機能が完全に保てるのは、大体 4 年であるが、外観的には 11 年位までその原形を留め得る。また L.W.L 以下の部分の損傷は激しい。
- ロ. コンクリート製護岸工は、約 7 年その機能を保つ、また、L.W.L 以下と上との差はあまりない。
- ハ. 水質が低下し、水の接触期間が長いと思われる緩流部での腐朽損傷度は、急流よりも大きい。これは吸出し作用にも原因するものと思う。

ニ. 護岸延長比 (L/B) の小さいものが多い。すなわち、本道の護岸は、災害復旧で施工されたものがほとんどを占めている。

ホ. 護岸の水理的粗度を知るには、法面付近の流速分布を実測し、理論分布にしたがうとして算出した \bar{k}_{s2}

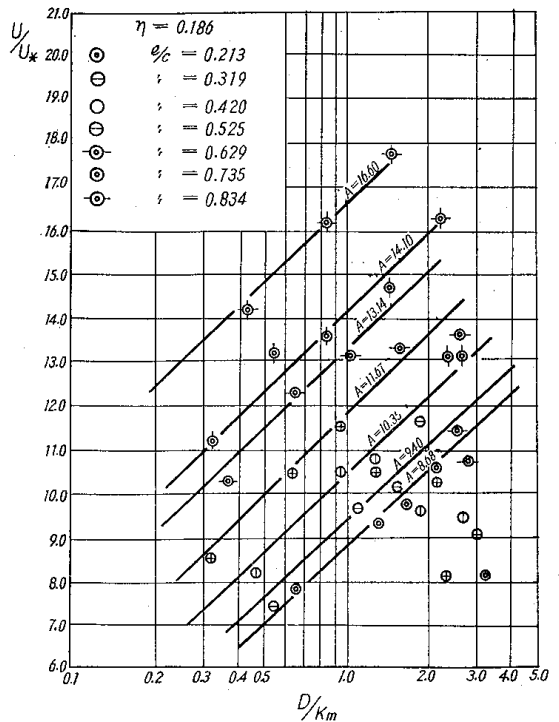


図 IV-7 流速分布 (U/U_* と D/K_m の関係 $Q = 188.3 \text{ m}^3/\text{s}$)

によるのがよい。

へ. 護岸の効果をあらわす一方法として, \bar{k}_{s2}/k_{s1} を比較するのが有効である。

2) 水制については

イ. 本道においては, 水制のつき出し長さは, 計画低水路幅の 10% 以下のものが多い。

ロ. 同様に, 施工高は, 計画高水深の 1/2~1/3 にとるものが多い。

ハ. 水制の水理的粗さを表わすには, 平面的な流速分布を実測し, かりの河岸を水制のつき出し点上の半分にとって, 理論分布に従うとして算出した \bar{k}_{s2} によるのがよい。また, 流速測定的位置は水制間中央がよい。

ニ. 水制の減速効果も \bar{k}_{s2}/k_{s1} で表わせる。

7. 今後の方針

i 調査票記入事項の充実

調査対象箇所がなりふえたにもかかわらず, 記入すべき事項がもれていたため, 標本として扱えなかった場合が多かった。来年度からは, 第一に調査票の完成を取り上げたい。

ii 減速効果資料の拡充

本年度においては, 護岸では凸型ブロック, 水制ではクイ出しのみ, 実測によってそれぞれの相当粗度を求めたが, 種々の護岸, 水制についても測定を行ないたい。

iii 河床変動に対する影響の研究

護岸, 水制付近の河床変動量と工種および水理量との関連を実験, 調査したい。

iv 護岸, 水制の設計指針の確立

以上を総合して, 河状にもっとも適した工種の選定が純工学的な立場から行なえるような方向に持って行く。

v 本調査研究は, 昭和 38 年度において完結したい所存である。

あ と が き

本文は, 各建設部河川担当職員の努力になる調査票をもとに, 各部局担当官の協議を経て, 土木試験所河川研究室において整理考察を加えたものである。なお, 後段の効果の判定の実測および理論的整理は, 土木試験所河川研究室が, 局河川課, 石狩川治水事務所, 帯広開建治水課の協力を得て行なったもので, このように有効な結果をもたらしたことは, 非常に有意義であったと考える。