

植生の粗度に関する実験

Experimental Study on the Flow Resistance in Vegetated Channels

渡辺和好* 瀬川明久** 板倉忠興***

河川の高水敷に存在する植生が、洪水時に流況に及ぼす影響を検討するための基本として、草類河床による抵抗則に関する水理実験を行い、草丈などによる粗度係数の変化を求めた。

《Manning の粗度；相当粗度；抵抗係数；レイノルズ数》

まえがき

河川敷内にある樹木、草類、その他の植生は、のり面保護あるいは環境保全に大きな役割を有している。

しかし、これら植生が洪水時に流況へ与える影響については十分解明されているとはいえず、河道計画上の植生の存在に関する取扱いも不明確となっている。

植生水路に関しては、Manning の粗度係数 n が平均速流 V と径深 R の積によって表示できることが、U. S. Soil Conservation Service¹⁾ によって発表されている。

また、わが国においても平野ら²⁾、福原³⁾の研究があるが、いずれも疑似植生を用いたものであり、実物との相似については問題が残されている。

本実験では、実験の対象に実際の植生を用い、河道計画と整合する適正な植生利用方法検討の基礎となり得る、植生の機能評価法の検討を目的としている。

1. 実験の概要

1-1 実験の目的

植生の流況に及ぼす影響について、その機能・効果・評価法について検討するにあたり、今年度は植生として草類を対象とした。

草類が流況に及ぼす影響の程度を示す指標については、一般に路床状態を示す指標値として広く用いられている粗度係数を用いることとし、路床粗度係数の変化から、植生の機能・効果について検討を加える。同時に指標値としての粗度係数の適用性、他の指標値の適用性および実験中の各測定方法、測定値の精度についての検討を行い、草類の粗度に関する基礎的な水理機構を解明する。

1-2 実験の方法

① 実験装置

実験は図-1に示す、高さ (H) = 1.0 m、幅 (B) = 0.5 m、

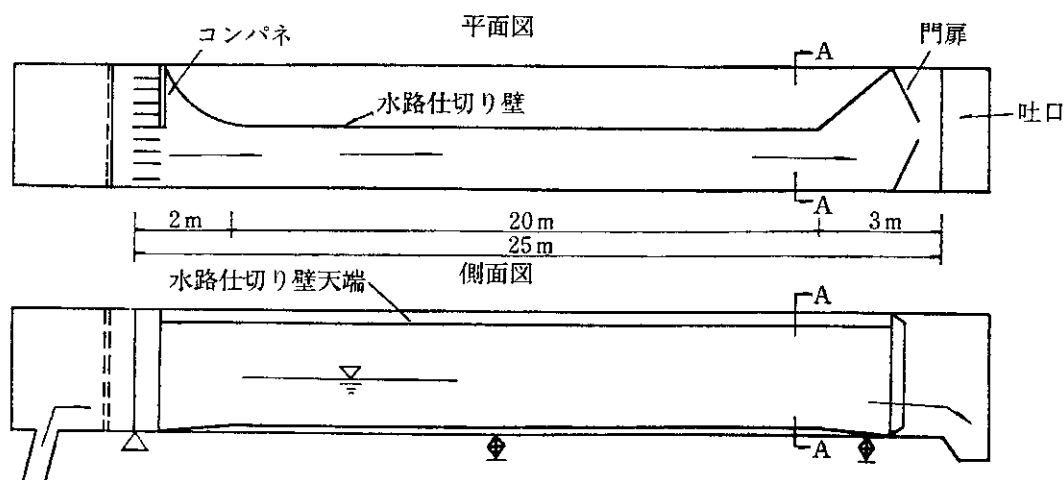


図-1 可傾斜水路

*河川研究室員 **同室主任研究員 ***第1研究部長

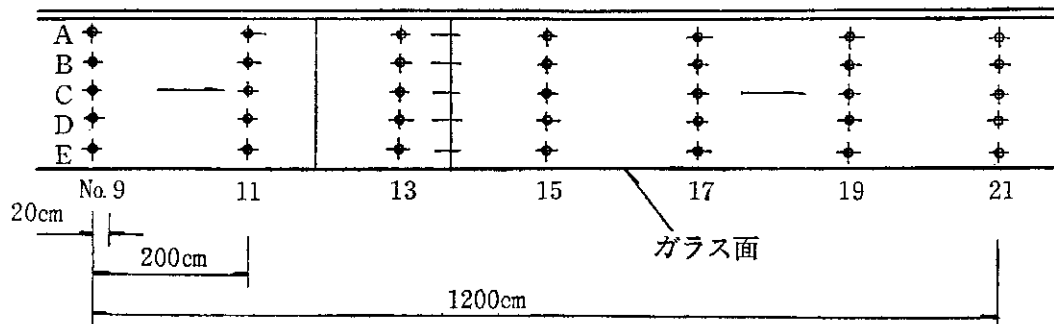


図-2 水位測定位置図

長さ (L) = 25 m の可傾斜水路を用いて行った。

② 測定項目

図-2に示すように、上流端から 9 m (No. 9), 11 m (No. 11), 13 m (No. 13), 15 m (No. 15), 17 m (No. 17), 19 m (No. 19), 21 m (No. 21) の 7 測線, 5 点/測線の計 35 測点で水位および路床高をポイントゲージを用いて測定した。また, No. 11, No. 15, No. 19, の 3 測線で, 図-3に示すように横断方向 5 点, 鉛直方向 6 点の 30 点/断面, 計 90 測点/ケースでプロベラ式流速計を用いて流速測定を行った。流況および流水中での草の状況の観察は色素流下, ビデオ, 写真, スケッチなどの方法で行った。

③ 植 生

実験対象の植生としては, 耐寒性, 養生管理面からベントグラス (bent grasses) を選定した。ベントグラス

は冷涼な地方での代表的な芝草で, 公園やゴルフ場のグリーンなどでも広く利用されているものである。今回は室内において種子から養生し, 平均草丈が 20 cm になっ

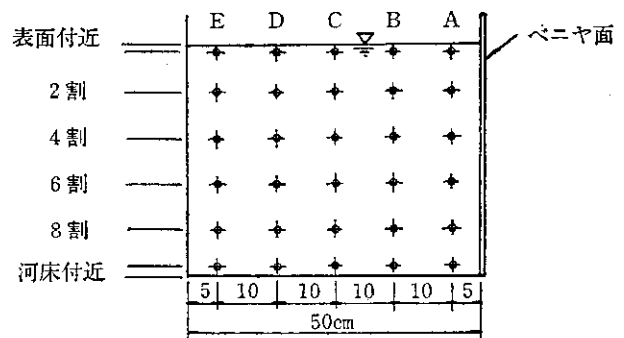
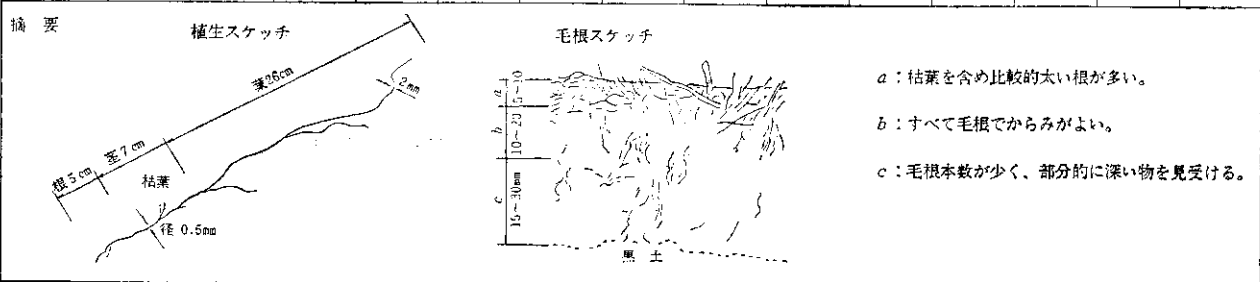
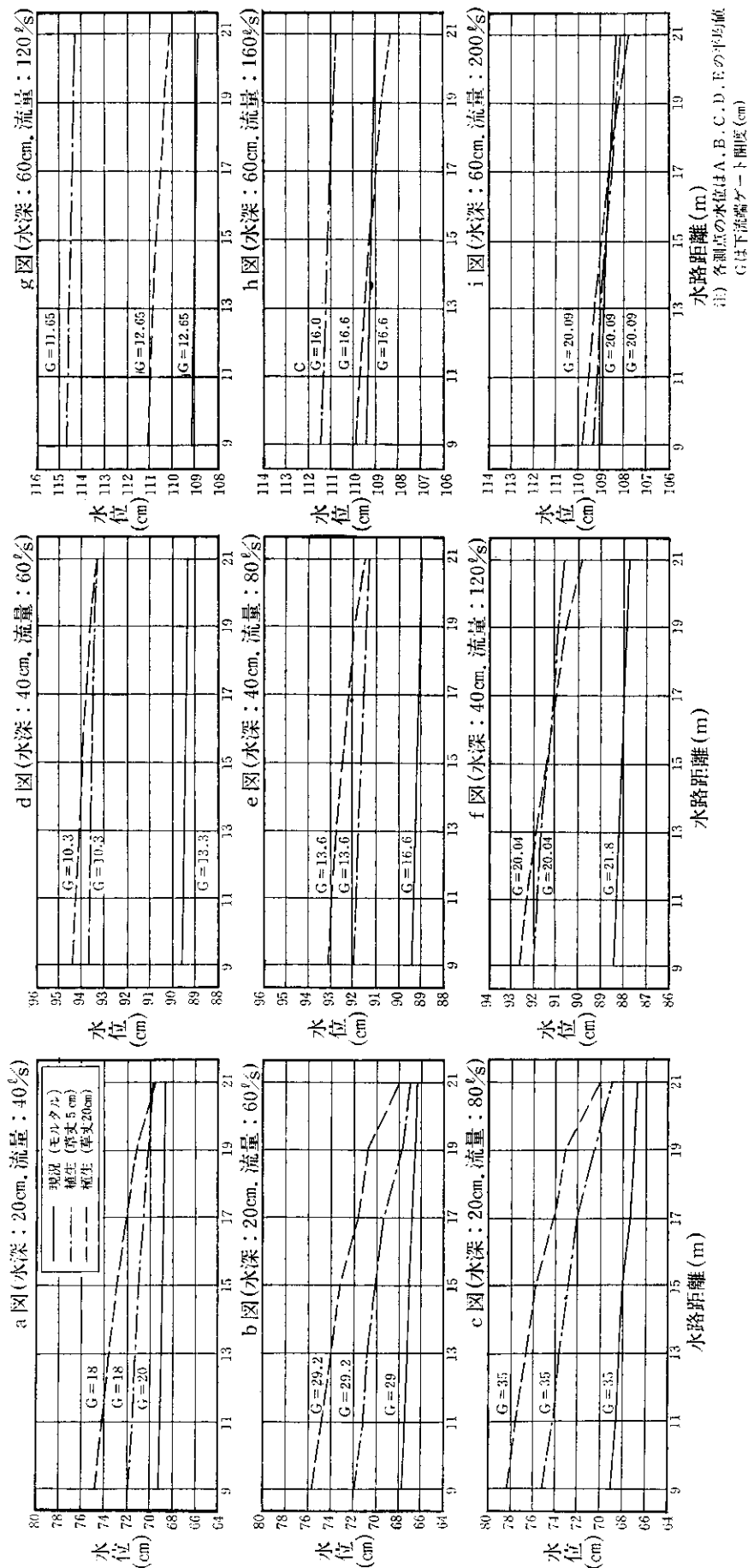


図-3 流速測定位置図

表-1 植生の性状調査結果

試料名	試料面積 (cm^2)	試料重量 (g)	葉茎の重量 (g)	根の重量 (g)	植生重量 (g)	根土の重量 (g)	単位面積 植生重量 ($\text{g}/100\text{cm}^2$)	単位面積 根土重量 ($\text{g}/100\text{cm}^2$)	毛根量率 根/根土 $\times$ $100(\%)$	植生本数 (本)	植生密度 (本/100 cm^2)	草丈の 最大 (cm)	草丈の 平均 (cm)	毛根の最深 地表より (m)
植 生 1	134.57	378.20	0.73	39.75	40.48	377.47	280.50	29.54	10.5	282	210	9	5	4.2
植 生 2	130.20	398.96	0.78	28.60	29.38	398.18	306.42	21.97	7.2	225	173	8	5	4.4
草丈 5 cm 3	129.24	380.53	0.83	30.40	31.25	379.68	294.44	23.52	8.0	258	200	9	6	4.6
平均	—	—	—	—	—	—	293.79	25.01	8.6	—	194	8.7	5.3	4.4
植 生 1	136.35	332.94	4.14	40.09	44.23	328.80	244.18	29.40	12.2	186	136	41	22	4.8
植 生 2	148.20	292.42	3.36	40.35	43.71	289.06	197.31	27.23	14.0	214	144	35	21	4.5
草丈 20 cm 3	141.98	356.41	3.30	38.99	42.29	353.11	251.03	27.46	11.0	207	146	35	23	4.6
平均	—	—	—	—	—	—	230.84	28.03	12.4	—	142	37.0	22.0	4.6





図—4 水深別水位縦断

H = 20cm

H = 40cm

H = 60cm

単位 (cm/s)

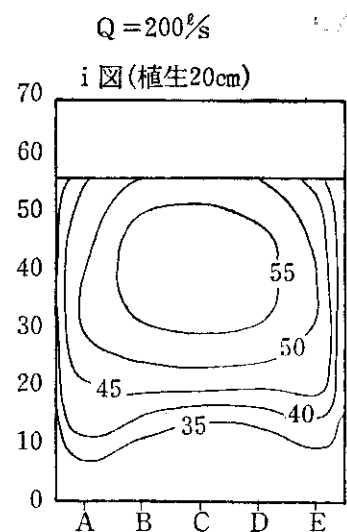
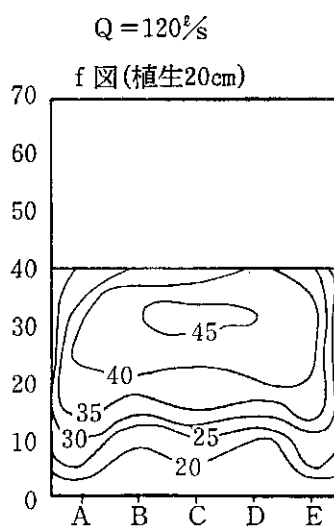
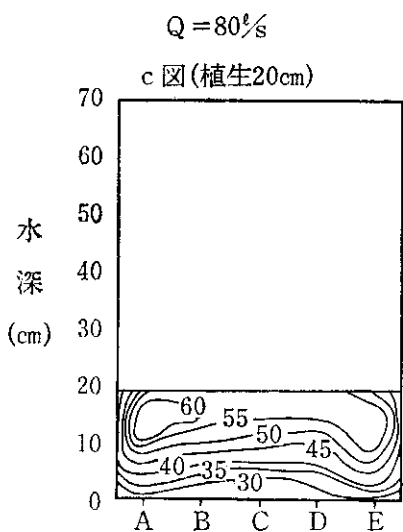
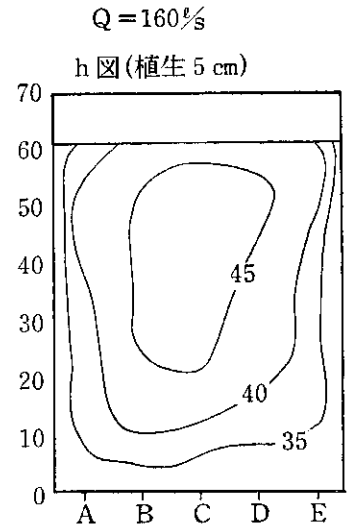
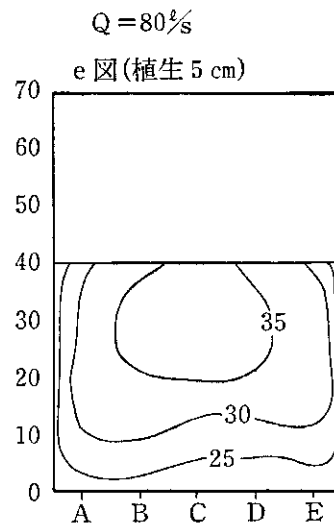
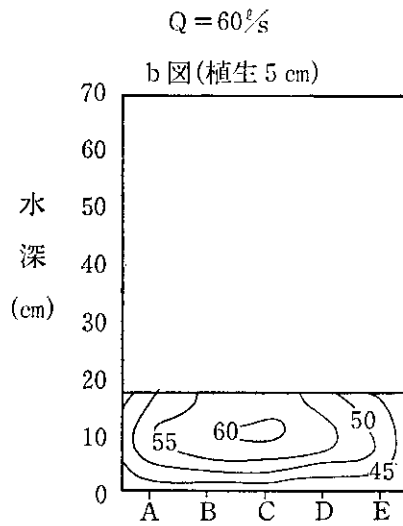
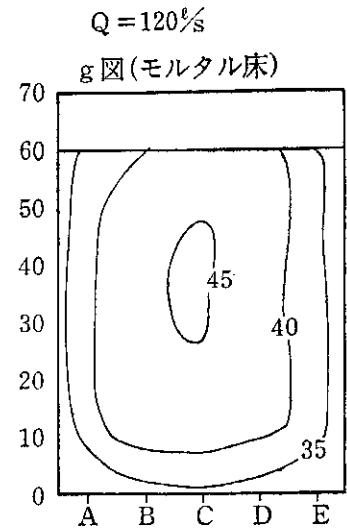
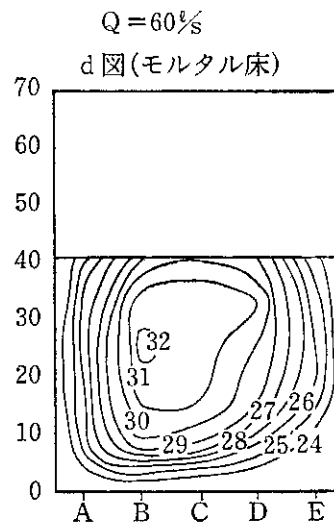
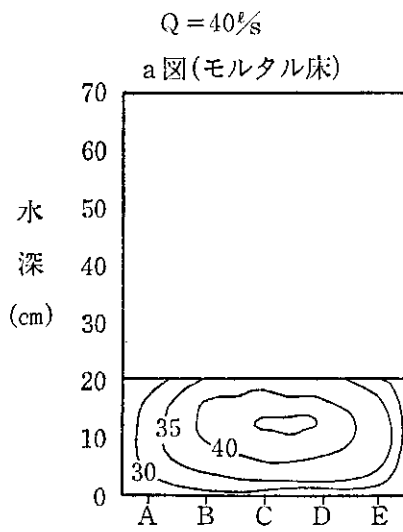


図-5 等流速線図

たところで水路内に敷設した。草丈5 cmの場合は、同様に成長した植生を5 cmに刈りとったものを水路内に敷設した。植生の植生密度、毛根状況、草の形状、単位体積重量、根土の比重、粒度などは表-1のとおりである。

④ 実験の条件

実験は路床条件として、モルタル床、植生床（草丈5 cm・20 cm）の3条件を設定した。植生床はモルタル床の上に設置し、水深はモルタル床の平均水深を維持するゲート開度をもって20 cm・40 cm・60 cmの水深になるよう3条件を設定し、流量は同一水深3ケースとした。フルード数は1.0以下で常流になるよう配慮し、表-2のとおり実験条件を設定した。

表-2 実験条件

水路条件	泥量 (l/s)	40	60	80	120	160	200
	水深 (cm)						
現 況 (モルタル)	20	○	○	○			
	40	●	○	○	○		
	60	●	●	●	○	○	○
植 生 (草丈5 cm)	20	○	○	○			
	40		○	○	○		
	60				○	○	○
植 生 (草丈20 cm)	20	○	○	○			
	40		○	○	○		
	60				○	○	○

注) ●は試験通水を示す。

2. 実験結果

2-1 水位・流速測定結果

① 水位測定結果

図-4は水位縦断面図である。ここで、水位は基準点からの高さである。実験結果から、

1) 水面形は、モルタル河床では全ケースとも直線形になっている。植生床では草丈5 cmと20 cmとも、設定水深20 cmの場合に上に凸の放物線形となっている。

2) 路床条件の違いによる水面勾配の違いは、全ケースともモルタル<草丈5 cm<草丈20 cmの順に水面勾配がきつくなっており、同一設定水深では流量が大きくなると、水面勾配はきつくなる。

② 流速測定結果

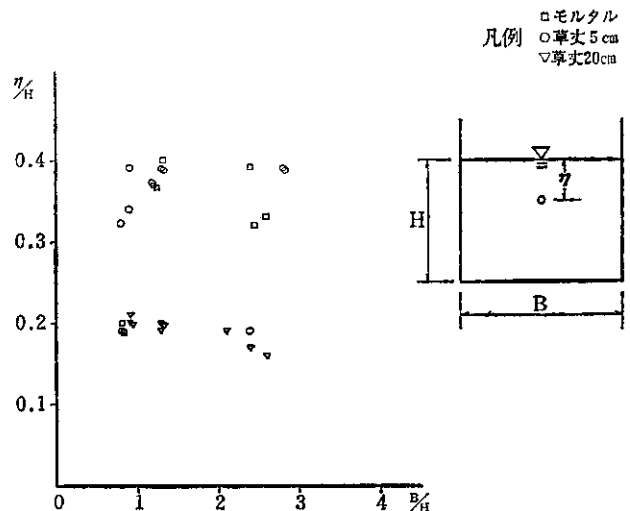


図-6 最大流速発生位置図

図-5は等流速線図である。図から明らかなように、最大流速位置はほぼ水路中央付近に存在し、ガラス壁と中央仕切り壁の粗度はほぼ同じ値であるといえる。

図-6は、 B/H (水路幅/水深) と η/H (最大流速発生位置/水深) の関係を示したものである。一般に B/H の変化により、 η/H は変化することが知られている。今回の実験では、 B と H の比は1~3程度の範囲であり、この図では B/H の変化による η/H の変化はとらえられない。しかし、同じ B/H に対して路床状態の違いによる η/H の変化がみられる。側壁粗度が路床粗度に比べ大きい場合は、 η/H が小さくなっている。これに対し、路床粗度と側壁粗度が同じ場合は η/H が大きくなっている。つまり、側壁粗度に対して路床粗度が卓越する場合は η/H は0に近づき、水面付近に最大流速が発生する。側壁粗度と路床粗度が同じ場合は η/H が大きくなり、水面から離れた位置で最大流速が発生している。よって、 η/H の値は B/H のほかに、側壁粗度と路床粗度の比にも関係していることがわかる。

2-2 植生の状況

図-7は通水時の植生変化状況を示したものである。図における高さは、植生の路床からの高さを測定区間平均値で表わし、角度も同様である。

表-3は図-7の植生高さを一覧表にしたものである。表から明らかなように、各設定水深において流量が増加すると植生高さは減少する。

3. 実験結果の解析

3-1 路床粗度係数の分離

水路に設定した7断面5測線で測定した水位、水深およびポンプ流量より、図-8に示す区間ごとに Manning の平均流速公式を用いて粗度係数を算出し、次に算出粗

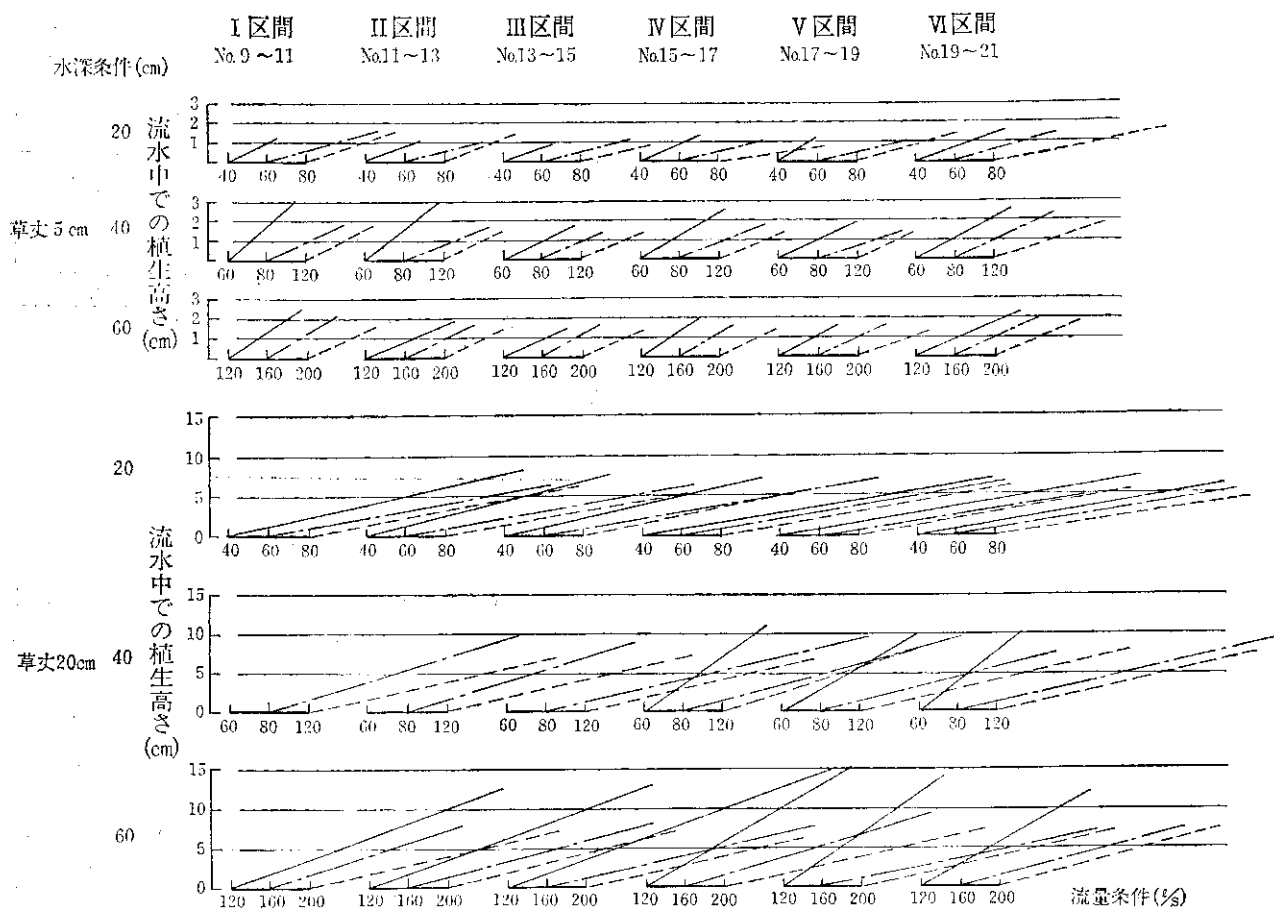
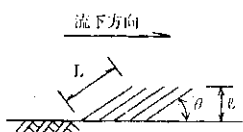


図-7 通水時の植生変化状況

表-3 通水中の植生高さ

路床条件	水深 (cm)	流量 (l/s)	I 区間 (No.9~11)			II 区間 (No.11~13)			III 区間 (No.13~15)			IV 区間 (No.15~17)			V 区間 (No.17~19)			VI 区間 (No.19~21)		
			最大 (cm)	平均 (cm)	地面から の角度	最大 (cm)	平均 (cm)	地面から の角度	最大 (cm)	平均 (cm)	地面から の角度	最大 (cm)	平均 (cm)	地面から の角度	最大 (cm)	平均 (cm)	地面から の角度	最大 (cm)	平均 (cm)	地面から の角度
植生草丈 5 cm	20	40	1.4	1.2	25	1.3	1.0	20	1.0	0.8	18	1.5	1.3	23	1.5	1.1	30	2.0	1.5	18
		60	2.0	1.5	15	1.3	1.0	13	1.3	1.0	13	1.3	1.0	13	1.3	1.0	13	1.8	1.4	15
		80	1.8	1.4	18	1.8	1.4	20	1.0	0.8	13	1.0	0.8	8	1.8	1.4	15	2.0	1.5	10
	40	60	3.5	3.0	41	4.0	3.0	38	2.0	1.6	25	3.0	2.5	30	2.3	1.9	25	3.3	2.6	28
		80	2.0	1.8	25	2.0	1.6	21	1.5	1.3	23	2.3	1.8	23	1.8	1.4	18	2.8	2.3	25
		120	2.0	1.6	28	1.8	1.4	25	1.8	1.4	23	1.8	1.4	23	1.5	1.3	25	2.3	1.8	18
	60	120	2.8	2.4	33	2.5	1.8	22	1.8	1.4	23	2.5	2.0	33	2.0	1.6	28	2.8	2.3	23
		160	2.8	2.1	30	2.0	1.6	25	2.0	1.5	28	2.0	1.5	30	2.0	1.6	25	2.5	2.0	25
		200	1.8	1.5	23	1.8	1.4	24	1.5	1.3	23	1.5	1.3	25	1.5	1.3	20	2.3	1.8	23
	20 cm	40	10.5	8.3	13	10.5	7.8	15	9.5	7.3	13	9.0	7.3	10	10.0	7.5	10	8.0	6.5	10
		60	8.5	6.3	10	8.0	6.5	10	9.5	7.3	10	8.5	7.0	10	7.5	6.0	9	7.5	5.8	10
		80	8.5	6.3	11	8.5	6.5	10	7.5	6.0	12	7.5	6.3	10	6.5	5.5	10	6.0	4.8	9
		60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.0	11.0	35	15.0	10.0	30	15.0	10.0	38
		80	15.0	10.0	18	13.0	8.8	18	13.5	9.5	13	13.5	9.5	15	11.0	7.5	14	13.5	9.3	13
		120	9.5	7.0	13	9.0	7.3	13	9.0	6.8	13	9.5	7.3	18	10.0	7.8	13	9.5	7.5	13
		120	15.0	12.5	20	18.0	13.0	20	18.0	15.0	20	20.0	15.0	30	18.0	14.0	35	20.0	12.5	30
		160	11.0	8.0	18	11.0	8.3	15	10.5	8.0	13	12.5	9.5	17	10.5	7.5	12	10.5	7.3	15
		200	9.5	7.3	13	9.0	7.3	14	8.0	6.3	13	9.5	7.5	13	10.0	7.3	13	9.0	7.5	15



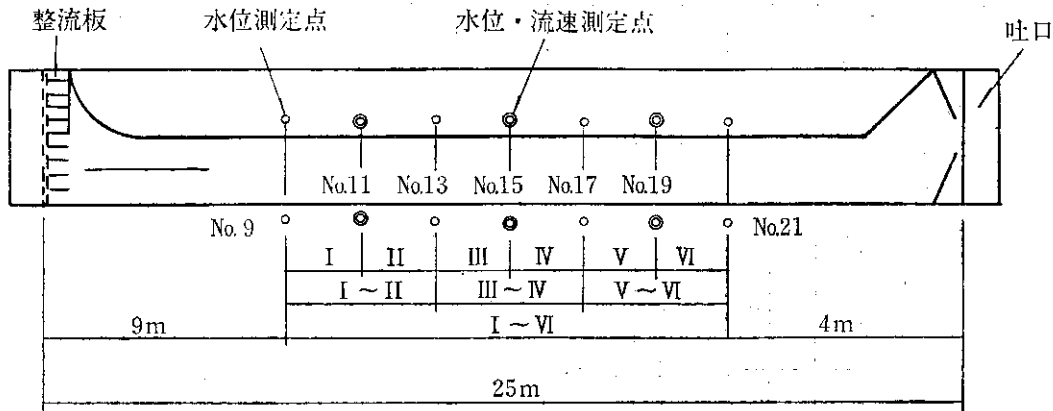


図-8 相度係数算定区間

度から、路床粗度の分離を以下に示す Einstein の径深分離法により行った。

水路ガラス面の粗度を n_1 、潤辺を S_1 、影響範囲を A_1 、路床およびベニヤ面も同様に $n_2, S_2, A_2, n_3, S_3, A_3$ とおく。また、各潤辺における流速を V_1, V_2, V_3 、エネルギー勾配を I_e とすると、

$$V_i = \frac{1}{n_i} \cdot \left(\frac{A_i}{S_i} \right)^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \quad (i=1, 2, 3) \quad (1)$$

また、全断面積を A 、全潤辺を S 、合成粗度を n とすると、

$$V = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{A}{S} \right)^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \quad (2)$$

$$A = \sum A_i \quad S = \sum S_i \quad V = V_1 = V_2 = V_3$$

なので

$$\frac{A}{S} \cdot \frac{1}{n^{3/2}} = \frac{\sum A_i}{\sum n_i^{3/2} \cdot S_i} \quad (3)$$

ここで流速分布の測定結果などから、ガラス面とベニヤ面とは粗度が等しいと考えられるので、

$$S_1 = S_3 \quad n_1 = n_3 \text{ となり、}$$

$$(S_1 + S_2) \cdot n^{3/2} = 2S_1 \cdot n_1^{3/2} + S_2 \cdot n_2^{3/2} \quad (4)$$

となる。

つまり、水路幅 $S_2 = B = \text{const}$ 、 $S_1 = H$ となり、合成粗度は水深変化に依存する。したがって、異なる水深条件下で算出した合成粗度の組合わせから、側壁および路床粗度 n_1, n_2 が分離できる。

上記の方法により、モルタル床の場合について側壁および路床粗度の分離を行った結果、側壁粗度、路床粗度の平均値は $n_1 = 0.010$ 、 $n_2 = 0.013$ となった。以後、側壁ガラス粗度を $n = 0.010$ とし、式(4)に代入し植生床の路床粗度を求めた。

3-2 各路床における粗度係数

表-4は各路床における粗度係数の分布を、図-9は区間別の分布を表わしたものである。表-5は粗度係数の一覧表である。

これらの結果をみると、各路床の粗度係数はモルタル床で $0.011 \sim 0.015$ 、草丈5cmで $0.020 \sim 0.026$ 、20cmで $0.029 \sim 0.048$ の範囲となっている。モルタル床と草丈5cmの植生床では同程度の幅となっているが、草丈20cmは両者の4倍ほどの幅を持っている。

また、区間別粗度についてみると、各路床とも区間粗度の変化は 0.025 の範囲におさまっている。モルタル床では設定水深20cm、40cm、60cmの順に $0.0037, 0.014, 0.023$ の範囲となり、水深の増加に伴い粗度の変化量が増えている。草丈5cm、20cmにおいても同様の傾向がみられる。

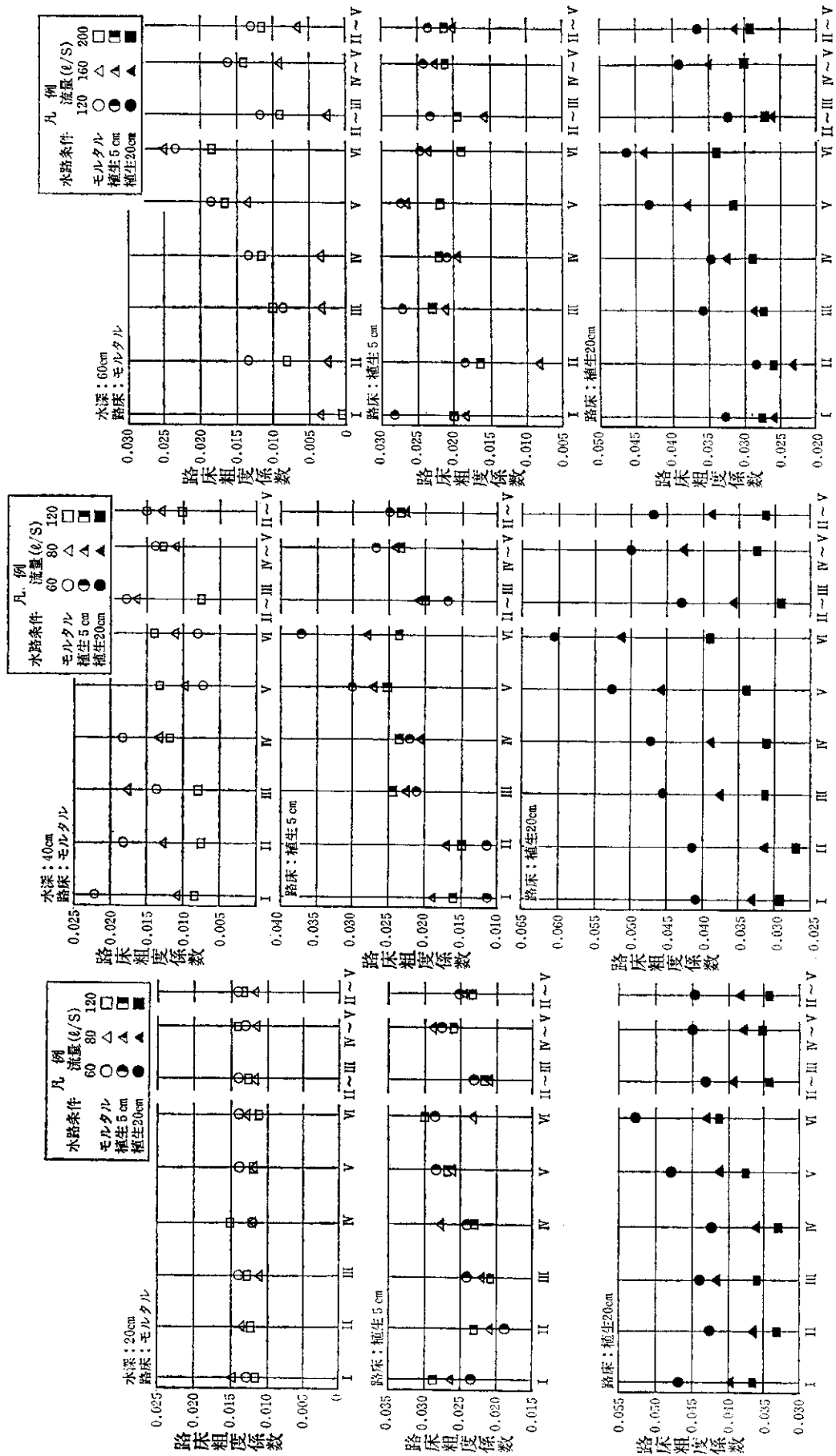
3-3 水理条件と粗度係数

各路床条件における流量の変化に対する粗度係数の変化を表わしたのが図-10である。ここでの粗度係数は、全区間 (No. 9~No. 21) における平均粗度である。

全体的傾向としては、流量の増加に伴い粗度係数は減少している。しかし、モルタル床、草丈5cmの植生床においてその差は微小なものであり、一定値を示しているが、草丈20cmでは、流量が小さい場合に流量変化に伴う粗度係数の変化が大きく、流量が大きくなるとその変化は小さくなっている。

また、図-11は流速の変化に伴う粗度係数の変化を示したものである。モルタル、草丈5cmは、流速変化に対して粗度係数は一定値を示し、草丈20cmでは流速が大きくなると粗度係数は小さくなっている。

図-12は、水深変化に伴う粗度係数の変化を表わしたものである。モルタル床および草丈5cmの植生床は、水深変化に対し粗度係数は一定値を示している。草丈



図—9 区間別路床粗度係数分布図

表-4 路床粗度係数一覧表

水路条件	設 定 条 件				区 間 別 路 床 粗 度 係 数									
	水深 (cm)	流量 (ℓ/s)	勾配 (1/)	ゲート開度 (cm)	I 区間 No.9~11	II区間 11~13	III区間 13~15	IV区間 15~17	V区間 17~19	VI区間 19~21	I~II区間 No.9~13	III~IV区間 No.13~17	V~VI区間 No.17~21	I~VI区間 No.9~21
現況 モルタル	20	40	2500	20.0	0.0132	0.0126	0.0143	0.0127	0.0135	0.0139	0.0135	0.0131	0.0133	0.0133
		60	1000	29.0	0.0147	0.0134	0.0111	0.0128	0.0120	0.0136	0.0123	0.0124	0.0124	0.0130
		80	1000	35.0	0.0119	0.0124	0.0129	0.0149	0.0120	0.0112	0.0127	0.0135	0.0131	0.0126
	40	60	5000	13.3	0.0220	0.0182	0.0141	0.0180	0.0080	0.0085	0.0162	0.0137	0.0150	0.0154
		80	5000	16.6	0.0104	0.0130	0.0181	0.0128	0.0099	0.0104	0.0157	0.0114	0.0137	0.0127
		120	1923	21.8	0.0083	0.0073	0.0081	0.0120	0.0124	0.0138	0.0077	0.0122	0.0101	0.0105
	60	120	5000	12.65	0.0000	0.0129	0.0087	0.0132	0.0173	0.0235	0.0109	0.0154	0.0133	0.0140
		160	2778	16.6	0.0031	0.0024	0.0035	0.0035	0.0137	0.0252	0.0030	0.0095	0.0068	0.0109
		200	1923	20.09	0.0000	0.0077	0.0098	0.0113	0.0164	0.0179	0.0088	0.0140	0.0116	0.0115
植生草丈 5 cm	20	40	2500	18.0	0.0243	0.0195	0.0245	0.0246	0.0279	0.0284	0.0225	0.0266	0.0248	0.0252
		60	1000	29.2	0.0269	0.0205	0.0223	0.0278	0.0264	0.0247	0.0217	0.0272	0.0248	0.0249
		80	1000	35.0	0.0283	0.0219	0.0208	0.0242	0.0262	0.0301	0.0216	0.0253	0.0235	0.0255
	40	60	5000	10.3	0.0107	0.0113	0.0207	0.0220	0.0301	0.0363	0.0167	0.0264	0.0221	0.0235
		80	5000	13.6	0.0195	0.0174	0.0231	0.0206	0.0274	0.0286	0.0206	0.0243	0.0226	0.0232
		120	1923	20.04	0.0159	0.0149	0.0238	0.0228	0.0249	0.0237	0.0199	0.0239	0.0221	0.0214
	60	120	5000	11.65	0.0288	0.0189	0.0264	0.0209	0.0266	0.0247	0.0230	0.0240	0.0236	0.0246
		160	2778	16.0	0.0191	0.0094	0.0211	0.0198	0.0267	0.0239	0.0162	0.0235	0.0202	0.0206
		200	1923	20.09	0.0198	0.0163	0.0225	0.0207	0.0215	0.0192	0.0197	0.0212	0.0205	0.0201
植生草丈 20cm	20	40	2500	18.0	0.0467	0.0422	0.0435	0.0419	0.0479	0.0524	0.0432	0.0450	0.0447	0.0475
		60	1000	29.2	0.0398	0.0365	0.0418	0.0360	0.0411	0.0431	0.0395	0.0387	0.0384	0.0396
		80	1000	35.0	0.0362	0.0332	0.0358	0.0328	0.0373	0.0409	0.0346	0.0351	0.0343	0.0360
	40	60	5000	10.3	0.0404	0.0415	0.0453	0.0473	0.0526	0.0605	0.0436	0.0500	0.0473	0.0492
		80	5000	13.6	0.0331	0.0319	0.0381	0.0393	0.0455	0.0513	0.0353	0.0425	0.0394	0.0411
		120	1923	20.04	0.0288	0.0266	0.0311	0.0308	0.0340	0.0394	0.0291	0.0324	0.0311	0.0326
	60	120	5000	12.65	0.0321	0.0285	0.0353	0.0344	0.0428	0.0458	0.0322	0.0388	0.0359	0.0373
		160	2778	16.6	0.0255	0.0236	0.0296	0.0325	0.0375	0.0438	0.0269	0.0350	0.0314	0.0332
		200	1923	20.09	0.0264	0.0258	0.0283	0.0292	0.0309	0.0339	0.0271	0.0300	0.0286	0.0292

表-5 路床粗度係数分布表

設 定 条 件		粗 度 係 数				粗 度 係 数 分 布					
路 床		1	2	3	平 均	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
モルタル	20	0.0133	0.0124	0.0131	0.0129	●●					
	40	0.0150	0.0137	0.0101	0.0129	○ ●●					
	60	0.0133	0.0068	0.0116	0.0106	○ ●●○					
植生 5 cm	20	0.0248	0.0048	0.0235	0.0244	●●					
	40	0.0221	0.0226	0.0221	0.0223	●					
	60	0.0236	0.0202	0.0205	0.0214	●●○					
植生 20cm	20	0.0447	0.0384	0.0343	0.0391	○ ●● ○					
	40	0.0473	0.0394	0.0311	0.0393	○ ● ○					
	60	0.0359	0.0314	0.0286	0.0320	○ ●○					

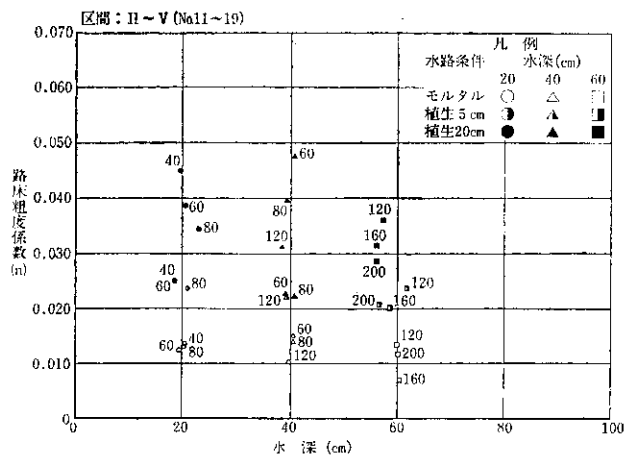


図-10 全区間流量—路床粗度係数比較図

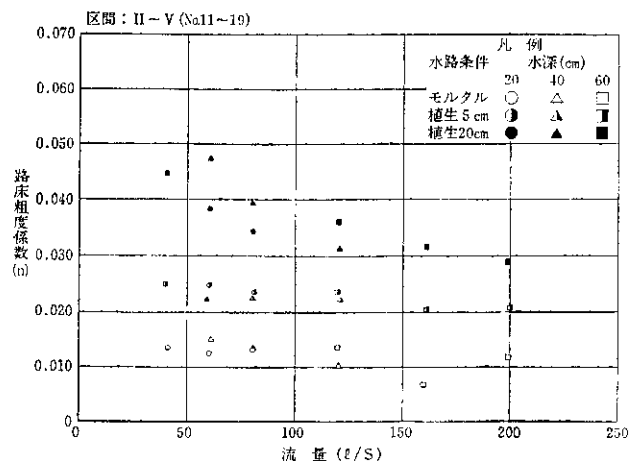


図-12 全区間水深—路床粗度係数比較図

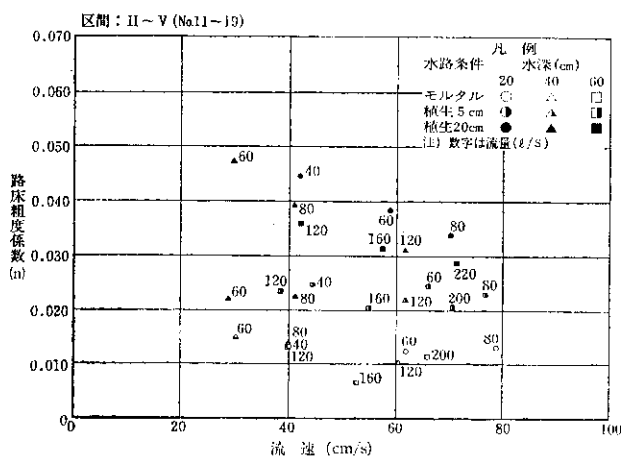


図-11 全区間流速—路床粗度係数比較図

20 cm は同一設定水深において、流量が増加すると粗度係数は小さくなっている。

ここで、草丈 20 cm の場合の粗度の変化に着目し、この変化の原因として草の流水中の状態変化、つまり流水中の植生高さ (ℓ) の変化を考えた。

図-13 は n と ℓ/H の関係を示したものである。図から ℓ が増加すると、つまり草がたってくると n が増加するのがわかる。ここで、 n と ℓ/H の間に式 (5) が得られた。

$$n = 0.05 \cdot \left(\frac{\ell}{H} \right)^{0.3} \quad (5)$$

ただし、 ℓ/H が大きい場合には別の抵抗則が考えられるので、ここでは式 (5) の適用範囲を $\ell/H \leq 0.4$ とする。

さらに ℓ は草に加わる抗力、すなわち路床付近の流速と相関があると考えられる。路床付近の流速を代表するものとして平均流速 V_m をとり、両者の比較を行うと

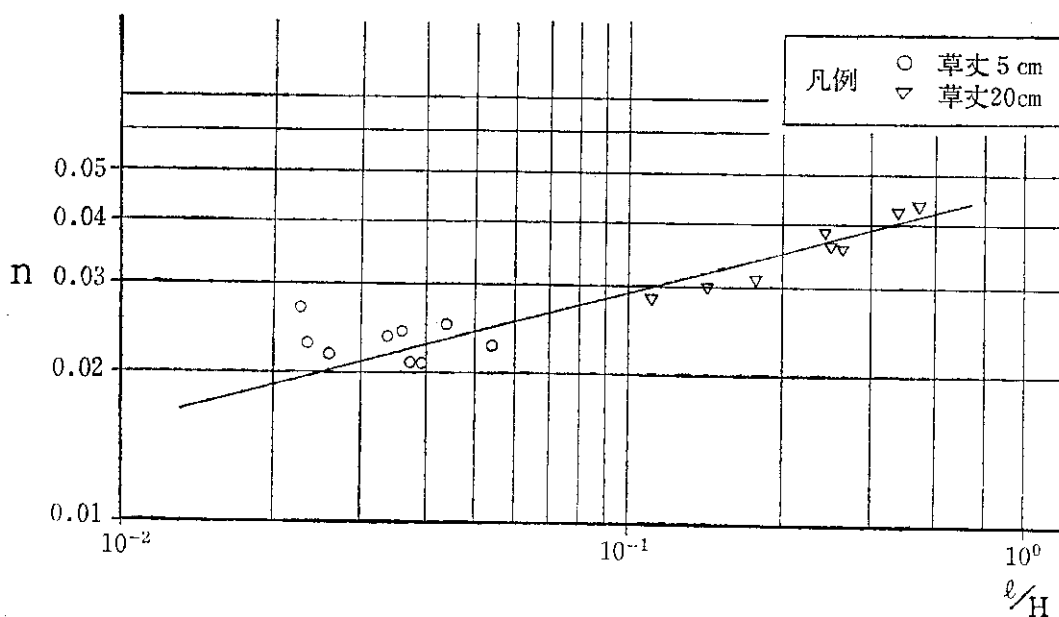


図-13 $n - \ell/H$ 図

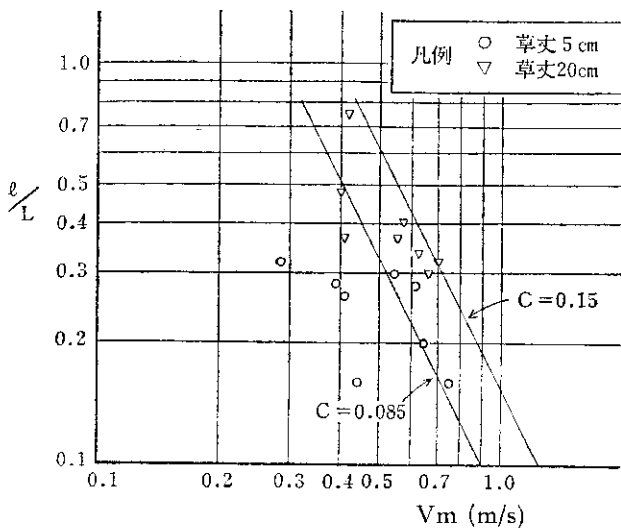


図-14 $l/L-V_m$ 図

図-14のような関係となり、式(6)を得た。

$$\frac{l}{L} = C \cdot \left(\frac{1}{V_m^2} \right) \quad (6)$$

ただし、 C の値は V_m を m/sec 単位として平均値で $C=0.085$ 、最大で 0.15 である。

以上の関係は実験水路内で得られたものであり、次にこれらと実際河川における実測値との比較を行う。

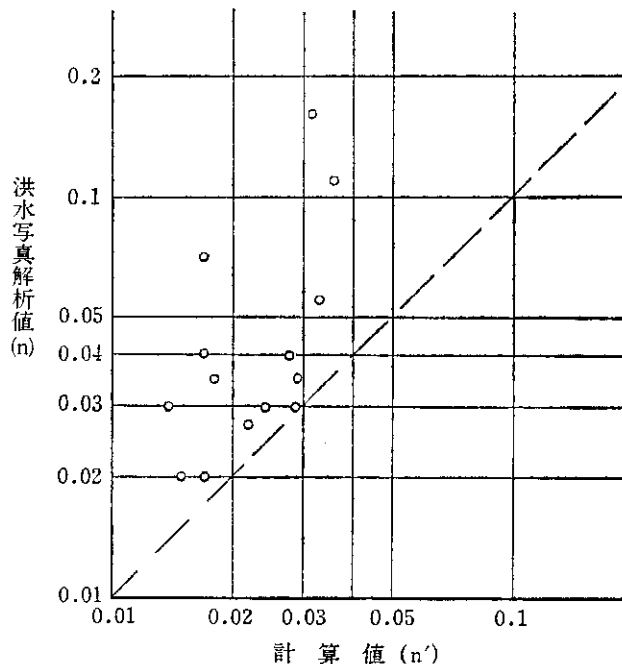


図-15 $n-n'$ 図

比較の対象は石狩川の高水敷とし、植生に関する諸量は昭和52年10月に行われた植生調査⁴⁾の結果を参照して、草本類のみの個所を抽出した。また、水理量には昭和58年8月洪水時に航空写真から判読した結果⁵⁾を通

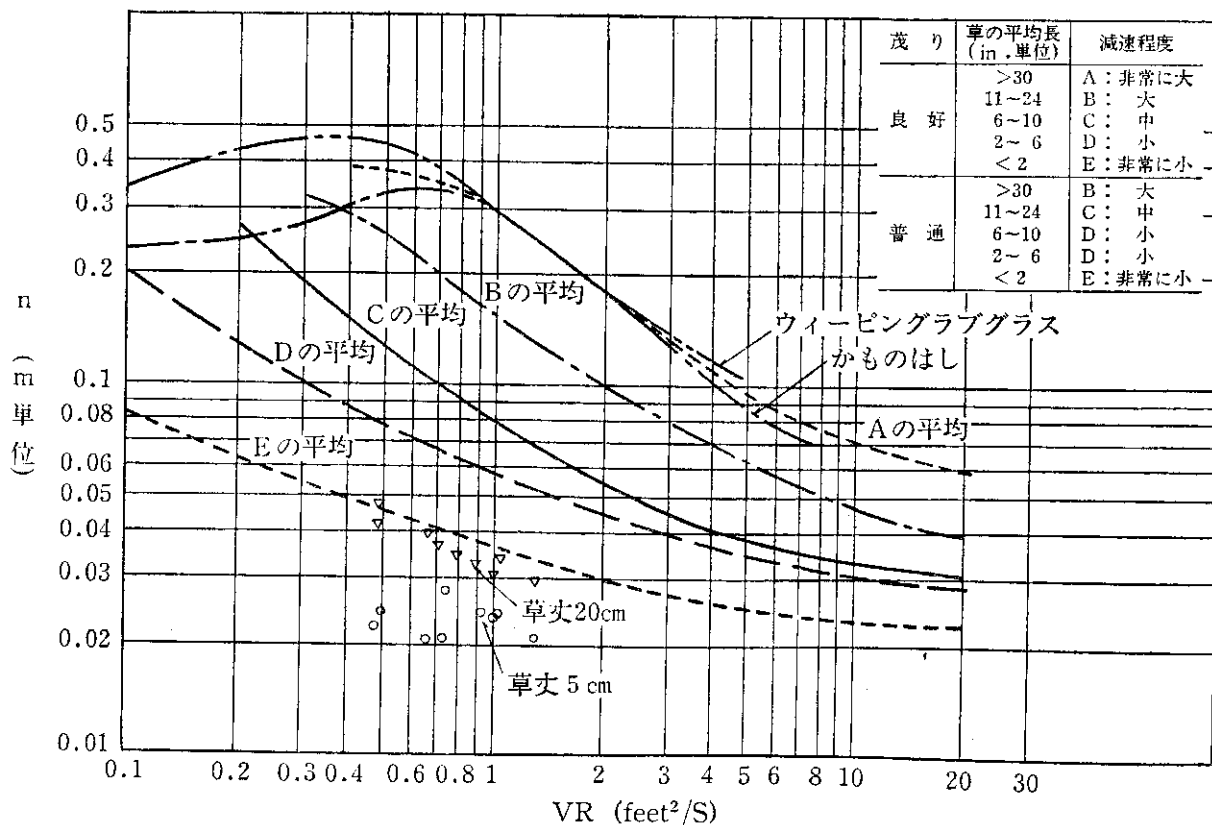


図-16 $n-V \cdot R$ 図

用する。したがって、流速は表面流速であり、比較の結果を図-15に示す。特に、比較的 ℓ が大きく n が大きいところで実測値の方が大きくなっているが、これは、室内で養生した実験用植生が実際河道内の植生に比較して、いわゆるコシ(可とう度)が弱いことによるものと思われる。

諸量の精度、植生の相違などを考慮すれば、本法による大まかな粗度の推定は可能であると考えられる。

図-16は、U.S. Soil Conservation Serviceによる $n-V \cdot R$ の実験曲線である。図中の○と▽はそれぞれ草丈5cm, 20cmの測定結果である。草丈20cmは「C」または「Dの平均」に相当するが、今回の実験では「Eの平均」程度の位置にある。また、草丈5cmの場合はさらに n が小さい領域となっている。草丈20cmおよび草丈5cmの場合の相対的な n の変化は、曲線から予測されるものとほぼ一致するが、 n の値としては約1/2となっている。

3-4 相当粗度による評価

前節で述べたように、マンニングの粗度係数は水理量による影響を受け、必ずしも河床の状態だけでその値が確定するものではない。本節では、相当粗度 k_s による粗度の評価を試みた。

周知のように、粗面乱流の流速分布は H/k_s がきわめて小さい場合を除き、次式の対数則で表わされる。

$$\frac{Uy}{U^*} = Ar + \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{y}{k_s}\right) \quad (7)$$

ここで、 U^* : 摩擦速度 $\{=(g \cdot R \cdot I_e)^{1/2}\}$, k : カルマン定数
 y : 路床からの高さ, k_s : 相当粗度, Uy : y における流速

本実験でも水面の近傍を除けば対数則が成立する。ただし、実測の流速分布を片対数紙上にプロットした場合(Uy/U^*-y)の直線の勾配が5.75となるように路床高さを上昇させ、 y の代わりに上昇面からの高さ y_0 を用いた。

以上の方法によって、 k_s を求めた結果を図-17と表-6に示す。 k_s は草の水中高さ ℓ とよい相関がみられ、次式の関係が得られる。

$$k_s = (1 \sim 2) \cdot \ell$$

なお、この場合の摩擦速度 U^* の計算に当たっては、先に述べたEinsteinの径深分離法を用いた河床粗度による径深の値(Rb)を適用した。

3-5 抵抗係数による評価

摩擦による損失を抵抗係数 f によって評価する方法

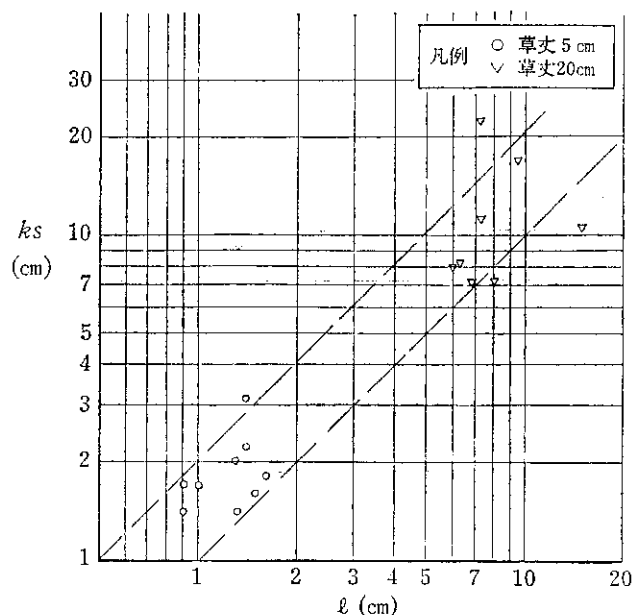


図-17 $k_s-\ell$ 図

表-6 相当粗度一覧表

断面 No. 15 測線 C

設定条件		植生 5 cm		植生 20 cm	
水深 (cm)	流量 (l/s)	植生高さ (cm)	相当粗度 (cm)	植生高さ (cm)	相当粗度 (cm)
20	40	0.8	1.7	7.3	22.3
	60	1.0	1.7	7.3	11.3
	80	0.8	1.4	6.0	7.9
40	60	1.6	1.8		5.3
	80	1.3	1.4	9.5	16.8
	120	1.4	2.2	6.8	7.2
60	120	1.4	3.1	15.0	10.4
	160	1.5	1.6	8.0	7.2
	200	1.3	2.0	6.3	8.2

は、管路の解析から発展したものであり、Manningの粗度係数および相当粗度がいずれも次元を持った量であるのに対し、無次元量であることが特徴である。図-18に摩擦抵抗係数 f とレイノルズ数 Re の関係を示す。 f の定義は次式によっている。

$$f = 8 \cdot \left(\frac{U^*}{V_m} \right)^2 \quad (8)$$

ここで、 $U^* = (g \cdot Rb \cdot I_e)^{1/2}$ $Re = \frac{V_m \cdot Rb}{\nu}$

今回の測定はすべて完全乱流域で行われており、各点

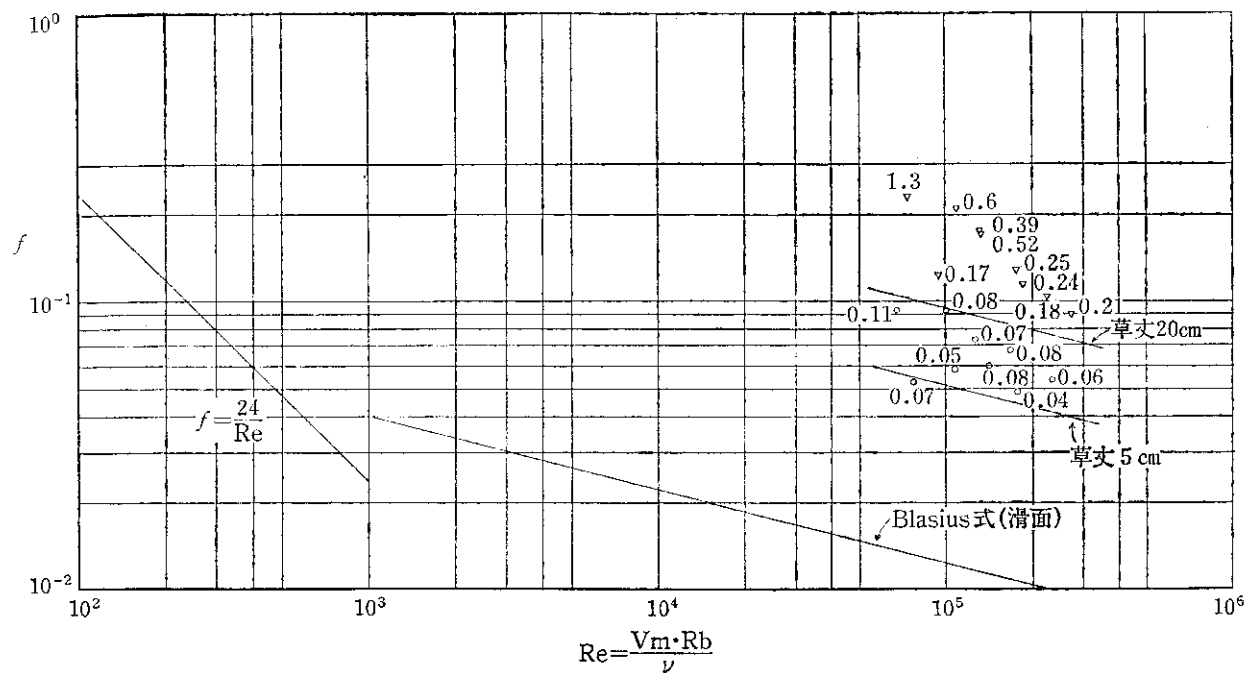


図-18 $f-Re$ 図

の数字は ks/Rb の値である。管路の直径を $4Rb$ で読換え、Moody 線図との比較を行うと ks/Rb はほぼ対応する値となっている。

前述のように、抵抗係数に与える植生の要素は多岐にわたっているが、福原³⁾は疑似植生を用いた水路実験の結果から、植生密度 C_0 に着目した次式を提案している。

$$f = \frac{0.265 \cdot C_0^{0.7} + 0.221}{Re^{0.25}} \quad (9)$$

C_0 は単位面積当たりの水草の表面積であり、本実験の場合は平均的に表-7の値となる。

表-7 密 生 度 C_0

草 丈 (cm)	草 幅 (cm)	植生密度 (本/100 cm ²)	C_0
5	0.2	194	3.9
20	0.2	142	11.4

図-18中の2本の直線は福原による結果であり、2つの植生とも今回の実験値の下限に位置するが、前述のように、 f は ks によって影響を受けることから、 C_0 のみによる評価には無理がある。

4. 今後の問題点

河道内植生を考えた場合、植生として問題となるのは、草類より樹木類であると考えられる。

樹木類は単独で存在することは少なく、群として存在する場合が多い。

これら樹木群が流況に及ぼす影響については、草類と同様にその機能や効果は十分解明されているとはいえないのが現状である。よって、これら樹木群に関しても今回草類に関して行った評価方法の検討が必要である。

あ と が き

植生と流れに関する研究は近年活発に行われるようになったもので、その歴史は比較的浅い。

植生上の流れの抵抗には、水理量のほかに植生自身の幾何的、物理的性質が複雑に関与し現象の解明を困難にしている。対象とする植生の数を増やす方法もあるが、普遍的な法則を見いだすには膨大な時間と経費が必要となる。一方、人工的な疑似植生を用いた場合には系統的な解析は比較的容易であるが、実物との相似則が大きな問題となる。

今後は両者の成果の統合、さらに実際河川における詳細な解析が必要である。

いずれにしても、植生の抵抗の問題は河川計画などに直接影響を持つ重要な課題であり、今後も継続して研究を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) VEN TE CHOW; OPEN-CHANNEL HYDRAULICS, 1959.

- 2) 平野洋一・水原邦夫・大手忠二；植生水路を対称とした抵抗則に関する研究，新砂防，Vol. 36, No. 4, 昭和59年3月。
- 3) 福原 幸；開水路乱流の構造解析とその応用に関する研究，大阪大学学位論文，昭和58年8月。
- 4) 石狩川開発建設部；昭和52年度石狩川改修工事の内石狩川環境基準調査報告書。
- 5) 石狩川開発建設部；石狩川昭和56年8月6日洪水航空写真解析業務報告書。

*

*

*