



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

Title	模擬水生植物を有する開水路流れの抵抗特性に関する実験的研究
Author(s)	板垣, 博
Citation	[岐阜大学農学部研究報告 = Research bulletin of the Faculty College of Agriculture Gifu University] vol.[53] p.[95]-[103]
Issue Date	1988-12-25
Rights	
Version	岐阜大学農学部生物生産システム学科 (FACULTY OF AGRICULTURE GIFU UNIVERSITY, Department of Land and Water Engineering)
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/5873

この資料の著作権は、各資料の著者・学協会・出版社等に帰属します。

模擬水生植物を有する開水路流れの抵抗特性に 関する実験的研究

板垣 博

生産環境整備学講座
(1988年8月1日受理)

Experimental studies on Resistance Characteristics of Open Channel Flow with Artificial Water Plants

Hiroshi ITAGAKI

Department of Land and Water Engineering
(Received August 1, 1988)

SUMMARY

Research investigations on the water plants and the water quality were carried out in Kottu channel, Kagami channel and Hishino channel. There was little correlation between the water plants and the water quality in these irrigation channels.

When water quality satisfies the criteria for irrigation water, some water plants can grow thick in the irrigation channel. The resistance of the channel becomes large by the growth of the water plants. It is necessary to investigate the resistance characteristics of open channel flow with the water plants in order to understand the exact irrigation water volumes and the water management.

Then, experimental studies on the resistance characteristics of Manning roughness coefficients in the open channel flow with the artificial water plants were conducted in the laboratory channel. It had become clear that Manning roughness coefficients increased by the setting of the artificial water plants.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (53) : 95—103, 1988.

要 約

最近、各地の農業用水路において、各種の水生植物や苔類等が繁茂しているのが見かけられるようになった。このため東海地方の木曾三川流域における、愛知県の木津用水と岐阜県の各務用水と菱野川用水において水生植物や苔類の繁茂の状態と水質を調査した。これらの用水においては、水質と水生植物や苔類との相関関係はほとんどないと考えられる。

ここで、農業（水稲）用水の水質基準を満足するような良好な状態に水質を保ったとしても、水生植物や苔類等が繁茂することができる。したがって、いかなる開水路においてもこれらの繁茂によって流れの抵抗特性、たとえば Manning の粗度係数が大きくなり、水流に大きな影響を与える可能性がある。農業用水の取水量の正確な把握や、年間を通しての水管理を厳密に行うためには、この種の問題の検討は不可欠であると考えられる。

このため、実験水路の水路床に模擬水生植物を設置することによって、水理的には Manning の粗度係数の変化を明らかにしようとした。実験に使用した水路は長さ30.0m、水路幅1.0m、水路底コウ配1/440のコンクリート製の長方形断面水路である。そして、実験に使用した模擬水生植物は長さ15.0cm、直径0.257mmの合成樹脂繊維である。これを幅10.0cm、長さ90.0cmの鉄板の長辺に630本接着させて、水路床

に9.0mにわたって敷き詰めた。

合成樹脂繊維を接着させず鉄板だけを設置した場合の Manning の粗度係数 n の値は、密度 $C=3.74 \times 10^{-4}$ の場合には5倍から6倍大きくなり、 $C=1.87 \times 10^{-4}$ の場合には3倍から5倍、 $C=0.94 \times 10^{-4}$ の場合でも3倍から4倍大きくなり、模擬水生植物として合成樹脂繊維を接着させた鉄板を設置することによって、Manning の粗度係数 n が相当大きくなることが明らかになった。

結 言

ここ数年前から各地の農業用水路において、各種の水生植物や苔類等が繁茂、もしくはこれまでとは別の種類の水生植物や苔類が繁茂しているのが見かけられるようになった。これは社会活動が活発になると共に、各種の富栄養化塩類が農業用水路に流れ込んできて、水生植物の繁茂を助長しているためであると考えられる。農業用水路に発生する水生植物は、カンガイ期における通水量の増加と気温ひいては水温の上昇と共に著しく繁茂して、用水路の通水断面積を減少させて、用水の通水障害となって、用水路の水位を上昇させる。したがって、農業用水路内における水理現象を解析するにあたっては、こうした農業用水路内での植物についての生態系を考慮しなければならない場合もあると考えられる。

そこで本研究では、東海地方木曾三川流域における農業用水路内の水生植物や苔類の繁茂の状態と水質を調査すると共に、実験水路の水路床に模擬水生植物を設置することにより、水理学的に流れの抵抗特性の変化を明らかにしようとしたものである。

木津用水・各務用水と菱野川用水における調査

現地調査した農業用水路は、愛知県の木津用水と、岐阜県の各務用水と菱野川用水である。各用水路についての調査結果を以下に述べる。

木津用水は木曾川の犬山頭首工の左岸側から取水され、犬山市、大口町、扶桑町及び小牧市等を南北に縦断し、尾張北部をカンガイしている。その計画最大取水量は $Q=18.3\text{m}^3/\text{s}$ 、水深は $h=1.50\text{m}$ 、平均流速は $v=1.02\text{m}/\text{s}$ である。この用水では犬山市の蛍雪橋と安息寺橋付近で調査を行った。調査点付近では流速が相当に速く、水深も深く、その上に用水の透明度が悪いため用水路の側壁下部および底面状態を観察することは行えなかった。しかしながら、カンガイ期間中に側壁上部、特に左岸側の壁面や、水が淀んでいる箇所には苔類が全面に付着しているのが確認された。

各務用水は長良川の関市より取水し、関市、各務原市と岐阜市東部をカンガイしている。この用水の計画最大取水量は $Q=5.83\text{m}^3/\text{s}$ 、水深は $h=1.13\text{m}$ 、平均流速は $v=0.94\text{m}/\text{s}$ である。この用水では関市上白金付近で調査を行った。例年では5月頃には既に用水路の底面全体には直径20cm、高さ5cm位の半円形の苔類が、側壁にも帯状に繁茂していたが、昨年はあまり成長していなかった。しかしながら、非カンガイ期の12月頃に調査した時には、用水路の底面全体に苔類が繁茂していた。

菱野川用水は岐阜県西濃地方を流下する根尾川の中流部より取水され、岐阜県本巣郡巣南町と穂積町を南北に縦断している。その計画最大取水量は $Q=1.74\text{m}^3/\text{s}$ 、水深は $h=0.70\text{m}$ 、平均流速は $v=0.60\text{m}/\text{s}$ である。この用水路は昭和25年に施工されたものであって、極めて粗いコンクリートライニングの状態である。また、底面には砂が一面に堆積していた。このため水路潤辺の抵抗は相当に大きいものと思われる。なお、以前には根尾川よりこの用水路には入ってきた鮎等の魚が数多く生息していたが、最近ではこれらの姿を見ることができなくなり、それと共に水生植物の繁茂が目立ってきた。その取水口付近で調査したが、水生植物の成長の状態は、5月上旬頃から用水路壁面の水面下10~20cmの所に繁茂し始め、その後は水路床の荒い所に付着するように水生植物が生えていった。水路床に付着した水生植物は、群落を形成し、大きくなっていった(最大長さ=7m、幅=2m、高さ=0.4m)が、水面の上に突き出るものは見受けられなかった。水生植物の群落が大きくなると共に用水路の通水断面積を減少させ、流れの大きな抵抗となった。5、6と7月における成長は比較的ゆっくりとした状態であったが、8月と9月には著しい成長をした。そして、9月下旬以降に水温と水位の低下と共に枯れ縮んでいき、ヘドロとなって水路床に沈澱した。また、用水路の壁面の藻も側壁から離れて、水路床に沈澱した。なお、水温の低い所や用水路の西側の側

壁においては成長が遅かった。

ここで、水生植物や苔類が繁殖するためには、

- (1) 日照, 気温, 水温等の気象条件
- (2) 水中の栄養塩類, 水の透明度等の水質条件
- (3) 用水の流速, 水深等の水理条件
- (4) 用水路の側面と底面の状態, 用水路の形態

等が挙げられ, これらが水生植物の成長生理に関係するものと考えられる^{1),2)}。

ここで, 各用水の水質の状態を検討するために, カンガイ期間中に採水し, 水質分析を行った。ここで, 農林水産省公害研究会においては, 水質保全の目標としては農業(水稲)用水基準³⁾として, Table 1. のように策定しているので, これらの用水基準を満たしているかを比較検討した。なお, この表には重金属類の基準値は省略してある。

最初に, 土地改良区内に水質分析センターを設置して, 長期間にわたって水質分析をしている木津用水の上流部の蛍雪橋における昭和56年から62年までの水質, すなわち pH(水素イオン濃度), EC(電気伝導度), SS(浮遊物質), Cl^- (塩素イオン濃度), BOD(生物化学的酸素要求量), COD(化学的酸素要求量), T-N(全窒素濃度), T-P(全リン濃度)と DO(溶存酸素量)の分析結果を Table 2-1. に示す。用水基準と比較すると, 昭和62年7月の pH と昭和56年5月と6月の T-N を除いて基準値を満足していることが分かる。次に, 昨年の同じくカンガイ期間中の各務用水における水質分析結果を Table 2-2. に, 菱野川用水の水質分析結果を Table 2-3. に示す。各務用水の9月の T-N を除いて, 水質の用水基準値を満足していることが得られた。三用水共にほぼ農業(水稲)用水の水質基準値を満足しているにも拘らず, 菱野川用水では水生植物が良く繁茂しており, 木津用水と各務用水ではあまり観察されなかったことを考え合わせると, 水質と水生植物との関係は低いと考えられる。むしろ気象条件, 水理条件や水路形態との相関が高いと考えられる。

Table 1. Water quality standard for agricultural water.

Term	Standard
pH	6.0~7.5
COD	6 ppm \geq
SS	100ppm \geq
DO	5 ppm \leq
T-N	1 ppm \geq
EC	300 $\mu S/cm \geq$

模擬水生植物を有する流れの水理実験

1. 実験装置及び方法

模擬水生植物を有する流れの抵抗特性を検討するため, 室内実験水路で水理模型実験を行った。使用した水路は長さ $L=30.0m$, 水路幅 $b=1.0m$, 水路底コウ配 $i=1/440$ のコンクリート製の長方形断面水路である。実験に使用した模擬水生植物は長さ $15.0cm$, 直径 $0.257mm$ の合成樹脂繊維(いわゆる18メッシュの防虫網の横糸を取り外したものである。これを幅 $10.0cm$, 長さ $90.0cm$ の鉄板の長辺に630本接着させた。そして, 水路の上流端から $17.0m$ の位置より下流 $9.0m$ の区間にわたって, この鉄板を90枚, 水路床に敷き詰めた。なお, 密度 C を(合成樹脂繊維が占める底面積) / (水路底面積) と定義すると, 90枚の全ての鉄板に合成樹脂繊維を接着させた場合は $C=3.74 \times 10^{-4}$, 一枚置き鉄板に合成樹脂繊維を接着させた場合は $C=1.87 \times 10^{-4}$, 三枚置き鉄板に合成樹脂繊維を接着させた場合は $C=0.94 \times 10^{-4}$ であり, 合成樹脂繊維を接着させず鉄板だけを設置した場合を Smooth ($C=0.0$) とする。なお, 水深の測定はポイントゲージにより, 流下方向には模擬水生植物を設置した最上流端から $1m$ 間隔で, 下流に $9m$ の10測線で, 横断方向には $10cm$ 間隔で11測点で行った。そして, 流量 Q と密度 C (4種類)を変化させて定常状態で実験を行った。

2. Runge・Kutta 法による不等流の数値積分⁴⁾

開水路流れにおいて, 流下方向(x軸)に関して水路の断面形状が変化しない, 一様断面水路における漸変流の基礎式は

Table 2-1. Changes of water quality in Kottu irrigation channel. (Kiso river)

Date	pH	EC $\mu\text{U}/\text{cm}$	SS ppm	Cl ⁻ ppm	BOD ppm	COD ppm	T-N ppm	T-P ppm	DO ppm
1981. 5	7.5	33.0	10.0	5.6	2.2	2.4	1.4	1.0	9.3
6	7.2	49.0	1.7	6.6	2.4	1.5	1.0	26.0	8.1
9	7.0	34.0	6.4	8.6	1.2	1.2	0.92	0.58	8.4
1982. 6	7.2	48.0	3.0	8.0	1.0	2.0	0.93	0.16	8.6
7	6.8	61.0	4.0	13.0	0.3	2.7	0.98	0.2	7.6
8	7.3	48.0	12.0	13.0	2.3	3.0	0.22	0.34	6.4
9	7.1	64.0	1.0	8.0	1.5	2.4	0.58	0.1	7.1
1983. 5	7.0	36.0	85.0	8.0	1.0	3.8	0.74	0.8	10.0
6	7.1	63.0	4.0	15.0	1.9	2.6	0.52	0.13	8.9
7	7.3	55.0	3.0	10.0	1.0	2.0	0.51	0.09	8.8
8	7.2	54.0	8.0	12.0	0.9	2.1	0.32	0.05	8.3
9	6.8	59.0	2.0	9.0	1.5	1.8	0.45	0.05	8.9
1984. 5	7.2	62.0	5.3	8.0	1.6	2.2	0.7	0.23	10.5
6	7.3	38.0	80.0	6.0	2.1	3.4	0.9	0.6	9.8
7	7.3	45.0	9.0	8.0	0.6	2.0	0.29	0.12	9.6
8	7.2	59.0	9.0	10.0	0.8	1.7	0.52	0.1	9.1
9	7.2	67.0	4.0	9.0	1.2	2.5	0.5	0.06	8.8
1985. 5	7.4	35.0	32.0	6.0	1.3	3.2	0.4	0.14	10.4
6	7.4	75.0	8.0	8.0	1.1	3.9	1.0	0.15	9.1
7	6.7	39.0	30.0	7.0	0.6	2.4	0.53	0.39	9.8
8	7.5	54.0	2.0	7.0	0.5	1.9	0.57	0.06	8.5
9	7.5	57.0	2.0	7.0	0.6	1.5	0.37	0.08	9.1
1986. 5	7.3	39.0	15.0	8.0	6.1	3.3	0.37	0.2	10.7
6	7.3	61.0	4.0	13.0	1.1	2.9	0.22	0.12	9.6
7	6.9	41.0	10.0	10.0	1.1	2.2	0.35	0.19	9.5
8	7.1	36.0	12.0	17.0	1.0	3.4	0.67	0.16	7.8
9	7.4	68.0	3.0	11.0	0.8	2.2	0.34	0.07	8.1
1987. 5	7.3	48.0	14.7	9.4	1.2	0.8	0.53	0.09	10.6
6	7.4	63.0	6.6	8.9	1.8	2.1	0.53	0.14	9.6
7	7.7	33.0	34.2	7.4	0.3	3.5	0.53	0.45	9.9
8	7.1	43.0	3.8	10.8	0.9	2.2	0.21	0.11	9.3
9	7.3	67.0	4.2	10.8	0.7	1.6	0.33	0.22	8.1

Table 2-2. Changes of water quality in Kagami irrigation channel. (Nagara river)

Date	pH	EC $\mu\text{U}/\text{cm}$	SS ppm	Cl ⁻ ppm	BOD ppm	COD ppm	T-N ppm	T-P ppm	DO ppm
1987. 6	7.0	61.0	1.0	6.4	1.0	1.4	0.32	0.14	9.9
7	7.0	85.0	14.4	7.4	0.3	1.4	0.58	0.22	8.9
8	6.9	43.0	45.5	—	1.4	0.6	0.24	0.30	9.6
9	7.1	65.0	0.9	8.4	0.4	1.9	2.30	0.33	8.8

Table 2-3. Changes of water quality in Hishino irrigation channel. (Neo river)

Date	pH	EC $\mu\text{U}/\text{cm}$	SS ppm	Cl ⁻ ppm	BOD ppm	COD ppm	T-N ppm	T-P ppm	DO ppm
1987. 6	7.0	88.0	6.4	8.4	1.4	1.9	0.55	0.05	8.8
7	7.0	44.0	8.2	7.4	0.2	1.8	0.36	0.11	7.7
8	6.9	98.0	1.9	—	2.7	1.1	0.15	0.44	9.7
9	7.1	87.0	1.2	7.9	0.2	1.6	0.62	0.20	10.0

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - \frac{n^2 Q^2}{R^{1/2} A^2}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g A^3} \frac{dA}{dh}} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 h ：水深， i ：水路底コウ配， n ：Manning の粗度係数， Q ：流量， R ：径深， A ：通水断面積， α ：流速分布補正係数， g ：重力加速度である。(1)式において，長方形断面水路の場合には， $A = bh$ ， $R = bh/(b+2h)$ であり

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - \frac{n^2 Q^2}{\{bh/(b+2h)\}^{1/2} b^2 h^2}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g b^2 h^3}} = f(h) \quad (2)$$

となる。ここでさらに，水路底コウ配が一定の場合には(2)式は直ちに積分されて

$$h_{i+1} = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(h_i) dx + h_i \quad (3)$$

を得る。

Runge・Kutta 法の数値積分によれば，任意の位置 $x = x_i$ で $h = h_i$ とすると，距離 Δx だけ離れた $x = x_{i+1}$ における水深 $h = h_{i+1}$ は

$$\left. \begin{aligned} h_{i+1} &= h_i + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \\ k_1 &= \Delta x \cdot f(h_i) \\ k_2 &= \Delta x \cdot f(h_i + k_1/2) \\ k_3 &= \Delta x \cdot f(h_i + k_2/2) \\ k_4 &= \Delta x \cdot f(h_i + k_3) \\ x_{i+1} &= x_i + \Delta x \end{aligned} \right\} (4)$$

で計算される。本研究においては， $\Delta x = 1.0\text{m}$ として，Manning の粗度係数 n を変化させて，Runge・Kutta 法により数値積分し，水深についての実験値 h_o と計算値 h_c による評価関数の最も小さい n の値を，その流れにおける Manning の粗度係数とした。なお，評価関数としては⁵⁾

$$\left. \begin{aligned} (1) \quad E_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |h_{o_i} - h_{c_i}| && \text{絶対基準} \\ (2) \quad E_2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_{o_i} - h_{c_i})^2 && \text{2乗基準} \\ (3) \quad E_3 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|h_{o_i} - h_{c_i}|}{h_{o_i}} && \text{相対基準} \\ (4) \quad E_4 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(h_{o_i} - h_{c_i})^2}{h_{o_i}^2} && \text{相対2乗基準} \\ (5) \quad E_5 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|h_{o_i} - h_{c_i}|}{\sqrt{h_{o_i}}} && \chi \text{基準} \\ (6) \quad E_6 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(h_{o_i} - h_{c_i})^2}{h_{o_i}} && \chi^2 \text{乗基準} \end{aligned} \right\} (5)$$

が考えられる。

3. 実験結果及び考察

最初に評価関数の選択について検討する。ここで， $C = 0.94 \times 10^{-4}$ ， $Q = 36.5\text{l/s}$ ， $h = 8.5\text{cm}$ ， $v = 45\text{cm/s}$ の場合の Manning の粗度係数と評価関数の関係を Fig. 1-1. に示す。この場合には，いずれの評価関数においても $n = 0.0260$ で最小値となり，一義的に Manning の粗度係数が決定される。しかしながら，Fig. 1-2. に示すように $C = 0.94 \times 10^{-4}$ ， $Q = 4.2\text{l/s}$ ， $h = 3.1\text{cm}$ ， $v = 13\text{cm/s}$ の場合には，絶対基準で

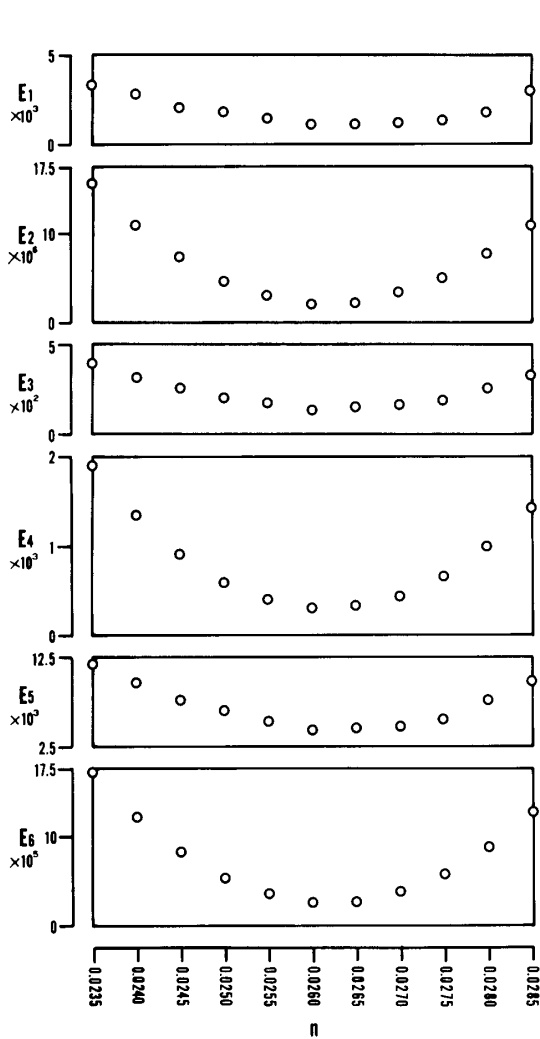


Fig. 1-1. Comparison of various estimation function in non-uniform flow calculation ($C=0.94 \times 10^{-4}$, $Q=0.0365\text{m}^3/\text{s}$, $h=0.085\text{m}$, $v=0.43\text{m/s}$, $Fr=0.47$, $Re=30900$)

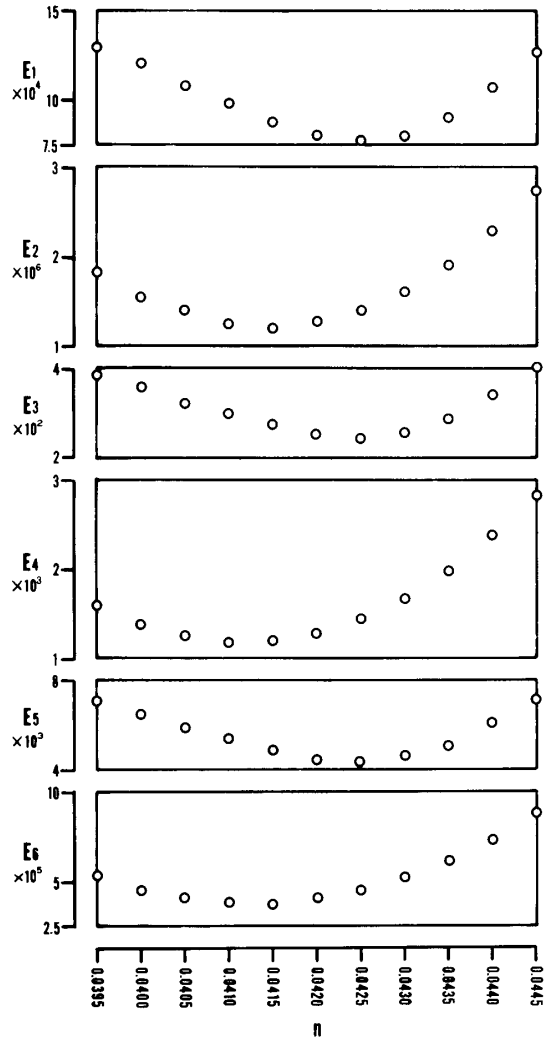


Fig. 1-2. Comparison of various estimation function in non-uniform flow calculation ($C=0.94 \times 10^{-4}$, $Q=0.0042\text{m}^3/\text{s}$, $h=0.031\text{m}$, $v=0.13\text{m/s}$, $Fr=0.24$, $Re=3900$)

は $n = 0.0425$, 2 乗基準では $n = 0.0415$, 相対基準では $n = 0.0425$, 相対 2 乗基準では $n = 0.0410$, χ 基準では $n = 0.0425$, χ^2 乗基準では $n = 0.0415$ で最小値となり, 使用する評価関数により Manning の粗度係数が異なることがわかった。それで, 本研究においては中間的な Manning の粗度係数の値を選択すると思われる, χ^2 乗基準を評価関数として用いて決定した。この計算結果を Table 3. に示す。また, Manning の粗度係数 n と Reynolds 数 Re の関係を Fig. 2. に, 摩擦抵抗係数 f と Reynolds 数 Re の関係を Fig. 3. に示す。なお, 摩擦抵抗係数 f は, Manning の粗度係数 n との関係 $f = 8gn^2/R^{1/3}$ より求めた。

合成樹脂繊維を接着させず鉄板だけを設置した場合の Smooth ($C=0.0$) の実験と比較すると, Manning の粗度係数 n の値は, $C = 3.74 \times 10^{-4}$ の場合には 5 倍から 6 倍大きくなり, $C = 1.87 \times 10^{-4}$ の場合には 3 倍から 5 倍, $C = 0.94 \times 10^{-4}$ の場合でも 3 倍から 4 倍大きくなり, 模擬水生植物として合成樹脂繊維を接着させた鉄板を設置することによって, Manning の粗度係数 n が相当大きくなることが分かった。また, このことは摩擦抵抗係数 f についても同様であって, 密度 C を増加させると共に, 摩擦抵抗係数 f も数倍大きくなり, $C = 3.74 \times 10^{-4}$ の場合には約 3.5 倍, $C = 1.87 \times 10^{-4}$ の場合には約 3 倍, $C = 0.94 \times 10^{-4}$ の場合にも約 2.5 倍位 f の値が大きくなることが得られた。

Table 3. Experimental results of non-uniform flow with artificial water plants.

Experiment	Q m ³ /s	h m	v m/s	Fr	Re	n s/m ^{1/3}	f
Smooth	0.0378	0.063	0.602	0.77	33200	0.012	0.030
	0.0314	0.057	0.547	0.73	27900	0.012	0.028
	0.0249	0.050	0.503	0.72	22400	0.012	0.029
	0.0205	0.044	0.468	0.71	18700	0.012	0.033
	0.0148	0.036	0.406	0.68	13700	0.012	0.035
	0.0102	0.030	0.335	0.61	9500	0.014	0.047
	0.0061	0.023	0.261	0.54	5800	0.015	0.059
	0.0043	0.020	0.217	0.49	4100	0.016	0.071
	0.0032	0.017	0.193	0.48	3100	0.016	0.075
	0.0018	0.014	0.128	0.34	1700	0.022	0.151
	0.0008	0.009	0.093	0.32	800	0.021	0.170
$C = 0.94 \times 10^{-4}$	0.0365	0.085	0.431	0.47	30900	0.026	0.127
	0.0248	0.071	0.349	0.42	21500	0.030	0.172
	0.0144	0.055	0.262	0.36	12800	0.033	0.226
	0.0100	0.047	0.213	0.32	9100	0.035	0.275
	0.0080	0.044	0.180	0.27	7300	0.041	0.383
	0.0061	0.038	0.162	0.27	5600	0.040	0.374
	0.0042	0.031	0.134	0.24	3900	0.042	0.437
	0.0031	0.028	0.112	0.22	2900	0.042	0.455
$C = 1.87 \times 10^{-4}$	0.0361	0.092	0.393	0.41	30200	0.034	0.206
	0.0304	0.086	0.354	0.39	25700	0.036	0.236
	0.0242	0.078	0.309	0.35	20700	0.039	0.285
	0.0194	0.072	0.270	0.32	16800	0.042	0.340
	0.0163	0.064	0.253	0.32	14300	0.041	0.334
	0.0143	0.062	0.232	0.30	12600	0.043	0.382
	0.0121	0.058	0.210	0.28	10700	0.045	0.417
	0.0098	0.053	0.184	0.26	8800	0.048	0.497
	0.0080	0.049	0.164	0.24	7200	0.051	0.564
	0.0060	0.043	0.141	0.22	5500	0.053	0.636
	0.0045	0.035	0.127	0.22	4200	0.049	0.587
	0.0029	0.030	0.098	0.18	2700	0.056	0.795
$C = 3.74 \times 10^{-4}$	0.0359	0.104	0.344	0.34	29400	0.046	0.367
	0.0315	0.099	0.319	0.32	26000	0.048	0.406
	0.0252	0.091	0.276	0.29	21100	0.052	0.498
	0.0204	0.085	0.240	0.26	17300	0.056	0.589
	0.0166	0.078	0.214	0.25	14200	0.058	0.638
	0.0146	0.073	0.201	0.24	12600	0.058	0.661
	0.0117	0.067	0.175	0.22	10200	0.061	0.750
	0.0099	0.063	0.158	0.20	8700	0.064	0.841
	0.0083	0.059	0.142	0.19	7400	0.066	0.899
	0.0057	0.047	0.122	0.18	5200	0.062	0.848
	0.0044	0.041	0.106	0.17	4000	0.065	0.968
	0.0028	0.032	0.089	0.16	2600	0.061	0.942

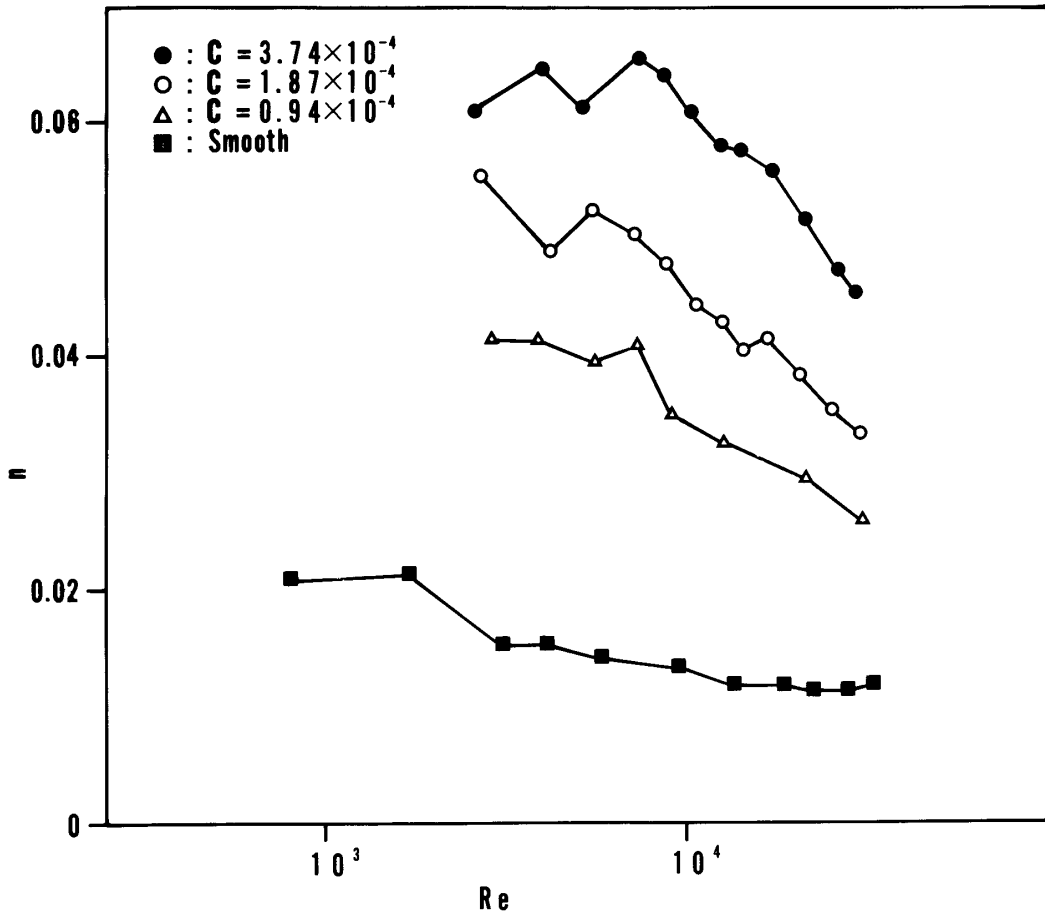


Fig. 2. Relation between Manning roughness coefficients n and Reynolds number Re

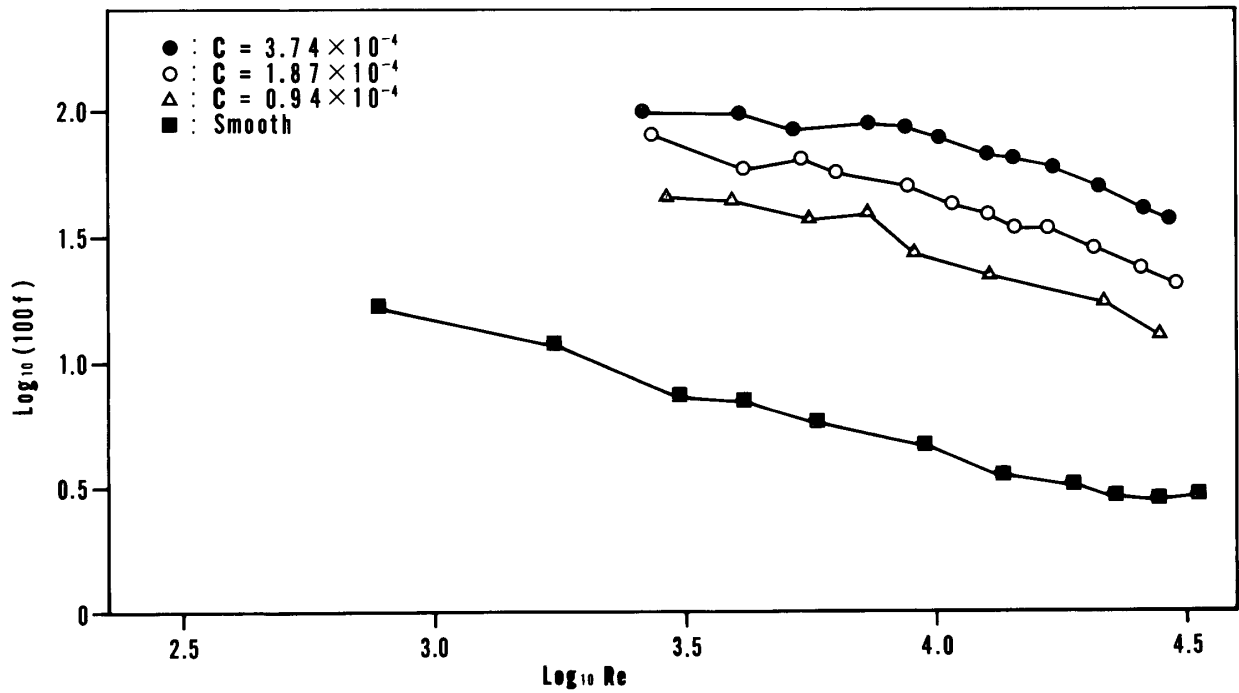


Fig. 3 Relation between friction resistance coefficients f and Reynolds number Re

謝 辞

本研究を行うにあたり、岐阜大学農学部農業工学科農業水工学研究室、昭和62年度専攻生石川晶崇君、伊藤祐喜君、北村盛仁君、及び木津用水土地改良区、各務用水土地改良区、菱野川用水土地改良区の関係各位の御協力を得た。さらに、文部省科学研究費補助金(研究代表者三重大学松下教授、課題番号62302056)の交付を受けた。ここに、厚く謝意を表します。

文 献

- 1) 沼田 真：“植物生態野外観察の方法”東京：築地書館，173-181，1976.
- 2) 中島重旗：“土木技術者の陸水環境調査法”東京：森北出版，192-193，1983.
- 3) 農業土木学会：“改訂四版農業土木ハンドブック”東京：丸善，170-171，1979.
- 4) 河村三郎・藤田一郎・中谷 剛：“パソコンによる水理学演習”東京：森北出版，145-150，1985.
- 5) 角屋 睦・永井明博：流出解析法(その11). 農土誌40-11, 65-70, 1980.