

農地表面流の抵抗係数に関する一実験的研究

角屋 睦・今尾昭夫

AN EXPERIMENTAL STUDY ON RESISTANCE COEFFICIENT OF SURFACE FLOW OVER AGRICULTURAL LANDS

by Dr. Agr. Mutsumi KADOYA and Akio IMAO

Synopsis

There are many complicated hydraulic problems on surface flow over agricultural lands in low areas. This paper deals with the resistance coefficient in transitional flow from in open channels to at or near state of still water.

At first, in order to discuss the variation in resistance coefficient in such flows, the relation between the resistance coefficient and hydraulic factors with respect to the flow at the critical slope is obtained. The equations (16), (17) and (18) are developed from the experimental results using the rectangular open channel.

Moreover, the relation between the resistance coefficient and the Froude number is discussed. In case of turbulent flow, it is well known that the resistance coefficient increases with the Froude number, and here it is also found that the trend of increase in the resistance coefficient even at the Froude number less than 10^{-1} is recognized. Since, however, the experiment has not been enough to discuss in detail, the definitive conclusion is suspended in this paper.

まえがき

近年の内水災害の様相は容易ならぬものがあり、その対策の緊急性が強く認識されてきたことは周知のとおりである。むろんこうした内水問題は、いまに始まったことでなく、古くから農地排水、下水計画などとして取り扱われてきたわけであるが、別稿¹⁾にも示されるように、数多くのむつかしい問題が残されており、必ずしも十分な方策がとられてきたとはいえないようである。

ここに取り上げようとするのは、農地の排水計画を合理的に行なおうとする際の基本的な問題である開水路の流れと、たん水状態の流れの遷移現象であるが、これは単に農地排水のみならず一般の内水排除計画、あるいは感潮河川の水理に共通する基本的な問題でもある。しかし結局は現今、水理学上の無知係数ともいわれる流路の粗度係数ないし抵抗係数の問題に逢着するわけで、にわかに結論の得られる問題ではなさそうである。

本文ではまず第1報として、田面を模擬した底こう配水平な水路における実験結果と実用を主とした若干の考察を述べる。

1. 本研究の意義

農地の排水計画合理化に際し究明されるべき水理学的問題は内水排除一般の問題と共通する点が少なくないが、ここでは農地排水を主眼に本研究の意義について若干述べる。

従来の低平農地の排水計画における排水組織，能力の決定は既往第何位かの連続雨量ないし日雨量の何時間排除という考え方が支配的であつた。計画雨量のとりかたは別としても，この何時間均等排除という考え方が問題である。むろんこれは地区内の許容たん水水深，時間を念頭においた上でのものではあるが，実際は計画通りの雨が降つたとしても，意外に排除日数が遅延することが多く，広大な低平地区では，中間排水機場の設置などの方策がとられてきた。この理由としては

- i) 地区内が水平ないし緩こう配排水路網で組織されている。
- ii) 加えて用排水兼用水路が多く，時期的に排水機運転時に水路に相当量の水があることが多い。
- iii) 排水路では泥土の不規則な沈積，あるいは草生繁茂など，流れの阻害因子が多く，排水の能率を低下させている。

などが考えられる。

近年の農地排水計画では，戦後急速な進歩をみせた水文学の成果をとり入れ，地目別流出係数ないし流出有効雨量の分離，単位図法などによる末端ハイドログラフの推定など改良の跡がみられるのであるが，たん水開始後のハイドログラフの変形や，排水改良後のハイドログラフの推定などの問題が残されている。この点水田の貯留効果，流路の流出阻害能，雨水流出能などの概念を提起の上混成特性曲線法による解析を提示した任田²⁾の論文は注目すべきものであつた。しかし著者も指摘しているように，排水路の流出阻害能は末端部のたん水セキ上げの程度に支配され，開水路の流れと貯水池流れの遷移現象の解明，とくに粗度係数ないし抵抗係数の変化の問題が未解明である点に重要な課題が残されている。

排水計画に際し，まず考えられるのは，自然排水であつて，最も経済的な排水方式であることはいうまでもない。この場合の排水量は内外水位差により支配されるわけであつて，水理学的にはセキ上げ背水の状態の流れになることが多い。

以上のようにとくに水平ないし緩こう配水路の多い低平農地の排水問題では，水流の流れ，とくに遷移流れの抵抗係数の解明が重要な課題であつて，本研究の意図もここにあるわけである。

2. 実験方法

実験に使用した施設は Fig. 1 に示すブロック積みモルタル塗りの循環式2次元水路で，これに 10 cm

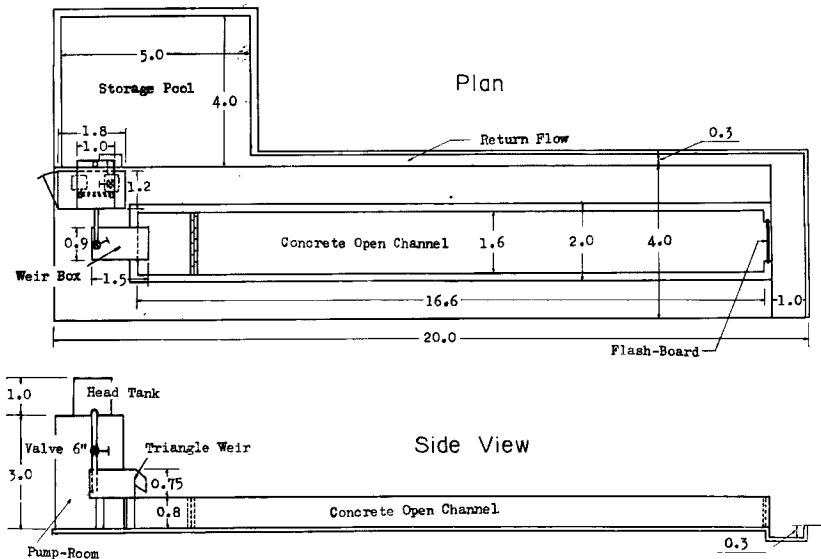


Fig. 1 Experimental apparatus (unit : m)

厚さに土を敷きならし、稲株大にたばねた藁を 25 cm 間隔に植えた場合と無株の場合の 2 状態について実験を行なった。

給水は 150 mm, 5 KVA のポンプ—バルブ—余水吐付高水槽—バルブ—直角三角形セキ付計量槽の給水組織を採用し、流量の制御はバルブによつた。

水深は下流端の角落しセキによつて変化させた。本来植生の種別、草丈など流水障害物の高さに関連して水深を適宜変化させる予定であつたが、実験結果にもみられるように、流水の抵抗係数の変化はむしろ下流側水深の変化による影響の方が大きいことがわかつたので、障害物の変化は前記の 2 種にとどめ、下流水深の変化の影響をとくに注目することにした。

水位の測定は水路延長 16.6 m のうち上、下流の急変部を避けて、ほぼ中央部 9 m 区間 5 測線 8 本のポイントゲージを配置し、それらの平均値を採用した。なお風の影響を避けるため施設を天幕で蔽つた。水路延長が短いため測定水位差は 0.1~30 mm であつたが、とくに水面こう配 1×10^{-4} 付近ないしそれ以下での微妙さは止むを得ないであろう。これについては 40 m 水路によつて再検討する予定である。

また流れは非常に緩慢であつて流速が数 cm の order と思われたので適当な流速計がなく、実験値の整理はすべて平均流速を用いて行なうことにした。しかしこの種の問題を厳密に扱うにはいうまでもなく流速測定が必要であり、これについてはあらためて行なう予定である。

3. 実験結果とその考察

3.1 実験結果

通常行なわれている一次元不等流の水面追跡法では Chézy の C あるいは Manning の n

$$\left. \begin{aligned} C &= \sqrt{2g/f}, \\ n &= \frac{1}{C} R^{1.6} = \frac{R^{2/3}}{u} \sqrt{i - (i-I) \left(1 - \frac{u^2}{gh}\right)}, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

を一定として計算することが多い。ただし g ; 重力の加速度 (9.8 m/sec^2), f ; 抵抗係数, u ; 平均流速, i, I ; 底面および水面こう配, h ; 平均水深である。これの是非については、水路底こう配を種々変えて吟味しなければならないが、いまわれわれの実験結果を概示するため、 n の値を平均流速 u を parameter にとつて図示すると Fig. 2 のようである。一見 $u > 0.15 \text{ m/sec}$ では n の値はほぼ一定値を有するかに見えるが $u < 0.15 \text{ m/sec}$ になると漸次大きくなる。実河川では平均流速数 cm/s ということはまず考えられないであろうが、農地排水路ではよく当面することである。

いうまでもなく Chézy 公式あるいは Manning 公式は等流を対象としたものであつて、平均流速を支配する主要な要素を径深 R ないし水深 h および底面こう配と考え、他の要素をすべて C あるいは n に含めたものと考えられるが、本実験のようなセキ上げ流れの場合の性状を示すため、実験値より h 一定の場合の q と I の関係、 I 一定の場合の h と u の関係を内挿的に求めた一例を示すと Fig. 3, 4 のようである。すなわち q と I の間には h を parameter としてかなりきれいな関係 $q \propto I^{0.6}$ がみられるのに対して、 I を parameter とした h と u の間の関係は一義的に判断しがたいようである。

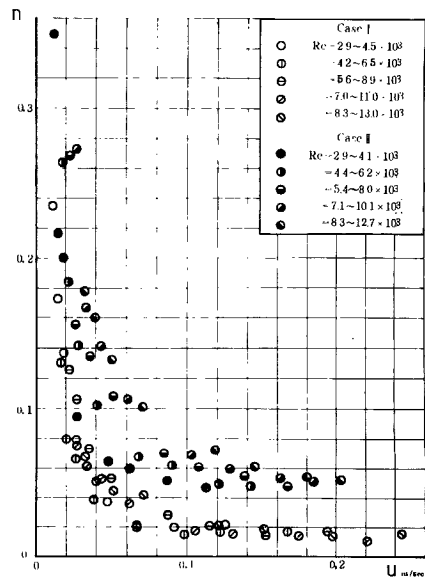


Fig. 2 Relation between n and u

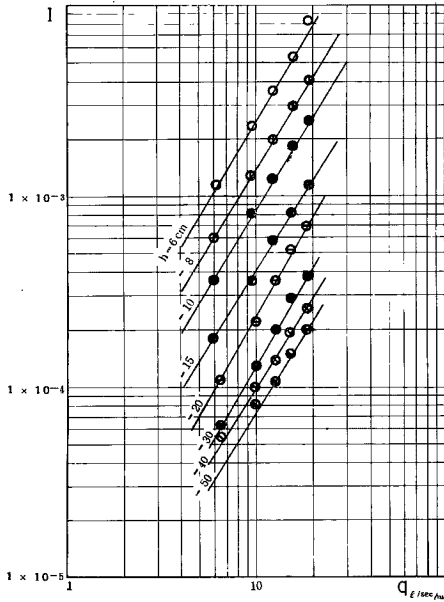


Fig. 3 Relation between I and q in case of $h = \text{const.}$

3.2 抵抗係数の水理学的意義

粗度係数あるいは抵抗係数の流体力学的な意義については、にわかには論議しがたいので、ここでは水理学的に若干考察してみる。

いま Fig. 5 に示すような x 軸を水路底に、 y 軸を直角上向きにとつた座標軸系に対して、エネルギー保存則を用いた定常流の 1 次元方程式を示すと近似的に次式のように表わされる³⁾。

$$H_0 \approx \frac{1}{Q} \left\{ \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + y \cos \theta \right\} u dA \quad \dots\dots\dots (2)$$

および

$$\frac{dH_0}{dx} = \sin \theta - \left(\frac{\tau}{\rho g R} \right) \left(\frac{u_b}{u_m} \right) \approx \sin \theta - \frac{Q^2}{C^2 R A^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし H_0 ; 全水頭, Q ; 流量, u ; x 方向の流速, u_m ; 断面平均流速, u_b ; 底面付近の流速, p ; 圧力, τ ; せん断力, R ; 径深, A ; 流積, C ; Chézy の係数, ρ ; 水の密度, g ; 重力の加速度, θ ; 水路底の傾斜角, である。

これに水深 h を用いエネルギー補正係数 α および圧力補正係数 λ

$$\alpha = \frac{1}{Q} \left\{ \frac{u}{u_m} \right\}^2 u dA, \quad \lambda = \frac{1}{Q h \cos \theta} \left\{ \frac{p}{\rho g} + y \cos \theta \right\} u dA$$

を導入の上、水面形方程式を求めると、つぎのように表わされる³⁾。

$$\frac{dh}{dx} = \left(\sin \theta - \frac{Q^2}{C^2 R A^2} - \frac{\partial H_0}{\partial x} \right) / \left(\frac{\partial H_0}{\partial h} \right) = \frac{f_1(x, h)}{f_2(x, h)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

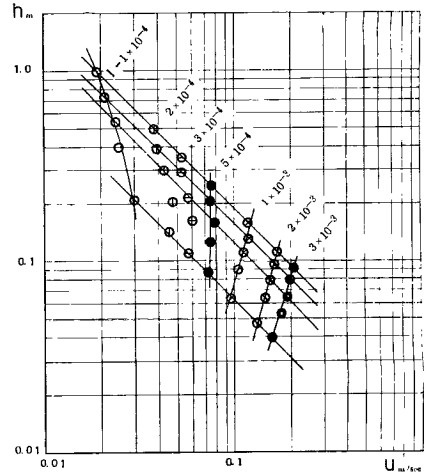


Fig. 4 Relation between h and u in case of $I = \text{const.}$

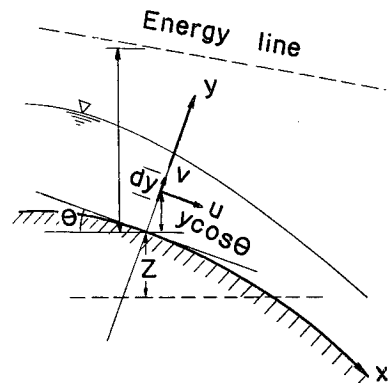


Fig. 5 Schematic diagram of flows

$$f_1(x, h) = \sin \theta - \frac{Q^2}{C^2 R A^2} - \frac{Q^2}{2g A^2} \frac{\partial \alpha}{\partial x} + \frac{\alpha Q^2}{g A^3} \frac{\partial A}{\partial x} - h \cos \theta \frac{\partial \lambda}{\partial x} + \lambda h \cos \theta \frac{d\theta}{dx} \dots\dots\dots (5)$$

$$f_2(x, h) = \lambda \cos \theta + h \cos \theta \frac{\partial \lambda}{\partial h} + \frac{Q^2}{2g A^2} \frac{\partial \alpha}{\partial h} - \frac{\alpha Q^2}{g A^3} \frac{\partial A}{\partial h} \dots\dots\dots (6)$$

$f_1(x, h) = 0$ で示される曲線は擬似等流曲線あるいは等流水深曲線と呼ばれるものであり、また $f_2(x, h) = 0$ の曲線は限界水深曲線といわれるものである。

一般に行なわれている水面追跡法では(4)式に含まれる Chézy の係数 C あるいは Manning の係数 $n = R^{1/6}/C$ を一応一定として取り扱うことが多いわけであるが、これらを常数として取り扱いうための水理学的条件を考えてみよう。このような問題を考えるには C または n の値を一義的に決定するような流れの状態を考えるのが便利であるので、 Q に対して h が一義的に定まるような流れとして、限界こう配の流れを考えることにする。

まず限界状態で流れる等流の抵抗係数 $f_c = 2g/C_c^2$ を定義するため、この状態にある水理量に添字 c を付し

$$Q^2 = A_c^2 \frac{g \lambda_c \cos \theta_c \left\{ 1 + \frac{h_c}{\lambda_c} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial h} \right)_c \right\}}{\frac{\alpha_c}{A_c} \left(\frac{\partial A}{\partial h} \right)_c - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \alpha}{\partial h} \right)_c} = A_c^2 C_c^2 R_c \sin \theta_c \dots\dots\dots (7)$$

とおくと、

$$f_c = \frac{2g}{C_c^2} = \frac{R_c \tan \theta_c \left\{ 2 \frac{\alpha_c}{A_c} \left(\frac{\partial A}{\partial h} \right)_c - \left(\frac{\partial \alpha}{\partial h} \right)_c \right\}}{\lambda_c \left\{ 1 + \frac{h_c}{\lambda_c} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial h} \right)_c \right\}} \dots\dots\dots (8)$$

この場合は $dh/dx = 0$ の形を考えているから上式の偏微分形式は常微分形式で書き直してよいわけであるが、限界状態の流量、水深関係は等流でなくとも成立するものであつて、 dh/dx の項を含まないことを明示するため偏微分形式で書いてある。

つぎに(4)式に含まれる C を求めるため、(4)式を書き直した

$$Q^2 = 2g A^2 \frac{\sin \theta - \lambda \cos \theta \frac{dh}{dx} - h \cos \theta \frac{d\lambda}{dx} + \lambda h \sin \theta \frac{d\theta}{dx}}{\frac{2g}{C^2 R} \frac{d\alpha}{dx} - \frac{2\alpha}{A} \frac{dA}{dx}}$$

を(7)式と等しいとおくと、不等流の抵抗係数 f は

$$f = \frac{2g}{C^2} = \left(\frac{A}{A_c} \right)^2 \left(\frac{R}{R_c} \right) \frac{R_c \tan \theta_c \left\{ 2 \frac{\alpha_c}{A_c} \left(\frac{\partial A}{\partial h} \right)_c - \left(\frac{\partial \alpha}{\partial h} \right)_c \right\}}{\lambda_c \left\{ 1 + \frac{h_c}{\lambda_c} \left(\frac{\partial \lambda}{\partial h} \right)_c \right\}} \frac{1}{\sin \theta_c} \left\{ \sin \theta - \lambda \cos \theta \frac{dh}{dx} - h \cos \theta \frac{d\lambda}{dx} + \lambda h \cos \theta \frac{d\theta}{dx} - \frac{Q^2}{g A^2} \left(\frac{1}{2} \frac{d\alpha}{dx} - \frac{\alpha}{A} \frac{dA}{dx} \right) \right\} \dots\dots\dots (9)$$

と定義できる。上式で $d\lambda/dx$, $d\alpha/dx$, dA/dx は dh/dx を含んだ形式である。

したがつて(9)式と(8)式を比較することによつて次式が得られる。

$$\frac{f}{f_c} = \frac{C_c^2}{C^2} = \left(\frac{A}{A_c} \right)^2 \left(\frac{R}{R_c} \right) \frac{1}{\sin \theta_c} \left\{ \sin \theta - \lambda \cos \theta \frac{dh}{dx} - h \cos \theta \frac{d\lambda}{dx} + \lambda h \cos \theta \frac{d\theta}{dx} - \frac{Q^2}{g A^2} \left(\frac{1}{2} \frac{d\alpha}{dx} - \frac{\alpha}{A} \frac{dA}{dx} \right) \right\} \dots\dots\dots (10)$$

f あるいは C が常数扱いができるためには(10)式が1に等しくなければならない。同様に Manning の n が常数扱いできるためには

$$\frac{n}{n_c} = \left(\frac{A}{A_c} \right) \left(\frac{R}{R_c} \right)^{2/3} \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_c} \left\{ \sin \theta - \lambda \cos \theta \frac{dh}{dx} - h \cos \theta \frac{d\lambda}{dx} + \lambda h \cos \theta \frac{d\theta}{dx} - \frac{Q^2}{g A^2} \left(\frac{1}{2} \frac{d\alpha}{dx} - \frac{\alpha}{A} \frac{dA}{dx} \right) \right\}} \dots\dots\dots (11)$$

が1に等しくあるべきことになる。

完全等流状態ではこのときの水理量に添字0をつけると

$$\frac{f_0}{f_c} = \frac{C_c^2}{C_0^2} = \left(\frac{A_0}{A_c}\right)^2 \left(\frac{R_0}{R_c}\right) \frac{\sin \theta_0}{\sin \theta_c} \dots\dots\dots (12)$$

すなわち $(A_0/A_c)^2(R_0/R_c) = (\sin \theta_c/\sin \theta_0)$ なる条件を満足しているかどうかが問題になるわけである。

以上のような論点よりすれば、こう配、断面形を種々に変えた水路の流水について、水位水深、圧力、流速などを詳細に測定すれば、少なくとも実験的に抵抗係数や粗度係数の水理学的意義を論議できるはずであつて、これらについては今後さらに検討を加えるつもりである。

3.3 実験結果の考察

本実験のように $\theta=0$ であつてかつ水深変化の緩慢な長方形水路の流れでは(10)式は近似的につきのよゝうに表わしうる。

$$\frac{f}{f_c} = \frac{C_c^2}{C^2} = \left(\frac{A}{A_c}\right)^2 \left(\frac{R}{R_c}\right)^{-\left(\lambda - \frac{\alpha u^2}{gh}\right) \frac{dh}{dx}} \dots\dots\dots (13)$$

ただしここでは断面平均流速 u_m を単に u と書いてある。

圧力分布、流速分布の実測がないので、近似的に $\lambda=1, \alpha=1$ とみなして、水面こう配を I と書くと、

$$\frac{f}{f_c} = \frac{C_c^2}{C^2} = \left(\frac{A}{A_c}\right)^2 \left(\frac{R}{R_c}\right) \frac{I(1-u^2/gh)}{\sin \theta_c} \dots\dots\dots (14)$$

同様にして Manning の n の場合は

$$\frac{n}{n_c} = \frac{A}{A_c} \left(\frac{R}{R_c}\right)^{2/3} \left[\frac{I(1-u^2/gh)}{\sin \theta_c}\right]^{1/2} \dots\dots\dots (15)$$

本実験の場合、限界こう配の流れの実験を行なつてないが、この状態では $\lambda=1, \alpha=1$ とみなしうるものとして A_c を算定し、 $I(1-u^2/gh)$ および f, n を A/A_c に対して plot すると Fig. 6~8 のようになる。

Fig. 6 は $I(1-u^2/gh)$ の値を A/A_c について plot したものであるが、 $I(1-u^2/gh)$ の値は A/A_c が大きくなるにつれ、 $(A/A_c)^2$ に逆比例するような性状より $(A/A_c)^1$ に逆比例する性状に変化していくようである。

case II ではこの変化が比較的スムーズなようにみられるが、 A/A_c の値が同じでも流量が大きいほど $I(1-u^2/gh)$ が大きいようで、単に A/A_c のみでは表現しがたいようである。そこで $I(1-u^2/gh)$ を支配する要素として $A/A_c, R/R_c$ をとり上げて整理すると、本実験の範囲では次式が成立するようである。

$$\frac{I(1-u^2/gh)}{\sin \theta_c} = \left(\frac{A}{A_c}\right)^3 \left(\frac{R}{R_c}\right)^{-35/6} = \left(\frac{A}{A_c}\right)^{-17/6} \left(\frac{p}{p_c}\right)^{35/6} \dots\dots\dots (16)$$

ただし p は潤辺である。

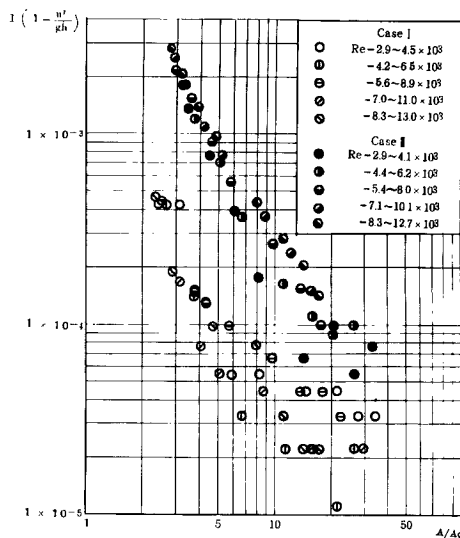


Fig. 6 Relation between $I(1-u^2/gh)$ and A/A_c

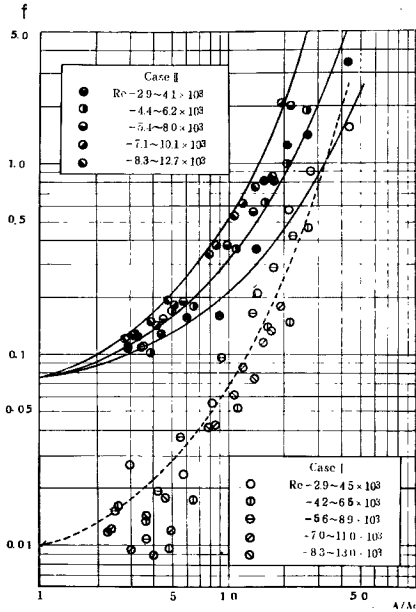


Fig. 7 Relation between f and A/A_c
 — Calculated curve using Eq. (17) in case II
 - - - Calculated curve using Eq. (17) in case I

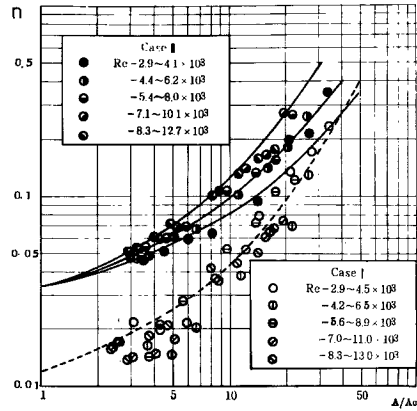


Fig. 8 Relation between n and A/A_c
 — Calculated curve using Eq. (18) in case II
 - - - Calculated curve using Eq. (18) in case I

これに対して case I の方はデータのバラツキが大きく case II ほどきれいな変化はみられないが、全般的に A/A_c には逆比例、すなわち $I(1 - \frac{u^2}{gh})$ は u/u_c に比例する傾向がみられるようである。しかしわれわれの実験では水路長が短かく、case I の水面こう配測定値は非常に微妙な範囲にあるので、ここではこれ以上の論議は保留しておきたい。

Fig. 7 は抵抗係数 f を A/A_c について plot したものであり、Fig. 8 は Manning の n を同様にあらわしたものであるが、 I の値が (16) 式より与えられるものとする、(14)、(15) 式はつぎのようになる。

$$\frac{f}{f_c} = \left(\frac{A/A_c}{R/R_c}\right)^5 \left(\frac{R}{R_c}\right)^{1/6} = \left(\frac{A}{A_c}\right)^{1/6} \left(\frac{p}{p_c}\right)^{29/6} \dots\dots\dots(17)$$

$$\frac{n}{n_c} = \left(\frac{A/A_c}{R/R_c}\right)^{5/2} \left(\frac{R}{R_c}\right)^{1/4} = \left(\frac{A}{A_c}\right)^{1/4} \left(\frac{p}{p_c}\right)^{9/4} \dots\dots\dots(18)$$

すなわち f あるいは n の値には A/A_c のほかに R/R_c の値が関係することになる。そこでわれわれの実験 case II について $q=5, 10, 30$ l/sec/m の場合を計算すると同図の実線のようにになる。また case I について $q=20$ l/sec/m として計算した結果が示してある。

なお Fig. 7, 8 両図とも f_c ないし n_c の値を流量の値いかんによらず一定になるものとして、実験式より求めた曲線が示してあるが、これについては検討の余地が多いと考える。

4. 抵抗係数について

円管、開水路の流れの抵抗係数については、これまで数多くの研究があつて、今日ではこれは Reynolds 数 R_c あるいは Froude 数 F_c の関数であり、水路固有の一定値であり得ないことはまず常識となつてい

る。これらもつばら流速分布に対数法則が成立することを認めた上での論議であつて、滑面および粗面水路における Nikuradse の抵抗係数の式などが知られている。すなわちそれぞれの抵抗係数は

$$\sqrt{2/f} = A_s - 2.5 + 5.75 \log(R_e \sqrt{f/2})$$

$$\sqrt{2/f} = A_r - 2.5 + 5.75 \log(h/k)$$

であらわされることになる。上式において k は砂粒の径である。そして円管の場合、滑面では $A_s = 5.5$ なる一定値、粗面の場合 A_r が摩擦速度 U_* を用いた無次元量 $U_* k / \nu$ の関数になることが知られている。

これに対し開水路の場合には、 A_s や A_r の値が円管の場合とかなり異なり、たとえば A_s の値は射流においては著しく変化することが知られている。そして岩垣⁴⁾ はこれは自由表面の影響によるものであるとして Prandtl の運動量輸送理論の展開とともに、2次元流に関する多数の実験結果を整理して

$$F_R \leq 0.89 \quad ; \quad A_s = 6.3$$

$$F_R \geq 0.89 \quad ; \quad A_s = 6.0 - 5.75 \log F_R + 1.2 (\log F_R)^2$$

を得ている。ただし、 F_R は径深 R を用いた Froude 数である。

また A_r の値は $U_* k / \nu$ の値により異なるが、いずれも $F_R \leq 0.89$ の場合、ある一定値をとるとした著名な公式を提示している。しかしながらこれらを定めるに際し用いた実験結果はすべて $F_R \geq 1.5 \times 10^{-1}$ のものであつて、これより F_R の小さい範囲については実験の裏付けがないようである。

これに対し、われわれの実験は $F_R = 6 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-1}$ の範囲で、あきらかに $F_R \leq 1.5 \times 10^{-1}$ の部分にあたるわけである。この領域ではどのような性状を示すか若干調べてみる。

Fig. 9 は抵抗係数 f と Reynolds 数 $R_e = U_m R / \nu$ との関係を示したものである。これよりすれば R_e の変化に比べて f の変化が大きく、 F_R の影響もあつて f は R_e のみによつて一義的には定めがたいようである。むろんこの場合でも h/B , h/b , R/B , R/b (ただし B ; 水路巾, b ; 稻株巾) などを parameter とする分類が考えられるかも知れないが、 R_e の変化範囲が f のそれに比し小さいので、この論議の正否は定めがたい。

Fig. 10 は f と F_R の関係を示したものである。同図よりすれば f の値は $F_R \leq 1 \times 10^{-1}$ では急激に大

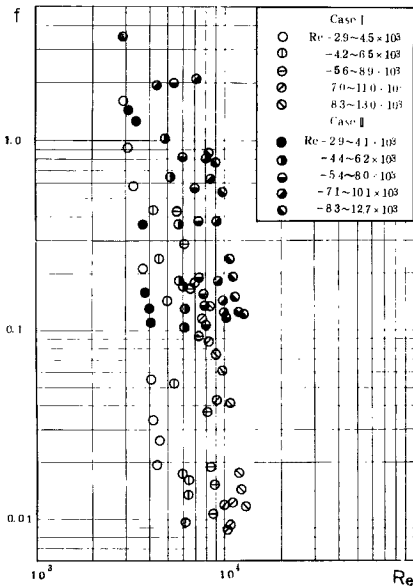


Fig. 9 Relation between f and R_e

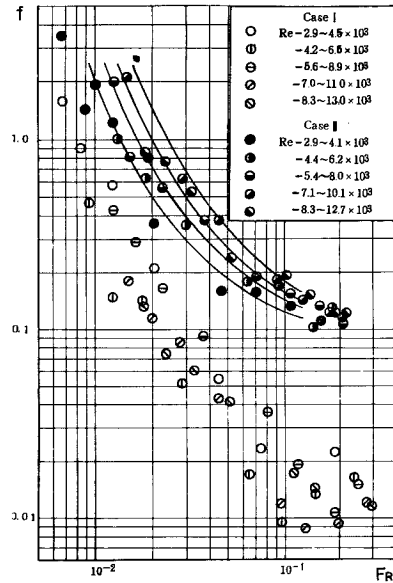


Fig. 10 Relation between f and F_R

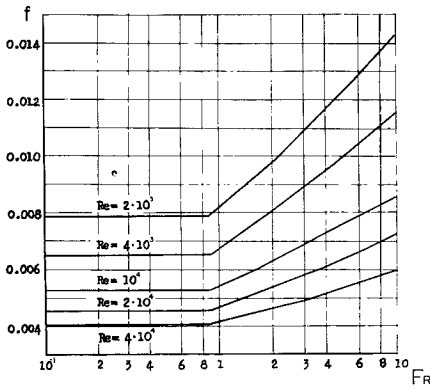


Fig. 11 (a) Relation between f and F_R by Iwagaki

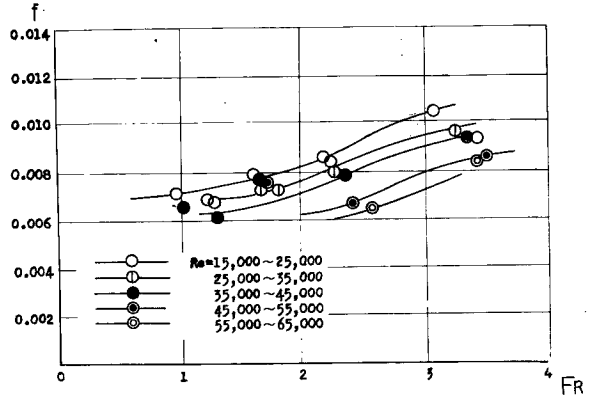


Fig. 11 (b) Relation between f and F_R by Homma

きくなるのが注目される。ただ case II では R_e の値によつて f と F_R の関係がいく分異なり、 $F_R \leq 1 \times 10^{-1}$ では R_e の値が大きい程 f の値が少し大きいような傾向がみられるのに対し、case I の方は R_e の影響はあまり見受けられないようである。

われわれの実験では流速分布の測定を行なつていないので、たとえば実験結果におよぼす境界層の発達の影響、 f と R_e 、 F_R の関係など理論的な論議は一応保留するが、 F_R の増加にともなう f の増加傾向を示した岩垣⁴⁾や木間⁵⁾の成果 Fig. 11(a), (b) に比較すれば、 $F_R=1$ の近傍では f (あるいは n) の値がほぼ最小値をとるのではなからうかと予想される。そしてさらに水路の特性をあらわす f (あるいは n) が考えられるものとすれば、これは $F_R=1$ の近傍で定義されるべきではなからうかと予想している。

なお、われわれの実験では、 F_r の減少は下流端の板によるセキ上げによつて得られたものであること、乱流領域より層流領域への遷移部に相当しているであろうことを注記しておきたい。

あ と が き

以上農地排水、ないし感潮河川でみられる緩流セキ上げ流れの抵抗係数の問題を、水平こう配水路を用い、実験的に考察したわけであるが、必ずしも明確な結論を得たわけではない。ただ少なくともこれまで未解明であつた領域における流れの性状を実験的にあきらかにし、あるいは今後究明されるべき興味あるテーマを提示することができた。

実験的には水路長が短いことによる誤差、流速分布の未測定など不十分な点が多かつたが、目下 16 m であつた水路延長を 40 m に延長し、詳細な実験を計画中である。これらの成果を検討の上あらためて論議するつもりである。

なお、本研究に際し矢野教授、石原教授はじめ水理実験所の各先生方に御便宜、御教示をいただいたこと、農林省名古屋農地事務局より多大な御援助を受けたことを記し深謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 矢野勝正, 角屋陸: 内水災害に関する諸問題について, 京大防災研究所年報, 第5号, 昭37.3.
- 2) 任田新治: 木曾三川下流々域の排水計画に関する研究, 一高須輪中の流出機構の解析を中心として一, 昭.36.
- 3) 岩佐義朗: 開水路における定常流の一般理論について, 土木学会論文集, 第69号, 昭35.
- 4) 岩垣雄一: 滑面開水路における乱流の抵抗法則について, 土木学会論文集, 第16号, 昭28.
- 5) 木間 仁: 水理学—技術者のための流体の力学—, 丸善出版, 昭27, p.148.