

細円管および狭い長方形管内垂直上昇気液二相流の 流動現象に関する研究

井手, 英夫

<https://doi.org/10.11501/3147903>

出版情報 : 九州大学, 1998, 博士 (工学), 論文博士
バージョン :
権利関係 :

5.5 新提案式の検討

前節において、従来の整理式では特に長方形細管内の平均ホールドアップを十分に整理できないことを示した。そこで本節では、新たに精度のよい整理式を導入することを試みた。その際断面が大きい長方形管に対しても適用可能な統一的な整理式となることを考慮した。

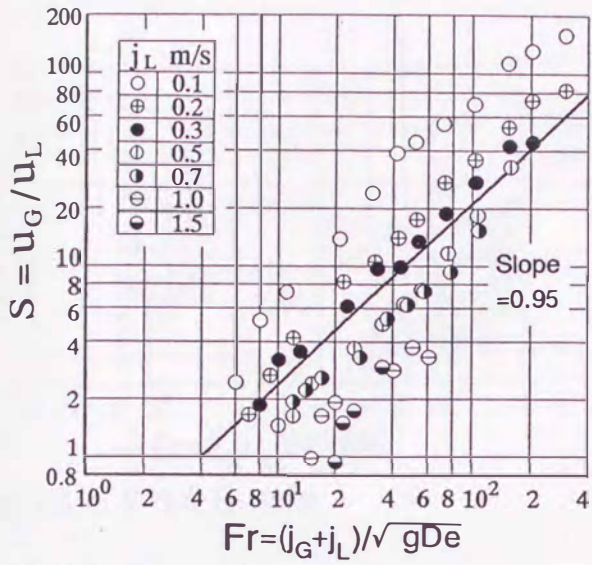
5.5.1 すべり比を用いたホールドアップの整理

長方形細管内のすべり比 S は、その値が 100 ~ 200 に達するほど大きい値となることもある (図 5.4 参照)。これは第 5.3 節で指摘した平均ホールドアップの大なることに起因する。本節ではこのすべり比を用いた平均ホールドアップの整理式を検討した。すなわち狭い長方形管では表面張力および粘性の影響が大であると考えられるので、すべり比はレイノルズ数 Re 、フルード数 Fr 、エトバス数 $Eö$ 、キャピラリー数 Ca およびアスペクト比 T 等の関数で与えられると仮定し、すべり比 S の実測値をこれらの無次元数で整理することを検討した。

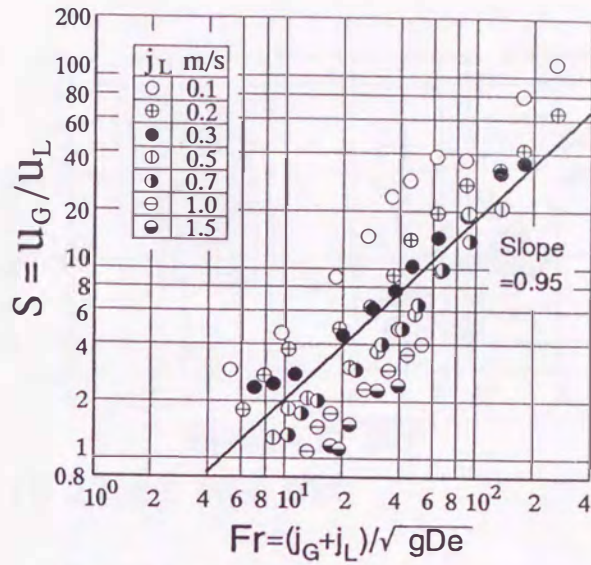
$$S = f(Re, Fr, Eö, Ca, T, \text{など..}) \quad (5.8)$$

上式の無次元数の代表長さとしては長辺 A 、短辺 B 、相当直径 D_h あるいは等価直径 D_e を採用することを検討した。その結果同じ代表長さがどの無次元数についても一貫して使用されれば、後出の式 (13) の無次元数の指数はあまり変わらないが、 D_e を用いるとデータのまとまりが若干よかったので、本報ではこれを採用した。

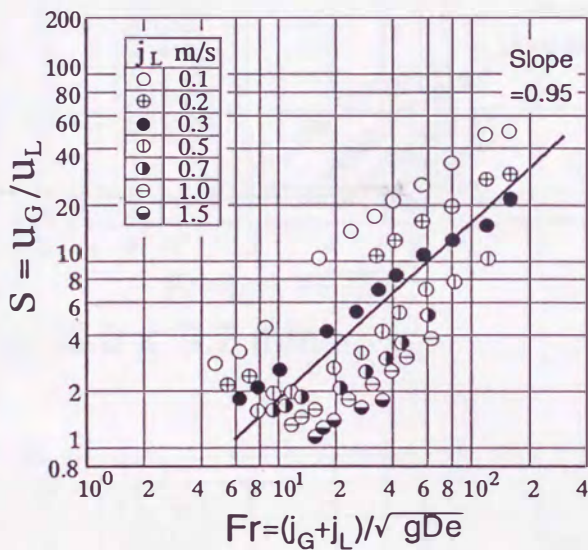
図 5.4 に本実験で得られたすべり比 S とフルード数 $Fr \{ \equiv (j_G + j_L) / \sqrt{g D_e} \}$ の関係を示した。図 A(a) ~ (d) は長方形細管の場合、図 B(e) ~ (n) は断面が大きい長方形管の場合である。図中の実線は、 j_L 一定とした時の S と Fr の関係が両対数軸上で直線となると仮定して引いたもので、全実験範囲で得られた勾配の平均値を表す。断面が比較的大きい管 (図 (i), 図 (j) など) では短辺が大きい場合および j_L が大きい場合勾配が小さくなる傾向が認められるが、ここでは全平均勾配を採用し、フルード数のべき数として 0.95 を用いた。



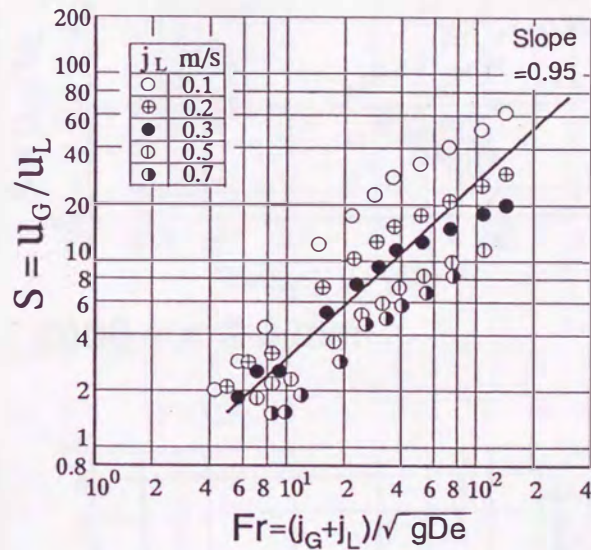
(a) 1.0 x 1.0 mm



(b) 2.0 x 1.0 mm



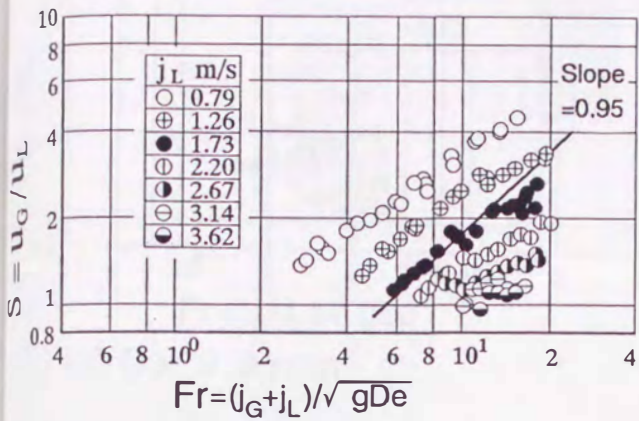
(c) 5.0 x 1.0 mm



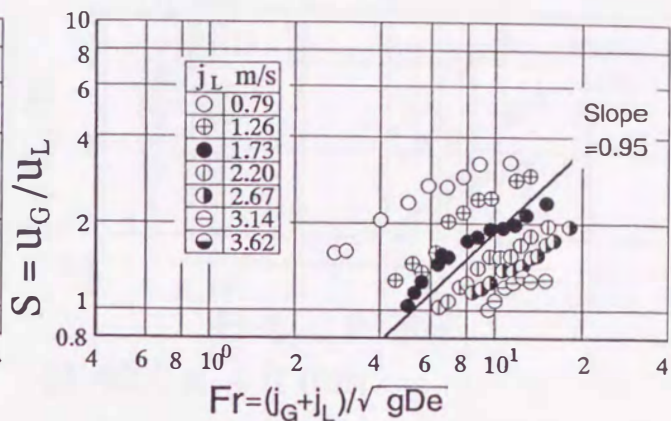
(d) 9.9 x 1.1 mm

(A) 長方形細管

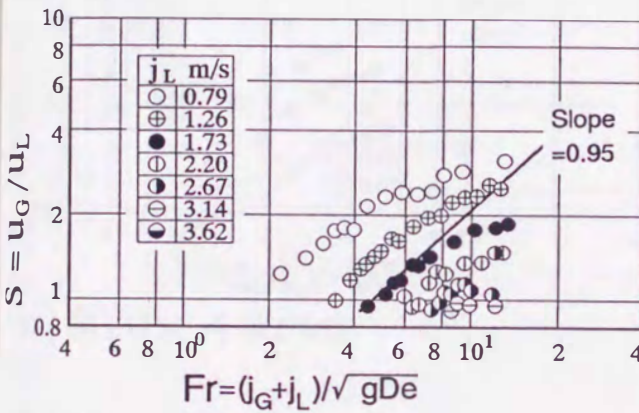
図 5.4 すべり比 S とフルード数 Fr の関係



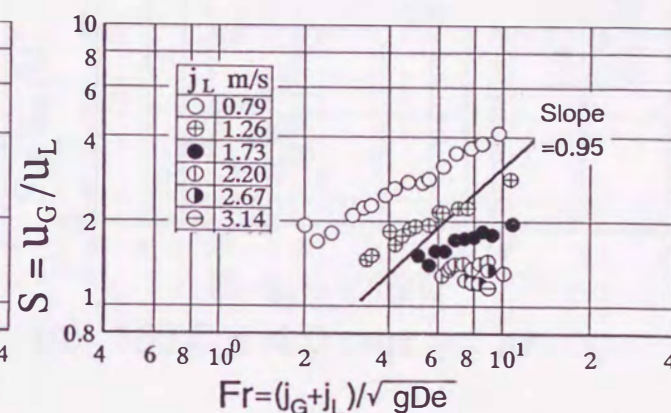
(e) 14.6 x 14.6 mm



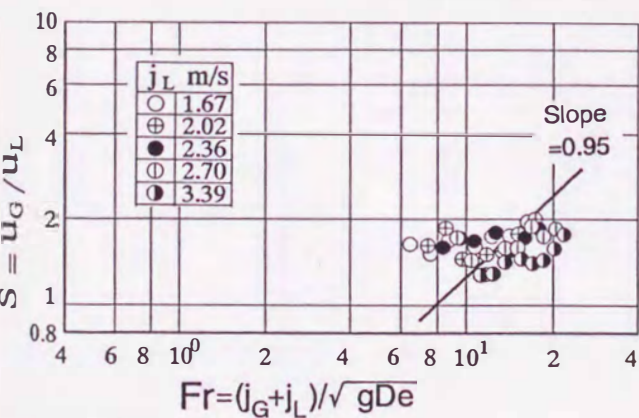
(f) 21.8 x 10.8 mm



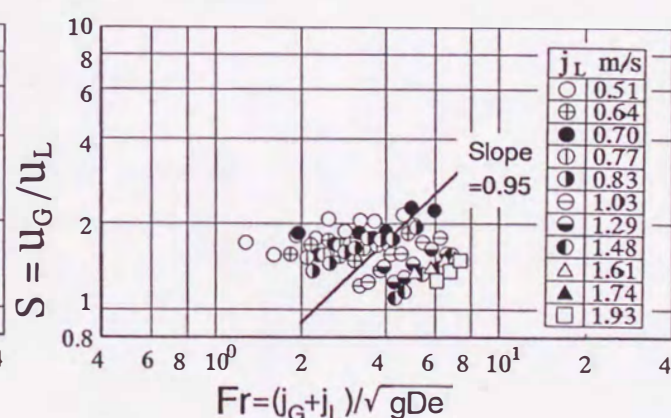
(g) 29.0 x 9.7 mm



(h) 36.4 x 9.3 mm



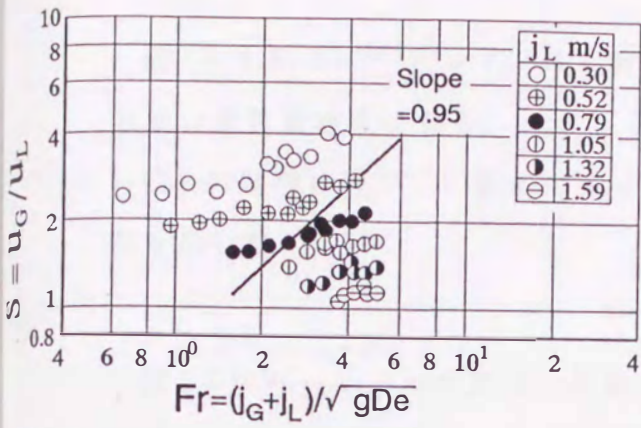
(i) 14.0 x 6.9 mm



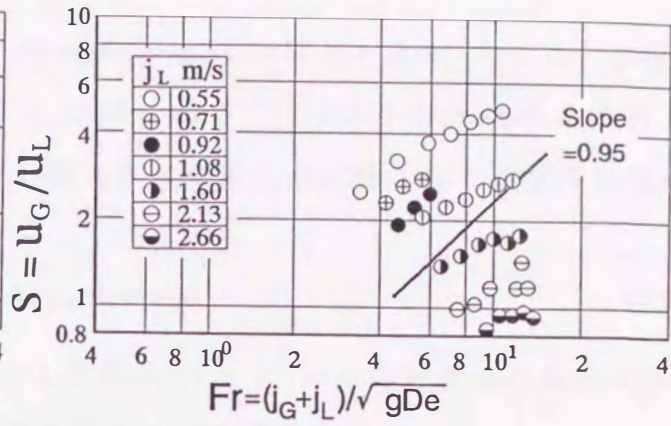
(j) 32.3 x 16.0 mm

(B) 断面の大きい長方形管

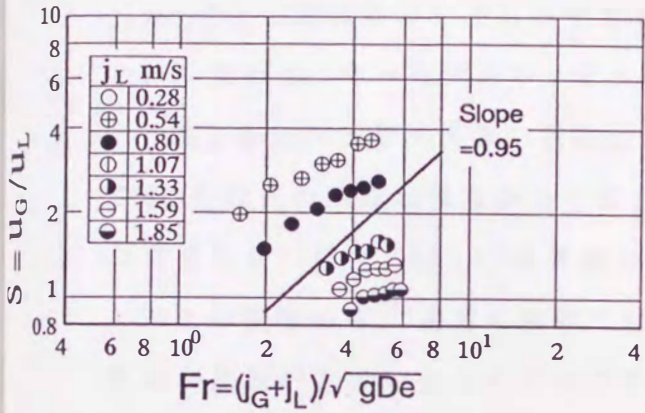
図 5.4 すべり比 S とフルード数 Fr の関係



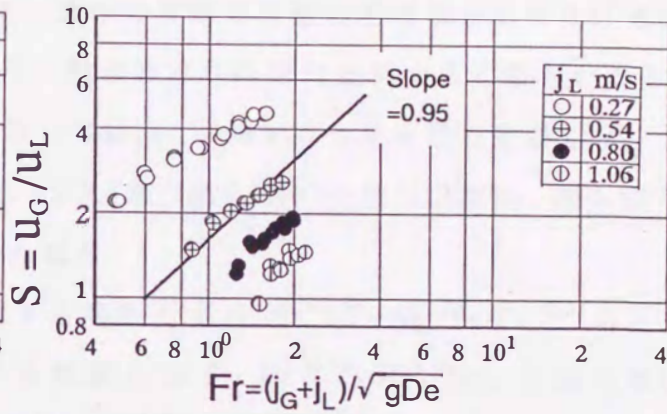
(k) 80.0 x 7.9 mm



(l) 40.0 x 4.0 mm



(m) 80.0 x 4.0 mm



(n) 160.0 x 4.0 mm

(B) 断面の大きい長方形管, つづき

図 5.4 すべり比 S とフルード数 Fr の関係

図 5.5 は $S \cdot Fr^{-0.95}$ とレイノルズ数 $Re (\equiv GDe/\mu_m)$ の関係を示す。ここに、 G は気液の全質量速度である。 μ_m としては Hughmark ら⁽³²⁾ が flow parameter { 式 (5.2) の $1/C_0$ } の整理に用い、一般的にもよく用いられる次式で定義される二相流粘性係数を用いた。

$$\mu_m = \mu_G \hat{\alpha} + \mu_L \hat{\eta} \quad (5.9)$$

図 5.5 からレイノルズ数のべき数として図 A(a) ~ (d) の長方形細管の場合-1.03, 図 B(e) ~ (n) の断面が大きい長方形管の場合-1.10 を得た。

図 5.6 は長方形細管について、 $S \cdot Fr^{-0.95} \cdot Re^{1.03}$ とキャピラリ-数 $Ca \{ \equiv \mu_m (j_G + j_L) / \sigma_L \}$ との関係を示したものである。図中の実線の勾配の平均値として 0.17 を得た。すなわち、すべり比はキャピラリ-数のほぼ 0.17 乗に比例することがわかる。

一方、断面が比較的大きい管路に対しては、このキャピラリ-数を考慮しない方が $\hat{\eta}$ の整理式の精度は幾らか良くなる (5.5.3 節, 図 5.12(b) と図 5.13 参照, 図 5.12(b) は考慮しない場合, 図 5.13 は考慮した場合)。

以上の整理から、長方形細管に対する関数 $f_1 \equiv S \cdot Fr^{-0.95} \cdot Re^{1.03} \cdot Ca^{-0.17}$ および断面が比較的大きい長方形管に対する関数 $f_2 \equiv S \cdot Fr^{-0.95} \cdot Re^{1.10}$ は、断面の異なる管路に対して値は異なるが、同じ管路であれば気体および液体の流量が異なってもほぼ一定の値となることがわかった。

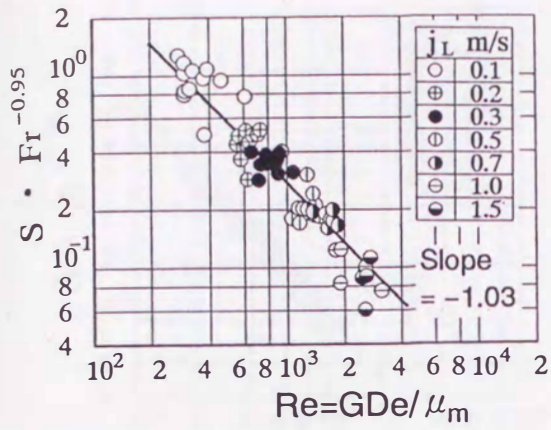
図 5.7 にこれらの関数の値と D_e を代表長さとするエトバス数 $E\ddot{o} \{ \equiv (\rho_L - \rho_G) g D_e^2 / \sigma_L \}$ との関係を示した。図中の実線は、次式 (5.10) の関係を表す。

$$f_1 = f_2 = 1.86 \times 10^3 \cdot E\ddot{o}^{0.75} \quad (5.10)$$

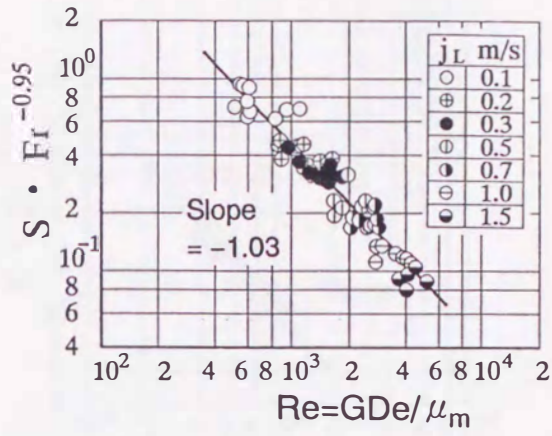
これらの関係から、長方形細管および断面が比較的大きい長方形管内のすべり比 S に対して、それぞれ式 (5.11) および式 (5.12) が求められる。

$$S = f_1 \cdot Fr^{0.95} \cdot Re^{-1.03} \cdot Ca^{0.17} \quad (5.11)$$

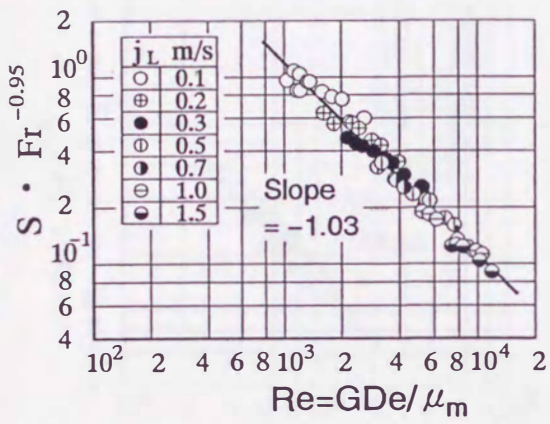
$$S = f_2 \cdot Fr^{0.95} \cdot Re^{-1.10} \quad (5.12)$$



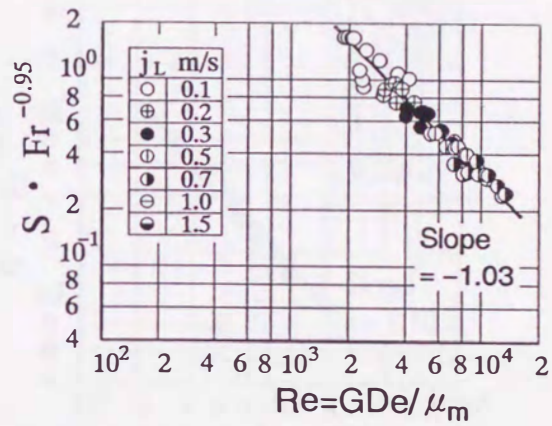
(a) 1.0 x 1.0 mm



(b) 2.0 x 1.0 mm



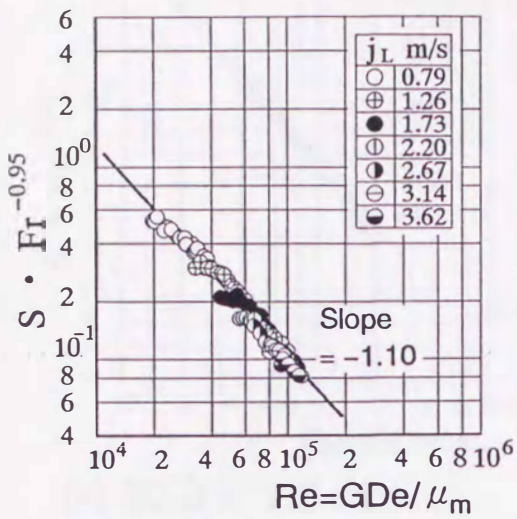
(c) 5.0 x 1.0 mm



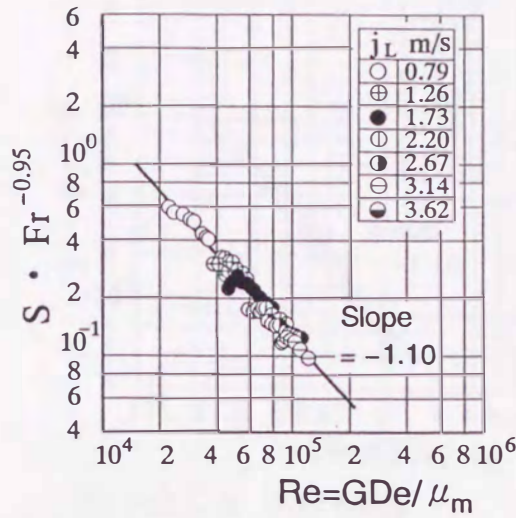
(d) 9.9 x 1.1 mm

(A) 長方形細管

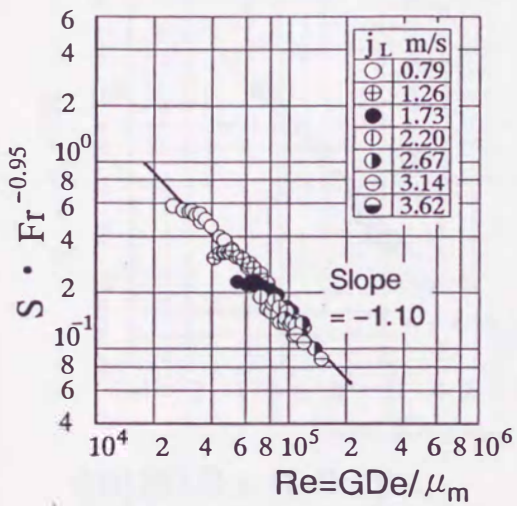
図 5.5 レイノルズ数 Re の影響



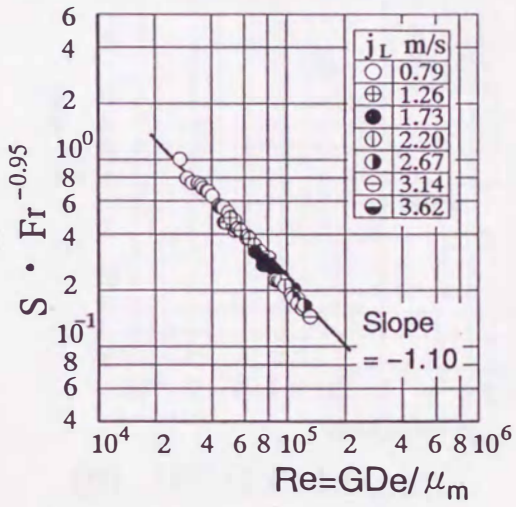
(e) 14.6 x 14.6 mm



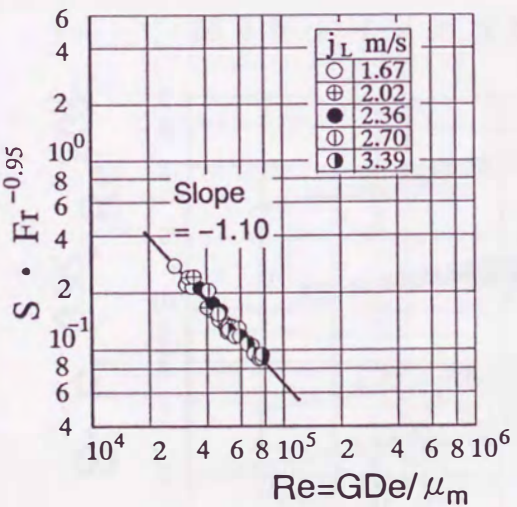
(f) 21.8 x 10.8 mm



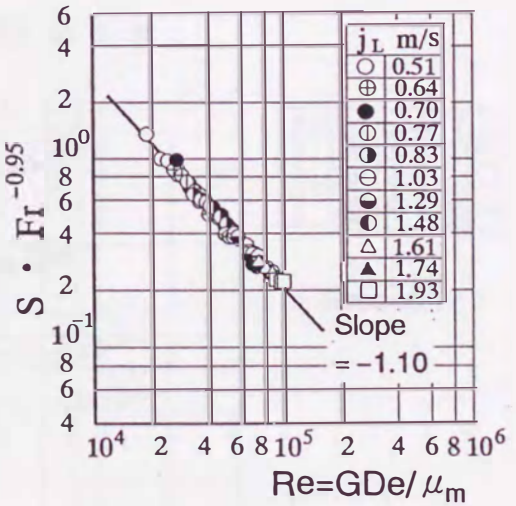
(g) 29.0 x 9.7 mm



(h) 36.4 x 9.3 mm



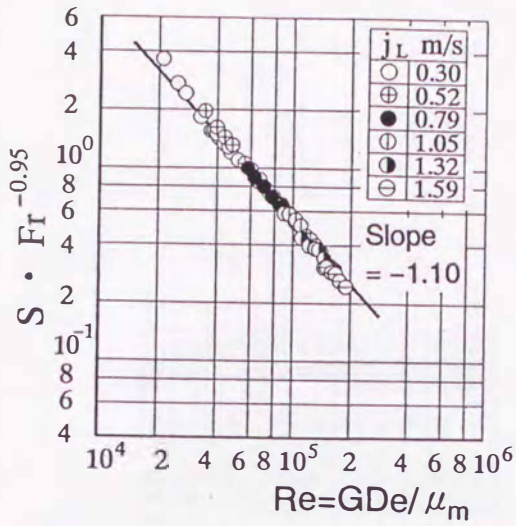
(i) 14.0 x 6.9 mm



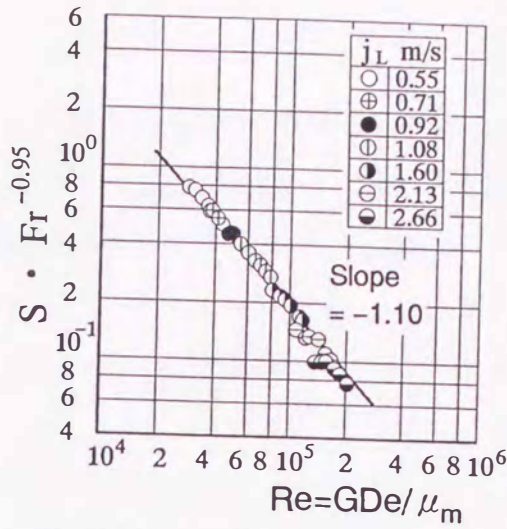
(j) 32.3 x 16.0 mm

(B) 断面の大きい長方形管

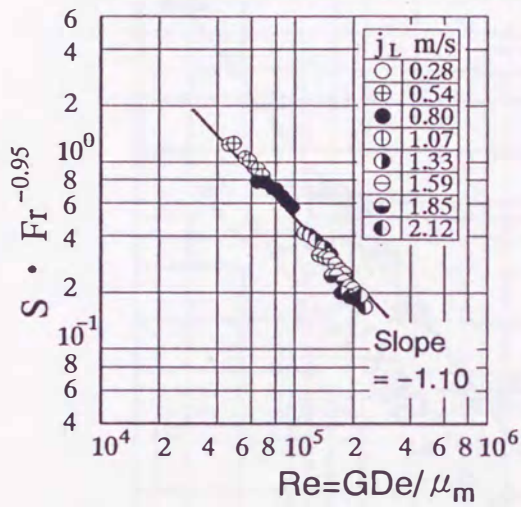
図 5.5 レイノルズ数 Re の影響



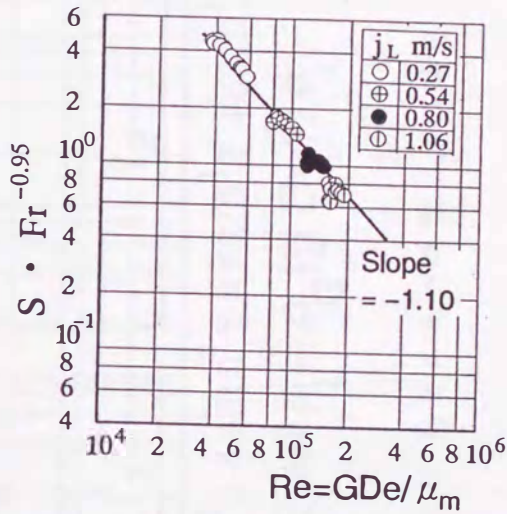
(k) 80.0 x 7.9 mm



(l) 40.0 x 4.0 mm



(m) 80.0 x 4.0 mm



(n) 160.0 x 4.0 mm

(B) 断面の大きい長方形管, つづき

図 5.5 レイノルズ数 Re の影響

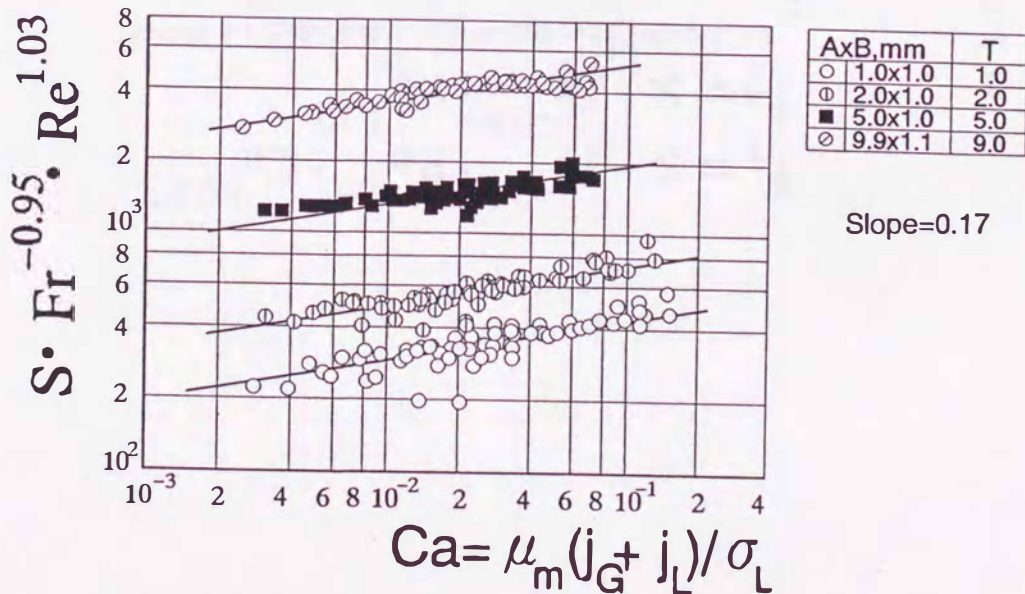


図 5.6 キャピラリ-数 Ca の影響

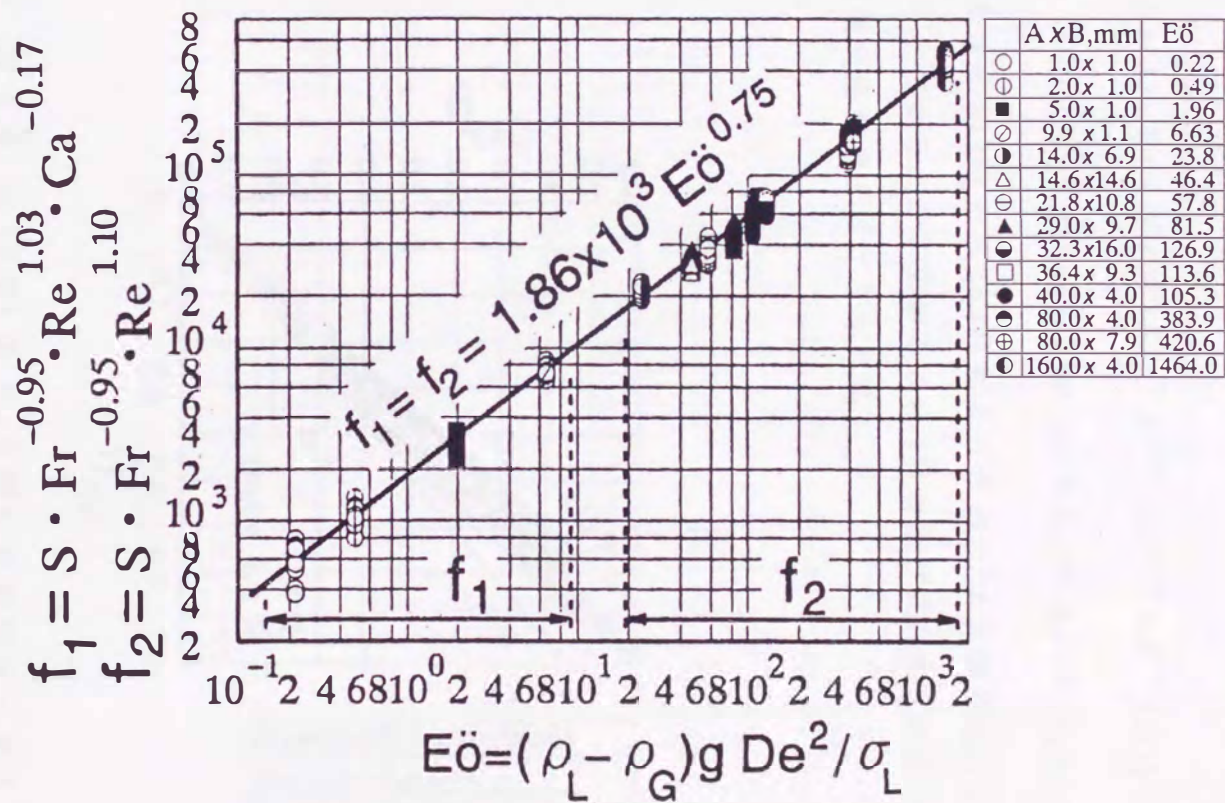


図 5.7 関数 f_1 および f_2 と エトバス数 $Eö$ の関係

従って、これらのすべり比を式 (5.7) に代入して得られる $\hat{\eta}$ の整理式は、 D_e を代表長さとするエトバス数が 10 より小さい長方形細管に対しては式 (5.13)、エトバス数が 10 以上の断面が比較的大きい長方形管に対しては式 (5.14) によって与えられる。

$$\hat{\eta} = 1 - [1 + 1.86 \times 10^3 \cdot E\ddot{o}^{0.75} \cdot Fr^{0.95} \cdot Re^{-1.03} \cdot Ca^{0.17} \cdot (j_L/j_G)]^{-1} \quad (5.13)$$

$$\hat{\eta} = 1 - [1 + 1.86 \times 10^3 \cdot E\ddot{o}^{0.75} \cdot Fr^{0.95} \cdot Re^{-1.10} \cdot (j_L/j_G)]^{-1} \quad (5.14)$$

図 5.8 は式 (5.13) と式 (5.14) により求めた $\hat{\eta}$ の計算値 $\hat{\eta}_{CAL}$ と実験値 $\hat{\eta}_{EXP}$ の比較を行ったものである。この図から式 (5.13) および式 (5.14) によって、 $\hat{\eta}$ をほぼ $\pm 15\%$ 以内の精度で推定できることがわかる。

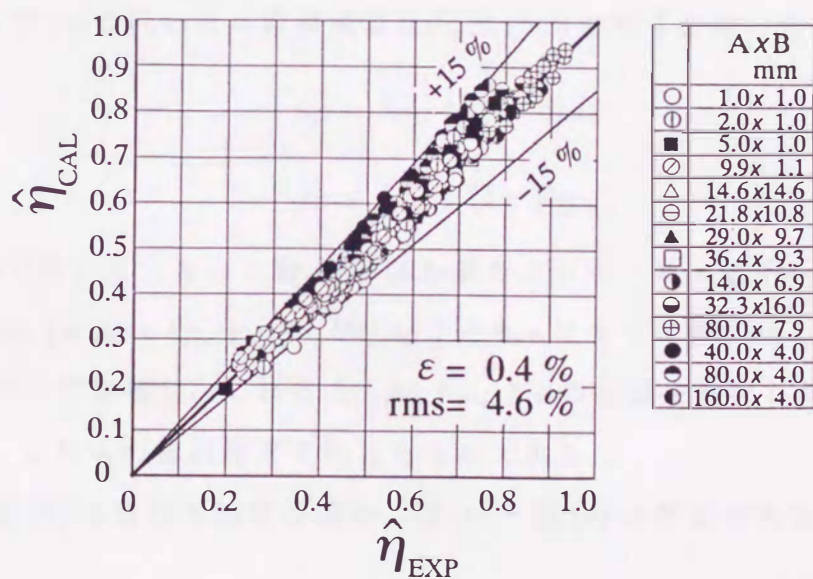


図 5.8 式 (5.9) の μ_m を用いた平均ホールドアップの整理式 (5.13) および (5.14) の計算値と実験値の比較

5.5.2 二相流粘性係数の整理式

上述した整理において式(5.9)の二相流粘性係数 μ_m を使用しているが、これには $\hat{\alpha}$ と $\hat{\eta}$ を含んでいる。つまり、 $\hat{\alpha}$ もしくは $\hat{\eta}$ を求めるのに予めこれらを知っておく必要があり、式(5.9)を用いることは $\hat{\eta}$ の整理式としては好ましくない。そこで μ_m の代わりに μ_L または μ_G を用いた場合や McAdams⁽³³⁾、Cicchitti⁽³⁴⁾および Dukler⁽³⁵⁾等が定義した粘性係数{式(5.15)}と置き換えて、整理式を再検討したが、いずれも十分な整理が得られなかった。

このことは、式(5.9)の μ_m で定義された粘度が狭い管路内の気液混合体の粘度として適切であり、 $\hat{\eta}$ を精度良く与えるものと思われる。従って以下では式(5.9)の $\hat{\eta}$ および $\hat{\alpha}$ に本実験値を代入して求めた μ_m を実験値として、その整理式を得ることを試みる。その際 μ_m を μ_L で除した無次元の粘性係数(μ_m/μ_L)が、前節の式(5.8)と同様に無次元数の積で与えられると考えた。さらに Re 数や Ca 数は $\hat{\eta}$ を用いない以下の式で定義した。すなわち、まず二相流粘性係数 μ_C ならびに二相流平均密度 ρ_C としてそれぞれ $\hat{\alpha}$ の代わりに容積流量比 β {式(5.2)参照}を用いた次式を定義した。

$$\mu_C = \beta\mu_G + (1 - \beta)\mu_L \quad (5.15)$$

$$\rho_C = \beta\rho_G + (1 - \beta)\rho_L \quad (5.16)$$

また前節で用いたフルード数 Fr のほか新たにレイノルズ数 $Re_L (\equiv \rho_C \cdot j_L \cdot De / \mu_C)$ 、 $Re_m \{ \equiv \rho_C \cdot (j_G + j_L) \cdot De / \mu_C \}$ とキャピラリー数 $Ca_G (\equiv \mu_C \cdot j_G / \sigma_L)$ なども β を用いて定義し、これらと(μ_m / μ_L)との相関を検討した。

図5.9は、これらの検討結果を示したものである。

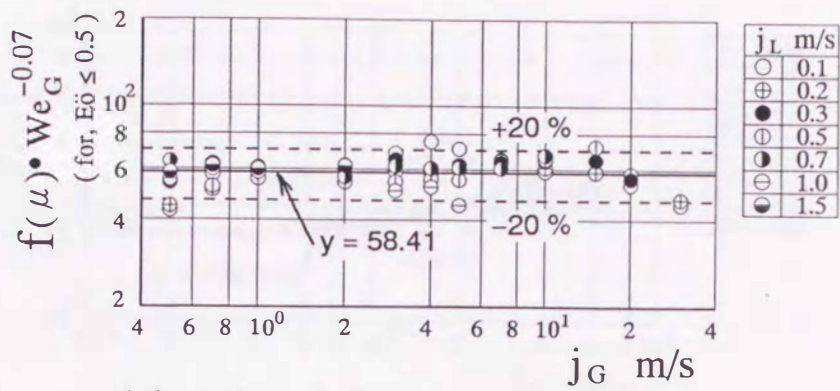
図(a)～図(d)は長方形細管の場合、図(e)～図(n)は断面が大きい長方形管の場合である。

図(a)および図(b)の長方形細管 $1 \times 1 \text{mm}$ および $2 \times 1 \text{mm}$ の場合、すなわち De を代表長さとするエトバス数が0.5以下の場合は、式(5.17)に示す $f(\mu)$ に加え、さらに気相で定義したウェバー数 $We_G (\equiv \rho_G De j_G^2 / \sigma_L)$ の影響を考慮すると、 $f(\mu) \cdot We_G^{-0.07}$ の値は、気体および液体の流量が異なっても $\pm 20\%$ 以内ではほぼ一定となることがわかる。図(c)および図(d)の $5 \times 1 \text{mm}$ および $9.9 \times 1.1 \text{mm}$ の場合、 $f(\mu)$ の値が、 $\pm 20\%$ 以内となることがわかった。

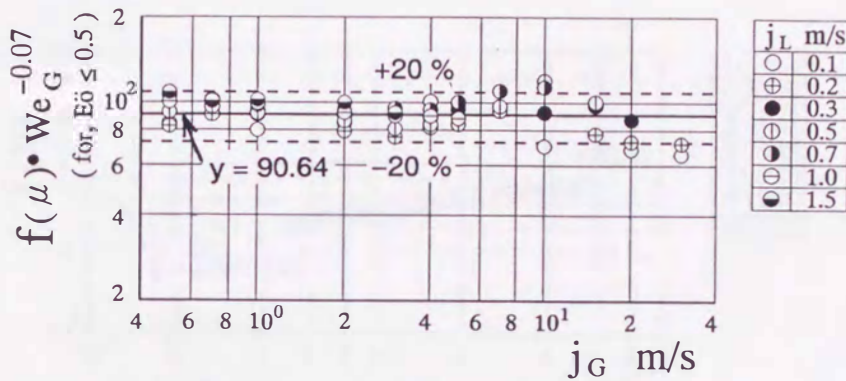
$$f(\mu) = (\mu_m / \mu_L) \cdot Fr^{-1.01} \cdot Re_L^{0.71} \cdot Ca_G^{0.13} \cdot Re_m^{0.25} \cdot (1 - \beta)^{-1.15} \quad (5.17)$$

一方、図(e)～図(n)の断面が大きい長方形管の場合、 $f(\mu)$ の値は、それぞれの管路についてその平均値から $\pm 20\%$ 以内の値であることを示しているが、幾分 j_G の影響が残る場合もみられる。この場合 We_G を考慮し整理するとその指数は小さく、後出の図5.10で示すエトバス数との関係が良好でないため、図(c)および図(d)の場合も考慮して縦軸は $f(\mu)$ で表した。すなわち、 $f(\mu)$ の値が $\pm 20\%$ 以内ではほぼ一定であることから、それぞれの管路について $f(\mu)$ の平均値を算出した。

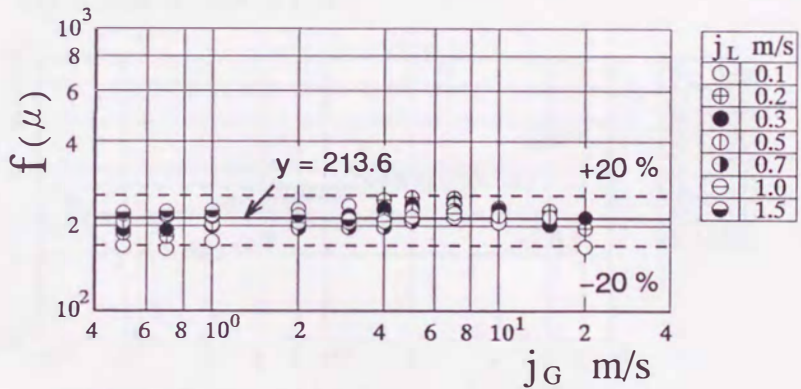
なお、これらの図ではとくに長方形細管 $9.9 \times 1.1\text{mm}$ の場合の j_L が 0.1m/s で j_G が 0.5 および 0.7m/s の実験結果は平均より小さく、以下の図でも幾らかばらつきが大きいことがわかった。



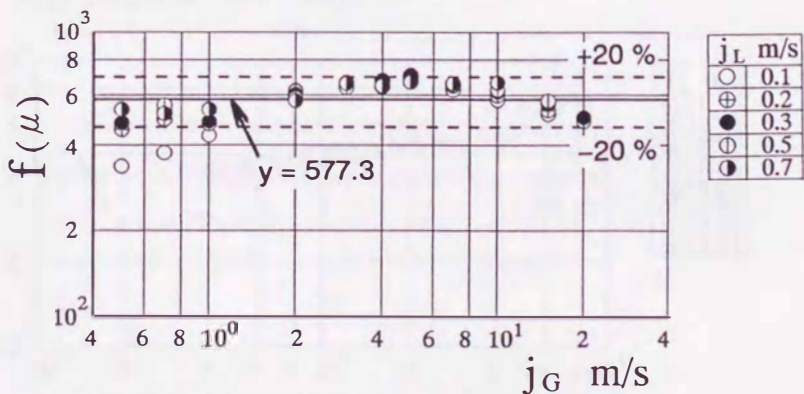
(a) 1.0 x 1.0 mm



(b) 2.0 x 1.0 mm



(c) 5.0 x 1.0 mm



(d) 9.9 x 1.1 mm

図 5.9 $f(\mu)$ と $f(\mu) \cdot We_G^{-0.07}$ の値
(A, 長方形細管)

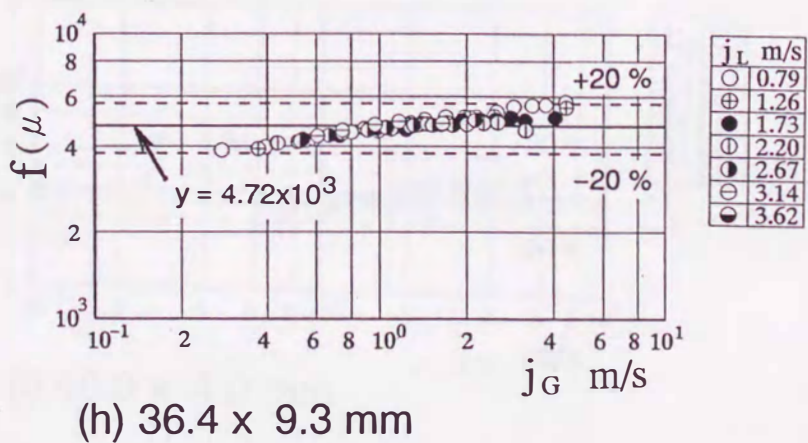
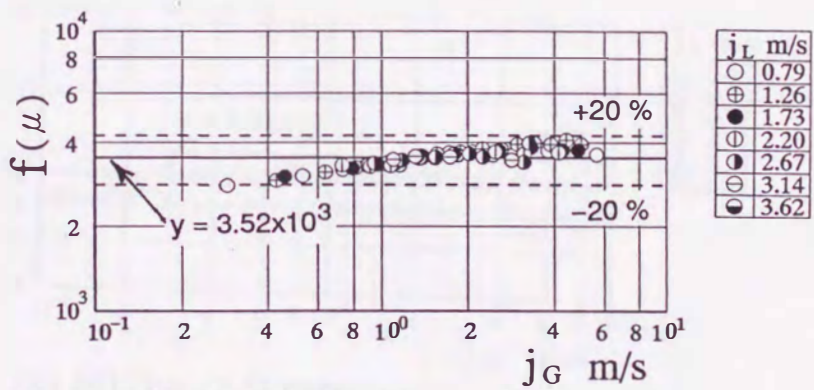
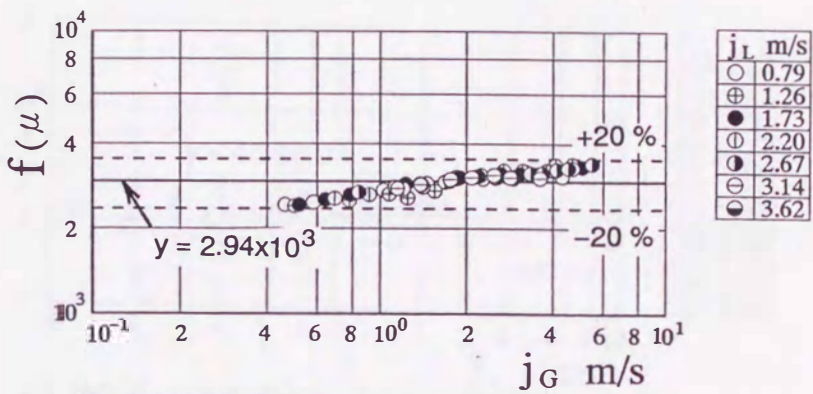
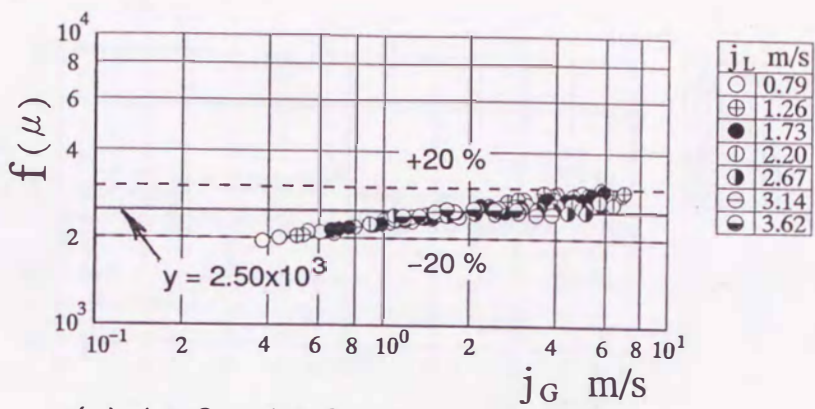
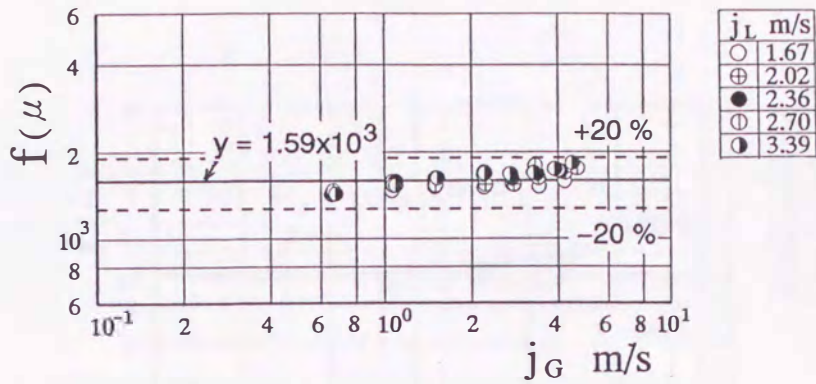
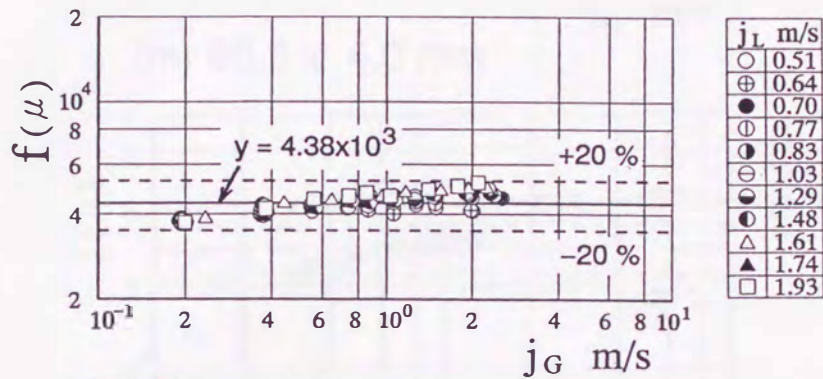


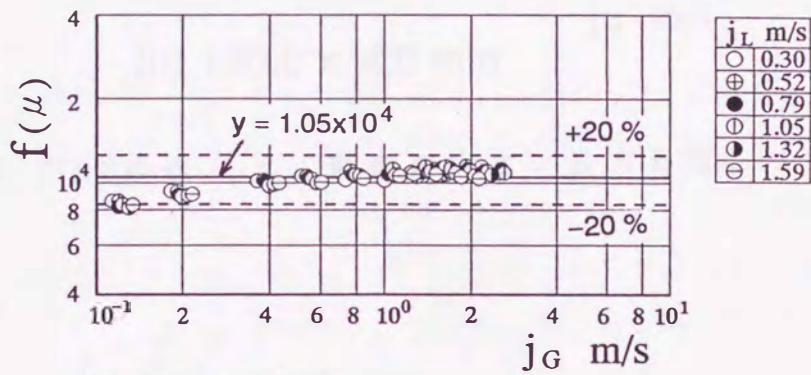
図 5.9 $f(\mu)$ の値 (B, 断面の大きい長方形管)



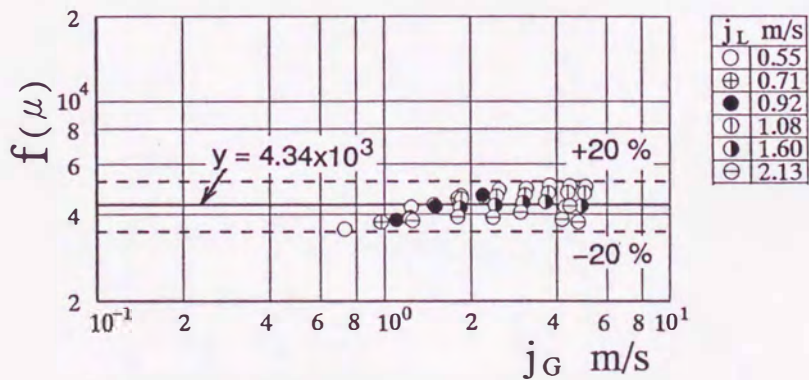
(i) 14.0 x 6.9 mm



(j) 32.3 x 16.0 mm

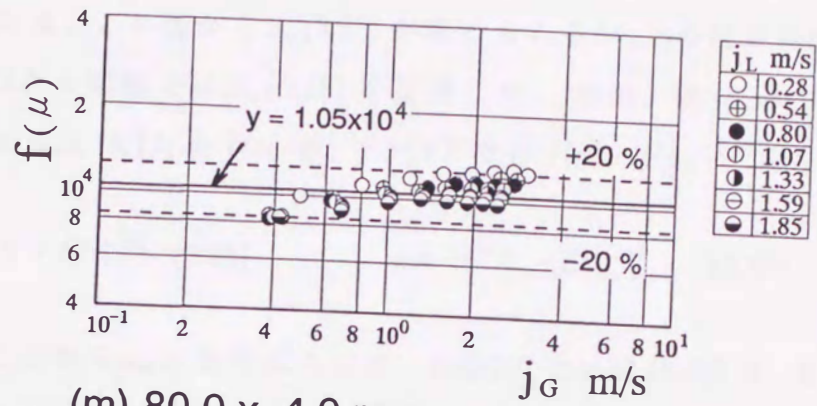


(k) 80.0 x 7.9 mm

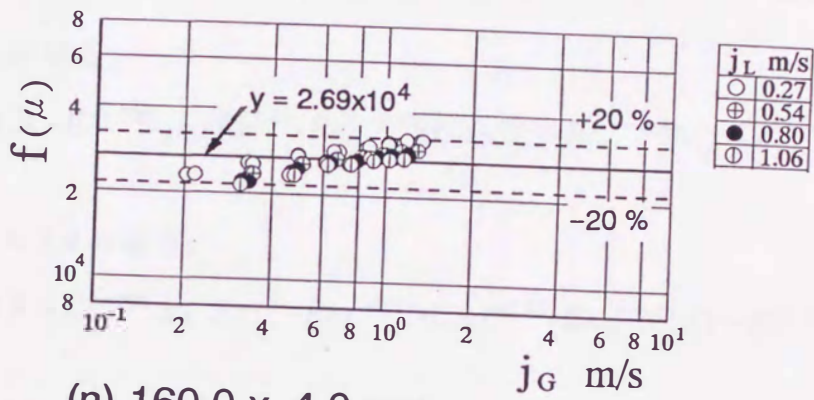


(l) 40.0 x 4.0 mm

図 5.9 $f(\mu)$ の値 (B, 断面の大きい長方形管, つづき)



(m) 80.0 x 4.0 mm



(n) 160.0 x 4.0 mm

図 5.9 $f(\mu)$ の値 (B , 断面の大きい長方形管 , つづき)

図 5.10 はこれら定数の平均値と D_e を代表長さとするエトバス数との関係を示したものである。この図から式 (5.18) が求められるが、 $\hat{\eta}$ の推定精度を良好にするために $E\ddot{o} \leq 2.0$ の範囲では式 (5.19) を採用した。なお、式 (5.18) と式 (5.19) の y は、 $E\ddot{o} > 0.5$ では式 (5.17) の $f(\mu)$ を、 $E\ddot{o} \leq 0.5$ では $f(\mu) \cdot We_G^{-0.07}$ を示す。

$$y = 151.5 \cdot E\ddot{o}^{0.706} \quad (5.18) \qquad y = 141.8 \cdot E\ddot{o}^{0.596} \quad (5.19)$$

以上のことから μ_m の整理式として、 $E\ddot{o} \geq 2.0$ では式 (5.20) を、 $0.5 \leq E\ddot{o} < 2.0$ では式 (5.21) を、エトバス数が 0.5 より小さい範囲では式 (5.22) が提案される。

$E\ddot{o} \geq 2.0$ の場合、

$$\mu_m = 151.5 \cdot E\ddot{o}^{0.706} \cdot \mu_L \cdot Fr^{1.01} \cdot Re_L^{-0.71} \cdot Ca_G^{-0.13} \cdot Re_m^{-0.25} \cdot (1-\beta)^{1.15} \quad (5.20)$$

$0.5 \leq E\ddot{o} < 2.0$ の場合、

$$\mu_m = 141.8 \cdot E\ddot{o}^{0.596} \cdot \mu_L \cdot Fr^{1.01} \cdot Re_L^{-0.71} \cdot Ca_G^{-0.13} \cdot Re_m^{-0.25} \cdot (1-\beta)^{1.15} \quad (5.21)$$

$E\ddot{o} < 0.5$ の場合、

$$\mu_m = 141.8 \cdot E\ddot{o}^{0.596} \cdot \mu_L \cdot Fr^{1.01} \cdot Re_L^{-0.71} \cdot Ca_G^{-0.13} \cdot Re_m^{-0.25} \cdot (1-\beta)^{1.15} \cdot We_G^{0.07} \quad (5.22)$$

図 5.11 は μ_m の全実験値と式 (5.20) ~ 式 (5.22) による計算値 μ_{cal} との比較を示したものである。 μ_m は約 $\pm 20\%$ で推定されることがわかる。

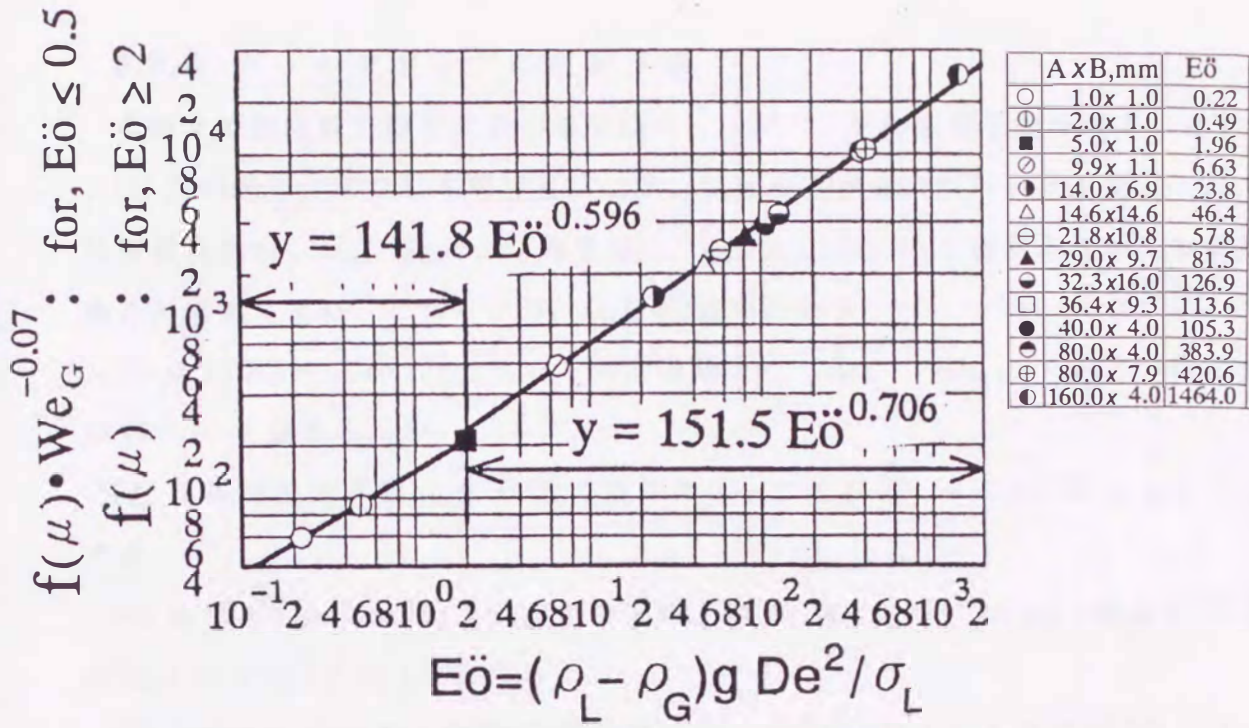


図 5.10 $f(\mu)$ および $f(\mu) \cdot We_G^{-0.07}$ とエトバス数の関係

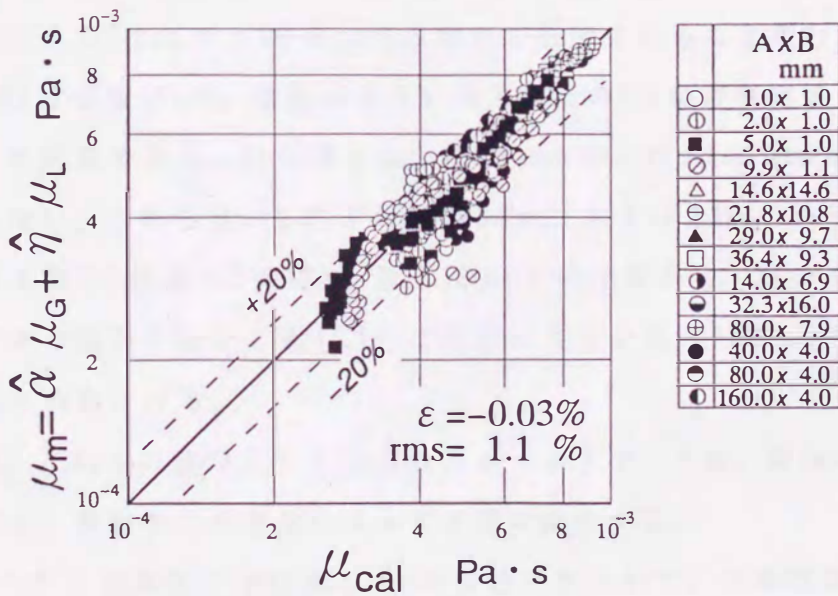


図 5.11 μ_m の整理式 (5.20) ~ (5.22) による μ_m の計算値と実験値の比較

5.5.3 ホールドアップの推定手順

本論文の鉛直長方形管における平均ホールドアップの推定手順を以下に述べる。

(1) 次の因子，すなわち管寸法 A ， B ，気体および液体のみかけ速度 j_G ， j_L または質量流量 G ， G_G ， G_L および物性値 ρ_G ， ρ_L ， μ_G ， μ_L ， σ_L は通常あらかじめ既知であると考えてよい。これらより， De と $Eö$ 数を定める。

(2) 式 (5.20) ～ 式 (5.22) で用いる無次元数 Fr ， Re_L ， Re_m ， Ca_G ， We_G および $(1-\beta)$ を定める。

(3) 二相流粘性係数 μ_m を $Eö$ 数の条件によって式 (5.20) ～ 式 (5.22) によって決定する。

(4) 式 (5.13) と式 (5.14) に含まれる無次元数 Re 数 ($\equiv G \cdot De / \mu_m$) および Ca 数 ($\equiv \mu_m (j_G + j_L) / \sigma_L$) を定める。

(5) 平均ホールドアップ $\hat{\eta}$ を $Eö$ 数の値によって式 (5.13) もしくは式 (5.14) によって決定する。

図 5.12 は上記の (1) ～ (5) の手順に従って算定した $\hat{\eta}$ の計算値 $\hat{\eta}_{CAL}$ と本実験値 $\hat{\eta}_{EXP}$ の比較を行ったものであり，(a) は長方形細管の場合，(b) は断面が比較的大きい長方形管の場合である。

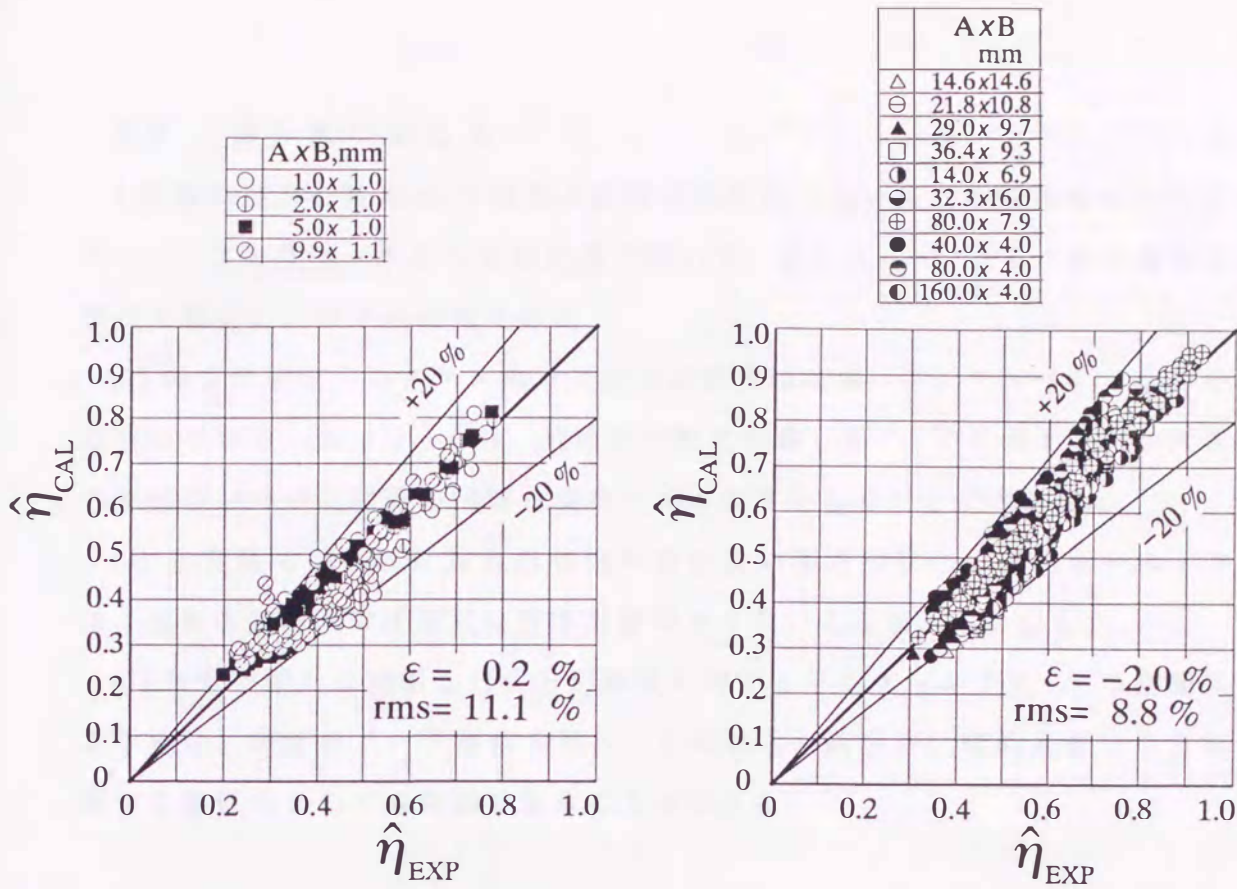
図 5.12 から $\hat{\eta}$ はほぼ $\pm 20\%$ 以内の精度で推定されることがわかる。

図 5.13 は手順 (5) で，断面の大きい長方形管の $\hat{\eta}$ を長方形細管で得た式 (5.13) から推定した結果である。図 5.13 では， 40×4 mm および 80×4 mm の一部の結果は精度が良くない。これらは，それぞれ j_L が 2.7 m/s および 2.1 m/s の j_L が大きい範囲に該当する（第 5.2 節表 5.2 参照）。図 5.12(b) との比較から，幾分推定精度は低くなるが，上述の結果を除くと式 (5.13) は断面の大きい長方形管の $\hat{\eta}$ を比較的良好に推定できると判断される。

なお，これらの整理式から得られるホールドアップは，液体の粘性の増加によって増加し，表面張力の増加によっては逆に減少する。

表 5.3 中には本論文で提案した $\hat{\eta}$ の整理式について，平均誤差と rms 値も下 3 段にまとめている。

これらの表から， $\hat{\eta}$ の統一的整理式としての式 (5.13)，エトバス数の範囲により区分した場合式 (5.13) と式 (5.14) は，従来公表されているいずれのものよりよい精度でホールドアップを予測することができ，有用であることがわかる。



(a) 長方形細管の場合 {式(5.13)} (b) 比較的断面が大きい管路の場合 {式(5.14)}

図 5.12 μ_m の整理式を用いた平均ホールドアップの整理式(5.13)および(5.14)の計算値と実験値の比較

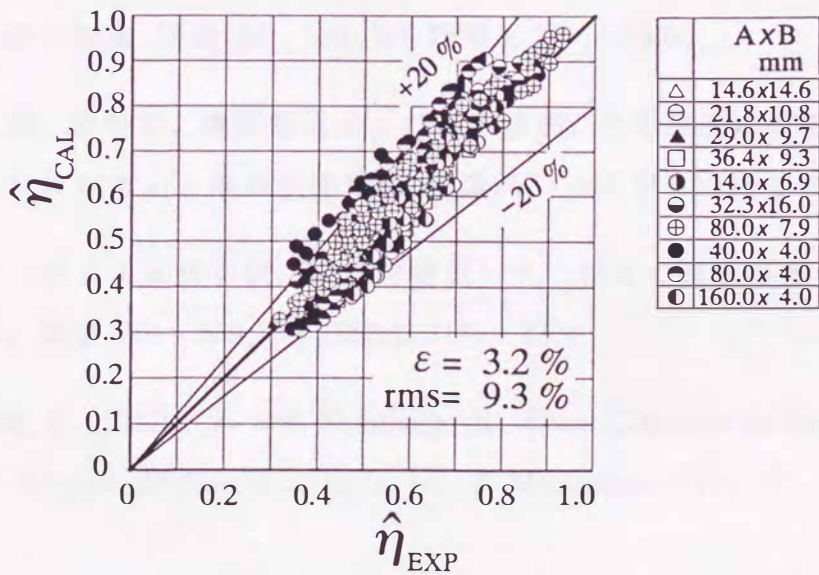


図 5.13 比較的断面が大きい管路の平均ホールドアップを長方形細管に対する整理式(5.13)により推定した場合

5.6 第5章のまとめ

4種類の長方形細管と10種類の断面が比較的大きい長方形管における平均ホールドアップの空気-水系の実験結果を用いて、平均ホールドアップの特徴とその整理式を検討し、以下の結論を得た。

(1) 長方形細管内のフロス流および環状流領域において、アスペクト比が小さい場合の平均ホールドアップは、液体が片隅に停滞し易く、アスペクト比が大きい場合や相当直径が同程度の円管の場合に比べ大きくなることがわかった。

(2) 本実験で得られた長方形細管を含む狭い長方形管内の平均ホールドアップは、従来の整理式では満足な精度で整理できないことを明らかにした。

(3) 本章で新たに提案した長方形細管に対する平均ホールドアップの整理式と推定手法は、精度のよい予測値を与え、これはまた断面が比較的大きい長方形管に対する整理式としても有効であることを示した。

文 献

- (1) Suo, M. and Griffith, P., Two - Phase Flow in Capillary Tubes, ASME J. Basic Engng, (1964), 576 - 582.
- (2) 深野徹, 仮屋崎侃および香川昌純, 水平細管内を流動する気液二相流の流動様式と圧力損失, 機論, 56 - 528, B (1990), 2318 - 2326.
- (3) 仮屋崎侃, 深野徹, 逢坂昭治および香川昌純, 水平細管内の等温空気 - 水二相流におけるボイド率の変動特性, 機論, 57 - 544, B (1991), 4036 - 4043.
- (4) 三島嘉一郎および日引俊, 細管内空気 - 水二相流の流動特性に及ぼす管内径の影響, 機論, 61 - 589, B (1995), 3197 - 3204.
- (5) Mishima, K., Hibiki, T. and Nishihara, H., Some Characteristics of Gas - Liquid Flow in Narrow Rectangular Ducts, Int. J. Multiphase Flow, 19 - 1 (1993), 115 - 124.
- (6) 井手英夫, 松村博久および深野徹, 鉛直細管内気液二相流のじょう乱波および基底波の速度特性について, 機論, 61 - 584, B (1995), 1316 - 1322.

- (7) 井手英夫, 松村博久, 田中雄二および深野徹, 長方形断面を有する鉛直な狭い流路内気液二相流の流動様式と摩擦圧力損失, 機論, 63 - 606, B (1997), 452 - 460.
- (8) 土方邦夫, 森康夫, 長崎孝夫および野畑邦夫, 細管内高速二相流に関する研究, 機論, 51 - 463, B (1985), 1033 - 1040.
- (9) 飯田嘉宏および高橋健一, 狭いすきま流路の気液二相流, 化工論, 2 - 3, (1976), 228 - 234.
- (10) Wilmarth, T. and Ishii, M., Two - Phase Flow Regimes in Narrow Rectangular Vertical and Horizontal Channels, Int., J., Heat Mass Transfer, 37 - 12, (1994), 1749 - 1758.
- (11) Lowry, B. and Kawaji, M., Adiabatic Vertical Two - Phase Flow in Narrow Flow Channels, AIChE Symp. Series, 84 - 263, (1988), 133 - 139.
- (12) Ali, M., Sadatomi, M. and Kawaji, M., Adiabatic Two - Phase Flow in Narrow Channels between Two Flat Plates, Can., J., Chem., Engng., 71 - 5, (1993), 657 - 666.
- (13) Ide, H. and Matsumura, H., Frictional Pressure Drops of Two - Phase Gas - Liquid Flow in Rectangular Channels, Int., J., Exp., Thermal Fluid Sci., 3 - 4, (1990), 362 - 372.
- (14) Wambsganss, M. W., Jendrzeczyk, J. A., France, D. M. and Obot, N. T., Frictional Pressure Gradients in Two - Phase Flow in A Small Horizontal Rectangular Channel, Int., J., Exp., Thermal Fluid Sci., 5 - 1, (1992), 40 - 56.
- (15) Lockhart, R. W. and Martinelli, R. C., Proposed Correlation of Data For Isothermal Two - Phase, Two - Component Flow in Pipes, Chem. Eng. prog., 45 - 1, (1949), 39 - 48.
- (16) Wallis, G. B., One - Dimensional Two - Phase Flow , McGraw - Hill Book Company, New York (1969), 51.

- (17) Chisholm, D. and Laird, A. D. K., Two - Phase Flow in Rough Tubes, Trans. ASME, 80 - 2, (1958), 276 - 286.
- (18) Hewitt, G. F., Gas - Liquid Flow, Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere Pub. Corp., (1983), 2. 3. 2. 14.
- (19) 深野徹, 伊藤昭彦, 宮部圭介および高松康生, 気流を伴う水平長方形管内薄膜流の研究 (第6報, じょう乱波の発生と液膜の破断および再生との関係), 機論, 51 - 462, B (1985), 503 - 512.
- (20) Smith, S. L., Void Fractions in Two - Phase Flow : A Correlation Based Upon An Equal Velocity Head Model, Proc. Instn. Mech. Engrs. 184 - pt1, 36, (1969 - 70), 647 - 664.
- (21) 井上晃および青木成文, 管内二相流の圧力損失に関する基礎的研究 (第4報), 機論, 36 - 288, (1970), 1366 - 1373.
- (22) 矢木栄, 白井隆および佐々木貞治, 縦型管式反応装置の研究 (第1報), 化学機械, 15 - 7, (1951), 317.
- (23) Hughmark, G. A. and Pressburg, B. S., Holdup and Pressure Drop with Gas - Liquid Flow in A Vertical Pipe, AIChE J. 7 - 4, (1961), 677 - 682.
- (24) Premoli, A., Francesco, D. and Prina, A., A Dimensionless Correlation for Determining The Density of Two - Phase Mixtures, Lo Termotecnica, 25, (1971), 17 - 26.
- (25) Sadatomi, M., Sato, Y. and Saruwatari, S., Two - Phase Flow in Vertical Noncircular Channels, Int., J., Multiphase Flow, 8 - 6, (1982), 641 - 655.
- (26) 深野徹, 石田一実, 森川健悟, 野村晴男, 高松康生および世古口言彦, 気流を伴う水平長方形管内薄膜流の研究 (第1報, 流動様式), 機論, 45 - 390, (1979), 172 - 179.
- (27) Nicklin, D. J., Wilke, J. O. and Davidson, J. F., Two - Phase Flow in Vertical Tubes, Trans. Inst. Chem. Engr., 40 - 1 (1962), 61 - 68.

- (28) Armand, A. A., Resistance to Two - Phase Flow in Horizontal Tubes (in Russian), Izvest. V Teplotech. Inst., 15 - 1, (1946), 16 - 23. English translation, NLL M882, Boston Spa, Yorks : National Lending Library.
- (29) Chisholm, D., Two - Phase Flow in Pipelines and Heat Exchangers, George Godwin, London and New York, AIChE., (1983), 45.
- (30) 井上晃および青木成文, 管内二相流の圧力損失に関する基礎的研究 (第 2 報), 機論, 32 - 238, (1966), 940 - 947.
- (31) Butterworth, D. and Hewitt, G. F., Two - Phase Flow and Heat Transfer, Harwell Series, Oxford Univ. Press, (1977), 81.
- (32) Hughmark, G. A., Holdup in Gas - Liquid Flow, Chem. Eng. Prog. 58 - 4, (1962), 62 - 65.
- (33) McAdams, W. H., Woods, W. K. and Heroman, L. C., Vaporization inside Horizontal Tubes : II , Benzene - oil mixtures, Trans. ASME, 64 - 3 (1942), 193.
- (34) Cicchitti, A. et al., Two - Phase Cooling Experiments - Pressure Drop, Heat Transfer and Burnout Measurement, Energi Nucl., 7 - 6 (1960), 407 - 425.
- (35) Dukler, A. E., Moye Wicks, III and Cleveland, R. G., Pressure Drop and Hold - up in Two - Phase Flow, AIChE J., 10 - 1 (1964), 38 - 51.

第6章 総括

本研究において、管径が6mm～0.5mmの6種類の鉛直細円管と短辺が1mm、長辺が1mm～10mm（アスペクト比が1～10）の4種類の鉛直長方形細管に、断面が比較的大きく、短辺が4mm～16mm、長辺が14mm～160mm（アスペクト比が1～40）の10種類の水平、傾斜および鉛直の長方形管を加えた管路系における非加熱空気-水二相流の実験を基に細円管および狭い長方形管内気液二相流の流動現象について、以下のことが明らかになった。

第2章において、細円管および長方形細管内の液体塊速度の特徴を詳細に調査し以下のことを明らかにした。

(1) 細円管内の環状流における液体塊速度に管径の影響がみられ、管径が6mmから小さくなるに従って液体塊速度は増加傾向を示すが、管径が約2.0mmよりさらに小さくなると急激に減少する。これは表面張力に加え粘性も速度に影響を与えていることを示唆する。

(2) 細円管内の環状流における液体塊は、管径が6.0mmから約2.0mmまでの管内に出現する速い速度を有するいわゆる、じょう乱波で構成された波群と、管径が2.0mm付近から0.5mmまでの管内にみられる遅い速度を有する基底波で構成された波群の二種類に分けられる。じょう乱波は波長が長く波高も高いが、管径が約2.0mmより小さくなると波長が短く波高も低い波がしだいに支配的となり、管径が2.0mmおよび1.45mmでは両方の特性を示す波群が混在する。本研究では、これら二種類の波速度に対する整理式を提案した。これらの式により、 $\pm 30\%$ 程度の精度で細円管の場合の平均波速度を予測することができる。

(3) 一つの液体塊の質量を重みとした加重平均速度から定義する新しい平均速度決定法を提案した。さらに、この速度の特徴に基づいて、スラグ流、フロス流および環状流の流動様式を定量的に区分する方法についても提案した。

第3章において、流動様式の特徴を検討した。その結果は以下のように要約される。

(1) 断面が比較的大きい長方形管の傾斜管内で観察される二相流の流動様式は、気ほう流、気ほうスラグ流、スラグ流、フロス流および環状流（傾斜角が小さい場

合、分離流)の5形式に大別されること、またアスペクト比が大きい管路に特有な流れについて鉛直の場合および管路を横長および縦長に設置した場合の流れの特徴を明らかにした。

(2) 細円管内およびアスペクト比が小さい場合の長方形細管内で、表面張力と粘性の影響が大きいと思われる流れの特徴、すなわち連鎖気体スラグの存在および気体スラグ後端部の曲率が特有の形状を示すなどの特徴を明らかにした。また、アスペクト比が大きい場合、気相が左右に激しく揺動しながら上昇することから、液相も乱れ気相内に液塊を複雑に巻き込み、いわゆる狭い管路に特有な流れが出現することを明らかにした。

(3) 液体塊の加重平均速度特性を基にした新しい流動様式の定量的判別法を用い、細円管および狭い長方形管に対する流動様式線図を得た。本実験の垂直細円管の結果は、水平細円管の仮屋崎らの結果と良く一致した。しかし、狭い長方形管の場合アスペクト比の影響がその流動様式線図上に残ることが判明した。

第4章における二相流の摩擦圧力損失の検討結果から以下のことがわかった。

(1) Lockhart - Martinelli および赤川らの整理法によって、断面が比較的大きい長方形管内での ϕ_L の本実験結果を精度良く整理できなかつた。特に傾斜角が大きく液体のみかけ速度が低い場合管壁近傍の液体の一部が逆流現象を引き起こすような流動様相のとき、ばらつきが大きかつた。傾斜角が小さくなると、アスペクト比や管路の設置方法の違い(横長と縦長)が、二相流の摩擦圧力損失の差異を生じさせた。特に大きいアスペクト比をもつ横長の管路における二相流の摩擦圧力損失は、全実験範囲において他の管路よりも大きかつた。

(2) 長方形管内の水平分離流モデルに基づいた式に、管路断面の幾何学的形状と管路の傾斜角および液体レイノルズ数の影響を考慮に入れた二相流の摩擦圧力損失の整理式を提案した。この整理式は断面が比較的大きい長方形管の相当直径が約10mmより大きい管路とそれより小さい管路について二通りの式に分けられ、実験値は約±30%の精度で整理された。

(3) 管径0.9mmおよび2.0mmの細円管における二相流の摩擦圧力損失の本実験結果は、深野らの提案式にかなり良く一致した。さらに、深野らの提案式にアスペクト比の影響を考慮し長方形細管内の二相流の摩擦圧力損失の整理式として良

好な式を得た。この式を用いると長方形細管内における二相流の摩擦圧力損失は±15%以内の精度で推定される。

第5章において、4種類の長方形細管と10種類の断面が比較的大きい長方形管における平均ホールドアップの特徴とその整理式について検討し、以下の結論を得た。

(1) 長方形細管内のフロス流および環状流領域においては液体が四隅に停滞し易く、アスペクト比が小さい場合の平均ホールドアップは、アスペクト比が大きい場合や相当直径が同程度の円管の場合に比べ大きくなることがわかった。

(2) 本実験で得られた長方形細管を含む狭い長方形管内の平均ホールドアップは、従来の整理式では満足な精度で整理できないことが明らかとなった。

(3) 本研究で新たに提案した長方形細管内気液二相流に対する平均ホールドアップの整理式と推定手法は、精度のよい予測値を与え、これに修正を加えれば断面の比較的大きい長方形管に対する整理式としても有効であることを示した。

謝 辞

九州大学大学院工学研究科機械工学専攻 深野徹教授には、本研究を始める契機を与えて頂きますとともに、研究の遂行と論文のとりまとめに際して常に懇切丁寧な御指導と御鞭撻を賜りました。深野徹教授の御指導御鞭撻に心より感謝申し上げます。

九州大学大学院工学研究科機械エネルギー工学専攻 井上雅弘教授および吉田駿教授ならびに知能機械工学専攻 古川明德教授には、本論文の執筆とまとめるに際して有益な御討論ならびに御指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

九州大学工学部機械工学科 渡部正夫助教授および松下大介助手ならびに原義則技官を始め流動工学研究室の方々には、国内留学時における研究を含めて本研究の遂行に際し貴重な御助言と御激励を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

鹿児島大学工学部機械工学科 松村博久教授および門久義教授ならびに野崎勉教授を始め機械工学科の諸先生には、研究の遂行と公私にわたり御指導と御鞭撻を賜りここに深く感謝の意を表します。

実験装置等の製作にあたっては、鹿児島大学工学部中央実験工場高橋肇主任、有馬武城技官および吉永謙二技官を始め多くの力強い御協力を戴きました。ここに深く謝意を表します。また、実験結果の取得にこれまで御協力いただいた現在および当時の鹿児島大学工学部機械工学科（流体工学研究室）の学部4年および大学院修士課程の諸氏に感謝致します。

付録 A 実験条件（気体および液体のみかけ速度，系内圧力）の設定プログラム

本実験では，気体のみかけ速度 j_G と液体のみかけ速度 j_L の組み合わせにより気液二相流を形成し実験を行った．各実験点（第2章，図2.4参照）における系内圧は本実験範囲でその最大値が約0.2MPaであり，本実験では各実験点の系内圧がほぼ一定となるように系内圧を制御した．

これらの系内圧の制御と j_G および j_L の設定は，次頁以降に示すマクロアセンブラとフォートラン言語を用いた実験条件の設定プログラムによって行った．これらのプログラムの実行手順は以下のとおりである．

始めに，管路の種類（管寸法），計測器の初期値および実験点の j_G と j_L を設定条件として入力した後，系内圧が約 $0.2 \pm 2\%$ MPa になるようにセパレータ上部に設置したレリーフバルブを調節する．これと同時に気体および液体流量（ j_G と j_L の値）をニードルバルブによって調節し，系内圧， j_G および j_L の値が所定の条件になるように繰り返す（DAボードを介して制御弁の駆動も可能である）．この間，系内圧， j_G および j_L の値は，時々刻々CRT画面に図式的に表示される．

これらが全て設定値の $\pm 2\%$ 以内となる条件を満たした場合（FORTRANプログラムのSUBROUTINE JUDGEで判断），ブザー音が鳴動し二相流の実験が開始される．この間，液膜波形，ボイド率，圧力損失および流動様式などのデータサンプリングは他の計算機によって行われ，実験終了時にキー入力により実験中の温度，圧力，気体および液体流量などの結果も計算機内に記録される．

Macro Assembler Programming List

227

```

DATA SEGMENT PUBLIC 'DATA'
DATA ENDS
DGROUP GROUP DATA
CODE SEGMENT 'CODE'
ASSUME CS:CODE, DS:DGROUP
PUBLIC IO
IO PROC FAR
PUSH BP ; PREPARE TO RETURN
PUSH DS
MOV BP, SP
LES SI, DWORD PTR[BP+8]
MOV DX, ES:[SI] ; GET CHANNEL NUMBERS
MOV DH, DL ; GET SET CHANNEL COUNT
XOR DL, DL ; DL = 0
LES SI, DWORD PTR[BP+12]
MOV BX, ES:[SI] ; DELAY NUMBERS
LES SI, DWORD PTR[BP+16]
MOV DI, ES:[SI] ; SEG. NUMBERS OF ARRAY
LES SI, DWORD PTR[BP+20]; ARRAY ADR. TO ES:SI
CALL BEEPS
STRT:
MOV CX, 32768 ; SET COUNTER
REPT: CALL ADCONV
MOV ES:[SI], AX ; SAVE DATA TO ARRAY
INC SI ; ARRAY ADDRESS INC.
INC SI
INC DL
CMP DH, DL
JNZ NEXT
XOR DL, DL
CALL TIME
NEXT:
DEC CX ; COUNT
JNZ REPT
CLC
DEC DI
JZ FIN
MOV AX, ES ; SEGMENT ADDRESS ADD
ADD AX, 01000H
MOV ES, AX
JMP STRT
FIN: CALL BEEPE
CLC
MOV SP, BP ; RETURN TO FORTRAN PROGRAM
POP DS
POP BP
RET 16 ; 4 4*PARAMETER
IO ENDP

PUBLIC IOS
IOS PROC FAR
PUSH BP ; PREPARE TO RETURN
PUSH DS
MOV BP, SP
LES SI, DWORD PTR[BP+8]
MOV DX, ES:[SI] ; GET CHANNEL NUMBERS
MOV DH, DL ; GET SET CHANNEL COUNT
XOR DL, DL ; DL = 0
LES SI, DWORD PTR[BP+12]
MOV BX, ES:[SI] ; GET DELAY NUMBERS
LES SI, DWORD PTR[BP+16]
MOV CX, ES:[SI] ; GET NUMBERS OF ARRAY
LES SI, DWORD PTR[BP+20]; ARRAY ADR. TO ES:SI
CALL BEEPS
REPTS:
CALL ADCONV
MOV ES:[SI], AX ; SAVE DATA TO ARRAY
INC SI ; ARRAY ADDRESS INC.
INC SI
INC SI
INC DL
CMP DH, DL
JNZ NEXTS
XOR DL, DL
CALL TIME
NEXTS: DEC CX ; COUNT
JNZ REPTS
CLC
CALL BEEPE
MOV SP, BP ; RETURN TO FORTRAN PROGRAM
POP DS
POP BP
RET 16 ; 4 4*PARAMETER
IOS ENDP

```

右上につづく

```

ADCONV PROC
IN AL, 0DOH
XOR AX, AX
MOV AL, DLHL
ADD AL, 10HL
OUT 0DOH, AH
FLAG: IN AL, 0D1H
TEST AL, 40
JZ FLAG
IN AL, 0D1H
AND AL, 0FH
XCHG AL, AH
IN AL, 0DOH
RET
ADCONV ENDP
TIME PROC
PUSH SI
PUSH ES
PUSH CX
MOV CX, BX
PAUSE: DEC CX
JNZ PAUSE
POP CX
POP ES
POP SI
RET
TIME ENDP
BEEPS PROC
PUSH AX
PUSH CX
MOV AH, 17H
INT 18H
MOV CX, 1000H
CALL WAIT
MOV AH, 18H
INT 18H
POP CX
POP AX
RET
BEEPS ENDP
BEEPE PROC
PUSH AX
PUSH DX
MOV DL, 5H
MOV AH, 17H
INT 18H
MOV CX, 1000H
CALL WAIT
MOV AH, 18H
INT 18H
MOV CX, 1500H
CALL WAIT
MOV AH, 17H
INT 18H
MOV CX, 1000H
CALL WAIT
MOV AH, 18H
INT 18H
DEC DL
JNZ ONCE
POP DX
POP AX
RET
BEEPE ENDP
WAIT PROC
WAIT1: LOOP WAIT1
RET
WAIT ENDP
IDA PUBLIC IDA
PROC FAR
PUSH BP ; PREPARE TO RETURN
PUSH DS
MOV BP, SP
LES SI, DWORD PTR[BP+8]
MOV AX, ES:[SI]
MOV DX, 0EFEEH
OUT DX, AX
CLC
MOV SP, BP ; RETURN TO FORTRAN PROGRAM
POP DS
POP BP
RET 4 ; 2 4*PARAMETER
IDA ENDP
CODE ENDS
END

```

終わり

```

C
INTEGER*2 IBUF (7, 10000), ICH, IDELAY, NDAT
INTEGER*2 IP, NI, NDD, B, XX, CH, C, ID
INTEGER*4 I, K, L, J, IS(7)
REAL JGTS, JLTS, PXS, PGS, JGS, WLS, TGS, TWS, PDS, PXDS
REAL JGMAX, JGMIN, JLMAX, JLMIN, PD
REAL NJGT, NJLT, NPX, NPG, TWG, NWL, NTG, NTW, NPD, NPXD
REAL LP, JG, JL, JGT, JLT, A
DIMENSION VI(7, 2)
REAL MJGT(6), MJLT(6), MPX(6), MPG(6)
REAL MWG(6), MWL(6), MTG(6), TW(6), MPD(6), MPXD(6)
CHARACTER*7 S
CHARACTER*11 SI, DATE

C
B=0
C=0
D=0.
XX=0.
DATA=' 1. 1. 1'
CH=4
NDD=1400
WRITE(*,*) ' INPUT CHO - HEN ; DA = 10.0 mm '
WRITE(*,*) '
READ(*,*) DA
WRITE(*,*) ' INPUT TAN - PEN ; DB = 1.0 mm '
WRITE(*,*) '
READ(*,*) DB
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' INPUT JG (m/s) = ? '
READ(*,*) JG
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' INPUT JL (m/s) = ? '
READ(*,*) JL
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' Air saatu zero Level (Volt) = '
READ(*,*) ZG
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' Water saatu zero Level (Volt) = '
READ(*,*) ZL
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' Pressure Zero Level (RED) (V) = '
READ(*,*) ZP
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' Ps in Tube Zero Level (YELLOW) (V) = '
READ(*,*) ZPU
WRITE(*,*) '
WRITE(*,*) ' Dif Press. Zero Level (BLUE) (V) = '
READ(*,*) ZPD
WRITE(*,*) ' Todays AT(760.0mmHg, or) = ? '
READ(*,*) AT
WRITE(*,*) '
ICH=7

C
PXX=2.0
FQ=1000.0
IDELAY=NINT((592.07*1000./FQ)-(20.85*REAL(ICH)+3.386))
CALL INTCRT
CALL ETCLS
CALL CUROFF
CALL REVERSE
WRITE(S,'(A)') ' JG = '
CALL PRINTXY(1, 8, S)
WRITE(S,'(A)') ' JL = '
CALL PRINTXY(1, 10, S)
WRITE(S,'(A)') ' PS = '
CALL PRINTXY(1, 12, S)
WRITE(S,'(A)') ' JG % = '
CALL PRINTXY(28, 8, S)
WRITE(S,'(A)') ' JL % = '
CALL PRINTXY(28, 10, S)
WRITE(S,'(A)') ' PS % = '
CALL PRINTXY(28, 12, S)
WRITE(S,'(A)') ' WG = '
CALL PRINTXY(1, 14, S)
WRITE(S,'(A)') ' Tair = '
CALL PRINTXY(28, 14, S)
WRITE(S,'(A)') ' WL = '
CALL PRINTXY(1, 16, S)
WRITE(S,'(A)') ' Twater = '
CALL PRINTXY(28, 16, S)
WRITE(S,'(A)') ' PK = '
CALL PRINTXY(1, 18, S)
WRITE(S,'(A)') ' Pdrop = '
CALL PRINTXY(1, 20, S)
WRITE(S,'(A)') ' Pdown = '
CALL PRINTXY(28, 20, S)

```

右上につづく

```

CALL NORMAL
WRITE(S,'(A)') ' m/s '
CALL PRINTXY(20, 8, S)
WRITE(S,'(A)') ' m/s '
CALL PRINTXY(20, 10, S)
WRITE(S,'(A)') ' kg/cm2 '
CALL PRINTXY(20, 12, S)
WRITE(S,'(A)') ' kg/s '
CALL PRINTXY(20, 14, S)
WRITE(S,'(A)') ' °C '
CALL PRINTXY(46, 14, S)
WRITE(S,'(A)') ' kg/s '
CALL PRINTXY(20, 16, S)
WRITE(S,'(A)') ' °C '
CALL PRINTXY(46, 16, S)
WRITE(S,'(A)') ' Kg/cm2 '
CALL PRINTXY(20, 18, S)
WRITE(S,'(A)') ' mmAq '
CALL PRINTXY(20, 20, S)
WRITE(S,'(A)') ' Kg/cm2 '
CALL PRINTXY(44, 20, S)

10 CALL INKEY(XX)
IF (XX.EQ.0) GOTO 100
NDD=7700
ID=ID+1

100 CALL IOS (IBUF, NDD, IDELAY, ICH)
110 CONTINUE
DO 502 J=1, ICH
IS(J)=0
502 CONTINUE
ND=NDD/ICH
DO 504 I=1, ND
DO 506 J=1, ICH
IS(J)=IS(J)+IBUF(J, I)
506 CONTINUE
504 CONTINUE
DO 508 J=1, ICH
VI(J, 2)=FLOAT(IS(J))/(FLOAT(ND))
508 CONTINUE
PWV=2.4425E-3*VI(1, 2)-2.739E-3
PGV=2.4429E-3*VI(2, 2)-2.945E-3
DPLV=2.4426E-3*VI(3, 2)-2.871E-3
SAV=2.4431E-3*VI(4, 2)-3.173E-3
TGV=2.4425E-3*VI(5, 2)-2.825E-3
TWV=2.4427E-3*VI(6, 2)-2.980E-3
PU=2.4429E-3*VI(7, 2)-3.111E-3
WRITE(*,*) '
*****
* Thermocouple type : A, B, C, D. *
* A ; TW=24.040*TWV+0.780 AMP. No. 2 *
* B ; TW=23.695*TWV+1.556 AMP. No. 1 *
* C ; TW=23.238*TWV+1.475 AMP. No. 1 *
* D ; TW=24.105*TWV+0.851 AMP. No. 2 *
* E ; TW=23.805*TWV+1.629 AMP. No. 1 *
*****

C
TW=24.55*TWV-1.384
IF (TW.LT.9.) GOTO 1
IF (TW.LT.14.) GOTO 2
IF (TW.LT.22.) GOTO 3
IF (TW.GE.22.) GOTO 4
1 RL=-0.0455*TW+1000.2
GOTO 5
2 RL=-0.10*TW+1000.7
GOTO 5
3 RL=-0.185*TW+1001.9
GOTO 5
4 RL=-0.276*TW+1003.9
5 CONTINUE
TG=23.747*TGV+0.275
PG=1.243*(DPLV-ZP-0.0145)+(AT/760.)
PXU=0.8197*(PU-ZPU)+(AT/760.)
RGK=1.2931*(273.15/(273.15+TG))*PXU
RGS=1.2931*(273.15/(273.15+TG))*PG
HL=1250.*(PWV-(ZL-1.0))-1250.
HG=1250.*(PGV-(ZG-1.0))-1250.
GPV=PGV-ZG
HL, HG; mmAq
C
SPD=1.0097*(SAV-ZPD)*10.0+2.5055
C
***** Pressure Drop *****
PD=SPD
C
PD ; mmAq
C
Case *** Air ***
C
*** DA = 1.0 mm ***
IF ((JG.GT.0.09).AND.(JG.LE.1.1)) GOTO 1540
IF ((JG.GT.1.9).AND.(JG.LE.4.1)) GOTO 1550

```

- 2 - 次頁左上につづく


```

IF ((JG. GT. 4. 9). AND. (JG. LE. 20. 1)) GOTO 1560
GOTO 1605
1540 WG1=-6. 17E-9*(RGS*HG)**2+9. 43E-3*(RGS*HG)+5. 89
WG=WG1+10. 0**(-6)
C RR=RGS*HG
C WRITE(*, 1542) WG, RGS, HG, RR
C1542 FORMAT(2X, 'WG=', E10. 3, ' RGS=', F8. 4, ' HG=', F10. 3,
C' RGS*HG=', E10. 4)
GOTO 1840
1550 WG1=-6. 48E-9*(RGS*HG)**2+5. 56E-4*(RGS*HG)+2. 35
WG=WG1+10. 0**(-5)
C WRITE(*, 1552) WG, RGS, HG, RR
1552 FORMAT(2X, 'WG=', E10. 3, ' RGS=', F8. 4, ' HG=', F10. 3,
&' RGS*HG=', E10. 4)
GOTO 1840
1560 WG2=-5. 05E-8*(RGS*HG)**2+3. 19E-3*(RGS*HG)+9. 53
WG=WG2+10. 0**(-5)
C WRITE(*, 1562) WG, RGS, HG, RR
C 1562 FORMAT(2X, 'WG=', E10. 3, ' RGS=', F8. 4, ' HG=', F10. 3,
C &' RGS*HG=', E10. 4)
GOTO 1840
1605 WG3=(-1. 59E-8*(RGS*HG)**2+6. 53E-4*RGS*HG+1. 74)*0. 98
WG=WG3+10. 0**(-5)
GOTO 1840
C *** Water ***
C *** DA = 9.9 mm ***
1840 IF ((JL. GT. 0. 09). AND. (JL. LE. 0. 2)) GOTO 1890
IF ((JL. GT. 0. 29). AND. (JL. LE. 0. 5)) GOTO 1910
IF ((JL. GT. 0. 59). AND. (JL. LE. 1. 1)) GOTO 1920
1890 WL1=-1. 98E-8*(RL*HL)**2+0. 545*(RL*HL)+0. 055
WL=WL1+10. 0**(-8)
GOTO 2000
1910 WL2=-4. 59E-8*(RL*HL)**2+0. 305*(RL*HL)+0. 0014
WL=WL2+10. 0**(-8)
GOTO 2000
1920 WL2=-2. 61E-8*(RL*HL)**2+0. 341*(RL*HL)+0. 0027
WL=WL2+10. 0**(-8)
GOTO 2000
C***** DA = 2.0 mm ***
C 1840 IF (JL. LE. 0. 3) GOTO 1890
C*****CASE OF CIRCULAR TUBE*****
C 2000 JGT=WG/RGK*4. /3. 14159/(DIA/1000. )**2
C JLT=WL/RL*4. /3. 14159/(DIA/1000. )**2
C*****CASE OF RECTANGULAR CHANNELS*****
2000 FF=(DA/1000. 0)*(DB/1000. 0)
JGT=WG/RGK/FF
C WRITE(*, 1992) JGT, WG, RGK, FF
C 1992 FORMAT(2X, 'JGT=', F10. 3, ' WG=', E10. 4, ' RGK=',
C &' F10. 3, ' FF=', E10. 4)
C JLT=WL/RL/FF
IF (ID. EQ. 1) GOTO 2001
GOTO 2020
2001 JGMAX=JGT
JGMIN=JGT
JLMAX=JLT
JLMIN=JLT
ID=ID+1
2020 IF (JGT. GT. JGMAX) JGMAX=JGT
IF (JGT. LT. JGMIN) JGMIN=JGT
IF (JLT. GT. JLMAX) JLMAX=JLT
IF (JLT. LT. JLMIN) JLMIN=JLT
GJG=(JGT-JG)/JG*100.
GJL=(JLT-JL)/JL*100.
GPX=(PXU-PXX)/PXX*100.
IF (XX. EQ. 0) GOTO 2050
IF (C. EQ. 0) GOTO 2021
GOTO 2025
2021 NJGT=0.
NJLT=0.
NPX=0.
NPG=0.
NWX=0.
NWL=0.
NTG=0.
NTW=0.
NPD=0.
NFXD=0.
2025 C=C+1
NJGT=NJGT+JGT
NJLT=NJLT+JLT
NPX=NPX+PXU
NPG=NPG+PG
NWX=NWX+WG
NWL=NWL+WL
NTG=NTG+TG
NTW=NTW+TW

```

右上につづく

```

NPD=NPD+PD
NPXD=NPXD+PXD
IF (C. EQ. 10) GOTO 2030
GOTO 2050
2030 B=B+1
MJGT(B)=NJGT/10.
MJLT(B)=NJLT/10.
MPX(B)=NPX/10.
MPG(B)=NPG/10.
MWG(B)=NWX/10.
MWL(B)=NWL/10.
MTG(B)=NTG/10.
MTW(B)=NTW/10.
MPD(B)=NPD/10.
MPXD(B)=NPXD/10.
C=0
IF (B. EQ. 5) GOTO 2060
WRITE(S, 201) JGT
CALL PRINTXY(11, 8, S)
WRITE(S, 201) JLT
CALL PRINTXY(11, 10, S)
WRITE(S, 201) PXU
CALL PRINTXY(11, 12, S)
WRITE(S, 201) GJG
CALL PRINTXY(38, 8, S)
WRITE(S, 201) GJL
CALL PRINTXY(38, 10, S)
WRITE(S, 201) GPX
CALL PRINTXY(38, 12, S)
WRITE(S, 201) WG
CALL PRINTXY(9, 14, S1)
WRITE(S, 201) TG
CALL PRINTXY(38, 14, S)
WRITE(S, 201) WL
CALL PRINTXY(9, 16, S1)
WRITE(S, 201) TW
CALL PRINTXY(38, 16, S)
WRITE(S, 201) PG
CALL PRINTXY(11, 18, S)
WRITE(S, 203) PD
CALL PRINTXY(11, 20, S)
WRITE(S, 201) PXD
CALL PRINTXY(36, 20, S)
IFLUG=0
CALL CRTDISP(GJG, GJL, GPX, IFLUG)
IF (IFLUG. EQ. -1) GOTO 700
201 FORMAT(F7. 3)
202 FORMAT(E11. 4)
203 FORMAT(F7. 1)
IF (XX. EQ. 0) GO TO 10
ID=ID+1
GOTO 100
700 WRITE(S, '(A)') 'OK!'
CALL PRINTXY(19, 10, S)
CALL CURON
IF (XX. EQ. 0) GO TO 10
GOTO 100
STOP
END
C ***** HEIKIN *****
C JGTS=0.
JLTS=0.
PXS=0.
PGS=0.
WGS=0.
WLS=0.
TGS=0.
TWS=0.
PDS=0.
PXDS=0.
DO 800 N=1, 5
JGTS=JGTS+MJGT(N)
JLTS=JLTS+MJLT(N)
PXS=PXS+MPX(N)
PGS=PGS+MPG(N)
WGS=WGS+MWG(N)
WLS=WLS+MWL(N)
TGS=TGS+MTG(N)
TWS=TWS+MTW(N)
PDS=PDS+MPD(N)
PXDS=PXDS+MPXD(N)
800 CONTINUE
JGTS=JGTS/5.
JLTS=JLTS/5.
PXS=PXS/5.
PGS=PGS/5.

```

次頁左上につづく

```

WGS=WGS/5.
WLS=WLS/5.
TGS=TGS/5.
TWS=TWS/5.
PDS=PDS/5.
PXDS=PXDS/5.
C ***** FILE *****
OPEN (8, FILE='C:HDATA'.STATUS='NEW',
& ACCESS='SEQUENTIAL')
WRITE(8, 900) DATE
900 FORMAT(1X, 'DATE=', A6)
WRITE(8, 901) DA, DB, ICH
901 FORMAT(2X, 'CHO-HEN DA=', F6. 2, ' mm', 3X, 'TAN-PEN DB=', F6.
2,
& ' mm', 'CH=', I2)
WRITE(8, 902) JG, JL
902 FORMAT(1X, 'JG=', F6. 2, 6X, 'JL=', F6. 2)
WRITE(8, 903) AT
903 FORMAT(1X, 'AT=', F7. 2)
DO 930 J=1, 5
WRITE(8, 401)
401 FORMAT(41X, A1)
WRITE(8, 904) MJGT(J), MJLT(J), MWG(J), MWL(J)
904 FORMAT(2F8. 3, 5X, 2E10. 3)
WRITE(8, 905) MPX(J), MPG(J), MTG(J),
&MTW(J), MPD(J), MPXD(J)
905 FORMAT(2F8. 3, 5X, 2F8. 2, 4X, F7. 1, 3X, F8. 3)
930 CONTINUE
WRITE(8, 906)
906 FORMAT(8X, '**** ZENTAI NO HEIKIN ****')
WRITE(8, 907) JGTS, JGMAX, JGMIN, JLTS, JLMAX, JLMIN
907 FORMAT(3F8. 3, 5X, 3F8. 3)
WRITE(8, 908) WGS, WLS, PXS, PGS, TGS, TWS, PDS, PXDS
908 FORMAT(2E10. 3, 3X, 2F8. 3, 3X, 2F6. 2, 3X, F7. 1, 3X, F8. 3)
CLOSE(8)
PAUSE
END
C*****
SUBROUTINE CUROFF
CHARACTER*8 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A4, A1, A2) ' )
&CHAR(27), '>5h', CHAR(27), '[A'
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C
SUBROUTINE CURON
CHARACTER*8 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A4, A1, A2) ' )
&CHAR(27), '>5l', CHAR(27), '[A'
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C
SUBROUTINE PRINTXY(X, Y, S)
INTEGER X, Y
CHARACTER*7 S
CHARACTER*18 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A1, I2, A1,
&I2, A1, A1, A2, A7) ' ) CHAR(27),
&' [', Y, ':', X, 'H', CHAR(27), '[A', S
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C
SUBROUTINE PRINTE(X, Y, S)
INTEGER X, Y
CHARACTER*11 S
CHARACTER*22 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A1, I2, A1, I2, A1,
&A1, A2, A11) ' ) CHAR(27), '[', Y,
&' ;', X, 'H', CHAR(27), '[A', S
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C
SUBROUTINE REVERSE
CHARACTER*4 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A3) ' )
&CHAR(27), '[7m'
103 FORMAT(A1, A3)
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C
SUBROUTINE BLINK
CHARACTER*4 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A3) ' ) CHAR(27), '[5m'
104 FORMAT(A1, A3)
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C
SUBROUTINE NORMAL
CHARACTER*3 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A2) ' ) CHAR(27), '[m'
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C
SUBROUTINE ETCLS
CHARACTER*4 BUF
WRITE (BUF, ' (A1, A3) ' ) CHAR(27), '[2J'
WRITE (*, *) BUF
RETURN
END
C*****
SUBROUTINE INTCRT
CHARACTER TILE(4)
TILE(1)=#CC
TILE(2)=#33
TILE(3)=#CC
TILE(4)=#33
CALL INIT
CALL SCREEN(3, 0, 0, 1)
CALL CLS
CALL SCREEN(2, 0, 0, 7)
CALL LINE(390, 0, 639, 379, 1, 1, 0, 0)
CALL CRT(400, 20)
CALL CRT(400, 140)
CALL CRT(400, 260)
CALL PAINT2(392, 2, 4, TILE, 1)
CALL KANJI(604, 20, #234A, 1, 1, 1, 0)
CALL KANJI(620, 20, #2347, 1, 1, 1, 0)
CALL KANJI(604, 140, #234A, 1, 1, 1, 0)
CALL KANJI(620, 140, #234C, 1, 1, 1, 0)
CALL KANJI(604, 260, #2350, 1, 1, 1, 0)
CALL KANJI(620, 260, #2353, 1, 1, 1, 0)
CALL MESH(400, 20)
CALL MESH(400, 140)
CALL MESH(400, 260)
CALL SCREEN(2, 0, 1, 7)
CALL VIEW(400, 0, 639, 399)
RETURN
END
C
SUBROUTINE CRT(X, Y)
INTEGER X, Y
CALL LINE(X, Y, X+200, Y+100, 1, 1, 0, 0)
CALL LINE(X+205, Y+60, X+235, Y+90, 1, 1, 0, 0)
CALL LINE(X+210, Y+65, X+230, Y+85, 1, 1, 0, 0)
RETURN
END
C
SUBROUTINE MESH(X, Y)
INTEGER X, Y
CALL LINE(X, Y-2, X+200, Y-2, 0, 0, 0, 0)
DO 301 I=0, 10
CALL LINE(X+I*20, Y-2, X+I*20, Y-6, 0, 0, 0, 0)
301 CONTINUE
CALL LINE(X+100, Y-2, X+100, Y-12, 0, 0, 0, 0)
RETURN
END
C
SUBROUTINE INDIC(X, Y, K)
INTEGER X, Y, K
CHARACTER TILE(4)
TILE(1)=#AA
TILE(2)=#44
TILE(3)=#AA
TILE(4)=#00
IF (K.EQ. -1) THEN
CALL LINE2(X+210, Y+65, X+230, Y+85, 1, 2, 2, #FFFF, 4, TILE)
ELSE
CALL LINE(X+210, Y+65, X+230, Y+85, 1, 2, 1, #0000)
ENDIF
RETURN
END
C
SUBROUTINE CRTDISP(V1, V2, V3, IFLUG)
INTEGER W1, W2, W3, K1, K2, K3
CALL CLS

```

右上につづく

次頁につづく


```

W1=INT(V1)
CALL JUDGE(W1, K1)
CALL DISP(400, 20, W1)
CALL INDIC(400, 20, K1)
W2=INT(V2)
CALL JUDGE(W2, K2)
CALL DISP(400, 140, W2)
CALL INDIC(400, 140, K2)
W3=INT(V3)
CALL JUDGE(W3, K3)
CALL DISP(400, 260, W3)
CALL INDIC(400, 260, K3)
IF((K1.EQ.-1).AND.(K2.EQ.-1).AND.(K3.EQ.-1)) THEN
CALL OKBEEP
IFLUG=-1
ELSE
CALL ERBEEP
ENDIF
RETURN
END

C
SUBROUTINE DISP(X, Y, W)
INTEGER X, Y, W
IF(W.GT.100) THEN
W=100
ELSE IF(W.LT.-100) THEN
W=-100
ENDIF
CALL LINE(X+100, Y, W+X+100, Y+100, 1, 2, 1, 257)
RETURN
END

C
SUBROUTINE JUDGE(W, K)
INTEGER W, K
IF((W.GT.-2).AND.(W.LT.2)) THEN
K=-1
ELSE IF((W.GT.50).AND.(W.LT.-50)) THEN
K=1
ELSE
K=0
ENDIF
RETURN
END

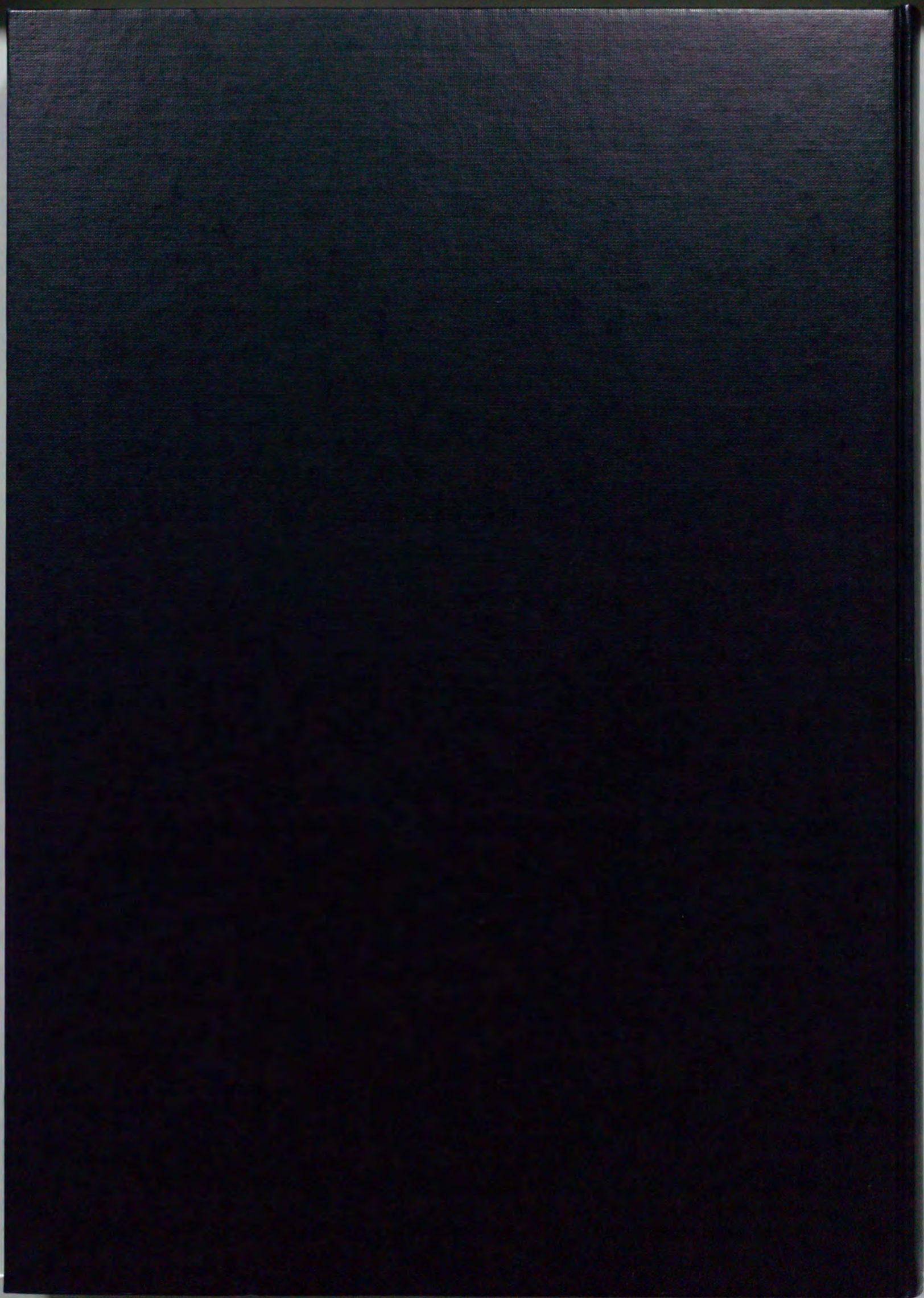
C
SUBROUTINE BEEP(N)
CHARACTER*1 BUF
BUF=CHAR(7)
DO 98 I=1, N
WRITE(*, *) BUF
98 CONTINUE
RETURN
END

C
SUBROUTINE OKBEEP
CALL BEEP(1)
CALL BEEP(3)
RETURN
END

C
SUBROUTINE ERBEEP
CALL BEEP(1)
DO 99 I=0, 1000
99 CONTINUE
CALL BEEP(1)
RETURN
END

```

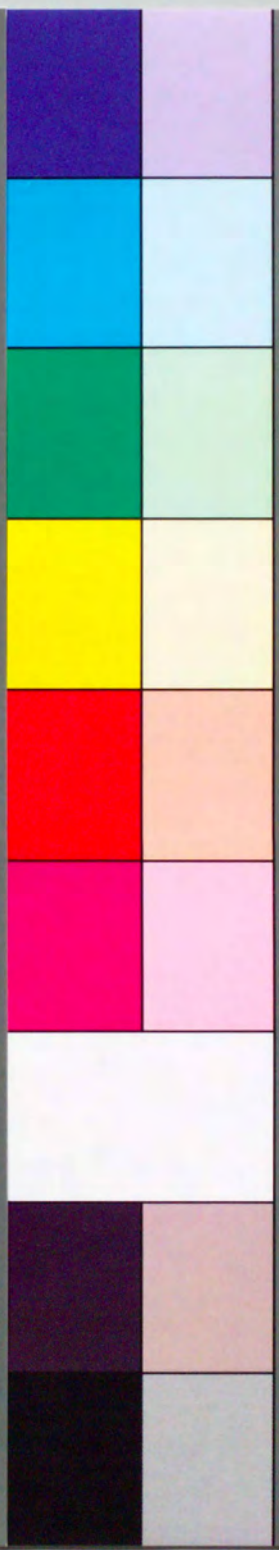
終わり



Inches 1 2 3 4 5 6 7 8
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



Kodak Gray Scale

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



© Kodak, 2007 TM: Kodak