気液二相流の摩擦圧力降下の推算式

Correlations of Frictional Pressure Drop of Gas-Liquid Two-Phase Flows

正 坂口忠司 (神戸大名誉教授) ○正 赤対秀明 (神戸市立高専)

正 南川久人 (滋賀県立大工) 正 川原顕磨呂 (熊本大工) 正 坪根弘明 (有明高専)

SAKAGUCHI Tadashi, Emeritus Professor of Kobe Univ., 3-1, 2-703, Kasugadai, Nishi, Kobe, 651-2276.

SHAKUTSUI Hideaki, Kobe City College of Technology, 8-3, Gakuenhigashimachi, Nishi, Kobe, 651-2194.

MINAGAWA Hisato, Univ. of Shiga Prefecture, 2500, Hassaka, Hikone, Shiga, 522-8533.

KAWAHARA Akimaro, Kumamoto Univ., 2-39-1, Kurokami, Kumamoto, 860-8555.

TSUBONE Hiroaki, Ariake National College of Technology, 150, Higashihagio, Omuta, 836-8585.

Key Words: Gas-Liquid Two-Phase Flow, Vertical Upward Flow, Frictional Pressure Drop, Empirical Correlation, Fundamental Form of Correlation

1. 緒言

気液二相流の気相体積率並びにスラグ特性量の推算用として提示した[1,2], 気相体積流量比, 液相体積流量比, 粘度比, 密度比, フルード数, レイノルズ数とウェバー数のべき乗積を摩擦圧力降下の推算に適用することを試み, その推算式の基本形態を提示すると共に, 実験データを用いて求めた実験式的推算式について報告する.

2. 摩擦圧力降下の推算式の基本形態

既報[1,2]では, 管内気液二相流の独立した制御可能な主要因子, すなわち管径 D , 体積流束 J , 粘度 μ , 密度 ρ , 表面張力 σ と重力加速度 g のみを用いて, 例えば, 大気泡長さ L_{LB} の推算式の基本形態を式(1)のように示した.

$$L_{LB} = AD \{J_G/(J_G+J_L)\}^a \{J_L/(J_G+J_L)\}^b (\mu_G/\mu_L)^c (\rho_G/\rho_L)^e \{(J_G+J_L)/(gD)^{0.5}\}^f \{\rho_L D(J_G+J_L)/\mu_L\}^h \{\rho_L D(J_G+J_L)^2/\sigma\}^i + B \quad (1)$$

ここで, A, B は定数, a, b, c, e, f, h, i は指数である. 式(1)に使用された7つの無次元数群(Seven Non-Dimensional Groups)を, 以後(SNDG)と略記する.

気液二相流の摩擦圧力降下 dP を無次元化するために, 気相が気液両相の合計体積流束($J_T=J_G+J_L$)で管内を単独で流れる場合の摩擦圧力降下 dP_{JTG} , 液相が気液両相の合計体積流束で管内を単独で流れる場合 dP_{JTL} , 気相がその体積流束 J_G で管内を単独で流れる場合 dP_{JGG} , 液相がその体積流束 J_L で管内を単独で流れる場合 dP_{JLL} を用いて, 以下の式を基本形態として提案する.

(1) 摩擦圧力降下の推算式の第1基本形態

$$dP = AdP_{JTG} \text{ (SNDG)} + B \quad (2)$$

$$dP = AdP_{JTL} \text{ (SNDG)} + B \quad (3)$$

$$dP = AdP_{JGG} \text{ (SNDG)} + B \quad (4)$$

$$dP = AdP_{JLL} \text{ (SNDG)} + B \quad (5)$$

(2) 摩擦圧力降下の推算式の第2基本形態 (一例)

$$dP = AdP_{JTL} (dP_{JGG}/dP_{JLL})^j \text{ (SNDG)} + B \quad (6)$$

(3) 摩擦圧力降下の推算式の第3基本形態 (一例)

$$dP - dP_{JTL} = AdP_{JTL} (dP_{JGG}/dP_{JLL})^j \text{ (SNDG)} + B \quad (7)$$

(4) 摩擦圧力降下の推算式の第4基本形態 (数例)

$$dP - (dP_{JGG} + dP_{JLL}) = AdP_{JTG} (dP_{JGG}/dP_{JLL})^j \text{ (SNDG)} + B \quad (8)$$

$$dP - (dP_{JGG} + dP_{JLL}) = AdP_{JTL} (dP_{JGG}/dP_{JLL})^j \text{ (SNDG)} + B \quad (9)$$

$$dP - (dP_{JGG} + dP_{JLL}) = AdP_{JGG} (dP_{JGG}/dP_{JLL})^j \text{ (SNDG)} + B \quad (10)$$

$$dP - (dP_{JGG} + dP_{JLL}) = AdP_{JLL} (dP_{JGG}/dP_{JLL})^j \text{ (SNDG)} + B \quad (11)$$

3. 摩擦圧力降下の実験式的推算式

式(2)-(11)の定数と指数を, ここでは830組の実験データを用いて[4-6], 回帰分析によって求めた. 回帰式の説明能

力の判定には決定係数 R^2 を用い[7], その値が最も大きい場合の指数と定数をもって摩擦圧力降下用の実験式的推算式とした. 一例として, 最も R^2 値の大きかった式(9)とその偏差指標ID[2]を示す.

$$dP - (dP_{JGG} + dP_{JLL}) = 3.40 \times 10^{10} dP_{JTL} (dP_{JGG}/dP_{JLL})^{-0.215} (J_G/J_T)^{0.933} (J_L/J_T)^{0.380} (\mu_G/\mu_L)^{2.00} (\rho_G/\rho_L)^{0.963} \{J_T/(gD)^{0.5}\}^{-1.32} (\rho_L D J_T / \mu_L)^{-1.80} (\rho_L D J_T^2 / \sigma)^{1.48} + 0.0768$$

$$R_{dp}^2 = 0.9842, ID = 0.3583 \quad (9')$$

4. 摩擦圧力降下に関する従来の推算式との比較および結言

従来の摩擦圧力降下推算式の代表例として, (1)Lockhart-Martinelli-Chisholmの摩擦圧力降下推算式[3], (2)Friedelの式[8], (3)RELAP5/MOD2コードによる摩擦圧力降下算出法[9]を用いて, 本実験結果と比較した. 決定係数 R^2 と偏差指標IDを**Table 1**に示す. 本報で提案した摩擦圧力降下推算式も, 有効な推算式の一つであることが分かる.

本実験式的推算式の対象実験データに対する説明能力が高いのは, これが対象とする実験データに基づいて求められたためであるが, その事実を考慮しても従来の推算式と同程度の推算式と考える. また, 本方式によると, スラグ特性, 気相体積率に対しても, 高い説明能力の実験式的推算式を提示できていることは, 注目に値すると考えている.

Table 1 Coefficient of determination, R_{dp}^2 , and ID

	Present Eq.(9)	L-MC [3]	Friedel [8]	RELAP5/MOD2[9]
R_{dp}^2	0.9842	0.9194	0.7983	0.9010
ID	0.3583	1.118	0.4645	0.9081

参考文献

- [1] 坂口忠司, 他5名, 混相流, Vol.15, No.3, 288-295 (2001).
- [2] 坂口忠司, 他4名, 混相流, 17-1, 54-61, (2003).
- [3] Chisholm, D., Int. J. Heat Mass Transfer, 10, 1767-1778, (1967).
- [4] 赤対秀明, 神戸大学博士論文(1995).
- [5] 南川久人, 神戸大学博士論文(1997).
- [6] 坪根弘明, 熊本大学博士論文(2002).
- [7] 縄田和満, Excelによる回帰分析入門, (1998), 朝倉書店, 東京.
- [8] Friedel, L., quoted from Hewitt, G.F., 2 Liquid-Gas Systems, Handbook of Multiphase Systems, Ed. by Hetsroni, G., (1982), p.2-60, McGraw-Hill Book Co., NY.
- [9] Ransom, V.H. et al., NUREG/CR-4312, EG-2396, (1985).