

(株)アイ・エヌ・エー新工本研究所 正員 柴田正和

正員 宮崎洋三

成層密度流の境界面を通して上下層間に働く剪断応力 τ_i は、次式のように表わされるのが普通である。

$$\tau_i = \frac{1}{2} \rho_i f_i (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| \quad (1)$$

上式で定義される界面抵抗係数 f_i については、一方では実験や現地観測結果から、他方では理論的にこれを決定しようとする多くの試みがされておられ、これらを集成した Review Paper も出ている。⁽¹⁾ 既に、 f_i は Reynolds 数 Re 及び内部 Froude 数 Fi に依存することが知られており、 Re と Fi の両者とも相対流速 $u = |u_1 - u_2|$ に比例することを考慮すれば、剪断応力 τ_i は相対流速 u の二乗に比例していないことがわかる。つまり、 f_i は無次元量としての意味を有しているものの、むしろ抵抗係数 $f_i(u)$ と称すべき内容を持ち、 τ_i の表式から特に (1) のような形で f_i を表す理由が薄れているようにすら考えられる。

さて、抵抗係数 f_i の実験結果を Re, Fi で整理するに、従来 $f_i = \alpha \Psi^{-m}$ (2) という形にまとめよう方法が一般的であった。⁽¹⁾ ここに Ψ は岩崎数 $\Psi = Re \cdot Fi^2$ である。しかし参考文献 (1) の図 2 にある Ψ と f_i の実験値の plot を見ると、これが両対数表示であることに鑑み、(2) 式の形では実験値 f_i を表現しきれないことを示しているように思われる。

これには二つの理由が考えられる。その一つは、 Re, Fi の二つの自由度を Ψ の形に一つの自由度に限定してしまっていることである。この点に関連して、Tamai, Asaeda⁽²⁾, Hino⁽³⁾ の論文が興味深い。他の一つは、実験の密度流の水理量から抵抗係数を算出するに当り、流らうの意味で理想化(すなわちモデル)した理論式を用いたを得ないために、算出された f_i は、(1) の意味での f_i そのものではなく理想化により無視された効果のしわよせを信じたものになっていることである。後者の実質的内容は、データの報告者毎にそのケース毎に異なったものである可能性もある。

これから二つの理由から、著者らは参考文献 (2) の補遺のデータを使用させて貰い、そこに報告されている f_i の値と、報告者及びケース毎に Re と Fi の両者に注意すべき乗の積で表現することを試みた。即ち

$$f_i = 10^a \cdot Re^b \cdot Fi^c \quad \text{or} \quad \log f_i = a + b \log Re + c \log Fi \quad (3)$$

と表す最適な a, b, c を最小二乗法により、報告者及びケース毎に求めた。その結果を、重回帰式 (3) の $\log f_i$ に対する二変数 $\log Re, \log Fi$ の係数率を表 1 に示す。

表 1. 重回帰法による密度流の抵抗係数の Re, Fi に依存性の計算結果

報告者	ケース	年度	データ数	a	b	c	係数率
Tamai	Exp.	1964	132	0.36	-0.70	-0.33	0.57
Lofquist	Exp.	1960	43	1.07	-0.82	0.89	0.73
Suga, Takahashi	Exp.	1971	163	-0.58	-0.47	-1.06	0.72
Nakamura, Abe	Kuzuryu Riv.	1970	35	-5.41	0.36	-1.40	0.51
Suga, Takahashi	Tone Riv.	1971	28	-1.58	-0.48	-2.14	0.97

この結果を見ると予期した以上に f_i の Re, Fi 依存性差にはばらつきがあることがわかる。特に Nakamura, Abe の

b, Lofquist の C にいたって正の指数が表われている。従来の f_i の整理の仕方と比較すると, Suga, Takahashi (Exp.) が岩崎政を用いて $f_i \propto Re^{-0.5}$ と表わされており, Suga, Takahashi (Tone Riv.) が $f_i \propto (Re F_i^2)^{-0.5}$ と表わせる。⁽²⁾ 1.0.1. 他の三ヶ所はこれらの二つとは全く異なる Re, F_i 依存性を示しており、これは前述の中二の理由を裏付けているものと考えられる。2. Tamai 及び Nakamura, Abe は集中度が 0.57, 0.5/と低く、 Re, F_i 以外の説明変数の必要性を示している一方、Suga, Takahashi (Tone Riv.) では集中度が 0.97 と非常に高く、このデータは (3) 式の重回帰式と表わす係数で完全に表現されていることが分る。図 1, 2 に Nakamura, Abe と Suga, Takahashi (Tone Riv.) のデータと回帰直線を示す。なお横軸は既存のデータ整理法との対応が容易にように考え、 $Re^b \cdot F_i^c$ にした。

著者らはこれらの係数のばらつきを前述の中二の理由によるものと見ており、それに則して次の機会に報告したい。

参考文献 (1) 水理委員会 密着流研究小委員会：密着流の
 界面現象(1) 中二編 界面抵抗, 土木学会論文報告集 222, (1975)
 (2) 玉井信行, 磯教授：密着流と層流境界面における抵抗係数について,
 土木学会論文報告集 271, (1978), (3) 日野敏雄：密着流の流速
 分布及び界面抵抗について, 中二編 水理講演会報告集 (1979)

