

II-200

冷気流模擬実験と界面抵抗係数に関する検討

北海道大学 正 会 員 中山 恵介
 北海道大学 学 生 員 佐藤 圭洋
 北海道大学 正 会 員 長谷川和義
 北海道大学 フェロー 藤田 睦博

1. はじめに

冬期札幌は多くの豪雪にみまわれ、都市機能に障害が起こる。石狩湾周辺は地理的条件から多くの降雪パターンをもつ地域であり、この地域で発生する雪雲のうち特徴的なものとして、冷気流発生を伴ったものが存在する。この雪雲の発生要因は、北西からの季節風に逆らった、石狩湾東部からの冷気流の張り出しであり、二層流的な振る舞いをする事が確認されている。

冷気流の張り出しは、冷気流と季節風との間の抵抗により決定付けられていることから、界面抵抗係数を算定することが必要である。そこで本研究では、冷気流と上部流との界面抵抗係数の算定を精度よく与えるために、温度差に起因した冷水密度流実験を行い温度差と速度分布の関係をj得ることにより、界面抵抗係数算定法を導出することを目的とする。

2. 温度差に起因した密度流実験

実験水槽は長さ3.6m高さ0.6m奥行き1.0mであり、水深は0.4mで実験を行った。冷気流張り出し平板を底面から0.15m上に設置し、幅方向に一樣流を得るために前後に緩衝材を設けた。ポンプ容量は0.5m³/min、外部流速は最大約2.1m³/secが得られる。冷却板を外部流より低い温度に冷却することにより発生させた冷気を、外部流との密度差により冷却板から流下させ、冷気流張り出し平板に張り出させることにより、実験を行った。鉛直方向における速度分布と温度分布、張り出し方向における温度分布を測定した。

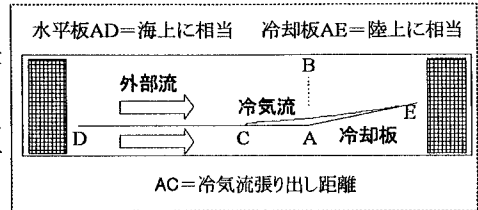


図1 実験概略図

3. 実験結果と速度分布の推定

図3～5において、実線は温度分布の、点線は速度分布の実験結果、一点鎖線は速度分布の推定結果である。上部流速域は式(1)、冷気流内部流速域は式(2)を用いて表され、式(1)を解く際には、レイノルズ数がほぼ2500であったことから、本論文で提案したモニン・オブコフ長式(5)を用いた。また、バルク係数を0.001としたため、冷気流内部で流速がほぼ0となっている。

$$\frac{u}{u_0} = \frac{1}{\kappa} \left(\ln \frac{z'}{\delta} + \beta \frac{z' - \delta}{L} \right) + \frac{u_i}{u_0} + \frac{u_0}{v} \delta \dots \dots (1) \quad -\frac{f_i u_0^2}{h} = g \epsilon \frac{\partial h}{\partial x} - g \alpha \Delta \theta g C_f \left(-1 + \frac{z}{h} - \kappa z \frac{1}{h^2} \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots \dots (2)$$

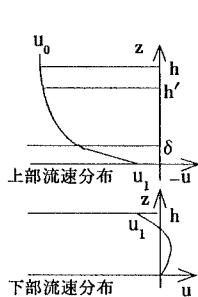


図2 速度分布概略図

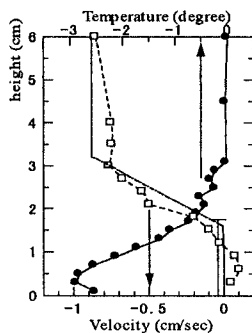


図3 case 1

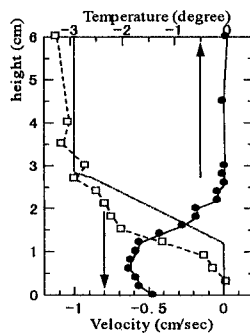


図4 case 2

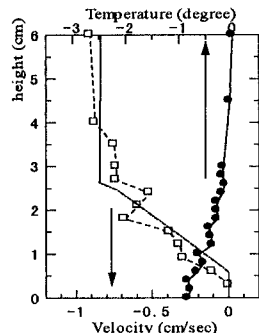


図5 case 3

Key Word: cold air flow, interfacial resistance coefficient, Monin-Obukhov length
 〒060 札幌市北区北14条西7丁目 TEL 011-706-6199 FAX 011-706-7165

4. 界面抵抗係数の算定

これまでに実験や観測により得られた界面抵抗係数と岩崎数の関係と、金子による界面抵抗係数算定式を図6に示す。算定式は $Re \leq 2 \times 10^5$ において比較的一致しているが、 $Re > 2 \times 10^5$ においては傾向がかなり違っている。そのため本論文では、それぞれの場合において界面抵抗係数の算定を行った。

1) $Re < 2 \times 10^5$ における場合

温度フラックスが連行速度と同じく安定度 Ri の関数で表されるとするならば、式(3)、式(4)を用いて表現される。式(3)中の E' は連行係数とよく似た係数であるので、これまで実験により得られている連行係数における a, b を適用すると、それぞれ $a=0.002, b=3/2$ で示される。しかし本研究では $E \neq E'$ と考え、 a, b を未知数のままモーンンオブコフ長さ式(5)を求め、式(1)に代入しまとめると界面抵抗係数式(6)が得られる。式(6)は界面抵抗係数がこれまでに提案されてきた岩崎数ではなく、 $Re Ri^{b-1}$ の関数であることを提案するものである。図7に最も実験観測結果とよく一致した $a=0.001, b=0.5$ の場合の理論線と f_i との関係を示す。レイノルズ数が小さな場合において算定精度が向上しているのが分かる。

$$|\theta w| = \Delta \theta u_0 E' \dots \dots (3) \quad E' = a Ri^{-b} \dots \dots (4)$$

$$L = \frac{u_*^3}{\kappa g \alpha |\theta w|} = \frac{h_1 u_*^3}{\kappa \alpha u_0} Ri^{b-1} \dots \dots (5)$$

$$1 = \frac{\sqrt{f_i}}{\kappa} \ln \frac{2f_i^2}{\kappa R_s} Re Ri^{b-1} + \frac{\beta}{\kappa} 2\sqrt{f_i} - \frac{\beta a R_s}{f_i^{3/2}} \frac{1}{Re Ri^{b-1}} + R_s \sqrt{f_i} \dots \dots (6)$$

2) $Re > 2 \times 10^5$ における場合

観測結果より $L < \delta$ となることから、中立乱流層までの速度分布を(7)に定義し遷移層が中立乱流層に直接接続しているとして、摩擦速度を用いた温度フラックスの式(8)を用いると、界面抵抗係数は式(9)で表される。図8に式(8)による界面抵抗係数と実験データを示す。

$$u = \frac{u_* \beta}{\kappa L} z \dots \dots (7) \quad |\theta w| = \Delta \theta u_* \dots \dots (8)$$

$$f_i = \frac{\beta R_s}{Re Ri^{-1}} \dots \dots (9)$$

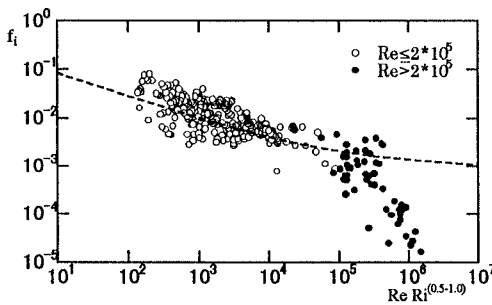


図7 $Re < 2 \times 10^5$, $a=0.001, b=0.5$ における f_i と $Re Ri^{b-1}$

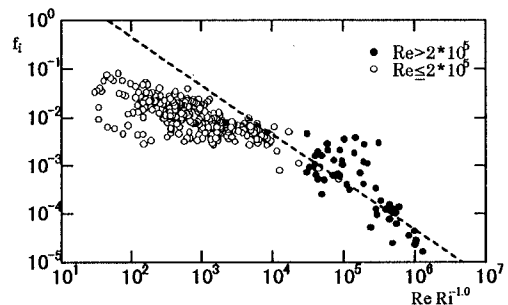


図8 $Re > 2 \times 10^5$ における f_i と $Re Ri^{-1}$

5. まとめ

(1) 温度差を用いた冷気流模擬実験を行い、修正された日野の理論とバルク係数をもとに導いた鉛直速度分布式を用いることにより、鉛直温度分布から鉛直速度分布を精度良く再現することができた。

(2) レイノルズ数やリチャードソン数を代表流速を用いて表すことにより、対数+直線分布が成り立つと思われる $Re < 2 \times 10^5$ において、界面抵抗係数が $Re Ri^{-0.5}$ の関数で表されることが分かった。また、遷移領域から中立乱流領域に乱流剥離していると思われる $Re > 2 \times 10^5$ では、 $\delta \gg L$ のため普遍関数が z/L に比例していると仮定することにより、界面抵抗係数が $Re Ri^{-1.0}$ の関数で表されることが分かった。

【参考文献】

- 1) 中山恵介, 中嶋一彦, 長谷川和義, 藤田睦博: 雷雲発生要因である冷気流に関する数値実験的研究, 水工学論文集, pp. 129-134, 1997
- 2) 中山恵介, 佐藤圭洋, 長谷川和義, 藤田睦博: 冷気流を模擬した冷水密度流実験, 土木学会北海道支部論文報告集, pp. 256-261, 1997