

Ⅱ—37 孔粗度・イボ粗度の抗力係数の比較

東北工業大学 学生員○関原 徹
東北工業大学 正 員 高橋敏彦
東北工業大学 正 員 沼田 淳

1. はじめに

開水路流れの抵抗特性は、水路形状、水路床の粗さはもとより、種々の水路条件に関係しており、従来多くの研究によって重要な知見が得られていることは周知の通りである。特に、粗度要素が円柱・球などの突起物の場合の流れの性状と流体抵抗の関係はかなり明らかにされている。これに対して、粗度要素が多孔式の場合の流体抵抗についての研究例は少ないように思われる。そこで本研究は、粗度高さ、または粗度深さ、空隙率、突起率を同一にして、比較的薄層流の場合、イボ型と多孔型の抗力係数の比較について検討する事を目的にした。

2. 実験装置と方法

実験水路は長さ10.0m、幅0.3mで片面がガラス張りの二次元開水路である。いずれの粗面板も粗度直径に関係なく空隙率、突起率を約22%と一定にした(図-1)。この水路に一定流量を給水し等流状態にして水理量を測定し、流量は下流端の三角堰で測定した。水深は1/10mm読みのポイントゲージにより、等流状態とみなしうる下流端より3.6m, 4.1m, 5.1m, 5.3m, 6.3m, 6.8mの各断面で3点ずつ計18点で測定し、それらの平均値を等流水深とした。表-1に実験条件を示す。

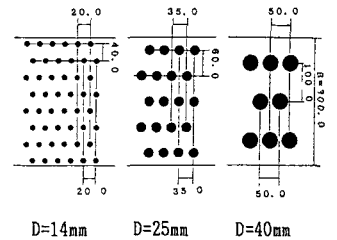


図-1 粗度要素配列 (単位: mm)

3. 抗力係数の定義

前報¹⁾と同様なので、要約して記述する。抗力係数を求めるのに際して、まず抵抗係数を粗面乱流でのManningの式(1)で定義して求める。

$$f' = 2 g n^2 / R^{1/3} \dots \dots (1)$$

ここに、 f' :抵抗係数, g :動力加速度, n :Manningの粗度係数, R :径深である。式(1)で求めた抵抗係数によって抗力係数を求めるが、粗面上の流れに作用する抵抗力は、境界面に作用する摩擦抵抗と個々の粗度要素に作用する抵抗力の和からなり、面積 A の水路床に作用する抵抗力は、摩擦抵抗力と抗力の和として式(2)で与えられる。

$$f' \rho v^2 A / 2 = \tau A_f + N C_D \rho v^2 A_d / 2 \dots \dots (2)$$

ここに、 τ :単位面積当りの摩擦力, N :床面積 A に含まれる粗数の数, A_f :摩擦抵抗の作用面積, C_D :抗力係数, A_d :粗度の水没部分の鉛直面への投影面積である。この実験のように粗度密度の規模が比較的大きく、薄層流の場合、摩擦抵抗に比べて抗力が支配的であるので右辺第一項を無視すれば、近似的に次の関係が得られる。

$$f' \approx C_D N A_d \quad C_D = f' A / N A_d \dots \dots (3)$$

4. 実験結果及び考察

4-1. レイノルズ数 (Re) と抗力係数 (C_D) の関係

図-2~4は、 C_D と Re 数(= $v h / \nu$, v :断面平均流速, h :等流水深, ν :動粘性係数)の関係をイボ型(P)と多孔型(H)をパラメータとして粒径別に図示したものである。図中の式は回帰曲線である。図より全体的に多孔型(Δ 印)の方が、イボ型(O印)よりもバラツキが小さく比較

表-1 実験条件

	D (mm)	λ	Q (m ³ /s)
多孔式	14	1/60	0.25×10 ³
	25	1/100	
	40	1/200	~
イボ型	14	1/400	5.00×10 ³
	25		
	40		

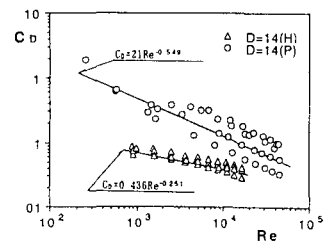


図-2 C_D と Re 数の関係(D=14mm)

的に良くまとまっており、 C_D はイボ型に比べ多孔型の方が小さい値を示している。各粒径のイボ型、多孔型とも Re 数が、大きくなるにつれて C_D の値は、小さくなる傾向がみられる。また、同じ Re 数では、イボ型、多孔型のいずれの C_D も粒径が、大きくなる程その値は大きくなっていく傾向がある。

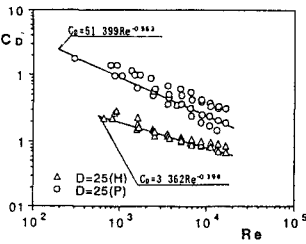


図-3 C_D と Re 数の関係($D=25mm$)

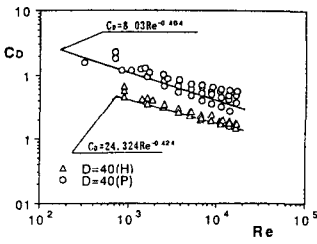


図-4 C_D と Re 数の関係($D=40mm$)

4-2. 抗力係数(C_D)と相対水深(h/k)の関係

図-5~7は、 C_D と h/k (k :粗度高さ, 又は粗度深さ)の関係を図-2~4と同様、イボ型(P)と多孔型(H)をパラメータとして図示したものである。全体的には図-2~4の C_D と Re 数の関係とはほぼ同様の傾向を示しているが、図-6, 7の $D=25, 40mm$ のイボ型の C_D は比較のパラツキがなく、 Re 数で示した図よりよくまとまっている。ただし、図-5, 7のイボ型の $D=14, 40mm$ の場合、 h/k が1.0より小さい領域で幾分、パラツキが認められる。これは、水深が粗度高さより小さい場合である。神田¹⁾によると、 C_D は h/k が1.0以上と1.0以下の領域では性質が基本的に異なり、1.0以下ではある一定値を示すと述べている。今回の実験では $h/k < 1.0$ のデータが少なく、そのような傾向は認められないが、 $D=14, 40mm$ の $h/k < 1.0$ の実験値のパラツキは、そのような傾向を暗示しているのかも知れない。

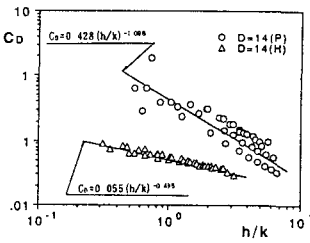


図-5 C_D と h/k の関係($D=14mm$)

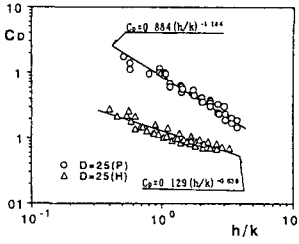


図-6 C_D と h/k の関係($D=25mm$)

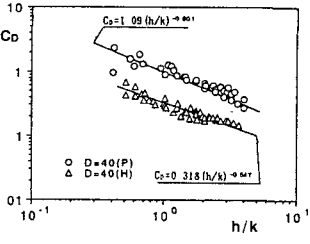


図-7 C_D と h/k の関係($D=40mm$)

4-3. 多孔型とイボ型の抗力係数の比較

図-8, 9は、多孔型とイボ型の抗力係数の比を縦軸に、 Re 数及び相対水深を横軸にとりそれぞれ図示したものである。図-8より、 Re 数が $2 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4$ の範囲では、多孔型の抗力係数はイボ型の抗力係数の約0.2~0.4倍程度の値になっている。一方、図-9の場合、多孔型の抗力係数は約0.2~0.05倍となり小さい値であるが、 $h/k=7.0$ で約0.5~0.3倍の値となっている。また、 $D=40mm$ の場合、 Re 数または相対水深に関係なく $C_{D凹}/C_{D凸}$ の値はほぼ一定となっているが、粒径が大きくなると常にこのような傾向になるかどうかという点については、更に検討が必要である。

5. あとがき

本研究では、空隙率、突起率及び粗度高さ、粗度深さが同一のイボ型と多孔型の抗力係数について検討を行った。

<参考文献>

- 1) 加藤他:人工粗面の抵抗則に関する一実験, 平成元年度東北支部講演概要, PP92~94
- 2) 神田他:球状粗度の床面における流れの抵抗特性, 土木学会論文集, 1985, N0375, PP65~74

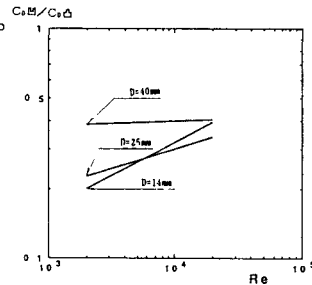


図-8 多孔型とイボ型の C_D の比と Re 数の関係

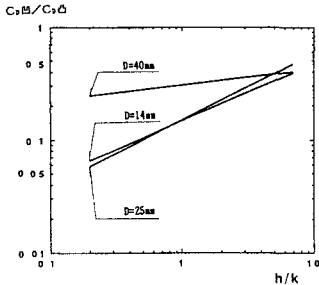


図-9 多孔型とイボ型の C_D の比と h/k の関係