

II-18 人工粗面の抵抗則に関する一実験

東北工業大学 学生員○加藤 圭、 高橋 孝生
東北工業大学 正員 高橋敏彦 正員 沼田 淳

1. まえがき

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、本実験では、粗度要素が多孔式（粗度直径 $D=14\text{mm}, 25\text{mm}, 40\text{mm}$ ）の場合と、体型（粗度直径 $D=25\text{mm}, 40\text{mm}$ ）の場合で、比較的薄層流の抵抗係数及び抗力係数について検討した。

2. 実験装置及び方法

実験水路は、長さ10.0m、幅0.3mで片面ガラス張りの二次元開水路である。水路床には、孔あるいは円柱を図-1のようにした多孔式板あるいは、体型板（粗面板）を設置した。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。この水路に一定流量を給水して等流状態をつくり、水理量を測定した。流量の測定は、下流端の三角ぜきで、水深の測定は、1/10mm読みの「インテグ」によった。水深は、流れが等流状態とみなしう下流端より 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。

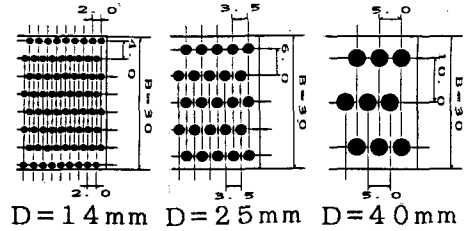


図-1 粗度要素配列（単位：cm）

3. 抵抗係数及び抗力係数の定義

抵抗係数を粗面乱流に対するManningの式(1)で定義し、 Re 数を用いて書き換えると式(2)のようになる。

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

$$f' = 2gi^{1/10}n^{9/5}/\nu^{1/5}Re^{1/5} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 f' ：抵抗係数、 n ：Manningの粗度係数、 R ：径深、 g ：重力加速度、 ν ：動粘性係数、 i ：水路床勾配、 v ：平均流速、 h ：等流水深、 Re ：レイノルズ数、 $Re=vh/\nu$ とした。

一方、滑面乱流に対しては従来Blasiusの式(3)が用いられている。 $f' = 0.0558/Re^{1/4} \dots\dots\dots (3)$

また、面積 A の水路床に作用する抵抗力は、摩擦抵抗と抗力の和として式(4)で与えられる。

$$f' \rho v^2 A / 2 = \tau Af + NC_D \rho v^2 A_d / 2 \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 τ ：単位面積当りの摩擦力、 N ：床面積 A に含まれる粗度の数、 Af ：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。本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。

$$f' \approx C_D N A_d / A \quad \therefore C_D = f' A / N A_d \dots\dots\dots (5)$$

表-1 実験条件

粗面	D (mm)	i	Q (m ³ /s)
多孔式	14	1/60	0.26×10^{-3}
粗面	25	1/100	
粗面	40	1/200	
円柱型	25	1/400	5.00×10^{-3}
粗面	40		

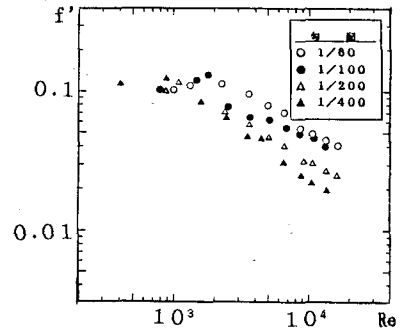


図-2 $f' - Re$ の関係

4. 実験結果及び考察

4-1. 抵抗係数について

(1) 水路床勾配の影響 図-2に1例として楕型粗度(D=25)の場合の f' とRe数の関係を水路床勾配をパラメータとして示す。楕型粗度の場合この図にみられるように、水路床勾配の影響がはっきり表れ、勾配が大きいほど f' の値は大きくなるが、多孔式粗度の場合は、水路床勾配による影響がほとんどみられなかった。D=40mmの場合についても同様の結果が得られている。

(2) 多孔式粗度と楕型粗度の比較 図-3は、滑面、多孔式粗度及び楕型粗度に対する f' とRe数との関係を粗度直径をパラメータとして図示した1例である。いずれの場合も、Re数の増加とともに f' の値は減少するが、減少の割合は楕型粗度が最も大きく、滑面と多孔式粗度は同程度であり、滑面の場合は式(3)の直線にほぼ対応している。また 多孔式粗度では粗度径が大きいほど f' の値が大きくなるが、楕型粗度では粗度径による差はほとんど認められない。

(3) n とRe数の関係 本実験では、 n をManningの平均流速公式より求めており、水深及び水路床勾配によって変化することになるが、図-4は水路床勾配の影響を無視して求めた n とRe数との回帰曲線である。これらの回帰曲線式を式(2)に代入して n を消去すれば $f' = Ki^{1/10}/Re^b \dots\dots (6)$ (K は定数で γ もこの中に含めた) の形で表すことができる。

式(7),(8)は、それぞれD=25mmの多孔式粗度、楕型粗度に対して求めた1例である。図-3の実線はこれらの実験式をあてはめたものである。

$$f' = 0.758i^{1/10}/Re^{0.40} \dots\dots (7)$$

$$f' = 7.580i^{1/10}/Re^{0.52} \dots\dots (8)$$

4-2. 抗力係数

抗力係数 C_D とRe数との関係の1例を図-5に示す。 C_D は式(5)より求めている。多孔式粗度の場合、図-3と同様粗度径による差がはっきり表れているが、楕型粗度では図-3と異なり粗度径の影響が C_D に認められ、粗度径が大きくなれば C_D の値も大きくなっている。これは、式(5)で示したように、 C_D は f' を粗度密度($N \cdot A_d/A$)で除した形となっており、粗度密度は空隙率、突起率が同じであれば粗度径が大きくなるにしたがい小さくなるためと考えられる。また4-1(3)と同様、式(5)に式(7),(8)を代入すればD=25mmの多孔式粗度、楕型粗度に対する C_D の実験式が次のように求められる。図中の実線は、これらの実験式をあてはめたものである。

$$C_D = 5.660i^{1/10}/Re^{0.40} \dots\dots (9)$$

$$C_D = 56.560i^{1/10}/Re^{0.52} \dots\dots (10)$$

5. あとがき

本実験では、多孔式粗度と楕型粗度の抵抗則に関して検討した。その結果、粗度径が同じ場合、 f' 、 C_D とも楕型粗度の方が多孔式粗度よりも大きくなること及び、空隙率、突起率が同じならば粗度径が大きいほど、 f' 、 C_D とも大きくなることわかった。

本実験は、東北大学首藤伸夫教授の御助言により始めたものである。ここに記して感謝の意を表します。

<参考文献> 神田他：粗面上の薄層流の抵抗則に関する実験的研究，第23回水理講演会論文集，1979, PP. 339-346

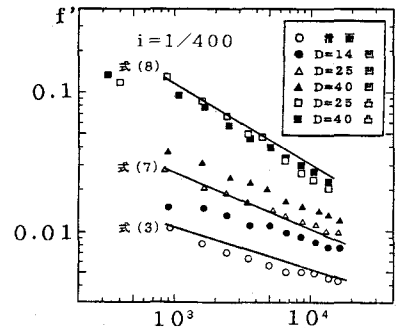


図-3 $f' - Re$ の関係

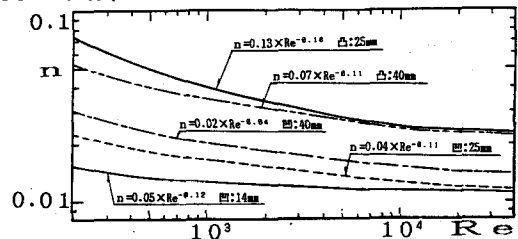


図-4 $n - Re$ の関係

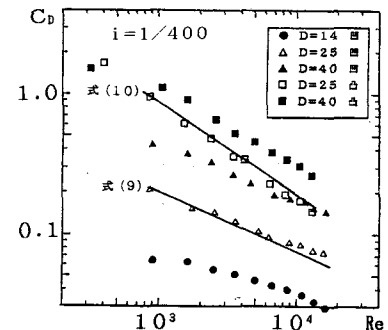


図-5 $C_D - Re$ の関係