

II-377

突起, 孔粗度の抵抗則に関する一実験

東北大学大学院 学生員 ○千田健一
 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

突起粗度の抵抗特性はかなり明らかにされているが、孔粗度についての研究例は少ないように思われる。そこで本研究では孔粗度と突起粗度の抵抗特性を比較するとともに、孔粗度での抗力発生機構を明かにすることを目的とした。

2. 実験方法

(1) 実験装置は長さ10m, 幅30cmの片面ガラス張り可変勾配水路である。水路床に直径14, 25, 40mmの孔要素と突起要素を配し、相対水深の小さい範囲で等流水深と流量を測定して、マンニングの粗度係数 n を求め、 $f' = 2gn^2/R^{1/3}$ -----①から抵抗係数 f' を計算した。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求められるが、本実験の場合、摩擦抵抗は無視できると考え、効力係数を式②で計算した。

$C_D = f'A/NA_d$ -----③ここに N : 単位面積当りの粗度要素の数、 A_d : 粗度要素の流水方向射影面積。

(2) 孔要素周辺の流況の可視化: 同実験水路の下流端より3.6mの地点に直径80mm深さ100mmのガラス円柱を設置し、その上に等流を流した。可視化はトレーサ溶液で行った。

(3) 孔径、深さ比による流況変化の可視化: 24mm, 幅30mmの亚克力板2枚で長方形孔をつくり、板をスライドして孔径と深さの比を変化させたときの孔内の流況を詳しく調べた。

(4) 流体力の測定: 同水路に等流を流し、径48mm高さ48mmと径37mm高さ37mmの円柱を流れの中に沈め、それに働く流体力を測定する。測定には0.1g精度の電子計量計を使用した。実験装置を図-1に示す。まず上に蓋をして測定し、その後上部の蓋を外して測定する。測定は流体力が安定した時点で行った。

1. 実験結果

実験(1)について: 図-2, 3に示すように粗度径が同じならば突起粗度のほうが孔粗度より $f'C_D$ ともに大きい。突起粗度の場合、流水方向断面積が同じであれば f' はほぼ同じ値を示すのに対し、孔粗度では直径が大きくなれば C_D, f' ともに大きくなるのがわかった。

実験(2)について: 図-4には従来得られている円柱要素周りの流況と、実験(2)でわかった孔要素周辺の流況を併記した。孔要素内に大きな渦が発生していること、及び孔要素後方に死水域が生じず乱れも小さいことがわかった。このような流況から、孔要素での抗力発生機構として次のようなことが考えられる。即ち、等流が孔要素上流端を通過するとき、流れは急拡状態になるため剥離が生じ、運動量流束が孔に流れ込む。この運動量が死水域の水塊を回転させ渦を形成する。水路方向に流入した運動量が上方に排除されるため

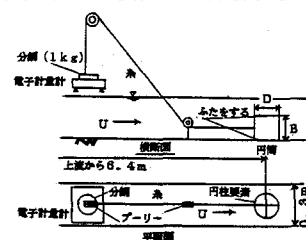
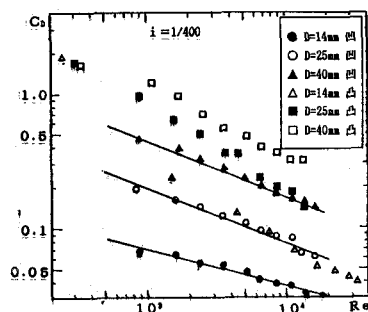
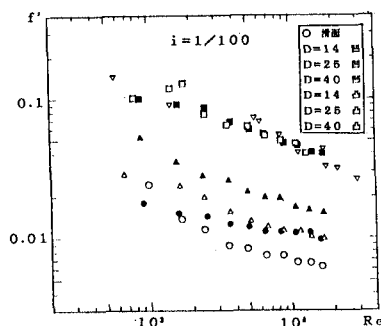


図-1 実験装置図

図-2 $C_D - Re$ の関係図-3 $f' - Re$ の関係

水路流れ方向の運動量は欠損する。運動量の法則より、この変化分が流体に力を及ぼすと考えられる。抗力の発生機構としてはこの他に渦によるエネルギーの逸散、等流域と死水域の境界の強い乱れによるエネルギーの消費などが考えられるが、このうちどれが支配的かを調べるため実験(4)を行った。

実験(4)について：実験(4)で蓋を外したとき、流体力の増加が認められれば、これは流入運動量があるからと考えてよいだろう。実験の結果は、表-1のように上の蓋を外したとき流体力が大きくなり、前述の推測を裏付けているように思われる。

4. 考察

(1) 孔粗度の C_D について： C_D を与える式を、定常流に対する運動量則を用いて導く。定常流速と孔への流入流速は同じと考え、水の流入は単位時間に完了すると考えると $2H=V(\times 1) \cdots \cdots \textcircled{4}$ （ここに H は流入深さ）の関係がある。鉛直方向の運動量則より $F=\rho \pi / 4 \cdot D^2 H V=\rho \pi / 8 \cdot D^2 V^2 \cdots \cdots \textcircled{5}$ 、抗力係数の定義より $F=C_D A \rho V^2 / 2=C_D D V^2 / 2 \cdot \rho V^2 / 2=C_D D \rho V^3 / 4 \cdots \cdots \textcircled{6}$ 、 $\textcircled{5}=\textcircled{6}$ より $\pi D / 2=C_D V \cdots \cdots \textcircled{7}$ これに $Re=VD / \nu$ を代入すると $C_D=\pi D^2 / 2 Re \nu \cdots \cdots \textcircled{8}$ を得る。式 $\textcircled{8}$ によれば D が大きくなるにつれ C_D も大きくなり、 Re 数が増加すると C_D が小さくなるが、これは実際の現象をよく表していると思う。（図-2参照）

(2) 突起粗度と孔粗度の抗力係数の比：突起粗度と孔粗度の抗

力係数の比を調べ、図-5に示した。 $C_{D \square} / C_{D \circ}$ の値は Re 数が増加してもほぼ同じ値を示すようだが $D=14 \text{ mm}$ の場合だけ特異な傾向を示す。この理由を以下のように考える。実験(3)の結果を図-6に示したが、深さ、孔径の比 $M=1$ の場合($D=14 \text{ mm}$ に相当)と $M \geq 2$ ($D=25, 40 \text{ mm}$ に相当)とでは流況が著しく異なり、この差が抗力に変化を与えていると思われる。

(3) 孔粗度の遮蔽効果について：突起粗面では、要素を密に配すると遮蔽効果が起こり、水理学的最粗面が存在する。一方孔要素では、可視化によれば、要素後方に死水域の形成が認められなかった。このことから、孔要素では遮蔽効果が、突起粗度に較べて小さいことが予想される。これは次のことから確かめられる。図-3によれば孔粗度の方が突起粗度より抗力係数の減少の割合が小さく、その割合は滑面と同程度である。これは孔粗度では遮蔽効果が存在しないためと思われる。

5・あとがき：本研究で次のことがわかった。

- ①段落急拡大での剝離による流入水で渦が形成される。
- ②孔要素の抗力発生主な原因は、孔内への運動量流入による流れ方向の運動量減によると推測される。
- ③孔内の流況は、孔径、深さの比により著しく異なり、これが抗力に大きな影響を与えているように思われる。
- ④式 $\textcircled{8}$ により、実験結果を定性的には説明できるが、さらに実験値の適合度を高めるためには詳細な実験的検討が必要である。
- ⑤孔粗度では、死水域の発生がみられないため、突起粗度に対して指摘されているような水理学的粗面は存在せず、孔を密に配置するほど全抵抗が増加すると考えられる。

参考文献

- 1) 足立昭平：人工粗面の実験的研究 土木学会論文集 第104号 昭和39年4月
- 2) 梅春一郎：基礎土木工学全書 水理学Ⅱ P52～58 1983年
- 3) 梅春一郎：基礎土木工学全書 水理学Ⅰ P 88～104 1987年
- 4) 日野・山崎：波による鉛直板よりの渦の形成とエネルギー逸散 第18回海岸工学講演会論文集 1971年
- 5) 神田・鈴木：球状粗度の床面における浅い流れの抵抗特性 土木学会論文集 第375号 1983年

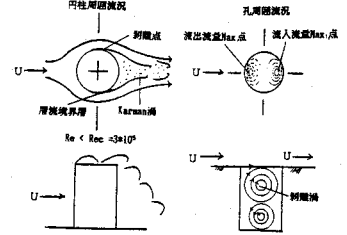


図-4 円柱・孔要素周辺の流況

表-1 円柱要素と孔要素の抗力の比較

円柱径 (mm)	Re 数	理論値 $D \text{ (mm)}$	実測した値 $D \text{ (mm)}$	実測しない値 $D \text{ (mm)}$	孔による値 $D \text{ (mm)}$	$C_{D \square} / C_{D \circ}$
37	3.2×10^4	54	33	42	9	0.27
48	3.0×10^4	52	48	58	23	0.41

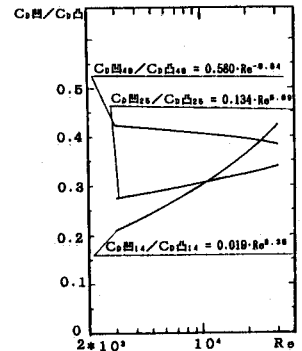


図-5 突起粗度・孔粗度の抗力係数の比

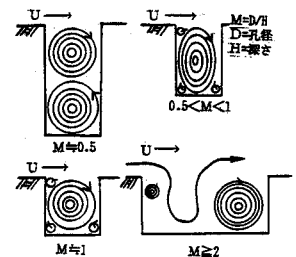


図-6 孔径、深さの比による流況変化