

Ⅱ-28 突起、孔粗度の抵抗則に関する一実験

東北工業大学 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

突起粗度の抵抗則についてはこれまで数多くの研究がなされている。すなわち水深が大きい開水路に対しては足立¹⁾が対数流速則を使って解明しており、相対水深が小さく対数流速分布が成立しない流れに対しては境界層理論を使用した抗力発生機構により²⁾説明されている。しかし、孔粗度の抗力発生に関する研究例は少なく、その発生機構も明かでないように思われる。そこで本実験では、まず、孔要素周辺の流れを実験により観察することを試みた。その結果孔内には剥離によって運動量が流入し、渦が発生する現象がみられた。これより抗力発生機構として①渦によるエネルギー逸散②死水域と等流域境界の乱れによるエネルギー減③孔への運動量流入による等流域の運動量欠損などが考えられるが、このうちどれが支配的であるかを簡単な実験で流体力を測定することで確かめることを試みた。

2. 実験方法 : 実験は大別すると可視化と抗力の測定である。

(1) 孔要素周辺の流況の可視化 : 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。下流端より3.6mの点に直径60mm深さ100mmのガラス円柱を設置し、その上に等流を流した。可視化はトレサー溶液で行い、流れが円柱前で3次元的に乱れないように特に留意した。

(2) 孔径、深さの比による流況変化の可視化 : 孔径と深さの比の変化による孔内の発生模様、流況を詳しく調べた。高さ24mm、幅30mmの亚克力板2枚で長方形孔をつくり、板をスライドし流水方向長さを変化させ流況を観察した。

(3) 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。まず上下に蓋をして測定し、その後上部の蓋を外して測定する。蓋を外したとき流体力の増加が認められれば、これは筒内に流入運動量があるためと考えてよいだろう。測定は流体力が安定した時点で行った。

(4) 昨年の実験に突起粗度($D=14\text{mm}$)の実験を補った。実験方法は平成元年度東北支部概要に詳述しているので割愛する。

3・実験結果

実験(1)について : 図-2には従来得られている円柱要素周りの流況と、実験(1)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。円柱要素が一様流中で抗力を発揮する機構は境界層理論より円柱背後の圧力上昇のため層流境界層が剥離して、圧力差による形状抵抗が流体に働くこと³⁾説明される。一方、孔要素では次のような機構と考えた。即ち、層流が孔要素上流端を通過するとき、要素上端において流れは急拡状態になるための剥離が生じ、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。流入体積は連続の条件より排除されるが孔に運動量が流入するため等流域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。

実験(3)について : 抗力発生の理由として、1に記述した三つが考えられる。①については、渦が発生、消滅を繰り返す波動下などでは渦によるエネルギー減⁴⁾が無視できないが、本実験のように一度渦ができ

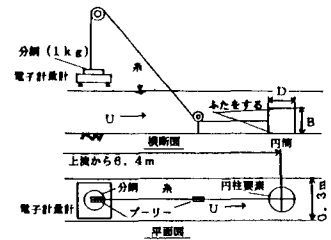


図-1 実験装置図

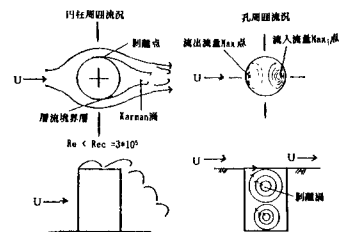


図-2 円柱・孔要素周囲の流況

た後、移動、消滅がない場合、エネルギー逸散はごく僅かと考える。理由②、③のどちらが卓越するかは疑問なので実験(3)を行った。実験(3)で蓋を外したとき、流体力の増加が認められれば流入運動量があるためと考えてよいだろう。実験の結果は、表のように上の蓋を外したとき C_D 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。さらに表からは円筒径が大きくなると C_{Dd}/C_{Dc} が大きくなる。これは孔粗度要素板で径が大きくなると C_D も大きくなる昨年の結果と傾向が同一である(図-3参照)。

4・考察

表-1 円柱要素と孔要素の抗力の比較

円筒径 (mm)	Re数	円筒要素 C_{Da} (gf)	蓋をした値 C_{Db} (gf)	蓋をしないう値 C_{Dc} (gf)	孔による値 $C_{Dd}=C_{Dc}-C_{Db}$	C_{Dd}/C_{Da}
37	3.2×10^4	54	33	42	9	0.27
48	3.0×10^4	52	48	89	23	0.41

(1) 孔粗度の C_D について : C_D を与える式を立て、 D が大きくなると C_D も大きくなる理由を考える。定常流速と孔への流入流速は同じと考え、水の流出入は単位時間に完了すると考えると $H=2V(\times 1) \rightarrow$ ① (ここに H は流入深さ) の関係がある。鉛直方向の運動量の変化は $F=\rho \pi/4 \cdot D^2 HV=\rho \pi/8 \cdot D^2 V^2 \rightarrow$ ② 抗力係数の定義より $F=C_D A \rho V^2/2=C_D DV/2 \cdot \rho V^2/2=C_D D \rho V^3/4 \rightarrow$ ③, ②=③より $\pi D/2=C_D V \rightarrow$ ④ これに $Re=VD/\nu$ を代入すると $C_D=\pi D^2/2Re\nu \rightarrow$ ⑤を得る。式⑤によれば D が大きくなるにつれ C_D も大きくなり、 Re 数の増加にともない 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われる(図-3参照)。

(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にどのような比がみられるか調べ、図-4のグラフに示した。式は C_D の実験式である。(実験式の導出については平成元年度東北支部概要に詳述した。)

$$C_{D\text{凹}14}/C_{D\text{凸}14} = (0.8111^{1/10}/Re^{0.27})/(43.2731^{1/10}/Re^{0.57}) = 0.019Re^{0.30}$$

$$C_{D\text{凹}25}/C_{D\text{凸}25} = (5.5851^{1/10}/Re^{0.40})/(41.7311^{1/10}/Re^{0.49}) = 0.134Re^{0.09}$$

$$C_{D\text{凹}40}/C_{D\text{凸}40} = (14.4211^{1/10}/Re^{0.42})/(24.8761^{1/10}/Re^{0.38}) = 0.580Re^{-0.04}$$

$C_{D\text{凹}}/C_{D\text{凸}}$ の値は粗度径が大きくなるに従い大きくなるように思われるが $D=14$ 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(2)を図-5に示したが、深さ、孔径の比 $M=1$ の場合($D=14$ mmに相当)と $M \geq 2$ ($D=25, 40$ 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。また、 $C_{D\text{凹}}$ の式は定性的には式⑤を表現していると見なせるようである。

5・あとがき : 本研究で次のことがわかった。

- ① 段落急転部での剥離による流入水で渦が形成される。
- ② 孔要素の抗力発生の主な原因は、孔内への運動量流入による等流域の運動量欠損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最粗面⁵⁾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。

最後に、本実験は高橋一宏君との共同研究であることを付記し、ここに感謝の意を表します。

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) 椿井一郎：基礎土木工学全書 水理学Ⅱ P52~58 1988年
- 3) 椿井一郎：基礎土木工学全書 水理学Ⅰ P 88~104 1987年
- 4) 日野・山崎：波による船底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流れの抵抗特性 土木学会論文集 第375号 1985年

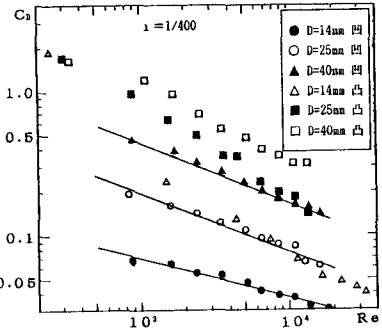


図-3 C_D-Re の関係

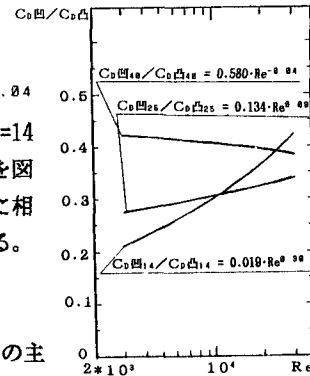


図-4 突起粗度・孔粗度の抗力係数の比

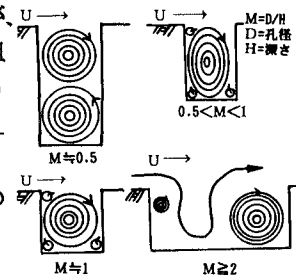


図-5 孔径、深さの比による流況変化