

Ⅱ-57 水流による円柱の抵抗について

京都大学工業教員養成所 正員 ○ 野田英明
京都大学大学院 学生員 日野峻策

1) まえがき

従来、円柱のうける抵抗に関する問題は、おもに流体力学にもとづいて、航空、造船工学の立場から研究がなされてきたが、その大部分は二次元流れについての研究であった。しかし、近年、河川および海岸構造物の建設がさかんになるにつれ、土木工学の立場から水流による抵抗の問題についても水理学的に十分検討を加えることが必要になってきた。本研究ではその第一段階として、開水路流れに鉛直に立てられた円柱のうける流体力について若干の実験考察をおこなった。自由表面を有する開水路流れでは、水深方向にわたって円柱の軸方向に速度こう配が存在し、円柱の抵抗についても二次元的な取り扱いができないと考えられ、三次元的な取り扱いが必要となってくるが、現象が複雑なため理論的な解析は非常に困難である。

実験は京都大学工学研究所水理実験室の長さ7m、巾0.5m、深さ0.5m、底面こう配0の木製表面ベンキ塗装水路を用いておこなった。水路下流端には可動格子状せきを設けて水深を、また流量は上流端のバルブを用いて調節し、水路上流端に接続した全中せきにより流量を求めた。測定用円柱は下流端から2mの位置の水路巾中央に設置した。円柱表面に設けた *piezometer* と、別に設けた静圧管の圧力差 ($p-p_0$) を水底から1cmごとに円柱とその軸のまわりに10°づつ回転して測定した。水底からこの高さにおける抗力は、 $\Delta D = \frac{\rho}{2} \int_0^{2\pi} (p-p_0) d\theta$ から求めた。

2) 円柱の抵抗係数について

Maschは水底からこの高さにおける流速および円柱の微小部分に働く抗力をそれぞれ U および ΔD とすると、円柱の抵抗係数は

$$C_d = \frac{\Delta D}{\frac{1}{2} \rho U^2 \Delta z \cdot d} = \varphi_1 \left(Re, \frac{\Delta U \Delta z}{\Delta z U}, \frac{d}{h} \right) \quad (1)$$

であるとして、この C_d を局部抵抗係数と定義し、抗力の水深方向の変化を考える一手段とした。ここに、 d は円柱の直径、 $Re = U d / \nu$ 、 h は水深であり、 $\Delta U / \Delta z$ は水底からこの高さにおける円柱軸方向の速度こう配である。Maschは開水路流れで円柱軸方向に速度こう配が一定である場合の円柱の抵抗係数について、 Re 数および円柱と水深の比 d/h を一定にして実験をおこない、円柱軸方向の速度こう配の効果とをしかめた。すなわち、 C_d はその位置 z/h と速度こう配に關係する無次元量 $(\Delta U / \Delta z) d / U$ の大きさによって異なり、水底では C_d が最大、水面では最小になること、また速度こう配が大きくなるにつれ C_d の z/h に対する変化の割合が大きくなることを確かめ、この事実を円柱軸方向の流れが存在するための影響であるとして説明した。われわれは、円柱軸方向の流速分布および速度こう配をほぼ一定にし、局部抵抗係数と d/h との関係を求めた。図-1は円柱軸方向の流速分布と局部

抵抗係数の一例であり、図-2は C_d と d/h との関係を d/h をパラメーターにして示したものである。図-1からわかるように、速度こう配の大きい水底近くでは C_d の d/h に対する変化の割合は大きいという Maschl と同様の結果がえられている。また図-2から C_d は d/h が大きくなるにしたがって小さくなる傾向がみられる。

以上は局部抵抗係数 C_d についての実験結果であるが実用上、円柱に作用する流体力を求めるためには、円柱に働く全抗力を求める方が好都合である。したがって、いま流れの平均流速に U_m を用いると、全抗力 D は、 $D = \int_{-d/2}^{d/2} \Delta D$ であるから、円柱の抵抗係数 C_D は、(1)式と同様に、

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U_m^2 h d} = f_2(Re, d/h, A) \quad (2)$$

と表わせる。ここに、 $Re = U_m d / \nu$ であり、 A は円柱軸方向の速度こう配に関係する無次元量と考えられる。本実験では、 A はほぼ一定であり、 Re 数は $1.0 \sim 2.0 \times 10^4$ の範囲であるので、ほとんど圧力抵抗であり、 Re 数の影響はないと考えてよい。したがって(2)式の C_D は d/h のみの関数となる。図-3は C_D と d/h との関係を示すもので、円柱-Pによる C_D の値は上の実験から求めた全抗力にもとづいて計算し、円柱-Sによる C_D の値は strain gage を用いて測定した全抗力から計算した。普通、二次元流れにおいて Re 数が $1.0 \sim 2.0 \times 10^4$ の範囲

図では $C_D = 1.2$ となっているが、円柱軸方向に速度こう配がある場合に、平均流速で表わした抵抗係数 C_D は1.2より大きくなり、さらに d/h が大きくなるにしたがって C_D の値が大きくなる傾向がみられる。

以上、円柱の抵抗係数について若干の実験をおこなったが、実験資料が少ないために十分な結論を出すにいたっていないが、目下実験中であり詳細は講演時に説明する予定である。最後に本研究を行なうにあたり、絶えず懇切な御指導を賜った石原藤次郎教授、岩佐義朗助教授に厚く感謝の意を表します。

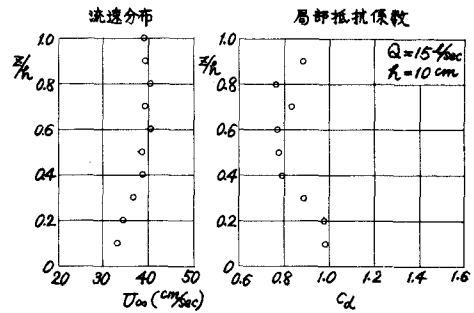


図-1 流速分布と局部抵抗係数

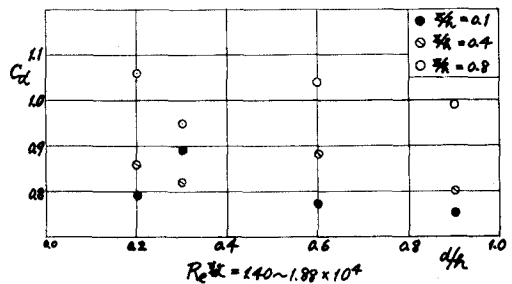


図-2 C_d と d/h の関係

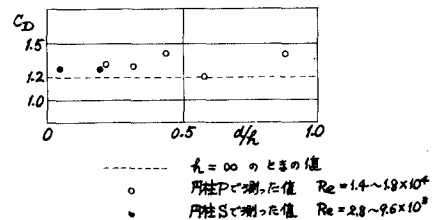


図-3 C_D と d/h の関係