

浸透層上の角柱に作用する流体力に関する研究

長崎大学大学院 学生員 松浦 文昭

長崎大学工学部 正 員 中村 武弘

長崎大学工学部 学生員 大瀬 信一

1. まえがき

津波防波堤開口部の潜堤のように流れの中にあつて、その影響が水表面に及ぶ様な構造物に働く流体力に関する研究は数少なく、さらに、その構造物の基礎を浸透層として取り扱った研究はまだ見受けられない。本研究では、潜堤を水平床の上に置かれた正方形断面の角柱として、二次元開水路定常流実験を行い、角柱に働く流体力に及ぼす水表面および浸透層の影響について検討を行うものである。

2. 実験概要

2.1. 実験装置 実験水路は長さ5 m、巾0.3 m、深さ0.6 mで両側面はアクリル張りの鉄製水路である。潜堤の模型は、一辺が5 cmの正方形断面の角柱であり、軸は流れ方向と垂直に、迎え角はゼロで設置される。角柱はアクリル製で、正方形の4辺には、各々径1.5 mmの穴が1 cm間隔で5ヶ所ずつ開けられている。それらの穴よりテフロンチューブを用いてマンメータ(径6 mmのガラス管)に導いた水頭を、読み取り顕微鏡を用いて計測した。流速分布は、径5 mmのアロパラ流速計を用いて計測し、流量測定は三角堰で行った。浸透層の材料は、平均粒径3.9 mm、1.97 mmの2種類を使った。

2.2. 実験方法 浸透層の厚さは、2, 6 cmの2種類とした。水深は、下流側1.8 mの地点の水頭を、3, 5, 10, 20, 30 cmの5種類に設定した。また流量は、角柱の後流域の細石が乱れにより動かない範囲で任意に設定した。

3. 実験結果および考察

抗力 D は角柱前面のマンメータの水頭から後面の値を差し引き、単位長さを掛けて求め、揚力 L も同様に下面の値から上面の値を差し引いて求めた。抗力・揚力の働く代表長さとはとも角柱の一辺の長さを用いた。また代表流速はフルード数の臨界値がまず発生する角柱上の平均流速 U を用いた。以上の値から抗力係数 C_D および揚力係数 C_L を求め、レイノルズ数との関係をそれぞれ図-1と図-2に示した。 C_D , C_L とも実験範囲内ではレイノルズ数の変化にはあまり関係せず、ほぼ一定値をとるようである。平均すると C_D が1.3, C_L が0.93となる。浸透層の碎石の大きさや浸透層の厚さによる違いは、さりは見られないようである。

さて、流速分布、圧力分布、水深と、 C_D , C_L の関係を考察して見よう。図-3に示す流れについて考える。角柱表面の圧力分布の一例を示すと、図-4のようになる。全水頭を速度水頭で割った無次元の圧力係数 C_p のかたちで示した。流速は U を用い、角柱の後面の静圧を基準として角柱表面を原点にとり、内側を正、外側を負とした。この分布を見ると、角柱前面、後面は鉛直方向にほぼ一様な分布であり、上面は水平にほぼ一様な分布である。下面は下流に行くほど小さくなっており、ほぼ直線分布である。大きさについては前面が後面よりも大きく、上面は後面の値とほぼ等しい。下面については、上流側は前面の値にほぼ等しく、下流側は後面の静圧による値にほぼ等しいようである。いま前面の水頭 mP_1 から後面の水頭 mP_2 を引いた値を \overline{mP} 、底面の上流端の水頭から下流端の水頭を引いた値を \overline{P} として比較したのが図-5であり、等号を示す45°の直線上にほぼのっているようである。さらに、前面と後面の水頭差より堤体下部の Muskat の理論を適用した場合の下面の圧力分布を求めると、実験値のプロットとほぼ等しくなっていた。

図-3に戻り、流線 C に対して Bernoulli の定理を適用すると、

$$\frac{U_0^2}{2g} + \frac{P_0}{\rho g} + Z_0 = \frac{U_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{U_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 \quad (1)$$

よ、て

$$mP_1 = \frac{U_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 = \frac{U_2^2}{2g} + SL_2 = \frac{U_2^2}{2g} + mP_2 - \Delta h_2 \quad (2)$$

ここに、 mP : 全水頭 SL : 水深 $\Delta h_2 = mP_2 - SL_2$

抗力係数 C_D は、

$$C_D = \frac{\rho g (mP_1 - mP_2)}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = \frac{\frac{1}{2} \rho U_2^2 - \rho g \Delta h_2}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = 1 - \frac{\rho g \Delta h_2}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = 1 + C' \quad (3)$$

$$\text{ここに } C' = -\frac{\rho g \Delta h_2}{\frac{1}{2} \rho U_2^2}$$

揚力係数 C_L は、 $\bar{P}_3 / \rho g = \frac{1}{2} (mP_1 + SL_2) / \rho g$ $\bar{P}_4 / \rho g = mP_2$ とすると

$$C_L = \frac{\bar{P}_3 - \bar{P}_4}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = \frac{\frac{1}{2} \rho g (mP_1 - mP_2 - \Delta h_2)}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = \frac{1}{2} - \frac{\rho g \Delta h_2}{\frac{1}{2} \rho U_2^2} = \frac{1}{2} + C' \quad (4)$$

即ち、 C_D 、 C_L とも、同一の関数 C' で表せる。一般に角柱の後方に逆流が発生するので、 $\Delta h_2 < 0$ となる。従って、 $C' > 0$ となり、結局 $C_D > 1$ 、 $C_L > 1/2$ ということになる。この方法で(3)(4)式の C' の値とレイノルズ数との関係をまとめたのが図-6である。この結果と、 $C_D - 1$ の値を比較すると、 $C_D - 1$ の平均は0.3に対し、 C' の平均は0.5であり C' がやや大きい。ほぼ近いと言える。同様に $C_L - 1/2$ と C' を比較するとそれぞれ0.43、0.5となりほぼ近い値である。

4. 結論

自由表面をもつ流れの中の浸透層上の角柱について、今回の実験範囲内ではレイノルズ数の変化にかかわらず抗力係数は1.3、揚力係数は0.93となった。また浸透層の碎石の大きさと層の厚さの影響ははっきりとは分らなかった。

(参考文献) 1) 橋 東一郎：水理学Ⅱ

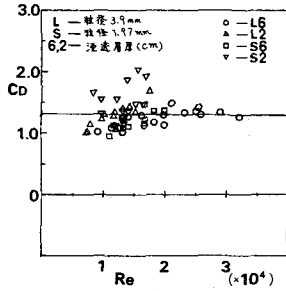


図-1

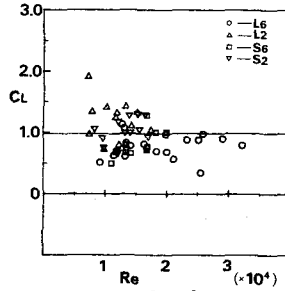


図-2

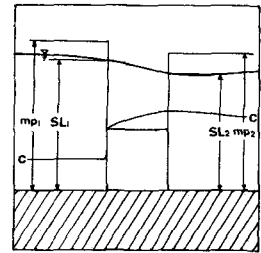


図-3

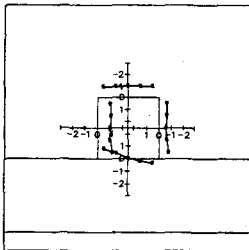


図-4

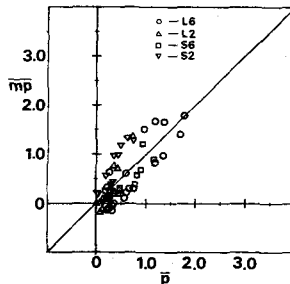


図-5

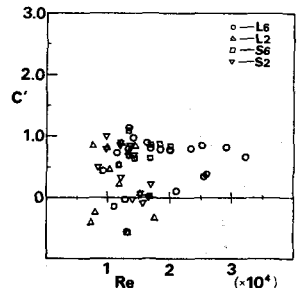


図-6