

防衛大学校建設環境工学科 ○学生会員 阿部 俊

防衛大学校建設環境工学科 正会員 林建二郎

防衛大学校建設環境工学科 正会員 重村利幸

1. はじめに

閉鎖的湾内では、海水交換が不十分なため汚濁された海水や、貧酸素状態の海水が海底付近で滞っている状態が確認されている。これら閉鎖性水域の水質改善法の一つとして、潮汐等の流水中に鉛直に設置された導水管の上端部に発生した剥離渦による運動エネルギーの消散による圧力低下を用いて導水管内に流れを誘発させ、低層の海水を表層に導水する工法（鉛直循環促進工法）が検討されている^{1), 2)}。この工法の性能設計においては、導水管上端の開口部位置での流れによる圧力低下現象の評価が重要である。本研究は、圧力低下 Δp に及ぼす開口部の影響を明らかにすることを目的として、導水管への接近流速 U と導水管内の誘発速度 V との比 V/U （導水効率）および開口部より湧出する流れの特性を調べたものである。

2. 実験装置および方法

実験には、長さ40m、幅0.8m、高さ1mの還流水槽を使用した。水路中央部のピット（長さ2.5m、幅0.8m、高さ0.3m）上に設けたアクリル板（水路底面）の水路幅中央に、直径3.0cmの穴を開け、外径 $D=3\text{cm}$ 長さ $L=22.0\text{cm}$ のアクリル製の円柱パイプ（導水管）を鉛直に設置した（図-1 参照）。底面より導水管上端までの距離は17.0cmとした。管の内径 d は2.0cm、2.6cmの2種類とした。実験水深は $h=0.3\text{m}$ とした。

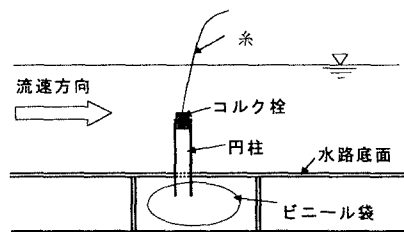


図1：実験装置の概略

円柱パイプ（導水管）の上流側1m、水路底面より17.0cmの位置での流れ方向流速をプロペラ流速計により計測し接近流速 U とした。導水管内に誘発される断面平均流速 V を計測するために、パイプ下端に隙間なく取り付け付けたビニール袋内に一定量の水 Q_0 を入れ、コルク栓をする。接近流速 U が一定になった後に、コルク栓を抜き、 t 時間測定後、コルク栓を締めビニール袋ごとパイプを取り出す。ビニール袋の中に残った水の量 Q_1 を測定することにより、単位時間内にビニール袋内から吸い出された流量 $Q=(Q_0-Q_1)/t$ を求め、 $Q=(\pi d^2/4)V$ より V を求めた。レーザー流速計を用いて、パイプ内の誘発流速 v_p およびパイプ開口部上部の流速の流れ方向成分 u 、鉛直方向成分 v を同時計測した。外径3mmのビト管の静圧管を差圧計に接続し、流速が殆どないピット部、およびパイプ下端部と上端部近傍流れ場の圧力計測を行った。

3. 結果および考察

導水管上端面までの圧力低下 Δp を(1)式で表すと、

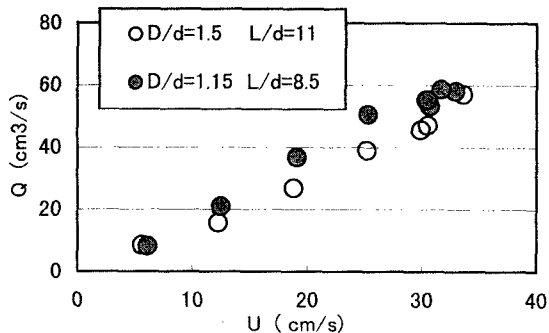
$$\Delta p = \rho k U^2 / 2 \quad \text{---(1)}$$

接近流速 U と管内流速 V の比 V/U は(2)式で表せる。

$$V/U = \{k / [f_i + f_o + f(L/d)]\}^{1/2} \quad \text{---(2)}$$

ここに、 ρ ：流体の密度、 k ：圧力損失係数、 L ：管の長さ、 f_i 、 f_o 、 f ：導水管の流入、流出、ならびに導水管壁面の摩擦損失係数である（ $f_i=1$ 、 $f_o=1$ ）。

接近流速 U と単位時間あたりの導水管内を通過する誘発流量との関係を図-2に示す。導水管内径 d が大きい方が誘発流量 Q が大きいことが分かる。

図-2 接近流速 U と誘発流量 Q の関係

キーワード：海水交換、導水管、誘発流れ、負圧力、レーザー流速計測

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel 0468-41-3810 Fax 0468-44-5913

接近流速 U および誘発流速 V を用いたレイノルズ数を、式(3)、式(4)でそれぞれ定義する。

$$Re = UD/\nu \quad \text{-----(3)} \quad Rep = Vd/\nu \quad \text{-----(4)}$$

Re は導水管上端での流れ特性を、 Rep は導水管内の流れ特性を示す。 Re と Rep の関係を図-3 に示す。図中には、レーザー流速計を用いて計測された導水管内中心線上の流速 v_{pmax} を V の代わりに用いた Rep_{max} をもプロットしている。本実験での Re 数の範囲では、 V は U の 1 乗に比例している。 Re 数が更に低下すると、導水管内の流れは層流になるためこのような関係は生じない。木村ら¹⁾は、 $D/d=1.28$ 、 $L/d=10$ の場合には、 $Re<910$ 、 $Rep<250$ では導水管内の誘発流れは層流となる結果を報告している。

導水効率 V/U および圧力損失係数 k の L/d に対する変化特性を D/d をパラメーターとして図-4 と図-5 に示す。図中に示す、木村ら¹⁾の値は、本実験と同様な Re 数範囲 ($Re<8500$)での結果であるが、小沢ら²⁾の値は、大きな Re 数範囲 ($2000<Re<8\times 10^5$) 行われた結果である。 k の値は、(2)式に V/U 、 L/d の実測値、および円管流れにおける f_i 、 f_o 、 f の基準値を代入して得られた推定値である。

図-4 より導水効率 V/U は、導水管長さ L/d および D/d の増加に伴い若干大きくなっている。 D/d の増加に対し V/U が増加する原因は、導水管の形状変化に伴う f_i の減少等が考えられる¹⁾。 V/U は、 L/d の増加に伴い管内での摩擦損失エネルギーが増加するために、減少すると考えられるが、逆の結果となっている。図-5 より圧力損失係数 k は、 L/d の増加に伴い大きくなることが分かる。従って、 L/d の増加による V/U の増加現象は、誘発流れ V と接近流速 U の相互作用に起因する k の増加現象と考えられる。

$U=30\text{cm/s}$ に設定し、内径 $d=2.6\text{cm}$ の導水管中心軸上の管上端部付近の流速分布をレーザー流速計で測定した結果を図-6 に示す。速度 u 、 v の時間平均値を u_m 、 v_m 、乱れ強度を u_{rms} 、 v_{rms} とする。管上端部にはよどみ領域が存在している。よどみ領域と一様流速領域の間には、管上端 ($z=0\text{cm}$)からの剥離渦による強い乱れ強度 u_{rms} を持つ遷移領域が存在する。管内の上向きの誘発速度 $v_m=0.12\text{cm/s}$ は、管直上では位置 z の増加に伴い徐々に減少している。

参考文献

- (1)木村ら：流水中に鉛直に固定された導水管内に誘発される流れ、第35回海岸工学講演会論文集、pp.627～631、1988。
- (2)小沢ら：負圧を利用した海水交換潜提の揚水特性の基礎的検討、海岸工学論文集、第47巻、pp.1161～1165、2000。

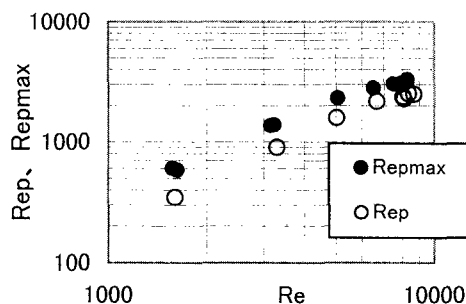


図-3 接近流速 U と誘発流速 V の関係

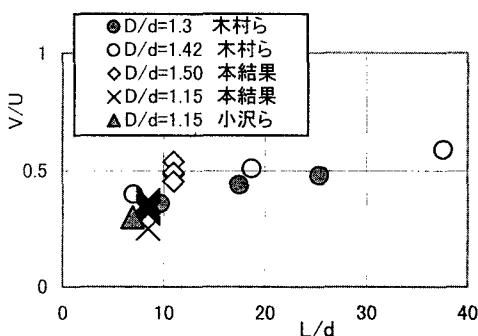


図-4 導水効率 V/U の L/d に対する変化

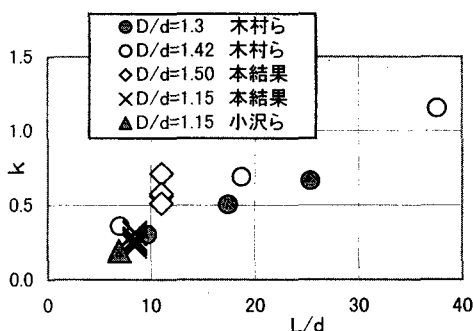


図-5 圧力損失係数 k の L/d に対する変化

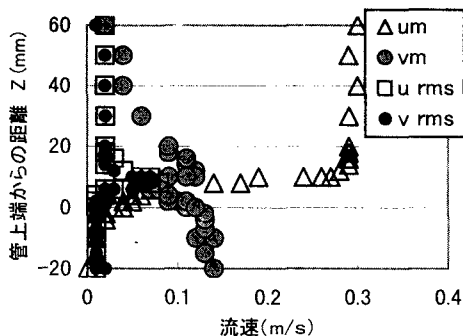


図-6 揚水管上端部の流速分布