Ⅱ−10　人工的な乱れを与えた時の塩水楔の挙動について

東大工学部　正員　嶋　祐之
○東大工学部　正員　椎貝博美

1．概説

人工的な乱れを流れに与えて乱流的な現象を実験室の中で再現しようとする試みがなされたのは，それほど古いことではない。その代表的なものは，数年前にMITで，Ippen および Harleman によって行なわれた一連の研究に見られるように，金属スクリーンを開水路中で機械的に振動させ，塩分の拡散を一次元的に追跡するものであった。これは非常に優れた着想であったとはいえ，乱れのスケールがあまりにも大きすぎて，色々と不便な点が少なくなかった。筆者等は超音波を水中に放射して人工的な乱れを流れに与えることを考え，実験を行なっている。その結果の一部はすでに2月の水理講演会で発表したが，ここでは人工乱れと自然の乱れの相似性について考察を加え，その応用例として塩水楔に人工乱れを与えた時の挙動についてのべる。

2．人工乱れの相似性について

i）エネルギの吸収

この実験に用いた超音波は水路底より水中に放出される形式のものである。超音波が水中においてどの程度吸収されるかということはエネルギーの逸散（音波の）の推定上重要なことである。まず，水中にキャビテーションを生じない時には，水中での超音波の振巾 a は，$a = a_0 e^{-\alpha y}$ となる。ここに，a_0：発生源での振巾　y：発生源よりの距離，α：吸収係数　である。古典理論によると，α は直ちに求められて[1]，

$$\alpha = \frac{2}{3}\frac{\mu}{\rho}\frac{\omega^2}{V^3} \qquad (1)$$

で与えられる。μ：粘性係数，ρ：流体密度，ω：角振動数，（2π×振動数），V：音速，である。この値はそれ程大きいものではない。今，用いている超音波は 24 kc/s の振動数を有しているので，$V = 1.48\times10^5$ cm/s　とすれば，　$\alpha = 2/3\cdot 0.01/1\cdot(2\pi\times24\times10^3)^2/(1.48\times10^5)^3$
$\doteqdot 6\times10^{-9}$　となるから，これはのちにのべる空気泡の発生による吸収よりは大分小さい。

次に水中において気泡が発生したときは，（水中に放出された超音波のエネルギーがある限度を越えるとキャビテーションを水中に生じさせる）吸収係数 α_d は次式で与えられる[1]。

$$\alpha_d = \frac{2\pi}{9}\frac{d^6}{V^4}\omega^4\left(\frac{\kappa'}{\kappa}\right)^2 n \qquad (2)$$

d：空気泡の半径，　κ'：空気の断熱圧縮率，κ：水の断熱圧縮率，n：単位体積中の気泡の数である。$\kappa'/\kappa \doteqdot 3\times10^3$ であるから，　$\alpha_d \doteqdot 1.41\times10^{2} n d^6$　（c.g.s.単位）となる。音のエネルギは振巾の自乗に比例するから，1に比べて α の小さい所で展開すると，$1/10^2$ の値は，

$$\frac{a^2}{a_0^2} = e^{-2\alpha y} \doteqdot 1 - 2\alpha y \qquad (3)$$

となる。従って（超音波より）水の受けるエネルギーの量は，$2\alpha y$ に比例する。これは，開水路において せん断応力の分布が，水底から水面に向って直線的に減少することと，ある程度相似である。なお

(3)式で仮に $n=10$, $d=0.1\,cm$ とすると、 $\alpha_d = 1.41\times10^{-2}$ となり、αに比べて非常に大きい。

ii) その他

超音波のエネルギの吸収は、この他に、分子的な吸収も存在するが、海水と淡水程度の濃度差の違いならば、それらはそれほど大きなものではないので、無視できる。

3. 塩水楔の挙動

上記のように、超音波を用いて、ある程度、人工的乱れを得られることがわかったので、これを塩水楔の現象に応用してみると次のような結果を得る。

図1には概念図を示す。Sは超音波発振器であって、水路床に設置してある。超音波を水中に放射しない時には、実線のように塩水楔が形成されていても、超音波によってエネルギーを流れに与えると、点線で示したように、塩水楔はくだけながら後退し、いわゆる緩混合型の流れになる。このことは、乱れのある場合の拡散の方程式、すなわち、

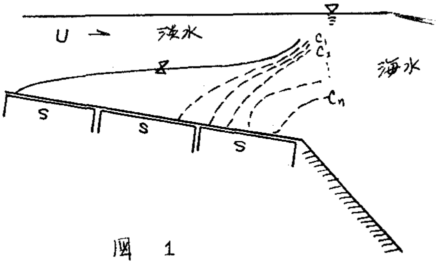

図 1

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V\cdot\nabla C = \nabla\cdot\alpha, \quad \alpha : \text{turbulent diffusion vector } (= -\overline{C'V'}) \qquad (4)$$

C : 濃度(重量%)

において、$\nabla\cdot\alpha$が増大する為に、$V\cdot\nabla C$ の値が増加し、速度ベクトルVと、等濃度曲線とのなす角度が増大することに相当する。

図2には、等濃度曲線の到達距離Lと、超音波のエネルギとの関係の例を示した。超音波のエネルギーが0の時のLは塩水楔の長さをあらわす。エネルギは、超音波発振器のプレート電流によって示してある。点線と実線の距離の近いほど、純粋の塩水楔に近いことを示す。この実験結果からは、乱れが増加しても、ある程度塩分を拡散しながら、海水全体としては塩水楔的な挙動、すなわち、ほぼ一様に海側に向って後退するということが、いえるようであるが、なお、この点については研究する必要がある。本研究は文部省科学研究費の援助を受けた。深く感謝する次第である。

4. 結語

超音波による乱流モデルがもし妥当であるならば、塩水楔に乱れを与えた場合、拡散を生じながらも、全体としては塩水楔的な挙動を示すことが、ほぼ確かめられた。

5. 参考文献

1. 能本：超音波，河出，昭23.

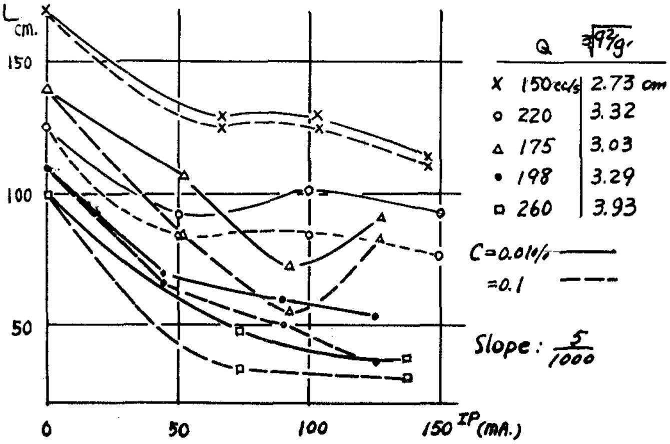

図 2.