

泡切れの良い船型について —気泡と音との関係—

1. はじめに

水中音響機器を装備する船で必ず要求される条件に良好な泡切れ性能という字句がある。これは船底に装置される水中音響機器のまわりに多量の気泡が流れて来て、音響機器の観測機能を低下する事のないような工夫をせよという意味である。さて、海の中は静かかという決してそうではない。図-1はG.M. Wenzが作った海中騒音のチャートであるが、渦波、地震や船の出す音等に起因する騒音にあふれていることがわかる。水中音響機器の機能としては、発振した音波が戻って来る間に、周囲の騒音よりも低いレベルに減衰してしまうと観測が不可能になる訳である。

水中音の音圧レベルを減衰させる原因の中で、水中を浮遊する小さな気泡による影響の大きい事はよく知られていたが、高速で航行する船の底を大量の気泡が流れており、これによって水中音による観測に障害の生じることが判って来たのは比較的最近の事である。本稿においては、水中の気泡による音波の減衰や気泡の発生について概略を述べ、次に高速艇型の調査船の泡切れ対策について紹介する。

2. 気泡の影響

気泡を含む水の中を音波が伝わると、気泡は音圧によって激しく収縮、膨張をくり返し、音波は散乱され、エネルギーは気泡の運動によって消散される。その結果音波は減衰し、気泡を含む領域となない領域の境界では反射する。なお、気泡は夫々の大きさに対応する共振周波数をもつが、浮上せず水中に浮遊する気泡の共振周波数は大略15~100KC程度の値であり、この程度の周波数をもつ音波が最も強く影響を受ける。なお、水中に浮遊する1個の気泡の共振周波数 f は、水の密度を ρ 、圧力を P 、気体の定圧比熱と定積比熱の比を k 、半径を a とすると

き、大略の値を

$$f = \frac{1}{2\pi a} \sqrt{\frac{3kP}{\rho}}$$

によって表わせる。

図-2に1気圧、20℃の水中における気泡の径と共振周波数の関係を示す。

次に気泡群を含む水の中の音波の性質について述べる。単位体積の水中の気泡群の体積を γ 、水と気体の体積弾性率を K_1 、 K_2 、水と気体の密度を ρ_1 、 ρ_2 とすると、水中を伝わる音の速度は

$$C = \left[\frac{\rho_1}{K_1} (1 - \gamma) + \left(\frac{\rho_1}{K_2} + \frac{\rho_2}{K_1} \right) \gamma (\gamma - 1) + \frac{\rho_2}{K_2} \gamma^2 \right]^{-1/2}$$

で表せる。水と空気の場合について求めた音速と気体体積 γ との関係を図-3に示す。気泡を大量に含む水中での音速は空気中のそれよりも遅く、 $\gamma=1/2$ ではわずかに23m/sにまで減少する。又、気泡を含む水と含まない水との境界面に音が垂直入射する時の音圧、音速の振幅反射率も併せて示している。なお、気泡の共振と損失も考慮して、求めた気泡半径 $a=0.005\text{cm}$ $f_0=62\text{KC}$ の場合の計算例を図-4、図-5、図-6に示す。共振周波数付近で大きな減衰の生じること、音速は共振周波数以下では減速し、それ以上では増速する。又、反射率も共振周波数付近で大きい、離れると減少する。

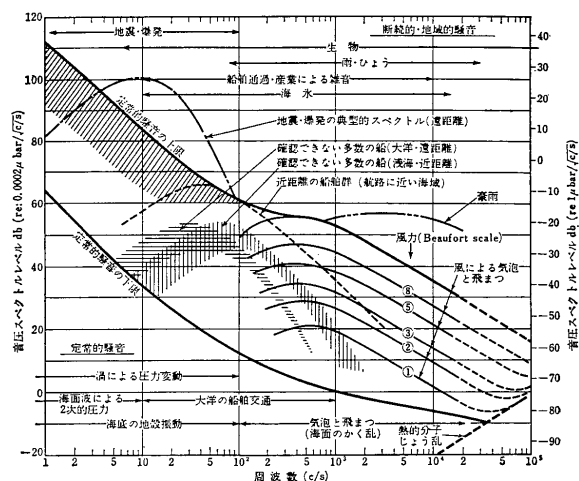


図-1 海中騒音のスペクトルレベルを推定するためのチャート

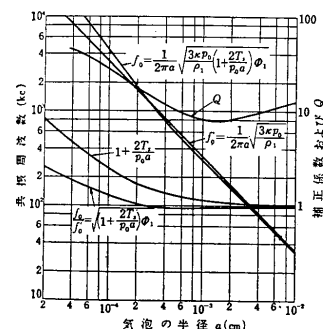


図-2 気泡の共振周波数、共振におけるQ、共振周波数の補正係数、表面張力による静圧の補正係数

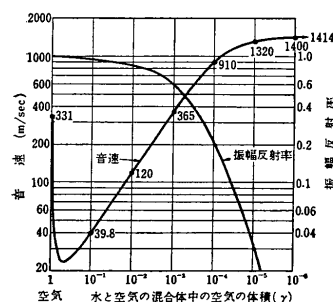


図-3 水と空気の混合体中の音速および純水との境界面の振幅反射率 (共振を考慮しない理論)

以上のように、水の中に気泡が存在することにより、気泡の大きさに応じて音の特性は大きな影響をうけることが判る。

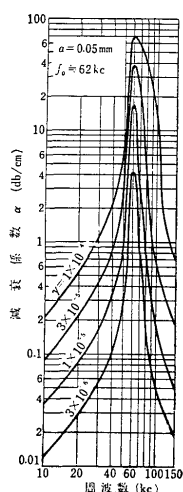


図-4 気泡を含む水中の減衰

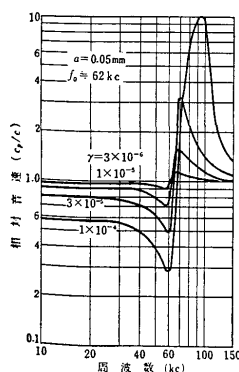


図-5 気泡を含む水中の音速

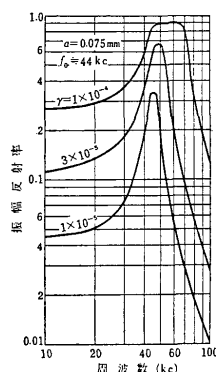


図-6 気泡を含む水との境界面の垂直入射反射

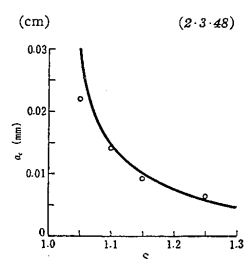


図-7 1気圧の水中の空気泡の臨界半径と飽和度

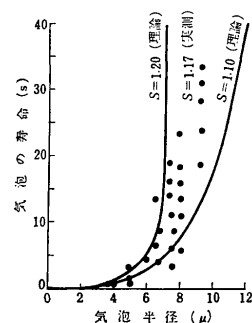


図-8 気泡の寿命(17%過飽和の水中)

3. 気泡の発生と消滅

空気に接している水面では、空気は飽和状態にある。例えば、水温15℃では体積比で約2%であり、温度上昇と共に低下する。又、静圧に比例しており、僅かな温度圧力変化によって気泡が発生する。発生した気泡の中には界面の張力と飽和の程度によって、成長も溶解もしないものが存在する。実際の溶解量と飽和溶解度の比をS、臨界半径を a_c として図-7に示す。なお、これ以外の気泡は時間と共に消滅するが、その寿命を図-8に示す。気泡が発生しても短時間のうちに消滅するような大きさであれば問題はない訳であり、共振周波数の大きな、径が十分に小さい気泡であれば音響機器の機能への影響を考慮せずとも良いことになる。

4. 船首のまわりの碎波と 気泡の混入

航走する船の船首まわりには船首波が発生し、波の頂部が崩けて水面に落下する際にいろいろな寸法の気泡が水中に混入し、船体まわりの流れに沿って船底に到達して、水中音響機器まわりを流れる

実際に前記のようなメカニズムで水中音圧レベルを減衰させて、いわゆる機器の機能障害をひきおこすことが判つて来ている。SRC News No.28参照。

従って、船の設計において、船首での崩波の程度を減少させる、混入した気泡が音響機器の位置に流れこまない様に、船体形状や機器位置の選定に工夫がこらされることになる。近年建造される大型海洋調査船にあっては、設計の際に模型試験を含む検討により、泡切れ性能の向上が図られている。

小型高速艇に水中音響機器を搭載して海洋観測を行う機能をもたせる場合は、大型海洋調査船とは異なる高速艇の流力特性を考慮する必要がある。すなわち高速艇にあつては速力と共に船尾トリムを増して、船首船底が水面すれすれになる程度となり、又、船首のチェーンやスプレースリップによって船側に沿って上昇する波を船側にたたき落とす等により、良好な抵抗性能や水に濡れない等の要求を満足させている。音響機器の機能の面からは船底を流れる気泡の量を増すような以上の特性は逆効果であり、高速航行時でもトリムが少なく、かつ船底は水面から十分に沈み、船首側に落下するスプ

レーの量が極力少なくなるような特性を持たせねばならない。このような通常の高速艇とは異なる性質を持たせた上で良好な性能を確保することが要求される。次章に実艇設計の例を紹介する。

5. おわりに

泡切れ泡切れと叫ばれながら、その実態については、意外に知られていない。水中を浮遊する気泡の性質に重点を置いて紹介したが、現象の一端をご理解頂ければ幸いである。

參考 超音波技術便覽