

中空円筒を用いた波による空気流発生装置に関する研究

豊橋技術科学大学大学院

○立石 正則

豊橋技術科学大学建設工学系

正会員

青木 伸一

岡本機械設計

岡本 光雄

1. はじめに

本研究は、波浪エネルギーを利用して空気流を発生させることにより、波浪発電や貧酸素水のエアレーションに利用することを目的として、水面に設置された中空円筒を対象に検討を行っているものである。中空円筒による波の変形については、清川らが開放型(1983)および密閉型(1984)について検討しているが、ここでは図-1のように、中空円筒から給排気管通じて出入りする空気を考慮して解析を行った。本論文は中空円筒内の空気圧縮と給排気管内の空気流の関係について、給排気管の形状抵抗の影響に着目して検討を行ったものである。

2. 解析モデル

本研究では、図-1に示すような、一定水深 h の水面上に直径 D 、喫水 qh の肉厚の無視できる固定された中空円筒に直径 αD の給排気管が付随しているものについて解析を行った。これに x 軸の負の方向から入射波高 H_0 、入射波長 L の波が入射するものを考える。また水面上部の円筒の長さを βD 、大気圧およびその密度を P_a 、 ρ_a 、海水の密度を ρ_w とする。

入射波の速度ポテンシャルを ϕ_0 とし、流体領域を中空円筒内外で Ω_1 、 Ω_2 に分け、それぞれの領域の散乱波ポテンシャルを ϕ_1 、 ϕ_2 とする。

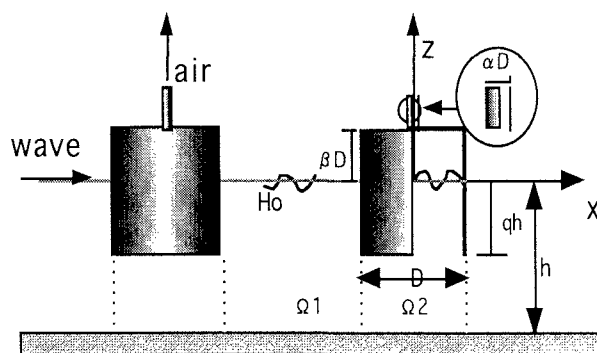


図-1 解析モデルとその座標系

3. 空気の出入りと空気圧縮を考慮した円筒内部の水面での境界条件

本研究では、空気の状態変化を等温変化と仮定し、ボイルの法則を適用する。中空円筒内部の水面変動 η_2 の平均値を $\bar{\eta}_2$ とし、給排気管に対してはエネルギー損失を考慮したベルヌーイの式を適用した。円筒内部の圧力 P として、式(1)を得る。ここに、 K' は給排気管におけるエネルギー損失係数を含む定数、 ω は入射波の角振動数である。式(1)を通常自由表面条件における力学的境界条件に代入し、さらに運動学的境界条件と連立させて $\bar{\eta}_2$ を消去すると式(2)を得る。これが本研究で取り扱う円筒内部の自由表面条件である。

$$P - P_a = \frac{P_a \frac{\pi D^2 \bar{\eta}_2}{4h^3}}{\frac{\pi}{4} \beta \frac{D^3}{h^3} + i \left(\frac{K' \frac{\alpha \pi D^2}{4 h^2} \frac{P_a}{\rho g h}}{\sqrt{\frac{\omega^2 h}{g}}} \right)} e^{-i\omega t} \quad \text{where} \quad \bar{\eta}_2 = \frac{1}{A} \int_A \eta_2 dA \quad : A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \phi_2}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \phi_2 + c = 0 \quad \text{where} \quad c = \frac{2P_a}{\rho g h} \frac{\frac{\pi D^2}{4h^2}}{\frac{\pi}{4} \beta \frac{D^3}{h^3} + i \left(\frac{K' \frac{\alpha \pi D^2}{4 h^2} \frac{P_a}{\rho g h}}{\sqrt{\frac{\omega^2 h}{g}}} \right)} \int_A \frac{\partial}{\partial z} (\phi_0 + \phi_2) dA \quad (2)$$

4. 給排気管の抵抗

式(1)および(2)に含まれる K' の説明を行う。本研究では給排気管に対して式(3)を適用する。ここで、 ξ は給排気管の形状抵抗係数である。式(3)より、圧力差が流速の2乗に比例しており直接的に計算できないため、ローレンツの等価仕事の原理を用いて線形化して計算を行った。 ξ の近似値 $\tilde{\xi}$ は式(4)で、このときの K' は式(5)でそれぞ

れ与えられる。

$$P - P_a = \frac{1}{2} \rho u^2 \xi \quad (3)$$

5. 解析結果および考察

図-3,4,5はそれぞれ、抵抗係数 ξ の変化による円筒内水面変動、円筒内空気圧および給排気管を出入りする空気の流速の挙動を示したものである。計算条件としては、 $D/h=1, q=0.5, Ho/h=1/6, \alpha=0.01, \beta=0.25, Pa/\rho_wgh=2$ としている。また、 ξ は図-2に示す値を参考に設定した。図-3より、 ξ が0.01のときは、円筒内水面変動にピークが生じるが、 ξ を0.1以上にすると、空気の圧縮性によって水面変動は収束的な値をとることがわかった。また、図-4より、円筒内圧力は ξ の値を大きくすると逆に減少することがわかった。また図-5より、大きな流速の発生に最適な ξ があることがわかった。ここで、水位変動、圧力および流速の位相差を調べたところ、 ξ が非常に小さいとき、あるいは D/L の値が小さいときは、流速の位相が水位変動の位相と比較して $-\pi/2$ ずれており、水面変動に対応したスムーズな流出入であることがわかった。一方、圧力がある上限値で抑えられるときは、圧力と流速の位相差がほぼ0になることから、空気圧縮によって空気が吹き出す挙動であると考えられた。

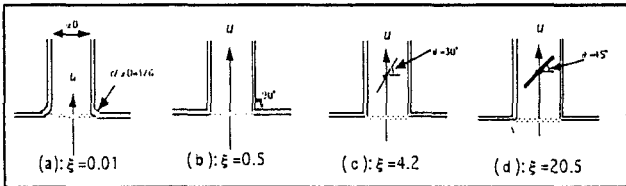


図-2 給排気管の形状および構造における ξ の値
(日本機械学会より)

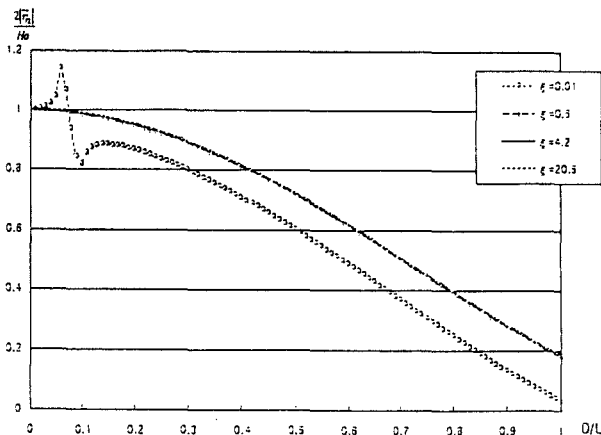


図-3 ξ の変化による円筒内水面変動の挙動

$$\xi = \frac{8 \frac{u}{\sqrt{gh}}}{3\pi} \quad (4) \quad K' = \frac{16 \frac{u}{\sqrt{gh}}}{3\pi\xi} \quad (5)$$

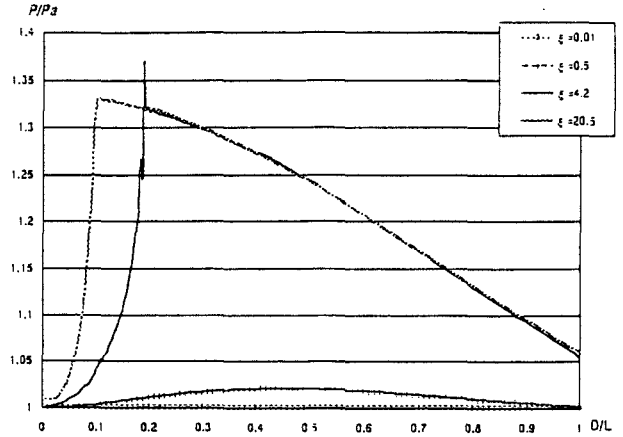


図-4 ξ の変化による円筒内圧力の挙動

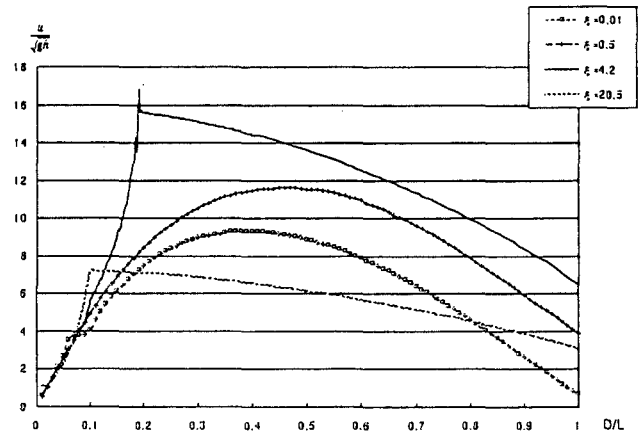


図-5 ξ の変化による発生空気流速の挙動

6. おわりに

中空円筒による空気流発生装置を設計する際、給排気管の形状抵抗係数の値の設定により、その円筒内の圧力および発生する空気流の流速に大きな相違があることがわかった。今後は、他のパラメータについても同様に最適な値を検討するとともに、モデル実験による検証を行う予定である。

参考文献

- 清川哲志・大山巧・小林浩 (1983) : 中空円筒による波の散乱の解析とその応用, 第30回海岸工学講演会論文集
- 清川哲志・大山巧 (1984) : 中空円筒による波の散乱におよぼす空気圧縮性の影響, 第30回海岸工学講演会論文集
- 立石正則・青木伸一・岡本光雄 (2000) : 中空円筒を用いた波による空気流発生装置に関する基礎的研究, 中部支部研究発表会梗概集
- 日本機械学会 (1979) : 技術資料一管路, ダクトの流体抵抗