

II-29

振動水柱型底層酸素供給装置の鉛直流動

東北大学大学院 学生員 ○山城 朋明

東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹

東北大学大学院 佐藤 栄司

1. はじめに

海域の底層には貧酸素層が存在し、青潮をはじめとする環境問題の一因となっている。そこで波の挙動を用いて、溶存酸素が豊富な上層の水を底層に送り込む装置の開発がいくつか試みられている¹⁾。本研究で扱う装置は図-1に示すように、波浪場に取り付けられているスリット付きの円管型である。このスリットより波が入射すると、管内で渦を形成する。同時に管内外の水頭差により、水粒子はらせんを描きながら下降流が生じる。

本装置の特徴として、次の点が挙げられる。

- ① 波が入射したときに渦による曝気を行うため、溶存酸素が豊富な表層水を送り込むことが可能である。
- ② 波高が低い場合でも、目的を達することができる。
- ③ 装置の形状が簡易で、現場に安価で設置できる。

本論文では、装置の寸法や波形を変化させた上で、装置円筒内の水塊の鉛直上下動について、模型実験、一次元数値モデル計算の双方の結果を比較し、装置の最適化への知見を一部得たので報告する。

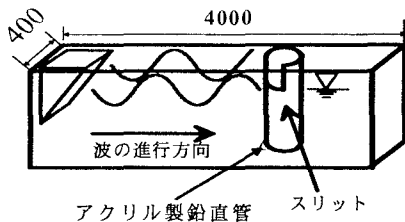


図-1 実験装置概要

2. 基本式および各種物理量

2.1 計算領域および仮定

計算領域は鉛直管内部全体であり、スリット面で波浪場の水位を、および管底で波による変動圧力をともに境界条件として与えた。

数値計算の際には、以下の仮定を用いた。

仮定Ⅰ：鉛直管内の鉛直流速、水位および底面の圧力について、断面分布は一樣。

仮定Ⅱ：管内外の水位がスリットより高くなったら、水はすべて越流する。

仮定Ⅲ：損失は管壁との摩擦のみ考慮。

鉛直管装置の詳細な形状および物理量を図-2に示す。

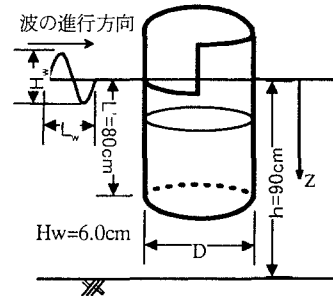


図-2 実験装置等の寸法

2.2 数値モデルの導入

数値計算の際には、次に示す運動基本式(1)式²⁾を用いた。

$$(L + \zeta) \frac{d^2 \zeta}{dt^2} + \frac{g}{L} \zeta + f \frac{L}{D} \frac{d\zeta}{dt} \left| \frac{d\zeta}{dt} \right| = P(t) \quad (1)$$

ここで、 ζ ：管内の水位（静水面基準で下向き正）、 f ：摩擦損失係数、 $P(t)$ ：管底における動圧である。

またスリットを通して流入する水による管内の水位変化 $d\zeta$ は次のように与えられる。これを(1)式の ζ の変化量に組み込む。

$$d\zeta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{S} = \frac{y \cdot C_w \cdot D/2 - S \cdot d\zeta/dt}{\pi D^2/4} = \frac{2yC_w}{\pi D} \frac{d\zeta}{dt} \quad (2)$$

ここで、 C_w ：波速、 S ：管の断面積である。管外の水位 y は周期的（今回は正弦波）に与える。これより管底における圧力 $P(t)$ は次のようになる。

$$P(t) = y \cdot g \cdot \frac{\cosh(2\pi/L_w \times (h - L'))}{\cosh 2\pi/L_w \times h} \quad (3)$$

これを基礎方程式として水位の時系列変化を計算した。

3. 数値計算および模型実験の方法

模型実験では管底での流速が管中央からの距離により異

なるので、電磁流速計により 3 箇所測定された流速を代表して面積について積分し断面平均流速を求めた。さらにこれを波が 10 周期分入射する時間について時系列平均することにより流量を求めた。

なお仮定Ⅲより、管底より放出される流量 Q は、

$$Q = (\text{スリットより流入する水量}) - (\text{スリットより吐き出される水量}) \quad (4)$$

により算出できる。

今回は波の周期 T_w 、管径 D をパラメータとして変化させながら、流量の変化などを調べた。

4. 実験およびモデルの結果比較

4.1 管内の水位変化

図-3 に模型実験時に測定した、管中央での水位変化、および管内一次元モデルによる水位変化を示す。模型実験時の方が概して水位変化が小さいが、これは渦ができたときに管中央での水位は周囲と比較し低くなること、および数値モデルでは考慮されていないスリットや管底での流入損失によるものと考えられる。

4.2 流量および鉛直流速

波の周期 T_w および管径 D を変化させた場合の流量変化を図-4 に示す。実験時の方が水位変化が小さいことから分かるように、流量は数値計算時の方が大きいといえる。また管径が大きい場合、周期が増加するにつれ流量が減少することが分かる。なおスリットがない場合、波の周期が鉛直管の固有周期（今回の場合、1.79 秒）の周波数に近いと振動が大きくなるが、スリットが取り付けられると振幅について固有周波数の影響は薄れた。従って固有周波数では流量の特異点とならなかった。

流量を管の断面積で除した鉛直流速の時系列平均を図-5 に示す。管径が小さい場合、波の管径に対する最適な波の周波数を一目に確認できる。管径が大きくなるにつれ最大の鉛直流速をもつ波の周期が長くなる傾向がある。これは水が入射したときの管壁への打ち上げ高さなどの影響によるものと考えられる。

5. あとがき

今回は流量に関する鉛直流動のみに着目したが、今後は 3 次元振動系で数値計算ならびに模型実験を行っていく。実際の現象より流量を変化させる要因を見出し、効率のよい装置形状を提案を行う。

特に次の側面から数値計算の精度を上げていきたい。

- (1) 波が入射するとき水平方向の入射速度を波速

c_w と設定したが、スリット付近の実際の粒子の運動軌道を考慮していく。

- (2) 入射後に管壁に打ち上げられる水による管外との水頭差を考慮する。

これらはいずれも流量に大きく影響する因子である可能性があるため、模型実験により得られる経験式の導入も視野に入れる必要がある。

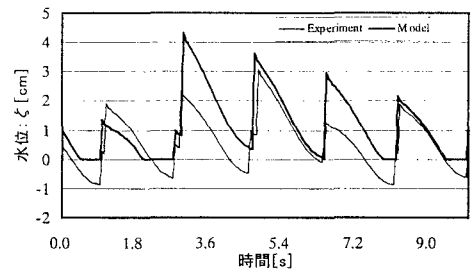


図-3 水位変化の比較 ($T_w = 1.8$ s, $D = 10$ cm)

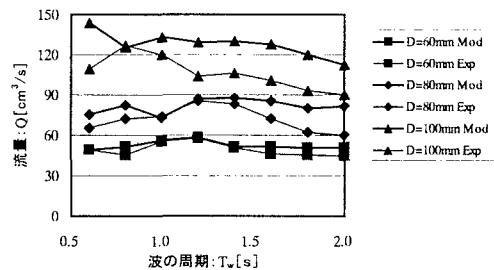


図-4 流量変化 (Exp: 模型実験, Mod: 数値モデル)

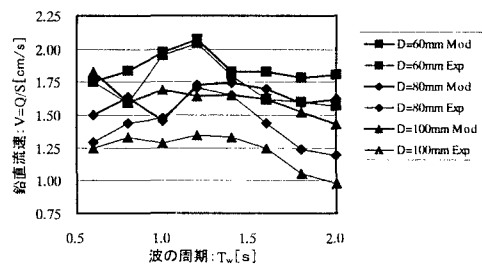


図-5 鉛直流速変化 (Exp: 模型実験, Mod: 数値モデル)

参考文献

- 1) 塩崎禎郎ら、海水交換機能を有する直立消波ケーシングの開発、海洋開発論文集 vol.12, pp.79～84, 1996
- 2) 岩瀬浩二ら、容量式波高計の現地適用上の留意点、土木学会第 50 回年次学術講演会論文集, pp. 656～657, 1995