

フラップ式水門に作用する波力の算定

早稲田大学理工学部社会環境工学科 学生 ○小堤佐紀

同上 フェロー 清宮理

新日本製鐵株式会社相模原技術センター正会員 大久保寛

まえがき

都市沿岸部を高潮や津波から守るためフラップ式水門の開発研究を行っている。第一段階として斜面壁に作用する波の波圧特性を調べることを目的とし、実験用長方形水路に斜め板の構造物を設置し正弦波を与えて波圧、振動性状を計測した。CADMAS（数値波動水路）プログラムソフトでこの水路実験の結果を模擬し、解析値と実験値との比較について報告する。

1. フラップゲートについて

フラップ式水門は図1に示すように海底に設置され、高潮が予測されたときゲートの内部に圧縮空気を送り込み、中の海水を排水し浮き上がらせる構造になっている。海底側は、ピン構造である。水位差に抵抗しフラップの姿勢を保持するためチェーンや鋼棒などのテンション材により固定する。高潮が過ぎた後は下に回転させて、扉体を水路床に格納する形式である。特徴としては、通常の船舶の航行に支障がないこと、数基設けることで長径間に対応できることがある。イタリアのモーゼ計画で提案されたことがあるが日本での実績はない構造形式である。

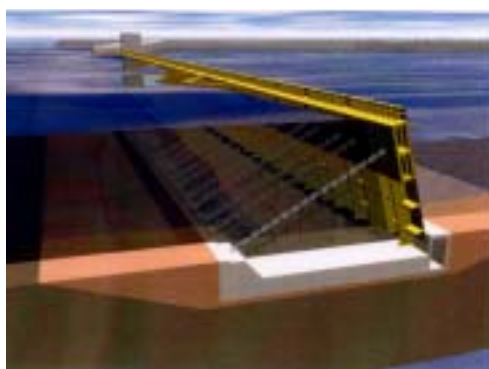


図1 フラップゲート予想図

2. 数値解析法について

数値波動水路（VOF法）は、数値流体力学の応用として波と構造物の相互作用の問題に対応できるように開発された数値計算手法である。従来の境界積

分方程式法（BIEM）ではモデルの単純化のために非圧縮性非粘性流体の線形（微小振幅波理論の範囲）現象を対象としているのに対し、VOF法は2次元非圧縮粘性流体を対象とした連続式およびNavier-Stokes方程式を基礎方程式としている。

自由表面の取り扱いには、複雑な自由表面が解析可能であるVOF（Volume of fluid）法を採用している。VOF法では下に示すVOF関数Fの移流方程式と、表面の向きを逐次的に計算することで解析する。このVOF法と呼ばれる自由表面解析モデルを用いることで、非線形現象、砕波現象だけでなく、越波などのように水表面が分離するような複雑な現象まで再現できる。

$$\gamma_v \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u F}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w F}{\partial z} = 0$$

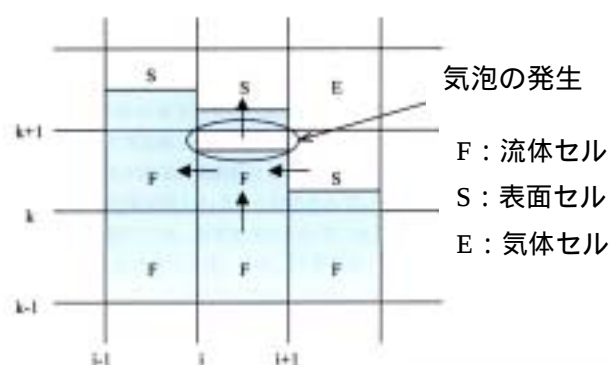


図2 計算セルでの自由表面のモデル化

3. 解析対象としての水理模型実験

フラップ式水門の基本的な波力特性を把握するために水理模型試験を実施した。水路の実験条件は波周期 2.83 秒、波高 4cm、水深 40cm でフラップの傾斜角度 30 度とした。フラップには同一断面で裏表に 6 箇所波圧計を取り付けてある。フラップの下部分は透過構造になっている。解析条件は水路の長さ 15m、幅 49cm で深さ方向に 0.01m 毎に 80 メッシュ、流れ方向に 0.02m 毎に 750 メッシュに分割した

キーワード：斜め板（フラップ式）、浮体式水門、有限要素法、模型実験、波圧分布

連絡先：東京都新宿区大久保 3-4-1 51 号館 16-01A 清宮研究室

フラップは剛体として取り扱った。初期流速を 0 とし
て実験と同じ波を流し、決められたポイントにおける
波圧を計測し実験結果と比較した。図 3 に流速分布図
を示す。この計算例では越波と下方の流れによる渦の
状況が再現できている。

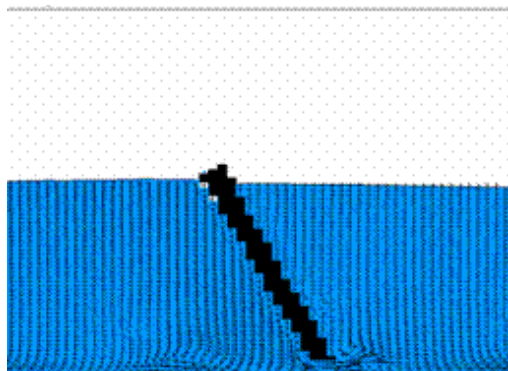


図 3 流速分布図

4. 解析結果

波圧分布の解析値を図 4、実験値を図 5 に示す。
最初の 40 秒で波圧の振幅値はいずれも押し波のと
きの方が大きくなっており、値も大体同じになった。
各波圧計位置で同じ波型の形状をとっており、同じ
時間にピークになっていることがわかる。40 秒少し
手前で、解析値のグラフの波は乱れが見られるが、
重複波の影響や、モデルの簡略化などが原因として
あげられる。次に図 6 に波圧ピーク時での斜め板の
水平方向にかかる波圧を実験値と解析値で比べる。
実験値のほうがやや小さい値になっている。次に図 7
に波の周期を $T=1.13$ 、 1.7 、 2.26 秒と変えたときの
水平波力の比較を図 7 に示す。なおこのグラフにお
ける計算値は重複波理論をもとにした線形理論計算
法を用い、以下の式を使って算出した。

$$\frac{F_{ey}}{\rho g \zeta_A h L} = \frac{1}{h} \sqrt{(I_{OC} + I_O)^2 + I_{OS}^2}$$

値だけ見ると、 $T=1.13$ 、 2.26 秒の時は解析値の方が、
 $T=1.7$ 、 2.83 秒の時は計算値の方が実験値に近い値
をとっており、周期によって違っているが、形状を
見ると計算値はただの弧を描いているのに対し、実
験値と解析値が似た形状の曲線を描いていることが
分かる。このことから数値波動水路プログラムソフト
がより実際に近い波圧特性を模擬できていることが
分かった。

まとめ

今回計算対象とした範囲で水路実験と数値解析と
でほぼ同様な波圧性状を得ることができた。今後フ

ラップゲートの角度、波高、水深などを変えてさら
に検討を加えたい。本研究は早稲田大学と民間 6 社
によるフラップゲートに関する共同研究の一環とし
て行った。参考文献) 清宮理、井上與治：都市部
における高潮防災システムの構築、土木学会第 51 回
年次学術講演会、平成 14 年 9 月、SS1-019

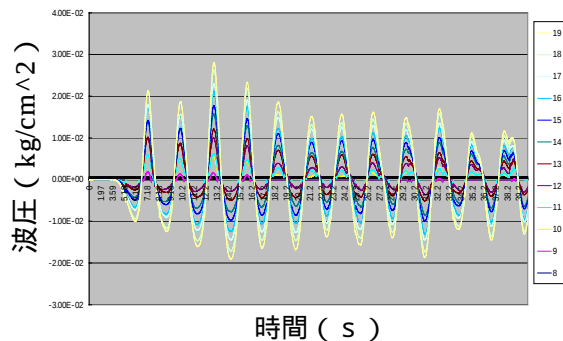


図 4 波圧分布（解析値）

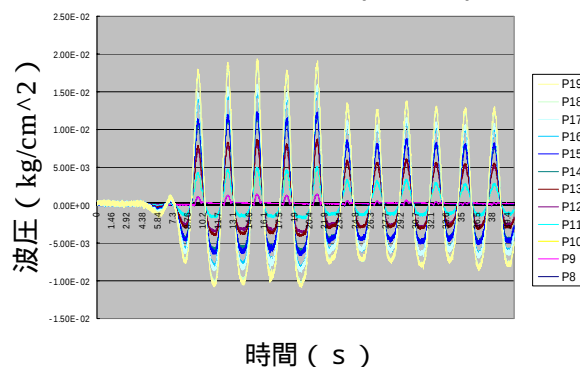


図 5 波圧分布（実験値）

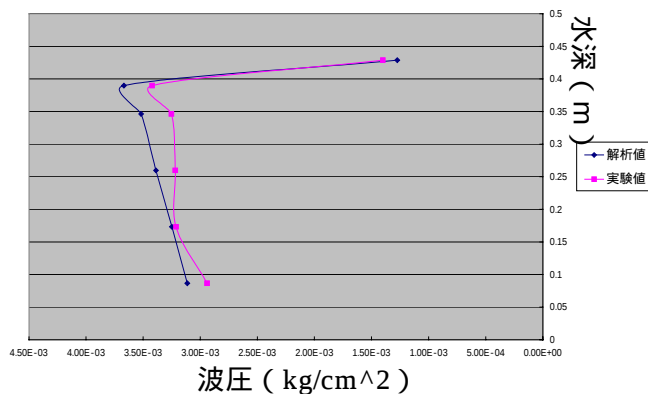


図 6 最大波圧の比較

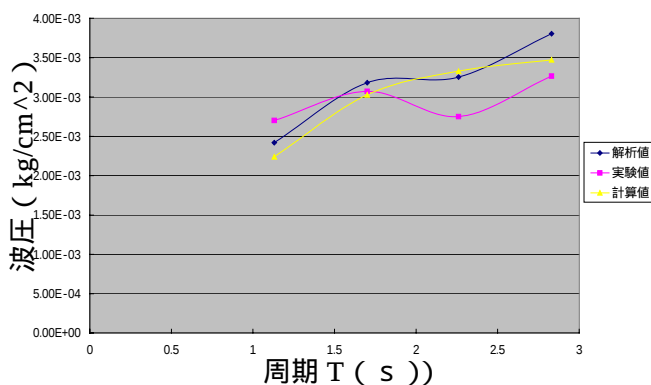


図 7 水平波力の比較