

1. 研究の背景と目的

東日本大震災では、津波が海岸堤防や防波堤を越流することにより大きな被害が発生した。その後、津波の越流による被災メカニズムを検討するための実験的研究が数多く行われているが、非定常で長時間続く越流を造波水路内で発生させることは容易ではない。また、構造物を越流するような高潮に対する構造物の安定性を実験的に検討する場合にも、越流をコントロールしながら造波するシステムが求められる。

本研究は、最終的には造波板自体が水路内を長距離自走することにより水位の上昇を実現しつつ（図1）短周期波を造波するシステムの開発を目指すものである。この装置の問題点として、造波板の移動によって水路内に長周期の振動が発生し、水位上昇のコントロールが難しい点が挙げられる。以下は、造波板の移動に伴って水路内にどのような振動が発生するのかを検討したものである。

2. 理論的検討

将来的に上記の長周期振動を制御することを目的としているので、数値計算ではなく解析的に表現することが重要である。まず、造波板の移動によって発生する波は線形長波と仮定する。従来の境界値問題としての解法では、移動する境界条件の取り扱いが難しい。また、インパルス応答やフーリエ積分を用いた境界値問題として取り扱う場合には、水路内の共振の問題に対応して数値積分が必要となる等、解析的な取り扱いが難しくなる。そ

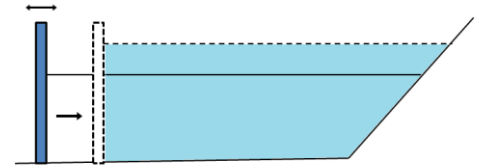


図1 造波板の移動による平均水位の変化

こで、造波板の移動による発生波と反射波を個別に考えて合成する多重反射のモデルを構築した。これは、線形長波では造波板の移動速度に対応した流速波形がそのまま長波の波速で伝播することを利用し、水路端部および造波板での再反射波を順次重ね合わせて解を求める方法である。

3. 多重反射モデル

造波板によって発生する波の流速 $u(x, t)$ は造波板の速度 $v(t)$ がそのままの形で伝播する。すなわち、

$$u(x, t) = v\left(t - \frac{x}{c}\right)$$

水路内の波の流速は入射波と反射波の重ね合わせにより導かれるため、進行波を $u_{pn}(x, t)$ 、反射波を $u_{rn}(x, t)$ とすると波の流速は以下の式で表される。

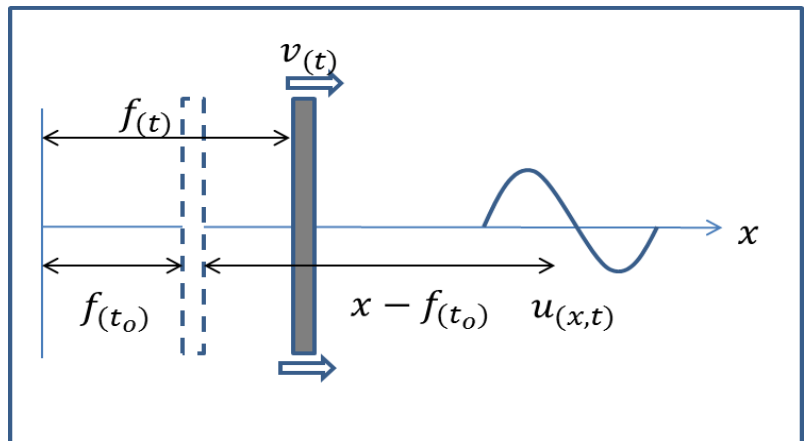


図2 造波板の動きと発生波

ここで入射波とは、造波板によって発生または反射する波をいい、反射波とは水路端部の壁によって反射した波とする。

$$u(x, t) = \sum u_{Pn}(x, t) + \sum u_{Rn}(x, t)$$

造波板の変位を $d(t) = f(t)$ とすると造波板の速度は $v(t) = f'(t)$ で表される。

造波板が有限長動くことを考慮するため、長波の伝播特性を用いると、図2より、ある地点での造波板によって発生する入射波の流速は時刻 t_0 での造波板の速度と表すことができる。

$$u_{P1}(x, t) = v(t_0) \quad \text{ただし、} t = t_0 + \frac{x - f(t_0)}{c}$$

いま造波板の動き $v(t) = a$ と一定に与えると、

$$u_{P1}(x, t) = v\left(\frac{c}{c-a}\left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$$

また、水路内の壁によって反射する波は、入射波と逆向きの流速を持つので、次のように表される。

$$u_{R1}(x, t) = -v\left(\frac{c}{c-a}\left(t - \frac{2l_0 - x}{c}\right)\right)$$

同様に造波板によって反射する波は、波の先端が反射するときの造波板の位置を $f(t_1) = at_1$ とすると、

$$u_{P2}(x, t) = v\left(\frac{c}{c-a}\left(-\frac{2l_0 - f(t_1)}{c} + \frac{c}{c-a}\left(t - \frac{x - f(t_1)}{c}\right)\right)\right)$$

よって、同様に水路内の壁で反射する波、造波板によって反射する波をそれぞれ求め、重ね合わせることで波の流速を導く。

ここで、自走式造波装置における水路内の平均水位は、造波板が動いた分の水量分、増加すると考えて以下のように表される。 l_0 : 水路長, h_0 : 初期水位

$$f(t) \cdot h_0 = \bar{h}(l_0 - f(t)) \rightarrow \bar{h} = \frac{f(t) \cdot h_0}{l_0 - f(t)}$$

造波板の速度を $v(t) = a$ (一定速度, ただし $0 < t < \tau$) で与えた場合の水路内の平均水位上昇量と水路内壁での水面波形は右図のようになる。

図3より、造波板を一定速度で τ 時間動かすと、平均水位は造波板の移動に対応して上昇するが、水路内には大きな振動が発生することがわかる。この振動の大きさは、造波板の速度 a , 水路長 l_0 , 造波板の移動時間 τ による無次元パラメーター $\frac{l_0}{a\tau}$ によって変化し、

$\frac{l_0}{a\tau}$ が小さいほど大きくなる。

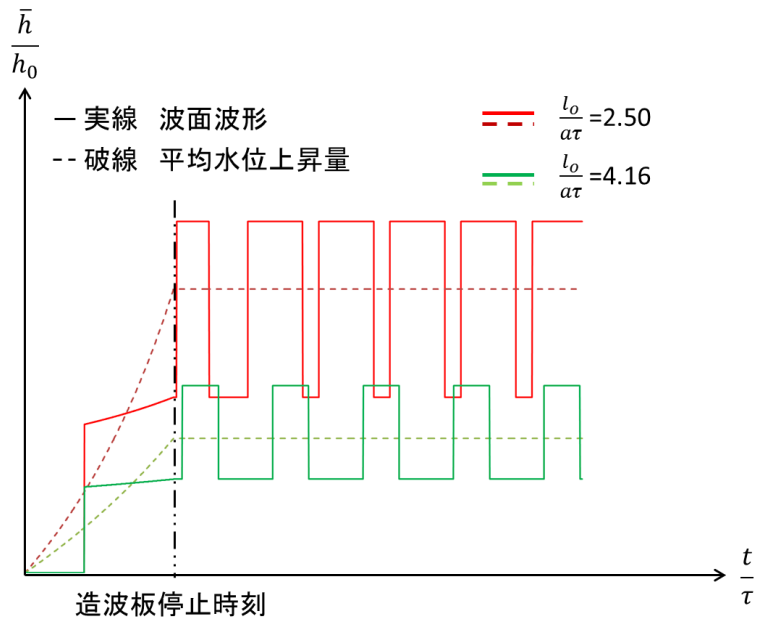


図3 水路内の平均水位と波面波形