

防波堤天端上での越波水の持つ運動量に基づく越波伝達波の算定法

大成建設株式会社技術研究所 正会員 織田 幸伸

同 上 正會員 東江 隆夫

東京工業大学大学院情報理工学研究科 正会員 灘岡 和夫

1.はじめに

波浪変形の時系列解析の研究が進み、その解析手法が確立されつつあるが、越波の物理特性を取り込んだ時系列解析モデルは無い。越波伝達波については応答関数を用いる方法や、疑似的に造波境界を用いる方法がある。著者らは、越波水の質量と運動量の流入を考慮した鉛直積分型の方程式を用いた越波伝達波のモデルを提案し、実験結果との良い一致を得ている(織田ら; 1997)。

このモデルでは、天端から飛び出す越波水の挙動を時系列で求める必要がある。しかし、越波量に関する研究は数多くあるが、越波水の運動を取り扱った研究は少ない。高橋ら(1991)は、親水性防波堤の天端上での越波水の運動に関するモデルを提案しているが、これは流速や圧力の最大値に主眼を置いたものであり、時系列を求めるものではない。本研究では、越波伝達波を求めるために、その入射条件となる越波水の天端上での挙動を時系列で求める計算手法について検討した。

2. 数値計算モデル

上述した越波伝達波の計算モデルは、鉛直積分型の方程式として修正ブシネスク方程式を用いた場合、以下の様になる(織田ら;1997).

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} - f = 0 \quad (1.1) \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - D \frac{\partial w_f q}{\partial x} - u_f q - f u |u| = \left(B + \frac{1}{3} \right) h^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial t \partial x} \right) + B g h^3 \left(\frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} \right) \quad (1.2)$$

ここで、 M : x 方向の線流量、 η : 水位、 h : 水深、 D : 全水深、 B : 分散性を表す係数、 f : 摩擦損失係数、 q : 単位幅当りの越波水の流入量、 u_f 、 w_f : 越波水が水面に流入する際の流速である。越波伝達波の入力条件となる q 、 u_f 、 w_f は、防波堤天端の岸側端の値から求める。したがって、天端上の越波水の挙動についても時系列で計算する必要がある。これを以下に示す方法を用いて計算した。

2.1 方程式と境界条件

天端上での流速は鉛直方向に一定であると仮定すると、非線形長波の式に類似した以下の式が導かれる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{\eta - h_c} \right) + g(\eta - h_c) \frac{\partial (\eta - h_c)}{\partial x} = 0 \quad (2.2)$$

上式を数値的に解く際の境界条件は、防波堤を広頂せきとみると、以下の様になる。

$$\text{沖側: } M = C(\eta_1 - h_c)^{3/2} \quad (3.1)$$

$$\text{岸側: } M = \sqrt{g}(\eta - h_c)^{3/2} \quad (3.2)$$

ここで流量係数 C は Govinda-Rao の実験式を用いた。ただし、上式は広頂せきの定常流れに対するものであるため、以下の様に用いた。

a) 沖側：沖側端で水面勾配 $\partial\eta/\partial x < 0$ の場合には、広頂せきとみなして式(3.1)を用いるが、 $\partial\eta/\partial x > 0$ あるいは防波堤前面の水位が天端高より低い場合に

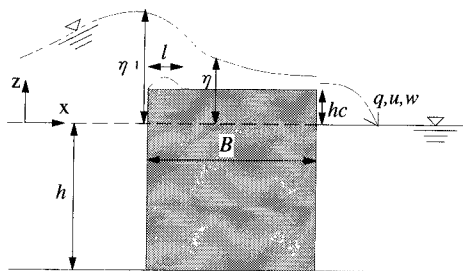


図-1 防波堤天端上での数値計算モデル

キーワード：越波，越波伝達波，運動量

連絡先 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設技術研究所 tel.045-814-7234 fax.045-814-7251

は、岸側の境界条件と同様の境界条件を用いた。

b)岸側：式(3.2)は、限界流速を仮定したものであるが、越波水は、最初に射流となって流出するため、これよりも流速が早い。したがって、式(2.2)を風上差分によって解くことにより、岸側端での流速を求め、両者を比較して大きい方を用いた。

2.2 剥離部の影響

式(2.2)は、防波堤天端上で静水圧分布を仮定したものである。しかし、防波堤岸側端の剥離部（図-1で l の範囲）では、圧力分布は静水圧分布とは著しく異なる。特に左辺第3項の圧力項により、越波水は加速され、実際よりも冲向きの流速が速くなる。そこで本計算では剥離部で圧力項を0とした。剥離の距離 l は広頂せきとみなした場合の $l = 0.66(\eta_1 - h_c)$ （U.S.B.Rの実験結果）と、沖側端の流速 u, w を初速とする放物線を描いた場合の $l = 2uw/g$ を比較して大きい方を採用した。ただし、 w は $w = \partial\eta/\partial t$ と近似した。

$$l = \max(0.66(\eta_1 - h_c), 2uw/g) \quad (4)$$

3. 計算結果

図-2は防波堤天端上の岸側端の流速と水位の時系列を、実験結果と比較した例である。また図-3はこの時の天端上の水位の空間波形を示したものである。実験及び計算の条件は 図-1 で $B=35\text{cm}$, $h=37.5\text{cm}$, $h_c=6\text{cm}$ である。流速の計測はプロベラ流速計を用いているため反応速度が遅く、水位に対して時間遅れがあるが、最大値に関しては、水位、流速とも実験結果と計算結果はよく一致している。図-4は、時間平均越波量の計算結果と実験結果を比較したものである。両者を比較すると計算結果の方が若干大きい。これは、図-2で $t=0.7\text{s}$ 以降の水位が下がってきた時の水位が、計算結果の方が大きくなっているためである。ただし、越波伝達波の波形は主に水位及び流速の極大値付近の時系列挙動に支配されるため、越波伝達波の計算では、この時間平均越波量の影響は小さい。

最後に、越波伝達波を計算した例を図-5に示す。図は1/4周期毎の空間波形を示している。波は $x=5\text{m}$ の位置で湧き出しを与えて造波させ、両端はエネルギー吸収帯と放射条件による無反射境界とした。 $x=10\text{m}$ の位置に防波堤を設置し、防波堤よりも岸側は、 η を5倍にして示している。防波堤を越えた波によって発生した波が、形を変えながら伝播していく様子が分かる。波が変形する理由は、1, 2, 3 倍モードの波が自由波として別々の波速で伝播しているためである。

参考文献

- 織田・東江・灘岡(1997):運動量を考慮した越波伝達波の算定法, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.751-755.
高橋・遠藤・室(1991):親水性防波堤上の越波水の運動に関する研究, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.536-540.

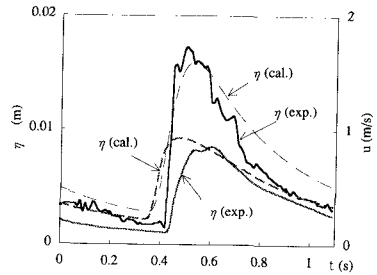


図-2 天端上岸側端の水位と流速
($T=1.1\text{s}$, $H=12.0\text{cm}$)

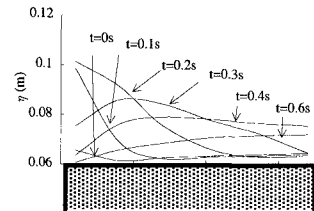


図-3 天端上水位の空間波形

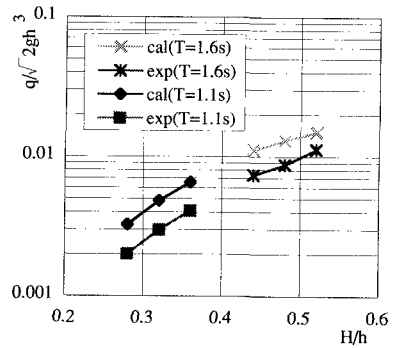


図-4 時間平均越波量

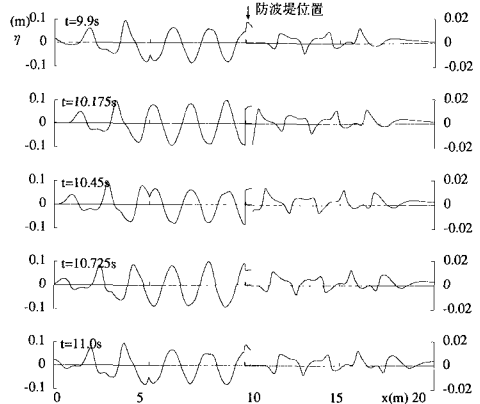


図-5 越波伝達波の計算結果
($T=1.1\text{s}$, $H=12.0\text{cm}$)