

II-23 河口部における wave set-up 高さに関する理論的考察と数値解析

東北大学大学院工学研究科 学生員 ○李 炫錫
東北大学大学院工学研究科 正会員 田中 仁

1. はじめに

近年、多くの研究者達が河口部における wave set-up の特性や発生の有無について、様々な河口地形、外力条件のもとにさらに多くの河川を対象として研究を行っている。著者らは、北海道・尻別川河口部で観測された実測値をもとに、河口部で見られた顕著な wave set-up は、 h_R/H_0 に逆比例していることを報告した。また、様々な条件を制御し易い室内実験を実施し、沖から河口内にかけての波高変化、平均水位変化の特性について詳細な分布を調べた。さらに、wave set-up 高さと河口水深の関係について検討を行い、河口内の wave set-up 高さは相対水深のみならず、波形勾配への依存性を示しており、著者らが導いた式の修正の必要性を示唆した。

そこで、本研究では一様勾配海岸における wave set-up 理論を参考に河口部における wave set-up 高さを求める式を提案し、数値解析より砕波帯内外での波高変化及び平均水位変化に対する評価を行った。

2. 理論的考察

一定勾配の直線海岸に波が直角に入射する場合を考えると、平均水位の x 方向に対する変化率 $d\bar{\eta}/dx$ は Longuet-Higgins and Stewart が提案した次の式で表せる。

$$\frac{d\bar{\eta}}{dx} = -\frac{1}{\rho g(h+\bar{\eta})} \frac{dS_{xx}}{dx} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{\eta}$: 平均水位、 h : 水深、 S_{xx} は波の進行方向 (x 軸) に対する radiation stress である。

式(1)の境界条件である砕波位置では $\bar{\eta} = \bar{\eta}_b$ 、 $h = h_b$ であることを用いて、式(1)を解くと Bowen et al. により提案された式(2)になる。

$$\Delta\bar{\eta} = K(h_b - h) + \Delta\bar{\eta}_b, \quad K = \frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2}} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\bar{\eta}$: wave set-up 高さ、 $\Delta\bar{\eta}_b$: 砕波点での wave set-up 高さ、 h_b : 砕波点での水深、 H : 波高、 γ は H/h である。

次に、河口部水深を h_R とすれば、式(2)は次の式(3)のように書ける。

$$\Delta\bar{\eta} = K(h_b - h_R) - \frac{1}{16}\gamma^2 h_b \quad (3)$$

ここで、 $\gamma = 0.8$ として、 $\Delta\bar{\eta}_b = -1/16\gamma^2 h_b$ と $H_b = \gamma h_b$ を用いて河口部における wave set-up 高さを計算する。一方、 $\gamma = 0.8$ の場合 K は 0.194 になるか

ら、上の式に $h_b = H_b/0.8$ とともに代入すれば、式(4)を得る。

$$\Delta\bar{\eta} = 0.19(H_b - h_R) \quad (4)$$

ここで、 H_b は砕波点での波高である。

上で求めた式(4)において、砕波点での波高 H_b を Sunamura and Horikawa (1974) に提案された式(5)を用いて求める。

$$\frac{H_b}{H_0} = i^{0.2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.25} \quad (5)$$

ここで、 H_0 : 沖波波高、 L_0 : 沖波の波長、 i は海浜勾配である。

式(5)を式(4)に代入することにより、河口部における wave set-up 高さである、次式(6)

$$\frac{\Delta\bar{\eta}}{H_0} = 0.19 \left\{ \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.25} i^{0.2} - \frac{h_R}{H_0} \right\} \quad (6)$$

を得る。

図-1 は李・田中・山路 (2002) が行った実験結果と式(6)の比較を行った結果である。図によれば、実験結果は式(6)から得られる相対水深と波形勾配への依存性を明らかに表している。しかし、理論値は実験結果に比べ過大評価となっている。この結果から、河口内の wave set-up 高さは、上述の単純な理論では再現できないことが分かる。これは、沿岸に接近した波は、上記のような単純な式で表されるよりも複雑なメカニズムの影響を受けるためである。

以上より、より厳密に wave set-up 高さを再現するためには、波の浅水変形や砕波後の波高減衰などのメカニズムをより詳細に記述することが可能な数値計算を行う必要があると考えられる。

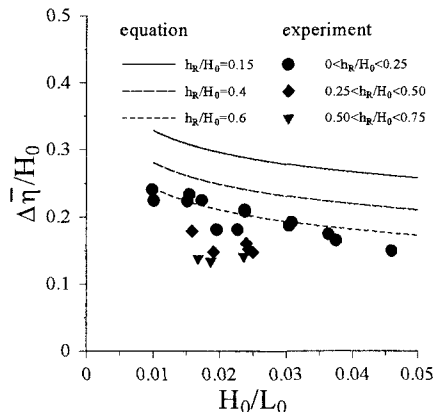


図-1 提案式から求めた wave set-up 高さの分布

3. 数値解析

河口部の平均水位 $\bar{\eta}$ は、砕波帯の外側・砕波点・内側の各地点での波高と水深を用いた波の進行方向 (x 軸) に対する radiation stress である S_{xx} を求め、これを式(1)に代入することにより、計算出来る。

本研究では、砕波帯を外側・砕波点・内側のように三つに分けて各地点での波高を求める。まず、実際に波高分布を計算するため、合田 (1975) の砕波条件を用いる。この近似式より砕波点での砕波波高と砕波水深を決めることができる。

また、砕波帯外には、首藤 (1974) がクノイド波理論によって導いた浅水変形法則を用い砕波帯外の波高を求める。

次に、砕波後の波高変化については水口ら (1978) により提案された砕波帯内波高変化予測モデルを用いることとした。水口ら (1978) が提案した砕波帯内波高変化予測モデルは次の式で表される。

$$\frac{d}{dX}(A^2 D^{1/2}) = -N_b (AD^{-1} - c_0)^{1/2} A^2 D^{-1} \quad (7)$$

ここで、 $A = a/a_b$ 、 $D = h/h_b$ 、 $c_0 = c'/\gamma'$ であり、 a は波の振幅、 $c' = 0.25$ 、 $\gamma' = a_b/h_b$ である。また、 $X = k_b(x_s - x_b)$ 、 $k_b = \omega/\sqrt{gh_b}$ であり、 x_s は砕波帯内での砕波点 x_b から岸方向に向かう座標である。さらに、 N_b は渦粘性係数であり、砕波後の斜面勾配が一様勾配の場合は $\gamma = \text{一定}$ になるため、次のように書き表すことができる。

$$N_b = \frac{2.5i}{(1-c_0)^{1/2}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{h_b}{L_0} \right)^{-1/2}$$

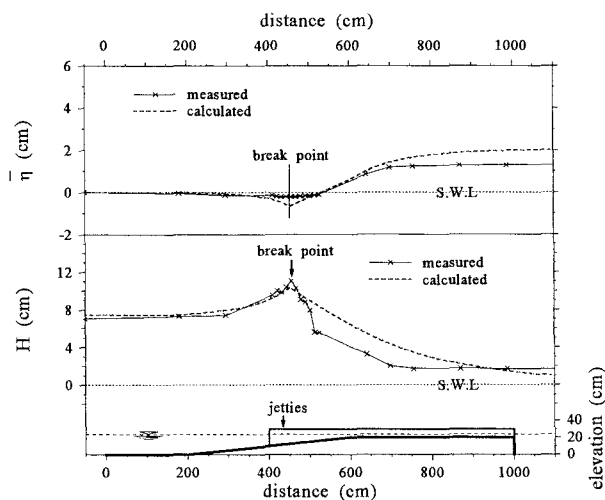


図-2 数値計算から求めた波高分布と平均水位

図-2 は李・田中・山路 (2002) が行った実験条件

Case1 と同じ沖波条件を与えて、河口内の wave set-up 高さまでを計算した結果である。求めた結果から見ると、計算による河口内の波高が実験値より約 1cm 程度低くプロットされているものの、数値モデルを用いた数値解析により河口内の wave set-up 高さがよく再現されている。図-3 は李・田中・山路 (2002) が行った全 **Case** の実験結果と数値計算結果との比較を行った結果である。図によれば、河口内の wave set-up 高さは、河口内で過小評価された波高より、実験結果に比べ過大評価された結果であった。

4. おわりに

本研究で提案された河口部の wave set-up 高さを求める理論式は相対水深と波形勾配への依存性を明らかに表している。

数値計算により求めた河口内の wave set-up 高さは河口内で低く再現された波高より、実験結果に比べ過大評価された結果であった。これは、砕波帯内の波高分布を精度よく再現する必要性を示唆している。

参考文献

- 首藤伸夫 (1974) 非線形長波の変形—水路幅、水深の変化する場合—, 海岸工学論文集, 第 21 巻, pp.57-63.
- Sunamura, T. and Horikawa, K. (1974) Two-dimensional beach transformation due to waves, *I.C.C.E.*, pp.920-938.
- 合田良実 (1975) 浅海域における波浪の砕波変形, 港湾技術研究所報告, 第 14 巻, 第 3 号, pp.59-106.
- 水口 優・辻岡和男・堀川清司 (1978) 砕波後の波高変化についての一考察, 海岸工学論文集, 第 25 巻, pp.155-159.
- 李 炫錫・田中 仁・山路弘人 (2002) 河口部の wave set-up 高さに関する実験的研究, 平成 13 年度土木学会東北支部技術研究発表会概要集, pp.254-255.

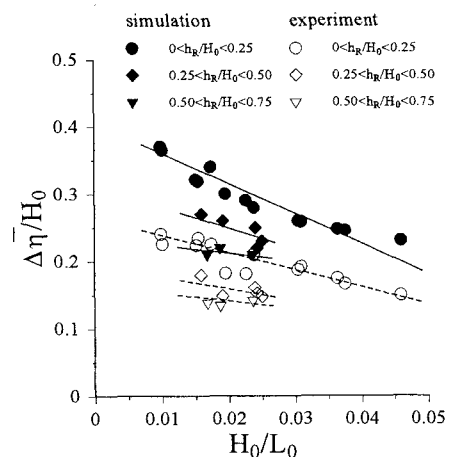


図-3 数値計算から求めた wave set-up 高さ