

大阪府立工業高等専門学校 学生員 ○森高 康行
大阪府立工業高等専門学校 正会員 平山 秀夫

1. 研究の目的：戻り流れ(undertow)は、海浜における漂砂移動を誘起し、ひいては、海岸侵食や海底地形変化を引き起こす重要な要素の一つであることはよく知られている。本研究は、この戻り流れの鉛直分布の実態を解析的に評価し、それを地形変化の予測に不可欠な鉛直断面全移動漂砂量の推定に役立てようとするものであり、これまでの一連の研究(平山, 1990-2002)の継続である。本年度は、前報の理論解析法(平山ら, 2002)をより合理的に改良して、さらに精度の高い理論結果の確立を目指したもので、ここでは特に、理論解析に際しての水面条件を水面定常流速と水面渦度の算定式の両方を適用して理論展開を行ったものである。

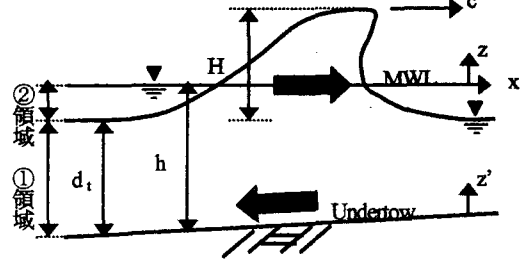


図-1 砕波帯内での戻り流れの模式図

2. 理論解析：理論の骨格は水面条件の設定方法を除けば前報とほぼ同じである。

(1)基礎式 基礎式は、これまでと同様に次式の渦動粘性モデル式を適用する。

$$\tau = -\rho u'w' = \rho \nu_t \partial U / \partial z' \quad (1), \quad \nu_t = (0.0065T)cz' \quad (2)$$

ここに、 τ ：水平面に作用する一周期平均のせん断力、 U ：定常流速(戻り流れの流速)、 ρ ：流体の密度、 ν_t ：渦動粘性係数、 u' および w' ：水粒子速度の時間平均値に対する変動速度の水平成分および鉛直成分、 T ：波の周期、 c ：波速

ここでは、図-1に示すように、砕波帯内における鉛直方向領域を、①底面からトロフまでの高さ d_t の領域と、② d_t から平均水深 h までの領域の2領域に分けて考える。そしてそのとき、 ν_t は次式に示すように、①と②領域で、それぞれ異なった分布式で表示できると仮定する。

$$\text{①領域 } (0 \leq z' \leq d_t) \quad \nu_t = Ne^{p(z'-d_t)} \quad (3), \quad \text{②領域 } (d_t \leq z' \leq h) \quad \nu_t = N \quad (4)$$

ここに、 N はこれまで ν_t が式(2)において $z'=d_t$ における値としていたが、今年度は未知数とし、一方、 p は ν_t の鉛直分布を支配する任意定数であり、過去の研究(平山ら, 2001)から $p=0.25$ とする。

次に、 τ の鉛直分布は、領域別に次式のように仮定する。

$$\text{①領域 } (0 \leq z' \leq d_t) \quad \tau_1 = az' + b \quad (5), \quad \text{②領域 } (d_t \leq z' \leq h) \quad \tau_2 = a'z' + b' \quad (6)$$

いま、①および②領域の定常流速を、それぞれ U_1 および U_2 とする。次に、式(5)、(6)と領域ごとの渦動粘性モデル式の関係から、 U_1 および U_2 は、それぞれ次式のように表される。

$$U_1 = -(A/p)z'e^{-p(z'-d_t)} - (A/p^2 + B/p)e^{-p(z'-d_t)} + C_1 \quad (7), \quad U_2 = (A'/2)z'^2 - B'z' + C_2 \quad (8)$$

ここに、 $A=a/(\rho N)$ 、 $B=b/(\rho N)$ 、 $A'=a'/(\rho N)$ 、 $B'=b'/(\rho N)$

したがって、 U および τ の鉛直分布を算出するためには、計7個の未知定数(A 、 B 、 C_1 、 A' 、 B' 、 C_2 および N)の決定が必要である。したがって、以下にその決定に必要な境界条件を示す。

(2)境界条件式 1)水面条件式：まず、水面での定常流速が波の波速に比例するものとして、次式のように設定する。

$$U_2|_{z=h} = \varepsilon (gh)^{1/2} \quad (9)$$

ここに、 ε は任意定数であり、この値は U の鉛直分布と実験値との適合度により決定される。

次に、水面平均渦度 ω_a を与える。それは、砕波による大規模渦の発生個数とその循環値およびエネルギー保存則に基づく平山ら(2001)の方法を適用すると、次式のように表される。

$$\omega_a = \frac{\partial U}{\partial z'} \Big|_{z=h} = \frac{8\Gamma_0^2}{\pi H^2 (4\Gamma_0 - \pi^2 H^2)} \quad (10) \quad \Gamma_0 = \left\{ \frac{2\pi^3 g^2 T H^3 h}{b} \left(\frac{\partial H}{\partial h} + \frac{H}{4h} \right) \tan \theta - \frac{4\pi^2 f H^5 T g^2}{3h b} \right\}^{1/3} \quad (11)$$

ここに、 Γ_0 は渦の循環、 H は波高、 b は定数($b=15$)、 F は摩擦係数($F=0.01$)である。なお、ここでは、波高推定式の簡略式 $H/h=0.5$ (全国海岸協会編, 1987)を用いて、 $\partial H/\partial h=0.5$ とする。

2)底面条件式：底面条件としては、砕波帯内の傾斜海浜上における底面質量輸送速度 U_δ を与える。

$$U_1|_{z=0} = U_1|_{z=\delta} = U_\delta \quad (12)$$

ここに、 δ は境界層厚である。なお、ここでは、 U_δ は平山(1990)の式を適用する。

3)連続式:連続式は、①および②領域を考慮して、次式で表される。

$$\int_0^h U dz' = \int_0^{d_t} U_1 dz' + \int_{d_t}^h U_2 dz' = 0 \quad (13)$$

4)その他の付加的条件式:まず、運動の連続性から、 $z' = d_t$ では次式が成立しなければならない。

$$U_1 \Big|_{z=d_t} = U_2 \Big|_{z=d_t} \quad (14)$$

$$\tau_1 \Big|_{z=d_t} = \tau_2 \Big|_{z=d_t} \quad (15)$$

次に、底面せん断力として、ここでは次式で示される岡安ら(1987)の推定式を用いる。

$$\tau_1 \Big|_{z=0} = -0.0003 \rho c^2 \quad (16)$$

(3)理論結果 式(7)および(8)に、式(9)-(16)を代入し、7元連立方程式を解くことにより、計7個の未知定数が順次求まり、したがって、底面から水面に至る戻り流れの流速分布(U)およびせん断力(τ)の鉛直分布を求めることできる。

3. 理論結果の特性および考察

ここでは、本理論結果と岡安ら(1987)の実験値および従来の理論値とを比較し、本理論値の一般的特性について考察する。

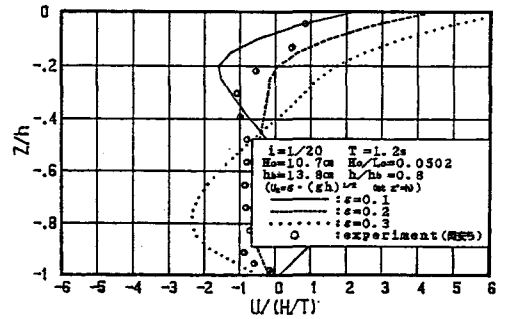
図-2は、 ε の変化によるUの鉛直分布特性の変化を示している。ここで、前報(平山ら, 2002)では、 ε を0.3と固定していたが、この図-2の(a), (b)を比較すると、今年度の理論結果では、特に、 h/h_b (測定点水深、 h_b :碎波点水深)の値によって、 ε の値を変えることにより、Uの鉛直分布が改良できる。その結果から、実験条件別に ε の値を求めると、例えば、周期が1.2秒の場合、 h/h_b が0.5, 0.7, 0.8, 1.0のときは、それぞれ、 ε の値は0.275, 0.25, 0.21, 0.2となり、ほかの条件でもほぼ同じ結果が得られ、 h/h_b の値が小さくなるほど、 ε の値を大きくすると、Uの鉛直分布が良くなることが分かった。

図-3は h/h_b の値ごとに変えた ε の値を用いた本理論値とほかの理論値および実験値とを比較している。ここで、「Method(1)」(平山, 1998a)は、 τ および v_t を①および②領域で同一の直線分布で示して得られた結果を示し、「Method(2)」(平山, 1998b)は、 τ を①および②領域でそれぞれ別の直線分布で示して得られた結果を示し、「Method(3)」(平山ら, 2001)は、「Method(2)」において、 v_t の鉛直分布を①領域では指数関数で、②領域では一定値と表示して得られた結果を示している。以上の三理論値は水面条件を水面渦度で与えている。そして、「Method(4)」(平山ら, 2002)は、「Method(3)」において、水面条件を水面渦度から水面定常流速として得られた結果を示している。図-3より、 $h/h_b = 0.8$ ではそれほど顕著では無いが、 $h/h_b = 0.5$ の場合には、実験値の適合度や分布傾向の改良が顕著である。

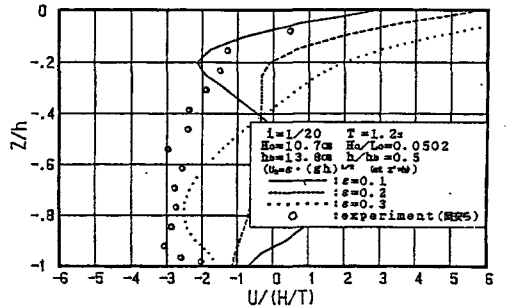
4. おわりに

以上、本理論によって、得られた結果をまとめると、本理論のように、水面渦度と水面定常流速の2つの水面条件を適用することによる、本理論結果に及ぼす影響は、水面定常流速のほうが顕著と分かり、 h/h_b の値ごとに ε の与え方を変えることによって、実験値との適合度や分布傾向を改良することが分かった。特に図-3(b)のように $h/h_b = 0.5$ の場合において、その傾向が顕著である。

参考文献: 岡安・柴山・堀川(1987): 第34回海講, pp.31-35. 平山(1990): 第37回海講, pp.41-45. 平山(1991): 第38回海講, pp.41-45. 平山(1998a): 府立高専紀要第32巻, pp.57-63. 平山(1998b): 第45回海講, pp.106-110. 平山・本田・日野・杉永(2001): 関西支部年講, pp. II-79. 平山・本田・津田(2002): 関西支部年講, pp. II-109. 全国海岸協会編(1987): 海岸保全施設築造基準解説, pp.52.

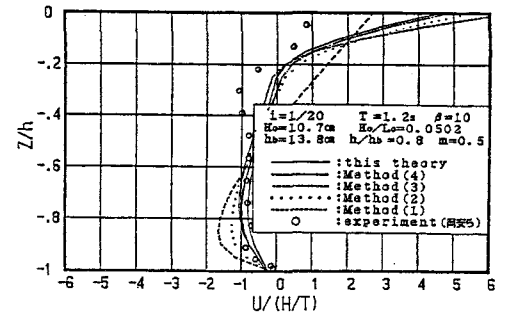


(a) $T=1.2s$ $h/h_b=0.8$

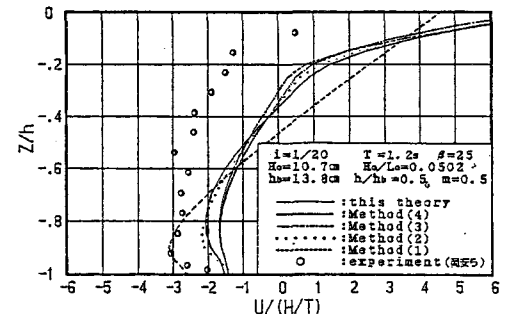


(b) $T=1.2s$ $h/h_b=0.5$

図-2 水面定常流速の変化によるUの鉛直分布の変化特性



(a) $T=1.2s$ $h/h_b=0.8$ $\varepsilon=0.21$



(b) $T=1.2s$ $h/h_b=0.5$ $\varepsilon=0.275$

図-3 本理論値と実験値および他の理論値との比較