

砕波帯内における戻り流れの鉛直分布のモデル化

大阪府立工業高等専門学校 正 員 ○ 平山 秀夫
 大阪市役所 大城 善紀
 パソコン関西設計 白浜 健一

1. はしがき：砕波帯は砕波に伴って発生する渦や乱れを多量に含む完全な乱流場である。また、その領域の水表面付近では、砕波に起因する強い岸向き流れが発生し、その結果として水位上昇（wave set-up）が生じる。この水位上昇に起因して、結局、砕波帯内では連続式を満足する形で逆流（沖向き流れ）が発生する。これが、戻り流れ（undertow or return flow）といわれている現象であって、砕波帯内での物質移動、特に海浜地形変化を支配する重要な要素であることは周知の事実である。

本研究は、この戻り流れの鉛直分布の精度良いかつ実用性のある理論的表示法の確立を目指すものであり、これまでの一連の研究の継続である。以下に、その理論的アプローチの方法と改善結果及び得られた理論結果の適合性を、従来示されている実験結果との対比から検討したものである。

2. 戻り流れ（undertow）の理論解析法

本理論の特徴は、砕波帯内の鉛直方向領域を、①底面から d_t （トロフの底面からの高さ）と② d_t から h （平均水位）までの間の2領域に分けて、それぞれの領域でせん断力の鉛直分布が異なる直線分布式で表示されると仮定して理論展開を行った。

（1）基礎式：

いま、水平面内に作用する一周期平均のせん断力 $\bar{\tau}$ と定常流速 U の関係を示した渦動粘性係数モデル式は、次式のように与えられている。（ここでは、鉛直座標 z' は、底面を原点として鉛直上方向を正とする。）

$$\bar{\tau} = -\rho u'w' = \rho \nu_t \partial U / \partial z' \quad (1)$$

$$\rho \nu_t = (0.0065 T) \rho c z' = f z' \quad (2)$$

ここで、 $f = 0.0065 T \rho c$ 、 c ：波速（ $=\sigma/k$ 、 $\sigma = 2\pi/T$ 、 $k = 2\pi/L$ ）である。

また、 τ の分布は、領域別に次式のように仮定する。

$$\textcircled{1} (\delta \sim d_t) \text{ 領域の場合： } \tau_1 = a z' + b \quad (3)$$

$$\textcircled{2} (d_t \sim h) \text{ 領域の場合： } \tau_2 = a' z' + b' \quad (4)$$

いま、①領域及び②領域の定常流速をそれぞれ U_1 、 U_2 とすれば、式(1)と(3)及び式(1)と(4)の関係から、 U_1 、 U_2 は次式のように表現される。

$$U_1 = A z' + B \ln z' + C_1 \quad (5)$$

$$U_2 = A' z' + B' \ln z' + C_2 \quad (6)$$

($A = a/f$ 、 $B = b/f$ 、 $A' = a'/f$ 、 $B' = b'/f$)

以上の U_1 と U_2 の結果を算出するには、6個の未知定数 (A 、 B 、 C_1 、 A' 、 B' 、 C_2) の決定が必要である。そのためには次の条件式が必要である。

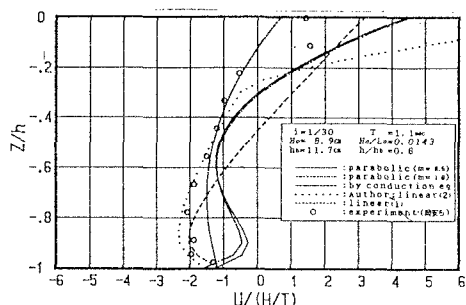


図-1 本理論値と実験値との比較

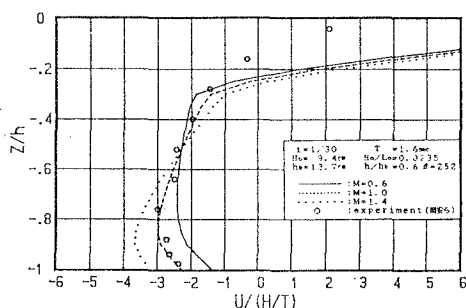


図-2 本理論に及ぼす $U\delta$ の影響

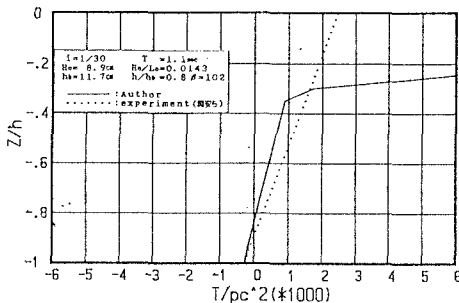


図-3 せん断力の鉛直分布

(2) 境界条件式: a) 水面条件式: これは従来の方法に基づいて推定される次式の渦度 (ω) の式を用いた.

$$\omega \doteq \frac{\partial U}{\partial z} \Big|_{z'=h} = a^2 \sigma k^2 (2 + \beta) \coth kh \quad (7)$$

ここで、 $a = H/2$ (H : 波高), β : 渦度係数とした.

b) 底面条件式: これは、次式のように与えられる.

$$U_1 \Big|_{z'=0} \doteq U_1 \Big|_{z'=\delta} = U\delta \quad (8)$$

ここで $U\delta$ は次式の平山の式を用いる.

$$U\delta = \frac{a^2 \sigma k}{4 \sinh^2 kh} \left\{ 3m \cos \theta - 2(1-m) + 3m \left(-\frac{4}{3k} \left(\alpha' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{d\alpha'}{dx} \cos \theta - \sin \theta \left(\frac{1}{4kh_b} \left\{ \frac{h}{h_b} + \frac{4}{9} K \left\{ \left(\frac{h}{h_b} \right)^{-7/2} - \frac{h}{h_b} \right\} \right\}^{-1} \times \left(1 \frac{4}{9} \cdot \frac{K}{B} - \left(h_b \frac{dB}{dh} \right) \left\{ \frac{h}{h_b} - \left(\frac{h}{h_b} \right)^{-7/2} \right\} + B \left\{ 1 + \frac{7}{2} \left(\frac{h}{h_b} \right)^{-9/2} \right\} \right) \right\} + \coth kh + \frac{1}{3k} \left(\frac{2\sigma}{\nu} \right)^{1/2} \right\} \right\} \quad (9)$$

(3) 連続式: 連続式は、領域①と②を考慮して、次式で表される.

$$\int_0^{d_t} (A'z' + B \ln z' + C_1) dz' + \int_{d_t}^h (A'z' + B \ln z' + C_2) dz' = 0 \quad (10)$$

(4) その他の付加的条件式: a) 運動の連続性の条件: $z = d_t$ では、運動の連続性より、次式が成立する.

$$U_1 = U_2 \quad (\text{at } z' = d_t) \quad (11)$$

$$\tau_1 = \tau_2 \quad (\text{at } z' = d_t) \quad (12)$$

b) 底面せん断力 ($\tau \Big|_{z'=0}$) の設定: ここでは、底面せん断力 (τ_0) として、岡安ら(1987)の推定値を用いることにした.

$$\tau_0 = \tau \Big|_{z'=0} = -0.0003 \rho c^2 \quad (\text{at } z' = 0) \quad (13)$$

3. 理論結果及び考察

いま、式(5), (6)に式(7), (8), (10), (11), (12), (13)を代入して、6元連立方程式を解けば、変数 (A , B , C_1 , A' , B' , C_2) が、次のように順次求まる.

$$B = b/f = -0.0003 \rho c^2 / (0.0065 T \rho c) = -3c / (65T) \quad (14)$$

$$B' = \frac{\omega (h\delta - h^2/2) - B (h \ln d_t - h \ln \delta - 1/2 d_t - h + h\delta/d_t) - U\delta h}{1/2 d_t - h\delta/d_t + h \ln h - h \ln d_t + \delta h/2} \quad (15)$$

$$A' = \frac{\omega (d_t - 2h\delta/d_t + 2h \ln h - 2h \ln d_t) + B (2 \ln d_t - 2 \ln \delta - d_t/h - 2 + 2\delta/d_t) + 2U\delta}{d_t - 2h\delta/d_t + 2h \ln h - 2h \ln d_t + 2\delta - h} \quad (16)$$

$$A = A' + 1/d_t (B' - B) \quad (17)$$

$$C_1 = U\delta - A\delta - B \ln \delta \quad (18)$$

$$C_2 = B' (1 - \ln d_t) + B (\ln d_t - \ln \delta - 1) + U\delta - A\delta \quad (19)$$

以上の結果を式(5), (6)に代入すれば、碎波帯内の戻り流れの鉛直分布の理論値 U が求められる. なお、ここでは、これらの式中の ω (水面渦度) の値は、式(9)中の β の値を実験データから逆算した結果から得られる次式の推定式を用いた: $\beta = 80 / (h/H_0 \cdot h/h_b) \cdots (20)$. このようにして求めた本理論値と実験値及び従来の理論値との比較の代表例を図-1に示す. これらの図から、本理論値は、実験値をかなりよく説明でき、かつ従来の理論曲線よりもその適合度は良好であることが分かる. また、本理論結果の鉛直分布に及ぼす底面質量輸送速度の影響の程度を調べたものが図-2である. この図から、底面質量輸送速度の大小にかかわらず、全般的な鉛直分布の傾向はほとんど変化しないことが明らかである. さらに、式(3), (4)に基づいて推定されるせん断力の鉛直分布の代表的な一例を示したものが図-3である.

4. おわりに

以上示した本理論結果は、従来の理論結果に比して実験値との適合度が良く、かつ実用的観点から非常に有用であると思われる.

参考文献: 1) 平山ら: 2次元傾斜海浜上における戻り流れの鉛直分布のモデル化 (Ⅲ), 平成9年度関西学講, 1997.2) 岡安ら: 碎波帯内定常流速度場の鉛直分布に関する研究, 第34回海岸工学学講演会論文集, PP.31~35, 1987.