

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)

大阪府立工業高等専門学校 正員 平山 秀夫
建設省 学生員 〇北井 聡士
イズミ建設コンサルタント 森山 誠

1. はしがき：本研究では、前報(1993)に引き続いて、2次元傾斜海浜上の戻り流れの鉛直分布の、簡単でかつ実用的な理論的表示法の確立を目指すものである。ここでは、理論解析に当たっては、前報と同様に、基礎式として渦動粘性モデル式を適用する。さらに、碎波帯内でのレイノルズ応力(τ)は、波動の運動方程式から解析的に推定され、かつ実験的にも裏付けされているように、鉛直座標(z)の1次関数で表されると仮定している。また、解析解の導出条件としては、底面から平均水面までの総質量輸送量の和がzeroであるという連続条件と水面渦度による水面条件、さらには、底面質量輸送速度による底面境界条件(平山, 1987)を独自な方法で設定して理論展開を行う。次に、理論の妥当性を岡安ら(1987)の実験値を用いて検証する。

2. 戻り流れ(undertow)の理論的表示法：(1)基礎式及び境界条件式等の設定：いま、基礎式としては次式で示されるように、水平面内に作用するレイノルズ応力(τ)と定常流速(U)の関係を示した渦動粘性モデル式を用いる。(z は鉛直座標で、底面を原点として鉛直上方を正とする。 ν_t : 渦動粘性係数, ρ : 流体密度。)

$$\tau = \rho \nu_t \partial U / \partial z \quad \dots \dots \dots (1)$$

また、 ν_t および τ は、岡安らの実験結果を参考にして、次式に示すように、 z の1次関数で表示する。なお、 τ を1次関数で表示できるのは、厳密には底面から d_t (波の谷の底面からの高さ) までの範囲であるが、ここでは、底面から平均水面までの全領域に渡って1次関数で表示した。

$$\nu_t = (0.0065 T c) z \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\tau = a z + b \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $c = \sigma / k$ ($\sigma = 2\pi / T$, $k = 2\pi / L$, T : 周期, L : 波長),
 a, b : 未知定数, である。

また、連続式及び境界条件式は、次のように設定した。

$$(I) \text{ 連続式: } \int_0^h U dz = 0 \quad \dots \dots \dots (4)$$

(II) 水面条件式:

$$\partial U / \partial z |_{z=h} = (H/2)^2 \sigma k^2 (2 + \beta) \coth(kh) \quad \dots \dots \dots (5)$$

($\beta = 0$: Longuet-Higginsの水平床での理論結果)

(III) 底面条件式: [$h \gg \delta$ より, $h - \delta \doteq h$ とした。]

$$U |_{z=\delta} = U\delta \quad (\delta : \text{傾斜面上での境界層厚}) \quad \dots \dots \dots (6)$$

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

なお、 m は補正係数で、底面上における実験値との適合度から、

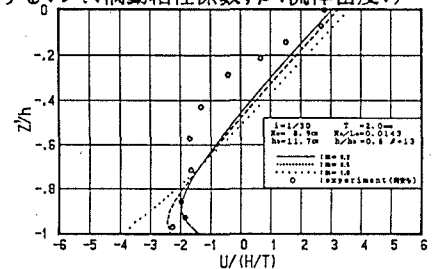


図-1 $U\delta$ の変化による U の鉛直分布の変化

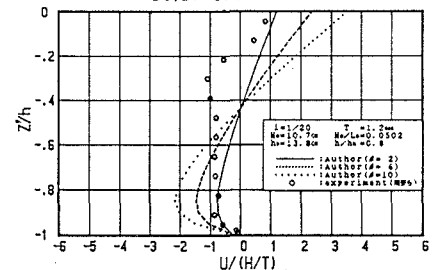


図-2 β の値による U の鉛直分布の変化

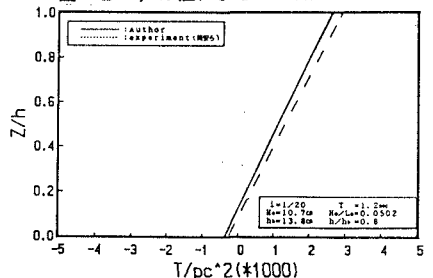


図-3 τ の本理論値と実験値の比較

m=0.5の場合が最適であることが確認されている。

(2) 解析解： 式(1)~(3)を用いて，戻り流れの水平流速（U）の鉛直分布を表す原式は次式のように得られる。

$$U = (a/f)z + (b/f)\ln z + C_1 \dots\dots\dots (8)$$

ここで，f=(0.065T)ρc，C₁は積分定数である。

式(8)中の3つの未知定数（a，b，C₁）を決定するに当たっては，前述の条件式(4)~(6)を適用すれば求めることができ，最終的には，砕波帯内における戻り流れの鉛直分布の理論結果は，次式のように表示される。

$$U = A_1 z + A_2 \ln z + A_3 \dots\dots\dots (9)$$

ここで，A_i (i=1~3)は次式のように表される。

$$A_1 = \frac{a}{f} = \frac{2C_2(h \cdot \ln h - h \cdot \ln \delta - h) + 2C_3}{2h \cdot \ln h - 2h \cdot \ln \delta - 3h + 2\delta} \dots\dots\dots (10)$$

$$A_2 = \frac{b}{f} = \frac{C_2 h(-h + 2\delta) - 2C_3 h}{2h \cdot \ln h - 2h \cdot \ln \delta - 3h + 2\delta} \dots\dots\dots (11)$$

$$A_3 = C_1 = \frac{C_2 h(-2\delta \cdot \ln h + h \cdot \ln \delta + 2\delta) + C_3 h(2 \cdot \ln h - 3)}{2h \cdot \ln h - 2h \cdot \ln \delta - 3h + 2\delta} \dots\dots\dots (12)$$

なお，式(10)~(12)中のC₂，C₃は，次式のように与えられる。

$$C_2 = (H/2)^2 \circ k^2 (2 + \beta) \coth(kh) : (式(5)に同じ。) \dots\dots\dots (13)$$

$$C_3 = U\delta : (式(7)に同じ。) \dots\dots\dots (14)$$

3. 解析結果及び考察

(1) 本理論の一般的特性： 図-1は底面質量輸送速度（Uδ）の変化に伴う戻り流れ（U）の鉛直分布の変化特性を示したものである。この図から，Uの全般的な分布傾向は，Uδの変化に対して余り影響は受けないが，一方，図-2から明らかのように，水面条件の変化に対してはかなり敏感に鉛直分布が変化することが明らかである。また，図-3はレイノルズ応力（τ）について，本理論結果と岡安らの実験式とを比較したものである。両者には若干の差異が見られる場合もあるが，全般的にはほぼ一致しているようである。

(2) 本理論値と実験値との適合性： 図-4（1），（2）はUについて，本理論値と実験値とを比較したもので，併せて従来示されている各種の理論曲線も示してある。この図から，両者の間には若干の差異は認められるものの，全般的分布傾向はほぼ一致していると言えよう。

4. 主要な結論

①本理論はかなり大雑把な理論であるにも関わらず，従来示されている実験値の分布傾向は十分に説明できるようである。②本理論結果を従来の理論曲線と比較した場合，実験値との適合性という観点からはconduction eq.による理論曲線が最も優れているが，簡単でかつ実用的観点から評価すれば，本理論がbestであると思われる。③戻り流れの鉛直分布は，底面条件にはあまり左右されないが，水面条件には敏感に反応する。従って，より精度の高い理論結果を得るためには，水面渦度等の水面条件のより精度よい定量的評価法の確立が不可欠であると思われる。

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(Ⅱ)，平成5年度関西年講，Ⅱ -82。

