

1. はしがき: 近年, LDV等の最新の測定技術の発達に伴って, 砕波帯内の定常流速場の構造特性が定量的に明確になりつつあり, その鉛直分布特性についてのモデル化が多くの研究者によって進められてきています[例えば, Svendsen(1984), 岡安ら(1987)]. しかしながら, これらはいずれも砕波帯内の水表面における Surface roller の発生を前提にして, 波の trough level(dt) 以下における鉛直方向断面平均の定常流速の推定値を求めることが不可欠である.

一方, 最近の実験的事実[北條ら(1996)]によれば, この Surface roller の存在は確認できないとの報告もあり, 理論的アプローチの再検討の必要があるように思われます.

本研究では, このような観点から, 2次元傾斜海浜上の定常流速(戻り流れ)の鉛直分布の実用的な理論的表示法の確立を目指そうとするものであって, これまでの研究の継続である[平山(1993)]. ここでは, 理論解析に当たっては, これまでと同様に, 基礎式として渦動粘性モデル式を適用する. さらに, 砕波帯内でのレイノルズ応力(τ)は, 底面から平均水深(h)まで鉛直座標(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, 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. 砕波帯内定常流速の理論的表示法(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.)

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

また, ν_t および τ は, 岡安らの実験結果を参考にして, 次式で示すように, 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:(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.

$$\nu_t = (0.0065T)cz \quad (2)$$

$$\tau = az + b \quad (3)$$

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.

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

(II) 境界条件式: a) 水面条件式:

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

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

b) 底面条件式: [$h \gg \delta$ より, $h - \delta \approx h$ とした.]

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

(次式中の m は補正係数で, ここでは, $m=0.5$ とした.)

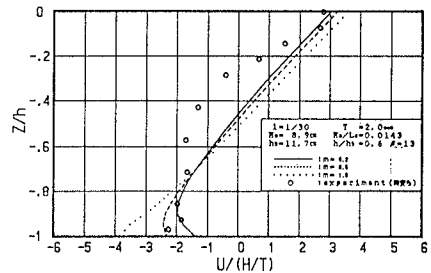


図-1 U δ の変化によるUの鉛直分布の変化

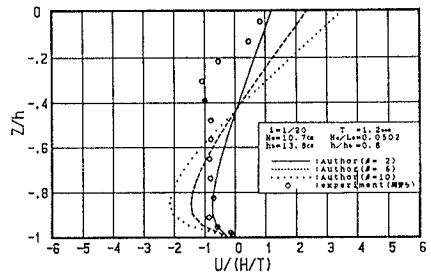


図-2 水面渦度の変化によるUの鉛直分布の変化

砕波, 水面渦度, 戻り流れ.

〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町26-12 TEL.0720-20-8582 FAX 0720-21-0134

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

(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， $f=(0.065T)\rho c$ ， C_1 は積分定数である。

式(8)中の3つの未知定数 (a, b, C_1) 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 ($i=1\sim3$)は次式のように表される。

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

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

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

$$C_2 = a^2 \sigma k^2 (2 + \beta) \coth kh \dots\dots\dots(13)$$

$$C_3 = U\delta \dots\dots\dots(14)$$

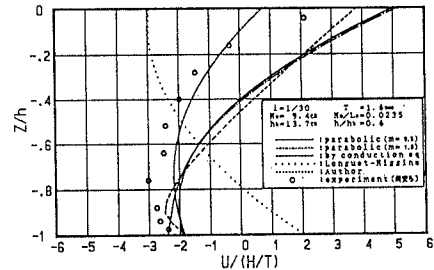


図-3 本理論値と他の理論値及び実験値との比較

なお，式(10)～(12)中の C_2 ， C_3 は，次式のように与えられる。

$$C_2 = (H/2)^2 \sigma k^2 (2 + \beta) \coth(kh) : (\text{式(5)に同じ。}) \dots\dots\dots(15)$$

$$C_3 = U\delta : (\text{式(7)に同じ。}) \dots\dots\dots(16)$$

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 ($U\delta$) の変化に伴う定常流速 (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， $U\delta$ の変化に対して余り影響は受けないが，一方，図-2から明らかなように，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。

(2) 実験値との適合性： 図-3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. 結論

①本理論は，従来示されている実験値の分布傾向を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，本理論が優れていると思われる。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。

参考文献： 平山秀夫(1993)：砕波帯内における戻り流れの鉛直分布に関する理論的研究，海岸工学論文集，第40巻。岡安章夫ら(1987)：砕波帯内定常流速場の鉛直分布に関する研究，第34回海岸工学論文集。