

傾斜面上における波による質量輸送の鉛直分布に関する研究

大阪府立工業高等専門学校 正員 平山秀夫
 大阪府立工業高等専門学校 正員○福島博行
 建設省近畿地方建設局 家郷佳一

1.はじめに：海浜地形変化の解明のためには質量輸送現象の究明が必要であることは周知の通りであり、従来より色々な角度から多くの研究がなされてきている。しかしながら、その大半は水平床上に関する研究であって、斜面上における研究は、Bijkerら¹⁾及び著者ら²⁾の研究等数例に過ぎない。本研究では、まず、前報²⁾で示した2次元傾斜面上での底面における質量輸送速度を新たな境界条件とし、さらに水面での境界条件に過度の拡散の程度を示す係数 β を導入して、Conduction方程式より2次元傾斜面上における質量輸送の鉛直分布を理論的に算出し、実験値との適合性を検討する。次に、2次元傾斜面上における質量輸送速度の鉛直分布特性に関して若干の考察を加える。

2.基礎式および境界条件：1)基礎式；座標系を前報²⁾と同様に取れば傾斜面上における運動方程式は、碎波点に達するまでは水平床におけるそれと全く同様である。従って、2次元傾斜面上における質量輸送速度の鉛直分布はLonguet-Higgins³⁾のConduction Sol.と同様の手法により導出される。すなわち、2次元傾斜面上の主流領域における質量輸送の鉛直分布を支配する基礎方程式は、質量輸送の流れ関数 Ψ を用いれば、次式で示すようなConduction方程式で表される。

$$\varepsilon^2 \nabla^4 \Psi = \nabla^4 \left\{ \frac{\sigma \sinh 2k(z-h)}{4 \sinh^2 kh} a^2 \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

($\varepsilon = a/L$, a :波の振幅, L :波長, $k = 2\pi/L$)

次に、式(1)において、 Ψ を、

$$\varepsilon^2 \Psi = \frac{a^2 \sigma}{4 \sinh^2 kh} \{ \sinh 2k(z-h) + Z^{(p)}(z) \} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

のように仮定すれば、式(1)より次のような基礎式が得られる。

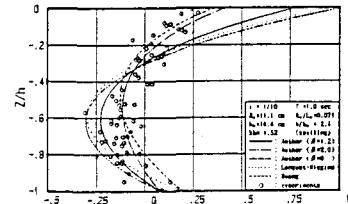
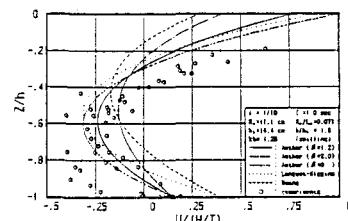
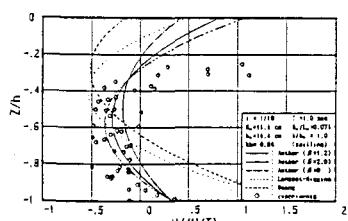
$$\left(\frac{d^4 Z^{(p)}}{dz^4} \right)_{z=h} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

2)境界条件；底面境界層から発生する過度の拡散の程度に応じて実験的に決定される係数 β ($0 < \beta$)を導入すれば、水面境界条件は次式のように表される。

$$\left(\frac{d^2 Z^{(p)}}{dz^2} \right)_{z=0} = -2\beta k^2 \sinh 2kh \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

一方、底面条件としては、前報²⁾で示した次式の底面での質量輸送速度を用いる。

$$\begin{aligned} \left(\frac{dZ^{(p)}}{dz} \right)_{z=h} &= 5k \left[\frac{1}{5}(2+3\cos\theta) - \frac{3}{5}\cos\theta \cdot \frac{1}{Ak} \frac{dA}{dh} \frac{dh}{dx} \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{5k} \sqrt{\frac{2\sigma}{\nu}} \cdot \sin\theta - \frac{4}{5} \frac{\cos\theta d\alpha}{k dx} \left(\alpha - \frac{1}{2} \right) \right] - 2k \quad \dots \dots \quad (5) \\ &\quad (A = \frac{H_0}{2} \cdot \frac{\sigma k_s}{\sinh kh}, k_s; \text{浅水係数}) \end{aligned}$$

(1) $h/h_b = 2.4$ の場合(2) $h/h_b = 1.8$ の場合(3) $h/h_b = 1.0$ の場合
傾斜面上の質量輸送の鉛直分布の理論値と実験値の比較

また、連続条件から

$$(Z^{(p)})_{z=0} = \sinh 2kh \quad \dots \dots \dots \quad (6), \quad (Z^{(p)})_{z=h} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (7), \text{ となる。}$$

3. 結果及び考察：1)理論結果；以上、式(3)～(7)より $Z^{(p)}(z)$ を決定し、さらに式(2)に代入すれば次式に示す傾斜面上における質量輸送速度 U を得る。

$$U = \frac{a^2 \sigma k}{4 \sinh^2 kh} \left[2 \cosh 2kh \left(\frac{z}{h} - 1 \right) + 3 \cos \theta + \frac{1}{2} \beta kh \left(3 \frac{z^2}{h^2} - 4 \frac{z}{h} + 1 \right) \sinh kh \right. \\ \left. + 3 \left(\frac{\sinh 2kh}{2kh} + \frac{3 \cos \theta}{2} \right) \left(\frac{z^2}{h^2} - 1 \right) + \frac{9}{2} \left(\frac{z^2}{h^2} - \frac{1}{3} \right) \left[-\frac{4}{3k} \left(\alpha - \frac{1}{2} \right) \frac{d\alpha}{dx} \cos \theta - \sin \theta \right] \right. \\ \left. \times \left[\frac{2}{\sinh 2kh} \frac{1}{2kh + \sinh 2kh} \left\{ (2kh + \sinh 2kh) + \frac{1}{2} \sinh 2kh (1 + \cosh 2kh) \right\} + \frac{1}{3k} \sqrt{\frac{2\sigma}{\nu}} \right] \right] \dots \dots \dots \quad (8)$$

なお、式(8)は水平床の場合、 $\beta=0$ のときHuangの結果に、 $\beta=2$ のときLonguet-Higginsの結果に一致する。

2)考察；式(8)に前報²⁾で示した α 及び $d\alpha/dx$ に関する普遍関数表示式を代入し計算したものが図-1(1)～(3)である。これらの図より本理論は実験値を比較的よく説明でき、かつ、理論値と実験値の場所的变化もよく一致する傾向にあるようである。また、 $i=1/10$ のspilling型碎波のケースでの実験値は h/h_b の減少とともに、実験値の水面速度勾配が強くなる傾向にあるように思われる。しかし、ここでは示していないが、この傾向は $i=1/20$ のspilling型碎波のケースではあまり見られない。また、 $i=1/10$ 、 $i=1/20$ の両ケースとも底面付近には沖向きの質量輸送が強く働くようである。このことから過度の拡散の程度が水深及び勾配により変化するようと思われる。図-2(1)～(3)は、碎波形式が同じで、 H_0/L_0 及び kh の値がほぼ等しく斜面勾配のみが異なる実験ケース及び理論値を比較したもので、(1)はspilling型碎波、(2)はplunging型碎波、(3)はsurging型碎波の場合である。図の(1)から、実験値の分布は、 $0.4 < z/h < 0.9$ の領域で $i=1/10$ での $U/(H/T)$ は $i=1/20$ における値より小さい。また、水面付近での速度勾配は $i=1/10$ よりも $i=1/20$ の方が小さい。この傾向は理論値においても現れている。また、このことは図の(2)、(3)についてもほぼ同様なことが言えるようである。以上のことから、斜面勾配は過度の拡散の程度及び戻り流れにかなり影響を及ぼすことが明かである。図-3は碎波形式の影響を示す図で、図-2と同様な傾向が存在するようと思われる。このことから碎波形式の違いによっても過度の拡散の程度に差異が生じるようと思われる。

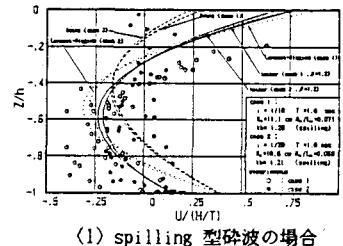
4. おわりに；以上のように本理論結果は、実験値をかなり良く説明しているように思われるが、今後は、 α 及び $d\alpha/dx$ の表示式の中に、勾配の影響を取り込むこと等、さらに研究を重ねて行く予定である。

最後に、日頃暖かいご指導を賜っている京都大学名誉教授岩垣雄一先生に心からの感謝の意を表します。

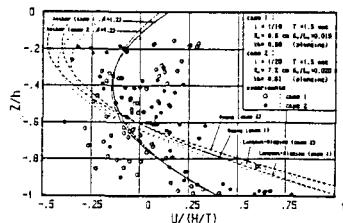
参考文献：1)Bijker,et al.:14th ICCE,1974.

2)平山ら：昭和62年度関西支部年譲,1987

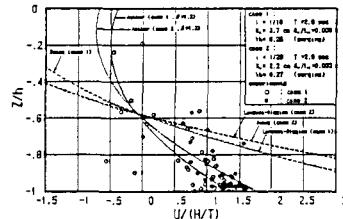
3)Longuet-Higgins:Trans.R.Soc.,London,Series A,1953.



(1) spilling 型碎波の場合



(2) plunging 型碎波の場合



(3) surging 型碎波の場合

図-2 勾配の相違による
分布特性の差異

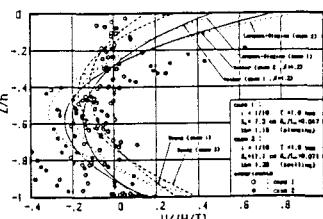


図-3 碎波形式の相違による
分布特性の差異