

碎波帯における質量輸送の鉛直分布について

大阪府立工業高等専門学校 正員 ○平山 秀夫
建設省近畿地方建設局 川端 知憲
(株) 東洋製作所 瀬戸山 謙治

1. はしがき: 本研究は、港湾埋没・河口閉鎖・海岸侵食などといった漂砂災害の防止軽減を目的として、漂砂の動態の理論的解明という観点から漂砂現象の要因の一つとなっている質量輸送速度について研究を進め、碎波点以浅においてその鉛直分布の理論を導こうとするものである。前報¹⁾では、ラグランジュ的立場から一様傾斜面上の碎波帯内外における底面質量輸送を理論的に求め、実験値と比較検討してその定式化を試みてきた。ここでは、前報¹⁾で示した底面質量輸送の式を基に底面境界条件式を導き、これと基礎式及び他の境界条件を用いて碎波点以浅における質量輸送(戻り流れ)の鉛直分布を理論的に求め、岡安らによる実験値²⁾と比較検討して、その妥当性を検討しようとするものである。

2. 基礎式および境界条件式: 1) 基礎式: Longuet-Higginsの示したconduction方程式³⁾は次式のように表される。

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

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

次に、式(1)において、 ψ を

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

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。

$$\frac{d^4 Z(z^2)}{dz^4} = 0 \quad (3)$$

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

$$(d^2 Z(z^2)/dz^2)_{z=h} = -2\beta k^2 \sinh 2kh \quad (4)$$

一方、底面条件としては、次式の底面での質量輸送⁴⁾を用いる。

$$\left(\frac{dZ(z^2)}{dz} \right)_{z=h} = 5k \left\{ \frac{1}{5} (2+3\cos\theta) - \frac{3}{5} \cos\theta \frac{dh}{dx} \left(\frac{1}{Hk} \frac{dH}{dh} - \coth kh \right) \right. \\ \left. - \frac{1}{5k} \frac{\sigma}{\nu} \sin\theta - \frac{4}{5k} \cos\theta \frac{d\alpha}{dx} \left(\alpha - \frac{1}{2} \right) \right\} - 2k \quad (5)$$

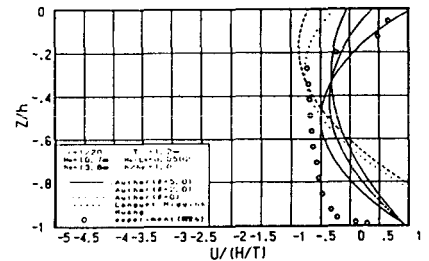
ここで、 $A = \sigma H / 2 \sinh kh$ (6)

$$H = \gamma hb \left\{ \frac{4}{9} \frac{h}{hb} + \frac{4}{9} \kappa \left(\frac{h}{hb} \right)^{-1/2} \right\}^{-1/4} \quad (7)$$

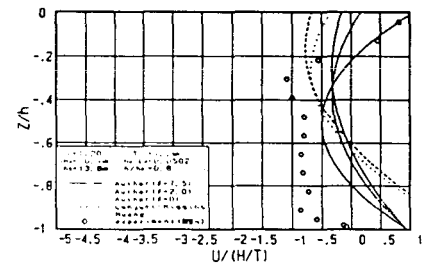
$$\gamma = 0.17 \left(\frac{hb}{LO} \right)^{-0.9} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{3}{2} \pi \left(\frac{hb}{LO} \right)^{0.9} \right] (1 + 15 \tan^{0.9} \theta) \right\} \quad (8)$$

$$\kappa = (2/\pi)^{1/2} B \gamma^{1/2} \xi_0^{-1} \quad (9)$$

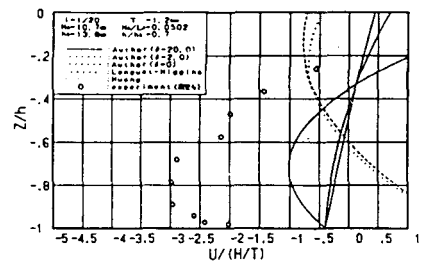
$$\xi_0 = \tan \theta / \sqrt{HO/LO}, \quad LO = gT^2/2\pi \quad (10)$$



(1) $h/hb = 1.0$ の場合



(2) $h/hb = 0.8$ の場合



(3) $h/hb = 0.7$ の場合

図-1 碎波帯内における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

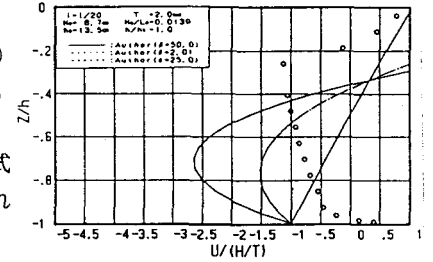
$$(Z^{(P)})_{z=h}=0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$(Z^{(P)})_{z=0}=\sinh 2kh \quad \dots\dots\dots (12)$$

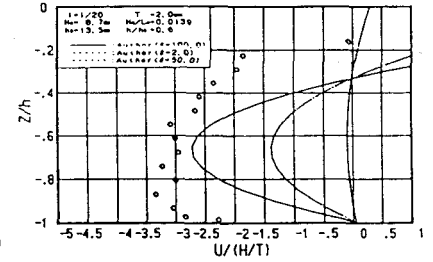
となる。

3. 結果及び考察: 1) 理論結果: 以上、式(3)～(5)及び式(11)、式(12)よりZ を決定し、さらに式(2)に代入すれば、次式に示す質量輸送速度Uが得られる。

$$U = \frac{a^2 \sigma k}{4 \sinh^2 kh} \left[2 \cosh \left\{ 2kh \left(\frac{z}{h} - 1 \right) \right\} + 3 \cos \theta + \frac{\beta kh}{2} \left(3 \frac{z^2}{h^2} - 4 \frac{z}{h} + 1 \right) \sinh 2kh \right. \\ \left. + 3 \left(\frac{\sinh 2kh}{2kh} + \frac{1}{2} \cos \theta \right) \left(\frac{z^2}{h^2} - 1 \right) + 3 \left(\frac{z^2}{h^2} - \frac{1}{3} \right) \frac{3}{2} \left[-\frac{4}{3k} \left(\alpha - \frac{1}{2} \right) \frac{d\alpha}{dx} \cos \theta \right. \right. \\ \left. \left. - \sin \theta \left(\frac{1}{4khb} \left\{ \frac{h}{hb} + \frac{4}{9} \kappa \left\{ \left(\frac{h}{hb} \right)^{-1/2} - \frac{h}{hb} \right\} \right\} \left[1 - \frac{4}{9} \frac{1}{B} \kappa \left\{ hb \frac{dB}{dh} \left(\frac{h}{hb} \right) \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \left(\frac{h}{hb} \right)^{-1/2} \right\} + B \left\{ 1 + \frac{7}{2} \left(\frac{h}{hb} \right)^{-9/2} \right\} \right\} + \coth kh + \frac{1}{3k} \left[\frac{2\sigma}{v} \right] \right] \right] \quad \dots\dots\dots (13)$$



(1) $h/hb=1.0$ の場合



(2) $h/hb=0.6$ の場合

図-2 水面温度の変化による鉛直分布の変化特性

2) 考察: 式(13)に前報で示した α 、 $d\alpha/dx$ 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

これらの図から明かなように本理論は実験値を比較的良好に説明できているように思われる。また、 $i=1/20$ のspiling型碎波のケースでの理論曲線は、 h/hb の減少とともに、水面速度勾配がきつくなる傾向にあるように思われる。そしてここでは示していないが、plunging型の場合も同様な傾向がみられる。またspiling型破碎、plunging型破碎の両ケースとも底面付近では沖向きの質量輸送が強く働くようである。ここで、碎波型式別に水面温度係数 B の値をまとめたのが表-1である。この表より碎波点から突っ込み点までの間は、水面温度値がplunging型碎波は、spiling型碎波の約2倍の値となる。又その後もボア状の波が発達し、安定していく領域では、両方とも同じ様な値となることが分かる。次に、図-2(1)、(2)は、全く同じ波浪条件で表面温度係数 B の値だけを変えたものであるが、この図より明かなように温度の拡散が大きくなるほど、水面での質量輸送速度は大きくなっている。また、その分だけ鉛直分布図の中央付近が沖方向へ大きく膨らんでいる。つまり戻り流れも大きくなることが分かる。

以上の事をふまえて本研究の結果を要約すれば、以下のようである。1) 碎波帯内の水面温度は、波帯外と比較して約10倍くらい碎波帯内の方が大きくなるだろうと思われる。2) 水面温度の与えて方によって、質量輸送速度の分布形は著しく変化する。3) 本理論による鉛直分布図と実験値は、条件によっては差異が見られる。これは基礎式として、碎波帯内でconduction equationを適用すること、水面条件をいかに設定するかという点等で問題が残されているように思われる。

参考文献:

- 1) 平山ら: 平成元年度土木学会関西支部年講, 1989, II-71.
- 2) 岡安ら: 第34回海岸工学講演会論文集, 1987, pp. 31-35.
- 3) Longuet-Higgins: Trans. R. Soc., London, Series A, 1953, pp. 535-581.
- 4) 平山ら: 第35回海岸工学講演会論文集, 1988, pp. 11-15.

表-1 碎波型式別にみた水面温度係数 B の値の h/hb 別の変化特性

plunging型	h/hb	spiling型
10	1.0	5
14	0.8	7.5
	0.7	20
22	0.6	
	0.5	32
32	0.4	