

波 流れ共存場における浮遊砂量に関する実験的研究

東北大学大学院 学生員 佐藤 功
東北大学大学院 学生員 田中 仁
東北大学工学部 正会員 首藤伸夫

1 はじめに

著者らは前報¹⁾で、波が流れを逆のざる場において形成される砂連付近の砂移動の形態を報告した。今回は、それに基づいた砂移動のモデルから、岸向および沖向の浮遊砂量を算定することを試みた。

2 実験条件および実験方法

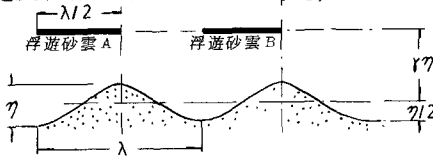
検証実験で使った砂は $d_{50} = 0.018 \text{ mm}$ の細砂で、砂連上においては浮遊砂が掃流砂に比べ、かなり卓越している。それも岸側に設置したアルミプレート製のサンドトラップにより採取した。周期 T は、 $1/20 \text{ sec}$ とし、波と流れの相対的強度 $\bar{u}/\bar{u}_w$ ($\bar{u}$: 定常流成分の断面平均流速、 $\bar{u}_w$: 微小振幅波理論による底面水粒子最大速度) は、サンドトラップの構造上あまり強くすることができず、 $0 \sim 1.25$ にとどめた。

3 砂移動のモデル

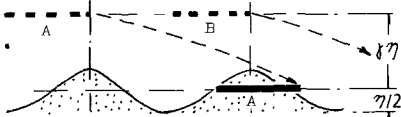
モデルには際し、以下の仮定を設ける。

- i) 砂連斜面上の渦中の砂は、反対側斜面に取り込まれることなく、全て砂連頂から放出され、長さ $\lambda/2$ (λ : 砂連波長) の浮遊砂雲となる。
 - ii) 浮遊砂雲が放出される高さでは、砂連波高 η に比例するとし、基準面から $\gamma\eta$ (実験により $\gamma = 1.8$ と定めた) の地高とし、砂の沈降速度 w_0 に従って落下して、基準面に達した所で堆積する。
 - iii) 放出されてから落下するまでの水平砂粒子速度は、基準面から $\gamma\eta$ の高さの水平水粒子速度に等しい。
- 以上を図示すると下図のようになる。

(浮遊砂雲が沖側に放出される瞬間 $t = 0$)



(浮遊砂雲が基準面に落ちた瞬間 $t = \gamma\eta/w_0$)



4 浮遊砂量算定法と結果および考察

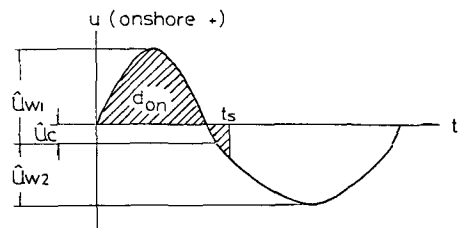
算定の基本的な考え方は、“どれだけの砂が、いくつの砂連頂を越えるか”である。

まず、“どれだけの砂か”について考える。ランキン渦を砂連斜面上の渦にみたて、その運動エネルギーが効率 e によって渦中の砂の位置エネルギーに転換されるとして次式 (1) を得た。

$$A \cdot C = \frac{e S_w}{8\pi (S_s/S_w - 1)} \frac{1}{\eta} P^2 \quad (1)$$

ここに、 A : 渦面積、 C : 渦中砂の重量濃度、 S_w, S_s : 水および砂の単位体積質量、 P : 渦の循環、である。式中の $A \cdot C$ が単位幅当りの砂量で、仮定により、これが浮遊砂雲の砂となる。

次に、“いくつの砂連頂を越えるか”であるが、その個数を N とし、浮遊砂雲が放出されてから沈降するまでの水平移動距離を d とすれば、 N は $d/(\lambda/2)$ により決定される。なお、岸向に関する d_{on} は下図の斜線部の面積 ($u < 0$ では負として計算する) から求まる。よって d_{on} の場合、定常流成分が大きくなればマイナスとなり、岸向浮遊砂雲の沖側移動が表現される。



上図で、流速の経時変化は2つの正弦波を合成したものとなっている。これは、ストークス波第2近似解を用いて、波の条件から、波の山と谷に対して、波高 H_1, H_2 、周期 T_1, T_2 を求めて、それぞれ正弦波をあてはめ、田中・首藤²⁾の境界層理論により、定常流成分の代表流速 $\bar{u}_c$ 、波の山と谷に対する変動成分の代表流速 $\bar{u}_{w1}, \bar{u}_{w2}$ を定めているためである。

以上により浮遊量 Q は、 α を比例定数として

$$Q = \alpha \frac{1}{\eta} P^2 N \quad (2)$$

の様に求められる。

式中の P は以下の様にして計算されている。 P の評価式としては、柴山³⁾が示した様に、 P の渦粘性による減衰も考慮した式を共存場にて合はめた次式(3)

$$\frac{dP}{dt} = R_1 (\pm \hat{u}_c + \hat{u}_w \sin \sigma t)^2 - R_2 P \quad (3)$$

を $\sigma = \sin^{-1}(\mp \hat{u}_c / \hat{u}_w) / \sigma$ で $P = 0$ のもとに解いた式(割愛)を用いた。ここに $\sigma = 2\pi / T$ である。また、 $R_1 = \varepsilon R^2 / \sigma$ であって、 R' は流速の砂連頂での加速の割合を表わし、 $R' = 7.4$ とした。 ε は砂連頂を通過する程度の取り込みの程度を示すもので、渡辺⁴⁾が波動場を得たグラフを修正して得た次式(4)

$$\varepsilon = 1.207 S \quad (4)$$

(S : 砂連斜面勾配)

により計算した。さらに R_2 については、波動場において次式(5)

$$R_2 = 3.50 \left\{ 1 - \exp(-7.7 \times 10^{-6} \frac{\hat{u}_w d_0}{\nu}) \right\} \quad (5)$$

を導いた。ここに、 ν : 水の動粘性係数、 d_0 : 微小振幅波理論による底面水粒子の振幅の2倍である。共存場においては、(5)式の $\hat{u}_w$ を $(-\hat{u}_c + \hat{u}_w)$ および $(\hat{u}_c + \hat{u}_w)$ にし、 d_0 を波一周期間の底面付近の水粒子の岸向移動距離および沖向移動距離にして用いた。なお、 P を計算する際の流速と評価する高さは、基準面より η の高さとした(基準面でノンスリップになるとする)。

最後に、砂連スケールを決定すれば、今までの式は全部決定される。 η , λ については、田中 首藤⁵⁾による次式(6)、(7)による

$$\eta = 0.15 \lambda \quad (6)$$

$$\frac{\lambda}{d_{50}} = 0.65 \frac{T \hat{u}_w}{\pi d_{50}} \left\{ 1 + 0.37 \left(\frac{\hat{u}_c}{\hat{u}_w} \right)^{4.4} \right\} \quad (7)$$

また、 α も砂連岸側波長として、実験的に

$$\frac{\alpha}{\lambda} = 0.443 + 0.148 \frac{\hat{u}_c}{\hat{u}_w} \quad (8)$$

が得られたため、容易に S が求められる。

以上により求められる η , P , N を(2)式に代入

し、 Q として実験値を代入して、最も良く合致する様に α を定めると、 $\alpha = 1.03 \times 10^{-5}$ となる。これから e を逆算すると $e = 0.42$ となった。さらに、 α も一定値ではなく、波高水深比 H/R と $\hat{u}_c / \hat{u}_w$ に関係するとして表現すれば

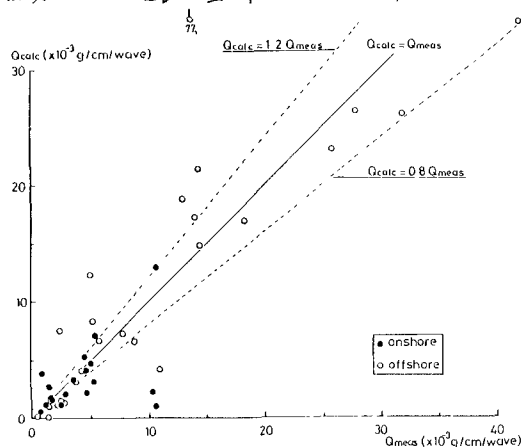
$\hat{u}_c / \hat{u}_w = 0$ の岸向浮遊量に対し

$$\alpha = 1.03 \times 10^{-5} \exp \left\{ 29 \left(\frac{H}{R} - 0.80 \right) \right\} \quad (9)$$

上記以外の岸向、沖向浮遊量に対し

$$\alpha = 1.03 \times 10^{-5} \exp \left\{ 6.2 \frac{\hat{u}_c}{\hat{u}_w} + 6.5 \right\} \left(\frac{H}{R} + 0.2 \frac{\hat{u}_c}{\hat{u}_w} - 0.47 \right) \quad (10)$$

となった。下図に実験値 Q_{meas} と計算値 Q_{calc} の比較を示した。なお、測定時に砂面とトラップ端の接合部によって擾乱が生じたデータは除外した。



本算定式は波と流に底質の条件から浮遊量が求められるが、 d_{50} が本実験の様に小さい場合は、浮遊量すなわち漂砂量としてもさしつかえがないと思われる。

<謝辞>

本研究は、文部省科学研究費(代表者 東工大 日野教授)により行われたものであることも行記する。

<参考文献>

- 1) 佐藤 田中 首藤: 東北支部講演概要(1983)
- 2) 田中 首藤: 第27回海溝論文集(1980)
- 3) 柴山 堀川: Proc of JSCE (No 296, April 1980)
- 4) 榊山 三村 渡辺: 第28回海溝論文集(1981)
- 5) 田中 首藤: 第28回水溝論文集(1984)