

浸透性を考慮した波打ち帯の漂砂の解析

鹿児島大学工学部 学生員 米永 敏之

鹿児島大学工学部 正 員 浅野 敏之

1. はじめに

波打ち帯の漂砂運動の外力として、砂浜内への浸透や砂浜からの滲出は重要な要因である。斜面上の水粒子運動に及ぼす吸水の効果については様々な研究が報告されているが(例えば Packwood;1983)、主として流体場の変形を考察したものであり、漂砂に対する作用についての理論的考察はほとんど研究がなされていない。丸尾ら(1995)によれば透水性の影響は細砂に対しては無視できるとされているが、佐藤ら(1986)の鹿児島市磯海岸を対象とした計算によれば 8cm/s に達する浸透流が計算され、海浜変形に大きな影響を与えると報告されている。

本研究は、一様勾配斜面上に置かれた単一砂粒子運動の数値モデルに浸透・滲出の効果を組み込み、これらが漂砂量に及ぼす効果の定量的な検討を行ったものである。

2. 浸透を考慮した砂粒子の初期移動限界

ここでは掃流漂砂を対象として、Kobayashi (1982) の 2 次元掃流砂運動のモデルに浸透、滲出の効果を取り込むことにする。いま底質砂は非粘着性で均一の粒子径を持つ球体とし、慣性力を無視すると粒子に作用する外力は以下で構成される。

$$\text{抗力: } F_D = \frac{\rho}{2} C_D \frac{\pi}{4} d^2 U_c^2, \text{ 揚力: } F_L = \frac{\rho}{2} C_L \frac{\pi}{4} d^2 U_c^2,$$

$$\text{水中重量: } W = \frac{\pi}{6} \rho g (s-1) d^3$$

$$\text{浸透水による抗力: } F_s = \frac{\rho}{2} C_D \frac{\pi}{4} d^2 U_p^2$$

ここに、 U_c : 粒子と流体の相対速度、 U_p : 砂層内の浸透または滲出の流速で符号は浸透を正とする。他の記号は慣例に倣う。

摩擦力 $F_R = (W \cos S - F_L + F_s) \tan \phi$ と粒子を駆動させる力を等号で結ぶと、水平床に対する限界シールズ数の表示式が以下のように得られる。

$$\Psi_c = \frac{4}{3} \frac{e_c^{-2}}{\left[\frac{C_D}{\tan \phi} + C_L - C_D \left(\frac{U_p}{U_c} \right)^2 \right]} = \frac{4}{3} \frac{e_c^{-2} \tan \phi / C_D}{1 + b_1 \tan \phi - P_1 \tan \phi} \quad (1)$$

ただし、 $e_c = U/\alpha_* = 1/\sqrt{f}/2$, $b_1 = C_L/C_D = 0.1$, $P_1 = (U_p/U_c)^2$ である。

(1) 式は砂地盤に浸透する場合 ($p_1 > 0$) には 分母が減少し Ψ_c が大きくなり、滲出する場合には分母が増大し Ψ_c が小さくなることを示している。

底面が角度を持つ場合の限界シールズ数 Ψ_{CS} は次式となる。

$$\Psi_{CS} = \Psi_c \left(1 - \frac{1}{\tan \phi} \sin S \right) \quad (2)$$

3. 岸沖掃流漂砂量式

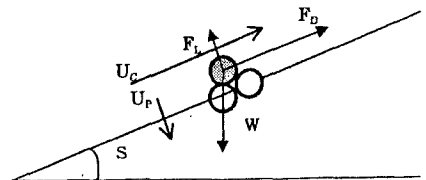
瞬間的漂砂量 q_b は単位面積当たりに移動可能な粒子個数 n_b とその移動速度 u_s の積で表せる。すなわち

$$q_b = \frac{\pi}{6} d^3 n_b U_s \quad (3)$$

n_b は流体運動による瞬間的底面せん断力 τ_b が限界せん断力 τ_{cb} を上回る分が、移動粒子数 n_b 個の砂粒子作用する抗力 F_D と釣り合うとして次式のように導かれる。

$$\frac{\pi}{6} d^3 n_b = \frac{1 + (b_1 - P_1) \tan \phi}{\tan \phi} \left(\Psi - \Psi_c + \Psi \frac{\sin S}{\tan \phi} \right) \quad (4)$$

砂粒子の移動速度 u_s は



図—1

$$\frac{u_s}{e\sqrt{g(s-1)d}} = \sqrt{\Psi} - b_2\sqrt{\Psi_c} + \frac{1}{2}b_2\sqrt{\Psi_c} \frac{\sin S}{\tan \phi} \quad (5)$$

となる。

$$\begin{aligned} \frac{q_b}{wd} = & b_3(\Psi - \Psi_c) \left(\sqrt{\Psi} - b_2\sqrt{\Psi_c} \right) \\ & + b_3 \frac{\sin S}{\tan \phi} \left\{ \Psi \left(\sqrt{\Psi} - b_2\sqrt{\Psi_c} \right) + \frac{b_2}{2} \sqrt{\Psi_c} (\Psi - \Psi_c) \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{ここで} \quad b_3 = \left(\frac{e}{e_c} \right) \Psi_c^{-1/2} \left(\frac{1 + (b_1 - P_1) \tan \phi}{\tan \phi} \right)^{1/2} \quad (7)$$

ここでは緩斜面を仮定し、 $\sin S^2$ 以上の高次のべきを無視した。

$$G_1 = (\Psi - \Psi_c) \left(\sqrt{\Psi} - b_2\sqrt{\Psi_c} \right), \quad G_2 = \frac{\sin S}{\tan \phi} \left\{ \Psi^{3/2} - \frac{b_2}{2} \Psi_c^{1/2} (\Psi + \Psi_c) \right\} \quad \text{とおくと}$$

$$\frac{q_{bx}}{wd} = b_3 G_1 \cos \theta_r + b_2 G_2 \cos^2 \theta_r \quad (8)$$

が得られる。 θ_r は $\cos \omega t$ が正のとき 0, $\cos \omega t$ が負のとき $\theta_r = \pi$ である。

以上の式中の諸定数の経験的表標準値として、 $\tan \phi = 1$, $b_1 = \frac{C_L}{C_D} = 0.1$ 、 $b_2 = \frac{e_c}{e} = 0.7$ とした。浸

透の効果 $P_1 = (U_p / U_c)^2$ は、(1)の移動限界シーلز数、(4)の移動可能粒子数 n_b 、(7)の b_3 の表示式の中に入り、これを通じて最終結果である掃流砂量 q_{bx} (8)式を変化させることになる。

堀川・渡辺(1966)によれば、振動流における砂粒子の移動限界シーلز数は $\Psi_c = 0.076 \tan \phi \cdots (9)$ で与えられる。これに対し、(1)式は複雑な形を取っているが後述するように e_c, C_D は粒径に依存し、これらが (9)式内 Ψ_c 中の摩擦係数内に包括されていると考えれば、浸透がある時の限界シーلز数の概略値は(1)と(9)を考慮して次式で与えられよう。 $\Psi_c = 0.0836 \tan \phi / [1 + (b_1 - p_1) \tan \phi] \cdots (10)$ これによれば、 $p_1 = 0.1$ の浸透があるとき $\Psi_c = 0.0836$, $p_1 = -0.1$ の滲出があるとき $\Psi_c = 0.0697$ 程度の値となる。

つぎに一周期平均漂砂量について考察する。 $P_1 = (U_p / U_c)^2$ 内の U_c は波の水粒子速度であり位相とともに変動する。斜面上の遡上波の運動に伴い、砂層内への浸透速度 U_p も時間変動するが、漂砂という波動周期に比して時間スケールの長い現象に対しては U_p は時間的に変動しないとして結果に大きな違いを与えないと考えられる。図-2は P_1 をパラメータとして与えたときの1周期平均の掃流漂砂量 Q/wd を示したものである。ここで粒径 d は 0.3mm と一定した。図より浸透が生じるときの漂砂量の減少の様子を読みとることができる。

本来、 $P_1 = (U_p / U_c)^2$ 内の U_p は前浜部の地下水位の位置と透水係数（すなわち粒径）によって決まる。また(1)式内の e_c, C_D も粒径 d （無次元量では粒子レイノルズ数）の関数である。したがって浸透がある時の漂砂量 Q は前浜の粒径 d を与えれば、 U_p 等の変化を介して確定することになる。これについては現在解析中であり、講演時にその結果を発表したい。

参考文献

- 佐藤・浦上・西原 (1986) : 第33回海講, pp.233-237.
堀川・渡辺(1966) : 第13回海岸工学講演会論文集, pp.126-134.
丸尾・Dibajnia・渡辺(1995) : 海岸工学論文集, pp.611-655.
Kobayashi N. (1982): J. of WW Div., ASCE, pp.254-271.
Packwood, A. R.(1983): Coastal Engrg., Vol.7, pp.29-40.

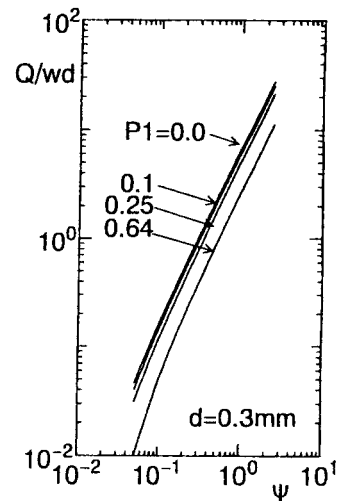


図-2