

名古屋工業大学 土木工学科 正会員 石田 昭

奈良県庁

林 功

1. はしがき : 波による漂砂現象に伴って沿岸には多段砂州 (multi bar) が発生する場合があることが知られている。特に日本海側では冬期季節風により長時間、定常的に大きなエネルギーを持った風波が来襲するためであろうが、2段砂州の発生が顕著である¹⁾。また北極海に面した Barrow 岬 (アラスカ) 近辺では5段にもなる沿岸砂州が発生することも報告されている²⁾。著者らはこうした多段砂州の発生機構として浅水域でのソリトン分裂に伴う波形の再帰現象が重要な役割を果たしているのではないかと考えている。ここでは底質の移動機構およびソリトン分裂に伴う多段砂州の発生機構について実験結果に基づいた考察を加え、その発生機構モデルを提案する。

2. 底質の移動機構 : 沖浜領域における定形波の岸沖漂砂量に関しては近年いくつかの実験的研究が報告されているが、そうした研究成果なども参考にすると以下のような移動機構のモデルを考えることができる。図-1は底面流速 u の時間変化と底質の移動との関係を示したものであるが、図に示す記号で Ta_i ($i=1, 2, 3, \dots$) などのように u とその加速度 $\partial u / \partial t$ が同符号となっている場合でかつ、 u が移動限界流速 u_c 以上になると掃流状態での移動が開始する。掃流砂は u と $\partial u / \partial t$ が異符号になっても α 時間だけ続き (α は砂村によれば位相にして $\pi/6$ である。) Tb_i まで継続してから止る。この時砂連の斜面上に渦が発生し、その渦の強さに応じて砂が巻き上げられて渦の中に取り込まれる。この渦は u と $\partial u / \partial t$ が再び同符号になる Tc_i ($u=0$ または $\partial u / \partial t=0$ を意味する) で壊れて渦の中の砂がその後の流れに乗って浮遊状態で運搬される。同時に沈降も始まり浮遊砂濃度の基準点の高さ (砂連の高さに関連する) 程度の距離を沈降するのに要する時間 (β) 流れに乗って運ばれる。砂粒子が細かければ β は長いので運搬方向が逆転することもある。また β 内に移動する距離が砂連のピッチよりも長ければ一つ隔てた砂連からも浮遊砂が運搬されることを意味するので漂砂量が多くなる。

3. 多段砂州の発生機構 : つぎに漂砂量を見積ってソリトン分裂に伴う多段砂州の発生機構を考えることにする。浜田による二次干渉理論によれば、二つの自由波 $A_{01} \cos(k_1 x - \sigma_1 t)$, $A_{02} \cos(k_2 x - 2\sigma_2 t + \pi)$ が共存する場合の底面流速 u は干渉波も含めて次式の型に書けることになる。

$$u = A_{01} \sigma_1 \cos(k_1 x - \sigma_1 t) / \sinh k_1 h \\ + A_{02} 2\sigma_2 \cos(k_2 x - 2\sigma_2 t + \pi) / \sinh k_2 h \\ + B_{02} \cdot \cos 2(k_1 x - \sigma_1 t) / \sinh 2k_1 h \\ + B_{11} \cdot \cos\{(k_1 - k_2)x + \sigma_1 t - \pi\} / \sinh(k_1 - k_2)h \\ + B_{13} \cdot \cos\{(k_1 + k_2)x - t - \pi\} / \sinh(k_1 + k_2)h \\ + \bar{u}$$

ここで B_{02} , B_{11} , B_{13} は A_{01} , A_{02} および $k_1 h$, $k_2 h$ などの関数として与えられる。

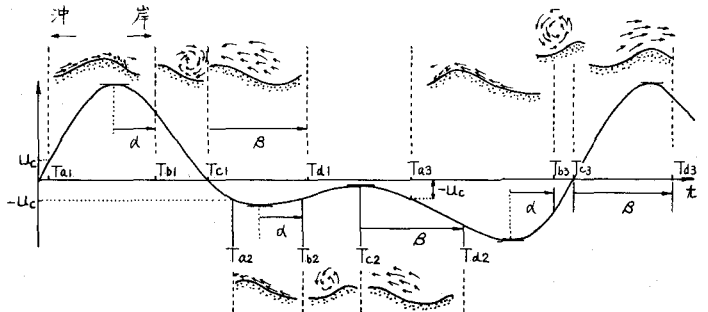


図-1 底面流速 u の変化に対する砂移動のモデル

A_{01} と A_{02} は実験結果に基づいたアーセル数の関数として与え、 $\bar{u}$ はストークス波の質量輸送速度を与えることにする。次に u_c であるが、砂の粒子が小さい場合にはモリソン公式で検討しても質量力は無視できる程度であるので、移動限界流速 u_c としては定常流の場合の岩垣公式によって求める。図-1 に示した α については砂の粒径、 u , $\frac{\partial u}{\partial t}$ 等によって変るものと思われるが、ここでは観測事実に基づき位相にして $\pi/6$ を採用してよく。 β は浮遊砂濃度の基準奥高 H_s を砂粒の沈降速度 u_f で除した値とし、 H_s は細井らの実験結果をもとにして $H_s = 0.188 (u_{max} - 10)$ から求めることにする。単位時間単位幅当りの掃流による漂砂量 q_b は Bagnold の表示法に準じて

$$q_b' = \frac{\rho}{T} \sum_i \left[\int_{T_{bi}}^{T_{ci} + \alpha} u^3 dt \right], \quad q_b = K_b \cdot q_b'$$

とし、浮遊による漂砂量 q_s は

$$q_s' = \frac{\rho}{T} \sum_i \left[\int_{T_{bi}}^{T_{ci}} u \frac{\partial u}{\partial t} dt \times \int_{T_{ci}}^{T_{ci} + \beta} \left(\frac{T_{ci} + \beta - t}{\beta} \right) u dt \right], \quad q_s = K_s \cdot q_s'$$

によって算定する。 T_{bi} から T_{ci} までの積分は渦の強さに比例した濃度を表わし、 T_{ci} から $T_{ci} + \beta$ までの積分は濃度が沈降時間 β 内に直線的に薄くなることを考慮に入れた浮遊砂量の計算を意味している。 T は波の周期、 K_b , K_s は係数である。また浮遊砂の移動距離 l_s (u を T_{ci} から $T_{ci} + \beta$ まで積分した値) が砂連のピッチ l_r より大きい時には次式によって q_s を求めることにする。

$$q_s'' = q_s' (1 + n - n(n+1) \cdot l_r / 2 l_s), \quad q_s = K_s \cdot q_s''$$

n は l_s 中に含まれる砂水んの個数である。

以上のモデルに著者らの実験条件を代入して q_b' , q_s' (また q_s'') の正の量と負の量を別々に求め、実験による岸沖漂砂量 Q_{on} , Q_{off} から K_b , K_s を算定することができる。 $Q_{on} = K_b q_b'(+) + K_s q_s'(+) + K_s q_s''(+)$ と表わすことができるので、 $K_b = (Q_{on} \cdot q_s'(-) - Q_{off} \cdot q_s'(+)) / (q_b'(+) \cdot q_s'(-) - q_b'(-) \cdot q_s'(+))$, $K_s = (Q_{on} \cdot q_b'(-) - Q_{off} \cdot q_b'(+)) / (q_b'(+) \cdot q_s'(-) - q_b'(-) \cdot q_s'(+))$ が得られる。 K_b , K_s の値は捕砂方法の精度も悪いのでかなりのばらつきがあるが、平均的にみて $K_b = 0.0013$, $K_s = 0.0005$ を採用して計算による q_b , q_s を岸向き(正)、沖向き(負)について求めたのが図-2 である。実線は掃流砂を、点線は浮遊砂を示したもので、点鎖線はそれらの和を取った正味の漂砂量である。傾向としては実験値とかなり良い一致を示していることがわかる。図-3 はこうした漂砂量の場所的変化によって多段砂州が発生することを漂砂の連続式から説明したもので、 $\partial Q / \partial x < 0$ になるような $1/2 \cdot L_{ov}$ 付近に砂州が発生することが理解できる。

参考文献 1) 田中則男: 海岸工学の観測に基づいた我が国海浜の地域区分, 第27回海岸工学論文集, 1980, 2) Short, A.D.: Multiple Offshore Bars and Standing Waves, Journal of Geophysical Research, Vol. 80, No. 27, 1975, 3) 砂村・阪東・坂川: 非対称砂州上での砂移動機構と漂砂量に関する実験的研究, 第25回海岸工学論文集, 1978.

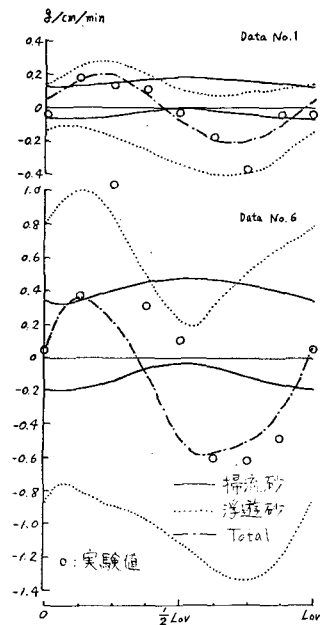


図-2 計算による掃流砂量、浮遊砂量および実験値

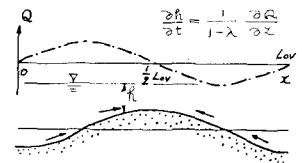


図-3 砂州の発生機構

表-1 実験条件

Data No.	水深 (cm)	波高 (cm)	周期 (sec)
1	20	6	1.64
6	30	10	2.08