

1. はじめに,

筆者は、ここ数年河口模型実験、河口に関する研究を行なってきたが、模型の現象は現地の現象とどれだけ似ているのだろうか。あるいは、ある海岸で起った現象が他の海岸に適用できるのだろうかと言う疑問にいつも直面している。海岸変形の相似性については、次元解析によって L. Reuten¹⁾, その後岩垣、野田²⁾の研究があり、両者とも変形すべし、

$$\lambda_{L_0} = f_0(\lambda_{L_0}, d_{H_0}, H_{L_0}, i_0, \tau_A, (\lambda/p - 1), \sqrt{d_m \sqrt{g H_0}}) \dots \dots \dots (1)$$

となり、平衡海抜については、実験的検討から、粘性の効果 $\sqrt{d_m \sqrt{g H_0}}$ の影響は小さく、 d_{H_0}, H_{L_0} が主は支配要素となることが判っている。

ところで海床に発生する波による ripple に関しては、堀川³⁾や Yalim³⁾の研究があるが、堀川らは ripple の波長 λ , 波高 h は、

$$\varphi_1(\lambda, \sqrt{d_0}) = 0 \quad \varphi_2(d_0/\lambda, w_0 d_m/\omega) = 0 \dots \dots \dots (2)$$

として ripple 形状を整理している。ここで、 ω_0, d_0 は底面近くの水粒子速度の振幅、および軌道長。

(2)式は(1)式の粘性項、時間項を除いた無次元量が、現地と模型で同一であっても、(2)式は成立しないことになる。このことは、(4)式によって(粘性項を落とす)模型底質材料を決めて実験を行なっても、底面近くの ripple 形状の相似性は成立せず、波のエネルギー損失などが変化することになり、一式による実験結果を矛盾しているように思える。筆者は、模型実験を行なうという実践的な要請から ripple 形状も、(4)式と同じ形で現れせぬかと考え以下のことを行なった。

2. ripple の相似性

ここでは ripple が生成し、安定な形になった場合に、どんな要因によってその形が決まるか次元解析によってさかして見る。ripple の形成に関係する要因は、流体の物理的特性 (ρ, ν)、底質の特性 (d_m, ρ_s)、底面近くにおける流れに関する特性 (d_0, ω_0)、運動の場の特性 (g)

である。よって ripple の特性 A は

$$A = f(\rho, \nu, d_m, \rho_s, \omega_0, d_0, g) \dots \dots \dots (3)$$

基本量として、 g, d_m, ρ を取ると

$$\pi_A = f(\sqrt{g d_m} \cdot d_0/\omega_0, \omega_0/\sqrt{g d_m}, S, d_0/d_m) \dots \dots \dots (4)$$

なお、粒径 d_m かわりに、沈降速度 w_0 を代用し、基本量として g, ω_0, ρ を取ると

$$\pi_A = f(\omega_0^2/g, \omega_0/\sqrt{g d_0}, \omega_0/w_0, S) \dots \dots \dots (5)$$

今 A として λ, h とし、(5)式の両辺に $(\omega_0/\sqrt{g d_0})^2$ を積すると

$$\lambda_{d_0}, \lambda_h = f(\omega_0^2/g, \omega_0/\sqrt{g d_0}, \omega_0/w_0, S) \dots \dots \dots (6)$$

$$(4)式は、\lambda_{d_m}, \lambda_h = f(\sqrt{g d_0} \cdot d_0/\omega_0, \omega_0/\sqrt{g d_0}, d_0/d_m, S) \dots \dots \dots (7)$$

となる。底面近くの流れは、ripple によって充分乱れ、流速分布は $\lambda, h, \omega_0, d_0$ によって決まり、 ν は流れの分布に関係せず、 ν の効果は小さい。粘性が関係するのは、水粒子速度と砂粒子速度の差にもとづく、抗力に関する C_0 および Basset 項であろう。もし C_0 が一定と考えらるば ν に関するパラメータを落しても良いように思える。ただ ripple の発生限界附近においては境界層の速いによる ν の影響は残るであろう。また底質材料

が非常に細かい場合にはこの効果が残るだろう。

(4), (7)を便って Inman⁽⁷⁾(砂, $d_m = 0.01 \sim 0.1 \text{ cm}$), Scott⁽⁶⁾(砂, $d_m = 0.031 \text{ cm}$), 松梨, 又味⁽⁵⁾(砂 $d_m = 0.014 \text{ cm}$), 田中, 新保⁽³⁾(石炭粉 $S = 0.5$, $d_m = 0.023 \text{ cm}$), 堀川, 渡辺, (ポリスチロール $S = 0.21$, $d_m = 0.054 \text{ cm}$) の資料を整理してみた。 W_0 の測定されていないものはルビー式より求めた。よって W_0 は 1~2 割の誤差を含むものと考えてよい。なお d_m のかわりに W_0 を取った方が暗に C_0 の変化も含みすべしであるように思える。粘性土の影響が小さいとすると (1) 式 (粘性土, 時間項を除く) が成立すれば, ほぼ ripple の相似が成立することになる。

図1は横軸に $d\%$, 縦軸に C_0/W_0 とし, 図中に記号で $C_0/\sqrt{g d_0}$ を示した。ここでは Inman の資料は示さないが, Scott の資料は少し下に, 松梨の資料は上にあるが, ほぼ一直線上に固まる。 $C_0/\sqrt{g d_0}$ の違いによる $d\%$ の変化は, ほんのりしないが, 同一 C_0/W_0 では $C_0/\sqrt{g d_0}$ の大きい方が, $d\%$ が小さくなるようだ。

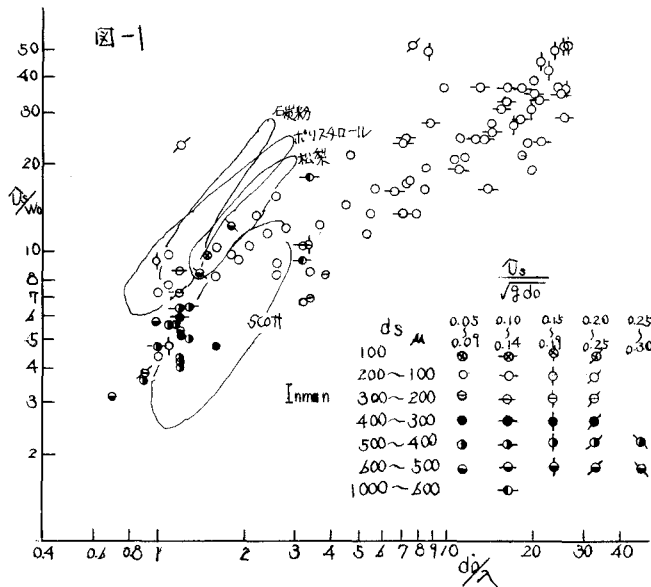
図2には横軸に λ_{dm} , 縦軸に d_{gm} を取った。これによると d_{gm} が 1000 位までは d_{gm} の増加について, λ_{dm} は増加し, ripple の波長は振幅 d_0 に追従しようとするが, d_{gm} が 1000 を越えると, 逆に λ_{dm} は小さくなる。(これは図1で $d\%$ が 2 近くから C_0/W_0 と $d\%$ の勾配が変わる原因である。) 砂粒子の方向の移動距離を ripple の波長と決めてしまうのであろう。なお d_{gm} は砂粒子を飛ばそうとする力と, それに抵抗する力の比と考えることができる。また点のばらつきが大きくなるのは $C_0/\sqrt{g d_0}$, および流速 U の影響が直接影響するためであろう。この ripple の波長が, 河床に現れる ripple の波長 λ_R とほぼ同一規模であるのは興味深い。なお河床 ripple は, 0.6 mm 以上でできず $u_{*d} < 20$ で発生し, 粘性の影響を受けると言われているが, 海床では土砂の行なった実験で 1.4 mm で現れている。筆者は河床の ripple が粒径と密接な関係のあること, dune と ripple の領域は分かれ, 水路の規模によること, dune は河床底と水面波の干渉と関係があり ripple は, 河床近くの流況特性によって決まると考えられることから, ripple と dune の領域区分は, u_{*d} , λ_{dm} , S , に関連するものと思っている。今までの実験に限られている所で行なわれ, λ_{dm} の効果を見失ったものと思われる。(大塚川では $d_{10} = 0.2 \text{ mm}$, $d_{50} = 3 \text{ mm}$, $d_{90} = 6 \text{ mm}$ の河床材料で, $H = 4.5 \text{ m}$ で $\lambda_R = 5.0$ が観測されている。dune にしては短すぎる。 $\lambda_{dm}/d_{50} = 1700$ で ripple と考えても良いと思われる。 $u_{*d}/v = 380$)

比重の効果は明確でないが, 石炭粉, ポリスチロールは, 同一 d_{gm} に対して λ_{dm} が小さいようだ。これは S の効果か W_0 の誤差かはっきりしていない。なお λ_{dm} は, 底質材料の静止した角の θ の影響が現れ, 最大 steepness は砂 $\theta = 1/5$, 石炭粉 $1/6$, ポリスチロール $1/4$ (それぞれ $35^\circ, 31^\circ, 18^\circ$ くらいである。) となった。なお石炭粉, ポリスチロールは, C_0/W_0 と λ_{dm} の図で点のばらつきが大きかった。

ripple の発生と消滅の限界には S の効果は大きく, 石炭粉の場合 $4 \sim 28$ の間にしか ripple が発生していない。(砂の場合には 25 から 50 近くまで ripple が発生している。)

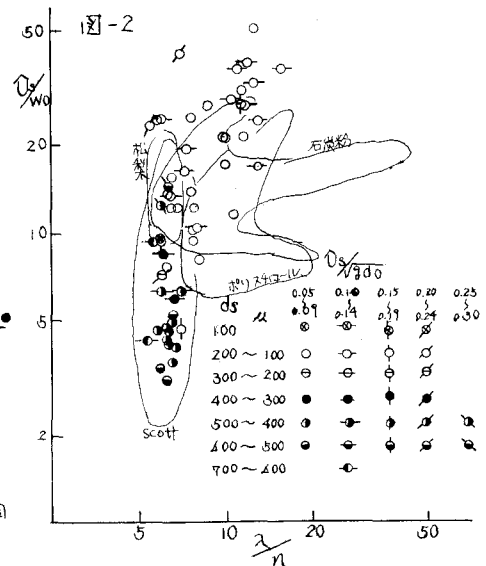
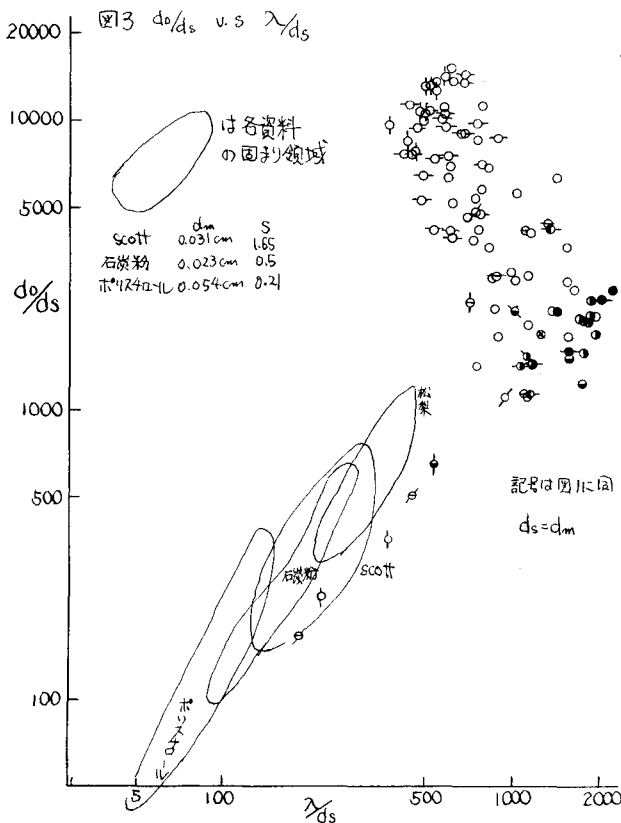
以上のことより, ripple の形状は, $C_0/\sqrt{g d_0}$, C_0/W_0 , S あるいは $C_0/\sqrt{g d_0}$, d_{gm} , S を同一にすれば, ほぼ相似な ripple 形状が成立し, 粘性の影響は二次元的であると思われる。なお S は ripple の波長にあまり大きな影響をおたえないうが, ripple の発生, 消滅限界には大きく関係し, S の小さい方が C_0/W_0 が小さい値で消滅する。これは, S の小さい方が, 相対的粒子の突出高が大きくなり, 底面に働く力が入り, ripple の消滅が早くなるものと考えられる。

底面の境界層が乱流の場合, ripple は移動限界を越えたとすぐ発生することが知られている。このことは, ripple の発生限界を支配する無次元パラメーターとして, 移動限界を支配する無次元パラメーター $S_{dm} \tan \phi / C_0$ と $C_0/\sqrt{g d_0}$ を考えれば良いだろう。 $S_{dm} \tan \phi / C_0 \rightarrow (W_0/\rho)^{1/2} \tan \phi$, $C_0/\sqrt{g d_0} \rightarrow (C_0/W_0)^{1/2} (\sqrt{g d_0}/C_0)$ S となり, C_0/W_0 , $\sqrt{g d_0}/C_0$, S を同一とすれば ripple の発生限界は同一となる。境界層が層流の場合には S を含んだ無次元が必要であろう。消滅限界も C_0/W_0 , $\sqrt{g d_0}/C_0$, S を同一にすれば良いと考えられる。



参考文献

- 1) Rector, R.L: Laboratory Study of Equilibrium Profiles of Beaches, Beach Erosion Board, T. M. No 41, 1954
- 2) 岩垣, 野田: 海岸変形実験における縮尺効果の研究; 第8回海講 1961
- 3) 田中, 新保: 移動床模型実験用底質材料としての石炭粉の特性について, 港湾技術報告 Vol. 12, No. 1, Mar, 1978
- 4) 堀川, 渡辺: 波による砂移動に関する一考察, 第13回海講 1966
- 5) 松本, 大味: 波による底質の変形について; 第11回海講 1964
- 6) Scott: Sand Movement by Waves, Beach Erosion Board Tech. Memo No 48



- 7) Inman, Wave-generated Ripples in Near shore Sands, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 100, 1957
- 8) Yalin: Similarity in Sediment Transport due to Waves, Proc. of 8th Conference on Coastal Engineering 1963
- 9) Honma, Horikawa: Suspended Sediment due to Wave Action; Proc of 8th Conference on

Coastal Engineering 1963

10) 水理委員会移動床流の抵抗と河床形状研究小委員会; 移動床流における河床形態と粗度, 工本学会論文集 No 210 1973-2 11) 水理公式集 P199