

建設省工本研究所鹿島試験所 正員 山本晃一
、 〇野積 尚

1. はじめに、

前年度の報告において、筆者は海波形状を決める無次元量を同一とすれば、そこに生じる ripple 形状も、ほぼ相似した形になることを述べた。最終海波形状は

$$\lambda/L_0 = f(\lambda/L_0, H/L_0, \sqrt{gH_0}/W_0, S, \frac{\sqrt{D}H_0^2 g^{3/2}}{W_0^2}, i_0) \quad \text{----- (1)}$$

によって決まり、ripple 形状を決める無次元量は、

$$\lambda - \varphi(\bar{U}_s^2/g, \bar{U}_s/\sqrt{gd_0}, \bar{U}_s/W_0, S) \quad \text{----- (2)}$$

で決まる。ここで粘性項は二次的であり、この時には、一式が成立すれば、二式も成立する。ここで W_0 は波降速度、 $\bar{U}_s$ 、 d_0 は境界層外縁の最大水粒子速度および軌道長である。本報告では、ripple と二次元的海波変形についてより詳しく述べる。

2. 砂の移動方向と海面変化、

まず始めに質量輸送速度の分布形について考えてみよう。Longuet-Higgings の理論、Eagleson, Dean の実験、野田の乱流境界層の理論によると、有限な二次元水路、一定水深では底面が flat な場合、底面近くの質量輸送の方向はすべて岸向きとなる。底面が flat で傾斜床の場合、(文献 i) $i_0 = 1/24$ 、筆者の実験 ($i_0 = 1/30$) 図 1 のように碎波点より沖側で、底面近くは岸向きである。

ところで図 1 に示すような質量輸送パターンは海床に ripple などが存在する移動床でも生じるのだろうか。筆者の観測、Scott の観測例によると、種々の質量輸送パターンがあるが、基本的には三つの型に分けられよう。

I 型、底面には ripple は存在しないか、あっても、ripple 波形状配 λ/L_0 が小さい場合で、 $\sqrt{gH_0}/W_0$ ($\bar{U}_s/W_0$) が小さい場合である。

このような場合には、ripple による渦の発生は無く、平坦河床の場合と同様な質量輸送の分布となる。なお砂 ($S=1.65$) の場合、ripple が発生すると、 λ/L_0 が大きいため、次の II 型に入ってしまう、ripple の発生しない場合のみに限るようである。

II 型、 $\sqrt{gH_0}/W_0$ が少し大きくなると、底面には明確な ripple が生じ、碎波点より少し沖側では、岸側に急斜面を持つ ripple が生じ、岸側の急斜面のみ、および岸側の方が強い渦を生じ、底面の質量輸送は沖を向き、ripple は岸向きに前進する。ある程度水深の深い所では、ripple はほぼ対称な形であり、 $\bar{U}_s/W_0$ が小さい時は、まだ flat であり、大きくなると尖がってきて両側で渦が発生する。この場所では底面の質量輸送速度は岸向きであり、ripple の移動速度は遅く、どちらかという沖向きである。

III 型、 $\sqrt{gH_0}/W_0$ が大きくなると碎波点より少し沖側では、ripple は頂部が平らになり、両側に渦を生じたり、ripple 全体が左右に振動するようになり、渦の発生は無くなる。より $\sqrt{gH_0}/W_0$ が大きくなると、ripple は消滅してしまう。このような場合の質量輸送の方向は岸向きとなり、ripple の動きは小さいが沖を向く。

このように質量輸送の方向、ripple の移動方向、工砂移動方向は、底床 ripple の形状と関連性があり、ripple が、ほぼ対称な形をしている場合には岸向きに流れ、非対称な場合には ripple の二つの斜面の内、急勾配の方から流れる。この ripple の非対称性は、底面近くの水粒子の往復運動の非対称性と深い結びつきがある。

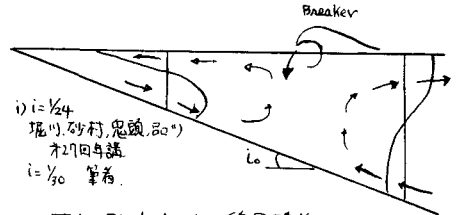


図 1 Flat bed の質量輸送

り、岸向きの方が速いと、ripple は岸側のエッジ勾配が急になり、それによって片側のみで渦の発生が見られるようになる。渦の発生するのは急勾配の斜面の側であり、この渦の発生が、水粒子の行きと帰りの移動距離を異ならしめる。つまり岸向きの流いの時、水粒子は渦にはまきこまれ、岸側に近づく。これが、岸側の斜面でより強い渦が生じる場合、底層で質量輸送速度が沖を向く原因である。なお水粒子の非対称的運動は、波が岸に近づく、水深の影響を受け、微小振幅波から、有限振幅波に変わるために、岸向きの方が速くなり、エッジ斜面はこの効果を強めているからと思われている。

次に砂の移動について述べてみよう。碎波点より少し沖側の場所では、 U_0/W_0 ボトマイ内は、砂移動は掃流型であり、岸向き強い水粒子運動によって、岸向きに動きの方が多く、ripple も岸向きに前進する。(Scott の実験範囲 $\sqrt{gH_0}/W_0 = 15 \sim 25$ では、ripple の前進速度は、岸向きと沖向き水粒子の速度差が大きいほど速い。) このため初期形状も直線的に整形していったら、碎波点の沖側は侵食され、前波の方へエッジ移動を生じせしめる。ただしエッジが極端に入き場合には、底層移動に斜面方向の重力効果を受け、碎波点の背後に堆積する。 U_0/W_0 が大きくなると、浮遊砂が多くなり、渦による斜面上の砂の Lift up によって ripple の前進速度は遅くなるようであり、浮遊した底質は質量輸送に乗って沖に向かい、沖向きのエッジ移動量が多くなる。しかも碎波点の背後は、エッジが堆積するようになる。より U_0/W_0 が大きくなると、質量輸送がⅢ型に入り、エッジは碎波点方向に運ばれるようである。

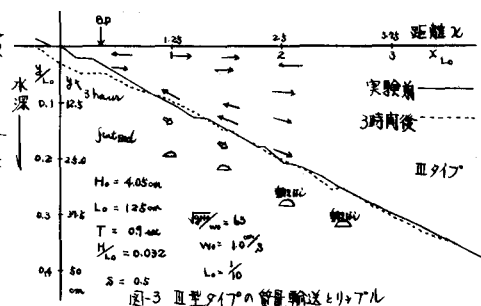
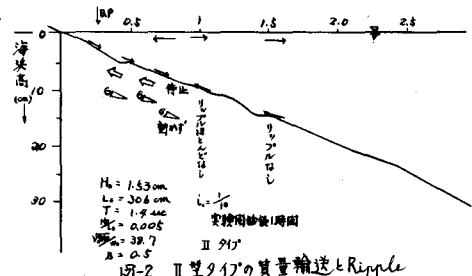
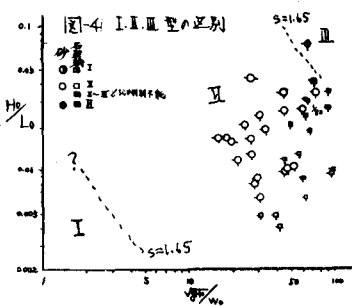


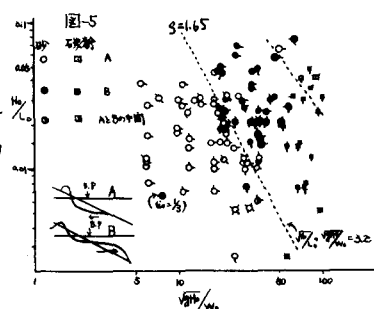
図2にⅡ型の例、図3にⅢ型の例を示した。また質量輸送のパターンを決める無次元量は(1)式で良いと考えられ、また粘性項、およびはみより大きな影響を及ぼさないとされているので、 H/L_0 と $\sqrt{gH_0}/W_0$ で整理したのが、図4である。これによると同一 H/L_0 に対して S の小さい石炭粉は、小さい $\sqrt{gH_0}/W_0$ でⅢ型に入る。これは石炭粉の方が、ripple が flat であり、エッジ ripple の消滅限界の $\sqrt{gH_0}/W_0$ が砂より小さいためである。図5には、碎波点の背後でけずらるA型、堆積するB型を同様に H/L_0 、 $\sqrt{gH_0}/W_0$ で示した。A型とB型の境界は $\sqrt{H/L_0} \cdot \sqrt{gH_0}/W_0 = 3.2$ (砂の場合) となる。同一 $\sqrt{gH_0}/W_0$ に対して H/L_0 が大きくなると底面の U_0/W_0 が増し、底質がより動きやすくなっているのが、この傾きの原因である。



また H/L_0 が 0.04, $\sqrt{gH_0}/W_0$ が 80~100 でAタイプが現われている。これは質量輸送がⅢ型に入っているからであろう。

3. 反射波による Bar と ripple

反射波によって波長 $1/2 L_0$ の Bar が発生する。この Bar の発生を flat bed の質量輸送速度より求めようとした研究もあるが、これも ripple が発生すると問題が多い。Bar 頂の発生地点は、ripple が発生しているような場合で、 U_0/W_0 が小さい時には掃流型でエッジが削れ、腹の部分は U_0/W_0 が小さいので底層が動かず、取り残された山形となり、背より Bar 頂が低い山を作る。多く U_0/W_0 が大きくなると腹の部分の底層も動き出し、山が低くなり、背のみに Bar 頂を作る。これはより U_0/W_0 が大きくなると

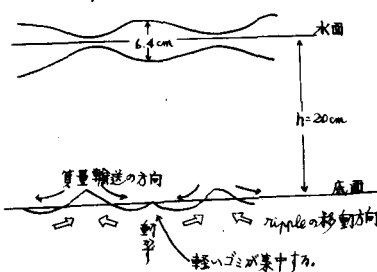


汚濁物が多くなり、また ripple も消滅し始め、底面水粒子の動きの少ない、腹の部分に沈積するようだ。なお水粒子は岸に向う時の方が、腹に向う時より速く動き強い渦を生じている。この原因ははっきりしないが、有限振幅波の二次のオーダーの項が原因するものと考えられる。

4. 波による底質のふるい分け作用と ripple

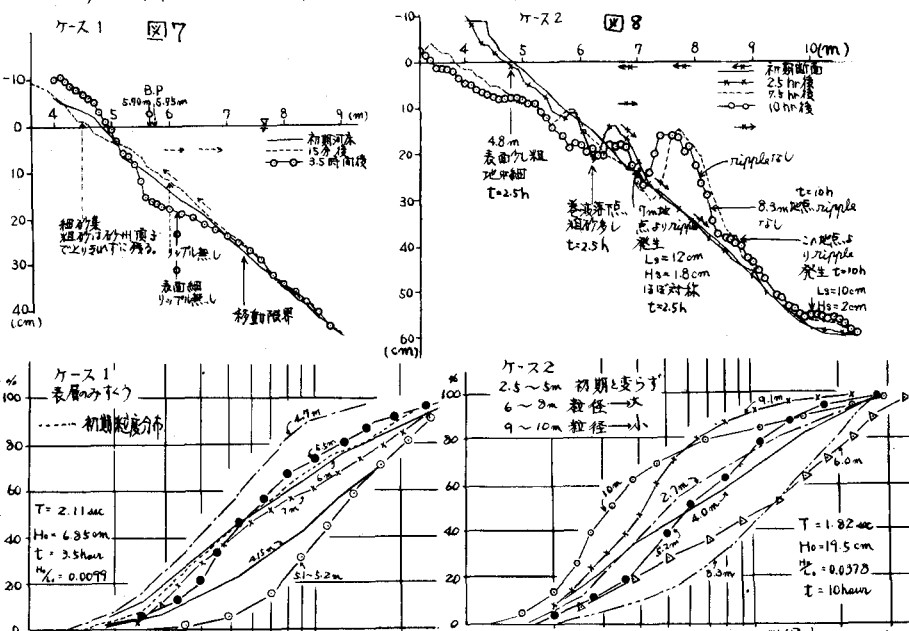
混合砂の波によるふるい分け作用を、flat bed の質量輸送分布より説明しようとする。Eagleson 的考え方に問題が多いことは前述したとおりである。そこで2ケースはかり実験を行って、どのような現象が生じるの観察してみよう。混合砂の場合、粒子径ごとに、水粒子に対する応答特性が異なるため、ripple は発生しにくく、ケース1の場合には、砂粒子が活発に動いていくが ripple が発生せず、I 型の質量輸送パターンとなる。この場合、碎波点より沖側は、粗砂によって徐々におおわれ、粗砂は、細砂が動いてしまうと、砂面より突出高が高くなり動きやすくなるため、細砂と同様に岸向きに運ばれ、前波では、水路幅 80cm 内で碎波点と汀線間で循環流が発生し、その方向が変わるため、粗砂と細砂が層状になる。ケース2の場合、波高を大きくし、粗砂が ripple が発生し、5時間目の観測では、I 型の質量輸送パターンとなる。次に観測した 7.5 時間目には海床が大きく変わって、8.3m まで ripple は無く、そのより沖で ripple が発生している。実験設備の関係と水深 40cm 以上の質量輸送は観測しえず、どのようなパターンかの判断ができなかった。底質材料は、9, 10m では、粒径が増し、粗砂は質量輸送に乗り出し、粗砂は、運ばれず、砂州部に残ったものと思われる。以上の結果は底質のふるい分け現象に対しては

石炭粉 $W_0 = 10 \text{ cm}$
 図1-6 $H_{max} = 6.4 \text{ cm}$
 $h = 20 \text{ cm}$
 $T = 1.14 \text{ sec}$
 ほぼ完全反射
 ripple の発生あり



ripple の発生とその形状が重要な factor であることを示している。

5. 離岸流と海底地形
 離岸流のパターンも小波に波向きを加え、小波で表わせるものと思われる。筆者は干代川、手取り等の河口模型実験を行ない、そこで生じる離岸流を観察したが、二、三注目している方が良い現象を報告しておく。
 $\sqrt{gH_0}/W_0$ が小さい時は、



beach caps を生じ、凸部にはいどが波は凹部に流れて、石炭粉で行なった場合は $\sqrt{gH_0}/W_0$ が大きく、large scale の循環流が生じる。離岸流と波の干渉は強く、波峰はたぐい、工砂は離岸流部に堆積するようである。離岸流部ははいるという他の観測結果もあり、離岸流と海底変化の関係は、 $\sqrt{gH_0}/W_0$, H_0/L_0 によって変わるものと思われる。また観測時が形成時、それとも予備状態でも異なるであろう。機会があれば実験的に検討してみたい。参考文献の山本、野積、海床変形の相似性に関する研究、工本研究所資料 975号 3) Saville, 岩垣、野田、Nayak, 田中新保、須賀、末吉、尾崎, I.J. PoPoV i M. watts i Eagleson 等の論文。