

建設省土木研究所 正会員 土屋 昭彦

建設省土木研究所 正会員 石崎 勝義

建設省土木研究所 岡沢 邦明

1. まえがき 最近 Sand Wave の発生機構や性質についての研究が盛んにすすめられている。

Sand Wave のうち ripple についてはそれが管内や砂漠でも出来る等の理由で表面波とは無関係と思われるが、Fr 数の大きい流れにおいて生ずる Sand Wave についてはその形態や波長を定める要素として表面波が関与しているものと思われる。このことは砂堆の周波数スペクトルについての「一三乗則」が水流との interaction の強い領域では一三乗則に移行するという事実(日野 1968¹⁾)にほってあらわれている。表面波を考えに入れて現象をモデル化しようとする試みは Anderson, Kennedy が Sand Wave の発生限界や形態について、著者らが砂堆の波長について²⁾、田中³⁾が蛇行の波長について行っており現象を説明することにはかなり成功している。しかしこれらの考え方には現状では仮説的な色合いも残っているのと実験に表われる事実と比較しほがその適用性を検討して行かなければならない。

前報においては、砂堆の波長はそれに伴って生ずる水面の波による流砂量の縦断方向変化の波長と一致する必要があるとして次のような関係を求めた。

$$Fr = \sqrt{\frac{1}{Kh} \tanh Kh} \quad (1) \quad Fr = \sqrt{\frac{2}{Kh} \tanh 2Kh} - \sqrt{\frac{1}{Kh} \tanh Kh} \quad (2)$$

$$Fr = \sqrt{\frac{3}{Kh} \tanh 3Kh} - \sqrt{\frac{2}{Kh} \tanh 2Kh} \quad (3) \quad \text{ここに } K = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \begin{array}{l} \lambda: \text{砂堆波長} \\ h: \text{平均水深} \end{array}$$

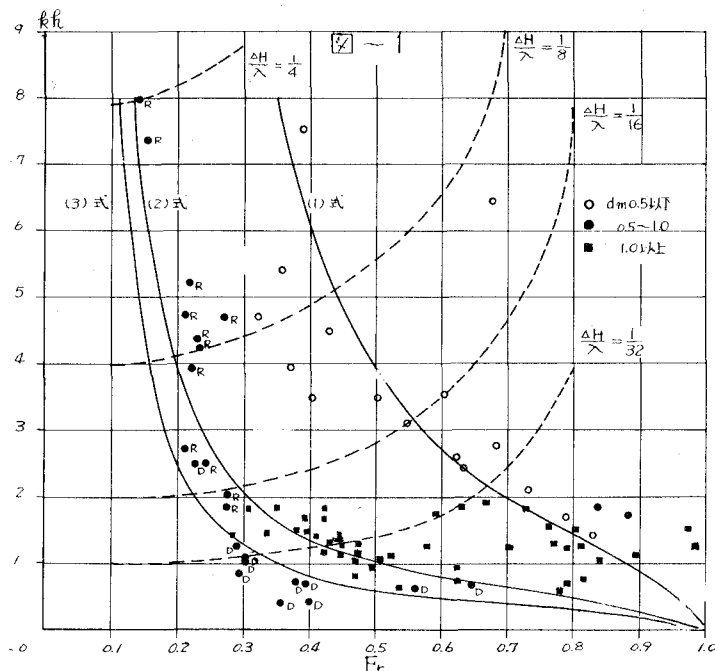
(2) は砂堆波長を基準として 1/2 波長の水面波が合成されたとき、(3) は 1/2 波長と 1/3 波長の水面波が合成されたときに求められる関係である。

これを図示したものが図-1 である。

著者らは今回砂堆の形状とその上を流れる水の表面形状を縦断方向に測定して表面波の存在をたしかめ、その性質を調べたので以下に報告する。

2. 実験装置と方法

実験水路は長さ 40m、幅 0.7m の鋼製(側面がスズ張り)水路で測定区間を 14m とした。河床



には約3mmのほぼ一様砂を約20m区間にわたって敷いた。

実験は流量を110.75ℓ/sとして勾配をかえて次の4caseを行った。

Case	勾配	平均水深 cm	Fr
1	1:100	17.5	0.67
2	1:200	17.1	0.71
3	1:300	19.0	0.61
4	1:400	21.8	0.49

河床及水面の測定は音響測深器と流れ方向に移動させて行った。

移動の速度は18.65cm/secに統一した。

測定値はペン書きシログラフに書き読みとり間隔3cmで自己相関係数を算出した。

3. 実験結果と考察

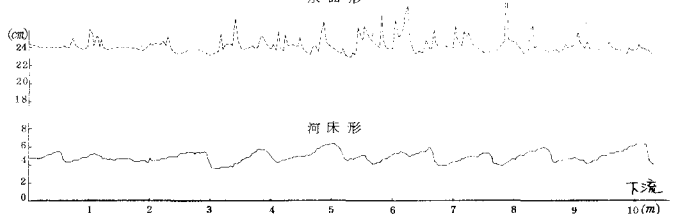
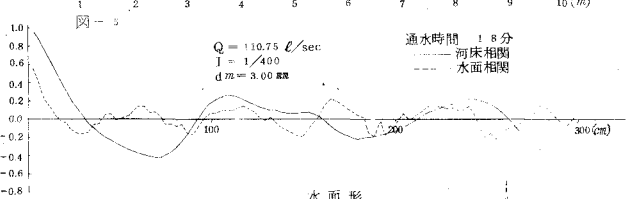
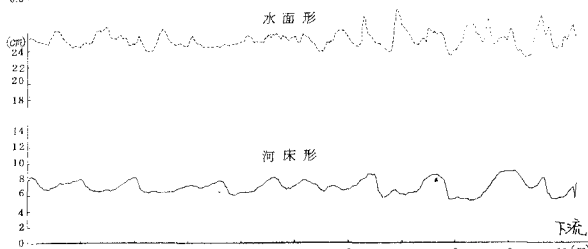
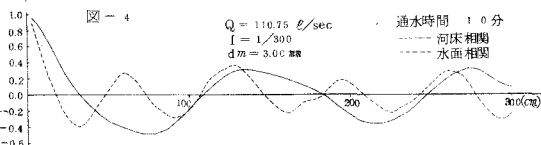
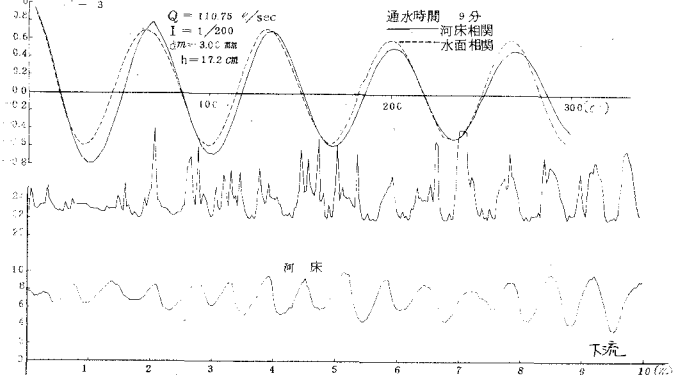
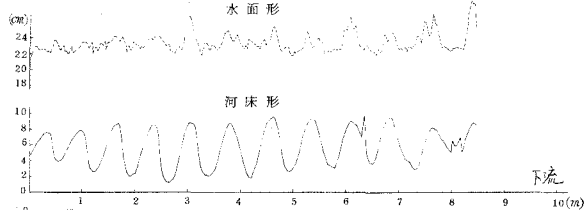
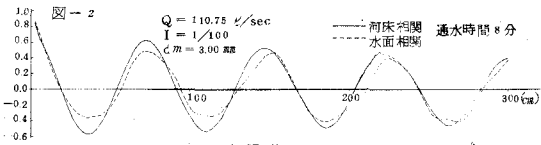
図2～5は各caseの河床形、水面形、相関係数を図示したものである。

式(1)～(3)より砂堆の波長を求めると下のようになる。

表 1

Case	実測値 (cm)	計算値 (cm)		
		式(1)	式(2)	式(3)
1 (8分)	72	51°	157	275
2 (9分)	70	56°	178	287
3 (10分)	140	45°	147°	265
4 (13分)	110	33°	127°	220

実測値と計算値を比較すると、case 1, 2は式(1)によって説明される。これは砂堆1波長に表面波が1波長存在する場合とあって図2, 3はそうになっている。Case 3, 4は式(2)によって説明される。これは砂堆1波長に表面波が2波長存在する場合とあって図4, 5はそうになっている。



る。

次に図-6はCase 4の実験の各時刻における砂堆の山の位置を示したものである。この図で実験開始後30分及90分のときの波長を見ると30分後の場合大部分は式(2)の計算値で説明され、上流側に式(3)で説明されるものがある。

90分後の場合は殆んど式(3)で説明される。図-7は30分後の相関係数であって大抵砂堆1波長の中に水面波が2波長とになっているがときどき数波長含まれる場合があらわれる。式(3)のときは1波長見られるはずであるから興味深い。図-8は90分後の相関係数であって全体に相関がはっきりしなくなっているが94分と97分で波長、97分で数波長(6波長?)となっており式(3)の場合の傾向を見せている。

以上河床と水面形の実測値と前報で導いた着者の考え方に沿ってみたが、砂堆の波長の大きさと砂堆波長・水面波長の関係とをかなり説明できるように思われる。

次に図-9はCase 3の実験の開始直後の相関である。通水1分後の河床を見ると波長50cm程度の波が認められる。これは式(1)で説明される波長である。しかし砂堆の発達とともに波長が大きくなり式(2)で説明される波長に移行してゆく。この点は次に述べるように砂堆の波長が砂堆の高さの影響も受けることと関連しているものと思われる。なお1分後の水面相関に卓越した波長がみられないがこれは流れが等流になっていないことを反映したものである。

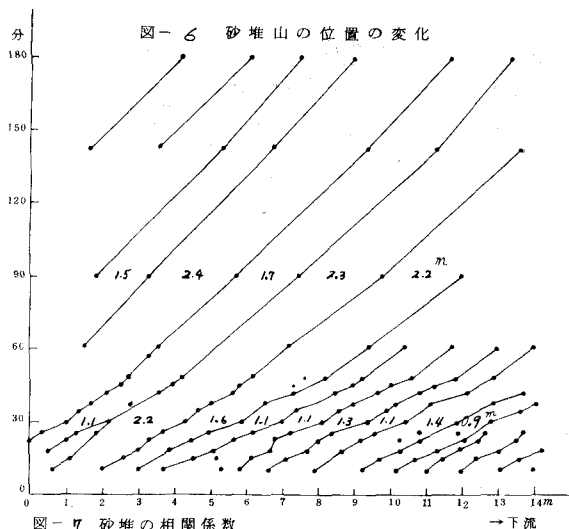


図-7 砂堆の相関係数

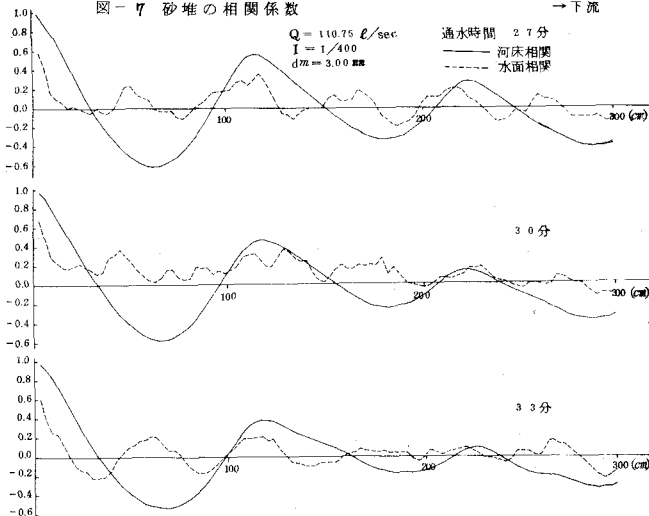
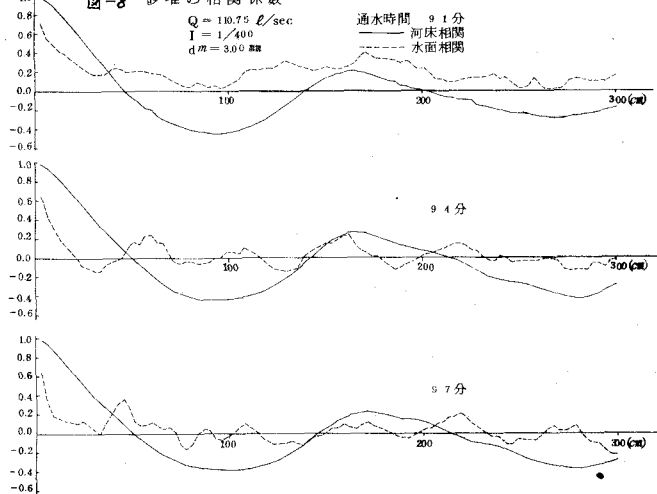


図-8 砂堆の相関係数



4. 砂堆波長の限定条件

以上の検討から今回の実験では砂堆の波長は式(1)~(3)のいずれかで説明できることがわかったが、どの式のいずれが適用されるかを定める条件は何であろうか。図-1を見るとFr数が大きいときは式(1)が適用されFr数が小さくなるに従って式(3)に移行してくるように見える。式(1)~(3)で求められる波長はいずれもFr数の減少とともに小さくなる。そこでこの現象は砂堆の波長が一定値以下にばらぬようにする制約が存在していることを予想させる。実験では大きい砂堆の下流の砂堆が次第に小さくなってゆくことがときどき見られる。そこで流れ方向に連続する砂堆の相互影響を考えてみよう。

足立の行った槽粗度の実験によるとその影響の度合は槽間隔と、槽高さとを h とすると h/λ で表現される(1964⁴⁾)。これと今回の砂堆にあてはめてみると影響の度合を示す表示量として $\Delta H/\lambda$ が考えられ、砂堆の波長は $\Delta H/\lambda$ が一定の値以下になるように制約されていることが予想される。ここに ΔH は砂堆の波高であって前報によって次のように与えられ、係数 β は実験値よりほぼ0.9に等しいことがわっている。

$$\frac{\Delta H}{h_m} = Fr^2 \left(1 - \frac{1}{\beta^2}\right) + 2(1 - \beta) \quad \text{ここに } h_m \text{ は平均水深} \quad (4)$$

そこで $\Delta H/\lambda = C$ (C は定数) という条件と図-1のFr- h/λ 平面に移しかえたと式(5)のようになる

$$h/\lambda = \frac{\Delta H}{\lambda} \frac{2\pi}{Fr^2 \left(1 - \frac{1}{\beta^2}\right) + 2(1 - \beta)} \quad (5)$$

式(5)と $\Delta H/\lambda$ とパラメータとして表示すると図-1の点線の如くなる。砂堆の波長を制約している $\Delta H/\lambda$ の値を図からみると必ずしも一定にないが $C=1/6 \sim 1/32$ 程度となる。これは足立の実験で孤立粗度流から不完全干渉流に移行する領域であつた納得のゆく限界条件と言えよう。

おわりに

以上の検討から表面波の性質はいくらか明らかにしたが、更に管内のように表面波が存在しないときにどのような砂堆が生ずるかの等の検討をすすめて行きたいと考えている。

文献

- 1) 日野幹雄「砂波スベクトルの平衡領域について」東京工業大学土木工学科研究報告No.4 (1965)
- 2) 土屋・石崎「Sand Waveに関する研究—砂堆の形状について—」第11回水理講演会 (1967)
- 3) 田中祐一郎「Sand Wave上の流れについて」京科大学防災研究所年報第11号 (1965)
- 4) 足立昭平「人工粗度の実験的研究」土木学会論文集第104号 (1964)

