

岸・冲向き漂砂に関する実験的研究

野田 英明*・松原 雄平**

1. 緒 言

汀線に直角な方向の漂砂に関する研究は、沿岸漂砂の研究とともに、海浜変形の予測に不可欠な問題であり、これまでも数多く行われている。しかし、砂移動機構がきわめて複雑なことから、不明の点も多く、主として実験的に研究が進められてきた。従来より水平床上の漂砂量を測定するためにはサンドトラップ（捕砂箱）を用いる方法が採用されてきた。この方法を用いた研究例としては、King¹⁾、Inman ら²⁾、富永・橋本³⁾、砂村ら⁴⁾を挙げることができよう。しかし砂の移動場の中にトラップを設置することは、砂の移動に何らかの影響を与えると考えられるにもかかわらず、サンドトラップに代わる高精度の測定機器を欠いていたため、その測定法の有効性についての検討はなされぬままにサンドトラップが漂砂測定に採用されてきた。本研究は、われわれが開発した測深器を用いてサンドトラップによる測定法の有効性について実験的に検討した結果を報告するものである。

2. 実験装置および方法

実験装置：実験は長さ 18.1 m、幅 0.5 m、深さ 0.6 m の 2 次元波動水槽を図-1 に示すように、3 mm 厚の鉄

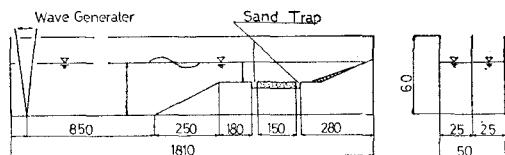


図-1 実験装置

板で支切り、片側 25 cm 部分を用いて行なった。水槽一端にフラッター式造波機、他端に 1/10 勾配の斜面を設置し、碎石を敷いて消波工とした。その斜面のほどに高さ 25 cm、長さ 4 m の水平床を設け、その一部に深さ 5 cm、長さ 190 cm にわたって段落ち部を設けた。その両端 20 cm をサンドトラップとし、そのサンドトラップ間 150 cm に砂を敷きつめて移動床とした。また、トラップ

により渦が発生するのを防ぐため、半径 5 cm の塩化ビニール管を四分割し、砂床端に設置した。実験に使用した砂は、比重 2.65、粒径 0.3 mm の天然砂である。海底形状の測定には、抵抗式砂面測定器を用いた。これは測定器のセンサー先端と、砂床面との間の電気抵抗が両者の距離により変化する特性を利用し、砂床面の凹凸を測定しようとするものである。実験では測定器を台車に搭載し、水槽方向に自走させることで、連続的な海底面の形状を、砂床面を乱すことなく測定できた。

実験方法：砂床面上に凹凸が見られなくなるまで注意深く砂面を整形した後、一定の特性をもった波を作用させ、砂れんを発生させ砂れんが安定した後、一定時間造波し、その間にサンドトラップにたまった砂の量から移動量を算定し、移動方向を判定した。同時に測定前後の砂床面形状を測深器を用いて測定し、その形状の差から砂の移動量を求めた。

実験条件：実験は表-1 に示すように波の周期 $T=1.71 \text{ sec} \sim 0.80 \text{ sec}$ 、水深 $h=15 \text{ cm}$ 、沖波波高 $H_0=1.32 \text{ cm} \sim 6.60 \text{ cm}$ の範囲で行なった。

表-1 実験条件

Run No.	T (sec)	H_0 (cm)	r (%)
1	0.74	1.32	8
2	0.64	2.70	4
3	1.03	2.70	4
4	0.80	3.08	6
5	0.91	5.23	7
6	0.87	5.82	6
7	1.64	5.50	5
8	1.13	6.62	5
9	1.46	5.50	14
10	1.64	5.50	6
11	1.13	6.62	8
12	1.71	5.89	9
13	1.43	6.49	16

(r : 反射率)

3. 実験結果および考察

サンドトラップによる測定法の長所は、比較的簡単な装置で、砂の移動量および移動方向が測定できることにあるが、著者らは、その測定法の再検討の第一段階として傾斜床を用いた海浜変形の実験結果と、水平床上での

* 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 鳥取大学助手 工学部土木工学科

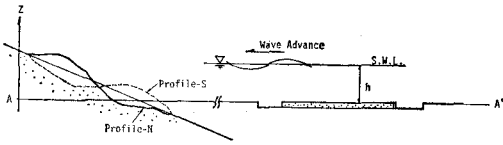


図-2 実験装置の縦断面

砂の移動方向を比較した。図-2 に示すような海浜に、一定条件の波を長時間作用させた場合、海浜は実線あるいは破線で示されるような形状を呈する。そこで、水深 h の位置で、水平方向に切断した $A-A'$ に移動床を設け、実験を行えば、破線 (S 型) の海浜形状を発生させる波であれば、水平床では冲向きに砂は移動し、沖側のトラップに、より多くの砂がたまると考えられる。一方、実線 (N 型) に対応する波であれば、岸向きに砂は移動し、岸側トラップに多くの砂がたまると考えられる。著者らが、過去に行なった海浜変形の実験と同一条件の Run 1 から Run 8 までの 8 ケースについて水平移動床の場合と比較した。その結果をまとめると以下のようである。(1) Run 1 から Run 4 までは傾斜床において水深 15 cm の場合、砂の移動限界水深を超えており、砂は動いていない。一方、水平床上でも砂の移動は見られず、両者の結果は一致した。(2) Run 5, Run 7 については、砂の移動方向は両結果とも冲向きとなり一致した。(3) Run 6 では、傾斜床では砂は冲向きに移動したが、水平床上では砂は移動しなかった。また、Run 9 の場合、傾斜床での砂の移動方向は岸向きであるにもかかわらず、水平床上での測定では砂の移動方向は冲向きとなった。以上のように、海浜形状から予測される砂の移動方向と水平床でのサンドトラップによる砂の移動方向とは、かならずしも一致しないことがわかった。傾斜床と水平床では砂粒におよぼす重力の影響が異なると考えられるので上述の結果についてはなお、詳細に検討する必要がある。

つぎに、測深器を用いて砂面形状を測定し、移動床の形状変化による砂の移動量とトラップによる採取量との比較ならびに砂の移動方向について考察した。まず、砂れん安定時を $t=0$ として砂床面形状を測定し、 t 分後に測定した砂床面形状との形状差を求めて砂の移動量を算定した。このとき、 t 分間に砂が堆積した場所の面積を正とし、逆に侵食された場所の面積を負とした。このようにして得られた面積から、単位時間当りの砂の移動量が得られ、さらに、漂砂の連続式を用いて漂砂量を算定した。すなわち、いま汀線と直角方向に x 軸、鉛直方向に z 軸をとると、岸・沖方向の単位幅、単位時間当りの漂砂量 $q(x)$ は、

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{1}{(\lambda-1)} \frac{\partial q}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。ここに λ は砂の空げき率を 100 で割っ

た値である。式 (1) を岸向きを $x>0$ にとり、0 から x まで積分すると

$$\int_0^x \frac{\partial z}{\partial t} \cdot dx = \int_0^x \frac{1}{(\lambda-1)} dq$$

なる、この式を差分表示すると

$$(\lambda-1) \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\Delta z}{\Delta t} i \Delta x - q_{x=0} \right\} = q(x) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。データの解析に際しては、 $\Delta x=0.45$ cm, $n=330$ とした。したがって Δt 時間内の砂床の変化量 Δz と、沖側トラップに採取された砂量を $q_{x=0}$ として与えれば、漂砂量 $q(x)$ が算定される。また式 (1) は、 $\partial q / \partial x > 0$ すなわち岸向きに漂砂量が増加する場合、 $\partial z / \partial t > 0$ となり砂床面が低下することを示している。一方 $\partial q / \partial x < 0$ の場合、岸方向に漂砂量が減少し、 $\partial z / \partial t > 0$ となり、砂が堆積することになる。Run 9 の場合を例にとって、海底移動量から求まる漂砂量とサンドトラップにより測定された漂砂量を比較して示したのが 図-3 である。図中、黒丸印および半黒丸印は、それぞれ岸側トラップと沖側トラップで測定された漂砂量で、砂の乾燥重量を、砂の真比重、および $(1-\lambda)$ で割り、単位時間、

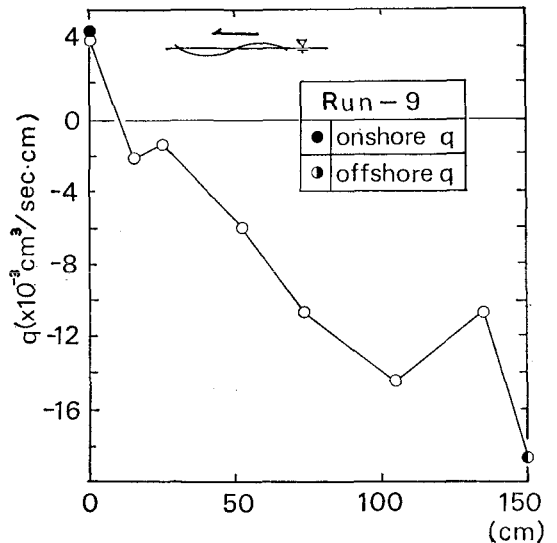


図-3 漂砂量の場所的変化と捕砂量 (Run 9)

単位幅あたりで示したものである。この図から沖側のサンドトラップで捕砂された砂量と、砂床面の測定にもとづいて算定された岸側端における漂砂量はよく一致し、サンドトラップによる漂砂量の測定が有効であることがわかる。さらに、連続式の関係から、両トラップの近くで大きく侵食されること、砂床中間域での侵食は、それほど激しくないことがわかる。ただし、水平床でも場所によってかなり漂砂量が異なるようである。図-4 は Run 11 に対する、同様の結果を示すものであるが、これからわかることはつぎのようである。すなわち、

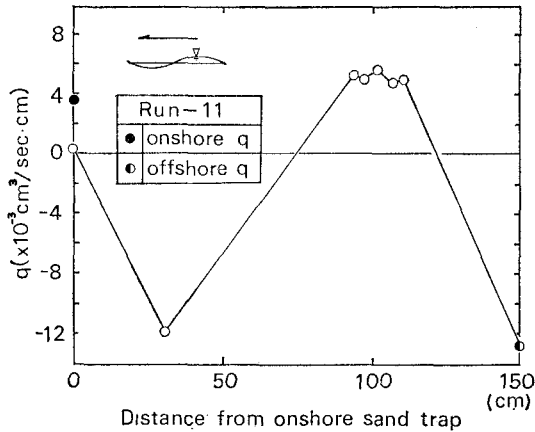


図-4 漂砂量の場所的变化と捕砂量 (Run 11)

(1) サンドトラップにより測定された漂砂量と海底地形の差から求まる漂砂量は、ほぼ一致している。
 (2) サンドトラップにより測定された砂の正味の移動方向は沖向きとなるが、漂砂量の場所的な変化をみれば、砂床端付近では、 $\partial q / \partial x > 0$ となっている。一方、砂床中央付近では $\partial q / \partial x < 0$ となり、場所的に砂の移動情況が極端に異なることがわかる。このような砂移動は、サンドトラップによつては、とうてい知ることはできず、トラップによる測定法が、かならずしも満足すべき方法であるとはいえない。以上の結果、水平床でも漂砂量がかなり場所的に変動していることがわかった。その原因の一つとして部分重複波を考えたが、反射率は、Run 9, 13 を除き、いずれも 10% 以下であり、有意義な影響はないことがわかった。Bijker⁵⁾ は、同様の実験結果について、2次波峰が、その原因であるとしている。彼は、図-5 に示

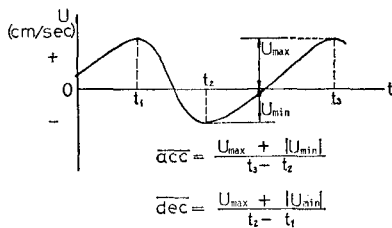


図-5 岸・沖方向の加速度の定義

すような水平水粒子速度の測定記録から、岸向き、および沖向きの加速度、それぞれ $\overline{acc}$, $\overline{dec}$ を定義し、その両者の差、 $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値および漂砂量の場所的な変化に、対応関係を見出している。そこで、Run 9 の条件で、波形の場所的变化、および水平水粒子速度の測定を行なったところ、波形からは明瞭な2次波峰が観察された。また、流速の測定記録から調和解析を行い、流速の1次成分 u_1 、2次成分 u_2 を求め、漂砂量、 $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の算定値とともに示したのが図-6である。この図から、漂砂量および $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値の場所的变化は、同一の

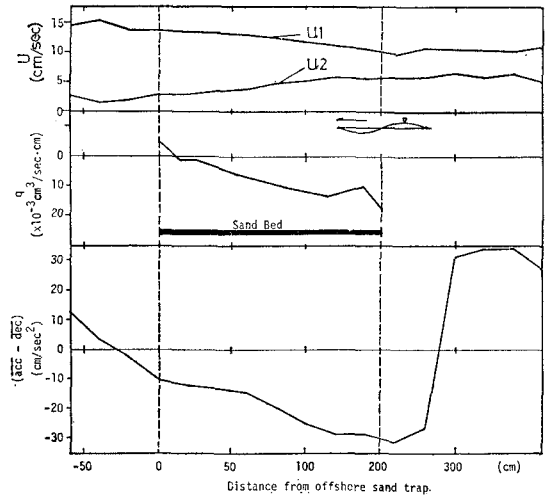


図-6 速度、加速度、漂砂量の変化

傾向を示しており、Bijkerの結果とよく一致していることがわかる。図-7 および 図-8 は、Bijker が提唱した $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値が、漂砂量におよぼす影響を示したものであって、これらの図は、水平床における砂床の位置 s_1 、および s_2 、波高、 u_1 、および u_2 、 $(\overline{acc} - \overline{dec})$ 、砂床面形状の差および漂砂量の場所的变化とともに、2つの砂床面の両端におかれたサンドトラップによる捕砂量を示したものである。なお、図-7 は Run 12 の、図-8 は Run 13 の結果を示し、2次波峰の発生間隔については、石田⁹⁾の研究にもとづいて算定した。これらの図から、明らかな傾向は、つぎのようである。

(1) Run 12 では、 u_1 と u_2 の差が最小になる付近では、 $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値が急激に変化し、沖から岸に向かって正から負の値に変わる。(2) $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値が急に変化する領域では $\partial q / \partial x > 0$ から $\partial q / \partial x < 0$ に変わる部分が見られる。(3) Run 12 の結果では、漂砂量は s_1 , s_2 と大部分沖向きである。ただし、その場所的な変化は、きわめて複雑である。なお、 $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値および漂砂量の場所的变化の対応は、それほど明瞭ではない。(4) Run 13 の場合、 u_1 および u_2 の値は、 x 方向にほとんど変化しない。ただし $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値は、 x 方向に大きく変化するが、Run 12 の場合と同様に、沖から岸に向かって、この値が正から負へと急激に変化する。(5) 図-8 の s_1 における漂砂量の場所的变化すなわち $\partial q / \partial x$ は、移動床全体にわたり、ほぼ一定値であり、かつ $\partial q / \partial x > 0$ である。一方、この区間における $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の方向の変化率は、ほぼ一定であり正の値をもつ。(6) 図-8 の s_2 では移動床の中に、 $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値が、急激に変化する部分を含んでいるが、図-7 に見られたような漂砂量の急激な変化は見られず、 $\partial q / \partial x$ の値は、ほぼ一定である。以上の結果から、水平床であっても、2次波峰の存在が、漂砂量に大きく影響することが

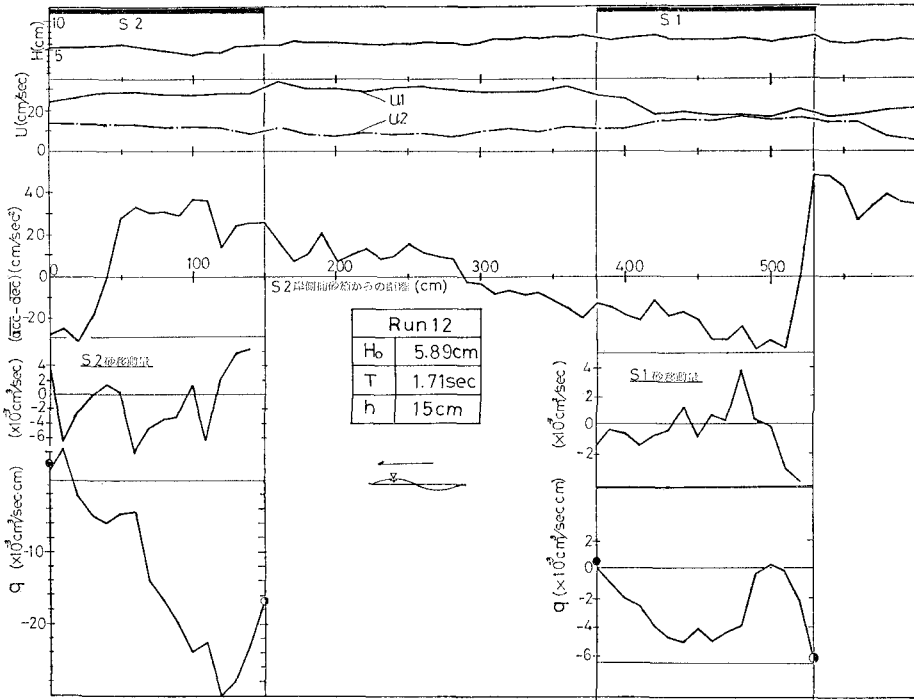


図-7 漂砂量と加速度の関係 (Run 12)

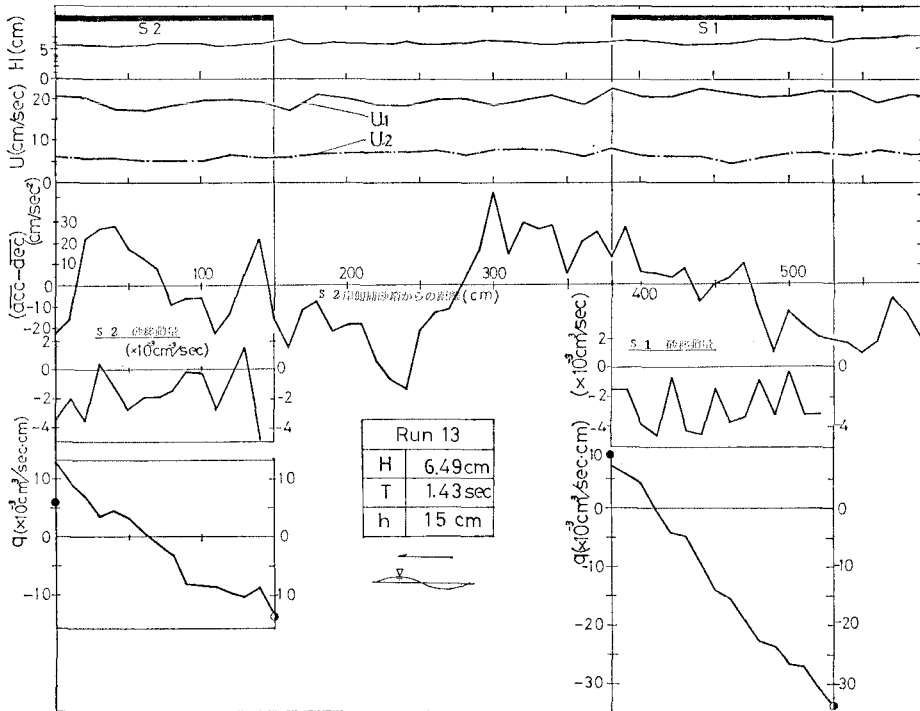


図-8 漂砂量と加速度の関係 (Run 13)

わかる。しかし Bijker の示した $(\overline{acc} - \overline{dec})$ の値と漂砂量との関係には、一定の傾向が見られない。今後、さらに実験を続け、その対応関係を明らかにしたい。なお、水平床における漂砂量に場所的变化が見られる原因について Bijker は、砂れんの岸側および沖側斜面に発生する渦と関係づける試みをなしているが、今回の実験における観察では砂れんは常に沖側に急勾配の非対称砂れんであり、砂れんの岸側斜面における渦は、沖側のそれと比較して、かなり微弱なものであった。

4. 結 語

サンドトラップを用いた、汀線に直角方向の漂砂の測定法に関して行なった実験から得られた結果を要約すると、つぎのようになる。

(1) 海浜縦断形状から予測される砂の移動方向と、サンドトラップから測定される砂の移動方向は、かならずしも一致しないことがわかった。

(2) サンドトラップを用いた漂砂の測定法は、漂砂量および、その移動方向の算定に十分、有効であるが、岸側と沖側のそれらの差をとることは問題がある。

(3) 従来、水平床上での漂砂量の測定は、さまざまな工夫がなされながらも、その測定結果にかなりのばらつきが生じていた。その原因の一つは、以上のような2次波峰の発生による影響と考えられる。したがって今後、同様の実験を行う場合、移動床の長さ、および、その位置によって結果が異なることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) King, A. M.: Beaches and Coasts, Edward Arnold Ltd. London, 403 p., 1959.
- 2) Inman, D. L. and A. J. Bowen: Flume experiments on sand transports by waves and currents, Proc. 8th Conf. on Coastal Eng., pp. 137-150, 1963.
- 3) 富永正昭・橋本 宏: 波による水平床での砂の移動特性, 第25回年次学術講演会講演概要集, pp. 79-80, 1970.
- 4) 堀川清司・砂村継夫・柴山知也: 二次元海浜変形に関する実験的研究——沖浜帯における漂砂量測定法——, 第24回海岸工学講演会論文集, pp. 170-174, 1977.
- 5) Bijker, E. W., E. V. Huijsum and P. Vellinga: Sand transport by waves, Proc. 15th Conf. Coastal Eng., pp. 1149-1167, 1976.
- 6) 石田 昭: 造波装置による発生波の特性とその変形に関する研究, 京都大学学位論文, p. 244, 1974.