

鳥取大学工学部 正員 野田 英明
正員 〇 岩佐 敏博

1. まえがき

この研究の目的は、実験的手段によって波動運動による底質の浮遊機構を解明することである。波による浮遊砂は、底面近くにおける流れの乱れに関係する。したがって、浮遊砂濃度を測定し、その分布形状にもとづいて、拡散係数と波の特性との関連を明らかにし、さらに、濃度分布形状の基準点および、その点における濃度についても検討する。

2. 実験装置および方法

実験は、図-1に示す長さ18.1m、幅50cm、深さ60cmの一部片面がガラス張り水槽で行なった。水槽の一端には、フラッター式造波機を、また他端には、消波装置(長さ4m、勾配1/10斜面、水槽端からの距離が2.6m、3.4m、15.4m、15.9mの位置に金網を、および、ビニール片やゴム片をおいた)を設置した。水槽底面には、傾斜面の先端から1.3mの区間(水槽端から5.3mの位置)、および9.3mから12.8mまでの区間にわたって底面を5cm高くした。水槽端から5.3m～9.3mの4m区間は、粒径0.48mmの一様砂を5cmの厚さに敷き並べて移動床とし、この区間で浮遊砂濃度を測定した。波高は電気抵抗式波高計により測定し、ペン書きオシログラフに自記させた。採水装置の主要部は、内径4.5mmの採水ノズル、容量2lの採水ビン、圧力計および真空ポンプからなり、採水ビンの中の圧力を減圧して、どの深さからでも一定の流速で採水できるようにした。実験は水深を35cmと一定にし、周期、波高を変えて行なった。砂面を初め平坦にし、波を起こして発生した砂れんが観察により安定したとみなせる時点(波を起こし始めてから1時間程度)で砂れんの高さ、波長を測定した。採水位置は、砂れんの山、および谷上、それぞれ0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0cmの高さで行なった。なお、測定された浮遊砂濃度は、波の一周期に対する平均濃度である。

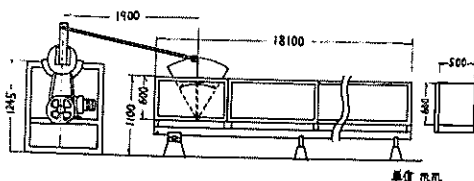


図-1 波動水槽

3. 実験結果および考察

いす、底面から鉛直上向きにZ軸をとり、浮遊砂の沈降速度を w 、拡散係数を E_z とし、波の一周期に対する平均濃度を C とすると、浮遊砂の濃度に関する基礎式はよく知られているように、

$$\frac{d}{dz} \left(E_z \frac{dC}{dz} \right) + w \frac{dC}{dz} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

で与えられる。また、境界条件は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{水面 } z=h \text{ で } \quad \varepsilon_z \frac{dC}{dz} + w_0 C = 0 \\ \text{底面からある高さ } z=a \text{ で } \quad C=C_a \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

である。さて、(1)式において、 ε_z を z に関係なく一定とすれば、この式は積分できて

$$\frac{C}{C_a} = \exp \left\{ - \frac{w_0 h}{\varepsilon_z} \left(\frac{z-a}{h} \right) \right\} \dots\dots\dots (3)$$

となる。この式から明らかなように、 C/C_a と z/h の関係は、 ε_z を一定とした場合半対数紙上で直線になることを示している。図-2は測定

した浮遊砂の濃度分布を示す一例であって、この図から明らかなように、 C と z の関係は、ごく底面近くを除いてほぼ直線的であることがわかる。ただし、砂れんの山と谷上ではその勾配がかなりことなっている。なお実験に用いた進行波の特性、および、砂れんのそれらはそれぞれ表-1、および表-2に示す。ここに、 T : 波の周期、 h : 水深、 H_1 : 入射波高、 r : 反射率、 L : 波長、 ν : 水の動粘性係数、 U_0 : 底面における水粒子速度の最大値、 $\delta = \sqrt{\nu T / 2\pi}$ 、 $R_0 = U_0 \delta / \nu$ 、 η : 砂れんの波高、 λ : 砂れんの波長、 a_b : 底面水粒子の軌道長、 $X = \gamma_s d^3 / \rho \nu^2$ 、 $Y = \rho d / \gamma_s T^2$ 、 $Z = a_b / d$ 、 d : 底質の代表的粒径、 γ_s : 流体中における底質の単位体積重量、 ρ : 流体の密度である。実験結果から

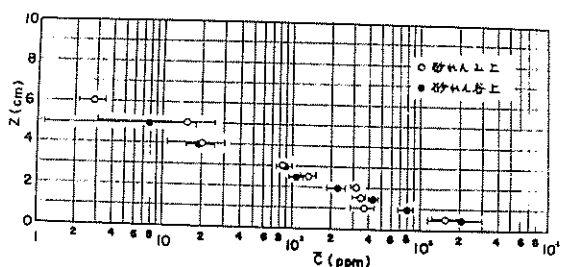


図-2 浮遊砂濃度分布

表-1 進行波の実験条件

NO.	1	2	3	4	5
T (sec)	1.31	1.50	1.72	2.04	2.99
h (cm)	55.0	34.9	35.1	35.0	35.1
H ₁ (cm)	15.1	12.2	11.4	14.6	9.9
r	0.099	0.180	0.167	0.171	0.192
L (cm)	209.1	248.2	292.9	356.1	540.3
water temp (°C)	7.0	10.25	9.0	8.6	10.5
ν (cm ² /sec)	1.428×10^{-3}	1.298×10^{-3}	1.346×10^{-3}	1.363×10^{-3}	1.289×10^{-3}
U_0 (cm/sec)	28.81	25.40	25.28	34.20	24.86
δ (cm)	5.46×10^{-2}	5.57×10^{-2}	6.07×10^{-2}	6.65×10^{-2}	7.83×10^{-2}
R_0	110	108	114	167	151
h/L	0.168	0.141	0.120	0.098	0.065
H/L	0.0722	0.0491	0.0389	0.0410	0.0183

表-2 砂れんの特性

NO.	1	2	3	4	5
η (cm)	1.24	1.35	1.29	2.22	1.55
λ (cm)	7.83	7.76	7.94	12.68	8.19
a_b (cm)	10.42	12.13	13.84	22.21	23.66
X	876	1061	987	963	1076
Y	17.30×10^{-4}	13.19×10^{-4}	10.03×10^{-4}	7.13×10^{-4}	3.52×10^{-4}
Z	217.1	252.7	288.3	462.7	492.9
η/a_b	0.119	0.111	0.093	0.100	0.066
λ/d	163.1	161.7	165.4	264.2	170.6

$d = 0.048 \text{ cm}$ $w_0 = 6.18 \text{ cm/sec}$

上述の結果がよく示されている。なお $a=1 \text{ cm}$ および $a=2 \text{ cm}$ の場合には砂れんの山と谷上における濃度分布は、同じ高さでも一致しなかったので省略した。図-4は、 ε_z/ν と $U_0 a/\nu$ との関係を示すものであ

って、 ε_z の値は濃度分布を示す図-3と同様の結果からその勾配を(3)式を用いて逆算したものであり、さらに、 $a=3 \text{ cm}$ とった。この図から明らかなように、 ε_z/ν と $U_0 a/\nu$ の間には、ほぼ直線関係

が見い出される。著者らの今回の実験からこれらの関係式を示すと、

$$\frac{\varepsilon_z}{\nu} = 0.22 \cdot \frac{u_* a}{\nu} - 880 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となった。この式における定数の妥当性については、実験結果が少ないので十分ではないが、ここでは一応この式を用いて、従来の実験結果を検討しよう。この(4)式を(3)式に代入した半理論式と本間・堀川の実験結果を比較した一例が図-5である。なお、本間・堀川の実験結果には水温が示されていないので、図中の破線は10℃として計算したものであり、実線は、実験結果にもっともよく

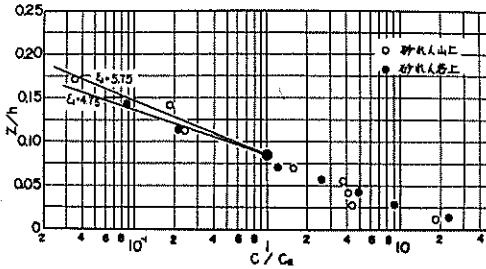


図-3 c/C_a と Z/h の関係

一致する直線であって、この場合(3)および(4)式を用いて水温を逆算すると2.6℃となった。

以上の結果から明らかのように、実験水槽における浮遊砂濃度は基準点の高さ $a=3\text{cm}$ ととれば ε_z/ν の値が $u_* a/\nu$ のみの関数と

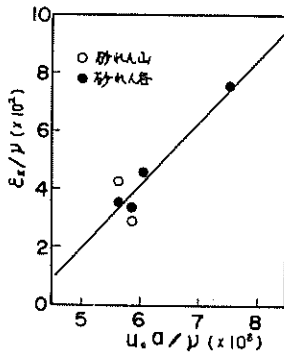


図-4 ε_z/ν と $u_* a/\nu$ の関係

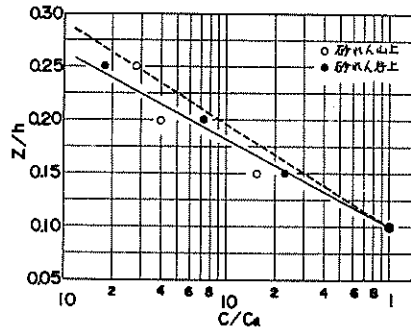


図-5 理論との比較
(本間・堀川の実験)

して与えられ、ほぼ(3)式を満足することが明らかとなった。したがって、浮遊砂濃度は $a=3\text{cm}$ における点の濃度 C_a を求めれば、任意の高さでの濃度が計算できることになる。そこで、基準点 a の濃度 C_a を波の特性や底質のそれと関連づけて表現できれば、浮遊砂濃度の算定が容易になるであろう。ここでは、Lane および Kalinske の流砂に関する理論の類推から基準点濃度 C_a について考察し、その結果のみを示すが、 C_a は $(w_b/u_*)(u_* \delta/\nu)^{1/2}$ の関数となることが明らかとなった。図-6 は C_a と $(w_b/u_*)(u_* \delta/\nu)^{1/2}$ の関係を実験結果から求め

たものである。この図から明らかのように、 C_a と $(w_b/u_*)(u_* \delta/\nu)^{1/2}$ との間には半対数紙上でほぼ直線関係にあることがわかる。なお、この図には著者の実験結果とともに本間・堀川らの実験結果も示してあるが、著者らの結果とよく一致することはきわめて興味深く、かつ、重要な発見であるといえるであろう。最後に、

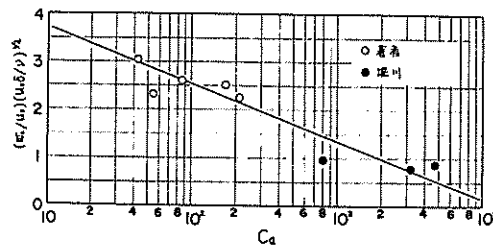


図-6 C_a と $(w_b/u_*)(u_* \delta/\nu)^{1/2}$ の関係

基準点以下の濃度については、まだ十分検討されていないが、上述した考え方では十分説明できない。

すなわち、砂れんの山および谷上の濃度分布が非常にことなっている。これについては、砂れんの特
性との関連を明確にする必要があると考えられる。しかし、今回の実験では、表-2に示したように
砂れんの特性について系統的な実験が行なわれていないため、この点を明らかにすることができな
かった。今後こうした点についても詳しく検討するつもりである。さらに、実験水槽におけるReynolds
数は、表-1から明らかなように108~167とかなり小さく、Collins²⁾の結果からすれば、底面の流
れの状態は遷移領域か乱流の発達が十分でない領域と考えられる。自然の海床におけるReynolds数
は 10^3 のオーダーであるので、この実験結果がそのまま現地に適用できるかどうかと疑問である。こ
の点についても今後現地における観測を行ない、比較検討する必要があると考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 本間 仁, 堀川清司, 鹿島達一: 波による湾遊砂の研究, 第11回海洋工学講演会講演集
1964 PP. 159~168
- 2) Collins J.I : Inception of Turbulence at the Bed under Periodic
Gravity Waves, Journal of Geophysical Research
Vol. 68, NO. 21, November 1 1963. p 6007