

II-538

砂漣上における浮遊砂の拡散係数の算定法

建設省土木研究所海岸研究室長 正会員 宇多高明
建設省土木研究所海岸研究室 正会員 伊藤弘之
建設省土木研究所海岸研究室 正会員 野口賢二

1. まえがき

沖浜では、波による振動流れにより海底面に砂漣が形成され、この砂漣上で生じる渦により底質が浮遊する。そして浮遊した底質は流れによって一方向へと運ばれる。したがって、沖浜における土砂移動量の算定においては、砂漣上での浮遊砂濃度の評価が必要とされる。そこで、本研究では、砂漣上の浮遊砂の濃度分布を求めるのに必要となる拡散係数の算定法について検討した。

2 既往の研究

従来より、砂漣形状や砂漣上の浮遊砂濃度に関する研究は数多く行われてきている(表-1参照)。Inman(1955)は、La JollaやSan Diegoの海岸など10箇所において、野田(1967)は新潟県大潟海岸において、Nielsen(1984)はPalm Beachほか8箇所において、また入江ほか(1985)は茨城県波崎海岸において砂漣形状および浮遊砂濃度分布を測定した。一方、Nakato et al. (1977)、橋本ほか(1982)、佐藤・堀川(1984)、宇多ほか(1989年～1992年に建設省土木研究所で行われた実験)は、振動流水路を用いて考察した。さらに、Kennedy&Locher(1972)、沢本ほか(1981)、入江ほか(1985)は造波水路実験により検討した。これらの研究者が対象とした現象の規模を水粒子の軌道長 d_o と中央粒径 D の比 d_o/D とシールズ数 ψ によって整理すると、図-1となる。各々の研究者が対象とした現象の規模はかなり異なっている。そして、各研究者ごとに砂漣波高と振動流条件の関係を求めているものの、全ての現象規模に対して適用可能な一般的なモデルは存在しない。そこで本研究では、これら全てのデータを用いた浮遊砂濃度分布の算定手法について検討を進めた。

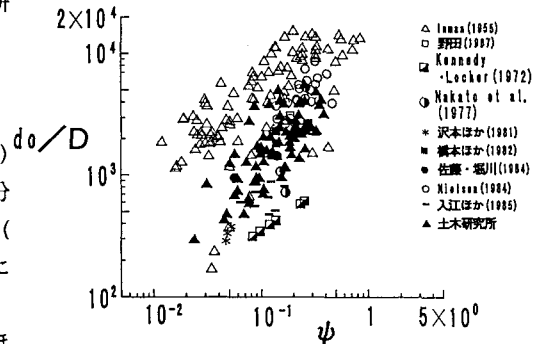


図-1 既往の研究における d_o/D

3 浮遊砂の拡散係数のモデル化

本研究では、浮遊砂濃度に関してSkafel&Krishnappan(1984)と同様、定常1次元の拡散方程式が成立するとして、 $\bar{C} = \bar{C}_0 \cdot \exp(-w_o/k_z \cdot z)$ とする。ここで、 $\bar{C}$ は時間平均濃度、 $\bar{C}_0$ は基準点濃度、 w_o は砂の沈降速度、 k_z は砂の拡散係数、 z は底面からの高さである。本研究では $\bar{C}$ を算定するために、沢本ほか(1981)と同様、渦動粘性係数 ν_z と砂の拡散係数が比例すると考え、 $k_z = m \nu_z$ と仮定する。また、渦動粘性係数 ν_z に関しては宇多ほか(1991、土研資料、第3020号)と同様、Kajiura(1968)モデルの内層の値、 $\nu_z = \alpha \kappa U_* D_R$ を用いて算定する。ここに、 U_* :摩擦速度($=\sqrt{\tau_w/2 U_b}$ 、 τ_w :Jonssonの摩擦係数)、 $1/\alpha = 2.708$ 、 κ :カルマン

表-1 既往の研究における実験条件

研究者	研究対象	波高(cm)	周期(sec)	水深(管径)(cm)	粒径(mm)	速度振幅(cm/s)	砂漣波長(cm)	砂漣波高(cm)
Inman(1955)	現地観測	*	3.5~16.0	122~2134	0.08~0.91	6.1~94.5	5.8~105	0.5~2.0
野田(1967)	現地観測	100	6.0	600	0.3	49	*	*
Kennedy・Locher(1972)	造波水路	9.1~12.2	1.04	14.0~25.0	0.21	20~39	*	*
Nakato et al. (1977)	振動流	*	1.2~2.4	(24.5)	0.14	26.6	6.3~11.3	0.9~1.8
沢本ほか(1981)	造波水路	6.8~8.5	1.25~1.75	30	0.2	14.5~21	4.2~7.2	0.8~1.3
橋本ほか(1982)	振動流	*	4.05~5.0	(90)	0.26	37~55	25.7~28.7	3.5~3.8
佐藤・堀川(1984)	振動流	*	3.0	(24)	0.18	18.1	9.5	1.4
Nielsen(1984)	現地観測	44~81	5.7~12.9	104~176	0.3~0.62	52~102	35~80	5~15
入江ほか(1985)	造波水路	8~15	2~1.6	35	0.2, 0.07	19~32	*	*
	現地観測	60	8.5	300	*	51	*	*
土木研究所	振動流	*	3.0~7.3	(90)	0.15~0.57	17.5~103	8.7~60.4	0.9~6.7

定数($=0.4$)、 D_R :内層外縁の高さである。ここで、 D_R は粗度長さによって与えられるが、堀川・渡辺(1968)はこの値が砂漣波高に比例すると考え、 $D_R=a\eta$ (a は比例定数)とした。これらの式をまとめると、 $k_z=(m \cdot a) \cdot \alpha \kappa U_* \eta$ となる。すなわち、砂漣波高 η と、 $m \cdot a$ を決めることができれば k_z が求められる。そこで、以下では砂漣波高の算出方法と、 $m \cdot a$ の評価法について検討した。

4 砂漣波高の算出

砂漣の諸元に関しては、佐藤ほか(1986)による $\lambda/d_o \sim \sqrt{\phi} \cdot (d_o/D)$ の関係と、Nielsen(1981)による $\eta/\lambda \sim \phi$ の関係によって良く整理されているが、本研究では、これらの関係をもとに η を直接算定する式を導いた。 $\eta/d_o \sim \sqrt{\phi} \cdot (d_o/D)$ の関係を図-2に示す。砂漣形状については、データが振動流実験、造波水路実験、あるいは現地観測によって得られたかどうか、また砂漣の平面形状の違いによって、それぞれ整理されてきている。しかし、このような分類は物理的意味が曖昧である。そこで、Grant&Madsen(1982)の提案した $S_*=(D/4\nu) \cdot \sqrt{s \cdot g \cdot D}$ を用い、 $S_* < 2.2 \leq S_* < 10, 10 \leq S_*$ の3つの領域に区分した。図-2によると、 S_* によってそれぞれのデータがよく区分されている。回帰式を求めると、次のようになる。

$$\begin{aligned} \eta/d_o &= 20 \{ \sqrt{\phi} (d_o/D) \}^{-0.92} & (S_* < 2) \\ \eta/d_o &= 1.4 \{ \sqrt{\phi} (d_o/D) \}^{-0.48} & (2 \leq S_* < 10) \\ \eta/d_o &= 0.3 \{ \sqrt{\phi} (d_o/D) \}^{-0.27} & (10 \leq S_*) \end{aligned}$$

これらの式を用いて計算した砂漣波高と実測砂漣波高を比較すると図-3となる。波と底質の条件より砂漣波高がかなり精度良く求められたことが分かる。

5 浮遊砂の拡散係数

浮遊砂の濃度分布から求められる $k_z(=m \cdot a \nu'_z)$ の実測値と、 $\nu'_z(=\alpha \kappa U_* \eta)$ とを比較し、 $m \cdot a$ を定める。ここでは拡散層における k_z を対象とするため、渦層直上の浮遊砂濃度分布形状より、 $k_z=w_o \cdot d_z/d(\ln(\bar{C}))$ として求めた。実測の砂漣波高 η から求めた ν'_z と浮遊砂濃度分布から求めた k_z の関係を図-4に示す。これらをシールズ数 ϕ によって分類したところ、 $\phi=0.17$ を境に $m \cdot a$ はかなり異なり、

$$\begin{aligned} m \cdot a &= 1 & (\phi < 0.17) \\ m \cdot a &= 1/30 & (\phi \geq 0.17) \end{aligned}$$

となった。

6 まとめ

- ① η/d_o と $\sqrt{\phi} \cdot (d_o/D)$ の関係を導いた。これらの関係式によれば実験あるいは現地観測により取得されたデータに共通して、かなり高い精度で砂漣波高が計算される。
- ② 浮遊砂の拡散係数 k_z をKajiuraの渦動粘性係数のモデルと堀川・渡辺の内層外縁の高さが砂漣波高に比例するという仮定を用いて、 $k_z=m \cdot a \cdot \alpha \kappa U_* \eta$ とし、 $m \cdot a$ の値をシールズ数 ϕ で評価したところ $m \cdot a=1$ ($\phi < 0.17$)、 $m \cdot a=1/30$ ($\phi \geq 0.17$)となることが分かった。

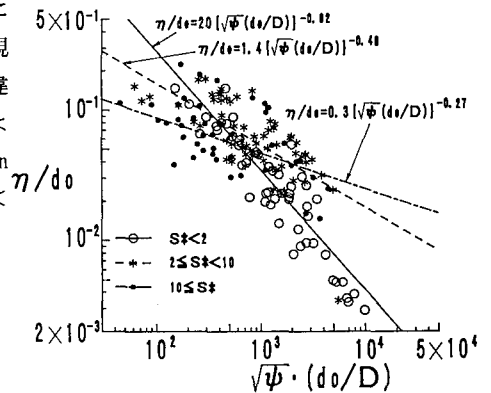


図-2 η/d_o と $\sqrt{\phi} \cdot (d_o/D)$ の関係

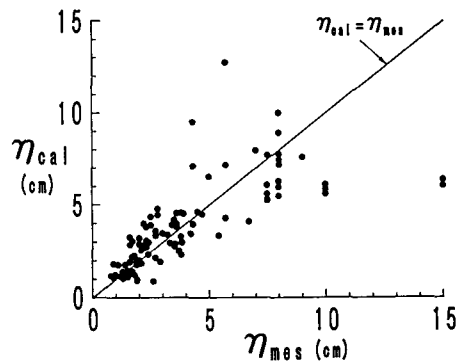


図-3 η の実測値と計算値の比較

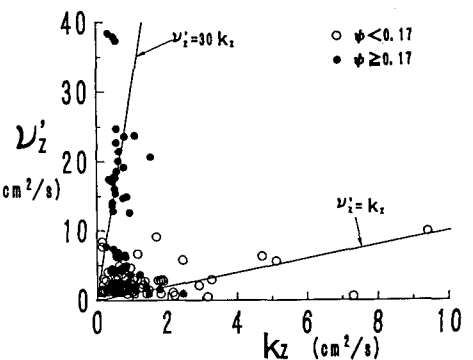


図-4 k_z と ν'_z の関係