

II-35 波による砂れん周辺の水理現象

東京大学工学部 正員 工博 本間 仁
東京大学工学部 正員 堀川 清司
東京大学大学院 正員 安川 浩

要 旨 周知の通り表面波の波長が水深の2倍より大きくなると、水底は水の軌道運動の影響を受け始め水底が砂面の場合、底面に砂の波が発生する。この砂れんが海岸に於ける底質移動あるいは模型実験に及ぼす影響と調べる目的で、筆者等は砂れんの特性と周辺の水理現象に関する考察を行った。実験施設は *Bagnold, Manohar* 等とは異なり、*flutter* 型造波機と備えた長さ36 m、巾0.6 m、深さ0.6 mの表面波実験水槽を用いた。実験の前半は特定の波に対応する砂れん特性を決定すること、後半は底面に沿った流れの性質を観察することであった。移動床はこの水槽に比重270、粒径 $149 \sim 297 \mu$ のふるい分けした砂と、長さ10 m、厚さ5 cmに敷いた。水槽の他端に勾配 $1/8$ の砂利斜面を設けた結果、反射波は5%以下におさめることが出来た。底面に沿った流れの特性である小粒子の軌道速度、軌道直径は表面波の波高、周期と測定して、表面波の公式から計算した。

I 実験施設と測定値の性質

i) 実験施設

〔実験水槽〕 長さ36 m、巾0.6 m、深さ0.6 m

〔造波機〕 *flutter* 型、造波範囲 $T = 2.8 \text{ sec}$, $H = 6.3 \text{ cm}$, $T = 1.0 \text{ sec}$, $H = 9.2 \text{ cm}$ (水深35 cm)

〔底 質〕 比重270、粒径 $149 \sim 297 \mu$ ふるい分け砂、長さ10 m、厚さ5 cm

ii) 実験値の性質

〔波高分布〕 波の反射率は一般に波の波形勾配が小さい程大きいが、筆者等の場合、周期2.8秒、波高6.3 cmの波で5%、周期1.0秒、波高8.0 cmの波では、長さ10 mの砂敷の沖側端から岸側端に至る間に波高は約10%減少し、反射率は2.5%程度であった。

砂れん波長の時間的な変動 $T = 2.5 \text{ sec}$, $H = 6.8 \text{ cm}$, 及び $T = 1.0 \text{ sec}$, $H = 9.2 \text{ cm}$ の波につき、上記砂面上に砂れんが一面に発達してから時間的な平均の砂れん波長及び標準偏差の変動を調べた結果、平均値は時間と経ても殆んど変動しないことが明らかになったため、以後は砂れんが一面に発達した後に任意の測定を行った。

〔砂れん波長の分布〕 最初、砂れん波長の大小により測定値の分布が異なるのではないかと考えたが、平均値を中心とする分布は砂れんの大小に無関係であることがわかった。

II 特定の波に対応する砂れん特性

〔V字型の溝からの砂れん発生限界流速〕 既に *Bagnold, Manohar* 等により指摘されているように、平坦面の場合と予め起伏が存在する場合とでは、砂れんの発生限界流速が大きく異なる。筆者等は長さ10 mにわたり一様に平坦にすることの困難さと、使用波の制約とによってV字型の溝からの発生限界流速を波の周期毎に求めたが、限界流速は周期に関係なく $10.3 \text{ } \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ であった。

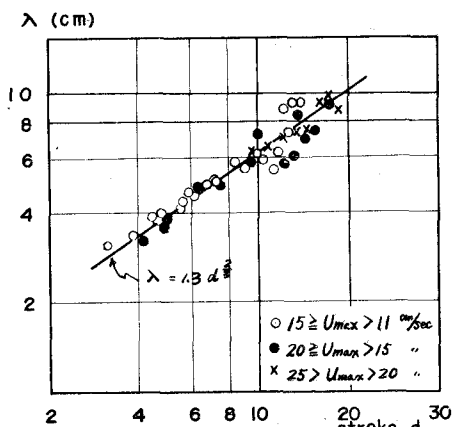


図-1. $\lambda \sim \text{Stroke-d}$ の関係

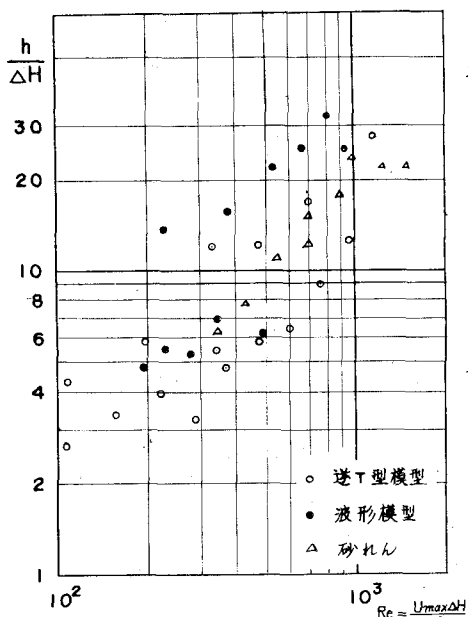


図-2. 底面の突起高さ ΔH と乱れの拡散上限 h との関係

〔波の性質と砂れん波長との関係〕 我々の実験は、比重 2.70、粒径 $149 \sim 297 \mu$ の砂の場合で軌道最大流速 $11 \sim 25 \text{ cm/sec}$ 、軌道直径 $3 \sim 20 \text{ cm}$ という比較的狭い範囲であるが、この間砂れんの波形勾配は $0.14 \sim 0.18$ のほぼ一定値ととり、砂れん波長 λ は最大流速には無関係に軌道直径 d の倍数に比例し、 $\lambda = 1.3 d$ の関係のあることがわかった。この比例常数は底質の比重、粒径によって決まるものと考えられ、またこの関係における砂れん波長の発達上限は、更に最大流速にも依存すると思われるが、今後の問題である。

III 砂れん周辺の乱れについて

Huan Li によれば、スムーズな底面の場合、底面に沿った境界層の厚さに関する Reynolds 数が、ある限界値に達すると境界層に乱れが生じるが、粒度と有する場合には限界流速のみによって支配されるという。われわれは既に存在する砂れん周辺の乱れを観察した。底面の乱れは砂れんの発達段階によって異なり、同一の波によっても極く初期の平坦面、いわゆる rolling grain の段階、本格的な砂れん等に応じて、それぞれ乱れの拡散する範囲が異なってくる。拡散上限～突起高さの比を、突起高さに関する Reynolds 数により整理すると、拡散上限/突起高さ： $\frac{h}{\Delta H}$ は $R_h = \frac{U_{max} \Delta H}{\nu}$ に比例し、 $\frac{h}{\Delta H} = 0.025 R_h$ の関係が得られた。これは突起背後に生じた渦が波の周期の数倍の時間を経て、徐々に拡散する二次元的な乱れの拡散上限であり、アルミナ粉末、過マンガン酸カリにより追跡した。従って砂などが液により撓き上げられる際の拡散上限を

意味するものではない。また安定した砂れん周辺に於ける渦の中心の移動経路は、砂れん波長との関連の下に次のように分類される。

- i) 渦の移動距離 $< 1.5 \lambda$ 或る砂れん波頂の下流側斜面で発生した渦は、逆向きの流れにより一隣りの波頂に到達するもの。
- ii) この先の波頂に達するもの等が考えられ、我々の実験範囲内では、先に得た砂れん波長 $\lambda = 1.3 d$ の関係から渦中心の移動距離を底面に沿う軌道直径に等しいと置き、 $d < 1.5 \lambda$ 、 $1.5 \lambda < d < 2.5 \lambda$ 、 $2.5 \lambda < d < 3.5 \lambda$ 等から i) の場合 $d < 7.5 \text{ cm}$ 、ii) $7.5 \text{ cm} < d < 34 \text{ cm}$ となる。

以上砂れんの特性と周辺の乱れの性質について考察したが、砂れん波頂背後の wake に沿う流れによる底質への impact の影響、渦の強さと底質の濃度分布等は今後の課題としたい。