

II-52

津波による土砂移動の実験

東北大学大学院 学生員 ○高瀬智壮
 東北大学工学部 正 員 高橋智幸
 東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1 はじめに

津波来襲にともなう大量の土砂移動により、港湾構造物の倒壊等様々な被害が発生するが、その対策のためには前もって海底変化の予測が必要であり、移動床による津波数値計算を開発しなくてはならない。そこで本研究では、津波を想定した外力のもとで水理実験を行った。実験は固定床と移動床で行い、前者では流速とシールズ数の関係、後者では流速と流砂量の関係を求め、最終的にシールズ数と流砂量の関係を導いた。

2 固定床での実験

2.1 実験方法

実験装置を図-1 に示す。バルブ A で開度、すなわち最大流量を調整し、バルブ B を自動開閉して流速波形を制御した。流速の鉛直分布 $u(y)$ は、位置 C で、路床からの高さ $y=1,2,3,5,10,15,20,30,40,50,60,75\text{mm}$ の 14 点において、レーザー流速計により測定した。

バルブ B は、10 秒間かけて全開にし、そのまま全開状態を 15 秒間維持した後、4 秒間かけて閉じた。測定された流速の時系列データを図-2 に示す。バルブ B が全開の状態では、乱れ成分を除去すると流速は定常と考えられる。従って、この部分を時間平均して求めた流速を以下の解析では用いる。また、ここでは 8 通りの開度で実験を行った。

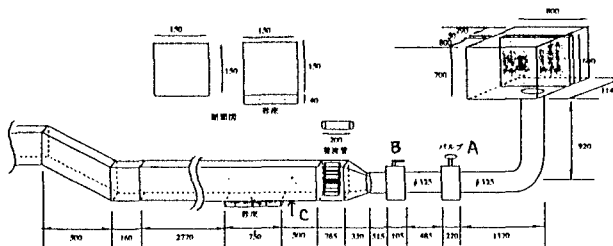


図-1 実験装置概略図

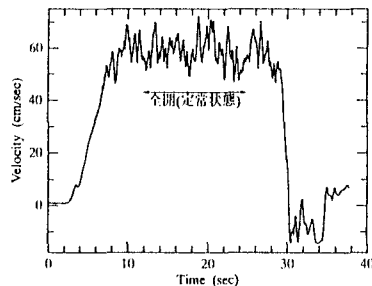


図-2 流速の時系列

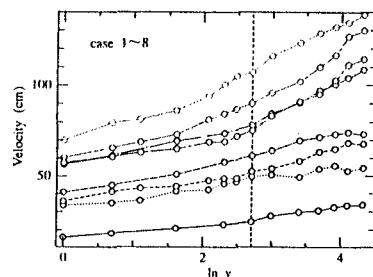
2.2 解析結果

乱流域の流速は対数分布則 (log-law) に従うが、本実験の条件が滑面であるか粗面であるかここでは判断できない。そこで、その双方に対応できる次式を用いる。

$$u(y) = \frac{u_*}{\kappa} \ln(y) + A \cdot u_* \quad (1)$$

(u_* : 摩擦速度, κ : カルマン定数, A : 定数)

実験から得られた $u(y)$ と $\ln y$ の関係を図-3 に示す。

図-3 $u(y)$ と $\ln y$ の関係

この図より、対数分布則に従っているのは y が 15mm までと考えられるので、この範囲での勾配から摩擦速度 u_* を求めた。

ところで、粘性底層の厚さ δ_L は、 $\frac{u_* \delta_L}{\nu} = 11.6$ から、最大で 0.89mm となり測定はすべて乱流域で行われていることが確認できた。

また、本実験の粗・滑は、あらさのレイノルズ数 $\frac{u_* k_s}{\nu}$ を用いて判定すると、 $2.6 \leq \frac{u_* k_s}{\nu} \leq 10.9$ の範囲にあることから、滑面、または遷移領域に属している。

図-4 に、 $u(1)$ (底面上 1 mm の流速) とシールズ数 $\tau_* (= u_*^2 / sgd)$ との関係を示す。回帰式(実線)は次の通りである。

$$\tau_* = 9.7 \cdot 10^{-6} \cdot u(1)^{2.7} \quad (2)$$

3 移動床での実験

3.1 実験方法

水路中央部に移動砂床区間を設定し、豊浦標準砂(粒径 0.2mm, 比重 2.65)を敷いた。また、その前後の路床にはこれと粒径に等しい粗度を取り付けてある。測定項目は、 $y = 1mm$ での流速、全流砂量(水路内の堆積砂量と水路からの流出砂量)とである。なお、バルブ B の操作方法は固定床実験と同様で、全開時間を変えている。

3.2 解析結果

同一の開度で全開継続時間 t_1, t_2 の場合の全流砂量を Q_1, Q_2 とする。全開状態の前後においては、両者の波形は同一であるから、加速及び減速時の流砂量に差はないと仮定できる。従って、全開時流速に対応する単位時間流砂量は次式で与えられる。

$$q_s = \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1} \quad (t_2 > t_1) \quad (3)$$

ここに、 q_s : 全開時(定常状態)における単位幅単位時間当たりの流砂量 (cm^2/sec), t_2, t_1 : 全開時間 (sec), Q_1, Q_2 : 全開時間 t_1 及び t_2 に対する単位幅当たりの全流砂量 (cm^2) である。図-5 に、6 通りの開度で求めた τ_* と q_s の関係を示す。(但し、 τ_* は測定値 $u(1)$ から式(2)を用いて求めている。) 回帰式(実線)は次の通りである。

$$q_s = 3.5 \cdot (\tau_* - \tau_{*c})^2 \quad (4)$$

但し、式(4)は、無次元限界掃流力 τ_{*c} が存在することを前提に回帰した。本実験での τ_{*c} は、シールズや岩垣の与えた τ_{*c} に対応している。

4 流砂量式の提案

以上の実験より得られた式(4)から、

$$\frac{q_s}{u_* d} = 31 \cdot \frac{1}{\tau_*^{1/2}} \cdot (\tau_* - \tau_{*c})^2 \quad (5)$$

が得られる(d :砂の粒径)。実験条件より、適用範囲は $0.1 \leq \tau_* \leq 1.2$ である。

式(5)を既往の流砂量公式である Einstein-Brown(以下、E-B)の式、Brown の式と比較してみると、図-6 のようになり、流砂量はシールズ数が 1.7 より小さい範囲では E-B の式や Brown の式より大きくなり、9.6 より大きい範囲に外挿すると、逆に小さくなる。

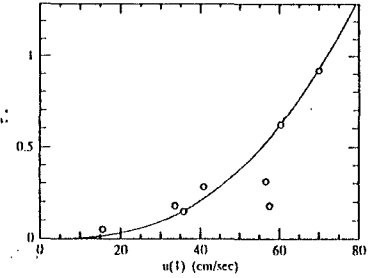


図-4 $u(1)$ と τ_* の関係

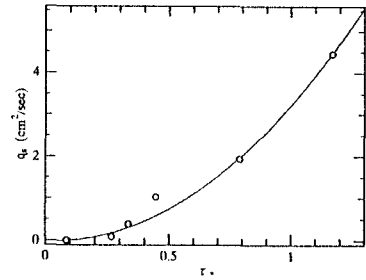


図-5 q_s と τ_* の関係

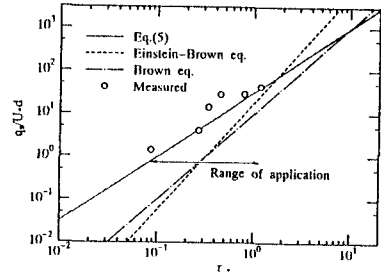


図-6 流砂量公式との比較

5 おわりに

実際の津波では、瞬間的ではあるが、本実験のシールズ数より 1 オーダー大きい値を発生することが予想される。よって、さらに大きなシールズ数での実験が必要であると思われる。また、加速及び減速といった非定常的な運動での流砂量の定量化が必要であろう。