

横浜国立大学工学研究科 学生員 一戸 裕
横浜国立大学工学部 正会員 磯部 雅彦

1. 緒言

津波が海岸に來襲し越波すると戻り流れが生じる。このとき護岸法先が戻り流れによって洗掘され、これが原因となって護岸が転倒破壊することがある。護岸の転倒条件には法先の洗掘深度が深く関係していることが判明している¹⁾。そこで本研究では、模型実験を行って、戻り流れ等の諸条件により洗掘深度を推定する方法を導き出すことを目的とした。

2. 実験方法

長さ10m、幅0.4m、深さ0.5mの2次元水槽にL字型護岸壁の模型を設置した。一般に実際の津波による戻り流れは時間的に変動するが、実験では単純化し、戻り流れの流量を一定として図1に示すような段落ち流れを再現した。洗掘部の砂の粒径 d_s 、護岸の法先水深 d 、法先水面からの壁体高さ H 、および単位幅当たりの戻り流れの流量 q をかえて実験を行った。水槽側面からモータードライブ付カメラによる1.0秒間隔の連続撮影を行い、最大洗掘深 δ_{max} 、洗掘長さ l 、最大洗掘位置SPを測定した。なお、実験に用いた砂の水中安息角 θ は 33° であった。

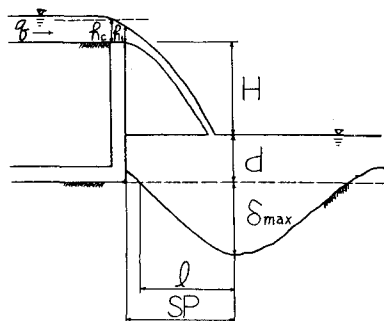


図1 定義図

3. 実験結果および考察

戻り流れの流量 q および法先水深 d の値によって最大洗掘深 δ_{max} の値は変化した。実験に用いた砂の粒径 d_s による影響はみられなかった。戻り流れの流量 q と限界水深 R_c の間には、 $q = \sqrt{g R_c^3}$ の関係があるため、以後 R_c の値で戻り流れの流量を代表させることとする。

(1) 最大洗掘深：最大洗掘深 δ_{max} は実験に用いた範囲内の砂の粒径 d_s に影響されなかった。したがって最大洗掘深 δ_{max} とシールズ数は関連性が薄いと考えられる。そこで護岸の法先洗掘部に検査面をとり、鉛直方向の運動量の釣り合いを考える。水の密度 ρ 、着水直前の鉛直流速を U とすると、流下流量の着水地点での鉛直方向運動量は $\rho q U$ となる。 Δt 時間と考えると流下水の運動量変化は $\rho q U \Delta t$ となる。洗掘砂面に下から働く力を P とすればこの間の力積は $P \Delta t$ となり、この2つの量が等しいことより $P = \rho q U$ となる。 P が働く洗掘砂面の単位幅当たりの面積を A として A が $d + \delta_{max}$ に比例するものと仮定すれば、 $P/A = \rho q U / (d + \delta_{max})$ となる。したがって、洗掘砂面上の砂は、単位体積当たり平均過剰圧力勾配 $\rho q U / (d + \delta_{max})^2$ に比例する鉛直上向き力を受ける。一方、砂の密度を ρ_s とすると洗掘砂面上の砂には、単位体積当たり重力から静水中における浮力を除いた $(\rho_s - \rho) \cdot g$ の

$d_s(\text{mm})$ $R_c(\text{cm})$	0.15	0.3	0.6
1.102	○	⊙	●
2.167	△	▲	◆
2.778	□	⊠	■
4.052	◇	⬠	◆

運動量の釣り合いを考える。水の密度 ρ 、着水直前の鉛直流速を U とすると、流下流量の着水地点での鉛直方向運動量は $\rho q U$ となる。 Δt 時間と考えると流下水の運動量変化は $\rho q U \Delta t$ となる。洗掘砂面に下から働く力を P とすればこの間の力積は $P \Delta t$ となり、この2つの量が等しいことより $P = \rho q U$ となる。 P が働く洗掘砂面の単位幅当たりの面積を A として A が $d + \delta_{max}$ に比例するものと仮定すれば、 $P/A = \rho q U / (d + \delta_{max})$ となる。したがって、洗掘砂面上の砂は、単位体積当たり平均過剰圧力勾配 $\rho q U / (d + \delta_{max})^2$ に比例する鉛直上向き力を受ける。一方、砂の密度を ρ_s とすると洗掘砂面上の砂には、単位体積当たり重力から静水中における浮力を除いた $(\rho_s - \rho) \cdot g$ の

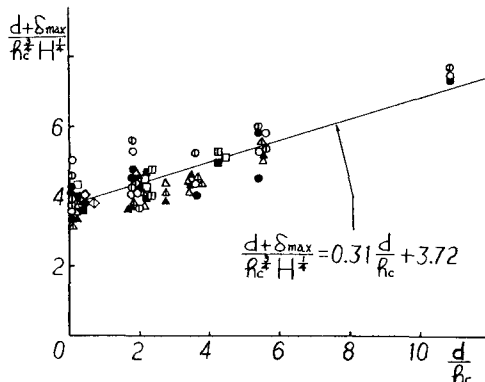


図2 最大洗掘深と法先水深との関係

力が鉛直下向きに働いている。この2力が釣り合った状態で洗掘が進行しなくなると考え、 $q = \sqrt{g R_c^3}$ 、 $U = \sqrt{2gH}$ なる関係式を用いて整理すると $(d + \delta_{\max})/R_c^2 \cdot H^{\frac{1}{2}} = \text{const}$ を得る。この値と法先水深 d と戻り流れの限界水深 R_c との比 d/R_c との関係を図2に示す。図中の直線は最小2乗法により求めたもので次式で与えられる。

$$\frac{d + \delta_{\max}}{R_c^2 \cdot H^{\frac{1}{2}}} = 0.31 \frac{d}{R_c} + 3.72 \quad (1)$$

式(1)を展開して最大洗掘深を直接求める式に書き直すと

$$\frac{\delta_{\max}}{R_c} = (0.31 \frac{d}{R_c} + 3.72) \left(\frac{H}{R_c} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{d}{R_c} \quad (2)$$

となる。式(2)の左辺と右辺の相関を調べてみたのが図3

である。図より計算値が実測値をやや上回ることがわかる。なお、式(2)を計算すると最大洗掘深 $\delta_{\max}$ の値が負になる場合があるが、この場合は洗掘が起きないと考えることとする。

(2) 最大洗掘位置：戻り流れの段落ち部の水深 R_1 と限界水深 R_c とは $R_1 = 0.656 R_c$ の関係式を満たすことが知られている²⁾。この関係式を用いて段落ち流れを自由落下運動として計算すると最大洗掘位置 ST は

$$ST = \sqrt{2 R_c (d + \delta_{\max} + H)} / 0.656 \quad (3)$$

となる。式(3)の計算値と実測値 SP とを比較したのが図4である。

(3) 最大洗掘深と洗掘長の関係：最大洗掘深 $\delta_{\max}$ と洗掘長 l との関係を図5に示す。図5の実直線は最小2乗法により得られた関係式で

$$\delta_{\max} = 0.576 l \quad (4)$$

である。図5をみてわかるように、式(4)の比例定数 0.576 は $\tan \Phi$ よりもやや小さい。

4. 結語

(1) 戻り流れの流量、護岸の法先水深、および護岸の高さより最大洗掘深を推定する実験式(2)を得た。

(2) これより式(3)、式(4)を利用して法先洗掘の形状を推定することかある程度可能である。

なお、本研究は文部省科学研究費(自然災害特別研究、研究代表者 東京大学 堀川清司教授)を得て行われたものである。

〈参考文献〉

- 1) 小西喜明・磯部雅彦：瀬上津波の戻り流れによる構造物の破壊に関する実験的研究，第37回年次学術講演会概要集Ⅱ，pp. 771-772，1982。
- 2) 永井荘七郎：水理学，コロナ社，pp. 142-144，1957。
- 3) 西村仁嗣・堀川清司：瀬上津波の戻り流れによる護岸法先の洗掘，第26回海岸工学講演会論文集，pp. 210-214，1979。

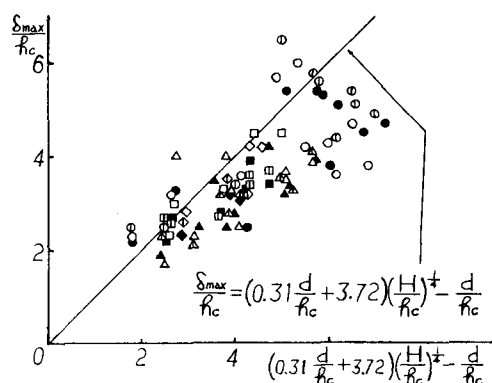


図3 最大洗掘深の実測値と計算値との比較

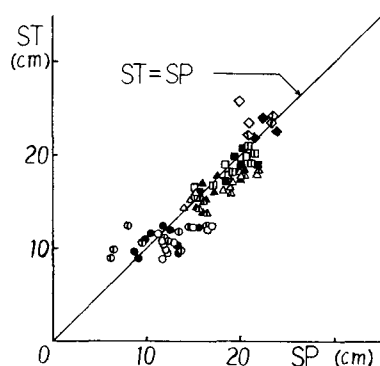


図4 最大洗掘位置

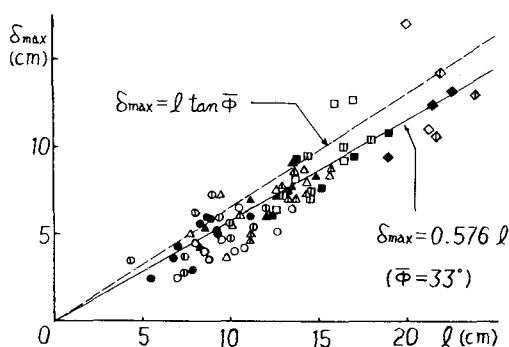


図5 最大洗掘深と洗掘長