

津波の戻り流れによる海岸護岸海側の洗掘量予測

東海大学大学院 学生会員 ○石井 俊輔
 東海大学大学院 学生会員 成吉 兼二
 東海大学大学院 フェロー 山本 吉道

1. 目的

2004年インド洋津波などで、津波が遡上した後起こる戻り流れによって砂浜が大幅に洗掘され、護岸が倒壊した事例が複数あった。本学の水理模型実験でも、**写真-1**に示すように、戻り流れによって護岸海側の砂地盤が洗掘されたことにより、護岸が転倒する場合のあることが確認できた。それゆえ、本研究では、水理模型実験により海岸護岸海側の最大洗掘深とその位置を予測する方法を提案する。

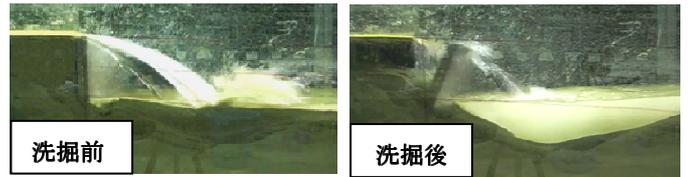


写真-1 海岸護岸の津波の戻り流れによる海側洗掘状況

2. 研究の内容

(1) 実験装置

本実験で使用した装置は、**図-1**に示すような、幅0.48m×高さ1.3m×長さ1.7mの戻り流れを発生させるタンクを設置した幅0.5m×高さ0.8m×長さ22mの水路により構成されている。

(2) 実験方法

タンクから3.8mの地点に護岸に見立てた高さ51cm、厚さ1cmの亚克力板を設置し、その背後は護岸天端から続く1/15勾配の固定床斜面として、亚克力板で被覆した。一方、護岸前面は移動床斜面として、粒径0.2, 0.66, 5, 10mmの砂礫を用いて1/15勾配の海浜を造成した。本実験では、洗掘量に関する諸元として、粒径の他に**図-2**に示すような、戻り流れの流速 u_r 、前面水深 h 、について複数変えたケースの実験を行い、それぞれと洗掘量との関係を調べた。なお、護岸天端上の戻り流れの流速 u_r は円盤型電磁流速計を用いて測定し、水流厚さ h_r 、最大洗掘深 Δd および最大洗掘位置 L はビデオ撮影から求めた。

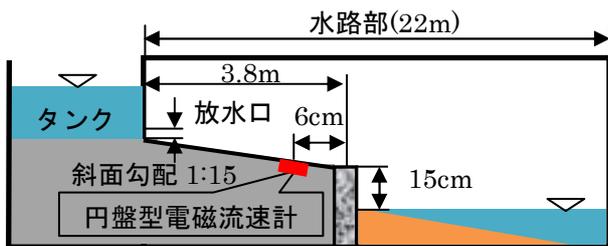


図-1 実験の模型と流速計の設置位置

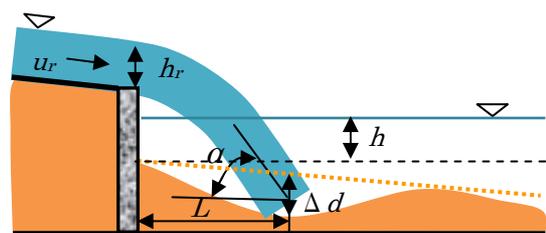


図-2 洗掘地形と洗掘量諸元の説明

3. 実験結果

最大洗掘位置の理論値 L_t は戻り流れが放物運動すると仮定して得られた式(1)から求める。戻り流れの流速 u_r には式(2)を用いており、理論値 L_t はピーク流速を用いて計算している。

$$L_t = \sqrt{\frac{2 \sin \theta}{f}} \sqrt{gh_r} \cos \theta \times t \quad \dots \dots (1)$$

$$u_r = \sqrt{\frac{2 \sin \theta}{f}} \sqrt{gh_r} \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 θ は背後地盤の勾配角、 f は地表面の摩擦係数、 g は重力加速度、 h_r は戻り流れの水流厚さ、 t は戻り流れが護岸を離れてから移動床斜面に到達するまでの時間である。また、摩擦係数 f には0.005を用いた。この値は、**図-1**に示すキーワード 津波、戻り流れ、被害予測、洗掘量

す模型を基に流量を変えた複数の実験を行い、測定したデータを用いて、式(2)の逆算から求めた。粒径0.2mm,前面水深0mの場合について、戻り流れの流量を変えた計6ケースの実験を実施した結果、**図-3**に示すように、流量が大きくなるほど、理論値よりも実測値が大きくなっていることが分かる。この理由は、流速が速くなるほど、**図-2**に示すナップの打ち込み角度 α が鋭角になることで、沖方向に強く洗掘するようになるからである。

さらに、粒径 d , 前面水深 h を変えた実験結果より、各々と最大洗掘位置 L との関係を示すために、最大洗掘位置 L を予測する算定式を提案した。

$$L = L_r \times C_\alpha \times C_d \times C_h, \quad C_\alpha = 1 + 1.25(38 - \alpha)/38, \quad \dots (3)$$

$$C_d = \exp\{-0.006(d - d_{0.2})/d_{0.2}\}, \quad C_h = 1/2\{1 - \tanh(1.1\sqrt{h/h_r} - 3)\}$$

(式の適用範囲: $1 < d/d_{0.2} < 50, 0 < h/h_r < 4.1$)

なお、上式の C_α は打ち込み角度, C_d は粒径, C_h は前面水深の補正係数である。

次に最大洗掘深 Δd_{\max} と力積、運動エネルギーとの関係を調べる。まずは、力積や運動エネルギーは流速を用いて表されるので、これらの経時変化を見比べてみた。**図-4**はその例で、水流厚さ0.017m, 前面水深0m, 粒径0.2mmのケースである。

そして、粒径0.2mm, 前面水深0mの場合について、戻り流れの流量を変えた計6ケースの実験を実施して、ピーク流速を得るまでの累加した(**図-4** 上部矢印の範囲) 単位幅当りの鉛直方向の力積 $\Sigma F_y \Delta t$, 運動エネルギー ΣE_y と最大洗掘深 Δd_{\max} との関係を調べた結果、**図-5** と **図-6** に示すように、本実験データの範囲内でそれぞれの相関は良好である。ここで、 ρ は水の密度(=1000kg/m³), μ は水の粘性係数で $1.31 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ を用いている。

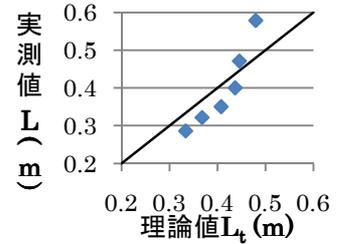


図-3 最大洗掘位置の理論値と実測値の比較

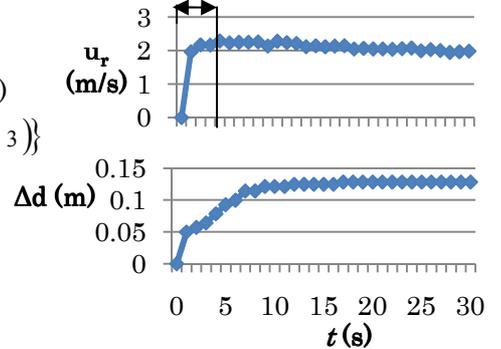


図-4 流速と最大洗掘深の経時変化

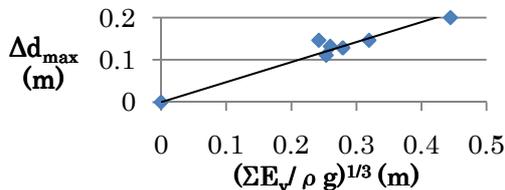


図-5 最大洗掘深と単位幅当りの累加運動エネルギーの関係

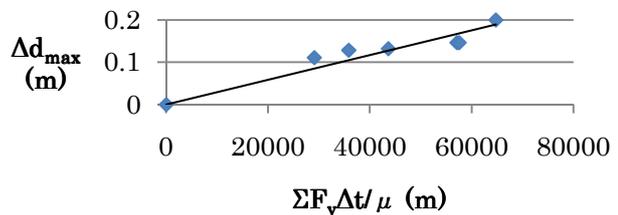


図-6 最大洗掘深と単位幅当りの累加力積の関係

さらに、粒径 d , 前面水深 h を変えた実験結果より、各々と最大洗掘深 Δd_{\max} との関係から、式(4)に示すように最大洗掘深 Δd_{\max} を予測する算定式を提案した。

$$\Delta d_{\max} = \begin{cases} C_{\Delta d} \times 0.47 (\Sigma E_y / \rho g)^{1/3} \\ C_{\Delta d} \times 3 \times 10^{-6} (\Sigma F_y \Delta t / \mu) \end{cases} \quad \dots (4)$$

$$C_{\Delta d} = C_d \times C_h = \exp\{-0.027(d - d_{0.2})/d_{0.2}\} \times 1/2\{1 - \tanh(1.5\sqrt{h/h_r} - 3)\}$$

(式の適用範囲: $1 < d/d_{0.2} < 50, 0 < h/h_r < 4.1$)

4. 結論

- ①洗掘量に関する諸元と洗掘量との相関を確認できた。
- ②式(1)と(2)を用いた放物運動モデルの下で最大洗掘深とその位置を算定する式を提案できた。
- ③算定式の適用範囲を広げるために落差のケースを加え、実験範囲の拡張をし、本実験を続けていくつもりである。

参考文献

堀川清司(研究者代表)(1983):陸上に氾濫した津波の挙動と津波の流動による被害のメカニズムに関する研究 文部科学省研究費自然災害特別研究成果, No. A-58-2, 133p.