

波・流れ共存場における局所洗掘

京都大学防災研究所 正員 土屋義人
 京都大学防災研究所 正員 河田恵昭
 大阪府 ○正員 錦織 慎

1. 緒 言：本研究は波と流れの共存場における円柱周辺の局所洗掘過程を実験的に検討するとともに、円柱の後流域に生ずる縦渦（カルマン渦）と底面の砂の浮遊との関係を含む洗掘機構のモデル化を行って、実験結果と比較する。

2. 局所洗掘実験：実験は図-1に示す装置を用いて行った。実験条件は、平均粒径 $d = 0.55\text{mm}$ 、水深 $h = 10\text{cm}$ 、波高 $H = 0\sim 6\text{cm}$ 、周期 $T = 1.4\text{s}$ 、流速 $u = 13.4, 6.71, 0, -12\text{cm/s}$ 、円柱径 $D = 1.6, 2, 2.4, 3\text{cm}$ である。洗掘深の経時変化は、図-2に示すように、直径 0.5mm の光ファイバー100本を縦に1列に並べたものを円柱の岸・沖側に取付け、他端で受光の有無をVTRで撮影して、計測した。今回の実験条件では、波あるいは流れのみでは顕著な局所洗掘は発生しなかったが、それらの共存場では洗掘が進行した。すなわち、円柱の後流域で発生する縦渦（カルマン渦）が波の峰の位相付近で形成されたのち、その移動にともなって、底面より竜巻状に砂が巻き上げられ、流れがそれを下流に運んで洗掘孔が拡大した。

3. 洗掘特性：図-3は波と流れによる洗掘孔の等深浅図の1例である。洗掘孔は上流側は半円形、下流側は台形状である。後者の方が孔が大きいの、渦による砂の舞上げ量が

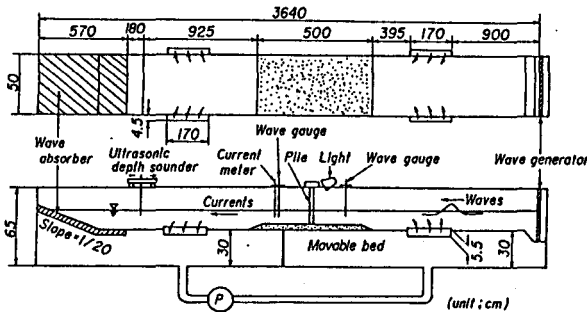


図-1 実験装置の概要

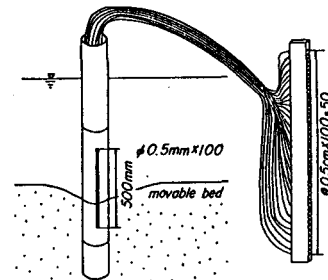


図-2 洗掘計

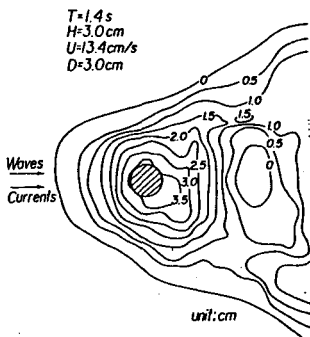
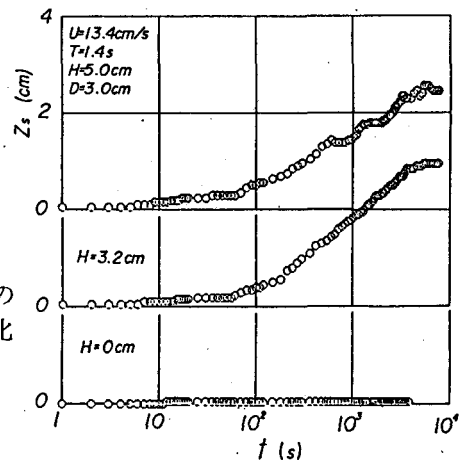


図-3 洗掘孔の等深浅図

図-4 洗掘深の経時変化



前者に比べて多いからであり、その斜面勾配は45°で、砂の水中安息角に近かった。図-4は洗掘深の経時変化の1例である。波高が大きくなれば洗掘は進むはずであるが、 $H=5$ cmの場合は移動床全面に砂れんが発生し、洗掘孔へ流入する漂砂量が増えて、むしろ3.2 cmの場合より浅くなっている。図-5は、無次元の最大洗掘深および砂れんの波高と波高・水深比との関係を表している。これから、砂れんが発生する波高よりわずかに小さい波高で、最大洗掘深は極大となっており、また、流速が大きいほど最大洗掘深は大きいことがわかる。図-6は、岸側と沖側の洗掘孔半径の関係を示している。流速が大きいほど、岸側の洗掘孔半径が大きい。これは、これは後流域（流れが順流ならば円柱の岸側）に発生する縦渦によって、洗掘がより進むことを示している。図-7は、無次元の洗掘孔半径および砂れんの波長と、波高・水深比との関係を示している。砂れんが発生すると、波高がさらに大きくなっても洗掘孔は大きくならず、砂れんの波長で規定されることが示される。

4. 局所洗掘機構のモデル化：円柱の後流域に発生する縦渦（カルマン渦）によって底面の砂が浮遊し、洗掘が進行するとして、波と流れによる局所洗掘過程をモデル化する。まず、基本的にこの渦がランキン渦であるとし、この渦の外縁流速が非擾乱域での流速に比例し、渦の直径は円柱径 D に比例するものとすれば、渦の循環は次のように表される。

$$\Gamma = \frac{1}{t_*} \int_0^{t_*} k(u + \hat{u} \cos \sigma t) \pi \alpha D dt$$

ここに、 u ；流速、 $\hat{u} \cos \sigma t$ ；波の水粒子速度、 k および α ；定数、 t_* ；流速が零になる時刻である。平均浮遊漂砂量は縦渦のパワーに比例すると考え、静的洗掘を対象とすれば、微小時間 t_i （この場合、波の1周期）の洗掘孔の体積変化 V_i は、近似的に次式のようになる。

$$V_i = \bar{q}(z_h - z_s)/z_h(1-\lambda)ut_i\alpha_2 D$$

ここに、 z_h ；砂の上昇高さ、 λ ；空隙率、 z_s ；洗掘の深さである。この式を繰り返し計算すれば洗掘深の経時変化を求めることができる。その1例を図-8に示しており、比較的よく現象を再現しているといえる。

5. 結 語：波と流れによる円柱の周辺の局所洗掘では、後流域の縦渦が支配的な要素となっていることを実験的に明らかにするとともに、この渦のモデル化によって、洗掘過程がある程度説明できることがわかった。

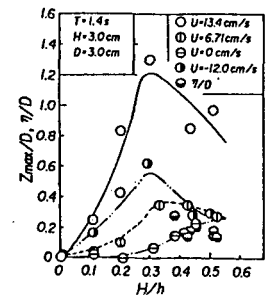


図-5 洗掘深と波高の関係

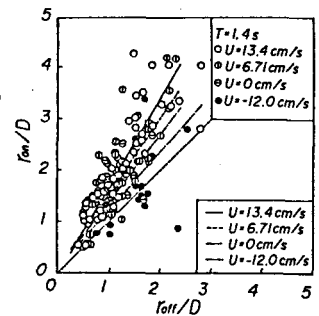


図-6 洗掘孔の半径

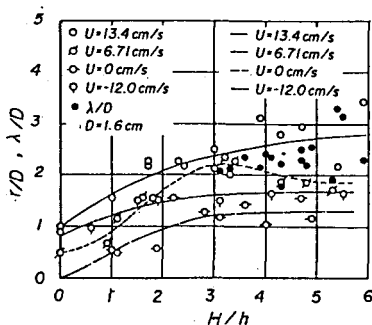


図-7 洗掘孔の半径と砂れんの波長

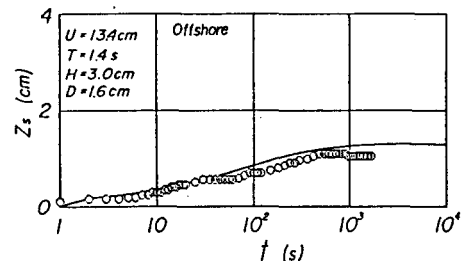


図-8 洗掘深の経時変化の計算結果