

## 柱状構造物における局所洗掘に対する移動床水理模型実験手法の提案

東洋建設株式会社 正会員 山野 貴司

## 1. はじめに

一般に、波などの流体運動によって移動しうる砂などの海底地盤上に構造物を設置すると、構造物周辺に渦流が発生し、その周辺の底質が移動する。これを局所洗掘というが、この局所洗掘が発生すると、構造物の安定性に重大な影響をおよぼす。そのため、構造物周辺で発生する局所洗掘の特性を把握し、局所洗掘に対する適切な措置を施すことが必要不可欠である。

海岸・港湾構造物周辺の局所洗掘に関しては、模型実験を中心とした多くの研究があり、図-1に示すように、海底砂面上に設置される円柱構造物に対しては、剥離渦流の発生によって、その脚部で馬蹄形の渦流が形成され、これに伴って洗掘が生じるとされている(榎木, 1999)。本論では、実際に現地の円柱構造物で発生する局所洗掘を適切に予測するために、新たな移動床水理模型実験手法を提案し、その適用性について、現地観測とその再現模型実験により検証することを目的とする。

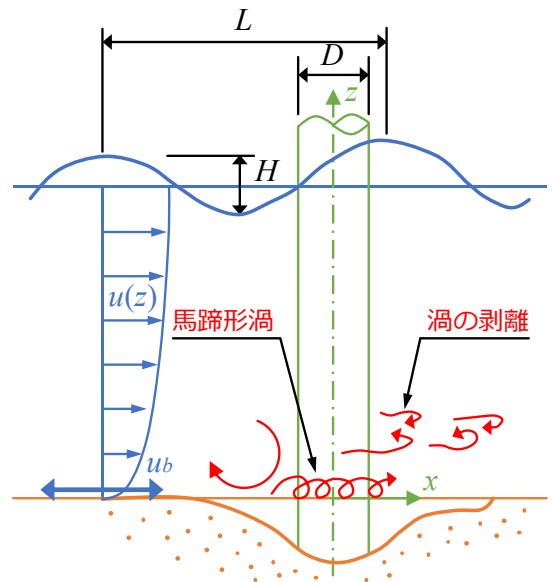


図-1 波浪中の小口径柱周辺の流れと洗掘

## 2. 従来の移動床水理模型実験に対する考え方

構造物の消波特性や波力特性に関する模型実験では、支配力が慣性力と重力であるため、フルードの相似則が適用される。一方で、局所洗掘現象のような底質の移動を伴う模型実験においては、慣性力と重力だけでなく、1)漂砂の移動限界水深の相似、2)漂砂量に関する相似、3)海底断面形状に関する相似、4)底質の移動形態に関する相似、等の相似性を確保する必要性が論じられている(岩垣・榎木, 1979)。

しかし、これらをすべて満足させることは困難であり、地形変化の過程にもっとも大きく影響すると考えられる要素を取り上げて相似則を決定せざるを得ない。洗掘現象は、渦や乱れによる流れによって底質が移動する現象のため、4)底質の移動形態に関する相似が重要な条件と考えられる。底質の移動形態は、シールズ数 $\Psi$ と、底面における水粒子速度の振幅 $u_b$ と底質粒子の沈降速度 $\omega_0$ の比で整理されている(Shibayama and Horikawa, 1982)。シールズ数 $\Psi$ は、波による底面せん断力と底質粒子の自重による抵抗力の比を意味し、次式(1)で定義される(榎木, 1999)。

$$\Psi = 1/2 \cdot f u_b^2 / (s - 1) g d \quad (1)$$

ここに、 $f$ : 摩擦係数、 $s$ : 底質粒子の比重、 $g$ : 重力加速度、 $d$ : 底質粒径である。

局所洗掘現象は、構造物周辺での底質の急激な移動であり、海底面では急激な流速と渦の形成が発生するため、底質は浮遊移動形態で移動すると考えられる。移動形態が浮遊移動の場合は、フルードの相似則に規定される底質の沈降速度 $\omega_0$ を相似させることが一般的である(Dean, 1985)。

移動床水理模型実験で用いる底質の設定において、フルードの相似則に従って底質の粒径を決定すると、底質の沈降速度がフルードの相似則を満たさなくなる場合がある。さらには、底質の移動形態も現地と模型実験とでは異なることになる。

キーワード 移動床水理模型実験, 局所洗掘, シールズ数, 沈降速度, 浮遊移動

連絡先 〒663-8142 兵庫県西宮市鳴尾浜 1-25-1 東洋建設株式会社 鳴尾研究所 TEL 0798-43-5902

### 3. 局所洗掘現象に対する新たな移動床水理模型実験手法

底質粒径の相似性よりも底質の沈降速度の相似性を優先して模型実験に用いる底質材料を決定しても、シールズ数が現地と一致しない場合が発生する。シールズ数が一致しなければ、底質の移動形態の相似性を満足することができなくなる。沈降速度と移動形態の両方の相似性を満足する底質を選択すればよいが、必ずしもそのような底質が入手できるとは限らない。そこで、底質性状を一致させ、沈降速度の相似性を満足したうえで、移動形態も相似させる方法として、波浪条件（外力条件）を歪ませる方法を提案する。

Dean(1973)により提案された底質の沈降速度の無次元数  $H/\omega_0 T$  ( $H$ : 波高,  $T$ : 周期) に対し、相似則の関係を適用すると式(2)となる（添字  $p$  および  $m$  は原型および模型）(Hughes, 1993)。この  $H/T$  の相似において、式(3)に示すように、移動床水理模型実験における波浪条件に対し、係数  $\alpha$  を付加する（山野, 2017）。

$$\frac{\omega_{0p}}{\omega_{0m}} = \frac{(H/T)_p}{(H/T)_m} \quad (2) \quad (H/T)_p \sim \alpha \cdot (H/T)_m \quad (3)$$

この係数  $\alpha$  によって、シールズ数および  $u_b/\omega_0$  を現地に近づけることで、底質の移動形態を相似させる。

### 4. 現地観測と再現模型実験

本手法の妥当性検証にあたり、現地観測およびその再現実験を行った。現地観測は、写真-1に示す鋼管杭（杭径  $D=1.2\text{m}$ ）を対象とし、杭脚部の海底面を計測した。再現実験は、縮尺を  $1/50$  として、写真-2のように平面水槽内に杭模型を設置し、後述する条件で造波した後、地盤高を計測した。



写真-1 鋼管杭の状況



写真-2 再現実験の状況

図-2に、現地および再現実験から算出されるシールズ数と  $u_b/\omega_0$  について、Shibayama and Horikawa(1982)による移動形態の遷移条件に照らし合わせた結果を示す。現地での対象波浪条件 ( $H_{1/3}=1.74\text{m}$ ,  $T_{1/3}=8.5\text{s}$ ) に対し、現地底質（粒径  $d=0.44\sim 2.5\text{mm}$ ）の移動形態は遷移領域から浮遊移動（赤四角の範囲）であり、フルードの相似則に基づいて波浪条件を設定すると、本再現実験で使用する底質（中央粒径  $d_{50}=0.19\text{mm}$ ）の移動形態が一致しない（白抜き青丸）。そこで式(3)を用いて、今回は係数  $\alpha=2$  と設定することでシールズ数と  $u_b/\omega_0$  を大きくし、底質の移動形態を現地と一致させた（塗り潰し青丸）。

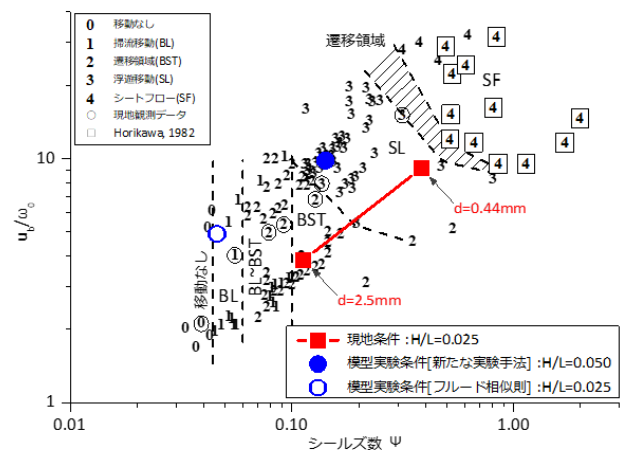


図-2 底質の移動形態の遷移条件

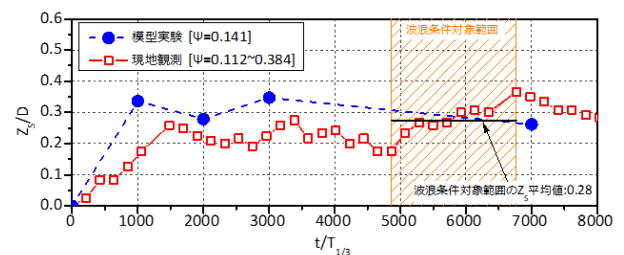


図-3 無次元洗掘深  $Z_s/D$  の経時変化

図-3に、杭脚部の洗掘深  $Z_s$  を杭径  $D$  で無次元化した経時変化の結果を示す。再現実験での  $t/T_{1/3}=7000$  における洗掘深は、現地での波浪条件対象範囲での洗掘深の平均値と良好に一致し、時間的な洗掘深の変化も比較的一致した。

### 5. おわりに

柱状構造物における局所洗掘に対し、新たな移動床水理模型実験手法を提案し、現地での波浪条件対象範囲に対応した再現実験において、本手法の妥当性が確認された。

### 参考文献

1) 榎木: 環境圏の新しい海岸工学, 1999. 2) 岩垣, 榎木: 海岸工学, 1979. 3) Shibayama & Horikawa: Sediment transport and beach transformation, 1982. 4) Dean: Physical modelling of littoral processes, 1985. 5) Dean: Heuristic models of sand transport in the surf zone, 1973. 6) Hughes: Physical models and laboratory techniques in coastal engineering, 1993. 7) 山野: 杭で支持された新型離岸堤の開発とその局所洗掘対策の開発に関する研究, 2017.