

II-582 波動場と往復流場中に杭支持された不透過板によって生じる地形変化特性

大阪大学工学部 正会員 榎木 亨

大阪大学工学部 正会員 出口一郎

大阪大学工学部 正会員 小野正順

1. まえがき

洗掘促進工法は、腐泥で覆われた海浜や干潟に構造物（不透過板）を設置することにより、構造物周辺で局所洗掘を発生させミオ筋を形成させると同時に、その下流側には腐泥が除去された底質砂による堆砂領域を形成させる底質改善工法の1つである。構造物周辺での洗掘・堆砂を生じさせる外力としては、内湾性の干潟や海浜では潮流、外海の場合は波浪を利用する。本研究は、波動場と往復流場を対象として杭支持された不透過板（板と円柱の複合構造物）による洗掘・堆砂機構について2次元移動床実験により検討を行う。

2. 実験の概要

実験水槽は、2次元開水路と2次元造波水槽を用いた。底には中央粒径 d_{50} が 0.012cm （沈降速度 $W_s=1.16\text{cm/s}$ ）の豊浦標準砂を 15cm 程度で敷き均した。実験縮尺は $1/10$ であり、不透過板は高さ $h_r=5.7\text{cm}$ 、厚さ 0.4cm である。不透過板は、直径 $D=1\text{cm}$ の鋼棒の杭により 6.6cm 間隔で支持されており、図-1に示すように板下端が底に接触する位置で設置した。水深 h は 21cm と一定とした。往復流は潮流を想定し、1時間毎に流向を変化させて作用させた。作用させた流速は、断面平均流速 U が $22, 33, 43\text{cm/s}$ の3種類（対応する摩擦速度 u^* は $1.84, 2.67$ 及び 3.40cm/s 、 $\text{Sh}-\text{Nz}$ 数 $S=u^{*2}/(1.65 \cdot g \cdot d_{50})$ は $0.18, 0.39$ 及び 0.63 ）である。 $S=0.18, 0.39$ の場合砂連は発生せず 0.63 の場合は発生するが形状は明確ではない。いずれの場合も浮遊砂が発生し $S=0.39, 0.63$ で浮遊漂砂が卓越する。波動場の実験に用いた波条件は、波高 H を 5.5cm と一定とし、周期 T を $1.0, 1.3, 1.5\text{s}$ の3種類に変化させた。その結果、底部の水粒子速度の振幅 u_b は $14, 16, 17\text{cm/s}$ 、層流境界層を仮定して計算される底部摩擦速度の振幅 u_b^* は 1.9cm/s 、板の高さに対する $K.C.$ 数 $=u_b \cdot T/h_r$ は、 $2.5, 3.7, 4.5$ の範囲となる。全ての場合で砂連が発生し、浮遊漂砂が卓越する。観測された砂連波高は、 $0.6 \sim 0.8\text{cm}$ 、基準点濃度は $2000 \sim 4500\text{ppm}$ 、拡散係数は $1.2 \sim 2.1\text{cm}^2/\text{s}$ 程度である。断面地形の測定は、板の下側（杭と杭の間）を通る断面地形について水槽の側方からVTRにより観測した。

3. 往復流場中の不透過板による堆砂・洗掘特性

図-2の(a)図は、不透過板に各流速の往復流を作用させた

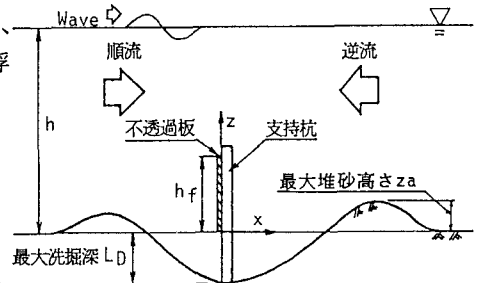


図-1 不透過板の設置状況

場合に生じる最大洗掘深の時間変化を示す。往復流場における洗掘形状の時間変化は、一般的に3つの変形パターンを経て定常（平衡）洗掘形状に至る。まず、 $U \cdot t/D < 5 \cdot 10^3$ の時間領域は、不透過板下端部で発生する乱れによる洗掘と支持杭周りの局所洗掘により洗掘促進工の下側全域で洗掘が急激に発達するが、すぐ時間変化は緩やかになる。この時間領域では不透過板による洗掘よりも支持杭周りの局所洗掘が卓越し、洗掘孔の形状は3次元的となり、板下側を通る断面形状における最大洗掘深の時間変化は緩やかになる。その後、 $5 \cdot 10^3 < U \cdot t/D < 10^5$ の時間領域では、各支持杭周りの洗掘孔がつながり、不透過板の縮流効果による洗掘が卓越し、洗掘孔は2次元的となる。この二度目の急速な最大洗掘深の時間変化の後、 $U \cdot t/D = 10^5$ 以降で洗掘速度は緩やかになりほぼ2次元的な洗掘孔で平衡洗掘形状に至る。従来の杭周りの局所洗掘に関する研究より、定常洗掘は $U \cdot t/D$ が $10^4 \sim 10^5$ 程度で達することが知られている。杭と板の複合構造物についても同程度の時間スケールで平衡形状に達するが、その洗掘過程は上述したように3次元的な洗掘形状から2次元的な洗掘形状に変化する。各流速の違いによる洗掘形状の時間変化に着目すると $S=0.39, 0.63$ の場合は、ほぼ上述した時間経過をたどるが、 $S=0.18$ の場合には2度目の急速な洗掘深の発達は顕著に現れていない。これは、支持杭周りの

局所洗掘が卓越した状態で定常状態に達するため、定常状態の洗掘形状は3次元的となる。また、逆流時には、順流時に形成された堆砂により流れが上方に加速されるため、洗掘孔が埋め戻ることはない。(b)図は、不透過板に往復流を作用させた場合、順流時に下流側にできる堆砂領域の最大堆砂高さの時間変化を示す。最大堆砂高さの時間変化は、最大洗掘深とほぼ同様な時間変化を示すが、各流速についての差異が最大洗掘深の場合と比較すると小さい。これは、各流速で発生する堆砂形状は時間的にもほぼ2次元的な形状を保ちながら変形しており、洗掘形状と比較すると複合構造物による影響は小さい。また、順流時に形成された堆砂は、逆流時に削られる程の堆砂高さまでは堆積していない。

4. 波動場中の不透過板による堆砂・洗掘特性

図-3の(a)図は、不透過板に波を作用させた場合に生じる最大洗掘深の時間変化を示す。最大洗掘深の時間変化は、急速に洗掘が発達する $u_b \cdot t/D = 3 \sim 5 \cdot 10^3$ 以前の初期洗掘の時間領域とそれ以降の洗掘深が時間的にあまり変化しない定常洗掘の時間領域とに区別される。初期洗掘の図-2時間領域では、不透過板下端より発生する剥離渦により底質砂が巻き上げられ、洗掘は剥離渦の影響の及ぶ範囲まで急速に発達し、その後洗掘はほとんど進行しない。従って、洗掘孔はほぼ2次元形状を示す。また、K.C.数が大きい程、定常洗掘に移行する時間が早く、定常洗掘における最大洗掘深も大きい。往復流場との比較を行うと洗掘過程において往復流場の場合に見られた杭周りの局所洗掘が卓越する3次元的な洗掘孔の時間領域が、波動場の場合では見られない。また、ほぼ平衡形状に達する時間は、 $u_b \cdot t/D = 3 \sim 5 \cdot 10^3$ 程度と往復流場の場合より短い時間で平衡形状に達する。これは、波動場での洗掘が、唯一不透過板下端部より生じる剥離渦のみで発達するため、何故、往復流（K.C.数が大きい）場合に、各部材（杭と板）による洗掘が時間的に位相差を持って卓越するのかは明らかでない。(b)図は、不透過板に波を作用させた場合に生じる最大堆砂高さの時間変化を示す。全ケースで波の透過波側に堆積領域が発生した。これは、上述したように底質砂の輸送が不透過板の上端と下端で形成される剥離渦によって支配されており、下端部で形成された剥離渦によって巻き上げられた底質砂は、上端部で形成される剥離渦によって取り込まれ、そのまま透過波側に渦ごと輸送されるためである。波動場の場合の最大堆積高さの時間変化は、往復流場の場合と異なり最大洗掘深の時間変化に対して位相差を生じる。これは波動場の場合、定常流が小さく不透過板近傍で生じた渦は流されず、巻き上げられた砂は長時間浮遊しているため、最大洗掘深と最大堆砂高さの時間変化に位相差を生じると考えられる。

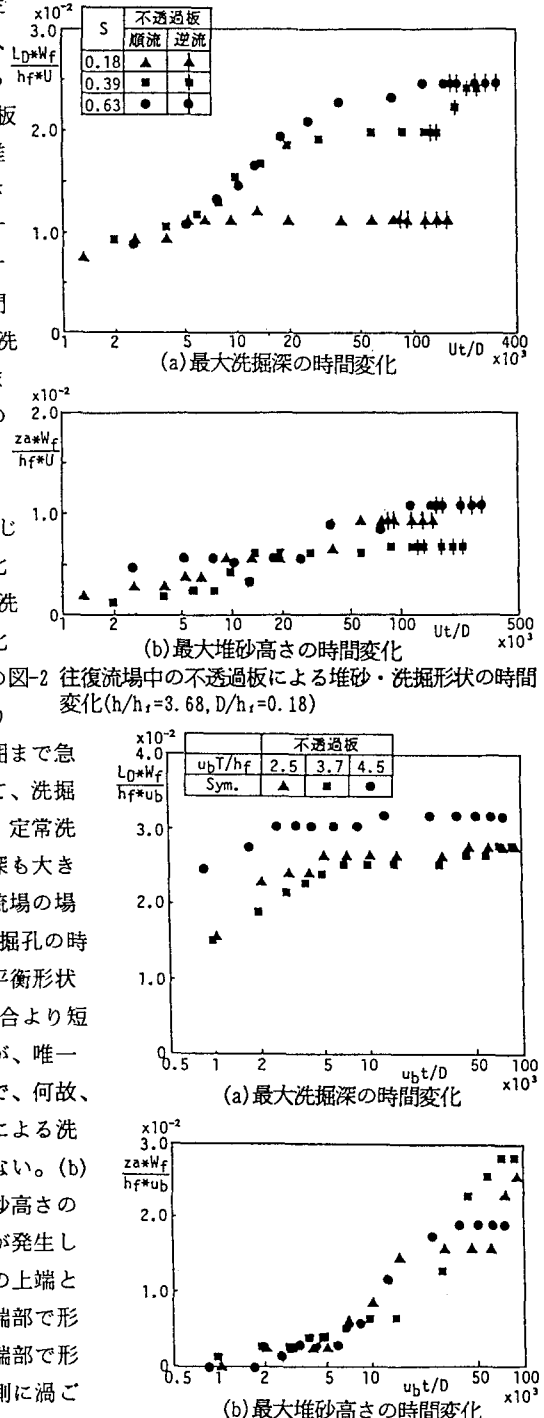


図-3 波動場中の不透過板による堆砂・洗掘形状の時間変化($h/h_i = 3.68$, $D/h_i = 0.18$)