矢板式岸壁の腐食孔からの埋立土砂の 吸い出し機構に関する研究

中村 友昭¹・福田 俊²・趙 容桓³・水谷 法美⁴

¹ 正会員 名古屋大学准教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
E-mail: tnakamura@nagoya-u.jp

² 正会員 国土交通省北海道開発局小樽開発建設部小樽港湾事務所 (〒047-0008 北海道小樽市築港 2-2)
E-mail: fukuda-s22ab@mlit.go.jp

³ 正会員 名古屋大学助教 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
E-mail: yhcho@civil.nagoya-u.ac.jp

⁴ フェロー会員 名古屋大学教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
E-mail: mizutani@civil.nagoya-u.ac.jp

矢板式岸壁の腐食孔からの埋立土砂の吸い出しを水理実験と数値解析の両面から検討した。その結果、岸壁前面の水位が最も低下する位相の前後に土砂の流出が生じること、埋立土砂の吸い出しは静水面に対する腐食孔の相対位置の影響を強く受けることが判明した。また、腐食孔が空气中に露出する条件では、引き波時に腐食孔内部の上側から流入し、下側から流出する流れが生じることを確認し、水理実験で確認された土砂の流出はこの冲向きの流れにより生じたことを示した。さらに、吸い出しは腐食孔の内部に生じる冲向き流速が大きいほど発生しやすく、そのときに地盤が膨張状態にあると陥没に到る大規模な吸い出しが発生する可能性があることが判明した。そのため、腐食孔が開いたとしても、その内部に生じる冲向き流速を小さく抑えることの重要性を示した。

Key Words : sand leakage, quay wall, corrosion hole, seaward flow velocity, volumetric strain

1. 緒言

矢板式岸壁の腐食損傷箇所から埋立土砂が吸い出され、背後の地盤に空洞や陥没が生じた事例が報告されている¹⁾。このような現象に関しては、これまでにケーソン型防波護岸、緩傾斜護岸、捨石護岸、重力式岸壁、海岸堤防を対象とした研究が行われており、上述した矢板式岸壁についても変動水圧作用下における岸壁の目地や流出防止板の損傷箇所からの土砂流出機構の検討が前野ら²⁾によって行われている。しかし、矢板自体が損傷して開いた腐食孔を対象に波浪作用下における埋立土砂の吸い出しを検討した研究は少なく、腐食孔周辺の流速場とひずみ場の観点から埋立土砂の吸い出しが発生する可能性のある条件を示した中村ら³⁾の検討に限られている。

本研究では、局部腐食が進行し腐食孔が開いた矢板式岸壁を対象とした水理実験を実施し、腐食孔を通じての作用波の伝播特性の把握を行うとともに、土砂吸い出しの発生条件を検討する。また、その水理実験に地盤の水・土連成解析が可能な3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデルFS3M⁴⁾を適用し、水理実験結果との比較によりFS3Mの再現性を確認するとともに、水理実験

で確認された土砂吸い出しの発生状況との比較を通じて、腐食孔からの土砂吸い出しの発生機構を考究する。

2. 水理実験

(1) 実験装置および実験条件

実験装置の概略図を図-1に示す。同図(a)に示すように、片面ガラス張り2次元鋼製造波水路(長さ30 m, 幅0.7 m, 高さ0.9 m)に隔壁板を設置して幅を二分し、その片側のガラス面側にアクリル製の箱を設置した。アクリル製の箱の沖側面は、日本港湾協会⁵⁾を参考に決定した12 m岸壁をFroudeの相似則に基づいて縮尺1/30でモデル化した形状となっている。また、腐食の進行は干潮帯から飛沫帯にかけて大きいことが知られていることから⁶⁾、岸壁には干潮帯付近(A, B)と比較のために水中(C, D)の計4箇所に腐食孔を開けた。さらに、後述するようにA~Dのうち1箇所またはAとBの2箇所のみ開けた状態を対象とすることができるように、任意の位置の腐食孔を塞ぐことができる構造とした。ここで、国土交通省⁶⁾において高さ30 cm程度の腐食孔が確認されていたことから、腐食孔

図-1 実験装置の概略図

の高さは1 cmとした。さらに、腐食孔の形状は簡単のため断面2次元現象を対象とするために奥行き方向に一樣な長方形とした。そのため、腐食孔からの土砂吸い出しは過大となることが想定されるものの、腐食孔からの土砂吸い出しの特徴とその発生機構を検討するために上述のような腐食孔とした。そして、アクリル製の箱の内部に中央粒径0.2 mmの珪砂を投入して地盤の造成を行った。なお、珪砂の中央粒径は上述した相似則に基づいて決定すると粘着力の効果が卓越しすぎてしまうと考える、腐食孔の形状の場合と同様に、土砂吸い出しの特徴とその発生機構を検討するために上述した中央粒径の珪砂を用いた。また、図-1(c)に示す位置に電気容量式水位計(KENEK製CHT6-30)、電磁流速計(KENEK製VMT2-200-04PL)、地下水位計(KENEK製CHT6-43-SQ)、間隙水圧計(共和電業製BPR-A-50KPS)を設置した。入射波は平穏時を想定した波高と周期を有する規則波とし、W1での波高 H_i 、周期 T 、静水深 h 、腐食孔の位置を変化させた表-1に示す計23ケースの実験を行った。なお、同表の吸い出し状況については後述する。造波時間は24時間とし、腐食孔からの埋立土砂の吸い出し状況をデジタルビデオカメラで撮影するとともに、造波開始直後、5分後、1時間後、以降1時間ごとに、水位、流速、地下水位、間隙水圧の計測を行った。なお、Case 02とCase 16については実験を2回実施し、土砂吸い出しの再現性が確認できている。

(2) 実験結果および考察

a) 地下水位変動および間隙水圧変動の特性

図-2に実験開始5分後の地下水位変動の全振幅 H と間隙水圧変動の全振幅 p の空間分布を示す。ここで、 x は岸

表-1 実験条件と吸い出し発生状況

Case	T [s]	H_i [cm]	h [cm]	腐食孔	吸い出し
01	1.0	0.6	40.0 (LWLを想定)	B	Void
02		0.9			Void
03		2.0			Void
04		1.0			Void
05	1.8	2.0	42.5	A	Void
06	1.0	1.1			Void
07	1.0	0.7			Void
08	1.0	1.0	40.0	C	No Leakage
09		1.9			No Leakage
10	1.8	1.1		D	No Leakage
11		2.0			No Leakage
12	1.0	1.0	49.0 (HWLを想定)	A	No Leakage
13		2.0			No Leakage
14	1.8	1.2		A	No Leakage
15		2.3			No Leakage
16	1.0	1.0	43.5	A	No Leakage
17	1.0	1.9			No Leakage
18		1.4			No Leakage
19	1.8	2.1			No Leakage
20	1.0	0.9	41.5	A	No Leakage
21		2.0			Cave-in
22		1.7			No Leakage
23		2.4			No Leakage

図-2 地下水位変動および間隙水圧変動の特性

壁の沖側面からの水平距離、 H_q は岸壁前面のW2での波高、 p_c は微小振幅波理論に基づいて H_q から求めた腐食孔と同じ高さでの水圧変動の全振幅である。なお、腐食孔が2つ存在するCase 07と腐食孔が静水面よりも高い位置にあるCase 22, 23については p_c が求められないことから、これらのケースについては図-2(b)には図示しなかった。

図-2より、捨石護岸背後からの埋立土砂の吸い出しの水理実験を行った中村ら⁷⁾の場合と同様に、 H/H_q や p/p_c は地盤の内部を伝播するとともに減衰する傾向が確認できる。また、その程度は p/p_c よりも H/H_q の方が大きく、 H は $x = 25$ cmの地点で H_q の4%未満しかないと分かる。さらに、腐食孔がA, C, Dの位置にある場合には、中村ら⁷⁾の場合と同様に、周期 T が小さい方が H/H_q も全体的に小さくなっている。これは、腐食孔を通じての水

写真-1 埋立土砂の流出過程(Case 05)

写真-2 空洞の発生状況 (造波開始 24 時間後)

写真-3 陥没の発生状況 (造波開始 24 時間後 ; Case 21)

の出入りが $T=1.0$ sの方が小さかったためと考えられる。ただし、 p/p_c からは H/H_q と同様の傾向は確認できない。

以上より、腐食孔を通じての地下水位の変動は間隙水圧の変動に比べて伝わりにくく、そのために岸壁背後の地盤内部における地下水位の変動は間隙水圧の変動と比べて小さいことが判明した。

b) 土砂吸い出しの発生状況とその分類

写真-1にCase 05における埋立土砂の流出過程を例示する。造波開始前は同写真(a)に示すように腐食孔内部への土砂の流出は認められないものの、造波開始直後から岸壁前面の水位が最も低下する位相の前後に土砂が腐食孔を通じて流出する現象が生じていたことを目視により確認した。その後、継続的な土砂の流出により腐食孔の背後に空洞が形成され、さらに空洞上部の土砂が自重により落下し、造波開始5分後には写真-1(b)に示すように上部構造の下側に空洞が形成された。そして、土砂の流出に伴って腐食孔の背後に空洞が形成され、さらに空洞周辺の土砂が崩壊して空洞が拡大するというサイクルが繰り返され、造波開始1時間後には写真-1(c)に示すように空洞が縦方向に成長した。このサイクルは中村ら⁷⁾や木下ら⁹⁾によっても確認されている。ただし、その後は空洞の縦方向への成長は見られず、造波終了後には写真-1(d)に示す形状となった。

本研究では、上記のような埋立土砂の吸い出しを、表-1に示すように、吸い出しなし(No Leakage)、写真-1と

図-3 土砂吸い出しの発生条件

図-4 計算領域の概略図

写真-2に例示するような空洞の形成に到る小規模な吸い出し(Void)、写真-3に例示するような背後地盤の陥没に到る大規模な吸い出し(Cave-in)の3パターンに分類した。ここで、写真-2(a)のCase 01と写真-2(b)のCase 02の比較と、表-1のCase 20とCase 21の比較より、周期 T 、静水深 h 、腐食孔の位置が同条件の場合、波高 H_i の減少とともに吸い出しの規模も小さくなる傾向が確認できる。

c) 土砂吸い出しの発生条件

図-3に土砂吸い出しの発生条件を示す。ここで、同図の横軸は中村ら⁷⁾に倣ってUrsell数 U_r ($= H_i L^2 / h^3$; L : 波長)とし、縦軸の z は静水面からの腐食孔中央の位置(上向きを正)である。図-3より、埋立土砂の吸い出しは腐食孔の相対位置 z/H_i の影響を強く受け、本研究の範囲では、腐食孔の中央に静水面がある条件のときに小規模な吸い出し(Void)が、腐食孔が静水面より若干低い位置にあり、引き波時に空气中に露出する条件のときに大規模な吸い出し(Cave-in)が発生したことが分かる。その一方で、 U_r が大きい条件のときに埋立土砂の吸い出しが発生していた捨石護岸⁷⁾や重力式岸壁⁹⁾の場合と異なり、 U_r が腐食孔からの土砂吸い出しに与える影響は確認できない。

3. 数値解析

(1) 計算条件

FS3Mでは腐食孔から土砂が流出し、空洞が形成され、空洞周辺の土砂が崩壊する過程の解析は行えないことから、土砂流出前の状態を対象とした数値解析を行った。

図-4に計算領域の概略図を示す。同図に示すように、水理実験と同じ諸元の岸壁と地盤を設定し、岸壁前面のW2(図-1(c)参照)での水位変動が水理実験と一致するように設定した波高の波を造波させた。なお、岸壁の沖側面

図-5 水理実験結果と数値計算結果の比較(Case 10)

を原点とする水平岸向きを x 軸, $h = 40$ cmのときの静水面を原点とする鉛直上向きを z 軸とした。

流体解析において, x 軸方向の格子幅 Δx は, 岸壁周辺($-400 \leq x \leq 50$ cm)では1.0 cm, 減衰領域を除くそれ以外の領域では2.0 cmとした。また, z 軸方向の格子幅 Δz は, 静水面近傍($-10 \leq z \leq 17$ cm)と腐食孔近傍では0.5 cm, それ以外の領域では1.0 cmとした。流速と圧力の境界条件として, 底面, 岸壁表面, 岸側境界にはSlip条件を, 沖側境界にはSommerfeld放射条件を, 上側境界には圧力一定の条件を課した。また, 水の体積率を表すVOF関数 F の境界条件には, 全境界に勾配ゼロの条件を用いた。

一方, 地盤の解析では, 腐食孔の近傍で最小の $\Delta x = 1.0$ cm, $\Delta z = 0.5$ cmの要素となるように地盤全体を分割した。境界条件として, 岸壁表面と岸側境界に地盤骨格の変位の法線方向成分がゼロの条件と非排水条件を, 底面に地盤骨格の変位がゼロの条件と非排水条件を課した。

パラメータとして, 珪砂の密度 ρ_s , 地盤の空隙率 m , せん断弾性係数 G , ポアソン比 ν , 透水係数 k_s は水理実験での実測値が得られていないことから, $\rho_s = 2.70 \times 10^3$ kg/m³, $m = 0.4$, $G = 10^8$ N/m², $\nu = 0.33$ とし, k_s はKozeny-Carmanの式¹⁰⁾から求めた。また, 水の見かけの体積弾性係数は, 空気の若干の混入を仮定して 2.2×10^7 N/m²とした。

(2) 計算結果および考察

a) 再現性の検証

岸壁前面の水位変動 η , 水平流速 u , 鉛直流速 w と地盤内部の間隙水圧変動 p に関して, 水理実験結果との比較を図-5に例示する。ここで, t は時間である。なお, 流体解析でも地盤内部の流体運動を解いていることから, 図-5(b)には流体解析による結果 (VOF; 点線) と地盤解析

図-6 腐食孔周辺の流速場と体積ひずみ場(Case 02)

図-7 水平流速と体積ひずみの着目位置

による結果 (FEM; 実線) を同時に示した。

図-5(a)より, η, u, w は水理実験結果と比較的に良く一致しており, 波動場に対するFS3Mの再現性が確認できる。その一方で, 図-5(b)より, 流体解析では, p の振幅を大幅に過小評価しており, また流体解析, 地盤解析ともに, P2やP3での p の位相に差が認められることが分かる。これは, 地下水面より上にある地盤は, 水理実験では不飽和状態であったと推測されるものの, 不飽和状態を取り扱えない流体解析では乾燥状態, 飽和状態しか取り扱えない地盤解析では飽和状態としたため, 上述のような差が生じたと考えられる。ただし, 地盤解析による p の振幅は, 水理実験結果と概ね一致していることが確認できることから, 以降では, 地盤内部の現象に対しては地盤解析の結果を用いて検討を進める。

b) 腐食孔周辺の流速場およびひずみ場

腐食孔が空气中に露出する条件における腐食孔周辺の流速場と体積ひずみ場を図-6に例示する。ここで, ε_v は体積ひずみ (収縮を正) である。また, 図-7に示す位置の腐食孔内部の水平流速 $u_{1low}, u_{1up}, u_{2low}, u_{2up}$ と腐食孔背後の地盤に生じた体積ひずみ $\varepsilon_{1low}, \varepsilon_{1up}$ について, 図-6と同条件における各物理量の時間変化を図-8に示す。ここで, η は岸壁前面のW2での水位変動, g は重力加速度である。なお, 流速には空気の影響も含まれることから, $u_{1low}, u_{1up}, u_{2low}, u_{2up}$ は $F \geq 0.2$ のときのみ示した。

図-6(a)と図-8より, 岸壁前面の水位が最も上昇した $t/T = 0.25$ のとき, 腐食孔内部の下側には岸向きの流れ $u_{1low} >$

図-8 水平流速と体積ひずみの時間変化(Case 02)

(a) 岸壁前面の水位が最も上昇した位相

(b) 岸壁前面の水位が最も低下した直後の位相

図-9 腐食孔周辺の流速場と体積ひずみ場(Case 11)

0)が, 上側には冲向きの流れ($u_{1up} < 0$)が生じていることが確認できる。また, このとき, u_{2low} と u_{2up} がともに正となっている影響を受けて, 腐食孔背後の地盤には膨張($\varepsilon_v, \varepsilon_{vlow}, \varepsilon_{vup} < 0$)が生じている。一方, 図-6(b)と図-8より, 岸壁前面の水位が最も低下する直前の $t/T = 0.73$ のときは, 腐食孔内部の流れが $t/T = 0.25$ のときと反転しており, 下側には冲向きの流れ($u_{1low} < 0$)が, 上側には岸向きの流れ($u_{1up} > 0$)が生じていることが分かる。ただし, 腐食孔背後の地盤の $\varepsilon_v, \varepsilon_{vlow}, \varepsilon_{vup}$ の変化は小さく, 大きな収縮は生じていない。この位相は上述したように水理実験において土砂の流出が確認できた位相であり, ε_{vlow} の変化, すなわち地盤を構成する砂粒子間の拘束力の変化が小さい状態の地盤に対して冲向きの流速 u_{1low} が作用したことで, Case 02では表-1や写真-2(b)に示したように埋立土砂の流出に到ったと考えられる。

続いて, 腐食孔が常に没水状態にある条件における流速場と体積ひずみ場を図-9に, それと同条件下での $\eta, u_{1low}, u_{1up}, u_{2low}, u_{2up}, \varepsilon_{vlow}, \varepsilon_{vup}$ の時間変化を図-10に例示する。ここで, u は水平流速である。

図-10 水平流速と体積ひずみの時間変化(Case 11)

図-11 土砂吸い出しと水平流速・体積ひずみの関係

図-9(a)と図-10より, 岸壁前面の水位が最も上昇した $t/T = 0.25$ のとき, 腐食孔内部の地盤側の流れの方向はすべて岸向き($u_{1low}, u_{1up}, u_{2low}, u_{2up} > 0$)となっており, そのため腐食孔背後の地盤には膨張($\varepsilon_v, \varepsilon_{vlow}, \varepsilon_{vup} < 0$)が生じていることが分かる。一方, 腐食孔前面の水位が最も低下した直後の $t/T = 0.75$ では, 図-9(b)と図-10より, 腐食孔内部の地盤側には冲向きの流れ($u_{1low}, u_{1up}, u_{2low}, u_{2up} < 0$)が, その影響を受けて腐食孔背後の地盤には収縮($\varepsilon_v, \varepsilon_{vlow}, \varepsilon_{vup} > 0$)が生じていることが確認できる。ただし, このときの u_{1low}, u_{1up} の大きさは図-6(b)および図-8の場合と比較して2オーダー小さく, さらに地盤の収縮のため砂粒子間の拘束力が増加した状態となっている。そのため, Case 11では土砂の流出が生じなかったと考えられる。

c) 土砂吸い出しの発生機構

以上の議論を踏まえて, 腐食孔が空气中に露出する条件では u_{1low} の最大冲向き流速を u_{leak}^{max} とし, u_{leak}^{max} と同時刻における ε_{vlow} を $\varepsilon_v^{u_{leak}^{max}}$ とする。また, 腐食孔が常に没水状態にある条件では u_{1low} または u_{1up} に生じる最大冲向き流速を u_{leak}^{max} とし, u_{leak}^{max} と同時刻における u_{leak}^{max} 背後の体積ひずみ(ε_{vlow} または ε_{vup})を $\varepsilon_v^{u_{leak}^{max}}$ とする。

図-11に土砂吸い出しに与える u_{leak}^{max} と $\varepsilon_v^{u_{leak}^{max}}$ の影響を示す。同図より, u_{leak}^{max} が大きい場合に埋立土砂の吸い出しが発生することが確認できる。このとき, $\varepsilon_v^{u_{leak}^{max}}$ の変化は小さく, 吸い出しを助長あるいは抑制する効果は小さいと推測される。ただし, $\varepsilon_v^{u_{leak}^{max}}$ の減少が大きかったケース

では吸い出しを助長する効果が作用し、背後地盤の陥没に到ったと考えられる。一方、 $u_{\text{leak}}^{\text{max}}$ が小さい場合には、埋立土砂の吸い出しは発生していない。このとき、腐食孔背後の地盤は収縮状態($\varepsilon_v^{\text{max}} > 0$)にあり、そのために砂粒子間の拘束力の増加により吸い出しを抑制する効果が作用していたことも影響していると考えられる。

以上より、腐食孔内部の地盤近傍に大きな冲向き流速が生じると埋立土砂の吸い出しが発生し、さらにそのときに地盤が膨張状態にあると地盤の陥没に到る大規模な吸い出しが発生する可能性があることが判明した。また、このことから、吸い出し防止のためには、冲向き流速を小さく抑えることの重要性が示唆される。

4. 結論

本研究では、矢板式岸壁の腐食孔からの埋立土砂の吸い出しを水理実験と数値解析の両面から考究した。本研究で得られた主要な結論を以下にまとめる。

1. 岸壁前面の水位が最も低下する位相の前後に、土砂が腐食孔から流出する現象を確認した。
2. 埋立土砂の吸い出しは静水面に対する腐食孔の相対位置の影響を強く受け、腐食孔の中央に静水面がある条件の場合や、腐食孔が静水面より若干低い位置にあり、引き波時に空気中に露出する条件の場合に吸い出しが発生することが判明した。
3. 腐食孔が空気中に露出する条件では、引き波時に腐食孔内部の上側から流入し、下側から流出する流れが生じることを確認し、水理実験において確認された上述の土砂流出はこの冲向きの流れによって生じたことが判明した。
4. 腐食孔が常に没水状態にある条件では、引き波時に腐食孔内部の地盤側の流れが冲向きとなっているものの、その大きさは吸い出し発生時と比較して小さいことを確認した。また、そのとき腐食孔近傍の地盤には収縮が生じており、そのために

吸い出しの発生には到らなかったことを示した。

5. 腐食孔内部の地盤近傍に大きな冲向き流速が生じると埋立土砂の吸い出しが発生し、さらにそのときに地盤が膨張状態にあると地盤の陥没に到る大規模な吸い出しが発生する可能性があることが判明した。そのため、局部腐食により腐食孔が開いたとしても、その内部に生じる冲向き流速を小さく抑えることの重要性が示唆された。

参考文献

- 1) 小池豊, 三木偉信: 三次元地中レーダを活用した鋼矢板岸壁エプロン部の補修履歴と吸出し空洞の評価, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp. 171-176, 2010.
- 2) 前野詩朗, Lechoslaw G. Bierawski, 藤田修司: 変動水圧場における護岸目地からの裏込め土砂の流出と防止に関する研究, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 876-880, 2002.
- 3) 中村友昭, 福田俊, 水谷法美: 矢板式岸壁の腐食孔からの土砂吸い出し現象に関する数値解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. L528-L533, 2014.
- 4) 中村友昭, 水谷法美: 津波の越流による海岸堤防裏法尻の洗掘に関する大規模実験の数値シミュレーション, 第 29 回数値流体力学シンポジウム, A07-1, 10 p., 2015.
- 5) 公益社団法人日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上巻), 469 p., 1989.
- 6) 国土交通省: 港湾施設の維持管理に関する取り組みについて (オンライン), http://www.zenken.com/kensyuu/kousyuu/kai/H26/609/609_sakai.pdf, 参照 2015-10-19.
- 7) 中村友昭, 許東秀, 水谷法美: 捨石護岸背後の埋立土砂の吸い出し機構, 土木学会論文集 B, Vol. 62, No. 1, pp. 150-162, 2006.
- 8) 木下智朗, 善功企, 陳光斉, 笠間清伸: 水圧変動に起因した地下空洞形成に関する実験的研究, 土木学会第 58 回年次学術講演会, III-471, pp. 941-942, 2003.
- 9) 中村友昭, 許東秀, 水谷法美: 護岸背後の地盤の陥没現象と裏込土砂の流出発生限界に関する研究, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 836-840, 2006.
- 10) Bear, J.: *Dynamics of Fluids in Porous Media*, 764 p., American Elsevier, 1972.

(2016.2.4 受付)

STUDY ON LEAKAGE MECHANISM OF BACKFILLING SAND THROUGH CORROSION HOLES OF A QUAY WALL

Tomoaki NAKAMURA, Shun FUKUDA, Yong-hwan CHO and Norimi MIZUTANI

The leakage of backfilling sand through corrosion holes of a quay wall is investigated using hydraulic experiments and numerical simulations. When the hole is located near the still water surface, experimental results show that the sand is leaked through the hole during the phase of wave trough and numerical results show that the water flows into the upper side and out of the lower side in the hole during the phase of wave trough. This result suggests that the sand leakage results from the seaward outflow in the hole. Furthermore, it is revealed that the sand leakage tends to occur for large seaward outflow velocity, suggesting that reducing the seaward outflow velocity in the hole is essential to prevent the sand leakage.