

# 沼川第二放水路の函体内堆砂の排砂実験

諸橋 良<sup>1</sup>・岡本 光永<sup>1</sup>・石野 巧<sup>1</sup>・宇多 高明<sup>2</sup>・石川 仁憲<sup>3</sup>・  
市川 義隆<sup>4</sup>・渡邊 卓弥<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 静岡県沼津土木事務所沼川新放水路整備課（〒410-0055 静岡県沼津市高島本町 1-3）  
<sup>2</sup> 正会員 （一財）土木研究センターなぎさ総合研究所長兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科  
（〒110-0016 東京都台東区台東 1-6-4）

E-mail: kenkyu1@pwrc.or.jp

<sup>3</sup> 正会員 （一財）土木研究センターなぎさ総合研究所（〒110-0016 東京都台東区台東 1-6-4）

<sup>4</sup> （株）東京建設コンサルタント中部支社河川施設部

沼川第二放水路の函体に開口部を設けてセットバック型とした上で、高波浪時の土砂打ち込みによる函体内堆砂の排砂方法を現地実験により調べた。この結果、フラッシュ放流前に開口部前面を放水路の敷高と同程度まで掘削した上で、連続的なフラッシュ放流を行うことが函体内堆砂の排砂に効果的なことが分かった。また、放水流を制約する現況放水路の側壁とそれに沿って掘られた溝が、フラッシュ放流時のバームの側方侵食を促すことも明らかになった。

**Key Words :** Numakawa-daini floodway, set-back type, flushing, removal of sand

## 1. はじめに

富士海岸東部、沼津港の西7.6 kmに位置する沼川第二放水路では、波による先端部の損傷が起こるとともに、東向き沿岸漂砂によって運ばれた砂礫が敷高T.P.-1.1 m（以下、T.P.は省略）の吐口から水路内へと運ばれ、排水不良となる事態がしばしば発生している。この対策として、現況の暗渠型放水路からセットバック型放水路への改修が計画された<sup>1)</sup>。セットバック型は、その吐口をバーム頂より陸側の後浜に設定することで沿岸漂砂に影響を与えず、先端部の損傷を防ぎ波による水路内堆砂を大きく軽減させることが可能と考えられているが、堤防背後の貯水槽の上限水位は+4.6 m、背後地の最低地盤高は+3 mなので、背後地での氾濫防止と安定的な放水機能の確保のためには、吐口からの流水がバームを越流、浸透もしくは+3 m以下まで崩壊させ、流水を海に安全に流す必要がある。この課題に対し、これまで水理模型実験により背後から一定流量を与えるとバーム崩壊<sup>2)</sup>やバーム高を下げる<sup>3)</sup>ことが可能なことが明らかにされたが、本研究では、実際に沼川第二放水路を対象として、高波浪時の土砂打ち込みにより生じた函体内堆砂の排砂方法について現地実験により調べた。

## 2. 現地実験の方法

現地実験では、図-1に示すように3水路のうち東端の1号水路の東側側面に実験吐口を設けた。セットバック型放水路の吐口は、実験結果<sup>1)</sup>よりJ3～J4間に設けるとされていることから、J3から陸側に3.3 m離れた位置に実験吐口を設け、それより海側の水路は大型土嚢30個と碎石により止水処理を行った。実験吐口の大きさは、水路の内空幅3 m、内空高2.5 mに対し、開口後の構造上の安全性から水路上面と底面から0.3 mずつの余裕をとり、高さ・幅を1.9 mとした。実験吐口の上端・下端高は+1.21と-0.69 m、敷高は-0.99 mであり、函体内の内空高は2.5 mなので、函体の天井高は+1.5 mとなる。また、この位置の水路天端高は+2.01 mとなる。実験吐口状況と周辺の海浜状況を図-2に示す。実験吐口の海側には幅1.5 m、長さ10 mの補強矢板が水路側面から突出している（図-2a）。また、実験吐口周辺は周辺地盤よりも低く、すり鉢状とされている（図-2b）。このような条件下において、波浪による1号

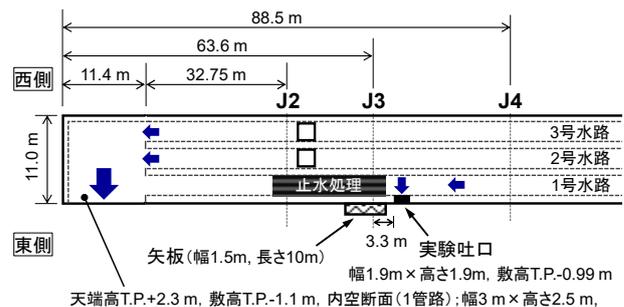


図-1 実験吐口の位置



図-2 実験吐口と放水路周辺の状況

水路内の堆砂後、貯水槽の水位を最大で+4.6 mまで上昇させたフラッシュ放流 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ による排砂実験を行うとともに、実験吐口前面の掘削や流路制御工の設置による排砂の促進効果について調べた。計測方法は、呑口での水位、流速観測、実験吐口前面での水位観測、写真撮影、地形測量である。

### 3. 実験期間中の波浪と水位

実験は延べ5回行った。実験期間中における原観測所と静岡海岸の久能沖観測所での観測波浪を図-3に示す。8月4, 8日に台風3, 5号に伴う高波浪が来襲し、8月8日には実験吐口が埋塞した。その状態において、第1回実験(8月10日)、第2回実験(8月24日)を行い、次に9月18日の台風18号来襲後に第3回実験(9月20日)を行った。その後、10月23日には台風21号時に観測史上最大クラスの高波浪が来襲し、再び実験吐口が埋塞した。この時、原観測は欠測したものの久能沖では最大有義波高10.8 m、周期16 sを記録した。さらに10月29日には台風22号による高波浪が来襲したが、この後に第4回(11月9日)と第5回実験(11月16日)を行った。実験期間中の沼川と高橋川の水位変化を図-4に示す。期間中には降雨に伴う氾濫注意水位を超える水位上昇が複数回あり、とくに第3, 4回間に水位上昇が多く発生した。図-5には呑口水位、流速と吐口前面の水位変化を示す。実験時の呑口水位の上昇は、排砂のために貯水槽に水を溜めたことによる。また

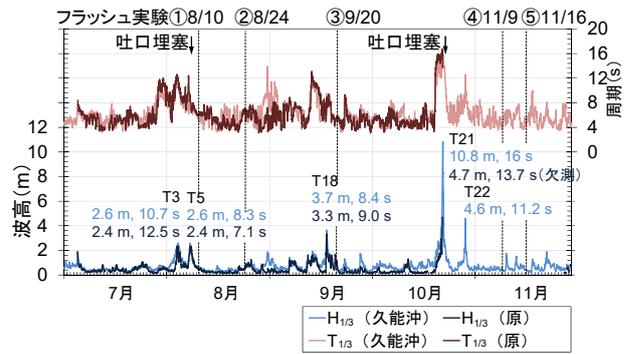


図-3 実験期間中の波浪とフラッシュ実験の時期

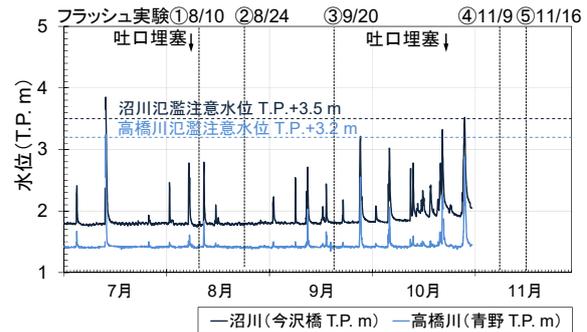


図-4 実験期間中の沼川と高橋川の水位

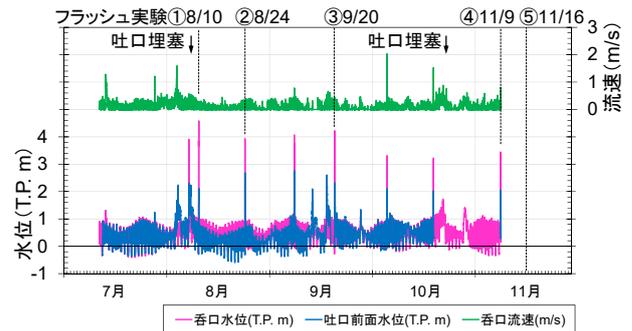


図-5 実験期間中の呑口の水位・流速と吐口前面の水位

2回の吐口埋塞前には、沼川と高橋川の水位上昇に対応して呑口で+3~4 m程度の水位上昇が起きているが、この水位上昇で仮に実験吐口前面が開口していたとしても、図-3に示した高波浪により実験吐口が埋塞した。

### 4. 実験結果

#### (1) 第1回実験(2017年8月10日)

台風5号による高波浪により実験吐口が埋塞し、実験吐口から約70 m上流地点まで函体内に堆砂した状態においてフラッシュ放流を行った。この結果、実験吐口上部を小型スコップで掘ると水溜りができたが、時間が経過しても浸透による水位上昇量はわずかであり、排水は表面流にならず、排砂はできなかった(図-6)。水位観測結果によれば、貯水槽の水位上昇とともに吐口前面の水位も $0.015 \text{ m}/\text{min}$ の速度で上昇したが、貯水槽の水位が+4.6 m



図-6 第1回実験（8月10日）の状況

に達した時点の吐口前面水位は+2 m程度であり、吐口付近の海浜地盤高(+2.7 m)以下であった。吐口周辺は浸透性の高い砂礫で覆われていたため急速な浸透が起き、吐口周辺での水位上昇が妨げられたと推察される。

## (2) 第2回実験結果（2017年8月24日）

フラッシュ放流前に、予め小型重機により吐口直上を掘削し(図-7a)、フラッシュ放流を与える実験を行った。放水開始直後には小礫を含む土砂が鉛直上方に噴き上げられ(図-7b)、その後、開口部から強い勢いで水が流れた(図-7c)。しかし、実験吐口は開口することなく、函体内堆砂を排砂させるまでの効果はなかった。この実験では、貯水槽の水位を+3.97 mまで上昇させた後に1号水路のゲートを開口し、フラッシュ放流を行った。このとき吐口前面の水溜りでは、12.5分後に最大で+2.7 mまで水位が高まった。吐口付近の海浜地盤高+2.7 m程度まで水位が高まったことが、実験中表面流が起きた理由である。また、第1回実験と比べ、吐口前面の水位が急上昇したのは、実験吐口直上を予め掘削したことによると考えられる。一方、実験前後の函体内の堆砂状況より、堆砂の表面が最大30 cm程度削れたもののほとんど排砂されなかった。したがって、フラッシュ放流前に吐口直上を予め掘削することは排水には効果的であるが、函体内堆砂の排砂までの効果はないことが分かった。

## (3) 第3回実験結果（2017年9月20日）

台風18号来襲後の9月20日、第3回実験を行った。この実験では、吐口前面の沿岸方向に6.4 m、岸沖方向に14 mの区域を重機により+0.1 mまで掘削し、さらにバーム付近では放水路に沿って幅2 m、+1.5 mの溝を造成してフラ

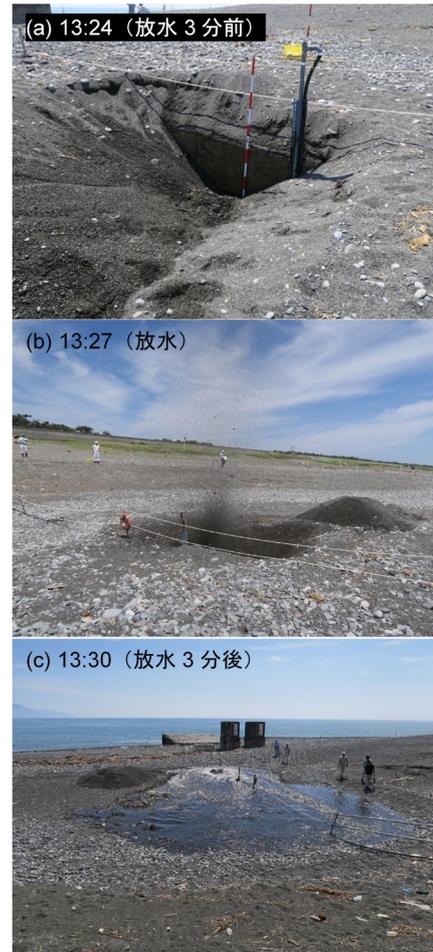


図-7 第2回実験（8月24日）の状況

ッシュ放流を行った(図-8a)。なお、掘削底面から地表面までは1/3勾配斜面とした。この掘削では、実験吐口は鉛直方向に1.11 m開口している条件となる。貯水槽の水位をそれぞれ+4.2、4.42 mとしてフラッシュ放流を2回実施した。フラッシュ放流の結果、函体内からの排砂が確認され、また実験吐口からの右回りの蛇行流が放水路による導流効果により直線状となり、バームを切り欠いて海へ流れ出した(図-8b)。実験前後での函体内の堆砂状況によれば、実験前の吐口からの堆砂延長83.8 mに対し、実験後は72 mと堆砂延長はほとんど変化しなかったが、函体内堆砂域の表面が削られ、水路の天井との間に40~60 cmの空隙が形成された。

## (4) 第4回実験結果（2017年11月9日）

10月23日に台風21号により観測史上最大クラスの高波浪が来襲し、再び実験吐口が埋塞した(図-9)。この状況において第3回実験と同様に吐口前面の掘削を行った。この場合、掘削底面をできる限り低くすることが排砂を促進し、また早期に吐口前面の水溜りの水位を高めることがバームの早期崩壊に繋がると考えられたことから、掘削範囲は沿岸方向に3 m、岸沖方向に27.2 m、掘削は実験吐口の開口部下端高-0.69 mに相当する-0.7 mまで行い、

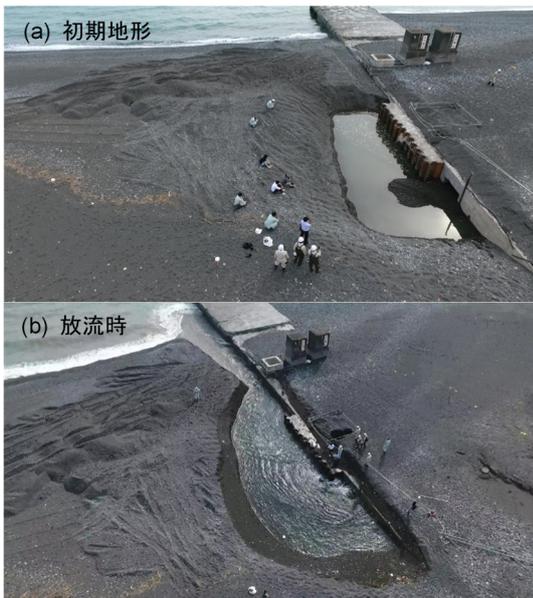


図-8 第3回実験(1回目)の初期地形と放流時の状況

さらにバーム付近では放水路に沿って幅2m, +1.1mの溝を造成してフラッシュ放流を行った(図-10a)。フラッシュ放流は3回実施し、貯水槽の水位をそれぞれ+4.0, +4.1, +4.1 m (函体内呑口観測水位+3.97, +3.72, +3.3 m)とした。また、1,2回目のフラッシュ放流後は、重機により吐口前面の堆砂除去を行った。実験の結果、放水は勢いよく吐口から流れ、数分でバームを切り欠いて海へ流れ出した(図-10b)。一方、フラッシュ放流停止後は、3回とも吐口の前面に砂礫が堆積しており(図-10c)、堆積土砂が函体内排砂の阻害要因になると考えられた。函体内では、実験前は実験吐口から陸側84.8 mまでの函体内で堆砂が起きていたが、実験後は堆砂表面が削られ、水路の天井との間に高さ0.7~1.6 mの岸沖方向に連続した空間が形成された(図-11)。

#### (5) 第5回実験結果(2017年11月16日)

第4回実験の掘削方法が函体内堆砂の排砂に有効であったことから、第5回実験も同様の掘削諸元とし、さらにフラッシュ時の実験吐口前面での堆砂を軽減させるために、実験吐口陸側の放水路側壁から掘削区域の外縁付近に沿って計11個の大型土嚢を設置した(図-12a)。貯水槽の水位をそれぞれ+4.4, +4.2, +3.4 m (函体内呑口観測水位+3.34, +3.29, +2.59 m)として3回のフラッシュ放流を行った(図-13)。また、1, 2回目のフラッシュ放流後は、第4回実験と同様、重機により吐口前面の堆砂除去を行うとともに、フラッシュ放流により沈下、移動した大型土嚢の再設置を行った。フラッシュ放流直後から実験吐口から勢いよく流水が流れ出し、開始3分までに吐口前面の水溜りの水位が急上昇し、海側に残されていた砂州への越流が始まった(図-12b,13)。水溜りから海への強い流れは放水路対岸のバームを削り、側方侵食により削られた

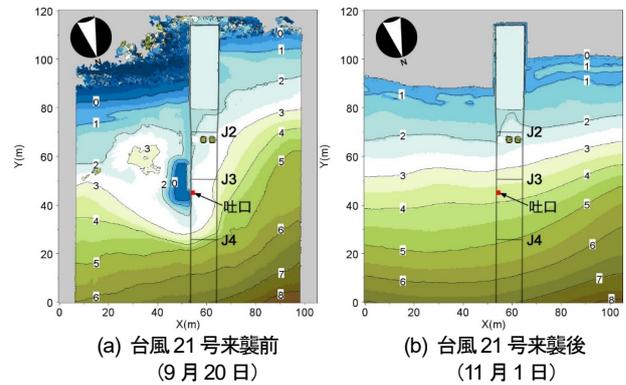


図-9 台風21号による高波浪来襲前後の地形



図-10 第4回実験(1回目)の初期地形と放流時の状況

砂礫が海へと流れ出した。水溜りの水位はフラッシュ3.5分後に最大水位+1.97 mに達した。6分後には水溜りが満杯状態となり、放水路内は水に満たされた状態で、吐口からは勢いよく流水が噴き出していた。その後9分後には貯水槽内の水位が低下し、水溜りの水位も低下した。

2回目のフラッシュ放流も1回目と同様に吐口からの流水は最初吐口から沿岸方向に流れた後、右回りに蛇行し、放水路の直線状の壁体に沿って下流方向へと流れた(図-14)。この状況より、汀線へと向かう直線的な流れの形成上A点までの放水路の側壁は役立っていると考えられた。水溜りの水位はフラッシュ4分後に最大水位+1.53 mとなり、その後時間経過とともに低下し、同時に水溜り

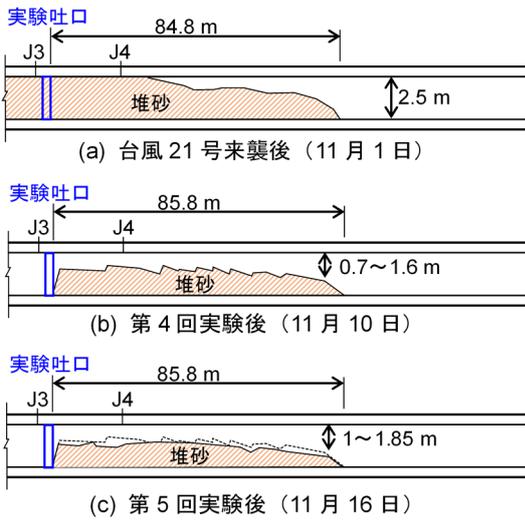


図-11 函体内の堆砂状況



図-12 第5回実験（1回目）の初期地形と放流時の状況

の規模もまた縮小した。3回目のフラッシュ放流では、水溜りの水位はフラッシュ3.5分後に最高水位+1.25 mとなり、第4回実験と同様、回数を重ねるほど吐口前面の水溜りの水位上昇を抑えて放流が可能であることが本実験でも確認された。その後時間経過とともに低下し、同時に水溜りの規模もまた縮小した。フラッシュ後の地形変化について、第4回実験で観察された吐口直前面での局所的な堆砂は起きなかった（図-12c, 14c）。このことから、吐口前面に流路制御工を設置することにより、吐口の直

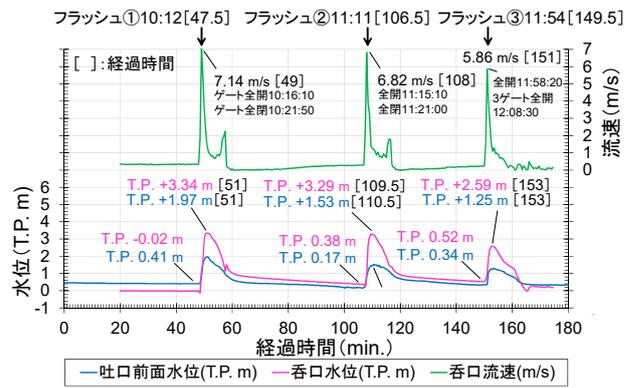


図-13 第5回実験の呑口の水位・流速と吐口前面の水位

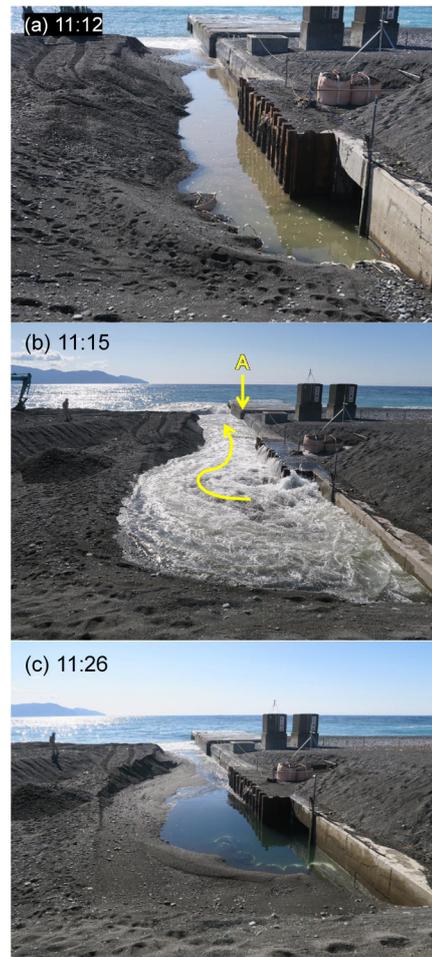


図-14 第5回実験（2回目）のフラッシュ放流の状況

前面での局所的な堆砂を防止し、函体内堆砂の排砂を促すことが可能と考えられる。図-15には3回のフラッシュ前後の地形と地形変化量を示す。フラッシュ放流によって掘削部の東側外縁が流水により削られ、またJ2付近の流路幅は側方侵食により3 mから6 mまで急速に広がった。前出の図-11には第5回実験後の函体内の堆砂状況も示すが、実験後はフラッシュ放流により堆砂面がさらに削られ、天井との空間は高さ1~1.8 mまで広がった。

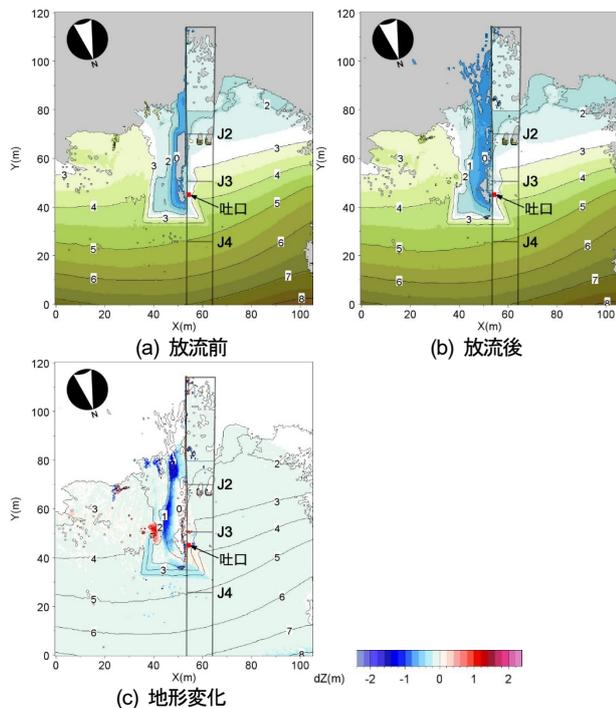


図-15 放流前後の地形 (11月16日)

## 5. 考察

フラッシュ放流による函体内堆砂の排砂実験によれば、第5回実験の方法でも排砂量はわずかであり、また堆砂区域の長さは変わらなかった。この理由として、本実験では、吐口前面の水溜りは、バーム崩壊後は吐口上端+1.21 mより低い水位を維持したものの、水路内空断面の高さ2.5 m×幅3 mに比べて吐口規模が高さ1.9 m×幅1.9 mと小さいため吐口内の水位は低下せず、満水状態が維持されたためと推定される。そのため、内空断面に比べて小さい吐口では通過流速は速いが、吐口内が満水状態であったためその範囲は吐口近くに限られ、流れによって函体内の堆砂域の海側端が削られるような変化が起きなかったと考えられる。したがって、排砂促進のためには、吐口付近の函体内の水位を下げる必要があり、この対策

として、吐口の大きさは水路内空断面と同じ大きさ以上に広げることが必要と考えられる。一方、実験結果より、放水路の側壁がバームを切り欠いた安定的な流路を形成する上で有効なことがわかった。実験吐口からの流れは放水路と直角方向に流れた後、右回りに回転して放水路側面に沿って海に流れ、その際、流路と放水路側面の接点はJ2より陸側にあった (図-12c)。実際のセットバック型の吐口は、実験吐口よりさらに3 m程度陸側に設定されるので、この接点も陸側にずれると考えられる。したがって、放水路の側壁はJ2まで残置し、J2から海側を撤去すれば良いと考えられる。

## 6. まとめ

沼川第二放水路の函体に開口部を設けてセットバック型とした場合における、高波浪時の土砂打ち込みによる函体内堆砂の排砂方法を現地実験により調べた。この結果、フラッシュ放流前に開口部前面を放水路の敷高と同程度まで掘削した上で、連続的なフラッシュ放流を行うことが函体内堆砂の排砂に効果的なことが分かった。また、開口部からの流れを制約する、現況放水路の側壁とそれに沿って掘られた溝がフラッシュ放流時のバームの側方侵食に有効であった。

### 参考文献

- 1) 石野 巧, 岡本光永, 鈴木 悟, 宇多高明, 石川仁憲, 田中博通, 居波智也, 櫻田哲生: セットバック型放水路の機能性に関する移動床平面実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I\_709-I\_714, 2015.
- 2) 宇多 高明, 野志 保仁, 石川 仁憲, 鈴木 悟, 岡本 光永: バーム背後の放水路からの浸透流によるバームの消失実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.I\_571-I\_576, 2017.

(2018.2.8 受付)

## FIELD EXPERIMENT OF REMOVAL OF SAND DEPOSITED INSIDE NUMAKAWA-DAINI FLOODWAY

Ryo MOROHASHI, Mitsunaga OKAMOTO, Takumi ISHINO, Takaaki UDA, Toshinori ISHIKAWA, Yoshitaka ICHIKAWA and Takuya WATANABE

An opening was produced at a location on the way to the sea of Numakawa-daini floodway to investigate the effect of the set-back type floodway. A field test of the removal of sand deposited inside the conduit of the floodway due to storm waves was carried out. As a result, the excavation of the ground to reduce the ground level in front of the opening up to the level of the floor of the floodway before the flushing and continuous flushing were effective in removing the sand deposited inside the conduit. Furthermore, the side wall of the present floodway and the artificial channel excavated along this side wall were effective in enhancing the berm erosion.

