

富士海岸 樋管閉塞対策の水理模型実験

遠藤 久巳¹・程谷 浩成¹・杉澤 文仁²・古谷 佳丈³・辺見 聡⁴・浅野 剛⁴

¹非会員 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所(〒410-8567 静岡県沼津市下香貫外原3244-2)

²非会員 国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所(〒420-0068 静岡県静岡市葵区田町3-108)

³非会員 国土交通省中部地方整備局企画部(〒460-8514 愛知県名古屋市中区三の丸2丁目5番1号)

⁴正会員 株式会社東京建設コンサルタント 環境防災事業本部 海岸・海洋部

(〒170-0004 東京都豊島区北大塚1丁目15番6号)

E-mail:asano-g@tokencon.co.jp

富士海岸富士工区(静岡県富士市)に位置する元富士樋管は、富士川河口部からの沿岸漂砂による吐口閉塞が問題となっており、これまでに様々な対策が実施されてきたが、抜本的な解決には至っていない。本研究では、新たな吐口閉塞対策として反射壁設置案、吐口背後掘削案、突堤移設案、及び突堤移設+吐口背後掘削案の計4案について移動床の水理模型実験を行い、効果的な閉塞対策案について検討することを目的とする。

Key Words : hydraulic model experiments, calvert, countermeasures against clogged, drilling, jetty

1. はじめに

元富士樋管は、富士海岸富士工区に位置し、四ヶ郷用水路及び元富士2号排水路の用水・排水を、海岸堤防を通過して駿河湾に流すことを目的として設置したものであり、昭和59年12月に完成した(図-1, 写真-1, 写真-2)。計画流量は43m³/s、計画確率は1/30であり、函の断面はB 3.4m×H 2.1mの3連構造となっている。吐口は、富士川河口からの漂砂に配慮し東側に開口している。



図-1 元富士樋管位置図



写真-1 元富士樋管吐口(平成29年10月18日撮影)

この元富士樋管吐口は以前から閉塞が問題となっていたが、平成22年度に閉塞対策検討を行い、平成24年度に緊急対策として樋管西側の既設突堤の延伸を実施した。延伸直後は吐口が開口していたものの、その後再び閉塞が発生するようになったことから、平成27～28年度にあらためて閉塞対策の検討を行った。同検討では、抜本的な閉塞対策について数値シミュレーション等により検討するとともに、平成27年11月～平成28年2月にかけて実施した吐口周辺の現地モニタリング結果なども踏まえ、効果的と考えられる閉塞対策案の抽出を行った。

しかしながら、最適案を選定するためには、樋管吐口周辺の複雑な施設配置等を考慮しつつ、高波浪による地形変化を再現する必要があるため、水理模型実験により抽出した対策案の効果評価を行い、最適案を選定した。



写真-2 元富士樋管空撮(平成29年4月撮影)

2. 実験条件

(1) 実験縮尺

実験縮尺は、実験で使用する海浜の底質粒径、実験施設規模と入射波条件、沖合(水深20m程度)まで含めた現地海底地形の再現性を考慮し、1/30(鉛直方向と水平方向の歪みなし)とした。

(2) 地形

深浅測量成果を基に、モデル化した地形を設定した。元富士樋管の漂砂上手側と下手側では、汀線付近の海底勾配が若干異なることに着目し、図-2のようなモデルを製作した。漂砂下手側はT.P.-10m以浅が1/20勾配で、T.P.-10m以深が1/5勾配である。漂砂上手側はT.P.-3m付近までが1/10で、それ以深は漂砂下手側と同様である。

(3) 底質粒径

今回の実験は移動床実験で実施した。使用する底質材料の粒径は、過去に近隣で実施した底質調査結果(T.P.+2m及びT.P.±0mの2地点のデータ×3時期×2測線)の中央粒径 d_{50} の平均値を用い、計12データの平均値から現地粒径で4.0mmを対象とした。

ここで、フルード相似則に従うとモデルの底質粒径は $4.0\text{mm} \times 1/30 \approx 0.13\text{mm}$ となる。粒径0.13mmの場合、砂村・堀川(1974)のCパラメータではタイプI(侵食型)に分類される。一方、現地にはバームが形成されており、タイプII(中間型)に分類できると考えられる。そこで、実験と現地との地形変化特性の整合を図るため、モデルの底質粒径を0.2mmとし、実験でもタイプII(中間型)となるようにした。

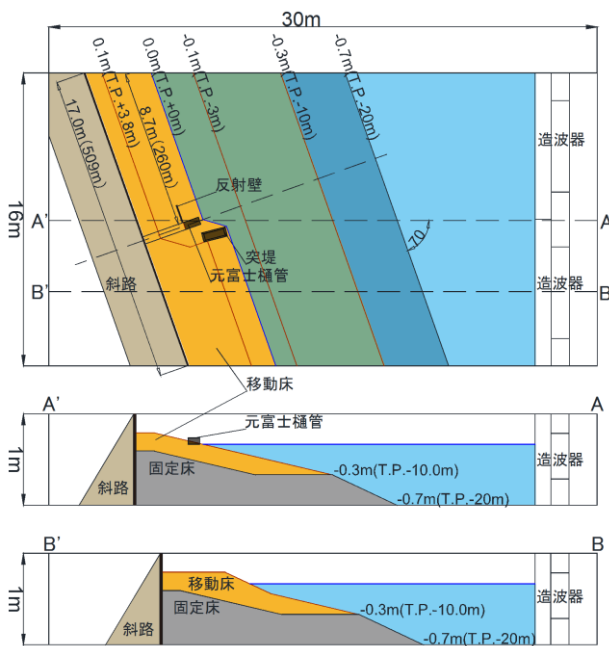


図-2 モデル平面図及び断面図

(4) 入射波

対象とする波浪は、平成27年11月～平成28年2月にかけて実施した吐口周辺の現地モニタリング結果を基に設定した。同調査では、原観測所(観測水深45m)での波高 $H_{1/3}=2\text{m}$ 程度で周期 $T_{1/3}$ が8秒を超えると汀線付近の砂の移動が大きくなり、バーム等の発生が始まることが確認されたことから、実験の対象波浪は、現地スケールで波高 $H_{1/3}=2.0\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=9.0\text{s}$ とした。また、波向は対象波浪の原観測所における最多出現波向であるSSWとした。

造波の際に必要なスペクトル種類について、原観測所で観測された同規模の波を用いてスペクトル解析により確認した(図-3)。対象波浪は、直近の平成29年2月21日の $H_{1/3}=2.04\text{m}$ 、 $T_{1/3}=8.9\text{s}$ とした。スペクトル解析結果の結果、本実験では周波数ピーク位置に着目し、修正プレットシュナイダー・光易型を採用した。

ここで、波高 $H_{1/3}=2.0\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=9.0\text{s}$ は原観測所の値であることから、エネルギー平衡方程式モデルを用いた波浪変形計算により、元富士樋管沖(水深20m付近)の波高・波向を算出した。その結果、元富士樋管沖の波高は $H_{1/3}=2.5\text{m}$ 程度、波向S方向となったことから、実験の対象波浪を沖波波高 $H_{1/3}=2.5\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=9.0\text{s}$ 、波向 180° (S方向)とし、実験での入射波はフルード則に従い波高 $H_{1/3}=8.3\text{cm}$ 、周期 $T_{1/3}=1.64\text{s}$ とした。

なお、現地では沖波波高 $H_{1/3}=2.5\text{m}$ 以上の高波浪も発生する。平成29年10月の台風21号では $H_{1/3}=6\text{m}$ を超える波が発生し、吐口はほぼ閉塞状態となっている(写真-3)。

そこで、参考として本実験条件での造波限界である波高 $H_{1/3}=12.0\text{cm}$ (現地スケール $H_{1/3}=3.6\text{m}$)の高波浪を30分程度(現地スケール約3時間)作用させた場合についても実験を行った。この高波浪実験は、地形を再形成するのではなく、 $H_{1/3}=2.5\text{m}$ 作用後に実施した。

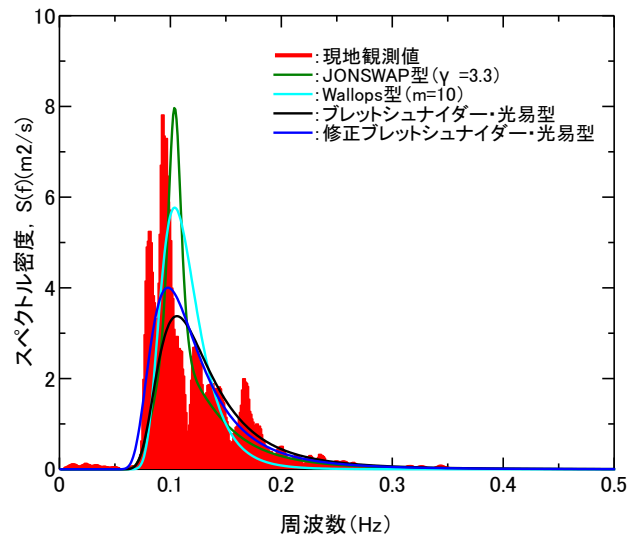


図-3 観測波浪のスペクトル解析結果



写真-3 台風21号来襲後の状況(平成29年10月24日撮影)

(5) 潮位

実験で使用する潮位は朔望平均満潮位とした。富士海岸の計画上の朔望平均満潮位(H.W.L.)はT.P.+0.62mであることから、フルード則に従い2.1cmで設定した。

(6) 造波時間

造波時間は、平成22年～平成27年に観測された周期 $T_{1/3} \geq 9.0s$ 以上の波の継続時間に基づき設定した。原観測所の観測データから抽出した結果、周期9.0s以上の継続時間は平均35時間となったことから、フルード則に従い造波時間は6.4時間(現地スケールで35時間)を目安とし、地形が安定するまで実施した。

3. 実験ケース及び計測項目

(1) 実験ケース

実験ケースは、図-4に示す4案(反射壁設置、吐口背後掘削、突堤移設、突堤移設+吐口背後掘削)と、対策なしの計5ケースとした。

ケース2の反射壁設置(写真-4)は、直壁で波を反射させることにより、吐口前面の堆砂抑制を期待したものである。ケース3の吐口背後掘削(写真-5)は、背後掘削箇所にて遡上した土砂を堆積させ、吐口前面の堆砂抑制を期待したものである。ケース4の突堤移設は、ケース3までの実験結果から追加設定したケースである。これは、ケース3までの造波後地形を確認したところ、元富士樋管の漂砂上手側に設置されている突堤により、高波浪後、吐口周辺に延長3.3m程度(現地スケール100m程度)の堆砂域が確認されたことから、突堤を3.3m上手側に移動したものである。なお、この移設により突堤下手側の土砂は流出することが想定されるため、実験はあらかじめ掘削した状態で実施した。さらにケース5は、ケース4までの結果を踏まえ追加したケースであり、突堤移設と吐口背後掘削を組み合わせて実施したものである。

なお、別途ケース0として、今回の入射波で吐口付近にバームが形成されるかの確認実験を行い、再現性を確認している。

(2) 計測項目及び計測内容

計測項目及び計測内容を表-1に示す。造波中の波については、入射波(造波機前面2地点)と樋管の前面波(樋管沖側2地点)を計測した。

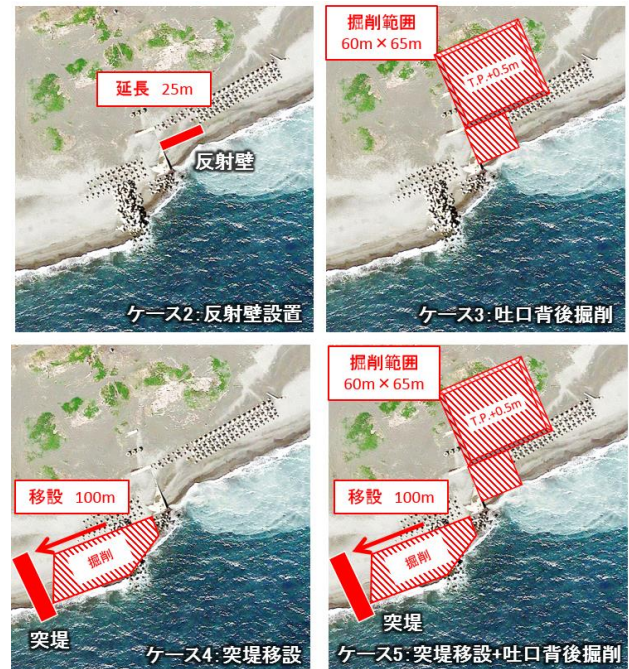


図-4 実験ケース

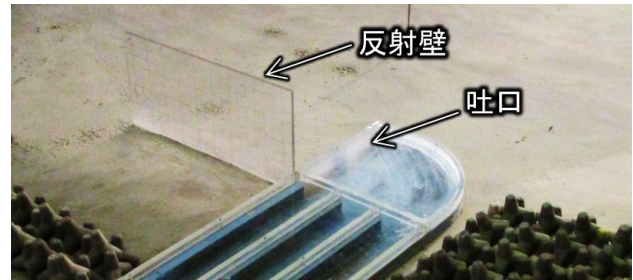


写真-4 反射壁の模型

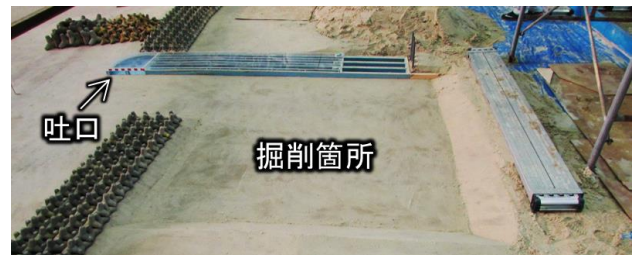


写真-5 吐口背後掘削の模型

表-1 実験での計測項目及び計測内容

計測項目	計測内容
入射波測定	入射波の確認のため、沖合2地点で容量式波高計により波を計測
地形変化	対策による地形変化把握のため、3Dレーザースキャナにより地形を計測
前面波測定	樋管吐口の前面波の把握のため、樋管沖側2地点で容量式波高計により波を計測

4. 実験結果

以下に、4時間後までの断面変化(樋管から西側0.2m地点)及び吐口周辺の写真を示す。

(1) ケース1 対策なし

実験開始から2時間後に吐口前面の $X=4.8\text{m}$ 付近にバームが形成され、4時間後には $X=4.5\text{m}$ 付近に移動している(図-5)。また、4時間後のバーム高は $Y=0.088\text{m}$ (現地スケール:TP.+2.65m)である。

(2) ケース2 反射壁設置

実験開始から2時間後に吐口前面の $X=4.9\text{m}$ 付近にバームが形成され、4時間後には $X=4.7\text{m}$ 付近に移動しているが、背後に反射壁があるためそれ以上陸側に移動できない状況である(図-6)。また、4時間後のバーム高は $Y=0.094\text{m}$ (現地スケール:TP.+2.82m)である。反射壁を設置しても、4時間後の吐口はほぼ閉塞状態となっている。

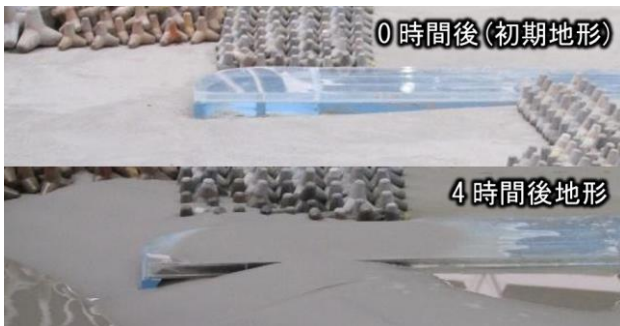
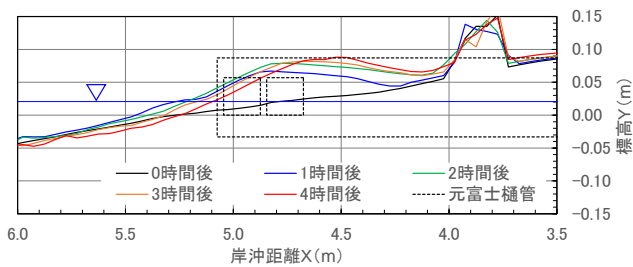


図-5 ケース1 対策なし 実験結果

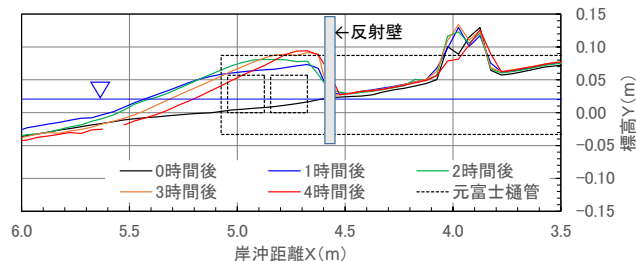


図-6 ケース2 反射壁設置 実験結果

(3) ケース3 吐口背後掘削

実験開始から2時間後に吐口前面の $X=4.9\text{m}$ 付近にバームが形成され、4時間後には $X=4.7\text{m}$ 付近に移動している(図-7)。また、4時間後のバーム高は $Y=0.083\text{m}$ (現地スケール:TP.+2.49m)である。反射壁よりはバーム高が低下し改善が見られるものの、やはり4時間後の吐口はほぼ閉塞状態となっている。

(4) ケース4 突堤移設

実験開始から2時間後に吐口前面の $X=4.8\text{m}$ 付近にバームが形成され、4時間後には $X=4.6\text{m}$ 付近に移動している(図-8)。また、4時間後のバーム高は $Y=0.095\text{m}$ (現地スケール:TP.+2.84m)である。写真-6に示すように、突堤移設(+西側消波堤前面の掘削)によりバームが陸側に移動し、ケース4までで最も吐口が露出しているが、逆にバーム高はケース中最も高い。

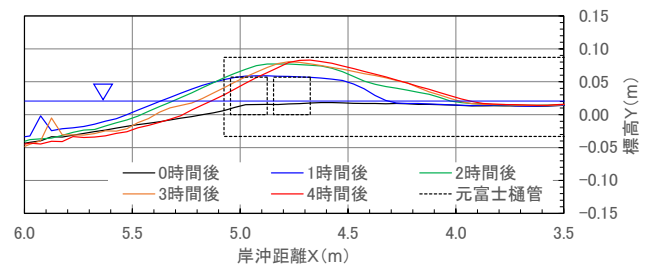


図-7 ケース3 吐口背後掘削 実験結果

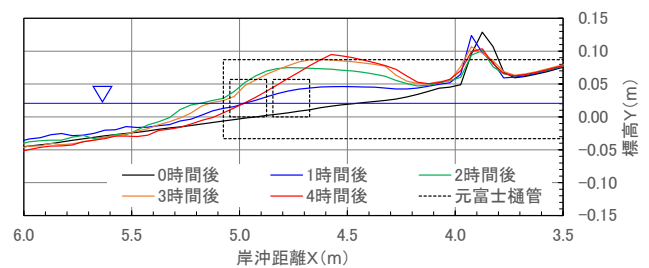


図-8 ケース4 突堤移設 実験結果

(5) ケース5 突堤移設+吐口背後掘削

実験開始から2時間後に形成されたバーム位置がX=4.5m付近であり、4時間後にはX=4.4m付近まで移動するなど、ケース4までに比べバーム位置が明らかに陸側に移動している(図-9)。また、4時間後のバーム高はY=0.080m(現地スケール:TP.+2.39m)と、5ケース中で最も低くなっている。写真からも、吐口がほぼ露出し維持されている状況が確認できる。

ここで、現地では沖波波高 $H_{1/3}=2.5\text{m}$ 以上の波も発生していることから、参考ケースとして、より大きな波を作用させてバームの変化を確認する追加実験を行った。作用させる波高は、本縮尺での造波限界に近い波高 $H_{1/3}=12.0\text{cm}$ (現地スケール $H_{1/3}=3.6\text{m}$)とし、本ケースの4時間後の地形に対してさらに30分造波を行った。その結果、波高 $H_{1/3}=8.3\text{cm}$ 造波時よりもさらに陸側にバームが移動して吐口が大きく露出し、バーム高はY=0.075m(現地スケール:TP.+2.24m)まで低下した。

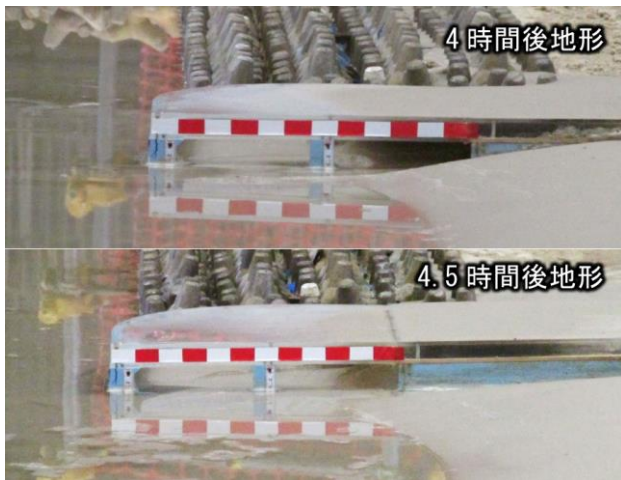
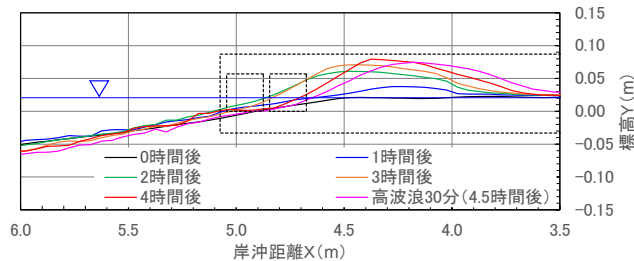


図-9 ケース5 突堤移設+吐口背後掘削 実験結果

4. 考察

図-10に各ケースのバーム位置変化を、図-11にバーム高変化を示す。ケース1(対策なし)に対し、ケース2(反射壁設置)はバーム位置及びバーム高ともに吐口閉塞を改善する結果とはならなかった。これは、当初期待していた波の反射による洗掘が生じなかったこと、また反射壁によってバームの移動が抑制され、逆に吐口付近に土砂が堆積したことが要因と推察される。ケース3(吐口背後掘削)は、ケース1に比べバーム高は低下したものの、バ

ーム位置は改善されていない。これは、先に述べたように突堤による高波浪時の堆砂域形成が影響しているものと推察される。このため、突堤の移設のみを行ったケース4を実施したところ、バーム位置が陸側に移動するなど改善傾向が確認されたことから、ケース3とケース4を組み合わせたケース5を実施した。その結果、ケース5が最もバームが陸側に移動し、かつ最もバーム高を低く抑える効果があることが確認され、また、参考として実施した高波浪($H_{1/3}=12.0\text{cm}$)を30分造波した場合(4.5時間後)でも同様の傾向が確認された。

このように、ケース3の吐口背後掘削だけでは十分な吐口閉塞の改善効果が見られなかったが、突堤移設と組み合わせることで、ケース3あるいはケース4の単一ケースに比べ大幅に改善する結果となった(図-12)。また、参考ではあるものの、沖波波高 $H_{1/3}=3\text{m}$ を超える波に対しても吐口閉塞改善効果が期待できる(図-13)。

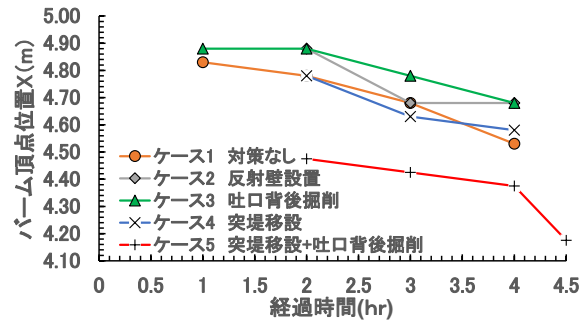


図-10 各ケースのバーム位置変化

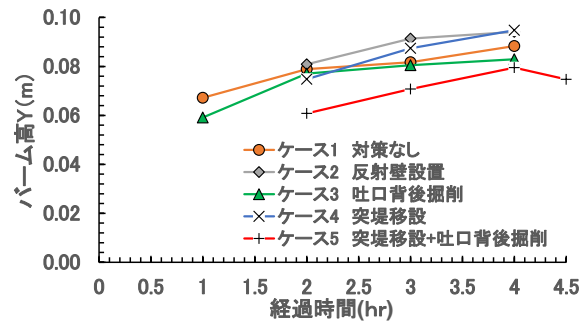


図-11 各ケースのバーム高変化

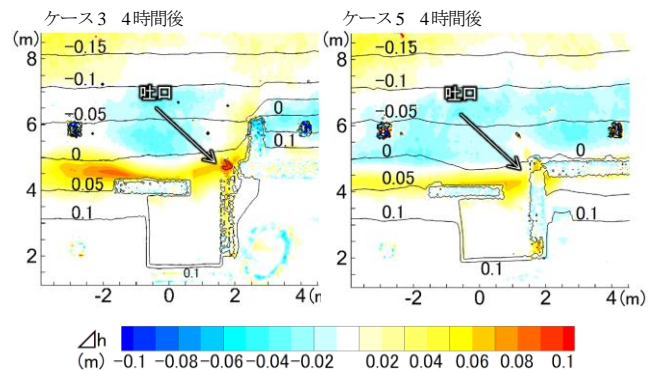


図-12 ケース3とケース5の地形変化量の比較

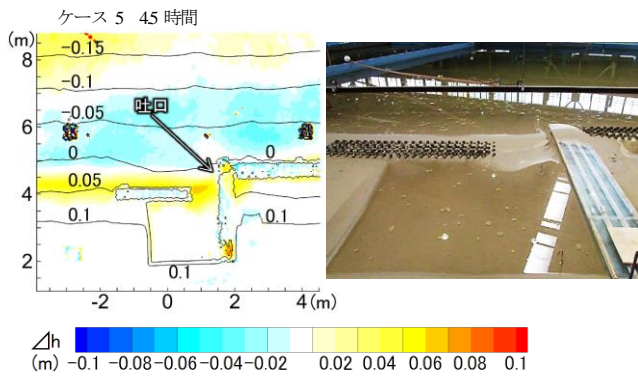


図-13 ケース5 4.5時間後の地形変化量と模型写真

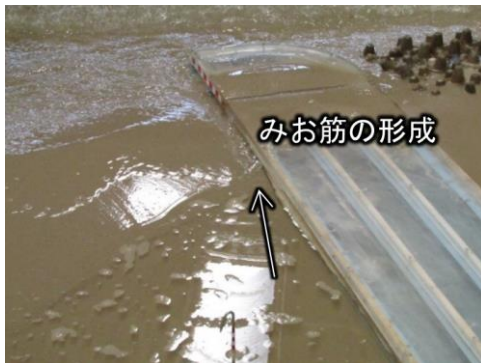


写真-6 ケース5 造波中の状況(造波開始約2時間50分後)

なお、実験では掘削箇所に入射した水塊の戻り流れにより吐口前面にみお筋が形成される様子も確認された(写真-6)。

突堤は、もともとは元富士樋管の緊急的な閉塞対策として設置したものであり、設置直後は吐口の閉塞が解消された。しかしながら、その後は徐々に突堤上手側に土砂が堆積し、漂砂が突堤先端を通過するようになると再び吐口周辺に土砂が堆積するようになった。そのような状況下では、突堤は逆に吐口周辺の地形を安定化させる

役割を果たすようになり、現在は高波浪時に閉塞しやすい状況になっているものと推察される。

5. おわりに

本実験により、元富士樋管吐口の閉塞対策として、ケース5の突堤移設+吐口背後掘削案を選定した。本案は背後掘削箇所での維持掘削を必要とするものの、突堤の移設による堆砂傾向の解消と、吐口背後掘削によるバーム位置及びバーム高のコントロール、さらに掘削箇所からの海水の戻り流れによるみお筋形成等により、高波浪に対する元富士樋管の吐口閉塞改善が期待できることが明らかとなった。

しかしながら、本実験は波浪条件が高波浪のみであったことから、引き続き高波浪だけでなく発生頻度の高い小さな波についても実験を行い、効果・影響を確認する予定である。

参考文献

- 1) 須賀 堯三: 水理模型実験,山海堂, 1990.
- 2) 合田良實: 耐波工学 港湾・海岸構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 2008.
- 3) 海岸保全施設技術研究会: 海岸保全施設の技術上の基準・同解説, 2004.
- 4) 堀川清司, 砂村継夫, 近藤浩右: 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 海岸工学講演会論文集, 第21巻, pp.193-199, 1974.
- 5) Karlsson, T.: Refraction of continuous ocean wave spectra, Proc. ASCE, Vol. 95, No. WW 4, pp. 471-490, 1969.
- 6) 運輸省港湾技術研究所: 港湾技術研究所報告(REPORT OF P.H.R.I.), 第22巻 第3号, pp. 83-124, 1983.

(2018.3.15 受付)

A HYDRAULIC MODEL EXPERIMENT ON COUNTERMEASURES AGAINST CLOGGED OF A CALVERT ON THE FUJI COAST

Hisami ENDO, Hironari HODOYA, Fumihito SUGISAWA, Yoshitake FURUYA, Satoshi HENMI and Go ASANO

The Motofuji calvert in the Fuji Coast Fuji construction area (Fuji City, Shizuoka Prefecture) causes the problem of blockage against the discharge due to coastal drift from the mouth of the Fuji River, although various countermeasures implemented so far have not yet reached the fundamental solutions. From these viewpoints, we investigate the effective solutions for the blockage by conducting hydraulic model experiments of a moving floor based on the four proposed measures, such as a reflective wall installation plan, a backdraft excavation proposal, a projectile relocation plan, a relocation of a jetty and a drilling behind a discharge port.