富士海岸元富士樋管閉塞対策の効果検証

中村　一郎[1]・川島　和義[2]・村野　幸宏[2]・樋場　亮太[1]・浅野　剛[3]
菅木　渉馬[4]

[1]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]前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）
[3]正会員　八千代エンジニヤリング株式会社　河川部（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー）
E-mail:go-asano@yachiyo-eng.co.jp (Corresponding Author)
[4]八千代エンジニヤリング株式会社　河川部（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー）

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，沿岸漂砂や高波浪による吐口閉塞が問題となっていた．これに対し，平成28年度から複数年にわたって水理模型実験を実施し，「突堤移設+吐口背後掘削」という事例のない工法が最適案として選定された．令和２年度までに現地での施工が完了して以降，継続的にUAV等による簡易計測や写真撮影を実施し，吐口の埋没状況や掘削箇所の埋め戻し状況，高波浪によって形成されるバームの変化についてモニタリングを行ってきた．その結果，対策工の効果が確認されるとともに，バーム高T.P.+2.5 mが吐口背後掘削実施の一つの目安となることがわかった．

Key Words : *clogging of discharge outlets, excavation, jetty, monitoring survey, effect verification*

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昭和40年代から整備が開始され，昭和59年12月に完成した（**図-1**，**写真-1**）．計画流量は43 m^3/s，計画確率は1/30年であり，函の断面は幅3.4 m×高さ2.1 mの3連構造となっている．吐口は，富士川からの沿岸漂砂を考慮し東側に開口している．

この元富士樋管は，従来より沿岸漂砂による吐口閉塞が問題となっていたため，平成27～28年度に抜本的な閉塞対策について検討が開始され，現地での試験施工（吐口のセットバック）や数値シミュレーション等により効果的と考えられる閉塞対策案の抽出を行った．さらに，抽出された閉塞対策案について，遠藤ら[1)]や池田ら[2)]により水理模型実験による効果検証が行われ，平成30年に「突堤移設+吐口背後掘削」が樋管閉塞対策として効果的であるとの結果を得た．

その後，同年9月に最初の掘削工事が行われたが，10月1日に来襲した台風第24号による高波浪（$H_{1/3}$ = 8.71 m, $T_{1/3}$ = 10.7 s）により掘削箇所がほぼ埋め戻されてしまったため，再度掘削工事が実施された．以降，閉塞対策の効果を確認するためモニタリング調査が開始され，令和2年の突堤移設完了後も継続的に調査が実施されてきた．

本論文では，「突堤移設+吐口背後掘削」という，樋管閉塞対策としては事例のない工法について，平成30年から令和5年までのモニタリング結果について取りまとめるとともに，対策の効果について総括するものである．

図-1　元富士樋管位置図

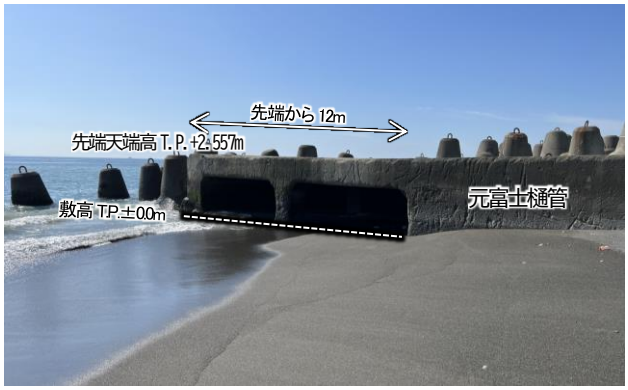

写真-1　元富士樋管吐口（令和5年11月23日撮影）

2. 閉塞対策とモニタリングの概要

(1) 閉塞対策

図-2は，対策実施前である平成29年の元富士樋管周辺の状況である．図中の突堤は，富士川河口方向からの沿岸漂砂を捕捉することで吐口閉塞を防ぐことを目的として平成14～16年に設置されたものであるが，漂砂上手側での土砂堆積に伴い徐々に機能低下が見られるようになった．平成24年に延伸工事が行われたものの，その後再び漂砂上手側への土砂堆積とともに機能低下が生じた．また，樋管東側の消波堤の背後には吐口セットバック時の掘削跡が残っている．

図-3は，平成30年に水理模型実験により選定された閉塞対策最適案である．吐口背後掘削は，掘削箇所に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り，波が遡上しやすいよう消波堤の一部を撤去している．また，高波浪実験[1]において突堤東側に100 m程度の堆砂域が確認されたことから，吐口を堆砂域の影響範囲から外すため，突堤を西側に100 m移設した．対策工事は，最初の吐口背後掘削が平成30年10月に実施され，2回目が令和元年12月，3回目が令和5年6月に実施された．また，突堤は令和元年11月から撤去を開始し，令和2年3月に移設が完了した．**図-4**は対策実施後である令和2年6月10日の元富士樋管周辺のオルソ画像である．

(2) モニタリングの概要

元富士樋管で実施した閉塞対策の効果・影響を把握するため，UAVを用いた元富士樋管周辺の空撮・SfM計測，並びに樋管吐口及び吐口背後掘削箇所周辺の簡易計測・写真撮影を実施した（**表-1**，**写真-2**）．

UAVを用いた空撮・SfM計測は，突堤移設に伴う地形変化や吐口背後掘削箇所の地形変化を把握するため，閉塞対策周辺（200 m×300 m程度）を対象とし，年に1～2回，台風等高波浪発生前後を基本として実施した．

樋管吐口及び吐口背後掘削箇所周辺の簡易計測は，短期的な地形変化の実態を把握するため，元富士樋管側面の地盤高を対象とし，主に7～12月頃に月1～2回程度実施した．また，同じタイミングで，閉塞対策の状況や吐口内部の堆砂状況を把握するため，写真撮影を実施した．

表-1 モニタリング内容（平成30年～令和5年）

項目	内容	実施箇所	頻度
空撮 地形測量	UAV による空撮 及び SfM 計測	対策周辺 200m×300m	1～2 回/年
簡易計測 写真撮影	ポール・コンベックス等を用いた簡易計測及び写真撮影	元富士樋管側面の地盤及び吐口内部	1～2 回/月 （台風期前後）

図-2 閉塞対策実施前の状況（平成29年）

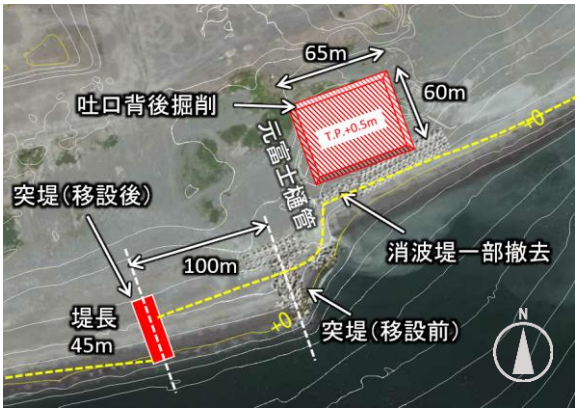

図-3 閉塞対策概要図

図-4 対策実施後の状況（令和2年6月10日撮影）

写真-2 樋管側面地盤高の簡易計測の作業状況

3. モニタリング結果

(1) 調査期間中の外力

平成30年から令和5年までの波浪データを**図-5**に示す．令和2年までは旧原観測所，令和3年以降は鮫島観測所（**図-1**,設置水深T.P.-39 m）の観測結果である．旧原観測所は鮫島観測所から東に約8.5 km，水深T.P.-45 mの地点に設置されていたが，欠測が増えたためすでに閉局している．水理模型実験[1]で用いた高波浪（$H_{1/3}$ = 2.0 m，$T_{1/3}$ = 9.0 s）以上の出現頻度は図中に示すとおりであり，令和4年度が1.2%と最も高く，その他の年は1%未満であった．

観測期間中の最大波高は平成30年台風第24号来襲時の$H_{1/3}$ = 8.71 m，$T_{1/3}$ = 10.7 sである．同台風が来襲する前に1回目の掘削がほぼ完了していたが，完全に埋め戻されてしまった（**写真-3**）．しかしながら，吐口閉塞は生じていなかった．また，令和元年台風第19号来襲時は，$H_{1/3}$ = 2.76 m，$T_{1/3}$ = 12.6 sと，波高はやや小さかったものの，清水港で既往最高潮位T.P.+1.63 mを観測したが，やはり吐口閉塞は生じていなかった．令和2年以降も，$H_{1/3}$で4 m程度の波が毎年のように来襲しているが，1度も吐口閉塞は生じていない．

(2) 閉塞対策及び樋管吐口内部の写真撮影

写真-4に，令和3年8月9日に来襲した台風第10号（$H_{1/3}$ = 4.08 m，$T_{1/3}$ = 9.2 s）通過後の撮影例を示す．掘削箇所には土砂が堆積している（写真上）が，吐口閉塞は生じていない（写真下）．元富士樋管は3連函であり，計画流量を流すためにはいずれの函も閉塞していないことが必要であるが，東側（写真右側）の函は閉塞していることが多い．なお，富士市では樋管の閉塞防止のためフラッシュ操作が行われている．令和3年度は計20回，令和4年度は計10回，令和5年度は計4回実施されており，これらも吐口の維持に寄与しているものと考えられる．

写真-3　高波浪来襲時の状況（平成30年10月2日撮影）

写真-4　高波浪来襲後の状況（令和3年8月13日撮影）

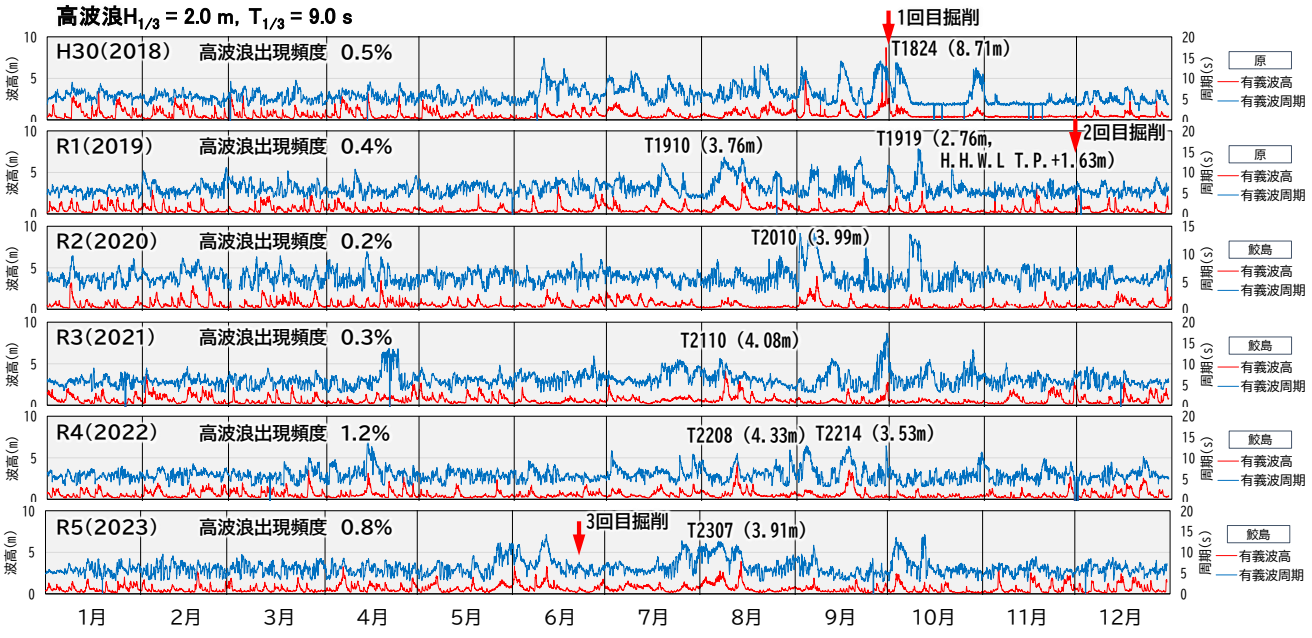

図-5　モニタリング期間中の波浪データ

(3) UAVによる平面地形変化把握

UAVによるSfM計測結果の例を**図-6**に，計測結果を基に作成した地盤高変化量図の例を**図-7**に示す．また，**図-7**の赤枠内（吐口背後掘削箇所）の変化土量を集計し，時系列で整理したものを**図-8**に示す．

移設後突堤西側に土砂が堆積する一方で，吐口付近は若干の侵食となっており，突堤移設による堆砂制御効果が確認できる（**図-7**）．当初掘削量は約1万 m³であるが，堆積量は4千 m³程度が最大となっている（**図-8**）．2回目の掘削は1回目から約1年後であるが，3回目は2回目から4年程度経過している．このことから，ある程度土砂が堆積するとそれ以上は奥まで押し込まれにくくなることが想定されるが，近年は波高が小さかったたことも影響していると考えられる．

(4) 簡易計測による断面地形変化把握

元富士樋管側面付近の断面地形計測結果を**図-9**に示す．平成30年10月に行われた当初掘削断面を基準とし，令和5年12月までの比較結果について抜粋したものである．

当初掘削後，令和元年8月9日に来襲した台風第10号（$H_{1/3}$＝3.76 m，$T_{1/3}$＝13.0 s）によりバームの形成（樋管側面の土砂堆積）が進行したこともあり，同年11月に2回目の掘削が行われた．その後，令和2年の台風期前（6月）までに土砂堆積が進んでいるが，この時点ではバーム高は樋管天端よりも0.5 mほど低い位置である．しかし，台風第10号（$H_{1/3}$＝3.99 m，$T_{1/3}$＝12.1 s）によりさらに堆積が進み，同年12月にはバーム高は樋管天端と同程度まで上昇している．

令和3年8月には，台風第10号（$H_{1/3}$＝4.08 m，$T_{1/3}$＝9.2 s）によりバームが掘削箇所奥に押し込まれ均された状態になったが，同年12月までに再びバーム高は上昇している．

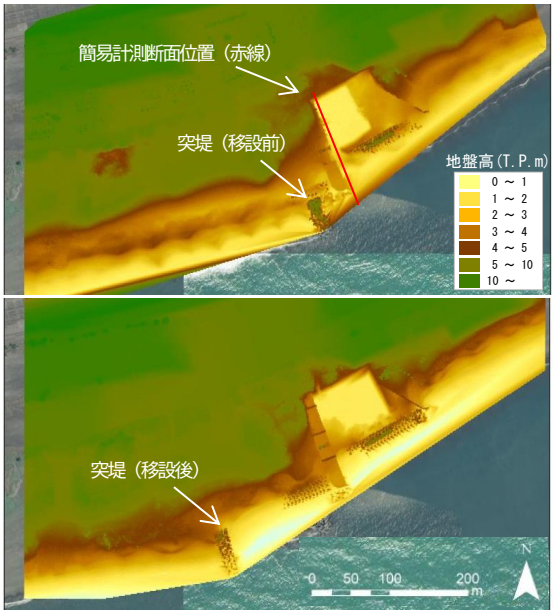

図-6 地盤高計測例（上：H30.11，下：R5.12.8）

その後，令和4年も同様の状態が維持されている．

令和5年6月に3回目の掘削を実施したが，台風第7号（$H_{1/3}$＝3.91 m，$T_{1/3}$＝10.3 s）に再びバームが形成された．

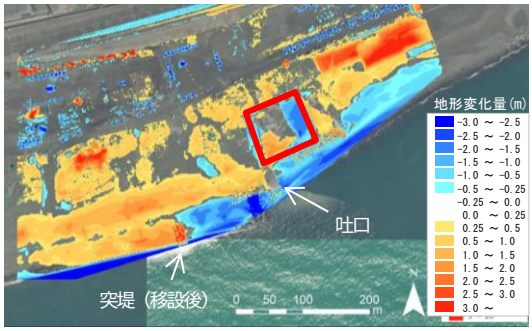

図-7 閉塞対策周辺の地形変化例（H30.11とR5.12の比較）

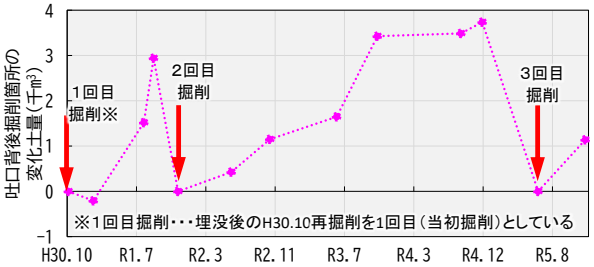

図-8 掘削箇所の土量変化

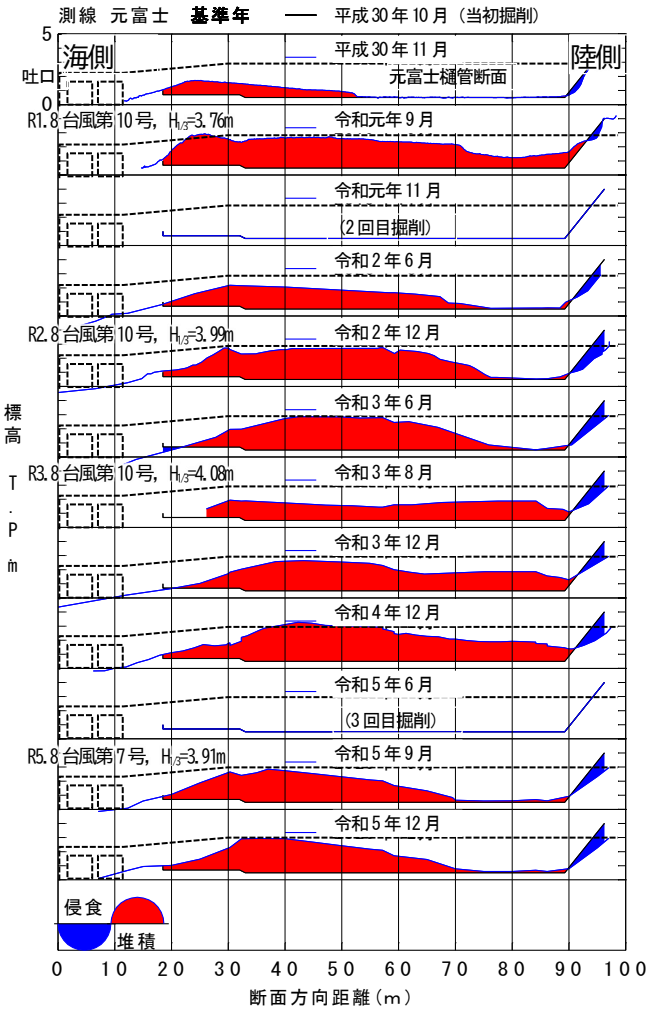

図-9 掘削箇所の断面変化

(5) モニタリング結果まとめ

平成30年のモニタリング開始以降の，主な高波浪とバーム形状，掘削箇所の土量変化の経時変化を**図-10**に示す．バーム形状については，バームの岸沖位置（簡易計測の都合上，樋管先端からT.P.+1.0 mまでの距離とした）とバーム頂部の高さについて整理するとともに，バームが発達する過程の断面図を下段に併記した．

特徴的な現象として，例えば令和2年台風第10号（T2010）の来襲後，バームの岸沖位置は値が小さくなっており，バームが樋管先端に近づく，すなわち土砂がバームの沖側に堆積する傾向が確認できる．また，バーム頂部は上昇し，掘削箇所の土量も増加傾向にあることから，高波浪の来襲により樋管周辺での土砂堆積が助長される傾向が確認できる．この変化は**図-10**の下段の断面図で明瞭であり，その状態で高波浪が来襲すると断面はさらに増加する．掘削以降の断面増加イメージを**図-11**に示す．

ここで，バームの高さと岸沖位置の関係に着目すると，高さがT.P.+2.5 m程度以上になると，岸沖位置が樋管先端方向に張り出す傾向が確認できる．このことから，バームの高さと岸沖位置を管理指標として，T.P.+2.5 mが閉塞対策の維持管理における一つの目安になるものと考えられる．

なお，令和元年の2回目掘削から令和5年の3回目掘削まで約4年程度，維持掘削なしでも吐口閉塞が生じていないが，これは来襲する波浪によるところが大きく，維持掘削が不要と考えるべきではない．

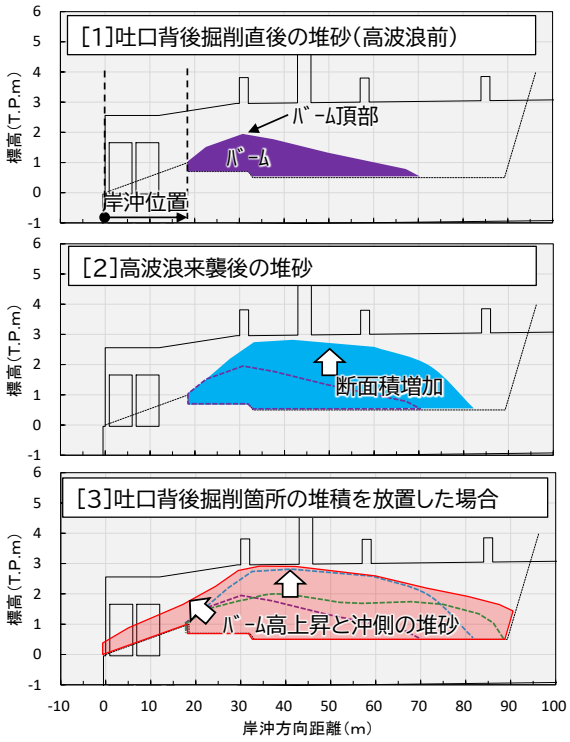

図-11　バームの断面変化イメージ

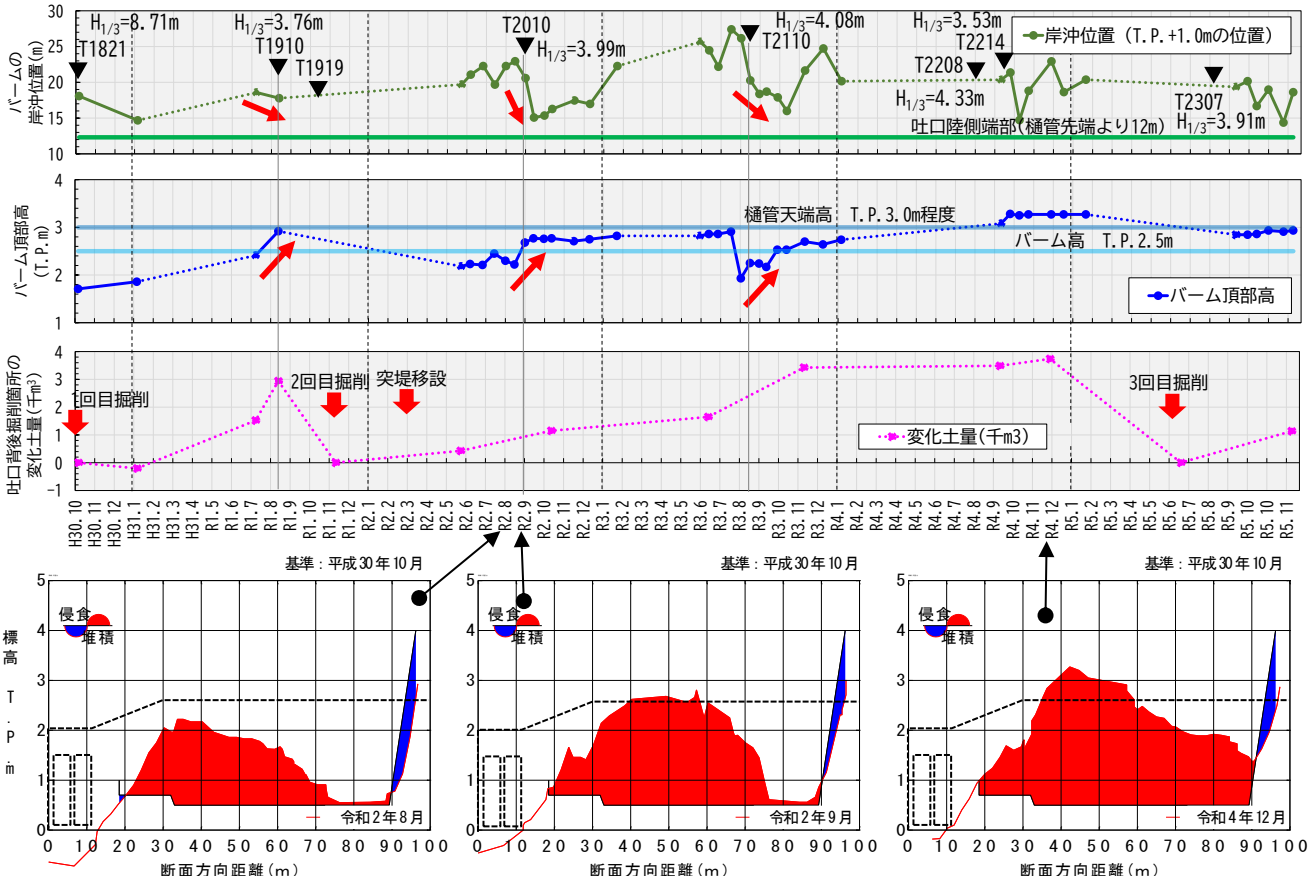

図-10　主な高波浪とバーム形状，掘削箇所の土量変化の変化

4. 閉塞対策の維持管理

モニタリング調査により，高波浪の来襲に伴い掘削箇所の埋め戻しやバーム高の上昇が生じ，その状態で放置するとバーム沖側へ土砂が堆積して吐口閉塞のリスクが高まることから，今後も適切に吐口背後掘削箇所の維持管理を行う必要がある．

図-12に，閉塞対策（吐口背後掘削）の維持管理フロー案を示す．平常時の巡視と高波浪来襲前後等の臨時点検により，バーム高や掘削箇所の埋め戻し状況を確認し，コストと閉塞リスクのバランスを踏まえ適宜掘削実施の必要性を判断する．バーム高がT.P.+2.5mを超えている，あるいは掘削箇所が満砂状態の場合は，台風期の早い段階で掘削を実施すべきである．また，余裕がある場合でも，台風等高波浪の発生やその規模を事前に予測することは困難であることから，特に台風期においては予防保全的に掘削を実施しておくことが望ましい．

5. おわりに

本対策の実施により，吐口の閉塞防止効果が確認され，より安全かつ効率的な維持管理が可能となった．本対策の要点は，吐口背後掘削によりバッファ域を形成し，バーム形成・発達期間を経済的な期間に設定できるようにしたこと，また，突堤移設により堆砂域のコントロールポイントを新設したことである．本対策の実施には，樋管背後地にある程度のスペースを必要とするが，条件が類似する箇所では適用可能な技術であると考える．

謝辞：元富士樋管閉塞対策の検討に当たっては，高知工科大学佐藤慎司教授，名古屋工業大学喜岡渉名誉教授，国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室加藤史訓室長，野口賢二主任研究官に貴重なご助言・ご指導を頂いた．ここに記して謝意を表します．

REFERENCES

1) 遠藤久巳，程谷浩成，杉澤文仁，古谷佳丈，辺見聡，浅野剛：富士海岸 樋管閉塞対策の水理模型実験，土木学会論文集 B2(海岸工学)， Vol.74， No.2，pp.I_913-I_918，2018. [Endo, H., Hodoya, H., Sugisawa, F., Furuya, Y., Henmi, S. and Asano, G.: A hydraulic model experiment on countermeasures against clogged of a calvert on the Fuji Coast, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 74, Issue 2, pp. I_913-I_918, 2018.]

2) 池田正樹，松本浩茂，伊藤史晃，辺見聡，浅野剛：元富士樋管閉塞対策への沿岸漂砂上手構造物の影響に関する水理模型実験，土木学会論文集 B2(海岸工学)， Vol.75， No.2，pp.I_541-I_546，2019. [Ikeda, M., Matsumoto, H., Ito, F., Henmi, S. and Asano, G.:Hydraulic model experiments to understand influence of upcoast structures on measures against clogging of the Motofuji calvert, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 75, Issue 2, pp. I_541-I_546, 2019.]

(Received March 14, 2024)
(Accepted July 18, 2024)

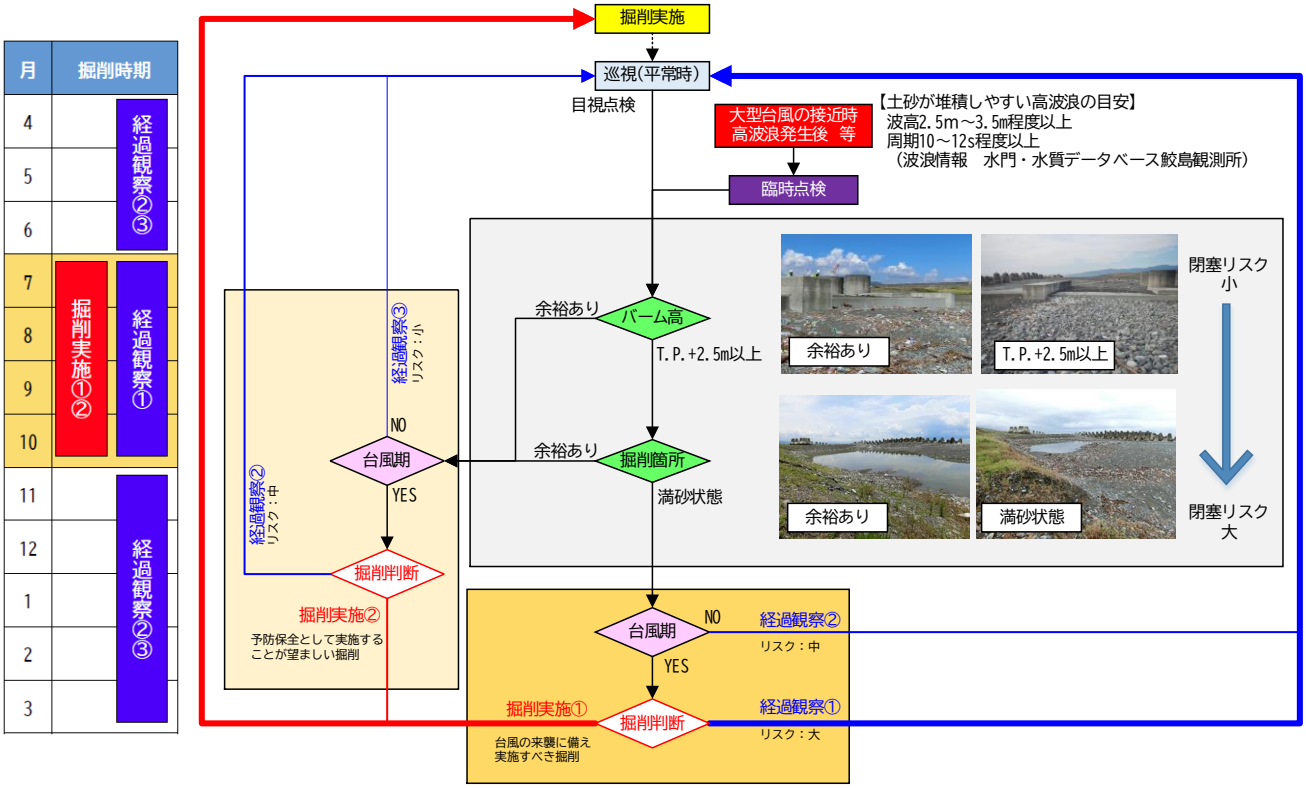

図-12 維持管理フロー案

EVALUATION OF MEASURES TO MITIGATE CLOGGING AT THE MOTOFUJI CALVERT IN FUJI COAST

Ichiro NAKAMURA, Kazuyoshi KAWASHIMA, Yukihiro MURANO,
Ryota KAYABA Go ASANO, and Syoma SUGAKI

The Motofuji calvert, located in Fuji Coast (Fuji City, Shizuoka Prefecture), experienced problems with the clogging of its outlets due to coastal drift and high waves. In response to them, hydraulic model experiments were conducted for several years starting from fiscal year 2016, and an unprecedented construction method of " relocation of a jetty and excavation behind calvert outlets " was selected as the optimal solution. After the completion of the construction on-site by fiscal year 2020, simple measurements and photographic documentation using UAVs have been performed to monitor sedimentation at the outlets, refilling of the excavated areas, and changes in berms formed by high waves. The results show that a berm height of T.P.+2.5m could serve as one of the benchmarks for implementing re-excavation behind the calvert outlets.