

って、砂浜が侵食され、背後の陸地にも甚大な被害が生じた。その災害復旧工事として離岸堤や突堤等が築造されたが、その後も多くの台風によって砂浜の侵食は進んでいる。

近年では、写真-3 に示すように砂浜がほぼ消失し、写真-4 に示すような高潮・高波による住宅・ホテル等の越波・浸水被害が生じている。築造から約 60 年が経過した護岸は、コンクリートの劣化が著しく、砂浜の侵食に導かれた護岸基礎の洗掘によって躯体の一部が倒壊する恐れもある。海岸の直背後には市民の住宅とホテルや温泉入浴所等の観光施設が混在して集積しており、この護岸に接する道路は、市民の憩いの散歩道やホテルへのバスによる送迎用としても利用されている。



写真-2 昭和 20 年頃の指宿港海岸

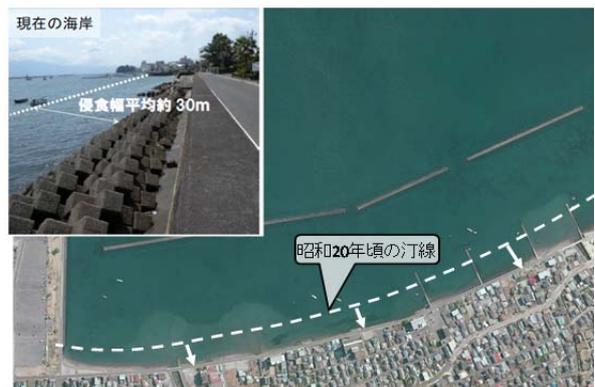


写真-3 現在の指宿港海岸



写真-4 台風来襲による越波・浸水被害

3 住民参加のワークショップと専門家委員会の二人三脚

昔のような砂浜を取り戻そうと、市民有志が、平成 13 年に「指宿に白い砂浜をつくる会」を旗揚げした。21 年には、商工会議所や観光協会の役員、ホテルの社長・女将、自治会長など、幅広いメンバーが「指宿港海岸保全推進協議会」を立ち上げ、同年に市民向けシンポジウム「砂浜の復活を目指して！指宿の海岸整備について考える」、25 年には「安全・安心な指宿の海岸整備について考える市民の集い」を開催した。さらに、24 年度からは『ふるさと未来の海、砂浜の再現』に向けて」というキャッチコピーで指宿港海岸ワークショップを年 3 回程度（28 年 6 月までに通算で 15 回、延べ約 1,000 人以上が参加）開くことで、海岸整備への理解を市民に広げる活動に取り組んできた。

このような地元からの熱意に温められる形で、直轄は 23 年度に事業化検証調査を開始、26 年度に事業化、27 年 4 月に現地出先事務所を開設、同年 10 月に現地着工をした。事業化検証調査 2 年目からは、学識経験者からなる指宿港海岸侵食対策検討委員会において、砂浜侵食の原因を究明し、侵食対策施設の配置を検討した。事業化の年からは、指宿港海岸侵食対策「施設整備」検討委員会と改称し、地元代表も委員に加えた。

ワークショップ（以降、WS）と委員会は概ね交互に開催し、WSで集約された市民の要望を委員会で検討して結果をWSに報告する、キャッチボールの体制を取ることで、できる限り地元の多様な意向に沿った事業となるように努めている。

4 侵食対策の技術的な検討

4.1 砂浜侵食のメカニズムの究明

指宿港海岸が面する錦江湾口は、東シナ海付近の台風から伝播するうねり性波浪と錦江湾内で短時間に発達する風波とが重なる海域である。その波浪推算に用いる風場の推定では、局地気象モデル WRF を用いて、錦江湾を取り囲む急峻な台地の影響も考慮した。顕著なうねり性波浪が錦江湾に入ると、指宿港海岸でも波高は大きくなる。図-2 に示すような大山崎から太平次公園に向かう速い沿岸流が生じ、波浪に舞い上げられた砂がこの沿岸流により流されることで砂浜が侵食する。このメカニズムを波浪変形計算と漂砂モデルによって明らかにした。

また、砂浜が痩せて海面が護岸に接する状態で波浪が入射すると、写真-4(中央)に示したような大きな越波流量が生じることも、ナビエ・ストークス方程式と VOF 法に基づく数値波動水路プログラム CADMAS-SURF で確認している。

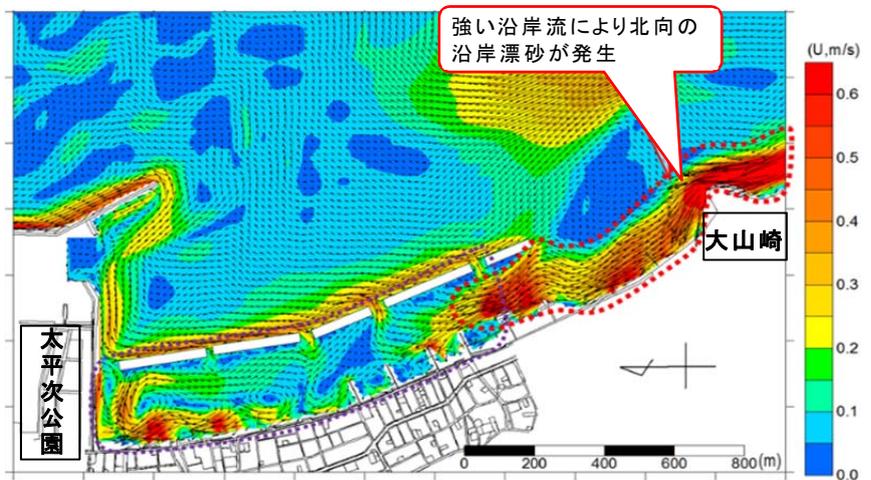


図-2 現地形における台風時の沿岸流

4.2 先進的な侵食対策施設の配置計画

事業化に向けて、図-3、4 に示すような離岸堤、突堤、養浜、護岸から構成された侵食対策施設の配置計画を立てた。従来の海岸整備における面的防護は、離岸堤（または潜堤、突堤）と護岸によって波浪を低減するもので、養浜を行ったとしても高波浪によって砂浜が変動することを前提とした防護機能として検討している。直轄で整備した別府港海岸餅ヶ浜地区（高潮対策事業）もこの考え方である。一方、指宿港海岸では、台風などの高波浪時においても砂浜に消波効果を期待し、以下のような先進的な取り組みを行っている。

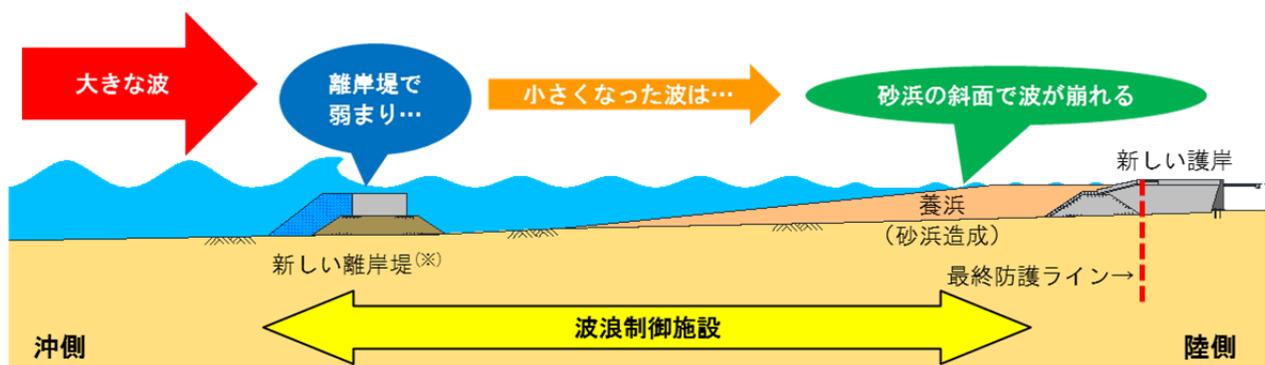


図-3 面的防護方式の仕組み

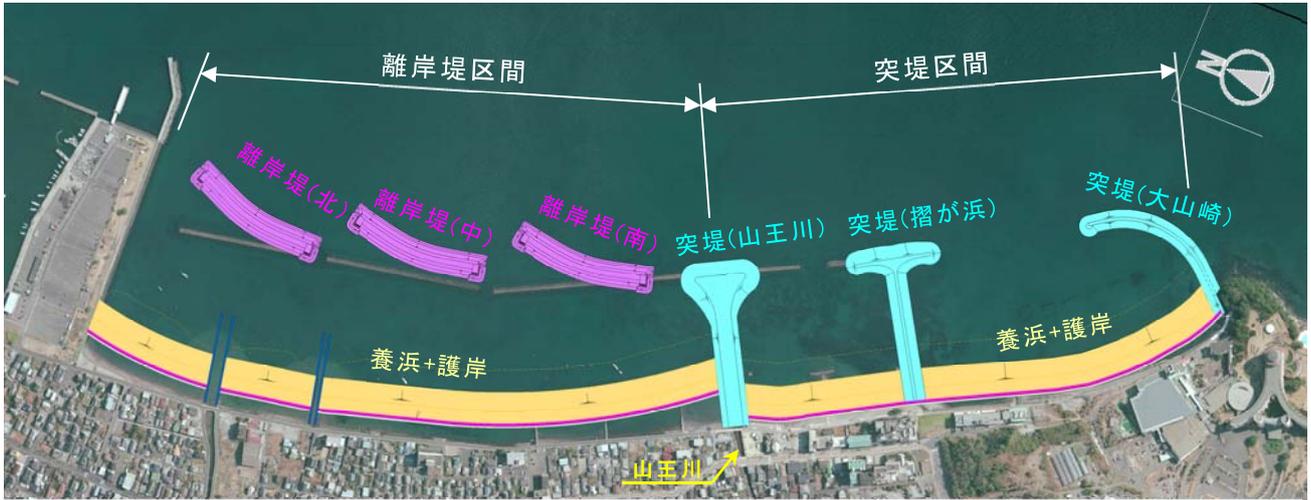


図-4 事業化時における侵食対策施設の配置計画

(1) 背後地の利用状況を踏まえたゾーン分け

山王川より北側の区間では、護岸の越波による被害が多く生じており、住民の安全・安心の確保を第一に、離岸堤群で波浪を制御することにした。その断面を不透過な構造にし、天端を下げることで周囲の景観への圧迫感を抑え、法線を海岸線にやや斜めにして開口部を広げることで海水交換性を確保した。一方、南側の区間には、「天然砂むし温泉」やホテルがあるため、突堤群を設置し、その間隔を広くとることで、錦江湾と大隅半島と空の途切れない眺望を楽しめ、藻場など環境資源への影響も小さくなるように配慮している。

(2) 沿岸流の上流側の突堤による制御

東シナ海の台風から錦江湾にうねり性波浪が伝播して来ると、図-2に示したように、指宿港海岸に沿って速い沿岸流が生じる。上流側の大山崎に突堤を設置することで、図-5のように沿岸流の流速を小さくできる。

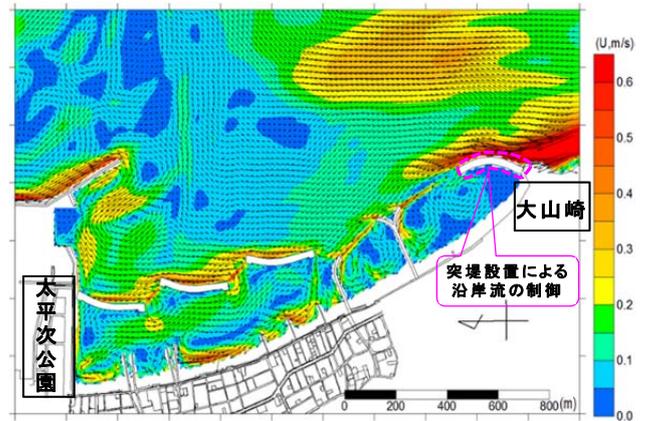
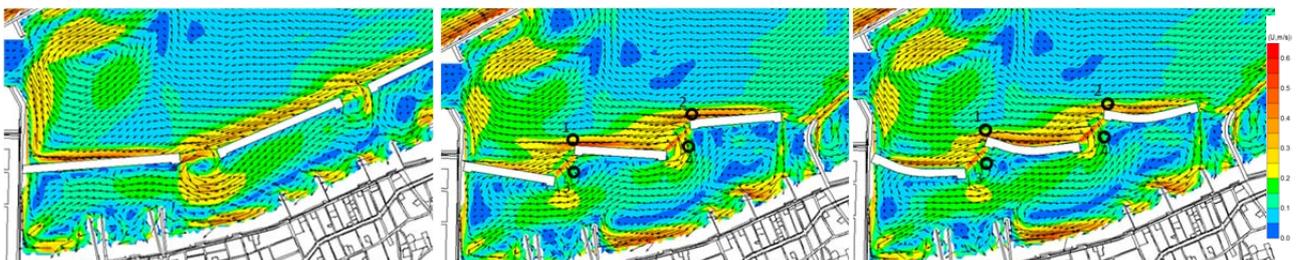


図-5 突堤(大山崎)を設置した場合の沿岸流

(3) 離岸堤群による沿岸流の第二の制御

直線の離岸堤群を海岸線に平行に配置すると図-6(a)に示すように、突堤(大山崎)の沖を北上する沿岸流は、離岸堤の沖側に沿って進み、離岸堤の開口部から岸側に入り込み易くなる。(b)のように離岸堤の法線を海岸線に対して斜めの配置とし、さらに(c)のように離岸堤を弓なりの形状にすると開口部(図の○の地点)で流速が(b)より約30%低減できる。



(a)離岸堤が直線で海岸に平行 (b)直線で斜め (c)弓なりに斜め

図-6 離岸堤の法線による沿岸流の比較

4. 3 天然砂むし温泉のメカニズム解明と保全

指宿港海岸の砂浜には、温泉水が滲み出ているところや、地下の熱水で砂が手で触れないほど高温なところが数カ所ある。かつては今より広い範囲で天然砂むし温泉を楽しめたと言われている。ところが、砂浜やその周辺の地質、温泉水と海水からなる地下水の分布はよく分かっていない。そこで、砂むし会館「砂楽」やホテル関係者に、温泉の掘削の経験や砂浜からの温泉の湧出について、ヒアリングを行った。また、28年度初めには温泉や地下水、漂砂の学識経験者からなる「温泉地下水ワーキンググループ」を委員会の下部組織として設置し、砂浜が高温になるメカニズムの究明を始めたところであり、今後、ボーリングによる地下水の水位や温度、化学組成に関する調査等について実施する予定である。また、砂むし温泉の環境に悪影響を及ぼさない護岸の改良や養浜の方法についての検討も求められている。

5. 離岸堤の設計への住民要望の反映

離岸堤の設計にあたり、WSにてグループ討議を行ったところ、「防護機能を満たすことを最優先にして欲しい」、「観光産業の中心的なエリアなので景観には十分に配慮して欲しい」と相反する声が上がった。離岸堤の天端が水面上に高く突き出ると景観を損なうことが懸念されることから、不透過な堤体の前面を消波ブロックで被覆する構造とし、防護機能は確保しつつ既設の消波ブロック積み離岸堤より天端を下げて景観に配慮した。



写真-5 第11回ワークショップの様子

また、「堤幹部だけでなく堤頭部も陸側から消波ブロックが見えないように」という要望に対しては、堤頭部の構造にセルラーブロックを導入し、消波ブロックによる被覆がない場合でも十分な耐波安定性を確保した。一方、「離岸堤の陸側は直立壁ではなく斜面壁として欲しい」という要望に対しては、本体ブロック背面を斜面にすることによる被覆ブロックの安定性への影響を確認するために50m長水路を用いた水理模型(断面)実験を実施した。

表-1に示すように、本体ブロック背面の形状について、直立と斜面を比較すると、斜面にした場合、流下する越流水で被覆ブロックが不安定になることを水理模型実験結果(図-7参照)で説明し、直立壁とすることに理解が得られた。

表-1 被覆ブロックの安定性実験の結果

※許容被害率 1%

| ケース | 潮位 | 本体ブロック背面の形状 | マウンド法 面勾配 | 被覆ブロック | 被害率 | 結果 |
|-------|--------|-------------|--------------|--------|-------------|----|
| ケース A | H.W.L. | 直立 | 1:1.5 | 6t型 | 3.57% > 1% | NG |
| ケース B | H.W.L. | 直立 | 1:2 | 6t型 | 0.00% < 1% | OK |
| ケース C | H.W.L. | 斜面 | 1:2 | 6t型 | 17.19% > 1% | NG |
| ケース D | H.W.L. | 斜面 | 1:3 | 6t型 | 9.03% > 1% | NG |

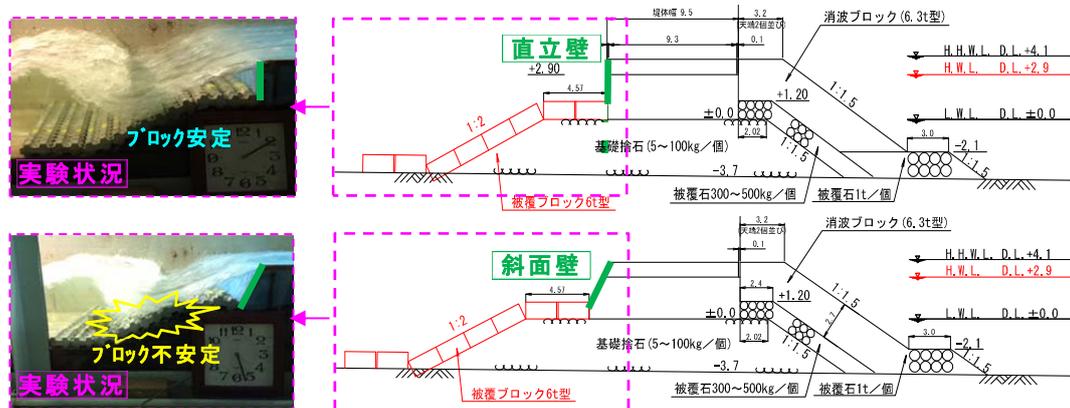


図-7 離岸堤 陸側の直立壁と斜面壁の違いによるブロック安定実験(上:ケースB、下:ケースC)

「天然石か擬岩」に対しては、石垣風の化粧板で理解が得られ、WSメンバーは崖の被覆工などの実例を見学し、図-8に示すフォト・モンタージュも見て、模様のパターンやサイズを選定していただいた。「指宿らしい、淡いピンクや黄色」という意見も出たが、結局は無着色のコンクリートで落ち着いた。また、下関技調水理実験センターにて実施している離岸堤配置の水理模型（平面）実験の見学会をWSという形で開催しており、離岸堤の防護効果並びに施設配置について、より一層の理解を深めていただいたものと考えている。

この離岸堤は、事業化から1年半後の27年10月に、この事業の最初の施設として現地着工した。指宿港海岸事務所の玄関や、地元住民の憩いの散歩道ともなっている海岸沿いの道路には、事業の概要や工事の進捗状況のチラシが掲示され、市民から関心を集めている。指宿市では毎年1月に「なのはなマラソン」と「なのはなウォーク」という、春を呼ぶイベントが開催されており、28年は「なのはなウォーク」の全てのルートがその道路を通るように設定された。あいにく降雪で参加者がまばらになったことは残念である。



図-8 離岸堤を石模様とした場合のフォト・モンタージュ(第14回WSで提示)

6. おわりに

指宿港海岸の直轄事業は、26年度に事業化し、27年10月に離岸堤の改良から着手し、28年度は離岸堤の工事を継続するとともに、突堤の設計を加速させ、砂むし温泉のメカニズムの解明にも取り組むこととしている。

整備にあたっての技術的な課題も多く残っているところではあるが、海岸周辺の住民、ホテル、漁協等の関係者、県や市とは、引き続き緊密な調整を図りつつ、かつての砂浜を海岸に取り戻し、その砂浜をしっかりと維持することで、住民が安全・安心して暮らせ、観光地としても魅力ある海岸整備となるように、全力を尽くす所存である。