

指宿港海岸における侵食対策施設整備の検討

森本 悟司*・菊地 洋二**・小野 信幸***・石本 健治****・中野 史丈*****・雪丸 敏昭*****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員
 **前 (一財) 沿岸技術研究センター 調査役
 *** (株) エコー 防災系事業部 防災解析部 環境解析室 環境解析室長
 **** (株) エコー 構造系事業部 構造設計部 構造設計部長
 *****前 国土交通省 九州地方整備局 鹿児島港湾・空港整備事務所 海岸課 海岸係長
 *****国土交通省 九州地方整備局 鹿児島港湾・空港整備事務所 海岸課 海岸課長

指宿港海岸では、高潮・高波による海浜の侵食が進み、汀線が大きく後退した結果、砂浜の持つ消波機能が失われた。近年では、頻度の高い波浪レベルでの越波による浸水被害が発生している。これに対し、平成 23 年度から国の直轄事業として砂浜の再生を含めた侵食対策の検討が開始され、平成 28 年度からは、砂むし温泉を含む海岸背後の泉源に対して、整備による影響についての検討が行われている。本稿は、指宿港海岸における侵食対策施設整備について、検討の概要を報告するものである。

キーワード：海岸整備，ワークショップ，離岸堤，突堤，砂むし温泉，地下水流動

1. はじめに

指宿港海岸は、薩摩半島南東部に位置する延長約 1.8km の湾曲した砂浜海岸である (図-1)。本海岸は、この地域に流入する小河川からの流下土砂の長年にわたる堆積によって形成されたとされているが、砂の供給源が少ないことや、大型台風に伴う高潮、高波の影響により、砂浜の侵食が進行している。現在はほとんどの区域で汀線が大きく後退し、既往の調査によると、指宿港海岸の土砂は 1948 年から 2011 年までの間に約 16 万 m³ の減少が見られた (図-2)。海浜の侵食により砂浜の持つ消波機能が消失した結果、近年では頻度の高い波浪レベルでも越波による背後住宅等への浸水被害が発生している状況にある。また、護岸は築造後 60 年以上が経過し、老朽化が進んでいる。このため、砂浜の再生による高波時の防護機能の回復、高潮・高波による越波・浸水被害の軽減を目的に、侵食対策施設の整備が進められている。整備を進める上で、天然砂むし温泉や温泉地下水への影響を踏まえることが重要である。

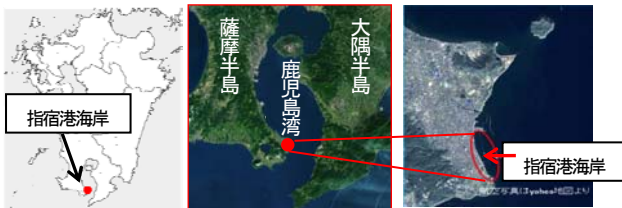


図-1 指宿港海岸の位置

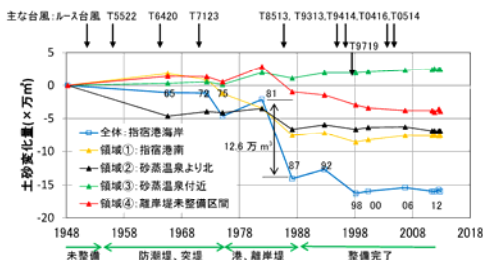


図-2 写真データによる汀線の土砂変化量

2. 侵食のメカニズムと検討体制

2.1 侵食のメカニズム

指宿港海岸の侵食メカニズムは、平成 24 年度までに実施された現地調査結果や数値シミュレーションによる検討結果から、以下のものであると推定されている (図-3)。

- ① 頻度の高い波浪でも、海岸南側で強い北向きの沿岸流が発生し、「北向きの沿岸漂砂」を起こしている。
- ② 離岸堤及び突堤の内側エリアでは、北向きの強い沿岸流によって複雑な流れが生じるとともに、「岸から沖への岸沖漂砂」が生じている。
- ③ 「波浪により擾乱されて浮遊した砂」は、上述の漂砂現象により沖側へ流出し、海浜侵食が進行している。

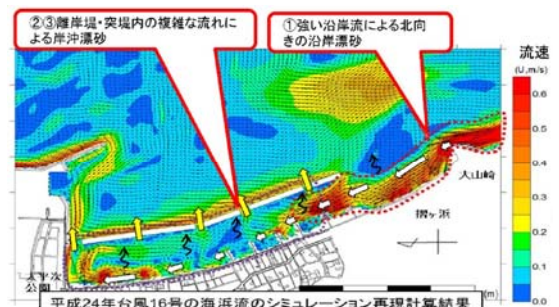


図-3 指宿港海岸における侵食メカニズム

2.2 検討体制

侵食対策施設整備の検討は、有識者・行政関係者で構成される検討委員会、地域住民が参加するワークショップ、事業主体である国土交通省の 3 者が、密にコミュニケーションをとりながら進めている (図-4)。

ワークショップにおいては、事業者から整備や検討の現況説明や有識者による講話が行われ、グループ討議によ

り住民の意見を聴取している。また、検討委員会では、海岸・景観・水産等の専門家や、住民及び地元ホテルの代表者、行政関係者が海岸整備に関して多面的な議論を行い、さらに、温泉地下水ワーキンググループでは、専門家の知見をもとに、温泉地下水のメカニズムの理解を深めている。

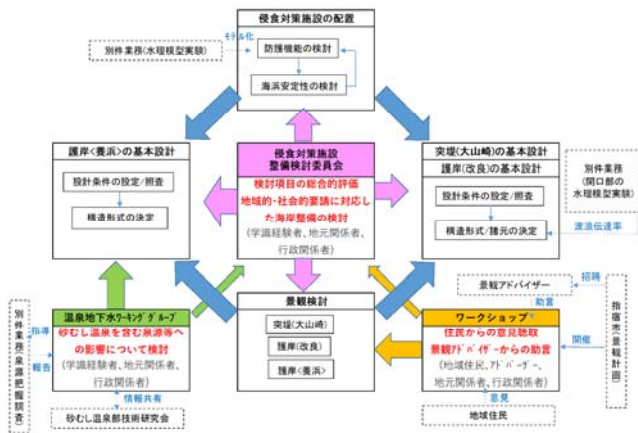


図4 委員会・ワーキンググループ・ワークショップ 相関図

3. 天然砂むし温泉の特徴と実施条件の把握

3.1 現地調査結果に基づく地下水の特徴

(1) 地下水の特性分析

平成 28 年度に実施した現地泉源調査データの成分分析から、温泉地下水は塩化物イオン濃度が高く、塩化物泉原であると判断される。また安定同位体分析から、海水（塩水性地下水）が混合した湖沼水であると考えられる。

(2) 地下水位の時間変化と温度の分布

地下水の温度の面的分布について整理すると、北側の突堤付近を境に温度分布に違いが見られる。砂むし会館砂楽や海上ホテルでは 70℃の高温水の滲出があり、それに対し、南側の突堤周辺は温度が低い分布となっている。さらに南側では温度が高くなっている（図-5）。

高温水の滲出する箇所における潮位変動と砂中温度の関係性については、上げ潮時に、砂中への海水浸透による温度低下が見られ、下げ潮時に、低温水（海水）の海側への押し出しによる全体的な温度上昇が見られた。上げ潮時には海水に押し上げられた高温水が砂浜内に留まり、下げ潮時には砂浜内の高温水が沖側へ流出することが考えられる（図-6）。また観測データから、低低潮位においては、間隙水が少ないため温泉は浸透しやすく、高低潮位においては、間隙水が残るため温泉は浸透しにくいと考えられる。

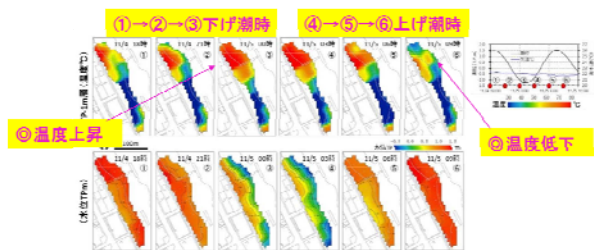


図5 異なる潮位条件における水位と温度の平面分布

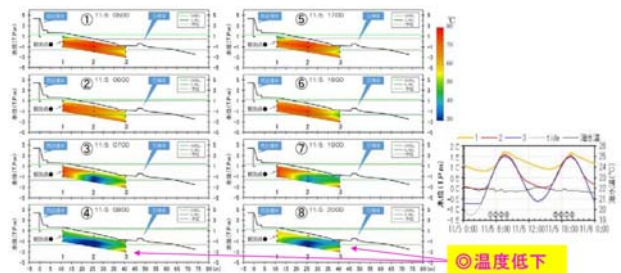


図6 上げ潮時における砂浜内の温度の時間変化

(3) 温度と塩分の面的分布

平成 29 年度の現地調査データをもとに、実用塩分と塩化物イオンの分析結果、温度との関係を整理した。砂むし会館砂楽付近や指宿海上ホテルでは塩分を含む高温水が確認された。一方で、ホテル吟松周辺では低温・低塩分量の地下水が確認された（図-7）。



図7 温度と塩分の面的分布

3.2 天然砂むし温泉の実施条件の整理

天然砂むし温泉の維持管理条件の把握のために、温泉の実施条件を整理した。温泉水位より上側の砂層 50cm 内で、70℃近い温度となるのが条件であり、これは、低潮位時に限られる（図-8）。理由としては、砂中水分が多いと適温に下がらないためであると考えられる。

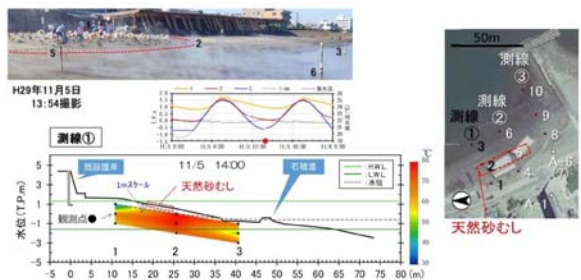


図8 天然砂むし温泉実施時の砂中温度

4. 侵食対策施設の検討

4.1 海岸整備のテーマについての討議

平成 29 年度においては3回のワークショップを開催し、これを加えると 20 回の開催となる。参加者数は継続して 60 人前後であり、住民の関心の強さが伺える。景観要素（利用性・美観、調和・刷新）を整理し、住民が望む海岸整備のテーマについて討議するとともに、導流堤や緩傾斜

護岸の模型体験（写真-1）やフォトモンタージュによる景観検討（図-9）を実施した。海岸整備に対する意見として、「利用性」を重視する声が多かった（図-10）。



図-9 フォトモンタージュによる景観検討

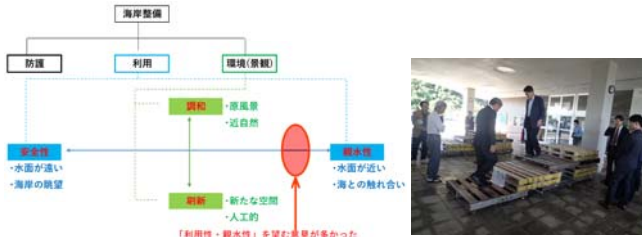


図-10 海岸整備のテーマ 写真-1 模型体験

4. 2 最適な侵食対策施設の検討

(1) 侵食対策施設の配置対策方針

侵食メカニズムから検討された方針は次の通りである。

- ①「突堤の整備」により、北向きの強い沿岸流を抑制し、海浜変形の安定、波浪低減機能の向上及び砂浜の沖側への流出防止を図る。
- ②「離岸堤の効果的な配置」により、波浪低減機能の向上、堤背後の流れの抑制及び海浜形状の安定を図る。

(2) 侵食対策施設の平面配置の最適化

海岸全体の安定性（汀線変化）、50年確率波に対する安定性、越波に対する影響について検討した（図-11、12）。

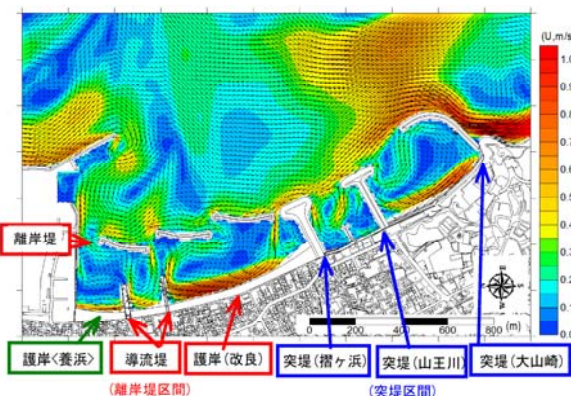


図-11 50年確率波での海浜流分布(波向S)

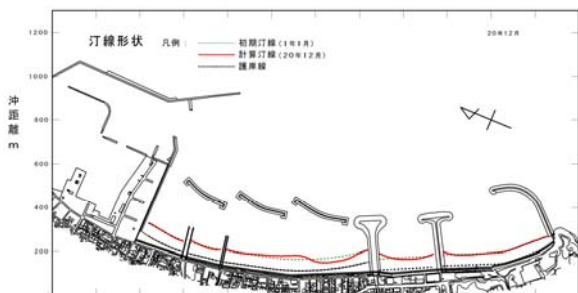


図-12 汀線変化量計算結果(20年後)

景観面と環境面の両面を考慮すると、突堤（大山崎）と突堤（摺ヶ浜）の開口部から侵入する波の低減は難しいが、護岸の嵩上げまたは養浜による防護機能強化による対応が考えられる。検討の結果、護岸の嵩上げ、養浜の沖出しや緩勾配化、養浜投入材料の粒径の調整による養浜安定性を向上させる方法で、越波流量の低減が可能である。

4. 3 護岸（改良）の構造検討

護岸の構造諸元は、永続状態及び変動状態（L1地震動）の安定性の照査、さらにワークショップのアンケート結果から決定した。偶発状態（L2地震動）では、地震動（M6.5直下型）による沈下が生じた際に、10年確率波に対し許容越波流量を満足することを照査した。

また、導流堤の構造諸元は、景観面に配慮し、延長（図-13）を、M.W.L.時の先端の移動限界水深より設定し、永続状態及び変動状態（中間部ではL1地震動、先端部では波浪に対して）の安定性を照査した。

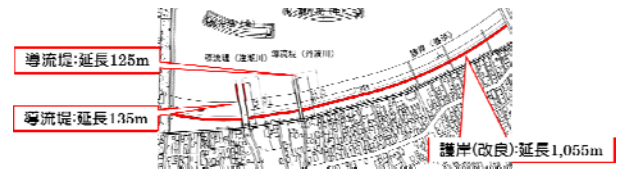


図-13 離岸堤区域の施設配置(案)

4. 4 突堤（大山崎）の基本設計

突堤の要求性能は、沿岸流の制御（海岸侵食の防止・軽減及び海浜の安定化）に加え、背面護岸の作用波浪を低減する波浪制御機能（波高伝達率0.5）とした。永続状態及び変動状態（L1地震動）についての安定性を照査し、構造形式を区間ごとに選定した。またワークショップでの要望を受け、一部区間では海水交換の適用性を検討する計画である（図-14）。



図-14 突堤区間の工区区分

4. 5 養浜に関する検討

(1) 養浜の基本設計

養浜の構造諸元・構造形式は、越波流量（50年確率波）に対する防護機能の照査、中長期的（20年）の海浜変形に対する地形の安定性の照査（図-12）、さらに永続及び変動状態（L1地震動）の安定性の照査によって決定した。

(2) 温泉地下水シミュレーションの検討

養浜の実施により、図-15のように地下水環境の変化

が予想され、次の地下水流動への影響が予想される。

- ① 汀線の前進による地下水位変動の影響
- ② 地表面から平均地下水面との距離の変化に伴う地下水位と温度への影響 (0点→A, B点への移動)

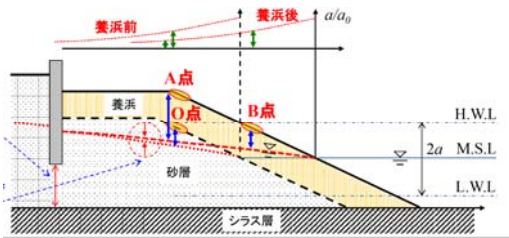


図-15 地下水環境の変化イメージ

養浜に伴う温泉地下水への影響をシミュレーションするために、次の手順で解析手法を検討した。

まず、温度による透水係数の上昇が、砂浜内の地下水の流動に与える影響を、地下水流動の計算モデルDtransu-2Dを用いて検討した。砂むし温泉付近の断面(岸沖方向)を対象に、陸側の透水係数を上げた(温度20°Cの2.5倍の透水係数 1.5×10^{-3})場合の地下水位の計算結果を考察し、地下水の温度計算モデルの基礎式における溶質の移流・拡散計算方程式との比較を行うことで、計算モデルの類似点や境界条件を確認した(図-16)。

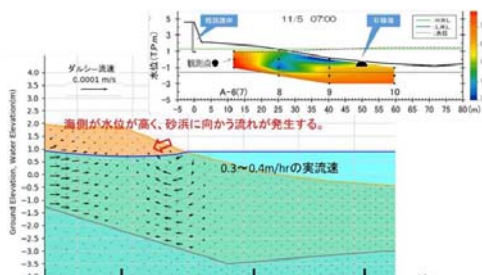


図-16 断面地下水位計算結果と温度観測結果の比較

次に、地下水流動の再現計算を2次元断面から3次元(平面)に拡張するために、3次元モデルDtransu-3Dを用いて現地調査の再現計算を実施した。計算では、地形・地層を現地測量結果や砂層厚調査結果に基づきモデル化し、陸側境界にはボーリング箇所の水圧データを用いた。計算結果としては、海側の水変動は良好に再現しているが、護岸付近の値が過小となった(図-17)。計算における温度の取り扱いや養浜時の影響についての検討は、今後の課題である。

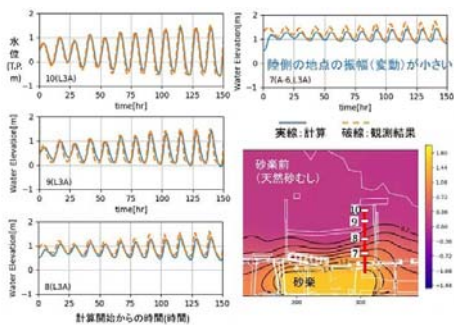


図-17 砂むし会館付近の地下水再現計算検証試験

(3) 試験養浜の実施条件の検討

養浜による温泉地下水への影響の調査のため、現地での試験養浜の実施条件を検討した。実施場所の候補地は、現状で砂浜がある程度残っていること、高温水が滲出していること及びモニタリングが可能であることを条件に、海上ホテル周辺の砂浜を提案した(図-18)。試験養浜では、影響要素(砂層厚・底質粒径・構造物等)の詳細調査と地下水位・温度等の観測を計画している。



図-18 試験養浜候補地

5. おわりに

指宿港海岸侵食対策施設の検討状況の概要について述べた。本稿での報告以外にも河川・環境・景観・施工性等への影響に配慮し検討を進めている。今後の主な課題について、以下に示す。

- (1) 離岸堤区間
 - ・護岸、導流堤、養浜の利用性・景観に対する詳細検討
 - ・背後地(緑地等)と護岸・養浜との一体的な利用の検討
- (2) 突堤区間
 - ・防護機能不足箇所の施設配置と対応策の検討
 - ・景観・利用性等を踏まえた突堤(大山崎)の構造検討
- (3) 養浜
 - ・護岸・養浜の整備による天然砂むし温泉等への影響
 - ・温泉地下水シミュレーションモデルの構築と精度向上
 - ・試験養浜のモニタリング計画の検討

謝辞

本稿は、国土交通省九州地方整備局鹿児島港湾・空港整備事務所発注の「指宿港海岸整備検討業務」の成果の一部をまとめたものである。業務実施にあたっては、指宿港海岸侵食対策施設整備検討委員会(委員長:鹿児島大学 浅野特任教授)の各委員、及び関係各所から貴重なご指導をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 秋本泰治, 菊地洋二, 三好一喜: 指宿港海岸における侵食対策の検討 沿岸技術研究センター 2016
- 2) 国土交通省九州地方整備局鹿児島港湾・空港整備事務所: 指宿港海岸整備検討業務, 2016
- 3) 国土交通省九州地方整備局鹿児島港湾・空港整備事務所: 指宿港海岸整備検討業務, 2017