

環境に配慮した効果的な動的養浜手法に関する研究

逢坂 謙志¹・諏訪 義雄²・菊池 秀之³・直井 克己⁴・松本 倫明⁵

¹河川局 海岸室 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

²国土技術政策総合研究所 河川研究部 海岸研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)

³中部地方整備局 河川部 河川計画課 (〒460-8514 愛知県名古屋市中区三の丸 2-5-1)

⁴近畿地方整備局 河川部 地域河川課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44)

⁵中国地方整備局 河川部 河川計画課 (〒730-8530 広島県広島市中区上八丁堀 6-30)

養浜の事業効果について検証するとともに、これまでの養浜事業にかかる事前評価・事後評価の実施状況及び養浜が環境に与える影響を整理し、現在養浜を実施している海岸をモデルとして試行した上で事前・事後評価手法をとりまとめる。

キーワード 砂浜, 動的養浜, 海岸環境

1. 背景と目的

(1) 背景

海浜は国土を構成する重要な要素であり、特に砂浜は来襲する波浪を弱め、高潮・高波が陸域に与える影響を緩和するのみならず、利用・環境の場として古来より、その存在自体が国民の生活に大きな恩恵を与えてきた。砂浜を保全するため、消波堤、突堤、離岸堤など漂砂制御施設の設置による様々な取り組みがなされ一定の効果を上げてきた。

しかしながら、漂砂制御施設の設置は、下手側の侵食を助長するおそれがあるほか、そもそも沿岸漂砂の供給が見込めない海岸では侵食を防止する効果が無く、またコンクリート製の構造物の設置は海浜の景観を悪化させる、などの課題があげられている。

このような中、平成11年に海岸法が改正され、「砂浜」が海岸保全施設として指定できるようになるとともに、法の目的に海岸環境の整備と保全が位置づけられた。また、平成10年に河川審議会総合土砂管理委員会からの「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」の報告を受けて水系スケールの総合的な土砂管理に向けた本格的な取り組みが行って来っており、土砂動態調査、沿岸漂砂量（沿岸方向に移動する砂の量）調査、計画流砂量（流砂系における土砂の配分計画）の設定などに取り組んできた。

これらの検討により土砂収支や計画流砂量が設定されてきており、砂浜の動的な変化を考慮して養浜の評価を行うとともに、これまで必ずしも十分に検討されてこなかった環境への配慮手法を評価していく必要がある。

(2) 目的

流砂系として土砂を管理していく場合、海岸において不足する土砂量、偏在する土砂量という課題を解消するため、サンドバイパス、サンドリサイクルを含め、養浜が効果的である。直轄海岸では昭和57年度に東播海岸で実施されたのが最初であり、平成18年度までに河川局直轄海岸で約410万m³の養浜が行われている。

養浜をより効率的に実施するために、本調査では養浜の実施状況（養浜量・粒径・投入場所・投入頻度など）の整理と評価を行うとともに、これまでの養浜事業にかかる事前評価・事後評価・モニタリング手法等の実施状況及び養浜が環境に与える影響を整理する。養浜に関する事前・事後評価手法をとりまとめることにより、養浜事業計画の精度と効率を高め、漂砂系の総合的な土砂管理を適切に実施することを目的とする。

2. 昨年度までの成果

(1) 各養浜事業の性能設定及び達成状況のまとめ

代表海岸では各海岸とも越波量・うちあげ高は目標を概ね満足しており、被災を防ぐ最低限の性能（目的性能）は確保されていると言える。しかし富士海岸・皆生海岸では目標砂浜幅を満足しておらず、施工後の長期的砂浜変動や高波浪による一時的な砂浜変動を受けた場合安全とは言えない。あるいは長期的・短期的砂浜変動を考慮した検討自体が行われていない。すなわち目的性能は確保されているが安全性能は確保されていないことになる。

対象海岸では沿岸漂砂量をもとに養浜量を決定しており、結果として現状の砂浜を維持するに留まっ

ていると考えられる。これは沿岸漂砂量をもとにした予測がある程度正確であることを示しているとも言えるが、目標砂浜幅を確保していくためには、現在続けている養浜に加えて砂浜幅を増やすためのまとまった量の養浜を初期養浜として行うことも検討する必要があると考えられた。

(2) 養浜と環境

海辺の国勢調査は行われているが、各海岸とも養浜箇所及び周辺に何らかの変化は見られるものの、情報量が少ないため養浜との明確な因果関係を示すまでには至らなかった。今後養浜が環境に与える影響を評価するためには、工区全体における環境の概要を把握するだけでなく、養浜事業の時系列に沿った調査が必要である。具体的には①養浜砂を投入する箇所②養浜砂の移動範囲にあたる下手側③比較として、養浜の影響を受けない場所、の3カ所において、養浜前調査及び養浜後のある程度継続した調査が必要と考えられる。特に移動力が小さく養浜の影響を受けやすい植生と底生動物に着目する必要があると考えられた。

3. 本年度の研究内容

養浜の事前・事後評価へ向けた各海岸の課題と対応の取り組みについて、過去の検討も含めて以下の内容を取りまとめた。

- ・投入後の地形変化データの分析
- ・海浜変形計算、数値波動水路等の活用
- ・環境に対する配慮とその効果

4. 各地整における検討内容

(1) 富士海岸

富士川河口から沼津港に至る富士海岸においては、

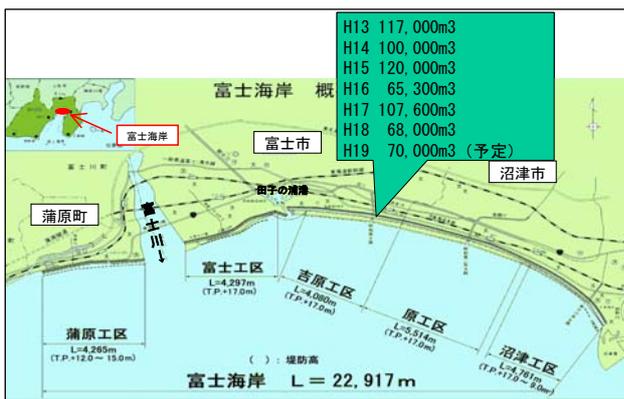


図-1 富士海岸概要図

昭和放水路東側を中心に、砂礫浜を維持・回復することを目的として、平成8年度から年間約10万m³の養浜を行っている。施工時期は波浪条件から、静穏期である11月～3月としている。富士海岸では、離岸堤などの建設により沿岸漂砂量を制御している。そのため、深浅測量、波浪エネルギーフラックスと養浜地形の変化の把握や汀線変化モデルによるシミ

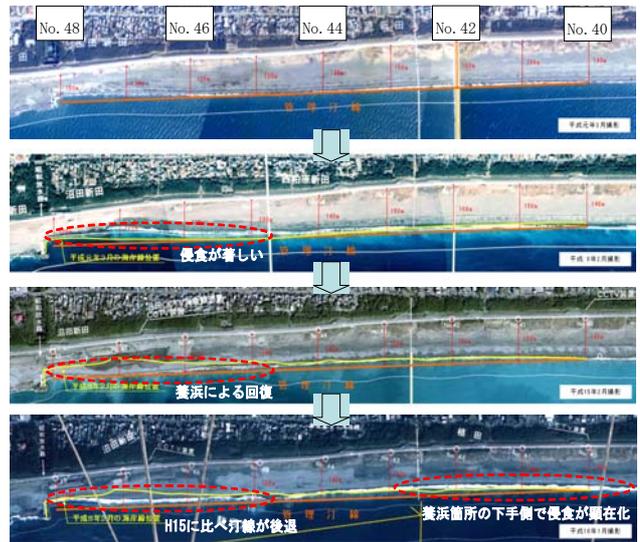


図-2 汀線変化状況 (昭和放水路以東)

ュレーションなどから沿岸漂砂量を約10万m³/年と推算し、投入量を決めている。現在、侵食の著しい昭和放水路以東の漂砂下手側に対して汀線の維持・回復を図っている。

本研究では、管理汀線の未達成、部分的な汀線後

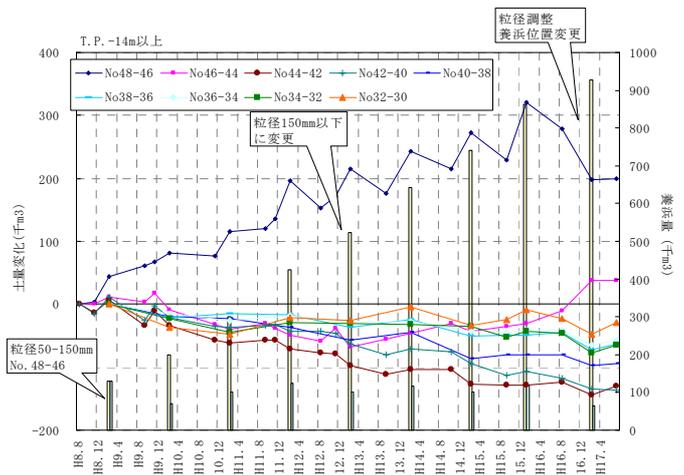


図-3 土量変化図 (T.P.-14m以浅)

退、高波浪時の養浜材のうちあがり等の課題に対して評価と改善を試みた。

a) 汀線変化、土量変化から見た養浜事業の評価

養浜開始後全体的に侵食が抑制されており(図-2)、近年最も汀線が後退しており養浜投入箇所となっているNo.47測線においてうちあげ高・越波量目標は達成している。しかし安全性能を含めた目標である管理汀線は達成されていないため、計画波浪来襲時に侵食による砂浜消失・破堤の恐れがある。

また、養浜材の粒径と養浜効果の関係に着目すると、当初歩留まりを考慮し50~150mmの養浜材を使用したところ、下手側への細粒分の供給が減少し侵食を招いた。そこで現在は10~150mmに変更しているが、汀線は充分回復していない。ただし、経年土量変化のグラフ(図-3)を見ると、また、細粒分を含んだ養浜材に変更後、養浜箇所下手のNo.46-44区間の土量は増加傾向にある。しかしNo.44以東は明確な増加傾向は見られない。

また、養浜量が約 10 万m³/年実施しているH15 年度までは、No. 48-44 区間の土量の増加が認められるが、養浜量が 6.5 万m³ に減少したH16 年度では土量増加が見られず、汀線も後退しており、養浜の絶対量が不足していると考えられる。

b) 海浜変形計算による投入箇所の検討

当初、侵食が最も激しい箇所であるNo. 46～48 に養浜してきたが、前述のとおりNo. 46 以東の侵食を招いた。そこで、No. 46～48 に養浜したケースとNo. 44～46 に養浜したケースについて海浜変形計算を行ったところ（図-4）、下手側養浜（No. 44～46）では上手側は大きく侵食されるが下手側海浜の汀線前出し効果が大きく、上手側養浜（No. 46～48）ではかつての被災箇所（No. 46～48）の維持効果が大きいものの下手が侵食されることが分かった。

また、仮に今後とも養浜によりNo. 46～48 の背後地を防護しようとする、現況以上の汀線の前出しをすることになり昭和放水路排水の疎通障害を起こす可能性があるため、放水路近傍では埋設型消波工により侵食による破堤を防御し、養浜はNo. 44～46 を中心に実施するのが妥当と考えられる。

c) 土砂流出防止対策について

実績変動量を基にした土砂収支や波浪シミュレーション結果から、No. 48 沖合にある海底谷周辺で 2～3 万m³/年の沖合土砂流出が生じているものと推

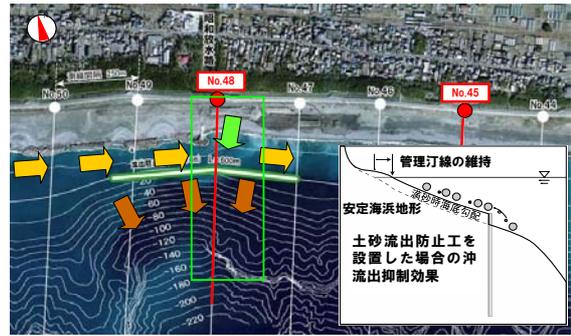


図-5 土砂流出防止工の概要
定される。今後の養浜事業の効率を向上させるために、海底谷への土砂流出を防止する土砂流出防止工について検討を実施している（図-5）¹⁾。

d) 数値波動水路による断面形の検討

近年の高波浪によって、堤防天端付近までd=150mm程度の養浜材がうちあげられ、背後地における安全面の不安が明らかになっており、うちあげ高を低減する断面形状を工夫する必要が生じている。

またa)で示したとおり、養浜により侵食は抑制されているものの、管理汀線を満足するには至っていない。他方、養浜量を大幅に増加することは、予算上も養浜材確保上も難しいのが実情である。現在、より安価に養浜材を確保するため、事業連携により田子の浦港浚渫土砂と砂防発生土を活用しているが、

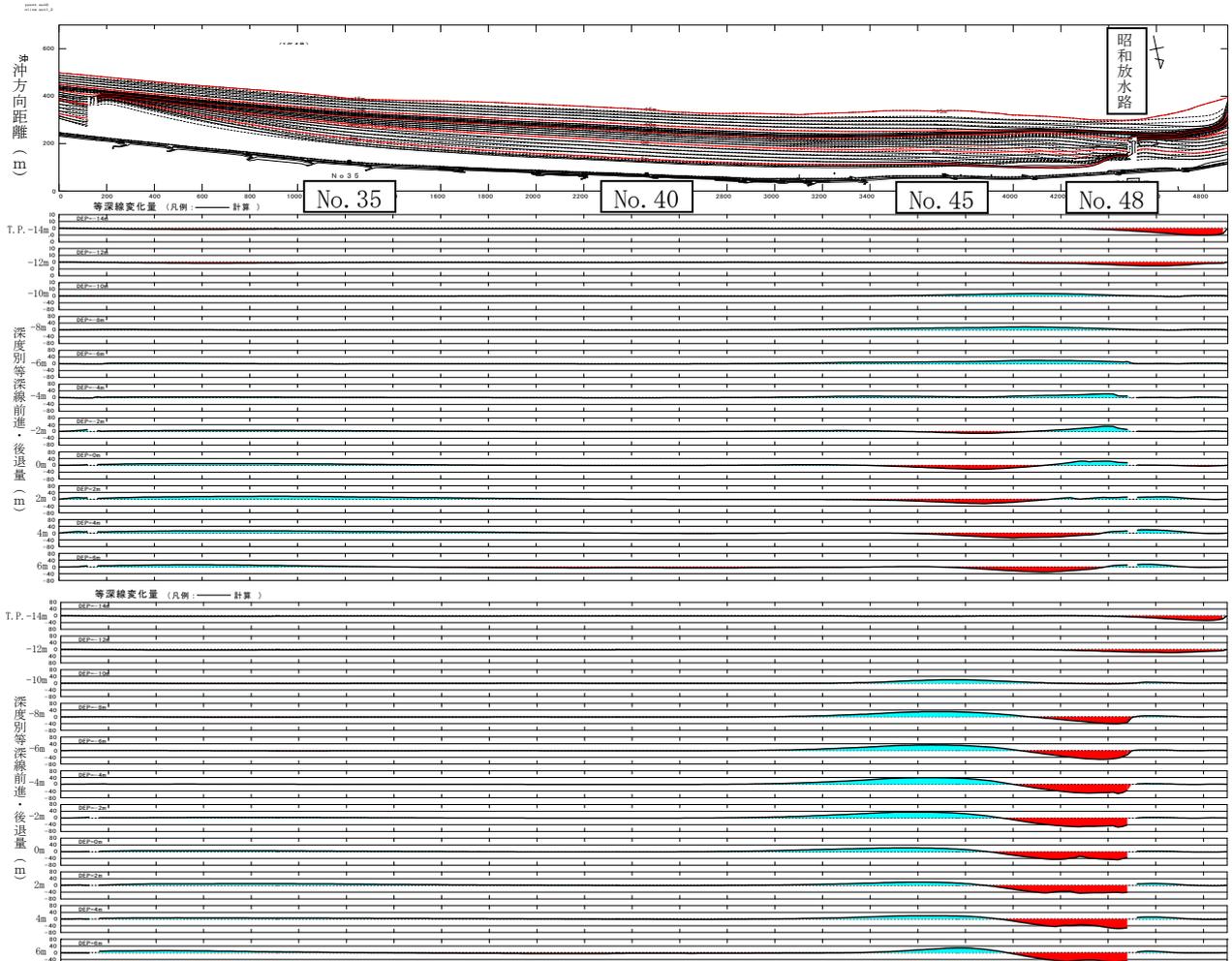


図-4 等深線予測計算結果（上：養浜箇所 No. 46-48、下：養浜箇所 No. 44-46、20年後）※青：等深線前進，赤：等深線後退

各々3万m³/年程度であり、それだけで全ての養浜材をまかなうまでには至っていない。今後管理汀線の回復・維持にむけて、さらに効率的な養浜手法の検討が不可欠である。

そこで数値波動水路により、H14以前の養浜形状（陸側に1:2勾配で高く盛り立てる）と現地の自然海浜断面に近い形での養浜形状案に対してうちあげ高を計算し、両者の効果を検証した。

その結果、図-6に示すように、現地海浜形状に近づけた形状が打ち上げ高の低減に有効と判断されたことから、養浜実施にあたっては、現在の海浜勾配を大きく変えることなく、現況断面に擦り付ける計画とすることとした。これにより、養浜礫の陸上側への散乱を防止でき、安全性の向上を図れるものと考えられる。また、さらなる断面形状の工夫により、より少ない養浜量で所定の性能を達成する養浜断面を設定できる可能性があると考えられる。

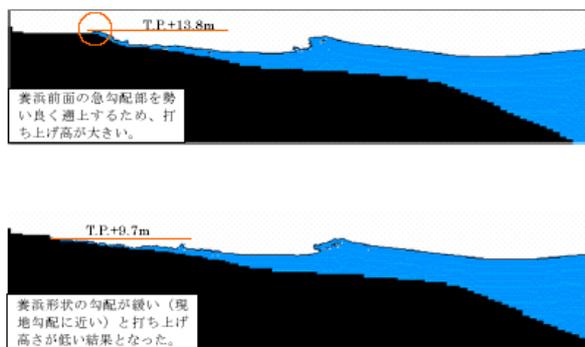


図-6 養浜断面によるうちあげ高の違い

e) 3年間の研究成果

- ・富士海岸の昭和放水路以東では、管理汀線を設けて、富士砂防との連携等で漂砂系外から調達した材料も使用した養浜により汀線の回復を図っている。
- ・養浜で管理汀線を満足するよう計画して実施した結果、侵食の抑制はされたものの、管理汀線は満足していない
- ・その原因は、以下の2点が考えられた
- ・粗粒材のみで養浜すると下手側の管理汀線維持に必要な漂砂量が確保できないこと
- ・断面地形上沖への損失が激しい区間では、管理汀線の維持が困難であること
- ・地形変化シミュレーションを行った結果、細粒分と粗粒分を適切なバランスで養浜し、沖への損失を減らすような投入場所の選定を行い、危険度の増す区間では消波工による防護を中心とすれば、汀線を回復し管理汀線が維持できる可能性があることがわかった。なお、養浜事業のさらなる効率向上のため、海底谷への土砂損失を減らす流出防止工についても検討中である。
- ・養浜にあたっては漁業者との調整で養浜材最大・最小粒径の制限を行っている。現在までのところ、それ以外の環境上の問題は指摘されていない。
- ・これは、この海岸では養浜実施上配慮を要する生物が工事で攪乱する範囲にはいなかったためである。

文献調査をしてみても、この海岸では保全の対象となる生物種は少ない。

このため、事業前後の環境調査を密に行う必要性は小さく、まとまった環境調査はH15年度に行ったのみである。



図-7 皆生海岸の概要

(2) 皆生海岸

皆生海岸は鳥取県の西端に位置し、美保湾に面する延長約20kmの砂浜海岸である（図-7）。皆生海岸では大正末期以降、土砂供給源である日野川からの供給土砂が減少したため、皆生海岸の侵食が顕著となった。こうした海岸侵食に対応するため、皆生海岸は1960年に直轄工事区域に指定され、以来、離岸堤、突堤、人工リーフ等を始めた侵食対策工事が着実に進められてきた。特に、夜見富益工区～境港工区（図-7 赤枠内）では、海岸侵食の緩和を目的に、環境への負荷の少ない海岸保全対策として、平成6年よりサンドリサイクル事業が実施されている（図-8）。養浜（サンドリサイクル）実績は



図-8 サンドリサイクルの概要

以下のとおりである。

- ・サンドリサイクル期間
：平成6年度（平成7年1月）～継続中
 - ・サンドリサイクル投入範囲
：測線No. 58付近、一部No. 55付近
（上手側汀線後退に対応するため）
 - ・サンドリサイクル量：約30,000m³/年
- 本研究では、部分的な汀線後退、細粒化の可能性といった課題に対し、評価を検討したものである。

a) 地形変化と海象データの分析

サンドリサイクルが実施される前 (S58.7) から

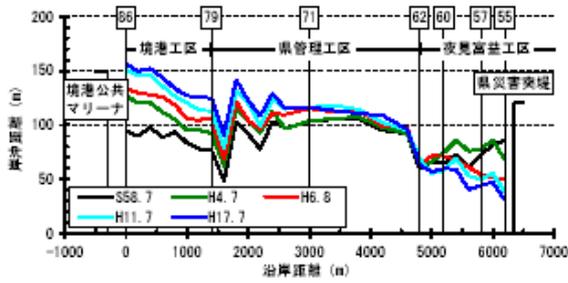


図-9 サンドリサイクル区間における汀線変動量 H17.7 までの汀線変動量を比較した (図-9)。これらによると、公共マリーナ～測線No. 71 にかけては海浜は最大 70mの極端な堆積傾向が見られる。また、測線No. 71～62 では経年的な汀線変化はほとんどみられず、比較的安定した海浜を形成している。一方、測線No. 62～県災害突堤 (H4 年建設) にかけては、養浜開始後に汀線後退速度は遅くなってはいるものの、当面の目標としている H6 年度汀線は維持できていない。

なお、この侵食は、H4 年に建設された測線No. 54 付近の県施工の災害復旧突堤の影響が考えられる。侵食が激しい年度には測線No. 55 付近へも養浜しているが、未だ回復はしていない。

砂の動きをこまかく確認するため、H13 年 12 月～

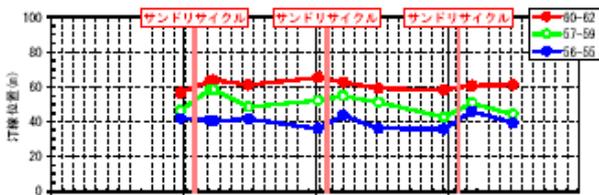


図-10 養浜箇所周辺の汀線短期的変化

H16 年 7 月にかけて集中的な測量を行った。汀線変化を分析すると (図-10)、測線No. 55～56 (顔線) および測線No. 57～59 (赤線) のいずれでも、サンドリサイクルを実施した直後に汀線が約 5～10m程度前進するが、半年後にはほぼもとの位置まで汀線は後退し、1 年後にはサンドリサイクル前よりも下がる傾向がみられる。一方、測線No. 60～62 (赤線) については、若干のバラツキが見られるものの、ほぼ安定した海浜を保っている。

図-11 には、測線毎の区間土量 (バーの影響を除くため T.P. -2.0m 以浅の土量のみ抽出) を単位幅あたりに換算し時系列に整理した。測線No. 57～60 は土砂投入地点であり、養浜施工期間を挟んだ H13. 12. 24～H14. 3. 16 にかけて単位幅あたりの土量が一気に 40m³/m 程度増加するが、この区間では、1 年後にはほぼもとの状態に戻っている。この傾向は、H14 及び 15 年度のサンドリサイクル実施時においても確認できる。測線No. 55～57 においてもほぼ同様である。一方、測線No. 60～62 については、測線 57～60 から約半年遅れて、増加・減少傾向が現れており、その間に徐々に漂砂が移動しているものと考えられる。1 年間の養浜砂の移動距離は概ね 600m 程度と考えられる。

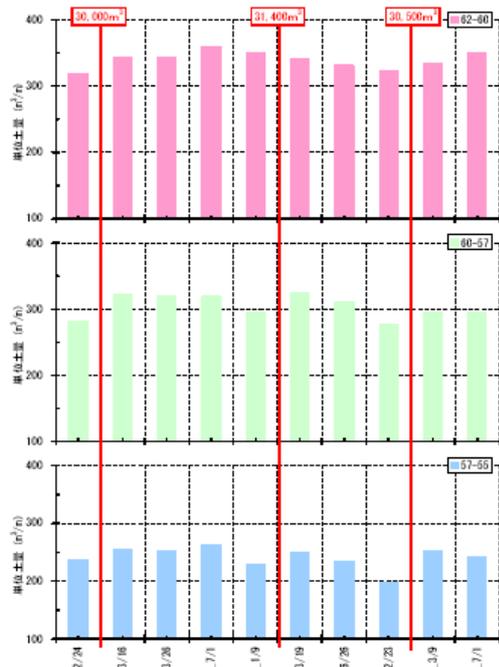


図-11 養浜箇所周辺の土量変動状況

以上のように、サンドリサイクルを開始して 10 年経過した現在においても、侵食・堆積が平衡状態に移行するまでには至っておらず、リサイクルの量がやや少ないものと推測される。

なお、現在当該区間では沿岸漂砂量を制御してサンドリサイクルの養浜量を 2 万 m³/年 に減らすことを目的とした人工リーフ群の整備途中であり、地形測量などによりその効果の発現状況を調査中である。

b) 海浜変形計算による汀線変化の検証

図-12 には初期地形 (H6. 7) に対して H17.6 の地

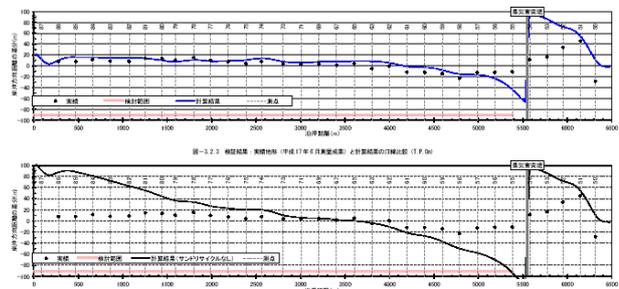


図-12 汀線変動量計算結果

盤高変動量を、サンドリサイクルした場合 (上)、しなかった場合 (下) で予測した結果を示す。

これらの検証計算結果によると、鳥取県災害突堤前後では計算結果と実績値の誤差が若干大きくなっているが、それ以外の地点では、計算結果は実績とほぼ一致しており、全体的に地形変動状況は概ね再現できているといえる。

サンドリサイクルを実施しなかった場合の計算結果では、鳥取県災害突堤のすぐ下手側で著しく侵食し、汀線は 100m 以上後退することが予想される。また、漂砂下手側に位置する測線No. 85、86、87 付近ではこれとは逆に汀線が著しく前進し、汀線前進量は最大 100m に達する。

すなわちサンドリサイクルを実施することによって、

侵食域においてはその汀線を維持しており、一方、堆積域においても堆積しすぎることがなくなると予測されている。a) で示した実際の汀線変化量を見ると、堆積侵食を平準化する効果はここまで明確ではなく、養浜量がやや少ないことが推測される。

c) 砂浜細粒化の予測

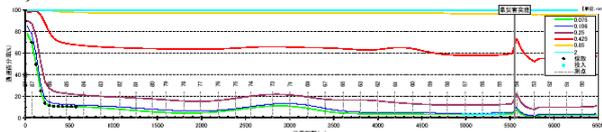


図-13 30年後の各測線毎の粒度分布予測

サンドリサイクルでは最も西側の堆積区域から土砂を採取するが、堆積区域は一般に細砂分が多くなるため、サンドリサイクルの継続によりリサイクル区間全体が細粒化することが予想され、沖損失の増加、生物への影響なども考えられる。そこで、粒径を考慮した等深線変化モデルにより粒径分布の変化を予測した(図-13)。

3万m³/年でサンドリサイクルを継続した30年後の粒径分布の変化を計算した結果を図-12に示す。堆積区間で細粒化が進む傾向にあることが予測されているが、これはサンドリサイクルの有無によらず発生する現象である。それ以外の区間では大きな変化がみられない。従って、現在のサンドリサイクル量では細粒化の恐れは小さいと考えられ、生物への影響なども小さいと推測される。

d) 3年間の研究成果

皆生海岸の夜見富益工区から境港工区にかけて、漂砂系内で年間3万m³の陸上養浜によるサンドリサイクルを行うことにより、H6時点の汀線よりも後退することを防ごうとした事例である。

- ・サンドリサイクルを継続してきた結果、投入地点周辺1km程度で汀線の後退が見られる。
- ・この原因は、投入地点上手に災害突堤ができ、投入地点上手からの漂砂量が減ったこと、リサイクルを繰り返しているうちに海浜材料の細流化が進み、細流土砂が沖向き漂砂として失われていることの2点が考えられた。
- ・このうち、海浜材料細粒化による沖への損失についてはシミュレーションで検討した結果、可能性は低いことがわかった。
- ・現在、当該区間では沿岸漂砂量を制御してサンドリサイクルの養浜量を2万m³/年に減らすことを目的とした人工リーフ群の整備途中である。
- ・今後、災害突堤下手において、H6汀線まで回復させるのか別に目標(管理)汀線を設定するのか、人工リーフを整備した状態で、2万m³の養浜で汀線維持が達成できるのか、災害突堤の構造変更が必要なのか等について検討する必要がある。
- ・なお、この事業においては、現地の砂をそのまま用いていることもあり、サンドリサイクル実施にあたって環境への配慮は特別に行っていないが、現在までのところ特に問題は生じていない。
- ・また、養浜材を搬入する工事用道路設置にあたっての環境上の配慮も、幹線道路からごく短距離の既

存道路を利用したため、特別には行っていない。

・環境調査については、H14年度に「海辺の生物国勢調査」で概要を把握しているが、その後、養浜前後の環境の推移を把握するための調査は特別には行われていない。

・これは、この海岸では養浜実施上配慮を要する生物が工事で攪乱する範囲にはいなかったためである。文献調査をしてみても、この海岸では保全の対象となる生物種は少ない。

(3) 東播海岸

a) 静的養浜の実施

東播海岸は大阪湾、明石海峡および播磨灘に面する総延長約26kmの海岸である(図-14)。居住地となっている海食崖が、主として冬季の西風により発達した風浪により侵食されるため、昭和30年代後半から昭和40年代にかけて護岸整備、離岸堤と突堤の設置等の海岸保全施設整備を実施した。こうした対策により、海食崖の後退は止まったものの、汀線へのアクセスや海岸景観の観点では問題があったため、1982年より、海洋性レクリエーションの利用にも供しうよう消波ブロック工に変わる消波施設として養浜工を開始した。

明石海峡以西では計画潮位 T.P. 2.8 m において、計画波高 H= 3.4 m、T= 8.0 s の波が入射したとき、

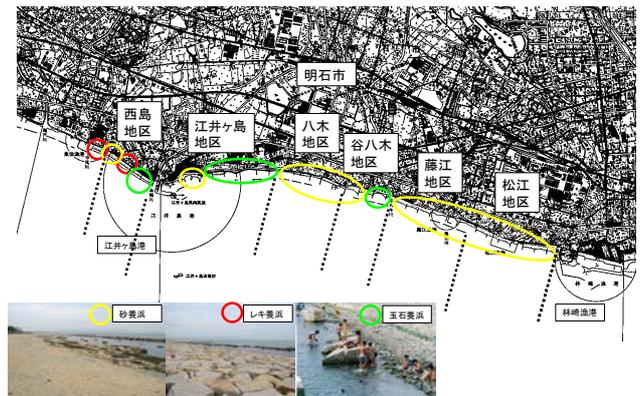


図-14 東播海岸養浜概要

打ち上げ高が T.P. +5.0 m の護岸を越えない条件として、諸元が決定され、養浜工の両側には漂砂による養浜材の流出防止を目的として捨石による不透過突堤を設置した。海底勾配が急峻で潮流の影響も大きい明石海峡以東では、計画波高 H= 4.6 m、計画護岸高 T.P. +6.0 m の条件のもと、養浜工前面に人工リーフを設けることで養浜砂の安定性と消波効果を満足させている。

最初に1982年~1984年の間に約3万m³の細砂による養浜が実施された松江地区では、養浜砂の安定化に突堤が有効に寄与していることが確認された。1990年には、海底勾配が急なために養浜材の流出による漁業被害の発生が懸念される西島地区において、中央粒径25mmの礫を使用した礫養浜が試験的に実施された。この養浜では、期待通り礫が沖向きには移動しないことが確認されたが、沿岸方向については砂と同程度の動き易さを持ち、礫養浜であっ

でも沿岸漂砂を阻止する補助施設の重要性が高いことが示された。そのため、以降は地先海岸の物理条件と利用状況に応じて底質材料を選択し、突堤とセットで養浜工による整備を進めることで海岸の安定化が実現されている。

b) 環境に対する配慮

東播海岸では、海岸の利用に配慮して養浜工が導入された経緯や、西島地区における礫養浜で海岸の利用に配慮して T.P. +2.0 m 以高に中央粒径 0.88 mm の砂を使用した例からもうかがえるように、前出の富士海岸、皆生海岸の 2 事例に比べて利用や環境に対する配慮の素地があったといえる。

そこへ 1986 年に八木・松江地区において養浜実施後初めてアカウミガメの上陸・産卵がおこなわれたことが大きな契機となった。1996 年度から区域内の江井ヶ島から谷八木にかけての約 2.8km の区間が「ウミガメをはじめとした生態系の保全と白砂青松の復元」を目指すエコ・コースト事業に指定されたのに続き、1997 年度から 1999 年度にかけては西島地区の約 1km の区間が「いきいき・海の子・浜づくり事業」に指定された。平成 12 年 3 月に策定された「東播海岸環境基本計画」のなかでも、魚住・江井ヶ島地区、八木・松江地区が「自然とのふれあいゾーン」として区分され、整備に際して自然環境に対する配慮を重要視している。

c) 環境モニタリング調査

視 点	実施年	モニタリング内容
突堤工事、養浜工事の影響・効果の把握	H1~6	海生生物全般の調査
	H8~	付着生物、底生動物、藻場分布に重点化した調査
新たに創造された環境の把握	H13~	海岸施設別代表測線での調査
	H8, H13~15	広域的な藻場調査
海岸環境の現状把握	H12,15	広域的なナメクジウオ調査
	H15	広域的な海浜植物、鳥類、景観調査
	H14~	陥没の有無等の監視

表-1 モニタリング実施状況 (八木・松江地区)

東播海岸においては、養浜が実施された各地区で事業実施前後から底質、水質、プランクトン、底生生物、付着生物については毎年、魚類、仔稚魚や海浜植生、海草についても数年ごとにモニタリング調査が実施されている (表-1) ほか、養浜後の海浜植生の移植試験なども行われている。平成 12 年度に実施されたこれら調査結果のとりまとめによれば、水質については礫養浜を実施した西島・魚住工区よりも砂養浜を実施した松江工区で水質改善効果が示唆された一方で、底質については測定した強熱減量、硫化物、COD、T-N、T-P のうちほとんどで砂養浜で悪化傾向が、礫養浜では逆に改善傾向にあったことが示唆されている。また、底生生物については、砂養浜ではアサリをはじめとする貝類やゴカイ類が、礫養浜ではエビやカニなどの甲殻類が優先する傾向にあることが示された。

c) ウミガメに配慮した順応的管理

アカウミガメの上陸・産卵は 1986 年以降、2005

年までの間に断続的に東播海岸で 17 回の上陸・産卵が確認された。これらは全て砂養浜を実施した地区であり、養浜後 2~3 年後の上陸が目立つことから、養浜後に生物によって再び利用されるようになるには数年の期間が必要であることがうかがえる (表-2)。

近年では、アカウミガメが上陸・産卵する砂浜、海浜植物の生育する砂浜を回復することを目標とした行政・地域住民・NPO などが一体となった順応的管理の取り組みが進められるようになってきた。例えば、ウミガメが上陸しやすいように前浜勾配を緩くするため、前浜の養浜粒径を小さくした。また、水はけの悪さに起因する降雨時の浸水や産卵深度の不足による高温・乾燥への暴露への懸念から、温湿度ロガーによる砂中環境の連続測定や CCD カメラによる孵化・脱出監視が行われた。さらには、自然海岸と比較して締め固まりがウミガメの産卵に悪影響を及ぼす可能性が懸念されたため、掘り返しによる砂浜の軟度管理も産卵シーズン前に実施された (図-15)。

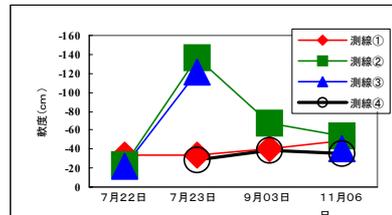


図-15 「掘り返し」前後の軟度変化

地区	海岸	産卵実績	養浜後～産卵年数	
			養浜後年数	産卵年数
八木	自然	×	-	-
	自然	×	-	-
	自然	×	-	-
	自然(砂)	×	-	-
	自然(砂)	×	-	-
	自然(砂)	×	-	-
	自然(砂)	×	-	-
	自然(砂)	×	-	-
谷八木	養浜(砂)	○	15	6.9
	養浜(砂)	○	17	8
	養浜(礫)	×	7.6,3	-
	養浜(礫)	×	4	-
	自然	×	-	-
	養浜(砂)	○	22,21	2,14
	養浜(砂)	×	5	-
	養浜(砂)	○	16,17	3
	養浜(砂)	○	16	3,10
松江	自然(砂)	×	-	-
	養浜(砂)	×	22,19	-
	養浜(砂)	○	23,19	3,2
	養浜(砂)	×	22,18	-
	養浜(砂)	○	20	13
	養浜(砂)	○	12	2
	養浜(砂)	×	16	-
	養浜(砂)	×	-	-

表-2 アカウミガメの産卵実績 (八木・松江地区)

初めて産卵が確認された 1986 年にはわずかに 2~5% でしかなかった卵の孵化率も、2005 年には 69~86% を記録するなど、着実に産卵・孵化

環境としての改善が進んできている。

d) 3 年間の研究成果

・東播海岸では突堤や離岸堤で保全した場所に、購入材を使って静的な養浜を行っている。
・事業箇所にはナメクジウオ、アマモ等環境保全上の配慮を必要とする生物がいたこともあり、環境調査を多く実施している

・養浜に当たっては、アカウミガメが養浜した浜に産卵に訪れたことに配慮し、前浜勾配がウミガメが上陸しやすい緩勾配になるよう粒径を調整するなどの工夫を行っている。また、

養浜後の砂浜海浜植生の移植試験を実施している。
・現場で積み上げてきた調査結果は、国総研で行った環境影響の定量評価手法であるHEPモデルの構築に活用された（後述）。

5. まとめ

(1)砂浜の機能

砂浜の防護機能には、消波機能と根固め機能がある。消波機能とは具体的には、うちあげ高もしくは越波量が許容値を超えないかで判断するのが一般的である。根固め機能とは、経年的な侵食に時化による一時的な侵食が重なっても、砂浜背後の護岸や堤防の基礎が洗掘破壊されないよう砂浜で保護できるかで判断するのが一般的である。

東播海岸では、この両方を満足するよう養浜が計画されている。富士海岸でもこの両方を満足したいというコンセプトで当初計画されたが、侵食がさらに進み越波に加えて破堤の危険も大きくなったため、当面の目標として「越波は許しても最低限破堤（＝砂浜の完全な消失）は許さない」という発想で現在の管理汀線を設定した。また汀線や土量の変化、海浜変形計算などを併用した検討で、前面に急勾配の海底地形があるNo. 47 付近では、管理汀線の維持が困難であると考えられ、消波工中心で当面の防護を行った上で、海中への土砂流出を防止する工法の検討を実施している。皆生海岸では、背後に護岸や堤防はなく満足すべき防護機能は消波機能である。最も汀線が後退している地点においても消波機能を満足できるよう、養浜による砂浜維持を図ることの出来る線を管理汀線として決定しているという考え方になる。

消波機能の評価は、うちあげ高については断面形データを用いた改良仮想勾配法、越波量については合田式が広く使われているが、本来は模型実験で決めることが望ましい（富士海岸では実験による設定を行っている）。また各種提案されている予測式や数値計算も、波の不規則性や断面地形の複雑さを考慮するのに有効である。

(2)砂浜に要求される性能

砂浜には他の保全施設と同様、目的達成性能と安全性能が要求される。目的達成性能は、上記消波機能、根固め機能を満足することである。砂浜は常に変動しているものではあるが、保全施設として要求される安全性能は、高潮、波浪等想定される外力に対して目的達成性能を満足できる安定性を有している必要がある。

安定性の中身としては、漂砂の不均衡等による汀線後退等の 10 年スケールの長期変動と一時化の時間スケールにおける主として岸沖方向の汀線後退や波向きや波高が季節によって異なることによって生じる季節変動等の短期変動があるので、これらを考慮して管理汀線や目標砂浜幅が設定される必要がある。例えば砂浜幅で設定する場合は以下のとおりである。

目標砂浜幅＝

うちあげ高・越波量等を目標以下に抑えるのに必要な幅
(必要浜幅)
＋施工後の数十年スケールの長期的な砂浜変動見込み幅
(長期変動幅)
＋時化などによる一時的な砂浜変動見込み幅
(短期変動幅)

富士海岸における砂浜安全性能確保の考え方（管理汀線）は、前項で述べたとおり越波は許すが砂浜消失による破堤は許さないという考え方から、長期変動＋短期変動として決めている。例えば最も侵食が進んだ測線No. 47 では、長期変動 10m＋短期変動 110m＝120mとしている。今回の検討時点では砂浜幅は 104mあり、越波量の目標を計画波浪（有義波）に対しては満足しているものの、侵食（短期変動）に対しての安全性能は満たしていない。

東播海岸における砂浜幅は、目標達成性能である許容越波量とうちあげ高から決まっている。なお安全性能については、模型実験を基に離岸堤と突堤によって砂浜を安定化しており、特に短期変動幅を見込む必要がないことを確認している。結果として、施工済み箇所においては全て目標を達成している。

皆生海岸においては、H6 年汀線を管理汀線として漂砂バランスをとることを目標としており、これは長期的な安定性を考えて決めていることと同義である。目標であるH6 年時点の汀線を一部で満足していないが、最も汀線の後退した箇所でもうちあげ高は背後地地盤高を下回っており、防護の目的性能は達成していると見ることが出来る。今後、時化による短期汀線変化に対して安定性能を有しているか確認することが望ましい。

(3)養浜の設計・施工・管理等にあたっての留意点

養浜実施にあたっての設計事項としては、養浜の方法（動のか静的か、また動的養浜の場合、リサイクル・バイパス・漂砂系外からの持ち込みのいずれか）、養浜材料（粒径等）、養浜の量・位置・タイミング（陸上か海上か、投入位置・陸上養浜の場合の撒きだし形状、タイミング）、環境への配慮、施工上の留意点（周辺への影響確認）等がある。

管理にあたっての留意点としては、モニタリングとその結果に基づく施工・管理への反映を内容とする順応的な管理の考え方が重要である。

a)養浜方法

動的養浜とは、波浪の作用で養浜地点から下手へ漂砂として運搬されることを意図して養浜を行うことである。富士海岸、皆生海岸が動的養浜である。これに対して静的養浜とは、突堤や離岸堤等で保全された場所に養浜を行うものであり、東播海岸がこれにあたる。

リサイクル、バイパス、漂砂系外からの持ち込みは、養浜材の調達場所からの分類である。

サンドリサイクルは、漂砂系下手から土砂を人為的に上手に運んで養浜するものであり、皆生海岸がこれにあたる。

サンドバイパスは漂砂系あるいは流砂系内で分断された砂の流れを人為的につなぐものであり、富士砂防の材料を養浜している富士海岸の養浜は一種のサンドバイパスとも考えることができる。総合土砂管理の観点からは、出来る限り同一流砂系内で養浜材を確保すべきである。

b)養浜材料、量、位置、タイミング

(2)で設定された砂浜諸元を達成するために必要な養浜量を設定する。基本的には目的達成に必要な砂浜幅・断面積と現在の土砂収支・沿岸漂砂量から、計画流砂量（現在の沿岸漂砂量+ α ）を設定し、それを参考に、必要養浜量を設定する。富士海岸・皆生海岸とも、現在の沿岸漂砂量の推定値と同量を養浜しているが、現在の沿岸漂砂量を基準に、あるいは土砂収支の不足を埋めるように養浜量を設定すると、砂浜維持は出来ても回復までは至らない。目的に応じて回復に必要な量を上乘せするなどの工夫が必要となる。

目標性能や安全性能を満足する管理汀線や目標汀線が維持されるかどうかは、長期変動や短期変動の予測が必要である。このうち、長期変動の予測についてはシミュレーションモデルの活用が可能である。また、季節変動や短期変動については、予測モデルが未だ実用的ではないため、過去の測量や航空写真等により経験的に決めることが考えられる。富士海岸においては過去の実績を基に長期変動・短期変動量を決定している。

必要養浜量は確保できる養浜材の粒径・量と密接な関係があり、計画段階で考慮しておく必要がある。養浜位置は、一連の漂砂系の上手側が原則である。危険箇所を最優先で守りたい場合、危険箇所の上手（あるいは危険箇所そのもの）に養浜するが、海底谷の周辺や構造物周辺（特に突堤周辺）への養浜は、沖損失を助長する可能性があり、必ずしも得策とは限らない。構造物の改良や養浜以外の工法の採用も含め、総合的に勘案する必要がある。

養浜材の粒径については、もともとの浜の自然な断面形を目標とする場合、汀線付近に存在する粒径だけでなく、外浜～hcの間に存在する細砂分も必要であり、その砂浜にもともとあった粒径で養浜することが原則である。しかし既に侵食が進み前浜勾配が急になっている場合、波のエネルギー逸散が汀線近くで集中して起こるため砂が舞い上がり易くなり歩留まりが悪くなるため、粒径は慎重に設定する必要がある。さらに侵食が進んだ状態で、危険箇所を緊急的に守りたい場合、富士海岸のような粗粒材を用いる。

養浜材料の粒径の違い、材料投入場所やタイミングによる違いを検討するにあたっては、皆生海岸の検討で紹介したような、粒径を考慮した等深線変化モデルを使えば予測することができる。

養浜材料の蒔きだし形状については、富士海岸の事例のようにCADMAS-SURFなどの数値計算により、うちあげ高や底面摩擦速度を評価し流失しにくい形状を設定することも考えられる。

なお、シミュレーションモデルを過信することなく、試験施工とモニタリングにより予測計算との違いを確認して養浜計画を改善していく順応的な取り組みが重要である。

c)環境への配慮

現地と違う粒径による養浜は底質粒径の変化をもたらすため、生物生息環境が変化する恐れがある。事前に粒径変化のシミュレーションを行った上で、代表生物に対する影響を見極める必要がある。また漂砂系外の材料による養浜は外来生物や汚染物質の移入に繋がる恐れがあるため、十分な事前調査が必要である。また、サンドリサイクルなど現地とほぼ同じ粒径であっても、蒔きだしによる埋没等の影響も考えられる。

これらの検討には環境調査の十分なデータが必要であるが、現在行われている環境調査は工区全体における環境の概要を把握することが目的でありデータの絶対量が少ない。富士・皆生海岸もその例に漏れないが、今後、養浜による環境の悪化・あるいは環境の回復についてのフォローアップが必要である。

養浜が環境に与える影響を評価するためには、養浜事業の時系列に沿った調査が必要である。具体的には①養浜砂を投入する箇所②養浜砂の移動範囲にあたる下手側③比較として、養浜の影響を受けない場所、の3カ所において、養浜前調査及び養浜後のある程度継続した調査が必要と考えられる。特に移動力が小さく養浜の影響を受けやすい植生と底生動物に着目する必要がある。

養浜を含めた海岸保全を計画・設計するにあたっては、幅広い関係者に参加してもらった中で、複数の案に対する予測結果を比較検討して合意形成を図っていくことが望ましいと考えられる。

そのためのツールとしてHSIモデルが有効である。以下に概要を紹介する。

○環境影響の定量評価手法（東播海岸における試行）

事業による地形や底質、海浜流など物理環境の変化については、3次元海浜変形モデルを始め、高い精度で予測する手法が既に存在する。そのため、物理環境と生物の生息状況との対応が明らかになれば、事業実施後の生物の生息状況も予測が可能になると考えられる。そこで、この視点に合致する環境影響評価手法として、既に干潟や湿地において利用実績のあるハビタット評価手続き（HEP）に着目し、東播海岸においてケーススタディを実施した。HEPとは、環境要因と生息地としての適性の関係を示す適性指数 SI (Suitability Index) のモデルを作成し、海岸に設定した各メッシュにおける各環境要因についての SI を算出、加算することで、生息地としての適性を示すハビタット適性指数 HSI (Habitat Suitability Index) をメッシュ毎に求めるもので、事業実施前後の HSI を比較することで、事業による環境影響を定量的に評価するものである。

ケーススタディでは、現地で確認されている生物の中からアサリ、アマモ、シロチドリ、ヒドリガモ、アミメハギ、シロギス、ハマボウフウ、ナメクジウ

オ、アカウミガメを加えた 9 種を評価対象種として選定した。2007 年 12 月から 2008 年 1 月にかけて藤江地区した現地調査結果をもとにこれらの種につ

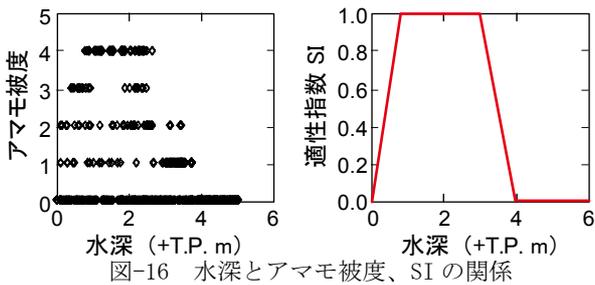


図-16 水深とアマモ被度、SI の関係

いての SI モデルを作成し、現在の物理環境から HSI の分布を求め、実際の生物分布状況との整合性を検討した。

ここでは、1 例として現地調査によって得られた

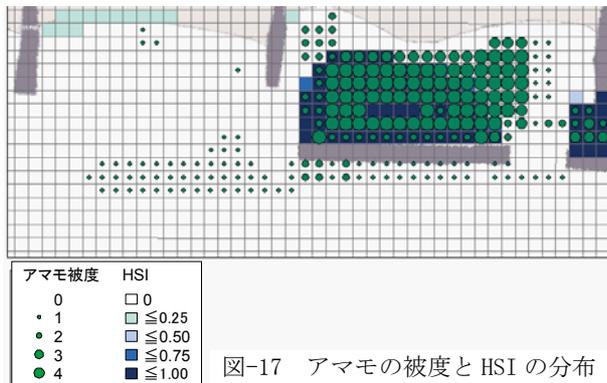


図-17 アマモの被度と HSI の分布

水深とアマモ被度の関係（図-16 左）とそれを元に作成した水深についての SI モデル（図-16 右）を示す。これに底面摩擦速度、中央粒径についての SI モデルも反映して作成した HSI と実際のアマモ被度の分布を示した（図-17）。

アマモの被度が高い離岸堤背後については、HSI も高い値となり、実際の分布をよく再現することができた。これにより、水深や底面摩擦速度、中央粒径といった通常の海岸事業で扱われる物理環境データからも HEP によって生物の分布を精度よく分布を再現できることが確認された。

今回は現在の状態を再現することに留まっているが、この手法を用いることで事業実施後のアマモの分布を予測することが可能である。このような HEP による生息適地評価は、将来の予測結果を地図上に示すことができるため直感的に理解しやすく、特に合意形成の段階で他の現場においても効果を発揮すると考えられた。

東播海岸で実施した HEP を他の海岸でも使用しようとするれば、現場ごとに生物種の抽出、モデルのチューニングが必要である。例えば、外洋に面した海岸では内湾的な東播海岸に比べて波浪による攪乱作用が大きいため、考慮すべき環境因子も異なるし、出現する生物も異なる。また、生物の多くは表現型可塑性を有するため、同種、同集団であっても海岸

によって全く異なる生活史や環境応答を示す場合がある。必ず地先の海岸においても評価対象生物の生息状況と物理環境との関係に関するデータを取得して既存の評価モデルの適用性を確認する必要がある。

これまでも事業の実施前後に環境調査が実施される例はあったが、漫然と浅く広く出現する生物種を確認することに終始し、費される調査コストのわりに事業による影響の評価が不明瞭な場合が多かった。HEP のような評価手法を用いることを前提とすることで、調査対象種や測点にメリハリが効き、利害関係者への説明性だけでなく、調査コストの軽減にも寄与することが期待される。

今後、海岸整備事業における HEP の利用を促進するには、既に他海岸で作成された SI モデルや生物と物理環境の関係性に関する知見のデータベースや簡単に扱えるアプリケーションを提供することで、現場における影響評価作業の効率化をはかる必要がある。

d) 施工上の留意点

今回の事例では問題にはならなかったが、周辺に航路や河口がある場合には、養浜によって悪影響がないか海浜変形計算などにより検討する必要がある。

e) 管理

管理段階では、事業段階に比べてかけることできる労力やエネルギーが減るので、事業期間中に労力のかからない管理方法を確立しておく必要がある。

環境面のフォローアップには住民参加も積極的に検討すべきと考えられる。

6. おわりに

本研究では富士海岸、皆生海岸、及び東播海岸での養浜における計画論及び目標達成状況の整理、課題及び解決手法の検討を行い、それらの成果をもとに、養浜における計画手法及び事業評価手法のとりまとめを行った。その結果、養浜事業の事前・事後評価においては、汀線変化や土砂量変化及びその時の海象を十分把握した上で、目的性能・安全性能を明確にした上で粒径を考慮した海浜変形手法などの計算手法を用いることで効果の評価及び適切な計画の修正が可能であることを養浜量・粒径・養浜箇所などについて示すことが出来た。また養浜と生物環境の関係について海浜植生などの事例を取りまとめ、また影響について定量的な予測手法として国総研において HSI モデルを構築した。

参考文献

- 1) 福島眞司・熊切良行・福濱方哉・山田浩次・有村盾一・山田文則：急斜面を有する海岸における沖合土砂流出防止壁の効果に関する実験的研究(2008), 海岸工学論文集, 第 55 巻, (投稿中)