

鳥取沿岸の総合的な土砂管理ガイドライン策定と実施について ～砂浜海岸を次世代に残すための解決策のスタート～



鳥取県県土整備部河川課 安本善征

1. はじめに

ご存知のとおり、日本の砂浜海岸はどこも急速に人工化が進み、コンクリートで覆われた無味乾燥な風景が広がってきている。古くから白砂青松と謳われてきた、砂浜の多くが急速に失われつつある¹⁾。新旧地形図の海岸線を比較した研究によると日本全国では1.6km²/年の速度で砂浜は消失し続けていると言われている²⁾。

鳥取県の海岸も例外ではない。鳥取県の海岸総延長は約129kmにおよび、その約6割が鳥取砂丘、白兎海岸、皆生海岸等に代表される砂浜海岸である。これらの砂浜海岸は、白砂青松の海岸となっており海水浴や散策など広く県民に利用され愛されている。しかし、砂浜は極めて脆弱であり、そのほとんどの海岸では、砂浜が減少する海岸侵食が深刻化している(図-1)。一方、砂の堆積により、港湾・漁港においては、船舶や漁船の航路や泊地が埋没し、船舶の航行並びに漁業活動に支障を来しているとともに、河川の河口部においては、河口閉塞により治水上の支障を来している。

このような中、鳥取県では、平成14年5月に地域住民の意見等を反映した「鳥取沿岸海岸保全基本計画」を策定し、海岸を県民共有の財産として「みんなで守り・創り・育てる海辺」を次世代に継承していくことを海岸保全の基本理念として、防護・環境・利用の調和のとれた総合的な海岸の保全を計画的かつ重点的に推進してきた。

この鳥取沿岸海岸保全基本計画の基本理念に基づいて、港湾・漁港の航路や泊地の埋没、河口閉塞、海岸侵食などの“砂”に関わる問題を山地から海岸までの流砂系^{注1)}一貫の立場から、各管理者(河川・海岸・港湾・漁港・保安林・ダム・砂防管理者等土砂に関わる各管理者)及び利用者が連携しながら解決していくために、平成17年6月に鳥取県が全国初となる「鳥取沿岸の総合的な土砂

管理ガイドライン」を策定した。

本ガイドラインは、県民への情報公開とアンケートによって、幅広く県民の意見を取り入れ、学識経験者及び関係管理者から構成された「鳥取沿岸の総合的な土砂管理ガイドライン検討委員会」の提案を受けて策定したものである。今後は、本ガイドラインに基づいて流砂系毎の土砂管理を積極的に実施することになる。

本論文では、本ガイドライン策定の背景、内容を紹介し、砂浜海岸を次世代に残すために、各管理者が連携し、県民と一体となって取り組むべき課題を明らかにする。

2. 鳥取沿岸の土砂問題の現状

鳥取県内各地の海岸では、海岸の砂浜が減少する海岸侵食が深刻化する一方、港湾・漁港においては、土砂が堆積し、船舶や漁船の航路や泊地の埋没により、船舶の航行並びに漁業活動に支障を来している。また、河川の河口部においては、河口閉塞により治水上の支障を来している。

このような中、港湾・漁港管理者は港湾法や漁港漁場整備法に基づいて航路や泊地の埋没対策や静穏度確保を、海岸管理者は海岸法に基づいて砂浜の保全対策といったそれぞれの事業のみの最適化(局所最適化)を進めてきた。しかし、それぞれの事業は毎年多額の費用がかかる上に効果的な対策もなく、また、海岸を変化させればゆがみが生じ、どこかで砂が堆積し、どこかでその影響が出て侵食されるというイタチごっこを続けている。端的に言うと、いわゆる縦割りの問題である。

鳥取沿岸における土砂問題をより具体化するため、海水面が最も高かったと考えられる縄文海進時代(約7,000～6,000年前)から現在までの鳥取県の扇状地地形や海岸が、どのように形成されてきたのかを調査し、長期的、

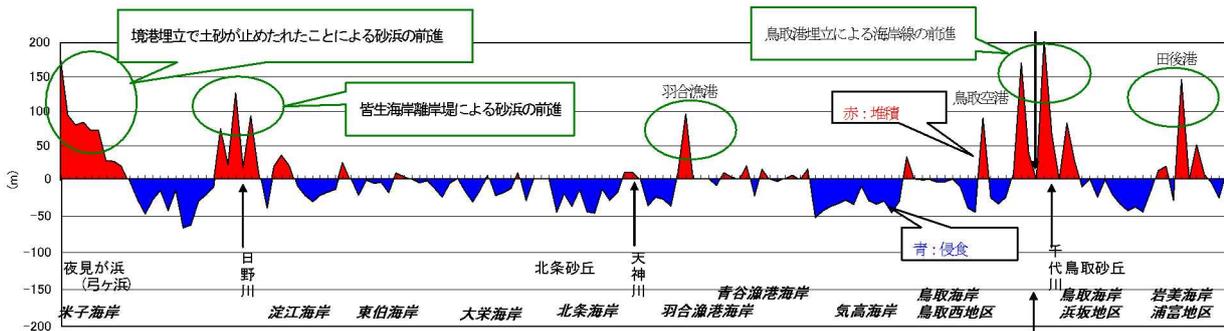


図-1 空中写真から作成した汀線変化図 (1969年(S44)～2003年(H15))

マクロ的な観点で土砂収支の変遷を把握した。そのうえで近代から現在までに得られている地形資料、航空写真、深淺測量資料等によって土砂動態や土砂収支を調査し、河川の供給土砂量、海岸施設の設置、浚渫、土地利用が海岸地形に及ぼしてきた影響を把握した。

今回の調査結果より、鳥取沿岸全域の1969年と2003年の汀線を比較した汀線変化図を図-1に示す。この図を見て明らかのように鳥取沿岸のほぼ全域で侵食が進み、侵食量の多いところでは35年間で50mを超えている。特に鳥取砂丘前面のその量は40m。反対に港湾や漁港に近接した場所では堆積が進んでいる。また、海岸侵食のメカニズムを解明するため、分析を進めた結果、海岸での土砂バランスの崩れに起因して生じていることが解った。

例えば、一方向の沿岸漂砂が卓越する海岸に防波堤が延ばされれば、上手側で堆砂が生じ、下手側で侵食が起こる(図-5)。同様に、沖合に防波堤が建設されて波の遮蔽域が形成されれば、波の遮蔽域に砂が堆積し、周辺海岸では侵食が進むこともある(図-3,4)。これらは全て人間側の活動が引き金となって生じたことである。このようにして、鳥取沿岸の海岸侵食要因を分析した結果、鳥取県内各地の海岸で次に示す7つの海岸侵食要因が単独あるいは重複しながら発生したと推察される(図-2~8)。

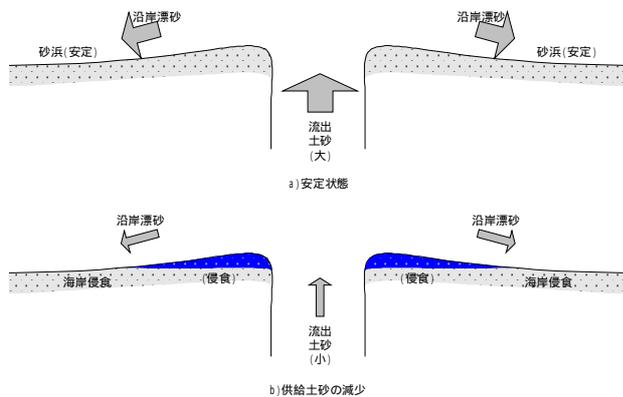


図-2 河川供給土砂量の減少に伴う海岸侵食

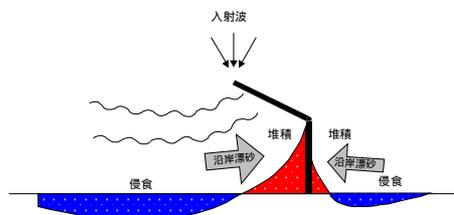


図-3 防波堤等による波の遮蔽域形成に伴って周辺海岸で起こる海岸侵食

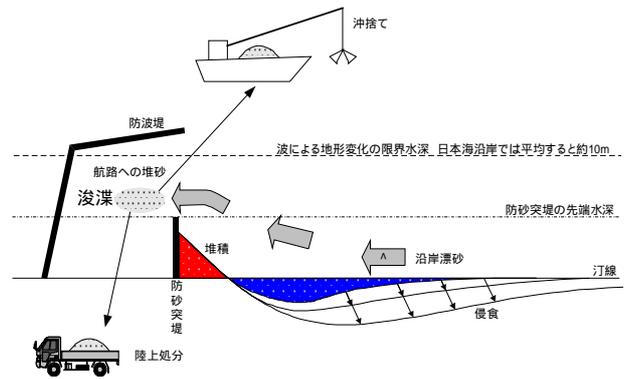


図-4 港湾・漁港の航路浚渫等海砂利採取に伴う海岸侵食

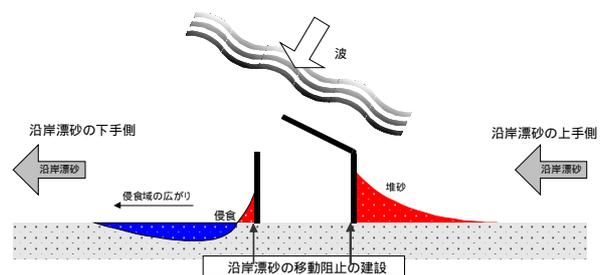


図-5 卓越沿岸漂砂の阻止に起因する海岸侵食

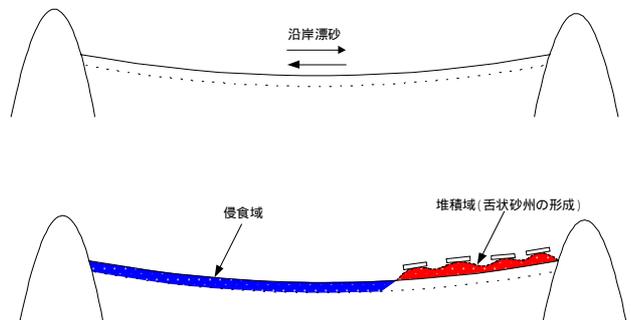


図-6 侵食対策のための離岸堤・人工リーフ建設に起因する周辺海岸の侵食

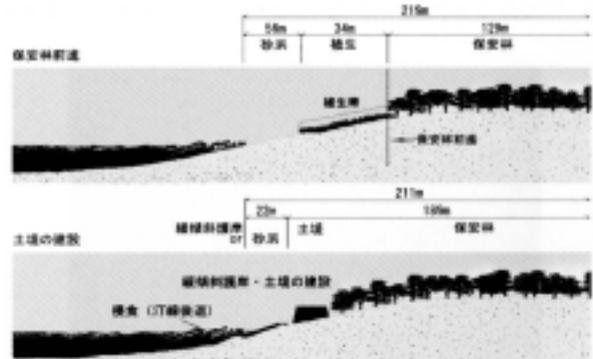


図-7 保安林の過剰な前進に伴う海浜地の喪失

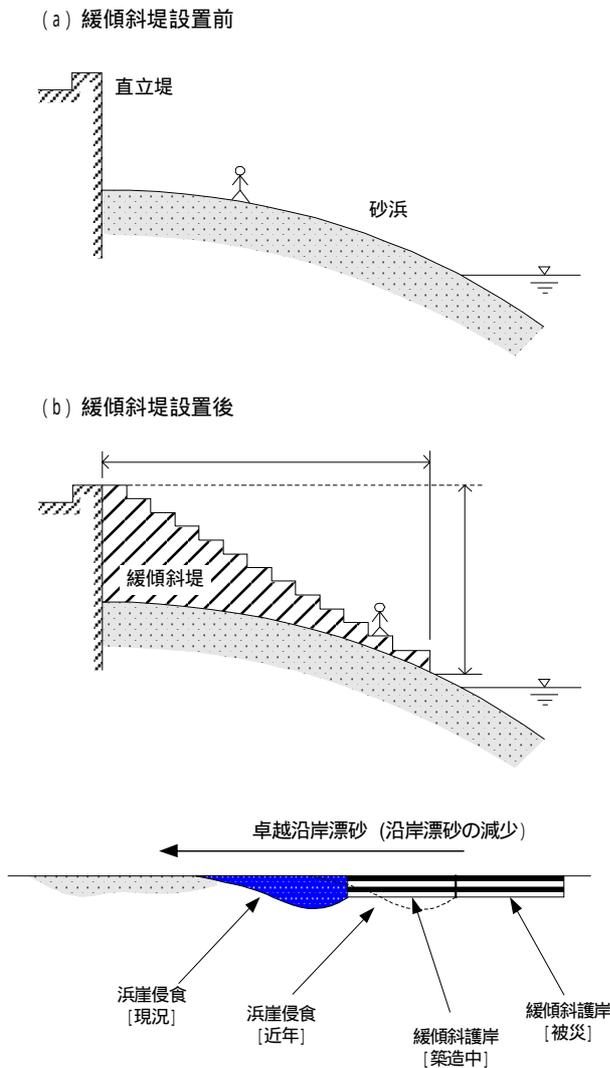


図-8 護岸の過剰な前出しに起因する砂浜の喪失

護岸の過剰な前出しに起因する砂浜の喪失(上図)

護岸の過剰な前出しに起因する砂浜の下手側の侵食(下図)

3. 土砂問題解決に向けた対応策の必要性

(1) 総合的な土砂管理による海岸保全の必要性

海岸において、防護、環境、利用のすべてに共通する基本要素は砂浜であり、調和のとれた海岸づくりを実現するためには砂浜の保全が基本である。一方で、砂浜は極めて脆弱であり、内外の要因により変動・変形、海岸侵食等を続けている。

前述したように現在まで実施されてきた海岸侵食対策は、海岸侵食等が起こってから対症療法的に各種構造物の設置により海岸防護が図られてきた。これらの「ハードな対策」は、堤防・護岸・突堤など汀線近傍に建設され背後の陸域を侵食から守るものから、離岸堤・人工リーフなどのようにやや沖合に建設して消波機能をもたせ、海岸を保全しようとするものに進化してきた。

最近では、土砂を人工的に供給する養浜、沿岸における土砂の流れを回復するサンドバイパス、サンドリサイクルなどの「ソフトな対策」の重要性が認識されており、

「ハードな対策」と「ソフトな対策」を効果的に組み合わせる必要がある。

このような中、海岸保全の中長期的なあり方を検討した土木学会海岸保全中長期展望検討小委員会(2002年)の提言において、「流域の土砂動態の把握と適正管理」が指摘されたことを受け、今後の海岸保全のやり方として、土砂の移動を様々な面から検証し、適正に制御すれば海岸侵食等を効率的・効果的に解決できると考えた。

このため、河川流域と漂砂系^{注2)}を含む流砂系を対象として土砂を適正に管理するため、鳥取県独自の総合的な土砂管理のルールづくりが必要となった。

(2) 土砂問題を解決する近道

総合的な土砂管理とは、河川流域と漂砂系を含む流砂系を対象として土砂管理ルールに基づいて土砂管理目標を定めて問題解決の対策を実施するものである。

鳥取県の現状としては、

海岸侵食が進行しており、これまでの対処療法的な対策では海岸侵食を防ぐことができない状況にあり、抜本的な対策として早急に総合的な土砂管理を行う必要がある。

鳥取県の中で土砂生産性の高いと考えられる大河川(千代川、天神川、日野川)において支川にはダムが設置されているものの、本川にはダムが設置されておらず土砂移動の連続性が断たれている状況にはないと考えられる。

といった状況にあり、土砂生産の問題よりも海岸部での土砂移動を適正化していくことが、鳥取沿岸の土砂問題を解決する近道であると考えた。一方、海岸侵食の問題を早急に解決しなければ、海岸の状況はさらに悪化していくばかりである。早急に海岸侵食を止めるため、まずは可能な部分からでも総合的な土砂管理を実施していくことが重要であると考えた。

4. 目指すべき海岸の姿/総合的な土砂管理の目標

(1) 目指すべき海岸の姿

「流砂系における量と質(粒径)のバランスのとれた土砂の流れの連続性の確保・回復を目指す。」ことを目指すべき海岸の姿、すなわち鳥取沿岸の総合的な土砂管理の目標として定めた。その目指すべき海岸の姿のイメージを図-9に示す。流砂系每またはポケットビーチ^{注3)}毎に下記に示すA)B)C)の3つ事項に基づいて、具体的な土砂管理の目標を定めることによって、沖合の海底地形から砂丘を形成する飛砂まで含めた海岸地形を自然な状態で保全することができるものと考えた。

A) 自然の土砂の流れを正しく理解し、人的行為が土砂の流れに影響を与えているならば、その影響を緩和したり復元したりする。

- B) 各管理者は、流砂系内の土砂の連続性を回復するための目標値を協働して設定する。目標値は、連続性を確保するための目安であり、流砂系内の土砂動態を考慮した土砂移動量等とする。
- C) 「mの浜幅の確保」「mの汀線の前進」といった平面的な海岸の形や構造物の配置を目指すものではない。

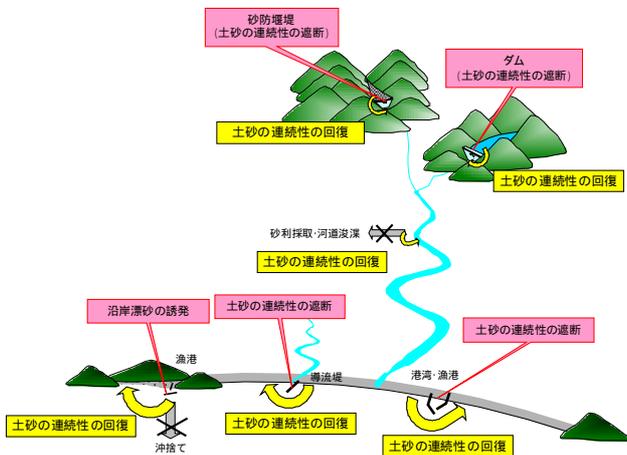


図-9 目指すべき海岸の姿のイメージ図

(2) 連携による総合的な土砂管理の実施

さらに、鳥取沿岸の総合的な土砂管理の行動目標として、「目指すべき海岸の姿を達成するために、流砂系に係わる人々が、土砂に係わる問題を共有し、個々の立場を尊重して各々の役割分担のもと連携しながら土砂問題の解決を図る。」ことを掲げた。このような行動目標を定めたことが、鳥取沿岸の総合的な土砂管理の特徴の一つである。

鳥取沿岸の総合的な土砂管理では、「流砂系」「ポケットビーチ」を単位とし、「流砂の下手側」「流砂系内のバランス」に必ず配慮し、土砂問題への対応策を実施することになる。このためには、各管理者は、土砂問題の被害者、加害者意識を捨て、同じテーブルにつき土砂問題を共有し、解決しながら土砂管理の目標を達成しなければならない。各管理者は、自分たちが実施する各管理領域での土砂問題の対策が他の領域に与える影響を理解し、それぞれの立場を尊重しながら各々の役割分担のもと1つの目標に向かって協力していくことが必要である。

5. 具体的対応策 / 土砂管理の本質となる対応策

(1) 鳥取沿岸の総合的な土砂管理の基本原則

鳥取沿岸の総合的な土砂管理の基本原則は、県民への情報公開と県民の監視のもとにPDCAサイクルによって土砂管理を実施し土砂の連続性を確保・回復することである。

PDCAサイクルとは、図-10に示すとおり土砂管理計画(Plan)を立て、対策を実施(Do)し、実施状況等をモニタリング(Check)し、計画と実施の評価(Action)を行うという工程(サイクル)を継続的に何回も何回も繰り返し実施することにより、目標に近づけていく仕組み(スパイラルアップ)である。流砂系毎にPDCAサイクルにより新たな知見を蓄積し、それまでの土砂管理を評価することによって、次の土砂管理計画を策定し、目指すべき海岸の姿へ向かって継続的に土砂管理を実施する。

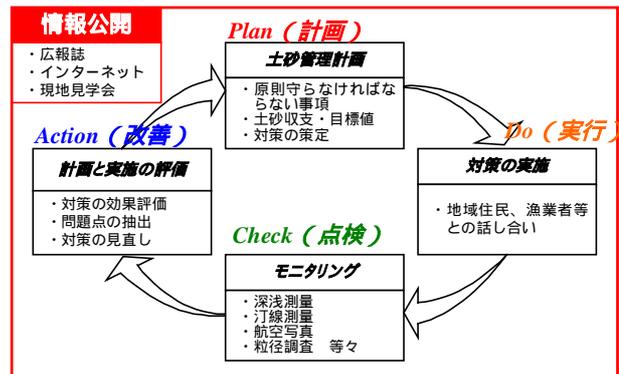


図-10 県民への情報公開とPDCAサイクルによる鳥取沿岸の総合的な土砂管理の実施

(2) 土砂管理の本質となる対応策

土砂の流れは連続しており、個々の場での対策がその場で効果を発現したとしても、その他の場に悪影響を与え、新たな土砂問題を発生させるという「負の連鎖」を断ち切ることが土砂管理の中でも最も重要である。鳥取沿岸の総合的な土砂管理では、「構造物の設置を要しない土砂の流れの連続性を確保するための対応策」を本質的な対策と位置付けた。

構造物の設置を要しない対応策を実施しても、長期的な視点からの土砂収支や費用バランスを加味した上で目指すべき海岸の姿を実現することが困難であると予測される場合には、「構造物の設置による土砂の流れを制御・調整するための対応策」を実施することとした。この対応策では、防護、環境、利用に配慮した必要最小限の構造物の整備等によって海浜の安定化を図るとともに、土砂の収支バランスの変化による侵食なのか、自然変動の範囲内のなかを見極めることが重要となる。

(3) 流砂系における土砂管理計画の策定

河川と海岸を一体とした流砂系の総合的な土砂管理のための計画を策定するために、一次元河床変動計算と熊田らの混合粒径の分級過程を考慮した海浜変形予測モデル³⁾⁴⁾を組み合わせることにより、長期的な視点で河川と海岸が一体となった流砂系の土砂収支の変遷を定量化し、目指すべき海岸の姿に向けた土砂管理計画を策定し

た⁵⁾。本論文では、千代川流砂系を対象に土砂管理計画の策定事例を紹介する。なお、本ガイドラインでは、図-11に示すとおり千代川流砂系の他に天神川流砂系、日野川流砂系とポケットビーチの浦富海岸、気高海岸、青谷海岸を対象に土砂管理計画を策定した。



図-11 土砂管理計画を策定した流砂系・海岸

千代川流砂系の概要

千代川は、その源を鳥取県八頭郡智頭町の中国山地(1,319m)に発し、途中、佐治川・八東川・砂見川・袋川・野坂川等の支川を合わせながら北流し、鳥取平野の中央を貫流して、鳥取市賀露町より日本海に注ぐ。その流域面積は1,190km²、長さ52kmで流域形状は放射状を呈している。千代川河口西側(左岸側)に鳥取港、東側(右岸側)に日本有数の鳥取砂丘が広がり、海岸部は東側の岩戸漁港から西側の白兔海岸に至る延長約15kmの砂浜海岸である。

長期的な土砂収支の変遷

まず、流砂系の総合的な土砂管理を策定するにあたり、ダム、港湾、漁港及び海岸保全施設等の構造物が無く、砂利採取が行われていなかった時代の自然状態の土砂の流れを熊田らの混合粒径の分級過程を考慮した海浜変形予測モデルによって再現した。自然状態の海岸を出発点として、その後の人的インパクトが土砂の流れに与えた影響と土砂収支の変遷を把握することで、土砂問題を浮き彫りにすることが重要であると考えた。土砂収支の変遷は次に示すA)B)のように土砂収支図を作成した。

A) 自然状態の土砂収支図

自然状態の海岸部の土砂収支図を図-12に示す。河口にデルタ地形が形成され、千代川の左右岸へ3.4万m³/年の沿岸漂砂量があり堆積性の砂浜が形成されていた状況を再現した。なお、本計算条件は以下のとおりである。初期地形は1/50の平均海底勾配、波による地形変化の限界水深はhc=10mとした。入射波は、鳥取港の1990~2003年の観測によるエネルギー平均波より碎波波高H₀=1.57m、周期T=6sを直線汀線に波向直角入射で与えた。千代川からの供給土砂量は、一次元河床変動計算によって算出した8万m³/年を与えた。これは、汀線変化に直接寄与しない0.15mm以下の細粒分(Wash Load)を除外した供給土砂量であり、縄文海進時代以降、千代川によって形成された沖積平野の土砂量から推定した結果と比較し妥当性を確認した。

B) 2003年現在の土砂収支図

自然状態の海岸部の土砂収支を初期条件に、千代川の河口付け替えと鳥取港の建設、岩戸漁港の建設、突堤や人工リーフの設置、港内の浚渫土砂の沖捨て、千代川でのダム建設や砂利採取の影響による供給土砂量の減少を加味しながら現在までの土砂収支の変遷を再現した。2003年現在の土砂収支図を図-13に示す。本計算の妥当性は、図-14に示す空中写真から読みとった汀線変化量と計算値との比較によって確認した。ダム建設や砂利採取等によって千代川の供給土砂量は7.1万m³/年まで減少した。千代川左岸側では鳥取港建設により千代川からの土砂供給が絶たれ、沿岸漂砂量は0万m³/年である。このため、人為的に土砂を供給しない限り自然状態の土砂の流れを回復することができないことがわかった。千代川右岸側では、鳥取港の防波堤により波の遮蔽域外から遮蔽域内への土砂移動である鳥取砂丘前面から千代川への向かう沿岸漂砂が再現された。この沿岸漂砂の向きは自然状態の向きとは逆向きであり、本来鳥取砂丘の前浜にあるべき土砂が浚渫によって沖捨てや埋立て等されている状況を把握することができた。岩戸漁港も同様に波の遮蔽域外から遮蔽域内への土砂移動が再現され、浚渫土砂が沖捨てや埋立て等される状況を把握することができた。

【昔の状態(自然状態)】

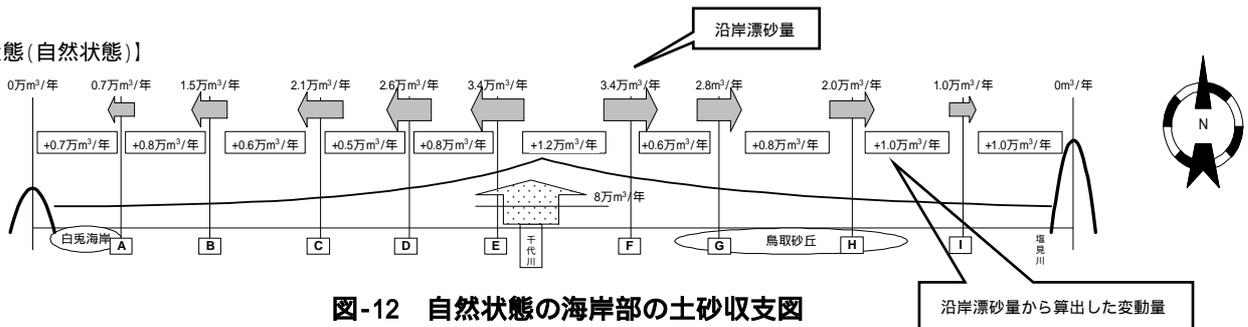


図-12 自然状態の海岸部の土砂収支図

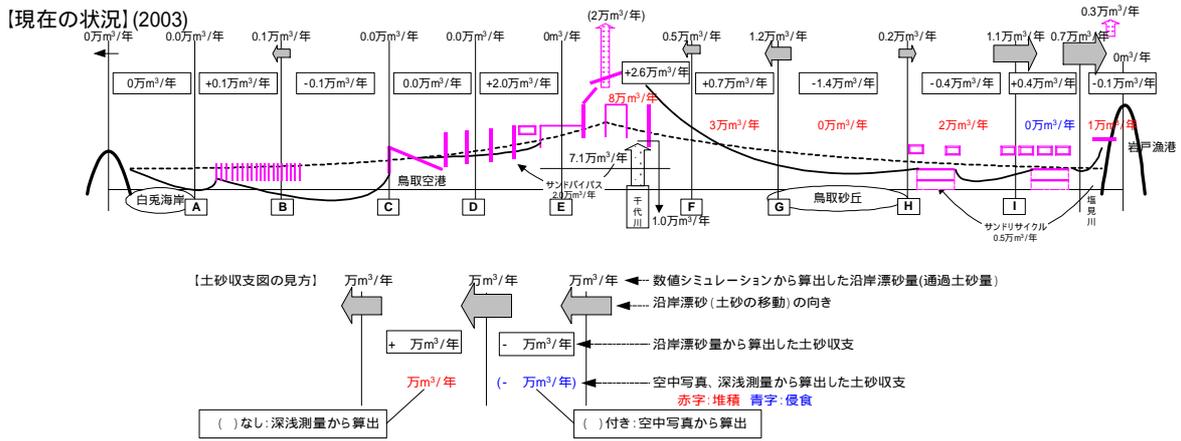


図-13 2003年現在の海岸部の土砂収支図

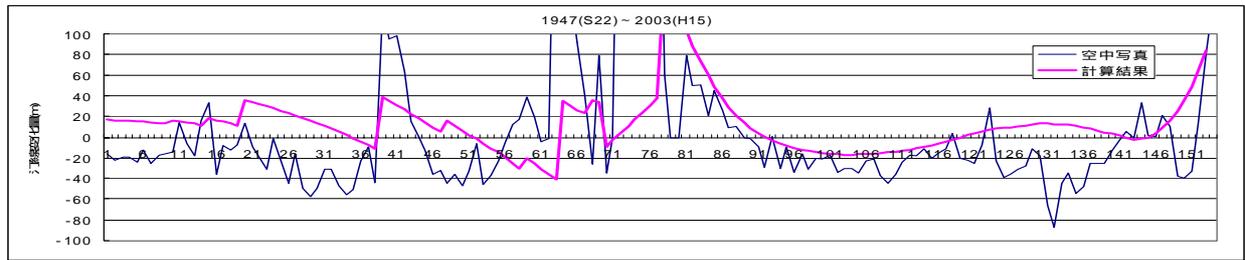


図-14 千代川流砂系の海岸部の空中写真から読みとった汀線変化量と計算値との比較 (1947~2003年)

目指すべき海岸の姿に向けた土砂管理計画の策定

以上の検討から千代川流砂系の土砂管理計画を図-15に示すとおり策定した。千代川流砂系では、鳥取砂丘前面にあった土砂が鳥取港へ移動し、その浚渫土砂が沖捨てや埋立てされることによって、鳥取砂丘が失われていくことが最も大きな土砂問題と考えた。これを解決するために、浚渫土砂の沖捨てや埋立てを禁止し、鳥取砂丘前面の波による地形変化の限界水深である10m以浅に投入するサンドバイパスを実施することとした。

千代川流砂系の全体としては、千代川から海岸への供給土砂はあまり変わらないが、海岸部に設置した施設と浚渫土砂の沖捨て等の影響によって土砂のバランスが崩れ侵食が発生している海岸である。このため、堆積箇所から侵食箇所へ土砂を投入するサンドバイパスやサンドリサイクルを行う「構造物の設置を要しない土砂の流れの連続性を確保する対応策」を基本として、土砂の流れの連続性、土砂収支バランスの確保・回復を図る土砂管理計画を策定した。なお、土砂管理の目標値(数値)は、過去からの推定による年平均値を示しており、遵守すべき目標値(数値)ではない。実際の堆砂量、浚渫量並びに土砂の質等に応じてバランスのとれた目標値(数値)と投入場所を考えながら、土砂の連続性を確保する行為、土砂管理計画に従った行為が重要である。

土砂管理計画の実施による将来予測

熊田らの混合粒径の分級過程を考慮した海浜変形予測モデルによって、土砂管理計画による対策の有無について50年後の汀線変化を予測した結果を図-16に示す。鳥取砂丘前面の汀線は、対策を実施することで現在より60m

程度汀線が前進する。対策を実施しない場合には現在より20m程度汀線は後退する。白兔海岸でも対策を実施することによって汀線が前進する。総合的な土砂管理を実施することによって、鳥取砂丘は蘇り、自然な砂浜が回復することが期待できる。

6. 鳥取沿岸の総合的な土砂管理の実施とその効果

(1) 政策的な効果

本ガイドラインにより土砂管理に係わる各管理者の連携が強化され、限られた予算の中でより効率的・効果的な土砂問題解決の施策を行うことができるようになるものとする。また、県民への情報公開と監視のもと鳥取沿岸の総合的な土砂管理を実施することになるので、県民が土砂問題や海岸や河川に関する情報を得る機会が増え注目されることによって拘束力となり、土砂管理計画がより推進されることも期待できる。

鳥取沿岸の総合的な土砂管理の実施によって、最終的に、砂浜の保全・回復による「魅力ある県土づくり」と「まちの活性化」に貢献できるものとする。

レクリエーション空間の創出

地元ボランティアとの連携

美しい景観形成による魅力向上

(2) 技術的な効果

流砂系の土砂収支の変遷の定量化では、現在得られる限られたデータを用いて土砂管理の方向性を見誤らないよう長期的、マクロ的な観点で土砂収支の精度を保つモデルを構築した。本ガイドラインでは、土砂動態の実態や土砂管理の対策の効果については、不明な点が多くあ

目指すべき海岸の姿へ向けた土砂管理計画

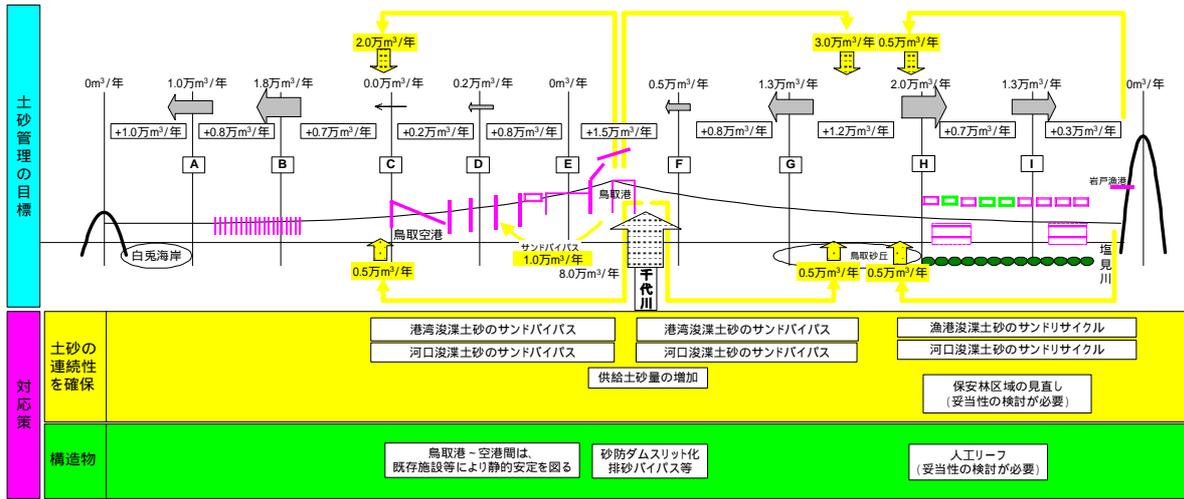


図-15 千代川流砂系の土砂管理計画

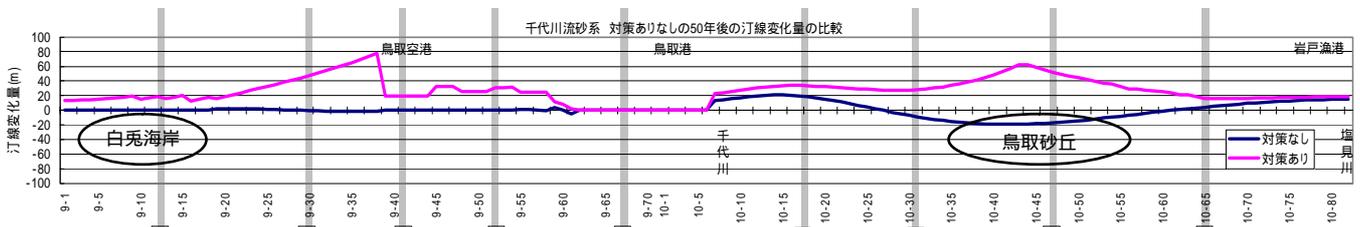


図-16 千代川流砂系の土砂管理計画実施による汀線変化予測

るため、土砂管理の実施状況を確認し、対応策の効果・土砂環境の変化・構造物の維持管理状況等を把握するモニタリングをPDCAサイクルの中で実施することを位置付けた。モニタリングによって得られた知見や積み重ねた議論の蓄積を基に、土砂動態変化の予測精度の向上や対応策の評価手法の改善等の技術的発展にも寄与するもと考える。

7. おわりに

本ガイドラインの策定に当たっては、鳥取県が平成15年度から既存資料収集、現地調査等を実施し、鳥取沿岸における土砂問題の分析や土砂移動のメカニズムを解明し、土砂移動の適正な制御の必要性を明らかにした。また、県民の意見を反映するため、土砂問題に対する認識、本ガイドライン策定の必要性及び鳥取の海岸に対する想い等に関するアンケート調査を実施した。さらに、海岸工学のみではなく、幅広い分野からの意見を取り入れるため、検討委員会を設置し公開のもと検討を進めた。

今後は、本ガイドラインに基づいて、土砂に係る各管理者(河川・海岸・港湾・漁港・保安林・ダム・砂防管理者等)及び利用者が土砂問題について共通認識を持ち、個々の管理者への責任追及論ではなく、10年、100年後を見据え、さらには、これまでの各管理領域に囚われず、各管理者が連携し、県民共有の財産である砂浜海岸を保全し、回復を図る取り組みを続ける必要がある。

最後に、本ガイドラインの策定にあたり、鳥取大学の松原教授をはじめ、(財)土木研究センターの宇多理事、(独)港湾空港技術研究所の栗山漂砂研究室長、東京大学の佐藤教授、国土技術政策総合研究所の福浜海岸研究室長、鳥取大学の赤木名誉教授、並びに鳥取環境大学、鳥取県漁業協同組合ほかより、多大なるご協力・ご指導を受け、感謝するとともに敬意を表する。

追記：鳥取県議会平成17年9月定例会の一般質問で、鳥取砂丘の保全に関し「鳥取砂丘に海岸からの砂の供給が少なくなっているのではないかと指摘があった。これに対して知事は、「本ガイドラインを策定し、これに基づく施策に取り組み始めている。」と答弁し、関連して本ガイドラインに基づいたサンドリサイクルの実績報告がなされた。

参考文献

- 1) 宇多高明(2004)：「海岸侵食の実態と解決策」、山海堂、p.304。
- 2) 田中茂信・小笠井 衛・深沢 満(1993)：地形図の比較による全国の海岸線変化、海岸工学論文集 第40巻、pp.416-420。
- 3) 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・星上幸良・増田光一(2002)：混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルの開発、海岸工学論文集 第49巻、pp.476-480。
- 4) 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・増田光一(2002)：河口デルタの侵蝕・粒径変化の予測モデル、沿岸灘外による分級作用の再現、海岸工学論文集 第49巻、pp.481-485。
- 5) 佐藤真司・宇多高明・岡安徹也・芹沢真澄(2004)：天竜川・遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する検討、海岸工学論文集 第51巻、pp.571-575。

注1) 漂砂系とは、沿岸(海岸)における土砂の運搬過程をいう。
 注2) 流砂系とは、流砂の源頭から海岸までの一貫した土砂の運搬過程をいう。
 注3) ポケットビーチとは、自然海岸のうち、砂浜の規模が小さく、その両端が岩礁などのゆるい岬によって囲まれた海岸をいう。比較的安定した海岸であることが知られている。このような海岸における漂砂は、一般に両端の岬によってその移動が遮断され、主としてその海岸内で移動するものと考えられている。