

自然環境に配慮した新たな沖縄型の海岸整備 について（嘉陽海岸高潮対策事業）

又吉 康之¹

¹沖縄県 土木建築部 技術管理課(〒900-8570 沖縄県那覇市泉崎 1-2-2)

名護市嘉陽海岸は、陸域は在来種海岸林とウミガメが産卵する砂浜、海域はジュゴン餌場(海草)があり、陸から海へ連続した良好な海岸環境が残されている。しかし、近年の大型台風で背後地において顕著な高潮浸水被害、飛砂被害が発生している。本論文では、既往の海岸利用を維持しつつ防護機能を強化する護岸整備と海岸林の保全を望む地元住民と、ジュゴン等の生息環境保全のため整備に反対する環境保護団体の相反する意見を踏まえ、防護、環境保全及び海岸利用の維持の調和を目指した海岸整備事例について報告する。

キーワード 高潮対策, 環境保全, 波浪変形, リーフ

1. はじめに

名護市嘉陽海岸は、ウミガメが産卵する砂浜やジュゴンの餌場となる藻場等の良好な海岸環境が残っている。しかし、近年の大型台風により顕著な高潮浸水被害が発生しており、背後の国道、集落地への飛砂被害も度々発生している。

本論文では、早急な高潮対策の事業実施を望む地元住民と、自然環境保護のため慎重な調査検討を求める環境保護団体の双方の意見を踏まえ、新たな沖縄型の海岸整備の事例となることを目標とした嘉陽海岸高潮対策事業の報告を行う。

2. 事業概要

事業名: 嘉陽海岸高潮対策事業
事業期間: 平成22年度～平成26年度
事業延長: 0.5 km 主要工事: 石積護岸



図-1 事業概要

嘉陽海岸高潮対策事業の概要を図-1 に示す。嘉陽海岸は、琉球政府時代に護岸が整備されていたが、平成19年台風4号により顕著な高潮浸水被害が発生した。その後、嘉陽区と名護市の要請を受け、平成22年度から事業に着手し、平成22～24年度に環境調査、測量設計を行った。

平成24年9月の台風16号により、平成19年台風4号を上回る浸水被害が発生した(写真-1)。その後、平成24年12月から護岸工事に着手し、現在、嘉陽集落前の護岸工 L=270m が完成している。今後は、平成25～26年度に旧嘉陽小学校側及び嘉陽橋付近の護岸工事と飛砂・飛沫防止帯の植栽工を予定している。

3. 海岸の特徴と海岸整備の課題

(1) 海岸環境

嘉陽海岸の海岸環境の主な特徴は、以下の通りである。海岸整備にあたり、①、②は環境への配慮、④、⑤は高潮、飛砂等の防災上の重要な課題となっている。



写真-1 H24年台風16号浸水被害状況

- ① ウミガメが産卵する砂浜がある(図-2).
- ② 海岸前面のイノー内に、ジュゴンの重要な餌場である海草藻場がある(図-3).
- ③ 嘉陽川河口があるが海域の水質、底質は比較的清浄である(海浜流の影響と推定).
- ④ 既設護岸が砂に埋没し、その上に海岸林が繁茂したため、海岸林、地被類、砂浜、海域に至る陸から海へ連続した良好な自然海岸的な環境・景観を有する(写真-2).
- ⑤ 既設護岸背後保安林の在来種樹木は、近年の大型台風により林密度、生育が悪化した(写真-2).

(2) 防災上の海岸特性

嘉陽海岸で、近年、台風による顕著な高潮被害が発生している主な要因は、以下の通りである。

- ① 特異なリーフ形状により、台風時の水位上昇量、波高が高くなるため、既設護岸の天端高

(EL+5.0m)が不足($\Delta 1.3\text{m}$).

- ② 既設護岸が砂で埋没し、波が遡上し易いスロープ状の海浜形状へ変化(写真-2).
- ③ 過去の道路工事や台風による影響等により、保安林の面積が減少、林密度が低下した.

図-4に深浅測量による海底地形断面図、図-5に波浪変形、水位上昇の特性説明図を示す。嘉陽海岸沖のリーフ外には円形浅瀬が存在しており、それを回り込む波が重複して波高が増大する。次にリーフ斜面断面が複雑かつ急勾配のため、波高が増大し、嘉陽川前面にリーフの切れ目(クチ)で波浪が嘉陽集落方向へ曲がり、直進してきた波と重複し海岸付近で波高が増大する。さらに旧嘉陽小学校前面の岩場の背後で回り込む波が重複し波高が増大する。

大きな波が砕波してリーフ内に伝播すると、外海に波が引きにくくなるため、嘉陽海岸周辺のリーフ内では、岸付近の水位が上昇する(リーフ上の砕波による平均水位上昇)。

また、図-5に示す航空写真のリーフ内の筋、砂の堆積状況より、東側から西側へ海浜流が流れており、リーフ内で水位上昇した海水は、水位上昇が少ないリーフのクチに流れると推定される。嘉陽海岸は海浜流の水衝部となるため、海浜流による水位上昇と、短い海岸線で砂浜の侵食と堆積が生じている。

なお、水位上昇量が高いほど、波高も増大することから、嘉陽海岸ではこの2つの現象により顕著な高潮浸水被害が発生していると推測される。

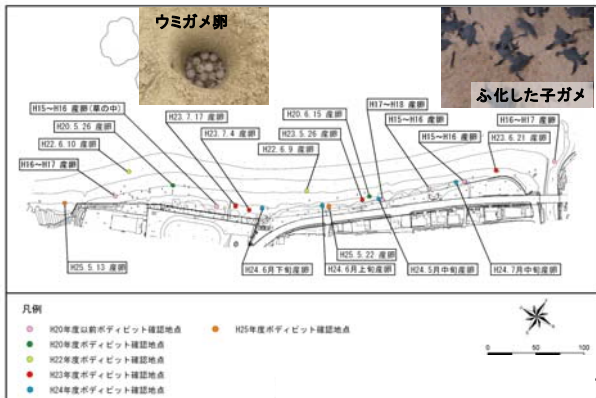


図-2 嘉陽海岸のウミガメ産卵位置図



図-3 海草藻場調査結果図(H22 年度)



写真-2 整備前状況写真(H24 年 7 月)

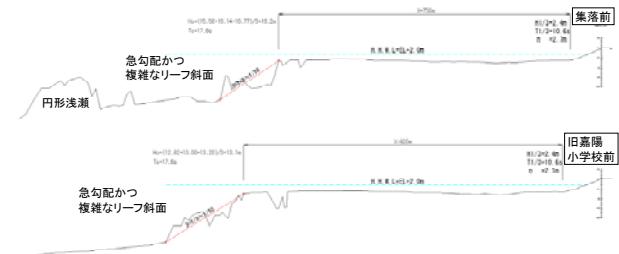


図-4 深浅測量による海底地形断面図

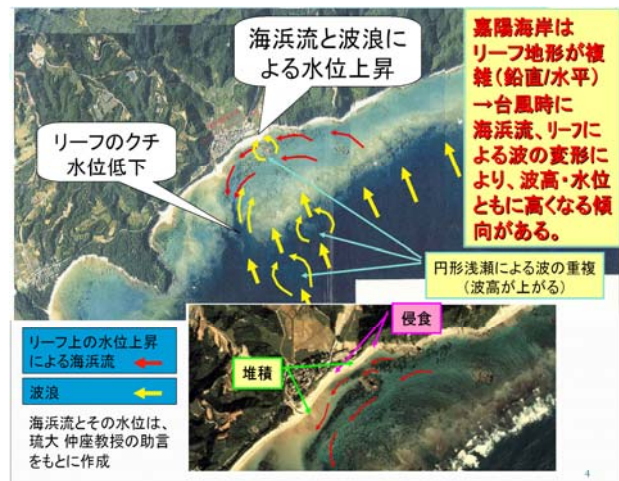


図-5 波浪変形、水位上昇の特性説明図

嘉陽海岸の整備目標、基本方針は、沖縄21世紀ビジョン基本計画の施策展開「景観や生態系などの自然環境に配慮した海岸施設、防風・防潮林の整備を推進」に位置づけられ、特に自然環境への配慮が必要な海岸での先進的な取り組み事例となるものと考えている。

図-6 に当初の環境調査位置、図-7 に嘉陽海岸住民参

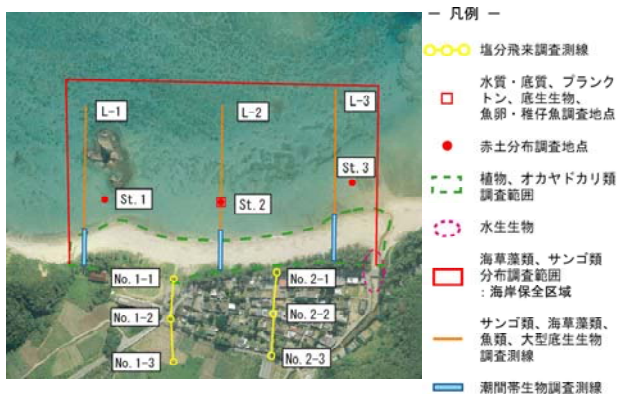


図-6 当初の環境調査位置図



図-7 追加環境調査位置図

加型エコ・コスト推進協議会（以下協議会と称す）及び環境保護団体の意見を踏まえ追加した環境調査位置を示す。協議会では諸喜田琉球大学名誉教授から、今後の砂浜変形調査の基礎資料として海浜、リーフ内の砂の成分、有孔虫の調査追加の意見があり、追加調査を実施した。

また、環境保護団体から、藻場、海域環境と関連の深い陸からの地下水、海底湧水調査追加の意見があり、同団体から紹介された(株)海藻研究所所長新井章吾氏の助言をもとに追加調査を実施した。

海底湧水は、陸からの地下浸透水や海水を海底地盤で濾過して水質を浄化し、藻場の海草藻類へ栄養塩を供給している可能性があり、海底湧水調査の結果でも、嘉陽海岸のリーフ内海底で湧水が採取でき、その塩分は、満潮時は現場海水より濃く、干潮時は薄い傾向があった。硝酸態窒素、リン酸態リンの栄養塩は、現場海水より濃い傾向があった。

地下水、海底湧水と藻場との関係は、明確ではないが、今後、嘉陽海岸の調査結果を踏まえ、重要な藻場付近の海岸環境調査における地下水、海底湧水調査手法や配慮事項の検討が、環境生態系を維持するために必要である。

事前の環境調査結果による施工時の主な環境配慮事項としては、ウミガメ、オカヤドカリに配慮し、産卵ピーク期（6～7月）は海浜部の工事を避けること、ウミガメ、ジュゴンに配慮し、夜間工事は実施せず、夜間の保安灯に注意することである。なお、環境保護団体から、ジュゴンが夕方にリーフ内に入り、夜間に藻場で食餌し早朝に外海に出ていることへのさらなる配慮の意見を受け、早朝、日没前の作業を避けるため施工時間（冬季8～17時、春季8時～18時）を設定して工事を行った。

平成 22 年度事業着手時の海岸整備計画において、ウミガメ産卵域、藻場等の良好な生態系への影響を最小

表-1 施工時の環境配慮事項

オカヤドカリ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事は、繁殖期(ピーク6～7月)を避ける ・ 工事前に工区内のオカヤドカリを捕獲し工区外適地に移動 ・ 工事区域にオカヤドカリ類の侵入防止柵等を設置
ウミガメ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事は、ウミガメの産卵期(ピーク6～7月)を避ける。 ・ 光に敏感なため夜間工事は実施しない。保安灯等にも注意。 ・ 工事箇所で産卵が確認された場合には、専門家等の助言を受けて、安全な場所に移動
シロコシ・水生生物・海藻・藻類	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事箇所周囲に大型土のうを設置し、濁水流出防止を図る ・ 工事中は、土のうの点検を徹底。異常あれば速やかに補修 ・ 濁水は土のうの締切内で浸透処理。降雨時は施工を行わない ・ 夜間工事は実施しない。早朝、日没の作業も避ける(ジューゴンの夜間の食餌に配慮)

限とするため、一般的な整備手法である突堤や養浜による面的整備手法や緩傾斜護岸は採用せず、護岸改良のみでの整備計画とした。

当初、護岸計画は、ウミガメ産卵域を可能な限り確保するため、海岸林付近の既設護岸前に、環境・景観に配慮し、直立護岸を覆土するかくれ護岸とした(図-8)。

しかし、その断面案は、覆土部の植栽生育までの間、以下①～③の課題があり、実施設計では、詳細な波浪解析による護岸設計と併せて、さらに砂浜、海域環境への影響を抑えながら、利用環境・景観にも配慮した断面案を検討することとした。

- ① 砂浜、藻場への覆土の流出(ウミガメ産卵域、ジュゴン食餌への影響)。
- ② 覆土の傾斜が緩い(勾配 1:2)ため、海浜部の改変が大きい。
- ③ 防護上、波が遡上しやすい形状で、飛砂発生要因となる恐れがある。

図-9 に実施設計で採用した集落前の護岸平面図、図-10 に断面図を示す。実施設計では、さらにウミガメ産卵域の改変を避けて、護岸前の海岸林内に収まるように、覆土を無くし、水叩きを護岸背後洗掘防止の基準上の必要最小幅 1m とし、階段型石積護岸(1:1 勾配)を既設護岸前面に接するように配置した。

表のり被覆土は、かみ合わせや石を背面側に下げる傾斜等について伝統的石積工法(土佐積)を参考とした階段型 2 層積とし、設計以上の波浪に対し粘り強く

し、オカヤドカリ等小動物対策に皿型側溝を採用するとともに、海岸利用者の緊急避難が可能な構造とした。

水叩き、胴込コンクリートはポーラスコンクリートを採用し、既設護岸上部の撤去など地下水浸透に配慮し、藻場への海底湧水、海浜の含水比(ウミガメ孵化、植生と関連)への影響の低減を図った。

使用石材は、小動物の移動と生息、植生及び地下水浸透に配慮し、多孔質で透水性が高く、砂浜景観との調和に優れる琉球石灰岩(白石)を採用した。

嘉陽海岸で初めて採用された階段型石積護岸は、砂浜改変面積が緩傾斜護岸よりも小さく、緩傾斜式と直立式双方の利点を有し、防護、環境、利用の調和のとれた新たな沖縄型の護岸形式として、今後の海岸整備で参考となると考えている(写真-3)。

なお、護岸前に残っていたアダン群落を保存してもらいたいとの住民意見を踏まえ、既設護岸より前に出す法線とし、その区間については、砂浜の改変を抑えるため、護岸勾配を 1:0.5 とした(写真-4)。

旧嘉陽小学校側区間のグラウンド側は、琉球大学 仲座教授の提言を踏まえ、セットバック護岸を採用した。セットバック護岸は、護岸前面の砂浜、陸域等で波を減衰されることから、護岸高、規模を低減し、海から陸へ連続した自然環境を残すことができるため、海岸環境の保全と経済性に有利な方式である。

ウミガメ産卵域海浜、海岸林の環境保全のため、背後地の土地利用状況、海岸環境の保全、経済性等を考

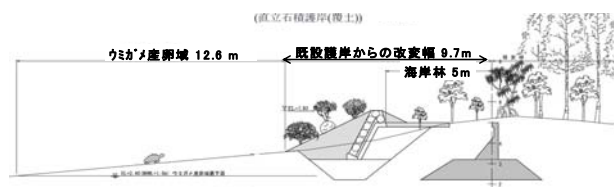


図-8 当初整備計画の護岸標準断面図

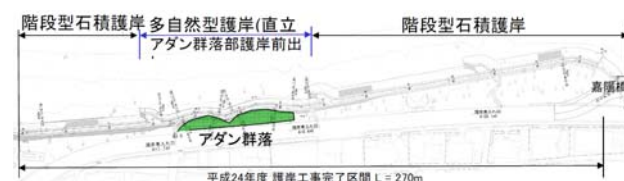


図-9 集落前護岸平面図

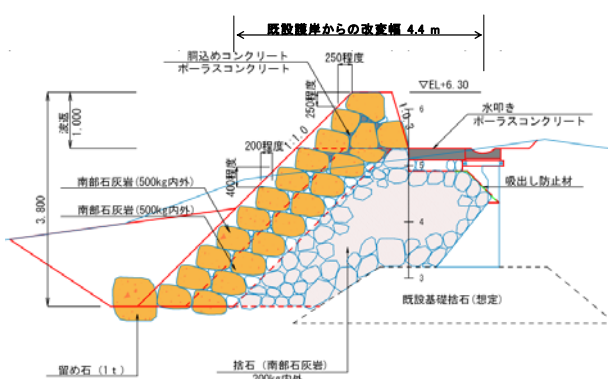


図-10 実施設計採用護岸断面(集落前)



写真-3 階段型石積護岸



写真-4 多自然型石積護岸

慮の上、護岸整備位置を陸側へセットバックした結果、嘉陽海岸においても、既設位置整備護岸と比較すると護岸天端高が60cm低減、断面規模も縮小されるため、経済的にも有利である。なお、断面は集落前と同様な階段式石積護岸とした(写真-5、図-11、図-12)。

ただし、セットバック護岸は背後の土地利用等で採用条件が厳しい。嘉陽海岸の集落前区間では、保安林幅が狭く、背後は道路、民家があることから、セットバック護岸は採用が困難であった。海岸付近まで開発と土地利用が進んだ本県の海岸の再整備でのセットバック護岸導入は、用地補償を伴うため現行の海岸の法令、基準の枠組みを超えた新たな土地利用規制、予算制度の検討が必要と思われる。

旧嘉陽小学校東側の起点側区間は、琉球政府時代の既設護岸があり、背後保安林内の侵食が進んでいるため、耐久性、侵食等の防護の面で問題があるため、セットバック護岸及び既設護岸補強案と保安林区域内の侵食、高潮被害を1つの護岸で防護する直立式護岸案を比較した。その結果、砂浜消失が1m未満と小さく、ウミガメ産卵域と保安林への影響も少ない直立式護岸を採用した。

このように嘉陽海岸では、同一海岸内で、条件に応じきめ細かく護岸形式を使い分ける護岸断面のセグメント化を行った。

7. 飛砂・飛沫防止帯（植栽設計）

嘉陽海岸の砂の中央粒径は 0.3mm と一般的な養浜

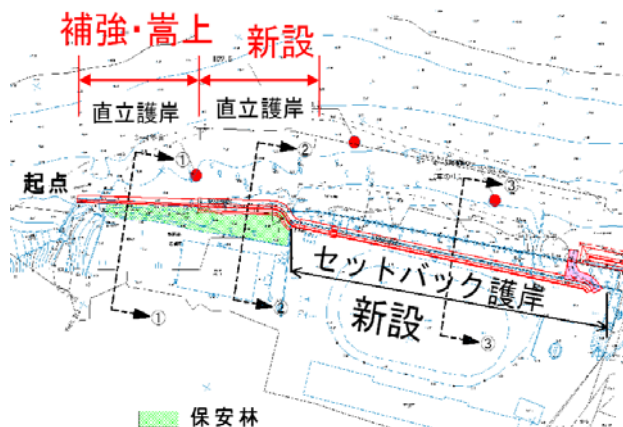


図-11 旧嘉陽小学校側護岸平面図

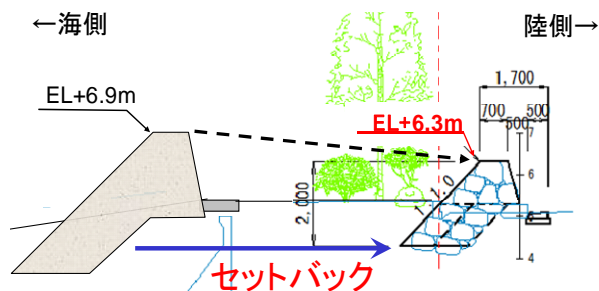


図-12 セトバック護岸イメージ図

砂の0.6mmより小さいため、台風襲来の度に飛砂被害を受けている(写真-6)。飛砂、飛沫は護岸では防護できないため、その対策は植栽による飛砂・飛沫防止帯を設置する必要がある。しかし、海岸は気象条件や基盤の条件が劣悪で、植物の生育にとって厳しい環境のため、植栽設計にあたっては、適切な樹種の選択と植栽計画・設計方法を検討が重要となる。

嘉陽海岸では、現在に自生している「樹種（在来種のみ）」のグンバイヒルガオ、テリハクサトベラ、モンパノキ、アダン、オオハマボウを基本樹種に選定し、嘉陽海岸に自生している植物の海からの「植順」を植栽の基本方針とした。また、海浜部への飛砂・飛沫防止帯設置は、ウミガメ産卵域への配慮のため十分な幅がとれないことから、護岸前面の植栽と共に、護岸背後保安林と海岸保全区域を重複指定協議し、保安林内に海岸保全施設の飛砂・飛沫防止帯を海岸管理者で整備する方針とした。

護岸前面植栽は、平成19年台風4号、平成24年台風16号において、漂砂による侵食、砂堆積で大きな被害を受けたことから、現在の植生下限値（植生が自生していた砂浜地盤高の下限）を調査し、その高さ以上で各樹種の植栽を行うこととし、0m（グンバイヒルガオのみ）、1m、3m幅の3タイプを設定した。

また、嘉陽海岸には在来種高木が無く、防災林機能に劣る外来種のモクマオウのみのため、モクマオウにかわる高木植栽（アカテツ、テリハボク）を追加した。

なお、植栽 活着を確実にするための協議会での学



写真-5 セトバック護岸位置・模型



写真-6 H24年台風17号飛砂被害(国道331号)

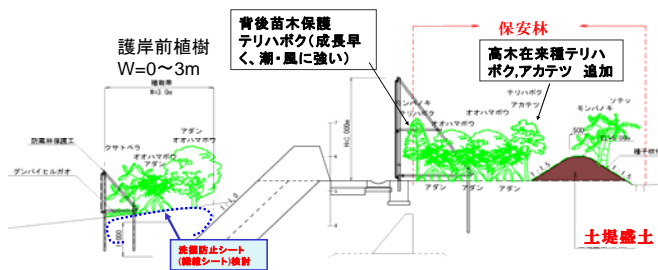


図-13 飛砂・飛沫防止帯植栽計画図(集落前)

識経験者意見を踏まえ、繊維シートによる植生基盤侵食防止対策も検討している(図-13)。

8. 地域住民、学識経験者及び環境保護団体幅広い意見の取り入れ

当事業では、平成21年度から協議会を5回開催し、地元代表者、海生生物学識者の意見を聴取した。協議会では、各学識経験者が住民の立場を十分理解した上で専門的な意見を出し、事業者は各意見を踏まえて計画設計案を策定し協議を重ねた結果、地元代表者における嘉陽海岸の環境の重要性和防災上の課題の十分な理解と計画、設計案の円滑な地元合意形成に繋がった。

なお、協議会には海岸工学の学識経験者が入っていないため、琉球大学工学部仲座教授から、適時技術的な助言を受け、設計等に反映した。

また、嘉陽区民へのアンケート実施や住民説明会を過去3回開催し、協議員の地元代表者から、県推奨案や協議会での意見について補足説明等の協力も頂きながら、地元合意形成を図る取り組みも行った。

平成23年度の実設計時から、当事業に関する環境保護団体からの意見、情報提供依頼が増加し、さらなる調査、予測実施と慎重な整備を求める同団体と、早急に高潮対策の実施を求める地元住民の要望の間で、工事着手後の平成24年度末まで、同団体との机上、現地での意見交換、資料提供等の対応に追われた。平成25年度からは、同団体の意見を反映した当事業に一定の評価を得ており、同団体開催のシンポジウム「沖縄の海岸(沿岸域)の未来について」に、仲座教授、新井氏等の学識経験者と共に当事務所担当者も参加し、嘉陽海岸の事例報告と意見交換を行った。

なお、今後の海岸事業で幅広い意見の取り込みを行う際は、事業着手後の円滑な事業実施のために、協議会に海岸工学の学識経験者を入れること、事業化前から地元代表者、学識経験者に環境保護団体も交えた意見交換の場を設ける検討が望まれる。

9. まとめ

嘉陽海岸の事例で今後の海岸整備と参考となる主な

項目を以下に挙げる。

- ① 計画段階から自然環境を十分な把握と配慮に努め、砂浜、海域を極力改变しない手法を採用。
- ② 地元住民、学識経験者、環境保護団体等幅広い意見を聴取し、計画・設計・施工に反映。
- ③ 海岸整備の環境調査で、藻場等と地下水、海底湧水の関係に着目し調査検討を開始。
- ④ 階段式石積護岸(1:1勾配)は、砂浜改变面積は緩傾斜護岸より少なく、緩傾斜式護岸と直立式護岸の利点を有し、自然環境、景観、利用面の調和がよい。
- ⑤ 一連海岸内で、海岸特性条件に応じて細かく護岸形式を使い分け(セグメント化)。
- ⑥ 琉球石灰岩(白石)の護岸は、環境面で優れるとともに砂浜海岸景観の調和がよい。

次に、今後の課題を以下に挙げる。

- ① 嘉陽海岸の整備後の長期的なモニタリングの実施(今後のパレット事業と位置付け)。
 - ・防災面、環境面(沖縄美ら島財団、環境保護団体、地元ウミガメ研究者と協働)
- ② セットバック護岸に対応した新たな制度、事業手法の検討。
- ③ 新たな沖縄型の海岸整備の手引きの策定(環境調査、計画、設計手法)
 - ・自治体、民間技術者で今後の沖縄の海岸整備の調査、設計手法の共有を図る。
- ④ 地域住民、海岸利用者等と協働した海岸管理(防護、環境、利用の維持)
 - ・住民等の日常管理和地元住民、海岸利用者、各団体と協働した海岸ルール作り。

10. 今後の展開

嘉陽海岸は、ジュゴン、ウミガメ、オカヤドカリ等の海生生物、海岸植生等の陸と海の相互に関係した多様な生物環境が残り、住民は、魚、貝を捕り、海から来訪する神を砂浜で迎える祭祀を継承している。沖縄で失われつつある、陸から海まで連続した良好な自然環境と伝統的な人と自然の繋がりが嘉陽海岸には残されている。

本事業は、その多様な生物、利用環境へ配慮した海岸整備を行っており、今後の海岸整備における生物多様性の保全の取り組みで活用できる可能性がある。

整備後の将来に渡り嘉陽海岸の良好な海岸環境を残しつつ、防護機能、海岸利用を維持すること、また、今回報告事例を新たな沖縄型の海岸整備へ活用していくことについて、今後、沖縄県土木建築部海岸防災課と北部土木事務所で連携し、各関係者と共に取り組んでいく必要がある。