

河川掘削土砂の海岸養浜への適用性について

APPLICABILITY OF EXCAVATED SEDIMENTS FROM RIVER CHANNEL TO BEACH NOURISHMENT

村上啓介¹・小野剛²

Keisuke MURAKAMI and Takeshi ONO

¹正会員 博士(工学) 宮崎大学 工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

²修士(工学) 宮崎市役所 (〒880-8505 宮崎市橘通西1-1-1)

Miyazaki Coast is one of the famous nesting fields for *Loggerhead Turtles* in Japan. However, the nesting population on this coast has been going down due to beach erosion and construction of seawalls. In order to restore the coastal environment and retreated shoreline, a beach nourishment project had been carried out experimentally on this coast. In this project, nourishment material excavated from *Oyodo River* were utilized to confirm an applicability of the sediment to beach nourishment. To confirm an applicability of the excavated sediment to the beach nourishment, it is important to monitor the influences of nourishment material on coastal habitats. Furthermore, the method of beach nourishment work and the management of beach after nourishment are also important. This study clears the applicability of excavated sediment to the beach nourishment through soil tests of nourished material, surveying of nourished beach evolutions, and monitoring of nesting population of *Loggerhead Turtles*.

Key Words : *Beach nourishment, excavation of river channel, soil density, N-value-test, loggerhead turtle*

1. はじめに

海岸保全事業の実施では、海岸防護に加えて海岸利用や自然環境との調和が強く要請される。このような要請に応えるため、海岸保全事業の一部に養浜工法が取り入れられる事例が増えつつあり、また、養浜後のモニタリング調査も実施されている(例えば、宇多ら^{1), 2), 3)}。

養浜工法は、侵食が進んだ砂浜海岸に対して、その海岸に適した土砂を人工的に供給して砂浜を復元するとともに、海浜地形の動的安定もしくは静的安定を図るものである。従って、従来の護岸や離岸堤などの固い構造物を中心とした海岸保全事業とは異なり、劣化した海岸環境を自然環境や海岸利用に配慮した形で保全・復元する技術として優れていると考えられている。

一方で、養浜土砂を低コストでまとまった量確保することは一般に容易ではなく、今後の養浜事業の普及において、土砂の確保が大きな課題となっている。また、養浜土砂の質に関しても、海岸生態系への負荷を減らす目的では、同一流砂系の土砂を利用することが望ましいが、同一流砂系の土砂を利用した養浜事業は全体の10%程度にとどまるとの指摘もある⁴⁾。同一流砂系の土砂の活用は、流域の総合土砂管理の観点からも重要であり、今後の養浜事業

では積極的に取り入れられるべき事項の一つと考えられる。

本研究で対象とする宮崎海岸においても、経年的な海岸侵食への対応策の一つとして養浜工法が検討されている。対象となる海岸線は十数キロと長く、また、有数のアカウミガメの上陸・産卵地でもあることから、養浜土砂の量と質の確保が重要な課題となっている。

当該海岸は、大淀川、小丸川、一ッ瀬川が主要な土砂供給源となって形成されたものと考えられている⁵⁾。これらの河川のうち、大淀川では平成17年の台風14号災害に対する治水事業(激甚災害対策特別緊急事業)の一環として、河積の確保を目的にした河道掘削が下流域でおこなわれた。この河道掘削により多量の土砂の確保が見込める状況となり、掘削土砂を利用した海岸養浜が試験的に実施される運びとなった。

河道掘削により搬入される土砂は、中央粒径が海岸砂と同程度であっても礫分やシルト分を多く含む場合があり、養浜後の海岸の土質特性は、自然海岸が持つ固有の特性とは必ずしも同じになるとは言えない。本研究は、河川掘削土砂を活用した養浜海岸の土質特性とアカウミガメの上陸・産卵状況の關係に着目し、河川掘削土砂の海岸養浜への適用性を評価することを目的に実施した。

2. 海岸環境の変化の概況

宮崎海岸の概略位置を図-1に示す。宮崎海岸は大淀川河口左岸から一ツ瀬川河口にかけての十数キロの範囲を指し、南から一ツ葉海岸、住吉海岸、明神山海岸、大炊田海岸を含む範囲を総称している。

吉高⁶⁾は、日向灘海岸への主要な土砂供給源は、耳川、小丸川、一ツ瀬川、大淀川で、一ツ瀬川、小丸川の順で土砂生産が活発であると述べている。また、大淀川河口周辺の等深線の変遷をもとに、日向灘海岸は南向きの漂砂が卓越すると述べている⁷⁾。

これら河川の上流部には利水目的の貯水池が多数あり、最近の堆砂速度は、一ツ瀬川で約80万 m^3 /年、大淀川で約30万 m^3 /年、小丸川で約25万 m^3 /年と見積もられ⁸⁾、当該海岸に隣接する一ツ瀬川、大淀川からの供給土砂量の減少が伺われる。

大淀川および一ツ瀬川の河口導流堤は、1975年ごろに建設されている。これ以前の1974年に、当該海岸に沿った一ツ葉有料道路が供用を開始している。その後、1983年から一ツ葉入江を開削して宮崎港の



図-1 宮崎海岸の位置

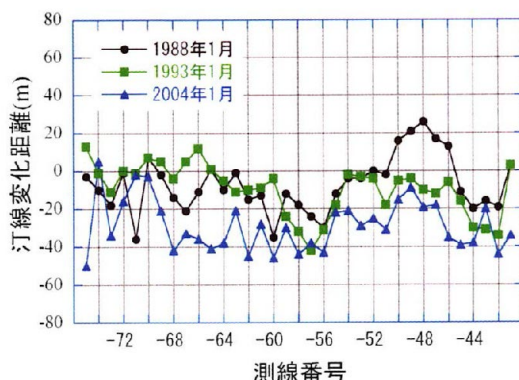


図-2 1982年を基準とした汀線位置の変化
(マイナス：後退，プラス：前進)

建設が始まっている。現在の南防波堤の建設は2003年頃に概ね完了しているが、南防波堤の伸長にともない、当該海岸から宮崎港内への土砂移動が顕著になっている。

図-2は、1982年を基準とした汀線変化量を示したものである。汀線位置は、宮崎県が作成した深浅測量図から読み取った。図中の横軸の測線番号は図-1に示した測線番号に対応している。

1982年から1988年の期間では、海岸汀線が部分的に後退する範囲と前進する範囲が見られる。1993年になると、No. -65からNo. -53にかけて汀線の後退量が大きくなる傾向が見られ、その以外では汀線の変化量は小さい。さらに、2004年になるとNo. -75からNo. -41の全域で汀線が後退し、海岸中央付近では50m程度の変化が見られる。

図-3は、深浅測量結果から算出した1984年から2004年にかけての土量変化を示したものである。各側線に沿った海浜断面の変化量は、浜崖を含む陸側から水深15mまでの範囲で算定し、マイナスは侵食を表している。変化土量は、海浜断面の変化量に測線間隔を乗じて求めたもので、その際の測線間隔はNo. -41からNo. -64までの200m、No. -64からNo. -75までは250mである。

図-2に示した汀線変化量と同様に、No. -60からNo. -68の範囲で土量の減少が大きい。この範囲は、海岸保全施設が入っていない自然海岸で、写真-1に示すように顕著な浜崖が形成されており、浜崖の後退による土量の変化が大きいと考えられる。

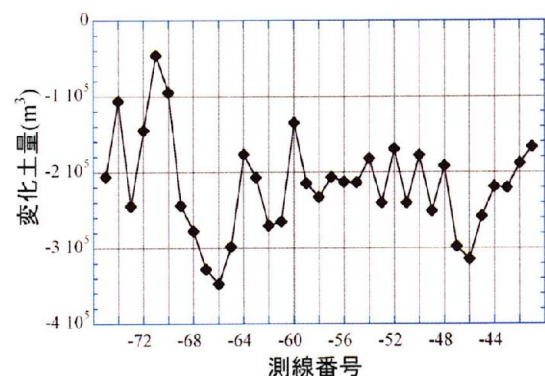


図-3 1982年から2004年の間の土量変化



写真-1 自然海浜部の浜崖の状況
(2007年7月18日撮影)

当該海岸では侵食対策事業として緩傾斜護岸が1983年から始まっている。初期はNo. -51とNo. -55付近の限られた範囲で緩傾斜護岸が施工され、1988年までにNo. -50からNo. -57の範囲に拡張されている。また、1988年には宮崎港北端部に離岸堤が施工され、その後の2003年までにはNo. -41からNo. -49の範囲に低水深の離岸堤が施工されている。

図-4は、宮崎野生動物研究会が宮崎市から高鍋町にかけて実施しているアカウミガメの上陸調査のうち、一ツ葉海岸から明神山海岸にかけての上陸密度（上陸数/海岸距離/調査日数）と産卵率（上記の海岸の総計から算出：産卵数/上陸数）の経年変化を整理したものである⁹⁾。産卵率は、1997年ごろまでは75%前後で変動しているが、その後は減少傾向を示している。上陸密度についても、一ツ葉海岸（宮崎港北側海岸～No. -59付近）と住吉海岸（No. -59付近～No. -65付近）では1990年後を境に減少する傾向にあり、海岸侵食による砂浜の減少と、それにとまなう緩傾斜護岸や離岸堤の設置時期にほぼ同期している。なお、自然海岸が残る明神山海岸（No. -65付近～石崎川河口範囲）では、上陸密度は若干増加する傾向が見られ、一ツ葉海岸と住吉海岸に上陸できない個体が明神山海岸に上陸しているのではないかと推察される。

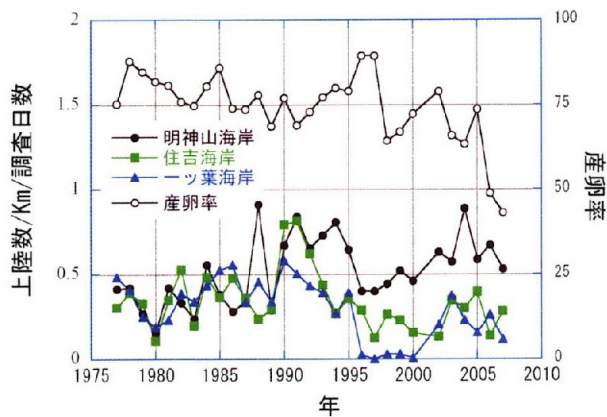


図-4 アカウミガメ上陸数と産卵率の経年変化
(宮崎野生動物研究会による調査結果⁹⁾による)

3. 試験養浜の概要と調査内容

試験養浜は住吉海岸の北端（宮崎港の北約10kmの付近）の石崎浜付近で行われた。試験養浜が実施された範囲と、土質調査を実施した地点を図-5に示している。この範囲の海岸は、経年的な侵食により汀線が後退して背後の保安林の保全が必要となったため、海浜の一部に直立護岸と緩傾斜護岸が施工されている。

試験養浜は、平成18年12月から平成19年3月にかけて2箇所の範囲実施された（本研究では、それぞれを南工区、北工区と呼ぶ）。代表的な養浜断面形



図-5 調査海岸と調査地点

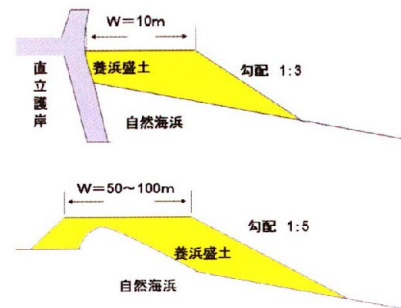


図-6 養浜盛土の断面形状の一例
(上段：南工区、下段：北工区)

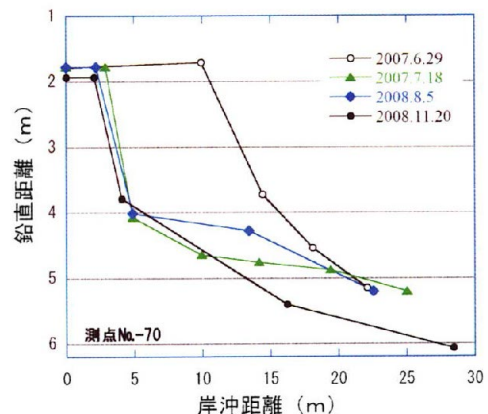


図-7 南工区の養浜断面の変化

状の一例を図-6に示す。南工区の養浜土量は約2.5万 m^3 で、法面勾配が1:3の盛土養浜が直立護岸前面に腹付け施工された。一方、自然海岸の北工区では、法面勾配が1:5となる盛土断面で養浜がおこなわれた。掘削土砂のうち約0.5万 m^3 が養浜に使用され、

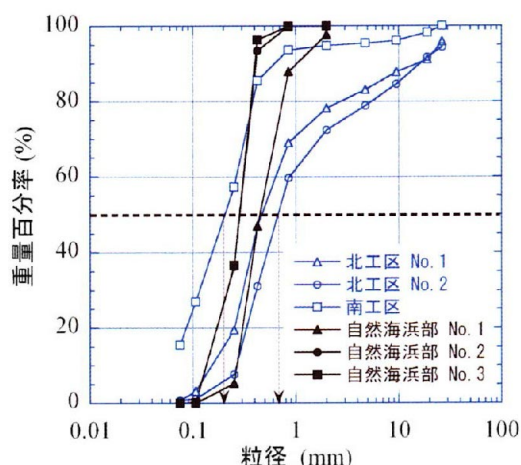


図-8 養浜土の粒度分布

残り（約7万 m^3 ）は海浜背後に借り置きされた。

平成19年7月から8月にかけての台風で高波浪が2度来襲し（7月14日；有義波高6.45m，8月2日；有義波高7.37m）盛土断面は大きく変形して浜崖が形成された。図-7は，測点No. -70（南工区）の盛土断面の変化を示したものである。北工区では，平成19年12月から平成20年3月にかけて養浜断面の改良がおこなわれ，その際に盛土断面の法面勾配は当初断面よりも緩勾配の1:10とされた。一方，南工区では図-7に示す状況の浜崖が形成されたままで，断面の改良はおこなわれていない。

養浜盛土の硬さはアカウミガメの産卵に大きく影響する^{10),11),12)}。そこで，本研究では平成19年6月と平成20年6月に養浜盛土の土質調査を実施した。南工区については，養浜盛土の天端中央部で砂置換方による密度試験を実施した。次に，盛土部の硬さを計測するために貫入試験をおこなった。砂浜の締めり土を計測する手法はいくつか提案されているが（例えば，西ら^{13),14)}），今回の調査では，簡易動的コーン貫入試験を用いて盛土天端中央，盛土斜面，盛土法先砂浜部のM値を求めた。なお，北工区では， $\phi 50\text{mm}$ の金属管を用いた密度試験と簡易動的コーン貫入試験を実施した。また，粒度試験と海浜断面の測量を適宜実施した。

4. 調査結果

(1) 養浜盛土の土質特性について

図-8は，北工区と南工区で採取した盛土材の粒度分布を示したものである。図中には，各工区の前浜部で採取した海浜砂の粒度分布も示している。自然海浜の砂は十分に淘汰されて，その中央粒径0.3mmから0.6mm程度である。一方，南工区の養浜材の中央粒径は自然海浜と比べて若干小さい程度であるが，シルト等の細粒分を多く含む特徴が見られる。また，北工区については，中央粒径は自然海浜とほぼ同じであるが，粗粒分を多く含んでいる。

図-9は，南工区の養浜盛土天端上と養浜盛土法先部で実施した密度試験の結果を示したものである。図中には盛土前方の自然海浜部分における結果も示している。養浜盛土天端の含水比と乾燥密度は自然海岸および養浜盛土法先部に比べ高い。細粒分を多く含む南工区では，養浜盛土が乾湿を繰り返すことで硬質化した可能性が伺われる¹⁰⁾。また，南工区の施工では，写真-2に示すように，施工区間の北端から盛土断面を巻き出す形で重機施工がおこなわれ，その際の重機走行による締め固めも盛土天端の硬質化に影響しているものと考えられる。

盛土天端面が硬質化している状況は，図-10に示

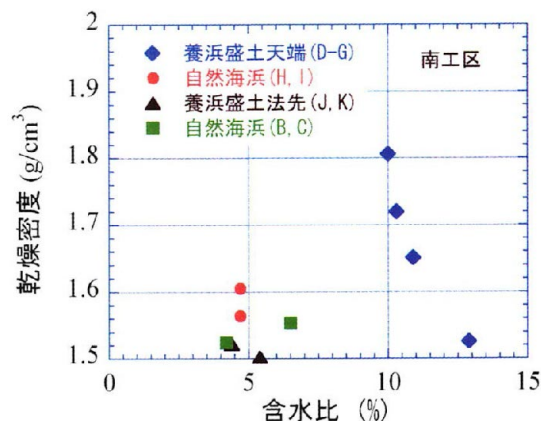


図-9 調査地点の乾燥密度と含水比



写真-2 南工区における養浜盛土の施工状況
(2007年3月17日撮影)

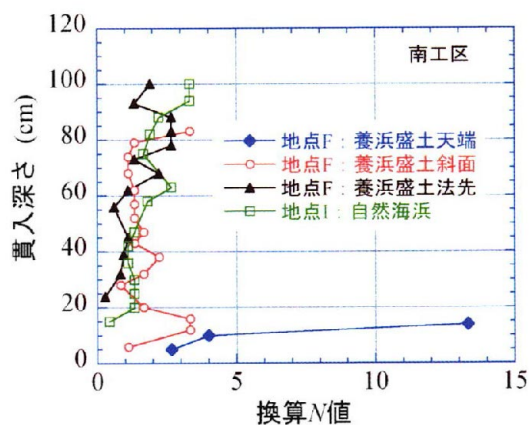


図-10 養浜盛土部と自然海浜部のM値

す簡易動的コーン貫入試験結果からも確認される。盛土天端の換算 N 値は表層10cm程度で13を超え、硬く締まった状態になっている。一方、盛土斜面部および法先部の換算 N 値は自然海岸部とほぼ同じ値を示し、比較的柔らかい状態が維持されている。

養浜箇所での締め固めはアカウミガメの産卵の支障となる¹⁰⁾。今回の試験養浜では、中央粒径が海岸の底質粒径に近い河川掘削土砂を選択的に活用してはいるが、自然海岸に比べてシルト等の細粒分が多く含まれる場合には、養浜部がかなりの程度硬質化することを示している。また、重機施工による締め固めが発生しないような施工配慮も重要であることを示している。

(2) アカウミガメの上陸産卵状況

養浜施工が実施された後のアカウミガメの産卵率及び上陸密度の状況を図-11に示す^{15), 16)}。図の横軸に示す海岸名は図-5に示す海岸部分に相当するが、自然海岸については、南工区より南側の海岸範囲を指している。

2008年の上陸密度は、2007年や2006年に比べて高い値となっているが、年による変動によるものと思われる。ただし、各年における上陸密度を各海岸で比較するとその差異は小さい。一方、産卵割合については、各海岸により明確な差異が見られる。

養浜施工が実施された後の2007年と2008年について見ると、南工区では産卵割合が非常に低い結果となっている。図-7に示すように、2007年7月と8月の高波浪により浜崖が形成され南工区では、アカウミガメが浜崖を登坂できずに戻りが増えたため産卵率が低くなったものと考えられる。一方、北工区の産卵率は、各年で自然海岸部と同程度の値となっている。北工区は、南工区に比べて当初の盛土法勾配が緩やかであるため、高波浪による浜崖の形成があまり顕著ではなく、2008年には法面勾配を更に緩い既勾配(1:10)で改良したためと推察される。また、断面改良時に重機による締め固めが生じないように配慮した施工(適当に盛土天端を重機で耕すような施工)がなされたことも影響していると考えられる。

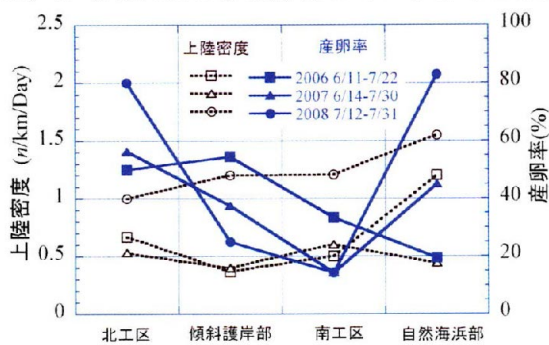


図-11 アカウミガメの上陸産卵状況

(3) 産卵に及ぼす海岸環境条件

図-12は、養浜海岸部でアカウミガメの上陸が見られた箇所における簡易貫入試験結果を示したものである。試験場所は、盛土断面の改良がおこなわれた北工区で、先に述べたように重機による締め固めが生じないような形式で施工がおこなわれている。産卵箇所、非産卵箇所ともに、換算 N 値の鉛直分布に大きな違いはなく、表層から20cm程度までの深さの範囲では、 N 値は図-10に示した自然海岸と類似した値を示している。

養浜盛土部の N 値は、地中深さが増すにつれて増加する傾向にあるが、産卵箇所の N 値は最大で10程度であった。一方、 N 値の最大が10であっても非産卵のケースもある。上述のように、養浜施工された盛土部は自然海岸に比べて締め固めの程度が高い傾向が見られた。そのような状況において、 N 値が10程度であっても産卵巣を掘って産卵することが可能であることが確認された。

アカウミガメの産卵条件としては、浜幅や地盤高さも重要な要素となる^{17), 18)}。図-13は、北工区、南工区、および自然海岸における2008年のアカウミガメの産卵・非産卵の状況¹⁶⁾を、上陸移動距離と地盤高さ(D.L.)で整理して示したものである。上陸移動距離は、上陸開始地点から上陸最高点までの移動距離を意味している。上陸移動距離に関しては30m程度、地盤高さに関しては3m(D.L.)程度を境に、上陸移動距離あるいは地盤高さ増すにつれ産卵割合が高

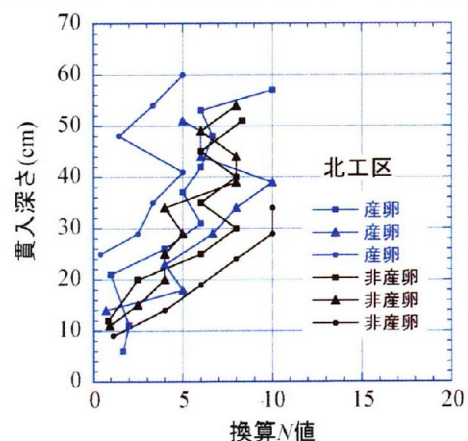


図-12 アカウミガメ産卵箇所の N 値

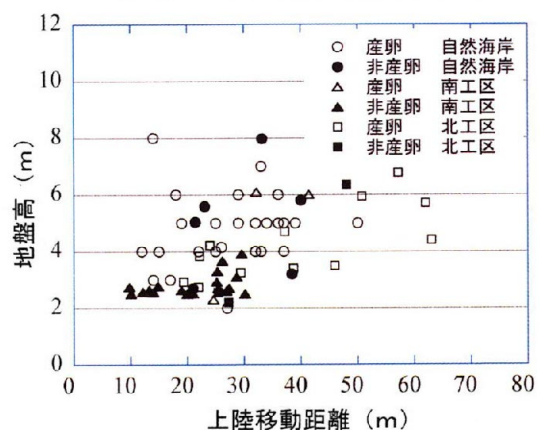


図-13 産卵場所の地盤高さとの移動距離の関係

くなる傾向が読み取れる。このことから、上陸移動距離と地盤高は、明らかにアカウミガメの産卵条件となっており、養浜盛土の硬さ程度とともに重要なパラメータと考えられる。なお、宮崎海岸の朔望平均満潮位は2.07m(D.L.)であることから、先に述べた地盤高さ3m(D.L.)は、産卵に適した地盤高さを必ずしも与える指標ではないと考えられる。

5. まとめ

本研究は、河川掘削土砂を活用した養浜海岸の土質特性とアカウミガメの上陸・産卵状況の關係に着目し、河川掘削土砂の海岸養浜への適用性を評価することを目的に実施した。本研究で得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 河川掘削土砂を養浜材料として活用した養浜盛土の天端面と自然海浜とでは、含水比と乾燥密度に明らかな特性の相違が確認された。中央粒径が海岸の底質粒径に近い土砂を選択的に活用してはいるが、自然海浜に比べて粘土やシルト等の細粒分を多く含んでいたため、それらの固化作用と施工時の重機走行により締め固められた状態になったと考えられる。同様の結果は、換算N値からも確認された。
- (2) 養浜海岸のアカウミガメの上陸・産卵を自然海岸と比較すると、上陸割合は両海岸で類似しているが、産卵割合については明確な差異が見られた。アカウミガメの産卵環境にとって、養浜盛土の法面をできるだけ緩やかな勾配で施工することが重要である。また、重機による締め固めが生じないような施工方法への配慮（盛土面の攪乱等）も重要である。その際、簡易貫入試験によるN値が比較的簡便な管理指標として用いることができる。
- (3) 河川掘削土砂を用いた養浜盛土において、アカウミガメ産卵箇所のN値の最大は10であった。この値は、自然海岸に比べて高いが、N値が10で産卵が可能であることを確認した。ただし、同じN値であっても非産卵のケースも同時に確認された。また、アカウミガメの産卵行動において、養浜土の固さとともに、地盤高さや上陸距離も重要なパラメータとなる。
- (4) 盛土材に粘土やシルト等の細粒分を多く含む場合、施工時に盛土面の攪乱をおこなっても、盛土部の硬化は時間とともに進行することが知られている¹⁰⁾。施工後のモニタリングを継続してアカウミガメの産卵環境調査を継続する必要がある。

謝辞

本研究では、宮崎野生動物研究会の中島義人氏から

文献を紹介していただくとともに、多くの有用な意見を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宇多高明, 青島元次, 山野巧, 吉岡敦, 三波俊郎, 石川仁憲: 神奈川県茅ヶ崎中海岸の事例に見る養浜の考え方, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.1057-1062, 2007.
- 2) 宇多高明, 高村光雄, 久保田隆司, 石川憲作, 三波俊郎, 石川仁憲: 神奈川県秋谷海岸の侵食機構と養浜材の条件, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.1099-1104, 2007.
- 3) 宇多高明, 石井秀雄, 阿部良, 長山英樹, 大木康弘: 神向寺海岸における礫養浜の追跡調査, 海洋開発論文集, 第 23 巻, pp.1093-1098, 2007.
- 4) 西隆一郎, Robert G. Dean, 田中龍児: わが国の養浜規模と養浜材単価に関する一考察, 海洋開発論文集, 第 21 巻, pp.355-360, 2005.
- 5) 「大淀川の歴史」編集委員会: 大淀川の歴史, 建設省九州地方整備局宮崎工事事務所, pp.412, 1998.
- 6) 吉高益男: 日向灘海岸の漂砂について, 第 25 回海岸工学講演会論文集, pp.274-278, 1978.
- 7) 吉高益男: 大淀河口付近の海底変化について, 第 18 回海岸工学講演会論文集, pp.423-429, 1971.
- 8) 国土交通省宮崎河川国道事務所: 第 1 回住吉海岸(仮称) 侵食対策検討委員会参考資料, <http://www.qsr.mlit.go.jp/miyazaki>, 2007.
- 9) 宮崎野生動物研究会編: 宮崎野生動物研究会会報(1977年度~2007年度)
- 10) Robert G. Dean: Beach nourishment Theory and Practice, *Advanced series of ocean engineering Volume 18*, World Scientific, pp.399, 2002.
- 11) Mary J. Steinits, Michel Salmon, and Jeanette Wyneken: Beach renourishment and Loggerhead turtle reproduction: A seven year study at Jupiter Island, Florida, *Journal of Coastal Research*, Vol.14, No.3, pp.1000-1013, 1998.
- 12) Richard A. Davis, Jr., Megan V. FitzGerald and James Terry: Turtle nesting on adjacent nourished beaches with different construction styles: Pinellas County, Florida, *Journal of Coastal Research*, Vol.15, No.1, pp.111-120, 1999.
- 13) 西隆一郎, 大見真治, 佐藤道郎, 宇多高明, N.C. Kraus: 海浜と砂丘の締め度に関する研究, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.681-685, 1996.
- 14) 西隆一郎, 佐藤道郎, 宇多高明, 内田洋海: 締め度向上による海浜変形制御に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp.726-730, 1999.
- 15) 宮崎県, 海岸侵食対策事業(アカウミガメ上陸実態調査)報告書, 2006, 2007.
- 16) 国土交通省九州地方整備局宮崎河川国道事務所, 海岸侵食対策事業(アカウミガメ上陸実態調査)報告書, 2008.
- 17) 渡辺国広, 清野聡子, 宇多高明: 離岸堤の建設がアカウミガメの上陸・産卵行動に与えた影響—徳島県蒲生田海岸の例—, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.1196-1200, 2001.
- 18) 渡辺国広, 清野聡子, 宇多高明: アカウミガメの産卵行動に及ぼす海岸構造物の影響評価, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.1221-1225, 2000.