

デンマークおよびスウェーデンの 海岸事情について

COASTAL GEOMORPHOLOGY, COASTAL PROTECTION,
AND MANAGEMENT IN DENMARK AND SWEDEN

西 隆一郎¹・宇多高明²・長谷川準三³・佐藤道郎⁴
Ryuichiro NISHI, Takaaki UDA, Junzo HASEGAWA and Michio SATO

¹正会員 博(工) 鹿児島大学助手 工学部海洋土木工学科 (〒890 鹿児島市郡元1丁目21-40)

²正会員 工博 建設省土木研究所部長 河川部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1丁目)

³正会員 (株) エコー 環境水理部 (〒110 東京都台東区北上野2-6-4)

⁴正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科 (〒890 鹿児島市郡元1丁目21-40)

Coastal geomorphology, coastal protection and management in Denmark and Sweden were investigated through a field study and collaboration with local researchers. Coastal management regulations and protection schemes such as the right of public access to the beach and groin system have been well established in Denmark since 1241 and early 19th century, respectively. In Sweden a few coasts are protected against waves by artificial structures and most of southern coasts are allowed to change in natural manner. In Denmark beach nourishment is preferred and becomes major coastal protection scheme in recent years. Danish experience and knowledge are useful to future activity of beach nourishment in Japan.

Key Words: Coastal geomorphology, coastal protection, management, beach nourishment, Denmark, Sweden

1. まえがき

日本の海岸法では、主に海岸保全に主眼を置いてきたために、海岸堤防(護岸)、離岸堤、緩傾斜護岸、潜堤など、固い構造物を用いて沿岸域の人名・財産を守りつつ産業活動を盛んにする手法が取られてきた。一方、今後の海岸法では、保全・環境・利用が重要なキーワードになると思われる。その中では、環境や利用面の要望を満たすために、養浜が主要な海岸保全工法の一つになると考えられる。養浜は米国やヨーロッパ(例えば、山下ら1997¹⁾, Hamm et al., 1998²⁾)で広く行われている。これら諸国の一つであるデンマークでは、年間3百万m³以上の養浜を、北海やワッデン海からの暴浪や高潮に対する主要な海岸保全工法として実施している。したがって、日本で今後養浜が増加する可能性が高い事を考えれば、デンマークの海岸事情を調査することはわが国の将来の海岸について考える上で大いに役立つと考えられる。例えば、デンマークでは、養浜を主要な海岸保全工法として採用する方針を1982年に決めながらも、従来の固い海岸保全工法が政治家レベルで好まれたために、支出費ベ

ースで養浜が固い海岸保全工法を越えたのは1988年であった。このような事情は、日本において養浜事業を今後本格的に行う場合、アカウンタビリティが如何に重要を示す上での参考にもなる。

さらに、現在の国際化社会の中では、海岸工学の研究者だけでなく、海岸技術者が東南アジアやその他の発展途上国で、ヨーロッパの技術者(社)と協力あるいは競合して海岸保全プロジェクトを行う機会が増加するはずである。その場合、個々の技術者が相手国の技術の基礎となる海岸性状や管理手法の哲学を知らなければ、技術者間のミスコミュニケーションを生む原因となる。このような観点からも、海外の旧植民地等で活発にコンサルティング活動を行うデンマークの海岸性状及び管理手法を知することは、将来的にも有益と考えられる。また、デンマークの隣国でありながら、地勢的に海岸保全や管理を行う必要性の低いスウェーデンの海岸性状について調べることも、自然海岸をそのまま残すという観点で日本の海岸管理を考える場合に参考になるはずである。そのために、スウェーデンのマルメを起点とした同国南部海岸と、デンマークでは主にユトランド半島西岸で、図-1

に示す陸・海・空路の総延長約 830 kmの海岸調査を行い、北海およびバルト海に面する北欧海岸の地形特性や海岸保全事業ならびに海岸利用状況について考察した。デンマークでは、Danish Coastal Authority (DCA)の技術者との海岸保全事業・海岸管理に関する情報交換も含んでいる。以下に、全体的な海岸保全・管理について検討し、その後、個別の特徴的な海岸地形について考察する。

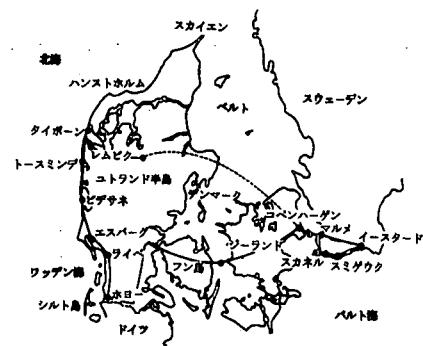


図-1 海岸調査経路

2.デンマークの海岸保全・管理の概要

国土が広くかつ人口密度が低いスウェーデンでは、背後地に余裕があり active な海岸保全を行う必然性が低い。そのために、海岸保全事業や海岸管理がほとんど行われず、自然海岸が多く残される結果となっている。スウェーデンでは今後ともこの状況がほぼ変わらないと考えられるために、本章ではデンマークの全体的な海岸保全と海岸管理について、以下に述べる。

(1) デンマーク西海岸の要約

デンマークは世界最大の島であるグリーンランド (Green Land)を除けば、ジランド(Sealand)、フン(Funen)島にユトランド(Jutland)半島を加えたおよそ 44,000 km² の国土に 500 の島を持ち、それらのうちおよそ 200 の島が有人島である。国土は、バルト海(Baltic Sea)と北海(North Sea)ならびにワッデン海(Wadden Sea)に囲まれ、ほぼ湖のようなバルト海と北海を結ぶ海岸線は、ベルト (Belt) と呼ばれる海域である。海岸の長さは約 7,300km あり、人口 520 万人で換算すると、国民一人当たり 1.4mの海岸線を持つ。海象的には、バルト海と Belt 海域は波が比較的穏やかで、海岸の侵食速度も小さい。一方、ユトランド半島西海岸は北海に面しているため波も比較的荒く、平均侵食速度も 1-2m/yr と大きい。また、平均的にはユトランド半島北部のハンストホルムから北側では北向きの、またそれより南側では南向きの沿岸漂砂が卓越している。

デンマーク西海岸は、ドイツ国境のジルト(Sild)島背後のトンダー(Tonder)から世界最大の砂嘴と言われるスカイエン(Skagen)まで広がり、通常は北ユトランド headland 海岸、中央西海岸、そしてワッデン海岸域に分けられ、それぞれ、200 km、140 km、110 kmの延長がある。これ

らのうち、海岸調査は北部の headland 海岸を除く、ゼロメートル地帯のトンダー地区のホヨー(Hojer)海岸からフィヨルド(Fjord)地形であるニソム(Nisum)湾まで行った。海岸地形的には、バリアーアイランド、砂丘、海岸低湿地、フィヨルド、氷堆丘などで特徴づけられる。天文潮位差は、ドイツ国境近くのゼロメートル地帯でも約 0.3m と小さく、北海の高波浪と時々生じる 4mを越えるような高潮が主な外力である。デンマーク西海岸の南部地域の高潮災害史は、例えば、Andersen(1998)³⁾に述べられている。また、その再帰確率を見ると、10 年に 1 回はワッデン海域で 4m以上の高潮が来襲している。

ユトランド半島中央西海岸では、侵食が激しく高潮や高波浪に対する国土保全の観点から海岸砂丘や土堤(dike)の強化が必要とされたので、砂丘前面への人工砂丘の建設と、養浜による海浜幅の拡張が活発に行われている。養浜量は年間約 3 百万m³ 以上で、そのうち約 50 万m³ が沖合 20m程度の比較的水深が深い海域から粗砂を浚渫している。海浜底質よりも粗い砂を養浜する場合には、施工業者に 5%の報奨金を支払っている。

ニソムフィヨルド(Nisum Fjord)付近の北側海岸では、モレーン (氷堆丘) の年約 2mの海食崖後退が問題となっているが、このような箇所でも積極的に養浜を行い海食崖後退の低減を現在にかけている。

デンマークの海岸保全事業全体では、突堤、海岸堤防(土堤)、人工砂丘、離岸堤の建設がこれまで行われたが、自然海岸の土砂収支を改善し連続的に海岸線を保全するために、1982 年以降ハードストラクチャーの施工を減らして、養浜を増やす試みがなされている。Lastrup and Madsen (1998)⁴⁾によれば、最近の事業費ベースでは養浜工だけが採用されている。

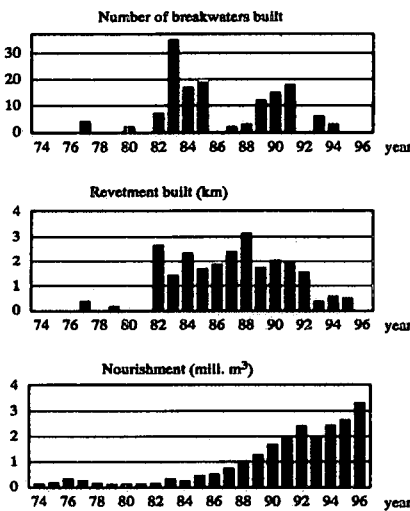


図-2 海岸保全工法の変遷(Lastrup and Madsen⁴⁾)

(2) 海岸管理

デンマークの海岸管理は、デンマーク海岸局(Danish

Coastal Authority)が受け持つ。休息用コテージなどの一般的利用は海岸線から 100m以遠に規制されていたが、近年それが 300m以遠に、そして商業用施設の建設は 3km 以遠という制限が課されている。

ワッデン海や北海に面する西海岸では、高潮により多大な被災を受けてきており、居住区域と海岸線の間にバッファゾーンを設け、異常外力が海岸に来襲しても人的被害や不動産の被害を最小に押さえるようにしている。このように経験に基づいてバッファゾーンを設けることで、必要以上に海岸線を固定化する必要性がなくなる。また、生態系にとって芳しくないハードストラクチャーを用いる必然性も小さくなる。Jakobsen(1996)⁹⁾を参考に、デンマークの海岸管理を要約すると、表-1 のようになる。

表-1 デンマークの海岸管理の流れ

1	国民の海岸（砂浜）へのアクセス権利が、Valdemar Sejr 王により Jyske（ユトランド）法として 1241 年に与えられた。
2	The Nature Preservation Act (1917)は、総てのデンマーク海岸を対象にパブリックアクセスを保証した。
3	Coast Erosion Management (CEM)では、海岸へのアクセス保証、セットバックの設定、海岸線を国の管轄下に置くことがデンマークの海岸管理の基本的な柱として制定されている。
4	海岸線から 100m内の工事や建築物を禁止（海岸保全工事だけは例外的に施工可）
5	環境省(Ministry of Environment)の 1978 年の通達では、海岸域 3 km以内での休息用ハウスやホテルの建設に対する出費の一般的停止(general stop)を求めた。
6	1991 年より強力な規則が施行され、セットバックが 100mから 300mに改正された。

3.スウェーデン南部の海岸性状

スカンジナビア半島南部を西から東にマルメからイースタードまで、約 120 kmの海岸調査を行った。南部海岸は、フェッチが比較的短く水深が浅いバルト海に面しており、太平洋の台風や、大西洋のハリケーンおよびノースイースターに相当するような高波浪が発生しにくい。そのために、低平地が続く海岸域でも港湾施設を除いて固い構造物を用いた海岸保全事業はほとんど行われていなかった。以下に、特色のある海岸地形を主に述べる。

(1) スカネル港周辺

写真-1 は、港の円弧状の岸壁周辺南側に形成された小さなバリアーアイランド状の堆積地形である。港の建設により北向きの沿岸漂砂がトラップされて生じたものである。また、海浜背後には約 4～5mの砂丘がある。写真-2 に示す砂丘・海浜ともに、細かくて淘汰の良い約 0.2mmの鳴砂で構成されている。砂丘本体は、ヨーロッパビーチグラス等で被覆されているが、所々植生が破壊され、

風による Blow out が生じている。砂丘には、海水浴時の着替え用の木製のビーチハウスが、地元自治体により設置されている。なお、海岸湿地帯を含むこの領域は、自然保護区になっているが、写真-1 に示される港の北側で海浜幅が狭くなり、背後の湿地帯への波のインパクトが危惧される状況にある。



写真-1 港から延びた砂嘴状の砂州



写真-2 砂丘前面の堆砂垣とビーチハウス

(2) スミゲウク（Smygehuk）港周辺

半島東側のスミゲウクでは、写真-3 に示すような礫海浜（shingle beach）が広がっている。この礫は氷河性堆積物の砂の部分が波浪により流出し、礫だけが残る急勾配の海浜を形成したものである。バルト海に面したこの海域では波が比較的小さいために、波浪の研磨作用によりこれらの礫が玉石状にならず、突起が多く残されている。

更に海域を東側に移動すると、海岸林近くまで海浜および砂丘が後退している海岸がある。侵食速度を概算するには、水辺に取り残されたバンカー（banker, 歩哨用の要塞）をベンチマークとして用いることができる。このバンカーはもと第 1, 2 次世界大戦時に砂丘頂部付近に設置されたものであり、類似の地形は後述するように北海海岸でも見られる。バンカーの位置と海岸林の位置から、汀線がこの数十年間に約 20m程度後退傾向にあった事が分かる。そして、その侵食速度は、概算で約 0.24～0.34m/yr となる。これはデンマーク側のバルト海沿岸で、平均侵食速度が 0.3-0.5m/yr で、沿岸漂砂量は約 7.5 万m³/yrである事と、ほぼ類似した値である。

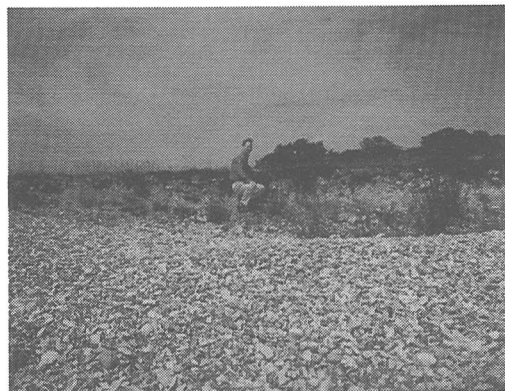


写真3 氷河性礫海浜

(3) 養浜海岸

スウェーデンでは写真4の海岸を除いて、養浜を含めた保全工事がほとんど行われていない。イースタードでは、スウェーデン最大かつ唯一の養浜であるロードラップ海岸（写真4参照）の現地踏査を行った。ここでは、幅が約100m、長さ約150mの養浜が行われ、養浜工の沖側端には土留め工として自然石が張られている。

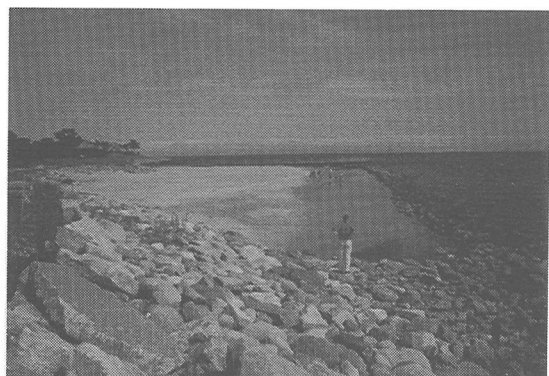


写真4 養浜海浜（東を望む）

4. デンマークの海岸性状

デンマークでは、コペンハーゲンとスウェーデンを人工半島、海底トンネル、人工島、そして3連結の連絡橋で結ぶオレスンド（Oresund Fixed Link）プロジェクト、ジールランド島とフン島とを結ぶグレートベルトリンク（Great Belt Link）プロジェクトの視察、次いで、ユトランド半島西海岸の海岸調査を行った。本文では、紙面の都合でユトランド半島西海岸の状況についてのみ述べる。

ユトランド半島中央部以南の海岸では南向きの沿岸漂砂が卓越している。そのために、バリアアイランドなどの航路保全のために掘削したり、海岸保全用に突堤を設置したりすると、漂砂下手側の南部海浜で侵食が生じる。またこの地域は、侵食が激しく平均の汀線後退速度は2m/yrに達し、沿岸漂砂量は約10万から100万m³/yrである。

この地域は既に保全事業が行われた海岸だけなので、海岸保全に関連した特徴的な事例のみを以下に取り上げる。

(1) ワッデン海岸ホヨー（Hojer）地区



写真5 新 Margrethediget 土堤

ユトランド半島南部はワッデン海に面し、旧東ドイツ領からつながる（図-1参照）。この地域は、特に海岸低平地（湿地）が広がり、高潮災害が頻発している。例えば、1362年の高潮では20万人がデンマークとドイツ沿岸域で死亡している。また、1634年には1万から1万5千人の死亡者があった（Andersen, 1998³参照）。この地域では、1910-1930年代に大型の土堤建設が行われた。土堤の破堤確率は30-50年であり、約4.4~4.6mの高潮高さに相当する。その後、1976年の高潮の結果、Hojer土堤（1861年設置）の強化が1980年に、その約1.4km前面にMargrethediget土堤（写真5）の建設が1981年に終了した。この土堤は、海側勾配1/10、陸側勾配1/5を持つ長さ85mの土堤主要部と、その前に長さ150mの緩傾斜のforelandを持ち、海側斜面が1m、陸側斜面が0.5mの粘土層で被覆され中央部にSluiceゲートが設けられている。

(2) ビデサネ Hvide Sande(White sand) 周辺海岸

リングコピングフィヨルド(Ringkobing fiord)北部のビデサネ（Hvide Sande）周辺海岸は、“白い砂”という意味から分かるように、活発な漂砂・飛砂がある。ビデサネ港周辺は、フィヨルド入り口で、北海を遮るように延びた細長い砂州を、航路確保のために途中でカットしSluiceゲートを設置してある（写真6参照）。航路埋没防止用の2本の導流堤が北海側に設置されてから、南向きの沿岸漂砂が北側の導流堤でトラップされ、南側の導流堤下手側の海浜と砂丘幅が狭まった。漂砂上手側での堆積土砂を、写真7に示すboosterで下手側の海浜に年間約20万m³、また、浚渫船を用いた10万m³の計30万m³のサンドバイパスが行われている。ここでは、試験的にshoreface養浜（沿岸砂州付近の養浜）もEUプロジェクトとして行われている。

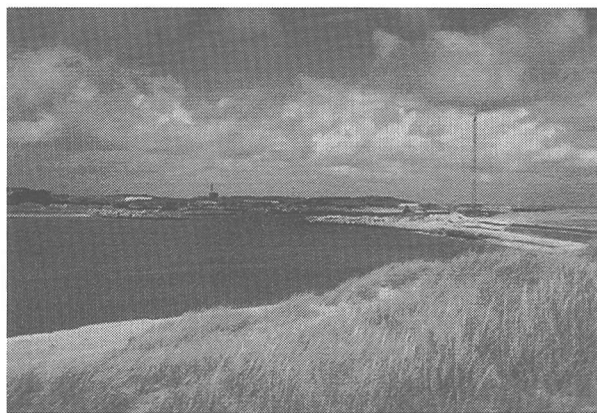


写真-6 ニソムフィヨルドへの航路



写真-8 海岸侵食対策工法

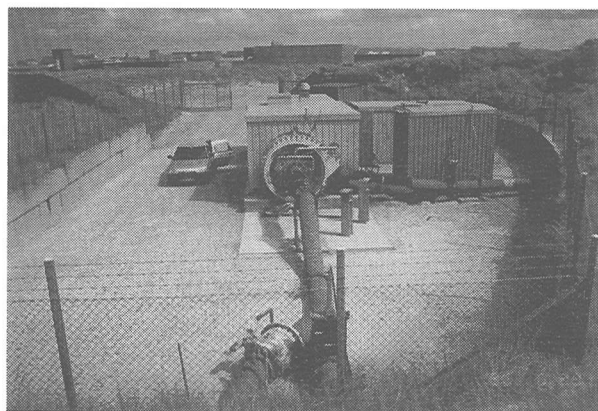


写真-7 養浜砂供給用ブースター

(3) トースミンデ (Thorsminde) バリアー

Thorsminde 海岸では、長軸が約 19 km、短軸が約 5 km の細長いニソムフィヨルドの入り口側で、南北に延びるバリアーアイランド上に設けた港および航路維持のために、約 10 万 m^3/yr の航路浚渫と、約 20 万 m^3/yr の漂砂下手側海岸へのサンドバイパス事業が行われている。また、現在工事を行っていないが、9 基以上の離岸堤も航路南側に設置してある。漂砂上手側からの沿岸漂砂の減少に伴い砂丘幅が狭まったために、高潮を伴う高波浪による breaching への抵抗力が低下し、脆弱な地域になった。このため、砂丘前面への養浜が行われている。しかし、高潮などに対しては十分な強度が確保されなかったために、人工砂丘の建設、自然砂丘列間での土堤の建設などによる高潮対策も行われている。

養浜は主に、バーム高さを一定に保つ berm 養浜と、沿岸砂州沖側斜面に砂を投入する shoreface 養浜が採用されている。写真-8 では、中央部左側に砂丘と人工砂丘、そしてその前面に berm 養浜が行われている。養浜前面の H.W.L. から下の部分には、石積突堤群が見える。砂丘部では、砂丘固定化のために、主にヨーロッパ・ビーチグラスを植え、また、飛砂対策として松の枝を用いた堆砂垣が設置されている。

(4) タイボーン (Thyboron) バリアー

1862 年に北海からの強風による波浪や高潮で、フィヨルド前面のバリアーアイランドが切れ、自然にインレットが形成されたものである。この海岸も他の海岸と同様に南向きの沿岸漂砂がインレットや漂砂上手側構造物により不連続となり、下手側で浜幅や砂丘幅が年間約 20 m 減少したために、1884 年から 1910 年までに多数の突堤群が築造され、その後、約 2 m/yr 程度の侵食速度になっていた。近年は、突堤群、離岸堤群、土堤、また、アスファルトによる土堤前面の被覆、海岸植栽工、養浜を用いた各種構造物による海岸保全が行われている。ここでは例外的に、被覆材としてアスファルトを用いた強化土堤 (写真-9) が設置された (資料⁶⁾, Sorensen et al.⁷ 参照)。この写真では、右端が土堤、そして植生が一端途切れている中央部で土堤前面をアスファルトコーティングし、それを砂で被覆し植栽工を施している箇所である。中央部には手前から写真奥側に、日本や米国では目にすることのない松枝による堆砂垣が設置してある。



写真-9 アスファルトを用いた強化土堤

写真-10 には、典型的な berm 養浜例を示す。養浜は一定のバーム高さを保ち、海側端付近で約 3 m の高さを維持している。また、写真中央部の突堤は方形のコンクリートでコアを造成し、その周りをノルウェーから輸入した

割石で被覆してある。天端高さは、通常のH.W.L.よりは若干低く、その長さは約200mである。この地域の侵食速度を推定するには、写真-11に示すバンカーが基点として使用できる。このバンカーは第2次世界大戦時に砂丘頂部背後に造られたものである。この半世紀の間に約1m/yr以上の後退速度で砂丘の後退が生じたことが分かる。



写真-10 バーム養浜工

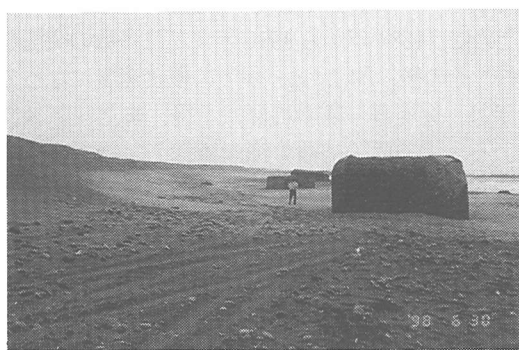


写真-11 海岸侵食の跡

5. 主要な結論

北欧のスウェーデンとデンマークの海岸地形・保全工法・管理の現地調査を行った。その結果、バルト海に面するスウェーデン南部海岸では、砂質海浜の底質が約0.2~0.4mm、また、砂丘高さは約2~5mであった。これは、飛砂の活発な北海海岸の砂丘に比べ、半分以下の高さである。調査地では、約0.2~0.3m/yr程度の侵食速度を持つが、スウェーデンでは海辺に人が余り住んでおらず、国土のほとんどが標高の高い土地であり、仮に水辺に人が住んでいても背後地に余裕があるために、海岸侵食が生じて人の方が後ろに後退する方が効率的であり、海岸保全を行う必然性が低い。したがって、この国では汀線が後退しても単なる海岸（侵食）ですみ、海岸（侵食）として問題視しなくても良い柔軟性が存在している。そのために、海岸保全事業を行うようなactiveな海岸管理を行わず、自然の状態に任せるという受動的な海岸管理

を行っている事が分かった。

デンマークの西海岸においては、年1m以上の侵食を押さえるために、1992年頃までは突堤、離岸堤を多用していたが、現在、事業費ベースではほぼ養浜工法だけを用い、年約3.3百万m³の土砂投入を行って海岸保全対策を進めている。これは広域的な海岸の保全に、ハードストラクチャーを用いて局所的に海浜を保全するのではなく、養浜によって土砂収支の連続性を確保しながら海岸保全を行う技術が、技術者だけでなく政治家や地域住民にも受け入れられた結果である。海岸管理に関しては、300mのセットバックラインを設定し、必要以上に固い構造物を海岸線に設置する必然性を減らしている。デンマークと類似した一種のCoastal Construction Line（構造物設置境界線）を設けることは米国などでも行われており、不動産の洪水保険加入時における差別化や、管理官による強制的な退去命令の執行など、日本で今後考慮されるべき海岸管理の内容を含んでいる。我が国のように至るところでコンクリートを用いた海岸の人工化が進んで行く状況はむしろ希であり、日本においても多自然型の海岸保全・管理がもっと海岸技術者および地域住民に採用されることが望まれる。

謝辞：海岸調査では、Lund UniversityのMagnus Larson助教授、およびDCAのPer Roed Jakobsen所長を初めとする技術者の方々の多大なご協力を頂いた。また、本文をまとめるにあたり、資料⁸⁾と元野(1998)⁹⁾も参考にした。ここに紙面を借りて深湛の謝意を表させていただく。

参考文献

- 1) 山下隆男, 土屋義人, D.R. Basco, M. Larson (1997): 日, 米, 欧の海岸保全の相互比較(1), 海岸工学論文集第44巻, pp.691-695.
- 2) Luc Hamm, Hans Hanson, Michele Capobianco, Hans H Dette, Antonio Lechuge, and Ruud Spanhoff (1998): Beach fills in Europe-projects, practices and objectives, Book of abstracts, 26th International Conference on Coastal Engineering, pp.334-335.
- 3) Jens Otto Andersen (1998): Flood protection in the Danish Wadden Sea area, 11p, Danish Coastal Authority 資料.
- 4) Christian Laustrop and Holger Toxvig Madsen (1998): Evaluation of the effect of 20 years of nourishment, Danish Coastal Authority 資料.
- 5) Per Roed Jakobsen (1996): Aspects of coastal zone management in Denmark, 32p.
- 6) Thyboron barriers-a masterpiece of coastal engineering (1998), 14p, Danish Coastal Authority 資料.
- 7) Torben Sorensen, Jorgen Fredsoe and Per Roed Jakobsen (1996): History of coastal engineering in Denmark, History and Heritage of Coastal Engineering, Edited by N.C. Kraus, ASCE.
- 8) ICCE98 Post-Conference Tour ガイドブック, Danish Coastal Authority, 1998.
- 9) 元野一生 (1998): デンマークの海岸保全について, 波となぎ 第138号, pp.24-26.

(1999.4.19 受付)