

海岸侵食と海浜の安定化；構造物か，養浜か？

土屋義人*・山下隆男**・泉 達 尚***

1. 緒 言

わが国の海岸侵食対策としては，従来，海岸堤防，護岸，突堤，離岸堤などを用いてきたが，最近では緩傾斜堤，リーフ工法，安定海浜工法などが適用され，海岸線の維持に努めてきた。一方，諸外国，とくにアメリカ合衆国では養浜または突堤との併用による養浜が主体である。すなわち，わが国では主として構造物による制御方式に徹底してきたが，アメリカ合衆国では養浜を主体としてきたといえよう。

本文では，まず両国の海岸侵食対策における考え方の相違について考察する。ついで，河口デルタ海岸の海岸侵食を対象として具体的に新潟海岸をとりあげ，漂砂源の欠如のほか，新潟港の浚渫土砂の投入，地盤沈下の影響に加えて，海岸侵食対策として投入されたコンクリートブロック・捨て石の年平均総量に相当する土砂量を養浜した場合を想定して，長期の汀線変化を追算した結果を示すとともに，さらに大規模な養浜をした場合と海浜変形に対する適当な境界条件を設けて海浜の安定化を図った場合とを比較する。これらの結果から，わが国の構造物主体の砂浜海岸の防護方式がよいのか，アメリカ合衆国の養浜主体の保全方式が優れているのか，大規模海浜過程における長期汀線変化と海浜の安定化の観点から評価して，海浜の安定化の方法を考察する。

2. わが国とアメリカ合衆国の工法の比較

(1) わが国の場合

河川流域の開発に伴う漂砂源の減少や海岸域での大規模構造物の築造による沿岸漂砂の遮断により著しい海岸侵食が起こり，その対策として，海岸堤防，護岸，突堤，離岸堤をはじめ，近年では，緩傾斜堤，リーフ工法などが適用され，その基本的な考え方も残された海岸線で護るということから，面的防護へと変わってきたが，やはり構造物主体であることには変わらないといえる。その結果，海岸線の維持に関しては，何とか成功したけれど

も，砂浜を残すことはできず，ブロックで覆われた人工海岸となってしまった現在，海岸環境の観点からも再検討を迫られつつあるといえよう。

(2) アメリカ合衆国の場合

一方，アメリカ合衆国では，1960年代には養浜，サンドバイパス工法が開発研究され，適用された。その後，1980年代初頭では，一時，わが国の離岸堤工法を試みた時期もあったが，再び養浜工の開発研究が活発に実施され，最近では養浜または突堤との併用による養浜が多用されている。この傾向は同国だけでなく，オランダ，デンマーク，ベルギーを始めとする欧州諸国（MAST-III，1995）でも大規模な養浜計画が実施されつつある。

養浜の基本設計は，海岸堤防の有無のそれぞれの場合における養浜された砂浜の変形予測の研究に基づいてきたが，最近では，さらに Dean (1991) による平衡海浜断面形状の存在に基礎を置くものが多い。具体的には，図-1に示す3つの基本断面の選定が可能であるとしている。とくに，Coastal Zone '93では，養浜工学として多数の研究が紹介され，その適用性が確かめられつつあるので，わが国でも，この工法の基本を学ぶべきであろう。しかし，いずれの適用例でも，対象海岸の全域における海浜過程との関係で，その安定化を図ろうとする試みはなされていない。

(3) 基本的な相違点と問題点

これらを比較すると，わが国では海岸侵食に対して構造物による制御方式に徹底してきたが，アメリカ合衆国では，養浜を主体としている。前者では，侵食がさらに進んで海浜断面は急になり，大量のブロックで覆われた海

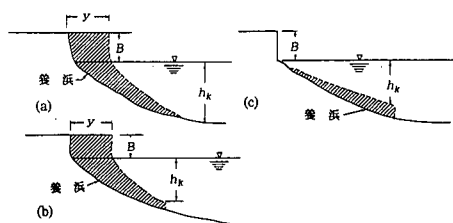


図-1 平衡海浜断面と養浜断面の3つの基本形状 (Dean, 1991)

* 正会員 工博 名城大学教授 都市情報学部
 ** 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所
 *** 正会員 新潟県新潟土木事務所長

岸(ブロックの墓場のような海岸)が残るだけで、もはや砂浜は存在しなくなったが、後者では、維持管理を怠ると、侵食は進むが、さらに養浜することにより漂砂の連続性を確保させようとするので、そこには依然として砂浜が存在することになる。敢えて言えば、これら両者の方法には、海岸侵食に対して構造物で海岸線を死守してブロックの墓場を残すか、養浜で維持管理に追われながらも砂浜を残そうとするか、そこには思想的に大きなギャップがある。

比較の観点を変えれば、わが国における方法は、海岸に海浜変形に対する多数の人工の境界条件(構造物等)を設置し過ぎたために構造物の影響が著しく、一方、アメリカ合衆国では、皆無か、極端に少ないので、養浜砂の流出が起こり、維持管理に翻弄されるといえる。さらに付け加えるならば、養浜工を普及できなかった理由として、わが国では行政的に養浜への理解が遅れ、また沿岸漁業が盛んであるために沖側の海域を養浜砂の採取場(いわゆる borrow area)とすることが困難であったことなどを挙げることができる。

これら両者の経緯からすると、いずれにせよ、海岸保全、あるいは砂浜の確保が主眼となり、どうして海浜を安定化させるかという根本的理念の追究がむしろ等閑になっていたとさえいえる。本文では、著者ら(1994, 1994)が主張してきたように、対象とする海岸の大規模海浜過程において海浜の安定化を図るべきであることを海岸侵食制御の基本原則として、これらの工法を比較検討する。

3. 新潟海岸を対象とした具体例

(1) 新潟海岸における侵食原因と計算条件

新潟海岸は信濃川の河口デルタ海岸であり、時代毎に海岸侵食の要因が起こり、著しく侵食が進んできたので、種々の対策が採られてきた。侵食原因との関係で、土砂収支の観点から計算条件を検討する。

a) 侵食原因と汀線変化 図-2に示す新潟海岸における侵食原因は、よく知られているように、1)大河津分水、関屋分水による漂砂源の減少、2)新潟港西防波堤の築造による漂砂源の欠如、3)地盤沈下による汀線の後退と海浜砂の流失として理解されるが、さらに海岸保全のために設置された各種構造物による反射波の発生による海浜断面の変化も挙げなければならないであろう。

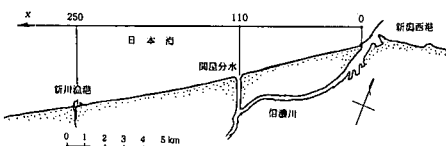


図-2 新潟海岸における海岸線と用いた座標

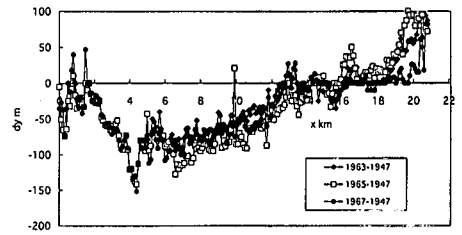


図-3 新潟海岸における汀線の時空間変化

昭和初期からの汀線の時空間変化を建設省(1991)の資料によって調べると、図-3のようになる。すなわち、昭和の初期から著しい海岸侵食が進んできたことがわかるが、前述した侵食原因の時系列的発生のみならず、実施された侵食対策とも関係して、汀線変化は複雑である。しかし、いずれの侵食原因によっても、この海岸が信濃川の河口デルタである限り、かつ海浜砂を採取しない限り、侵食に伴って生産された漂砂は沿岸漂砂の下手側に堆積しているはずである。確かに、図に示した初期の汀線変化からはこの事実を確認することができるが、土砂収支の観点からでは十分ではない。すなわち、侵食領域の方が堆積領域よりはるかに広がっているが、これは多分海底地形の変化によるのかもしれない。

b) 地盤沈下とその海岸侵食への影響 新潟海岸における地盤沈下は、よく知られているように、1958年ころから著しくなってきたが、1970年ころからは地下水の汲上げに対する規制の実施により、ようやく鈍化させることに成功したのである。地盤沈下の海岸侵食に及ぼす影響は、従来、相対的に海面上昇と同様に考えられてきた。しかし、地盤沈下により海底が沈下することになるので、それは土砂収支の観点からすれば、海底砂の流失と評価されよう。ここでは、海岸付近における地盤沈下量の時空間分布から地盤沈下の方程式を用いて海側へ外挿し、かつ海底地形の測量結果を考慮して、沈下量に相当する海浜砂が流失するとして評価した。その結果、たとえば1930年より1960年間ににおける地盤沈下による海底土砂の流失量は $686,000/30 \approx 23,000 \text{ m}^3/\text{yr}$ 程度であり、同様に地盤沈下量を用いて適当な期間毎に推定した。その範囲は信濃河河口より関屋分水地点までとする。

c) コンクリートブロックなどの投入量 昭和23年以降、海岸侵食対策として投入されたコンクリートブロック、捨て石の総量の経年変化を年平均累加投入量として示すと、図-4のようになる。ただし、便宜上、投入箇所をA, B, Cに分けて示してある。この結果によると、1955年頃より約30年間に年平均して $15,000 \text{ m}^3/\text{yr}$ に達することになり、これは当時の沿岸漂砂量の約1/2に及ぶ。

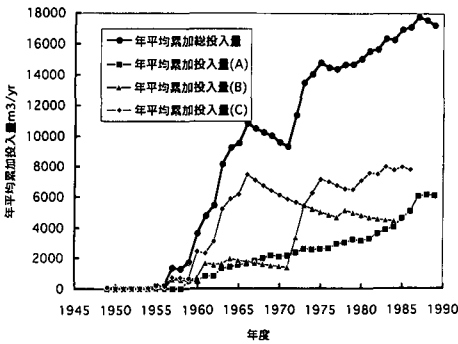


図-4 コンクリートブロックなどの年平均累加投入量の変化

d) 新潟港の浚渫土砂の海岸への投入 投入土砂量の資料によれば、1947年より現在まで、年平均500,000 m³に及ぶが、海浜砂の粒度分布から漂砂源としての有効土砂供給量を推定すると65,000 m³/yrである。

e) 汀線変化予測における養浜条件 これらの推定結果から、地盤沈下による海底土砂の流失、侵食対策のためのコンクリートブロックなどの投入、新潟港の浚渫土砂の海岸への投入に対応した養浜を実施したと仮定して汀線変化を予測するために、その養浜条件を次のように与える。1) 正の養浜：河口部からの土砂投入は1947年より65,000 m³/yrとし、さらに1972年からは関屋分水から35,000 m³/yrが漂砂源となったとする。2) 負の養浜：地盤沈下による海底土砂の流失は、関屋分水までの全域について、1930年より230,000 m³/yrとし、1960年より1965年までは292,000 m³/yr、それ以降1970年までは105,000 m³/yr、さらにそれ以降1975年までは33,000 m³/yrとする。3) 正の養浜：ブロック・捨て石の投入については、1955年より1990年まで、関屋分水地点までの範囲で15,000 m³/yrとする。さらに、4) 境界条件：新川漁港においては、その拡張を考慮して、沿岸漂砂の通過率を1960年までは90%、1970年では50%、および1980年以降では10%とする。

(2) 養浜を仮定した場合の汀線変化の予測

構造物で海岸保全する代わりに、コンクリートブロック・捨て石などの総投入量に相当する養浜をしていたとすれば、どれだけの砂浜が現在でも存在したかを追算して、比較し評価する。

a) 汀線変化の予測法と代表波浪 著者ら(1994)による汀線変化予測モデルにより計算したが、そのときの代表度波浪条件は波高3 m、周期7 sで、入射角11 degreeを仮定し、その作用時間を冬期高波浪の累加継続時間1,136 hr/yrである。また、海浜変形の限界水深を8 mと仮定し、かつ簡便のため法線形状は現状とした平行等深線の海岸として計算する。計算対象範囲は新潟西港から

新川漁港までとする。

b) 汀線変化の予測結果と考察 まず、図-5は正負の養浜条件；1) から3) までのすべてを考慮した場合の汀線変化を1903年より2000年まで計算したものである。これから、長期的には新潟西港より関屋分水地点付近までは汀線は後退するが、実際の汀線後退量と比較すれば、現状より砂浜が残っていることになる。この計算には、新潟西港の防波堤により波浪の反射効果は考慮されていないが、このことは何も考慮しない場合の汀線変化から、図-5に示した結果を差し引き、養浜効果を関屋分水地点までについて示した図-6によって明らかにされる。すなわち、新潟西港基部周辺では60 m以上に及ぶ汀線の前進を示し、関屋分水地点の中間付近までは前進傾向が現われるが、関屋分水地点($x=110$)付近では地盤沈下の影響で10 m程度の後退となる。一方、それより以西、とくに新川漁港付近では著しく汀線は前進することになるが、これはその防波堤の延長にも関係するけれども、河口デルタ海岸として堆積傾向にある範囲でもあろう。

さらに、養浜条件毎の効果についても検討したが、その概要は次のようである。地盤沈下の影響は最大6 mの

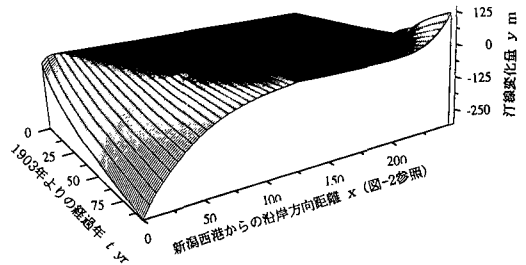


図-5 正負の養浜条件を考慮した場合の汀線の時空間変化

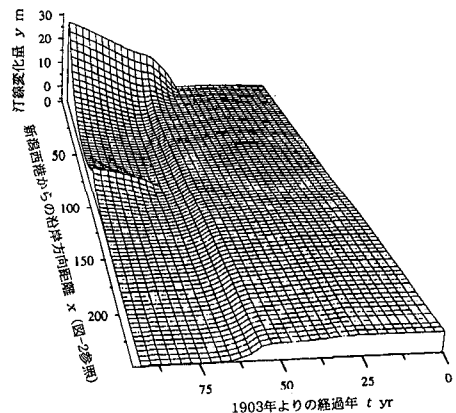


図-6 正負の養浜条件の実効果としての汀線の時空間変化

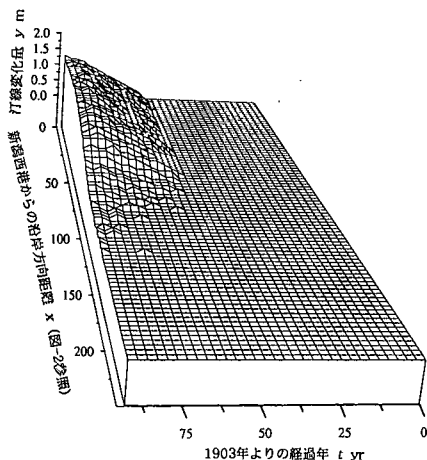


図-7 ブロック・捨て石の投入量に相当する養浜の効果

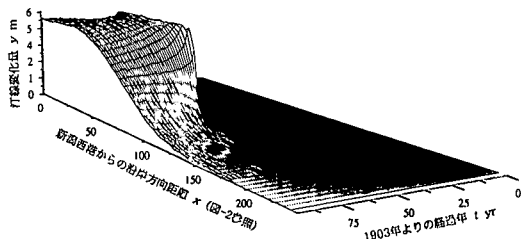


図-8 大規模な養浜を実施した場合の汀線の時空間変化

汀線の後退となるが、ほとんど全域に及ぶ。これに対し、河口部からの土砂供給は河口部を中心として汀線の前進となり、関屋分水地点まで影響する。ついで、ブロック・捨て石などの投入の影響は図-7に示すように、最大1.5 m程度汀線は前進し、関屋分水地点を超えて、その効果が現われることになる。さらに、関屋分水からの土砂供給の効果は、その周辺の汀線の前進として現われる。

以上述べた汀線変化の予測は、現象をかなり単純化して計算した結果であるので、なお実情に沿わない点が少ない。とくに、平行等深線の海岸を仮定してあるので、河口デルタ海岸としての実際の新潟海岸を十分再現できていない。しかし、海岸侵食に対して、海岸堤防、突堤、離岸堤などの構造物で海岸線を防護するより、養浜していたら、全域ではないが、少なくとも砂浜は残っていたと考えられる。そして、海岸断面はさほど急俊にはならなかったと思われる。

(3) 大規模養浜とそれに汀線変化の境界条件を設定した場合の汀線変化の予測

前述したように、コンクリートブロック・捨て石などの総投入量に相当する養浜を一度に実施した場合には、どうなるかについて計算し、大規模な養浜の効果を調べるとともに、さらに海浜変形に対する適当な境界条件を設け、対象海岸全域について海浜の安定化を図った場合についても計算して比較する。

a) 計算条件 計算方法は同様であるが、養浜条件は次のようである。1) 前述した養浜を一度に実施したと仮定する。すなわち、1960年に総養浜量2,400,000 m³を新潟西港より関屋分水地点まで一様に幅6 mで養浜したとする。2) この条件で、汀線変化の境界条件として、突堤またはヘッドランドを関屋分水地点までの中間点に1基、関屋分水地点に1基、さらに新川漁港に1基を設

置し、その規模の目安として、沿岸漂砂の通過率をそれぞれ80%、60%および10%とする。

b) 汀線変化の予測結果と考察 まず、大規模な養浜による砂浜の変化だけを図-8に示す。これは養浜で形成された砂浜の変形だけを表わしているが、実際には前述した場合と同様に汀線は著しく後退する。Deanら(1994)が示しているように、矩形状に養浜された砂浜は急激に変形していき、やがては消失することになる。いずれにせよ、養浜する限りでは、侵食原因があるはずであるから、実在する沿岸漂砂量の連続性を確保できる場合は有効であるが、養浜された砂浜が次第に痩せていき、やがてその影響が下手側に及ぶようになるであろうから、再び養浜しなければならないはずである。

では、このような大規模な養浜と同時に海浜変形に対する適当な境界条件を設けた場合には、果たして海浜の安定化が図られるであろうか。この場合注意しなければならないのは、対象とする海岸の漂砂系を十分理解したうえで、大規模海浜過程としての汀線変化において、海浜を安定化できるように、最も適切な境界条件の配置を見い出さなければならない。一例として、新潟西港から関屋分水地点の中間点、関分水地点および新川漁港の3点に突堤状の境界条件を設置したとして、それらの沿岸漂砂の通過率をそれぞれ80%、60%および10%とした場合の汀線変化の予測結果を図-9に示す。いうまでもなく、これら3つの境界条件は大規模海浜過程において最適な位置を選定したものではないが、明らかに汀線変化

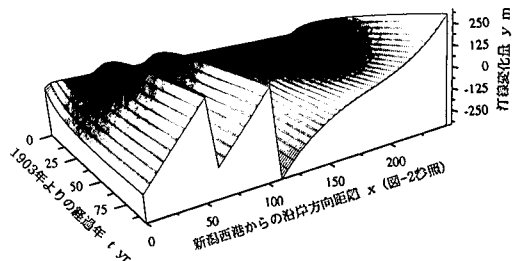


図-9 大規模な養浜において3つの境界条件を設定した場合の汀線の時空間変化

が比較的早く安定状態（本当は、動的に平衡な状態）に近づくことがわかり、養浜効果の向上が期待できると思われる。この予測結果によれば、恐らく10年未満でほぼ安定状態になるものと予測される。海浜の間隔を狭めれば狭めるほど、それらの砂浜における汀線変化は速やかに平衡状態に近づくであろうが、構造物を多用すればするほど、それらの影響が著しくなり、安定な海浜群の形成が困難になるであろう。

4. 海浜の安定化に対する考察

ここでは、河口デルタ海岸を対象として、長期的な観点から海浜の安定化をいかに図るか、その基本は何かについて考察しておく。いずれの侵食原因によっても、その結果は河口デルタの縮小過程として現われることに留意して、Tsuchiya (1994) が強調しているように、海岸全域の漂砂系において存在できる安定な海浜を形成させなければならない。具体的には、確保できる漂砂源の有無により、動的または静的に安定な海浜群を大規模海浜過程としての長期の汀線変化において形成させることになるが、その場合海岸侵食によって海浜の本来の特性が変容している多くの場合には、適当な境界条件を設置して養浜を併用しなければならない。このときには、アメリカ合衆国などでの経験を大いに活用すべきである。

5. 結 論

以上、海岸侵食に対して河口デルタ海岸を安定化させるための方法論として、わが国およびアメリカ合衆国の工法を考察し、具体的に新潟海岸を対象として長期の汀線変化の予測から比較検討したが、主な結論は次のようである。

1) これらの方法には、構造物で海岸線を死守するか、養浜で維持管理に追われながらも砂浜を残そうとするか、そこには思想的に大きなギャップがある。前者は、

海岸に海浜変形に対する人工の多数の境界条件（構造物等）を設置し過ぎたために構造物の影響が著しく、後者は皆無か、極端に少ないので、養浜を繰り返す必要がある。

2) 新潟海岸について、各種の構造物を設置した代わり養浜した場合の汀線変化を追算した結果、多少とも砂浜が残存することが示された。

3) 大規模な養浜による場合に比べて、大規模海浜過程における長期の汀線変化に対する最小限の境界条件を設置して養浜する方が海浜の安定化には有効であることがわかった。

なお、この研究は文部省科学研究費補助金基盤研究(A) (No. 07555164) および(財)新潟県建設技術センターからの奨学寄付金によって実施されたことを記して謝意を表明する。

参 考 文 献

- 建設省北陸地方建設局 (1991): 新潟海岸直轄海岸保全施設整備事業全体計画書。
- Dean, R. G. (1991): Equilibrium beach profiles; Characteristics and applications, *J. Coast. Res.*, Vol. 7, No. 1, pp. 53-84.
- Dean, R. G. and C. Yoo (1993): Predictability of beach nourishment performance, *Beach Nourishment Engineering and Management Considerations*, ASCE, pp. 86-102.
- Marine Science & Technology (MAST-III) (1995): Performance of soft beach systems and nourishment measures for European coasts, 25 p.
- Stauble, D. K. and N. C. Kraus (eds.) (1993): *Beach Nourishment Engineering and Management Considerations*, Coastal Zones '93, ASCE, 245 p.
- Tsuchiya, Y., T. Yamashita and T. Izumi (1994): Erosion control by considering large scale coastal behavior, *Proc. 24th ICCE*, ASCE, 2278-3392.
- Tsuchiya, Y. (1994): Formation of stable sandy beaches and beach erosion control: A methodology for beach erosion control using headlands and its applications, *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, Vol. 44, pp. 139-173.