

沿岸漂砂量分布図に基づく大曲海岸の侵食対策計画の評価と改善

齋藤隆宏* ・大内 渉** ・堀口敬洋***
佐々木崇雄**** ・山本幸次*****

宮城県大曲海岸において沿岸漂砂量分布図を用いて現在の侵食対策計画を評価した結果、当海岸の沿岸漂砂量は、ヘッドランド群の設置により、設置直前に比べて50~80%程度に低減されており、侵食防止効果が現れていると評価できた。しかし、沿岸漂砂上手側区間では、現状でも沿岸漂砂量の不均衡が生じており、今後も侵食の進行が予測された。そこで、今後の侵食対策計画として沿岸漂砂上手側区間に養浜工を実施した場合の効果評価を行った結果、養浜工実施地点より沿岸漂砂下手側においては砂浜の回復が可能であると予測され、将来的には侵食を防止するための養浜量を少なくすることも可能であると予測された。このように沿岸漂砂量を推定することで、海岸保全計画の将来的な見通しが立てられることがわかった。

1. はじめに

一連の漂砂系において、各種人工改変により土砂供給量の減少や沿岸漂砂の阻止などが生じた場合、沿岸漂砂量の不均衡により海岸侵食が発生する。そのような海岸における侵食対策の検討方法の一つとして、鳥居ら(2001)は沿岸漂砂量分布図を用いて評価することを提案している。そこで、本稿では、海岸侵食対策としてヘッドランドによる対策を実施中である宮城県の大曲海岸(図-1)を対象として、鳥居らの方法を参考に沿岸漂砂量分布図を用いて現在の侵食対策計画の評価を行い、今後の侵食対策計画を適切に立案できることを示すものである。

2. 大曲海岸の侵食実態と沿岸漂砂量分布

宮城県の大曲海岸は、仙台湾沿岸北部の石巻湾に位置する延長約7 kmの砂浜海岸であり、東端に石巻港、西端に鳴瀬川河口がある。当海岸は、西向きの沿岸漂砂が卓越し、石巻港の東側に位置する旧北上川からの流入土砂を主な土砂供給源として形成された海岸であるが、石巻港の建設による沿岸漂砂の遮断および遮蔽域形成に伴い著しい侵食が生じた(例えば、宇多, 1997)。この侵食を長期的な海浜変形として、1961~1989年の汀線変化量で示したものが図-2の中段である。1989年時点においては、砂浜の侵食がX=5.7 km地点まで達しているが、それより西側(州崎海岸側)では、堆積状態にあることがわかる。

図-2の下段に、1961年の海岸線形状と来襲波浪の特性をもとに、汀線変化を再現するone-lineモデルに用いた沿岸漂砂量公式により各地点での沿岸漂砂量を求め、それらを包絡して沿岸漂砂量分布として破線で示した。

なお、破線の東側境界(石巻港防波堤)地点の推定沿

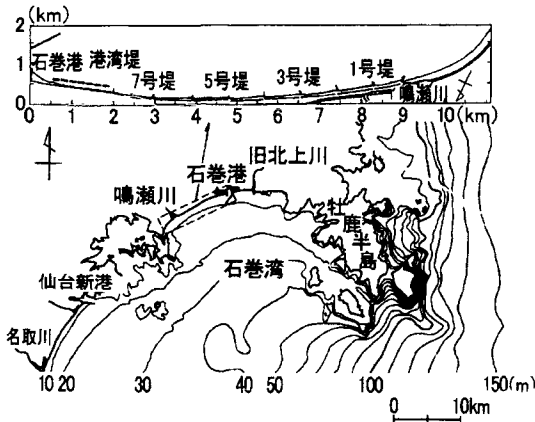


図-1 大曲海岸位置図

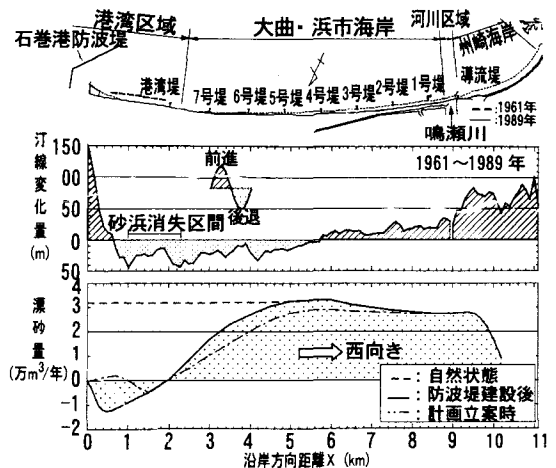


図-2 大曲海岸の侵食と沿岸漂砂量分布

* 宮城県石巻土木事務所 河川砂防班 技術主幹
** 宮城県石巻土木事務所 河川砂防班
(株)アイ・エヌ・エー海岸部 課長補佐
*** 修(工) (株)アイ・エヌ・エー海岸部
**** 正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研
***** 究部 海岸研究室 主任研究官

岸漂砂量は $Q=3.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{年}$ としている(宇多, 1997)。これによると, 防波堤建設前の自然状態では, $X=0 \sim 6 \text{ km}$ の範囲は平衡状態であり, $X=6 \sim 9 \text{ km}$ の範囲は各地点の沿岸漂砂量は東側ほど大きく, 西側に向かうに従って徐々に減少していくことがわかる。したがって, この範囲の各地点においては, 沿岸漂砂によって東側から供給される土砂量が西側へと運び去られる土砂量より多いことになり, 堆積が徐々に進む条件にあったといえる。

しかし, 1961年より始まった防波堤建設により, 東側境界における沿岸漂砂量は減少し, 防波堤が概成した1978年には, ほぼ0となり, また, 石巻港近傍では, 防波堤による遮蔽域形成に伴い, 遮蔽域外から遮蔽域内へと向かう東向きの沿岸漂砂が発生する条件となった。また, 港湾区域では, 防波堤概成後の1979~1988年の間に離岸堤が7基建設されている。このような漂砂環境場の変化に伴い, 前述した手法で求めた1961~1989年の沿岸漂砂量分布は図-2の下段の網かけ部分のようになった。したがって, 防波堤背後(遮蔽域内)では堆積となるが, その隣接域(遮蔽域外)では侵食となり, また, 大曲海岸の $X=5.7 \text{ km}$ 付近より東側の各地点では, 東側から流入する沿岸漂砂より西側に流出する沿岸漂砂量が多くなったために, 図-2の中段に示す侵食が生じることになったのである。

この沿岸漂砂量の不均衡状況が改善されない場合には, 侵食が陸側と西側に進行して, 東側境界での沿岸漂砂量(約 $0 \text{ 万 m}^3/\text{年}$)で安定する位置, すなわち防波堤(+離岸堤群)と州崎海岸西端を岬として静的に安定な形状となるまで汀線が後退することとなる。しかし, このような不均衡状態の沿岸漂砂量分布によって生じる大きな汀線変化が社会的に受認されないため, 長期的に見て均衡のとれた沿岸漂砂量分布へ改善することを目的とした侵食対策の立案・実施が必要となる。

侵食対策の手法としては, 「沿岸漂砂上手側境界に土砂を投入し, 沿岸漂砂の分布形を自然状態に戻す手法」, 「沿岸漂砂制御施設を設置し, 現状もしくは許容できる汀線位置で全域にわたり沿岸漂砂量を上手側境界の供給土砂量にする手法」が考えられるが, 当海岸においては, 侵食対策立案時にすでに砂浜が消失しており越波対策上必要な砂浜幅を確保できていない区間が存在し, また, 石巻港防波堤により沿岸漂砂が遮断されているために, 自然発生的な土砂の供給が期待できない状況であったことから, 後者の手法を基本としたヘッドランド群(港湾区域: 1基, 大曲・浜市海岸: 7基, 設置間隔: 約 1 km , 暫定堤長: 100 m)の設置+養浜工による侵食対策が立案され, 実施されてきた。

3. 現状の侵食対策の効果評価

当海岸の侵食対策として, 1990年度より開始した暫定堤(堤長 100 m , 設置間隔 1000 m)のヘッドランド群の建設は, 1998年度までに計8基の整備が完了しており, 2001年5月までに1号堤のL型ヘッド部を設置している(図-3上段)。この現況施設および海岸形状において, 過去の汀線変化を再現するように検証した汀線変化モデルにより各地点での沿岸漂砂量を求め, 沿岸方向の分布図として整理した結果を図-3(a)に示す。この図によれば, 当海岸の各地点における沿岸漂砂量は, 計画立案時に比べて50~80%程度に制御されており, ヘッドランド群を設置したことによる効果が現れていると評価できる。しかし, 港湾堤~6号堤, 5号堤~4号堤および1号堤~鳴瀬川の区間の各地点では, 東側から流入する沿岸漂砂量より西側に流出する沿岸漂砂量が多いため, 今後も侵食の進行が予測された。

特に港湾堤~6号堤の区間は, 図-3(b)に示すように, 現状で砂浜が消失もしくは非常に狭い状況となっており, 現地海岸においても高波浪時には越波が生じ, 堤防の被災を繰り返している状況にある。また, 先の沿岸漂砂量分布によると今後も自然発生的な砂浜の回復は期待できないため, 今後はさらに危険な状況になることが予測される。したがって, 当海岸の侵食対策計画の目的である「砂浜を保全することによる防護・環境・利用の向上」を満足するには, 今後の対策として養浜工の実施が必要不可欠である。

また, 5号堤~4号堤および1号堤~鳴瀬川の区間における沿岸漂砂量の不均衡は, いずれも沿岸漂砂下手側となる4号堤および鳴瀬川導流堤の沿岸漂砂の捕捉効果が低いことが原因と考えられる。したがって, 同区間の海浜を安定した環境にするには, 4号堤および鳴瀬川導流堤を改良し, 沿岸漂砂を捕捉する効果を高めるか, も

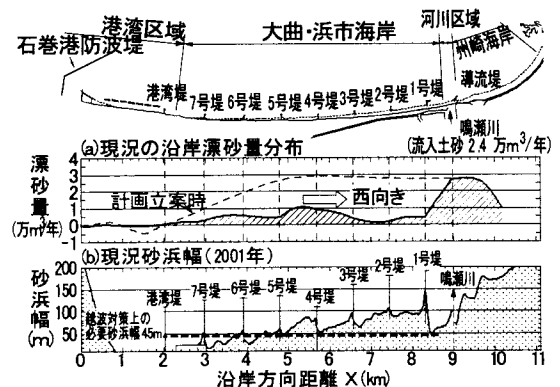


図-3 現状の沿岸漂砂量分布と砂浜幅

しくは養浜砂の投入により沿岸漂砂量を調整することが必要である。

4. 侵食対策計画の改善

(1) 1号堤～鳴瀬川の区間の対策

1号堤～鳴瀬川の区間は、鳴瀬川河口部隣接域であるため、鳴瀬川からの河川供給土砂量の影響が小さくないと考えられる(図-4(b))。また、鳴瀬川河口部では、1号堤設置と同時期の1996～2001年の6年間で約11万 m^3 (それ以前は0.3/万 m^3 年程度)の浚渫が実施されている状況もある。このように、1号堤～鳴瀬川の区間における侵食原因は、1号堤の建設、河口部での浚渫、河川からの供給土砂量の減少等、複数の原因により生じた可能性が高いが、現時点では原因を特定するまでには至っていない。

一方、当区間の侵食に対しては、地元住民から早急な対策が強く要望されており、今後も侵食がさらに進むような状況となると、手遅れとなる可能性が高いことから、当面は、緊急的・応急的な対策として消波堤を設置し、地形変化状況をモニタリングし、侵食原因を把握した上で、適正な対策について検討することとした。

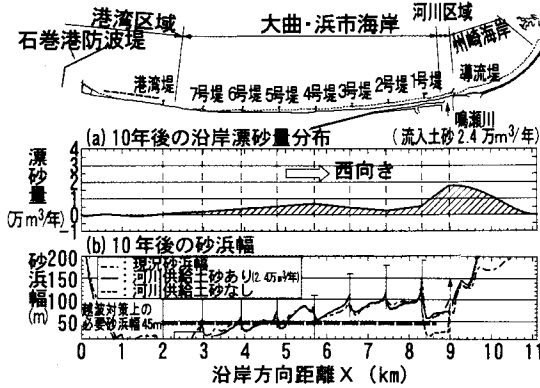


図-4 10年後のヘッドランドの沿岸漂砂量分布および砂浜幅

(2) 港湾堤～4号堤区間の対策

a) 養浜工により全区間の防護を図る場合

港湾堤～4号堤区間のうち、沿岸漂砂の最上手側に位置し、かつ現状でほとんど砂浜が消失している港湾堤～6号堤の区間において砂浜の回復を図るには、養浜工が必要不可欠である。一方、現況施設の規模では、沿岸漂砂の捕捉率は60%程度であるため、現状で養浜工を実施しても流出量が大きく、所要の砂浜幅を確保することは困難であると考えられる。したがって、港湾堤～6号堤区間に養浜工を実施する場合には、養浜砂の流出を抑止し得る対策工法との組み合わせが必要となる。ここでは、図-5に示すように、現況施設に対し、中間地点に突堤

工を追加する案(CASE-2～4)、ヘッド部を追加する案(CASE-5)、ヘッド部・突堤工を追加する案(CASE-6)を設定し、初期養浜幅を50m(初期養浜量30万 m^3)として10年後の汀線変化予測計算を行った。

各対策案の沿岸漂砂量分布図を図-6に示す。この結果によると、いずれの対策案においても効果・影響範囲は、5号堤までであるといえる。港湾堤～5号堤区間における沿岸漂砂量の最大値で各対策案の沿岸漂砂の制御効果を評価すると、現況施設において初期養浜を行うCASE-1の沿岸漂砂量に比べ、CASE-2で30%、CASE-3で50%、CASE-4で60%、CASE-5で10%、CASE-6で40%の低減効果の向上が見られる。このように沿岸漂砂の制御効果という面では、新たに施設を追加することは有効である。

一方、事業を進める上では、限られた事業費の中で、より効率良く効果を上げることが重要となる。そこでいずれの対策案も同様の効果が得られるように、沿岸漂砂の制御効果が低いものに対しては、侵食を防止するための養浜量を増やすことで対応することとし、その場合の各対策案の経済性の比較を行った。その結果、最も経済性に優れた対策工法はCASE-2となり、一方、漂砂制御効果が高かったCASE-4は、対策案の中で最も高価

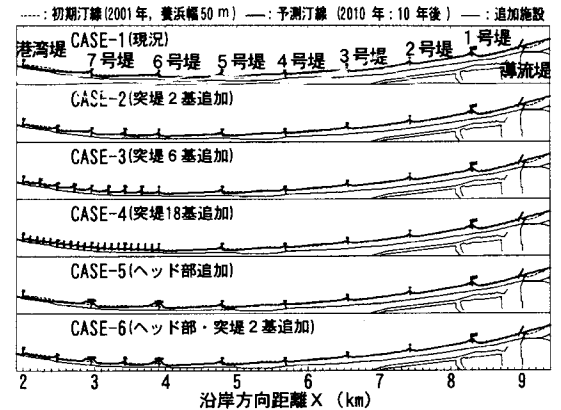


図-5 養浜を実施する場合の対策工法案(港湾堤～6号堤の区間に養浜を実施した場合)

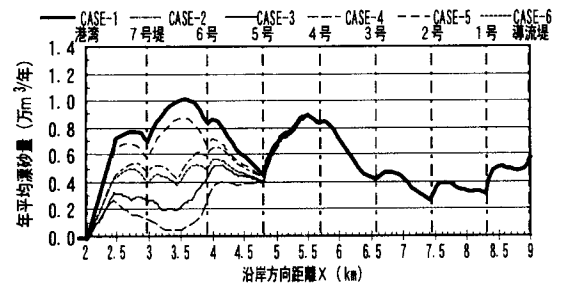


図-6 対策工法案別の沿岸漂砂量分布比較

な対策工法となった。

以上より、養浜工により全区間の防護を図る場合は、事業の効率および効果を考慮すると、CASE-2の港湾堤～6号堤の区間に突堤を2基追加し、初期養浜量30万 m^3 、侵食を防止するための養浜量1.5万 m^3 /年の対策案が最も有効となる結果となった。

b) 養浜砂の確保を考慮した現実的な計画への修正

大曲海岸では、先に示した対策 (CASE-2) を実施することにより、砂浜の回復を図ることができると考えられた。しかしながら、初期養浜量として30万 m^3 必要であり、その量を短期間に確保することが困難であることが想定された。一方で、港湾堤～6号堤区間は、砂浜の消失に伴い、台風時期には越波および被災を繰り返している状況であったことから、早急に堤防および背後の被災防止対策を実施する必要がある、養浜工の早期実施が困難な場合には、堤防の前面に砂浜の代替施設として、消波工を設置する対策を選択せざるを得ない状況となった。

そこで、養浜工の有無による対策工法の選定方法として、図-7に示す6タイプの対策案について検討を行った。これは、CASE-2の対策案を基本として、養浜工の代替対策として沿岸漂砂上手側から消波工を設置した複合案である。

各対策工法の事業経過年に対する防護達成度 (越波防止区間延長/全延長) を評価したものを図-8に示す。こ

の結果によると、消波工が施工延長の大半を占める type-4～type-6 は、消波工の設置が完了した分だけ越波に対する防護が達成されていくため、短期間で効果が現れる状況となっている。一方で、養浜工を主体とした type-1～type-3 では、限られた事業費の中での養浜砂の投入となるため、所要の養浜砂投入完了までに複数年を要することとなり、防護に対する効果が現れるまでにある程度時間を必要とする結果となっている。

これらから、当区間における対策工法は、事業の効率・効果、養浜砂の確保・施工性等を考慮して type-4 の施設配置案を基本案として選定した。

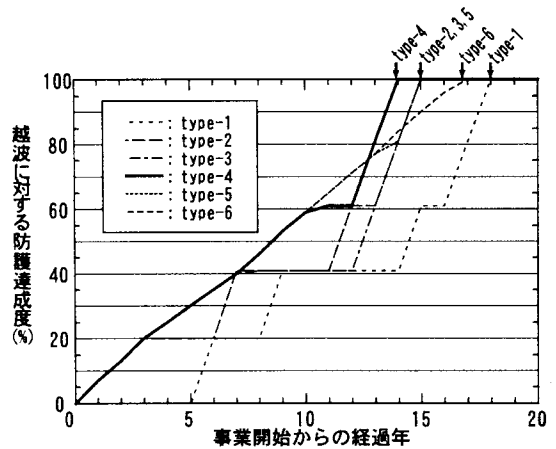


図-8 対策工法別の事業経過年に対する防護達成度



図-7 対策工法の平面配置案 (港湾堤～5号堤の区間)

5. 養浜砂の投入量および投入地点の照査

港湾堤～6号堤の区間において選定された対策工法 (type-4) の概要は、7号堤と6号堤の中間地点より西側の区間は、養浜工 (初期養浜3万 m^3 、侵食を防止するための養浜1万 m^3 /年) により所要砂浜幅を確保し、砂浜により防護を図り、それより港湾堤側では、砂浜の代替施設として消波工を設置し、防護を図るというものである。

ここでは、汀線変化予測計算において、実際に養浜工を投入して、養浜砂の投入地点・投入量および養浜砂の流出防止を目的とした新規突堤の必要性について検討を行った。

養浜案1は、7号堤と6号堤の中間地点に新規突堤を設置し、養浜工を新規突堤～6号堤の区間とした。計算結果を図-9に示す。この結果によると、新規突堤～1号堤の範囲では、6号堤および5号堤の下手側 (西側) で若干満足しない区間が見られるが、当初想定した養浜工を実施することにより、砂浜による海岸保全が可能であると判断された。

養浜案2では、新規突堤を設置せずに、養浜工のみにより保全を図ることが可能かどうかの検討を行った。なお、養浜砂の投入地点としては、初期養浜は、養浜案1と同様の区間としたが、侵食を防止するための養浜は、7号堤近傍とした。計算結果を図-10に示す。この結果によると、養浜案1と同様な効果が期待できる結果となり、養浜工のみにより保全が可能であると判断された。



図-9 養浜案1の予測計算結果(砂浜幅・漂砂量の沿岸分布)



図-10 養浜案2の予測計算結果(砂浜幅・漂砂量の沿岸分布)

以上の結果より、養浜案2の適用性が高いと判断された。また、沿岸漂砂量分布の経年変化を見ると、将来的には養浜量を少なくすることも可能であると考えられた。

6. おわりに

宮城県大曲海岸において沿岸漂砂量分布図を用いて現在の侵食対策計画を評価した結果の要約を以下に示す。

- ・当海岸の沿岸漂砂量は、ヘッドランド群を設置したことにより、設置直前に比べて50～80%程度に低減されており、侵食防止効果が現れていると評価できた。
- ・しかし、港湾堤～4号堤区間では、現状でも沿岸漂砂量の不均衡が生じており、今後も侵食の進行が予測された。
- ・今後の侵食対策計画として、7～6号堤区間に初期養浜3万 m^3 、侵食を防ぐための養浜1万 m^3 /年を投入した場合の効果評価を行った結果、養浜工実施地点より西側においては砂浜の回復が可能であると予測され、将来的には養浜量を少なくすることも可能であると考えられた。
- ・このように沿岸漂砂量を推定することで、海岸保全計画の将来的な見通しが立てられることがわかった。

最後に、今後の課題を以下に示す。

- ・養浜工計画を施工に移すために、現地海岸および養浜砂の底質特性を考慮した養浜砂の供給源(量・場所)をどうするかといった現地データを反映した実施計画の検討が不可欠である。
- ・今後は、それら検討を進め、試験施工とモニタリング調査を実施し、その結果を本計画に反映し、より効果的・効率的な対策となるよう適宜計画を見直していく必要があると考えられる。
- ・また、1号堤～鳴瀬川区間の侵食原因の検討が挙げられる。この区間は、河川区域を含み、背後には漁港が存在し、また河口部では最近浚渫が行われているなど、関係機関との調整および協力体制が必要不可欠である。

参考文献

- 宇多高明(1997)：「日本の海岸侵食」，山海堂，pp. 34-38。
 佐藤慎司・山本幸次・和田一範・伊澤武仁・大谷靖郎・橋本新(1998)：大曲海岸におけるヘッドランド周辺の漂砂観測と海浜変形予測，海岸工学論文集，第45巻，pp. 556-560。
 鳥居謙一・山本幸次・高木利光(2001)：沿岸漂砂量分布を活用した侵食対策計画の評価法の提案，海岸工学論文集，第48巻，pp. 1376-1380。
 望月倫也・宇多高明・大瀬光男・大谷靖郎(1990)：仙台湾北部の海浜変形の実態，海岸工学論文集，第37巻，pp. 369-373。