

新潟県柏崎地区海岸の海浜特性と養浜砂の移動状況

Beach characteristics and Sand fill movement of the Kashiwazaki beach.

石川仁憲*・嶋田 宏*・古池 鋼**・三波 俊郎**・芹沢 真澄***

Toshinori Ishikawa, Hiroshi Shimada, Kou Furuike, Toshiro San-nami and Masumi Serizawa

Beach characteristics and Sand fill movement of the Kashiwazaki beach were investigated by using aerial photographs, topographic chart and beach profile chart as well as field observation of the coastline. We proposed the best beach conservation plan for the beach face front of the step-type revetment at the joint of groin A.

Keywords : pocket beach, sand fill, sand transport

1. まえがき

新潟県柏崎地区海岸は、図-1 に示すように柏崎港の北東側に隣接する海岸で、鵜川の導流堤を兼ねた突堤(以下 B 突堤)と、建設海岸(荒浜地区海岸)からの漂砂の流入を防止するための突堤(以下 A 突堤)によって囲まれたポケットビーチである。当海岸の沖合には冬期風浪による W~NW 方向からの卓越入射波(図-2 参照)を遮蔽するように、柏崎港の西防波堤が伸ばされている。この西防波堤によって遮蔽域内に位置する当海岸は、外洋に面した海岸より水域の静穏度が高いため、夏は海水浴、年間を通じてはウインドサーフィン、ディンギー、ヨットなど広く多くの人に親しまれている。また、その海浜形状は、A 突堤基部は階段護岸前面に前浜がなく、基礎捨石が露出しており、西側にかけて海岸線がフック状に立ち上がって浜幅が広がっている。この形状は A 突堤の北東側(以下上手側)の中央海水浴場でもみられ、原因としては西防波堤の遮蔽効果による上手側から遮蔽域内への沿岸漂砂による影響が考えられ、その機構については宇多ら(1993)が明らかにしている。

この海岸では階段護岸の保護および砂浜利用を考えると、A 突堤基部にある程度の浜幅が必要とされる。そのため、過去 2 回にわたって養浜が行われてきた。西防波堤の先端部および B 突堤が未完成である 1993 年 10 月に行われた 1 回目の養浜では、A 突堤の基部に浜幅が約 30m となるよう 11,600m³の砂を投入したが、冬季風浪により A 突堤基部付近の延長約 100m の範囲で階段護岸前面の養浜汀線が後退し、階段護岸の洗掘が懸念された。西防波堤と B 突堤が完成した 3 年後の 1996 年 9 月にも同様に A 突堤基部に約 5800m³の砂を投入したが、基部付近には期待するほどの砂浜は確保されず、現在も基部は常時波に洗われている。

このような経緯から、養浜は効果がないと考えられており、遮蔽域を作りだす構造物を A 突堤に新たに設置することで突堤基部に砂を堆積させようとする方法が対策として考えられていた。

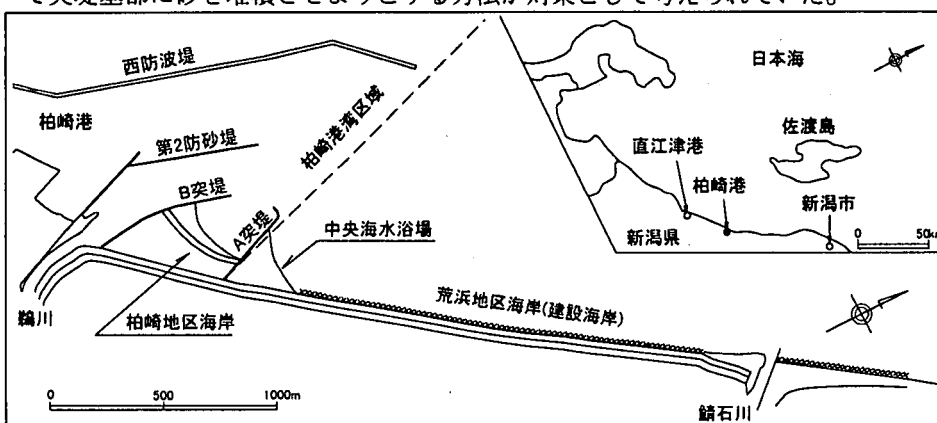


図-1 検討海岸:新潟県柏崎地区海岸

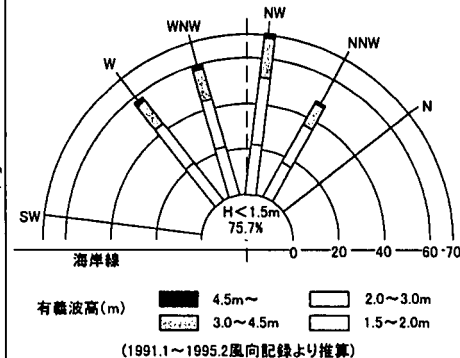


図-2 波高別波向特性

2. 研究方法

本研究は、特に 2 回目の養浜が行われた 1996 年から 1997 年までの 2 年間の海浜変形を中心に、現地踏査、空中写真の判読、深浅測量および横断測量データの分析より養浜砂の移動状況を解析し、海浜特性を明らかにする。また、数値計算によって汀線変化の予測を行い、最適案の提案を行う。

* 正会員 パシフィックコンサルタンツ(株)総合技術本部 港湾部(〒206 東京都多摩市関戸 1-7-5)

** 海岸研究室(有)

*** 正会員 海岸研究室(有)

3. 現地踏査からの考察

1997年7月に現地海岸の踏査を鯖石川から柏崎地区海岸にかけて行った。以下にその際の写真をもとに考察を加える。

写真-1は当海岸の北東側に隣接する荒浜地区海岸であり、中央海水浴場から鯖石川方向を望んだものである。写真手前から奥にかけての護岸前面の消波ブロックは、中央海水浴場から鯖石川まで約1.9kmにわたって設置されている。

写真-2は中央海水浴場をA突堤の中央付近より望んだものである。この広い砂浜は、西防波堤の遮蔽域外から遮蔽域内に向かう沿岸漂砂によって運び込まれた土砂が、A突堤に阻止されて堆積することによって形成された。

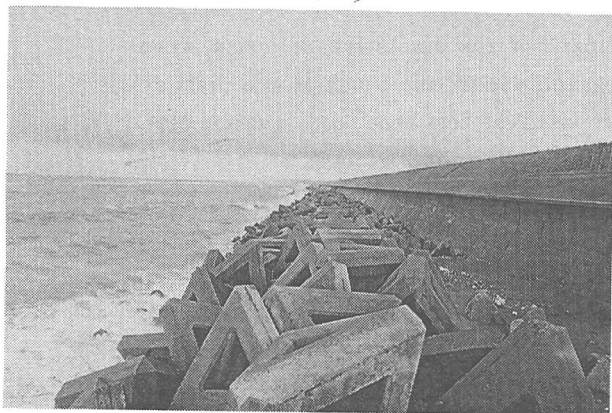


写真-1 護岸前面の消波ブロック群

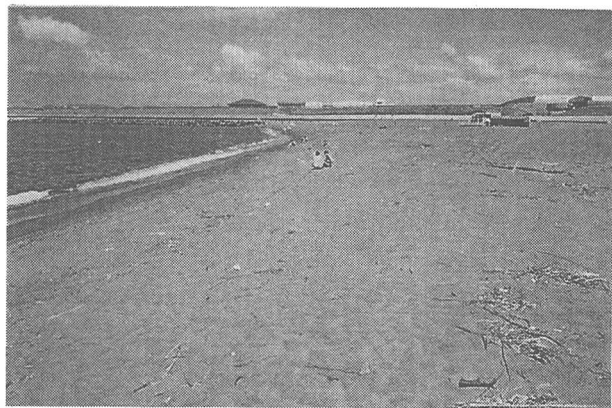


写真-2 A突堤より中央海水浴場を望む

写真-3はA突堤上手側(写真左側)の汀線が突堤と当たる位置より岸側を見たものである。突堤上手側から突堤の天端を越えて土砂があふれるように堆積している。天端上の土砂は突堤内側の階段護岸を経て水際の柵近くまで及んでいることから、突堤内側の水域に流入していると推察される。

写真-4はA突堤先端である。突堤の屈曲部の内側に小規模な砂浜がみられる。現在突堤先端付近はかなり浅くなっており、突堤先端からの回折波の伴う沿岸漂砂によって運ばれた砂が隅角部に堆積したと思われる。砂質は細砂であり、表面には砂鉄分が多く見られた。



写真-3 A突堤天端上の土砂の堆積状況

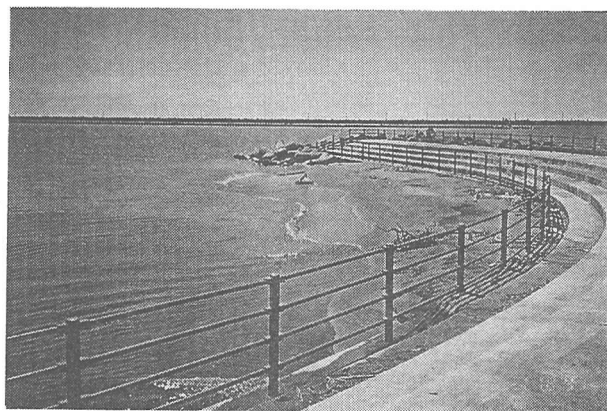


写真-4 A突堤の屈曲部

写真-5はA突堤基部よりB突堤方向を望むものである。A突堤基部には少量の土砂が現地踏査直前に投入されている。しかし、この突堤基部には小規模な浜崖が形成されており、その比高はB突堤(写真奥)の方に行くにつれて小さくなり、やがてなくなっている。これより浜崖形成時に削られた土砂は沿岸漂砂によりB突堤方向に運び去られたと考えられ、この区間での汀線前進にはあまり寄与していないと思われる。

4. 空中写真の判読

ここでは対象区域周辺を撮影した近年の空中写真を用いて、ポケットビーチ周辺の地形変化について調べる。写真-6は、1992年、1995年、1996年撮影の空中写真である。写真にはA突堤、B突堤および鶴川河口を挟んで第2防砂堤がみられる。写真には写っていないがこれらの沖側には柏崎港西防波堤が北



写真-5 A突堤基部よりB突堤方向を望む

東方向へ伸びており、写真の範囲全体がこの防波堤による波の遮蔽域内に入っている。また、1996年の写真中に1992年、1995年の汀線位置を示す。

1992年では、第2防砂堤～A突堤とA突堤上手側に三角形の広い砂浜がみられる。これらの大量の土砂は、柏崎港西防波堤の延伸によって波の遮蔽域が形成され、遮蔽域外(北東側の建設海岸)から遮蔽域内へと向かう南西向きの沿岸漂砂が生じたために堆積したものである。この土砂堆積と引き換えに、写真の右端から北東方向に位置する鯖石川河口までの1.9kmの間では侵食のために前浜が完全に消失し、写真-1のような消波工に被われた海岸となった。遮蔽域内への流入土砂量は、宇多ら(1993)によれば1992年までの年平均で $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ である。写真では第2防砂堤内側で、上記の流入土砂のために生じた砂嘴の先端が鵜川河口を塞いでおり、砂嘴先端内側の河道内でも水深が浅くなっている状況がわかる。A突堤は砂嘴形成後に伸ばされたため、この時点で北東側から遮蔽域内へ運ばれる土砂の多くはA突堤によって阻止されている。B突堤は建設途中である。

1995年では、B突堤が完成し構造物の配置は現在と同じである。ポケットビーチ内では階段護岸と養浜の施工が行われたため、汀線が約40mほぼ平行に前進している。一方A突堤上手側の堆砂域である中央海水浴場では、汀線が突堤に当たる位置が明らかに沖側に移動しており、突堤に沿って約90m前進している。堆砂した砂浜面積は約 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^2$ であり、1年当たり $0.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ である。ここで漂砂の移動高 D_s を、宇多(1997)より波による地形変化の限界水深 h_c に等しいとみなして、後述の深淺図による地形変化の実態から $h_c \approx 7\text{m}$ と仮定して、 $D_s \approx 7\text{m}$ とすれば、年間の沿岸漂砂量は約 $0.6 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ となり上記の宇多ら(1993)による値と同じオーダーとなる。すなわち北東側から遮蔽域内へ向かう土砂移動は、この時点でも1992年以前とほぼ同じ規模で進行中であることを示している。一方、鵜川河口部では浚渫のため1992年時点にあった土砂が浚渫され、河道部が深くなっている。

1996年では、ポケットビーチ内の汀線は1995年と比較してほとんど変化していない。土砂の流入・流出がほとんどなく、波の入射方向が遮蔽域内にあって安定しているためであると考えられる。一方、A突堤上手側の中央海水浴場では堆砂がさらに進行しており、1992年と比較すると汀線は突堤に沿って120m程度前進している。

5. 深淺図の比較

新潟県柏崎地区海岸では年に2回深淺測量が行われている。長期変化として1992年～1997年、短期変化として1997年3月～1997年10月を取り上げ、海底地形の相互比較をおこなった。それぞれの深淺図を図-3に示す。

1) 長期変化(1992～1997)

宇多ら(1993)が示しているように1992年では、防波堤による波の遮蔽域で、土砂の堆積により等深線が大きく沖方向に突出している状況がわかる。等深線は逆に北東方向へ向かうにつれて急激に岸側へ湾入し、遮蔽域外の海岸部では侵食によって護岸前面が急深となっている。また、第2防砂堤からA突堤先端付近の水深は-4～-5m程度である。

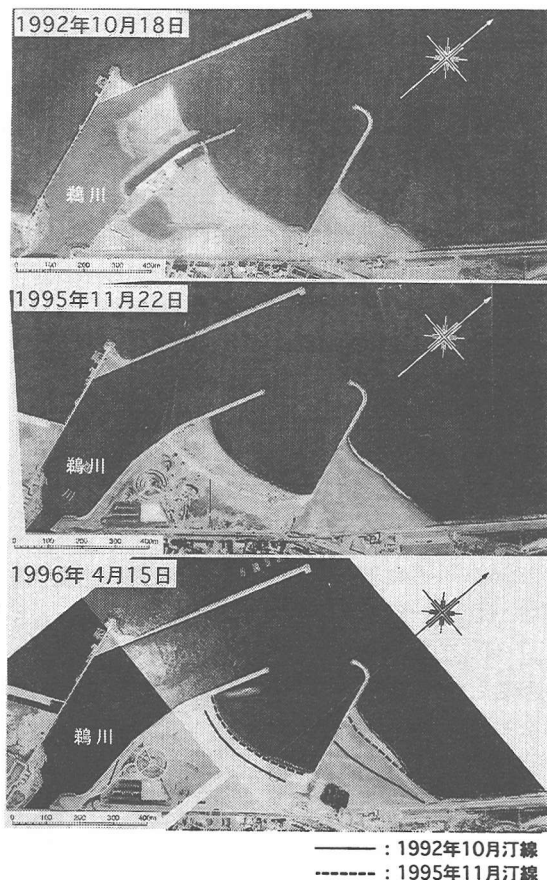


写真-6 空中写真の比較

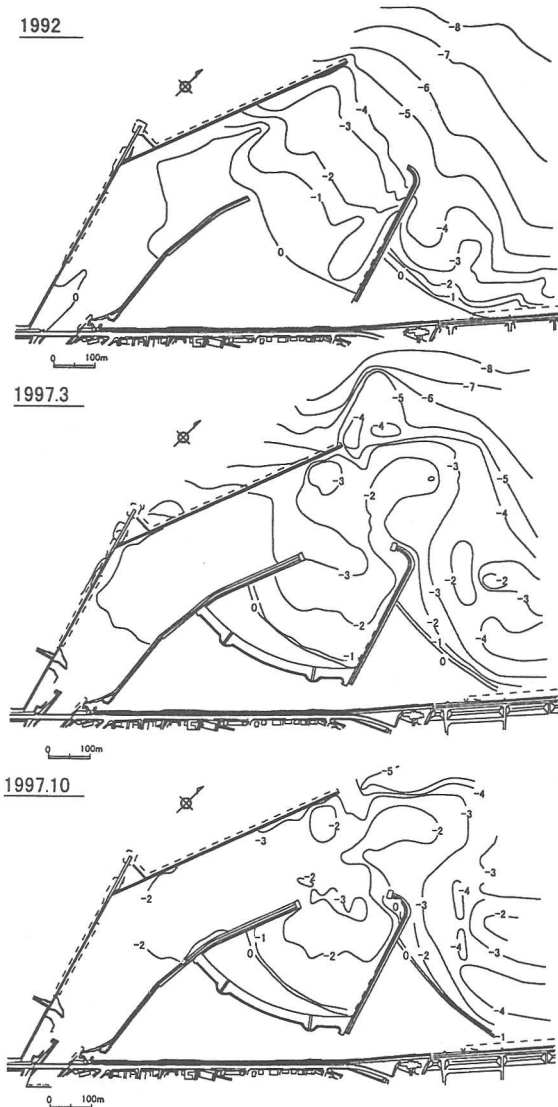


図-3 等深線図の比較

1997 年については、1992 年と比較すると、第 2 防砂堤から A 突堤先端沖側で-7m 以浅の等深線が大きく沖へ張り出してテラス上になくなっており、特に-5m の等深線は第 2 防砂堤を越えて航路へ突出している。また、-3m~-4m の等深線は 1992 年では A 突堤を境に切られていたのが、1997 年では A 突堤の沖側を大きく回り込んでいる。これより、A 突堤は遮蔽域内へ流入する土砂を阻止する面では、あまり機能していないことがわかる。さらに、この A 突堤先端付近の水深は-2m と非常に浅くなっており、一部の土砂は先端の屈曲部を越えて突堤内側へ回り込んでいると考えられる。

2) 短期変化(1997.3~1997.10)

1997 年 3 月と 1997 年 10 月を比較すると、水深の大きな変化は見られないが、A 突堤上手側の中央海水浴場の汀線は突堤に沿って 15m 程度前進している。さらに、A 突堤先端屈曲部の内側では水深 0m~1m と浅くなっており、遮蔽域外からの漂砂による流入土砂の堆積が著しい。また、B 突堤と第 2 防砂堤に挟まれた海域で、-3m の等深線が第 2 防砂堤先端付近へ移動していることについては、河口からの土砂の流出も考えられるが、前述した中央海水浴場の汀線の変化状況や A 突堤先端屈曲部の土砂の堆積状況から、主に A 突堤上手側の建設海岸からの流入土砂によるものであるといえる。このような状況は今後も進行していくと考えられる。

6. 養浜後の汀線変化

1996 年 9 月に新潟県柏崎土木事務所によって A 突堤基部の保護のため図-4 に示す養浜区間に約 5800m³ の土砂の投入が行われた。図-4 はこの間の横断測量結果による汀線変化平面図を示す。養浜 1 ヶ月後の 1996 年 10 月の汀線を見ると養浜区間では養浜により汀線が前進しているのがわかる。しかし、養浜半年後の 1997 年 3 月には養浜区間の汀線は後退してもとの汀線形状と同じ形状に変化し、突堤基部は再び階段護岸が波に洗われる状態となった。この変化を詳しくみるために養浜前の 1996 年 3 月を基準とした汀線変化を図-5 に示す。ここで 1996 年 3 月の No.12 (A 突堤の基部) は階段護岸の前面に前浜がないため、護岸がないと仮定した時の仮想の汀線位置をもちいた。これには、横断測量結果より護岸前面の海底勾配を陸側に延伸した線と平均潮位面が交わる点を仮想の汀線位置とした。また、汀線変化量は測線方向ではなく汀線に垂直に立てた法線方向のものに補正した。この図より、養浜 1 ヶ月後 (1996 年 10 月) には確かに養浜区間の汀線が大きく前進しているが、半年後 (1997 年 3 月) には後退する一方、養浜区域外の B 突堤にかけての汀線が前進している。しかもこの時の汀線の前進域と後退域の面積はほぼ等しい。これは、部分的に投入された養浜砂が沿岸漂砂によってうすく広く海岸線全体にひろがったことを意味している。結果として海岸線は、汀線全体がほぼ均一に前進し、その後の汀線形状は小規模な変化はあるものの安定している。なお、汀線の平均前進量は半年後で 5.7m、1 年後で 5.9m である。また、図-6 に示す各測線の海浜縦断面変化図から見て全体にわたって堆積傾向にあることがわかる。なお、測線 No.12 については、本来堆積されるはずの土砂が護岸によって代替えされていると考えられる。

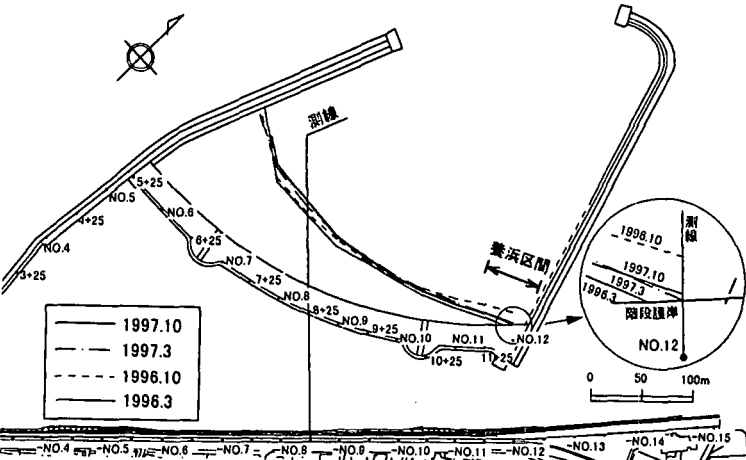


図-4 汀線変化平面図

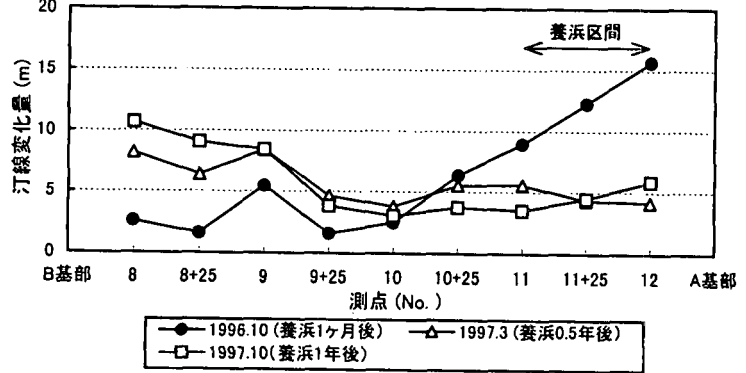


図-5 養浜後の汀線変化(初期汀線: 1996.3)

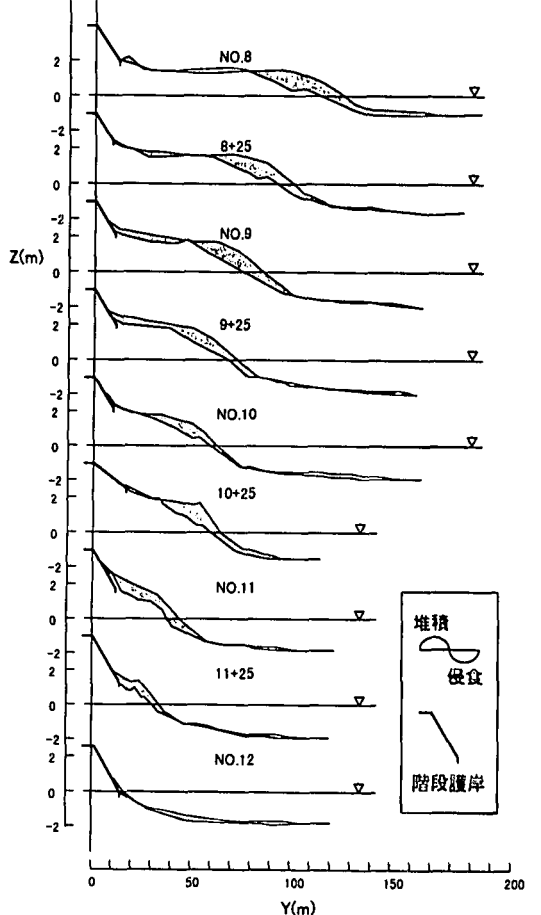


図-6 海浜縦断面変化(1996.3-1997.3)

7. 養浜後の海浜土砂量の変化

図-7 に養浜前後の横断測量結果から算出した当海岸全体の海浜土砂量の変化を示す。養浜1ヶ月後(1996年10月)には養浜土砂の投入量に相当する分、土砂量は大きく増大し、以後は、緩やかに増加している。先の汀線変化図で見たように沿岸漂砂による移動はあっても、海岸全体としては投入した土砂は減少することなく当ビーチ内で安定していることがわかる。また、養浜後に土砂量が漸増しているのは建設海岸からの土砂の流入によるものと考えられる。

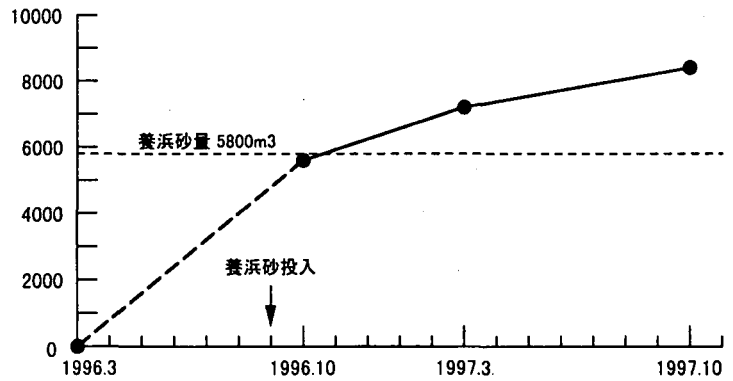


図-7 養浜後の海浜土砂量の変化

次にこの結果を用いて漂砂の移動高 D_s を算出する。一般に移動高 D_s は海浜断面積の変化量と汀線変化量の比として定義されるが、これはポケットビーチ全体で見ると海浜全体の土砂変化量と砂浜面積変化量の比率に置き換えられる。そこで、ここでは次式で計算する。

$$D_s = \Delta V / (\Delta x \cdot L) \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

ここに L : 海岸線長、 ΔV : 海浜全体の土砂変化量、 Δx : 平均汀線変化量である。

この式に $L=350\text{m}$ 、養浜1年後の1997年3月の値として $\Delta V=7200\text{m}^3$ 、 $\Delta x=5.7\text{m}$ を入れると $D_s=3.6\text{m}$ となる。

8. 数値計算による検証

以上の検討結果より、投入土砂はビーチ内にとどまり養浜前の汀線形状を保ちつつ海岸線全体が前進している。そこで、A突堤側の海岸端部の浜幅を確保するためには、現汀線全体をそのまま前出しするように養浜すれば良いと考えられる。ここではその場合の海浜安定性を確かめるために磯部の放物型波動方程式モデル、小笹・ブランプトン型の沿岸漂砂量公式をもちいた汀線変化モデルによる数値計算によって検証を行った。

図-8 に波浪場の計算結果を示す。これより西防波堤からの回折波は、A突堤先端沖側に対して斜め右から入射しており、A突堤先端付近から沖へ大きく張り出している浅瀬によってポケットビーチの開口部に集中している。突堤内の水域では、左右の突堤の先端で回折した波がビーチの両端部に向かって様子、ビーチの両端部がそれらによる波の遮蔽により静穏化されている様子がわかり、左側が相対的に静穏となっている。

図-9 に汀線変化計算結果を示す。なお、計算は前出し量を10mとし、汀線変化が収束するまで波を作用し続けた。これより、汀線変化はほとんどなく安定している。

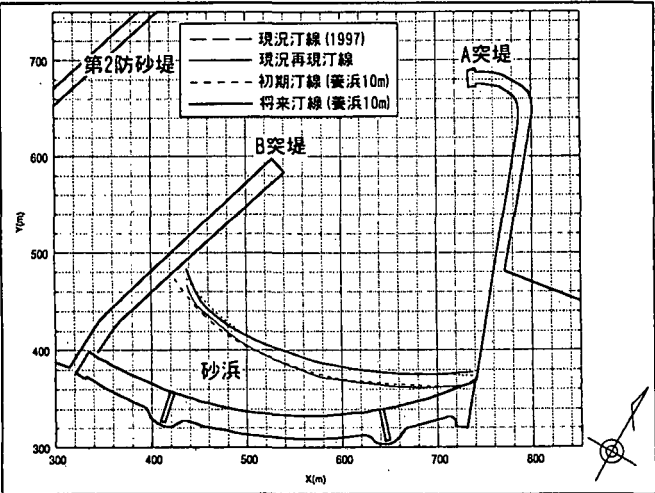


図-9 汀線変化計算結果

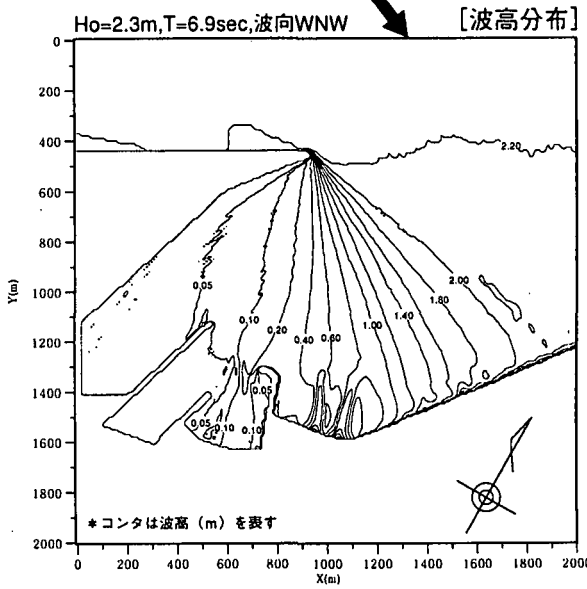
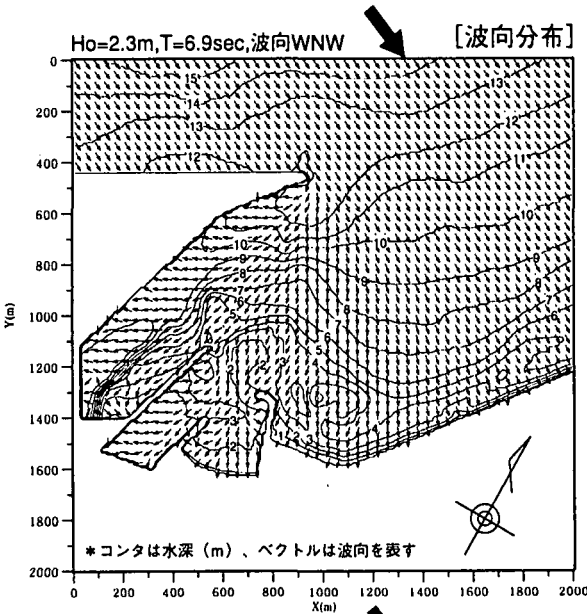


図-8 波向・波高の平面分布

9. ポケットビーチにおける養浜の留意事項

以上の検討結果より、当海岸のような両端部を突堤で仕切られたポケットビーチに養浜する場合の留意点を、概念図として図-10に示す。

いま図の実線 a-b で示すように海岸右端部の護岸前面の前浜が乏しい初期汀線を、養浜によって汀線位置を c 点まで前進させたい場合を考える。そこでまず図の c-d-f のように局所的に養浜したとする。しかし、ポケットビーチではもとの汀線形状にもどろうとする作用が働くため、養浜土砂はただちに矢印に示すような沿岸漂砂となって養浜区域外に運ばれ、海岸線全体にばらまかれる。そして汀線は破線 e-f で示すようにもとの汀線形状と同じ形状になって安定する。結果的に汀線全体が沖出しされることにはなるが、その汀線前進量は、海岸全体の土量は不変であるので、移動高を一定とすれば侵食面積 c-g-f と堆積面積 e-a-d-g が等しくなるような位置にとどまる。つまり同じ養浜量を海岸全体にわたってうすく均一に養浜したことに等しい。よって、これでは海岸端部の前浜を c 点まで広げることにはできない。このためには、一点鎖線 h-c に示す汀線のように、現状汀線の形状を保ちつつ海岸線全体を前出しすることとすれば良い。このとき必要な養浜土砂量 ΔV は次式により算出できる。

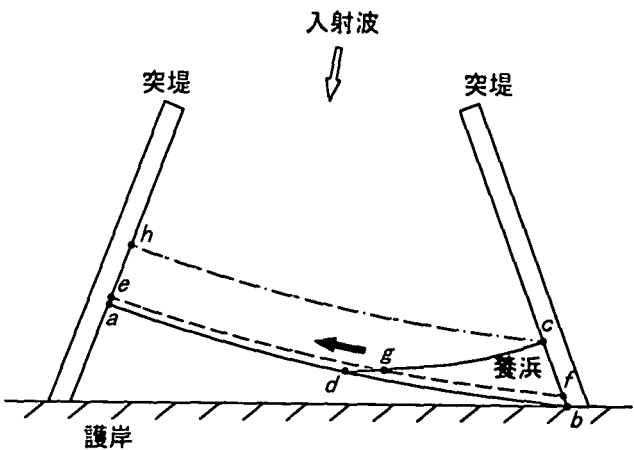


図-10 養浜の概念図

$$\Delta V = L \cdot \Delta x \cdot Ds \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ここに L：海岸線長、 Δx ：目標汀線前進量、Ds：移動高である。

この式より当海岸について算出してみると、 $L=350\text{m}$ 、 $\Delta x=10\text{m}$ 、 $Ds=3.6\text{m}$ より、必要な養浜土砂量は $\Delta V=13000\text{m}^3$ となる。

10. 結 論

本研究の主な結論は以下のとおりに要約される。

- ① A 突堤基部は養浜土砂が流れたことによって、侵食傾向であると考えられていたが、養浜土砂は薄く広くポケットビーチ内で広がり安定し、A 突堤基部も含めて全体的に前進し安定形状となっている。
- ②階段護岸の保護、および海水浴客等の砂浜利用のために A 突堤基部に浜幅を確保する方法としては、遮蔽域をつくる構造物よりも経済面および水域利用面に優れた養浜を提案する。この養浜の考え方としては、現状汀線の形状を保ちつつ海岸線全体を前出しすれば良い。また、このときの必要な養浜土砂量は式(2)によって算出される。

11. あとがき

論文中で述べたように、遮蔽域外の建設海岸からポケットビーチ内に流入している土砂は、ビーチ内の汀線の前進に寄与している。しかし、この流入土砂によって、港内航路の埋没や遮蔽域外の建設海岸の侵食等の問題が生じていることから、早急な対策を行う必要がある。

また、本研究は養浜後の土砂の安定を確認するために航空写真や汀線測距、横断測量等のデータを活用した。養浜後の追跡調査としては、このような経時的なデータを取得できれば良いが、少なくとも定位置からの写真撮影などの簡易的な方法でも良いからモニタリングを行うことが必要である。

最後に、本研究を行うにあたり協力していただいた新潟県柏崎土木事務所の方々、ならびに当論文をまとめるにあたり貴重な助言をしていただいた建設省土木研究所 宇多高明 氏に謝意を表します。

参考文献

宇多高明・野口賢二・大沢 正(1993)：柏崎港の防波堤建設に伴う周辺海岸の海浜変形, 海岸工学論文集 第40巻, pp. 436-440.
宇多高明(1997)：日本の海岸侵食, 山海堂, pp. 421-422, 山海堂.