

大規模海浜過程の予測

——上越・大潟海岸の場合——

土屋義人*・山下隆男**・泉 達 尚***・鳥取 一 雄****

1. 結 言

大潟海岸は図-1に示すように日本海中部沿岸に位置し、隣接海岸を含めて全長約25kmの緩やかな円弧を描く砂浜海岸である。この海岸は直江津港が建設されるまではおそらく海岸侵食とは無縁な安定な海浜であったのだが、築港以来関川からの漂砂源が遮断され、漂砂の下手側で海岸侵食が深刻となった。海岸の全体の地形は、一種のポケットビーチで、西側に郷津、東端に米山崎のヘッドランドが存在している。郷津側では漂砂は完全に遮断されているが、米山崎では漂砂の移動が可能な地形となっている。海岸の東西端近くに関川、柿崎川という2つの河川が流入しており、昭和36年から関川河口に直江津港が建設され始めた。

本研究では、大規模な海岸構造物による海岸侵食の典型的な海岸である大潟海岸の海浜変形機構を大規模スケールかつ長期的観点から捉える。すなわち、1ライン汀線変化予測モデルにより明治43年から昭和36年までの長期汀線変化を追算し、直江津港築港以前の大潟海岸の沿岸漂砂量（それに対応する代表波浪）を推定する。さらに、この代表波浪により直江津港建設に伴う海浜変形の追算を行い、海岸侵食を制御するための漂砂の下手側の境界条件の役割を明らかにする。

2. 長期海浜変形の追算と沿岸漂砂量の推定

2.1 長期海浜変形の計算法と境界条件

ここでは、前述した海岸侵食が始まるまで、つまり直江津港築港以前における長期海浜変形を汀線変化予測モデルを用いて追算する。すなわち、大潟海岸における代表波浪及び築港以前の沿岸漂砂量を決定する。

(1) 対象海岸の海底地形の構築

大潟海岸の東西両端は岩礁地形を形成しており、その間に主たる漂砂源として関川および柿崎川が流入しているが、ここでは、明治43年の地形図によって汀線を郷津から米山崎までの領域で読み取り、それを多項式によ

て近似表示する。つぎに、水深については沖側の水深100mまでを対象とし、それはこれまでほとんど変動していないと考えて、昭和31年の海図によって水深データを与える。また、岸側ではDean(1981)による2/3乗則にほぼ従うものとして、次式により近似する。

$$h = Ax^{2/3} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 h ：水深、 x ：汀線から沖方向への距離および A ：一般には定数であるが、本海岸の場合には、20m以深の海浜断面はほとんど変動しないものとして、昭和31年の海図の水深20mの地点と、明治43年の汀線を多項式によって近似表示したものとを用いて、式(1)の係数 A の沿岸方向分布を求めた。この関係を用いて、岸側の海底地形を与えた。

(2) 波浪条件及び境界条件

大潟海岸では、1)NWおよびNNWからの比較的周期の短い(6sから10s)風波、2)NNEからのうねりという2つの主波浪が存在するが、来襲する波および波浪エネルギーからすると前者が卓越している。それ故、ここでは表-1に示すような波浪条件を与え、かつそれらの平均の継続時間は直江津港における波高2m以上の高波浪の継続時間約245hr/yearを対象とし、これらの波浪条件でどれだけ長期の海浜変形ができるのか、またどうすれば再現できるのかを実際の海浜変形の追算結果から検討し、その再現性ととも、代表波浪の推定を行う。

つぎに、長期の海浜変形の追算における境界条件について考察する。まず、主たる漂砂源として関川および柿崎川が存在するので、その波だけでは汀線変化にほとんど影響を与えないような波浪により、河口からの漂砂源が沿岸方向に分散するものと考えるのがよいと思われる。したがって、本研究では、海浜変形そのものには影響を与えないような入射波の波向きを見出す。すなわち、波高0.7mおよび周期8sを固定して、沖波の波向きを空間的に変化させ、長期間の海浜変形計算を行い、安定な汀線変化が得られる入射波波向きを試行錯誤的に探し出した結果、以下の関数形を用いた場合が最も汀線変化が小さくなった。

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 正会員 工修 京都大学助手 防災研究所

*** 新潟県土木部 河川課長

**** 正会員 西松建設株式会社

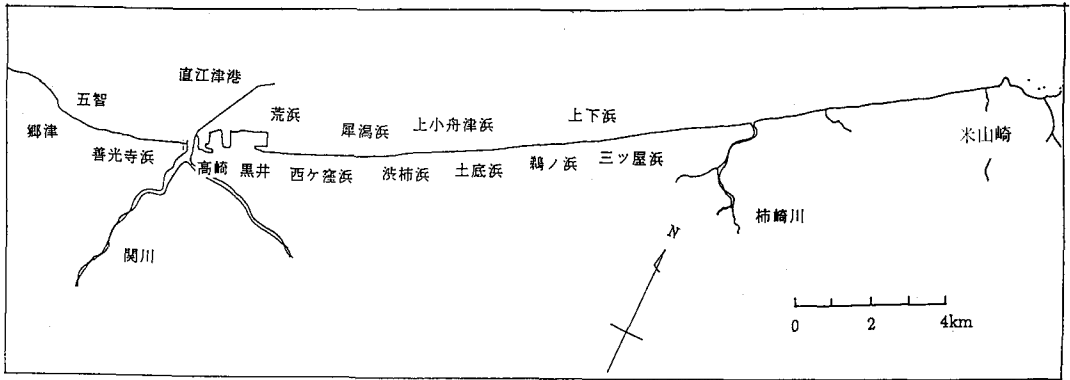


図-1 大潟海岸の概略図

表-1 1 ストームの各波浪条件

	1st	2nd	3rd
波向	NW5W	NW	NW10N
周期	6 s	7 s	8 s
波高	2 m	3 m	2 m

$$\theta = \frac{1}{2000}(y - 44.5)^2 \quad (0 \leq y \leq 44.5) \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 θ ：沖波の波向き、 x ：沿岸方向の距離である。これは大潟海岸の沖に存在する佐渡島の遮蔽効果、つまり回折波の影響を経験的に取り込もうとすることと同じである。

このように河口からの漂砂源を沿岸方向に分散させて、長期の海浜変形の計算を行う。なお、関川および柿崎川の漂砂源に対しては、実際両河川からの流出土砂量として考えられる値を参考にし、数値計算において具体的な値を採用することにする。以上、長期の海浜変形の境界条件として、ここではつぎの2つの段階により海浜変形予測モデルに取り入れて考察する。

(1) 関川および柿崎川からの漂砂源を省略し、西端の郷津では沿岸漂砂の流入が存在せず、かつ東端の米山崎では沿岸漂砂の流入が存在するとする。

(2) 境界条件(1)のうち、関川及び柿崎川からの漂砂源を与えることにする。

ただし、波浪条件としては、表-1に示した代表波浪に対して年平均245時間作用させた場合の海浜変形を、また、3つの代表波浪をそれぞれ8時間ずつ継続する季節風によるものとし、それが年平均15回来襲するものと仮定した場合の海浜変形をそれぞれ1ライン汀線変化予測モデルにより計算する。

2.2 長期海浜変形の追算結果と代表波浪

3つの代表波浪のそれぞれに対する沿岸漂砂量の沿岸分布を図-2に示す。図中には3つの代表波浪による初

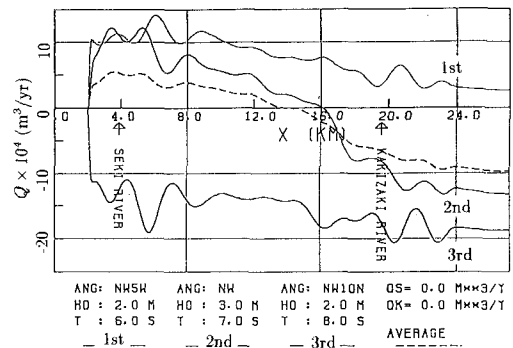


図-2 3代表波浪に対する沿岸漂砂量の分布

期汀線における沿岸漂砂量をCERC公式によって計算した結果を示す。これによると年平均の沿岸漂砂量はこの海岸としてはおそらく2~3倍程度大きく推定されている。しかし、第3の代表波浪の場合にはその傾向はかなり相違し、またその向きも変わることになる。いずれにしても、代表波浪の継続時間とも直接関係して、沿岸漂砂量はかなり大きく推定されているので、もしこれが推定値の1/2または1/3程度になれば、海浜変形の追算における長期にわたる汀線変化はさらに小さくなるはずである。

次に、代表波浪のとり方を工夫して海浜変形の追算を試みる。前述したように、この海岸の波浪は風波とうねりに代表される。一般に季節風の通過にともない風波からうねりに変化する。そこで、前述した3つの代表波浪のうち第1および第2代表波浪は季節風の初期、発達期における風波を主体とする波浪を代表するものとし、さらに減衰期のうねりに対して第3の代表波浪を対応させる。このような一連の波浪をここで改めて定義し、それらの継続時間をそれぞれ8hrとし、さらにこのような波浪が年平均15回来襲するものとする。

この代表波浪（以下代表季節風波浪と呼ぶ）を用いて、再び長期の海浜変形の追算を実施した結果を図-3に示

す。図中には、関川及び柿崎川からの漂砂源をそれぞれ 1) 漂砂源を省略した場合、2) $10,000 \text{ m}^3/\text{yr}$ および $5,000 \text{ m}^3/\text{yr}$ および 3) $100,000 \text{ m}^3/\text{yr}$ および $5,000 \text{ m}^3/\text{yr}$ とした場合の追算結果が示してある。この場合の沿岸漂砂量の沿岸分布は、図中のエネルギーフラックスからわかるように、郷津から中央部の鵜の浜付近までは東向きの沿岸漂砂を示し、その方向に漸減する傾向があり、それより東側では西向きとなり、その方向に漸減する傾向である。したがって、この海岸の中央部は長期的には堆積傾向にあることが分かり、また沿岸漂砂の構成からすれば、東向きの沿岸漂砂と西向きのそれとが存在し、それらがほぼ同程度であるか、年平均としては西端の郷津から中央部までは東向きとなり、それ以东では逆に西向きになるものと推定される。

また、図-4 は 1) の河川からの漂砂源を省略した場合をゼロとして、2) および 3) の汀線位置を拡大して示したものであるが、河口デルタとしてのわずかな汀線の前進傾向を示していることがわかる。

このような沿岸漂砂の特徴をもつ代表波浪による長期の海浜変形の追算結果は、郷津付近で汀線が少し後退し、中央部でわずかに前進する傾向を示すものの、全般的に実際の長期海浜変形をよく再現できているといつてよいで

あろう。このことから、長期海浜変形の追算に用いた代表季節風波浪はこの海岸における長期の海浜変形の実態をよく表しており、海浜変形予測に十分適用できるものと結論される。

3. 直江津港の築港に伴う海浜変形機構

ここでは、1つの漂砂系を形成していた大潟海岸の長期海浜変形の特性と代表波浪に基づく変化予測モデルを用いて、その可能な海岸侵食制御の方法を、安定海浜を形成させて海浜の安定化を図ることができるかどうかという立場から、築港以降の長期海浜変形の予測を実施して検討する。

3.1 沿岸漂砂量の分布

直江津港の防波堤の延長に伴う関川から米山崎までの海域での波浪場、海浜流場の変化を、山下・土屋・阿曾 (1991) の数値モデルを用いて計算する。沖波は表-1 に示した3つの代表波浪とし、防波堤の延長の影響を考慮するため、1) 昭和40年、2) 45年、3) 51年および4) 63年の4つのステップに分割して計算する。

このように計算して求めた碎波高とその波向については沿岸方向に平滑化し、波向に関しては初期汀線に対する角度に補正した。前述した4ステップのうちの最終の昭和63年当時における防波堤の場合に対して、得られた計算結果をCERC公式に代入して推定された沿岸漂砂量の沿岸分布を図-5に示す。

これによると、防波堤から黒井付近にかけては沿岸漂砂量はかなり小さくなっているが、これは延長された防波堤の影響を大きくうけ、防波堤基部付近ではほとんど碎波しない波浪となっているからである。また、第1代表波浪のNW5Wの波浪では、黒井付近から米山崎にかけて沿岸漂砂は東向きが卓越するが、徐々に減少しており、これに対して第2代表波浪のNWの波では、三ツ屋浜から上下浜付近を境にして、西側では東向きに、東側では西向きの沿岸漂砂となっている。さらに、第3代表

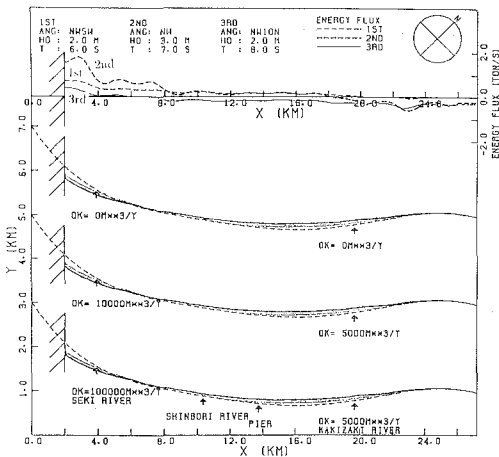


図-3 代表季節風波浪を用いた長期海浜変形の追算結果

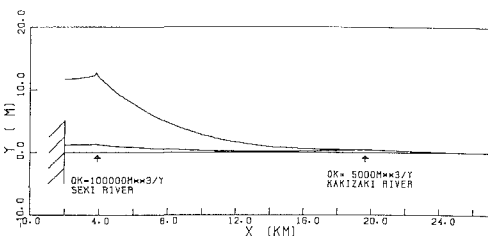


図-4 河川からの漂砂源による汀線の前進

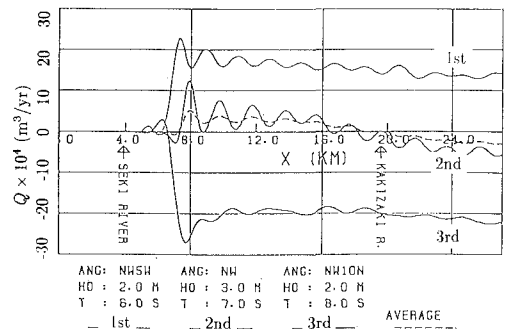


図-5 昭和63年当時における防波堤に対して推定された沿岸漂砂量の分布

波浪のNW10Nの波浪では、黒井付近から米山崎にかけて沿岸漂砂はほぼ一様に西向きに卓越している。また、これらの平均を見ると、防波堤から下荒浜まで沿岸漂砂はほとんどなく、三ツ屋浜から上下浜を境にして西側では東向きに、東側では西向きの沿岸漂砂となっていることが分かる。

3.2 汀線変化の長期予測

ここでは、直江津港の防波堤基部から米山崎までの計算領域について、汀線変化予測モデルにより長期汀線変化を予測する。この場合、海岸侵食を防ぐために設置されている離岸堤、護岸、港湾施設等の影響は全く考慮せず、自然の砂浜海岸であったと仮定して計算を行う。このため初期汀線は明治43年の地形図から多項式近似によって求められたものを用いる。計算方法は代表季節風波浪によって海浜変形を予測することとし、防波堤の延長の影響を考慮するため、昭和36年から昭和40年にかけては前述した4ステップのうちの最初のステップにおける計算結果を用いる。なお、関川からの流送土砂は港の防波堤の先端を回って海浜変形の計算系には流入しないものとする。

このような条件で、昭和36年から100年後の汀線変化を追算した結果を図-6に示す。これによると、全体的には直江津港の防波堤付近から東側の海岸では著しい侵食が生じ、これが渋柿浜付近まで続き、それ以东では逆に汀線が大幅に前進する結果となる。この予測結果では、侵食域と堆積域との面積から判断される移動土砂量の収支が合っていないように見えるが、これは右側境界条件を開にすると、第3代表波浪のNW10Nが作用するような場合には、ここで米山崎から系に漂砂が流入するためである。

このように、もし大潟海岸が自然の砂浜海浜であったならば、渋柿浜近辺までは著しく侵食され深刻な海岸災害に至っていたことであろう。現状では海岸堤防や消波ブロックで防護されているが、海岸侵食は制御できず、さらに離岸堤を併設して海岸侵食防止に対応してきたため、このような著しい汀線の後退はまねがれている。しかし、その結果砂浜は完全に消去し、さらに離岸堤、海岸堤防などの前面水深は深くなり、これらの構造物の維持管理上大きな問題を生じており、このような対策では

海浜の安定化は期待できないことを物語っている。

3.3 海浜変形の制御(とくに海浜の安定化に関する考察)

ここでは、漂砂の下手側のある位置に、沿岸漂砂を阻止するような海浜変形の境界条件が設置されたとすると、どのような汀線変化が生じていたかを予測する。これにより、大潟海岸の恒久的な侵食制御の方法論を長期の海浜変形の予測から検討することができ、さらには安定海浜工法によりこの海岸を保全する場合の境界条件(ヘッドランド)の設置位置や規模を決定する際の有益な情報が得られる。

境界条件を防波堤から2 km ごとに移動させて設置し、昭和63年から100年後の汀線変化をシミュレーションした結果を図-7に示す。この場合の計算方法は昭和63年、すなわち第4のステップの計算結果を用い、代表季節風波浪を与えた場合の汀線変化を予測した。ただし、初期汀線は自然の砂浜海岸のままであったと仮定した。

この結果によれば、直江津港の防波堤の東側約2 kmの地点に境界条件を設けた場合には、舌状砂州が顕著に現れるが、防波堤の東側の6 km 地点、つまり新堀川付近で境界条件を与えた場合には、汀線の時間的変化においても、空間的変化においても、安定な海浜が形成されることが分かる。防波堤の東側8 km 地点を越えて境界条件を置いた場合には、汀線変化は次第に著しくなる。

以上をまとめると、新堀川以西にヘッドランドを設けた場合には汀線変化はかなり小さいものとなるが、新堀川以东に設置すると、新堀川から小舟津浜付近を境にして、その西側では侵食され、東側では汀線が前進することになるので、新堀川付近、とくに西ヶ窪浜にヘッドランドを設置すると最も安定な海浜が得られることがわかる。

4. 結 論

以上、直江津港築港以前の汀線変化を追算することによって、大潟海岸に來襲する代表波浪を決定した。また、代表波浪を用いて、直江津港建設以後の汀線変化の予測を行うと同時に、大潟海岸の海岸侵食の制御及び安定海浜の形成を目的として、ヘッドランドの設置位置による汀線変化への影響について検討を行った。これらにより得られた結果はつぎのように要約される。

1) 直江津港築港以前において、関川および柿崎川からの漂砂源を省略した場合と、考慮した場合とを比較すると、後者の場合、全般的にわずかな汀線前進が中央部で起こり、郷津付近ではわずかな汀線の後退が少なくなる傾向を示すものの、ここで対象とした50年程度の長期の海浜変形に及ぼす漂砂源の影響はそれほど顕著には現れない。

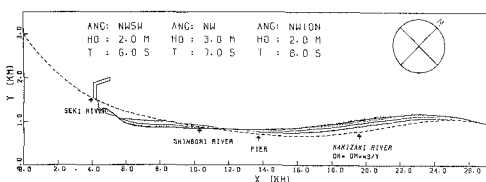


図-6 昭和36年から100年後の汀線変化の追算と予測結果

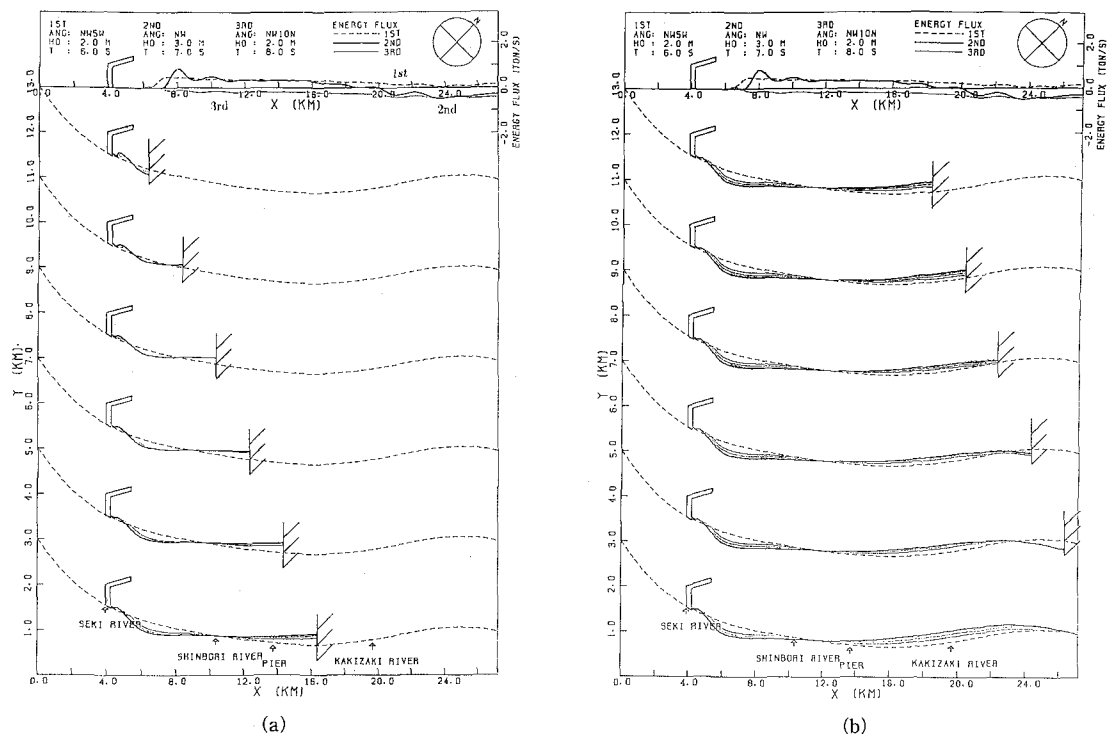


図-7 東側境界条件を防波堤から2 km ごとに移動させて計算した、昭和63年から100年後の汀線変化のシミュレーション結果

2) 代表季節風波浪の場合の沿岸漂砂は西端の郷津から中央部までは東向きとなり、それ以东では逆に西向きになっており、この海岸の中央部は長期的にみて堆積傾向にある。

3) 代表季節風波浪による長期海浜変形の追算結果は、全般的に実際の長期海浜変形をよく再現でき、今後その予測に十分適用できるといえる。

4) 築港以後も自然の砂浜海岸であったと仮定した場合、直江津港防波堤から渋柿浜付近まで深刻な海岸侵食が生じ、それ以东ではむしろ堆積傾向になる。

5) 大潟海岸の海岸侵食を制御し、安定な海浜を形成するには新堀川付近、とくに西ヶ窪浜にヘッドランドを設置することが最良であることが示された。

参考文献

- Dean, R. O. (1981): Equilibrium beach profiles, U. S. Atlantic and Gulf Coasts, Ocean Eng. Rep. No. 12, University of Delaware.
- 山下隆男・土屋義人・阿曾克司 (1992): 長期海浜変形予測モデル, 第39回海講論文集, pp. 411-415.