

# 異常波浪を考慮した長期汀線変化予測モデル

——上越地域海岸の場合——

柏谷 晋一\*・藤間 穰\*\*・片野明良\*\*\*  
川又良一\*\*\*・土屋義人\*\*\*\*

## 1. 緒 言

砂浜海岸に大規模海岸構造物を建設する場合は、それによる沿岸漂砂の遮断、波浪・海浜流系の変化により、漂砂の下手側で海岸侵食を起こすことがしばしばある。このような海岸侵食の解明は、その時間的、空間的スケールの問題から、1-line model により試みられている。

従来、1-line model では、観測波浪から代表波浪を設定したものが多いが、この場合沖波の波浪エネルギーから代表波浪を求めており、波浪の変形は考慮されていないし、また異常波浪に対する汀線変化の予測に対してはほとんど検討されていない。一方、海岸侵食に対する海浜の安定化のためには、砂浜海岸全域を対象とした大規模海浜過程における漂砂系とその変化を究明すべきであり、その長期汀線変化の予測に耐えるものである必要がある。これらの背景から、本研究では、代表波浪の与え方、異常波浪に対する取り扱いを新しく導入した長期汀線変化予測モデル (1-line model) を提案し、具体的に上越地域海岸に適用した結果について述べる。

## 2. 上越地域海岸の自然条件

上越地域海岸 (直江津・大潟・柿崎海岸) は、上越市郷津から柏崎市米山崎間の全長約 25 km の緩やかな円弧状の砂浜海岸である。図-1 には上越地域海岸周辺の地形条件を示す。この海岸の北方には佐渡島、西方には能登半島があり、沖で発生した波浪がそれらによって遮蔽される地形条件となっている。沖合 100 m までの等深線はほぼ平行であるが、郷津から米山崎に向かうにつれて海浜勾配がやや急峻となっている。この海岸の中央部には潟町砂丘が発達しており、大潟海岸の後背砂丘を形成している。主な漂砂源は直江津港の西側に流入する関川である。

次に、直江津港において 1989 年～1994 年に観測され

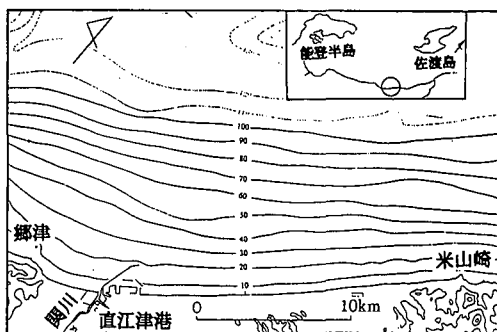


図-1 上越地域海岸の地形条件

た波向の出現率を図-2 に示す。観測された波浪の波向出現率によれば、NNW～NW が卓越しており、これより東寄りの波浪は佐渡島により、西寄りの波浪は能登半島により遮蔽される。なお、高波浪の出現率では W 寄りの波浪が多くなっている。この海岸の波浪は冬期風波によるものが主体であり、10 m/s 以上の強風の出現率は W 系が支配的である。しかし、ここでは波向が水深 21 m 地点に設置された 2 成分流速計の記録から共分散法で算出されているため、佐渡島・能登半島の近海で発生した風波成分がほとんど考慮されていないことに留意しなければならない。

## 3. 代表波浪

この海岸の漂砂特性については、宇多ら (1990)、土屋ら (1993) により報告されているが、漂砂の動態に対する見解は議論の多いところである。これは漂砂の外力となる波浪条件について観測地点の実測値のみを取り扱っており、地形条件や観測波浪特性が十分に考慮されていないことが要因の一つとして挙げられる。

予測モデルに適用する代表波浪は、直江津港における観測波浪データを基礎とするが、この海岸の地形特性および水深 21 m 地点で計測された波向特性を考慮して、漂砂系全体を考慮した大規模海浜過程を追算できなければならない。さらに、異常波浪による海浜変形を予測するため、年平均波浪に対する代表波浪の他に異常波浪に対するものを考えなければならない。

\* 正会員 建設省河川局河川計画課河川情報対策室長 (前新潟県河川課長)

\*\* 正会員 新潟県小千谷土木事務所長 (前新潟県港湾課長)

\*\*\* 正会員 (株)エコー第一技術部解析調査課

\*\*\*\* 正会員 クラウン工業株式会社取締役 (前(株)エコー解析調査課長)

\*\*\*\*\* 正会員 工博 名城大学教授 都市情報学部

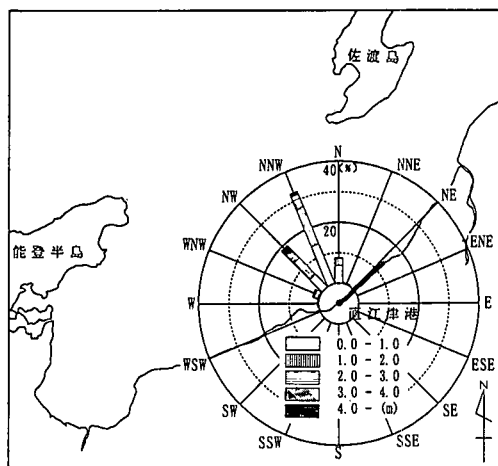


図-2 直江津港における波向の出現率

### (1) 年平均波浪

年平均波浪の設定は、1989年～1994年の直江津港における波浪観測結果を基礎とし、波浪観測地点で与える。この場合、佐渡島・能登半島の沖合で沖波条件を一樣とした波浪変形計算から水深20m付近の波高、波向を抽出すると、各地点の波高・波向は、図-3に示すように直江津港の波浪観測地点のそれとは若干異なるので、波浪条件は佐渡島・能登半島の沖側で与える必要がある。佐渡島・能登半島の遮蔽効果は周期により異なることから、遮蔽効果が比較的大きくなる周期8s以上と、さほど大きくない周期8s未満に分けて代表波浪を設定する。

また、直江津港の波向は2成分流速計の記録から共分散法で算出されているため、佐渡島・能登半島の近海で発生した周期の短い風波成分が考慮されていない。この海岸は冬期の風波性波浪が主体であり、この波浪が漂砂に与える影響は大きいと考えられる。そこで、直江津港の風観測データを用いて風波成分を推算し、観測波浪エネルギーフラックスが保存されるように観測波浪を補正することとする。

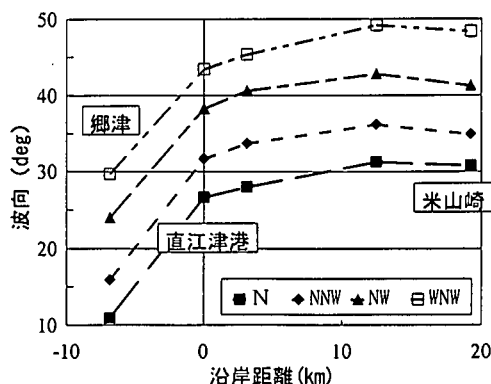
以上のように設定した年平均波浪は、図-4に示すように汀線法線に対し、W系およびE系波浪のそれぞれについて周期8s以上、未満、および風波成分の合計6つが構成波となる。

### (2) 異常波浪

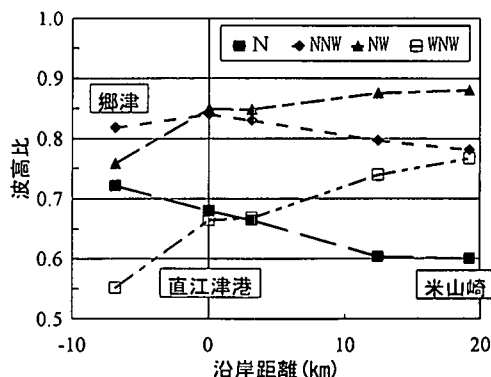
異常波浪は、それまで動的にせよ、静的にせよ、安定していた海岸の様相をしばしば変貌させる。長期汀線変化予測モデルに適用される代表波浪は、通常年平均的な波浪諸元であり、異常波浪による汀線変化は無視されるか、年平均波浪で均されるとして扱われてきたと思われる。しかし、大規模構造物による沿岸漂砂の遮断や波浪・海浜流系の変化に伴う漂砂の引き込みが起こるような場

合には、異常波浪により大きな海浜変形が起こり、その変形はかなり長期間残存し、一般に非可逆的である。したがって、大規模な海岸構造物による地形変化を取り扱う場合には、少なくとも対象期間に来襲した異常波浪の効果を考慮する必要がある。

直江津港の波浪観測記録によると、1969年12月～1970年2月に記録的な高波浪が来襲している。このように乱は約2カ月間に集中しており、1969年11月23日～1970年2月11日までの有義波高が4m以上となった継続時間は計248時間に及ぶ。一方、1986年～1994年(9年間)の1年当たりの平均は35.1時間である。この異常波浪の影響を取り込むために、1969年12月より1970年2月までの2ヶ月間の異常波浪および風観測データを基礎として図-4に示すようにW系およびE系の代表波浪諸元を設定する。ただし、この異常波浪は長期汀線変化を追算する場合には、この波浪が実際に来襲した時期に、それと同等のエネルギーフラックスだけ考慮する。

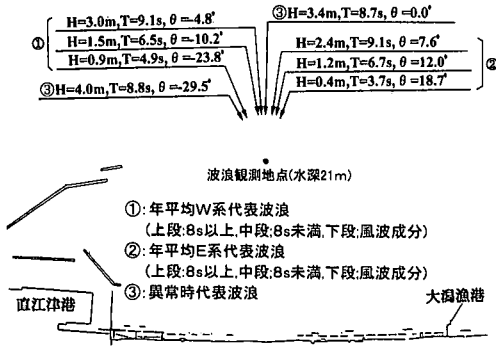


(a) 波向の沿岸分布 (N から反時計回りを正)



(b) 波高比の沿岸分布 (沖波を1とした各地点の波高)

図-3 沖波に対する各地点の波向・波高比の沿岸分布 (沖波条件:  $H_0=1.0$  m,  $T=10.0$  s,  $\theta=N, NNW, NW, WNW$ )



図—4 代表波浪条件

#### 4. 長期汀線変化予測モデル

予測モデルは1-line model であるが、波浪条件のみならず初期・境界条件の考え方に十分配慮する必要がある。

##### (1) 予測モデルの基礎式

汀線位置  $y_s$  と漂砂量との関係は式(1)のように表される。

$$D \frac{\partial y_s}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $Q$ は空隙を含む沿岸漂砂量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) で、 $D$ は漂砂帯外縁の水深 ( $\text{m}$ )、 $q$ は岸沖漂砂量または漂砂の供給量である。

沿岸漂砂量則としては小笹・Brampton (1979) により提案された次式を用いるが、これは、構造物の遮蔽域に漂砂が引き込まれることを考慮したものであり、右辺第2項として表されている。

$$Q = (H^2 C g)_B \left( K_1 \sin 2\alpha_{Bs} - K_2 \cos \alpha_{Bs} \frac{\partial H_B}{\partial x} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $K_1, K_2$ は無次元係数、 $\alpha_{Bs}$ は汀線に対する碎波点での波角、添字  $B$ は碎波点の諸元を示す。この無次元係数は、過去の汀線変化追算結果から、対象地域に適用される数値を試行計算して補正される。

##### (2) 境界条件

長期汀線変化予測モデルで汀線変化を追算する場合には、波浪条件の設定のみならず初期・境界条件の与え方に十分配慮する必要がある。特に、海浜条件については、大規模海浜過程における上越地域海岸の汀線変化を再現して漂砂系を把握するために、①直江津港拡張以前、1960年以前の自然海浜のままであったと想定した場合と、②離岸堤などが設置されている現状海岸を対象とした場合とについて長期予測計算を実施する。この場合、長期汀線変化予測のうち自然海浜を想定した場合には直江津港拡張以前の海浜形状との比較により、また現状の汀線変

化については拡張後の汀線変化との比較で、さらに異常波浪の場合にはそのときの汀線変化との比較により検証する。

なお、長期予測の計算範囲は、対象海岸の全域における漂砂系を把握するために、郷津と米山崎の両岩礁地帯に囲まれた約25 kmの海浜を対象とする。両岩礁地帯の境界条件は、年平均波浪に対しては、沿岸漂砂の流出入がない ( $Q=0$ ) ものとして与えることとし、異常波浪に対しては米山崎においては沿岸漂砂に対して自由境界とする。

#### 5. 予測モデルの適用性

直江津港は関川の河口港として古くから栄えた港であり、河口分離工事が1960年に完了して以来、本格的な近代港湾として大きく発展してきた。直江津港の西防波堤は1960年以降約2700 m延伸され、1967年には水深10 m以深に、さらに1972年には水深15 mまで及び、現在では水深20 mに達している。上越地域海岸の漂砂系は直江津港の拡張とともに変貌し、現在では本港湾の西側と東側に完全に分けられている。

このような背景のもと、長期汀線変化予測モデルの適用性を、(1)1960年代以前の自然海浜、(2)異常波浪来襲前後、および(3)現況の海岸構造物が建設された状態に対して検証する。

##### (1) 1960年代以前の自然海浜の追算

1960年代以前におけるこの海岸は、関川を主たる漂砂源として、特有の地形条件、海象条件のもとに長期間に形成されたものであり、海岸侵食とはおよそ無縁の安定海浜であった。長期汀線変化予測モデルは、この自然海浜状態の漂砂系を表現しうるように構築される。図—5は、1946年の空中写真から判読した汀線を初期条件として、1962年までの汀線変化を追算したものである。図中上段に平面図、中段に汀線変化、下段に沿岸漂砂量の沿岸分布を示す。実測の汀線変化との比較から、この時期の海浜形状は、20~30 mの変動成分が認められるもののほぼ安定していたことが認められる。

この海岸の沿岸漂砂量については、東向きと西向きの沿岸漂砂がいずれも5~8万  $\text{m}^3/\text{yr}$ 程度存在し、年平均では、西端の郷津から柿崎川付近までは東向きとなり、それ以东では逆に西向きになると考えられる。この事実から、この海岸の中央部では、長期的には堆積傾向にあることがわかる。予測モデルによる汀線変化は、直江津港の西防波堤による漂砂の遮断を考慮していることから、その東側では後退傾向を示すが、全体的には安定した海浜形状を表現できている。このことから、長期汀線変化の追算に用いた代表波浪条件は、この海岸における長期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。

## (2) 異常波浪による汀線変化の追算

上越地域海岸の侵食は、異常波浪の来襲により端を発している。異常波浪が来襲した時期の直江津港は、西防波堤が水深 15 m 程度まで延伸されており、沿岸漂砂が遮断され、波浪・海浜系系を変化させるに十分な規模となっていた。図-6 は、1967 年の空中写真から判読した汀線を初期条件として、異常波浪来襲時の汀線変化を追算した結果である。この異常波浪が来襲した時期に、最も汀線変化の著しかった黒井海岸 (6400 m 付近) 周辺において汀線測量が実施されており、長期汀線変化予測モデルによる追算結果との比較により予測モデルの検証がで

きる。異常波浪の初期の擾乱時期に測量されたと思われる 1969 年 11 月時点では汀線変化はほとんどないが、異常波浪来襲中の 1970 年 1 月の汀線は、6400 m 付近で約 45 m 程度も後退しており、予測計算はこの汀線変化と良好な一致を示す。

この期間における沿岸漂砂は直江津港の東側 6500 m 付近までは西向きとなるが、ほぼ全域で東向きとなり、その量は年平均の数十倍に及ぶ。つまり、この異常波浪時における汀線後退は、一部は直江津港内に漂砂が引き込まれ、それ以外はそれより東に移動し、米山崎を回り込んで若干流失したものと考えられる。これらの漂砂は年平均波浪では戻ることはいないため、汀線変化の追算期

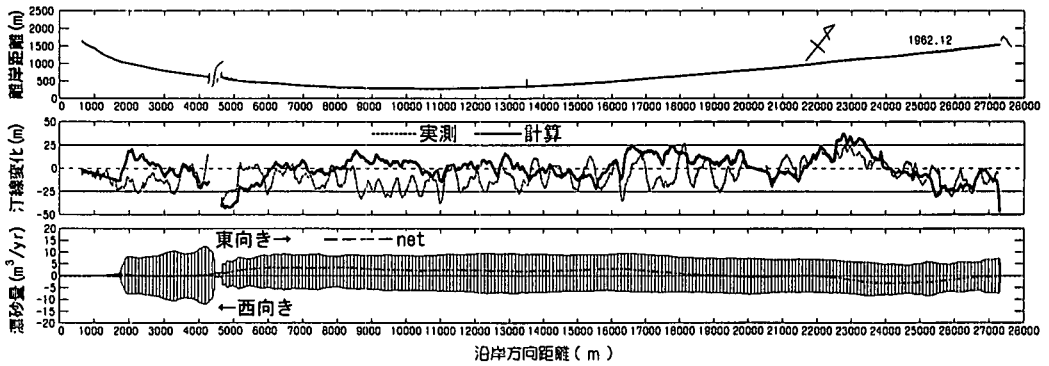
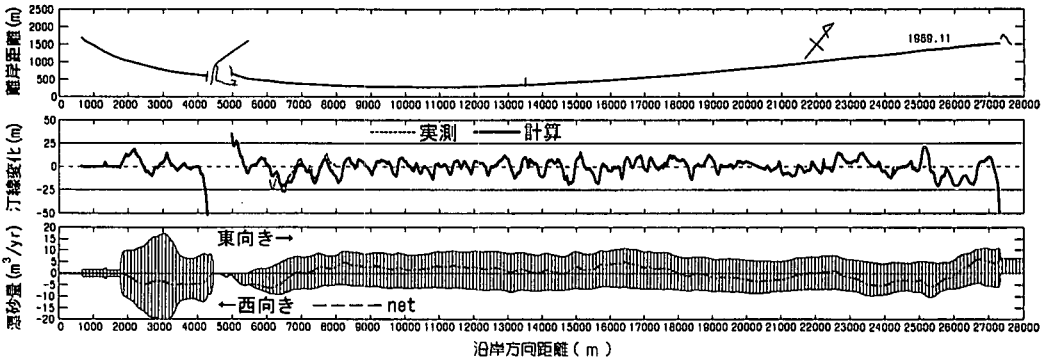
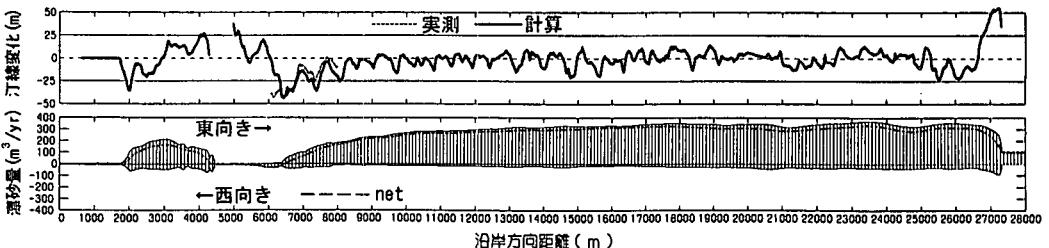


図-5 1960 年代以前の自然海浜を対象とした追算結果と自然海浜の汀線変化との比較



(a) 異常波浪来襲直前



(b) 異常波浪来襲直後

図-6 異常波浪による汀線変化の追算結果と実測汀線との比較

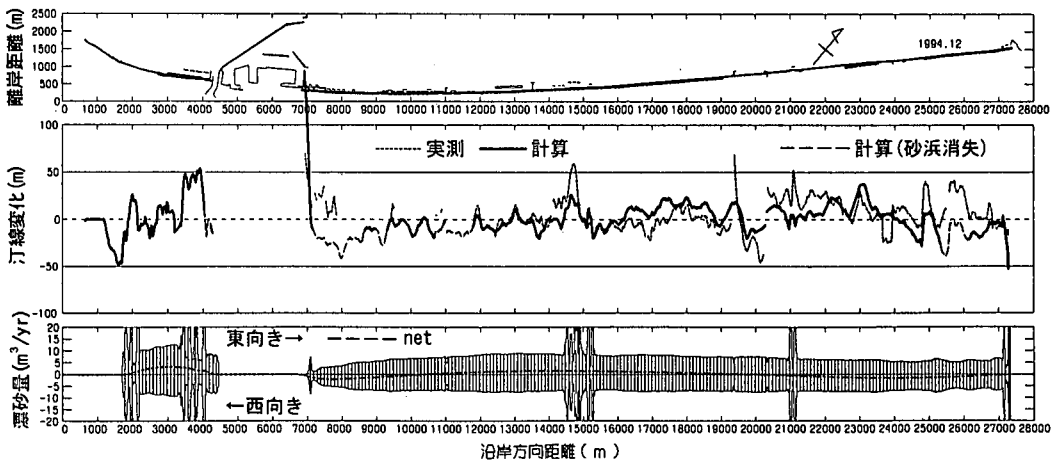


図-7 現状海岸に対する追算結果と実測汀線との比較

間における異常波浪を考慮する必要性が理解されるとともに、本予測モデルの現地への適用性が認められる。

## 6. 現状海岸に対する追算と漂砂系の変化

現在、直江津港から大潟漁港付近までは砂浜は存在せず海岸線が護岸となっている。さらに大潟漁港から鶴の浜付近までは断続的に消波ブロックが汀線付近に設置されて海岸保全されている。それにより、海岸線はかろうじて維持されたが海浜断面は急峻化し、護岸や消波ブロック前面の局所洗掘により海浜機能が著しく低下していると考えられる。図-7に示すように1974年を初期条件に1994年まで汀線変化を追算すると、汀線変化傾向は精度よく追算されていると考えられる。

沿岸漂砂は東向き西向きともに存在するが、年平均としてみればほとんど存在しない状態となっている。これは直江津港築港による汀線変化がほぼ完了していると考えてよいのかもしれない。ただし、現在、海岸線が護岸となっている区間が存在し、その護岸の前面水深が深く、海浜断面は著しく急峻化している。この現象は残念ながら本モデルでは取り扱えないが、その要因として護岸前面での反射波による漂砂の沖流出によるものが挙げられる。このように連続した砂浜海岸の一部で沖流出が生じると、その影響が周辺海岸へ波及し、海浜の安定化を図ることは難しくなっており、現在、海岸保全は突堤と養浜により図ることが計画され、実施されている。

## 7. 結 語

以上に、大規模海浜過程の予測を目的として、異常波浪を考慮した長期汀線変化予測モデルを提案し、上越地域海岸に摘要した結果、次の成果が得られた。

(1) 自然海浜を想定した場合の予測結果は1960年

当時の汀線変化をよく再現することができ、沿岸漂砂量の沿岸分布から大規模海浜過程としての漂砂系を理解することができた。

(2) 現状海岸に対する予測結果では、全体的には汀線変化を十分再現することができたが、沖方向漂砂の存在が問題として残された。

(3) 1969年末から翌年にかけて発生した異常波浪による汀線変化の追算結果は実測結果とよく一致し、予測モデルの適用性を確かめることができた。

## 参 考 文 献

- 宇多高明・野口賢二 (1990): 大潟海岸の侵食機構に関する一考察, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 474-478.
- 小笹博昭・Brampton, A. H. (1979): 護岸のある海浜の汀線変化数値計算, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第4号, pp. 77-104.
- 合田良実(1970): 砕波指標の整理について, 土木学会論文集 No. 80, pp. 39-49.
- 芝野照夫 (1985): 漂砂の動態に基づく砂浜海岸の特性とその変遷に関する研究, 京大大学学位論文, 284 p.
- 白井 亨・土屋義人 (1977): 大潟海岸における海浜地形と底質特性の関連について, 第24回海岸工学講演会論文集, pp. 206-210.
- 白井 亨・土屋義人 (1981): 大潟海岸の漂砂源について, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 251-255.
- 田中則男, 小山内英雄, 夷塚葉子 (1980): わが国主要海浜の特性について, 港湾技研資料 No. 356, 67 p.
- 田中則男 (1983): 日本沿岸の漂砂特性と沿岸構造物築造に伴う地形変化に関する研究, 港湾技研資料 No. 453, 148 p.
- 土屋義人・白井 亨・山下隆男 (1984): 大潟海岸における海浜形状の長期変化について, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 365-369.
- 土屋義人・山下隆男・泉 達尚・鳥取一雄 (1993): 大規模海浜過程の予測, 海岸工学論文集第40巻, pp. 456-460.
- 堀川清司・西村仁嗣・小沢保臣・宮本幸始 (1971): 別府湾における台風時の波浪推算について, 第18回海岸工学講演会論文集, pp. 7-12.