

上越・大潟海岸における大規模海浜過程と漁業生産に関する研究

山下隆男*・土屋義人**・村上欽哉***

1. 緒 言

上越・大潟海岸は、新潟県上越市、中頸城郡にまたがる約 25 km の砂浜海岸である。この海岸では、直江津港の築港とその拡張にともなって海岸侵食が東西に拡がり、特に漂砂の下手側である直江津港から新堀川に至る区間での侵食は深刻で、ここには現在すでに砂浜は存在しない。また、最近では新堀川以東の海岸でも、汀線の後退はもとより、護岸の決壊等の災害が発生するようになってきている。このため、現在、長期的かつ大規模海浜過程の観点から、直江津港の拡張計画と海岸の保全とが検討されている。

Tsuchiya ら (1990) が分類しているように、大規模海岸構造物による海浜侵食の要因は、構造物により沿岸漂砂が阻止されることに起因する侵食 (第 1 要因) と波浪場が変化することにより生ずる海浜循環流システムに起因する変動 (第 2 要因) とに分けて考えることができる。前者の影響は漂砂下手側全域に伝わるが、後者は港のような海岸構造物の規模に依存する限られた範囲での変動である。上越・大潟海岸はこの典型的な海岸で、直江津港の港湾区域の東端を起点にして約 8 km までの範囲はいわゆる漂砂の下手側の海域に当たり、それより東側では漂砂の卓越方向が反転すると考えられる。漂砂下手側海域内でも約 5 km の範囲は、港の防波堤 (大規模海岸構造物) の影響を受けて第 1 および第 2 要因が複合している領域である。このような侵食海岸の保全を考える場合、第 2 要因による海浜変形に惑わされ易く、海岸全体の大規模海浜過程を見落としがちである。

本研究では、この海岸を例に取り、これまでに行ってきた大規模海浜過程を把握するための研究の一環として、海岸底質および漂砂系に関する検討を行うとともに、沿岸域での漁業生産環境にも着目して海岸侵食との関係を調べる。

2. 沿岸海域の開発と水産資源

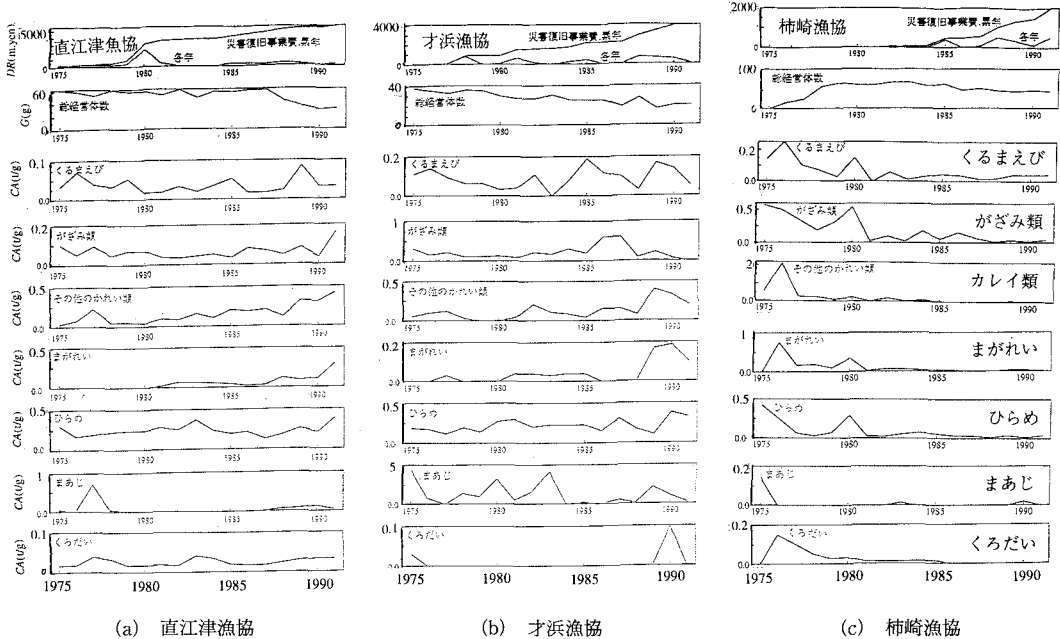
上越・大潟海岸では、災害復旧事業により消波工、堤防、緩傾斜堤、離岸堤などが建設されてきた。建設省北陸地方建設局に従って、同海岸を図-6 のように 3 工区に分割する。ここでは、それぞれの工区における災害復旧事業費と漁獲量の推移を比較して考察する。新潟県農林水産統計年報を使用して、1970 年から 1991 年まで 22 年間の漁獲量の推移を調べる。対象とした漁港は直江津、才浜および柿崎の三漁協で、直江津港は第 1 工区、才浜漁協は第 2 工区、および柿崎漁協は第 3 工区内を代表する。

全魚種の中から沿岸の開発や海底地形の変化に敏感に反応すると思われる水産資源 (くるまえばい、がぞみ類、まがれい、かれい類、ひらめ、まあじ、くろだい) について漁獲量を総経営体数で割った値の経年変化を調べると図-1(a), (b) のようになる。直江津および才浜漁協では、1975 年からの全体的漁獲量は減少傾向はみられず、むしろ増加傾向にある。これは 1 経営体当たりの漁獲効率の上昇、漁具の近代化、稚漁放流等の経営努力によるものである。災害復旧事業の多い年には漁獲量は減少している。このことは、復旧事業が魚卵や稚魚の成長に悪影響を及ぼしているというよりは、操業そのものに何らかのブレーキをかけていることを意味していると思われる。

図-1(c) は柿崎の経営体当たりの漁獲量を示したものであるが、ここは他の 2 漁協と大きく異なる傾向を示しており、経営体数が 1975 年から 1978 年までに急速に増加し、それにもなって、経営体当たりの漁獲量が魚種に関係なく急速に減少している。これは 1980 年までは災害復旧事業費はほとんど必要でない自然の海浜に近かったのだが、それ以降では海岸の環境に何らかの変化が生じたため漁獲量が急激に減少したとも考えられる。すなわち、この海岸の漂砂の供給源である関川からの土砂供給がなくなった影響が、1980 年ころから柿崎漁協の海底の影響を受け易い漁種の漁獲高に出始めている可能性もある。

いずれにしても、底質特性の変化は海底地形を変化さ

* 正会員 工博 京都大学助手 防災研究所
 ** 正会員 工博 名城大学教授 学部新設準備室
 *** 正会員 五洋建設株式会社 土木設計部



図一 沿岸の開発や海底地形の変化に敏感に反応すると思われる水産資源の経営体当たりの漁獲量の経年変化

せるだけではなく、沿岸域の底生動物やそれを捕食する魚類、甲殻類の生態をも変えると考えられる。今後、上越・大潟海岸の底質変化、海底地形変化としての侵食過程とともに、生物環境の変化をも考慮した海岸環境の総合的把握が必要である。

3. 大規模海浜過程

この海岸では、土屋・山下・泉・鳥取 (1993) により大規模海浜過程が明らかにされているが、漁業生産高と密接な関係が有ると考えられる底質特性の変化については必ずしも明確にされていない。また、直江津港築港に伴う大規模海岸構造物による海浜変形のため漂砂系が変化しており、その空間分布に関しては議論の多いところである。

ここでは、このような疑問に答えるため、海岸底質の粒径の鉛直および平面分布から侵食に伴う底質の細粒化の過程を考察するとともに、深浅測量による侵食・堆積図から沿岸漂砂量の沿岸分布および漂砂量ベクトルを推定する。

3.1 開発に伴う外浜底質の細粒化

この海岸の侵食に伴い海岸底質の細粒化が進行してきているが、海底表面の底質調査からは粗粒成分が何処に行っただのかを明確に示すデータは得られていない。このことは、粗粒成分が沖方向に移動して海底に埋没し、表層を細粒成分の底質が覆っているためではないかと推定される。そこで、1993年に実施された海底ボーリング調

査の結果を用いて、このような細粒化のシナリオが描けるのかどうかを検討する。

a) 中央粒径の平面分布の変化

図-2は1968年に直江津海岸保全事業で行われた底質調査の中央粒径の平面分布である。このころは直江津港の西防波堤はまだ1 km以下であり、漂砂源を遮断した影響が下流側に生じ始める頃に相当している。図中の数字は海底表層における底質の中央粒径(単位 mm)を表わす。この図より、直江津港の築港が始まった1964年当時では、外浜には中央粒径0.7 mm以上の粗砂が、沖合では0.15 mm程度の細砂が分布していたことがわかる。しかしながら、築港から30年たった現在では、外浜に粗い砂は存在せず、1992年に実施された海底面上の底質調査から、全域に渡り中央粒径0.15 mm程度の細粒な砂になっていることが明らかにされている。これは関川からの粗砂の供給が断たれたことによるものと考えることができ、築港以前にあった砂の粗粒成分は、現在では沖へ流失したか、より深部へ潜っていることが予想される。

b) 外浜底質の細粒化のシナリオ

1993年に図-3に示す直江津港周辺海岸の8地点でボーリング調査が実施された。ここではこの結果から、粗粒砂が深部に潜り込んでいる可能性を検討する。地点毎の底質の粒度組成の鉛直分布を図-4に示す。これとボーリング柱状図からは、次のようなシナリオが書けようである。

(1) 沖合の地点 No. 1 のデータでは、深度 2.7 m か

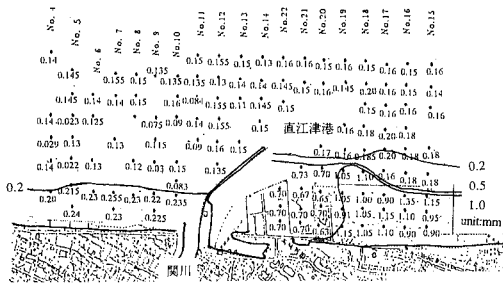


図-2 1968年に直江津海岸保全事業で行われた底質調査の中央粒径の平面分布

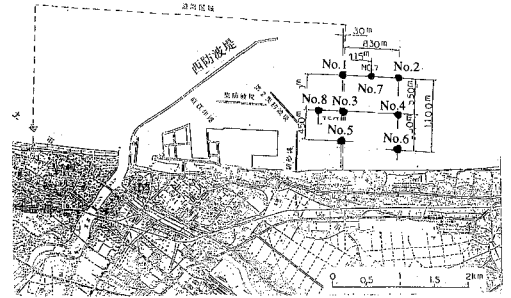


図-3 1993年に実施された直江津港周辺海岸のボーリング地点

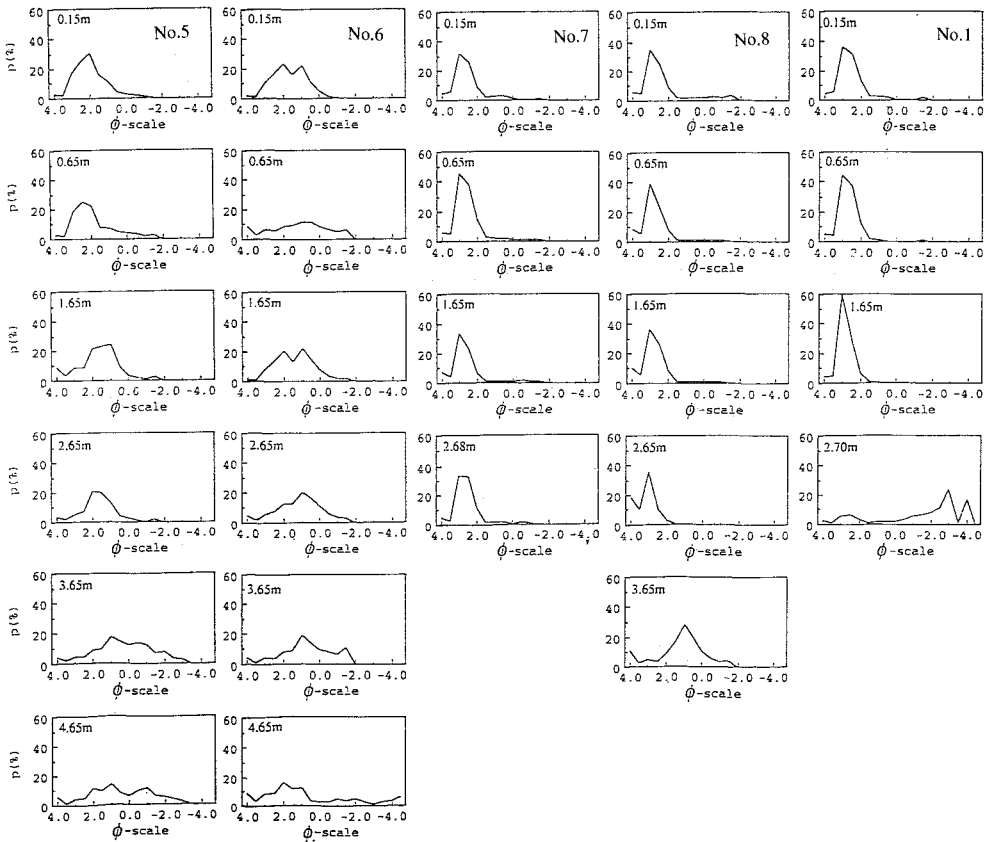


図-4 ボーリング地点 No. 5, 6, 7, 8, 1 の底質の粒度組成の鉛直分布

ら 3.1 m にかけて砂れき層が存在し、粒度分布特性もここで大きく変化している。同様に、地点 No. 7 のデータにも深度 3 m から 3.25 m に砂れき層が存在する。これはこの海浜が自然海浜であった頃の粗粒成分であるかも知れない。

(2) 岸寄りの地点 No. 5 (水深 6.75 m) および No. 6 (水深 4.8 m) では深度 3 m から 5.8 m にわたって、れき混じりの砂層が存在している。この地点は冬季高波浪

時には碎波帯となるところで、これらより沖の層とは粒度組成が大きく異なり、かなり粗い砂で形成されている。この層においても、海底面から 3 m 程度の深さまでとそれ以深とでは粒度組成が異なることから、海底面下 3~4 m までは底質の混合が起こる層であろうと思われる。

(3) このことから、関川からの流送土砂の粗粒成分は碎波帯内の深部 3~4 m 位までのところには残っており、その大半は碎波帯内を沿岸方向に運搬され細粒化が

進行したものと考えられる。また一部は沖に流出し、海底面下3m 辺りに堆積しているものと思われる。砕波帯外の表層には細粒成分だけが堆積していることから、沖での海底地形変化は細粒成分により支配されていると言えよう。

3.2 漂砂量の平面分布の推定

上越・大潟海岸全域の深淺測量は比較的少なく、平成元年および5年に直江津港から九戸浜までの測量が実施されているだけである。ここではこの結果から、侵食・堆積図を作成し、漂砂量の空間分布を求める。

2枚の測深結果を単純に差し引きすると平均水深の差は16cmである。これでは約4年間で対象海域に700×7000×0.16=784,000 m³の砂が入ってきたことになる。さらに、これを沿岸漂砂で表示してみる。直江津港の突堤基部において沿岸漂砂量ゼロ(Q=0)なる境界条件を与えて、西側から東側へ積分すると観測棧橋付近での沿岸漂砂量は約8,000 m³/yr/mの西向き漂砂となり、いささか不自然な結果となる。測深の誤差を考察して、全体の水深の差し引きがゼロとなるように補正する。すなわち系内には土砂量の変化は無いという仮定を立てることにする。以下ではこの補正を施した侵食・堆積図により漂砂量の平面分布を考察する。

a) 沿岸漂砂量の推定

図-5は直江津港の突堤基部においてQ=0なる境界条件を与えて、西側から東側へ積分して得られた沿岸漂砂量の沿岸方向分布である。これより、この海岸の沿岸漂砂は大潟漁港から犀浜辺りでの沿岸漂砂はゼロで、それより直江津港側では西向き(左)、棧橋側では東向き(右)となっており、棧橋の東側で沿岸漂砂がゼロとなっ

ていることがわかる。この結果は、土屋・山下・泉・鳥取(1993)が自然海浜を仮定して波浪の変形計算から求めた沿岸漂砂量と向きが変わる点が観測棧橋の辺りでよく一致する。図-6は土屋らの求めた沿岸漂砂量の沿岸方向分布(実線)とここで得られた結果(破線)とを重ねて表示したものである。

これより、両者の接続は極めて自然であり、次のような現象がよく理解できる。土屋らの計算では直江津港の影響は考慮されていないので沿岸漂砂は東向きであるが、ここでの解析結果には大潟漁港以西で西向き(直江津港へ向かう)の沿岸漂砂が生じることが再現されている。

以上の結果から、深淺測量図から推定される上越・大潟海岸の沿岸漂砂の特性は次のように要約される。

(1) 第1工区では西向きの沿岸漂砂で、その量は最大で約2,700 m³/yr/m。これは直江津港の防波堤による影響で、第2要因によるものである。すなわち、直江津港の防波堤の回折波による海浜循環流(時計回り)によるもので、直江津港の影響は犀浜から大潟漁港辺りまで及んでいることを示す。

(2) 大潟漁港辺りでの沿岸漂砂はゼロとなり、第2工区では東向きでそのオーダーは第1工区のそれと同程度である。

(3) 第3工区は見掛け上は自然海浜に近く、土屋ら(1993)の計算では代表波浪による沿岸漂砂は東向きである。ただし、大潟海岸の東端での沿岸漂砂量の見積もりは若干過大評価になっているかも知れない。

(4) 工区は漂砂系を考慮して設定されたものではなく、海岸侵食の現状により分けられたものであるが、ここで得られた漂砂系のゼロ点に工区の境界がほぼ対応している。このことは、推定された沿岸漂砂量の沿岸分布が現象とよく対応していることを物語っているといえよう。

b) 漂砂量ベクトルの推定

ここでは、侵食・堆積図から平面2次元の場合の漂砂量ベクトルを推定する。一般に、漂砂量は2成分の未知量であるため、地形変化から直接これらの成分を求めることはできない。そこで、漂砂量ポテンシャル(スカラーポテンシャル)φを定義することにより、漂砂ポテンシャルのポアソン方程式を導き、適当な境界条件を与え、系内の漂砂量ベクトルを計算する。なお、この方法はよく用いられる解析方法であり、その一般的な考察は泉宮・内山(1992)によりなされている。

いま、平面2次元における漂砂量ベクトルqと海底地形変化との関係式は、次式で与えられる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、hは水深およびtは時間である。

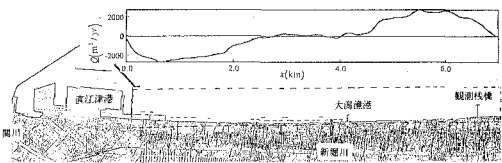


図-5 侵食・堆積図から得られた沿岸漂砂量の沿岸方向分布

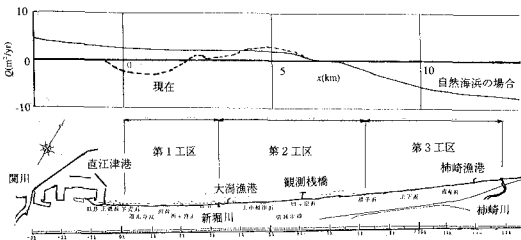


図-6 土屋ら(1993)の沿岸漂砂量の沿岸方向分布(実線)と侵食・堆積図から得られた分布(破線)

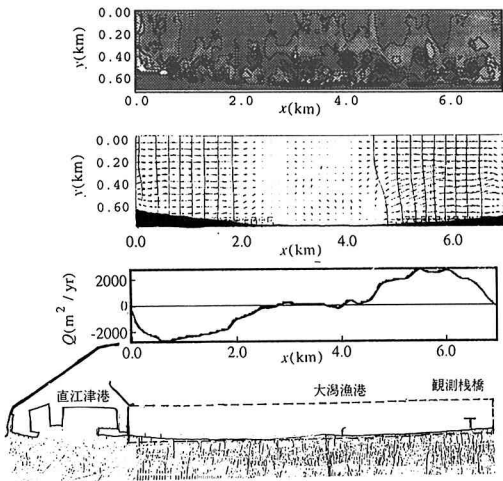


図-7 侵食・堆積図 (上図), 漂砂量ベクトル (中図), およびそれを岸沖方向に積分して求めた沿岸漂砂量 (下図)

一方, 平面 2 次元の漂砂量ポテンシャル ϕ は, 次式で定義される.

$$q_x = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad q_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} \dots\dots\dots (2)$$

式 (2) を式 (1) に代入すると, スカラーポテンシャルに関する次式のようなポアソン方程式が得られる.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{\partial h}{\partial t} \dots\dots\dots (3)$$

ここに, $\partial h/\partial t$ は地形の時間変化であり, 湧き出し項に相当している. 以上の方法により, (1) 時間の異なる深淺測量図 (季節は一致した方がよい) から湧き出し項 $\partial h/\partial t$ の平面分布が得られており, (2) 対象とする系の境界での漂砂量ポテンシャルの境界条件が特定できる場合には漂砂量ベクトルを計算することができる.

数値計算には SOR 法を用い, 境界条件はすべての境界で漂砂量をゼロとして与えた. 図-7 に得られた漂砂量ベクトル (中図), それを岸沖方向に積分して求めた沿岸漂砂量 (下図) および侵食・堆積図 (上図) を示す. この図から明らかなように, 沿岸漂砂の沿岸方向分布は前節で求めたものにほぼ一致し, 大潟漁港の東側では沿岸で比較的強い東向き漂砂が存在し, 沖では岸に向かう成分が存在している. また, 犀浜から大潟漁港にかけては漂砂は少なく, 大潟漁港の沖合で弱い沖向き漂砂が見られる.

4. 結 語

以上, 上越・大潟海岸を例として, この海岸の大規模海浜過程を把握するために底質および漂砂系に関する検討を行うとともに, 沿岸域での漁業生産環境にも着目し

て海岸侵食との関係を調べた結果, 次のようなことがわかった.

(1) 直江津, 才浜, 柿崎漁協における漁業水産物の漁獲高の変化と海浜変形, 海岸底質特性との関係について検討し, この海岸の漂砂の供給源である関川からの土砂を止めた直江津港の影響が, 1980 年ころから柿崎漁協の漁獲高に影響し始めている可能性があることを見いだした.

(2) 直江津港築港直後から現在までの海岸底質の調査データおよび 1993 年のボーリング調査からは, 関川から供給された底質の粗粒成分が大潟海岸に供給されていたが, 築港以後ではそれが遮断され後浜底質の細粒化が進行しており, 昔の粗粒成分の大半は沿岸漂砂として碎波帯内を東側に運ばれ, 一部は沖方向に流失した可能性があることが示された.

(3) さらに, 1989 年および 1993 年の測量データの漂砂の連続式および漂砂量ポテンシャルの解析から, 直江津港と九戸浜間の漂砂量の沿岸方向分布を求めたところ, 土屋らにより波浪の変形計算から推定された沿岸漂砂量の沿岸方向分布に, 方向および量とも極めてよく一致した.

(4) 侵食・堆積図からこの海岸の漂砂量ベクトルを求め, これから大潟漁港の東側では, 沿岸で比較的強い東向き漂砂が沖では岸に向かう成分が存在し, 犀浜から大潟漁港にかけては漂砂の移動は少なく, 大潟漁港の沖合で弱い沖向き漂砂があることが示された.

なお, 本研究を遂行するに当たり, 建設省北陸地建高田工事事務所および泉 達尚課長をはじめ新潟県河川課の諸官に多大のご協力を頂いた. さらに, 才浜漁業協同組合の小林一善書記には漁協漁獲高の資料を, 中部電力株式会社には 1993 年の深淺測量およびボーリングデータを提供して頂いた. 最後に, ボーリングデータの篩分け解析は福井工業大学芝野照夫教授によるものであることを明記し, ご助力を賜った方々に感謝の意を表したい.

参 考 文 献

泉宮尊司・内山岳士 (1992): 漂砂ポテンシャル関数を用いた平面 2 次元漂砂量ベクトルの推定法に関する研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 321-325.
 北陸農政局新潟統計情報事務所 (1965-1991): 新潟県農林水産統計年報.
 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—上越・大潟海岸の場合—, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 456-460.
 Tsuchiya, Y, T. Yamashita and R. Silvester (1990): Beach Erosion Due to Large Coastal Structure and Its Control, Proc. 22nd Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, pp. 2726-2739.