

海浜変形評価に供する長期間の波浪・風時系列のモデル化 —上越地域海岸を対象として—

Time Series Modeling of Waves and Winds for Evaluation of Beach Profile Change
- Case Study of Joetsu Coast -

間瀬 肇¹・安田誠宏²・勝井伸悟³

Hajime MASE, Tomohiro YASUDA and Shingo KATSUI

A modeling method of long-term time series of waves and winds for evaluation of beach profile change was proposed. Statistical properties of parameters, representing storm waves, were analyzed and theoretical distributions were obtained together with correlations between those parameters. To check the uniformity of waves, meteorological and wave simulations were carried out. Those predictions were compared with the observations at the Naoetsu Port, and found to be well agreed each other. It was concluded that since spatial distribution of waves is uniform along the Joetsu Coast, the statistical variables can be given as input parameters for the concerned area.

1. はじめに

漂砂制御施設の設計や砂浜の性能設計, 地球温暖化に伴う海象変化に対する海岸侵食への影響評価に当たって, 海浜地形の変化を推定する必要がある. 特に, 中・長期の岸沖漂砂や沿岸漂砂による汀線変化の推定には, 外力としての波浪の時系列に加えて, 冬季の日本海のように強い季節風による吹送流が広域の海浜流場の形成に大きく寄与している場合には風の時系列も重要である(馬場ら, 2002). 本研究は, 上越地域海岸を対象として, 中・長期の海浜変形評価に供する長期間の波浪・風特性をモデル化するものである.

高木(1991)の時化モデルは, 1回の時化を1週間単位として, 4種類の有義波高・周期を有する波浪が1日ごとに階段状に増加・減少するものである. 制約条件としては, 検証期間における全波浪エネルギーがモデル化した時化の全エネルギーと等しくなるように時化の繰返し回数を設定する.

本研究では, 基本的に対象地点の観測記録から暴浪時諸量の統計的特性をモデル化するとともに, 気象・波浪モデルにより空間的な特性を加味する. ここでの方法論は上越地域海岸だけに限られるものでなく, 他の海岸にも適用可能である.

2. 解析対象海岸および観測データ

(1) 解析対象海岸

本研究で対象とするのは, 上越市郷津から柏崎市米山崎の区間約 28km に及ぶ上越地域海岸である. 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. この海岸の西方には能登半島, 北方には佐渡島があり, 沖で発生したうねり性の波浪は, それらによって遮蔽される地形条件となっている.

上越地域海岸の海岸保全は護岸や離岸堤等を用いて実施され, 現在の海岸線を維持することには成功したが, 護岸や離岸堤の前面では反射波により荒天時に漂砂の流出が助長されており, 長期的に海浜を安定化させるには至っていない(新潟県上越地域海岸技術検討会, 1997).

(2) 用いる観測データ

解析に用いる観測データは, ナウファス観測網の1つである直江津港で観測された, 2001年~2005年の5年間の波高, 波向および周期であり, 風についても, 同様に2001年~2005年の5年間の風速と風向を統計解析した.

本研究では, 有義波高が 1.5m を超える波浪状況を時化(暴浪)と定義した. こうして暴浪を定義して, 有義波高の時系列から独立した暴浪を抽出し, 図-1のように, 波高のピーク値, 暴浪の継続時間, 暴浪の発生する時間間隔, 暴浪が発生してからピークに到達するまでの時間, 波向および周期を整理した. また, その暴浪に対応する時刻の風速および風向を整理した.

上越地域海岸へ来襲する波浪を平面的に捕らえるため,

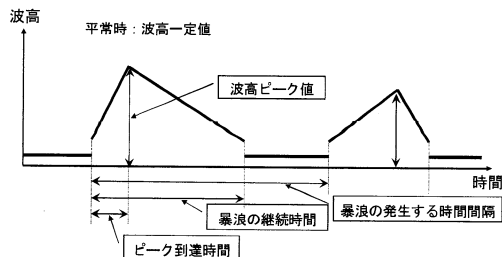


図-1 暴浪表示のためのパラメータ

1 正 会 員 工 博 京都大学教授 防災研究所
2 正 会 員 博(工) 京都大学助教 防災研究所
3 工 修 丸 紅 (株)

気象・波浪追算を行った。これにより、直江津港で得られた波・風の統計的特性を平面的に与えられるかを検討した。

3. 暴浪時諸量の統計的特性

(1) 暴浪時諸量の出現確率分布

合計 178 個の波高ピーク値について、その出現確率分布を図-2 に示す。この観測結果に良く適合する理論分布を求めたところ、Weibull 分布となった。図中に、その Weibull 分布の式と理論曲線を示してある。

図-3 には、暴浪継続時間の出現確率分布を示した。図中の理論分布は、指数分布である。暴浪が発生する時間間隔の出現確率は、図-4 に示す。図中の理論分布は Weibull 分布である。

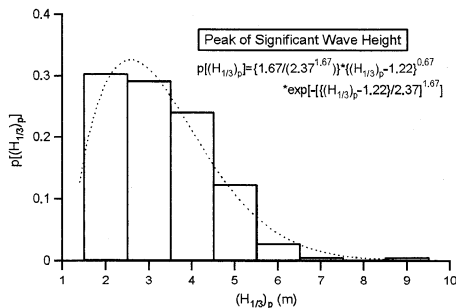


図-2 有義波高のピーク値の出現確率分布

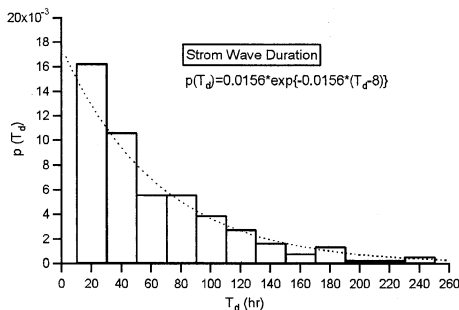


図-3 暴浪継続時間の出現確率分布

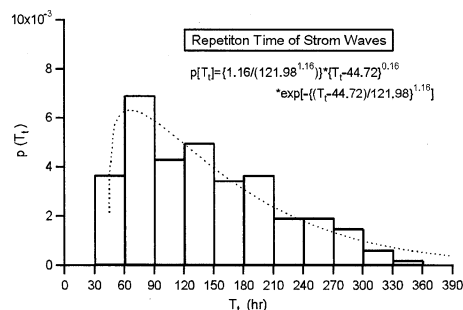


図-4 暴浪の発生時間間隔の出現確率分布

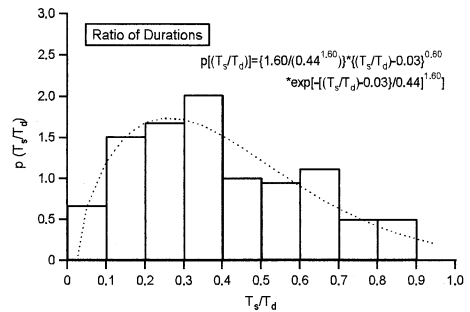


図-5 波高ピーク到達時間・暴浪継続時間比の出現確率分布

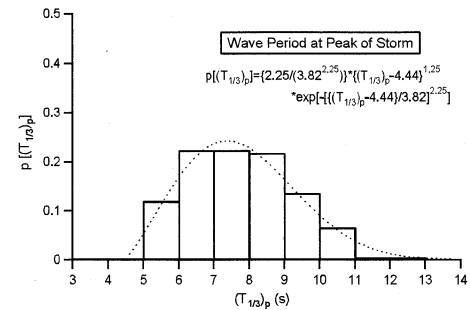


図-6 暴浪ピーク時の有義波周期の出現確率分布

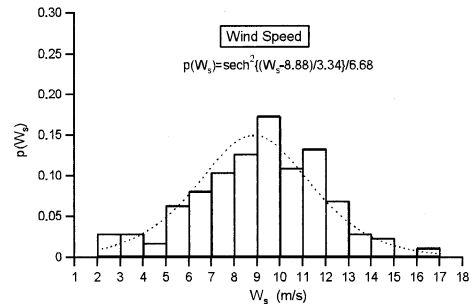


図-7 暴浪ピーク時の風速の出現確率分布

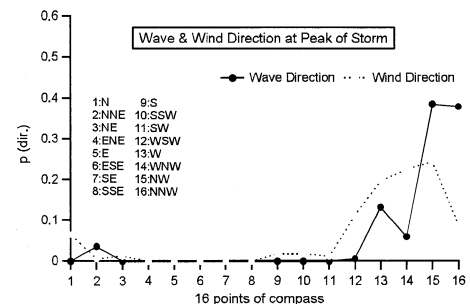


図-8 暴浪ピーク時の波向と風向の出現確率分布

時化が始まり、波高がピークに至るまでの時間 T_s と暴浪継続時間 T_d の比を求めることで、波が発達する状況を判断できるので、その比の出現確率分布も調べた。

その結果を図-5に示す。この観測結果はWeibull分布で表される。

周期、波向、風速および風向について、暴浪発生時、暴浪ピーク時、暴浪終了時に分け、3段階においてそれらの出現確率を整理した。図-6には暴浪ピーク時の周期の出現確率分布を示す。その分布形は、Weibull分布で近似される。暴浪発生時および終了時にはその分布幅は図-6より狭い。また、有義波周期は発生時に小さく、終了時はピーク時のそれとあまり変わらない。

図-7には、暴浪ピーク時の風速の出現確率分布を示した。この分布に最も良く適合したのは、図中に示したロジスティック分布であった。

暴浪ピーク時における波向および風向を図-8に示す。こうした分布を暴浪発生時と終了時についても作成し、暴浪時波向は、発生時から終了時にかけて、西方向から北方向に推移していくことを確かめた。暴浪ピーク時には、波向はNWおよびNNWである。風向は、発生時にはSSE~NNW、ピーク時でWSW~NNW、終了時でSE~Sである。なお、暴浪ピーク時には、波向と風向はかなり良く対応している。

(2) 暴浪パラメータ諸量間の相関

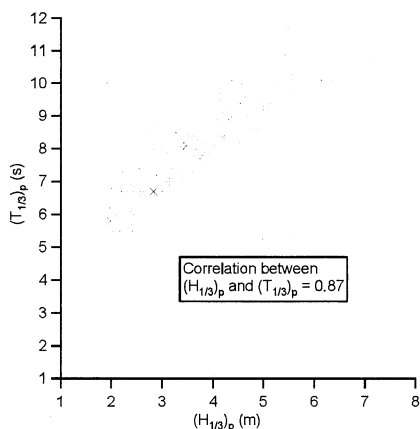
暴浪時諸量間の相関を捉え、時系列モデルに反映させるため、変量の全ての相関を調べた。その結果、有意な相関があった(相関係数が0.5以上)のは、波高ピーク値と周期、波高ピーク値と風速、波高ピーク値と暴浪継続時間、暴浪継続時間と暴浪発生との時間間隔の4つの組み合わせであった。それらの相関関数は、波高ピーク値と周期で0.87、波高ピーク値と風速で0.59、波高ピーク値と暴浪継続時間で0.54、暴浪継続時間と暴浪発生との時間間隔で0.52であった。これらのうち、暴浪ピーク時波高と周期、暴浪ピーク時波高と継続時間の相関を調べた散布図を図-9に示す。

4. 暴浪時の平面分布特性

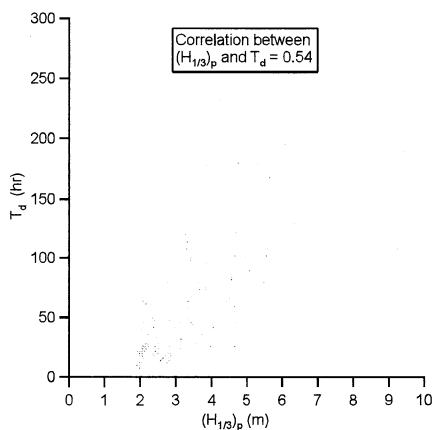
(1) 上越地域海岸の風・波シミュレーション

まず、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) のFNL (Final Analysis) 客観解析風データを用いて日本全域における波浪計算を行い、上越地域海岸の波浪計算を行う際の境界条件として用いる。

次に、FNL 気象データを基に、WRF (Weather Research and Forecasting model) により上越地域のメソ気象計算を行って風データを取り出し、SWAN (Simulating Waves Nearshore) により波浪計算を行った。計算領域は東経136.5~139.0度、北緯36.5~38.5度である。WRF計算時の格子間隔は5km (格子数は東西に111個、南北に88個)、SWAN計算時の格子間隔は0.017度 (格子数は東西に150個、南北に120個)とした。こうした波浪推



(a) 暴浪ピーク時の波高と周期



(b) 暴浪ピーク時の波高と暴浪継続時間

図-9 各諸量間の相関

算システムは、間瀬ら(2005)を用いた。

計算対象は、各年で最も大きな波高を観測した期間と2番目に大きな波高を観測した期間の2ケースずつの合計10ケースである。

直江津港における風速の追算値と観測値との時系列を比較した。図-10に比較結果の例として、2002年と2005年のケースを示す。風速に関しては、追算値がすべてのケースで5割程度大きくなっていた。これは風速計は直江津港の陸地に設置されている(周囲の建物・施設の影響を受けている)が、風速計算出力値は波浪計と同じ地点の海上でのそれを用いたことが主な原因と考えられる。しかし、風速時系列に関して比較すると、観測結果と計算結果の変化傾向は良いことがわかる。一方、波高に関して比較すると、両者の一致はかなり良いことがわかる。ここには図示していないケースに関しても、同様な一致度が得られている。

(2) 波浪の沿岸方向分布

海浜変形評価に用いる沖波データとして、沿岸方向に

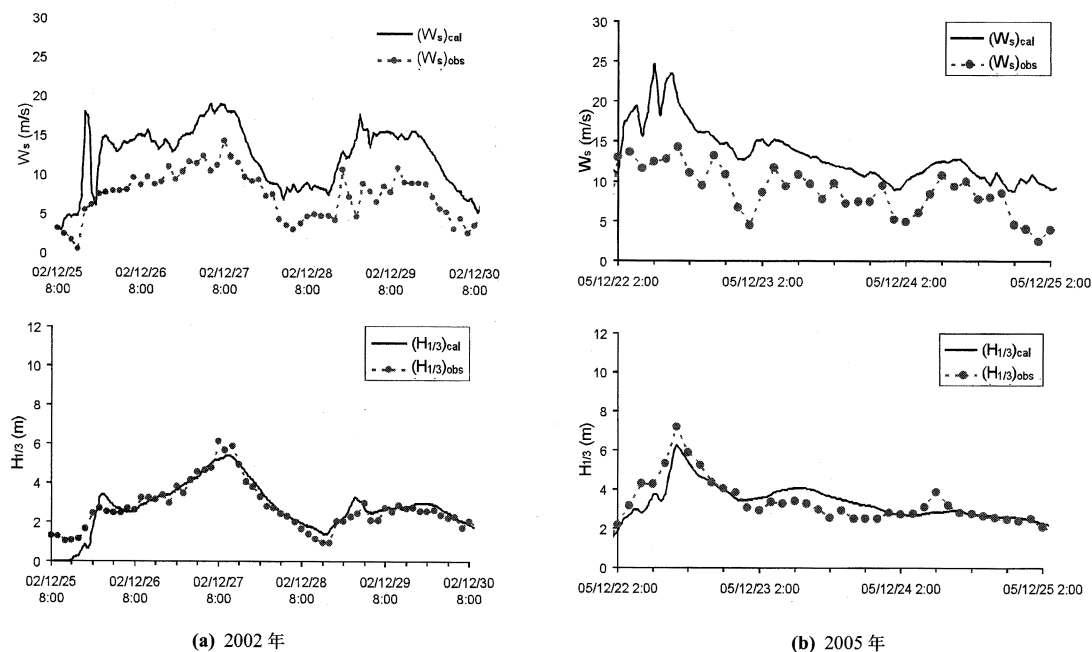


図-10 風と波の追算結果

一定として与えて良いかを検討した。そのため、各年において最も大きな波高を観測した時刻における上越地域海岸の波浪の平面分布を調べた。図-10(b)に示した暴浪ピーク時の波浪の平面分布を図-11に示す。また、上越地域海岸に平行する直江津を含む海上の8点における波高および波向の空間分布を図-12に示す。図中に各地点の緯度・経度を示してある。この図は、図-10(a)に示した期間の暴浪ピーク時のものである。

こうした結果を参照して、上越市郷津から柏崎市米山崎の区間約28kmに対して、一定の沖波を与えても良いことが確かめられた。その際の外力の出現確率特性は、観測結果から得られた確率分布を用いることとする。

5. 波浪・風の時系列モデル

観測結果から得られた暴浪時諸量の出現確率分布および諸量間の相関を用いて、波浪・風の時系列モデルを作成する。暴浪の発生個数は、年平均36個とし、各年の発生個数はPoisson分布で与える。

ここでは、暴浪を図-1のように三角形分布で与える代わりに、図-13のように階段状に与える。すなわち、暴浪発生から暴浪ピークまで、またピークから暴浪終了までをそれぞれ4等分し、三角形の波形と同じ面積となるように一定の波高を与える。1つの暴浪時に対して周期は一定とし、波高・周期の相関を考慮して、ピーク時のそれを与える。また、風速も波高との相関を考慮して、1つの暴浪時は一定値を与える。

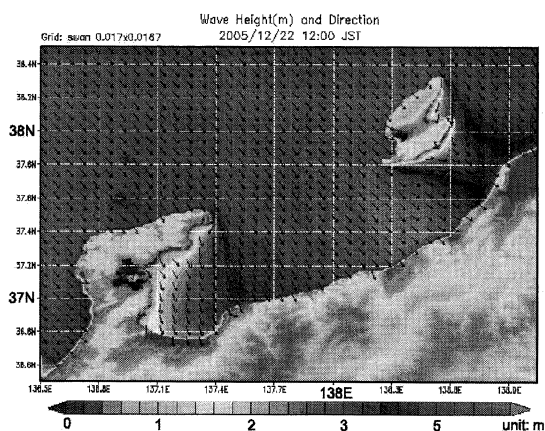


図-11 暴浪ピーク時の波の平面分布

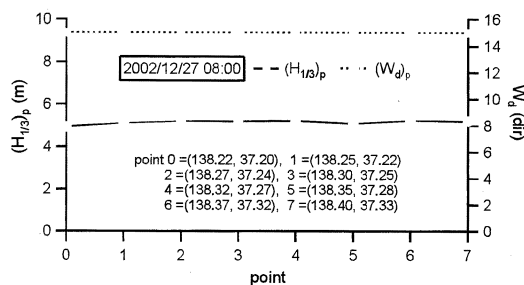


図-12 上越地域海岸に平行な地点の波高と波向の空間分布

具体的には、モンテカルロ法によって、波高ピーク値、暴浪の継続時間、暴浪発生時間間隔、暴浪がピークに到

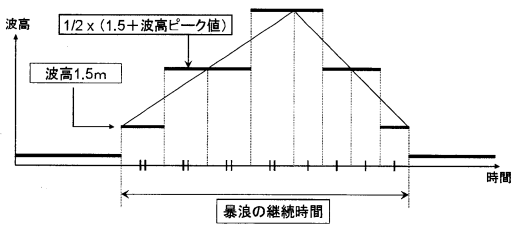


図-13 波高の時系列モデル

達するまでの時間、暴浪ピーク時の波向、風速および風向を、波高ピーク値と周期、波高ピーク値と風速、波高ピーク値と暴浪継続時間、暴浪継続時間と暴浪発生時間間隔の相関を考慮して、求めたい任意の数の組を作成する。

図-14 は、こうして作成した2か月分の時系列の例を示したものである。暴浪が発生するのは、6ヶ月間とする。図には示していないが、同時に周期の値も発生させた。波向きは、NWあるいはNNWのどちらかとする（乱数発生により決める）。風向は、波向きと同じとした。暴浪時以外の時は、観測記録を参考にして、波向をNNWとし、波高を0.4mおよび周期を4sとした。残りの6ヶ月間においては、波と風はないものとする。なお、平均的な汀線の方線方向はNWとNNWの間である。

ここでの問題点として、風速に関して、直江津港で観測された風速値を用いており、追算値と比べて小さい結果となっている。広域の吹送流れの算定に当たっては、海上での風速値が必要であるので、シミュレーション結果を参照して風速を割り増しする必要があると考えられる。また、暴浪時以外の静穏時の波の設定が必要である。

6. 結 論

本研究は、上越地域海岸を対象として、長期間の波浪・風特性をモデル化する方法を提案した。基本的には、対象地点の観測記録から暴浪を表すことができるパラメータ（波高ピーク値、暴浪の継続時間、暴浪発生時間間隔、暴浪がピークに到達するまでの時間、暴浪ピーク時の波向、風速および風向）を定義し、それらの出現確率特性とパラメータ間の相関を定める。それらの確率特性を持つようにモンテカルロ法により、一組のパラメータ群を作成するものである。これは観測データがある1地点のみの諸量であるので、これを平面的に与えても良いかを数値気象モデルおよび数値波浪モデルで検討した。

ここでは、上越地域海岸を対象としたモデル化であるが、この方法論は他地域にも適用可能である。この手法を用いることにより、数十年にわたる波・風時系列をモ

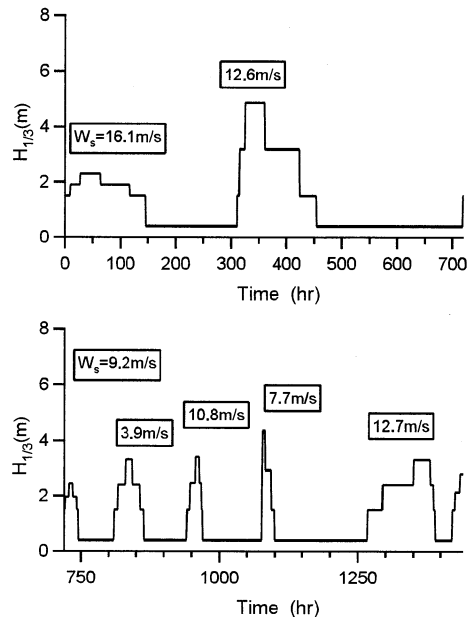


図-14 2ヶ月分の波高の時系列モデル

デル化できる。まったく観測データがない場合には、気象計算と波浪計算により、長期間のデータ作成が必要であり、波浪・風時系列は数値モデルの精度に依存することになる。

本研究を行うに当たり、(独) 港湾空港技術研究所海象情報研究室の皆様には、波浪観測結果の取得にしてお世話になり、ここに謝意を表します。また、本研究は科学研究費基盤研究(B)(代表：京都大学防災研究所関口秀雄教授)の一部であることを附記し、感謝いたします。

参 考 文 献

- 間瀬 肇・木村雄一郎・Tracey H. Tom・小川和幸(2005)：GFS-WRF-SWAN援用波浪推算システムの構築と検証，海岸工学論文集，第52巻，pp.181-185。
- 高木利光(1991)：地形変化を波・海浜流に考慮した海浜変形予測システム，海岸工学論文集，第38巻，pp.396-400。
- 新潟県(1997)：上越地域海岸技術検討会（概要版），16p。
- 馬場康之・加藤 茂・木原直人・山下隆男(2002)：広域海浜流の観測と定式化，京都大学防災研究所年報，第45号 B-2，pp. 459-465。
- GFS: A medium range synoptic forecasting system developed and processed, NCEP, <http://www.emc.ncep.noaa.gov/modelinfo>.
- SWAN: A numerical wave model for obtaining realistic estimates of wave parameters in coastal areas, lakes and estuaries from given wind-, bottom-, and current conditions, Delft University of Technology, <http://fluidmechanics.tudelft.nl/swan/default.htm>.
- WRF: A mesoscale numerical weather prediction model, NCAR (National Center for Atmospheric Research), <http://wrf-model.org/>.