

高波の継続時間の分解による統計モデルの適用

清水建設株式会社	正会員	近藤 弘樹
名古屋工業大学大学院	非会員	平 宜起
名古屋工業大学大学院	学生会員	古泉 祐輝
名古屋工業大学大学院	正会員	北野 利一

1. はじめに

海洋の水面変動は時々刻々と不規則に変化することから、ある時刻における波高の代表値を有義波高として算出し、波浪データとして記録する。この有義波高の変化を記録した時系列データもまた、波として扱われ、波浪の特性を知るうえで重要な情報である。この波から算出される波浪特性の1つに、継続時間または持続時間がある。これは、ある基準となる波高を超えている時間、または超えていない時間のことで、それぞれ高波時、静穏時として分類される。

本研究では、高波時の継続時間を対象として、その特性をモデル化することを目的としている。解析には全国港湾海洋波浪情報網(リアルタイムナウファス)によって観測された、青森県深浦(2005年-2009年;測得率99.89%)の波浪データを使用する。

2. 継続時間に与える波高ピーク値

高波時の継続時間 T_d はある基準波高を越えている時間であり、波の発達や衰退は低気圧や嵐といった気象条件によって変化する。台風を例にして考えると、ある観測地点に台風が接近するにつれて波高は発達し、ある時点でピークに達し、その後衰退すると考えられる。このことから、継続時間内のピークを波高のピーク値として与えてきた。つまり、ある継続時間に発生した最高波高を、ピーク波高として与える。

この波高ピーク値は、継続時間内にたとえ波がどんな変動をしても、同様にして与えられる。そのため、図-2に示すように、ピーク波高が低いときは相関があるものの、波高が高くなるにつれて、ばらつきが大きくなる。

その理由として、継続時間内で波は発達と衰退を繰り返し、複数のピークをもつ波が存在しているからである。その波に対しても、継続時間には最高波高をピークとして与えている。この場合には、継続時間とピーク波高には相関があるとは言えない。これは複数のピークを持つ波が重なり合わさって発生した波であると捉えることができる。

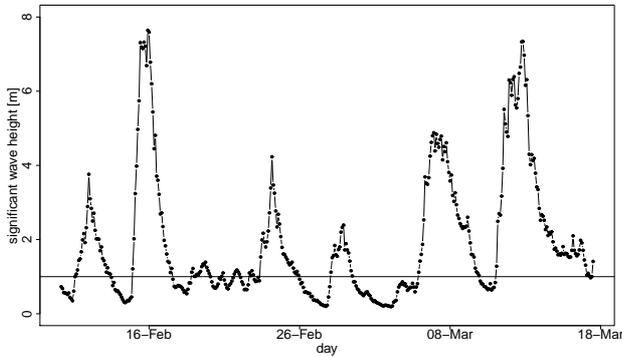


図-1 有義波高の時系列データ(深浦 2007年 2-3月)

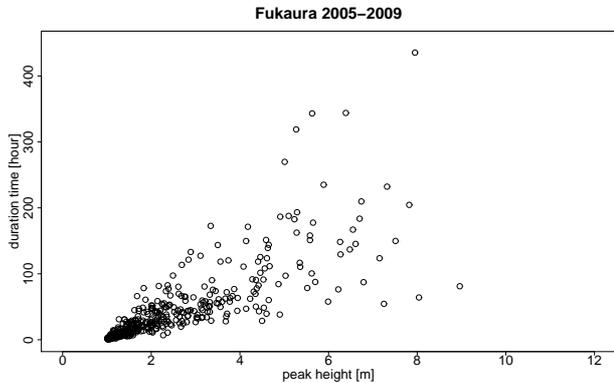


図-2 ピーク波高と継続時間の関係(深浦)

このことから、波高ピーク値に対する発達時間、衰退時間として与えるため、継続時間を分解することを提案する。分解する方法として、例えばすべての極大値で分解することも考えられるが、時系列データには微小変動を含むため、それらをピーク値として扱うことには問題がある。

そこで本研究では、基準波高とは異なる分解する線(ここでは閾値とよぶ)を設定することで、継続時間を分解する。これらの線を区別するため、基準波高を H_c 、閾値を H_u とする。分解によって得られた発達時間、衰退時間は、ワイブル分布によって推定する。

キーワード 高波の継続時間, ワイブル分布, 波高ピーク値
 連絡先 〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 清水建設株式会社 TEL. 03-5441-1111

3. ワイブル分布による衰退時間の推定

閾値 H_u を用いた継続時間の分解は、図-3 のように定義され、発達時間を T_1 、衰退時間を T_2 とする。また、基準波高 H_c を横切らない場合は、打ち切りデータとして区別する。この分解の対象となる継続時間は、波高が閾値を超える場合のみであり、閾値を越えることなく衰退した波の継続時間は、推定の対象ではない。

閾値の設定は、発達衰退の変動がある程度発生している高さに設定する必要がある。深浦に関しては、閾値を 3.5m から 4.5m までを範囲とし、ここでは閾値 3.5m の場合のみ示す。また、基準波高は 1m とした。ただし、基準波高および閾値はここで示した限りではなく、様々に変化させて結果を比較検討する必要がある。

継続時間の分解によって得られた衰退時間を、ワイブル分布を用いてモデル化するためには、パラメータを推定し、適合性の確認をする必要がある。ワイブル分布には、打ち切りデータを含めた解析をすることが可能で、パラメータの推定には最尤法、適合性の確認には Q-Q plot を用いる。ただし、ここで Q-Q plot は一般的な定義とは異なり、直線をモデルとしデータをプロットする。推定に用いるワイブル分布の生存率関数は、条件 z を加えたとき、

$$S(t; z) = \exp\{-(\lambda_0 t)^\alpha e^{\beta z}\} \tag{1}$$

と表される。ただし、 λ_0 、 α はワイブル分布の尺度母数、形状母数であり、 β は条件 z の係数である。またこの式は、

$$Y = \frac{1}{\alpha} X - \left(\log \lambda_0 + \frac{\beta z}{\alpha} \right) \tag{2}$$

となる。ここで、 Y は $\log t$ であり、 X は $\log(-\log S(t; z))$ である。よって、ワイブル分布は、縦軸を Y 、横軸を X とした直線として表される。本研究では条件 z を $\log H_p$ とし解析した。推定の結果、発達時間、衰退時間のパラメータ (α λ_0 β) は、それぞれ (1.52, 0.05, 0.65), (1.93, 0.03, 1.24) となった。

また図-4 は、式 (2) を用いてモデルを直線とし、データは打ち切りデータを除いてプロットした。直線はピーク波高を 4.0m, 6.3m を代表として描いたもので、直線はプロットしたデータとよく適合しており、波高ピーク値が高くなるほど、切片は小さくなる。ゆえに、ピーク波高を条件とすることで尺度母数が変化することが確認された。

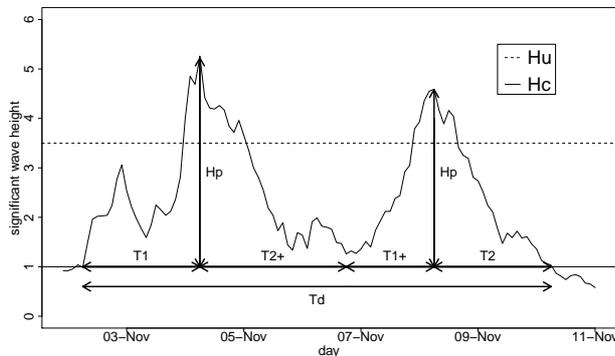


図-3 閾値による継続時間の分解

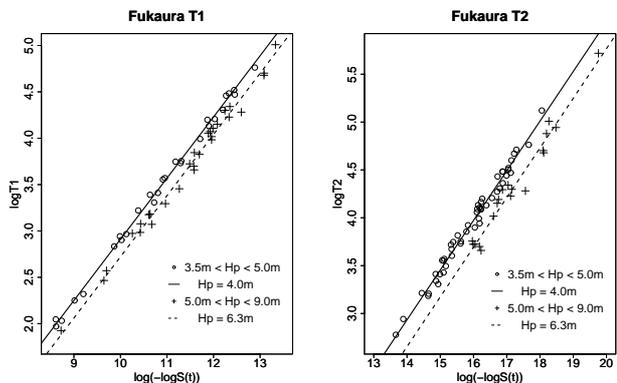


図-4 Q-Q plot による適合性の確認

さらに、ピーク波高を条件とするモデルに対する検定を行なった。帰無仮説を「ピーク波高を条件としないモデル ($\beta = 0$)」とすれば、 p 値は発達時間 0.16、衰退時間 0.025 となった。有意水準 0.05 のもとでは、発達時間に関しては帰無仮説が棄却されず、また衰退時間は、対立仮説 (ピーク波高を条件とするモデル、 $\beta \neq 0$) が採択された。これは、図-4 における衰退時間で、波高ピーク値が高くなるほど、縦軸の衰退時間が長くなることから示された。

4. おわりに

高波の継続時間は、閾値を用いることで、発達と衰退を繰り返す波を、ピーク波高ごとに分解することを提案した。分解によって得られた衰退時間は、ピーク波高を条件としたワイブル分布によって推定することが可能である。ただし検定の結果、発達時間については、ピーク波高を条件としない可能性があるため検討が必要である。

参考資料

間瀬 肇・安田誠宏・勝井伸悟 (2008):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-, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.426-430.

NOWPHAS : 港湾空湾技術研究所, リアルタイムナウファス, <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>