

高波の継続時間と衰退時間の確率分布

名古屋工業大学 大学院 学生会員 ○近藤 弘樹, 古泉 祐輝, 平 宜起
名古屋工業大学 大学院 正会員 北野 利一

1 まえがき

継続時間は港湾・海岸構造物の設計や施工管理で用いる指標として考えられ, 研究は, 高波時での継続時間と, 静穏時での継続時間についての検討がなされてきた. その中で, 高波の継続時間に関しては, 2つのアプローチが提案され, 1つは, 基準波高(閾値)と継続時間を関連づける方法で, もう1つは最大波高と継続時間を関連づける方法である. しかし, 高波の継続時間の確率分布特性は未だ解明されていない部分が多い.

従来の高波の継続時間の定義は, 基準波高を超えてから再び横切るまでの時間を継続時間としている. この期間内で一つのピーク値を決定し, ピーク到達時間等を定義し, 三角形モデルとして表している. しかし, 実際の波形は三角形モデルで単純化できるものではなく, 一つの継続時間の間では発達と衰退を繰り返し, 複数のピーク値を持つ. つまり, 従来の継続時間時間, 実際の波形とは無関係なモデルを用いている.

そこで, 従来の継続時間の間にある, 複数のピーク波高それぞれで分解することを提案する. また, ピーク波高を境に, 発達時間と衰退時間とに分解する. 本研究では, 分解時での問題点となる時系列の微小変動について, EMDにより平滑化を行い, 衰退時間のみに焦点をあてて, その特性について検討する.

2 欠測点の補間と継続時間の分解

解析に用いる有義波高の時系列データは, NOWPHASで観測された北海道瀬棚の2001年から2008年までのデータを使用する. 欠測点の補間は, 3点(6時間)までは直線または三次補間とし, 4点以上は継続時間には含めないこととした.

従来の継続時間に対して, ここで考える継続時間 T は, 発達時間 T_1 , 衰退時間 T_2 の和と定義する. 衰退途中で基準波高を横切ることなく再び発達した場合は, 打ち切りデータとして区別し, 添字+をつけ T_2^+ とする. 発達から衰退, および再発達での分解位置は, 二次補間による極大・極小値とする.

3 EMDによる平滑化

継続時間の分解をするにあたって, 時系列データを平滑化する意義は, 高周波数の除去, つまり微小変動を取り除くことにある. 主な原因は, 有義波高の算出に伴う統計誤差である.

そのため, Hungら(1998)によって提案された経験的模式分解(EMD)を用いて平滑化する. EMDは波形に対して固有振動モード関数(IMF)と呼ばれる狭帯域の信号の和に分解する手法です.

$$X(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n(t) \quad (1)$$

ここで, c_i は IMF, r_n は残差でありトレンドもしくは一定となる. 経験モードは高周波数の成分から順に求め, それを元データから除くことにより, 平滑化したと見なすことができる.

また, IMFは次の2つの条件を満たす.

- 極値の数とゼロクロスする回数が同じか一つ違い
- 極大点と極小点から作られる包絡線の平均値がゼロ

元データと, 順に求まる IMF を元データから1, または2つ除いたものを図1に示す. 2つの IMF を除去するとピーク波高の減少が大きく, 最大波高と関連づける場合には適切でないため, 1つの IMF を除去したときのデータを用いる.

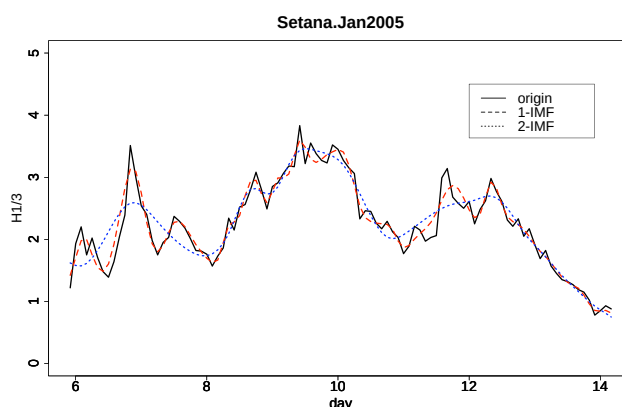


図1 EMDによる平滑化

るモデルを考えるのが良い。

4 分解した継続時間の確率分布

従来の算出方法による継続時間は、2 母数 Weibull 分布に適合しているとされている。基準波高を 1.5m として算出したものであるが、図 2 左のように、ピークの存在しない、なだらかな分布形になっている。

また、図 2 右は、継続時間を分解したあとの衰退時間 T_2 、ただし打ち切りありの T_2^+ を除いた衰退時間のヒストグラムである。図中の曲線は 2 母数 Weibull 分布に適合していると考え、最尤法により母数を推定しあてはめたものである。以上から、ピークの存在する分布形となることがわかった。

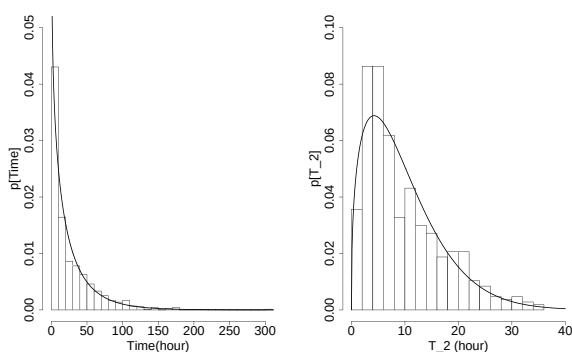


図2 ヒストグラム (左: 従来, 右: 分解後の T_2)

推定した確率分布との適合度をみるため、ここでは、経験分布関数 (EDF) を用いて継続時間と Weibull 分布の比較を行う。EDF での中心となる理論は、観測値の累積分布関数は、確率分布の累積分布関数に一致するというものである。この結果を、図 3 に示す。よって、両者は適合していると判断できる。

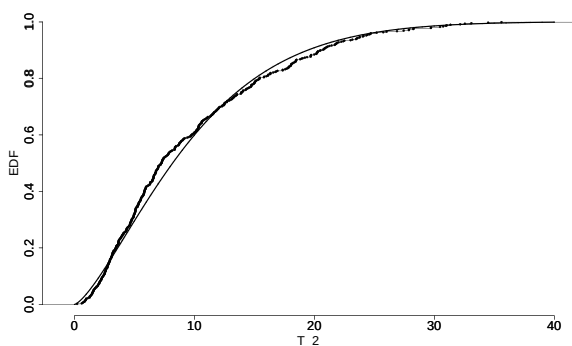


図3 打ち切りなしの T_2 の経験分布関数

また、ピーク波高と衰退時間 T_2 の散布図を図 4 に示す。打ち切りなしのデータでは明らかな相関が見られた。つまり、ピーク波高の階級ごとに継続時間を推定す

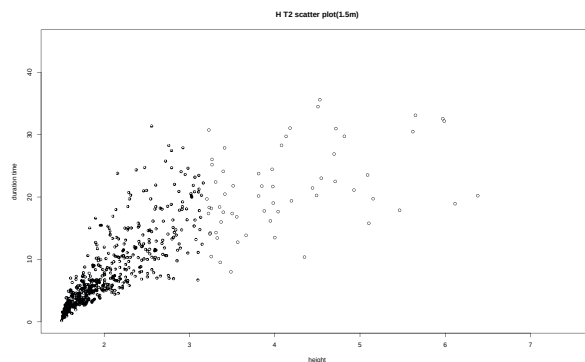


図4 波高と衰退時間 T_2 の散布図

5 結論

従来の継続時間はピークのない分布形となるが、継続時間を分解することによって得られた高波の衰退時間 T_2 は、打ち切りなしの場合 2 母数 Weibull 分布に従うことが確認され、一つのピークを持つ分布形となった。また、従来の研究で行われてきたピーク波高と継続時間の関係も、打ち切りなしの衰退時間には相関が見られた。

打ち切られた衰退時間 T_2^+ に関しても、方法によっては T_2 と同じ関係性を見つけられるであろう。それについては、今度解析を進めていく必要がある。

参考資料

- 高橋智晴・広瀬宗一・橋本典明 (1982): 沿岸波浪の統計的性質について, 海岸工学論文集, 第 29 巻, pp.11-15.
- 山口正隆・大福 学・畑田佳男 (1993): 高波の継続時間の統計的特性とその推定法, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp.116-120.
- N.E.Huang, Z.Shen, S.R.Long, M .C.Wu, H.H.Shih, Q.Zheng, N.-C.Yen, C.C.Tung and H.H.Liu(1998): The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, Proceedings of the Royal Society of London, pp.911 - 917
- 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