

## 高知港の長周期波予測の検証

窪田 和彦\*・大村 厚夫\*\*・小泉 勝彦\*\*\*

\* (一財) 沿岸技術研究センター 波浪情報部 業務課長

\*\* (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

\*\*\* 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 副所長

太平洋に面した高知港三里地区の長周期波対策として、四国地方整備局は平成 22 年度より「高知港長周期波予測システム」を運用している。また、平成 23 年には三里地区の護岸に超音波式の波高計が設置された。予測システムを構築した当時は波高計が港外にしかなく、港内の予測結果を実測値と比較検証することができなかったが、現在はそれが可能となっている。そこで、護岸前面の長周期波高の予測結果を観測データと比較し、予測の妥当性を検証した。その結果、港外の有義波を精度良く予測できれば、港内の長周期波高を精度良く予測できることが示された。港内の長周期波高の予測精度を向上させるためには、特に港外の有義波周期の予測精度を向上させることが有用と考えられる。

キーワード：長周期波, 予測, 検証, 港内, 有義波高, 有義波周期

### 1. はじめに

高知港は船舶の大型化やバース及びストックヤードの不足等への対応が急務である中、浦戸湾内における新たな港湾施設の整備に限界があるため、外洋に面した三里地区に国際物流ターミナルの整備が進められており、一部が供用されている。しかし、三里地区では長周期波の影響による荷役作業の中断や係留索の切断が発生していることから、その対策が課題となっている。このため、四国地方整備局は港内の静穏度を上げるための防波堤の延伸や、係留系と一体となった船舶動揺低減装置の開発といったハード的な対策を進めおり、さらにソフト的な対策として平成 22 年度より高知港長周期波予測システム<sup>1)</sup>を運用している。

本システムが対象としている長周期波は、周期 30 秒から 300 秒までの周期帯のものである。予測計算は「有義波が高いときに長周期波も高い」という統計的な特性を利用している。このため、「有義波は低い長周期波は高い」といった事象の予測は難しいという課題を抱えている。また、岸壁の前面における長周期波高は、港外のナウファスの波高計地点（以下、港外の波高計と記す。）における長周期波をブシネスクモデルにより伝搬計算して算出しているが、防波堤の整備の進行に伴い、港形の想定が現状と異なってきている。システムを構築した当時は、港内で観測された長周期波のデータが存在しなかったため、港内の予測結果を実測値と比較してその妥当性を確認することができなかったが、平成 23 年に港内の三里地区の護岸に波高計（以下、港内の波高計と記す。）が設置され、それ以後の予測結果を実測値と比較することが可能となっている。そこ

で、護岸の前面で長周期波高の観測が開始されて以降のデータを利用して予測の妥当性を確認し、精度向上策の検討を行った。

### 2. 長周期波予測の概要

高知港長周期波予測システムの長周期波高の予測計算のフローを図-1 に示す。予測方法は港内長周期波影響評価マニュアル(2004)<sup>2)</sup>を参考にしている。はじめに港外の波高計地点における有義波を予測し、これを基にその地点の長周期波高を推定する。更にブシネスクモデルにより、その地点から港内に長周期波が伝搬す

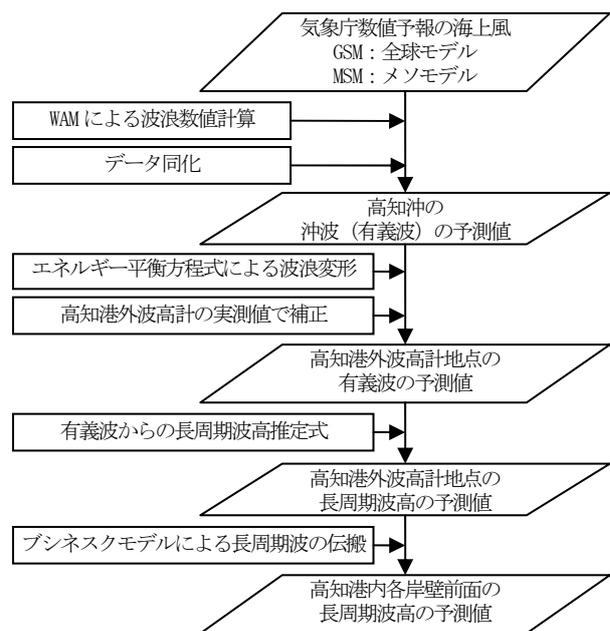


図-1 長周期波予測のフロー図

際の変形計算を行って、岸壁前面の長周期波高を算出している。

港外の波高計地点における有義波の予測は、(一財)沿岸技術研究センターのCOMEINS(沿岸気象海象予測情報配信システム)のナウファス地点波浪予測を利用している。これは、第三世代波浪推算モデルWAMに気象庁数値予報(GPV)の海上風を作用させて高知沖の沖波(有義波)を予測し、これにエネルギー平衡方程式により浅海域における波浪変形を施して計算している。WAMの予測計算結果に対してデータ同化を行うとともに、浅海域の変形計算を施して算出した波高計地点の予測結果を実況値と比較して補正することにより、予測の精度を高めている。

有義波からの長周期波高の推定は渥美ら(1997)<sup>3)</sup>に倣い、有義波高と有義波周期の積が長周期波高に比例すると仮定した式(1)を用いている。

$$H_{(L)Now} = r_{Now,wd} H_{1/3} T_{1/3} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $H_{(L)Now}$ は港外の波高計地点の長周期波高(cm)、 $r_{Now,wd}$ は波向別の比例定数、 $H_{1/3}$ 及び $T_{1/3}$ は港外の波高計地点の有義波高(m)及び有義波周期(秒)である。

長周期波が港外の波高計地点から港内に伝搬する間の変形計算は、(独法)港湾空港技術研究所で開発され、公開されているブシネスクモデル(NOWT-PARI Ver. 4.6)を用いている。システムで変形計算の条件に使用している港形が実態と合わなくなっているため、本研究で最近の港形に改めた。入射波のスペクトル形状は周期30~300秒で等エネルギー密度を持つ水位変動を与えた。入射波向は南東、南南東、南及び南南西の4つである。計算された水位変動を解析する際には、30秒から60秒までの周期帯1と60秒から300秒までの周期帯2の2つに分け、港外の波高計地点及び各岸壁前面の長周期波増幅率(入射波に対する波高比)を求めた。長周期波高と増幅率との関係は式(2)で表される。

$$H_{(L)P}^2 = r_{P,T1}^2 (S \times \Delta f_1) + r_{P,T2}^2 (S \times \Delta f_2) \dots \dots (2)$$

ここで、 $H_{(L)P}$ はP地点の長周期波高、 $r_{P,T1}$ 及び $r_{P,T2}$ はP地点における周期帯1及び周期帯2の増幅率、 $S$ は沖の長周期波スペクトル(一様密度)、 $\Delta f_1$ 及び $\Delta f_2$ は周期帯1及び周期帯2の周波数幅である。

実際の予測では、式(1)で求めた港外の波高計地点の長周期波高とその地点の増幅率から式(2)を逆に解いて沖のスペクトル $S$ を求めた後、式(2)を用いて各岸壁前面の長周期波高を計算している。

### 3. 観測データ

港外の波高計と港内の波高計の観測データを解析した。観測地点の位置を図-2に示す。解析の対象期間は、港内で波浪の観測が開始された平成23年3月から平成27年7月までであるが、港内では平成25年2月から平

成26年5月までのデータが欠測であった。護岸の前面の長周期波と有義波は、生データ(0.1秒間隔で観測された水面の上下動のデータ)からナウファスと同等の処理を行って算定した。

### 4. 港外の長周期波高と有義波との関係

本システムの長周期波高の予測は、港外の波高計地点における長周期波高が有義波高と有義波周期の積に比例することを仮定している。図-3は対象期間中の観測データで、この対応をグラフにプロットしたものである。全体をみると、通常波浪の増大に伴い(風波の発達に伴い)長周期波高も増大していることが分かる。

次に、港内の波高計で10cm以上の長周期波高が観測された86ケースについて、各ケースの期間内の最大長

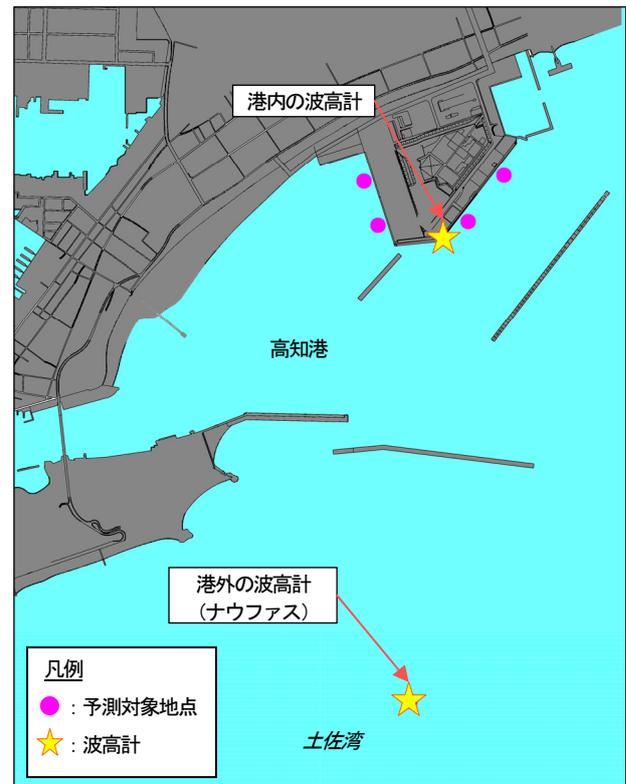


図-2 予測対象地点と波高計の位置

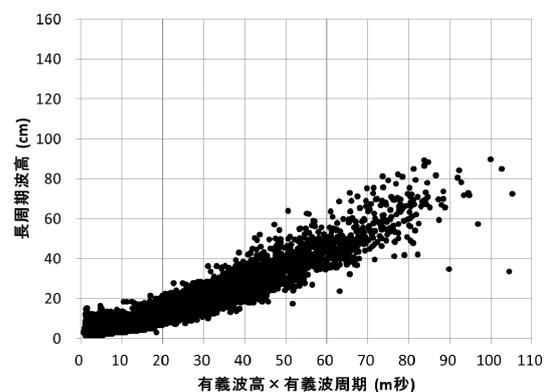


図-3 港外の長周期波高と有義波高×有義波周期との関係

周期波高と、その時の有義波高と有義波周期の積との関係をグラフにプロットした結果を図-4に示す。港外及び港内ともに、有義波高×有義波周期の増加とともに長周期波高が大きくなっている。ただし、ケース1、ケース43、ケース48及びケース63の4ケースは、他から少し外れて長周期波高が大きくなっており、これらは仮定とは異なる要因が長周期波高に影響している

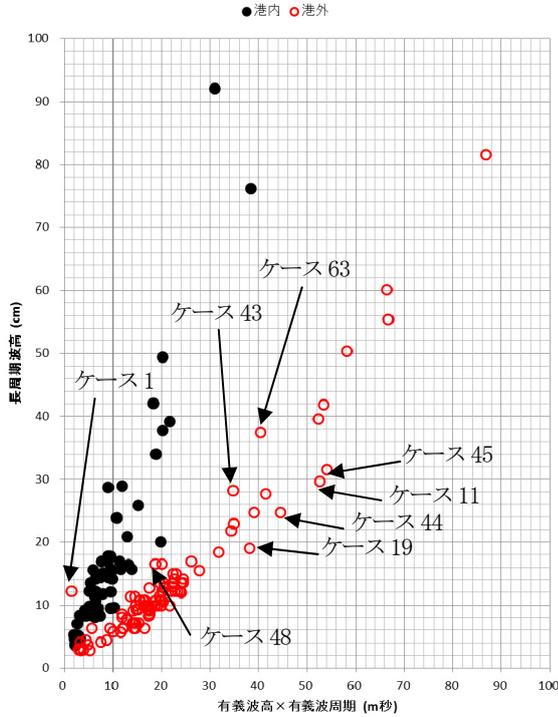


図-4 港内で長周期波高が10cm以上となった事例の最大長周期波高と有義波高×有義波周期との関係

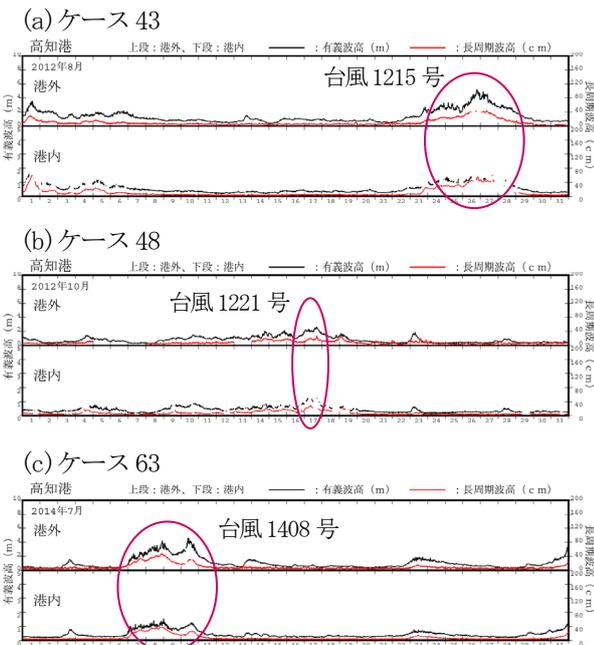


図-5 長周期波高が有義波高と有義波周期の積に対して他より大きかった事例の長周期波高と有義波高の経時変化図

可能性がある。ケース1は平成23年3月11日に発生したもので、東日本大震災時の津波である。各ケースにおける気象状況等を調べた結果、ケース1以外はすべて台風や低気圧による高波やうねりの影響が考えられる状況であった。図-4で長周期波高が有義波高と有義波周期の積に対して他より大きかった4ケースのうち、明らかに津波と判断されたケース1以外の3ケースの長周期波高と有義波高の時間変化を図-5に示す。いずれのケースも台風による高波及びうねりであり、有義波高も増加している。一方、ケース11、ケース19、ケース44及びケース45は他から少し外れて長周期波高が小さい。しかし、図-3のバラつきをみると、ケース1以外は正常なばらつきの範囲と思われる。従って、高知港では、本システムで予測することができない長周期波のみが発達するような現象はないとみられる。

### 5. 港外の長周期波高の予測精度

前節の検討で、港外の長周期波高と有義波の観測データを基に、長周期波高の推定方法が妥当であることを確認した。本節では、現行の予測システムによる港外の長周期波高の予測結果と観測結果とを比較する。

本システムは1日2回、9時と21時を初期値としてそれぞれ72時間先までの予測を行っている。一般に、予測時間 (Forecast Time) が長くなると様々な要因で予測精度が低下してゆくため、予測時間を12時間ごとに区切って検証した。港外の観測値と予測値との相関を図-6に示す。図中の上段の長周期波高の図を見ると、予測時間が13~24時間や25~36時間の場合と比べて、01~12時間の場合は点のばらつきが小さく、予測精度

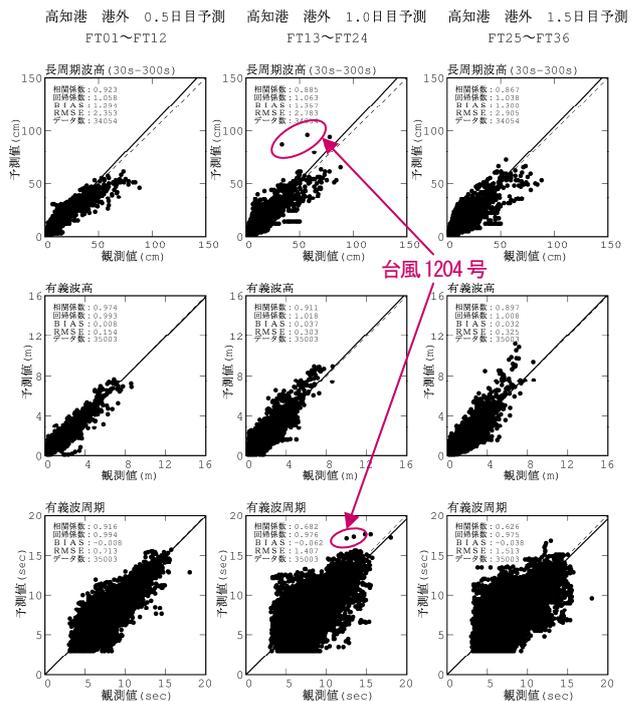


図-6 港外の予測値と観測値との相関 (12時間毎)

が良い。予測時間が13~24時間の図で他の点から外れた赤色楕円で示したデータは、台風1204時のデータである。中段の有義波高の図には外れた点が見られないが、下段の有義波周期の図には離れた点を確認できる。このデータは有義波周期が大変長く、遠方からのうねりであったと想定される。予測時間01~12時間では他の点から外れたデータが見られないことから、予測時間が長くなるに伴う予測精度の低下が原因であると思われる。また、有義波高の図と有義波周期の図を比べると、有義波高は予測精度が非常に良いが、有義波周期はそれより劣っている。長周期波高の予測精度の向上のためには、港外の有義波周期の精度向上が有用と思われる。

現行の予測システムは、港外の有義波の予測に第三世代波浪数値モデルWAMを使用している。しかし、WAMの再現性については、遠方からのうねりが過小評価であるとの指摘がある<sup>4)</sup>。一方、同じく第三世代波浪数値モデルのWAVEWATCH IIIは、うねり性波浪の再現性が良いとの評価が得られている<sup>5)</sup>。WAMに代えてこうしたモデルを使用することにより、長周期波予測の精度が更に向上することが期待できる。

## 6. 港内に伝搬する長周期波の変形計算

現行システムの変形計算で想定している港形が実態と合わなくなってきたため、地形条件を最新のものに改めて、波浪変形係数を見直した。新しい地形条件での変形計算の妥当性を確認するため、港外の波高計地点の有義波高、有義波周期及び波向の観測結果を基に、予測システムで採用している計算方法により港内の波高計地点の長周期波高を推定し、これを港内の観測データと比較した。このことは、予測システムにおいて、港外の波高計地点での有義波の予測が完全に適中した場合の港内の長周期波高の予測精度を確認す

ることを意図している。図-7は、港内の長周期波高の推定値と実測値との関係を散布図に表したものである。式(1)の係数 $r_{New,wd}$ 及び波浪変形係数を波向き別に設定しているため、ここでは波向き別に集計した。なお、東日本大震災時の津波の影響がある時のデータは除外した。いずれの波向きの場合も、推定値は過小評価の傾向があるものの、推定値と実測値との相関は高い。推定値に回帰係数の逆数を乗じて補正すれば、高い推定精度が得られるものと見込まれる。

補正した推定値で作業可否を判定した場合の適中率を算定した。作業可否の基準値を長周期波高10cmに設定した場合の適中率は98.5%であった。港外の有義波の予測精度が高ければ、港内の長周期波高を高い精度で予測できることがわかる。

## 7. まとめ

高知港の長周期波予測システムの予測精度の検証を行った。この結果を以下にまとめる。

- ① 高知港では、本システムで予測することができない、有義波の発達なしに長周期波のみが発達するような現象はないものとみられる。
- ② 港外の波高計で観測された有義波高と有義波周期のデータを基に、現行システムの計算方法により求めた港内の長周期波高の推算値を実測値と比較した結果、過小評価の傾向はあるものの、相関は高かった。回帰係数の逆数を乗じて推算値を補正した結果、非常に高い精度が得られた。港外の有義波の予測精度が高ければ、港内の長周期波高を高い精度で予測できる。
- ③ 長周期波高の予測の誤差の原因は、予測時間が長くなるのに伴い波浪の予測精度が低下することによると考えられる。
- ④ 港内の長周期波高の予測精度を向上させるためには、特に港外の有義波周期の予測精度を向上させることが有用と考えられる。

## 参考文献

- 1) 三村正樹・石本真憲・菊地洋二・宇都宮好博：「高知港長周期波予測システム」の構築について，土木学会論文集B 2 (海岸工学) Vol. 67, No. 2, pp. I\_161~I\_165, 2012.
- 2) (財) 沿岸技術研究センター編：港内長周期波影響評価マニュアル, pp. 29-52, 2004.
- 3) 渥美洋一・若山義樹・國田淳・関口信一郎・川口勉・平石哲也・青木伸一・上田茂：長周期波の港内侵入過程の現地観測と長周期波高予測式の検討，海岸工学論文集 Vol. 44, pp. 221-225, 1997.
- 4) 橋本典明・川口浩二・真期俊行・永井紀彦：第3世代波浪推算法(WAM)の推算精度に関する検討，港湾技術研究所報告 Vol. 38, No. 4, pp. 3-47, 1999.
- 5) 新谷哲也・梅山元彦・小野田祐一：第3世代波浪推算モデルWAVEWATCH IIIの適用性の検証，海岸工学論文集 Vol. 52, pp. 161-165, 2005.

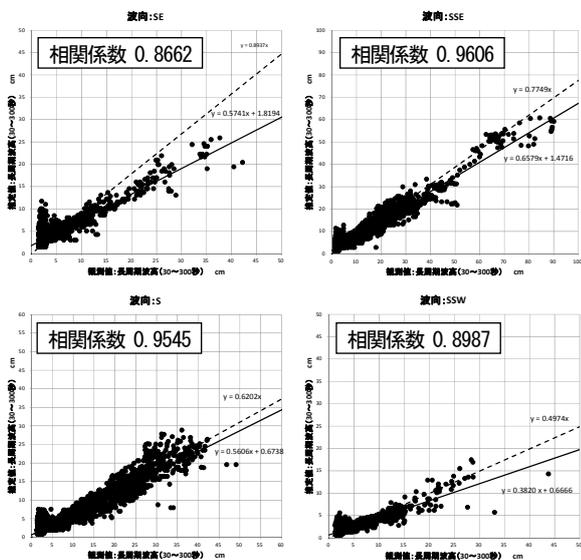


図-7 港内波高計地点の長周期波高推定結果