

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○村山英俊
京都大学防災研究所 正会員 吉岡 洋
京都大学防災研究所 フェロー 高山 司

1.はじめに

和歌山県の田辺湾の北にある下芳養湾では、荒天時に約5分周期で振幅1mにもおよぶ副振動が生じている。高潮によって田辺湾全体の水位が上昇している最中に、下芳養湾において大きな副振動が重なれば、従来の設定潮位よりも0.5m高い水位の状態のときに高波浪が海岸構造物に当たることになり、越波量の増大や転倒モーメント、滑動量に重大な影響を与えるといったことが考えられる。この下芳養湾における副振動は、荒天時に数分周期で変わる風の息や、波高の群波性により引き起こされ(吉岡, 2001), それが下芳養湾の固有周期と一致するために、大きく振幅が増大すると考えられている。そこで、風の息だけでどの程度の副振動が再現出来るかをシミュレーションにより確認するために、後藤により開発された高潮数値計算プログラムを用い、田辺湾と下芳養湾を包含する地域に一樣な空間分布で周期的に変化する風を与えて、沿岸において発生する水位変動を調べた。

2.数値計算

今回のシミュレーションで使用した高潮数値計算プログラムの基礎式は、連続式とNavier-Stokesの運動方程式である。また、海面の抵抗係数 C_D は通常0.0026が使われるが、今回のプログラムでは本多・光易(1980)の C_D 則を用い、各グリッドごとに風速から計算している。差分については、空間差分はスタカード格子を用い、時間差分はリーブ・フログク法を用いている。

風は強くなったり、弱くなったり絶えず変化しており、この様子がちょうど風が息をしているようなことから「風の息」と呼ばれている。吉岡ら(2001)は田辺湾の観測塔において風速の観測を行い、風速の変動スペクトルを求めた。その結果、周波数0.0026Hz(周期約6.5分)付近でスペクトルがピークをむかえていた。このことは、風が数分周期で大きく変動することを意味する。そこで、本研究では風の息を再現するために、次式のように周期的に変化する変動風を与えた。

$$windspeed = 20 \pm 10 \sin \left(2\pi \times \frac{\text{mod}(t,T)}{T} \right)$$

ここで、windspeedは風速(m)、tは計算開始時刻からの経過時間、Tは変動風の周期、mod(t,T)はt/Tの剰余を表す。

3.計算結果

数値計算の計算領域は図-1のとおりである。下芳養湾と田辺湾を含む東西12km、南北8.9kmの領域でグリッドサイズは100mである。また、図中に示す7地点において水位の記録を行なった。計算条件については表-1のとおりである。

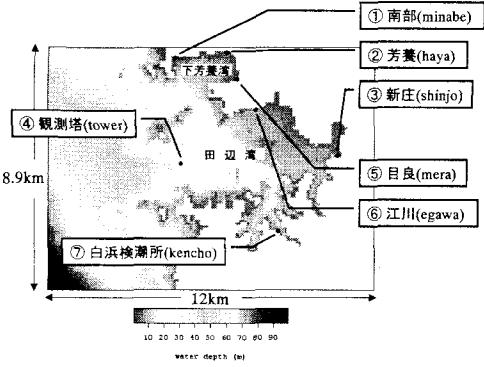


図-1 計算領域

表-1 計算条件

計算領域	西端	東経	135° 17' 00"
	南端	北緯	33° 39' 50"
タイムステップ Δt		1.0 (sec)	
格子サイズ Δs		100 (m)	
計算領域	東西	120グリッド (12km)	
	南北	89グリッド (8.9km)	
層数		1層	
境界条件	陸側	壁条件(完全反射)	
	沖側	放射条件(自由透過)	
水平渦動粘性係数 A _h		10.0 (m ² /s)	
鉛直渦動粘性係数 A _v		0.01 (m ² /s)	
海面抵抗係数 C _D		風速から計算	

まず、南部において約 1m の副振動が観測された当時の風向である南東風で、変動風の周期を変えてシミュレーションを行なった。そのときの各地の水位変動を図-2 に示す。グラフの横軸は変動風の周期、縦軸は十分に時間が経過して水位振動が安定したときの振幅である。このグラフを見ると各地で 40 分周期の変動風の時に水位振動の振幅が大きくなっていることがわかる。このときの水位平面図のスナップショットを見ると (図-3 (a)), 田辺湾奥が腹, 田辺湾の湾口を節とするモードの振動が起きていることがわかる。しかしながら, 暴風時の風には 40 分周期の成分はほとんどなく, 実際には高潮時にこのような振動はほとんど発生しない。それに対して, 南部では唯一, 6 分周期の時に振幅が最大になっている。スナップショットを見ると (図-3 (b)), 南部と目良を腹, 芳養を節とするモードの副振動が下芳養湾で発生している (図-1 参照)。暴風時には数分周期で風速が変動し 6 分周期の成分も含まれており, 下芳養湾では大きな副振動が発生することになる。

以上より, 下芳養湾は 6 分の固有周期を持つことがわかった。つまり, 高潮時に風の息によって湾内の副振動が増幅される危険性があるといえる。

つぎに, 45° ごとに計 8 方向の風向の変動風を与えて, 風向による振幅の違いを南部について確かめた。変動風の周期については, さきのシミュレーションで, 下芳養湾の南部において, 湾の固有周期と共鳴し, 副振動の振幅が最大となった 6 分を用いた。南部における風向による水位振幅の違いを図-4 に示す。グラフの円周方向は与えた風向, 外周方向は十分に時間が経過して水位振動が安定したときの水位振幅を表す。これを見ると, 南東(東)風と北西風のケースで約 25cm の振幅になっているのに対し, 北風, 南風のケースでは振幅は 10cm 以下である。これは, 南東(東)風と北西風が下芳養湾における副振動のモードの軸方向と一致するからである。つまり, 風向は副振動に大きな影響を与えられ。

4.おわりに

本研究では, 荒天時の下芳養湾における副振動特性をシミュレーションにより確認した。その結果, 下芳養湾では周期 6 分で, 南東(東)あるいは北西の風のときに湾の固有周期と共鳴し, 副振動が顕著になった。また, 今回の 20±10m/s の変動風では振幅は 25cm になり, その副振動のモードは, 南部(みなべ)と目良(めら)が腹, 芳養(はや)が節となるモードであった。しかしながら, 現実よりやや大きな風の息を与えても南部での副振動は 30cm 以下であり, 1m 近い観測結果の 1/3 程度であった。このことから, 下芳養湾における高潮時の副振動の原因は風の息だけではないといえる。そこで, 今後は波の群波性による影響についても考慮する必要がある。

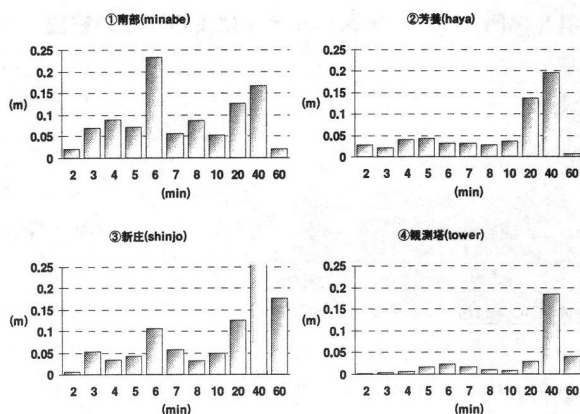


図-2 与えた変動風の周期別の水位振幅

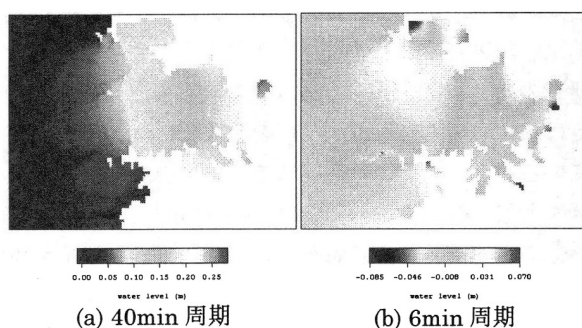


図-3 水位平面図のスナップショット

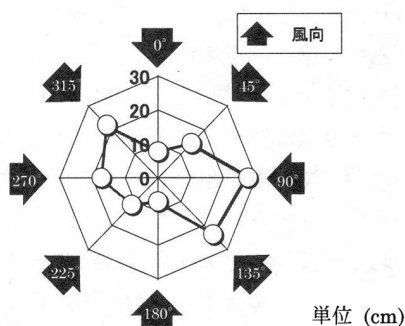


図-4 南部(minabe)での風向による振幅の違い