

枕崎における気象波とエッジ波の共振によるあびき発生の可能性に関する研究

鹿児島大学大学院 理工学研究科 学生会員 ○小原 陵

鹿児島大学大学院 理工学研究科 正 員 浅野 敏之

1. はじめに

毎年、春先に気象擾乱の伝搬によって九州西岸に大きな副振動（あびき）が発生し、漁船の転覆などの被害を与えている。2009年2月24日～25日には甬島浦内湾において全振幅300cmを超える副振動が発生したが、この時には長崎において157cm、枕崎において141cmの副振動を記録した。甬島浦内湾や長崎の検潮所は湾内であり、湾地形の共振によって副振動が発生することは理解できるが、枕崎は湾形ではなく気象擾乱が伝搬してくる西方にも面していない。枕崎におけるあびき来襲の頻度は、長崎などと同程度であり、湾とは別の共振機構が存在すると思われる。枕崎沿岸は東西に展開する海岸線をもち、約10kmにわたる発達した大陸棚を有している。沿岸方向の一様性が高い海岸ではエッジ波が発達し、またエッジ波と気象波の進行方向が一致するため、両者の共振によるあびきの発生の可能性が考えられる。本研究は、上記の課題に対して枕崎沿岸の地形をモデル化し、考察したものである。

2. 現地の状況

枕崎前面の海底地形図を図-1に示す。枕崎を西端とする薩摩半島南部の直線状の海岸区間は、海岸沿いに長さ約30kmの陸棚が発達している。枕崎の検潮所は特定第3種漁港枕崎港の中にあるため、副振動は防波堤などで囲まれた枕崎港の地形の影響も受ける。

3. 陸棚上のエッジ波の解（宇野木 1993）

図-2に示すように海岸線を y 軸にとり、水深は y 方向に変化せず、 $0 < x < l$ （ l は陸棚幅）で水深 h_1 、それより沖方で水深 h_2 になるとモデル化する。線形長波の連続式と平面2次元運動方程式に基づき、2つの海域での波形の解を求めると次式となる。

$$\eta_1 = a \cos \mu_1 x \cos(ky + \sigma t) \quad \dots(1)$$

$$\eta_2 = a \cos \mu_1 l \exp(-\mu_2(x-l)) \cos(ky + \sigma t) \quad \dots(2)$$

ここに a は振幅、 k は波数、 σ は角周波数、 μ_1 、 μ_2 は $\mu_1 = \sqrt{\frac{\sigma^2}{gh_1} - k^2}$ 、 $\mu_2 = \sqrt{k^2 - \frac{\sigma^2}{gh_2}}$... (3) で、両変数は

$\tan \mu_1 l = h_2 \mu_2 / h_1 \mu_1$... (4) で結ばれる。エッジ波の波速 c_e は $\sqrt{gh_1} < \sigma/k < \sqrt{gh_2}$... (5) の関係を持つが、

h_1, h_2, l, σ が与えられたとき、可付番無限個のモードを持つエッジ波の波速は、(3)、(4)に基づいて数値的に波数 k を計算し、 $c_e = \sigma/k$ から求めることができる。

4. 解析結果

前述の解析よりエッジ波の波数 k は陸棚の水深 h_1 、外洋の水深 h_2 、陸棚幅 l 、入射波の周期 T により変化する。これらの関係を示したものが図-3～図-6である。図-3より h_1 が深くなると波数 k が減少(波長が増加)することがわ

キーワード あびき、気象擾乱、副振動、共振機構、沿岸災害

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学理工学研究科 海洋土木工学専攻 Tel. 099-285-8482

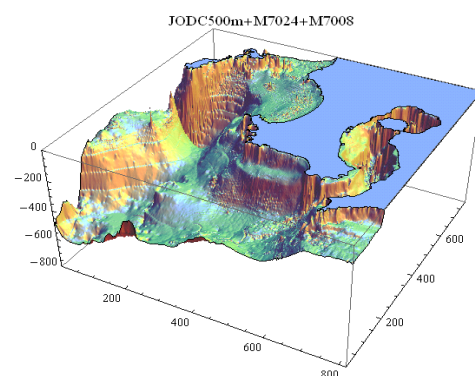


図-1 枕崎周辺の海底地形図

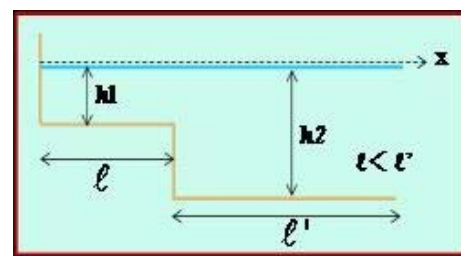


図-2 陸棚を持つ海底地形モデル

かる。図-4 も傾向は図-3 と同様であるが h_2 による k の値の変化は小さい、図-5 より陸棚幅とともに波数は増大し、図-6 より周期とともに波数が減少することがわかる。

5. 一様斜面上のエッジ波の固有振動数の解析

海底勾配 s を持つ一様斜面のエッジ波の固有角周波数は、

$$\sigma_n^2 = gk(2n+1)s \quad n=0,1,2,\dots(5)$$

で計算される。枕崎沿岸海域の大陸棚の東端には開聞岳が海にせり出しているため、エッジ波はそこで反射され定常波が形成される。枕崎西方の坊ノ岬から開聞岳までの沿岸距離 L を 30km とすると、定常エッジ波の波長 λ_m と L が

$$\lambda_m = 4L/(2m-1) \quad m=1,2,\dots \quad (6) \quad \text{の関係にある}$$

るとき、すなわち $\lambda_1=4L=120\text{km}$, $\lambda_2=4/3L=40\text{km}$... の時、定常波が形成される。(5)式で、枕崎沿岸の海底勾配 s を $1/50$ とし、上述の定常波形成状態の波長 λ_1 , λ_2 に対する固有角周波数 σ_i を求める。これを固有周期 T_i で示すと、エッジ波モード $n=1$: 沿岸定常波モード $m=1$ で $T_i=18.9\text{min}$ が求められる。この T_i 値は図-7 に示した現地で得られた水位変動スペクトルのピーク値 $T_p=17\text{min}$ とほぼ一致する。この時の定常エッジ波の上下運動

の速度 $C_e=\lambda_1/T_i$ は $106\text{m/s}=382\text{km/h}$ となる。一方、エッジ波モード $n=0$, 定常波モード $m=2$ でも $T_i=18.9\text{min}$ となり、 $C_e=\lambda_2/T_i$ は $35.3\text{m/s}=127\text{km/h}$ となる。

6. 気象波の伝搬とエッジ波の共振に関する検討

萩平ら(2012)は、あびき発生時のメソ数値予報モデル(MSM)の地上気圧データを用いて、東シナ海上の気圧分布の可視化画像を作成し、PIV解析を通じて微気圧変動の移動速度を求めた。その結果、 $110\sim150\text{km/h}$ の東進速度で九州西岸へ移動することが得られ、この速度は 5. で求めた $n=0$, $m=2$ モードのエッジ波の移動速度とおおよそ一致している。よって、枕崎における気象波の伝搬速度と定常エッジ波の上下動速度は同程度であり、気象波の擾乱エネルギーは定常エッジ波を励起させ、共振の可能性がある。

7. まとめ

本研究では、エッジ波が地形条件によりどのように変化するかを考察し、気象波とエッジ波の共振の可能性について検討した。 $n=0$, $m=2$ モードにおいてエッジ波の固有周期は現地観測による水位変動のピーク周期とほぼ一致し、また定常エッジ波の振動速度は気象波の伝搬速度と近くなった。よって、大気圧変動の持つエネルギーが効率的にエッジ波の増幅に伝達される可能性があると考えられた。

【参考文献】Yanuma and Tsuji(1998): Observation of edge waves trapped on the continental shelf in the vicinity of Makurazaki harbor, J. Oceano., Vol.54, pp.9-18, 宇野木早苗(1993): 沿岸の海洋物理学、東海大学出版会 pp23-39. 萩平裕樹ら(2012): 副振動に関連した東シナ海上での微気圧変動の PIV 解析、土木学会論文集 B3(海洋開発), pp.I_840_844

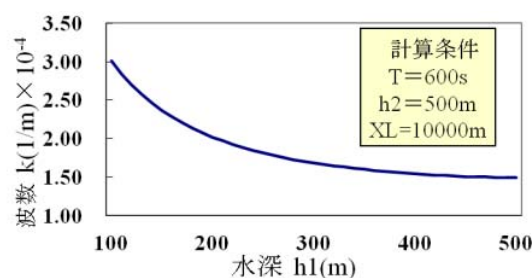


図-3 陸棚部の水深 h_1 と波数 k の関係

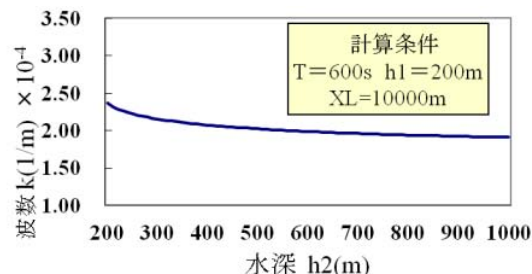


図-4 外洋の水深 h_2 と波数 k の関係

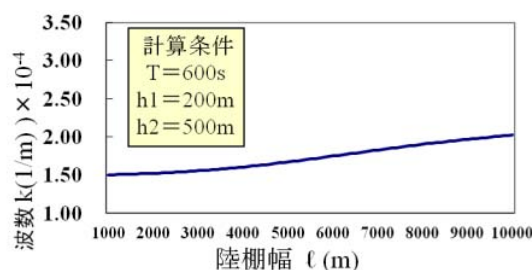


図-5 陸棚幅 l と波数 k の関係

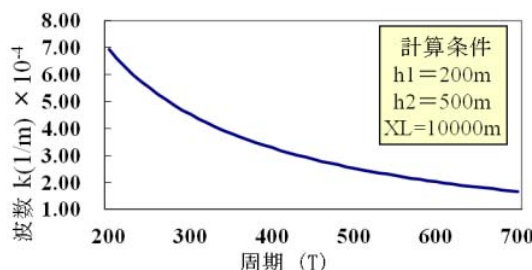


図-6 周期 T と波数 k の関係

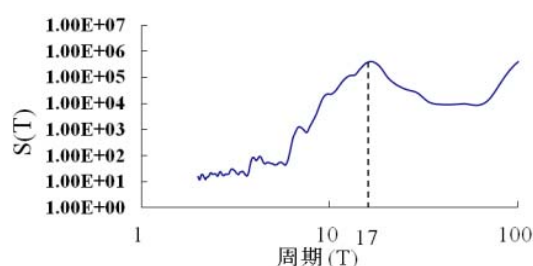


図-7 枕崎現地で得られたスペクトル