

沿岸付近の短周期内部波と長周期重力波

名古屋工業大学 ○学生員 橋本実樹
名古屋工業大学 正会員 喜岡 渉

1. はじめに 夏季の密度成層が発達した沿岸海域では内部波が発生することがあり、その挙動が流動や水質変化にも大きく影響を与えることが報告されている。従来の観測例の多くは半日または1日周期の内部潮汐に関するものであったが、Zalkan (1968) がサンディエゴ沖で周期10分から20分の内部波を観測して以来、短周期内部波の存在が知られるようになり、大阪湾(柳ら, 1993)や東京湾(上野ら, 1993)においても周期数分から数十分の短周期内部波が観測されている。しかし、沿岸付近の短周期内部波はその発生が間欠的であり、水温、塩分、流速等の鉛直断面分布の観測を必要とすることから、観測例はきわめて少なく、その発生機構についても不明のままである。

一方で、こうした短周期内部波の流速、圧力はその周期帯が表面波の長周期重力波のものと一致していることから、底面流速において内部波のモードが卓越または両モードの波動成分が混在している場合には、流体場の評価にあたって長周期重力波のみならず短周期内部波についても十分な注意を払っておく必要がある。本研究は、通常の波浪観測で取得される底面流速および圧力のデータを用いて、短周期内部波の混在形態を明らかにしようとするもので、本年夏季に赤羽根沖および駿河湾内湾部で取得された観測データを用いて、具体的に長周期の流速成分に及ぼす短周期内部波の影響を調べるものである。

2. 内部波による底面流速 内部波の内部流速場の特徴を知るために、まず最も単純化したモデルである2層海域の密度境界面に生じる内部波を考える。上層と下層の深さをそれぞれ h_1, h_2 、密度をそれぞれ ρ_1, ρ_2 とする。成層状態でも両層の密度差 $\varepsilon = (\rho_1 - \rho_2)/\rho_2$ は一般に小さく、 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ のオーダーである。このとき内部波の波速 C_i は次式で与えられ、表面波の波速と比べて $\varepsilon^{1/2}$ のオーダー遅い。

$$C_i = \left[\frac{\varepsilon g}{k(\coth kh_1 + \coth kh_2)} \right]^{1/2} \quad (1)$$

内部波の波長が下層の深さに比べて十分に長く内部波に対しても長波近似が適用できると、上式は $C_i = [\varepsilon g h_2 / (h_1 + h_2)]^{1/2}$ と表される。このとき、底面(下層)の水平流速(u_i)_bは h_2, C_i および内部波の振幅 a の関数として表され、底面(下層)における動水圧(p_i)_bとの比をとると次式のように与えられる。

$$\frac{(p_i)_b}{(u_i)_b} = \rho_2 C_i \quad (2)$$

連続成層海域では、バイサラ周波数が鉛直方向に一定と見なせる場合にも無限個のモードの内部波が存在し、水平流速 u_i および動水圧 p_i はその比をとって表すと次式のようなである。

$$\frac{p_i}{u_i} = \rho_0 C_i \left[1 - \frac{\cos(n\pi)}{\cos m_n(h+z)} \right], \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

ただし、 ρ_0 は安定成層の密度で $m_n = n\pi/h$ である。底面においては

$$\frac{(p_i)_b}{(u_i)_b} = 2\rho_0 C_i, \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (4)$$

と与えられるので、動水圧との比で示す限り偶数番のモードは現れず、モード数 n に依存しないことがわかる。

式(4)は自由表面に対して固定表面の条件を課して、表面波にともなう順圧的な変動を除いて求められたものであり、順圧波の変動を含む式(2)の結果と幾分異なるが、両者とも傾圧的な内部波が支配的なとき、底面における動水圧と水平流速との比は表面波が支配するときに比べて $\varepsilon^{1/2}$ すなわち10分の1程度に小さくなることを示している。

3. 現地観測データ 二層および連続成層海域における内部波の近似解(2)および(4)に基づき、太平洋岸2地点での短周期内部波の発生の有無を調べた。ここには、渥美半島太平洋岸における解析結果を示す。

図-1~図-3は、インターネット(<http://hydromac.tutrp.tut.ac.jp/coconut.html>)上に公開されている赤羽根海岸沖約2km(水深12m)における観測データベースの中から9月22日午後2時から40分間の観測記録を取り出して、数値フィルターにより周期2分から20分の長周期成分を抽出して示したものである。図-2の流速成分 u_1, u_2 および u_b は、それぞれSW方向、NW方向およびその合成速度 u_b を示す。観測時間の軌道流速はほぼNNE方向に卓越していることから、ここでは方向分散性は無視して単一方向の合成速度について検討を加えた。図-1に示す動水圧 $p_b/\rho g$ と水位変動 η の位相は完全には一致しておらず、傾圧的に符号が逆に現れている箇所もあるが、両者の振幅はほぼ等しく順圧的な長周期重力波が内部流速場を支配していると考えられる。図-3に示す $p_b/\rho u_b$ の値は長周期で変動しており、反射波の存在を示唆しているが、表面波の波速のオーダー(約10m/s)を持っていることから表面モードが支配的であると推定される。

4. おわりに 通常の波浪観測で取得される底面流速と圧力のデータを用いて、内部波モードの存在を推定する方法を提案した。外洋性の波動場である渥美半島太平洋岸の観測データからは、密度成層の影響は小さく表面波モードである長周期重力波が支配的であることがわかった。ただし、海岸付近ではtrapped mode(捕らわれモード)の内部波も発生する可能性があり、そのモードでの検討も加えておく必要がある。密度成層の影響が示唆されている駿河湾内の観測データについての解析結果は講演時に発表したい。

参考文献

上野成三・灘岡和夫・勝井秀博・大谷秀夫(1993):

密度成層期の東京湾で発生する密度・流動・水質場の急変現象と内部波に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 246-249.

柳 哲夫・山本隆司・石丸 隆・才野敏郎(1993):

大阪湾の潮汐フロント付近で観測された短周期内部波, 海岸海洋研究ノート, 第30巻, 第2号, pp.201-217.

Zalkan, R.L.(1968): Observation of high frequency internal waves in the Pacific Ocean, Ph.D.dissertation, Univ of Calif. San Diego.

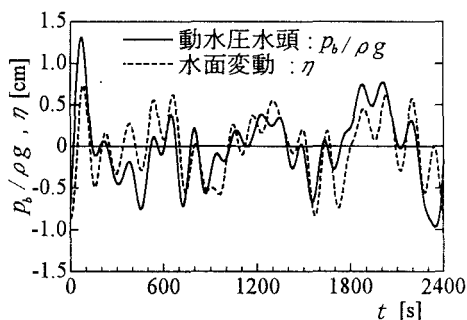


図-1 底面での動水圧水頭と水面変動

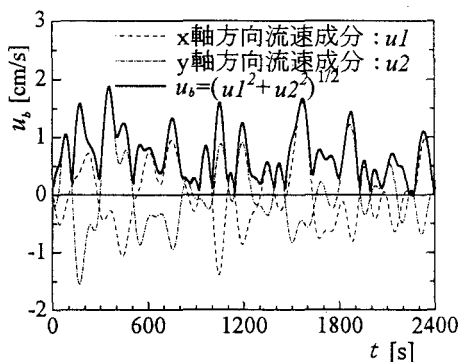


図-2 底面での水平流速

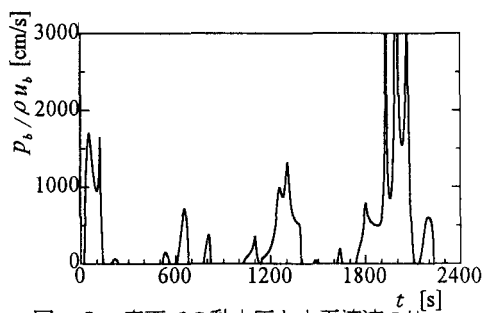


図-3 底面での動水圧と水平流速の比