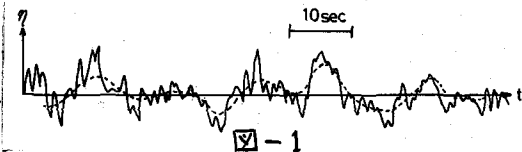


九州大学 工学部 正員 橋 東一郎  
九州大学 工学部 正員 小松 利光  
九州大学 大学院 学生員 〇今酒 誠

### 1 内部波の波高と周期

図-1は内部波の波形 $\eta(t)$ を示すもので、長周期の波(L-P波)の上に、かなり不規則な短周期の波(S-P波)が重畳している。このような2重構造性が内部波の解析を困難にする最大の要因であるが、波の基本的な性質としては、 $\varepsilon g$ の重力のもとに流速 $U$ の作用で誘起された境界面波形であり、また実験によると内部波は急速に定常状態に漸近するので、十分発達した風波と類似した性質をもつてあらうと考えられる。以下、波高、周期について実験結果を整理した結果は



1) 風波では波高 $H$ 、周期の2乗 $(T)^2$  ( $\bar{H}$ ,  $\bar{T}$ は平均値)の頻度分布がRayleigh分布に従うのに対して、内部波では両者ともRayleigh分布に従いとくにS-P波は適合性が高い。(図は省略)

2) 風波では有義波高 $gH_b/U_s^2$ は $gT_b/U_s$ の $3/2$ 乗に比例する。内部波についてこの関係を検討すると、S-P波については波と同様な関係

$$(\varepsilon g H_b)_s / U_s^2 = 3.15 \times 10^{-2} (\varepsilon g T_b / U_s)^{3/2} \quad (1)$$

が成り立つ。しかしL-P波の波高は周期に無関係で $(\varepsilon g H_b)_s / U_s^2 \approx 0.15$ となる。(図は省略)

### 2 内部波の波速

流れ方向に $\Delta x = 1$  cm離して2本の内部波高計を設置し $\eta_1(t)$ ,  $\eta_2(t)$ の同時測定を行い、Co-spectrum, Quadrature-spectrum, 位相角 $\phi_{\eta_1 \eta_2}(f)$ から周波数ごとの波速を求め、無次元表示したものが図-2である。図中の実線は、上層流 $U$ , 下層流静止の深水K-H波に対応するもので

$$C_3/U_1 = \frac{1}{8} [(4 + \frac{1}{2} \varepsilon g / U_1) \pm \{ (4 + \frac{1}{2} \varepsilon g / U_1)^2 - 32 \}^{1/2}] \quad (2)$$

の計算結果である。上式から安定限界は $(\varepsilon g / U_1)_c = 5.21$ であってこの値はS-P波の有義周波数の平均値 $(\varepsilon g / U_1)_c \approx 5.0$ にかなり近い。また対応波速は $(C/U)_c = 0.707$ である。これから $\varepsilon g / U_1 < 5.2$ の波は不安定で境界面流速に近い波速で下流に流されるS-P波であり $\varepsilon g / U_1 > 1.0$ の低周波の波はL-P波で基本的には、K-H波の負の波速であることがわかる。つぎに $C/U_1 = \varepsilon g L / U_1^2 \cdot U_1 / \varepsilon g$ を用い、図-2の関係を波長 $\varepsilon g L / U_1^2$ と周期 $\varepsilon g / U_1 f$ の間に直すことができる。図は省略するが、負のL-P波では、 $\varepsilon g / U_1 f$ の増加に対する波長 $\varepsilon g L / U_1^2$ の増加はきわめて僅かである。

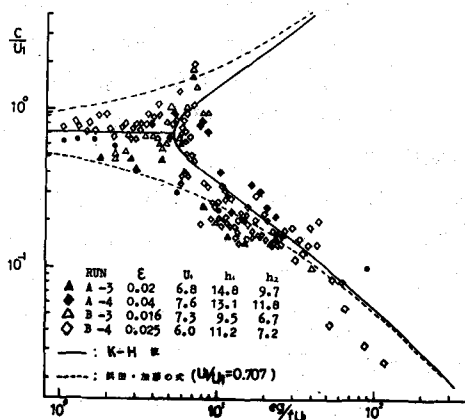


図-2

### 3 内部波のスペクトル

スペクトル関数 $E(f)$ を規定する物理量として、 $\overline{\eta^2}$ と卓越周波数 $f_m$ を用いると、その無次元表示は

$$E(f) f_{ps} / \eta^2 = F(f/f_{ps}) \quad (3)$$

となる。スペクトルにはL・P波, S・P波に対応する2つのピークがあらわれるが、パワーへの寄与を直観的に示すために、 $E(f) f / \eta^2$  と  $f / f_{ps}$  との関係を図-3に示した。図-4より

$$f_{ps} = 8 f_{PL} \quad (4)$$

の関係が認められ、図-3から両ピークの極値  $f_{PL} E(f_{PL})$  と  $f_{ps} E(f_{ps})$  の値は同程度である。またスペクトルは、 $f/f_{ps} > 1$  にあって急減しており、この領域では

$$E(f) = Q \eta^2 (1/f_{ps}) (f/f_{ps})^{-5}, \quad Q \approx 3.1 \quad (5)$$

低周波数側で

$$E(f) f_{ps} / \eta^2 = 1.0 \quad (6)$$

がほぼ成立している。以上はスペクトルを内部パラメータ  $\eta$  と  $f_{ps}$  で表わしたものであるが、まず  $\sqrt{\eta}$  と  $f_{ps}$  との関係を求めると、外部パラメータである  $\varepsilon g$  と  $U_1$  を用いて(1)式と同様の関係

$$\varepsilon g \sqrt{\eta} / U_1 = b (\varepsilon g / f_{ps} U_1)^{3/2}, \quad b \approx 6.0 \times 10^{-3} \quad (7)$$

が得られる。(図-5) 式(7)を式(3)、式(5)に代入すると  $X \equiv \varepsilon g / f_{ps} U_1$  において、スペクトル形は

$$E(f) (\varepsilon g)^3 / U_1^5 \cdot (1/b^2 X^2) = F[U/f_{ps} X] \quad (3)$$

$$E(f) = Q b^2 X (\varepsilon g)^2 f^{-5} (f/f_{ps}) \quad (5)$$

(5)は平衡領域におけるスペクトルで風波のそれと同じ形をもつ。

上記の関係式よりXが与えられれば、スペクトルの関数形  $E(f)$ ,  $\varepsilon g \sqrt{\eta} / U_1$ ,  $\varepsilon g U_{ps} / U_1$ ,  $\varepsilon g H_{ps} / U_1$  が決定され内部波の統計的性質はほぼ明らかとなる。

以上のように、S・P波は風波に類似した特性をもつ不安定に近い波であり、L・P波は安定な負のK・H波であって、両者の卓越周波数には大きなちがいがあがるが(式(4))、卓越波長は  $L_H / L_{ps} = 1.5$ 、波速は  $C_{PL} / C_{ps} = 0.22$  程度である。目視や可視化実験で両波は波長のやや大きく波速の小さい波と、波長のやや小さく波速の大きい波として観測される。

最後にXを規定するパラメータが問題として残された。Kewlegonの不安定パラメータ  $\psi \equiv U_1^3 / \varepsilon g$  ( $\psi$ : 粘性係数) とXの関係を調べてみたところ、 $\psi$  の増加にともないXの減少する傾向がみられたが、バラツキがあまりはつきりしない。今後このパラメータを見出すことが必要である。

本研究にあたり実験およびデータ整理に協力された柴田敏彦氏、下田五郎君に深甚なる謝意を表す。

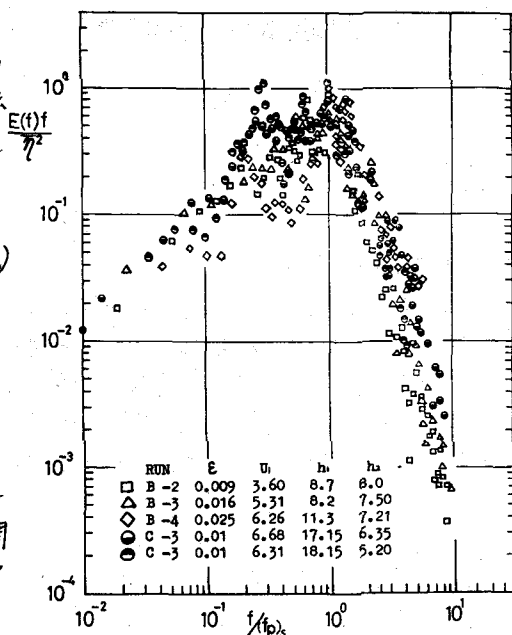


図-3

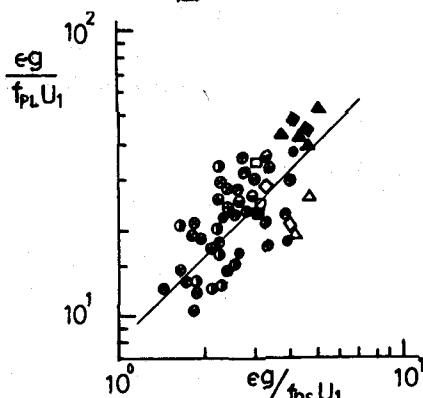


図-4

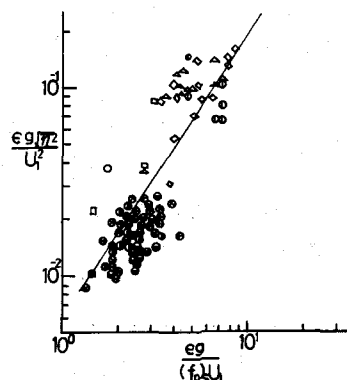


図-5