

大阪大学工学部 正員 室田 明
 国立公害研究所 正員 〇平田 健正

1. はじめに

長周期有限振幅波を代表するものとして孤立波を挙げるができる。孤立波は非線型波動ではあるが、自己保存性が強く、その固有の特性から多方面で研究がなされており、表面波においても砕波帯あるいは砕波後の挙動に孤立波と類似の現象を見出すことができる。他方、成層化した密度場であっても $K-dV$ 方程式の成立することが知られており、非線型内部波動の振舞いを調べる上でも、内部孤立波は極めて好適な事例と言えよう。そこで、本研究では上下層静止の淡塩二成層場に内部サージを生起させ、それから形成される内部波動について波形波速等の基本的特性を調べる。特に、上下層水深比の波動特性に及ぼす影響について、Benjamin¹⁾の求めた内部孤立波の理論解と比較検討し若干の知見を得たので報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験水路は有効長840cm、幅10cm、高さ20cmで、側壁透明の塩化ビニル製である。本実験は上下層とも静止の二成層密度場で、全水深を16cmと一定にして、下層塩水深を2cm、4cmおよび8cmに変化させて実験を行った。水路端に設置された造波部は図-1に示すような2枚の遮水壁A・Bから成り、遮水壁間を下層塩水と同じ密度の塩水で満たした後、遮水壁Aを瞬時に引上げて水路内に内部サージを生起させる。この内部サージの時間波形を2台（図-1中のBから2mと4mに設置）のサーボ式水位計を用いて検出し、レクタグラフ上に記録する。また、波動内の水粒子の分布形は水素気泡法を用いて可視化し、密度分布は電導度計で実験前と実験後に計測している。以上の実験全てを通じて上下層間の相対密度差 ϵ ($\epsilon = (\rho_1 - \rho_2)/\rho_1$, ρ_1, ρ_2 はそれぞれ上下層の平均密度)は0.026である。

3. 実験結果と考察

3.1 内部孤立波：二成層密度場に生起する内部波動であれば、周期波非周期波いずれの場合でも波動特性は上下層水深比の影響を強く受ける。例えば、ブーシネ近似の可能な範囲において、上下層同水深の時には内部波動に非線型効果が現れないことが判明している²⁾。内部孤立波についても、上層水深 h_1 が下層水深 h_2 より小さい場合 ($h_1 < h_2$) には下に凸な内部孤立波となり、また $h_1 > h_2$ の場合には上に凸なものとなることが理論上予想される。以上の特性を踏まえ、本報ではまず $h_1 \geq h_2$ の時の波動特性を実験的に検討する。

3.2 波形：生起直後の内部サージは不規則な盛り上がり呈するがごく短距離伝播する間に急速に波形を整え、水路両端で反射を繰り返して、水路を2往復程度伝播する。この間に、各地点で検出された内部サージの時間波形を初期界面を基準として図-2(a)~(c)に示す。図中、 α は全水深 h_1 に対する塩水深 h_2 の比 h_2/h_1 であり、以下相対水深と称する。最初に計測した地点からの距離 X は全水深で、界面変位 η は初期界面からの最大変位 Δ （波高）で、また時間 t は重力加速度 g と全水深でそれぞれ無次元化している。さらに、図中の実線は実験で得ら

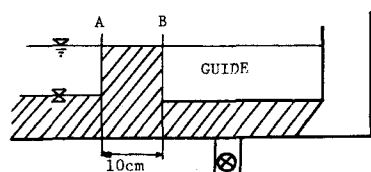
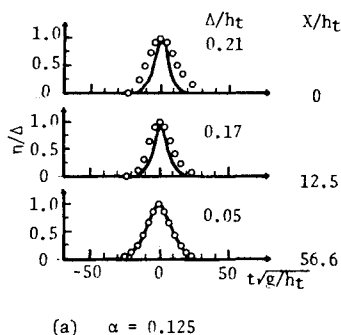


図-1 造波部



(a) $\alpha = 0.125$

図-2 内部波動の時間波形

れた波高を与えて計算した Benjamin の内部孤立波の理論波形である。ただし、上下層の水深が等しい時 (図-2(c), $\alpha=0.5$) には理論解が存在しないため、実験値との比較は行っていない。一連の図から、相対水深の相違により内部波波形が著しく異なることがわかる。すなわち、上層水深が下層水深より非常に大きい場合 (図-2(a)), 内部サーージは急速に内部孤立波波形に移行し、特に長距離伝播した後は内部孤立波の理論波形とほぼ合致するようである。一方、下層水深が増加するに伴い (図-2(b)), 第1波の波峰背面に初期界面より低下する部分が発生し、後続して多数の波動が見られる。この現象は特に上下層同水深の場合に顕著である。前者については、内部サーージの波高が下層水深に比して大きく、水粒子の運動が鉛直方向より水平方向に卓越するのに対し、後者の場合には、水粒子そのものが鉛直方向にも運動するため初期界面から低下する部分が発生するものと考えられる。つぎに、上下層の水深が等しくなると (図-2(c)), 後続波の波峰と波谷の初期界面からの変位がほぼ同じ値となっているが、これは、上下層同水深の時、境界としての自由表面と水底の水粒子運動に及ぼす影響が相殺され、界面形状についてもほぼ対称な波形が出現しやすくなるためと推察される。

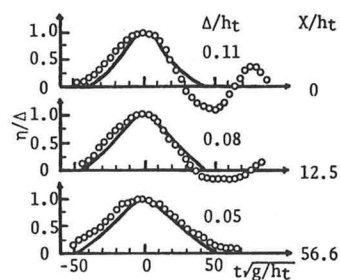
3.3 波速: 図-3は波速の実験値 C_e と理論値 C_t を比較したものであり、第1波目と後続波の波速を区別して表示している。本研究では波形を2地点で計測しているが、その相乗平均値を2点間の平均波高として用いた。同図より、第1波目について、実験値は理論値より多少下まわるものの、その傾向はほぼ理論値と一致していると言えよう。しかしながら2波目以降の後続波は理論値から系統的なずれを示し、後続波を内部孤立波とは見なし難いようである。

つぎに、波動内の水粒子の分布形状を示したのが写真-1である。実験条件は図-2(b)と同様で、図中の白金線の間隔は20cm、水素気泡列のパルス間隔は0.2秒としている。写真-1に見られるように、せん断効果の卓越する界面と底面付近を除いて、水粒子の速度分布はほぼ一様となっており、長波性を保持していることが理解できる。

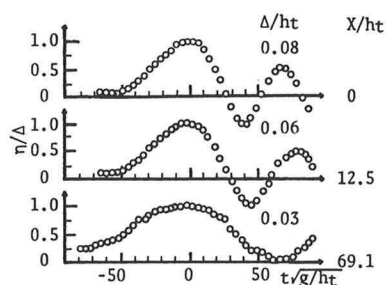
以上のように、上層水深が下層水深より十分大きい場合に内部サーージより発生する波動の内、第1波目については内部孤立波と見なして良さそうである。しかしながら、上下層の水深が等しく、密度差が小さい場合には、内部波動に非線型効果が現れず、非線型波動を代表する内部孤立波は発生し難いものと言える。このような上下層同水深の場合に発生する内部波動の特性については今後の課題である。

参考文献

- 1) Benjamin, T.B. (1966): J.F.M., vol.25, part 2.
- 2) 室田平田道興 (1980): 土木学会論文報告集, 第301号



(b) $\alpha = 0.250$



(c) $\alpha = 0.500$

図-2 内部波動の時間波形

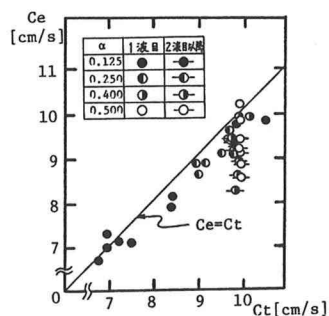


図-3 孤立波波速

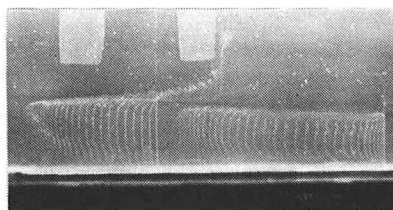


写真-1 水粒子速度の分布形