

潜堤上における非線形内部波の伝播特性

鹿児島大学大学院 学生会員 ○山下 啓
 鹿児島大学大学院 正会員 柿沼 太郎
 北見工業大学 正会員 中山 恵介

1. 研究の目的: 内部波の解析のために、様々な仮定のもとで非線形内部波方程式が提案されているが、その多くは、層厚比、水深波長比、または、波高水深比に対して適用限界を有するため、潜堤周辺といった水深の大きく変化する領域における内部波の伝播特性が明らかでない。そこで、波の強非線形性及び強分散性を考慮した非線形内部波方程式系を適用し、潜堤上における浅水変形や分裂を含む内部波の伝播特性について検討する。

2. 研究の内容: 上・下面が固定水平板と接する2層問題を考える。非粘性・非圧縮性流体の非回転運動の第*i*層の速度ポテンシャルを $\phi_i(\mathbf{x}, z, t) = \sum_{\alpha=0}^{N-1} \{f_{i,\alpha}(\mathbf{x}, t) \cdot z^\alpha\}$ のように *N* 個のべき関数の重み付き級数に展開する。変分法(柿沼: 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 146-150, 2001.) を適用して得られる非線形内部波方程式系を差分化し、陰解法で解く。鉛直断面内の運動を対象とし、側方を完全反射境界とする。潜堤沖側の全水深及び密度比を 0.3 m 及び $\rho_2/\rho_1 = 1.019$ とし、速度ポテンシャルの展開項数を *N* = 3 とする。格子間隔を 0.01 m とする。

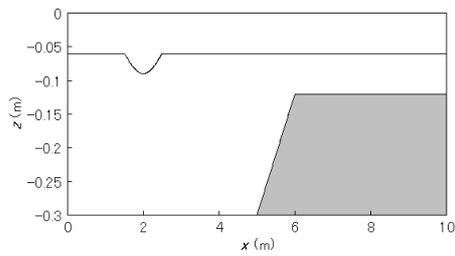
図-1(a) のような天端の長い潜堤に、静水状態の初期界面に与えた半波長の正弦波形より分離して生じた内部波を伝播させる。谷(主波の谷の最下点を単に谷と呼ぶ。)が斜面上 (*t* = 40 s)、潜堤肩(42 s) 及び天端上(48 s, 50 s) を通過するときの界面形を図-2 に示す。潜堤上で、浅水変形に伴う波形の後傾化が見られる。下層における谷下方の水平流速 $u_{2,\text{trough}}$ を図-3 に示す。谷が潜堤肩 (*x* = 6.0 m) を通過する際、 $u_{2,\text{trough}}$ の鉛直分布が顕著に湾曲し、大きな絶対値の流速が現れ、図-4 のように下層の動圧の絶対値が低下する。谷が潜堤肩の前後の点を通過するとき、潜堤肩通過時と逆の曲率が $u_{2,\text{trough}}$ の鉛直分布に現れる。図-5 に、法面中間、潜堤肩及び天端上の各地点での下層における重み係数の時系列を示す。谷が潜堤肩を通過するとき、 z^2 の係数 $f_{2,2}$ が増大する。潜堤肩上で $u_{2,\text{trough}}$ が鉛直分布を有するため、すなわち、波速が水深のみに規定されないため、図-2 の *x* = 6 m, *t* = 42 s で波速の遅い短周期波が発生し、これが主波の後方にとり残される。また、峰が潜堤肩を通過するとき、峰の分裂が始まる。分裂して生じた峰を図-6 に矢印で示す。峰における短周期波の発生は、確認できない。峰の潜堤肩通過時に分裂で生じた峰の下方の水平流速 $u_{2,\text{crest}}$ の鉛直分布の湾曲が、波の伝播に伴い抑制されると(図-7)、分散効果が弱まり、図-6 の *t* = 80 s の矢印で示した分裂波は、ほぼ安定して進行する。なお、谷で生じた短周期波は、天端上を進行する過程で徐々に消える。一方、図-1(b) のような天端の短い潜堤の場合、図-1(a) の場合と同様に短周期波が谷で生じるが、この短周期波は、天端を超えると消滅する。また、この場合、図-8 のように峰も分裂しない。更に、天端長が長くても天端高が 0.15 m と低い場合、 $u_{2,\text{trough}}$ に顕著な鉛直分布が現れず(図-9)、谷における短周期波と、峰における分裂波の、両者が現れない。

3. 主要な結論: ここで得られた主要な結論を以下に記す。なお、こうした短周期波は、1) 数値的不安定が起きる、2) 計算格子間隔が粗い、3) 対象が基礎方程式系の適用外である、または、4) 内部波が砕波するといった場合にも発生し得る。今後、より詳細な解析を行ない、短周期波の物理的な意味を検討していく必要がある。

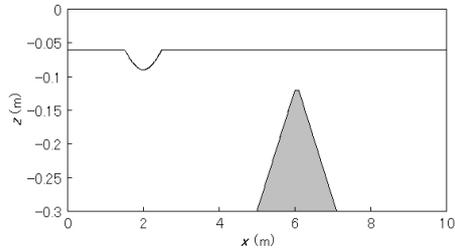
- (1) 天端上の下層水深が相対的に浅い場合、内部波の峰及び谷が潜堤肩を通過するとき、その下方の水平流速が大きく湾曲した鉛直分布を有する。そして、動圧の絶対値が著しく低減する。
- (2) 水平流速の鉛直分布が緩やかになるまで、谷で生じた短周期波や、峰で生じた分裂波の波速が、主波の波速と異なる。その間、前者の波高が増し、後者の分裂過程が進行する。
- (3) 天端が十分な長さを有しない場合、谷で発生した短周期波は、天端を越えると消滅する。
- (4) 天端上の下層水深が浅くない場合、潜堤肩通過時の峰や谷の下方の水平流速は、大きく湾曲した鉛直分布を持たず、その絶対値も大きくならず、短周期波や分裂波が生じない。

キーワード 内部波, 分裂, 潜堤, 非線形性, 強分散性, 変分法, 短周期波

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究科, Phone: 099(285)8467



(a) 天端の長い潜堤



(b) 天端の短い潜堤

図-1 潜堤と初期界面形

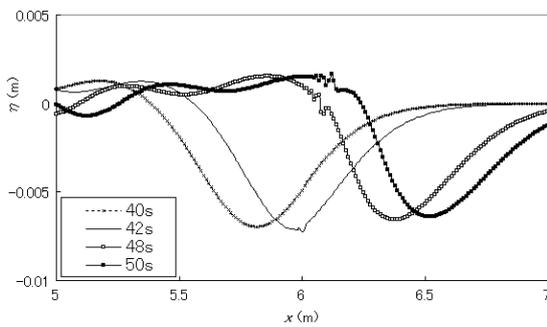


図-2 各時刻における界面形 (谷最下点が、潜堤肩のある $x = 6.0 \text{ m}$ を時刻 $t = 42.0 \text{ s}$ に通過する.)

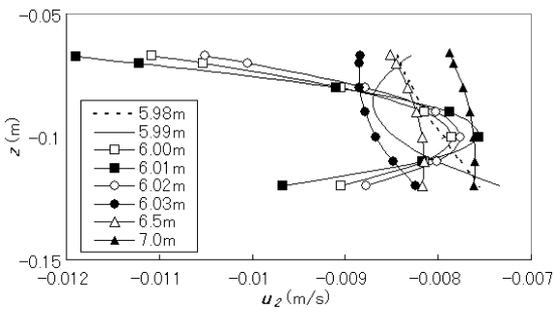


図-3 谷最下点が各地点を通過するときの下層における谷下方の水平流速の鉛直分布

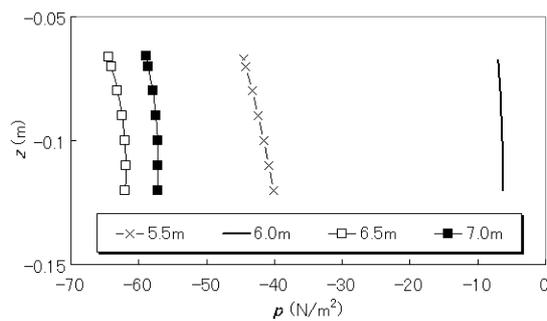


図-4 谷最下点が各地点を通過するときの下層における谷下方の動圧の鉛直分布

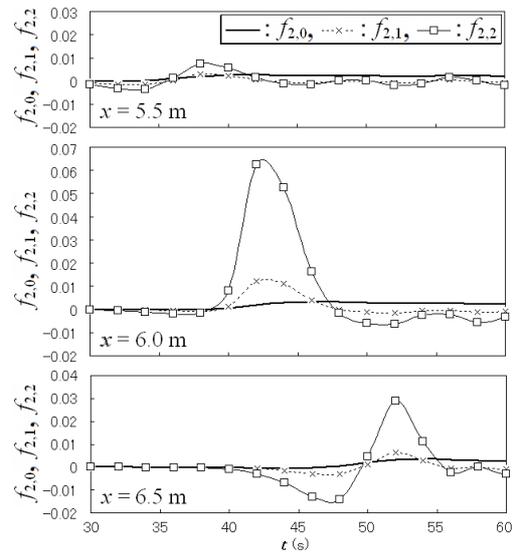


図-5 下層の速度ポテンシャルの鉛直分布関数の重み係数

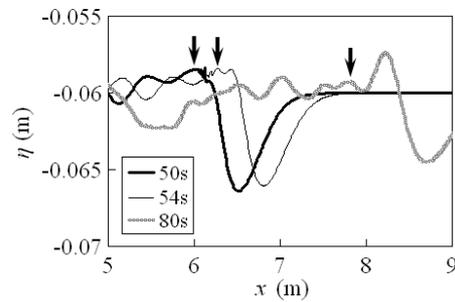


図-6 界面形 (分裂で生じた峰を矢印で示す.)

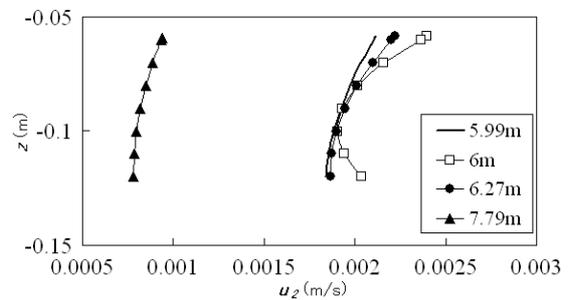


図-7 分裂で生じた峰下方の水平流速の鉛直分布

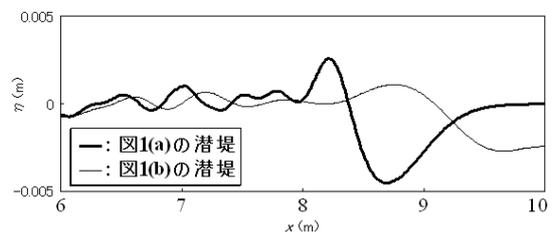


図-8 潜堤 (a) 及び (b) 上の界面形 ($t = 80 \text{ s}$)

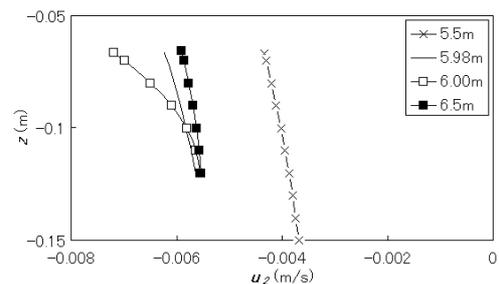


図-9 下層における谷下方の水平流速の鉛直分布