

Bowenの離岸流モデルの疑問点

九州大学工学部 正 員○松永 信博
 正 員 栗谷 陽一
 学生員 竹原 幸生
 学生員 湯川 正嗣

1. はじめに 沿岸域に形成する定常流の1つに強く狭い冲向きの流れ、つまり離岸流がある。この流れはかなり古くから多くの人々によっても認識されていた。40年程前、Shepard & Inmanは野外観測によって離岸流は水平循環流の一部を構成していることを明らかにした。1969年、Bowenは碎波線における入射波高の沿岸方向の規則的变化によって生ずるradiation stressの分布を外力とするモデルに基づいて、水平循環流の形成機構を説明した。さらに、Bowen & Inmanはこの入射波高の規則的变化の発生原因をedge waveの形成と結びつけ、Bowenモデルの実験的検証を行い、モデルの妥当性を結論づけた。それ以後、多くの海岸工学者達は疑問も持たずradiation stressの概念を導入して循環流の流速を算定してきた。我々は、二次元重複波中に誘起される水平循環流と、Bowen & Inmanが行ったsynchronous edge waveやsubharmonic edge wave中に誘起される水平循環流について詳細な可視化実験を行った。その結果、Bowenモデルの多くの疑問点やBowen & Inmanの観察が不十分であることを見出した。本報告では、これまで約20年間海岸工学者達の間で広く信じられ、多くの教科書にまで紹介されてきたBowenの水平循環流発生機構モデルの破綻を指摘するものである。

2. 実験方法および実験結果 実験には、長さ2.0m、幅0.98m、深さ0.25mの全面透明なアクリル板で作られた水槽を用いた。水槽の一端にはフラッター・タイプの造波機を取り付けた。edge waveに関する実験では斜板を 17.7° に設置し、二次元波を入射させた。表-1に、それぞれ二次元重複波、synchronous edge wave、subharmonic edge waveの振動数(f)、波長(l)および造波板振動数(f_1)を示す。トレーサーとしてのこくずを水表面に一様に散布することによって、これら3つのタイプの定在波中に誘起される水平循環流を可視化した。流れのパターンは水槽に対して固定された35mmカメラを用いて長時間露光によって撮影された。写真中の矢印は最大波高の位置を示す。

写真-1は、鉛直側壁に沿って二次元重複波が形成されている場合に誘起される水平循環流を示している。重複波の腹のところから冲向きの定常流(離岸流)が発生し、節の所では岸向き流れが形成される。循環流は1波長内に2対形成される。写真-2には、synchronous edge wave中に形成される水平循環流を示す。edge waveの1波長内に1対の循環流が形成されており、離岸流は最大run-upの所

表-1 定在波の条件

	二次元重複波	Edge wave	
		synchronous	subharmonic
f (Hz)	1.19	1.45	1.11
l (cm)	95.0	39.2	24.5
f_1 (Hz)	1.19	1.45	2.22

（4ヶ所）から発生している。写真-3には、subharmonic edge wave中に発生する水平循環流を示す。循環流はかなり歪められているが、1波長内に2対、合計10個の循環流が認められる。また、離岸流は最大run-upの所から発生していることも明かである。

3. Bowenモデルの疑問点 前述した我々の実験結果に基づいてBowenモデルに関する決定的な疑問点について言及する。二次元重複波の波峰に直角な鉛直面内に定常循環流が誘起されることは、かなり古くから認められている。その形成機構はKundt's tubeに見られるacoustic cellular streamingの発生機構と同じであり、流体の往復運動によって生ずる振動境界層が本質的な役割を果たしている。我々が発見した二次元重複波中の水平循環流はコロンブスの卵であり、その機構は、acoustic streamingの形成機構と同じであることは誰も疑う余地のないものである。つまり、写真-1に示された水平循環流の形成機構は鉛直壁面近傍に生ずる振動境界層が本質的役割を果たしており、流体を粘性流体として取り扱って初めて説明で

きる現象である。この水平循環流の発生をBowenの考え、つまり、radiation stressの勾配を外力として説明を試みる者は誰一人としていないであろう。なぜならば、二次元重複波のradiation stressの勾配は0となるからである。入射波が存在しているかどうかの違いはあるが、写真-2、3では、写真-1における鉛直壁が 17.7° に傾いただけである。従って、写真-2、3で示されたedge wave中の水平循環流の発生機構が、写真-1で示されたものと同じであると考えるに何の抵抗もない。それらのことから、edge wave中に誘起される水平循環流もradiation stressによるものではなく、run-upの汀線方向の周期性のため振動境界層から周期的分布を持った渦度が放出されるためと考えるのが妥当であろう。

Bowenは、二次元規則波が入射した場合wave set-up量は碎波線における波高の2乗に比例して岸方向に直線的に増加することを実験により明らかにした。しかし、碎波帯内にedge waveが誘起された場合は、波高は岸方向にも、沿岸方向にも周期的に変化し、二次元規則波が入射する場合とは異なる。それにもかかわらず、沿岸方向にのみ波高の周期性を仮定し、set-up量を算定したところに彼の巧みなごまかしがある。Bowenのモデルによると、碎波線における波高の最小のところで離岸流が生ずる。この結果を検証するため、Bowen & Inmanはsynchronous edge waveとsubharmonic edge wave中に誘起される水平循環流を可視化実験により調べた。その結果synchronous edge wave 中には離岸流が形成され、subharmonic edge wave中には形成されないという結果を導いた。

写真-1 重複波中の水平循環流
写真-2 synchronous edge wave中の水平循環流
写真-3 subharmonic edge wave中の水平循環流
しかし彼らの実験においては、我々の実験と同様、碎波は生じていなかった。碎波を伴わない edge waveの場合、どこを基準に波高の低いところで離岸流が発生していると判定できたのだろうか。多分、彼らは離岸流の発生位置と波高との関係を詳細に観察することなく、Bowenのモデルの妥当性を認めたに違いない。入射波とedge waveが重なり合った波動場において、波高は沿岸方向だけではなく、岸方向にも周期的に変化するため、ある基準となる位置が決まらなければ、波高の最大、最小は確かめようもなく無意味である。さらに 写真-3で示したように、subharmonic edge waveにも明瞭な離岸流の発生が認められることから、Bowen & Inmanの実験及び観察は誠に稚拙なものといわざるを得ない。

4. 結論
二次元重複波、synchronous edge wave、subharmonic edge waveにおいてすべて離岸流は汀線における最大波高のところから発生する。その発生機構はradiation stressモデルのような複雑な概念を用いなくても、振動境界層からの渦度の放出によって説明できる。

最後に、本研究を行うにあたり有意義な御助言を下された九州大学工学部助教授小松利光先生に感謝の意を表します。

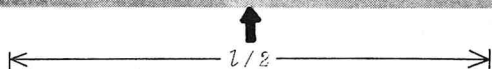


写真-1 重複波中の水平循環流

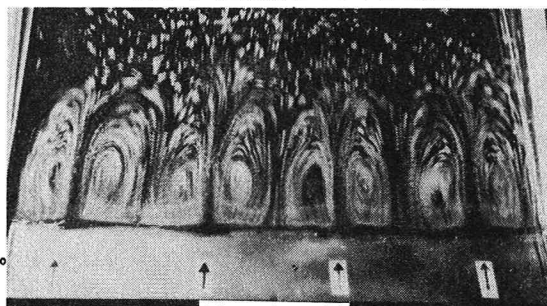


写真-2 synchronous edge wave中の水平循環流

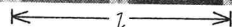
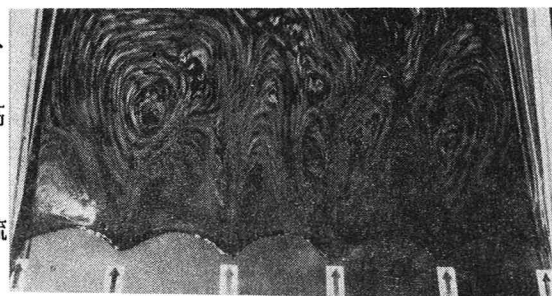


写真-3 subharmonic edge wave中の水平循環流