

風応力作用下で生ずる海浜鉛直循環流系の 高粘性流体シミュレーション

九大 総理工 正員 松永信博・学生員 鈴木康文

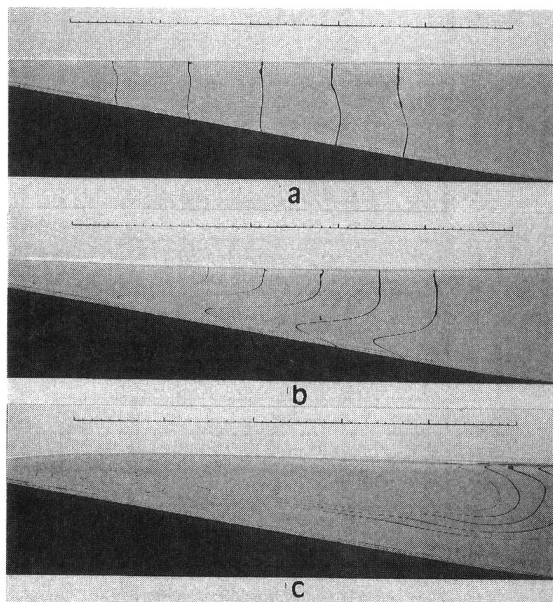
1. はじめに：海浜に風応力が作用する場合、鉛直循環流系を把握することはそれ程簡単なことではない。なぜならば沿岸海域は波動による流体運動と碎波による乱れに加えて、風によるせん断乱流が重なりあっているからである。しかしながら、風応力作用下で生ずる鉛直循環流系の定性的特性は、海浜形状の季節変動、碎波帯内外の海水交換等のプロセスを明らかにする上で解決されなければならない問題である。本研究は、実験室系において高粘性流体中に誘起される循環流パターンと実海浜で生ずる循環流パターンとの間にアナロジーが成立するという仮説に基づき、風応力作用下において実海浜で形成される鉛直循環流系の定性的特性を可視化手法を用いて明らかにしようという試みである。

2. 実験装置および実験方法：実験には風洞付小型造波水槽を用いた。水槽の長さは3.0 m、幅0.15 m、高さ0.5 mであった。水槽の一端に勾配 $\theta=10^\circ$ の斜板を取り付けた。作業流体として動粘性係数 $\nu=3.5\text{cm}^2/\text{s}$ のグリセリン水溶液を用いた。水平床における流体の深さを25.4 cmに固定した。造波の周期 T を1.28 s、造波機のストロークを3.0 cmに固定し、沖波波長 $L_o=252\text{cm}$ 、沖波波高 $H_o=0.78\text{cm}$ の二次元規則波を斜面上に入射させた。風速は自由に变化させることができるが、今回の実験では平均風速 $U=4.3\text{m/s}$ に固定した。風向は波の伝播方向と同じにした。流れの可視化にはタイム・ライン法を用いた。グリセリン水溶液にアニリン・ブルー染料を溶かし、それを注射器で注入することにより作業流体中にあらかじめ5本の鉛直ラインを描いた。タイム・ラインの時間的变化を水槽に固定した35 mmカメラで撮影した。

3. 流れの可視化結果および考察：写真-1 (a)~(c)は、波の運動のみによって誘起される質量輸送速度の分布を可視化したものである。スケールの一目盛は1 cmである。 t は造波開始後の経過時間である。表面に沿って沖向きの質量輸送が、底面境界層内では強い岸向きの輸送が生じていることがわかる。振動境界層外縁($\delta \sim \sqrt{2\nu/\omega}$)において最大岸向き流速が生じている。写真-1 (c)において、汀線付近では時計方向の回転をもつ循環流パターンが認められる。表面付近の染料は滞まることなく沖方向に輸送されることがわかる。写真-2 (a)~(c)は造波はせず、風のみによって誘起される質量輸送速度の鉛直分布をタイム・ライン法で可視化したものである。風のため表面付近には岸向きの吹送流が形成され、底面付近ではその補流として沖向きの流れが形成される。この場合、最大沖向き流速は底面から水深の約1/3の高さにおいて生じている。写真-3 (a)~(c)は、風と波によって誘起される質量輸送速度の鉛直分布を示したものである。底面境界層に沿って波動運動による強い岸向きの流れが形成されている。一方、表面付近では写真-3 (c)で示された矢印よりも岸側にあった染料は沖側に、矢印よりも沖岸にあった染料は岸側に輸送され、時間の経過とともに矢印で示された位置に集まり滞まることわかる。これは、波による沖向きの質量輸送と岸向きの吹送流が衝突し、よどみ点が形成されるためである。汀線付近では、時計方向の回転をもった循環流が可視化されている。

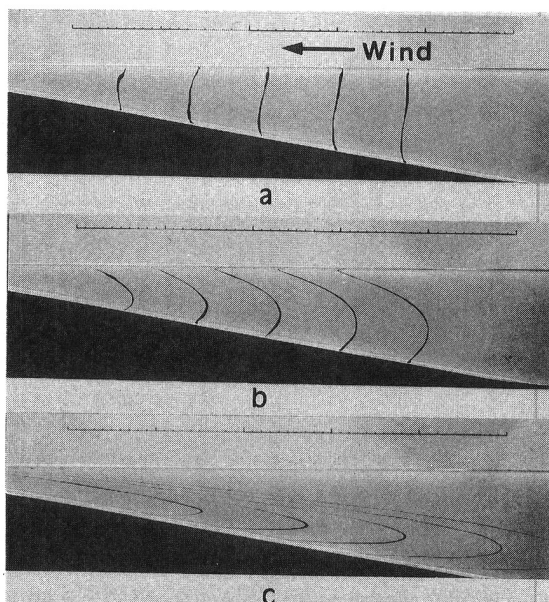
図-1は、これまでの可視化結果に基づいて風応力作用下のもとで斜面上を伝播する波によって誘起される循環流の流れパターンを模式的に描いたものである。汀線付近では、反時計方向の循環流が、それよりも沖側では時計方向の回転をもつ循環流が形成される。これらの循環流系は風応力が作用しない場合においても観察されるものであるが、風応力が作用する場合よどみ点(S.

P.) よりも沖側で、吹送流とその補流で形成される反時計方向の循環流が生ずる。著者らは、風応力作用下における実海浜では、図-1のA点よりも岸側を砕波帯とみなすことにより高粘性流体実験を通して明らかにされたものと類似の循環流パターンが生ずるものと推測するものである。



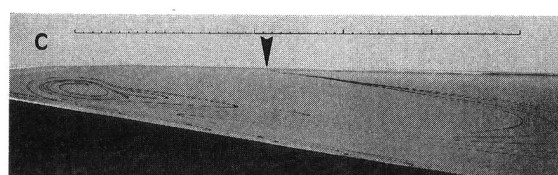
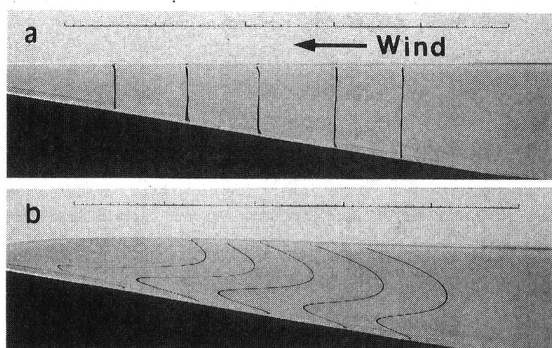
写真—1 波動による質量輸送

(a) $t = 0 \text{ s}$, (b) $t = 30 \text{ s}$, (c) $t = 210 \text{ s}$



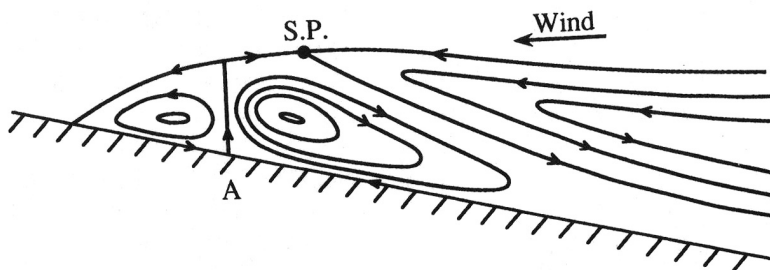
写真—2 吹送流による質量輸送

(a) $t = 0 \text{ s}$, (b) $t = 30 \text{ s}$, (c) $t = 210 \text{ s}$



写真—3 波動と吹送流による質量輸送

(a) $t = 0 \text{ s}$, (b) $t = 30 \text{ s}$, (c) $t = 210 \text{ s}$



図—1 風応力作用下で高粘性流体中に生ずる鉛直循環流パターンの模式図