# 波—流れ相互作用による離岸流の抑制効果が海浜地形変化に及ぼす影響 Impact of wave-current interaction on morphological change through rip current suppression

宮崎 大<sup>1</sup>, 神戸大院工, 神戸市灘区六甲台町 1-1, E-mail: 134t147t@stu.kobe-u.ac.jp
内山雄介<sup>2</sup>, 神戸大院工, 神戸市灘区六甲台町 1-1, E-mail: uchiyama@harbor.kobe-u.ac.jp
甲斐田秀樹<sup>3</sup>, 神戸大院工, 神戸市灘区六甲台町 1-1, E-mail: kaida@stu.kobe-u.ac.jp
Dai MIYAZAKI<sup>1</sup>, Kobe University, 1-1 Rokkodai-Cho, Nada-ku, Kobe, Japan
Yusuke UCHIYAMA<sup>2</sup>, Kobe University, 1-1 Rokkodai-Cho, Nada-ku, Kobe, Japan
Hideki KAIDA<sup>3</sup>, Kobe University, 1-1 Rokkodai-Cho, Nada-ku, Kobe, Japan

Current effect on waves (CEW) is examined for formation of rip channel systems with a barotropic model that consists of an Eulerian phase-averaged shallow-water equation with a vortex-force formalism, WKB ray equations, and a bed evolution equation with the Soulsby-Van Rijn's total sediment flux formula. CEW is found to decrease the offshore extent of seaward rip currents through wave refraction on the currents, leading to modulating the budget of sediment flux and the associated surf-zone topography. Inclusion of CEW results in shoaling rip channels, deepening offshore mounds, and elongating alongshore spacing of rip channels with both the normal and oblique incidence of offshore waves.

## 1. はじめに

流れから波へのフィードバック機構(Current Effects on Waves, 以下 CEW と略称)により,海浜地形変化に関わる海浜流のうち, 離岸流の沖への発達(例えば,内山・甲斐田<sup>(1)</sup>,以下前報)や非 定常沿岸流の発生発達(Uchiyama ら<sup>(5)</sup>)が抑制されることが知ら れている.前報では,数値実験に基づく詳細な運動量収支解析か ら,離岸流の沖への発達抑制メカニズムを明らかにした.CEW に よって海浜流場が変化すれば,その結果として形成される海浜地 形も変化することが予想される.これに対して,海浜流モデルと 漂砂モデルを組み合わせることにより,沿岸方向に一様なバー型 海浜地形からの Rip Channel(以下 RC と略称)発達・形成に関す る数値実験が行われてきた(例えば,Gamier ら<sup>(2)</sup>).しかしながら, CEW,特に離岸流の発達抑制に重要な波の屈折効果の考慮が不十 分であり,波-流れ相互作用による離岸流の抑制効果が RC の形成 過程に及ぼす影響については十分に理解されているとは言い難い.

そこで本研究では、CEW を正確に考慮した海浜流モデルに漂砂モデルを組み込んだモデルを開発する.これを用いて、自己発達型のRC形成過程をモデリングし、CEWによるRC地形の差異およびその原因を解析することを主たる目的とする.

#### 2. 解析モデル

(1) 海浜流モデル

海浜流場のベースとなる位相平均された連続式および運動方 程式はそれぞれ以下の通りである(前報参照).

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} + g \nabla \zeta + \hat{z} \times \mathbf{u}^{st} \cdot (\nabla \times \mathbf{u}) = \frac{\varepsilon_b \mathbf{k}}{\rho H \sigma} - \frac{\tau_b}{\rho H} \cdots (2)$$

砕波によるエネルギー消散率  $\varepsilon_b$  には、Church・Thornton (1993) に よる半経験式 (モデルパラメータは  $B_b$ = 1.3,  $\gamma_b$  = 0.38) を、底面 摩擦力 $\tau_b$ には、波一流れ共存場に対する Soulsby モデル<sup>(3)</sup>を用いた. (2) 平面波浪モデル

平面波浪モデルは、以下の狭帯スペクトルピーク波に対するア クション保存式および波数保存式から構成される.

$$\frac{\partial \mathbf{k}}{\partial t} + \mathbf{c}_{g} \cdot \nabla \mathbf{k} = -\left(\tilde{\mathbf{k}} \cdot \nabla\right) \tilde{\mathbf{u}} - \frac{k\sigma}{\sinh 2kH} \nabla H \cdots (4)$$

(3) 海浜地形変化モデル

海浜地形変化モデルは、漂砂量収支式および浮遊砂と掃流砂を 考慮した Soulsby · Van Rjin の全漂砂量式<sup>(4)</sup> から構成される<sup>(2)</sup>.

$$\beta \frac{\partial z_b}{\partial t} + \nabla \mathbf{q} = 0$$
 (5)

$$\mathbf{q} = \alpha \left\{ \left( \mathbf{u} + \mathbf{u}^{st} \right) - \gamma \left| \mathbf{u}_{b} \right| \nabla z_{b} \right\}^{*}$$
(6)

γ:砂面勾配に関するモデルパラメータ (=10), β:加速率 (=100) である.本研究では、海浜流場と平面波浪場を双方向にカップリ ングすることにより波-流れ共存場を表現する.なお、海浜流・波 浪モデルの詳細は Uchiyama ら<sup>(5)</sup>を、漂砂量モデルについては Soulsby<sup>(4)</sup>を参照されたい.

#### 3. 移動床実験: RC 形成に対する CEW の影響

Fig.1 に示す初期地形を用いた移動床数値計算実験を行う.ここでは、CEW ありなしの比較実験を行ない、CEW による RC 地形変化の差異を定量化することを試みる.外力としては、沖側境界において入射(RMS)波高 $H_{ms}$ =1m,ピーク周期10sの狭帯スペクトルピーク波を継続的に与える.波向きは直入射( $\theta$ =0°)および斜め入射( $\theta$ =4°)の2通りを考え、十分に定常な海浜流が形成された地形モデル時間5日後(波・流れ場時間72分後)に、領域中央部砕波帯内海域の1グリッドに微小な地形擾乱を与え、地形変化を促した.ここでは、直入射の場合の結果のみを示す.定



Fig. 1: Initial topography of an alongshore-uniform single barred beach mimicking a sandy beach in Duck, NC. The bar crest is located at x = 80 m.





常状態での地形変化 z<sub>b</sub>を見ると (Fig.2), CEW を考慮することに より RC の沿岸方向波長が増大し (CEW なし:400 m, CEW あり: 500 m), RC 上の砕波帯岸側のチャンネル部は広く浅く, 沖側の マウンド部 (浅瀬) は広く深くなることが明白に示されている. 反対に, RC 間に形成されるクレスト部では, CEW によってバー 岸側のマウンドはより堆積し, 沖側のトラフはより侵食される傾 向を示している.

#### 4. 固定床実験: CEW による漂砂量収支変化

異なる RC 地形上で生じる海浜流場・波浪場の差異には地形の 影響が強く現れるため、移動床実験により CEW の効果を抽出す ることは困難である. そこで、移動床実験で得られた CEW なし の定常 RC 地形 (Fig.2 左)を用い、CEW ありなしの固定床計算 を行うことで、CEW による波、流れ、漂砂量の変化および漂砂 量収支の不均衡を定量化し、そのメカニズムについて検討する. CEW なし定常地形上における CEW による波・流れ場の変化によ って生じる漂砂量の不均衡を漂砂フラックスの発散 ∇q で評価す る (図示せず). 漂砂量収支式 (5)より, Vq は CEW なしの場合は ほぼゼロであるのに対し、CEW ありでは大きな値を示し、その 分布は RC 上のバー岸側では沿岸方向の間隔を広げ浅くなるよう に、沖側ではマウンドを沿岸方向に均して低下させるように分布 しており、移動床実験のCEWあり地形(Fig.2右)に漸近させる ような傾向を示している.式(6)右辺第1項の輸送項に対する downslope 項の寄与は 10%程度であり、海浜流場では通常 |u| >> |u<sup>s|</sup>なので, CEW による漂砂フラックス q の変化には Euler 流速 u の変化が最も重要であると考えられる (Fig. 3). 流速ベクトルを 比較すると、CEW によって岸近傍の流れが RC に集中するととも に、バー沖側では RC から発散する方向に沿岸流速が強化されて いる. 前者はバー岸側での RC への土砂供給を,後者はバー沖側 での沿岸漂砂の強化によってマウンドを沿岸方向に拡大すること に寄与しており、CEW ありのVq パターンと合致している.

CEW による海浜流場の変化の原因を考察するため、固定床実



Fig. 3: Terms in the alongshore sediment flux Eq. (6) at x = 100 m. Red line: alongshore total sediment flux, blue line: transport term (the first RHS term), green line: downslope term (the second RHS term).

験における各変量に対し考察する.CEW を考慮することにより, 離岸流によりリップチャンネル周辺の波浪が屈折変形を受け,RC 沖側において波高,砕波輸送量,水位が増大する.これによって RC部では岸向きの砕波輸送が強化される(図示せず).一方,沿 岸方向では波浪場の改変効果に伴う平均水位(set-up)変化により, 流れが RCから発散するような圧力勾配が生じる.CEW に起因す るこの2つの効果により,離岸流の沖への発達が抑制される.こ れは,異なる地形条件で行われた前報の結論に合致している.こ のような CEW による海浜流場の改変効果は漂砂量の収支構造の 変化をよく説明している.

### 5. おわりに

CEW を正確に考慮した vortex force 型海浜流-波浪モデルに全漂 砂量モデルを組み合わせることにより,流体-地盤系の不安定のよ って生じる自励的な RC 地形の形成過程のシミュレーションに成 功した.移動床数値実験から,CEW を考慮することによって RC 地形の沿岸方向波長が増大し,砕波帯岸側のチャンネル部は広く 浅く,沖側のマウンド部は広く深くなることが明らかとなった. 固定床数値実験から,CEW による波浪の屈折,砕波輸送,set-up の改変などを通じた離岸流の抑制効果を伴って形成される海浜流 場と,漂砂量分布とに高い相関があることを明らかにし,その原 因について論じた.

## 謝辞

本研究は科学研究費基盤研究C(24560622)の援助を受けた.

#### 参考文献

- 内山雄介・甲斐田秀樹 (2012):流れから波へのフィードバック機構による離岸流の発達抑制メカニズム、土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.1\_36-1\_40.
- (2) Garnier, R., D. Calyete, A. Falqués and N. Dodd (2008): Modeling the formation and the long-term behavior of rip channel systems from the deformation a longshore bar, J. Geophys. Res, Vol. 113, C07053, doi: 10.1029/2007JC004632.
- (3) Soulsby, R.L. (1995) : Bed shear-stress due to combined waves and currents, in Advance in Coastal Morphodynamics, edited by M. Stive *et al.*, pp. 4-20 - 4-23, Delft Hydraulics, Delft, Netherlands.
- (4) Soulsby, R.L. (1997) : Dynamics of Marine Sands, Thomas Telford, London, U.K.
- (5) Uchiyama. Y, J.C. McWilliams and J.M. Restrepo (2009): Wave-current interaction in nearshore shear instability analyzed with a vortex force formalism, J. Geophys. Res, Vol. 114, C6021, doi : 10.1029/2008JC005135.