

極浅海域で計測された離岸流の時空間変動

Time-Space Fluctuation of Rip Current Measured in Very Shallow Region

出口一郎¹・野村尚生²・筒井研伍³・有田守⁴

Ichiro DEGUCHI, Naoki NOMURA, Kengo TSUTSUI and Mamoru ARITA

Spatial variation of time varying rip current and surface displacements around a rip channel were measured by arrayed five wave gauges and current meters in the breaker zone. It is found that small change in incident wave direction caused a significant shift of rip current pattern and grouping incident waves caused low frequency fluctuation in mean current velocity and mean water surface displacement. Although the effect of incident wave grouping on the low frequency motion was reproduced by the numerical simulation, the shift of flow pattern caused by the change in incident wave direction was not reproduced perfectly.

1. はじめに

波浪が海底地形などによって変形を受け、たとえば潜堤開口部あるいはリップチャンネル、ラージカスプの凹部から離岸流が発生する。また、突堤状構造物に沿う沖向きの流れは、海浜流場に与えられた境界条件によって発生する。これらの流れは、海底地形、境界条件と入射波浪特性がわかれば定常な流れとして予測可能である。しかし、少し長い時間スケールでみると、実測された流れは必ずしも定常ではなく、空間的にも変動する。本研究では、極浅海域でアレー配置された流速計と水位計によって計測された離岸流を含む流速と水位変動の時空間変動の特徴的な例について検討し、それらが、入射波向、波高の長周期変動によって引き起こされる可能性があることを数値計算によって示したものである。

2. 流体運動の現地実測

流体運動の実測は、2002年以降継続して離岸流の実測を行っている鳥取県岩美郡浦富海岸で、2007年9月4日～10日の間に行った。浦富海岸の概要と、計測機器設置位置を図-1に示す。ただし、この地形は2006年に鳥取県によって測定されたものであり、汀線形状は時々刻々変化している。計測項目は、水深1.5m以浅のリップチャンネルが形成されている海底周辺で10m間隔で十字配列した圧力センサと水平方向2成分電磁流速計を組み合わせた5組の計測器による水位と流速の計測および、海底

設置型 ADCP 台による流速測定である。5組の計測器の配列を図-2に示す。すべての計測は、サンプリング間隔1sで連続計測を行った。

また、十字配列した計測器周辺の海底地形は、海象条件が許す範囲で、毎日 K-GPS を複数台用いた相対測位で計測を行った。移動局は背中に背負い、計測範囲を約5m間隔で移動することによって水深を計測し、得られたデータから2.5m間隔のメッシュデータを作成した。

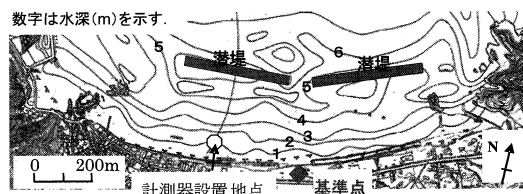


図-1 浦富海岸と計測器設置位置

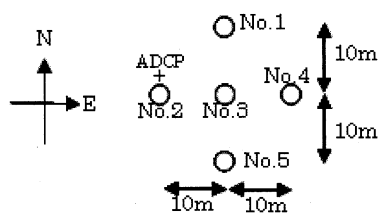


図-2 計測器の配置

3. 測定された海底地形と海浜流・水位変動

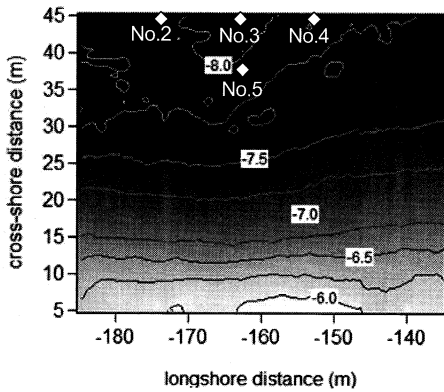
(1) 海底地形変化

水位計などの計測器は、9月4日にリップチャンネルを中心に設置したが、計器設置地点周辺の海底地形は、5日から計測を行った。図-3に、5日、6日、7日および9日のほぼ15時頃計測した海底地形を示す。この間、8日は、

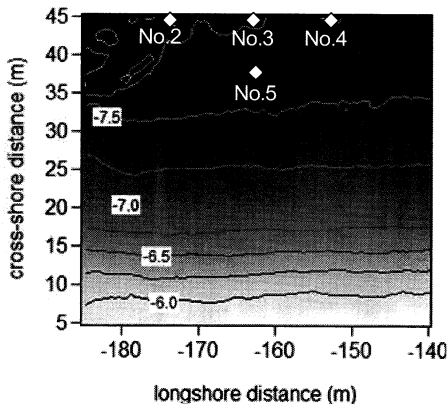
- | | | |
|---------|------|----------------------|
| 1 正 会 員 | 工 博 | 大阪大学教授大学院工学研究科 |
| 2 正 会 員 | 工 修 | 伊藤忠商事株式会社 |
| 3 学生会員 | | 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 |
| 4 正 会 員 | 博(工) | 大阪大学助教大学院工学研究科 |

台風9号の高波により計測は行っていない。座標は、図-1に示す位置にある水準点を原点に北向きおよび東向きを正としている。平均的な汀線位置は、鉛直軸の-6.76 mに位置する。図中には、十字配置した計測器の位置も記入してある。ADCPは、測点No.2の1m沖に設置した。

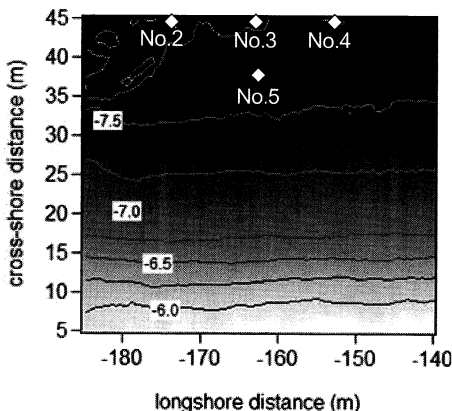
5日にはすでにリップチャネルの位置が若干西側に移動し、4日に最深部に位置していた十字配置の中心がリップチャネルの最深部から東側にずれている。



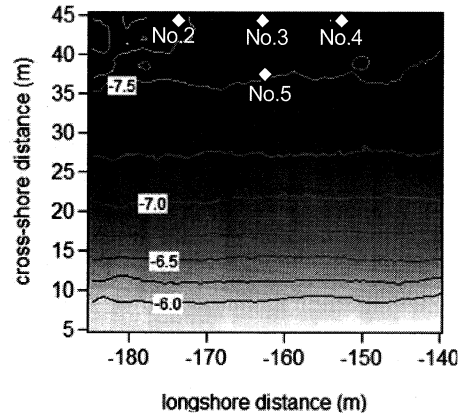
(a) 9月5日海底地形



(b) 9月6日海底地形



(c) 9月7日海底地形



(d) 9月9日海底地形

図-3 計測された海底地形

6日には、リップチャネルはさらに西側に20m程度移動し、計測点No.2のみがリップチャネルにかかっている。この状態は、7日まで継続するが、9日には地形計測範囲からリップチャネルは消滅している。

5日から8日にかけて設置点周辺での平均的な有義波高は0.4mから0.8mに増大し、周期4.5~6.0sであった。その後、台風通過後の9日には再び入射波高は0.5m程度まで減少し、周期も5s程度であった。

(2) 計測された水位変動と流速

計測位置がリップチャネル内にあった、9月4日および5日午前中は、流速計を設置した5箇所の少なくとも2箇所以上で0.4~0.9m/sの沖向き流速が計測され、時として1.0m/sを超える流速が観測された。その流速は空間的に大きな勾配を持ち、時間的にも定常ではなかった。4日に計測された水平方向2成分流速の20sの移動平均から推定される海浜流流況の時間変化の例を時間を追って図-4に示す。図中の実線および破線は、それぞれの図に示す計測時間の前半および後半の流速ベクトルである。

4日午前中から16時頃にかけては、北から約30度西よりから有義波高0.5m、周期4.0~4.5sの波浪が定常に入射していた。この間は、図-4(a)に示すように観測された流れは、流向、流速の変化も少なく、リップチャネルに沿って沖向きの流れが発生していた。20s移動平均流速は、最大0.7m/sであった。

その後、4日20時頃は、入射波向が北から10~17°の間で変動し、22時頃には北から時計回りの正をとった波向が-5~20°の間で周期的な変動を示し、その周期は3分程度であった。この間に計測された流況は、図-4(b), (c)に示すように、複雑に変動し、20s移動平均流速も-0.1m/s~0.7m/sの間で大きく変動した。入射有義波高、周期はそれぞれほぼ0.5m、4.5sであった。

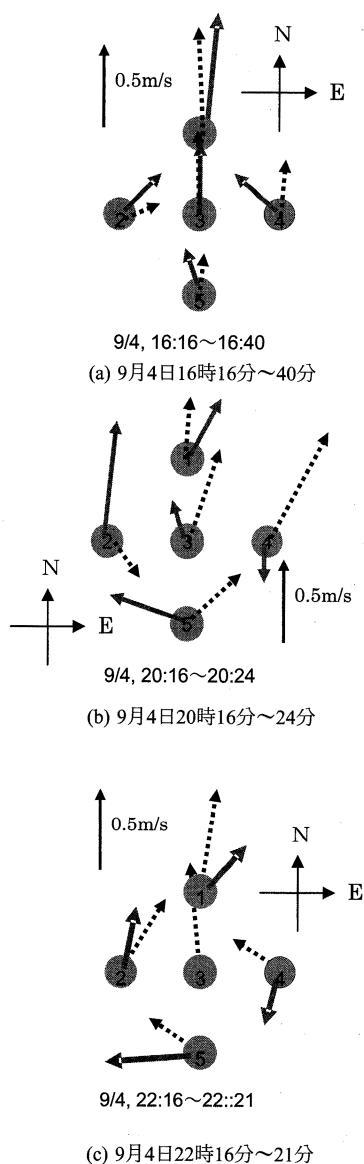


図-4 計測された海浜流流速の空間分布

図-4(b)に示す実測流速の平面分布から推定される流況の変化は、入射波向の変化に伴い離岸流の流軸が約20 m 東側に移動し、以前は、離岸流の東側のセル内に位置していた計測器群が、離岸流の西側に位置するような変化が生じたためと考えられる。

図-4(c)に示す実測流速の平面分布から推定される流況変化は、実線で示す時間での計測器群は、離岸流の東側に形成される小規模な海浜流セル内に位置していたものが、波向の変化による離岸流軸の西側への変化、あるいは海浜流セルの拡大に伴い、離岸流の中に含まれてしまったことによるものと推定される。

一方、9月5日午前中は、入射波向は、北より約30度東よりで大きな変化は見られなかったのに対し、入射有義波高は増加中で、周期は4.5s ~5s の間にあり、55s~100s の周期を有する顕著な波群を形成していた。これに伴い、測定された水位変動および流速にも波群周期に対応した長周期変動が見られた。No.1およびNo.5で計測されたN-S方向およびE-W方向流速の20s移動平均値に基づき流況の時間変化をベクトル表示したものが図-5(a)および(b)で、(c)はNo.5で実測された水位変動とその20s移動平均を示す。

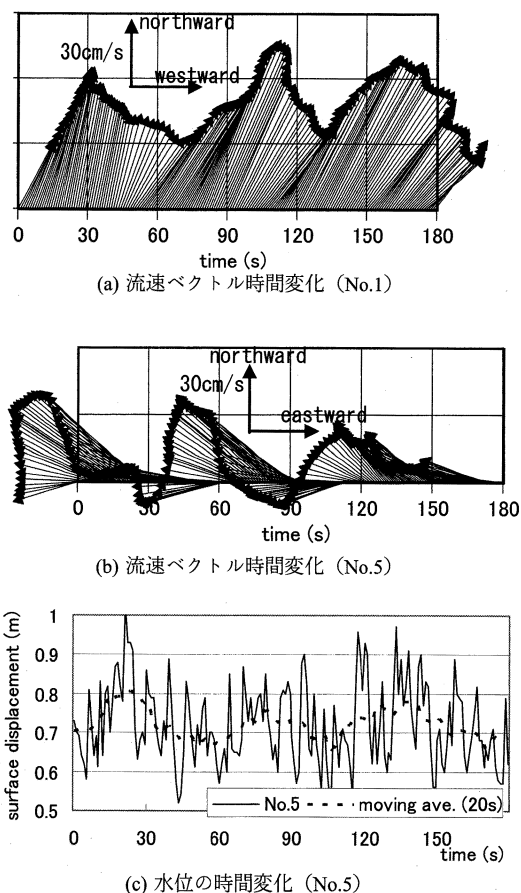


図-5 実測された流速ベクトルと水位変動時間変化 (9月5日10時42分~)

図-5(c)に示す水位変動の移動平均値は、周期は約60s、振幅0.1m程度の長周期変動を示し、No.1およびNo.5で測定された流速ベクトルも同じ周期で長周期変動している。また、No.1における20s移動平均流速ベクトルの絶対値の最大値は、1m/s以上の値となる。

なお、ADCPで計測された流速の鉛直分布は、計測範囲内でほぼ一様で、No.2地点で電磁流速計で計測した流速と顕著な差異は見られなかった。

以上の結果より、入射波向のわずかな変化で海浜流の流況が変わること、入射波が強い波群性を有する場合は、海浜流および平均水位変動にもその影響を受けた長周期変動が現れるが、海浜流の流況は大きく変化しないことがわかった。

4. 海浜流の入射波特性の変化に対する応答に関する数値計算

(1) 海浜流数値計算の概要

入射角の周期的な変化および波群に対応する入射波高の周期的な変化によって、前章で述べた実測されたような海浜流の空間的・時間的な変化が生ずる可能性を数値計算によって検討した。

計算は、9月5日に測定された海底地形上で、波浪場と海浜流場を解くことによって行った。波浪場は非定常緩勾配方程式により計算し、得られた波高、波向を用いて radiation stress を評価し、海浜流基礎式に基づいて海浜流を計算した。計算領域は、図-3(a)に示す地形計測範囲を、沖側および沿岸方向に外挿して求めた沿岸方向300m、岸沖方向100mの領域で、計算格子間隔は0.5mである。

(2) 波向が変化する場合の海浜流計算

図-4(b)あるいは(c)に示す海浜流パターンを対象とした計算を行った。

入射波向の変動周期を T_1 とし、初期入射角 θ_0 に対し、 $d\theta$ の振幅で入射波向を変動させた。最初の1周期の間は、助走計算とし、初期入射波向で計算された諸量を用いて海浜流計算を行い、その後 $T_1/8$ 時間間隔で波浪変形計算をこない、海浜流と波浪変形計算を繰り返し行った。

まず、図-4(b)にベクトルを示す実測時間の波向の実測結果より、 $\theta_0=0^\circ$ 、 $d\theta=0^\circ$ および $T_1=200s$ として計算を行った。入射波高は0.4m、周期は5sである。入射波向の変動を与えてからほぼ5周期目以降から定常な周期変動をする結果が得られた。結果を図-6に示す。図-6(a)は、 $\theta_0=0^\circ$ に対応する入射波向で計算された海浜流、(b)は $\theta_0=0^\circ$ に対応する入射波向で計算された海浜流で、それぞれ図-4(c)の実線および破線で示されるベクトルの流況に対応する。計算結果の海浜流は、リップチャネルの外側で大規模な変動が生じ、計測器配置点周辺での流況の顕著な変化はないが、No.4およびNo.5での流況変化あるいは流速の絶対値は、概略再現されている。

しかし、図-4(c)にベクトルを示す流況に対応するような流況の変化は、入射波向を変化させるだけでは再現されなかった。従来の radiation stress を介しての海浜流計算では完全に対応できない問題点と考えられる。

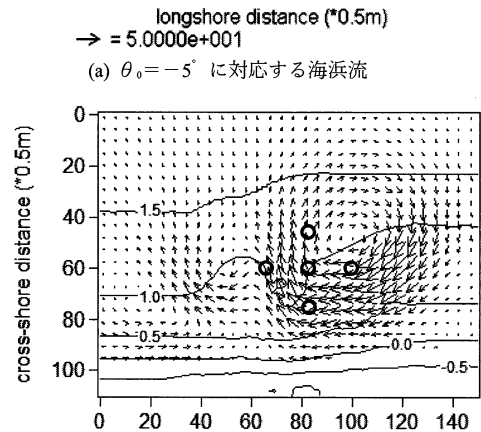
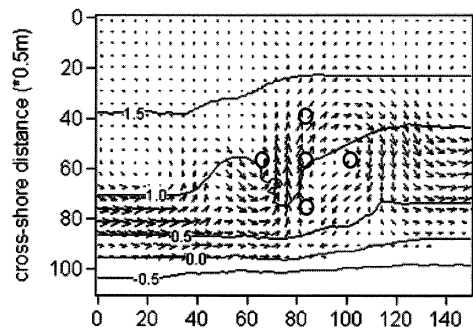


図-6 入射波向の変化に伴う海浜流の変化

(3) 波高が変化する場合の海浜流計算

つぎに、図-5に示す波群を構成する波浪によって引き起こされる海浜流の時間変化の再現計算を行った。入射波高は、実測結果に基づき波群周期 $T_1=60s$ に対応し平均的な波高 $H_0=0.5m$ を中心にその30%の振幅で周期的に変動させて与えた。周期は5s、入射角は、 $\theta_0=0^\circ$ で計算した。波浪および海浜流の計算は、入射波向を周期的に変動させる場合と同様の方法で行ったが、この場合も波高を変動させた後、6周期程度で定常な周期変動が得られた。

まず、図-7に6周期目の $H_0=0.5m$ に対応する波浪場で計算された海浜流ベクトルを示す。リップチャネル上で、0.6m/s程度の離岸流が計算されている。

図-8は、計測点No.1およびNo.5の海浜流ベクトル時間変化(1s間隔でベクトルを描画)および、No.5における平均水位の時間変化である。

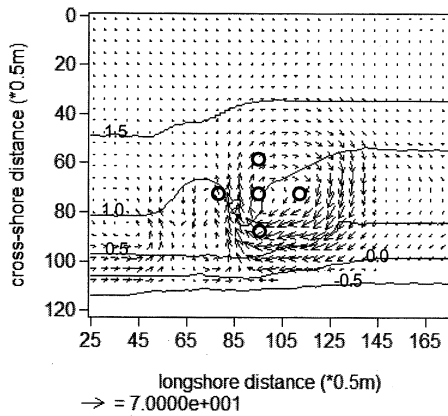
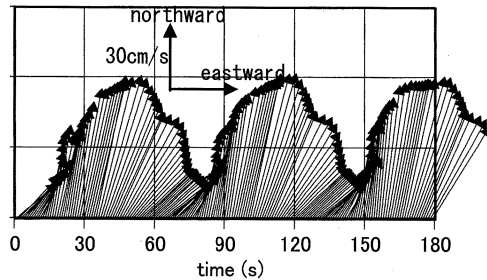
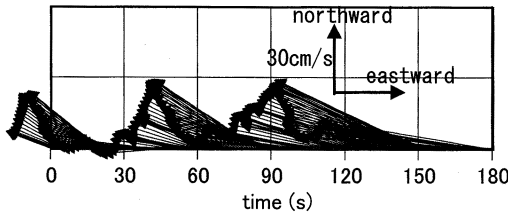


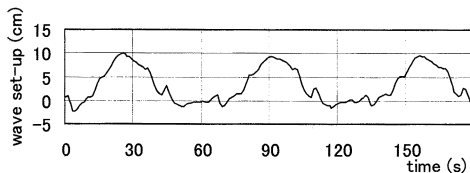
図-7 $H_o=0.5\text{m}$ に対応する波浪場で計算された海浜流



(a) No.1における流速ベクトルの時間変化



(b) No.5における流速ベクトルの時間変化



(c) No.5における平均水位に時間変化

図-8 計算された流速ベクトルと平均水位時間変動

図-8(a)～(c)は、図-5(a)～(c)に示す流速ベクトルと平均水位の実測地と対応している。No.1で計算された流速は、実測値と比較して若干小さめの値ではあるが、時間

変動のパターンは再現されている。また、No.5における海浜流の計算結果も、図-5(b)に示す実測値と比較して若干小さめの値ではあるが、流向、時間変動パターンは再現されている。さらに、図-8(c)に示す平均水位の時間変化は、ほぼ10cmの振幅で変動しているが、これは、図-5(c)に示す実測水位変動の20s 移動平均値の振幅と一致する。

Murray (2004) は、リップチャンネルが存在しない海岸で発生する離岸流の実測結果に基づきその継続時間の頻度分布を作成し、平均7.87分であることを報告している。また、入射波の波群特性を考慮し、入射波に時間変動を与えた数値計算を行いその再現について検討している。Murray (2004) の結果では実測された継続時間を再現するのに1分以内の周期で入射波を変動させる必要がある。しかしここで対象とした地形性離岸流では、計算によって波群周期と同じ周期の変動が流れ、水位変動に現れる。また、離岸流は間歇的に発生するのではなく、連続的に変化する海浜流が沖向きに流れる場合に顕著になる。したがって、地形性離岸流の場合はその継続時間を定義することは困難である。

5. 結語

砕波帯内の浅海域で十字配列した水位計・流速計により、リップチャンネル周辺の海浜流の空間的・時間的な変動を計測した。リップチャンネルが存在している間は、明確な離岸流が発生し、入射波向のわずかな変動に伴って流況が顕著に変化し、入射波が波群を形成する場合は、流速及び水位変動に波群周期に対応した変動が現れることがわかった。

さらに、入射波向及び波群に対応した入射波高を周期的に変動させた場合の海浜流数値計算を行った結果、入射波群に対応して入射波高を変化させた場合は、実測された流速及び水位変動がほぼ再現されたが、入射波向の変動による海浜流況の変化については十分な再現性は得られなかった。

今後、radiation stress を介さない方法で非定常海浜流の計算方法を開発する必要があるものと考えられる。

参考文献

- Murray, A. B. (2004) Rip channel development on nonbarred beaches: The importance of a lag in suspended sediment transport, JGR, Vol.109, C04026, 14p.