

風を考慮した 2 層海浜流モデルによる新潟西海岸の流況特性

田 村 進* ・ 近川喜代志** ・ 西 條 正 輝***
高 野 剛 光**** ・ 山 谷 弘 幸***** ・ 泉 正 寿*****

1. はじめに

冬季の新潟西海岸において、VHF レーダによる面的表層流観測、電磁流速計による底層流観測、砂面計による地盤変動の同時観測を行った結果、風は表層流だけでなく、底層流とも密接な関係があり、地盤変動に寄与している可能性のあることがわかった(田村ら, 2000)。また、波の影響が及びにくいと考えられる水深 20 m の海底において、20 cm/s を越える底層流が観測されており(田中ら, 1996)、風が流れに及ぼす影響を把握することは、沖合を含めた土砂移動機構を検討するのに重要であると考えた。

そこで、本研究では、風を考慮した 2 層の海浜流モデルを構築して、冬季新潟西海岸の現地調査結果と照合し、風が表層流や底層流に及ぼす影響を考察した。

2. 新潟西海岸の流況特性

(1) 流況調査概要

平成 11 年 11 月 20 日から 12 月 16 日までの約 1 ヶ月間、新潟西海岸で流況観測を実施した。観測内容は、①短波海洋レーダによる面的表層流観測(図-1 上段のハッチング)、②電磁流速計による底層流観測(図-1 下段の ST.1, ST.2, ST.3, 底上 1 m)、③ ADCP による流れの鉛直分布観測(図-1 下段の ST.1)である。

面的表層流観測は、VHF レーダにより 1 ビームあたり 10 分間の送受信を行い、全 11 方位、計 2 時間に得られた 2 局の視線方向の流れベクトルを合成し、面的な表層流分布を算出した。VHF レーダ(周波数 41.900 MHz)の観測水深はブラッグ共鳴散乱を利用していることから約 30 cm である(徳田ら, 1997)。

また、電磁流速計で観測した底層(海底上 1 m)の流

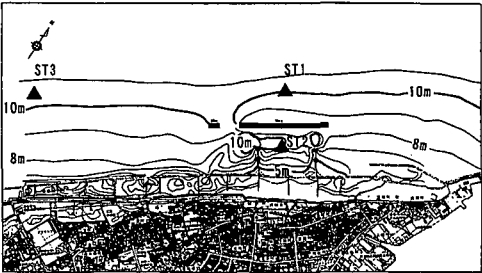
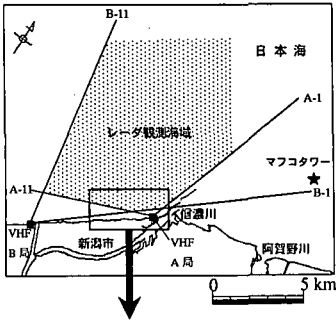


図-1 L 型消波防波堤の基本断面観測地点位置図

れは、2 時間毎に 20 分間、0.5 秒間隔でデータを取得し算術平均したものであり、ADCP による流れの鉛直分布は、底上 2.0 m から 50 cm 毎に海面下 1 m までの流れを 2 時間毎に 2 分間隔で取得し(1 アンサンブルあたり 60 発振)、さらに 20 分間のデータを平均したものである。

(2) 流況調査結果

図-2 に表層流分布の経時変化を示す。表層流は風向きの変化に良く対応している。ただし、12 月 2 日 4 時から 10 時の間にみられる岸側と沖側との流軸の違いや 14 時から 22 時の間の新潟西港沖合の転流から、表層流が風だけに支配されていないことが伺われる。

図-3 に ADCP で観測した流れの鉛直分布を示す。12 月 3 日は上層のみ流れが発達しているが、11 月 27 日は下層まで短時間に流れが発達している。この違いは、風が前者は沖から岸へ吹いているのに対し、後者は沿岸方向に沿う向きとなっていることである。

* 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所次長
** 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所調査課長
*** 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港工事事務所海岸係長
**** 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所調査係長
***** (財)沿岸開発技術研究センター第一調査部長
***** 正会員 国際航業株式会社海洋エンジニアリング部

3. 風を考慮した2層海浜流モデル

(1) モデルの概要

支配方程式は、次に示す連続の式と運動方程式である。
従来の単層の海浜流モデルに外力として風を加え2層モデルとした。

【連続の式】

上層: $\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} - w = 0 \dots\dots\dots (1)$

下層: $\frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} + w = 0 \dots\dots\dots (2)$

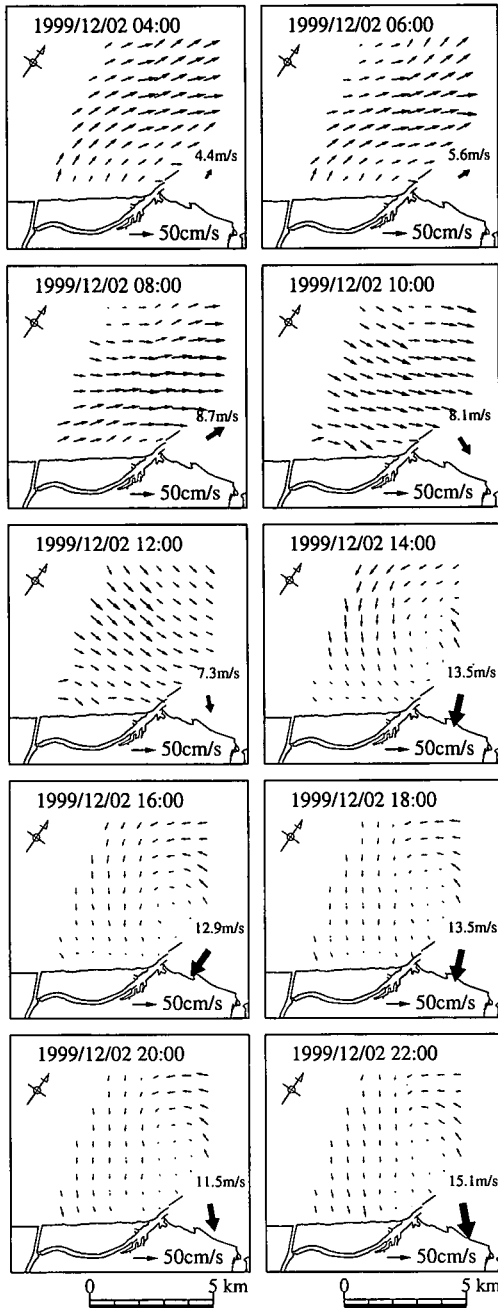


図-2 表層流れベクトルの経時変化

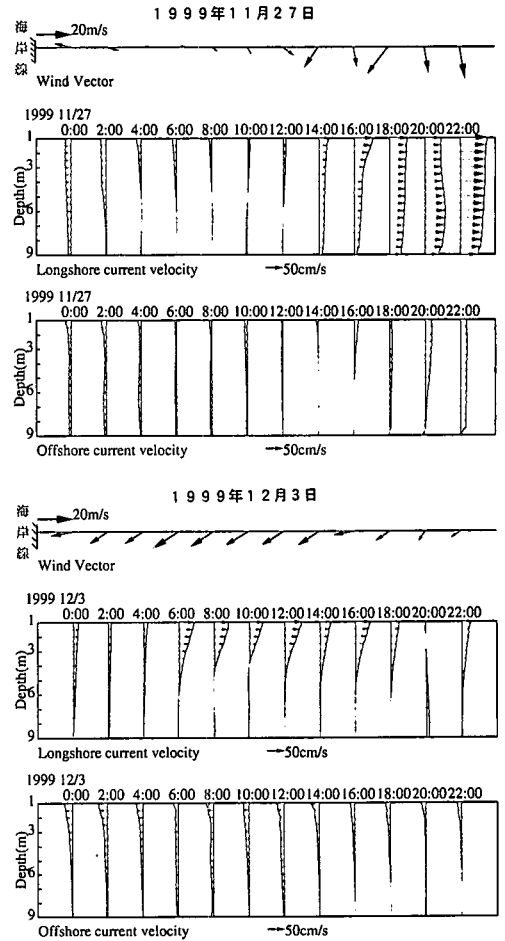


図-3 流れの鉛直分布

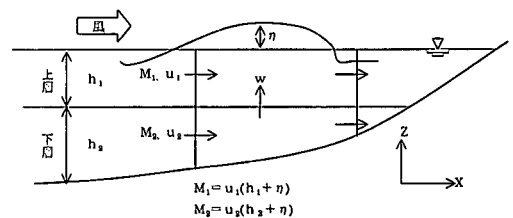


図-4 2層海浜流モデルの座標系

【運動の式】

x 方向の運動の式

上層：

$$\frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial M_1 u_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1 u_1}{\partial y} + g(h_1 + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial x} - \tilde{u}w$$

$$= A \left(\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_1}{\partial y^2} \right) - \frac{F_x}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_w} \nabla S + \tau_x \cdots (3)$$

下層：

$$\frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2 u_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2 u_2}{\partial y} + g h_2 \frac{\partial \eta}{\partial x} - \tilde{u}w$$

$$= A \left(\frac{\partial^2 M_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial y^2} \right) + \frac{F_x}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_w} \nabla S - \tau_x \cdots (4)$$

y 方向の運動の式

上層：

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial M_1 v_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1 v_1}{\partial y} + g(h_1 + \eta) \frac{\partial \eta}{\partial y} - w\tilde{v}$$

$$= A \left(\frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_1}{\partial y^2} \right) - \frac{F_y}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_w} \nabla S + \tau_y \cdots (5)$$

下層：

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2 v_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2 v_2}{\partial y} + g h_2 \frac{\partial \eta}{\partial y} + w\tilde{v}$$

$$= A \left(\frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_2}{\partial y^2} \right) + \frac{F_y}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_w} \nabla S - \tau_y \cdots (6)$$

ここで、 η は水位変動、 M 、 N は x 、 y 方向の線流量、 ρ_w は海水密度、 g は重力加速度、 A は水平渦動粘性係数、 w は鉛直定常流速、 $F_{x,y}$ は境界面のせん断応力項、 s はRadiation stress項、 τ は海面のせん断応力項、 $\tau_{xb,yb}$ は海底面のせん断応力項である。なお、式中の添字は、1は上層、2は下層を表す。

(2) 計算条件

計算領域は、図-1下段の範囲とし、岸側と沖側で流軸が偏向している12月2日4時と22時の表層流の再現及び沿岸方向に沿う風により上層から下層まで沿岸方向の流れが発達する11月27日20時の底層流の再現を試みた。

計算条件を表-1に示す。この時、表層厚を波高とし、海面摩擦係数は、従来の推定式(8)を用いると計算結果が小さめになることから、山下らが砕波帯近傍の観測データ(水深8m)から得た推定式(7)とYellandらが外洋での観測データ(水深50m)から得た推定式(8)で求めた結果を水深20m地点に内挿した値を用い、現況の再現性を考慮して2倍した値を用いた(加藤ら、1999)。

山下による推定式

$$C_d = 0.223(10/3)^{-U_{10}/10} : U_{10} \geq 10.0 \text{ m/s} \cdots \cdots (7)$$

Yellandらによる推定式

$$C_d = (0.60 + 0.07 U_{10}) \times 10^{-3} : U_{10} \geq 6.0 \text{ m/s} \cdots \cdots (8)$$

表-1 計算条件

	12月2日4時	12月2日22時	11月27日20時
目的	時化の発達期の再現	時化の最盛期の再現	地形変動を引き起こす沿岸方向東向きの流れの再現
風向・風速	SSW, 8.4 m/s	NW, 15.1 m/s	SW, 21.9 m/s
波浪	波高 周期 波向 0.8 m, 7.5 秒, 323°	波高 周期 波向 3.1 m, 7.4 秒, 336°	波高 周期 波向 2.3 m, 7.6 秒, 328°
表層厚	0.8 m	3.1 m	2.3 m
摩擦係数	海面 層間 底面 0.0170, 0.04, 0.01	海面 層間 底面 0.0116, 0.04, 0.01	海面 層間 底面 0.0066, 0.04, 0.01
水平渦動粘性係数	40 m ² /s	40 m ² /s	40 m ² /s

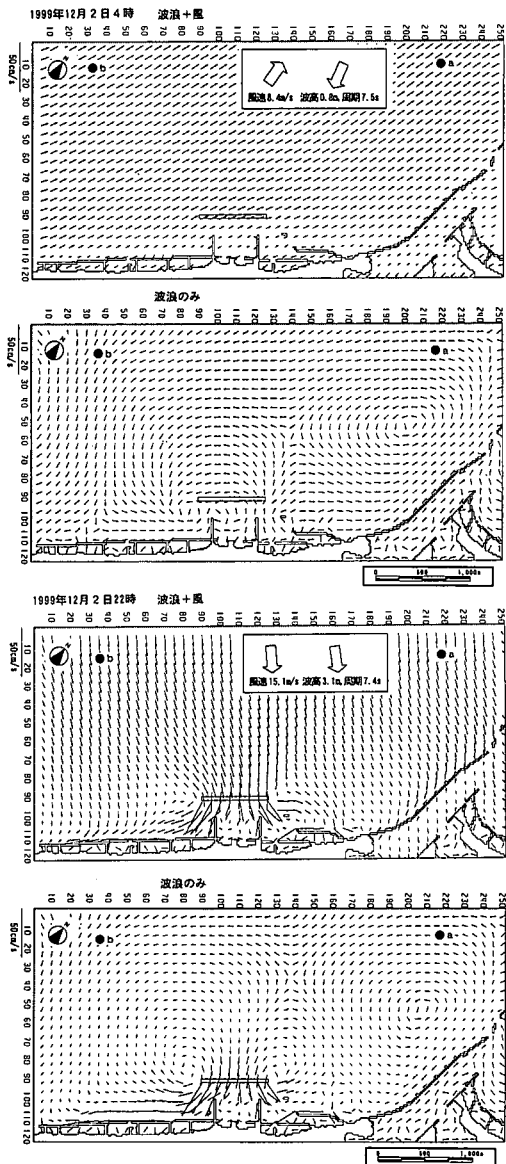


図-5 表層流再現計算結果

$$C_d = (0.29 + 3.1 U_{10} + 7.7 / U_{10}^2) \times 10^{-3}$$

$$: 3.0 \leq U_{10} \leq 6.0 \text{ m/s} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 C_d は海面摩擦係数、 U_{10} は海上風速(海上10 m)である。

(3) 計算結果

a) 表層流の再現結果

図-5に12月2日4時と22時の表層流の再現結果を示す。風を取り入れることによって図-2の表層流の再現が向上している。ただし、岸側と沖側での流軸の違いや西港沖の偏向については風向きを連続的に変えた計算を行っても再現できなかった。

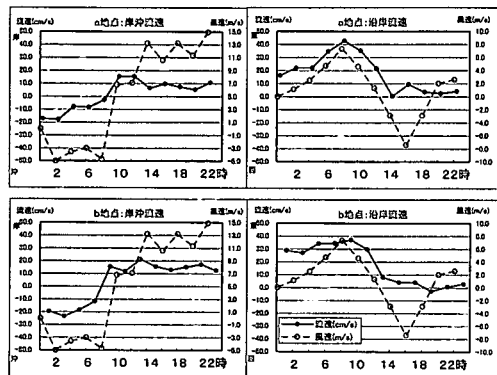


図-6 風と表層流の経時変化

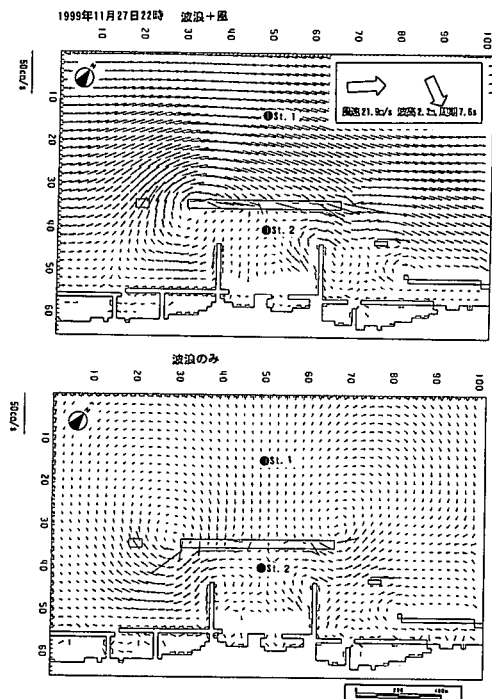


図-7 底層流再現計算結果

12月2日0時から24時の風と表層流の関係は、図-5の●地点の表層流(a, b地点)と■地点(国土交通省新潟港湾空港工事事務所)の風をそれぞれ沿岸方向と岸沖方向の成分に分けて示した図-6の経時変化に示される。これから、岸沖方向の流れと東向きの流れは、風の向きによく追従するものの、西向きの流れに対しては、東向きであった流速は弱くなるが西向きの流れとなるには至らず、東向きの恒流の存在を伺わせる結果となった。当海域の海流は平均5 cm/sであること、潮流も同様に数 cm/s 程度であることを考えると、この流れの起動力は不明であるが、これが流軸の偏向や西港沖の転流の要因になっていると考えられる。

b) 底層流の再現結果

図-3上段の沿岸方向東向きの風によって数時間で下層まで沿岸方向東向きの流れが発達する状況を図-7に再現した。風を取り入れることによって波だけでは評価できない底層の流れのパターンが再現されることがわかる。

図-8に12月2日4時、22時及び11月27日20時の底層流の実測値と計算結果を岸沖流速と沿岸流速に分けて比較した。図-8の横軸は左から右へ沖から岸を示し、図-7の縦軸に一致する。12月2日4時、22時については、流速値が数 cm/s と弱く計算結果と実測値に大差はないが、11月27日20時では沿岸方向の実測値が25 cm/s~40 cm/s となるのに対し、計算では10 cm/s 程度にしかない。計算に用いた底面摩擦係数は0.01であるが、底面摩擦係数を0.003, 0.001に設定した場合は図-9に示すとおりである。11月27日20時の風向きは

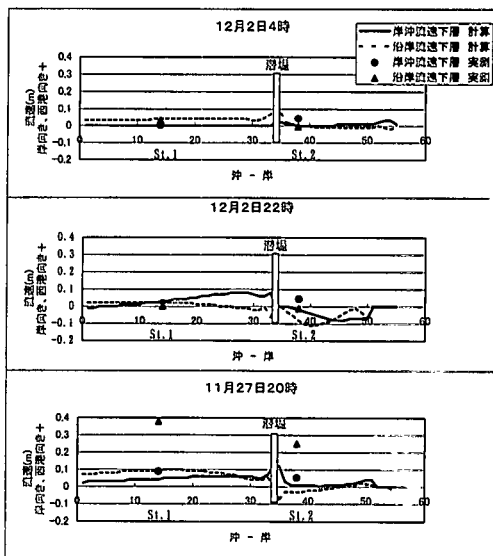


図-8 底層流の実測値と計算結果の比較

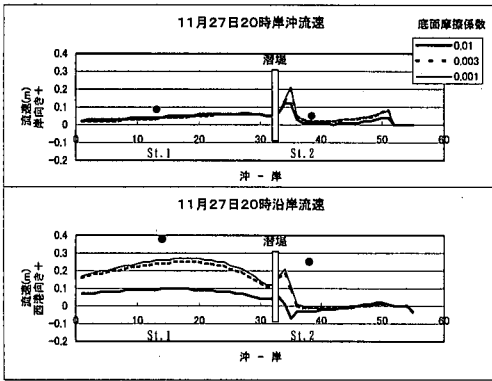


図-9 底面摩擦係数と底層流の再現性

沿岸方向に沿う向きであり、この時に底層まで沿岸方向の流れが発達する。今回のモデルでは、沿岸方向に流れが発達する場合、すなわち流れの方向に対して水深の変化が小さい場合、流れの再現性を高めるためには摩擦係数を小さく設定する必要があった。

4. ま と め

冬季新潟西海岸の流れの現地観測結果と、風を考慮した2層の海浜流モデルによる数値計算結果を比較することにより、風は表層流だけでなく底層流とも密接な関係のあること、2層の海浜流モデルに風を取り入れること

によって表層流だけでなく底層流の再現精度が向上することが分かった。また、VHFレーダによる面的表層流観測により、沖合では風だけでは説明のつかない流れのパターンが存在することが分かった。

モデル構築に際しては、海面摩擦係数を通常使われている値より高くする必要のあること(山下ら, 1999)、底面摩擦係数は沿岸方向(等深線に沿った方向)に流れが発達する場合は、低くする必要のあることが分かった。

最後に、本研究を行うにあたり、運輸省港湾技術研究所漂砂研究室(現独立行政法人港湾空港技術研究所海洋・水工部漂砂研究室)栗山善昭室長の御指導を賜った。ここに記して御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 加藤 茂・山下隆男・路 明 (1999): 3次元広域海浜流モデルの適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 211-215
- 田中茂信・佐藤慎司・坂上 悟・二木 渉・泉 正寿 (1996): 新潟西海岸における土砂移動の現地観測, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 546-550
- 田村 進・赤澤 勝・和田耕造・永松 宏・泉 正寿 (2000): 新潟西海岸の地形変動機構の検討-VHFレーダ, ADCPの現地観測, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 456-460
- 徳田正幸・村上和男・渥美泰彦・永松 宏 (1997): VHF沿岸海洋レーダの開発と流れの観測, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1276-1280