

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

田村 進* ・ 赤澤 勝** ・ 和田耕造***
永松 宏**** ・ 泉 正寿*****

1. はじめに

新潟西海岸では潜堤と突堤を組み合わせた新しい海岸保全施設による侵食対策事業が実施されている。これらの施設の効果検討を行うため、これまでに潜堤周辺海域の波浪、流れ、地形変化の観測が実施されてきた。

現地観測の結果(徳田ら, 1989; 荘司ら, 1991), 高波浪時の遷移過程(発達期→最盛期→減衰期)での底層の流れパターンが示された。また海底地形変化との関係が検討され、地形変化を予測する数値計算も行われてきた(徳田ら, 1989)。数値計算では、一部の現地観測結果をうまく再現できず、その原因として波のみを外力とするのではなく、風などによる流れの発生や外力の非定常性等を考慮する必要があるとことが指摘されている。

これまで、海浜変形の外力は波浪と波浪に起因する海浜流が考えられてきた。しかしながら近年、広域な海岸流の観測や新しい計測機器による高波浪時の流れ場の鉛直分布観測が行われるようになり、風によって生じる広域な吹送流が漂砂の起動力であり、その流れは3次元的な構造を持つことがわかってきた(山下ら, 1997, 1998)。

本研究では、新潟西海岸において VHF レーダによる面的な流れ、ADCP による流れの鉛直分布、電磁流速計による底層流、砂面計による海底面変動の現地観測を実施し、得られた波浪、流れ、海底地形変動から西海岸における海底地形変動の機構を検討する。

2. 現地観測の概要

1999 年 11 月 20 日から 12 月 16 日までの約 1 ヶ月間、新潟西海岸潜堤周辺海域において、波浪、流況および海底面変動観測を実施した。

2.1 波浪観測

波浪観測は、図-1 に示す Sta. 1, Sta. 2, Sta. 3 の 3 地点の海底に(いずれの地点も水深 10 m)水圧式波高計

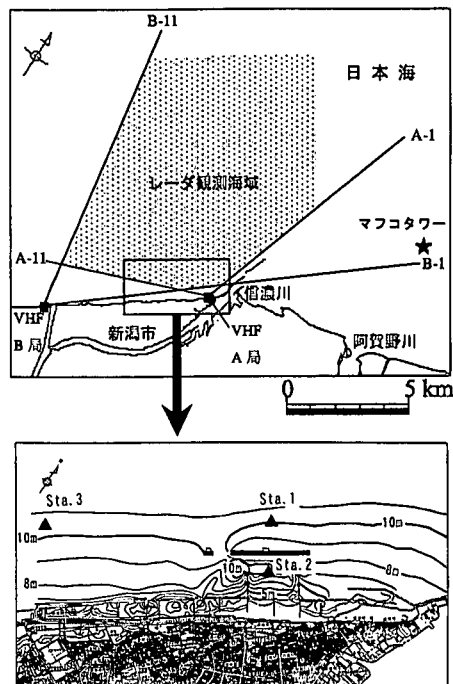


図-1 観測地点位置図

を設置し、偶数正時を挟む 20 分間に 0.5 s 間隔でデータを取得した。また海上風および沖合いでの波浪データとしてマフコタワー(図-1 の★に示す水深 35 m 地点, 38°00'07"N, 139°07'46"E)の観測データを整理し用いた。

2.2 流況観測

流れ観測は、①短波海洋レーダによる面的表層流観測、②電磁流速計による底層流観測、③ ADCP による流れの鉛直分布観測を行った。

VHF レーダは、信濃川河口部左岸および関屋分水路左岸の 2 ヶ所に設置し(図-1 にレーダ局位置およびレーダ観測範囲を示す)、新潟西海岸前面の約 10 km 四方の海域を調査範囲とした。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 局の受信信号のドップラスペクトルから面的な表層流れベクトルを算出した。VHF レーダ(周波数 41.900 MHz)による流れ測定は、波長約 3.6 m の波浪とのブラッグ共鳴散乱

* 新潟県第一港湾建設局新潟調査設計事務所次長
** 元新潟県第一港湾建設局新潟調査設計事務所調査課長
(現(財)港湾空港建設技術サービスセンター直江津港情報センター航行安全対策室長)
*** 正会員 (財)沿岸開発技術研究センター調査部
**** 国際航業株式会社海洋エンジニアリング部
***** 正会員 国際航業株式会社海洋エンジニアリング部

を利用していることから、表層流の測定相当水深は約 30 cm である (徳田ら, 1997)。

また底層 (海底上 1 m) の流れは, Sta. 1, Sta. 2, Sta. 3 の 3 地点の海底に設置された電磁流速計により測定した。2 時間毎に偶数正時を挟む 20 分間, 0.5 秒間隔でデータを取得し, 算術平均した。

さらに流れの鉛直構造を把握するため, ADCP (RD Instruments 社製 ワークホース センチネル 1200 kHz) を Sta. 1 の海底に設置した。底上 2.0 m から 50 cm 毎に海面下 1 m までの流れを, 2 分間隔で取得し (1 アンサンブルあたり 60 発振), さらに偶数正時を挟む 20 分間のデータを単純平均することにより 2 時間毎のデータとした。

2.3 海底面変動観測

海底面変動観測は, 図-1 に示す Sta. 1, Sta. 2 の 2 地点の海底上 1.0~1.5 m の位置に超音波式砂面計を設置し, センサーと海底面との距離により, 測定開始時からの海底地形変動を 2 時間毎に記録した (偶数正時から 20 μ sec 間隔で 9 発振したものを平均)。

3. 観測結果

3.1 波浪観測結果

11 月 20 日から 12 月 16 日までの Sta. 1, Sta. 2, Sta. 3 の波浪データおよびマフコタワーの風および波浪データ (波浪データは, 有義波高 $H_{1/3}$ および有義波周期 $T_{1/3}$) の経時変化を図-2 に示す。なお風データは, 汀線に平行な沿岸方向と, 汀線に直交する岸沖方向の 2 成分に分解したものである。以下に各変動の経時変化にみられる特徴を示す。

観測期間中, 10~20 m/s の北風の連吹が数日周期でみられる。このとき西海岸では高波浪が発達し, マフコタワー, Sta. 1 および Sta. 3 で有義波高が 3 m を越えるようなケースが合計 4 時期観測された (それぞれ 11 月 26 日, 12 月 3, 7, 12 日にピークを示す)。また潜堤の岸側に位置する (潜堤からの距離は約 50 m) Sta. 2 では, Sta. 1 に比べ波高が約 1/2 となっており潜堤による波高の減衰効果がみられる。

また有義波周期は, 4~11 秒の間を変動しており, 地点による差異はほとんどみられなかった。

3.2 流れ観測結果

図-3 に Sta. 1 での流れの鉛直分布 (水深 1.0 から 8.0 m まで) および Sta. 1, Sta. 2, Sta. 3 の底層 (水深 9.0 m) での流れベクトルを示す。また図-4 に各日 6:00 の表層の流れベクトルを示す。

表層流は, 風向きの変化に良く対応している。11 月 21~30 日は南風が卓越しており, この期間の表層流は, 風向きと同じかもしくは汀線方向をやや沖へ向かう北東

流となっている。このとき 11 月 30 日のように南西から北東に向かう汀線方向の風が吹くと, 流れは強められる。また 12 月 1 日や 3 日に見られるように, 風向きが北よりに変化すると, 表層流の向きも変化する, 岸に向かう流れが発達する。この風の変化は, 表層流だけでなく鉛

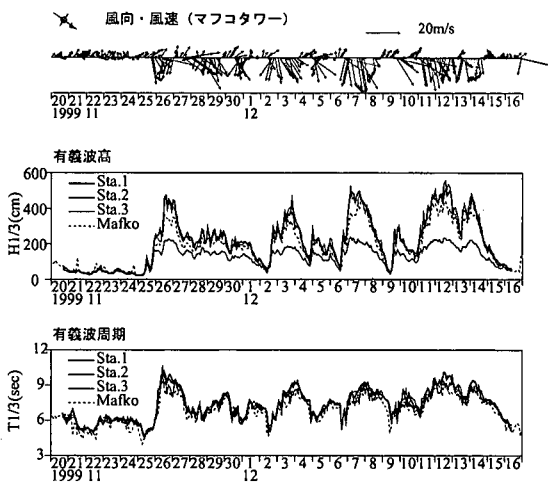


図-2 風向・風速, 有義波高, 有義波周期

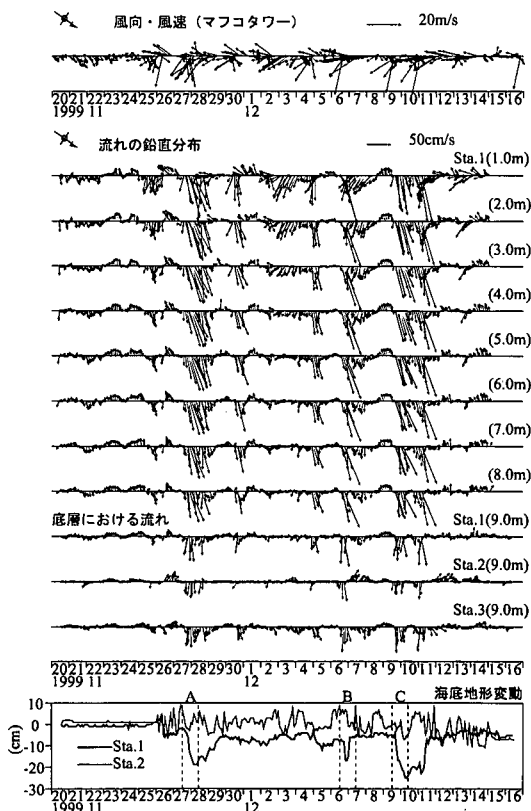


図-3 風向・風速, 流れ, 海底地形変動

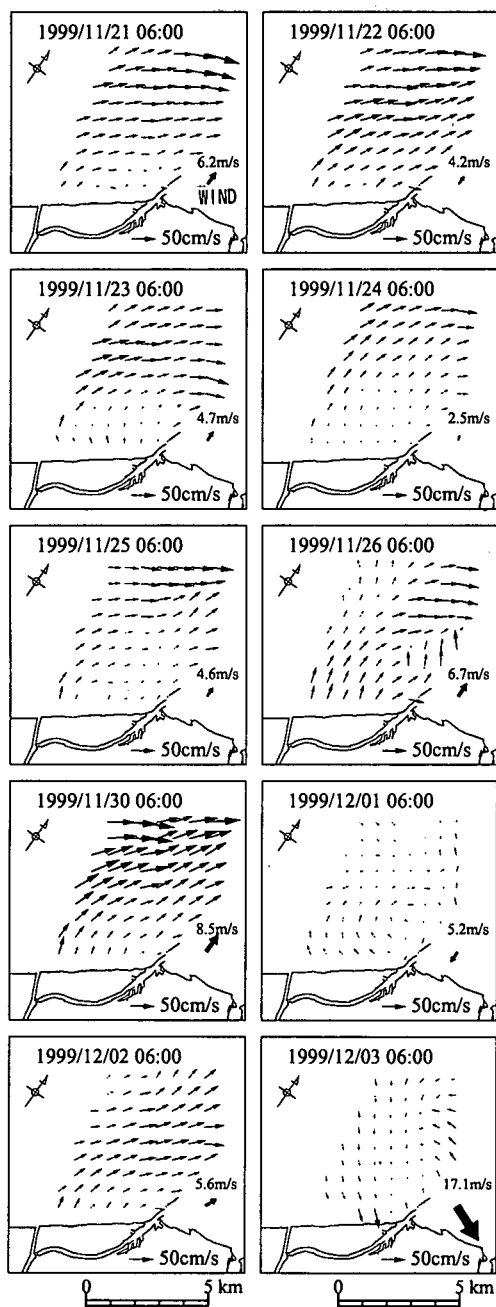


図-4 表層の流れベクトルの経時変化

直方向の流れの構造にも影響を与えている。

図-2 でみられた北風の連吹が始まる直前, 20 m/s に達する南西～西南西風が数時間だけ発達する。これは低気圧にともなう寒冷前線の通過によるもので、このとき風向きは南→南西～西南西→北西→北北西と変化する。図-3 により, Sta. 1 では南西～西南西からの強風発生時に, 上層で流れが急激に強められ, 数時間で全水深にわ

たって 40 cm/s を越える流れとなる (最強時には, 12 月 6 日 18:00 に底上 1 m で 62 cm/s)。このとき流向は風向とは一致せず, やや沖向きにずれている。このような全水深におよぶ強い流れの発達, 観測期間中に 4 時期みられ, いずれも 10 数時間程度継続する現象である。Sta. 3 の底層では, 風向きとほぼ同一方向に, Sta. 1 と時間のずれなく流れの強化が起こっていることから, 新潟西海岸では汀線方向の強風により, 同程度の水深を有する広い範囲で強い沿岸流が発生しているものと考えられる。

また Sta. 2 では, Sta. 1 と Sta. 3 同様, 風による沿岸流が発達するが流速はやや小さい。また高波浪発達時に, 沖へ向かう 20～30 cm/s の西向きの流れが生じており, この流れが発達する時期と Sta. 1 で有義波高が 3 m を越える時期とがほぼ一致することから, 海浜流によるものと考えられる。以上のことから観測された流れ場には風による吹送流と, 波浪による海浜流とが共存していることがうかがわれる。

3.3 海底地形変動

図-3 に 11 月 20 日～12 月 16 日に Sta. 1, Sta. 2 で観測した海底地形変動の経時変化を示す。いずれも観測開始時の海底面を 0 cm とし, その高さからの変動を示したものである (+ は堆積, - は侵食傾向を示すものである)。Sta. 1 では顕著な地形変動が 3 回 (図-3 の A, B, C) 起こっている。いずれも数時間のうちに海底面が 10～20 cm 低下している。その後, 海底面は回復に転じ, 数時間～2 日程度でほぼ元の高さに戻っている。

また Sta. 2 では, 1 日より短い周期で ±10 cm 幅の変動を繰り返しており, Sta. 1 のような明瞭な侵食→回復というような傾向はみられなかった。

4. 風, 流れ, 海底地形変動の因果関係の検討

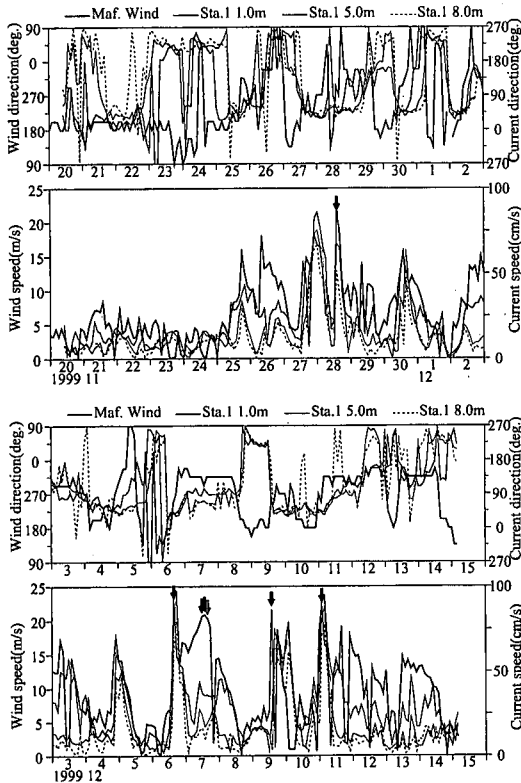
4.1 風と流れの鉛直分布との関係

現地観測結果から, 沿岸方向の強風により生じた底層付近の強い流れが, 海底地形変動を引き起こす様子がみられた。そこでどのような風が, 全層で一様となる流れ構造の形成に関わっているのかを検討する。図-5 にマフコタワーの風と Sta. 1 の流れの鉛直分布を, 風向と流向および風速と流速それぞれの経時変化として示す。なお Sta. 1 の流向・流速は, 水深 1, 5, 8 m のものである。

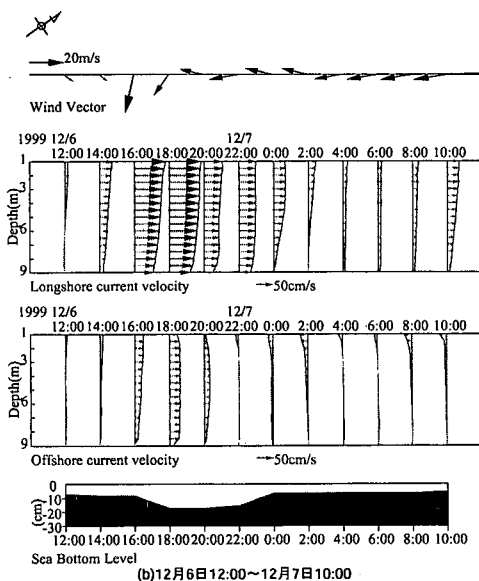
まず風速が 20 m/s 以上となるとき (観測期間中計 7 回, 図中に ↓ で示した), ほとんどのケースで, それまで異なっていた風向と流向が, 短い時間で同じ方向にそろってことがわかる。特に 12 月 6, 9, 10 日のように, 風向が南から西よりに変化する場合には, 短時間で風速・流速ともに増大し, 上層と下層の流速差は小さくなる。

しかし 12 月 7 日のように風速が 20 m/s を越える場合

でも、風向が変化せずに北よりではほぼ一定となっている場合には、全層におよぶ流れの発達は見られない。



図—5 風向と流向, 風速と流速の関係

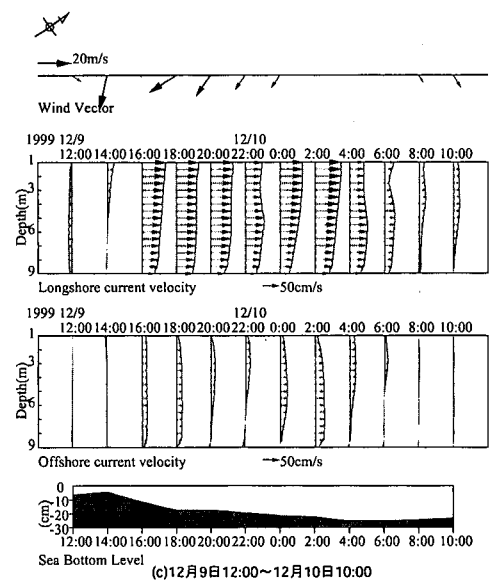
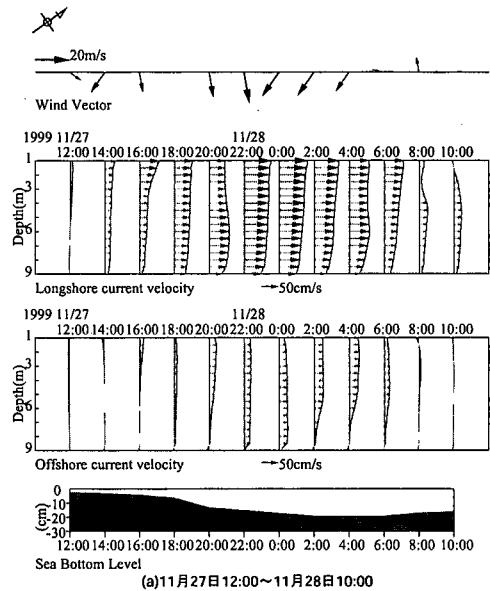


したがって今回の観測から、海底地形変動を引き起こす底層付近での強い流れは、①風向が南から西へ変化するときに、②風向と流向が汀線方向にほぼ一致し、③風速が十分大きいときに発生していることが分かる。

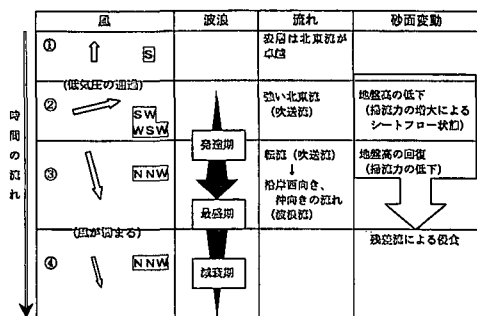
4.2 流れの鉛直分布と海底地形変化の関係

観測期間中 Sta. 1 では 3 回の顕著な海底地形変動が発生した。図—3 に示す A, B, C の 3 期間について、風と流れの鉛直構造および海底地形変動との関係を調べた。

図—6 に (a), (b), (c) の 3 時期の風ベクトル、沿岸・岸沖方向の流れの鉛直分布および海底地形変動を示す。



図—6 流れの鉛直構造と海底地形変動の関係



図一七 新潟西海岸における海底地形変動機構

3 時期に共通しているのは、「沿岸方向の風が発達すると、それに応じて数時間後に上層から下層まで流れが強められ、流れの強化と地盤の低下がほぼ同時に起こっている」ということである。全層におよぶ強い流れの継続時間は、汀線方向の風が維持される時間とほぼ一致し、風向きが変わるか、風速が小さくなるにつれ、汀線方向の流れも徐々に弱くなる。

また岸沖方向の流れ分布は、全体的に沖向きの流れで、岸に向かう流れはほとんど見られなかった。

5. 海底地形変動機構の検討

風・波浪・流況および海底面変動の現地観測結果から、新潟西海岸における特徴的な海底地形変化の発生機構を整理すると図-7 のようになる。

① 低気圧の通過によって、風向は南→南西～西南西へと変化し風速は増大する。

② 強い南西～西南西風により、沿岸をやや沖へ向かう流れが急激に発達し、この流れは数時間で下層にまでおよび、底層では 50 cm/s に達する流れとなる。そしてほぼ同時に顕著な地盤高の低下が起こる。

③ 西よりの風は数時間しか継続せず、その後北よりの風が発達する。北風の連吹により高波浪が発達すると同時に沿岸流は弱まる。このとき地盤高は回復傾向となる。

④ 北風が弱まるとともに波浪は減衰し、地形変動は小さくなる。

これらの結果から地形変動機構を以下のように推測した。吹送流により数時間のうちに海底付近の流れが強まると、掃流力により底質が浮遊状態となり地盤の低下が生じる。その後、流れが弱まるとともに浮遊状態となっ

た底質が沈降し、徐々に地盤が回復する。

この過程において、地盤高がほぼ完全に戻る場合と、そうでない場合がある。後者の場合、浮遊した底質が流れにより輸送される際、構造物や戻り流れ等による残差流の影響により、土砂収支に差が生じたためと考えられる。この現象は、山下ら (1998) が分類した、パルス状の強い流れによる「復元性侵食」と「弱可逆性侵食」に類似している。

6. おわりに

新潟西海岸における地形変動機構を検討するため、VHF レーダ、ADCP、波高計、流速計、砂面計による現地観測を行った。観測期間中、顕著な海底面低下は 3 回発生し、いずれも風によって引き起こされた鉛直方向に一樣な構造を持つ強い流れによるものであることがわかった。

したがってある特定方向に一定時間吹く風が、非常に短時間のうちに海底付近で強い流れを発生させるため、海底地形変動の「トリガー」として大きな役割を持つものと考えられる。

今後の課題として、冬季日本海の沿岸の流れ場を支配すると考えられる吹送流と海浜流の寄与率を調査解析により求め、数値モデルにおける流れの再現精度を高め、冬季日本海における地形変化予測モデルを構築していきたい。

最後に本研究を行ううにあたり、レーダ局用地をご提供頂きました建設省北陸地方建設局信濃川下流工事事務所関係出張所に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 荏司喜博・中山春雄・滝口要之助・高橋登喜・黒木敬司・坂井隆行 (1991): 新潟西海岸の潜堤設置による波、流れおよび地形変化の観測, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 316-320.
- 徳田泰夫・田村政太郎・柿崎 勉, 川又良一・黒木敬司 (1989): 新潟西海岸に新設された突堤周辺の流れと海底面変動, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 439-443.
- 徳田正幸・村上和男・榎美泰彦・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.
- 山下隆男・加藤 茂・路 明・安田孝志・飯野智彦 (1998): ADCP により長期連続観測した海浜流の鉛直分布とその強風, 波浪応答特性, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 201-205.
- 山下隆男・吉岡 洋・路 明・加藤 茂 (1997): 砕波帯内の海浜流, 波浪場の ADCP 観測, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 361-365.