

新潟西海岸における波浪に伴う海底変動

新井 洋一*・田村政太郎**・岩本博史***・川又良一****

1. ま え が き

新潟西海岸は、我が国でも有数の侵食海岸として知られているが、その現状は連続離岸堤によって辛うじて汀線付近のみが防護されているのみである。しかし、現状のままでは大量の土砂供給が望めないことから離岸堤の沖側海域の侵食は依然として進行しており、離岸堤の沈下等の問題が継続的に生じている。そこで、これらの問題に対処するために沖合に大規模な潜堤の築造による侵食対策事業を行ない、現在の離岸堤前面の海底を含めた海域全体の安定を図ることとしている。

本報告は、この侵食対策事業を実施するための基礎的な情報を得るために、離岸堤前面海域での基本的な外力である波と流れ、及びそれに伴う海底面の変動についての現地観測を行ない、海底面の侵食機構や海底面変化と外力との関係について考察したものである。

2. 現 地 観 測

現地観測は、図-1 に示す新潟西海岸連続離岸堤前面の水深 6~9m の海域において波浪観測・底層流観測・海底面変動観測の項目について、昭和 61 年 11 月から 12 月にかけて実施した。

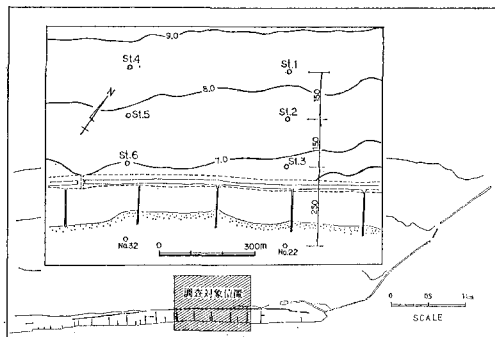


図-1 現地観測位置

(1) 観 測 方 法

a) 波浪観測

図-1 に示した St. 1 地点 (水深約 8.3m) に自記式超音波波高計を設置し、昭和 61 年 11 月 7 日から 25 日の 18 日間にわたって 1 日 12 回偶数時に約 10 分間の波浪観測を行なった。また、当新潟港工事事務所の新潟西港沖 (水深約 23m) の波浪観測記録についても同時に収集し比較対象とした。観測結果は、各観測回毎に波高・周期を算出し有義波等を求めた。

b) 底層流観測

底層流の観測は、波浪観測と同様に 11 月 7 日~11 月 22 日までの 15 日間について行ない、St. 1~6 の 6 地点において自記式電磁流速計を用いて、波高計との同時観測を実施した。また、流速計は海底面上 50cm の流れが観測できるように設置した。

観測結果は、波による軌道流速等の短周期成分を除去した平均流速・流向と、その逆に平均流速成分を除去することにより得られる軌道流速成分の卓越方向、及び波による振動流速振幅等を算出した。

c) 海底面変動観測

海底面の変化は流速計と同一地点において、自記式電導度砂面計を設置し、11 月 7 日から 12 月 10 日までの 33 日間にわたって 1 日 24 回 (1 時間毎) の海底面の変化を観測した。

(2) 観 測 結 果

a) 観測時の海象条件

現地観測は、上記のように主に昭和 61 年 11 月を対象として実施したが、この期間の波浪・潮位・風の経時変化を図-2 に示した。

波浪は、新潟西港沖の観測結果と今回の離岸堤前面の観測結果を同時に示したが、この期間での西港沖の最大有義波高が 4m を越える時は 3 回観測されている。その中では 11 月 26 日に有義波高、5.1m、周期 10.5sec が観測され最大値を示しているが、底層流観測期間中の最大としては、11 月 11 日の有義波高 4.9m、周期 10.3 sec を記録している。また、風速も上記の各時化に対応して 15m/sec を越える強風が観測されており、典型的な日本海での冬期波浪の条件下での観測が行なえた。な

* 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所所長

** 運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所第一工事課長

*** 運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所第一工事課係長

**** 正会員 株式会社 エコー 第一技術部調査課

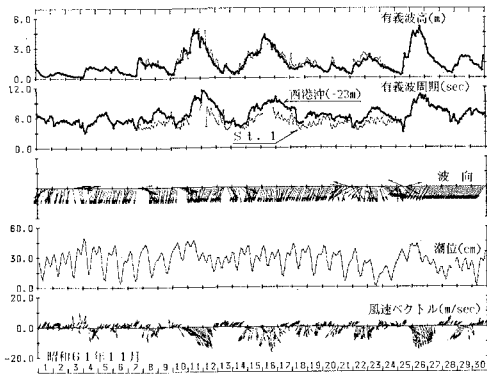


図-2 観測期間中の海象条件

お、潮位変化は小さく、最大でも 40cm 程度である。

b) 波浪観測結果

新潟西港沖の観測結果と離岸堤前面の観測結果を比較すると、波高・周期の変化は良く一致しており、特に波高の値はやや離岸堤前面で高くなるもののほとんど同程度である。しかし周期は全体に離岸堤前面で短くなっており、離岸堤や西突堤等の影響による変化と考えられる。また、離岸堤前面の波高計設置水深が浅いため、西港沖で波高が3mを越えるような高波浪時に欠測となっているが、これは不規則波群中の最大波相当の波の碎波による気泡の発生による欠測であり、この水深約8mの波高計設置点でも冬期の時化時には碎波が生じることを示している。

c) 底層流観測結果

図-3 は、底層流観測における平均流の岸沖方向と沿岸方向流速の経時変化を西港沖の有義波高と共に示したものであるが、流速は各観測点の中で有為な観測結果が得られた St. 1, 3, 4, 5 について示し、その他の地点

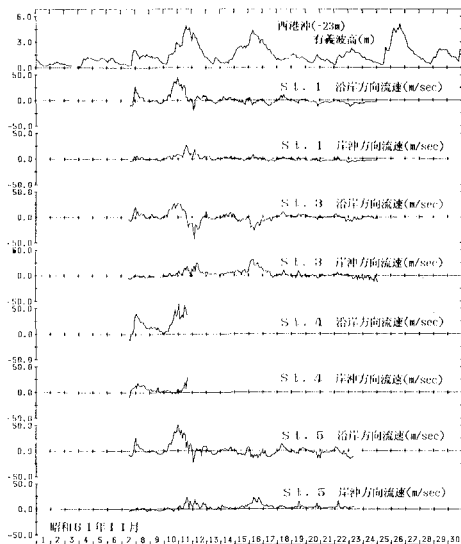


図-3 西港沖波高と底層流の経時変化

の観測結果については、高波浪の影響により観測機器に支障が生じたためにここでは解析対象外とした。

平均流速は、波高の増大と共に流速も大きくなり、最大の有義波高を記録した11月11日に岸沖・沿岸の合成流速として 50cm/sec 程度の値が各観測点で観測されている。また、波浪の発達・減衰と流向・流速の関係は、波高が増大する発達期では沿岸東向きの速い流れが卓越するが、波高が最も高くなる最盛期では、沖向きの流れが発生し、沿岸方向には西向きが卓越する。さらに波浪の減衰する過程では流速は徐々に小さくなる。

d) 海底面変動観測結果

図-4 は、流速計と同様に有為な観測結果が得られた St. 2, 3, 6 の砂面計による観測結果を示したもので、砂面変動は全観測期間の平均値からの偏差として図示してある。この観測結果より、海底面の変化は波浪の発達から最盛期にかけて侵食され最大約 30cm の低下が見られた。その後、波高の減衰期から静穏時にかけて徐々に回復(堆積)する傾向を示している。その変動の傾向は、今回の観測から得られた範囲では場所的な違いはみられず、海域全体がほぼ同時に侵食・堆積を時化の来襲毎に繰返している。

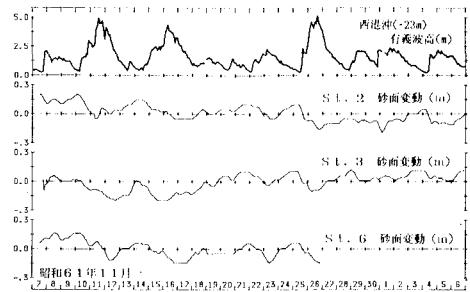


図-4 西港沖波高と海底面変動の経時変化

3. 外力の変化パターン

前述の波や流れの観測結果より、新潟西海岸の冬期風浪時の外力の変化には一定のパターンが見られ、風の発達と波浪の発達、及び流れの変化には以下の関係がある。

(1) 波浪の発達・減衰過程

波浪の発達・減衰過程は、前出の図-2より以下のようになり3つのパターンに分類される。

発達期: 強い西風の発生により風浪が発達する過程であり、波向きは $N40^\circ W$ 以西で西海岸の汀線に対して直角方向が $N35^\circ W$ であるので汀線に対して左方向からの波が卓越する。波高は静穏状態から急激に高くなり、約 3m 程度まで発達する。周期は、波高の増大と共に長くなり、約 7sec 程度となる。

最盛期：風速は最大となりやや北西方向に寄った風向を示し、波向きは $N 40^{\circ} \sim 30^{\circ} W$ の範囲で汀線に対してほぼ直角方向が卓越する。波高は 3m 以上となり、周期も 8 sec から 10 sec 以上と長くなる。

減衰期：風は弱くなり、波向きは $N 30^{\circ} W$ 方向が卓越し汀線に対して右方向からの波となる。波高は徐々に減衰し、周期も 9 sec 程度から徐々に短くなるが発達期に比べると比較的長い。

以上の時化の発達から減衰に至る 1 時化の継続時間は 3~4 日程度であるが、冬期には 1 週間以内の周期でこのような時化が来襲することが多い。

(2) 波浪の変化に伴う流れの変化

図-5, 6 は、それぞれ西港沖の波高と沿岸流速・岸沖流速の関係を離岸堤前面の St. 3 (水深約 6.8m) について示したものである。

これらの観測結果より、各波浪の発達段階毎の流速ベクトルの平均を求めその間の波浪条件との関係を平面的

に図示すると 図-7 のようになる。これらの流向・流速の変化と波浪の発達・減衰過程との関係を述べると以下のようである。

発達期：強い東向きの沿岸流が卓越し、岸沖方向の流れは微弱である。平均流速 (岸沖・沿岸の合成) は 20~30 cm/sec 程度であるが、最大平均流速は 50 cm/sec 以上となる。

最盛期：沿岸方向にはやや西寄りであるが強い沖向きの流れが卓越し、平均流速は 15 cm/sec 程度である。最大平均流速は 50 cm/sec 以上になることもある。

減衰期：最盛期と同様の流れのパターンを示すが、流速は 10 cm/sec 程度と小さい。

このように、新潟西海岸においては波の発達に伴って底層の平均的な流れも強くなる傾向がみられ、特に波浪の最盛期には沖向きの流れが強くなると共に、波高に増大に伴い底面での波の軌道流速振幅も 1 m/sec を越える値が観測されていることにより、離岸堤前面から沖方向へのかなりの上砂移動が生じているものと推定される。

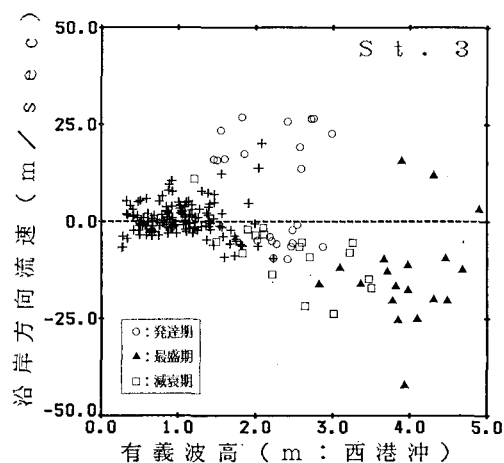


図-5 西港沖波高と沿岸流速の関係

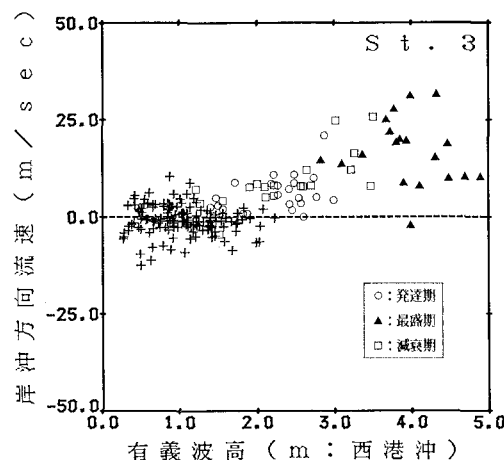


図-6 西港沖波高と岸沖流速の関係

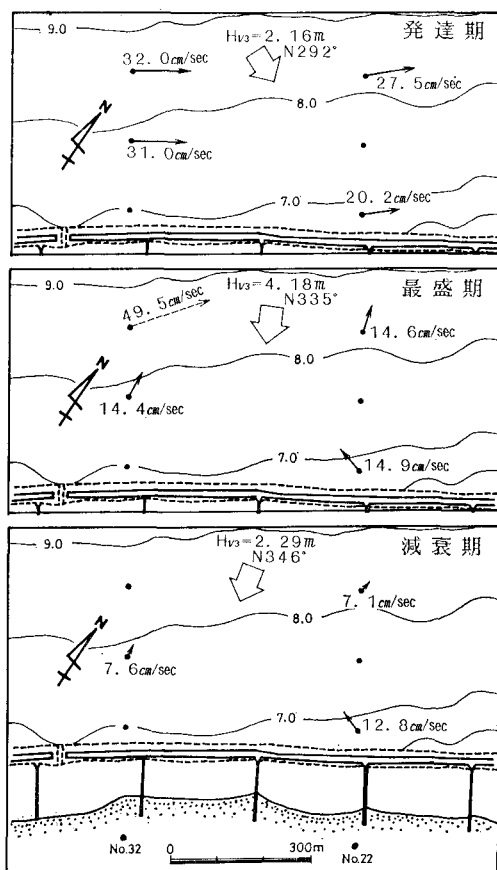


図-7 波浪条件と流れのパターン

4. 海底面の変動特性

(1) 波浪の変化と海底面変化

海底面の変化も流れと同様に波浪の発達・減衰過程により一定のパターンがみられる。図-8は、観測期間の中の代表的な時化である11月11日前後の波高と海底面の変化量の関係を St. 3 と 6 について示したものである。なお、図中の各点の時間間隔は2時間である。

海底面の低下を生じるのは、波高が1mを越える時化の発達期から最盛期にかけてであり、その間で初期の海底面に対して30cm程度の侵食が生じる。その後の波浪の減衰期には、徐々に海底面は回復し波高が1m以下となる時化の終了時点ではほぼ安定するが、時化の前後を比較すると5~10cmの海底面の低下が残る。このことは、時化が連続して来襲する冬期風浪期には、この繰返しにより離岸堤前面の海底が徐々に低下することを示唆するものである。

このように、本観測の範囲内では波浪の変化と海底面の変化の応答に対しての場所的な違いはみられず、離岸堤前面海域では時化時に広範囲にわたって侵食状態となることが確認された。また、その侵食土砂がどこに行ったかについては観測範囲内では不明であるが、時化の最盛期に沖方向の流れが卓越することより、観測範囲外の沖側に移動・拡散しているものと推定される。

(2) 海底変動の限界水深

離岸堤前面の海底は時化の来襲による侵食・堆積を繰返している。そこで、観測された海底面変化と波浪条件より海底面が変化(侵食・堆積)するための限界条件について考察した。

海底地形の変化が生じる限界条件は、基本的には底質の移動が生じなければ地形は変化しないことより、底質

の移動限界条件と密接に関係するものと考えられる。

そこで、ここでは従来の底質移動限界の表示式をもとに波浪と海底面変化の観測結果より地形の変形限界を求めるものとする。底質の移動限界式は次のとおりである。

$$H_0/L_0 = a(d/L_0)^n \cdot (\sinh 2\pi h/L) \cdot (H_0/H)$$

ここに、 H_0 , L_0 は沖波の波高と波長, H , L は水深 h での波高・波長であり, d は底質粒径である。a, n は佐藤・田中⁹⁾によれば $n=1/3$, a は初期移動限界として、1.35, 完全移動限界として 2.4 であるとされている。

いま、砂面計による海底面の変化状況を侵食・堆積、及び変化のない場合について、その時の波浪諸元を用いて分類を行ない図-9に示した。なお、波浪条件としては新潟西港沖(-23m)の波高計の観測結果を用いた。また、底質粒径は別途実施した底質調査結果より離岸堤前面での平均的な粒径を $d=0.135\text{mm}$ とした。

図-9は、代表的な時化時を対象に、砂面計の観測結果から海底面の変化を生じていないものを+, 侵食を●, 堆積を□で表わし、代表例として St. 3 の結果を示したが、他の測定点でも同様の結果となっている。この結果より、各測定点において海底面の変動限界として図中に示したように、佐藤・田中の表層移動限界に近い値として $a=1.0$ が得られた。なお、図中には参考として堀川・波辺⁹⁾による粗面乱流における移動限界の曲線を示してあるが、今回の観測結果は佐藤らと堀川らの底質移動限界のほぼ中間の値となっている。

また、この値は波による振動流速より求まるシールズ数にして約 0.3 程度の値となり、Madsen¹⁰⁾の移動限界よりも大きく柴山・堀川ら⁴⁾の底質の移動形態の分類による砂れんによる浮遊移動の領域に相当している。

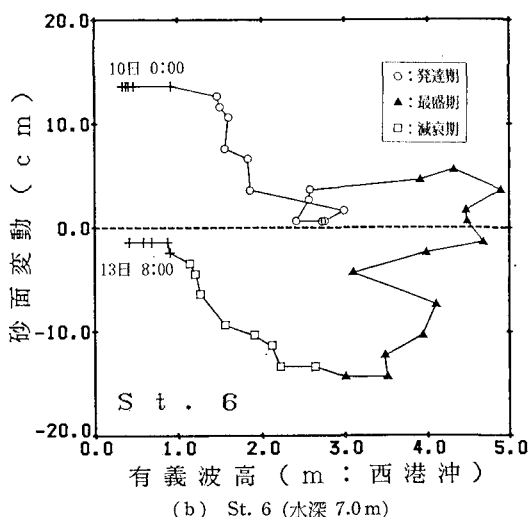
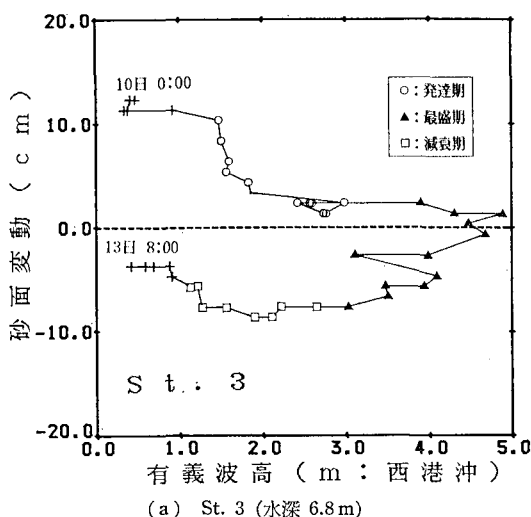


図-8 波高の変化と海底面の変化

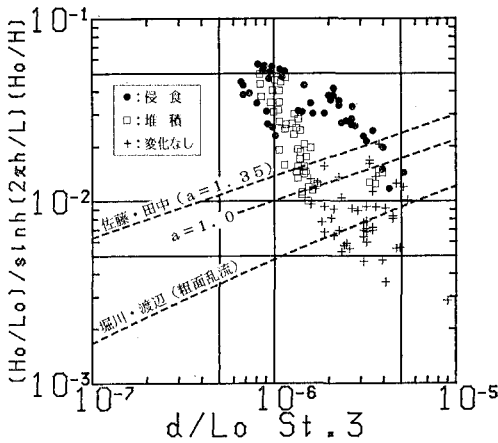


図-9 海底面の変形限界

以上の結果より、いま対象としている離岸堤前面の水深 6~8m の範囲において、 $n=1/3$ 、 $a=1.0$ とした場合の地形の変形限界となる波高を西海岸の時化時の代表的な周期である $T=8 \text{ sec}^5)$ について逆算すると、波高が 0.6~1m 以下の場合に地形の変化は生じないであろうことが推定できる。

5. あとがき

以上の現地観測から得られた結果より、新潟西海岸の侵食機構として、波浪の発達に伴い強い流れが発生し、時化の最盛期における強い沖向き流れと波による底面での振動流速の増大により離岸堤前面の土砂は沖に流出すると考えられる。また、海底面の変化は波浪の発達から最盛期にかけて侵食され、時化の後半には堆積傾向となるが、時化の前後を比較すると時化の終了時点で 5~10

cm の侵食量が残る。したがって、時化が連続して来襲する冬期風浪時にはこの繰返しにより侵食が進行するものと考えられる。

さらに、海底面の変化は波浪条件がある値以上の場合に生じ、それはほぼ従来の底質の移動限界条件に近い値、もしくは、砂れんの発生による底質の浮遊移動が生じる条件に相当するという結果が得られた。これをもとに西海岸の侵食対策としての効果を得るためには、代表的な時化時の波高を離岸堤前面で 1m 以下に減衰させる必要があるものと推定された。

このように、今回の現地観測結果より将来の侵食対策事業を行なうに当たっての基礎的な資料が得られたが、今後はさらに測定機器の設置方法や観測位置を検討し、より良い資料を用いた解析を行なう予定である。

最後に、現地観測の計画・実施・及び解析を行なうに当たっては「新潟西海岸技術調査委員会」(委員長: 堀川清司東大教授)の委員の方々の貴重な御意見を賜った。

ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 佐藤昭二・田中則夫: 水平床における波による砂移動について, 第 9 回海岸工学講演会講演集, pp. 95~100, 1962.
- 2) 堀川清司・渡辺 晃: 波による砂移動に関する一考察, 第 13 回海岸工学講演会講演集, pp. 126~132, 1966.
- 3) Madsen, O. S. and W. D. Grant: Quantitative description of sediment transport, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1439~1442, 1976.
- 4) Sibayama, T. and K. Horikawa: Sediment transport and beach transformation, Proc. 18th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1439~1452, 1982.
- 5) 宮本卓次郎・松下正弘・吉永 茂・川又良一・足立有平: 沖合に設置する潜堤周辺の波, 流れ, 地形変化の予測について, 第 34 回海岸工学講演会論文集, 1987.