

新潟西海岸での潜堤背後侵食についての数値解析

高野 誠 紀* ・ 坂 井 秀 雄** ・ 中 宮 正 人**
山 田 貴 裕*** ・ 黒 木 敬 司**** ・ 佐 藤 道 郎*****

波浪の発達・減衰過程を考慮して、5段階の波浪条件を設定（最盛期の有義波高は6.3m、波向N342°）して地形変化予測を行なった結果、潜堤背後に形成される帯状の侵食分布が現地状況に近づくとともに、突堤周辺や潜堤端部背後の地形変化状況など実測値と良く一致した。従来型の予測方法との違いは、主として最盛期の砕波位置の違いによって生じるもので、本研究で用いた最盛期の波浪条件では潜堤の沖側で砕波が始まり、西向き幅広い沿岸流場が表現されたことによるものであった。

1. はじめに

新潟西海岸では海岸侵食対策として、図-1に示すように潜堤・突堤・養浜の組み合わせによる面的防護工法が1988年に開始され、2003年度末時点での潜堤施工延長は約1,300mに達し、突堤は第3突堤までが完成し、図中の2基の突堤に挟まれた範囲では44万m³の養浜が実施されている。

事業当初から対策工の効果と周辺地形への影響を把握するために現地観測が実施され、潜堤の延伸と共に潜堤直背後に形成される局所洗掘が沿岸方向に拡大する現象の要因解明のために水理模型実験と予測計算が実施されてきた。中田ら（1992）は、潜堤背後の局所洗掘原因を潜堤上での急激な砕波による潜堤背後水域への水塊の打込みによると考え、予測計算により面的防護工周辺の侵食・堆積域の分布など海底形状変化の再現を試みている。本研究は、潜堤背後の侵食域の再現性を向上し、今後の事業展開の計画を検討する際の影響評価モデルを再構築する目的で実施した。

2. 新潟西海岸の地形変化状況

（1）海域全体の土砂量変化

西海岸地区の広域での土砂量増減を把握する目的で、図-1に示す全域の土砂量増減（ ΔV_s ）を算出した。この結果を図-2に示す。図中の折れ線は1989年に対する差を、棒グラフは前年との差を表している。土砂量の変化は一様の傾向を示さず、年毎に増減を繰り返しながらも最初と最後の差は20万m³、平均水深換算で2cmと非常に少ない。しかし、土砂量が著しく減少した1991、1997年には何れも7mを超える有義波高を観測しており、年毎に生じる土砂量の増減と来襲波浪の間に密接な関係があるものと考えた。図-3は、土砂量増減と波浪の関係に着目して、沿岸方向の波エネルギーフラックスと土砂量

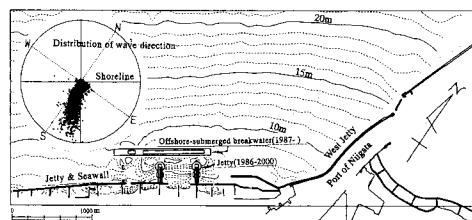


図-1 新潟西海岸の潜堤・突堤施工状況（2000年）

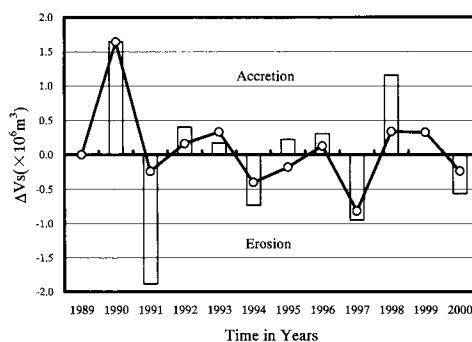


図-2 新潟西海岸の土砂量変化（1989～2000年）

の関係を検討したものである。沿岸方向の波エネルギーフラックスは、東向きの漂砂が発生する方向を正とし、有意な地形変化が生じるような高波浪条件を想定して、水深10mで、底質粒径0.2mmの場合にシールズ数が0.5以上になる条件下の平均値を用いている。

沿岸方向の波エネルギーフラックスと土砂量増減における非常に高い相関は、沿岸漂砂が荒天時の海域地形変化の主要な要因であることを示している。なお、海域全体の土砂量が堆積から侵食に変わる境界値（ $P_t = -9.6$ kw/m）は当海域の波浪の発達パターンを参考にして有義波高に換算すると6.2m程度である。新潟海岸の常時の漂砂方向は東向きであるが、ある程度大きな波高を超える場合に西向きの強い漂砂が生じると言う現象は、田中ら（1996）の指摘する新潟海岸の漂砂動向と一致する。

（2）潜堤・突堤周辺の地形変化

潜堤・突堤周辺での1989年から2000年までの海底地

* 正会員 新潟港湾空港技術調査事務所長
** 正会員 新潟港湾空港技術調査事務所
*** 正会員 (株)エコー
**** 正会員 博(工) (株)エコー
***** 正会員 工 博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科

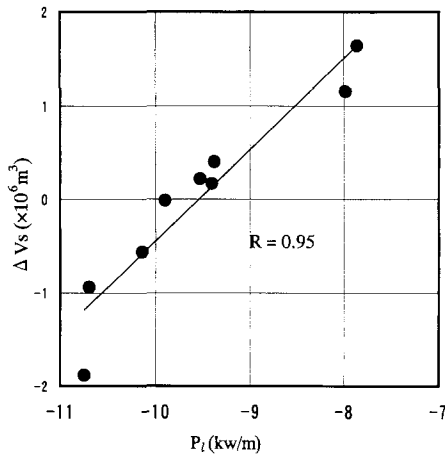


図-3 波エネルギーフラックスと土砂量増減

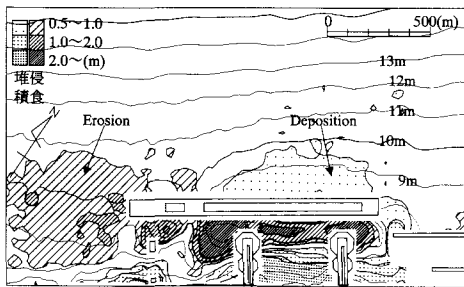


図-4 1989～2000年の地形変化

盤高の変動を図-4に示す。潜堤の直背後に帯状の侵食分布が見られる。これは、潜堤施工延長の増加に伴い沿岸方向に広がったもので、岸沖方向の幅は200～300m、侵食深さは最大で3mに達している。

帯状に広がる侵食域の形成過程では、主として新たに施工された潜堤の端部背後での侵食量が大きく、施工後時間が経過した中央部背後では初期段階に侵食した地形がそのまま残り、結果として帯状の侵食地形が形成されている。

これに対して、潜堤の沖側には堆積厚さは薄いものの広い堆積地形が形成されている。また、潜堤の西側には荒天時の西向き沿岸漂砂を遮断したことにより侵食分布が広がりつつある。なお、潜堤背後の帯状侵食域よりも岸側の堆積域は約40万m³の養浜事業によるものである。

3. 潜堤周辺の地形変化予測計算

(1) 潜堤周辺の代表的な地形変化(再現対象)

過去の深浅測量結果の中から、図-5に示すように潜堤と突堤が完成した後で構造物の配置が比較的単純で

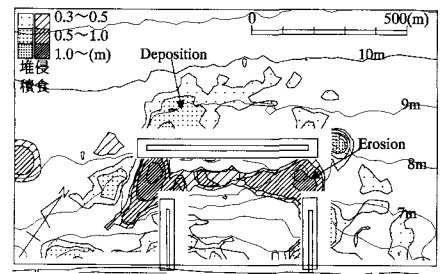


図-5 地形変化予測再現対象地形(1992～1993年)

あった1992年から1993年の地形変化を再現対象として選定した。潜堤背後(陸側)の侵食域は背後域のほぼ全てに現れているものの、第1、第2突堤の先端部分で強く現れている。西側の第2突堤付近の侵食形状は潜堤の端部から既設離岸堤に向かって伸び、侵食域に並ぶ西側の堆積と、既設離岸堤の前面にも堆積域が現れている。

(2) 従来のモデルと波浪条件による再現計算

対象海域の地形変化に関しては、新井ら(1987)、徳田ら(1988, 1989)、荘司ら(1990, 1991, 1992)によって、波・流れ・地形変化の状況と新たに施工された潜堤の伝達波高などの観測結果が報告されている。また、岩谷ら(1987)は波と流れの場を水理模型実験によって求め、この結果を用いて浮遊砂の移流拡散により地形変化予測を行なった。

中田ら(1992)は榎木ら(1984)の方法を用い、潜堤背後の砕波によるエネルギー減衰が砂の巻上げに寄与していると仮定して背後の侵食地形再現を試みた。

従来の予測計算は、新潟西港の波浪観測結果による波高・周期出現頻度表を用いて、最も波エネルギーが大きくなる出現階級の上限値として、 $H_0=3\text{m}$ 、 $T=8\text{s}$ を代表波浪として採用し、西海岸の海岸線に対してやや右よりの波向になるN330°を用いた。なお、1989年に波浪観測場所が西港から新潟沖に変わったため、波浪諸元を見直した結果、 $H_0=4\text{m}$ 、 $T=9\text{s}$ となった。

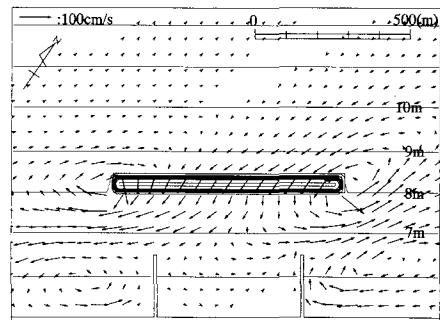


図-6 海浜流計算結果(波高4m, 周期9s)

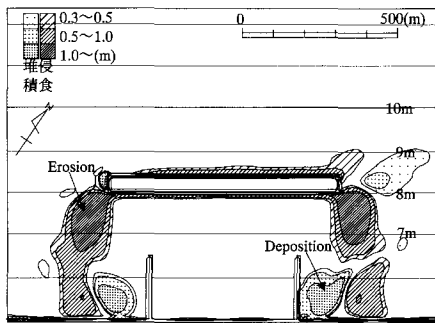


図-7 代表波浪による地形変化予測結果

代表波浪を作用させた場合の海浜流の分布を図-6に、代表波浪を40時間作用させた場合の地形変化予測計算結果を図-7に示す。海浜流は潜堤上での碎波の影響により潜堤を通過して沖から岸に向かう流れが、潜堤の端部陸側を通過し循環流を形成している。地形変化については、潜堤端部背後の侵食分布は再現できているものの、潜堤背後に帯状に伸びる侵食分布は再現できない。

(3) 予測手法の見直し

数値計算により潜堤背後の帯状の侵食域が再現できなかった原因として、従来のモデルでは、浮遊砂の基準点濃度を式(1)により求めており、流れによる巻上げ量を考慮していないためと考えた。

$$\left. \begin{aligned} c_0 &= 0.347 N_0^{0.77} \\ N_0 &= 0.688 \bar{u}_w^2 / [1.13(\rho_s/\rho - 1) g w_f T] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

流れによる砂の巻上げを Soulsby (1997) の方法を参考にして、別途算出し、式(1)で求められる基準点濃度を割り増しするなどの方法を試みたが、図-2に示される潜堤端部背後の侵食域が強調される結果に止まった。

そこで、海域全体の土砂収支に影響を及ぼす波浪条件に着目した。図-3に示したように、当海域全体の地形変化は、ある境界値を境に、侵食・堆積の傾向が異なり、侵食と堆積の境界を波高に換算すると6.2m程度であることが確認された。

Hallermeier (1978) は地形変動限界水深と長期波浪観測結果を基に、顕著な地形変化を引き起こす波高として式(2)を示している。

$$\left. \begin{aligned} h_c &= 2.28 H_e - 68.5 \left(\frac{H_e^2}{g T_e^2} \right) \\ H_e &= \bar{H} + 5.6 \sigma_H \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

この波高の発生確率は0.137%(12時間/年)に相当し、新潟沖の平均波高1.2m、標準偏差0.96を代入すると、6.6mとなり、西海岸全体での堆積・侵食限界に近く、潜堤・突堤周辺の地形変化を予測する際にもこの程度の波高を用いる必要があると判断した。

また、これまでの新潟海岸での波・流れの現地調査か

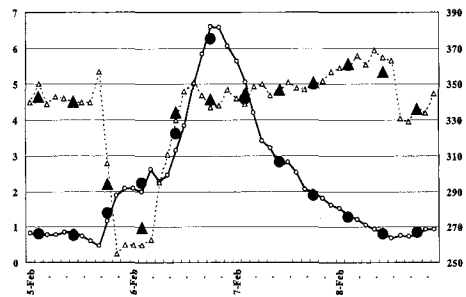


図-8 典型的な波浪の発達パターン (1996年2月)

ら、波浪の発達期には波向が急激に西に傾き、最盛期になると北に転じ、減衰期まで同様の波向が継続することが知られている。新潟沖での波浪観測結果から、最盛期の有義波高が6mを超え、波向の観測が実施されているデータの中から新潟海岸での典型的な波浪の発達・減衰パターンが現れている例として波浪の発達・減衰パターンを分類した結果、図-8に示す1996年2月6日から8日までの高波浪条件を抽出した、図中の実線は有義波高、破線は平均波向の変化を表す。なお、波浪観測は2時間ごとに実施されているが、この観測結果を4回(8時間)ごとに平均したものを図中に●と▲で示している。

以前の代表波浪条件は波高4m、波向N330°であったのに対して、図中のピーク前の波高と波向がこの値に近く、これまでの予測計算は最盛期直前の条件を用いていたことになる。

表-1に示すように、4回毎の有義波高の平均値が2mを超えるケースが5ケースあり、地形変化計算ではこの条件を順番に8時間作用させることとした。

表-1 予測計算に用いる波浪条件

Phase	有義波高 (m)	有義波周期 (sec)	波向 (°)
1	2.2	6.6	270
2	3.6	8.4	335
3	6.3	10.9	342
4	4.6	9.7	345
5	2.8	9.5	347

(4) 予測計算方法の改良結果

抽出された波浪条件の中から、Phase-3条件での海浜流計算結果を図-9に示す。

図-6に示した代表波浪条件での海浜流計算結果は、来襲波が潜堤のない場所では碎波せず、潜堤上の碎波のみによる流れが形成されていたため、潜堤の両端部に形成される循環流が強調されていたが、この条件下では潜堤の無い場所でも潜堤周辺で碎波が始まり、結果として潜堤全体が沿岸流場に含まれた分布形状になっている。

また、以前の代表波浪は海岸線に直角方向に対して5°

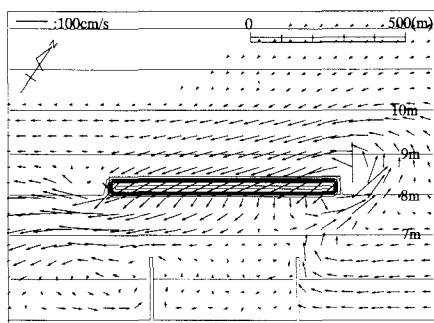


図-9 海浜流計算結果 (Phase-3)

右側から来襲する方向であったのに対して、Phase-3の波向は17°右から作用するため、西向きの海浜流が卓越し、図-6の分布に対して左右非対称性が強くなり、潜堤の西側端部に形成されていた循環流が消滅している。

Phase-1からPhase-5までの波浪変形計算・海浜流計算・地形変化計算を繰り返して、地形変化量を累積した結果を図-10に示す。再現対象地形(図-5)、以前の再現結果(図-6)および改良した予測結果(図-10)を比較すると、以下の改善点が認められた。

- ① 潜堤背後の帯状の侵食域が表現できるようになった。
- ② 潜堤の西側端部に現れる堆積域が表現されている。
- ③ 2基の突堤の外側に沿うように現れている堆積域と西側の岸側境界付近に堆積域が見られる。

再現性が不十分な点として、

- ① 潜堤の岸側に帯状に広がる侵食域が、現地では潜堤から離れているのに対して、新たな再現計算結果は潜堤に接続している。
- ② 現地では潜堤の沖側に薄い堆積域が広がっているのに対して、計算結果はこれを再現できていない。

再現性の向上は、海浜流の計算結果が潜堤を含む広い範囲で西向きの海浜流場を表現していることと、西から北に変化する波向を表現したこと起因する。

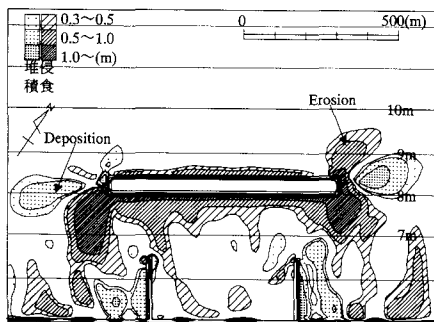


図-10 Phase-5までの地形変化累積結果

再現性が不十分な要因は、消波ブロック積み潜堤の内部を通過する水塊・浮遊砂の移動を考慮していないことや、波浪の発達・減衰パターンを考慮したとはいえ、現地で発生している多様な変化には対応しきれていない点に加えて、単層での海浜流計算であることから、潜堤上を通過した水塊が表層で岸に向かい、海底面付近で戻り流れとなって沖に向かう状況が再現されていない点などを挙げることができる。なお、潜堤の沖側に薄く広がる堆積域は、粒径の小さな成分が岸側から移動して潜堤の前面に沈降した結果と考えられ、今後は混合粒径への対応も含めて改良を行う必要がある。

4. 最近の地形を用いた再現性の検証

潜堤や突堤の施工が進んだ最近の地形を対象として再現性の確認を行なった。対象地形は2002年7月と2003年6月の測量結果の差分である。再現に用いた波浪条件は、簡単のために1996年2月の波浪変化パターンを用いた。その他の条件についてもこれまでと同じである。しかし、計算範囲は新潟西港の防波堤先端部から関屋分水路の西側までと広い範囲での地形変化を対象としている。

図-11の上段は2002年と2003年の測量結果の差分で、下段は再現計算による侵食・堆積域の分布である。

現地の地形変化の特徴は、新たに延伸した潜堤の西側端部から陸側に侵食域が広がり、侵食域の西側に並ぶようにして堆積域が形成されている。突堤に挟まれた海域の地形は安定しており、顕著な変化は見られない。

海域の東側には埋立護岸が建設され潜堤と護岸の間の距離は最狭部で100 m程度であり、開口部付近が侵食し、その東側に堆積分布が見られる。

再現計算の結果は、潜堤の西側端部での侵食地形とその周辺の堆積分布が表現されている。また、東側開口部の侵食地形も表現されている。しかし、再現計算結果は現地の変化に比べて全体的に極端に表現されており、突堤に挟まれた海域の地形も活発に変化している。図-10に示した施工途中の再現計算と本計算の違いは、計算開始時点で潜堤の岸側に養浜が実施されており、岸近くの水深は最も浅い場所で1 m程度になっている。現地の地形は、6 mを超える高波浪が作用した場合には、計算結果と同様の変化を起こすものの、その後に繰り返し作用する6 mより小さな波浪によって復元する過程を繰り返しているものと考えられる。しかし、水深が深い場所で生じた変化は、その後の比較的小さな波高では復元することが困難であることから事業実施に当たっては、潜堤の端部背後で生じるような変化が周囲にどのような影響を与えるかを吟味しておく必要がある。

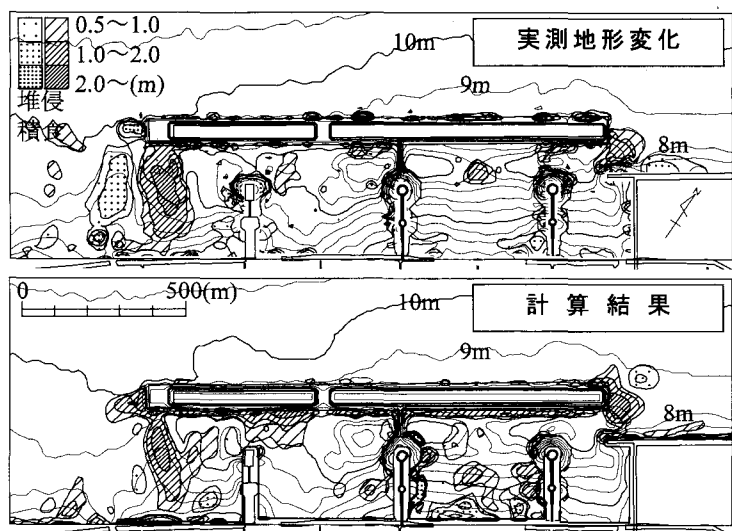


図-11 最近の地形を用いた再現性の検証

5. おわりに

本研究では、波浪の発達・減衰過程を考慮して、5段階の波浪条件を設定（最盛期の有義波高は6.3m、波向N342°）し、それぞれ8時間（合計40時間）作用させた。その結果、潜堤背後に形成される帯状の侵食分布が現地状況に近づくとともに、突堤周辺や潜堤端部背後の地形変化状況など実測値と良く一致した。

このような予測結果の差は、主として最盛期の碎波位置の違いによって生じるもので、本研究で用いた最盛期の波浪条件では潜堤の沖側に碎波が始まり、西向き幅広い沿岸流場が表現されたことによるものであった。

本手法により2002～2003年の再現計算を試み、潜堤周辺の地形変化を再現することができた。

以上の研究により、従来型の代表波浪による地形変化予測では不十分であった海域全体の地形変化や構造物周辺の地形変化に対して、Hallermeierが提案した有効波高に近い高波浪と、新潟西海岸特有の波浪（波向）特性を考慮した計算を行なうことにより再現精度が向上した。今後、海底地形変化の予測を行なう際には、このような高波浪条件を考慮することが必要と考えられる。

参考文献

新井洋一・田村政太郎・岩本博史・川又良一（1987）：新潟西海岸における波浪に伴う海底変動，第34回海工論文集，pp.

- 357-361.
 岩谷文方・宮本卓次郎・松下正弘・吉永 茂・川又良一・足立有平（1987）：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回海工論文集，pp. 372-376.
 榎木 亨・李 宗燮・出口一郎（1984）：河口周辺の海浜流及び地形変動モデルに関する研究，第31回海工論文集，pp. 411-415.
 荘司喜博・中山春雄・滝口要之助・黒木敬司・坂井隆行（1990）：新潟西海岸における波，流れおよび地形変化の観測，海工論文集，第37巻，pp. 429-433.
 荘司喜博・中山春雄・滝口要之助・高橋豊喜・黒木敬司・坂井隆行（1991）：新潟西海岸の潜堤設置による波，流れおよび地形変形の観測，海工論文集，第38巻，pp. 316-320.
 荘司喜博・中山春雄・田村宏二・遠山豊一・坂井隆行・黒木敬司（1992）：新潟西海岸潜堤周辺の波，流れおよび地形変化に関する調査，海工論文集，第39巻，pp. 451-455.
 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，海工論文集，第43巻，pp. 546-550.
 徳田峯夫・田村政太郎・岩本博史・川又良一・黒木敬司（1988）：新潟西海岸における波浪に伴う海底変動（第2報），第35回海工論文集，pp. 467-471.
 徳田峯夫・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，海工論文集，第36巻，pp. 439-443.
 中田博昭・鈴木 勝・阿部勝雄・川又良一・南 将人（1992）：潜堤周辺の地形変化に関する数値モデルと現地観測結果との比較，海工論文集，第39巻，pp. 431-435.
 Hallermeier, R. J. (1978): Use for a calculated limit depth to beach erosion, Proc. 16th ICCE, pp. 1493-1512.
 Richard Soulsby (1997): Dynamics of marine sands (A manual for practical applications), pp. 137-144.