

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

中田 博昭*、 鈴木 勝**、 阿部勝雄***
川又 良一****、 南 将人****

1. 目 的

近年、従来より用いられてきた離岸堤に替わって、景観に優れた潜堤を用いた海岸保全工法が注目されてきており、現地での施工事例に基づく波浪・流れ及び地形変化に関する報告も見られるようになってきている（荘司ら, 1991; 岡田・河野, 1991等）。これらの報告の中で潜堤背後の海底面の洗掘現象が確認されており、従来の離岸堤では見られない特異な現象となっている。

このような潜堤背後の現象を数値モデルにより予測することは、海岸保全効果を事前に確認し現地に適用していく上で重要であると共に、単純化されたモデルにより現地をより良く再現するための試行錯誤を通して、現地の現象を解明する糸口を見付けることも期待できる。

本研究は、潜堤の設置による周辺の波浪・流れ及び地形変化の数値計算による現地の現象の再現を試み、潜堤周辺の地形変化を数値モデルにより予測することの可能性について検討を行なうと共に、現地への適用を通して潜堤背後の地形変化のメカニズムについても若干の考察を加えたものである。

なお、本研究では大規模潜堤事業が実施され、潜堤設置前後を通した詳細な現地調査結果の得られている新潟西海岸をモデルとして種々の検討を行った。

2. 新潟西海岸の調査概要

新潟西海岸では、潜堤事業を進めるに当たり波・流れ及び地形に関する現地調査を行い、種々の影響や効果を確認しながら工事を進めてきている。調査は、事業着工前の1986年から実施され、以後毎年冬季の高波浪時を対象として実施されてきている。調査成果については、新井ら（1987）を始めとして荘司ら（1991, 1992）まで毎年報告されているが、本研究では潜堤の施工が開始された1990年以降の調査結果を対象とした。

図-1 は、1990年と1991年の構造物配置と調査位置を

示したものであるが、潜堤は天端水深 D. L. -1.5 m, 天端幅 17 m で延長されてきている。現地調査は、図に示す地点において波高計・流速計等を用いて実施され、平行して地形測量も行われ潜堤周辺の地形の変化が詳細に把握されている。

また、潜堤事業の実施に当たっては水理模型実験による検討もなされており（岩谷ら, 1987）、本研究では現地調査結果と併せてこの実験結果についても参考とした。

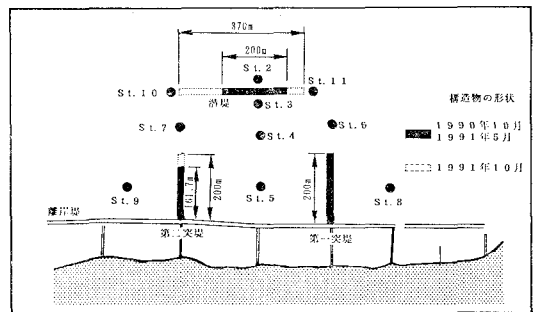


図-1 現地観測位置

3. 波浪分布

(1) 数値モデル

波浪場の計算は不規則波のエネルギー平衡方程式により実施したが、潜堤による波高減衰については、潜堤上の碎波によるエネルギー逸散を考慮し、潜堤直背後の波高が高山ら（1985）の不規則波による実験結果（式（1））と一致する様に、潜堤上の波エネルギーを決定することにより求めた。

$$K_H = -0.92 \frac{B}{L_0} - 0.42 \frac{h_{RT}}{H_0} + 3.8 \frac{H_0}{L_0} + 0.51 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 K_H ：潜堤の影響係数で、潜堤が無い場合に対する潜堤が有る場合の波高比、 h_{RT} ：潜堤天端水深、 B ：潜堤天端幅、 L_0 ：沖波波長、 H_0 ：沖波波高を示す。

具体的に、潜堤直背後の波高の計算は、予め潜堤がない場合の計算を実施して潜堤直背後位置での波高を求め

* 正員 第一港湾建設局新潟調査設計事務所所長

** 正員 第一港湾建設局新潟調査設計事務所次長

*** 正員 第一港湾建設局新潟調査設計事務所調査課長

**** 正員 株式会社エコー 第一技術部

次に、潜堤の有る状態で計算を行い、式(1)による影響係数 (K_H) から求まる潜堤直背後の伝達波高より、潜堤部の波エネルギーを決定した。なお、影響係数が1を越える場合には、 $K_H=1$ として取り扱った。

上記の方法により、いくつかの条件により計算を実施した。図-2 は、新潟西海岸の代表的な波浪条件とされる波高 3 m, 周期 8 s (岩谷ら, 1987) の沖波条件とし、潜堤が無い場合の波エネルギー (E_0) の分布と、潜堤がある場合のエネルギー (E_s) の分布より E_s/E_0 を潜堤背後域での波エネルギーの伝達率 (α と記述) として求めたものである。この結果より、潜堤背後から離れるにしたがい潜堤端部からの回折波の影響により潜堤の波高減衰効果が少なくなっていることが分かる。

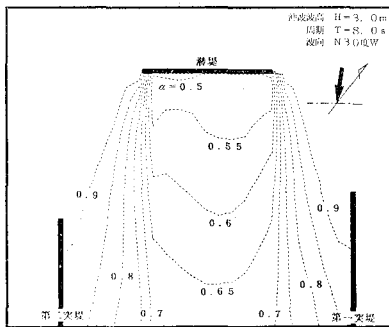


図-2 潜堤前後でのエネルギー伝達率分布 (1991年地形)

(2) 現地観測結果

現地観測は、図-1 に示した各点で実施されているが、これらの観測結果の中から、潜堤前面と背後の有義波高を比較した結果を図-3 に示す。

図中の×印は1990年 (潜堤長さ 200 m), ○印は1991年 (潜堤長さ 370 m) の測定結果を示している。

前面波高に対する潜堤背後の波高伝達率は、前面波高の値によって異なるが、前面波高が約 1.5 m 以上で潜堤の効果が確認される。潜堤直背後の波高は、潜堤前波高の約 0.65~0.80 倍程度となっている。

また、岸側に近づくに従って (St. 3-St. 5), 波高の減衰率は小さくなり、潜堤端部からの回折波の影響によるものと考えられる。

(3) 潜堤前後の波高の数値計算と現地の比較

図-3 の図中の↓印 (全7点) は、数値計算結果を示したものである。図中の、◇印は潜堤長さ 200 m の場合、◆印は 370 m の場合の計算結果を示す。計算に用いた波高は、現地観測期間中の最大波高やエネルギー平均波高等を用いたものであるが、この範囲においては、現地観測結果とよい整合性が確認された。

4. 流れの分布

(1) 数値モデル

海浜流の計算は、波を外力として生じる流れを計算するものであり、外力には波浪変形計算による波高分布と波向分布の結果を用いた。計算は、通常の潮流計算に用いられる単層二次元浅水方程式に、波によるラヂエーションストレス項を加えたものを基礎方程式とした (西村ら, 1984)。

1991年の観測期間中、沖測で最大波高を記録した時刻の波浪条件 (波高 2.4 m, 周期 9.5 s, 波向 N19° W) を用いた計算結果を図-4 に示す。

計算結果は、潜堤を過ぎた流れは左右に分かれ、突堤先端で汀線に平行に流れている。また、潜堤の両端では循環流が生じており、潜堤と突堤に挟まれた領域の流れは、5 cm/s 以下と小さな流れとなっている。

(2) 現地観測結果

図-5 に現地地層流速の観測結果を示す。この結果は前述の時期に対応する観測結果である。現地では、潜堤

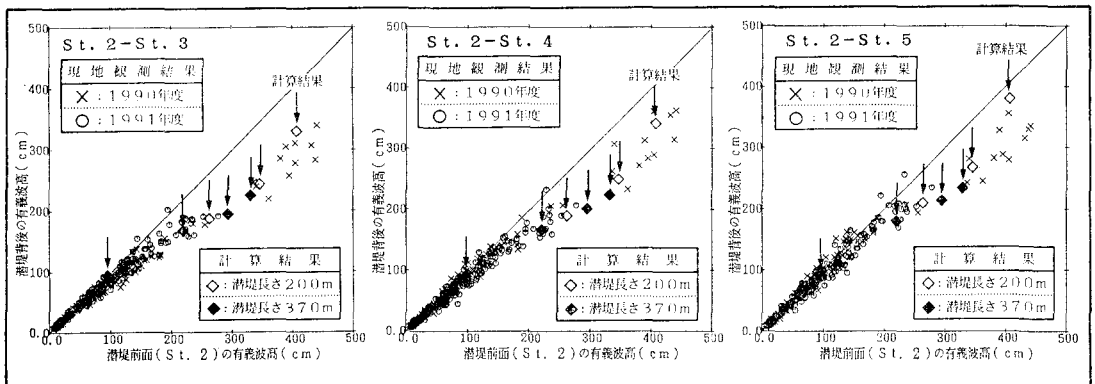
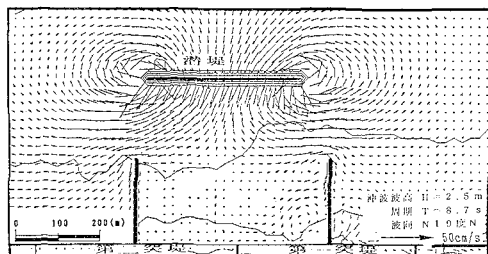


図-3 潜堤周辺の波高の変化

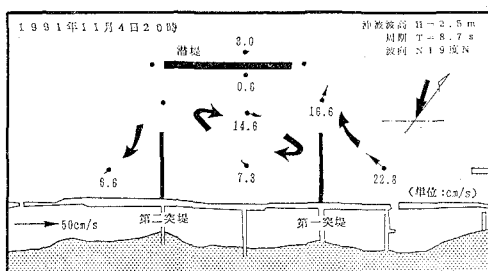
背後と突堤間において循環流を形成している様な流れが見られ、他の観測時刻でも同様の傾向が確認された。また、第一突堤の東側では突堤先端に向かう比較的速度い流れが存在しており、突堤先端部でも堤外に向かう流れが確認される。

(3) 潜堤周辺の流れの数値計算と現地との比較

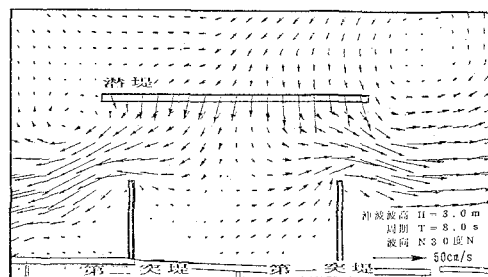
図一4 と5 とを比較すると、第二突堤先端の堤外に向



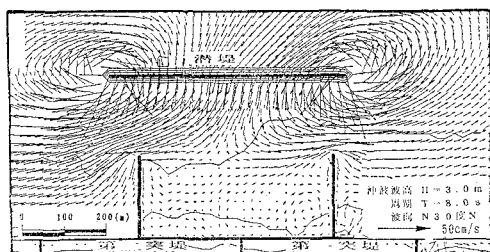
図一4 海浜流ベクトルの計算結果 (1991/11/4)



図一5 現地観測による底層流速のベクトル



図一6 水理模型実験による流れの分布 (岩谷ら, 1987)



図一7 数値計算による海浜流 ($H=3\text{ m}$, $T=8\text{ s}$)

かう流れが類似しているものの、計算結果は現地を再現しているとはいえない結果となっている。

そこで、さらに計算結果の妥当性を検討するために、新潟西海岸を対象とした水理模型実験結果 (岩谷ら, 1987) との比較を行った。

図一6 は、水理模型実験による底層流速の分布を示したもので、この時の波浪条件は、波高 3 m、周期 8 s である。また、図一7 は同一条件による数値計算結果を示したものである。これらの比較より、実験及び計算共に、潜堤を越えた流れは、左右に分かれ突堤の先端付近を汀線に平行になるような分布を示し、突堤端部で循環流が生じていること、及び突堤と潜堤に挟まれた領域内での流れは小さいこと等、良く一致している。

この様に、波浪条件が一定で定常な流れが形成される場合では、計算は妥当な結果を与えるものと言えるが、現地の様に波高、周期および波向が絶えず変化し、さらに風や潮汐等の他の要因も関連する場では、流れが外力の変化に伴って常に変化するため、再現性が不十分であると考えられる。また、計算は、水深方向の平均流であり、流れの鉛直分力が考慮されていないことも再現性を悪くする一つの要因であると考えられる。

5. 地形変化

3. および 4. に示した波浪分布・流れの分布を用いて新潟西海岸の地形変化計算を実施し、モデルの適用性について検討した。地形変化計算の対象期間は、1990年10月から1991年5月までとし、この期間中の現地地形変化量分布と比較した。なお、この期間中の構造物 (潜堤、突堤) の形状は変化していない。

(1) 数値モデル

地形変化の計算方法は、浮遊砂と掃流砂を考慮した樺木ら (1984) によるフラックスモデルを用いた。

計算に用いた波浪条件は、岩谷ら (1987) と同様に波高 3 m、周期 8 s、波向 $N30^\circ W$ とし、現地の潜堤背後の地形変化量と同程度の変化が生じるまでの計算を行った。

図一8 に、1990年10月を初期地形として実施した地形変化計算結果を示す。潜堤周辺の地形変化におよぼす浮遊砂と掃流砂の寄与率を底質の連続式より求めたところ、潜堤周辺では浮遊砂の寄与率が掃流砂の約 400 倍、突堤先端付近で約 100 倍と圧倒的に浮遊砂による地形変化が多く、本計算における潜堤周辺の地形変化のほとんどは浮遊砂によって生じているものと言える。

(2) 現地地形変化量の分布

図一9 に1990年10月から1991年5月までの地形変化の分布を示す (莊司ら, 1992)。冬季の高波浪を経過した後の地形変化は全体的に侵食傾向となり、特に潜堤の西側背後での侵食が顕著である。この侵食範囲での最大侵

食量は 1.48 m である。なお、このような潜堤背後において侵食される傾向は、潜堤が着工され始めた頃にも観測されている(荏苒ら, 1991)。堆積域は、第一突堤の基部の西側と第二突堤の基部の東側に若干見られる程度である。

(3) 地形変化の数値計算と現地との比較

計算と現地での地形変化の分布図を比較すると、第二突堤先端と潜堤の西側端部間の侵食及び、第二突堤の東側隅角部の堆積は現地地形変化傾向を再現している。

しかし、計算では潜堤東側端部に侵食域が生じており、また、潜堤背後での侵食域が再現されず、現地の地形変化と異なる傾向が見られる。これは、流れの分布が現地と大きく異なることが主要因と考えられるが、波浪条件を変えて実施した他の計算結果でも潜堤背後の侵食域は再現できなかった。

(4) 潜堤直背後の鉛直拡散係数について

本研究に使用している数値モデルを用いて潜堤直背後の侵食域の再現性を高めるために、計算における地形変化のほとんどが浮遊砂により生じていることから、背後の海底面鉛直拡散係数を修正して、地形変化計算を実施した。拡散係数の修正は、以下のようにした。

図-2 のエネルギー伝達率(α)の分布を見ると、潜堤直背後で約 50%、突堤先端付近で約 90%、潜堤と突堤間ではほぼ岸沖方向に平行となり、潜堤先端付近では約 60%程度となっている。

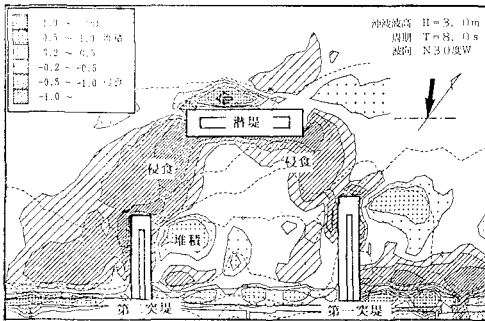


図-8 地形変化量の再現計算結果

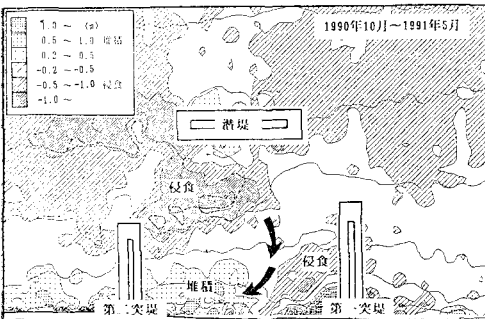


図-9 現地の地形変化量分布

潜堤背後では、この様に波のエネルギーが減衰しており、この減衰したエネルギーによって乱れが形成され、その一部が底面からの砂の巻き上げに寄与するものとして、鉛直拡散係数の算定式に取入れた。式(2)は楢木らによる鉛直拡散係数(ϵ_z)の算定式である。

$$\epsilon_z/wf = \min[0.021 \exp(0.5u^*), h] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 u^* は摩擦速度、 h は水深である。

次に、エネルギー伝達率(α)を用いて式(3)のように鉛直拡散係数を修正した。

$$\epsilon_z' = \epsilon_z + (\beta(1-\alpha)\epsilon_z) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 β は便宜的に設けた係数である。

計算結果を図-10に示す。同図は、 $\beta=8$ とし、潜堤背後での $\alpha=0.5$ の地点で ϵ_z を5倍として試算した結果であるが、潜堤背後の侵食量が多くなっており、図-9と比較すると潜堤直背後の侵食を再現することの可能性を示している。しかし、侵食位置や大きさを十分合わせるまでには至っていない。

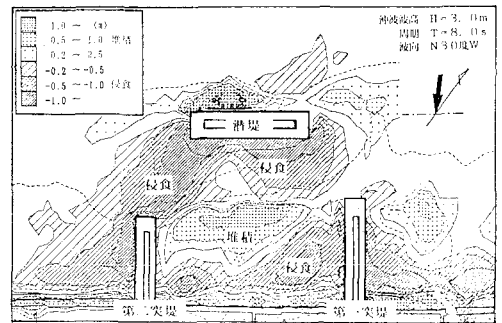


図-10 鉛直拡散係数を修正した地形変化計算結果

(5) 潜堤背後での乱れに関する考察

図-11は、潜堤前後の底層流速の変動成分のスペクトル比を算定した結果を示したものである。図は、1990、1991年度観測期間中で沖波波高が最大を記録した時点での結果である。伝達関数に見られるように、高周波側ではパワーが全体的に減衰しており、潜堤上の碎波による背後の水位の乱れは底面まで達していないものと考えられる。

一方、特定の周期成分が増幅される傾向が見られることより、実験結果等により指摘されている長周期変動(喜岡ら, 1991)の存在による流れの発生等がある可能性も指摘され、今後、十分な検討が必要と考えられる。

6. あとがき

以上、地形変化計算に必要な、波・流れの計算結果を現地観測結果と比較し、さらに地形変化計算の再現性について検討した。その検討結果を以下に列記する。

① 潜堤直背後における波高の伝達波高は、比較簡易的

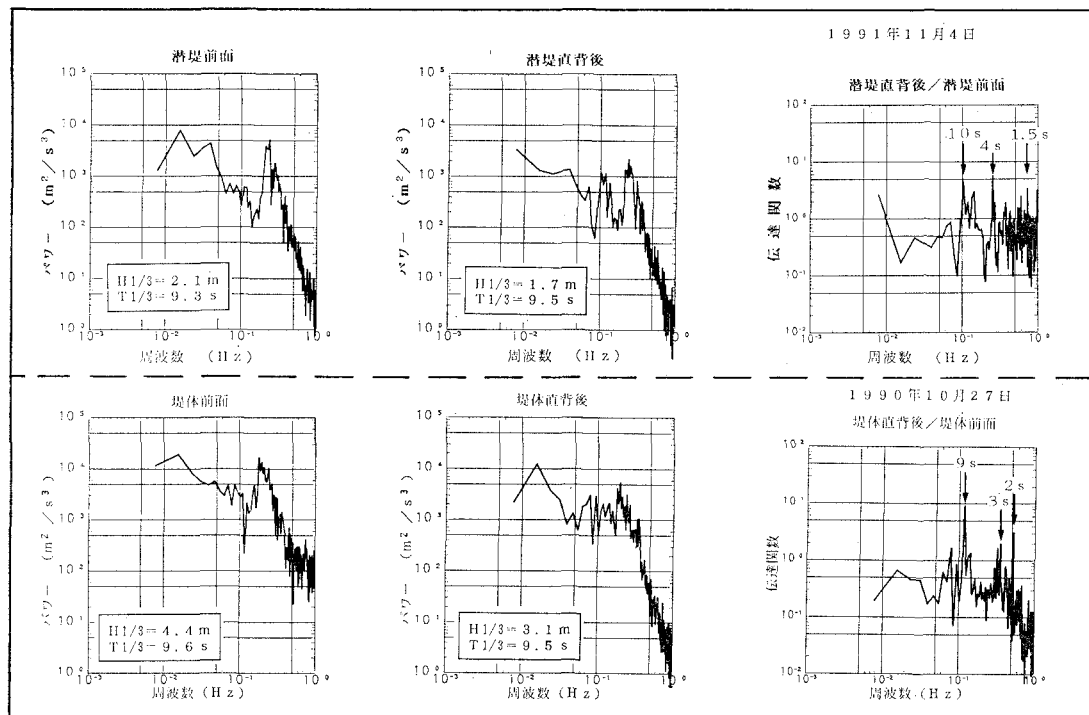


図-11 潜堤周辺での流速変動成分のスペクトル図

単な方法を用いて潜堤上の波高を決定することにより現地観測結果と一致させることができた。

② 海浜流は、水理模型実験と数値計算は一致するものの、現地観測で見られていた潜堤と突堤間の循環流は、実験、計算ともに再現は不十分であり、現地外力の非定常性が問題である。

③ 地形変化計算において、鉛直拡散係数を修正することにより、潜堤背後の侵食域の再現が可能となるが、潜堤背後域の流速変動については不明な点が多く、今後共十分な検討が必要である。

最後に、新潟西海岸での事業を進めるに当たっては、「新潟西海岸技術調査委員会」(服部昌太郎委員長)の委員の方々の貴重な御意見を賜った。また、新潟西海岸の現地観測データについては、新潟港工事事務所により実施されたものである。ここに記して、感謝の意を表します。

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回海岸工学講演会論文集, 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回海岸工学講演会論文集, pp. 372-376.

岡田 豊・河野二夫(1991): 青島海岸に設置された潜堤の効果に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 321-325.

喜岡 渉・松野忠幸・岡本正由・佐藤公己(1991): 潜堤背後の平均水位と長周期変動に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 306-310.

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回海岸工学講演会論文集, pp. 411-415.

荘司善博・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, 流れ及び地形変化の観測, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 316-320.

荘司善博・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, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 996-1000.

高山知司・永井紀彦・関口忠志(1985): 広末端幅潜堤の波浪低減効果に関する不規則波実験, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 545-549.

西村仁嗣・丸山康樹・桜井 力(1984): 海浜流の数値計算法について, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 396-400.