

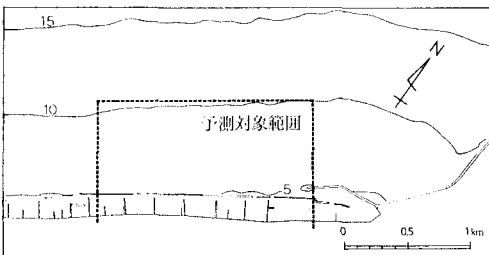
沖合に設置する潜堤周辺の波，流れ，地形変化の予測について

岩谷文方* ・ 宮本卓次郎** ・ 松下正弘***
吉永茂****・ 川又良一*****・ 足立有平*****

1. ま え が き

海岸侵食対策では、汀線に近接した比較的浅い海域に離岸堤のような防護構造物を建設し、その背後の汀線の安定を図ることが一般に行なわれている。しかしながら、このような工法では侵食が広い海域に及んでいるような侵食の激しい海岸においては、必ずしも恒久的、かつ十分な対策とはなり難いと考えられる。このようなことから、沖合に自然海岸を模した大規模な潜堤を設置することにより潜堤背後の海底面をも含めた海域全体の防護を図る工法が注目されてきている¹⁾。本研究は、その潜堤周辺の波，流れ，及び地形がどのように変化するかを実験と計算により予測し、その工法の効果と周辺への影響について検討したものである。

なお、本研究ではケーススタディの場合として我が国でも有数の侵食海岸として知られる新潟西海岸を選んだ。新潟西海岸（以下「西海岸」という。）は、過去においては信濃川の分水や地盤沈下により大規模な侵食を生じ、現在では連続離岸堤によりかろうじて汀線付近の浅い部分のみが防護されているのみである。近年では、その離岸堤前面海域の侵食が顕著となり、離岸堤の沈下等の問題が継続的に生じており、潜堤を用いた新たな防護工法を検討するには最適な場所といえる。



図—1 予測対象位置

2. 予測方法

本研究では、予測対象として潜堤や離岸堤を含むため波や流れがかなり複雑になり、これらをすべて数値計算のみにより求めることは現在の技術では難しいと考えられる²⁾。また、地形変化の予測は移動床模型実験では相似則の問題がある。そこで、ここでは外力としての波と流れの分布を固定床模型実験により求め、その結果をもとに数値計算により地形変化を予測するという入江ら³⁾の方法を基準とした予測を行なった。

(1) 水理模型実験

実験は、57×42mの平面水槽に図—1に示した予測範囲の1/70縮尺模型を製作して行なった。外力の測定は、現地スケールで35m格子について波高・流向・流速・水位について測定し、波高・水位については容量式波高計、流れは小型電磁流速計を用いた。流速の測定はサンプリング間隔50m/secで約90秒間について測定し、その間の平均流速流向を求めた。また、流速の測定高さは固定床面上約2cmで行なった。測定されたデータはフルードの相似則により現地量に換算して計算に使用した。なお、実験波には不規則波を用い、計算では有義波を使用した。

(2) 地形変化計算

地形変化の予測では、潜堤背後の地形変化を主な予測対象とするために、底質の連続式による予測⁴⁾では潜堤による波の遮蔽域の地形変化がうまく表現されないものと考えられ、ここでは入江らの浮遊砂の移流沈降過程を考慮した方法を用いるものとした。しかし、入江らの方法では、水深を水平層により分割し浮遊砂の鉛直分布を考慮しているが、水深により層数が異なるため層数の変化する部分で若干の計算上の不都合が生じる。そこで、予測対象範囲の全体を層数一定とするような収縮座標系による移流拡散方程式を用いた。

通常の移流拡散式の収縮座標系への変換は、簡単のために2次元($x-z$)系について示すと、図—2のように鉛直座標に(1)式で定義される新しい座標 σ を用いる。

$$\sigma = (z + h)/h \quad \dots\dots\dots (1)$$

以上の座標変換を従来の $x-z$ 系による移流拡散式に

* 正会員 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所所長
** 正会員 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所調査課長
*** 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所建設専門官
**** 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所係長
***** 正会員 株式会社エコー 第一技術部

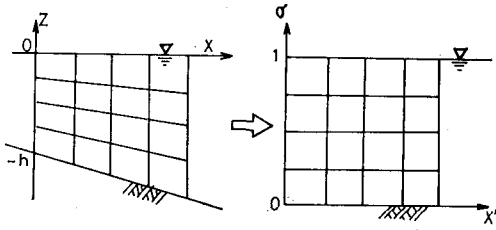


図-2 収縮座標への変換

対して行なうと、(2) 式が得られる。

$$\frac{\partial hc}{\partial t} + \frac{\partial huc}{\partial x} + \frac{\partial (w^* - wf)}{\partial \sigma} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon x h \frac{\partial c}{\partial x} \right) - \frac{1}{h} \epsilon z \frac{\partial^2 c}{\partial \sigma^2} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 w^* は $\sigma = \text{const}$ 面に対して直角方向の流速成分であり、 u は水平流速、 wf は底質の沈降速度、 c は浮遊砂濃度である。なお、海底勾配が小さい場合には水平拡散項の変換から生じる高次項は無視できるとした。

計算は、(2) 式を3次元に拡張し、対象海域全体（潜堤を含めて）を底層から2:3:5の割合で3層に分割して行なった。また、地形変化速度は入江らと同様にBijker⁵⁾による浮遊砂濃度分布式を基本とし、それより求まる底面濃度(c_b)と(2)式からの最下層（層厚 D_b ）の平均濃度(c_s)より、(3)式により算出した。

$$\Delta z / \Delta t = w f c_s - \epsilon z (2 / D_b) (c_b - c_s) \quad \dots\dots\dots (3)$$

なお、計算は35m格子で行ない実験結果は平滑化及び流量補正を行ない計算に使用した。

3. 予測条件及び予測ケース

(1) 波浪条件の設定

地形変化を予測する際の代表波浪条件を設定する方法は幾つか有るが、ここでは西海岸で最も波浪条件が厳しくなる冬季の波高・周期の出現頻度より波高・周期ランク別のエネルギーフラックスを求めその出現率の最も高い波浪のランクを選定した。図-3は、新潟西港におけ

る最近の10年間の波浪の出現頻度より求めたエネルギーフラックスの出現率の分布を示したものであるが、この結果より波高として2.5~3m、周期として7~8secのランクにエネルギーが集中している。これは、従来のエネルギー平均⁶⁾による算出結果($H=1.9\text{m}$ 、 $T=6.7\text{sec}$)と比較すると、冬季の時化時の代表的な波浪条件としてはより現実的な値と言え、予測にはこの波浪ランクの上限値となる $H_0=3\text{m}$ 、 $T=8\text{sec}$ を用いた。また、異常時波として西港の5年確率波である $H_0=6.7\text{m}$ 、 $T=12\text{sec}$ を用いた。波向は、代表波・異常時波共 $N 30^\circ W$ を用いた。これは、西海岸の汀線に対してやや右寄りの波向となる。

(2) その他の条件

地形変化予測に必要な底質条件は、昭和59年度に実施した現地調査結果に基づき離岸堤前面の平均的な粒径である0.15mmを用いた。また、潮位は西港の平均潮位(D. $L+0.25\text{m}$)を使用した。なお、浮遊砂等の計算に必要な拡散係数等の諸係数については、現況計算において適宜決定した。

(3) 予測ケース

予測は、まず現況法線による予測を行ない、予測手法の妥当性の検討と予測に必要な諸係数の設定を行なった後に、図-4に示す将来法線による予測を行なった。

将来予測法線は、図に示すように離岸堤の沖合400mに長さ600m、天端幅40mの潜堤を配置し、その両端に長さ200m及び400mの突堤を設置したものであるが、将来予測ケースは潜堤のみの場合と長短突堤の組み合わせにより行なった。

なお、現況予測は代表波浪条件のみで行ない、将来予測については異常時も合わせて行なったが、異常時には実験による外力測定のみとした。

4. 現況予測結果

現況の予測は、実測資料との比較による再現性の検討と将来予測結果との比較対象するために実施した。図-5に実験結果をもとにして、平滑化した波高分布と平滑化、流量補正を行なった後の底層の流れの分布、及び地形変化計算結果（年間当りの変化量）を示した。

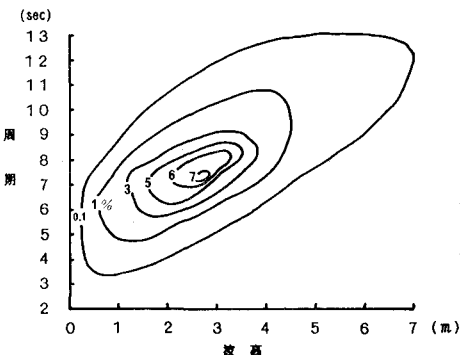


図-3 西港における波高周期別エネルギー分布

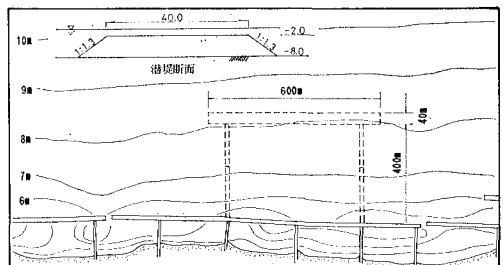


図-4 将来予測法線

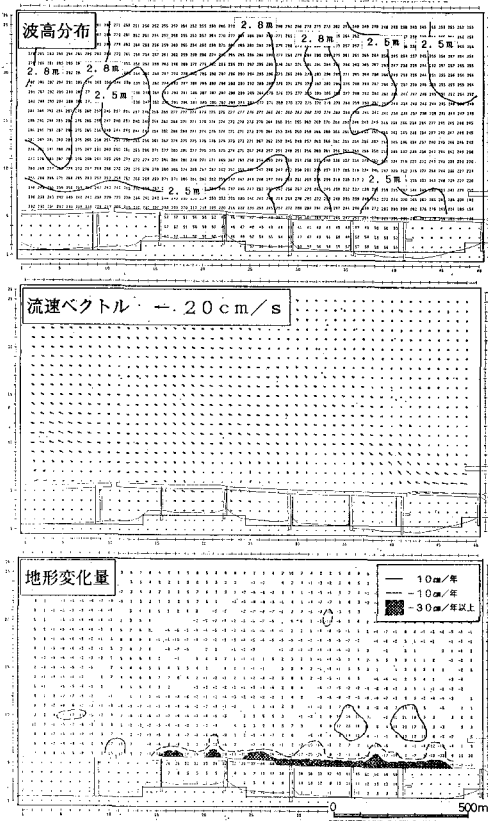


図-5 現況予測結果

(1) 流れの再現性

現地における冬季の波浪条件下での観測結果⁷⁾によれば、予測に用いた波浪条件は現地の時化の最盛期から減衰期にかけての条件に対応している。その時の離岸堤前面の流れのパターンとしては沿岸方向にはやや西向きの流れがあるが、主に沖向きの流れが卓越する。また、平均的な流速は波高が4mを越える最盛期では20cm/sec程度になるが波高3m程度では10cm/sec前後の値を示している。予測結果では、全体に西向きの流れが卓越するが、離岸堤前面では沖向きの流れとなっており、現地のパターンとほぼ一致している。流速は、やや低目ではあるが10cm/sec程度となっており現地観測結果との整合性は良い。

(2) 地形変化の再現性

新潟西海岸の離岸堤前面の地形変化は、実測資料を用いた経験的固有関数の解析結果より経年的に侵食傾向にある。図-6は、昭和51年11月から59年10月までの地形変化量の平面分布を示したもので、離岸堤前面は一樣に侵食傾向にあり、離岸堤直前では50cm以上の侵食が生じている。また、予測範囲の3測線についての岸沖方向の年間当りの地形の変化速度を図-7に示す。

地形変化の予測結果は、全体に侵食部分が多く離岸堤

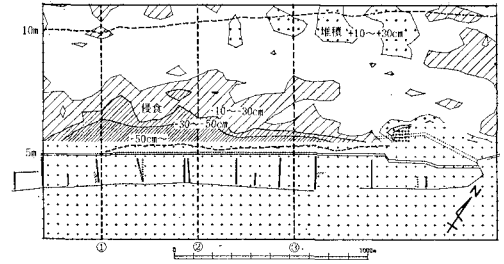


図-6 実測資料による地形変化(昭和51~59年)

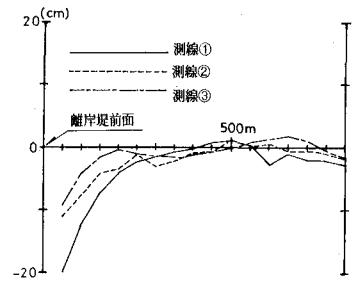


図-7 地形変化速度の岸沖分布(昭和51~59年)

前面での侵食量が特に激しくなっており、現地資料による変化傾向と定性的に一致している。

以上のことより、本予測手法では流れや地形変化の傾向については十分再現されていると言える。しかし、その定量的な評価を行なうにはさらに検討を要するものと考えられ、予測結果の評価はこの現況予測結果との相対的な比較として行なうのが妥当と言える。

5. 従来予測結果

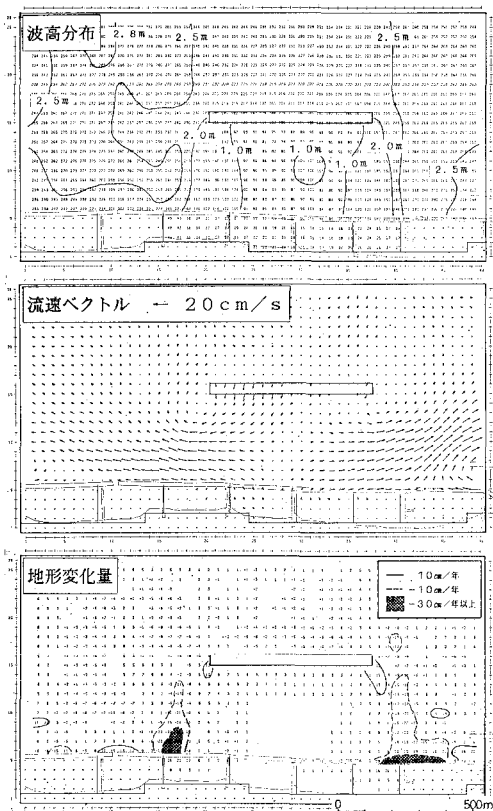
(1) 潜堤のみの場合

離岸堤沖合400mに潜堤のみを設置した場合の代表波による予測結果を図-8に示した。

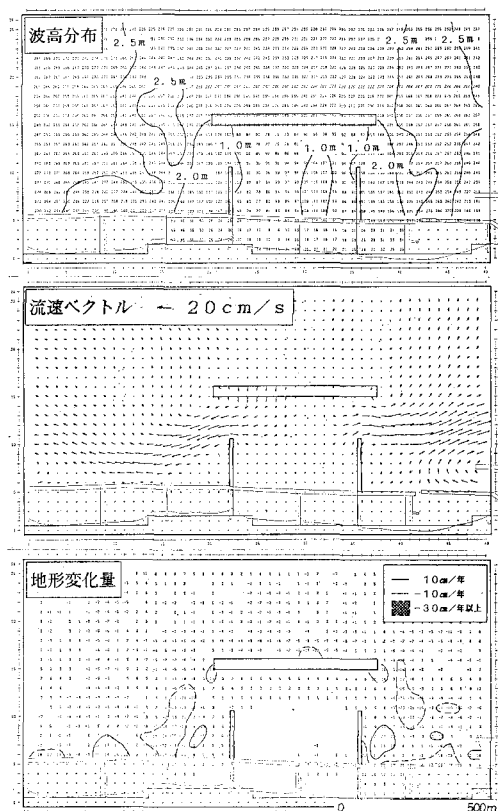
波高分布は、潜堤の背後域では、全体に1m程度まで減衰し、現況離岸堤の背後の潜堤の影響域では現況予測結果に比べて半減しており、潜堤の効果が高いことがわかる。また、潜堤沖側では潜堤の反射率が約0.1~0.2程度と現況の離岸堤の反射率(0.3~0.4)に比べて低いために全体に波高は低くなる傾向が見られる。

流れの分布は、潜堤背後の中央部から東西両方向に向う15cm/sec程度の速い流れが生じ、その影響は離岸堤前面部、及び東西沿岸部に及んでいる。この潜堤背後の流れは、潜堤背後の水位上昇に起因するものであり、離岸堤型の波浪制御構造物に特有の現象と言える。また、潜堤天端部で沖から潜堤内に流入する流れが見られる。

地形変化は、この潜堤背後から沿岸部に及ぶ流れの影響により、その影響域の離岸堤前面から沖側に局所的な侵食が見られる。しかし、潜堤背後域では波高が十分に減衰されているために侵食域は見られず、現況に比べてかなり安定している。また、潜堤前面の洗掘はほとんど



図—8 将来予測結果（潜堤のみ）



図—9 将来予測結果（潜堤, 300 m 突堤併用案）

見られず、現況の変化量と同程度である。

以上のことより、潜堤の設置により背後の海底面はかなり安定するものの、潜堤周辺に強い流れが発生し、周辺離岸堤前面地形への影響が生じるものと推定される。

（2） 潜堤と突堤を併用した場合

図—9 は、潜堤と突堤（長さ 200 m）を併用した場合の予測結果であるが、波高の分布は潜堤のみの場合と基本的には同様の傾向となっている。

流れの分布は、潜堤のみの場合に発生した潜堤背後から東西に向う流れは、潜堤と突堤の間の比較的限定された範囲で生じ、離岸堤前面への直接の影響は少なくなっている。

地形変化は、潜堤背後からの流れが離岸堤から離れた位置に生じるために、侵食域は離岸堤から離れた沖側から離岸堤前面にかけて生じている。しかし、離岸堤前面の侵食量は、潜堤のみの場合や現況の予測結果と比べて少なく、突堤によって流れを制御することにより、潜堤の周辺への影響をかなり少なくできることが確認された。

なお、突堤を 400 m として潜堤に接続した案については、当然のことながら潜堤背後からの流れは発生しないが、突堤からの反射の影響によると考えられる沿い波

が生じて突堤基部付近への影響が見られ、突堤の構造型式の検討が必要と判断される。また、潜堤天端では沖向きの流れが発生している。

（3） 異常時波による予測結果

異常時波での予測は、波高・流れ・水位について行なったが、波高と流れの分布は代表波による予測結果と同様のパターンを示し、波高は潜堤背後で 2~3 m まで減少する。流れはやはり潜堤背後から東西の流れが生じ、流速は代表波の場合の 4 倍程度の速さとなる。また、潜堤背後の水位上昇は、突堤と併用した場合に大きくなり、図—10 の長短の突堤による結果を比較すると、突堤が短い場合に 20~30 cm であるが突堤を潜堤に継続した場合には潜堤内で約 70 cm、現況の離岸堤内で 80 cm 程度まで上昇する。

このように、5 年確率波程度の波浪条件では、全体に大きな外力が発生するが、このような波浪の発生は少なく、その継続時間も短いことから地形変化に与える影響は極端には大きくならないものと推定される。しかし、現況離岸堤内の水位の上昇は、背後地への直接の影響を与える恐れがあり、突堤を長くした場合にはその構造に検討を要するものと判断される。

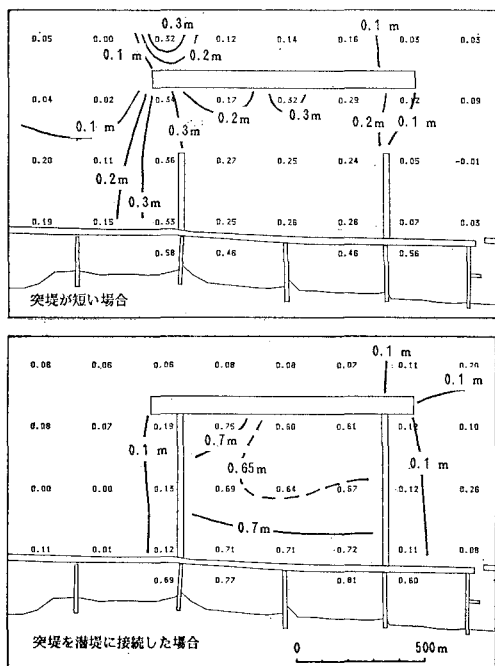


図-10 異常時波の水位上昇量比較

6. あとがき

侵食対策工法として沖合に潜堤を設置することの効果、及びその周辺への影響について、新潟西海岸をケーススタディの場合として、実験と数値計算による予測を行なった。

その結果、潜堤の設置により現況の離岸堤のみの場合に比べて潜堤沖側の波高は低くなり潜堤前面の洗掘は少ない。また、その背後域では海底面を安定にすることができ、海底面を含めた侵食対策工としての効果は大きいことがわかった。また、潜堤のみでは周辺海域に影響を及ぼす恐れがあるが、適切な突堤工を併用することによ

り周辺への影響を最低限に押えることが可能であり、実際への適用に当たっての一つの可能性を見出すことができたと考える。

また、本研究に用いた予測手法については、現地資料との比較を行なった結果、比較的良く現地を再現しており、従来数値計算のみでは予測が難しかった潜堤のような構造物周辺の現象に対しても有効な手法であることが確認された。

今後は、潜堤・突堤の設置位置や構造型式の違いを把握するなどし、より実際の侵食対策工法としての潜堤工法について検討を加える計画である。

最後に、本研究の実施に当っては「新潟西海岸技術調査委員会」(委員長:堀川清司東大教授)の委員の方々に有意義な御助言を賜り、ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 中山靖之: 海岸行政の新たな展開のために——シリーズ“面的防護方式の課題”の連載開始に当って——, みなとの防災, 第77号, pp. 19~26, 1983.
- 2) 本間 仁 監修・堀川清司 編: 海岸環境工学, 東京大学出版会, 582 p., 1985.
- 3) 入江 功・栗山喜昭・田中昌宏: 物理モデルと数値モデルとの組み合わせによる海底地形の予測, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 345~349, 1985.
- 4) 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・楠山 勉: 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406~410, 1984.
- 5) Bijker, E. N.: Sedimentation in channels and trenches, Proc. of 17th Conf. on Coastal Eng., pp. 1708~1718, 1980.
- 6) 田中則夫・灘岡和夫: 汀線変化予測モデルの開発と現地への適用, 港湾技研資料, No. 436, 1982.
- 7) 新井洋一・田村政太郎・岩本博史・川又良一: 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, 1987.